NOWOŚĆ
2024

SPOSÓB NA FIZYKĘ

Oznaczono zmiany i wykreślenia

E-book na eduranga.pl

PODSTAWA 2024

WSiP

Podręcznik
Szkoła podstawowa

8

Drogi WSiP,

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

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

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

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

Czas rozpocząć nową erę, w której papier nie jest bezczelnie marnowany dla pieniędzy. Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

Jak korzystać z podręcznika 5

I. Drgania

1. Drgania wokół nas 8
2. Opis ruchu drgającego 15
3. Przemiany energii w ruchu drgającym 23
4. Ruch drgający na wykresach 29
5. Badanie ruchu drgającego 36

Powtórzenie. Drgania 42
Tekst popularnonaukowy *Zegarek mechaniczny* 47

II. Fale

6. Fala mechaniczna 50
7. Wielkości opisujące fale 56
8. Dźwięk 61
9. Rejestrowanie dźwięku 68

Powtórzenie. Fale 74
Tekst popularnonaukowy *Zjawisko Dopplera* 79

III. Elektrostatyka

10. Ładunek elektryczny 82
11. Elektryzowanie przez tarcie i dotyk 87
12. Oddziaływanie elektryczne. Elektroskop 94
13. Przewodniki i izolatory 100

Powtórzenie. Elektrostatyka 106
Tekst popularnonaukowy *Drukarka laserowa* 111

IV. Prąd elektryczny

14. Napięcie elektryczne 114
15. Natężenie prądu elektrycznego 121
16. Opór elektryczny 128
17. Obwody elektryczne 134
18. Kilowatogodzina 142
19. Praca i moc prądu elektrycznego 149
20. Korzystanie z energii elektrycznej 157

Powtórzenie. Prąd elektryczny 164
Tekst popularnonaukowy *Defibrylator* 169

V. Magnetyzm

21. Magnesy 172
22. Elektromagnesy 180
23. Silnik elektryczny 187
24. Fale elektromagnetyczne 194
Powtórzenie. Magnetyzm 202
Tekst popularnonaukowy *Indukcja elektromagnetyczna* 207

VI. Światło

25. Światło i jego źródła 210
26. Rozchodzenie się światła 216
27. Odbicie światła 223
28. Zwierciadła wklęsłe i zwierciadła wypukłe 230
29. Załamanie światła 239
30. Rozszczepienie światła białego 247
31. Soczewki skupiające 253
32. Soczewki rozpraszające. Krótkowzroczność i dalekowzroczność 263
Powtórzenie. Światło 272
Tekst popularnonaukowy *Krótka historia obserwacji nieba* 277

Odpowiedzi i wskazówki do zadań 279
Tabele 285
Indeks rzeczowy 289

treści usunięte wg podstawy programowej 2024

F treści fakultatywne wg podstawy programowej 2024

Jak korzystać z podręcznika

W trakcie lekcji

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

Dowiedz się więcej!

Dodatkowe informacje poszerzą twoją wiedzę na dany temat.

Tu znajdziesz najważniejsze wzory i pojęcia.

Rozglądaj się wokół!

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

Zobacz, jak to zrobić!

Przeanalizuj przykłady, by lepiej poznać nowe zagadnienia.

Zbadaj to sam!

Te doświadczenia możesz wykonać samodzielnie.

Sprawdź się!

Rozwiąż zadania, by sprawdzić swoje umiejętności. Zadania o podwyższonym stopniu trudności są oznaczone gwiazdką *.

Podsumujmy!

- Tu znajdziesz najważniejsze treści z całego rozdziału.

Na koniec działu

POWTÓRZENIE
Drgania

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

Sprawdź się!

Sprawdź swoje umiejętności.

Tekst popularnonaukowy

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

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

DZIAŁ I

DRGANIA

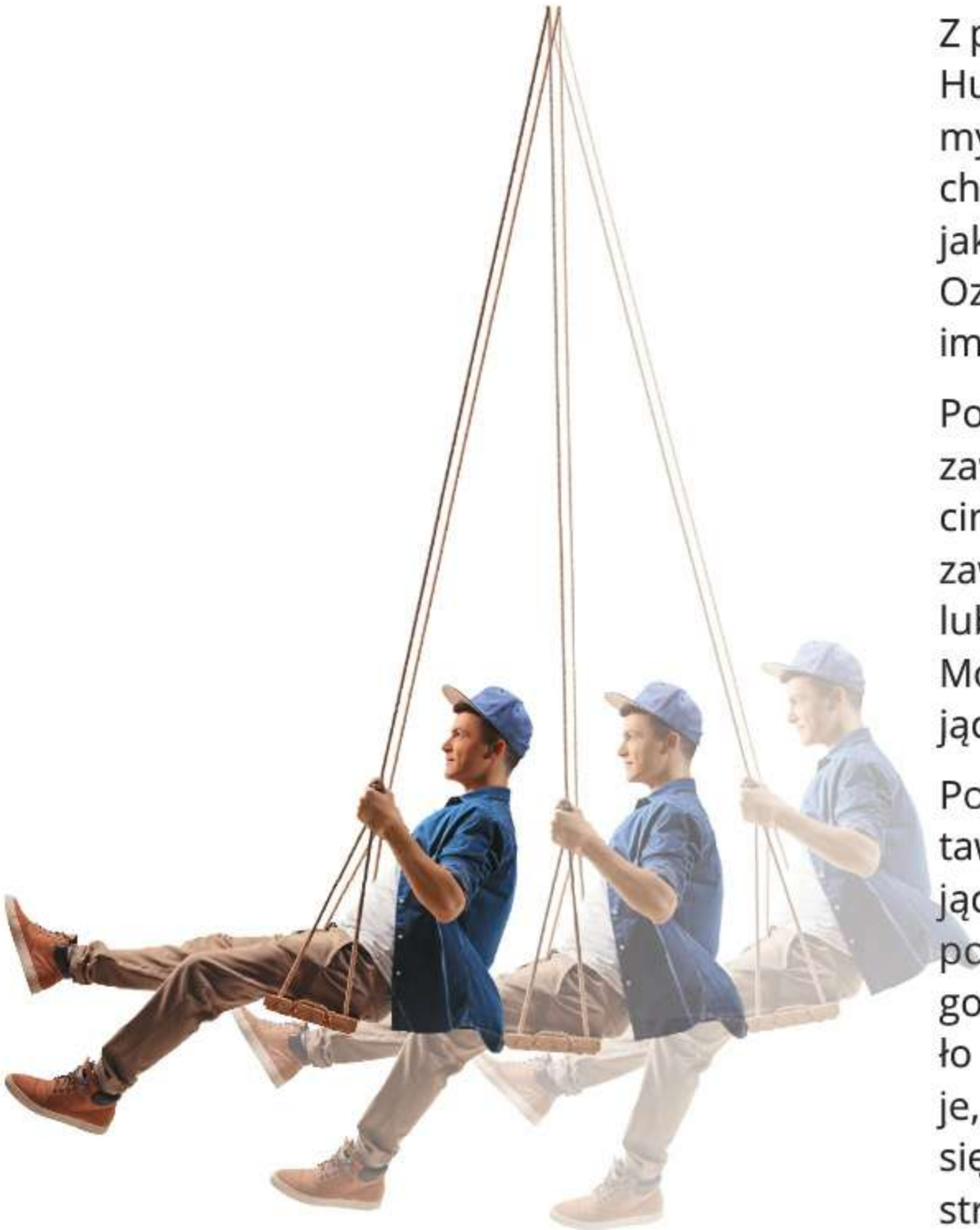
Jak zmierzyć okres drgań?

Co to jest herc?

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

1. Drgania wokół nas

- Jaki ruch nazywamy ruchem drgającym?
- Czym są położenie równowagi i amplituda drgań?

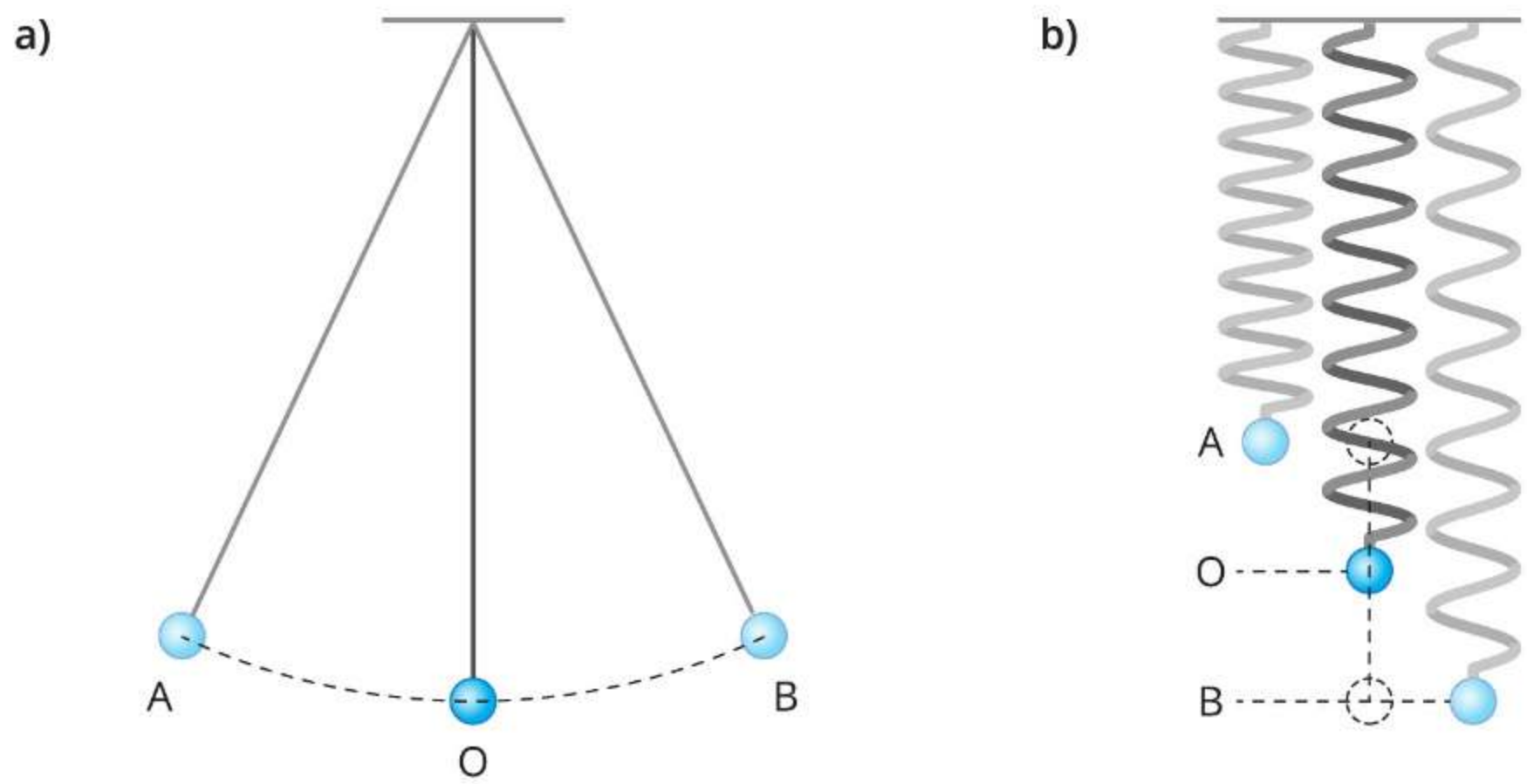


Ryc. 1.1. Huśtawka porusza się ruchem drgającym.

Z pewnością niejeden raz huśtaliście się na huśtawce. Huśtawka porusza się tam i z powrotem po tym samym torze (ryc. 1.1.), a jej prędkość podczas tego ruchu nieustannie się zmienia. Tak położenie huśtawki, jak i jej prędkość zmieniają się okresowo (cyklicznie). Oznacza to, że wszystkie położenia i odpowiadające im prędkości co pewien określony czas się powtarzają.

Podobnie jak huśtawka porusza się na przykład kulka zawieszona na nici, gdy odchylimy ją od pionu i puścimy (ryc. 1.2.a). Cyklicznie porusza się także kulka zawieszona na sprężynie (ryc. 1.2.b), gdy rozciągniemy lub ściśniemy tę sprężynę, a następnie ją puścimy. Mówimy, że każde z tych ciał porusza się ruchem drgającym lub że wykonuje drgania.

Położenie, w którym znajduje się nieruchoma huśtawka lub inne ciało przed rozpoczęciem ruchu drgającego, nazywa się położeniem równowagi. Dopiero po wychyleniu ciała z tego położenia i puszczeniu go swobodnie zacznie ono wykonywać drgania. Ciało zbliża się wówczas do położenia równowagi, mija je, wychyla się w drugą stronę, po czym znów zbliża się do położenia równowagi, mija je i tak dalej. Na ilustracji 1.2. przedstawiono położenia równowagi kulek drgających: na nici (wahadło) i na sprężynie (wahadło sprężynowe) oraz tory ich ruchu.



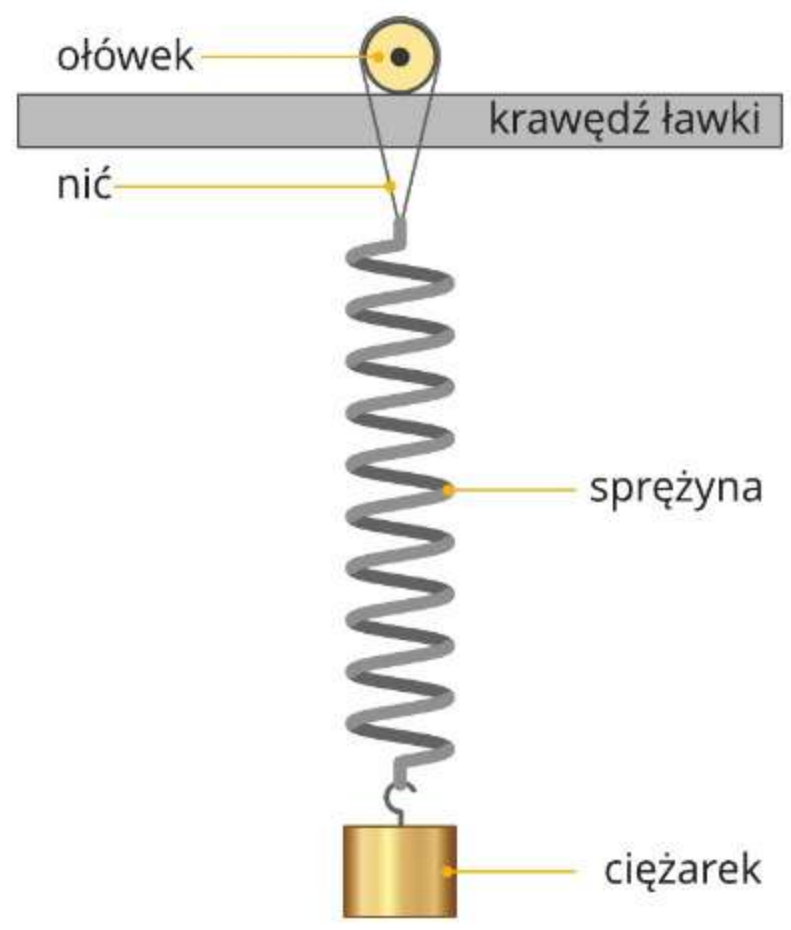
Ryc. 1.2. Kulka drgająca na nici (a) oraz kulka drgająca na sprężynie (b) poruszają się okresowo po określonym torze od położenia A do B i z powrotem do A. Literą O oznaczono położenie równowagi.

Drgające ciało wychyla się z położenia równowagi w jedną i w drugą stronę. Odległość od położenia równowagi do jednego ze skrajnych wychyleń nazywamy amplitudą drgań. Amplitudę oznaczamy symbolem *A* i wyrażamy w jednostkach długości, czyli na przykład w metrach. Odległość między dwoma skrajnymi wychyleniami drgającego ciała jest równa podwojonej amplitudzie.

Zbadaj to sam!

Obserwujemy ruch ciężarka na sprężynie

1. Do doświadczenia będą potrzebne: ciężarek, sprężyna, ołówek, nić, taśma klejąca.
2. Przymocuj ciężarek do sprężyny, a sprężynę przywiąż do ołówka.
3. Przyklej ołówek taśmą klejącą do ławki w taki sposób, żeby ciężarek zawieszony na sprężynie mógł swobodnie wykonywać drgania w górę i w dół.
4. Wychyl ciężarek z położenia równowagi i obserwuj jego ruch.
5. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje i spostrzeżenia. W których momentach ruchu ciężarek się rozpędzał, a w których zwalniał? Czy były momenty, w których prędkość ciężarka była równa zeru? W których momentach ruchu ciężarek poruszał się z największą prędkością?



Rozglądaj się wokół!

Ruch drgający wokół nas

Wokół nas można wskazać wiele ciał, które poruszają się ruchem drgającym.

Dziecko siedzące na koniu na biegunach wychyla się do przodu lub do tyłu i zaczyna się bujać, czyli poruszać się ruchem drgającym.

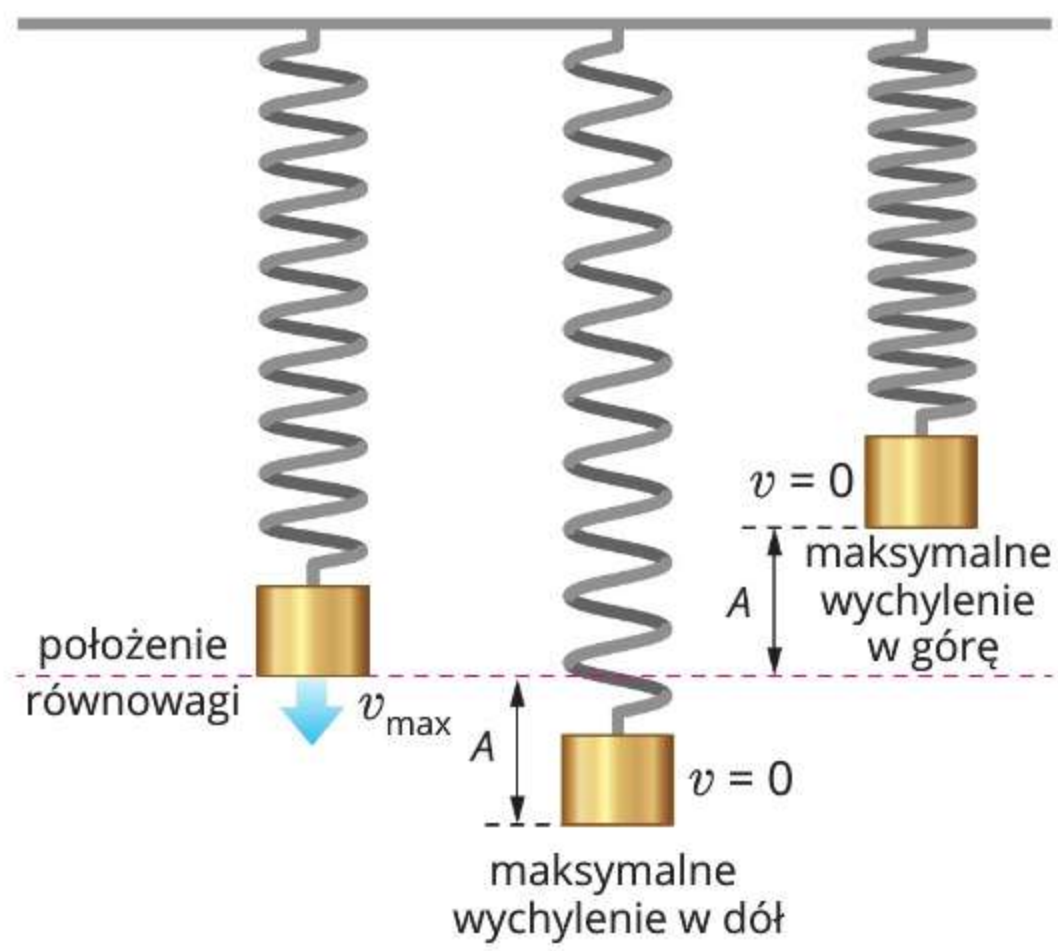
Gdy ryba trąci przynętę zawieszoną na żyłce, spławik zaczyna poruszać się w górę i w dół względem miejsca, w którym początkowo się znajdował. Spławik wykonuje drgania.

Piłkarzyki to stołowa gra zręcznościowa, imitująca grę w piłkę nożną. Figurki zawodników zamocowane na sprężynach i wprawione w ruch wykonują drgania.

Stojąca gruszka bokserska składa się z worka treningowego (tzw. gruszki) na sprężystym pręcie przytwierdzonym do masywnej podstawy. Gdy bokser uderzy w gruszkę, zaczyna się ona poruszać ruchem drgającym.

Kiedy ptak usiądzie na gałęzi, początkowo odchyli się ona w dół, a następnie zacznie poruszać się ruchem drgającym.

Prędkość ciała drgającego jest równa zeru, gdy jego wychylenie z położenia równowagi jest największe. Prędkość ciała przyjmuje największą wartość, gdy ciało przechodzi przez położenie równowagi (ryc. 1.3.). Ciało drgające porusza się w taki sposób, że jego prędkość zmienia się okresowo (cyklicznie) pod wpływem siły zwróconej do położenia równowagi.



Ryc. 1.3. Zmiany położenia i prędkości w ruchu drgającym ciężarka zawieszonego na sprężynie

Ruchem drgającym nazywamy ruch odbywający się po wychyleniu ciała z położenia równowagi, polegający na przemieszczaniu się tego ciała tam i z powrotem po tym samym torze. Prędkość ciała drgającego zmienia się okresowo pod wpływem siły zwróconej do położenia równowagi.

Dowiedz się więcej!

Wahadło Foucaulta

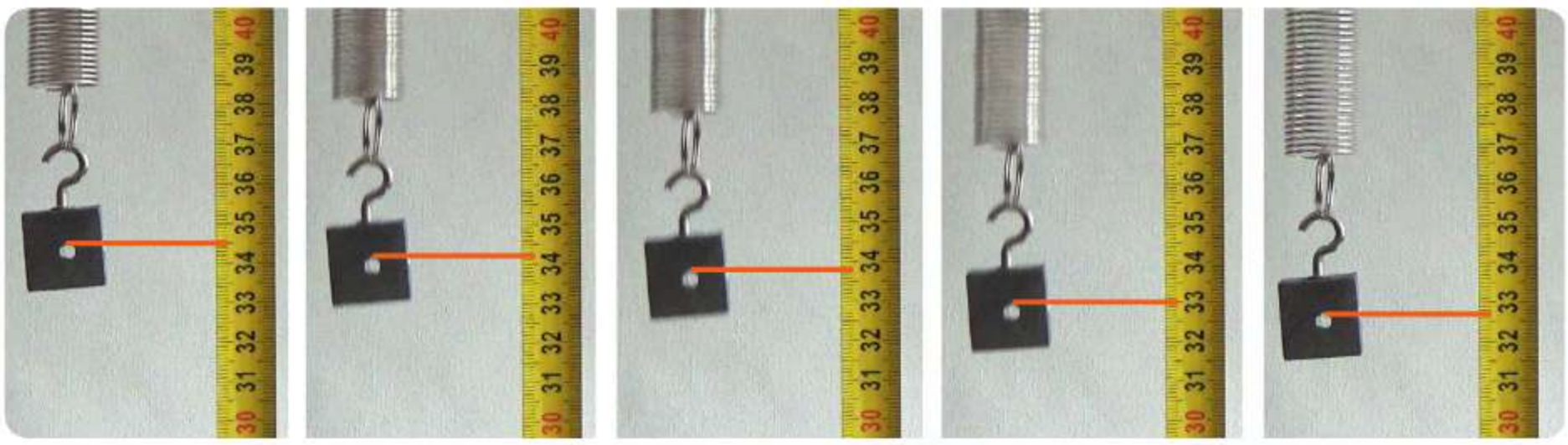
Doświadczenie z wahadłem, które może wykonywać drgania w dowolnej płaszczyźnie pionowej, zaprezentował w 1851 roku francuski fizyk Jean Foucault (czyt. żan fuko). Wahadło Foucaulta to ciężarek o dużej masie, zawieszony na długiej linie. Jego ruch obserwuje się przez dłuższy czas, np. kilka godzin. Można wówczas zauważyć, że elementy rozstawione na podłożu pod wahadłem (np. pręty) są po kolei przewracane przez ciężarek (ryc.). Obserwator stojący obok wahadła widzi, że ciężarek nie porusza się cały czas po takim samym torze – płaszczyzna ruchu wahadła się zmienia. Jednak w rzeczywistości wahadło porusza się cały czas w tej samej płaszczyźnie. Dlaczego więc obserwatorowi wydaje się, że jest inaczej? To dlatego, że Ziemia pod wahadłem (i obserwator razem z nią) się porusza. Ziemia wiruje wokół własnej osi, czyli obraca się względem płaszczyzny drgań wahadła. Ruch wahadła Foucaulta jest konsekwencją ruchu obrotowego Ziemi.

Wahadło Foucaulta można zobaczyć w wielu miejscach – powyżej zamieszczono fotografię z Centrum Nauki Kopernik w Warszawie (długość wahadła to ok. 16 m, a masa – ok. 242 kg).

Zobacz, jak to zrobić!

Wyznaczmy amplitudę drgań i położenie równowagi ciężarka zawieszonego na sprężynie, którego ruch drgający zarejestrowano na filmie cyfrowym. Ciężarek poruszał się ruchem drgającym wzdłuż nieruchomo zamocowanej taśmy mierniczej.

Na ilustracji poniżej pokazano kilka klatek z filmu, na których ciężarek znajduje się w różnych położeniach. Na pierwszej i ostatniej ciężarek przyjmuje skrajne położenia.



Szukane: *A*, położenie równowagi

Rozwiązanie:

Maksymalne górne położenie odpowiada punktowi 34,5 cm na taśmie mierniczej, a maksymalne dolne położenie – punktowi 32,7 cm. Wobec tego odległość między skrajnymi położeniami ciężarka, która jest równa podwojonej amplitudzie, wynosi:

$$2A = 34{,}5\ \text{cm} - 32{,}7\ \text{cm}$$

$$2A = 1{,}8\ \text{cm}$$

Innymi słowy, amplituda drgań, czyli odległość od położenia równowagi do maksymalnego wychylenia tego ciężarka, jest równa:

$$A = 1{,}8\ \text{cm} : 2 = 0{,}9\ \text{cm}$$

Na postawie znajomości skrajnych położeń ciężarka podczas ruchu drgającego można wyznaczyć położenie równowagi. Znajduje się ono w połowie odległości między tymi skrajnymi położeniami. W tym przypadku położenie równowagi odpowiada na taśmie mierniczej punktowi:

$$32{,}7\ \text{cm} + 0{,}9\ \text{cm} = 33{,}6\ \text{cm}$$

Odpowiedź: Amplituda drgań ciężarka wynosi 0,9 cm, a położenie równowagi odpowiada punktowi 33,6 cm na taśmie mierniczej.

Podsumujmy!

- **Położenie równowagi** to położenie, w którym znajduje się nieruchome ciało przed rozpoczęciem ruchu drgającego.
- **Ruch drgający** to ruch okresowy (cykliczny), odbywający się po wychyleniu ciała z położenia równowagi, polegający na przemieszczaniu się tego ciała tam i z powrotem po tym samym torze.
- **Amplitudą drgań** nazywamy odległość od położenia równowagi do jednego ze skrajnych wychyleń drgającego ciała.

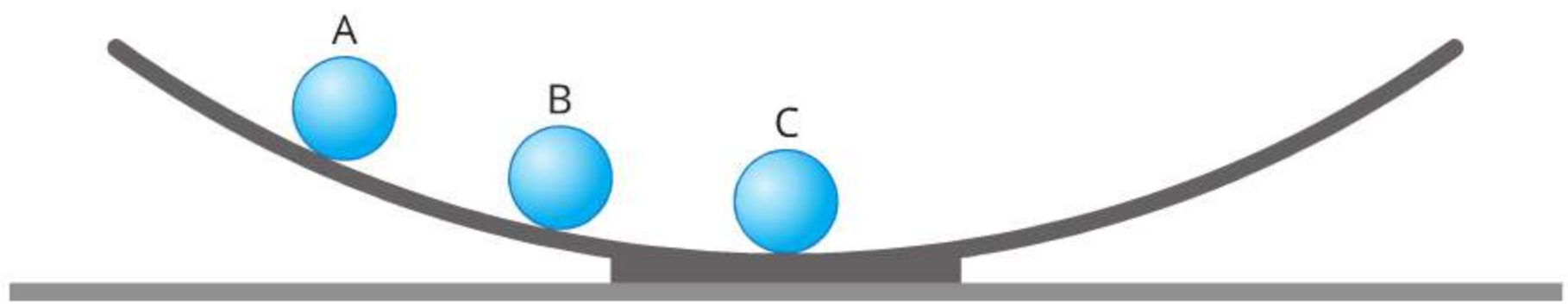
Sprawdź się!

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

1.	Ruch drgający to ruch, w którym ciało porusza się ze stałą prędkością tam i z powrotem po tym samym torze.	**P**	**F**
2.	Podczas ruchu ciała drgającego jego prędkość w położeniu równowagi jest największa.	**P**	**F**
3.	Kolejka linowa przemieszczająca się tam i z powrotem między dwiema stacjami ruchem jednostajnym to przykład ciała poruszającego się ruchem drgającym.	**P**	**F**
4.	Amplituda drgań to odległość pomiędzy dwoma skrajnymi położeniami ciała drgającego.	**P**	**F**

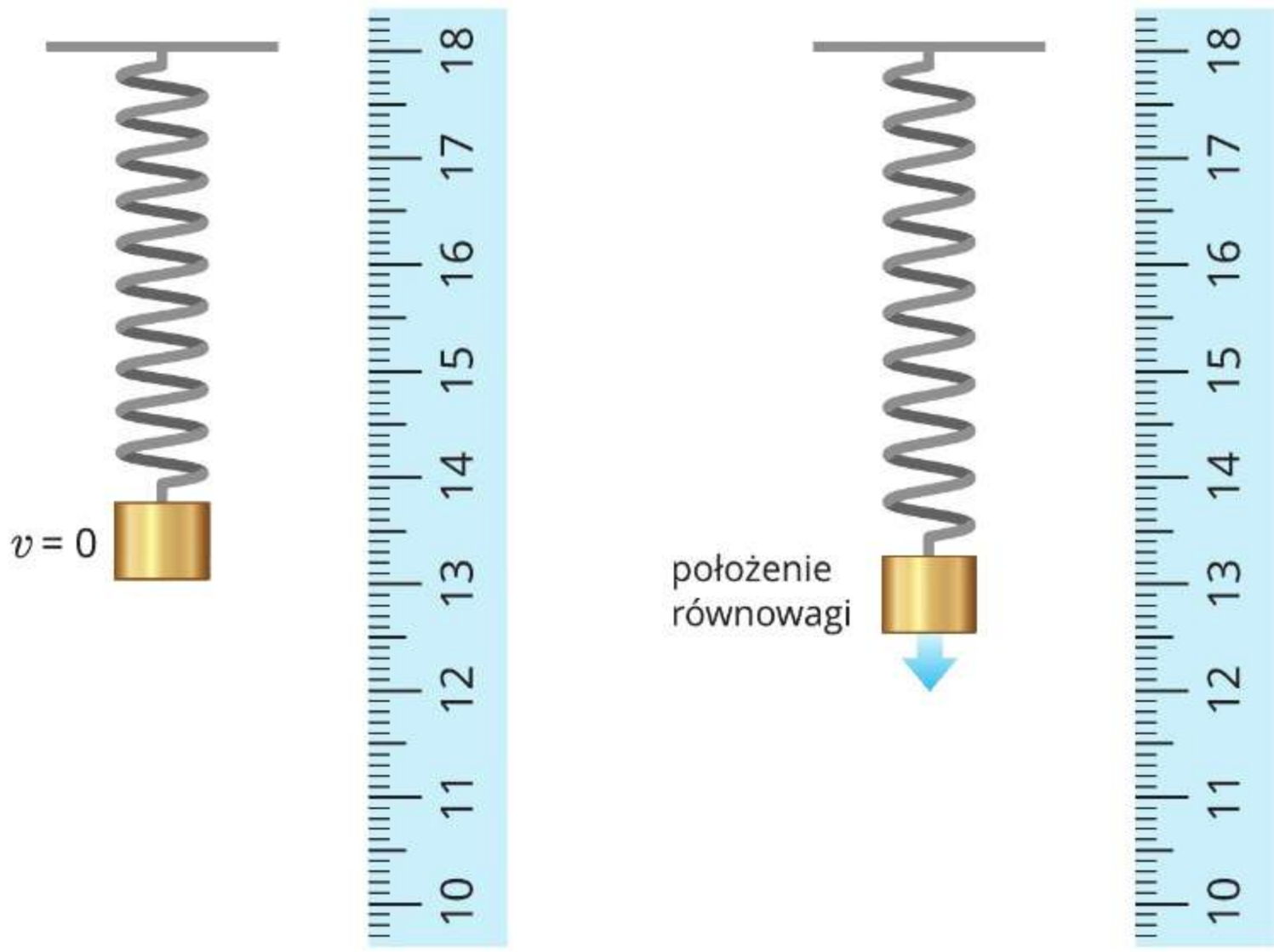
2. Zapisz w zeszycie dwa przykłady sytuacji (inne niż przytoczone w rozdziale), w których obserwujemy ruch drgający.

3. Na rysunku przedstawiono trzy położenia kulki poruszającej się ruchem drgającym w kulistej misie. Zapisz w zeszycie, w którym punkcie – A, B czy C – znajduje się kulka, gdy jej prędkość jest największa.



4. Dziecko siedzące przy choince wytrąciło jedną z bombek choinkowych wiszących na nitkach z położenia równowagi. Czy gdy bombka dotrze ponownie do położenia równowagi, to się zatrzyma?

5. Na ilustracji przedstawiono ciężarek zawieszony na sprężynie, uchwycony w dwóch momentach podczas drgań. Wyznacz amplitudę drgań ciężarka.



6*. Nagraj film przedstawiający ruch drgający wahadła. Wyznacz amplitudę drgań i położenie równowagi sposobem opisanym w sekcji *Zobacz, jak to zrobić!* na s.12.

2. Opis ruchu drgającego

- Czym jest okres drgań?
- Jaki jest związek okresu drgań z częstotliwością drgań?

Huśtawka wodna dostarcza korzystającym z niej osobom dodatkowego dreszczyku emocji. Gdy ktoś się na niej huśta, z dysz umieszczonych w poziomej belce, na której zawieszone jest siedzisko, w jednakowych odstępach czasu wypływają strumienie wody. Jednak osoba na huśtawce nie zostaje zmoczona (ryc. 2.1.). Dzieje się tak dlatego, że przerwy w przepływie wody są zsynchronizowane z przejściem siedziska pod dyszami, co jest możliwe dzięki temu, że czas, w jakim huśtawka wykonuje jedno wahnięcie, jest zawsze taki sam.

Ryc. 2.1. Huśtawka wodna

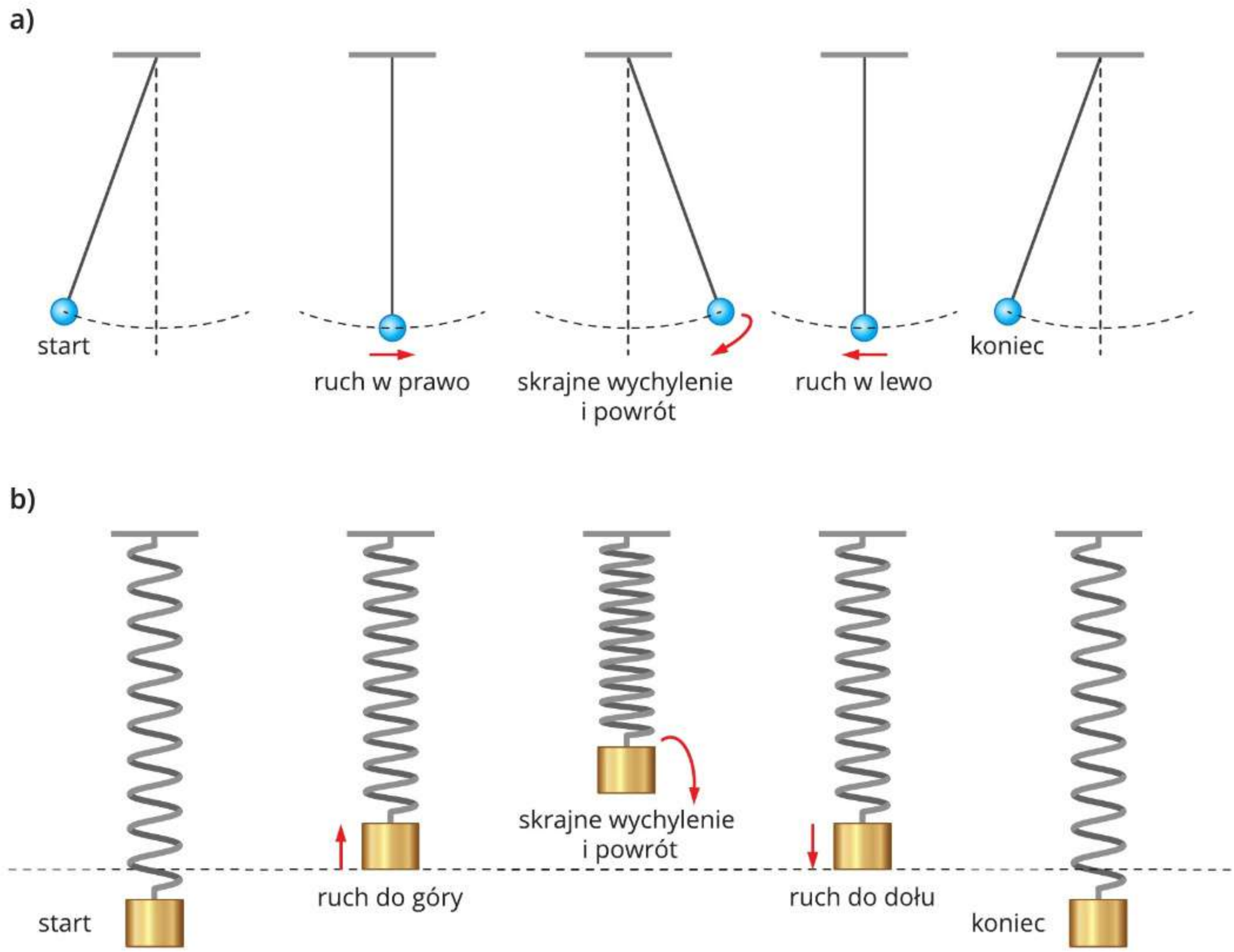
Cechą ruchu drgającego jest jego powtarzalność, co oznacza, że po upływie określonego czasu ciało – stale poruszające się po tym samym torze – powraca w to samo miejsce toru i zaczyna poruszać się ponownie w tę samą stronę, czyli zaczyna wykonywać kolejne wahnięcie (lub inaczej kolejne drganie).

Okres drgań to czas jednego pełnego wahnięcia ciała poruszającego się ruchem drgającym. Oznaczamy go literą *T*. Okres wyrażamy w jednostkach czasu, czyli sekundach, minutach itp.

Jeśli w pewnym czasie *t* drgające ciało wykonało *n* pełnych drgań, to czas jednego pełnego wahnięcia, czyli okres *T*, możemy obliczyć ze wzoru:

$$T = \frac{t}{n}$$

Jeśli chcemy wyznaczyć okres drgań wahadła za pomocą stopera, to mierzymy czas kilku pełnych wahnięć, a następnie dzielimy ten czas przez liczbę wahnięć. W ten sposób zwiększamy dokładność pomiaru. Okres drgań wahadła jest często bardzo krótki i przy pomiarze czasu pojedynczego wahnięcia czas reakcji człowieka miałby zbyt duży wpływ na wynik.



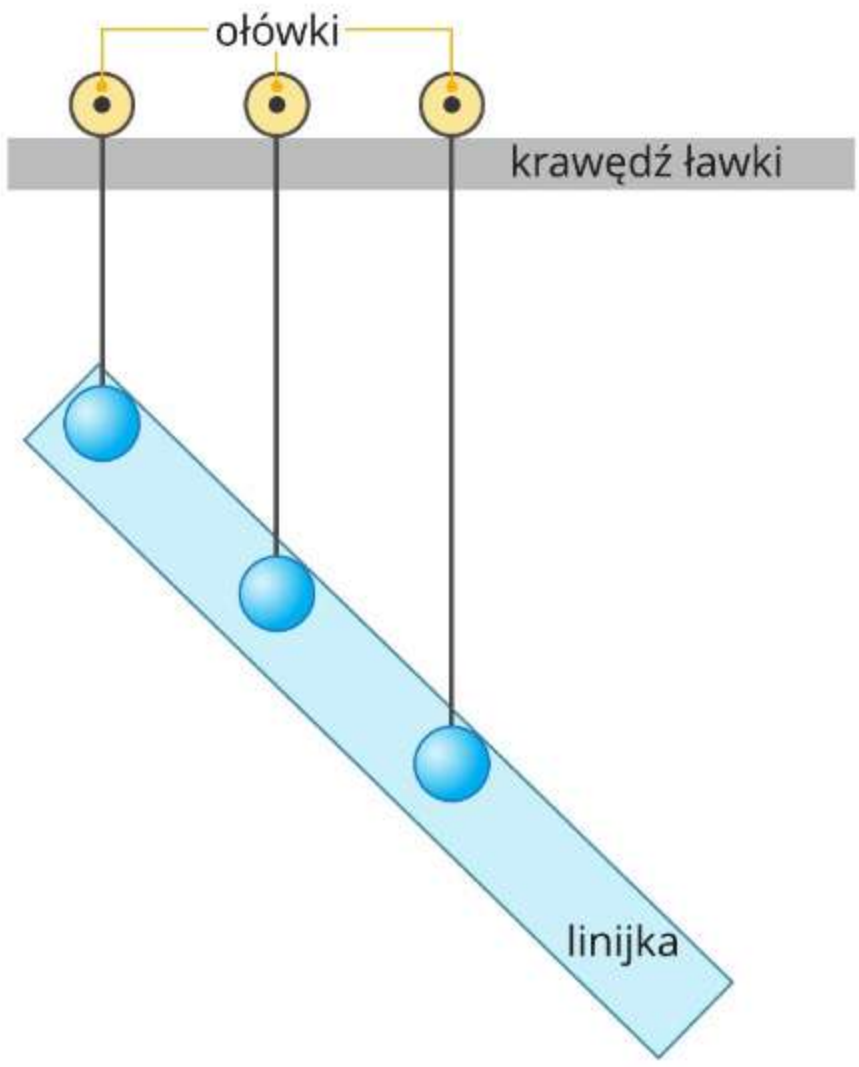
Ryc. 2.2. Kulka drgająca na nici (a) i ciężarek drgający na sprężynie (b) w ciągu okresu wykonują jedno pełne drganie.

Zbadaj to sam!

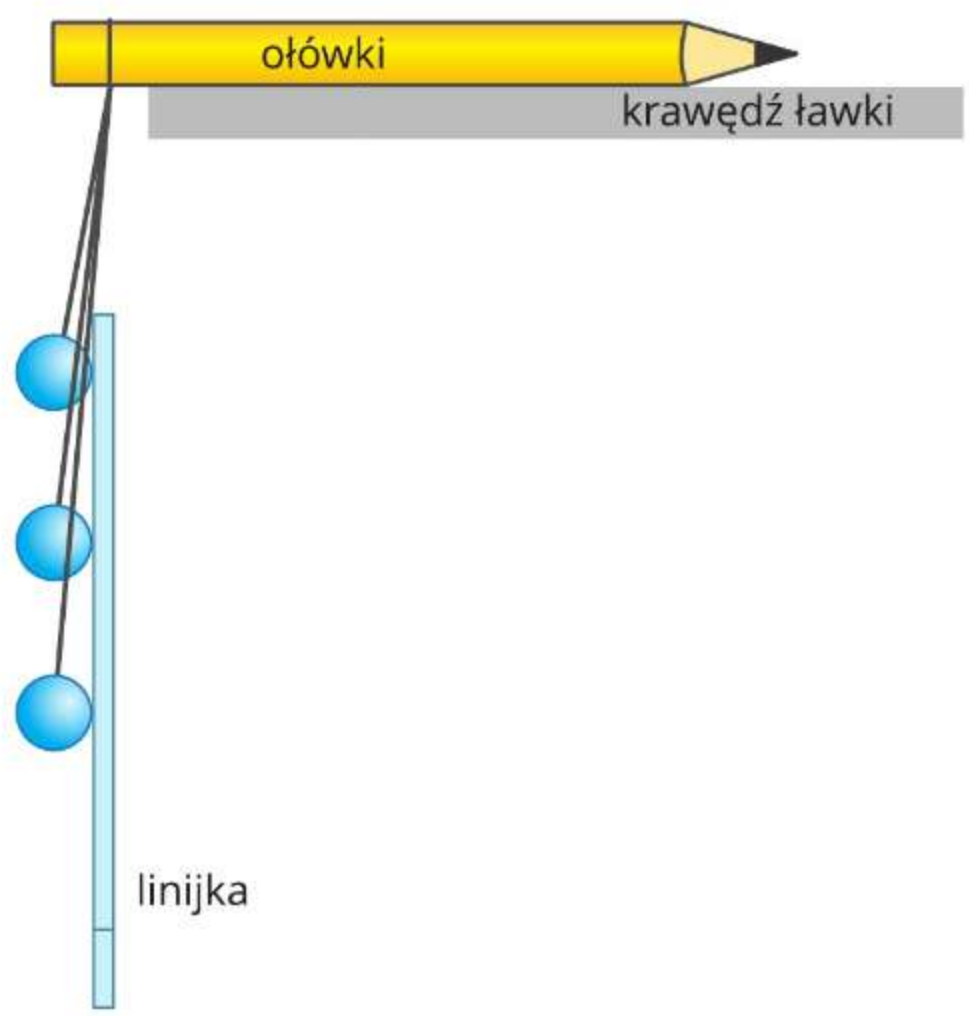
Wyznaczamy okresy drgań wahadeł o różnych długościach
(praca w grupach)

1. Do doświadczenia będą potrzebne: plastelina, nitka, trzy ołówki, nożyczki, taśma klejąca, linijka i trzy stopery.
2. Przygotujcie trzy nitki o wyraźnie różnych długościach, np. 40 cm, 50 cm, 60 cm.
3. Ulepcie z plasteliny trzy jednakowe kulki o średnicy 1 cm każda i do każdej z nich przymocujcie nitkę o innej długości. Otrzymacie w ten sposób trzy wahadła o różnych długościach.
4. Przywiążcie nitki do ołówków, a ołówki przyklejcie taśmą klejącą do krawędzi ławki tak, by wahadła mogły poruszać się jedno obok drugiego (ryc. a). W ten sposób będziecie mogli obserwować ich ruch jednocześnie.

a) widok od przodu



b) widok z boku



5. Odchylcie wahadła jednocześnie linijką tak, aby amplitudy ich drgań były jednakowe i wynosiły ok. 3 cm (ryc. b).
6. Odsuńcie linijkę i puśćcie wahadła, a jednocześnie włączcie stopery.
7. Zmierzcie czas, w jakim każde z wahadeł wykonało 10 pełnych drgań. Obliczcie okres drgań każdego z wahadeł.
8. Zapiszcie w zeszycie swoje obserwacje, wyniki obliczeń i odpowiedzcie na pytania: „Czy okres drgań każdego z wahadeł był taki sam? Od czego zależy ten okres?”.

Częstotliwość drgań wskazuje liczbę wahnięć (drgań), które zachodzą w czasie sekundy. Częstotliwość oznaczamy symbolem *f* (od ang. *frequency* – czyt. frikłensi).

Jeśli w pewnym czasie *t* drgające ciało wykonało *n* pełnych drgań, to częstotliwość obliczymy ze wzoru:

$$f = \frac{n}{t}$$

Jednostką częstotliwości jest herc (Hz).

$$1\ \text{Hz} = 1\ \frac{1}{\text{s}}$$

Zobacz, jak to zrobić!

Na gałązce choinkowej zawieszono na nitce niewielki cukierek. Poruszony przez kota, wykonał on 6 drgań w czasie 2 sekund. Obliczmy częstotliwość drgań cukierka.

Dane: $n = 6$, $t = 2$ s

Szukane: f

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na częstotliwość:

$$f = \frac{n}{t}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$f = \frac{6}{2\ \text{s}} = 3\ \frac{1}{\text{s}} = 3\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Częstotliwość drgań cukierka była równa 3 Hz.

Jeśli w czasie sekundy ciało wykonało 10 drgań, to mówimy, że częstotliwość jego drgań wynosiła 10 Hz. Częstotliwość 1000 Hz to 1 kHz (kiloherc), a 1 000 000 Hz to 1 MHz (megaherc).

Częstotliwość drgań *f* oraz okres drgań *T* tego samego ciała to wielkości od siebie zależne. Gdy znamy jedną z nich, możemy obliczyć drugą. W tym celu korzystamy z jednego ze wzorów:

$$f = \frac{1}{T}$$ lub $$T = \frac{1}{f}$$

Jeśli okres drgań rośnie, to częstotliwość tych drgań maleje. Jeśli okres drgań maleje, to ich częstotliwość rośnie.

W doświadczeniu z trzema wahadłami zaobserwowaliśmy, że każde z wahadeł wykonało 10 drgań w innym czasie, czyli miało inny okres drgań. Oznacza to także, że wahadła drgały z inną częstotliwością. Im wahadło było dłuższe, tym mniejsza była częstotliwość jego drgań.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy okres drgań wielkiego żyrandola, jeżeli częstotliwość jego drgań jest równa 0,2 Hz.

Dane: $f = 0{,}2$ Hz

Szukane: T

Rozwiązanie:

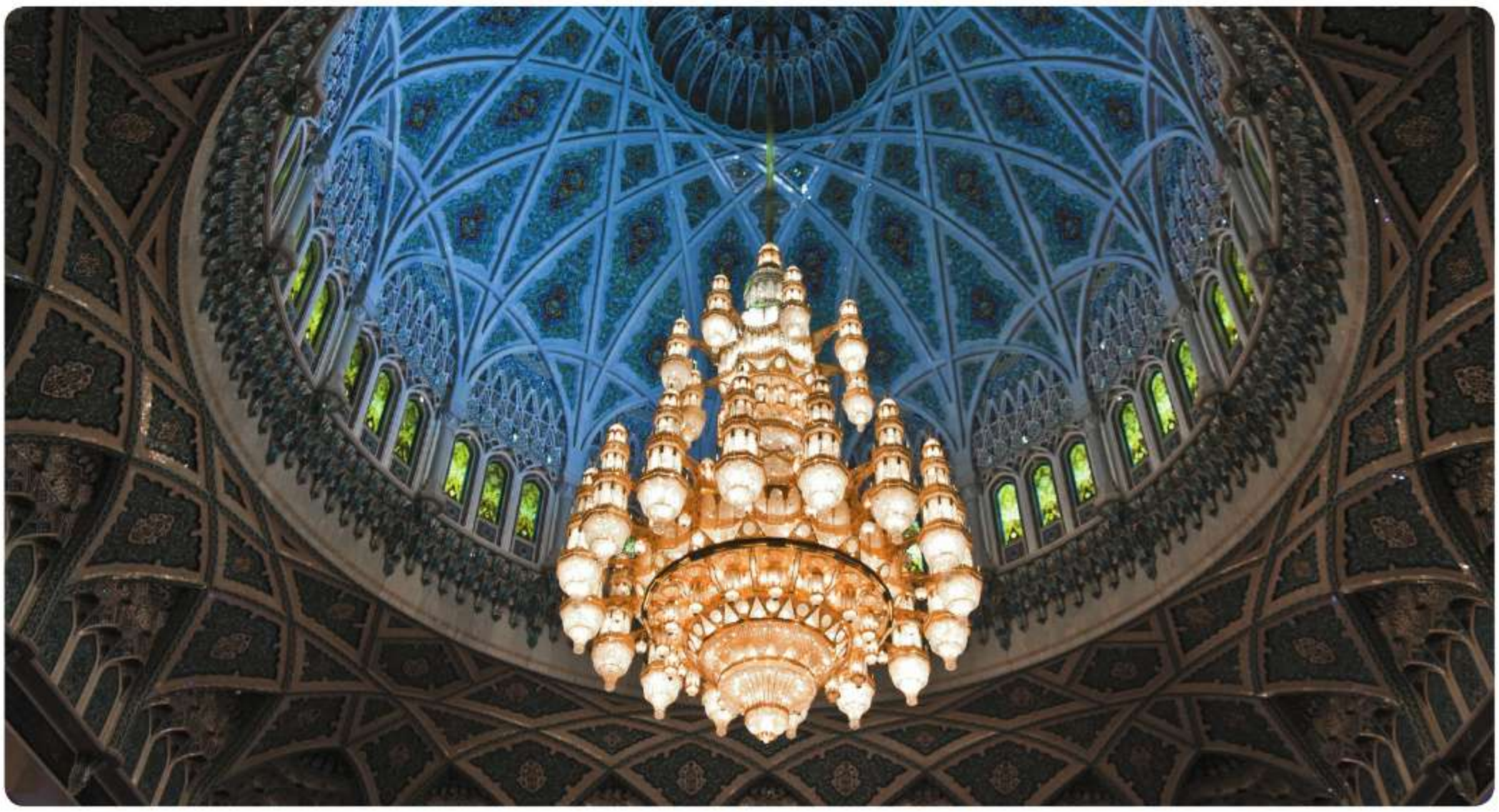
Okres oraz częstotliwość łączy zależność:

$$T = \frac{1}{f}$$

Podstawiamy dane do wzoru i obliczamy:

$$T = \frac{1}{0{,}2\ \text{Hz}} = \frac{1}{\frac{2}{10}\ \frac{1}{\text{s}}} = 1 \cdot \frac{10}{2}\ \frac{\text{s}}{1} = \frac{10}{2}\ \frac{\text{s}}{1} = 5\ \text{s}$$

Odpowiedź: Okres drgań tego żyrandola to 5 sekund.



Rozglądaj się wokół!

Drgające urządzenia

Wiele spośród urządzeń codziennego użytku porusza się ruchem drgającym o określonej częstotliwości.

Szlifierka oscylacyjna to urządzenie przeznaczone do szlifowania przede wszystkim płaskich i stosunkowo równych powierzchni. Zazwyczaj jest używana do obróbki drewna, gipsu lub kamienia. Częstotliwość drgań ruchomej tarczy szlifującej typowych szlifierek wynosi od 300 Hz do 450 Hz.

Ubijak to maszyna stosowana do zagęszczania miękkiego podłoża. Elementem poruszającym się ruchem drgającym jest tu metalowa płyta. Częstotliwość jej drgań, w zależności od modelu urządzenia i grubości zagęszczanej warstwy podłoża, waha się od 50 Hz do 70 Hz.

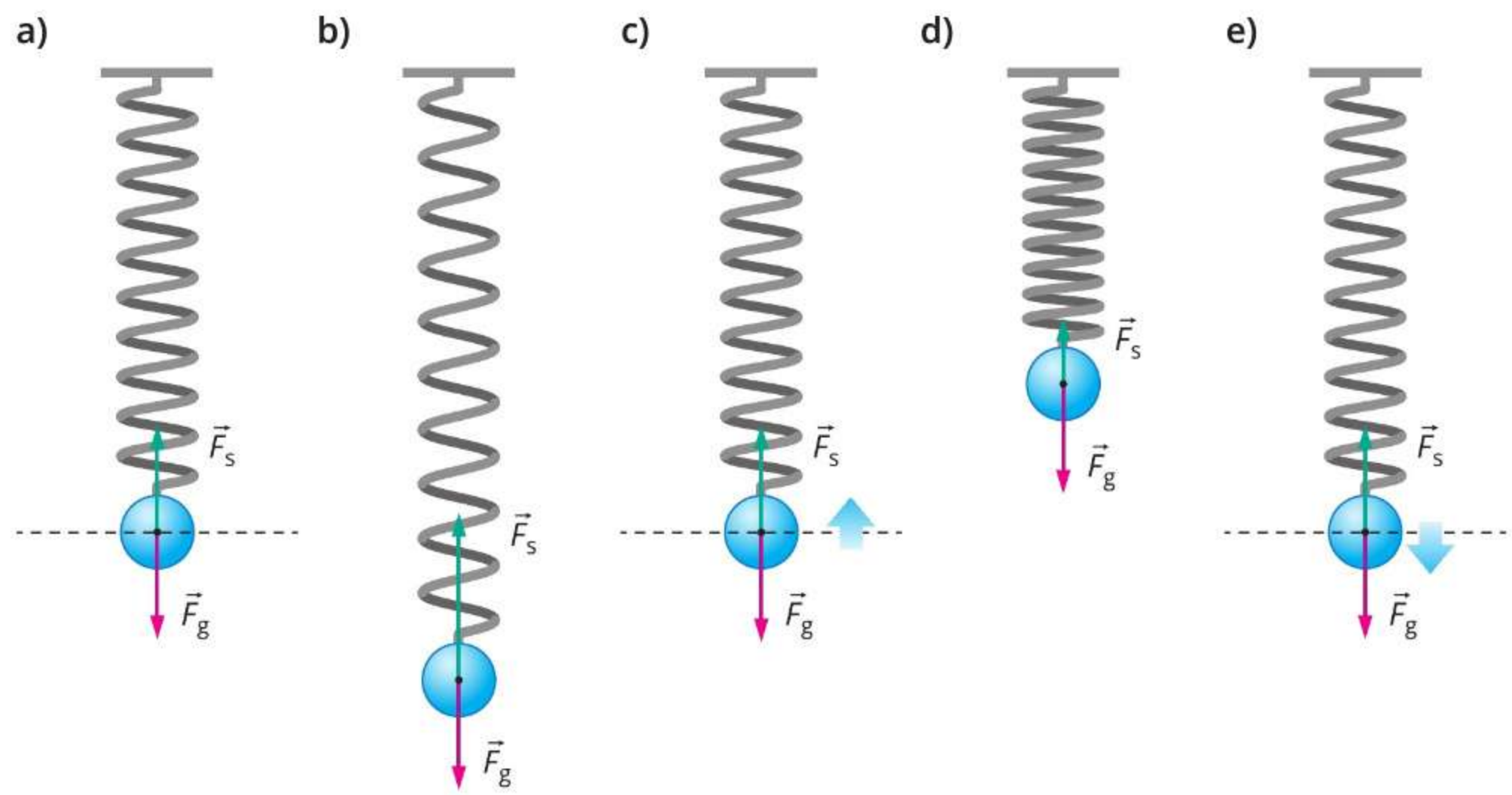
W pistolecie do masażu mięśni drga ruchoma końcówka masująca, tzw. głowica. Częstotliwość jej drgań można zmieniać zgodnie z zalecaniami fizjoterapeutów. W większości urządzeń jest ona regulowana w zakresie od 20 Hz do 50 Hz.

Metronom mechaniczny to urządzenie służące do podawania odpowiedniego tempa podczas gry na instrumentach muzycznych. To rodzaj wahadła, w którym podczas ruchu drgającego każdemu przejściu przez położenie równowagi towarzyszy stuknięcie. Częstotliwość drgań można regulować poprzez zmianę położenia ciężarka znajdującego się na ramieniu wahadła. Gdy przesuwamy ciężarek w górę, częstotliwość drgań maleje, a gdy w dół – rośnie. Standardowy metronom może wykonywać od 40 do 208 uderzeń na minutę (od 20 do 104 pełnych drgań wahadła), czyli może drgać z częstotliwością wynoszącą mniej więcej od 0,33 Hz do 1,73 Hz.

Dowiedz się więcej!

Jakie siły powodują ruch drgający wahadła sprężynowego?

Ciężarek zawieszony na sprężynie to przykład wahadła sprężynowego, które porusza się ruchem drgającym pod wpływem zmieniającej się siły sprężystości.



Na kulkę wahadła znajdującą się w położeniu równowagi (ryc. a) działają dwie siły: siła ciężkości $\vec{F}_g$ działająca w dół oraz siła sprężystości $\vec{F}_s$, jaką sprężyna ciągnie kulkę w górę. Siły te mają takie same wartości i przeciwne zwroty, wobec czego się równoważą. Właśnie dlatego, zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki Newtona, kulka spoczywa w położeniu równowagi.

Rozciągnięcie sprężyny, czyli wychylenie kulki w dół od położenia równowagi (ryc. b), a następnie jej puszczenie powoduje, że siły $\vec{F}_s$ i $\vec{F}_g$ przestają się równoważyć (siła sprężystości jest większa od siły ciężkości). Aby otrzymać siłę wypadkową, należy te dwie siły dodać do siebie wektorowo. Siła wypadkowa ma kierunek pionowy, tak jak siły składowe. Jej zwrot jest skierowany do góry, czyli w stronę położenia równowagi, więc kulka zaczyna się poruszać w tę właśnie stronę. Wartość siły jest równa różnicy wartości sił $\vec{F}_s$ i $\vec{F}_g$. Zgodnie z drugą zasadą dynamiki prędkość kulki rośnie.

Prędkość kulki jest maksymalna, gdy przechodzi ona przez położenie równowagi (ryc. c). W tym położeniu obie siły się równoważą. Po jego przekroczeniu wydłużenie sprężyny zmniejsza się, zatem siła sprężystości przestaje równoważyć ciężar kulki (siła sprężystości jest wówczas mniejsza od siły ciężkości, ryc. d). Siła wypadkowa jest znowu skierowana w stronę położenia równowagi, ale przeciwnie do ruchu kulki, co powoduje, że prędkość kulki maleje.

Wahadło porusza się ruchem drgającym pod wpływem siły wypadkowej, która zawsze jest skierowana w stronę położenia równowagi. Wartość siły wypadkowej zmienia się wraz z odległością ciała od położenia równowagi. Im jest ono bliżej tego położenia, tym siła wypadkowa jest mniejsza.

Podsumujmy!

- **Okres drgań** to czas potrzebny na wykonanie jednego pełnego drgania.
- **Częstotliwość** wskazuje liczbę drgań, które zachodzą w czasie sekundy. Jej jednostką jest herc (Hz).
- Częstotliwość drgań *f* oraz okres drgań *T* to wielkości od siebie zależne:

$$f = \frac{1}{T}$$

Sprawdź się!

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

1.	Jednostka okresu jest taka sama jak jednostka czasu.	**P**	**F**
2.	Jeżeli częstotliwość drgań huśtawki jest równa 0,5 Hz, to okres jej drgań jest równy 0,5 s.	**P**	**F**
3.	Częstotliwość drgań możemy wyrażać w kHz.	**P**	**F**
4.	Spośród dwóch ciał drgających większą częstotliwość ma to, które w tym samym czasie wykonuje więcej drgań.	**P**	**F**

2. Uczniowie zauważyli, że huśtawka mija położenie równowagi dokładnie co 2 sekundy. Ile wynosi okres jej drgań?

3. Metronom mechaniczny wykonał w ciągu minuty 60 pełnych drgań, czemu towarzyszyło 120 stuknięć. Oblicz częstotliwość drgań tego metronomu.

4. Samochód zabawka drga na sprężynach podtrzymujących jego osie. Oblicz częstotliwość jego drgań, jeśli wiadomo, że okres tego ruchu jest równy 0,24 s. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

5. Oblicz okres drgań ubijaka do gruntu, którego częstotliwość drgań wynosi 60 Hz. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

3. Przemiany energii w ruchu drgającym

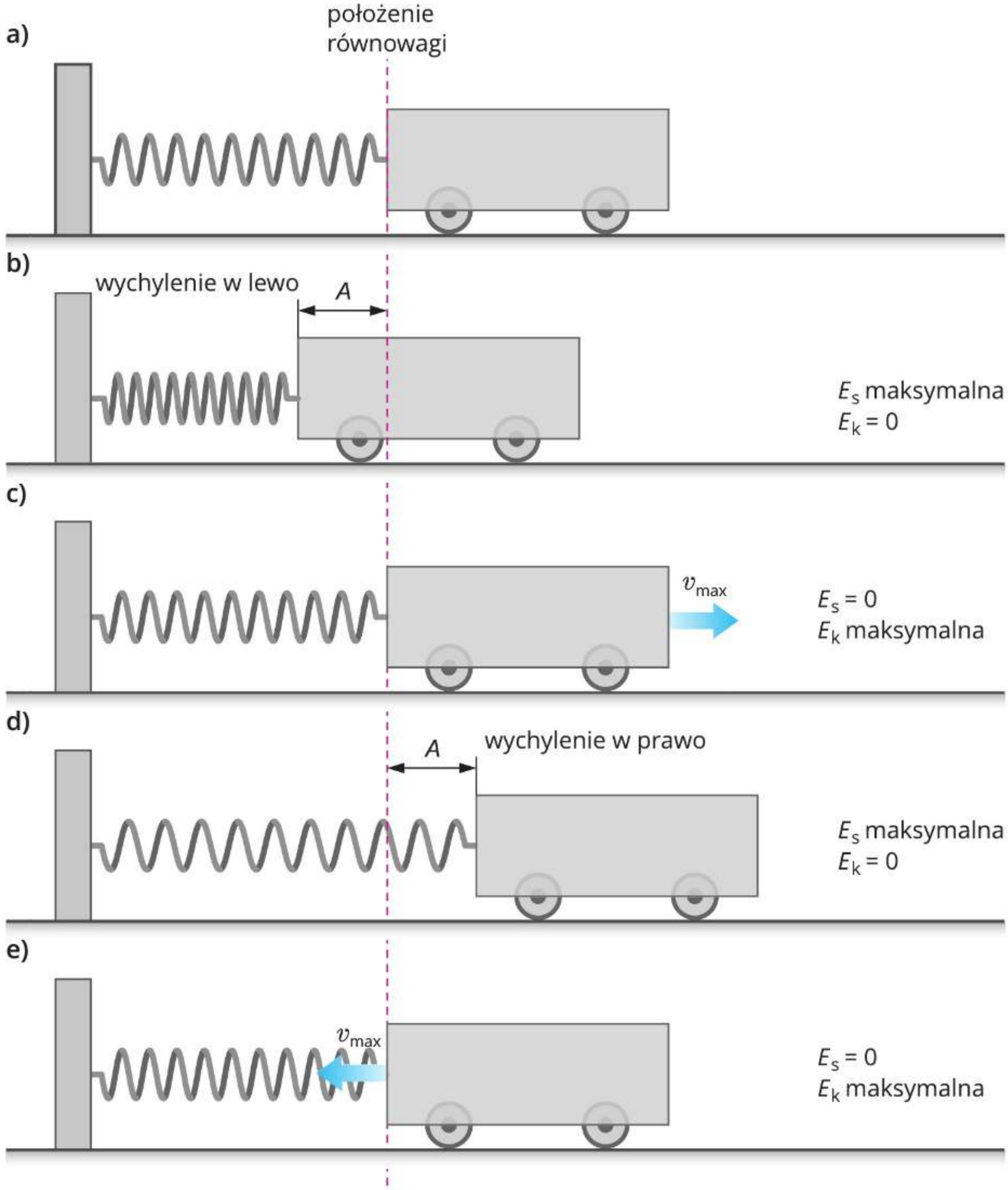
- Jak zmienia się energia ciała drgającego?
- Czy w ruchu drgającym spełniona jest zasada zachowania energii mechanicznej?

Kula wyburzeniowa służąca do niszczenia budynków to przykład wahadła poruszającego się ruchem drgającym (ryc. 3.1.a). Taka kula podczas ruchu zmienia swoją wysokość nad Ziemią i prędkość, więc zmieniają się jej energia potencjalna grawitacji i energia kinetyczna.

Przemiany energii zachodzą również na przykład podczas jazdy rowerem po wyboistej drodze. Drgające w górę i w dół siodełko zamocowane jest do sprężyn (ryc. 3.1.b). Podczas jazdy zmieniają się energia potencjalna grawitacji i energia kinetyczna siodełka wraz z rowerzystą oraz energia potencjalna sprężystości sprężyn.

Ryc. 3.1. Przykłady drgań, z którymi są związane przemiany energii: kula wyburzeniowa (a), sprężyna pod siodełkiem (b).

Przeanalizujmy przemiany jednego rodzaju energii w inny w ruchu drgającym wózka przymocowanego do sprężyny, odbywającym się bez oporów ruchu (ryc. 3.2.a). Żeby wózek zaczął drgać, musimy wychylić go z położenia równowagi, czyli rozciągnąć lub ścisnąć sprężynę (ryc. 3.2.b). Wykonujemy wtedy pracę, przez co zmieniamy energię potencjalną sprężystości E_s sprężyny. Podczas drgań wydłużenie sprężyny się zmienia, więc zmianie ulega również jej energia sprężystości. Jest ona maksymalna, gdy sprężyna jest maksymalnie rozciągnięta lub maksymalnie ściśnięta. Wózek znajduje się wtedy w jednym ze skrajnych położeń (ryc. 3.2.b i d). Natomiast gdy sprężyna nie jest ani rozciągnięta, ani ściśnięta, czyli gdy wózek jest w położeniu równowagi (ryc. 3.2.a, c, e), energia sprężystości jest równa zeru.



Ryc. 3.2. Przemiany jednego rodzaju energii mechanicznej w inny podczas ruchu wózka przyczepionego do sprężyny

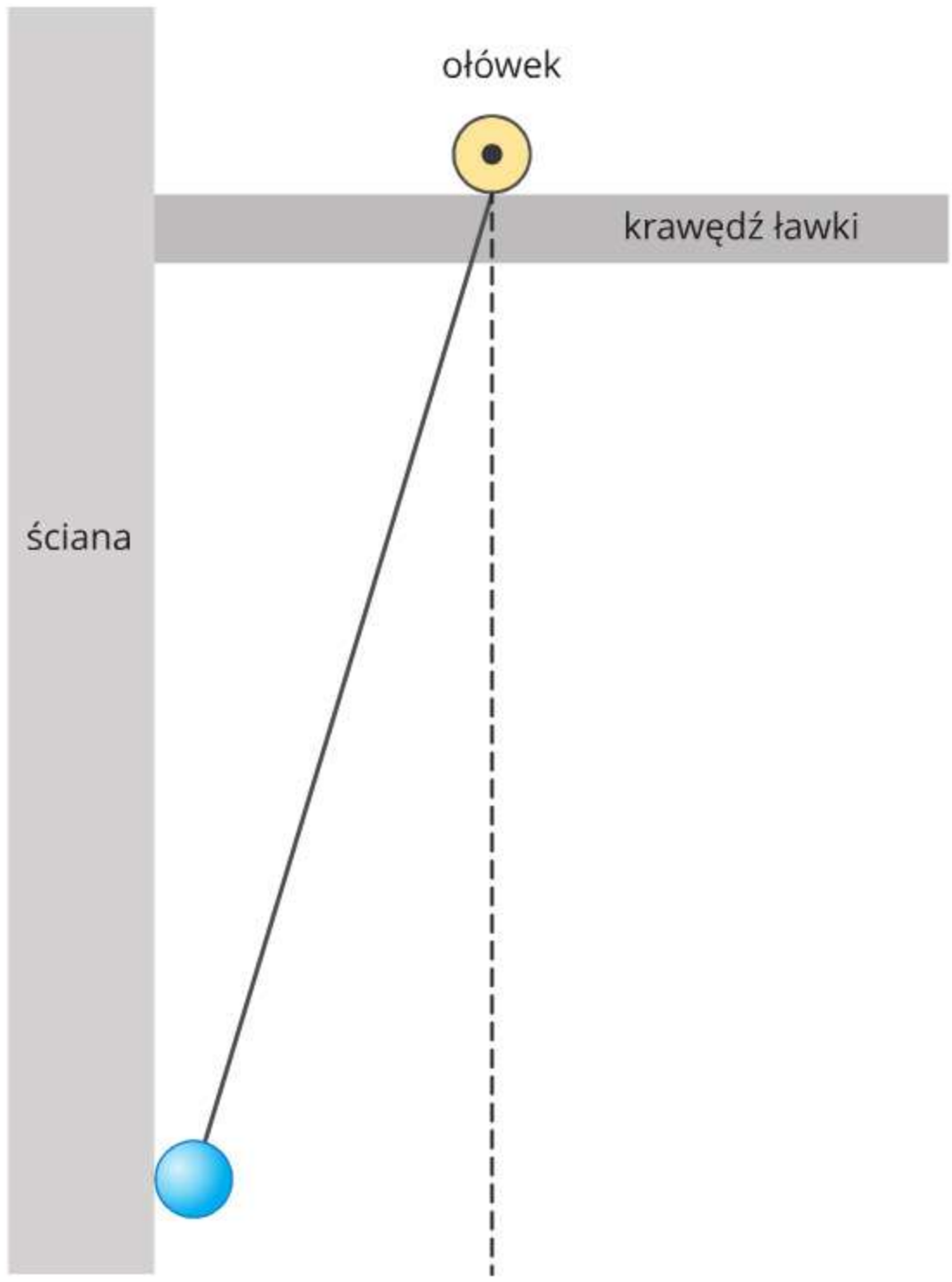
Wózek się zatrzymuje, czyli jego prędkość jest równa zeru, gdy jest najbardziej oddalony od położenia równowagi (ryc. 3.2.b i d). Energię kinetyczną E_k ma ciało, które się porusza, więc gdy wózek jest w maksymalnym wychyleniu, to jego energia kinetyczna także jest równa zeru. Podczas ruchu od położenia skrajnego do położenia równowagi prędkość wózka rośnie, więc rośnie także energia kinetyczna. Energia sprężystości zamienia się w energię kinetyczną. Gdy wózek mija położenie równowagi, ma maksymalną prędkość, czyli także maksymalną energię kinetyczną. Po przejściu przez położenie równowagi jego prędkość maleje aż do ponownego zatrzymania się w kolejnym skrajnym położeniu. Podczas ruchu od położenia równowagi do maksymalnego wychylenia energia kinetyczna maleje – zamienia się w energię sprężystości.

Energia mechaniczna wózka drgającego na sprężynie jest równa sumie jego energii kinetycznej i energii sprężystości sprężyny. Z zasady zachowania energii wynika, że energia ciał nie może zniknąć ani pojawić się znikąd. Podczas drgań następują tylko przemiany jednego rodzaju energii mechanicznej w inny. Całkowita energia mechaniczna układu drgającego jest stała.

Zbadaj to sam!

Badamy zasadę zachowania energii mechanicznej w ruchu drgającym

1. Do doświadczenia będą potrzebne: nić, plastelina, ołówek, taśma klejąca.
2. Z plasteliny ulep kulkę i przywiąż do niej nitkę. Tak zrobione wahadło zawieś na ołówku.
3. Ławkę, na której zawiesisz wahadło, przysuń do ściany. Ołówek z wahadłem przyklej taśmą klejącą do krawędzi ławki w niewielkiej odległości od ściany – tak by wahadło mogło swobodnie się poruszać.
4. Wychyl kulkę z położenia równowagi tak, by dotykała ściany, i puść swobodnie.
5. Zaobserwuj, dokąd dotrze kulka wahadła po wykonaniu jednego drgania.
6. Zapisz w zeszycie obserwacje i wnioski dotyczące przemian energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji kulki.



Przemiany energii mechanicznej następują również podczas drgań wahadła. W skrajnym wychyleniu kulka wahadła zatrzymuje się, zatem jej energia kinetyczna jest równa zeru. Jednocześnie w tym położeniu kulka znajduje się najwyżej, więc jej energia potencjalna grawitacji jest największa. Jeśli siły oporu powietrza działające na wahadło są niewielkie i możemy je pominąć, to energia mechaniczna wahadła podczas ruchu drgającego pozostaje stała.

Zobacz, jak to zrobić!

Siedzisko huśtawki wisi na pewnej wysokości nad ziemią. Huśtawkę wychylono z położenia równowagi tak, że siedzisko znalazło się o 15 cm wyżej, i puszczono swobodnie. Obliczmy prędkość siedziska, gdy ponownie znajdzie się ono w położeniu równowagi. Do obliczeń przyjmijmy wartość przyspieszenia ziemskiego 9,8 $\frac{m}{s^2}$. Zakładamy, że można pominąć opory ruchu.

Dane: h = 15 cm = 0,15 m

Szukane: v

Rozwiązanie:

Energia mechaniczna huśtawki w każdym momencie jej ruchu jest taka sama. Oznacza to, że energia kinetyczna siedziska mijającego położenie równowagi będzie równa jego energii grawitacji (obliczonej względem poziomu położenia równowagi), gdy znajdowało się ono na maksymalnej wysokości.

$$E_{k\,max} = E_{g\,max}$$

Możemy więc zapisać:

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

Obie strony tego równania najpierw dzielimy przez m, a następnie mnożymy przez 2. Otrzymujemy:

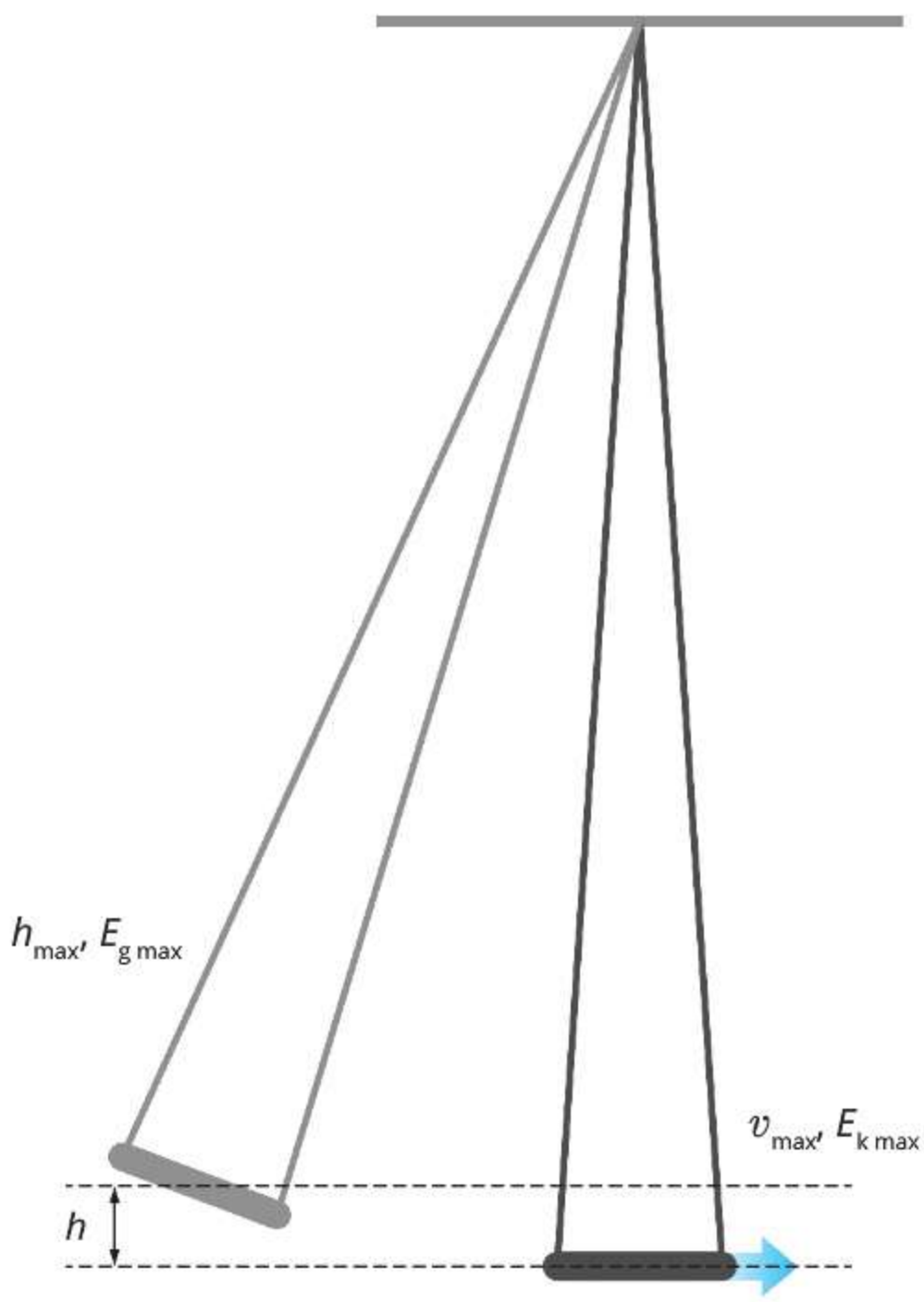
$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

Aby otrzymać prędkość, należy obliczyć pierwiastek z prawej strony tego równania. Wobec tego:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Po podstawieniu do wzoru otrzymujemy:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9{,}8\,\frac{m}{s^2} \cdot 0{,}15\,m} \approx 1{,}7\,\frac{m}{s}$$



Odpowiedź: Prędkość, jaką będzie miało siedzisko przechodzące przez położenie równowagi, to ok. 1,7 m/s.

Jeśli siły oporu powietrza działające na wahadło są dość duże i nie można ich pominąć, to energia mechaniczna wahadła podczas ruchu drgającego się zmienia. Wahadło wykonuje pracę i wobec tego jego energia maleje. Amplituda jego drgań również staje się coraz mniejsza.

Opory ruchu powodują, że każde ciało wychylone z położenia równowagi i poruszające się ruchem drgającym po jakimś czasie się zatrzyma.

Dowiedz się więcej!

Ważenie na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej

Astronauci znajdujący się na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej znajdują się w stanie nieważkości. W takich warunkach znaczna część mięśni człowieka nie jest używana i zaczyna zanikać. Kontrolowanie masy człowieka znajdu

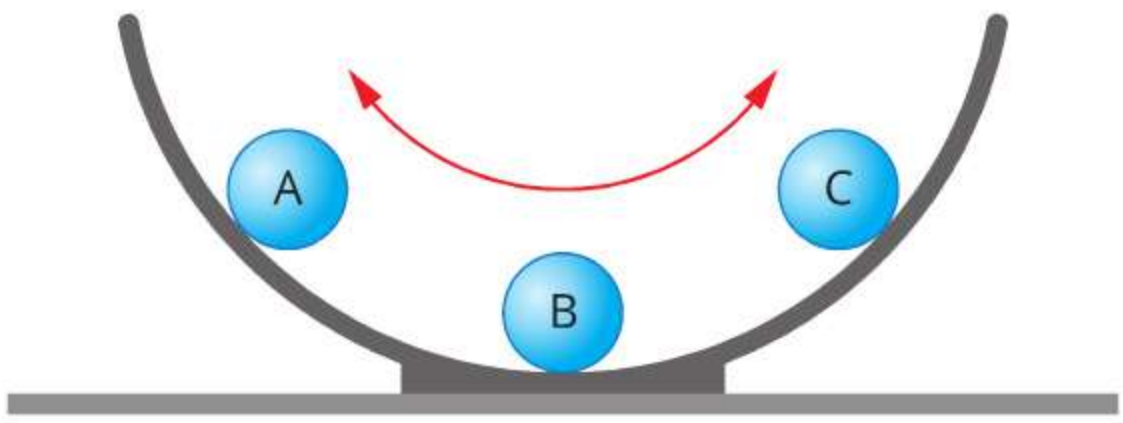
Podsumujmy!

Sprawdź się!

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

1.	Do opisu przemian energii w ruchu drgającym odbywającym się bez oporów ruchu można stosować zasadę zachowania energii mechanicznej.	**P**	**F**
2.	Gdy kulka wahadła zbliża się do położenia równowagi, jej energia kinetyczna rośnie.	**P**	**F**
3.	Gdy kulka wahadła oddala się od położenia równowagi, jej energia potencjalna rośnie.	**P**	**F**
4.	Podczas drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie energia potencjalna sprężystości jest stała.	**P**	**F**

2. Niewielka kulka porusza się ruchem drgającym na dnie kulistej miski. Zapisz w zeszycie, jakie przemiany energii występują podczas ruchu kulki od punktu B do punktu A, a następnie od punktu C do punktu B.



3. Gdy kulka wahadła przechodzi przez położenie równowagi, jej prędkość jest równa 0,4 m/s. Oblicz, na jaką maksymalną wysokość (ponad położenie równowagi) wzniesie się ta kulka. Przyjmij, że przyspieszenie ziemskie ma wartość $9{,}8\ \frac{m}{s^2}$. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

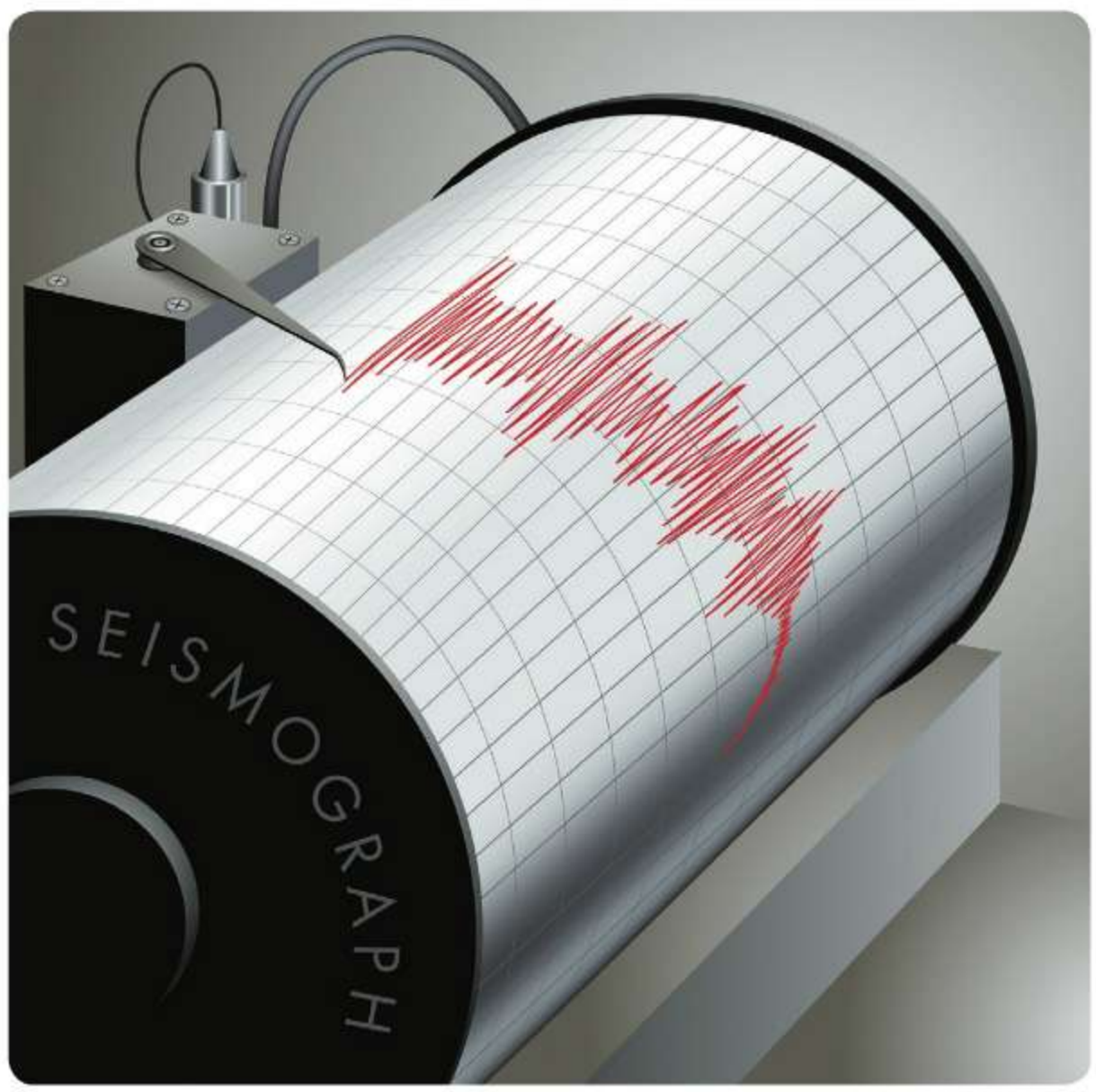
4. Oblicz, jaką prędkość początkową należy nadać siedzisku huśtawki, znajdującemu się w po-

4. Ruch drgający na wykresach

- Jak narysować wykres położenia od czasu w ruchu drgającym?
- Jak z wykresu zależności położenia od czasu odczytać amplitudę drgań?

Sejsmograf to przyrząd rejestrujący drgania skorupy ziemskiej wywołane na przykład aktywnością wulkanów. Urządzenie to składa się z ruchomego elementu, który drga podczas ruchów skorupy ziemskiej, oraz przymocowanego do niego rysika kreślącego wykres tych drgań na papierowej, przesuwającej się taśmie (ryc. 4.1.). Rejestracja ruchu drgającego polega na zapisie, jak zmienia się położenie ciała drgającego w czasie.

Sejsmografy umieszcza się w piwnicach budynków, jaskiniach lub specjalnie wykonanych sztolniach. Na przykład sejsmograf w Warszawie znajduje się w podziemnej części budynku rektoratu Uniwersytetu Warszawskiego.

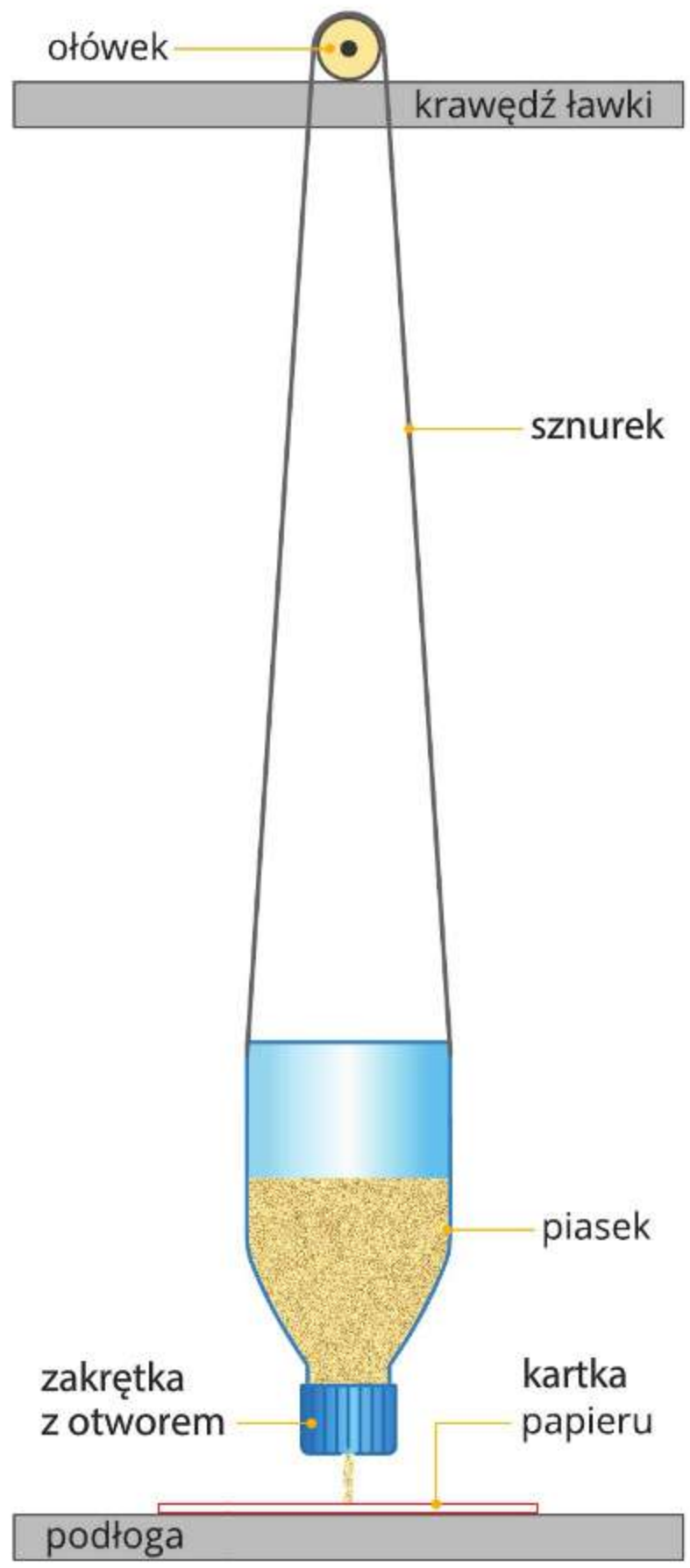


Ryc. 4.1. Sejsmograf rejestrujący drgania skorupy ziemskiej

Zbadaj to sam!

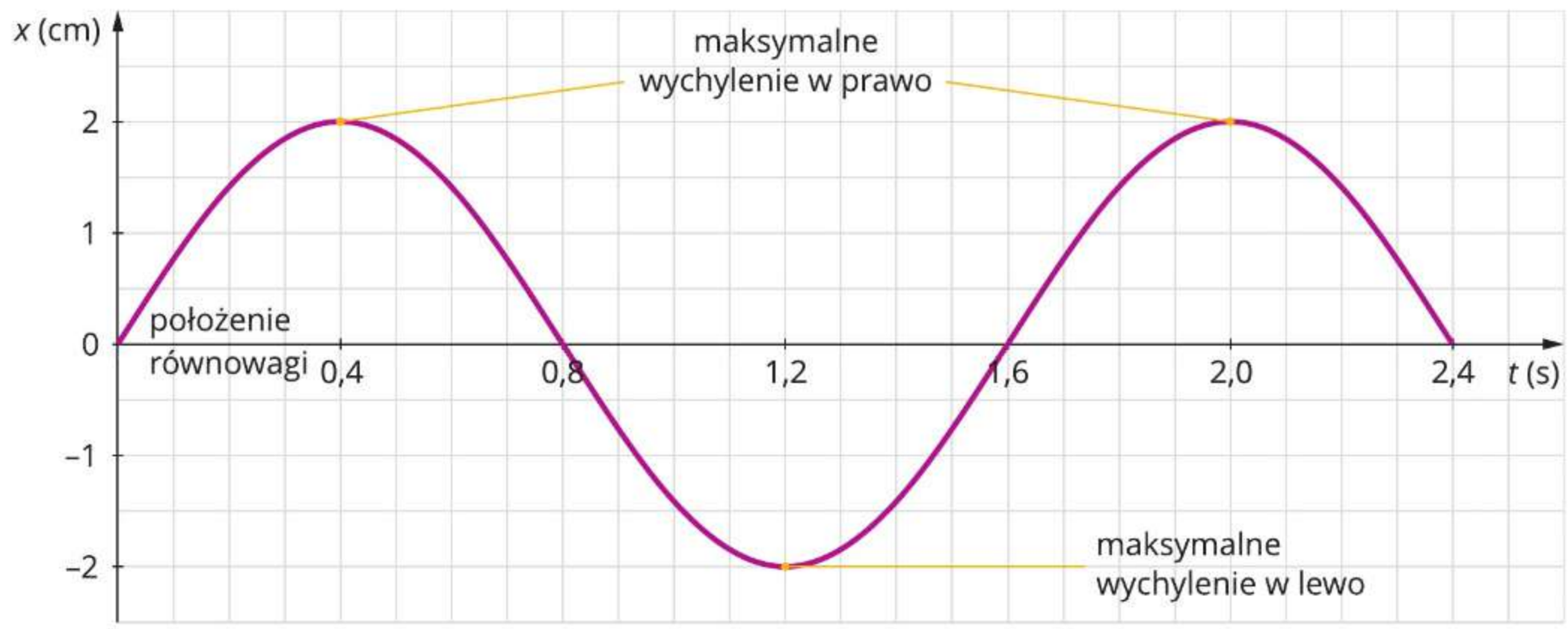
Rejestrujemy ruch drgający
(praca w grupach)

1. Do doświadczenia będą potrzebne: drobny suchy piasek (do kupienia w sklepie zoologicznym), sznurek, plastikowa butelka (najlepiej o pojemności 0,75 litra), zakrętka, ołówek, taśma klejąca, nożyczki, kartka papieru.
2. Przetnijcie butelkę tak, aby część z zakrętką utworzyła głęboki lejek. Następnie zróbcie otwory, które pozwolą na zawieszenie go na sznurku zakrętką do dołu.
3. W zakrętce butelki wykonajcie otwór, przez który będzie mógł powoli wysypywać się piasek. Najlepiej użyć do tego nożyczek.
4. Wahadło z butelki zawieście na ołówku, a ołówek przyklejcie do ławki taśmą klejącą. Długość sznurka wahadła dobierzcie tak, aby zakrętka znajdowała się na wysokości ok. 2 cm nad podłogą.
5. Na podłodze pod butelką rozłóżcie papier, na który będzie wysypywał się piasek.
6. Wypełnijcie butelkę piaskiem, wychylcie ją z położenia równowagi i puśćcie. Obserwujcie, jaki ślad tworzy na kartce wysypujący się piasek.
7. Następnie pod poruszającym się wahadłem przesuwajcie w równym tempie kartkę w kierunku prostopadłym do kierunku drgań.
8. Ustalcie, gdzie znajduje się położenie równowagi wahadła. Zmierzcie, o jaką odległość wahadło wychyla się w jedną i w drugą stronę od położenia równowagi. Zapiszcie w zeszycie swoje obserwacje i spostrzeżenia.



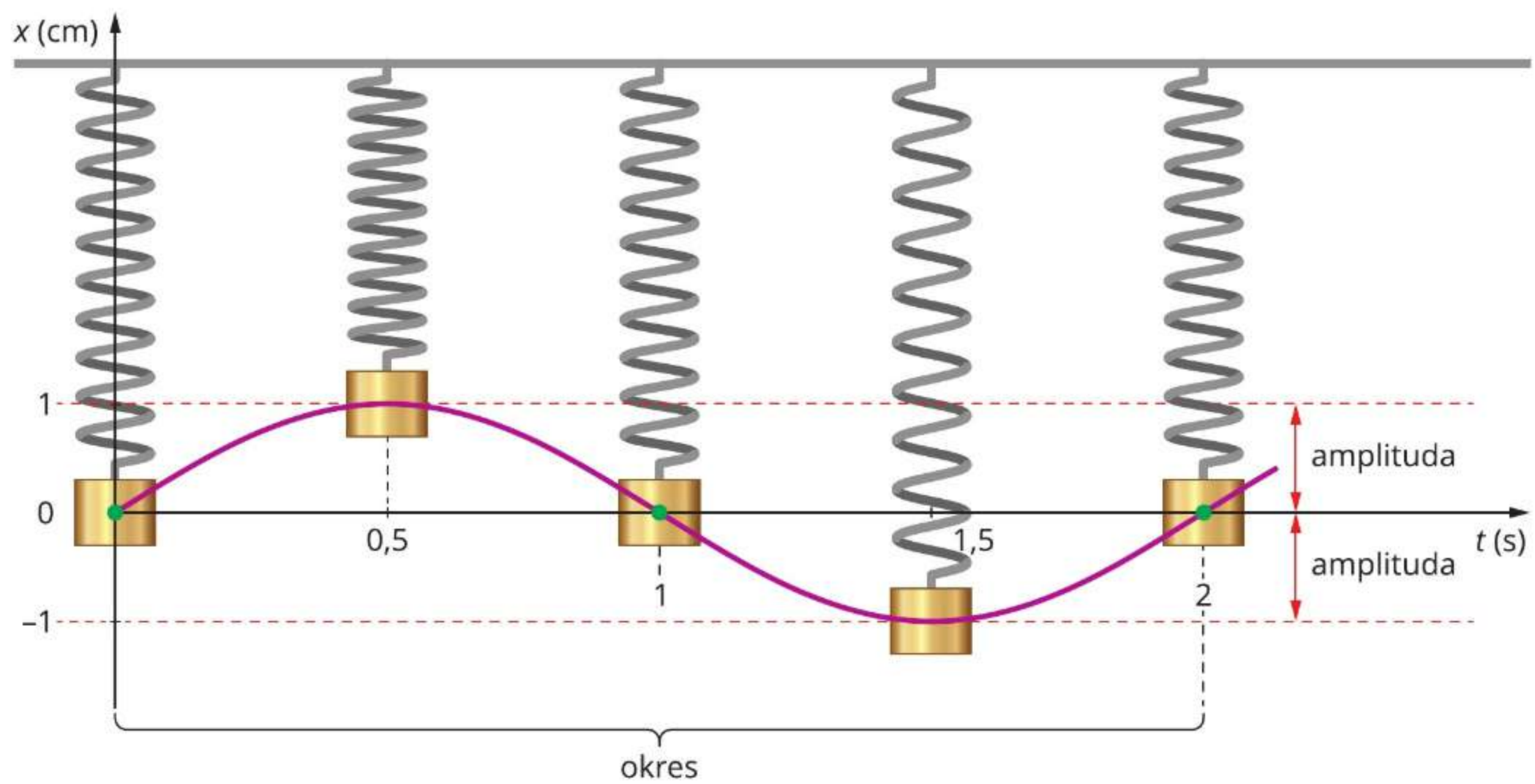
Jeśli chcemy narysować wykres zależności położenia wahadła od czasu, to na osi poziomej wykresu zaznaczamy czas t, a na pionowej − położenie x kulki wahadła. Najwygodniej przyjąć taki układ odniesienia, w którym położeniu równowagi wahadła odpowiada $x = 0$. Wówczas wychylenie wahadła w lewo odpowiada na osi pionowej liczbom ujemnym, a wychylenie w prawo – dodatnim.

Ilustracja 4.2. przedstawia, jak zmieniało się w czasie położenie kulki pewnego wahadła. Rejestracja ruchu zaczęła się w chwili, gdy kulka wahadła przechodziła przez położenie równowagi podczas ruchu w prawo.



Ryc. 4.2. Wykres zależności położenia kulki wahadła od czasu w ruchu drgającym

W przypadku rejestracji drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie (ryc. 4.3.) dodatnie wartości położenia oznaczają wychylenie w górę, a ujemne – w dół. Zielonymi kropkami zaznaczono momenty, w których ciało znajdowało się w położeniu równowagi, czyli w których $x = 0$.



Ryc. 4.3. Zależność położenia od czasu dla ciała zawieszonego na sprężynie i poruszającego się ruchem drgającym

Z wykresu zależności położenia x ciała drgającego od czasu t możemy odczytać amplitudę A oraz okres T. Amplituda to odległość od położenia równowagi do skrajnego wychylenia drgającego ciała i odczytujemy ją na pionowej osi położenia (x). Okres to czas jednego pełnego drgania i odczytujemy go na poziomej osi czasu (t). Jeśli znamy okres drgań, to możemy obliczyć częstotliwość f z zależności $f = \frac{1}{T}$.

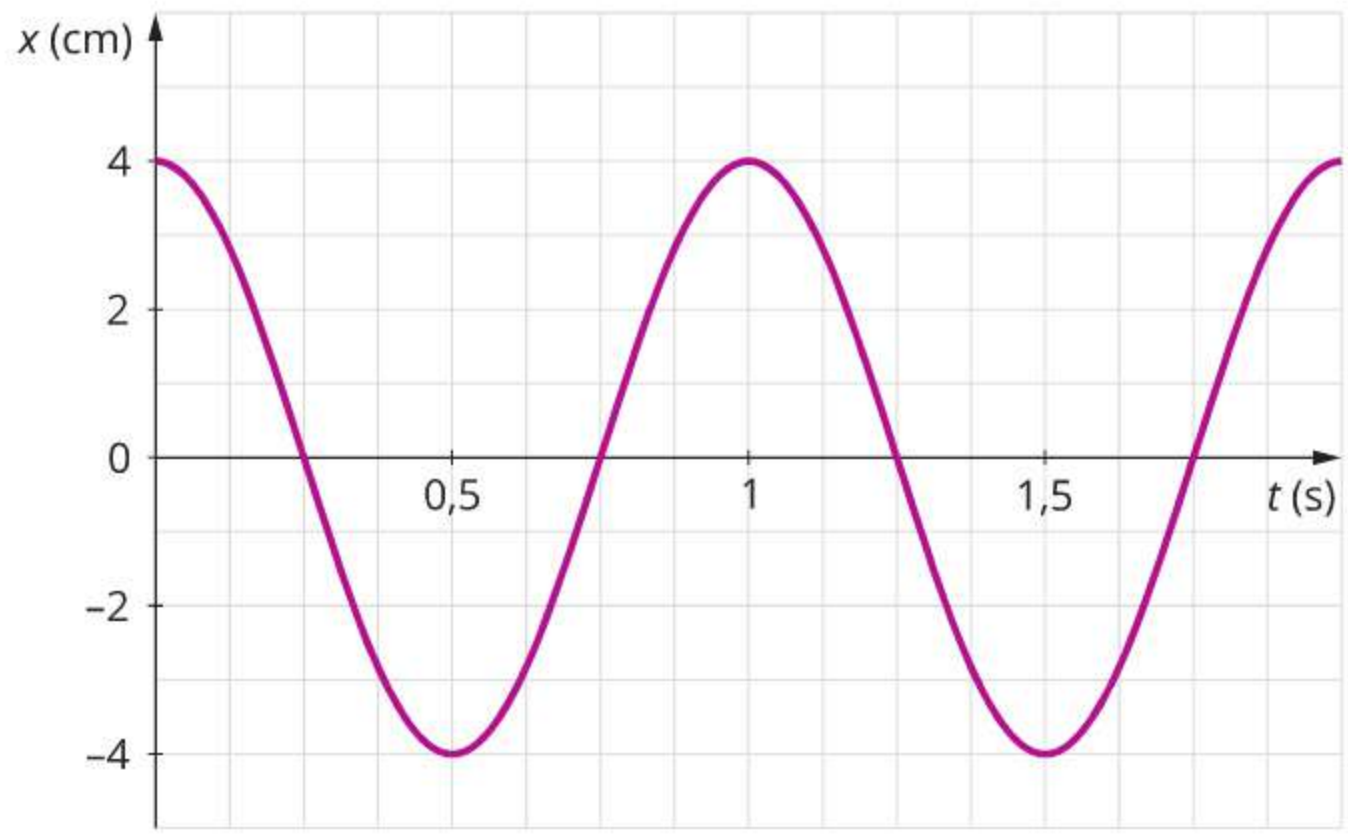
Z wykresu 4.2. możemy odczytać, że amplituda drgań kulki była równa 2 cm. Okres drgań to 1,6 s, a zatem obliczona częstotliwość wynosiła 0,625 Hz. Natomiast z wykresu 4.3. możemy odczytać, że amplituda drgań to 1 cm. Okres drgań to 2 s, a obliczona częstotliwość wynosiła 0,5 Hz.

Zobacz, jak to zrobić!

Na wykresie zarejestrowano, jak zmieniało się położenie dolnego końca wahadła zegara w pierwszych 2 sekundach jego ruchu.

a. Odczytajmy z wykresu amplitudę i okres ruchu drgającego.

b. Obliczmy częstotliwość drgań tego wahadła.



a. Szukane: A, T

Rozwiązanie:

Amplituda to odległość od położenia równowagi do skrajnego wychylenia. Na powyższym wykresie maksymalne wychylenie następowało w chwilach: $t_1 = 0$ s, $t_2 = 0{,}5$ s, $t_3 = 1$ s, $t_4 = 1{,}5$ s oraz $t_5 = 2$ s i wynosiło 4 cm lub −4 cm. Oznacza to, że amplituda A była równa 4 cm.

Okres to czas potrzebny na wykonanie jednego pełnego drgania. Wygodnie jest zmierzyć go na przykład od jednego maksymalnego wychylenia z położenia równowagi do powrotu w to samo miejsce. Pierwsze maksymalne wychylenie wahadła z położenia równowagi zostało zarejestrowane w chwili $t_1 = 0$ s, a kolejne maksymalne wychylenie tego wahadła w tę samą stronę nastąpiło w chwili $t_3 = 1$ s, zatem:

$$T = t_3 - t_1 = 1\ \text{s} - 0\ \text{s} = 1\ \text{s}$$

Czas ten wynosił tyle samo dla jednego drgania liczonego od chwili maksymalnego wychylenia w drugą stronę ($t_2 = 0{,}5$ s i $t_4 = 1{,}5$ s):

$$T = t_4 - t_2 = 1{,}5\ \text{s} - 0{,}5\ \text{s} = 1\ \text{s}$$

Odpowiedź: Amplituda drgań wahadła wynosiła 4 cm, a okres jego drgań był równy 1 s.

b. Szukane: f

Rozwiązanie:

Częstotliwość obliczamy ze wzoru:

$$f = \frac{1}{T}$$

Po podstawieniu do wzoru wyznaczonego okresu otrzymujemy:

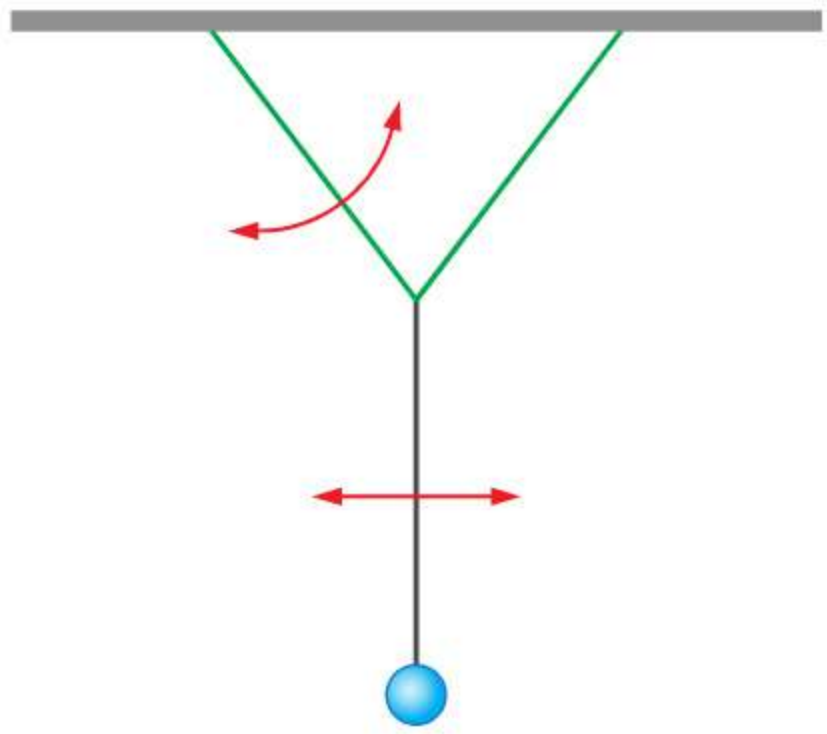
$$f = \frac{1}{1\ \text{s}} = 1\ \text{Hz}$$

Odpowiedź: Częstotliwość drgań wahadła tego zegara była równa 1 Hz.

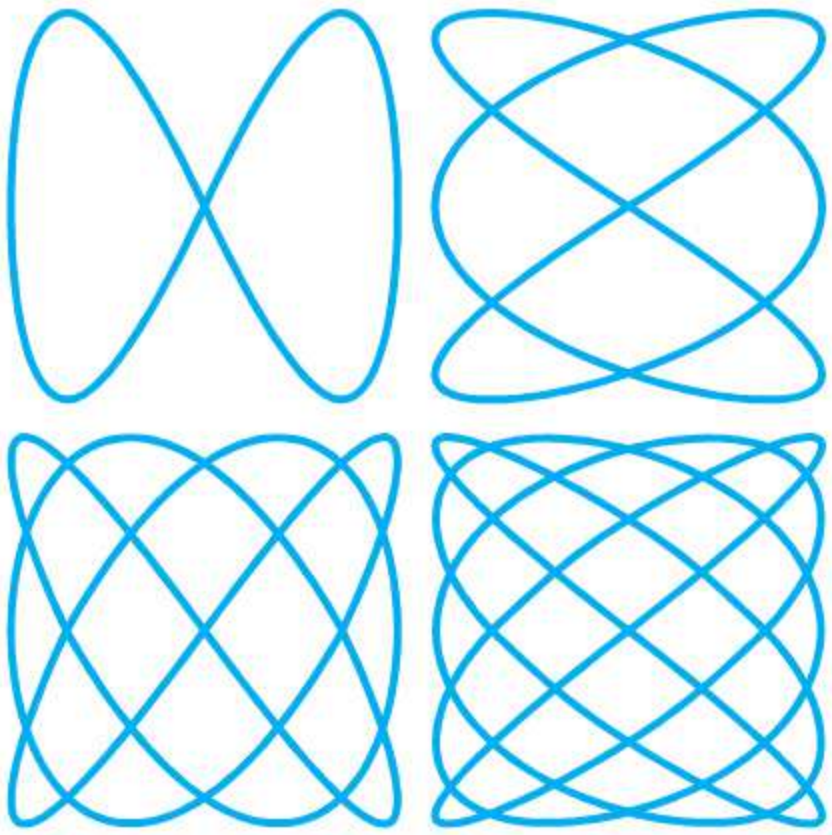
Dowiedz się więcej!

Figury Lissajous

Bardzo ciekawa jest obserwacja toru ruchu ciała, które drga jednocześnie w dwóch kierunkach wzajemnie do siebie prostopadłych. Można to zobaczyć na przykładzie kulki wahadła składającego się z dwóch części, w którym górna część może drgać do przodu i do tyłu, a dolna część – w prawo i w lewo (ryc.).



W zależności od częstotliwości i amplitudy drgań każdej z części wahadła zawieszony na niciach ciężarek będzie się poruszał po innym torze. Tor ten możemy zobaczyć, gdy zamiast ciężarka zawiesimy na nici butelkę z otworem wypełnioną drobnym piaskiem. Wysypujący się podczas ruchu wahadła piasek pozostawi na podłożu ślad. Krzywe, które wówczas zobaczymy, nazywają się krzywymi lub figurami Lissajous (czyt. lisażu). Ich kształt zależy od tego, jak długie są poszczególne części wahadła oraz o ile wychylimy wahadło z położenia równowagi na początku ruchu. Obok przedstawiono przykładowe figury Lissajous.



Podsumujmy!

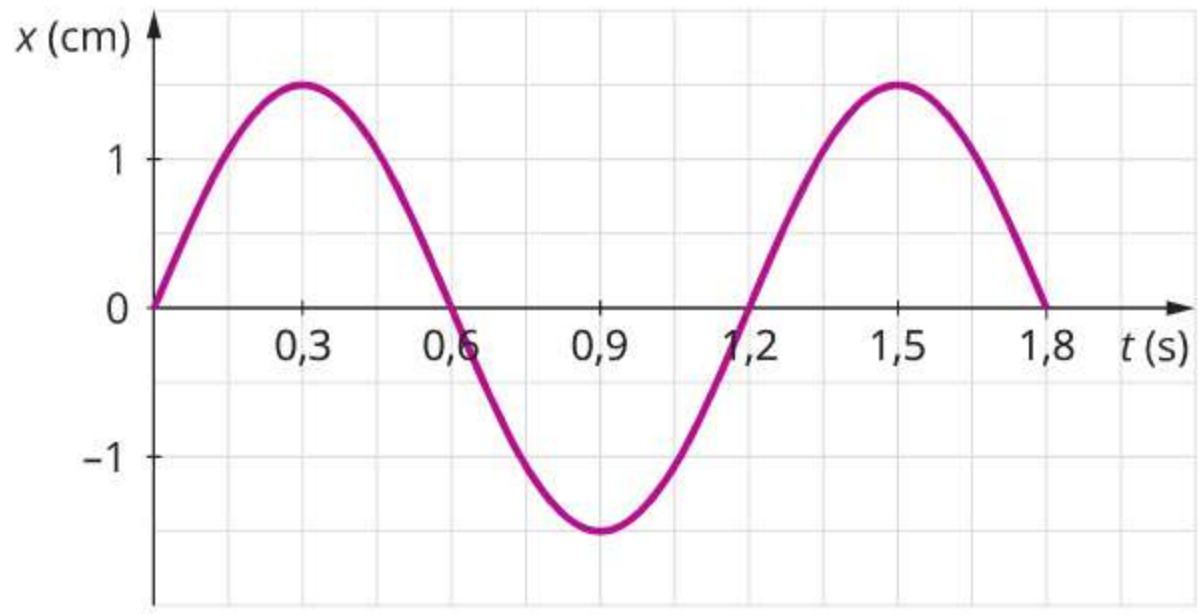
- Podczas rysowania wykresu zależności położenia *x* ciała drgającego od czasu przyjmujemy, że wychylenia w jedną stronę (np. w prawo lub w górę) są dodatnie, a w drugą (np. w lewo lub w dół) – ujemne. W położeniu równowagi przyjmujemy, że $x = 0$.
- Z wykresu zależności położenia ciała drgającego od czasu można odczytać amplitudę i okres drgań. Amplitudę odczytujemy na pionowej osi położenia (*x*), a okres odczytujemy na poziomej osi czasu (*t*).

Sprawdź się!

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

1.	Na osi pionowej wykresu zależności położenia drgającego ciała od czasu zaznaczamy czas.	**P**	**F**
2.	Z wykresu zależności położenia kulki od czasu jej ruchu można odczytać amplitudę jej drgań.	**P**	**F**
3.	Okres drgającego ciała można odczytać z osi pionowej wykresu zależności położenia od czasu.	**P**	**F**
4.	Im bliżej położenia równowagi znajduje się kulka wahadła, tym mniejsze jest jej wychylenie.	**P**	**F**

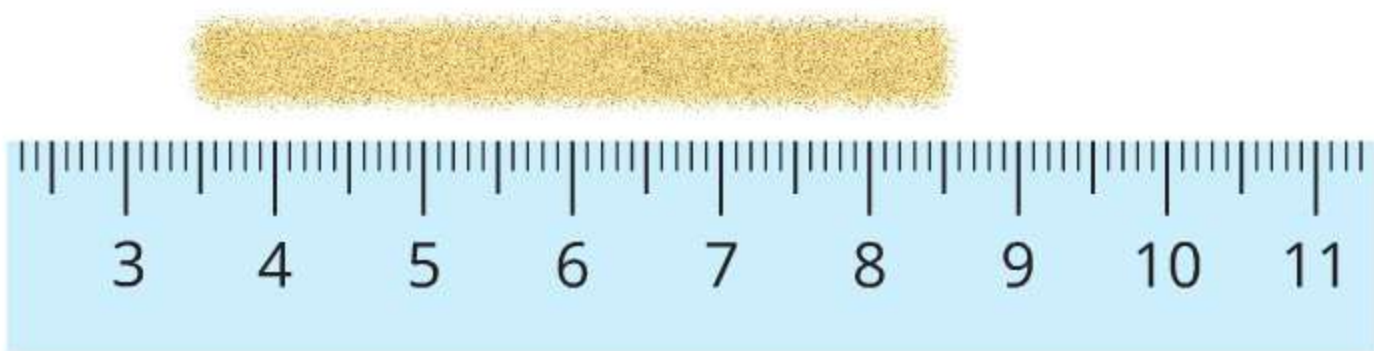
2. Na wykresie przedstawiono zależność położenia od czasu dla ciężarka poruszającego się ruchem drgającym. Na podstawie wykresu zapisz w zeszycie, jakie były amplituda oraz okres drgań ciężarka.



3. Uczniowie zawiesili na nici wahadło z butelki, z której wysypywał się piasek. Piasek utworzył ślad w pobliżu linijki. Wynik doświadczenia przedstawiono na rysunku (widok z góry). Na podstawie tego rysunku odpowiedz na pytania.

a. W którym miejscu na skali linijki znajduje się położenie równowagi?

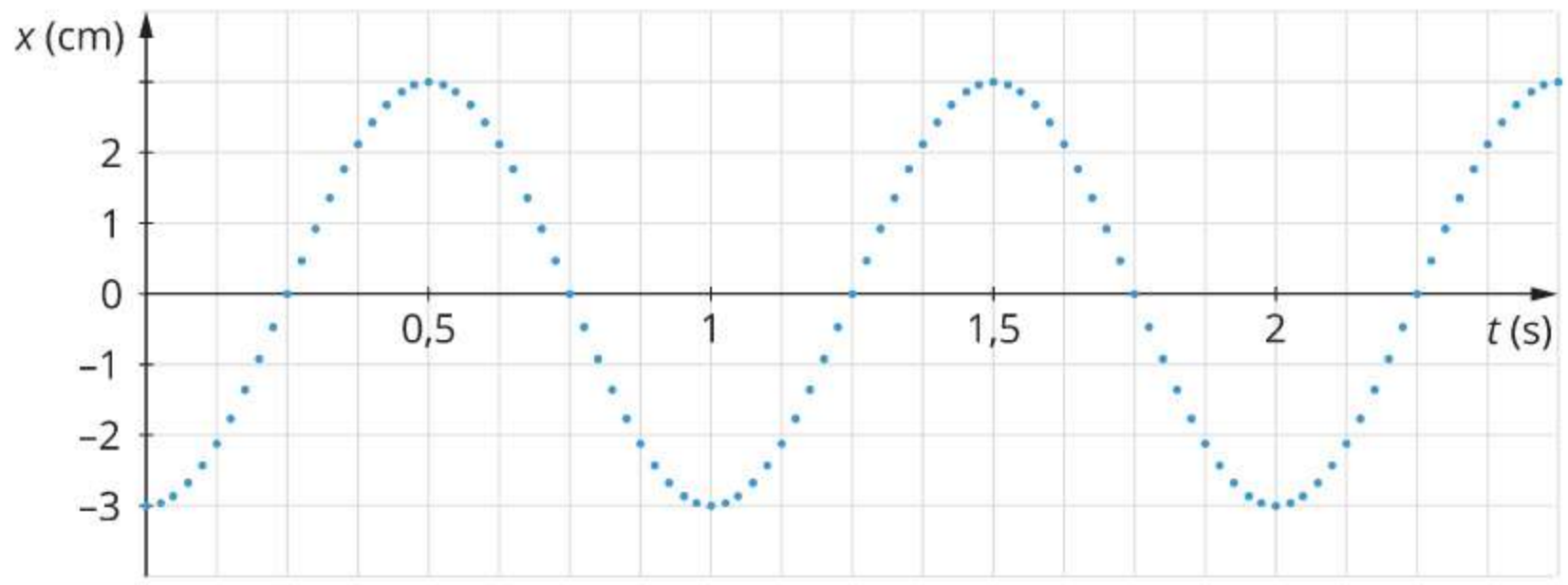
b. Jaka była amplituda drgań?



4. Uczniowie zarejestrowali kamerą drgania kulki zawieszonej na nici. Przeanalizowali zapis wideo i sporządzili wykres zależności położenia kulki od czasu.

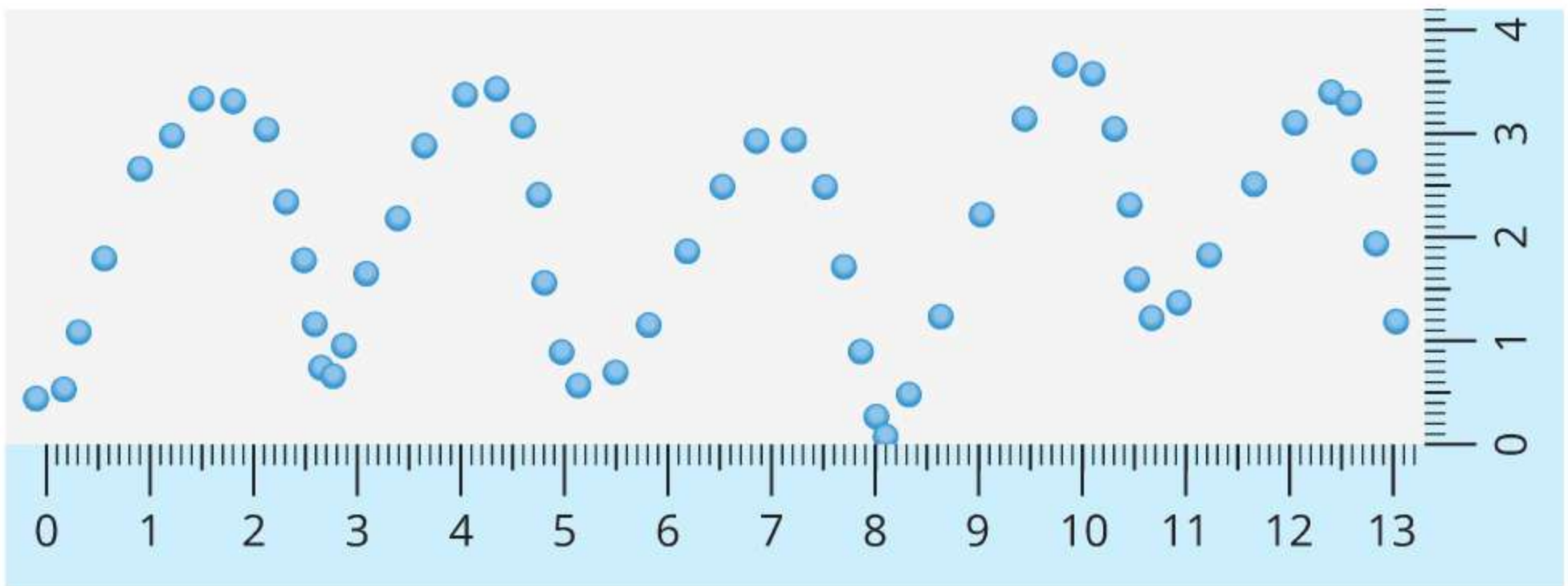
a. Odczytaj z wykresu amplitudę oraz okres drgań wahadła.

b. Ile klatek na sekundę rejestrowała użyta przez uczniów kamera, jeśli punkty na wykresie odpowiadają kolejnym klatkom filmu?



