7

Grażyna Francuz-Ornat
Teresa Kulawik
Maria Nowotny-Różańska

Spotkania z fizyką

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

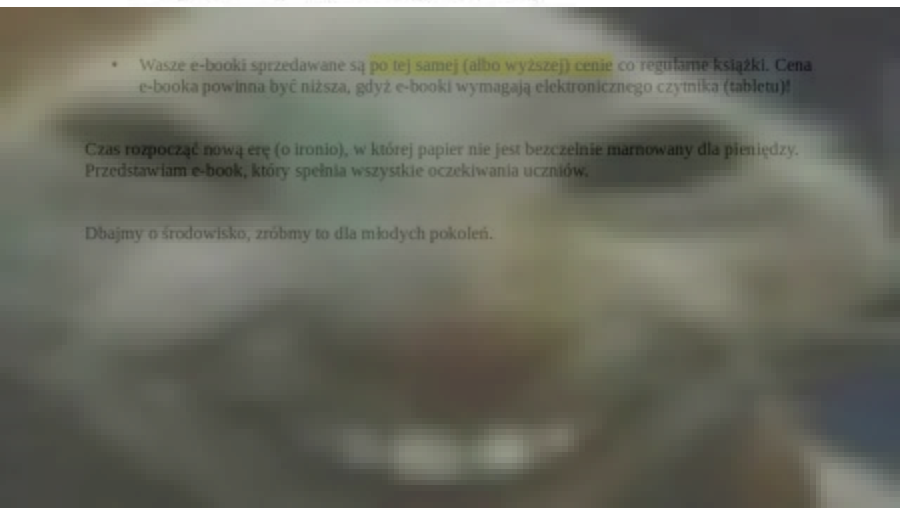
Droga Nowa Ero,

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 regularne 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 bezczelnie marnowany dla pieniędzy. Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

I Pierwsze spotkanie z fizyką

1. Czym zajmuje się fizyka 6
2. Wielkości fizyczne, jednostki i pomiary 12
3. Jak przeprowadzać doświadczenia 17
4. Rodzaje oddziaływań i ich wzajemność 23
5. Siła i jej cechy 28
6. Siły wypadkowa i równoważąca 35

Powtórzenie. Pierwsze spotkanie z fizyką 39

Analiza tekstu. Jak mierzono czas i jak mierzy się go obecnie 43

II Właściwości i budowa materii

7. Atomy i cząsteczki 46
8. Oddziaływania międzycząsteczkowe 50
9. Badanie napięcia powierzchniowego 56
10. Stany skupienia. Właściwości ciał stałych, cieczy i gazów 61
11. Masa a siła ciężkości 68
12. Gęstość 74
13. Wyznaczanie gęstości 79

Powtórzenie. Właściwości i budowa materii 83

Projekt. Woda – białe bogactwo 87

III Hydrostatyka i aerostatyka

14. Siła nacisku na podłoże. Parcie i ciśnienie 90
15. Ciśnienie hydrostatyczne, ciśnienie atmosferyczne 94
16. Prawo Pascala 101
17. Prawo Archimedesa 105
18. Prawo Archimedesa a pływanie ciał 110

Powtórzenie. Hydrostatyka i aerostatyka 114

Analiza tekstu. Podciśnienie, nadciśnienie i próżnia 118

IV Kinematyka

19. Ruch i jego względność 122
20. Ruch jednostajny prostoliniowy 128
21. Ruch prostoliniowy zmienny 135
22. Badanie ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego 141
23. Analiza wykresów ruchów prostoliniowych: jednostajnego i jednostajnie zmiennego 146

Powtórzenie. Kinematyka 152

Projekt. Prędkość wokół nas 158

V Dynamika

24. Pierwsza zasada dynamiki Newtona – bezwładność 162
25. Druga zasada dynamiki Newtona 169
26. Swobodne spadanie ciał 174
27. Trzecia zasada dynamiki Newtona. Zjawisko odrzutu 179
28. Opory ruchu 183

Powtórzenie. Dynamika 190

Analiza tekstu. Czy opór powietrza zawsze przeszkadza sportowcom 194

VI Praca, moc, energia

29. Energia i praca 198
30. Moc i jej jednostki 204
31. Energia potencjalna grawitacji i potencjalna sprężystości 209
32. Energia kinetyczna, zasada zachowania energii mechanicznej 214

Powtórzenie. Praca, moc, energia 219

Projekt. Statek parowy 223

VII Termodynamika

33. Energia wewnętrzna i temperatura 226
34. Zmiana energii wewnętrznej w wyniku pracy i przepływu ciepła 233
35. Sposoby przekazywania ciepła 238
36. Ciepło właściwe 243
37. Zmiany stanu skupienia ciał 249
38. Topnienie i krzepnięcie 253
39. Parowanie i skraplanie 259

Powtórzenie. Termodynamika 265

Analiza tekstu.

Dom pasywny, czyli jak zaoszczędzić na ogrzewaniu i klimatyzacji 270

Tabele 273

Indeks 277

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych 279

Zapamiętaj! Nie wolno pisać po podręczniku.
Za rok będziesz musiał go przekazać młodszym kolegom.

Oznaczenia stosowane w podręczniku

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE – oznaczenie zadań, które należy rozwiązać lub uzupełnić w zeszycie

DOŚWIADCZENIE 11 – oznaczenie doświadczeń obowiązkowych zapisanych w podstawie programowej

? – obszar do uzupełnienia po przepisaniu do zeszytu

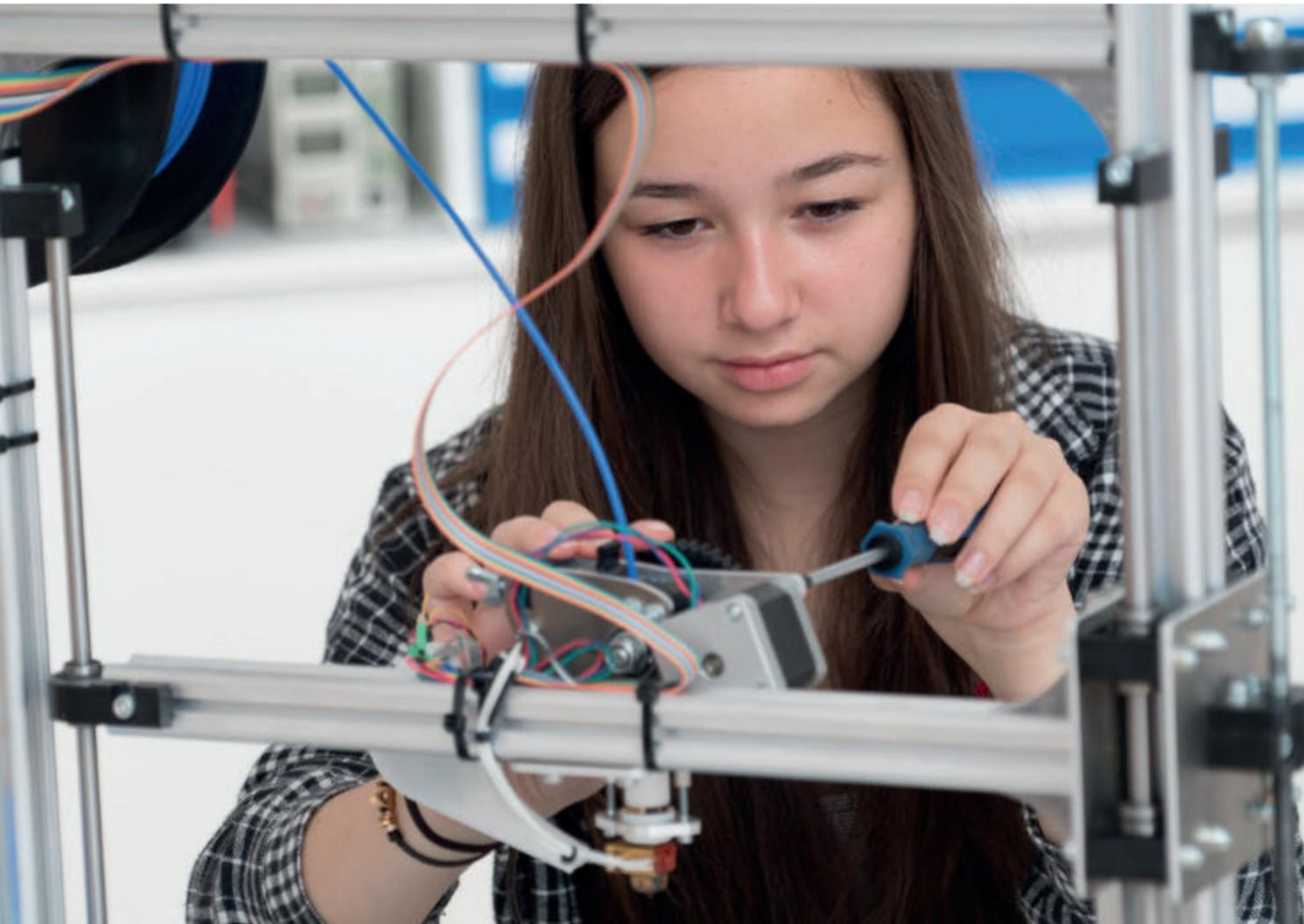
R – materiał spoza podstawy programowej

I

Pierwsze spotkanie z fizyką

Z tego rozdziału dowiesz się:

- czym zajmuje się fizyka,
- czym są substancje i ciała fizyczne,
- na czym polegają pomiary,
- jak zapisywać poprawnie wynik pomiaru wraz z niepewnością pomiarową,
- czym jest układ SI,
- jakie są wielokrotności i podwielokrotności jednostek,
- co to są cyfry znaczące,
- jakie są rodzaje oddziaływań i na czym polega ich wzajemność,
- czym jest siła, co jest jej jednostką,
- jakie są cechy wielkości wektorowych,
- co to jest siła wypadkowa i jak się ją wyznacza,
- kiedy ciało jest w równowadze.



1 Czym zajmuje się fizyka

Cel lekcji: Dowiesz się, czym zajmuje się fizyka i jakimi metodami badań się posługuje. Poznasz takie pojęcia jak: ciało fizyczne, substancja, zjawisko fizyczne.

Co wspólnego mają naukowiec i dziecko

„Jak powstaje tęcza? Jak dostać się na Marsa? Dlaczego dym unosi się z komina?" – to pytania, które zadaje nie tylko małe dziecko, lecz także doświadczony naukowiec. Poszukiwanie odpowiedzi na pytania „Jak to się dzieje?" i „Dlaczego dzieje się tak, a nie inaczej?" sprawia, że rozwijają się zarówno człowiek jako jednostka, jak i cała ludzkość. Im więcej wiemy o otaczającym nas świecie, tym bardziej okazuje się on skomplikowany. Dlatego też w ciągu wieków ukształtowały się różne dziedziny wiedzy przyrodniczej, np. astronomia, chemia, biologia, fizyka, a specjalizujący się w nich naukowcy badają różne aspekty naszej rzeczywistości.

Co interesuje fizyków

Fizycy interesują się **zjawiskami** zachodzącymi w otaczającym nas świecie, badają czynniki wpływające na ich przebieg, starają się określić reguły, którym te zjawiska podlegają. Z dorobku fizyków korzystają inne nauki przyrodnicze, takie jak biologia czy chemia.

Fizyka odkrywa podstawowe prawa przyrody, wyjaśnia zjawiska w niej zachodzące oraz opisuje właściwości materii.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Patrząc na wydobywający się z komina dym, **fizyk** zada pytanie: dlaczego dym się unosi? Czy energię można uzyskać w inny sposób niż ze spalania węgla?

Chemik zapyta: skąd się bierze dym? W wyniku jakich reakcji chemicznych powstaje?

Biolog będzie chciał wiedzieć, w jaki sposób wdychanie dymu może wpłynąć na funkcje życiowe organizmu.

Ekolog będzie się zastanawiał, jak można chronić środowisko przed zanieczyszczeniami.



Metody badań w fizyce

Podstawą badań przyrodniczych są **obserwacje** i **doświadczenia** (eksperymenty). Niektóre zjawiska, jak np. tornado lub ruchy planet, możemy jedynie obserwować, inne, np. spadanie przedmiotów, można wielokrotnie odtwarzać w kontrolowanych warunkach. Na tym właśnie polega **eksperyment**. Obie te metody pozwalają zbadać, jakie czynniki są istotne, a jakie nie mają znaczenia dla przebiegu danego zjawiska, i sformułować na tej podstawie **prawa fizyczne**.

Poznanie reguł panujących w przyrodzie nie tylko zaspokaja naszą ciekawość, lecz także umożliwia rozwój techniki i konstruowanie urządzeń, które wykorzystujemy każdego dnia. To właśnie dzięki eksperymentom fizyków dziś korzystamy z telefonów komórkowych, latamy nad oceanami, a wady wzroku leczymy za pomocą lasera. Nawet zwykłe okulary są efektem badań fizycznych.

Podstawowe pojęcia fizyki

Aby precyzyjnie opisać przebieg doświadczenia czy wynik obserwacji lub sformułować prawo, fizycy często posługują się własnymi pojęciami.

Ciało fizyczne to każdy przedmiot lub organizm żywy stanowiący obiekt zainteresowania fizyki.

Ciałami fizycznymi są więc piłka, której ruch obserwujesz, gumka recepturka, którą rozciągasz, woda, której temperaturę mierzysz, a także skaczący kangur, którego oddziaływania z ziemią analizujesz. Z tym pojęciem nierozerwalnie wiąże się pojęcie substancji.

Substancja to materiał, z którego jest zbudowane ciało fizyczne.

CIEKAWOSTKA

Na międzynarodowych zawodach łazików marsjańskich University Rover Challenge polscy studenci od wielu lat corocznie zdobywają pierwsze miejsce. Podczas zawodów są prezentowane zaawansowane technicznie maszyny, które w przyszłości mogą stać się inspiracją do stworzenia pojazdów przemierzających powierzchnię Marsa, Księżyca czy odległych planetoid. Opracowana technologia może zostać wykorzystana do projektowania coraz doskonalszych zdalnie sterowanych maszyn, które znajdą zastosowanie w fabrykach lub będą pomocne np. służbom ratowniczym.



Na zdjęciu łazik Legendary IV zaprojektowany przez studentów z Politechniki Rzeszowskiej.

Co zawdzięczamy fizykom

Wiele odkryć fizycznych znalazło zastosowanie w różnych urządzeniach, zarówno służących do kolejnych, jeszcze dokładniejszych badań naukowych, jak i używanych na co dzień. Często korzystamy z nich, nie zastanawiając się nawet, jak powstały i ile wiedzy wymagało ich skonstruowanie.

Szkocki fizyk **James Clerk Maxwell** (czyt. dżejms klerk maksłel, 1831–1879) rozważał teoretyczne istnienie fal radiowych. Pierwszej próby przesyłania i odbioru tych fal dokonał niemiecki uczony **Heinrich Hertz** (czyt. hajnrich herc, 1857–1894) w 1886 roku.
Dziś za pomocą fal radiowych bada się Wszechświat, a ludzie mogą komunikować się na duże odległości.

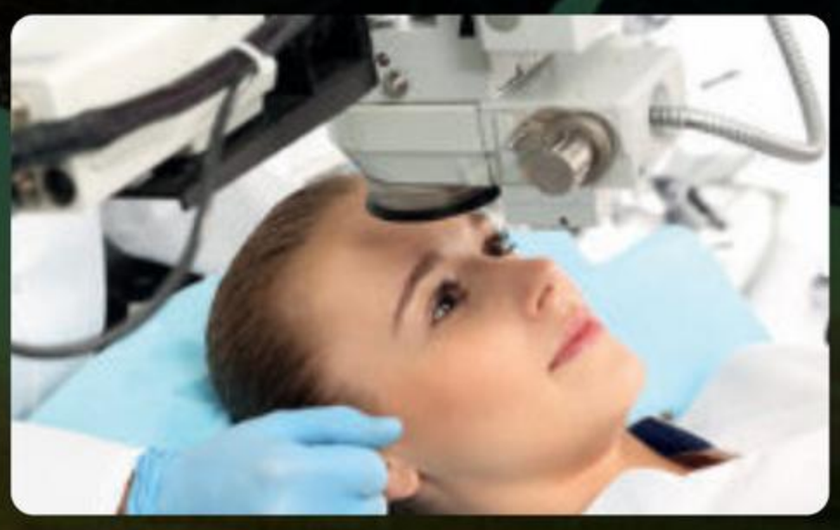


Angielski uczony **Isaac Newton** (czyt. izaak niuton, 1643–1727) zasłynął przede wszystkim sformułowaniem prawa powszechnego ciążenia i zasad dynamiki. Między innymi dzięki tym odkryciom stanęliśmy na Księżycu, potrafimy ocenić, czy dana asteroida uderzy w Ziemię, i wykorzystujemy satelity, np. do monitorowania pogody.



Badania **Alberta Einsteina** (czyt. alberta ajnsztajna, 1879–1955) nad tym, jak oddziałują ze sobą światło i materia, przyczyniły się do skonstruowania lasera. Lasery są wykorzystywane m.in. w medycynie, do odczytywania danych czy precyzyjnych pomiarów odległości.





Pierwsze silniki parowe powstały w XVIII wieku dzięki eksperymentom wynalazców **Thomasa Newcomena** (czyt. tomasa niukomena, 1663–1729) i **Jamesa Watta** (czyt. dżejmsa łota, 1736–1819). Współczesny świat nie mógłby funkcjonować bez silników spalinowych, elektrycznych czy odrzutowych.







TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Fizyka** to nauka, która bada i wyjaśnia podstawowe prawa przyrody, zjawiska w niej zachodzące oraz właściwości materii.
- **Ciało fizyczne** to każdy przedmiot lub organizm żywy stanowiący obiekt zainteresowania fizyki.
- **Substancja** to materiał, z którego jest zbudowane ciało fizyczne.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Ania bardzo interesuje się fizyką. Poniżej zamieszczono tytuły artykułów z różnych czasopism popularnonaukowych. Wypisz w zeszycie literowe oznaczenia tych tytułów, które najbardziej zainteresowałyby Anię.

A. STORCZYKI – NIEZWYKŁE KWIATY

B. **CZŁOWIEK NA MARSIE JUŻ W TYM STULECIU** — kto będzie pierwszy: Europa czy USA?

C. *Ptasie wakacje,* czyli gdzie zimują ptaki?

D. **Kuchnia molekularna, czyli chemia w garnku**

E. **TELEWIZORY LED I PLAZMOWE** – CIEKŁE KRYSZTAŁY KONTRA ŚWIECĄCY GAZ

F. ***Co kryją mapy fizyczne?***

2 Przerysuj tabelę do zeszytu i wpisz podane słowa we właściwych kolumnach.

żelazo • rower • książka • papier • plastelina • drzewo • drewno • Ziemia • śruba • woda

Ciała fizyczne	Substancje

3 Na podstawie własnych obserwacji z życia codziennego podaj co najmniej dwa przykłady:

a) użycia lasera,

b) użycia silnika spalinowego lub elektrycznego,

c) przesyłania fal radiowych.

Porównaj swoje obserwacje ze spostrzeżeniami koleżanek i kolegów z klasy.

4 Wśród poniższych zdań wskaż te, które opisują prowadzone obserwacje, oraz te, które opisują eksperymenty.

A. Relacjonujemy staczanie się lawiny z góry do jeziora i opisujemy, jakie spowodowała skutki.

B. Upuszczamy z tej samej wysokości piłeczkę tenisową i kartkę papieru, a następnie porównujemy czas ich spadania.

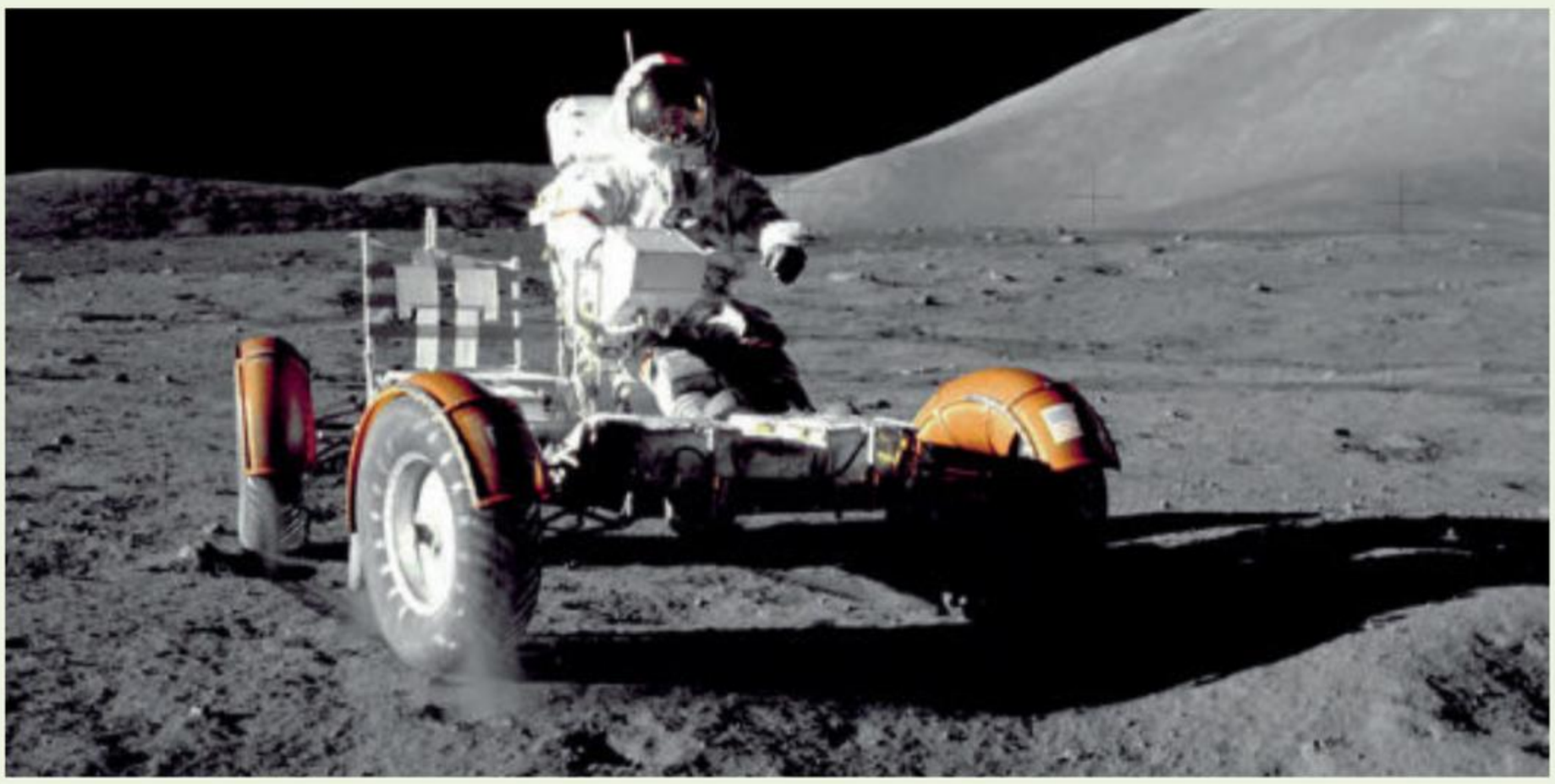
C. Wkładamy do miski z wodą różne przedmioty i sprawdzamy, które z nich unoszą się na powierzchni wody, a które toną.

D. Codziennie rysujemy w notatniku przybliżony wygląd tarczy Księżyca na bezchmurnym nocnym niebie.

5 Przepisz tekst do zeszytu, wstawiając w miejsce ? odpowiednie wyrażenia z ramki. Użyj poprawnej formy gramatycznej. Potrzebne informacje znajdziesz na infografice na stronach 8–9.
Uwaga. Nie wszystkie wyrażenia z ramki zostaną wykorzystane.

prawo powszechnego ciążenia • *fale radiowe* • *Heinrich Hertz* • *zaplanować lot* • *silnik parowy* • *Isaac Newton* • *James Clerk Maxwell* • *laser* • *silnik rakietowy* • *szybka komunikacja*

Podróż na Księżyc nie byłaby możliwa, gdyby nie prace angielskiego uczonego ?. Sformułował on ?, dzięki czemu można było precyzyjnie ?. Równie ważnym osiągnięciem była ? między załogą statku kosmicznego i Ziemią za pomocą ?, których istnienie przewidział ponad 100 lat wcześniej ?. Lot w kosmos umożliwiło także skonstruowanie odpowiednio dużych ?.



2 Wielkości fizyczne, jednostki i pomiary

Cel lekcji: Dowiesz się, czym są wielkości fizyczne i w jakich jednostkach są podawane oraz co to jest układ SI. Nauczysz się przeliczać wielokrotności i podwielokrotności jednostek.

Pomiary wielkości fizycznych

Poznając świat, nie tylko chcemy się dowiedzieć, jak i dlaczego coś się dzieje, ale zależy nam również na tym, aby opisywać zjawiska w sposób ilościowy, czyli za pomocą liczb. Na przykład jeśli chcemy skonstruować stolik ze szklanym blatem, to oprócz tego, że szyba pęka pod naciskiem, warto wiedzieć np.:

- ile kilogramów można na niej postawić, zanim pęknie,
- jaką musi mieć grubość, aby nie pękła.

W tym celu wykonuje się **pomiary**.

Badając cechy i właściwości ciała fizycznego, np. stalowej szyny, możemy zmierzyć jego długość, temperaturę, masę itp. Te dające się wyrazić w sposób ilościowy cechy ciała lub zjawiska nazywa się **wielkościami fizycznymi**.

Wielkość fizyczna może przyjmować różne wartości. Wyraża się je za pomocą liczby oraz odpowiedniej **jednostki**, np. metrów w przypadku długości, stopni Celsjusza w przypadku temperatury, kilogramów w przypadku masy.

Czym zatem jest pomiar?



Mierząc długość ołówka, przykładasz do niego linijkę, czyli porównujesz długość ołówka z wzorcem długości.

Pomiar jest porównaniem wartości mierzonej wielkości z jej wzorcem.

Jednostki układu SI

Wielkości fizyczne wyrażamy w różnych jednostkach, np. czas podajemy w sekundach, godzinach albo latach. W niektórych krajach długość podaje się w calach albo milach, a temperaturę w stopniach Fahrenheita (czyt. farenhajta, patrz str. 230).

Aby uporządkować sposób, w jaki opisywane są różne wielkości, wprowadzono **układ SI**, czyli Międzynarodowy Układ Jednostek Miar (*Système international d'unités*).

Określono w nim **główne** jednostki różnych wielkości fizycznych. Jednostki te dzielą się na tzw. **jednostki podstawowe** (np. metr, sekunda) i **jednostki pochodne** (np. metr na sekundę). Tabela z jednostkami układu SI znajduje się na str. 273.

Czasem dla wygody albo ze względów historycznych używa się także **jednostek pozaukładowych**. Przykładem takiej jednostki jest cal. W Polsce cal jest stosowany jako miara przekątnej ekranów, np. telewizorów. 1 cal = 2,54 centymetra.

Zapis wielkości fizycznych i jednostek

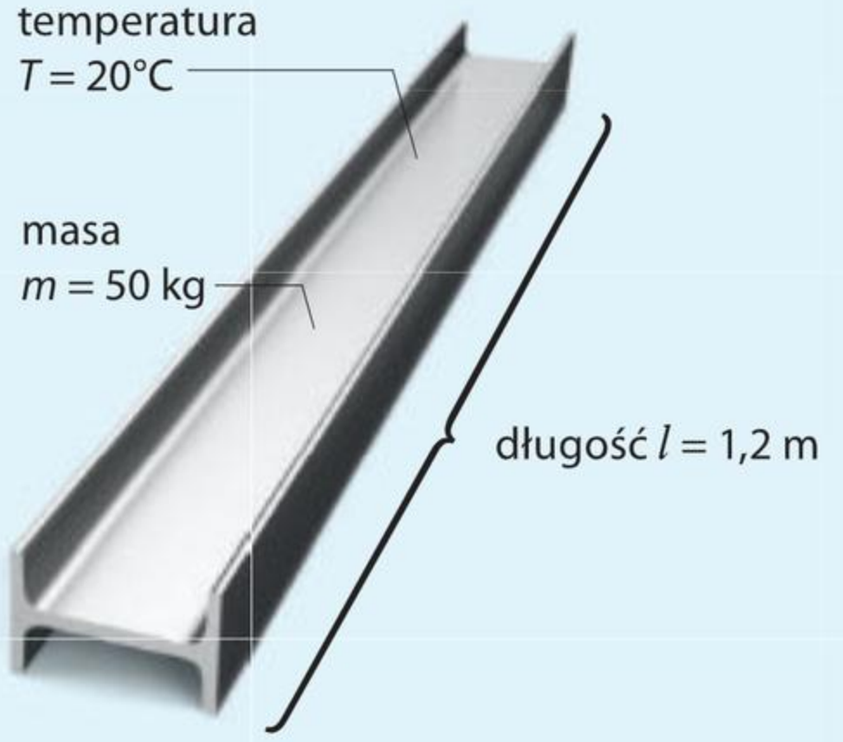
Zarówno wielkości fizyczne, jak i ich jednostki mają swoje oznaczenia. Na przykład czas oznaczamy literą *t*, a jego jednostkę, czyli sekundę – s, masę – literą *m*, a jej jednostkę, czyli kilogram – kg.

Uwaga. Symbolami niektórych wielkości mogą być te same litery, różniące się tylko wielkością, np. *t* jest symbolem czasu, a *T* – temperatury. Zdarza się również, że wielkość fizyczna jest oznaczana taką samą literą jak jednostka, np. litera *m* to zarówno symbol masy (*m*), jak i skrótowy zapis jednostki długości – metra (m). W druku symbole wielkości fizycznych są zapisywane pismem pochyłym, a ich jednostek – pismem prostym.

CIEKAWOSTKA

Układ SI został przyjęty uchwałą na Generalnej Konferencji Miar w 1960 roku. Siedziba Międzynarodowego Biura Miar i Wag znajduje się w Sèvres (czyt. sewr) pod Paryżem. Tam również przechowywany jest m.in. widoczny na zdjęciu oryginał wzorca masy – walec wykonany ze stopu platyny z irydem o masie jednego kilograma. Oprócz oryginału istnieją oficjalne kopie. W samym Sèvres jest ich sześć. W Polsce układ SI obowiązuje od 1966 roku.





Zapis wartości wielkości fizycznych

T	=	20	°C
m	=	50	kg
l	=	1,2	m
wielkość fizyczna		wartość	jednostka

Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Niezbyt wygodnie jest podawać np. odległość między Ziemią a Księżycem w metrach albo masę ziarenka piasku w kilogramach, dlatego te wartości zwykle wyraża się odpowiednio w kilometrach i gramach. A więc stosuje się jednostki większe i mniejsze, które tworzy się za pomocą odpowiednich **przedrostków**, np. 1 *centy*metr to jedna setna metra, 1 *kilo*metr to tysiąc metrów, a 1 *mikro*metr to jedna milionowa metra:

$1\ \mathbf{c}\text{m} = \frac{1}{100}\ \text{m} = 0{,}01\ \text{m}$ $\quad 1\ \mathbf{k}\text{m} = 1000\ \text{m}$ $\quad 1\ \boldsymbol{\mu}\text{m} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{m} = 0{,}000001\ \text{m}$

Tabela 1. Podwielokrotności jednostek

Nazwa przedrostka	Symbol	Wartość
decy-	d	$\frac{1}{10}$
centy-	c	$\frac{1}{100}$
mili-	m	$\frac{1}{1000}$
mikro-	μ	$\frac{1}{1\,000\,000}$

Tabela 2. Wielokrotności jednostek

Nazwa przedrostka	Symbol	Wartość
deka-	da	10
hekto-	h	100
kilo-	k	1000
mega-	M	1 000 000

Uwaga. Rozszerzona tabela z przedrostkami jednostek znajduje się na str. 273.

Przeliczanie jednostek z przedrostkami

Odczytujemy nazwy jednostek wraz z przedrostkami i zamiast przedrostków wstawiamy odpowiednie przeliczniki, np.:

Jednostki długości

kilometr	$1\ \mathbf{k}\text{m} = 1000\ \text{m}$	$1\ \text{m} = \frac{1}{1000}\ \mathbf{k}\text{m}$
decymetr	$1\ \mathbf{d}\text{m} = \frac{1}{10}\ \text{m}$	$1\ \text{m} = 10\ \mathbf{d}\text{m}$
centymetr	$1\ \mathbf{c}\text{m} = \frac{1}{100}\ \text{m}$	$1\ \text{m} = 100\ \mathbf{c}\text{m}$
milimetr	$1\ \mathbf{m}\text{m} = \frac{1}{1000}\ \text{m}$	$1\ \text{m} = 1000\ \mathbf{m}\text{m}$
mikrometr	$1\ \boldsymbol{\mu}\text{m} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{m}$	$1\ \text{m} = 1\,000\,000\ \boldsymbol{\mu}\text{m}$



Suwmiarka jest przyrządem, umożliwiającym pomiar długości z dokładnością większą niż 1 mm. W zależności od budowy dokładność suwmiarki może wynosić 0,1 mm, 0,05 mm lub 0,02 mm.

Jednostki masy

kilogram	$1\ \mathbf{k}\text{g} = 1000\ \text{g}$	$1\ \text{g} = \frac{1}{1000}\ \mathbf{k}\text{g}$
dekagram	$1\ \mathbf{da}\text{g} = 10\ \text{g}$	$1\ \text{g} = \frac{1}{10}\ \mathbf{da}\text{g}$
miligram	$1\ \mathbf{m}\text{g} = \frac{1}{1000}\ \text{g}$	$1\ \text{g} = 1000\ \mathbf{m}\text{g}$
mikrogram	$1\ \boldsymbol{\mu}\text{g} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{g}$	$1\ \text{g} = 1\,000\,000\ \boldsymbol{\mu}\text{g}$

W przypadku masy za główną jednostkę przyjęto kilogram, a nie gram – jak można by oczekiwać na podstawie nazwy.

Jednostki czasu

Nieco inaczej tworzy się wielokrotności w przypadku jednostek czasu. Główną jednostką czasu jest sekunda.

Można by co prawda stosować wielokrotności jednostki głównej, takie jak kilosekunda, ale zwyczajowo posługujemy się minutami, godzinami, dobami czy latami:

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

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

doba = 24 godziny 1 **d** = 24 h $1\ \text{h} = \frac{1}{24}\ \text{d}$

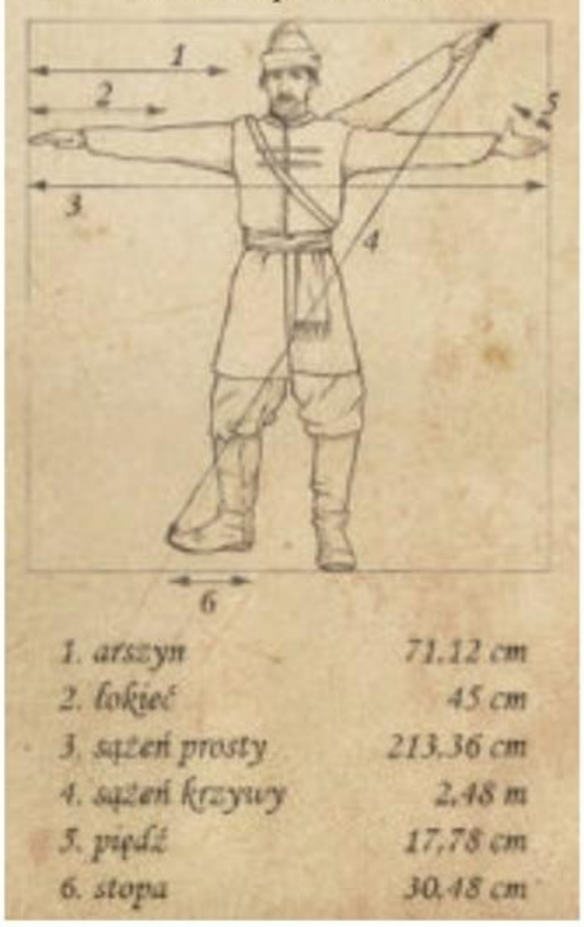
a zatem: 1 **godzina** to 3600 sekund 1 **h** = 60 min = 60 · 60 s = 3600 s

Ułamki sekund wyraża się w sposób tradycyjny: w milisekundach i mikrosekundach.

CIEKAWOSTKA

Za pierwsze jednostki długości służyły nazwy określonych części ciała. W starożytnym Egipcie były to: łokcie, dłonie, palce. Starożytni Rzymianie mierzyli odległości długością stopy, krótsze odcinki – szerokością kciuka. Do pomiaru dłuższych odcinków używali jednostki zwanej krokiem (równej w rzeczywistości dwóm krokom człowieka). Tysiąc kroków stanowiło milę (w jęz. łacińskim *mille* znaczy „tysiąc"). W różnych krajach i w różnych okresach ta sama jednostka, np. łokieć, mogła mieć różną długość. Pierwszą jednostką długości niewzorowaną na żadnej części ciała był metr. Ustalono ją w XVIII wieku we Francji, dzieląc odległość od bieguna północnego do równika przez 10 mln. Jako wzorzec metra sporządzono specjalną platynową sztabę, która dziś jest eksponatem w Międzynarodowym Biurze Miar i Wag w Sévres pod Paryżem, ponieważ obecnie metr definiuje się w inny sposób. Definicję tę poznasz później.

Dawne miary rosyjskie powszechnie stosowane przed 1835 r.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Pomiar** polega na porównaniu wartości mierzonej wielkości z przyjętą jednostką tej wielkości, przedstawioną za pomocą wzorca lub (częściej) jego kopii.
- **Wielkości fizyczne** służą do ilościowego opisu cech ciał i zjawisk. Wielkościami fizycznymi są np. masa, długość, temperatura, czas.
- Wartości wielkości fizycznych podaje się wraz z ich **jednostkami**.
- Jednostkę można zapisać wraz z **przedrostkiem** oznaczającym jej określoną wielokrotność lub podwielokrotność.
- **Układ SI** to Międzynarodowy Układ Jednostek Miar.

Rozwiąż zadania

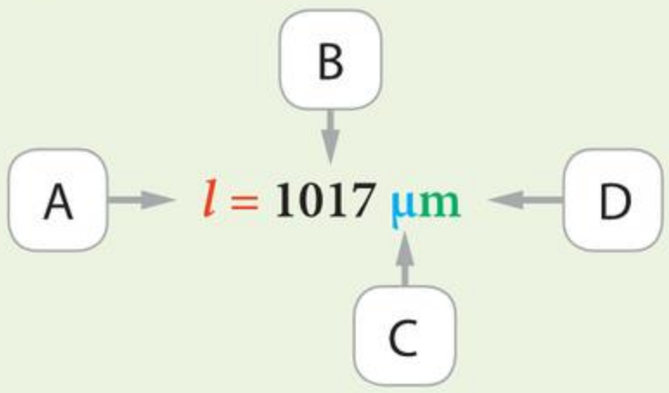
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na zdjęciu opisano różne cechy przedmiotów. Zapisz w zeszycie nazwy tych cech, które są wielkościami fizycznymi.



2 Co dokładnie oznacza wyrażenie „kilo pomarańczy”? Wyjaśnij, dlaczego takie sformułowanie nie jest poprawne w fizyce.

3 Poniżej przedstawiono sposób zapisu wyniku pomiaru długości. Dopasuj do liter w okienkach odpowiednie opisy, wybrane spośród podanych w ramce. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



- *wartość*
- *jednostka*
- *oznaczenie wielkości fizycznej*
- *przedrostek*

4 Korzystając z tabeli na stronie 273, spośród niżej podanych jednostek wybierz i wypisz w zeszycie podstawowe jednostki układu SI.

gram • *metr* • *kilogram* • *minuta* • *sekunda* • *centymetr* • *godzina*

5 Wskaż zdania prawdziwe.

A. Godzina lekcyjna liczy ponad 2500 s.

B. Mililitr to 0,01 litra.

C. Twój wzrost to mniej niż 10 000 000 µm.

D. Szerokość kartki A4 to więcej niż 1 dm.

E. Ten podręcznik do fizyki ma masę większą niż 5000 mg.

F. Telefon komórkowy może mieć masę około 15 dag.

6 Zapisz w zeszycie podane wartości wielkości fizycznych we wskazanych jednostkach.

a) 50 dag w kg
b) 1200 g w kg
c) 4,5 t w kg
d) 50 cm w m
e) 20 dm w m
f) 0,1 km w m
g) 25 min w s
h) 3 min 20 s w s

3 Jak przeprowadzać doświadczenia

Cel lekcji: Dowiesz się, jak przeprowadzać doświadczenia oraz analizować i interpretować uzyskane wyniki pomiarów.

Wiesz już, że obserwacje, doświadczenia i pomiary są podstawowymi narzędziami badawczymi wykorzystywanymi do poznawania świata przyrody. Teraz dowiesz się, jak przeprowadzać je we właściwy sposób, aby uzyskane informacje były poprawne i wiarygodne.

Pomiar pojedynczy

Linijka jest przyrządem do pomiaru długości, którego używasz najczęściej. Z jaką dokładnością możesz otrzymać wynik pomiaru? Wykonaj proste doświadczenie.

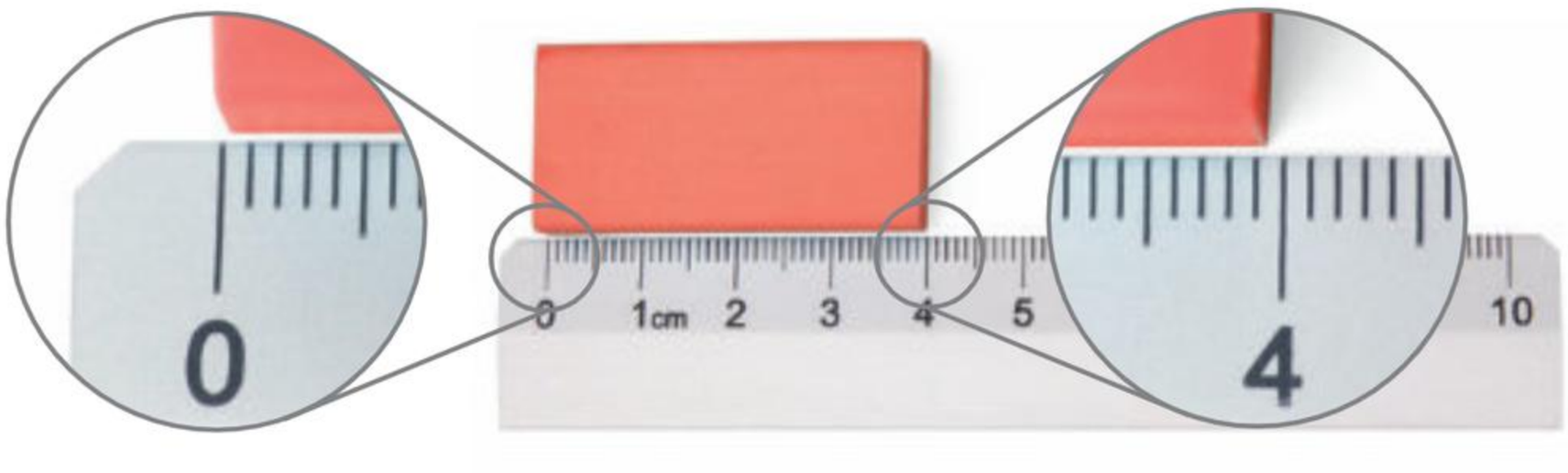
DOŚWIADCZENIE 1 (pomiar)

1. Przygotuj linijkę i jakiś przedmiot krótszy od niej, np. długopis albo gumkę.
2. Zmierz starannie długość tego przedmiotu. Zanotuj wynik pomiaru.



Czy potrafisz podać dokładną długość zmierzonego przedmiotu?
Niestety nie jest to możliwe – zastanów się dlaczego.

- Po pierwsze, podziałka na linijce jest zaznaczona co 1 mm, więc nie można określić długości z większą dokładnością.
- Po drugie, krawędzie przedmiotu najprawdopodobniej nie będą idealnie sięgać od kreski do kreski na podziałce linijki – bardziej prawdopodobne, że będą się mieścić między nimi (patrz zdjęcie).
- Po trzecie, kreseczki na podziałce także mają swoją szerokość.



Niepewność pomiarowa

Jak zatem poprawnie opisać długość naszego przedmiotu? Oprócz zmierzonej wartości należy podać pewną tolerancję, która pokazuje dopuszczalne odchylenie wyniku pomiaru od wartości rzeczywistej, czyli tzw. **niepewność pomiarową**. Może ona wynikać z różnych czynników, np. z niedokładności przyrządu pomiarowego (w naszym przypadku – linijki) lub z warunków, w jakich prowadzimy pomiar. Podziałka na linijce jest naniesiona co 1 mm, a więc zarówno wynik pomiaru, jak i niepewność pomiarową z doświadczenia 1 należy zapisać z dokładnością do 1 mm, zatem: $l = 39\ \text{mm} \pm 1\ \text{mm}$.

Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny. Niepewność wyniku pomiaru zapisuje się w tych samych jednostkach, co sam wynik.

W poprawnie zapisanym wyniku najniższy rząd niepewności pomiarowej musi być taki sam jak najniższy rząd wartości zmierzonej. Przykładowo jeśli wynik wyrażamy z dokładnością do 10 m, to niepewność także należy wyrazić jako całkowitą wielokrotność dziesiątek metrów. Nie można jej w takim wypadku wyrazić z dokładnością do pojedynczych metrów. Jeśli wynik wyrażamy z dokładnością np. do 1 mm, to nie możemy niepewności wyrazić z większą dokładnością, np. do 0,1 mm.

Pomiar wielokrotny

Aby zwiększyć szansę na otrzymanie bardziej dokładnego wyniku pomiaru, należy wykonać go wielokrotnie i odpowiednio opracować wyniki cząstkowe, jak w poniższym przykładzie.

DOŚWIADCZENIE 2 (pomiar)

1. Przygotuj: kartkę A4, flamaster, nitkę, nożyczki i taśmę mierniczą lub długą linijkę.
2. Na kartce narysuj linię krzywą w kształcie litery S (ważne, aby linia była rozciągnięta na więcej niż połowę powierzchni kartki).
3. Zmierz długość krzywej: przyłóż do niej nitkę (możesz ją lekko zwilżyć, aby lepiej się układała), a następnie przytnij ją równo z początkiem i końcem krzywej.
4. Za pomocą taśmy mierniczej zmierz długość nitki. Zanotuj wynik pomiaru.
5. Powtórz pomiar jeszcze co najmniej sześciokrotnie, za każdym razem używając nowego kawałka nitki.
6. Zapisz wyniki w tabelce wykonanej w zeszycie według wzoru ze str. 19.

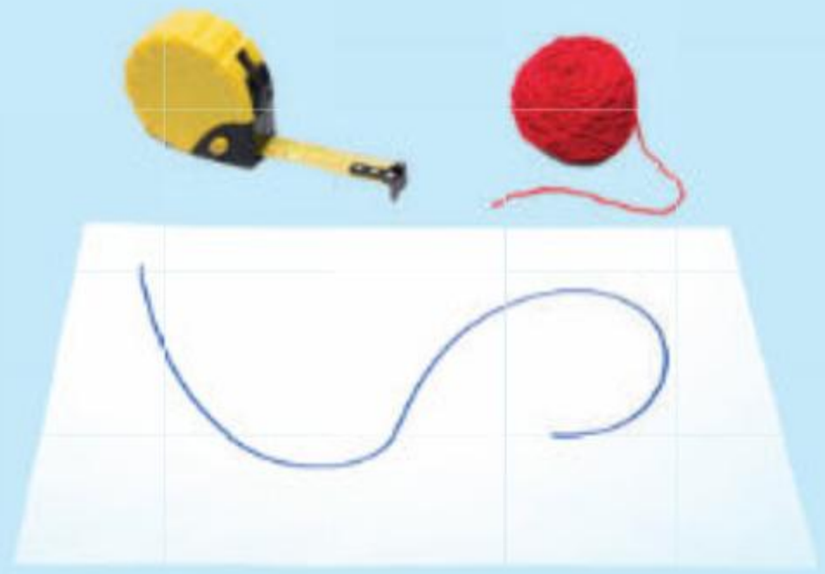


Tabela 1. Wzór do uzupełnienia wyników pomiarów

Numer pomiaru	1	2	3	4	5	6	7
Zmierzona długość *l* [cm]							

Uzyskane przez ciebie wyniki pomiaru długości krzywej najprawdopodobniej różniły się od siebie. Po przeprowadzeniu naszych pomiarów uzyskaliśmy wyniki podane w tabeli 2.

Tabela 2. Przykładowe wyniki pomiarów

Numer pomiaru	1	2	3	4	5	6	7
Zmierzona długość *l* [cm]	46,7	47,3	46,8	47,0	46,8	47,2	46,4

Zauważ, że wyniki kolejnych pomiarów różnią się od siebie o ponad 1 mm, czyli więcej, niż wynosi dokładność taśmy mierniczej. W takiej sytuacji nie można wybrać jednego z wyników i przyjąć niepewności pomiarowej wynikającej z niedokładności przyrządu pomiarowego. Należy obliczyć **średnią arytmetyczną** z uzyskanych **wyników**. Jeśli kolejne wyniki pomiarów oznaczymy: l_1, l_2, l_3, ..., l_7, to:

$$l_{\text{średnia}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + \ldots + l_7}{7}$$

Zatem dla naszych wyników pomiarów otrzymujemy:

$$l_{\text{średnia}} = 46{,}88571429 \text{ cm}$$

Średnia arytmetyczna to iloraz sumy liczb i ilości tych liczb.

Wyniki obliczeń należy podawać z taką samą dokładnością, z jaką były zapisane wyniki pomiarów, zatem zaokrąglamy tę liczbę do jednego miejsca po przecinku:

$$l_{\text{średnia}} = 46{,}88571429 \text{ cm} \approx 46{,}9 \text{ cm}$$

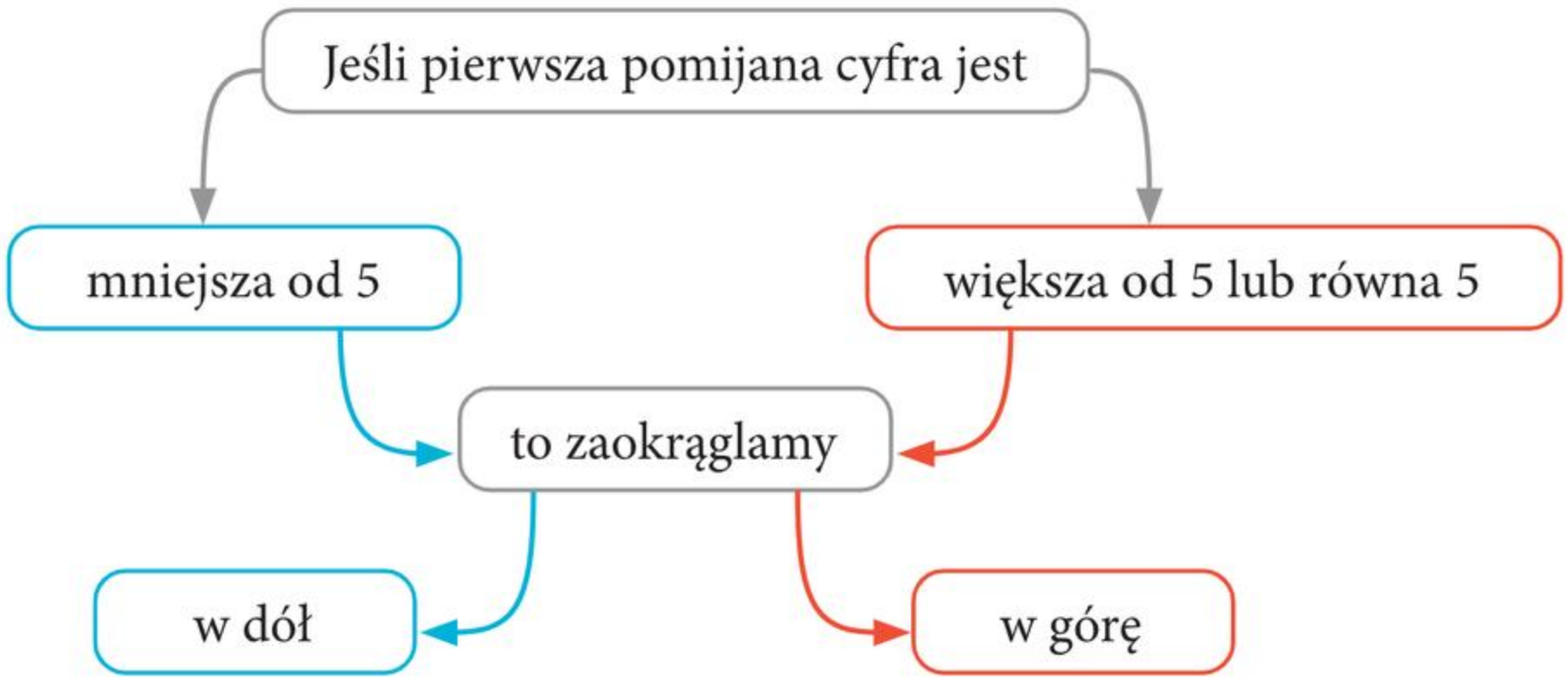
Czy wynik 46,9 cm to rzeczywista długość krzywej? Nie jesteśmy w stanie tego stwierdzić z całą pewnością – możemy jedynie powiedzieć, że jest znacznie bardziej prawdopodobne, iż taki wynik jest bliższy rzeczywistej długości krzywej niż wynik pojedynczego pomiaru.
Istnieją dokładne sposoby wyznaczania niepewności pomiarowych przy pomiarach wielokrotnych, jednak wykraczają one poza zakres kursu fizyki w klasie 7 szkoły podstawowej.
Warto zapamiętać, że im więcej pomiarów wykonamy, z tym większym prawdopodobieństwem średnia z ich wyników zbliży się do wartości rzeczywistej, a szacowana niepewność będzie mogła być przyjęta jako mniejsza.



Precyzyjne pomiary są konieczne nie tylko w laboratorium, lecz także w przemyśle i przy wytwarzaniu przedmiotów codziennego użytku.

Cyfry znaczące

Gdyby za pomocą taśmy mierniczej o dokładności 1 mm siedem osób mierzyło przekątną blatu stołu i sześć z nich odczytałoby, że ma ona 144,2 cm długości, a siódma osoba odczytałaby 144,3 cm, to wartość średnia z wyników wszystkich siedmiu pomiarów wynosiłaby 144,2142857 cm.
Jednak zapisanie takiego wyniku byłoby niepoprawne. Po pierwsze oznaczałoby, że znamy długość przekątnej stołu z dokładnością do 0,000001 mm, a po drugie taka dokładność nie ma w praktyce żadnego sensu. Taki wynik należy **zaokrąglić**.
W jaki sposób zaokrąglić?
Najpierw trzeba określić, które cyfry w wyniku pomiaru mają sens fizyczny (a nie są np. efektem działań na kalkulatorze). W wyniku pomiaru **cyframi znaczącymi** są wszystkie cyfry, oprócz zer na początku, których rząd jest większy lub równy najniższemu rzędowi niepewności pomiaru. Skoro w powyższym przykładzie pomiar był dokonany z dokładnością do 0,1 cm, cyframi znaczącymi w wyniku są cztery cyfry oznaczone na zielono: 144,2142857 cm.



Liczba cyfr znaczących oznacza dokładność, z jaką należy podać wynik.

Na lekcjach fizyki najczęściej będziemy zaokrąglać wyniki do dwóch lub trzech cyfr znaczących.

Przykłady zaokrąglania

do trzech cyfr znaczących:
0,08638 m ≈ 0,0864 m
133 875 cm ≈ 134 000 cm
786 497 m ≈ 786 000 m

do dwóch cyfr znaczących:
33,85037 cm ≈ 34 cm
0,00164798 km ≈ 0,0016 km
996 000 kg ≈ 1 000 000 kg

Również w zadaniach obliczeniowych ważne jest zaokrąglanie wyników. Należy je zapisywać z taką dokładnością, z jaką była podana najmniej dokładna wartość wielkości fizycznej w zadaniu.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Żaden **pomiar** nie jest idealnie dokładny. Wynik pomiaru należy podawać wraz z **niepewnością pomiarową**. Dokładność wyniku nie może być większa niż dokładność przyrządu pomiarowego.
- Wyniki pomiarów i ich niepewności należy podawać z taką samą dokładnością.
- Liczba **cyfr znaczących** oznacza dokładność, z jaką należy podać wynik.

Rozwiąż zadania

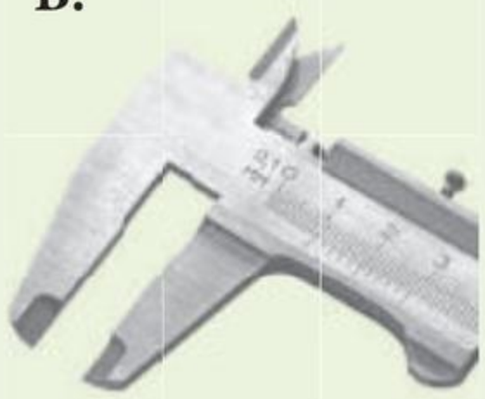
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do przyrządów pomiarowych dopasuj niepewność pomiaru z ramki.
Uwaga. Niektóre niepewności nie będą pasowały do żadnego z przyrządów.

A.



B.



C.



D.



1°C • 1 cm • 1 mm • 5 g • 10°C • 0,1 kg • 0,01 kg • 0,1 mm • 2°C

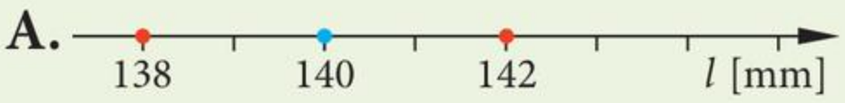
2 Zaokrąglij podane wielkości fizyczne do:

a) trzech cyfr znaczących: 637,4 cm; 0,023506 kg; 12,08 s,

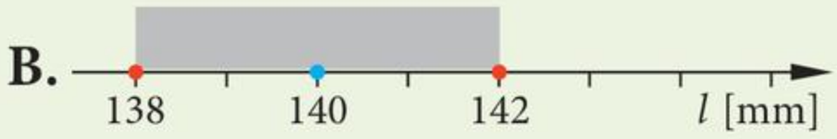
b) dwóch cyfr znaczących: 45,1 m; 0,3092 g; 13,35 dm.

3 Krzysiek i Janek zastanawiali się, jak w prosty sposób graficznie zaznaczyć, że zmierzona przez nich długość piórnika wynosi 140 mm ± 2 mm.

A.



B.



Krzysiek przedstawił to tak jak na rysunku A, uzasadniając, że długość piórnika może wynosić dokładnie 138 mm lub dokładnie 142 mm.
Janek zaznaczył to tak jak na rysunku B i stwierdził, że długość piórnika może być równa każdej z liczb zawartej w szarym pasku między czerwonymi kropkami na osi długości. Który z chłopców poprawnie zaznaczył niepewność pomiarową? Uzasadnij odpowiedź.

4 Kuba mierzył siedmiokrotnie za pomocą linijki średnicę pokrywki garnka. Uzyskał następujące wyniki:

21,1 cm • 21,0 cm • 21,2 cm • 20,9 cm • 21,0 cm • 21,3 cm • 21,1 cm

Oblicz wartość średnią wyników i zaokrąglij wynik do trzech cyfr znaczących.

5 Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 3 (pomiar)

1. Przygotuj: baterię typu AA lub AAA (tzw. paluszek), stoper (np. w telefonie) i nachylony blat.
2. Wyznacz wraz z kolegą lub koleżanką czas staczania się baterii po nachylonym stole (dwie nogi stołu podeprzyj np. książkami). Jedno z was puszcza baterię, mówiąc głośno „Start!", a drugie włącza stoper i zatrzymuje go, gdy bateria spadnie ze stołu.
3. Pomiar wykonajcie co najmniej siedmiokrotnie, pamiętając, aby bateria za każdym razem pokonywała po stole tę samą drogę. Wyniki pomiarów zapiszcie w zeszycie w tabeli takiej jak poniżej.

Numer pomiaru	1	2	3	4	5	6	7
Zmierzony czas *t* [s]							

4. Obliczcie średnią z uzyskanych pomiarów. Wynik zaokrąglijcie do dziesiątych części sekundy.
5. Wyjaśnijcie, dlaczego nie można było przyjąć niepewności pomiarowej równej dokładności, z jaką wynik wskazuje stoper, czyli 0,01 s.



4 Rodzaje oddziaływań i ich wzajemność

Cel lekcji: Poznasz rodzaje oddziaływań występujących w przyrodzie oraz dowiesz się, na czym polega ich wzajemność.

Rodzaje oddziaływań

Każdego dnia obserwujemy wiele zjawisk, często zupełnie nieświadomie. Padający deszcz, spychacz przesuwający zwał ziemi, uderzenie pioruna w czasie burzy, działanie resorów samochodu – wszystko, co dzieje się wokół nas, wszelkie zjawiska i procesy zachodzą dzięki **oddziaływaniom**.
Poniższe doświadczenie pokazuje przykłady różnego rodzaju oddziaływań.

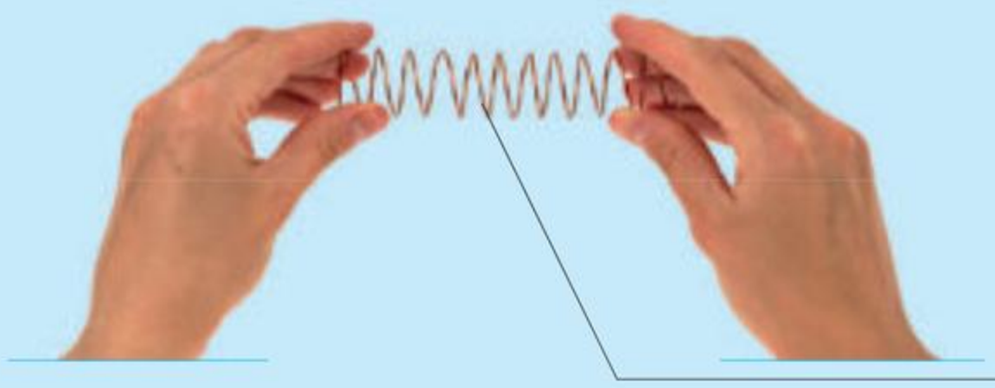
DOŚWIADCZENIE 4

A Dwa nadmuchane baloniki potrzyj o tkaninę (np. polar lub wełniany sweter). Zawieś baloniki na niciach blisko siebie, a potem przytknij potarty balonik do ściany lub sufitu.



Potarte baloniki się odpychają.

B Przygotuj sprężynę lub gumę. Chwyć za końce sprężyny (gumy) i ją rozciągnij.



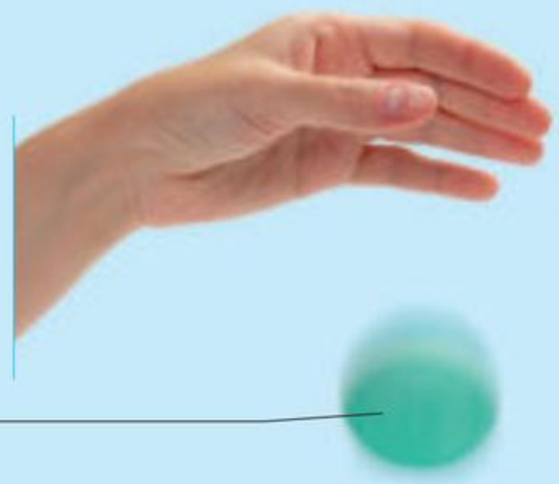
Po rozciągnięciu sprężyna dąży do przyjęcia początkowej długości.

C Połóż na stole dwa magnesy sztabkowe. Jeden trzymaj nieruchomo, a drugi powoli zbliżaj do pierwszego. Obróć jeden z magnesów o 180° i powtórz doświadczenie.



W jednym ułożeniu magnesy się przyciągają, a w innym – odpychają.

D Dowolny przedmiot, np. piłeczkę, podnieś na pewną wysokość i upuść.



Piłeczka spada na podłogę.

Baloniki (w doświadczeniu 4A) w wyniku pocierania zostały naelektryzowane i się odpychają, a balonik i ściana się przyciągają. Są to przykłady oddziaływań **elektrostatycznych**. Intensywne szczotkowanie włosów również powoduje ich elektryzowanie (w klasie 8 dowiesz się, na czym ono polega). Na skutek tego pojedyncze włosy zaczynają się odpychać i odstają. Podczas czesania się lub zdejmowania swetra czasem słychać trzaski – są to odgłosy towarzyszące przeskokom iskier między naelektryzowanymi ciałami.
W doświadczeniu 4C magnesy odpychały się lub przyciągały. Takie oddziaływanie nazywa się **magnetycznym**. Można je też zaobserwować, gdy magnes przyciąga opiłki żelaza, małe gwoździki albo spinacze.
Najczęściej spotykasz się z oddziaływaniem **grawitacyjnym** (łac. *gravitas* – ciężkość). Piłeczka wypuszczona z ręki spada na podłogę (doświadczenie 4D), bo jest przyciągana przez Ziemię – między piłeczką i Ziemią zachodzi oddziaływanie grawitacyjne. Oddziaływanie grawitacyjne zachodzi między wszystkimi ciałami mającymi masę.

Zauważ, że oddziaływania elektrostatyczne, magnetyczne i grawitacyjne mogą zachodzić na odległość. Aby rozciągnąć sprężynę (w doświadczeniu 4B), musisz wziąć ją do rąk, czyli działać na nią w bezpośrednim kontakcie. Sprężyna, powracając do początkowego kształtu, przyciąga nasze dłonie ku sobie dzięki oddziaływaniu **sprężystemu**.
Oddziaływania, które zachodzą przy bezpośrednim kontakcie ciał, nazywamy oddziaływaniami **mechanicznymi**.



Przy napinaniu łuku występuje oddziaływanie mechaniczne. W wyniku oddziaływania sprężystego łuk powraca do początkowego kształtu i poprzez cięciwę wprawia strzałę w ruch.

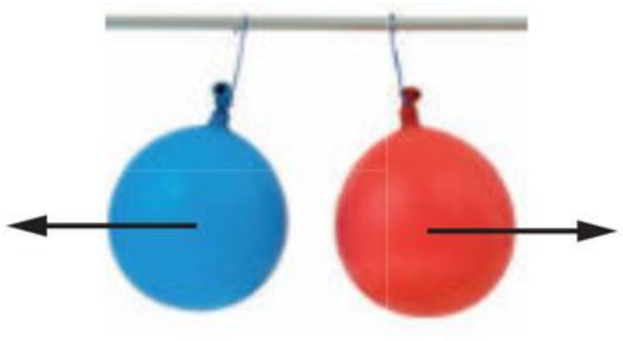
Istnieją różne rodzaje oddziaływań, np. **grawitacyjne**, **elektrostatyczne**, **magnetyczne, sprężyste** czy **mechaniczne**.

R

W przyrodzie występują **cztery oddziaływania podstawowe**: grawitacyjne, elektromagnetyczne oraz dwa rodzaje oddziaływań zachodzących w jądrach atomowych, tzw. oddziaływania silne i słabe. Wszystkie pozostałe oddziaływania, jak np. oddziaływanie sprężyste czy tarcie, są pochodnymi oddziaływań podstawowych.

Wzajemność oddziaływań

Zwróć uwagę, że nie ma znaczenia, który balonik potrzesz bardziej, a który mniej – obydwa odchylają się od pionu tak samo mocno. Nie ma również znaczenia to,



Oba balony odchylają się od pionu tak samo mocno.

który z magnesów trzymasz na stole nieruchomo, a który będziesz przesuwać – przebieg każdego z doświadczeń będzie taki sam. Oznacza to, że obydwa baloniki lub magnesy oddziałują na siebie w takim samym stopniu. Rozciągając sprężynę, czujesz, że ciągnie ona twoje ręce – oddziałuje na ciebie.
Można więc wyciągnąć następujący wniosek:

Wszystkie oddziaływania są **wzajemne**.

W przypadku upuszczonej piłeczki zarówno Ziemia przyciąga grawitacyjnie piłeczkę, jak i piłeczka przyciąga Ziemię. Bardziej szczegółowo będziesz rozważać to zagadnienie, gdy poznasz dział fizyki zwany dynamiką.

Skutki oddziaływań

Zastanów się, co się dzieje w wyniku oddziaływania jednego ciała na drugie. W doświadczeniu ze sprężyną (lub gumą – doświadczenie 4B) nastąpiło odkształcenie. W doświadczeniu z balonikami i magnesami (doświadczenia 4A i 4C) obserwujesz ruch. W przypadku oddziaływania grawitacyjnego na piłkę (doświadczenie 4D) widzisz ruch piłki w dół. Gdy tocząca się poziomo po stole piłka zacznie spadać na podłogę, zmieni kierunek ruchu. Jak zatem widać, skutkami oddziaływań mogą być:

- **zmiana prędkości ciała**, w szczególności wprawienie go w ruch, zatrzymanie lub zmiana kierunku ruchu,
- **odkształcenie ciała** (np. rozkruszenie kredy, rozciągnięcie sprężyny, nadanie innego kształtu kawałkowi plasteliny).

Jeżeli skutkiem oddziaływania jest zmiana prędkości ciała, nazywa się go **skutkiem dynamicznym**. Jeżeli natomiast w wyniku oddziaływań nastąpi tylko zmiana kształtu ciała, mówi się o **skutku statycznym**.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Piłka, wpadając do bramki, odkształca siatkę, a sama traci prędkość. Występuje więc zarówno skutek statyczny, jak i dynamiczny. Czasem jeden z rodzajów skutków może być znacznie bardziej widoczny niż drugi, ale sytuacje, gdy występują obydwa ich rodzaje, zdarzają się w życiu codziennym najczęściej.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- W przyrodzie można zaobserwować m.in. oddziaływania:
  – **grawitacyjne**,
  – **elektrostatyczne**,
  – **magnetyczne,**
  – **sprężyste,**
  – **mechaniczne**.
- Wszystkie oddziaływania są **wzajemne**.
- **Statyczne skutki oddziaływań** występują wtedy, gdy zachodzi odkształcenie ciała. Natomiast **dynamiczne skutki oddziaływań** występują wtedy, gdy zachodzi zmiana prędkości ciała.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przyporządkuj do każdego z opisów sytuacji rodzaj oddziaływania wybrany z ramki poniżej.

mechaniczne • grawitacyjne • magnetyczne • elektrostatyczne

I. Magnesy mogą się przyciągać lub odpychać.

II. Stolarz struga zabawkę z drewna.

III. Samochodzik zjeżdża po pochylni.

IV. Potarty wełną balonik przywiera do sufitu.

V. Meteoryty spadają na Ziemię.

VI. Podczas zdejmowania swetra pojawiają się iskry.

VII. Małe magnesy przytrzymują planszę na tablicy.

VIII. Dziecko ugniata ręką plastelinę.

2 Przepisz tekst do zeszytu, wstawiając w miejsce ? właściwe formy wyrazów: *statyczny, dynamiczny, prędkość, kształt.*

Zgniatanie gumowej piłki powoduje zmiany jej ?, czyli skutek ?.
Po podrzuceniu piłki zmienia się jej ?, a więc występuje skutek ?.

3 Określ, jaki skutek (dynamiczny czy statyczny) mają oddziaływania przedstawione na zdjęciach. **Uwaga.** Do niektórych sytuacji można dopasować więcej niż jeden rodzaj skutku.









4 Przeczytaj opis doświadczenia i wykonaj polecenia.

Uczeń przygotował statyw, sprężynę, linijkę i dwa magnesy sztabkowe. Zawiesił sprężynę na statywie, a na sprężynie zawiesił jeden z magnesów. Zmierzył linijką odległość dolnego końca magnesu od stołu.

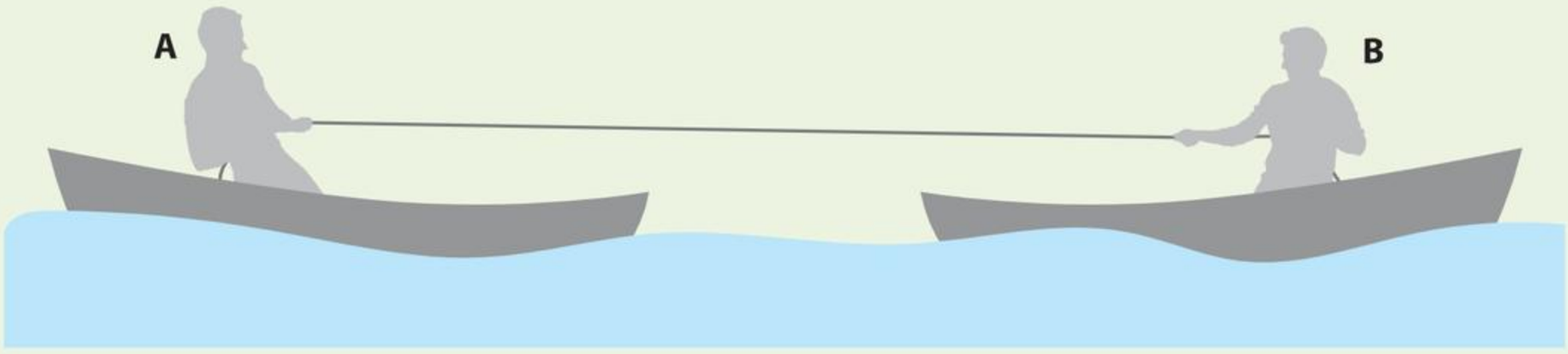
Następnie położył na stole pod wiszącym magnesem drugi magnes i ponownie zmierzył odległość dolnego końca wiszącego magnesu od stołu. Wynik pomiaru był mniejszy niż poprzednio.

a) Naszkicuj w zeszycie oba etapy doświadczenia.

b) Wyjaśnij, dlaczego w drugiej sytuacji odległość końca magnesu od stołu była mniejsza niż za pierwszym razem. Jakiego rodzaju oddziaływania i jakie skutki możesz wskazać w tym doświadczeniu?

5 Wyjaśnij, co oznacza wyrażenie „wzajemność oddziaływań".

6 Dwie osoby o jednakowych masach znajdujące się na łódkach trzymają końce liny. Co się stanie, jeżeli tylko jedna osoba zacznie ciągnąć linę? Wyjaśnij dlaczego.



5 Siła i jej cechy

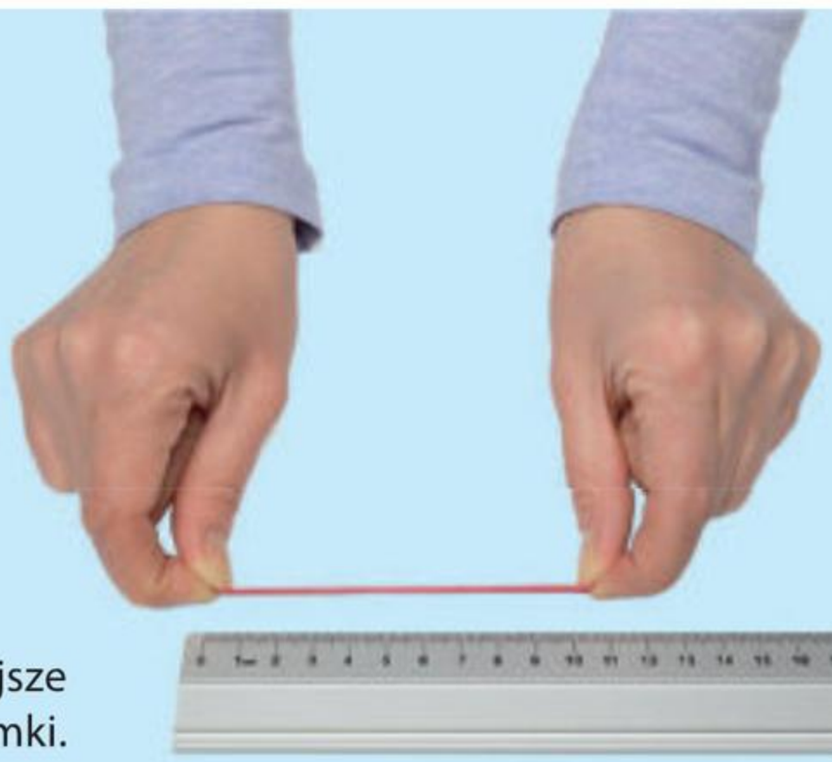
Cel lekcji: Poznasz nową wielkość fizyczną – siłę i jej jednostkę. Dowiesz się, jakie ma cechy i jak ją zmierzyć.

Siła jako miara oddziaływań

Wiesz, że niektóre magnesy przyciągają się mocniej, inne – słabiej. Gąbkę można zgnieść bez większego wysiłku, ale zgniecenie gumki do ścierania nie jest już takie łatwe. Słowami „mocniej", „słabiej" lub „łatwo", „trudno" nie da się w jednoznaczny sposób opisać oddziaływań. W jaki sposób można zatem zmierzyć oddziaływania? Aby się tego dowiedzieć, wykonaj następujące doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 5

1. Przygotuj gumkę recepturkę (lub sprężynę) i linijkę.
2. Rozciągnij powoli gumkę recepturkę (sprężynę) wzdłuż linijki. Zwróć uwagę, czy rozciąganie gumki (sprężyny) jest cały czas tak samo łatwe.

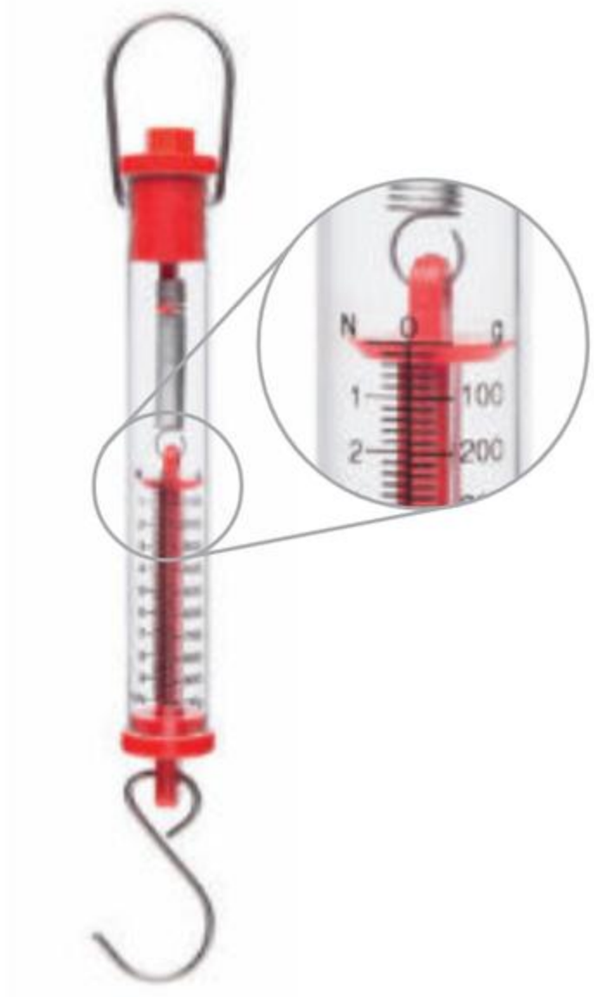


Rozciąganie staje się coraz trudniejsze w miarę wydłużania gumki.

W miarę rozciągania gumki recepturki lub sprężyny dalsze jej wydłużanie stawało się coraz trudniejsze. W języku fizyki powiedzielibyśmy, że trzeba było na gumkę lub sprężynę oddziaływać coraz większą **siłą**. A zatem:

> **Siła** jest miarą oddziaływania ciał.

Jednostką siły jest **niuton** (1 N). Dokładną definicję tej jednostki poznasz później w dziale „Dynamika".
Do pomiaru siły używa się **siłomierza**. Jeżeli w pracowni fizycznej są siłomierze, obejrzyj przyrząd dokładnie. Zwróć uwagę, że jest na nim skala, która pozwala odczytać, jaką siłą rozciągana jest sprężyna. Sprawdź, ile wysiłku musisz włożyć w rozciąganie siło-



Siłomierz służy do pomiaru siły. Zwróć uwagę na jego podziałkę.

mierza, aby jego wskazówka pokazała 1 N. Jeśli nie masz siłomierza, możesz inaczej się przekonać, jak duża jest siła 1 N: połóż na dłoni 100-gramową tabliczkę czekolady i przytrzymaj ją nieruchomo. Siła, jaką czekolada naciska na twoją dłoń, wynosi około 1 N.

CIEKAWOSTKA

Nazwa jednostki siły niuton pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka i matematyka Isaaca Newtona (czyt. izaaka niutona, 1643–1727).
Isaac Newton najbardziej znany jest jako uczony, który sformułował prawo powszechnego ciążenia, jednak w swoim życiu zajmował się nie tylko nauką. Pod koniec XVII w. objął stanowisko nadzorcy w Mennicy Królewskiej w Londynie (Anglia). Uczony zbierał tam dowody w sprawach o fałszowanie pieniędzy. Wizerunek Newtona nadal jest związany z pieniędzmi – jego podobizna znalazła się na odwrocie jednej z wersji banknotu o nominale 1 funta emitowanego w Wielkiej Brytanii w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku (patrz zdjęcie obok).



Siła jako wielkość wektorowa

W przypadku niektórych wielkości fizycznych można pytać jedynie o wartość: jaka jest temperatura powietrza, ile czasu trwała burza, jaka jest dopuszczalna masa ładunku ciężarówki itd. Odpowiedzią jest wartość (liczba) wraz z jednostką danej wielkości fizycznej, np. 10°C, 1,5 h, 25 t. Takie wielkości nazywamy **wielkościami liczbowymi** (inaczej skalarnymi).

W przypadku siły oprócz informacji o tym, jak duża musi ona być, aby dało się np. przesunąć szafę, ważne może być również to, w którą stronę pchamy mebel i w którym miejscu naciskamy na szafę. Oprócz wartości możemy więc przypisać sile jeszcze inne cechy. Aby poznać wszystkie cechy siły, przeprowadź doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 6

1. Przygotuj zeszyt lub książkę.
2. Złap brzeg zeszytu dwoma palcami i przesuń go po stole w jedną, a następnie w inną stronę. Staraj się za każdym razem ciągnąć zeszyt tak samo mocno.
3. Spróbuj pociągnąć zeszyt do siebie, a następnie, nie zmieniając chwytu, popchnąć go z powrotem po tej samej linii.
4. Złap pośrodku brzegu zeszytu i przeciągnij go w bok.
5. Złap za róg zeszytu i ponownie przeciągnij tak samo mocno i w tę samą stronę co poprzednio.



Przeanalizujmy wnioski z doświadczenia 6:

- Działanie siłą o takiej samej **wartości** może powodować różne skutki.
- Zeszyt można przesuwać w różnych kierunkach. **Kierunek** to prosta, wzdłuż której działała siła (oraz wszystkie proste do niej równoległe).
- Wzdłuż danej prostej można było przesuwać zeszyt w dwie strony – zatem oprócz kierunku ważny jest również **zwrot** siły (każdy kierunek ma dwa zwroty).
- Gdy zeszyt trzymano na środku jego brzegu i pociągnięto w bok, po prostu się przesunął. Kiedy trzymano go za róg, najpierw nieco się obrócił. Widzimy więc, że dla przebiegu doświadczenia może być ważne miejsce, na które działamy siłą, czyli **punkt przyłożenia** siły.

Siłę charakteryzują cztery cechy: wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.

Wielkości fizyczne, które oprócz wartości, są charakteryzowane jeszcze przez inne parametry, takie jak kierunek, zwrot – jak w przypadku siły – jeszcze przez punkt przyłożenia, nazywamy **wielkościami wektorowymi**.

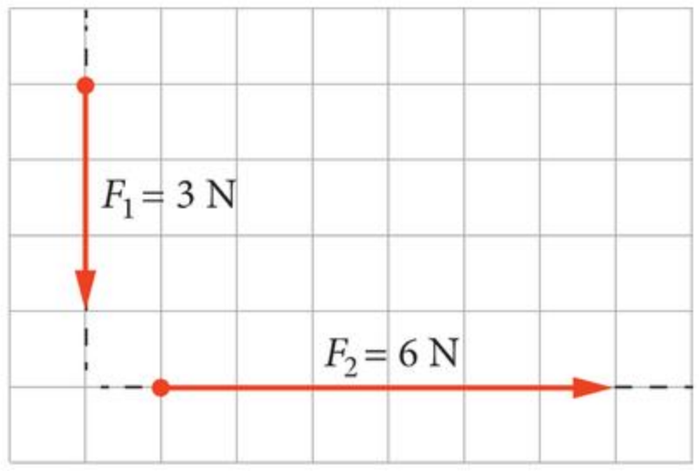
Wektor siły najczęściej oznaczamy literą $\vec{F}$ (ang. *force* – siła, łac. *fortis* – mocny, silny). Strzałka nad literą oznacza, że jest to wielkość wektorowa. Symbol F (bez strzałki) to wartość siły. I tak np. zapis $F = 5$ N, informuje, że siła ma wartość 5 niutonów, ale nie określa, jak ta siła jest skierowana.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Aby utrzymać latawiec, chłopiec działa siłą, która ma określone cechy: wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia.



Na rysunkach siłę przedstawia się za pomocą strzałki. Umówiono się, że im większa wartość siły, tym dłuższa jest strzałka. Jeżeli przyjmiesz np., że 0,5 cm odpowiada wartości 1 N, to siłę o wartości 6 N narysujemy jako strzałkę o długości 3 cm. Jeśli na tym samym rysunku będzie narysowany wektor innej siły o długości np. 1,5 cm, będzie to znaczyło, że odzwierciedla on siłę o wartości 3 N.



Pomiar siły

Wielkość fizyczną można zmierzyć przeznaczonym do tego celu przyrządem i wyrazić jej wartość w odpowiednich jednostkach. Można mierzyć również wartość siły. Jak już wiesz, służy do tego siłomierz. Wykonaj proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 7



A

1. Przygotuj siłomierz i kubek z uchem.
2. Zawieś kubek na siłomierzu i odczytaj jego wskazanie.
3. Zapisz w zeszycie wynik wraz z niepewnością pomiarową.
4. Zdejmij kubek i dwukrotnie powtórz pomiar.



B

1. Postaw kubek na stole.
2. Zaczep siłomierz o ucho kubka i powoli ciągnij. Odczytaj, jaką największą wartość wskaże przyrząd, zanim kubek się poruszy. Zwróć uwagę na to, z jaką dokładnością możesz odczytać wskazania siłomierza.

Wskazówka. Jeśli kubek zaczyna się poruszać od razu po pociągnięciu za siłomierz i nie możesz odczytać wskazania siłomierza, możesz włożyć do środka coś ciężkiego, np. nasypać ziemi lub piasku.

3. Wykonaj pomiar siedmiokrotnie i zapisz w zeszycie wyniki.
4. Oblicz średnią arytmetyczną uzyskanych wyników.
5. Zapisz w zeszycie wynik pomiaru, zaokrąglając go do dwóch cyfr znaczących.

Analiza wyników doświadczenia

W części A doświadczenia, gdy kubek był zawieszony na siłomierzu, dość łatwo było odczytać wynik. W naszym przypadku było to 3,6 N. Ponieważ nasz siłomierz wskazuje siłę z dokładnością do 0,1 N (podziałka na siłomierzu jest co 0,1 N), wynik pomiaru wraz z niepewnością zapisujemy w postaci:

$$F = 3{,}6\ \text{N} \pm 0{,}1\ \text{N}$$



Można powiedzieć, że zmierzyliśmy oddziaływanie grawitacyjne między kulą ziemską a kubkiem, czyli **siłę grawitacji** (inaczej siłę ciężkości), z jaką Ziemia przyciąga kubek. Jeśli pomiary były wykonane starannie, to każda kolejna próba dała taki sam wynik.

Wyniki części B doświadczenia nie są już tak jednoznaczne. Nie jest łatwo uchwycić moment, w którym kubek zaczyna się poruszać, a ponadto w chwili startu wskazanie siłomierza nagle maleje (o tym, dlaczego tak się dzieje, dowiesz się później, w dziale „Dynamika"). Z tego powodu pomiar warto kilkakrotnie powtórzyć. Przeanalizujmy i zinterpretujmy wyniki części B doświadczenia. Wyniki naszych pomiarów zebraliśmy w tabeli poniżej.

Wyniki poszczególnych pomiarów są podane z dokładnością do jednego miejsca po przecinku, a więc również średnią należy zaokrąglić do jednego miejsca po przecinku.

Numer pomiaru	1	2	3	4	5	6	7
Wskazanie siłomierza *F* [N]	1,4	1,5	1,3	1,1	1,6	1,4	1,3

Obliczmy średnią uzyskanych wyników:

$$F = \frac{F_1 + F_2 + \ldots + F_7}{7} = 1{,}37\ \text{N} \approx 1{,}4\ \text{N}$$

Wartości sił zmierzonych w kolejnych pomiarach można oznaczyć jako $F_1, F_2, \ldots, F_n$.

Średnia z pomiarów nie wskazuje rzeczywistej wartości siły, ale spodziewamy się, że ma wartość zbliżoną do rzeczywistej.

TO NAJWAŻNIEJSZE

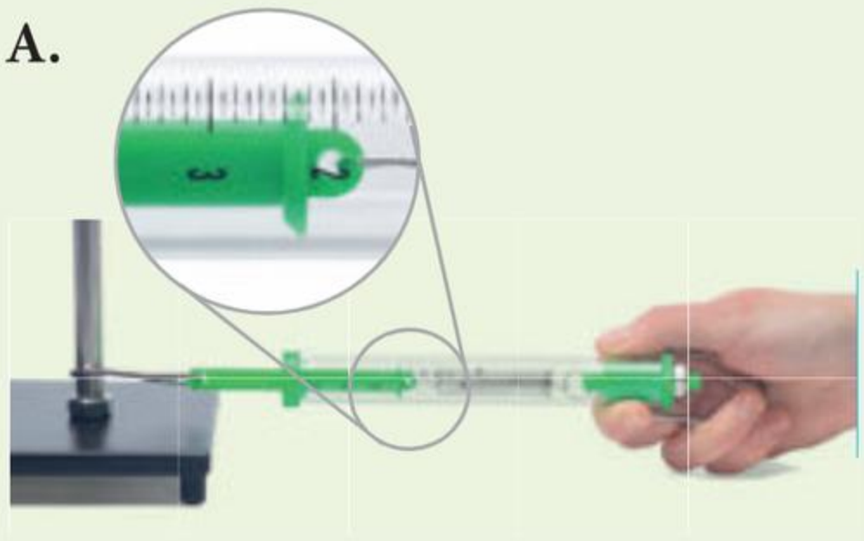
- **Wielkości liczbowe** mają tylko jedną cechę – wartość.
- **Wielkości wektorowe** mają: wartość, kierunek, zwrot, a siła również punkt przyłożenia.
- **Siła** jest miarą oddziaływań między ciałami. Jest to wielkość wektorowa.
- Jednostką siły jest **niuton** (1 N).

Rozwiąż zadania

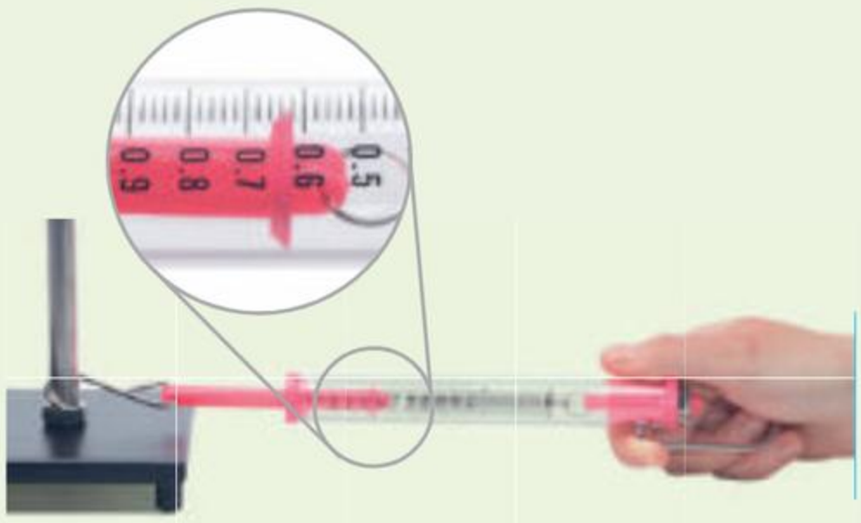
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Podaj wartości sił wskazywane przez siłomierze oraz niepewność każdego pomiaru.

A.



B.



2 Przelicz i zapisz w zeszycie podane wartości we wskazanych jednostkach.

a) 3 kN w N,

b) 1 MN w N,

c) 15 N w kN,

d) 200 kN w MN.

3 Dopasuj pojęcia A–D do opisów I–IV tak, aby powstały poprawne określenia cech siły. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.

I. miejsce, w którym siła działa na ciało

II. linia prosta, wzdłuż której działa siła

III. wielkość siły wyrażona w niutonach

IV. strona, w którą działa siła, np. w prawo

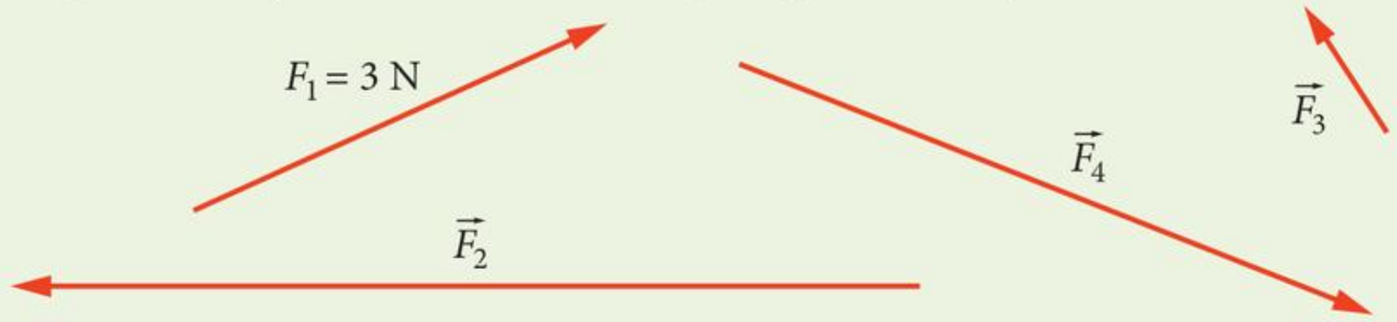
A. kierunek

B. zwrot

C. wartość

D. punkt przyłożenia

4 Na rysunku przy jednym z wektorów siły zapisano jego wartość. Określ wartości pozostałych wektorów i zapisz je w zeszycie.



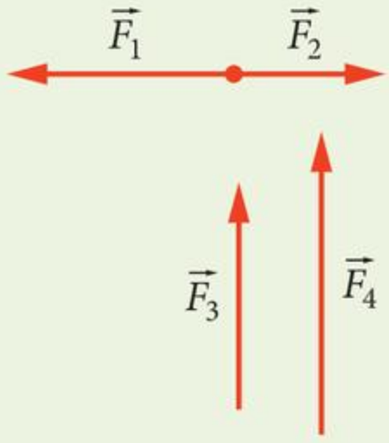
5 Poniżej narysowano wektory czterech sił. Przepisz zdania do zeszytu i uzupełnij je, wpisując odpowiednie oznaczenia.

Takie same zwroty mają siły ? i ?.

Takie same kierunki mają siły ? i ? oraz ? i ?.

Takie same wartości mają siły ? i ?.

Taki sam punkt przyłożenia mają siły ? i ?.



6 Wykonaj doświadczenie – skonstruuj siłomierz i wykonaj pomiary.

DOŚWIADCZENIE 8

1. Przygotuj: sprężynkę z długopisu, pinezkę, cienką deseczkę o długości co najmniej 20 cm i szerokości co najmniej 2–3 cm oraz dwa kawałki drutu.
2. Koniec jednego z kawałków drutu przymocuj do sprężynki (np. za pomocą masy epoksydowej). Drugi koniec przyczep pinezką do deseczki.
3. Następny kawałek drutu przymocuj z jednej strony do drugiego końca sprężynki, a drugi koniec tego drutu wygnij w haczyk, na którym będziesz zawieszać różne przedmioty. Dodatkowo możesz użyć paska papieru i taśmy klejącej, aby przymocować drut wygięty w haczyk do deseczki.
4. Zawieś tak wykonany siłomierz np. na klamce i zaznacz na desce położenie dolnego końca sprężynki jako 0 N.
5. Zawieś następnie przedmiot o masie 100 g. Na deseczce przy położeniu dolnego końca sprężynki zaznacz 1 N. Następnie zawieś drugi obciążnik o masie 100 g i zaznacz 2 N. Dokładając kolejne obciążniki narysuj skalę, do około 5–6 N.

Wskazówka. Przy wyznaczaniu siły staraj się, aby sprężyna nie zwiększała swojej długości bardziej niż dwukrotnie – może się wtedy trwale odkształcić i nie wróci już do poprzedniego kształtu!

6. Wyznacz za pomocą swojego siłomierza siłę, z jaką Ziemia przyciąga różne ciała, oraz siłę, jakiej należy użyć, aby przesuwać po stole różne przedmioty.
7. Zapisz wyniki wraz z niepewnością pomiarową. Wykonaj w ten sposób cztery różne pomiary.



6 Siły wypadkowa i równoważąca

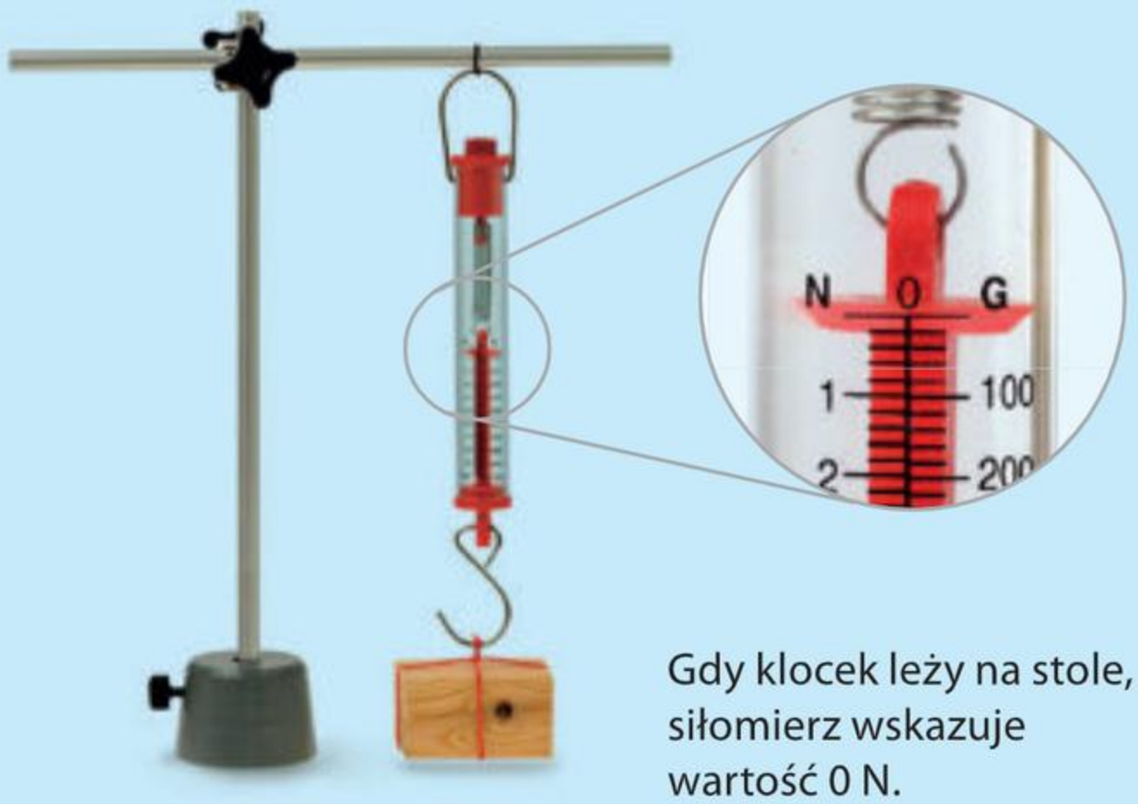
Cel lekcji: Poznasz pojęcia siły wypadkowej i siły równoważącej oraz nauczysz się dodawać wektory sił działających wzdłuż prostej.

Siła równoważąca

Wiesz, że na ciała działa **siła grawitacji (ciężkości)** i dlatego spadają one na ziemię. W części A doświadczenia 7 została zmierzona siła grawitacji działająca na kubek, ale kubek nie spadał na ziemię. Oznacza to, że siła grawitacji była równoważona przez inną siłę – w tamtym przypadku była to **siła sprężystości** rozciągniętej sprężyny siłomierza, która miała zwrot przeciwny do siły grawitacji.

DOŚWIADCZENIE 9

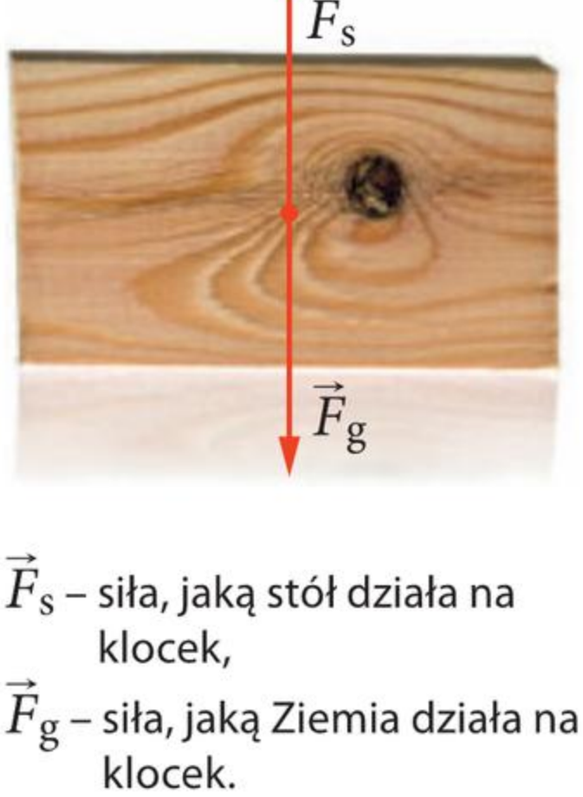
1. Przygotuj siłomierz i klocek z przywiązanym kawałkiem sznurka.
2. Zawieś na siłomierzu klocek tak, aby nie dotykał stołu.
3. Odczytaj wartość siły grawitacji działającej na klocek (ciężar sznurka jest niewielki, więc można go pominąć).
4. Następnie zawieś siłomierz tak, aby klocek leżał na stole, a sznurek nie był naprężony. Ponownie odczytaj wskazanie siłomierza.



Gdy klocek leży na stole, siłomierz wskazuje wartość 0 N.

Dlaczego, gdy klocek leży na stole, siłomierz wskazuje wartość 0 N? Czy siła grawitacji przestała działać? Oczywiście, że nie. Widocznie teraz działa na klocek jeszcze inna siła, która równoważy siłę ciężkości. Jest to skierowana w górę siła sprężystości podłoża (w tym przypadku stołu). Jest więc ona **siłą równoważącą** siłę grawitacji. Działanie podobnej siły odczuwasz stopami, gdy stoisz na ziemi. Zastanów się, jakie cechy ma siła równoważąca, która działa na klocek.

Siła równoważąca siłę grawitacji ma wartość równą wartości siły grawitacji. Jej kierunek jest taki sam, a zwrot przeciwny do zwrotu siły grawitacji.



$\vec{F}_s$ – siła, jaką stół działa na klocek,

$\vec{F}_g$ – siła, jaką Ziemia działa na klocek.

Siła wypadkowa

Klocek leżący na stole (w doświadczeniu 9) zachowuje się tak, jak gdyby nie działały na niego żadne siły, gdyż te, które działają, **równoważą się** (patrz rys. str. 35).

Jeśli kilka sił działających na ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywa się **siłą wypadkową**.

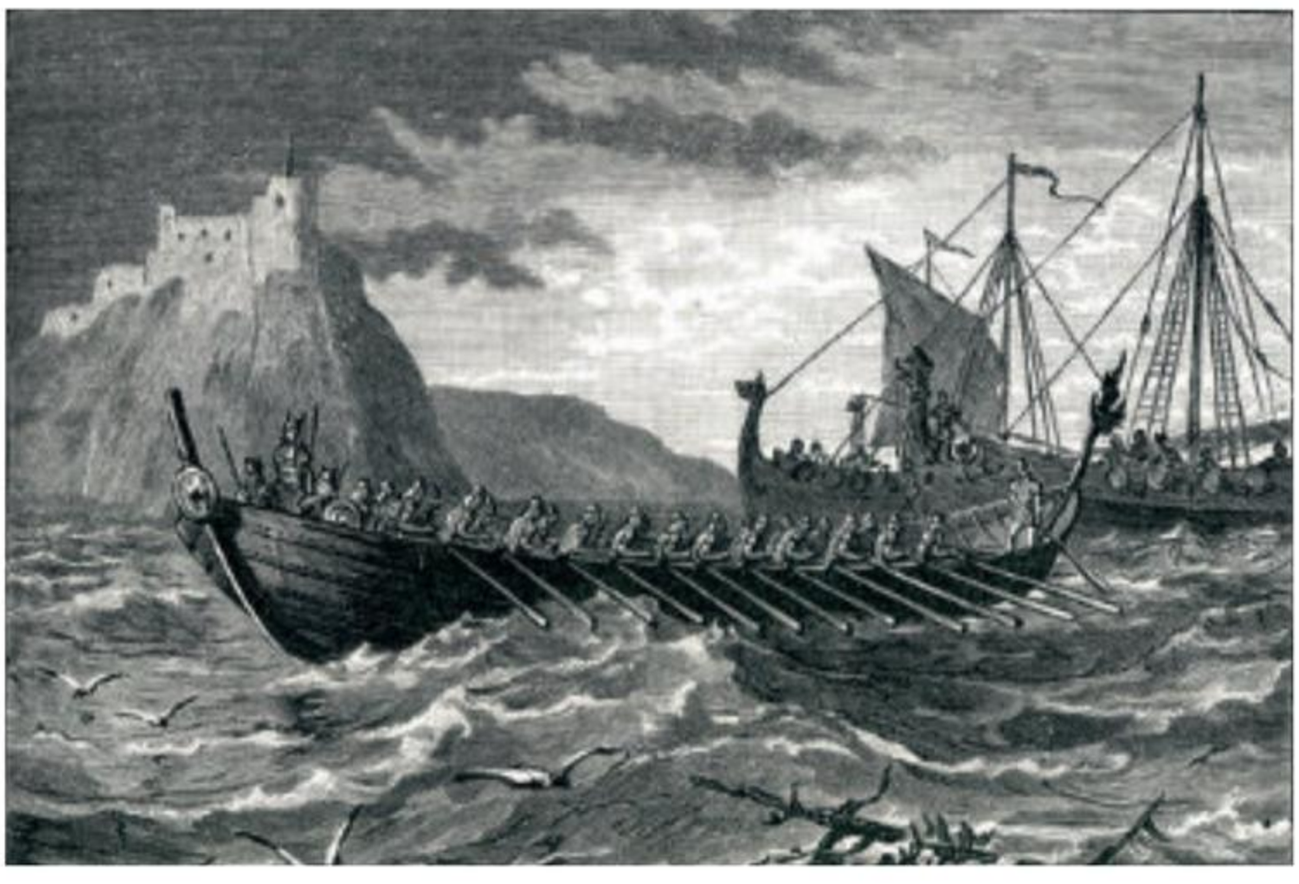
Zasady wyznaczania wypadkowej sił działających w tym samym kierunku przedstawiono na sąsiedniej stronie.



Siły nie zawsze się równoważą, a siła wypadkowa nie musi być równa 0 N.

Ciało, będące pod działaniem dwóch sił pozostaje **w równowadze**, jeżeli te siły działają wzdłuż tej samej prostej, mają taką samą wartość i przeciwne zwroty. **Wypadkowa** tych sił jest równa 0 N.

CIEKAWOSTKA



Zagadnienie siły wypadkowej było bardzo istotne w przypadku np. łodzi wiosłowych wikingów. Potrzebnych było kilkudziesięciu mężczyzn, aby można było zadziałać siłą wypadkową zdolną poruszyć łódź. Również współcześnie uzyskanie jak największej siły wypadkowej podczas wiosłowania czasem ma duże znaczenie – np. w zawodach wioślarskich decyduje o zwycięstwie lub przegranej.

Wypadkowa sił działających wzdłuż tej samej prostej

Jeżeli chcesz przesunąć ciężki mebel, to zwykle prosisz kogoś o pomoc. Przesuwając mebel w dwie osoby (działając dwiema siłami o tym samym zwrocie), osiąga się ten sam efekt, jakby działała jedna siła wypadkowa, której wartość jest równa sumie wartości obu sił.



Wypadkowa dwóch sił działających wzdłuż tej samej prostej i mających zgodne zwroty ma kierunek i zwrot sił składowych, a jej wartość jest równa sumie wartości sił składowych.

$$F_w(F_1, F_2) = F_1 + F_2$$

Gdyby natomiast przy przesuwaniu tego samego mebla, zamiast pomóc, ktoś ci przeszkadzał, tzn. działał siłą o zwrocie przeciwnym, to na dostatecznie śliskiej podłodze mebel przesunąłby się w tę stronę, w którą działała siła o większej wartości.

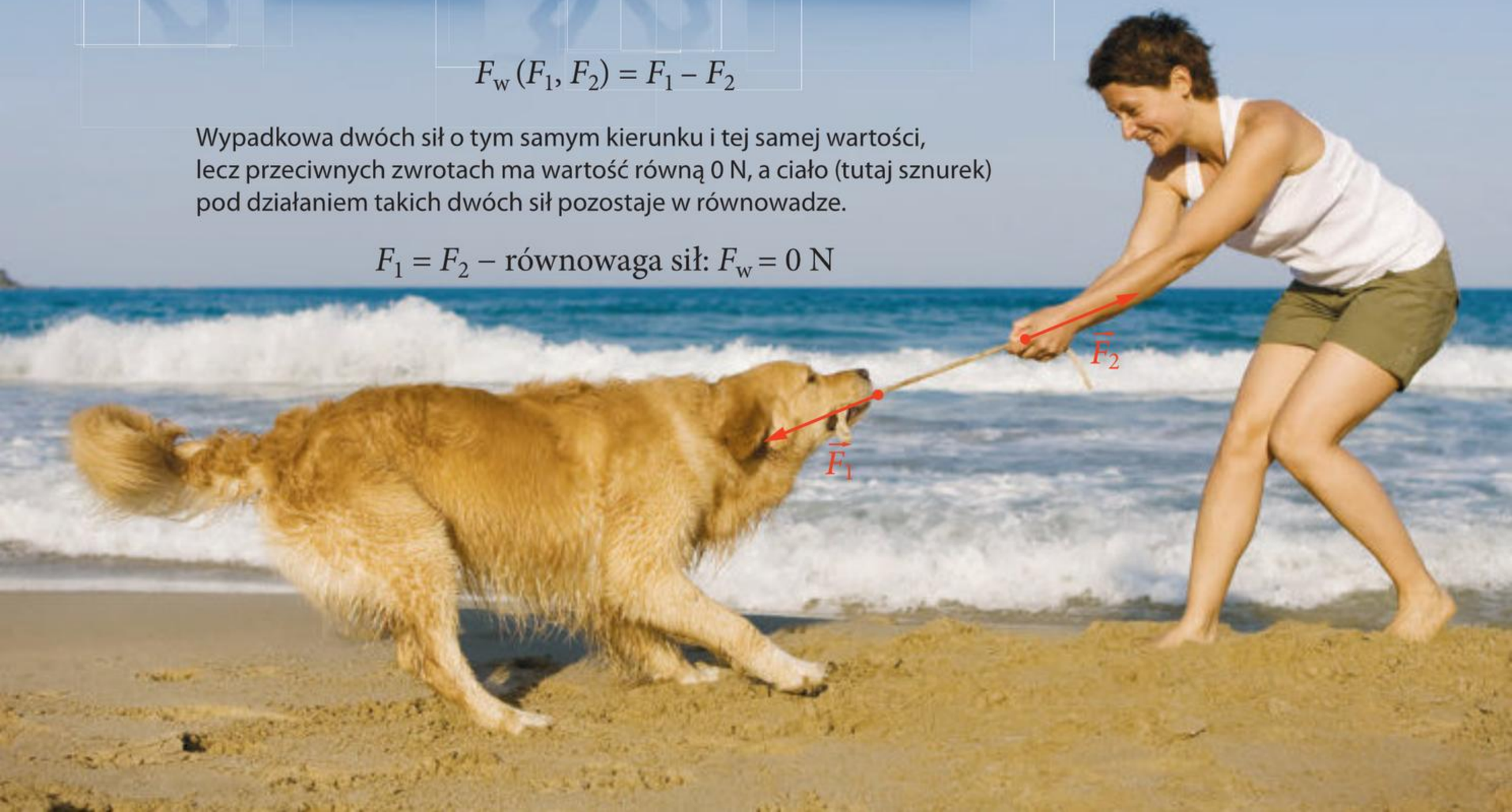


Wypadkowa dwóch sił o tym samym kierunku, lecz przeciwnych zwrotach ma kierunek i zwrot siły większej, a wartość równą różnicy wartości tych sił.

$$F_w(F_1, F_2) = F_1 - F_2$$

Wypadkowa dwóch sił o tym samym kierunku i tej samej wartości, lecz przeciwnych zwrotach ma wartość równą 0 N, a ciało (tutaj sznurek) pod działaniem takich dwóch sił pozostaje w równowadze.

$F_1 = F_2$ – równowaga sił: $F_w = 0$ N



TO NAJWAŻNIEJSZE

- Jeśli kilka sił działających na ciało można zastąpić jedną siłą, której skutek działania jest taki sam jak sił składowych, to taką siłę nazywa się **siłą wypadkową**.
- Siła, która równoważy działanie jednej lub kilku sił, nosi nazwę **siły równoważącej**. W przypadku działania sił równoważących się **układ** pozostaje **w równowadze** (wypadkowa tych sił wynosi 0 N).

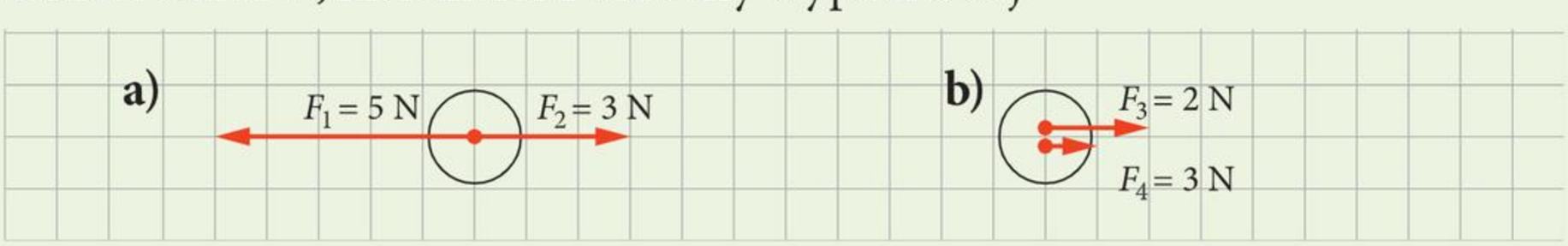
Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

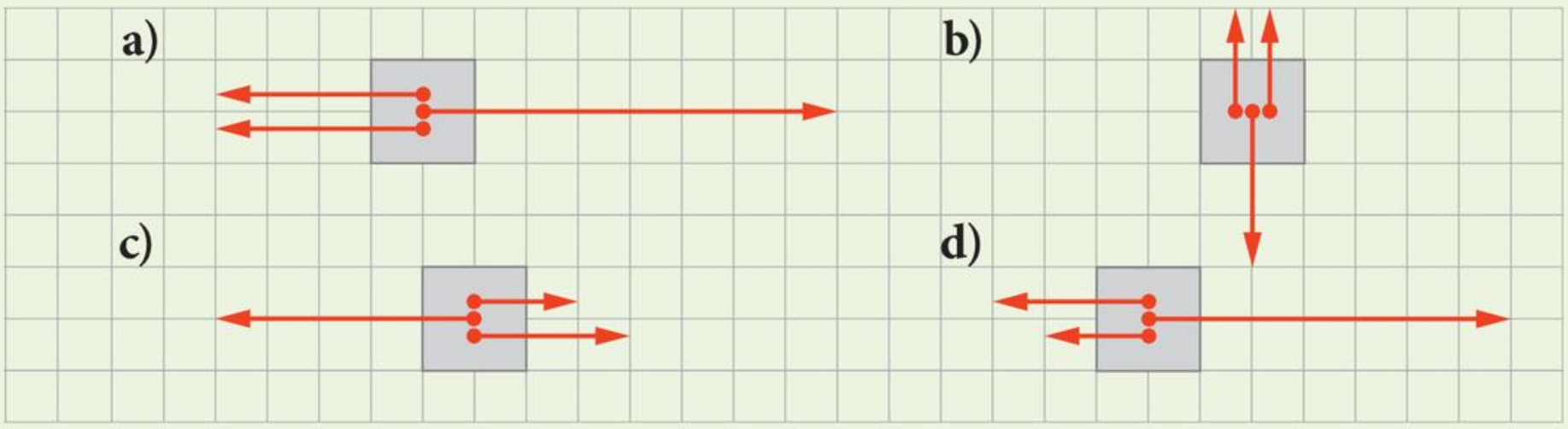
1 Narysuj w zeszycie wektor siły grawitacji o wartości 30 N. Przyjmij, że 1 N odpowiada odcinek 1 mm. Zwrot siły grawitacji znasz z własnych obserwacji.

Uwaga do zadań 2 i 3. Przyjmij, że wszystkie siły działające na dane ciało zostały przyłożone w tym samym punkcie. Na ilustracjach zostały rozsunięte jedynie dla zachowania przejrzystości rysunków.

2 Określ wartość, kierunek i zwrot siły wypadkowej.



3 Określ, czy siły działające na ciało się równoważą. Jeżeli nie, to napisz, w którą stronę działa siła wypadkowa – w prawo, w lewo, do dołu czy do góry?



4 Na lampę wiszącą pod sufitem działa siła ciężkości o wartości 1,5 N zwrócona do dołu. Wskaż poprawne uzupełnienia zdań. Siły działające na lampę **A/ B**. Wypadkowa tych sił jest równa **C/ D/ E**. Na lampę oprócz siły ciężkości działa jeszcze jedna siła zwrócona **F/ G** o wartości **H/ I/ J**.



A. równoważą się
B. nie równoważą się

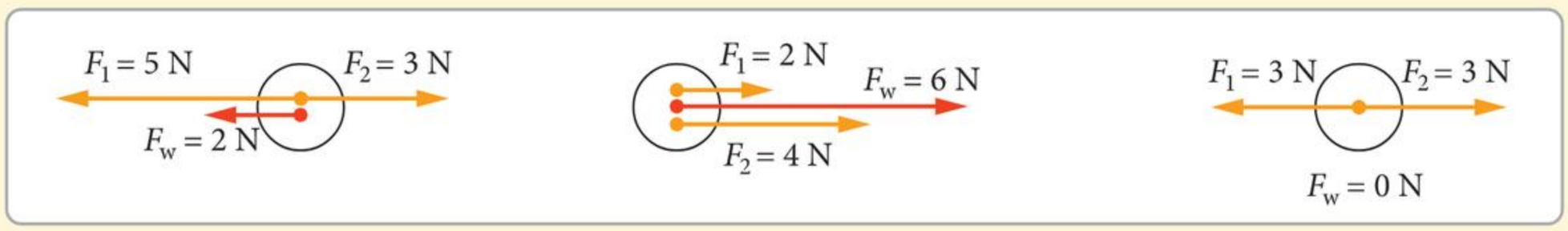
C. 1,5 N
D. 0 N
E. 3,0 N

F. do dołu
G. do góry

H. mniejszej niż 1,5 N
I. większej niż 1,5 N
J. równej 1,5 N

Powtórzenie. Pierwsze spotkanie z fizyką

- **Fizyka** to nauka badająca podstawowe prawa przyrody, zjawiska w niej zachodzące oraz właściwości materii. Podstawowymi metodami badawczymi stosowanymi w naukach przyrodniczych są **obserwacje** i **eksperymenty**.
- **Pomiar** polega na porównywaniu wartości mierzonej wielkości z wzorcem. Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny. W poprawnie zapisanym wyniku najniższy rząd niepewności pomiarowej musi być taki sam jak najniższy rząd wartości zmierzonej.
- Każdy przedmiot lub organizm żywy, mogący stanowić obiekt badań fizyki, to **ciało fizyczne**. Materiał, z którego zbudowane jest ciało fizyczne, to **substancja**.
- Cecha ciała lub zjawiska, którą można wyrazić liczbowo, to **wielkość fizyczna**. Wartości wielkości fizycznych należy zapisywać wraz z **jednostkami**. Jednostki główne różnych wielkości fizycznych zebrano w **układzie SI**.
- Wyróżnia się **wielkości liczbowe** (mające wartość) i **wielkości wektorowe** mające wartość, kierunek, zwrot, a w przypadku siły również i punkt przyłożenia.
- Ciała fizyczne **oddziałują** na siebie **wzajemnie**.
- Można wskazać różne rodzaje oddziaływań, np.: **grawitacyjne**, **elektrostatyczne**, **magnetyczne, mechaniczne**.
- Miarą oddziaływań jest **siła**. Siła jest wielkością **wektorową**. Jednostką siły jest **niuton** (**1 N**).
- **Kierunek siły** to linia prosta, wzdłuż której działa siła.
- **Zwrot** jest wskazywany przez grot symbolu wektora (dla każdego kierunku można wyznaczyć dwa zwroty).
- **Wartości** sił na rysunku są odzwierciedlane za pomocą długości reprezentujących je strzałek. Wartość siły można wyznaczyć za pomocą **siłomierza**.
- **Punkt przyłożenia** jest miejscem, w którym siła działa na ciało.
- Dwie siły o takich samych wartościach, działające na to samo ciało wzdłuż tej samej prostej, ale mające przeciwne zwroty nazywa się **siłami równoważącymi się** (wypadkowa tych sił wynosi 0 N).
- Siłę zastępującą działanie kilku sił nazywa się **siłą wypadkową** (czerwone strzałki).



Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do każdego ze zdań dopasuj jedno z podanych niżej pojęć A–C.

A. pomiar
B. obserwacja
C. doświadczenie

I. Krzysiek zauważył, że w słoneczny dzień przybrudzony śnieg stopniał szybciej niż biały. **A/ B/ C**

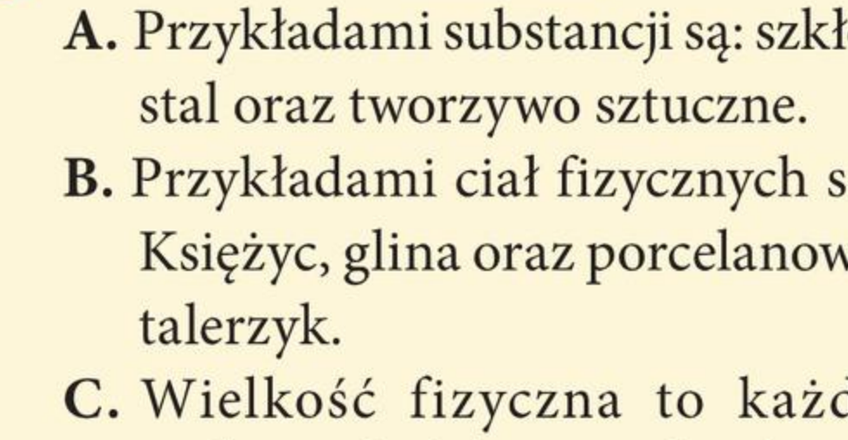
II. Tego samego dnia Krzysiek odczytał temperaturę na zaokiennym termometrze – była dodatnia. **A/ B/ C**

III. Zaintrygowany nierównomiernym topnieniem śniegu Krzysiek położył w zasięgu promieni słonecznych dwie kartki: czarną oraz białą. Po godzinie stwierdził, że czarna kartka była cieplejsza. **A/ B/ C**

2 Wskaż zdanie fałszywe.

A. Przykładami substancji są: szkło, stal oraz tworzywo sztuczne.
B. Przykładami ciał fizycznych są: Księżyc, glina oraz porcelanowy talerzyk.
C. Wielkość fizyczna to każda cecha ciała lub zjawiska, którą można wyrazić ilościowo.

3 Na rysunku samochodu podano rzeczywiste wymiary, ale zapomniano o jednostkach. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.



Długość samochodu jest równa **A/ B**, czyli **C/ D**.

A. 4380 mm
B. 4380 cm
C. 438 dm
D. 4,38 m

4 Wskaż poprawnie zapisaną wartość temperatury wraz z niepewnością pomiarową, odczytane na termometrze zaokiennym w letni słoneczny dzień.

A. 34°C ± 0,1°C
B. 36°C ± 1°C
C. –17°C ± 1°C
D. 31°C ± 10°C

5 Odległość w linii prostej między dwoma miastami zapisano następująco: $l = 23{,}6$ km.
Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.
W powyższym zapisie wyniku pomiaru „k" to **A/ B/ C**, natomiast „m" to **D/ E**.

A. oznaczenie wielkości fizycznej
B. przedrostek oznaczający pomnożenie przez 1000 podstawowej jednostki
C. przedrostek oznaczający podzielenie przez 1000 podstawowej jednostki
D. wartość wielkości fizycznej
E. jednostka

6 Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Siła nie jest wielkością wektorową.
B. Siła wypadkowa to inaczej siła równoważąca.
C. Wartość siły można wyrazić w kN.

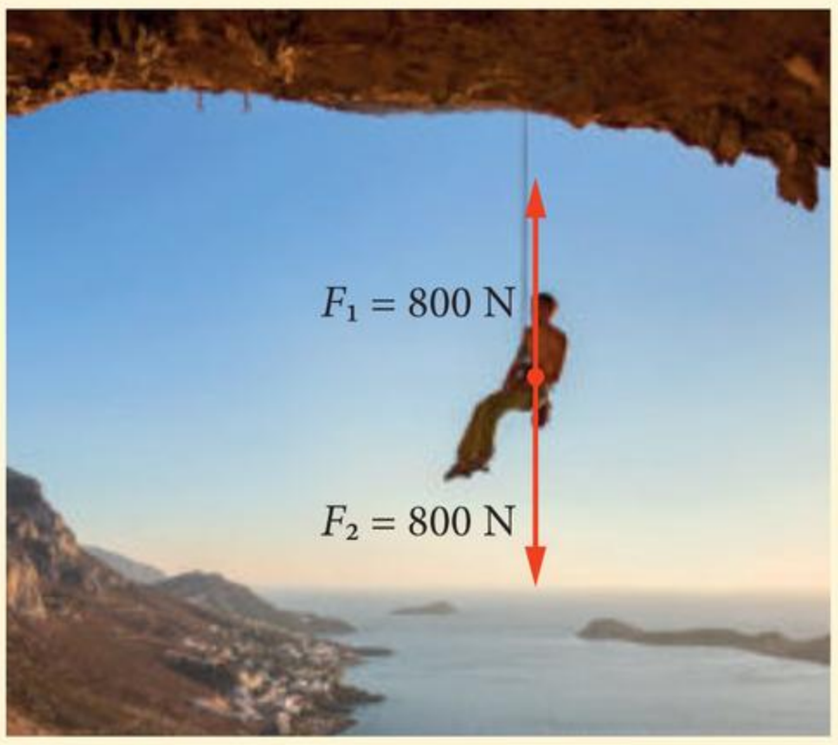
7 Magnes zbliżono do dywanu, aby znaleźć igłę, która wcześniej upadła. Po kilku sekundach poszukiwań igła została przyciągnięta do magnesu. Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.
W opisanej sytuacji
A. igła oddziaływała magnetycznie na magnes, ale magnes nie oddziaływał na igłę.
B. magnes oddziaływał magnetycznie na igłę, ale igła nie oddziaływała na magnes.
C. zarówno igła, jak i magnes oddziaływały elektrostatycznie na siebie wzajemnie.
D. zarówno igła, jak i magnes oddziaływały magnetycznie na siebie wzajemnie.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Poprawnym zaokrągleniem wyniku pomiaru 319,48 mm do trzech cyfr znaczących jest
A. 319,4 mm.
B. 319,5 mm.
C. 320 mm.
D. 319 mm.

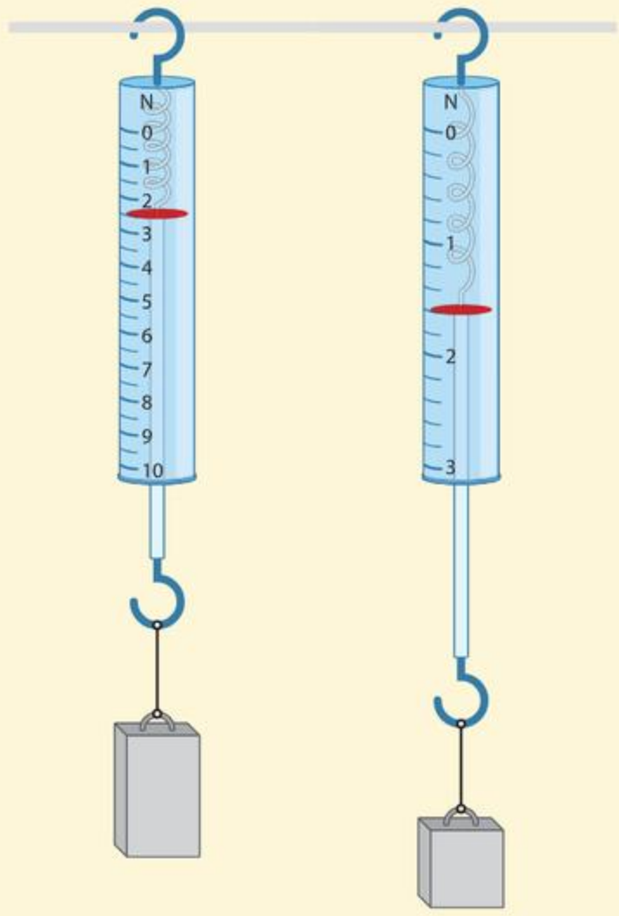
2 Poniżej narysowano siły działające na alpinistę. Wybierz poprawne dokończenie zdania.



Wypadkowa zaznaczonych sił F_1 i F_2 działająca na alpinistę ma wartość
A. 1600 N. **B.** 0 N.

3 Mierzono stoperem czas spadania kropel wody z dachu na ziemię. Otrzymano następujące wyniki: 0,83 s; 0,96 s; 0,74 s; 0,88 s; 0,79 s. Następnie obliczono średnią arytmetyczną otrzymanych wyników. Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.
Średnia z pomiarów wynosi **A**/ **B**/ **C**.
A. 0,82 s
B. 0,84 s
C. 0,86 s

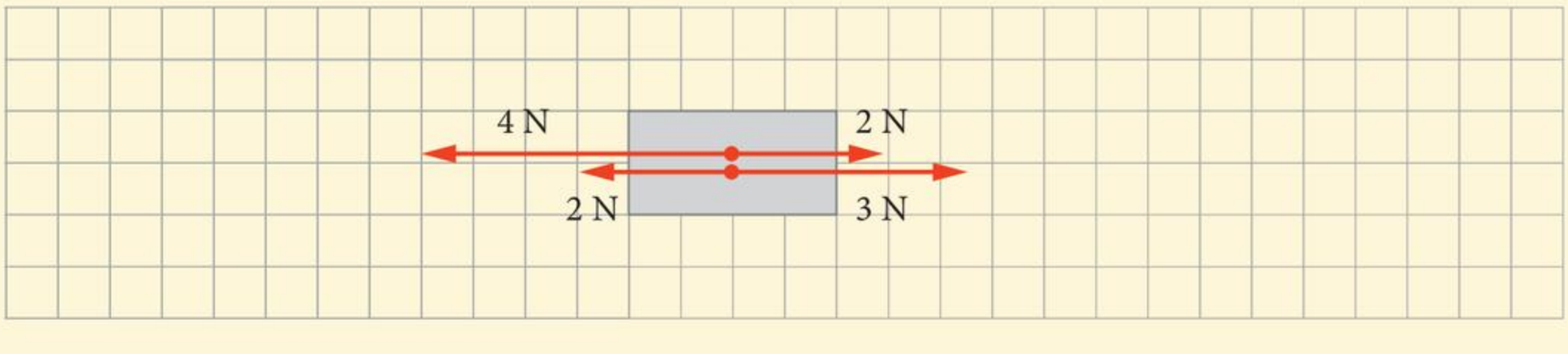
4 Na rysunku pokazano pomiary wartości siły ciężkości działającej na klocek.
a) Podaj wskazania obu siłomierzy wraz niepewnością pomiarową.
b) Jakie dwie wspólne cechy mają siły działające na oba siłomierze?



Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na rysunku przedstawiono kilka sił działających na pudełko.



a) Wskaż poprawne uzupełnienia zdania.

Siła równoważąca wszystkie siły na powyższym rysunku będzie zwrócona	**A.**	w prawo,	ponieważ wypadkowa sił działających w lewo jest	**1.**	mniejsza niż wypadkowa sił działających w prawo.
	B.	w lewo,		**2.**	większa niż wypadkowa sił działających w prawo.

b) Oblicz wartość siły równoważącej. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.

2 Podczas ruszania zaprzęgu z ósemką psów na sanie działa zwrócona do tyłu siła o wartości 300 N, natomiast siła wypadkowa jest zwrócona do przodu i wynosi 20 N.
Oblicz, z jaką siłą ciągnie sanie każdy z psów, zakładając, że wszystkie psy działają z jednakową siłą w kierunku ruchu sań. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



Analiza tekstu

Jak mierzono czas i jak mierzy się go obecnie

Czas służy nam do określania kolejności zachodzących zdarzeń. Bez dokładnego pomiaru czasu nie istniałyby rozkłady jazdy pociągów i autobusów, niemożliwe byłoby bicie kolejnych rekordów w sporcie. Czy można w ogóle wyobrazić sobie współczesny świat bez dokładnych zegarów?

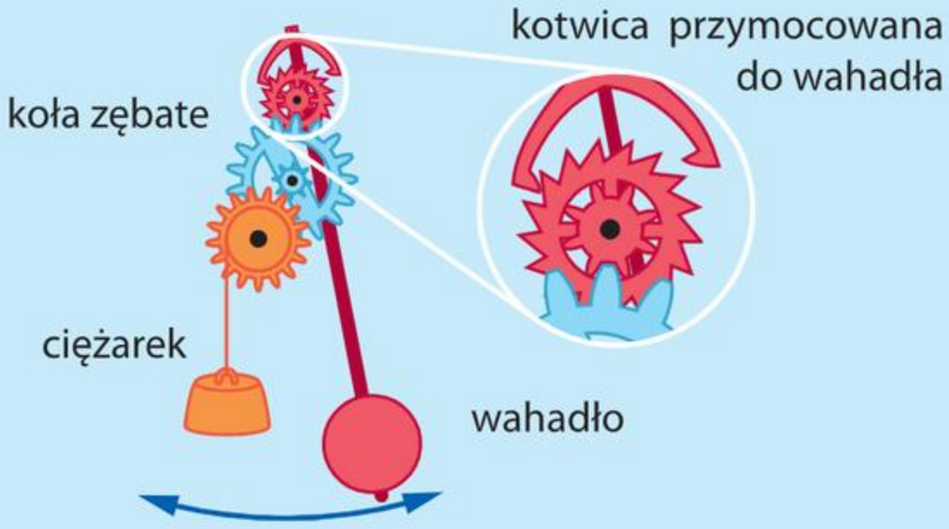


Obecnie zegary słoneczne wykorzystywane są przede wszystkim jako element dekoracyjny.

Zegary słoneczne były pierwszymi zegarami – wynaleziono je ponad 1500 lat p.n.e. W tych zegarach wykorzystywano zmianę położenia cienia gnomonu (nieruchomej wskazówki zegara) związaną z pozornym ruchem Słońca na niebie. Zegary takie miały jednak dużo wad. Po pierwsze nie mogły działać w pochmurne dni ani w nocy. Ponadto ich wskazania zależą od długości geograficznej, na której się znajdują, a także od pory roku, gdyż ze względu na nachylenie osi obrotu Ziemi i kształt jej orbity taki zegar będzie się spóźniał lub spieszył o kilka, a nawet kilkanaście minut, zależnie od pory roku. Zegary słoneczne zostały z czasem wyparte przez **zegary wodne**, dzięki którym czas odmierzano na podstawie ilości cieczy wypływającej z naczynia przez niewielki otwór. Podstawową wadą tych zegarów był fakt, że przy wyższym poziomie woda wypływała przez otwór szybciej niż wtedy, gdy było jej mało. Dokładniej czas mierzyła **klepsydra**, w której między dwoma naczyniami przesypywał się proszek cynkowy lub piasek. Prawdziwą rewolucją było zbudowanie pierwszego mechanicznego **zegara wahadłowego** przez Duńczyka Christiaana Huygensa (czyt. kristiana hejhynsa) w 1656 roku. Mechanizm zegara obracał się dzięki opadającemu ciężarkowi, więc taki zegar trzeba było co kilkanaście godzin nakręcać, podnosząc



Jedna z największych klepsydr na świecie znajduje się w Budapeszcie. Klepsydra jest odwracana zawsze 31 grudnia.



Uproszczony mechanizm działania zegara wahadłowego.

ciężarek. Pierwsze zegary wahadłowe po upływie doby wskazywały czas o kilkadziesiąt sekund różny od rzeczywistego. Na przełomie XIX i XX w. dzięki dopracowaniu ich konstrukcji dokładność sięgała już 0,01 s na dobę.

W 1927 r. Warren Marrison i Joseph Horton (czyt. łoren marison i dżozef horton) skonstruowali **zegar kwarcowy**. Elementem odmierzającym czas w takim zegarku jest kryształ kwarcu, który pod wpływem napięcia elektrycznego wykonuje określoną liczbę drgań w ciągu sekundy (najczęściej 32 768). Odpowiedni układ elektryczno-mechaniczny wprawia w ruch koła zębate, które napędzają wskazówki zegara. Najlepsze mechanizmy kwarcowe po roku wskazują czas z dokładnością do kilku sekund.

Obecnie podstawą wzorców czasu są niezwykle dokładne **zegary atomowe**. Różnica między ich wskazaniami a rzeczywistym upływem czasu nie przekracza 1 sekundy po kilkuset latach lub nawet po kilku milionach lat. Niestety ich rozmiary oraz cena nie pozwalają, aby były użyteczne i dostępne dla przeciętnego człowieka. Zegary atomowe stosuje się m.in. w specjalistycznych laboratorioriach i w systemie nawigacji GPS.



Zegar atomowy.

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do opisów zegarów dopasuj ich nazwy.

A. Cechuje się bardzo dużą dokładnością, jego budowa jest skomplikowana, a cena wysoka, dlatego jest używany np. w specjalistycznych laboratoriach.

B. Czas jest wskazywany przez cień pręta wbitego w ziemię.

C. Czas odmierza przesypujący się drobny piasek.

D. Najbardziej rozpowszechniony typ zegara – działa dzięki kryształowi, który pod wpływem napięcia elektrycznego drga ponad 30 000 razy na sekundę.

I. zegar kwarcowy
II. zegar słoneczny
III. klepsydra
IV. zegar atomowy

2 Jakie są wady i zalety zegara wahadłowego w porównaniu z innymi zegarami? Pomyśl o podróżach morskich i konieczności dokładnego mierzenia czasu na potrzeby nawigacji. Czy zegar wahadłowy jest przydatny w takich warunkach?

3 Natalia dostała na dziesiąte urodziny dokładnie ustawiony zegarek kwarcowy. Teraz ma 12 lat i nie wymieniała jeszcze baterii ani nie regulowała zegarka. Producent podaje błąd wskazania zegarka: 10 sekund na miesiąc (tzn. po miesiącu zegarek może się zarówno spieszyć, jak i spóźniać o 10 s). W pewnym momencie zegarek Natalii wskazuje 12.00. Uwzględniając błąd wskazania zegarka, powiedz, jaka może być rzeczywiście najwcześniejsza, a jaka najpóźniejsza godzina.

II

Właściwości i budowa materii

Z tego rozdziału dowiesz się:

- jak zbudowana jest materia,
- na czym polegają oddziaływania międzycząsteczkowe,
- czym jest napięcie powierzchniowe,
- jakie są stany skupienia substancji i czym się charakteryzują,
- jakie są właściwości ciał stałych, cieczy i gazów,
- czym są masa i ciężar ciała,
- co to jest gęstość,
- jak wyznaczyć gęstość ciał stałych i cieczy.



7 Atomy i cząsteczki

Cel lekcji: Dowiesz się, jak zbudowana jest materia, poznasz założenia teorii cząsteczkowej budowy materii oraz zjawiska fizyczne, które ją potwierdzają.

Atomy

Już około 2500 lat temu niektórzy indyjscy i greccy filozofowie sądzili, że substancje nie mają budowy ciągłej. Uważali, że świat był zbudowany z podobnych, niewidzialnych ziaren – drobnych cząstek, które zostały nazwane **atomami** (gr. *átomos* – niepodzielny). Poglądy starożytnych były jednak tylko przypuszczeniami. Dopiero w 1808 roku doświadczenia angielskiego uczonego **Johna Daltona** (czyt. dżona daltona, 1766–1844) dostarczyły pierwszych przesłanek naukowych, że atomy naprawdę istnieją. Dziś wiemy już, że istnieją różne rodzaje atomów o różnych właściwościach i że atomy składają się z mniejszych cząstek.

Grupy atomów o takich samych właściwościach chemicznych nazywamy **pierwiastkami**. Atomy mogą łączyć się ze sobą, tworząc **cząsteczki** (molekuły). Cząsteczki mogą składać się z atomów tego samego pierwiastka, np. tlen, lub z atomów różnych pierwiastków, np. woda. Substancje różnią się od siebie właśnie dlatego, że są zbudowane z różnych atomów połączonych w różne cząsteczki.

Atom to podstawowy składnik materii, którego nie da się podzielić w wyniku reakcji chemicznych. Atomy łączące się ze sobą tworzą **cząsteczki** różnych substancji.

Teoria cząsteczkowej budowy materii

Cząsteczkową budowę materii potwierdzają różne doświadczenia. Niektóre są bardzo proste i możesz wykonać je samodzielnie.

CIEKAWOSTKA

Człowiek potrafi dostrzec gołym okiem obiekty rozmiarów około 0,1 mm, czyli mniej więcej grubości włosa. Szkolny mikroskop pozwala zobaczyć obiekty o rozmiarach mikrometrów, czyli tysięcznych części milimetra (np. komórki cebuli). Atomy są jednak o wiele mniejsze. Gdyby ustawiono średniej wielkości atomy jeden za drugim, to taki ciąg złożony z 10 milionów atomów miałby długość około metra. Istnieją specjalistyczne mikroskopy, które pozwalają nie tylko dostrzec pojedyncze atomy, lecz także je przemieszczać. Firma IBM stworzyła w 2013 krótki film z serii zdjęć, na których widać chłopca ułożonego z pojedynczych atomów węgla.



DOŚWIADCZENIE 10

1. Przygotuj: dwie małe strzykawki o pojemności maksymalnie 5 ml, jedną igłę do strzykawki, plastelinę, wodę i barwiony denaturat.

Wskazówka. Efekt doświadczenia będzie lepiej widoczny, jeśli użyjesz wąskich strzykawek o pojemności 1–2 ml.

2. Wyjmij ze strzykawki tłoczek i zatkaj wylot plasteliną.
3. Napełnij strzykawkę do połowy wodą.
4. Następnie, używając drugiej strzykawki z igłą, bardzo powoli dolewaj po ściankach denaturat, aż wypełni strzykawkę do ostatniej kreseczki na podziałce. Sprawdź, czy ciecze są wyraźnie rozdzielone, tak jak na zdjęciu obok. Odczytaj objętość cieczy.
5. Zatkaj palcem górny otwór strzykawki i wymieszaj jej zawartość, wstrząsając i odwracając ją kilkakrotnie wylotem do góry.
6. Ponownie odczytaj objętość cieczy.



Początkowo woda z denaturatem się nie zmieszały. Wyraźnie widać granicę między cieczami.

Po wstrząśnięciu strzykawką powstała jednorodna mieszanina, w której nie widać poszczególnych składników. Poziom roztworu się obniżył.

Jak wyjaśnić wynik doświadczenia 10?

DOŚWIADCZENIE 11

1. Przygotuj: duży słoik, pisak, drobną kaszę i groch.
2. Napełnij słoik do połowy grochem, a następnie nasyp kaszy.
3. Zaznacz pisakiem na szkle poziom kaszy.
4. Zakręć słoik i wstrząśnij nim kilkakrotnie.
5. Ponownie zaznacz poziom, do którego sięga mieszanina kaszy z grochem.



Drobna kasza wypełniła wolne miejsca (szczeliny) między ziarnami grochu, dlatego objętość mieszaniny się zmniejszyła.

Można przypuszczać, że obie ciecze w doświadczeniu 10 składają się z drobnych „ziaren” o różnej wielkości (oczywiście mniejszych niż groch czy kasza), które po wymieszaniu mają łącznie mniejszą objętość. Przypuszczenie, które może być prawdopodobnym wyjaśnieniem jakiegoś zjawiska, nazywa się w nauce **hipotezą**. Wysunięcie hipotezy jest podstawą do sformułowania teorii.

Dyfuzja

Innym zjawiskiem potwierdzającym cząsteczkową budowę materii jest **dyfuzja**. Aby zrozumieć, na czym ono polega, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 12

1. Przygotuj dwie szklanki: jedną z wodą zimną i drugą – z gorącą oraz sok o intensywnym kolorze, np. z buraków.
2. Wlej odrobinę soku do szklanki z zimną wodą. Obserwuj, co się dzieje.
3. Następnie wlej trochę soku do szklanki z gorącą wodą. Czy doświadczenie przebiega inaczej?
4. Odstaw na kilka dni szklankę z mieszaniną zimnej wody i soku.



Wykonując doświadczenie, zauważamy, że sok samorzutnie rozprzestrzenia się w wodzie. W ciepłej wodzie zjawisko zachodzi szybciej. Sok z buraków jest nieznacznie cięższy od wody i widać, że w szklance z zimną wodą osiada przy dnie. Jednak po kilku dniach nawet w szklance z zimną wodą mieszanina staje się jednorodna.

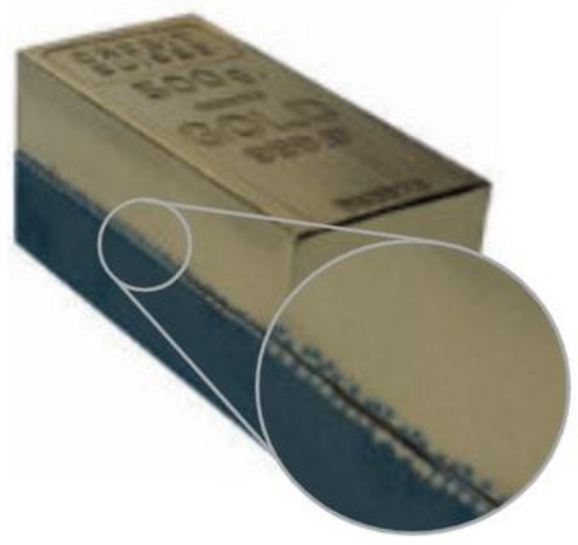
Cząsteczki soku i wody są w bezustannym ruchu. Cząsteczki soku przemieszczają się wśród cząsteczek wody i powoli rozprzestrzeniają się w całej jej objętości. Na skutek tego następuje stopniowe, samorzutne mieszanie się obydwu składników. Zjawisko to nazywamy **dyfuzją**.

Dyfuzja to samorzutne rozprzestrzenianie się cząsteczek jednej substancji w drugiej. W wyniku dyfuzji następuje mieszanie się różnych substancji.

Dyfuzja zachodzi w gazach, cieczach i ciałach stałych, lecz w ciałach stałych przebiega znacznie wolniej niż w cieczach i w gazach.

CIEKAWOSTKA

Zetknięte ze sobą sztabki złota i ołowiu, przechowywane w temperaturze pokojowej, po upływie kilku lat zlepiły się ze sobą. Atomy złota przemieszczają się do ołowiu i odwrotnie.





Jeśli czujemy zapach róży, znaczy to, że cząsteczki wydobywające się z kwiatu dzięki zjawisku dyfuzji rozprzestrzeniają się w powietrzu i docierają do naszego nosa.

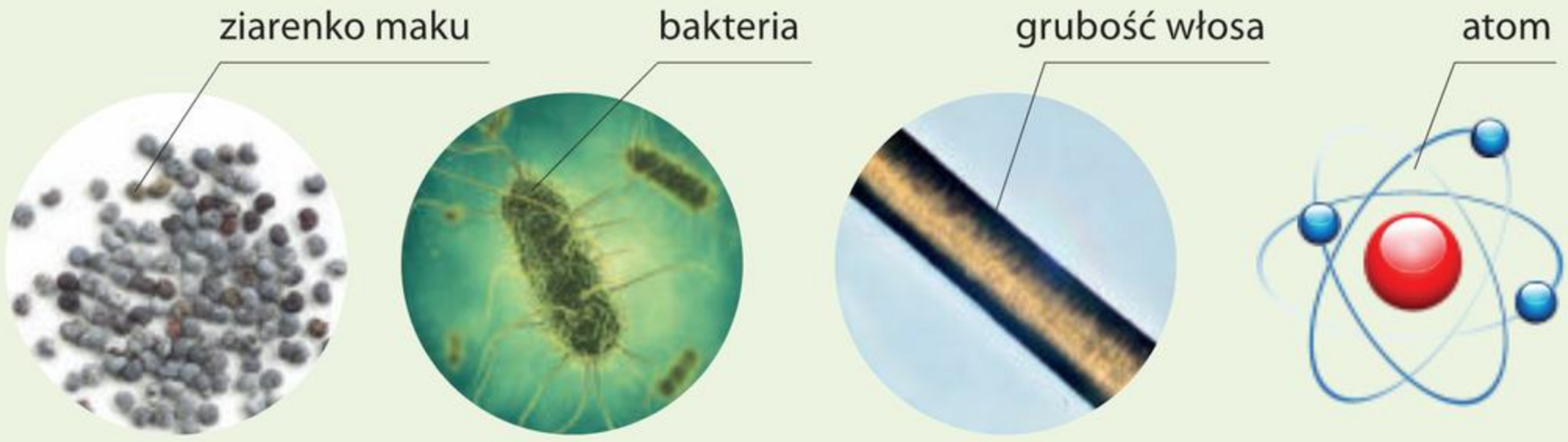
TO NAJWAŻNIEJSZE

- Wszystkie ciała są zbudowane z **atomów**.
- Istnieją różne atomy o różnych właściwościach.
- Atomy mogą łączyć się ze sobą, tworząc **cząsteczki**.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Dowiedz się, jakie są rozmiary obiektów przedstawionych poniżej i dopasuj odpowiednie wartości z ramki. **Uwaga.** Nie wszystkie rozmiary należy wykorzystać.



0,0001 µm • 1 cm • 0,1 mm • 1 µm • 1 mm

2 Doświadczenia wykonujemy m.in. w celu sprawdzenia postawionych hipotez. Dopasuj do każdej z podanych hipotez I–III wynik doświadczenia A–C, który tę hipotezę potwierdzi lub obali. **Uwaga**. Jeśli hipotezy nie można potwierdzić na podstawie doświadczenia, napisz dlaczego.

I. Cząsteczki i atomy, z których zbudowana jest materia, są w nieustannym ruchu.

II. Cząsteczki mogą być zbudowane z różnych atomów, ale rozmiary wszystkich cząsteczek są prawie takie same.

III. Im wyższa temperatura, tym szybciej poruszają się cząsteczki, z których składa się materia.

A. Esencja herbaciana szybciej miesza się z gorącą niż z zimną wodą.

B. Jeśli dokładnie wymieszamy ze sobą niektóre ciecze, to objętość mieszaniny będzie mniejsza niż suma objętości tych cieczy przed zmieszaniem.

C. Zapach rozchodzi się od kwiatu do naszego nosa mimo braku wiatru.

8 Oddziaływania międzycząsteczkowe

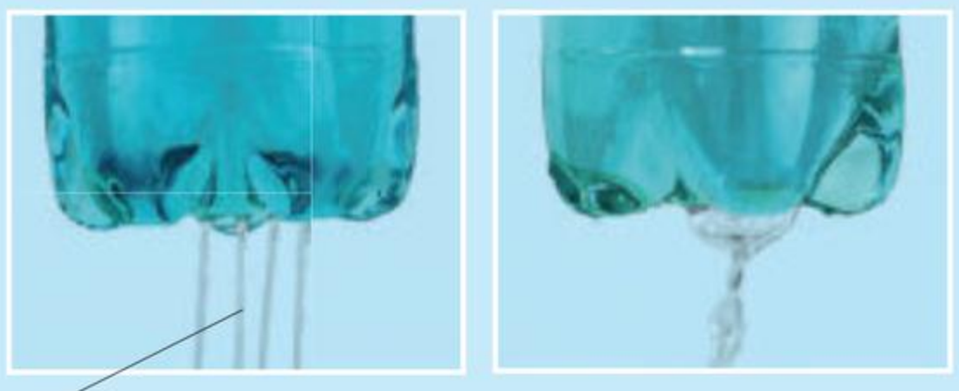
Cel lekcji: Dowiesz się, że atomy i cząsteczki oddziałują ze sobą. Poznasz zjawiska związane z oddziaływaniami międzycząsteczkowymi.

Siły spójności i przylegania

Czy wiesz, dlaczego gęsta ciecz wylana ze słoika tworzy niewielką plamę, a nie rozlewa się po całej powierzchni? Dlaczego woda tworzy pojedyncze krople, a gdy płynie z kranu, tworzy ciągłą strugę?
Aby odpowiedzieć na te pytania, wykonaj doświadczenia.

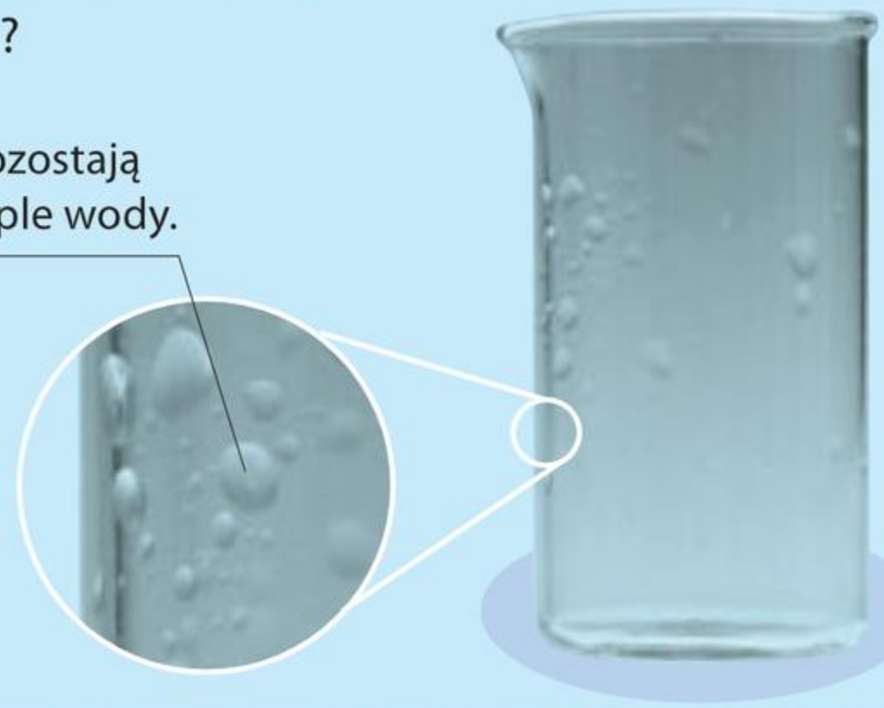
DOŚWIADCZENIE 13

A W dnie plastikowej butelki po napoju zrób cztery otwory w odstępach co 3 mm. Gdy do butelki nalejesz wody, zacznie wyciekać strużkami. Ściśnij strużki palcami. Następnie spróbuj je rozdzielić.



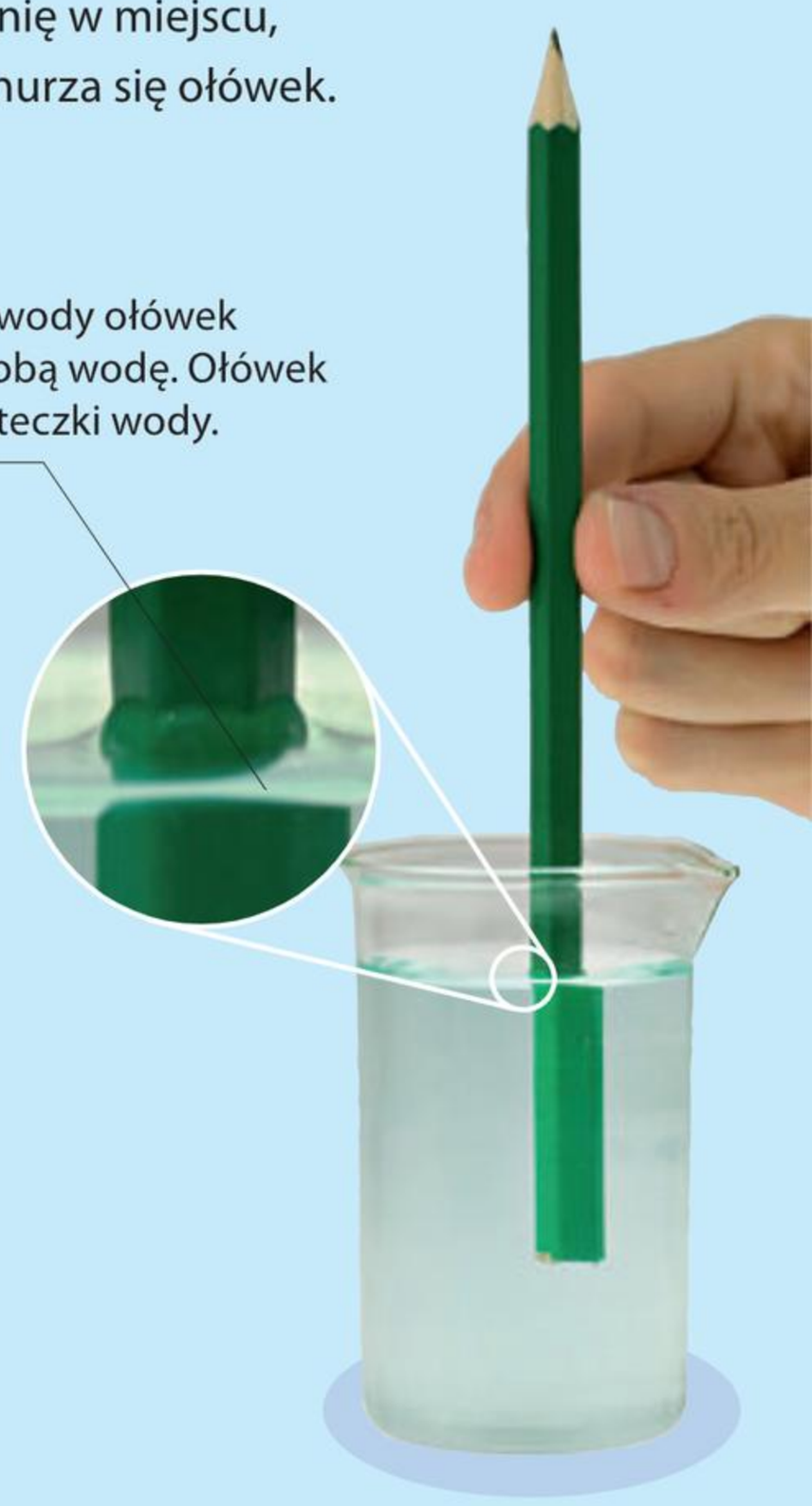
Woda z butelki wypływa czterema strużkami. Gdy ściśniesz palcami strużki, złączą się ze sobą.

B Nalej wody do szklanego naczynia, a potem ją wylej. Czy cała woda została wylana?



Na ściankach pozostają pojedyncze krople wody.

C Do naczynia z wodą włóż pionowo ołówek niezatemperowanym końcem. Powoli wyjmuj go z wody, obserwując jej powierzchnię w miejscu, z którego wynurza się ołówek.



Wyjmowany z wody ołówek „podnosi" za sobą wodę. Ołówek przyciąga cząsteczki wody.

Łączenie się strużek wody (w doświadczeniu 13A) świadczy o wzajemnym przyciąganiu się cząsteczek wody. Przyciąganie cząsteczek jest tym większe, im odległość między nimi jest mniejsza. Jeśli z kolei przesuniesz palcami wzdłuż strużek, rozdzielą się i będą wypływały – tak jak na początku – oddzielnymi strugami, ponieważ odległości między cząsteczkami wody się zwiększyły. Pozostawanie kropel na ściankach naczynia po wylaniu wody (w doświadczeniu 13B) świadczy o tym, że cząsteczki szkła i wody również się przyciągają.
Z przeprowadzonych doświadczeń wynika, że cząsteczki, np. wody, szkła, lakieru na ołówku, wzajemnie ze sobą oddziałują. Takie oddziaływanie nazywa się **oddziaływaniem międzycząsteczkowym**.

Jeśli oddziałują ze sobą cząsteczki tej samej substancji (np. cząsteczki wody z cząsteczkami wody, cząsteczki szkła z cząsteczkami szkła), to siły działające między nimi nazywa się **siłami spójności**.
Jeśli oddziałują ze sobą cząsteczki różnych substancji (np. cząsteczki wody z cząsteczkami szkła), to działające siły nazywane są **siłami przylegania**.

Siły spójności i przylegania działają, gdy odległości między cząsteczkami są niewielkie.
Szczególne właściwości mają substancje zwane **klejami**. Ich duża przyczepność do powierzchni ciał stałych spowodowana jest silnym oddziaływaniem cząsteczek kleju z cząsteczkami ciał stałych. Dodatkowo kleje odznaczają się dużymi siłami spójności swoich cząsteczek, dzięki czemu trwale łączą różne materiały i równocześnie są odporne na rozerwanie.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Znajomość działania sił spójności i przylegania pozwala wyjaśnić różne zjawiska, które możemy zaobserwować w przyrodzie. Na przykład pióra ptactwa wodnego są pokryte warstwą tłuszczu, który zmniejsza siły przylegania wody. Dzięki temu krople spływają po powierzchni, a pióra nie nasiąkają wodą. Siły spójności działające między cząsteczkami wody są większe niż siły przylegania występujące między cząsteczkami wody a cząsteczkami tłuszczu.

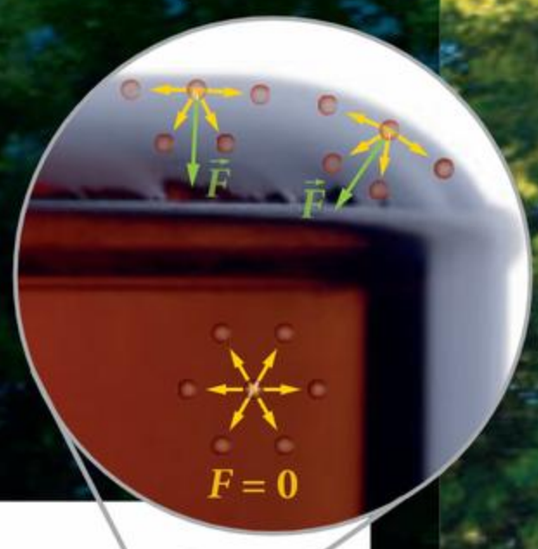


Napięcie powierzchniowe

Skutkiem działania sił spójności jest występowanie napięcia powierzchniowego. Sprawia ono, że powierzchnia wody wydaje się pokryta cienką sprężystą błoną.

To właśnie dzięki napięciu powierzchniowemu można nalać „z górką” herbaty do szklanki, kropla wody przyjmuje kulisty kształt, a niewielkie, lekkie ciała mogą unosić się na powierzchni wody, nawet jeśli ich gęstość jest większa od gęstości wody.

Na każdą cząsteczkę znajdującą się wewnątrz cieczy działają siły będące wynikiem oddziaływań międzycząsteczkowych. Wypadkowa tych sił jest równa zeru.
Na cząsteczki znajdujące się tuż przy powierzchni działają siły jedynie od strony cieczy. Pojawia się zatem wypadkowa siła, która utrudnia oderwanie się cząsteczki – warstwa powierzchniowa działa jak napięta błona i wytwarza napięcie powierzchniowe.









Niektóre owady, np. nartnik, wykorzystują napięcie powierzchniowe do poruszania się po powierzchni wody.



Napięcie powierzchniowe wody można zmniejszyć, dodając do niej detergent. Dzięki temu cząsteczki wody łatwiej wnikają w niewielkie szczeliny lub między włókna tkanin. Detergent sprawia również, że „powłoka” wody staje się bardziej rozciągliwa i można np. puszczać bańki mydlane.

Menisk

R

Kolejnym skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych jest występowanie menisku, czyli zakrzywienie powierzchni cieczy przy ściance naczynia.

Rodzaj menisku zależy od relacji między siłami spójności i siłami przylegania:

- jeśli siły spójności między cząsteczkami cieczy są większe niż siły przylegania między cząsteczkami cieczy i ściankami naczynia, powstanie **menisk wypukły** (zdjęcie A),
- jeśli siły przylegania między cząsteczkami cieczy i ściankami naczynia są większe niż siły spójności między cząsteczkami cieczy, powstanie **menisk wklęsły** (zdjęcie B).



Siły przylegania sprawiają, że ciecz „wspina się" po ściankach naczynia (zdjęcie C). W wąskich rurkach, tzw. kapilarach, poziom cieczy może się znacznie podnosić i jest on tym wyższy, im mniejszy jest przekrój kapilary (zdjęcie D). Zjawisko podnoszenia się poziomu cieczy w wąskich naczyniach nosi nazwę **włoskowatości**.







Włoskowatość występuje powszechnie w przyrodzie – rośliny wykorzystują ją do transportu wody w korzeniach i łodygach. Zjawisko to powoduje również, że woda wnika w bardzo cienkie szczeliny i porowate struktury, np. w mury i fundamenty domów.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Siły spójności** odpowiadają za wzajemne przyciąganie się cząsteczek tej samej substancji.
- **Siły przylegania** powodują wzajemne przyciąganie się cząsteczek różnych substancji.
- **Napięcie powierzchniowe** to zjawisko powstawania cienkiej „błony” na powierzchni cieczy.
- Tworzenie się kropli wody jest skutkiem występowania napięcia powierzchniowego, będącego rezultatem działania sił spójności.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Do podanych pojęć związanych z oddziaływaniami międzycząsteczkowymi (A–C) dopasuj definicje (I–III).

A. siły spójności **B.** siły przylegania **C.** napięcie powierzchniowe

I. wzajemne przyciąganie się cząsteczek tej samej substancji

II. zjawisko powstawania cienkiej „błony” na powierzchni cieczy

III. wzajemne przyciąganie się cząsteczek różnych substancji

2. W jaki sposób można zmniejszyć napięcie powierzchniowe wody?

3. Dlaczego mokre ubranie trudniej zdjąć niż suche?

4. Oceń prawdziwość zdań. Zdecyduj, czy w miejsce [?] wstawić P – zdanie prawdziwe, czy F – zdanie fałszywe.

A. Jeżeli klej biurowy między arkuszami brystolu nie wyschnie, można łatwo te arkusze rozdzielić, ponieważ siły spójności cząsteczek mokrego kleju są większe niż siły przylegania kleju do brystolu. [?]

B. Siły przylegania cząsteczek farby do sufitu są większe niż siła, z jaką Ziemia przyciąga te cząsteczki. [?]

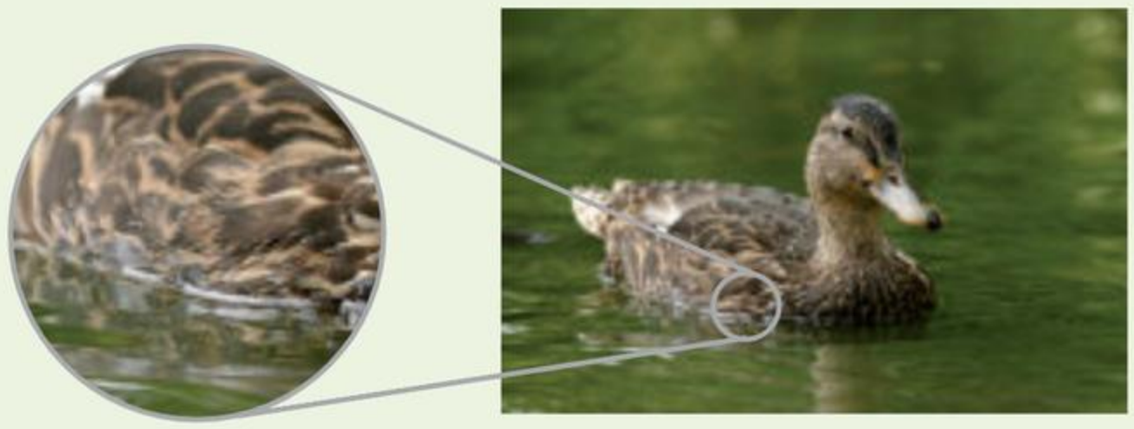
C. Malutkie kropelki wody powstałe ze skroplonej pary wodnej na spodniej stronie poziomej szyby nie spadają, ponieważ siły spójności cząsteczek w kropli wody są dużo większe niż siły przylegania takiej kropli do szyby. [?]

D. Siły spójności cząsteczek szkła są większe niż siły spójności cząsteczek wody. [?]

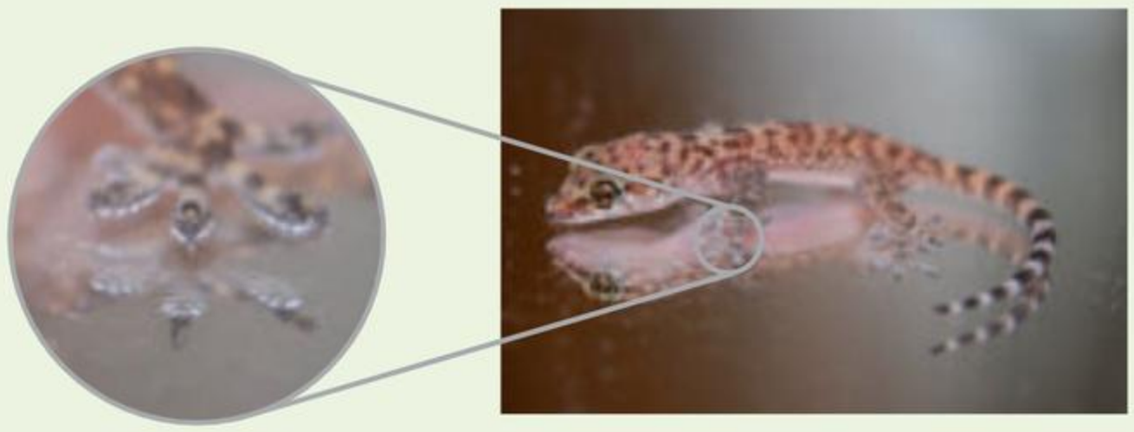
5 Napisz w zeszycie, jakie zjawiska związane z oddziaływaniem między cząsteczkami wykorzystują zwierzęta przedstawione na zdjęciach poniżej. Użyj podanych w ramce słów i pojęć.

małe • duże • siły spójności • między • siły przylegania • napięcie powierzchniowe

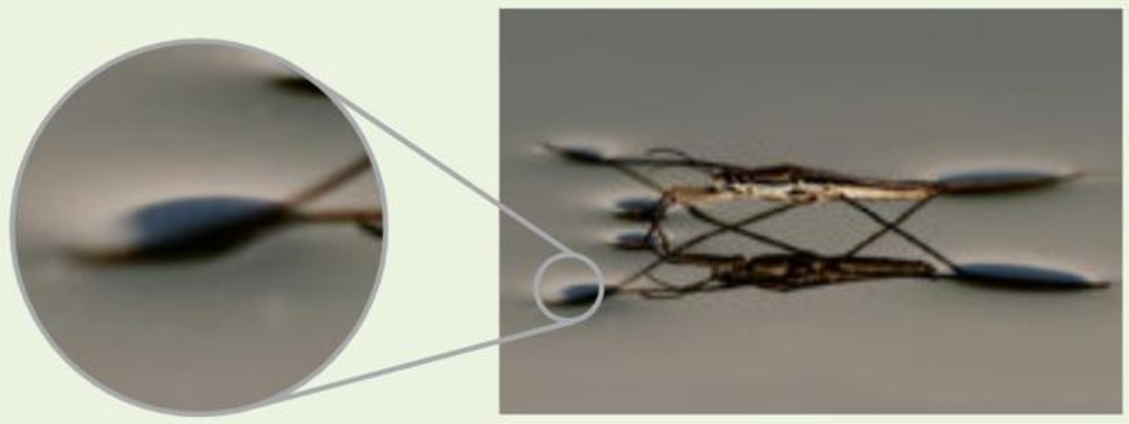
A. Pióra kaczki są pokryte tłuszczem, dlatego woda nie dostaje się pomiędzy nie, ale spływa po ich powierzchni.



B. Gekony cechuje umiejętność wspinania się po pionowych, gładkich powierzchniach.



C. Dzięki nietypowym odnóżom, które pokryte są specjalnymi włoskami, nartnik potrafi nie tylko utrzymać się na powierzchni wody, lecz także po niej biegać.



6 W jednej ze scen w filmie *Mrówka Z* tytułowy bohater zostaje uwięziony w kropli wody i nie może się z niej wydostać. Oceń, czy jest to tylko fikcja filmowa, czy owady rzeczywiście w takiej sytuacji znalazłyby się w niebezpieczeństwie. Uzasadnij odpowiedź.



9 Badanie napięcia powierzchniowego

Cel lekcji: Przyjrzysz się dokładniej zjawisku napięcia powierzchniowego – zbadasz, od czego ono zależy.

Napięcie powierzchniowe a siły spójności

Z poprzedniej lekcji wiesz już, że występowanie napięcia powierzchniowego jest skutkiem działania sił spójności. Spróbujmy dokładniej przyjrzeć się zjawisku napięcia powierzchniowego. Wykonaj kilka doświadczeń.

DOŚWIADCZENIE 14

1. Przygotuj: kawałek drutu, nitkę, szpilkę, naczynie z wodą i mydło lub detergent.
2. Z drutu uformuj pętlę z uchwytem.
3. Do pętli przywiąż nitkę w taki sposób, aby lekko zwisała wewnątrz pętli (patrz zdjęcie A).
4. Dodaj trochę mydła lub detergentu do naczynia z wodą i zamieszaj.
5. Zanurz pętlę w naczyniu z mydlinami i wyjmij ją. Wewnątrz pętli powinna być widoczna rozpięta błona (patrz zdjęcie B).

   Wskazówka. Jeśli błona nie utrzymuje się na pętli, dodaj do wody więcej mydła lub detergentu.

6. Przebij szpilką błonę po jednej stronie nitki (zdjęcie C). Co stało się z nitką?

A.



B.



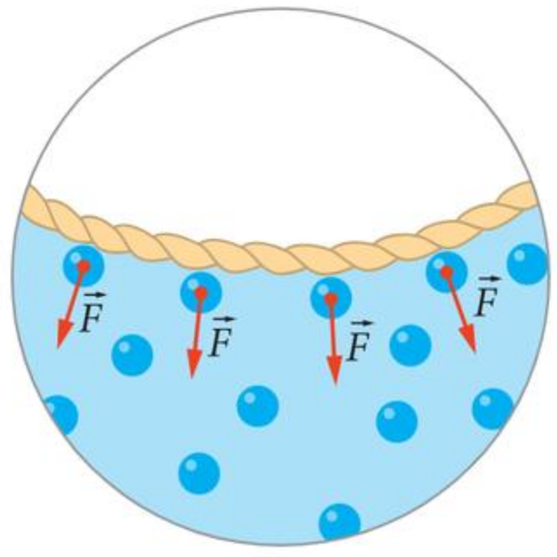
C.



Po przebiciu błony po jednej stronie pętli nitka się naprężyła.

Dlaczego w doświadczeniu 14 po przebiciu błony nitka się naprężyła i o czym to świadczy? Jak pamiętasz z poprzedniej lekcji, na każdą cząsteczkę cieczy działają siły spójności wynikające z oddziaływania z innymi cząsteczkami.

Wewnątrz cieczy siły spójności równoważą się, ale na cząsteczki przy powierzchni cieczy siły te nie działają z każdej strony. W związku z tym na cząsteczki przy powierzchni działa pewna siła wypadkowa różna od zera. Doświadczenie 14. ilustruje podobną sytuację. Na cząsteczki przylegające do nitki działają niezrównoważone siły spójności będące skutkiem oddziaływań z cząsteczkami wewnątrz błony. Cząsteczki te ciągną przylegającą do nich nitkę, powodując jej naprężenie.



Naprężenie nitki jest skutkiem napięcia powierzchniowego i działania sił przylegania.

Jak zmniejszyć napięcie powierzchniowe

Napięcie powierzchniowe zależy od różnych czynników. Sprawdźmy, jaki wpływ na napięcie powierzchniowe wody ma dodanie do niej detergentu.

DOŚWIADCZENIE 15

1. Przygotuj: małą miseczkę z wodą, dużą miskę lub głęboki talerz z wodą, igłę do szycia, wykałaczkę, pensetę i detergent, np. płyn do mycia naczyń.
2. Chwyć pensetą suchą igłę i ostrożnie połóż ją poziomo na powierzchni wody.
3. Następnie za pomocą strzykawki dodaj obok igły trochę detergentu. Co się stało?
4. Połóż wykałaczkę na powierzchni wody w dużej misce.
5. Dodaj kroplę detergentu za pomocą strzykawki w pobliżu jednego końca wykałaczki. Co obserwujesz?

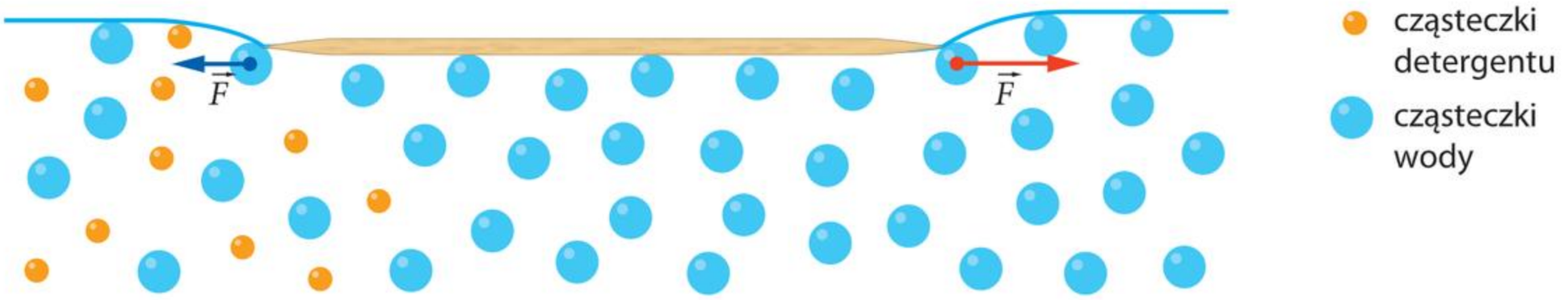


Metalowa igła początkowo utrzymuje się na powierzchni. Po dodaniu detergentu – tonie.



W pierwszej części doświadczenia widzimy, że przedmiot wykonany z metalu, czyli substancji, która zwykle tonie w wodzie, utrzymuje się na jej powierzchni. Dzieje się tak dlatego, że siły spójności przy powierzchni wody powodują, że jej powierzchnia zachowuje się jak napięta błona i utrzymuje igłę na powierzchni.
W drugiej części doświadczenia po dolaniu detergentu igła zatonęła. Oznacza to, że siły spójności zmalały i nie były już w stanie podtrzymać stalowej igły. A więc **detergent** zmniejsza napięcie powierzchniowe wody.

Po wlaniu detergentu przy jednym końcu wykałaczki zaczyna ona płynąć w przeciwną stronę. Tam, gdzie dolano detergent, napięcie powierzchniowe się zmniejszyło, czyli zmniejszyły się siły spójności między cząsteczkami cieczy. Z tej strony, gdzie nie było detergentu, siły spójności pozostały duże i w tę stronę cząsteczki wody „pociągnęły" przylegającą do nich wykałaczkę.



Schemat przebiegu drugiej części doświadczenia 15 (str. 57).

Na co dzień z napięciem powierzchniowym mamy do czynienia podczas mycia i prania. Brud, który chcemy usunąć, sklejony jest tłuszczem. Dodanie do wody detergentu sprawia, że maleje spójność cząsteczek wody. Równocześnie cząsteczki wody łatwiej przylegają do tłuszczu. Cząsteczki wody oblepiają grudki tłuszczu w tkaninie lub na naszej skórze i w ten sposób oddzielają je od podłoża.

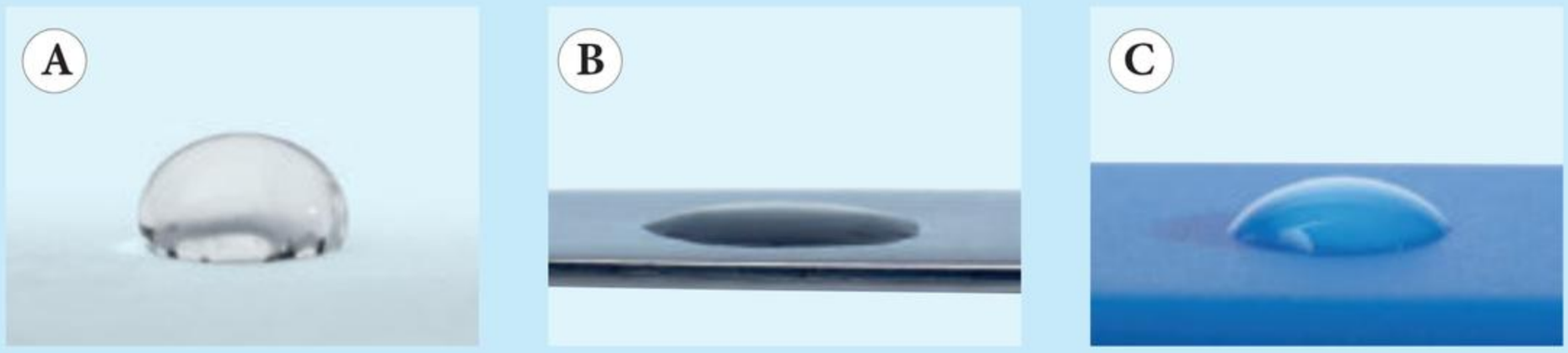
Napięcie powierzchniowe można zmniejszyć również **przez podgrzanie wody**, dlatego pranie w ciepłej wodzie z detergentem daje lepsze rezultaty.

Od czego zależy kształt kropli

Aby przekonać się od czego zależy kształt kropli, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 16

1. Przygotuj: świeczkę, wodę, kartkę, nóż stołowy, płaski kawałek plastiku (np. przykrywkę pudełka) i zakraplacz (pipetę) lub wykałaczkę.
2. Mocno natrzyj kartkę świeczką.
3. Połóż obok siebie na stole nawoskowaną kartkę, nóż i plastikową płytkę.
4. Zakraplaczem lub wykałaczką nanieś po kropli wody podobnej wielkości na każdy z przedmiotów.
5. Przyjrzyj się dokładnie, jaki kształt ma kropla wody na każdym z nich.



Doświadczenie 16 obrazuje relacje między siłami spójności i siłami przylegania.

Im większe są siły przylegania między cieczą a podłożem, tym kropla jest bardziej spłaszczona.

Na każdym podłożu kropla przyjmuje nieco inny kształt: na nawoskowanej kartce jest najbardziej zaokrąglona, a na stali najbardziej spłaszczona. Dzieje się tak dlatego, że siły przylegania między wodą a każdym rodzajem podłoża są inne.

CIEKAWOSTKA

Siły przylegania między wodą a ciałem mrówki są niewielkie w porównaniu do sił spójności wody i dlatego krople przyjmują kształt kulisty.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Siły spójności** działające na cząsteczki **wewnątrz cieczy się równoważą**.
- Siły spójności działające na cząsteczki **przy powierzchni cieczy nie równoważą się**, dlatego powierzchnia cieczy zachowuje się jak naprężona błona.
- Im większe są siły przylegania między cieczą a podłożem, tym kropla jest bardziej spłaszczona.

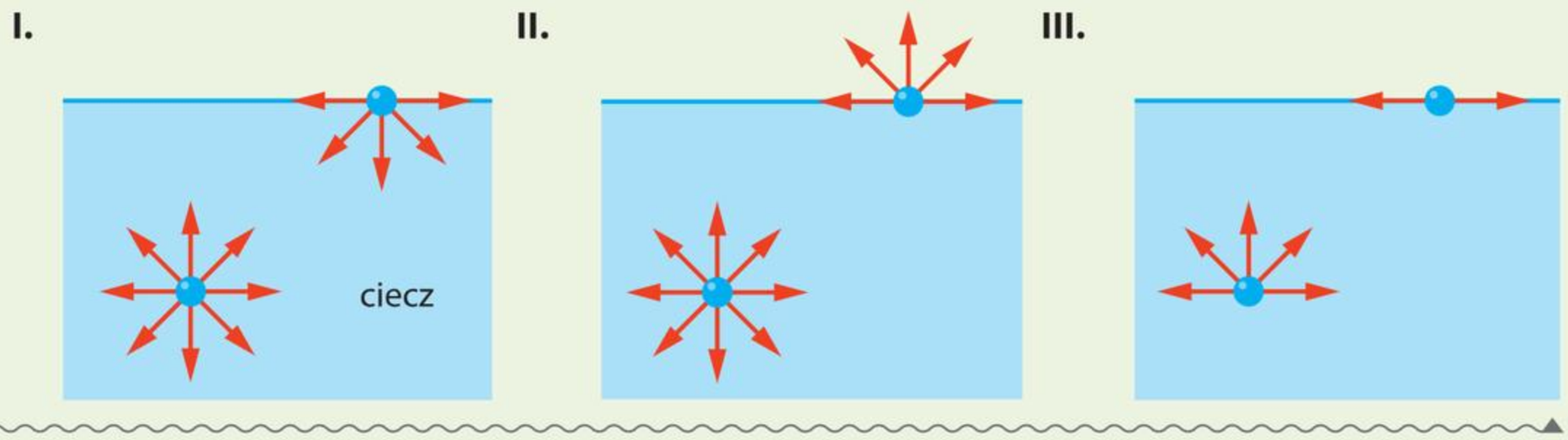
Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Występowanie napięcia powierzchniowego jest związane z działaniem sił **A/ B** na cząsteczki znajdujące się na powierzchni cieczy. W przeciwieństwie do sił działających na cząsteczki wewnątrz cieczy siły te **C/ D**, a ich wypadkowa jest **E/ F/ G**. Schematycznie jest to najlepiej przedstawione na rysunku **I/ II/ III**.

A. spójności **B.** przylegania **C.** równoważą się **D.** nie równoważą się
E. równa zero **F.** skierowana do wnętrza cieczy **G.** skierowana na zewnątrz



2 W którym przypadku siły przylegania między cząsteczkami wody a podłożem są największe, a w którym – najmniejsze? Uzasadnij swój wybór.







3 Wśród przedstawionych na zdjęciach sytuacji wskaż te, w których napięcie powierzchniowe cieczy powinno być duże, oraz te, w których powinno być jak najmniejsze. Krótko uzasadnij swój wybór.



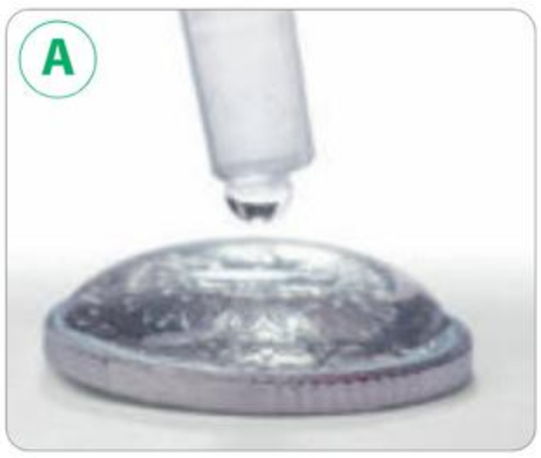


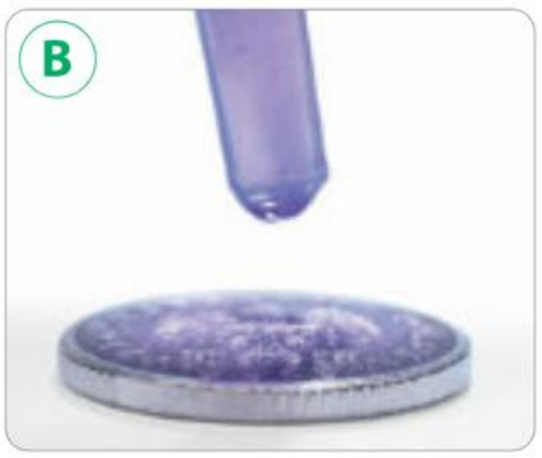


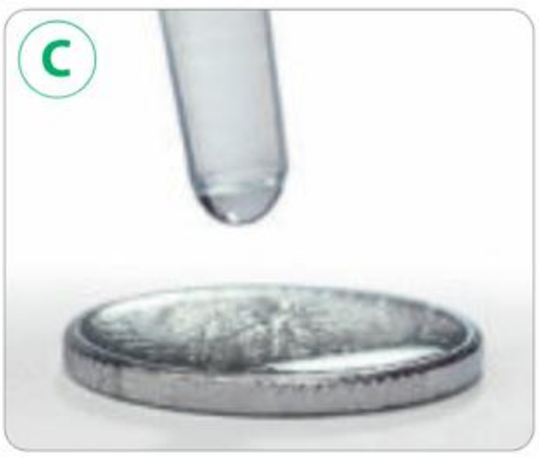
4 Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 17

1. Przygotuj: trzy czyste, suche monety 10-groszowe, strzykawkę, talerzyk, płyn do mycia naczyń i denaturat lub spirytus.
2. Ułóż monety na talerzyku. Następnie nabierz do strzykawki trochę wody i delikatnie nakładaj po jednej kropli na każdą z monet, celując dokładnie w jej środek, ale strzykawkę trzymaj tuż nad monetą (zdjęcie A). Ważne, aby powierzchnia stołu i talerzyka były równe, aby krople nie spływały z monet i gromadziły się na ich środku.
3. Policz i zapisz w zeszycie liczbę kropli, jaką maksymalnie udało ci się umieścić na każdej z monet, zanim ciecz się przelała.
4. Następnie wytrzyj do sucha talerzyk i monety.
5. Powtórz całe doświadczenie, używając denaturatu, a następnie roztworu wody z płynem do mycia naczyń (zdjęcia B, C).
6. Porównaj wyniki i wyjaśnij rezultaty doświadczenia.







10 Stany skupienia. Właściwości ciał stałych, cieczy i gazów

Cel lekcji: Poznasz stany skupienia substancji oraz właściwości fizyczne ciał stałych, cieczy i gazów. Dowiesz się, jakie są różnice w mikroskopowej budowie gazów, cieczy i ciał stałych.

Trzy stany skupienia substancji

Rozejrzyj się wokół siebie. Otaczają cię różne przedmioty, czyli ciała fizyczne, które są zbudowane z różnych substancji. Mają one pewne cechy wspólne, które pozwalają podzielić je na trzy różne grupy. Ciała takie jak drut, talerz, kreda czy gąbka to tzw. **ciała stałe**. Woda, denaturat czy mleko to **ciecze**. Otaczające cię powietrze to **gaz**. Można powiedzieć, że:

Ciało fizyczne zbudowane z danej substancji znajduje się w jednym z trzech stanów skupienia:
- **stanie stałym**,
- **stanie ciekłym**,
- **stanie gazowym** (lotnym).

W określonych warunkach ta sama substancja może równocześnie występować w dwóch lub trzech stanach skupienia. O zmianach stanów skupienia substancji więcej dowiesz się w dalszej części podręcznika w dziale „Termodynamika".

Właściwości ciał stałych

W każdym stanie skupienia substancje mają inne właściwości. Spróbujmy na początek przyjrzeć się bliżej właściwościom ciał stałych.

DOŚWIADCZENIE 18

1. Przygotuj: kawałek drutu miedzianego, stalowy gwóźdź, kredę, gąbkę, plastelinę i drewniany klocek.
2. Spróbuj każdy z tych przedmiotów zgnieść albo złamać.
3. Weź gwóźdź i jego ostrym końcem zarysuj ich powierzchnie.
4. Spróbuj określić cechy wspólne wszystkich przedmiotów i różnice między nimi.



Wykonując doświadczenie, od razu widzimy, że wszystkie ciała stałe mają określony **kształt** i określoną **objętość**. Dzieje się tak dlatego, że cząsteczki, z których zbudowane są ciała stałe, są położone bardzo blisko siebie, bardzo mocno ze sobą oddziałują i w związku z tym ich wzajemne położenie jest ustalone.

R

Twardość minerałów

Twardość ciał stałych określa się według 10-stopniowej skali nazwanej skalą **Friedricha Mohsa** (czyt. fridricha mosa, 1773–1839), np. numer 1 – talk, jest bardzo miękki, numer 10 – diament, jest bardzo twardy.

Każdy minerał może zarysować minerał poprzedzający go na skali twardości – czyli bardziej miękki od niego – i być porysowany przez następujący po nim – twardszy. Poniżej przedstawiono przykłady minerałów o różnych twardościach.



twardość **1** talk



twardość **2** gips krystaliczny



twardość **3** perła



twardość **4** fluoryt



twardość **5** apatyt



twardość **6** hematyt



twardość **7** kwarc



twardość **8** szmaragd



twardość **9** rubin

twardość **10** diament



Na podstawie doświadczenia 18 możesz również stwierdzić, że każdy z przedmiotów inaczej reaguje na zgniatanie, próbę zarysowania powierzchni czy złamania. Plastelina i drut po zgnieceniu czy wygięciu mają nowy trwały kształt, czyli są plastyczne. Gąbka pod wpływem siły zmienia kształt, ale po ustaniu nacisku powraca do pierwotnej postaci, czyli jej odkształcenie jest nietrwałe. O takich ciałach mówimy, że są sprężyste. Kreda pod wpływem działania siły rozpada się na drobne kawałki. O tego rodzaju ciałach mówimy, że są kruche.
Odporność powierzchni ciała na zarysowania i wgniecenia nazywamy twardością. Twardość ciał określa się, porównując twardość jednego materiału względem drugiego, np. przez zarysowanie powierzchni danego ciała przedmiotem wykonanym z innego materiału (patrz infografika na str. 62).

Badanie właściwości (nie tylko mechanicznych) różnych substancji ma bardzo duże znaczenie w życiu codziennym. Wytwarzając przedmioty, dobiera się materiały w taki sposób, aby jak najlepiej spełniały swoją funkcję w określonych warunkach. Przykładowo powierzchnie ekranów telefonów komórkowych często produkuje się z odpowiednio utwardzanego szkła, aby nie rysowały się w trakcie codziennego użytkowania, a obudowy telefonów wykonuje się z plastiku, który nie pęknie po upadku na podłogę z wysokości np. 1,5 m. Dla porównania – w przypadku monitorów komputerowych nie ma potrzeby stosowania tak odpornych materiałów.

Ciała stałe mają określony kształt i określoną objętość. Kształt niektórych ciał stałych można łatwo zmienić.

Właściwości cieczy

Czym się różnią właściwości cieczy od właściwości ciał stałych, a w czym są podobne? Przeprowadź doświadczenie, by się o tym przekonać.

DOŚWIADCZENIE 19

Przygotuj: kilka naczyń o różnym kształcie, np. szklankę, kieliszek i miseczkę, oraz strzykawkę.

A
1. Do najmniejszego naczynia nalej wodę.
2. Następnie przelej ją do drugiego i trzeciego naczynia. Co możesz powiedzieć o kształcie i objętości wody w poszczególnych naczyniach?
3. Naczynie z wodą przechyl nieco w lewo, a potem w prawo. Obserwuj powierzchnię wody. Co zauważasz?



Niezależnie od ułożenia naczynia powierzchnia wody jest pozioma.

B

1. Napełnij strzykawkę do połowy wodą.
2. Zatkaj wylot strzykawki i spróbuj ścisnąć wodę, dociskając tłoczek. Czy łatwo to zrobić?



Po zatkaniu palcem wylotu strzykawki bardzo trudno jest ścisnąć ciecz przez przesunięcie tłoka.

Właściwość cieczy, którą obserwowaliśmy w doświadczeniu 19, znasz z życia codziennego – ciecze **można przelewać**. Kształt wody za każdym razem zależał od kształtu naczynia, w którym się znajdowała, przy czym w każdym naczyniu było jej tyle samo, a **ściśnięcie** wody wewnątrz strzykawki było **bardzo trudne**. Dzieje się tak dlatego, że cząsteczki cieczy są położone blisko siebie, ale oddziaływania między nimi nie są już tak duże jak w ciałach stałych i cząsteczki te mogą się przemieszczać względem siebie.

Ciecze mają swoją objętość, ale nie mają swojego kształtu – przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują. Są mało ściśliwe.

Kolejną cechą cieczy, którą można było zaobserwować w doświadczeniu, było to, że powierzchnia cieczy była pozioma niezależnie od ułożenia naczynia. Ciecz tworzy samorzutnie swoją górną powierzchnię, która nazywa się **powierzchnią swobodną**.



Ciecze w naczyniach o różnych kształtach.

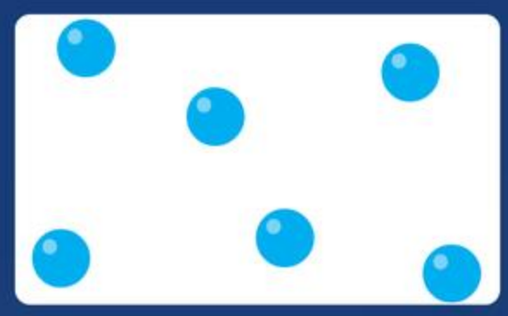
CIEKAWOSTKA



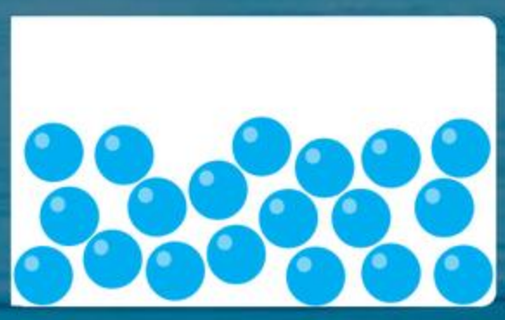
Nurkowie oddychają pod wodą, korzystając ze specjalnych stalowych butli wypełnionych sprężonym powietrzem. To samo powietrze, ale rozprężone, czyli takie, jakim oddychamy, zajęłoby około 150 butli o takiej samej pojemności.

Stany skupienia

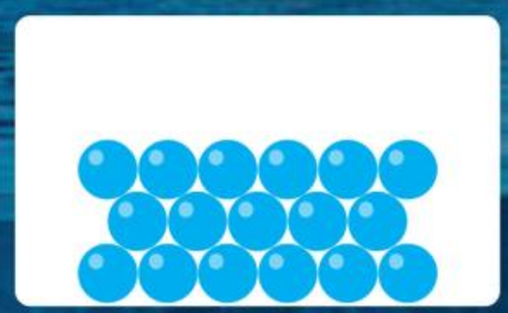
Substancje występują w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.
W każdym z nich cząsteczki zachowują się w inny sposób, który zależy od oddziaływań między nimi.



Gazy
Cząsteczki są w dużym oddaleniu, mogą się swobodnie przemieszczać.



Ciecze
Cząsteczki są blisko siebie, ale mogą się przemieszczać względem siebie.



Ciała stałe
Cząsteczki położone bardzo blisko siebie, nie mogą się przemieszczać względem siebie.

Właściwości gazów

O ciałach będących gazami mówi się również, że są ciałami w **stanie lotnym**. Czy gazy mają właściwości podobne do cieczy czy do ciał stałych? A może całkiem inne? Aby to sprawdzić, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 20

1. Przygotuj strzykawkę.
2. Przesuń tłoczek do połowy strzykawki.
3. Zatkaj palcem wylot, wciśnij tłok a następnie go odciągnij. Co obserwujesz?



Tłoczek strzykawki daje się przesuwać w obie strony. Łatwo jest więc zmienić objętość powietrza w strzykawce. Wyniki eksperymentu pokazują, że:

Gazy są ściśliwe i rozprężliwe, nie mają swojego kształtu ani określonej objętości i samorzutnie wypełniają dostępną przestrzeń.

Dzieje się tak dlatego, że w gazach cząsteczki znajdują się w dużym oddaleniu od siebie, a oddziaływania międzycząsteczkowe są bardzo słabe.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ciała stałe** mają określony kształt, bo odległości między cząsteczkami są małe, a siły przyciągające – duże. Z tego powodu cząsteczki ciał stałych samoistnie nie przemieszczają się względem siebie.
- **Ciecze** nie mają określonego kształtu, przyjmują kształt naczynia, w którym się znajdują (dlatego, że odległości między cząsteczkami są większe, a siły przyciągania nie są tak duże jak w ciałach stałych). Cząsteczki cieczy mogą się przemieszczać względem siebie.
- **Gazy** nie mają określonego kształtu i zajmują całą dostępną im objętość (odległości między cząsteczkami są bardzo duże, a siły przyciągające – znikome).

Rozwiąż zadania

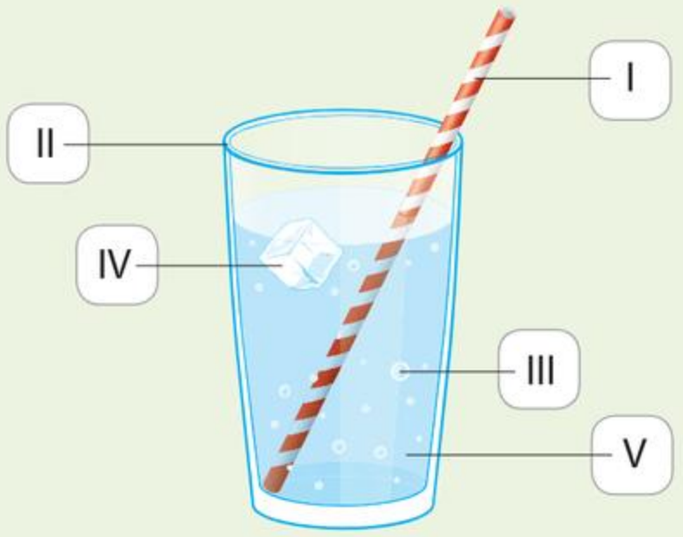
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Woda w całości wypełniająca litrową szklaną butelkę ma masę 1 kg. W tej samej pustej odkręconej butelce znajduje się powietrze o masie 1,3 g. Czy w tej samej butelce można zmieścić 1,5 kg wody? A czy można zmieścić 2 g powietrza? Uzasadnij odpowiedź.

2 Przyjrzyj się ilustracji, a następnie wykonaj polecenia.

a) Dopasuj do każdej cyfry rzymskiej nazwę substancji z ramki poniżej.

- *lód*
- *szkło*
- *plastik*
- *dwutlenek węgla*
- *woda*



b) Dopasuj do każdej z cyfr rzymskich w punkcie a) oznaczających określoną substancję literę z opisem właściwości z ramki poniżej.

Uwaga. Do każdej substancji można dopasować więcej niż jedno określenie. Nie wszystkie określenia muszą zostać wykorzystane.

A. ciało sprężyste

B. gaz

C. ciało kruche

D. ciecz

E. ciało stałe

F. substancja ściśliwa

G. tworzy powierzchnię swobodną

H. cząsteczki mogą się swobodnie przemieszczać

I. cząsteczki nie mogą się przemieszczać względem siebie

J. substancja nieściśliwa

K. cząsteczki znajdują się blisko siebie

L. cząsteczki praktycznie ze sobą nie oddziałują

M. cząsteczki znajdują się w znacznych odległościach

N. substancja plastyczna

O. cząsteczki silnie ze sobą oddziałują

P. cząsteczki oddziałują na tyle silnie, że substancja nie wypełnia całej dostępnej objętości, ale na tyle słabo, że nie ma ustalonego kształtu

I ? **II** ? **III** ? **IV** ? **V** ?

3 Wyjaśnij, co to jest powierzchnia swobodna cieczy.

4 Przeanalizuj infografikę o twardości różnych minerałów na str. 62.

Wynika z niej, że stal jest w stanie zarysować apatyt, natomiast nie zarysuje rubinu. Z kolei ostrą krawędzią kryształu kwarcu bez trudu zarysujemy zwykłe szkło.
Wskaż właściwe uzupełnienia zdań i przepisz je do zeszytu.

Narzędziem przedstawionym na zdjęciu A zarysujemy *gips/ diament/ fluoryt*.

Przedmiot na zdjęciu B na pewno można zarysować *szmaragdem/ diamentem/ fluorytem*.

A. 

B. 

11 Masa a siła ciężkości

Cel lekcji: Dowiesz się, czym jest masa, w jakich jednostkach może być wyrażana oraz jaka zależność zachodzi między siłą grawitacji a masą.

Masa i jej jednostka

Wyobraź sobie, że chcesz wprawić w ruch pusty wózek z supermarketu i podobny, ale wypełniony zakupami, lub zatrzymać te, które się już poruszają. W przypadku pustego wózka przyjdzie ci to z łatwością, ale przyspieszanie lub hamowanie „pełnego wózka" wymaga wysiłku. Mówimy, że wózek pełny ma większą bezwładność niż wózek pusty. Zwróć uwagę, że te same dwa wózki, popychane lub hamowane na stacji kosmicznej (gdzie – jak wielokrotnie widzieliśmy na filmach – panują warunki nieważkości), będą się pod względem bezwładności zachowywały podobnie jak na Ziemi. Możemy zatem powiedzieć, że bezwładność ciała jest niezależna od działającej na nie siły ciężkości. Przyjmujemy, że:

> Ciała o takiej samej bezwładności mają taką samą masę.

Za wzorzec jednostki masy przyjęto ciało o wybranej bezwładności – tak stworzono wzorzec kilograma (patrz str. 13). Na lekcjach z rozdziału „Dynamika" dowiesz się dokładnie, jak mierzy się bezwładność ciał, ale już teraz możemy stwierdzić, że bezwładność ciała bezpośrednio zależy od jego masy – inaczej mówiąc: bezwładność jednego ciała jest tyle razy większa od bezwładności drugiego ciała, ile razy masa pierwszego ciała jest większa od masy drugiego. Skoro został ustalony wzorzec jednostki masy w postaci ciała o określonej bezwładności, to możemy intuicyjnie posługiwać się pojęciem masy ciała jako wielokrotności masy wzorca.
W życiu codziennym pojęciem masy posługujemy się do określania ilości substancji. Masa jest wielkością liczbową, oznacza się ją symbolem *m*. Jej jednostką w układzie SI jest kilogram (1 kg). Inną popularną jednostką masy jest tona: 1 t = 1000 kg.

CIEKAWOSTKA

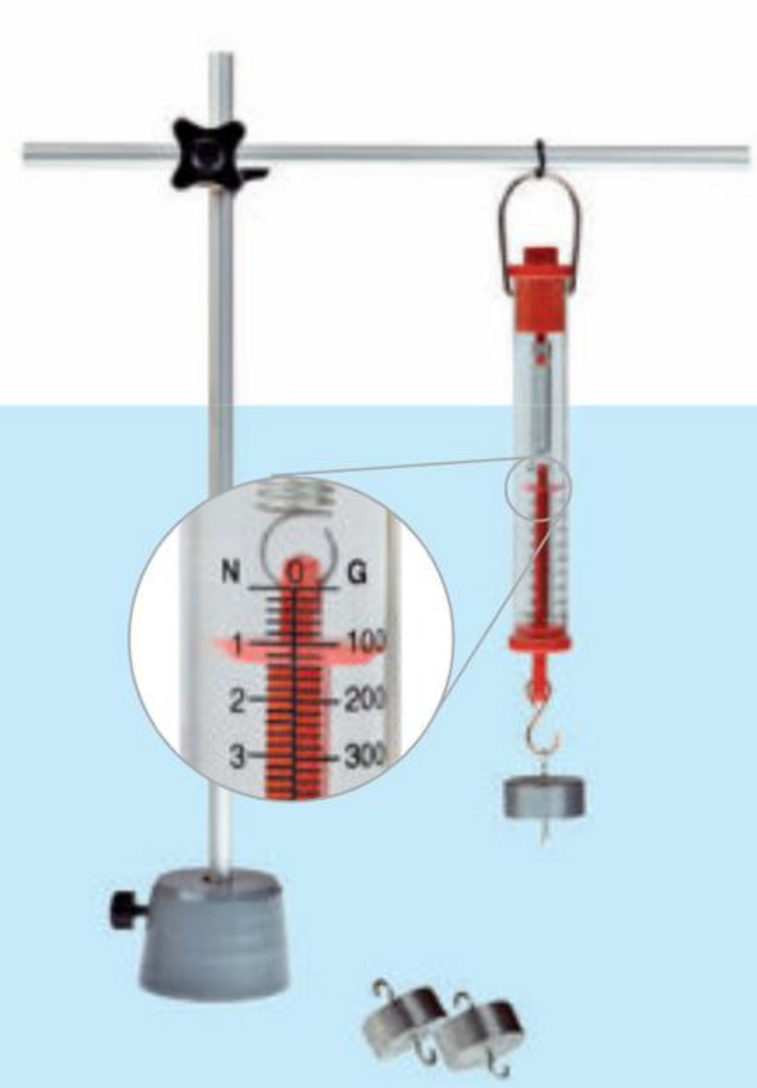
Masę ciała w niektórych krajach wyraża się w jednostkach innych niż kilogramy, takich jak uncja lub funt.
1 uncja = 28,35 g, 1 funt = 453,6 g = 0,4536 kg.
W jubilerstwie do określania masy kamieni szlachetnych stosuje się karaty. 1 karat = 0,2 g.
W dawnych czasach w Polsce i Europie nie używano kilograma jako jednostki masy. Popularne wówczas były inne jednostki, takie jak: łut, grzywna, kamień, cetnar. Na przykład: 1 łut = 17 g, 1 grzywna = 200 g, 1 kamień = 14 kg, 1 cetnar = 50 kg.



Pięciokaratowy rubin ma masę 1 g.

Masa a ciężar ciała

Na co dzień pojęć „masa" i „ciężar" często używamy zamiennie, choć w nauce mają zupełnie różne znaczenia. Wykonaj doświadczenie, by zrozumieć różnicę między tymi wielkościami.



DOŚWIADCZENIE 21

1. Przygotuj siłomierz i kilka jednakowych obciążników (możesz użyć np. dużych nakrętek do śrub).
2. Zawieś na siłomierzu jeden obciążnik i odczytaj wskazanie przyrządu.
3. Dowieszaj drugi, trzeci i kolejne obciążniki i dla każdej ich liczby odczytuj wskazania siłomierza.

W doświadczeniu można zauważyć, że zawieszenie każdego z kolejnych jednakowych obciążników, czyli o takiej samej masie, powodowało, że wskazania siłomierza zwiększały się o tę samą wartość. Mówimy, że ciężar wskazywany przez siłomierz zależał wprost proporcjonalnie od masy obciążników.

Jeśli dwie wielkości zależą od siebie w taki sposób, że zwiększenie (lub zmniejszenie) jednej kilkukrotnie powoduje, że druga wzrasta (maleje) tyle samo razy, to taką zależność nazywa się **wprost proporcjonalną**.

Wszystkie ciała mające masę przyciągają się, np. piłeczka i Ziemia, Ziemia i Księżyc, Słońce i Mars. Siła przyciągania między dwoma ciałami jest tym większa, im większe są ich masy. Zależy ona również od odległości między tymi ciałami (im większa odległość, tym słabiej się one przyciągają). Tę siłę nazywamy **siłą grawitacji** (ciężkości) i oznaczamy $\vec{F}_g$.

Ciężar ciała jest tylko w przybliżeniu równy **sile grawitacji** działającej między Ziemią a ciałem znajdującym się przy jej powierzchni, bo oprócz grawitacji na ważone ciało działa inna (niewielka) siła, która wynika z tego, że Ziemia się obraca. Szczegółowo o tej sile będziesz się uczyć w szkole ponadpodstawowej.

Jednostką ciężaru, podobnie jak każdej innej siły, jest niuton (1 N).

Określenia „siła grawitacji", „siła ciężkości" lub „ciężar" można stosować zamiennie.

Obliczanie siły ciężkości

W doświadczeniu 21 dokonaliśmy pomiaru siły grawitacji (siły ciężkości), z jaką Ziemia przyciąga obciążniki, a więc ich ciężaru. Wykazaliśmy również, że ciężar zależy wprost proporcjonalnie od masy.
Znając masę ciała, możesz obliczyć siłę ciężkości, korzystając ze wzoru:

siła ciężkości	= masa ·	współczynnik proporcjonalności g	$F_g = m \cdot g$

Symbol g oznacza stały współczynnik proporcjonalności, który wynosi w przybliżeniu 10 $\frac{N}{kg}$.
Współczynnik ten jest zwany przyspieszeniem ziemskim – z czego wynika ta nazwa, dowiesz się w rozdziale „Dynamika”.

Masa ciała jest wielkością liczbową, a ciężar – wielkością wektorową.

Jeśli oddalimy się od środka Ziemi, to nasz ciężar będzie mniejszy.



Masa m paralotniarza wraz z osprzętem jest wyrażana w kilogramach, natomiast ciężar F_g jest siłą, a więc jego wartość wyraża się w niutonach.

CIEKAWOSTKA



Ciężar ciała będzie inny na Ziemi, a inny na Księżycu. Dzieje się tak dlatego, że Księżyc ma mniejszą masę niż nasza planeta i w związku z tym słabiej przyciąga ciała, które się na nim znajdują. Masa człowieka na Ziemi i na Księżycu jest taka sama, ale jego ciężar na naszym satelicie jest około sześć razy mniejszy niż na Ziemi i dlatego można tam na przykład znacznie wyżej podskoczyć.

Waga i ważenie

Masę ciała wyznaczamy przy użyciu **wagi**. W rzeczywistości wagi mierzą siłę, z jaką Ziemia przyciąga dane ciało, czyli jego ciężar. W doświadczeniu 21 wykazaliśmy, że ciężar wskazywany przez siłomierz zależał wprost proporcjonalnie od masy obciążników. Skoro tak się dzieje, to wagę można od razu wyskalować w kilogramach. Zauważ, że niektóre siłomierze mają dwie skale – jedną w niutonach, a drugą w gramach lub kilogramach.



Wskazówki dotyczące rozwiązywania zadań

Podczas rozwiązywania zadania obliczeniowego:

- upewnij się, że rozumiesz sens wszystkich pojęć użytych w zadaniu,
- wypisz wszystkie wielkości fizyczne, których wartości są podane w zadaniu; zwyczajowo określa się je jako **dane**,
- jako **szukane** wypisz wielkości fizyczne, które należy obliczyć,
- jeśli przy rozwiązywaniu zadania pomocny byłby rysunek, to wykonaj go,
- wypisz związki między danymi i szukanymi występującymi w zadaniu (czyli odpowiednie wzory),
- jeśli potrzebujesz wartości jakichkolwiek stałych fizycznych, odczytaj je z odpowiednich tabel i dopisz do listy danych,
- wykonaj odpowiednie obliczenia i działania na jednostkach,
- napisz **odpowiedź**.