5*. Uczniowie wykonali wahadło zgodnie z opisem doświadczenia na s. 30, ale zamiast piasku wlali do butelki zabarwioną wodę. Woda wyciekała kropla po kropli otworem zrobionym w nakrętce. Po wprawieniu wahadła w ruch drgający uczniowie przesuwali pod nim kartkę papieru, od lewej jej krawędzi do prawej. Prędkość, z jaką przemieszczali kartkę, wynosiła ok. 2 cm/s. Po wykonaniu doświadczenia przyłożyli do papieru dwie linijki.

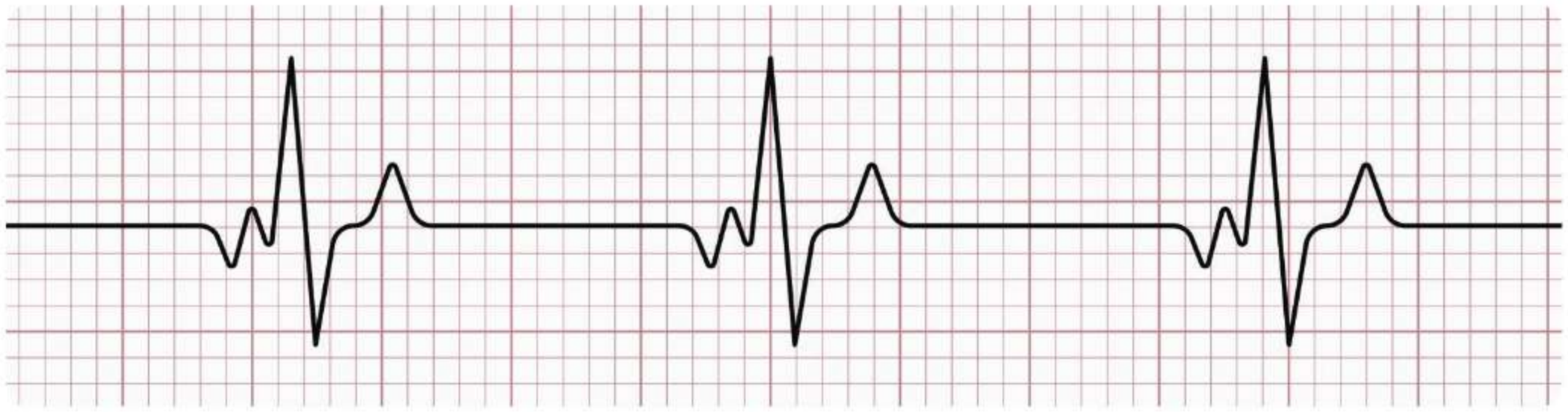
Wyniki doświadczenia pokazano na ilustracji. Na jej podstawie oszacuj amplitudę oraz okres drgań wahadła.



5. Badanie ruchu drgającego

- Czy okres drgań wahadła zależy od masy?
- Czy okres drgań wahadła zależy od amplitudy?

Elektrokardiografia (EKG) to badanie medyczne, w wyniku którego powstaje graficzny zapis pracy komórek mięśnia sercowego człowieka, tzw. elektrokardiogram (ryc. 5.1.). Serce jest narządem, który nieustannie pracuje i cyklicznie pompuje krew do naczyń krwionośnych. U zdrowego dorosłego człowieka serce podczas spoczynku kurczy się i rozkurcza ok. 70 razy w ciągu minuty – innymi słowy, jego puls to 70 uderzeń serca na minutę. Zmiany w okresowości i amplitudzie sygnału rejestrowanego w badaniu mogą być dowodem na nieprawidłową pracę serca.



Ryc. 5.1. Graficzny zapis trzech cykli pracy serca człowieka

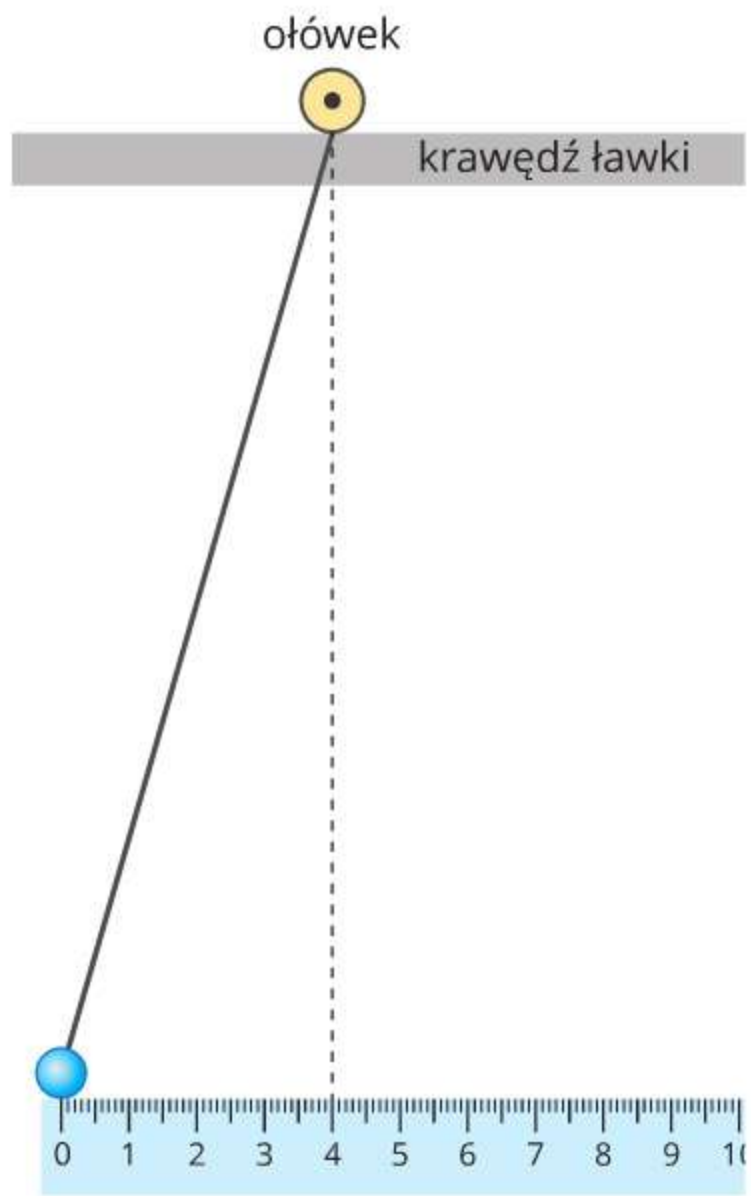
Serce to bardzo złożony układ poruszający się ruchem drgającym, a częstotliwość jego pracy zależy od wielu czynników – rośnie na przykład wówczas, gdy wzrasta nasza aktywność fizyczna (możemy się o tym przekonać, gdy porównamy puls podczas spoczynku oraz po wykonaniu dziesięciu przysiadów). Badania czynników, od których zależy ruch drgający, prowadzi się z wykorzystaniem metody naukowej. W ten sposób bada się zarówno serce, jak i dużo prostsze układy drgające.

W rozdziale drugim przeprowadziliśmy doświadczenie, które wykazało, że okres drgań wahadła zależy od jego długości. Oznacza to, że częstotliwość drgań takiego wahadła także zależy od jego długości. Zbadajmy teraz, czy ruch drgający wahadła zależy od amplitudy drgań oraz od jego masy.

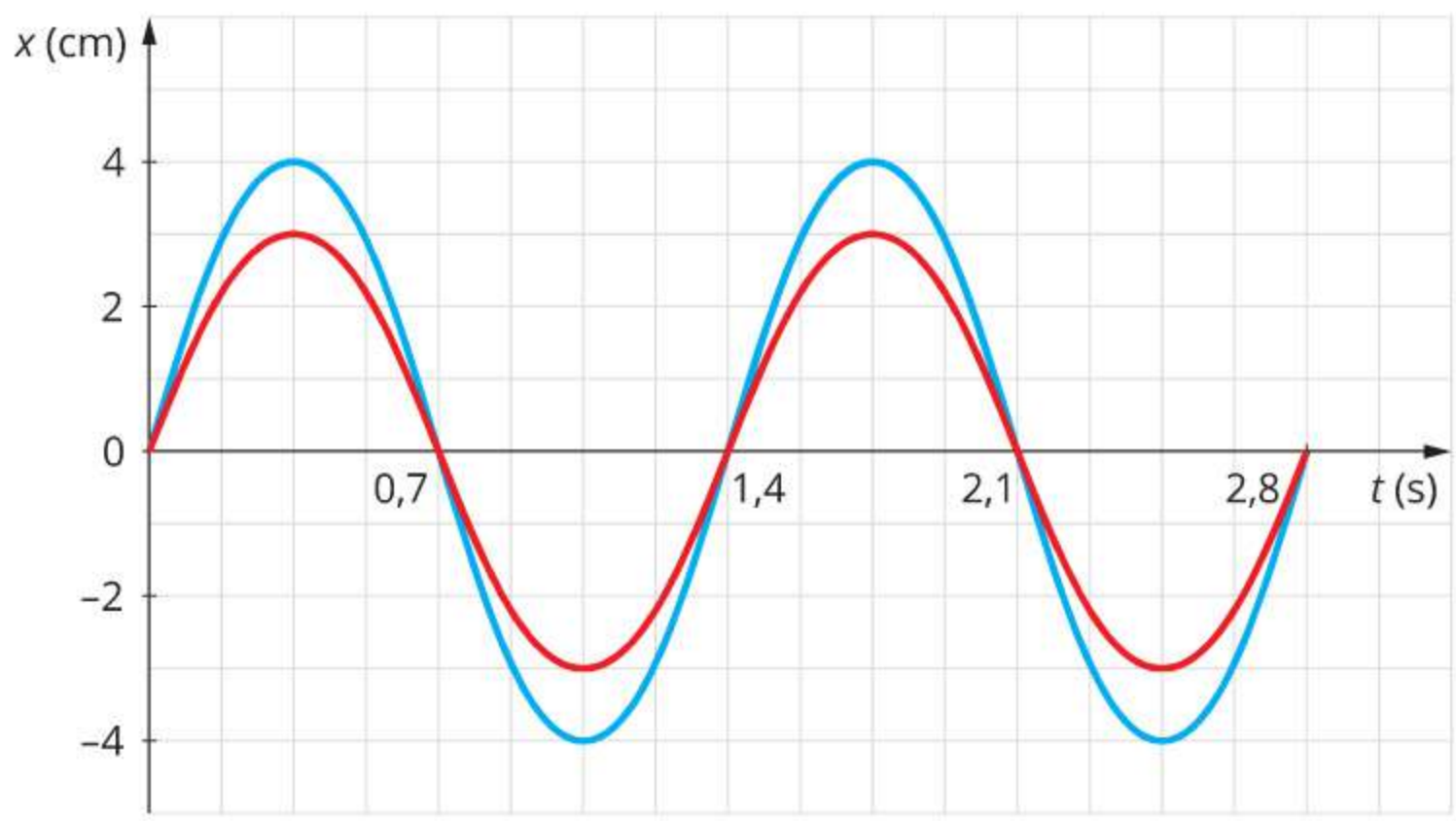
Zbadaj to sam!

Badamy zależność okresu drgań wahadła od amplitudy

1. Do doświadczenia będą potrzebne: nić o długości ok. 0,5 m, linijka lub taśma miernicza, plastelina, ołówek, taśma klejąca, stoper.
2. Wykonaj z plasteliny kulkę o średnicy ok. 1 cm i zamocuj do niej nitkę. Tak zrobione wahadło zawieś na ołówku.
3. Ołówek przyklej taśmą klejącą do krawędzi ławki tak, by wahadło mogło swobodnie się poruszać.
4. Odchyl wahadło mniej więcej o 4 cm od położenia równowagi i puść swobodnie.
5. Zmierz czas 10 pełnych drgań wahadła. Na podstawie wyników tego pomiaru oblicz okres drgań wahadła.
6. Następnie wychyl wahadło na mniejszą odległość (np. 3 cm), puść swobodnie i ponownie wyznacz okres drgań.
7. Zapisz w zeszycie, czy amplituda drgań wahadła ma wpływ na okres jego drgań.



Gdybyśmy podczas badania drgań każdego z wahadeł zarejestrowali film, a następnie dokonali jego analizy klatka po klatce (np. w programie Tracker) i na tej podstawie sporządzili wykresy zależności wychylenia wahadeł z położenia równowagi od czasu, to otrzymalibyśmy wykresy widoczne na rycinie 5.2. Z wykresów możemy odczytać, że amplitudy drgań wahadeł są różne i wynoszą 4 cm (niebieska krzywa) oraz 3 cm (czerwona krzywa), ale okresy, a tym samym częstotliwości drgań, są takie same.



Ryc. 5.2. Wykresy zależności wychylenia z położenia równowagi od czasu dla wahadeł o długości 0,5 m – jednego wychylonego początkowo o 4 cm (krzywa niebieska), a drugiego – o 3 cm (krzywa czerwona)

Niezależność okresu drgań wahadła od jego amplitudy pierwszy odkrył Galileusz (pod koniec XVI wieku). Podczas pobytu w katedrze obserwował drgania dużego żyrandola. Porównał okres tych drgań z okresem bicia swojego serca. Zauważył, że dla niewielkich wychyleń z położenia równowagi okres drgań żyrandola nie zależy od jego amplitudy. Po powrocie do domu porównywał okresy ruchu wahadeł o takich samych długościach, lecz o różnych amplitudach. Potwierdził w ten sposób swoje spostrzeżenia z katedry. Niezależność okresu drgań wahadła od amplitudy stanowi podstawę działania zegarów wahadłowych (ryc. 5.3.). Postępowanie Galileusza jest przykładem użycia metody naukowej.

Ryc. 5.3. Mechaniczny zegar wahadłowy

Zbadaj to sam!

Badamy zależność okresu drgań wahadła od jego masy

1. Do doświadczenia będą potrzebne: nić o długości ok. 0,5 m, plastelina, ołówek, waga, taśma klejąca, stoper.
2. Wykonaj z plasteliny kulkę o średnicy ok. 1 cm i ją zważ. Zapisz masę kulki w zeszycie.
3. Do kulki zamocuj nitkę. Tak zrobione wahadło zawieś na ołówku.
4. Ołówek przyklej taśmą klejącą do krawędzi ławki tak, by wahadło mogło swobodnie się poruszać (identycznie jak we wcześniejszym doświadczeniu).
5. Zmierz czas 10 pełnych drgań wahadła. Na podstawie wyników tego pomiaru oblicz okres drgań wahadła.
6. Ulep z plasteliny kulkę o mniejszej średnicy i ją zważ. Zawieś kulkę na nici, a następnie przywiąż wahadło do ołówka tak, by jego długość mierzona do środka kulki była taka sama jak poprzedniego wahadła.
7. Zapisz w zeszycie, czy masa wahadła ma wpływ na okres jego drgań.

Na podstawie wyników doświadczenia można sformułować wniosek, że okres drgań wahadła jest niezależny od jego masy. Oznacza to, że częstotliwość drgań takiego wahadła nie zmienia się, gdy zmieniamy tę masę. Wobec tego jedynym czynnikiem, który ma wpływ na ruch drgający wahadła składającego się z kulki zawieszonej na nici, jest jego długość – gdy rośnie długość wahadła, zwiększa się także jego okres.

Właśnie dlatego na końcu wahadeł zegarów mechanicznych znajduje się mechanizm pozwalający precyzyjnie zmieniać ich długość. Składa się on z nakrętki na gwintowanym zakończeniu wahadła, na której opiera się ciężarek. Obrót nakrętki powoduje, że przemieszcza się ona w górę lub w dół, a tym samym zmienia się długość wahadła i okres jego drgań. Jeśli zegar mechaniczny się spieszy, należy zwiększyć długość wahadła, jeśli się późni – należy ją zmniejszyć.

Ryc. 5.4. Wahadło (zegara mechanicznego) z nakrętką pozwalającą na precyzyjną zmianę jego długości

Zobacz, jak to zrobić!

Na rysunku przedstawiono fragment wykresu zależności położenia od czasu dla pewnej huśtawki. Na podstawie tego wykresu wyznaczmy amplitudę oraz okres drgań tej huśtawki.

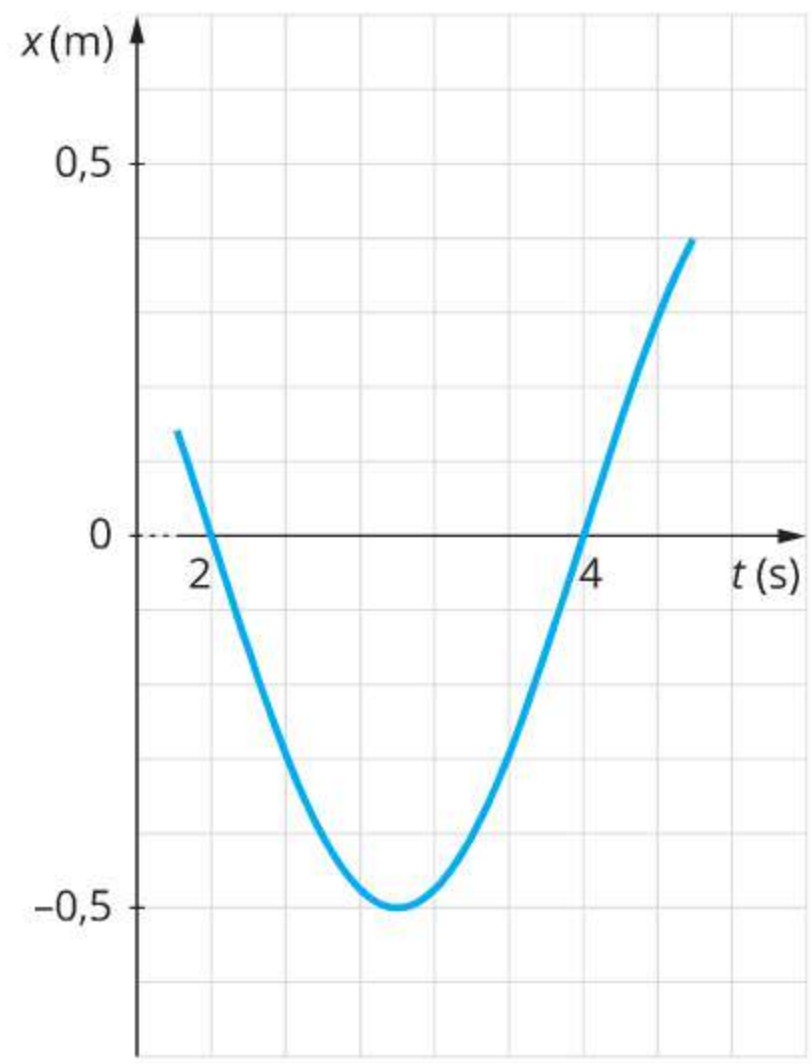
Szukane: *A*, *T*

Rozwiązanie:

Odległość największego wychylenia od położenia równowagi dla tej huśtawki jest równa 0,5 m ($x = -0{,}5$ m dla $t = 3$ s), czyli tyle wynosi amplituda drgań.

Czas od przejścia huśtawki przez położenie równowagi do jej ponownego przejścia przez to położenie wynosi 2 s. Czas ten jest równy połowie okresu drgań, wobec tego okres drgań huśtawki jest równy 4 s.

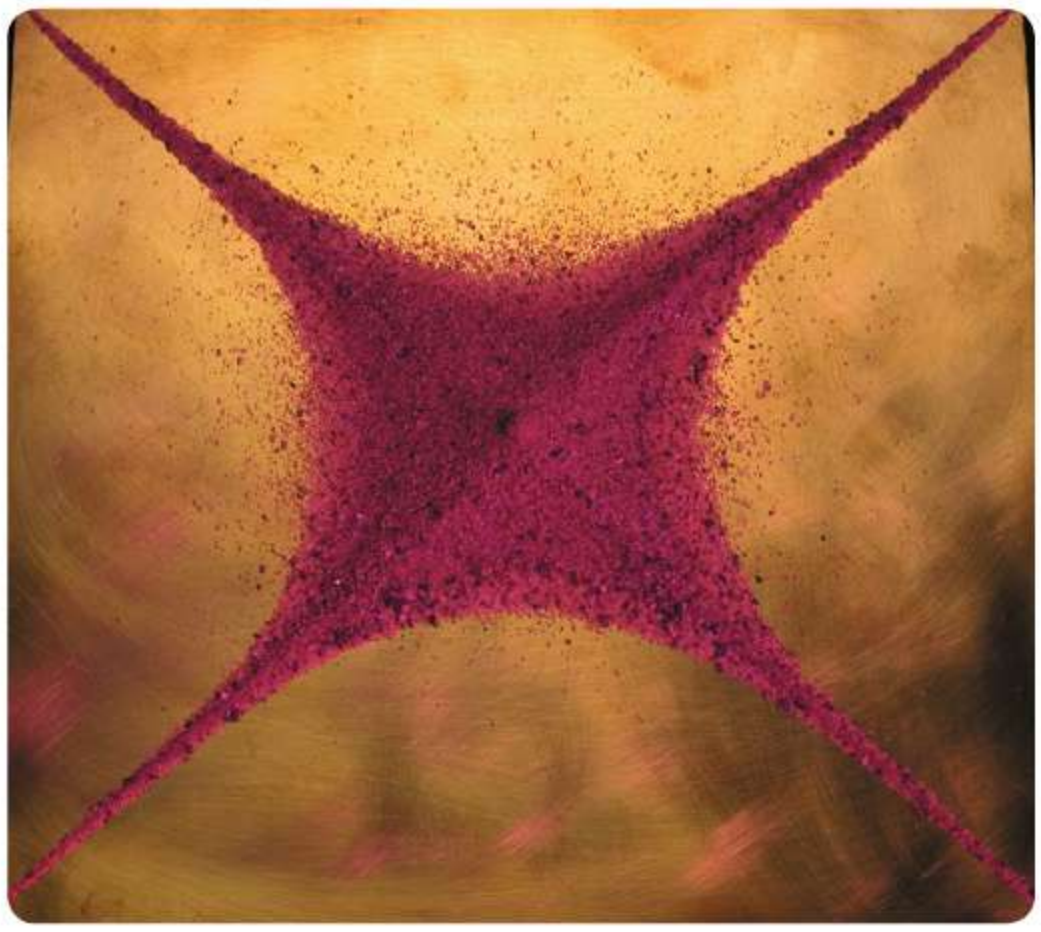
Odpowiedź: Amplituda drgań huśtawki jest równa 0,5 m, a ich okres wynosi 4 s.



Dowiedz się więcej!

Figury Chladniego

Widowiskowym sposobem badania drgań jest obserwowanie regularnych figur tworzonych przez drobinki materiału sypkiego (np. piasku lub soli), rozsypane na powierzchni poziomej metalowej lub szklanej płyty. Płytę wprawia się w drgania przez przeciągnięcie po jej krawędzi smyczkiem. Na skutek drgań rozsypany na niej materiał przemieszcza się i tworzy określone kształty, tzw. figury Chladniego. Kształt figur zależy od wielu czynników, m.in. miejsca, w którym wprawiamy powierzchnię w drgania, kształtu tej powierzchni oraz miejsca, w którym jest zamocowana. Sypki materiał opuszcza miejsca, które drgają z dużą amplitudą, i gromadzi się w tych, które nie drgają.



Podsumujmy!

- Okres, a tym samym częstotliwość drgań wahadła w postaci masy zawieszonej na nici, zależy od długości wahadła.
- Okres drgań wahadła nie zależy ani od jego masy, ani od amplitudy drgań.

Sprawdź się!

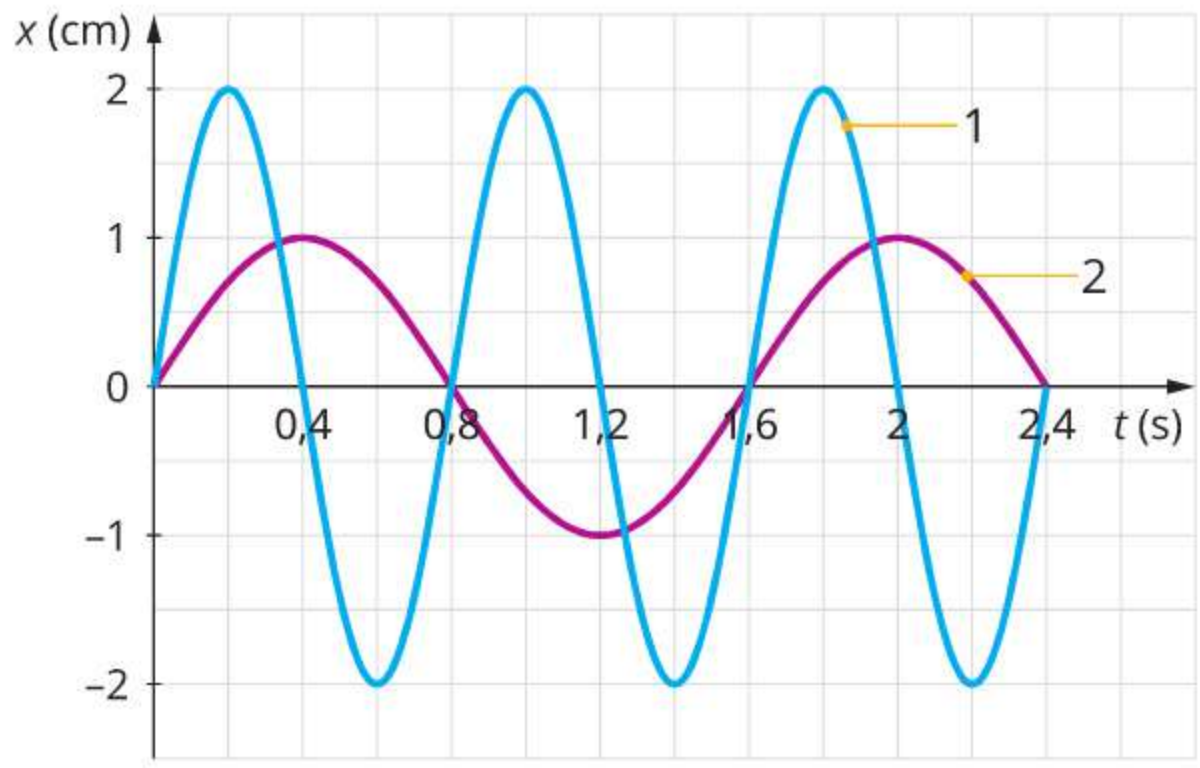
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Im większa jest amplituda drgań wahadła, tym mniejszy jest okres jego drgań.	**P**	**F**
2.	Żeby obliczyć na podstawie informacji z wykresu okres drgań wahadła, trzeba mieć wykres co najmniej jednego pełnego wahnięcia.	**P**	**F**
3.	Im większa jest masa kulki zawieszonej na nici, tym większa jest częstotliwość drgań tak zbudowanego wahadła.	**P**	**F**
4.	Na podstawie wykresu zależności położenia wahadła od czasu można wyznaczyć częstotliwość drgań wahadła.	**P**	**F**

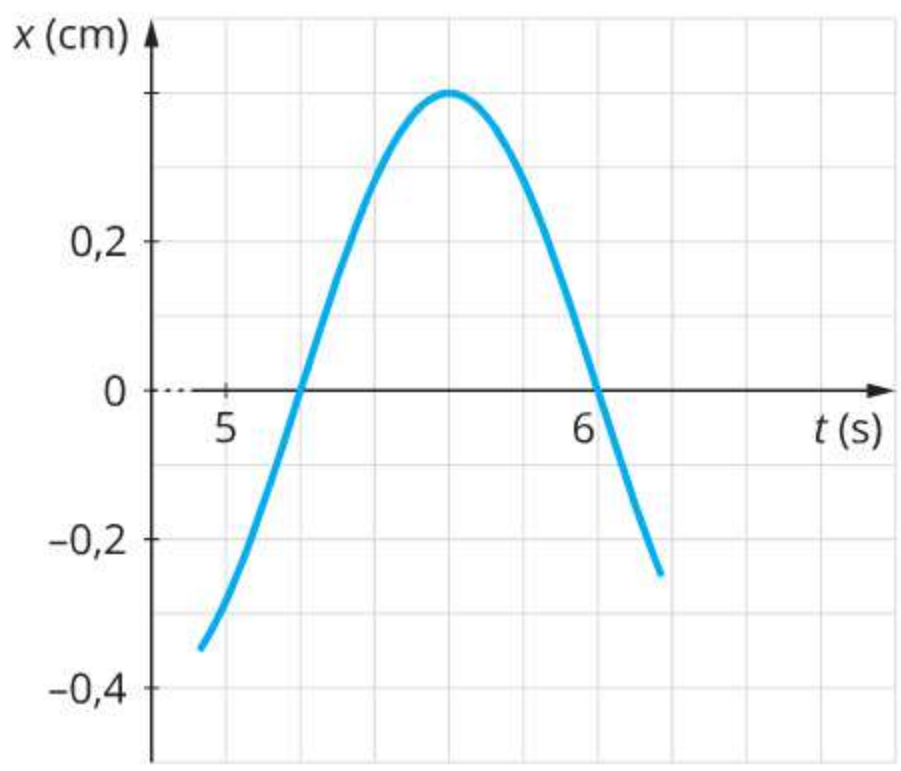
2. Na wykresie przedstawiono zależność położenia od czasu dla wahadła (1) oraz kulki zawieszonej na sprężynie (2).

a. Które z ciał miało większą amplitudę drgań?

b. Które z ciał miało większy okres drgań?



3. Na rysunku przedstawiono fragment wykresu zależności położenia wahadła od czasu. Na podstawie wykresu określ, jaka była amplituda oraz jaki był okres drgań wahadła.



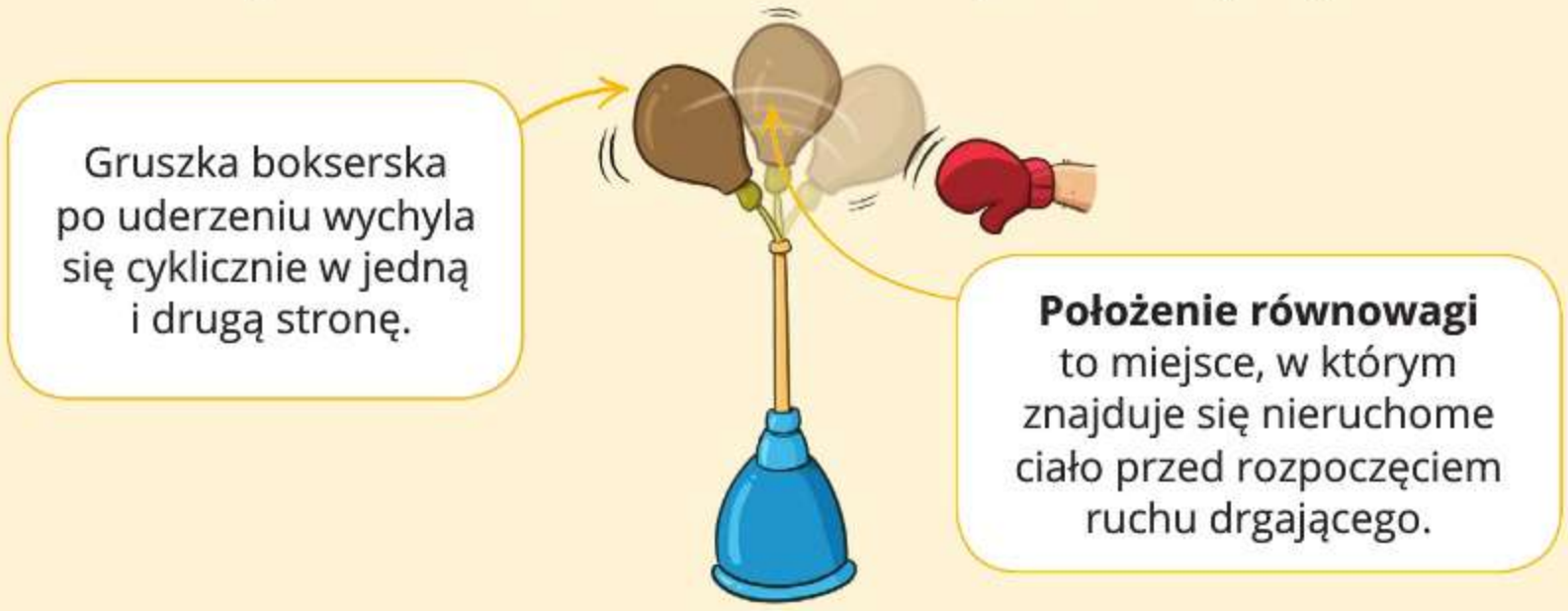
4. Serce sportowca podczas spoczynku kurczy się i rozkurcza 60 razy w ciągu minuty. Oblicz częstotliwość uderzeń jego serca, gdy podczas wysiłku fizycznego liczba skurczów wzrasta dwukrotnie. Wynik podaj w hercach.

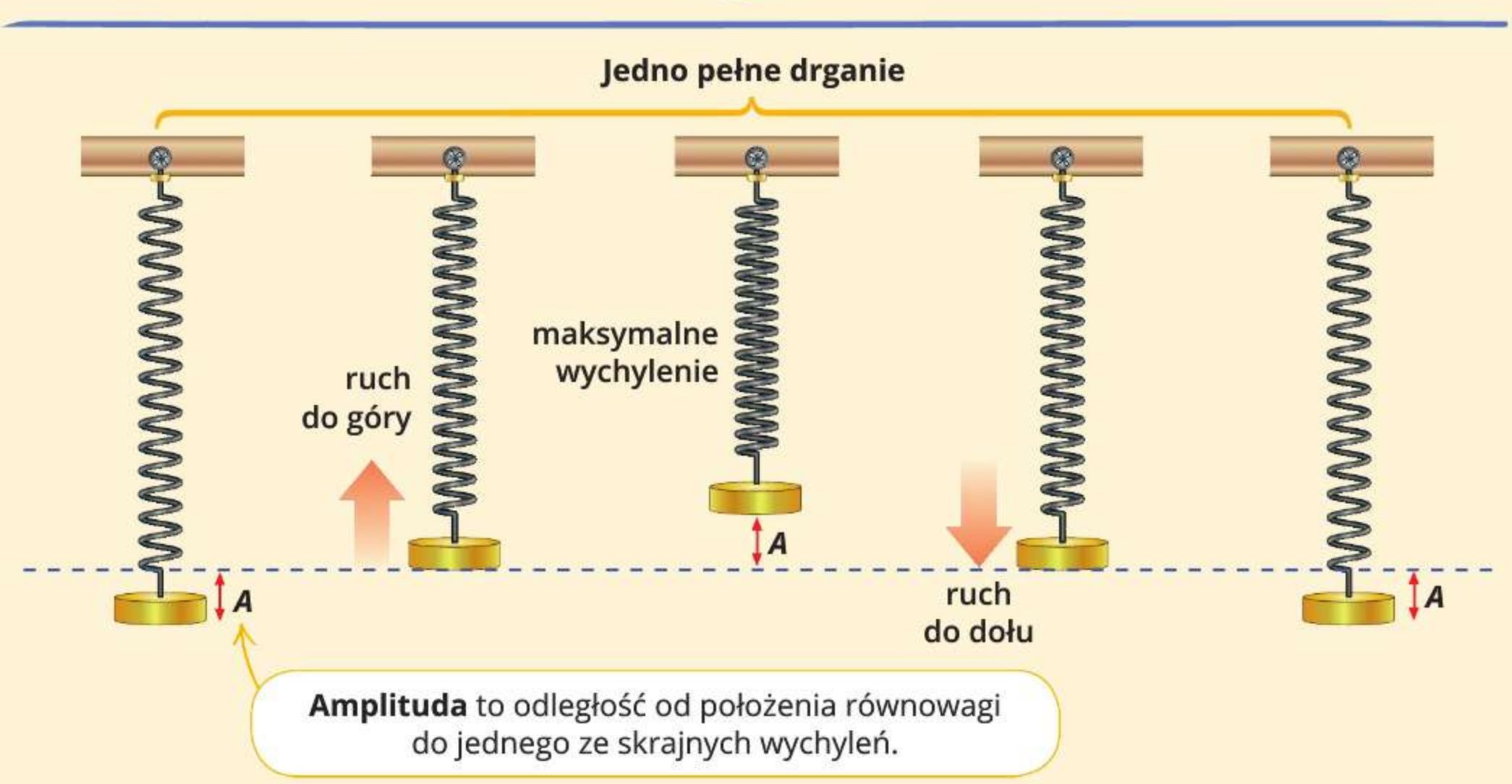
5*. Zaplanuj i przeprowadź doświadczenia, w których zbadasz, czy okres drgań wahadła sprężynowego zależy od amplitudy drgań oraz masy zawieszonej na sprężynie.

POWTÓRZENIE
Drgania

Ruch drgający

Ruch drgający to ruch odbywający się po wychyleniu ciała z położenia równowagi, polegający na przemieszczaniu się tego ciała tam i z powrotem po tym samym torze. Prędkość ciała drgającego zmienia się okresowo na skutek *działania siły* zwróconej do położenia równowagi.





Okres i częstotliwość

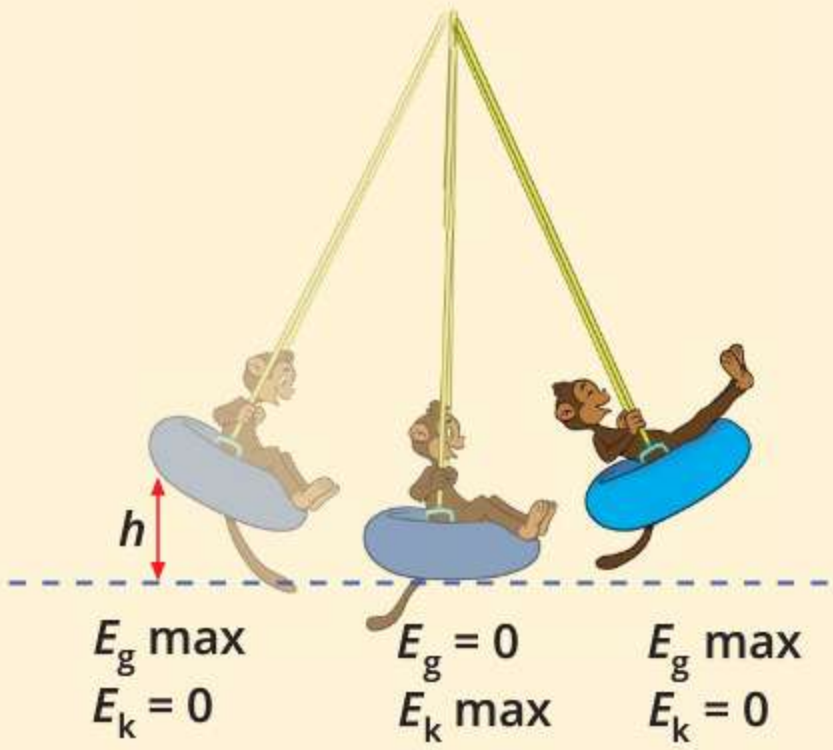
Okres drgań *T* to czas jednego pełnego drgania (wahnięcia). Jednostką okresu jest sekunda (s).

Częstotliwość *f* wskazuje liczbę drgań, które zachodzą w czasie jednej sekundy. Jednostką częstotliwości jest herc (Hz).

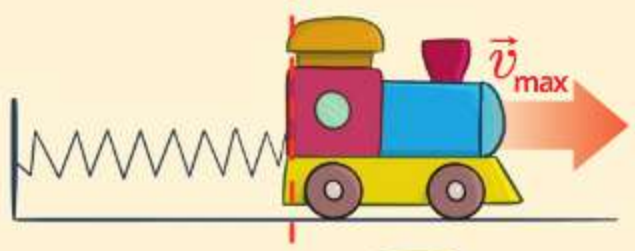
Częstotliwość i okres drgań łączy zależność:

częstotliwość → $f = \frac{1}{T}$ ← okres

Przemiany energii



E_s max
$E_k = 0$
maksymalne wychylenie w lewo



$E_s = 0$
E_k max
przejście przez położenie równowagi

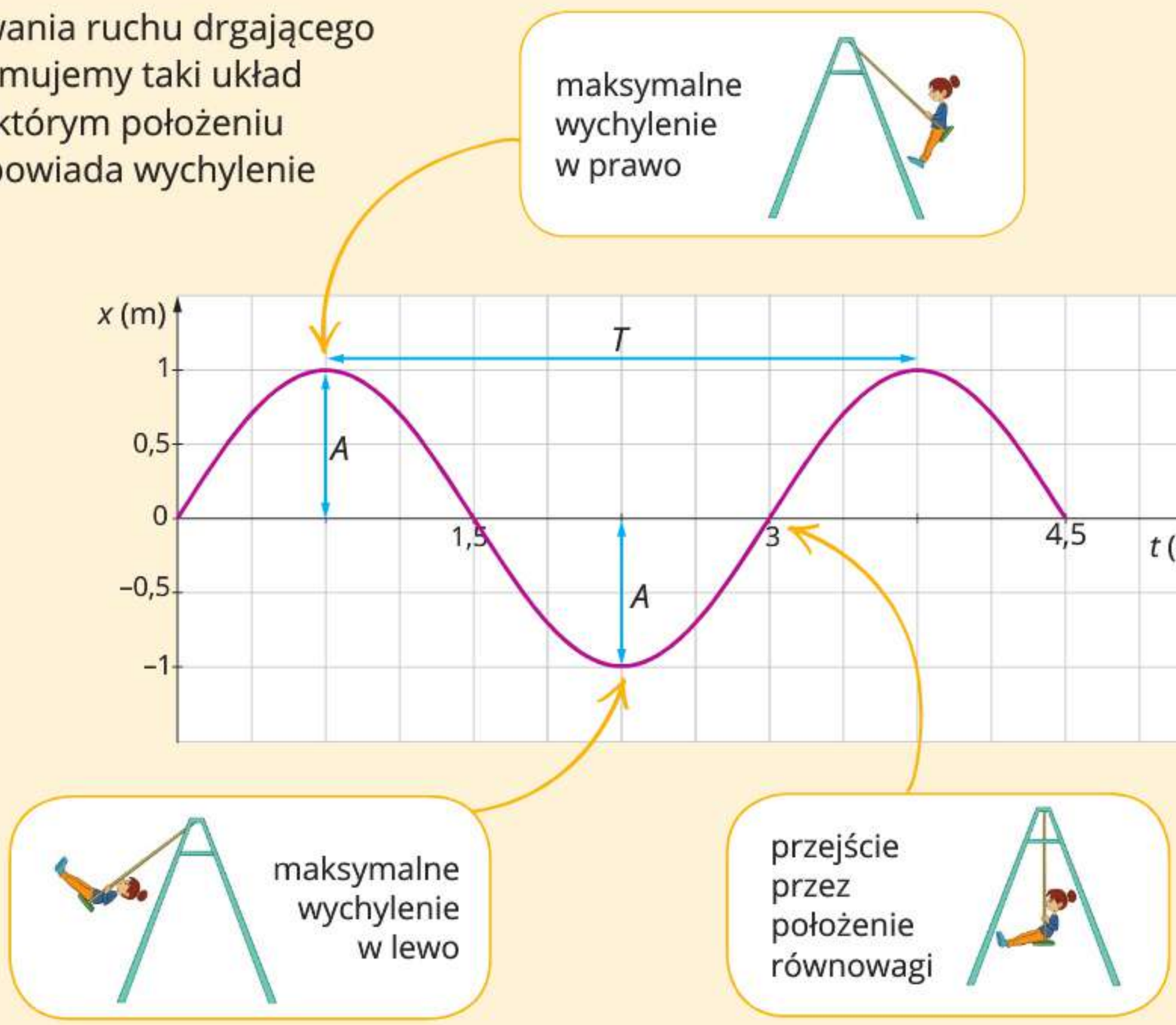
E_s max
$E_k = 0$
maksymalne wychylenie w prawo

zasada zachowania energii w ruchu drgającym

Podczas ruchu drgającego odbywającego się bez oporów ruchu całkowita energia mechaniczna pozostaje stała. Zachodzą jedynie cykliczne przemiany energii potencjalnej (grawitacji lub sprężystości) w kinetyczną i odwrotnie.

wykres zależności położenia od czasu w ruchu drgającym

Podczas opisywania ruchu drgającego zazwyczaj przyjmujemy taki układ odniesienia, w którym położeniu równowagi odpowiada wychylenie równe zeru.



Sprawdź się!

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

1.	Ciało drgające po upływie określonego czasu (zwanego okresem) zaczyna poruszać się ponownie po tym samym torze w tę samą stronę.	**P**	**F**
2.	Odległość od położenia równowagi do jednego z maksymalnych wychyleń to amplituda drgań.	**P**	**F**
3.	Im dalej od położenia równowagi znajduje się kulka wahadła, tym mniejsze jest jej wychylenie.	**P**	**F**
4.	Gdy kulka wahadła zbliża się do położenia równowagi, jej energia potencjalna grawitacji rośnie.	**P**	**F**
5.	Im większa jest amplituda drgań wahadła, tym dłuższy jest okres jego drgań.	**P**	**F**

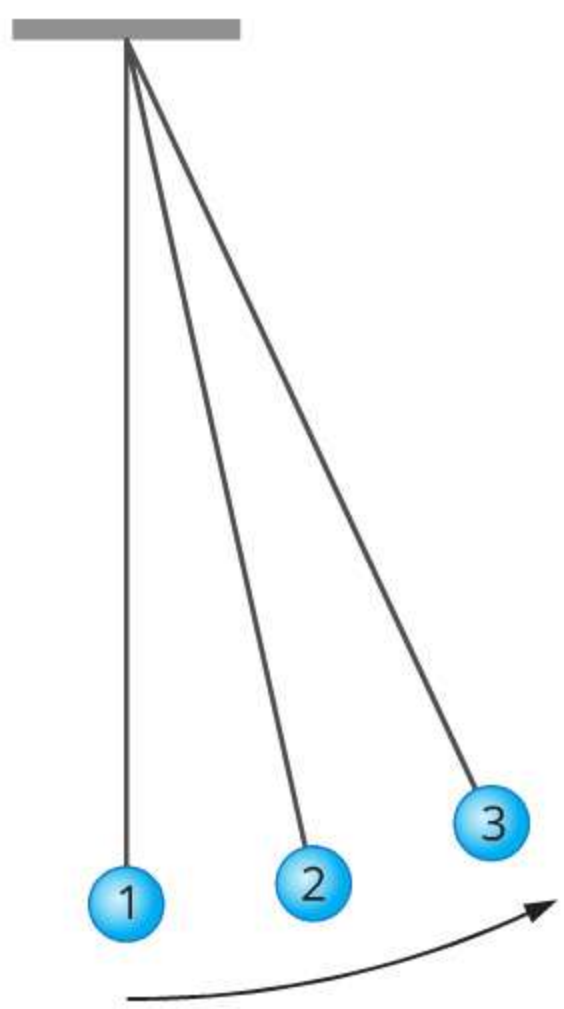
2. Na sprężynie zawieszono ciężarek. Następnie wychylono go z położenia równowagi, po czym puszczono swobodnie tak, że zaczął wykonywać drgania.

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

Podczas przechodzenia ciężarka przez położenie równowagi jego energia kinetyczna jest

A.	największa,	ponieważ	**1.**	zmiana długości sprężyny jest największa.
B.	najmniejsza,		**2.**	prędkość ciężarka jest największa.

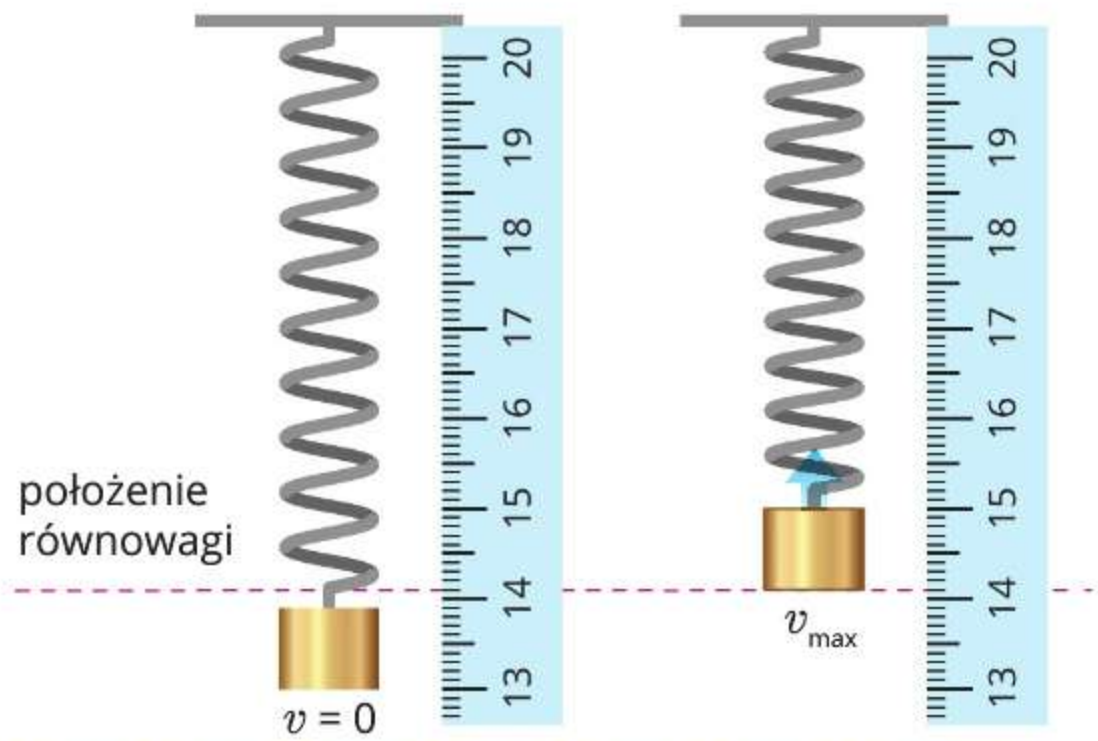
3. Na ilustracji przedstawiono trzy położenia wahadła poruszającego się ruchem drgającym. W którym spośród położeń 1–3 prędkość kulki wahadła jest największa?



4. Uczniowie zauważyli, że czas, w którym ciężarek zawieszony na sprężynie i poruszający się ruchem drgającym przemieszcza się od najwyższego do najniższego położenia, wynosi dokładnie 1,9 s. Ile wynosi okres drgań tego ciężarka?

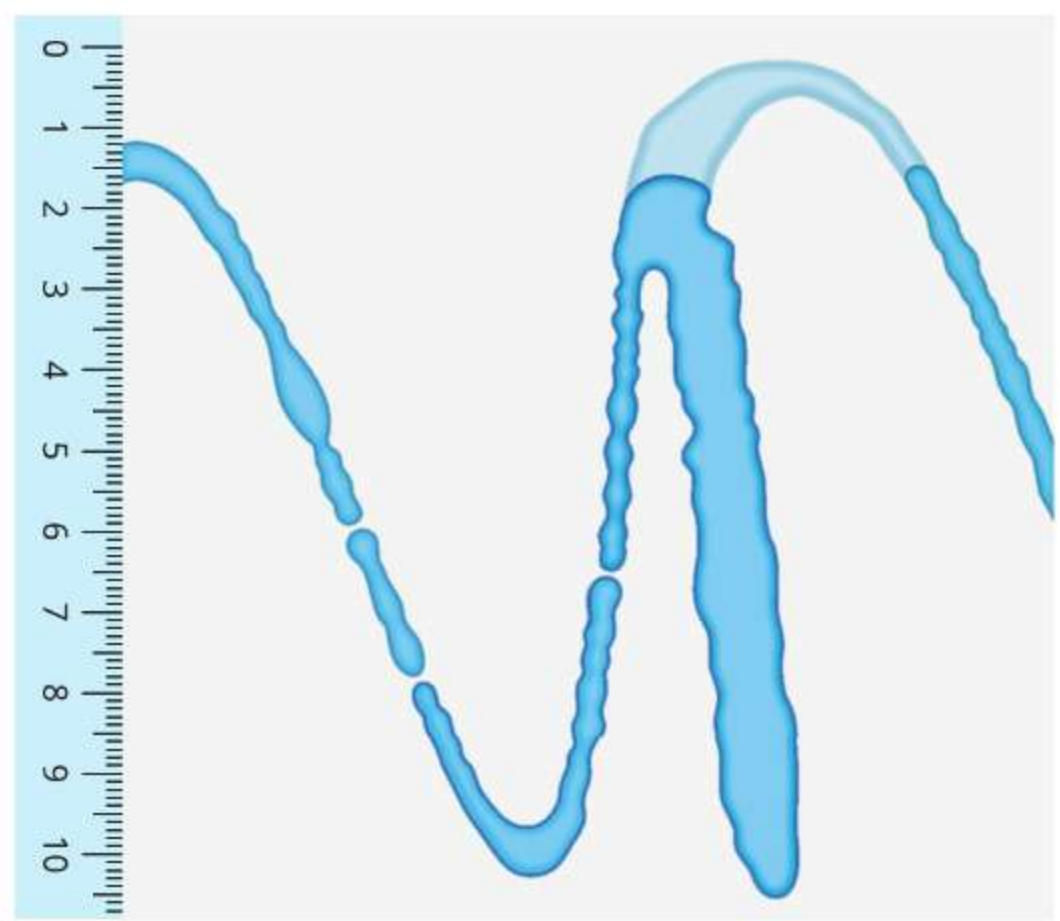
5. Młot pneumatyczny pracuje z częstotliwością 18 uderzeń na minutę. Oblicz okres drgań tego młota.

6. Na ilustracji pokazano położenie ciężarka zawieszonego na sprężynie, poruszającego się ruchem drgającym. Na podstawie ilustracji wyznacz amplitudę drgań tego ciężarka.



7. Częstotliwość drgań pistoletu do masażu jest równa 45 Hz. Oblicz okres drgań tego pistoletu. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

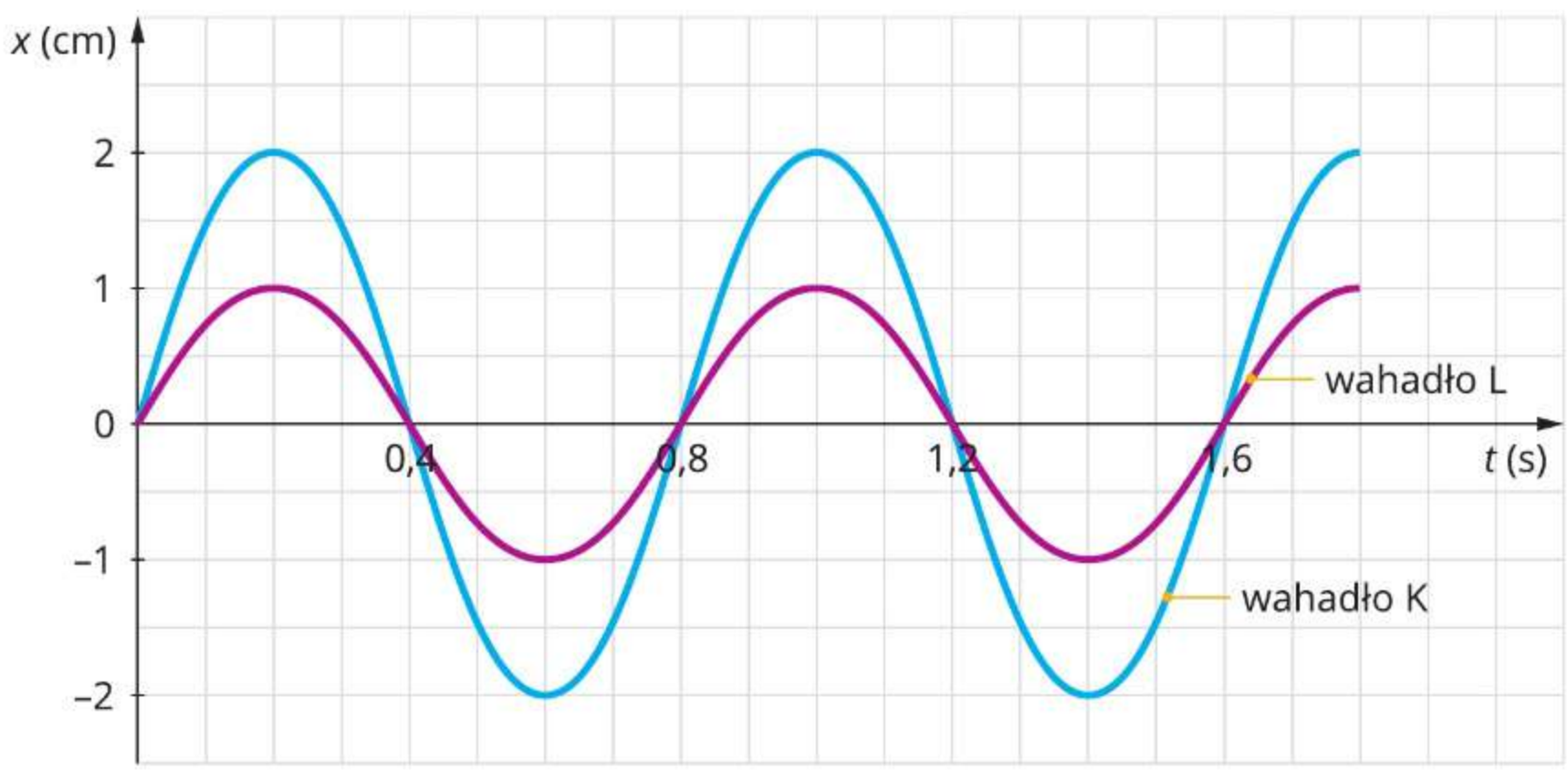
8. Uczniowie zbudowali wahadło z odciętej części plastikowej butelki (podobnie jak w *Zbadaj to sam!* na s. 30). W nakrętce zrobili otwór, przez który podczas drgań wylewała się zabarwiona woda. Na ilustracji pokazano ślad pozostawiony przez nią na papierze.



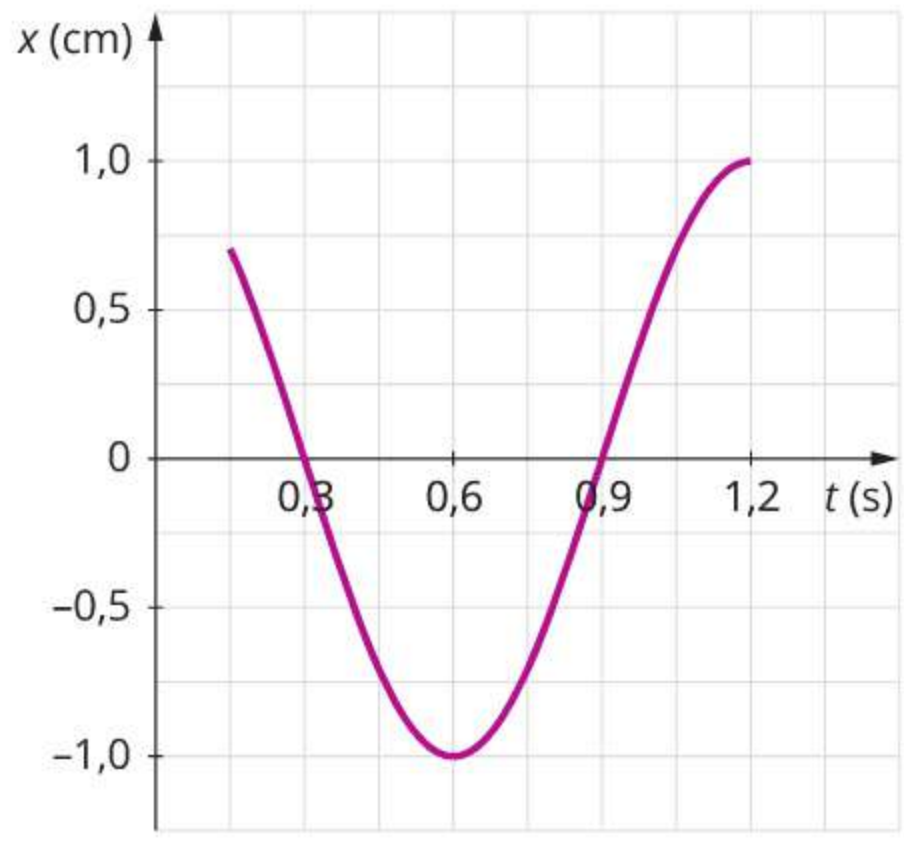
a. Odczytaj amplitudę drgań wahadła.

b. Czy papier znajdujący się pod wahadłem cały czas się poruszał, czy były momenty, gdy pozostawał nieruchomy?

9. Dwa wahadła o tej samej długości wprawiono w ruch drgający o różnych amplitudach. Na wykresie przedstawiono zależności położenia od czasu dla obu wahadeł. Na podstawie wykresu wyznacz amplitudy oraz częstotliwości drgań tych wahadeł.



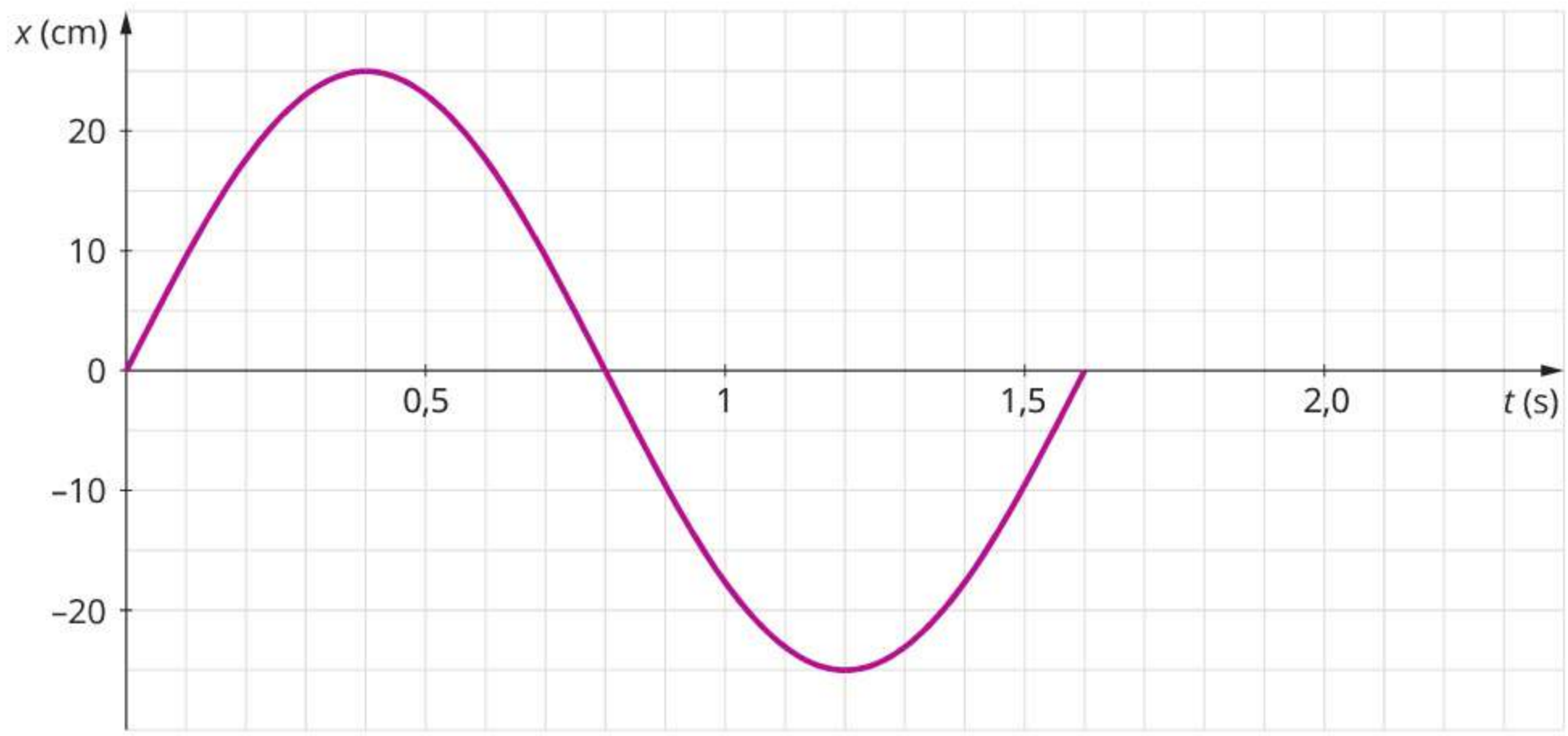
10. Na rysunku przedstawiono fragment wykresu zależności położenia od czasu dla wahadła poruszającego się ruchem drgającym. Na podstawie wykresu ustal, jakie były amplituda oraz okres tych drgań.



11. Na rysunku przedstawiono fragment wykresu zależności położenia wahadła od czasu. Na podstawie wykresu wskaż:

a. momenty, w których wychylenie wahadła z położenia równowagi było największe;

b. położenie wahadła dla czasu $t = 2$ s.



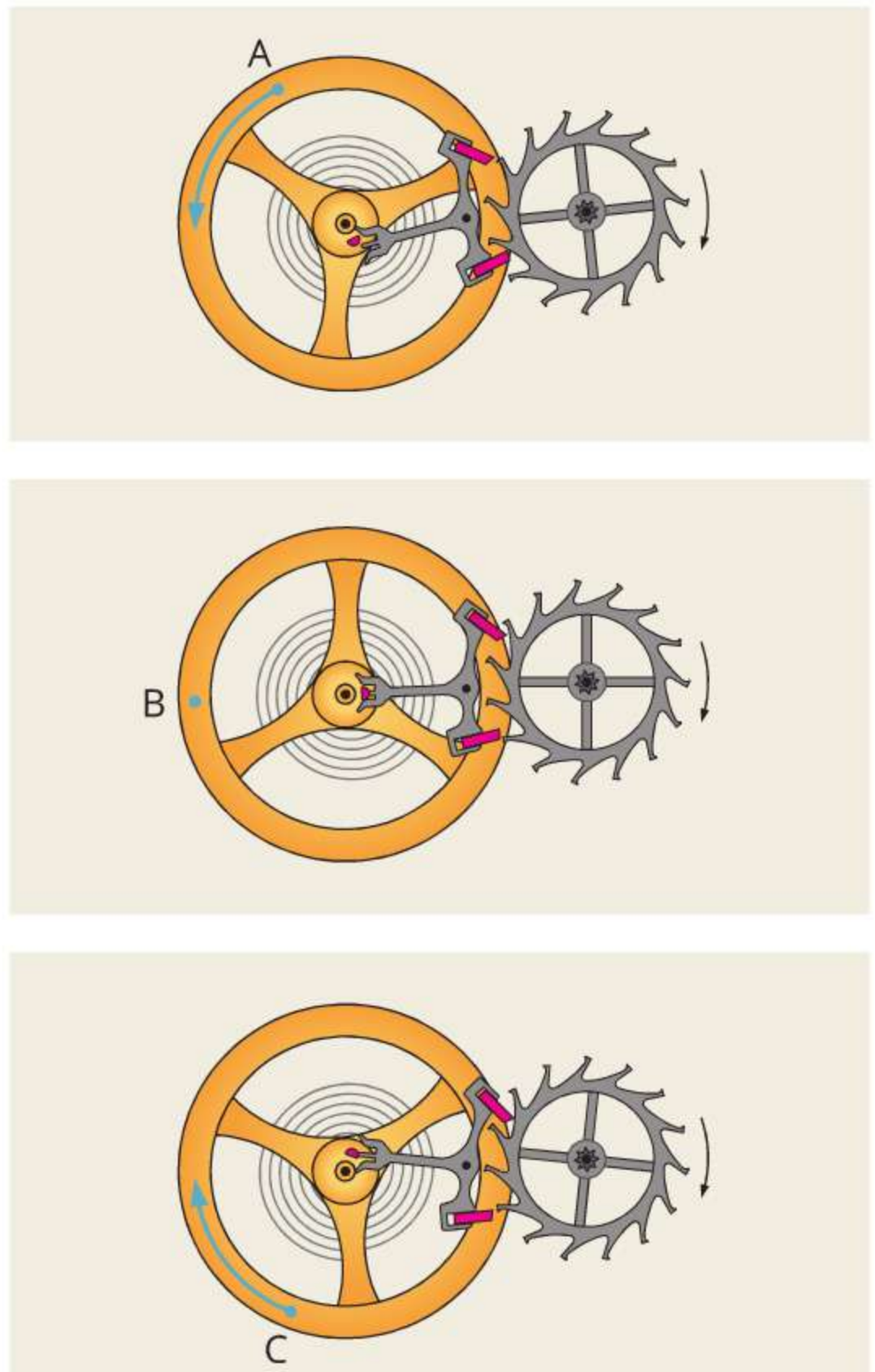
Tekst popularnonaukowy

Zegarek mechaniczny

Współczesne zegarki mechaniczne to urządzenia, które odmierzają upływ czasu bardzo precyzyjnie. Rozbieżność między ich wskazaniami a rzeczywistym czasem to tylko 1 sekunda w ciągu roku. Tak niewielka różnica wynika m.in. z ogromnej precyzji wykonania poszczególnych części zegarków, a to z kolei wpływa na ich wysoką cenę. Widok fragmentu wnętrza takiego zegarka przedstawia ilustracja a.

Elementem wprawiającym w ruch mechanizm zegarka jest sprężyna główna. Energia mechaniczna zgromadzona w naciągniętej sprężynie powoduje, że zegarek odmierza czas. Energia ta jest gromadzona w wyniku ręcznego nakręcania zegarka, czyli naciągania sprężyny, która z czasem powraca do początkowego kształtu.

Na ilustracji b przedstawiono trzy położenia (A, B i C) koła mechanizmu zegarka. Koło to, zwane balansem, jest połączone ze sprężyną i porusza się ruchem drgającym. Balans jest tu kolejno maksymalnie wychylony w prawo (A), znajduje się w położeniu równowagi (B) i jest maksymalnie wychylony w lewo (C). Czas, jaki upływa między zmianą położenia z A na C balansu, to połowa okresu jego drgań. Częstotliwość tych drgań w najpopularniejszych mechanizmach sprężynowych zegarków mechanicznych wynosi 4 Hz.



Podczas pracy zegarka mechanicznego słychać charakterystyczne tykanie. Pojedynczy dźwięk powstaje, gdy wychylenie balansu z położenia równowagi jest największe. Wówczas połączone z nim płytki, zaznaczone na rysunku kolorem różowym, na przemian uderzają w kolejne zęby mniejszego koła.

Kształt zębów mniejszego koła sprawia, że na skutek uderzeń płytek porusza się ono skokowo ciągle w tę samą stronę. W położeniu A w koło uderza płytka górna, natomiast w położeniu C – płytka dolna. Mniejsze koło wprawia w ruch złożony mechanizm kół zębatych zegarka i powoduje, że każda ze wskazówek przemieszcza się w odpowiednim tempie na tle tarczy.

Sprawdź się!

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

1.	Energia, dzięki której poruszają się wskazówki zegarka mechanicznego, pochodzi z pracy wykonywanej podczas nakręcania sprężyny znajdującej się wewnątrz mechanizmu zegarka.	**P**	**F**
2.	Najczęściej okres drgań mechanizmu sprężynowego w zegarku mechanicznym wynosi 4 s.	**P**	**F**
3.	Balans w zegarku mechanicznym porusza się ruchem drgającym.	**P**	**F**
4.	Ruch wskazówek zegarka jest regulowany przez układ wielu kół zębatych.	**P**	**F**

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

W sprzedaży można znaleźć zegarki mechaniczne z balansami, które pracują z różnymi częstotliwościami. Im większa jest częstotliwość pracy balansu, tym

A.	mniejszy jest okres jego drgań,	ponieważ	**1.**	balans wykonuje w jednostce czasu mniej drgań.
B.	większy jest okres jego drgań,		**2.**	balans wykonuje w jednostce czasu więcej drgań.

3. Częstotliwość drgań balansu jest równa 4 Hz.

a. Oblicz, ile pojedynczych dźwięków wydobywa się z tego zegarka podczas 1 sekundy.

b. Ile drgań wykonuje ten balans w czasie minuty?

4. Rozbieżność między wskazaniem czasu przez zegarek mechaniczny a rzeczywistym czasem wynosi 1 s na rok. Oblicz, jaka jest rozbieżność wskazań tego zegarka na dobę. Przyjmij, że spieszy się on o tyle samo każdego dnia, a rok ma 365 dni. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

DZIAŁ II

FALE

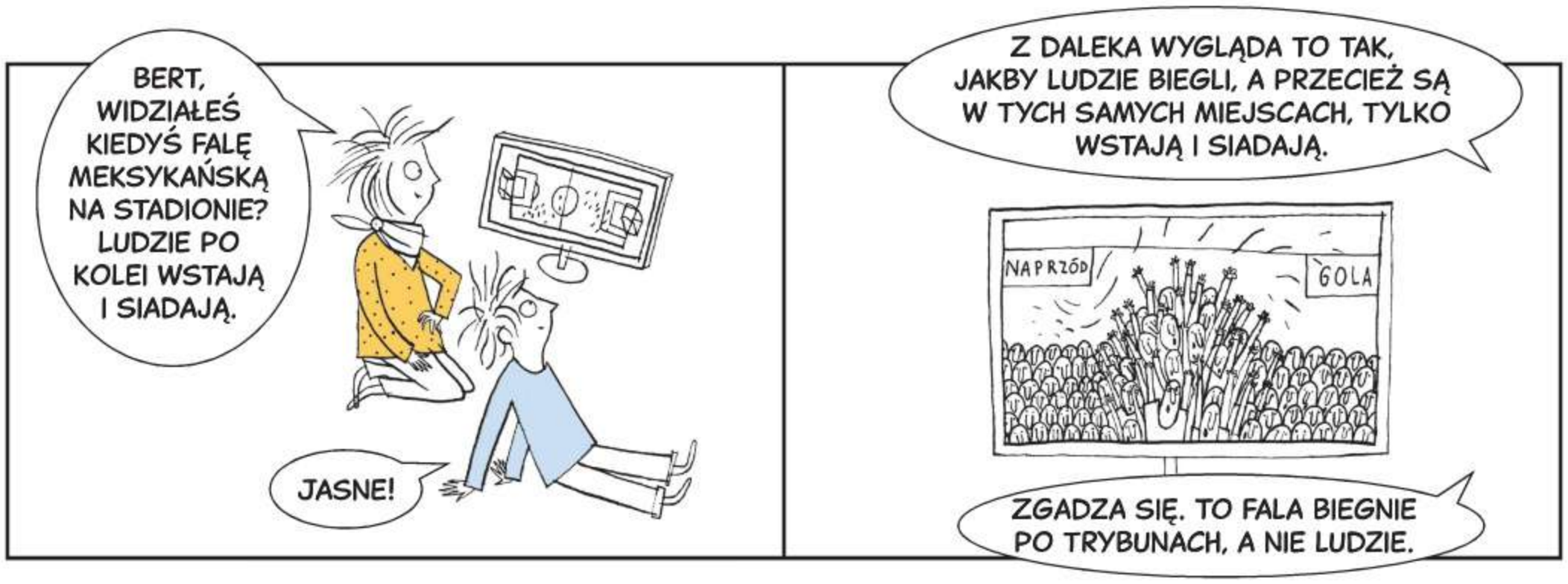
Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

Jak powstają dźwięki?

Co to jest fala mechaniczna?

6. Fala mechaniczna

- Czym jest fala mechaniczna?
- Jak poruszają się cząsteczki ośrodka, w którym rozchodzi się fala?



Gdy myślimy o falach, najczęściej wyobrażamy sobie fale na wodzie. Wystarczy niewielki wiatr, by powierzchnia jeziora, rzeki, morza, a nawet kałuży odkształciła się w charakterystyczny sposób (ryc. 6.1.). Fale na wodzie są przykładem fal mechanicznych.

Ryc. 6.1. Fale na powierzchni wody

Do powstania fali mechanicznej niezbędny jest ośrodek materialny, w którym fala będzie się rozchodzić. Może to być na przykład woda, sznur, sprężyna lub powietrze. Aby powstała fala, musi istnieć źródło fali. Mogą to być krople, które uderzają o powierzchnię wody, albo człowiek, który porusza sznurem czy sprężyną. Źródło fali powoduje, że elementy ośrodka są wytrącane ze swoich położeń równowagi i zaczynają drgać. Dzięki oddziaływaniu sprężystemu między cząsteczkami ośrodka drgania te przenoszą się na kolejne fragmenty ośrodka, które również zaczynają drgać. W ośrodku rozchodzi się wówczas pewne zaburzenie, które nazywamy właśnie falą mechaniczną.

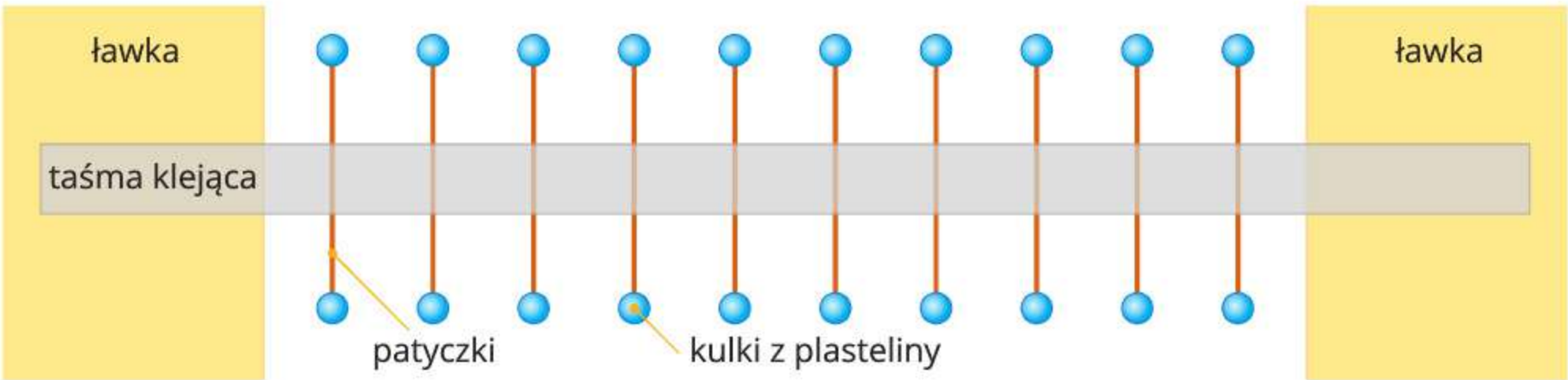
Fala mechaniczna to rozchodzące się w ośrodku materialnym zaburzenie wytworzone przez źródło fali.

Rozchodzenie się fali polega na tym, że kolejne cząsteczki ośrodka drgają tylko względem swoich położeń równowagi, a nie wędrują wraz z falą wzdłuż kierunku, w którym się ona rozchodzi. Mówimy, że fala się rozchodzi, ale nie przenosi materii.

Zbadaj to sam!

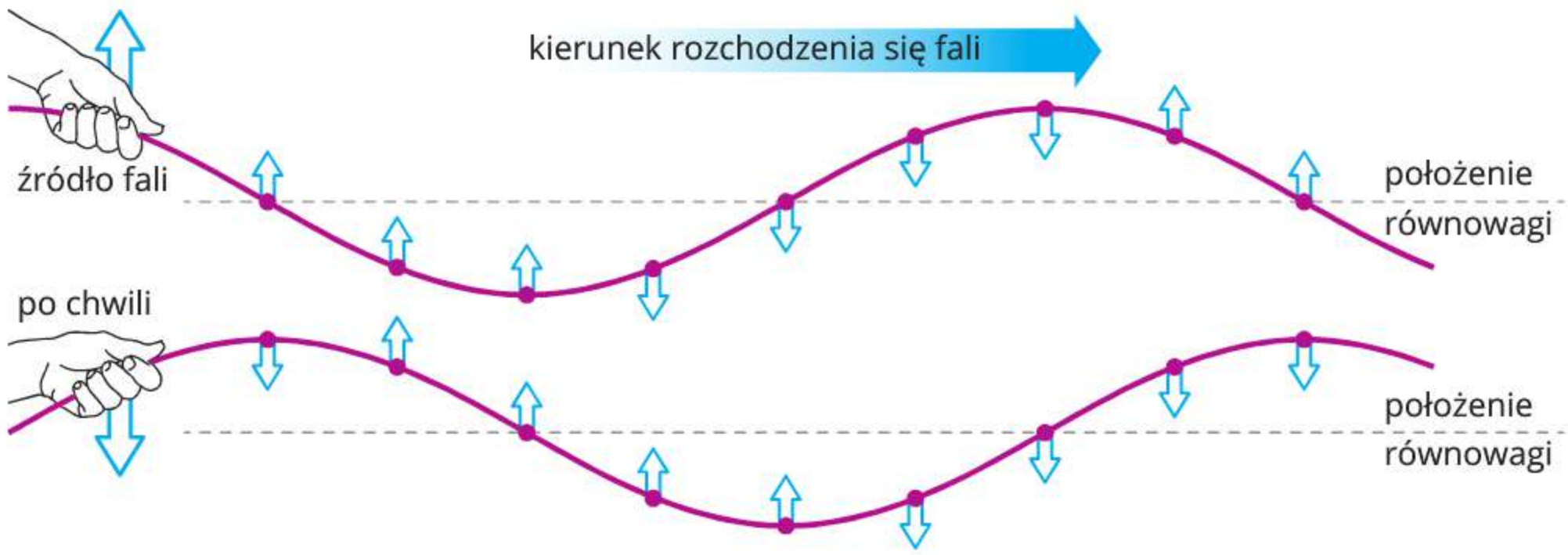
Robimy falownicę

1. Do doświadczenia będą potrzebne: szeroka taśma klejąca, patyczki do szaszłyków, plastelina.
2. Na każdy z końców patyczków wbij po jednej kulce plasteliny.
3. Rozciągnij na ławce taśmę klejącą stroną z klejem do góry. W równych odstępach ułóż na niej patyczki tak, aby taśma przechodziła przez ich środek. Naklej na tak przygotowaną taśmę z patyczkami drugi, taki sam pasek taśmy klejącej (klejem do dołu).
4. Zamocuj taśmę z patyczkami między dwiema ławkami (jak na ilustracji). Taśma powinna być delikatnie napięta.



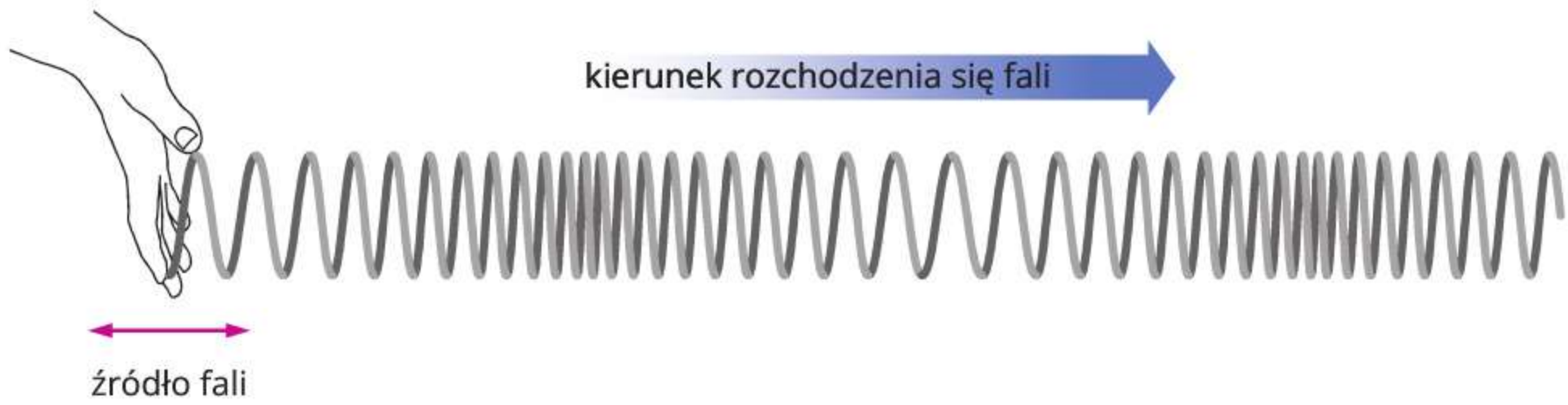
5. Odchyl pierwszy patyczek do góry lub na dół i puść go swobodnie. Czy wzdłuż taśmy rozchodzi się fala? Zapisz w zeszycie spostrzeżenia i obserwacje.

Aby wyjaśnić mechanizm rozchodzenia się fali, przyjrzyjmy się fali wytworzonej w sznurze (ryc. 6.2.). Wzdłuż sznura w równych odstępach od siebie zamocowano koraliki. Źródłem fali jest dłoń poruszająca się w górę i w dół, trzymająca koniec sznura. Można zauważyć, że podczas rozchodzenia się fali koraliki poruszają się tylko względem swoich położeń równowagi – w górę i w dół.



Ryc. 6.2. Mechanizm rozchodzenia się fali

Jeżeli chcemy wytworzyć falę w sznurze, nie musimy koniecznie poruszać jednym z jego końców w górę i w dół. Możemy również naciągnąć sznur, a następnie uderzyć go w dowolnym miejscu. Jeśli natomiast chcemy wytworzyć falę w sprężynce *Slinky*, możemy albo poruszać jednym z jej końców, albo ścisnąć i puścić kilka jej zwojów.



Ryc. 6.3. Jeden z rodzajów fal możliwych do wytworzenia w sprężynce *Slinky*

Wychylenie cząsteczek ośrodka z ich położeń równowagi wymaga wykonania pracy, którą wykonuje źródło fali. Właśnie dzięki temu zmienia się energia cząsteczek ośrodka. Na skutek oddziaływania sprężystego między sąsiadującymi elementami ośrodka zaczynają poruszać się kolejne jego cząsteczki i ich energia się zmienia. Tak przemieszcza się zaburzenie. Energia jest przekazywana w ośrodku bez przenoszenia materii. Na przykład gdy ściskamy kilka zwojów sprężyny, rośnie ich energia mechaniczna. W momencie puszczenia zwojów ich energia jest przekazywana kolejnym zwojom. Zagęszczenie zwojów zaczyna się przemieszczać wzdłuż sprężyny (ryc. 6.3.), czyli energia kolejnych jej fragmentów rośnie kosztem energii poprzednich fragmentów. W ośrodku następuje przekazanie energii ze źródła fali, mimo że pojedyncze zwoje sprężyny nie wędrują wzdłuż niej od źródła do końca. Podobnie fale sejsmiczne przenoszą energię, która powoduje zniszczenia nawet w znacznych odległościach od źródła tych fal.

Zobacz, jak to zrobić!

Fala na gumowym wężu

Do gumowego węża przywiązano wstążkę. Jeden koniec węża przytwierdzono do ściany, a drugi koniec wprawiono w drgania. W którą stronę będzie przemieszczała się wstążka przywiązana do węża, gdy dotrze do niej fala (ryc.)?

Rozwiązanie:

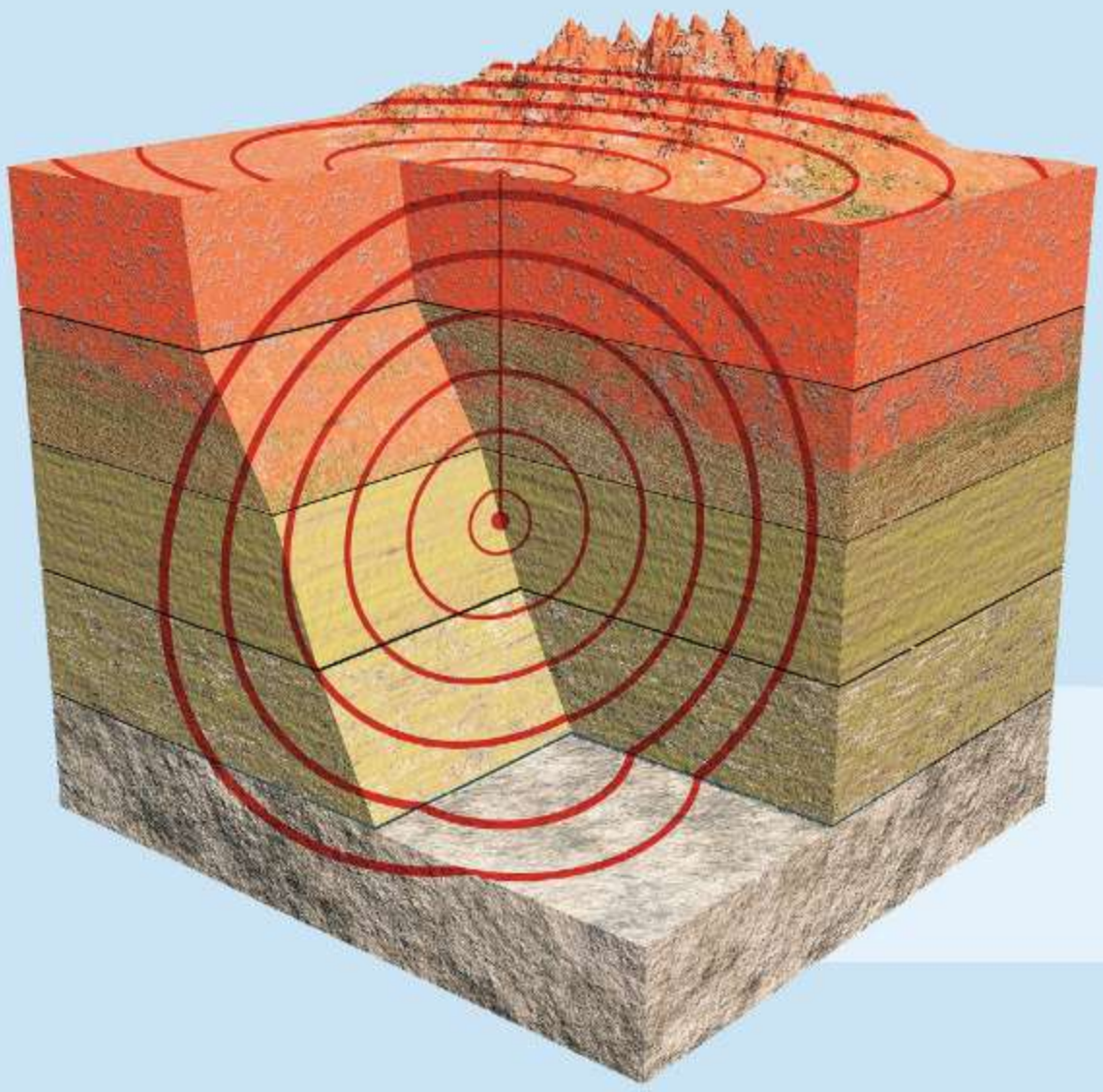
Fala rozchodzi się w prawo. Fragmenty gumowego węża poruszają się ruchem drgającym w górę i w dół, więc w taki sam sposób porusza się zawiązana na sznurze wstążka. W przedstawionej sytuacji początkowo będzie się ona poruszać w górę i po chwili znajdzie się w górnym skrajnym położeniu. Następnie zacznie poruszać się w dół.

Rozglądaj się wokół!

Fale mechaniczne wokół nas

Z różnymi falami spotykamy się na co dzień.

Gdy mówimy, wytwarzamy **fale dźwiękowe**, które rozchodzą się w powietrzu. Ich źródłem są drgające struny głosowe.



Fale sejsmiczne rozchodzą się w skorupie ziemskiej i powstają m.in. na skutek trzęsienia ziemi.

Tsunami to fala oceaniczna wywołana najczęściej trzęsieniem ziemi. Może ona osiągnąć wysokość nawet kilkudziesięciu metrów.

Dowiedz się więcej!

Elektrownie falowe

Jednym z kierunków poszukiwań taniego i przyjaznego środowisku źródła energii elektrycznej jest wykorzystanie energii fal morskich. Od wielu lat na całym świecie trwają prace zmierzające do zbudowania elektrowni, która zamieniałaby energię mechaniczną falującej wody na energię elektryczną. Jednak prace te nadal są w fazie badań prototypów urządzeń, które teoretycznie mogłyby realizować to zadanie (ryc. a i b). Konstruktorzy stale poszukują rozwiązań zwiększających wytrzymałość i sprawność elektrowni falowych oraz bezpiecznych sposobów przesyłania energii elektrycznej na ląd.

Mimo różnych konstrukcji i rozmiarów prototypów zasada ich działania jest taka sama – unoszą się one na wodzie dzięki sile wyporu i poruszają się dzięki energii, której źródłem są fale morskie.

a) Pelami (Orkady, Szkocja)

b) Crestwing (Frederikshavn, Dania)

Podsumujmy!

- **Fala mechaniczna** to rozchodzące się w ośrodku materialnym zaburzenie wytworzone przez źródło fali.
- Fale **przenoszą energię**, ale nie przenoszą materii.

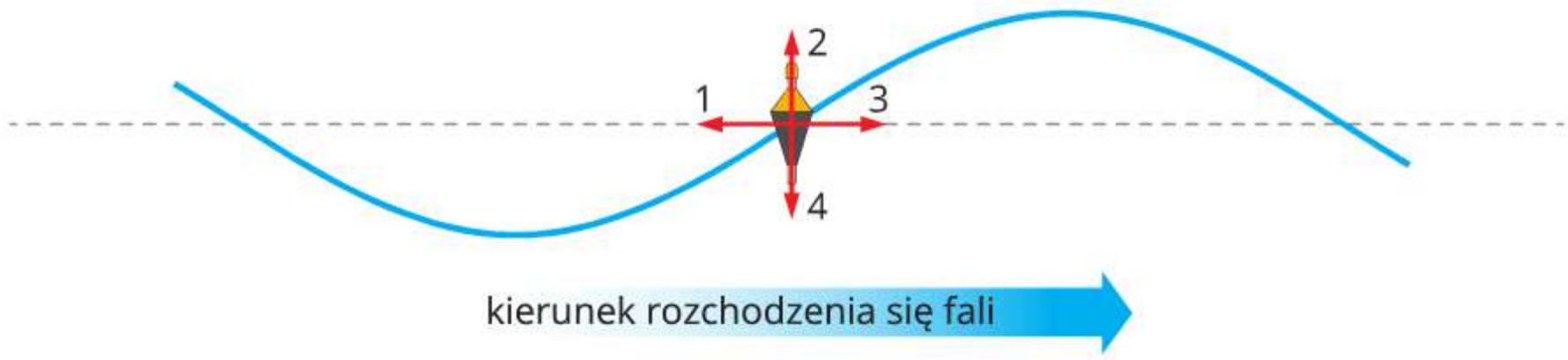
Sprawdź się!

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

1.	Do rozchodzenia się fali mechanicznej niezbędny jest ośrodek.	**P**	**F**
2.	Spadające na powierzchnię wody krople deszczu są źródłami fal.	**P**	**F**
3.	Spośród fal na wodzie tylko fale tsunami przenoszą energię.	**P**	**F**
4.	Fragmenty ośrodka, w którym rozchodzą się fale, wykonują ruch drgający wokół położeń równowagi.	**P**	**F**

2. Dziecko uderzało plastikową łopatką w metalową barierkę na promenadzie. Stojący kilka metrów dalej człowiek opierający się o barierkę odczuł jej drgania. Wyjaśnij to zjawisko.

3. Na powierzchni wody pływa spławik wędkarski.

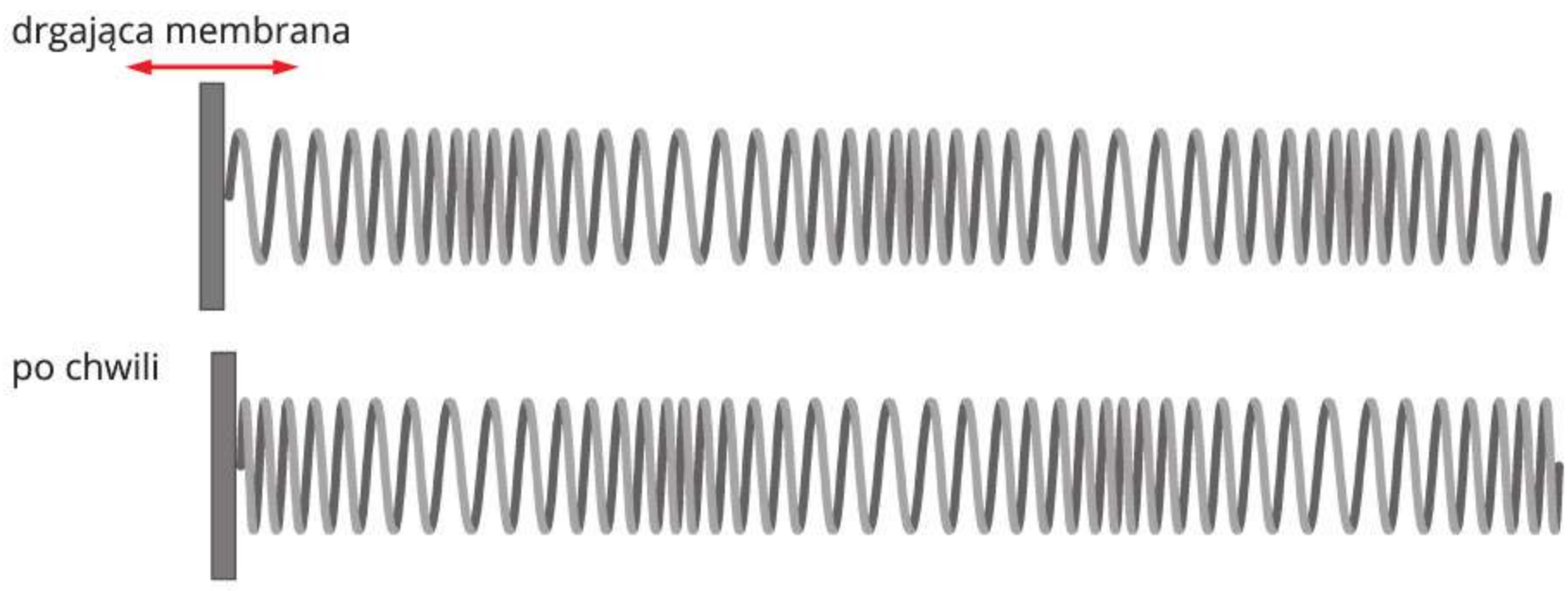


Wybierz właściwe dokończenie zdania.

W chwili przedstawionej na ilustracji spławik porusza się w stronę oznaczoną numerem

A. 1 (w lewo). **B.** 2 (w górę). **C.** 3 (w prawo). **D.** 4 (w dół).

4. Do drgającej poziomo membrany przymocowano sprężynę, w której zaczęła rozchodzić się fala. Uzasadnij, że jest to fala mechaniczna. Ustal kierunek drgań zwojów sprężyny.



5*. Odszukaj w internecie informacje na temat jednego z projektów budowy elektrowni falowej, których ilustracje zamieszczono w sekcji *Dowiedz się więcej!* na s. 54, i przedstaw je w formie plakatu.

7. Wielkości opisujące fale

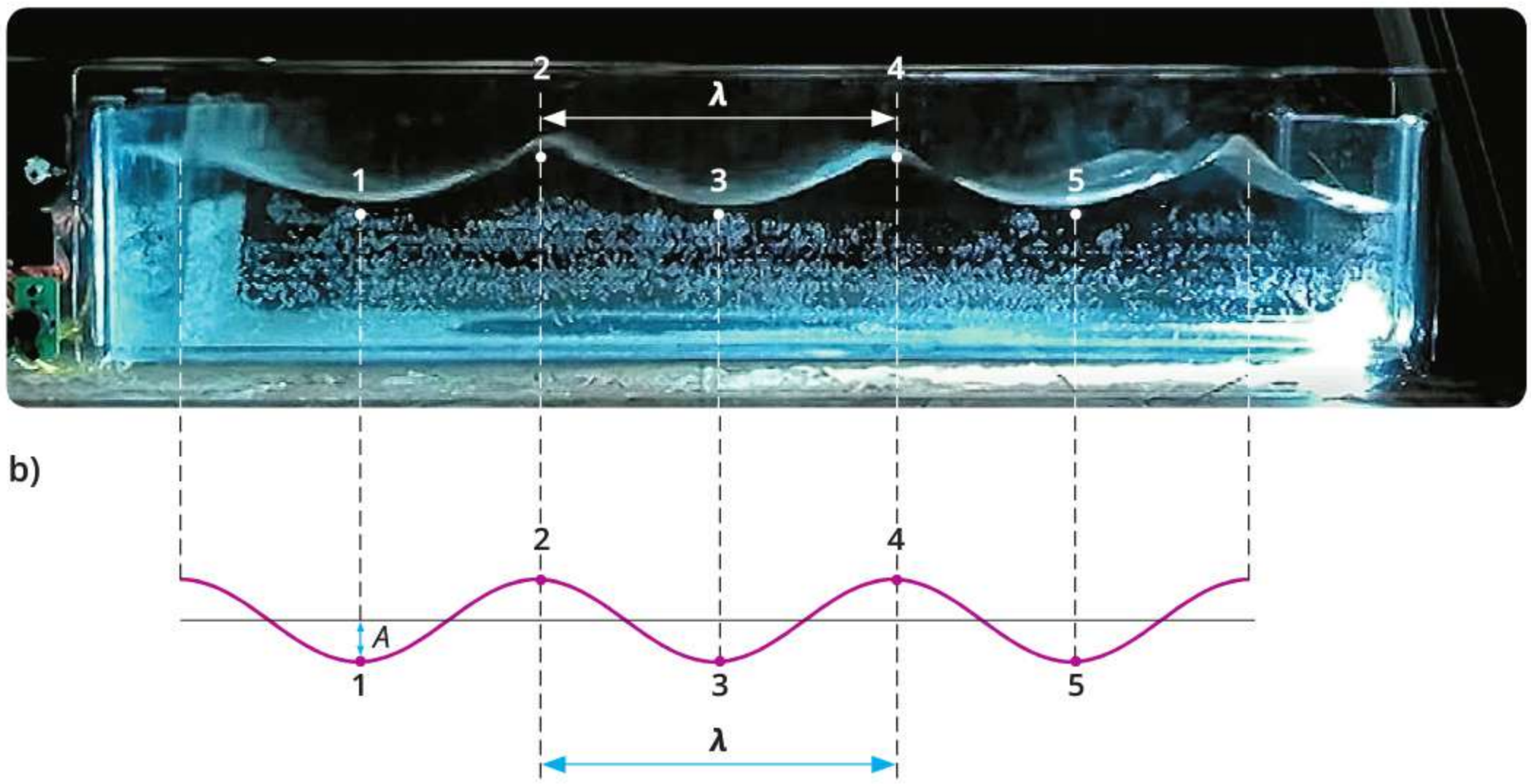
- Czym jest długość fali?
- Jaki jest związek długości fali, jej częstotliwości i prędkości?

Fale rozchodzące się po powierzchni wody mogą się od siebie wyraźnie różnić (ryc. 7.1.). Jedne uderzają o brzeg częściej, inne rzadziej. Jedne są wysokie, inne niskie. Wszystkie fale, niezależnie od tego, jak wyglądają, opisujemy takimi samymi wielkościami fizycznymi.

Podczas obserwowania pojedynczej fali rozchodzącej się na powierzchni wody można zauważyć, że w danej chwili wychylenia różnych cząsteczek ośrodka są różne. Niektóre z nich są wychylone maksymalnie w górę od swojego położenia równowagi i tworzą grzbiety fali, inne są wychylone maksymalnie w dół i tworzą doliny.

Na rycinie 7.2. przedstawiono przekrój fali rozchodzącej się na powierzchni wody (a) oraz jej schematyczny rysunek (b) z zaznaczonymi kilkoma charakterystycznymi punktami. Punkty oznaczone numerami 2 i 4 to grzbiety fal, a te oznaczone numerami 1, 3 i 5 to doliny. Symbolem *A* zaznaczono największe wychylenie cząsteczek ośrodka z położenia równowagi; jest to amplituda fali, czyli odległość od położenia równowagi do grzbietu lub doliny fali.

Ryc. 7.1. Serfowanie na różnych falach



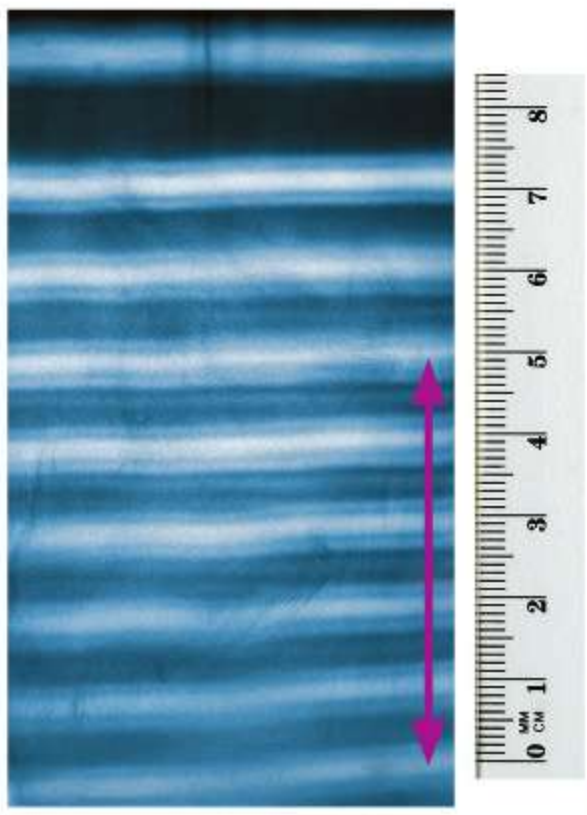
Ryc. 7.2. Grzbiety i doliny fali na wodzie (a) oraz jej schematyczne przedstawienie (b)

Odległość między sąsiednimi grzbietami lub sąsiednimi dolinami fali nazywamy długością fali. Tę długość oznaczamy symbolem λ (czyt. lambda) i wyrażamy w jednostkach długości, na ogół w metrach.

Długość fali λ to odległość między sąsiednimi grzbietami lub sąsiednimi dolinami fali.

Zobacz, jak to zrobić!

Na ilustracji przedstawiono falę rozchodzącą się w niewielkim zbiorniku z wodą. Jest tu ona pokazana z góry, a jasne paski są jej grzbietami. Wyznaczmy długość tej fali na podstawie informacji o odległości między jej pierwszym a szóstym grzbietem (patrz ilustracja).



Rozwiązanie:

Na linijce odczytujemy, że zaznaczona odległość to 5 cm. Między pierwszym a szóstym grzbietem fali mieści się pięć długości fali.

Wobec tego długość fali jest równa:

$$\lambda = \frac{5\ \text{cm}}{5} = 1\ \text{cm}$$

Odpowiedź: Długość fali wynosi 1 cm.

Dotychczas przyglądaliśmy się całej falującej powierzchni wody. Jednak falę możemy obserwować także wtedy, gdy przyglądamy się zachowaniu jednego wybranego elementu na powierzchni wody, np. boi na morzu lub spławika na jeziorze. Dostrzeżemy wówczas, że z upływem czasu ten element drga wokół położenia równowagi. Liczba drgań wybranego fragmentu ośrodka, w którym przemieszcza się fala, zachodzących w określonym czasie, nazywana jest częstotliwością fali. Wyrażamy ją zazwyczaj w hercach (Hz). Częstotliwość fali zależy jedynie od częstotliwości drgań źródła fali. Nie zależy ona od ośrodka, w którym rozchodzi się fala. Każdy fragment ośrodka, do którego dociera fala, drga z taką samą częstotliwością – z częstotliwością źródła.

Fala rozchodzi się ruchem jednostajnym. Prędkość w tym ruchu wyrażamy wzorem $v = \frac{s}{t}$.

Czas, w którym źródło wykonuje jedno drganie, to okres T. W czasie jednego okresu fala pokonuje odległość równą długości fali, więc wzór na prędkość fali możemy zapisać następująco:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

Po uwzględnieniu, że $f = \frac{1}{T}$, otrzymujemy:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \frac{1}{T} = \lambda \cdot f$$

Prędkość, z jaką w ośrodku rozchodzi się zaburzenie wywołane drganiami źródła fali, nazywamy prędkością fali. Z taką prędkością przenosi ona energię. Prędkość fali zależy od rodzaju ośrodka. Inna jest prędkość fali na powierzchni wody, a inna na powierzchni błota.

Zobacz, jak to zrobić!

Odległość między sąsiednimi grzbietami fali na morzu jest równa 6 m. Fale te 5 razy na minutę uderzają o falochron. Obliczmy prędkość rozchodzenia się tych fal.

Dane: $n = 5$, $t = 1$ min $= 60$ s, $\lambda = 6$ m

Szukane: v

Rozwiązanie:

Prędkość fali obliczamy ze wzoru:

$$v = \lambda \cdot f$$

Częstotliwość fali to liczba drgań cząsteczek ośrodka w czasie sekundy, wobec tego:

$$f = \frac{n}{t} = \frac{5}{60\ \text{s}} = \frac{1}{12}\ \text{Hz}$$

Po podstawieniu danych do wzoru na prędkość fali otrzymujemy:

$$v = 6\ \text{m} \cdot \frac{1}{12}\ \text{Hz} = 0{,}5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Odpowiedź: Prędkość rozchodzenia się fal to 0,5 m/s.

Zobacz, jak to zrobić!

Fala rozchodzi się wzdłuż sznura z prędkością 8,5 cm/s. Okres drgań źródła tej fali jest równy 0,4 s. Obliczmy długość fali.

Dane: v = 8,5 cm/s, T = 0,4 s

Szukane: λ

Rozwiązanie:

Aby obliczyć długość fali, należy przekształcić wzór na prędkość:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

W tym celu mnożymy ten wzór obustronnie przez okres fali T i otrzymujemy:

$$v \cdot T = \lambda$$

Po zamianie równania stronami mamy:

$$\lambda = v \cdot T$$

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$\lambda = 8{,}5\,\frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot 0{,}4\ \text{s} = 3{,}4\ \text{cm}$$

Odpowiedź: Długość fali rozchodzącej się wzdłuż sznura jest równa 3,4 cm.

Podsumujmy!

- **Amplituda fali** to największe wychylenie cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala, z położenia równowagi.
- **Długością fali** nazywamy odległość między jej dwoma sąsiednimi grzbietami lub dwiema sąsiednimi dolinami.
- **Częstotliwość fali** to liczba drgań wybranego elementu ośrodka, w którym rozchodzi się fala, zachodzących w ciągu jednej sekundy. Częstotliwość fali zależy od częstotliwości jej źródła.
- Prędkość fali v, jej długość λ, okres T i częstotliwość f są połączone wzorami:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad \text{oraz} \quad v = \lambda \cdot f$$

Sprawdź się!

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

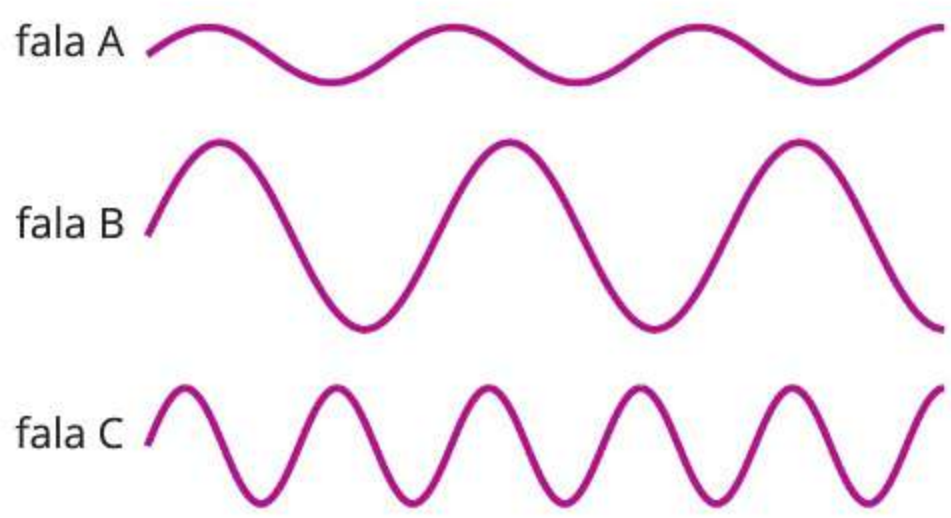
1.	Częstotliwość fali wyrażamy w hercach.	**P**	**F**
2.	Długość fali to maksymalne wychylenie drgającego fragmentu ośrodka z położenia równowagi.	**P**	**F**
3.	Im większa jest prędkość rozchodzenia się fali w danym ośrodku, tym większa jest jej częstotliwość.	**P**	**F**
4.	Częstotliwość drgań fragmentów ośrodka zależy od częstotliwości drgań źródła fali.	**P**	**F**

2. Na rysunku pokazano fale poruszające się z jednakową prędkością. Która z fal ma:

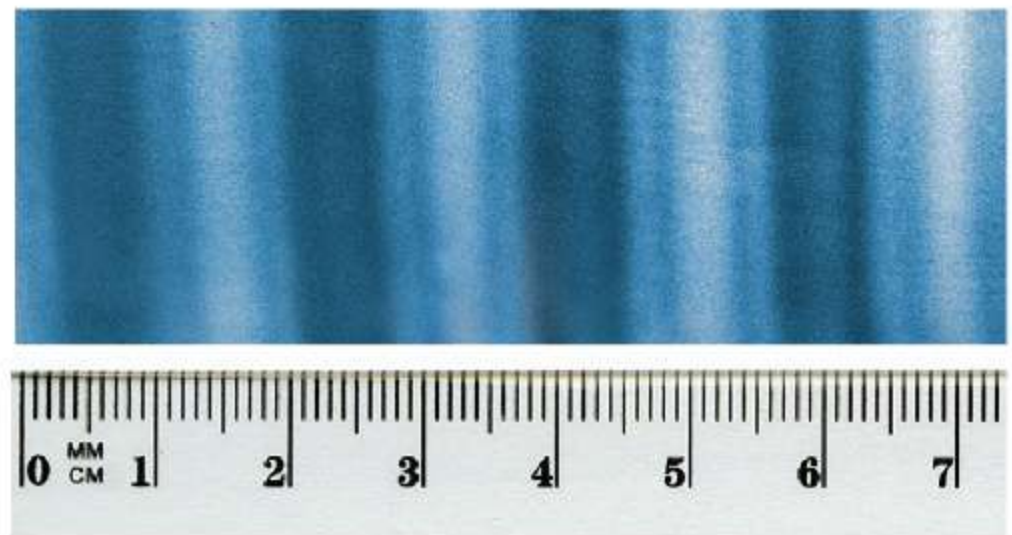
a. największą częstotliwość;

b. największą długość;

c. największą amplitudę drgań punktów ośrodka?

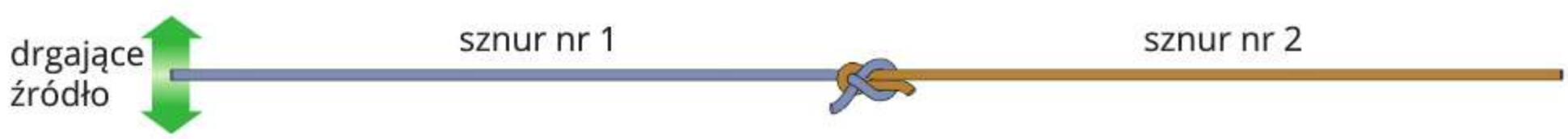


3. Na ilustracji przedstawiono falę rozchodzącą się w niewielkim zbiorniku z wodą. Jest to widok z góry, a jasne paski są grzbietami fali. Wykorzystaj zamieszczoną na ilustracji linijkę i wyznacz długość tej fali.



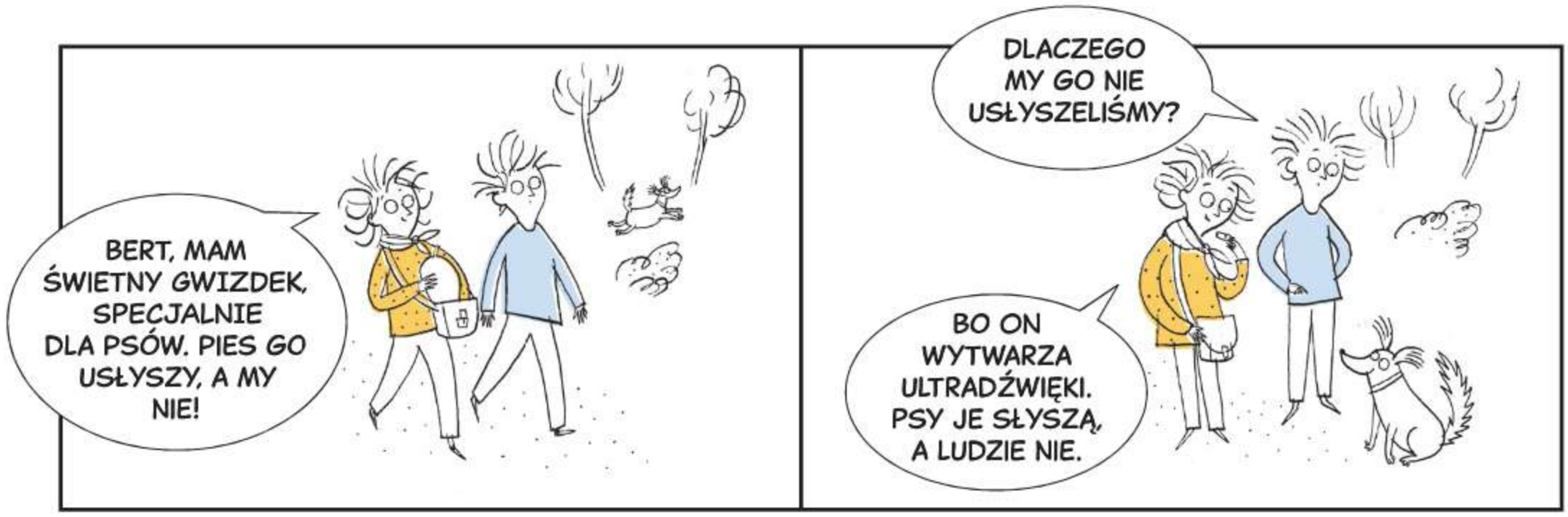
4. Częstotliwość fali rozchodzącej się na powierzchni morza jest równa 0,3 Hz. Odległości między sąsiednimi dolinami fali są równe 14 m. Oblicz prędkość tej fali.

5. Połączono ze sobą dwa sznury wykonane z różnych materiałów. Jeden z końców połączonych sznurów wprawiano w drgania. Częstotliwość drgań źródła była stała i równa 2,5 Hz. Prędkość rozchodzenia się fali w sznurze numer 1 była równa 0,48 m/s, a w sznurze numer 2 wynosiła 0,36 m/s. Oblicz, ile razy większa była długość fali w sznurze numer 1 od długości fali w sznurze numer 2.



8. Dźwięk

- Jak powstają dźwięki?
- Czym są ultradźwięki i infradźwięki?



Człowiek ma pięć podstawowych zmysłów: wzrok, słuch, dotyk, węch i smak. Dzięki nim odbiera bodźce ze świata. Każdemu ze zmysłów przyporządkowany jest odpowiedni narząd w ciele. Przetwarza on informacje o wrażeniach zmysłowych i przekazuje je do mózgu.

Świat wokół nas jest pełen dźwięków. Dźwięk to wrażenie słuchowe wywołane w uchu przez falę dźwiękową. Często jednak samą falę dźwiękową także nazywamy po prostu dźwiękiem.

Źródłem fali dźwiękowej jest ciało, które drga. W przypadku instrumentów muzycznych jest nim na przykład struna gitary, membrana bębna, ale też drgające powietrze w gwizdku czy piszczałce.

Zbadaj to sam!

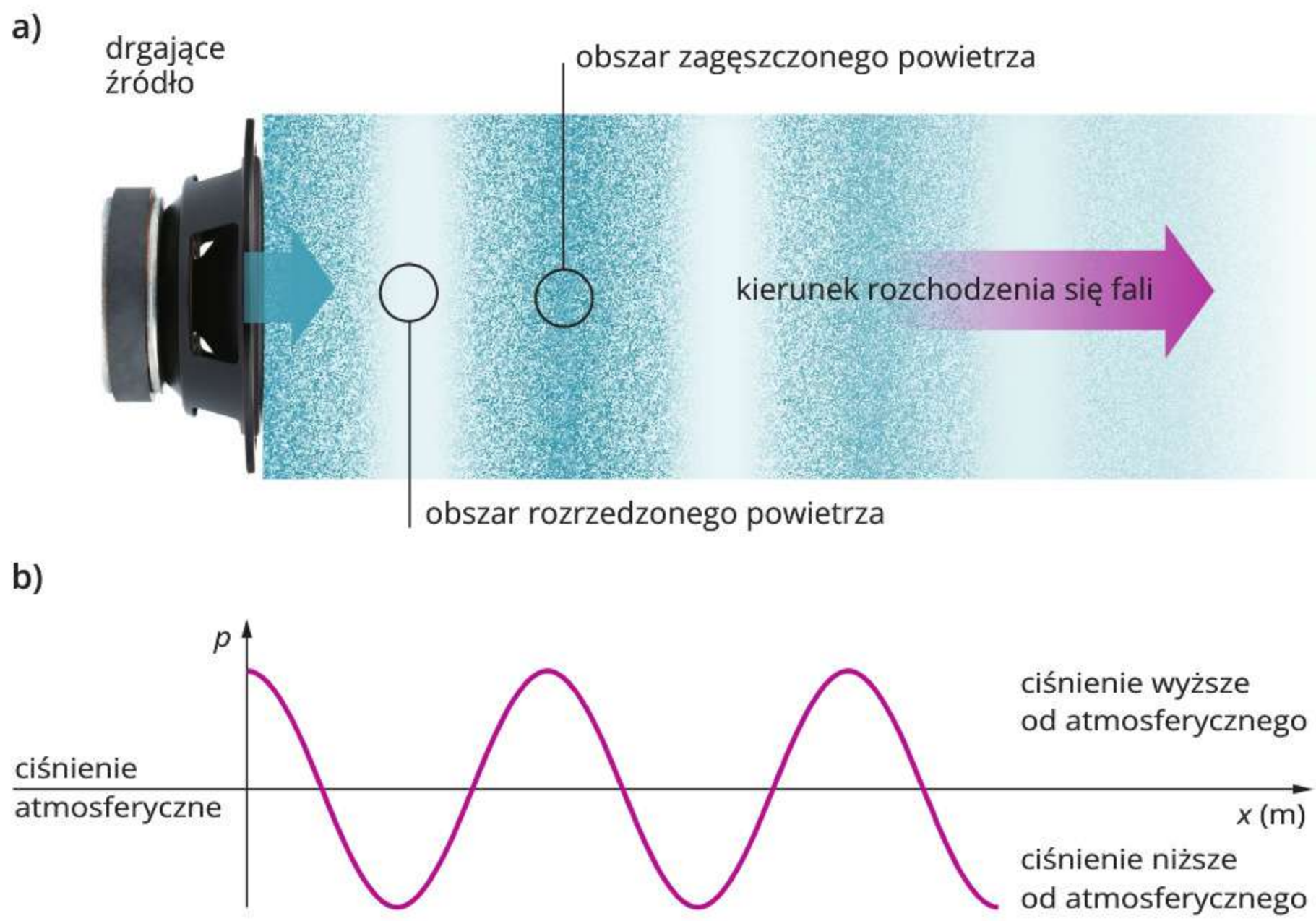
Wytwarzamy dźwięki
(praca w grupach)

1. Do doświadczenia będą potrzebne różne przedmioty, dzięki którym można wytworzyć dźwięki: linijka, butelka, kubek, sztućce, gumka recepturka, instrumenty muzyczne itp.
2. Każda grupa otrzymuje kilka przedmiotów.
3. Wytwórzcie dźwięki za pomocą otrzymanego zestawu. Rozpocznijcie od pojedynczych dźwięków, a następnie spróbujcie wytwarzać kilka różnych jednocześnie.
4. Zaobserwujcie, czy można za pomocą jednego przedmiotu wytworzyć dźwięki różniące się od siebie.
5. Spostrzeżenia zapiszcie w zeszycie.