PRZYKŁAD 1

Obliczanie ciężaru

Oblicz ciężar arbuza o masie 7 kg.

Dane: **Szukane:**

$m = 7\ \text{kg}$ $F_g = ?$

$g = 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$



Rozwiązanie:

Należy skorzystać ze wzoru:

$$F_g = m \cdot g$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$F_g = 7\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 70\ \cancel{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\cancel{\text{kg}}} = 70\ \text{N}$$

Odpowiedź: Ciężar arbuza o masie 7 kg wynosi 70 N.

Na jednostkach należy wykonywać takie same działania jak na liczbach.

PRZYKŁAD 2

Obliczanie masy

Janek zawiesił na siłomierzu siatkę z zakupami. Przyrząd wskazał 35 N. Oblicz masę produktów kupionych przez chłopca.

Dane:
$F_g = 35\ \text{N}$
$g = 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$

Szukane:
$m = ?$

Rozwiązanie:

Aby obliczyć masę, wzór $F_g = m \cdot g$ należy obustronnie podzielić przez g:

$$\frac{F_g}{g} = \frac{mg}{g}, \text{ zatem } m = \frac{F_g}{g}$$

Podstawiamy dane liczbowe: $m = \frac{35\ \text{N}}{10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 3{,}5\ \frac{\cancel{\text{N}} \cdot \text{kg}}{\cancel{\text{N}}} = 3{,}5\ \text{kg}.$

Odpowiedź: Zakupy Janka mają masę 3,5 kg.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Masa** określa ilość substancji. Jednostką masy w układzie SI jest kilogram (1 kg).
- **Siła ciężkości** jest to siła, z jaką Ziemia (lub inne ciało niebieskie) przyciąga dane ciało. Ciężar w przybliżeniu jest równy sile ciężkości. Jednostką ciężaru jest niuton (1 N).
- Ciężar ciała na Ziemi można obliczyć ze wzoru: $F_g = m \cdot g$, gdzie m – masa ciała, g – współczynnik proporcjonalności, który przy powierzchni Ziemi wynosi w przybliżeniu $10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż zdania **fałszywe**. Następnie popraw je tak, aby były prawdziwe.

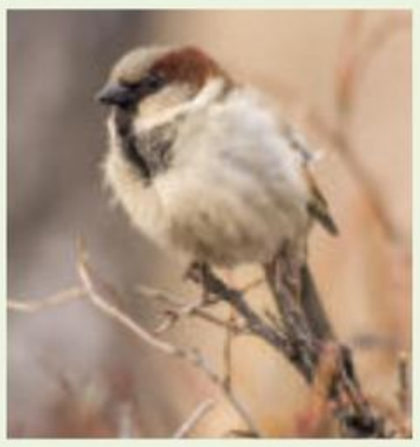
I. Podstawową jednostką ciężaru jest kilogram.
II. Jeśli masa ciała znajdującego się na powierzchni Ziemi zwiększy się dwukrotnie, to jego ciężar będzie dwukrotnie większy.
III. Worek pierza o masie 2 kg ma mniejszy ciężar niż butelka napoju o masie 2 kg.
IV. Jeżeli na dwa ciała o różnych rozmiarach, znajdujące się w tym samym miejscu, działają siły ciężkości o jednakowych wartościach, to masy tych ciał również są takie same.
V. Ciężar ciała możemy wyznaczyć, używając wagi szalkowej lub sprężynowej.

2 Wyraź w kilogramach:

a) 1200 g, **b)** 400 g, **c)** 150 dag, **d)** 5000 mg, **e)** 4 t.

3 **a)** Dopasuj jednostki z ramki do mas wymienionych zwierząt.






wieloryb – 50 [?] pszczoła – 100 [?] wróbel – 30 [?] kot – 3 [?]

t • kg • dag • g • mg

b) Dopasuj wartość ciężaru do danego zwierzęcia z podpunktu a).

wieloryb – [?] pszczoła – [?] wróbel – [?] kot – [?]

1 N • 30 N • 0,3 N • 1 mN • 500 kN

4 Na zdjęciach przedstawiono obiekty astronomiczne w tej samej skali. Przepisz poniższy tekst do zeszytu, wstawiając znaki >, < lub = w miejsce znaku zapytania.


Mars


Ziemia


Księżyc

A. masa torebki cukru na Ziemi [?] masa torebki cukru na Marsie

B. ciężar długopisu na Księżycu [?] ciężar długopisu na Ziemi

C. masa książki na Księżycu [?] masa książki na Ziemi

D. ciężar kamienia na Marsie [?] ciężar kamienia na Księżycu

5 Oblicz ciężar skrzynki jabłek o masie 10,4 kg.

6 Robert częściowo uzupełnił tabelę, w której wpisywał wyniki obliczonych mas przedmiotów, gdy podany był ich ciężar.

Przedmiot	Samochód osobowy	Plecak z książkami	Zeszyt	Rower	Kalkulator
Ciężar [N]	9000	50	1,8	160	0,8
Masa [kg]	900	5			

Zapisz w zeszycie, ile wynoszą masy: zeszytu, roweru oraz kalkulatora. Opisz sposób obliczania masy w kilogramach, gdy znany jest ciężar w niutonach.

12 Gęstość

Cel lekcji: Poznasz pojęcie gęstości i jej jednostkę. Nauczysz się przeliczać jednostki gęstości oraz rozwiązywać zadania z wykorzystaniem wzoru na gęstość.

Gęstość i jej jednostka

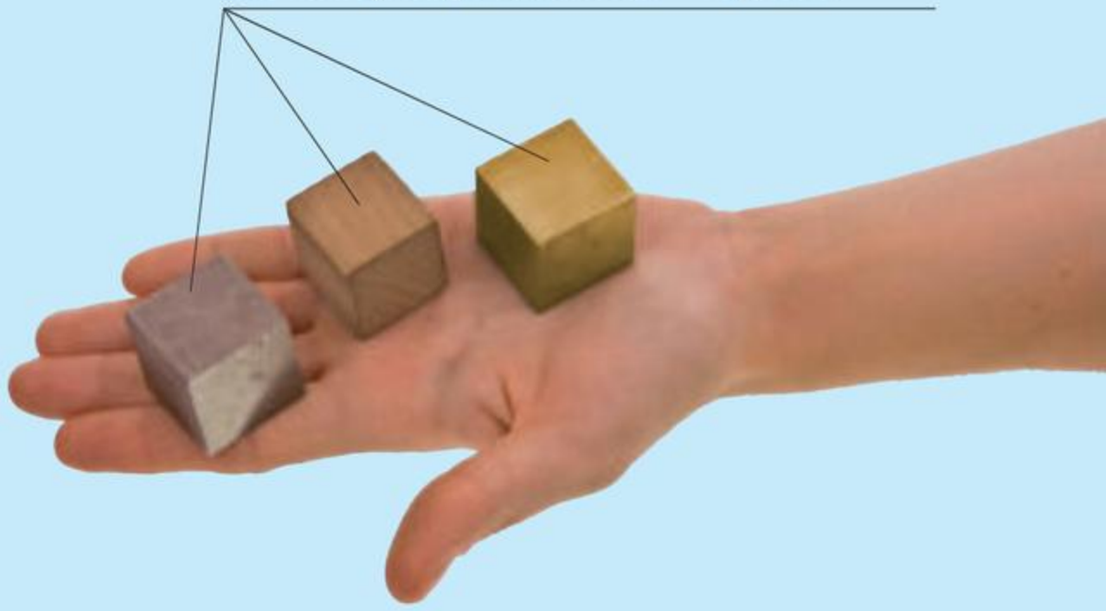
Ilość substancji można określić nie tylko za pomocą masy, lecz także objętości. Nie da się jednak stwierdzić, czy 2 m^3 drewna to więcej czy mniej niż 3 tony żelaza. Chociaż nie można porównywać ilości substancji określonych dwiema różnymi wielkościami, to jednak masa i objętość są ze sobą w pewien sposób związane. Aby przekonać się, na czym ten związek polega, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 22

A

1. Przygotuj jednakowej wielkości prostopadłościany, np. z żelaza, miedzi, aluminium, drewna.
2. Weź je do ręki. Czym się one różnią?

Mimo identycznych rozmiarów jedne klocki są lżejsze, a inne – cięższe.



B

1. Przygotuj stalowe nakrętki (lub śrubki) różnej wielkości, drewniane klocki oraz wagę szalkową lub elektroniczną.
2. Połóż na jednej szalce wagi drewniane klocki, a na drugiej tyle nakrętek, aby waga była zrównoważona. Jeśli masz wagę elektroniczną, zważ kilka drewnianych klocków. Następnie zdejmij klocki i połóż na wadze tyle nakrętek, aby ważyły tyle samo co klocki.
3. Porównaj objętość metalu z objętością, jaką zajmują klocki.









Masa stalowych nakrętek jest taka sama jak drewnianych klocków, jednak objętość klocków jest dużo większa.

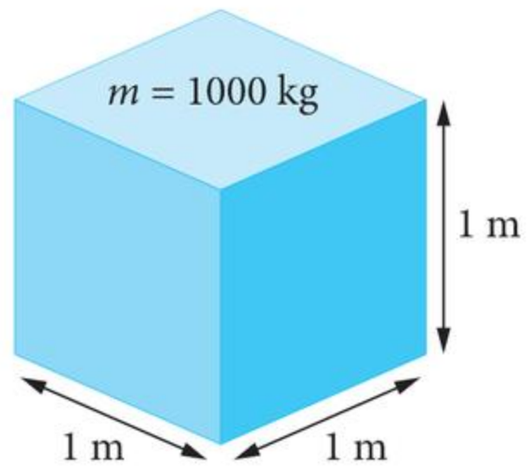
W doświadczeniu 22A wszystkie prostopadłościany mają jednakowy kształt. Ich objętości są takie same, masy zaś różne.
Z doświadczenia 22B wynika, że ciała zbudowane z różnych substancji mogą mieć tę samą masę, ale zajmować różne objętości. Oznacza to, że różne substancje mają różną gęstość.
Wielkość tę oznacza się literą ***d*** (od ang. *density* – gęstość).

Gęstość to liczbowa wielkość fizyczna charakterystyczna dla danej substancji, określająca masę tej substancji zawartą w jednostkowej objętości.

Możesz również spotkać się z oznaczeniem gęstości za pomocą greckiego symbolu ρ (czyt. ro).

$\text{gęstość} = \frac{\text{masa}}{\text{objętość}}$	$d = \frac{m}{V}$

Jednostką gęstości w układzie SI jest $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.
Co to znaczy, że gęstość substancji wynosi 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$?
Wyobraź sobie sześcian o wymiarach: 1 m × 1 m × 1 m, który ma masę równą 1000 kg. Jest on wykonany z materiału o gęstości 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



Gęstość takiego sześcianu to 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

PRZYKŁAD 1

Przeliczanie jednostek gęstości



Gęstość złota to 19,3 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Podaj tę wartość w $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Rozwiązanie:

Ponieważ 1 g = $\frac{1}{1000}$ kg, a 1 cm = $\frac{1}{100}$ m, możemy zapisać:

$$19{,}3\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 19{,}3 \cdot \frac{\frac{1}{1000}\,\text{kg}}{\left(\frac{1}{100}\,\text{m}\right)^3} = 19{,}3 \cdot \frac{\frac{1}{1000}\,\text{kg}}{\frac{1}{1\,000\,000}\,\text{m}^3} =$$

$$= 19{,}3 \cdot 1000\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 19\,300\,\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Odpowiedź: Gęstość 19,3 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ to inaczej 19 300 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Przykładowe gęstości różnych substancji umieszczone są w tabeli na str. 274. Porównaj zamieszczone tam gęstości substancji.

Gazy, które nie zostały specjalnie sprężone (np. w warunkach laboratoryjnych) mają małe gęstości. Ma to związek z ich budową cząsteczkową. Cząsteczki ciał stałych i cieczy znajdują się blisko siebie, a w gazach są od siebie bardzo oddalone. W związku z tym w gazach na daną objętość przypada znacznie mniej cząsteczek niż na taką samą objętość w cieczy i w ciele stałym.

PRZYKŁAD 2

Obliczanie gęstości

Z jakiego metalu wykonana jest bryła o masie 139,5 kg i objętości 50 dm^3?

Dane:
$m = 139{,}5\ kg$
$V = 50\ dm^3 = 0{,}05\ m^3$

Szukane:
$d = ?$

Rozwiązanie:
Aby obliczyć gęstość, korzystamy ze wzoru: $d = \frac{m}{V}$.

Podstawiamy dane liczbowe: $d = \frac{139{,}5\ kg}{0{,}05\ m^3} = 2790\ \frac{kg}{m^3}$.

Sprawdzamy w tabeli gęstości (str. 274), jaka substancja ma gęstość 2790 $\frac{kg}{m^3}$. Okazuje się, że taką gęstość ma duraluminium.

Odpowiedź: Bryła wykonana jest z duraluminium.

CIEKAWOSTKA



Średnia gęstość Słońca to tylko 1,41 $\frac{g}{cm^3}$, a więc jest nieco większa od gęstości wody (1 $\frac{g}{cm^3}$). Natomiast gęstość wnętrza Słońca sięga 160 $\frac{g}{cm^3}$. Na Ziemi spośród metali największą gęstość mają osm i iryd – około 22,5 $\frac{g}{cm^3}$.

TO NAJWAŻNIEJSZE

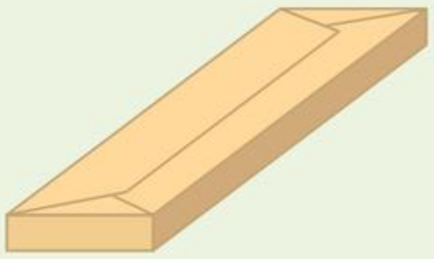
- **Gęstość** to wielkość fizyczna charakterystyczna dla danej substancji, określająca masę tej substancji zawartą w jednostkowej objętości.
- **Gęstość** obliczamy jako iloraz masy m danej substancji i jej objętości V: $d = \frac{m}{V}$.
- Jednostką gęstości w układzie SI jest 1 $\frac{kg}{m^3}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

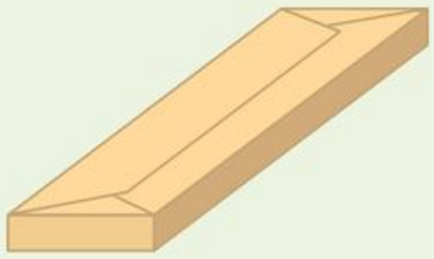
1 Gęstość drewna hebanowego wynosi 1,2 $\frac{g}{cm^3}$, sosnowego: 0,5 $\frac{g}{cm^3}$, a dębowego: 0,8 $\frac{g}{cm^3}$. Do poniższych paczek włożono deski o takich samych wymiarach z jednego z wymienionych rodzajów drewna. Dopasuj rodzaj drewna do paczek oznaczonych literami A–C.

A.



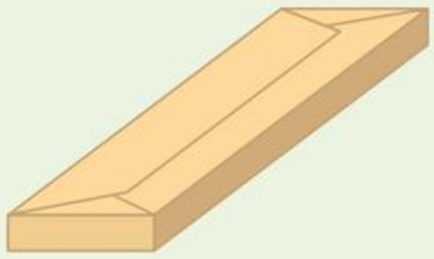
$m_1 = 0{,}64$ kg

B.



$m_2 = 0{,}4$ kg

C.



$m_3 = 0{,}96$ kg

Uwaga. Jeśli wymiary desek są takie same, to objętości również. Zatem iloraz masy i gęstości musi być taki sam.

2 Wszystkie kule mają identyczne masy. Jedna z nich została wykonana z ołowiu o gęstości 11 336 $\frac{kg}{m^3}$, druga z aluminium o gęstości 2700 $\frac{kg}{m^3}$, a trzecia z miedzi o gęstości 8960 $\frac{kg}{m^3}$.

Dopasuj nazwy metali do kul oznaczonych A–C. Uzasadnij odpowiedź.

A.



B.



C.



3 Zapisz w zeszycie podane wartości we wskazanych jednostkach.

a) 120 cm^3 w m^3

b) 25 m^3 w cm^3

c) 55 dm^3 w m^3

d) 22 500 $\frac{kg}{m^3}$ w $\frac{g}{cm^3}$

e) 5,6 $\frac{g}{cm^3}$ w $\frac{kg}{m^3}$

f) 0,8 $\frac{g}{cm^3}$ w $\frac{kg}{m^3}$

4 Monety o nominale 1 zł przedstawionej na zdjęciu używano w latach 80. i na początku lat 90. XX wieku.



a) Jaka jest gęstość monety, jeżeli jej masa wynosi 2,1 g, a objętość – 0,78 cm^3?

b) Z jakiego metalu najprawdopodobniej została ona wykonana?

5 Oblicz objętość płyty styropianu o gęstości 20 $\frac{kg}{m^3}$ i masie 0,25 kg. Wyraź tę objętość w m^3 oraz dm^3.

PRZYKŁAD 3

Obliczanie masy

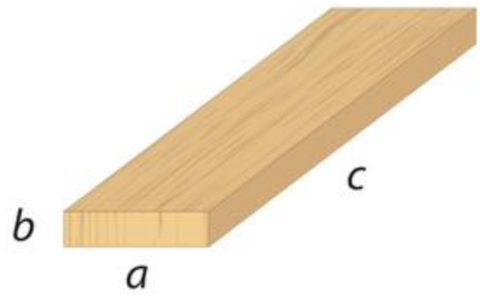
Oblicz masę deski o wymiarach: 5 cm × 2 cm × 1 m. Przyjmij, że gęstość drewna to 600 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Dane:

$a = 5\ \text{cm} = 0{,}05\ \text{m}$
$b = 2\ \text{cm} = 0{,}02\ \text{m}$
$c = 1\ \text{m}$
$d_{\text{drewna}} = 600\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Szukane:

$m = ?$



Rozwiązanie:

Objętość deski obliczamy ze wzoru: $V = a \cdot b \cdot c$.

$$V = 0{,}05\ \text{m} \cdot 0{,}02\ \text{m} \cdot 1\ \text{m} = 0{,}001\ \text{m}^3$$

Sposób I:

Wzór $d = \frac{m}{V}$ zapisujemy w postaci:

$$m = d \cdot V$$

$$m = 600\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0{,}001\ \text{m}^3$$

$$m = 0{,}6\ \text{kg}$$

Sposób II:

Skoro gęstość drewna wynosi 600 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, oznacza to, że 1 m^3 drewna ma masę 600 kg. Masa deski o objętości 0,001 m^3 jest więc tysiąc razy mniejsza:

$$m = \frac{600}{1000}\ \text{kg} = 0{,}6\ \text{kg}$$

Odpowiedź: Masa deski wynosi 0,6 kg.

6 Oblicz masę 3 litrów oleju. Przyjmij, że gęstość oleju wynosi 0,89 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

7 W filmach sensacyjnych można zobaczyć sceny, w których ktoś ucieka z walizką pełną złota, trzymając ją tylko jedną ręką, lub bez najmniejszego trudu opiera taką walizkę na jednej dłoni. Wiedząc, że gęstość złota wynosi 19,3 $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$, a pojemność niewielkiej walizki to około 8 litrów, zastanów się, czy coś takiego mogłoby się rzeczywiście zdarzyć.



8 Gęstość diamentu wynosi 3,5 $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$. Powszechnie używaną jednostką masy kamieni szlachetnych jest karat (1 karat to 0,2 g). Oblicz objętość diamentu o masie 4 karatów.

13 Wyznaczanie gęstości

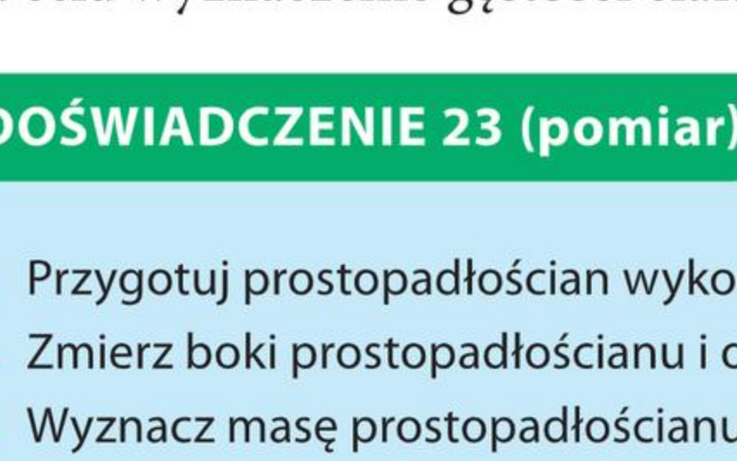
Cel lekcji: Dowiesz się, jak wyznaczać gęstość ciał stałych o regularnym i nieregularnym kształcie oraz gęstość cieczy.

Wyznaczanie gęstości ciał stałych

Wiesz już, czym jest gęstość i jak ją obliczyć. Wykonując odpowiednie pomiary, wielkość tę możesz wyznaczyć samodzielnie. Przeanalizuj doświadczenie mające na celu wyznaczenie gęstości ciała o **regularnym kształcie** – prostopadłościanu.

DOŚWIADCZENIE 23 (pomiar)

1. Przygotuj prostopadłościan wykonany z drewna lub metalu, linijkę i wagę.
2. Zmierz boki prostopadłościanu i oblicz jego objętość.
3. Wyznacz masę prostopadłościanu za pomocą wagi.
4. Wyniki pomiarów zanotuj w zeszycie, a następnie oblicz gęstość substancji, z której prostopadłościan jest wykonany.





Wyniki naszych pomiarów przedstawiono poniżej:

$a = 5{,}5$ cm
$b = 2{,}7$ cm
$c = 2{,}7$ cm
$m = 315$ g

$V = a \cdot b \cdot c$
$V = 40\ \text{cm}^3$

$d = \frac{m}{V}$, czyli $d = 7{,}9\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7900\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Po wykonaniu obliczeń porównaj swój wynik z wartościami w tabeli na str. 274. Gęstość naszego prostopadłościanu jest równa gęstości stali.
Jeśli twój wynik różni się od wartości podanych w tabeli, zastanów się dlaczego.

Przedmiotów o regularnych kształtach jest w naszym otoczeniu niewiele. Jak wyznaczyć gęstość np. kamienia albo miedzi (w postaci miedzianego drutu)? Wykonaj doświadczenie 24, w którym wyznaczysz gęstość ciała stałego o **nieregularnym kształcie**.

DOŚWIADCZENIE 24 (pomiar)



1. Przygotuj wagę, cylinder miarowy (menzurkę), wodę i miedziany drut (może być też niewielki kamień albo plastelina).
2. Zważ przedmiot, którego gęstość będziesz wyznaczać, np. kawałek miedzianego drutu.
3. Nalej wody do cylindra miarowego i odczytaj jej objętość.
4. Zanurz przedmiot w wodzie w cylindrze miarowym i ponownie odczytaj objętość.
5. Wyniki pomiarów zanotuj w zeszycie, a następnie wykonaj obliczenia i porównaj uzyskany wynik z danymi w tabeli na str. 274.

Pomiar objętości wody przed zanurzeniem i po zanurzeniu przedmiotu umożliwia obliczenie jego objętości:

$$V_{\text{miedzi}} = V_{\text{wody + miedzi}} - V_{\text{wody}}$$

Oblicz gęstość, korzystając ze wzoru: $d = \frac{m}{V}$.
W ten sposób możesz wyznaczyć gęstość dowolnego ciała stałego (nierozpuszczającego się w wodzie).

Wyznaczanie gęstości cieczy

DOŚWIADCZENIE 25 (pomiar)

1. Przygotuj cylinder miarowy, wagę i ciecz, której gęstość chcesz wyznaczyć, np. denaturat lub olej.
2. Postaw pusty cylinder miarowy na wadze i odczytaj jej wskazanie. Jeśli waga ma funkcję tarowania, czyli odejmowania masy opakowania – włącz ją. Jeśli nie – zanotuj wynik pomiaru.
3. Napełnij cylinder miarowy cieczą i ponownie zważ.
4. Odczytaj objętość cieczy w cylindrze miarowym.
5. Wyniki pomiarów zapisz w zeszycie.
6. Oblicz gęstość cieczy. Wyznaczoną gęstość porównaj z danymi w tabeli na str. 274.



Jeśli funkcja tarowania była włączona, waga od razu pokazała masę cieczy w cylindrze miarowym. Jeśli funkcja tarowania nie była włączona, to masę cieczy należy obliczyć:

$$m_{\text{cieczy}} = m_{\text{naczynia z cieczą}} - m_{\text{pustego naczynia}}$$

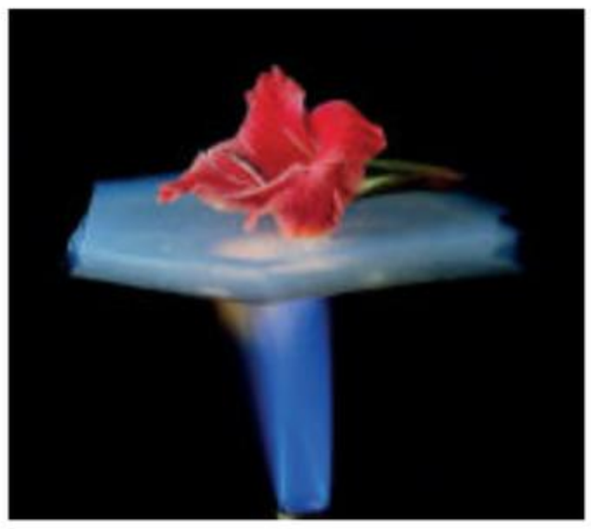
Znając masę i objętość cieczy, gęstość obliczamy ze wzoru:

$$d = \frac{m_{\text{cieczy}}}{V_{\text{cieczy}}}$$

W ten sposób możesz wyznaczyć gęstość dowolnej cieczy.

CIEKAWOSTKA

Aerożele to ciała stałe o najmniejszej gęstości. Wynosi ona około 1,9 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, czyli jest niewiele większa od gęstości powietrza (1,2 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$). Ciała te mają strukturę piany wypełnionej powietrzem. Są to obecnie najlepsze izolatory ciepła. Znajdują zastosowanie przy budowie pojazdów kosmicznych oraz jako wypełnienie skafandrów astronautów.
Płomień z palnika Bunsena może osiągać temperaturę ponad 1500°C. Wystarczy cienka warstwa aerożelu, aby zabezpieczyć kwiat przed spaleniem (patrz zdjęcie).



TO NAJWAŻNIEJSZE

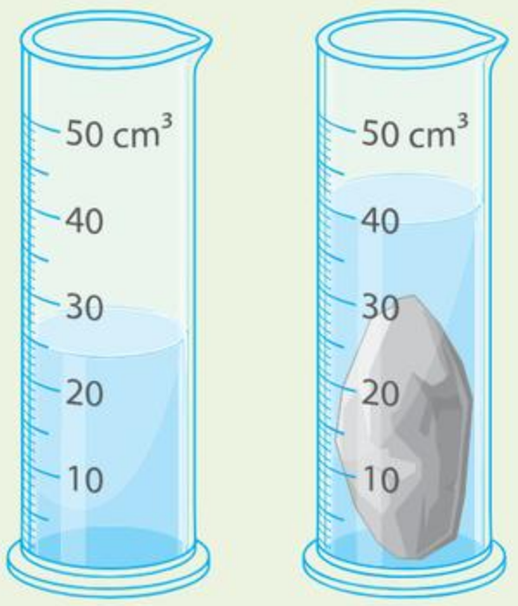
- Aby wyznaczyć gęstość substancji, z której zbudowane jest ciało, należy **wyznaczyć** jego **masę** i **objętość**.
- Objętość zarówno cieczy, jak i ciał stałych można wyznaczyć za pomocą menzurki.
- Wymiary ciał o regularnym kształcie, np. prostopadłościanu, można zmierzyć za pomocą linijki, a następnie obliczyć objętość z odpowiedniego wzoru.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Uczeń miał wyznaczyć doświadczalnie objętość kawałka marmuru. W tym celu wykorzystał cylinder miarowy z wodą.

Odczytaj z rysunku, jaka była objętość kawałka marmuru. Wynik podaj wraz z niepewnością pomiarową.



2 Asia chciała wyznaczyć gęstość drewnianego klocka z układanki swojego młodszego brata. Piotrek chciał wyznaczyć gęstość benzyny i porównać ją z wartościami podawanymi w tablicach. Kinga chciała wyznaczyć gęstość łańcuszka, aby sprawdzić, czy rzeczywiście jest wykonany ze srebra.

Do każdej osoby i rodzaju pomiarów, które chce ona wykonać, dopasuj przyrządy z ramki. **Uwaga.** Nie wszystkie przyrządy należy wykorzystać; niektóre z nich mogą zostać przyporządkowane więcej niż raz.

strzykawka • stoper • flamaster • waga kuchenna (dokładność 1 dag) • cylinder miarowy • linijka • waga jubilerska (dokładność 0,1 g) • szklane naczynie w kształcie walca (bez podziałki) • termometr

3 Tomek stwierdził, że znalazł prosty sposób na wyznaczenie gęstości cukru.

Postawił pustą szklankę na wadze i odczytał jej masę. Następnie wypełnił całą szklankę cukrem. Ponownie odczytał wskazanie wagi. Do obliczeń przyjął, że objętość szklanki to 0,25 l. Gdy sprawdził gęstość cukru w tablicach fizycznych, okazało się, że różni się ona od tego, co wyznaczył.

Dane uzyskane przez Tomka:

- *masa pustej szklanki: 210 g,*
- *masa szklanki z cukrem: 430 g,*
- *objętość szklanki: 250 cm^3,*
- *gęstość cukru z tablic: 1,6 $\frac{g}{cm^3}$.*

Czy gęstość, którą uzyskał Tomek, była mniejsza czy większa niż gęstość cukru odczytana z tablic fizycznych? Wyjaśnij przyczynę tej rozbieżności.

4 Wyznacz objętość jajka za pomocą szklanki, wody, strzykawki lub cylindra miarowego i mazaka (użyj takiego, który można zmyć ze szkła). Opisz kolejne czynności, zapisz wyniki pomiarów i obliczenia. Wynik podaj w cm^3.

Uwaga. 1 ml to 1 cm^3.

5 Piotr wyznaczył masę i objętość surowego jajka. Następnie ugotował je na twardo i ponownie wykonał pomiary masy i objętości. Wybierz poprawną odpowiedź i napisz w zeszycie, dlaczego tak sądzisz. Odpowiedź możesz sprawdzić doświadczalnie.

Gęstość jajka po ugotowaniu jest:

A. mniejsza niż przed ugotowaniem.

B. taka sama jak przed ugotowaniem.

C. większa niż przed ugotowaniem.

Powtórzenie. Właściwości i budowa materii

- Wszystkie substancje są zbudowane z **atomów** i **cząsteczek** oraz występują w jednym z trzech stanów skupienia: stałym, ciekłym lub gazowym.
- **Ciała stałe** zachowują określony kształt i mają określoną objętość, ponieważ ich cząsteczki oddziałują ze sobą bardzo silnie i samoistnie nie zmieniają wzajemnego położenia.
- **Ciecze** mają określoną objętość, ale nie utrzymują określonego kształtu, ponieważ ich gęsto upakowane cząsteczki nie oddziałują ze sobą tak mocno jak w ciałach stałych i mogą się samoistnie przemieszczać względem siebie.
- **Gazy** nie mają określonej objętości (są ściśliwe i mogą się rozprężać) ani określonego kształtu, gdyż cząsteczki są w nich bardzo od siebie oddalone, a siły ich wzajemnego przyciągania są znikome.
- **Siły spójności** odpowiadają za wzajemne przyciąganie się cząsteczek tej samej substancji, natomiast **siły przylegania** powodują wzajemne przyciąganie się cząsteczek różnych substancji.
- Kropla przyjmuje kulisty kształt na skutek niezrównoważonych sił spójności działających na cząsteczki przy powierzchni cieczy.
- Niezrównoważone siły spójności działające na cząsteczki przy powierzchni cieczy są przyczyną występowania **napięcia powierzchniowego**, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak napięta błona.
- **Masa** jest wielkością, od której zależy bezwładność ciała. Wielkość tę stosuje się również do określania ilości substancji. Od masy zależy ciężar ciała. Jej jednostką w układzie SI jest kilogram (1 kg).
- **Siłę ciężkości** przy powierzchni Ziemi (ciężar ciała) można obliczyć ze wzoru:

siła ciężkości = masa · współczynnik proporcjonalności g	$F_g = m \cdot g$

gdzie $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ przy powierzchni Ziemi.

- **Gęstość** to wielkość fizyczna, która określa, jaka jest masa jednostki objętości danej substancji. Jednostką gęstości w układzie SI jest $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Gęstość można obliczyć, korzystając ze wzoru:

$\text{gęstość} = \frac{\text{masa}}{\text{objętość}}$	$d = \frac{m}{V}$

Uwaga. Przy rozwiązywaniu zadań uwzględnij, że: $1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$.

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–3 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Wszystkie ciała stałe, ciecze i gazy są zbudowane z **A/ B/ C**. Zjawisko zmniejszania się objętości dwóch cieczy po ich zmieszaniu można wytłumaczyć na podstawie **D/ E/ F**.
A. takich samych atomów
B. takich samych cząsteczek
C. różnych cząsteczek i atomów
D. dyfuzji
E. parowania cieczy
F. cząsteczkowej budowy materii

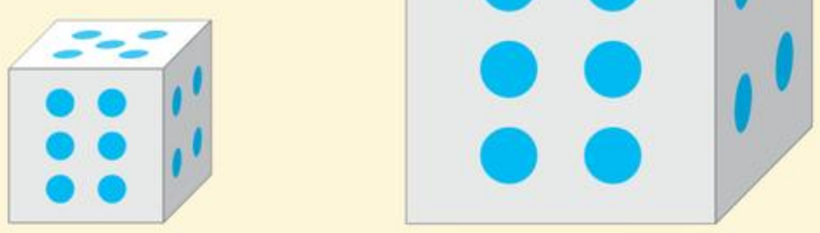
2 Skutkiem występowania napięcia powierzchniowego jest to, że **A/ B/ C/ D**.
A. niektóre owady poruszają się po powierzchni wody i nie toną, a powierzchnia wody nieco się ugina
B. maleńka kropla wody nie spływa ze ścianek szklanki
C. objętość niektórych cieczy po zmieszaniu jest mniejsza niż suma objętości tych cieczy przed zmieszaniem
D. w gorącej wodzie cukier rozpuszcza się szybciej niż w zimnej

3 Cechą **A/ B/ C/ D** jest to, że nie mają ustalonego kształtu i tworzą powierzchnię swobodną.
A. tylko ciał stałych
B. tylko gazów
C. tylko cieczy
D. gazów i cieczy

4 Wskaż zdania prawdziwe.
A. Jednostką ciężaru jest kilogram.
B. Ciężar jest siłą.
C. Grupy atomów o takich samych właściwościach chemicznych są zwane pierwiastkami.
D. Masa ciała na Ziemi i na Księżycu jest taka sama.

5 Wybierz właściwy zestaw przyrządów pomiarowych, które posłużą do wyznaczenia gęstości nieregularnej bryły wykonanej z pewnej substancji.
A. waga i linijka
B. cylinder miarowy i linijka
C. dowolne szklane naczynie i waga
D. waga i cylinder miarowy

6 Mała kostka do gry jest zrobiona z tworzywa sztucznego o gęstości $1\ \frac{g}{cm^3}$. Duża kostka jest wykonana z takiego samego tworzywa.
a) Jaka jest gęstość dużej kostki?
b) Jakie są objętości obu kostek?
c) Jakie są masy obu kostek?
Przyjmij, że kostki przedstawiono w skali 1 : 1.



Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz zdanie prawdziwe.

A. Rozmiary wszystkich cząsteczek są takie same.

B. Cząsteczki składają się z atomów.

C. Rozmiar cząsteczki jest porównywalny z grubością ludzkiego włosa.

D. Cząsteczka nie może być zbudowana z dwóch takich samych atomów.

2 Wskaż zdanie fałszywe.

A. W cieczach cząsteczki mogą się przemieszczać, ale w przeciwieństwie do cząsteczek w ciałach stałych w ogóle ze sobą nie oddziałują, dlatego ciecze nie mają określonego kształtu.

B. W gazach cząsteczki znajdują się w bardzo dużych odległościach od siebie, dlatego gazy są ściśliwe.

3 Uporządkuj podane czynności w takiej kolejności, w jakiej należy je wykonać, aby wyznaczyć gęstość substancji, z której wykonano klucz.

A. Odjąć objętość wody odczytaną z menzurki w pierwszym pomiarze od objętości odczytanej z menzurki po zanurzeniu klucza i zanotowanie jej jako objętość klucza.

B. Wlać wodę do menzurki.

C. Zważyć klucz.

D. Włożyć klucz do menzurki z wodą.

E. Odczytać objętość wody w menzurce.

F. Podzielić masę klucza przez jego objętość i zanotować wynik jako gęstość substancji, z której zrobiono klucz.

G. Odczytać objętość wskazywaną przez menzurkę po zanurzeniu klucza.

4 Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Gęstość cukru to 1,6 $\frac{g}{cm^3}$, a gęstość wody to 1 $\frac{g}{cm^3}$. Jedna łyżka stołowa (15 cm^3) syropu z cukru i wody będzie miała masę

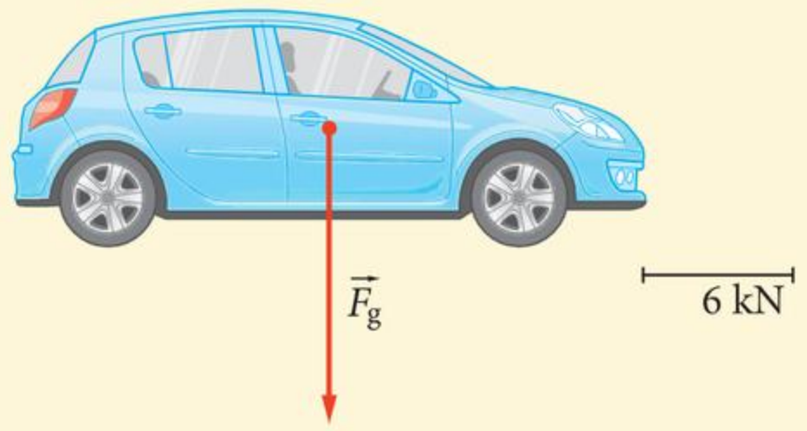
A. na pewno mniejszą niż 15 g.

B. na pewno większą niż 15 g, ale mniejszą niż 24 g.

C. w zależności od gęstości syropu mniejszą lub większą niż 15 g, ale na pewno mniejszą niż 24 g.

D. w zależności od gęstości syropu mniejszą lub większą niż 24 g, ale zawsze większą niż 15 g.

5 Poniżej narysowano wektor siły ciężkości działającej na samochód.



Przyjmując, że 1 cm odpowiada sile o wartości 6 kN, oblicz:

a) ciężar samochodu,

b) masę samochodu.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wkład do ołówka jest wykonany z grafitu, czyli jednej z odmian węgla. Załóżmy, że delikatnie dotykasz ołówkiem kartki, stawiając na niej ledwo widoczną kropkę o średnicy 0,1 mm. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Poszczególne atomy węgla w grafitowej kropce	**1.**	można zobaczyć, używając lupy,	ponieważ rozmiary atomów węgla są	**A.**	mniejsze niż 0,1 mm, ale większe niż 0,001 mm.
	2.	można zobaczyć, używając szkolnego mikroskopu,		**B.**	mniejsze niż 0,001 mm, ale większe niż 0,00001 mm.
	3.	są niewidoczne pod szkolnym mikroskopem,		**C.**	mniejsze niż 0,00001 mm.

2 Na powierzchni Księżyca ciało o masie 1 kg ma ciężar około 1,6 N.

a) Oblicz masę ciała, które na Księżycu ma ciężar 80 N.

b) Jakie byłyby masa i ciężar tego ciała, gdyby znajdowało się ono na powierzchni Ziemi?

3 Zawartość czystego złota w stopie jest określona jako próba, np. próba złota 960 oznacza, że stop składa się w 96% z czystego złota i w 4% z innego metalu. W tabeli podano gęstość stopu złota ze srebrem w zależności od zawartości złota w tym stopie. Na rysunku pokazano polskie oznaczenia prób złota.

Zawartość złota	75%	50%	33,3%
Gęstość $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$	16,0	13,6	12,4



próba 960



próba 750



próba 500

Na podstawie artykułu „Validity of the Specific Gravity Method for the Determination of the Fineness of Gold Objects", „The Ohio Journal of Science" vol. 49 no 2 (March 1949).

a) Ewelina ma dwie pary „złotych" kolczyków. Po wrzuceniu pierwszej pary do cylindra strzykawki częściowo wypełnionego wodą poziom wody podniósł się nieco wyżej niż po wrzuceniu do niego drugiej pary kolczyków. Gdy Ewelina położyła kolczyki na wadze, okazało się, że obie pary mają identyczną masę. W której parze kolczyków zawartość złota jest większa? Uzasadnij odpowiedź, przedstawiając kolejne kroki swojego rozumowania.

b) Zosia kupiła używaną bransoletkę ze stopu złota i srebra. Sprzedawca zapewniał dziewczynę, że zawartość złota w bransoletce to 75%. Po powrocie do domu zważyła bransoletkę. Jej masa była równa 27 g. Po precyzyjnym wyznaczeniu objętości okazało się, że objętość ta wynosi 2 cm^3.
Jaka była procentowa zawartość złota w bransoletce?
Jaką masę miałaby bransoletka o takiej samej objętości, gdyby rzeczywiście była wykonana w 75% ze złota?

Projekt

Woda – białe bogactwo

Problem badawczy

Jak dbać o czystość wody? Jak oszczędzać wodę?

Cele główne

Realizując projekt, możesz się dowiedzieć:

- jakie są rodzaje zanieczyszczeń wody,
- na czym polega filtrowanie wody,
- jak zbudować filtr wodny,
- jak działa oczyszczalnia ścieków,
- jak usunąć ropę naftową z powierzchni wody,
- jakie są sposoby oszczędzania wody.

Ponadto:

- zbudujesz filtr do wody,
- dowiesz się o gospodarowaniu wodą na Ziemi,
- zorientujesz się, jakie są potrzeby i zagrożenia środowiska wodnego,
- zbudujesz model oczyszczalni ścieków,
- poznasz sposoby pozbywania się oleju z powierzchni wody.

Zadania szczegółowe

Zadanie 1

Dowiedz się:

a) jakie są rodzaje zanieczyszczeń wody,
b) jak ocenia się czystość wody,
c) czy wszędzie na świecie jest dostęp do wody pitnej (znajdź odpowiednią mapę).

Zadanie 2

a) Wyjaśnij, jak działają filtry wody montowane na kranach, w dzbankach.
b) Przeprowadź filtrowanie wody.
c) Zbuduj model oczyszczalni ścieków (eksponat do pracowni fizycznej).

Zadanie 3

a) Przeanalizuj wpływ dużych wycieków ropy naftowej na środowisko.
b) Przeprowadź doświadczenie – usuwanie oleju z wody (Doświadczenie 26A na str. 88).
c) Zdobądź informacje o technologiach usuwania wycieków ropy naftowej.

Zadanie 4

a) Oszacuj, ile wody się zmarnuje, jeśli pozostawisz niedokręcony kran na tydzień.
b) Wymień 4 sposoby oszczędzania wody.
c) Przeprowadź ankietę na temat oszczędzania wody. Wykorzystaj przykładowe pytania do ankiety.

Przykładowe pytania do ankiety

a) Czy masz w domu cieknący kran?
b) W jaki sposób myjesz naczynia (w zmywarce, pod bieżącą wodą, w misce)?
c) Czy wykorzystujesz powtórnie wodę, np. tę, w której myłeś warzywa?
d) Czy członkowie twojej rodziny myją się w wannie czy pod prysznicem?

Formy prezentacji

- Pokaz doświadczenia ilustrującego usuwanie oleju z powierzchni wody.
- Przedstawienie wyników ankiety dotyczącej oszczędzania wody.
- Prezentacja działania filtra wodnego.
- Pogadanka na temat racjonalnego używania wody.

DOŚWIADCZENIE 26

A Usuwanie oleju z powierzchni wody



1. Do naczynia najpierw nalej wody, a następnie oleju spożywczego lub nowego oleju samochodowego.
2. Z pary nylonowych rajstop odetnij jedną nogawkę i wypełnij ją włosami (z zakładu fryzjerskiego).
3. Spróbuj usunąć olej, wykorzystując różne przedmioty: łyżkę, papier, watę, sitko, bibułę, bawełnę.
4. Na koniec włóż na kilkadziesiąt minut do naczynia nogawkę rajstop wypełnioną włosami. Co zauważasz?

B Budowa filtra wodnego

1. Przygotuj: 4 podobnej wielkości szklanki, trochę ziemi, 3 gumki recepturki, gazę, stare rajstopy, ręcznik papierowy albo filtr do kawy, lejek, małe sito, trochę wody.
2. Na pierwszą szklankę załóż fragment rajstopy, na drugą – gazę (przyczep ją gumką), na trzecią – filtr do kawy, a na czwartą – sitko.
3. Z ziemi i wody zrób trochę błotnistej cieczy.
4. Następnie trochę wody z ziemią wlej do pierwszej szklanki przez rajstopę, trochę do drugiej – przez gazę itd. Porównaj czystość wody w szklankach.



Bibliografia

1. Hurwic J., *Encyklopedia: przyroda i technika. Zagadnienia wiedzy współczesnej*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1967.
2. *Jak to jest?*, Przegląd Reader's Digest, Warszawa 1996.
3. Kalinowska A., *Ekologia – wybór przyszłości*, Editions Spotkania, Warszawa 1991.
4. Parker S., *Młody naukowiec: woda*, ARTI, Warszawa 2005.
5. *Wyciek ropy – nowa metoda usuwania* [online, odsłona 28.06.2011], dostępne: <http://odkrywcy.pl/kat,111400,title,Nowa-metoda-usuwania-plam-ropy-naftowej,wid,12559725,wiadomosc.html>.
6. *Wyciek ropy – zagrożenia* [online, odsłona 28.06.2011], dostępne: <http://odkrywcy.pl/kat,111412,page,2,title,Ropa-naftowa-czarna-smierc-w-Zatoce-Meksykanskiej,wid,12230883,wiadomosc.html>.
7. *Budowa filtra* [online, odsłona 28.06.2011], dostępne: <http://www.ehow.com/how_4480375_remove-oil-from-water-using.html>.

III

Hydrostatyka i aerostatyka

Z tego rozdziału dowiesz się:

- czym są parcie i ciśnienie,
- co to jest ciśnienie atmosferyczne i ciśnienie hydrostatyczne,
- od czego zależy ciśnienie hydrostatyczne,
- jak obliczyć ciśnienie w cieczy na danej głębokości,
- jak zademonstrować istnienie ciśnienia atmosferycznego,
- czego dotyczy prawo Pascala,
- czym jest siła wyporu,
- czego dotyczy prawo Archimedesa,
- jakie są warunki pływania ciał.



14 Siła nacisku na podłoże. Parcie i ciśnienie

Cel lekcji: Dowiesz się, czym są parcie i ciśnienie oraz od czego zależą te wielkości.

Siła nacisku a ciśnienie

Zastanów się, dlaczego idąc w głębokim śniegu, zapadasz się, a po założeniu nart zostawiasz jedynie płytki ślad.





Aby zrozumieć, dlaczego tak się dzieje, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 27

1. Przygotuj: pudełko od zapałek, plastelinę, płytki talerz, linijkę i mąkę.
2. Pudełko od zapałek wypełnij w całości plasteliną.
3. Nasyp mąkę na talerz. Wyrównaj powierzchnię mąki linijką tak, aby tworzyła warstwę o grubości 0,5–1 cm.
4. Umieść pudełko na powierzchni mąki, stawiając je kolejno na trzech ściankach o różnych powierzchniach. Obejrzyj odciśnięte w mące ślady.

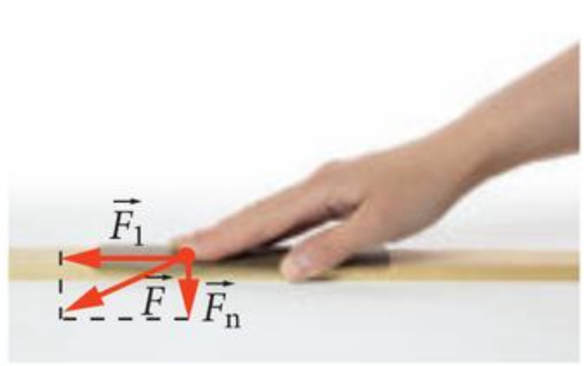




Ślad jest najgłębszy, gdy pudełko jest ustawione na najmniejszej ściance, a najpłytszy, gdy stoi na największej.

Nacisk pudełka na mąkę w każdym wypadku jest taki sam – jest równy co do wartości ciężarowi pudełka wypełnionego plasteliną. Widzimy jednak, że w zależności od ustawienia pudełka, a więc od pola powierzchni, na którą działa siła nacisku, skutki są różne.

Zwróć uwagę, że pudełko w doświadczeniu działa na mąkę siłą skierowaną prostopadle do jej powierzchni. Na ogół jednak siła, z jaką jedno ciało działa na powierzchnię drugiego, nie jest do niej prostopadła. Wyobraź sobie, że szlifujesz deskę papierem ściernym. W trakcie tej czynności dociskasz papier ścierny do drewna i równocześnie przesuwasz go wzdłuż deski. Tak więc część siły, z jaką działasz, odpowiada za nacisk papieru na deskę, a część za jego ruch. W opisanej sytuacji siłę, z jaką działamy na papier ścierny, rozłożyliśmy na **składowe** (patrz zdjęcie obok). Składową prostopadłą do powierzchni, na którą działamy, jest **siła nacisku** $\vec{F}_n$.



Na papier ścierny działa siła $\vec{F}$, którą można rozłożyć na składowe $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_n$. Składowa $\vec{F}_1$ odpowiada za ruch papieru, składowa $\vec{F}_n$ to siła nacisku.

Pojęcia „nacisk" i „siła nacisku" oznaczają to samo i możesz je stosować zamiennie.

Nacisk to składowa siły, z jaką jedno ciało działa na powierzchnię drugiego. Siła nacisku jest zawsze prostopadła do powierzchni, na którą działa.

Wartość siły nacisku podzielona przez pole powierzchni, na które ta siła działa (czyli iloraz wartości siły nacisku i pola powierzchni), jest wielkością fizyczną nazywaną **ciśnieniem**. Obliczamy je ze wzoru:

$$\text{ciśnienie} = \frac{\text{wartość siły nacisku}}{\text{pole powierzchni}} \qquad p = \frac{F_n}{S}$$

Ciśnienie jest wielkością liczbową. Jednostką ciśnienia w układzie SI jest **paskal** (1 Pa).

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

Co to znaczy, że ciśnienie wynosi 1 paskal?

Jeden **paskal** (1 Pa) jest to ciśnienie, jakie wywiera siła nacisku 1 N na pole powierzchni 1 m^2.

Często używane są wielokrotności paskala: hektopaskal (1 hPa = 100 Pa), kilopaskal (1 kPa = 1000 Pa), megapaskal (1 MPa = 1 000 000 Pa).

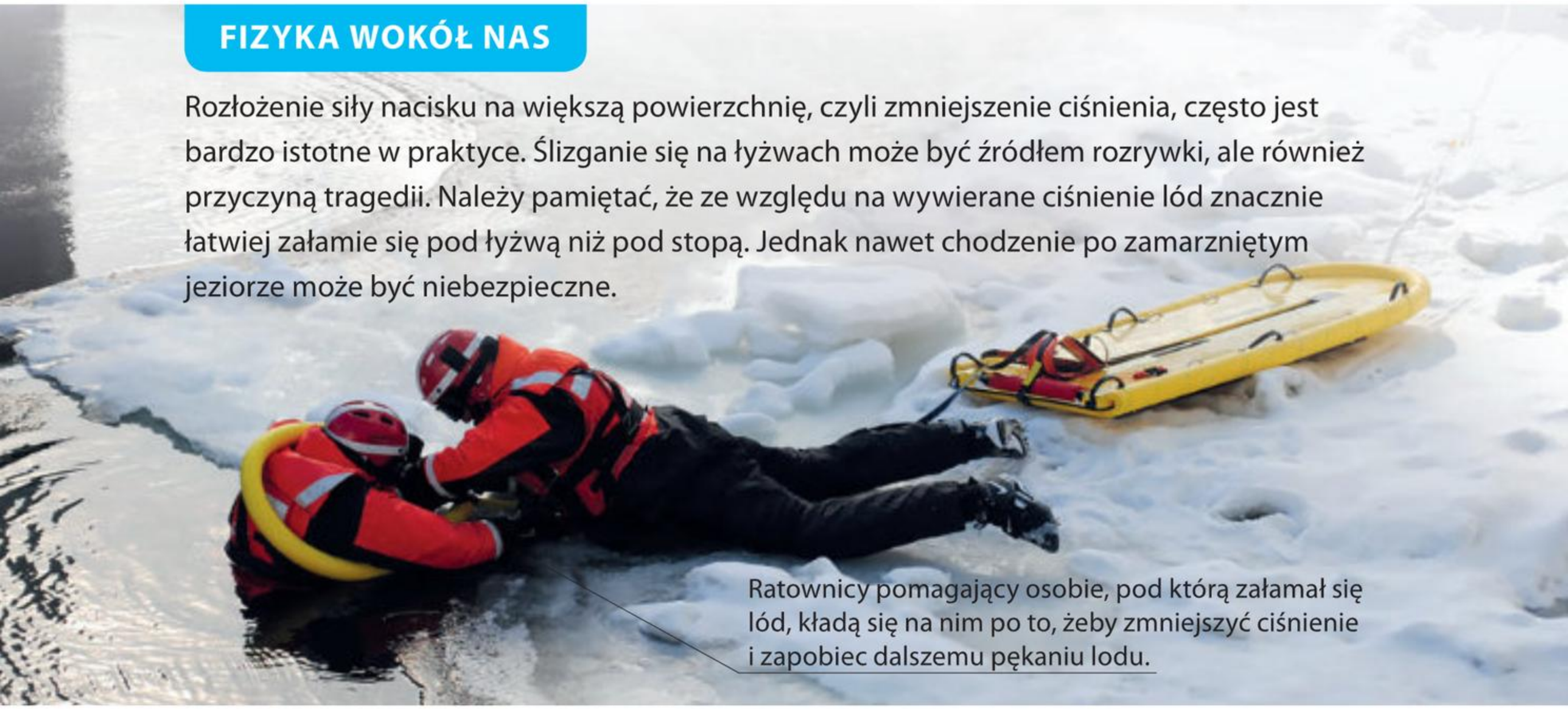
CIEKAWOSTKA

Nazwę jednostki „paskal" ustalono, aby upamiętnić zasługi wielkiego francuskiego fizyka Blaise'a Pascala (czyt. bleza paskala), który żył w latach 1623–1662. Był on wybitnym matematykiem, fizykiem, filozofem i pisarzem. Prowadził badania nie tylko nad ciśnieniem, opracował również wiele teorii matematycznych, w tym teorię prawdopodobieństwa. Skonstruował też pierwszą na świecie maszynę liczącą (sumującą)



FIZYKA WOKÓŁ NAS

Rozłożenie siły nacisku na większą powierzchnię, czyli zmniejszenie ciśnienia, często jest bardzo istotne w praktyce. Ślizganie się na łyżwach może być źródłem rozrywki, ale również przyczyną tragedii. Należy pamiętać, że ze względu na wywierane ciśnienie lód znacznie łatwiej załamie się pod łyżwą niż pod stopą. Jednak nawet chodzenie po zamarzniętym jeziorze może być niebezpieczne.



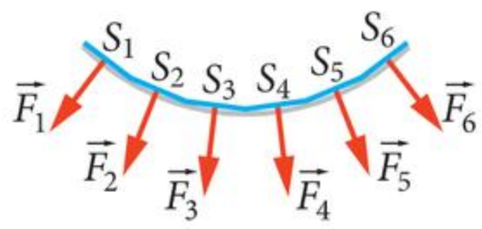
Ratownicy pomagający osobie, pod którą załamał się lód, kładą się na nim po to, żeby zmniejszyć ciśnienie i zapobiec dalszemu pękaniu lodu.

Parcie

Ciecze i gazy naciskają na ścianki naczynia i na wszystkie ciała znajdujące się w tych cieczach i gazach.

Siła nacisku cieczy lub gazu na płaską powierzchnię nazywa się **parciem**.

Parcie, podobnie jak nacisk, jest siłą, której kierunek jest zawsze prostopadły do powierzchni, na którą działa. Warto zwrócić tutaj uwagę, że gdy powierzchnia, na którą działa siła, jest zakrzywiona, należy ciśnienie rozpatrywać jako działanie sił na bardzo małe fragmenty tej powierzchni – na tyle małe, że można je w przybliżeniu traktować jako płaskie (patrz rys. obok).



Wartości ciśnienia $p_1, ..., p_6$ i parcia $\vec{F}_1, ..., \vec{F}_6$ na poszczególnych częściach $S_1, ..., S_6$ zakrzywionej powierzchni związane są formułami:

$$p_1 = \frac{F_1}{S1}, \ldots, p_6 = \frac{F_6}{S_6}.$$

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Nacisk** jest składową siły, z jaką jedno ciało działa na powierzchnię drugiego. Nacisk jest prostopadły do powierzchni, na którą działa.
- **Parcie** to siła nacisku, z jaką ciecze i gazy działają na ścianki naczynia i wszystkie ciała znajdujące się tych cieczach i gazach.
- **Ciśnienie** to iloraz wartości siły nacisku (parcia) i pola powierzchni, na którą ta siła działa: $p = \frac{F_n}{S}$. Jednostką ciśnienia jest **paskal** $[p] = 1\ \text{Pa} = \frac{1\ \text{N}}{1\ \text{m}^2}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż właściwe dokończenia zdań.

Parcie jest **A/ B/ C**. Jednostką parcia w układzie SI jest **D/ E**. Ciśnienie jest **A/ B**. Paskal jest **A/ B/ C**.

A. miarą wartości siły nacisku działającej na jednostkową powierzchnię

B. siłą nacisku, jaką gazy i ciecze działają na ścianki naczynia, w którym się znajdują

C. jednostką ciśnienia w układzie SI

D. kilogram

E. niuton

2 Wyraź w paskalach:

a) 1020 hPa, **b)** 0,1 kPa, **c)** 0,002 MPa.

3 Przyjrzyj się poniższym zdjęciom. W których z przedstawionych sytuacji ważne jest uzyskanie jak najmniejszego ciśnienia, a w których – jak największego? Krótko uzasadnij, dlaczego tak uważasz.







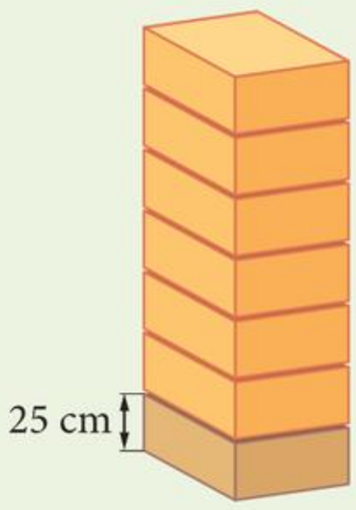


4 Oblicz ciśnienie, jakie wywiera osoba o masie 72 kg w trzech sytuacjach: stojąc w łyżwach na lodzie, w zimowych butach na śniegu oraz w nartach na śniegu. Przyjmij, że szerokość ostrza łyżwy to 3 mm, jego długość to 30 cm. Powierzchnia podeszwy zimowego buta to 280 cm^2. Długość nart to 160 cm, a średnia szerokość narty – 10 cm (narty są węższe pośrodku niż na końcach).

5 Gdy lód na jeziorze trzeszczy pod nogami idącego człowieka, grożąc załamaniem, najbezpieczniej jest się na nim położyć. Dlaczego?

6 Jeden z producentów huśtawek dla dzieci podaje, że jego produkt wytrzymuje ciśnienie 2222 Pa. Oblicz powierzchnię siedzenia huśtawki, jeżeli można na niej bezpiecznie posadzić dziecko o masie maksymalnie 20 kg.

7 Ciśnienie 15 kPa powoduje zgniecenie cegły znajdującej się u podstawy kolumny. Wiedząc, że jedna cegła ma ciężar 25 N, a pole powierzchni zajmowane przez kolumnę wynosi 0,03 m^2, oblicz, jak wysoka może być ta kolumna. Brakujące dane znajdziesz na rysunku.



15 Ciśnienie hydrostatyczne, ciśnienie atmosferyczne

Cel lekcji: Dowiesz się, czym są: ciśnienie hydrostatyczne i ciśnienie atmosferyczne oraz od jakich wielkości one zależą.

Ciśnienie hydrostatyczne

Aby zrozumieć, czym jest ciśnienie hydrostatyczne, wykonaj proste doświadczenie.

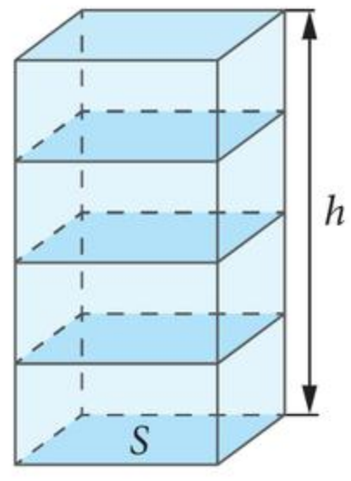
DOŚWIADCZENIE 28

1. Przygotuj: dużą plastikową butelkę, gwóźdź, taśmę klejącą i dużą głęboką miskę.
2. Zrób w butelce (za pomocą gwoździa) kilka otworów na różnej wysokości, tak aby były jeden nad drugim, ale aby nie układały się dokładnie wzdłuż pionowej linii.
3. Zaklej otwory taśmą klejącą.
4. Butelkę umieść na podstawce w misce.
5. Napełnij butelkę wodą i zdejmij taśmę klejącą z otworów.



Woda tryska najdalej przez dolny otwór, a najbliżej – przez górny.

Im niżej położony otwór, tym dalej tryska woda z butelki. Dzieje się tak dlatego, że wraz z głębokością wzrasta masa (a więc i ciężar) wody naciskającej na dolne warstwy. Możemy sobie wyobrazić, że woda w butelce to pewnego rodzaju słup zbudowany z cienkich warstw o jednakowej grubości leżących jedna na drugiej. Im więcej warstw ma taki słup, z tym większą siłą naciska na to, co jest poniżej. Tym samym: im bliżej dna, tym większe jest ciśnienie. Drugą kwestią, na którą należy zwrócić uwagę, jest fakt, że ciśnienie wewnątrz cieczy nie zależy od kierunku. Gdybyśmy zanurzyli w cieczy niewielką powierzchnię, za pomocą której moglibyśmy badać ciśnienie, np. malutkie pudełko z jedną ścianką zrobioną z elastycznej membrany, to okazałoby się, że na danej głębokości nacisk na tę powierzchnię jest zawsze taki sam, niezależnie od jej przestrzennego usytuowania. Właśnie z tego powodu woda jest wypychana z butelki prostopadle do jej ścianek. Doświadczenie 28 pokazuje, że:



Słupek cieczy o wysokości *h* i polu podstawy *S*.

Ciśnienie hydrostatyczne, to ciśnienie panujące w danym miejscu w cieczy. Ciśnienie hydrostatyczne zależy od wysokości słupa cieczy nad tym miejscem.

Jak widać na podstawie doświadczenia, wraz **ze wzrostem głębokości wzrasta ciśnienie hydrostatyczne**.

Ciśnienie hydrostatyczne zależy od ciężaru słupa cieczy, który możemy zapisać za pomocą wzoru $F_g = m \cdot g$. Wiemy też, że słup cieczy o danym polu powierzchni podstawy S oraz danej wysokości h ma określoną masę m i objętość $V = S \cdot h$ (patrz rys. na str. 94). Jak pamiętamy, masa, objętość i gęstość są związane zależnością: $d = \frac{m}{V}$.

A zatem wzór na ciśnienie możemy przekształcić w kolejnych krokach:

$$p = \frac{F_g}{S} = \frac{m \cdot g}{S} = \frac{d \cdot V \cdot g}{S} = d \cdot g \cdot h$$

Otrzymaliśmy w ten sposób wzór na ciśnienie hydrostatyczne na danej głębokości:

ciśnienie hydrostatyczne	=	gęstość cieczy	·	współczynnik proporcjonalności g	·	wysokość słupa cieczy	$p = d \cdot g \cdot h$

Paradoks hydrostatyczny

R

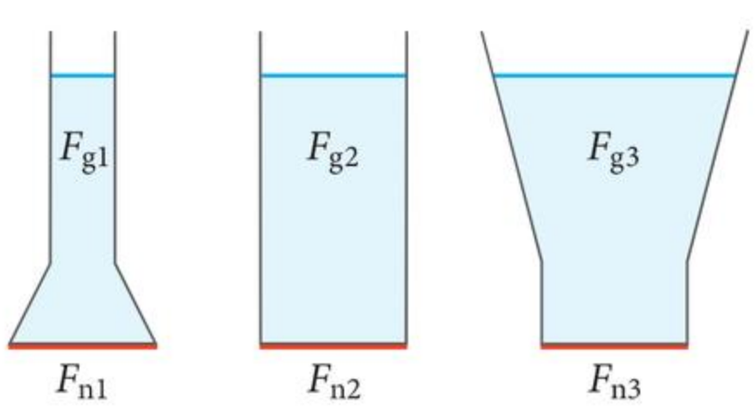
Holenderski uczony Simon Stevin (czyt. simon stewin, 1548–1620) odkrył, że ciśnienie przy dnie naczynia nie zależy wprost od ciężaru cieczy, ale od wysokości słupa cieczy. Jak powiedzieliśmy wcześniej, można je obliczyć ze wzoru: $p = d \cdot g \cdot h$. Pamiętamy również, że ciśnienie to iloraz parcia i pola powierzchni, na którą naciska ciecz.

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

Zatem parcie na dno naczynia jest równe: $F_n = p \cdot S$.

Wynika z tego, że jeżeli w naczyniach o różnych kształtach, ale o takim samym polu powierzchni dna, słup cieczy jest tak samo wysoki, to parcie na dno jest takie samo, niezależnie od kształtu naczyń (patrz rysunek A).

A.

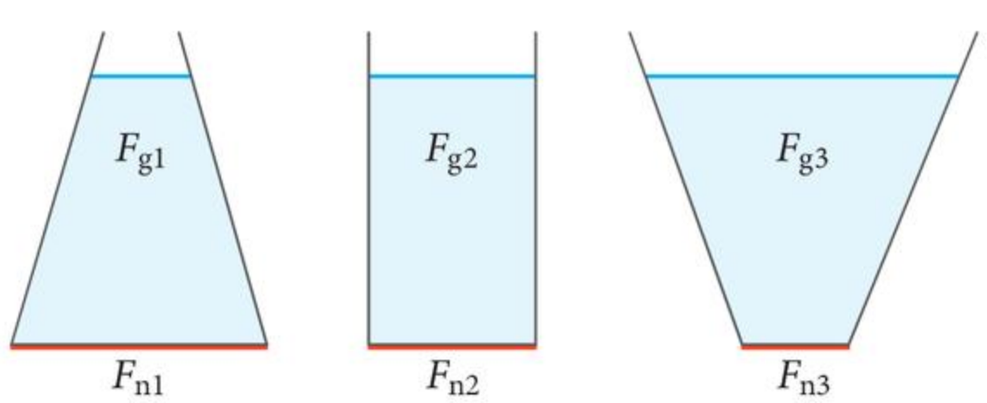


$F_{g1} \neq F_{g2} \neq F_{g3}$

$F_{n1} = F_{n2} = F_{n3}$

Parcie (czyli siła nacisku) wody na dno w każdym z naczyń jest takie samo, mimo że ciężar wody w każdym naczyniu jest inny.

B.



$F_{g1} = F_{g2} = F_{g3}$

$F_{n1} > F_{g1}$ $\quad F_{n2} = F_{g2}$ $\quad F_{n3} < F_{g3}$

Ciężar wody F_g w każdym naczyniu jest taki sam, ale tylko w naczyniu o pionowych ściankach parcie F_n na dno ma taką samą wartość jak ciężar wody F_g.

R

Fakt, że nacisk na dno naczynia nie musi być równy ciężarowi cieczy (patrz rysunek B na str. 95), nie jest intuicyjny i został nazwany **paradoksem hydrostatycznym**. Paradoks hydrostatyczny został spopularyzowany przez Blaise'a Pascala, który w 1648 roku wykonał słynne doświadczenie, powtarzane później w wielu miastach i na wielu ówczesnych uniwersytetach. Pascal napełnił wodą solidnie wykonaną beczkę z dębowych klepek. Beczka była tak szczelna, że nie przepuszczała ani kropli wody. Do wieka beczki przymocował długą, wąską rurkę, sięgającą aż do drugiego piętra budynku. Rurka była tak wąska, że mogła pomieścić zaledwie około 2 litrów wody. Pascal, znajdujący się na drugim piętrze, bardzo powoli i ostrożnie napełniał rurkę wodą. Początkowo nic się nie działo. Gdy jednak poziom wody w rurce wzrastał, klepki w beczce zaczęły się rozsuwać pod naporem wody i beczka zaczęła przeciekać. Pascal w swoim doświadczeniu wykorzystał dwa fakty:

- ciśnienie zależy nie tyle od ciężaru wody, ile od wysokości słupa cieczy,
- parcie, czyli siła nacisku na ścianki naczynia (w jego doświadczeniu – beczki), zależy od ciśnienia i od pola powierzchni.



Ciśnienie atmosferyczne

Z pojęciem ciśnienia atmosferycznego stykasz się codziennie, np. słuchając prognozy pogody. Spiker zapowiada na przykład: ciśnienie atmosferyczne wynosi 990 hPa. Co to jest ciśnienie atmosferyczne?



Ciśnienie atmosferyczne mierzy się za pomocą barometru.

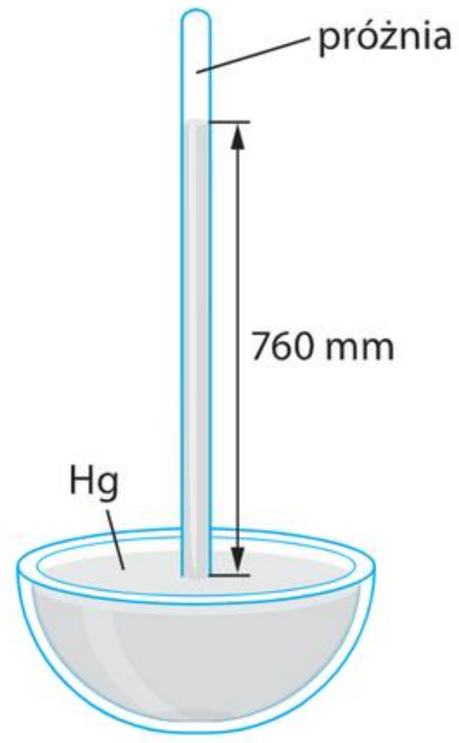
Ciśnienie atmosferyczne to ciśnienie, jakie wywiera powietrze na Ziemię i wszystkie ciała znajdujące się w atmosferze ziemskiej.

Powietrze wyższych warstw atmosfery naciska na warstwy znajdujące się poniżej. Nacisk ten spowodowany jest tym, że powietrze ma swój ciężar. Pierwszym, który to zauważył, był Galileusz (w XVII w.). Do wniosku tego doszedł po zważeniu zamkniętego naczynia ze zwykłym powietrzem i takiego samego naczynia z powietrzem sprężonym.

Ciśnienie atmosferyczne zależy m.in. **od wysokości nad poziomem morza** i jest wywierane na powierzchnię Ziemi i na wszystkie znajdujące się na niej ciała. Zmiany ciśnienia atmosferycznego mają też wpływ na pogodę, np. na ilość opadów.

Pomiar ciśnienia atmosferycznego

Pomiar ciśnienia atmosferycznego po raz pierwszy przeprowadził uczeń Galileusza, **Evangelista Torricelli** (czyt. toriczelli, 1608–1647) – włoski matematyk i fizyk (konstruktor pierwszego barometru i mikroskopu). W 1643 roku Torricelli wykonał swoje słynne doświadczenie, używając do niego rtęci. Szklaną rurkę o długości 1 m, zasklepioną z jednego końca, napełnił rtęcią i zatkał. Następnie odwrócił rurkę dnem do góry i ciągle zatkany wylot umieścił w naczyniu z rtęcią. Odetkał wówczas rurkę i okazało się, że część rtęci z rurki wylała się do naczynia – poziom rtęci w rurce się obniżył. W górnej części rurki wytworzyła się pusta przestrzeń, czyli **próżnia**. Wysokość słupa rtęci w rurce wynosiła 760 mm (czyli 76 cm). Co to oznacza? Otóż ciśnienie powietrza naciskającego na rtęć w naczyniu jest takie samo jak ciśnienie słupa rtęci o wysokości 760 mm. W ten sposób E. Torricelli zmierzył ciśnienie atmosferyczne.



Schemat doświadczenia Torricellego.

Ciśnienie wytwarzane przez słup rtęci o wysokości 760 mm (1013,25 hPa) zostało nazwane **jedną atmosferą** (at). Zwykle ciśnienie atmosferyczne nie jest równe tej wartości, lecz waha się wokół niej w zależności od zmian pogody. Do niedawna wartość ciśnienia atmosferycznego określana była w milimetrach słupa rtęci (mmHg), a także w atmosferach. Dziś używa się jednostki paskal (Pa) i jej wielokrotności (hektopaskal – hPa, kilopaskal – kPa).

FIZYKA WOKÓŁ NAS

W wysokich górach ciśnienie atmosferyczne jest zbyt niskie, aby można było normalnie oddychać. Na szczycie Mount Everest (8848 m n.p.m.) wynosi około 300 hPa, czyli mniej niż $\frac{1}{3}$ ciśnienia powietrza, jakim oddychamy na co dzień.
Z tego powodu himalaiści często korzystają z butli i aparatów tlenowych.

Dlaczego Evangelista Torricelli użył rtęci do swojego doświadczenia? Otóż gęstość rtęci jest 13,6 razy większa od gęstości wody. Aby to samo doświadczenie przeprowadzić z wodą, należałoby użyć rurki długości ponad 10 m, gdyż:

$$760 \text{ mm} \cdot 13{,}6 = 10\,336 \text{ mm}$$

Występowanie ciśnienia atmosferycznego możesz wykazać w eksperymencie.

DOŚWIADCZENIE 29

1. Przygotuj: wysokie, wąskie naczynie (np. słoiczek po oliwkach albo wysoką, wąską szklankę), miskę z wodą i gruby kartonik lub elastyczną podkładkę pod szklankę.
2. Napełnij naczynie wodą po brzegi.
3. Przykryj naczynie kartonikiem lub podkładką.
4. Dociskając kartonik tak, aby woda nie wylała się z naczynia, obróć naczynie dnem do góry i ostrożnie puść kartonik. Co obserwujesz?
5. Zanurz naczynie w misce z wodą i usuń kartonik. Co obserwujesz? Dlaczego tak się dzieje?



Woda nie wylewa się z naczynia i jej poziom jest wyższy niż poziom wody w misce.

Po odwróceniu naczynia i puszczeniu kartonika woda nie wylewa się z naczynia. Jest tak, ponieważ na kartonik od spodu naciska powietrze, wywierając ciśnienie większe niż od góry woda w szklance. Po włożeniu naczynia do miski i usunięciu kartonika woda z naczynia nie wylewa się. Dzieje się tak, ponieważ na powierzchnię wody w misce naciska powietrze, wywierając ciśnienie równe ciśnieniu atmosferycznemu. Zgodnie z tym, co było powiedziane wcześniej, aby zaobserwować obniżenie poziomu wody w naczyniu, musiałoby ono mieć ponad 10 m wysokości.

TO NAJWAŻNIEJSZE

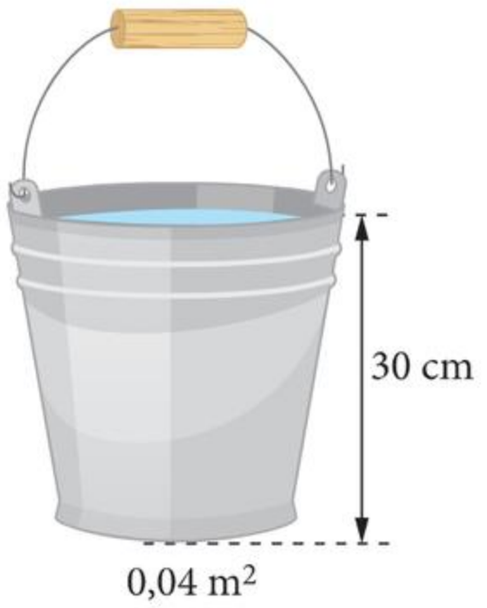
- Ciśnienie wywierane przez słup cieczy nazywa się **ciśnieniem hydrostatycznym**. Rośnie ono wraz z wysokością słupa cieczy i z jej gęstością.
- **Ciśnienie atmosferyczne** to ciśnienie, jakie wywiera powietrze na Ziemię i wszystkie ciała znajdujące się w atmosferze ziemskiej. Im wyżej nad powierzchnią Ziemi, tym ciśnienie powietrza jest niższe.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie ciśnienia hydrostatycznego i parcia



W wiadrze o polu podstawy 0,04 m^2 i wysokości 30 cm znajduje się woda o gęstości 1 $\frac{g}{cm^3}$.

a) Oblicz ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez wodę na dno wiadra.

b) Oblicz parcie wody na dno naczynia.

Dane:

$S = 0{,}04\ m^2$

$h = 30\ cm = 0{,}3\ m$

$d = 1\ \frac{g}{cm^3} = 1000\ \frac{kg}{m^3}$

$g = 10\ \frac{N}{kg}$

Szukane:

$p = ?$

$F_n = ?$

Pamiętaj o wyrażeniu wszystkich potrzebnych wielkości fizycznych w jednostkach układu SI.

Rozwiązanie:

a) Stosujemy wzór na ciśnienie hydrostatyczne: $p = d \cdot g \cdot h$.

Podstawiamy dane liczbowe:

$$p = 1000\ \frac{\cancel{kg}}{m^{\cancel{3}2}} \cdot 10\ \frac{N}{\cancel{kg}} \cdot 0{,}3\ \cancel{m} = 3000\ \frac{N}{m^2} = 3000\ Pa$$

b) Parcie jest iloczynem ciśnienia i pola powierzchni dna naczynia. Kształt wiadra nie jest istotny!

$$F_n = p \cdot S, \quad \text{więc} \quad F_n = 3000\ Pa \cdot 0{,}04\ m^2 = 120\ N$$

Odpowiedź: Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia wynosi 3000 Pa, a parcie wody na dno naczynia to 120 N.

1 W butelce o polu podstawy 0,003 m^2 i wysokości 30 cm znajduje się oliwa z oliwek o gęstości 0,92 $\frac{g}{cm^3}$.

a) Oblicz ciśnienie hydrostatyczne wywierane przez oliwę na dno butelki.

b) Oblicz parcie oliwy na dno naczynia.

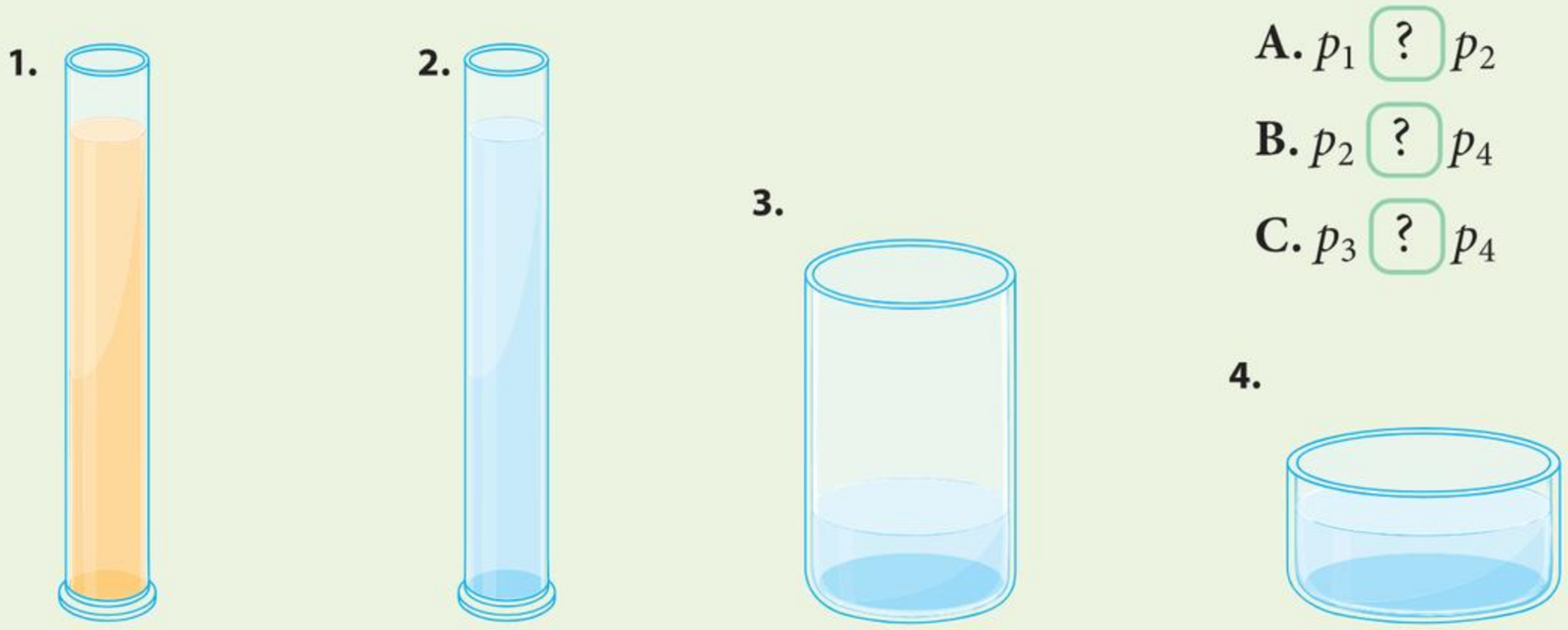
c) Czy ciśnienie wywierane na boczne ścianki butelki tuż przy dnie jest *większe*, *mniejsze* czy *takie samo* jak ciśnienie wywierane na dno butelki?



2 Na rysunku poniżej przedstawiono cztery naczynia. W pierwszym naczyniu znajduje się olej, natomiast w pozostałych – woda. Olej ma mniejszą gęstość niż woda.

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Wstaw znak >, < lub = pomiędzy odpowiednie wartości ciśnienia hydrostatycznego, jakie jest wywierane na dno każdego z naczyń. Przyjmij, że indeks dolny odpowiada numerowi naczynia.



A. p_1 ? p_2

B. p_2 ? p_4

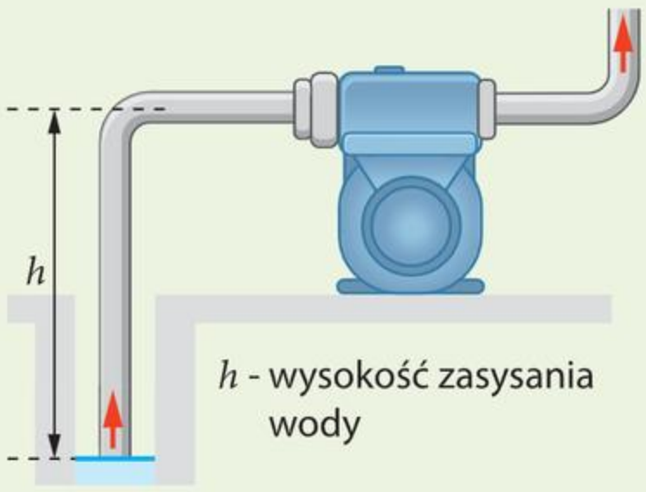
C. p_3 ? p_4

3 Niektóre zegarki wodoodporne wytrzymują ciśnienie 2,06 MPa. Oblicz głębokość, na jaką może zejść nurek z takim zegarkiem na ręku, aby zegarek nie uległ zniszczeniu. Przyjmij, że gęstość wody morskiej wynosi 1030 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

4 W naczyniu o wysokości 20 cm znajduje się pewna ciecz. Wywiera ona na dno naczynia ciśnienie hydrostatyczne 1840 Pa. Jaka to może być ciecz? Skorzystaj z tabeli na str. 274.

5 Naukowcy intensywnie badają przestrzeń kosmiczną. Sondy wysłane z Ziemi docierają do najdalszych zakątków naszego Układu Słonecznego. Na Europie – księżycu Jowisza – odkryto ocean, którego głębokość wynosi prawdopodobnie 100 km. Teraz naukowcy chcą zbudować łódź podwodną do zbadania tego oceanu.
Jakie ciśnienie powinna wytrzymać łódź podwodna, aby mogła zbadać dno takiego oceanu? Przyjmij, że gęstość wody w oceanie wynosi 1030 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a współczynnik g (przyspieszenie grawitacyjne) na Europie to 1,3 $\frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

6 Przeanalizuj działanie pompy, która pozwala pobierać wodę ze studni (patrz rysunek obok), i posługując się wiadomościami z podręcznika, wyjaśnij, dlaczego nie jest ona w stanie zasysać w górę wody z głębokości większej niż 10 m.



16 Prawo Pascala

Cel lekcji: Dowiesz się, w jaki sposób ciśnienie rozchodzi się w cieczach i gazach. Poznasz prawo Pascala oraz jego praktyczne zastosowania.

Nacisk a ciśnienie w cieczy i gazie

Ciecze i gazy mają szczególną cechę: przenoszą działające na nie siły jednakowo we wszystkie strony. Możemy się o tym przekonać, wykonując doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 30

1. Przygotuj: strzykawkę, piłeczkę pingpongową, gwóźdź i dużą miskę.
2. Wykonaj jeden otwór w piłeczce pingpongowej – taki, aby wepchnięty do niego dziobek strzykawki ciasno przylegał do krawędzi.
3. Następnie wykonaj jeszcze kilka otworów o jednakowych wielkościach, w różnych miejscach piłeczki.
4. Napełnij piłeczkę pingpongową i strzykawkę wodą.
5. Wetknij dziobek strzykawki w otwór w piłeczce, włóż przyrząd do miski i przesuń tłoczek (jak na ilustracji). Co obserwujesz?

Woda wytryskuje ze wszystkich otworów z jednakową prędkością.



Zewnętrzna siła działająca na ciecz, czyli siła, z jaką naciskamy na tłoczek, przenosi się w całej objętości cieczy. Podobny skutek obserwujemy w gazach – gdybyśmy w doświadczeniu 30 zamiast wody użyli np. dymu z kadzidełka, efekt byłby podobny. Przenoszenie sił we wszystkich kierunkach odbywa się dzięki nieustannym i bardzo częstym zderzeniom cząsteczek.
Do takich samych wniosków doszedł Pascal i sformułował je w postaci prawa, nazwanego od jego nazwiska **prawem Pascala**:

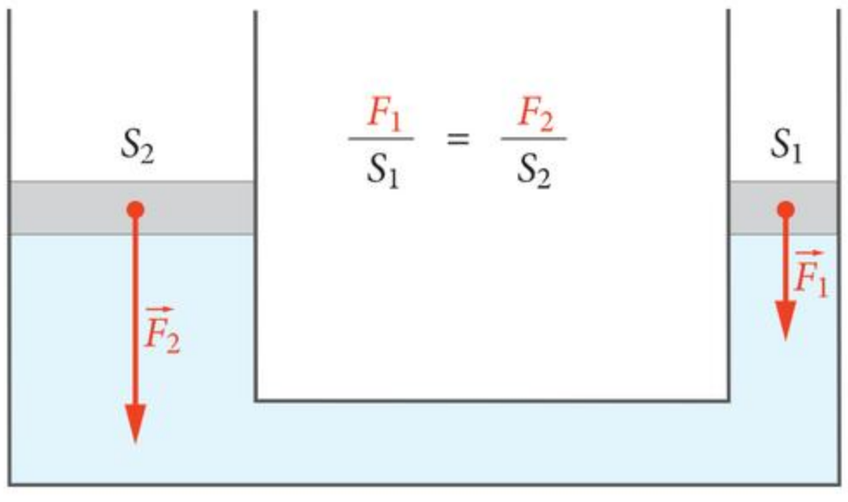
> Nacisk wywierany z zewnątrz na ciecz lub gaz powoduje **jednakowy wzrost ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu**.

Zastosowania prawa Pascala

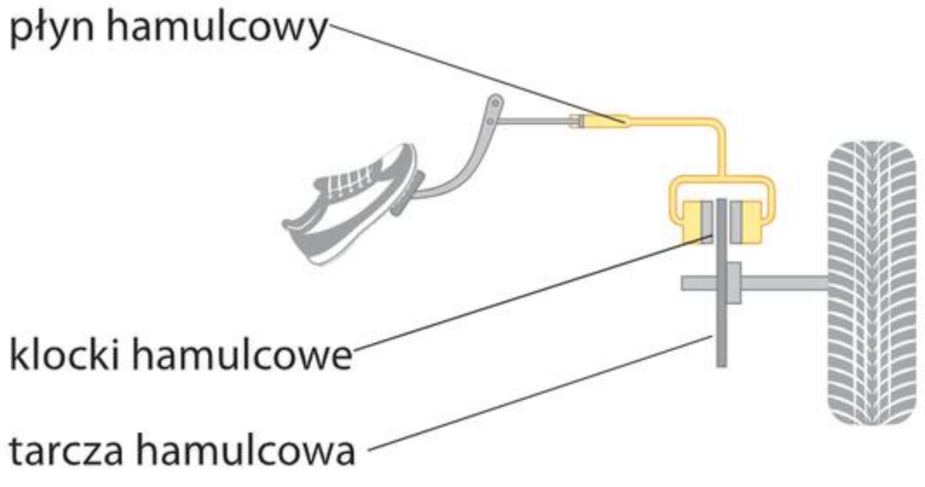
W 1651 roku Pascal opracował maszynę, która zwielokrotnia siłę nacisku. Maszyna ta to **prasa hydrauliczna**.
Prasę hydrauliczną wykorzystano po raz pierwszy do obróbki metali w 1820 roku, wyciskając za jej pomocą rury z ołowiu. Wartość siły F_2 uzyskanej za pomocą prasy jest tyle razy większa od wartości siły F_1 (włożonej), ile razy powierzchnia S_2 – tłoka dużego – jest większa od powierzchni S_1 – tłoka małego.

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

Zatem działając na mniejszy tłok małą siłą, można zrównoważyć dużą siłę działającą na większy tłok.



Schemat prasy hydraulicznej.



Schemat zasady działania hamulca hydraulicznego.

Prasy hydrauliczne służą między innymi do nadawania kształtu różnym elementom wykonanym z blachy lub też do wyciskania soku (np. z winogron) czy oleju z nasion (np. słonecznika). Wykorzystuje się je również jako podnośniki.
Na podstawie prawa Pascala działają również **hamulce hydrauliczne**, np. w samochodach. Po naciśnięciu pedału hamulca ciecz (płyn hamulcowy) tłoczona jest w stronę tarcz (lub bębnów) hamulcowych. Płyn hamulcowy dociska hamulce do tarcz zamocowanych przy kołach.



Prasy hydrauliczne są często wykorzystywane w przemyśle.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Prawo Pascala**: Nacisk wywierany z zewnątrz na ciecz lub gaz powoduje jednakowy wzrost ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu.
- Prawo Pascala wykorzystuje się np. w konstrukcji **prasy hydraulicznej** czy **hamulców hydraulicznych**.

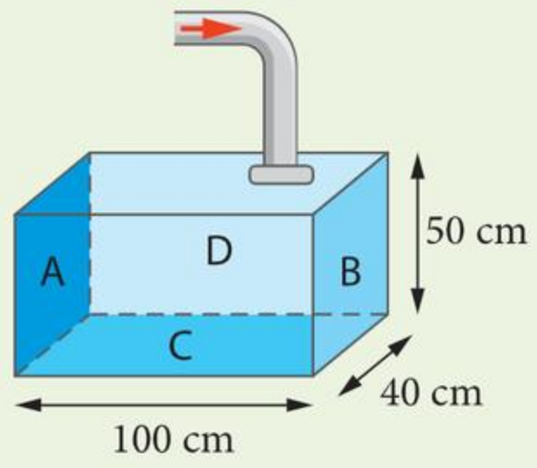
Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

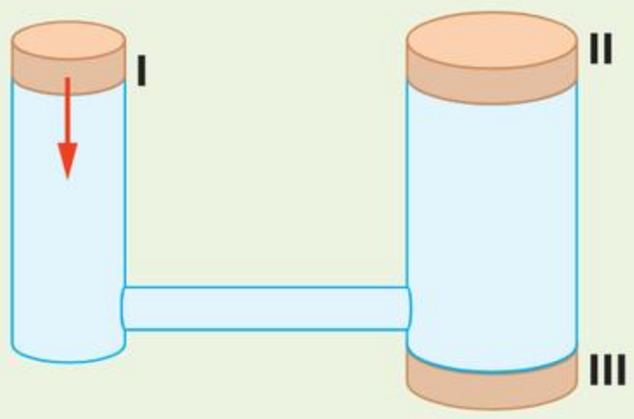
1 Zapisz w zeszycie poprawnie uzupełnione zdanie. Prawo Pascala zostało sformułowane

A. tylko dla gazów.
B. tylko dla cieczy.
C. dla gazów i cieczy.
D. dla gazów, cieczy i ciał stałych.

2 Do pojemnika w kształcie prostopadłościanu wpompowano powietrze (patrz rys. obok), tak że ciśnienie wywierane na ściankę A wzrosło o 50 kPa. Parcie wywierane przez powietrze na tę ściankę wzrosło o 10 000 N.
Oblicz, o ile wzrosło ciśnienie i parcie wywierane na ścianki B, C i D.



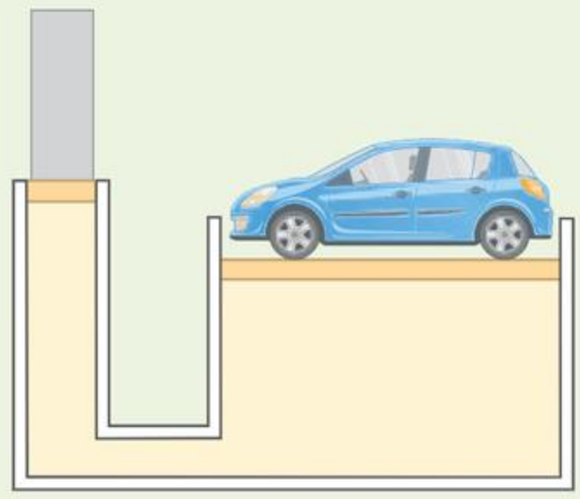
3 Na rysunku przedstawiono element hydrauliczny pewnego urządzenia. Gdy naciskamy na tłok I, to tłoki II oraz III o takich samych powierzchniach są wypychane na zewnątrz.
Wskaż poprawne uzupełnienia zdań.



Nacisk na tłok I powoduje, że wywiera on na ciecz ciśnienie 500 Pa.
W tej sytuacji ciśnienie wywierane na tłok II wzrasta o **A/ B/ C**, ciśnienie wywierane na tłok III wzrasta o **A/ B/ C**. Gdy naciskamy na tłok I siłą 200 N, to siła, z jaką wypychany jest tłok II, ma wartość **D/ E/ F** i jest **G/ H/ I**.

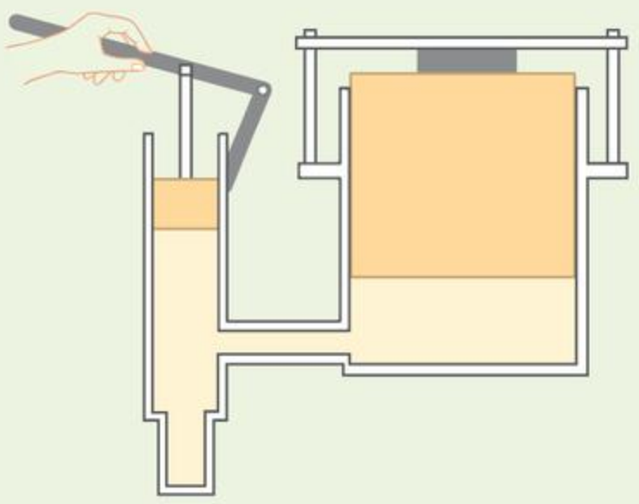
A. więcej niż 500 Pa
B. dokładnie 500 Pa
C. mniej niż 500 Pa
D. taką samą jak siła wywierana na tłok III
E. mniejszą niż siła wywierana na tłok III
F. większą niż siła wywierana na tłok III
G. mniejsza niż 200 N
H. większa niż 200 N
I. równa 200 N

4 Podnośnik samochodowy może działać na zasadzie prasy hydraulicznej. Przyjmij, że mniejszy tłok ma powierzchnię 0,2 m^2, a większy – podnoszący samochód – ma powierzchnię 6 m^2. Oblicz:



a) siłę przyłożoną do przedmiotu na małym tłoku, która zrównoważy ciężar samochodu o masie 900 kg, stojącego na dużym tłoku,

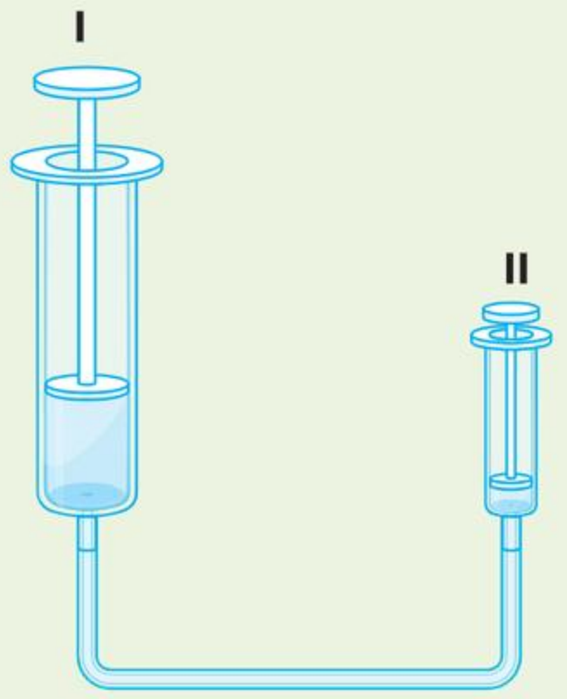
b) masę przedmiotu, który, położony na małym tłoku, pozwoli uzyskać równowagę.



5 W składnicy złomu używana jest prasa hydrauliczna o sile prasowania wynoszącej 400 kN. Oblicz siłę, jaką należy działać na mniejszy tłok, o powierzchni 200 razy mniejszej niż stół, na który kładziony jest złom.

6 Wskaż poprawne dokończenie zdania.

Dwie strzykawki połączono wężykiem. Między ich tłokami nie ma powietrza, jest natomiast pewna ilość wody. Jeżeli pierwsza strzykawka ma średnicę dwa razy większą niż druga, to wciśnięcie jej tłoka do końca (a tym samym wysunięcie tłoka w mniejszej strzykawce) jest **A/ B/ C**.

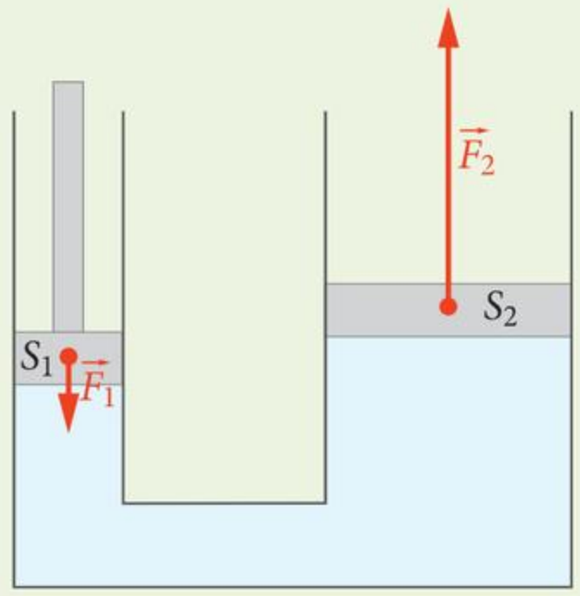


A. łatwiejsze niż wciśnięcie tłoka w mniejszej strzykawce

B. trudniejsze niż wciśnięcie tłoka w mniejszej strzykawce

C. tak samo łatwe jak wciśnięcie tłoka w drugiej strzykawce

7 Duży tłok w prasie hydraulicznej przesuwa się o 1 cm, a mały tłok o 20 cm. Pole powierzchni małego tłoka wynosi 25 cm^2, a siła działająca na niego to 250 N. Oblicz:



a) pole powierzchni dużego tłoka,

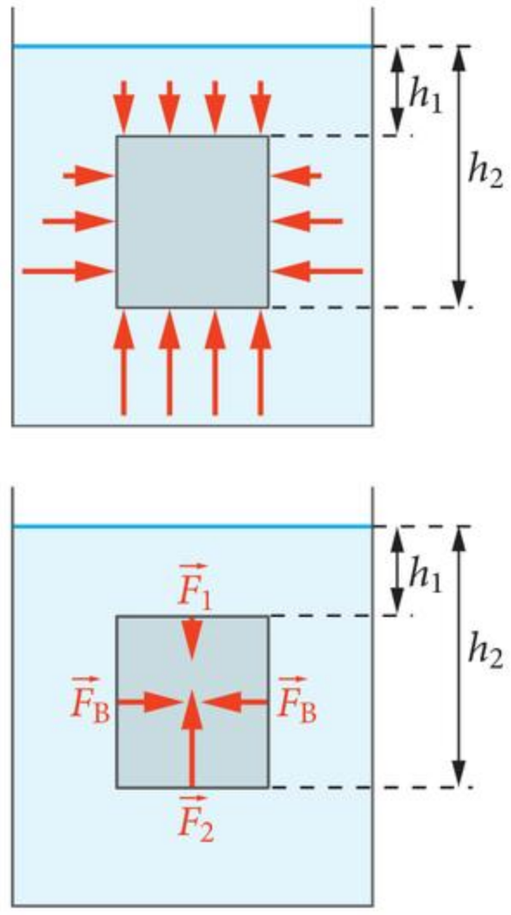
b) siłę wywieraną przez duży tłok.

17 Prawo Archimedesa

Cel lekcji: Dowiesz się, czym jest siła wyporu i o czym mówi prawo Archimedesa.

Siła wyporu w cieczach

Zapewne z własnego doświadczenia wiesz, że podnosząc np. z dna jeziora duży kamień, używamy stosunkowo niewielkiej siły, dopóki jest on zanurzony. Jednak gdy tylko wyjmiemy go nad powierzchnię wody, podnoszenie staje się trudniejsze. Również własny ciężar odczuwamy inaczej, stojąc w wodzie, a inaczej, gdy wyjdziemy na brzeg. Jak wyjaśnić to zjawisko? W lekcji 15 wyjaśniliśmy, czym jest ciśnienie hydrostatyczne i stwierdziliśmy, że zależy ono od głębokości. Zatem jeśli zanurzymy ciało w cieczy, to ciśnienia wywierane na boczne ścianki będą się znosić, natomiast ciśnienia wywierane na ciało od góry i od dołu będą różne. Powstanie zatem skierowana do góry wypadkowa siła działająca na zanurzone ciało (patrz rys.). O działaniu tej siły możesz przekonać się, wykonując doświadczenie.



W wyniku różnicy ciśnień wywieranych na górną i dolną powierzchnię zanurzonego ciała, na to ciało działa skierowana do góry wypadkowa siła.

DOŚWIADCZENIE 31

1. Przygotuj: trzy jednakowych rozmiarów prostopadłościany wykonane z różnych materiałów tonących w wodzie (np. z aluminium, z mosiądzu, ze stali), siłomierz i naczynie z wodą.
2. Za pomocą siłomierza wyznacz ciężar F_g prostopadłościanu z aluminium i zapisz wynik.
3. Nie zdejmując prostopadłościanu z siłomierza, zanurz go całkowicie w naczyniu z wodą.
4. Ponownie odczytaj i zapisz wskazanie siłomierza F.
5. Powtórz pomiary dla pozostałych prostopadłościanów. Co zauważasz?


Wskazówka siłomierza podczas zanurzania każdego prostopadłościanu podniosła się o tę samą wartość.



Wiesz już z lekcji poświęconej wyznaczaniu gęstości ciał, że objętość wypartej wody jest równa objętości zanurzonego ciała. Przyjrzyj się wynikom pomiarów. Za każdym razem wskazania siłomierza z prostopadłościanem zanurzonym w wodzie są mniejsze niż pomiar dokonany w powietrzu. O ile te wskazania są mniejsze? Aby to obliczyć, należy od wskazania siłomierza przed zanurzeniem ciała w wodzie (czyli jego ciężaru F_g) odjąć wskazanie siłomierza F po zanurzeniu tego ciała.
Okazuje się, że różnica $(F_g - F)$ dla każdego z prostopadłościanów z doświadczenia jest taka sama. Co to oznacza? Wskazanie siłomierza po zanurzeniu ciała jest mniejsze niż przed jego zanurzeniem, co potwierdza, że na prostopadłościan w wodzie działa siła, zwrócona ku górze. Siła ta nosi nazwę **siły wyporu**.

Na ciała o jednakowej objętości całkowicie zanurzone w tej samej cieczy działa taka sama siła wyporu.

Zwróć uwagę, że wartość siły wyporu nie zależy od rodzaju materiału, z jakiego zbudowane jest ciało.

Prawo Archimedesa dla cieczy

DOŚWIADCZENIE 32

1. Przygotuj szczelny woreczek foliowy (wygodnie jest użyć woreczka strunowego), naczynie z wodą i siłomierz.
2. Napełnij woreczek wodą i zamknij lub zawiąż go.
3. Za pomocą siłomierza wyznacz ciężar woreczka z wodą.
4. Następnie, nie odczepiając woreczka od siłomierza, ostrożnie zanurz go całkowicie w naczyniu z wodą. Odczytaj wskazanie siłomierza.



Po zanurzeniu woreczka siłomierz wskazuje 0 N.

Na zanurzony woreczek z wodą działają siły równoważące się: ciężar woreczka z wodą (o kierunku pionowym i zwrocie w dół) oraz siła wyporu (o kierunku pionowym i zwrocie w górę). Siła wyporu ma zatem wartość równą ciężarowi wody w woreczku (ciężar woreczka można pominąć). Objętość wypartej wody jest równa

objętości wody w zanurzonym woreczku. Zatem wartość siły wyporu F_w jest równa ciężarowi F_g wypartej cieczy: $F_w = F_g$.
W ten sposób poznałeś bardzo ważne prawo, które zostało odkryte i sformułowane przez **Archimedesa**, uczonego żyjącego w III wieku p.n.e. Oto jego treść:

> Na każde ciało zanurzone w cieczy działa **siła wyporu** zwrócona ku górze i co do wartości **równa ciężarowi** wypartej cieczy.

Siła wyporu a gęstość cieczy

Sprawdźmy doświadczalnie, w jaki sposób siła wyporu zależy od rodzaju (gęstości) cieczy, w której zanurzane jest ciało.

DOŚWIADCZENIE 33

1. Przygotuj: jajko, 2 szklanki, łyżkę stołową, gorącą i zimną wodę oraz sól.
2. Jedną szklankę napełnij w $\frac{3}{4}$ zimną wodą, a drugą w $\frac{3}{4}$ gorącą wodą.
3. Do gorącej wody wsyp trzy czubate łyżeczki soli i mieszaj aż do całkowitego jej rozpuszczenia.
4. Odstaw szklankę z gorącą wodą, aby nieco ostygła.
5. Włóż jajko do szklanki z wodą bez soli. Co obserwujesz?
6. Przełóż jajko do szklanki z soloną wodą. Co obserwujesz tym razem?



W szklance z soloną wodą jajko wypływa.

Po przełożeniu jajka do solonej wody jajko wypłynęło, co oznacza, że w solonej wodzie działała na nie większa siła wyporu. Objętość jajka nie zmieniła się. Co więc się zmieniło? Rozpuszczenie soli w wodzie zwiększyło gęstość cieczy. Wynika stąd, że:

> Im większa gęstość cieczy, tym większa siła wyporu działa na ciało w niej zanurzone.

Wartość siły wyporu F_w można obliczyć, korzystając ze wzoru:

siła wyporu	=	gęstość cieczy	· objętość wypartej cieczy	· współczynnik proporcjonalności g	$F_w = d_c \cdot V_c \cdot g$

Uwaga. Objętość wypartej cieczy jest równa objętości zanurzonej części ciała.

Siła wyporu w gazach

Wiesz, że balon napełniony helem wypuszczony z ręki ucieka do góry. Dzieje się tak dlatego, że na ciała umieszczone w gazach również działa siła wyporu.
Wartości sił wyporu (działających na to samo ciało) w gazach są jednak nieporównywalnie mniejsze niż w cieczach, gdyż gęstości gazów są mniejsze niż gęstości cieczy.

Balon napełniony powietrzem opada na podłogę, gdyż wartość siły wyporu jest mniejsza niż jego ciężar.
Balon z helem unosi się, gdyż wartość siły wyporu jest większa niż jego ciężar. Gęstość powietrza (ok. 1,2 $\frac{kg}{m^3}$) jest większa niż gęstość helu (ok. 0,18 $\frac{kg}{m^3}$).
Prawo Archimedesa dla gazów można sformułować analogicznie jak dla cieczy:



> Na każde ciało umieszczone w gazie działa **siła wyporu** zwrócona ku górze **równa co** do wartości **ciężarowi** wypartego gazu.

TO NAJWAŻNIEJSZE

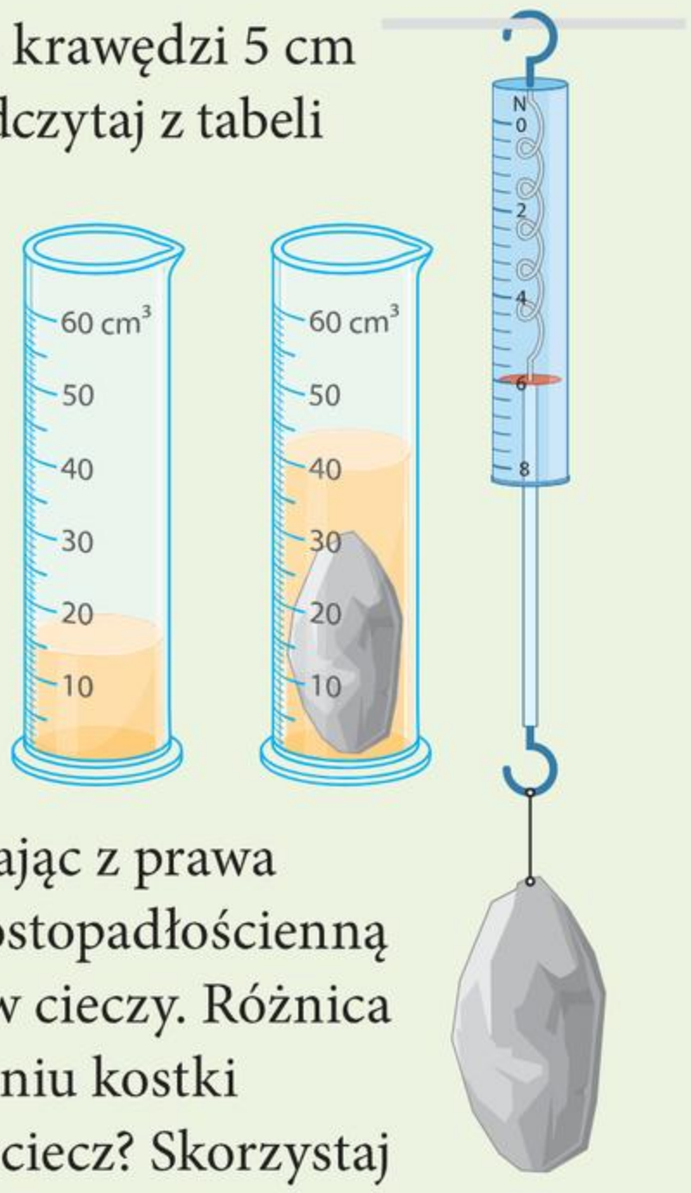
- **Prawo Archimedesa**: Na każde ciało zanurzone w cieczy lub w gazie działa siła wyporu równa co do wartości ciężarowi wypartej przez to ciało cieczy lub wypartego przez to ciało gazu.
- **Siła wyporu** ma kierunek pionowy, a zwrot do góry. Jej wartość oblicza się ze wzoru: $F_w = d_c \cdot V_c \cdot g$, gdzie: d_c – gęstość cieczy, V_c – objętość wypartej cieczy, g – współczynnik 10 $\frac{N}{kg}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Oblicz siłę wyporu działającą na sześcienną kostkę o krawędzi 5 cm zanurzoną w alkoholu etylowym. Gęstość alkoholu odczytaj z tabeli na str. 274.

2 Uczeń wyznaczył siłę wyporu, z jaką oliwa działa na kamień. W tym celu wykonał pomiary, których wyniki zostały przedstawione na rysunkach obok, a dodatkowe dane znalazł w tabelach na końcu podręcznika. Oblicz wartość tej siły.
Czy uczeń poprawnie przeprowadził doświadczenie? Odpowiedź uzasadnij.

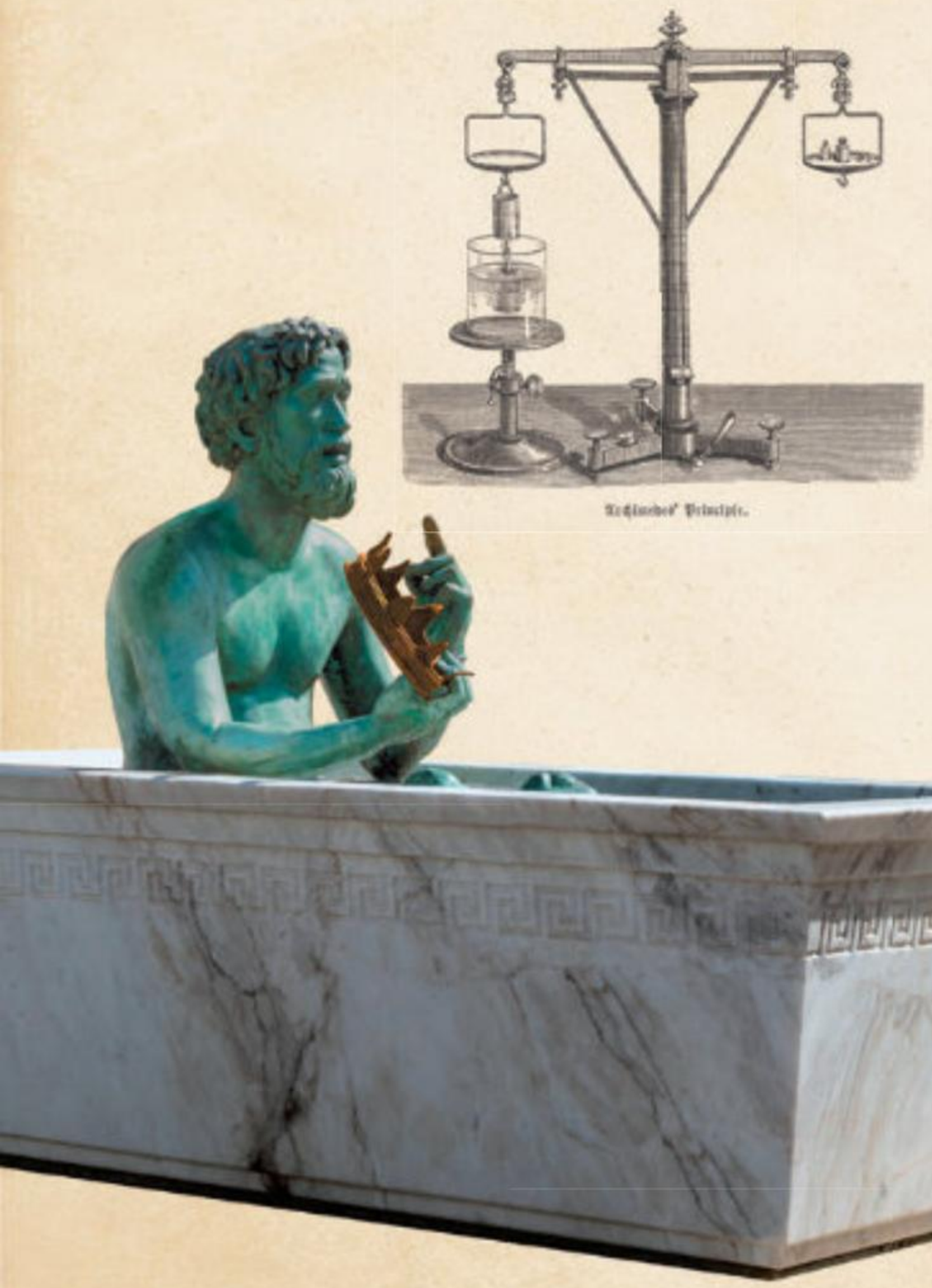


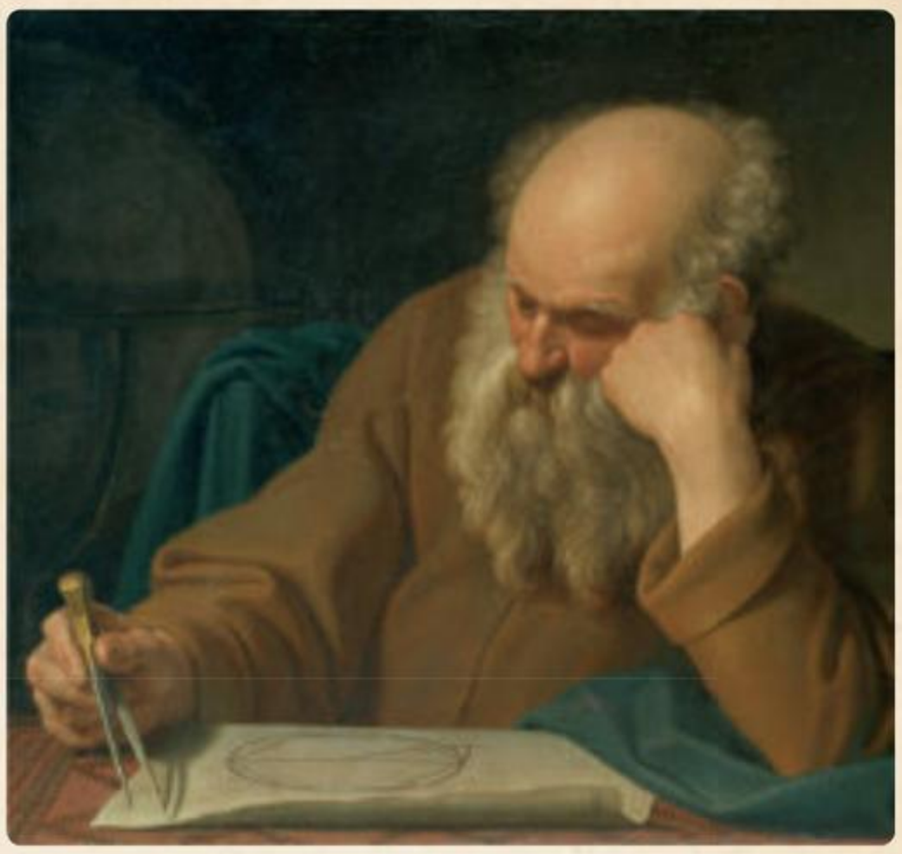
3 Uczeń postanowił wyznaczyć gęstość cieczy, korzystając z prawa Archimedesa. W tym celu zawiesił na siłomierzu prostopadłościenną kostkę o wymiarach: 2 cm, 4 cm, 5 cm i zanurzył ją w cieczy. Różnica wskazań siłomierza przed zanurzeniem i po zanurzeniu kostki wynosiła 368 mN. Oblicz gęstość tej cieczy. Co to za ciecz? Skorzystaj z tabeli na str. 274.

Archimedes

Archimedes, matematyk i fizyk, żył w starożytnej Grecji w latach 287–212 p.n.e. Do historii nauki przeszedł m.in. jako autor odkrycia zwanego dziś prawem Archimedesa. Legenda głosi, że odkrycia tego dokonał podczas kąpieli. Uradowany wyskoczył nagi z wanny, wołając „**Heureka!**" (gr. *heureka* – odkryłem).

Archimedes jako jeden z pierwszych wykorzystywał matematykę do opisywania rzeczywistych obiektów fizycznych i praw, jakie nimi rządzą. Był też uważany za wynalazcę machiny do obrony miasta Syrakuz podczas jego oblężenia przez Rzymian. Za swoje największe osiągnięcie uważał dowód, że stosunek objętości kuli do opisanego na niej walca wynosi $\frac{2}{3}$. Zażyczył sobie, aby ten wynik został wyryty na jego nagrobku.





Archimedes mieszkał w Syrakuzach, gdzie rządził król Heron. Według legendy pewnego razu Heron zamówił u złotnika nową szczerozłotą koronę. Władca podejrzewał, że rzemieślnik wykonał koronę ze stopu, a nie z czystego złota, dlatego poprosił Archimedesa, aby to sprawdził. Życzył sobie przy tym, aby korona pozostała nietknięta. Archimedes sporo się nagłowił, ale rozwikłał zagadkę. Nalał wody do naczynia, zanurzył w nim koronę i wyznaczył objętość wody, która została wyparta. Następnie zanurzył w naczyniu kawałek czystego złota, którego ciężar był identyczny z ciężarem korony. Ponownie wyznaczył objętość wypartej wody. Powinna być ona identyczna z objętością wody wypartej przez koronę, a jednak była mniejsza, co oznaczało, że złotnik był nieuczciwy.

18 Prawo Archimedesa a pływanie ciał

Cel lekcji: Dowiesz się, od czego zależy, czy dane ciało tonie czy nie.

Warunki pływania ciał

Wiesz już, że na ciała zanurzone w cieczy lub gazie działa siła wyporu zwrócona do góry oraz ciężar ciała. Wzór na ciężar ciała zapisujemy następująco: $F_g = m \cdot g$. Jeśli masę ciała wyrazimy za pomocą objętości ciała $V_{ciała}$ i gęstości ciała $d_{ciała}$, to wzór na ciężar przyjmuje postać:

$$F_g = d_{ciała} \cdot V_{ciała} \cdot g$$

Porównajmy go ze wzorem na siłę wyporu działającą na całkowicie zanurzone ciało:

$$F_w = d_{cieczy} \cdot V_{ciała} \cdot g$$

Jak widać, o tym, która siła jest większa decyduje to, czy większa jest gęstość ciała czy gęstość cieczy. Sprawdźmy, które ciała toną, a które nie.

DOŚWIADCZENIE 34

1. Przygotuj naczynie z wodą, metalową śrubę lub nakrętkę do śruby i drewniany klocek.
2. Połóż na powierzchni wody śrubę lub nakrętkę i obserwuj, co się stanie.
3. Połóż na wodzie drewniany klocek. Wepchnij klocek pod wodę. Co obserwujesz?



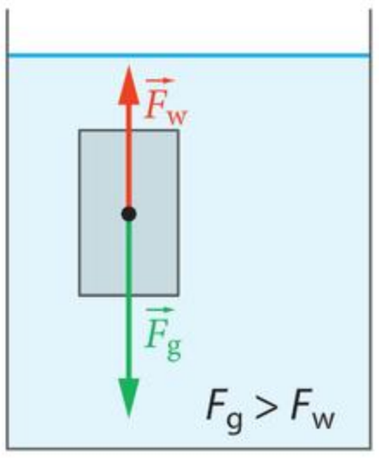
Stalowa nakrętka opada na dno naczynia, a drewniany klocek pływa częściowo zanurzony.

Tonięcie nakrętki oznacza, że wartość jej ciężaru F_g jest większa niż wartość siły wyporu F_w (rys. A). Wypadkowa obu sił jest zwrócona w dół, a jej wartość jest równa różnicy wartości sił F_g i F_w. Siła wyporu ma wartość mniejszą od ciężaru nakrętki, ponieważ **gęstość wody jest mniejsza niż gęstość stali**.

Gdy nakrętka opadnie na dno, zatrzymuje się i pozostaje w spoczynku. Dzieje się tak dlatego, że od tego momentu działa jeszcze jedna siła, która gwarantuje równowagę – siła reakcji (sprężystości) podłoża, w tym wypadku dna naczynia.

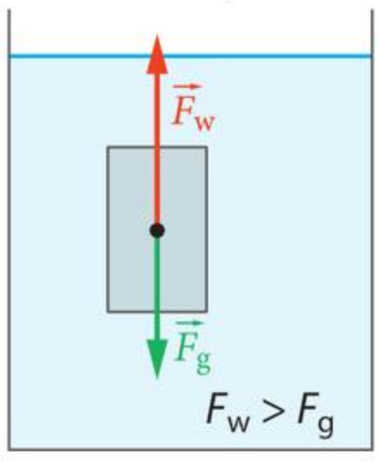
Drewniany klocek po zanurzeniu **wypływa**, gdyż siła wyporu ma większą wartość niż ciężar klocka (rys. B).

A.



Ciało tonie w cieczy.

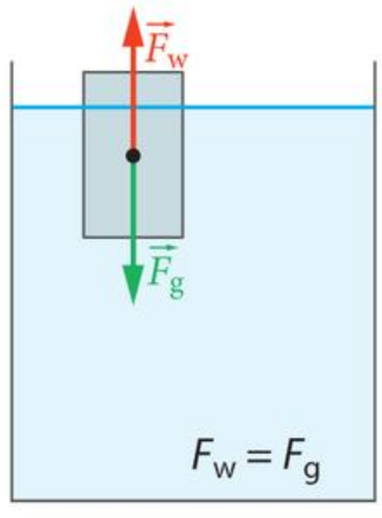
B.



Ciało wypływa.

Wypadkowa obu sił ma zwrot ku górze, a jej wartość jest równa różnicy wartości sił F_w i F_g.
Siła wyporu ma wartość większą niż ciężar ciała, ponieważ **gęstość wody jest większa niż gęstość drewna**.
Po wypłynięciu na powierzchnię klocek zatrzymuje się częściowo w niej zanurzony, co oznacza, że siły działające na niego równoważą się. Dzieje się tak dlatego, że wartość siły wyporu zależy tylko od objętości zanurzonej części klocka – jest więc mniejsza niż wtedy, gdy w całości był pod wodą (rys. C).
To, czy ciało tonie w cieczy, czy wypływa na jej powierzchnię, zależy od relacji gęstości ciała i gęstości cieczy.

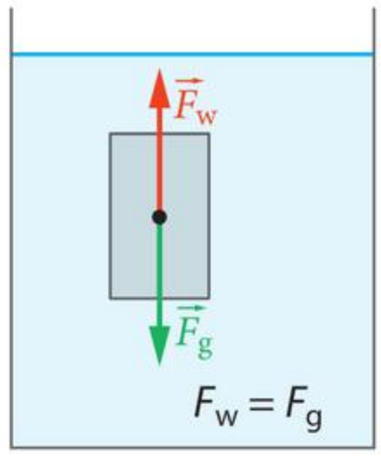
C.



Ciało częściowo zanurzone.

Jeżeli gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy, ciało **tonie**. Jeżeli jego gęstość jest mniejsza od gęstości cieczy, to po zanurzeniu **wypływa** ono na powierzchnię.

D.



Ciało całkowicie zanurzone.

Nietrudno się domyślić, że ciało **tkwi zanurzone** w cieczy na takiej głębokości, na jakiej się je umieści, gdy siły wyporu i ciężkości równoważą się (rys. D). Jest tak, gdy **gęstość ciała i gęstość cieczy są sobie równe**.

Ciało pozostaje **całkowicie zanurzone w cieczy** (nie wypływa na jej powierzchnię i nie opada na dno), jeżeli jego gęstość i gęstość cieczy są sobie równe.



Wielotonowy statek przewożący ogromne ilości ładunku nie tonie dzięki sile wyporu.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Łodzie podwodne wyposaża się w specjalne zbiorniki balastowe. Napełniając je wodą lub wypompowując wodę ze środka, zmienia się średnią gęstość całej łodzi, dzięki czemu można sprawiać, że łódź zanurza się lub wypływa.

Zastosowanie prawa Archimedesa

Człowiek od zawsze wykorzystuje siłę wyporu. Tratwy, czółna, a potem łodzie oraz statki przewoziły ludzi i towary, utrzymywały łączność między kontynentami, przyczyniały się do rozwoju cywilizacji. Początkowo ich głównym budulcem było drewno, potem – także metale lub ich stopy, np. stal. Jak wytłumaczyć fakt, że wielkie, stalowe statki utrzymują się na powierzchni wody?

DOŚWIADCZENIE 35

1. Przygotuj naczynie z wodą i plastelinę.
2. Wrzuć do naczynia kulkę z plasteliny.
3. Wyjmij plastelinę z wody i uformuj ją w kształt miseczki o możliwie cienkich ściankach, a następnie połóż ostrożnie na powierzchni wody.



Ten sam kawałek plasteliny tonie, gdy jest grudką, a pływa, gdy uformujemy z niego miseczkę.

Miseczka z plasteliny nie tonie. Woda przez nią wyparta ma większą objętość niż woda wyparta przez ten sam kawałek plasteliny w postaci kulki. Dzieje się tak dlatego, że siła wyporu zależy nie tylko od objętości samej plasteliny, lecz także od objętości powietrza zawartego w zanurzonej części plastelinowej miseczki. Średnia gęstość miseczki i zawartego w niej powietrza jest mniejsza niż gęstość plasteliny w kształcie kulki i mniejsza niż gęstość wody.

CIEKAWOSTKA

Woda w Morzu Martwym ma na tyle dużą gęstość, że człowiek unosi się na jej powierzchni i nie tonie. Gęstość wody jest duża ze względu na znaczne zasolenie. Średnio we wszystkich morzach i oceanach znajduje się około 3,5% soli. Morze Martwe zawiera jej aż 24%. W słodkiej wodzie siła wyporu jest za mała, aby zrównoważyć ciężar człowieka, nawet gdy całe jego ciało jest zanurzone.



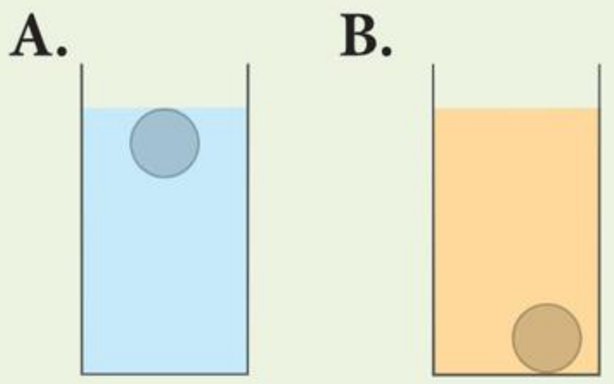
TO NAJWAŻNIEJSZE

- Jeżeli gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy, ciało **tonie** – wartość ciężaru takiego ciała jest większa od wartości siły wyporu: $F_g > F_w$.
- Jeżeli gęstość ciała jest mniejsza od gęstości cieczy, ciało **wypływa na powierzchnię** – wartość ciężaru takiego ciała jest mniejsza od wartości siły wyporu: $F_g < F_w$.
- Jeżeli gęstość ciała i gęstość cieczy są sobie równe, to ciało **pozostaje całkowicie zanurzone** w cieczy (nie wypływa na jej powierzchnię i nie opada na dno) – ciężar takiego ciała jest równy co do wartości sile wyporu: $F_g = F_w$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na rysunku obok przedstawiono, co dzieje się z kulką wykonaną z tworzywa sztucznego umieszczoną w roztworze wody z cukrem o gęstości 1,05 $\frac{g}{cm^3}$ (rys. A) oraz w alkoholu etylowym o gęstości 0,79 $\frac{g}{cm^3}$ (rys. B).



a) Wstaw odpowiedni znak >, < lub = pomiędzy wartością siły wyporu F_w oraz siły ciężkości F_g w obu przypadkach.

naczynie A: F_w [?] F_g naczynie B: F_w [?] F_g

b) Wybierz sformułowanie spośród podanych w ramce i określ, co się stanie z kulką umieszczoną:
A. w glicerynie **B.** w wodzie **C.** w nafcie

na pewno utonie • na pewno będzie pływać
• nie można jednoznacznie stwiedzić, czy utonie, czy będzie pływać

2 Troje uczniów rozmawiało o wnioskach z doświadczenia, w którym zanurzali ten sam przedmiot w cieczach o różnej gęstości. W każdej z tych cieczy przedmiot pływał, ale był w różnym stopniu zanurzony. Nasunęło to dyskutującym różne wnioski co do siły wyporu działającej na statek, który wypływa z rzeki (słodkiej wody) na morze, gdzie woda ma większą gęstość.

Oto wypowiedzi poszczególnych uczniów:
Dorota: Woda słona w morzu ma większą gęstość niż woda słodka w rzece, więc na otwartym morzu na statek działa większa siła wyporu niż w sytuacji, gdy pływa on po rzece.
Krystian: Ale przecież jeżeli statek pływa, to siła wyporu równoważy się z jego ciężarem, nieważne, czy statek płynie w wodzie słonej, czy słodkiej – siły wyporu będą takie same.
Marta: Krystian, ty chyba nie masz racji, wiadomo przecież, że w słonej wodzie statek będzie mniej zanurzony niż w słodkiej, czyli będzie wypierał mniej wody, a więc siła wyporu, która na niego działa, będzie mniejsza na morzu niż na rzece.

A co ty sądzisz na temat zmiany siły wyporu i zanurzenia statku? Kto miał rację, a kto się mylił?

3 Zabawka do kąpieli ma objętość 800 cm^3. Gdy pływa na powierzchni wody, zanurzona jest jedynie $\frac{1}{10}$ objętości zabawki. Jaki jest ciężar tej zabawki? Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



Powtórzenie. Hydrostatyka i aerostatyka

- **Nacisk** (siła nacisku) jest składową siły, z jaką jedno ciało działa na powierzchnię drugiego. Nacisk jest prostopadły do powierzchni, na którą działa.
- **Parcie** to siły nacisku, z jakimi ciecze i gazy działają na ścianki naczynia i wszystkie znajdujące się w nich ciała.
- Wartość siły nacisku przypadająca na jednostkę powierzchni to **ciśnienie**.

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

- Jednostką ciśnienia jest **paskal** $[p] = 1\ \text{Pa} = \frac{1\ \text{N}}{1\ \text{m}^2}$.
- Ciśnienie spowodowane naciskiem słupa cieczy nazywane jest **ciśnieniem hydrostatycznym**. Rośnie ono wraz z głębokością zanurzenia, tzn. zależy od wysokości słupa cieczy. Zależy również od gęstości cieczy.

$\text{ciśnienie hydrostatyczne} = \text{gęstość cieczy} \cdot \text{współczynnik proporcjonalności } g \cdot \text{wysokość słupa cieczy}$	$p = d \cdot g \cdot h$

- Ciśnienie wywierane przez masy powietrza na wszystkie ciała znajdujące się w atmosferze nazywa się **ciśnieniem atmosferycznym**. Zależy ono od wysokości słupa powietrza.
- **Prawo Pascala:** Ciśnienie wywierane z zewnątrz na ciecz lub gaz powoduje jednakowy wzrost ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu.
- **Prawo Archimedesa:** Na każde ciało zanurzone w cieczy lub w gazie działa siła wyporu zwrócona ku górze i równa co do wartości ciężarowi wypartej cieczy lub wypartego gazu.

$\text{siła wyporu} = \text{gęstość cieczy} \cdot \text{objętość wypartej cieczy} \cdot \text{współczynnik proporcjonalności } g$	$F_w = d_c \cdot V_c \cdot g$

- **Warunki pływania ciał:**
  – Ciało **pływa** po powierzchni cieczy częściowo w niej zanurzone, jeżeli jego gęstość jest mniejsza od gęstości cieczy.
  – Ciało tkwi **całkowicie zanurzone** w cieczy (nie opada na dno i nie wypływa), gdy jego gęstość jest równa gęstości cieczy.
  – Jeżeli gęstość ciała jest większa od gęstości cieczy, wówczas ciało **tonie**.

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–2 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Obie maszyny mają taką samą masę. Pojazd I wywiera na podłoże nacisk **A/ B/ C** pojazd II. Pojazd II wywiera na podłoże ciśnienie **D/ E/ F** pojazd I.

A. taki sam jak **D.** takie samo jak
B. większy niż **E.** większe niż
C. mniejszy niż **F.** mniejsze niż



2 Przeprowadzono doświadczenie, w którym wyznaczono objętość cieczy w menzurce. Następnie zanurzono w tej cieczy ciało i ponownie odczytano objętość ze skali na menzurce. Aby wyznaczyć siłę wyporu działającą na to ciało, trzeba jeszcze poznać

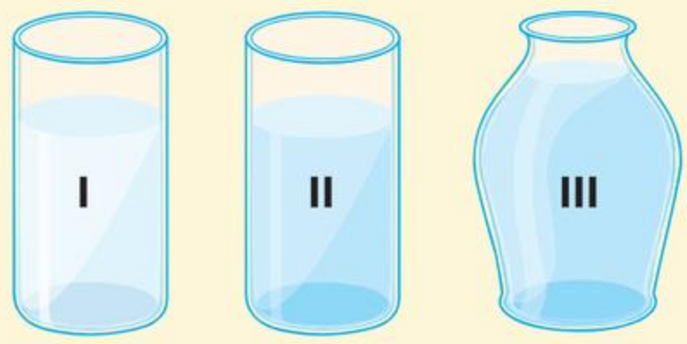
A. ciężar ciała.
B. gęstość cieczy.
C. gęstość ciała, które zanurzono w cieczy.
D. wskazanie siłomierza po zanurzeniu w cieczy zawieszonego na nim ciała.

3 Wskaż zdania prawdziwe.

A. W prasie hydraulicznej znalazło zastosowanie prawo Pascala.
B. Ryby regulują swoje zanurzenie, wykorzystując prawo Archimedesa.
C. Balony oraz sterowce mogą unosić się w powietrzu dzięki prawu Pascala.

4 W naczyniach II i III znajdują się ciecze o tej samej gęstości, natomiast w naczyniu I – ciecz o mniejszej gęstości.
Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia II jest większe niż ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia I.
B. Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia III jest mniejsze niż ciśnienie wywierane na dno naczynia II.



5 W syropie o gęstości 1,1 $\frac{g}{cm^3}$, sporządzonym z cukru i wody, unosił się całkowicie zanurzony owoc. Do syropu powoli dolewano wody i mieszano roztwór. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania, aby wniosek był prawdziwy.

1.	Owoc zaczął unosić się do góry,	ponieważ siła wyporu	**A.**	zmalała, a ciężar się nie zmienił.
2.	Owoc zaczął opadać na dno,		**B.**	wzrosła, a ciężar się nie zmienił.
			C.	się nie zmieniła, a ciężar zmalał.

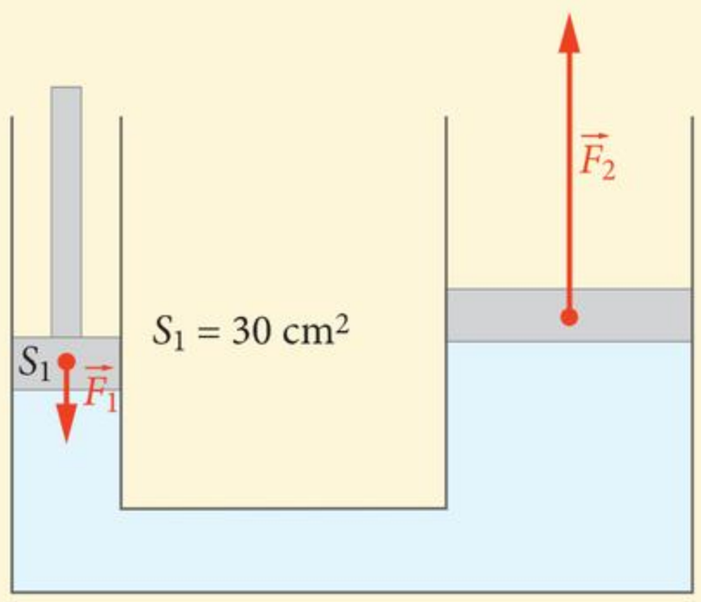
Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przeanalizuj opisaną sytuację i wskaż zdania prawdziwe.
Ciężar F_g Marcina wynosi 500 N, a pole powierzchni S każdego z jego butów to 0,025 m^2.

A. Stojąc na dwóch nogach, Marcin wywiera nacisk 500 N i ciśnienie 10 000 Pa.
B. Stojąc na jednej nodze, Marcin będzie naciskał na podłogę siłą 250 N.
C. Stojąc na jednej nodze, Marcin będzie wywierał ciśnienie 20 000 Pa.

2 Na rysunku przedstawiono schemat działania podnośnika hydraulicznego. Gdy lewy tłok jest naciskany siłą $\vec{F}_1$, prawy jest wypychany do góry siłą $\vec{F}_2$. Mniejszy tłok ma powierzchnię 30 cm^2.
Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.



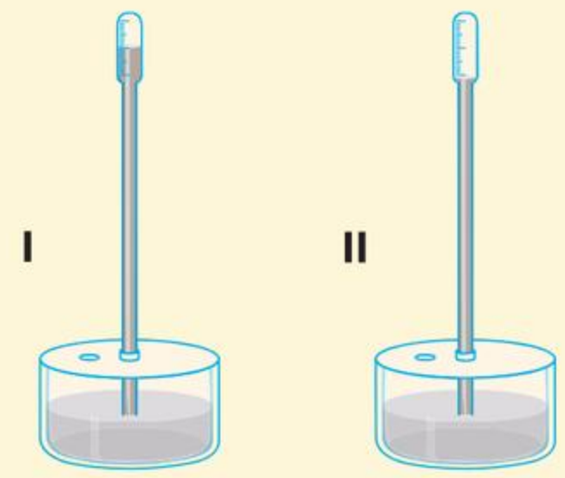
Większy tłok ma powierzchnię **A/ B/ C** i wywierane jest na niego ciśnienie **D/ E/ F** na tłok mniejszy.

A. 30 cm^2
B. 60 cm^2
C. 120 cm^2
D. takie samo jak
E. większe niż
F. mniejsze niż

3 Łodzie podwodne regulują zanurzenie dzięki zbiornikom balastowym – komorom, które mogą być wypełniane wodą lub opróżniane z wody.
Wskaż poprawne uzupełnienia zdania.

Gdy łódź ma się wynurzyć, zbiorniki są	**A.**	napełniane wodą,	aby siła wyporu była	**C.**	większa	niż ciężar łodzi.
	B.	opróżniane z wody,		**D.**	mniejsza	

4 Na rysunkach obok przedstawiono wskazania dwóch barometrów rtęciowych. Jeden z nich umieszczono u podnóża wysokiej góry, a drugi – na szczycie tej góry.



Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Barometr I znajdował się	**A.**	na szczycie góry,	ponieważ wraz ze wzrostem wysokości n.p.m. ciśnienie atmosferyczne	**C.**	rośnie.
	B.	u podnóża góry,		**D.**	maleje.

5 Boja przymocowana linką do dna jest całkowicie zanurzona w wodzie. Działa na nią siła wyporu o wartości 50 N oraz siła ciężkości o wartości 20 N. Wybierz poprawne dokończenie zdania.

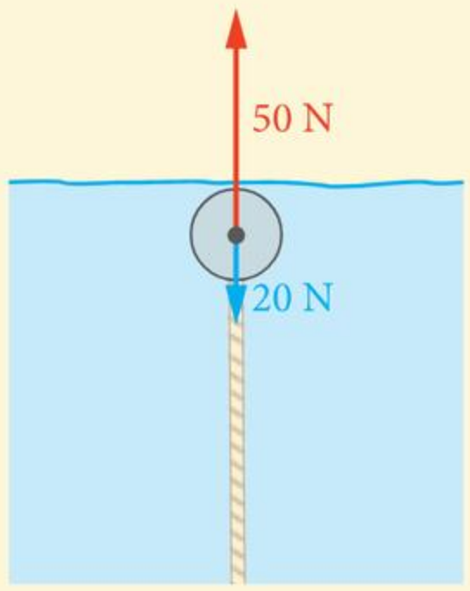
Gdy przetniemy sznurek, boja zacznie się unosić do góry i wypłynie na powierzchnię. Gdy znajdzie się na powierzchni, siła wyporu działająca na boję **A/ B/ C/ D**.

A. będzie równa 20 N, natomiast w wodzie znajdzie się $\frac{3}{5}$ objętości całej boi

B. będzie większa niż 20 N, natomiast w wodzie znajdzie się $\frac{2}{5}$ objętości całej boi

C. będzie równa 20 N, natomiast w wodzie znajdzie się $\frac{2}{5}$ objętości całej boi

D. będzie większa niż 20 N, natomiast w wodzie znajdzie się $\frac{3}{5}$ objętości całej boi

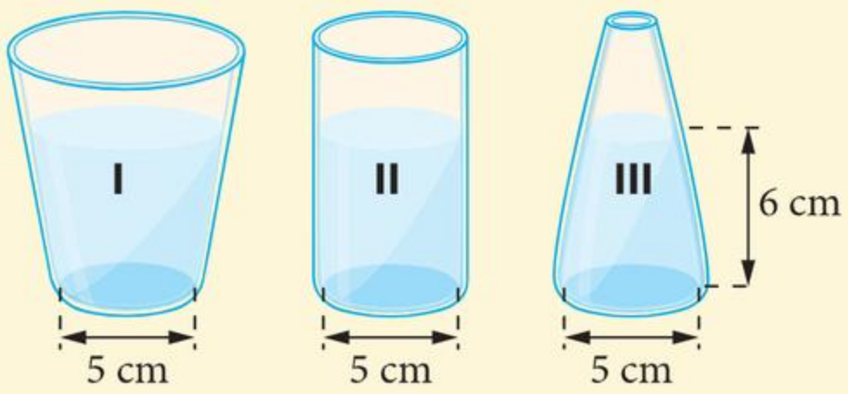


Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Informacja do zadań 1 i 2

W trzech naczyniach stojących na stole poziom wody jest na takiej samej wysokości. Dno każdego z naczyń jest kołem o promieniu 2,5 cm. Wszystkie naczynia mają taką samą masę.



1 Wybierz zdanie prawdziwe.

A. Ciężar wody i parcie wody na dno naczynia I są największe.

B. Ciężar wody jest największy w naczyniu I, a parcie na dno każdego naczynia jest takie samo.

C. Ciężar wody i parcie na dno naczynia są najmniejsze dla naczynia III.

D. Ciężar wody i parcie na dno każdego z naczyń wynoszą tyle samo.

2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Ciśnienie hydrostatyczne wywierane na dno naczynia jest **A/ B/ C**, natomiast ciśnienie, jakie wywierają naczynia na stół, jest **C/ D/ E**.

A. najmniejsze dla naczynia III

B. największe dla naczynia I

C. takie samo w każdym przypadku

D. najmniejsze w przypadku naczynia I

E. największe w przypadku naczynia I

3 Gęstość rtęci to 13,6 $\frac{g}{cm^3}$, natomiast gęstość wolframu to 19,3 $\frac{g}{cm^3}$. Jeżeli delikatnie położymy wolframowy pręcik na powierzchni rtęci, to pręcik nie utonie. Czy nie jest to sprzeczne z prawem Archimedesa? Jak to wyjaśnić?

Analiza tekstu

Podciśnienie, nadciśnienie i próżnia

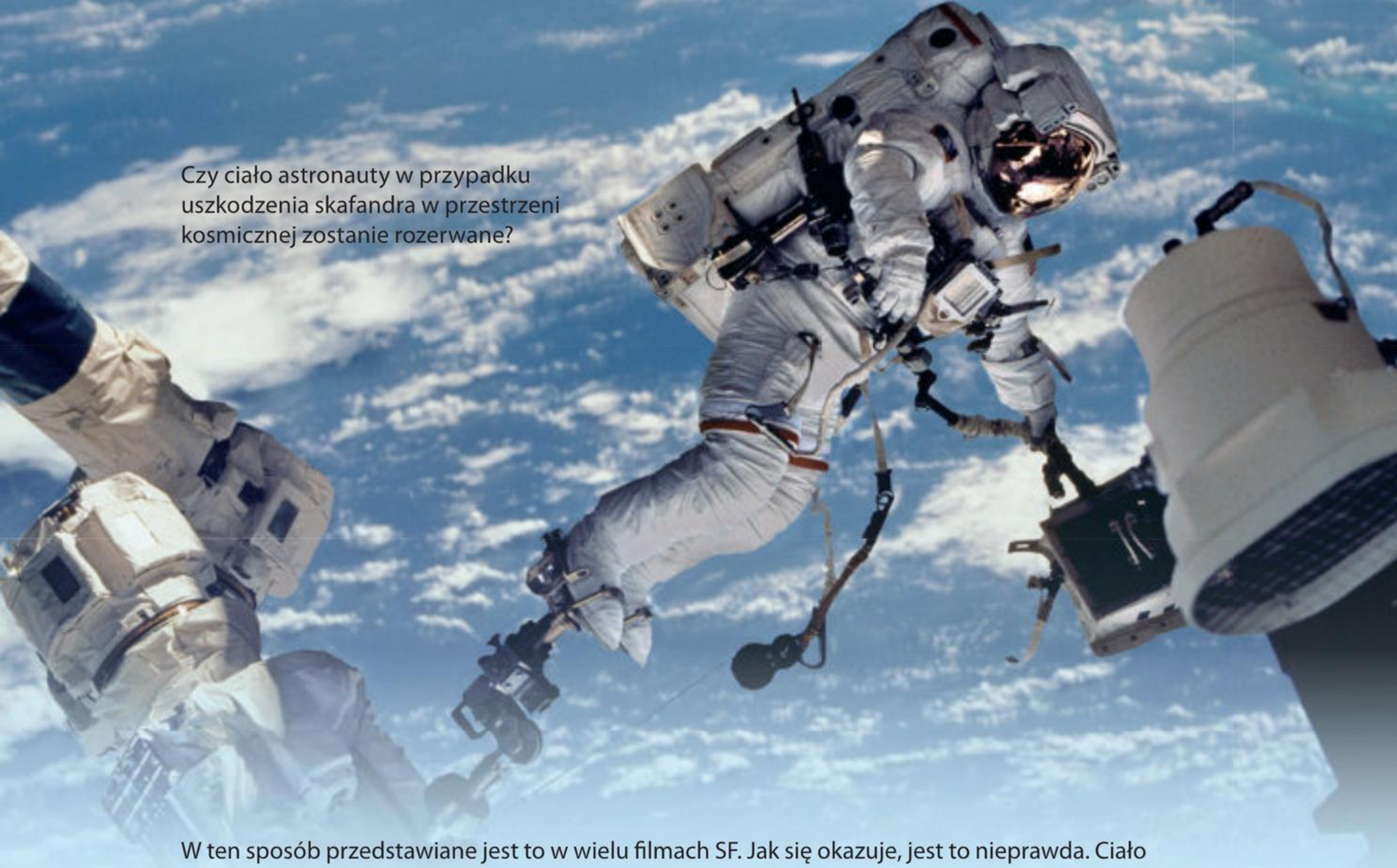
Ciśnienie atmosferyczne blisko poziomu morza i na niewielkich wysokościach wynosi w przybliżeniu 1000 hPa. Jednak w pewnych warunkach ciśnienie powietrza może być kilka, kilkadziesiąt, a nawet kilkaset razy niższe lub wyższe od atmosferycznego.

Gdy w zamkniętej przestrzeni ciśnienie powietrza jest wyższe niż ciśnienie atmosferyczne, mówimy o **nadciśnieniu**. Nadciśnienie występuje np. w butli nurkowej ze sprężonym powietrzem czy w oponie samochodu. Warto wiedzieć, że zalecane przez producentów ciśnienie powietrza w oponach to różnica między ciśnieniem tego powietrza a ciśnieniem atmosferycznym. Przykładowo, jeśli zalecane ciśnienie w oponie to 220 kPa (2200 hPa), to tyle ma wynosić nadwyżka nad ciśnieniem atmosferycznym, czyli ciśnienie faktycznie wywierane przez powietrze na wewnętrzne ścianki opony to 320 kPa (3200 hPa).

Gdyby zapytać nurka, na ile wystarczy mu powietrza, powiedziałby, że zależy to od głębokości, na jakiej nurkuje. Ze wzoru na ciśnienie hydrostatyczne wynika, że całkowite ciśnienie na głębokości 10 m jest 2-krotnie wyższe niż ciśnienie atmosferyczne. Oznacza to, że powietrze z butli musi być podawane do płuc nurka również pod ciśnieniem 2-krotnie większym niż atmosferyczne. Gdyby ciśnienie podawanego powietrza było niewystarczające, to nurek nie byłby w stanie nabrać powietrza do płuc, gdyż byłoby ono wypychane z płuc przez nacisk otaczającej wody na klatkę piersiową nurka. Należy pamiętać, że podawanie bardziej sprężonego powietrza oznacza jego szybsze zużycie. Na głębokości wspomnianych 10 m nurek będzie zużywał przy każdym oddechu dwukrotnie więcej powietrza niż tuż pod powierzchnią wody. Gdy natomiast zejdzie na głębokość, gdzie ciśnienie będzie 3-krotnie wyższe niż atmosferyczne – będzie potrzebował 3-krotnie więcej powietrza.



Powietrze podawane do płuc nurka
musi mieć ciśnienie równe sumie ciśnień atmosferycznego
i hydrostatycznego. Reguluje to tzw. automat oddechowy.



W ten sposób przedstawiane jest to w wielu filmach SF. Jak się okazuje, jest to nieprawda. Ciało człowieka eksplodowałoby, gdyby składało się w większości z gazu, zbudowane jest jednak głównie z wody i tkanek miękkich. Najpierw nastąpiłaby utrata przytomności z powodu niedotlenienia, a następnie intensywne parowanie wody z organizmu, najszybciej z języka. Mogłoby także dojść do rozerwania płuc, jeśli człowiek wstrzymywałby oddech zbyt długo. W 1966 r. Jim LeBlanc, testując skafander w komorze próżniowej, uległ wypadkowi i został wystawiony na działanie próżni. Mimo iż do momentu udzielenia mu pomocy minęło ponad 30 s, wyszedł z tego wypadku prawie bez obrażeń.

Gdy w zamkniętym pojemniku panuje ciśnienie niższe niż atmosferyczne, mamy do czynienia z **podciśnieniem**. Niewielkie podciśnienie wytwarzamy w słomce, pijąc przez nią napój, dzięki temu ciśnienie atmosferyczne powoduje zasysanie napoju w górę słomki. Podciśnienie jest wytwarzane również przez pompę zasysającą wodę z głębokości kilku metrów, a także w rurze odkurzacza. Typowe odkurzacze wytwarzają podciśnienie o około 20 kPa niższe od ciśnienia atmosferycznego.

Niekiedy duże podciśnienie w zamkniętym zbiorniku może być niebezpieczne, np. podczas opróżniania szczelnie zamkniętej cysterny. Niskie ciśnienie wewnątrz i wysokie ciśnienie atmosferyczne na zewnątrz mogą spowodować jej zmiażdżenie, czyli implozję.

Zarówno w życiu codziennym, jak też w fizyce często używamy pojęcia **próżni**. Próżnia to przestrzeń, w której nie ma żadnych atomów lub cząsteczek. Taką próżnię nazywamy idealną – tylko w przestrzeni kosmicznej panują warunki zbliżone do idealnej próżni. W życiu codziennym terminu próżnia używamy, by określić przestrzeń, w której występuje ciśnienie dużo niższe niż atmosferyczne. Przykładem może być próżniowe pakowanie żywności, gdzie ciśnienie w zależności od rodzaju produktu może być od 20 do 200 razy niższe niż ciśnienie atmosferyczne.

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij ją wyrażeniami z ramki.

wnętrze napompowywanego balonu • rura odkurzacza podczas jego pracy • wnętrze opony rowerowej • wnętrze kartonika z sokiem, gdy pijemy napój przez słomkę • wnętrze pojemnika z żywnością zapakowaną próżniowo • wnętrze butli płetwonurka napełnionej sprężonym powietrzem

Podciśnienie	Nadciśnienie

2 Przyporządkuj wartości ciśnienia podane w ramce do odpowiednich sytuacji.

A. ciśnienie atmosferyczne
B. ciśnienie wewnątrz torebki z próżniowo zapakowaną żywnością
C. ciśnienie, pod jakim podawane jest powietrze nurkom na głębokości 10 m
D. ciśnienie w rurze odkurzacza
E. ciśnienie w komorze symulującej warunki panujące w kosmosie

0,1 kPa • 80 kPa • 100 kPa • 5 kPa • 200 kPa

3 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Płetwonurek na głębokości 20 m musi mieć podawane do płuc powietrze pod ciśnieniem **A/ B/ C** atmosferyczne. Z tego powodu na głębokości 20 m nurek zużywa powietrze z butli **D/ E/ F** tuż pod powierzchnią wody.

A. takim samym jak
B. dwukrotnie większym niż
C. trzykrotnie większym niż
D. szybciej niż
E. wolniej niż
F. w takim samym tempie jak

4 Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Implozja może zajść, gdy ciśnienie wewnątrz zamkniętego zbiornika jest dużo wyższe niż zewnętrzne ciśnienie atmosferyczne.
B. Implozja polega na zgnieceniu ścianek zamkniętego zbiornika w wyniku różnicy między ciśnieniem atmosferycznym a ciśnieniem wewnątrz zbiornika.
C. Gdy skafander astronauty przebywającego w przestrzeni kosmicznej zostanie uszkodzony, może dojść do implozji jego ciała.

IV

Kinematyka

Z tego rozdziału dowiesz się:

- na czym polega względność ruchu,
- jakie wielkości fizyczne opisują ruch,
- jakie cechy charakteryzują ruch jednostajny prostoliniowy,
- jak analizować ruch ciała na podstawie tabel i wykresów,
- czym charakteryzują się ruchy: prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony,
- jak obliczyć prędkość i przyspieszenie ciał,
- jak wyznaczyć prędkość biegu lub marszu za pomocą prostych pomiarów.



19 Ruch i jego względność

Cel lekcji: Dowiesz się, jak zdefiniować ruch i na czym polega jego względność oraz że można wyróżnić różne rodzaje ruchów.

Obserwacja ruchu

Może w trakcie podróży zdarzyła ci się taka sytuacja: twój pociąg zatrzymuje się na stacji obok innego stojącego już pociągu. Wpatrujesz się w okno i nagle dostrzegasz, że pociągi zaczynają przemieszczać się względem siebie. W pierwszej chwili nie wiesz, czy ruszył pociąg, w którym siedzisz, czy ten na sąsiednim torze.

Przy najbliższej okazji podczas jazdy pociągiem, samochodem, autobusem lub tramwajem poobserwuj ruch.

- Zwróć uwagę na pojazdy jadące obok ciebie, osoby i przedmioty znajdujące się w twoim pojeździe i na ulicy.
- Zastanów się, jak wygląda ruch twojego pojazdu z punktu widzenia osoby stojącej na przystanku, idącej ulicą, jak z punktu widzenia osoby jadącej innym pojazdem, a jak – osoby siedzącej obok ciebie.
- Zwróć też uwagę na to, jak ty postrzegasz ruch tych wszystkich osób.

Obok pociągu, autobusu lub samochodu, którym jedziesz, może jechać inny, w tę samą stronę i tak samo szybko. Obserwując pasażerów z sąsiedniego pojazdu, odnosisz wrażenie, że się nie poruszają.



Podróż pociągiem jest dobrą okazją do obserwowania zjawisk fizycznych.

CIEKAWOSTKA



Panta rhei – powiadał starożytny filozof Heraklit z Efezu, co można tłumaczyć „wszystko płynie, wszystko się zmienia". Inaczej mówiąc, wszystko wokół nas jest w ciągłym ruchu. Natura nie znosi monotonii, ciągle się zmienia, a wszystkim zmianom towarzyszy nieustanny ruch.

Jeśli jednak ktoś jedzie tak samo szybko jak ty, ale po sąsiednim pasie w przeciwną stronę, masz wrażenie, że mijasz tę osobę dwa razy szybciej niż kogoś stojącego przy drodze.
Z kolei osoba stojąca przy drodze, obserwując tę samą sytuację, oceni, że dwa pojazdy poruszają się jednakowo szybko, ale w przeciwne strony.

Względność ruchu

Jaki wniosek można wyciągnąć z powyższych obserwacji? Otóż opis ruchu danego ciała zależy od tego, względem jakiego innego ciała ten ruch rozpatrujemy.

Wybrane ciało lub układ ciał, względem którego określa się położenie i ruch opisywanego ciała, nazywa się **układem odniesienia**.

Określenie, czy dane ciało jest w ruchu, czy w spoczynku, zależy od wyboru układu odniesienia.
Jadąc autobusem, jesteś w spoczynku względem innych pasażerów, ale równocześnie jesteś w ruchu względem osób na przystanku. Możesz także przyjąć, że to osoby na przystanku są w ruchu względem autobusu. Budynek twojej szkoły jest w spoczynku względem Ziemi, ale pozostaje w ruchu względem Księżyca czy Słońca.

Ruch to zjawisko polegające na zmianie położenia ciała **względem wybranego układu odniesienia**.

W naszych rozważaniach, ze względu na wygodę, za układ odniesienia często będziemy przyjmować Ziemię i wszystkie ciała sztywno z nią połączone, a więc: drzewa, domy, latarnie uliczne itp.

FIZYKA WOKÓŁ NAS



Czy dziewczyny były w ruchu w chwili zrobienia tego zdjęcia? Nie można jednoznacznie odpowiedzieć na tak postawione pytanie bez dopowiedzenia, względem kogo lub czego rozpatrujemy ich ruch. Względem fotografa, jezdni, drzew – tak, dziewczyny były w ruchu, względem swoich rowerów – nie, względem siebie nawzajem – jeśli jechały tak samo szybko i równolegle do siebie – też nie.

Układ współrzędnych

Aby dokładnie określić położenie ciała w danej chwili, wygodnie jest umieścić je w układzie współrzędnych. W zależności od tego, czy ciało porusza się po prostej (np. mrówka po źdźble trawy), po płaszczyźnie (np. łódka na jeziorze), czy w przestrzeni trójwymiarowej (np. lecący ptak), obiera się układ współrzędnych jedno-, dwu- lub trójwymiarowy. Początek układu współrzędnych można wybrać dowolnie. Warto jednak wybrać taki, dla którego opis ruchu będzie najprostszy.

W skoku w dal interesuje nas jedynie odległość pokonana przez zawodnika w poziomie od miejsca wybicia do miejsca, gdzie dotknął piasku. Do opisu zmiany położenia wystarczy w tym wypadku **jednowymiarowy układ współrzędnych**.



Do opisu położenia w przestrzeni, np. balonu względem miejsca startu, potrzebny jest **trójwymiarowy układ współrzędnych**.



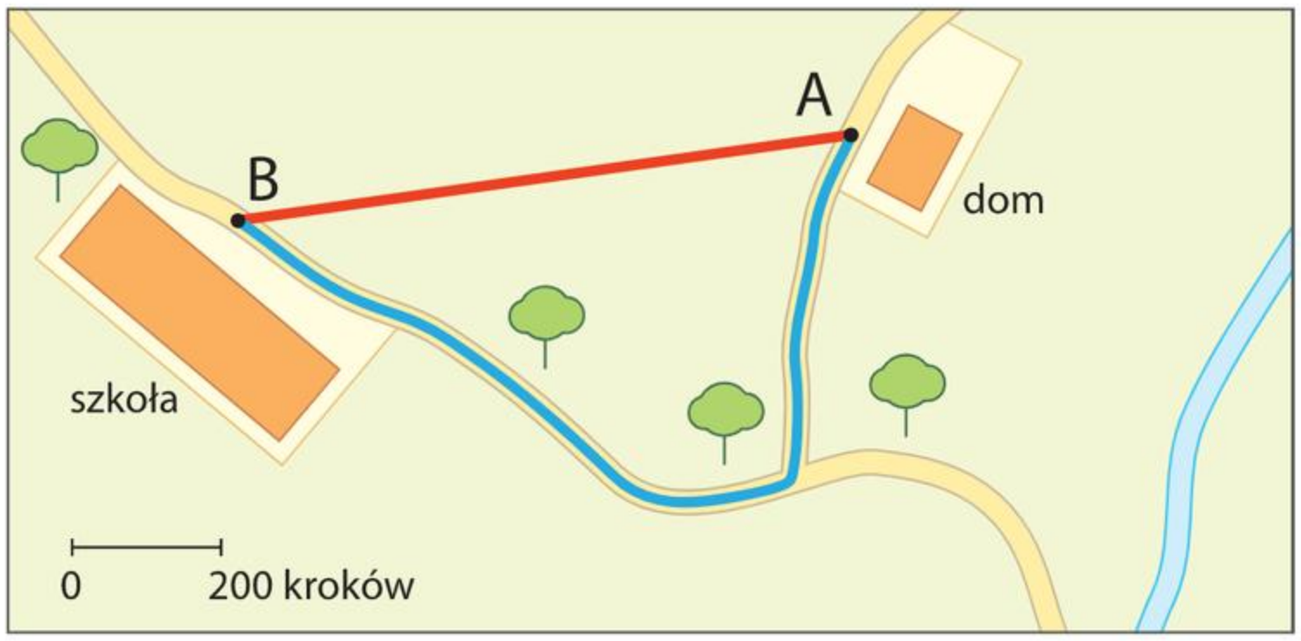
Aby określić położenie łodzi na jeziorze, potrzebny jest **dwuwymiarowy układ współrzędnych**, którego początkiem może być charakterystyczny punkt krajobrazu, taki jak koniec molo.



Ruch deski windsurfingowej możemy opisać w dwuwymiarowym układzie współrzędnych.

Tor i droga

Odległość od punktu początkowego do końcowego można zwykle pokonać różnymi trasami. Na przykład idąc z domu do szkoły, zwykle wybierasz taką trasę, której pokonanie zajmuje jak najmniej czasu albo jest najłatwiejsze. Spójrz na przykładową mapkę trasy pewnego ucznia z domu do szkoły.



Niebieska linia, po której się porusza uczeń, to tor ruchu. Zwróć uwagę, że z domu do szkoły można dotrzeć inaczej – po linii prostej (na rysunku zaznaczonej na czerwono).

Tor ruchu to linia zakreślana przez poruszające się ciało. Długość toru ruchu to **droga**.

Droga to liczbowa wielkość fizyczna. Oznacza się ją literą *s*. Jednostką drogi (długości) w układzie SI jest metr (m).

Ze względu na **kształt toru** wyróżnia się ruch:

prostoliniowy,
którego torem jest linia prosta.



krzywoliniowy,
którego torem jest linia krzywa.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- Ciało jest w **ruchu**, jeżeli zmienia swoje położenie względem wybranego **układu odniesienia**.
- To samo ciało względem jednego układu odniesienia może być w ruchu, a względem innego układu odniesienia może pozostawać w spoczynku. Tę cechę określa się jako **względność ruchu**.
- Położenie ciała w danej chwili można określić, stosując **jedno-**, **dwu-** lub **trójwymiarowy układ współrzędnych**.
- **Tor** ruchu to linia, po której porusza się ciało.
- **Droga** to długość toru ruchu. Jednostką drogi w układzie SI jest metr (m).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Chłopiec stoi na przystanku autobusowym. Określ, czy chłopiec jest w ruchu czy w spoczynku względem:

a) stojącego obok drzewa,

b) plecaka trzymanego na plecach,

c) przejeżdżającego samochodu,

d) stojącego na przystanku autobusu.

2 Zastanów się i odpowiedz na pytanie.
W jakiej sytuacji można przyjąć, że Ziemia jest nieruchoma, a w jakiej uznamy ją za ciało poruszające się?

3 Jak myślisz, czy fotograf – wykonujący zdjęcie pokazane obok – był w ruchu czy w spoczynku względem Ziemi? A względem innych pasażerów karuzeli?
Odpowiedź uzasadnij.



4 Jakiego układu współrzędnych trzeba użyć, aby opisać ruch ucznia:

a) wzdłuż prostego korytarza szkolnego,

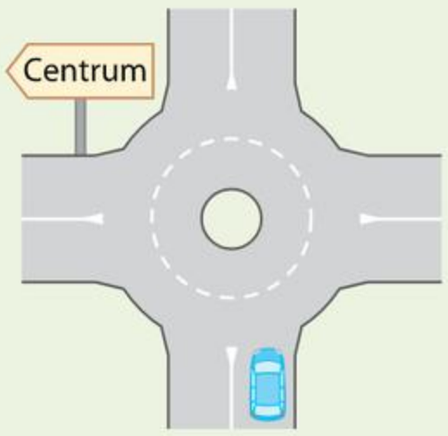
b) po klasie,

c) po dwupiętrowej szkole?

Krótko uzasadnij odpowiedź.

5 Przepisz zdania do zeszytu i w miejsce ? wpisz, jakim ruchem porusza się ciało (ruchem prostoliniowym czy krzywoliniowym).

A



B



C



Samochód, który wjeżdża na rondo i skręca w kierunku centrum (rys. A) porusza się ruchem ?. Zawodnik biegnący po torze nr 9 (rys. B), przekraczający linię mety (biała, ciągła linia) porusza się ruchem ?. Krople wody spadające z kranu i uderzające w powierzchnię wody (rys. C) poruszają się ruchem ?.

6 W czasie odbywających się co 4 lata igrzysk olimpijskich rozgrywane są różne konkurencje, w których obserwujemy ruch. Przyporządkuj rodzaj ruchu (prostoliniowy lub krzywoliniowy) do każdej konkurencji. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.

A. pchnięcie kulą – ruch kuli

B. pływanie na 50 m stylem dowolnym – ruch pływaka w basenie

C. bieg na 100 m – ruch sprintera

D. łucznictwo – ruch strzały po wypuszczeniu jej z łuku

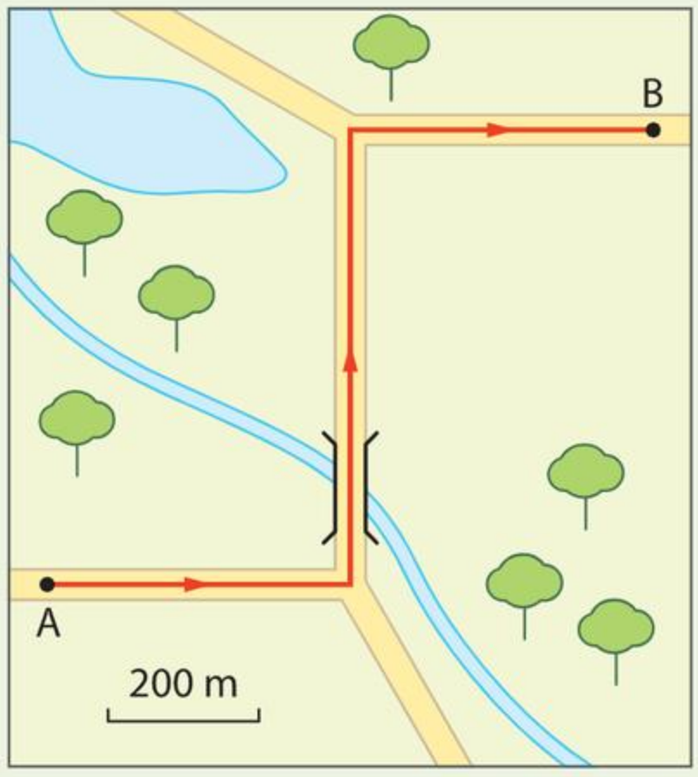
E. koszykówka – ruch piłki po wpadnięciu do kosza

7 Paweł i Wojtek chcieli przejść z punktu A do punktu B. Paweł zaznaczył na mapie drogę, którą zamierzał iść. Wojtek stwierdził, że pójdzie najkrótszą możliwą drogą, nie zważając na uwagi kolegi, że przecież będzie musiał przeciąć po drodze wąski strumień i może zmoczyć sobie buty.

a) Jaka byłaby długość drogi przebytej przez Pawła, gdyby poszedł wzdłuż zaznaczonego na mapie toru?

b) Czy któryś z chłopców zamierza się poruszać ruchem prostoliniowym? Uzasadnij odpowiedź.

c) Gdyby Wojtek wybrał swój sposób dojścia do punktu B, to ile metrów drogi zaoszczędzi w porównaniu z Pawłem?



20 Ruch jednostajny prostoliniowy

Cel lekcji: Dowiesz się, jaki ruch ciała nazywamy jednostajnym prostoliniowym, poznasz kolejną wielkość fizyczną – prędkość i dowiesz się, jak opisywać ruch za pomocą wykresów.

Ruch jednostajny prostoliniowy

Wiesz już, że ze względu na kształt toru ruchu wyróżnia się ruchy prostoliniowy i krzywoliniowy. Innym kryterium podziału ruchów może być to, czy ciało porusza się jednostajnie czy niejednostajnie. Jaki ruch nazywamy ruchem jednostajnym?

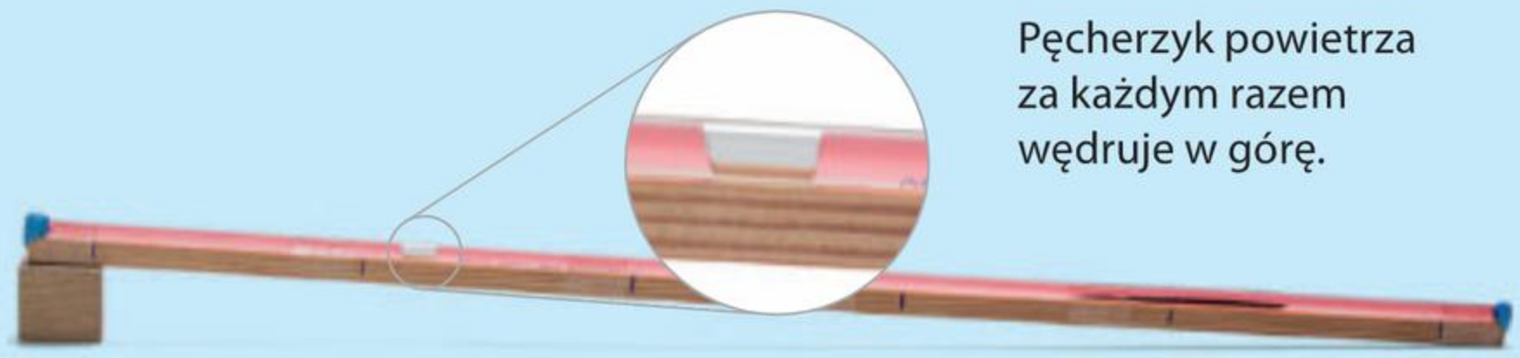
Ruch, w którym w jednakowych przedziałach czasu ciało pokonuje jednakowe odcinki drogi, to **ruch jednostajny**.

Zbadajmy, jakim ruchem porusza się pęcherzyk powietrza w wodzie.

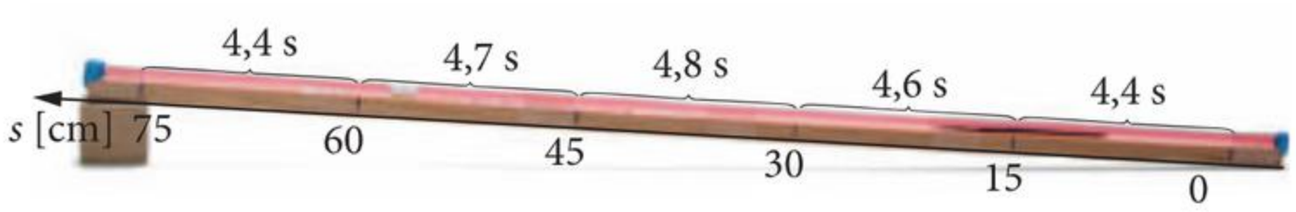
DOŚWIADCZENIE 36 (pomiar)

1. Przygotuj: przezroczysty winylowy lub silikonowy wężyk o długości około 0,5–1 m (można kupić go np. w sklepach z akcesoriami do wyrobu win), listewkę o tej samej długości, przezroczystą taśmę klejącą, plastelinę, linijkę, wodę zabarwioną sokiem i stoper z możliwością rejestracji czasu bez przerywania pomiaru (np. w telefonie komórkowym).
2. Rozciągnij wężyk wzdłuż listewki. Zadbaj o to, aby był ułożony prosto i przymocuj go do listewki w kilku miejscach za pomocą taśmy klejącej.
3. Zaznacz pisakiem na wężyku jednakowe odcinki, np. 15-centymetrowe.
4. Zatkaj jeden koniec wężyka plasteliną i napełnij wężyk wodą (prawie do pełna), zostawiając mały pęcherzyk powietrza. Zatkaj plasteliną drugi koniec wężyka.
5. Odwróć wężyk i zaobserwuj ruch pęcherzyka powietrza. Gdy pęcherzyk osiągnie powierzchnię wody, znowu odwróć wężyk, ale tym razem przytrzymaj go nie pionowo, ale pod pewnym kątem i ponownie zaobserwuj ruch pęcherzyka.
6. Zmierz i zanotuj w zeszycie czas, w jakim pęcherzyk powietrza dociera do kolejnych kresek.

Wskazówka. Jeśli pęcherzyk porusza się za szybko, ustaw wężyk pod pewnym kątem, np. opierając listewkę o klocek lub kilka książek i wykonaj pomiary dla takiego ułożenia.

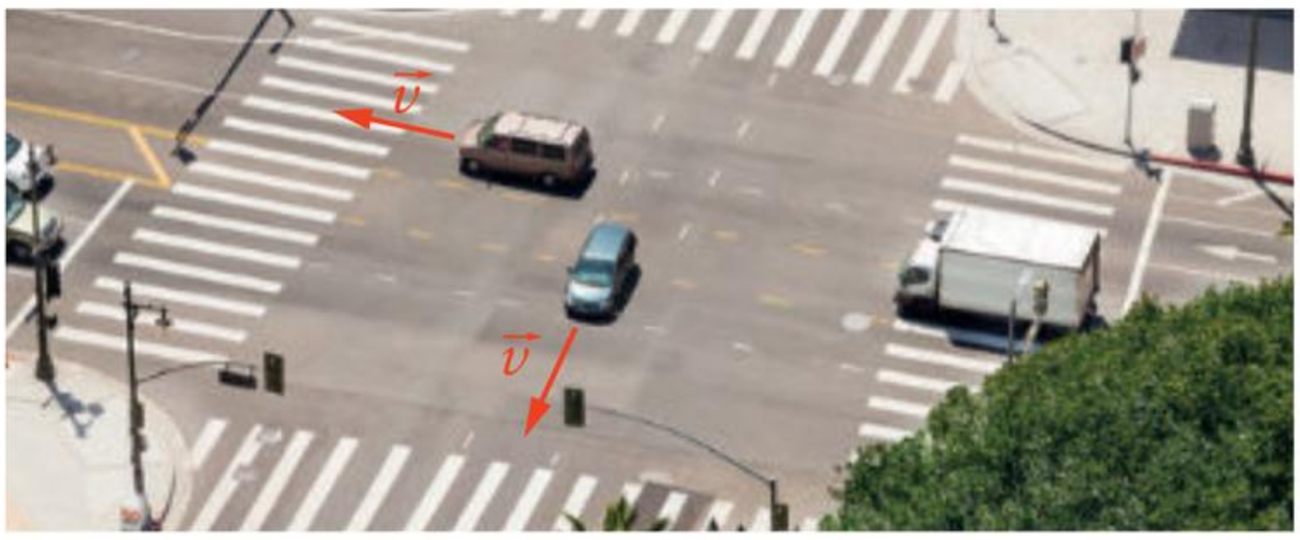


Wyniki uzyskane w naszym doświadczeniu przedstawiono w tabeli poniżej w kolumnach 2. i 3. Pomiary czasu były notowane dla momentu mijania przez pęcherzyk kresek wyznaczajacych jednakowe odcinki drogi o długości 15 cm każdy (patrz rys.).



Lp.	s [cm]	t [s]	$\frac{s}{t}\left[\frac{\text{cm}}{\text{s}}\right]$
1	15	4,4	3,4
2	30	9,0	3,3
3	45	13,8	3,3
4	60	18,5	3,2
5	75	22,9	3,3

Co można powiedzieć o ruchu pęcherzyka powietrza na podstawie doświadczenia?
Pęcherzyk poruszał się po linii prostej, a kolejne jednakowe odcinki drogi pokonywane były w takich samych przedziałach czasu (w doświadczeniu mogą być równe w przybliżeniu – wynika to z niepewności pomiaru). Możemy zatem stwierdzić, że ruch pęcherzyka powietrza był jednostajny.
Jeśli obliczymy ilorazy drogi i czasu dla kolejnych pomiarów, to zauważymy, że są w przybliżeniu równe (ostatnia kolumna tabeli). Iloraz drogi i czasu $\frac{s}{t}$ to **wartość prędkości** pęcherzyka powietrza.
Prędkość określa, jak szybko porusza się ciało. Warto zwrócić uwagę, że przy opisie ruchu ciała oprócz informacji, jak szybko się ono porusza, równie ważne może być, w którą stronę. Jest to sytuacja podobna jak w przypadku siły – oprócz wartości często należy uwzględnić kierunek i zwrot, ponieważ prędkość (tak jak siła) jest wektorem.



Samochody mogą przejeżdżać przez skrzyżowanie tak samo szybko, ale w różnych kierunkach, zatem ich prędkości są różne, mimo że mają taką samą wartość.

Prędkość jest wektorową wielkością fizyczną oznaczaną literką $\vec{v}$ (ang. *velocity* – prędkość).
W szkole podstawowej będziemy rozważali jedynie **ruch prostoliniowy bez zawracania** i w takiej sytuacji **wartość prędkości** można obliczyć ze wzoru:

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

v – wartość prędkości,
$\vec{v}$ – wektor prędkości.

Mimo że w naszych rozważaniach będziemy się posługiwać jedynie wartością prędkości, należy pamiętać, że prędkość to wielkość wektorowa. Aby wskazać, że interesuje nas prędkość jako wektor, posługujemy się symbolem $\vec{v}$. Litera v bez strzałki informuje nas, że mówimy o wartości prędkości.

Jednostką prędkości w układzie SI jest metr na sekundę, co zapisuje się $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Prędkość w ruchu jednostajnym **ma stałą wartość**.

Inną często spotykaną jednostką prędkości jest kilometr na godzinę $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

To stwierdzenie jest prawdziwe zarówno dla ruchu prostoliniowego, jak i krzywoliniowego.
Po przekształceniu wzoru na prędkość otrzymasz wzór na **drogę w ruchu jednostajnym**.

droga = prędkość · czas	$s = v \cdot t$

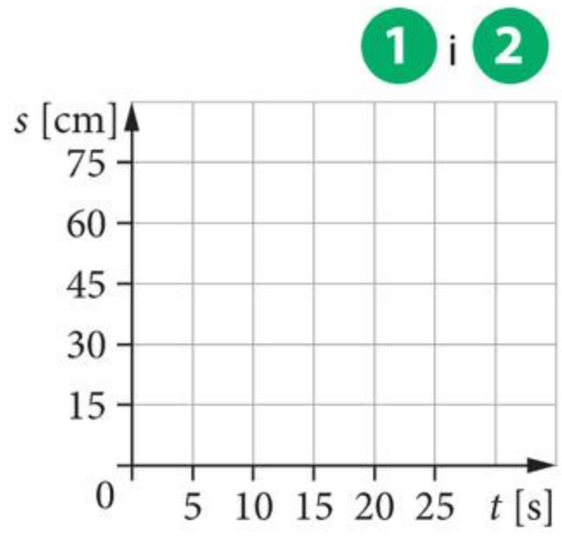
Sporządzanie wykresów opisujących ruch

W doświadczeniu 36 wraz z upływem czasu pęcherzyk pokonywał coraz dłuższą drogę. W zależności od nachylenia wężyka pęcherzyk poruszał się szybciej lub wolniej. Tego rodzaju zależność (drogi od czasu) można przedstawić graficznie na wykresie. W tym celu:

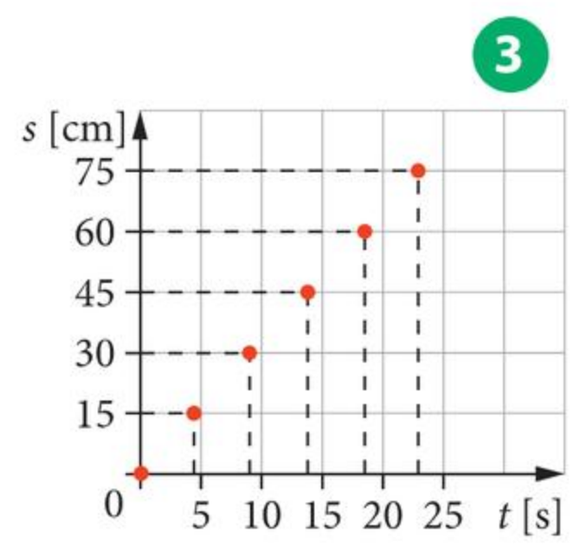
1. **Rysujemy osie**, które będą reprezentować zależne od siebie wielkości fizyczne. Na osi poziomej zaznaczymy czas. W tym celu podpisujemy oś symbolem t i zapisujemy jednostkę czasu, w jakiej będziemy wyrażać wartości, czyli w naszym przypadku sekundę [s]. Oś pionowa będzie reprezentować drogę, a więc podpisujemy ją s i zapisujemy jednostkę [cm].

2. Następnie na każdej osi w równych odstępach **zaznaczamy podziałkę** i **podpisujemy wartości**.
Podziałkę dobieramy tak, aby przedstawić przebieg całego ruchu w naszym doświadczeniu, a więc musi ona obejmować czas od chwili 0 do 25 sekundy i drogę od 0 do 75 cm.

3. Na tak przygotowanym diagramie **zaznaczamy punkty pomiarowe.**
W chwili początkowej pęcherzyk znajdował się na starcie, a więc zaznaczamy punkt (0, 0) w miejscu przecięcia obu osi, czyli w początku układu współrzędnych. Pierw-



Rysujemy, skalujemy i opisujemy osie.

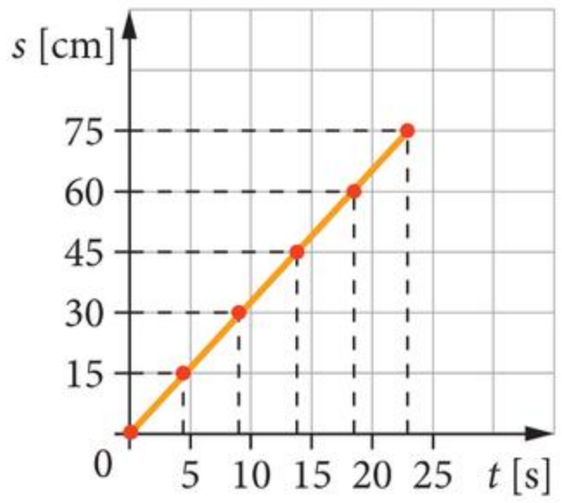


Zaznaczamy punkty pomiarowe.

szy pomiar, zgodnie z tym, co zapisaliśmy w tabeli, nastąpił po 4,4 s od rozpoczęcia ruchu, a pęcherzyk dotarł wtedy do pierwszej kreski, czyli pokonał 15 cm. Na osi poziomej odnajdujemy miejsce odpowiadające 4,4 s i prowadzimy od niego pionową linię przerywaną. Następnie na osi pionowej odnajdujemy 15 cm i od tego miejsca rysujemy poziomą linie przerywaną. W miejscu przecięcia obu linii przerywanych zaznaczamy punkt. W podobny sposób nanosimy punkty odpowiadające pozostałym pomiarom zapisanym w tabeli.

4 Na koniec **prowadzimy linię** przechodzącą **przez** zaznaczone **punkty pomiarowe**.

4



Rysujemy wykres.

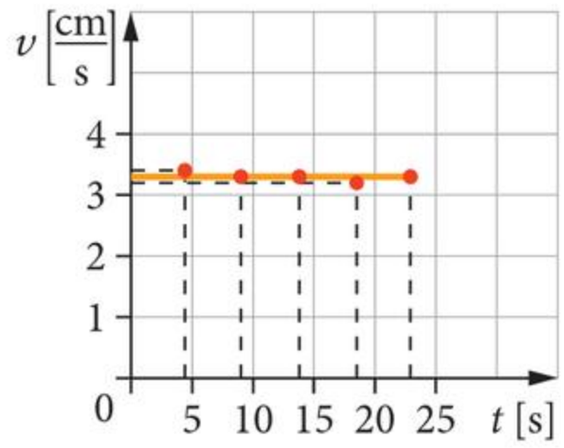
Interpretacja wykresu

W ten sposób otrzymaliśmy wykres zależności drogi pokonanej przez pęcherzyk od czasu. Jest to półprosta nachylona pod pewnym kątem do osi poziomej. O wielkościach, których zależność na wykresie przedstawia prosta lub półprosta nachylona do osi poziomej, przechodząca przez początek układu współrzędnych, mówimy, że zależą od siebie **wprost proporcjonalnie**.

Jeśli pomiary są obarczone dużą niepewnością pomiarową i nie da się połączyć linią prostą wszystkich punktów, należy narysować prostą leżącą jak najbliżej wszystkich punktów. Nie rysujemy łamanej od punktu do punktu!

Wprost proporcjonalna zależność dwóch wielkości oznacza, że jeśli jedna z nich wzrasta, to druga również wzrasta tyle samo razy, jeśli jedna maleje, to druga maleje tyle samo razy.

Na wykresach można przedstawiać różne zależności, nie tylko drogi od czasu. Na przykład korzystając z ostatniej kolumny tabeli do doświadczenia 36, możemy narysować wykres zależności prędkości od czasu.
Jak widać, wykres ten jest linią poziomą, co oznacza, że prędkość jest stała.



Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnym.

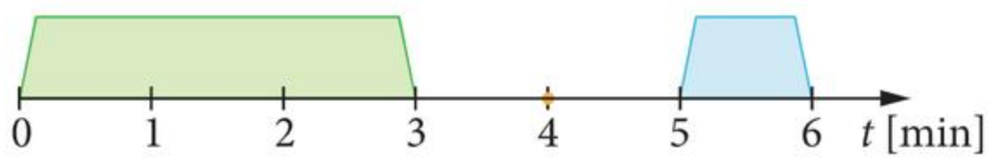


Pociągi często pokonują długie odcinki drogi ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Sformułowania dotyczące czasu

W zadaniach dotyczących kinematyki możesz się zetknąć z różnymi sformułowaniami opisującymi czas. Przeanalizuj oznaczenia na osi czasu i ich opisy zamieszczone poniżej (kolory kropek odpowiadają punktom lub obszarom na osi czasu):

- „w chwili $t = 4$ min" oznacza, że interesuje nas moment, w którym kończy się czwarta minuta,
- „w ciągu trzech pierwszych minut ruchu" oznacza, że rozpatrujemy zjawisko w przedziale czasu od chwili $t = 0$ do chwili $t = 3$ min,
- „w szóstej minucie" oznacza przedział czasu trwający od zakończenia piątej minuty do początku siódmej minuty,



Należy uważnie czytać zadania, ponieważ inna będzie odpowiedź np. na pytanie o drogę przebytą w ciągu czterech minut, a inna – na pytanie o drogę przebytą w czwartej minucie.

PRZYKŁAD 1

Obliczanie drogi w ruchu jednostajnym

Oblicz, jaką drogę pokona ciało w ciągu 3 min trwania ruchu, jeżeli porusza się ze stałą prędkością $36 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$. Wynik podaj w metrach.

Dane:
$v = 36 \frac{\text{cm}}{\text{min}}$
$t = 3$ min

Szukane:
$s = ?$

Jeśli prędkość i czas od razu zamienimy na jednostki układu SI, to drogę otrzymamy w metrach.

Rozwiązanie:
Ciało porusza się ruchem jednostajnym, zatem korzystamy z zależności:

$$s = v \cdot t$$

Podstawiamy dane i otrzymujemy:

$$s = 36 \frac{\text{cm}}{\cancel{\text{min}}} \cdot 3 \cancel{\text{min}} = 108 \text{ cm}$$

Ponieważ 1 m = 100 cm, zatem:

$$s = 108 \cdot \frac{1}{100} \text{ m} = 1{,}08 \text{ m}$$

Odpowiedź: Ciało pokona drogę 1,08 m.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ruch jednostajny prostoliniowy** to ruch, w którym ciało pokonuje jednakowe odcinki drogi w takich samych odstępach czasu, a torem jest linia prosta.
- **Prędkość** jest wielkością wektorową. Jednostką prędkości w układzie SI jest $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- W ruchu jednostajnym (zarówno prostoliniowym, jak i krzywoliniowym) wartość prędkości jest stała.
- **Wartość prędkości** w ruchu jednostajnym prostoliniowym można obliczyć ze wzoru $v = \frac{s}{t}$, gdzie s – droga, t – czas.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD 2

Przeliczanie jednostek prędkości

Prędkość samochodu wynosi 54 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Podaj tę wartość w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Prędkość motocykla wynosi 20 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Podaj tę wartość w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Rozwiązanie:

Zamieniamy km na m oraz h na s:

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

Zamieniamy m na km oraz s na h

$$20\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 20 \cdot \frac{\frac{1}{1000}\ \text{km}}{\frac{1}{3600}\ \text{h}} = 72\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

1 km = 1000 m, zatem
1 m = 0,001 km
1 h = 3600 s, zatem
1 s = $\frac{1}{3600}$ h

Odpowiedź: Prędkość samochodu wynosi 15 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a motocykla 72 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

1 Przeanalizuj „Przykład 2. Przeliczanie jednostek prędkości” i wyraź wartości prędkości w podanych jednostkach.

a) 120 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ **b)** 40 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ **c)** 0,6 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ **d)** 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$

2 Oblicz drogę, jaką przebędzie samochód w ciągu 15 min, jeżeli porusza się ze stałą prędkością 60 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.

3 Oblicz prędkość samochodu, który jadąc ruchem jednostajnym, w ciągu 2 godzin przebył drogę 140 km.

4 Wskaż, które zdania są prawdziwe w odniesieniu do ruchu jednostajnego prostoliniowego.

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

A. Przykładem takiego rodzaju ruchu jest ruch Księżyca wokół Ziemi.
B. Prędkość w tym ruchu ma stałą wartość.
C. Iloczyn drogi i czasu w tym ruchu jest stały.
D. Jeżeli ciało poruszające się ruchem jednostajnym w ciągu sekundy przebyło drogę 9 m, to w ciągu 3 sekund przebędzie drogę 27 m.
E. Spadanie piłeczki upuszczonej z wysokości 0,5 m jest przykładem takiego rodzaju ruchu.

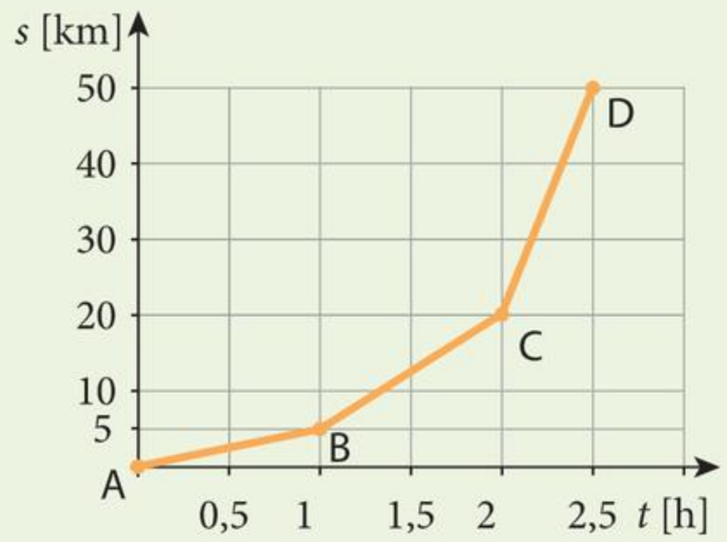
5 Pewien motocyklista wyruszył w trasę. Na podstawie wykresu odpowiedz na pytania.

a) Jaką drogę pokonał motocyklista, jadąc z miejscowości B do miejscowości C?

b) Ile trwała podróż z miejscowości A do miejscowości C?

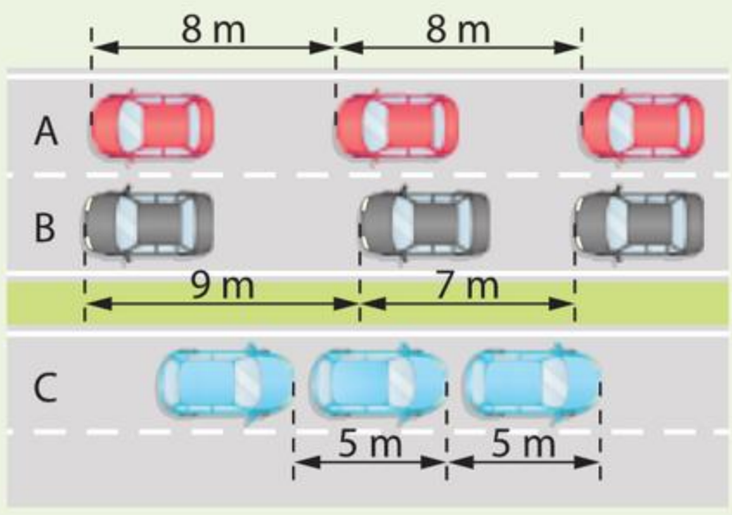
c) Jaka była prędkość motocyklisty na trasie z miejscowości C do miejscowości D?

d) Która miejscowość znajdowała się na 50. kilometrze trasy?



6 Na rysunku przedstawiono położenia trzech samochodów w odstępach 0,25 s.

a) Miejsca oznaczone ? uzupełnij tak, aby zdania były prawdziwe. Wstaw oznaczenia samochodów A, B, C lub brakujące wyrazy. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



Ruchem jednostajnym poruszały się samochody ? oraz ?. Ze zmienną prędkością poruszał się samochód ?, ponieważ w takich samych przedziałach czasu pokonywał ? odcinki drogi.

b) Na podstawie rysunku i danych z treści zadania oblicz prędkość samochodu A i zapisz ją w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ oraz w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

7 Gepard jest w stanie osiągnąć prędkość 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, ale potrafi ją utrzymać tylko przez kilka sekund. Oblicz, ile czasu zajęłoby mu przebycie odległości 100 m z taką prędkością. Porównaj to z czasami osiąganymi w biegu na 100 m przez najlepszych sprinterów.

21 Ruch prostoliniowy zmienny

Cel lekcji: Dowiesz się, jaki ruch nazywamy ruchem niejednostajnym oraz jakie pojęcia go opisują. Poznasz ruch jednostajnie zmienny oraz przyspieszenie i jego jednostkę.

Ruch niejednostajny

Z poprzedniej lekcji wiesz już, jaki ruch nazywamy ruchem jednostajnym. Nie-trudno się domyślić, że istnieje również **ruch niejednostajny** (**zmienny**) – czyli taki, w którym wartość prędkości się zmienia. Przykładem takiego ruchu jest zerwanie się tygrysa do ataku na ofiarę, start samolotu, ruch pocisku po naciśnięciu spustu pistoletu czy wznoszenie się i opadanie podrzuconej piłki.
Do opisu ruchu niejednostajnego niezbędne są takie pojęcia jak prędkość chwilowa i średnia wartość prędkości.

Prędkość chwilowa to prędkość ciała w danej chwili, wskazuje ją na przykład prędkościomierz w samochodzie.

Średnia wartość prędkości, którą będziemy w skrócie nazywać **prędkością średnią**, to iloraz całkowitej przebytej drogi i czasu trwania ruchu:

$\text{średnia wartość prędkości} = \frac{\text{całkowita droga}}{\text{całkowity czas}}$	$v_{śr} = \frac{s_c}{t_c}$

Na tej lekcji zajmiemy się szczególnym przypadkiem ruchu niejednostajnego – ruchem jednostajnie przyspieszonym.

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony

Gdy pociąg rusza ze stacji, jego prędkość wzrasta do momentu, gdy osiągnie maksymalną wartość, z jaką pociąg może się poruszać na danym odcinku trasy. Lokomotywa rozpędza się jednostajnie, co oznacza, że w każdej kolejnej sekundzie jej prędkość zwiększa się o taką samą wartość.

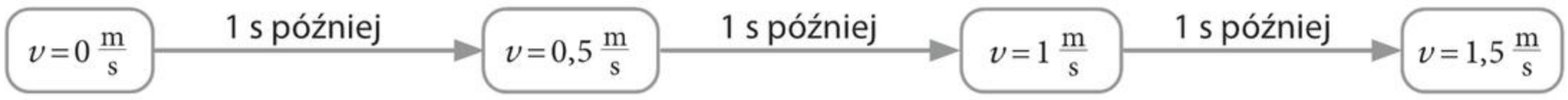
Ruch jednostajnie przyspieszony to taki ruch, w którym prędkość w każdej kolejnej sekundzie zwiększa się o taką samą wartość.



Tygrys zrywający się do ataku porusza się ruchem zmiennym.

Oznacza to, że jeżeli pociąg poruszający się ruchem jednostajnie przyspieszonym ma po pierwszej sekundzie

ruchu prędkość (przykładowo) 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, to po drugiej sekundzie ruchu ma prędkość 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, po trzeciej – prędkość 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, po czwartej – prędkość 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ itd.:



Przyspieszeniem nazywamy stosunek przyrostu prędkości do czasu, w którym ten przyrost nastąpił. W powyższym przykładzie przyspieszenie wynosi więc:

$$a = \frac{0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1\ \text{s}} = 0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Z powyższej definicji wynika, że przyspieszenie można obliczyć ze wzoru:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\begin{matrix}\text{prędkość}\\ \text{końcowa}\end{matrix} - \begin{matrix}\text{prędkość}\\ \text{początkowa}\end{matrix}}{\begin{matrix}\text{czas zmiany}\\ \text{prędkości}\end{matrix}} = \frac{\begin{matrix}\text{zmiana}\\ \text{prędkości}\end{matrix}}{\begin{matrix}\text{czas zmiany}\\ \text{prędkości}\end{matrix}} \qquad a = \frac{v_\text{k} - v_\text{p}}{t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Jednostką przyspieszenia w układzie SI jest:

$$[a] = \frac{\frac{\text{m}}{\text{s}}}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Przyspieszenie, podobnie jak prędkość i siła, jest wielkością wektorową. Oznacza się je symbolem $\vec{a}$.

Symbolem Δ (duża litera greckiego alfabetu, czyt. delta) oznacza się w fizyce zmianę (różnicę) wielkości fizycznej. Na przykład:

- jeżeli litera v oznacza prędkość, to Δv jest zmianą prędkości (dla rozważanego pociągu $\Delta v = 0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$),
- jeżeli literą t oznacza się czas, to przez Δt rozumie się przedział czasu (np. $\Delta t = 1$ s).

Przyspieszenie naszego pociągu, który po 4 s od startu osiągnął prędkość 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, wynosi zatem:

$$a = \frac{v_\text{k} - v_\text{p}}{\Delta t} \qquad a = \frac{2\ \frac{\text{m}}{\text{s}} - 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4\ \text{s}} = 0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

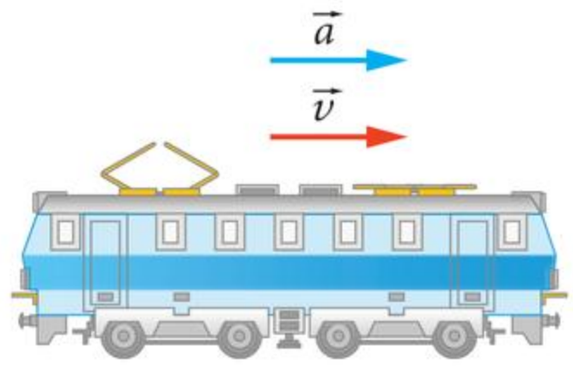
Oznacza to, że prędkość pociągu w każdej sekundzie wzrasta o 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ruch prostoliniowy jednostajnie opóźniony

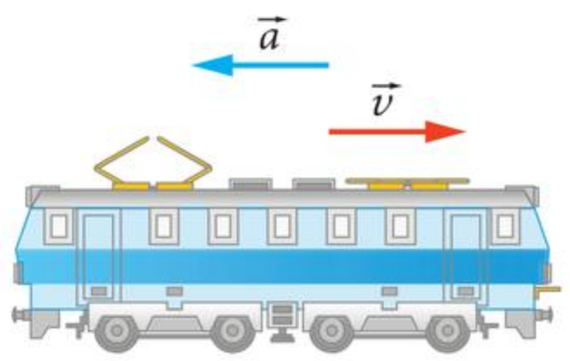
Gdy pociąg zwalnia przed stacją, jego prędkość maleje.

Jeżeli prędkość w kolejnych sekundach maleje o taką samą wartość, to taki ruch nazywamy **jednostajnie opóźnionym**.

Zwróć uwagę, że jeśli do wzoru na przyspieszenie podstawimy takie wartości prędkości, że prędkość końcowa jest mniejsza niż początkowa, to otrzymamy wynik ujemny. Wartość wektora nie może być ujemna – minus w wyniku oznacza, że przyspieszenie ma zwrot przeciwny do wektora prędkości, a ciało **hamuje**.



Lokomotywa jedzie w prawo i się rozpędza: $a > 0$.



Lokomotywa jedzie w prawo i hamuje: $a < 0$.

Droga w ruchu jednostajnie przyspieszonym

R

Wzrost prędkości oznacza, że ciało, np. pociąg, w każdej kolejnej sekundzie pokonuje coraz dłuższe odcinki drogi. Drogę pokonaną przez ciało, które ruszyło i porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym, możemy obliczyć ze wzoru:

$$\text{droga} = \frac{\text{przyspieszenie} \cdot (\text{czas})^2}{2} \qquad s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Uwaga. Z tego wzoru można skorzystać tylko w sytuacji, gdy prędkość początkowa $v_p = 0$.

Możemy obliczyć drogę, jaką pokonał pociąg poruszający się z przyspieszeniem $0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jeśli do powyższego wzoru wstawimy $t = 1$ s, $t = 2$ s itd., to otrzymamy następujące wartości zebrane w tabeli na stronie 138.

Akcelerometr

Do pomiaru prędkości służą prędkościomierze, które możemy spotkać nie tylko w samochodach, lecz także w rowerach. Istnieją także urządzenia, dzięki którym można zmierzyć przyspieszenie oraz określić jego kierunek i zwrot. Są to tzw. akcelerometry. Mają one różne zastosowania – na przykład w samochodzie akcelerometr pośrednio odpowiada za uruchomienie poduszki powietrznej. Następuje ono w sytuacji, gdy w bardzo krótkim czasie prędkość samochodu maleje do zera, co jest równoznaczne z uderzeniem pojazdu w przeszkodę. W aparatach fotograficznych i kamerach akcelerometry są częścią systemu stabilizacji obrazu.

Akcelerometry znajdują się w każdym nowoczesnym telefonie komórkowym – odpowiadają m.in. za zmianę pozycji wyświetlanego obrazu, gdy obracamy telefon.

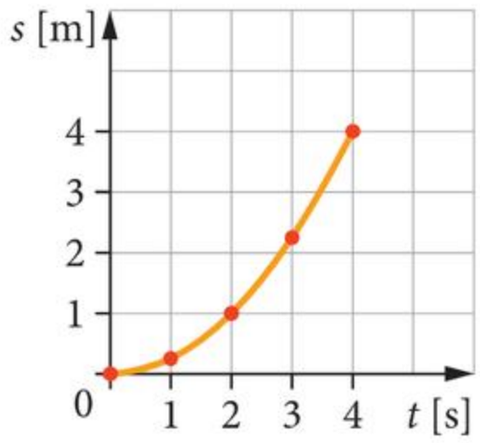




R

Czas t [s]	1	2	3	4
Droga s [m]	0,25	1	2,25	4

Droga pokonana w ruchu jednostajnie przyspieszonym (gdy prędkość początkowa jest równa zero) **rośnie wprost proporcjonalnie do kwadratu czasu**. Proporcjonalność drogi do kwadratu czasu oznacza, że jeżeli czas zwiększy się dwukrotnie, to przebyta droga zwiększy się czterokrotnie, a jeśli czas wzrośnie trzykrotnie, to droga wzrośnie dziewięciokrotnie itd.



Wykres zależności drogi od czasu dla pociągu poruszającego się z przyspieszeniem 0,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Prędkość końcowa w ruchu jednostajnie przyspieszonym

Wzór na przyspieszenie $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ można przekształcić do postaci: $\Delta v = a\Delta t$, a więc:

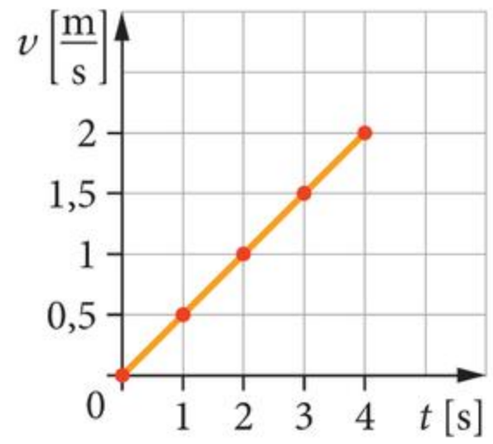
$$v_\text{k} - v_\text{p} = a\Delta t$$

prędkość końcowa = przyspieszenie · czas ruchu + prędkość początkowa	$v_\text{k} = a\Delta t + v_\text{p}$

Z tego wzoru możemy obliczyć prędkość chwilową w dowolnym momencie ruchu, wstawiając odpowiedni przedział czasu.

Jeśli prędkość początkowa ciała $v_\text{p} = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, otrzymujemy wzór na prędkość końcową ciała poruszającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym **bez prędkości początkowej**:

prędkość końcowa = przyspieszenie · czas ruchu	$v_\text{k} = a \cdot t$

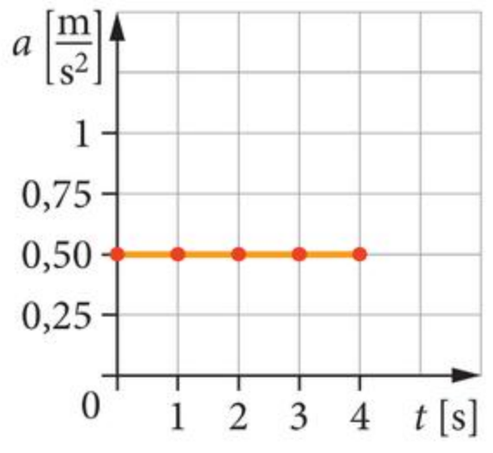


Wykres zależności prędkości od czasu dla pociągu.

W ruchu jednostajnie przyspieszonym z zerową prędkością początkową ($v_\text{p} = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$) prędkość zwiększa się wprost proporcjonalne do czasu.

Wykresem ilustrującym tę zależność jest półprosta przechodząca przez początek układu współrzędnych nachylona pod pewnym kątem do osi czasu.

Dla porównania wykresem zależności przyspieszenia od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym jest linia równoległa do osi czasu (wykres obok).



Wykres zależności przyspieszenia od czasu dla pociągu.

W ruchu jednostajnie przyspieszonym **przyspieszenie ma stałą wartość**.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ruch niejednostajny** jest ruchem, podczas którego prędkość ciała zmienia swoją wartość w miarę upływu czasu.
- **Prędkość chwilowa** to prędkość ciała w danej chwili, a **prędkość średnia** to iloraz drogi i czasu trwania ruchu.
- W **ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym i jednostajnie opóźnionym** tor jest linią prostą, a przyspieszenie ma stałą wartość.
- **Przyspieszenie** jest wielkością wektorową. Wartość przyspieszenia to iloraz zmiany prędkości i przedziału czasu, w którym ta zmiana nastąpiła: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$.
- Jednostką przyspieszenia jest $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Oblicz prędkość ciała poruszającego się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ po 5. sekundzie ruchu, jeżeli jego prędkość początkowa wynosiła 2,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Dane:
$a = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
$v_\text{p} = 2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
$t = 5\ \text{s}$

Szukane:
$v_\text{k} = ?$

v_p – prędkość początkowa
v_k – prędkość końcowa

Sposób I

Przekształcamy wzór na przyspieszenie i mnożymy obie strony przez t:

$$a = \frac{v_\text{k} - v_\text{p}}{t} \quad | \cdot t$$

$$a \cdot t = v_\text{k} - v_\text{p}$$

$$v_\text{k} = a \cdot t + v_\text{p}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$v_\text{k} = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 5\ \text{s} + 2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Sposób II

Z treści zadania wynika, że w ciągu każdej sekundy prędkość ciała wzrastała o 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, co oznacza, że po 5 sekundach prędkość ciała wzrosła o:

$$5 \cdot 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 7{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Skoro prędkość początkowa była równa 2,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, to po 5. sekundzie ciało poruszało się z prędkością:

$$2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} + 7{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Ciało uzyskało prędkość 10 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wyjaśnij, co to znaczy, że ciało porusza się z przyspieszeniem równym $10\ \frac{m}{s^2}$.

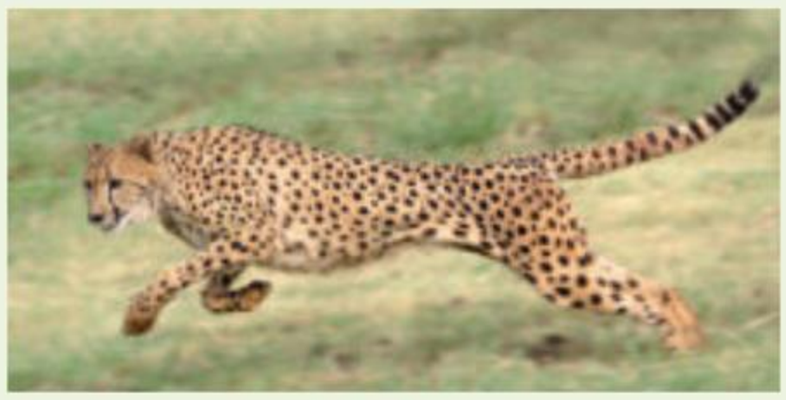
2 Gdy kierowca samochodu na trzecim biegu wcisnął do końca pedał gazu, wskazówka prędkościomierza w ciągu 5 sekund w stałym tempie powędrowała z położenia takiego jak na rysunku A do położenia takiego jak na rysunku B. Oblicz przyspieszenie tego samochodu. Wynik podaj w $\frac{m}{s^2}$.



3 Oblicz, o ile wzrosła prędkość ciała poruszającego się z przyspieszeniem $2\ \frac{m}{s^2}$:

a) w pierwszej sekundzie ruchu,
b) w trzeciej sekundzie ruchu,
c) w dziesiątej sekundzie ruchu,
d) w ciągu pierwszych 5 sekund.

4 Oblicz przyspieszenie geparda, który w ciągu 2 sekund zwiększył swoją prędkość o $70\ \frac{km}{h}$.



5 Tramwaj stojący na przystanku ruszył ze stałym przyspieszeniem i w czasie 5 s zwiększył prędkość do $7{,}5\ \frac{m}{s}$.

a) Wybierz i zapisz w zeszycie poprawne odpowiedzi.

Przyspieszenie tramwaju wynosiło **A/ B/ C**. W ciągu pierwszych 3 s ruchu tramwaj zwiększył prędkość do **D/ E/ F**.

A. $37{,}5\ \frac{m}{s^2}$ **B.** $\frac{2}{3}\ \frac{m}{s^2}$ **C.** $1{,}5\ \frac{m}{s^2}$ **D.** $3\ \frac{m}{s}$ **E.** $4{,}5\ \frac{m}{s}$ **F.** $5\ \frac{m}{s}$

b) Przerysuj do zeszytu tabelę i uzupełnij zależności drogi przebytej przez ten tramwaj od czasu. Wykonaj obliczenia, korzystając ze wzoru $s = \frac{a \cdot t^2}{2}$.