Powietrze to ośrodek, który może przekazywać drgania. Drgający przedmiot wprawia otaczające go masy powietrza w ruch drgający. Te cząsteczki ośrodka oddziałują sprężyście z sąsiednimi i przekazują im energię, więc kolejne cząsteczki również zaczynają drgać. W ośrodku rozchodzi się fala mechaniczna – fala dźwiękowa. Prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w powietrzu to ok. 340 m/s.

Fala dźwiękowa biegnąca w powietrzu to rozchodzące się rozrzedzenia i zagęszczenia tego ośrodka (ryc. 8.1.a). W miejscach, w których dochodzi do rozrzedzenia ośrodka, ciśnienie powietrza jest nieco niższe od średniego ciśnienia atmosferycznego panującego w ośrodku, a w miejscach, w których ośrodek się zagęszcza, ciśnienie powietrza jest nieco wyższe. Oznacza to, że fala dźwiękowa to rozchodzące się w powietrzu cykliczne zmiany jego ciśnienia (ryc. 8.1.b). Źródło fali dźwiękowej drga z określoną częstotliwością i z taką częstotliwością zmienia się ciśnienie w ośrodku.

Częstotliwość dźwięku to częstotliwość zmian ciśnienia w ośrodku, w którym rozchodzi się dźwięk.



Ryc. 8.1. Fala dźwiękowa w powietrzu

Fale dźwiękowe rozchodzą się również w cieczach (dlatego słyszymy dźwięki po zanurzeniu głowy pod wodę) i w ciałach stałych (słyszymy dźwięki docierające z sąsiedniego pokoju przez ścianę). Jednak nie mogą się one rozchodzić w próżni, gdyż do rozchodzenia się fali mechanicznej niezbędny jest ośrodek materialny. Prędkość dźwięku zależy od rodzaju ośrodka (tabela 8.1.).

Narządem służącym do odbierania bodźców dźwiękowych jest ucho. Jego zadaniem jest zamiana drgań mechanicznych w impulsy elektryczne, które docierają do mózgu i mogą być przez niego analizowane. Fala dźwiękowa dociera do błony bębenkowej i wprawia ją w drgania. Drgania te są przenoszone dalej przez elementy ucha wewnętrznego, które mogą drgać tylko z określonymi częstotliwościami. Dlatego człowiek słyszy dźwięki z pewnego zakresu częstotliwości – przyjmuje się, że od 20 Hz do 20 000 Hz (20 kHz).

Człowiek od zawsze wytwarzał dźwięki za pomocą przedmiotów codziennego użytku. Z czasem zaczął konstruować instrumenty muzyczne – przyrządy, których jedynym zadaniem jest wytwarzanie dźwięków. Instrumenty muzyczne często mają złożoną budowę. Gitara to nie tylko struny. Dźwięk wytwarzany przez drgającą strunę jest cichy, więc aby odpowiednio go wzmocnić, potrzebne jest pudło rezonansowe lub wzmacniacz z głośnikiem.

Tabela 8.1. Prędkość fali dźwiękowej w niektórych ośrodkach

Ośrodek	Prędkość dźwięku $\left(\frac{m}{s}\right)$
dwutlenek węgla	260
powietrze	340
hel	970
woda	1500
beton	3200–3800
żelazo	5020

Dowiedz się więcej!

Słyszymy nie tylko uchem

Zdarzają się sytuacje, w których na skutek choroby ucha człowiek przestaje słyszeć dźwięki. Jednak nie tylko ucho pozwala odbierać fale dźwiękowe – dźwięk przenoszony jest również przez nasze kości.

W przypadku, gdy człowiek nie słyszy dźwięków, należy sprawdzić, czy może odbierać je dzięki przenoszeniu ich przez kości. W tym celu należy przyłożyć drgający kamerton do kości czaszki i upewnić się, czy człowiek odczuwa jego drgania. Taki rodzaj przewodzenia dźwięku nazywamy przewodnictwem kostnym. Dzięki niemu osoby niesłyszące mogą odbierać muzykę i tańczyć do niej.

Przewodnictwo kostne jest też wykorzystywane w specjalnych słuchawkach, które nie zasłaniają kanału słuchowego (fot.). Naciskają one na czaszkę i dzięki temu słyszymy muzykę, ale też wszystkie inne dźwięki dochodzące do małżowiny usznej z otoczenia. Dźwięk ze słuchawek jest przenoszony przez kości czaszki bezpośrednio do ucha wewnętrznego. Słuchawki te są polecane osobom słuchającym muzyki na świeżym powietrzu, gdyż – w przeciwieństwie do tradycyjnych słuchawek dousznych – nie ograniczają one odbioru dźwięków z otoczenia i zwiększają bezpieczeństwo użytkownika.

Rozglądaj się wokół!

Jak wytwarzamy dźwięki na instrumentach muzycznych?

Wspólną cechą wszystkich instrumentów jest to, że znajdują się w nich elementy, które mogą być wprawione w ruch drgający, dzięki czemu w powietrzu powstaje i rozchodzi się fala dźwiękowa.

W **instrumentach dętych** drga słup powietrza pozostający w ich wnętrzu. To jego drgania powodują, że zaczyna drgać także powietrze poza instrumentem i dźwięk dociera do odbiorcy. Do instrumentów dętych należą na przykład flet, trąbka czy puzon.

W **instrumentach perkusyjnych** drga fragment lub całość instrumentu, którym się potrząsa (np. tamburyn, marakasy) lub w który uderza się dłonią czy pałką (np. werbel, gong, trójkąt).

Syntezator to przykład instrumentu, w którym źródłem fali jest drgająca membrana głośnika, pobudzana do ruchu przez układ elektryczny.

Skrzypce, wiolonczela czy kontrabas zalicza się do **instrumentów strunowych smyczkowych**. Drgają w nich struny, po których przesuwa się smyczkiem. Gitara czy harfa to **instrumenty strunowe szarpane**.

Zobacz, jak to zrobić!

Prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu jest równa 340 m/s. Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwościach od 20 Hz do 20 kHz. Obliczmy graniczne długości fal dźwiękowych słyszanych przez człowieka.

Dane: v = 340 m/s, f_1 = 20 Hz, f_2 = 20 000 Hz

Szukane: λ_1, λ_2

Rozwiązanie:

Prędkość fali o określonej długości i częstotliwości obliczamy ze wzoru:

$$v = f \cdot \lambda$$

Po podzieleniu równania stronami przez częstotliwości i podstawieniu wartości otrzymujemy:

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1} = \frac{340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{20\ \text{Hz}} = 17\,\frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1\,\frac{\text{s}}{1} = 17\ \text{m} \quad \text{oraz} \quad \lambda_2 = \frac{v}{f_2} = \frac{340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{20\,000\ \text{Hz}} = 0{,}017\ \text{m}$$

Odpowiedź: Człowiek słyszy fale dźwiękowe o długościach od 17 mm do 17 m.

Dźwięki o częstotliwości zbyt niskiej dla naszego ucha nazywamy infradźwiękami. Przyjmuje się, że częstotliwość infradźwięków jest niższa od 20 Hz. Źródłami infradźwięków mogą być duże wodospady, fale morskie, pioruny, trzęsienia ziemi (ryc. 8.2.). Słyszą je i wytwarzają niektóre zwierzęta, np. słonie czy hipopotamy. Infradźwięki mogą być emitowane także przez drgające mosty, wentylatory, wiatraki.

Dźwięki o częstotliwości zbyt wysokiej dla naszego ucha nazywamy ultradźwiękami. Przyjmuje się, że częstotliwość ultradźwięków jest wyższa od 20 000 Hz (20 kHz). Ultradźwięki są wykorzystywane przez takie zwierzęta, jak na przykład walenie, nietoperze, do echolokacji. Zwierzę wysyła wiązkę ultradźwięków, która wraca do niego po odbiciu od przeszkody, a to umożliwia orientację w przestrzeni oraz polowanie w warunkach słabego oświetlenia. Niektóre walenie używają ultradźwięków do komunikowania się (ryc. 8.3.).

Ryc. 8.2. Wodospady mogą być źródłami infradźwięków.

Ryc. 8.3. Delfiny posługują się ultradźwiękami do komunikacji oraz lokalizacji zdobyczy.

Rozglądaj się wokół!

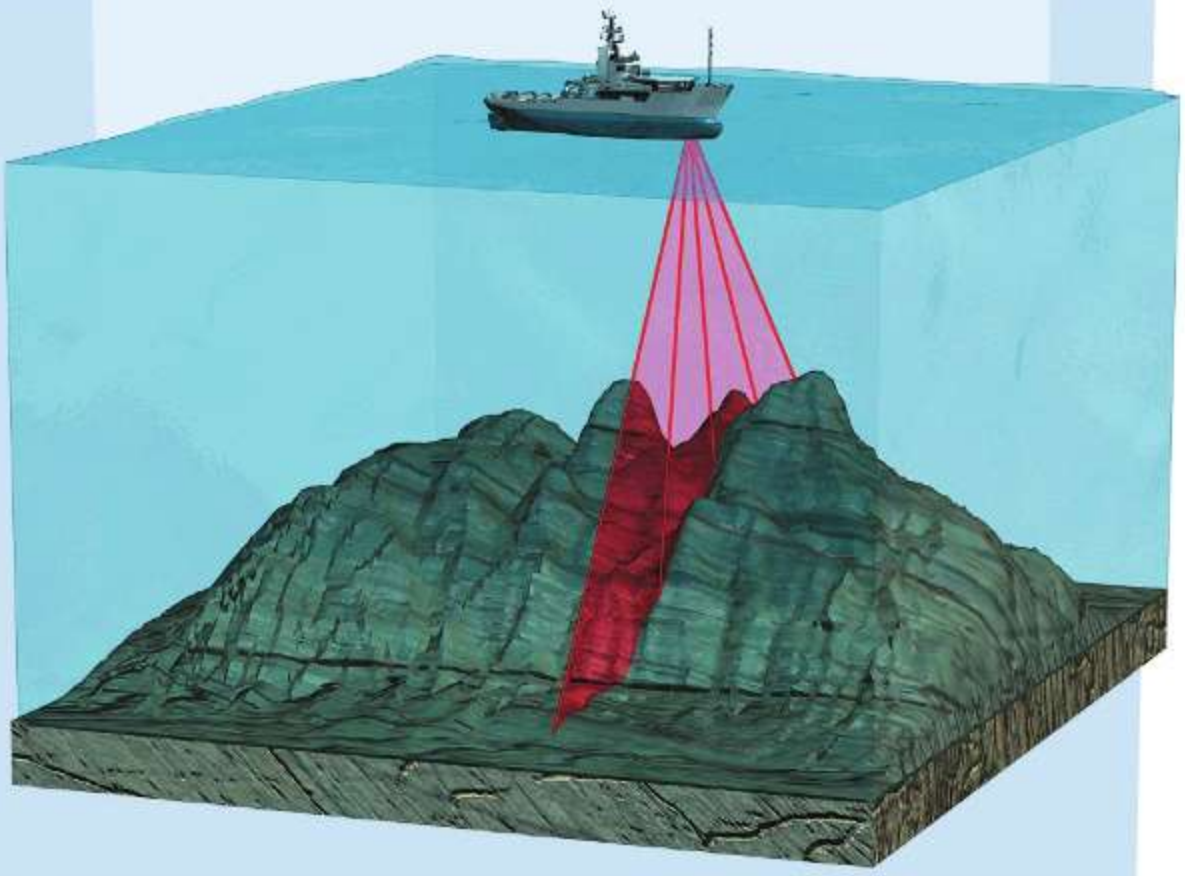
F

Gdzie wykorzystujemy ultradźwięki

Fale ultradźwiękowe nie są słyszane przez człowieka, ale urządzenia wytwarzające ultradźwięki wykorzystuje się w wielu sytuacjach praktycznych.

Skaler ultradźwiękowy
Do zabiegu usuwania kamienia z powierzchni zębów używa się urządzenia, którego końcówka drga z częstotliwością ok. 30 kHz. Przykłada się ją do powierzchni zęba, a kamień nazębny pod wpływem drgań łatwo pęka i odpryskuje.

Sonar
Jest to urządzenie wysyłające ultradźwięki, wykorzystywane przez okręty i statki. Fale ultradźwiękowe odbijają się od obiektów zanurzonych w wodzie, co umożliwia ich lokalizację i monitorowanie głębin morskich.



USG
Badanie USG, czyli ultrasonograficzne, pozwala uzyskać obraz wnętrza organizmu człowieka. Fala ultradźwiękowa wnika do ciała człowieka, odbija się od różnych tkanek i wraca do głowicy. W nieinwazyjny i w pełni bezpieczny sposób uzyskuje się tak obraz badanych narządów.

Badanie jakości metalowej konstrukcji
Czujnik wysyła ultradźwięki, które są odbijane przez elementy badanej konstrukcji, takie jak rura lub kształtownik. Dzięki analizie uzyskanego obrazu można wykryć niewidoczne dla oka wady wewnętrzne badanego obiektu, powstające w procesach odlewania, spawania oraz obróbki plastycznej metalu.

Podsumujmy!

- **Fala dźwiękowa** jest falą mechaniczną.
- Dźwięki słyszalne dla człowieka to fale o częstotliwościach z zakresu **20 Hz–20 kHz**.
- **Infradźwięki** to dźwięki o częstotliwościach poniżej 20 Hz.
- **Ultradźwięki** to dźwięki o częstotliwościach powyżej 20 kHz.

Sprawdź się!

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

1.	Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwości 1500 Hz.	**P**	**F**
2.	Infradźwięki i ultradźwięki mogą rozchodzić się w próżni.	**P**	**F**
3.	Źródło dźwięku powoduje lokalne zmiany gęstości powietrza.	**P**	**F**
4.	Dwukrotny wzrost częstotliwości dźwięku powoduje dwukrotny wzrost prędkości rozchodzenia się tego dźwięku w powietrzu.	**P**	**F**

2. Podczas lotu skrzydła komara drgają z częstotliwością 500 Hz, a skrzydła muchy z częstotliwością 180 Hz. Który z tych owadów wytwarza falę dźwiękową o większej długości?

3. Do ucha człowieka dociera fala o długości 12 mm.

a. Oblicz częstotliwość tej fali. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

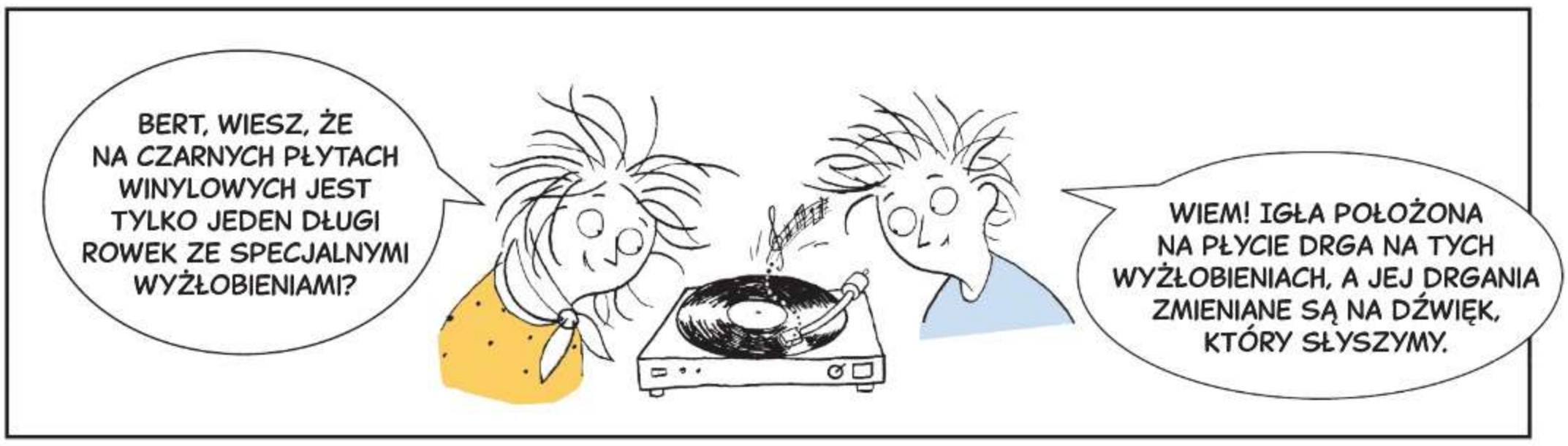
b. Czy człowiek zarejestruje tę falę jako wrażenie słuchowe?

4. Do strojenia skrzypiec używany jest kamerton o częstotliwości drgań 440 Hz. Oblicz długość fali dźwiękowej o tej częstotliwości, rozchodzącej się w powietrzu. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

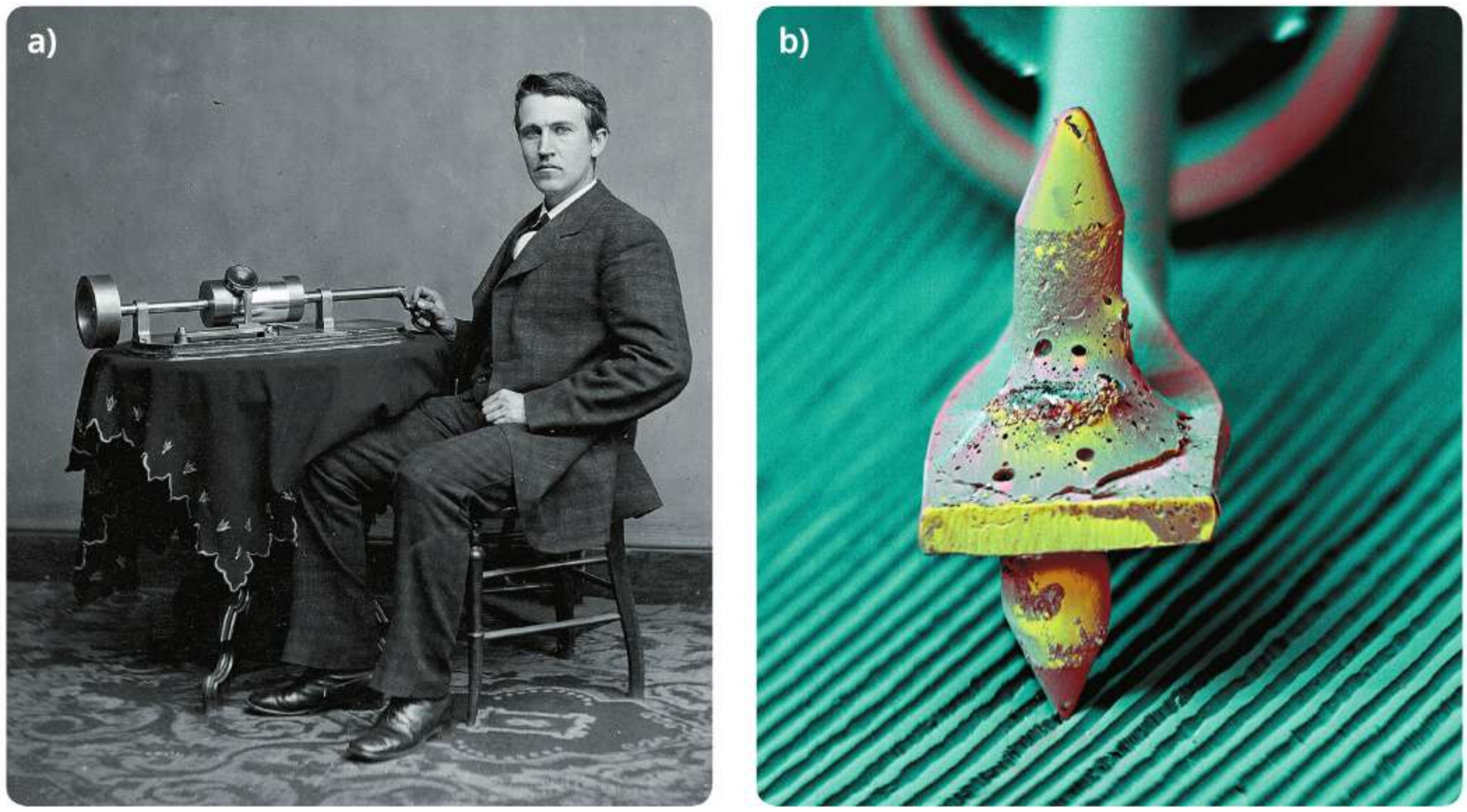
5. Czy astronauta spacerujący po powierzchni Księżyca usłyszałby dźwięk rakiety startującej z jego powierzchni? Uzasadnij odpowiedź.

9. Rejestrowanie dźwięku

- Z czym jest związana wysokość dźwięku?
- Jaki jest związek między natężeniem dźwięku i amplitudą fali?



Pierwszej rejestracji, a następnie odtworzenia dźwięku dokonał Thomas Edison. Działo się to zaledwie 150 lat temu. Edison zbudował fonograf (ryc. 9.1.a) – urządzenie, które zamieniało dźwięk na drgania igły. Igła żłobiła rowek w poruszającej się pod nią folii cynowej nawiniętej na metalowy walec. Ponowne przemieszczanie się igły po tak powstałym rowku powodowało jej drgania. Stawała się ona źródłem dźwięku identycznego jak ten, który zarejestrowano. W taki sposób odtwarza się do dziś dźwięk zapisany na płytach winylowych (ryc. 9.1.b).



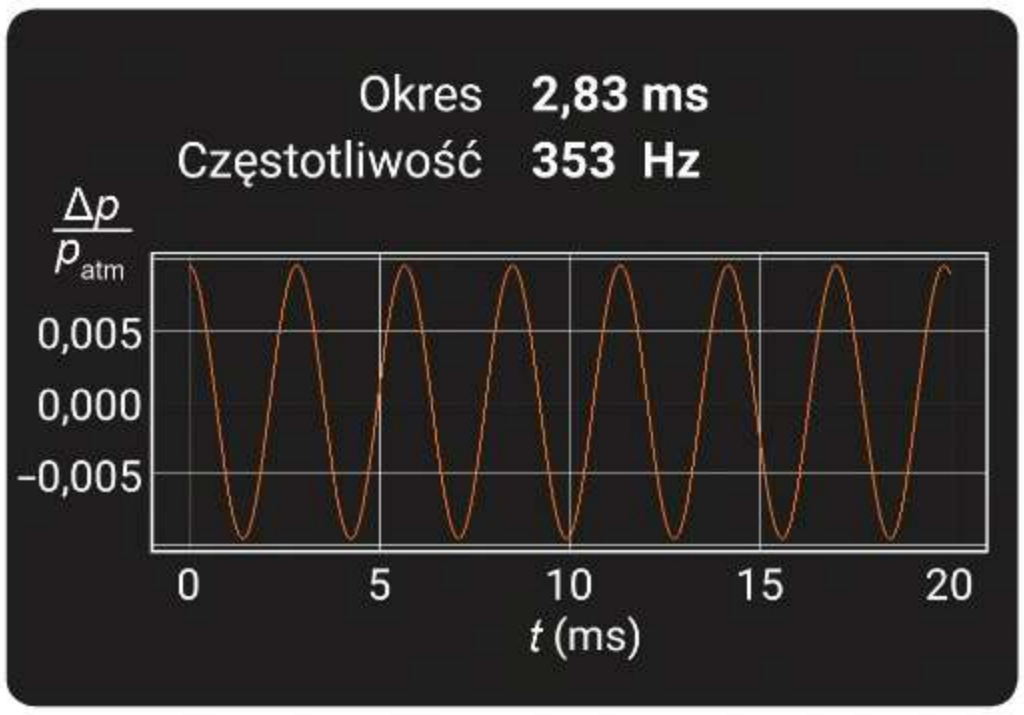
Ryc. 9.1. Thomas Edison z fonografem (a) oraz zapis dźwięku w postaci rowka na płycie winylowej w powiększeniu (b)

Współczesne urządzenia rejestrujące i odtwarzające dźwięk, np. smartfon, w niczym nie przypominają wynalazku Edisona, jednak etapy procesu rejestracji i odtwarzania dźwięku pozostały takie same. Lokalne zmiany ciśnienia powietrza wywołują drgania membrany mikrofonu. Mikrofon przetwarza te drgania mechaniczne na sygnał elektryczny o tej samej częstotliwości co drgania membrany. Sygnał ten jest zapisywany w urządzeniu połączonym z mikrofonem.

Podczas odtwarzania dźwięku zarejestrowany sygnał elektryczny jest zamieniany na drgania mechaniczne, wprawiające w ruch cząsteczki powietrza. Zadanie to wykonuje głośnik.

Za pomocą aplikacji zainstalowanej w smartfonie można zarejestrować graficzny obraz dźwięku oraz zmierzyć jego częstotliwość (warto skorzystać na przykład z aplikacji Phyphox). Na rycinie 9.2. przedstawiono zmiany ciśnienia powietrza w miejscu, w którym znajdował się mikrofon urządzenia. Ciśnienie to cyklicznie zmieniało się w czasie. Na osi poziomej zaznaczono czas *t*, a na osi pionowej przedstawiono stosunek zmian ciśnienia Δp (względem ciśnienia atmosferycznego) do ciśnienia atmosferycznego p_{atm} panującego w miejscu pomiaru (dlatego na osi pionowej nie ma jednostek). Przedstawienie fali dźwiękowej w taki sposób nazywamy oscylogramem.

Wyniki pomiarów podane przez aplikację wskazują, że okres zarejestrowanego dźwięku wynosił 2,83 ms, co odpowiada częstotliwości ok. 353 Hz.



Ryc. 9.2. Oscylogram dźwięku

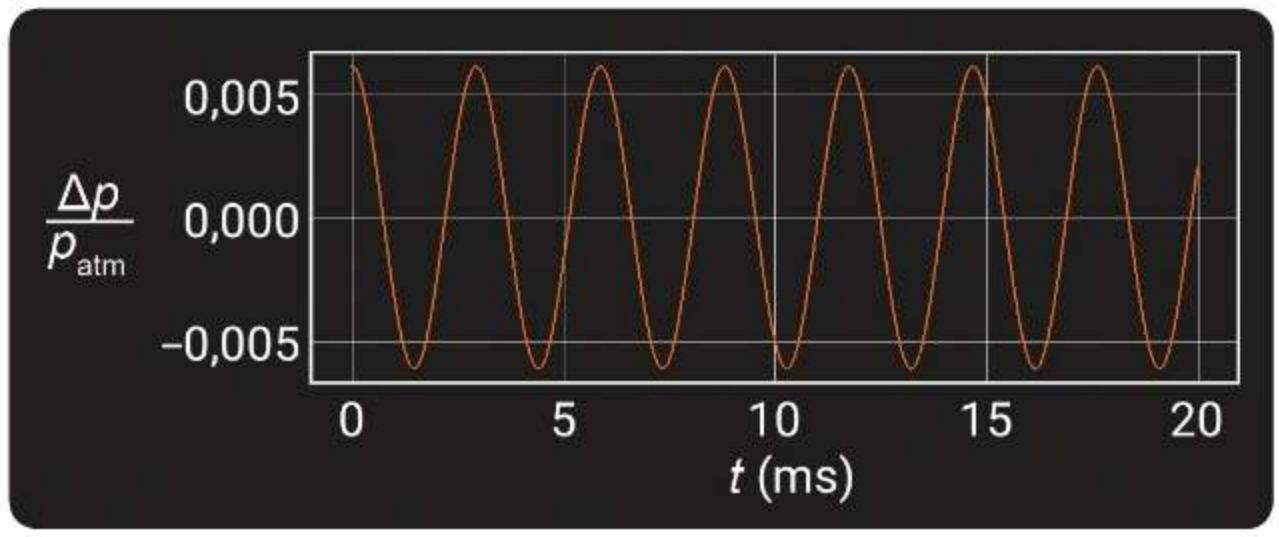
Zbadaj to sam!

Rejestrujemy dźwięki o różnych częstotliwościach za pomocą aplikacji w smartfonie
(praca w grupach)

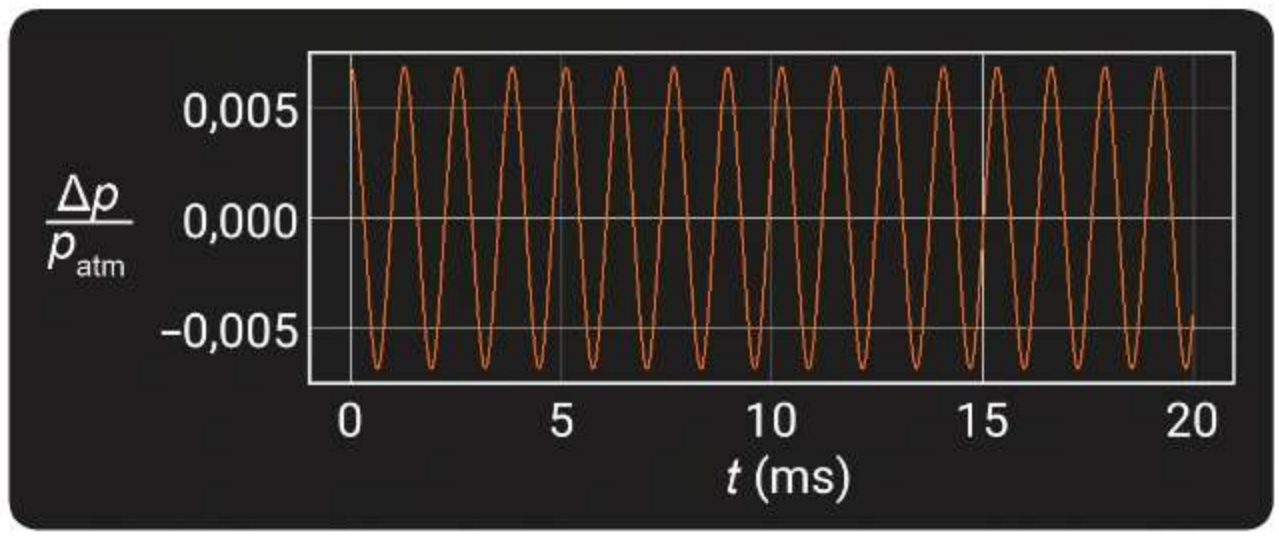
1. Do doświadczenia będą potrzebne: smartfon z aplikacją umożliwiającą rejestrację oscylogramu i pomiar częstotliwości dźwięku, np. Phyphox; źródło dźwięku, np. dzwonki chromatyczne, czyli tzw. cymbałki, lub butelka o pojemności 0,5 litra, częściowo wypełniona wodą (dźwięk powstaje, gdy dmuchnie się w szyjkę takiej butelki, w kierunku niemal prostopadłym do jej wylotu).
2. Przygotujcie źródło dźwięku i uruchomcie aplikację.
3. Zarejestrujcie dźwięk za pomocą aplikacji. Zapiszcie w zeszycie częstotliwość tego dźwięku.
4. Powtórzcie rejestrację dźwięku dla innych częstotliwości. W tym celu uderzcie w inną płytkę dzwonków lub zmieńcie wysokość słupa wody w butelce.

Dźwięki mogą różnić się częstotliwością. Słyszymy wówczas, że różnią się wysokością dźwięku. Spośród dwóch dźwięków wyższy jest ten, którego częstotliwość jest większa. Na rycinie 9.3. przedstawiono oscylogramy dwóch dźwięków – niskiego i wysokiego, uzyskane za pomocą aplikacji Phyphox. Okres drgań źródła dźwięku przedstawionego na oscylogramie 9.3.a jest równy 3,75 ms, zatem jego częstotliwość wynosi ok. 267 Hz. Okres drgań źródła dźwięku przedstawionego na oscylogramie 9.3.b jest równy 1 ms, stąd jego częstotliwość jest równa 1000 Hz.

a)



b)



Ryc. 9.3. Oscylogramy dwóch dźwięków o różnych wysokościach – niskiego (a) i wysokiego (b)

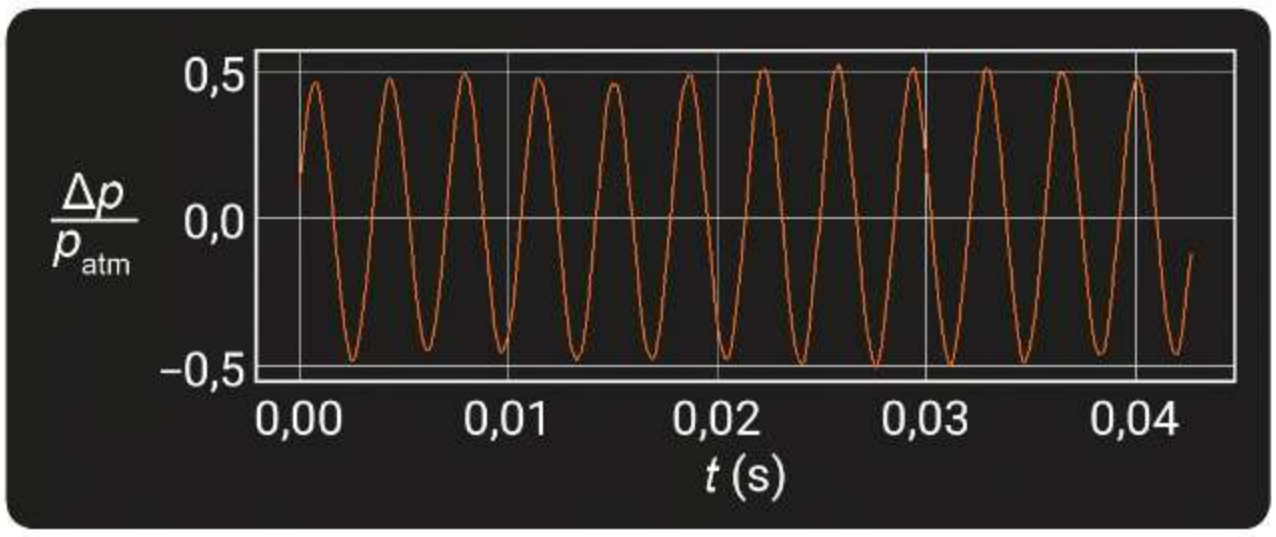
Zbadaj to sam!

Rejestrujemy dźwięki w różnych odległościach od ich źródła

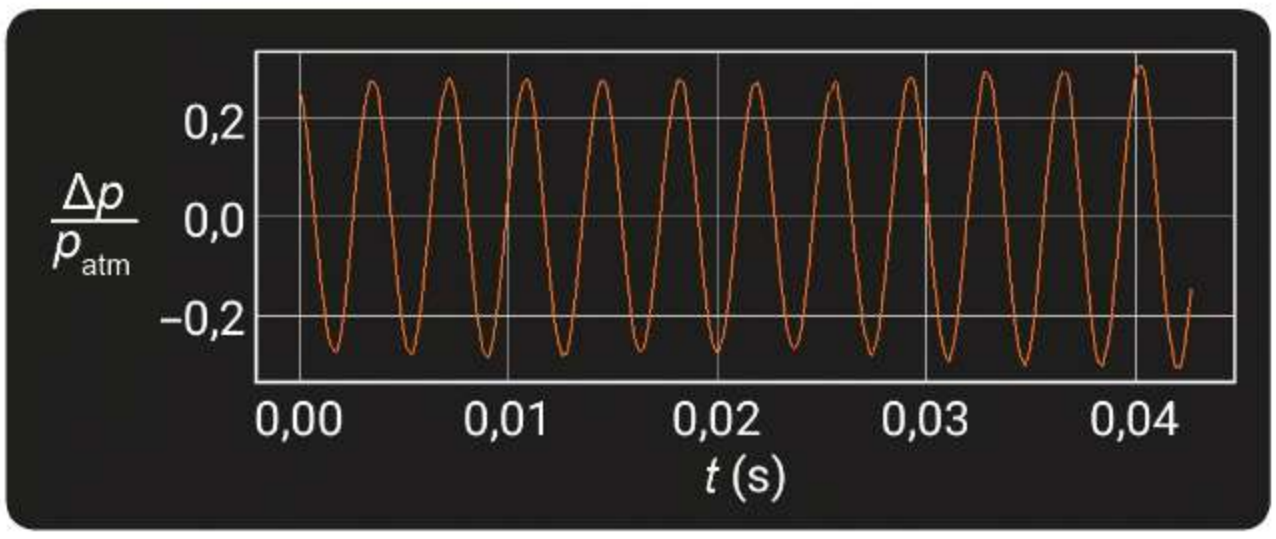
1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa smartfony z aplikacją rejestrującą oscylogram dźwięku, taką jak Phyphox; i źródło dźwięku (jak we wcześniejszym doświadczeniu).
2. Przygotuj źródło dźwięku i uruchom aplikację w obu smartfonach.
3. Ustaw smartfony tak, żeby jeden z nich znajdował się blisko źródła dźwięku, a drugi był od niego oddalony.
4. Zarejestruj dźwięk źródła jednocześnie na obu urządzeniach.
5. Zapisz w zeszycie wnioski z doświadczenia.

Dźwięki mogą różnić się natężeniem, co nasz zmysł słuchu odbiera jako różnicę w głośności. Niektórych dźwięków nie jesteśmy w stanie usłyszeć – choć mają zakres częstotliwości odpowiedni dla ludzkiego ucha – gdyż są zbyt ciche. Spośród dwóch dźwięków większą głośność ma ten, którego źródło (np. głośnik) drga z większą amplitudą. Większa głośność oznacza także, że fala dźwiękowa przenosi większą energię. Na rycinie 9.4. przedstawiono dwa dźwięki różniące się głośnością. Pierwszy dźwięk (ryc. 9.4.a) jest głośniejszy od drugiego (ryc. 9.4.b), gdyż zmiany ciśnienia podczas jego trwania są większe, czyli fala dźwiękowa ma większą amplitudę. Można to odczytać na osi pionowej oscylogramów. Im dalej znajdujemy się od źródła dźwięku, tym mniej energii do nas dociera, więc natężenie dźwięku jest mniejsze.

a)



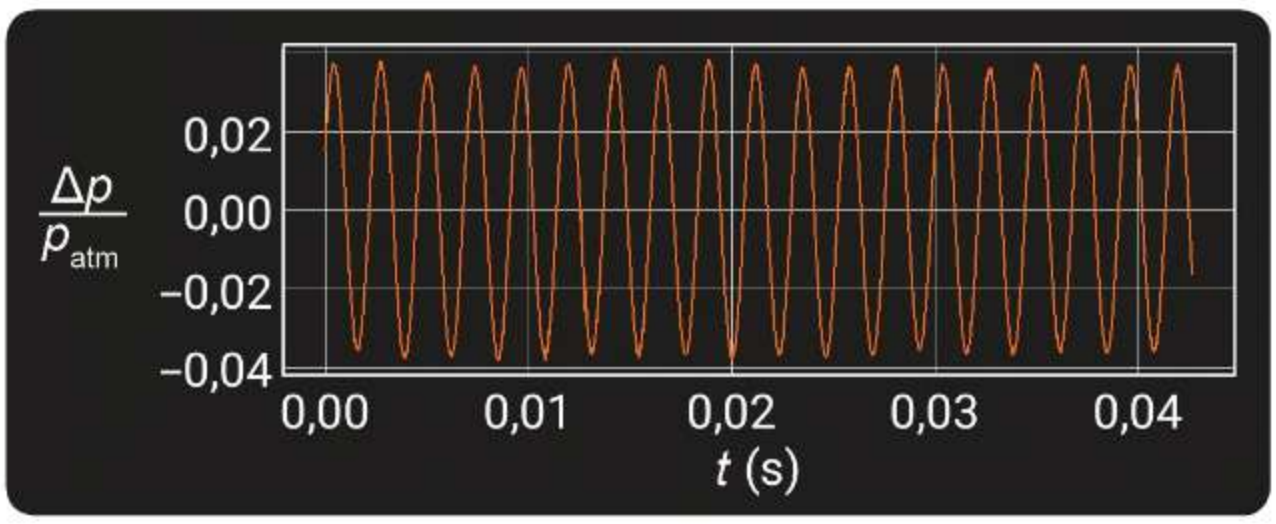
b)



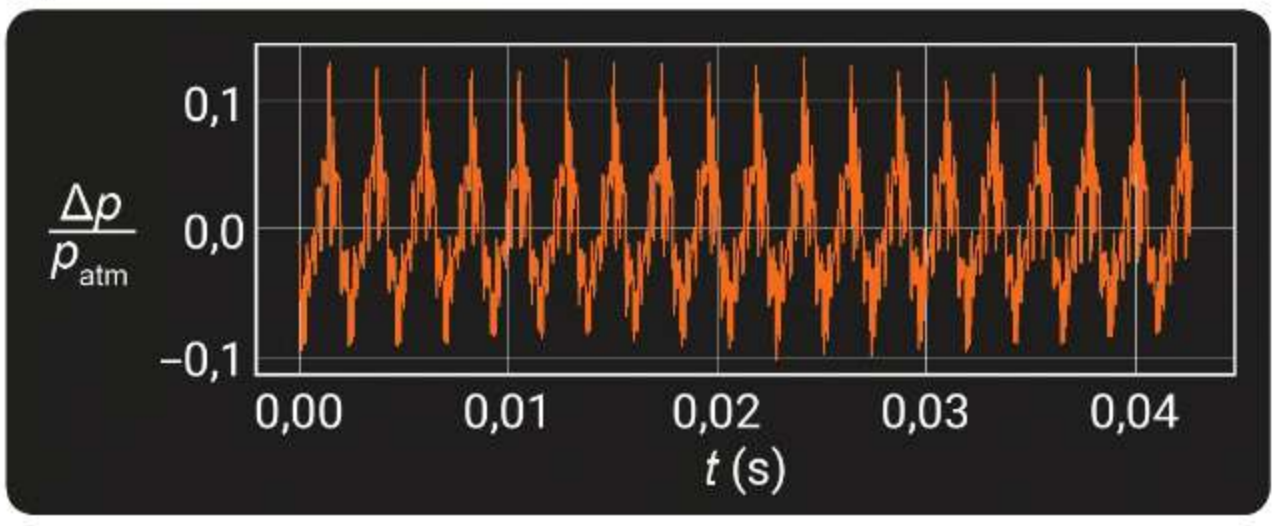
Ryc. 9.4. Oscylogramy dwóch dźwięków różniących się głośnością

Potrafimy rozróżnić dźwięki wytwarzane przez różne źródła dźwięku, np. przez skrzypce i fortepian, nawet jeśli ich częstotliwości są jednakowe. Różnice między tymi dźwiękami można dostrzec na oscylogramach. Oscylogram kamertonu emitującego dźwięk o częstotliwości 440 Hz jest inny od oscylogramu skrzypiec emitujących dźwięk o tej samej częstotliwości (ryc. 9.5.). Mówimy, że dźwięki te różnią się barwą. Barwa to cecha dźwięku pozwalająca odróżniać od siebie dźwięki o tej samej głośności i wysokości, wytwarzane przez różne źródła.

a)



b)

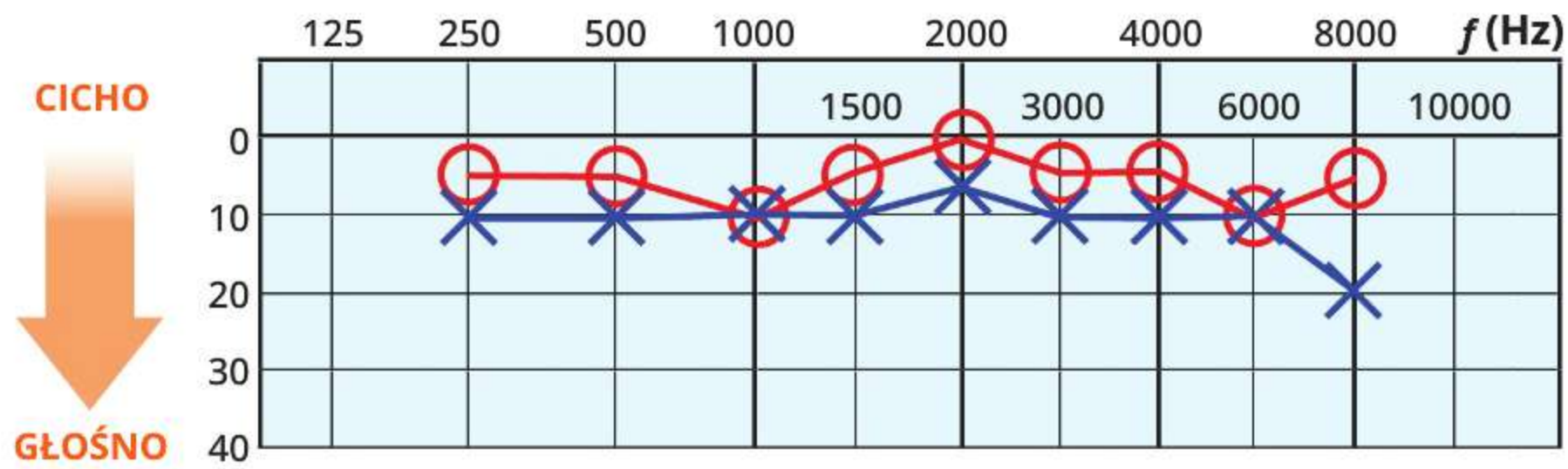


Ryc. 9.5. Oscylogramy dźwięków o jednakowej częstotliwości, emitowanych przez kamerton (a) i skrzypce (b)

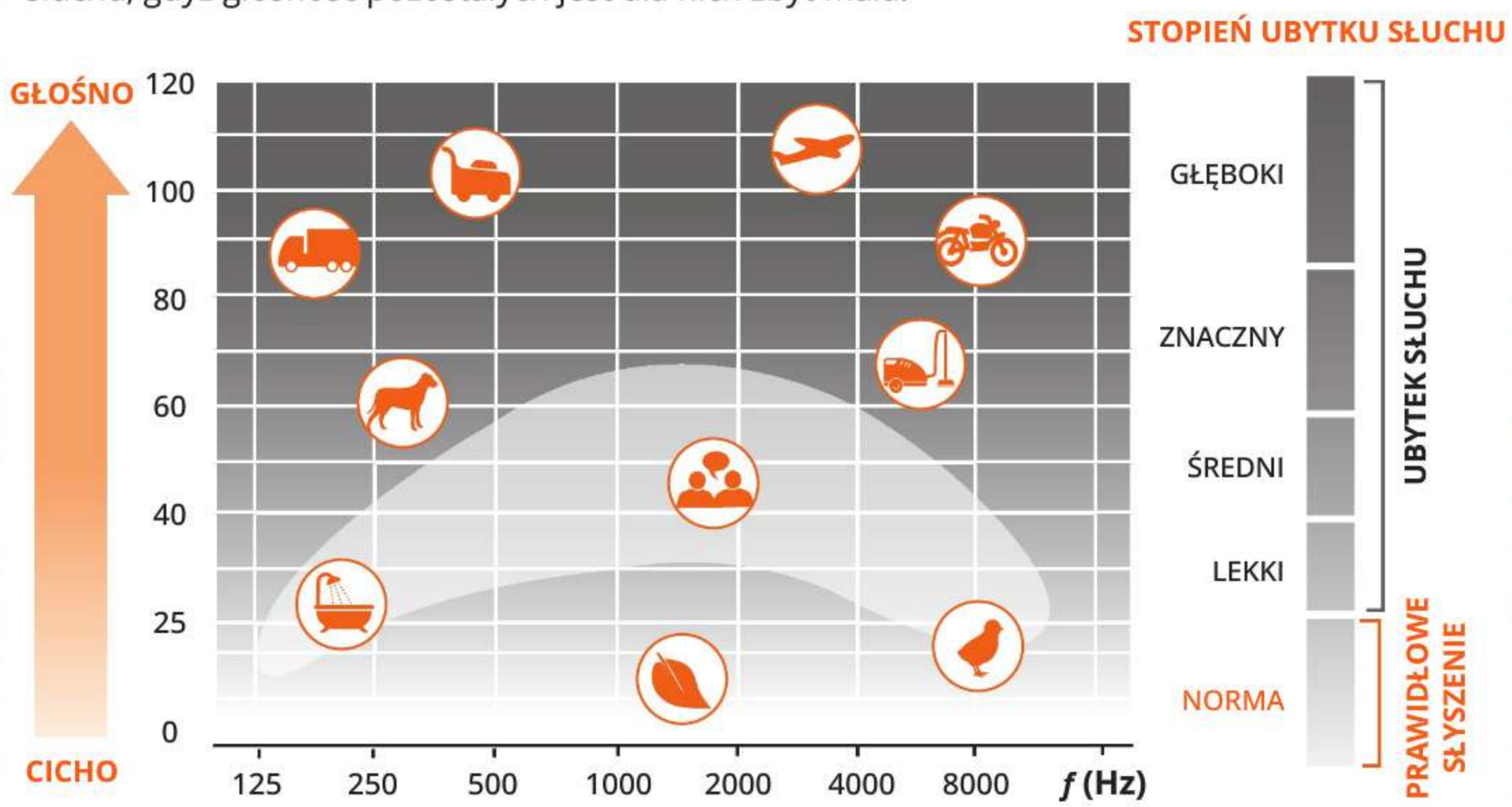
Dowiedz się więcej!

Badanie słuchu

Słuch można badać na wiele sposobów. Jednym z nich jest audiometria tonalna. Podczas badania odtwarza się pacjentowi dźwięki o różnej częstotliwości i stopniowo zwiększa ich natężenie. Energia fali dźwiękowej jest coraz większa, a zadaniem pacjenta jest zasygnalizować moment, w którym usłyszy dźwięk. Dźwięki są podawane w słuchawkach raz na ucho prawe, a raz na lewe. W wyniku badania powstaje audiogram, czyli graficzne przedstawienie wyników badania. Na osi pionowej znajduje się głośność, a na poziomej – częstotliwość. Kolorem niebieskim przedstawiono wyniki badania ucha lewego, a czerwonym – prawego.



Na podstawie wyników badań wielu pacjentów można sporządzić diagram, który pozwala określić stopień ubytku słuchu. Na diagramie rozmieszczono źródła dźwięków o różnej głośności. Dźwięk, który usłyszymy podczas badania jako pierwszy, pozwala stwierdzić, czy słuch jest prawidłowy czy nie. Źródła dźwięku znajdujące się nad jasnoszarym obszarem (w kształcie banana) są zaklasyfikowane jako źródła hałasu. Dopiero te dźwięki są w stanie usłyszeć osoby z głębokim ubytkiem słuchu, gdyż głośność pozostałych jest dla nich zbyt mała.



Podsumujmy!

- Dźwięk jest tym wyższy, im większa jest częstotliwość fali dźwiękowej.
- Im większa jest amplituda fali dźwiękowej, tym większą energię przenosi ta fala i dźwięk jest głośniejszy.

Sprawdź się!

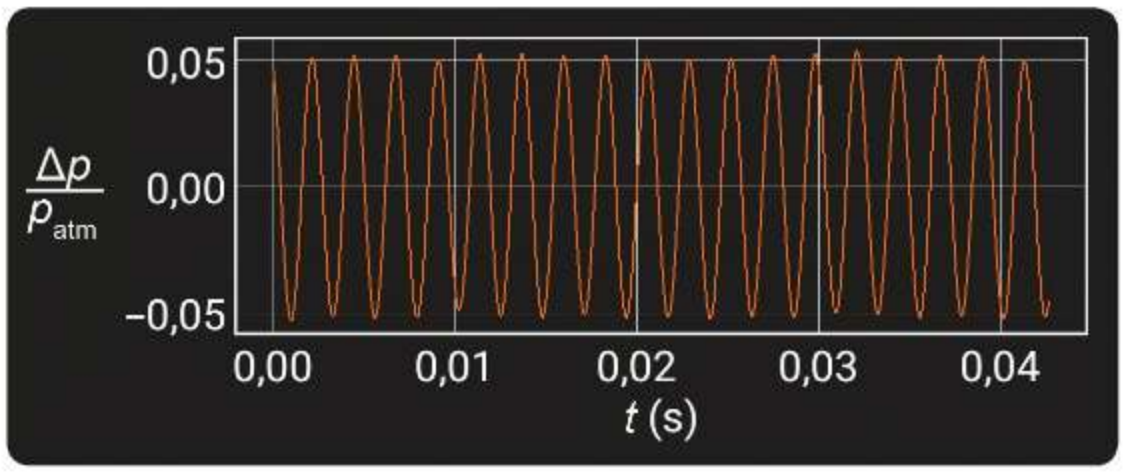
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Im większa jest długość fali dźwiękowej, tym dźwięk jest głośniejszy.	**P**	**F**
2.	Dźwięk o mniejszej amplitudzie odbieramy jako dźwięk cichszy niż dźwięk o większej amplitudzie.	**P**	**F**
3.	Oscylogram jest graficznym obrazem dźwięku.	**P**	**F**
4.	Dźwięki o większej częstotliwości odbieramy jako wyższe.	**P**	**F**

2. Podczas szkolnych doświadczeń uczniowie zmierzyli częstotliwości dwóch dźwięków zagranych na gitarze. Pierwszy dźwięk miał częstotliwość 750 Hz, a częstotliwość drugiego była równa 1300 Hz. Który z nich był odbierany jako wyższy?

3. Wytworzono dwa dźwięki różniące się głośnością. Źródłem głośniejszego była szklana butelka, w którą uderzano łyżką, a źródłem cichszego – drgająca linijka. Który z tych dźwięków miał większą amplitudę?

4. Na rysunku przedstawiono oscylogram pewnego dźwięku. Oblicz częstotliwość tego dźwięku.

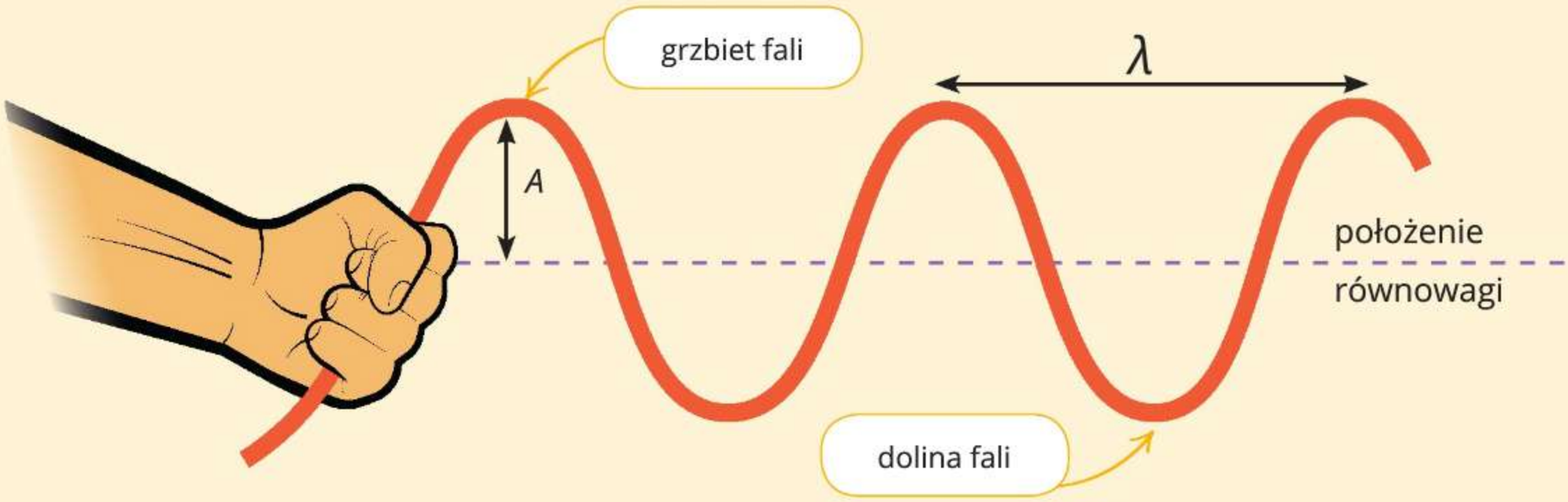


5. Zapisz w zeszycie, jaka jest funkcja mikrofonu w urządzeniach do rejestracji dźwięku.

POWTÓRZENIE
Fale

fala mechaniczna

To rozchodzące się w ośrodku materialnym zaburzenie wytworzone przez źródło fali. Fale przenoszą energię, a nie przenoszą materii. Cząsteczki ośrodka drgają tylko względem swoich położeń równowagi, a nie wędrują wraz z falą.



długość fali λ

To odległość między sąsiednimi grzbietami lub sąsiednimi dolinami fali.

amplituda fali A

To największe wychylenie cząsteczek ośrodka z położenia równowagi.

częstotliwość fali *f*

To liczba drgań cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala, zachodzących w ciągu jednej sekundy. Częstotliwość fali jest równa częstotliwości drgań źródła.

Prędkość fali

prędkość fali

$$v = \lambda \cdot f$$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

długość fali

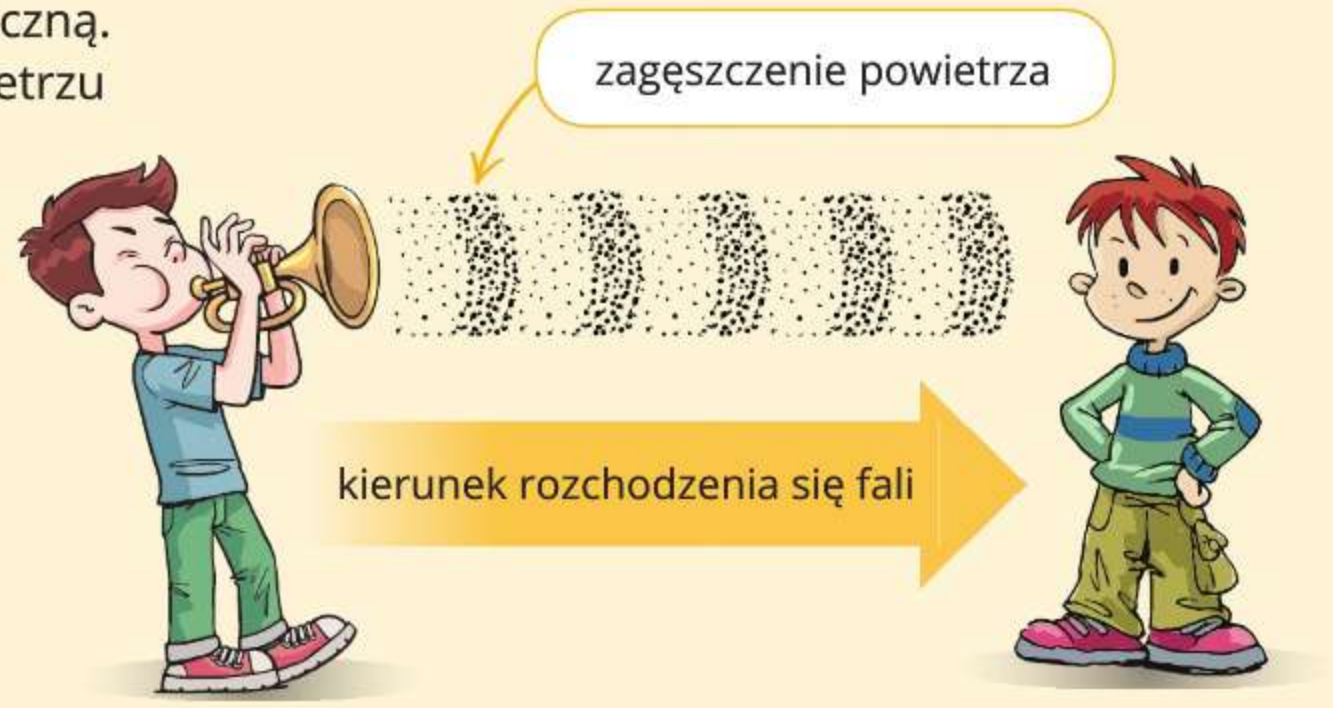
długość fali

częstotliwość

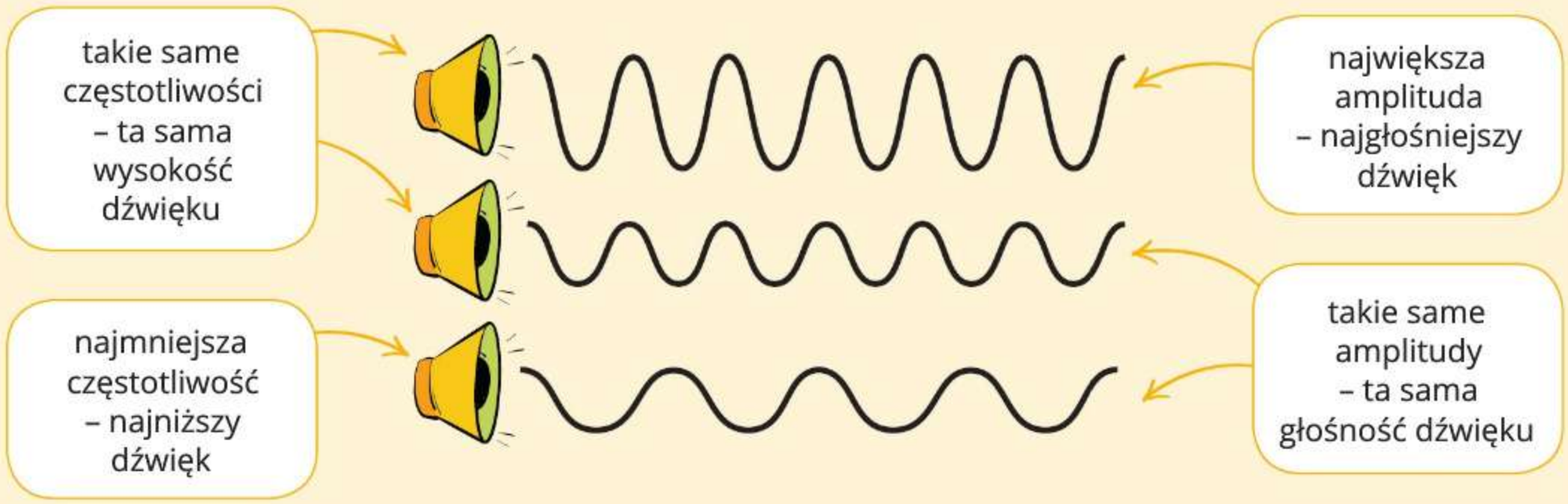
okres

Fale dźwiękowe

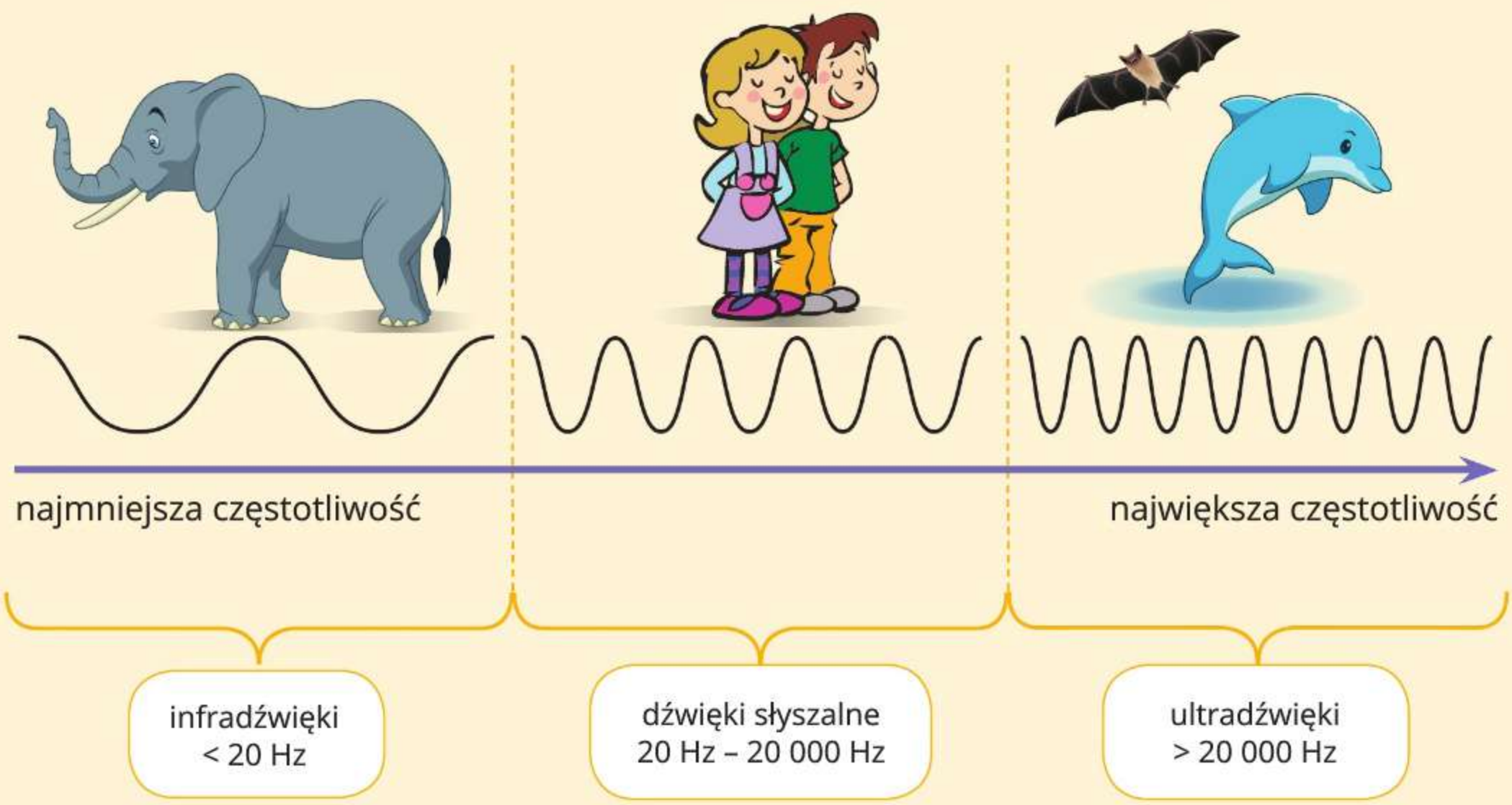
Fala dźwiękowa jest falą mechaniczną. Fala dźwiękowa biegnąca w powietrzu to rozchodzące się rozrzedzenia i zagęszczenia tego ośrodka.



Wysokość dźwięku zależy od częstotliwości, a głośność od amplitudy fali dźwiękowej.



Zakresy częstotliwości

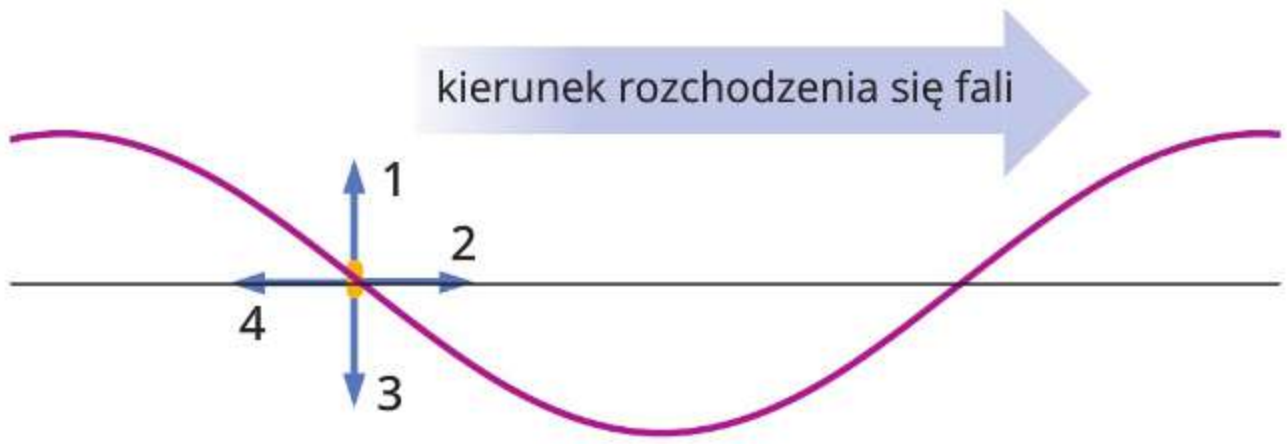


Sprawdź się!

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

1.	Fale mechaniczne najszybciej rozchodzą się w próżni.	**P**	**F**
2.	Element ośrodka, do którego dociera fala, drga z taką samą częstotliwością jak źródło tej fali.	**P**	**F**
3.	Dźwięki mogą rozchodzić się w wodzie.	**P**	**F**
4.	Dźwięk o mniejszej częstotliwości będziemy odbierać jako niższy niż dźwięk o większej częstotliwości.	**P**	**F**
5.	Wraz ze wzrostem energii fali dźwiękowej rośnie głośność dźwięku.	**P**	**F**

2. Kawałek plasteliny przyklejono do sznura, w którym następnie wzbudzono falę.



Wybierz właściwe dokończenie zdania.

W chwili przedstawionej na ilustracji plastelina porusza się w stronę oznaczoną numerem

A. 1 (w górę). **B.** 2 (w prawo). **C.** 3 (w dół). **D.** 4 (w lewo).

3. Ciężarek na sprężynie, częściowo zanurzony w wodzie, jest przyczyną powstania fali rozchodzącej się na jej powierzchni. Częstotliwość drgań ciężarka jest równa 1,5 Hz.

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

Wzrost częstotliwości drgań ciężarka spowoduje, że prędkość rozchodzenia się fali na powierzchni wody

A.	zmaleje,	ponieważ	**1.**	jest to cecha ośrodka niezależna od źródła.
B.	nie zmieni się,		**2.**	jest proporcjonalna do częstotliwości źródła.
C.	wzrośnie,		**3.**	jest jednakowa dla różnych ośrodków.

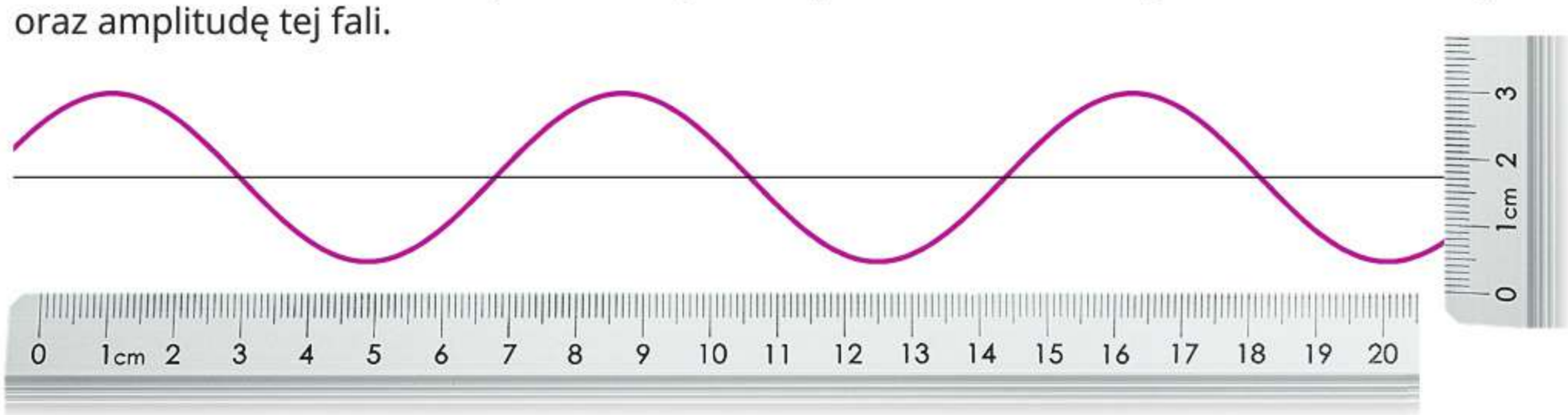
4. Odległość między sąsiednimi grzbietami fali na jeziorze jest równa 1,5 m. Fale te 6 razy na minutę uderzają o łódkę przy pomoście. Oblicz prędkość rozchodzenia się tych fal.

5. Wzdłuż sprężyny *Slinky* rozchodzi się fala z prędkością 7 cm/s. Okres drgań źródła tej fali jest równy 0,8 s. Oblicz długość fali rozchodzącej się w sprężynie.

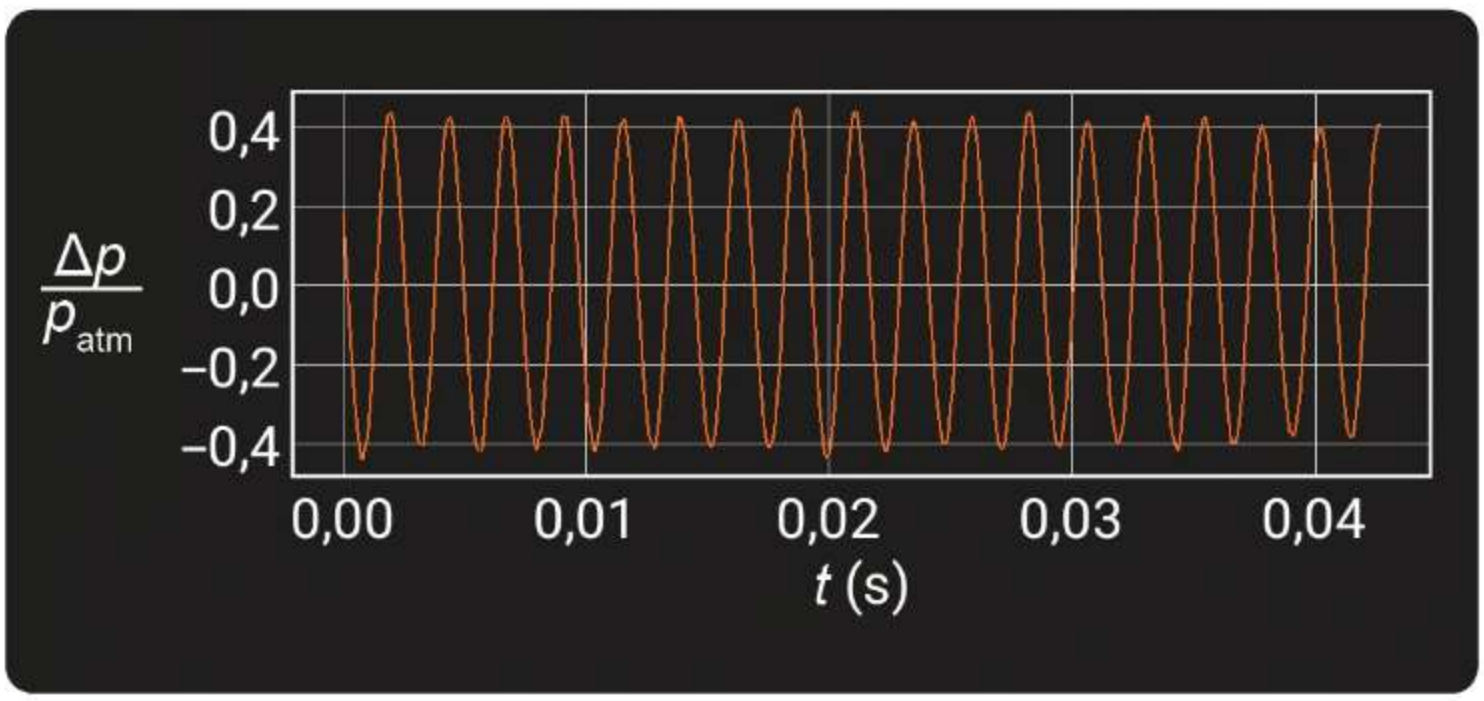
6. Długość fali pewnego dźwięku jest równa 34 mm. Oblicz częstotliwość tego dźwięku, jeśli prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu wynosi 340 m/s.

7. Podczas gwizdania na palcach uczeń wytworzył dźwięk, którego częstotliwość była równa ok. 1200 Hz. Oblicz długość fali tego dźwięku, jeśli jego prędkość rozchodzenia się w powietrzu wynosiła 340 m/s. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

8. Wzdłuż sznura rozchodzi się fala, której obraz przedstawiono na rysunku. Określ długość oraz amplitudę tej fali.



9. Na rysunku przedstawiono oscylogram pewnego dźwięku. Oblicz częstotliwość tego dźwięku.



10. Podaj przykłady instrumentów muzycznych, w których źródłem dźwięku jest drgające powietrze.

11. Chłopiec z balonem w ręku stoi w odległości 200 m od wysokiej ściany skalnej. W pewnej chwili balon pęka. Dźwięk pękającego balonu odbija się od ściany i wraca do miejsca, w którym stoi chłopiec. Prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu jest równa 340 m/s. Oblicz czas, po jakim dźwięk powróci.

12. Prędkość rozchodzenia się dźwięku w dwutlenku węgla jest ok. 13 razy mniejsza niż prędkość rozchodzenia się dźwięku w betonie.

Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Długość fali dźwięku rozchodzącego się w betonie w stosunku do długości fali dźwięku rozchodzącego się w dwutlenku węgla (przy tej samej częstotliwości dźwięku) jest

A. taka sama.

B. większa 13 razy.

C. mniejsza 13 razy.

D. mniejsza o 13 cm.

13. Poniżej przedstawiono oscylogramy dwóch dźwięków.

Wybierz właściwe dokończenie zdania.

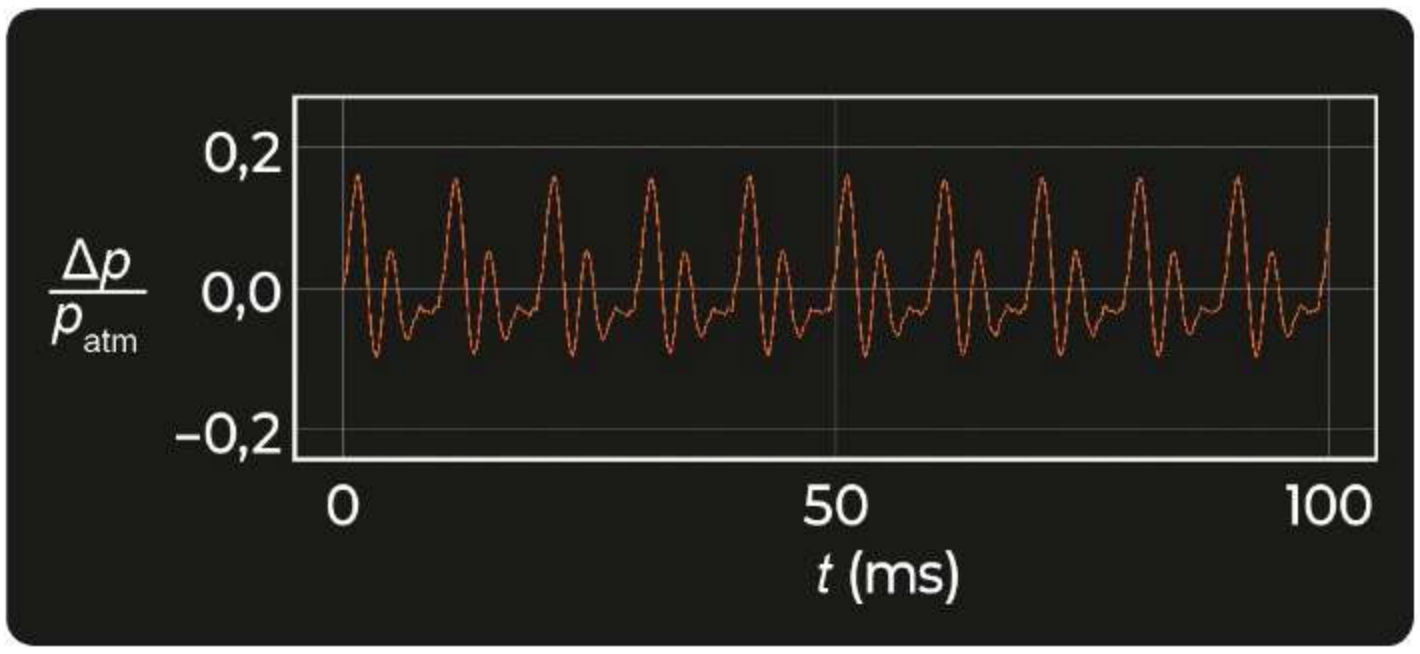
Oscylogramy przedstawiają dźwięki różniące się

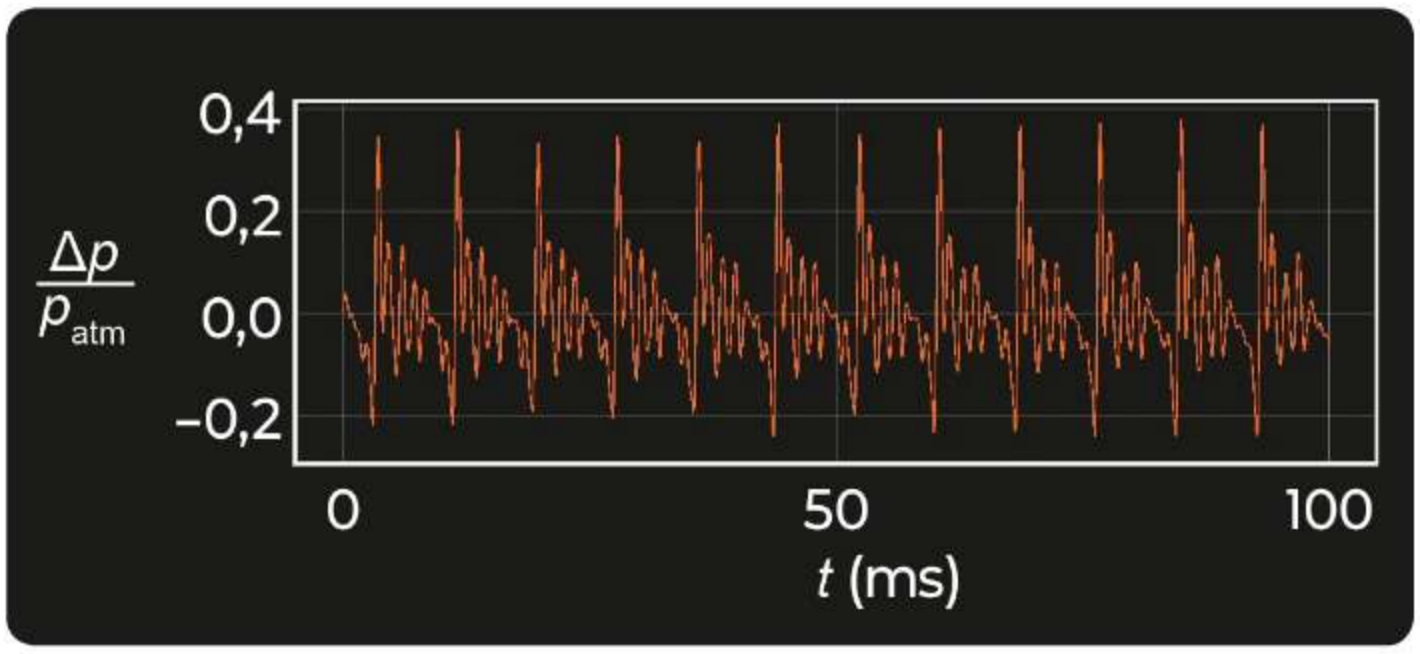
A. tylko częstotliwością i barwą.

B. tylko barwą.

C. tylko barwą i amplitudą.

D. częstotliwością, barwą i amplitudą.



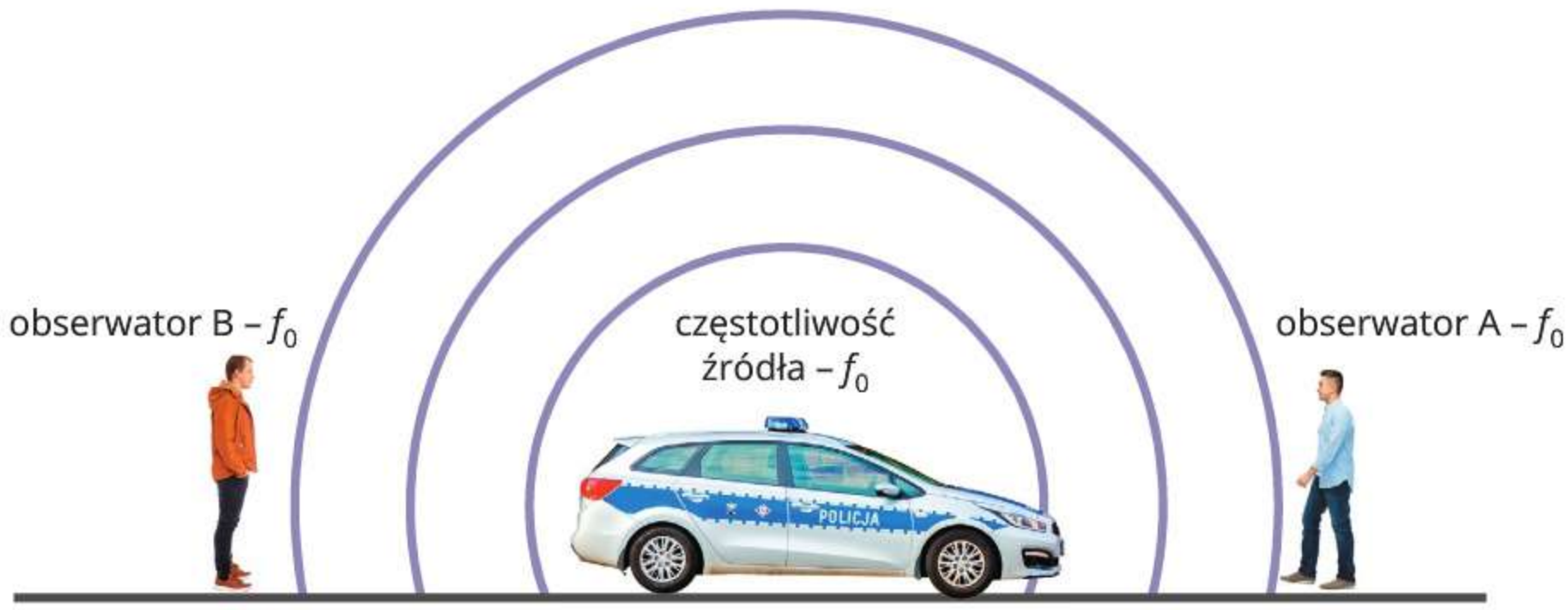


Tekst popularnonaukowy

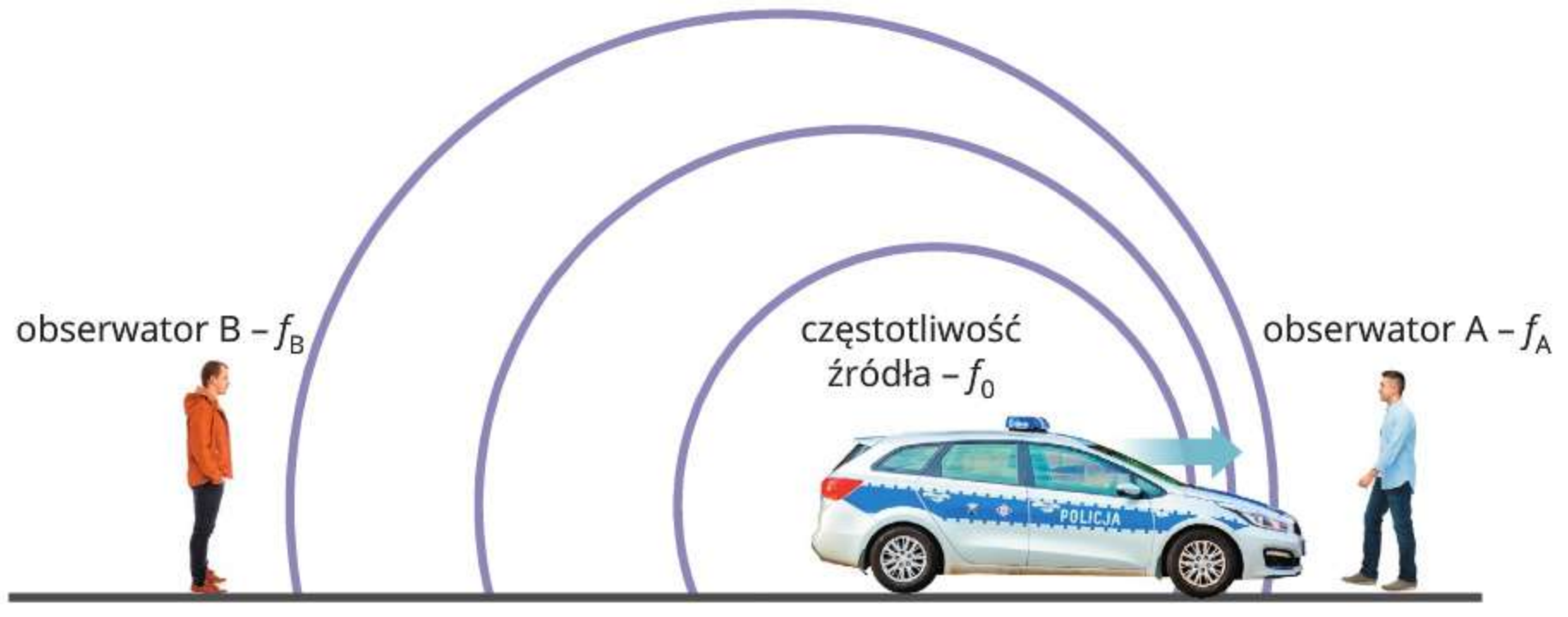
Zjawisko Dopplera

Gdy mija nas jadący szybko samochód, słyszymy zmianę wysokości wytwarzanego przez niego dźwięku – jest to zjawisko Dopplera.

Gdy źródło fali się nie porusza, to nieruchomi obserwatorzy odbierają dźwięk o częstotliwości takiej samej jak częstotliwość fali wytwarzanej przez źródło. Na rysunku symbolizują to jednakowe odległości między grzbietami fal rozchodzących się od źródła.



Gdy źródło fali porusza się względem obserwatora, to sytuacja wygląda inaczej. Grzbiety fali nie układają się już koncentrycznie, czyli jak okręgi o wspólnym środku. Podczas każdego kolejnego okresu drgań źródło przesuwa się o pewną odległość, więc każdy kolejny grzbiet fali powstaje w innym miejscu. W efekcie przed źródłem powstaje fala o mniejszej długości, a za źródłem – o większej. Różnica między długością fali rejestrowanej przez obserwatora a emitowanej przez źródło jest tym większa, im większa jest prędkość źródła. Obserwator A, do którego zbliża się źródło fali, zarejestruje falę o większej częstotliwości (i mniejszej długości), a obserwator B, od którego źródło się oddala – o mniejszej częstotliwości (i większej długości). Na przykład gdy poruszające się z prędkością 30 m/s źródło emituje dźwięk o częstotliwości 1000 Hz, to obserwator, do którego ono się zbliża, rejestruje dźwięk o częstotliwości ok. 1100 Hz. Obserwator, od którego źródło się oddala, rejestruje dźwięk o częstotliwości ok. 920 Hz. Właśnie dlatego, gdy mija nas samochód, rejestrujemy gwałtowną zmianę częstotliwości dźwięku.



Sprawdź się!

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

1.	Aby nastąpiło zjawisko Dopplera, poruszające się źródło fali musi zmieniać częstotliwość emitowanego dźwięku.	**P**	**F**
2.	Im większa jest prędkość źródła fali dźwiękowej, tym większa jest częstotliwość dźwięku emitowanego przez to źródło.	**P**	**F**
3.	Obserwator, do którego zbliża się źródło fali, rejestruje większą częstotliwość dźwięku niż częstotliwość dźwięku emitowanego przez źródło.	**P**	**F**
4.	Obserwator, od którego oddala się źródło fali, rejestruje falę o większej długości niż długość fali emitowanej przez źródło.	**P**	**F**

2. Od obserwatora stojącego przy szosie oddala się ze stałą prędkością samochód pożarniczy z włączoną syreną. Syrena emituje dźwięk o pewnej częstotliwości f_0.
Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A–C** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1–3**.

Obserwator słyszy dźwięk

A.	niższy niż dźwięk emitowany przez syrenę,	ponieważ	**1.**	częstotliwość odbieranego dźwięku jest mniejsza niż częstotliwość f_0.
B.	o tej samej wysokości co dźwięk emitowany przez syrenę,		**2.**	częstotliwość odbieranego dźwięku jest taka sama jak częstotliwość f_0.
C.	wyższy niż dźwięk emitowany przez syrenę,		**3.**	częstotliwość odbieranego dźwięku jest większa niż częstotliwość f_0.

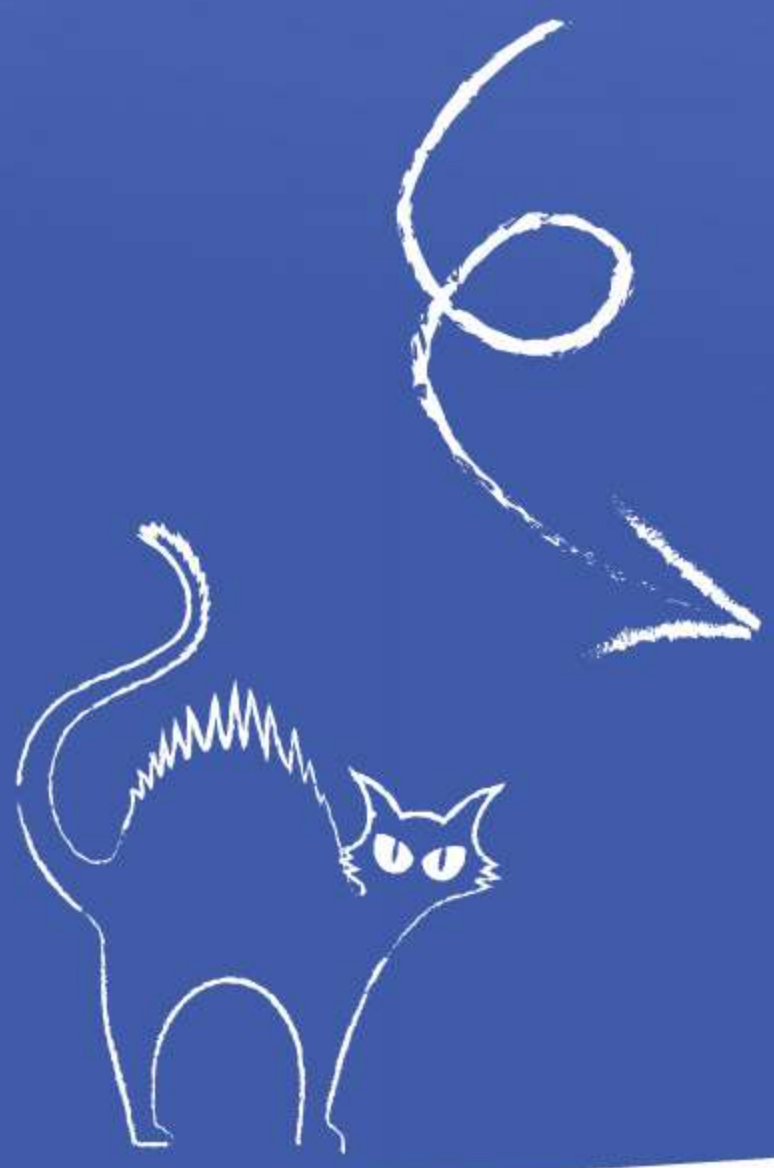
3. Skorzystaj z ilustracji w tekście i zapisz w zeszycie, dlaczego im większa jest prędkość źródła dźwięku, tym większa jest częstotliwość sygnału odbieranego przez obserwatora, do którego zbliża się źródło.

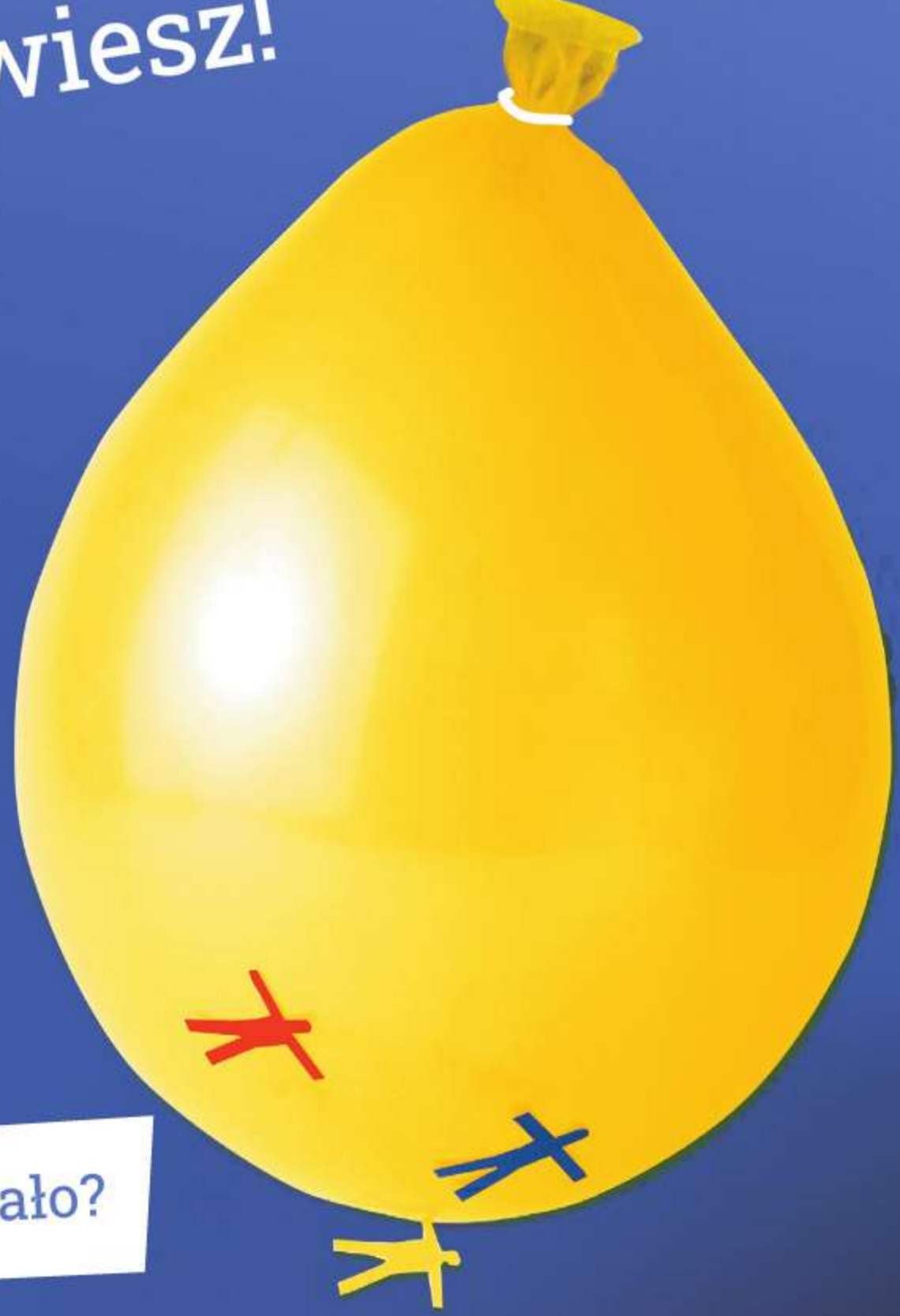
4*. Źródło emituje dźwięk o częstotliwości 1000 Hz. Jaką częstotliwość zarejestruje obserwator, jeśli źródło dźwięku będzie się do niego zbliżało z prędkością 30 m/s, a jaką, gdy będzie się od niego oddalało z tą samą prędkością? Poszukuj w dostępnych źródłach informacji na temat zależności pozwalającej obliczyć te częstotliwości i wykonaj odpowiednie obliczenia. Porównaj otrzymane wyniki z informacjami zawartymi w tekście.

DZIAŁ III

ELEKTROSTATYKA

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!





Jak naelektryzować ciało?

Do czego służy piorunochron?

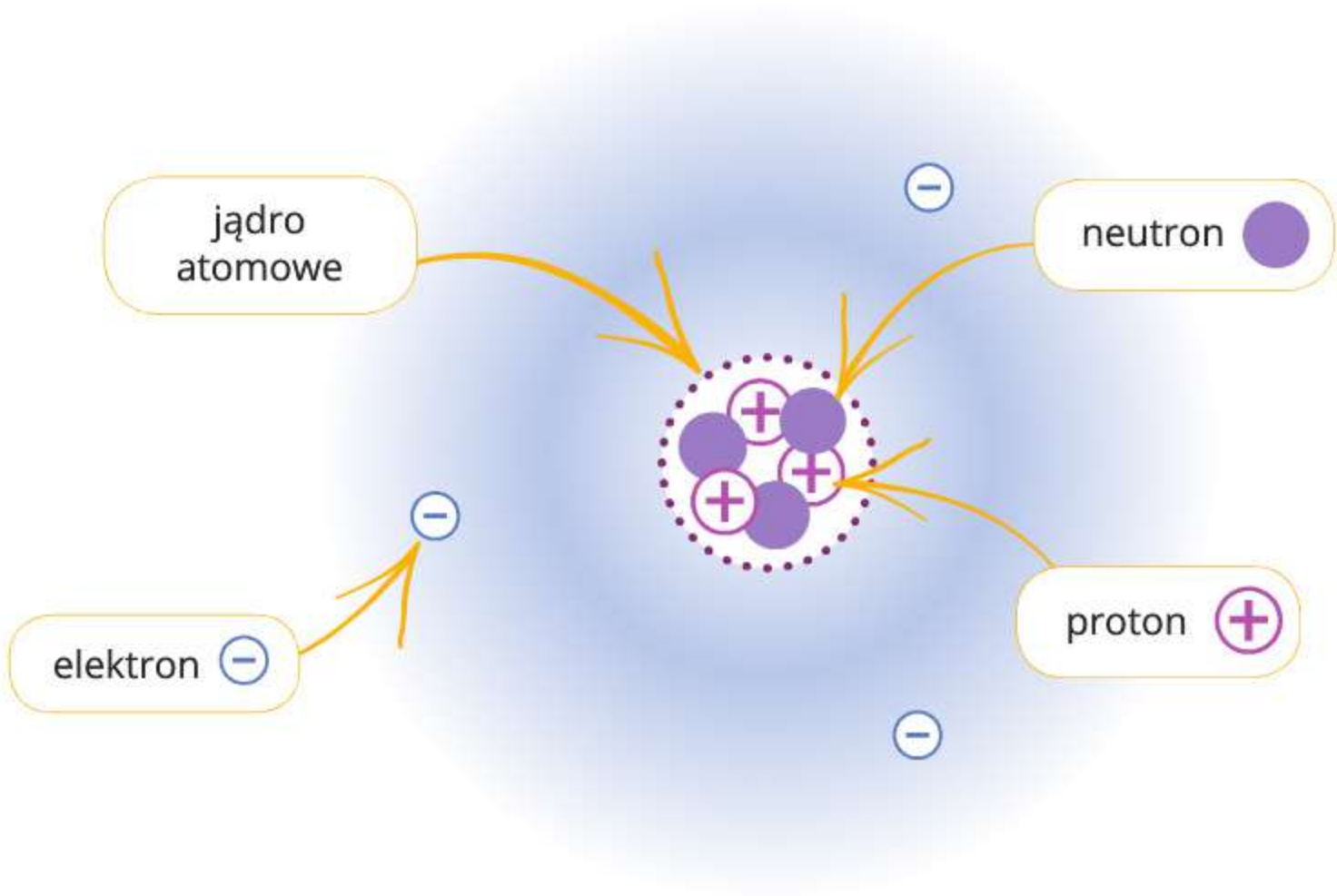
10. Ładunek elektryczny

- Jak nazywa się jednostka ładunku elektrycznego?
- Jaki ładunek elektryczny nazywamy elementarnym?

Burza to niezwykle fascynujące zjawisko. Każdy widział kiedyś błyskawice i słyszał grzmoty (ryc. 10.1.). Pioruny, które są ich źródłem, to wyładowania elektryczne. Słowa „elektryczny" i „elektryczność" pochodzą od słowa „elektron". Elektron to cząstka materii, która ma ładunek elektryczny ujemny. Otaczająca nas materia składa się również z cząstek o ładunku elektrycznym dodatnim, czyli protonów, oraz cząstek, które nie mają ładunku elektrycznego, czyli neutronów.

Z protonów, neutronów i elektronów zbudowany jest atom. Protony i neutrony wspólnie tworzą jądro atomowe, a elektrony znajdują się poza jądrem, czasem nawet daleko od niego – daleko w porównaniu do rozmiarów samego jądra. Elektrony wyobrażamy sobie jako cząstki, które nieustannie się poruszają. Jeśli jądro powiększylibyśmy do rozmiarów ziarnka grochu, atom wraz z elektronami miałby rozmiary boiska do piłki nożnej. To powód, dla którego na rysunku 10.2. nie zachowano skali.

Ryc. 10.1. Wyładowania atmosferyczne nad miastem



Ryc. 10.2. Schemat budowy atomu; obszar, w którym mogą przemieszczać się elektrony, wyróżniono kolorem.

Ładunek elektryczny to właściwość materii. Może on być dodatni lub ujemny. Ładunek elektryczny oznaczamy literą *q*. Jednostką ładunku jest kulomb (C). Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska Charles'a Coulomba (czyt. szarla kulomba), francuskiego uczonego, który pierwszy określił wielkość siły oddziaływania między ładunkami elektrycznymi.

Ładunki o różnych znakach nazywamy różnoimiennymi, a ładunki o tym samym znaku – jednoimiennymi.

Proton i elektron mają ładunki o tej samej wartości, ale przeciwnych znakach; proton ma ładunek dodatni, a elektron – ujemny. Wartość ładunku protonu nazywamy ładunkiem elementarnym i oznaczamy literą *e*. Wynosi ona $1\ e \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Aby uzyskać ładunek 1 C, potrzeba prawie 6,25 tryliona (6 250 000 000 000 000 000) elektronów. Ładunek 1 C jest bardzo dużym ładunkiem, dlatego znacznie częściej w obliczeniach stosuje się mniejsze jednostki:

$$1 \text{ mikrokulomb: } 1\ \mu\text{C} = 0{,}000\,001\ \text{C} = \frac{1}{1\,000\,000}\ \text{C} = 10^{-6}\ \text{C}$$

$$1 \text{ nanokulomb: } 1\ \text{nC} = 0{,}000\,000\,001\ \text{C} = \frac{1}{1\,000\,000\,000}\ \text{C} = 10^{-9}\ \text{C}$$

Zazwyczaj ciała zawierają tyle samo elektronów i protonów – mówimy wtedy, że są obojętne elektrycznie. Gdy elektronów jest więcej niż protonów, ciało ma ładunek ujemny. A gdy elektronów jest mniej niż protonów, ciało ma ładunek dodatni.

Ładunek elektryczny ciała *q* to wielokrotność ładunku elementarnego *e*:

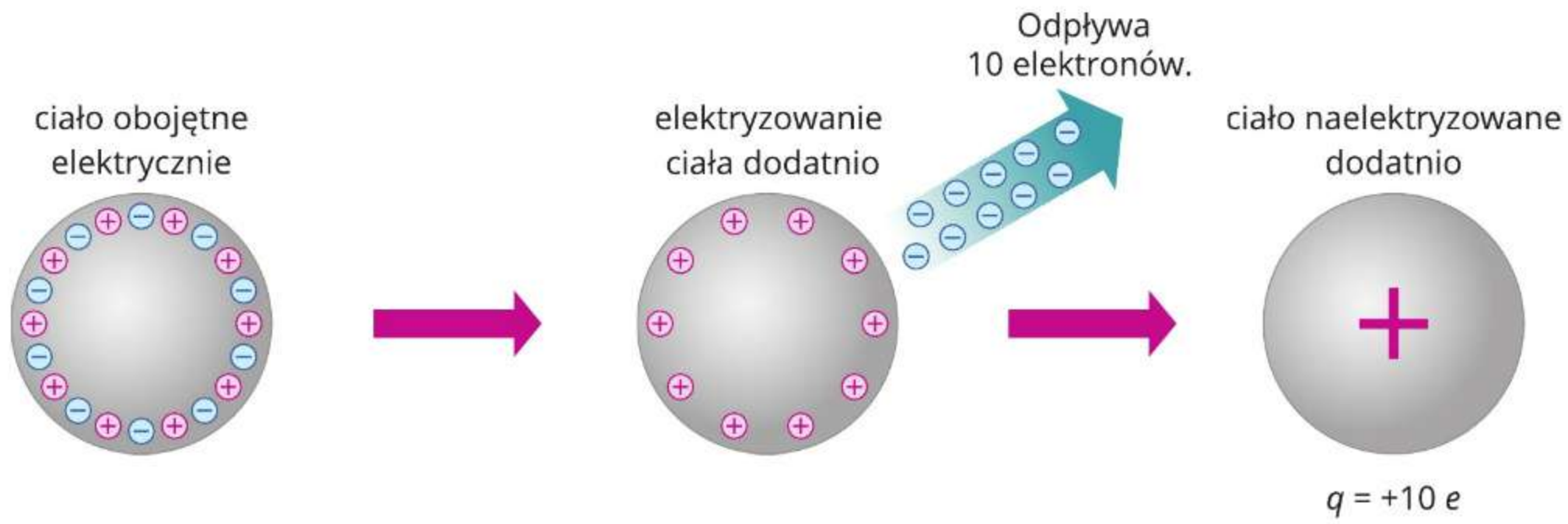
$$q = n \cdot e$$

gdzie *n* oznacza różnicę w liczbie protonów i elektronów tworzących ciało.

Procesy prowadzące do sytuacji, w której ciała mają nadwyżkę elektronów lub ich niedobór, nazywamy elektryzowaniem. Większość procesów elektryzowania polega na przepływie elektronów

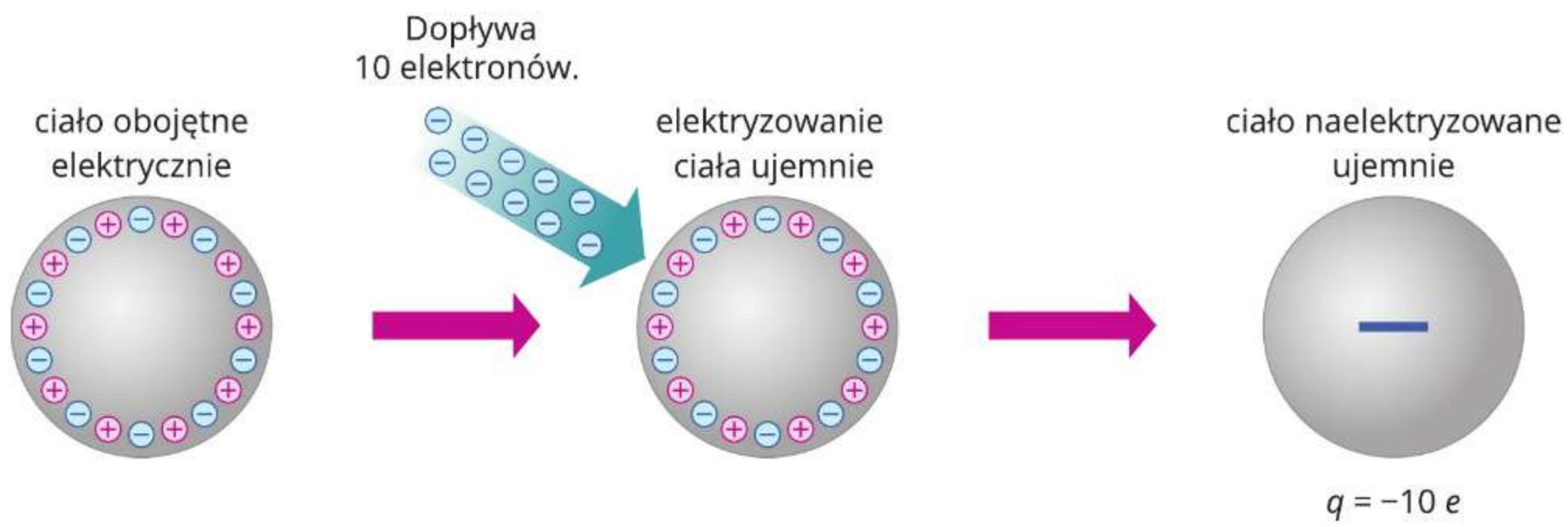
między ciałami. To dlatego, że elektrony – w odróżnieniu od składników jądra atomowego – mogą się przemieszczać w obrębie atomu, a także poza nim. Protony jako składniki jąder atomowych mogą się przemieszczać tylko wraz z całymi atomami.

Ciała można naelektryzować przez dodanie elektronów albo ich zabranie. Gdy z obojętnego elektrycznie ciała odpłyną elektrony, stanie się ono naelektryzowane (naładowane) dodatnio (ryc. 10.3.), gdyż będzie miało więcej protonów niż elektronów. Przed wartością ładunku takiego ciała stawiamy znak „+".



Ryc. 10.3. Elektryzowanie ciała dodatnio

Gdy do ciała obojętnego elektrycznie przepłyną elektrony, naelektryzuje się ono ujemnie (ryc. 10.4.), ponieważ w efekcie ma więcej elektronów niż protonów. Przed wartością ładunku takiego ciała stawiamy znak „–".



Ryc. 10.4. Elektryzowanie ciała ujemnie

Na rysunkach ciała (lub ich fragmenty) naładowane dodatnio oznaczamy znakiem „+", natomiast naładowane ujemnie oznaczamy znakiem „–".

Warto zwrócić uwagę, że podczas elektryzowania elektrony nie są wytwarzane, lecz jedynie przemieszczane. Przemieszczanie ładunków zawsze wymaga wykonania nad nimi pracy. Oznacza to, że elektryzowanie ciał jest czynnością, podczas której jest gromadzona energia.

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas czesania suchych włosów obecne na nich elektrony mogą przepływać na grzebień. Obliczmy, ile elektronów przemieściło się z włosów na grzebień, jeżeli naelektryzował się on ujemnie i ma ładunek –1 nC. Zapiszmy, jakim ładunkiem naelektryzowały się włosy.

Dane: $q = -1$ nC

Szukane: n

Rozwiązanie:

Ładunek 1 nC jest miliard razy mniejszy niż ładunek 1 C. Jeżeli 6,25 tryliona elektronów niesie ładunek elektryczny o wartości −1 C, to ujemny ładunek elektryczny o wartości −1 nC będzie przenoszony przez miliard razy mniejszą liczbę elektronów.

$$n = \frac{6{,}25 \text{ tryliona elektronów}}{1 \text{ miliard}} = 6{,}25 \text{ miliarda elektronów}$$

$$n = \frac{6\,250\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ elektronów}}{1\,000\,000\,000} = 6\,250\,000\,000 \text{ elektronów}$$

Obliczenia można wykonać także z wykorzystaniem notacji wykładniczej.

$$n = \frac{6{,}25 \cdot 10^{18} \text{ elektronów}}{1 \cdot 10^{9}} = 6{,}25 \cdot 10^{9} \text{ elektronów}$$

Odpowiedź: Na grzebieniu jest 6,25 miliarda (czyli $6{,}25 \cdot 10^9$) nadmiarowych elektronów. Włosy naelektryzowały się ładunkiem dodatnim o takiej samej wartości jak grzebień.

W wyniku elektryzowania część elektronów z balonu przepłynęła na poliestrową koszulkę. Na balonie zgromadził się ładunek dodatni +0,045 μC, a na koszulce ładunek ujemny –0,045 μC. Obliczmy, ile elektronów przemieściło się podczas elektryzowania, czyli o ile więcej protonów niż elektronów zostało na balonie. Załóżmy, że przed elektryzowaniem balon i koszulka były obojętne elektrycznie.

Dane: $q = +0{,}045$ μC

Szukane: n

Rozwiązanie:

Ładunek elektryczny ciała to wielokrotność ładunku elementarnego:

$$q = n \cdot e$$

Obie strony równania dzielimy przez e. Po wstawieniu danych otrzymamy:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{0{,}045 \cdot 10^{-6}\text{ C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{ C}} = \frac{0{,}045}{1{,}6} \cdot \frac{10^{-6}}{10^{-19}} \approx 0{,}028 \cdot 10^{13} = 2{,}8 \cdot 10^{11}$$

Odpowiedź: Z balonu na koszulkę przemieściło się ok. $2{,}8 \cdot 10^{11}$ elektronów.

Podsumujmy!

- Ciała na ogół są obojętne elektrycznie – mają tyle samo protonów i elektronów.
- **Ładunek elektryczny** to właściwość materii. Ładunek oznaczamy symbolem *q*, a jego jednostką jest kulomb (C).
- Ładunek protonu jest nazywany **ładunkiem elementarnym**. Ładunek elektronu jest równy co do wartości ładunkowi protonu, tylko znak tego ładunku jest przeciwny.
- Ciała naelektryzowane mają ładunek, który jest wielokrotnością ładunku elementarnego.

Sprawdź się!

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

1.	Jeden elektron ma ładunek 1 C.	**P**	**F**
2.	Ciała obojętne elektrycznie nie mają ani protonów, ani elektronów.	**P**	**F**
3.	Jednostkę ładunku elektrycznego nazwano kolumbem na cześć podróżnika Krzysztofa Kolumba.	**P**	**F**
4.	Proton i elektron mają ładunki o takiej samej wartości, ale różniące się znakiem.	**P**	**F**

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Ciała są zazwyczaj obojętne elektrycznie. Oznacza to, że mają

A. więcej elektronów niż protonów.
B. tyle samo protonów i neutronów.
C. więcej protonów niż elektronów.
D. tyle samo protonów i elektronów.

3. Plastikowa rurka jest naelektryzowana dodatnio. Jakie cząstki odpłynęły z tej rurki podczas elektryzowania?

4. Dywanik łazienkowy jest naładowany ładunkiem +0,25 μC. Oblicz, ile cząstek przemieściło się w wyniku elektryzowania tego dywanika. Czy ma on teraz więcej elektronów czy protonów?

5. Podczas elektryzowania na obojętną elektrycznie kulę przepłynęło 25 miliardów elektronów. Jaki ładunek (jakiego znaku i jakiej wartości) został zgromadzony na tej kuli?

11. Elektryzowanie przez tarcie i dotyk

- W jaki sposób można naelektryzować ciało?
- Co dzieje się z elektronami, gdy ciała się elektryzują?

Z elektryzowaniem spotykamy się na co dzień. Nawet podczas odkurzania mieszkania, gdy poruszamy się po dywanie. A chwilę później może się zdarzyć, że ładunek zgromadzony w ten sposób na naszym ciele przepłynie do metalowej klamki – innymi słowy, elektrony przepłyną między naszym ciałem a klamką, a my odczujemy charakterystyczne „kopnięcie". Procesy elektryzowania polegają na przepływie elektronów między ciałami (a nie na ich wytwarzaniu).

Ryc. 11.1. Naelektryzować się można nawet podczas zwykłych domowych czynności.

Rozglądaj się wokół!

Elektryzowanie wokół nas

Z elektryzowaniem się ciał mamy do czynienia na co dzień. Skutki elektryzowania szczególnie łatwo zaobserwować, gdy powietrze dookoła jest suche.

Naelektryzowane baloniki przylegają do ściany na skutek oddziaływania elektrycznego.

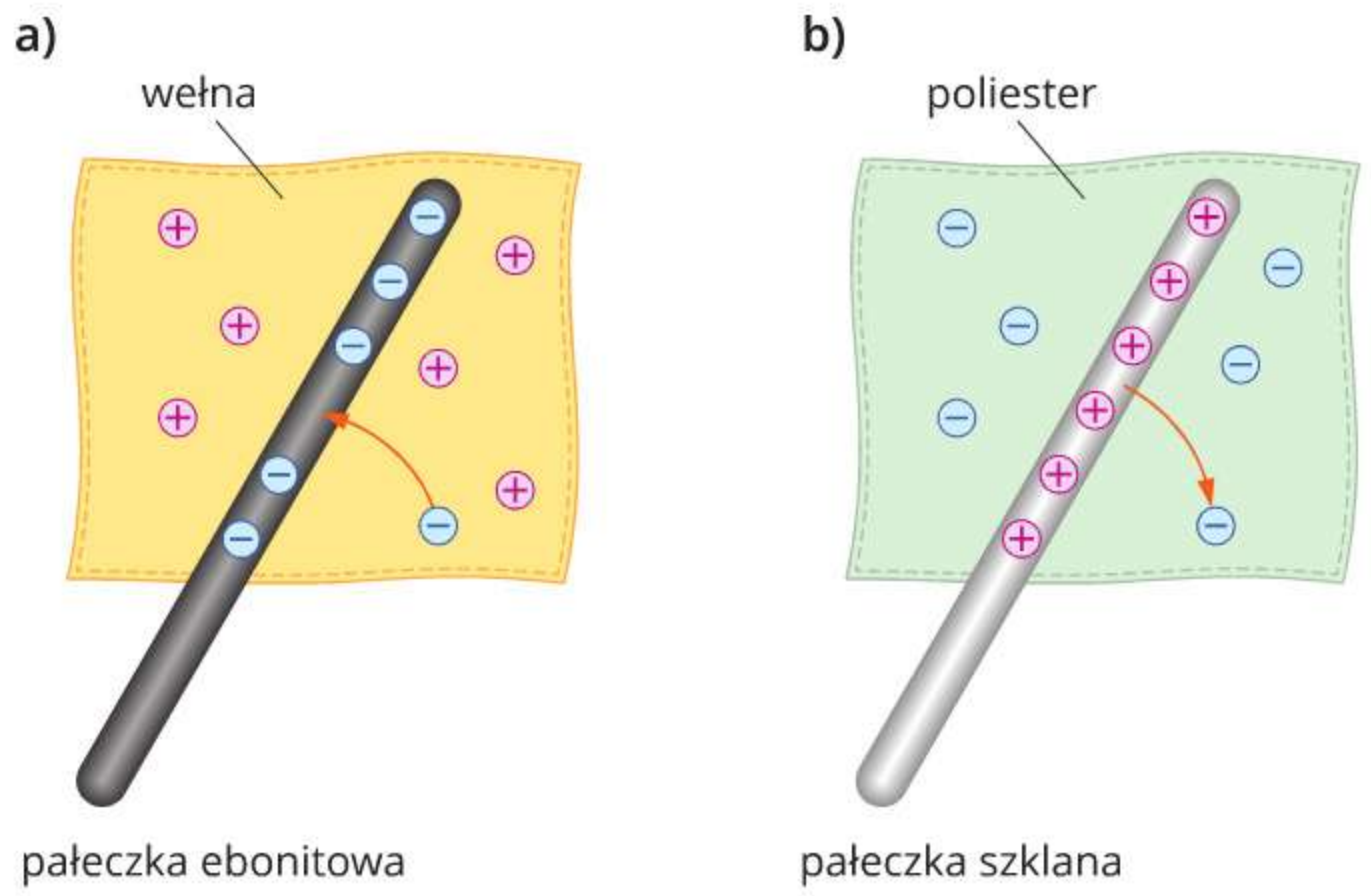
Podczas zjazdu ze zjeżdżalni dziecko elektryzuje się przez tarcie, co widać po włosach zabawnie sterczących na wszystkie strony.

Sierść psa może się naelektryzować podczas czesania lub gdy zwierzę ociera się o koc.

Kulki styropianowe łatwo się elektryzują i oddziałują elektrycznie z dłońmi.

Elektrostatyczna miotełka przyciąga kurz, gdy pocieramy nią o meble.

Ciała można naelektryzować na różne sposoby. Możemy to zrobić na przykład przez pocieranie jednego obojętnego elektrycznie ciała o drugie, także początkowo obojętne elektrycznie. Podczas pocierania ciał elektrony przemieszczają się z jednego ciała na drugie, więc w efekcie jedno z nich zyska elektrony i będzie naładowane ujemnie, a drugie straci elektrony i będzie naładowane dodatnio. Taki sposób elektryzowania nazywamy elektryzowaniem przez tarcie.



Ryc. 11.2. Elektryzowanie pałeczki ebonitowej przez tarcie o wełnianą szmatkę (a) oraz pałeczki szklanej przez tarcie o poliestrową szmatkę (b)

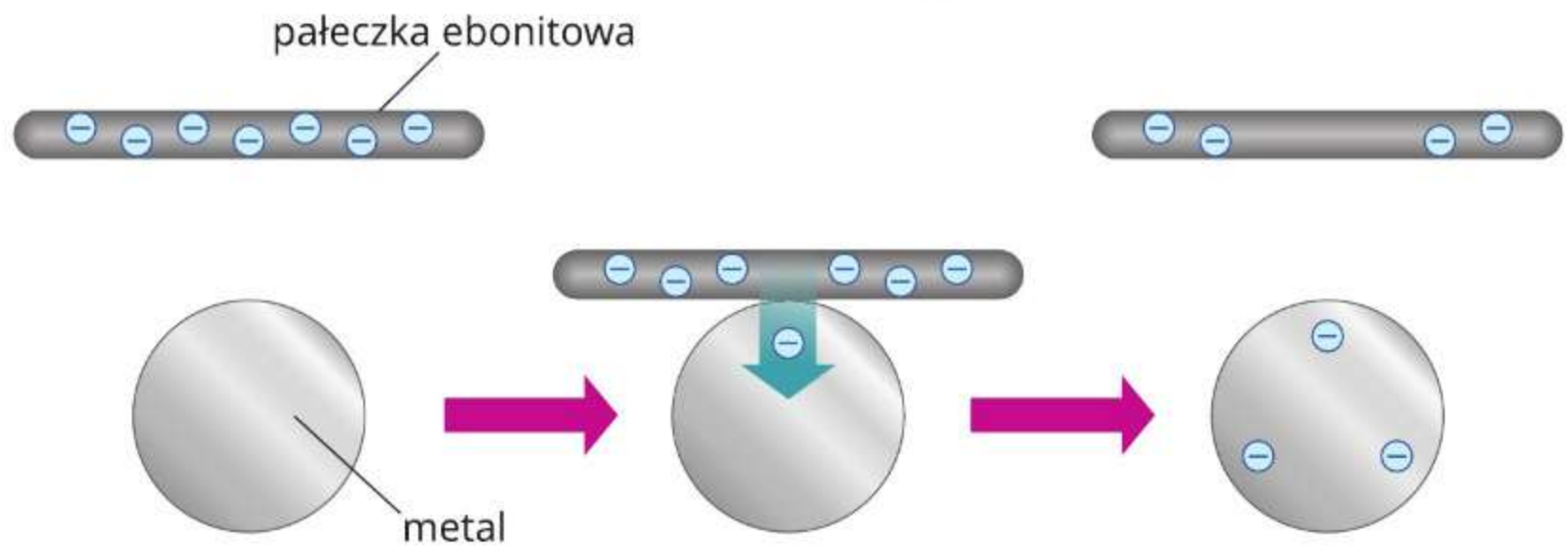
To, w jaki sposób i jak bardzo naelektryzują się ciała, zależy od substancji, z jakich są zbudowane, oraz od tego, jak długo będziemy je o siebie pocierać. Na przykład pałeczka ebonitowa (rodzaj tworzywa sztucznego) pocierana o wełnianą szmatkę naelektryzuje się ujemnie, gdyż elektrony ze szmatki przemieszczą się na pałeczkę. W efekcie szmatka będzie miała niedobór elektronów, czyli zostanie naelektryzowana dodatnio (ryc. 11.2.a). Z kolei z pałeczki szklanej pocieranej o poliestrową szmatkę elektrony przemieszczą się na poliester. Na skutek tego pałeczka zyska ładunek dodatni, a poliester – ujemny (ryc. 11.2.b).

Zbadaj to sam!

Elektryzujemy balonik przez tarcie

1. Do doświadczenia będzie potrzebny gumowy balonik.
2. Nadmuchaj balonik i zawiąż jego końcówkę.
3. Potrzyj balonik o suche i czyste włosy. Włosy nie powinny być pokryte kosmetykiem takim jak żel, pianka lub lakier.
4. Na przemian oddalaj balonik od włosów i znów go przybliżaj.
5. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

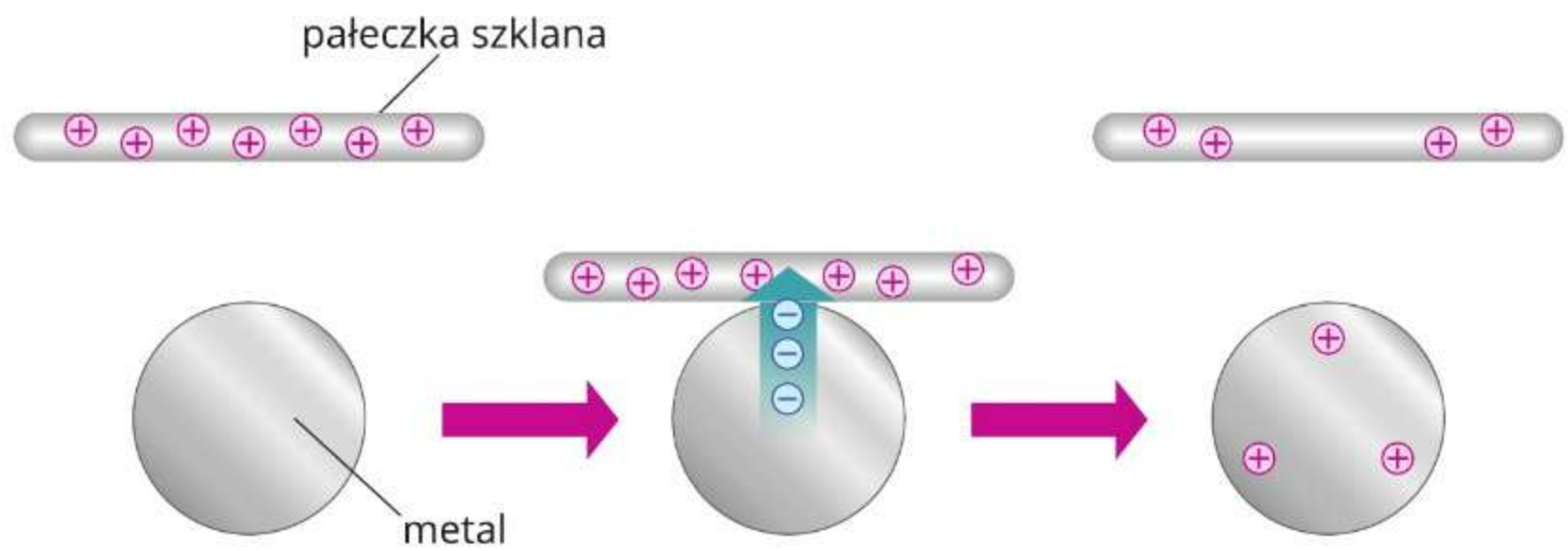
Ciała możemy naelektryzować nie tylko przez tarcie – czasem wystarczy dotknięcie przedmiotu obojętnego elektrycznie innym, naelektryzowanym przedmiotem. W ten sposób najczęściej elektryzuje się przedmioty wykonane z metalu. Elektrony przemieszczają się wówczas między stykającymi się ciałami. Jest to elektryzowanie przez dotyk.



Ryc. 11.3. Elektryzowanie metalowej tacki przez dotyk pałeczką naelektryzowaną ujemnie

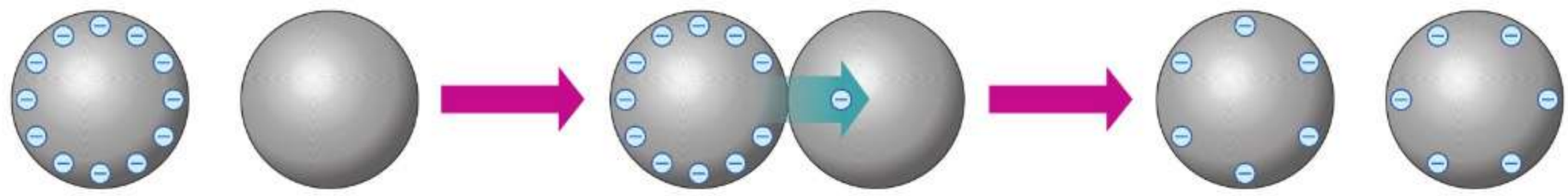
Gdy przedmiotu początkowo obojętnego elektrycznie, np. metalowej tacki, dotkniemy naelektryzowaną ujemnie pałeczką ebonitową, część nadmiarowych elektronów z pałeczki przemieści się na tackę. Będą to jednak wyłącznie elektrony z obszaru pałeczki ebonitowej bezpośrednio dotykającego tacki. Oba ciała będą wówczas naelektryzowane ujemnie (ryc. 11.3.). Natomiast gdy przedmiotu obojętnego elektrycznie, choćby wspomnianej tacki, dotkniemy naelektryzowaną dodatnio pałeczką szklaną, część elektronów z tacki przemieści się na pałeczkę. Oba ciała będą wówczas naelektryzowane dodatnio (ryc. 11.4.). Opuszczające tackę elektrony rozlokują się wyłącznie w niewielkim obszarze pałeczki dotykającym tacki.

Na skutek elektryzowania przez dotyk oba ciała są naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.



Ryc. 11.4. Elektryzowanie metalowej tacki przez dotyk pałeczką naelektryzowaną dodatnio

W sytuacji, gdy naelektryzowanym ciałem wykonanym z metalu elektryzujemy przez dotyk identyczne ciało, początkowo nienaelektryzowane (mogą to być na przykład dwie metalowe kule), oba ciała zostaną naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku i tej samej wartości (ryc. 11.5.). Jeśli natomiast połączymy ze sobą identyczne ciała wykonane z metalu i początkowo naelektryzowane jakimiś ładunkami, to po zetknięciu ładunek każdego z nich również będzie taki sam.



Ryc. 11.5. Elektryzowanie przez dotyk metalowej kuli identyczną kulą naelektryzowaną ujemnie

Zbadaj to sam!

Elektryzujemy przez dotyk kulkę metalową

1. Do doświadczenia będą potrzebne: piłeczka do tenisa stołowego, kawałek folii aluminiowej, nić, taśma klejąca, rurka PVC, wełniana szmatka.
2. Owiń piłeczkę cienką warstwą folii aluminiowej.
3. Za pomocą taśmy klejącej przymocuj do piłeczki nić tak, by piłeczka wisiała na nici.
4. Naelektryzuj rurkę PVC przez tarcie o wełnianą szmatkę.
5. Naelektryzowaną rurką dotknij powierzchni piłeczki.
6. Na przemian oddalaj naelektryzowaną rurkę od piłeczki i znów ją przybliżaj.
7. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

Zobacz, jak to zrobić!

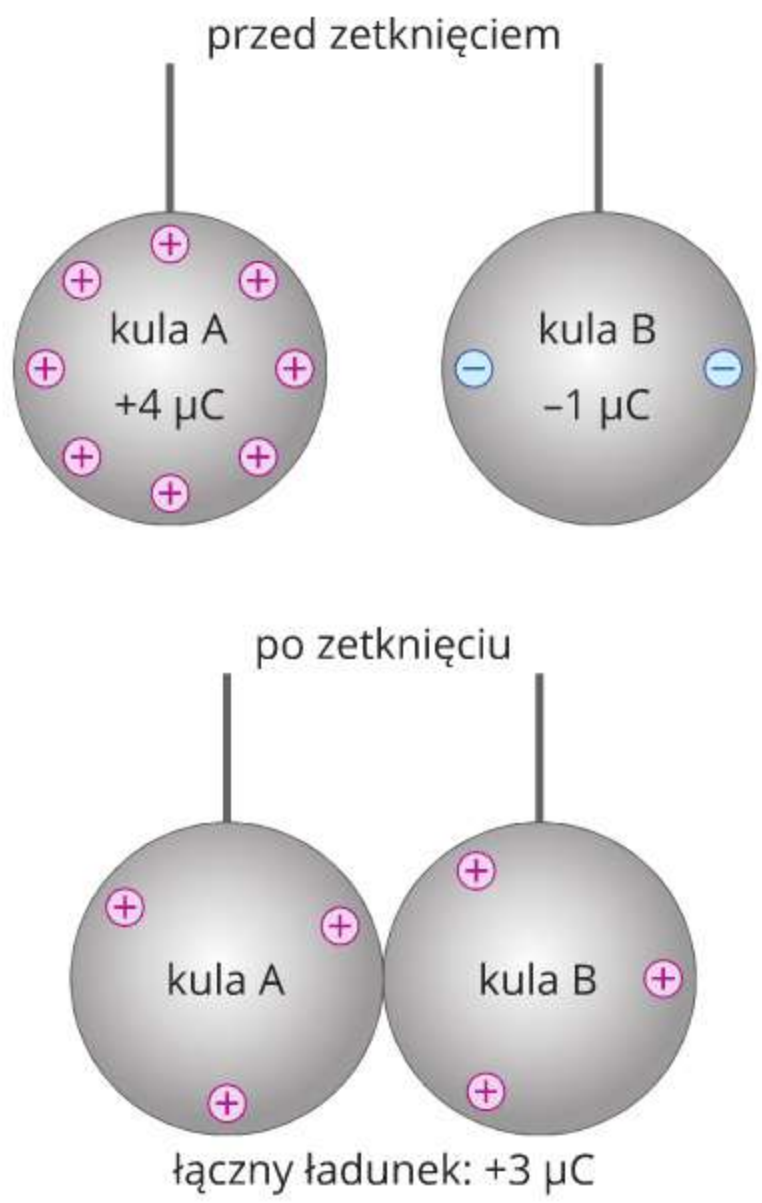
Metalowa kula A została naelektryzowana ładunkiem +4 μC. Kulę tę zetknięto z identyczną kulą B, na której zgromadzony był ładunek elektryczny −1 μC. Obliczmy, ile wynosi łączny ładunek kul oraz jaki ładunek będzie miała każda z kul po ich zetknięciu.

Rozwiązanie:

Łączny ładunek kul jest sumą ładunków każdej z nich przed zetknięciem. Ładunek początkowo zgromadzony na kulach A i B po ich zetknięciu zostanie rozłożony na obu kulach równomiernie, gdyż są one identyczne. Część elektronów z kuli B przepłynie na kulę A.

$$q_A = q_B = \frac{+4\ \mu C - 1\ \mu C}{2} = \frac{+3\ \mu C}{2} = +1{,}5\ \mu C$$

Odpowiedź: Łączny ładunek obu kul wynosi +3 μC, a ładunek zgromadzony na każdej z kul po ich zetknięciu będzie równy +1,5 μC.



Każde naelektryzowane ciało można doprowadzić z powrotem do stanu, w którym będzie na nim tyle samo elektronów, co protonów. Taki proces nazywamy rozładowaniem. W tym celu można na przykład zetknąć ciało z grzejnikiem lub dotknąć ciała palcem. W grzejniku płynie woda, przez którą ładunek dociera do Ziemi; także ciało człowieka jest zazwyczaj połączone z Ziemią. W rzeczywistości to tak, jakbyśmy zetknęli naelektryzowane ciało z powierzchnią Ziemi. Mówimy wówczas, że uziemiamy ciało. Ze względu na swoje rozmiary Ziemia może przyjąć lub oddać bardzo dużą ilość ładunku elektrycznego. Jeżeli uziemiamy ciało naelektryzowane dodatnio, to Ziemia odda mu taką liczbę elektronów, aby jego całkowity ładunek elektryczny był równy zeru. Jeżeli natomiast uziemiamy ciało naelektryzowane ujemnie, to Ziemia przyjmie od niego nadmiar elektronów.

Dowiedz się więcej!

Taśmy antystatyczne

Cysterna elektryzuje się podczas jazdy, ponieważ m.in. trze o otaczające ją powietrze. Ładunek na niej zgromadzony może być bardzo niebezpieczny, gdy będzie próbował przeskoczyć do ziemi w postaci iskry elektrycznej. Taka iskra może zapalić łatwopalne substancje przewożone w cysternie. Aby tego uniknąć, do podwozia przyczepia się specjalne paski, zwane taśmami antystatycznymi. Dotykają one jezdni i przez nie nadmiar ładunku spływa do ziemi.

Podsumujmy!

- **Elektryzowanie** polega na przemieszczaniu się elektronów między ciałami.
- Ciała można naelektryzować **przez tarcie** lub **przez dotyk**.
- W wyniku elektryzowania przez dotyk ciała elektryzują się ładunkiem tego samego znaku, a w wyniku elektryzowania przez tarcie ciała elektryzują się różnoimiennie.

Sprawdź się!

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

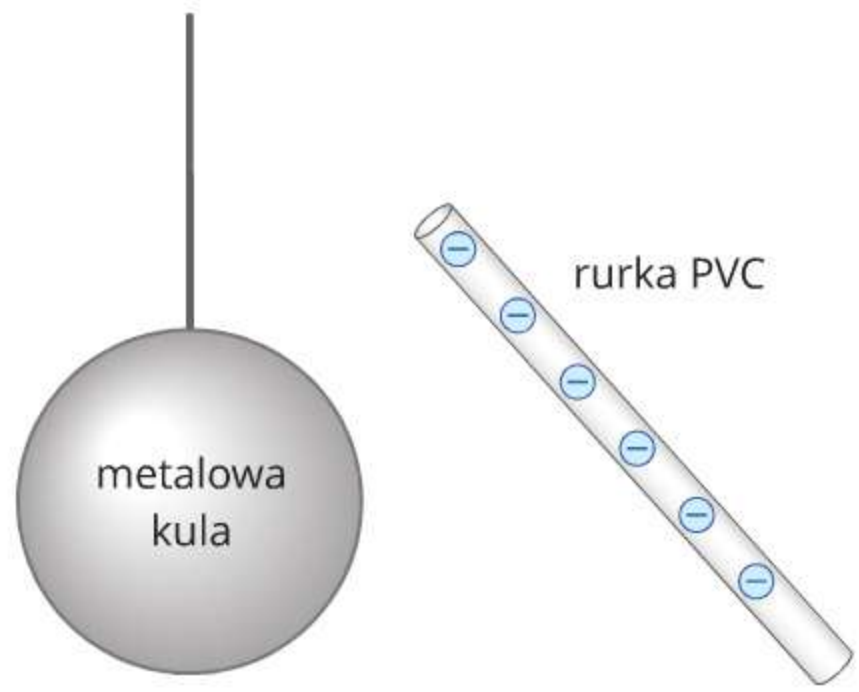
1.	Elektryzowanie przez tarcie polega na przemieszczaniu się elektronów między dwoma ciałami na skutek pocierania tych ciał o siebie.	**P**	**F**
2.	Podczas elektryzowania przez dotyk pomiędzy ciałami przemieszczają się wyłącznie elektrony.	**P**	**F**
3.	Aby zobojętnić ciało naelektryzowane ujemnie, należy doprowadzić do niego tyle protonów, ile było na nim nadmiarowych elektronów.	**P**	**F**
4.	Podczas elektryzowania ciała dodatnio doprowadzane są do niego protony.	**P**	**F**

2. W wyniku potarcia plastikowej linijki wełnianą szmatką na linijce zgromadził się ładunek ujemny. Jakim ładunkiem została naelektryzowana szmatka?

3. Metalową, obojętną elektrycznie kulę zawieszono na nici i zbliżono do niej naładowaną ujemnie rurkę PVC.

a. Jakim ładunkiem zostanie naelektryzowana kula po dotknięciu jej rurką?

b. Jak nazywają się cząstki, które przepłyną między ciałami podczas dotknięcia?



4. Dwie metalowe kule mają łącznie ładunek elektryczny −1 μC. Przed ich zetknięciem na pierwszej kuli był zgromadzony ładunek elektryczny +3 μC. Jaki ładunek był początkowo na drugiej kuli?

5. Różne materiały pocierane o siebie elektryzują się dodatnio lub ujemnie. Zestawienie materiałów pod względem ich „skłonności" do elektryzowania się ładunkiem dodatnim lub ujemnym to tzw. szereg tryboelektryczny. Odszukaj i zapisz w formie notatki informacje na jego temat, a następnie na ich podstawie oceń, jak – dodatnio czy ujemnie – elektryzują się wybrane trzy pary materiałów, z którymi masz do czynienia na co dzień.

12. Oddziaływanie elektryczne. Elektroskop

- Jak oddziałują ciała naładowane?
- Co to jest elektroskop?

Cząstek mających ładunek elektryczny – protonów i elektronów – nie możemy zobaczyć gołym okiem. Ciała, które mają nadmiar elektronów lub ich niedobór, działają na siebie siłami elektrycznymi i dostrzegamy ich skutki. Oddziaływanie elektryczne to oddziaływanie na odległość – to znaczy, że naelektryzowane ciała nie muszą się stykać, aby ze sobą oddziaływać.

Ryc. 12.1. Między naelektryzowanymi włosami i naelektryzowanym balonikiem obserwujemy oddziaływanie elektryczne.

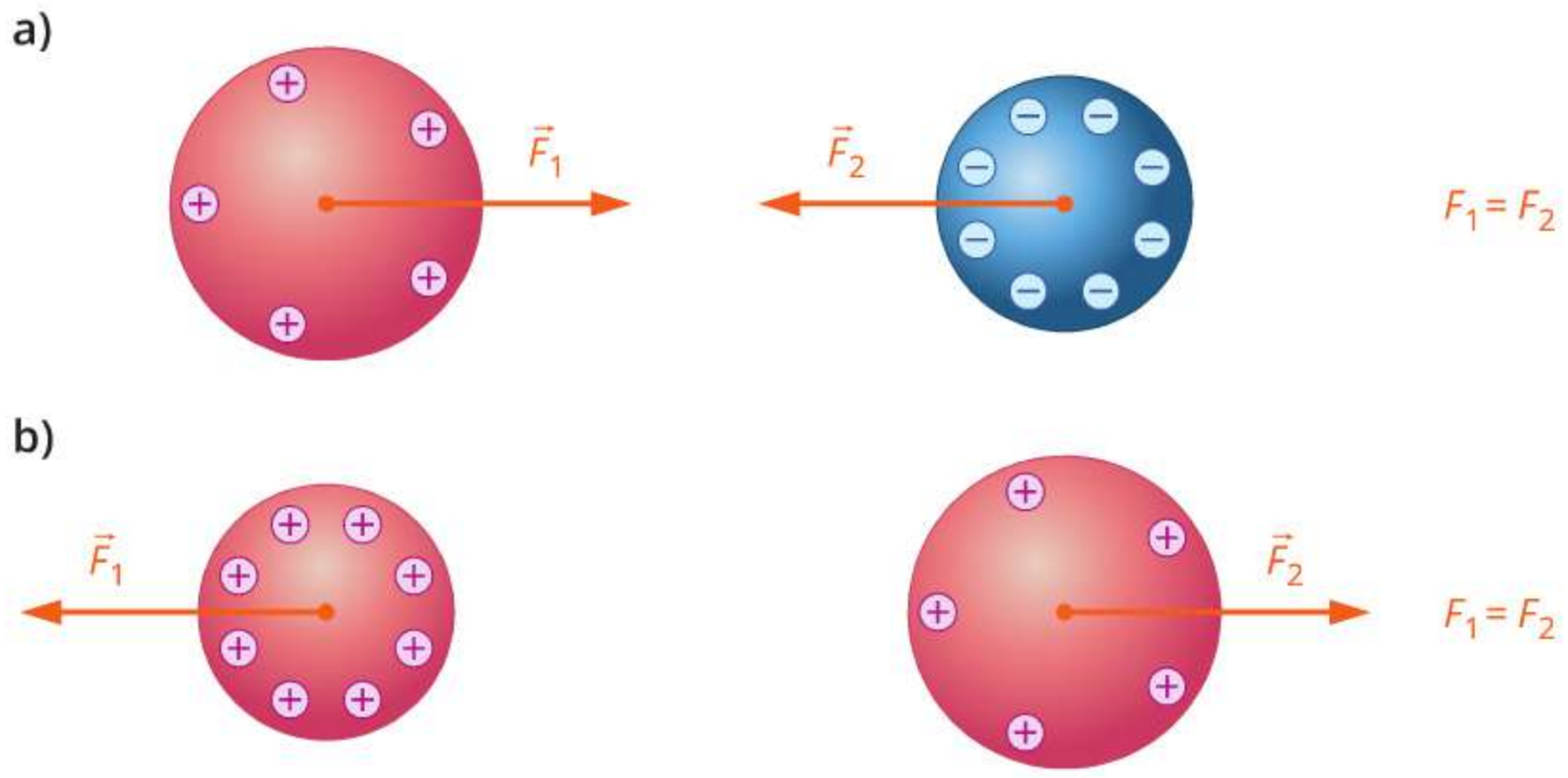
Zbadaj to sam!

Obserwujemy, jak działają na siebie ciała naelektryzowane różnoimiennie

1. Do doświadczenia będą potrzebne: balon, nitka, sucha wełniana szmatka.
2. Nadmuchaj balon, zawiąż jego końcówkę i przywiąż do niego nitkę.
3. Potrzyj balon o szmatkę.
4. Trzymaj balon na nitce i powoli zbliżaj do niego szmatkę.
5. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

Oddziaływanie elektryczne może skutkować wzajemnym przyciąganiem się naelektryzowanych ciał lub ich odpychaniem. To, czy ciała odpychają się, czy przyciągają, zależy od znaku ładunków tych ciał – czy są takie same czy przeciwne.

Ciała naelektryzowane ładunkami różnoimiennymi się przyciągają, natomiast ciała naelektryzowane ładunkami jednoimiennymi się odpychają.



Ryc. 12.2. Ciała naelektryzowane ładunkami różnych znaków się przyciągają (a), a ciała naelektryzowane ładunkami takiego samego znaku się odpychają (b).

Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki wartości sił wzajemnego oddziaływania między naelektryzowanymi ciałami są zawsze takie same. Jeśli na jednej kuli zgromadzimy pewien ładunek dodatni, a na drugiej pewien ładunek ujemny, to wartość siły, jaką pierwsza kula działa na drugą, będzie taka sama jak wartość siły, którą druga kula działa na pierwszą, niezależnie od tego, czy wartości ich ładunków są takie same czy różne. W tym przypadku kule będą się przyciągały (ryc. 12.2.a). Siły elektryczne będą miały taką samą wartość również wtedy, gdy na obu kulach zgromadzony zostanie ładunek elektryczny tego samego znaku, ale wówczas kule będą się odpychały (ryc. 12.2.b).

Wartości sił wzajemnego oddziaływania zależą od wartości ładunków, którymi są naelektryzowane ciała. Im większy jest iloczyn wartości ładunków zgromadzonych na każdym z dwóch ciał, tym większa jest siła ich wzajemnego oddziaływania. Siła ta nie zależy natomiast od rozmiarów ciał, na których zgromadzony jest ładunek.

Zobacz, jak to zrobić!

Dwie identyczne metalowe kule, znajdujące się w pewnej odległości od siebie, naelektryzowano ładunkami przeciwnych znaków. Na pierwszej kuli zgromadzono ładunek +0,04 μC, a na drugiej ładunek −0,02 μC. Kule te zetknięto ze sobą, a następnie odsunięto na odległość, w jakiej były na początku. Wyjaśnijmy, jak zmienią się − wzrosną lub zmaleją − wartości sił wzajemnego oddziaływania elektrycznego po zetknięciu kul w porównaniu z sytuacją początkową.

Dane: q_1 = +0,04 μC, q_2 = −0,02 μC

Szukane: Czy siła wzajemnego oddziaływania pozostanie bez zmian, zwiększy się czy zmniejszy?

Rozwiązanie:

Całkowity ładunek dwóch kul jest równy:

$$q = q_1 + q_2 = +0{,}04\ \mu C - 0{,}02\ \mu C = +0{,}02\ \mu C$$

Całkowity ładunek obu kul jest dodatni i równy +0,02 μC. Podczas zetknięcia kul część elektronów z kuli naładowanej ujemnie przepłynie do kuli naładowanej dodatnio. Na każdej z kul pozostanie taki sam ładunek dodatni +0,01 μC.

W tym przypadku wartość ładunku każdej z kul była większa na początku niż po ich zetknięciu. Wobec tego iloczyn wartości ładunków tych kul po zetknięciu jest mniejszy w porównaniu z sytuacją początkową. Dlatego siły wzajemnego oddziaływania elektrycznego po zetknięciu kul będą mniejsze niż przed ich zetknięciem.

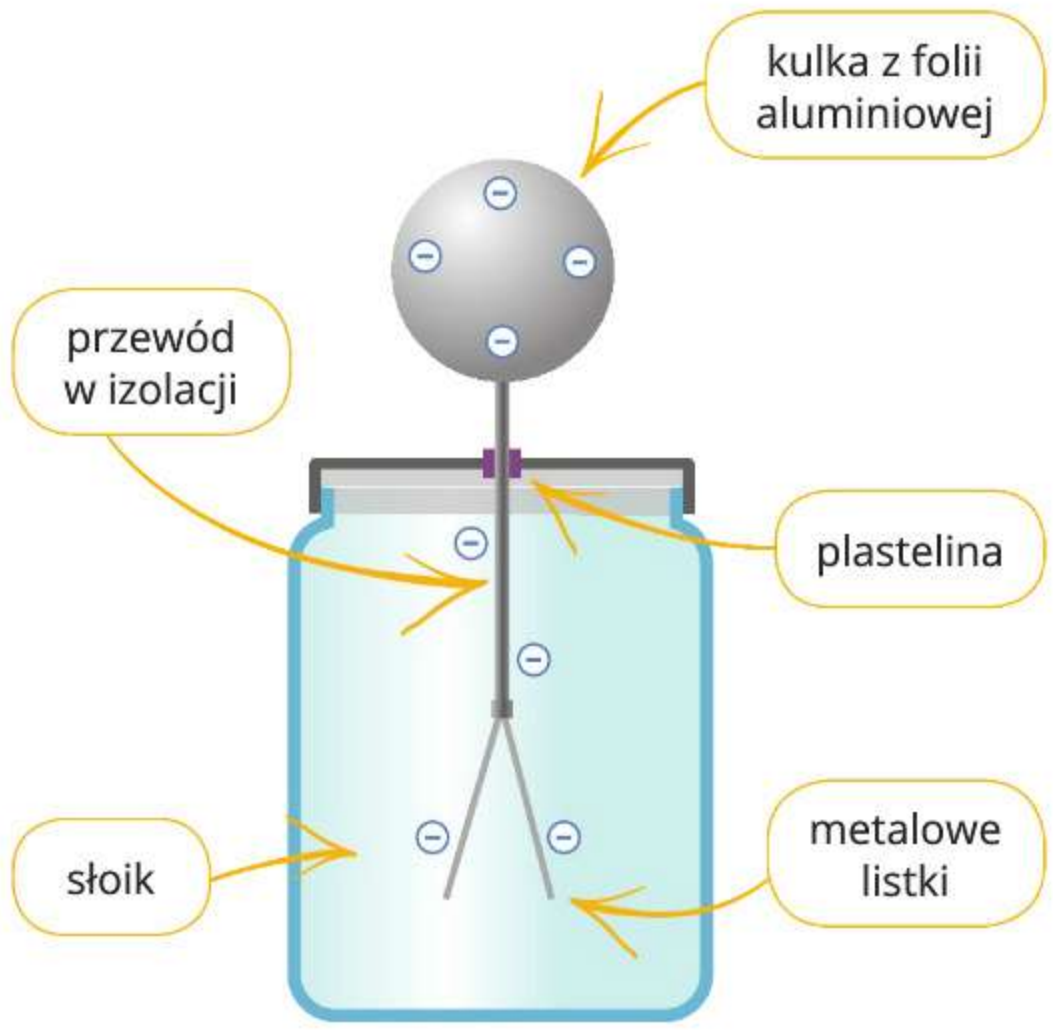
Zbadaj to sam!

Obserwujemy, jak siła oddziaływania elektrycznego zależy od odległości

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwa balony, sucha szmatka, dwie nitki tej samej długości.
2. Nadmuchaj balony, zawiąż ich końcówki i przywiąż do każdego z nich nitkę.
3. Potrzyj każdy balon o szmatkę. Balony będą naładowane ładunkami jednoimiennymi.
4. Trzymaj balony na nitkach i staraj się zbliżyć je do siebie. Oceń, jak zmienia się siła wzajemnego oddziaływania wraz z odległością między balonami.
5. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

Wartość siły oddziaływania elektrycznego, jaką działają na siebie dwa naelektryzowane ciała, zależy nie tylko od ich ładunków, ale również od odległości między ciałami. Gdy naelektryzowane ciała są coraz bliżej siebie, to siła jest coraz większa, a gdy są coraz dalej od siebie, to siła jest coraz mniejsza.

Jak można sprawdzić, czy ciało jest naelektryzowane? Umożliwia to elektroskop. Jego najważniejszym elementem jest metalowy przewód w izolacji, z przyczepionymi do niego tzw. listkami (ryc. 12.3.). Na górnym końcu przewodu zamocowana jest metalowa kulka. Jeżeli dotkniemy kulki przedmiotem naelektryzowanym ujemnie, to część nadmiarowych elektronów przepłynie z tego przedmiotu na przewód i listki. Jeśli dotkniemy kulki przedmiotem naelektryzowanym dodatnio, to część elektronów z kulki i listków przepłynie na ten przedmiot. W obu tych przypadkach listki będą naelektryzowane ładunkami jednoimiennymi, więc będą się odpychać i zaobserwujemy ich odchylanie od siebie. Elektroskop pozwala na stwierdzenie, czy przedmiot jest naelektryzowany, ale nie pozwala na określenie ani wartości ładunku, ani jego znaku.



Ryc. 12.3. Elektroskop, który można wykonać samodzielnie.

Zbadaj to sam!

Budujemy elektroskop

1. Do doświadczenia będą potrzebne: słoik z zakrętką, folia aluminiowa, plastelina, kawałek przewodu w otoczce izolacyjnej, nożyczki.
2. Usuń izolację z końcówek przewodu – możesz wykorzystać do tego nożyczki. Jedną z końcówek przewodu wygnij w haczyk.
3. W zakrętce zrób otwór. Przewlecz przez niego przewód i przytwierdź go za pomocą plasteliny.
4. Z folii aluminiowej wytnij pasek. Przewieś go przez haczyk.
5. Zrób kulkę z folii aluminiowej i przymocuj ją do wystającej części przewodu bez izolacji tak, żeby nie dotykała zakrętki.
6. Sprawdź, czy elektroskop działa, np. zbliż do niego naelektryzowaną wcześniej linijkę.

Dowiedz się więcej!

Filtry elektrostatyczne powietrza

To elementy oczyszczające powietrze, używane na przykład w urządzeniach wentylacyjnych. Gdy chcemy, żeby w powietrzu nie było pyłów i zanieczyszczeń, musimy je przefiltrować. Duże cząstki są wyłapywane za pomocą zwykłego filtra mechanicznego, który działa jak sito i zatrzymuje największe zanieczyszczenia. Jednak drobniejsze cząstki trzeba naelektryzować. Naładowane pyłki oddziałują elektrycznie z filtrem. Są przyciągane przez element filtra naelektryzowany ładunkiem o przeciwnym znaku, a czyste powietrze bez najdrobniejszych zanieczyszczeń jest odprowadzane na zewnątrz.

Podsumujmy!

- Ciała naelektryzowane **jednoimiennie się odpychają**, a ciała naelektryzowane **różnoimiennie – przyciągają**.
- Oddziaływanie między naelektryzowanymi ciałami jest tym większe, im bliżej siebie znajdują się te ciała.
- Im większy jest iloczyn wartości ładunków elektrycznych zgromadzonych na każdym z ciał, tym większa jest siła wzajemnego oddziaływania między tymi ciałami.
- **Elektroskop** to przyrząd, dzięki któremu można stwierdzić, czy ciało jest naelektryzowane.

Sprawdź się!

1. Na rurce PVC zgromadzony jest ładunek +0,0002 μC, a na metalowej kuli ładunek −0,0008 μC.

a. Czy ciała te przeciągają się, czy odpychają na skutek oddziaływań elektrycznych?

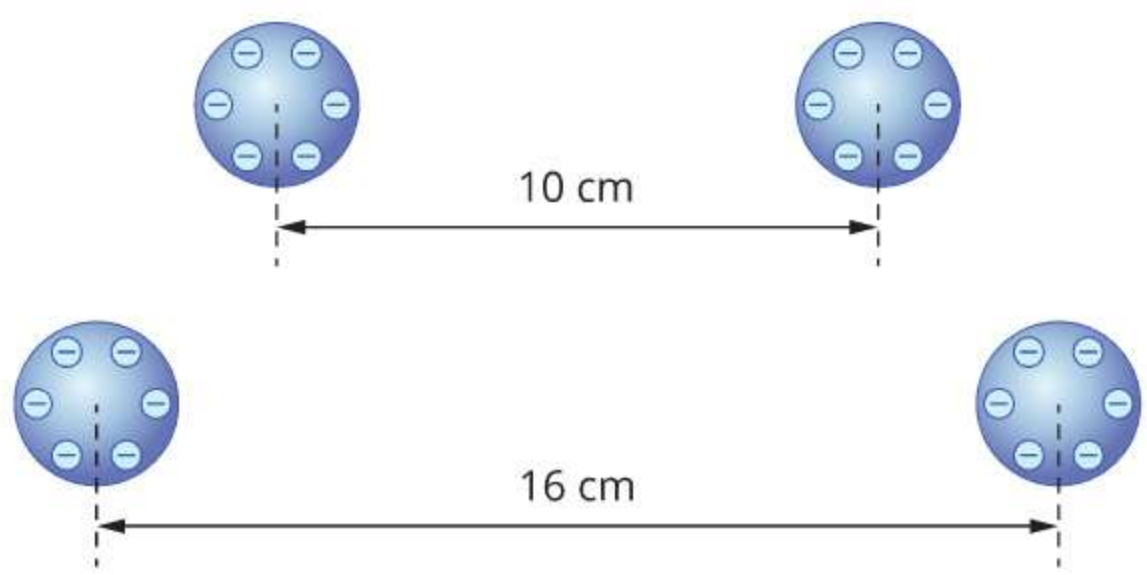
b. Czy wartość siły, jaką kula działa na rurkę, jest taka sama jak wartość siły, jaką rurka działa na kulę?

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

1.	Elektroskop pokazuje wartość ładunku elektrycznego, jakim jest naładowany przedmiot.	**P**	**F**
2.	Jeżeli ładunek każdego z oddziałujących ze sobą elektrycznie ciał się zmniejszy, to siła oddziaływania między tymi ciałami również zmaleje.	**P**	**F**
3.	Im większa jest odległość między naelektryzowanymi ciałami, tym większa jest wartość siły oddziaływania elektrycznego między nimi.	**P**	**F**
4.	Ciała naelektryzowane ładunkami przeciwnych znaków przyciągają się wzajemnie.	**P**	**F**

3. Elektroskop został naelektryzowany ładunkiem dodatnim. Wyjaśnij, dlaczego listki tego elektroskopu odpychają się od siebie.

4. Dwie naelektryzowane kule znajdowały się w odległości 10 cm od siebie. Następnie odsunięto je na odległość 16 cm bez zmiany zgromadzonych na nich ładunków. W której sytuacji kule te działały na siebie siłami o większej wartości?



5. Dwie identyczne metalowe kule naelektryzowano ładunkami przeciwnych znaków. Na pierwszej kuli zgromadzono ładunek −0,08 μC, a na drugiej ładunek +0,06 μC. Kule zetknięto ze sobą, a następnie odsunięto na odległość, w jakiej były na początku. Czy siły, jakimi kule oddziałują teraz na siebie, mają większą czy mniejszą wartość niż na początku? Uzasadnij odpowiedź.

13. Przewodniki i izolatory

- Czym są przewodniki i izolatory?
- Czym jest elektryzowanie przez indukcję?

Ryc. 13.1. Naelektryzowany elektroskop szkolny

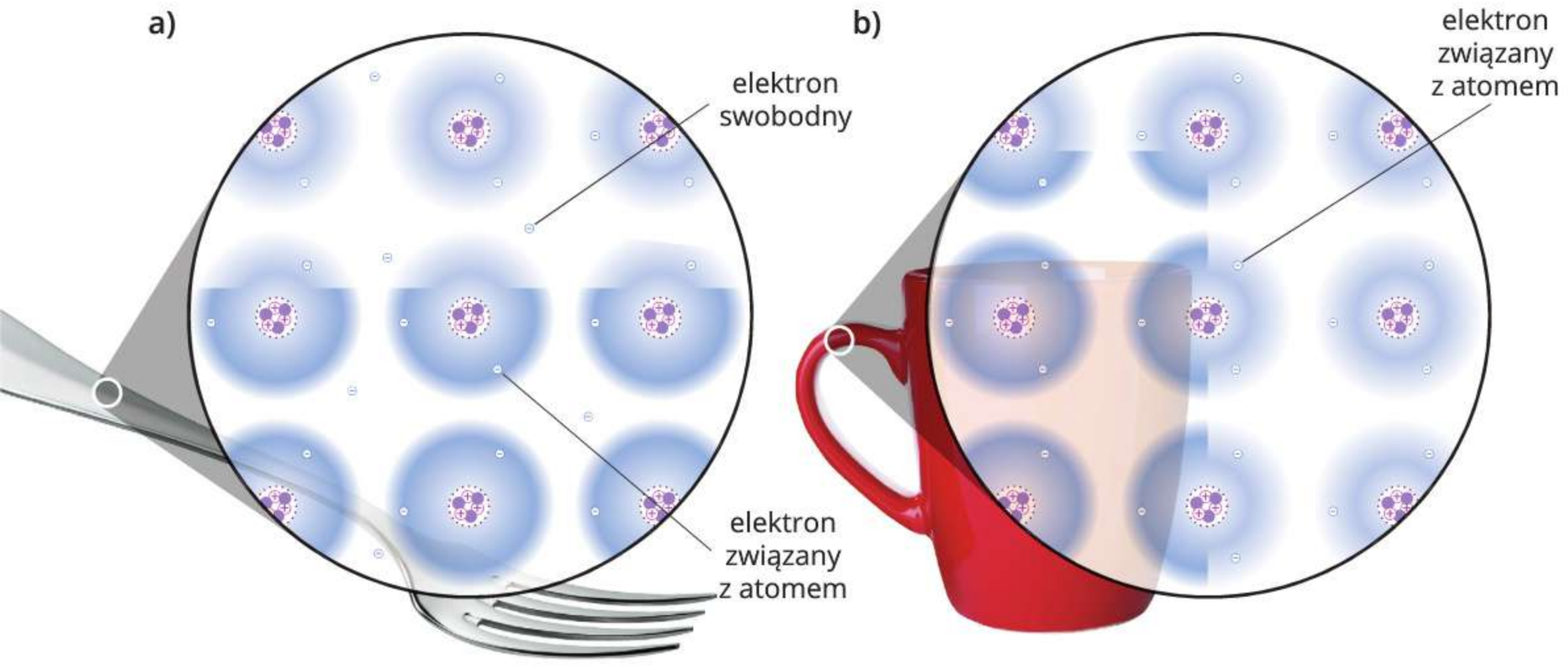
Gdy elektroskop jest naelektryzowany, jego listki są rozchylone (ryc. 13.1.). Jeśli kulki naelektryzowanego elektroskopu dotkniemy nienaelektryzowaną plastikową linijką, to listki nie opadną. Ale jeśli dotkniemy jej nienaelektryzowaną metalową łyżką (trzymaną w dłoni), to opadną – czyli elektroskop na skutek przepływu elektronów przestanie być naelektryzowany.

Dzieje się tak dlatego, że przez niektóre ciała elektrony przepływają łatwo, a przez inne nie przepływają wcale. Materiały, przez które z łatwością mogą przepływać cząstki naładowane, nazywamy **przewodnikami**. Bardzo dobrymi przewodnikami są metale. Ciecze oraz gazy zawierające jony (czyli atomy lub cząsteczki z nadmiarem lub niedomiarem elektronów) również są przewodnikami. Przewodnikami są także organizmy, ponieważ zawierają ciecze wraz z jonami (np. krew).

Z kolei **izolatory** to takie materiały, przez które – w przeciwieństwie do przewodników – nie mogą przepływać cząstki naładowane. Do izolatorów zaliczamy na przykład plastik, szkło, porcelanę, gumę.

Warto jednak pamiętać, że gdy zgromadzony na naelektryzowanym ciele ładunek jest bardzo duży, może on odpłynąć z tego ciała nawet przez izolator – nazywamy to przebiciem elektrycznym.

Dlaczego niektóre ciała przewodzą ładunek, a inne nie? To, czy ciało jest przewodnikiem czy izolatorem elektrycznym, wynika z jego budowy wewnętrznej. Na przykład w metalach niektóre elektrony – nazywane swobodnymi – mogą z łatwością przemieszczać się wewnątrz ciała (ryc. 13.2.a). W izolatorach wszystkie elektrony są związane z atomami (ryc. 13.2.b).



Ryc. 13.2. Schematyczne przedstawienie budowy wewnętrznej przewodnika metalicznego (a) i izolatora (b)

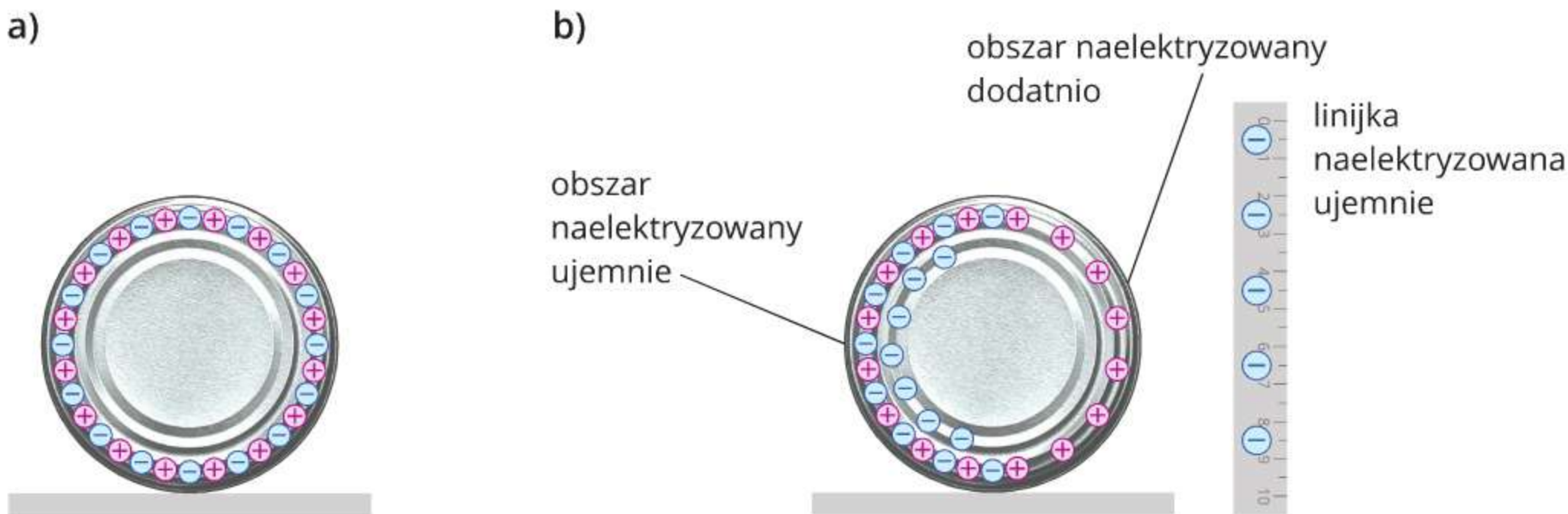
Zbadaj to sam!

Elektryzujemy przez wpływ

1. Do doświadczenia będą potrzebne: plastikowa linijka, wełniana szmatka, puszka aluminiowa po napoju.
2. Połóż puszkę na stole tak, by mogła się swobodnie toczyć.
3. Naelektryzuj linijkę przez potarcie jej energicznie wełnianą szmatką.
4. Naelektryzowaną linijkę zbliż do puszki, ale jej nie dotykaj.
5. Obserwuj, jak zachowuje się puszka.
6. Teraz zbliż do puszki naelektryzowaną wełnianą szmatkę, która posłużyła do potarcia linijki.
7. Zapisz spostrzeżenia w zeszycie.

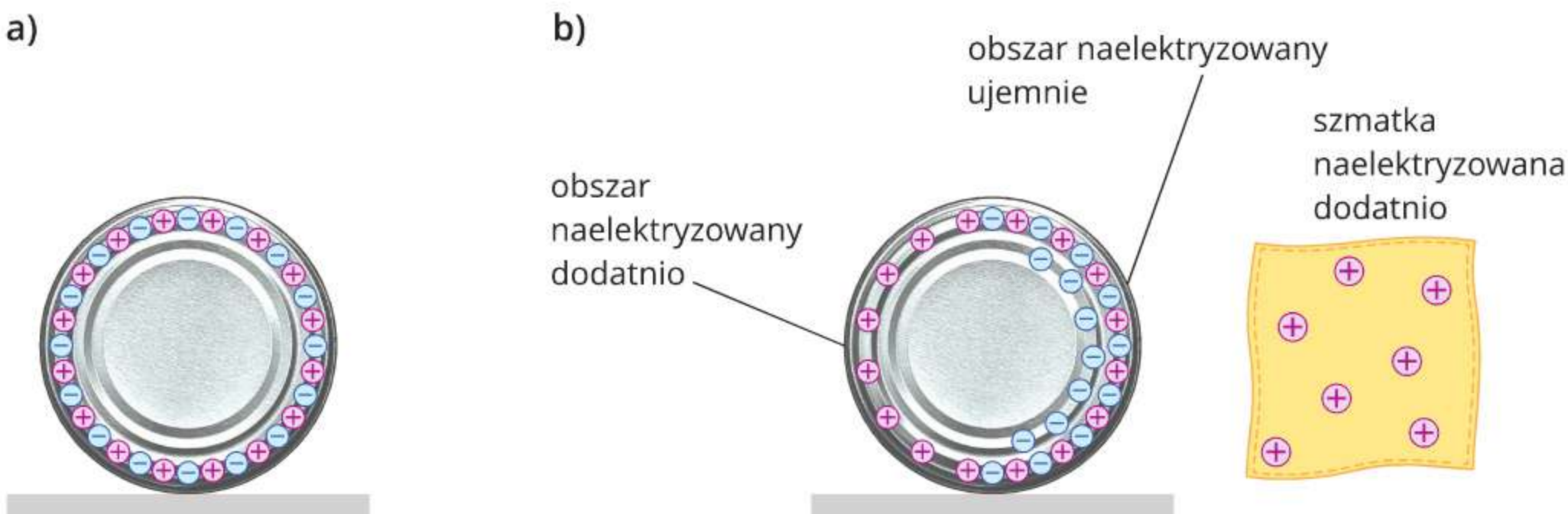
Ciało można naelektryzować nie tylko przez tarcie lub przez dotyk. Jeśli zbliżymy naelektryzowane ciało do elektrycznie obojętnego metalowego przedmiotu, bez dotykania go, wtedy elektrony wewnątrz metalu zaczną się przemieszczać.

Jeśli do obojętnej elektrycznie metalowej puszki (ryc. 13.3.a) zbliżymy ujemnie naelektryzowaną linijkę, część elektronów w puszce przemieści się na skutek oddziaływania elektrycznego z ładunkiem linijki tak, żeby być jak najdalej od linijki. Na puszce pojawi się zatem obszar naelektryzowany dodatnio oraz obszar naelektryzowany ujemnie (ryc. 13.3.b). Puszka zacznie toczyć się w stronę linijki, ponieważ obszar naelektryzowany dodatnio silniej oddziałuje z linijką niż obszar naelektryzowany ujemnie, który znajduje się dalej od linijki.



Ryc. 13.3. Metalowa puszka obojętna elektrycznie (a) i po zbliżeniu do niej linijki naelektryzowanej ujemnie (b)

Jeśli zbliżymy do puszki dodatnio naelektryzowaną wełnianą szmatkę, elektrony przemieszczą się na skutek oddziaływania elektrycznego z ładunkiem szmatki tak, żeby być jak najbliżej szmatki (ryc. 13.4.b). Puszka zacznie toczyć się w stronę szmatki, ponieważ obszar naelektryzowany ujemnie będzie silniej oddziaływał ze szmatką niż obszar naelektryzowany dodatnio, który znajdzie się dalej od szmatki.



Ryc. 13.4. Metalowa puszka obojętna elektrycznie (a) i po zbliżeniu do niej szmatki naelektryzowanej dodatnio (b)

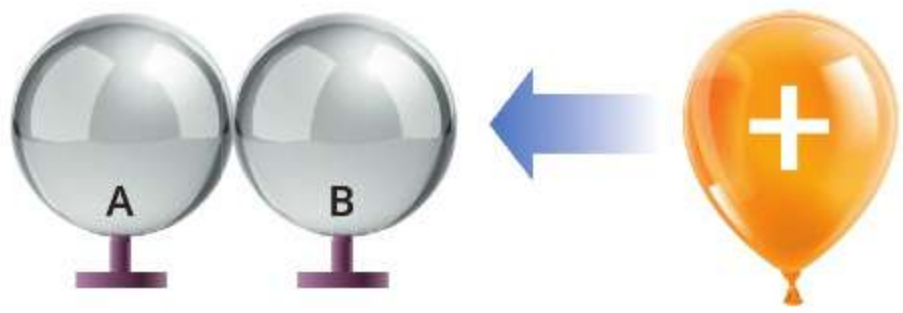
W obu przypadkach wewnątrz metalowej puszki powstaną obszary naelektryzowane dodatnio i naelektryzowane ujemnie (choć ciało jako całość będzie elektrycznie obojętne). Taki sposób elektryzowania nazywamy elektryzowaniem przez wpływ, czyli indukcję. Elektryzowanie przez wpływ zachodzi także w izolatorach (jego skutkiem jest choćby przyciąganie niewielkich styropianowych kulek przez naelektryzowaną linijkę), ale w tym przypadku mechanizm tego zjawiska jest trochę inny.

Zobacz, jak to zrobić!

Trwałe elektryzowanie przez wpływ

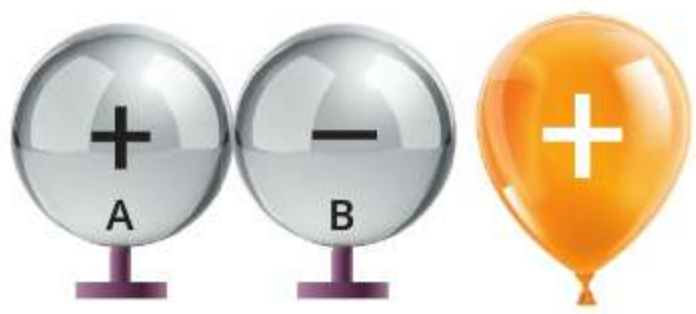
W doświadczeniu z aluminiową puszką, którą elektryzowaliśmy przez wpływ, po odsunięciu naładowanego przedmiotu puszka przestawała być naelektryzowana. Przyjrzyjmy się, jak można trwale naelektryzować metal przez wpływ.

1. Dwie metalowe kule są ustawione na stole tak, aby się ze sobą stykały. Obie kule są elektrycznie obojętne.

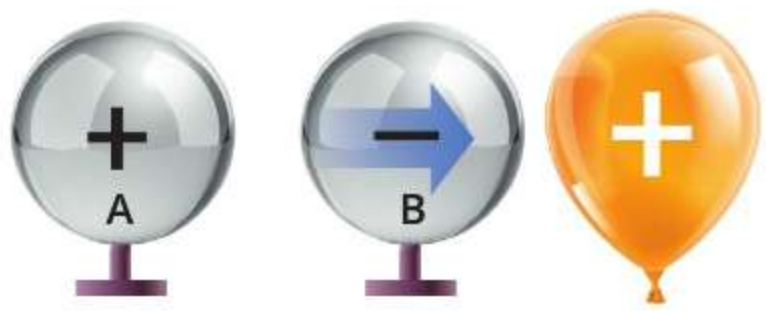


połączone ze sobą metalowe kule

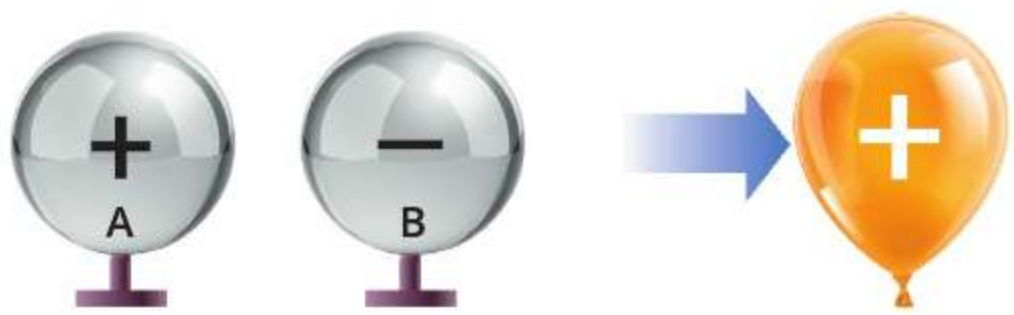
2. Gdy zbliżymy do nich naelektryzowany balonik, pewna liczba elektronów z kuli A przemieści się na kulę B, gdyż będzie je przyciągał ładunek dodatni zgromadzony na baloniku. Wobec tego kula A zostanie naelektryzowana dodatnio, a kula B – ujemnie.



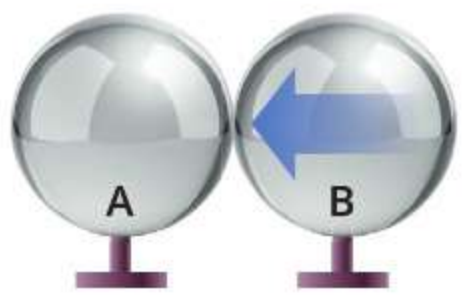
3. Sytuacja się nie zmieni, gdy nieco rozsuniemy kule.



4. Jeśli teraz oddalimy balonik od kul, otrzymamy dwie kule naelektryzowane ładunkami przeciwnych znaków. Ilość ładunku ujemnego zgromadzonego na jednej kuli będzie taka sama jak ilość ładunku dodatniego zgromadzonego na drugiej kuli. Każda z kul została naładowana trwale.



5. Gdy ponownie zetkniemy ze sobą kule, nadmiarowe elektrony z kuli B przemieszczą się na kulę A i obie kule przestaną być naładowane.

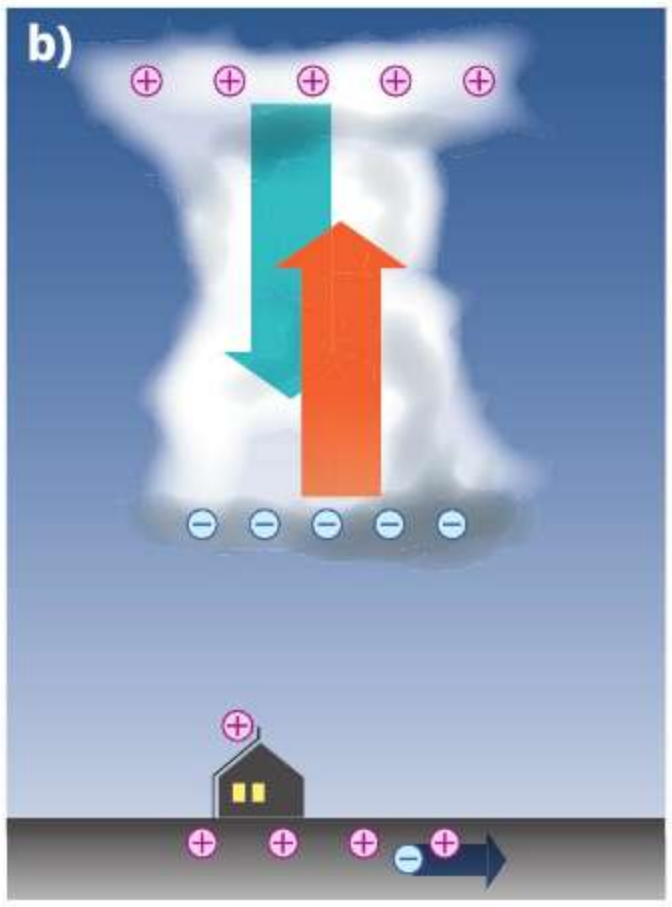


Dowiedz się więcej!

Jak powstaje burza i do czego służą piorunochrony?

Podczas upalnego dnia rozgrzane powietrze unosi się i jednocześnie się ochładza. Para wodna zawarta w tym powietrzu się skrapla – widzimy to w postaci chmury (ryc. a). Krople wody zamarzają i tworzą kryształki lodu. Ochłodzone powietrze ma większą gęstość niż ciepłe, więc zaczyna opadać. W chmurze ścierają się zatem dwa prądy powietrza: ciepłe, poruszające się w górę, oraz chłodne, poruszające się w dół. W wyniku wzajemnego pocierania kropel wody oraz kryształków lodu w chmurze następuje rozdzielenie ładunku elektrycznego dodatniego oraz ujemnego, tak że dolna część chmury zostanie naelektryzowana ujemnie. Powierzchnia Ziemi pod chmurą na skutek indukcji elektryzuje się dodatnio (choć normalnie jest naładowana ujemnie), bo ładunek ujemny z dolnej części chmury odsuwa elektrony znajdujące się przy gruncie (ryc. b).

Podczas wyładowania atmosferycznego następuje rozładowanie chmury, czyli przepływ ładunku między chmurą a gruntem (ryc. c). Piorun szuka najdogodniejszej i najkrótszej drogi w dół, dlatego bardzo często trafia w najwyższe obiekty znajdujące się w okolicy. Ten fakt wykorzystano przy konstruowaniu piorunochronu. Dokonał tego Benjamin Franklin (czyt. bendżamin franklin), amerykański uczony. Współczesne piorunochrony to przewodniki wystające ponad budynki. Najczęściej są to grube, metalowe przewody, których jeden koniec zakopuje się w gruncie. W najwyższym punkcie budynku znajduje się wówczas ładunek dodatni, tak jak na powierzchni Ziemi. Piorun (czyli przepływ elektronów) wybiera drogę przez piorunochron, bo elektrony w piorunochronie mogą się przemieszczać z łatwością.



Podsumujmy!

- **Przewodniki** to materiały, które przewodzą ładunek elektryczny.
- **Izolatory** nie przewodzą ładunku elektrycznego.
- Podczas **elektryzowania przez indukcję** elektrony przemieszczają się wewnątrz ciała.

Sprawdź się!

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

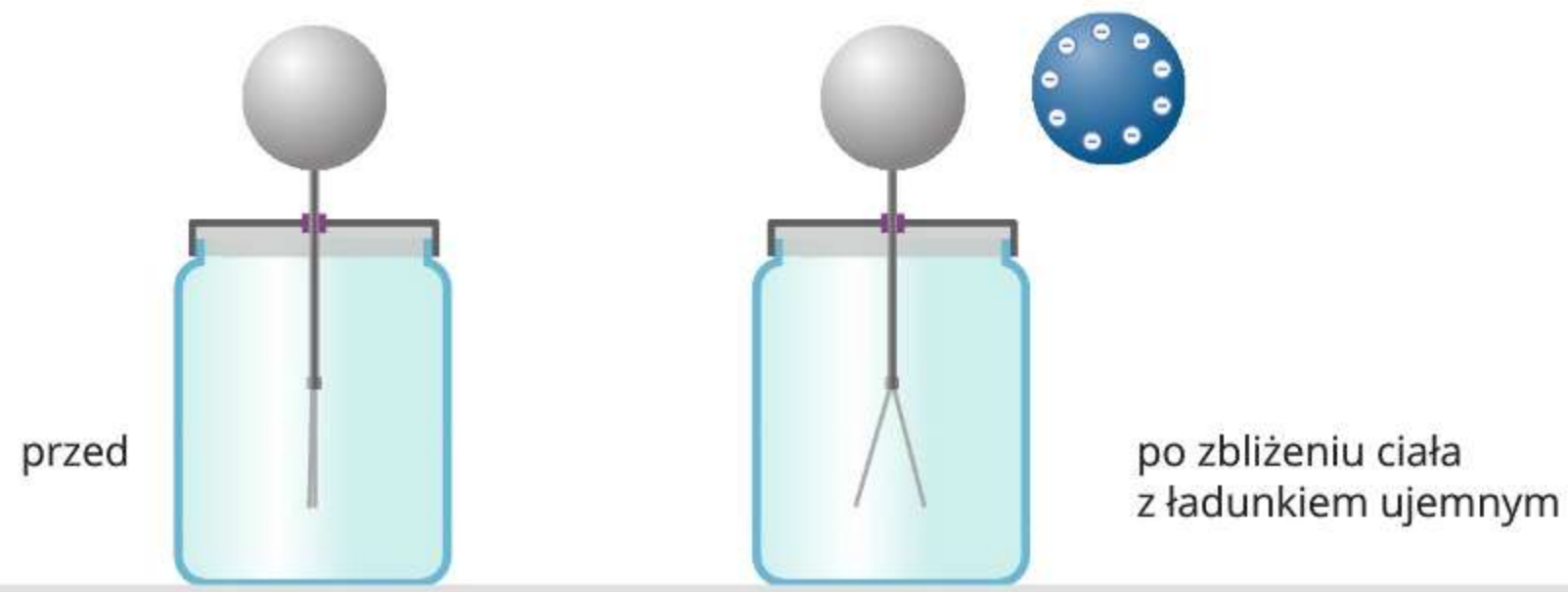
1.	Przykładem izolatora elektrycznego jest szkło.	**P**	**F**
2.	Dobrym przewodnikiem elektrycznym jest miedź.	**P**	**F**
3.	Elektrony w izolatorach mogą z łatwością przemieszczać się wewnątrz całej objętości materiału.	**P**	**F**
4.	Elektryzowanie przez indukcję następuje wskutek zbliżenia ciała naelektryzowanego do ciała obojętnego elektrycznie bez ich kontaktu.	**P**	**F**

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

Metale są dobrymi

A.	przewodnikami,	ponieważ elektrony mogą się w nich przemieszczać	**1.**	swobodnie.
B.	izolatorami,		**2.**	tylko w wyjątkowych warunkach.

3. Do elektroskopu obojętnego elektrycznie zbliżono ujemnie naładowaną piłeczkę pingpongową. Listki elektroskopu się rozchyliły. Określ, jak – dodatnio czy ujemnie – naelektryzuje się kulka elektroskopu, a jak jego listki.

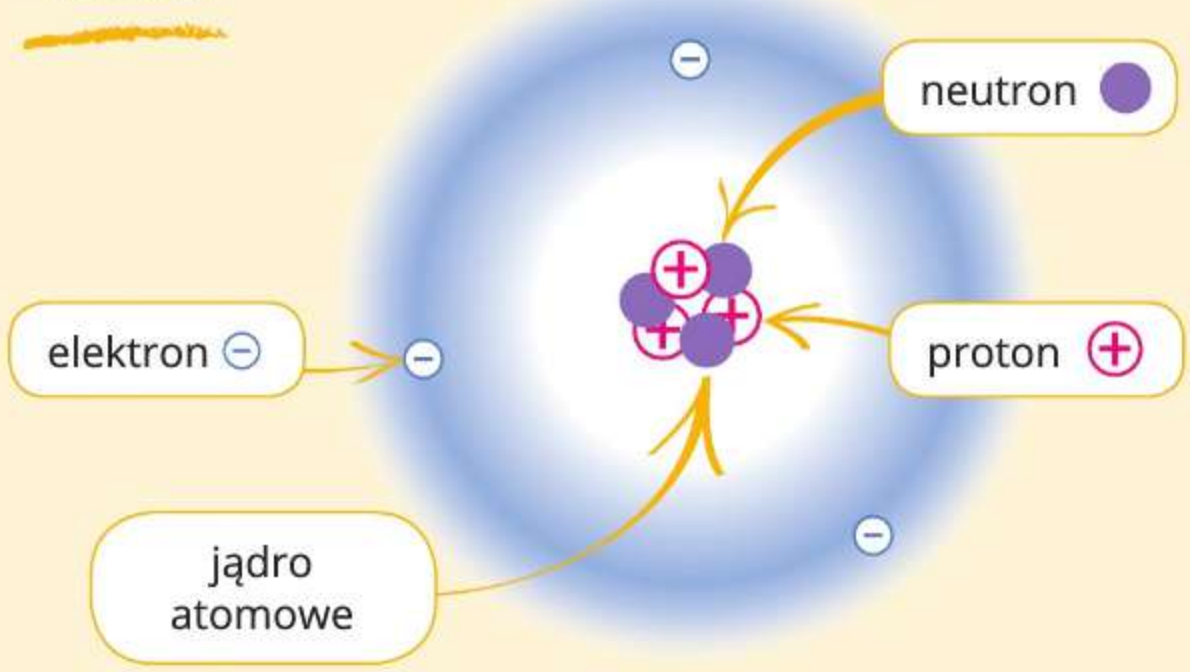


4. Na plastikowej podstawce zamocowano metalową kulę naelektryzowaną dodatnio. Następnie kulę tę rozładowano przez dotknięcie jej przewodnikiem trzymanym w ręce. Jaki znak ładunku mają cząstki, które przepłynęły podczas rozładowania kuli? Z którego ciała do którego przepłynęły te cząstki?

5. Informacje dotyczące burz mogą być dla nas bardzo ważne. Temat ten fascynuje wielu ludzi, którzy zajmują się badaniem takich zjawisk. Zastanów się, dlaczego i jak śledzi się burze. Znajdź informacje na temat systemów służących do wykrywania burz.

POWTÓRZENIE
Elektrostatyka

atom



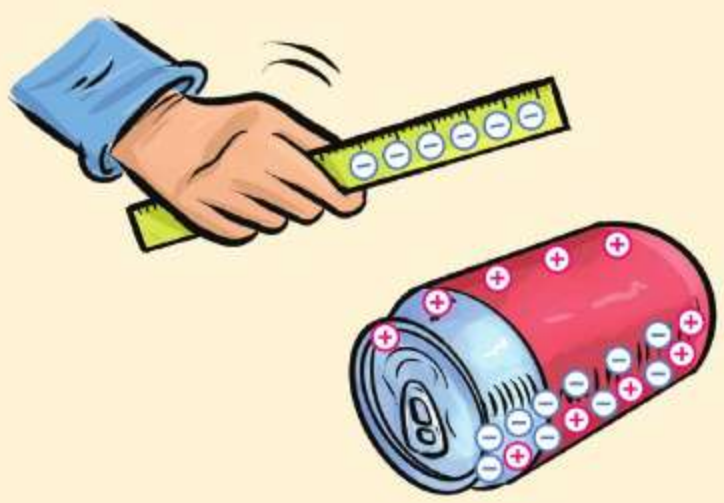
Ładunek elektryczny to właściwość materii. Ładunek może być dodatni lub ujemny.

Atom zbudowany jest z protonów o ładunku dodatnim, elektronów o ładunku ujemnym i neutronów nieposiadających ładunku.

Elektryzowanie

Elektryzowanie polega na przemieszczaniu się elektronów między ciałami.

elektryzowanie przez indukcję



elektryzowanie przez tarcie

elektryzowanie przez dotyk

Ładunek ciała

ładunek ciała

$$q = n \cdot e$$

ładunek elementarny

liczba dodatkowych (lub brakujących) elektronów

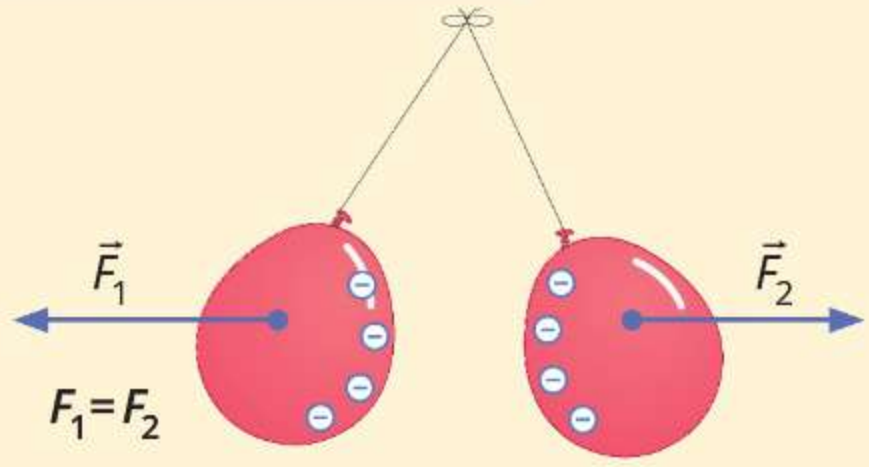
Ładunek elektryczny ciała to wielokrotność ładunku elementarnego.

Jednostką ładunku jest kulomb (C).

Oddziaływania elektryczne

Wartości sił wzajemnego oddziaływania między naelektryzowanymi ciałami są zawsze takie same.

Ciała naelektryzowane różnoimiennie się przyciągają.



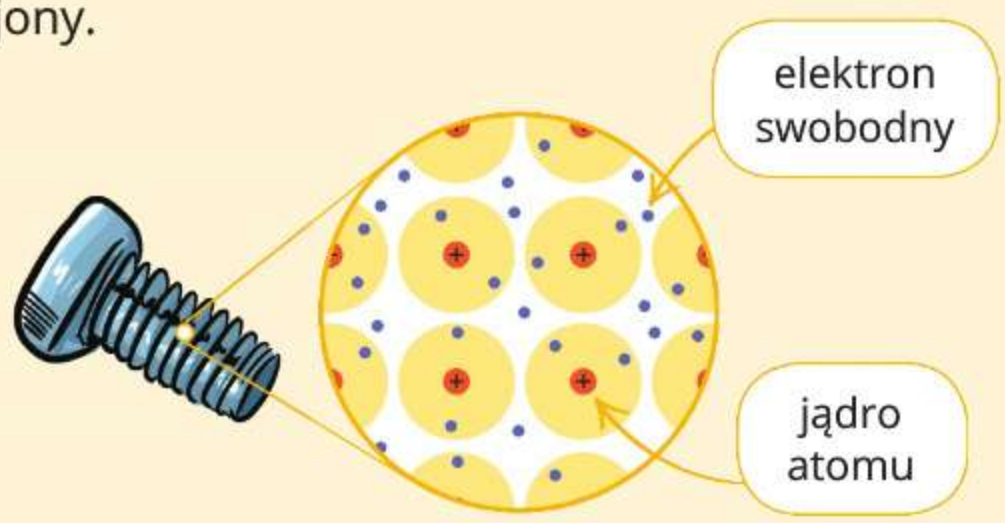
Ciała naelektryzowane jednoimiennie się odpychają.

Elektroskop

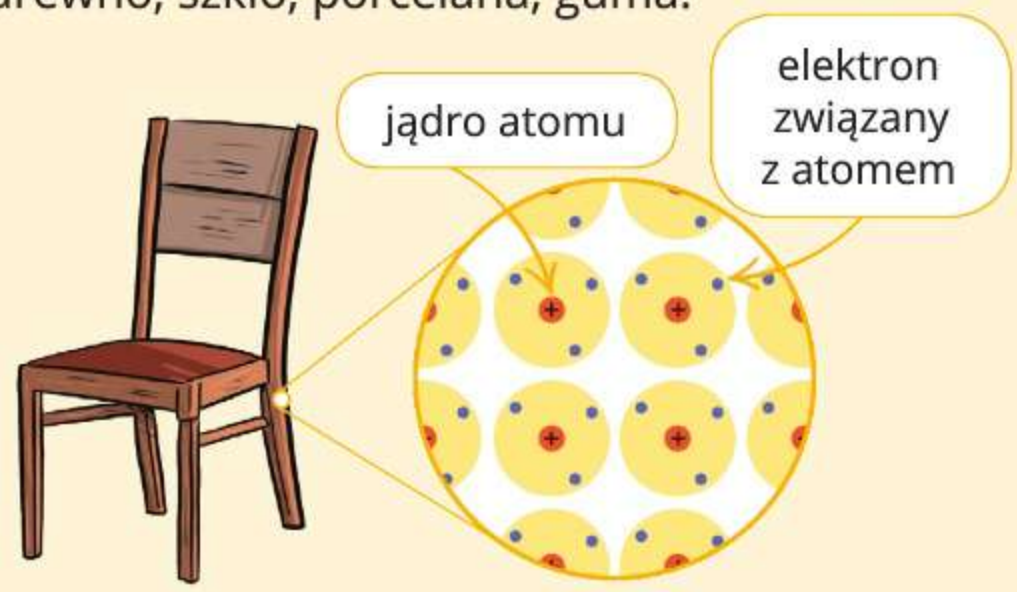
Elektroskop pozwala stwierdzić, czy przedmiot jest naelektryzowany.

Przewodniki i izolatory

W przewodnikach elektrony mogą się swobodnie przemieszczać. Do przewodników należą metale oraz ciecze i gazy zawierające jony.



W izolatorach elektrony są związane z atomami. Izolatorami są na przykład drewno, szkło, porcelana, guma.



Sprawdź się!

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

1.	Najmniejszą porcją ładunku elektrycznego jest 1 C.	**P**	**F**
2.	Ciała mające ładunek elektryczny tego samego znaku się odpychają.	**P**	**F**
3.	Podczas elektryzowania przez tarcie elektrony są przemieszczane między ciałami.	**P**	**F**
4.	Im większy jest iloczyn wartości ładunków zgromadzonych na oddziałujących ze sobą ciałach, tym mniejsza jest siła, jaką działają na siebie te ciała.	**P**	**F**
5.	W izolatorach elektrony są silniej związane z jądrami atomów niż w przewodnikach.	**P**	**F**

2. Skrawek papieru ma ładunek elektryczny $+3{,}2 \cdot 10^{-17}$ C.

Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Aby zobojętnić ten skrawek papieru, należy

A. odebrać od niego 200 protonów.

B. odebrać od niego 200 elektronów.

C. dostarczyć do niego 200 protonów.

D. dostarczyć do niego 200 elektronów.

3. Dwie identyczne kulki naelektryzowane takim samym ładunkiem umieszczono w odległości 10 cm od siebie. Następnie kulki te zbliżono do siebie na odległość dwa razy mniejszą.

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

Wartość sił wzajemnego oddziaływania między tymi kulkami

A.	zmieniła się,	ponieważ zależy ona od	**1.**	iloczynu wartości ładunków zgromadzonych na kulkach.
B.	nie zmieniła się,		**2.**	odległości między naelektryzowanymi ciałami.

4. Plastikowy długopis potarto papierem, na skutek czego na długopisie zgromadził się ładunek ujemny. Jakim ładunkiem został naelektryzowany papier?

5. Na metalowej kuli zgromadzono ładunek −0,064 μC. Po uziemieniu kula stała się obojętna elektrycznie. Oblicz, ile elektronów przepłynęło podczas jej zobojętniania.

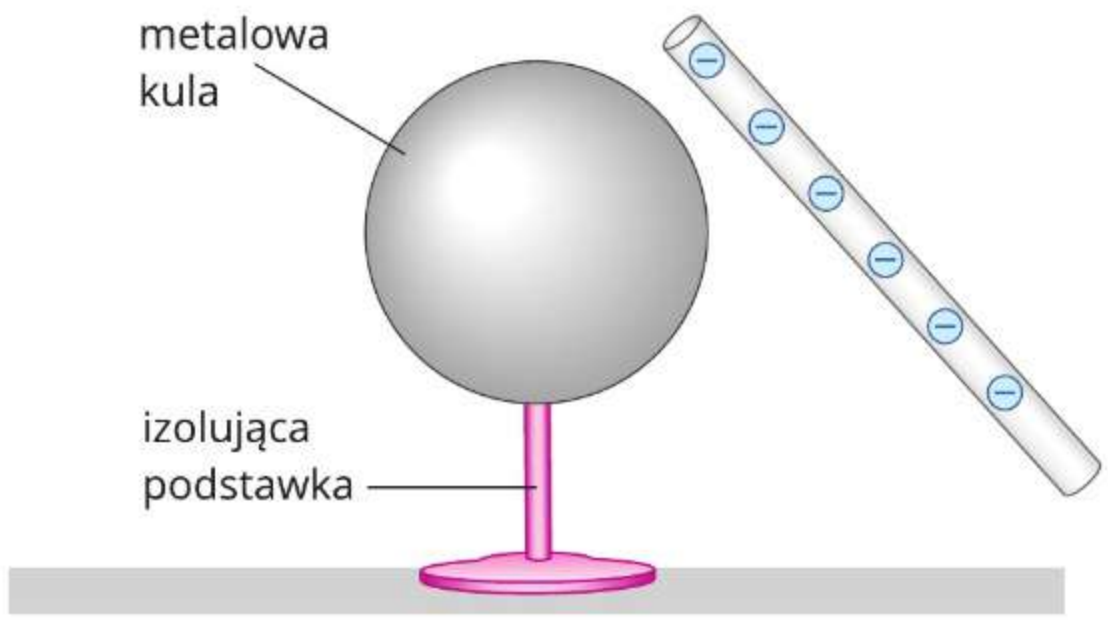
6. Dwie kule naelektryzowano ładunkami przeciwnych znaków. Na jednej z nich zgromadzono ładunek elektryczny +0,46 μC. Po zetknięciu kul łączny ładunek na obu kulach wynosił −0,25 μC. Jaki ładunek był zgromadzony na drugiej kuli przed zetknięciem obu kul?

7. Na balonie został zgromadzony ładunek $-2 \cdot 10^{-16}$ C, a na jedwabnej szmatce $+3 \cdot 10^{-16}$ C.

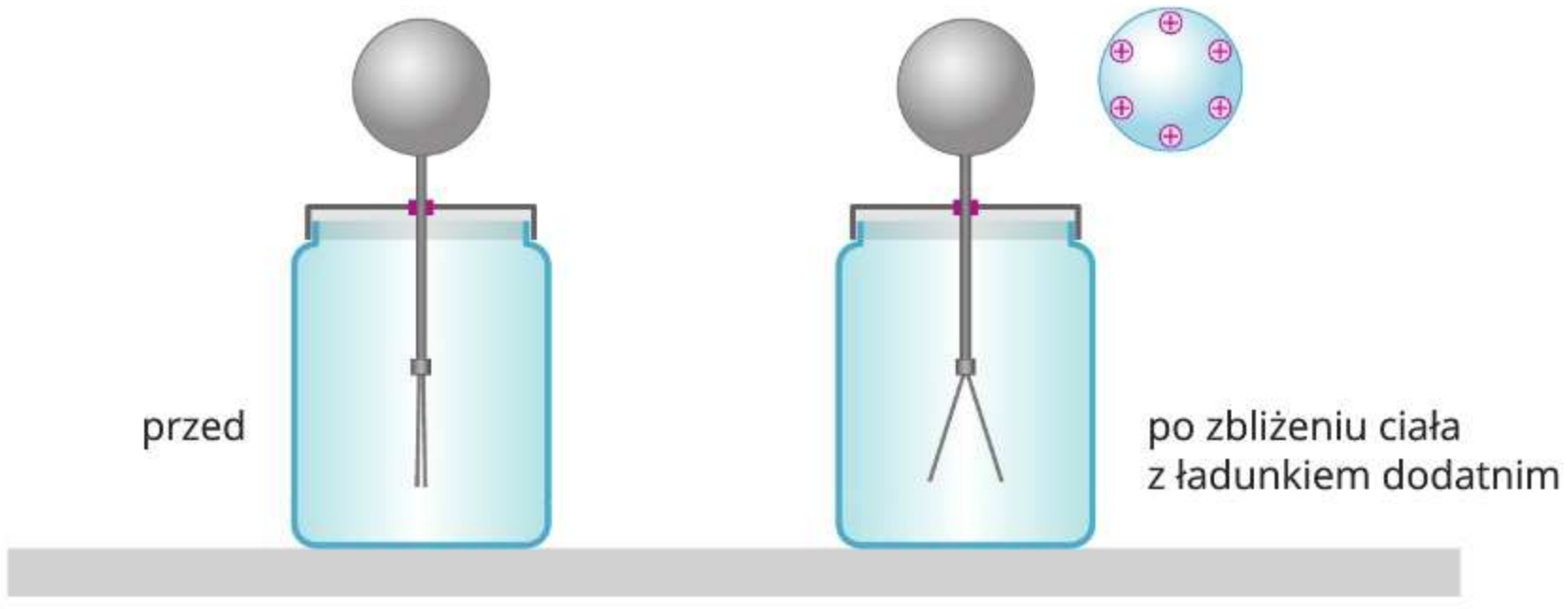
a. Czy ciała te przeciągają się elektrycznie, czy odpychają?

b. Czy wartość siły, jaką szmatka działa na balon, jest taka sama jak wartość siły, jaką balon działa na szmatkę?

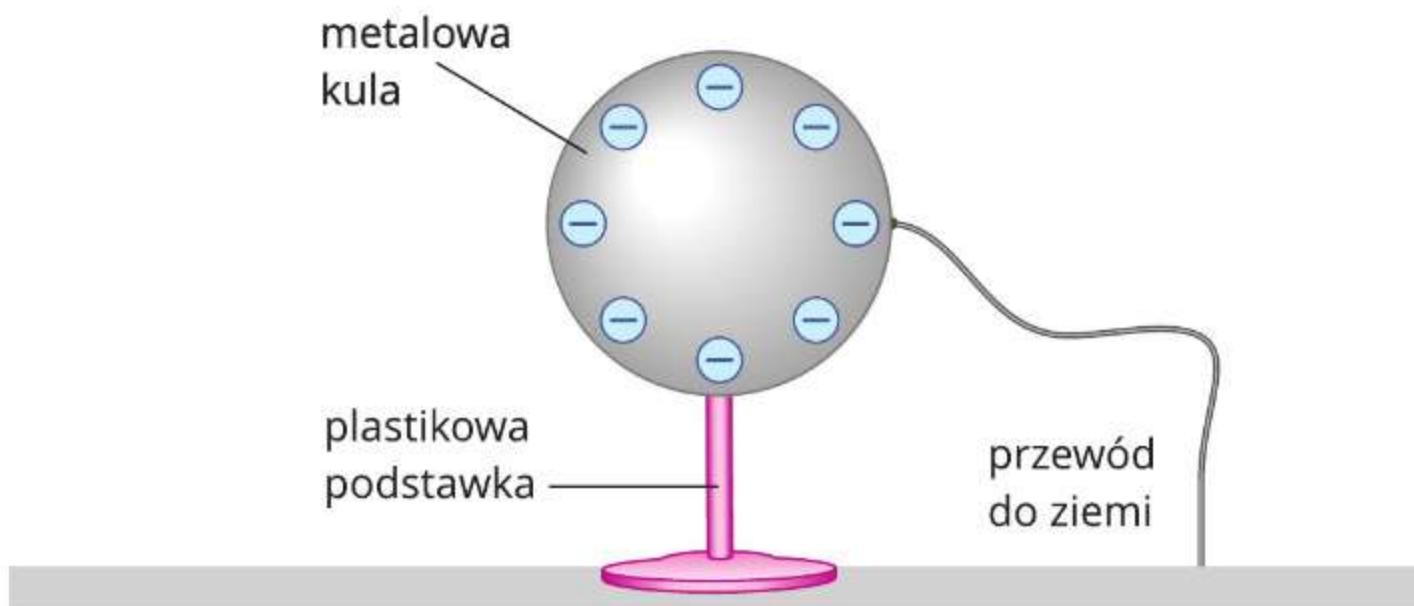
8. Obojętną elektrycznie metalową kulę zamocowano na izolującej podstawce. Do kuli zbliżono naładowaną ujemnie rurkę, ale bez dotykania nią kuli. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz na nim obszar kuli naelektryzowany dodatnio oraz obszar naelektryzowany ujemnie.



9. Do elektroskopu obojętnego elektrycznie zbliżono szklaną kulkę naładowaną dodatnio. Listki elektroskopu się rozchyliły. Jaki jest znak ładunku na kulce elektroskopu, a jaki na jego listkach?



10. Na plastikowej podstawce zamocowano naelektryzowaną ujemnie metalową kulę. Następnie tę kulę połączono przewodem z ziemią, co spowodowało zobojętnienie kuli. Jakie cząstki przepłynęły przez przewód podczas rozładowania kuli i w którą stronę?



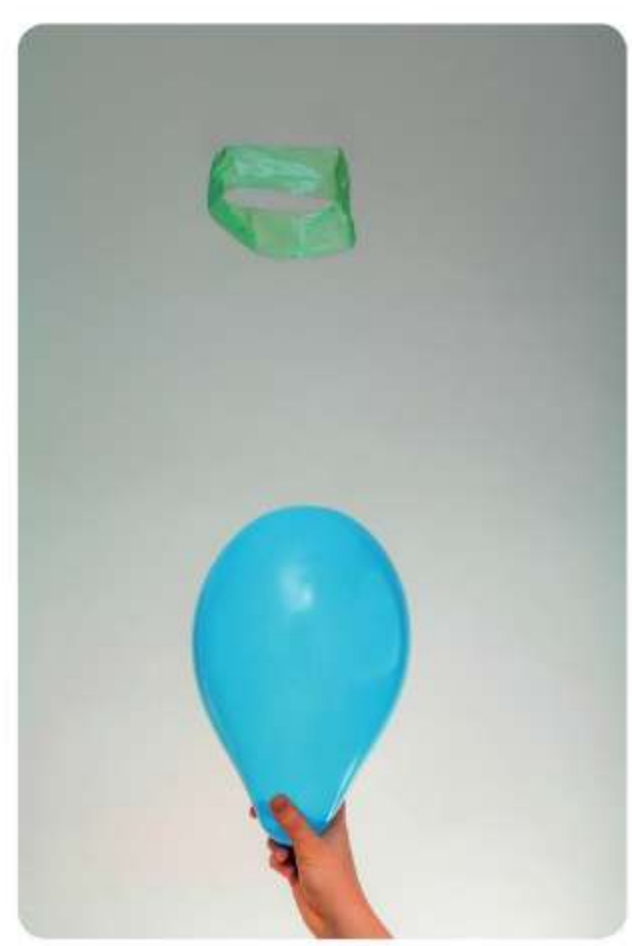
11. Podczas przejścia po dywanie człowiek naelektryzował się ładunkiem +0,2 μC, ale po dotknięciu metalowego kranu zobojętnił się elektrycznie. Oblicz, ile elektronów przepłynęło podczas jego rozładowania.

12. Metalowa tacka została naelektryzowana ładunkiem +2 μC. Tackę tę zetknięto z identyczną tacką, na której zgromadzony był ładunek +4 μC. Oblicz, ile wynosi łączny ładunek tacek oraz jaki ładunek będzie miała każda z nich po ich zetknięciu.

13. Zapisz w zeszycie, które z wymienionych niżej substancji należą do przewodników elektrycznych, a które do izolatorów.

cyna • wosk • grafit • ślina człowieka • aluminium • pot człowieka • silikon • jedwab • wełna

14. Nad balonikiem unosi się pierścień wycięty z foliowej torebki. Wyjaśnij, dlaczego pierścień lewituje. Spróbuj powtórzyć to doświadczenie samodzielnie.



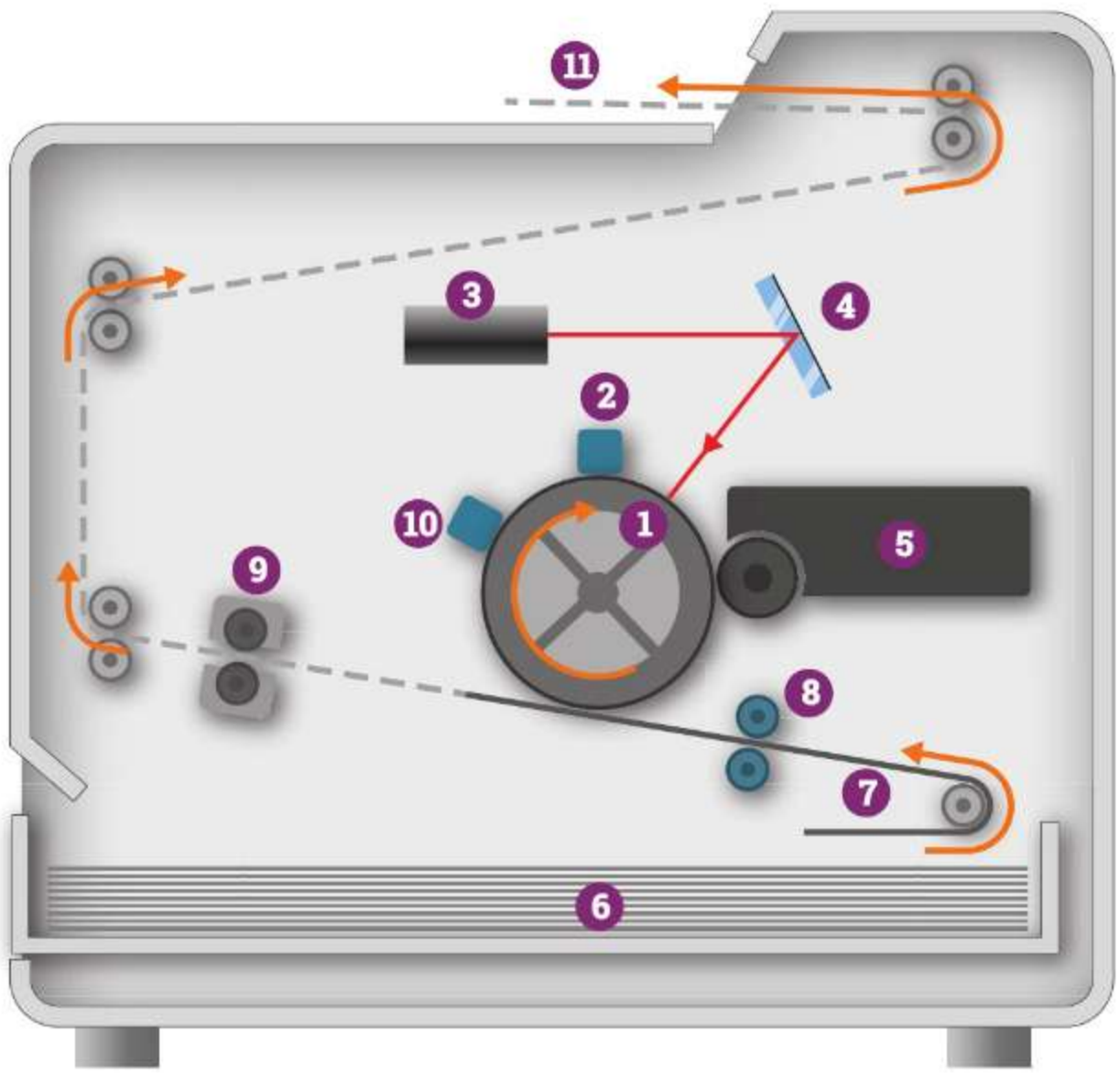
Tekst popularnonaukowy

Drukarka laserowa

Wynalezienie przemysłowej metody druku przez Johannesa Gutenberga było krokiem milowym w rozwoju ludzkości. Dzięki temu słowo pisane zaczęło docierać do coraz większej liczby ludzi, co zmieniło świat na zawsze. Coraz więcej ludzi miało możliwość czytać, uczyć się, rozwijać.

Technika drukarska zmieniała się na przestrzeni lat – od prasy drukarskiej, maszyny do pisania, aż po drukarki, których używa niemal każdy z nas. Jednym z typów obecnie używanych drukarek jest drukarka laserowa. W tym stosunkowo nowoczesnym urządzeniu wykorzystuje się – jak sugeruje nazwa – m.in. światło lasera.

Drukowanie odbywa się w kilku etapach. Powierzchnia bębna drukarki, pokryta specjalnym materiałem światłoczułym (1), zostaje naelektryzowana ujemnie (2). Układ soczewek i luster kieruje wiązkę lasera na obracający się bęben, linia po linii (3 i 4). Miejsca, które mają być pokryte obrazem, są naświetlane światłem lasera. Światło wybija elektrony z fragmentów powierzchni bębna, przez co obszary te stają się naelektryzowane dodatnio. Następnie bęben zostaje pokryty proszkiem ujemnie naelektryzowanego tonera (5), który pokrywa tylko miejsca naelektryzowane dodatnio, czyli te, na których powinien pojawić się obraz. Papier, na którym znajdzie się druk, jest przed kontaktem z bębnem elektryzowany dodatnio (8). Bęben obraca się, przesuwa papier, a toner zostaje przeniesiony z bębna na papier. Jest do niego przyciągany dzięki oddziaływaniu elektrycznemu między drobinami tonera a powierzchnią papieru. Po przeniesieniu tonera na papier powierzchnia bębna jest zobojętniana elektrycznie (10). Papier z tonerem umieszczonym w odpowiednich miejscach zostaje przesunięty między dwiema rolkami, które go dociskają i rozgrzewają, co utrwala proszek i wtapia go w papier (9). Do zadrukowania całej kartki papieru potrzeba kilku obrotów bębna.



1. bęben pokryty materiałem światłoczułym
2. układ elektryzujący bęben
3. laser
4. układ kierujący wiązkę światła
5. pojemnik z tonerem (proszkiem)
6. tacka z papierem
7. przesuwająca się kartka papieru
8. wałki elektryzujące papier
9. wałki grzejące
10. układ rozładowujący bęben
11. gotowe wydruki

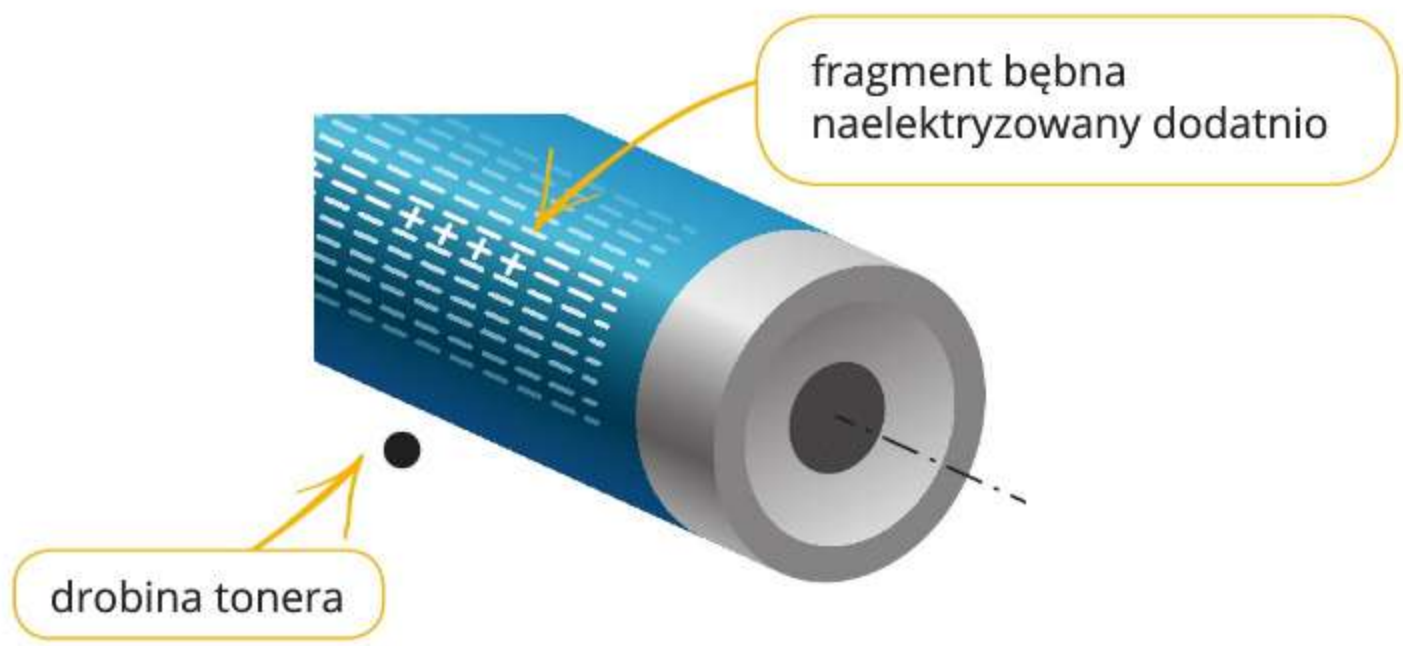
Sprawdź się!

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

1.	Podczas elektryzowania tonera w drukarce laserowej dostarcza się do niego elektrony.	**P**	**F**
2.	Naelektryzowane ujemnie drobiny tonera będą przyciągane przez naelektryzowaną ujemnie powierzchnię wałka drukarki.	**P**	**F**
3.	Papier przed naniesieniem drobin tonera z bębna ma nadmiar elektronów.	**P**	**F**
4.	Światło laserowe powoduje miejscowe usuwanie elektronów z bębna.	**P**	**F**

2. Wyjaśnij, dlaczego drobiny tonera powinny być naelektryzowane ujemnie, jeśli wiemy, że fragmenty bębna są naelektryzowane dodatnio.

3. Przerysuj do zeszytu rysunek i uzupełnij go o siły oddziaływania powierzchni bębna i drobiny tonera podczas jej ruchu w kierunku wałka.



4. Niewielki obszar bębna drukarki laserowej był naelektryzowany ładunkiem −0,25 nC. Na skutek oświetlania go światłem lasera został naładowany ładunkiem +0,25 nC. Oblicz, ile elektronów opuściło ten obszar bębna podczas oświetlania.

5. Niewielki obszar bębna był naelektryzowany ładunkiem +0,6 nC. W pewnej chwili na jego powierzchni pojawiły się drobiny tonera o łącznym ładunku −0,3 nC. Jaki jest teraz ładunek tego obszaru wałka pokrytego tonerem?

DZIAŁ IV

PRĄD ELEKTRYCZNY

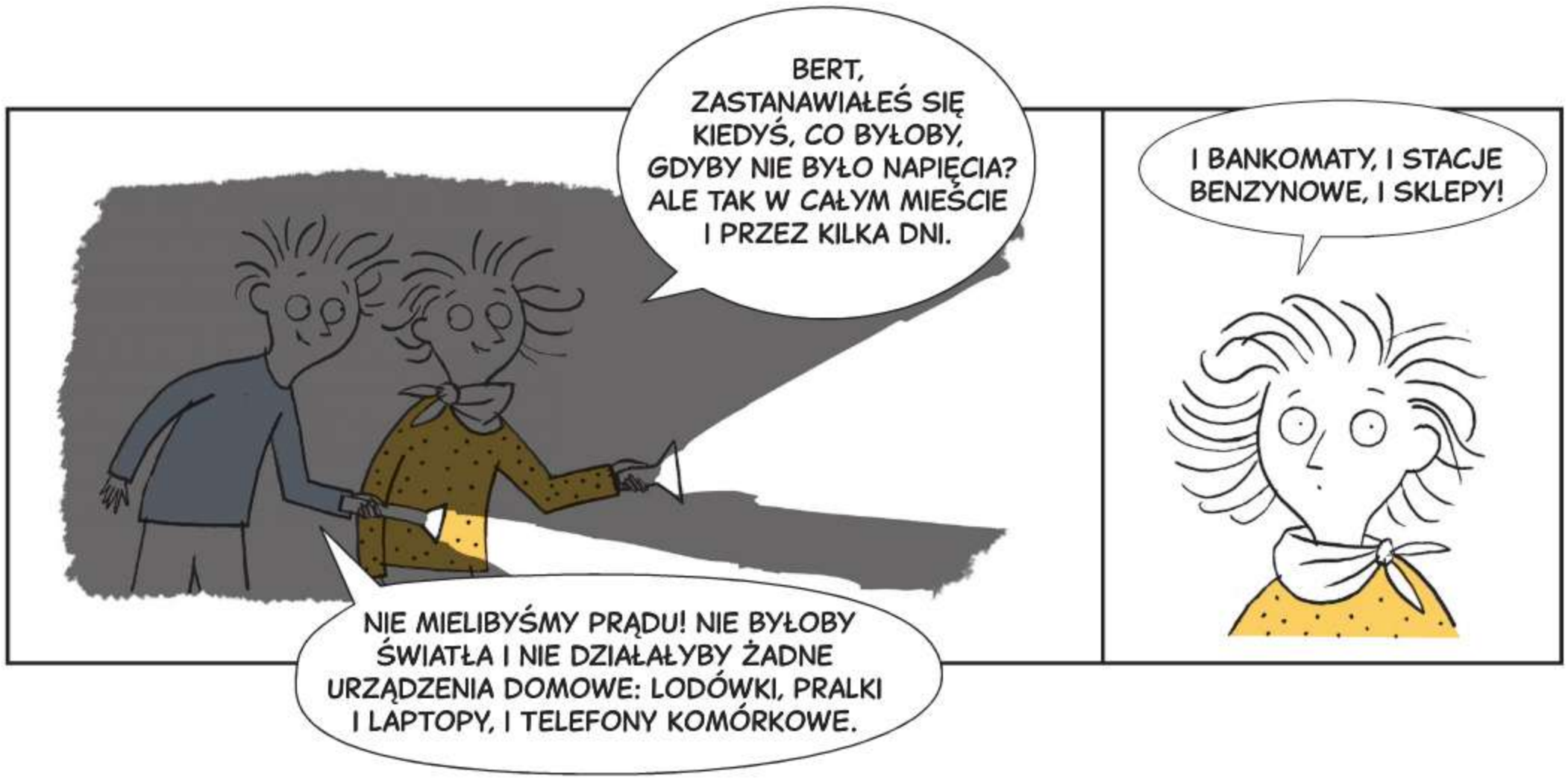
Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

Czym jest prąd elektryczny?

Co to jest kilowatogodzina?

14. Napięcie elektryczne

- Co nazywamy napięciem elektrycznym?
- Co jest jednostką napięcia elektrycznego?



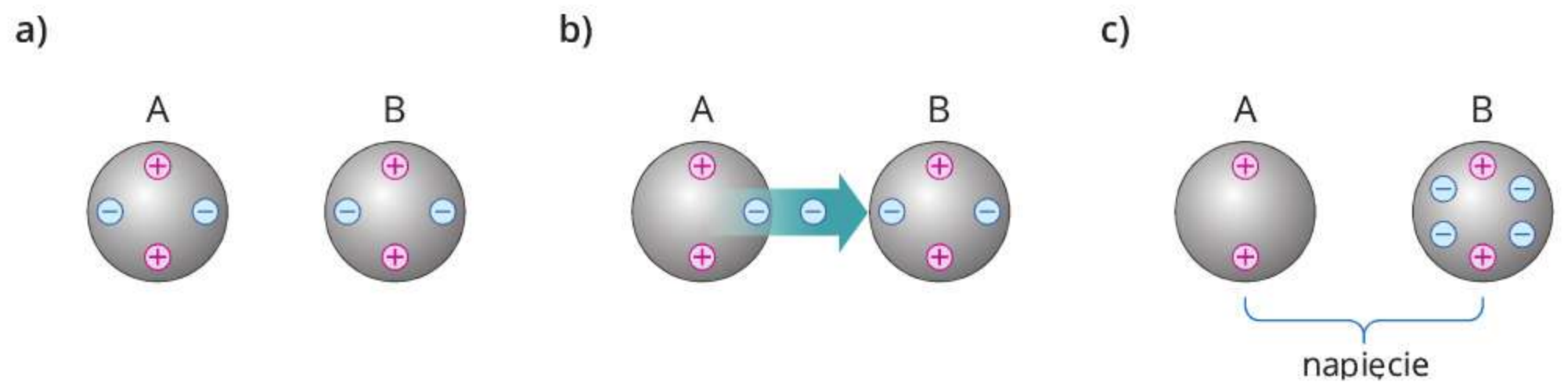
Wszystkie urządzenia elektryczne wymagają zasilania, czyli podłączenia do źródła napięcia elektrycznego, aby mogły działać. Źródłem napięcia może być bateria lub akumulator. Większość urządzeń codziennego użytku, np. żarówki, czajniki elektryczne, suszarki, podłączamy do gniazd elektrycznych, które także są źródłami napięcia elektrycznego.

a) b) c)

Ryc. 14.1. Urządzenia elektryczne i źródła ich zasilania: telefon komórkowy – akumulator (a), zabawka dziecięca – baterie (b), czajnik – sieć elektryczna (c)

Napięcie elektryczne powstaje między dwoma obszarami o różnym ładunku elektrycznym. Aby doprowadzić do sytuacji, w której w jednym obszarze jest nadmiar elektronów, a w innym ich niedobór, należy wykonać pracę nad rozdzieleniem ładunków.

Napięcie elektryczne powstaje na przykład podczas elektryzowania ciał (ryc. 14.2.). Na elektrony przenoszone z kulki A (np. metalowej kulki elektroskopu) na kulkę B działają: siła przyciągania pochodząca od kulki A oraz siła odpychania pochodząca od kulki B. Aby przemieścić te elektrony, należy zadziałać na nie siłą, która zrównoważy wypadkową sił oddziaływania elektrycznego kulek A i B na elektrony. Ostatecznie w jednym miejscu (kulka B) będziemy mieć nadmiar ładunku ujemnego (elektronów), a w drugim (kulka A) − jego niedobór. Mówimy, że między tymi miejscami powstaje napięcie elektryczne, a naładowane kulki są jego źródłem. Praca wykonana przez siłę nad elektronami podczas ich przemieszczania prowadzi do gromadzenia energii elektrycznej w źródle napięcia. I dlatego jest ono nazywane również źródłem energii elektrycznej. Zgromadzona energia jest równa pracy wykonanej nad przeniesionym ładunkiem elektrycznym. Elektrony powracające do kulki A podczas rozładowania (np. wtedy, gdy połączymy obie kulki metalowym przewodem) wykonują pracę kosztem zgromadzonej w źródle energii elektrycznej.

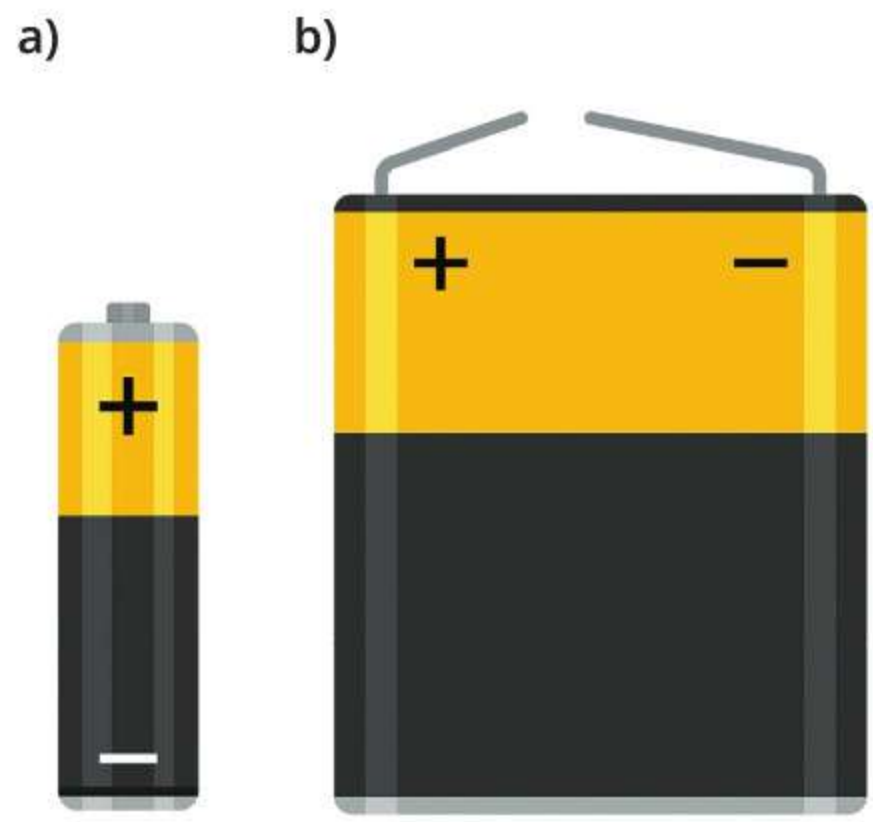


Ryc. 14.2. Powstawanie napięcia pomiędzy kulkami A i B: stan równowagi ładunków – brak napięcia (a); przemieszczanie elektronów między kulkami, wymagające wykonania pracy (b); napięcie powstałe między kulkami A i B (c)

W akumulatorach i bateriach, czyli w tzw. ogniwach elektrochemicznych, praca niezbędna do przemieszczenia ładunków jest wykonywana kosztem energii chemicznej. W wyniku reakcji chemicznych elektrony i jony są przemieszczane z jednego obszaru ogniwa do drugiego. Między tymi obszarami powstaje napięcie elektryczne i ogniwo staje się źródłem energii elektrycznej. Podczas pracy ogniwa (czyli po podłączeniu do niego urządzenia elektrycznego) następuje rozładowanie takiego źródła napięcia. To dlatego akumulatory wymagają ładowania, a baterie − wymiany na nowe.

Napięcie elektryczne w gniazdach elektrycznych jest z kolei wytwarzane w elektrowniach (np. wiatrowych, wodnych czy węglowych). Do przemieszczania elektronów wykorzystywane są w nich energia mechaniczna lub ciepło.

Tę część źródła napięcia, w której jest niedobór elektronów, nazywamy biegunem dodatnim i oznaczamy symbolem „+”, a tę, w której jest ich nadmiar, nazywamy biegunem ujemnym i oznaczamy symbolem „–”.



Ryc. 14.3. Na bateriach znajdują się oznaczenia obu biegunów. Bateria R6, oznaczana także symbolem AA (a), i bateria 3R12, tzw. płaska (b).

Napięcie jest cechą źródła energii elektrycznej. Napięcie elektryczne oznaczamy symbolem *U*. Jeżeli energię zmagazynowaną w źródle podczas przemieszczenia ładunku *q* oznaczymy symbolem *E*, to zależność pozwalającą obliczyć napięcie elektryczne zapiszemy następująco:

$$U = \frac{E}{q}$$

Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt: $1\ \mathrm{V} = \frac{1\ \mathrm{J}}{1\ \mathrm{C}}$.

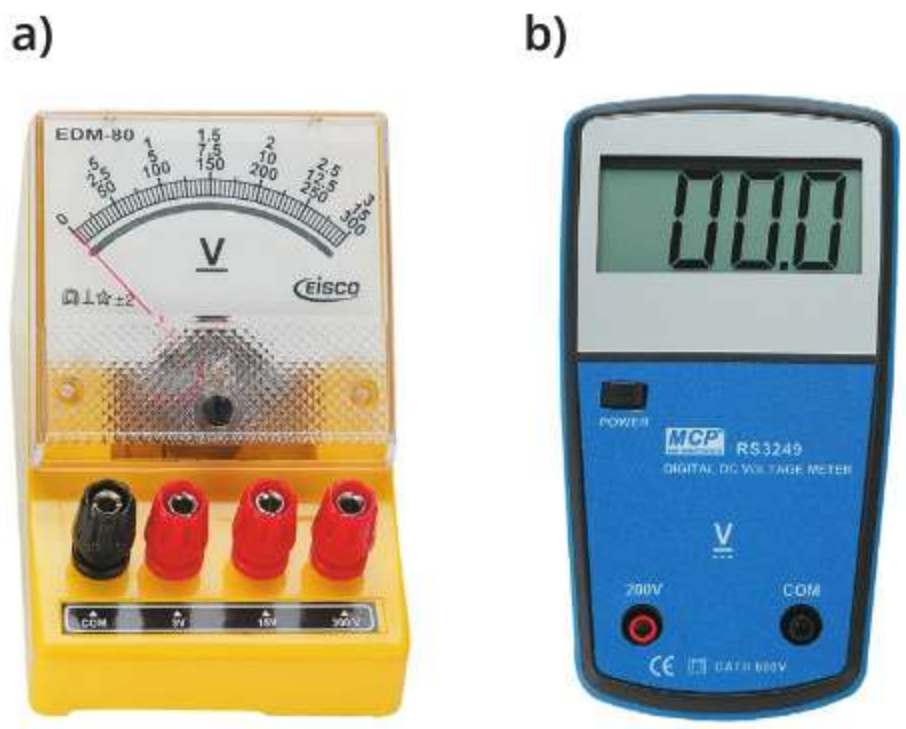
Do zapisywania wysokich napięć, powstających na przykład podczas elektryzowania chmur, które prowadzi do wyładowań atmosferycznych, wykorzystujemy megawolty MV ($1\ \mathrm{MV} = 10^6\ \mathrm{V} = 1\ 000\ 000\ \mathrm{V}$). Miliwoltów mV ($1\ \mathrm{mV} = 10^{-3}\ \mathrm{V} = 0{,}001\ \mathrm{V}$) używamy z kolei do zapisywania niewielkich napięć, np. rejestrowanych podczas elektrokardiografii (EKG) i towarzyszących skurczom mięśnia sercowego człowieka.

Gdy urządzenie elektryczne podłączymy do źródła napięcia, to zacznie ono działać, np. żarówka się zaświeci. Oznacza to, że zbudowaliśmy obwód elektryczny. Najprostszy obwód elektryczny składa się ze źródła energii elektrycznej (czyli źródła napięcia), odbiornika tej energii (czyli urządzenia elektrycznego) oraz przewodów, które łączą ze sobą elementy obwodu. Większość domowych odbiorników energii jest zakończona przewodami z wtyczką, którą łączymy z gniazdem domowej instalacji elektrycznej. Jeśli chcemy jednak ze źródłem napięcia połączyć żarówkę w oprawce ze szkolnego zestawu do doświadczeń, należy każde z jej wyprowadzeń połączyć przewodem z innym biegunem źródła (ryc. 14.4.). Przy takim połączeniu napięcie na żarówce (odbiorniku) jest równe napięciu źródła, z którym jest połączona.

Odbiorniki prądu elektrycznego powinny być zasilane z właściwych dla nich źródeł napięcia. Na przykład nie należy podłączać żarówki przeznaczonej do napięcia 4,2 V do baterii o napięciu 9 V, ponieważ ulegnie ona przepaleniu. Do pomiaru napięcia służy woltomierz (ryc. 14.5.).

Ryc. 14.4. Obwód elektryczny składający się z żarówki w podstawce zakończonej dwoma wyprowadzeniami (połączonymi z żarówką), baterii (źródła napięcia) oraz przewodów

Ryc. 14.5. Woltomierz analogowy (a) i woltomierz cyfrowy (b)



Każdy woltomierz podłącza się do obwodu elektrycznego dwoma przewodami, zawsze równolegle do źródła napięcia bądź odbiornika. Oznacza to, że za każdym razem jeden z przewodów woltomierza podłączamy do jednego bieguna źródła napięcia bądź wyprowadzenia odbiornika, a drugi – do drugiego bieguna źródła bądź drugiego wyprowadzenia odbiornika. O takiej sytuacji mówimy, że mierzymy napięcie na źródle (ryc. 14.6.a) bądź na odbiorniku (ryc. 14.6.b).

a) b)

Ryc. 14.6. Woltomierz podłączony do źródła napięcia (a) i woltomierz podłączony do odbiornika energii elektrycznej (b)

Zobacz, jak to zrobić!

Mierzymy napięcie na źródle

Aby zmierzyć napięcie między biegunami źródła, woltomierz należy podłączyć tak, że dodatni biegun źródła łączymy z wejściem woltomierza oznaczonym symbolem „+" (zazwyczaj w kolorze czerwonym), a ujemny biegun – z wejściem woltomierza oznaczonym symbolem „–" lub „COM" (zazwyczaj w kolorze czarnym).

Na fotografii przedstawiono pomiar napięcia baterii za pomocą woltomierza cyfrowego. Woltomierz taki wyświetla wynik w postaci konkretnej liczby. Najczęściej producent urządzenia podaje, jaka jest jego dokładność. Jeżeli nie, to przyjmujemy, że niepewność pomiarowa jest równa najmniejszej różnicy wskazań możliwej do odczytania z wyświetlacza woltomierza. W przypadku pomiaru przedstawionego na ilustracji najmniejsza możliwa różnica wskazań woltomierza jest równa 0,1 V, wobec tego wynik pomiaru zapisany wraz z niepewnością pomiarową jest równy: $U = 4{,}5\ \text{V} \pm 0{,}1\ \text{V}$.

Rozglądaj się wokół!

Różne rodzaje źródeł napięcia

Na co dzień do zasilania urządzeń elektrycznych wykorzystujemy wiele źródeł napięcia. Energię elektryczną uzyskuje się w nich w różny sposób.

Akumulator samochodowy o napięciu 12 V jest niezbędnym elementem każdego samochodu. Energia elektryczna zgromadzona w takim akumulatorze pochodzi z reakcji chemicznych zachodzących podczas jego ładowania.

Bateria AA, czyli tzw. paluszek, jest źródłem napięcia o wartości 1,5 V. Zgromadzona w baterii energia elektryczna pochodzi z zachodzących w niej reakcji chemicznych. Baterie AA służą na przykład do zasilania pilotów zdalnego sterowania.

Panel fotowoltaiczny do ładowania telefonu komórkowego jest źródłem napięcia o wartości 5 V. Energia elektryczna powstaje w nim z przekształcenia energii słonecznej.

Turbina wiatrowa to źródło napięcia o wartości 690 V (w większości elektrowni wiatrowych w Polsce). Energia elektryczna w tym przypadku powstaje z przekształcenia energii mechanicznej obracających się łopat turbiny.

Zbadaj to sam!

Budujemy źródło napięcia

1. Do doświadczenia będą potrzebne: soczysty owoc (np. cytryna, pomarańcza, jabłko), dwie monety wykonane z różnych metali (np. 5 gr i 50 gr), dwa przewody z krokodylkami (rodzaj mocowania przewodu), woltomierz.
2. Wbij monety w owoc. Do każdej z nich przymocuj przewód za pomocą krokodylka.
3. Drugie końce przewodów podłącz do woltomierza.
4. Odczytaj napięcie mierzone przez woltomierz.
5. Zapisz w zeszycie wynik pomiaru oraz spostrzeżenia.

Zobacz, jak to zrobić!

W akumulatorze zgromadzono energię 30 J dzięki rozdzieleniu ładunku 20 C. Obliczmy wytworzone w ten sposób napięcie.

Dane: $q = 20$ C, $E = 30$ J **Szukane:** U

Rozwiązanie:

Dane podstawiamy do wzoru na napięcie i otrzymujemy:

$$U = \frac{E}{q} = \frac{30\ \text{J}}{20\ \text{C}} = 1{,}5\ \text{V}$$

Odpowiedź: Wytworzone napięcie jest równe 1,5 V.

Podsumujmy!