Czas t [s]	0	1	2	3	4	5
Droga s [m]	0	0,75	3			

6 Przeanalizuj przykład na stronie 139 i oblicz prędkość końcową ciała po 20 sekundach ruchu, jeśli wiadomo, że początkowo ono spoczywało, a następnie poruszało się z przyspieszeniem $0{,}45\ \frac{m}{s^2}$.

7 Metro ruszyło ze stacji i przez 10 s poruszało się z przyspieszeniem $1{,}25\ \frac{m}{s^2}$, a następnie jechało ze stałą prędkością.

a) Oblicz prędkość końcową pojazdu po 10 s ruchu i podaj ją w $\frac{m}{s}$ i $\frac{km}{h}$.

b) Oblicz drogę, jaką metro pokonało ruchem przyspieszonym.

c) Oblicz prędkość średnią w ciągu pierwszych 10 sekund ruchu pojazdu.

d) Oblicz prędkość chwilową metra po 4 s ruchu.

22 Badanie ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego

Cel lekcji: Zbadasz ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i przeanalizujesz go na podstawie sfilmowanego doświadczenia.

Wiesz już, czym charakteryzuje się ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony. Teraz dowiesz się, jak wykazać, że ciało porusza się w taki właśnie sposób. Wykonaj poniższe doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 37 (pomiar)

1. Przygotuj: dwa pręty lub dwie listewki o długości około 1–1,5 m, stalową lub szklaną kulkę lub piłeczkę, linijkę, taśmę klejącą, klocek lub książkę, telefon komórkowy lub aparat fotograficzny z funkcją filmowania, komputer i program z możliwością odtwarzania filmów klatka po klatce.
2. Jeśli zamierzasz użyć w doświadczeniu prętów, ułóż je równolegle obok siebie tak, aby się stykały. Jeśli masz listewki o kwadratowym lub prostokątnym przekroju – ułóż je równolegle w odległości 0,5–1 cm od siebie.
3. Przyklej taśmę klejącą wzdłuż prętów lub wzdłuż listewek, ale ich nie zsuwaj – zapobiegnie to ich rozsuwaniu się w trakcie doświadczenia.
4. Zrobioną w ten sposób prowadnicę odwróć taśmą do dołu i podeprzyj z jednej strony klockiem lub książką. Wysokość podparcia nie powinna być zbyt duża, aby kulka nie rozpędzała się zbyt szybko (patrz zdjęcie).
5. Ustaw telefon lub aparat fotograficzny z boku, pośrodku długości listewek, tak aby było widać je w całości, wybierz jak najlepsze parametry filmowania (np. Full HD, jeśli jest taka opcja) i włącz nagrywanie.
6. Umieść kulkę w najwyższym punkcie prowadnicy, puść ją i obserwuj, jak się stacza.
7. Gdy kulka spadnie z prowadnicy, wyłącz nagrywanie. Pomiar powtórz co najmniej 5 razy.





Jak analizować wyniki pomiarów uzyskane w doświadczeniu, opisano na stronach 142–143.

Analiza doświadczenia na podstawie filmu

Najpierw należy uzyskać odpowiednie dane na podstawie filmu. Wykonaj następujące czynności (wszystkie dane zapisz w zeszycie):

1. **Przenieś film na dysk** komputera.
2. We właściwościach pliku w zakładce „Szczegóły" **sprawdź**, ile klatek wyświetla się w ciągu sekundy – czyli **liczbę klatek na sekundę**. Będzie to prawdopodobnie 24, 25, 30, 50 lub 60 klatek na sekundę.
3. **Wyświetl film** w programie do odtwarzania wideo i **przewiń** film do momentu, gdy puszczasz kulkę.
4. **Przewiń film klatka po klatce** tyle razy, ile wynosiła liczba klatek na sekundę. W ten sposób wyświetlisz położenie kulki po 1 s ruchu.
5. Przyłóż linijkę do monitora wzdłuż prowadnicy, i **zmierz odległość** od miejsca startu kulki do jej wyświetlanego położenia. Zanotuj tę odległość.
6. **Ponownie przewiń film** do przodu o tyle samo klatek i znowu **zmierz odległość** kulki od miejsca rozpoczęcia przez nią ruchu.
7. **Powtarzaj** w taki sposób **pomiary** po kolejnych sekundach ruchu, aż do momentu tuż przed tym, gdy kulka spadnie z prowadnicy. W ostatnim niepełnym przedziale czasu **zanotuj liczbę klatek** filmu do chwili, gdy kulka spada z równi.
8. **Zmierz długość prowadnicy na ekranie** monitora i zapisz wynik.
9. **Zmierz**, jaką **długość** ma ona **w rzeczywistości**.
10. **Podziel rzeczywistą długość prowadnicy przez długość zmierzoną** na ekranie. Wynik pokaże, ile razy rzeczywista długość prowadnicy jest większa od tej na filmie. **Wskazówka.** Przez tę wartość należy pomnożyć zmierzone na ekranie odległości kulki od miejsca rozpoczęcia jej ruchu. Wyniki uzyskane w naszym doświadczeniu podano poniżej i w tabeli 1 na str. 143.

Jeśli czas staczania się kulki jest mniejszy niż 5 s, możesz przewijać film o mniejszą liczbę klatek, musisz tylko wpisywać właściwy czas do tabelki. Przykładowo w naszym doświadczeniu przewijaliśmy film co 10 klatek, a liczba klatek na sekundę w filmie wynosiła 25, czyli położenie kulki było mierzone co:

$$t = \frac{10\,\text{klatek}}{25\,\frac{\text{klatek}}{\text{s}}} = 0{,}4\,\text{s}$$

- *Liczba klatek na sekundę w filmie: 25.*
- *Długość prowadnicy zmierzona na ekranie:* $l_e = 43$ *cm.*
- *Ile razy prowadnica jest dłuższa w rzeczywistości niż na ekranie: 2,1.*
- *Długość prowadnicy w rzeczywistości:* $l_{rz} = 90$ *cm.*
- *Liczba klatek od ostatniego pomiaru do chwili, gdy kulka dotrze do końca prowadnicy: 4.*

Tabela 1.

Czas t [s]	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8
Droga kulki zmierzona na ekranie s_e [cm]	0	0,8	3,5	7,7	13,4	20,7	29,4	39,6
Droga kulki w rzeczywistości s_{rz} [cm]	0	1,7	7,3	16,1	28,0	43,3	61,5	82,9

Przyspieszenie kulki

Ruch kulki w naszym doświadczeniu był ruchem przyspieszonym. Sprawdźmy zatem, czy był to ruch jednostajnie przyspieszony. Wiemy, że jeśli ruch byłby jednostajnie przyspieszony, to w sytuacji gdy prędkość początkowa była równa zero, droga wiązałaby się z czasem wzorem

$$s = \frac{a \cdot t^2}{2}, \text{ gdzie } a \text{ jest stałym współczynnikiem.}$$

Wzór ten możemy przekształcić do postaci: $\frac{2s}{t^2} = a$.
Tak więc, jeśli ruch byłby jednostajnie przyspieszony, to wyrażenie $\frac{2s}{t^2}$ powinno mieć stałą wartość – równą przyspieszeniu a.
Obliczamy wartości wyrażenia $\frac{2s}{t^2}$ uzyskane na podstawie naszych pomiarów dla kolejnych, coraz dłuższych odcinków drogi i zapisujemy je w tabeli 2.

Tabela 2.

s **[cm]**	1,7	7,3	16,1	28,0	43,3	61,5	82,9
$\frac{2s}{t^2}\left[\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}\right]$	21	23	22	22	22	21	21

Wartości wyrażenia $\frac{2s}{t^2}$ dla kolejnych odcinków drogi są bardzo zbliżone. Nie są jednakowe, ponieważ pomiar drogi na ekranie monitora nie jest zbyt precyzyjny. Powyższy zestaw wyników dla wyrażenia $\frac{2s}{t^2}$ uzasadnia przypuszczenie, że ruch, który zbadaliśmy, był jednostajnie przyspieszony.

Prędkość końcowa kulki

Znając przyspieszenie, możemy obliczyć prędkość końcową kulki, korzystając ze wzoru:

$$v_k = a \cdot t$$

Zwróć uwagę, że po ostatnim pomiarze drogi kulka jeszcze przez część sekundy staczała się po pochylni. Możemy to uwzględnić. Do czasu, dla którego wykonaliśmy ostatni pomiar drogi, należy dodać liczbę klatek zliczoną od tej chwili do momentu, gdy kulka dotarła do końca prowadnicy, podzieloną przez liczbę klatek na sekundę:

$$t = 2{,}8\ \text{s} + \frac{5\ \text{klatek}}{25\ \frac{\text{klatek}}{\text{s}}} = 3{,}0\ \text{s}$$

A zatem prędkość końcowa kulki wynosi:

$$v_k = 22\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 3{,}0\ \text{s} = 66\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_k - v_p}{t}$$
jeśli $v_p = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to
$a = \frac{v_k}{t}$, zatem
$v_k = a \cdot t$

Przyrost drogi kulki

Jeśli obliczymy drogę pokonaną przez kulkę poruszającą się z przyspieszeniem 22 $\frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$ po kolejnych sekundach ruchu, to otrzymamy następujące wyniki:

Czas	1 s	2 s	3 s	4 s	5 s
Droga	$s_1 = 11$ cm	$s_2 = 44$ cm	$s_3 = 99$ cm	$s_4 = 176$ cm	$s_5 = 275$ cm

Obliczmy przyrosty drogi w kolejnych sekundach ruchu.
Po pierwszej sekundzie ruchu kulka pokonałaby drogę równą 11 cm. Zatem przyrost drogi w pierwszej sekundzie ruchu byłby równy:

$$\Delta s_1 = s_1 - 0 = 11 \text{ cm}$$

Po dwóch sekundach droga przebyta przez kulkę wynosiłaby 44 cm, czyli w ciągu drugiej sekundy ruchu przyrost drogi wynosiłby:

$$\Delta s_2 = s_2 - s_1 = 44 \text{ cm} - 11 \text{ cm} = 33 \text{ cm}$$

Po trzeciej sekundzie długość przebytej drogi byłaby równa 99 cm, co oznacza, że w ciągu trzeciej sekundy ruchu przyrost drogi wynosiłby:

$$\Delta s_3 = s_3 - s_2 = 99 \text{ cm} - 44 \text{ cm} = 55 \text{ cm}$$

W ten sposób można obliczyć przyrost drogi przebytej przez kulkę w każdej sekundzie ruchu. Przyjrzyj się zebranym wynikom:

$$\Delta s_1 = \mathbf{11} \text{ cm}, \Delta s_2 = \mathbf{33} \text{ cm}, \Delta s_3 = \mathbf{55} \text{ cm}, \Delta s_4 = \mathbf{77} \text{ cm}, \Delta s_5 = \mathbf{99} \text{ cm}$$

Wszystkie są wielokrotnościami Δs_1.
Wartości drogi przebytej w kolejnych sekundach można zapisać następująco:

$$\mathbf{1} \cdot 11; \quad \mathbf{3} \cdot 11; \quad \mathbf{5} \cdot 11; \quad \mathbf{7} \cdot 11; \quad \mathbf{9} \cdot 11 \ldots$$

Zauważ, że liczby zapisane pogrubioną czcionką to **kolejne liczby nieparzyste**. W ten sposób wykazaliśmy następną właściwość ruchu jednostajnie przyspieszonego:

> Odcinki drogi pokonywane w ruchu jednostajnie przyspieszonym z zerową prędkością początkową w kolejnych jednakowych przedziałach czasu mają się do siebie jak kolejne liczby nieparzyste.

Tę zależność odkrył Galileusz.

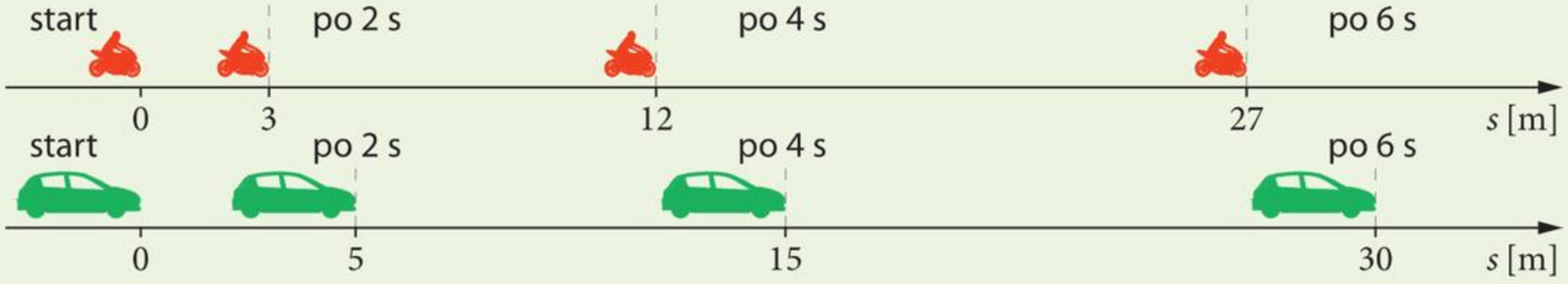
TO NAJWAŻNIEJSZE

- W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym przyrosty drogi w kolejnych sekundach ruchu mają się do siebie tak jak kolejne liczby nieparzyste.
- Analizę ruchu ciała można przeprowadzić również na podstawie filmu.

Rozwiąż zadania

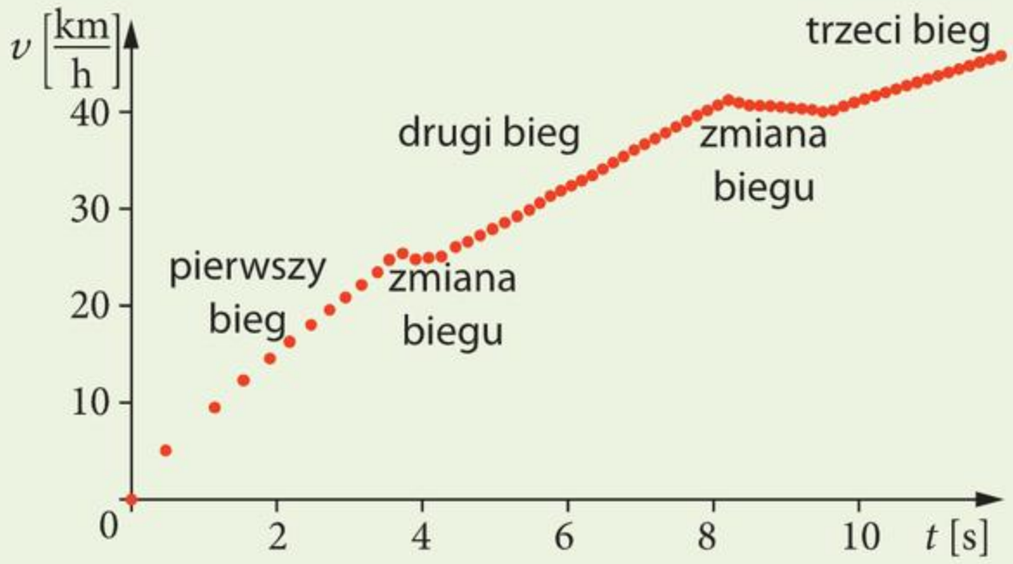
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Jeżeli ciało porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym bez prędkości początkowej, to po 2 razy dłuższym czasie przebywa 4-krotnie dłuższą drogę, a po 3-krotnie dłuższym czasie – 9-krotnie dłuższą drogę. Wykorzystując te informacje, sprawdź, który z pojazdów rozpoczynających ruch poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym.



2 Na wykresie przedstawiono zarejestrowaną prędkość samochodu rozpędzającego się na pierwszych trzech biegach.

Wykonaj linijką niezbędne pomiary i odpowiedz na pytania.



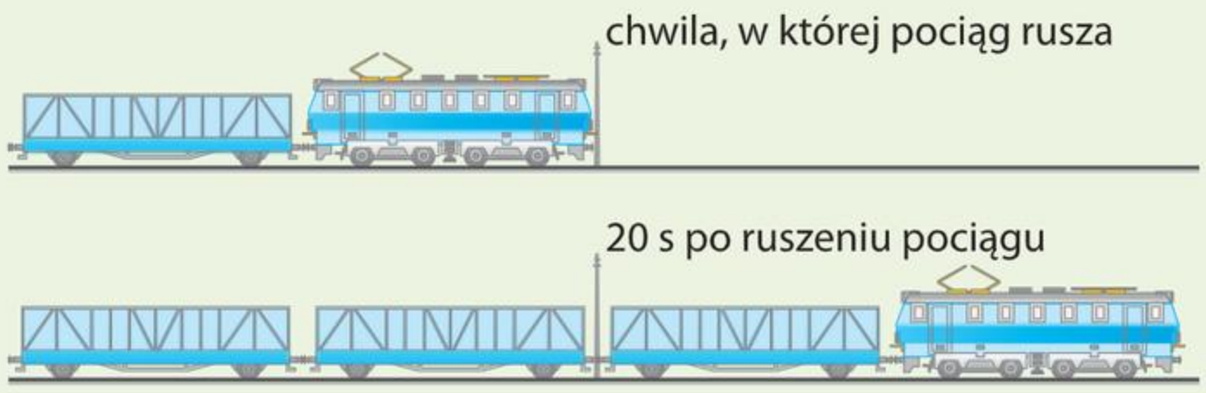
a) Czy na pierwszym biegu samochód poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym?

b) Czy na drugim biegu samochód poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym?

c) Jakim ruchem poruszał się samochód w chwili zmiany biegu z drugiego na trzeci?

d) Na którym biegu samochód poruszał się z najmniejszym przyspieszeniem?

3 Jacek obserwował, jak rusza pociąg towarowy z bardzo dużym składem, liczącym 40 wagonów. Zauważył, że lokomotywa i pierwszy wagon po upływie 20 s minęły słup trakcyjny znajdujący się tuż przed lokomotywą, gdy ta jeszcze stała. W czasie kolejnych 20 s słup trakcyjny minęło już 6 wagonów, a w ciągu następnych 20 s – aż 10 wagonów. Czy można przypuszczać, że w ciągu pierwszej minuty od chwili ruszenia skład towarowy poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym? Uzasadnij odpowiedź. Przyjmij, że lokomotywa i wszystkie wagony mają taką samą długość.



23 Analiza wykresów ruchów prostoliniowych: jednostajnego i jednostajnie zmiennego

Cel lekcji: Utrwalisz umiejętność analizowania wykresów opisujących ruch oraz dowiesz się, jakie informacje można z nich odczytać.

Ruch prostoliniowy jednostajny

Jak wiesz, ruch jednostajny prostoliniowy jest to taki ruch, którego torem jest linia prosta, prędkość ma wartość stałą, a droga jest wprost proporcjonalna do czasu trwania ruchu.

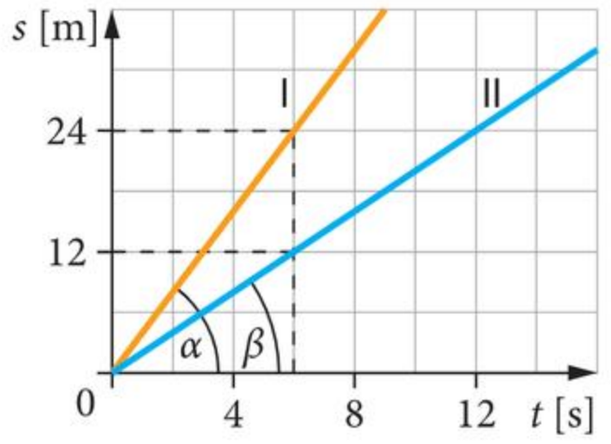
Drogę, prędkość i **czas** w tym ruchu możemy obliczyć ze wzorów:

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

gdzie: s – droga, v – prędkość, t – czas.

Na wykresie obok przedstawiono zależność drogi od czasu dla dwóch pojazdów. Co możemy powiedzieć na podstawie tego wykresu? Pojazd I w czasie 6 s pokonał 24 m, podczas gdy pojazd II w tym samym czasie pokonał zaledwie 12 m. A więc pojazd I poruszał się z dwa razy większą prędkością niż pojazd II.

Aby rozstrzygnąć na podstawie wykresu zależności drogi od czasu, który z pojazdów porusza się szybciej, wystarczy porównać **kąty nachylenia prostych do osi czasu**.



Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnym prostoliniowym ($v_p = 0\ \frac{m}{s}$).

Im większy kąt między osią poziomą a wykresem zależności drogi od czasu, tym większa prędkość.

Aby obliczyć wartość prędkości pojazdu, musimy podstawić do wzoru dane odczytane z wykresu:

pojazd I: $t_I = 6$ s, $s_I = 24$ m, zatem $v_1 = \frac{24\ \text{m}}{6\ \text{s}} = 4\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$,

pojazd II: $t_{II} = 6$ s, $s_{II} = 12$ m, zatem $v_{II} = \frac{12\ \text{m}}{6\ \text{s}} = 2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

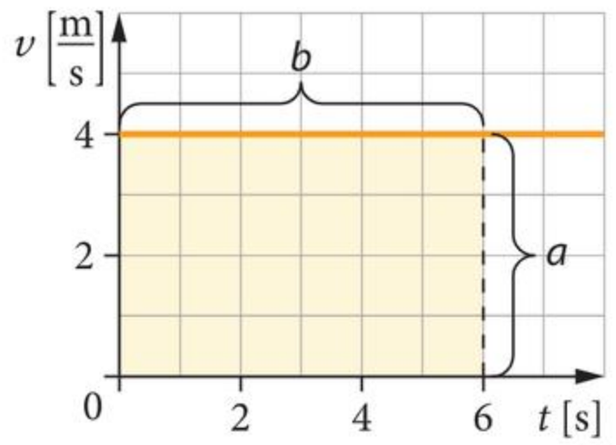
Możemy podstawić dowolną parę wartości odczytanych z wykresu, ale wygodniej jest wybrać taką, którą łatwo odczytać.

Przedstawmy ruch pojazdu I za pomocą wykresu zależności prędkości od czasu (patrz wykres na str. 147). Co możemy odczytać z takiego wykresu?

Zwróć uwagę, że aby obliczyć drogę przebytą w czasie np. $t = 6$ s, należy do wzoru $s = v \cdot t$ wstawić dane z wykresu: $v = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $t = 6$ s, więc:

$$s = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 6 \text{ s} = 24 \text{ m}$$

Otrzymana powyżej wartość jest liczbowo równa polu powierzchni prostokąta zaznaczonego na wykresie.
Pole prostokąta oblicza się ze wzoru: $P_{\square} = a \cdot b$.
Na wykresie: $a = 6$ i $b = 4$, a więc: $P_{\square} = 6 \cdot 4 = 24$.



Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.

Zwróć uwagę, że po przemnożeniu przez siebie jednostek zapisanych przy osiach otrzymasz metry (m).

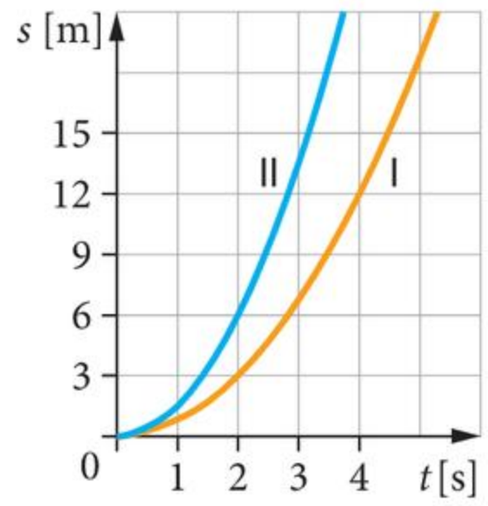
Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony bez prędkości początkowej

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony jest to taki ruch, którego torem jest linia prosta, a przyspieszenie ma wartość stałą, czyli prędkość rośnie wprost proporcjonalnie do czasu trwania ruchu. Droga* w takim ruchu jest wprost proporcjonalna do kwadratu czasu. Jeżeli prędkość początkowa $v_p = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to $\Delta v = v_k - v_p = v_k$, zatem **drogę**, **prędkość** i **przyspieszenie** możemy obliczyć ze wzorów:

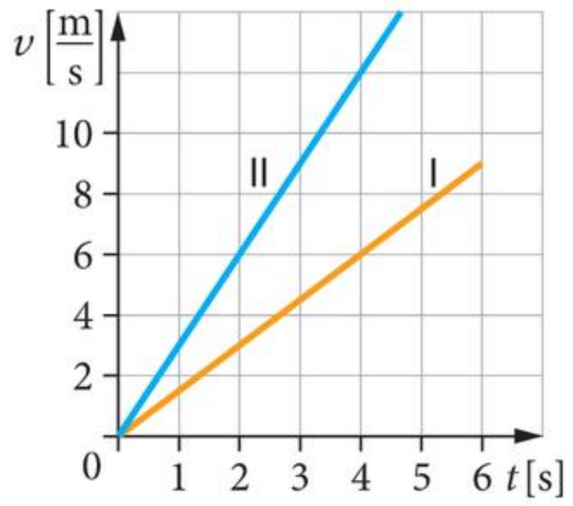
$$s = \frac{a \cdot t^2}{2} \qquad v_k = a \cdot t \qquad a = \frac{v_k}{t}$$

gdzie: s – droga, v_k – prędkość końcowa po czasie t, a – przyspieszenie, t – czas ruchu.

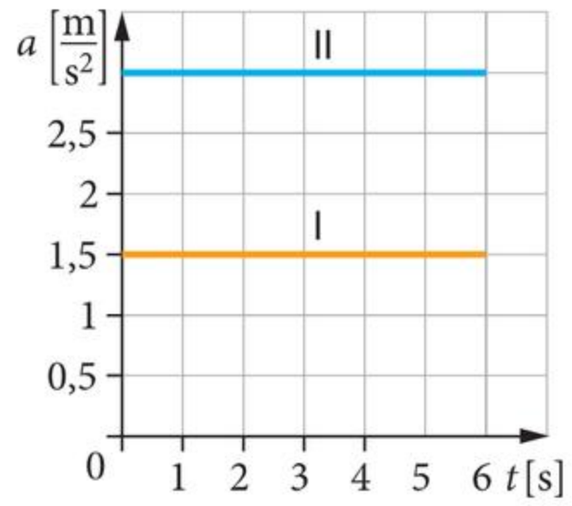
Poniżej przedstawiono wykresy zależności drogi, prędkości i przyspieszenia od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym dla dwóch pojazdów.



Wykres zależności drogi od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym ($v_p = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).



Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym ($v_p = 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$).



Wykres zależności przyspieszenia od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym.

Porównując wykresy zależności prędkości od czasu dla pojazdów I i II, można łatwo ocenić, który poruszał się z większym przyspieszeniem.

Im większe przyspieszenie pojazdu, tym bardziej stromy wykres zależności prędkości od czasu.

* Informacje o zależności drogi od czasu w ruchu przyspieszonym są spoza podstawy programowej.

R

Do wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym bez prędkości początkowej:

$$s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

można podstawić wzór na przyspieszenie: $a = \frac{\Delta v}{t}$.

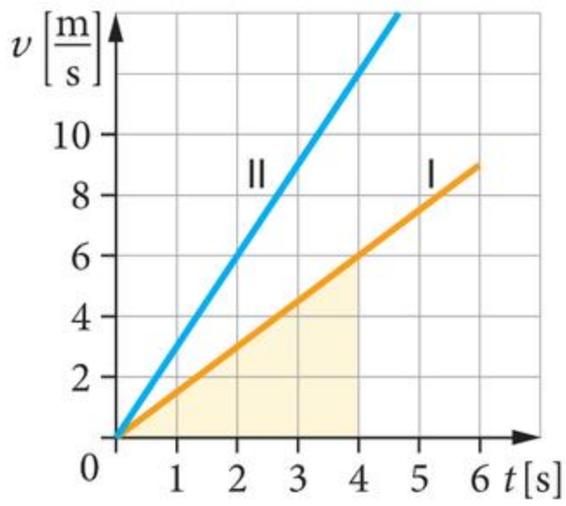
Otrzymamy wtedy wzór na **drogę** w ruchu jednostajnie przyspieszonym **bez prędkości początkowej** w postaci:

$$s = \frac{v_k \cdot t}{2}$$

Popatrzmy na wykres zależności prędkości od czasu. Jeśli do takiego wzoru podstawimy dane dla pojazdu I, a więc prędkość końcową $v_k = 6\ \frac{m}{s}$ po czasie $t = 4$ s, to otrzymamy:

$$s = \frac{6\frac{m}{s} \cdot 4\,s}{2} = 12\,m$$

Zauważ, że wartość ta jest liczbowo równa polu trójkąta zacieniowanego na wykresie. Widzimy więc, że zarówno dla ruchu jednostajnego, jak i przyspieszonego zachodzi podobna prawidłowość. Można wykazać, że ta prawidłowość zachodzi dla każdego ruchu.



Wykres zależności prędkości od czasu w ruchu jednostajnie przyspieszonym ($v_p = 0\ \frac{m}{s}$).

Droga w dowolnym ruchu jest liczbowo równa polu pod wykresem zależności prędkości od czasu.

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony z prędkością początkową

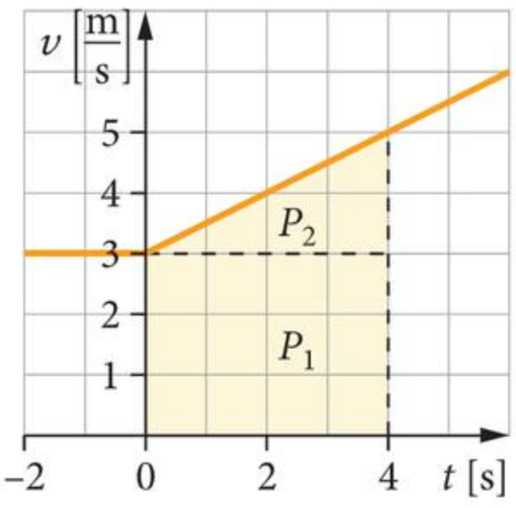
Wyobraź sobie samochód, który dojeżdża powoli ze stałą prędkością do skrzyżowania, na którym świeci się czerwone światło. Nim kierowca zdąży zahamować, światła się zmieniają i może przejechać przez skrzyżowanie – kierowca naciska pedał gazu i przyspiesza. Jak opisać taki ruch? Jak już wiesz, przyspieszenie:

$$a = \frac{\Delta v}{t}, \qquad \text{gdzie} \qquad \Delta v = v_k - v_p$$

zatem prędkość końcową można obliczyć ze wzoru:

$$v_k = v_p + a \cdot t$$

gdzie: s – droga, v_k – prędkość końcowa po czasie t, v_p – prędkość początkowa, t – czas ruchu.



Do chwili $t = 0$ kierowca poruszał się ruchem prostoliniowym jednostajnym, w chwili $t = 0$ nacisnął gaz i od tego momentu poruszał się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym.

Przyjrzyj się wykresowi zależności prędkości od czasu dla tego ruchu. Jak już wiesz, na podstawie pola pod takim wykresem można obliczyć drogę. Jeśli chcielibyśmy wiedzieć np., jaką drogę pokonał samochód w ciągu 4 s od naciśnięcia pedału gazu, musimy obliczyć pole zacieniowanego trapezu. Możemy je podzielić na pole prostokąta i pole trójkąta. Ich pola będą liczbowo równe drodze:

$$s = v_p \cdot t + \frac{\Delta v \cdot t}{2}$$

P_1 P_2

Po przekształceniach, których kolejne kroki pokazano w ramce obok, uzyskamy wzór na drogę w postaci:

$$s = \frac{(v_k + v_p) \cdot t}{2}$$

Zwróć uwagę, że wyrażenie $\frac{v_k + v_p}{2}$ to średnia prędkość w ciągu rozpatrywanego czasu ruchu t.

Jeśli do wzoru $s = v_p \cdot t + \frac{\Delta v \cdot t}{2}$ wstawimy $\Delta v = a \cdot t$, otrzymamy wzór w postaci:

$$s = v_p \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Ruch jednostajnie opóźniony

Rozważmy sytuację, gdy kierowca dojeżdża powoli jednostajnie do skrzyżowania, na którym ma czerwone światło, ale światła się nie zmieniają. W końcu naciska hamulec i zwalnia. Wykres prędkości takiego pojazdu wyglądałby jak na rysunku obok.

R

Kolejne przekształcenia:

$$s = v_p \cdot t + \frac{\Delta v \cdot t}{2}$$

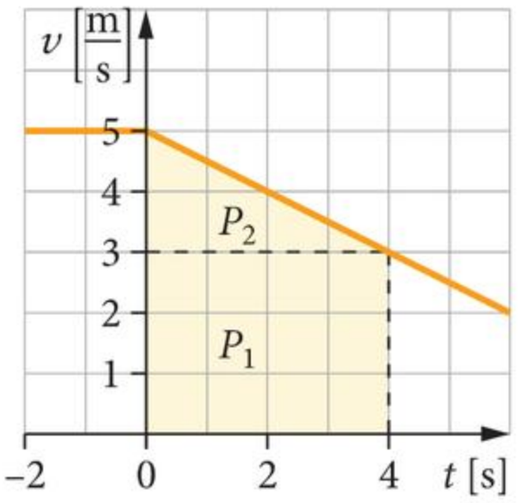
$$s = v_p \cdot t + \frac{(v_k - v_p) \cdot t}{2}$$

$$s = \frac{2v_p \cdot t}{2} + \frac{(v_k - v_p) \cdot t}{2}$$

$$s = \frac{(v_k - v_p + 2v_p) \cdot t}{2}$$

Zatem:

$$s = \frac{(v_k + v_p) \cdot t}{2}$$



Do chwili $t = 0$ s kierowca poruszał się ruchem jednostajnym, w chwili $t = 0$ s nacisnął hamulec i od tego momentu poruszał się ruchem jednostajnie opóźnionym.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

W promach kosmicznych, aby skrócić drogę hamowania, można wykorzystać spadochrony zaczepione z tyłu pojazdu.



Pole pod wykresem na str. 149 można podzielić na pola: prostokąta P_1 i trójkąta P_2 i zastosować podobne wyprowadzenie wzoru.

Zatem wzór na drogę w postaci: $s = \frac{(v_k + v_p) \cdot t}{2}$

można zastosować dla ruchu jednostajnie opóźnionego.

Jak wiesz, w ruchu opóźnionym przyspieszenie ma znak minus, zatem wzór na **prędkość końcową w ruchu opóźnionym** ma następującą postać:

$$v_k = v_p - a \cdot t$$

Jeśli z obliczeń na podstawie tego wzoru wynika, że prędkość końcowa ma znak minus, oznacza to, że ciało po wyhamowaniu „do zera" zawróciło i w chwili końcowej przyspiesza w przeciwną stronę niż na początku.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Drogę** można wyznaczyć na podstawie wykresu zależności prędkości od czasu – jest liczbowo **równa polu powierzchni pod wykresem**.
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym **im większy kąt** między osią poziomą a wykresem zależności drogi od czasu, **tym większa prędkość**.
- **Im większe przyspieszenie** pojazdu, **tym bardziej stromy wykres** zależności prędkości od czasu.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wykorzystując dane z tabeli, narysuj w zeszycie wykres zależności drogi od czasu. Jaki to jest ruch? Oblicz wartość prędkości w tym ruchu.

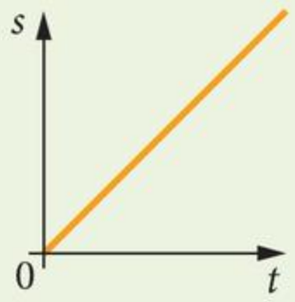
Czas t [s]	0	1	2	3
Droga s [m]	0	4	8	12

2 Ciało poruszało się ze stałą prędkością 2 $\frac{m}{s}$ przez trzy pierwsze sekundy trwania ruchu, a przez kolejne trzy sekundy poruszało się ruchem jednostajnie przyspieszonym prostoliniowym z przyspieszeniem 1 $\frac{m}{s^2}$. Sporządź w zeszycie wykres zależności prędkości od czasu dla tego ruchu.

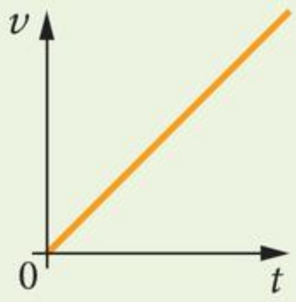
3 Dwaj motocykliści wyruszyli jednocześnie z Krakowa i Zakopanego, aby się spotkać. Motocyklista jadący z Krakowa poruszał się ze średnią prędkością 60 $\frac{km}{h}$, a jadący z Zakopanego – ze średnią prędkością 40 $\frac{km}{h}$. Po jakim czasie i w jakiej odległości od Krakowa się spotkają, jeżeli odległość z Krakowa do Zakopanego wynosi 100 km?

4 Jaki ruch przedstawiono na każdym z wykresów?

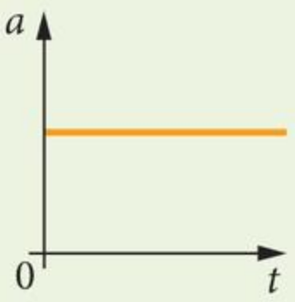
A.



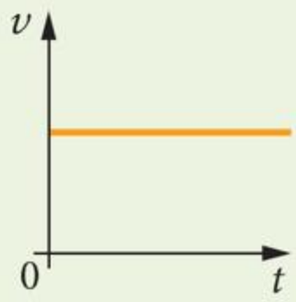
B.



C.



D.



5 Na wykresie poniżej przedstawiono w sposób przybliżony zależność prędkości od czasu w ruchu piechura wędrującego po górskim szlaku.

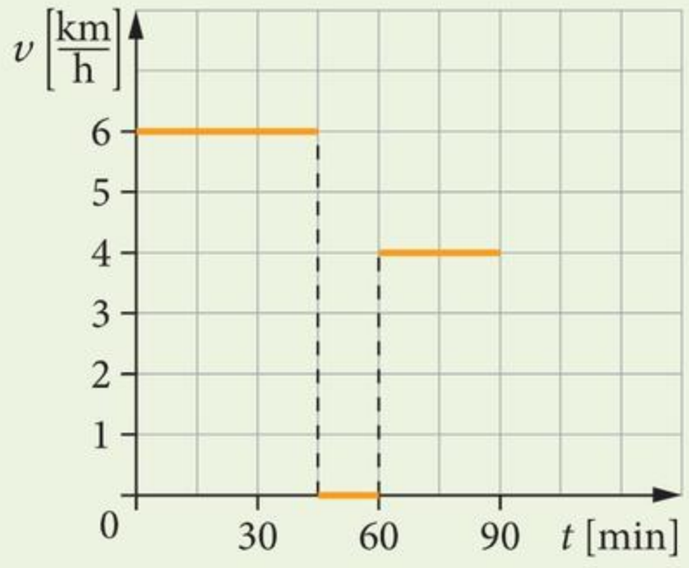
a) Z jaką prędkością poruszał się na początku?

b) Jak długo turysta odpoczywał?

c) Jaką drogę przebył turysta w czasie pierwszych 45 min?

d) Jaką całkowitą drogę przebył turysta?

e) Wykorzystując rozwiązania z pkt c) i d), narysuj wykres zależności drogi przebytej przez turystę od czasu.



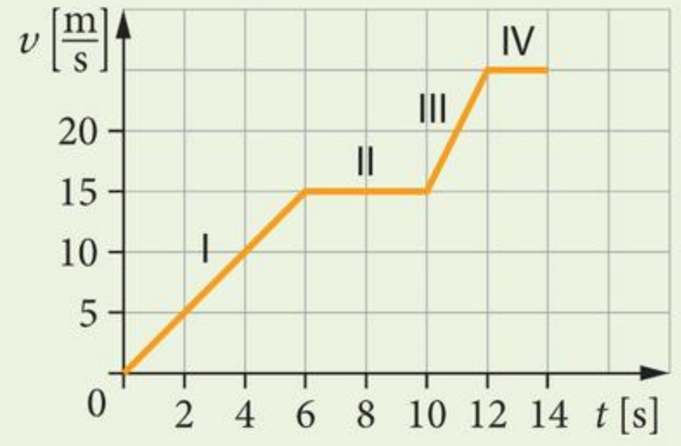
6 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla ruchu pewnego samochodu. Odczytaj z wykresu lub oblicz w zeszycie:

a) na których odcinkach ruchu samochód przyspieszał,

b) ile czasu poruszał się ruchem przyspieszonym,

c) jaką drogę pokonał w czasie pierwszych 4 sekund ruchu,

d) jaką drogę pokonał pomiędzy 6. a 12. sekundą ruchu,



e) czy droga pokonana w IV fazie ruchu była większa od drogi pokonanej w II fazie,

f) czy przyspieszenie w III fazie było większe niż przyspieszenie w I fazie ruchu.

7 Z niewielkiej górki dzieci puściły swobodnie piłkę, która poruszała się ruchem prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym. Wiedząc, że w pierwszej sekundzie ruchu piłka przebyła 3 cm, zapisz w zeszycie drogi pokonane przez piłkę w: 2., 3., 4., 5., 6. i 7. sekundzie ruchu.

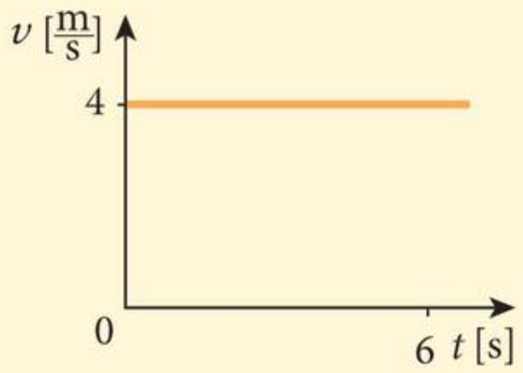
Powtórzenie. Kinematyka

- **Ruch** jest zmianą położenia ciała względem **układu odniesienia** zachodzącą z upływem czasu. Bez wyboru układu odniesienia nie jest możliwe ustalenie, czy dane ciało jest w ruchu czy w spoczynku.
- Ciało może być w ruchu jednostajnym względem jednego ciała, a jednocześnie w ruchu zmiennym względem drugiego ciała i w spoczynku względem jeszcze innego. Na tym polega **względność ruchu**.
- Parametrami opisującymi ruch są między innymi: **tor**, **droga**, **prędkość** i **przyspieszenie**.
- **Tor** jest to linia, po której ciało się porusza.
- **Droga** (s) jest to długość toru ruchu.
- Ze względu na kształt toru wyróżniamy **ruch prostoliniowy** i **krzywoliniowy**.

Ruch jednostajny prostoliniowy

- **Ruch jednostajny prostoliniowy** to ruch, w którym ciało pokonuje jednakowe odcinki drogi w takich samych odstępach czasu, a torem jest linia prosta.
- **Prędkość** w ruchu jednostajnym prostoliniowym **jest stała**, obliczamy ją ze wzoru:

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



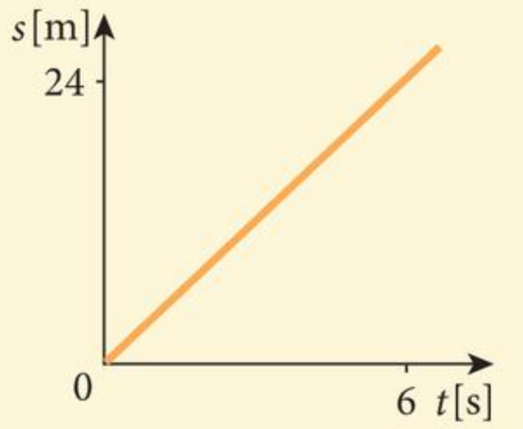
Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.

Podstawową jednostką prędkości jest $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- **Droga** s, którą pokonuje ciało poruszające się ruchem jednostajnym prostoliniowym, jest proporcjonalna do czasu jego trwania.

droga = prędkość · czas	$s = v \cdot t$

Podstawową jednostką drogi jest $[s] = \text{m}$.



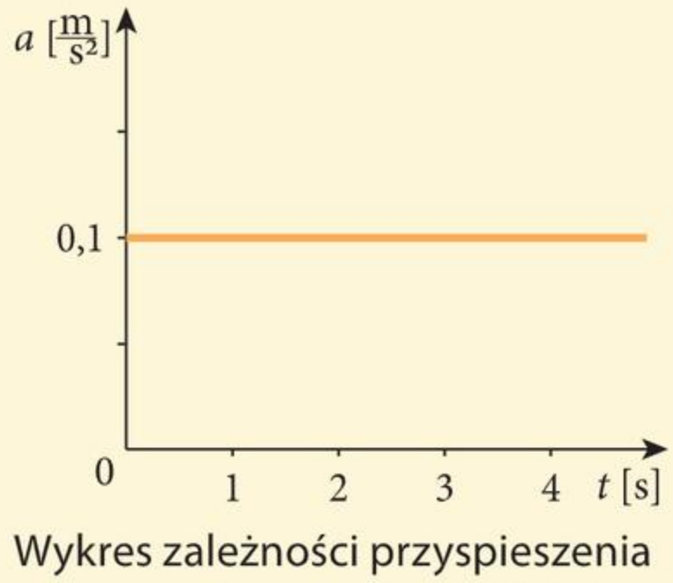
Wykres zależności drogi od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony

- **Ruch jednostajnie przyspieszony** to taki ruch, w którym prędkość w każdej kolejnej sekundzie zwiększa się o taką samą wartość.

- **Przyspieszenie** określa, o ile zmienia się prędkość ciała w ciągu jednej sekundy.

- W ruchu jednostajnie przyspieszonym **przyspieszenie jest stałe**. Wartość przyspieszenia obliczamy ze wzoru:



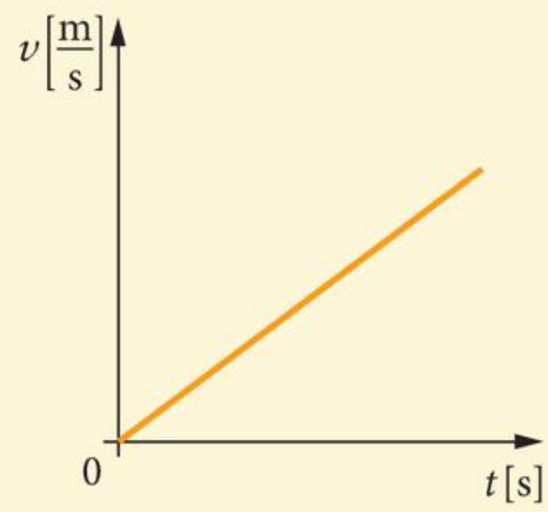
Wykres zależności przyspieszenia od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego.

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{prędkość końcowa} - \text{prędkość początkowa}}{\text{czas zmiany prędkości}} = \frac{\text{zmiana prędkości}}{\text{czas zmiany prędkości}} \qquad a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

- Główną jednostką przyspieszenia jest $[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

- Gdy przyspieszenie ma zwrot taki sam jak prędkość, to ciało **się rozpędza**, a gdy zwroty prędkości i przyspieszenia są przeciwne, ciało **hamuje**.

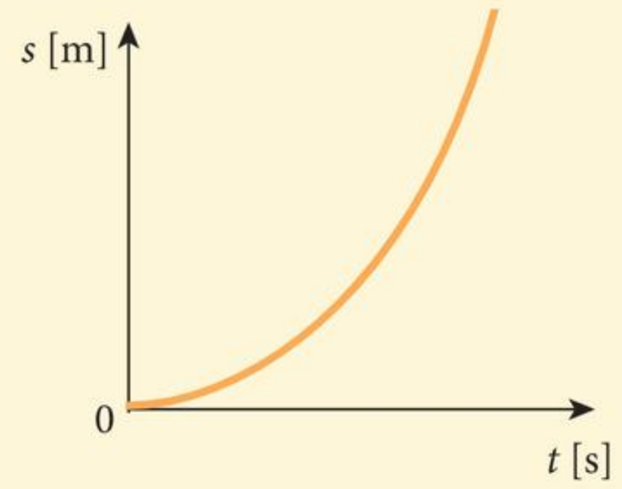
- Jeżeli prędkość w kolejnych sekundach ruchu maleje o taką sama wartość, to taki ruch nazywamy **jednostajnie opóźnionym**.



Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, gdy prędkość początkowa jest równa zero.

- Jeżeli prędkość początkowa ciała jest równa $0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to prędkość, jaką po danym czasie osiągnie ciało poruszające się ruchem jednostajnie przyspieszonym, obliczamy ze wzoru:

$$\text{prędkość końcowa} = \text{przyspieszenie} \cdot \text{czas ruchu} \qquad v_k = a \cdot t$$



Wykres zależności drogi od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, gdy prędkość początkowa jest równa zero.

R

- **Drogę** w ruchu jednostajnie przyspieszonym z prędkością początkową równą zero obliczamy ze wzoru:

$$\text{droga} = \frac{\text{przyspieszenie} \cdot (\text{czas})^2}{2} \qquad s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–4 i 6–8 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 W ruchu jednostajnym prostoliniowym wielkością, która nie zmienia się jest

A. droga.
B. przyspieszenie.
C. prędkość.
D. czas.

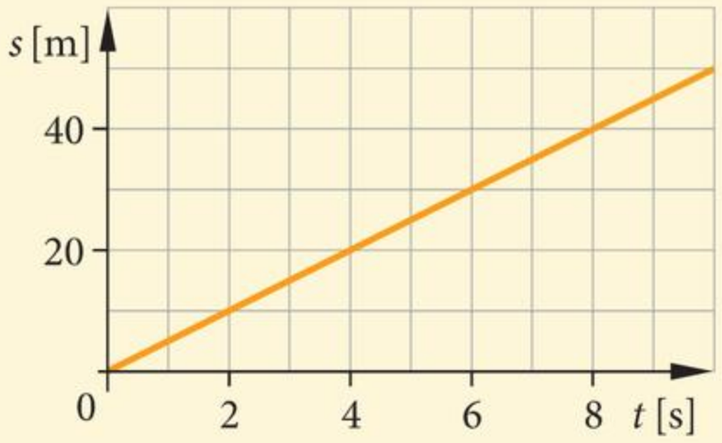
2 Odbywa się wyścig dwóch kajakarzy płynących po równoległych torach. W chwili, gdy kajakarze płyną równo obok siebie tym samym tempem, jeden kajak

A. jest w ruchu względem drugiego i w spoczynku względem brzegu.
B. jest w spoczynku względem drugiego i w ruchu względem brzegu.
C. jest w ruchu zarówno względem drugiego, jak i względem brzegu.
D. jest w spoczynku zarówno względem drugiego, jak i względem brzegu.

3 Państwo Adamczykowie trasę z Łodzi do Władysławowa liczącą 400 km pokonali w czasie 5 godzin i 15 minut. Ich średnia prędkość w czasie tej podróży była

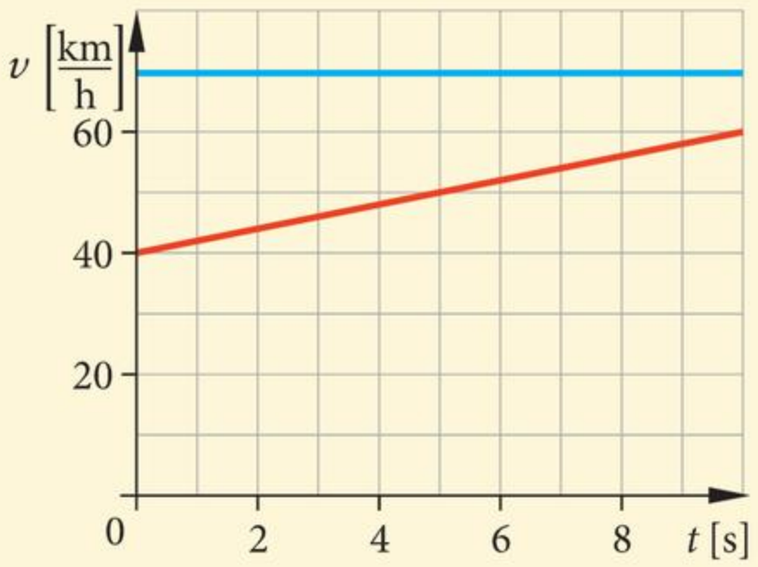
A. większa niż 120 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
B. mniejsza niż 120 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, ale większa niż 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
C. większa niż 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, ale mniejsza niż 100 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
D. mniejsza niż 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

4 Na wykresie przedstawiono zależność drogi od czasu dla rowerzysty jadącego na pewnym odcinku. Z wykresu można odczytać, że przez ten czas rowerzysta poruszał się ruchem **A**/ **B**, a jego średnia prędkość była równa **C**/ **D**.



A. jednostajnym
B. zmiennym
C. $5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
D. $10\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

5 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla samochodu osobowego (kolor niebieski) i ciężarówki (kolor czerwony).



Wskaż zdanie fałszywe.

A. Samochód osobowy poruszał się ruchem jednostajnym.
B. Przyspieszenie ciężarówki zmieniało się wraz z upływem czasu.
C. Ciężarówka poruszała się ruchem zmiennym.

6 Jeżeli motocykl w ciągu 5 s zwiększa prędkość z $15\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ do $25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to jego przyspieszenie jest równe

A. $10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. **B.** $5\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. **C.** $2\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. **D.** $1\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

7 Aby zbadać, czy dana osoba, idąc kilkanaście metrów wzdłuż szkolnego boiska, porusza się ruchem jednostajnym, należy użyć **A/ B/ C** i wykonać na całym odcinku drogi **D/ E**.

A. stopera i siłomierza
B. linijki i stopera
C. taśmy mierniczej i stopera
D. jeden pomiar czasu
E. kilka pomiarów czasu

8 Na rysunku przedstawiono prędkościomierz w chwili, gdy samochód znajdował się w niewielkiej odległości od znaku oznaczającego teren zabudowany i kierowca zaczął zmniejszać prędkość.

Z opisu w zadaniu wynika, że prędkościomierz wskazuje prędkość **A/ B** oraz że od tego momentu samochód na pewno poruszał się ruchem **C/ D/ E**. Wartość prędkości, jaką można odczytać, wraz z niepewnością pomiarową wynosi **F/ G**.

A. średnią
B. chwilową
C. jednostajnym
D. jednostajnie opóźnionym
E. zmiennym
F. $(70 \pm 10)\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$
G. $(70 \pm 5)\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$



Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

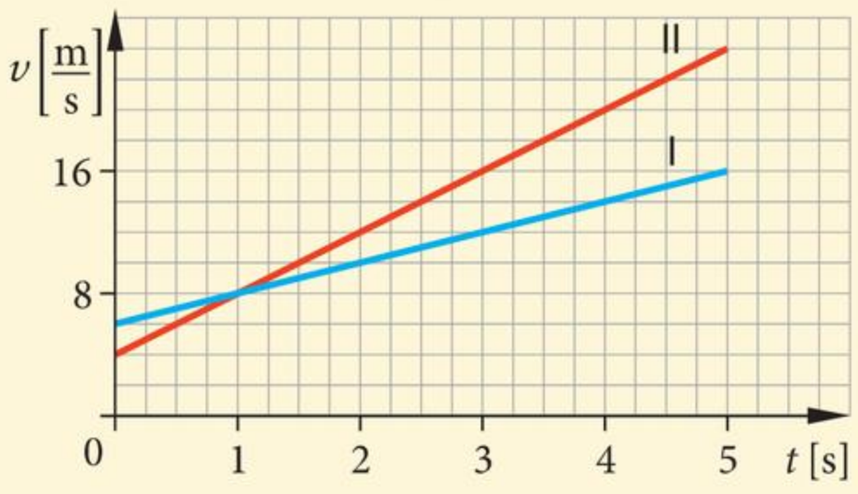
Uwaga. W zadaniach 1, 5 i 6 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Najszybsi sprinterzy w biegu na 100 m osiągają czas ok. 10 s, czyli poruszają się ze średnią prędkością ok.

A. 36 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
B. 10 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
C. 28 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.
D. 24 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

2 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla pojazdów I i II. Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Pojazd I poruszał się z przyspieszeniem 2 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
B. Pojazd II w czasie 3 s zwiększył prędkość o 6 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.



3 W tabeli podano wyniki pomiarów czasu i prędkości samochodu.

t [s]	0	1	2	3	4	5
$v\left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]$	60	60	60	68	73	77

Wybierz zdanie fałszywe.

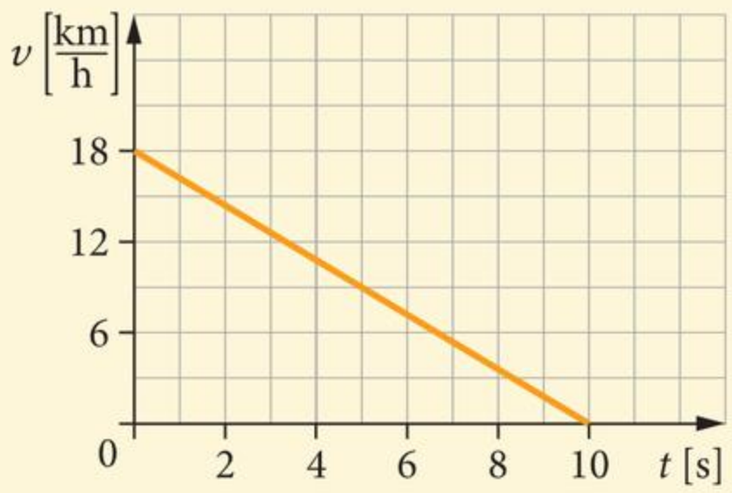
A. Przez pierwsze 2 sekundy samochód poruszał się ruchem jednostajnym.
B. Przez ostatnie 2 sekundy samochód poruszał się ruchem zmiennym.
C. Przez ostatnie 2 sekundy przyspieszenie samochodu było stałe.
D. W ciągu 2 pierwszych sekund samochód przejechał ponad 30 m drogi.

4 Sokół wędrowny poluje na swoje ofiary jedynie w powietrzu, pikując na nie z ogromną prędkością ponad

300 $\frac{km}{h}$. W jakim czasie przebędzie on w powietrzu odległość 180 m, jeżeli leci z prędkością 324 $\frac{km}{h}$?

A. 1 s **B.** 5 s **C.** 2 s **D.** 3 s

5 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla rowerzysty, który zwalniał aż do zatrzymania się. Zwróć uwagę na jednostki prędkości i czasu na osiach wykresu.



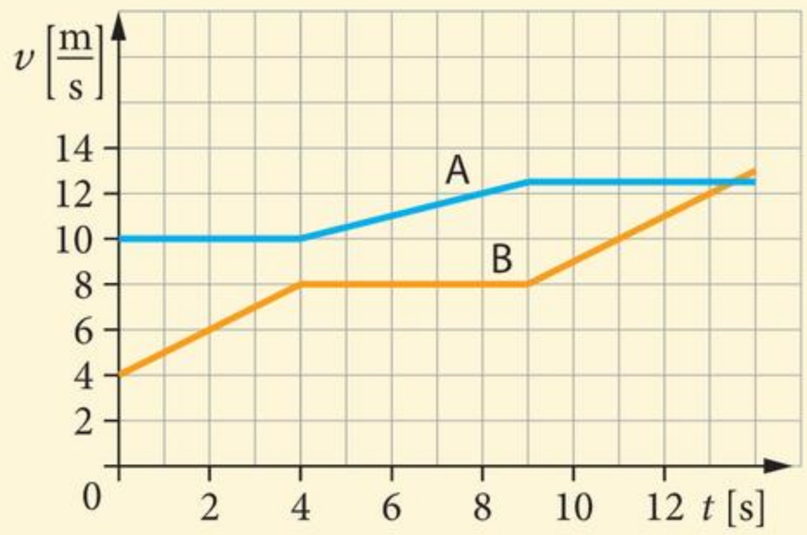
Rowerzysta poruszał się ruchem **A/ B/ C**. Przyspieszenie rowerzysty było równe **D/ E/ F**. Droga, jaką przebył rowerzysta do chwili zatrzymania, jest równa **G/ H/ I**.

A. jednostajnym
B. jednostajnie opóźnionym
C. niejednostajnie opóźnionym

D. $-1{,}8\ \frac{m}{s^2}$ **G.** 90 m
E. $-0{,}5\ \frac{m}{s^2}$ **H.** 45 m
E. $-\frac{10}{18}\ \frac{m}{s^2}$ **I.** 25 m

Informacja do zadań 6–7

Samochód jechał ze stałą prędkością przez pierwsze 4 sekundy ruchu, następnie w ciągu kolejnych 5 sekund poruszał się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Po 9 sekundach do końca ruchu poruszał się ze stałą prędkością.



6 Ruch tego samochodu na pewno **nie jest** przedstawiony na wykresie **A/ B**, natomiast w ciągu pierwszych 9 sekund większą drogę przebył pojazd, dla którego ruch oznaczono literą **A/ B**.

7 Określ, czy poniższe zdania są prawdziwe czy fałszywe.

A. W 14. sekundzie ruchu oba pojazdy przebyły taką samą drogę.
B. Przyspieszenie pojazdu A od początku 5. do końca 9. sekundy ruchu było mniejsze niż 1 $\frac{m}{s^2}$.
C. Pojazd B od początku 5. do końca 9. sekundy ruchu przebył taką samą drogę jak pojazd A w ciągu pierwszych 4 sekund ruchu.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 2 i 4 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Stojący na przystanku tramwaj zaczyna poruszać się z przyspieszeniem 1,5 $\frac{m}{s^2}$.

Po 2 sekundach tramwaj przebędzie drogę **A/ B** i uzyska prędkość 3 $\frac{m}{s}$. Po 4 sekundach ruchu tramwaj **C/ D/ E** niż po 2 sekundach ruchu.

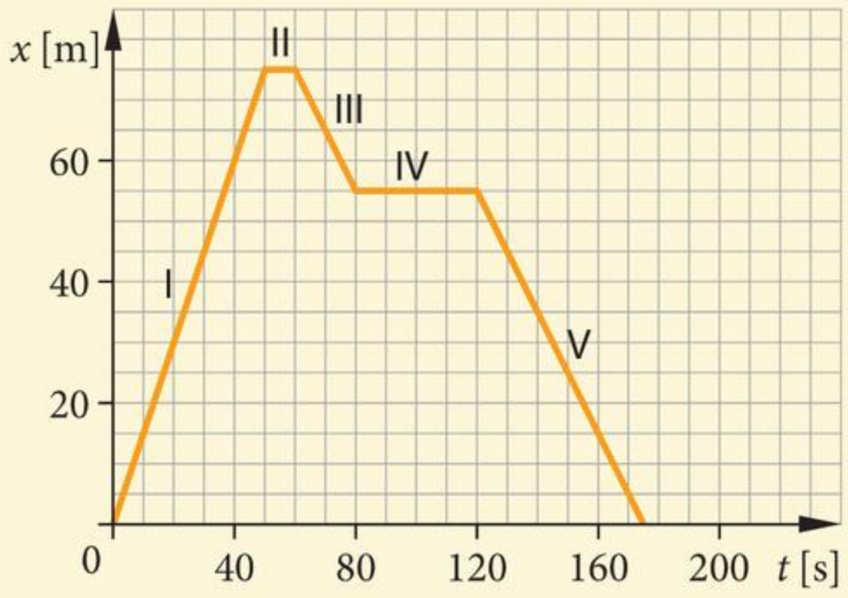
A. 6 m **B.** 3 m

C. przebędzie 2 razy większą drogę i uzyska 2 razy większą prędkość
D. przebędzie 4 razy większą drogę i uzyska 2 razy większą prędkość
E. przebędzie 4 razy większą drogę i uzyska 4 razy większą prędkość

2 Kierowca pierwszą połowę drogi, liczącą 60 km, przebył ze średnią prędkością 90 $\frac{km}{h}$, a drugą połowę – ze średnią prędkością 60 $\frac{km}{h}$. Jego średnia prędkość na całej trasie to

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

3 Stróż nocny spacerował po prostym odcinku drogi wzdłuż ogrodzenia. Na wykresie przedstawiono jego położenie względem stróżówki.



Wskaż zdania prawdziwe.

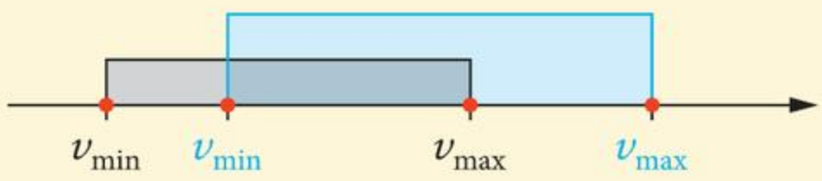
A. Stróż, oddalając się od stróżówki, poruszał się z prędkością 1,5 $\frac{m}{s}$.
B. Podczas całego czasu trwania ruchu (175 s) stróż przeszedł łącznie 75 m.
C. Stróż wracał do stróżówki, poruszając się z prędkością 1,5 $\frac{m}{s}$.
D. Przez 175 s ruchu stróż zatrzymał się łącznie na mniej niż 1 minutę.

4 Długopis spadał z biurka, poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym, i po 0,4 s uderzył w podłogę z prędkością 4 $\frac{m}{s}$. Wysokość biurka jest równa

A. 80 cm.
B. 160 cm.
C. 40 cm.
D. 120 cm.

5 Uczniowie mierzyli średnią prędkość uzyskiwaną w biegu na dystansie 60 m (odległość 60 m została wyznaczona bardzo dokładnie). Nie mieli jednak precyzyjnego stopera, a jedynie zegarek z sekundnikiem mierzący z dokładnością do 1 sekundy. Jacek wg pomiarów zegarkiem uzyskał najlepszy czas równy 9 s, na drugim miejscu uplasował się Michał z wynikiem 10 s. Jednak Michał zakwestionował wynik, twierdząc, że wydaje mu się, iż biegł szybciej od Jacka, a za błędny wynik odpowiada duża niepewność pomiarowa zegarka.

a) Czy rzeczywiście są podstawy, żeby tak sądzić? Uzasadnij swoją odpowiedź.
b) Zastanów się, uwzględniając niepewności pomiarowe, jaka mogła być rzeczywiście najmniejsza i największa średnia prędkość uzyskana przez Jacka i Michała na dystansie 60 m.
c) Zilustruj zakresy prędkości średnich, jakie mogli uzyskać chłopcy, w sposób pokazany poniżej.



Projekt

Prędkość wokół nas

Problem badawczy

Z jakimi prędkościami się poruszamy? Jaka jest wiarygodność wskazań prędkościomierza w samochodzie?

Cele główne

Realizując projekt, możesz się dowiedzieć:

- jak za pomocą aplikacji w telefonie komórkowym wyznaczyć zależność prędkości od czasu,
- ile czasu zajmuje ci droga do szkoły i z jaką średnią prędkością się poruszasz,
- jakie są różnice w prędkości i czasie w zależności od tego, w jaki sposób pokonujesz drogę z domu do szkoły,
- w jaki sposób najbardziej opłaca się pokonywać drogę z domu do szkoły w twojej okolicy osobom, które mieszkają w różnych odległościach,
- czy wskazania prędkościomierza w samochodzie pokazują rzeczywistą prędkość pojazdu i czy ma to znaczenie dla bezpieczeństwa na drodze.

Zadania szczegółowe

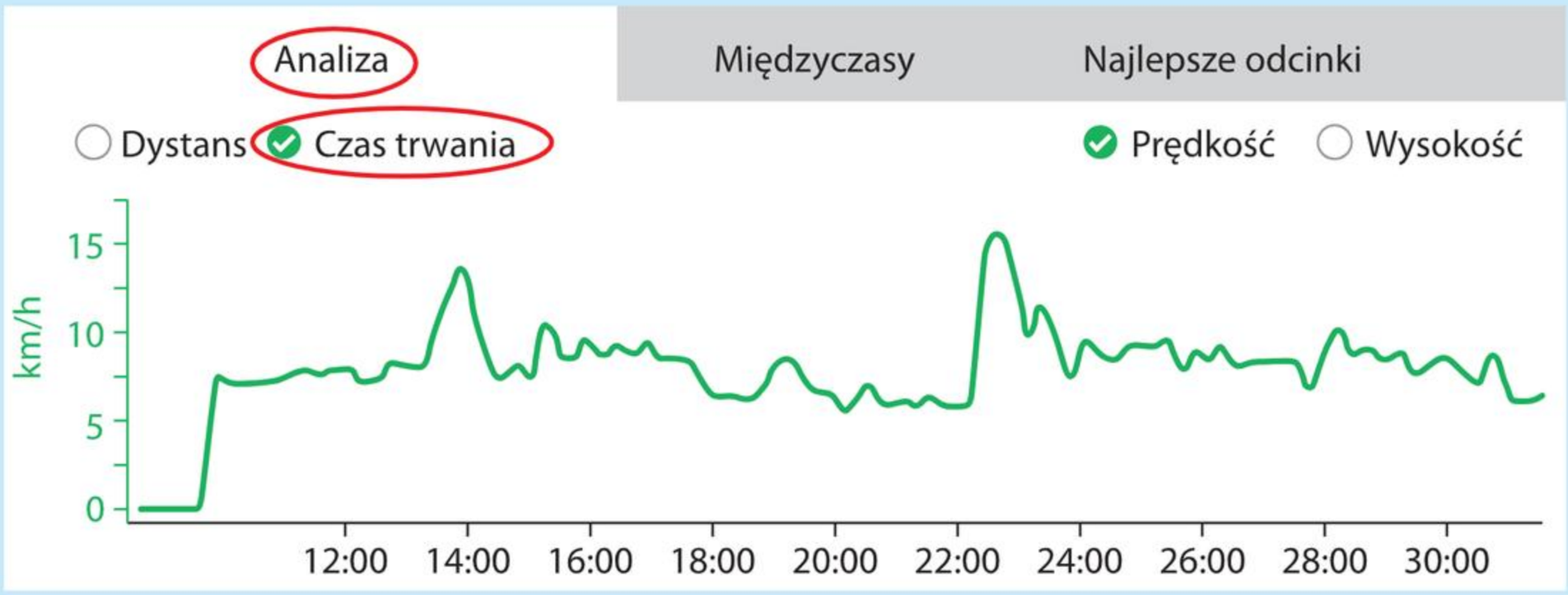
Zadanie 1. Twoja prędkość w drodze z domu do szkoły

Przy użyciu telefonu komórkowego wyposażonego w odbiornik GPS i darmowy program do treningów lub do śledzenia tras wycieczek można uzyskać wiele informacji o tym, w jaki sposób się przemieszczamy, m.in.: wykres zależności prędkości od czasu, mapkę z zaznaczonym torem ruchu.

Uwaga. Programy tego typu mają różne funkcje i możliwości, niektóre mogą wymagać rejestracji. Wybierz taki, który najbardziej ci odpowiada. Używając takiego programu, zarejestrujesz zależność prędkości od czasu w drodze z domu do szkoły, a następnie przeanalizujesz dane i sporządzisz przybliżony wykres zależności drogi od czasu.

1. Na początku musisz zainstalować aplikację w swoim telefonie. Następnie zapoznaj się z programem, aby dokładnie poznać jego działanie i sposób, w jaki zapisuje dane.
2. W tym celu udaj się na krótki kilkunastominutowy spacer i staraj się podczas niego zmieniać swoją prędkość. Pamiętaj, że aplikacja działa poprawnie jedynie wtedy, gdy jest włączony odbiornik nawigacji GPS.
3. Następnie przeanalizuj uzyskane dane – najlepiej zrobić to na komputerze. Niektóre programy pozwalają zgrać na dysk odpowiednie pliki, inne umożliwiają analizę danych po wejściu na własne konto założone przy rejestracji aplikacji.

4. Przeanalizuj informacje zapisane podczas twojego spaceru oraz wykres zależności prędkości od czasu. Poniżej przedstawiono przykładowy wykres z takiego programu.



5. Przeanalizuj najpierw, jak zmieniała się twoja prędkość w zależności od czasu. Czy potrafisz wyjaśnić te zmiany, np. dlaczego w pewnych momentach prędkość rosła, malała, była większa lub mniejsza?

6. Z uzyskanych danych odczytaj wartość swojej najmniejszej niezerowej prędkości i chwilę, w której ta prędkość została osiągnięta, oraz wartość największej prędkości i chwilę, w której została osiągnięta. Odczytaj także średnią prędkość. Czy prędkość średnia znacznie różni się od maksymalnej i minimalnej prędkości? Jak to wyjaśnić?

7. Porównaj swoje wyniki z wynikami koleżanek i kolegów. Czy na podstawie wykresu można ustalić np. kto chodzi do szkoły pieszo, a kto jeździ rowerem? Kto dojeżdża autobusem, który nie zatrzymuje się po drodze, a kto – autobusem lub tramwajem, który zatrzymuje się po drodze na kilku przystankach? Odpowiedź uzasadnij.

Zadanie 2. Czy prędkościomierz pokazuje rzeczywistą prędkość samochodu?

Celem doświadczenia jest porównanie wskazań prędkościomierza z prędkością samochodu wyznaczoną innym sposobem.

1. Wybierz się z kimś, kto może prowadzić samochód (np. z rodzicem), na przejażdżkę autem po rzadko uczęszczanej drodze.

2. Poproś osobę prowadzącą pojazd, aby na prostym odcinku co najmniej 500 m jechała tak, żeby licznik ciągle wskazywał dokładnie 50 $\frac{km}{h}$. Zmierz w tym czasie prędkość samochodu, wykorzystując do tego celu nawigację w swoim telefonie i jedną z wielu darmowych aplikacji umożliwiających rejestrację prędkości na podstawie odczytu położenia z modułu GPS.

3. Porównaj prędkość, którą zarejestrował telefon, z prędkością wskazywaną przez prędkościomierz. Powtórz jeszcze raz pomiar na takim samym odcinku drogi.

4. Zapisz wynik uzyskany przez siebie jako średnią arytmetyczną prędkości z obu pomiarów. Czy prędkość zarejestrowana za pomocą telefonu jest większa czy mniejsza niż 50 $\frac{km}{h}$?



5. Wyznacz, o ile procent różni się prędkość rejestrowana za pomocą GPS od prędkości wskazywanej przez prędkościomierz. W tym celu skorzystaj ze wzoru:

$$\frac{\text{różnica prędkości}}{50\ \frac{\text{km}}{\text{h}}} \cdot 100\ \%$$

Pamiętaj, aby w liczniku zawsze odejmować od większej prędkości mniejszą.

6. Cały eksperyment powtórz podczas jazdy z prędkością 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Uwaga. Ze względu na obowiązujące w Polsce ograniczenia prędkości ten pomiar trzeba wykonywać poza terenem zabudowanym na odcinku drogi, na którym nie ma innych ograniczeń prędkości.

7. Podobnie jak w pierwszym doświadczeniu oblicz procentową różnicę między wskazaniem GPS a wskazaniem prędkościomierza samochodowego. Jakie wnioski można wyciągnąć z obu pomiarów?

8. Kierowca został zatrzymany przez policję za przekroczenie dozwolonej prędkości. Czy uzasadnione byłoby jego tłumaczenie, że licznik auta wskazywał dozwoloną prędkość, ale ze względu na błąd pomiaru samochód jechał nieco szybciej?

Dynamika

Z tego rozdziału dowiesz się:

- jak analizować zachowanie ciał na podstawie I zasady dynamiki,
- co jest miarą bezwładności ciał,
- jak definiuje się jednostkę siły – niuton,
- jak obliczyć przyspieszenie ciała, gdy znamy jego masę i wartość działającej siły,
- jak opisywać wzajemne oddziaływanie ciał, posługując się III zasadą dynamiki,
- jak opisywać spadanie swobodne ciał,
- jakie są opory ruchu i od czego zależą,
- jakie jest znaczenie tarcia w życiu codziennym.



24 Pierwsza zasada dynamiki Newtona – bezwładność

Cel lekcji: Dowiesz się, jakie znaczenie ma równoważenie się sił działających na ciało. Poznasz pojęcie bezwładności i jej rolę w przyrodzie i życiu codziennym.

Wstęp do dynamiki

W dziale „**Dynamika**” zajmiemy się badaniem, jak działanie sił wpływa na ruch ciał. Wiesz już, że siła jest miarą oddziaływań i może powodować statyczne lub dynamiczne skutki. Wiesz również, że dwie **siły** działające na dane ciało **mogą się równoważyć**, jeśli mają taką samą wartość i działają wzdłuż tej samej prostej, ale mają przeciwne zwroty. Powiedzieliśmy także, że **siła wypadkowa** jest to taka siła, która zastępuje działanie kilku sił na dane ciało. Zanim przejdziemy do omawiania zagadnień związanych z ruchem, krótko przypomnijmy, jak wyznacza się siłę wypadkową.



Umiejętność wyznaczania siły wypadkowej umożliwia przewidywanie rezultatów w wielu sytuacjach.

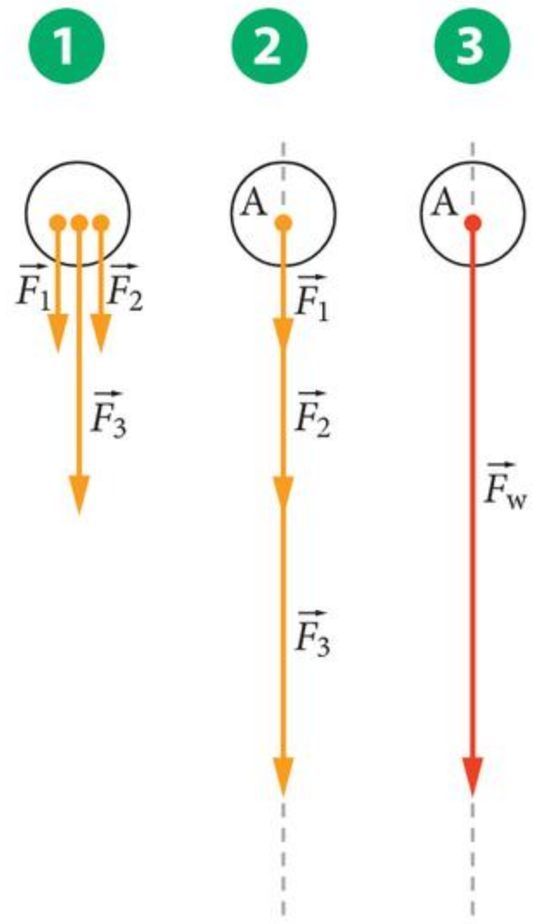
Dla uproszczenia opisu dodawania wektorów graficzny symbol wektora (strzałkę) będziemy nazywać wektorem.

Dodawanie sił o tym samym kierunku

Siły o tym samym kierunku mogą mieć zgodne lub przeciwne zwroty. Aby wyznaczyć wypadkową sił działających na ciało, gdy wszystkie mają **zgodne zwroty**, należy:

1. Na prostej obrać punkt A, który będzie początkiem wektora pierwszej siły.
2. Narysować wektor $\vec{F}_1$ o początku w punkcie A. Od końca wektora $\vec{F}_1$ narysować wektor $\vec{F}_2$, a od końca wektora $\vec{F}_2$ narysować wektor $\vec{F}_3$.
3. Tak powstały wektor wypadkowej siły $\vec{F}_w$ ma wartość równą sumie wartości sił, które zastępuje:

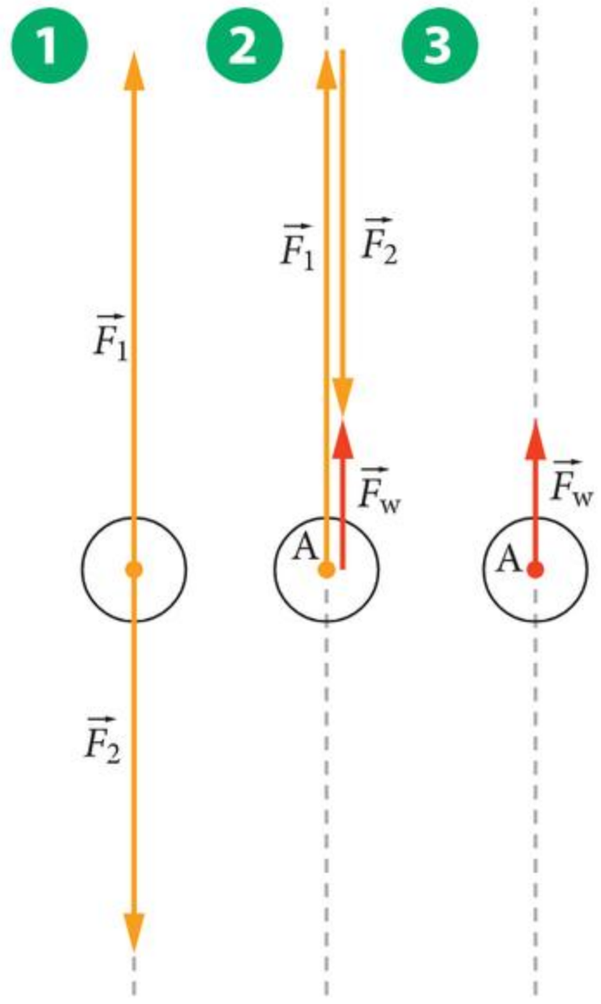
$$F_w = F_1 + F_2 + F_3$$



Etapy wyznaczania siły wypadkowej sił o tym samym kierunku i zgodnych zwrotach.

Jeśli chcemy wyznaczyć wypadkową dwóch sił o tym samym kierunku, ale o **przeciwnych zwrotach**, należy wykonać następujące czynności:

1. Na prostej równoległej do kierunku sił składowych obrać punkt A, który jest wspólnym punktem przyłożenia sił $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$.
2. Narysować wektor $\vec{F}_1$, którego początek będzie w punkcie A. Od końca wektora $\vec{F}_1$ dorysować wektor $\vec{F}_2$ z przeciwnym zwrotem, jak na rysunku obok.
3. Tak powstały wektor wypadkowej siły $\vec{F}_w$ ma wartość równą różnicy wartości sił składowych.



Etapy wyznaczania siły wypadkowej sił o tym samym kierunku i przeciwnych zwrotach.

$$F_w = F_1 - F_2$$



Przeciąganie liny jest przykładem działania sił o przeciwnych zwrotach.

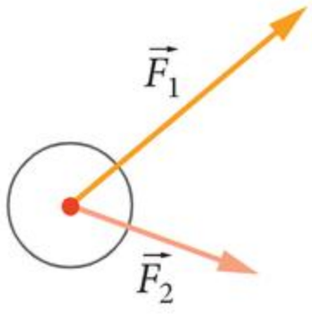
Dodawanie sił o różnych kierunkach

R

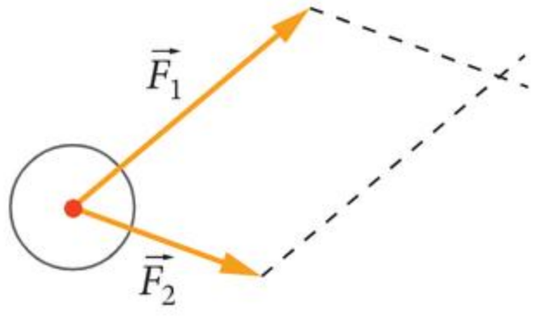
Graficznie można wyznaczyć również wypadkową sił działających na ciało w różnych kierunkach. W tym celu można posłużyć się metodą równoległoboku lub metodą łańcucha wektorów.

Aby zastosować **metodę równoległoboku**, należy wykreślić linie pomocnicze równoległe do wektorów $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ (rys. B). Wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$ będzie leżał na przekątnej powstałego równoległoboku (rys. C).

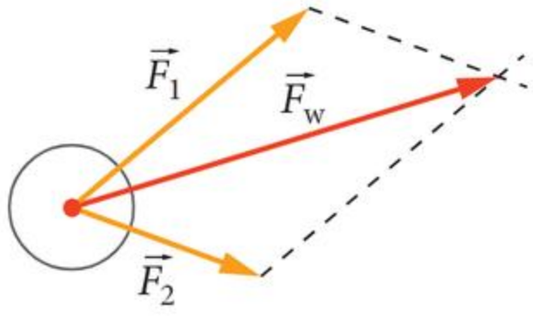
A.



B.



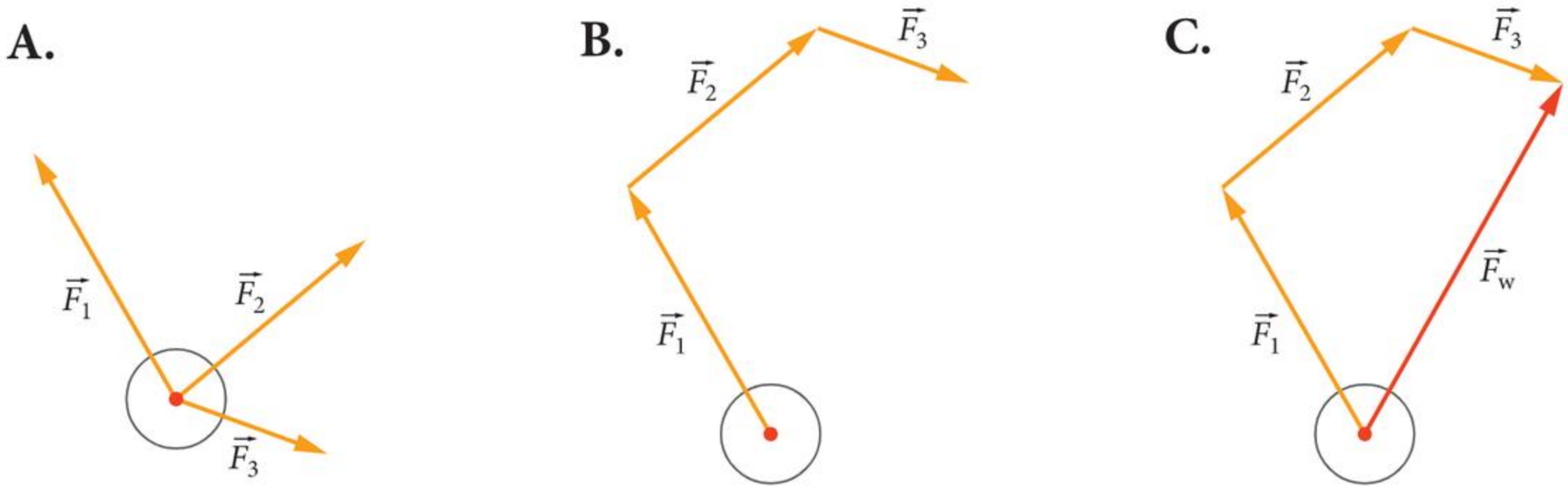
C.



R

Metoda łańcucha wektorów jest wygodna do wyznaczania siły wypadkowej większej liczby sił składowych o różnych kierunkach. W tej metodzie:

- należy drugi wektor $\vec{F}_2$ przesunąć równolegle (tak, aby nie zmieniły się jego kierunek i długość) w taki sposób, żeby jego początek znalazł się w tym samym punkcie, w którym znajduje się koniec pierwszego wektora $\vec{F}_1$ (rys. A),
- podobnie należy przesunąć kolejne wektory, tworząc łańcuch wektorów (rys. B),
- po połączeniu początku pierwszego wektora z końcem ostatniego otrzymasz wektor siły wypadkowej $\vec{F}_w$ (rys. C).



Etapy wyznaczania siły wypadkowej kilku sił składowych metodą łańcucha wektorów.

Pierwsza zasada dynamiki Newtona

Z życia codziennego wiesz, że w trakcie ruchu na ciało działają siły oporu ruchu i że w różnych sytuacjach są one różne. Na przykład o wiele trudniej jest biec w wodzie niż po trawie, a beczkę łatwiej toczyć niż ją przesuwać. Więcej o samych oporach ruchu dowiesz się w lekcji 28. Na razie zastanówmy się, co by się działo z ciałem, na które **opory ruchu nie działają**. Wykonaj doświadczenie.

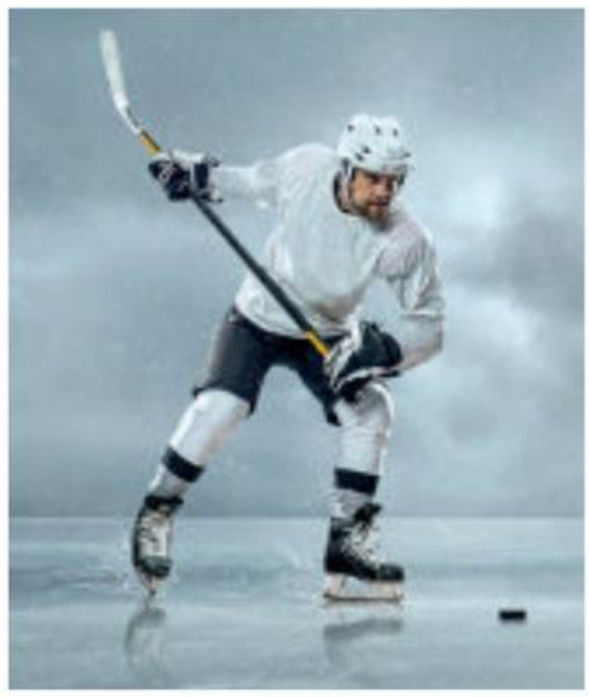
DOŚWIADCZENIE 38

1. Przygotuj kubek jednorazowy i gumkę do ścierania ołówka.
2. Do kubeczka nalej tyle wody, aby zapełnić nie więcej niż 2–3 cm jego wysokości i włóż naczynie do zamrażalnika na kilka godzin.
3. Wyjmij kostkę lodu z kubeczka. Ważne, aby kostka lodu była mocno zmrożona, więc aby wyjąć ją z kubka, **nie ogrzewaj** w żaden sposób jego denka i ścianek (np. przecierając zwilżoną w ciepłej wodzie szmatką lub wkładając do naczynia z ciepłą wodą). Jeśli masz problemy z wydostaniem kostki lodu, rozetnij kubek.
4. Połóż kostkę lodu na stole i pchnij. Jeśli masz gładką podłogę – pchnij kostkę lodu po podłodze.
5. Pchnij po tej samej powierzchni i z podobną siłą gumkę do ścierania ołówka.



Gumka praktycznie od razu się zatrzymuje, a kostka lodu pokonuje znacznie dłuższą drogę.

Podobnie jak kostka lodu w doświadczeniu porusza się krążek podczas gry w hokeja. Pchnięty krążek na gładkim lodowisku pokonuje długą drogę, zanim się zatrzyma. Spróbuj wyobrazić sobie nieskończenie duże lodowisko, gdzie nie istnieją żadne opory ruchu. W takich warunkach krążek raz wprawiony w ruch poruszałby się nieskończenie długo ze stałą prędkością po linii prostej.



Nawet na najgładszym lodzie siły oporu ruchu zatrzymują krążek hokejowy.

Ogólny opis ruchu ciała, gdy na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, sformułowany został przez Isaaca Newtona i znany jest dziś jako **pierwsza zasada dynamiki Newtona**:

> Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Przykładu rzeczywistej sytuacji, gdy na ciało nie działają absolutnie żadne siły, nie da się wskazać, ale z przypadkiem, gdy działające siły się równoważą, masz do czynienia bardzo często. Przypomnij sobie sytuację, gdy jedziesz na rowerze po poziomej drodze. Jeśli jedziesz ze stałą prędkością, to znaczy, że siłę napędzającą rower równoważą opory ruchu.

Pierwsza zasada dynamiki jest nazywana również **zasadą bezwładności**.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

W wielu filmach science fiction pojazdy podczas lotu w przestrzeni kosmicznej na duże odległości mają ciągle włączone silniki. Z punktu widzenia fizyki, aby utrzymać stałą prędkość z dala od planet i gwiazd, używanie silników nie jest w ogóle konieczne. Ponieważ na taki pojazd nie działają żadne siły, raz wprawiony w ruch, poruszałby się ciągle po linii prostej.

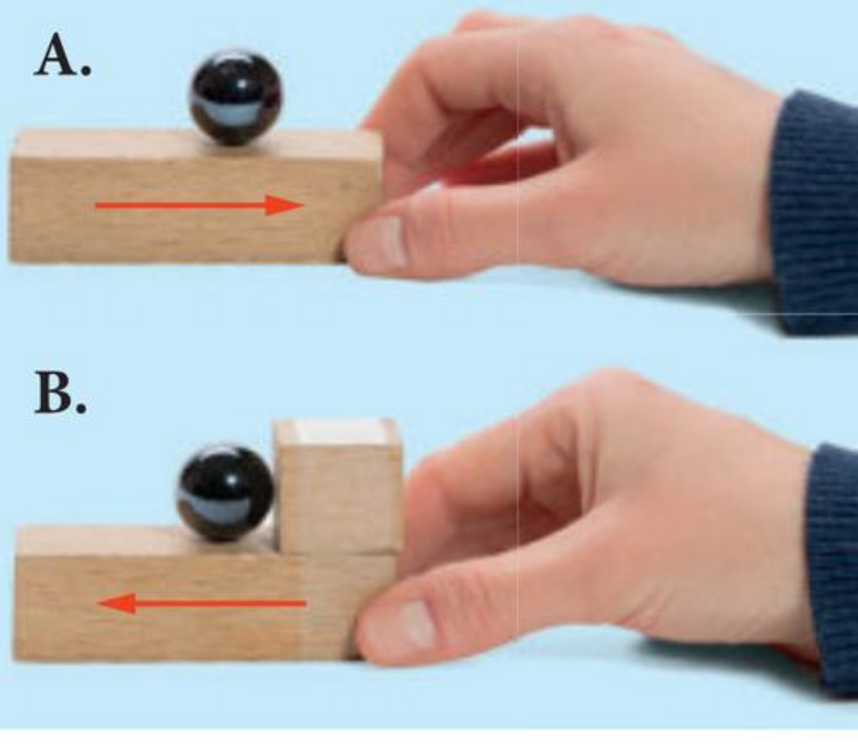


Bezwładność

Aby lepiej zrozumieć, na czym polega bezwładność, przypomnij sobie, co odczuwasz podczas przyspieszania i hamowania pojazdu, np. autobusu.
Gdy autobus rusza, twoje ciało zachowuje się tak, jakby chciało pozostać w spoczynku. Jeżeli siedzisz przodem do kierunku jazdy, zostajesz wciśnięty w fotel. Natomiast podczas hamowania pojazdu – twoje ciało nie chce się zatrzymać i nadal porusza się do przodu. Spostrzeżenia te możesz potwierdzić za pomocą doświadczeń.

DOŚWIADCZENIE 39

1. Przygotuj: dwa klocki, stalową lub szklaną kulkę i taśmę klejącą.
2. Ustaw kulkę na klocku.
3. Przesuń szybko klocek, tak jak zaznaczono na zdjęciu A. Co stało się z kulką?
4. Do pierwszego klocka za pomocą taśmy klejącej przymocuj drugi tak, aby tworzył ściankę przy jego brzegu (patrz zdjęcie).
5. Ponownie umieść kulkę na klocku tak jak na zdjęciu B.
6. Przesuwaj klocek jednostajnie po stole i gwałtownie zatrzymaj. Co tym razem stało się z kulką?



W pierwszej części doświadczenia kulka spada z klocka, co można wytłumaczyć jej „chęcią” do pozostawania w spoczynku.
W drugiej części kulka mimo zatrzymania klocka nadal porusza się w tę samą stronę, w którą poruszała się wraz z klockiem. W tym wypadku można mówić o „niechęci” kulki do zmiany prędkości (zarówno wartości, kierunku, jak i zwrotu).

Bezwładność to cecha, która sprawia, że ciało, które jest w spoczynku, „chce” w spoczynku pozostać, a ciało, które porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym, „chce” nadal poruszać się w taki sam sposób.

Można też powiedzieć, że bezwładność to właściwość ciała, która sprawia, że dąży ono do zachowania swojej prędkości (zarówno jej kierunku, jak i wartości). Oczywiście prędkość ciała może mieć wartość równą zero – wtedy ciało dąży do pozostania w spoczynku.
To, jak trudno wprawić ciało w ruch albo zatrzymać, zależy od jego masy. Można powiedzieć, że:

Masa jest miarą bezwładności ciała.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Bezwładność ma ogromne znaczenie przy zabezpieczaniu ładunku na czas transportu. Przy nagłej zmianie prędkości, np. przy zderzeniu, ładunek, który nie został odpowiednio zamocowany, będzie nadal się poruszał i może wyrządzić dużo większe szkody niż samo zderzenie. W ten sposób podczas wypadku samochodowego zachowuje się ciało człowieka, dlatego tak ważne jest zapinanie pasów bezpieczeństwa.



Obserwacja bezwładności

Bezwładność ciał można zaobserwować w różnych doświadczeniach, które możesz przeprowadzać samodzielnie. Oto propozycja jednego z nich.

DOŚWIADCZENIE 40

1. Przygotuj dużą plastikową butelkę oraz nitkę lub niezbyt mocny sznurek.
2. W dnie butelki zrób dwa otwory i przewlecz przez nie sznurek.
3. Następnie zatkaj otwory, napełnij butelkę wodą tak, aby po odwróceniu butelki poziom wody nie sięgał do otworów, i zakręć mocno zakrętkę.
4. Odwróconą do góry dnem butelkę zawieś na drążku (np. kiju od szczotki opartym o dwa krzesła).

Wskazówka. Nitka, na której wisi butelka, musi być mocno naprężona, ale nie może zrywać się pod jej ciężarem. Ciężar butelki możesz regulować ilością wody w środku.

5. Nad zakrętką przywiąż drugi kawałek sznurka tak, aby jego swobodny koniec zwisał pod butelką (jak na zdjęciu).
6. Ciągnij za koniec sznurka, powoli go naprężając, aż się zerwie.
7. Powtórz doświadczenie, ale tym razem mocno szarpnij sznurek. Co obserwujesz?



Gdy ciągniesz powoli, zrywa się sznurek nad butelką.

Gdy szarpniesz, zrywa się sznurek pod butelką

Zauważ, że w pierwszym wypadku sznurek zerwał się nad butelką, a w drugim – pod nią. Dlaczego tak się stało? Można to wytłumaczyć bezwładnością butelki. Masa butelki jest na tyle duża, że „przeciwstawia się" szybkiej zmianie prędkości – w tym wypadku wytrąceniu

ze stanu spoczynku – i w ten sposób chroni od naprężenia sznurek nad butelką. Ciągnąc powoli, obciążasz sznurek nad butelką nie tylko swoją siłą, ale i ciężarem butelki, co powoduje jego zerwanie.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Zgodnie z **pierwszą zasadą dynamiki** Newtona jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- **Bezwładność** to cecha ciała, dzięki której dąży ono do zachowania swojej prędkości. Miarą bezwładności ciała jest jego **masa**.

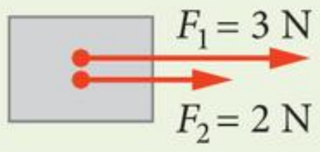
Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Obok chłopca jadącego pociągiem, siedzącego przodem do kierunku jazdy, leżała piłka, która w pewnym momencie spadła z siedzenia, mimo że nikt jej nie dotykał. Wyjaśnij dlaczego.

2. Przerysuj przykłady do zeszytu. Dorysuj dodatkowy wektor siły tak, aby ciało mogło poruszać się ruchem jednostajnym prostoliniowym. Zachowaj proporcje wektorów i napisz przy nich wartości sił.

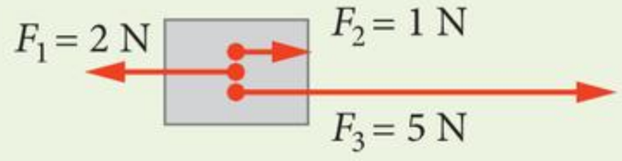
A.



B.



C.



3. Wyjaśnij, jaki związek z bezwładnością ma trzepanie dywanu trzepaczką.

4. Ogromne kontenerowce (statki, które przewożą ładunki w dziesiątkach kontenerów) muszą wyłączać silniki kilka kilometrów przed portem. W samym porcie nie włączają swoich własnych silników, a są kierowane za pomocą lin przez kilka mniejszych statków (tzw. holowników). Wyjaśnij, dlaczego wpływanie tak ogromnego statku do portu musi się odbywać zgodnie z opisaną procedurą.



25 Druga zasada dynamiki Newtona

Cel lekcji: Dowiesz się, co się dzieje, gdy działające na ciało siły się nie równoważą. Poznasz zależność między masą ciała, siłą działającą na to ciało a jego przyspieszeniem.

Gdy siły się nie równoważą

W lekcji 11 i później przedstawiliśmy intuicyjne ujęcie zjawiska bezwładności. Teraz zbadasz to zjawisko ilościowo. Wiesz już, co dzieje się z ciałem, jeżeli nie działają na nie żadne siły lub działające siły się równoważą. Nasuwa się więc pytanie: co się dzieje z ciałem pod wpływem działania sił, które się nie równoważą?

Jeśli upuścimy ciało z pewnej wysokości, to wyraźnie widać, że porusza sie ono ruchem przyspieszonym. Domyślamy się, że przyczyną tego przyspieszenia jest działająca na to ciało stała siła ciężkości. Skoro siła przyspieszająca jest stała (nie zależy od czasu), to można przypuszczać, że przyspieszenie też jest stałe. Wykonajmy doświadczenie, które pozwoli nam sprawdzić tę hipotezę. Interesuje nas problem bardziej ogólny: jak zachowują się ciała podlegające działaniu stałej siły? Zbadamy przede wszystkim, czy przyspieszenie pod wpływem stałej siły będzie stałe (to nasza hipoteza), a także jak wartość tego stałego przyspieszenia zależy od masy rozpędzanego ciała i od siły rozpędzającej.

DOŚWIADCZENIE 41

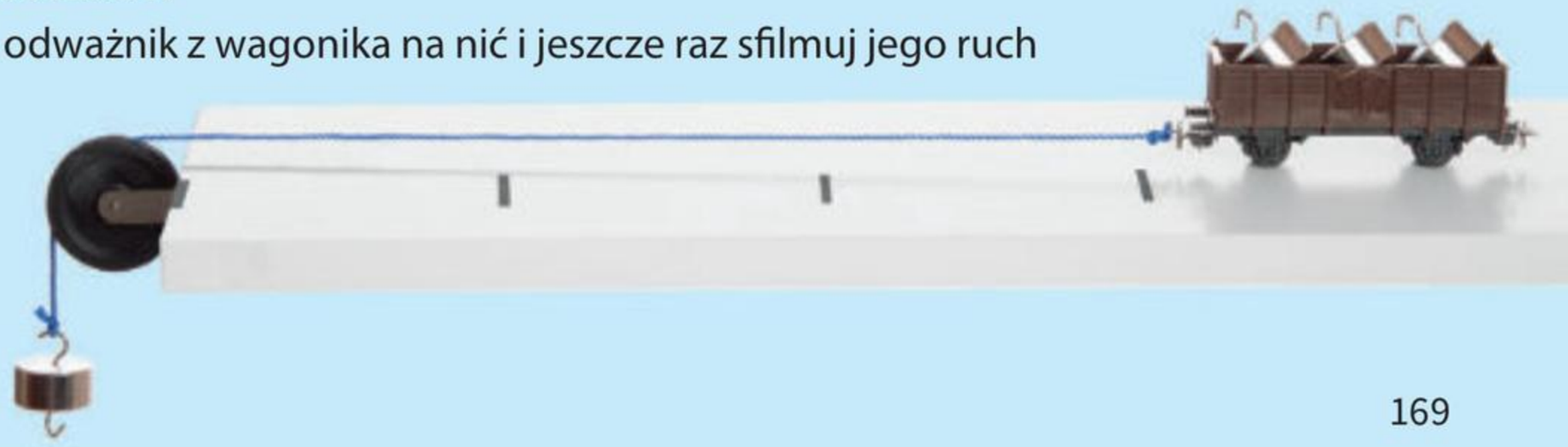
A

1. Przygotuj: wagonik, kilka obciążników (np. klocków), nieruchomy bloczek, linijkę, nieprzezroczystą taśmę klejącą, sznurek, telefon komórkowy lub aparat fotograficzny z możliwością nagrywania filmów i program do odtwarzania filmów klatka po klatce.
2. Zmontuj na stole układ taki jak na zdjęciu.
3. Na stole wzdłuż trasy wagonika zaznacz taśmą klejącą odległości 10 cm, 20 cm i 30 cm.
4. Ustaw telefon lub aparat tak, aby sfilmować doświadczenie.
5. Umieść trzy obciążniki na wagoniku, a jeden zawieś na nici.
6. Włącz nagrywanie i puść wagonik.

Wskazówka. Jeśli twoje obciążniki nie mają haczyków do zawieszania, możesz do nici przywiązać woreczek śniadaniowy i do niego wkładać obciążniki.

B

1. Zdejmij jeden odważnik z wagonika, dołącz go do odważnika wiszącego na nici i powtórz doświadczenie.
2. Przenieś kolejny odważnik z wagonika na nić i jeszcze raz sfilmuj jego ruch wzdłuż stołu.



C
1. Pozostaw na nici jeden obciążnik i powtórz doświadczenie, stawiając tym razem na wagoniku najpierw jeden, potem dwa i na końcu trzy obciążniki.
2. Wyłącz nagrywanie i odtwórz film na komputerze. Sprawdź czas, w jakim wagonik pokonywał odcinki drogi: 0–10 cm, 0–20 cm i 0–30 cm w części A doświadczenia oraz czas, w jakim pokonywał odcinek 0–30 cm w częściach A, B i C doświadczenia.
3. Wyniki z dokładnością do dwóch cyfr znaczących zanotuj w zeszycie w tabelach wykonanej wg wzoru poniżej.

Ciałem, które podlegało przyspieszaniu, jest cały układ, czyli załadowany obciążnikami wózek i połączone z nim linką dodatkowe obciążenie. Tak więc masa rozpędzanego ciała jest sumą mas wózka z obciążnikami i dodatkowego obciążenia zawieszonego na nici. Siłą rozpędzającą jest natomiast ciężar tego dodatkowego obciążenia.

Analiza doświadczenia

Wyniki pomiarów wykonanych w naszym doświadczeniu zebraliśmy w tabelach poniżej. W pierwszej kolumnie w części B wartości czasu i przyspieszenia są takie same jak w ostatniej kolumnie w części A, ale przepisaliśmy je, aby łatwiej było porównywać przyspieszenia w zależności od obciążenia nici i wagonika. W nakręconym filmie obraz był rejestrowany w trybie 50 $\frac{\text{kl}}{\text{s}}$ (klatek na sekundę). Jak w przypadku pomiarów opisanych na stronie 141, sprawdzimy, czy w naszym doświadczeniu wartość wyrażenia $\frac{2s}{t^2}$ rzeczywiście jest stała.

Tabela 1. **Część A** (jeden obciążnik na nici, trzy na wagoniku)

	Odcinek drogi s_1 (0–10 cm)	**Odcinek drogi s_2 (0–20 cm)**	**Odcinek drogi s_3 (0–30 cm)**
Liczba klatek → Czas t	22 kl → 0,44 s	31 kl → 0,62 s	38 kl → 0,76 s
wartość wyrażenia $\frac{2s}{t^2}\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	1,03	1,04	1,03

Porównując wyniki zapisane w tabeli 1, można zauważyć, że wartość wyrażenia $\frac{2s}{t^2}$ jest stała w granicach nieuniknionej niepewności, czyli ruch jest jednostajnie przyspieszony z przyspieszeniem być może nieco większym niż 1,03 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Tabela 2. **Część B** (obciążniki przenoszone z wagonika na nić)

	1 obciążnik na nici	**2 obciążniki na nici**	**3 obciążniki na nici**
Liczba klatek → Czas t	38 kl → 0,76 s	27 kl → 0,54 s	22 kl → 0,44 s
$\frac{2s}{t^2} = a\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	1,03	2,06	3,10

Przenoszenie obciążników z wagonika na nić sprawia, że masa układu się nie zmienia, ale zmienia się siła wprawiająca go w ruch. Zatem na podstawie **części B** możemy stwierdzić, że przyspieszenie układu wagonik – obciążniki zwiększa się proporcjonalnie do liczby ciężarków zawieszonych na nici.