- **Napięcie elektryczne *U*** jest cechą źródła energii elektrycznej. Jednostką napięcia jest wolt (V).
- Wzór łączący napięcie, energię elektryczną oraz ładunek ma postać:

$$U = \frac{E}{q}$$

- Do pomiaru napięcia służy **woltomierz**. Woltomierz podłączamy równolegle do źródła napięcia lub odbiornika energii elektrycznej.

Sprawdź się!

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

1.	Jednostką napięcia elektrycznego jest 1 C.	**P**	**F**
2.	Każdy obwód elektryczny zawiera źródło napięcia, odbiornik i przewody elektryczne łączące wszystkie elementy.	**P**	**F**
3.	Napięcie elektryczne nie powstaje podczas elektryzowania ciała.	**P**	**F**
4.	Aby urządzenie elektryczne działało zgodnie z przeznaczeniem, należy je podłączyć do odpowiedniego źródła napięcia.	**P**	**F**

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

Im większą pracę wykonamy podczas przenoszenia ładunku w źródle, tym napięcie między jego biegunami będzie

A.	mniejsze,	ponieważ energia w nim zmagazynowana	**1.**	zmaleje.
B.	większe,		**2.**	wzrośnie.

3. W akumulatorze zgromadzono energię 480 J dzięki rozdzieleniu ładunku 40 C. Oblicz wytworzone w ten sposób napięcie.

4. Połącz w pary – do nazwy źródła napięcia dobierz odpowiednią wartość tego napięcia. Niezbędne informacje wyszukaj w internecie.

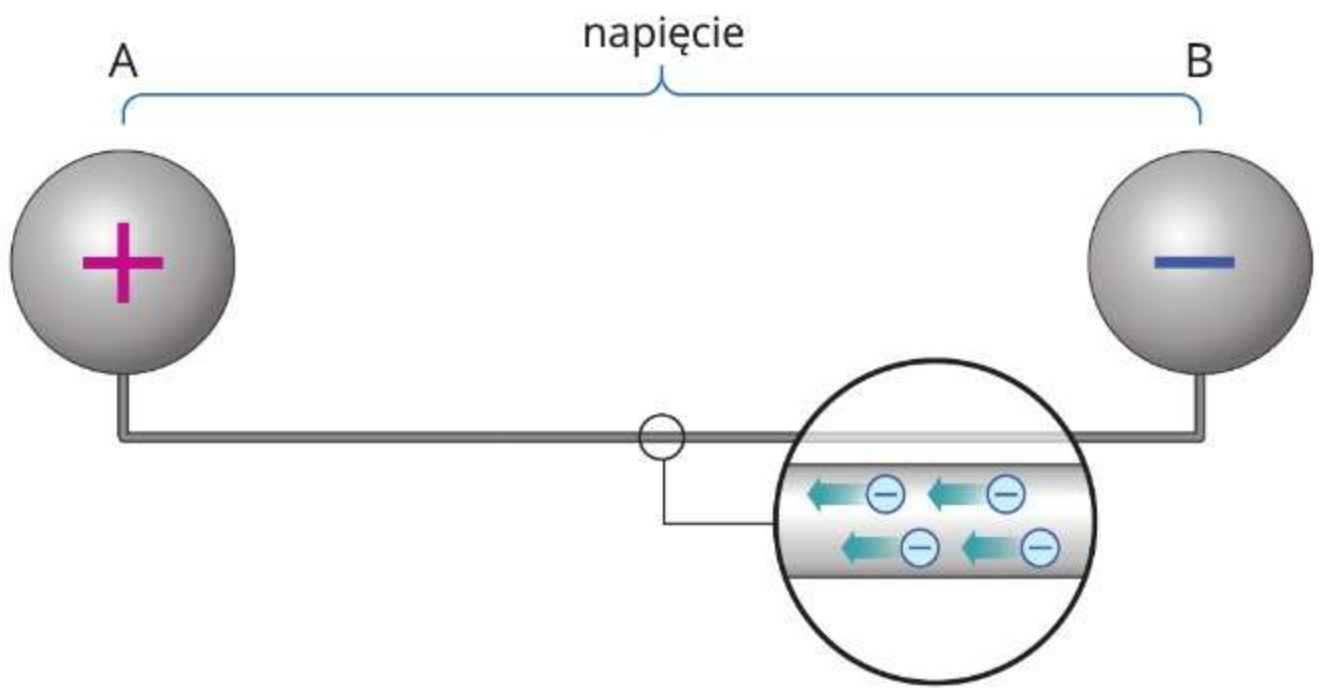
bateria samochodu elektrycznego • iskrownik zapalniczki piezoelektrycznej • sum elektryczny • przewód sieci trakcyjnej tramwaju • 300 V • 400 V • 600 V • 10 000 V

5. Na ilustracji przedstawiono woltomierz podczas pomiaru napięcia. Zakres pomiarowy przyrządu to 0–15 V. Podaj wynik pomiaru wraz z niepewnością pomiarową.

15. Natężenie prądu elektrycznego

- Co nazywamy natężeniem prądu elektrycznego?
- Jaka jest jednostka natężenia prądu elektrycznego?

Jeśli dwie metalowe kulki naelektryzowane ładunkami przeciwnych znaków (np. takie jak przedstawione na ryc. 14.2.c) połączymy ze sobą za pomocą drutu, to elektrony z kulki naładowanej ujemnie przepłyną na kulkę naładowaną dodatnio (ryc. 15.1.). Podobnie jeśli do źródła napięcia podłączymy odbiornik, nadmiar elektronów zgromadzony na biegunie ujemnym źródła będzie przesuwany w wyniku oddziaływania elektrycznego poprzez przewody i odbiornik w stronę bieguna dodatniego, gdzie jest ich niedobór. Mówimy, że w obwodzie elektrycznym pod wpływem napięcia płynie prąd elektryczny.



Ryc. 15.1. Przepływ prądu elektrycznego przez przewód łączący dwie metalowe kule

Prąd może płynąć przez materiały, w których znajdują się elektrony swobodne (np. metale) lub elektrony i jony (np. ciecze i gazy). Z chwilą podłączenia przewodnika do źródła napięcia nośniki ładunku, które dotychczas poruszały się chaotycznie*, zaczynają się w nim wszystkie jednocześnie

* Informacje o budowie wewnętrznej przewodników znajdują się w rozdziale 13.

poruszać w sposób uporządkowany. Prąd elektryczny to uporządkowany ruch cząstek, które mają ładunek elektryczny. W metalach tymi cząstkami są elektrony, a w gazach lub cieczach – zawarte w nich jony oraz elektrony.

Prąd elektryczny to uporządkowany ruch elektronów lub jonów, wywołany przez źródło napięcia.

Prąd płynie w obwodzie elektrycznym tylko wówczas, gdy jest on zamknięty, czyli gdy nie ma w nim przerw, a przewody łączą odbiornik energii elektrycznej z biegunami źródła. Przyjęto umownie, że prąd płynie od bieguna dodatniego do bieguna ujemnego źródła napięcia. Tak właśnie poruszają się jony dodatnie podczas przepływu prądu w gazach lub cieczach. Natomiast elektrony, które są odpowiedzialne za przepływ prądu w metalach, poruszają się w stronę przeciwną – od bieguna ujemnego do bieguna dodatniego (ryc. 15.2.). Ze względów historycznych przyjęto jednak, że kierunek przepływu prądu jest zawsze od „+" do „–", niezależnie od tego, jakie cząstki są odpowiedzialne za jego przepływ.

Ryc. 15.2. Kierunek ruchu elektronów i umowny kierunek przepływu prądu elektrycznego

Słowa „natężenie" używamy na przykład, gdy mówimy, że natężenie ruchu drogowego jest duże lub małe. Na ilustracji 15.3. przedstawiono fragment drogi z przejeżdżającymi samochodami. Natężenie ruchu po lewej stronie jest większe niż po prawej. Oznacza to, że w tym samym czasie po lewej stronie przejeżdża więcej aut niż po prawej.

Ryc. 15.3. Fragment tej samej drogi z różnym natężeniem ruchu

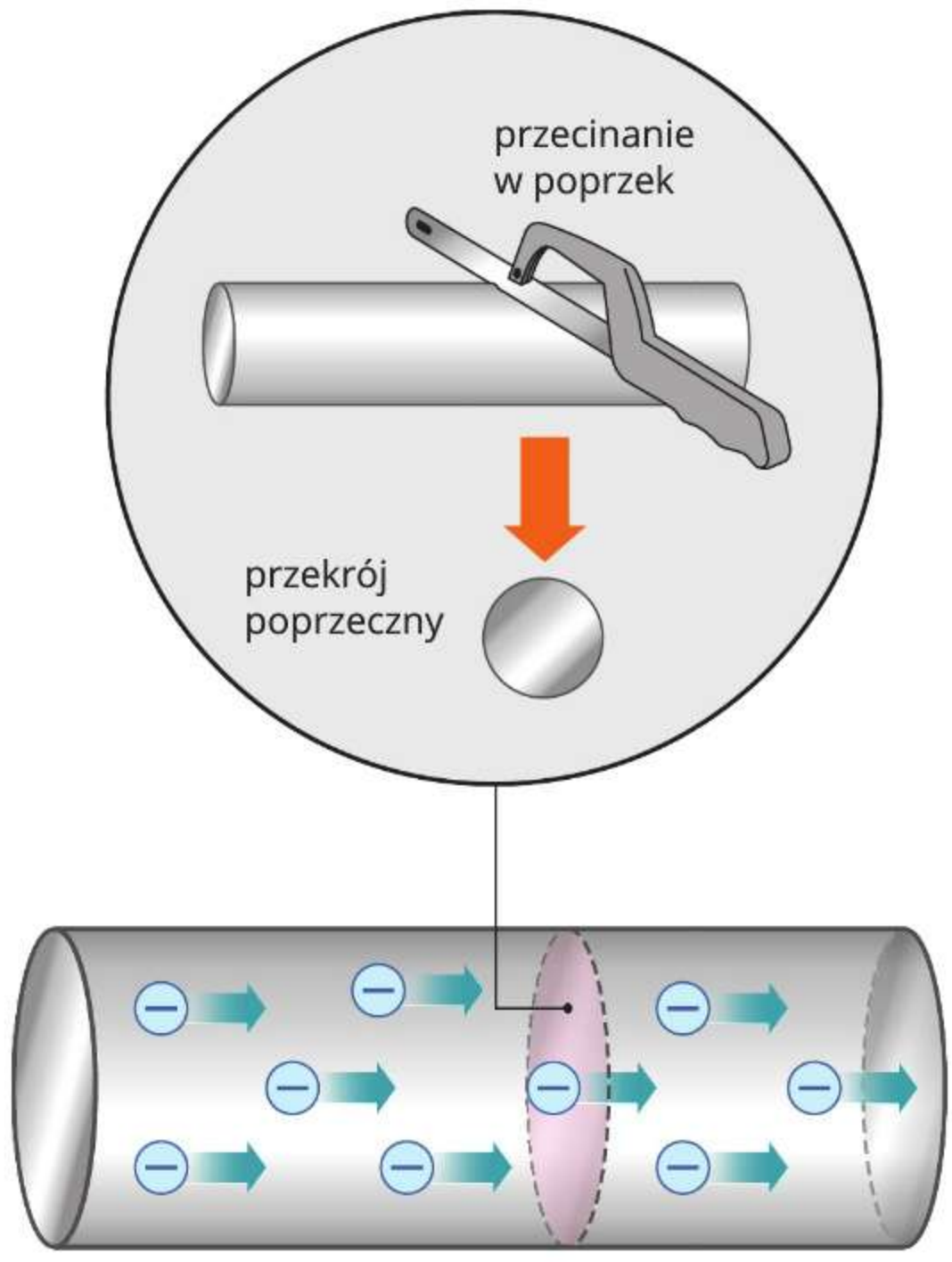
Z natężeniem prądu elektrycznego jest podobnie. Natężenie prądu wskazuje, jak duży ładunek elektryczny przepływa przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie sekundy (ryc. 15.4.).

Natężenie prądu elektrycznego oznaczamy literą *I*. Związek między natężeniem prądu *I*, ładunkiem elektrycznym *q* przepływającym przez przekrój poprzeczny przewodnika oraz czasem *t* tego przepływu zapisujemy wzorem:

$$I = \frac{q}{t}$$

Jednostką natężenia prądu jest amper (A). Jeśli przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie 1 s przepływa ładunek 1 C, to natężenie prądu jest równe 1 A.

$$1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$$



Ryc. 15.4. Elektrony przepływające przez przekrój poprzeczny przewodu wykonanego z metalu

Zobacz, jak to zrobić!

Przez żarówkę podłączoną do baterii płaskiej w czasie jednej minuty przepłynął ładunek 14 C. Jakie było natężenie prądu elektrycznego płynącego przez żarówkę? Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $q = 14\ \text{C}$, $t = 1\ \text{min} = 60\ \text{s}$

Szukane: I

Rozwiązanie:

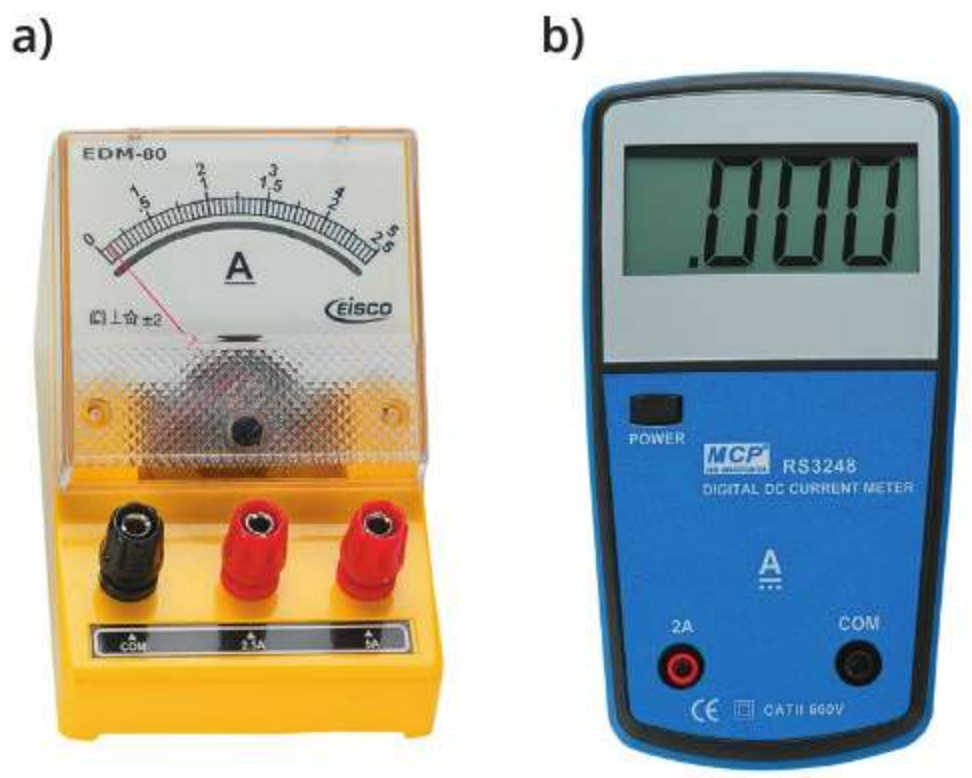
Aby obliczyć natężenie prądu elektrycznego, należy podzielić przepływający przez żarówkę ładunek *q* przez czas *t*, w którym ten przepływ nastąpił:

$$I = \frac{q}{t}$$

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$I = \frac{14\ \text{C}}{60\ \text{s}} \approx 0{,}23\ \text{A}$$

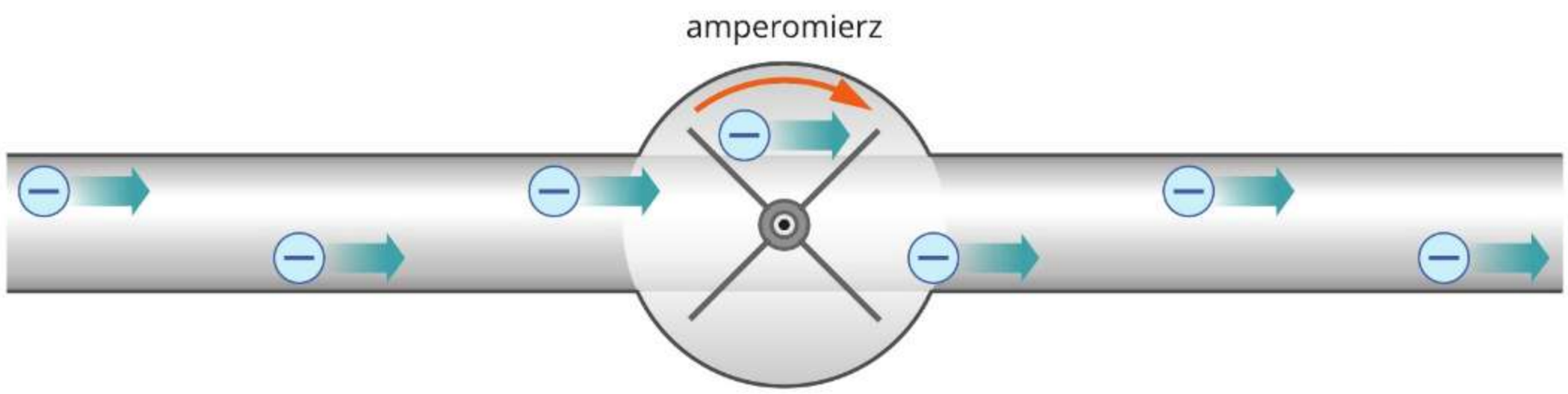
Odpowiedź: Natężenie prądu elektrycznego przepływającego przez żarówkę wynosiło ok. 0,23 A.



Do pomiaru natężenia prądu służy amperomierz (ryc. 15.5.).

Amperomierz mierzy natężenie prądu, który przez niego przepływa (ryc. 15.6.). Można go porównać na przykład do „kołowrotka" liczącego osoby wchodzące na stadion.

Ryc. 15.5. Amperomierz analogowy (a) i amperomierz cyfrowy (b)



Ryc. 15.6. Schematyczne przedstawienie zasady działania amperomierza

Jeśli chcemy zmierzyć natężenie prądu płynącego przez jakiś odbiornik, to amperomierz powinien być podłączony do obwodu szeregowo w stosunku do tego odbiornika. Oznacza to, że oba urządzenia powinny być włączone w obwód jedno obok drugiego. W tym celu jeden z przewodów amperomierza podłączamy do jednego z wyprowadzeń odbiornika, a drugi do odpowiedniego bieguna źródła napięcia. Potem łączymy przewodem drugie wyprowadzenie odbiornika z drugim biegunem źródła napięcia (ryc. 15.7.). Tylko w takim połączeniu przez odbiornik i amperomierz będzie płynął prąd o takim samym natężeniu.

Ryc. 15.7. Amperomierz podłączony do obwodu elektrycznego szeregowo w stosunku do żarówki

Rozglądaj się wokół!

Prąd elektryczny o różnym natężeniu

Z przepływem prądu mamy do czynienia w rozmaitych sytuacjach. Natężenie prądu elektrycznego może przyjmować różne wartości.

Natężenie prądu płynącego między chmurą a powierzchnią Ziemi podczas wyładowania atmosferycznego może wynosić nawet 150 000 A.

Przez lampę LED o mocy 6 W, wykorzystywaną do oświetlania pomieszczeń, płynie prąd o natężeniu ok. 0,025 A.

Podczas gotowania wody przez grzałkę czajnika elektrycznego przepływa prąd o natężeniu ok. 10 A.

Podczas spawania, czyli łączenia dwóch metalowych elementów z wykorzystaniem łuku elektrycznego, płynie prąd o natężeniu ok. 100 A. Powoduje on miejscowe rozgrzanie łączonych elementów (np. metalowych rur), ich stopienie i w konsekwencji połączenie.

Zobacz, jak to zrobić!

Podczas opiekania pieczywa przez grzałkę tostera podłączonego do źródła napięcia płynie prąd o natężeniu 5,4 A. Obliczmy, ile elektronów przepływa przez grzałkę, jeśli urządzenie pracuje przez 2 minuty.

Dane: $I = 5{,}4$ A, $t = 2$ min $= 120$ s

Szukane: n

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na natężenie prądu:

$$I = \frac{q}{t}$$

Obie strony tego równania mnożymy przez t i otrzymujemy:

$$q = I \cdot t$$

Po podstawieniu danych do wzoru:

$$q = 5{,}4\ \text{A} \cdot 120\ \text{s} = 648\ \text{C}$$

Przez grzałkę przepływają elektrony, a każdy z nich ma ładunek o wartości e. Całkowity ładunek q przepływający przez grzałkę jest wielokrotnością ładunku elektronu.

$$q = n \cdot e$$

Po podzieleniu obu stron równania przez e uzyskujemy:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{648\ \text{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}} = 405 \cdot 10^{19} = 4{,}05 \cdot 10^{21}$$

Odpowiedź: Przez grzałkę w czasie 2 minut przepływa $4{,}05 \cdot 10^{21}$ elektronów.

Podsumujmy!

- **Prąd elektryczny** to uporządkowany ruch elektronów lub jonów, wywołany przez źródło napięcia.
- Związek między natężeniem prądu I, ładunkiem elektrycznym q przepływającym przez przekrój poprzeczny przewodnika oraz czasem t przepływu zapisujemy wzorem:

$$I = \frac{q}{t}$$

- Do pomiaru natężenia prądu służy **amperomierz**. Amperomierz łączymy z odbiornikiem energii elektrycznej szeregowo.

Sprawdź się!

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

1.	Nieuporządkowany ruch elektronów w przewodniku nazywamy prądem elektrycznym.	**P**	**F**
2.	Im więcej elektronów przepływa przez przewodnik w danym czasie, tym większe jest natężenie prądu elektrycznego.	**P**	**F**
3.	Natężenie prądu elektrycznego można wyrazić w miliamperach.	**P**	**F**
4.	Jeśli w cieczy znajdują się jony, to może przez nią płynąć prąd elektryczny.	**P**	**F**

2. Oblicz natężenie prądu przepływającego przez elektryczną suszarkę do włosów, jeśli w czasie 1,5 minuty przepływa przez nią ładunek 180 C.

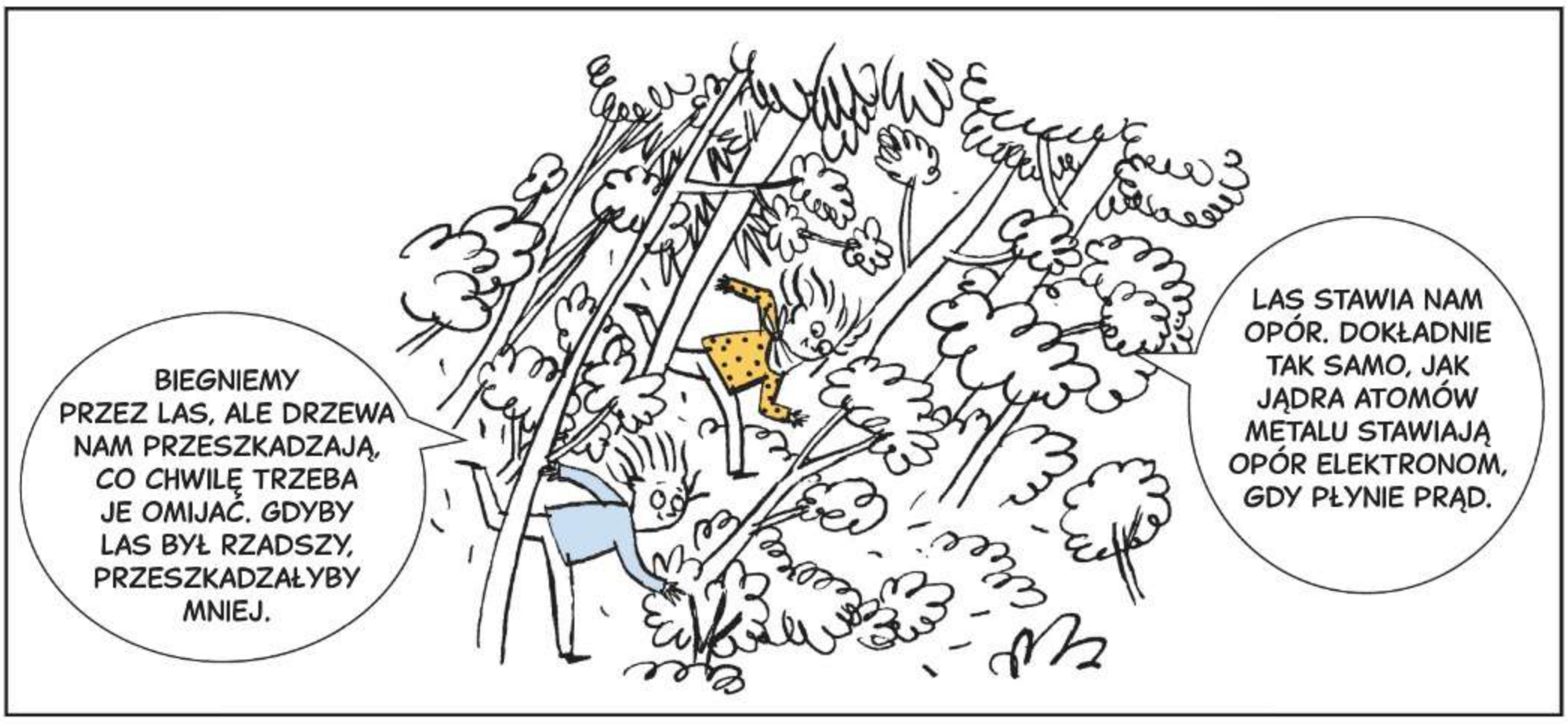
3. Przez amperomierz płynie prąd o natężeniu 0,2 A. Oblicz liczbę elektronów przepływających przez ten amperomierz w czasie 1 sekundy. Jeden elektron ma ładunek równy $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

4. Natężenie prądu, jaki przepływał podczas wyładowania atmosferycznego, osiągnęło 50 kA. Oblicz, jak długo między chmurą a ziemią płynął prąd o takim natężeniu, jeżeli przepłynął ładunek 5 C.

5. Na ilustracji przedstawiono wskazania amperomierza podczas pomiaru natężenia prądu. Zakres pomiarowy przyrządu to 0–2,5 A. Podaj wynik pomiaru wraz z niepewnością.

16. Opór elektryczny

- Co nazywamy oporem elektrycznym?
- Od czego zależy opór elektryczny przewodnika?



Trudno jest rozpędzić się podczas biegu przez las, bo trzeba omijać drzewa. Łatwiej jest jednak poruszać się między drzewami, które rosną daleko od siebie, niż między drzewami rosnącymi gęsto (ryc. 16.1.). Podobnie utrudnione jest poruszanie się elektronów wzdłuż przewodnika podczas przepływu prądu elektrycznego. W tym przypadku odpowiednikiem drzew są jądra atomów. Oddziaływanie elektronów z jądrami atomów jest przeszkodą w ich ruchu w przewodniku. Przewodnik stawia opór elektryczny poruszającym się elektronom. Opór elektryczny jest cechą każdego ciała, przez które płynie prąd elektryczny (wyjątkiem są materiały nazywane nadprzewodnikami).

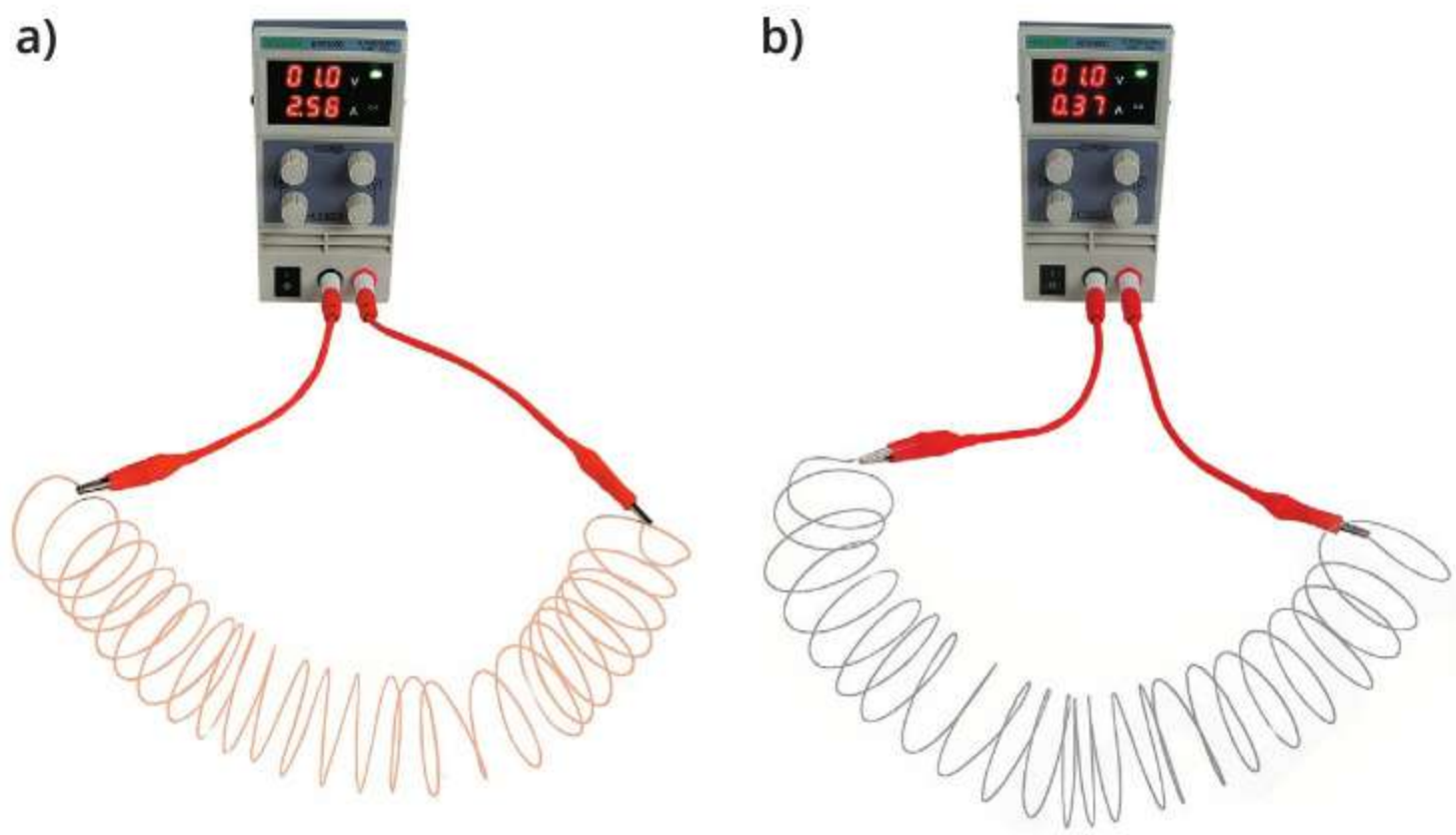
a)

b)

Ryc. 16.1. Las sosnowy (a) i las brzozowy (b), różniące się rozmieszczeniem drzew

Opór elektryczny przewodu, przez który płynie prąd, zależy m.in. od rodzaju materiału, z jakiego przewód jest zbudowany, gdyż różne metale mają różną strukturę wewnętrzną. Metalem, który stawia mały opór podczas przepływu prądu, jest miedź, dlatego to z niej robi się przewody elektryczne. Metale, które przy tych samych rozmiarach stawiają większy opór niż miedź oraz mogą się rozgrzewać do wyższych temperatur (np. stop chromonikielina) wykorzystuje się w elementach grzejnych żelazek, piecyków elektrycznych, suszarek.

Jeżeli dwa przewody różniące się tylko rodzajem metalu, z jakiego są wykonane – np. jeden miedziany, a drugi stalowy – podłączymy do takiego samego źródła napięcia, to natężenia przepływających przez nie prądów będą różne – dla miedzi natężenie prądu będzie większe niż dla stali (ryc. 16.2.). Elektronom łatwiej jest płynąć przez przewód miedziany, bo jego opór jest mniejszy. Pod wpływem takiego samego napięcia przez przewód o mniejszym oporze płynie prąd o większym natężeniu.



Ryc. 16.2. Przepływ prądu przez przewód miedziany (a) i przewód stalowy (b)

Opór elektryczny przewodu zależy także od jego długości i pola przekroju poprzecznego. Im dłuższy jest przewód, tym większy jest jego opór elektryczny. Z kolei im większe jest pole przekroju poprzecznego przewodu (czyli im grubszy jest przewód), tym opór elektryczny jest mniejszy.

Opór elektryczny mają zarówno przewody, jak i odbiorniki energii elektrycznej. W obwodzie elektrycznym opór przewodów jest niewielki w porównaniu z oporem odbiornika i dlatego zazwyczaj go pomijamy.

Opór elektryczny oznaczamy literą *R*. Jednostką oporu jest om, oznaczany symbolem Ω – dużą grecką literą omega. Opór elektryczny można zmierzyć omomierzem.

Jeżeli po podłączeniu odbiornika do źródła napięcia *U* przez ten odbiornik płynie prąd o natężeniu *I*, to opór elektryczny *R* odbiornika można obliczyć ze wzoru:

$$R = \frac{U}{I}$$

Jeśli odbiornik energii elektrycznej zasilamy napięciem 1 wolta i wówczas płynie przez niego prąd o natężeniu 1 ampera, oznacza to, że jego opór wynosi 1 om: $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$.

Opór elektryczny ciała nie zależy ani od napięcia, ani od natężenia prądu – jest cechą wynikającą z budowy ciała. Oznacza to, że im większe napięcie przyłożymy do odbiornika o określonym oporze, tym większe będzie natężenie prądu, który przez niego popłynie.

Zobacz, jak to zrobić!

Wyznaczamy opór elektryczny świecącej żarówki

Wyznaczmy opór elektryczny żarówki, przez którą płynie prąd, w obwodzie elektrycznym składającym się z baterii płaskiej, żarówki, amperomierza, woltomierza oraz przewodów. Obwód ten przedstawia ilustracja.

Woltomierz podłączamy równolegle do żarówki tak, by mierzył napięcie na żarówce. Amperomierz włączamy do obwodu szeregowo w stosunku do żarówki tak, by mierzył natężenie płynącego przez nią prądu*.

Z mierników odczytujemy napięcie na żarówce i natężenie płynącego przez nią prądu, np. $U = 4{,}49$ V i $I = 0{,}24$ A. Po podstawieniu danych do wzoru na opór otrzymujemy:

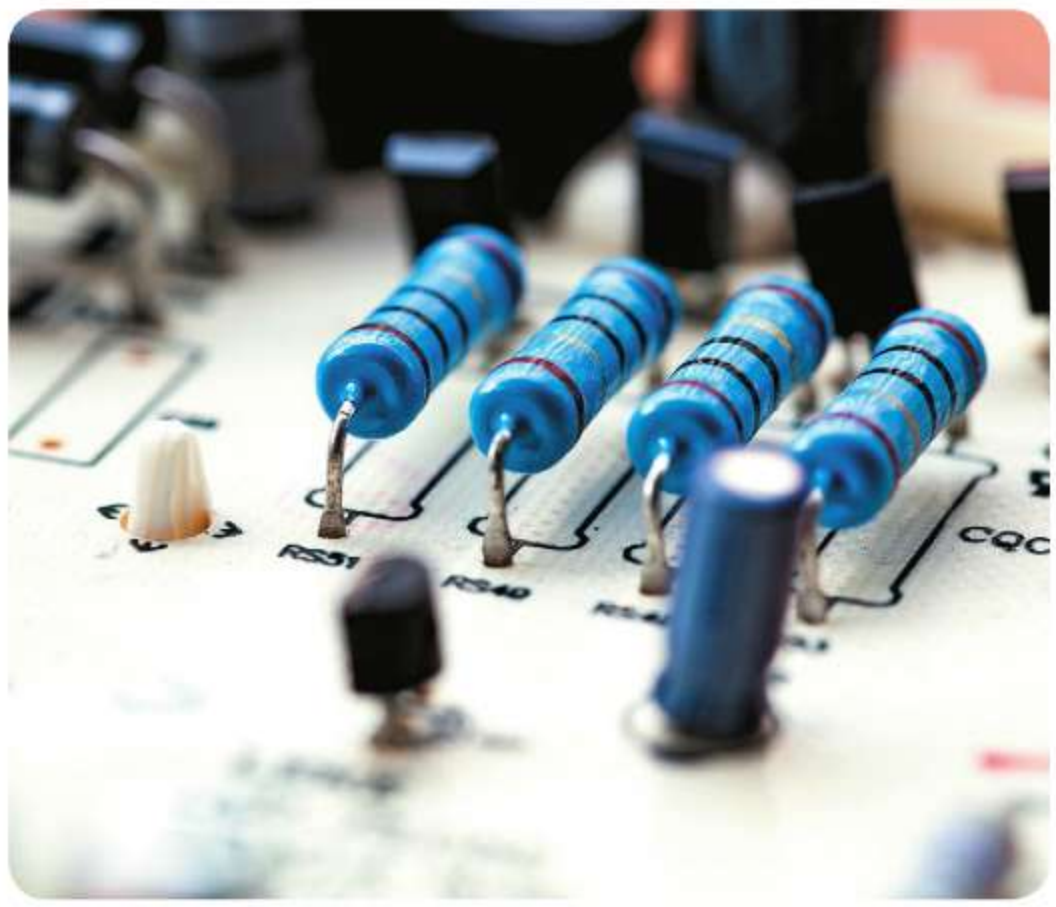
$$R = \frac{U}{I} = \frac{4{,}49\ \text{V}}{0{,}24\ \text{A}} \approx 19\ \Omega$$

Odpowiedź: Opór żarówki podczas świecenia był równy około 19 Ω.

* Opór elektryczny amperomierza jest bardzo mały, a woltomierza bardzo duży, możemy więc przyjąć, że cały prąd płynący w obwodzie przepływa tylko przez żarówkę i amperomierz.

Żarówka tradycyjna (z włóknem wolframowym) jest przykładem odbiornika energii elektrycznej, którego opór elektryczny znacząco zmienia się wraz z jego temperaturą. Jest inny, gdy włókno wolframowe żarówki ledwo się żarzy (gdy podłączymy ją do źródła niższego napięcia), a inny, gdy świeci jasnym światłem. Gdybyśmy w doświadczeniu z wyznaczeniem oporu żarówki użyli baterii o napięciu 1,5 V, opór tej żarówki byłby mniejszy.

Istnieją także odbiorniki, których opór elektryczny podczas pracy jest stały. Nazywamy je opornikami. W każdym urządzeniu elektrycznym, np. komputerze czy telewizorze, znajduje się wiele oporników (ryc. 16.3.).



Ryc. 16.3. Oporniki wewnątrz urządzenia elektronicznego

W wielu urządzeniach elektrycznych wykorzystuje się fakt, że opór przewodu zależy od jego długości. Zawierają one oporniki skonstruowane w taki sposób, że do obwodu można włączyć cały opornik lub tylko jego część. Długość tej części da się zmieniać na przykład za pomocą przesuwania suwaka bądź obracania gałki. Taki opornik nazywa się opornikiem nastawnym lub potencjometrem.

Ryc. 16.4. Opornik nastawny

Zobacz, jak to zrobić!

Do akumulatorka o napięciu 1,2 V podłączono odbiornik o oporze 4,2 Ω. Obliczmy natężenie prądu płynącego w tym obwodzie. Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $R = 4{,}2\ \Omega$, $U = 1{,}2\ \text{V}$

Szukane: I

Rozwiązanie:

Związek między oporem elektrycznym, napięciem oraz natężeniem prądu zapisujemy wzorem:

$$R = \frac{U}{I}$$

Obie strony tego równania mnożymy przez I, a następnie dzielimy przez R i otrzymujemy:

$$I = \frac{U}{R}$$

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$I = \frac{1{,}2\ \text{V}}{4{,}2\ \Omega} \approx 0{,}29\ \text{A}$$

Odpowiedź: Przez odbiornik przepływa prąd o natężeniu ok. 0,29 A.

Rozglądaj się wokół!

Wykorzystanie oporników nastawnych

Oporniki nastawne są wykorzystywane w różnych urządzeniach elektrycznych używanych na co dzień.

Opornica suwakowa to pomoc dydaktyczna, służąca do demonstrowania, że opór elektryczny zależy od długości przewodnika. Jest ona zbudowana z metalowego drutu nawiniętego na izolator w kształcie walca oraz z przewodzącego suwaka. Długość drutu, przez który płynie prąd, a więc opór opornicy, zależy od położenia suwaka.

Niektóre odkurzacze wyposażone są w potencjometr pozwalający zmieniać moc, z jaką pracuje urządzenie. Zazwyczaj służy do tego suwak znajdujący się w obudowie urządzenia. Jego przesunięcie powoduje zmianę oporu elektrycznego i w konsekwencji zmianę siły, jaką odkurzacz zasysa śmieci.

W elektrycznych maszynach do szycia jako element służący do regulacji szybkości pracy wykorzystuje się opornik nastawny znajdujący się w pedale. Zmiana oporu (przesunięcie suwaka opornika) następuje wtedy, gdy naciśnie się stopą na pedał połączony przewodem z maszyną do szycia.

Za pomocą potencjometru można regulować głośność dźwięku w niektórych domowych zestawach muzycznych. Obrót pokrętła takiego potencjometru powoduje zmianę jego oporu, co wywołuje zmianę głośności.

Podsumujmy!

- **Opór elektryczny** jest cechą wynikającą z budowy ciała. Oznaczamy go literą *R*, jego jednostką jest om (Ω).
- Związek między napięciem, natężeniem prądu i oporem zapisujemy wzorem:

$$R = \frac{U}{I}$$

Sprawdź się!

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

1.	Opór opornika nie zależy od natężenia prądu, który przez niego przepływa.	**P**	**F**
2.	Opór elektryczny zależy od materiału, z jakiego zbudowany jest przewód.	**P**	**F**
3.	Opór elektryczny odbiornika możemy obliczyć, jeżeli pomnożymy napięcie jego zasilania przez natężenie prądu płynącego przez ten odbiornik.	**P**	**F**
4.	Jednostką oporu elektrycznego jest wolt (V).	**P**	**F**

2. Opornik podłączono początkowo do baterii o napięciu 4,5 V, a następnie do baterii o napięciu 9 V. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Opór opornika po podłączenia do źródła o większym napięciu

A. wzrósł. **B.** zmalał. **C.** nie zmienił się.

3. Odbiornik energii elektrycznej podłączono do źródła o napięciu 9,2 V, wskutek czego przez ten odbiornik płynie prąd o natężeniu 0,82 A. Oblicz opór odbiornika. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

4. Odbiornik o oporze 20 kΩ podłączono do źródła napięcia. W efekcie przez odbiornik płynie prąd o natężeniu 0,9 mA. Oblicz napięcie źródła.

5*. Poszukaj informacji na temat oporu właściwego chromonikieliny i kantalu – stopów metali wykorzystywanych do budowy grzałek elektrycznych. Wyjaśnij, czym opór elektryczny różni się od oporu właściwego.

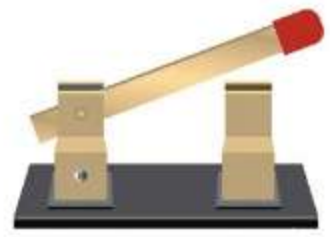
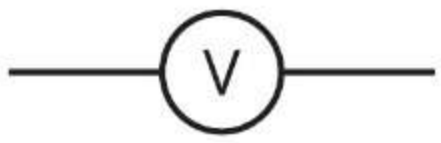
17. Obwody elektryczne

- Co nazywamy schematem obwodu elektrycznego?
- Jakie są symbole graficzne elementów obwodu?

Aby zbudować dom, najpierw musimy mieć jego projekt. A gdy chcemy zbudować obwód elektryczny z rzeczywistych elementów, powinniśmy najpierw mieć jego rysunek. Rysunek przedstawiający połączone ze sobą elementy obwodu elektrycznego nazywamy schematem obwodu. Każdy z elementów obwodu ma swój symbol graficzny (tabela 17.1.).

Tabela 17.1. Wybrane elementy obwodów elektrycznych i ich symbole

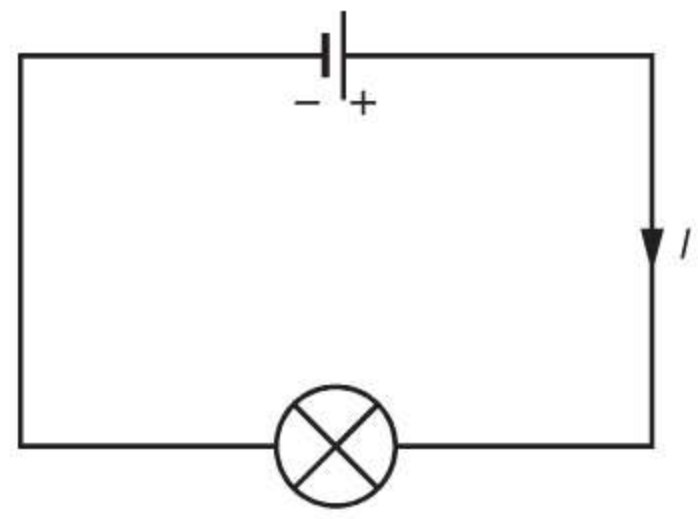
Nazwa elementu	Symbol graficzny	Ilustracja
źródło napięcia (bateria, akumulator, zasilacz)		
przewód i połączenie przewodów		

Nazwa elementu	Symbol graficzny	Ilustracja
wyłącznik		
żarówka		
opornik		
brzęczyk		
silnik elektryczny		
dioda świecająca (dioda LED)		
woltomierz		
amperomierz		
omomierz		

Obwód elektryczny powinien zawierać źródło napięcia i odbiornik, połączone ze sobą przewodami (ryc. 17.1.a), zatem schemat obwodu elektrycznego należy narysować w taki sposób, aby znalazły się na nim symbole graficzne tych elementów (ryc. 17.1.b).

a)

b)



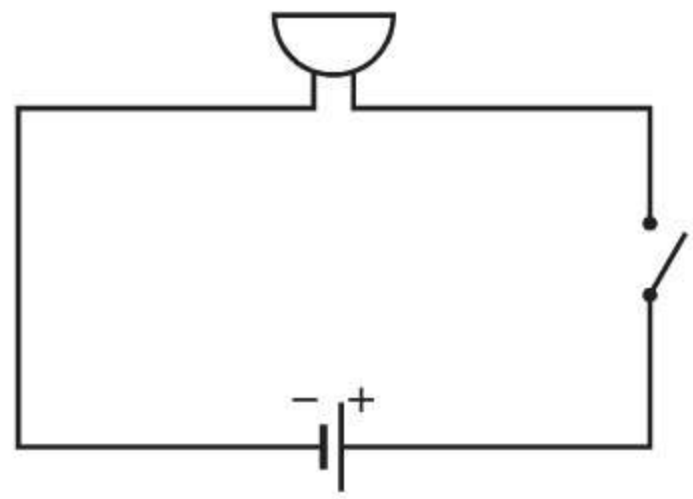
Ryc. 17.1. Rzeczywisty obwód elektryczny (a) i jego schemat z zaznaczonym kierunkiem przepływu prądu (b)

Odbiornikiem energii elektrycznej w przykładzie przedstawionym na rycinie 17.1. jest żarówka. Źródło napięcia, w tym przypadku bateria, wymusza uporządkowany ruch elektronów w obwodzie, czyli przepływ prądu elektrycznego. Na schemacie kierunek przepływu prądu zaznaczono strzałką i opisano symbolem *I*.

Zbadaj to sam!

Budujemy obwód elektryczny według schematu

1. Do wykonania doświadczenia będą potrzebne: bateria (np. bateria płaska), brzęczyk, przewody, wyłącznik.
2. Zbuduj z wymienionych elementów obwód elektryczny przedstawiony na schemacie.



3. Otwórz wyłącznik, a następnie go zamknij. Ustal, kiedy brzęczyk wydaje dźwięk, a kiedy nie.
4. Zapisz w zeszycie swoje spostrzeżenia.

Zobacz, jak to zrobić!

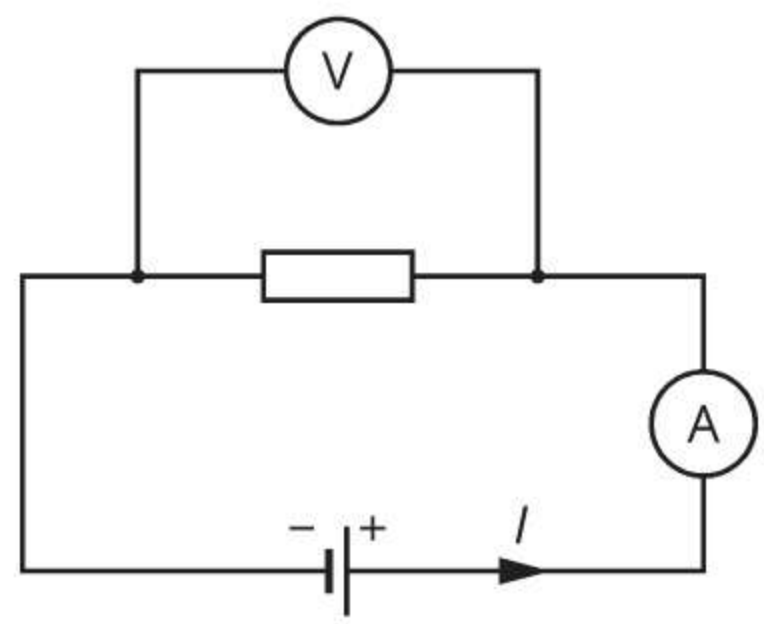
Rysujemy wykres zależności natężenia prądu od napięcia dla opornika i wyznaczamy opór

Uczniowie zbudowali obwód elektryczny składający się z zasilacza, opornika oraz amperomierza i woltomierza. Zasilacz umożliwiał ustawienie dowolnego napięcia z zakresu od 0 do 5 V, którego wartość uczniowie odczytywali na woltomierzu. W tabeli podano wybrane wartości napięcia zasilania oraz odpowiadające im wartości natężenia prądu, odczytane na amperomierzu.

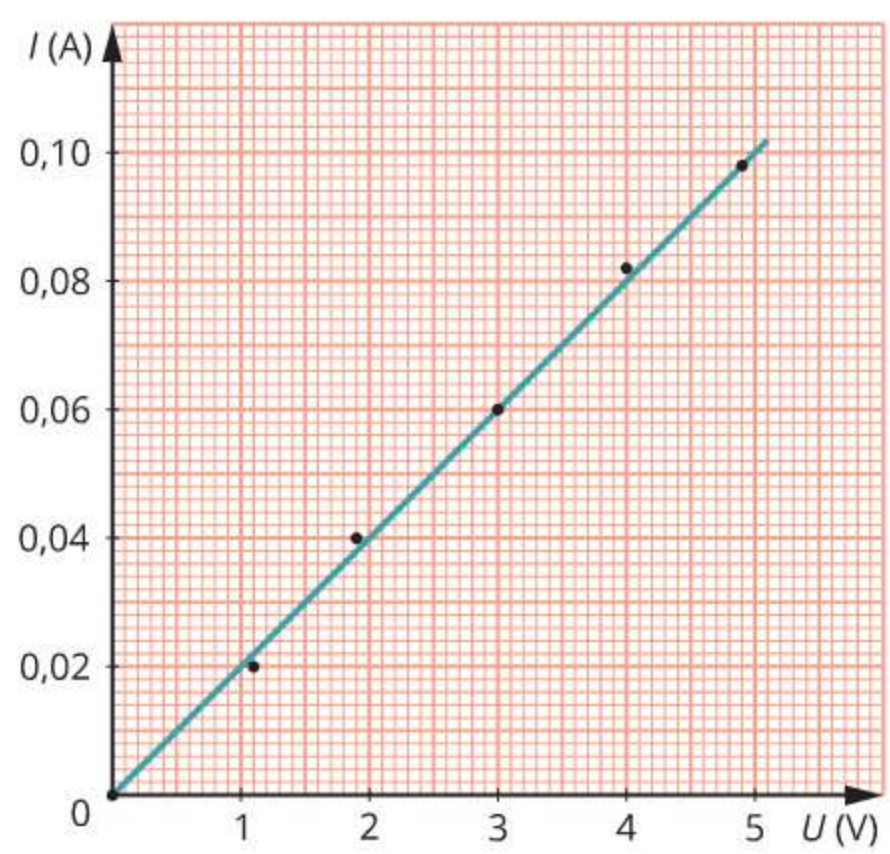
Na podstawie tabeli narysujmy wykres zależności natężenia prądu od napięcia.

Numer pomiaru	1	2	3	4	5	6
U (V)	0	1,1	1,9	3,0	4,0	4,9
I (A)	0	0,020	0,040	0,060	0,081	0,099

Rysujemy dwie osie prostopadłe do siebie. Na osi poziomej zaznaczamy napięcie elektryczne, a na pionowej – natężenie prądu płynącego w obwodzie. Skalę na osiach dobieramy tak, aby wszystkie dane z tabeli zmieściły się na wykresie. Następnie zaznaczamy punkty pomiarowe i prowadzimy półprostą przechodzącą możliwie najbliżej wszystkich punktów. Nie przechodzi ona przez wszystkie punkty, ponieważ zmierzone wartości są obarczone niepewnością pomiarową. Po obu stronach półprostej pozostawiamy tyle samo punktów niepołączonych.



Z wykresu można odczytać, że jeżeli napięcie rosło, to natężenie również. Dwukrotne zwiększenie napięcia (z 1 V do 2 V) spowodowało dwukrotny wzrost natężenia (z 0,02 A do 0,04 A). Oznacza to, że natężenie prądu i napięcie są w tym przypadku wielkościami wprost proporcjonalnymi.



Opór elektryczny opornika obliczamy ze wzoru:

$$R = \frac{U}{I}$$

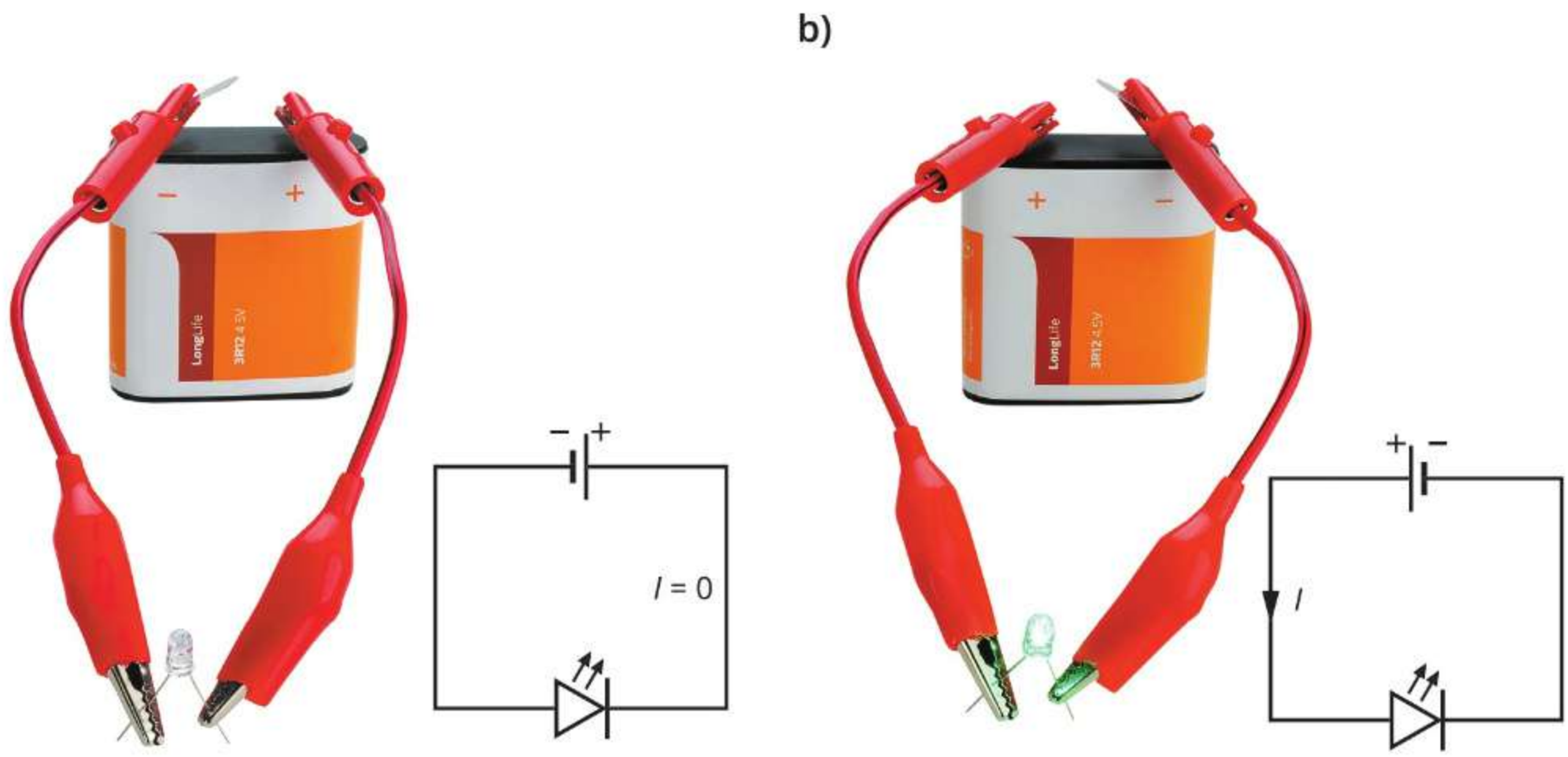
Do wzoru podstawiamy dane odczytane z wykresu, np. $U = 2{,}5$ V, $I = 0{,}05$ A.

$$R = \frac{2{,}5\ \text{V}}{0{,}05\ \text{A}} = 50\ \Omega$$

Taki sam wynik otrzymalibyśmy dla danych odczytanych dla dowolnego punktu leżącego na prostej.

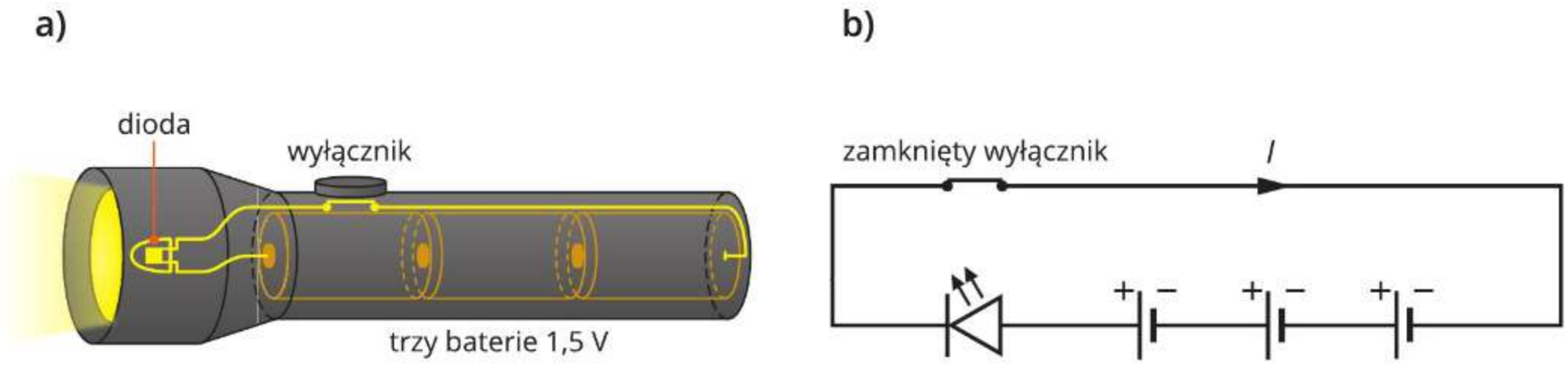
Odpowiedź: Opór elektryczny opornika był stały i równy 50 Ω.

Obecnie powszechnie stosuje się diody świecące, nazywane diodami LED (od ang. *Light Emitting Diode* – czyt. lajt emiting dajod – dioda emitująca światło). Są one energooszczędnym źródłem światła. W przypadku tradycyjnej żarówki nie ma znaczenia, w którą stronę płynie przez nią prąd, ale w przypadku diody ma to znaczenie (ze względu na jej budowę wewnętrzną). Świeci ona tylko wtedy, gdy jest odpowiednio podłączona. Diody LED dostępne w sklepach z częściami elektronicznymi mają końcówki („nóżki") o różnych długościach. Aby dioda świeciła, jej dłuższą końcówkę musimy podłączyć do bieguna „+" baterii. Gdy dioda zostanie podłączona odwrotnie, nie będzie świecić. Symbol diody używany na schematach obwodów odzwierciedla ten fakt. Obwody elektryczne z diodą i ich schematy przedstawiono na ilustracji 17.2.



Ryc. 17.2. Dwa obwody z identyczną diodą, ale w różny sposób podłączoną do źródła napięcia – w przypadku obwodu (a) dioda nie świeci, natomiast w obwodzie (b) dioda świeci.

Latarka elektryczna jest urządzeniem o dość prostym schemacie elektrycznym. Możemy go narysować po przeanalizowaniu jej budowy. W przekroju latarki pokazanym na rycinie 17.3.a można zauważyć, że baterie stanowiące zasilanie latarki stykają się ze sobą. Baterie są połączone szeregowo, co oznacza, że biegun dodatni jednej baterii jest połączony z biegunem ujemnym kolejnej. Takie połączenie trzech baterii, z których każda ma napięcie 1,5 V, daje napięcie zasilające diodę w latarce o wartości 4,5 V. Obwód jest zamykany za pomocą wyłącznika. Przewody łączą baterie z diodą LED. Na rycinie 17.3.b przedstawiono schemat tego obwodu elektrycznego. Kierunek przepływu prądu zaznaczono na nim strzałką i opisano symbolem *I*.



Ryc. 17.3. Latarka elektryczna (a) i jej schemat (b)

Dowiedz się więcej!

Jak używać miernika uniwersalnego

Miernik uniwersalny, czyli tzw. multimetr, to przyrząd pomiarowy, który może być wykorzystywany m.in. jako woltomierz lub amperomierz. Każdy przyrząd pomiarowy, więc także multimetr, ma określony zakres pomiaru, czyli przedział wartości możliwych do zmierzenia. Mierniki uniwersalne mają kilka zakresów pomiarowych.

Przyjrzyjmy się, jak należy ustawić i podłączyć multimetr, aby pracował jako woltomierz o zakresie pomiarowym od 0 do 20 V. W tym celu pokrętło miernika ustawiamy tak, by wskazywało wartość 20 w obszarze opisanym symbolem V–. Każdy multimetr podłączamy do obwodu za pomocą dwóch przewodów – jeden łączymy z gniazdem opisanym jako COM, a drugi z gniazdem opisanym symbolem VΩmA. Przewód połączony z gniazdem COM łączymy z ujemnym biegunem źródła, a drugi – z biegunem dodatnim.

Przedstawiony na fotografii miernik wskazuje napięcie 4,83 V. Niepewność pomiarowa napięcia podana przez producenta miernika jest równa ±0,1 V. Wynik pomiaru to: 4,8 V ± 0,1 V.

Przyjrzyjmy się, jak należy ustawić i podłączyć multimetr, aby pracował jako amperomierz o zakresie pomiarowym 0–10 A. W tym celu pokrętło miernika ustawiamy tak, by wskazywało 10 A. Jeden przewód łączymy z gniazdem opisanym jako COM, a drugi z gniazdem opisanym symbolem 10ADC. W tym przypadku również przewód połączony z gniazdem COM łączymy z ujemnym biegunem źródła, a drugi – z biegunem dodatnim.

Przedstawiony na fotografii miernik wskazuje natężenie prądu 2,83 A. Niepewność pomiarowa natężenia prądu podana przez producenta miernika jest równa ±0,2 A. Wynik pomiaru to: 2,8 A ± 0,2 A.

Podsumujmy!

- Znajomość symboli elementów obwodów jest niezbędna podczas budowania rzeczywistych obwodów na podstawie ich schematów. Przydaje się także podczas rysowania schematów obwodów, które budujemy.
- Natężenie prądu płynącego przez opornik jest **wprost proporcjonalne** do napięcia, jakim jest on zasilany.

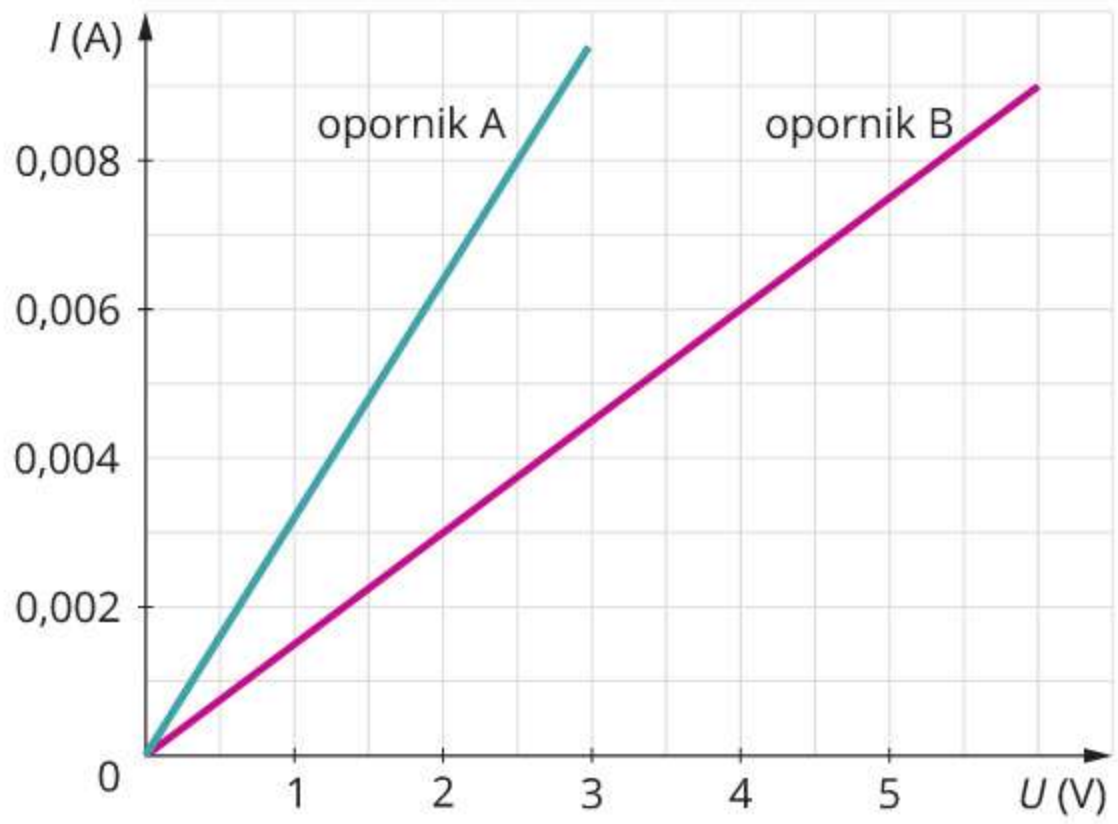
Sprawdź się!

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

1.	Schemat obwodu jest graficznym przedstawieniem rzeczywistego obwodu.	**P**	**F**
2.	Im większe jest napięcie zasilające opornik, tym mniejsze jest natężenie prądu, który przepływa przez ten opornik.	**P**	**F**
3.	Prąd elektryczny płynie tylko w obwodzie zamkniętym, w którym znajduje się źródło napięcia.	**P**	**F**
4.	Za pomocą wyłącznika można przerwać obwód elektryczny.	**P**	**F**

2. Na ilustracji przedstawiono obwód elektryczny składający się z baterii, brzęczyka, wyłącznika, woltomierza oraz przewodów łączących. Narysuj w zeszycie schemat tego obwodu.

3. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu od napięcia źródła dla dwóch różnych oporników. Który z oporników ma większy opór elektryczny?



4. Do dyspozycji są: bateria, brzęczyk, woltomierz, amperomierz oraz przewody łączące. Narysuj w zeszycie schemat obwodu elektrycznego, który należy zbudować, aby doświadczalnie wyznaczyć opór elektryczny brzęczyka. Jakie wielkości fizyczne należy zmierzyć, aby obliczyć ten opór?

5. Na fotografii przedstawiono obwód elektryczny składający się z baterii, amperomierza, żarówki oraz przewodów łączących. Odczytaj wskazania amperomierza. Narysuj w zeszycie schemat elektryczny tego obwodu. Zaznacz na schemacie kierunek przepływu prądu.

18. Kilowatogodzina

- Co oznacza kilowatogodzina?
- Na jakie rodzaje energii jest zamieniana energia elektryczna?

Gdy spojrzymy na domowy licznik energii elektrycznej (ryc. 18.1.) lub na rachunek za prąd, dostrzeżemy, że ilość zużytej energii elektrycznej jest wyrażona w kWh, czyli w kilowatogodzinach. Przeciętna rodzina zużywa rocznie kilka tysięcy kWh energii elektrycznej, kosztem której urządzenia elektryczne wykonują pracę lub zwiększają energię wewnętrzną.

a) b)

Ryc. 18.1. Licznik energii elektrycznej cyfrowy (a) i mechaniczny (b)

Jaki jest związek kilowatogodziny z podstawową jednostką energii, czyli z dżulem? Wyraz nazywający jednostkę energii elektrycznej składa się z trzech części: **kilowatogodzina**. „Kilo" to przedrostek oznaczający tysiąc, „wat" jest jednostką mocy, a „godzina" to 3600 s. Wobec tego:

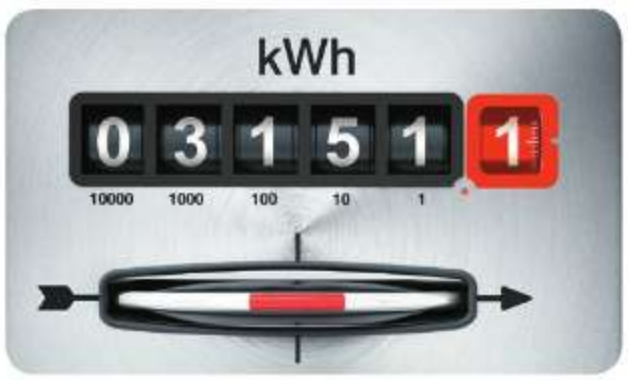
$$1\ \text{kWh} = 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 3\,600\,000\ \text{J} = 3{,}6 \cdot 10^6\ \text{J}$$

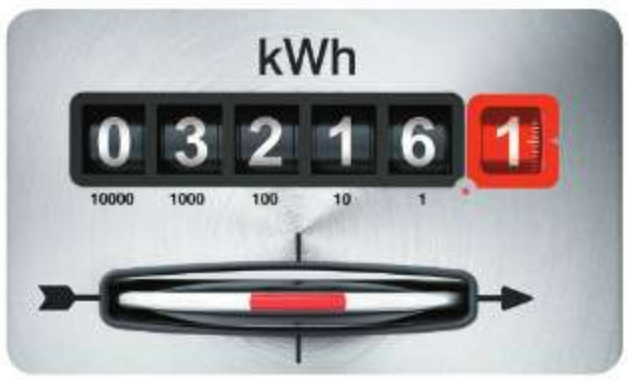
Kilowatogodzina jest bardzo dużą jednostką energii w porównaniu z dżulem. Taką ilość energii potencjalnej grawitacji ma na przykład 36 000 litrów wody (czyli 7200 butelek 5-litrowych) umieszczonych na wysokości 10 m. Energia potencjalna spiętrzonej wody jest wykorzystywana do wytworzenia energii elektrycznej w elektrowniach wodnych (ryc. 18.2.).

Ryc. 18.2. Spiętrzone masy wody w elektrowni wodnej Wrocław II

Zobacz, jak to zrobić!

Na ilustracji przedstawiono wskazania licznika energii elektrycznej w odstępie jednego tygodnia. Obliczmy, jaka energia została pobrana przez urządzenia elektryczne w mieszkaniu w tym czasie. Wynik zapiszmy w dżulach.





Różnica między końcowym a początkowym wskazaniem licznika jest równa:

$$3216{,}1\ \text{kWh} - 3151{,}1\ \text{kWh} = 65\ \text{kWh}$$

1 kWh jest równa 3,6 MJ, więc:

$$65\ \text{kWh} = 65 \cdot 3{,}6\ \text{MJ} = 234\ \text{MJ}$$

Odpowiedź: Urządzenia elektryczne w mieszkaniu pobrały energię elektryczną 234 MJ.

Prąd płynący w domowej instalacji elektrycznej przenosi energię elektryczną od źródła – elektrowni – do odbiornika. Odbiorniki energii elektrycznej zamieniają tę energię na inne jej rodzaje. Podczas wielu procesów zachodzących w przyrodzie następują przemiany jednego rodzaju energii na inny (ryc. 18.3.). Energia nie znika ani nie powstaje z niczego. Zmienia się w inny rodzaj energii.

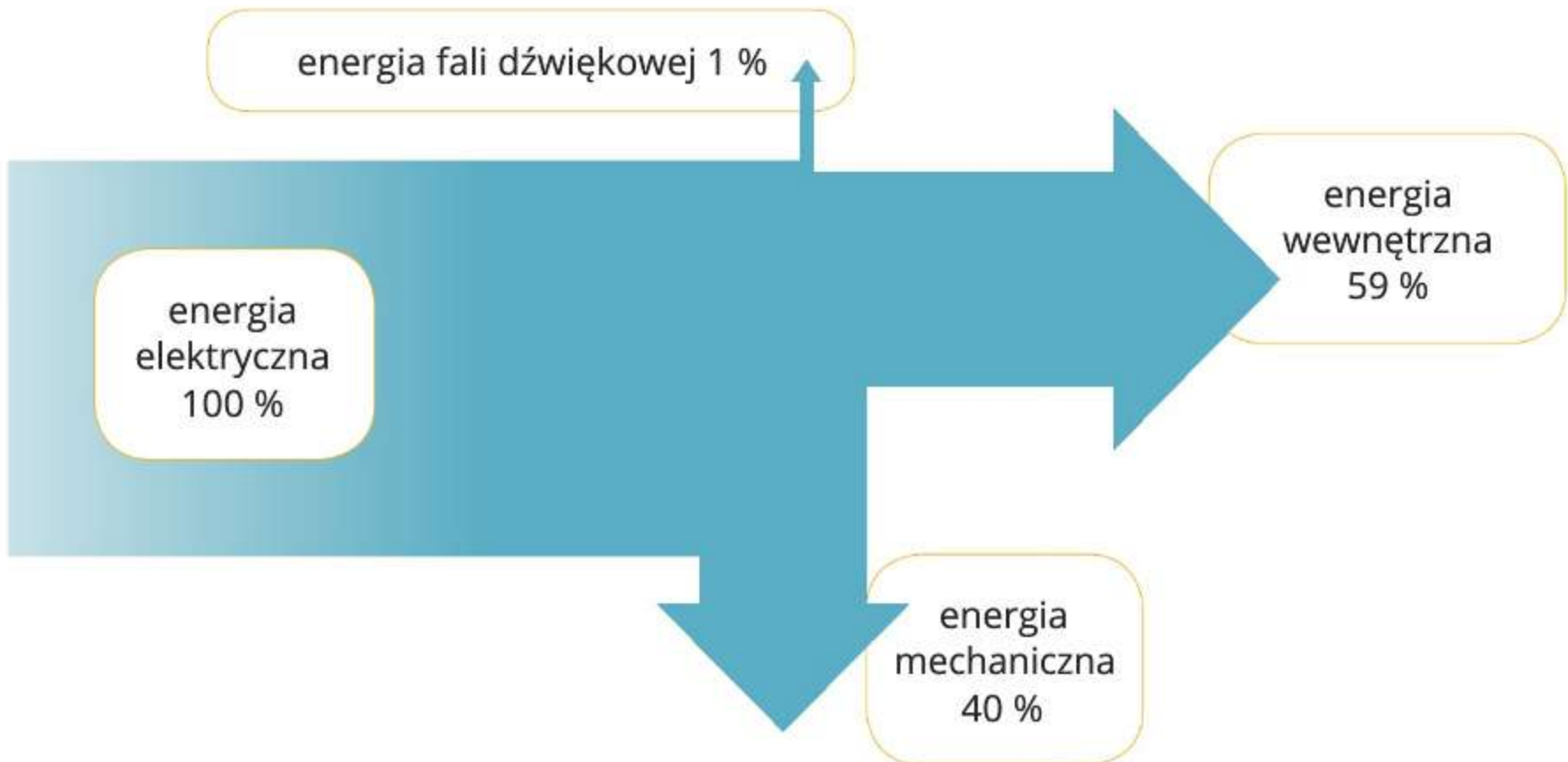
Ryc. 18.3. W piekarniku elektrycznym energia elektryczna zamieniana jest na energię wewnętrzną grzałki i potrawy.

Tabela 18.1. zawiera informacje o przemianach energii dla wybranych odbiorników energii.

Tabela 18.1. Przykłady przemian energii elektrycznej w wybranych odbiornikach energii

Odbiornik	Główne rodzaje energii, na które jest przetwarzana energia elektryczna	Obserwowany efekt
mikser elektryczny	energia mechaniczna	ruch
świetlówka	energia fali elektromagnetycznej (świetlnej)	światło
grzejnik elektryczny	energia wewnętrzna	zmiana temperatury
głośnik	energia fali dźwiękowej	dźwięk
telewizor	energia fali elektromagnetycznej (świetlnej) i energia fali dźwiękowej	światło i dźwięk
suszarka do włosów	energia mechaniczna i energia wewnętrzna	ruch i zmiana temperatury
tramwaj	energia mechaniczna, energia wewnętrzna i energia fali elektromagnetycznej (świetlnej)	ruch, zmiana temperatury i światło

Przykładem odbiornika energii elektrycznej jest wiertarka, w której energia elektryczna zamieniana jest na energię mechaniczną obracającego się wirnika i uchwytu z wiertłem. Poza tym w czasie pracy wiertarka bardzo hałasuje i się rozgrzewa. Przemiany energii elektrycznej zasilającej wiertarkę w inne rodzaje energii przedstawiono w postaci diagramu (ryc. 18.4.). Szerokości strzałek niosą poglądowe informacje o proporcjach poszczególnych rodzajów energii.



Ryc. 18.4. Diagram przemian energii elektrycznej pobieranej przez wiertarkę w inne rodzaje energii

Z uwagi na to, że głównym zadaniem wiertarki jest zamiana energii elektrycznej na mechaniczną, można uznać, że reszta przemian – w energię fali dźwiękowej oraz energię wewnętrzną wiertarki, wiertła oraz materiału, w którym się wierci – jest po prostu stratą energii. Zadaniem konstruktorów urządzeń jest m.in. minimalizacja strat energii podczas pracy tych urządzeń.

Zobacz, jak to zrobić!

Moc niewielkiego czajnika elektrycznego jest równa 800 W. Zagotowanie w nim wody trwa 8 minut. Obliczmy koszt energii elektrycznej zużytej przez czajnik w tym czasie. Przyjmijmy, że 1 kWh energii kosztuje 1,1 złotego.

Dane: $P = 800\ \text{W}$, $t = 8\ \text{min} = \frac{8}{60}\ \text{h}$

Szukane: x (koszt)

Rozwiązanie:

Moc czajnika zapisujemy za pomocą wzoru:

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

Gdy pomnożymy obie strony tego równania przez czas t, otrzymamy wyrażenie na zużytą energię elektryczną:

$$E = P \cdot t$$

Aby otrzymać wynik w kWh, warto moc zapisać w kW, a czas w h.

Wobec tego po podstawieniu danych:

$$E = 800\ \text{W} \cdot 8\ \text{min} = 0{,}8\ \text{kW} \cdot \frac{8}{60}\ \text{h} \approx 0{,}11\ \text{kWh}$$

Obliczamy koszt energii potrzebnej na zagotowanie wody:

$$x = 0{,}11\ \text{kWh} \cdot 1{,}1\ \frac{\text{zł}}{\text{kWh}} \approx 0{,}12\ \text{zł}$$

Odpowiedź: Czajnik zużył energię elektryczną, której koszt wyniósł ok. 12 groszy.

Podczas szybkiej jazdy rowerem nasz organizm jest w stanie pracować z mocą 200 W. Aby wytworzyć podczas takiej jazdy energię 1 kWh, musielibyśmy jechać przez 5 godzin. Gdybyśmy otrzymali za ten wysiłek wynagrodzenie równe cenie takiej samej ilości energii elektrycznej, zarobilibyśmy około 1,1 złotego. W nowoczesnych biurach lub bibliotekach można spotkać rowery stacjonarne (ryc. 18.5.) pozwalające odpocząć od wysiłku umysłowego. Podczas jazdy na takim rowerze praca mięśni zostaje wykorzystana do wytworzenia energii elektrycznej. Energia ta może posłużyć na przykład do naładowania baterii telefonu komórkowego.

Ryc. 18.5. Wytwarzanie energii elektrycznej kosztem pracy mechanicznej

Rozglądaj się wokół!

Przemiany energii w różnych źródłach światła

W każdym źródle światła następuje przemiana pewnego rodzaju energii w energię fali elektromagnetycznej (świetlnej) oraz ciepło.

Przed wynalezieniem żarówki elektrycznej ludzie do oświetlania pomieszczeń używali świec i lamp naftowych. W świecach spalane są wosk lub parafina, a w lampach naftowych – nafta. Niestety, tylko około 1 % energii wydzielanej podczas takiego spalania ulega przemianie w światło. Reszta zużywana jest na ogrzewanie m.in. powietrza.

W żarówce świeci rozżarzony drucik wolframowy, ale również w tym przypadku tylko niewielka część dostarczonej energii (elektrycznej) – około 5 % – jest zamieniana na światło.

W przypadku świetlówki kompaktowej źródłem światła jest substancja pokrywająca jej wnętrze. W czasie świecenia około 15 % dostarczanej energii elektrycznej jest zamieniane na światło, dlatego świetlówki te są nazywane energooszczędnymi.

Jeszcze większa część energii elektrycznej, bo blisko połowa, jest zamieniana na światło w lampach LED. Źródłem światła jest w nich substancja krystaliczna, przez którą płynie prąd. Lampy te są obecnie najbardziej wydajnym źródłem światła. Oznacza to, że taką samą ilość energii świetlnej otrzymujemy przy pobieraniu zdecydowanie mniejszej ilości energii elektrycznej, niż ma to miejsce w przypadku innych źródeł światła.

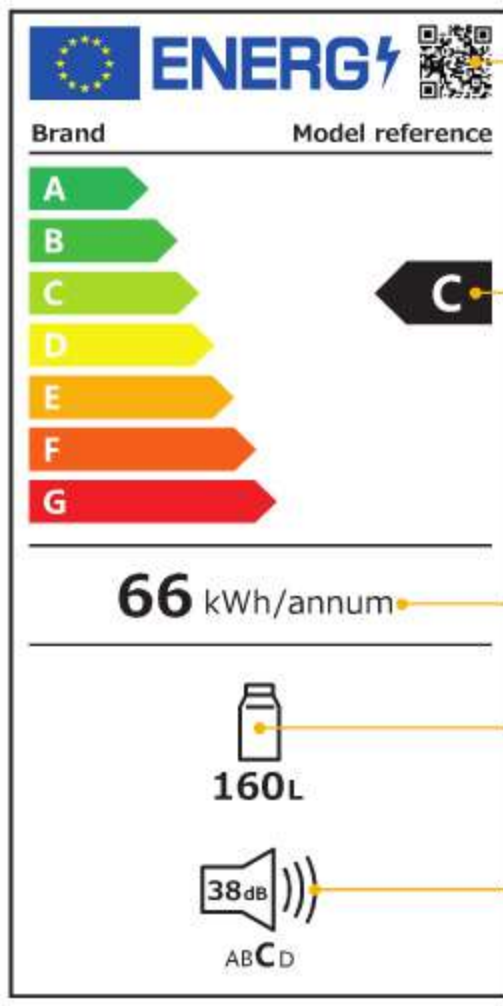
Dowiedz się więcej!

Etykiety energetyczne

Na urządzeniach AGD są zamieszczone etykiety energetyczne zawierające podstawowe informacje o danym sprzęcie. Ułatwiają one porównanie ze sobą różnych urządzeń i podjęcie decyzji o zakupie konkretnego modelu.

Litery od A do G zapisane na kolorowych polach oznaczają klasę energetyczną urządzenia. Im dalsza litera alfabetu, tym niższa klasa. Na przykład spośród dwóch urządzeń działających w takich samych warunkach urządzenie klasy C potrzebuje około 10 % mniej energii niż urządzenie klasy D. Na etykiecie podane są też parametry danego urządzenia – np. pojemność lodówki, pojemność pralki, przekątna ekranu telewizora, poziom hałasu – oraz informacja o energii elektrycznej zużywanej przez urządzenie w ciągu roku.

W gospodarstwach domowych za znaczne zużycie energii odpowiadają lodówki. Na ilustracji przedstawiono informacje zawarte na etykiecie energetycznej takiego urządzenia. Lodówka w klasie energetycznej G może zużyć nawet 300 kWh energii rocznie. Koszt takiej energii jest równy około 330 zł. Obecnie najbardziej efektywne energetycznie lodówki należą do klasy C i zużywają poniżej 100 kWh energii rocznie. Zakup urządzenia o wyższej klasie energetycznej pozwala zmniejszyć wysokość rachunków za energię elektryczną.



kod QR umożliwiający dostęp do dodatkowych informacji

klasa energetyczna

roczne zużycie energii

pojemność lodówki

poziom hałasu

Podsumujmy!

- Energię elektryczną wyrażamy najczęściej w kilowatogodzinach (kWh). **1 kWh to 3 600 000 J**.
- Energia elektryczna może być zamieniana na inne rodzaje energii, np. mechaniczną, wewnętrzną.

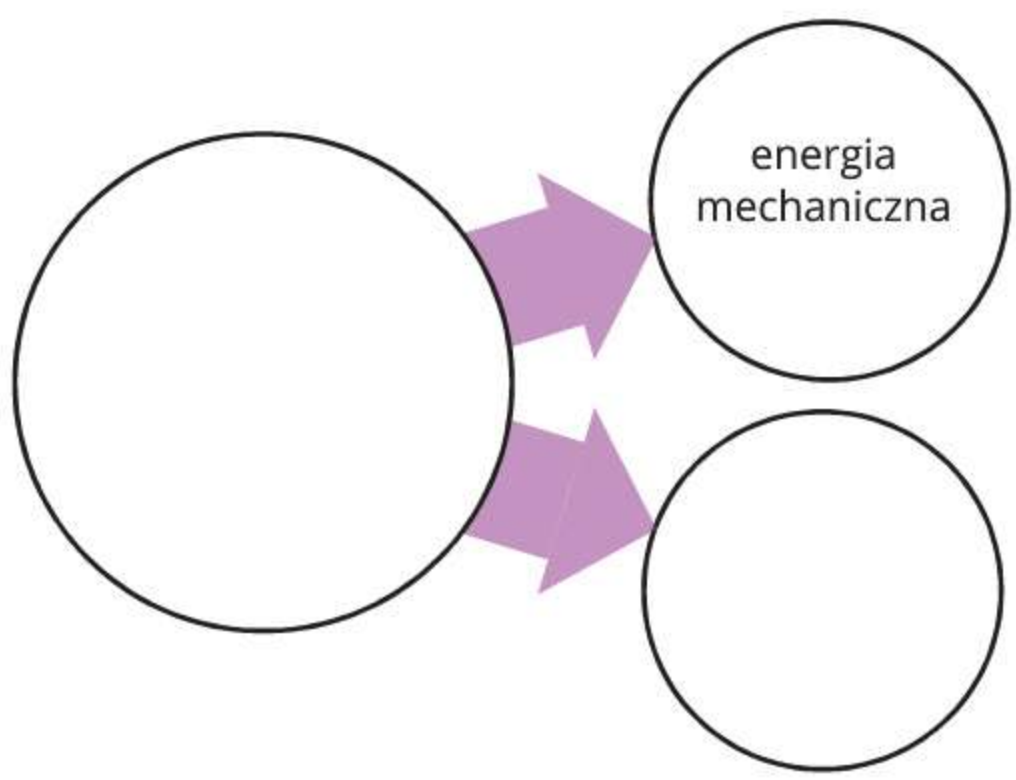
Sprawdź się!

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

1.	Kilowatogodzina jest jednostką mocy urządzeń elektrycznych.	**P**	**F**
2.	Licznik energii elektrycznej podaje ilość zużytej energii w kWh.	**P**	**F**
3.	Czajnik elektryczny zamienia energię elektryczną na mechaniczną.	**P**	**F**
4.	Energię mechaniczną można wytworzyć kosztem elektrycznej.	**P**	**F**

2. Narysuj w zeszycie diagram przemian energii dla piekarnika elektrycznego, jeżeli wiadomo, że zużywa on energię elektryczną 1 MJ, z czego 2 % zamieniane jest na energię kinetyczną wentylatora termoobiegu, 10 % – na światło, a pozostała energia zamieniana jest na energię wewnętrzną grzałki, powietrza i przygotowywanych potraw.

3. Przerysuj do zeszytu poniższy schemat przemian energii w pralce i wpisz w odpowiednie miejsca określenia „energia wewnętrzna" i „energia elektryczna".

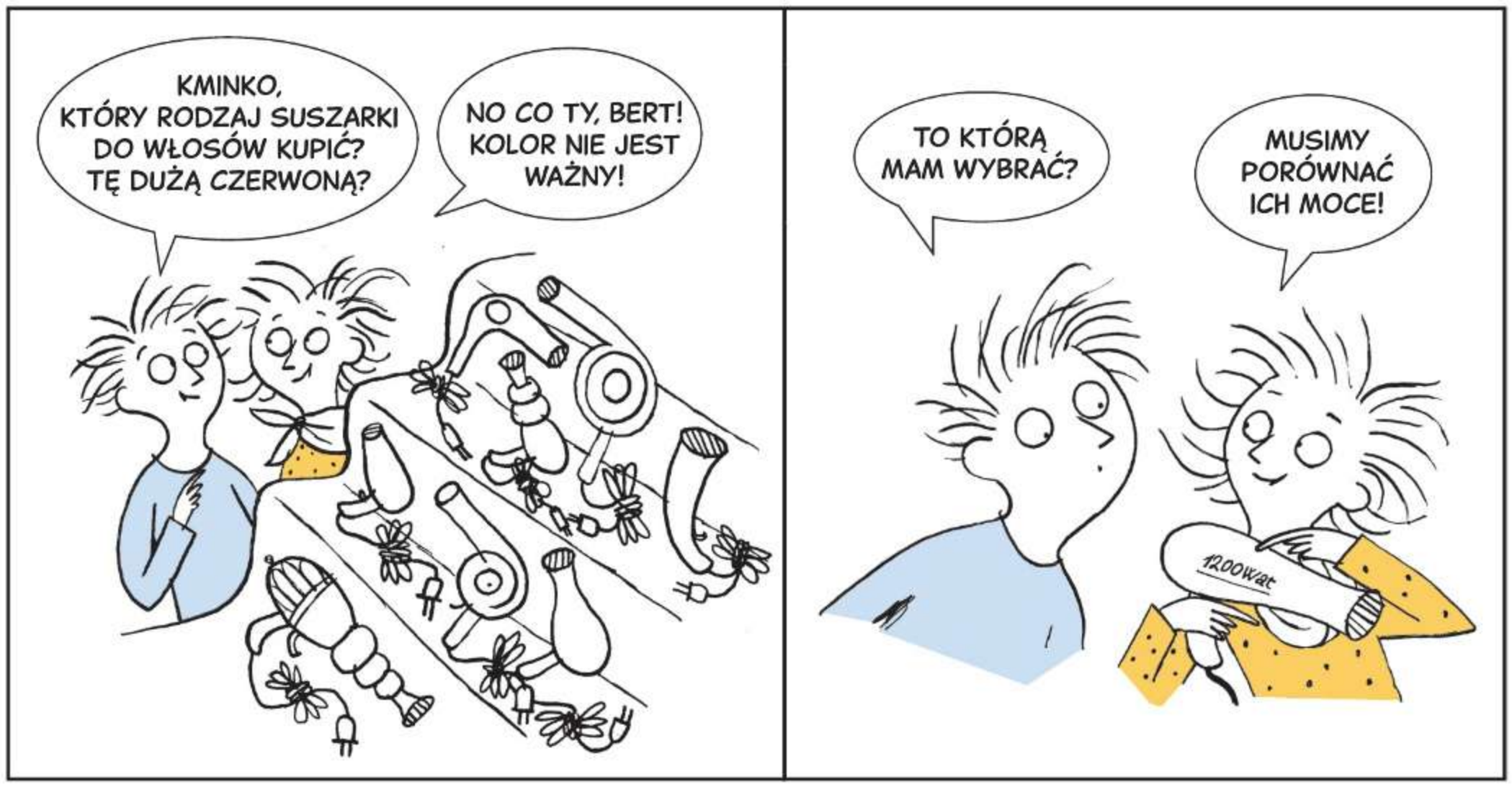


4. Komputer o mocy 95 W pracuje średnio 8 godzin dziennie. Oszacuj miesięczny (30 dni) koszt energii elektrycznej zużywanej przez to urządzenie. Przyjmij, że koszt 1 kWh energii elektrycznej jest równy 1,1 zł. Wynik podaj z zaokrągleniem do pełnych złotych.

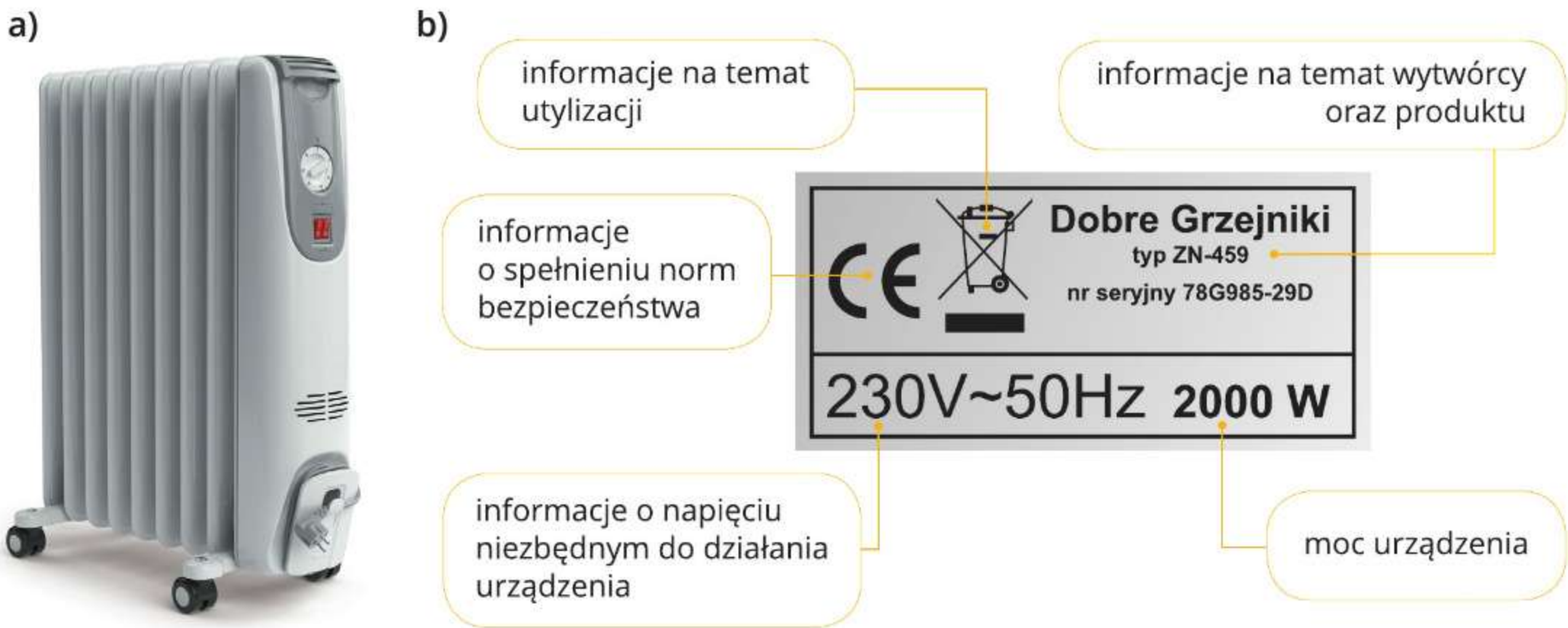
5. Elektryczny podgrzewacz do wody pobiera energię elektryczną przez 8 godzin dziennie. Miesięczny (30 dni) koszt pracy tego podgrzewacza jest równy 317 zł. Cena 1 kWh energii elektrycznej wynosi 1,1 zł. Oblicz moc tego podgrzewacza. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

19. Praca i moc prądu elektrycznego

- Jak obliczamy pracę prądu elektrycznego?
- Jak obliczamy moc prądu elektrycznego?



Na obudowie niemal każdego urządzenia elektrycznego znajdziemy tzw. tabliczkę znamionową. Zawiera ona informacje o podstawowych parametrach urządzenia, np. o mocy oraz o napięciu, do którego należy je podłączyć, aby działało zgodnie z przeznaczeniem. Jest na niej także informacja o tym, że urządzenie spełnia normy dotyczące bezpiecznego używania, oraz o sposobach utylizacji zużytego sprzętu (ryc. 19.1.).



Ryc. 19.1. Grzejnik elektryczny (a) i jego tabliczka znamionowa (b)

Urządzenia elektryczne, czyli odbiorniki, są zasilane ze źródła energii elektrycznej. Napięcie na odbiorniku powoduje, że przepływa przez niego ładunek elektryczny. Energia E potrzebna do tego, by ładunek q przepłynął przez odbiornik, i napięcie elektryczne U na odbiorniku są ze sobą powiązane:

$$E = U \cdot q$$

Z kolei związek między tym ładunkiem i natężeniem prądu I płynącego przez odbiornik w czasie t możemy zapisać wzorem:

$$q = I \cdot t$$

Oba zapisane wzory dotyczą tego samego ładunku i opisują to samo zjawisko przepływu prądu przez odbiornik. Możemy więc połączyć je w jeden wzór:

$$E = U \cdot I \cdot t$$

Energia potrzebna do przemieszczenia ładunku w urządzeniu jest równa pracy W wykonywanej przez prąd płynący przez to urządzenie, zatem można zapisać:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Pracę W prądu w urządzeniu elektrycznym możemy obliczyć, jeżeli znamy napięcie zasilania U urządzenia, natężenie prądu I płynącego przez urządzenie oraz czas jego przepływu t. Praca ta jest równa energii elektrycznej pobranej przez urządzenie ze źródła energii.

Praca prądu elektrycznego jest w urządzeniu elektrycznym przekształcana w inne formy energii. Na przykład praca prądu płynącego przez suszarkę do włosów powoduje obracanie się dmuchawy wprawiającej w ruch powietrze (energia kinetyczna), rozgrzewanie się grzałki i ogrzewanie powietrza (energia wewnętrzna) oraz hałas (energia fali dźwiękowej) – rycina 19.2.

Jednostką pracy jest dżul (J), co w przypadku pracy prądu elektrycznego możemy zapisać jako:

$$1\ \mathrm{J} = 1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{A} \cdot 1\ \mathrm{s}$$

Ryc. 19.2. Schemat przemian energii zachodzących w suszarce

Zobacz, jak to zrobić!

Gofrownica jest zasilana z sieci elektrycznej o napięciu 230 V. Natężenie płynącego przez nią prądu wynosi 5 A. Obliczmy pracę, jaką wykonuje prąd elektryczny zasilający to urządzenie podczas pieczenia porcji gofrów, jeśli czas pieczenia wynosi 4 minuty.

Dane: $U = 230$ V, $I = 5$ A, $t = 4$ min = 240 s

Szukane: W

Rozwiązanie:

Pracę prądu elektrycznego obliczamy ze wzoru:

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$W = 230\ \text{V} \cdot 5\ \text{A} \cdot 240\ \text{s} = 276\ 000\ \text{J} = 276\ \text{kJ}$$

Odpowiedź: Prąd elektryczny wykonuje pracę 276 kJ.

Moc, pracę i czas jej wykonania łączy związek:

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

Po wstawieniu do tego wzoru wyrażenia na pracę prądu elektrycznego otrzymamy wzór pozwalający obliczyć moc prądu:

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$$

czyli:

$$P = U \cdot I$$

gdzie:

P – moc prądu elektrycznego,

U – napięcie elektryczne,

I – natężenie prądu.

Jednostką mocy jest wat (W), co w przypadku mocy prądu elektrycznego możemy zapisać jako:

$$1\ \text{W} = 1\ \text{V} \cdot 1\ \text{A}$$

Aby obliczyć moc prądu elektrycznego przepływającego przez urządzenie, należy znać napięcie U na tym urządzeniu oraz natężenie prądu I przepływającego przez nie podczas użytkowania.

Odbiorniki energii elektrycznej, które spotykamy na co dzień, np. żarówki czy urządzenia AGD, są przystosowane do zasilania ze źródeł o napięciu elektrycznym podanym przez producenta na tabliczce znamionowej. Na tabliczce tej znajduje się również informacja o mocy urządzenia w sytuacji, gdy jest ono podłączone do takiego właśnie napięcia. Moc tę nazywamy mocą znamionową urządzenia. Informacja ta pozwala obliczyć natężenie prądu płynącego przez urządzenie podczas jego działania.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy moc prądu elektrycznego przepływającego przez żarówkę podłączoną do obwodu elektrycznego przedstawionego na ilustracji. Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Rozwiązanie:

Z mierników odczytujemy napięcie, do którego podłączono żarówkę, oraz natężenie prądu, który przez nią płynie. W tym przypadku $U = 4{,}49$ V oraz $I = 0{,}24$ A. Obliczamy moc prądu:

$$P = U \cdot I = 4{,}49\ \text{V} \cdot 0{,}24\ \text{A} \approx 1{,}1\ \text{W}$$

Odpowiedź: Moc prądu elektrycznego zasilającego żarówkę jest równa ok. 1,1 W.

Zobacz, jak to zrobić!

Obliczmy natężenie prądu płynącego przez silnik modelarski podczas jego działania.

Rozwiązanie:

Z silnika odczytujemy napięcie zasilania oraz moc znamionową. W tym przypadku $U = 12$ V oraz $P = 45$ W.

Przekształcamy wzór na moc prądu i po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{45\ \text{W}}{12\ \text{V}} = 3{,}75\ \text{A}$$

Odpowiedź: Natężenie prądu płynącego przez silnik modelarski podczas jego pracy wynosi 3,75 A.

Rozglądaj się wokół!

Odbiorniki energii elektrycznej o różnym napięciu zasilania i różnej mocy

Każdy odbiornik energii elektrycznej jest przystosowany do zasilania ze źródła o określonym przez producenta napięciu elektrycznym. Urządzenia, z których korzystamy na co dzień, mają różnie określone napięcia zasilania i różne moce.

Miniaturowy wentylator, który można podłączyć do źródła energii elektrycznej o napięciu 5 V (np. komputera lub ładowarki smartfonu) za pomocą złącza USB, ma moc znamionową 2,5 W. Informacje te znajdują się na tabliczce znamionowej przyklejonej do obudowy urządzenia.

Żarówka do latarki jest przystosowana do napięcia zasilania 2,5 V, a jej moc wynosi 0,3 W. Wartości te są zazwyczaj wytłoczone na metalowej obudowie żarówki, tuż nad jej gwintem.

Turystyczny czajnik przystosowany do zasilania z gniazda samochodowego o napięciu 12 V ma moc 250 W. Tabliczka znamionowa tego urządzenia znajduje się na spodniej części obudowy.

Maszyna do popcornu jest przeznaczona do zasilania napięciem 230 V i ma moc 1200 W. Informacje o parametrach urządzenia są wytłoczone na spodniej części obudowy.

Zobacz, jak to zrobić!

Porównajmy czasy zagotowania takiej samej ilości wody w dwóch różnych czajnikach z wykorzystaniem danych z ich tabliczek znamionowych. Producent określił moc pierwszego czajnika jako przedział od 1850 W do 2200 W, natomiast moc drugiego czajnika jako 915–1080 W. Do obliczeń przyjmijmy wartości mocy ze środka zakresu podanego przez producenta.

Przyjmujemy, że moc czajnika jest równa 2025 W.

Przyjmujemy, że moc czajnika jest równa 1000 W.

Dane: $P_1 = 2025$ W, $P_2 = 1000$ W

Szukane: $\frac{t_2}{t_1}$

Rozwiązanie:

Zakładamy, że w obu czajnikach cała praca prądu elektrycznego jest zużywana na ogrzanie wody.

Do zagotowania tej samej masy wody w obu czajnikach potrzebna jest taka sama energia:

$$E_1 = E_2$$

Energia ta jest równa pracy prądu płynącego w czasie t, potrzebnym na zagotowanie wody przez urządzenie o mocy P, i możemy wyznaczyć ją ze wzoru:

$$E = W = P \cdot t$$

zatem:

$$P_1 \cdot t_1 = P_2 \cdot t_2$$

gdzie: t_1, t_2 – czas zagotowania się wody odpowiednio w czajniku pierwszym i drugim.

Podzielmy obie strony równania przez P_2 oraz t_1. Po skróceniu otrzymamy:

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{2025\,\text{W}}{1000\,\text{W}} = 2{,}025 \approx 2$$

Odpowiedź: Zagotowanie wody w drugim czajniku (o mniejszej mocy) będzie trwało ok. 2 razy dłużej niż zagotowanie tej samej ilości wody w pierwszym czajniku (o większej mocy).

Dowiedz się więcej!

Sprawność urządzeń

Urządzenia elektryczne przekształcają pracę prądu na inne formy energii. Niektóre formy są użyteczne, ponieważ są związane z podstawową funkcją urządzenia, a inne nie – te nazywamy stratami energii. Tę część pracy prądu elektrycznego, która jest w urządzeniu zamieniana na pożądany rodzaj energii, nazywamy pracą użyteczną. Praca użyteczna nigdy nie jest równa całej pracy prądu elektrycznego zasilającego dane urządzenie. Na przykład w przypadku miksera kuchennego tylko 50 % pracy prądu elektrycznego jest zamieniane na energię mechaniczną mieszadeł miksera. Pozostała praca prądu elektrycznego jest zamieniana w mikserze na niepożądane formy energii – wewnętrzną i fali dźwiękowej (wzrost temperatury i dźwięk).

Wielkością opisującą, jaką część pracy prądu elektrycznego stanowi praca użyteczna, jest sprawność. Oznaczamy ją grecką literą η (czyt. eta). Jeśli przez W_e oznaczymy pracę prądu elektrycznego zasilającego urządzenie, a przez W_u pracę użyteczną tego urządzenia, to sprawność η urządzenia można obliczyć ze wzoru:

$$\eta = \frac{W_u}{W_e} \cdot 100\ \%$$

Sprawność rzeczywistych urządzeń jest zawsze mniejsza od 100 %.

W tabeli przedstawiono sprawności kilku urządzeń elektrycznych oraz wskazano użyteczne i niepożądane rodzaje energii, na jakie praca prądu elektrycznego jest w nich przekształcana.

Urządzenie	Sprawność (%)	Użyteczny rodzaj energii	Niepożądane rodzaje energii
silnik elektryczny	80	energia mechaniczna	energia wewnętrzna, energia fali dźwiękowej
głośnik	2	energia fali dźwiękowej	energia mechaniczna, energia wewnętrzna
żarówka tradycyjna	5	energia fali elektromagnetycznej (świetlnej)	energia wewnętrzna
telewizor	30	energia fali elektromagnetycznej (świetlnej), energia fali dźwiękowej	energia wewnętrzna

Podsumujmy!

- **Pracę prądu elektrycznego** obliczamy ze wzoru: $W = U \cdot I \cdot t$.
- **Moc prądu** obliczamy ze wzoru: $P = U \cdot I$.

Sprawdź się!

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

1.	Praca prądu elektrycznego zależy wyłącznie od napięcia źródła i natężenia prądu, który z niego wypływa.	**P**	**F**
2.	Im większa jest moc urządzenia elektrycznego, tym więcej energii elektrycznej zużywa ono w określonym czasie.	**P**	**F**
3.	Spośród dwóch odbiorników energii elektrycznej większą pracę w tym samym czasie wykona ten, który ma większą moc.	**P**	**F**
4.	Natężenie prądu płynącego przez urządzenie można wyznaczyć na podstawie informacji o jego mocy oraz napięciu zasilania.	**P**	**F**

2. Odszukaj i zapisz w zeszycie wartość mocy trzech różnych urządzeń elektrycznych, z których korzystasz na co dzień.

3. Prostownica do włosów jest podłączona do napięcia 230 V i płynie przez nią prąd o natężeniu 0,5 A. Oblicz, jaką pracę wykonuje ten prąd w czasie 15 minut.

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

Młynek do kawy oraz ultradźwiękowa myjka do biżuterii są podłączone do tego samego źródła napięcia. Natężenie prądu płynącego przez młynek jest cztery razy większe od natężenia prądu płynącego przez myjkę. Oznacza to, że prąd elektryczny płynący przez młynek w porównaniu z prądem płynącym przez myjkę wykona w tym samym czasie

A.	mniejszą	pracę, ponieważ moc młynka jest	**1.**	większa od mocy myjki.
B.	większą		**2.**	taka sama jak moc myjki.
C.	taką samą		**3.**	mniejsza od mocy myjki.

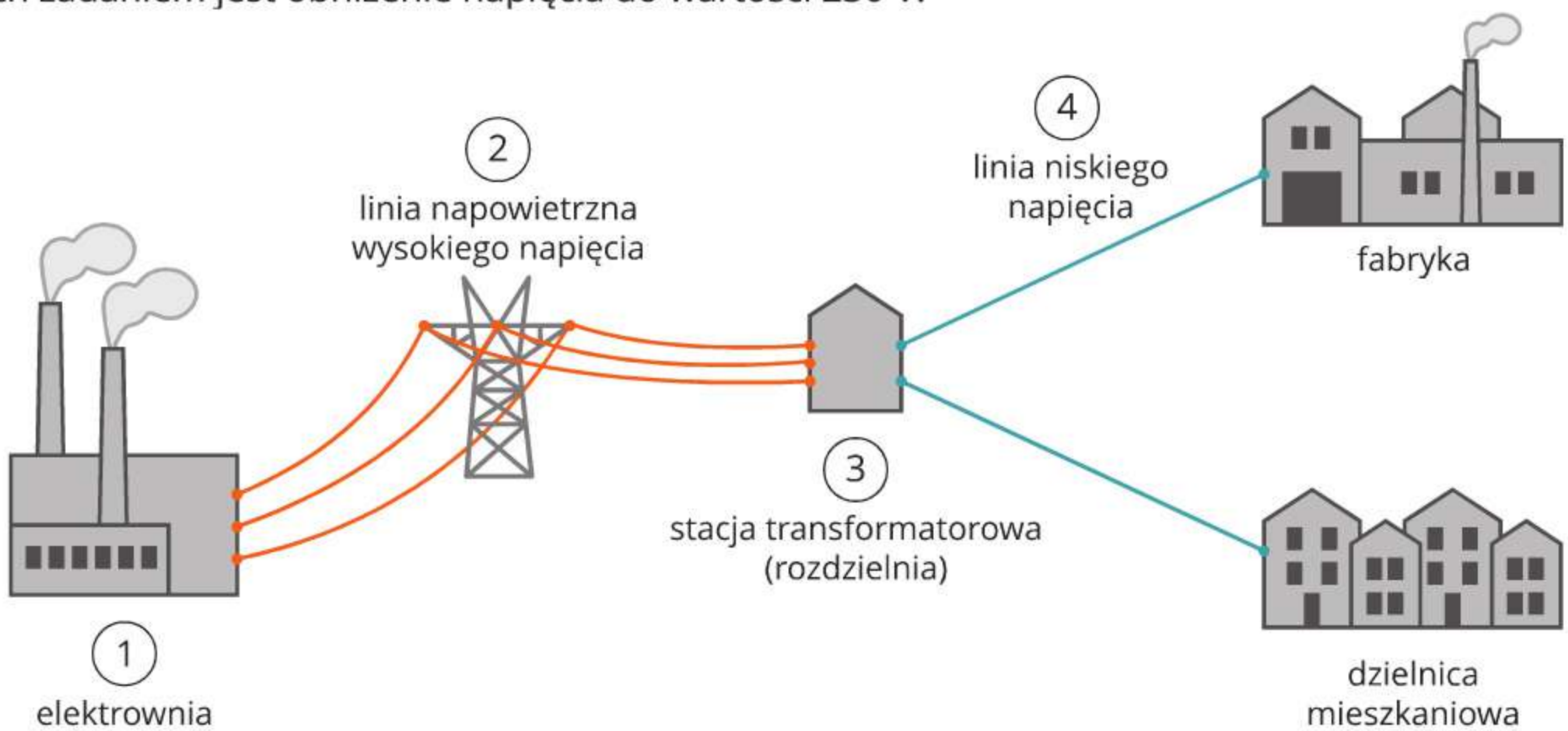
5. Na ilustracji przedstawiono tabliczkę znamionową elektrycznego ogrzewacza do wody. Odczytaj z tabliczki i zapisz w zeszycie, jakie jest napięcie zasilania oraz moc ogrzewacza. Oblicz natężenie prądu płynącego przez ogrzewacz podczas pracy. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

20. Korzystanie z energii elektrycznej

- Jak bezpiecznie korzystać z energii elektrycznej?
- Jaką funkcję pełnią bezpieczniki?

Współcześnie energia elektryczna jest niezbędna do normalnego funkcjonowania na co dzień. Konsekwencje przerwania dostaw tej energii, tzw. blackout (czyt. blekałt), to nie tylko brak oświetlenia czy niedziałające domowe urządzenia elektryczne. To również kłopoty z funkcjonowaniem szpitali, niedziałająca sygnalizacja uliczna czy brak dostępu do sieci telefonicznej.

Energia elektryczna wytwarzana w elektrowni (1 na ryc. 20.1.) przesyłana jest przewodami zawieszonymi nad ziemią (2). Linie te są pod wysokim napięciem i płynie w nich prąd o dużym natężeniu. Zanim energia elektryczna dotrze do naszych domów, trafia do stacji transformatorowych (3). Ich zadaniem jest obniżenie napięcia do wartości 230 V.



Ryc. 20.1. Najważniejsze elementy sieci elektroenergetycznej

F

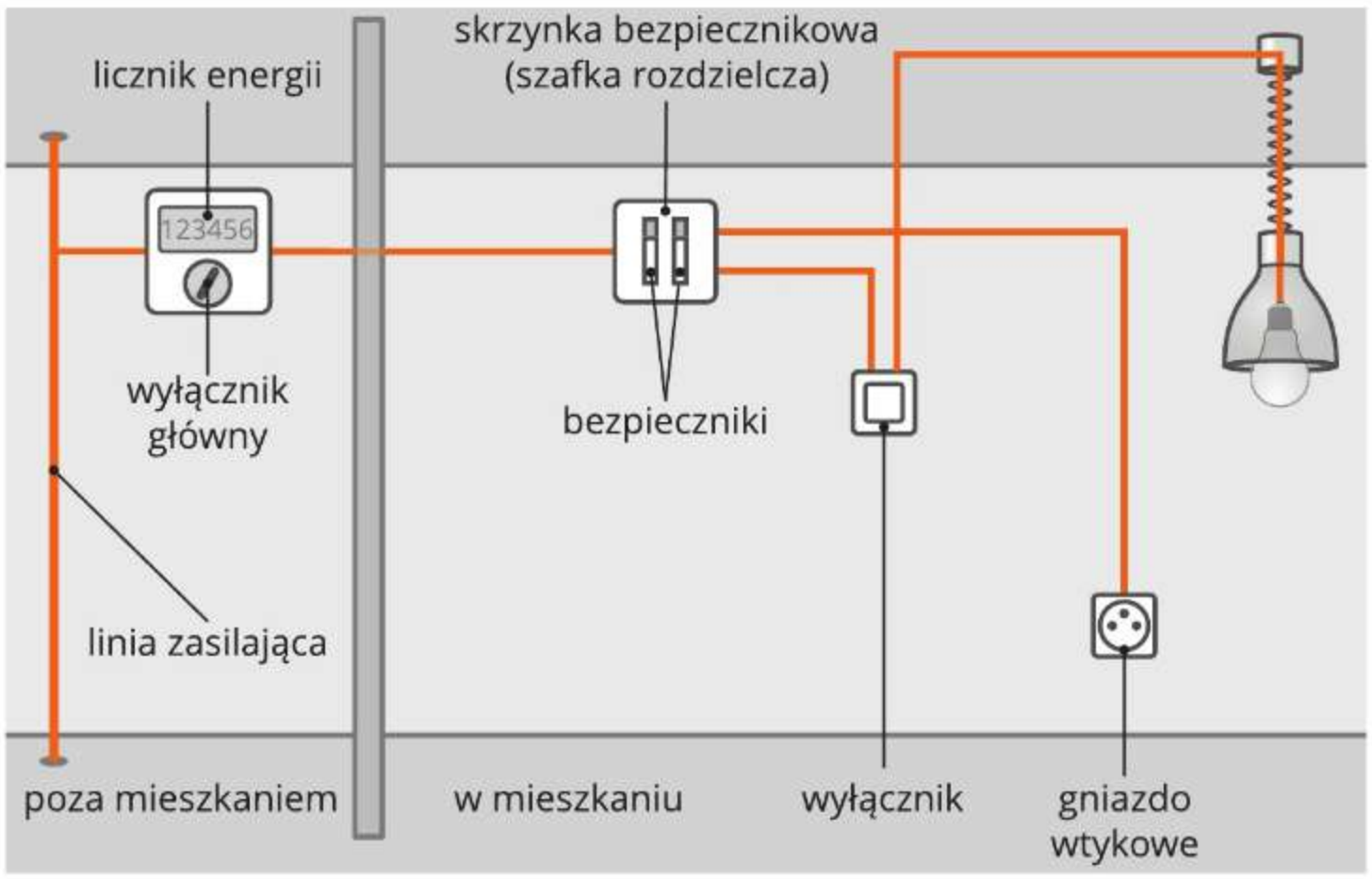
W żadnym przypadku nie należy dotykać urządzeń służących do przesyłania energii elektrycznej. Już prąd o natężeniu 1 mA płynący przez organizm człowieka jest odczuwalny, a prąd o natężeniu 30 mA może okazać się śmiertelny. Natężenie prądu płynącego przez organizm człowieka zależy od jego oporu elektrycznego oraz napięcia źródła. Napięcie elektryczne powyżej 24 V powoduje przepływ prądu o natężeniu, które może być szkodliwe dla zdrowia i spowodować na przykład oparzenia. Ponadto organizm człowieka jest źródłem elektrycznych impulsów nerwowych, m.in. sterujących pracą serca; ich zaburzenie wywołane przepływem prądu z zewnętrznego źródła może być groźne dla życia. Symbole ostrzegające o zagrożeniu porażeniem prądem elektrycznym przedstawia rycina 20.2.

Ryc. 20.2. Znaki niebezpieczeństwa umieszczane na urządzeniach elektrycznych

W trosce o bezpieczeństwo człowieka w domowych instalacjach elektrycznych stosuje się różnego rodzaju zabezpieczenia.

Licznik energii elektrycznej, wyłącznik główny oraz bezpieczniki są elementami każdej domowej instalacji elektrycznej. Są połączone przewodami z wyłącznikami lamp oraz gniazdami domowych odbiorników energii elektrycznej (ryc. 20.3.a). Przewody wykonuje się najczęściej z miedzi otoczonej izolacją, czyli materiałem nieprzewodzącym prądu elektrycznego (ryc. 20.3.b). Zadaniem izolacji jest uniemożliwienie kontaktu między przewodami oraz zabezpieczenie użytkownika przed porażeniem prądem elektrycznym. Przewody stosowane w instalacjach domowych mają zazwyczaj podwójną izolację – indywidualną (kolorowe otoczki) oraz zbiorczą (biała otoczka).

a)



b)

Ryc. 20.3. Symboliczne przedstawienie fragmentu instalacji domowej (a) i przewody w podwójnej izolacji (b)

Bezpiecznik to bardzo ważny element zabezpieczający instalację w mieszkaniu oraz zwiększający bezpieczeństwo korzystania z energii elektrycznej. Zadaniem bezpiecznika przeciążeniowego jest przerwanie przepływu prądu, gdy jego natężenie przekroczy określoną przez producenta bezpiecznika wartość graniczną (np. 6 A lub 10 A). Zazwyczaj fragmenty instalacji doprowadzające energię elektryczną do każdego z pomieszczeń zabezpieczone są oddzielnymi bezpiecznikami przeciążeniowymi. Bezpieczniki stosowane w domowych instalacjach elektrycznych mogą mieć różną budowę.

Ryc. 20.4. Różnego rodzaju bezpieczniki przeciążeniowe

Przeciążeniowy bezpiecznik topikowy (ryc. 20.4.a) zawiera krótki drucik zamknięty w odpowiedniej obudowie. Gdy przez bezpiecznik płynie prąd o zbyt dużym natężeniu, drucik ten nagrzewa się i topi, co przerywa obwód. Zbyt duże natężenie prądu może wynikać z jednoczesnego podłączenia wielu odbiorników energii elektrycznej do instalacji domowej. Analogiczną funkcję pełnią bezpieczniki automatyczne (ryc. 20.4.b, c). Bezpiecznik automatyczny można ponownie włączyć, żeby prąd znów popłynął w mieszkaniu. Dlatego może on pełnić również funkcję wyłącznika. Natomiast gdy spali się bezpiecznik topikowy, trzeba go wymienić na nowy.

Bezpieczniki zabezpieczające wszystkie obwody instalacji domowej znajdują się w jednym miejscu, tzw. skrzynce bezpiecznikowej.

Dowiedz się więcej!

Bezpiecznik różnicowoprądowy

W wielu domach i mieszkaniach oprócz bezpieczników przeciążeniowych znajdują się bezpieczniki różnicowoprądowe, które porównują natężenie prądu wpływającego do obwodu z natężeniem prądu wypływającego z tego obwodu. Gdy różnica tych natężeń osiągnie 30 mA, bezpiecznik przerywa dopływ prądu. Tak dzieje się na przykład podczas awarii, gdy część prądu płynie przez obudowę pralki czy lodówki, lub w przypadku porażenia człowieka prądem.

F Zobacz, jak to zrobić!

W domowej sieci elektrycznej jest napięcie 230 V. Czajnik elektryczny o mocy 1100 W oraz lodówkę o mocy 500 W podłączono do takiej sieci. Obliczmy, czy jednoczesne włączenie obu urządzeń spowodowałoby wyłączenie bezpiecznika przeciążeniowego o prądzie granicznym o natężeniu 6 A.

Dane: $U = 230$ V, $P_1 = 1100$ W, $P_2 = 500$ W

Szukane: I

Rozwiązanie:

Skorzystamy ze wzoru łączącego moc prądu, napięcie zasilania oraz natężenie prądu:

$$P = U \cdot I$$

Podzielimy obie strony równania przez napięcie U i otrzymamy:

$$I = \frac{P}{U}$$

Oba urządzenia jednocześnie pobierają energię elektryczną, zatem ich łączna moc jest równa:

$$P = 1100\ \text{W} + 500\ \text{W} = 1600\ \text{W}$$

Po wstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$I = \frac{1600\ \text{W}}{230\ \text{V}} \approx 6{,}96\ \text{A}$$

Odpowiedź: Przez bezpiecznik popłynąłby prąd o natężeniu 6,96 A, czyli większy od wartości granicznej 6 A. Spowodowałoby to jego wyłączenie.

Fragment instalacji domowej doprowadzający energię elektryczną do kuchni z reguły jest zabezpieczony bezpiecznikiem o większym natężeniu prądu granicznego (np. 16 A lub 25 A). Umożliwia to jednoczesne używanie wielu urządzeń AGD.