Czas ruchu wagonika wyznaczysz, korzystając ze wzoru:

$$t = \frac{\text{liczba klatek}}{\frac{\text{liczba klatek}}{\text{s}}}$$

Możemy stwierdzić, że:

> Przyspieszenie ciała, na które działa niezrównoważona siła, jest wprost proporcjonalne do jej wartości.

Tabela 3. **Część C** (jeden obciążnik na nici)

	1 obciążnik na wagoniku	2 obciążniki na wagoniku	3 obciążniki na wagoniku
Liczba klatek → Czas t	33 kl → 0,66 s	38 kl → 0,76 s	42 kl → 0,84 s
$\frac{2s}{t^2} = a\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right]$	1,38	1,04	0,85

W **części C** doświadczenia wykazaliśmy natomiast, że przy stałej sile przyspieszenie jest tym mniejsze, im większa jest masa wagonika z obciążeniem. Wyliczenia uwzględniające bezwładność wózka pokazałyby, że przyspieszenie jest odwrotnie proporcjonalne do masy rozpędzanego ciała.

> Przy danej wartości siły działającej na ciało **przyspieszenie jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciała**.

Jeśli dwie wielkości są odwrotnie proporcjonalne, to znaczy, że gdy jedna z nich zwiększa się n razy, to druga zmniejsza się również n razy.
Powyższe zależności pozwalają sformułować odkryte przez Newtona prawo, znane jako **druga zasada dynamiki Newtona**:

> Jeżeli na ciało działają siły, które się nie równoważą (wypadkowa sił działających na ciało jest różna od zera), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała.

Przyspieszenie ciała, na które działa siła wypadkowa F_w, obliczamy ze wzoru:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła wypadkowa}}{\text{masa ciała}} \qquad a = \frac{F_\mathrm{w}}{m}$$

Kierunek i zwrot przyspieszenia są zgodne z kierunkiem i zwrotem siły wypadkowej. Jeśli siła działa na ciało zgodnie z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości, to porusza się ono **ruchem przyspieszonym** (rozpędza się). Jeśli siła działa przeciwnie do zwrotu wektora prędkości, to ciało porusza się **ruchem opóźnionym** (hamuje).

Jednostka siły

Jak pamiętasz z wcześniejszych lekcji, jednostką siły jest **niuton** (1 N). Jednostkę tę definiuje się na podstawie drugiej zasady dynamiki Newtona.

Przekształcając wzór $a = \frac{F}{m}$ tak, aby obliczyć siłę, otrzymasz $F = m \cdot a$, zatem:

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

Jeden niuton (1 N) jest to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

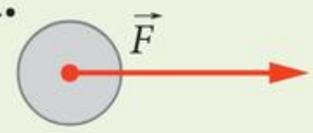
TO NAJWAŻNIEJSZE

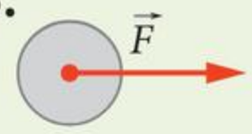
- **Druga zasada dynamiki:** Jeżeli na dane ciało działa niezrównoważona siła (wypadkowa sił działających na ciało jest różna od zera), to porusza się ono ruchem zmiennym. Przyspieszenie jest wówczas wprost proporcjonalne do działającej siły i jest odwrotnie proporcjonalne do masy ciała: $a = \frac{F}{m}$.
- **Jeden niuton** (1 N) jest to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

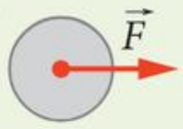
Rozwiąż zadania

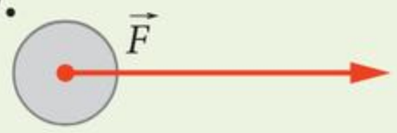
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Które z ciał porusza się z największym przyspieszeniem? Przyjmij, że wszystkie ciała wykonane są z tego samego materiału.

A.


B.


C.


D.


2 Które z ciał porusza się z największym przyspieszeniem? Przyjmij, że wszystkie ciała wykonane są z tego samego materiału.

A.

B.

C.

D.

3 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla toczącej się piłki. Wiedząc, że jej masa wynosi 0,6 kg, oblicz siłę oporu działającą na piłkę. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.



4 Przeanalizuj przykład zamieszczony na stronie 173 i rozwiąż zadanie.
Zawodnik kopie piłkę o masie 0,4 kg z siłą, którą dla uproszczenia przyjmiemy jako stałą, o wartości 240 N.

a) Jakie przyspieszenie nadaje zawodnik piłce podczas uderzenia?

b) Jaką początkową prędkość uzyska piłka, jeżeli jej kontakt z nogą zawodnika trwa 0,05 s?

5 Na motorówkę wzdłuż kierunku ruchu działają siła napędzająca F i siła oporów ruchu F_o. Jeśli siły mają takie wartości jak na rysunku A, to motorówka uzyskuje przyspieszenie $2\ \frac{m}{s^2}$. Jakie przyspieszenie uzyska motorówka, jeżeli będą działać na nią siły takie jak na rysunku B?

A.



B.



PRZYKŁAD

Obliczanie siły

Oblicz wartość siły wypadkowej, jaka musi działać na samochód o masie 1600 kg, aby w ciągu 0,5 min rozpędzić go od 0 do $90\ \frac{km}{h}$.



Dane:
$m = 1600\ kg$
$\Delta t = 0{,}5\ min = 30\ s$
$\Delta v = 90\ \frac{km}{h} = 25\ \frac{m}{s}$

Szukane:
$F = ?$

Aby przypomnieć sobie, jak przeliczyć jednostki z $\frac{km}{h}$ na $\frac{m}{s}$, przeczytaj „Przykład" na str. 133.

Rozwiązanie:
Aby samochód zwiększył swoją prędkość w sposób jednostajny, musi działać na niego stała siła wypadkowa (której zwrot i kierunek jest zgodny ze zwrotem i kierunkiem wektora prędkości). Można więc skorzystać z drugiej zasady dynamiki Newtona, ze wzoru $F = m \cdot a$, gdzie:

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

więc

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Podstawiamy dane:

$$F = 1600\ kg \cdot \frac{25\ \frac{m}{s}}{30\ s} = 1333\ N \qquad \left[kg \cdot \frac{\frac{m}{s}}{s} = kg \cdot \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{s} = \frac{kg \cdot m}{s^2}\right]$$

Odpowiedź: Na samochód musi działać wypadkowa siła o wartości 1333 N.

26 Swobodne spadanie ciał

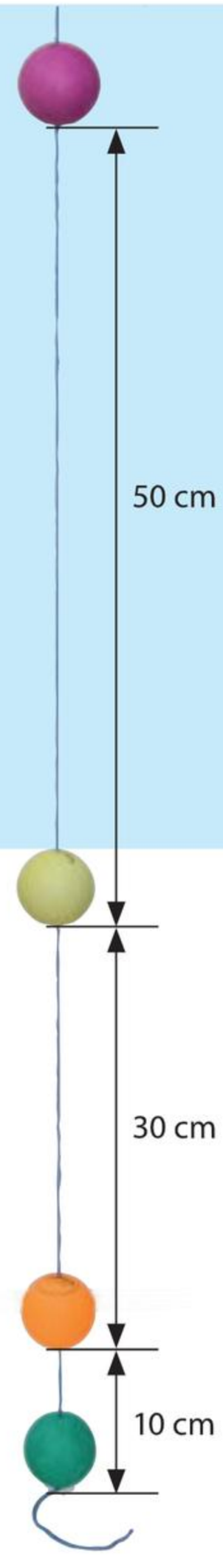
Cel lekcji: Dowiesz się, w jaki sposób ciała spadają i co wpływa na ich ruch. Poznasz definicję spadania swobodnego.

Obserwacja spadania ciał

Z drugiej zasady dynamiki wynika, że jeżeli na ciało działa stała siła, to porusza się ono ruchem jednostajnie przyspieszonym.
Powiedzieliśmy też, że można przyjąć, iż wartość siły grawitacji (siły ciężkości) dla danego ciała znajdującego się w pobliżu Ziemi jest stała, a więc można przypuszczać, że spadające ciała (pomijając opory ruchu) poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Można to potwierdzić, wykonując następujące doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 42

1. Przygotuj sznurek i kilka piłeczek pingpongowych (lub jednakowych nakrętek).
2. Ponawlekaj piłeczki (nakrętki) na sznurek i umocuj je za pomocą węzełków tak, aby odległości między nimi miały się do siebie tak jak wielokrotności kolejnych liczb nieparzystych, np. 10 cm, 30 cm, 50 cm, 70 cm (przypomnij sobie, jaki związek mają kolejne liczby nieparzyste z odcinkami drogi w ruchu jednostajnie przyspieszonym).
3. Stań na krześle i przytrzymaj sznurek tak, aby pierwsza piłeczka dotykała podłogi.
4. Wypuść z ręki koniec sznurka i wsłuchaj się w kolejne uderzenia piłeczek (nakrętek) o podłogę. Powtórz doświadczenie kilkakrotnie.



Odstępy czasu między kolejnymi stuknięciami piłeczek są sobie w przybliżeniu równe, co, zgodnie z pokazaną na stronie 144 regułą Galileusza, potwierdza, że piłeczki poruszały się ruchem jednostajnie przyspieszonym. Spadanie, podczas którego na ciało nie działają żadne inne siły oprócz siły grawitacji, określa się jako **spadanie swobodne**.

Spadające swobodnie ciała poruszają się **ruchem jednostajnie przyspieszonym**.

Zgodnie z drugą zasadą dynamiki Newtona przyspieszenie ciała o masie m poruszającego się pod wpływem stałej siły F można opisać wzorem:

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

Siłą powodującą spadanie ciała jest siła ciężkości, którą, jak wiesz z lekcji 11, możemy obliczyć ze wzoru:

$$F = m \cdot g$$

A zatem przyspieszenie spadającego ciała można opisać następująco:

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

Wszystkie ciała niezależnie od masy w pobliżu powierzchni Ziemi spadają z jednakowym przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.

Dlaczego tak się dzieje? Z powyższego wzoru wynika, że wzrost masy ciała oznacza zwiększenie jego bezwładności, ale równocześnie zwiększa się siła ciężkości działająca na to ciało.

Właśnie dlatego, że przyspieszenie wszystkich spadających ciał przy powierzchni Ziemi jest jednakowe, współczynnik proporcjonalności g, znany ci z lekcji 11, nazywa się **przyspieszeniem ziemskim**. Oczywiście np. na Księżycu czy na Marsie upuszczone przedmioty spadałyby z innymi przyspieszeniami, dlatego że inne ciała niebieskie z inną siłą by je przyciągały. Ogólnie w odniesieniu do ciał niebieskich stały współczynnik proporcjonalności między masą a siłą ciężkości nazywamy **przyspieszeniem grawitacyjnym**. Przyspieszenie grawitacyjne jest charakterystyczne dla danego ciała niebieskiego.

W lekcji 11 powiedzieliśmy że jednostką współczynnika g jest $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$. Zauważ, że zgodnie z tym, co napisaliśmy na str. 171,

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}^2},$$

a zatem $\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, czyli

$$g = 10 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}.$$

CIEKAWOSTKA

Przyczyną wspólnego dla wszystkich ciał przyspieszenia swobodnego spadania jest fakt, że zarówno bezwładność, jak i ciężar są wprost proporcjonalne do masy ciała. Ten zaskakujący fakt pozostawał niewyjaśniony przez kilkaset lat, aż do sformułowania przez Alberta Einsteina ogólnej teorii względności, w ramach której pokazano, że zjawiska ciężaru i bezwładności są ze sobą ściśle związane.



CIEKAWOSTKA

Przyspieszenie ziemskie nie jest w każdym punkcie Ziemi takie samo. Jego wartość zmienia się w granicach od 9,78 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ na równiku do 9,83 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ na biegunach. W Polsce wynosi w przybliżeniu 9,81 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Różnice wartości przyspieszenia ziemskiego wynikają z faktu, że ciężar ciała w różnych punktach kuli ziemskiej nie jest jednakowy. Przyspieszenie ziemskie dla danej szerokości geograficznej jest podawane na poziomie morza, a wraz ze wzrostem wysokości przyspieszenie ziemskie maleje. Na innych ciałach niebieskich przyspieszenie, z jakim spadają swobodnie upuszczone przedmioty, jest inne niż na Ziemi, np. na Księżycu jest ono około sześć razy mniejsze i wynosi 1,62 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.



Czas swobodnego spadania

Sprawdźmy doświadczalnie, czy czas spadania ciała zależy od jego masy.

DOŚWIADCZENIE 43

1. Przygotuj plastelinę i uformuj z niej dwie kulki o jednakowej masie.
2. Podnieś obie kulki na taką samą wysokość i równocześnie wypuść je z rąk.
3. Uformuj z plasteliny dwie kulki o różnych masach i powtórz doświadczenie.

Co obserwujesz?



Kulki niezależnie od masy spadają tak samo szybko.

W obu przypadkach kulki uderzają o podłogę równocześnie. Obserwacje przeprowadzone w doświadczeniu potwierdzają, że:

Czas swobodnego spadania ciała z danej wysokości nie zależy od jego masy.

To stwierdzenie jest zgodne z tym, o czym mówiliśmy wcześniej, ale wciąż może budzić twoje wątpliwości. Należy jednak pamiętać, że dotyczy ono spadania swobodnego – czyli sytuacji, gdy na ciało nie działają żadne inne siły oprócz siły grawitacji. Z doświadczenia wiesz, że piórko i cegła upuszczone z tej samej wysokości nie spadną równocześnie. Jednak przyczyną tego są opory powietrza, a nie różnica mas obu ciał. Przy upuszczaniu plastelinowych kulek z niewielkiej wysokości opory powietrza można pominąć. O tym, że opory ruchu mają wpływ na czas spadania ciała, możesz przekonać się, wykonując doświadczenie 44.

DOŚWIADCZENIE 44

Przygotuj dwie kartki jednakowej wielkości.



A Wypuść je z ręki w tej samej chwili i z tej samej wysokości. Co obserwujesz?

B Z jednej kartki uformuj kulkę. Powtórz doświadczenie.

Kartka zgnieciona w kulkę spada szybciej.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Ponieważ spadanie swobodne może się odbywać wyłącznie w próżni, na świecie istnieją specjalne laboratoria posiadające wysokie tunele (w postaci wieży lub szybu wewnątrz ziemi), w których po wypompowaniu powietrza można przeprowadzać eksperymenty ze spadaniem swobodnym. Najbliżej Polski tego typu laboratorium znajduje się w Niemczech na Uniwersytecie w Bremie. Jest to wieża umożliwiająca wykonywanie zrzutów z wysokości nieco ponad 100 m.



Tunel o wysokości ok. 100 m ciała spadające swobodnie przebywają w niecałe 5 s, niezależnie, czy jest to piłeczka pingpongowa czy kula do kręgli.

W pierwszej części doświadczenia obie kartki spadają równocześnie. W drugiej – wcześniej spada kartka zmięta w kulkę. Dlaczego tak się dzieje?
Wyjaśnienie jest proste. Masa kartki się nie zmieniła. To opór powietrza bardziej spowalniał ruch kartki o większej powierzchni niż ruch kulki papieru.
Co zatem dzieje się, gdy ciała spadają w próżni?
Można to sprawdzić za pomocą pompy próżniowej. W szklanej rurze, z której wypompowano powietrze, umieszcza się przedmioty o różnej masie: kawałek żelaza, piórko itp. Jeżeli szybko odwróci się rurę, można zaobserwować, że w próżni z takiej samej wysokości wszystkie ciała spadają w takim samym czasie, co oznacza, że:

Przyspieszenie ciał spadających swobodnie nie zależy od ich masy ani kształtu.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Spadanie swobodne** to ruch ciała pod wpływem siły grawitacji (ciężkości).
- Spadające swobodnie ciała poruszają się **ruchem jednostajnie przyspieszonym**.
- **Czas swobodnego spadania** ciała z danej wysokości nie zależy od jego masy.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. Podczas rozwiązywania zadań przyjmij przybliżoną wartość przyspieszenia ziemskiego: $g = 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

1 Które z przedstawionych ciał spadnie jako ostatnie, jeżeli puści się je równocześnie z tej samej wysokości? Rozważ sytuację w dwóch przypadkach:

a) w próżni,

b) w powietrzu.

I



II



III



2 Jak łatwo zauważyć, kartka papieru spada dużo wolniej niż ciężka książka. Co się jednak stanie, gdy zrzucimy jednocześnie kartkę i ciężką książkę w sytuacji, w której:

a) kartka znajduje się pod książką,

b) kartka leży na książce?

Przeprowadź samodzielnie ten eksperyment. Upuszczaj kartkę z książką na miękką powierzchnię (np. kanapę albo poduszkę), żeby nie zniszczyć książki. Czy oba wyniki doświadczenia cię zaskoczyły? Czy jesteś w stanie je wyjaśnić?



3 Ciało spadające swobodnie z pewnej wysokości spada na ziemię po czasie 0,5 s. Czy ciało spadające swobodnie z 2 razy większej wysokości spadnie po dwa razy dłuższym czasie? Odpowiedź uzasadnij.

4 Piłka do koszykówki upuszczona z pewnej wysokości spadała swobodnie przez 0,4 s. Z jakiej wysokości została upuszczona piłka i jaką prędkość uzyskała tuż przez uderzeniem w ziemię?
Uwaga. Skorzystaj ze wzoru na drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym: $h = \frac{g \cdot t^2}{2}$, gdzie: h – wysokość, g – przyspieszenie ziemskie, t – czas spadania.

5 Oblicz czas spadania jabłka z gałęzi jabłoni znajdującej się na wysokości 3,2 m nad ziemią. Pomiń opór powietrza.

27 Trzecia zasada dynamiki Newtona. Zjawisko odrzutu

Cel lekcji: Poznasz trzecią zasadę dynamiki i jej praktyczne zastosowania. Dowiesz się, na czym polega odrzut i gdzie możesz go zaobserwować.

Trzecia zasada dynamiki Newtona

Trzecia zasada dynamiki towarzyszy wszystkim zjawiskom życia codziennego. Łatwo także przeprowadzić wiele doświadczeń potwierdzających jej prawdziwość. Wykonaj jedno z nich.

DOŚWIADCZENIE 45

1. Przygotuj suszarkę do włosów i piłeczkę pingpongową albo styropianową kulkę.

Wskazówka. Styropianowe kulki różnej wielkości można kupić w sklepach papierniczych i z materiałami dla plastyków.

2. Włącz suszarkę i skieruj strumień powietrza do góry.

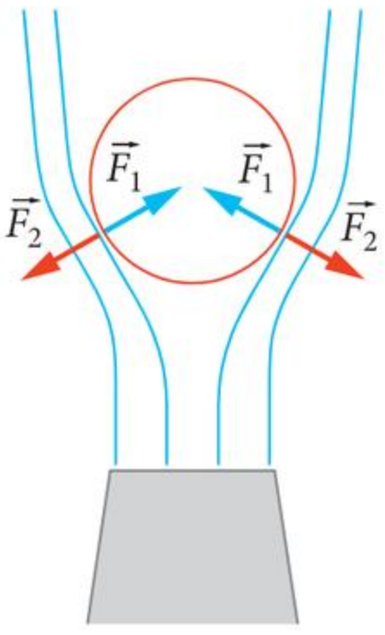
Wskazówka. Ważne, aby na suszarce nie było założonych nakładek zmieniających strumień powietrza.

3. Umieść piłeczkę w strumieniu powietrza.
4. Skieruj suszarkę tak, aby strumień powietrza był nieco odchylony od pionu. Co zauważasz?



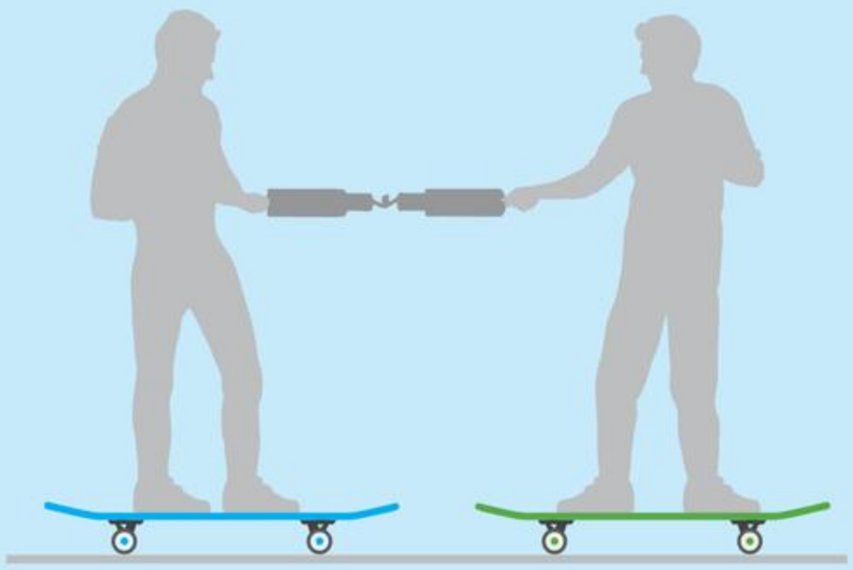
Mimo odchylenia strumienia powietrza od pionu (do pewnego stopnia) piłeczka nie spada na ziemię.

Jak wytłumaczyć przebieg doświadczenia?
Strumień powietrza wypycha piłeczkę do góry – to jest oczywiste. Ale dlaczego piłeczka nie spada mimo przechylania suszarki?
Dzieje się tak, ponieważ piłeczka odchyla strumień powietrza, a więc działa na cząsteczki powietrza pewną siłą. Jak wiesz, wszystkie oddziaływania są wzajemne, więc cząsteczki powietrza także oddziałują na piłeczkę i wpychają ją z powrotem w strumień powietrza.



DOŚWIADCZENIE 46

1. Przygotujcie z kolegą lub koleżanką dwie deskorolki (lub dwie pary rolek) oraz dwa siłomierze.
2. Stańcie na deskorolkach (rolkach) i trzymając w ręku po jednym siłomierzu, przyczepcie je do siebie.
3. Niech jedno z was ciągnie za siłomierz. Odczytajcie wartości obu sił na siłomierzach (najlepiej w momencie rozpoczęcia ruchu obu deskorolek).



Wskazania siłomierzy są takie same (lub bardzo zbliżone).

Mimo że tylko jedna osoba ciągnie za siłomierz, obydwie osoby się przemieszczają, a wskazania na obu przyrządach są jednakowe.
Powyższe doświadczenia ilustrują **trzecią zasadę dynamiki Newtona**:

Jeżeli ciało A działa siłą na ciało B, to **jednocześnie** ciało B oddziałuje na ciało A siłą równą co do wartości, mającą ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot.

Przykładowo jeśli magnes przyciąga śrubę, to śruba równocześnie przyciąga magnes.



$\vec{F}_1$ – siła, z jaką śruba działa na magnes, $\vec{F}_2$ – siła, z jaką magnes działa na śrubę.

Uwaga. Siły $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ **nie równoważą się**! Każda z nich działa na inne ciało.
Newton podsumował trzecią zasadę dynamiki następująco: „Jeżeli naciskasz palcem na kamień, to kamień naciska równie mocno na palec".

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Pływaczka podczas wykonywania nawrotu naciska stopami na ścianę basenu. Zatem siła $\vec{F}_1$, z jaką działa, jest skierowana w stronę ściany. Zgodnie z III zasadą dynamiki ściana basenu działa na nią siłą $\vec{F}_2$ o takiej samej wartości i takim samym kierunku, ale przeciwnym zwrocie i to ona wprawia zawodniczkę w ruch. Można powiedzieć, że ściana basenu pcha pływaczkę. Dlaczego zatem nie obserwujemy ruchu basenu? Ponieważ pchając basen, pływaczka pcha cały budynek, a z nim całą Ziemię. Masa Ziemi jest tak ogromna, że jej poruszenie jest zupełnie niezauważalne.

Zjawisko odrzutu

Trzecią zasadę dynamiki można obserwować na przykładzie **zjawiska odrzutu**. Przeprowadź doświadczenie, aby się o tym przekonać.

DOŚWIADCZENIE 47

1. Przygotuj: wózek, np. wagonik zabawkę, probówkę z korkiem, świeczkę i gumkę recepturkę.
2. Napełnij probówkę wodą (ale zostaw nieco powietrza) i zatkaj korkiem.
3. Przymocuj probówkę do wózka (np. za pomocą gumki recepturki) tak, aby wystawała poza wózek i nie mogła się poruszyć.
4. Ustaw zapaloną świeczkę za wózkiem tak, aby ogrzewała wodę w probówce (patrz zdjęcie). Co obserwujesz?



W chwili wystrzelenia korka na wózek z probówką działa siła o takiej samej wartości jak siła działająca na korek. Masa wózka jest jednak znacznie większa, dlatego przesuwa się on z niewielką prędkością w porównaniu do prędkości korka.

CIEKAWOSTKA

Zasada odrzutu znalazła zastosowanie w budowie silników odrzutowych. W ich wnętrzu w wyniku spalania paliwa powstają gorące gazy. Strumień gazów wyrzucanych do tyłu z dużą siłą powoduje, że silnik jest „odrzucany" do przodu.

W ostatnich latach w większości typów samolotów śmigła zostały wyparte przez dysze silników odrzutowych.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Trzecia zasada dynamiki Newtona**: Jeżeli jedno ciało działa pewną siłą na drugie ciało, to drugie ciało równocześnie oddziałuje na pierwsze ciało z siłą równą co do wartości, mającą ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot.
- Trzecia zasada dynamiki uwidacznia się np. w **zjawisku odrzutu**.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przepisz zdania do zeszytu. W miejsce ? wpisz odpowiednią wartość i wybierz poprawny wyraz spośród zapisanych kursywą.

A. Śmigłowiec o ciężarze 60 000 N zawisł nad rozbitkiem znajdującym się na tratwie. Łopaty głównego wirnika śmigłowca pchają powietrze do *dołu*/ *góry* siłą o wartości ? N.



B. Powietrze działa na wirnik śmigłowca do *dołu*/ *góry* siłą ? N.

C. Pokazana na zdjęciu sytuacja ilustruje *drugą*/ *trzecią* zasadę dynamiki.

2 Na stole leży klocek o masie 2 kg. Jaką siłą klocek działa na stół? Jaką siłą stół działa na klocek? Czy te siły równoważą się?

3 Do dwóch wózków przyczepiono silne magnesy (jak na rysunku). Wózek po prawej stronie ma masę 250 g i jest przyciągany siłą 10 N przez wózek o masie 500 g znajdujący się po lewej stronie. Przyjmij, że oba wózki początkowo spoczywają. Pomiń opory ruchu.



a) Jaką siłą wózek po lewej stronie jest przyciągany przez wózek znajdujący się po stronie prawej? Opisz cechy tej siły: kierunek, zwrot i wartość.

b) Oblicz przyspieszenie uzyskiwane przez każdy z wózków.

4 Wskaż właściwe dokończenie zdania.

Gdy stoisz nieruchomo na podłodze, to (jeśli pominiemy siłę wyporu w powietrzu) działa na ciebie

A. jedynie siła ciężkości.

B. siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła sprężystości podłogi $\vec{F}_s$, ale $F_s < F_g$, bo Ziemia silniej cię przyciąga niż podłoga odpycha.

C. siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła sprężystości podłogi $\vec{F}_s$, ale $F_s > F_g$, bo inaczej podłoga bardzo ugięłaby się pod wpływem twojego ciężaru.

D. siła ciężkości $\vec{F}_g$ i siła sprężystości $\vec{F}_s$ podłogi i siły te równoważą się: $F_g = F_s$.

28 Opory ruchu

Cel lekcji: Dowiesz się, czym są opory ruchu. Poznasz zastosowania siły tarcia i siły oporu powietrza oraz sposoby ich zwiększania i zmniejszania.

Opory ruchu, tarcie statyczne i kinetyczne

Z własnego doświadczenia wiesz, że o wiele trudniej jest biec w basenie czy w morzu niż na boisku lub na bieżni. Kiedy jedziesz na rowerze, czujesz, że im większą prędkość rozwijasz, tym trudniej ci ją utrzymać. Pewnie zdarzyło ci się też przekonać, że łatwiej ciągnąć sanki po śniegu niż po chodniku, na którym stopniał śnieg. Wiesz zatem, że na poruszające się ciało działają różne **opory ruchu**. Rozważmy, od czego one zależą. Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 48

1. Przygotuj: siłomierz, kubek z uchem, dwa arkusze papieru ściernego – jeden gruboziarnisty i jeden drobnoziarnisty.
2. Przyczep siłomierz do ucha kubka. Ustaw kubek na stole i pociągnij siłomierz, aby poruszyć kubek. Sprawdź, jaka siła jest potrzebna, żeby to zrobić. Następnie przesuwaj kubek jednostajnie po stole i zanotuj, jaką siłą działasz.
3. Powtórz doświadczenie, przesuwając kubek po drobnoziarnistym, a następnie po gruboziarnistym papierze ściernym (papier ścierny przytrzymaj drugą ręką, aby nie przesuwał się po stole). Zanotuj wskazania siłomierza.

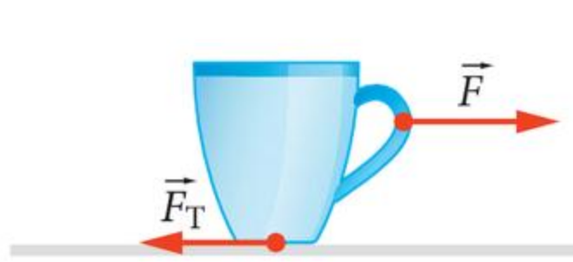
Wskazówka. Siłomierz trzymaj równolegle do podłoża.



Najłatwiej jest przesunąć kubek po gładkiej powierzchni stołu, a najtrudniej – po powierzchni gruboziarnistego papieru ściernego.

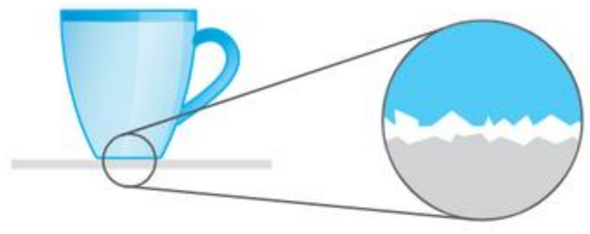
Aby wprawić kubek w ruch na gładkiej powierzchni, należy przyłożyć siłę o mniejszej wartości niż na szorstkiej. Szorstka powierzchnia stawia większy opór ruchowi kubka. Siłę, która utrudnia ruch kubka, nazywa się **siłą tarcia**.

Przyczyną działania siły tarcia są zaczepiające o siebie nierówności stykających się powierzchni. Dlatego na



$\vec{F}$ – siła, jaką siłomierz działa na kubek, $\vec{F}_T$ – siła tarcia działająca na kubek (na całej powierzchni styku kubka z podłożem).

bardziej chropowatym podłożu przesuwanie kubka wymagało większej siły.
Przy stopniowym naciąganiu siłomierza, dopóki kubek jest nieruchomy, siła tarcia wzrasta i równoważy siłę, z jaką ciągniemy kubek. W pewnym momencie osiąga maksymalną możliwą wartość i kubek zostaje wprawiony w ruch. Zauważ, że siłomierz wskazuje większą wartość tuż przed momentem poruszenia kubka niż w trakcie jego ruchu. Oznacza to, że **maksymalna siła tarcia w spoczynku** jest większa niż siła tarcia występująca podczas ruchu ciała.



Im bardziej chropowate podłoże, tym większej siły potrzeba, by przesunąć kubek.

Gdy próbujemy wprawić w ruch ciało, które znajduje się w spoczynku, między nim a podłożem występuje **tarcie statyczne**. Natomiast gdy ciało jest w ruchu, między nim a podłożem występuje **tarcie kinetyczne**.

Siła tarcia a siła nacisku

Siła tarcia zależy nie tylko **od rodzaju powierzchni** trących, lecz także **od siły nacisku** $\vec{F}_N$. Zależność tę przedstawia poniższy wzór. Jest on prawdziwy dla tarcia kinetycznego i **maksymalnej** wartości tarcia statycznego.

wartość siły tarcia = współczynnik tarcia · wartość siły nacisku	$F_T = f \cdot F_N$

Współczynnik tarcia f jest charakterystyczny dla danych dwóch stykających się materiałów.
Dla danej pary materiałów współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego są różne (współczynnik tarcia statycznego jest większy niż współczynnik tarcia kinetycznego). Przykładowe współczynniki tarcia podano w tabeli na str. 274.

Znaczenie tarcia w życiu codziennym

Tarcie bywa użyteczne. Na przykład dzięki temu, że występuje między hamulcem a kołem rowerowym, koło przestaje się obracać po naciśnięciu dźwigni hamulca. Im silniej naciśniesz hamulec, tym mocniej klocki hamulcowe trą o koło i tym szybciej się ono zatrzymuje. Tarcie towarzyszy ci przy każdej czynności. Dzięki niemu możesz chodzić, trzymać w ręce długopis czy też pisać.
Jeśli droga, po której poruszają się pojazdy, jest oblodzona, tarcie jest znacznie mniejsze, a koła samochodu mają małą przyczepność (ślizgają się). Dlatego powierzchnie opon i nawierzchnie dróg wykonuje się z chropowatych materiałów, aby siła tarcia między nimi była jak największa. Zapobiega to poślizgom samochodów.
Tarcie bywa też utrudnieniem. Powoduje np. ścieranie się elementów różnych urządzeń. Tarcie występujące między obracającymi się elementami maszyn można

zmniejszyć, stosując łożyska, np. kulkowe, czyli pierścienie, między którymi znajdują się zestawy kulek. Dzięki nim pierścienie zamiast trzeć o siebie nawzajem toczą się po kulkach. Aby zmniejszyć tarcie między ruchomymi częściami maszyn, stosuje się również oleje lub smary.



Łożyska są stosowane w różnych urządzeniach w celu zmniejszenia siły tarcia.

Opór powietrza

Na poruszające się ciała oprócz siły tarcia działają również inne opory ruchu. Na przykład **opór powietrza** (lub wody) zależy w dużym stopniu od kształtu przedmiotu. O kształtach, które zmniejszają siłę oporu powietrza, mówi się, że są opływowe lub aerodynamiczne.



Samochody, szczególnie sportowe, projektuje się tak, aby powietrze stawiało im jak najmniejszy opór. Ich kształty są aerodynamiczne.

Opory ruchu wzrastają wraz ze wzrostem prędkości, z jaką porusza się ciało. Dlatego np. upadek mrówki z dużej wysokości nie jest dla niej groźny. Mrówka spadając, przyspiesza pod wpływem siły ciężkości. Wraz ze wzrostem prędkości wzrasta siła tarcia między mrówką a powietrzem. W pewnym momencie siła ta osiąga taką samą wartość jak siła ciężkości działająca na owada i od tej chwili spada on już ze stałą prędkością. Ponieważ ciężar mrówki jest niewielki, równowaga sił następuje bardzo szybko przy małej prędkości. To samo zjawisko wykorzystują spadochroniarze. Gdyby człowiek spadał bez otwartego spadochronu, w pewnym momencie, podobnie jak mrówka, zacząłby poruszać się ruchem jednostajnym, jednak ze względu na duży ciężar człowieka, równowaga sił nastąpiłaby przy prędkości, przy której uderzenie o ziemię byłoby śmiertelne. Otworzenie spadochronu powoduje znaczne zwiększenie powierzchni, na którą działa opór powietrza, co skutkuje tym, że równowaga siły ciężkości i oporu powietrza zostaje osiągnięta przy znacznie mniejszej prędkości – bezpiecznej dla życia i zdrowia człowieka.



Dzięki spadochronom można bezpiecznie skakać z dużych wysokości.

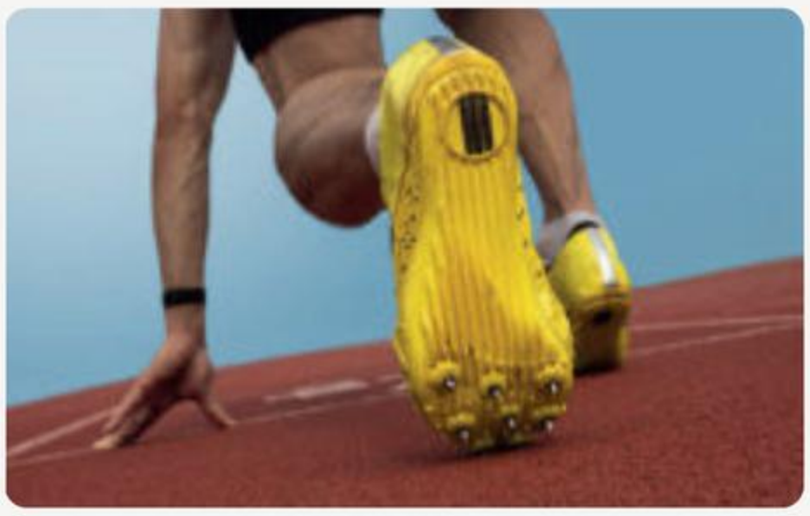
Tarcie a przemieszczanie się

Skoro siła tarcia przeciwdziała ruchowi ciała, to czy można jednoznacznie stwierdzić, że im mniejsza jest siła tarcia, tym łatwiej się poruszać? Otóż nie – wszystko zależy od sytuacji.

Chodzenie

Pierwszą sytuacją, w której siła tarcia pomaga w przemieszczaniu się, jest chodzenie. Wiemy, jak trudno chodzi się po lodzie. To dlatego, że tarcie między lodem i podeszwami butów jest niewielkie. Gdyby w ogóle nie było siły tarcia, chodzenie byłoby niemożliwe. Co zatem dzieje się, kiedy robimy krok? Stawiając stopę, działamy na podłoże siłą $\vec{F}$ zwróconą do tyłu. Zgodnie z III zasadą dynamiki Newtona podłoże w tym samym czasie oddziałuje na stopę właśnie siłą tarcia $\vec{F}_T$ zwróconą w stronę, w którą idziemy. Można powiedzieć, że to podłoże pcha naszą stopę i dzięki temu się przemieszczamy.

Tarcie powstaje wtedy, gdy zahaczają o siebie nierówności stykających się powierzchni. W biegach lekkoatletycznych nierówności celowo się zwiększa, by zwiększyć siłę tarcia. Aby osiągnąć jak najlepsze rezultaty, sportowcy biegają po bardzo chropowatej bieżni w butach z kolcami na podeszwie.

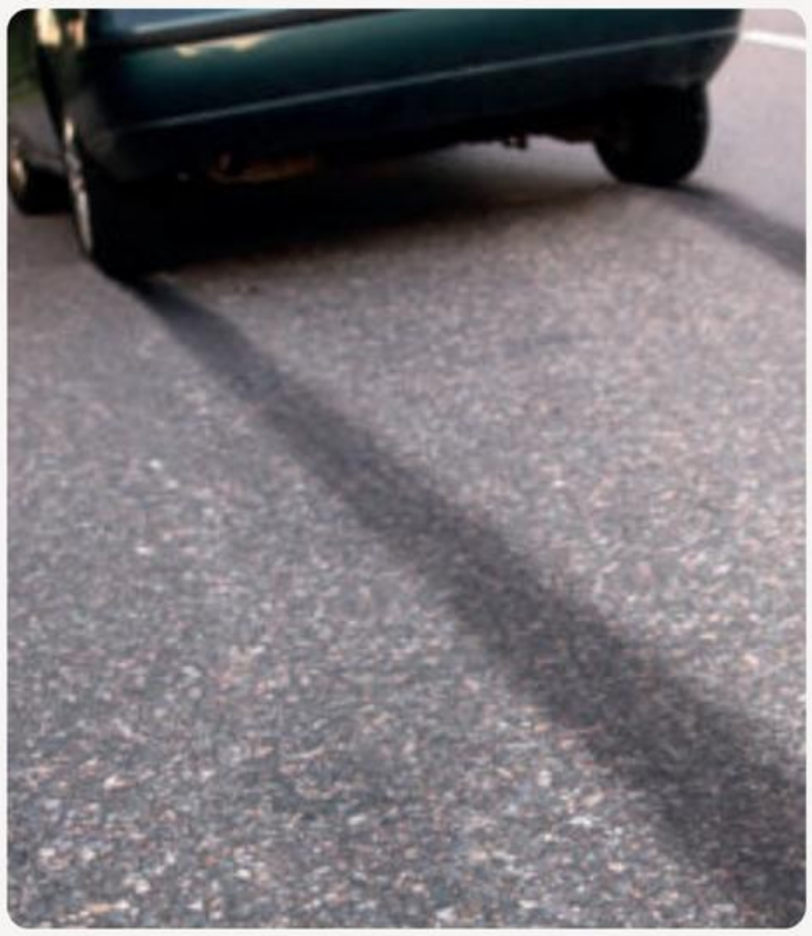




Jazda samochodem

Z podobną sytuacją jak przy chodzeniu mamy do czynienia w trakcie jazdy samochodem. Opona działa na asfalt siłą $\vec{F}$ skierowaną do tyłu, a jezdnia działa na oponę siłą tarcia $\vec{F}_{\mathrm{T}}$ skierowaną do przodu. Zwróć uwagę, że podczas jazdy między oponą a jezdnią występuje tarcie statyczne. Tarcie kinetyczne występuje wtedy, gdy opona przesuwa się po nawierzchni, czyli gdy auto wpada w poślizg. Jak wiesz z doświadczenia 48 na str. 183, maksymalne tarcie statyczne jest większe niż tarcie kinetyczne dla danej pary materiałów. Dlatego właśnie stosuje się systemy ABS, które pilnują, aby koła toczyły się, a nie ślizgały po nawierzchni. Droga hamowania jest krótsza, gdy działa siła tarcia statycznego, niż kiedy działa siła tarcia kinetycznego.

Gdy samochód wpada w poślizg, kierowca traci nad nim kontrolę. Pojazd nie reaguje na ruchy kierownicą, ale przesuwa się bezwładnie po linii prostej, co jest niebezpieczne nie tylko przy hamowaniu, lecz także na zakrętach.





CIEKAWOSTKA



W przestrzeni kosmicznej nie ma powietrza, nie ma więc oporów ruchu, a wobec tego kształt pojazdu jest bez znaczenia. Pojazdy kosmiczne poruszają się na orbicie z wyłączonymi silnikami i używają ich jedynie podczas zmiany orbity.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Siły **oporu ruchu** to tarcie oraz inne opory utrudniające ruch.
- Siła **tarcia statycznego** to siła działająca na ciało będące w spoczynku i przeciwdziałająca wprawianiu ciała w ruch.
- Siła **tarcia kinetycznego** to siła działająca na ciało będące w ruchu, przeciwdziałająca ruchowi tego ciała.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Podaj dwa przykłady sytuacji, w których tarcie jest niepożądane. Jak można je zmniejszyć?
2. Podaj dwa przykłady sytuacji, w których tarcie jest pożyteczne. Jak można je zwiększyć?
3. Na zdjęciach przedstawiono siły działające na ciała poruszające się ruchem jednostajnym. Naszkicuj w zeszycie przedstawione sytuacje i dorysuj wektor siły tarcia (oporu).







4 Jeśli Janek jedzie na rowerze i pedałuje ze stałą siłą, to zgodnie z drugą zasadą dynamiki powinien stale przyspieszać. A jednak z własnego doświadczenia wiesz, że nie można rozpędzić się bardziej niż do pewnej określonej prędkości. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.



5 Wybierz uzupełnienia zdań. Rozwiązania zapisz w zeszycie.

Siła oporu powietrza **A/ B/ C** prędkości poruszającego się ciała. Opory ruchu są pożyteczne w przypadku **D/ E/ F**. Siła tarcia **G/ H/ I**.

A. rośnie wraz ze wzrostem **B.** maleje wraz ze wzrostem **C.** nie zależy od

D. zapalania zapałki i jazdy na nartach

E. działania hamulców i jazdy rowerem pod wiatr

F. skoku ze spadochronem i szlifowania kawałka metalu papierem ściernym

G. nie zależy od rodzaju powierzchni, na której znajduje się ciało, a jedynie od jego masy

H. jest skierowana przeciwnie do kierunku ruchu ciała

I. nigdy nie występuje, jeśli ciało się nie porusza

6 Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 49



1. Przygotuj gruby sznurek lub długi metalowy łańcuszek.
2. Na stole rozciągnij sznurek lub łańcuszek, tak aby jego fragment zwisał ze stołu, ale się jeszcze nie zsuwał (patrz zdjęcie).
3. Delikatnie zwiększ długość zwisającej części, do momentu aż sznurek czy łańcuszek zacznie się zsuwać.
4. Obserwuj dokładnie ruch zsuwającego się ciała. Eksperyment powtórz kilkakrotnie. Jak myślisz, czy łańcuszek zsuwa się ze stałym przyspieszeniem (tak jak wagonik i ciężarki w opisanym w temacie 25 doświadczeniu), czy przyspieszenie zmienia się podczas zsuwania?

Wskazówka. Siła, która rozpędza sznurek, to siła ciężkości zwisającej części, natomiast siła, która hamuje ruch sznurka, to siła tarcia części znajdującej się na stole.

Powtórzenie. Dynamika

- **Pierwsza zasada dynamiki Newtona**: Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- Pierwsza zasada dynamiki jest nazywana również **zasadą bezwładności**.
- **Bezwładność** to cecha ciała, dzięki której dąży ono do zachowania swojej prędkości.
- Miarą bezwładności ciała jest jego **masa**.
- **Druga zasada dynamiki Newtona**: Jeżeli na ciało działają siły, które się nie równoważą (wypadkowa sił działających na ciało jest różna od zera), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła wypadkowa}}{\text{masa ciała}} \qquad a = \frac{F_\text{w}}{m}$$

- Jednostką siły jest **niuton (1 N)**. Jeden niuton jest to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- **Spadanie swobodne** to ruch ciała pod wpływem siły grawitacji (ciężkości) bez oporów ruchu.
- Spadające swobodnie ciała w pobliżu Ziemi poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z jednakowym dla wszystkich ciał **przyspieszeniem ziemskim** równym około 9,81 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Czas swobodnego spadania ciała z danej wysokości nie zależy od jego masy.
- **Trzecia zasada dynamiki Newtona:** Jeżeli ciało A działa siłą $\vec{F}_\text{A}$ na ciało B, to **jednocześnie** ciało B oddziałuje na ciało A siłą $\vec{F}_\text{B}$ równą co do wartości, mającą ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot.

$$\vec{F}_\text{A} \neq \vec{F}_\text{B}$$
$$F_\text{A} = F_\text{B}$$

- Siły, z jakimi działają na siebie ciała A i B, **nie równoważą się**, ponieważ każda z nich działa na inne ciało.
- Trzecia zasada dynamiki uwidacznia się np. **w zjawisku odrzutu**.
- **Siły oporu ruchu** to tarcie oraz inne opory utrudniające ruch.
- **Siła tarcia statycznego** to siła działająca na ciało będące w spoczynku i przeciwdziałająca wprawianiu ciała w ruch.
- **Siła tarcia kinetycznego** to siła działająca na ciało będące w ruchu, przeciwdziałająca ruchowi tego ciała.

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 3 i 5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Na skoczka narciarskiego tuż przed wybiciem z progu skoczni działa
A. tylko siła oporu powietrza.
B. siła tarcia i siła oporu powietrza, obie zwrócone przeciwnie do kierunku jego ruchu.
C. siła tarcia zwrócona przeciwnie do kierunku jego ruchu i siła oporu powietrza zwrócona zgodnie z kierunkiem jego ruchu.
D. siła tarcia skierowana zgodnie z kierunkiem jego ruchu i siła oporu powietrza zwrócona przeciwnie do kierunku jego ruchu.

2 Na platformie ładunkowej samochodu (patrz rysunek) znajdują się dwie niezabezpieczone skrzynki, które początkowo się nie stykają.

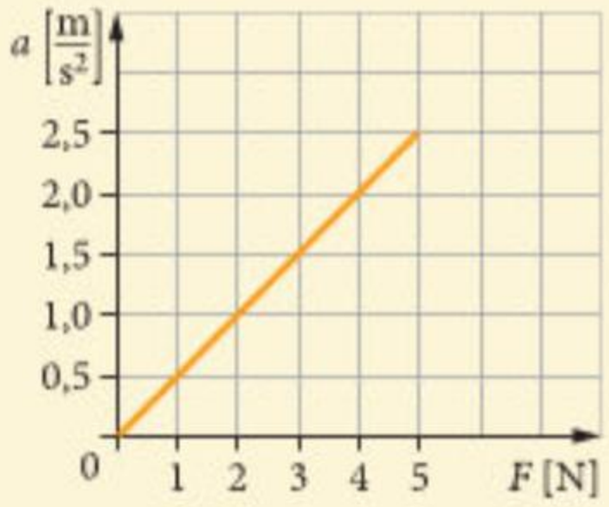


Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Gdy stojący pojazd ostro ruszy do tyłu, skrzynka 2 przesunie się na tył platformy ładunkowej, a skrzynka 1 – na jej przód.	**P**	**F**
2.	Gdy jadący do przodu pojazd ostro zahamuje, skrzynka 1 przesunie się na przód platformy ładunkowej, a skrzynka 2 – na jej tył.	**P**	**F**
3.	Gdy stojący pojazd ostro ruszy do przodu, obie skrzynki przesuną się na tył platformy ładunkowej.	**P**	**F**

3 Winda rusza w górę i po chwili rozpędzania zaczyna się poruszać ruchem jednostajnym. Pomiń opór powietrza. W opisanej sytuacji siła, z jaką lina ciągnie kabinę windy, jest
A. cały czas równa ciężarowi windy.
B. cały czas większa od ciężaru windy.
C. początkowo równa ciężarowi windy, a po chwili większa od ciężaru windy.
D. początkowo większa od ciężaru windy, a po chwili równa ciężarowi windy.

4 Na wykresie przedstawiono zależność przyspieszenia pewnego ciała od działającej na nie siły.
Wybierz zdanie fałszywe.



A. Masa ciała wynosi 0,5 kg.
B. Pod wpływem dwukrotnie większej siły ciało porusza się z dwukrotnie większym przyspieszeniem.
C. Pod wpływem siły 2 N ciało porusza się z przyspieszeniem 1 $\frac{m}{s^2}$.
D. Aby ciało poruszało się z przyspieszeniem 3 $\frac{m}{s^2}$, musi na nie działać siła 6 N.

5 Wokół pewnej planety porusza się księżyc o masie 100-krotnie mniejszej niż ta planeta. Planeta przyciąga księżyc, natomiast księżyc

A. przyciąga planetę siłą 100 razy mniejszą.

B. przyciąga planetę siłą 10 razy mniejszą.

C. przyciąga planetę siłą o takiej samej wartości.

D. nie przyciąga w ogóle planety, bo ma zbyt małą masę.

6 Z wysokości 10 m spadają jednocześnie na ziemię: w próżni – stalowa kulka o średnicy 0,5 cm oraz piórko, natomiast w powietrzu – piłeczka pingpongowa i stalowa kulka o średnicy 1 cm.

a) Uporządkuj przedmioty w kolejności od tych, które będą spadać najkrócej, do tych, które będą spadać najdłużej. Czy któreś przedmioty spadną jednocześnie?

b) Na który przedmiot będzie **początkowo** działać największa siła wypadkowa, a na który – najmniejsza?

c) Które dwa przedmioty będą się poruszać z takim samym przyspieszeniem? Uzasadnij swoją odpowiedź.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1 i 2 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Balon opada pionowo ze stałą prędkością, czyli siły działające na balon **A**/ **B**. Tymi siłami są **C**/ **D**.

A. równoważą się

B. nie równoważą się

C. skierowana w górę siła wyporu i skierowane w dół siły ciężkości oraz oporu powietrza

D. skierowane w górę siły wyporu i oporu powietrza oraz skierowana w dół siła ciężkości

2 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości od czasu dla samochodu o masie 1 t, poruszającego się ruchem prostoliniowym.
Początkowo na samochód działała siła wypadkowa o wartości **A**/ **B**, a po 10 s ruchu **C**/ **D**.



A. 2000 N

B. 500 N

C. nie działała już żadna siła

D. działające siły równoważyły się

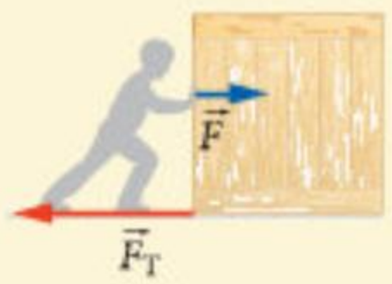
3 Przeanalizuj opisaną sytuację i odpowiedz na pytanie.

Czy możesz mi wyjaśnić, jak to jest z tą siłą tarcia? Dlaczego przedstawione na rysunku B osoby nawet we dwie nie są w stanie przesunąć ciężkiej skrzynki? – spytał Michał swojej koleżanki Oli.

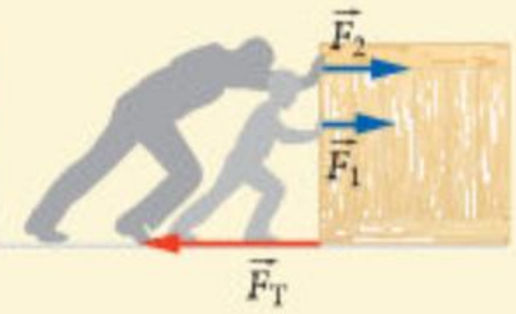
To proste – odpowiedziała Ola i dorysowała wektory sił, tak jak na rysunkach A i B. – *Siłę, z jaką na skrzynkę działa pojedyncza osoba, zaznaczyłam niebieską strzałką. Czerwoną strzałką zaznaczyłam siłę tarcia. Jak widzisz, w obu przypadkach siła tarcia jest większa od wypadkowej siły, z jaką pchana jest skrzynka, dlatego te osoby nie są w stanie ruszyć jej z miejsca.*

Czy Ola właściwie narysowała wektory sił i poprawnie wyjaśniła problem Michałowi? Uzasadnij swoją odpowiedź.

A.



B.



Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz poprawne dokończenie zdania. Przyjmij, że $g = 10 \frac{m}{s^2}$.
Ciało, spadając przez 2 s, uzyskało prędkość $10 \frac{m}{s}$, co oznacza, że ciało

A. spadało swobodnie i spadało na pewno z wysokości większej niż 20 m.

B. nie spadało swobodnie i spadało na pewno z wysokości większej niż 20 m.

C. nie spadało swobodnie i spadało na pewno z wysokości mniejszej niż 20 m.

D. nie spadało swobodnie i nie da się określić, czy spadało z wysokości mniejszej czy większej niż wysokość 20 m.

2 Wyobraź sobie startującą rakietę (patrz zdjęcie obok).

a) Jakie trzy siły działają na rakietę, kiedy się ona wznosi? Jakie mają zwroty?

b) Podaj dwa powody, dla których rakieta nie ma stałego przyspieszenia podczas lotu.

c) W trakcie wznoszenia rakieta odrzuca kolejne człony z silnikiem i komory po zużytym paliwie. Jakie siły działają na odrzucone człony rakiety podczas ich spadania? Jak te siły są zwrócone?



Analiza tekstu

Czy opór powietrza zawsze przeszkadza sportowcom

Każdy, kto jeździ na rowerze, zapewne doświadczył, jak trudno jest poruszać się na nim pod wiatr. Łatwo zauważyć, że przy zjeżdżaniu rowerem z górki pochylenie ciała pozwala nieco zwiększyć prędkość. Wiadomo też, że nawet silne uderzenie piłeczki pingpongowej nie pozwoli posłać jej tak daleko jak piłki tenisowej czy futbolowej. Wszystkie te zjawiska mają związek z oporem powietrza. Czy jednak zawsze jest on utrudnieniem dla uprawiających różne dyscypliny sportowe, czy czasem może stać się ich sprzymierzeńcem?

W przypadku jazdy rowerem przy dużych prędkościach opór powietrza jest największym czynnikiem ograniczającym prędkość poruszania się. Dwukrotne zwiększenie prędkości powoduje aż czterokrotny wzrost siły oporu powietrza. Dlatego kolarze starają się ten opór zmniejszać. Najważniejszą rolę odgrywa tu odpowiednie ułożenie ciała zawodnika, stąd w wyczynowych rowerach mocno wysunięta do przodu kierownica, wymuszająca pochylenie. Znaczenie ma również strój (musi być wykonany z odpowiedniego materiału i przylegać do ciała) oraz odpowiedni aerodynamiczny kształt kasku. Czy



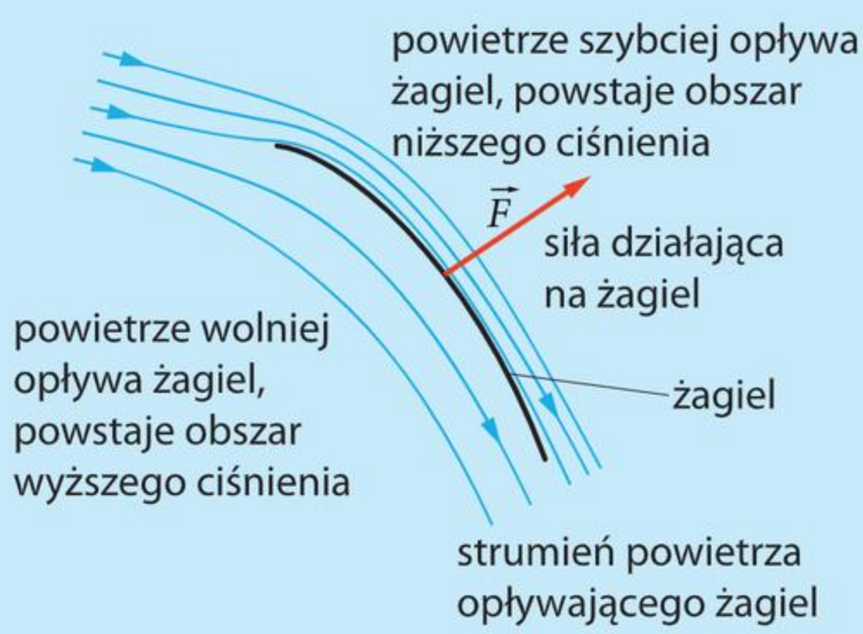
można jeszcze w inny sposób ograniczyć wpływ oporu powietrza? Tak, ale potrzebna jest do tego współpraca całej startującej w zawodach ekipy



Dzięki doskonałej aerodynamice można ustanawiać bardzo duże rekordy prędkości pojazdów napędzanych siłą ludzkich mięśni. W 2016 roku rekord prędkości ustanowił pojazd o nazwie ETA (widoczny na zdjęciu) i wynosi on ponad 140 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

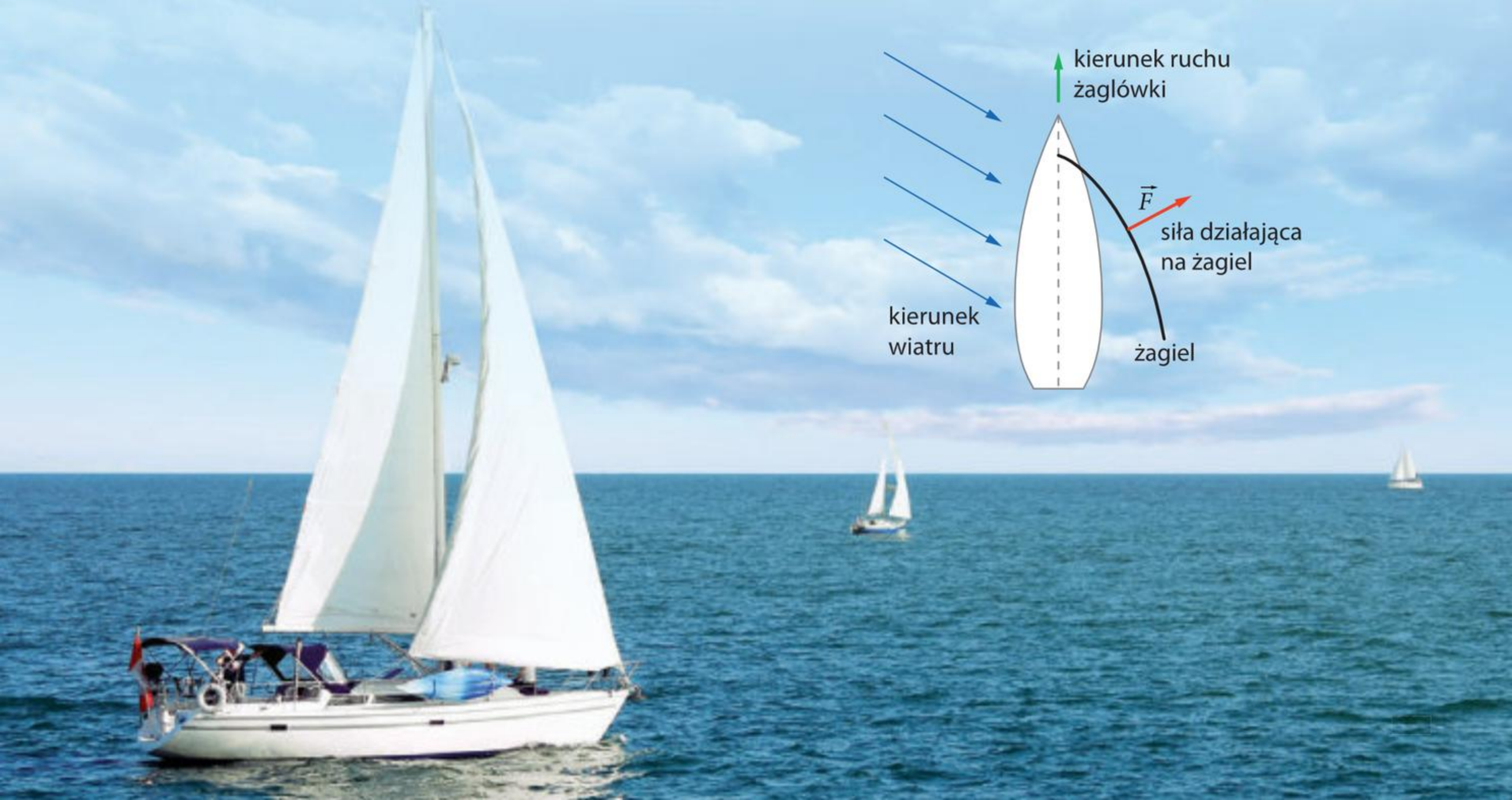
kolarzy. Wśród zawodników z danego klubu wybierany jest lider, który jest osłaniany przez pozostałych – większą część wyścigu jedzie z tyłu. Jeżeli rowery są bardzo blisko siebie, pozwala to ograniczyć opór powietrza o około 40%. Dzięki temu lider oszczędza siły na finisz. Oglądając wyścig, często obserwujemy, że zawodnik, który jechał początkowo na dalszej pozycji za kilkoma innymi kolarzami, tuż przed metą ostro przyspiesza, mija pozostałych i wygrywa.

Czy można płynąć żaglówką niezgodnie z kierunkiem wiatru? Zapewne większość odpowie, że nie. Jednak jest to możliwe, ponieważ siła działająca na żagiel nie zależy jedynie od napierającego na niego powietrza, ale również od tego, w jaki sposób powietrze opływa żagiel z każdej strony. Żagiel jest wygięty i dlatego działa na podobnej zasadzie co skrzydło samolotu. W miejscu uwypuklonym powietrze opływa go szybciej niż po stronie wklęsłej. Wskutek tego, jak się okazuje, powstaje różnica ciśnień, dzięki której tworzy się siła



zwrócona w przybliżeniu prostopadle do powierzchni żagla. Pod wpływem takiej siły żaglówka powinna co prawda płynąć nieco w bok, a nie w pożądanym kierunku, jednak przeciwdziała temu specjalnie ukształtowany kadłub. Stawia on wodzie bardzo duży opór w kierunku prostopadłym do osi rufa-dziób, a bardzo mały w kierunku równoległym do tej osi. Dzięki temu żaglówka tylko nieznacznie dryfuje w bok, a ruch do przodu (wzdłuż osi rufa-dziób) jest dominujący, co pozwala jej się przemieszczać w pożądanym kierunku.

Źródło: Sławomir Brzezowski, *Żagle i fizyka*, „Foton 97", lato 2007; Krzysztof Ernst, *Fizyka sportu*, PWN, 1992.



Pytania i polecenia do tekstu

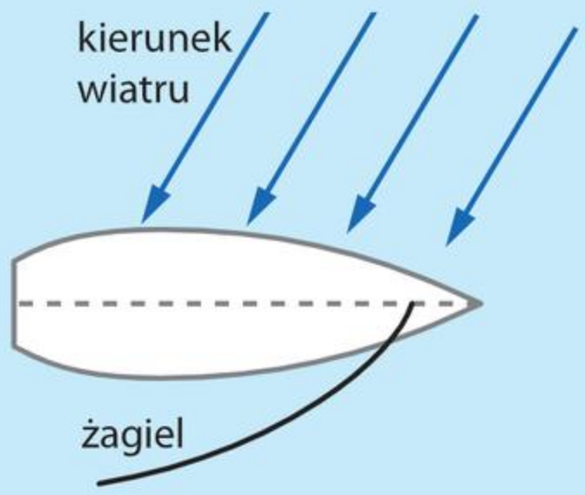
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

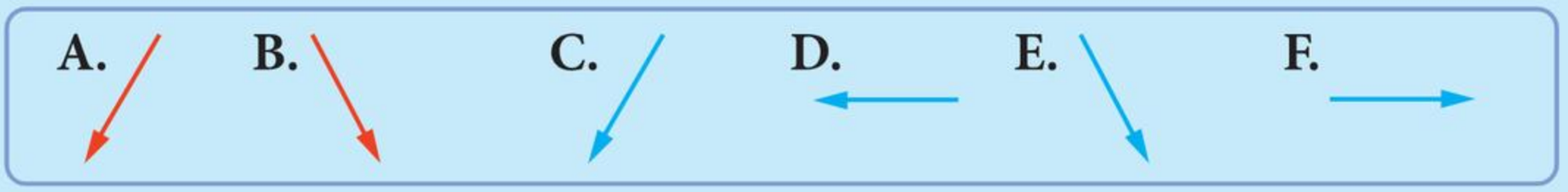
1 Wymień trzy czynniki, które zmniejszają opór powietrza działający na kolarza.

2 Wybierz P, jeżeli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Pojazd napędzany wyłącznie siłą ludzkich mięśni, ze względu na bardzo duże siły oporu przy wysokich prędkościach, nie jest w stanie przekroczyć prędkości 100 $\frac{km}{h}$.	**P**	**F**
2.	Przy prędkości 40 $\frac{km}{h}$ na rowerzystę działa w przybliżeniu czterokrotnie większa siła oporu powietrza niż przy prędkości 20 $\frac{km}{h}$.	**P**	**F**
3.	Decydującymi czynnikami, które pozwalają osiągnąć bardzo dużą prędkość pojazdem napędzanym siłą ludzkich mięśni, są masa i predyspozycje osoby napędzającej pojazd, kształt pojazdu ma natomiast drugorzędne znaczenie.	**P**	**F**

3 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.
Kadłub żaglówki, żagiel i kierunek wiatru są ustawione tak jak na rysunku. Siła, która działa na żagiel w wyniku przepływu wiatru, będzie zwrócona tak jak na rysunku **A**/ **B**, natomiast żaglówka będzie się poruszać w przybliżeniu w kierunku zaznaczonym na rysunku **C**/ **D**/ **E**/ **F**.





4 Wymień dwie dyscypliny sportu inne niż wymienione w tekście, w których dużą rolę odgrywa opór powietrza.

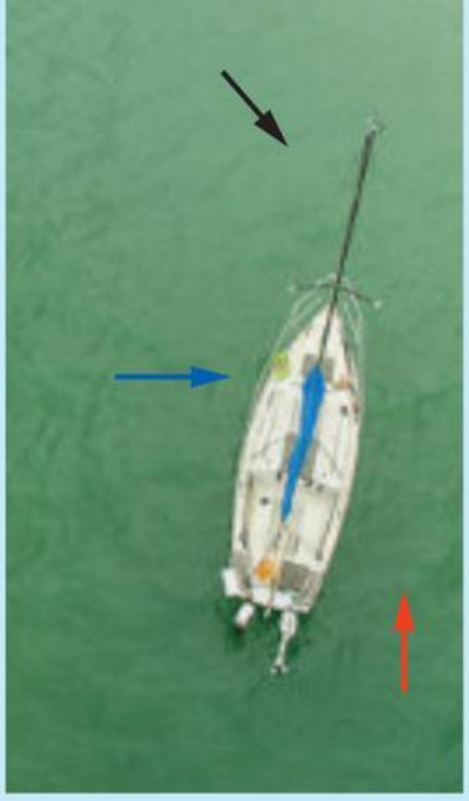
5 Zachowanie się żaglówki na wodzie, choć daje się doskonale wytłumaczyć na podstawie praw fizycznych, jest zupełnie nieintuicyjne. Przeprowadź wśród 20 znajomych osób ankietę, prosząc o wybór właściwego dokończenia zdania.
Żaglówka będzie mogła popłynąć prosto (załóżmy, że żagiel można ustawić w dowolnym kierunku – zarówno równolegle, jak i prawie prostopadle do osi dziób-rufa):

A. jedynie wtedy, gdy wiatr będzie wiał z kierunku oznaczonego czerwoną strzałką.

B. tylko wtedy, gdy wiatr będzie wiał z kierunku oznaczonego albo czerwoną, albo niebieską strzałką.

C. zarówno wtedy, gdy wiatr będzie wiał z kierunku oznaczonego czerwoną, niebieską, jak i czarną strzałką.

Czy wynik ankiety cię zaskoczył?



VI

Praca, moc, energia

Z tego rozdziału dowiesz się:

- jakie są formy energii,
- kiedy jest wykonywana praca mechaniczna,
- czym jest moc i jaka jest jej jednostka,
- jak obliczyć energię potencjalną grawitacji,
- jaka zależność istnieje między zmianą energii a pracą,
- kiedy ciało ma energię potencjalną sprężystości,
- od czego zależy energia kinetyczna,
- jak wyznaczyć zmianę energii potencjalnej grawitacji i energii kinetycznej,
- o czym mówi zasada zachowania energii.



29 Energia i praca

Cel lekcji: Uporządkujesz wiedzę na temat rodzajów energii. Poznasz pojęcie pracy i jej jednostkę. Dowiesz się, kiedy jest wykonywana praca w sensie fizycznym i od czego zależy.

Formy energii

Wokół nas nieustannie coś się dzieje: wieje wiatr, jeżdżą samochody, radio emituje dźwięk. Wszystkie zjawiska zachodzą dzięki przemianom energii. Energia jest niezbędna do wszelkiej aktywności, każdego działania – zarówno na Ziemi, jak i we Wszechświecie. Energia może przyjmować różne formy. Z własnego doświadczenia wiesz, że większość urządzeń w twoim domu działa dzięki **energii elektrycznej**. W żelazku jest ona zamieniana na **energię wewnętrzną** (związaną z temperaturą), w telewizorze – na **energię promieniowania** i **energię akustyczną**, w kolejce elektrycznej – na **energię kinetyczną** (związaną z ruchem) lokomotywy i wagoników. Bardzo ważną rolę w życiu odgrywa także **energia chemiczna**, magazynowana w wiązaniach chemicznych. Ta zawarta w paliwie może zostać zamieniona np. na energię elektryczną w elektrowni lub mechaniczną w silniku spalinowym. Energię chemiczną

Rodzaje energii

Większość energii wykorzystywanej przez człowieka pochodzi od Słońca, wyjątek stanowią energia jądrowa, pływów i geotermalna.

Energia kinetyczna
Związana z ruchem; im szybciej porusza się dane ciało, tym większą ma energię kinetyczną.



Energia potencjalna sprężystości
Napięta sprężyna ma pewną energię, dzięki czemu może np. napędzić samochodzik na sprężynę lub zegar mechaniczny.



Energia potencjalna grawitacji
Gdy podnosisz ciało, zwiększasz jego energię potencjalną. Jest ona tym większa, im wyżej znalazło się ciało.



Energia wewnętrzna
Energia cząsteczek ciała związana z jego temperaturą i stanem skupienia. Gdy podgrzewasz ciało, zwiększasz jego energię wewnętrzną.



dostarczasz również organizmowi w postaci pożywienia. Dzięki niej utrzymuje się stała temperatura twojego ciała, a ty możesz wykonywać różne czynności.
Z wyjątkiem **energii jądrowej**, **energii pływów** morskich oraz **energii geotermalnej**, cała energia wykorzystywana przez ludzkość pochodzi od Słońca. Energia, której dostarczają nam drewno, węgiel, ropa naftowa czy gaz ziemny, jest energią Słońca zmagazynowaną przez organizmy żywe w ciągu miliardów lat istnienia życia na Ziemi. Ponieważ wszystkie zjawiska zachodzą dzięki przemianom energii, ważne jest poznanie mechanizmów tych przemian. Energia może być przekazywana od jednego ciała do drugiego np. w postaci **ciepła** w wyniku różnicy temperatur tych ciał. Przemiany energii mogą zachodzić również dzięki **pracy**.

Praca w sensie fizycznym

Słowo „praca" używane jest często w życiu codziennym. Gdy mówisz: „Tata jest w pracy", oznacza to, że wykonuje on pracę zarobkową. Ty też pracujesz, bo chodzisz do szkoły i uczysz się – wykonujesz pracę umysłową. Niesienie ciężkiej torby także uznasz za wykonywanie pracy. Jednak nie każda wykonana czynność jest w fizyce rozumiana jako praca, nawet gdy nastąpił przy tym duży wysiłek fizyczny (np. mięśni ludzkich). Praca w sensie fizycznym, określana jako **praca mechaniczna**, jest związana z działaniem siły i ruchem ciała.

Energia chemiczna
Spalając węgiel czy benzynę, wyzwala się zawartą w nich energię. Jest to główne źródło energii dla ludzkości. Każdy z nas żyje dzięki energii zawartej w pożywieniu.



Energia promieniowania
Światło, mikrofale w kuchence mikrofalowej, ultrafiolet powodujący opalanie, promienie rentgenowskie używane do prześwietleń, fale radiowe – wszystkie niosą pewną energię.



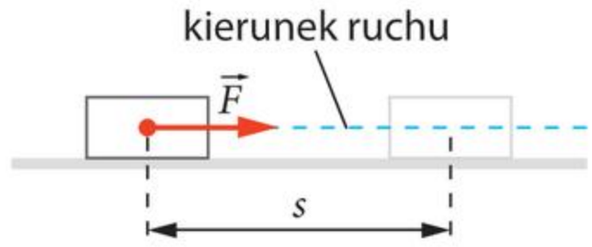
Energia elektryczna
Jest to postać energii najłatwiejsza do przesyłania i zamiany na inne rodzaje. Dlatego większość urządzeń jest zasilana właśnie tą energią.



Energia jądrowa
Korzysta się z niej w elektrowniach jądrowych. Także Słońce świeci dzięki przemianom jądrowym zachodzącym w jego wnętrzu.



Praca jest wykonywana wtedy, gdy na ciało działa siła, a ciało porusza w kierunku innym niż kierunek prostopadły do kierunku działania siły.



Kierunek działania siły $\vec{F}$ jest zgodny z kierunkiem ruchu ciała.

Pracę oznacza się literą W (ang. *work* – praca). Jeśli kierunek działania siły $\vec{F}$ i kierunek ruchu ciała są zgodne, to pracę można obliczyć ze wzoru:

praca = siła · droga	$W = F \cdot s$

Uwaga. Nawet przy zgodnych kierunkach prędkości i działającej siły, wektory te mogą mieć przeciwne zwroty. Dzieje się tak np. gdy ciało dzięki bezwładności porusza się przeciwnie do działającej na nie siły (np. siły tarcia). W takiej sytuacji mówimy, że ciało wykonuje pracę przeciwko sile tarcia.

Praca mechaniczna jest wykonywana również wtedy, **gdy następuje odkształcenie ciała**. Wtedy pod wpływem działania siły następuje przemieszczenie jednych fragmentów ciała względem innych.



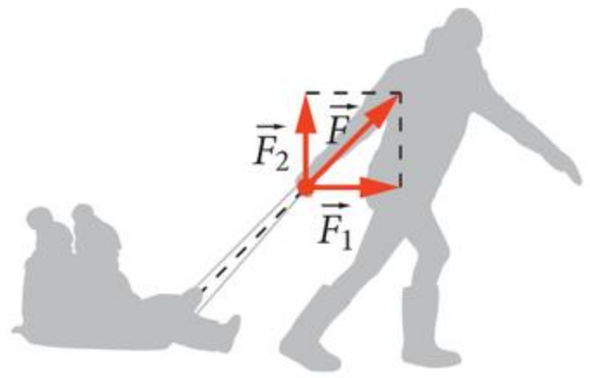
Nie każda praca wykonywana w życiu codziennym jest pracą w sensie fizycznym.

R

Siła nierównoległa do kierunku ruchu

Jeśli kierunek działającej na ciało siły nie jest zgodny z kierunkiem ruchu ciała, wówczas wykonanej pracy nie można obliczyć z powyższego wzoru. Na przykład, gdy ciągniesz sanki, działasz na nie siłą $\vec{F}$, a zatem zgodna z przemieszczeniem sanek jest tylko część siły. Siłę $\vec{F}$ można rozłożyć na tzw. **składowe** $\vec{F}_1$ i $\vec{F}_2$ (jak na zdjęciu), z których każda powoduje inny skutek.



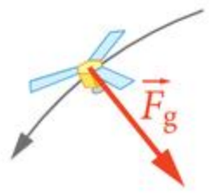


$\vec{F}$ – siła, z jaką ciągnięte są sanki,
$\vec{F}_1$ – składowa pozioma siły $\vec{F}$, która wykonuje pracę równą $W = F_1 \cdot s$,
$\vec{F}_2$ – skladowa pionowa siły $\vec{F}$, powoduje tylko zmniejszenie nacisku wywieranego przez sanki na śnieg.

Kiedy praca jest równa zero

Zdarza się, że mimo działającej na ciało siły praca nie będzie wykonana. Na przykład na zawieszoną lampę działa siła grawitacji (ciężkości) $\vec{F}_g$, ale lampa się nie przemieszcza. Droga jest więc równa 0 m, a zatem iloczyn $F \cdot s$ także jest równy zero i w efekcie praca jest równa zero.

Gdy siła działa na ciało prostopadle do kierunku ruchu, porusza się ono po okręgu. Przykładem takiej sytuacji jest np. ruch satelity dookoła Ziemi. Siła grawitacji $\vec{F}_g$ działa na satelitę wzdłuż promienia jego orbity, czyli w każdej chwili prostopadle do kierunku jego ruchu. W takiej sytuacji **nie jest wykonywana praca** i nie następują przemiany energii. O ruchu po okręgu będziesz się dokładniej uczyć w szkole ponadpodstawowej.





R

Jednostka pracy

Dzięki pracy możliwe są przemiany i przekazywanie energii. Praca określa liczbowo, ile energii zostało zamienione z jednej formy na inną (np. przy przesuwaniu szafy energia chemiczna zmagazynowana w mięśniach jest zamieniana na energię ruchu mebla i zwiększenie temperatury w miejscu, gdzie występuje tarcie).

Praca jest wielkością liczbową, a jej jednostką w układzie SI jest **dżul** (1 J). Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska angielskiego fizyka Jamesa Prescotta Joule'a (czyt. dżejmsa preskota dżula).

Co to znaczy, że wykonana praca ma wartość 1 J? Zakładając, że ciało przemieszcza się (przesuwa się) w tę samą stronę, w którą działa siła, można stwierdzić, że:

Gdy ciało, pozostając pod wpływem siły o wartości 1 N, działającej równolegle do toru ruchu ciała, pokonuje odległość 1 m, to wykonana praca ma wartość 1 J, zatem $1\ \text{J} = 1\ \text{N} \cdot 1\ \text{m}$.

CIEKAWOSTKA

James Prescott Joule (1818–1889) był uczniem znanego chemika Johna Daltona (czyt. dżona daltona), twórcy teorii atomistycznej. Joule – pracownik browaru – sam zorganizował swoją pracownię fizyczną. Był bardzo pracowity i sumienny. Doświadczenia powtarzał wiele razy, dlatego chociaż nie miał przygotowania naukowego, osiągał wspaniałe rezultaty. Jako 19-latek zbudował silnik elektryczny według własnego pomysłu, a w wieku 22 lat odkrył prawo przemiany energii elektrycznej w ciepło. Od młodzieńczych lat zajmował się zagadnieniami związanymi z elektrycznością, ciepłem i magnetyzmem.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Praca mechaniczna** jest wykonywana wtedy, gdy na ciało działa siła, a ciało porusza się w kierunku innym niż prostopadły do kierunku działania siły.
- Jeżeli kierunek działającej na ciało siły $\vec{F}$ jest zgodny z kierunkiem jego ruchu, wówczas wykonaną pracę można obliczyć ze wzoru: $W = F \cdot s$.
- Jednostką pracy jest **dżul** (1 J = 1 N · 1 m).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie drogi, gdy dana jest praca

Silnik motocykla poruszającego się ruchem jednostajnym prostoliniowym wykonał pracę 80 kJ. Jaką odległość pokonał motocykl, jeżeli siła oporu ruchu wynosiła 800 N?

Dane:
$W = 80\ \text{kJ} = 80\ 000\ \text{J}$
$F_o = 800\ \text{N}$

Szukane:
$s = ?$

Przedrostek kilo (k) oznacza 1000.

Rozwiązanie:
Skoro motocykl poruszał się ruchem jednostajnym, to zgodnie z I zasadą dynamiki Newtona napędzająca go siła F_n była równa co do wartości sile oporu ruchu F_o:

$$F_o = F_n$$

Wiesz, że $W = F_n \cdot s$, zatem

$$s = \frac{W}{F_n}$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$s = \frac{80\ 000\ \text{J}}{800\ \text{N}} = 100\ \frac{\cancel{\text{N}} \cdot \text{m}}{\cancel{\text{N}}} = 100\ \text{m}$$

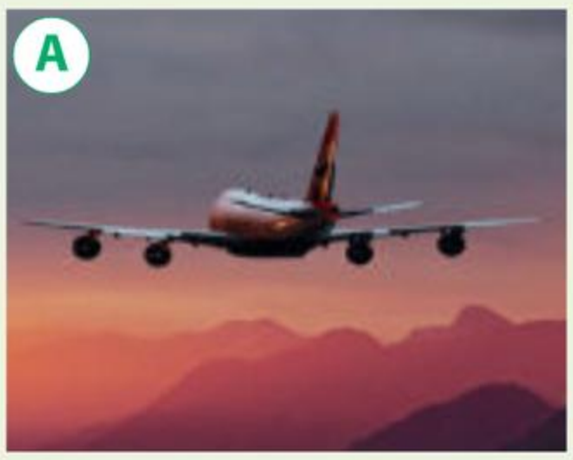
Odpowiedź: Motocykl pokonał odległość 100 m.

1. Przeanalizuj „Przykład” i rozwiąż w zeszycie poniższe zadanie.

   Rowerzysta, poruszając się na rowerze ruchem jednostajnym prostoliniowym, wykonał pracę 24 kJ. Jaką odległość pokonał rowerzysta, jeżeli siła oporu ruchu wynosiła 30 N?

2. Oblicz pracę wykonaną przez ciało działające siłą 50 N na drodze 20 cm.

3 Dopasuj wartości pracy z ramki do przedstawionych sytuacji, a następnie wyraź tę pracę w dżulach. **Uwaga.** Jedna wartość pracy nie będzie pasowała do żadnej sytuacji.



Praca wykonana przez silniki samolotu na drodze 1 kilometra.



Praca wykonana przez silnik dźwigu przy podnoszeniu kontenera na wysokość 10 m.



Praca wykonana przez zawodnika przy podnoszeniu sztangi na wysokość 2 m.

800 kJ • 1,6 kJ • 250 mJ • 200 MJ

4 Jeden z uczniów chciał zmierzyć, jaką minimalną pracę wykonuje, podnosząc swój plecak z książkami z podłogi na biurko, oraz jaką minimalną pracę wykonuje, przesuwając plecak po biurku. Przygotował taśmę mierniczą, siłomierz i wagę. Zapisz w zeszycie, jakie pomiary i obliczenia uczeń musi wykonać w obu przypadkach, aby obliczyć wykonaną przez siebie pracę.

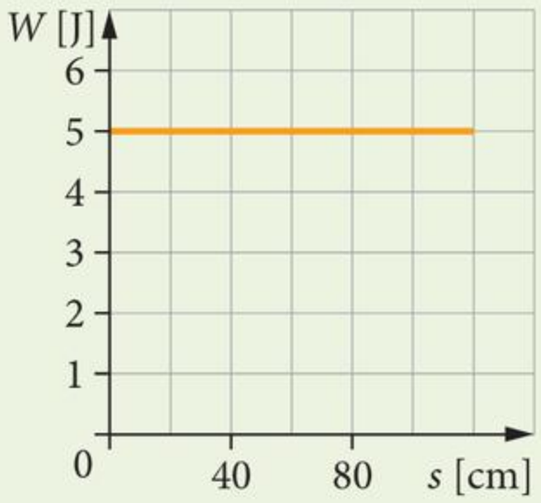
5 Dźwig, podnosząc płytę betonową na wysokość 25 m, wykonuje pracę 150 kJ. Oblicz masę podnoszonej płyty. Rozwiązanie zapisz w zeszycie.

6 W której z opisanych sytuacji wykonasz pracę?
A. Utrzymując w ręce siatkę z zakupami o masie 4 kg.
B. Pchając ścianę z siłą 50 N.
C. Mocno zgniatając gąbkę do wycierania tablicy.

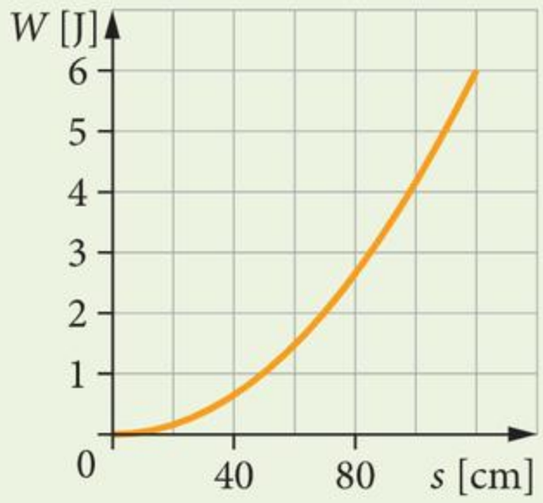
7 **a)** Wybierz wykres, na którym prawidłowo zilustrowano zależność wykonanej pracy od drogi podczas przesuwania po podłodze stołka, na który działano stałą siłą.

b) Na podstawie danych zamieszczonych na właściwym wykresie oblicz wartość siły, jaka działała na stołek.

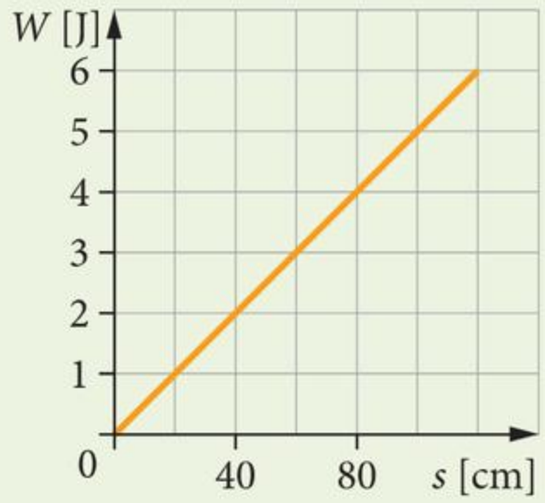
A.



B.



C.



30 Moc i jej jednostki

Cel lekcji: Poznasz pojęcie mocy oraz jej jednostkę. Dowiesz się, jak obliczyć moc chwilową.

Moc potocznie i w sensie fizycznym

Idąc i pchając skrzynię, wykonujesz pracę – działasz pewną siłą, a skrzynia się przemieszcza. Biegnąc i pchając tę samą skrzynię (jeśli nie jest zbyt ciężka), też wykonujesz pracę. Czy jest jakaś różnica między pracą wykonywaną w czasie marszu a pracą wykonywaną w czasie biegu na takim samym dystansie? Biegnąc, bardziej się zmęczysz, a jednak wykonana przez ciebie praca nie będzie większa niż wtedy, gdy przesuniesz skrzynię powoli.





Aby zaorać kawałek ziemi, kiedyś zaprzęgało się do pługa np. konia. Dziś można ten sam kawałek ziemi zaorać, używając traktora. Zarówno koń, jak i traktor wykonają taką samą pracę – zaorany będzie taki sam kawałek ziemi. Jednak czas wykonania pracy będzie różny. Wielkością fizyczną pozwalającą odnieść wykonaną pracę do czasu jest **moc**. Moc konia różni się od mocy traktora – traktorem można zaorać pole znacznie szybciej niż za pomocą zaprzęgniętego do pługa zwierzęcia. Aby wykonać pracę z taką mocą jak najlepsze traktory, należałoby zaprząc do pługa ponad 600 koni.

Moc to iloraz pracy i czasu, w jakim ta praca została wykonana.

Moc oznacza się literą P (ang. *power* – moc) i oblicza ze wzoru:

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas, w jakim praca była wykonana}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

Nazwa jednostki mocy pochodzi od nazwiska angielskiego inżyniera, Jamesa Watta (czyt. dżejmsa łota).

Jednostką mocy w układzie SI jest **wat** (1 W).

CIEKAWOSTKA

Inną jednostką mocy jest **koń mechaniczny** (1 KM). Wielkość ta została wprowadzona w drugiej połowie XVIII w. W tym czasie w przemyśle zaczęto stosować maszyny parowe. Przedsiębiorcy zainteresowani kupnem takiej maszyny chcieli wiedzieć, ile koni może ona zastąpić, a wydajność, z jaką mógł pracować koń, była kupującym doskonale znana. Koni mechanicznych używa się do dziś przy określaniu mocy silników samochodowych. 1 KM = 735 W.



Dmuchawa napędzana silnikiem parowym z XIX w.

Co to znaczy, że urządzenie pracuje z mocą jednego wata (1 W)?

1 W określa moc urządzenia, które w czasie 1 s wykona pracę 1 J, $1\,\mathrm{W} = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}}$.

PRZYKŁAD

Obliczanie prędkości, gdy dana jest moc

Z jaką stałą prędkością poruszał się samochód osobowy o mocy silnika 55,2 kW, jeśli siła ciągu silnika wynosiła 2,76 kN?

Dane:
$P = 55{,}2\ \mathrm{kW}$
$F = 2{,}76\ \mathrm{kN}$

Szukane:
$v = ?$

Rozwiązanie:
Wiesz, że $P = \frac{W}{t}$ oraz że $W = F \cdot s$, zatem: $P = \frac{F \cdot s}{t}$.

Ponieważ $v = \frac{s}{t}$, wzór na moc można zapisać następująco:

$$P = F \cdot v$$

Z powyższego wzoru można obliczyć prędkość: $v = \frac{P}{F}$.

Podstawiamy dane liczbowe:

$$v = \frac{55{,}2\ \cancel{\mathrm{kW}}}{2{,}76\ \cancel{\mathrm{kN}}} = 20\ \frac{\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}}{\mathrm{N}} = 20\ \frac{\frac{\cancel{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{m}}{\mathrm{s}}}{\cancel{\mathrm{N}}} = 20\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

Odpowiedź: Samochód osobowy poruszał się z prędkością 20 $\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.

Wyprowadzony powyżej wzór opisuje tzw. **moc chwilową** i jest przydatny w sytuacji, gdy prędkość zmienia się w czasie.

moc = siła · prędkość	$P = F \cdot v$

W tabeli na str. 276 przedstawiono przykłady przeciętnej mocy człowieka, konia i niektórych urządzeń.

Pamiętaj, że wzór ten wyprowadziliśmy przy założeniu, że siła działa w kierunku równoległym do przesunięcia (prędkości).

$1\,\mathrm{W} = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}} = 1\,\mathrm{N} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

Silnik parowy

Silniki parowe odegrały olbrzymią rolę w szerzeniu postępu niemal we wszystkich dziedzinach techniki. Współcześnie mają już dość ograniczone zastosowanie. Do dziś siła pary wykorzystywana jest np. w turbinach parowych.

Bania Herona

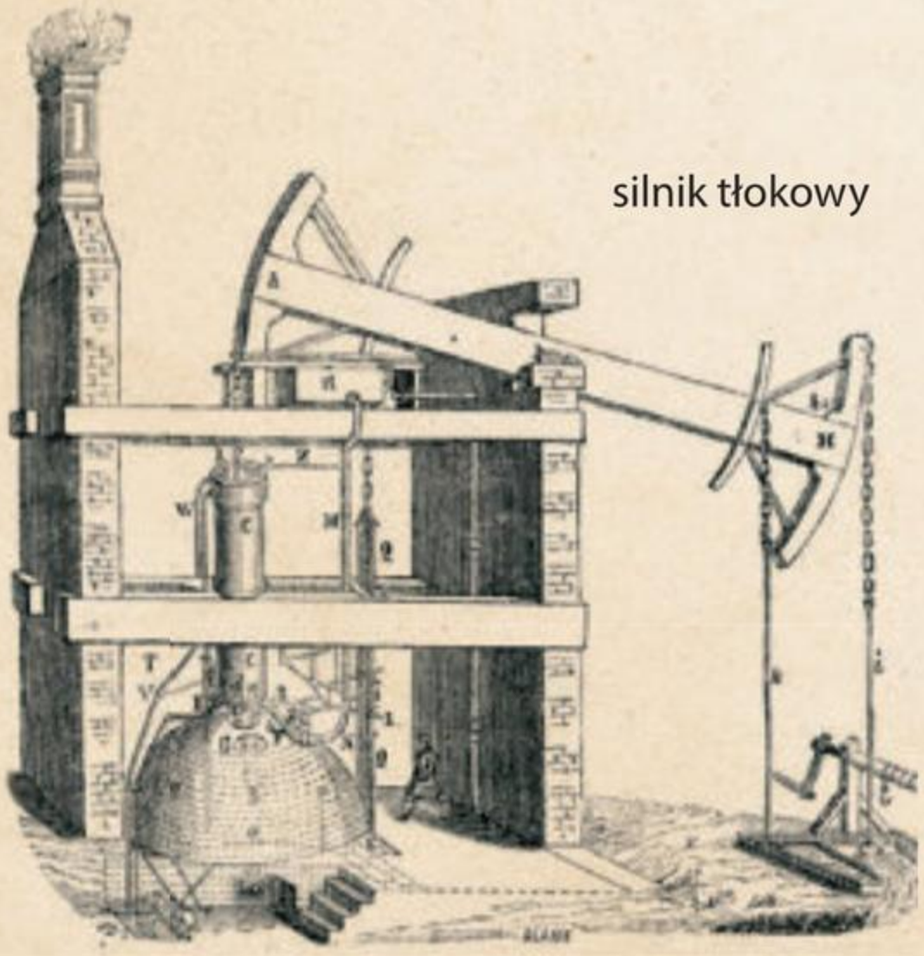
Prototyp turbiny parowej został skonstruowany przez Herona z Aleksandrii w I w n.e. Wymyślone przez niego urządzenie, tzw. **bania Herona**, to zamknięte naczynie połączone z kulą zamocowaną w taki sposób, aby mogła się swobodnie obracać. Ogrzewana w naczyniu woda parowała, a strumień pary wodnej wydostającej się z odpowiednio zakrzywionych rurek przymocowanych do kuli wprawiał ją w ruch obrotowy. W czasach starożytnych urządzenie to było traktowane jedynie jako ciekawostka.



Heron prezentujący swój wynalazek.

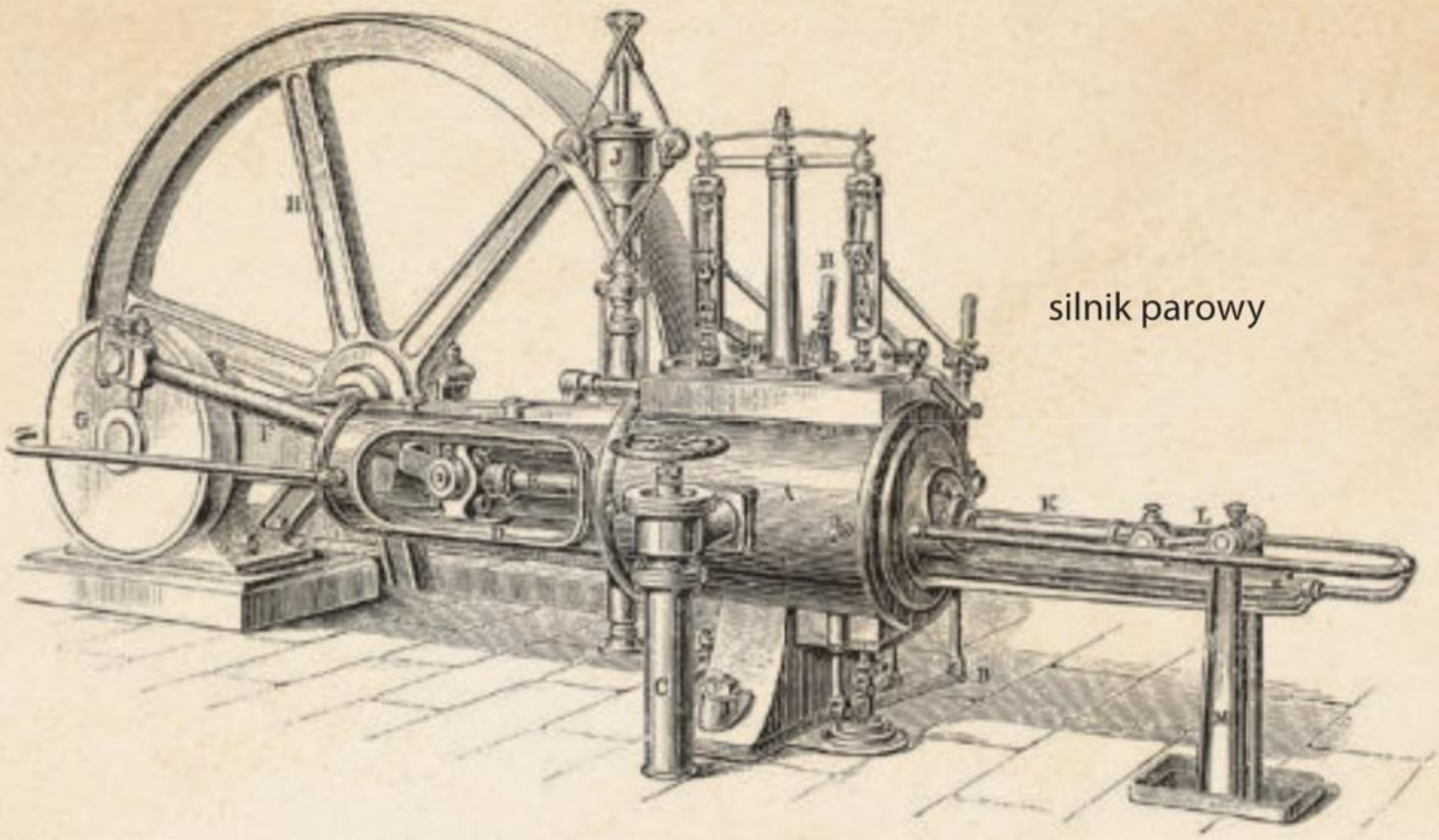


bania Herona



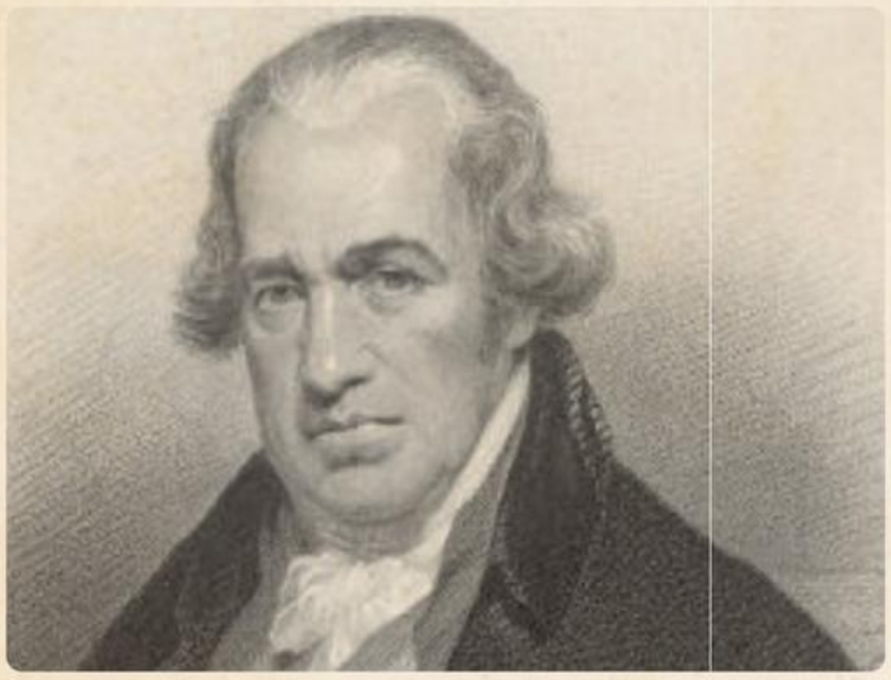
silnik tłokowy

Pierwsze zastosowania siły pary przypadają na początek XVIII w. i zawdzięczamy je **Thomasowi Newcomenowi** (czyt. tomasowi niukomenowi, 1663–1729), który skonstruował silnik tłokowy, wykorzystywany np. do wypompowywania wody z kopalni lub napędzania dmuchaw wtłaczających powietrze do pieców hutniczych.



silnik parowy

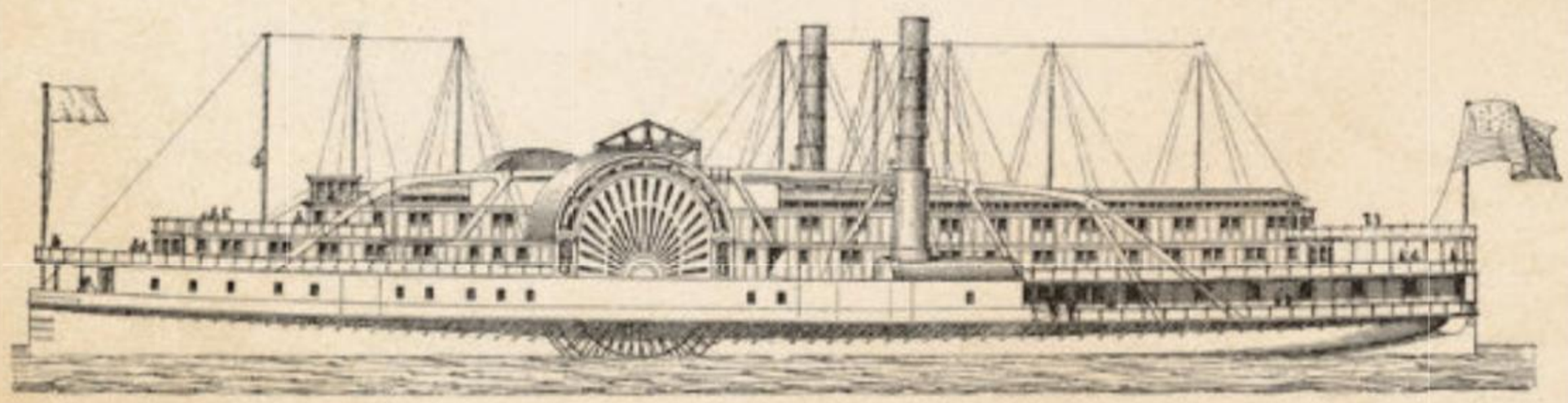
James Watt



W 1763 roku **James Watt** (czyt. dżejms łot, 1736–1819), który był szkockim inżynierem, wynalazcą i konstruktorem naprawiał maszynę służącą do wypompowywania wody z kopalni. Naprawiając ją, wpadł na pomysł, jak udoskonalić maszynę parową Newcomena. Maszyna konstrukcji Watta miała osobny zbiornik do skraplania pary wodnej, co zwiększyło sprawność i wydajność urządzenia.

Sercem maszyny parowej jest **silnik parowy**, który przekształca energię spalanego paliwa w ruch. Ogrzewana woda zamienia się w parę wodną, która zajmuje około 1700 razy większą objętość niż woda, z której powstała. Para wywiera ciśnienie na tłok, który porusza element maszyny.

Wynalezienie silnika parowego zapoczątkowało **wielką rewolucję przemysłową**. Znalazł on liczne zastosowania – używano go między innymi do konstrukcji lokomotyw parowych (1804), łodzi o napędzie parowym – tzw. parostatków (1807), maszyn drukarskich (1812), dyliżansów parowych (1825), ciągników, młotów parowych do kucia metali (1842), sterowców – balonów o napędzie parowym (1852). W 1857 roku zbudowano nawet windę osobową o napędzie parowym.



statek parowy

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Moc** to liczbowa wielkość fizyczna równa ilorazowi pracy W i czasu t, w którym ta praca została wykonana: $P = \frac{W}{t}$. Jednostką mocy jest **wat** (1 W).
- Urządzenie ma moc 1 W, jeżeli w czasie 1 s wykona pracę 1 J, zatem $1\,\text{W} = \frac{1\,\text{J}}{1\,\text{s}}$.
- **Moc chwilową** oblicza się ze wzoru: $P = F \cdot v$, gdzie F – siła działająca na ciało, v – prędkość ciała.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

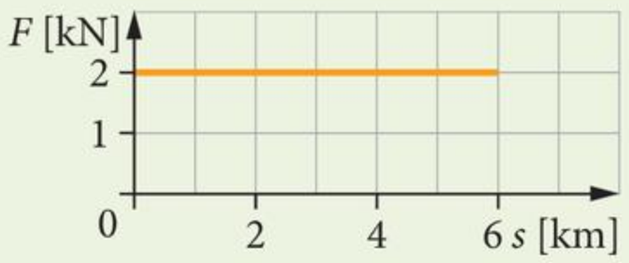
1 Człowiek, używając kołowrotu, wyciąga ze studni wiadro z wodą o łącznej masie 10 kg w czasie 30 s. Pompa zainstalowana w studni wypompowuje na powierzchnię 10 litrów wody w czasie 10 s. Czy większą moc ma pompa czy człowiek? Określ ile razy.



2 Oblicz moc silnika wiertarki, która pracę 9 kJ wykonała w ciągu 10 s.

3 Koń, ciągnąc wóz z siłą 500 N, pokonał drogę 5 km w czasie 2 h. Oblicz moc, z jaką koń ciągnął wóz.

4 Na wykresie obok przedstawiono zależność siły napędzającej skuter od przebytej przez niego drogi. Oblicz jego moc, wiedząc, że przejechał on 4 km w 6 min.



5 Z jaką maksymalną prędkością porusza się przez krótką chwilę rowerzysta, jeżeli dysponuje mocą maksymalną 420 W i przy prędkości, z którą się porusza, musi pokonać siłę oporu 35 N?

6 Oblicz, z jaką mocą pracuje silnik pojazdu, który porusza się ze stałą prędkością 80 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, jeżeli opory ruchu wynoszą 400 N.

7 Na motorówkę płynącą po jeziorze ze stałą prędkością działają siła napędowa oraz równoważące ją siły oporu wody (przy niewielkich prędkościach można pominąć siłę oporu powietrza). Siła oporu wody jest proporcjonalna do prędkości, tzn. przy dwukrotnie większej prędkości wzrasta dwukrotnie. Żeby motorówka płynęła ze stałą prędkością 15 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, silnik musi dostarczać moc 3 kW. Jaką moc musi dostarczać silnik, aby motorówka mogła pokonać siłę oporu wody i płynąć ze stałą prędkością 30 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$?

31 Energia potencjalna grawitacji i potencjalna sprężystości

Cel lekcji: Poznasz pojęcia energii potencjalnej grawitacji i energii potencjalnej sprężystości. Dowiesz się, od czego zależą te formy energii oraz jak je magazynować.

Energia a praca

Wiesz już, że zjawiska zachodzą dzięki przemianom energii oraz że istnieje wiele różnych jej form. Rozważmy dwie sytuacje. Wyobraź sobie, że napinasz łuk, po czym zwalniasz cięciwę. Odkształcony łuk wraca do pierwotnego kształtu, cięciwa naciska na strzałę pewną siłą i przesuwa ją, równocześnie ją rozpędzając, i dalej strzała porusza się już dzięki swej bezwładności.
Drugi przykład: kafar (rodzaj ciężkiego młota – patrz zdjęcie na str. 210) został podniesiony na pewną wysokość. Upuszczony, spada i wbija w ziemię pal. W każdym z tych przypadków została wykonana praca. Można powiedzieć, że ciało, które posiada energię, jak napięty łuk czy uniesiony młot, może wykonać pracę. Zatem:

> Energia określa zdolność ciała lub układu ciał do wykonania pracy.

Gdy **praca** jest

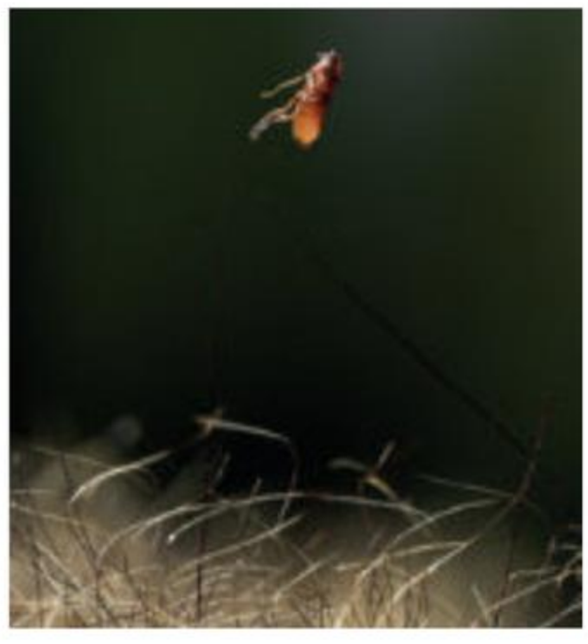
- **wykonywana nad ciałem** przez siły zewnętrzne (np. gdy napinamy łuk albo silnik podnosi kafar), **zyskuje** ono **energię** kosztem energii innego ciała.
- **wykonywana przez ciało, traci** ono **energię**, która jest przekazywana do innego ciała lub do otoczenia.

Rodzaje energii mechanicznej

Odkształcone ciało, np. napięty łuk lub ściśnięta sprężyna, powracające do pierwotnej postaci wykonuje pracę dzięki **energii potencjalnej sprężystości**.
Kafar wzniesiony na pewną wysokość ma **energię potencjalną grawitacji** (inaczej energię potencjalną ciężkości), a spadając (poruszając się z pewną prędkością), ma **energię kinetyczną**.

CIEKAWOSTKA

Pchła potrafi wykonać skok przekraczający 100-krotność długości jej ciała (to tak jakby człowiek skoczył na odległość 200 metrów). Wykorzystuje do tego bardzo elastyczne białko o nazwie resilin, w którym gromadzona jest energia potencjalna sprężystości. Skurczony resilin, wracając do pierwotnego kształtu, jest w stanie oddać 97% zgromadzonej w nim początkowo energii.



Energia potencjalna grawitacji

Na kafar wzniesiony na wysokość h działa siła ciężkości $F_g = mg$. Po zwolnieniu zaczepu siła ta nadaje kafarowi prędkość (zgodnie z II zasadą dynamiki pod wpływem tej siły będzie się on poruszał ruchem jednostajnie przyspieszonym), zatem młot uzyskuje energię kinetyczną kosztem utraconej energii potencjalnej. Ta energia potencjalna jest równa pracy wykonanej przy podnoszeniu. Praca ta, jak już wiesz, jest równa iloczynowi siły F unoszącej kafar i wysokości h, na jaką go uniesiono:

$$W = F \cdot h$$

Siła F jest równa co do wartości ciężarowi kafara:

$$F = m \cdot g$$

Zatem jest tym większa, im większa jest masa młota.
Zarówno w przypadku wznoszenia kafara, jak i napinania łuku następuje zmiana ilości energii zmagazynowanej w ciele.
Im większa praca jest wykonana nad ciałem (lub układem ciał), tym większą energię to ciało (lub układ ciał) uzyskuje. **Przyrost energii ciała jest równy wykonanej** nad tym ciałem **pracy**, co można zapisać:

$$\Delta E = W$$

Jednostką energii jest **dżul** (1 J).



Kafar tym większą wykona pracę (tym głębiej wbije pal), im większą energię potencjalną grawitacji uzyskał podczas podnoszenia na wysokość h.

Energię potencjalną grawitacji ma ciało podniesione na pewną wysokość h względem dowolnie wybranego poziomu zwanego poziomem zerowym, np. poziomu podłogi lub powierzchni Ziemi.

Wzniesione ciało ma wtedy energię związaną z oddziaływaniem grawitacyjnym dwóch ciał: Ziemi i wzniesionego ciała. Mówi się wówczas o energii potencjalnej grawitacji (energii potencjalnej ciężkości).

Uwaga. Określenie poziomu zerowego jest ważne, bo w rozpatrywanych zjawiskach interesuje nas tylko zmiana energii. Przykładowo, jeśli upuszczamy piłeczkę z wysokości 1,5 m na podłogę, nie ma sensu uwzględnianie tego, że podłoga znajduje się na 10. piętrze, czyli 30 m nad powierzchnią Ziemi.
Wiesz już, że energia potencjalna ciężkości zależy od masy ciała i wysokości, na jaką zostało ono wzniesione. Możesz to sprawdzić, wykonując doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 50

1. Przygotuj: trzy miseczki, pół kilograma ryżu, trzy piłeczki pingpongowe, strzykawkę z igłą, taśmę klejącą i naczynie z wodą.
2. Strzykawką z igłą napełnij dwie piłeczki wodą i zaklej dziurki, np. taśmą klejącą.
3. Nasyp tyle samo ryżu do każdej z miseczek.
4. Upuść pustą piłeczkę na środek pierwszej miseczki.
5. Napełnioną wodą piłeczkę upuść z takiej samej wysokości na środek drugiej miseczki.
6. Drugą napełnioną wodą piłeczkę upuść do trzeciej miseczki z wysokości większej niż dwie poprzednie.
7. Porównaj, jak głęboko piłeczki wbiły się w ryż. Co zauważasz?

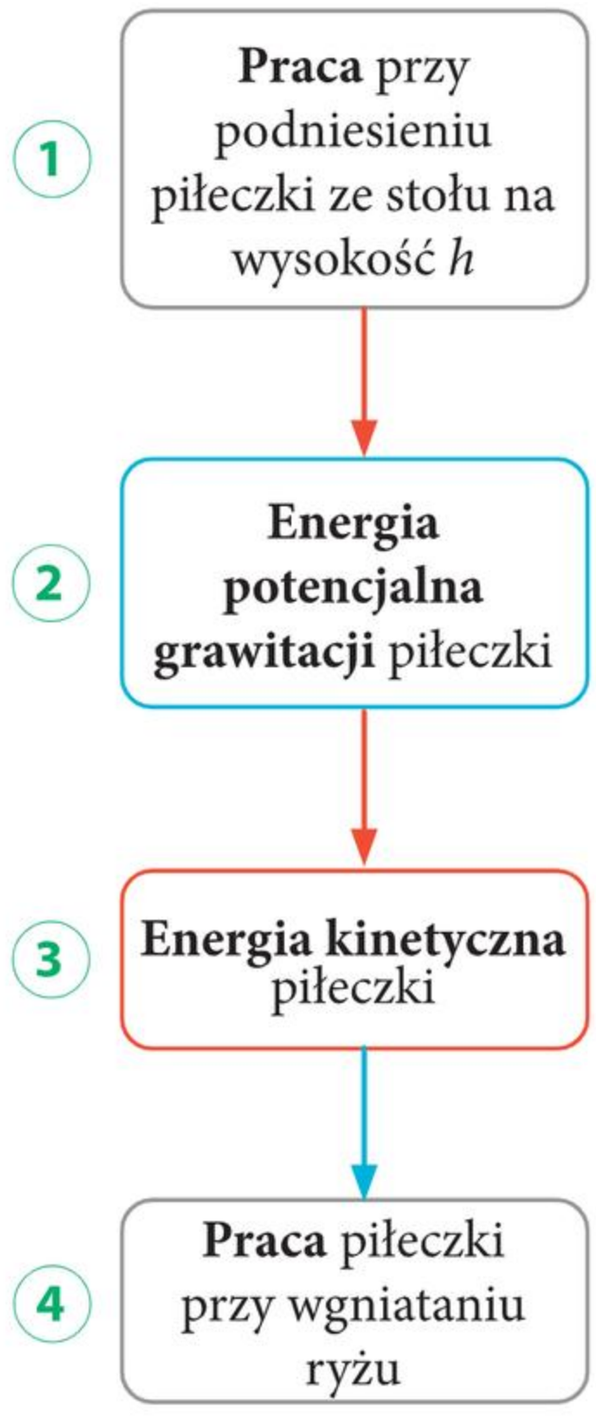


Piłeczki wbijają się w ryż na różną głębokość. Przy tej samej wysokości bardziej zagłębia się piłeczka o większej masie. Gdy masy były jednakowe, głębiej wbiła się piłeczka upuszczona z większej wysokości.

Przemiany energii

Jakie przemiany energii nastąpiły w tym doświadczeniu?

1. Najpierw piłeczkę leżącą początkowo na stole uniesiono na pewną wysokość, czyli wykonano pracę.
2. W wyniku tego piłeczka uzyskała **energię potencjalną grawitacji**, a więc zdolność do wykonania pracy.
3. Piłeczka puszczona z wysokości *h* rozpędziła się podczas spadania (uzyskała energię kinetyczną) i uderzyła w ryż.
4. Wtedy **wykonała pracę**, wgniatając go, i znieruchomiała.



Zwróć uwagę, że piłeczka tuż przed uderzeniem w ryż utraciła już praktycznie całą energię potencjalną (wysokość, na jakiej znalazła się w tym momencie, jest bardzo bliska jej wysokości początkowej), a mimo to mogła wykonać pracę przy wgniataniu ryżu. Tuż nad ryżem energia piłeczki była związana z prędkością, którą uzyskała podczas spadania. Formą energii związaną z ruchem ciała jest energia kinetyczna. Tak więc, najpierw w wyniku wykonania pracy przy podnoszeniu

piłeczka uzyskała energię potencjalną grawitacji, następnie podczas spadania jej energia potencjalna uległa zamianie na energię kinetyczną i na koniec dzięki energii kinetycznej piłeczka wykonała pracę przy wgniataniu ryżu.



Upuszczona z pewnej wysokości kulka tuż nad powierzchnią Ziemi wytraca całą energię potencjalną, a jej energia kinetyczna ma maksymalną wartość.

Energia potencjalna grawitacji (ciężkości) – równoważna wykonanej pracy – zależy od masy ciała i wysokości, na jaką to ciało zostanie wzniesione.

Praca W wykonana przy podnoszeniu ciała jest równa przyrostowi energii potencjalnej ΔE_p tego ciała:

$$\Delta E_p = W, \quad W = F \cdot s, \text{ gdzie } s = h, \text{ więc}$$

$$\Delta E_p = F \cdot h$$

Siła F jest równa co do wartości ciężarowi ciała $F = m \cdot g$, zatem

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

Zatem **zmianę energii potencjalnej grawitacji** związaną z podniesieniem ciała o masie m na wysokość h możemy obliczyć ze wzoru:

przyrost energii potencjalnej	=	masa ciała	·	przyspieszenie ziemskie	·	wysokość	$\Delta E_p = m \cdot g \cdot h$

Jak widać, przyrost energii potencjalnej ciała jest wprost proporcjonalny do masy ciała i wysokości, na jaką zostało ono wzniesione.

Powyższy wzór na przyrost energii potencjalnej został wyprowadzony przy założeniu, że siła grawitacji nie zmienia się wraz ze wzrostem wysokości. W rzeczywistości jednak gdyby wznieść się na znaczną wysokość (oddalić nieco od planety), okazałoby się, że siła grawitacji F_g jest mniejsza niż przy powierzchni. Dlatego **wzór ten można stosować tylko dla niewielkich wysokości** h (znacznie mniejszych od promienia Ziemi).

Jednostką energii potencjalnej (podobnie jak pracy) jest **dżul** (1 J).

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Energia** zgromadzona przez ciało określa jego **zdolność do wykonania pracy**.
- Odkształcone ciało powracające do pierwotnej postaci wykonuje pracę dzięki **energii potencjalnej sprężystości**.
- Energia ciała o masie m podniesionego na wysokość h nad poziomem zerowym (np. powierzchnią Ziemi) nosi nazwę **energii potencjalnej grawitacji** (energii potencjalnej ciężkości) i oblicza się ją ze wzoru: $E_p = m \cdot g \cdot h$.
- Jednostką energii potencjalnej jest **dżul** (1 J).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 W pewnym budynku jest 12 pięter. Magda wsiadła na pierwszym piętrze i wysiadła na trzecim. Jej energia potencjalna zwiększyła się o 4 kJ. Wpisz do zeszytu wartości, jakie należy wstawić w miejsca znaków zapytania.

A. Gdyby wsiadła na czwartym piętrze i wysiadła na szóstym, jej energia potencjalna zwiększyłaby się o ? .

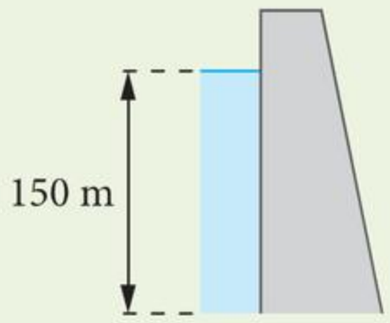
B. Gdyby wsiadła na pierwszym piętrze i wysiadła na parterze, to jej energia potencjalna zmniejszyłaby się o ? .

C. Z piątego piętra na parter zwieziono ciężką paczkę o masie dwa razy większej od masy Magdy. Energia potencjalna paczki zmniejszyła się o ? .

D. Z parteru na pierwsze piętro wwieziono ciężką paczkę o masie dwa razy większej od masy Magdy. Energia potencjalna paczki zwiększyła się o ? .

2 Dwaj koledzy, Janusz i Mirek, dyskutowali o tym, jaką energię potencjalną ma książka o masie 1 kg leżąca na półce. Janusz stwierdził, że książka znajduje na wysokości 1 m nad podłogą, dlatego, jak łatwo obliczyć, energia potencjalna grawitacji książki wynosi około 10 J. Mirek zupełnie się z tym nie zgadzał – stwierdził, że są przecież na drugim piętrze, a więc ponad 5 metrów nad ziemią, dlatego energia potencjalna książki jest dużo większa. Kto miał rację: Janusz, Mirek, a może obaj? Uzasadnij odpowiedź.

3 Pewna elektrownia wodna wykorzystuje energię potencjalną ciężkości wody, której lustro jest na wysokości 150 m względem dna koryta po drugiej stronie tamy. Oblicz, jaką energię potencjalną ciężkości ma 1 l wody na powierzchni w takiej elektrowni względem jej podnóża.



4 Jeżeli człowiek o masie 80 kg wjedzie na ostatni ogólnodostępny taras widokowy na najwyższym budynku na świecie – Burj Khalifa w Dubaju (patrz zdjęcie), to jego energia potencjalna grawitacji wzrośnie względem poziomu ulicy o 444 kJ. Na jakiej wysokości nad ulicą znajduje się ten taras widokowy? Przyjmij, że $g = 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.



5 Oblicz, na jaką wysokość względem powierzchni Ziemi należy podnieść cegłę o masie 2 kg, aby jej energia potencjalna wzrosła o 0,2 kJ.

32 Energia kinetyczna, zasada zachowania energii mechanicznej

Cel lekcji: Dowiesz się, od czego zależy energia kinetyczna i jak ją obliczać. Nauczysz się też obliczać różne wielkości fizyczne na podstawie zasady zachowania energii mechanicznej.

Energia kinetyczna

Jadący pociąg, płynąca w rzece woda, wiejący wiatr, spadające z drzewa jabłko – wszystkie te ciała mają energię kinetyczną. Energia kinetyczna jest związana z ruchem (gr. *kinema* – ruch).

Na podstawie doświadczenia 50 ze str. 211 wiesz, że podczas spadania energia potencjalna piłeczki malała, ale wzrastała jej prędkość. Tuż przed uderzeniem w ryż piłeczka utraciła praktycznie całą energię potencjalną, a mimo to wykonała pracę, wbijając się w ryż. Zauważ, że na wysokości h piłeczka była w spoczynku, a tuż nad ryżem wysokość zmalała prawie do zera, ale piłeczka uzyskała pewną prędkość v. Zatem energia potencjalna piłeczki została przekształcona w inną formę energii – związaną z ruchem – energię kinetyczną.



Skuteczność strzału z łuku była tym większa, im większą energię kinetyczną miała strzała trafiająca w cel.

Przyrost energii kinetycznej ciała jest równy pracy wykonanej przy jego rozpędzaniu na drodze s. Kolejne kroki wyprowadzenia wzoru na energię kinetyczną przedstawiono obok.

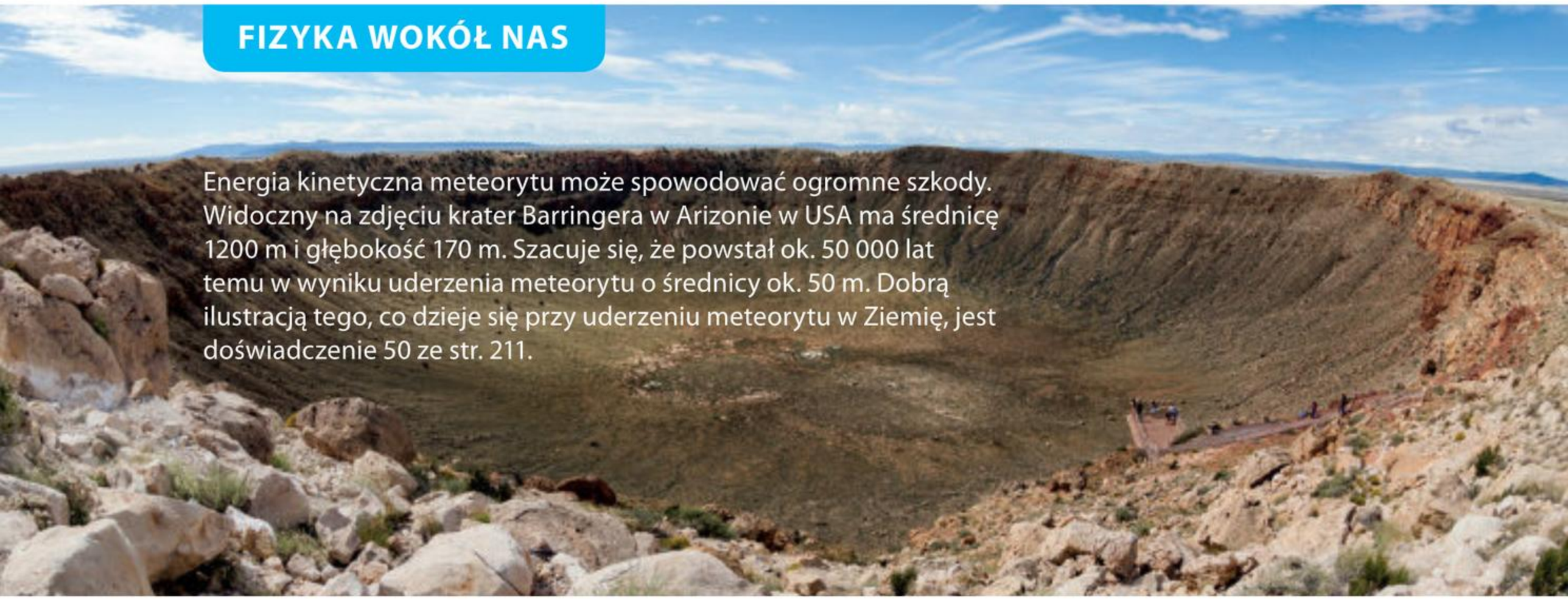
Energia kinetyczna ciała jest tym większa, im większą prędkość ma to ciało i im większa jest jego masa.

Energię kinetyczną ciała można obliczyć ze wzoru:

$$\text{energia kinetyczna} = \frac{\text{masa ciała} \cdot \text{prędkość}^2}{2} \qquad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Przyrost energii kinetycznej jest równy pracy: $\Delta E_k = W = F \cdot s$.
Ponieważ $F = m \cdot a$
oraz $s = \frac{at^2}{2}$,
możemy zapisać
$\Delta E_k = m \cdot a \cdot \frac{at^2}{2}$
$\Delta E_k = m \cdot \frac{a^2 t^2}{2}$.
Ponieważ $a = \frac{\Delta v}{t}$,
to $\Delta v = at$.
Otrzymujemy
$\Delta E_k = \frac{m \cdot (\Delta v)^2}{2}$.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

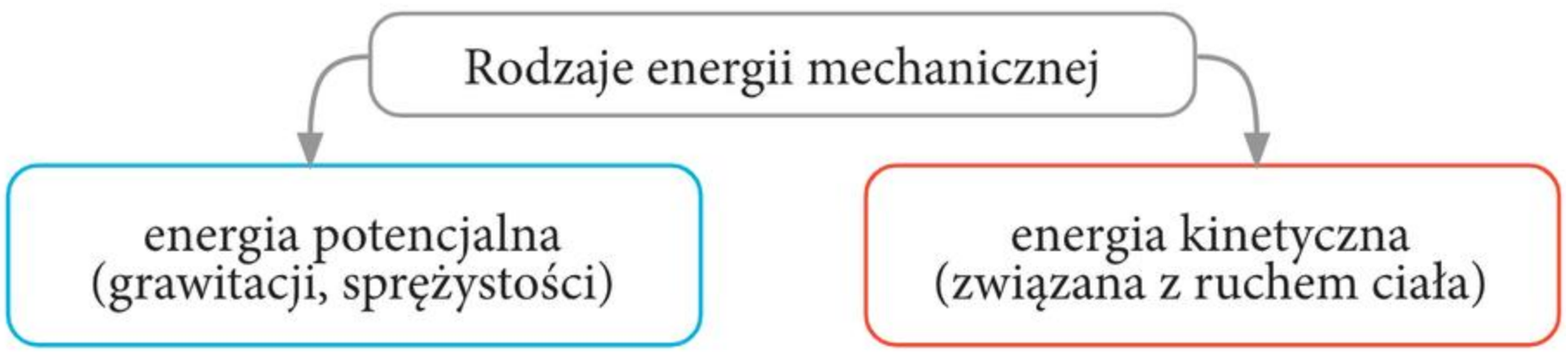


Energia kinetyczna meteorytu może spowodować ogromne szkody. Widoczny na zdjęciu krater Barringera w Arizonie w USA ma średnicę 1200 m i głębokość 170 m. Szacuje się, że powstał ok. 50 000 lat temu w wyniku uderzenia meteorytu o średnicy ok. 50 m. Dobrą ilustracją tego, co dzieje się przy uderzeniu meteorytu w Ziemię, jest doświadczenie 50 ze str. 211.

Jednostką energii kinetycznej (podobnie jak energii potencjalnej i pracy) jest **dżul** (1 J). Analizując wzór, możesz zauważyć, że energia kinetyczna ciała jest **wprost proporcjonalna** do jego **masy** i **kwadratu prędkości**, z jaką się porusza.

Zasada zachowania energii mechanicznej

Energia kinetyczna, potencjalna grawitacji i potencjalna sprężystości to różne formy energii zwanej **energią mechaniczną**.



Każda forma energii może ulec przemianie w inny jej rodzaj. Energii nie da się ani stworzyć, ani zniszczyć. Można ją jedynie przekształcić lub przekazać innemu ciału. Doświadczenia i pomiary fizyków wykazały, że:

Określona ilość energii jednego rodzaju może zostać zamieniona w równą ilość energii innego rodzaju.

Zatem jeżeli dowolny układ ciał nie wymienia energii z otoczeniem, to jego całkowita energia jest stała. Taki układ nazywa się **układem izolowanym** (odosobnionym).

W izolowanym układzie ciał przy braku oporów ruchu całkowita energia nie ulega zmianie: $\Delta E = 0$ J.

Powyższe stwierdzenie nosi nazwę **zasady zachowania energii**.

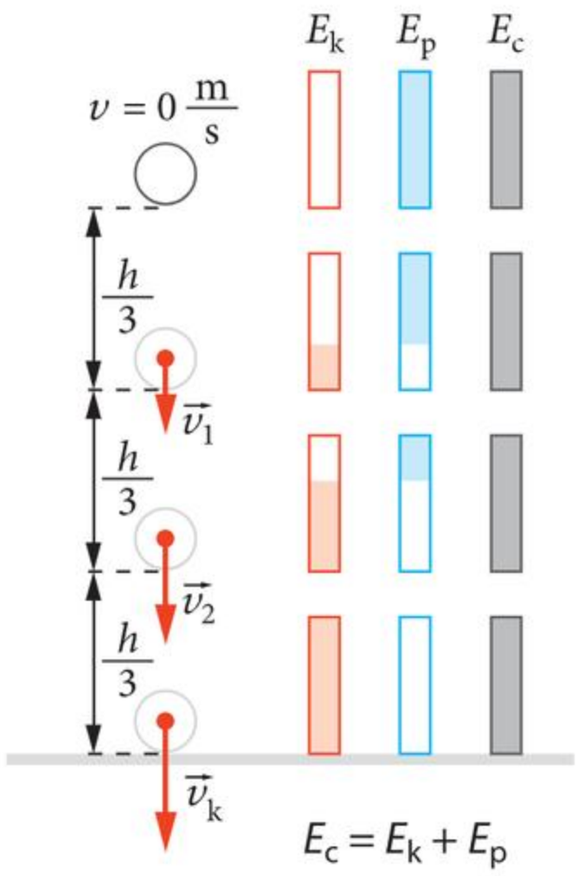
Szczególnym przypadkiem zasady zachowania energii jest **zasada zachowania energii mechanicznej**, którą można zapisać następująco:

$$E = E_k + E_p = \text{constans}$$

Słowo „constans" (czyt. konstans) oznacza „stały".

Zasada zachowania energii mechanicznej obowiązuje pod warunkiem, że **nie ma oporów ruchu**. Jeśli występują opory ruchu, energia mechaniczna jest częściowo zamieniana na inne formy energii, zwłaszcza na energię wewnętrzną (związaną z temperaturą).

Podczas swobodnego spadania ciała z pewnej wysokości (przy założeniu braku oporu powietrza) energia potencjalna grawitacji E_p tego ciała maleje (wysokość, na jakiej znajduje się ciało, maleje), ale równocześnie zwiększa się jego energia kinetyczna E_k (ciało przyspiesza – patrz rysunek obok). Całkowita energia mechaniczna E_c nie ulega zatem zmianie, ponieważ energia potencjalna ciężkości zamienia się w energię kinetyczną (patrz rys.). W każdym punkcie podczas spadania ciała jego całkowita energia mechaniczna ma taką samą wartość. Podobnie w każdym punkcie ruchu ciała rzuconego pionowo do góry (przy pominięciu oporu powietrza) całkowita energia mechaniczna się nie zmienia. Wiele zadań można w prosty sposób rozwiązać, wykorzystując zasadę zachowania energii.



Przemiany energii podczas swobodnego spadania ciała z wysokości *h*.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Energia kinetyczna** jest ściśle związana z ruchem ciała. Jest ona wprost proporcjonalna do jego masy i kwadratu prędkości, z jaką się porusza.
- Energię kinetyczną oblicza się ze wzoru: $E_k = \frac{mv^2}{2}$.
- Jednostką energii jest **dżul** (1 J).
- **Energia mechaniczna** to suma energii potencjalnej i energii kinetycznej.
- **Układ izolowany** to układ ciał niewymieniający energii z otoczeniem.
- **Zasada zachowania energii mechanicznej:** W układzie izolowanym ciał przy braku oporów ruchu całkowita energia mechaniczna (suma energii potencjalnej i kinetycznej) nie ulega zmianie.

$$E_p + E_k = \text{constans}$$

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

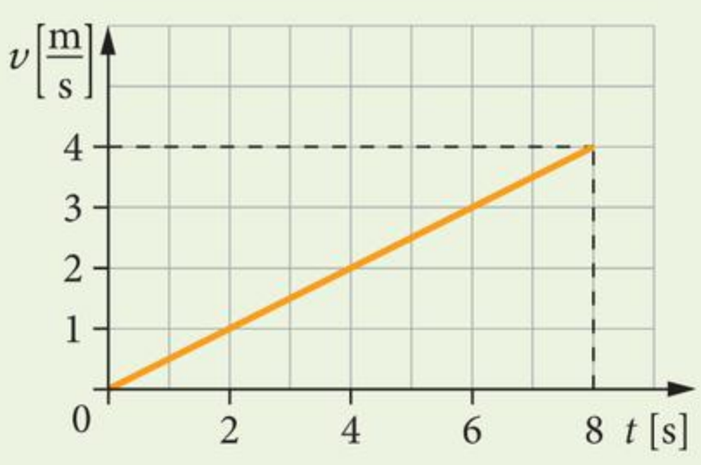
1 Trzy osoby widoczne na zdjęciu jadą na rowerach z taką samą prędkością.



a) Która z osób ma najmniejszą energię kinetyczną? Krótko uzasadnij odpowiedź.

b) Po kilkudziesięciu metrach jazdy trójka rowerzystów natrafiła na stromy podjazd.
Kobieta i mężczyzna zmniejszyli prędkość dwukrotnie, natomiast chłopiec jechał z taką samą prędkością jeszcze kilkanaście sekund. Która z osób miała w tej sytuacji największą energię kinetyczną, jeśli wiadomo, że masa chłopca była dwukrotnie mniejsza niż masa mężczyzny? Uzasadnij odpowiedź.

2 Na wykresie przedstawiono zależność prędkości rowerzysty od czasu w pierwszych sekundach ruchu. Oblicz energię kinetyczną, jaką uzyskał kolarz po 8 s, jeżeli jego masa wynosi 70 kg.



3 Oblicz, ile razy wzrośnie energia kinetyczna samochodu, jeżeli zwiększy on swoją prędkość z 40 $\frac{km}{h}$ do 80 $\frac{km}{h}$.

4 Piłeczkę wykonaną z gumy upuszczono na ziemię. Dopasuj odpowiednie wyrażenia opisujące przemiany energii A–F do danego etapu ruchu piłki I–IV.
Uwaga. Nie wszystkie wyrażenia A–F będą pasować. W opisie przemian zastosowano oznaczenia: E_k – energia kinetyczna, E_{pg} – energia potencjalna grawitacji, E_{ps} – energia potencjalna sprężystości.

I. Piłka zaczyna spadać.

II. Piłka uderza w ziemię, odkształca się (nieco spłaszcza) i wytraca prędkość.

III. Piłka odbija się od ziemi (wraca do pierwotnego kształtu) i nabiera prędkości.

IV. Piłka wznosi się coraz wyżej.

- **A.** E_k zamienia się w E_{pg}
- **B.** E_{ps} zamienia się w E_k
- **C.** E_{pg} zamienia się w E_{ps}
- **D.** E_{ps} zamienia się w E_{pg}
- **E.** E_{pg} zamienia się w E_k
- **F.** E_k zamienia się w E_{ps}

5 Z łuku wystrzelono strzałę pionowo do góry. Strzała wzniosła się na pewną wysokość, następnie spadła i wbiła się w ziemię. Omów, jakie przemiany energii zaszły od momentu, w którym zaczęto napinać cięciwę.

6 Przeanalizuj „Przykład” na dole strony i rozwiąż zadanie. Na jaką wysokość jest się w stanie wybić z trampoliny osoba, która w chwili oderwania stóp od trampoliny ma prędkość 3 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$?
W obliczeniach pomiń opory ruchu. Czy masa osoby wpłynie na uzyskany wynik? Odpowiedź uzasadnij.



7 Piłka spadła z wysokości 10 m, odbiła się i osiągnęła wysokość 8 m. Oblicz, jaka część energii mechanicznej piłki została zamieniona w inne formy energii.

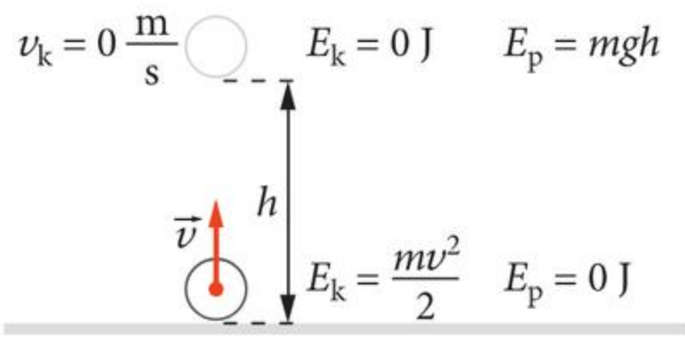
PRZYKŁAD

Obliczanie maksymalnej wysokości wyrzuconego pionowo ciała

Wyznacz maksymalną wysokość (zapisz wzór końcowy), jaką osiągnęło ciało rzucone pionowo do góry z prędkością v. Pomiń opór powietrza.

Dane:
v, g

Szukane:
$h = ?$



Rozwiązanie:
Rzucone pionowo do góry ciało miało w chwili początkowej energię kinetyczną:

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

Prędkość początkowa ciała wynosiła v, zaś końcowa $v_k = 0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, gdyż ciało po osiągnięciu maksymalnej wysokości h zatrzymało się, a następnie zaczęło spadać. Na wysokości h ciało miało energię potencjalną grawitacji równą:

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

Z zasady zachowania energii wiesz, że energia kinetyczna poruszającego się ciała zamieniła się w energię potencjalną:

$$E_k = E_p$$

zatem

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = m \cdot g \cdot h$$

Z równania należy wyznaczyć wysokość h:

$$h = \frac{\cancel{m}v^2}{2\cancel{m} \cdot g} = \frac{v^2}{2g}$$

Odpowiedź: Ciało zostało wyrzucone na wysokość $h = \frac{v^2}{2 \cdot g}$.

Powtórzenie. Praca, moc, energia

- **Praca** jest wykonywana wtedy, gdy na ciało działa siła, a ciało porusza w kierunku innym niż prostopadły do kierunku działania siły.

praca = siła · droga	$W = F \cdot s$

- Jednostką pracy jest **dżul (1 J)**. Jeśli pod wpływem siły 1 N ciało przesunęło się zgodnie ze zwrotem działającej siły o 1 m, to została wykonana praca 1 J.
- **Moc** określa się jako iloraz pracy i czasu, w jakim praca ta została wykonana:

$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}}$	$P = \frac{W}{t}$

- Moc urządzenia informuje o tym, jaką pracę wykonuje urządzenie w jednostce czasu. Jednostką mocy jest **wat (1 W)**. Urządzenie ma moc 1 W, jeśli w czasie 1 s wykonuje pracę 1 J.
- Ciało, które ma **energię**, jest zdolne do wykonania pracy. $\Delta E = W$.
- Każde ciało uniesione na pewną wysokość ma **energię potencjalną grawitacji**, która jest tym większa, im wyżej ciało zostało umieszczone.
- **Przyrost energii potencjalnej grawitacji** (ciężkości) ciała o masie m podniesionego na wysokość h można obliczyć ze wzoru:

przyrost energii potencjalnej = masa ciała · przyspieszenie ziemskie · wysokość	$\Delta E_p = m \cdot g \cdot h$

- Odkształcone ciało, np. napięty łuk lub ściśnięta sprężyna, powracające do pierwotnej postaci, wykonuje pracę dzięki **energii potencjalnej sprężystości**.
- Każde poruszające się ciało ma **energię kinetyczną**. Im większa jest masa ciała i prędkość jego ruchu, tym większa jest energia kinetyczna ciała i tym większą pracę może to ciało wykonać. Energię kinetyczną można obliczyć ze wzoru:

$\text{energia kinetyczna} = \frac{\text{masa ciała} \cdot \text{prędkość}^2}{2}$	$E_k = \frac{mv^2}{2}$

- **Zasada zachowania energii mechanicznej**: W izolowanym układzie ciał przy braku oporów ruchu całkowita energia mechaniczna nie ulega zmianie: $\Delta E = 0$ J.

$$E = E_k + E_p = \text{constans}$$

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 2 i 4 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Opierając się o ścianę, wykonujemy pracę mechaniczną **A/ B/ C**, ponieważ **D/ E/ F**.

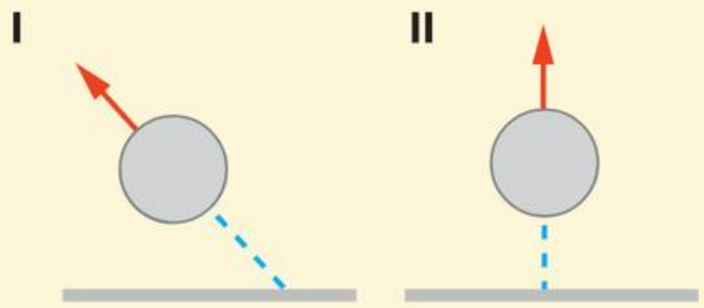
A. dodatnią
B. równą zero
C. ujemną
D. ściana się nie porusza
E. działamy na ścianę siłą prostopadłą do jej powierzchni
F. ściana działa na nas siłą o takiej samej wartości jak my na ścianę

2 Przesuwając wózek sklepowy na odległość 0,5 m, zadziałano siłą 6 N równolegle do przesunięcia. Wykonano przy tym pracę mechaniczną równą

A. 3 J. **B.** 12 J. **C.** 0,3 J. **D.** 300 J.

3 Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

Piłkę I kopnięto ukośnie, a piłkę II podrzucono pionowo do góry.



1.	Piłka I zwiększa swoją energię potencjalną grawitacji.	**P**	**F**
2.	Piłka II zwiększa swoją energię potencjalną grawitacji.	**P**	**F**
3.	Piłka I zwiększa swoją energię kinetyczną.	**P**	**F**
4.	Piłka II zmniejsza swoją energię kinetyczną.	**P**	**F**

4 Pewne urządzenie wykonuje pracę 120 J w ciągu 1 minuty. Oznacza to, że moc tego urządzenia wynosi

A. 120 W. **C.** 2 W.
B. 7200 W. **D.** 0,5 W.

5 Wybierz fałszywe dokończenie zdania. W tych samych jednostkach możemy wyrażać

A. moc i pracę.
B. energię kinetyczną i pracę.
C. energię kinetyczną i energię potencjalną.
D. energię kinetyczną, energię potencjalną i pracę.

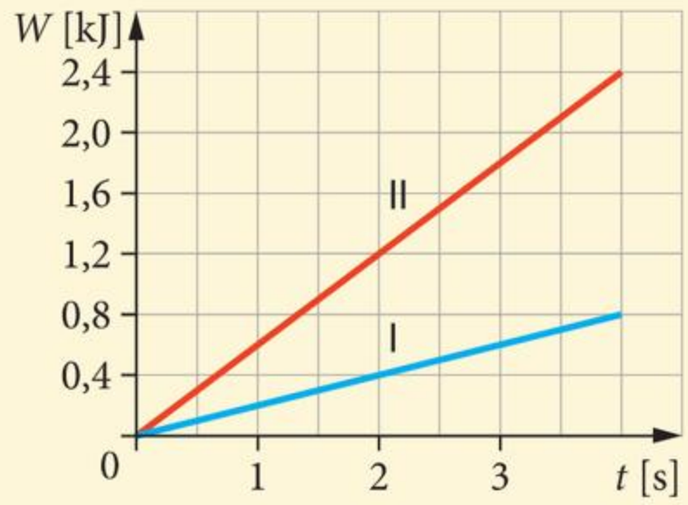
6 Skok na bungee to skok z dużej wysokości na elastycznej linie. W pierwszym etapie skoczek spada swobodnie, a lina nie jest napięta. W kolejnym etapie lina zaczyna się naprężać, a skoczek rozpędza się coraz wolniej. W ostatnim etapie lina rozciąga się maksymalnie, a prędkość skoczka maleje do zera kilka metrów nad ziemią.
Opisz, jakie przemiany energii mechanicznej zachodzą na każdym z opisanych etapów.



Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na wykresie przedstawiono zależność wykonanej pracy od czasu dla dwóch silników.



Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Silnik II pracuje z dwukrotnie większą mocą niż silnik I.	**P**	**F**
2.	Silnik II w ciągu 12 s wykonałby pracę 7,2 kJ.	**P**	**F**
3.	Silnik I pracuje z mocą 200 W.	**P**	**F**

Informacja do zadań 2–3
Aby przesunąć skrzynkę ruchem jednostajnym po linii prostej na odległość 2,5 m, trzeba wykonać pracę 500 J.

2 Jaka siła tarcia działa na skrzynię podczas przesuwania?

A. Siła równa zero, bo skrzynka porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
B. Nie da się tego ustalić, bo nie znamy masy skrzynki.
C. Można to ustalić – siła wynosi 1250 N.
D. Można to ustalić – siła wynosi 200 N.

Uwaga. W zadaniach 3 i 4 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

3 Praca wykonana przy przesuwaniu tej samej skrzynki na odległość 5 m ruchem jednostajnym po tej samej powierzchni będzie równa **A/ B/ C**, ponieważ **D/ E/ F**.

A. 1000 J
B. 500 J
C. więcej niż 500 J, ale mniej niż 1000 J
D. przesuwając skrzynkę na dwa razy większą odległość, musimy działać dwa razy większą siłą
E. gdy działamy stałą siłą, wykonana praca jest wprost proporcjonalna do przebytej drogi
F. gdy przesuwamy skrzynkę na dwa razy większą odległość, z czasem nieco słabniemy i nie działamy ciągle tą samą siłą

4 Energia kinetyczna strzały o masie 0,02 kg wystrzelonej z łuku wynosiła 16 J. Jej prędkość początkowa miała wartość

A. $40 \frac{m}{s}$.
B. $20 \frac{m}{s}$.
C. $160 \frac{m}{s}$.
D. $80 \frac{m}{s}$.

5 Doniczka z kwiatkiem o masie 0,8 kg stała na kwietniku na wysokości 1,5 m nad podłogą. Niezdarny Dyzio, podlewając kwiaty, potrącił doniczkę, która spadła na podłogę. Przyjmij, że $g = 10 \frac{m}{s^2}$.

a) Jeżeli doniczka spadała swobodnie, to o ile zmniejszyła się jej energia potencjalna grawitacji w czasie spadania na podłogę? O ile zwiększyła się wtedy energia kinetyczna doniczki?

b) O ile zmniejszyła się energia potencjalna doniczki do chwili, gdy ta była 0,7 m nad podłogą? Ile wynosiła wtedy energia kinetyczna doniczki?

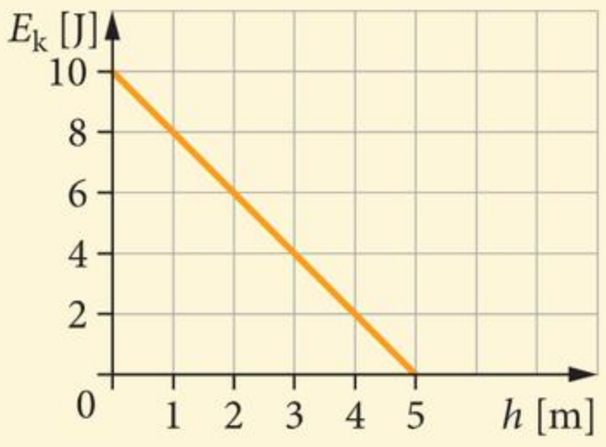
c) Sprawdź, wykonując odpowiednie obliczenia, jaka była prędkość spadającej doniczki na wysokości 0,7 m nad ziemią.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Silnik samochodu, aby utrzymać stałą prędkość 15 $\frac{m}{s}$, musi pracować z mocą 7,5 kW, a aby utrzymać stałą prędkość 30 $\frac{m}{s}$ – z mocą 45 kW.
Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.
Siła oporu działająca na samochód poruszający się z prędkością 15 $\frac{m}{s}$ wynosi **A/ B/ C**. Gdy samochód porusza się z prędkością 30 $\frac{m}{s}$, siła oporu – w porównaniu z siłą oporu działającą przy prędkości 15 $\frac{m}{s}$ – wzrasta około **D/ E/ F**.
A. 500 N **B.** 112,5 N **C.** 112,5 kN
D. dwukrotnie **E.** trzykrotnie
F. czterokrotnie

2 Piłkę wyrzucono pionowo do góry. Zależność energii kinetycznej od wysokości, na jaką wzniosła się piłka, przedstawiono na wykresie. Pomiń opory ruchu i przyjmij, że $g = 10 \frac{N}{kg}$.

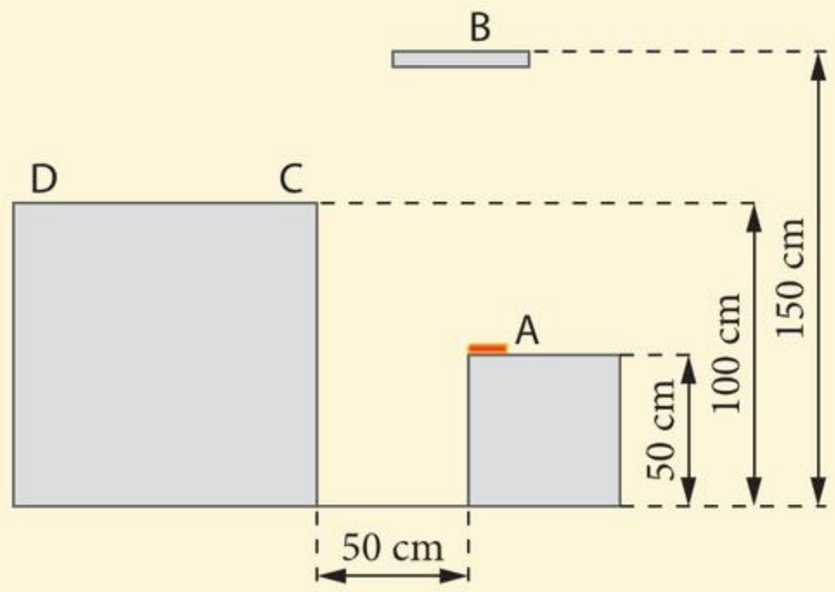


a) Na jaką maksymalną wysokość wzniosła się piłka? Ile wynosiła energia potencjalna piłki na tej wysokości?

b) Ile wynosi masa piłki?

c) Z jaką początkową prędkością wyrzucono piłkę do góry?

3 Jeżeli przeniesiesz książkę z biurka (punktu A) na półkę (punkt B), to jej energia potencjalna grawitacji zwiększy się o 5 J.
Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.



Po przeniesieniu książki z punktu A

1.	na podłogę – jej energia potencjalna grawitacji zmniejszy się o 2,5 J.	**P**	**F**
2.	na wysokość 1 m nad podłogę – jej energia potencjalna grawitacji zwiększy się o 2,5 J.	**P**	**F**
3.	do punktu C – jej energia potencjalna grawitacji zwiększy się o 5 J.	**P**	**F**
4.	do punktu D – jej energia potencjalna grawitacji zwiększy się o więcej niż 2,5 J.	**P**	**F**

Projekt

Statek parowy

Problem badawczy

Jak zbudować łódź napędzaną parą wodną?

Cele główne

Realizując projekt, możesz się dowiedzieć:

- więcej o silnikach parowych,
- jak samodzielnie zbudować łódkę zabawkę napędzaną parą wodną,
- jakie przemiany energii zachodzą w silniku parowym.

Zadania szczegółowe

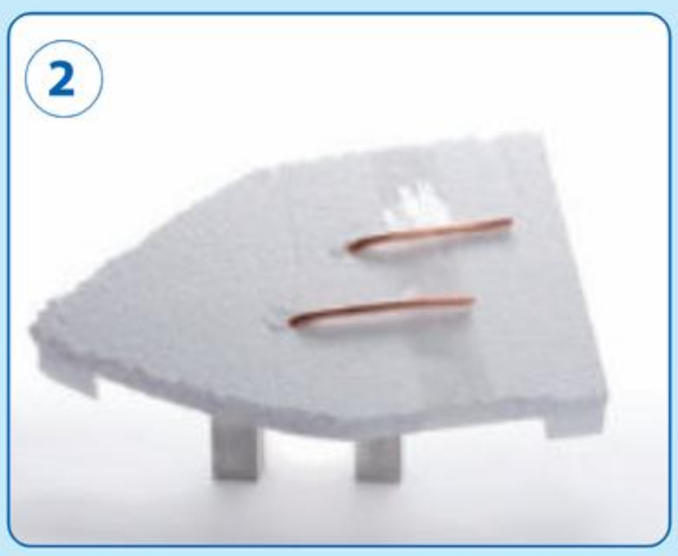
Zadanie 1. Budowa łódki z silnikiem parowym

1. Przygotuj: styropian, taśmę klejącą lub drut, świeczkę podgrzewacz, folię aluminiową, nóż, kij (np. od szczotki lub mopa) lub rurkę o średnicy 3–4 cm oraz miedzianą rurkę o długości ok. 80 cm i przekroju wewnętrznym 4–6 mm.
   Wskazówka. Do budowy łódki można wykorzystać miedziane rurki na przewody hamulcowe dostępne w sklepach motoryzacyjnych. Rurki tego typu mogą też być dostępne w sklepach z urządzeniami chłodniczymi.
2. Ze styropianu wytnij kadłub łódki.
3. Nawiń miedzianą rurkę na kij od szczotki lub rurę o średnicy 3–4 cm w taki sposób, aby powstały cztery zwoje, a obydwa pozostałe fragmenty miedzianej rurki były równej długości (patrz zdjęcie 1).
   Wskazówka. Miedzianą rurkę zaginaj ostrożnie, aby nie uległa spłaszczeniu!
4. Wykonaj w styropianie dwa otwory i przełóż przez nie proste końce miedzianej rurki (patrz zdjęcie 2).
5. Zagnij końce rurki pod kątem 90°, tak aby układały się pod kadłubem łódki, a spirala wystawała nad kadłub na ok. 4 cm (pod spiralą musi się zmieścić zapalona świeczka podgrzewacz, patrz zdjęcie 3).
6. Drutem lub taśmą klejącą przymocuj miedzianą rurkę do styropianowego kadłuba tak, aby konstrukcja była trwała i stabilna.

1



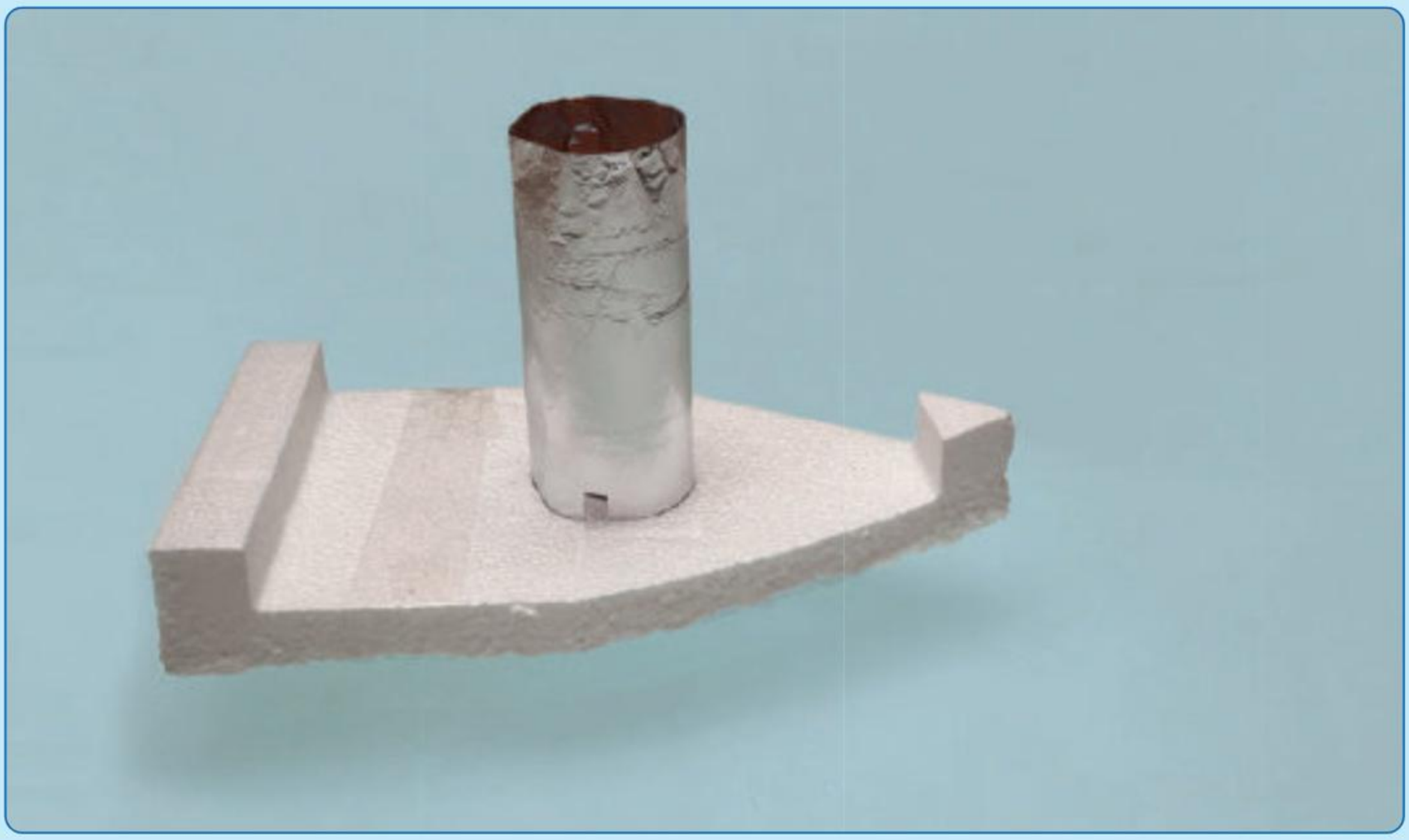
2



3



7. Napełnij miedzianą rurkę w całości wodą. Można to zrobić np. za pomocą strzykawki, trzymając łódź tak, aby końce miedzianej rurki cały czas były zanurzone w wodzie w wannie. Po napełnieniu rurki wodą nie wyciągaj łódki z wanny.
   Wskazówka. Jeśli rurka nie będzie w całości napełniona wodą, łódka może nie pływać.
8. Na kadłubie pod spiralą z miedzianej rurki umieść świeczkę podgrzewacz (zdjęcie 3).
9. Z folii aluminiowej i taśmy klejącej wykonaj komin o wysokości ok. 10 cm i średnicy obejmującej spiralę wraz ze świeczką.
10. Zapal świeczkę, nałóż komin i odczekaj kilka minut. Po około 5 minutach łódka powinna zacząć płynąć.
    Wskazówka. Jeśli łódka nie chce płynąć, to przyczyną może być: niedokładne napełnienie miedzianej rurki wodą, zagięcie rurki w taki sposób, że została spłaszczona, lub zatkanie jej, np. kawałkiem styropianu.



Zadanie 2. Poszukaj odpowiedzi

1. Spróbuj wyjaśnić zasadę działania silnika łódki. Poszukaj dodatkowych informacji w internecie pod hasłem „pop-pop boat".
2. Dzięki jakim przemianom energii łódka płynie?
3. Taka konstrukcja silnika jest niezwykle prosta i tania. Dlaczego zatem tego typu silniki nie znalazły zastosowania w praktyce?

Bibliografia

Przydatne adresy stron, na których znajdziesz opisy wykonania podobnych łódek:
http://www.nmia.com/~vrbass/pop-pop/buildpop.htm
https://en.wikipedia.org/wiki/Pop_pop_boat

VII

Termodynamika

Z tego rozdziału dowiesz się:

- czym jest energia wewnętrzna ciała,
- jaki jest związek energii wewnętrznej z temperaturą,
- jakie są skale temperatur,
- jak przeliczać temperaturę,
- co wpływa na zmianę energii wewnętrznej,
- jakie są sposoby przepływu ciepła,
- jaka jest rola izolacji cieplnej,
- czym jest ciepło właściwe i jak je wyznaczyć,
- jak opisać ruch gazów i cieczy w zjawisku konwekcji,
- więcej o zjawiskach: topnienia, krzepnięcia, wrzenia, skraplania, sublimacji i resublimacji.



33 Energia wewnętrzna i temperatura

Cel lekcji: Dowiesz się, czym są i od czego zależą energia wewnętrzna i temperatura oraz jakie są skale temperatur i jak przeliczać temperatury.

Kiedy obserwujemy rozgrzewanie ciał

W życiu codziennym często możesz zaobserwować, że podczas wykonywania różnych czynności przedmioty się rozgrzewają. Aby się o tym przekonać, wykonaj następujące doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 51

1. Przygotuj młotek i małą, stalową nakrętkę.
2. Połóż nakrętkę na twardym podłożu i uderz w nią mocno kilkanaście razy młotkiem.

Wskazówka. Wybierz takie podłoże, którego nie uszkodzisz uderzeniami młotka. Kafelki mogą popękać w wyniku uderzeń, a drewniana podłoga może zostać trwale wgnieciona! W razie potrzeby podłóż pod nakrętkę deskę.



3. Dotknij nakrętki. Co odczuwasz?
4. Potrzyj mocno jedną dłonią o drugą. Co czujesz?



W obu przypadkach odczuwasz rozgrzanie się różnych ciał.

Być może na podstawie własnego doświadczenia potrafisz wymienić różne sytuacje, w których ciała się rozgrzewają, na przykład rozgrzewanie się drewna przy szlifowaniu papierem ściernym, metalu podczas piłowania. W niektórych przypadkach efekt cieplny możesz zaobserwować w postaci iskier, np. podczas pracy szlifierki. Jeżeli natomiast spróbujesz stępionym już wiertłem wiercić w kawałku drewna, możesz zaobserwować dym wydobywający się z otworu. Oznacza to, że drewno się spala. We wszystkich tych przypadkach wzrasta temperatura ciał.



Iskry to drobne fragmenty metalu lub innego materiału rozgrzane tak bardzo, że świecą.

Energia wewnętrzna a temperatura

Aby dokładniej poznać zjawisko rozgrzewania się ciał i zrozumieć, czym jest energia wewnętrzna ciała, wykonaj i przeanalizuj następujące doświadczenie modelowe.

DOŚWIADCZENIE 52

1. Przygotuj: kilka niewielkich kulek (np. ziela angielskiego), opakowanie po tabletkach (tzw. blister), taśmę klejącą, piłeczkę pingpongową oraz metalową kulkę.
2. Przyklej blister do stołu taśmą klejącą.
3. Włóż po jednej kuleczce ziela angielskiego do każdego zagłębienia blistra.
4. Pstryknij lekko w blister.
5. Następnie pchnij po stole piłeczkę pingpongową tak, aby uderzyła w blister.
6. Powtórz punkt 5. doświadczenia z metalową kulką zamiast piłeczki. Co zauważasz?

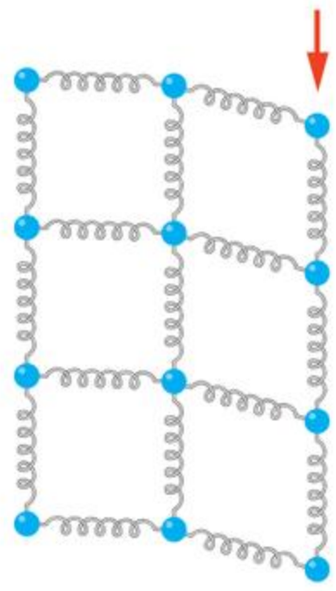


Uderzenie kulki w blister wprawia kulki ziela angielskiego w drgania.

Podczas lekkiego pstryknięcia w blister kulki ziela angielskiego lekko drgają w zagłębieniach. Gdy piłeczka pingpongowa uderza w opakowanie, drgania są silniejsze. Kiedy w konstrukcję uderza metalowa kulka, drgania są najsilniejsze.

Drgające kulki ziela angielskiego są modelem cząsteczek ciała stałego, dlatego mówimy, że jest to doświadczenie modelowe. Jak pamiętasz z początkowych lekcji fizyki, cząsteczki ciała stałego drgają, a więc mają energię kinetyczną. Po uderzeniu piłeczki ziarenka ziela drgają intensywniej, najmocniej zaś po uderzeniu metalowej kulki. Oznacza to, że metalowa kulka przekazała największą porcję energii. Tak właśnie dzieje się z cząsteczkami stalowej nakrętki podczas uderzania o nią młotkiem (doświadczenie 51). Młotek przekazuje swoją energię cząsteczkom nakrętki, zwiększając tym samym ich drgania. A co dzieje się przy pocieraniu dwóch ciał (np. dłoni) o siebie? Tarcie, jak pamiętasz, jest spowodowane zaczepianiem o siebie nierówności na obu powierzchniach stykających się ciał. Zatem podczas przesuwania jednego ciała po drugim, na całej powierzchni styku cząsteczki obu ciał uderzają o siebie, w wyniku czego zwiększają się ich drgania.

W obu przypadkach **wzrasta energia wewnętrzna** ciała.



Drgania atomów i cząsteczek w ciele stałym rozchodzą się podobnie jak drgania kulek połączonych sprężynkami.

Praca wykonana przy uderzaniu młotkiem lub pocieraniu dłoni

↓

Wzrost temperatury ciała, wzrost energii wewnętrznej

Energia wewnętrzna ciała jest sumą energii kinetycznych wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, i energii potencjalnych związanych z wzajemnym oddziaływaniem tych cząsteczek.

Intensywniejsze drgania cząsteczek oznaczają, że wzrosła ich energia kinetyczna, a więc i energia wewnętrzna ciała. Im szybciej poruszają się cząsteczki (im większa jest ich energia kinetyczna), tym wyższa jest temperatura ciała.

Temperatura ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których zbudowane jest ciało.

Gdyby w modelowym doświadczeniu 52 opakowanie po tabletkach miało więcej wgłębień, to więcej kulek ziela angielskiego (cząsteczek) mogłoby wziąć udział w eksperymencie. Zakładając, że średnia energia cząsteczek byłaby taka sama jak w przypadku mniejszego opakowania, suma energii większej liczby kulek ziela (energia ciała o większej liczbie cząsteczek) byłaby większa.

Energia wewnętrzna ciała danego rodzaju i o danej temperaturze, jest **tym większa, z im większej liczby cząsteczek ciało się składa**.

W cieczach i gazach wzrost energii kinetycznej oznacza wzrost prędkości, z jaką poruszają się cząsteczki, a w ciałach stałych zwiększa się intensywność ich drgań.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Woda w jeziorze ma większą energię wewnętrzną niż woda w szklance. Może się zdarzyć tak, że woda w szklance będzie mieć wyższą temperaturę niż woda w jeziorze (cząsteczki wody w szklance będą miały większą średnią energię kinetyczną niż cząsteczki wody w jeziorze), ale mimo to suma energii wszystkich cząsteczek wody w jeziorze będzie znacznie większa niż suma energii wszystkich cząsteczek wody w szklance.



Temperatury na Ziemi i we Wszechświecie



–273,15°C

Zero bezwzględne – najniższa możliwa (teoretycznie) temperatura



–273,149 997 5°C

Najniższa osiągnięta w **laboratorium** temperatura (uzyskana dla atomów cezu)



–268,93°C

Skroplony hel



36,6°C

Temperatura ciała zdrowego człowieka



–89,2°C

Antarktyda
Najniższa zanotowana temperatura powietrza na Ziemi



–192°C

Skroplone powietrze



57,8°C

Libia (Sahara)
Najwyższa zanotowana temperatura powietrza na Ziemi



1100°C

Lawa wulkaniczna



2400°C

Komora silnika wysokoprężnego



10 000 000 000°C

Wybuch supernowej

10 000 000°C

Wnętrze Słońca



30 000°C

Piorun
Temperatura powietrza w błyskawicy

Skale temperatur

Wiesz już, że temperatura jest wielkością fizyczną związaną z szybkością ruchu lub drgań cząsteczek ciała. Im wyższą temperaturę ma ciało, tym szybszy jest chaotyczny ruch cząsteczek, z których to ciało jest zbudowane.
Podstawową jednostką temperatury (w tzw. skali bezwzględnej) w układzie SI jest **kelwin (1 K)**. W Polsce na co dzień używa się innej skali temperatur – **skali Celsjusza**.

Różnica temperatur równa 1 K (w skali Kelvina) jest równa różnicy temperatur 1°C (w skali Celsjusza). ΔT [K] = ΔT [°C].

Przyrost temperatury ΔT liczony w kelwinach i w stopniach Celsjusza ma taką samą wartość. W skali Celsjusza za zero stopni przyjęto temperaturę zamarzania wody (pod ciśnieniem 1013,25 hPa), co odpowiada 273 K (patrz rysunek na str. 231).

W skali Kelvina za 0 K przyjęto najniższą możliwą teoretycznie temperaturę – **temperaturę zera bezwzględnego**, przy której ustałby wszelki ruch cząsteczek.

Twórcy trzech skal temperatur

William Thomson (czyt. łiliam tomson, 1824–1907) był angielskim fizykiem i matematykiem, który za osiągnięcia naukowe, m.in. w dziedzinie termodynamiki i elektryczności, otrzymał tytuł **lorda Kelvina**. Wprowadził bezwzględną skalę temperatur, zwaną skalą Kelvina.





W niektórych krajach stosuje się tzw. skalę Fahrenheita, zaproponowaną w 1724 roku przez **Daniela Gabriela Fahrenheita** (czyt. daniela gabriela farenhajta, 1686–1736), holenderskiego fizyka i inżyniera pochodzącego z Gdańska. Aby przeliczyć stopnie ze skali Celsjusza na stopnie Fahrenheita, należy posłużyć się wzorem:

$$T_{\text{Fahrenheita}} = 32 + \frac{9}{5} \cdot T_{\text{Celsjusza}}$$

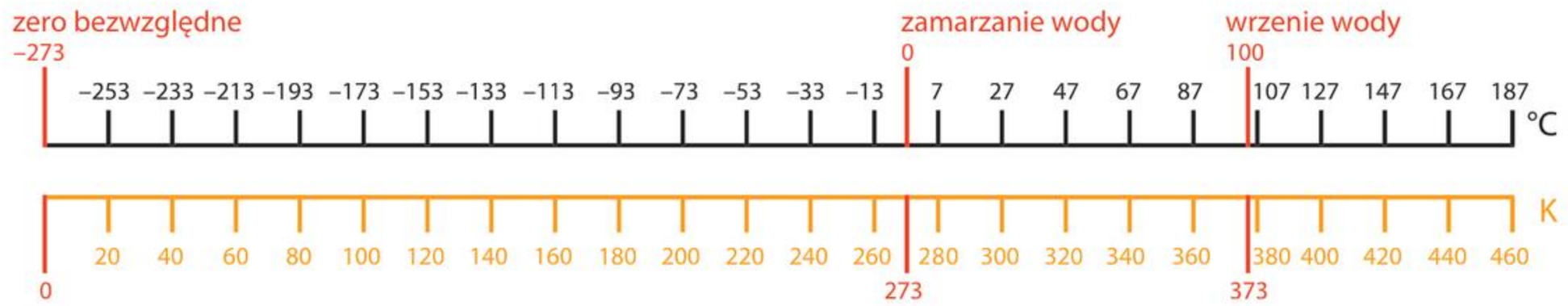
Anders Celsjusz (1701–1744) był szwedzkim geodetą, fizykiem i astronomem, profesorem i dyrektorem Obserwatorium Astronomicznego w Uppsali. Prowadząc swoje badania, zaproponował skalę temperatur opartą na punktach wrzenia wody (100°C) i zamarzania wody (0°C).



Przeliczanie stopni Celsjusza na kelwiny

Aby przeliczyć stopnie Celsjusza na kelwiny, należy do liczby stopni Celsjusza dodać 273 (a dokładnie 273,15). Otrzymany wynik jest liczbą kelwinów, np.:

$$-10°C = (-10 + 273)\ K = 263\ K, \quad 10°C = (10 + 273)\ K = 283\ K$$



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Energia wewnętrzna** ciała to suma energii kinetycznej wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, oraz energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania między cząsteczkami.
- **Temperatura** to wielkość charakteryzująca stan danego ciała, jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała.
- Jednostką temperatury w układzie SI jest **kelwin** (1 K).
- **Temperatura 0 K** jest najniższą teoretycznie możliwą temperaturą we Wszechświecie i nosi nazwę **zera bezwzględnego**.
- Różnica temperatur równa 1 K (w skali Kelvina) jest równa różnicy temperatur 1°C (w skali Celsjusza). ΔT [K] = ΔT [°C].

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wyjaśnij związek między energią kinetyczną cząsteczek i temperaturą ciała.

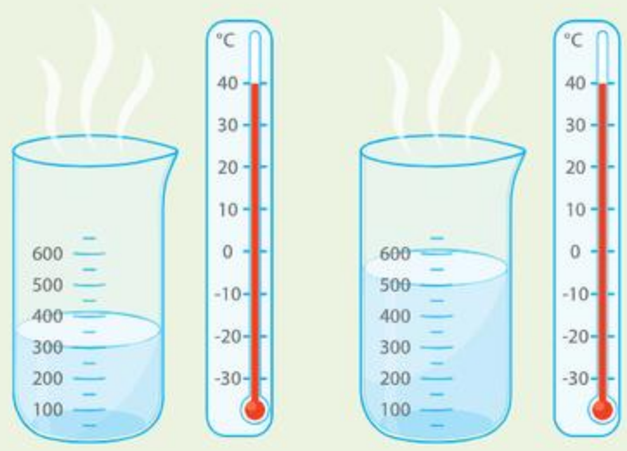
2 W dwóch zlewkach znajduje się różna ilość wody o tej samej temperaturze. Wskaż poprawne dokończenia zdań.

Energia wewnętrzna wody jest **A/ B/ C**. Średnia energia kinetyczna cząsteczki wody jest **A/ B/ C**.

A. w obu zlewkach taka sama

B. większa w zlewce z większą ilością wody

C. większa w zlewce z mniejszą ilością wody



3 Podaj temperaturę w stopniach Celsjusza (a, b) lub w kelwinach (c, d):

a) 350 K, **b)** 100 K, **c)** 250°C, **d)** –70°C.

Obliczenia zapisz w zeszycie.

4 Dopasuj wartości temperatury z ramki do poszczególnych miejsc i obiektów.

Uwaga. Nie wszystkie wartości można dopasować!



wnętrze piekarnika



wrzątek



lody



człowiek



drut w żarówce



Arktyka

2500 K • 200 K • 37°C • 200°C • 270 K • 100°C • 10 000°C

5 Porównaj wielkości przypisane poszczególnym obiektom, wstawiając znak: <, > lub = w miejsce znaku zapytania ? .

Uwaga. Porównaj temperatury i masy przedstawionych ciał.



iskra (stalowy opiłek)
o temperaturze 1000°C



rozżarzona bryła stali
o temperaturze 1000 °C



stalowy klucz
o temperaturze 25°C

Całkowita energia wewnętrzna: **A** ? **B**, **B** ? **C**, **C** ? **A**.

Średnia energia kinetyczna atomu żelaza: **A** ? **B**, **B** ? **C**.

34 Zmiana energii wewnętrznej w wyniku pracy i przepływu ciepła

Cel lekcji: Dowiesz się, jak można zmienić energię wewnętrzną ciała. Poznasz pierwszą zasadę termodynamiki.

Zmiana energii wewnętrznej w wyniku pracy

Z poprzedniej lekcji wiesz, że wskutek różnych czynności może się zwiększyć temperatura ciała, a więc i jego energia wewnętrzna. W doświadczeniu 51 można było zaobserwować wzrost temperatury nakrętki i dłoni. Wykonaj jeszcze jedno doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 53

1. Przygotuj pompkę do piłki i piłkę (lub pompkę do roweru i rower).
2. Napompuj piłkę (dętkę w rowerze) jak najszybciej.
3. Dotknij wylotu pompki. Co odczuwasz?



Pompka rozgrzała się w pobliżu wylotu powietrza.

Jak wytłumaczyć wynik doświadczenia? Mechanizm przekazywania energii w doświadczeniu można wyjaśnić na przykładzie gry w tenisa. Prędkość piłki odbijającej się od ściany (przy doskonałej sprężystości zarówno piłki, jak i ściany), miałaby tę samą wartość przed odbiciem i po odbiciu. Jeśli piłka zostałaby uderzona rakietą poruszającą się w stronę piłki, to piłka po odbiciu miałaby prędkość większą niż przed odbiciem. Podobnie dzieje się w pompce – cząsteczki powietrza uderzają w poruszający się w ich stronę tłok i w chwili odbicia zwiększa się ich prędkość, a więc ich energia kinetyczna i temperatura, a rozgrzane powietrze powoduje rozgrzanie pompki.
Zarówno w doświadczeniu 51 przy uderzaniu młotkiem lub pocieraniu dłoni, jak i w doświadczeniu 53 przy przesuwaniu tłoka pompki została wykonana praca, a efektem był wzrost energii wewnętrznej ciała.
Wcześniejsze uwagi o wzroście energii mechanicznej układu równym wykonanej na nim pracy (przy braku oporów ruchu) możemy teraz uogólnić:

> Energię ciała można **zwiększyć**, wykonując nad nim **pracę**.

Praca wykonana nad układem może nie tylko zwiększyć jego energię mechaniczną, ale też spowodować wzrost energii wewnętrznej. Łączny przyrost energii będzie

zawsze równy wykonanej pracy. Zatem wykonanie pracy nad ciałem może prowadzić do wzrostu energii w różnych formach. Na przykład podniesienie ciała na pewną wysokość spowoduje wzrost jego energii potencjalnej ciężkości, podczas gdy energia wewnętrzna się nie zmieni (przy pominięciu oporów ruchu). Natomiast pocieranie o siebie dwóch kawałków drewna spowoduje wzrost ich energii wewnętrznej, ale nie wpłynie na ich energię potencjalną ciężkości.
Zamianą energii mechanicznej na energię wewnętrzną można również wyjaśnić, dlaczego np. piłka po odbiciu się od podłogi nie wzbija się na początkową wysokość. Początkowa energia potencjalna piłki w trakcie spadania zostaje zamieniona częściowo na energię kinetyczną, a częściowo, w wyniku tarcia, na energię wewnętrzną piłki i powietrza. Również w chwili odbicia energia kinetyczna piłki w części zostaje zamieniona na energię wewnętrzną piłki i podłoża. I ponownie, przy wznoszeniu się piłki tylko część energii kinetycznej zamienia się na energię potencjalną. Pozostała część przekształca się w energię wewnętrzną piłki i powietrza.

R

Praca kosztem energii wewnętrznej

Jak już wiesz, zwiększenie energii wewnętrznej ciała jest możliwe w wyniku wykonania nad tym ciałem pracy. Jest też możliwy proces odwrotny, czyli **wykonanie pracy przez ciało dzięki jego własnej energii wewnętrznej**. Taki proces może zajść w gazie znajdującym się w naczyniu zamkniętym z jednej strony tłokiem.
Jeśli gaz w takim naczyniu zostanie ogrzany, wzrośnie energia kinetyczna jego cząsteczek. Oznacza to, że cząsteczki będą poruszać się z większą prędkością, a zatem częściej i z większą prędkością będą uderzać w ścianki naczynia i tłok. Wzrośnie wtedy ciśnienie w naczyniu. Jeśli ciśnienie na zewnątrz naczynia będzie mniejsze, tłok będzie przesuwany (wypychany), czyli zostanie wykonana praca. Podczas wypychania tłoka obniży się temperatura – cząsteczki po odbiciu od cofającego się tłoka będą poruszać się wolniej niż przed odbiciem (podobnie zmniejsza się prędkość piłki po odbiciu od cofającej się rakiety tenisowej). Zmniejszy się zatem energia wewnętrzna, której kosztem została wykonana praca mechaniczna.
Zdolność do wykonania pracy przez gaz dzięki własnej energii wewnętrznej zastosowano w silnikach cieplnych, np. silnikach spalinowych.



Pracę wykonywaną przez rozprężający się gaz zamknięty w cylindrze wykorzystuje się do poruszania tłoka i napędzania elementu obrotowego w silnikach spalinowych.

Przekazywanie ciepła a zmiana energii

Jak powiedzieliśmy wcześniej, dzięki pracy może nastąpić zmiana jednej formy energii w inną. Jest jednak wiele zjawisk, w których zmiana formy energii zachodzi bez wykonywania pracy. Dzieje się tak np. wtedy, gdy podgrzewasz posiłek. O tym, że wzrost energii wewnętrznej może nastąpić bez wykonania pracy, możesz się przekonać, wykonując doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 54

1. Przygotuj kuchenkę i garnek z długim metalowym uchwytem (ewentualnie zwykły garnek i metalową łyżkę).
2. Do garnka wlej wodę, ustaw go na kuchence i zacznij podgrzewać.
3. Trzymaj koniec metalowego uchwytu garnka. Jeśli używasz zwykłego garnka i łyżki, włóż łyżkę do wody i przytrzymuj ją tak, aby jeden koniec był zanurzony w wodzie, a drugi koniec wystawał w bok poza krawędź garnka.
4. Wyłącz kuchenkę.



Po chwili uchwyt garnka staje się ciepły.

Wykonując doświadczenie, odczuwasz, że temperatura uchwytu garnka wzrasta, mimo że nie jest wykonywana żadna praca.

Wzrost energii wewnętrznej następuje wskutek **przekazywania energii w postaci ciepła** od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.

Jeśli dwa ciała mają taką samą temperaturę, przepływ ciepła nie zachodzi – mówimy w takiej sytuacji o **równowadze termicznej**.
W języku fizyki termin „ciepło" związany jest z procesem przekazywania energii wewnętrznej bez wykonywania pracy. Zatem:

Ciepło to ilość energii wewnętrznej przekazanej między ciałami o różnych temperaturach bez wykonywania pracy. Ciepło oznacza się literą *Q*.

Pierwsza zasada termodynamiki

Wiesz już, że energia wewnętrzna ciała może wzrosnąć, jeżeli nad ciałem jest wykonywana praca lub gdy ciału zostało przekazane ciepło.

Ciała mogą również przekazywać ciepło do otoczenia, w wyniku czego zmniejsza się ich energia wewnętrzna. Gazy mogą także dzięki własnej energii wewnętrznej wykonać pracę.

Na podstawie powyższej analizy można sformułować **pierwszą zasadę termodynamiki** (patrz str. 236).



Ciepło przepływa miedzy ciałami do czasu wyrównania temperatur obu ciał.

Jeżeli praca wykonana nad ciałem prowadzi w całości do przyrostu energii wewnętrznej, to całkowity przyrost energii wewnętrznej ciała jest równy sumie pracy wykonanej nad ciałem i pobranego ciepła.

Treść **pierwszej zasady termodynamiki** możemy zapisać za pomocą wzoru:

zmiana energii wewnętrznej = praca wykonana nad ciałem + ilość ciepła pobranego przez ciało	$\Delta E_w = W + Q$

Jednostką ciepła, podobnie jak pracy, jest **dżul** (1 J).

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Energię wewnętrzną** ciała można **zwiększyć**, **wykonując** nad nim **pracę**.
- Gazy mogą wykonywać pracę dzięki swojej energii wewnętrznej.
- **Ciepło** to forma przekazywania energii wewnętrznej bez wykonywania pracy.
- **Przepływ ciepła** następuje od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.
- **Pierwsza zasada termodynamiki:** Zmiana energii wewnętrznej ciała jest równa sumie pracy wykonanej nad ciałem i ciepła dostarczonego temu ciału:
$\Delta E_w = W + Q$

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do każdej sytuacji przedstawionej na ilustracji dopasuj odpowiedni opis procesu, który zachodzi.

I. Wzrost energii wewnętrznej ciała w wyniku wykonania pracy mechanicznej.

II. Wzrost energii wewnętrznej ciała w wyniku dostarczenia ciepła.

III. Zmniejszenie energii wewnętrznej w wyniku odpływu ciepła.

2 Adam piłował deskę, w wyniku czego piła się rozgrzała. O ile wzrosła energia wewnętrzna piły, jeżeli Adam wykonał pracę 400 J, ale 20% wytworzonej energii zostało rozproszone do powietrza, a 55% stanowi praca zużyta na rozcinanie deski i przyrost energii wewnętrznej drewna.

3 Czy wzrost energii wewnętrznej podczas obróbki metalu (np. cięcia lub wiercenia w nim otworów) jest korzystny czy nie? Jeśli nie, to jak można przeciwdziałać temu wzrostowi? Odpowiedź uzasadnij.

4 W której sytuacji bardziej zwiększy się energia wewnętrzna piłki i podłoża: gdy piłka spadnie z wysokości 1 m na betonowy chodnik czy gdy spadnie z tej samej wysokości na piasek? Uzasadnij odpowiedź.

5 Piłka do koszykówki o masie 0,6 kg uderzyła w ziemię z prędkością $10\ \frac{m}{s}$ i odbiła się z prędkością $8\ \frac{m}{s}$. O ile wzrosła energia wewnętrzna piłki i otoczenia podczas odbicia?

6 W silnikach cieplnych (np. w silniku parowym lub spalinowym) wykorzystuje się zdolność gazu do wykonania pracy. Wykonaj doświadczenie ilustrujące wykonywanie pracy przez rozprężający się gaz.

DOŚWIADCZENIE 55

1. Przygotuj: strzykawkę, plastelinę, taśmę klejącą, kubek lub szklankę i niewielki przedmiot o masie kilkudziesięciu gramów, np. stalową nakrętkę.
2. Przesuń tłoczek strzykawki, tak aby znajdował się mniej więcej w połowie jej długości.
3. Zaklej dziobek strzykawki plasteliną. Na tłoczku połóż niewielki przedmiot i przyklej go taśmą.
4. Do szklanki wlej gorącą wodę. Zapamiętaj położenie tłoczka i ostrożnie, aby się nie poparzyć, włóż strzykawkę do gorącej wody. Tłoczek powinien nieznacznie przesunąć się do góry. Podnosząc ciężarek, tłoczek wykonał pracę, gdyż zwiększyła się energia potencjalna nakrętki.
5. Oblicz w zeszycie, o ile wzrosła energia potencjalna ciężkości nakrętki. Czy praca rozprężającego się gazu została w całości wykorzystana do zwiększenia energii potencjalnej ciężarka? Odpowiedź uzasadnij.



35 Sposoby przekazywania ciepła

Cel lekcji: Dowiesz się, w jaki sposób ciepło może być przekazywane miedzy ciałami. Poznasz przewodniki i izolatory ciepła oraz zrozumiesz rolę izolacji cieplnej.

Przewodnictwo cieplne

Z własnego doświadczenia wiesz, że metalowa rurka wydaje się w dotyku zimniejsza niż drewniany drążek, nawet gdy obydwa przedmioty znajdują się w tym samym pomieszczeniu od długiego czasu, a więc mają jednakową temperaturę. Zjawiskiem, które za to odpowiada, jest **przewodnictwo cieplne**. Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 56

1. Przygotuj: trzy kubki – metalowy, styropianowy i plastikowy, szklankę, 2–3 litrowy garnek oraz dwie łyżki – metalową i drewnianą.
2. Zagotuj wodę w czajniku i odstaw go na kilka minut, aby woda nieco przestygła.
3. Nalej gorącej (ale nie wrzącej) wody do każdego z kubków oraz do szklanki i dotknij ścianek każdego z nich. Zachowaj ostrożność, aby się nie poparzyć.
4. Do garnka nalej wrzątku i włóż do niego metalową i drewnianą łyżkę.
5. Przytrzymaj przez chwilę obie łyżki w taki sposób, aby dłonie były w podobnej odległości od powierzchni wody.





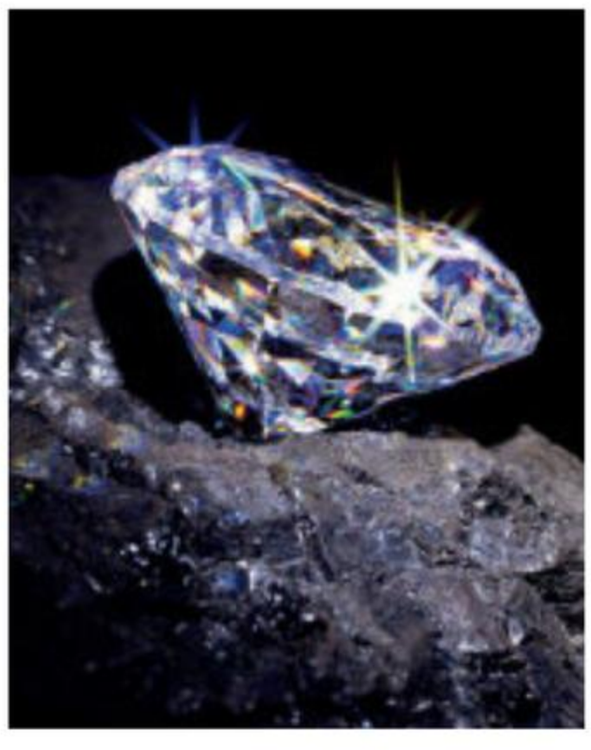
W doświadczeniu możemy zauważyć, że metalowy kubek jest gorący, szklanka jest bardzo ciepła, plastikowy kubek – ciepły, natomiast styropianowy, mimo że ciepły, można trzymać w dłoni. W przypadku łyżki metalowej wzrost temperatury jest odczuwalny niemal natychmiast, a wzrost temperatury łyżki drewnianej jest znikomy.

Przewodniki i izolatory ciepła

Szybkość, z jaką zmienia się temperatura ciała, zależy od właściwości danej substancji. Możemy powiedzieć, że metale są bardzo dobrymi **przewodnikami ciepła**, a drewno lub styropian są dobrymi **izolatorami ciepła**.
Przekazywanie ciepła w zjawisku przewodnictwa cieplnego następuje na skutek różnicy temperatur między ciałami. Cząsteczki substancji, z której zbudowane jest ciało o wyższej temperaturze, mają większą średnią energię kinetyczną niż czą-

steczki substancji, z której zbudowane jest ciało o temperaturze niższej. Cząsteczki ciała o temperaturze wyższej (mające większą energię kinetyczną) przekazują część tej energii cząsteczkom ciała o temperaturze niższej. Przekazywanie energii może następować w wyniku zderzeń cząsteczek (ciecze i gazy) oraz przez zwiększenie intensywności drgań sąsiadujących ze sobą cząsteczek (ciała stałe).

Przewodnictwo cieplne zachodzi przy bezpośrednim kontakcie ciał o różnych temperaturach.



Diament jest bardzo dobrym przewodnikiem ciepła.

Z życia codziennego znasz wiele substancji, które są dobrymi izolatorami ciepła, np.: guma, tworzywa sztuczne, drewno, powietrze. Do przewodników ciepła należą wszystkie metale, ale świetnym przewodnikiem ciepła jest także diament.
Teraz można wytłumaczyć, dlaczego przy dotykaniu metalowych przedmiotów w zimowy dzień wrażenie zimna jest większe niż przy dotykaniu przedmiotów z drewna lub plastiku. Metale, jako dobre przewodniki ciepła, szybko odprowadzają ciepło z naszego ciała, w drewnie lub plastiku ten proces zachodzi znacznie wolniej.

Konwekcja

Wewnątrz cieczy lub gazu przepływ ciepła zachodzi między innymi dzięki zjawisku **konwekcji**, które możesz zaobserwować, wykonując proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 57

Wskazówka. Palnik spirytusowy i kubek ze szkła żaroodpornego przydadzą się w różnych doświadczeniach. W wielu wypadkach można je zastąpić małym garnkiem i kuchenką, ale użycie palnika spirytusowego i żaroodpornego kubka pozwoli lepiej obserwować zjawiska. W sprzedaży są przezroczyste kubki wytrzymałe na temperatury od –50°C do 150°C, a nawet 500°C.

1. Przygotuj: przezroczyste naczynie żaroodporne lub żaroodporny kubek, wodę, odrobinę barwnego soku (np. z buraków) i palnik spirytusowy lub kuchenkę.
2. Ustaw naczynie z wodą nad palnikiem albo na włączonej kuchence.
3. Co około minutę dodawaj po kilka kropel soku z buraków. Obserwuj, w jaki sposób sok miesza się z wodą wraz ze wzrostem temperatury.

W miarę wzrostu temperatury obserwujemy coraz gwałtowniejsze ruchy wody.

Konwekcja polega na przemieszczaniu się ogrzanej cieczy (lub gazu) do góry, podczas gdy chłodniejsza ciecz (gaz) zajmuje miejsce ogrzanej.

Dzieje się tak dlatego, że gęstość cieplejszej cieczy lub gazu jest mniejsza niż gęstość chłodniejszej cieczy lub gazu. Zjawisko to łatwo zauważysz, stojąc na krześle w ogrzewanym pomieszczeniu (np. w kuchni, w której piecze się ciasto) i unosząc w górę ręce. Wyraźnie poczujesz różnicę temperatur między powietrzem pod sufitem a powietrzem przy podłodze i na wysokości kuchennego blatu.
O unoszeniu się ciepłego powietrza przekonasz się także, wykonując doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 58



1. Przygotuj: kawałek sztywnego papieru, szpilkę, taśmę klejącą, mały magnes, patyczek (np. ołówek) i świeczkę lub palnik spirytusowy.
2. Przyklej taśmą magnes do patyczka.
3. Z papieru zrób wiatraczek i przytknij szpilkę do magnesu.

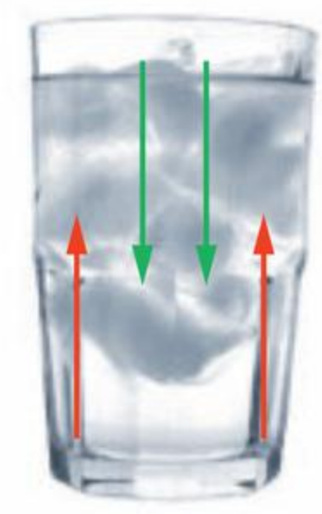


4. Zapal świeczkę i przytrzymaj wiatraczek nad płomieniem jak na zdjęciu. Co obserwujesz?



Zjawisko konwekcji można zaobserwować podczas podgrzewania wody. Woda jest złym przewodnikiem ciepła, zatem jej ogrzanie w całej objętości zachodzi dzięki zjawisku konwekcji. Gdy podgrzewasz wodę w naczyniu, rozgrzana ciecz unosi się (czerwone strzałki na ilustracji), a jej miejsce zajmuje chłodna woda (zielone strzałki). Kolejnym przykładem konwekcji jest ruch wody po wrzuceniu kostek lodu w celu oziębienia napoju. Ochłodzona ciecz opada, a w pobliże kostek lodu dostaje się ciecz cieplejsza.





Zjawisko konwekcji zachodzi zarówno przy podgrzewaniu, jak i przy schładzaniu wody.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Powietrze, jak i inne gazy, jest bardzo dobrym izolatorem ciepła i można tę jego cechę wykorzystać. Należy tylko ograniczyć możliwość jego konwekcji. Tak właśnie jest w przypadku ubrań lub materiałów izolacyjnych takich jak wełna mineralna. Powszechnym materiałem izolacyjnym jest też styropian. Jest on zbudowany z niewielkich oddzielnych pęcherzyków zawierających gaz, który jest izolatorem ciepła. Ponieważ gaz ten nie może swobodnie przemieszczać się między pęcherzykami, zjawisko konwekcji w objętości styropianu nie występuje.



W ubraniach powietrze jest uwięzione między włóknami tkaniny i to głównie ono zapobiega oddawaniu przez organizm ciepła do otoczenia.

Promieniowanie

Aby zbadać trzeci sposób przekazywania ciepła, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 59

1. Przygotuj palnik spirytusowy lub kuchenkę i płaski nieprzezroczysty przedmiot, np. tekturkę.
2. Zbliż dłoń z boku do płomienia. Co odczuwasz?
3. Między dłonią a płomieniem umieść nieprzezroczysty przedmiot (uważaj, aby nie włożyć go do płomienia). Co się zmieniło?



Odczuwasz ciepło, które nie jest ani efektem przewodnictwa, ani konwekcji. Ten sposób przekazywania energii nosi nazwę **promieniowania**. Nieprzezroczysty przedmiot stanowi przeszkodę dla promieniowania i po umieszczeniu go między dłonią a płomieniem wrażenie gorąca natychmiast znika. Za pomocą promieniowania ciepło przekazywane jest np. przez Słońce na Ziemię, a więc może również być przekazywane w próżni.

Podsumowując powyższe rozważania na temat sposobów przekazywania ciepła, możemy podać wniosek.

Wyróżnia się **trzy sposoby przepływu ciepła**: przewodnictwo cieplne, konwekcję oraz promieniowanie.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Przewodnictwo cieplne** zachodzi przy bezpośrednim kontakcie ciał o różnych temperaturach.
- **Konwekcja** polega na przemieszczaniu się ogrzanej cieczy (lub gazu) do góry, podczas gdy chłodniejsza ciecz (gaz) zajmuje miejsce ogrzanej.
- **Promieniowanie** to sposób przekazywania ciepła na odległość (tak ciepło ze Słońca dostaje się na Ziemię).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wyjaśnij, dlaczego okna z podwójnymi szybami lepiej zapobiegają utracie ciepła z pomieszczenia niż okna z pojedynczymi szybami.

2 Wybierz P – jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Przekazywanie energii poprzez promieniowanie może zachodzić w próżni.	**P**	**F**
2.	Poprzez przewodnictwo energia przekazywana może być także wtedy, gdy temperatury obu ciał wyrównają się.	**P**	**F**
3.	Zjawisko konwekcji zachodzi dzięki działaniu siły wyporu i siły ciężkości.	**P**	**F**
4.	Jeżeli dotkniemy miedzianej blachy o temperaturze 20°C, ciepło będzie odpływać z dłoni szybciej, niż gdy dotkniemy płyty styropianu o temperaturze 20°C.	**P**	**F**
5.	Jeżeli staniemy kilka metrów od ogniska, to energia będzie do nas docierała przede wszystkim za sprawą przewodnictwa cieplnego.	**P**	**F**

3 Gdzie w pomieszczeniu pokazanym na zdjęciu należałoby umieścić grzejnik? Wybierz miejsce A, B lub C. Wyjaśnij swój wybór. Gdzie należałoby umieścić klimatyzator schładzający gorące powietrze latem? Uzasadnij odpowiedź.



4 Jedna z największych kopalni krzemienia z okresu neolitycznego to Grime's Graves, znajdująca się w Anglii w miejscowości Norfolk. Głębokość korytarzy sięga tam ponad 12 m, co 3000 lat p.n.e. było niezwykłym osiągnięciem. W tak głębokich szybach problemem była wentylacja. Należało usuwać wydychany dwutlenek węgla, ale także inne szkodliwe gazy, takie jak tlenki siarki czy azotu. Ówcześni górnicy radzili sobie z tym zupełnie nieświadomie – w miejscu, gdzie zaczynali kopać nowy chodnik, rozpalali ognisko, aby zmiękczyć drążoną skałę. Zastanów się, w jaki sposób obecność takiego ogniska pomagała w wymianie powietrza.

36 Ciepło właściwe

Cel lekcji: Poznasz definicję ciepła właściwego, jego jednostkę oraz zależność między przekazanym ciepłem, masą substancji i zmianą temperatury tej substancji.

Od czego zależy ilość pobranego przez ciało ciepła

Każde ciało, pobierając ciepło, zwiększa swoją energię wewnętrzną. Zastanów się, od czego zależy ilość pobranego ciepła, a następnie wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 60

Wskazówka: Do doświadczeń z ogrzewaniem wody najlepszy byłby termometr laboratoryjny, który pozwoliłby mierzyć temperatury w przedziale 0–100°C, ale jeśli takiego nie masz, możesz posłużyć się termometrem zaokiennym. Pamiętaj tylko, aby wyjąć termometr z wody, gdy wskaże 40°C.
Zamiast termometru laboratoryjnego możesz użyć też miernika uniwersalnego z możliwością pomiaru temperatury. Taki miernik jest wyposażony w specjalny drut, tzw. termoparę, której końcówka jest próbnikiem temperatury.

1. Przygotuj: żaroodporny kubek lub mały garnek, dwie porcje wody 100 g i 200 g o temperaturze pokojowej (20°C), termometr zaokienny, stoper oraz palnik spirytusowy lub kuchenkę.
2. Ogrzewaj 100 g wody nad palnikiem spirytusowym lub na kuchence na najmniejszym palniku przy minimalnym płomieniu. Obserwuj zanurzony w wodzie termometr. Zmierz czas ogrzewania wody od 25°C do 40°C i zanotuj go w zeszycie.
3. Jeśli używasz termometru zaokiennego, wyjmij go z wody, gdy wskaże 40°C, aby go nie uszkodzić. Zgaś palnik lub wyłącz kuchenkę.
4. Wylej wodę z garnka i przepłucz go w zimnej wodzie, aby ostygł.
5. Powtórz doświadczenie z 200 g wody. Co zauważasz?


Wzrost słupka cieczy w termometrze jest jednostajny.

Początkowo słupek cieczy w termometrze był nieruchomy. Wynikało to m.in. z tego, że potrzeba trochę czasu na ogrzanie naczynia. Później jednak podnosił się w stałym tempie. Ponieważ ogrzewanie wody odbywało się przez cały czas równomiernie za pomocą tego samego źródła, można przyjąć, że ilość ciepła pobranego przez wodę **zależy wprost proporcjonalnie od czasu ogrzewania**.

Przyrost temperatury wody jest wprost proporcjonalny do ilości **pobranego** przez nią **ciepła**.

Zależność tę można zapisać w następujący sposób:

$$\Delta T \sim Q$$

Czas ogrzewania 200 g wody był dłuższy niż w pierwszej części doświadczenia. Okazało się, że aby ogrzać dwukrotnie większą masę wody o tę samą liczbę stopni Celsjusza, potrzeba dwukrotnie więcej ciepła, które jest proporcjonalne do czasu równomiernego ogrzewania z tego samego źródła. Zatem:

Q – ilość ciepła pobranego przez ciało podczas ogrzewania, ΔT – przyrost temperatury, „~" – proporcjonalność prosta.

Ilość pobranego przez wodę ciepła potrzebnego do uzyskania danego przyrostu temperatury jest wprost proporcjonalna do **masy** wody.

Można zapisać:

$$Q \sim m$$

Domyślasz się zapewne, że ogrzewając różne substancje, otrzymasz różne wyniki. Aby ogrzać różne substancje o tej samej masie i uzyskać taki sam przyrost temperatury, trzeba dostarczyć różną ilość energii.

Q – ilość ciepła pobranego przez ciało podczas ogrzewania, m – masa ciała.

Ilość pobranego przez ciało ciepła potrzebna do zwiększenia temperatury o tę samą wartość zależy od **rodzaju substancji**, z której zbudowane jest ciało.

Tę właściwość substancji określa liczbowo wielkość nazywana **ciepłem właściwym**.

Ciepło właściwe i jego jednostka

Ciepło właściwe c określa, ile energii trzeba dostarczyć, aby zwiększyć temperaturę 1 kg danej substancji o 1 K (lub o 1°C).

Ciepło właściwe oblicza się jako iloraz ciepła dostarczonego ciału i iloczynu jego masy i przyrostu temperatury.

$$\text{ciepło właściwe} = \frac{\text{ciepło pobrane przez ciało}}{\text{masa ciała} \cdot \text{przyrost temperatury}} \qquad c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Jednostką ciepła właściwego w układzie SI jest $[c] = 1\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Ponieważ przedziały temperatury w skali Celsjusza i w sali Kelvina są takie same, można posługiwać się również jednostką ciepła właściwego $[c] = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot °\mathrm{C}}$.

Ciepło właściwe jest wielkością charakterystyczną dla danej substancji. Wartości ciepła właściwego niektórych substancji przedstawiono w tabeli na str. 275.

Jak obliczyć pobrane ciepło

Ilość **ciepła, jaką pobiera ciało podczas ogrzewania**, można obliczyć ze wzoru:

ciepło pobrane przez ciało	=	ciepło właściwe	· masa ·	przyrost temperatury		$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Wyznaczanie ciepła właściwego

Aby wyznaczyć ciepło właściwe wody, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 61 (pomiar)

1. Przygotuj: czajnik elektryczny napełniony zimną wodą do kreseczki „max", termometr i stoper.
2. Zanotuj w zeszycie wlaną do czajnika objętość wody.
3. Włóż termometr do wody i włącz czajnik. Gdy termometr wskaże 25°C, włącz stoper.
4. Gdy termometr wskaże 40°C, wyłącz stoper, wyjmij termometr z wody i wyłącz czajnik.
5. Zanotuj w zeszycie zmierzony czas.
6. Wyznacz ciepło właściwe wody na podstawie wyników pomiarów.



Jeśli przyjmiemy, że **nie było strat ciepła**, to możemy zapisać, że pobrane przez wodę ciepło jest równe całej dostarczonej przez czajnik energii, co można zapisać:

$$Q = E$$

Jak już wiesz, wzór na ciepło pobrane przy ogrzewaniu ma postać:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Energię dostarczoną przez czajnik należy obliczyć. Na czajniku, zwykle na spodzie, jest tzw. tabliczka znamionowa, na której podane są różne informacje, m.in. moc urządzenia. Odczytaj tę wartość.

Znając moc czajnika i czas ogrzewania wody, możemy obliczyć, jaka energia została dostarczona, ze wzoru:

$$E = P \cdot t$$

Na niektórych czajnikach możesz się spotkać z oznaczeniem np. 220 V – 240 V, 2600 W – 3000 W.
Wówczas przyjmij, że przy napięciu 230 V moc wynosi:

$$\frac{2600\ \mathrm{W} + 3000\ \mathrm{W}}{2} = 2800\ \mathrm{W}$$



Skoro pobrane ciepło jest równe dostarczonej energii $Q = E$, możemy zapisać:

$$P \cdot t = m \cdot c \cdot \Delta T$$

zatem

$$c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$$

W naszym doświadczeniu zebraliśmy następujące wyniki pomiarów:
$T_1 = 25°C$, $T_2 = 40°C$, $m_{wody} = 1\ kg$, $t = 32\ s$, $P = 2200\ W$

Pamiętaj, że 1 l wody ma masę 1 kg, a przedział temperatury to różnica między temperaturą końcową i początkową:
$\Delta T = T_2 - T_1$

Po podstawieniu danych liczbowych do powyższego wzoru otrzymujemy:

$$c = \frac{2200\ W \cdot 32\ s}{1\ kg \cdot 15°C} = 4700\ \frac{J}{kg \cdot °C}$$

Porównaj otrzymany przez ciebie wynik z danymi zamieszczonymi w tabeli na str. 276.

Zwróć uwagę na rachunek jednostek:
$[c] = \left[\frac{W \cdot s}{kg \cdot °C} = \frac{\frac{J}{s} \cdot s}{kg \cdot °C} = \frac{J}{kg \cdot °C}\right]$

Zauważ, że otrzymany wynik odbiega od wartości umieszczonej w tabeli. Zastanów się dlaczego.
Różnica wynika z tego, że część ciepła została oddana do otoczenia. Może się zdarzyć również, że czajnik w rzeczywistości ma mniejszą moc, niż podaje producent.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Woda ma prawie największe ciepło właściwe spośród wszystkich substancji. Dlatego też do ogrzania wody potrzebna jest dużo większa energia niż do ogrzania innych substancji. Woda wolniej się ogrzewa i wolniej stygnie, jest więc naturalnym zbiornikiem energii wewnętrznej. Dlatego w ciągu dnia woda w jeziorze jest zimniejsza niż nagrzane powietrze i ziemia. Wieczorem, gdy ziemia i powietrze się oziębiają, woda w jeziorze jest nadal ciepła i utrzymuje stosunkowo wysoką temperaturę przez całą noc. Dlatego też klimat morski charakteryzuje się małymi wahaniami temperatury między latem a zimą.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ciepło właściwe** c określa, ile energii trzeba dostarczyć, aby zwiększyć temperaturę 1 kg danej substancji o 1 K (lub o 1°C).
- **Ciepło pobrane przy ogrzewaniu** substancji o masie m, aby jej temperatura wzrosła o ΔT, można obliczyć ze wzoru: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie ciepła dostarczonego

Oblicz, ile ciepła trzeba dostarczyć, aby 2 kg oleju lnianego o temperaturze 20°C ogrzać do temperatury 60°C. Ciepło właściwe oleju wynosi 1840 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$.

Dane:
$m = 2$ kg
$T_1 = 20$°C
$T_2 = 60$°C
$c = 1840 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$

Szukane:
$Q = ?$



Rozwiązanie:
Korzystamy ze wzoru na ciepło właściwe:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T, \quad \text{gdzie} \quad \Delta T = (T_2 - T_1)$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$Q = 1840 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \cdot 2 \text{ kg} \cdot (60\text{°C} - 20\text{°C})$$

$$Q = 147\,200 \text{ J} \approx 147 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Do ogrzania oleju potrzeba 147 kJ ciepła.

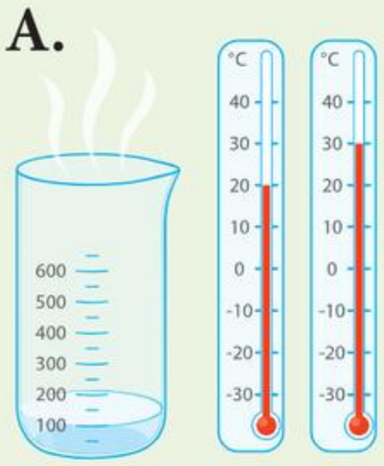
1. Przeanalizuj „Przykład” i rozwiąż zadanie.

   Oblicz ilość energii, jaką pobierze stopka żelazka wykonana ze stali, ogrzewając się od temperatury 25°C do temperatury 175°C, jeżeli jej masa wynosi 0,5 kg, a ciepło właściwe stali to 450 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$.

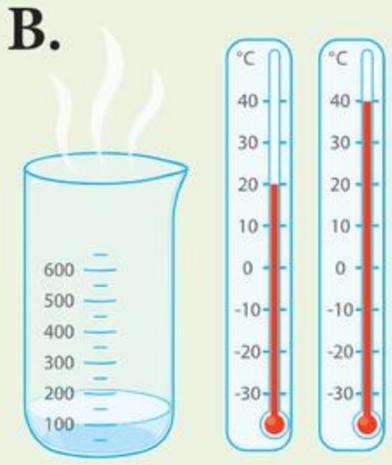
2. Wyjaśnij, w jaki sposób ciepło właściwe danej substancji wpływa na proces jej ogrzewania.

3 Na każdym rysunku przedstawiono ilość wody, którą podgrzewano, oraz temperaturę tej wody przed ogrzaniem i po ogrzaniu. Ogrzanie porcji wody widocznej na rysunku A wymagało dostarczenia 4200 J energii. Oblicz, ile energii należało dostarczyć, aby ogrzać wodę w pozostałych przypadkach.

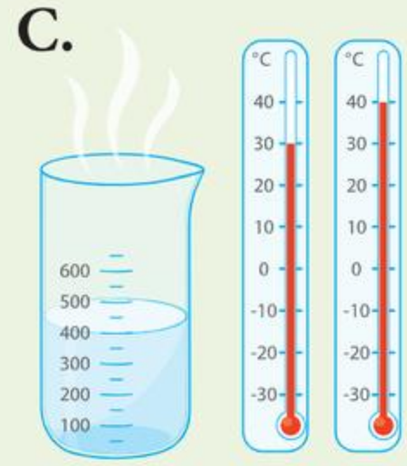
A.



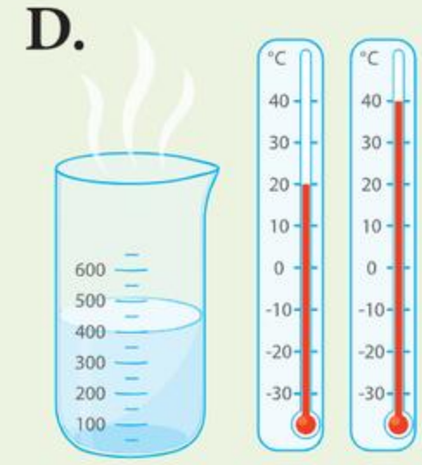
B.



C.



D.