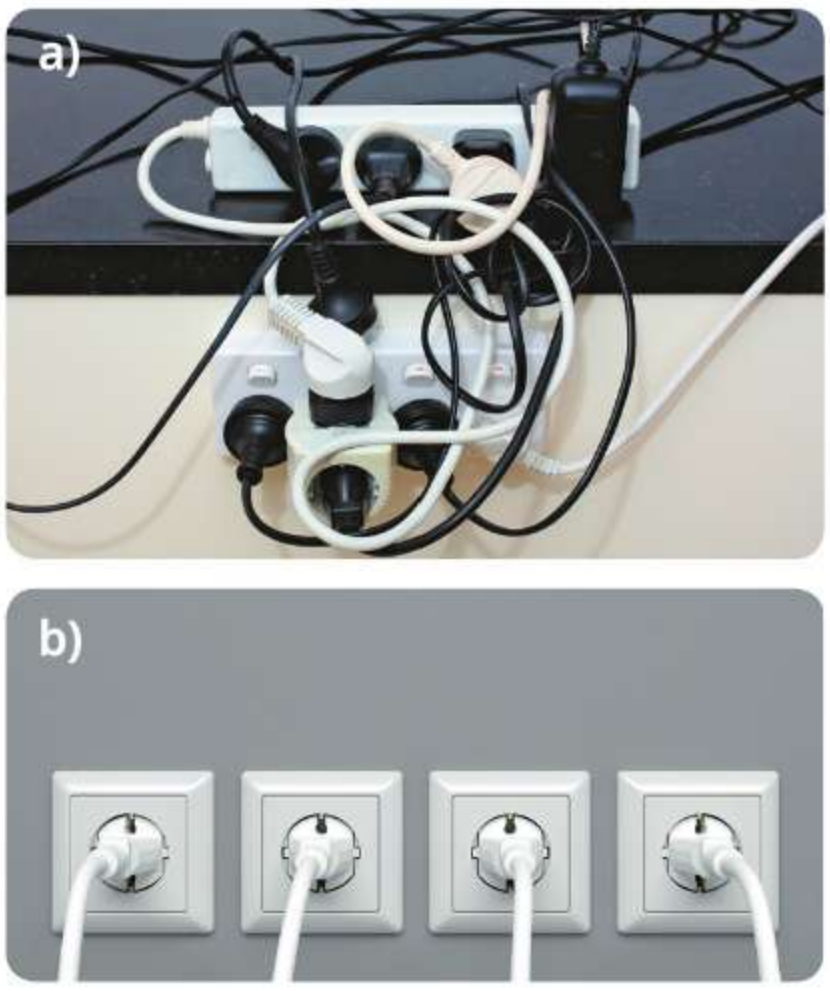
Ryc. 20.5. Gniazdo wtykowe z bolcem

Urządzenia elektryczne podłączamy do gniazd wtykowych domowej instalacji elektrycznej. Niektóre z tych gniazd są wyposażone w dodatkowy element – metalowy bolec uziemiający (ryc. 20.5.). Po podłączeniu urządzenia wyposażonego we wtyczkę z uziemieniem do gniazda z uziemieniem bolec zostaje połączony z obudową urządzenia. Prąd płynący przez uszkodzoną obudowę może być bardzo niebezpieczny dla człowieka. Zadaniem uziemienia jest odprowadzenie tego prądu bezpośrednio do ziemi.

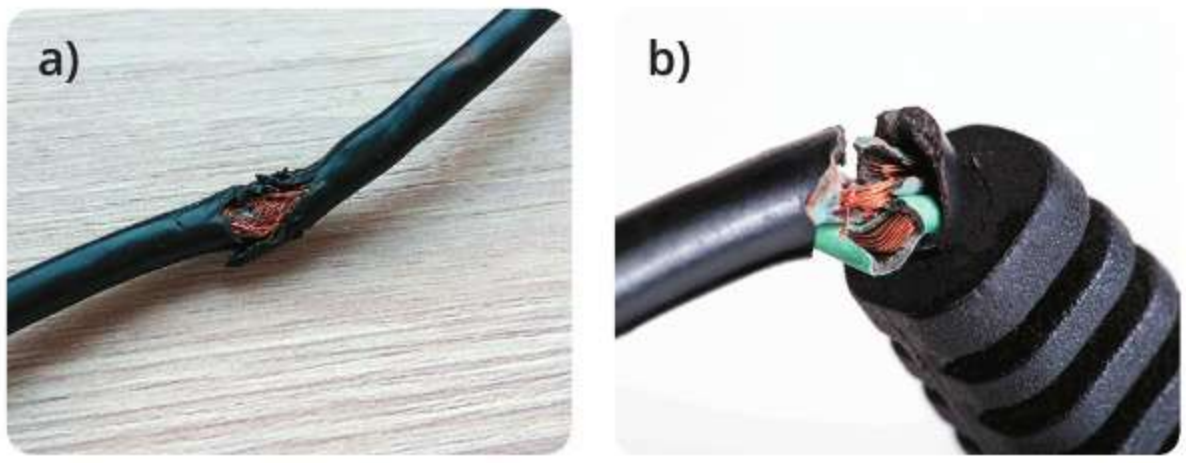
Należy zwracać szczególną uwagę na to, żeby do jednego gniazda nie włączać zbyt wielu urządzeń. Gniazdo wtykowe przeciążone wieloma rozgałęźnikami zaczyna się rozgrzewać, co może spowodować pożar.

Podczas korzystania z urządzeń elektrycznych należy zachować szczególną ostrożność i używać ich zawsze zgodnie z instrukcją obsługi. Jeżeli zdarzy się wypadek i ktoś zostanie porażony prądem, a dopływ prądu nie zostanie przerwany, przed udzieleniem pomocy należy odłączyć zasilanie gniazda.

Nigdy nie podłączamy do instalacji elektrycznej urządzeń, które mają uszkodzony przewód elektryczny (ryc. 20.7.a) lub uszkodzoną wtyczkę sieciową (ryc. 20.7.b). Urządzeń elektrycznych nie wolno również używać w pobliżu wody (np. zakazane jest korzystanie z suszarek do włosów podczas kąpieli). Dlatego właśnie podczas zalania mieszkania trzeba zacząć od odłączenia zasilania prądem elektrycznym. Wyłączamy wówczas wyłącznik główny! W ten sposób można zabezpieczyć się przed porażeniem prądem elektrycznym.



Ryc. 20.6. Nieprawidłowe (a) i prawidłowe (b) podłączenie wielu odbiorników



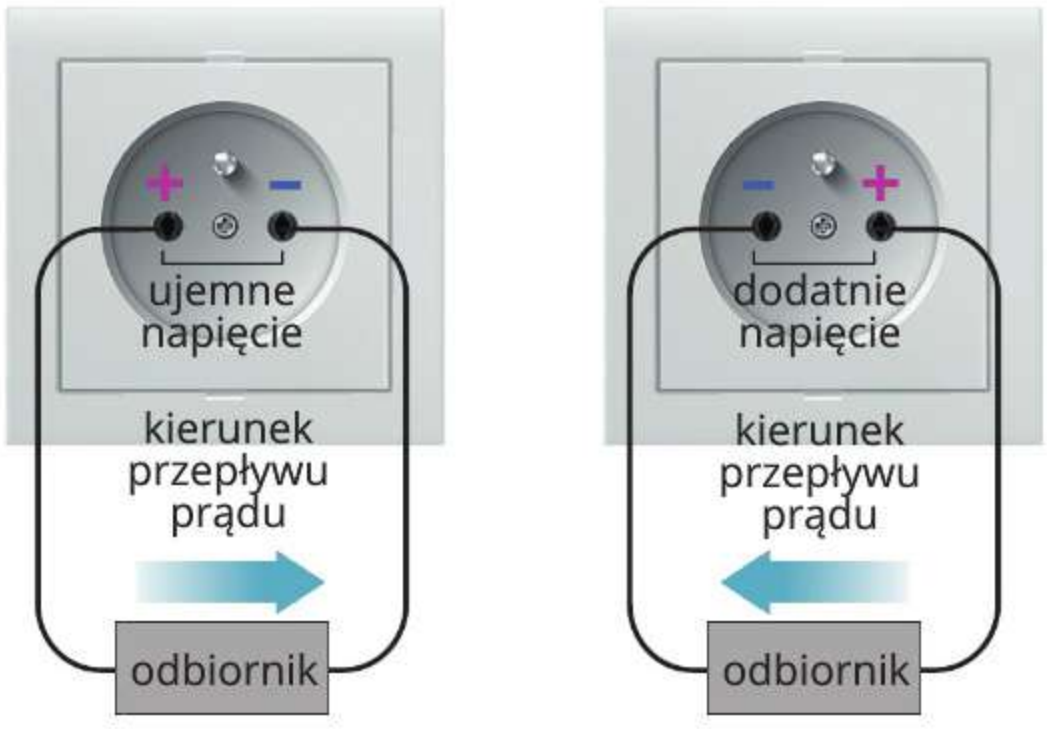
Ryc. 20.7. Uszkodzone przewody elektryczne (a) i uszkodzona wtyczka sieciowa (b)

Dowiedz się więcej!

Prąd przemienny

Odbiorniki w domowej sieci elektrycznej podłączamy do gniazd, które pełnią funkcję źródła energii elektrycznej. W domowej sieci elektrycznej napięcie zmienia się 50 razy na sekundę i wywołuje przepływ prądu, którego natężenie również okresowo zmienia się w czasie. Częstotliwość tych zmian wynosi 50 Hz. Oznacza to, że 50 razy na sekundę zmienia się kierunek przepływu prądu. Prąd płynący w sieci elektrycznej nazywamy prądem przemiennym.

Informacja o częstotliwości zmian napięcia zasilającego dane urządzenie elektryczne także znajduje się na jego tabliczce znamionowej.



Rozglądaj się wokół!

F

Różne rodzaje gniazd (i wtyczek)

Sieci energetyczne w różnych miejscach świata rozwijały się niezależnie od siebie. Obecnie istnieje wiele różnych rodzajów gniazd elektrycznych, a więc i wtyczek. W Polsce spotykamy głównie trzy typy gniazd.

Gniazdo typu C nie jest wyposażone w bolec uziemiający i powinno się do niego włączać tylko odbiorniki, które nie wymagają uziemienia (są to zazwyczaj urządzenia o małej mocy i w obudowie z izolatora elektrycznego, np. zasilacz do smartfona).

Gniazdo typu E (najpopularniejsze w naszym kraju) jest wyposażone w bolec uziemiający i przystosowane do podłączania odbiorników, których wtyczka ma otwór na bolec uziemiający. Do takiego gniazda można bezpiecznie podłączyć także wtyczkę przystosowaną do gniazda typu C.

W rzadko spotykanym w Polsce **gnieździe typu F** uziemieniem są sprężynujące blaszki umieszczone u góry i u dołu gniazda. Do tego gniazda można podłączać wtyczki z uziemieniem w postaci szczeliny z blaszką lub wtyczki z blaszką i otworem na bolec.

Przed podróżą zagraniczną warto sprawdzić, jakiego rodzaju gniazda wtykowe występują w kraju, do którego się wybieramy. Może się okazać, że urządzenie z polską wtyczką będzie wymagać adaptera, który da się podłączyć do instalacji w danym kraju.

Podsumujmy!

- **Bezpieczniki przeciążeniowe** zabezpieczają instalację elektryczną przed poborem prądu o zbyt dużym natężeniu i niebezpieczeństwem wynikającym z takiego przeciążenia.
- Podczas korzystania z urządzeń elektrycznych należy zachować ostrożność.

Sprawdź się!

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

1.	Bezpiecznik przeciążeniowy zabezpiecza przed porażeniem prądem.	**P**	**F**
2.	Korzystanie z urządzeń, w których przewód zasilający jest uszkodzony, grozi porażeniem prądem elektrycznym.	**P**	**F**
3.	Przepływ prądu w domowej instalacji elektrycznej może być przerwany poprzez wyłączenie głównego wyłącznika.	**P**	**F**
4.	Przed udzieleniem pomocy poszkodowanemu porażonemu prądem należy przerwać dopływ prądu.	**P**	**F**

2. Na ilustracji przedstawiono wtyczkę przeznaczoną do gniazda z bolcem. Z jakiego rodzaju materiałów – przewodnika czy izolatora – powinny być wykonane elementy wtyczki oznaczone numerami 1, 2 , 3?

3. Bezpiecznik przeciążeniowy jest przystosowany do pracy w obwodzie o maksymalnym natężeniu prądu równym 10 A. Oblicz, jaką maksymalną łączną moc mogą mieć urządzenia podłączone do źródła napięcia o wartości 230 V w obwodzie zabezpieczonym tym bezpiecznikiem.

4. Fragment domowej sieci elektrycznej jest przystosowany do podłączenia do niego urządzeń o łącznej mocy 4600 W. Oblicz, jakie powinno być graniczne natężenie prądu przepływającego przez bezpiecznik przeciążeniowy w tej sieci.

5. Wtyczkę urządzenia elektrycznego należy wyjmować z gniazda wtykowego z jednoczesnym przytrzymaniem gniazda drugą dłonią. Dlaczego ze względów bezpieczeństwa należy tak postępować?

POWTÓRZENIE
Prąd elektryczny

Prąd elektryczny

Prąd elektryczny to uporządkowany ruch elektronów lub jonów.

Przepływ prądu może nastąpić tylko w obwodzie zamkniętym, w którym jest źródło napięcia.

Napięcie elektryczne

napięcie

$$U = \frac{E}{q}$$

energia

ładunek

Napięcie elektryczne informuje o ilości energii potrzebnej do przeniesienia danego ładunku w obwodzie.

Jednostką napięcia jest wolt (V).

Do pomiaru napięcia elektrycznego służy woltomierz.

Natężenie prądu

natężenie prądu

$$I = \frac{q}{t}$$

przepływający ładunek

czas przepływu

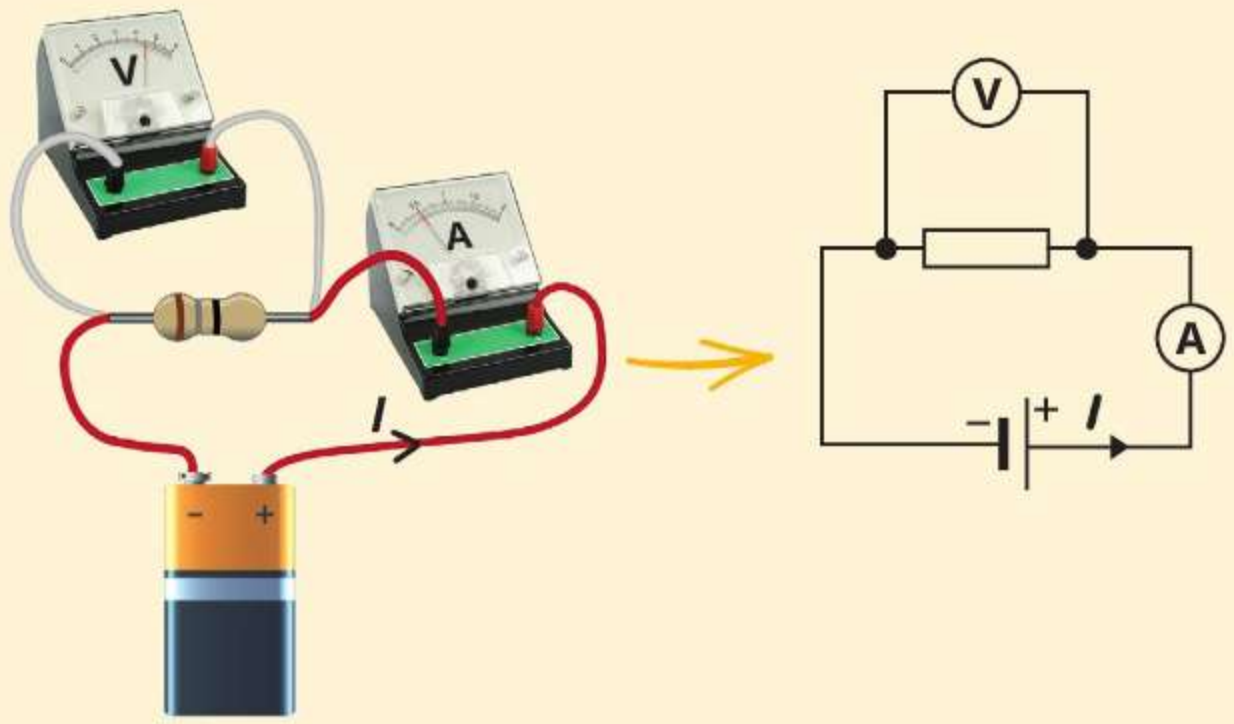
Natężenie prądu informuje o ładunku, jaki przepływa w czasie sekundy przez przekrój poprzeczny przewodnika.

Jednostką natężenia jest amper (A).

Do pomiaru natężenia prądu służy amperomierz.

Schematy obwodów elektrycznych

Rysunek przedstawiający symbole elementów obwodu elektrycznego i sposób połączenia tych elementów nazywamy schematem obwodu.



Opór elektryczny

opór elektryczny

$$R = \frac{U}{I}$$

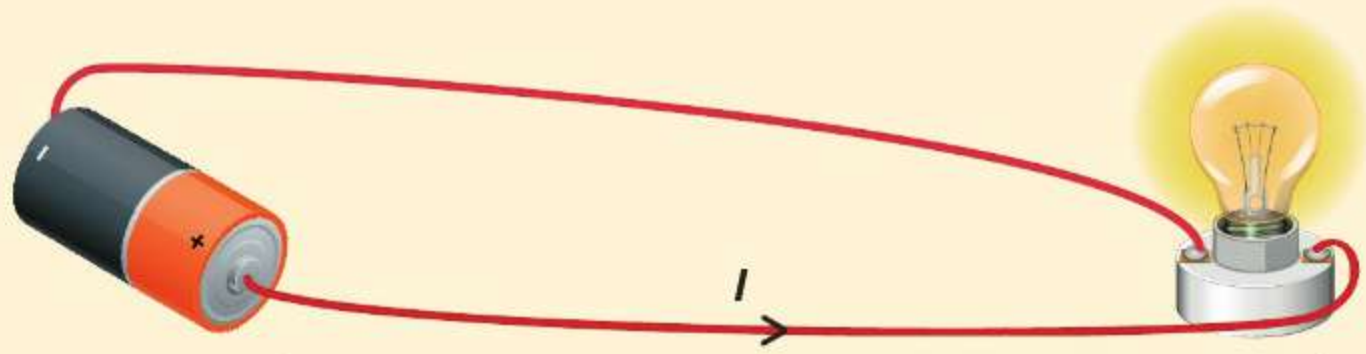
napięcie na oporniku

natężenie prądu płynącego przez opornik

Opór elektryczny ciała jest cechą wynikającą z budowy tego ciała. Nie zależy on ani od napięcia, ani od natężenia prądu płynącego przez ciało.

Jednostką oporu elektrycznego jest om (Ω).

Przemiany energii w obwodzie elektrycznym



energia elektryczna źródła → praca prądu elektrycznego → energia wydzielona na odbiorniku

praca prądu

$$W = U \cdot I \cdot t$$

napięcie

czas

natężenie

Jednostką pracy prądu elektrycznego jest dżul (J) lub kilowatogodzina (kWh).

$1\ \text{kWh} = 3{,}6 \cdot 10^{6}\ \text{J}$

moc prądu

$$P = U \cdot I$$

napięcie

natężenie

Jednostką mocy jest wat (W).

Sprawdź się!

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

1.	Uporządkowany ruch elektronów w przewodniku to prąd elektryczny.	**P**	**F**
2.	Im krótszy jest przewód wykonany z danego materiału i o ustalonym polu przekroju poprzecznego, tym większy jest jego opór elektryczny.	**P**	**F**
3.	Spośród urządzeń podłączonych do domowej sieci elektrycznej większą moc ma to, przez które płynie prąd o mniejszym natężeniu.	**P**	**F**
4.	Bezpieczniki przeciążeniowe zabezpieczają instalację elektryczną przed przepływem przez nią prądu o zbyt dużym natężeniu.	**P**	**F**

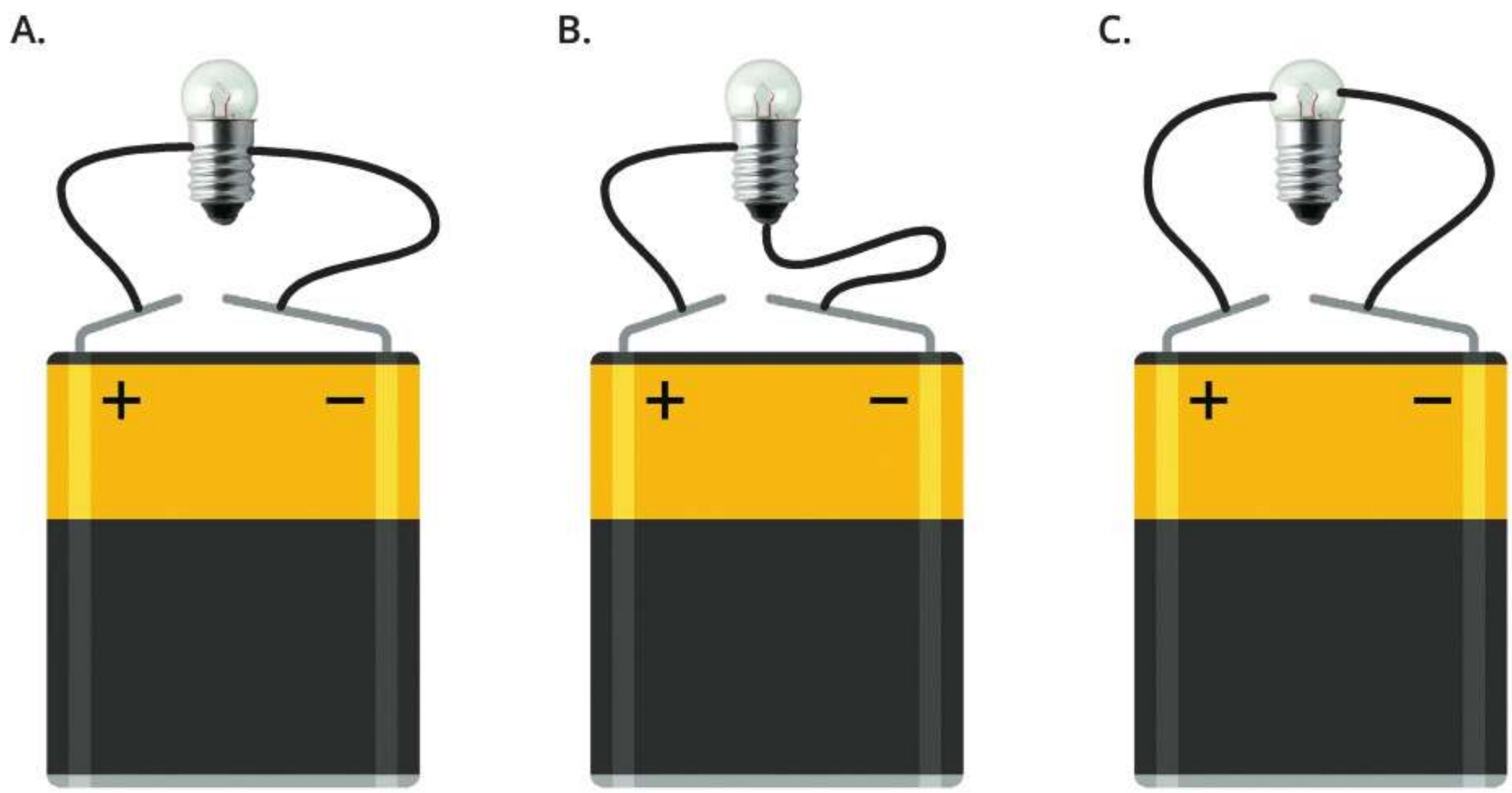
2. Wybierz właściwe uzupełnienie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne dokończenie spośród wariantów **1** i **2**.

Jednostką natężenia prądu jest

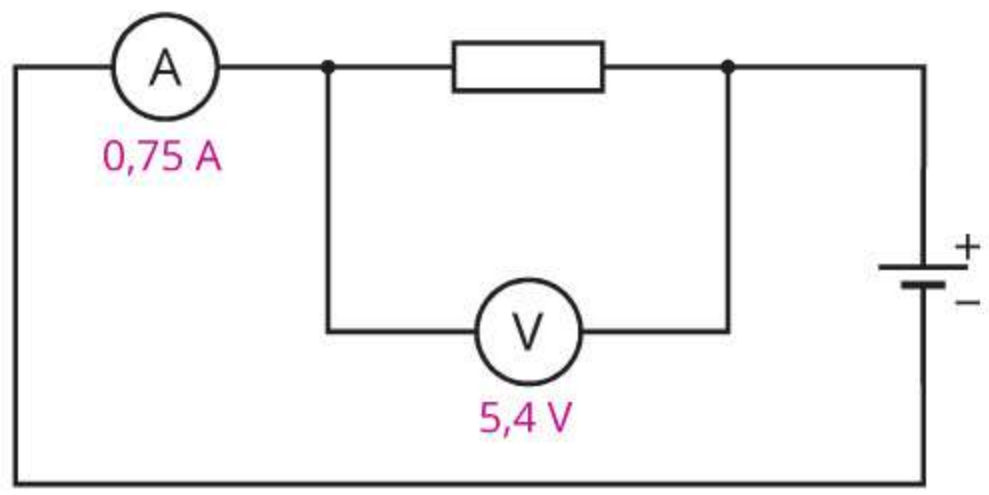
A.	amper,	a natężenie o jednostkowej wartości oznacza,	**1.**	że przez przekrój poprzeczny przewodu przepływa ładunek 1 C w czasie 1 sekundy.
B.	wolt,		**2.**	że dostarczono energię 1 J ładunkowi 1 C.

3. Podaj trzy przykłady urządzeń, którymi posługujesz się na co dzień, choć każde z nich wymaga zasilania napięciem o innej wartości. Podaj także wartości tych napięć.

4. Na ilustracjach przedstawiono trzy różne sposoby połączenia żarówki z baterią. Wskaż obwód, w którym żarówka będzie świeciła.



5. Na ilustracji przedstawiono schemat obwodu elektrycznego służącego do wyznaczania oporu opornika. Obok symboli amperomierza i woltomierza zapisano wskazania tych mierników. Na podstawie wyników pomiarów oblicz opór opornika.

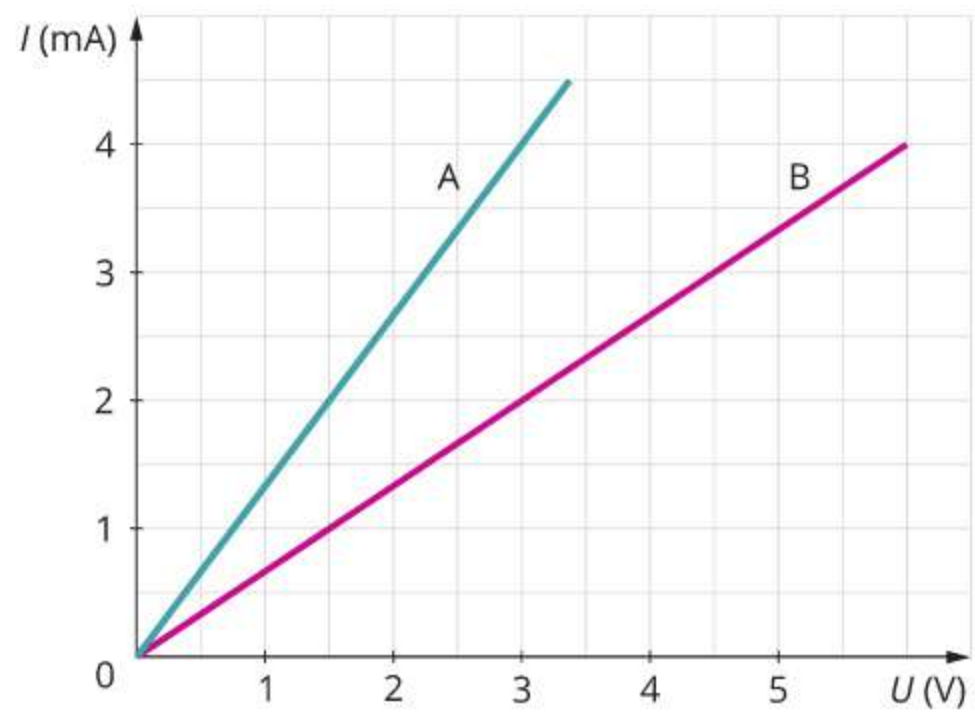


6. Samobieżny odkurzacz elektryczny pobrał ze źródła napięcia 10 kJ energii elektrycznej. 40 % tej energii jest w urządzeniu zamieniane na energię kinetyczną, 1 % na dźwięk, a pozostała energia zamieniana jest na energię wewnętrzną odkurzacza, śmieci oraz przepływającego przez niego powietrza. Oblicz, ile energii zostało zamienione na energię wewnętrzną. Wynik podaj w kWh z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

7. Telewizor o mocy 60 W pracuje średnio 4 godziny dziennie. Oszacuj miesięczny koszt energii elektrycznej zużywanej przez to urządzenie. Przyjmij, że 1 kWh kosztuje 1 złotówkę i 10 groszy, a miesiąc ma 30 dni. Wynik podaj z dokładnością do pojedynczych groszy.

8. Elektryczna winda w budynku mieszkalnym pobierała w kwietniu energię elektryczną średnio przez 1 godzinę dziennie. Miesięczny koszt pracy tej windy był równy 180 zł. Cena 1 kWh energii elektrycznej wynosiła 1,1 zł. Oblicz moc silnika elektrycznego windy.

9. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu elektrycznego płynącego przez odbiornik od napięcia jego zasilania dla dwóch różnych urządzeń. Przez który z odbiorników płynął prąd o większej mocy, jeżeli każde z urządzeń podłączone było do źródła napięcia o wartości 3 V?



10. Na ilustracji przedstawiono tabliczkę znamionową telewizora. Odczytaj moc tego telewizora. Oblicz natężenie prądu płynącego przez urządzenie, jeżeli jest ono podłączone do sieci o napięciu 230 V. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

11. Domowa sieć elektryczna zabezpieczona jest bezpiecznikiem przeciążeniowym 16 A. Oblicz, jaka może być największa moc pracujących jednocześnie urządzeń elektrycznych podłączonych do tej sieci.

12. Żarówka samochodowa, przystosowana do napięcia zasilania 12 V, ma moc 100 W. Oblicz opór elektryczny tej żarówki podczas świecenia.

13. W samochodzie dla dzieci zainstalowany jest silnik elektryczny o mocy 45 W. Oblicz, w jakim czasie ten samochód może pokonać (ruchem jednostajnym) wzniesienie o wysokości 5 m, jeśli jego masa wraz z dzieckiem to 30 kg. Do obliczeń przyjmij, że przyspieszenie ziemskie ma wartość $10\ \frac{N}{kg}$ oraz że 75 % energii elektrycznej jest zamieniane (za pośrednictwem silnika i układu jezdnego auta) na energię potencjalną grawitacji samochodu i dziecka. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Tekst popularnonaukowy

Defibrylator

Z prądu elektrycznego korzystamy na co dzień – płynie on przez urządzenia elektryczne w naszych domach, takie jak żarówki, komputery czy lodówki. Jednak elektryczność to nie wymysł człowieka. Natura również wykorzystuje impulsy elektryczne – a prąd płynie nawet w naszym organizmie. Na przykład komórki naszego serca cyklicznie wytwarzają impulsy elektryczne. Rozchodzą się one w tkance mięśniowej tego narządu i zmuszają go do pracy w powtarzalnym cyklu skurcz – rozkurcz. Zdrowe serce wytwarza impulsy elektryczne o napięciu ok. 50 mV średnio 70 razy w ciągu minuty. Czasami, np. na skutek choroby, serce przestaje pracować prawidłowo. Wytwarza wówczas impulsy elektryczne za rzadko lub o zbyt niskim napięciu. Podczas zaburzeń pracy serca może dojść do nagłego zatrzymania krążenia (NZK) – wtedy konieczne jest użycie defibrylatora.

a)

b)

Defibrylator to urządzenie, którego zadaniem jest przywrócenie pracy serca (ryc. a). Składa się on ze źródła zasilania oraz połączonych z nim przewodów zakończonych tzw. elektrodami. Urządzenie jest źródłem wysokiego napięcia (tzw. wyładowania) wywołującego w organizmie przepływ prądu, dzięki któremu serce może powrócić do wytwarzania napięcia elektrycznego niezbędnego do jego pracy.

W wielu miejscach użyteczności publicznej znaleźć można automatyczne defibrylatory zewnętrzne – AED (z ang. *automated external defibrillator*, czyt. otomejted eksternal defibrylejtor), które oznacza się symbolem widocznym na rycinie b. Użycie AED nie wymaga specjalistycznej wiedzy medycznej. Instrukcja użycia defibrylatora zawiera opis działań, jakie powinna podjąć osoba udzielająca pomocy człowiekowi w stanie NZK. Znajdziemy tam następujące polecenia:

1. Sprawdź, czy poszkodowany oddycha – jeśli nie, po wezwaniu pomocy rozpocznij uciskanie klatki piersiowej aż do chwili uruchomienia defibrylatora AED.
2. Po wyciągnięciu defibrylatora z torby zabezpieczającej włącz go i postępuj zgodnie z instrukcjami głosowymi.
3. Przyklej elektrody na klatce piersiowej poszkodowanego, poczekaj na odczyt pulsu. Jeżeli pulsu nie ma, aparat poprosi cię o włączenie przycisku rozpoczynającego ładowanie.
4. Odsuń się od poszkodowanego i zadbaj, aby nikt go nie dotykał w trakcie defibrylacji.
5. Naciśnij przycisk defibrylacji. Defibrylator poinformuje cię o rozpoczęciu wyładowania, które nastąpi zaraz po komunikacie.
6. Defibrylator ponownie zbada puls pacjenta i w razie potrzeby poprosi, aby ponownie rozpocząć procedurę.

Podczas wyładowania, które trwa 0,2 sekundy, impuls elektryczny o energii 360 J przesyłany jest z defibrylatora do poszkodowanego. Napięcie wytwarzane podczas jednego wyładowania to ok. 1500 V.

Sprawdź się!

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

1.	Ciało człowieka jest źródłem prądu elektrycznego.	**P**	**F**
2.	Defibrylator jest urządzeniem przeznaczonym do przywrócenia pracy serca.	**P**	**F**
3.	Napięcie wytwarzane przez defibrylator AED jest zbliżone do napięcia wytwarzanego przez serce człowieka.	**P**	**F**
4.	Do obsługi automatycznego defibrylatora AED nie jest potrzebna specjalistyczna wiedza medyczna.	**P**	**F**

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.
Podczas defibrylacji z użyciem AED

A.	można dotykać ratowanego,	ponieważ prąd elektryczny	**1.**	płynie tylko przez osobę podłączoną do urządzenia.
B.	nie można dotykać ratowanego,		**2.**	może popłynąć także przez osobę dotykającą ratowanego.

3. Oblicz moc wyładowania z defibrylatora AED. Przyjmij, że cała energia impulsu jest oddawana podczas wyładowania.

4. Oblicz natężenie prądu płynącego przez ciało człowieka (w tym przez serce) podczas jednego wyładowania AED.

DZIAŁ V

MAGNETYZM

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

Co to jest elektromagnes?

Jak działa silnik elektryczny?

21. Magnesy

- Czy każdy magnes ma dwa bieguny?
- Jak działa kompas?

Nocą na niebie północnej Norwegii często można zobaczyć zorze polarne. Mechanizm ich powstawania jest złożony, ale niezbędnym czynnikiem jest obecność wokół Ziemi pola magnetycznego, czyli przestrzeni, w której obserwujemy skutki oddziaływania magnetycznego. Ziemia jest magnesem, a jej bieguny magnetyczne znajdują się w okolicach biegunów geograficznych.

Ryc. 21.1. Zorza polarna na Lofotach

Zbadaj to sam!

Badamy wzajemne oddziaływanie magnesów

1. Do doświadczenia będą potrzebne dwa dowolne magnesy.
2. Zbliżaj magnesy do siebie przy ich różnych wzajemnych ustawieniach.
3. Zapisz w zeszycie obserwacje dotyczące wzajemnego oddziaływania magnesów.

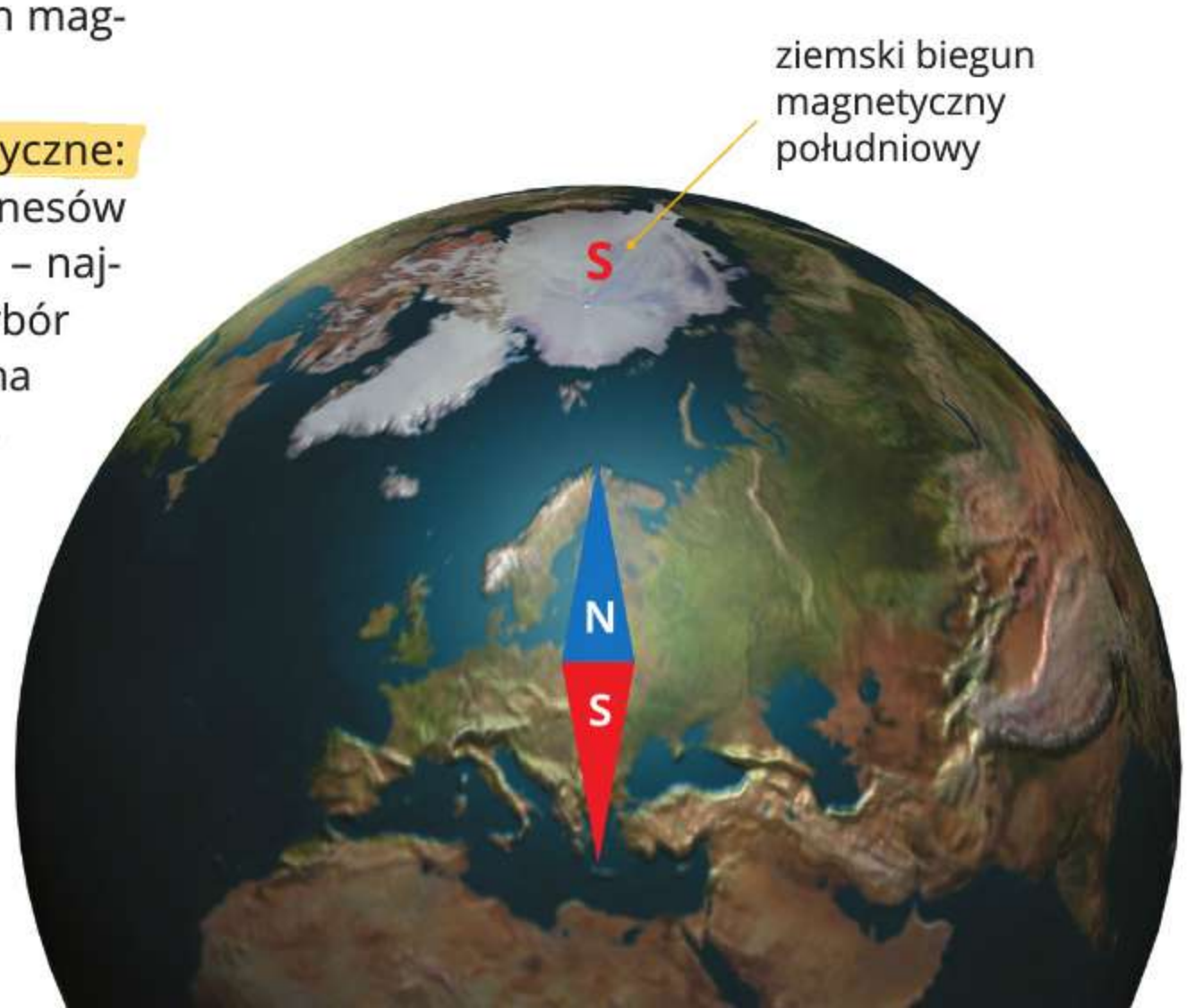
Oddziaływanie magnetyczne jest oddziaływaniem na odległość i może powodować wzajemne przyciąganie się lub odpychanie ciał. Zazwyczaj obserwujemy skutki tego oddziaływania, gdy zbliżamy do siebie magnes i jakiś stalowy przedmiot. Dwa magnesy zwrócone do siebie tymi samymi biegunami odpychają się, natomiast zwrócone do siebie różnymi biegunami się przyciągają.

W kompasach (służących do określania geograficznych kierunków świata) głównym elementem budowy jest niewielki, swobodnie obracający się magnes (ryc. 21.2.). Taki magnes nazywamy igłą magnetyczną.

Biegun igły magnetycznej, który wskazuje położenie geograficznego bieguna północnego Ziemi, nazywamy magnetycznym biegunem północnym tej igły i oznaczamy literą N. Drugi biegun igły oznaczamy symbolem S, gdyż wskazuje położenie geograficznego bieguna południowego Ziemi. Igła ustawia się w ten sposób, ponieważ bieguny magnetyczne Ziemi i magnesu przyciągają się – biegun N igły jest przyciągany przez ziemski biegun magnetyczny południowy, a biegun S igły – przez ziemski biegun magnetyczny północny. Oznacza to, że w pobliżu północnego bieguna geograficznego Ziemi znajduje się jej południowy biegun magnetyczny S, a w pobliżu południowego bieguna geograficznego – północny biegun magnetyczny N (ryc. 21.3.).

Ryc. 21.2. Igła magnetyczna i kompas

Każdy magnes ma dwa bieguny magnetyczne: północny N i południowy S. Bieguny magnesów zazwyczaj zaznacza się różnymi kolorami – najczęściej niebieski to N, a czerwony to S. Wybór kolorów jest sprawą umowną, dlatego można także spotkać się z innym oznaczeniem biegunów magnetycznych.



Ryc. 21.3. Ustawienie igły magnetycznej w ziemskim polu magnetycznym

Bieguny magnetyczne Ziemi nie znajdują się dokładnie tam, gdzie jej bieguny geograficzne. Co więcej, zaobserwowano, że z upływem czasu ziemskie bieguny magnetyczne zmieniają swoje położenie. Pięćdziesiąt lat temu magnetyczny biegun południowy Ziemi przemieszczał się mniej więcej o 15 km rocznie, a obecnie wędruje szybciej, nawet do 55 km rocznie (ryc. 21.4.). Geologiczne dowody wskazują na to, że co kilkaset tysięcy lat bieguny magnetyczne naszej planety zamieniają się miejscami.

Ryc. 21.4. Położenie południowego bieguna magnetycznego Ziemi w latach 1831–2020

Zobacz, jak to zrobić!

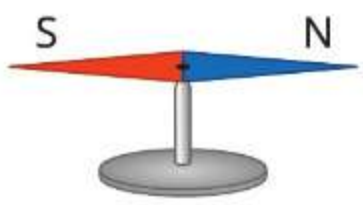
Jak określić położenie biegunów magnesu?

Jakie czynności należy wykonać, aby za pomocą igły magnetycznej określić, z której strony magnesu sztabkowego znajduje się biegun północny N, a z której biegun południowy S?

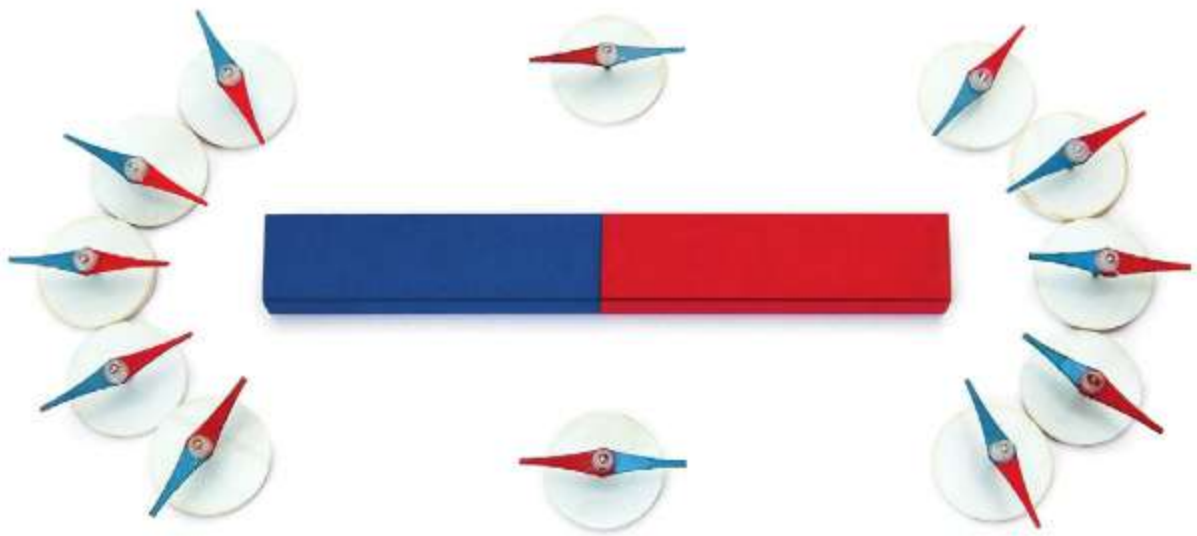
Rozwiązanie:

Umieśćmy igłę magnetyczną z prawej strony sztabki, w odległości ok. 5 cm od jej krawędzi. Jeśli igła obróci się biegunem S w stronę sztabki, to znaczy, że z prawej strony sztabki mamy biegun N. Jeśli natomiast igła ustawi się odwrotnie, to znaczy, że z tej strony sztabki mamy biegun S.

Podobnie określamy biegun magnesu sztabkowego z lewej strony.



Ustawienie się igły magnetycznej w pobliżu magnesu jest konsekwencją oddziaływania magnetycznego między tymi przedmiotami. Jeśli wiele igieł magnetycznych umieścimy w różnych miejscach wokół magnesu, to ustawią się one w charakterystyczny sposób (ryc. 21.5.). Skutki oddziaływania magnetycznego obserwujemy w całej przestrzeni wokół magnesu, bo wszędzie tam jest pole magnetyczne.

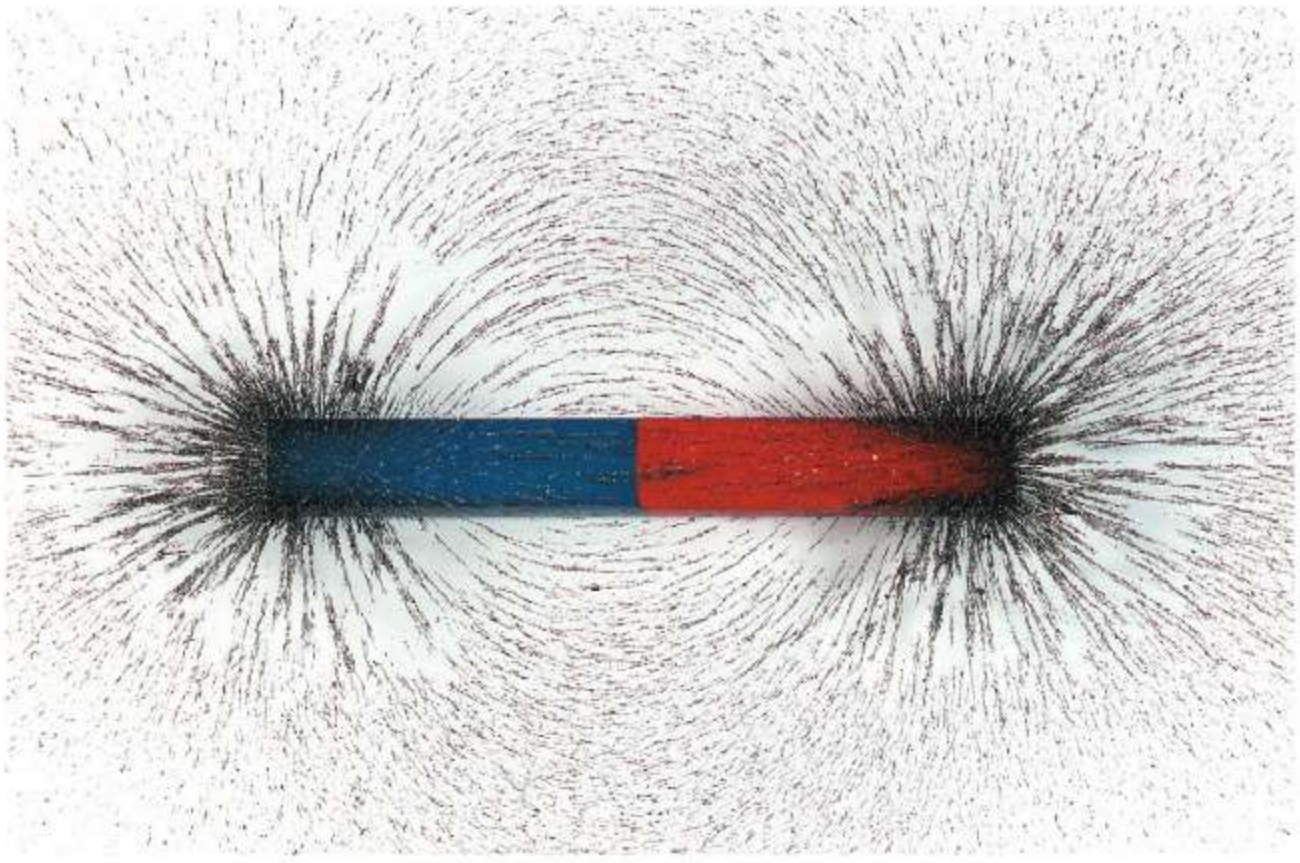


Ryc. 21.5. Ustawienie wielu igieł magnetycznych w pobliżu magnesu sztabkowego

Zbadaj to sam!

Badamy właściwości magnetyczne przedmiotów wykonanych z różnych materiałów

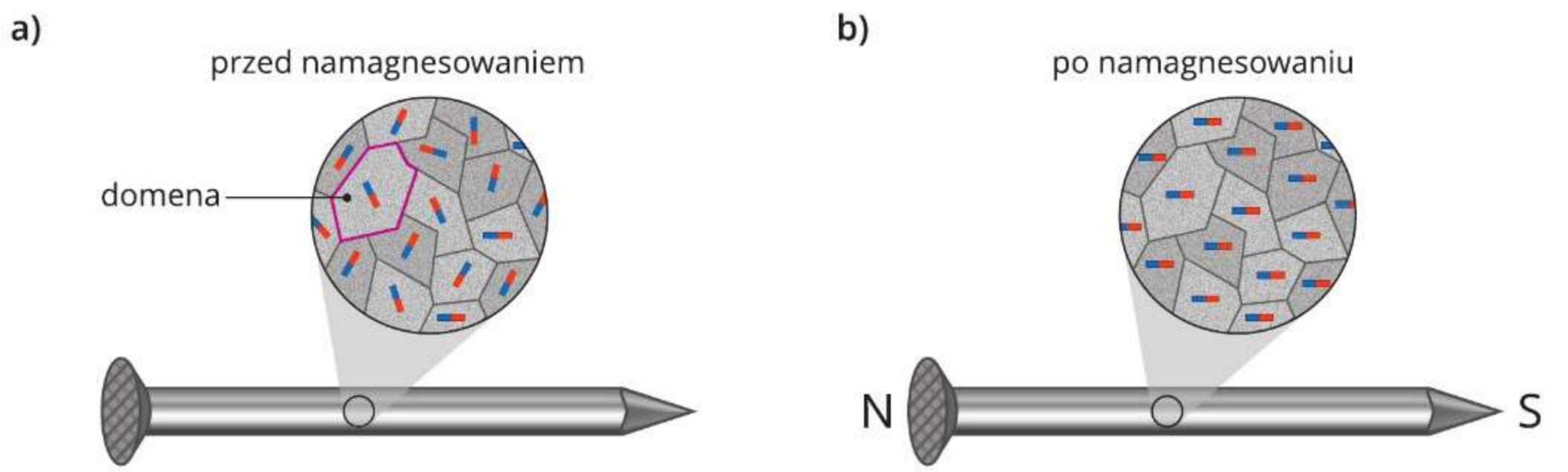
1. Do doświadczenia będą potrzebne: magnes oraz przedmioty wykonane z różnych materiałów, np. plastikowa linijka, drewniany ołówek, plastelina, metalowe sztućce, złoty lub srebrny pierścionek, stalowe nożyczki, folia aluminiowa.
2. Magnes zbliżaj kolejno do każdego z przedmiotów.
3. Czy wszystkie przedmioty są przyciągane przez magnes? Czy wszystkie metalowe przedmioty są przyciągane przez magnes?
4. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia dotyczące oddziaływania między magnesem i kolejnymi przedmiotami.



Ryc. 21.6. Ustawienie opiłków żelaza w pobliżu magnesu sztabkowego

Magnesy oddziałują silnie nie tylko ze sobą, ale także z ciałami, które zaliczamy do ferromagnetyków. Ferromagnetykami są m.in. żelazo i niektóre jego stopy (np. stal). Gdy na magnes sztabkowy położymy na przykład przezroczystą płytkę i wysypiemy na nią opiłki żelaza, to opiłki się namagnesują. Na skutek oddziaływania magnetycznego ułożą się one w charakterystyczny sposób (ryc. 21.6.), podobnie jak układają się igły magnetyczne wokół magnesu sztabkowego.

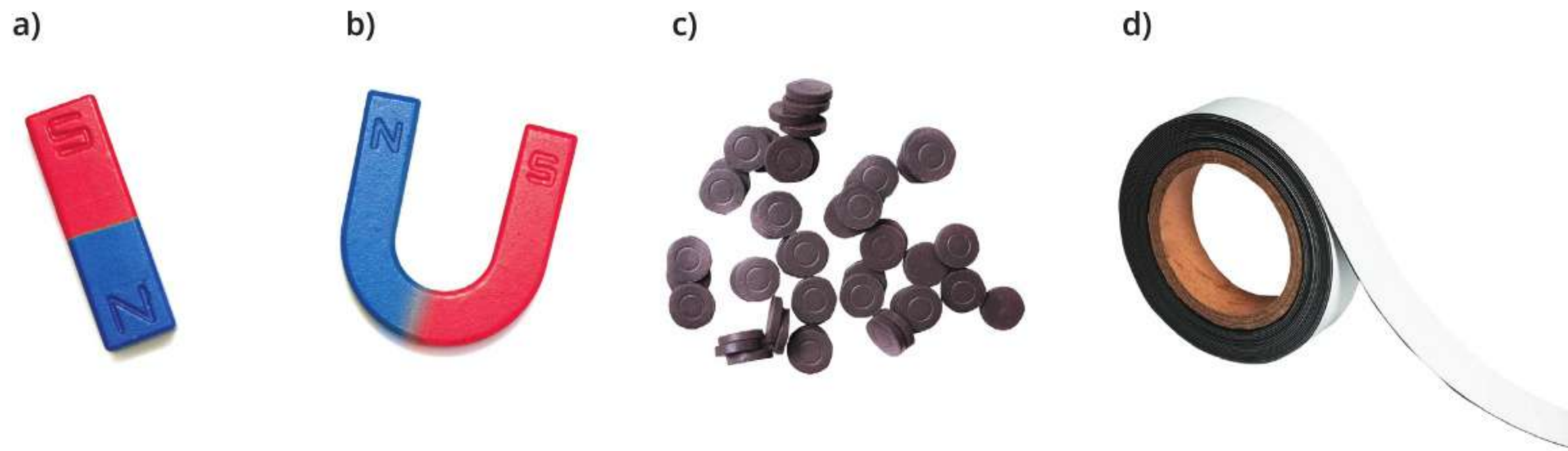
To, czy ciało ma właściwości magnetyczne, a więc czy oddziałuje z magnesami, zależy od rodzaju atomów, z których jest zbudowane. W ferromagnetykach atomy tworzą niewielkie obszary, które zachowują się jak małe magnesy. Obszary te nazywamy domenami magnetycznymi. Możemy je sobie wyobrażać jako niewielkie igły magnetyczne. Jeżeli bieguny magnetyczne domen są ułożone chaotycznie, te wyobrażone igły magnetyczne są skierowane w różne strony, a ferromagnetyk nie jest namagnesowany (ryc. 21.7.a). Ferromagnetyk można namagnesować choćby przez zbliżenie do niego magnesu. Wówczas bieguny domen zostają uporządkowane, czyli we wszystkich domenach kierują się w tę samą stronę i ferromagnetyk staje się magnesem (ryc. 21.7.b). Bieguny domen ustawiają się zawsze tak, że ferromagnetyk jest przyciągany przez magnes, który do niego zbliżymy.



Ryc. 21.7. Stalowy gwóźdź: przed namagnesowaniem – z domenami ułożonymi chaotycznie (a); po namagnesowaniu – z domenami ułożonymi w jedną stronę (b)

Oddziaływanie magnesów z ciałami, które są wykonane z substancji innych niż ferromagnetyki – np. ze srebra, złota, aluminium, drewna, tworzywa sztucznego – jest dużo słabsze. Gdyby drzwi lodówki były wykonane z aluminium, pamiątkowy magnes nie utrzymałby się na nich. Wpływ pola magnetycznego na ciała nieferromagnetyczne można zademonstrować dopiero wtedy, gdy dysponuje się źródłem bardzo silnego pola magnetycznego, np. dużym magnesem neodymowym.

Magnesy mogą mieć bardzo różne kształty. W szkole najczęściej używamy magnesów sztabkowych (ryc. 21.8.a) lub podkowiastych (ryc. 21.8.b). Magnesów w kształcie pastylek (ryc. 21.8.c) lub w formie taśmy (ryc. 21.8.d) używa się do mocowania różnych przedmiotów, np. pamiątek.



Ryc. 21.8. Magnesy o różnych kształtach

Rozglądaj się wokół!

Praktyczne wykorzystanie oddziaływania magnetycznego

Wokół nas możemy znaleźć wiele przykładów zastosowań oddziaływania magnetycznego.

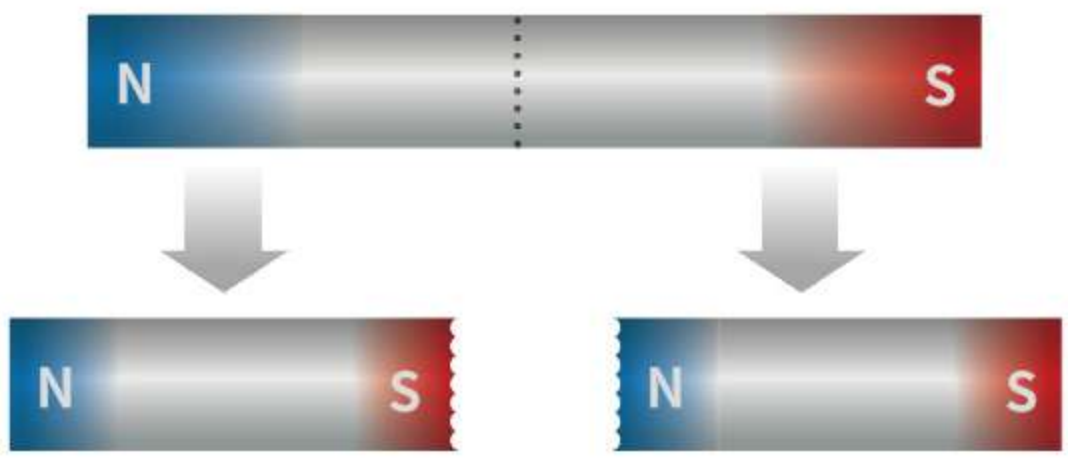
Dzięki oddziaływaniu magnetycznych końcówek sznurówek nie trzeba ich zawiązywać.

Magnetyczne zapięcie torebki nie jest widoczne z zewnątrz.

Zatrzaski magnetyczne umożliwiają zamknięcie szafki kuchennej.

Klocki magnetyczne to zestawy magnesów i stalowych kulek. Magnesy umożliwiają łatwe i szybkie łączenie elementów oraz tworzenie ciekawych konstrukcji.

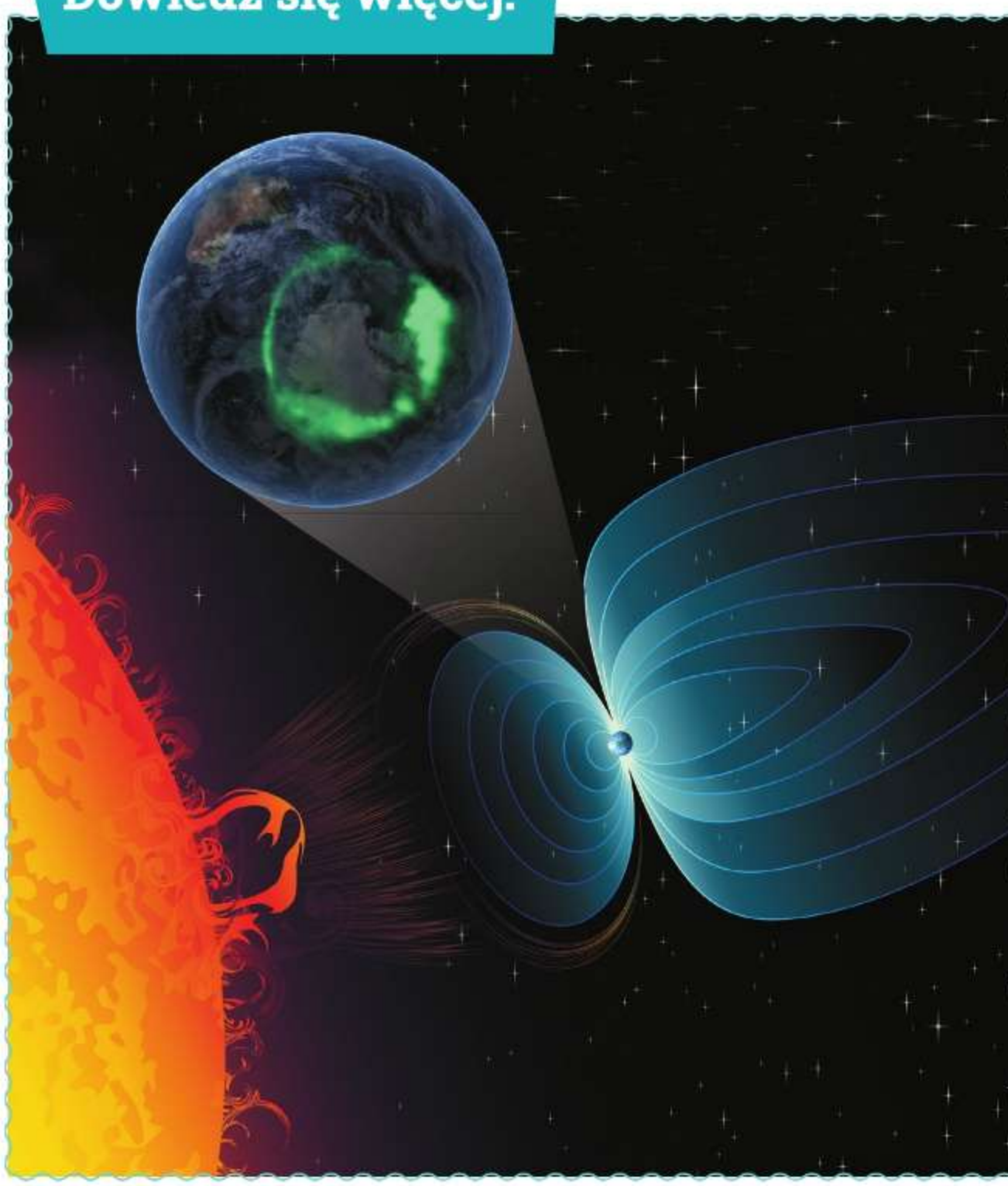
Ferrofluid to ciecz magnetyczna używana do demonstracji i eksperymentów. Bywa częścią zabawek, ale jest też wykorzystywana w głośnikach. Ferrofluid zmienia kształt, gdy zostanie umieszczony w polu magnetycznym.



Nawet po przełamaniu magnesu każda z jego części nadal ma dwa bieguny (ryc. 21.9.). Nie istnieją magnesy, które miałyby tylko jeden biegun magnetyczny.

Ryc. 21.9. Po przełamaniu magnesu sztabkowego otrzymujemy dwa mniejsze magnesy sztabkowe.

Dowiedz się więcej!



Zorza polarna

Zorza polarna powstaje na skutek oddziaływania ziemskiej atmosfery z cząstkami tzw. wiatru słonecznego (pochodzącego ze Słońca), głównie z protonami i elektronami. Gdy wiatr słoneczny zbliża się do Ziemi, cząstki naładowane wpadają w jej pole magnetyczne. Pole to oddziałuje z cząstkami i zmienia tor ich ruchu – są one odchylane w stronę biegunów. W okolicach biegunów Ziemi cząstki wiatru słonecznego wpadają w atmosferę i intensywnie zderzają się z atomami jej gazów. W wyniku tych zderzeń gazy zaczynają świecić, co obserwujemy jako zorzę polarną.

Na „powiększeniu" przedstawiono zorzę polarną w okolicach bieguna południowego, widzianą z przestrzeni kosmicznej.

Podsumujmy!

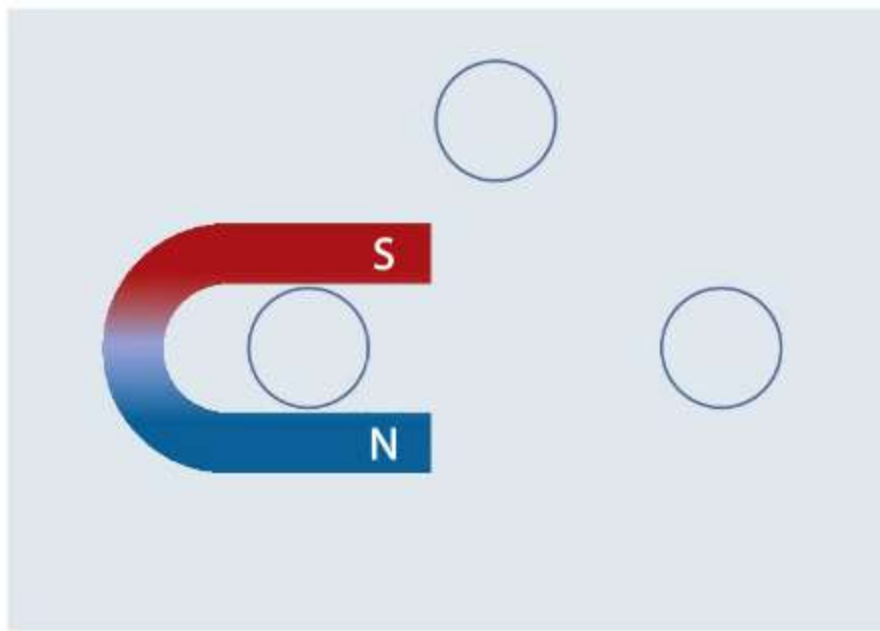
- Magnesy mogą wzajemnie przyciągać się bądź odpychać.
- **Igła magnetyczna** kompasu oddziałuje z biegunami magnetycznymi Ziemi.
- Każdy magnes (nawet po przełamaniu) **ma dwa bieguny magnetyczne** – biegun północny N i biegun południowy S.
- **Ferromagnetyki** (np. żelazo) to ciała, które są silnie przyciągane przez magnesy.

Sprawdź się!

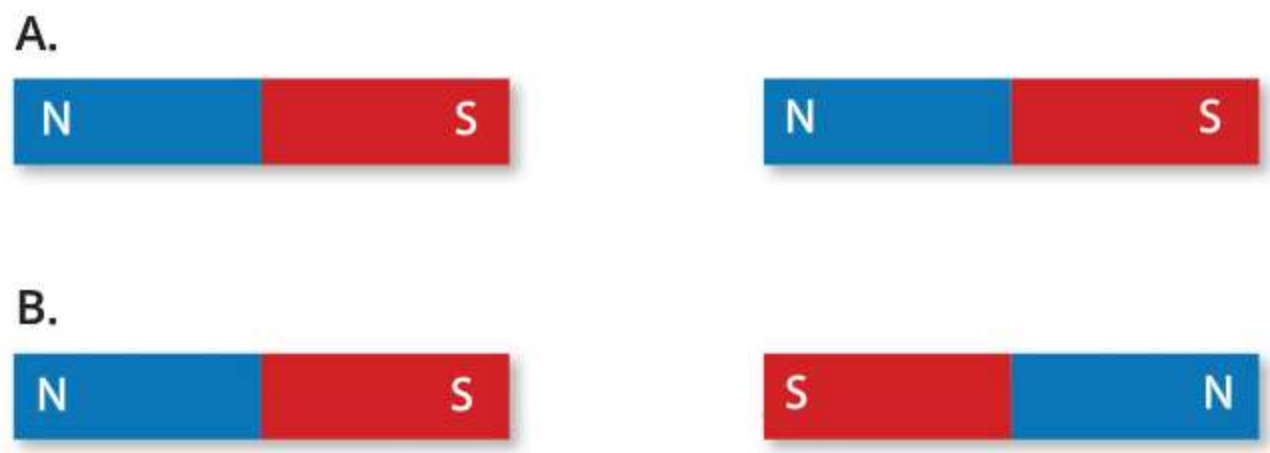
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Północny biegun igły magnetycznej wskazuje w przybliżeniu położenie północnego bieguna geograficznego Ziemi.	**P**	**F**
2.	Magnesy oddziałują magnetycznie z Ziemią.	**P**	**F**
3.	W przyrodzie istnieją także magnesy z jednym biegunem magnetycznym.	**P**	**F**
4.	Magnesy silnie przyciągają wszystkie metalowe przedmioty.	**P**	**F**

2. Przerysuj do zeszytu rysunek magnesu podkowiastego i zaznacz, jak ustawią się igły magnetyczne w miejscach oznaczonych okręgami.



3. Zapisz w zeszycie, w której sytuacji – A czy B – magnesy się przyciągają, a w której odpychają.



4. Spośród wymienionych metali wybierz ten, który jest silnie przyciągany przez magnes.

złoto • srebro • żelazo • miedź

5*. Odszukaj w internecie informacje na temat pola magnetycznego Słońca. Przedstaw je w zeszycie w postaci skecznotki lub notatki zawierającej odpowiedzi na pytania: „Czy pole magnetyczne Słońca zmienia się w czasie?", „Jakie konsekwencje dla życia na Ziemi ma fakt istnienia pola magnetycznego Słońca?".

22. Elektromagnesy

- Jak zachowuje się magnes w pobliżu przewodu, w którym płynie prąd?
- Czym jest elektromagnes?

F

Przy przenoszeniu złomu na złomowiskach wykorzystuje się fakt, że niektóre metale (przede wszystkim żelazo) są przyciągane przez magnesy. Jednak nie używa się do tego celu tradycyjnych magnesów, lecz elektromagnesów. Przyciągają one złom tylko wtedy, gdy przepływa przez nie prąd elektryczny. Dzięki temu chwytnik elektromagnetyczny może z łatwością przenieść porcję złomu, a następnie upuścić ją w wyznaczonym miejscu (ryc. 22.1.).

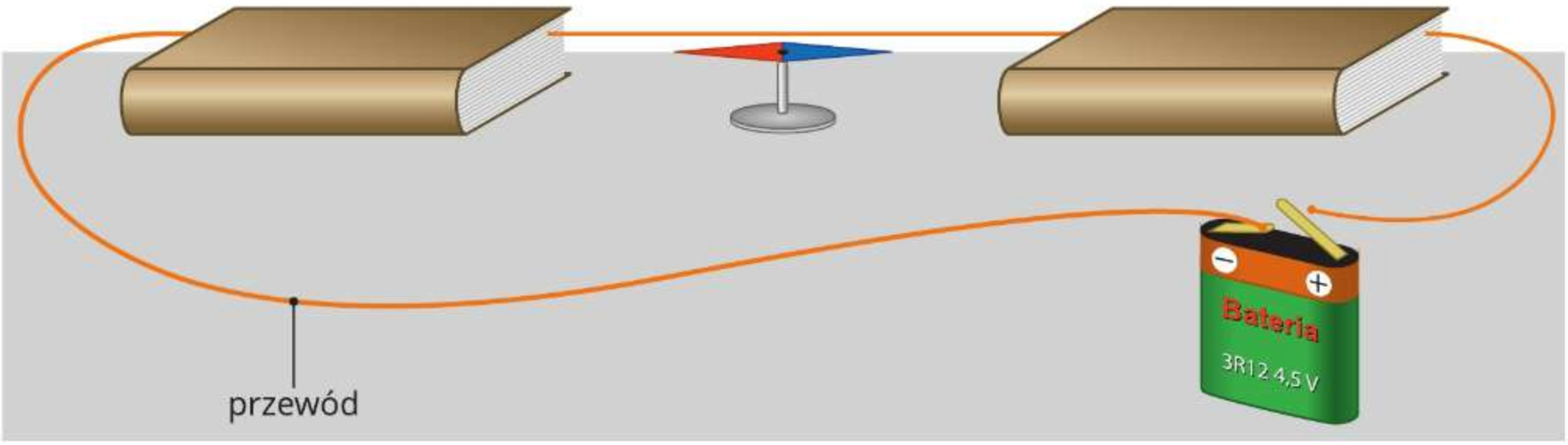
Elektromagnesy są również częścią wielu urządzeń służących do prowadzenia badań naukowych, np. stanowią ważne elementy aparatury doświadczalnej Wielkiego Zderzacza Hadronów.

Ryc. 22.1. Elektromagnes przenoszący złom na złomowisku

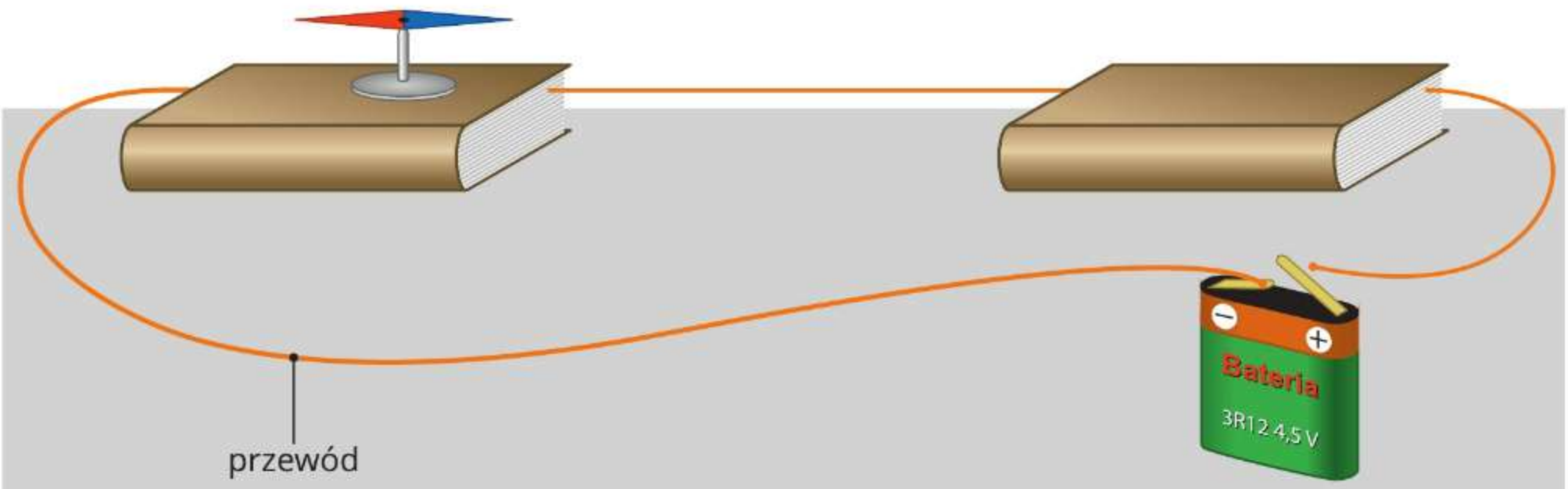
Zbadaj to sam!

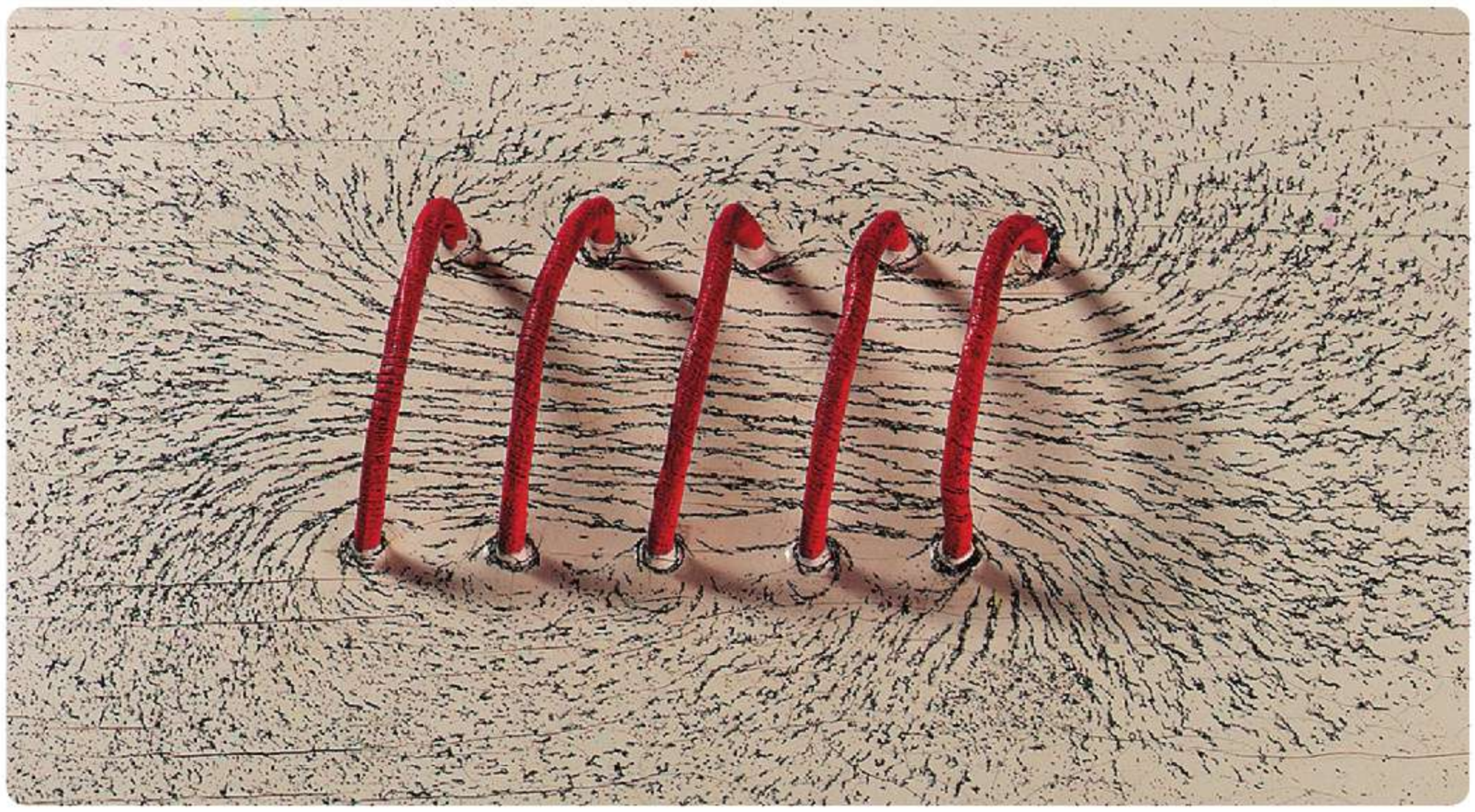
Sprawdzamy, jak zachowuje się igła magnetyczna w pobliżu przewodu, przez który płynie prąd

1. Do doświadczenia będą potrzebne: igła magnetyczna na podstawce (lub kompas), bateria, przewód o długości ok. 1,5 m, dwie książki o tej samej grubości, większej niż wysokość podstawki, na której jest zamocowana igła magnetyczna.
2. Postaw na ławce igłę magnetyczną. Igła ustawi się tak, że będzie wskazywać kierunek północny.
3. Ułóż książki w odległości ok. 20 cm od siebie. Zadbaj o to, by ich okładki znajdowały się powyżej igły magnetycznej (jak na ilustracji).
4. Między kartki książek włóż przewód. Powinien on przebiegać dokładnie nad igłą magnetyczną w odległości nie większej niż 0,5 cm od niej. Powinien być też do niej równoległy.



5. Końce przewodu zetknij na chwilę z biegunami baterii tak, aby powstał obwód zamknięty. Obserwuj zachowanie igły, gdy w obwodzie płynie prąd.
6. Powtórz doświadczenie, gdy prąd płynie w przeciwną stronę.
7. Postaw igłę w innym miejscu – np. na książce tuż nad przewodem – i wykonaj czynności opisane w punktach 5 i 6.
8. Opisz w zeszycie zachowanie igły w każdym z przypadków.





Ryc. 22.2. Wokół zwojnicy, w której płynie prąd elektryczny, powstaje pole magnetyczne.

Zmiana ustawienia igły magnetycznej znajdującej się w pobliżu przewodu, w którym płynie prąd elektryczny, jest skutkiem oddziaływania magnetycznego między tym przewodem a igłą magnetyczną. Wokół przewodu z prądem powstaje pole magnetyczne, czyli przewód taki zachowuje się jak magnes. Pole magnetyczne powstaje i wokół przewodu prostoliniowego, i wokół przewodu zwiniętego w kształt zwojnicy. Zwojnica to przewód w postaci ciasno nawiniętych zwojów, przypominający sprężynę. Gdy w pobliżu zwojnicy, w której płynie prąd elektryczny, rozsypiemy opiłki żelaza, to ułożą się one w charakterystyczny sposób, podobnie jak wokół magnesu sztabkowego (ryc. 22.2.). Oznacza to, że zwojnica również oddziałuje z opiłkami (tak jak magnes sztabkowy).

Ryc. 22.3. Elektromagnes

F Jeśli wewnątrz zwojnicy, w której płynie prąd, umieścimy rdzeń ferromagnetyczny (np. ze stali), to pole magnetyczne wokół zwojnicy spowoduje jego namagnesowanie. Dzięki temu pole magnetyczne wokół zwojnicy z umieszczonym wewnątrz rdzeniem jest znacznie silniejsze niż wokół zwojnicy bez rdzenia. Zjawisko to wykorzystuje się w elektromagnesach. Elektromagnes składa się ze zwojnicy i znajdującego się w jej wnętrzu ferromagnetycznego (najczęściej stalowego) rdzenia (ryc. 22.3.).

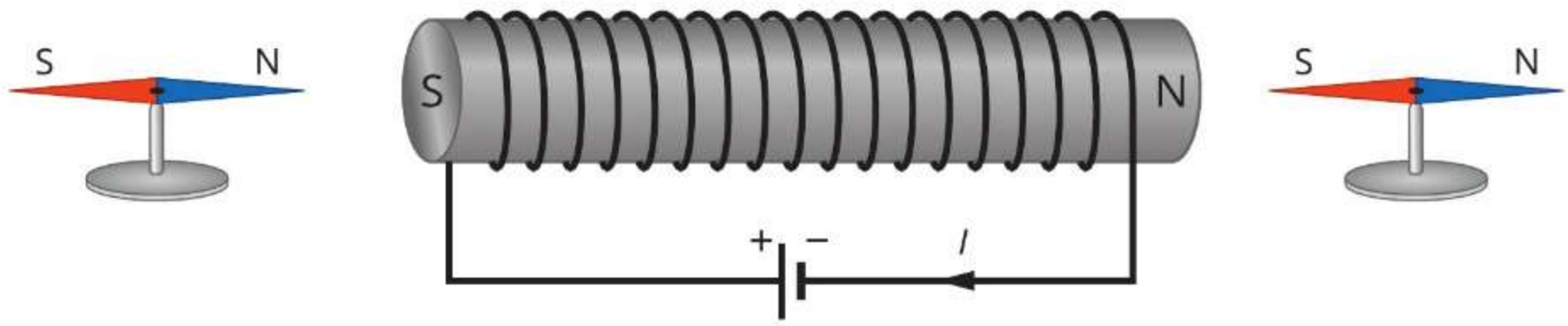
Zbadaj to sam!

Budujemy elektromagnes

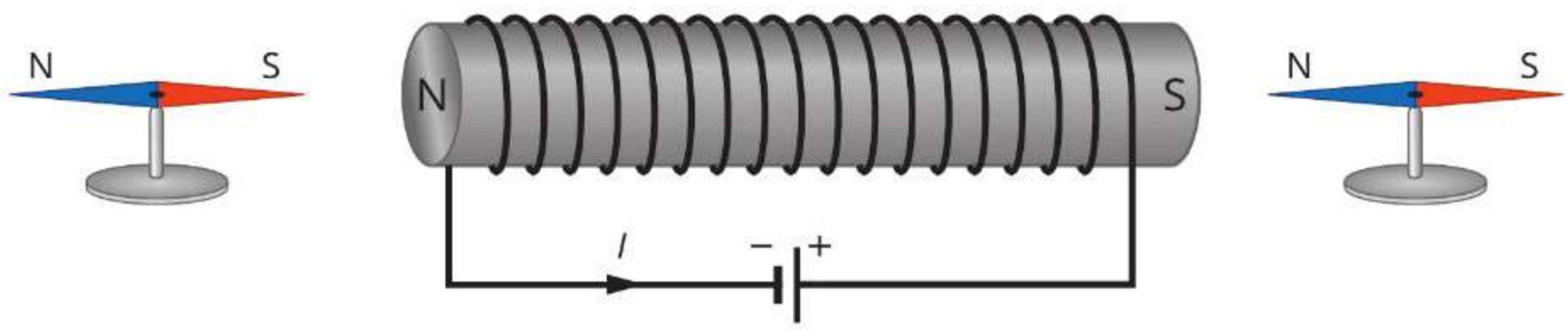
1. Do doświadczenia będą potrzebne: bateria płaska, igła magnetyczna, miedziany drut w izolacji, o długości ok. 2 m, stalowa śruba (lub gruby gwóźdź), krokodylki oraz przedmioty wykonane z różnych materiałów, np. plastikowa linijka, drewniany ołówek, plastelina, metalowe sztućce, złoty lub srebrny pierścionek, stalowe nożyczki, folia aluminiowa.
2. Nawiń ciasno zwoje drutu na śrubę tak, by utworzyły zwojnicę.
3. Końcówki drutu połącz krokodylkami z baterią.
4. Zbliżaj przedmioty wykonane z różnych materiałów do elektromagnesu i obserwuj, jak z nim oddziałują.
5. Umieść w pobliżu elektromagnesu igłę magnetyczną i zaobserwuj, jak się zachowuje. Zmień położenie igły i powtórz obserwacje.
6. Wykręć śrubę (rdzeń) z wnętrza elektromagnesu i powtórz doświadczenie z samą zwojnicą.
7. Zapisz w zeszycie swoje spostrzeżenia.

Elektromagnes oddziałuje magnetycznie z ferromagnetykami, magnesami oraz innymi elektromagnesami, a zachowuje się jak bardzo silny magnes sztabkowy. W wyniku przepływu prądu na jednym końcu elektromagnesu powstaje biegun magnetyczny N, a na drugim – biegun S. Położenie tych biegunów można wyznaczyć za pomocą igły magnetycznej (ryc. 22.4.a). Gdy zmienimy kierunek przepływu prądu przez elektromagnes, to zmieni się położenie jego biegunów magnetycznych (ryc. 22.4.b).

a)



b)



Ryc. 22.4. Położenie biegunów elektromagnesu w zależności od kierunku przepływu prądu

Rozglądaj się wokół!

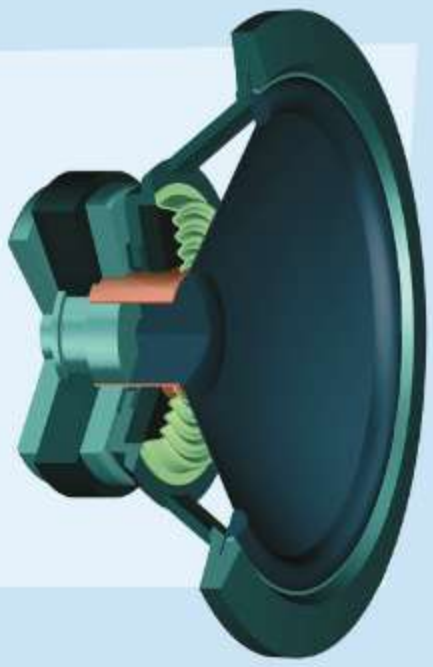
F

Elektromagnesy na co dzień

Elektromagnesy są powszechnie wykorzystywane w różnych urządzeniach codziennego użytku, gdyż są źródłem pola magnetycznego, które można z łatwością włączać i wyłączać dzięki sterowaniu przepływem prądu elektrycznego.

Większością dzwonków szkolnych steruje się za pomocą elektromagnesu. Elektromagnes wprawia w ruch młoteczek, który uderza w czaszę dzwonka i wydaje przy tym charakterystyczny dźwięk.

Elementem tradycyjnych głośników jest elektromagnes zamocowany do membrany. Oddziaływanie magnetyczne elektromagnesu z magnesem znajdującym się w obudowie głośnika powoduje, że membrana zaczyna drgać.



Zamki elektromagnetyczne stosuje się do blokowania drzwi wejściowych lub ewakuacyjnych, gdy przez uzwojenie elektromagnesu płynie prąd elektryczny. Aby otworzyć takie drzwi, należy wyłączyć dopływ prądu do elektromagnesu.

W medycznych badaniach diagnostycznych wykorzystuje się technikę obrazowania metodą rezonansu magnetycznego (MRI). W urządzeniach służących do wykonywania tego badania są montowane bardzo silne elektromagnesy. Mają one znaczne rozmiary i są rozmieszczone w pierścieniu, wewnątrz którego podczas badania znajduje się pacjent.

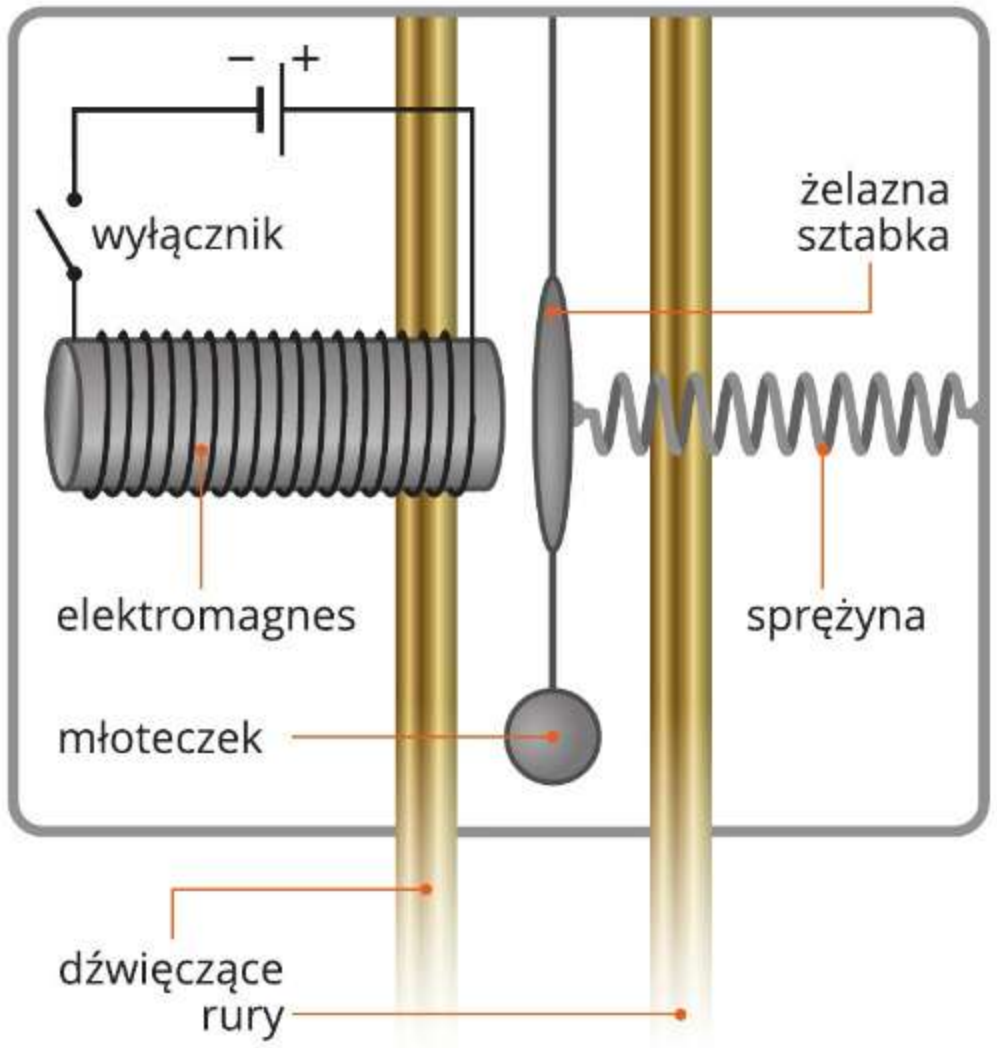
Dowiedz się więcej!

Jak działa gong rurowy?

Jednym z rodzajów dzwonków montowanych przy drzwiach wejściowych do domów i mieszkań jest dwutonowy gong rurowy (ryc. a). Elementy, z których składa się gong, przestawiono schematycznie na ilustracji (ryc. b).

a)

b)



Gdy naciśniemy wyłącznik, przez elektromagnes popłynie prąd elektryczny, co spowoduje przyciągnięcie żelaznej sztabki, do której przymocowany jest młoteczek, i rozciągnięcie połączonej z nią sprężyny. Młoteczek uderzy w jedną z rur i usłyszymy dźwięk. Gdy zwolnimy przycisk wyłącznika, prąd przestanie płynąć, więc sztabka już nie będzie przyciągana przez elektromagnes. Sprężyna spowoduje, że sztabka zacznie poruszać się w stronę drugiej rury. Gdy młoteczek uderzy w drugą z rur gongu, usłyszymy kolejny dźwięk. Użycie takiego dzwonka do drzwi spowoduje zatem, że w mieszkaniu rozlegną się dwa dźwięki – jeden, gdy naciśniemy wyłącznik, a drugi, gdy go puścimy.

Podsumujmy!

- Przewód, w którym płynie prąd elektryczny, oddziałuje z igłą magnetyczną.
- **Elektromagnes** to zwojnica z umieszczonym w niej ferromagnetycznym rdzeniem, która zachowuje się jak magnes, gdy płynie przez nią prąd elektryczny.

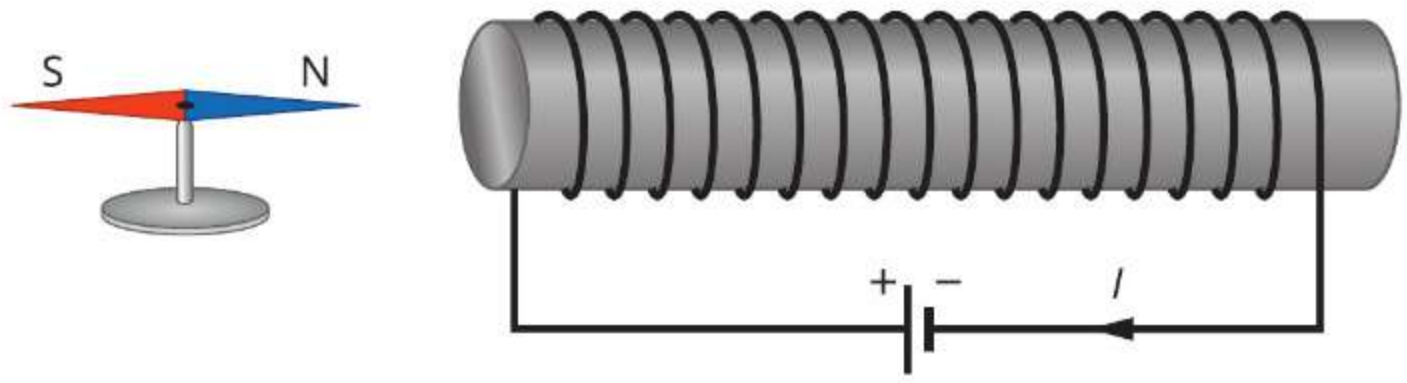
Sprawdź się!

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

F

1.	Przewód, w którym płynie prąd elektryczny, jest źródłem pola magnetycznego.	**P**	**F**
2.	Jeśli igła magnetyczna ustawi się biegunem północnym w stronę elektromagnesu, to znaczy, że z tej strony elektromagnesu jest jego biegun północny.	**P**	**F**
3.	Elektromagnes może odpychać magnesy.	**P**	**F**
4.	Rdzeń stalowy znajdujący się wewnątrz elektromagnesu zwiększa siłę oddziaływania magnetycznego między tym elektromagnesem a umieszczonym w jego pobliżu stalowym gwoździem.	**P**	**F**

F **2.** W pobliżu elektromagnesu umieszczono igłę magnetyczną. Igła ustawiła się w sposób przedstawiony na ilustracji. Z której strony znajduje się biegun północny N elektromagnesu, a z której biegun południowy S?



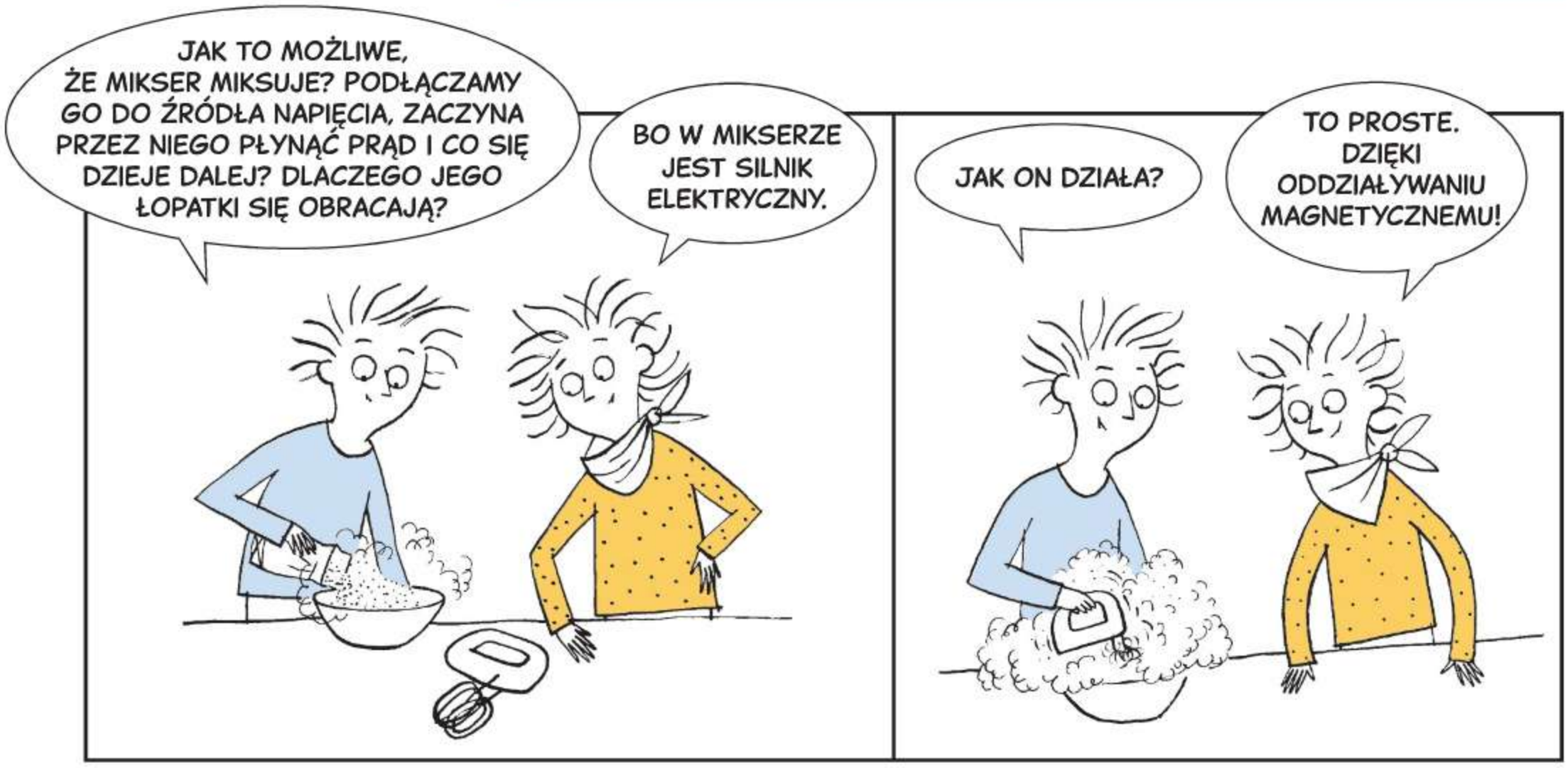
3. Do jednego z dwóch identycznych pudełek włożono magnes, a do drugiego elektromagnes z podłączoną do niego baterią. Pudełka ustawiono na stole. Czy na podstawie wskazań igły magnetycznej można ustalić, w którym z pudełek jest magnes, a w którym elektromagnes? Uzasadnij odpowiedź.

4. Dlaczego zwojnica, wewnątrz której znajduje się stalowa śruba, silniej działa na stalowy spinacz niż zwojnica bez tej śruby?

5*. Odszukaj w dostępnych źródłach i zapisz w formie notatki w zeszycie informacje o tym, jak za pomocą zwojnicy i źródła napięcia można zrobić z ferromagnetyku (np. szpilki lub igły krawieckiej) igłę magnetyczną.

23. Silnik elektryczny

- Z jakich elementów jest zbudowany silnik elektryczny?
- Co sprawia, że wirnik silnika elektrycznego się obraca?



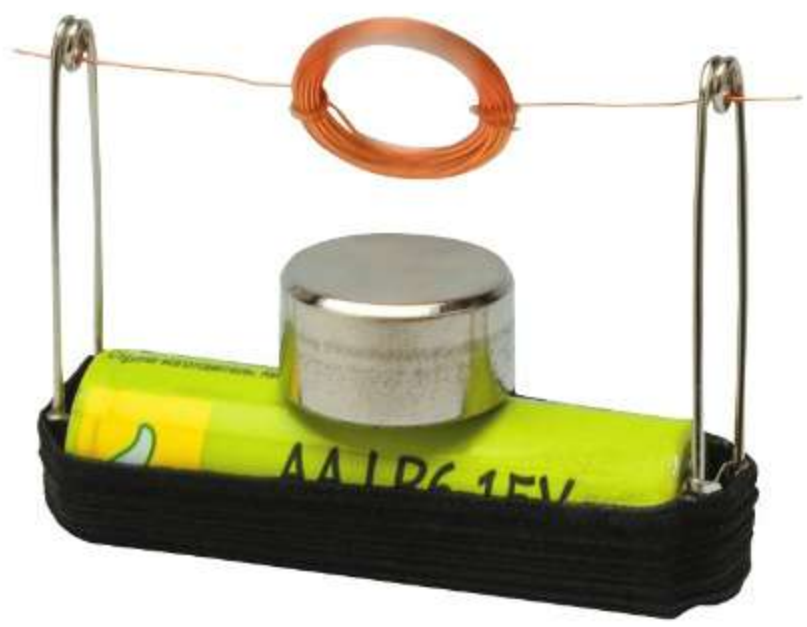
Trudno sobie wyobrazić codzienne życie bez silników elektrycznych. Znajdują się one w wielu urządzeniach codziennego użytku, np. elektrycznej szczoteczce do zębów, lodówce czy samochodzie. Silniki elektryczne wymagają zasilania ze źródeł energii elektrycznej – są nimi najczęściej akumulatory lub domowa sieć elektryczna. Głównym zadaniem silnika elektrycznego jest zamiana energii elektrycznej na energię mechaniczną. Podczas pracy silnika część energii elektrycznej jest zamieniana także na inne rodzaje energii, m.in. na energię wewnętrzną oraz energię fali dźwiękowej.

Ryc. 23.1. Hulajnoga z silnikiem elektrycznym

F Zbadaj to sam!

Budujemy silnik

1. Do doświadczenia będą potrzebne: drut miedziany o długości ok. 130 cm i średnicy ok. 0,5 mm, pokryty izolującą warstwą lakieru, bateria AA, dwie agrafki o długości ok. 3,5 cm, gumka recepturka, magnes neodymowy w kształcie walca o średnicy podstawy ok. 1 cm i wysokości 1 cm.
2. Z drutu uformuj zwojnicę składającą się z 20 zwojów o średnicy ok. 2 cm. Końce drutu owiń kilka razy wokół zwojów, aby zwoje były razem ściśnięte (jak na ilustracji). Zakończenia drutu pozbaw izolacji (możesz zetrzeć warstwę lakieru za pomocą papieru ściernego).
3. Agrafki przymocuj do biegunów baterii za pomocą gumki recepturki. Baterię z agrafkami przyczep do blatu stołu za pomocą plasteliny – w taki sposób, by agrafki były ustawione pionowo.
4. Na baterii połóż magnes neodymowy.
5. W otwory w agrafkach wsuń końce drutu tworzącego zwojnicę. Delikatnie popchnij zwojnicę, by zaczęła się obracać.
6. Obserwuj zachowanie zwojnicy. Ustal, w którą stronę się ona obraca.
7. Postaw magnes na baterii odwrotnie (na przeciwległej podstawie) i zaobserwuj, czy ma to wpływ na kierunek obrotu zwojnicy.
8. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia dotyczące ruchu zwojnicy w każdym z przypadków.

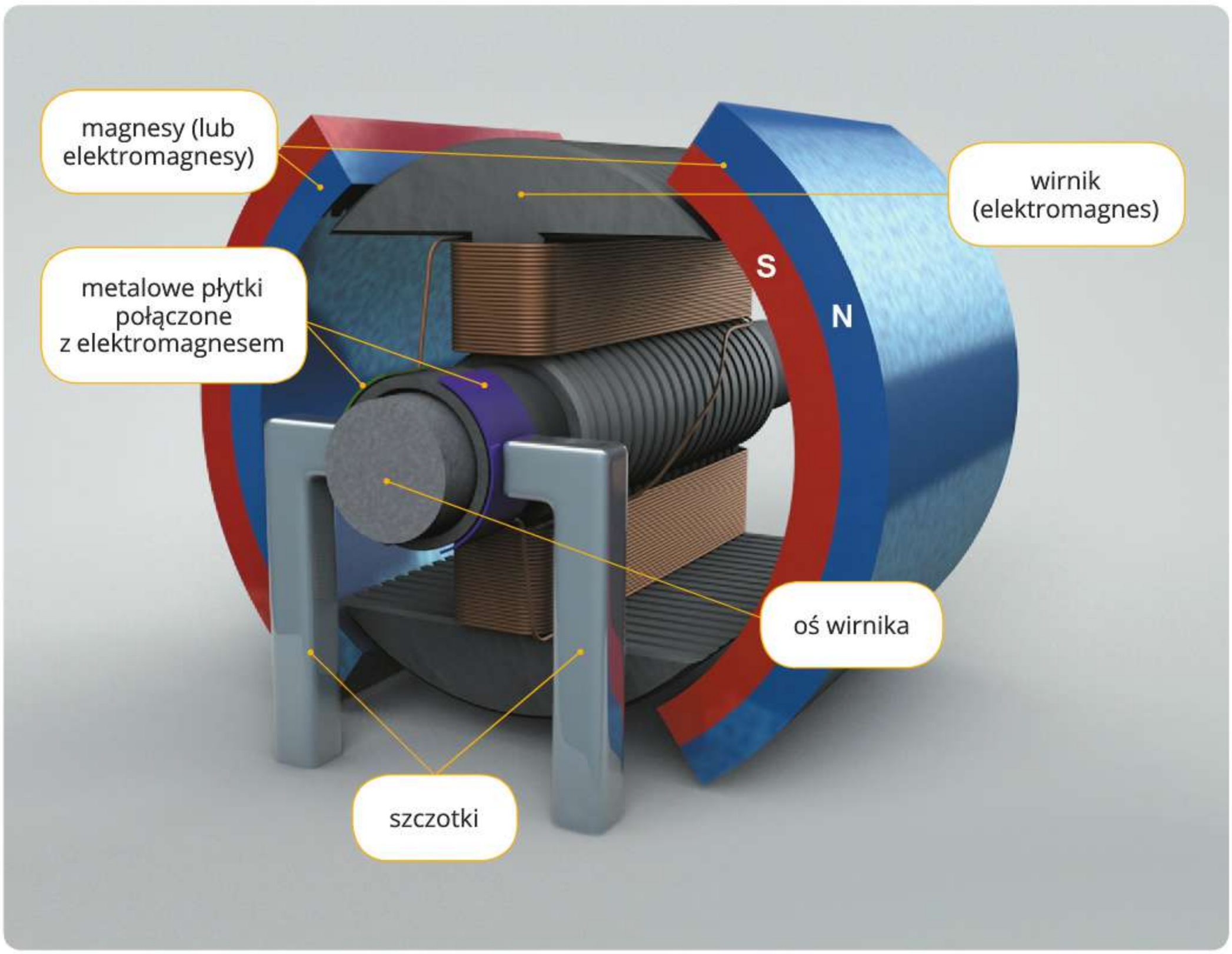


Wokół przewodu, przez który płynie prąd elektryczny, powstaje pole magnetyczne, więc oddziałuje on magnetycznie z magnesem. Gdy z przewodu utworzymy zwojnicę, która może się obracać, to po wprawieniu jej w ruch obrotowy oddziaływanie z magnesem będzie podtrzymywać ten ruch kosztem energii elektrycznej. Ruch zwojnicy jest możliwy, gdyż wirnik jest na zmianę odpychany i przyciągany przez nieruchomą część silnika.

Podstawą działania każdego z silników elektrycznych jest oddziaływanie magnetyczne pomiędzy jego częściami ruchomymi i nieruchomymi. Części te są elektromagnesami lub magnesami.

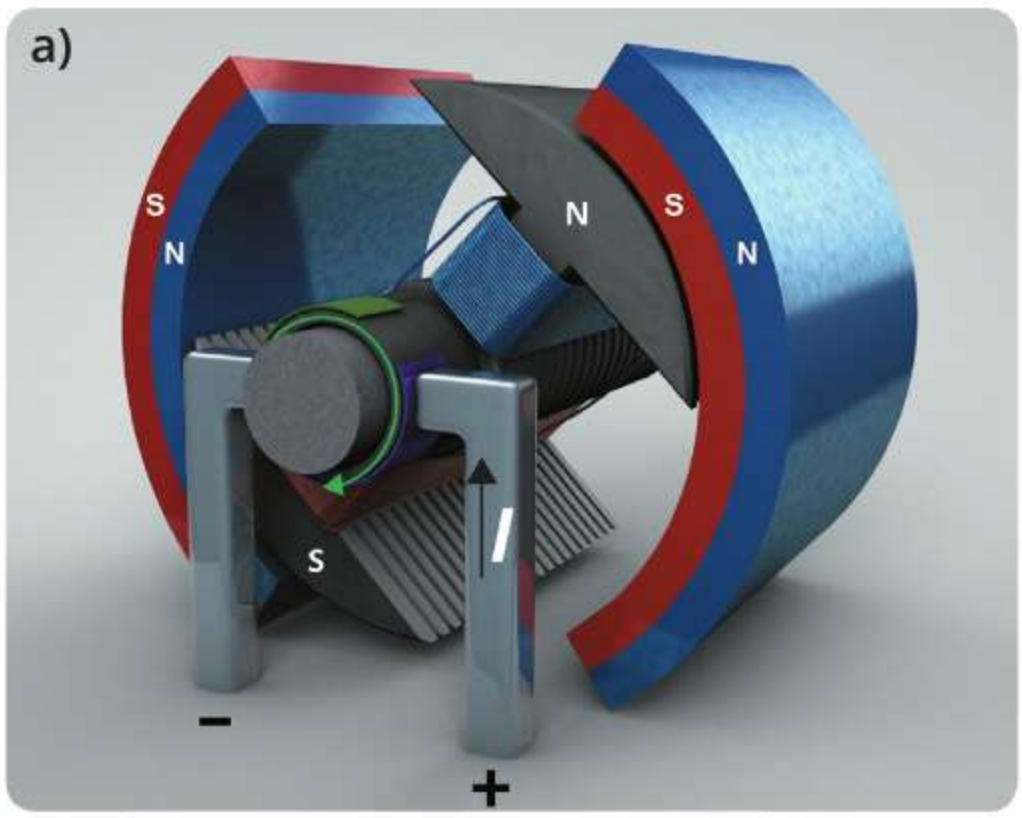
Silnik elektryczny najczęściej spotykany w urządzeniach codziennego użytku jest zbudowany z zewnętrznej, nieruchomej części, którą stanowią magnesy lub elektromagnesy zwrócone ku sobie przeciwnymi biegunami, oraz z zamontowanej wewnątrz części ruchomej – wirnika, który może się obracać (ryc. 23.2.).

Główną część wirnika w takim silniku stanowi elektromagnes. W silnikach z elektromagnesem prąd do elektromagnesu wirnika jest doprowadzany poprzez przewodzące elementy, nazywane szczotkami. Szczotki stykają się z dwiema oddzielnymi, metalowymi, połączonymi ze zwojnicą elektromagnesu płytkami pokrywającymi walec obracający się razem z elektromagnesem.

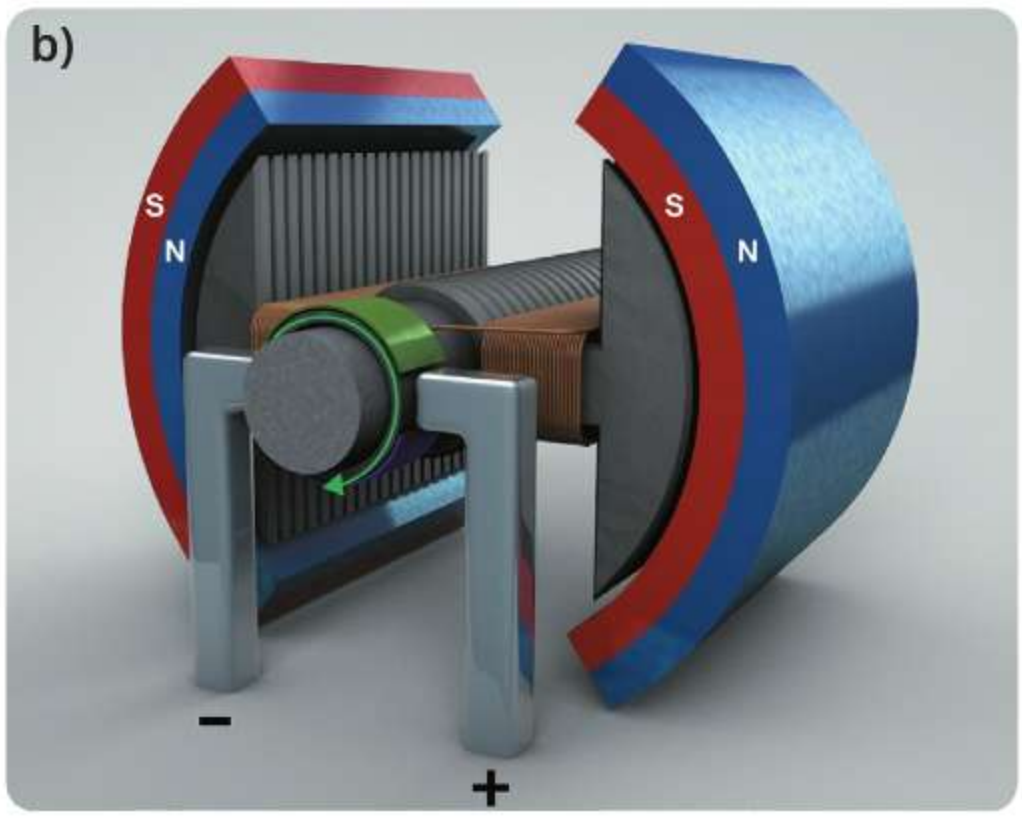


Ryc. 23.2. Schemat budowy silnika elektrycznego

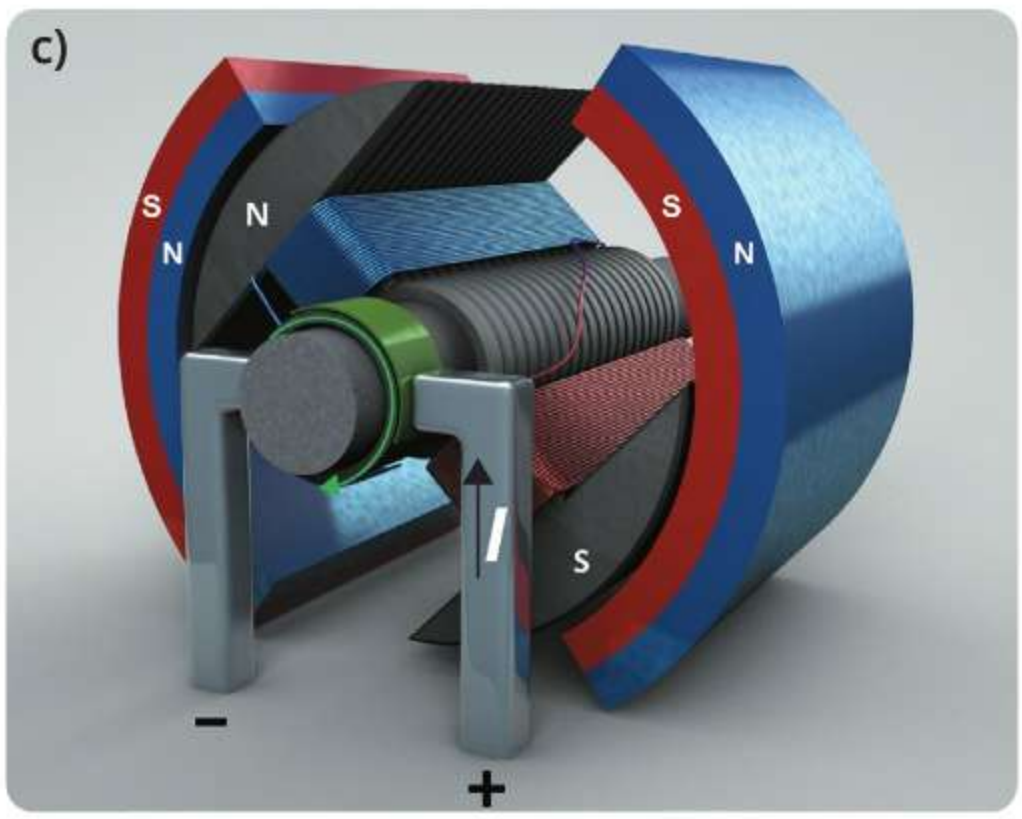
F



W chwili przedstawionej na rycinie 23.3.a przez elektromagnes wirnika płynie prąd elektryczny. Prąd wpływa do elektromagnesu wirnika przez płytkę z przewodnika oznaczoną kolorem fioletowym, a wypływa przez płytkę oznaczoną kolorem zielonym. Bieguny magnetyczne wirnika są wówczas zwrócone jak na ilustracji. Biegun S elektromagnesu wirnika jest przyciągany przez biegun N lewego zewnętrznego magnesu, a jednocześnie biegun N elektromagnesu jest przyciągany przez biegun S prawego zewnętrznego magnesu. Na skutek oddziaływania magnetycznego wirnik obraca się w prawo, czyli zgodnie z ruchem wskazówek zegara.



W chwili przedstawionej na rycinie 23.3.b wirnik jest w położeniu, w którym szczotki nie stykają się z metalowymi płytkami. Przez elektromagnes wirnika nie przepływa wówczas prąd elektryczny i nie oddziałuje on z magnesami części zewnętrznej. Ponieważ wirnik wcześniej się poruszał, mija to położenie na skutek bezwładności.



Ryc. 23.3. Poszczególne etapy obrotu wirnika silnika elektrycznego

W chwili przedstawionej na rycinie 23.3.c przez wirnik ponownie płynie prąd elektryczny. W tym położeniu prąd wpływa do elektromagnesu wirnika przez płytkę oznaczoną kolorem zielonym, a wypływa przez płytkę oznaczoną kolorem fioletowym. W porównaniu z sytuacją z ryciny 23.3.a prąd płynie w przeciwną stronę, zatem bieguny elektromagnesu wirnika są zamienione miejscami. Biegun S elektromagnesu wirnika jest odpychany przez biegun S prawego zewnętrznego magnesu, a jednocześnie biegun N elektromagnesu jest odpychany przez biegun N lewego zewnętrznego magnesu. Na skutek oddziaływania magnetycznego wirnik nadal obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

Rozglądaj się wokół!

Silniki elektryczne w urządzeniach codziennego użytku

Silniki elektryczne o różnej budowie wykorzystuje się w wielu urządzeniach, z których powszechnie korzystamy.

Silnik w elektrycznej szczoteczce do zębów powoduje, że jej główka porusza się ruchem drgającym i szczotkuje zęby. Silnik ten jest zbudowany z wirnika w postaci magnesu, który oddziałuje z elektromagnesami w obudowie. Obracająca się oś silnika wprawia w ruch drgający główkę szczoteczki.

W mikserze kuchennym silnik wprawia w ruch mieszadła. W silniku miksera zarówno wirnik, jak i oddziałujące z nim elementy przymocowane do obudowy są elektromagnesami.

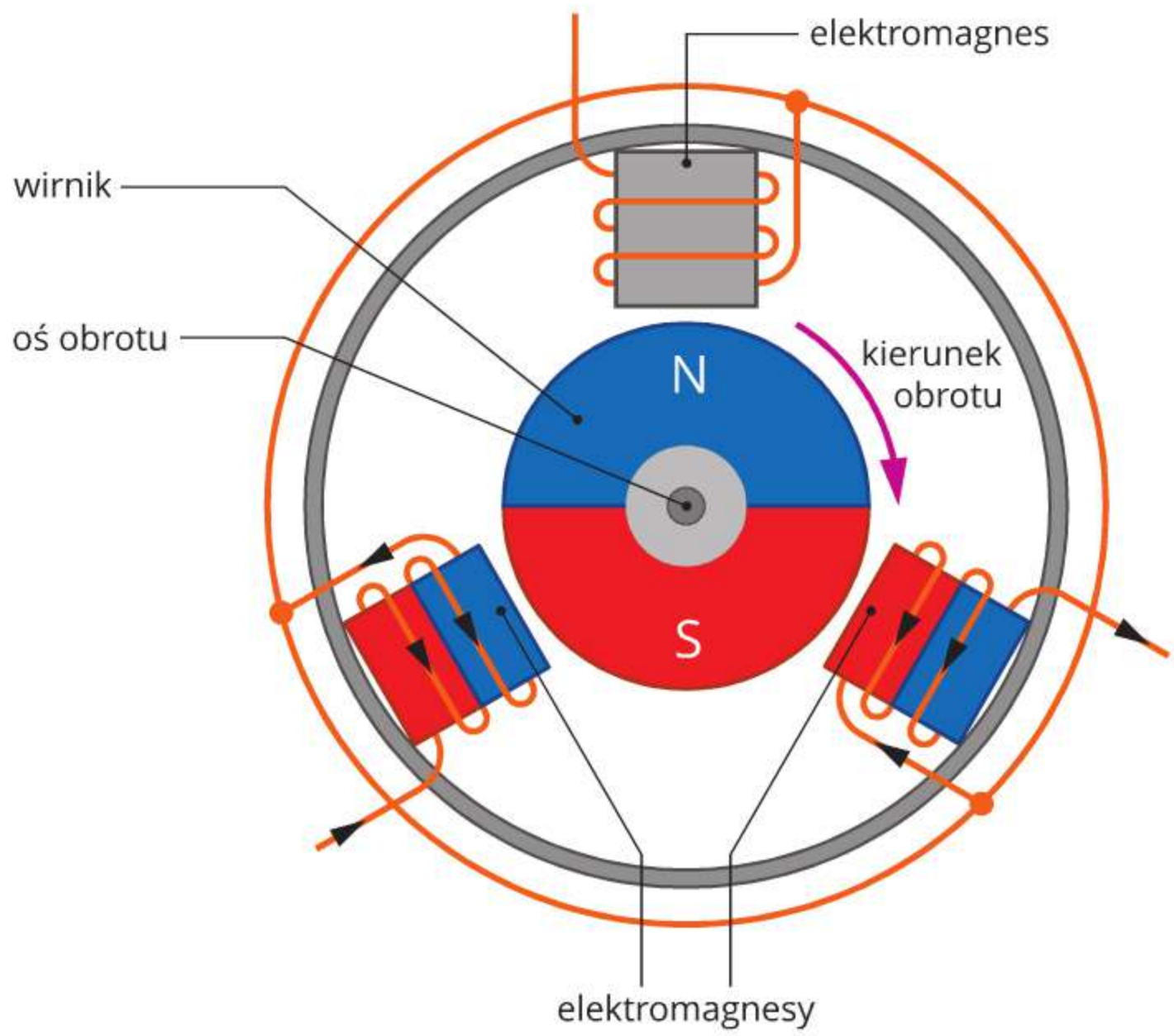
W rowerze elektrycznym wirnik silnika najczęściej jest także osią koła. Ta część silnika jest nieruchoma. Obraca się zewnętrzna obudowa, która jest połączona z kołem roweru za pomocą szprych i wprawia to koło w ruch. Obrót obudowy silnika następuje na skutek oddziaływania magnetycznego między elektromagnesami wirnika i magnesami obudowy.

Dowiedz się więcej!

F

Silnik bezszczotkowy

Obecnie coraz częściej wykorzystuje się silniki bezszczotkowe. Wirnik takiego silnika to magnes wprawiany w ruch na skutek oddziaływania z nieruchomymi elektromagnesami zamocowanymi do obudowy. Pracą silnika steruje układ elektroniczny, który w odpowiedniej kolejności włącza i wyłącza zasilanie poszczególnych elektromagnesów. W chwili przedstawionej na ilustracji prawy elektromagnes odpycha biegun S i przyciąga biegun N wirnika, a lewy elektromagnes przyciąga biegun S i odpycha biegun N wirnika. W tym momencie przez górny elektromagnes prąd nie płynie.



Podsumujmy!

- Podstawą działania silnika elektrycznego jest oddziaływanie magnetyczne pomiędzy jego częściami ruchomymi i nieruchomymi.
- **Silnik elektryczny** to urządzenie, które energię elektryczną zamienia przede wszystkim na energię mechaniczną.

Sprawdź się!

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

1.	Obrót wirnika silnika elektrycznego jest skutkiem oddziaływania magnetycznego między wirnikiem a częściami nieruchomymi tego silnika.	**P**	**F**
2.	To, z której strony uzwojenia wirnika powstaje północny biegun magnetyczny, a z której południowy, zależy od kierunku płynącego przez wirnik prądu elektrycznego.	**P**	**F**
3.	Prąd elektryczny przepływa przez elektromagnes w wirniku zawsze w tę samą stronę.	**P**	**F**
4.	Pole magnetyczne nieruchomej części silnika elektrycznego jest zawsze wytwarzane przez elektromagnes.	**P**	**F**

2. Aby zwiększyć siłę oddziaływania magnetycznego pomiędzy wirnikiem a obudową silnika, we wnętrzu wirnika umieszcza się rdzeń.

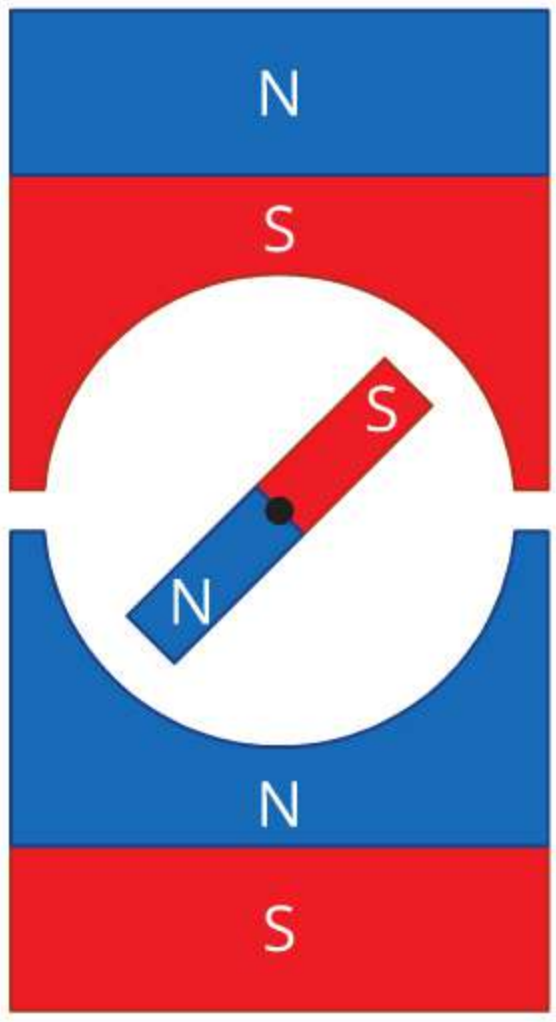
Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A–C** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1–3**.

Rdzeń tego wirnika powinien być wykonany

A.	z miedzi,	ponieważ ten materiał jest	**1.**	dobrym przewodnikiem elektrycznym.
B.	ze stali,		**2.**	ferromagnetykiem.
C.	z drewna,		**3.**	izolatorem elektrycznym.

3. Rozejrzyj się w swoim otoczeniu i podaj trzy przykłady urządzeń, w których zamontowano silnik elektryczny (innych niż opisane w treści rozdziału).

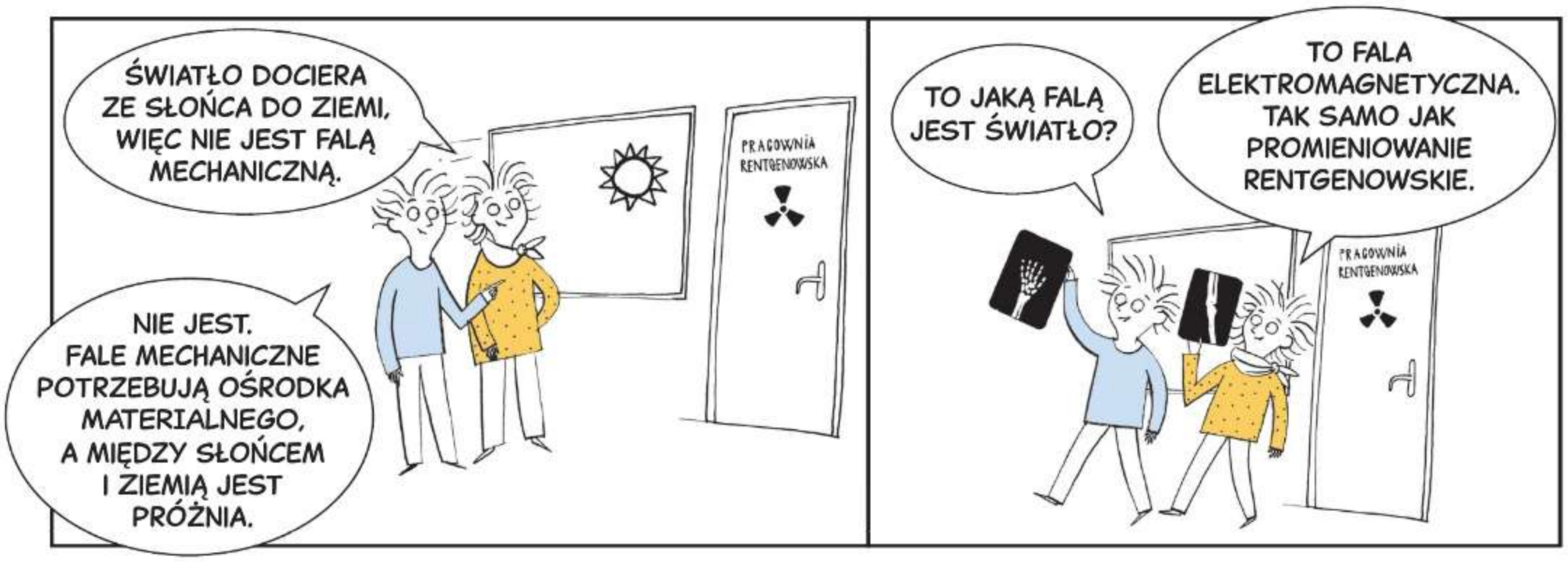
4. Gdy w obracającym się wokół osi wirniku silnika płynie prąd, wirnik można traktować jak magnes sztabkowy o biegunach w określonym położeniu. W którą stronę obraca się wirnik silnika przedstawionego na ilustracji – zgodnie z ruchem wskazówek zegara czy przeciwnie do niego?



5*. Zastanów się i zapisz w zeszycie, co należy zrobić, aby wirnik silnika elektrycznego zmienił kierunek obrotów.

24. Fale elektromagnetyczne

- Jakie są rodzaje fal elektromagnetycznych?
- Gdzie wykorzystywane są fale elektromagnetyczne?



Elektryczność i magnetyzm to zjawiska ściśle ze sobą związane. Gdy w przewodzie płynie prąd elektryczny, to wokół niego powstaje pole magnetyczne. Jeśli prąd zmienia swoje natężenie lub kierunek przepływu, to wytwarzane pole magnetyczne również się zmienia. Prąd elektryczny to przemieszczające się w sposób uporządkowany ładunki elektryczne. Gdy ładunki elektryczne poruszają się ruchem drgającym – np. w antenie radiowej – wokół powstaje fala elektromagnetyczna. Żyjemy w świecie pełnym fal elektromagnetycznych wytwarzanych przez różne źródła, naturalne (takie jak Słońce lub organizmy) i sztuczne (takie jak nadajniki telefonii komórkowej, ryc. 24.1.).

Fale elektromagnetyczne pod niektórymi względami są podobne do fal mechanicznych. Oba rodzaje fal opisujemy przez podanie ich prędkości rozchodzenia się, długości lub częstotliwości. Fale elektromagnetyczne, podobnie jak fale mechaniczne, przenoszą energię. Na przykład w kalkulatorach zasilanych bateriami słonecznymi energia

Ryc. 24.1. Nadajniki systemu telefonii komórkowej

potrzebna do ich działania pochodzi z energii fali elektromagnetycznej, padającej na niewielkie panele fotowoltaiczne.

W odróżnieniu od fal mechanicznych, które rozchodzą się zawsze w jakimś ośrodku materialnym, fale elektromagnetyczne mogą rozchodzić się także w próżni. Jednak to, czy fale te mogą się rozchodzić w danym ośrodku, zależy od ich długości − np. światło nie może przejść przez ceglaną ścianę, ale fale radiowe przez nią przenikają.

Wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością ok. 300 000 km/s ($3 \cdot 10^8$ m/s). Nazywamy ją prędkością światła i oznaczamy symbolem *c*. Jest to największa możliwa prędkość w przyrodzie. Prędkość fali elektromagnetycznej w ośrodkach materialnych – np. w szkle lub w wodzie − jest mniejsza od prędkości światła. Prędkość fali elektromagnetycznej (światła) *c*, częstotliwość fali *f* oraz jej długość λ wiąże zależność (podobna do tej dla fal mechanicznych):

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Zobacz, jak to zrobić!

Częstotliwość fali elektromagnetycznej w sieci 5G jest równa 3,6 GHz. Obliczmy długość tej fali, jeśli prędkość, z jaką się rozchodzi, wynosi $3 \cdot 10^8$ m/s. Wynik zapiszmy z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Dane: $f = 3{,}6 \cdot 10^9$ Hz, $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane: λ

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na długość fali:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

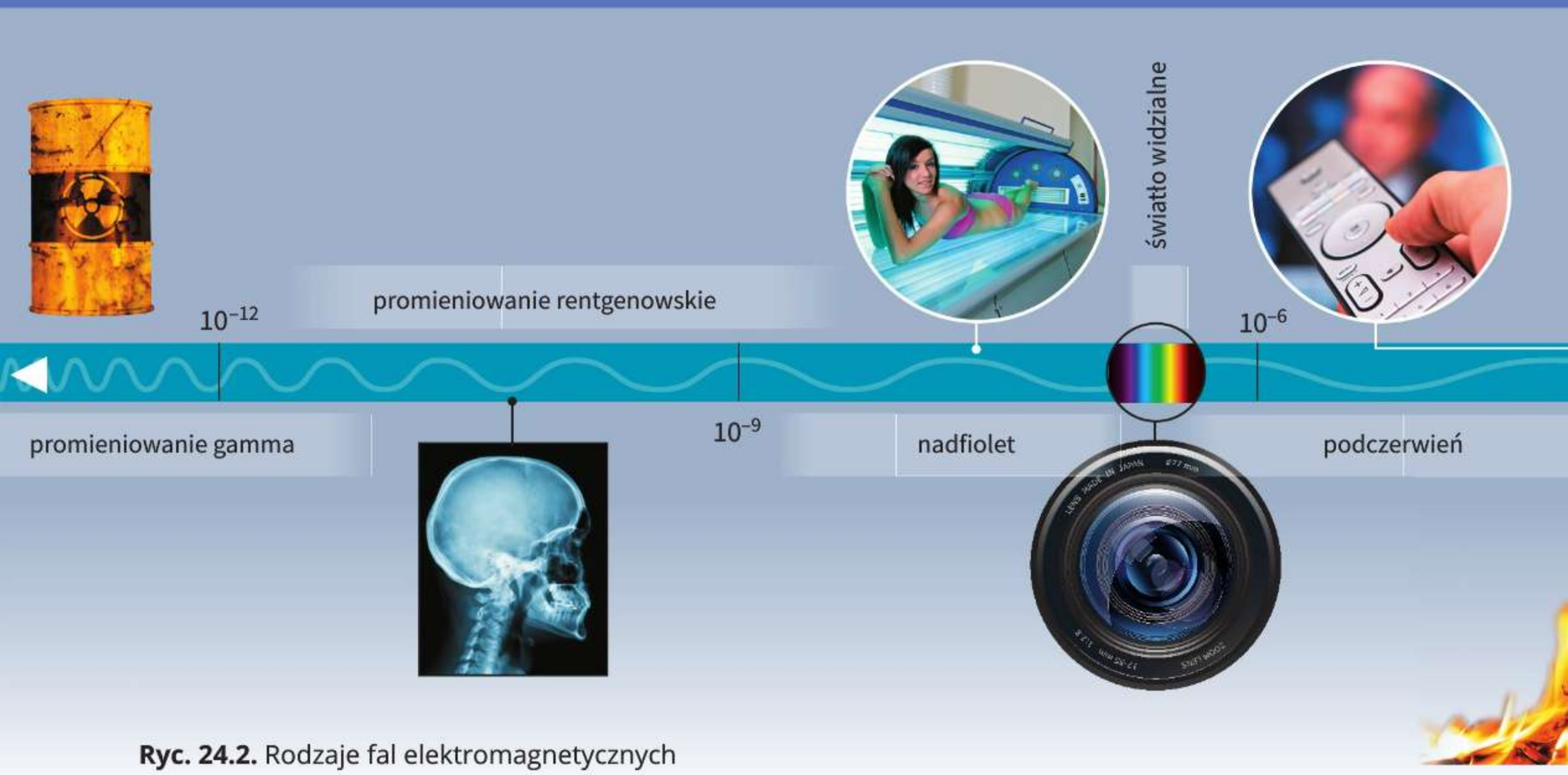
Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3{,}6 \cdot 10^9 \text{ Hz}} \approx 0{,}083 \text{ m}$$

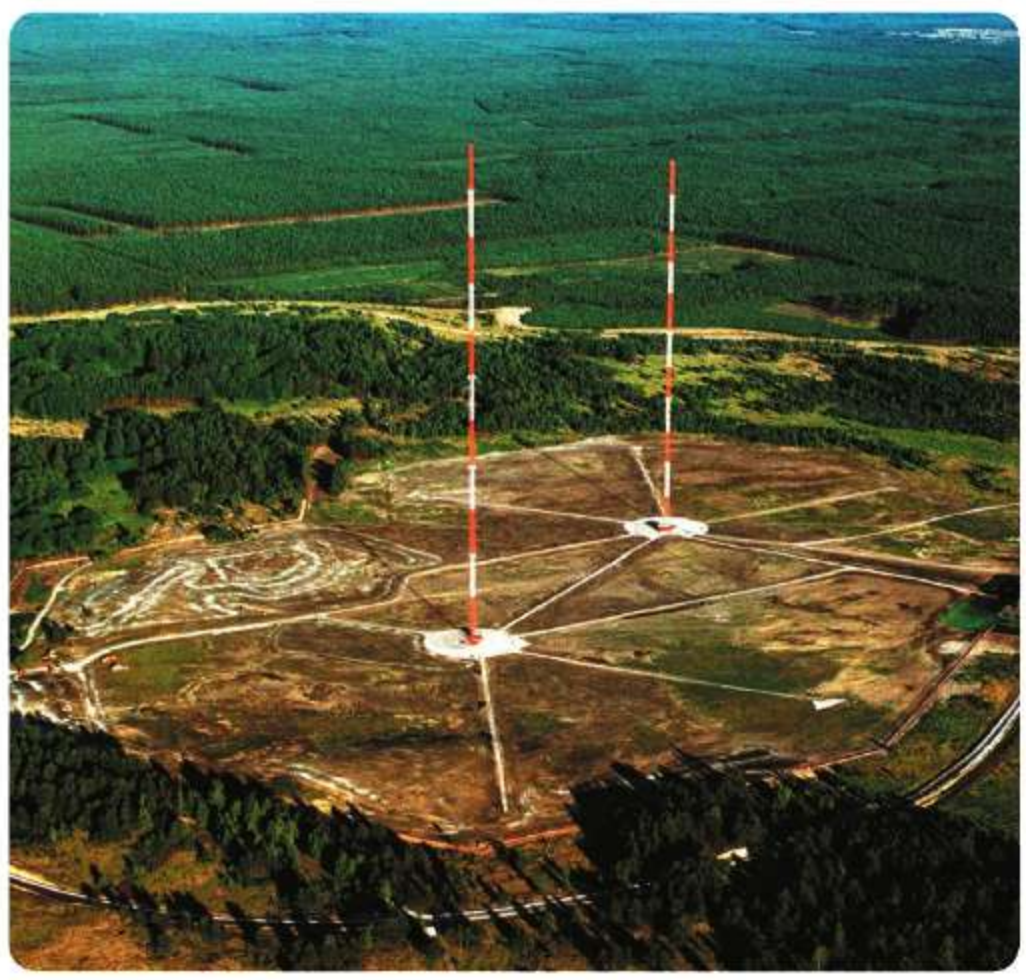
Odpowiedź: Długość fali elektromagnetycznej w sieci 5G wynosi ok. 8,3 cm.

Im większa jest częstotliwość fali elektromagnetycznej rozchodzącej się z określoną prędkością, tym mniejsza jest jej długość.

Fale elektromagnetyczne o różnej częstotliwości mają różne energie i w różny sposób oddziałują z materią. Z tego powodu podzielono je na kilka rodzajów: fale radiowe, mikrofale, podczerwień, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie rentgenowskie oraz promieniowanie gamma (ryc. 24.2.).



Ryc. 24.2. Rodzaje fal elektromagnetycznych

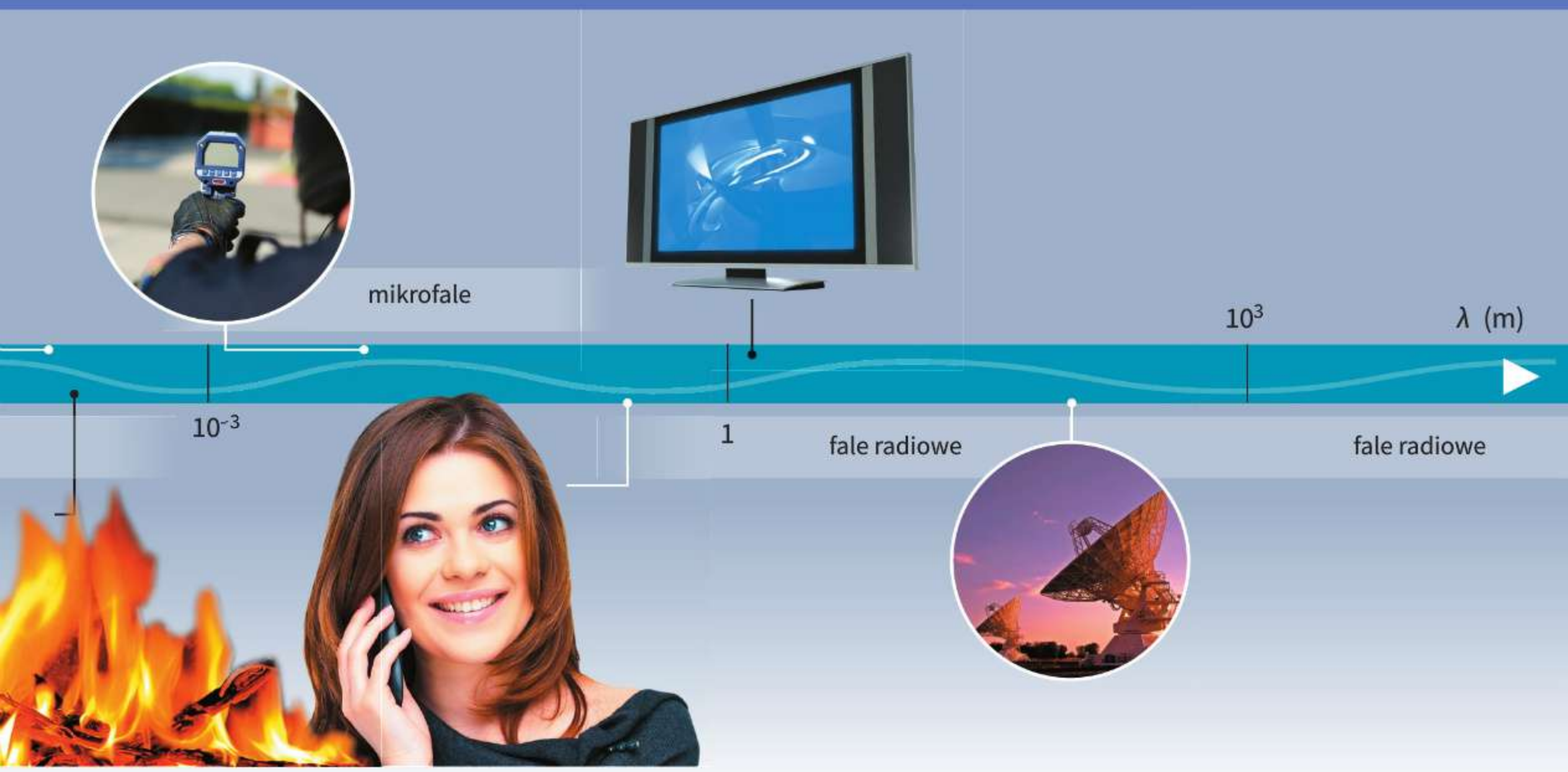


Fale radiowe mają długość mieszczącą się w zakresie od 30 cm do kilku kilometrów, największą spośród wszystkich fal elektromagnetycznych. Na przykład Radiowe Centrum Nadawcze w Solcu Kujawskim nadaje sygnał radiowy w paśmie fal długich o częstotliwości 225 kHz, czyli o długości fali ok. 1300 m. Do nadawania sygnału naziemnej telewizji używa się fal o częstotliwościach większych, niż mają fale długie. Nadajniki sieci komórkowych oraz domowych routerów wi-fi używają fal o częstotliwościach z pogranicza fal radiowych i mikrofal.

Ryc. 24.3. Anteny nadajników w Solcu Kujawskim

Do mikrofal zaliczamy fale elektromagnetyczne, których długości mieszczą się w zakresie od 1 mm do 30 cm. Mikrofale są wykorzystywane na przykład w radarach do wykrywania chmur deszczowych oraz do monitorowania ruchu lotniczego. Źródłem mikrofal jest także używana do podgrzewania potraw kuchenka mikrofalowa.

Ryc. 24.4. Radar pogodowy



Podczerwień to fale elektromagnetyczne o długościach od 700 nm do 1 mm. Są one emitowane przez wszystkie ciała. Na podstawie analizy podczerwieni wyemitowanej przez ciało można określić jego temperaturę.

Ryc. 24.5. Pomiar temperatury za pomocą termometru bezdotykowego rejestrującego podczerwień

Światło widzialne to ta część fal elektromagnetycznych, na którą reagują nasze oczy. Długości tych fal mieszczą się mniej więcej w zakresie od 400 nm (barwa fioletowa) do 700 nm (barwa czerwona). Oczy rejestrują i rozróżniają fale o różnych częstotliwościach z tego zakresu. Następnie informacje o tych falach są przekazywane do mózgu, który interpretuje je jako różne barwy.

Ryc. 24.6. Barwny świat – podwójna tęcza – widziany dzięki oczom i mózgowi człowieka

F

Ryc. 24.7. Lampa nadfioletowa (UV) do sterylizacji pomieszczeń w przychodniach i szpitalach

Nadfiolet (ultrafiolet, UV) to fale elektromagnetyczne o długości w zakresie od 10 nm do 400 nm. Nadfiolet dociera do nas ze Słońca, chociaż znaczna jego część jest pochłaniana przez ziemską atmosferę, i to on powoduje, że się opalamy. Promieniowanie nadfioletowe pobudza organizm człowieka do wytwarzania witaminy D. Duża dawka nadfioletu o najmniejszych długościach fali jest szkodliwa dla organizmów, także dla bakterii i wirusów – z tego powodu nadfiolet wykorzystuje się do sterylizacji narzędzi i pomieszczeń medycznych.

Ryc. 24.8. Zdjęcie RTG uzębienia człowieka

Promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X) zostało odkryte pod koniec XIX w. przez Wilhelma Roentgena. Wytwarzane jest przez specjalne lampy, a jego długość mieści się w zakresie od 5 pm do 10 nm. Ciało ludzkie jest dla niego prawie przezroczyste, chociaż niektóre tkanki (np. kości) pochłaniają to promieniowanie silniej niż inne (np. tkanki miękkie) – dlatego możliwe jest wykonywanie fotografii wewnętrznych części ludzkiego organizmu, czyli zdjęć rentgenowskich (RTG). Promieniowanie to może być szkodliwe dla organizmów, dlatego jest wykorzystywane w diagnostyce medycznej w niewielkich dawkach.

Ryc. 24.9. Aparat do leczenia nowotworów mózgu – tzw. nóż gamma

Promieniowanie gamma to fale elektromagnetyczne powstające podczas przemian zachodzących w jądrach atomowych. Długości fal tego promieniowania mogą być mniejsze niż długości fal promieniowania rentgenowskiego – umownie przyjmuje się, że górną granicą promieniowania gamma jest 100 pm. Duża energia promieniowania gamma może powodować uszkodzenia komórek organizmów. Promieniowania gamma używa się w leczeniu niektórych nowotworów.

Zbadaj to sam!

Rejestrowanie promieniowania podczerwonego

Promieniowanie podczerwone wysyłane przez pilot do telewizora (lub innego odbiornika, który działa na podobnej zasadzie) jest niewidoczne dla oczu człowieka. To dlatego podczas naciskania przycisków nie zauważamy żadnej emisji promieniowania. Niektóre smartfony pozwalają jednak zaobserwować to promieniowanie. Gdy skierujemy na pilot kamerę takiego smartfona, po naciśnięciu przycisku pilota możemy zobaczyć w niej mruganie diody. Dzieje się tak, ponieważ promieniowanie podczerwone jest rejestrowane przez element światłoczuły kamery.

Przeprowadź doświadczenie i przekonaj się, czy model smartfona, którym dysponujesz, rejestruje promieniowanie podczerwone emitowane przez pilot do telewizora.

Dowiedz się więcej!

Jak działa mikrofalówka?

Kuchenka mikrofalowa jest urządzeniem służącym do podgrzewania potraw za pomocą fal elektromagnetycznych z zakresu mikrofal. Źródłem tych fal jest magnetron znajdujący się we wnętrzu kuchenki. Energia elektryczna z sieci elektrycznej jest w nim zamieniana na energię mikrofal, a te przenoszą ją do potraw. We wszystkich obecnie stosowanych kuchenkach mikrofalowych powstają mikrofale o częstotliwości ok. 2,45 GHz. Mikrofale powodują wzrost amplitudy drgań cząsteczek wody, które znajdują się w potrawie. Cząsteczki te poprzez zderzenia przekazują energię innym cząsteczkom pożywienia i w konsekwencji rośnie temperatura całej potrawy. Mikrofalówki podgrzewają pożywienie w krótkim czasie, ponieważ wykorzystuje się w nich jednocześnie trzy sposoby transportu ciepła: przez przewodnictwo cieplne, konwekcję i promieniowanie.

Konstrukcja obudowy mikrofalówki oraz specjalna siatka na jej drzwiach nie pozwalają na to, by mikrofale wydostały się na zewnątrz.

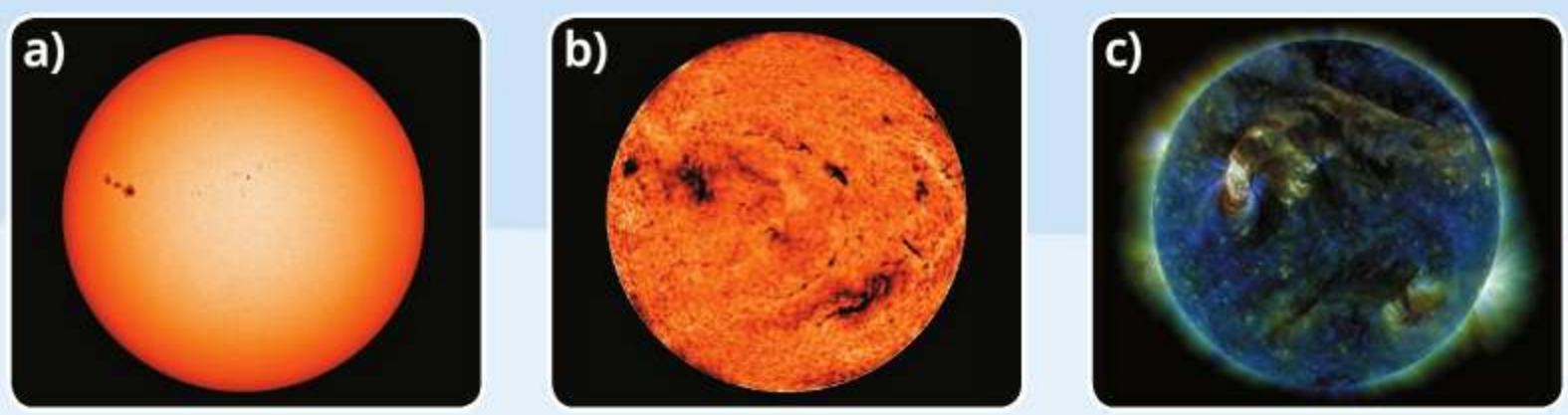
Rozglądaj się wokół!

F

Jak „zobaczyć" fale elektromagnetyczne

Do rejestrowania fal elektromagnetycznych o różnych długościach potrzebne są różne odbiorniki. Urządzenia rejestrujące fale spoza zakresu widzialnego przetwarzają informacje na kolorowy obraz, który możemy zobaczyć. Na obrazie tym różne barwy odpowiadają różnym długościom rejestrowanych fal.

Za pomocą kamery termowizyjnej można zarejestrować podczerwień, której źródłem są wszystkie ciała. Taka kamera pozwala zlokalizować na przykład miejsca, przez które z budynków wydostaje się najwięcej promieniowania cieplnego.



Teleskopy wykorzystywane do obserwacji kosmosu mogą rejestrować fale elektromagnetyczne o różnych długościach, również tych poza zakresem światła widzialnego. Na ilustracjach przedstawiono obrazy Słońca otrzymane w różnych zakresach promieniowania – widzialnym (a), podczerwieni (b) oraz nadfiolecie (c) – w każdym z nich można dostrzec różne szczegóły powierzchni naszej gwiazdy.

Aparaty rentgenowskie stanowią część urządzeń służących do prześwietlania bagażu na lotniskach. Urządzenia te pokazują barwne zdjęcia zawartości bagażu. Dzięki nim można sprawdzić zawartość walizek lub plecaków bez ich otwierania.

Radiotelefony, czyli tzw. walkie-talkie (czyt. łoki toki), są zarówno odbiornikami, jak i nadajnikami fal radiowych. Umożliwiają prowadzenie rozmów na niewielkie odległości – do kilku kilometrów. W urządzeniach tych fale dźwiękowe są zamieniane na fale elektromagnetyczne i odwrotnie.

Podsumujmy!

- **Fale elektromagnetyczne** przenoszą energię i rozchodzą się zarówno w ośrodkach materialnych, jak i w próżni.
- Do fal elektromagnetycznych należą (w kolejności od najdłuższych do najkrótszych): fale radiowe, mikrofale, podczerwień, światło widzialne, nadfiolet, promieniowanie rentgenowskie oraz promieniowanie gamma.
- Prędkość fal elektromagnetycznych w próżni wynosi ok. **300 000 km/s** i jest największą prędkością w przyrodzie.

F

Sprawdź się!

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

F

1.	Fale radiowe to rodzaj fal elektromagnetycznych o największych częstotliwościach.	**P**	**F**
2.	Im większa jest długość fali elektromagnetycznej, tym większa jest jej prędkość rozchodzenia się w próżni.	**P**	**F**
3.	Światło widzialne to jeden z rodzajów fal elektromagnetycznych.	**P**	**F**
4.	Każde ciało jest źródłem fal elektromagnetycznych.	**P**	**F**

2. Podaj jedną wspólną cechę fal mechanicznych i fal elektromagnetycznych oraz jedną różnicę między tymi falami.

3. Mikrofale to fale elektromagnetyczne o długościach od 1 mm do 30 cm. Przyjmij, że prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w próżni jest równa 300 000 km/s i oblicz zakres częstotliwości mikrofal.

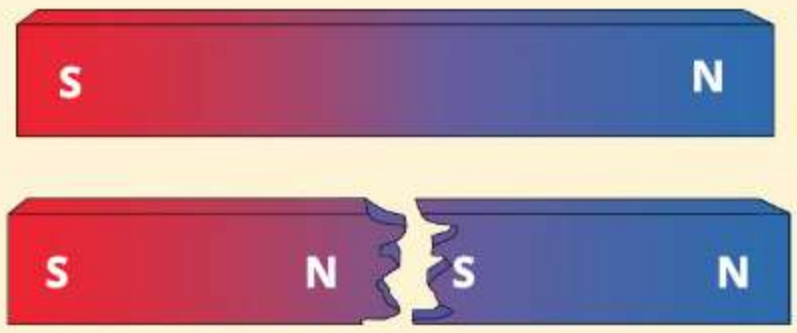
F

4. Poszukaj w internecie informacji, które z fal elektromagnetycznych (poza nadfioletem) mogą służyć do sterylizacji narzędzi chirurgicznych.

5. Częstotliwość pewnej fali z zakresu światła widzialnego jest równa 429 THz. Oblicz długość tej fali, jeśli prędkość, z jaką się ona rozchodzi, wynosi 299 800 km/s. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

POWTÓRZENIE
Magnetyzm

Magnes



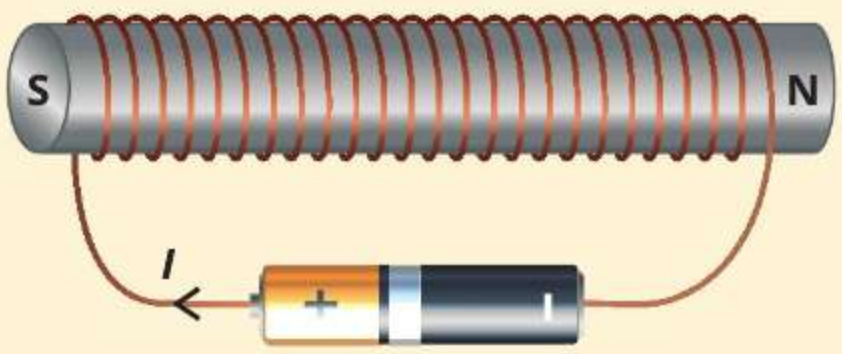
Każdy magnes ma dwa bieguny – północny N oraz południowy S.

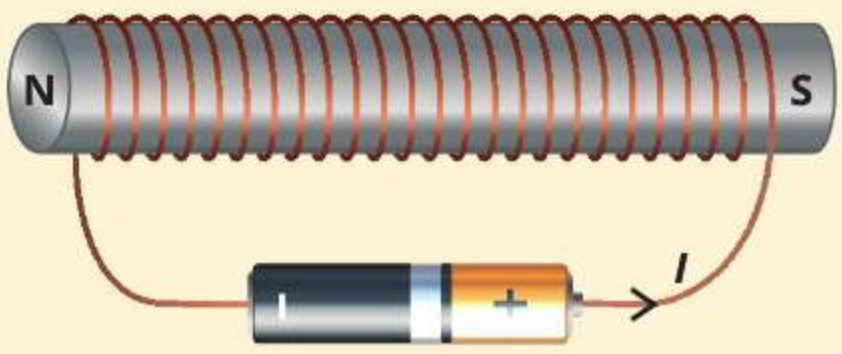
Nie istnieją magnesy, które mają tylko jeden biegun magnetyczny.

F

Elektromagnes

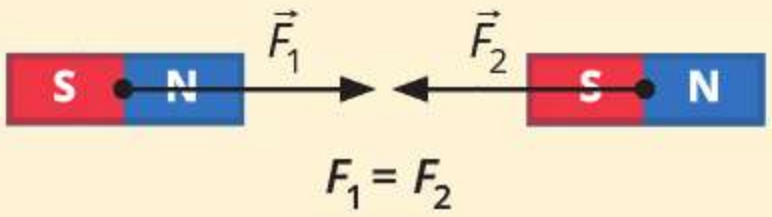
Elektromagnes to zwojnica z umieszczonym w niej ferromagnetycznym rdzeniem, która zachowuje się jak magnes, gdy płynie przez nią prąd elektryczny. Zmiana kierunku prądu przepływającego przez elektromagnes powoduje zmianę położenia jego biegunów.

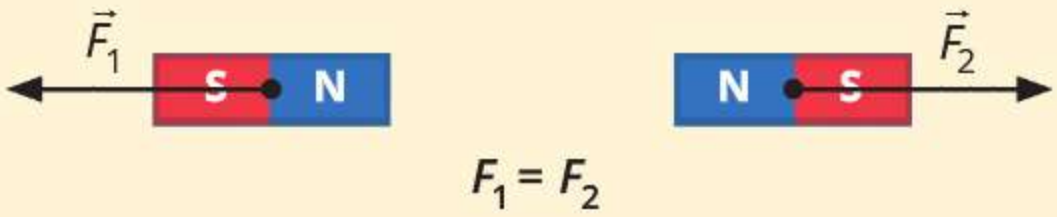




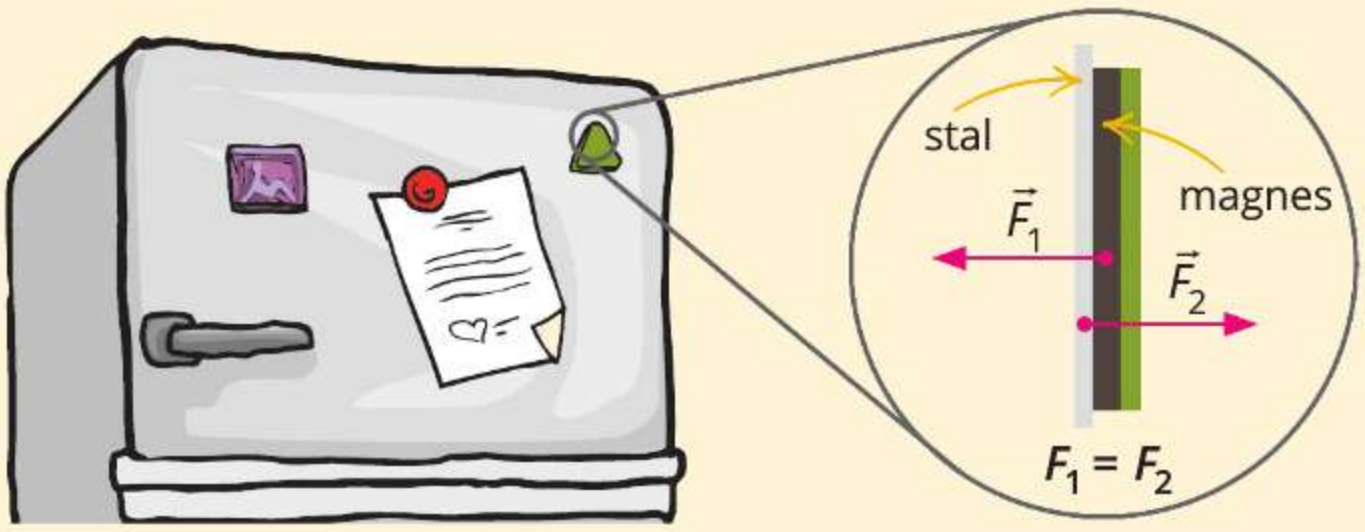
Oddziaływania magnetyczne

Dwa magnesy mogą się przyciągać lub odpychać.



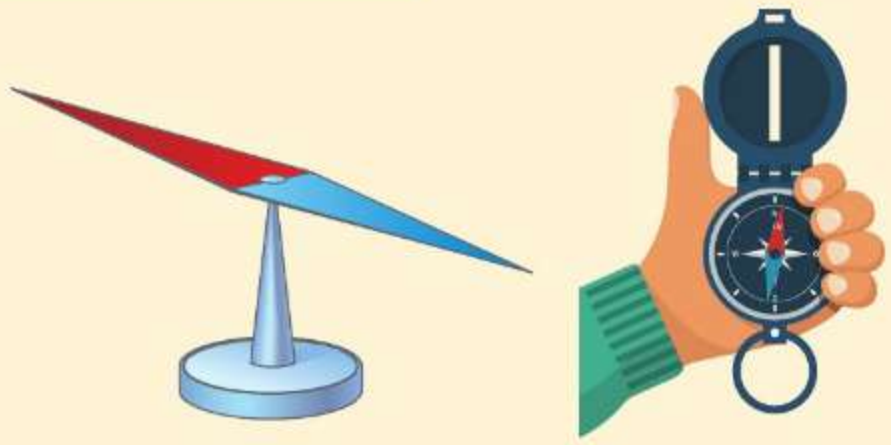


Magnesy przyciągają się z ferromagnetykami (np. ze stalowymi drzwiami lodówki).



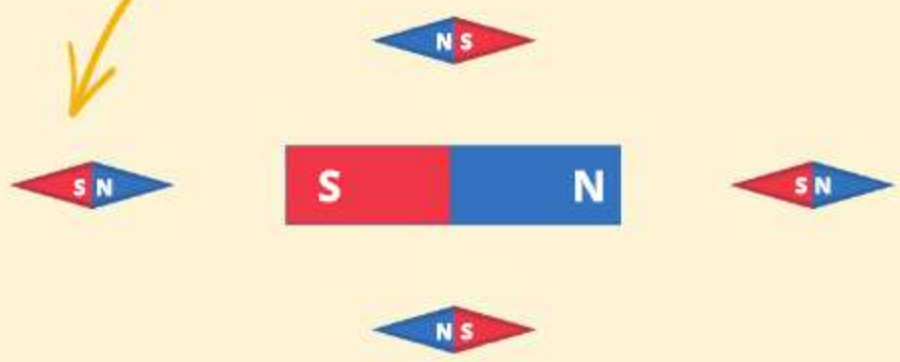
Igła magnetyczna

Igła magnetyczna to niewielki magnes mogący się swobodnie obracać. Jest ona elementem kompasu.



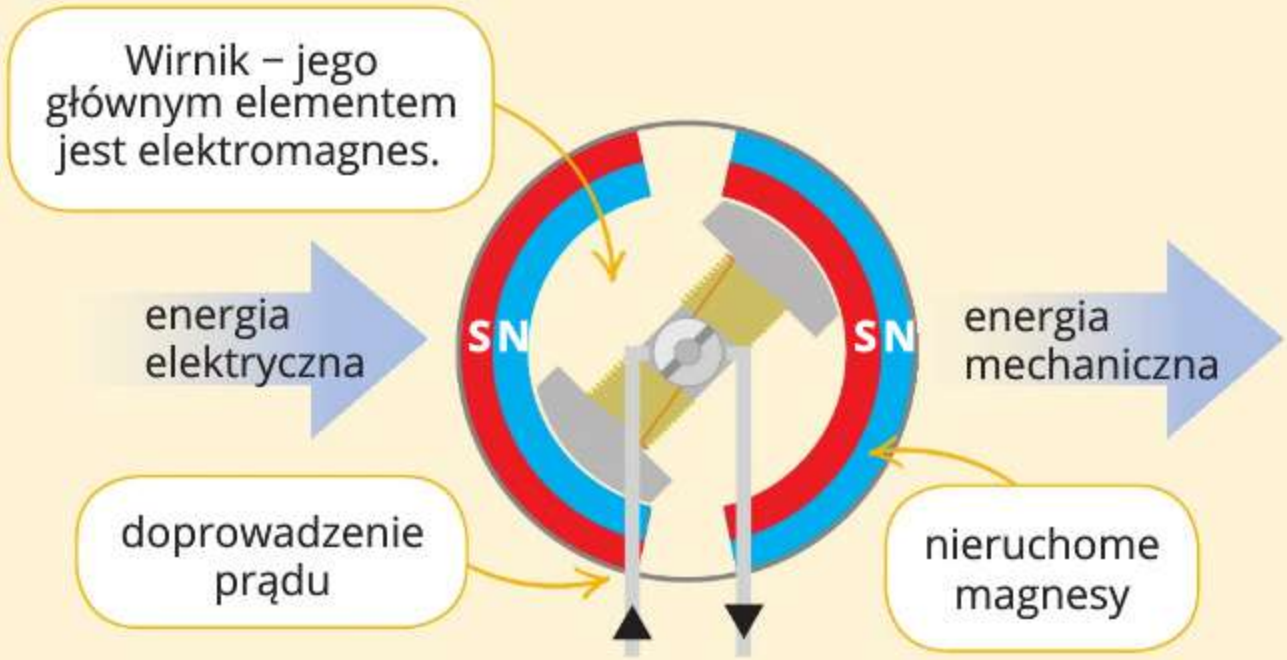
Igły magnetyczne ustawione w pobliżu magnesu wskazują położenie jego biegunów magnetycznych.

Ziemia jest wielkim magnesem. Za pomocą igły magnetycznej można ustalić położenie biegunów magnetycznych Ziemi.



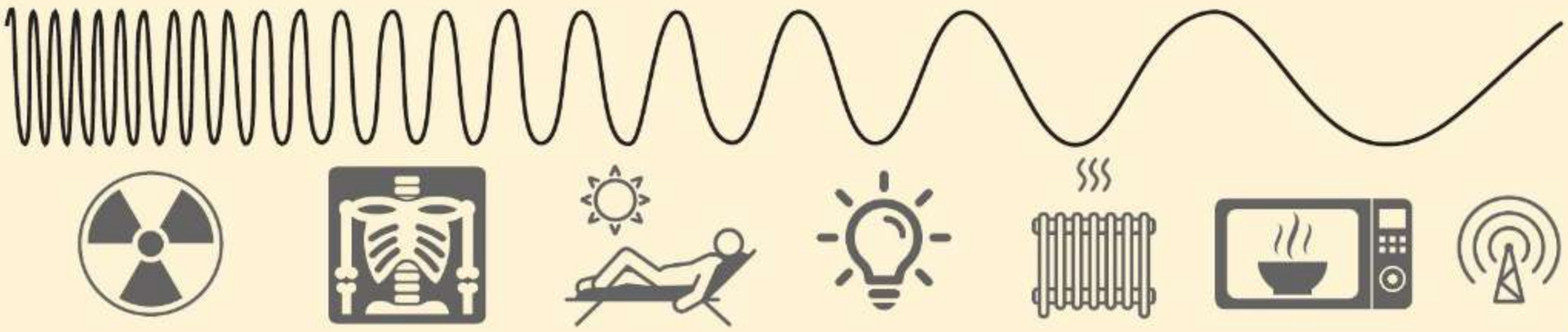
Silnik elektryczny

Części ruchome silnika (wirnik) poruszają się względem jego części nieruchomych na skutek oddziaływania magnetycznego pomiędzy magnesami i elektromagnesami.



Fale elektromagnetyczne

	promieniowanie gamma	promieniowanie rentgenowskie	ultrafiolet	światło widzialne	podczerwień	mikrofale	fale radiowe
λ	< 100 pm	5 pm–10 nm	10 nm–400 nm	400 nm–700 nm	700 nm–1 mm	1 mm–30 cm	> 30 cm



Sprawdź się!

Do obliczeń przyjmij wartość prędkości światła równą $3 \cdot 10^8$ m/s.

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

1.	Ziemia jest wielkim magnesem, którego bieguny magnetyczne znajdują się w pobliżu biegunów geograficznych.	**P**	**F**
2.	Każdy elektromagnes ma zawsze tylko jeden biegun magnetyczny.	**P**	**F**
3.	Podstawą działania silnika elektrycznego jest oddziaływanie magnetyczne między jego częściami nieruchomymi a ruchomymi.	**P**	**F**
4.	Fale elektromagnetyczne mogą rozchodzić się w próżni.	**P**	**F**

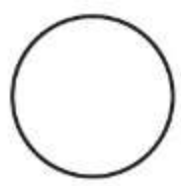
2. Uczeń badał oddziaływanie między magnesem sztabkowym i elektromagnesem. Ustawił je w odległości ok. 3 cm od siebie, w sposób przedstawiony na ilustracji. Po podłączeniu elektromagnesu do źródła napięcia dostrzegł, że magnes i elektromagnes się odpychają.

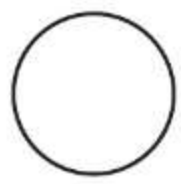
Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

Gdy uczeń zmieni kierunek przepływu prądu przez elektromagnes, zaobserwuje, że w tej sytuacji magnes i elektromagnes będą się

A.	przyciągać,	ponieważ zmiana kierunku przepływu prądu	**1.**	spowoduje, że w pobliżu bieguna N magnesu powstanie biegun S elektromagnesu.
B.	odpychać,		**2.**	spowoduje, że w pobliżu bieguna N magnesu powstanie biegun N elektromagnesu.

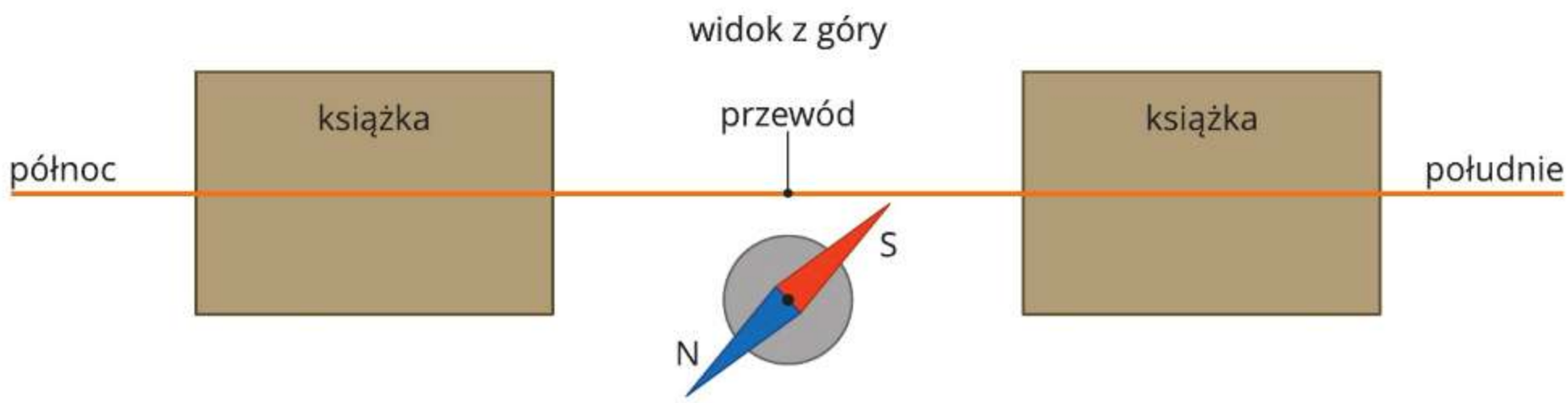
3. W pobliżu magnesu sztabkowego umieszczono dwie igły magnetyczne w miejscach zaznaczonych okręgami. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz, jak ustawią się igły w tych miejscach.



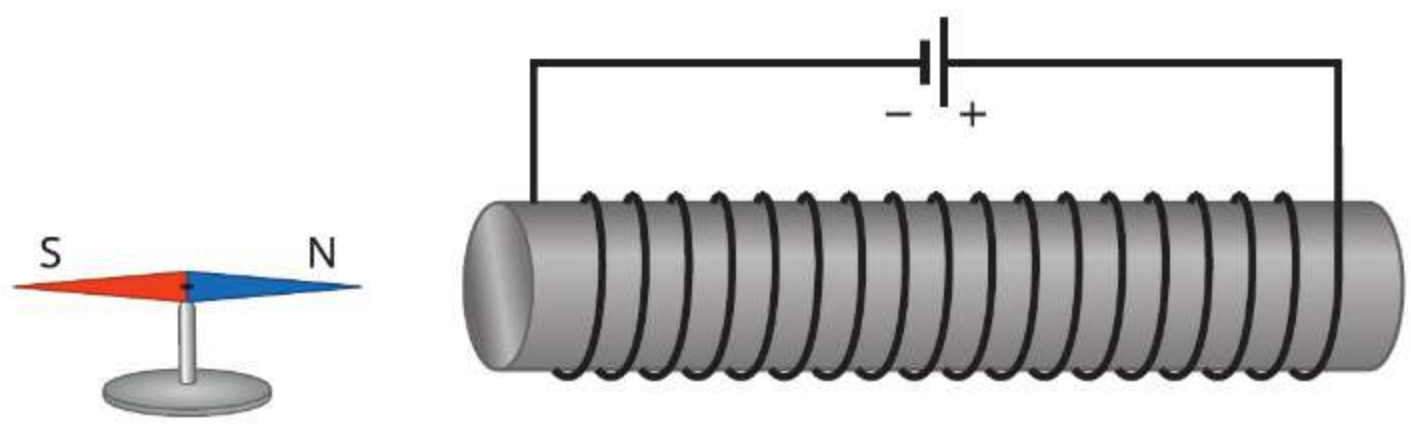


4. Dwa magnesy ustawiono w sposób pokazany na ilustracji. Czy magnesy te przyciągają się, czy odpychają? Narysuj parę sił wzajemnego oddziaływania magnetycznego tych magnesów.

5. Pod przewodem ułożonym wzdłuż linii północ – południe (patrz rysunek) umieszczono igłę magnetyczną w niewielkiej odległości od przewodu. Igła ustawiła się tak, jak pokazano na ilustracji. Czy w przewodzie płynął prąd? Uzasadnij odpowiedź.

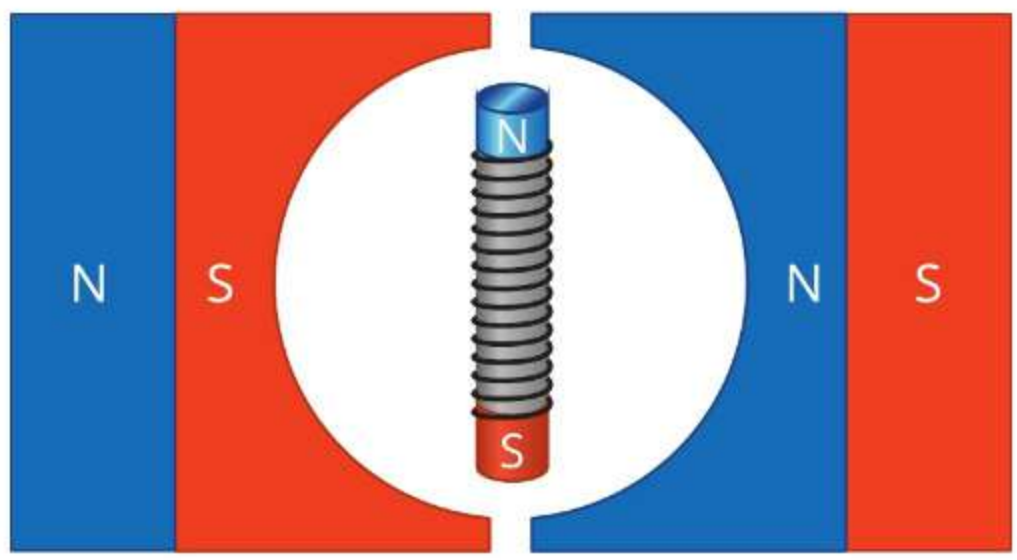


6. Do elektromagnesu podłączono baterię i ustawiono w jego pobliżu igłę magnetyczną. Igła ustawiła się w sposób pokazany na ilustracji. Z której strony elektromagnesu znajduje się jego biegun S, a z której biegun N?



7. Na ilustracji przedstawiono schemat budowy silnika elektrycznego na prąd stały. Gdy w wirniku płynie prąd, wirnik ten zachowuje się jak magnes o biegunach zaznaczonych na ilustracji.

Czy w sytuacji pokazanej na ilustracji wirnik obraca się zgodnie z ruchem wskazówek zegara czy przeciwnie do ich ruchu?



F **8.** Podczas działania silnika elektrycznego energia elektryczna zamieniana jest na inne rodzaje energii, np. na energię mechaniczną. Na jakie inne rodzaje energii zamieniana jest w silniku energia elektryczna?

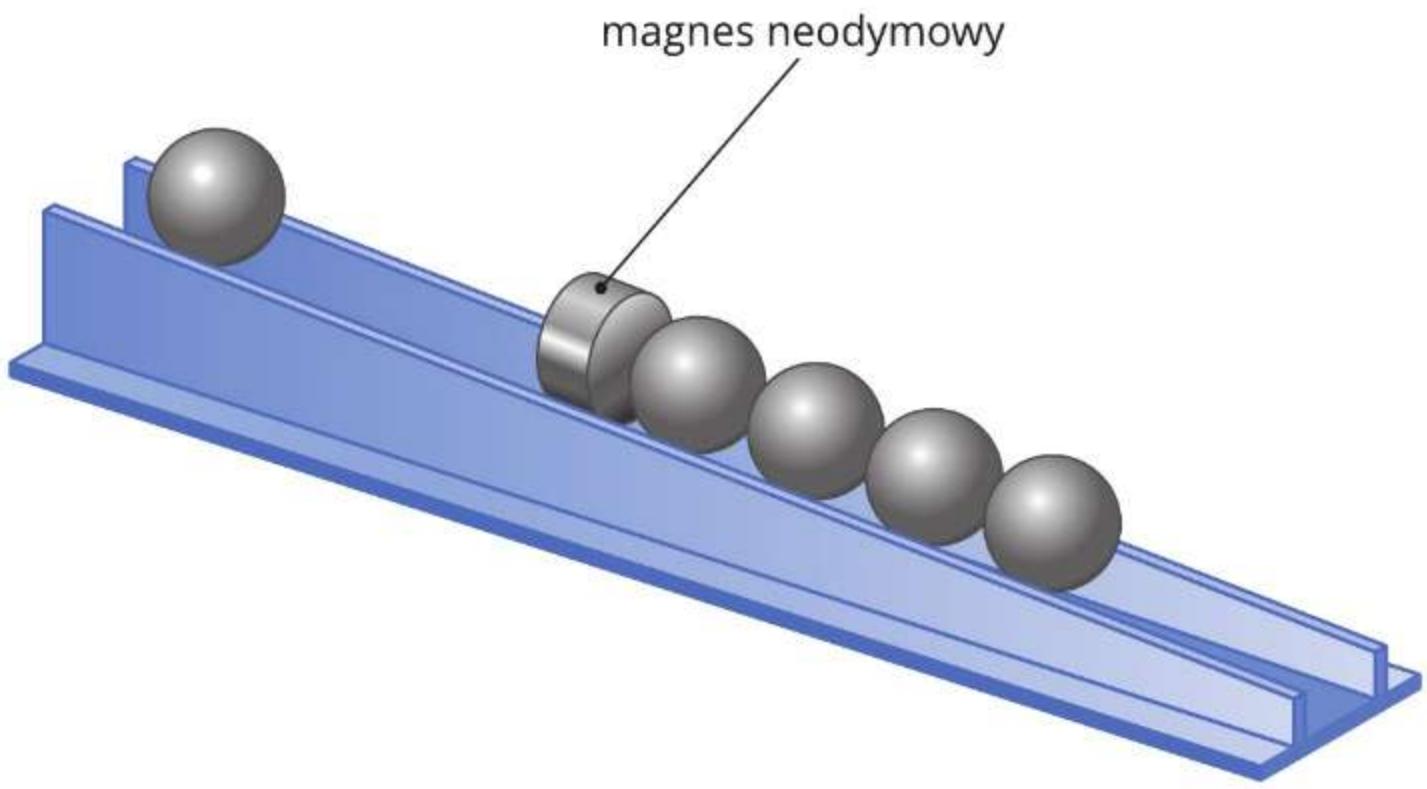
9. Jak nazywają się fale elektromagnetyczne, dzięki którym jest możliwy bezdotykowy pomiar temperatury ludzkiego ciała?

10. Zakres częstotliwości fal elektromagnetycznych, które wykorzystuje się w cyfrowej telewizji naziemnej, wynosi od 470 MHz do 790 MHz. Oblicz zakres długości tych fal. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

11. Oblicz częstotliwość podczerwieni o długości fali 1 μm.

12. Zbudowanie układu przedstawionego na ilustracji pozwala zaobserwować interesujące zachowanie stalowych kulek oddziałujących magnetycznie z magnesem. Układ składa się z magnesu neodymowego w kształcie walca oraz kilku identycznych stalowych kulek. Kulki – z wyjątkiem jednej – stykają się z jednym z biegunów tego magnesu i leżą w rynience z tworzywa sztucznego. Gdy pozwolimy kulce leżącej na samej górze stoczyć się w dół rynienki, kulka uzyska bardzo dużą prędkość, a jej energia kinetyczna w momencie zderzenia z magnesem będzie dużo większa niż wynikałoby to ze zmiany jej energii potencjalnej. Po zderzeniu kulki z magnesem odskoczy ostatnia z kulek znajdujących się z drugiej strony tego magnesu.

Wyjaśnij, na skutek czego rośnie energia mechaniczna kulki staczającej się z góry równi. Jeśli masz możliwość, wykonaj to doświadczenie.



Tekst popularnonaukowy

Indukcja elektromagnetyczna

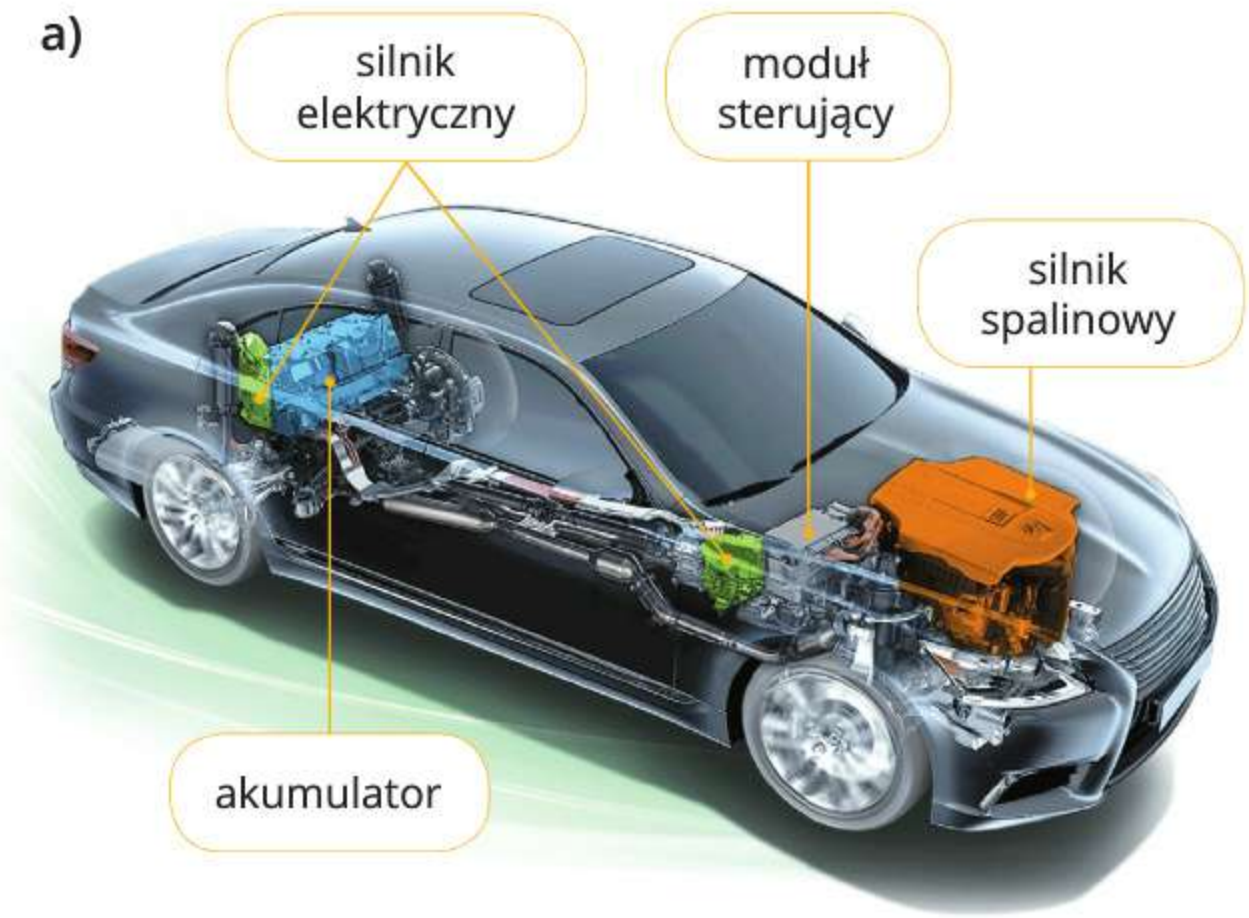
Samochód z napędem hybrydowym to taki, który jest wyposażony w dwa silniki: spalinowy oraz elektryczny (ryc. a). Dlaczego samochody z takim napędem zużywają mniej paliwa niż samochody z napędem spalinowym?

Podczas hamowania samochodu z napędem spalinowym niemal cała energia kinetyczna samochodu jest zamieniana w energię wewnętrzną. W takiej sytuacji rośnie temperatura niektórych elementów pojazdu (m.in. kół, tarcz hamulcowych), a energia jest bezpowrotnie tracona. Natomiast w samochodzie z napędem hybrydowym silnik elektryczny podczas hamowania staje się prądnicą, czyli źródłem prądu elektrycznego. W prądnicy część energii kinetycznej samochodu zamieniana jest w energię elektryczną, która najpierw jest magazynowana w akumulatorze, a później wykorzystywana do rozpędzania samochodu. Taki proces odzyskiwania energii nazywa się rekuperacją.

Podstawą działania prądnicy jest zjawisko indukcji elektromagnetycznej, czyli wytwarzania prądu elektrycznego na przykład w wyniku ruchu przewodu w polu magnetycznym. Można się o tym przekonać podczas prostego doświadczenia. W pobliżu zwojnicy podłączonej do amperomierza umieszczamy magnes (ryc. b). Podczas ruchu zwojnicy amperomierz wskaże, że w obwodzie płynie prąd. Ten sam efekt uzyskamy, gdy zwojnica będzie nieruchoma, a poruszać się będzie magnes.

Prądnica składa się z takich samych elementów jak silnik elektryczny, z tą różnicą, że silnik zamienia energię elektryczną w mechaniczną, a prądnica zamienia energię mechaniczną w elektryczną. Zewnętrzną część prądnicy stanowi elektromagnes (ryc. c). W środku prądnicy znajduje się wirnik złożony z wielu zwojów nawiniętych na stalowy rdzeń. Prąd w obracającym się wirniku powstaje pod wpływem pola magnetycznego nieruchomego elektromagnesu.

a)



b)

c)

Sprawdź się!

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

1.	Samochód hybrydowy jest wyposażony w dwa silniki.	**P**	**F**
2.	Prądnica to urządzenie zamieniające energię elektryczną w mechaniczną.	**P**	**F**
3.	Silnik elektryczny i prądnica składają się z tych samych elementów.	**P**	**F**
4.	Jeśli będziemy poruszać magnesem w pobliżu zamkniętego obwodu elektrycznego, to w obwodzie popłynie prąd elektryczny.	**P**	**F**

2. Na jaką energię może być zamieniana energia kinetyczna samochodu hybrydowego podczas hamowania?

3. Z jakich głównych elementów składa się prądnica samochodowa?

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

Samochody hybrydowe zużywają

A.	mniej paliwa niż	samochody spalinowe, ponieważ	**1.**	odzyskują energię podczas hamowania pojazdu.
B.	tyle samo paliwa co		**2.**	mają dodatkowy silnik elektryczny.

5. W pobliżu magnesu umieszczono zwojnicę podłączoną do amperomierza (ryc.). Amperomierz wskazywał zero amperów. Czy w chwili pomiaru magnes się poruszał czy nie? Uzasadnij odpowiedź.

DZIAŁ VI

ŚWIATŁO

Jeszcze nie wiesz,
ale się dowiesz!

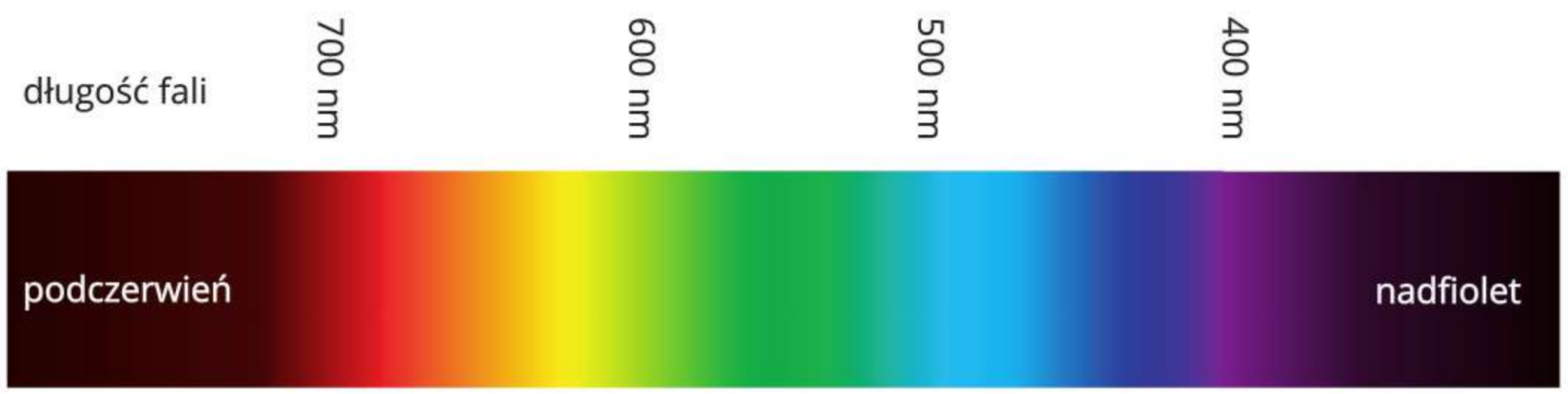
Czym jest załamanie światła?

Jakie są rodzaje zwierciadeł?

25. Światło i jego źródła

- Czym jest światło?
- Co to są źródła światła?

Zmysł wzroku pozwala obserwować otaczający nas świat. Siatkówka ludzkiego oka reaguje na światło widzialne, czyli na fale elektromagnetyczne z pewnego zakresu długości fal (ryc. 25.1.). Zazwyczaj przyjmujemy, że światło widzialne to fale elektromagnetyczne o długości mniej więcej od 400 nm, co odpowiada światłu fioletowemu, do 700 nm, co odpowiada światłu czerwonemu. Każdej długości światła widzialnego odpowiada inna barwa światła.



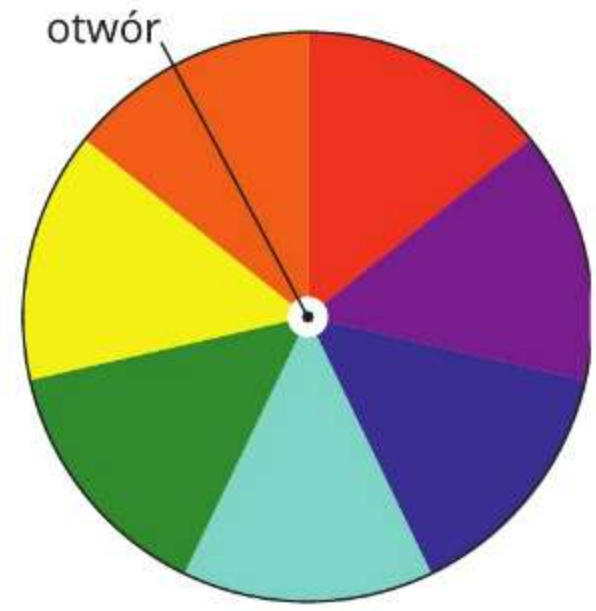
Ryc. 25.1. Barwy światła widzialnego i odpowiadające im długości fali

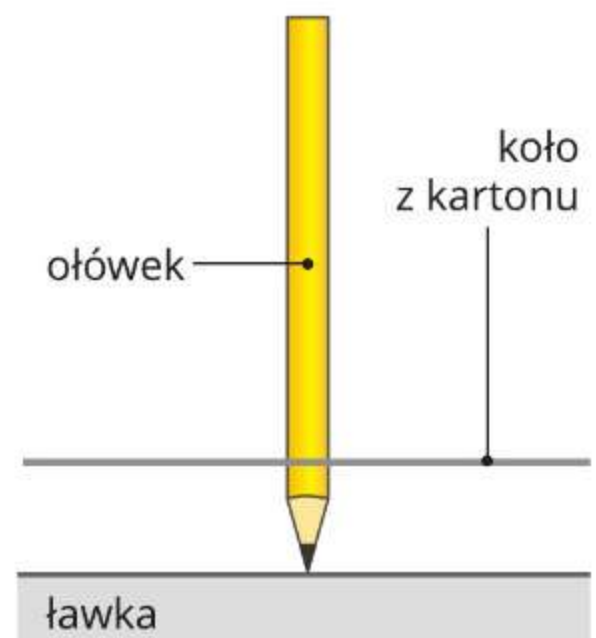
Światło białe jest mieszaniną światła o wielu barwach. Najczęściej nazywamy je barwami tęczy. Za barwy tęczy uznaje się siedem barw (w kolejności od największej długości fali do najmniejszej): czerwoną, pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, indygo, fioletową. W rzeczywistości w tęczy jest nieskończenie wiele barw. Przechodzą one płynnie jedna w drugą.

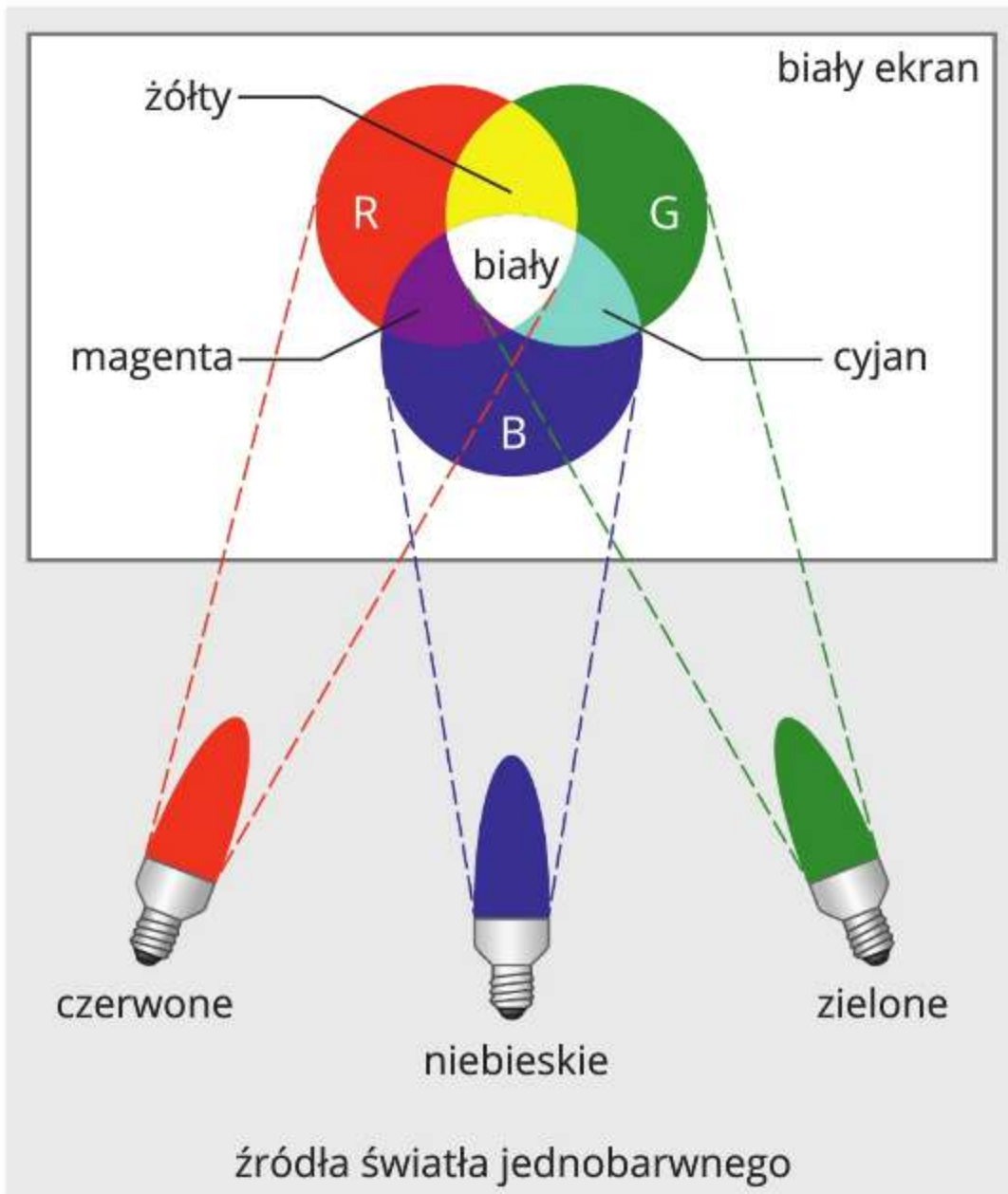
Zbadaj to sam!

Wykonujemy tarczę Newtona

1. Do doświadczenia będą potrzebne: biała kartka z bloku technicznego, cyrkiel, kolorowe kredki, nożyczki, ołówek.
2. Narysuj na kartce okrąg o średnicy ok. 10 cm.
3. Wewnątrz tego okręgu narysuj kredkami odcinki tak, by podzielić otrzymane koło na 7 równych części (każdy kąt mniej więcej po 50°). Każdą z części pokoloruj kredkami tak, by odtworzyć barwy tęczy (jak na ilustracji).
4. Wytnij kolorowe koło z kartonu, zrób otwór w jego środku i wbij w ten otwór ołówek. W ten sposób powstanie przyrząd przypominający zabawkę – tzw. bączek. Kolorowa strona kartonu powinna być zwrócona do góry.
5. Zakręć bączkiem tak, aby bardzo szybko wirował. Opisz, co widzisz na kolorowej tarczy bączka, gdy patrzysz na niego z góry.
6. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia. Porównaj swoje spostrzeżenia ze spostrzeżeniami innych uczniów.







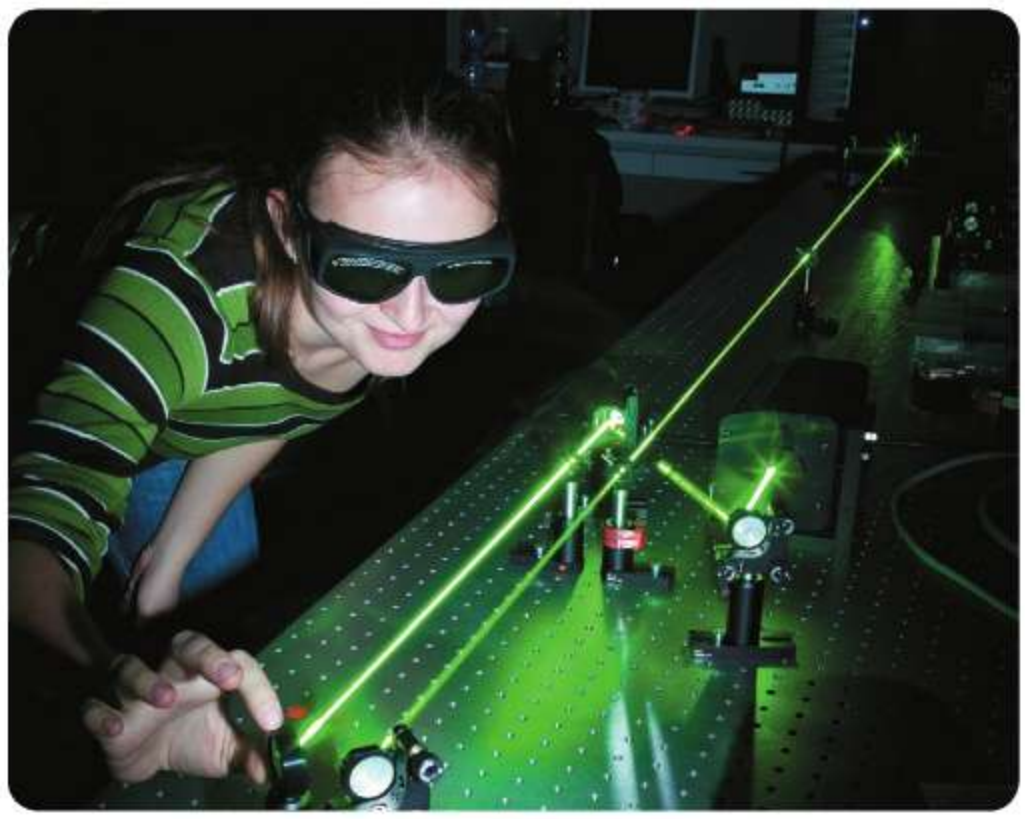
Doświadczenie z tarczą Newtona pozwala dostrzec, że światło białe jest złożeniem światła o wielu barwach. Dla naszego zmysłu wzroku wystarczy jednak, że odpowiednio zmieszamy światło czerwone, zielone i niebieskie, a otrzymamy nie tylko światło białe, ale też światło o różnych innych barwach. Możemy to zobaczyć na przykład wówczas, gdy oświetlimy biały ekran światłem pochodzącym z trzech źródeł RGB, czyli emitujących światło o barwach czerwonej, zielonej i niebieskiej (ryc. 25.2.). Skrót RGB pochodzi od pierwszych liter nazw kolorów w języku angielskim: R – *red* (czyt. red – czerwony), G – *green* (czyt. grin – zielony), B – *blue* (czyt. blu – niebieski).

Ryc. 25.2. Otrzymywanie barw dzięki odpowiedniemu mieszaniu światła czerwonego, zielonego i niebieskiego

Ryc. 25.3. Różne kolory na ekranie jako efekt świecenia pikseli o różnych barwach

Mieszanie światła o różnych barwach wykorzystywane jest do tworzenia obrazów na ekranach monitorów, telewizorów itd. Ekran takiego urządzenia podzielony jest na bardzo małe fragmenty, tzw. piksele. Każdy z nich składa się z obszarów będących źródłem światła czerwonego, zielonego lub niebieskiego (ryc. 25.3.). Różne kolory na ekranie uzyskuje się dzięki odpowiedniemu włączaniu i wyłączaniu tych obszarów. Na przykład niebieski kolor na ekranie jest skutkiem świecenia tylko niebieskiego elementu piksela, a biały punkt na ekranie jest wynikiem jednakowego świecenia wszystkich trzech obszarów. Te źródła kolorowego światła są tak małe, że nie rozróżniamy ich z daleka i widzimy po prostu kolorowy obraz.

Źródła światła to ciała, które emitują światło. Mówimy, że świecą własnym światłem. Naturalnym źródłem światła są gwiazdy, np. nasze Słońce. Jest ono źródłem światła białego. Jednak nie wszystkie obiekty widoczne na niebie są źródłami światła. Na przykład Księżyc i planety nimi nie są – odbijają jedynie światło słoneczne. Ekrany monitorów, wyświetlacze smartfonów itd. zostały wytworzone przez człowieka, a więc są sztucznymi źródłami światła. Są nimi również: ognisko, świece czy różnego rodzaju żarówki. Emitowane przez nie światło także jest złożeniem fal elektromagnetycznych o różnych długościach.



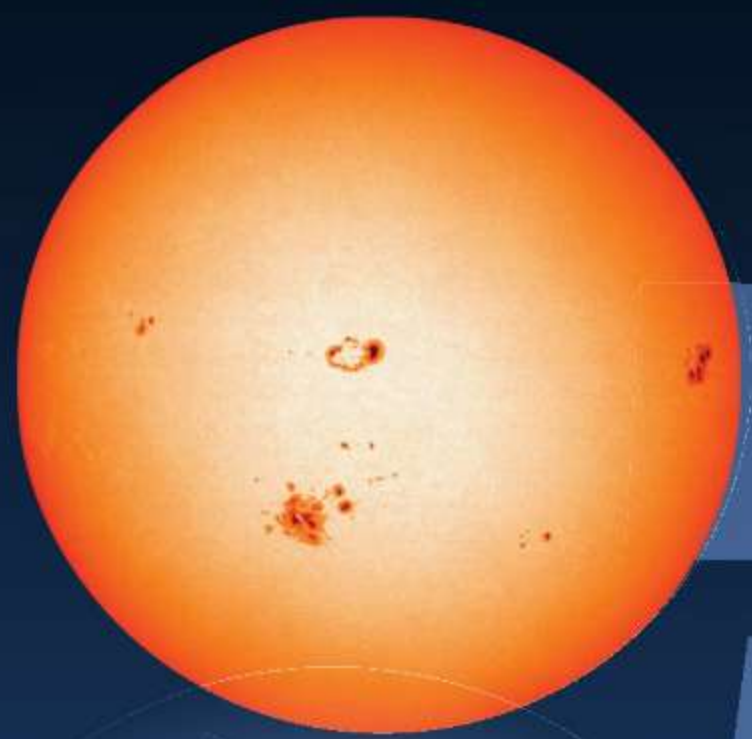
Ryc. 25.4. Eksperyment z wykorzystaniem światła laserowego

Oprócz źródeł emitujących światło białe istnieją także źródła emitujące światło o jednej barwie, czyli o jednej długości fali. Źródłem światła jednobarwnego (np. czerwonego lub zielonego) jest laser. Lasery wykorzystuje się w medycynie, przemyśle, technice i nauce. Intensywność świecenia światła laserowego jest tak duża, że stanowi ono poważne zagrożenie dla naszych oczu. Z tego powodu nigdy nie należy kierować światła laserowego w stronę oka!

Rozglądaj się wokół!

Źródła światła

Najważniejszym dla życia na Ziemi źródłem światła jest Słońce. Na co dzień korzystamy także ze sztucznych źródeł światła. Światło może być wytwarzane na wiele różnych sposobów.



Źródłem energii Słońca, zamienianej na energię fali świetlnej, są reakcje jądrowe zachodzące w jego wnętrzu.

W lampie naftowej światło powstaje dzięki reakcji chemicznej, którą nazywamy spalaniem. Za twórcę lampy naftowej uznawany jest Polak – Ignacy Łukasiewicz.

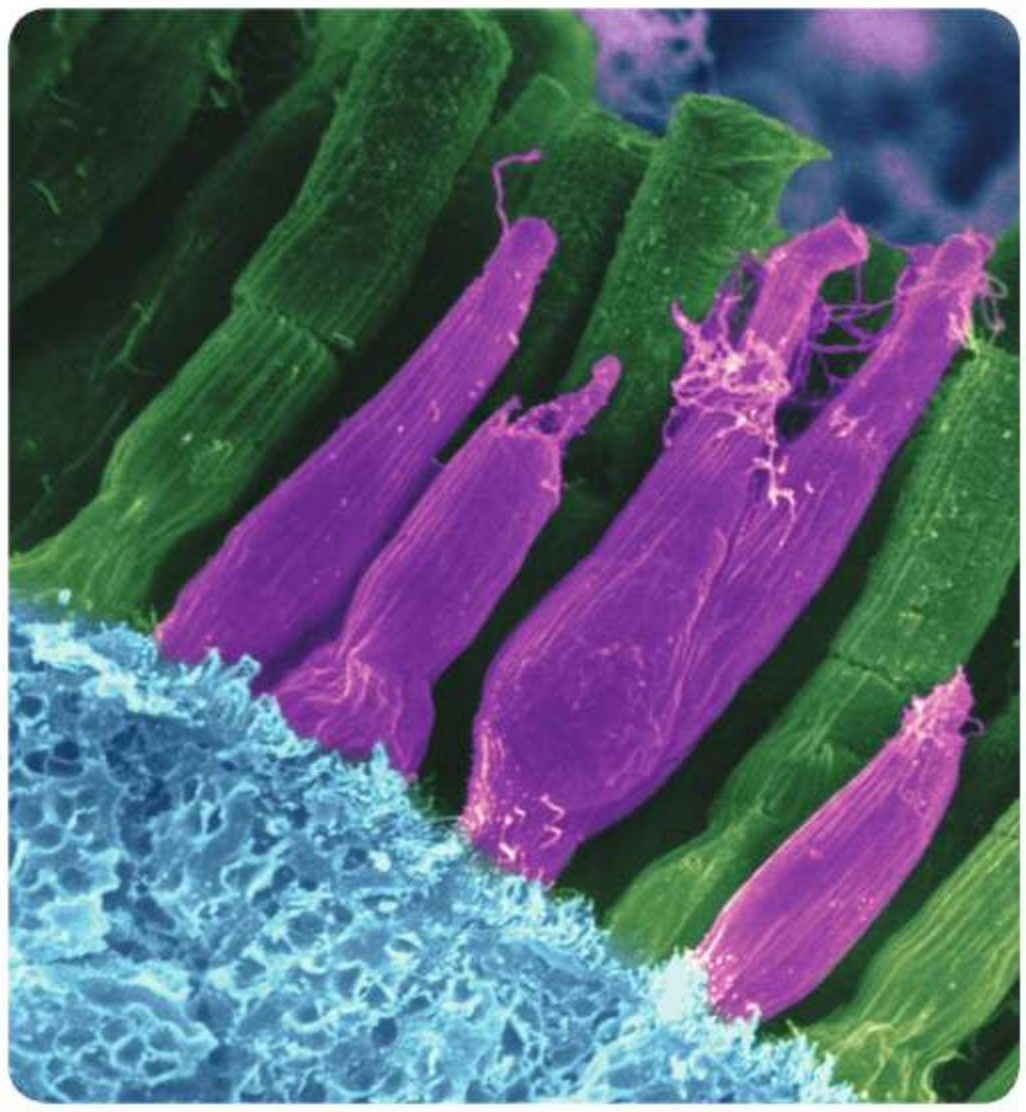
W tradycyjnej żarówce żarowej prąd elektryczny przepływający przez wolframowy drucik rozgrzewa go do tak wysokiej temperatury, że drucik staje się źródłem światła.

Diody LED należą do najbardziej wydajnych źródeł światła. Energia elektryczna jest w nich zamieniana na energię fali świetlnej.

Świetlik świętojański, iskrzyk i świeciuch to owady, które emitują światło. Ich odwłoki świecą dzięki reakcjom chemicznym. Zjawisko świecenia żywych organizmów nazywamy bioluminescencją.

Dowiedz się więcej!

Światło słoneczne, które jest mieszaniną wszystkich barw, odbieramy jako światło białe. Ale jako światło białe odbieramy także mieszaninę trzech barw: światła czerwonego, zielonego i niebieskiego. Jak to wytłumaczyć? Wynika to z budowy naszego oka. Siatkówka ludzkiego oka jest wyposażona w dwa rodzaje detektorów: za detekcję światła bez rozróżniania jego długości odpowiadają pręciki (na zdjęciu z mikroskopu elektronowego przedstawione kolorem zielonym), a za widzenie barwne – czopki (oznaczone kolorem fioletowym). W oku człowieka są trzy rodzaje czopków, a każdy rodzaj jest odpowiedzialny za wykrywanie tylko jednej z trzech barw: czerwonej, zielonej lub niebieskiej. Do wywołania wrażenia światła białego potrzebne jest równomierne pobudzenie wszystkich rodzajów czopków w siatkówce oka.



Podsumujmy!

- **Światło widzialne** to fale elektromagnetyczne o długościach mniej więcej z zakresu od 400 nm do 700 nm.
- **Światło białe** to mieszanina światła o różnych barwach.
- **Światło jednobarwne** to fala elektromagnetyczna z zakresu widzialnego o określonej długości. Takie światło wytwarzają lasery.

Sprawdź się!

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

1.	Zmysł wzroku człowieka odbiera fale z całego zakresu fal elektromagnetycznych.	**P**	**F**
2.	Światło emitowane przez laser jest światłem jednobarwnym.	**P**	**F**
3.	Fala elektromagnetyczna o długości 550 nm należy do światła widzialnego.	**P**	**F**
4.	Księżyc jest naturalnym źródłem światła.	**P**	**F**

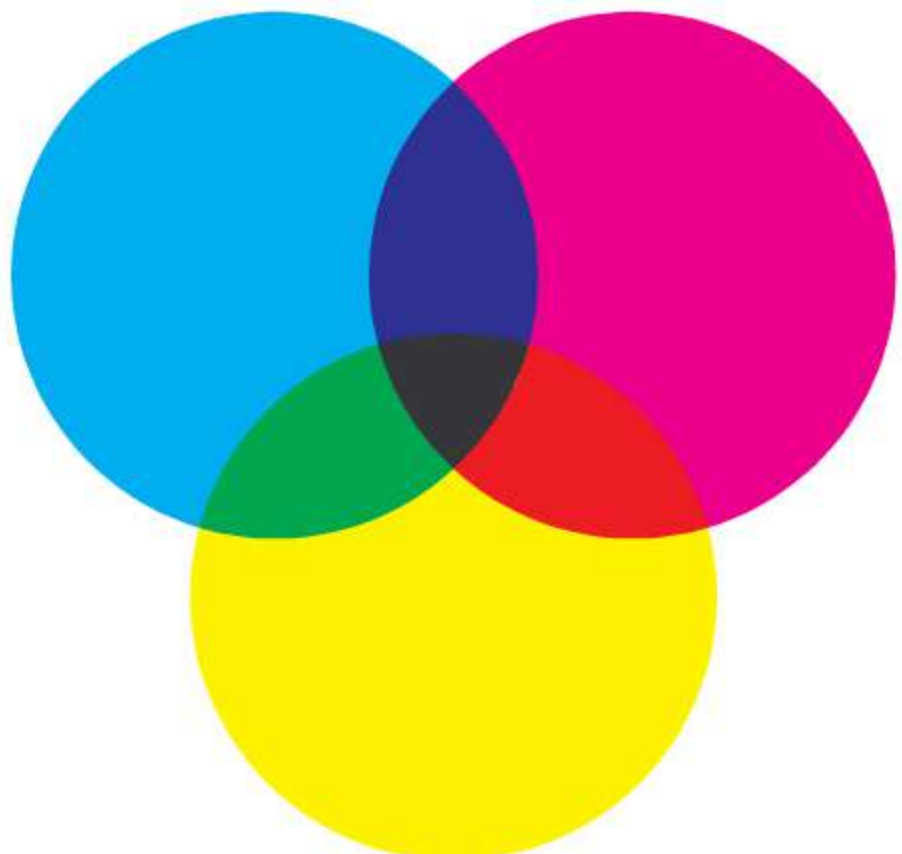
2. Uporządkuj podane barwy światła w kolejności od największej do najmniejszej długości fali: zielony, żółty, fioletowy, czerwony.

3. Które z wymienionych źródeł światła wytwarza światło jednobarwne: żarówka, świeca, laser?

4. Spośród podanych ciał wybierz te, które są źródłami światła (naturalnymi lub sztucznymi).

Syriusz • Jowisz • latarka • lustro • świeczka • Wenus • Gwiazda Polarna • folia aluminiowa

5*. W książkach kolorowe obrazy uzyskuje się za pomocą kolorowych kropek (podobnie jak obrazy na ekranie telewizora). Na papierze nie polega to jednak na mieszaniu światła o trzech barwach – czerwonej, zielonej i niebieskiej – lecz na łączeniu podstawowych kolorów farb stosowanych w druku. Oryginalny obraz dzielony jest na trzy kolory nazywane podstawowymi oraz na elementy czarne. Od nazw tych podstawowych kolorów wykorzystywanych w druku utworzono skrót CMYK. Rozszyfruj ten skrót na podstawie dostępnych źródeł informacji.



26. Rozchodzenie się światła

- Czym jest promień światła?
- Jak powstają cienie i półcienie?

W słoneczny dzień towarzyszą nam cienie, które są tym dłuższe, im niżej nad horyzontem znajduje się słońce (ryc. 26.1.a). Gdy słońce jest schowane za chmurami, cieni nie widać (ryc. 26.1.b).

a)

b)

Ryc. 26.1. Cienie widoczne w słoneczny dzień (a) oraz brak cieni w pochmurny dzień (b)

Człowiek, książka czy drzewo stanowią przeszkodę dla światła, a jeśli oświetlimy taką przeszkodę, zobaczymy cień. Czy wszystkie przedmioty rzucają cień? Nie wszystkie – nie rzucają cienia substancje przepuszczające światło, np. szkło, woda czy powietrze. Mówimy, że te substancje są przezroczyste. W substancjach przezroczystych i jednorodnych, czyli jednakowych w każdym miejscu, światło rozchodzi się po liniach prostych (ryc. 26.2.). Zjawisko powstawania cienia jest

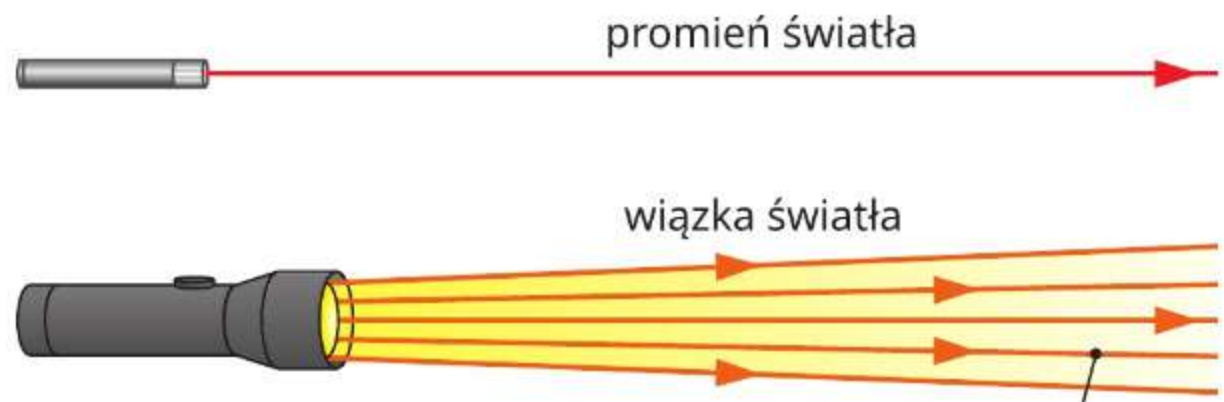
konsekwencją prostoliniowego rozchodzenia się światła oraz tego, że niektóre substancje nie przepuszczają światła.

Do zademonstrowania biegu światła można wykorzystać światło lasera. Gdy w zaciemnionym pomieszczeniu włączymy laser, to zauważymy, że bieg światła jest prostoliniowy (ryc. 26.3.).

Laser jest źródłem bardzo wąskiej wiązki światła, czyli promienia. Promienie światła na rysunkach przedstawiamy jako linie proste ze strzałkami, które pokazują kierunek rozchodzenia się światła.

Wiązkę światła wytwarzaną przez inne źródła światła, np. przez latarkę, przedstawiamy na rysunkach jako kilka rozbieżnych promieni biegnących blisko siebie (ryc. 26.4.).

Ryc. 26.2. Światło rozchodzi się po liniach prostych.



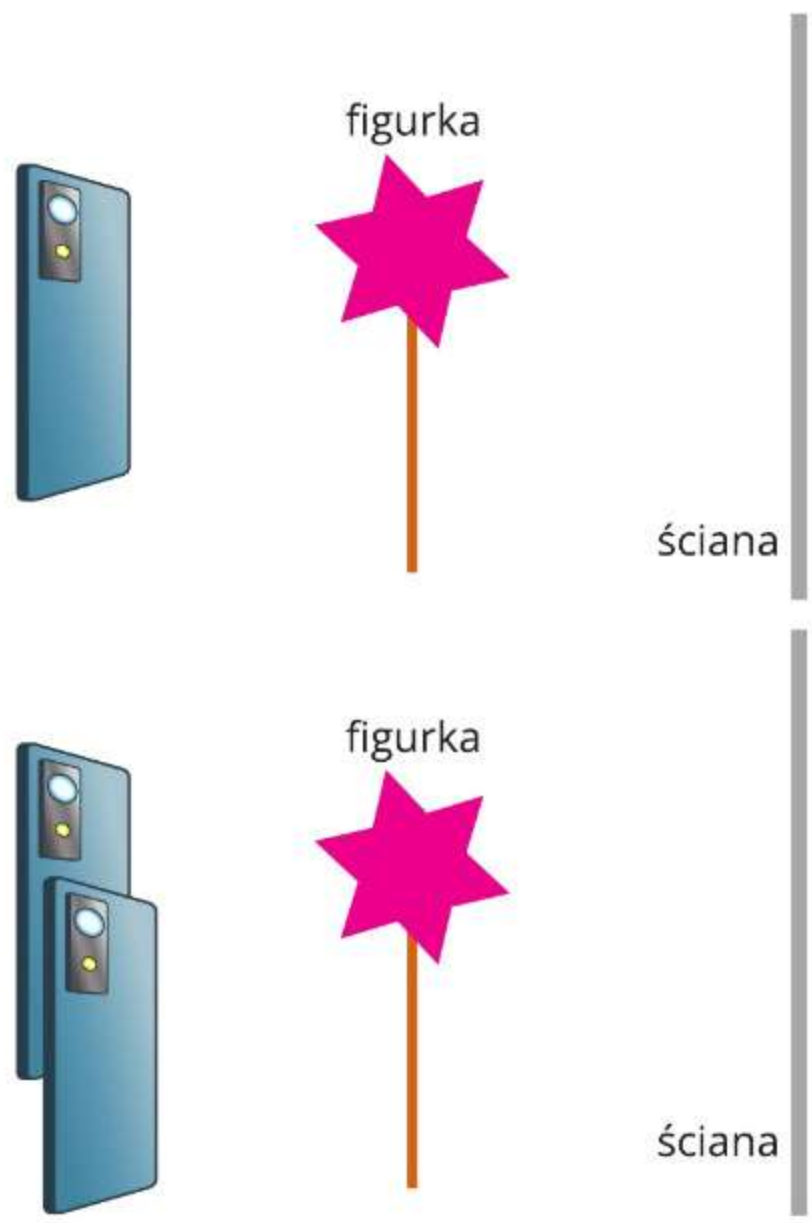
Ryc. 26.3. Światło z lasera z zaznaczonym kierunkiem rozchodzenia się

Ryc. 26.4. Światło z latarki przedstawione za pomocą wybranych promieni

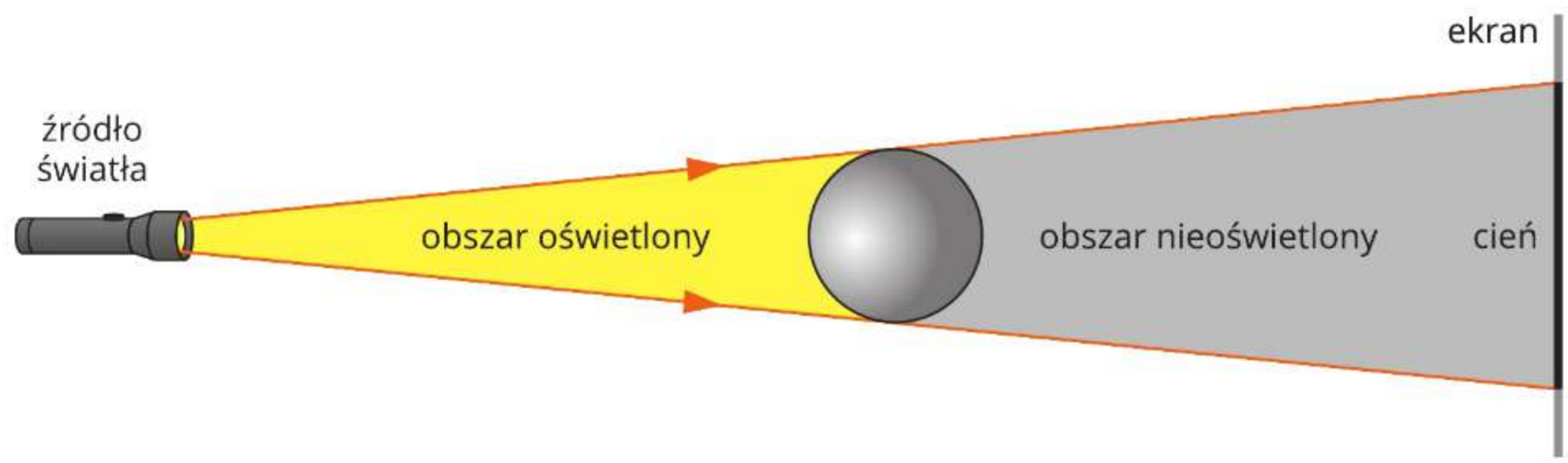
Zbadaj to sam!

Obserwujemy cienie
(Doświadczenie powinny wykonać dwie osoby).

1. Do doświadczenia będą potrzebne: dwie latarki (np. w smartfonach), taśma klejąca, karton, nożyczki i patyczek (do szaszłyków). Doświadczenie należy wykonać w zaciemnionym pomieszczeniu.
2. Wytnijcie z kartonu dowolną figurkę o rozmiarach kilku centymetrów i przyklejcie ją do patyczka za pomocą taśmy klejącej.
3. Ustawcie figurkę między latarką a pustą ścianą.
4. Zbliżajcie latarkę do i oddalajcie ją od figurki. Obserwujcie, jak na ścianie zmienia się cień i jego rozmiar.
5. Powtórzcie doświadczenie, ale tym razem z jednoczesnym użyciem dwóch latarek. Dodatkowo zmieniajcie także odległość między latarkami przy stałej ich odległości od figurki.
6. Zapiszcie w zeszycie spostrzeżenia.

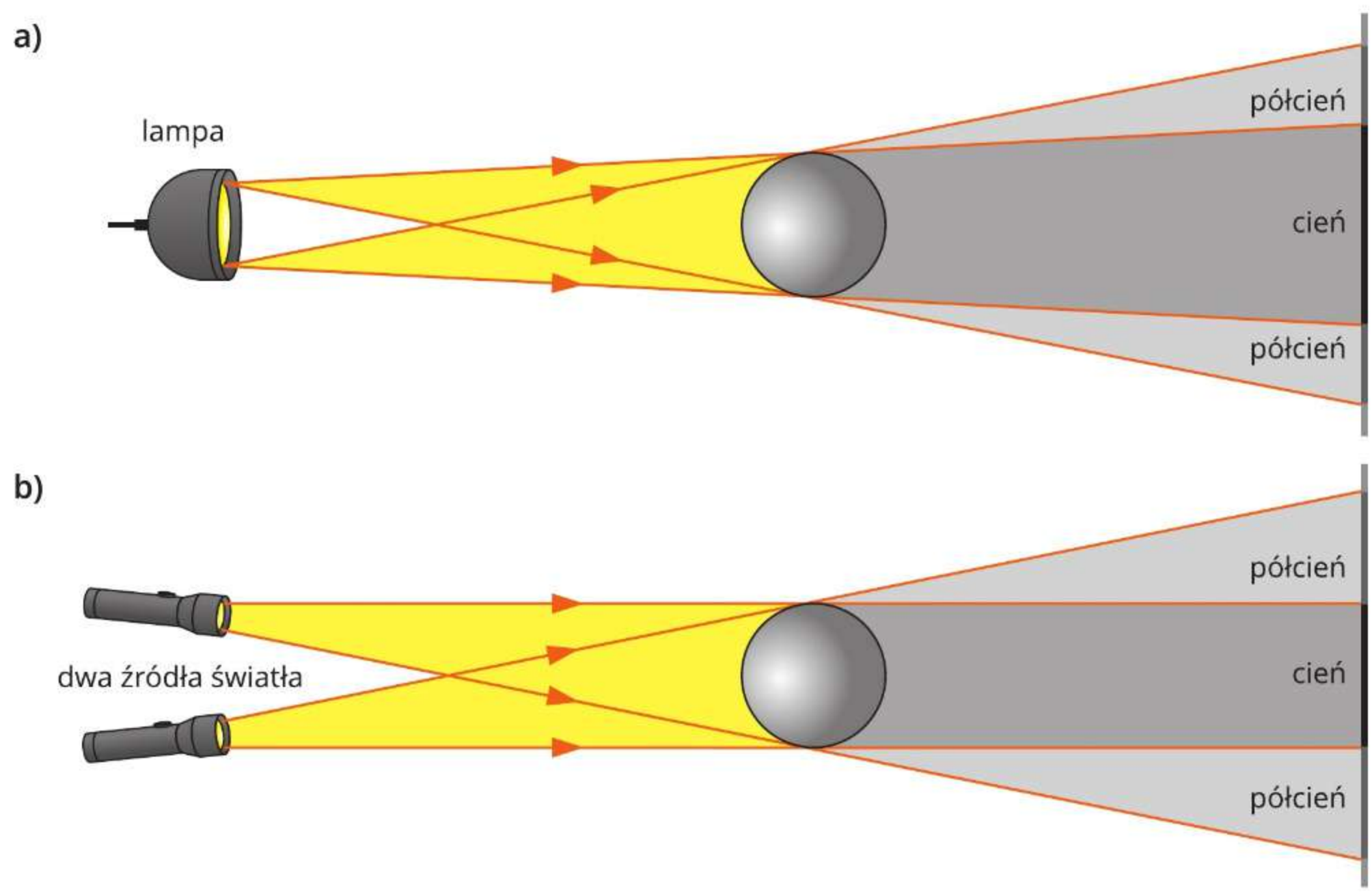


Gdy w wąskiej wiązce światła emitowanego na przykład przez latarkę znajdzie się nieprzezroczysty przedmiot, którego rozmiary są dużo większe od rozmiarów źródła światła (ryc. 26.5.), to zauważymy, że za przedmiotem powstanie cień. Cień to obszar nieoświetlony, do którego nie dociera światło ze źródła, ponieważ na drodze promieni świetlnych znajduje się przeszkoda. Światło rozchodzi się po liniach prostych, dlatego promienie padające na przedmiot nie mogą go ominąć.



Ryc. 26.5. Cień powstający za oświetlonym obiektem

Gdy w szerokiej wiązce światła, emitowanego na przykład przez lampę, znajdzie się nieprzezroczysty przedmiot, to za nim oprócz cienia pojawiają się także półcienie, czyli miejsca oświetlone tylko przez część światła emitowanego przez źródło (ryc. 26.6.a). Cień i półcienie pojawiają się również wtedy, gdy nieprzezroczysty przedmiot jest oświetlany przez dwa źródła (lub więcej źródeł) światła jednocześnie (ryc. 26.6.b).



Ryc. 26.6. Powstawanie cienia i półcieni, gdy źródło światła ma znaczne rozmiary (a) lub gdy obiekt jest oświetlony dwoma źródłami światła (b).

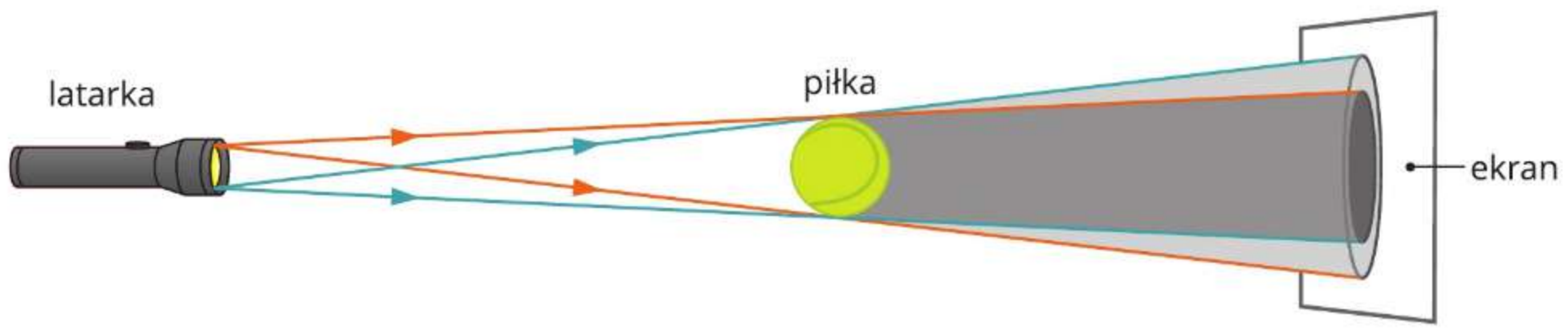
Światło w ośrodku jednorodnym rozchodzi się ze stałą prędkością, a prędkość ta zależy od rodzaju ośrodka. W próżni światło rozchodzi się z największą prędkością, wynoszącą ok. 300 000 km/s.

Zobacz, jak to zrobić!

1. Między ekranem a latarką umieszczono piłkę do tenisa ziemnego. Ustalmy, czy w sytuacji przedstawionej na ilustracji zaobserwujemy na ekranie cień oraz półcień.

Rozwiązanie:

Rysujemy niektóre promienie światła wysyłanego przez latarkę, ograniczające obszar, w którym mogą powstać cień i półcień. Są to promienie wysyłane ze skrajnych punktów źródła światła, styczne do oświetlanego przedmiotu (czyli stykające się z nim tylko w jednym punkcie) i padające na ekran. Na rysunku promienie wybiegające z jednego skrajnego punktu latarki zaznaczono kolorem pomarańczowym, a z drugiego – niebieskim. Na ekranie zaobserwujemy zarówno obszar, do którego nie docierają żadne promienie światła z latarki, czyli cień, jak i obszar oświetlony przez część promieni, czyli półcień.



2. Astronauci podczas misji Apollo 14 pozostawili na powierzchni Księżyca specjalne zwierciadła. Można je wykorzystać do określenia czasu, jakiego światło potrzebuje na przebycie drogi od Ziemi do Księżyca i z powrotem.

Wiązka światła laserowego wysłana z Ziemi na Księżyc odbija się od zwierciadła i powraca na Ziemię. Pokonuje przy tym drogę 772 tys. km. Obliczmy czas mijający od momentu wysłania sygnału do jego powrotu na Ziemię. Wynik zapiszmy z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Dane: $s = 772\,000$ km, $c = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ **Szukane:** t

Rozwiązanie:

Drogę przebytą przez światło można obliczyć za pomocą wzoru:

$$s = c \cdot t$$

Po podzieleniu obu stron równania przez c otrzymujemy:

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

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$t = \frac{772\,000\ \text{km}}{300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}} \approx 2{,}57\ \text{s}$$

Odpowiedź: Czas, który mija od momentu wysłania sygnału w stronę Księżyca do jego powrotu na Ziemię, wynosi ok. 2,57 s.

Rozglądaj się wokół!

Niechciane cienie

W wielu sytuacjach zależy nam na jak najlepszym oświetleniu, czyli zminimalizowaniu zjawiska powstawania cienia lub półcienia.

Podczas meczów piłkarskich rozgrywanych na niektórych stadionach widać cienie zawodników. Jest to spowodowane tym, że boiska te są oświetlone przez cztery lampy umieszczone w różnych miejscach.

Gdy boisko jest oświetlone przez wiele równomiernie rozmieszczonych lamp, cienie zawodników nie są widoczne. Można to zaobserwować na przykład na Stadionie Narodowym w Warszawie.

Bezcieniowe lampy medyczne, które minimalizują zjawisko powstawania cienia, są wykorzystywane na przykład podczas zabiegów operacyjnych. Cienie rzucane na obszar wykonywania zabiegu mogłyby zmniejszać widoczność, co utrudniałoby pracę lekarzowi.

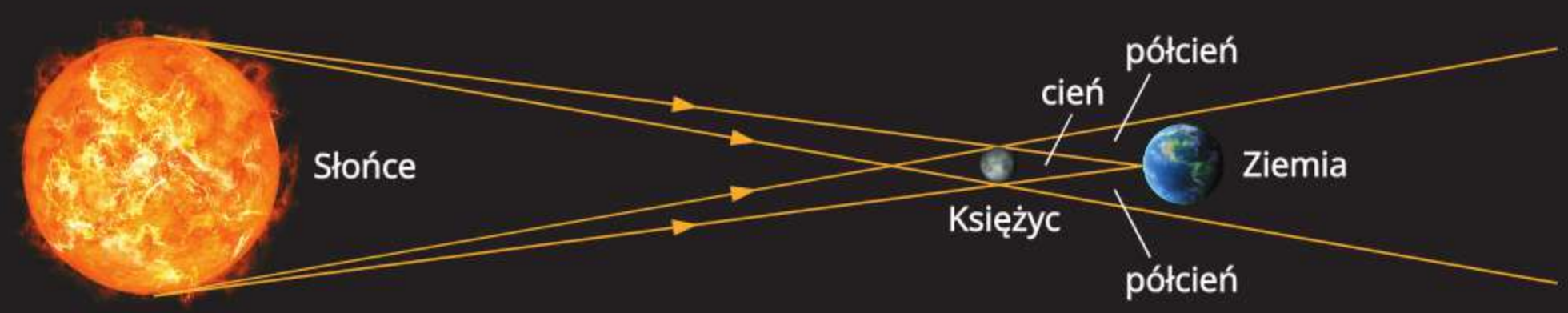
Lampy w studiach fotograficznych mają znaczne rozmiary i są ustawione pod różnymi kątami, aby na fotografowanych obiektach nie powstawały cień lub półcień.

Dowiedz się więcej!

Zaćmienie Słońca i zaćmienie Księżyca

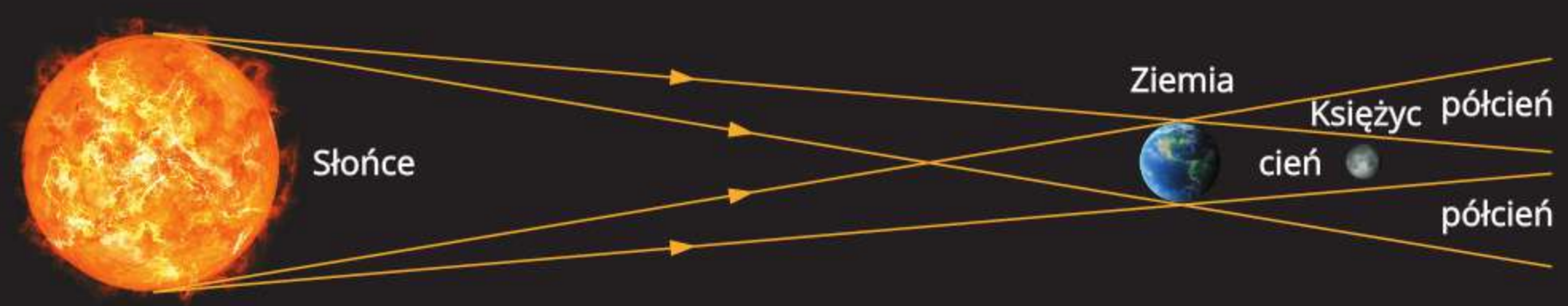
Źródłem światła w Układzie Słonecznym jest Słońce. To ono oświetla Ziemię i Księżyc. Księżyc, który porusza się wokół Ziemi, czasami znajduje się dokładnie pomiędzy Ziemią a Słońcem – mówimy wtedy, że jest w nowiu (ryc. a). Wówczas może się zdarzyć, że do niektórych miejsc na powierzchni Ziemi nie dochodzi światło słoneczne – powstaje tam cień i dlatego na tym niewielkim obszarze obserwujemy całkowite **zaćmienie Słońca**. Dużo większy jest obszar częściowego zaćmienia Słońca, czyli obszar półcienia.

a)



Gdy Księżyc jest w pełni (czyli jest po przeciwnej stronie Ziemi niż Słońce) i znajdzie się w cieniu Ziemi (ryc. b), na niebie można zobaczyć całkowite **zaćmienie Księżyca**. Częściowe zaćmienie Księżyca następuje wtedy, gdy jego część znajduje się w cieniu rzucanym przez Ziemię, a pozostała część w półcieniu. Zaćmienia Księżyca są widoczne nocą z części powierzchni Ziemi zwróconej w jego stronę.

b)



Podsumujmy!

- W ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się **prostoliniowo**.
- Za pomocą **promieni światła** przedstawiamy kierunek rozchodzenia się światła.
- Za nieprzezroczystym oświetlanym przedmiotem powstają **cień** lub **cień** i **półcień**.

Sprawdź się!

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

1.	W próżni światło rozchodzi się po liniach prostych.	**P**	**F**
2.	Na rysunkach bieg światła przedstawiamy za pomocą promieni.	**P**	**F**
3.	Półcień to obszar częściowo oświetlony.	**P**	**F**
4.	Cień jest zawsze mniejszy od przedmiotu, na który pada światło.	**P**	**F**

2. Na fotografii przedstawiono fragment meczu siatkówki rozgrywanego na plaży. Na podstawie tej fotografii ustal, czy mecz rozgrywano w słoneczny czy w pochmurny dzień. Uzasadnij odpowiedź.

3. Czworo ludzi rzuca cień przedstawiony na fotografii. Długość cienia jest dużo większa od ich wzrostu. Uzupełnij zdanie odpowiednim wyrazem wybranym spośród podanych w nawiasie.

W chwili wykonywania zdjęcia Słońce znajdowało się (*wysoko / nisko)* nad horyzontem.

4. Sonda Cassini znajdująca się w pobliżu Saturna zarejestrowała moment wychodzenia Księżyca z cienia Ziemi. Oblicz odległość Księżyca od sondy Cassini, jeśli wiadomo, że światło odbite od Księżyca potrzebowało 83 min 20 s na dotarcie do sondy. Do obliczeń przyjmij prędkość światła równą 300 000 km/s.

5. Tuż pod sufitem wisiała lampa oświetlająca stół. Pomiędzy lampą a stołem uczeń przytrzymał książkę, a na stole powstały cień oraz półcienie.

Przerysuj schemat opisanej sytuacji do zeszytu i narysuj na nim lampę oświetlającą stół oraz promienie ograniczające obszary cienia i półcieni.

27. Odbicie światła

- Jak odbija się światło?
- Jak skonstruować obraz powstający w lustrze?

Na początku II wieku p.n.e. sycylijskie miasto Syrakuzy było oblegane przez wojska Rzymian. Jak głosi legenda, grecki uczony Archimedes skonstruował broń, która zmieniła przebieg bitwy. Konstrukcja składała się z luster, które odbijały promienie słoneczne w stronę okrętów, co miało na celu doprowadzenie do ich zapalenia.