4 Oblicz, jaką ilość ciepła należy dostarczyć, aby podgrzać 1 kg gliceryny o 10°C. Ciepło właściwe odczytaj z tabeli na str. 275.

5 Podgrzewając metalowy pierścień o masie 20 dag i temperaturze początkowej 20°C, dostarczono mu 1804 J ciepła. Pierścień osiągnął temperaturę 30°C. Z jakiego metalu był wykonany? Ciepła właściwe podano w tabeli na str. 275.

6 Wodę o masie 2 kg i temperaturze 20°C ogrzano, dostarczając 42 kJ ciepła. Oblicz temperaturę końcową wody. Ciepło właściwe odczytaj z tabeli na str. 275.

7 Oblicz, jaką maksymalną masę wody o temperaturze początkowej 20°C można zagotować w czajniku elektrycznym o mocy 2 kW w ciągu 4 minut. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

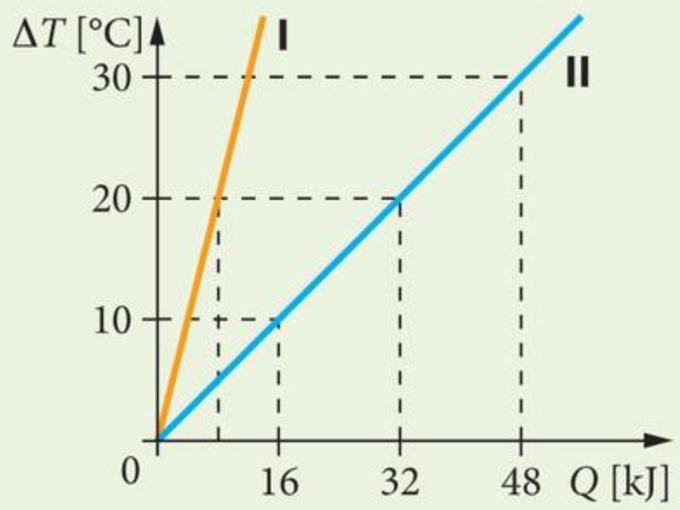
8 Dlaczego Słońce nagrzewa piasek na brzegu jeziora do wyższej temperatury niż wodę w tym jeziorze?

9 Na podstawie wykresu zależności temperatury od dostarczonej energii dla dwóch ciał o jednakowych masach odpowiedz na pytania.

a) Ile energii należy dostarczyć do ciała I, aby jego temperatura wzrosła o 20°C?

b) Temperatura którego ciała: I czy II wzrosła bardziej przy tej samej ilości dostarczonego ciepła?

c) Które ciało ma większe ciepło właściwe i ile razy?



37 Zmiany stanu skupienia ciał

Cel lekcji: Utrwalisz nazwy zmian stanów skupienia oraz przeanalizujesz te procesy.

Obserwacja zmian stanu skupienia wody

Zjawiska parowania, skraplania, topnienia i krzepnięcia znane ci są z życia codziennego. Aby poznać je dokładniej, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 62

1. Przygotuj: mały garnek lub żaroodporny kubek, kilka kostek lodu, palnik spirytusowy lub kuchenkę, szybkę lub pokrywkę.
2. Umieść lód w małym garnku i ogrzewaj nad palnikiem spirytusowym albo na małym palniku na kuchence.
3. Przytrzymaj szybkę nad garnkiem. Co obserwujesz?

Wskazówka. Możesz zamrozić wodę np. w małych kubeczkach po serkach lub jogurtach, a szybkę możesz wziąć np. z ramki na zdjęcia albo użyć szklanej pokrywki lub lusterka.



Po pewnym czasie lód stopniał, a po kolejnych kilku minutach woda w naczyniu zaczęła wrzeć, a na szybce pojawiły się krople wody.

Ogrzewany lód (ciało stałe) stopniał i stał się cieczą. Ogrzewana w dalszym ciągu woda zaczęła wrzeć. Proces zamiany lodu w wodę nazywa się **topnieniem**. Po chwili ogrzewania widzisz, że wody w naczyniu ubyło. Zaszło **parowanie** – woda zamieniła się w niewidoczną dla oka **parę wodną**. O tym, że cząsteczki wody nie zniknęły, można przekonać się, zbliżając zimną szybkę do garnka. Niewidoczna dla oczu para wodna wydostająca się z naczynia po zbliżeniu zimnej szyby uległa **skropleniu** i zamieniła się z powrotem w wodę. Skraplanie jest zjawiskiem odwrotnym do parowania, czyli jest to przejście substancji ze stanu gazowego w stan ciekły. Aby gaz się skroplił, trzeba go oziębić.
Z przeprowadzonego doświadczenia wynika, że:

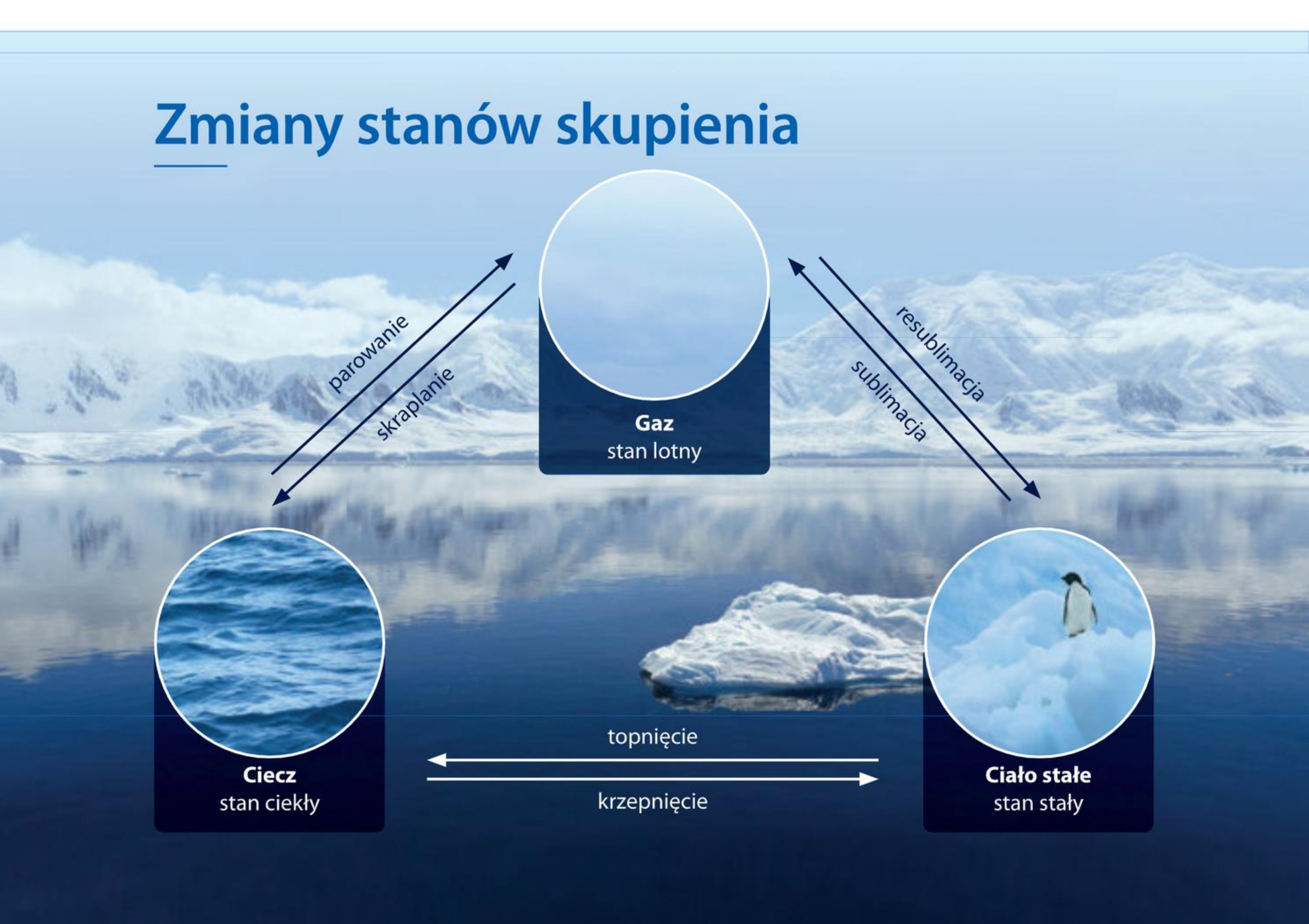
Lód, woda i para wodna to ta sama substancja występująca w trzech **stanach skupienia**, w zależności od warunków zewnętrznych, między innymi temperatury.

Zwróćmy uwagę, że większość substancji (wyjątkiem jest np. woda) w wyniku topnienia w niewielkim stopniu zwiększa swoją objętość (ich gęstość maleje). Natomiast po wyparowaniu cieczy cząsteczki gazów są od siebie znacznie bardziej oddalone, niż ma to miejsce w cieczach i ciałach stałych, a zatem gęstości gazów są znacznie mniejsze niż gęstości substancji w pozostałych stanach skupienia.

Zmiany stanu skupienia substancji pod wpływem ciepła

Podobnie jak woda, tak i inne substancje występujące w przyrodzie mogą istnieć w trzech stanach skupienia. Na przykład azot (składnik powietrza) jest gazem, ale w temperaturze poniżej –196°C staje się cieczą. Cyna jest ciałem stałym, lecz w temperaturze powyżej 232°C staje się cieczą.

Ze zjawiskami zmiany stanów skupienia ciał spotykasz się na co dzień: wiosną topnieje śnieg, w upalny dzień szybko topnieją lody, podczas lutowania topnieje cyna. Każdorazowo **topnienie** oznacza zmianę stanu skupienia ze stałego w ciekły.
Gdy zamarza woda w kałuży, zachodzi zjawisko odwrotne do topnienia – ciecz zamienia się w ciało stałe. Zjawisko to nazywa się **krzepnięciem**.
Kałuża na chodniku po pewnym czasie wysycha, schnie też mokre pranie rozwieszone na sznurze.
Skroplona para wodna osadza się na zimnych okularach, kiedy wchodzisz zimą do ciepłego pomieszczenia.



Ciało stałe może się także zmienić bezpośrednio w gaz i odwrotnie – gaz może przejść bezpośrednio w ciało stałe. Zjawisko zmiany substancji w stanie stałym w substancję w stanie gazowym (lotnym), z pominięciem stanu ciekłego, nosi nazwę **sublimacji**. Mokre pranie zawieszone na mrozie po pewnym czasie jest suche – woda w tkaninie najpierw zamarza, a potem sublimuje. Jeśli zimą utrzymuje się mróz i nie pada śnieg, możesz zaobserwować stopniowe zanikanie pokrywy śnieżnej, co również jest skutkiem sublimacji.
Zjawisko zmiany gazu w ciało stałe z pominięciem stanu ciekłego nazywa się **resublimacją**. Przy gwałtownym spadku temperatury nadmiar pary wodnej zawartej w powietrzu zamienia się w drobne kryształki lodu – szron. Zjawisko to zachodzi najczęściej podczas mroźnych, pogodnych nocy.



Przykładem resublimacji jest powstawanie szronu.



Rtęć w temperaturze pokojowej (20°C) jest cieczą, ale jeśli temperaturę obniży się do poniżej –39°C, stanie się ciałem stałym. Termometry rtęciowe są stosowane np. w laboratoriach.

Zmiany stanów skupienia, na przykładzie wody, przedstawiono na ilustracji na poprzedniej stronie.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Substancje mogą występować **w trzech stanach skupienia**: stałym, ciekłym i gazowym.
- **Gęstość** większości substancji w stanie ciekłym jest mniejsza niż ich gęstość w stanie stałym. W stanie gazowym substancje mają znacznie mniejsze gęstości niż w stanie ciekłym i stałym.
- Zmiany stanów skupienia ciał to:
  - **topnienie** (ciało stałe → ciecz), **krzepnięcie** (ciecz → ciało stałe),
  - **skraplanie** (gaz → ciecz), **parowanie** (ciecz → gaz),
  - **sublimacja** (ciało stałe → gaz) i **resublimacja** (gaz → ciało stałe).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do każdego z podanych opisów dopasuj nazwę zmiany stanu skupienia spośród podanych w ramce.

topnienie • *krzepnięcie* • *parowanie* • *skraplanie* • *sublimacja* • *resublimacja*

A. Wieczorem, gdy temperatura powietrza spada, tworzy się rosa.

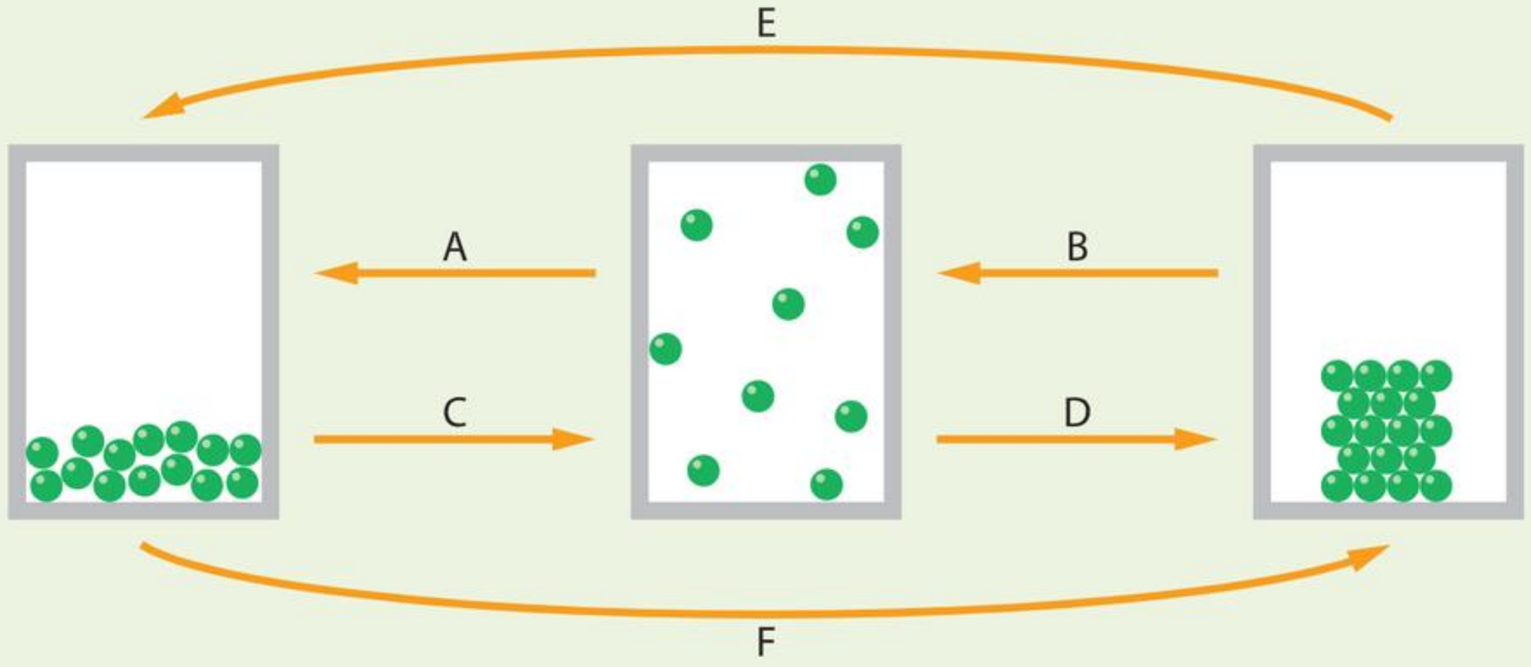
B. Po ogrzaniu kryształki jodu zamieniają się w fioletowe opary.

C. Płynny mosiądz po wlaniu do formy zastyga i otrzymujemy odlew.

D. Zimą na drzewach powstaje szron.

E. W ciepły słoneczny dzień kałuża wody na ulicy wysycha po kilku godzinach.

2 Na poniższych rysunkach schematycznie przedstawiono ułożenie atomów pewnej substancji w jej trzech stanach skupienia. Przyporządkuj do liter nazwy zmian stanów skupienia.



3 Oceń prawdziwość zdań. Zapisz w zeszycie przy numerze zdania literę P – jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Krzepnięcie to zjawisko zmiany cieczy w ciało stałe.	**P**	**F**
2.	Lód i para wodna to dwie substancje w dwóch różnych stanach skupienia.	**P**	**F**
3.	Zjawisko zmiany gazu w ciało stałe nazywa się resublimacją.	**P**	**F**
4.	Zjawiskiem odwrotnym do parowania jest przejście substancji ze stanu ciekłego w gazowy.	**P**	**F**
5.	Rtęć w temperaturze pokojowej jest cieczą.	**P**	**F**

38 Topnienie i krzepnięcie

Cel lekcji: Uporządkujesz wiadomości na temat topnienia i krzepnięcia. Przeanalizujesz zmiany energii wewnętrznej i temperatury podczas tych procesów.

Obserwacja topnienia substancji

Znasz już pojęcie energii wewnętrznej ciała i wiesz, że jest to suma energii kinetycznej cząsteczek ciała i energii potencjalnej oddziaływań między tymi cząsteczkami. Wiesz również, że temperatura jest związana z energią kinetyczną cząsteczek ciała. Spróbujmy przeanalizować, co się dzieje z energią wewnętrzną podczas procesów topnienia i krzepnięcia.

DOŚWIADCZENIE 63

1. Przygotuj: dwa mniejsze naczynia i jedno większe (np. dwa kubki i garnek), około 0,25–0,5 kg pokruszonego lodu, pół kostki masła, patyczek, termometr laboratoryjny lub miernik uniwersalny z możliwością pomiaru temperatury oraz czajnik elektryczny.



Wskazówka. Można użyć również termometru zaokiennego, ale takiego, którego pojemniczek z cieczą można włożyć w rozdrobniony lód i w masło.

2. Do kubka wrzuć pokruszony lód i włóż termometr tak, aby zbiorniczek z cieczą był przykryty lodem.
3. Obserwuj wskazania termometru, aż cały lód stopnieje i jeszcze przez chwilę, gdy woda będzie się ogrzewać do temperatury pokojowej.
4. Zagotuj wodę w czajniku i zostaw, aby nieco wystygła.
5. Włóż do kubka masło, a kubek umieść w większym naczyniu.
6. Wetknij w masło termometr tak, aby zbiorniczek z cieczą przylegał do masła.
7. Do garnka nalej gorącej wody i obserwuj wskazania termometru, aż całe masło stopnieje i jeszcze przez chwilę. W trakcie ogrzewania masła sprawdzaj patyczkiem jego konsystencję.



Termometr wskazuje 0°C do chwili całkowitego roztopienia lodu. W trakcie topnienia masła temperatura cały czas rośnie.

Obserwując topniejący lód i wskazania termometru, zauważysz, że temperatura nie zmienia się przez cały czas, aż do momentu, gdy ostatni kawałek lodu zamieni się w wodę (wynosi około 0°C, czyli 273 K). Od tego momentu temperatura w naczyniu zaczyna powoli rosnąć.
Ogrzewane masło zachowuje się inaczej niż lód. W miarę ogrzewania jego temperatura wzrasta. Masło stopniowo mięknie. Gdy termometr wskazuje około 30–40°C (w zależności od składu masła), masło powoli staje się cieczą. Jego temperatura jednak nadal wzrasta. Nie widać wyraźnej granicy zmiany jednego stanu skupienia (stałego) w drugi (ciekły).

Topnienie kryształów i ciał bezpostaciowych

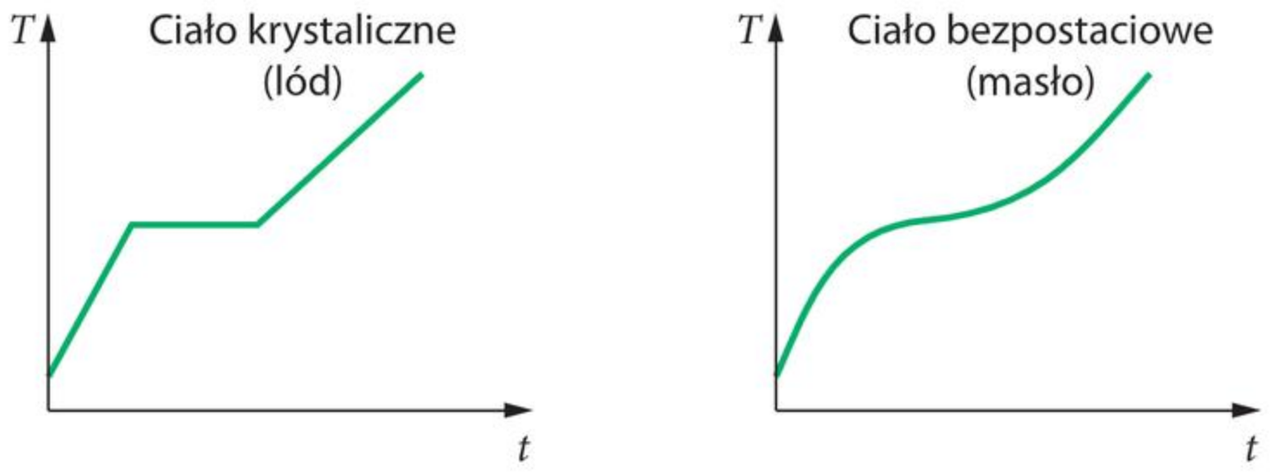
Różnica w przebiegu topnienia lodu i masła wynika z ich budowy wewnętrznej. W lodzie cząsteczki są ułożone regularnie i tworzą uporządkowaną strukturę przestrzenną. Cząsteczki w maśle nie są uporządkowane.

Ciała o regularnie uporządkowanym układzie atomów lub cząsteczek to **kryształy**, a ciała, w których atomy lub cząsteczki są ułożone chaotycznie, to tzw. **ciała bezpostaciowe** (amorficzne).

Przykładami substancji o budowie krystalicznej są metale, lód, grafit oraz minerały, jak np. kwarc, rubin czy ametyst. Do substancji bezpostaciowych zaliczamy m.in. szkło, gumę, parafinę, bursztyn, obsydian, tworzywa sztuczne.

Substancje krystaliczne topnieją w stałej temperaturze – **temperaturze topnienia**, natomiast substancje bezpostaciowe nie mają dokładnie określonej temperatury topnienia.

Schematycznie zmiany temperatury w procesie topnienia można przedstawić na wykresach:



Dla większości ciał stałych można wyznaczyć temperaturę topnienia. Jest ona różna dla różnych substancji. Temperatury topnienia niektórych substancji podane są w tabeli na str. 275.



Dopóki kostki lodu nie zmienią się w ciecz, temperatura nie ulega zmianie (°C).

Gdybyśmy przeprowadzili pomiary temperatury podczas ochładzania wody i masła, okazałoby się, że w przypadku obu substancji proces krzepnięcia zachodzi dokładnie odwrotnie niż topnienie. Woda zamarza w stałej temperaturze 0°C i dopiero po całkowitym zamarznięciu temperatura lodu dalej maleje, natomiast w przypadku masła nie da się wskazać dokładnej temperatury krzepnięcia, gdyż termometr wskazywałby ciągłe obniżanie się temperatury.

Dla kryształów temperatura topnienia jest równa temperaturze krzepnięcia, zaś ciała bezpostaciowe nie mają dokładnie określonej temperatury topnienia i krzepnięcia.

Pamiętasz, że ciało, pobierając energię z zewnątrz, zwiększa swoją energię wewnętrzną, a więc i temperaturę. Skoro podczas całego procesu topnienia lodu temperatura mieszaniny wody z lodem nie ulega zmianie, nasuwa się pytanie, co się dzieje z dostarczaną energią. Odpowiedzi należy szukać w budowie wewnętrznej lodu i wody. Cząsteczki lodu tworzą regularną sieć krystaliczną. Aby została rozerwana, musi wzrosnąć wzajemna energia potencjalna cząsteczek, bo przyciągające się cząsteczki muszą się od siebie oddalić. Pobrane ciepło jest wykorzystywane do rozerwania sieci krystalicznej.
Z doświadczenia 63 można wywnioskować, że **podczas topnienia substancja pobiera ciepło**, a **krzepnąc** – je **oddaje**.

Ciepło topnienia

R

Ilość ciepła pobranego w procesie topnienia zależy od masy ciała: im większa masa ciała, tym większej porcji ciepła ono potrzebuje, aby ulec stopieniu. Ciepło potrzebne do stopienia danego ciała zależy również od rodzaju substancji, z której ciało jest zbudowane. Zatem:

Ciepło topnienia jest liczbowo równe ilości ciepła, które jest potrzebne, aby 1 kg substancji będącej w stanie stałym zamienić w ciecz (w temperaturze topnienia).

Obliczamy je ze wzoru:

$$\text{ciepło topnienia} = \frac{\text{ciepło potrzebne do stopienia ciała}}{\text{masa ciała}} \qquad Q_t = \frac{Q}{m}$$

Jednostką ciepła topnienia jest 1 $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.
Aby obliczyć **wartość pobranego ciepła potrzebnego do stopienia danej substancji**, należy skorzystać ze wzoru:

$$\text{pobrane ciepło} = \text{ciepło topnienia} \cdot \text{masa ciała} \qquad Q = Q_t \cdot m$$

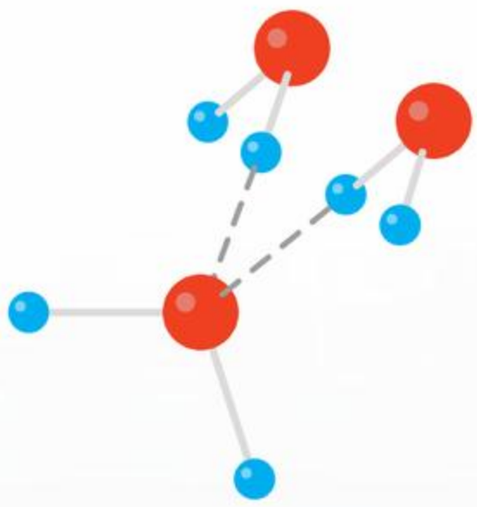
R

Dlaczego lód pływa po wodzie

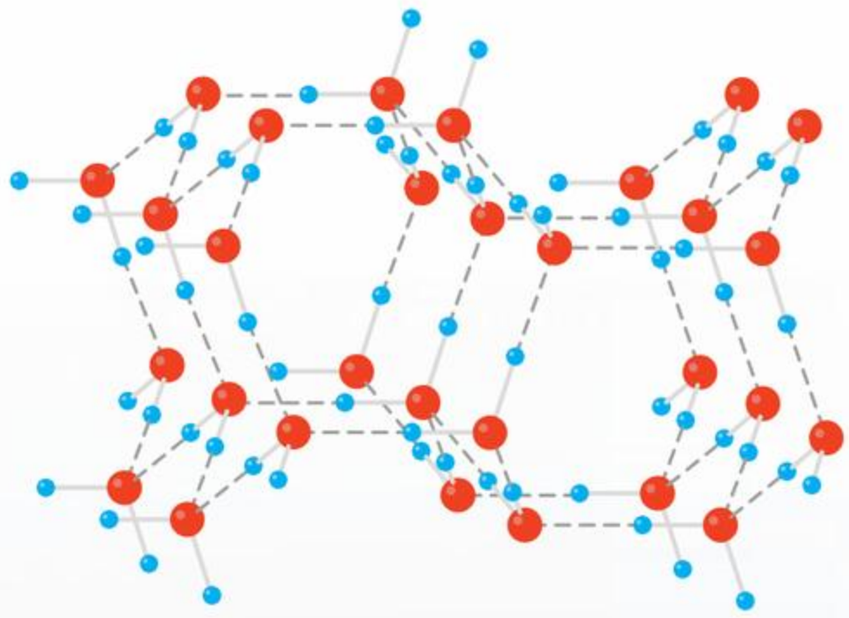
Prawie każda ciecz, krzepnąc, zmniejsza swoją objętość. Ciało stałe ma więc większą gęstość niż ciecz, z której powstało – dlatego tonie. Dlaczego zatem lód pływa po wodzie? Jak wiesz już z lekcji chemii, cząsteczka wody ma budowę polarną, czyli jest dipolem.

Polarność cząsteczki wody związana jest z przesunięciem elektronów w stronę tlenu, co sprawia, że atom tlenu ma pewien ładunek ujemny, a atomy wodoru – odpowiadający mu ładunek dodatni. Ujemny ładunek atomu tlenu przyciąga dodatnio naładowane atomy wodoru sąsiedniej cząsteczki i powstaje między nimi tzw. wiązanie wodorowe.

Dzięki tym wiązaniom lód uzyskuje specyficzną, luźną strukturę sieci krystalicznej. W lodzie każdy atom tlenu tworzy cztery wiązania z atomami wodoru, przy czym dwa atomy wodoru są „własne", a dwa są „pożyczone" z innych cząsteczek. „Pożyczone" atomy wodoru starają się ustawić jak najbliżej atomu tlenu, przez który są przyciągane, i jak najdalej od innych atomów wodoru, przez które są odpychane. W konsekwencji sieć krystaliczna przypomina połączone puste w środku tunele. To właśnie powoduje, że gęstość lodu jest mniejsza od gęstości wody i lód pływa w wodzie częściowo w niej zanurzony.



Wiązania wodorowe
(zaznaczone linią przerywaną)



Struktura lodu

W czasie ogrzewania lodu do temperatur bliskich temperaturze topnienia zwiększone (na skutek dostarczania ciepła) drgania cząsteczek powodują zerwanie coraz większej liczby wiązań wodorowych (można zauważyć, że przy –10°C czy –15°C lód jest twardszy niż w temperaturze –1°C). W temperaturze 0°C liczba zerwanych wiązań jest tak duża, że lód przemienia się w wodę. Uwolnione cząsteczki wody wypełniają „tunele" i gęstość wody rośnie (a objętość maleje). W temperaturze 0°C nie wszystkie wiązania wodorowe są zerwane. W bardzo zimnej wodzie pozostają jeszcze ich resztki, które w miarę ogrzewania się rozpadają, dlatego gęstość wody dalej wzrasta i osiąga największą wartość w temperaturze +4°C. Od tego momentu woda – jak każda inna ciecz – zwiększa swoją objętość wraz ze wzrostem temperatury. Woda o największej gęstości opada na dno i dlatego w głębokich zbiornikach wodnych blisko dna temperatura wynosi ok. +4°C.



Krzepnąc, ciało oddaje ciepło. Ilość ciepła oddanego podczas krzepnięcia jest taka sama jak ilość ciepła pobranego w procesie topnienia.
Również w procesach sublimacji i resublimacji ciepło pobrane lub oddane do otoczenia nie powoduje zmiany temperatury ciała.
Na str. 276 w tabeli podano ciepła topnienia wybranych substancji.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Ciała o regularnie uporządkowanym układzie atomów lub cząsteczek to **ciała o budowie krystalicznej** (kryształy), a ciała, w których atomy lub cząsteczki są ułożone chaotycznie, to tzw. **ciała bezpostaciowe** (amorficzne).
- Dla kryształów topnienie i krzepnięcie zachodzi w tej samej temperaturze, zaś ciała bezpostaciowe nie mają określonej temperatury topnienia i krzepnięcia.
- **Ilość ciepła oddanego podczas krzepnięcia** jest taka sama jak ilość ciepła pobranego w procesie topnienia.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie masy topionej substancji

Oblicz, ile naftalenu można stopić w temperaturze 80°C (temperaturze topnienia), dostarczając 74 kJ energii?

Dane:
$Q = 74\ \text{kJ} = 74\,000\ \text{J}$

Szukane:
$m = ?$

Ciepło topnienia odczytane z tabeli na str. 276

$Q_t = 148\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 148\,000\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Rozwiązanie

Wzór na ciepło pobrane w procesie topnienia $Q = Q_t \cdot m$ należy przekształcić, aby wyliczyć masę:

$$m = \frac{Q}{Q_t}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$m = \frac{74\,000\ \text{J}}{148\,000\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0{,}5\ \text{kg}$$

Odpowiedź: Dostarczając 74 kJ ciepła, można stopić 0,5 kg naftalenu.

1 Spośród ciał przedstawionych na zdjęciach wskaż te, dla których ustalone są temperatury topnienia substancji, z których są zbudowane. Następnie dopasuj do nich temperatury topnienia podane w ramce. **Uwaga.** Nie wszystkie temperatury trzeba przyporządkować!

A



B



C



D



E



F



263°C • 1085°C • 55°C • 0°C

2 Oceń prawdziwość zdań. Zapisz w zeszycie przy numerze zdania literę P – jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Temperatura mieszaniny wody z lodem nie zmienia się do momentu, aż cały lód się stopi.	**P**	**F**
2.	Ilość energii potrzebna do stopienia kilograma lodu jest nieco większa niż ilość energii, jaką oddaje kilogram wody, krzepnąc.	**P**	**F**
3.	Ilość energii potrzebna do stopienia danej substancji jest proporcjonalna do masy tej substancji.	**P**	**F**

3 Oblicz, ile ciepła trzeba dostarczyć 2 kg lodu o temperaturze 0°C, aby go całkowicie stopić. Skorzystaj z tabeli na str. 276.

4 Palnik kuchenki gazowej dostarcza 120 000 J energii w ciągu minuty. Jaką masę lodu o temperaturze 0°C można by stopić, dostarczając do niego taką ilość energii?

5 Ile energii należy dostarczyć, aby stopić cały lód na boisku do gry w hokeja? Przyjmij, że powierzchnia boiska jest w przybliżeniu prostokątem o wymiarach 30 m × 60 m (w rzeczywistości ma nieco zaokrąglone rogi), grubość warstwy lodu wynosi 3,5 cm, a temperatura lodu i otoczenia wynosi 0°C. Gęstość lodu jest równa 920 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



39 Parowanie i skraplanie

Cel lekcji: Dowiesz się, co to jest parowanie i od czego zależy jego szybkość, a także czym wrzenie różni się od parowania i kiedy zachodzi.

Od czego zależy szybkość parowania

Z poprzedniej lekcji wiesz, jak przebiegają procesy topnienia i krzepnięcia. Teraz przyjrzymy się bliżej parowaniu i skraplaniu. Dowiesz się również, czym jest wrzenie. Na początek wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 64

1. Przygotuj: wodę, denaturat, strzykawkę, cztery paski wycięte z bibuły lub ręczników papierowych, szklaną szybkę i dwie jednakowe szklanki.
2. Za pomocą strzykawki nanieś na jeden pasek bibuły kroplę wody, a na drugi – kroplę denaturatu. Odczekaj kilkanaście minut.
3. Na kolejne dwa paski bibuły nanieś po kropli wody. Jednym z nich wachluj w powietrzu, a drugi pozostaw na stole.
4. Nanieś dwie krople wody na szybkę. Jedną z nich rozprowadź po jak największej powierzchni szybki.
5. Do szklanek nalej taką samą ilość wody – do jednej wrzącej, do drugiej zimnej. Odstaw naczynia na 2–3 godziny. Porównaj ilość wody w szklankach.
6. Co możesz powiedzieć o szybkości parowania w każdym punkcie doświadczenia?



Pasek bibuły nasączonej denaturatem wysycha szybciej niż pasek nasączony wodą.

Szybciej wysycha pasek bibuły, na który dmuchasz lub którym wachlujesz.





Na podstawie powyższego doświadczenia można wyciągnąć kilka wniosków. W punkcie 2 doświadczenia obserwujemy, że obie ciecze – woda i denaturat – odparowały, ale szybciej wyparował denaturat. Widzimy ponadto, że tempo parowania jest większe, gdy zapewnimy **ruch powietrza** wokół parującej cieczy.
Dzięki rozprowadzeniu wody na szybce (punkt 4) przekonujemy się, że **zwiększenie powierzchni swobodnej** cieczy sprzyja parowaniu.

Zjawisko **parowania** cieczy zachodzi jedynie **na jej powierzchni swobodnej**.

Ta sama ilość cieczy szybciej wyparuje z szerokiego garnka niż z wąskiej szklanki. Aby np. wysuszyć mokrą bieliznę, rozwiesza się ją w przewiewnym miejscu, rozpościerając jak najszerzej, by zapewnić jak największą powierzchnię parowania.
Eksperyment z punktu 5 pokazuje, że **im wyższa temperatura**, tym szybciej zachodzi proces parowania.

Parowanie zachodzi **w każdej temperaturze**, w której substancja jest w stanie ciekłym, ale im temperatura jest wyższa, tym szybciej ten proces przebiega.

Z życia codziennego wiesz, że mokre ubranie rozwieszone na sznurze wysycha szybciej, gdy wieje wiatr, najlepiej ciepły wiatr w upalny dzień. Dużą rolę odgrywa też tzw. **wilgotność**, czyli ilość pary wodnej zawartej w powietrzu. Wilgoć w powietrzu nie sprzyja parowaniu. W krajach tropikalnych, gdzie wilgotność powietrza jest duża, mokre ubrania schną bardzo długo.

CIEKAWOSTKA

Zdolność powietrza do wchłaniania pary wodnej zależy od temperatury: im wyższa temperatura, tym więcej pary wodnej mieści się w powietrzu. Stopień nasycenia powietrza parą wodną nazywa się wilgotnością. Wilgotność mierzy się higrometrem. Istnieje wiele rodzajów higrometrów. W niektórych stosuje się np. końskie włosy, które wraz ze zmianą wilgotności zmieniają długość.



Zjawisko wrzenia

Wykonaj doświadczenie, aby poznać różnicę między parowaniem a wrzeniem.

DOŚWIADCZENIE 65

1. Przygotuj: mały garnek lub kubek żaroodporny, termometr laboratoryjny obejmujący zakres pomiarowy od 0°C do 110°C lub miernik uniwersalny z możliwością pomiaru temperatury oraz palnik spirytusowy lub kuchenkę.
2. Nalej do garnka lub żaroodpornego kubka około 100–150 ml wody (pół szklanki).
3. Umieść w wodzie termometr i ogrzewaj naczynie.
4. Obserwuj wskazania termometru i zachowanie się cieczy.

Gdy temperatura osiągnie 100°C, pęcherzyki pojawiają się w całej objętości cieczy.



Podczas ogrzewania wody początkowo wydzielają się pęcherzyki gazu – to rozpuszczone w wodzie powietrze „ucieka” z niej. Gdy termometr wskaże temperaturę powyżej 80°C, na dnie i ściankach tworzą się pęcherzyki, które zawierają parę wodną i gazy rozpuszczone w wodzie. Pęcherzyki te odrywają się od dna i ścianek naczynia, po czym wędrują do góry. W miarę wzrostu temperatury pęcherzyków jest coraz więcej i mają one coraz większe rozmiary. Gdy termometr wskazuje 100°C, woda bulgocze – pęcherzyki pary powstają w całej objętości wody i wypływają na powierzchnię. Objętość wody w naczyniu stopniowo się zmniejsza. Woda gwałtownie zamienia się w parę. Zachodzi wrzenie wody.

Wrzenie to gwałtowne parowanie cieczy odbywające się **w całej** jej **objętości**.

Mimo dalszego ogrzewania wody, jej temperatura się nie podnosi. Dlaczego, pomimo dostarczonego ciepła, temperatura nie przekroczyła 100°C? Na co została zużyta dostarczona wodzie energia?
Otóż, aby cząsteczki wody mogły odparować, muszą zostać pokonane oddziaływania międzycząsteczkowe, czyli zerwane wiązania między cząsteczkami wody. Dostarczona wodzie energia zostaje zużyta na zrywanie wiązań między cząsteczkami wody, a nie na wzrost temperatury.

Temperatura wrzącej cieczy **nie wzrasta**, dopóki cała ciecz nie zamieni się w parę.

Temperatura, w której ciecz wrze, nosi nazwę **temperatury wrzenia**.
Gdybyśmy ogrzewali inną ciecz, zauważylibyśmy, że proces przebiega podobnie, z tą tylko różnicą, że jej wrzenie odbywałoby się w innej temperaturze.
Temperatura wrzenia, podobnie jak temperatura topnienia, jest jedną z cech charakterystycznych każdej substancji. W tabeli na str. 275 przedstawiono temperatury wrzenia różnych cieczy pod ciśnieniem atmosferycznym 1013 hPa.

Temperatura wrzenia a ciśnienie

Dlaczego temperaturę wrzenia podaje się dla określonego ciśnienia atmosferycznego?
Jak się okazuje, to, w jakim stanie skupienia występuje dana substancja, zależy nie tylko od temperatury, ale także od ciśnienia. Również temperatury topnienia i wrzenia danej substancji zależą od ciśnienia. O tym, że temperatura wrzenia zależy od ciśnienia, możesz się przekonać, wykonując doświadczenie 66.



Różnice temperatur wrzenia cieczy są wykorzystywane do rozdzielania na składniki i oczyszczania ciekłych mieszanin. Proces ten nazywa się destylacją.

DOŚWIADCZENIE 66

1. Przygotuj dużą strzykawkę – najlepiej o pojemności 60 ml lub większą – i plastelinę.
2. Naciągnij do strzykawki trochę ciepłej wody.
3. Zatkaj plasteliną dziobek strzykawki i odciągnij energicznie tłoczek do końca. Co obserwujesz?



Po odciągnięciu tłoczka widać pęcherzyki – woda wrze w temperaturze pokojowej.

Im wyższe ciśnienie, tym **wyższa** jest **temperatura wrzenia** danej cieczy.

R

Ciepło parowania

Aby wyparować, cząsteczki cieczy muszą uzyskać odpowiednio dużą energię. Poniżej temperatury wrzenia parowanie odbywa się kosztem energii wewnętrznej cieczy. Gdy ciecz paruje w temperaturze wrzenia, cieczy musi być dostarczone ciepło. Ilość ciepła potrzebnego do wyparowania danej cieczy w temperaturze wrzenia jest wprost proporcjonalna do jej masy i zależy od jej rodzaju. Dla każdego rodzaju cieczy można zatem określić, ile ciepła należy dostarczyć, aby odparować (w temperaturze wrzenia) daną masę tej cieczy. Wielkość ta to tzw. **ciepło parowania** Q_p, które jest charakterystyczne dla danej substancji.

Ciepło parowania w temperaturze wrzenia jest równe liczbowo ilości ciepła, które jest potrzebne, aby 1 kg cieczy w temperaturze wrzenia zamienić w parę.

Obliczamy je ze wzoru:

$$\text{ciepło parowania} = \frac{\text{ciepło potrzebne do odparowania cieczy}}{\text{masa cieczy}} \qquad Q_p = \frac{Q}{m}$$

Jednostką ciepła parowania jest $1\ \frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

Aby obliczyć wartość pobranego **ciepła potrzebnego do odparowania** danej substancji w temperaturze wrzenia, należy skorzystać ze wzoru:

$$\text{pobrane ciepło} = \text{ciepło parowania} \cdot \text{masa ciała} \qquad Q = Q_p \cdot m$$

Ciepła parowania cieczy w temperaturze wrzenia znajdują się w tabeli na str. 276.

Skraplanie

W doświadczeniu 62 mogliśmy zaobserwować, że para wodna skrapla się w kontakcie z chłodnym szkłem. Domyślasz się zapewne, że podczas skraplania cząsteczki pary zachowują się odwrotnie niż przy parowaniu. Cząsteczki pary uderzają w powierzchnię już utworzonej kropli, w tym momencie oddają energię, którą pobrały w trakcie parowania, i pozostają w kropli. Temperatura w czasie skraplania nie ulega zmianie. Para, skraplając się, oddaje ciepło.



Para wodna jest niewidoczna. Mgiełka, którą widać nad czajnikiem albo garnkiem z gotującą się wodą, nie jest parą wodną, tylko wodą skropioną w powietrzu.

> Ilość ciepła oddanego podczas skraplania jest taka sama jak ilość ciepła pobranego w procesie parowania w takiej samej temperaturze.

CIEKAWOSTKA

Poparzenie parą wodną jest bardzo niebezpieczne i może być znacznie bardziej dotkliwe niż poparzenie wrzątkiem. Dzieje się tak z powodu dużej wartości ciepła parowania wody w temperaturze wrzenia. Ciepło to wynosi 2 258 000 $\frac{J}{kg}$. Wrzątek oddaje energię w wyniku różnicy temperatur, a para wodna dodatkowo oddaje bardzo dużo energii w trakcie samego skraplania, co może spowodować bardzo rozległe uszkodzenia tkanek.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Parowanie** zachodzi w każdej temperaturze, w której substancja jest cieczą. Poniżej temperatury wrzenia parowanie zachodzi tylko na powierzchni swobodnej cieczy.
- **Szybkość parowania** zależy od: **rodzaju cieczy**, **temperatury** – im wyższa temperatura cieczy, tym szybciej ciecz paruje, **ruchu powietrza** w otoczeniu parującej cieczy – im większy ruch powietrza, tym szybciej ciecz paruje, **wielkości powierzchni swobodnej** cieczy – im większa powierzchnia, tym szybciej ciecz paruje, **wilgotności powietrza** – im większa wilgotność, tym wolniejsze parowanie.
- **Wrzenie** to parowanie, które zachodzi w całej objętości cieczy.
- **Temperatura wrzenia** danej substancji zależy od ciśnienia. Każda ciecz ma charakterystyczną dla siebie temperaturę wrzenia.
- **Skraplanie** następuje wtedy, gdy gaz zostaje odpowiednio oziębiony.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Odpowiedz na pytania.

a) Od czego zależy szybkość parowania substancji?

b) Czym różnią się procesy parowania i wrzenia?



2 Wskaż, które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe.

A. Wszystkie ciecze wrą w temperaturze 100°C.

B. Para wodna jest niewidoczna.

C. Temperatura wrzenia nie zależy od ciśnienia.

3 Wyjaśnij, dlaczego dmuchamy na gorącą zupę lub gorące napoje. Przecież powietrze wydobywające się z naszych ust ma wyższą temperaturę niż powietrze wokół potrawy czy napoju.

4 Do trzech naczyń wlano taką samą masę wody (patrz fotografie poniżej). Z którego z nich woda wyparuje najszybciej? Odpowiedź uzasadnij.

A



B



C



5 Dlaczego termometrem alkoholowym nie można zmierzyć temperatury wrzenia wody? Posłuż się tabelą na str. 276 podręcznika.

6 Oblicz, ile razy więcej ciepła trzeba dostarczyć wodzie o temperaturze 100°C, aby wyparowała, niż kawałkowi lodu o temperaturze 0°C, aby go całkowicie stopić. Skorzystaj z tabel na końcu podręcznika.

7 Kucharz stwierdził, że podczas 20 minut gotowania zupy wyparowało z niej dokładnie 200 ml wody (gdyż taką ilością musiał uzupełnić garnek). Ile energii zostało zużyte na wyparowanie takiej ilości wody? W jakim czasie przy takiej samej intensywności dostarczania ciepła wygotowałby się 1 litr wody? Do wygotowania 1 litra wody potrzeba około 2260 kJ energii.



Powtórzenie. Termodynamika

- **Energia wewnętrzna ciała** jest sumą energii kinetycznych wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, i energii potencjalnych związanych z wzajemnym oddziaływaniem tych cząsteczek.
- Energia wewnętrzna ciała przy danej temperaturze jest **tym większa, z im większej liczby cząsteczek ciało się składa**.
- **Temperatura** ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których zbudowane jest ciało.
- Jednostką temperatury w układzie SI jest **kelwin (1 K)**. W życiu codziennym w wielu krajach (m.in. w Polsce) stosowana jest jednak skala Celsjusza.
- Różnica temperatur równa 1 K (w skali Kelvina) odpowiada różnicy temperatur 1°C (w skali Celsjusza). ΔT [K] = ΔT [°C].
- W skali Kelvina za 0 K przyjęto najniższą możliwą teoretycznie temperaturę – **temperaturę zera bezwzględnego**.
- Wzrost energii wewnętrznej może nastąpić wskutek **wykonania pracy** i/albo **przekazywania energii w postaci ciepła**.
- **Ciepło** to ilość energii wewnętrznej przekazanej między ciałami o różnych temperaturach.
- **Pierwsza zasada termodynamiki:**
  Jeżeli praca wykonana nad ciałem prowadzi w całości do przyrostu energii wewnętrznej, to całkowity przyrost energii wewnętrznej ciała jest równy sumie pracy wykonanej nad ciałem i pobranego ciepła.

przyrost energii wewnętrznej = praca wykonana nad ciałem + ilość ciepła pobranego przez ciało	$\Delta E_w = W + Q$

- **Ciepło właściwe** jest równe liczbowo takiej ilości ciepła, która jest potrzebna do ogrzania 1 kg substancji o 1 K (lub o 1°C):

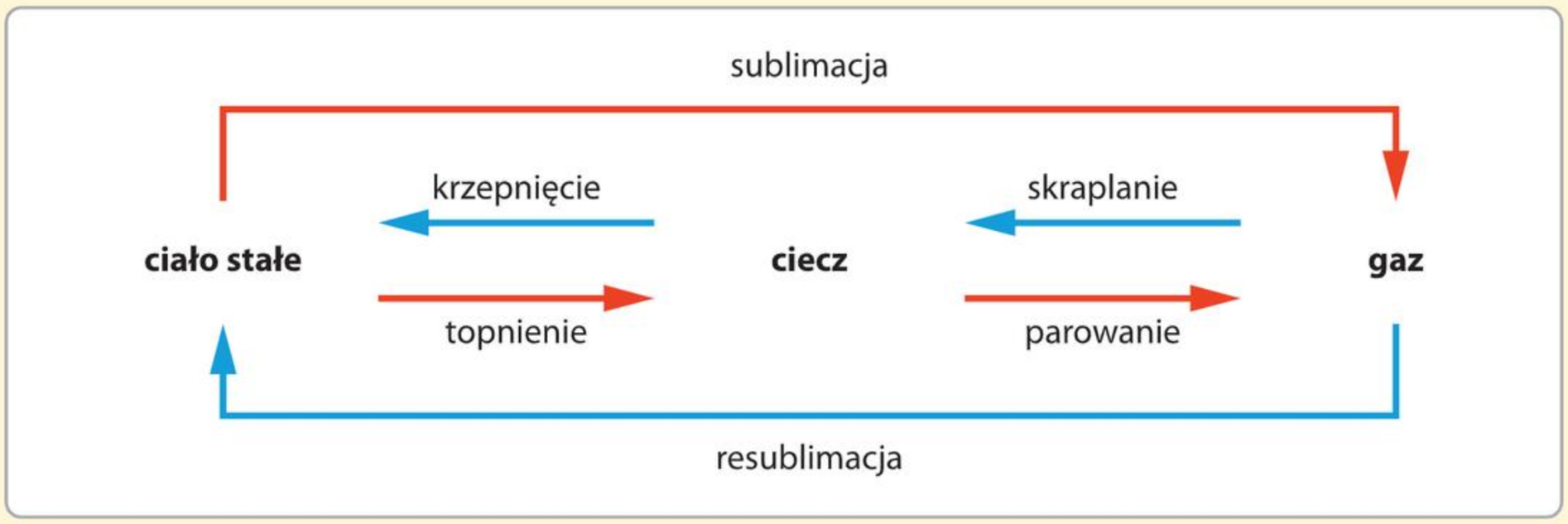
ciepło właściwe = $\frac{\text{ciepło pobrane przez ciało}}{\text{masa ciała} \cdot \text{przyrost temperatury}}$	$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$

- Zmiany stanów skupienia ciał to: **topnienie**, **krzepnięcie**, **skraplanie**, **parowanie**, **sublimacja** i **resublimacja**.

- **Ilość ciepła pobranego** (lub oddanego) przez ciało można obliczyć ze wzoru:

ciepło pobrane przez ciało = ciepło właściwe · masa · przyrost temperatury	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

- Wyróżnia się **trzy sposoby przkazywania ciepła**: przewodnictwo cieplne, konwekcję i promieniowanie.
- **Przewodnictwo cieplne** zachodzi przy bezpośrednim kontakcie ciał o różnych temperaturach. Przepływ ciepła zachodzi od ciała o wyższej temperaturze do ciała o niższej temperaturze.
- **Konwekcja** to zjawisko, które polega na przemieszczaniu się ogrzanej cieczy (lub gazu) do góry, podczas gdy chłodniejsza ciecz (gaz) zajmuje miejsce ogrzanej.
- **Promieniowanie** to sposób przekazywania ciepła na odległość. Może zachodzić również w próżni.
- Ciała o regularnie uporządkowanym układzie atomów lub cząsteczek to **kryształy**, a ciała, w których atomy lub cząsteczki są ułożone chaotycznie, to tzw. **ciała bezpostaciowe** (amorficzne).
- Substancje krystaliczne topnieją w stałej temperaturze, zwanej **temperaturą topnienia**.
- Dla ciał o budowie krystalicznej **temperatura topnienia jest równa temperaturze krzepnięcia**, natomiast ciała bezpostaciowe nie mają określonej temperatury topnienia i krzepnięcia.
- **Parowanie** cieczy zachodzi jedynie **na jej powierzchni swobodnej**. Parowanie zachodzi **w każdej temperaturze**, w której substancja jest w stanie ciekłym, ale im temperatura jest wyższa, tym szybciej przebiega proces parowania.
- **Wrzenie** to gwałtowne parowanie cieczy odbywające się **w całej jej objętości**. Temperatura wrzącej cieczy nie wzrasta.
- **Zmiany stanów skupienia** zilustrowano poniżej.



Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–3 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Gdy gorąca woda w naczyniu stygnie, całkowita energia wewnętrzna wody **A/ B**, średnia energia kinetyczna cząsteczek wody **A/ B**, a cząsteczki wody poruszają się coraz **C/ D**.

A. zwiększa się
B. zmniejsza się
C. szybciej
D. wolniej

2 Jeżeli włożymy łyżeczkę wyjętą z szuflady do gorącej herbaty, to na początku na pewno nie nastąpi

A. parowanie.
B. zmniejszenie się energii wewnętrznej łyżeczki.
C. zmniejszenie się energii wewnętrznej wody.
D. przewodzenie ciepła.

3 Jednostką ciepła jest

A. wat.
B. kelwin.
C. dżul.
D. stopień Celsjusza.

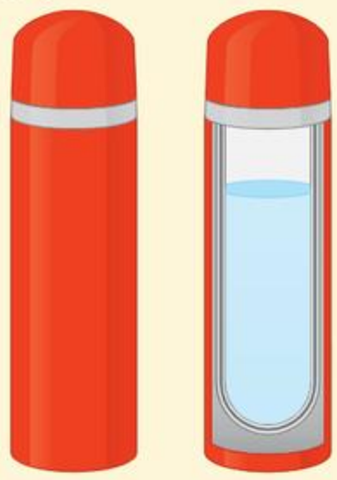
4 Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	Pocierając o siebie dłonie w mroźny dzień, wykonujemy pracę i powodujemy zwiększenie energii wewnętrznej skóry.	**P**	**F**
2.	Przykładając zimne dłonie do ciepłego kaloryfera, dostarczamy do nich ciepło i powodujemy zmniejszenie energii wewnętrznej skóry.	**P**	**F**
3.	Kaloryfery produkuje się z metalu, aby ciepło nie przepływało z gorącej wody do powietrza w pomieszczeniach.	**P**	**F**
4.	Gdy jest zimno, ptaki tworzą ze swoich piór grubą warstwę izolacji cieplnej.	**P**	**F**

5 Wskaż zdanie fałszywe.

A. W odpowiednich warunkach woda może wrzeć zarówno w temperaturze 90°C, jak i w temperaturze 110°C.
B. Woda podczas skraplania pobiera ciepło.
C. Gdy wyjmiemy mrożonkę z zamrażalnika, w temperaturze pokojowej zacznie zachodzić sublimacja.

6 Przyjrzyj się rysunkowi i odpowiedz na pytania.



a) Dlaczego termos składa się z dwóch ścianek, pomiędzy którymi panuje próżnia?
b) Dlaczego ścianki termosu są od środka posrebrzane?
c) Dlaczego w termosie można przechowywać przez długi czas gorące napoje? Czy da się w nim przechowywać lód?

Odpowiedzi uzasadnij.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 3–5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Dwa wykonane z tej samej substancji przedmioty o różnych temperaturach i masach **A/ B**, ponieważ energia wewnętrzna zależy **C/ D/ E**.

A. mogą mieć tę samą energię wewnętrzną
B. nie mogą mieć tej samej energii wewnętrznej
C. jedynie od temperatury ciała
D. jedynie od liczby cząsteczek (atomów) w danym ciele
E. zarówno od masy ciała, jak i od jego temperatury

2 Wskaż zdania fałszywe.

A. Temperatura w lodówce może wynosić 275 K.
B. Żadnej substancji nie da się ochłodzić do –274°C.
C. Żaden metal nie może być w stanie stałym powyżej 2000 K.
D. Niektóre substancje, będące gazami w temperaturze pokojowej, mogą być cieczami w temperaturze niższej niż 70 K.

3 Podczas gwałtownego hamowania tarcze hamulcowe bardzo silnie się nagrzewają, czyli ich energia wewnętrzna **A/ B**, ponieważ **C/ D/ E**.

A. rośnie **B.** maleje
C. praca mechaniczna wykonywana nad tarczami hamulcowymi jest większa niż ilość ciepła, które tarcze oddają do otoczenia
D. praca mechaniczna wykonywana nad tarczami hamulcowymi jest mniejsza niż ilość ciepła, które tarcze oddają do otoczenia
E. ilość ciepła dostarczana do tarcz hamulcowych jest większa niż praca mechaniczna wykonywana nad tarczami

4 Podnosząc garnek w całości wykonany ze stali, musimy uważać, żeby się nie poparzyć, gdyż stal – podobnie jak inne metale – jest dobrym **A/ B**. Rączki garnka nagrzewają się poprzez **C/ D**, natomiast górna część wody w garnku nagrzewa się przede wszystkim dzięki **E/ F**.

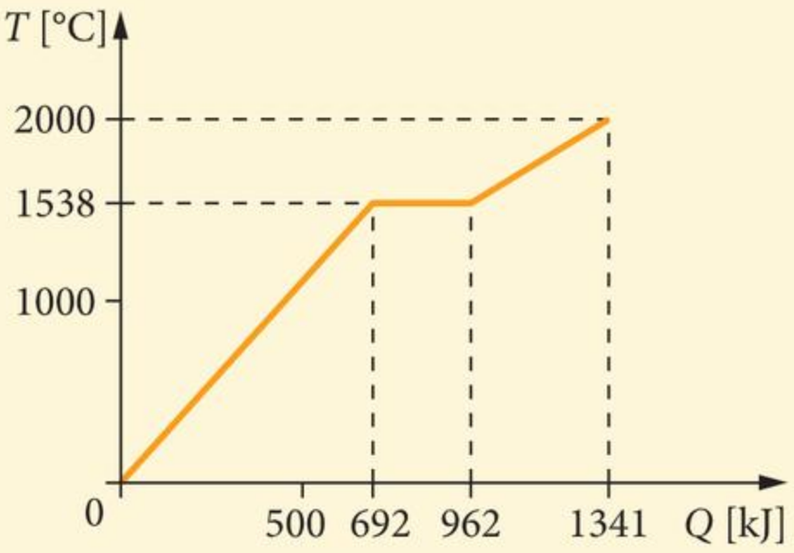
A. izolatorem ciepła
B. przewodnikiem ciepła
C. przewodnictwo cieplne
D. konwekcję
E. promieniowaniu
F. konwekcji

5 Do wanny nalano 30 l wody o temperaturze 35°C. Podczas kąpieli temperatura wody spadła do 30°C. Jeśli ciepło właściwe wody wynosi około 4200 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, to podczas kąpieli woda oddała do otoczenia około **A/ B/ C/ D** energii.

A. 3 780 000 J **C.** 630 000 J
B. 126 000 J **D.** 1 260 000 J

6 Na wykresie na str. 269 przedstawiono zależność temperatury od ilości dostarczonego ciepła dla jednego kilograma pewnej substancji. Do temperatury 1538°C substancja znajdowała się w stanie stałym, powyżej tej temperatury – w stanie ciekłym.

Przeanalizuj wykres i wykonaj polecenia obok.



a) Oblicz ciepło właściwe tej substancji w stanie stałym.
b) Czy ciepło właściwe tej substancji jest większe, gdy jest ona cieczą, czy gdy jest ciałem stałym? Uzasadnij odpowiedź.
c) Oblicz ciepło topnienia tej substancji.
d) Korzystając z tablic (na str. 275), sprawdź, jaka to najprawdopodobniej substancja.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań. Mielibyśmy poważne problemy z odprowadzeniem dymu z pieca lub kominka przez komin, gdyby nie zjawisko **A**/ **B**/ **C**, które może wystąpić w kominie dzięki temu, że powietrze, nagrzewając się, **D**/ **E**/ **F**.
A. konwekcji
B. promieniowania
C. przewodnictwa cieplnego
D. zwiększa gęstość
E. zmniejsza gęstość
F. nie zmienia gęstości



2 Wskaż zdania fałszywe.

A. 1 kg wody o temperaturze 100°C ma taką samą energię jak 1 kg pary wodnej o temperaturze 100°C, ponieważ energia wewnętrzna zależy tylko od masy substancji i jej temperatury.

B. Na szczycie wysokiej góry woda wrze w niższej temperaturze niż u jej podnóża.

C. Dana ilość określonej substancji podczas topnienia pobiera tyle samo ciepła co podczas parowania w temperaturze wrzenia.

3 Do wygotowania 1 kg wody w temperaturze wrzenia potrzeba około 2260 kJ energii. Ilość energii wystarczająca do zagotowania 1 kg wody o temperaturze początkowej 20°C wystarczy również do tego, aby wygotować **A**/ **B**/ **C**/ **D** tej wody w temperaturze wrzenia.
A. 0,15 kg **B.** 0,05 kg
C. 0,10 kg **D.** 0,2 kg

Analiza tekstu

Dom pasywny, czyli jak zaoszczędzić na ogrzewaniu i klimatyzacji

W naszej strefie klimatycznej przez ponad 4 miesiące musimy ogrzewać budynki. Koszt z tym związany jest jednym z większych kosztów eksploatacyjnych domu. Można go obniżyć dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu budynku.

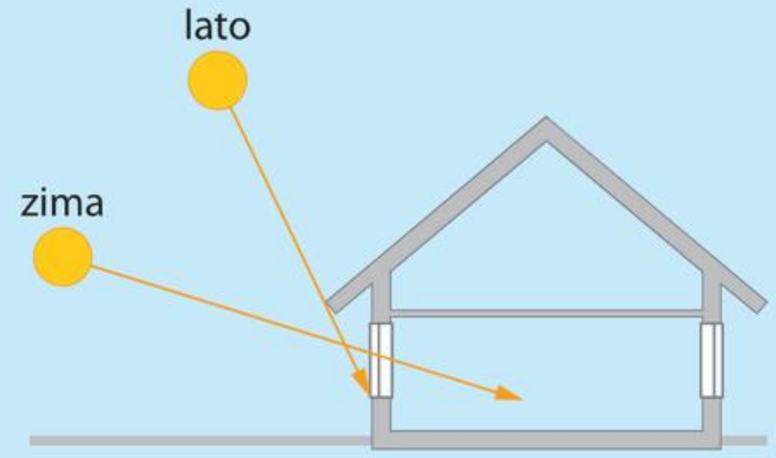


Skutecznym rozwiązaniem jest wciąż mało popularne w naszym kraju budownictwo pasywne. Dom pasywny charakteryzuje się bardzo niewielkim zapotrzebowaniem na energię do ogrzewania wnętrza (wg standardów budownictwa pasywnego – mniejszym niż 15 kWh na każdy metr kwadratowy powierzchni budynku w ciągu roku). Podgrzewanie powietrza wewnątrz budynku odbywa się poprzez wykorzystanie promieniowania słonecznego, ciepła wytwarzanego przez znajdujących się w budynku ludzi i urządzenia elektryczne oraz odzyskiwanie ciepła ze specjalnie zaprojektowanego systemu wentylacji. Na dachach często montuje się kolektory słoneczne pozwalające zmniejszyć koszty podgrzewania wody. Najważniejsze zasady konstruowania domu pasywnego to:

1. Odpowiednie nasłonecznienie

Bryła domu pasywnego niczym nie różni się od tradycyjnego budynku. Tylko wprawne oko zauważy bardzo duże przeszklone powierzchnie od strony południowej oraz bardzo małe okna lub ich brak na pozostałych ścianach. Umożliwia to pozyskiwanie energii słonecznej przez większość dnia. Ważna jest technologia zastosowanych okien. Powinny one przepuszczać do środka dużo energii słonecznej, ale nie wychładzać powietrza w domu. Stosuje się okna z potrójnymi szybami, pomiędzy którymi zamiast powietrza znajduje się gaz szlachetny (np. argon).

Ważne jest też regulowanie ilości światła słonecznego wpadającego do wnętrza budynku, aby zapobiec zbyt intensywnemu nagrzewaniu się pomieszczeń. Stosuje się żaluzje i dłuższe okapy nad oknami, ograniczające nasłonecznienie latem, gdy kąt padania promieni słonecznych jest większy niż zimą. Jeszcze inną metodą jest odpowiednie umiejscowienie drzew liściastych obok południowej elewacji budynku.



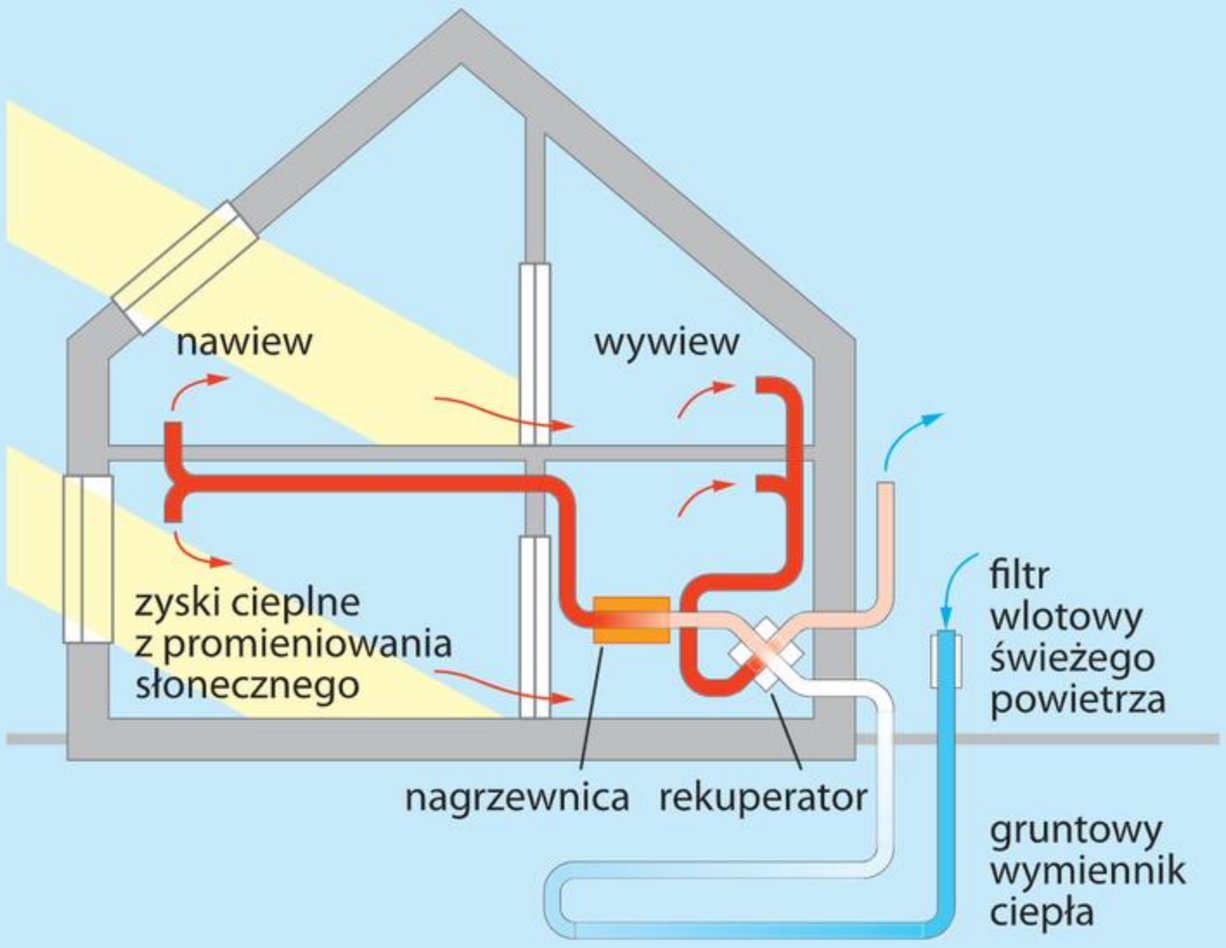
2. Szczelność i materiały izolacyjne

Aby ograniczyć straty energii cieplnej, cały budynek musi być szczelnie izolowany. Warstwa izolacji w zależności od użytego materiału musi być odpowiednio gruba (patrz tabela na dole strony).

3. Cyrkulacja powietrza

Dom pasywny jest z założenia bardzo szczelny, dlatego odpowiednią wymianę powietrza musi zapewnić specjalny system, którego schemat przedstawiono na rysunku poniżej.
Zużyte ciepłe powietrze o temperaturze ponad 20°C jest wywiewane z domu na zewnątrz. Dzięki specjalnemu wymiennikowi ciepła (rekuperatorowi) świeże zimne powietrze zasysane z zewnątrz jest ogrzewane do temperatury kilkunastu stopni Celsjusza przez powietrze wywiewane. W zimie, gdy temperatura powietrza jest ujemna, wstępne podgrzewanie powietrza odbywa się przez gruntowy wymiennik ciepła, który wykorzystuje to, że około 2 m pod ziemią temperatura nigdy nie spada poniżej 0°C.
Na wykresie poniżej przedstawiono zestawienie zapotrzebowania na energię w trzech typach budynków: tradycyjnym, niskoenergetycznym oraz wybudowanym w technologii pasywnej.
Na terenie Polski w czasie silnych mrozów energia słoneczna oraz energia odzyskiwana z rekuperatora nie wystarczą do ogrzania powietrza do odpowiedniej temperatury. W tym celu stosuje się tradycyjny system centralnego ogrzewania podłogowego i dogrzewanie kominkiem.

Źródło: *Budynki pasywne – mistrzowie oszczędzania energii*, broszura wydana przez Krajowy Ruch Ekologiczno-Społeczny, www.budynkipasywne.pl, 2006.



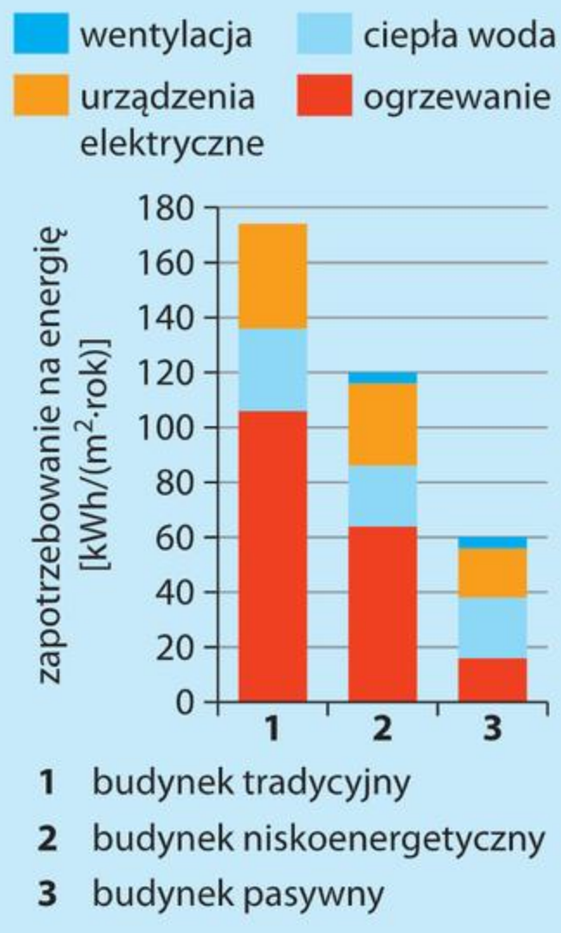


Tabela. Minimalne grubości materiałów izolacyjnych

Szkło piankowe	Wełna mineralna	Polistyren ekstrudowany	Styropian
52 cm	26–28 cm	23 cm	25–28 cm

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F – jeśli jest fałszywe.

1.	W budynku pasywnym największe okna powinny znajdować się po stronie wschodniej.	**P**	**F**
2.	Argon jest lepszym izolatorem ciepła niż powietrze.	**P**	**F**
3.	Według danych zawartych w artykule budynek pasywny o powierzchni użytkowej 120 m^2 powinien mieć roczne zapotrzebowanie na energię potrzebną do ogrzania powietrza mniejsze niż 1800 kWh/m^2.	**P**	**F**

2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.
Z danych przedstawionych w tabeli z materiałami izolacyjnymi wynika, że najlepszym izolatorem ciepła jest **A/ B/ C/ D**. Płyta styropianu o grubości 10 cm zapewnia izolację cieplną podobną jak bloczek szkła piankowego o takiej samej powierzchni i grubości około **E/ F/ G/ H**.

A. wełna mineralna **B.** polistyren ekstrudowany **C.** szkło piankowe
D. styropian **E.** 20 cm **F.** 50 cm **G.** 5 cm **H.** 10 cm

3 W tekście wspomniano, że dzięki posadzeniu w odpowiednim miejscu drzew liściastych można regulować ilość słońca docierającego poprzez okna do budynku pasywnego. Wyjaśnij, jak to się dzieje.

4 Rekuperator jest jednym z elementów systemu wentylacji w budynku pasywnym. Zimą jego rolą jest **A/ B** powietrza **C/ D** przy wykorzystaniu energii **E/ F/ G/ H**.

A. ogrzewanie
B. ochładzanie
C. wypływającego z budynku
D. napływającego do budynku
E. powietrza napływającego do budynku
F. powietrza wypływającego z budynku
G. zgromadzonej w ziemi
H. promieniowania słonecznego

5 Przepisz tekst do zeszytu i uzupełnij luki, używając wyrażeń A–D w odpowiedniej formie gramatycznej.
W tradycyjnym domu ilość energii potrzebna do ___ jest ponad pięciokrotnie większa niż w domu pasywnym, natomiast ilość energii potrzebna do ___ jest porównywalna w budynku pasywnym, niskoenergetycznym oraz tradycyjnym. Należy ponadto pamiętać, że w domu pasywnym w stosunku do domu tradycyjnego potrzeba niewielkiej ilości energii do ___.

A. wentylacja
B. urządzenia elektryczne
C. ogrzewanie wody
D. ogrzewanie wnętrza (powietrza)

Tabele

Tabela 1. Przedrostki tworzące nazwy jednostek

Nazwa przedrostka	Symbol	Wartość (mnożnik)
eksa-	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta-	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera-	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga-	G	$10^{9} = 1\ 000\ 000\ 000$
mega-	M	$10^{6} = 1\ 000\ 000$
kilo-	k	$10^{3} = 1000$
hekto-	h	$10^{2} = 100$
deka-	da	$10^{1} = 10$
decy-	d	$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0{,}1$
centy-	c	$10^{-2} = \frac{1}{100} = 0{,}01$
mili-	m	$10^{-3} = \frac{1}{1000} = 0{,}001$
mikro-	μ	$10^{-6} = \frac{1}{10^{6}} = 0{,}000\ 001$
nano-	n	$10^{-9} = \frac{1}{10^{9}} = 0{,}000\ 000\ 001$
piko-	p	$10^{-12} = \frac{1}{10^{12}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 001$
femto-	f	$10^{-15} = \frac{1}{10^{15}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 001$
atto-	a	$10^{-18} = \frac{1}{10^{18}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

Międzynarodowy Układ Jednostek SI przyjęty w 1960 roku oparty jest na następujących siedmiu jednostkach podstawowych:

1. Jednostka długości – metr (m)
2. Jednostka masy – kilogram (kg)
3. Jednostka czasu – sekunda (s)
4. Jednostka natężenia prądu elektrycznego – amper (A)
5. Jednostka temperatury termodynamicznej – kelwin (K)
6. Jednostka światłości – kandela (cd)
7. Jednostka ilości materii – mol

Jednostki podstawowe uzupełniają dwie jednostki miary kątów:

1. Jednostka kąta płaskiego – radian (rad)
2. Jednostka kąta bryłowego – steradian (sr)

Na podstawie powyższych jednostek zdefiniowane zostały inne, tzw. jednostki pochodne.

Tabela 2. Gęstości niektórych substancji w temperaturze pokojowej (20°C)

Substancja	Gęstość $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$	Substancja	Gęstość $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
aluminium	2700	sól kamienna	2160
cynk	7131	alkohol etylowy	791
drewno	400–900	azot (–196°C)	808
duraluminium	2790	benzen	878
kwarc	2300–2700	gliceryna	1260
miedź	8960	nafta	680–720
mosiądz	8440	oliwa	920
nikiel	8910	roztwór nasycony soli kamiennej w wodzie	1150
ołów	11 336		
platyna	21 410	rtęć	13 550
srebro	10 490	woda	998
stal	7500–7900	wodór (–253°C, ciecz)	71
szkło	2600–5900	argon	1,784
tytan	4507	azot	1,251
węgiel (diament)	3520	chlor	3,214
węgiel (grafit)	2250	dwutlenek węgla	1,977
wolfram	19 270	hel	0,178
złoto	19 320	neon	0,900
żelazo kute	7800–7900	powietrze	1,293
lód (0°C)	920	tlen	1,429
cukier	1520	wodór (gaz)	0,09

przy ciśnieniu $p = 1013$ hPa

Tabela 3. Współczynniki tarcia

Rodzaj stykających się powierzchni	Współczynnik tarcia statycznego	Współczynnik tarcia kinetycznego
guma-beton (suchy)	1	0,7
drewno-drewno	0,4–0,65	0,2–0,5000
drewno-metal	0,5–0,6	0,3–0,6
drewno-skóra	0,4–0,6	0,3–0,5
metal-metal	0,15–0,30	0,15–0,20
metal-skóra	0,3–0,5	0,25
metal-lód	0,02–0,03	0,015

Tabela 4. Ciepła właściwe niektórych substancji

Substancja	Ciepło właściwe $\left[\frac{J}{kg \cdot °C}\right]$	Substancja	Ciepło właściwe $\left[\frac{J}{kg \cdot °C}\right]$
ciała stałe		ciecze	
cyna	222	alkohol etylowy	2380
cynk	389	benzen	1720
glin	902	benzyna	2100
lód (0°c)	2100	chloroform	943
miedź	385	gliceryna	2430
mosiądz	377	olej lniany	1840
ołów	130	rtęć	139
piasek	800	woda	4200
platyna	136	gazy	
srebro	236	argon	520
styropian	1200	azot	1035
szkło kwarcowe	729	dwutlenek węgla	1073
wolfram	134	powietrze	1005
złoto	129	tlen	916
żelazo	452	wodór	14 225

Tabela 5. Temperatury topnienia i wrzenia niektórych substancji (pod ciśnieniem 1013,25 hPa)

Substancja	Temperatura topnienia [°C]	Temperatura wrzenia [°C]	Substancja	Temperatura topnienia [°C]	Temperatura wrzenia [°C]
cyna	232	2687	złoto	1064	3080
cynk	420	907	żelazo	1536	2750
szkło ołowiowe	800	1400	alkohol etylowy	–117	78,3
miedź	1085	2570	benzen	5,5	80,2
mosiądz	około 900	---	gliceryna	–17	291
naftalen	80,2	218	rtęć	–38,8	356,9
ołów	328	1740	woda	0	100
platyna	1770	3827	argon	–189,3	–185,9
siarka	120	445	azot	–210	–195,8
srebro	962	2212	hel	–272,1	–268,9
glin	660	2467	tlen	–218,8	–183
wolfram	3410	5660	wodór	–259,3	–252,9

Tabela 6. Przykładowe moce

Ciało lub urządzenie	Moc [kW]	Ciało lub urządzenie	Moc [kW]
rowerzysta	0,15	silnik samochodu	10–300
człowiek w marszu	0,18	elektrowóz	3000
silnik pralki automatycznej	0,25	silnik samolotu odrzutowego	30 000
koń	0,45	silnik statku	130 000
silnik skutera	3–40	elektrownia wodna	5 000 000
silnik motocykla	16–130	silnik rakiety kosmicznej	20 000 000

Tabela 7. Ciepła topnienia i ciepła parowania niektórych substancji

Substancja	Ciepło topnienia $\left[\frac{J}{kg}\right]$	Ciepło parowania* $\left[\frac{J}{kg}\right]$	Substancja	Ciepło topnienia $\left[\frac{J}{kg}\right]$	Ciepło parowania* $\left[\frac{J}{kg}\right]$
cyna	60 000	2 446 000	żelazo	278 000	6 339 000
cynk	111 000	1 754 000	alkohol etylowy	104 000	854 000
glin	396 000	10 855 000	benzen	127 000	392 000
miedź	205 000	4 784 000	gliceryna	199 000	826 000
naftalen	148 000	337 100	rtęć	11 500	292 000
ołów	23 000	866 000	woda	335 000	2 258 000
platyna	111 000	2 291 000	argon	29 400	163 200
siarka	54 000	2 825 000	azot	25 600	198 200
srebro	105 000	2 357 000	hel	5200	20 900
wolfram	191 000	4 346 000	tlen	13 900	213 000
złoto	65 000	1 647 000	wodór	58 000	448 400

* Ciepło parowania w temperaturze wrzenia

Indeks

Akcelerometr 137
Archimedes 109
atom 46, 49, 83

Bezwładność 68, 83, 166, 190

Celsjusz A. 230
ciała bezpostaciowe (amorficzne) 254, 257, 266
ciała
— stałe 48, 61–66, 83, 250
— fizyczne 7, 10, 39, 61
ciecz 48, 50, 56, 61, 66, 80, 83, 101, 106, 250
ciepło 199, 235, 236, 257, 265
— parowania 262, 276
— topnienia 255, 257, 276
— właściwe 243, 265, 275
ciężar 69, 83, 110
ciśnienie 91, 114, 261
— atmosferyczne 96, 98, 114
— hydrostatyczne 94, 98, 114
cyfry znaczące 20
czas 43, 132
cząsteczki 46, 50, 65, 83, 238, 249

Doświadczenia 3, 7, 17
droga 125, 137, 146, 148, 152, 200
druga zasada dynamiki Newtona 169, 190
dyfuzja 48
dynamiczne skutki oddziaływań 26
dżul 200, 210, 212, 214, 219, 236

Eksperyment 3, 7, 17, 39
energia 198, 209, 219, 270
— akustyczna 198
— chemiczna 198
— elektryczna 198
— geotermalna 199
— jądrowa 199
— kinetyczna 198, 214, 219, 228, 253
— mechaniczna 209, 215
— pływów 199
— potencjalna grawitacji 198, 209, 216, 219
— potencjalna sprężystości 198, 209, 219
— promieniowania 198
— wewnętrzna 198, 228, 231, 234, 236, 265

Fizyka 6, 39

Gaz 48, 61, 65, 76, 83, 92, 101, 107, 250
gęstość 74, 83, 110, 250, 256, 274
— wyznaczanie 79

Hipoteza 47

Jednostki 12, 14, 39
— główne 13
— pochodne 13, 273
— podstawowe 13, 273
— pozaukładowe 13
Joule J. P. 201

Konwekcja 239, 242, 266
kryształy 254, 257, 266
krzepnięcie 250, 253, 265

Masa 68, 83, 166, 168, 190
menisk 53
moc 204, 208, 219
— chwilowa 205, 208

Nacisk (siła nacisku) 90, 101, 114, 184
nadciśnienie 118
napięcie powierzchniowe 52, 56, 83
Newton I. 9, 29
niepewność pomiarowa 18
niuton 28, 32, 171, 190

Obserwacje 7, 17, 39
oddziaływania 23, 26
— elektrostatyczne 24, 26, 39
— grawitacyjne 24, 26, 39
— magnetyczne 24, 26, 39
— mechaniczne 24, 26, 39
— podstawowe 24
— mechanicznem 24
— międzycząsteczkowe 50, 56
— sprężyste 24
opory ruchu 174, 183, 190
opór powietrza 177, 185, 194

Paradoks hydrostatyczny 95
parcie 92, 114
parowanie 249, 251, 259, 263, 265, 266
Pascal B. 91
paskal 91, 92, 97
pierwsza zasada dynamiki Newtona 162, 165, 168, 190
pierwsza zasada termodynamiki 235, 265
podciśnienie 118
pomiar 12, 17, 21, 39
powierzchnia swobodna 64, 266
praca 199, 204, 209, 219, 233, 236, 265
praca mechaniczna 199
prawo Archimedesa 105, 108, 110, 114

prawo Pascala 101, 103, 114
prędkość 129, 133, 138, 143, 146, 152, 205
— chwilowa 135, 139
— średnia 135, 139
— wartość 133
— wyznaczanie 128, 158
promieniowanie 241, 242, 266
proporcjonalność
— prosta 69, 131, 138
— odwrotna 171
próżnia 97, 118
przedrostki nazw jednostek 14, 15, 273
przewodnictwo cieplne 238, 242, 266
przyspieszenie 136, 139, 143, 147, 153, 171, 175, 177, 190
— grawitacyjne 175
— ziemskie 175, 190
— wyznaczanie 141, 169

Resublimacja 251, 265
ruch 122, 126, 133, 136, 141, 152
— jednostajnie opóźniony 136, 139, 149, 153
— jednostajnie przyspieszony 135, 139, 141, 147, 148, 153, 171, 174, 177
— jednostajny 128, 146
— jednostajny prostoliniowy 133, 152, 164
— krzywoliniowy 125, 152
— prostoliniowy 125, 141, 152
— niejednostajny (zmienny) 135, 139, 171

Siła 28, 39, 162, 200, 204
— oporu ruchu 190
— tarcia 183, 186
— — kinetycznego 190
— — statycznego 190
— wypadkowa 36, 39, 162, 171
— ciężkości (grawitacji) 69, 72, 83, 172
— nacisku 91, 184
— rozkład na składowe 91, 200
— równoważąca 35, 162
— wypadkowa 36, 37, 39, 163
— wyporu 105, 108, 110
siłomierz 28
siły
— przylegania 51, 54, 83
— równoważące się 39
— spójności 51, 54, 56, 83
skala
— Celsjusza 230
— Fahrenheita 230
— Kelvina 230
skalarne wielkości 29
skale temperatur 230
składowe siły 91, 200
skraplanie 249, 251, 259, 263, 265
skutki
— dynamiczne 25
— oddziaływań 25, 26
— statyczne 25
spadanie swobodne 174, 177, 190
stany skupienia 61, 65, 249, 265, 266
sublimacja 251, 265
substancja 7, 10, 39, 244

Tarcie
— kinetyczne 184, 188
— statyczne 184, 188
temperatura 228, 231, 254, 260, 265
— topnienia 254, 257, 266, 275
— wrzenia 261, 263, 275
Thomson W. 230
topnienie 249, 250, 251, 253, 265
tor 152
— krzywoliniowy 125
— prostoliniowy 125
— ruchu 125, 126
trzecia zasada dynamiki Newtona 180, 190

Układ izolowany 215
— odniesienia 123, 126, 152
— współrzędnych 124, 126
Układ SI 13, 15, 39, 273

Wat 204, 208
Watt J. 207
wielkości fizyczne 12, 15, 39
— liczbowe 29, 39
— wektorowe 30, 39
wrzenie 261, 263, 266
wykresy 130
względność ruchu 123, 126, 152

Zasada bezwładności 165, 190
zasada zachowania energii 215
zasada zachowania energii mechanicznej 216, 219
zegary 43
zero bezwzględne 230, 231, 265
zjawisko odrzutu 179

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych

I. Pierwsze spotkanie z fizyką

Str. 16 zad. 6. a) 0,5 kg b) 1,2 kg c) 4500 kg
d) 0,5 m e) 2 m f) 100 m
g) 1500 s h) 200 s

Str. 21 zad. 2. a) 637 cm; 0,0235 kg; 12,1 s
b) 45 m; 0,31 g, 13 dm

Str. 22 zad. 4. 21,1 cm

Str. 33 zad. 2. a) 3000 N c) 0,015 kN
b) 1 000 000 N d) 0,2 MN

Str. 42 zad. 2. $F_{śr} = 40$ N

II. Właściwości i budowa materii

Str. 72 zad. 1. a) 1,2 kg b) 0,4 kg c) 1,5 kg
d) 0,005 kg e) 4000 kg

Str. 73 zad. 5. $F_g = mg = 104$ N

Str. 77 zad. 3. a) 0,00012 m^3 d) 22,5 $\frac{g}{cm^3}$
b) 25 000 000 cm^3 e) 5600 $\frac{kg}{m^3}$
c) 0,055 m^3 f) 800 $\frac{kg}{m^3}$

Str. 77 zad. 4. a) $d = \frac{m}{v} \approx 2{,}7 \frac{g}{cm^3}$
b) z aluminium

Str. 77 zad. 5. $V = \frac{m}{d} = 0{,}0125\,m^3 = 12{,}5\,dm^3$

Str. 78 zad. 6. $m = dV = 2{,}67$ kg

Str. 78 zad. 7. Masa walizki: $m = dV \approx 154$ kg, nie.

Str. 78 zad. 8. $V = \frac{m}{d} \approx 0{,}23\,cm^3$

Str. 85 zad. 5. a) $F_g = 12$ kN
b) $m = \frac{F_g}{g} = \frac{12\,000\,N}{10 \frac{N}{kg}} = 1200$ kg

Str. 86 zad. 2. a) Z proporcji: $\frac{1\,kg}{1{,}6\,N} = \frac{m}{80\,N}$ otrzymujemy $m = 50$ kg
b) m = 50 kg;
$F_g = 50\,kg \cdot 10 \frac{N}{kg} = 500$ N

Str. 86 zad. 3. b) gęstość bransoletki: $d = \frac{m}{V} = 13{,}5 \frac{g}{cm^3}$, zawartość złota to około 50%, masa bransoletki wykonanej w 75% ze złota: $m = dV = 32$ g

III. Hydrostatyka i aerostatyka

Str. 93 zad. 2. a) 102 000 Pa b) 100 Pa c) 2000 Pa

Str. 93 zad. 4. łyżwy: $p = \frac{F_n}{s} = 400$ kPa
buty: $p = 12{,}9$ kPa
narty: $p = 2250$ Pa

Str. 93 zad. 6. $S = \frac{F_n}{p} = \frac{mg}{p} = 900\,cm^2$

Str. 93 zad. 7.
Siła potrzebna do zgniecenia najniżej położonej cegły: $F_n = pS = 450$ N
Liczba cegieł, które można ułożyć na pierwszej: $n = 17$. Wysokość kolumny 18 cegieł: $h = 4{,}5$ m

Str. 99 zad. 1. a) $p = dgh = 2760$ Pa
b) $F_n = pS = 8{,}28$ N

Str. 100 zad. 3. $h = \frac{p}{dg} = 200$ m

Str. 100 zad. 4. $d = \frac{p}{gh} = 920 \frac{kg}{m^3}$, np. oliwa

Str. 100 zad. 5. $p = dgh = 134$ MPa

Str. 103 zad. 2. $\Delta p_B = \Delta p_C = \Delta p_D = 50$ kPa, $\Delta F_B = 10\,000$ N, $\Delta F_C = 20\,000$ N, $\Delta F_D = 25\,000$ N

Str. 104 zad. 4. a) $F_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1} = 300$ N
b) $m = \frac{F_2}{g} = 30$ kg

Str. 104 zad. 5. $F_2 = 2$ kN

Str. 104 zad. 7. a) $S_2 = 500\,cm^2$ b) $F_2 = 5000$ N

Str. 108 zad. 1. $F_w = dVg = 1$ N

Str. 108 zad. 2. $F_w = dVg = 0{,}23$ N

Str. 108 zad. 3. $d = \frac{F_w}{Vg} = 920 \frac{kg}{m^3}$, np. oliwa

Str. 113 zad. 3. Siła wyporu działa jedynie na zanurzoną część i równoważy ciężar: $F_g = F_w = 0{,}8$ N

IV. Kinematyka

Str. 133 zad. 1. a) ≈33,3 $\frac{m}{s}$ b) 144 $\frac{km}{h}$
c) ≈0,167 $\frac{m}{s}$ d) 18 $\frac{km}{h}$

Str. 133 zad. 2. $s = vt = 15$ km

Str. 133 zad. 3. $v = \frac{s}{t} = 70 \frac{km}{h}$

Str. 134 zad. 7. $t = \frac{s}{v} = 3{,}6$ s, rekord świata w biegu na 100 metrów to 9,58 s.

Str. 140 zad. 2. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Str. 140 zad. 4. $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = 9{,}7\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Str. 140 zad. 6. $v_\text{k} = v_\text{p} + at = 9\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 140 zad. 7. a) $v_\text{k} = at = 45\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 12{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

b) $s = \frac{at^2}{2} = 62{,}5\,\text{m}$

c) $v_\text{sr} = \frac{s}{t} = 6{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

d) $v = a\Delta t = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 150 zad. 3. $t = \frac{s}{v_1 + v_2} = 1\text{h}$

$s_1 = v_1 t = 60\,\text{km}$

Str. 151 zad. 6. b) 8 s c) $s = 20\,\text{m}$ d) $s = 100\,\text{m}$

e) nie, $s_\text{II} = 60\,\text{m}$, $s_\text{IV} = 50\,\text{m}$

f) tak, $a_\text{I} = 2{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $a_\text{III} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Str. 157 zad. 5. b) Jacek: $v_\text{min} = 6\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_\text{max} = 7{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Michał: $v_\text{min} = 5{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$, $v_\text{max} = 6{,}7\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

V. Dynamika

Str. 172 zad. 3. $F = ma = m\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0{,}075\,\text{N}$

Str. 172 zad. 4. a) $a = \frac{\text{F}}{m} = 600\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

b) $v = a\Delta t = 30\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 173 zad. 5. Masa motorówki:

$m = \frac{F - F_\text{o}}{a} = 400\,\text{kg}$

$a = \frac{F - F_\text{o}}{m} = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Str. 178 zad. 4. $h = \frac{gt^2}{2} = 80\,\text{cm}$

$v = gt = 4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 178 zad. 5. $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0{,}8\,\text{s}$

Str. 182 zad. 3. b) z lewej: $a = 20\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, z prawej: $a = 40\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

VI. Praca, moc, energia

Str. 202 zad. 1. $\text{s} = \frac{W}{F} = 800\,\text{m}$

Str. 202 zad. 2. $W = Fs = 10\,\text{J}$

Str. 203 zad. 5. $m = \frac{W}{gh} = 600\,\text{kg}$

Str. 203 zad. 7. b) $F = \frac{W}{s} = 5\,\text{N}$

Str. 208 zad. 1. Moc pompy jest 3 razy większa od mocy, z jaką pracuje człowiek.

Str. 208 zad. 2. $P = \frac{W}{t} = 900\,\text{W}$

Str. 208 zad. 3. $P = \frac{Fs}{t} \approx 347\,\text{W}$

Str. 208 zad. 4. $P = Fv \approx 22{,}2\,\text{kW}$

Str. 208 zad. 5. $v = \frac{P}{F} = 12\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 208 zad. 6. $P = Fv \approx 8{,}9\,\text{kW}$

Str. 208 zad. 7. $P = 12\,\text{kW}$

Str. 213 zad. 3. $E_\text{p} = mgh = 1500\,\text{J}$

Str. 213 zad. 4. $h = \frac{E_\text{p}}{mg} = 555\,\text{m}$

Str. 213 zad. 5. $h = \frac{E_\text{p}}{mg} = 10\,\text{m}$

Str. 217 zad. 2. $E_\text{k} = \frac{mv^2}{2} = 560\,\text{J}$

Str. 218 zad. 6. $h = \frac{v^2}{2g} = 0{,}45\,\text{m}$

Str. 218 zad. 7. 20 %

Str. 221 zad. 5. c) $v = \sqrt{\frac{2E_\text{k}}{m}} = 4\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 222 zad. 2. a) $h_\text{max} = 5\,\text{m}$, $E_\text{p} = 10\,\text{J}$

b) $m = \frac{E_\text{kmax}}{gh} = 0{,}2\,\text{kg}$

c) $v = \sqrt{\frac{2E_\text{kmax}}{m}} = 10\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

VII. Termodynamika

Str. 237 zad. 2. $\Delta E_\text{w} = 100\,\text{J}$

Str. 237 zad. 5. $\Delta E_\text{w} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = 10{,}8\,\text{J}$

Str. 247 zad. 1. $Q = cm\,(T_2 - T_1) = 33\,750\,\text{J}$

Str. 248 zad. 4. $Q = cm\Delta T = 24\,300\,\text{J}$

Str. 248 zad. 5. $c = \frac{Q}{m\Delta t} = 902\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$, z glinu

Str. 248 zad. 6. $t_\text{k} = t_0 + \frac{Q}{cm} = 25\,^\circ\text{C}$

Str. 248 zad. 7. $m = \frac{Pt}{\text{c}(100^\circ\text{C} - t_0)} \approx 1{,}4\,\text{kg}$

Str. 258 zad. 3. $Q = Q_\text{t} m = 670\,\text{kJ}$

Str. 258 zad. 4. $m = \frac{Q}{Q_\text{t}} = 358\,\text{g}$

Str. 258 zad. 5. $Q = Q_\text{t} dabc \approx 19{,}4\,\text{GJ}$

Str. 264 zad. 6. $\frac{Q_\text{p}}{Q_\text{t}} \approx 6{,}7$

Str. 264 zad. 7. $Q = 452\,\text{kJ}$ $t = 100\,\text{min}$

Str. 268 zad. 6. a) $C = \frac{Q}{m\Delta t} \approx 450\,\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot{}^\circ\text{C}}$

c) $Q_\text{t} = \frac{Q}{m} = 270\,000\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}$

	Imię i nazwisko	Klasa	Rok szkolny	Podpis
1.	.....	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....	.....

Zdjęcie na okładce: Shutterstock/Tischenko Irina

Zdjęcia: BE&W: Alamy Stock Photo - 19th era s. 36a, volkerpreusser s. 43b, Warships s. 92, Classic Image s. 96a, Naum Chayer s. 109c, Lucas Vallecillos s. 122b, Alvey & Towers Picture Library s. 131, NG Images s. 188, 193, Artokoloro Quint Lox Limited s. 206a, b, Grant Heilman Photography s. 235b, mauritius images GmbH s. 270; Science Source/Omikron s. 13a, Science Source s. 44, Granger Collection s. 91b, Universal History Archive/Universal Images Group s. 175a, HERITAGEIMAGES/Oxford Science Archive s. 207b; **DIOMEDIA**: Science Photo Library RM/Lawrence Berkeley National s. 81, Design Pics Historical/Ken Welsh s. 230a; **EAST NEWS**: Science Museum s. 29a, AP/FOTOLINK/IBM s. 46, SIPA s. 55 (kadr z filmu), Image Source Premium s. 78, Leemage s. 109a, REPORTER/Photoshot s. 119, Photo Researchers Inc./New York Public Library Picture s. 230b, AP/Fotolink/Gdansk University of Technology Press Office/XAK150 s. 230c; **FORUM**: Universal Images Group s. 201; **GETTY IMAGES**: DigitalVision Vectors/ZU_09 s. 109b, fStop Images – Caspar Benson s. 137b, Corbis Historical/NASA/Bill Ingalls s. 149, E+/vuk8691 s. 185c, Minden Pictures/Stephen Dalton s. 209; Legendary Rover Team/Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza s. 7 (łazik Legendary IV); NASA s. 9a, 73e, f, g, 229j; **PANTHERMEDIA**: elenathewise s. 195; **SHUTERSTOCK**: science photo s. 5, Gary Whitton s. 6, sdecoret s. 8-9 (radioteleskopy), Elena Elisseeva s. 8, Deni_M s. 9b, YIUCHEUNG s. 9c, Robert Przybysz s. 9d, SFIO CRACHO s. 9e, cyo bo s. 9f, Castleski s. 11, AlexLMX s. 13b, WojtekD s. 14, Zaretska Olga s. 16, nikitabuida s. 19, pogonici s. 21a, prostophoto s. 21b, Zhou Eka s. 21c, pixomar s. 21d, Dm_Cherry s. 24a, TaMaNKunG s. 25, Dean Drobot s. 27a, Golubovy s. 27b, conrado s. 27c, lzf s. 27d, Zurijeta s. 30, wavebreakmedia s. 36b, tstockphoto s. 37, Photobac s. 41, glen gaffney s. 42, AlexZi s. 43a, kavram s. 45, Mila Supinskaya Glashchenko s. 48c, marta amat s. 49a, nobeastsofierce s. 49b, Barbol s. 49c, meaculpa_1 s. 49d, Tania Thomson s. 51, Kalamurzing s. 52-53, abcphotosystem s. 52d, studiovin s. 53d, Henk Bentlage s. 55a, David Lee s. 55b, Jiri Hodecek s. 55c, vasekk s. 59, optimarc s. 60/3a, Yuliya Evstratenko s. 60/3b, Africa Studio s. 60/3c, Manamana s. 62a, h, i, Knorre s. 62b, Elena Schweitzer s. 62c, Sann von Mai s. 62d, pzAxe s. 62e, Karol Kozlowski s. 62f, gontar s. 62g, Galyna Andrushko s. 62j, Morozova Tatyana (Manamana) s. 64c, Niyazz s. 65a, amplejs s. 67a, Elnur s. 68, Castelski s. 70a, Vitalii Bashkatov s. 70b, Dimitar Sotirov s. 71b, wildestanimal s. 73a, Fauzan Maududdin s. 73b, hitryuga s. 73c, Africa Studio s. 73d, zentilia s. 75, solarseven s. 76, jurie s. 89, Vyacheslav Osokin s. 90a, b, Vadim Ratnikov s. 93a, Magnetic Mcc s. 93c, chartphoto s. 93d, Daniel Prudek s. 97, saoirse2013 s. 102, Hurst Photo s. 108, Federico Rostagno s. 111a, Snaprender s. 111b, kristian sekulic s. 112b, Cyhel s. 113, Dudarev Mikhail s. 118, QQ7 s. 121, Ollyy s. 122a, Roman Samborskyi s. 123, Timofeev Vladimir s. 124, Natursports s. 124a, Olena Tur s. 124b, Ekachai Stocker s. 124c, Terrance Emerson s. 125a, Regien Paassen s. 125b, Impact Photography s. 126, Sergey Novikov s. 129b, Suha Derbent s. 135, Soru Epotok s. 137a, photobar s. 140, Dima Fadeev s. 161, Piotr Sikora s. 162, MANDY GODBEHEAR s. 163, Andrey Yurlov s. 165a, Algol s. 165 b, Heiko Kueverling s. 167a, Federico Rostagno s. 168, Anna Grigorjeva s. 173, paul prescott s. 175b, Elena Schweitzer s. 178a, microcozm s. 178b, fotografos s. 178c, Jacob Lund s. 180, Graham Taylor s. 181b, Andrey Yurlov s. 185b, mezzotint s. 186a, Andrey Arkusha s. 186b, Amy Johansson s. 187a, LIUSHENGFILM s. 187b, Elnur s. 188a, Amanda Cook s. 188b, Gergo Orban s. 188c, Suzanne Tucker s. 189a, Rena Schild s. 194a, Johann Hayman s. 197, Andrii Vodolazhskyi s. 198-199, ThamKC s. 198a, Chepko Danil Vitalevich s. 198b, Alberto Tirado s. 198c, Thierry Maffeis s. 198d, Valentyn Volkov s. 199a, Paweł Strykowski s. 199b, TebNad s. 199c, JazzBoo s. 199d, CREATISTA s. 200a, TravnikovStudio s. 200b, IlkerErgun s. 203a, Vacancylizm s. 203b, MilanMarkovic78 s. 203c, smereka s. 204a, oticki s. 204b, Hein Nouwens s. 205, 207a, c, jprom s. 208, SUMITH NUNKHAM s. 210, S-F s. 213, David Carillet s. 214, Oscity s. 215, Iakov Filimonov s. 217, CroMary s. 218, easaab s. 220, beboy s. 225, Petr Jilek s. 226b, INTERPIXELS s. 228, fluidworkshop s. 229, Wolfgang Kloehr s. 229a, Thomas Sztanek s. 229b, Thierry Maffeis s. 229c, Oleg Kozlov s. 229d, Andrzej Gibasiewicz s. 229e, Yuri Bathan s. 229f, Galyna Andrushko s. 229g, beboy s. 229h, terekhov igor s. 229i, Marinko Tarlac s. 229k, Off_abstract s. 232a, Africa Studio s. 232b, DUSAN ZIDAR s. 232c, Rohappy s. 232d, Chones s. 232e, Maria Arencibia s. 232f, Gumenyuk Dmitriy s. 232g, kaband s. 232h, Arthur Linnik s. 232i, Alex Mit s. 234, Rickshu s. 236a, weerasak saeku s. 236b, DONOT6_STUDIO s. 236c, RTimages s. 239a, Steven Coling s. 240b, Katrina Leigh s. 240c, Sami_lelya s. 241a, Artazum s. 242, Simon Dannhauer s. 246, spline_x s. 247, Denis Burdin s. 250a, Vladislav Gajic s. 250b, sirtravelalot s. 250d, iMarzi s. 251a, MarcelClemens s. 251b, infong s. 254, jo Crebbin s. 256, images and videos s. 258a, Picsfive s. 258b, xstockerx s. 258c, Godlikeart s. 258d, Africa Studio s. 258e, Elena Schweitzer s. 258f, Pavel L Photo and Video s. 258g, Darryl Sleath s. 260a, eldar nurkovic s. 261, CAN BALCIOGLU s. 263a, Poznyakov s. 263b, Vadim Ponomarenko s. 264a, TMON s. 264e, vvoe s. 269; **THINKSTOCK/GETTY IMAGES**: iStockphoto: Mrodionova s. 67b, VladimirSklyarov s. 93b, konstantin32 s. 96b, iStock Editorial/RSMcLeod s. 182, nazar_ab s. 196 oraz AeroVelo/HH/Bas de Meijer, 2014 s. 194b, Anna Budzyńska s. 12, 17, 18, 22, 23, 24b, 28, 29b, 31-35, 47, 48a, 50, 52a, b, c, 53a, b, c, 56-58, 60a, b, c, 60/2a, 2b, 2c, 61, 63, 64a, b, 65b, 69, 71a, 74, 77, 79, 80, 82, 88, 90c, d, 91a, 94, 98, 101, 105-107, 110, 112a, 128, 129a, 141, 160, 164, 166, 167b, 169, 174, 176a, b, 178d, 179, 181a, 183, 185a, 189b, 211, 212, 223a, b, c, 224, 226a, 227, 233, 235a, 237, 238a, b, 239b, 240a, 241b, 243, 245, 249, 253, 259, 260b, 262, 264b, c, d, Tomasz Ryszewski s. 48b, ZARM Center of Applied Space Technology and Microgravity/University of Bremmen/Stefan Schmidbauer s. 177a, b.

Autorzy rysunków: Andrzej Dukata: 31, 38, 39, 42, 130, 131, 134 (a), 138, 145 (b), 146, 147, 148, 149, 151-157, 159, 162–164, 172 (b), 179, 191 (b), 192, 195, 196, 200 (a), 203, 208, 213, 216–218, 220–222, 227, 248 (b), 254, 269–271. Pozostałe rysunki: Ewelina Baran, Zuzanna Dudzic, Agata Knajdek, Joanna Ptak.

Spotkania z fizyką

Kinematyka		
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
Dynamika		
druga zasada dynamiki	$a = \frac{F}{m}$	a – przyspieszenie, F – siła, m – masa ciała
siła ciężkości	$F_g = m \cdot g$	m – masa, g – przyspieszenie grawitacyjne
Praca, moc, energia		
praca	$W = F \cdot s$	F – siła, s – droga
przyrost energii potencjalnej grawitacji	$\Delta E_p = F_g \cdot h$ $\Delta E_p = m \cdot g \cdot h$	F_g – 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
Termodynamika		
ciepło pobierane	$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$	m – masa, c – ciepło właściwe, ΔT – przyrost temperatury
Hydrostatyka i aerostatyka		
gęstość	$d = \frac{m}{V}$	m – masa, V – objętość
ciśnienie	$p = \frac{F_n}{S}$	F_n – 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)

Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-4653-6
9 788326 746536