Ryc. 27.1. Obraz z XVII w. autorstwa Giulia Parigiego, przedstawiający bitwę pod Syrakuzami i legendarne spalenie floty rzymskiej przez obrońców

Lustro jest przykładem przedmiotu o gładkiej powierzchni, który odbija światło. Jest ono wykonane ze szkła pokrytego z jednej strony cienką warstwą metalu. Ale nie tylko lustra odbijają światło. Do odbicia dochodzi zawsze wtedy, gdy światło napotyka granicę ośrodków, np. rozchodzi się w powietrzu i dociera do powierzchni wody (ryc. 27.2.).

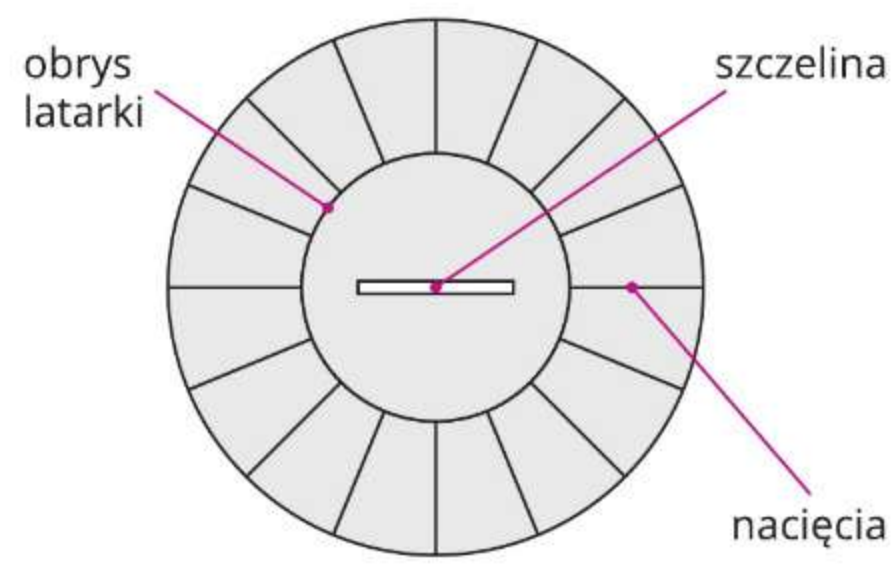
Ryc. 27.2. Odbicie światła od gładkiej powierzchni wody

Odbicie światła to zjawisko zachodzące na granicy ośrodków, w wyniku którego światło pozostaje w tym samym ośrodku, ale zmienia kierunek rozchodzenia się.

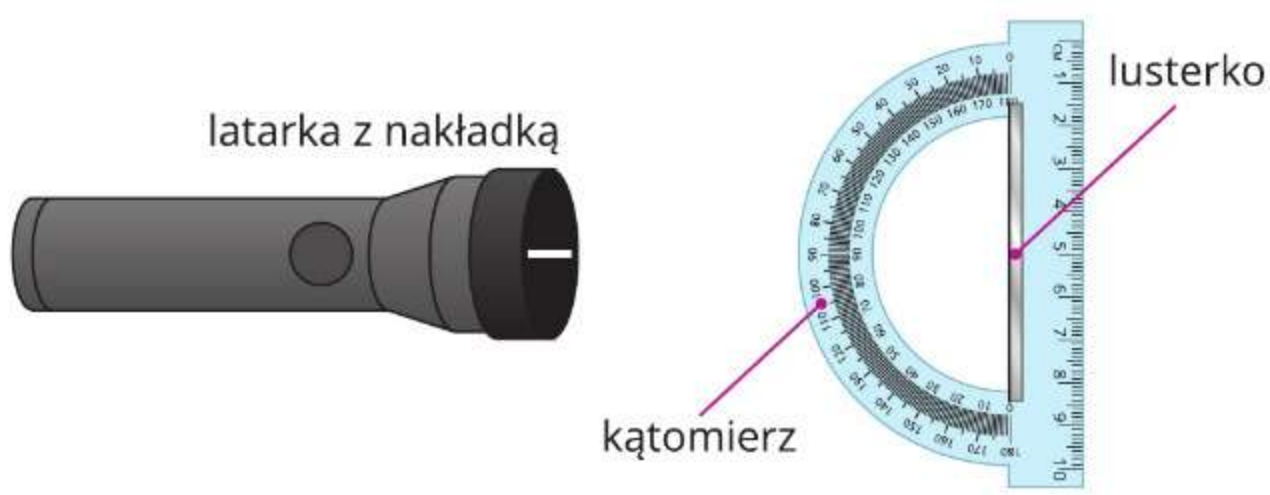
Zbadaj to sam!

Badamy odbicie światła

1. Do doświadczenia będą potrzebne: latarka w kształcie walca, płaskie lusterko, kątomierz, czarna kartka z bloku technicznego, nożyczki, ołówek, taśma klejąca, biała kartka papieru.
2. Obrysuj kontur czoła latarki na kartce z bloku technicznego. Następnie wokół tego obrysu narysuj okrąg o średnicy dwa razy większej niż średnica obrysu latarki.
3. Wytnij większe koło. Na środku obrysu latarki wytnij wąską szczelinę o długości ok. 1 cm i szerokości ok. 1 mm. Następnie ponacinaj brzegi koła, tak jak pokazano na ilustracji.



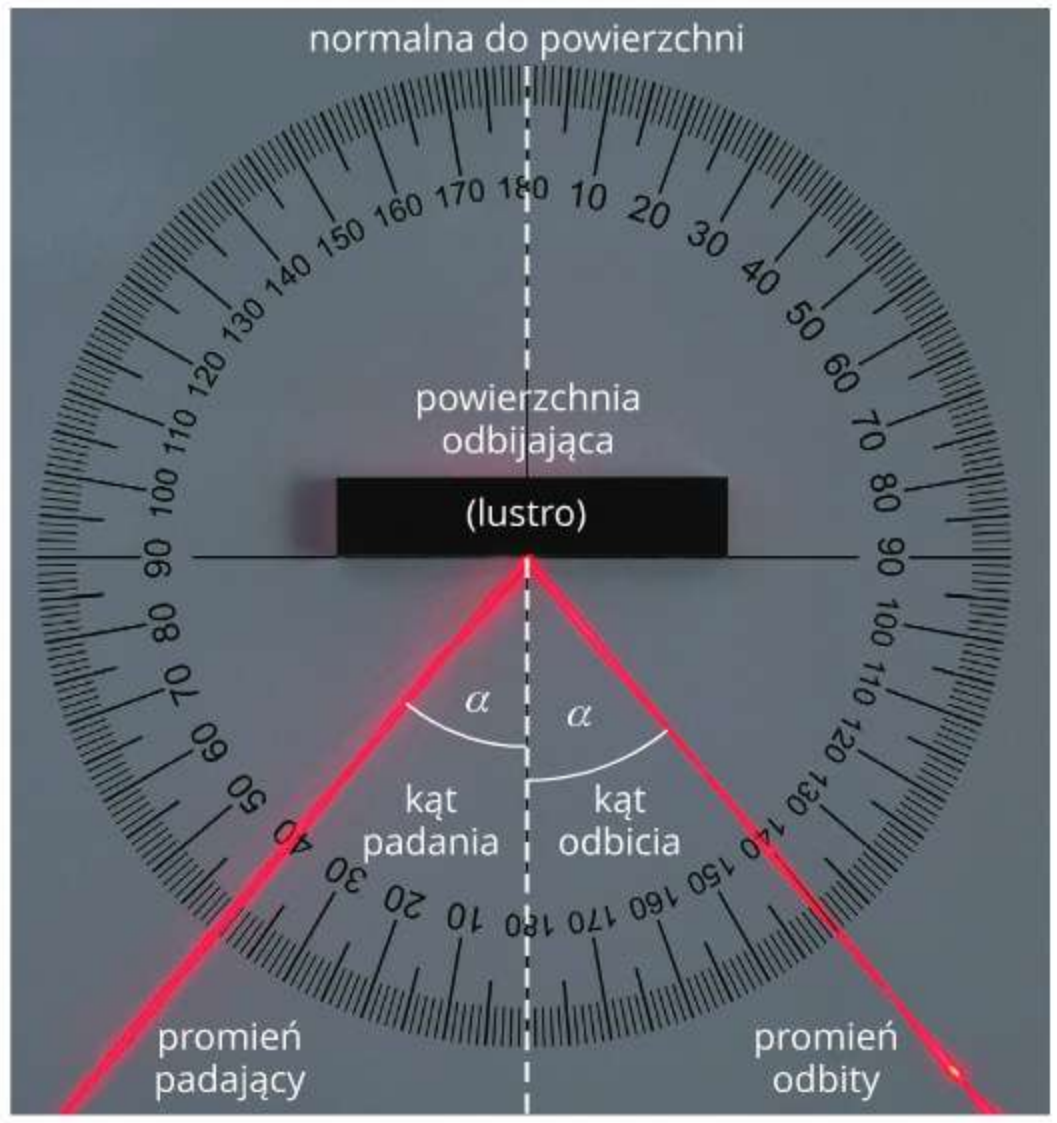
4. Przyłóż wykonaną przez siebie papierową nakładkę do górnej części latarki i zagnij zewnętrzne części koła w jej stronę. Przyklej zagięte fragmenty do latarki taśmą klejącą. Dzięki temu, że w nakładce jest wycięta szczelina, po włączeniu latarki uzyskasz wąską wiązkę światła.
5. W zaciemnionej sali połóż włączoną latarkę na białej kartce papieru ze szczeliną ustawioną prostopadle do podłoża. Ustaw lusterko pionowo tak, aby jego krawędź pokrywała się z wewnętrzną krawędzią kątomierza – jak na ilustracji poniżej (widok z góry).



6. Skieruj wiązkę światła z latarki na lusterko prostopadle do jego powierzchni. Zaznacz na kartce bieg promienia.
7. Zmień ustawienie latarki tak, aby promień z niej tworzył kąt z narysowaną prostą. Odczytaj kąt pomiędzy tą prostą a promieniem padającym na powierzchnię lustra, a także kąt pomiędzy tą prostą a promieniem odbitym od lustra.
8. Zmieniaj ustawienia latarki względem narysowanej prostej i za każdym razem zapisuj wartości kątów między promieniem padającym a narysowaną prostą oraz promieniem odbitym i narysowaną prostą.

Przeanalizujmy odbicie światła od powierzchni odbijającej (np. lusterka), czyli od granicy ośrodków. Prostą prostopadłą do powierzchni odbijającej nazywamy normalną do powierzchni. Promień padający tworzy z normalną kąt α – jest to kąt padania (ryc. 27.3.). Promień odbity tworzy z normalną taki sam kąt α – i jest to kąt odbicia. Kąt, pod jakim światło odbija się od powierzchni odbijającej, jest więc taki sam jak kąt, pod jakim światło pada na tę powierzchnię.

Prawo odbicia światła
Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni odbijającej leżą w tej samej płaszczyźnie.

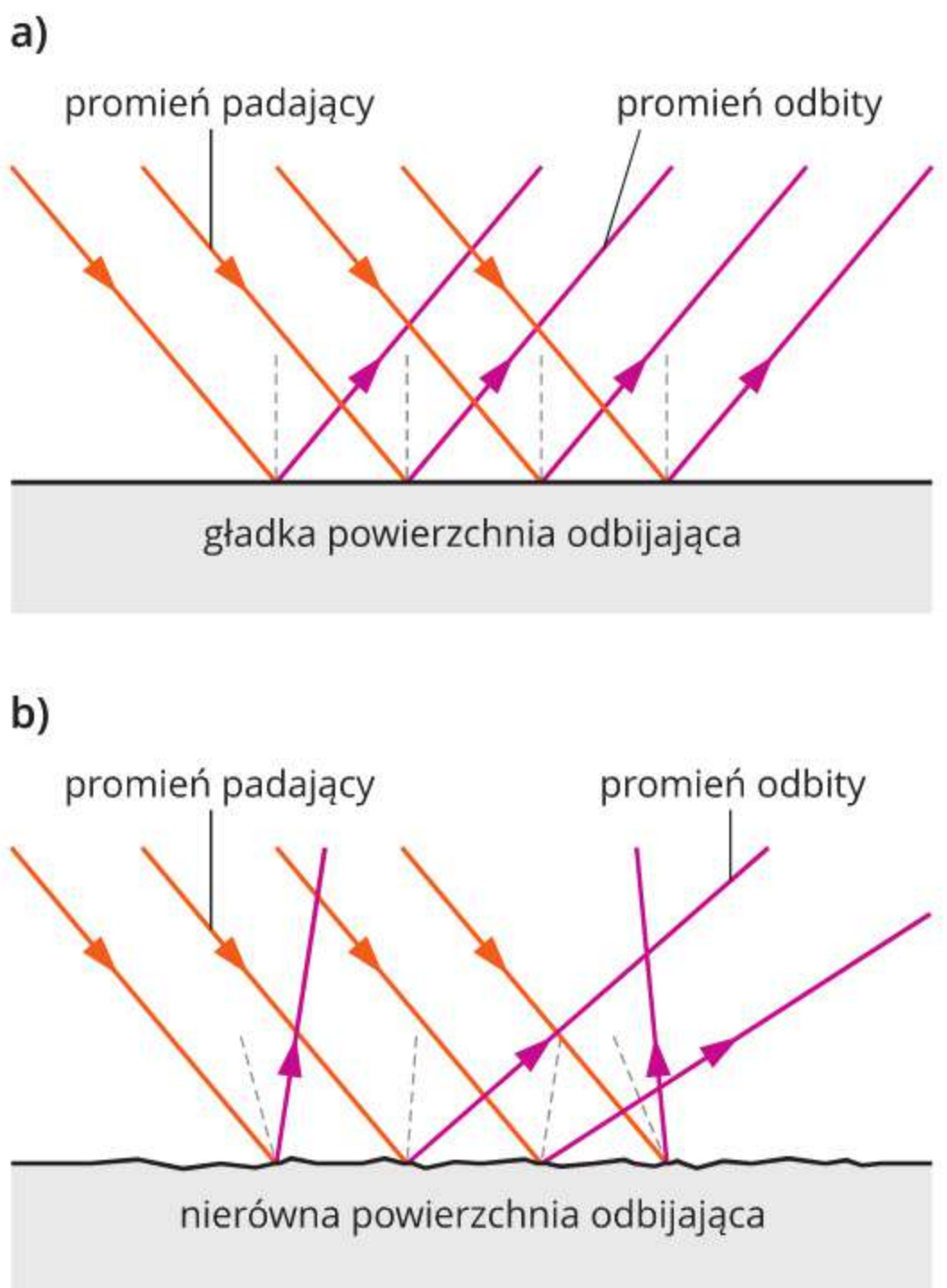


Ryc. 27.3. Odbicie światła

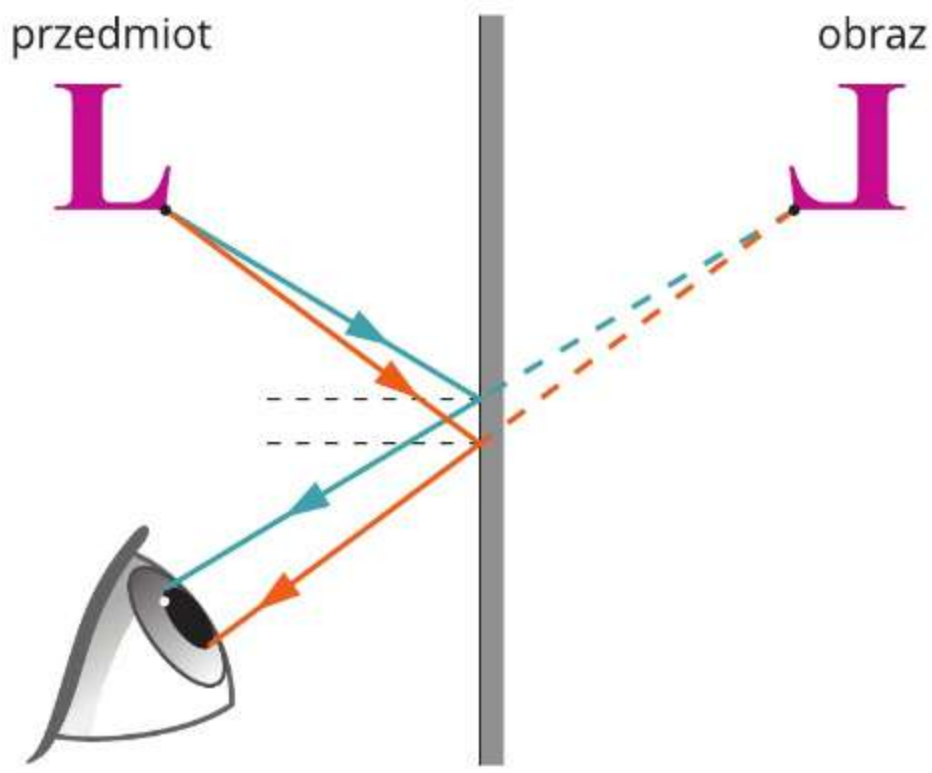
Prawo odbicia obowiązuje dla wszystkich powierzchni, na które pada światło. Gdy powierzchnia odbijająca światło jest gładka, tak jak na przykład tafla szklana lub wypolerowana powierzchnia metalu, to wiązka równoległych promieni światła po odbiciu również tworzy wiązkę równoległych promieni (ryc. 27.4.a). Takie odbicie nazywamy odbiciem zwierciadlanym. W zwierciadłach (czyli lustrach) można zobaczyć swoje odbicie. To, co widzimy na skutek odbicia zwierciadlanego, nazywamy obrazem.

Gdy wiązka równoległych promieni światła pada na chropowatą powierzchnię, ze względu na jej nierówności promienie po odbiciu od niej są skierowane w różne strony (ryc. 27.4.b). Dzieje się tak na przykład, gdy oświetlamy kartkę papieru lub ścianę. Takie odbicie nazywamy rozproszeniem światła.

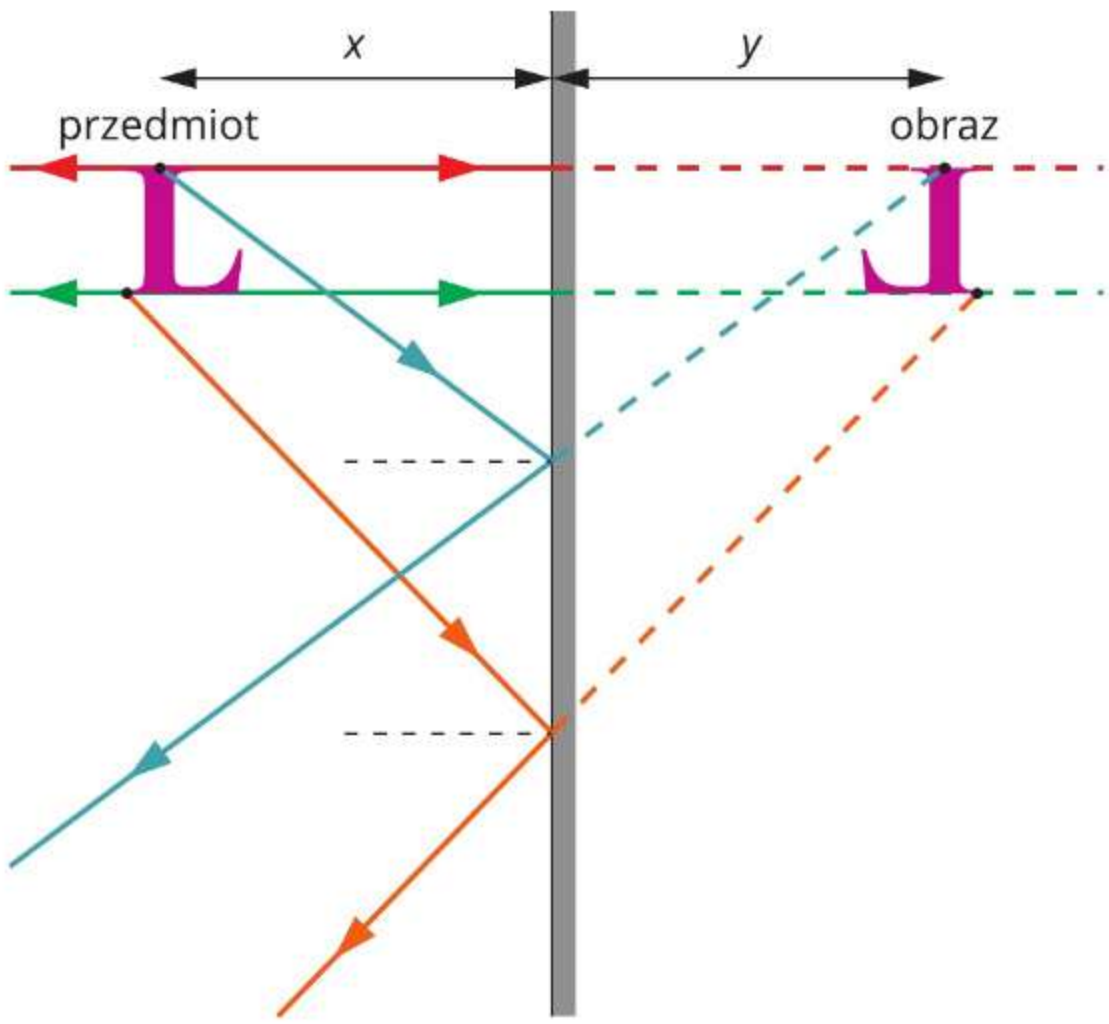
To właśnie dzięki rozproszeniu światła widzimy przedmioty, które same nie są jego źródłem. Gdy oświetlamy taki przedmiot, padające na niego promienie światła rozpraszają się na skutek odbicia i część z nich wpada do naszych oczu. Jeżeli nie ma źródła światła oświetlającego przedmiot, to nie ma także promieni, które mogłyby odbić się i trafić do oczu – dlatego nie widzimy przedmiotów w ciemności.



Ryc. 27.4. Odbicie światła od gładkiej powierzchni (a) i od chropowatej powierzchni (b)



Ryc. 27.5. Konstrukcja obrazu jednego z punktów przedmiotu widzianego w lustrze



Ryc. 27.6. Konstrukcja obrazu dwóch wybranych punktów przedmiotu

Przeanalizujmy, jak w zwierciadle płaskim (czyli w lustrze) powstaje obraz ustawionego przed nim przedmiotu. Światło odbite od każdego punktu przedmiotu, np. litery L (ryc. 27.5.), pada na powierzchnię zwierciadła. Można narysować wiele promieni światła biegnących od dowolnego punktu przedmiotu, ale do konstrukcji obrazu punktu wystarczą dwa. Mogą to być na przykład dwa skrajne promienie z wiązki, która wpada do oka obserwatora. Na ilustracji 27.5. zaznaczono je kolorem niebieskim i pomarańczowym.

Obraz każdego punktu przedmiotu, który widzimy w płaskim lustrze, znajduje się w miejscu, w którym przecinają się przedłużenia odbitych od niego promieni (przedłużenia promieni odbitych zazwyczaj rysuje się linią przerywaną). Obraz przedmiotu powstający w miejscu przecięcia się przedłużeń promieni odbitych nazywamy obrazem pozornym.

Gdy rysujemy konstrukcję obrazu przedmiotu znajdującego się przed zwierciadłem, zazwyczaj wybieramy charakterystyczne punkty leżące na brzegu tego przedmiotu (ryc. 27.6.). Z każdego z wybranych punktów przedmiotu rysujemy dwa promienie biegnące w stronę lustra – najlepiej, aby jeden z nich padał prostopadle na powierzchnię lustra, a drugi padał na lustro pod dowolnym kątem. Następnie dla każdego z tych promieni rysujemy promień odbity (w przypadku promienia, który pada prostopadle na powierzchnię lustra, promień padający i promień odbity leżą na jednej prostej). Kolejnym krokiem jest narysowanie przedłużeń promieni odbitych. Obrazy poszczególnych punktów powstaną w miejscach przecięcia tych przedłużeń.

Obraz przedmiotu w zwierciadle płaskim znajduje się w takiej samej odległości od zwierciadła co przedmiot ($x = y$) i jest takiej samej wielkości. Przedmiot i obraz w zwierciadle płaskim mają się do siebie tak jak prawa i lewa dłoń (ryc. 27.7.).

Ryc. 27.7. Obraz kota w lustrze (zwierciadle płaskim) wygląda tak samo jak kot i jest takiej samej wielkości.

Zobacz, jak to zrobić!

Szukamy wysokości, na jakiej należy zawiesić lustro

Rodzina składa się z czterech osób o wzroście: 1,8 m, 1,2 m, 1,6 m i 1,7 m. W domu jest lustro o wysokości 1,2 m. Wyznaczmy konstrukcyjnie, na jakiej minimalnej wysokości od podłogi powinna znaleźć się górna krawędź lustra, aby każdy z domowników mógł zobaczyć w całości odbicie swojej głowy (gdy stoi prosto przed lustrem). Załóżmy, że oczy każdego z nich znajdują się 8 cm poniżej czubka głowy.

Rozwiązanie:

Jeśli w tym lustrze odbicie swojej głowy zobaczy najwyższa osoba, z pewnością będzie to możliwe dla osób od niej niższych. Aby promień światła biegnący od czubka głowy wpadł do oka, powinien odbić się od lustra w punkcie znajdującym się na wysokości 4 cm powyżej oka – tylko wtedy kąt odbicia będzie równy kątowi padania. Zauważmy, że wysokość ta nie zależy od odległości człowieka od lustra.

Wysokość od podłogi do punktu lustra, od którego odbija się światło, jest więc równa:

$$H = 180\ \text{cm} - 4\ \text{cm} = 176\ \text{cm}$$

Dolna krawędź lustra znajduje się wówczas na wysokości:

$$176\ \text{cm} - 120\ \text{cm} = 56\ \text{cm}$$

Oznacza to, że również osoba o wzroście 120 cm zobaczy w lustrze swoją głowę.

Odpowiedź: Górna krawędź lustra powinna znajdować się na wysokości co najmniej 176 cm od podłogi.

Dowiedz się więcej!

Wielokrotne odbicie

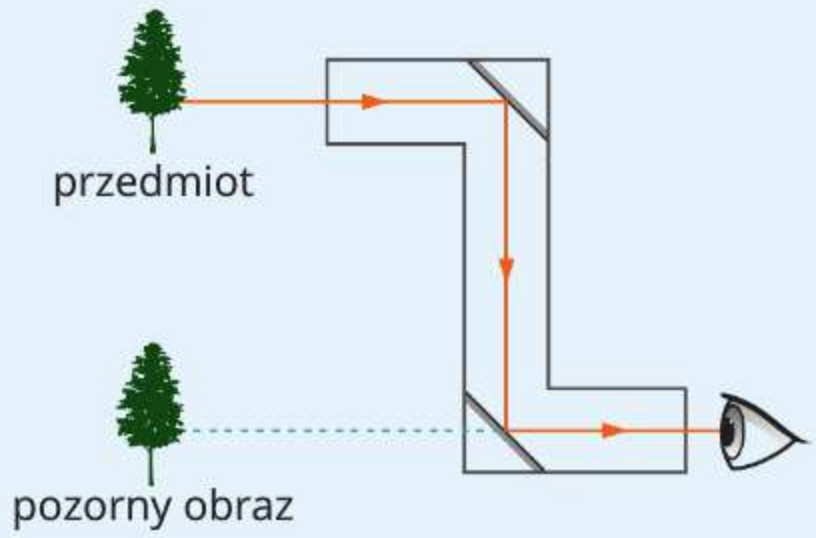
Zjawisko wielokrotnego odbicia lustrzanego powstaje wtedy, gdy przedmiot ustawimy przed co najmniej dwoma lustrami, których powierzchnie nie są do siebie równoległe. Zobaczymy wówczas wiele obrazów tego samego przedmiotu. Liczba powstałych obrazów zależy od kątów, które tworzą ze sobą powierzchnie zwierciadeł, oraz od położenia przedmiotu. Zjawisko to pozwala m.in. wykonać ciekawe fotografie.

Zjawisko wielokrotnego odbicia jest wykorzystywane także w kalejdoskopie. Wewnątrz zabawki znajdują się zazwyczaj dwa lub trzy zwierciadła, odpowiednio względem siebie ustawione. Dzięki wielokrotnemu odbiciu obrazów różnokolorowych szkiełek można otrzymać kolorowe wzory.

Rozglądaj się wokół!

Odbicie światła

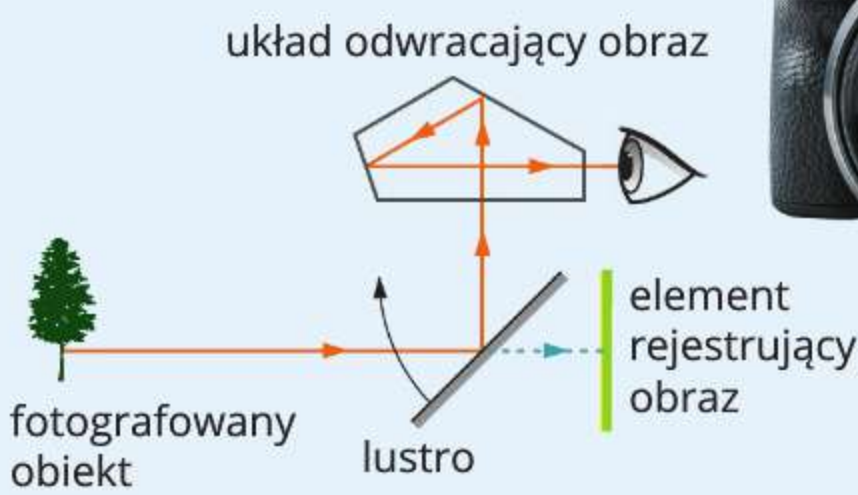
Zjawisko odbicia światła jest wykorzystywane w wielu przedmiotach używanych przez człowieka.



Peryskop służy do oglądania obiektów znajdujących się powyżej pola widzenia lub zasłoniętych przez przeszkody. Jest wykorzystywany na przykład w okrętach podwodnych. Jego podstawowymi elementami są dwa odpowiednio ustawione zwierciadła.

Blenda fotograficzna to rodzaj ekranu pokrytego materiałem odbijającym światło. Światło odbija się od blendy i oświetla fotografowany obiekt, co pozwala na uzyskanie odpowiednio doświetlonych zdjęć o wysokiej jakości.

Noktowizor to urządzenie pozwalające widzieć przy bardzo słabym oświetleniu, np. nocą. Wzmacnia on bardzo słabe światło odbite od przedmiotu – takie, którego nie mogłoby zarejestrować oko ludzkie.



Lustrzanka to rodzaj aparatu fotograficznego. Gdy osoba fotografująca spogląda przez wizjer aparatu, widzi światło, które wpada do obiektywu i odbija się od lustra. W momencie wykonywania zdjęcia lustro podnosi się i światło pada na element rejestrujący fotografowany obraz.

Podsumujmy!

- **Prawo odbicia światła:** kąt odbicia światła jest równy kątowi jego padania. Promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni odbijającej leżą w tej samej płaszczyźnie.
- W zwierciadle płaskim powstaje obraz pozorny takiej samej wielkości co przedmiot. Obraz ten jest lustrzanym odbiciem przedmiotu.

Sprawdź się!

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

1.	Prawo odbicia światła obowiązuje także dla powierzchni tortu posypanej cukrem.	**P**	**F**
2.	Podczas odbicia światła zmienia się kierunek jego rozchodzenia się.	**P**	**F**
3.	Im dalej od lustra (płaskiego) umieszczony jest przedmiot, tym bliżej lustra jest jego obraz.	**P**	**F**
4.	Odbicie lustrzane oznacza, że przedmiot i obraz mają się do siebie tak jak lewa i prawa dłoń.	**P**	**F**

2. Chłopiec i dziewczyna stoją w dwóch różnych miejscach pokoju, w którym wisi lustro. Chłopiec patrzy w lustro i widzi w nim obraz twarzy dziewczyny. Czy dziewczyna zobaczy w lustrze odbicie twarzy chłopca? Uzasadnij odpowiedź.

3. Przed lustrem ustawiono literę R. Narysuj w zeszycie konstrukcję obrazu dowolnego punktu tej litery.

4. Na fotografii przedstawiono karetkę pogotowia ratunkowego. Odczytaj napis znajdujący się poniżej jej przedniej szyby. Uzasadnij, dlaczego został on przedstawiony w taki sposób.

5. Rodzina składa się z osób o wzroście: 1,8 m, 1,2 m, 1,6 m i 1,7 m. Wyznacz konstrukcyjnie, na jakiej maksymalnej wysokości od podłogi powinna znajdować się dolna krawędź wysokiego lustra, by każda z tych osób mogła (w pozycji stojącej) zobaczyć odbicie swojej stopy. Zakładamy, że oczy każdej z tych osób znajdują się 8 cm poniżej czubka głowy.

28. Zwierciadła wklęsłe i zwierciadła wypukłe

- Jakie są rodzaje zwierciadeł?
- Jakie cechy mają obrazy powstające w zwierciadłach?

Ryc. 28.1. Lustra drogowe poprawiają bezpieczeństwo ruchu.

Na niektórych skrzyżowaniach widoczność jest ograniczona, przez co kierowcy mogą mieć problem z zauważeniem pojazdów poruszających się po drodze głównej. Dla bezpieczeństwa w takich miejscach montuje się tzw. lustra drogowe (ryc. 28.1.). Należy pamiętać, że w takich zwierciadłach rozmiary obiektu są mniejsze niż w rzeczywistości, co trzeba wziąć pod uwagę podczas oceny sytuacji na drodze.

Zwierciadło drogowe nie jest zwierciadłem płaskim. Jest to przykład zwierciadła sferycznego, inaczej zwanego kulistym. Zwierciadło takie ma kształt fragmentu sfery (tzn. powierzchni kuli) i gładką, dobrze odbijającą światło powierzchnię. Powierzchnię taką można wytworzyć przez wypolerowanie metalu lub pokrycie warstwą metalu innego materiału.

Istnieją dwa rodzaje zwierciadeł sferycznych: wklęsłe i wypukłe. Gdy jako zwierciadło wykorzystujemy wewnętrzną powierzchnię sfery, jest to zwierciadło wklęsłe, gdy zewnętrzną – wypukłe.

Zbadaj to sam!

Obserwujemy obrazy otrzymane w zwierciadłach wypukłym i wklęsłym

1. Do doświadczenia będą potrzebne: wypolerowana metalowa łyżka (jako zwierciadło zarówno wklęsłe, jak i wypukłe) lub powiększające lusterko kosmetyczne (jako zwierciadło wklęsłe) i metalizowana bombka (jako zwierciadło wypukłe).
2. Trzymaj zwierciadło wypukłe w dłoni wyprostowanej ręki. Zaobserwuj, jak wygląda obraz twarzy, który w nim widzisz. Zwróć uwagę na wielkość obrazu.
3. Zmieniaj odległość zwierciadła od oka. Obserwuj, czy widziany przez ciebie obraz też się zmienia.
4. Wykonaj czynności opisane w punktach 2. i 3. również dla zwierciadła wklęsłego. W tym przypadku przysuń zwierciadło tak blisko do oka, by zobaczyć ostry obraz.
5. Zapisz w zeszycie swoje spostrzeżenia dotyczące obrazów zaobserwowanych w obu zwierciadłach.

W przypadku zwierciadeł sferycznych rozmiary obrazu są zazwyczaj inne niż rozmiary przedmiotu. Różne może być także ich ułożenie – mogą być na przykład odwrócone. To właśnie dlatego w zwierciadle w gabinecie krzywych luster nasz obraz przyjmuje zaskakujące kształty.

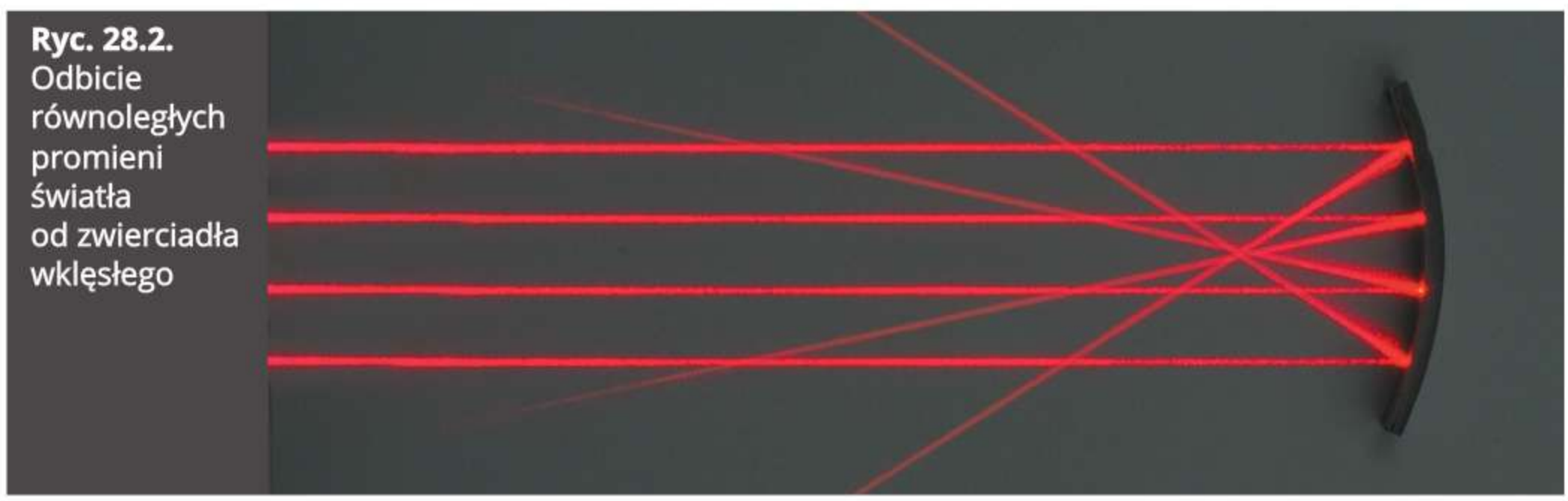
W zależności od wielkości obrazu w stosunku do wielkości przedmiotu obrazy mogą być powiększone, pomniejszone lub tej samej wielkości.

W zależności od tego, czy obraz pokazuje górę zamienioną miejscami z dołem w porównaniu z przedmiotem, czy też nie, obrazy mogą być odwrócone lub proste (czyli nieodwrócone).

W zwierciadle sferycznym może powstać obraz rzeczywisty , który można zobaczyć na odpowiednio ustawionym ekranie. Taki obraz powstaje na przecięciu promieni odbitych od zwierciadła. Innym rodzajem obrazu jest obraz pozorny – takiego obrazu nie zobaczymy na ekranie. Powstaje on na przecięciu przedłużeń promieni odbitych od zwierciadła, a zobaczyć go możemy „wewnątrz" zwierciadła (podobnie jak to było w przypadku zwierciadła płaskiego).

Istnieją zatem różne rodzaje obrazów powstających w zwierciadłach i każdy z nich ma trzy cechy. Wszystkie te rodzaje obrazów są konsekwencją odbicia promieni światła od powierzchni lustra.

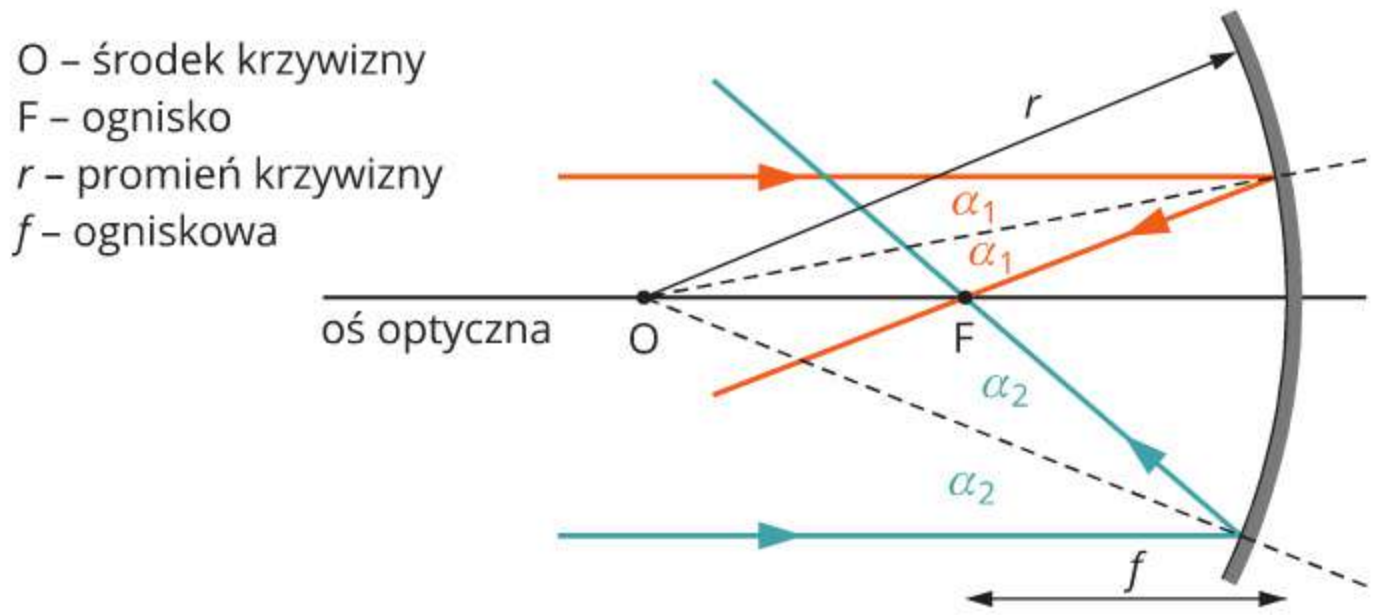
Promienie światła laserowego biegnące równolegle do siebie po odbiciu od zwierciadła wklęsłego przecinają się (ryc. 28.2.).



Ryc. 28.2. Odbicie równoległych promieni światła od zwierciadła wklęsłego

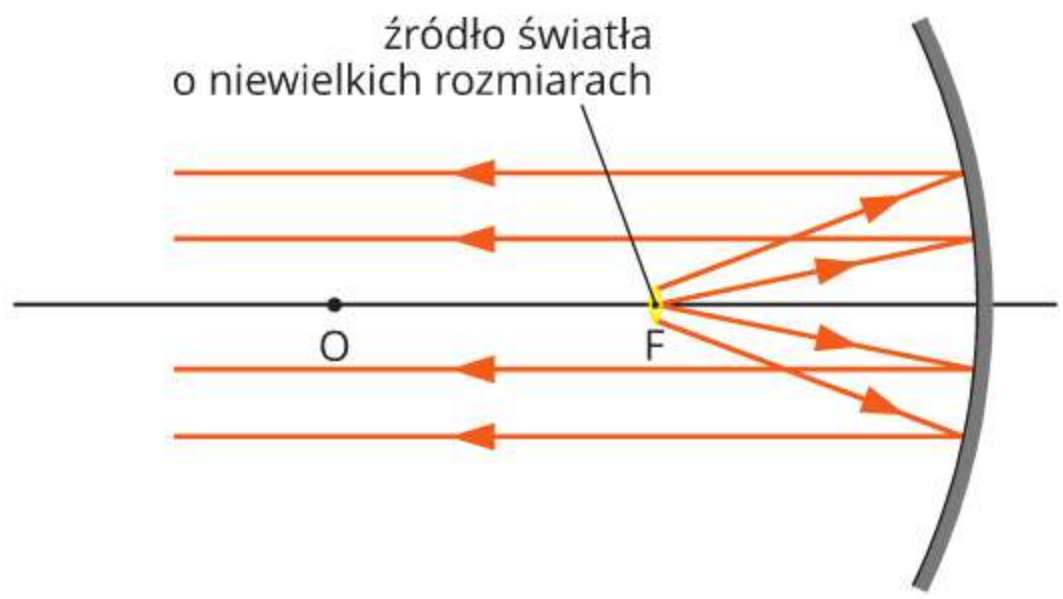
Opiszmy, jak promienie światła odbijają się od zwierciadła wklęsłego (ryc. 28.3.). Punkt *O* to środek sfery, której fragmentem jest zwierciadło. Linię przechodzącą przez środek zwierciadła i punkt *O* nazywamy osią optyczną. Wszystkie promienie, które padają na zwierciadło, odbijają się od jego powierzchni zgodnie z prawem odbicia. Przeanalizujmy to na przykładzie promieni, które padają na zwierciadło wklęsłe równolegle do osi optycznej. Narysujmy normalną do powierzchni zwierciadła, przechodzącą przez punkt, w którym dany promień pada na zwierciadło (linia przerywana). Będzie ona przechodziła także przez środek krzywizny *O* zwierciadła. Kąt między promieniem padającym a normalną oraz kąt między promieniem odbitym a normalną są takie same.

Promienie równoległe do osi optycznej po odbiciu od powierzchni zwierciadła wklęsłego przecinają oś optyczną w punkcie *F*, który nazywamy ogniskiem zwierciadła. Odległość ogniska od zwierciadła nazywamy ogniskową i oznaczamy literą *f*. Ogniskowa zwierciadła jest równa połowie jego promienia krzywizny.



Ryc. 28.3. Wielkości opisujące zwierciadło wklęsłe

Gdy źródło światła o niewielkich rozmiarach umieścimy w ognisku zwierciadła wklęsłego, to wysyłana przez nie rozbieżna wiązka światła odbije się od zwierciadła tak, że uzyskamy wiązkę równoległą (ryc. 28.4.). Zjawisko to wykorzystuje się na przykład w reflektorach motocykli, latarek i latarni morskich.

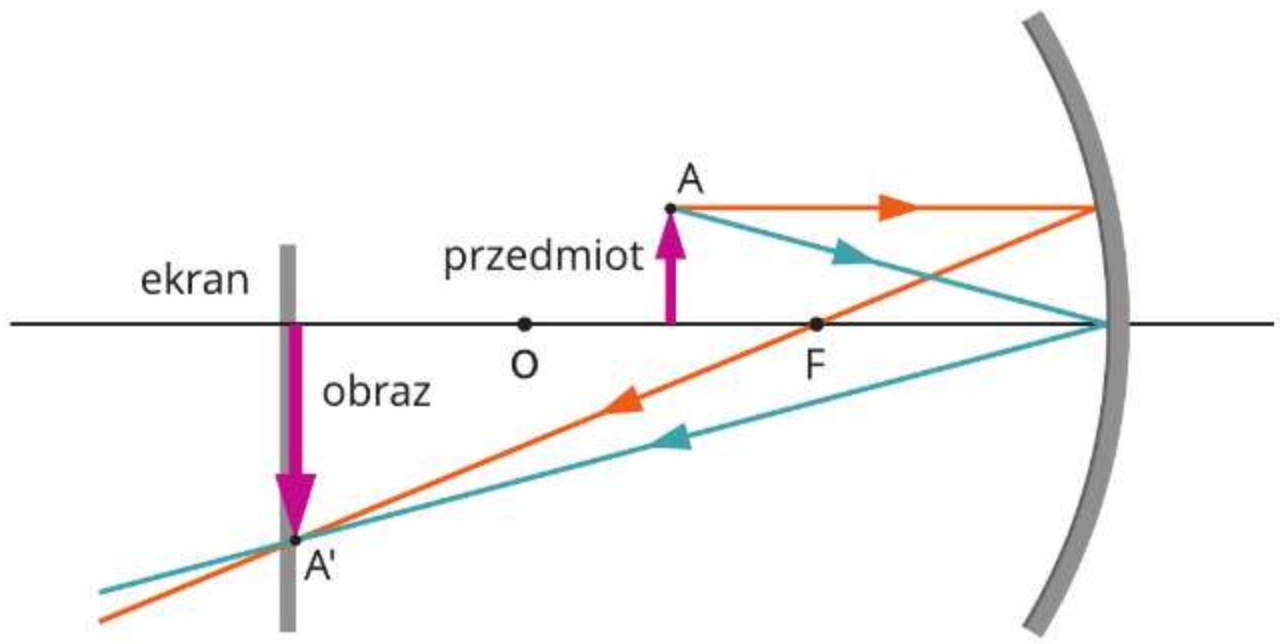


Ryc. 28.4. Rozchodzenie się światła, gdy źródło światła jest umieszczone w ognisku zwierciadła wklęsłego.

Przeanalizujmy, jak powstaje obraz w zwierciadle wklęsłym. Niech przedmiotem, którego obraz chcemy otrzymać, będzie świecąca strzałka, która znajduje się pomiędzy ogniskiem *F* a środkiem krzywizny *O* zwierciadła (ryc. 28.5.). Można narysować wiele promieni światła biegnących od dowolnego punktu strzałki, ale do konstrukcji obrazu danego punktu, np. punktu A, wystarczą tylko dwa promienie. Promień biegnący równolegle do osi optycznej (oznaczony na ilustracji kolorem pomarańczowym) po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez ognisko. Promień padający na środek zwierciadła (niebieski) odbija się symetrycznie względem osi optycznej. Oba promienie odbite przecinają się w punkcie A'. Każdy inny promień poprowadzony z końca A strzałki po odbiciu się od zwierciadła również przetnie się z wykreślonymi dwoma promieniami w punkcie A'. Punkt A'

jest obrazem punktu A strzałki. W podobny sposób możemy otrzymać obraz dowolnego punktu naszej strzałki. Jeśli w punkcie A' umieścimy ekran, to otrzymamy na nim ostry obraz całej strzałki.

Gdy przedmiot znajduje się pomiędzy ogniskiem a środkiem krzywizny zwierciadła wklęsłego (jak na ryc. 28.5.), to powstały obraz przedmiotu jest rzeczywisty, odwrócony oraz powiększony.



Ryc. 28.5. Konstrukcja obrazu punktu *A* przedmiotu w zwierciadle wklęsłym

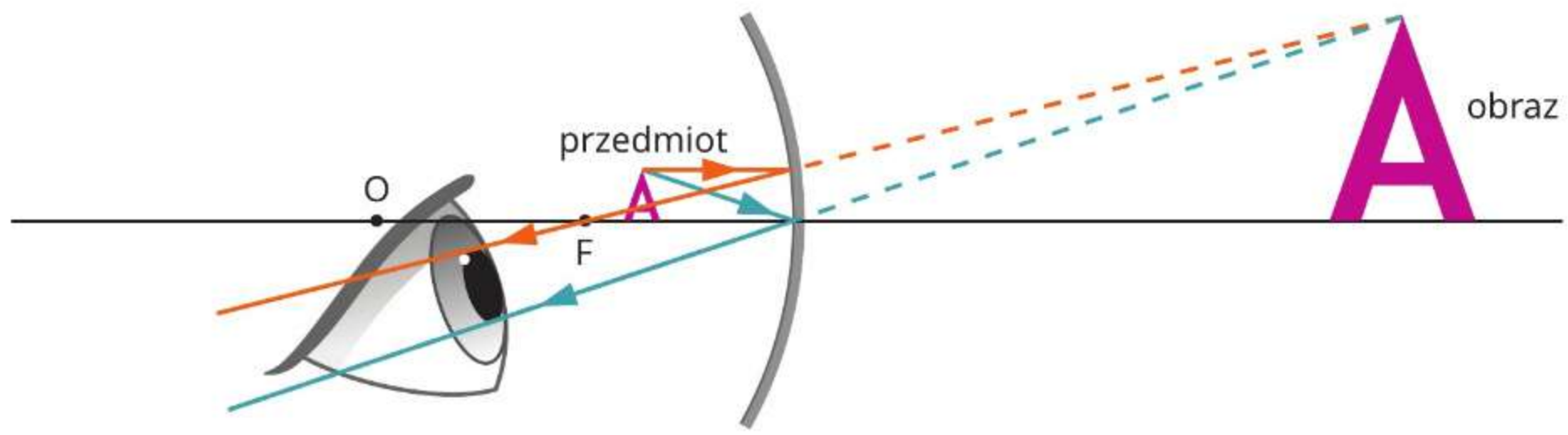
W zwierciadle wklęsłym może powstawać również obraz pozorny. Dzieje się tak wtedy, gdy przedmiot znajduje się pomiędzy ogniskiem a zwierciadłem. Jest to obraz powiększony i prosty.

Zobacz, jak to zrobić!

Przed zwierciadłem wklęsłym, w odległości mniejszej od niego niż ogniskowa, ustawiono świecącą literę A. Narysujmy konstrukcję obrazu wierzchołka tej litery w zwierciadle.

Rozwiązanie:

Aby narysować obraz, który powstaje w tej sytuacji, należy wykreślić dwa charakterystyczne promienie biegnące z wierzchołka litery A.

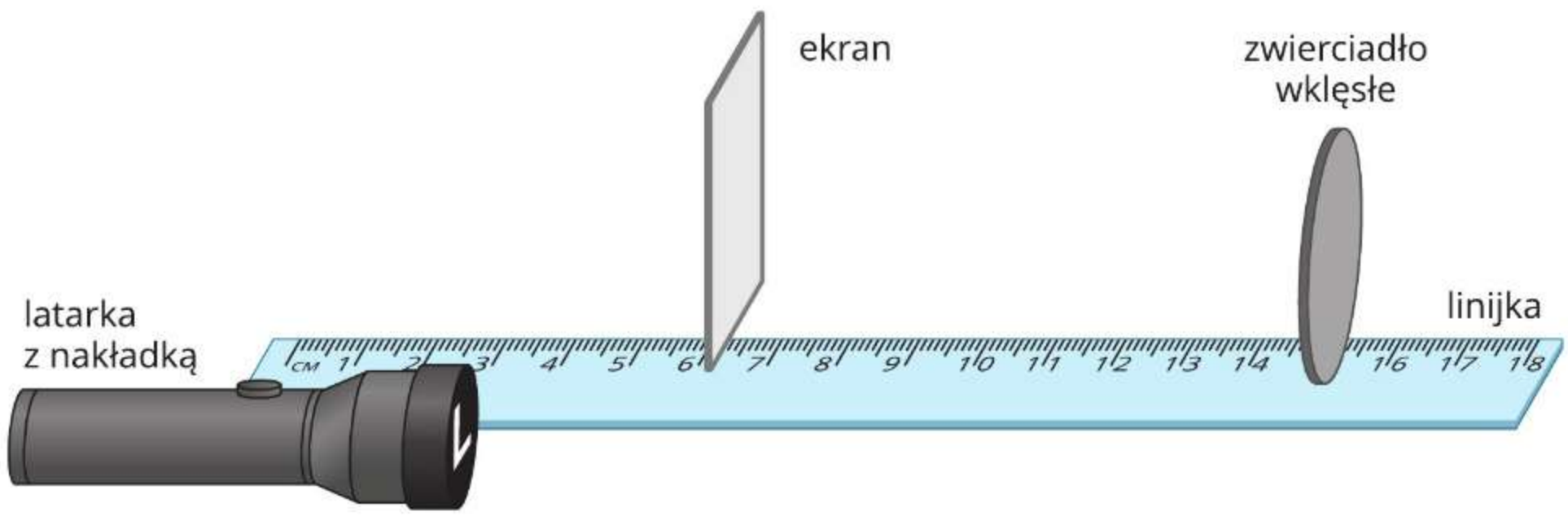


Promień biegnący równolegle do osi optycznej (pomarańczowy) po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez ognisko. Promień padający na środek zwierciadła (niebieski) odbija się symetrycznie względem osi optycznej. Promienie odbite od zwierciadła nie przecinają się. W takiej sytuacji, aby narysować obraz wierzchołka litery A, promienie odbite należy przedłużyć za zwierciadło (zazwyczaj przedłużenia promieni rysuje się linią przerywaną). W miejscu przecięcia się przedłużeń tych promieni powstaje obraz pozorny, prosty i powiększony.

Zbadaj to sam!

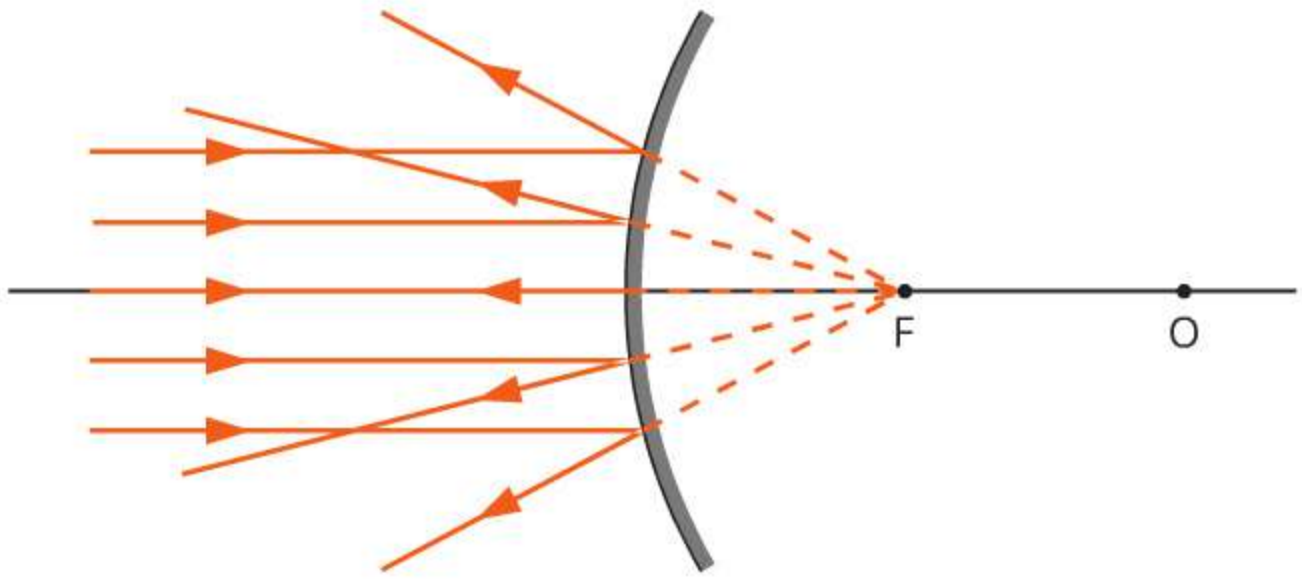
Badamy powstawanie obrazów na ekranie z użyciem zwierciadła wklęsłego

1. Do doświadczenia będą potrzebne: latarka, zwierciadło wklęsłe (np. małe lusterko kosmetyczne), linijka, plastelina, czarna kartka z bloku technicznego, nożyczki, ołówek, taśma klejąca, biały karton.
2. Przygotuj nakładkę na latarkę podobnie jak w doświadczeniu opisanym w poprzednim rozdziale, jednak zamiast prostej szczeliny wytnij szczelinę w kształcie litery L.
3. Na stole połóż linijkę, a na niej umieść latarkę. Ustaw latarkę tak, aby litera L była w pozycji pionowej. Świecąca litera L będzie przedmiotem.
4. Za pomocą plasteliny przymocuj zwierciadło do linijki w taki sposób, aby było ustawione prostopadle do niej. Ustaw biały karton z tej samej strony zwierciadła co świecący przedmiot – tak, aby karton nie zasłaniał światła z latarki. Latarka oraz ekran powinny być ustawione w niewielkiej odległości od linijki. Karton będzie ekranem, na którym powstanie obraz litery L. Schemat układu przedstawiono na ilustracji.



5. Zaciemnij salę i włącz latarkę. Ustaw latarkę w odległości większej od ogniskowej zwierciadła. Przesuwaj ekran wzdłuż linijki tak, aby powstał na nim ostry powiększony obraz litery L. Zmierz odległości litery L od zwierciadła i ekranu od zwierciadła. Zanotuj wyniki.
6. Odsuń latarkę od zwierciadła na taką odległość, aby na ekranie powstał ostry pomniejszony obraz litery L. Ponownie zmierz odległości świecącej litery L i ekranu od zwierciadła. Zanotuj wyniki.
7. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

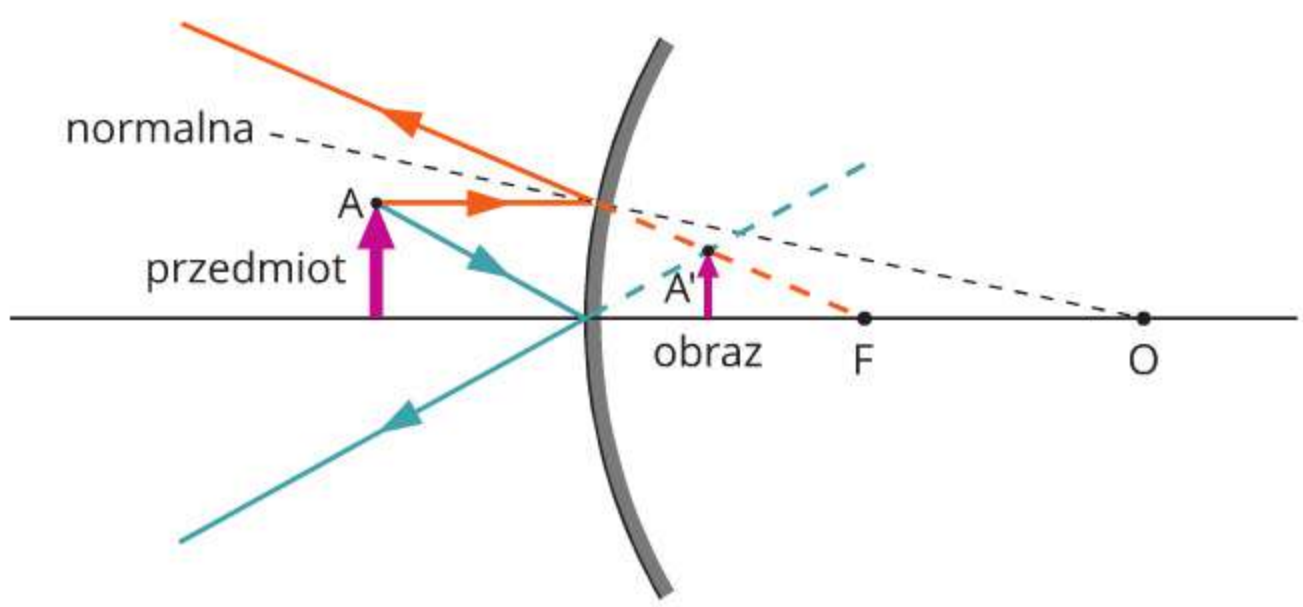
W zwierciadle sferycznym wypukłym środek krzywizny znajduje się po drugiej stronie sfery niż powierzchnia odbijająca światło (ryc. 28.6.). Promienie biegnące początkowo równolegle do osi optycznej po odbiciu od zwierciadła wypukłego nie przecinają się, tylko tworzą wiązkę rozbieżną. Jeśli natomiast poprowadzimy przedłużenia promieni odbitych, to przetną się w punkcie znajdującym się po drugiej stronie zwierciadła. Ten punkt przecięcia przedłużeń nazywa się ogniskiem pozornym.



Ryc. 28.6. Odbicie promieni równoległych od zwierciadła wypukłego i konstrukcja jego ogniska pozornego

Podobnie jak w poprzednich przypadkach, do konstrukcji obrazu powstającego w zwierciadle wypukłym wykorzystamy dwa wybrane promienie wychodzące z punktu A przedmiotu (ryc. 28.7.). Promień padający na środek zwierciadła (niebieski) odbija się od zwierciadła symetrycznie względem osi optycznej. Promień biegnący równolegle do osi optycznej (pomarańczowy) zgodnie z prawem odbicia odbija się tak, że przedłużenie promienia odbitego przechodzi przez ognisko pozorne zwierciadła. Promienie odbite tworzą wiązkę rozbieżną, natomiast ich przedłużenia przecinają się w punkcie A'. W taki sam sposób konstruuje się obraz każdego punktu przedmiotu. Otrzymany obraz jest pozorny, prosty oraz mniejszy niż przedmiot.

Obraz otrzymany w zwierciadle wypukłym jest zawsze pozorny, prosty oraz mniejszy niż przedmiot.



Ryc. 28.7. Konstrukcja obrazu punktu A w zwierciadle wypukłym

Rozglądaj się wokół!

Zwierciadła wklęsłe i wypukłe wokół nas

Dzięki odbiciu promieni w zwierciadłach wklęsłych bądź wypukłych obserwujemy różne rodzaje obrazów.

Powierzchnia metalizowanej bombki choinkowej jest przykładem zwierciadła wypukłego. Można w niej dostrzec pomniejszony obraz pomieszczenia, w którym zawieszono ozdobę.

Lustro sklepowe antykradzieżowe umożliwia obserwację klientów znajdujących się w różnych alejkach sklepu. W tym zwierciadle wypukłym powstaje pomniejszony obraz dużego fragmentu pomieszczenia.

Lusterko dentystyczne to przykład zwierciadła wklęsłego. Dentysta umieszcza lusterko bardzo blisko zęba, dlatego obserwuje powiększony i nieodwrócony obraz.

Powiększające lusterko kosmetyczne to zwierciadło wklęsłe, które pozwala uzyskać powiększony obraz, co ułatwia przeprowadzanie zabiegów pielęgnacyjnych.

Niewielkie lusterko wsteczne w rowerze lub samochodzie to zwierciadło wypukłe. Powstaje w nim obraz pomniejszony, dlatego należy pamiętać, że obserwowane w takim lusterku obiekty w rzeczywistości znajdują się bliżej, niż nam się wydaje.

Dowiedz się więcej!

Zwierciadła akustyczne

Od zakrzywionych powierzchni odbijają się nie tylko fale świetlne, ale i dźwiękowe, czego przykładem są tzw. zwierciadła akustyczne.

Aby zademonstrować zasadę działania takich zwierciadeł, należy dwa identyczne zwierciadła wklęsłe umieścić naprzeciw siebie (ryc.). W ognisku jednego zwierciadła powinna stanąć jedna osoba, w ognisku drugiego – druga, obie przodem do „swojego" zwierciadła. Jeżeli jedna z osób zacznie mówić, to dźwięk po odbiciu od umieszczonego naprzeciw niej zwierciadła będzie rozchodził się równolegle do osi optycznej, czyli tak samo jak rozchodziłaby się wiązka światła pochodząca ze źródła umieszczonego w ognisku. Po dotarciu do drugiego zwierciadła dźwięk odbije się tak, że skupi się w ognisku drugiego ze zwierciadeł, czyli w miejscu, w którym stoi druga osoba. Dzięki temu ta osoba usłyszy nawet cichy szept, mimo że znajduje się w znacznej odległości od mówiącego.

Podsumujmy!

- Zwierciadła mogą być płaskie, wypukłe lub wklęsłe.
- Każdy obraz otrzymany w zwierciadle może być: 1. powiększony, pomniejszony lub tej samej wielkości co przedmiot; 2. odwrócony lub prosty; 3. rzeczywisty lub pozorny.

Sprawdź się!

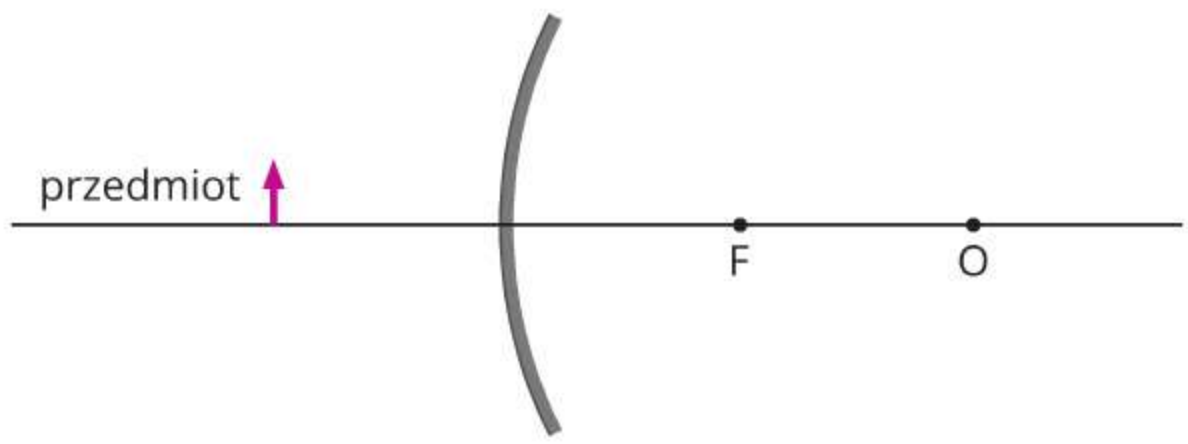
1. Oceń prawdziwość poniższych zdań. Wybierz **P**, jeśli zdanie jest prawdziwe, albo **F** – jeśli jest fałszywe.

1.	Ogniskowa zwierciadła sferycznego wklęsłego jest równa promieniowi jego krzywizny.	**P**	**F**
2.	Obraz przedmiotu w zwierciadle wypukłym jest pomniejszony.	**P**	**F**
3.	W zwierciadle wypukłym obraz przedmiotu jest zawsze odwrócony.	**P**	**F**
4.	Gdy przedmiot znajduje się w mniejszej odległości od zwierciadła wklęsłego niż ogniskowa tego zwierciadła, to powstaje obraz pozorny.	**P**	**F**

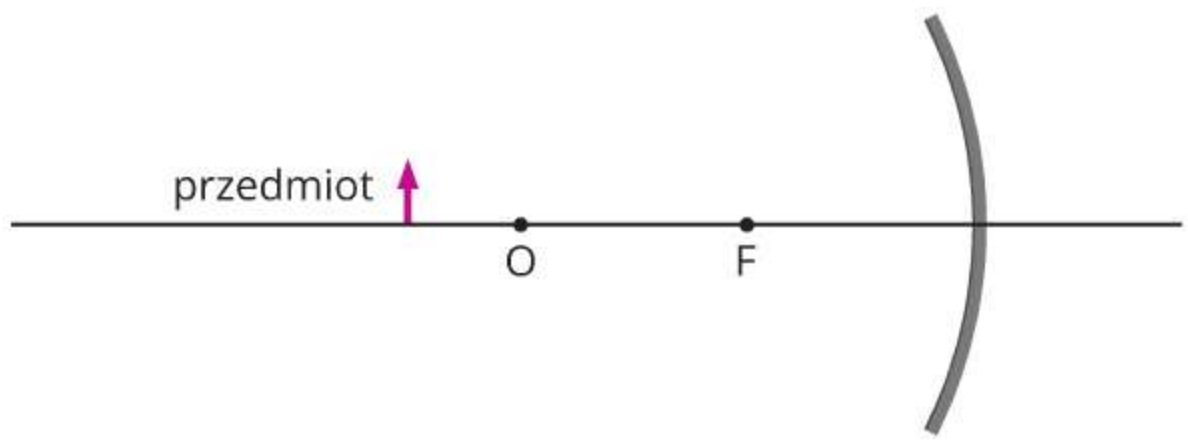
2. Na zwierciadło sferyczne wklęsłe pada wzdłuż jego osi optycznej wąska wiązka światła. W którym punkcie skupi się ta wiązka?

3. Powiększające lusterko kosmetyczne jest sferycznym zwierciadłem wklęsłym. W jakiej odległości od tego zwierciadła należy się ustawić, aby uzyskać w nim powiększony obraz swojej twarzy?

4. Przed zwierciadłem wypukłym ustawiono przedmiot. Jego odległość od zwierciadła była równa ogniskowej. Narysuj w zeszycie konstrukcję obrazu w opisanej sytuacji. Podaj cechy powstałego obrazu.



5. Przed zwierciadłem wklęsłym ustawiono przedmiot. Jego odległość od zwierciadła była nieco większa niż promień krzywizny zwierciadła. Narysuj w zeszycie konstrukcję obrazu w opisanej sytuacji. Podaj cechy powstałego obrazu.

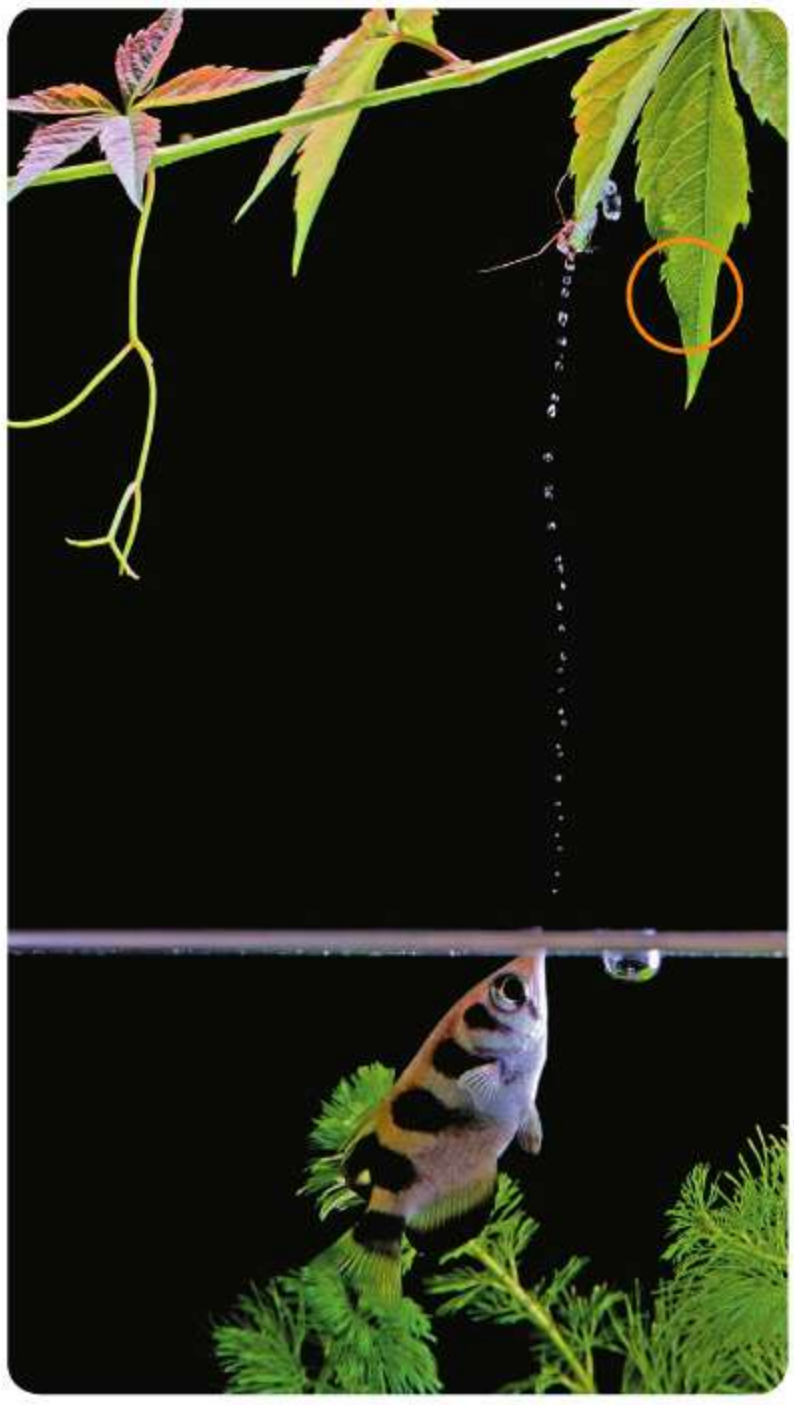


29. Załamanie światła

- Co to znaczy, że światło się załamuje?
- Jak narysować bieg promienia światła podczas załamania?

Strzelczyk indyjski to ryba, która poluje na owady, wypluwając w ich kierunku strumień wody (ryc. 29.1.). Ryba znajdująca się pod wodą widzi owada w innym miejscu (oznaczonym na ilustracji pomarańczowym okręgiem) niż to, w którym znajduje się on w rzeczywistości. Wynika to z faktu, że kierunek biegu światła podczas przechodzenia z powietrza do wody ulega zmianie. Zjawisko zmiany kierunku rozchodzenia się światła na granicy ośrodków nazywamy załamaniem światła. Ryba uwzględnia to zjawisko, gdy wypluwa strumień wody w stronę owada, owad spada na powierzchnię wody, więc polowanie kończy się sukcesem.

W ośrodkach przezroczystych i jednorodnych światło rozchodzi się po liniach prostych. Do załamania światła dochodzi wtedy, gdy przechodzi ono z jednego ośrodka do drugiego, np. z powietrza do wody lub szkła. Zmiana kierunku biegu światła spowodowana jest tym, że światło w różnych ośrodkach rozchodzi się z różnymi prędkościami. Najszybciej rozchodzi się w próżni, gdzie jego prędkość wynosi ok. 299 800 km/s, czyli prawie 300 000 km/s.



Ryc. 29.1. Strzelczyk indyjski podczas polowania

W każdym innym przezroczystym ośrodku (np. powietrzu, wodzie czy szkle) światło rozchodzi się z mniejszą prędkością (tab. 29.1.). Zazwyczaj przyjmuje się jednak, że prędkość światła w powietrzu jest równa prędkości światła w próżni, czyli $3 \cdot 10^8$ m/s.

Tabela 29.1. Prędkości rozchodzenia się światła w różnych ośrodkach

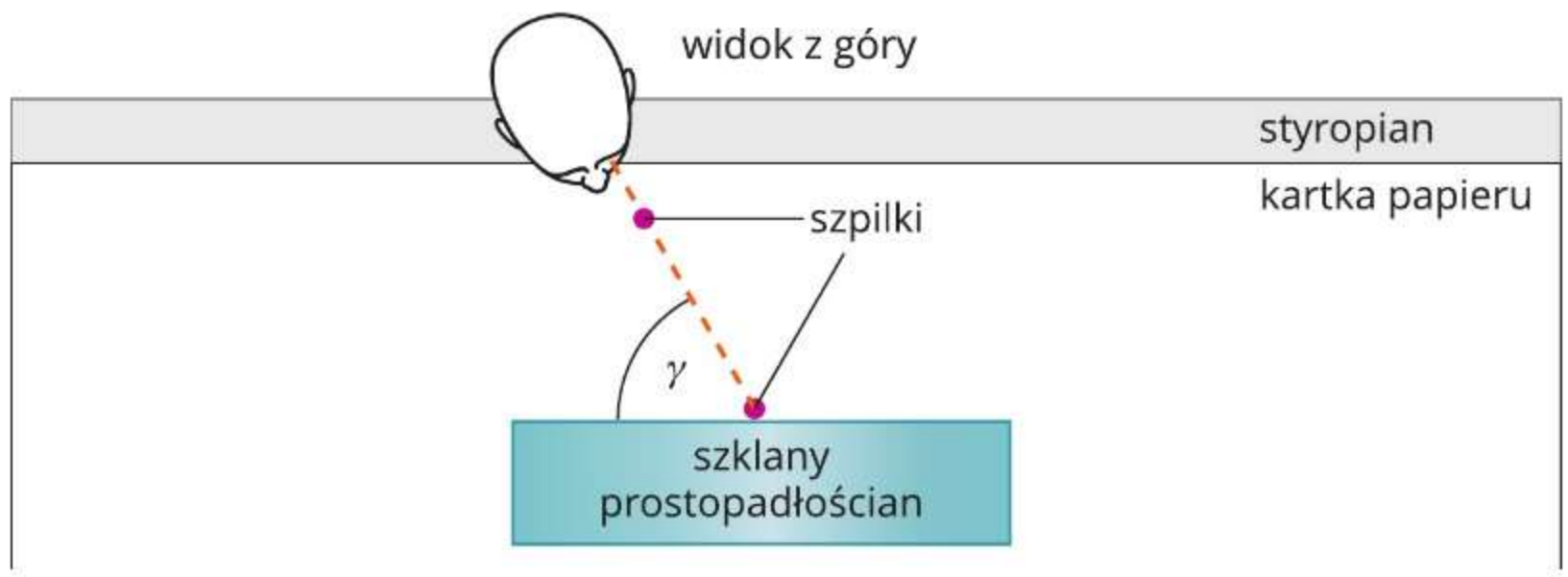
Ośrodek	Prędkość światła $\left(\frac{m}{s}\right)$
powietrze	$2{,}91 \cdot 10^8$
woda	$2{,}25 \cdot 10^8$
etanol	$2{,}20 \cdot 10^8$
olej	$2{,}05 \cdot 10^8$
szkło	$1{,}98 \cdot 10^8$
diament	$1{,}24 \cdot 10^8$

Załamanie światła to zjawisko polegające na zmianie kierunku biegu światła podczas przechodzenia z jednego ośrodka przezroczystego do drugiego, gdy prędkości rozchodzenia się światła w tych ośrodkach są różne.

Zbadaj to sam!

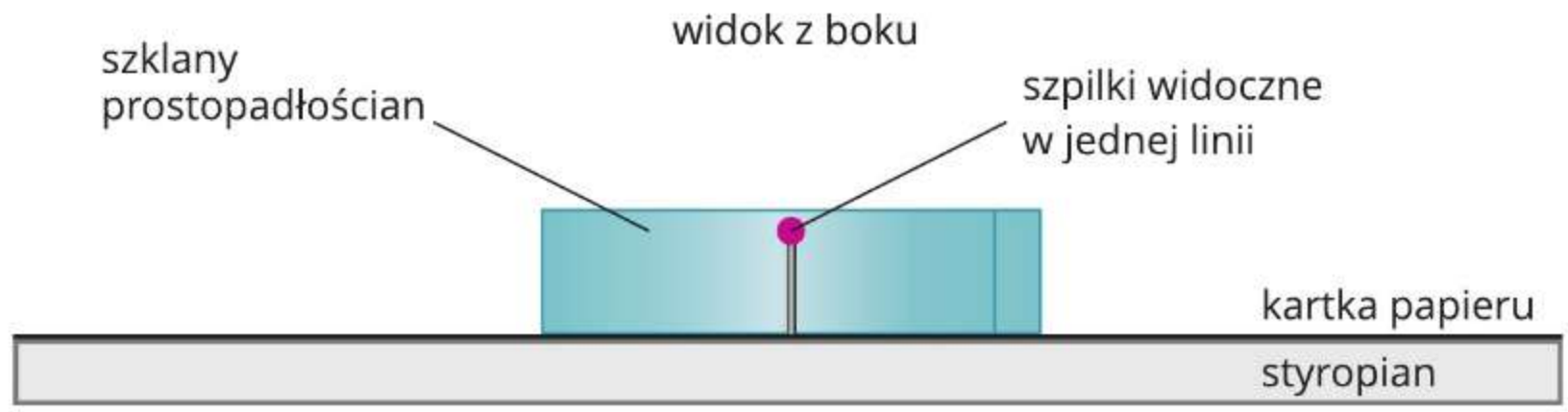
Obserwujemy zjawisko załamania światła

1. Do doświadczenia będą potrzebne: prostopadłościan szklany lub z przezroczystego tworzywa sztucznego o wymiarach ok. 1 cm × 1 cm × 4 cm, cienki kawałek styropianu o wymiarach ok. 10 cm × 10 cm, 4 szpilki krawieckie, kartka papieru, linijka, ołówek.
2. Na powierzchni styropianu połóż kartkę papieru, a na jej środku postaw prostopadłościan – na ściance o największej powierzchni (ryc.). Obrysuj ołówkiem krawędzie prostopadłościanu.
3. Wbij pionowo szpilkę w styropian tuż przy prostopadłościanie, mniej więcej w połowie jego dłuższej ściany bocznej.
4. Po tej samej stronie prostopadłościanu wbij w styropian drugą szpilkę w odległości ok. 2 cm od pierwszej, w takim miejscu, aby linia łącząca obie szpilki tworzyła z krawędzią prostopadłościanu kąt *γ* inny niż prosty (np. ok. 60°, patrz rysunek).



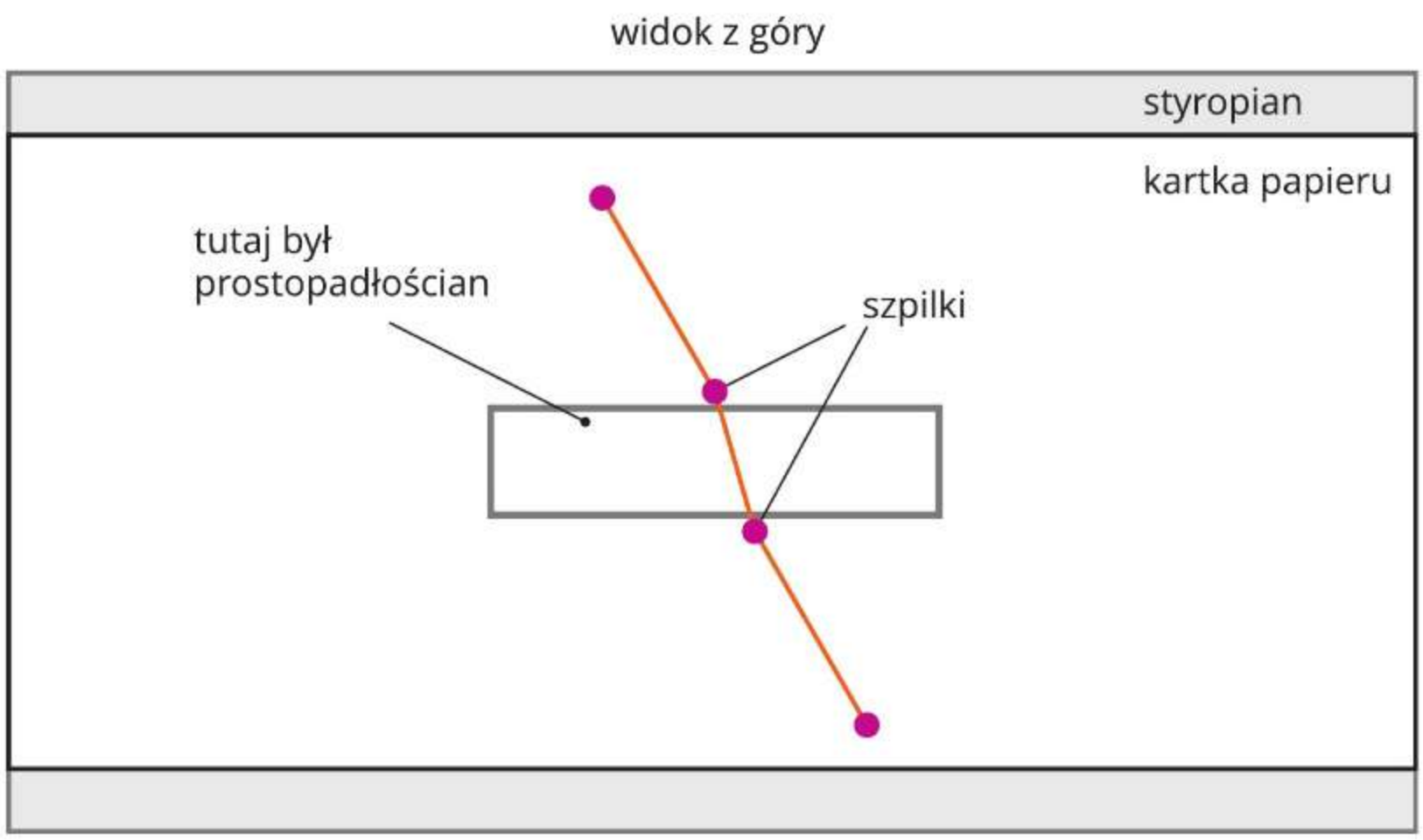
5. Spójrz z boku na szpilkę znajdującą się dalej od prostopadłościanu w taki sposób, aby zasłoniła ona szpilkę wbitą tuż przy prostopadłościanie. Nie zmieniając swojej pozycji, wbij trzecią szpilkę przy ścianie bocznej po drugiej stronie prostopadłościanu, tak by – gdy patrzysz przez prostopadłościan – była ona zasłonięta przez dwie pierwsze szpilki.

6. Wbij czwartą szpilkę ok. 2 cm za trzecią tak, by – gdy patrzysz przez prostopadłościan – ona również była zasłonięta przez pozostałe szpilki.

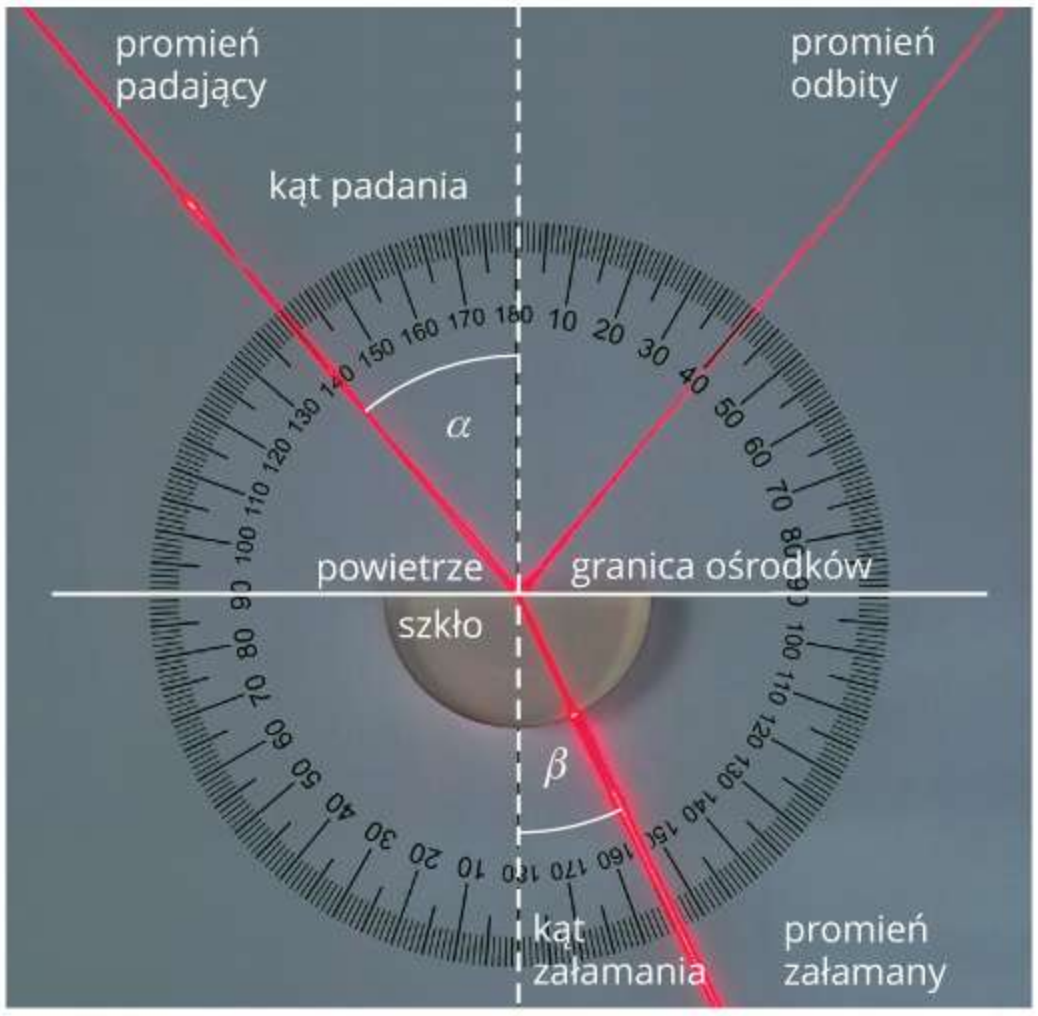


7. Spójrz na położenie szpilek z góry. Usuń prostopadłościan. Przyłóż linijkę do dwóch pierwszych szpilek i narysuj łączący je odcinek.

8. Narysuj drugi odcinek, który połączy pozostałe dwie szpilki, oraz trzeci odcinek, który połączy szpilki znajdujące się wcześniej przy ścianach bocznych prostopadłościanu.



9. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia dotyczące kierunku biegu światła przez granicę ośrodków powietrze – szkło (lub tworzywo sztuczne) i szkło – powietrze. Odpowiedz na pytania: „Czy wszystkie odcinki łączące szpilki leżą na jednej prostej? Jak położone są względem siebie proste, na których leżą odcinki łączące dwie szpilki przed prostopadłościanem i dwie szpilki za nim?”.



Ryc. 29.2. Odbicie i załamanie światła na granicy ośrodków

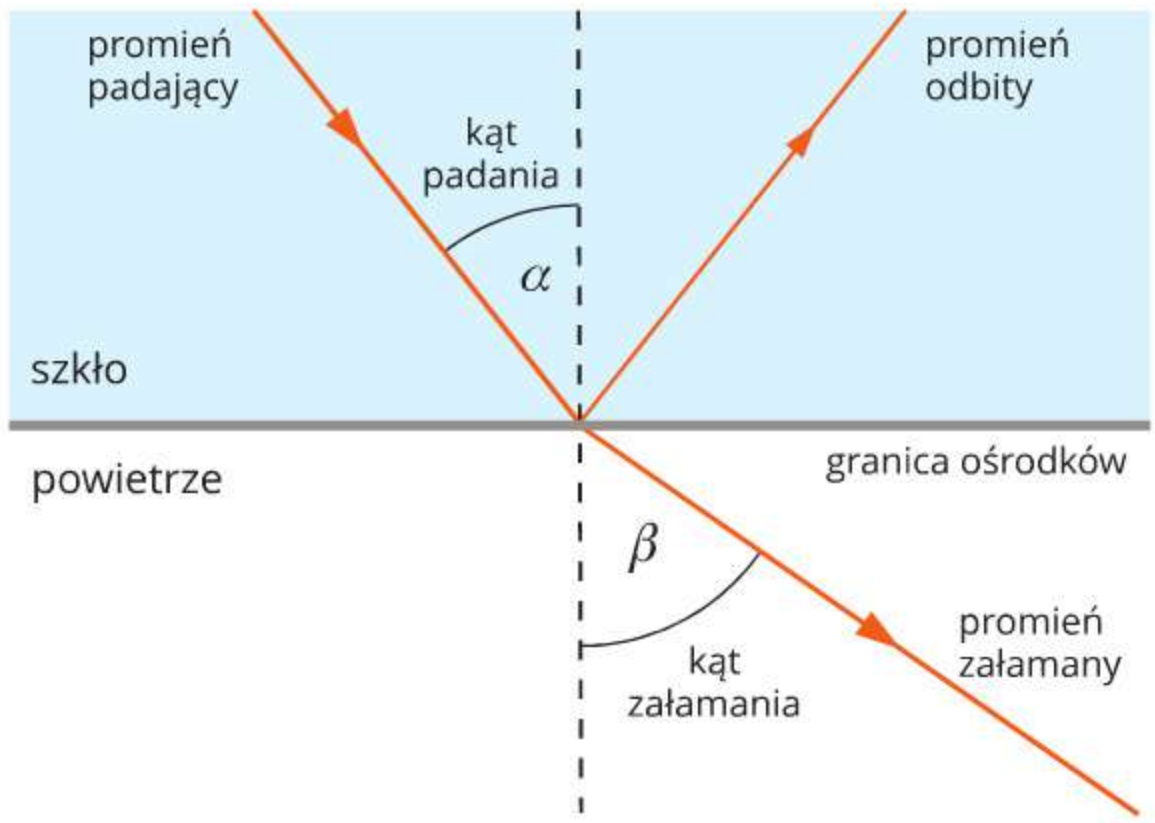
Ryc. 29.3. „Złamany" ołówek – efekt załamania światła

Gdy promień światła pada na granicę dwóch ośrodków przezroczystych, część światła odbija się od tej granicy, a część przechodzi do drugiego ośrodka (ryc. 29.2.). Promień, który przechodzi do drugiego ośrodka, nazywamy promieniem załamanym. Kąt, który tworzy ten promień z normalną, nazywamy kątem załamania β. Promień padający, promień załamany i normalna leżą w tej samej płaszczyźnie.

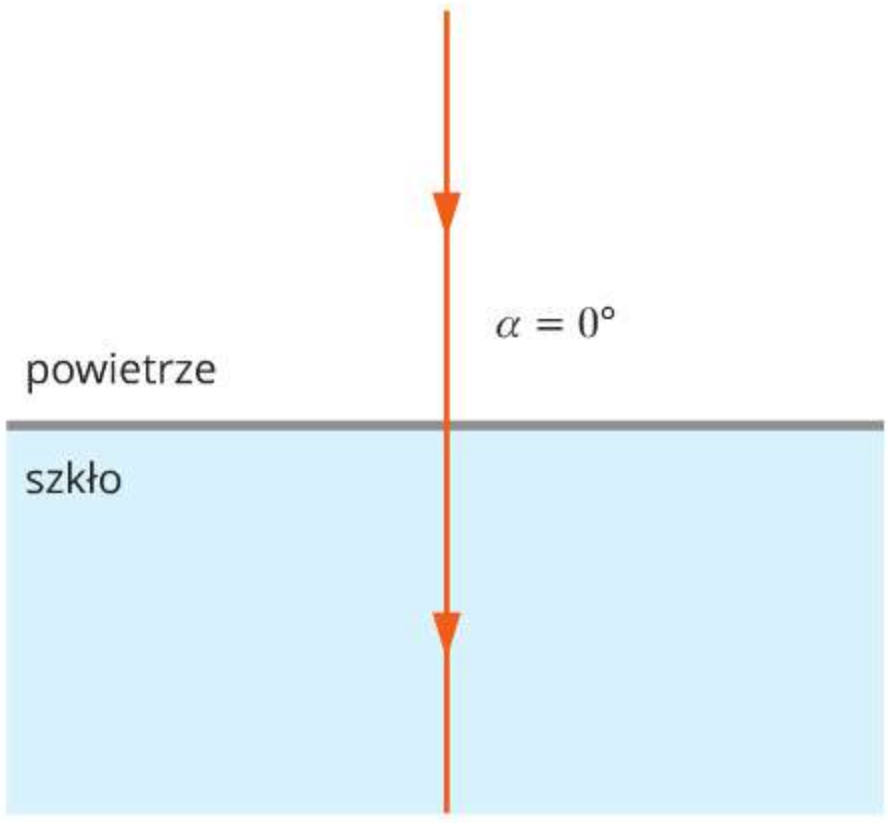
Gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym rozchodzi się z większą prędkością, do ośrodka, w którym jego prędkość jest mniejsza, kąt załamania jest mniejszy niż kąt padania. Dzieje się tak na przykład, gdy światło przechodzi z powietrza do wody. Załamanie światła na granicy powietrze – woda możemy zaobserwować w życiu codziennym: ołówek zanurzony w szklance częściowo wypełnionej wodą wygląda tak, jakby był złamany (ryc. 29.3.).

Gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym ma mniejszą prędkość, do ośrodka, w którym jego prędkość jest większa, kąt załamania jest większy od kąta padania (ryc. 29.4.). Dzieje się tak na przykład, gdy światło przechodzi ze szkła do powietrza lub z wody do powietrza.

Załamania światła nie obserwujemy natomiast, gdy światło pada na granicę ośrodków prostopadle do niej (a zatem równolegle do normalnej), czyli gdy kąt padania jest równy 0° (ryc. 29.5.).

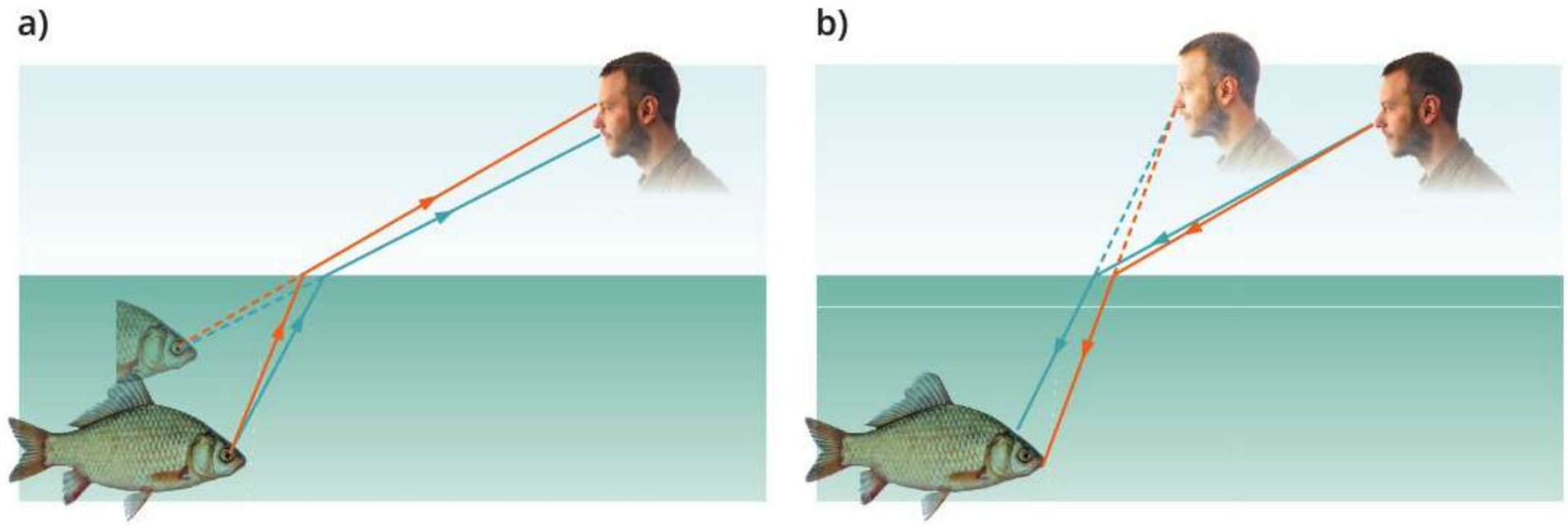


Ryc. 29.4. Załamanie światła podczas przechodzenia ze szkła do powietrza



Ryc. 29.5. Bieg promienia światła padającego prostopadle na granicę dwóch ośrodków, czyli równolegle do normalnej

Jesteśmy przyzwyczajeni do tego, że światło w otaczającym nas ośrodku rozchodzi się prostoliniowo. Dlatego gdy znajdujemy się w jednym ośrodku – np. w powietrzu – i patrzymy na obiekt znajdujący się w innym ośrodku – np. na karpia w wodzie – to wydaje nam się, że znajduje się on w miejscu leżącym na przedłużeniu promieni wpadających do naszego oka (ryc. 29.6.). W rzeczywistości jednak w takiej sytuacji światło nie rozchodzi się po linii prostej, ponieważ załamuje się na granicy ośrodków, a obiekt (karp) znajduje się w innym miejscu. Z tego samego powodu także karp widzi człowieka w innym miejscu, niż znajduje się on w rzeczywistości.

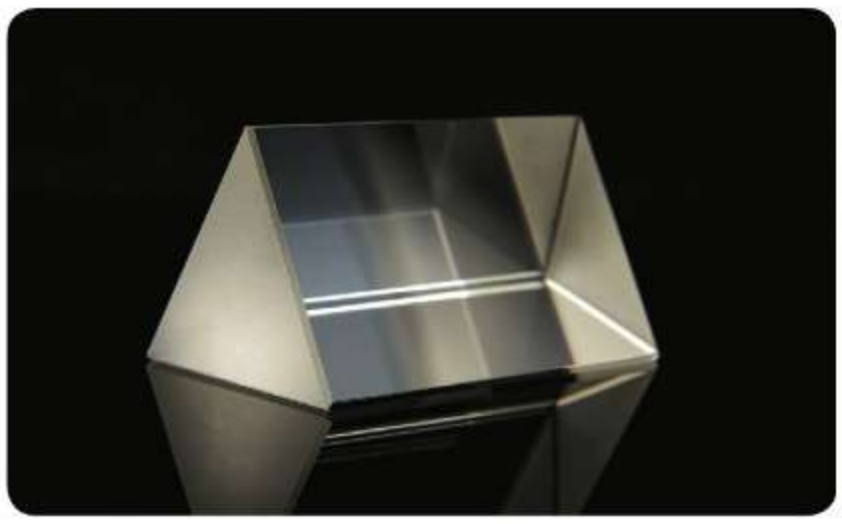


Ryc. 29.6. Załamanie światła przy przejściu z wody do powietrza (a) oraz przy przejściu z powietrza do wody (b) i związane z tym efekty (na ilustracjach nie zachowano skali wielkości i skali odległości).

Zobacz, jak to zrobić!

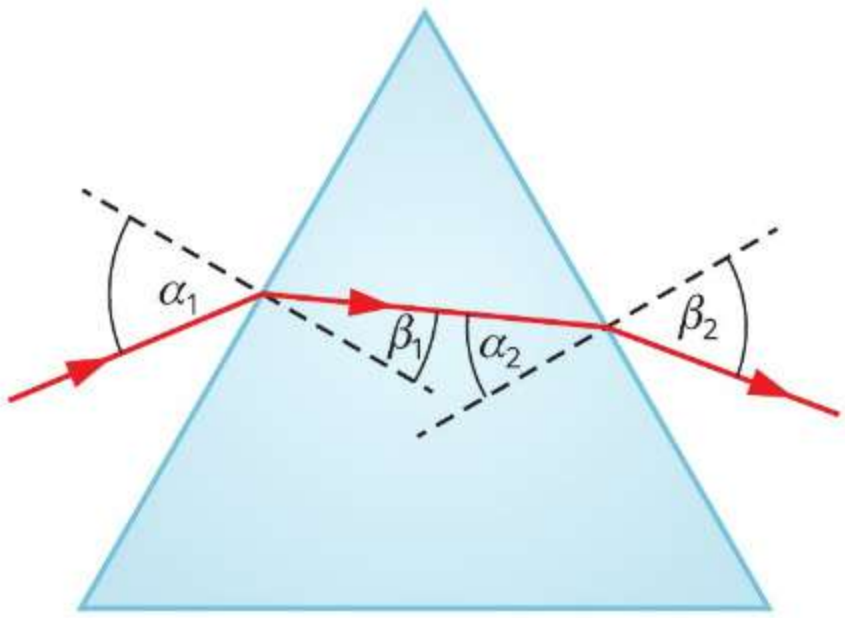
Załamanie światła jednobarwnego w pryzmacie

Pryzmat to bryła – najczęściej graniastosłup prawidłowy trójkątny – wykonana z przezroczystego materiału, np. ze szkła (ryc.). Promień światła z lasera został skierowany na powierzchnię boczną takiego pryzmatu pod kątem różnym od 90°. Narysujmy dalszy bieg tego promienia. Ile razy załamuje się światło w pryzmacie?



Rozwiązanie:

Ponieważ prędkość światła w szkle jest mniejsza niż w powietrzu, kąt załamania światła β_1 jest mniejszy niż kąt padania α_1. Następnie wewnątrz pryzmatu światło rozchodzi się prostoliniowo. Później pada na drugą ścianę pryzmatu i ponownie się załamuje. Tym razem kąt padania α_2 jest mniejszy od kąta załamania β_2, ponieważ światło przechodzi ze szkła do powietrza, w którym rozchodzi się z większą prędkością.

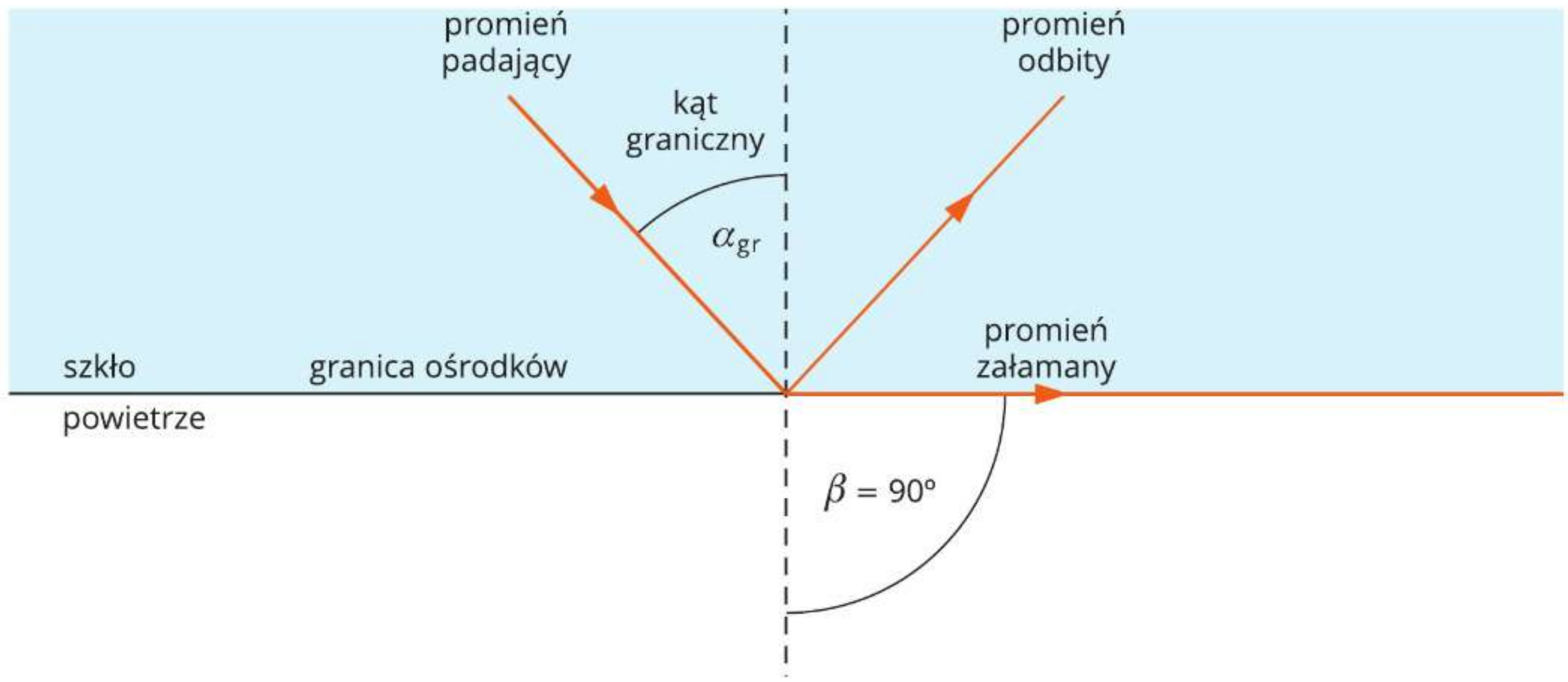


Odpowiedź: Podczas przejścia przez pryzmat światło załamuje się dwukrotnie.

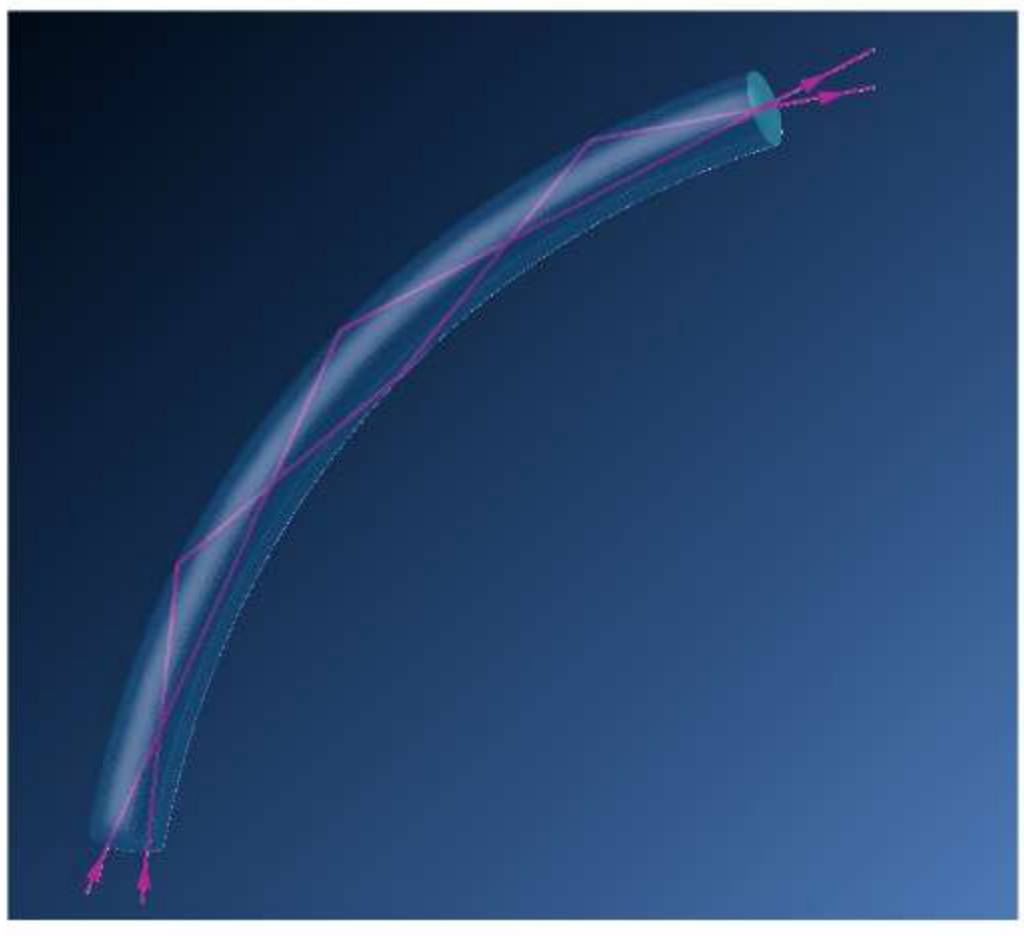
Dowiedz się więcej!

Całkowite wewnętrzne odbicie

Gdy światło przechodzi z ośrodka o mniejszej prędkości rozchodzenia się do ośrodka o większej prędkości rozchodzenia się (np. ze szkła do powietrza), kąt załamania zawsze jest większy od kąta padania. Gdy będziemy zwiększać kąt padania, kąt załamania również będzie wzrastał. Maksymalnie może on osiągnąć 90° (rys.). Kąt padania, dla którego taka sytuacja nastąpi, nazywamy **kątem granicznym**. Na przykład przy przejściu z wody do powietrza kąt graniczny wynosi ok. 49°, a przy przejściu ze szkła do powietrza – ok. 42°.



Gdy kąt, pod jakim światło pada na granicę ośrodków, jest większy od kąta granicznego, światło nie wydostaje się z ośrodka, w którym się rozchodzi. Zjawisko to nazywamy **całkowitym wewnętrznym odbiciem**. Jest ono wykorzystywane m.in. do konstrukcji światłowodów używanych na przykład w medycynie lub telekomunikacji. Światłowód to cienki, elastyczny i przezroczysty przewód, który składa się z rdzenia oraz otaczającego go płaszcza. Prędkość rozchodzenia się światła w płaszczu jest większa niż prędkość rozchodzenia się światła w rdzeniu.



Podsumujmy!

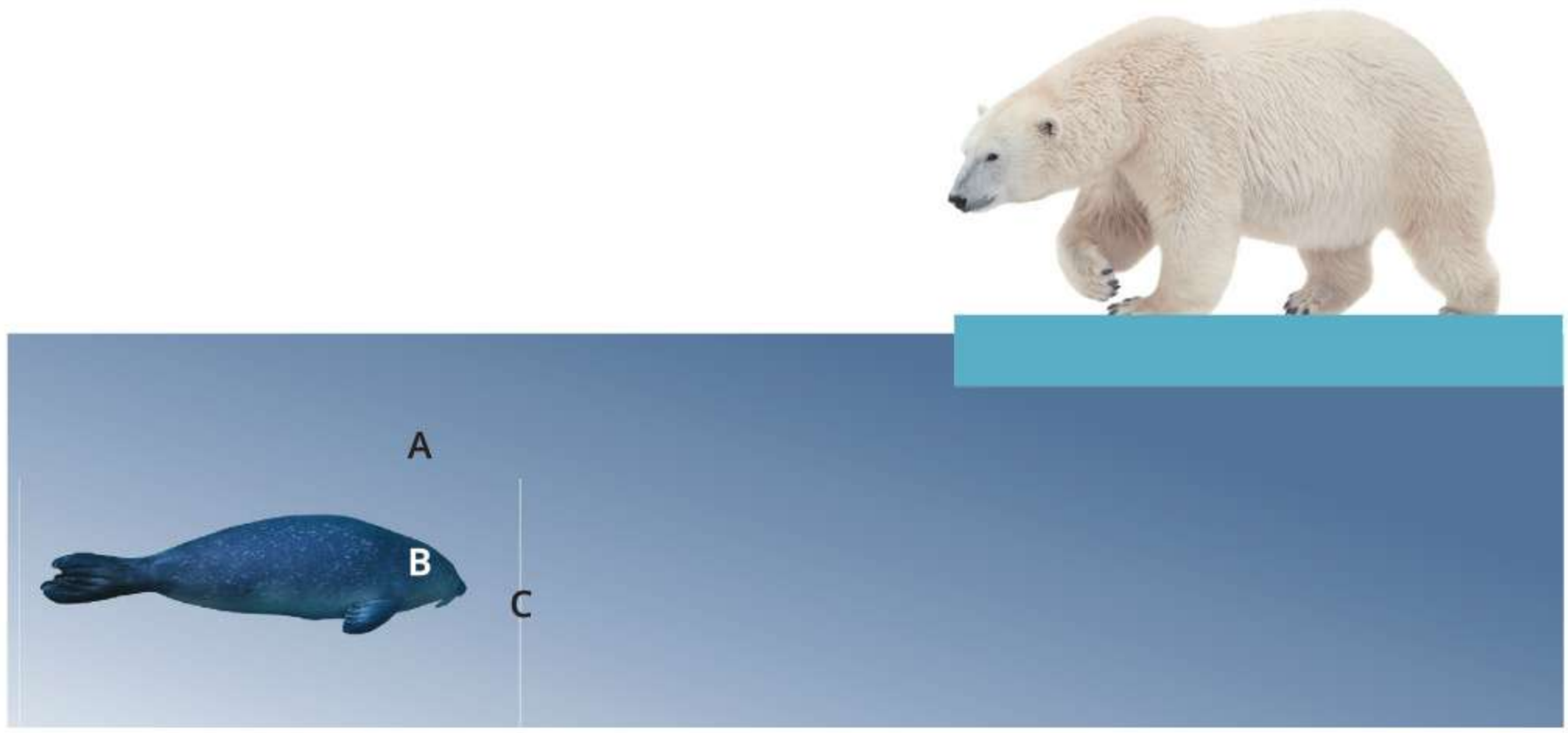
- **Załamanie światła** to zjawisko polegające na zmianie kierunku biegu światła podczas przechodzenia z jednego ośrodka do drugiego, w którym prędkość rozchodzenia się jest inna.
- Gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym ma większą prędkość, do ośrodka, w którym ta prędkość jest mniejsza, kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.
- Gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym ma mniejszą prędkość do ośrodka, w którym jego prędkość jest większa, kąt załamania jest większy od kąta padania.

Sprawdź się!

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

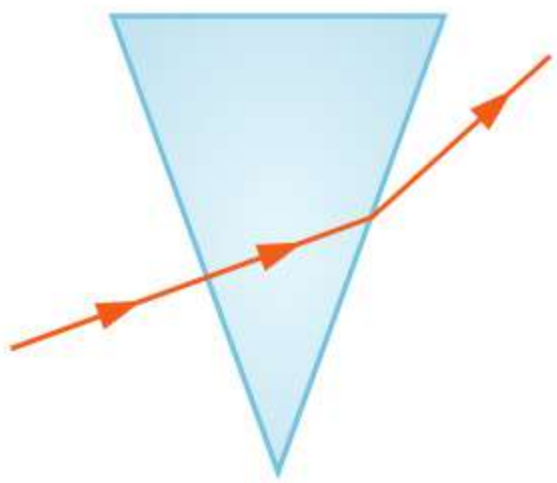
1.	Zjawisko załamania światła występuje, gdy światło przechodzi między ośrodkami różniącymi się prędkością jego rozchodzenia się.	**P**	**F**
2.	Kąt padania jest zawsze większy od kąta załamania.	**P**	**F**
3.	Promień padający, promień załamany i normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie.	**P**	**F**
4.	Część światła słonecznego padającego na powierzchnię wody w jeziorze odbija się, a część się załamuje.	**P**	**F**

2. Niedźwiedź polarny znajduje się na krze lodowej. Drapieżnik obserwuje fokę znajdującą się w wodzie. W którym miejscu – A, B czy C – niedźwiedź *widzi głowę foki*?

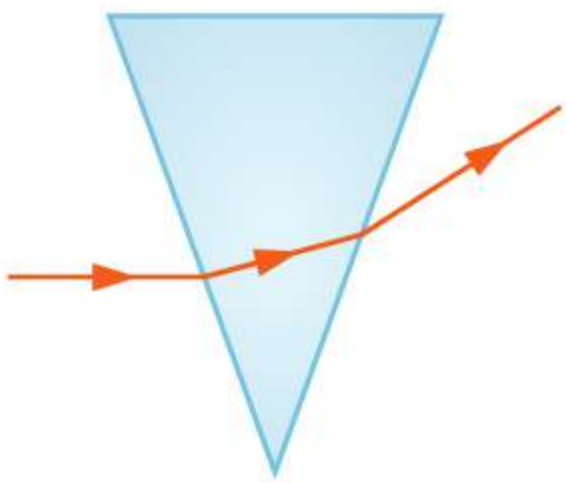


3. Wskaż ilustrację, na której błędnie przedstawiono bieg promienia światła w pryzmacie.

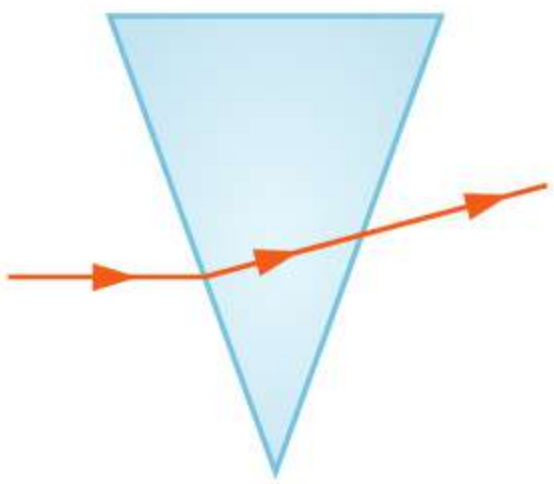
A.



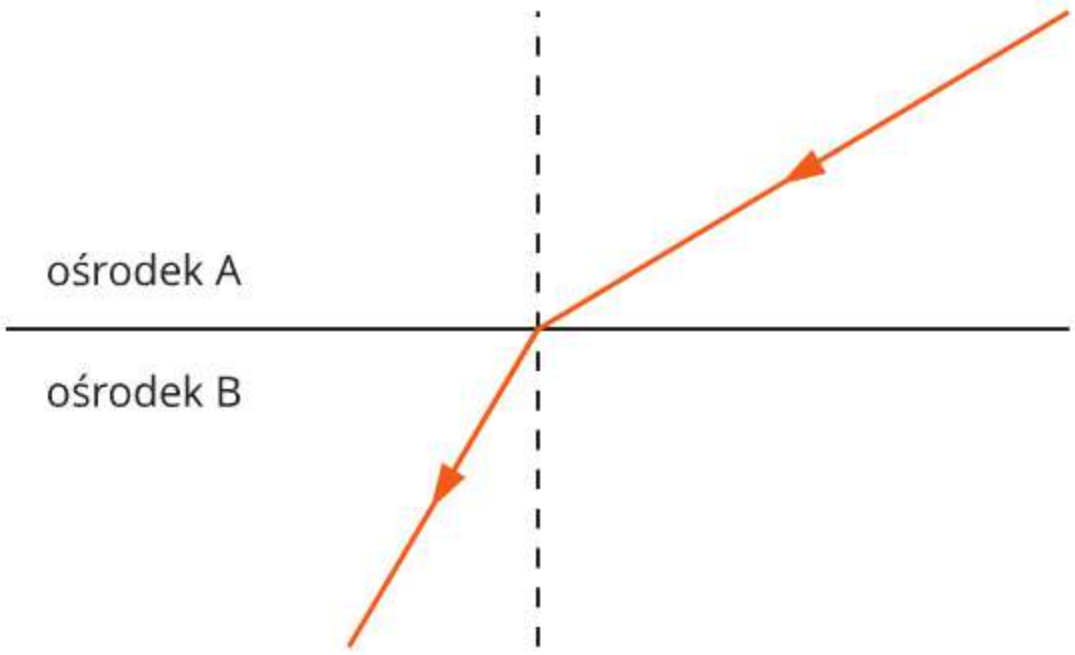
B.



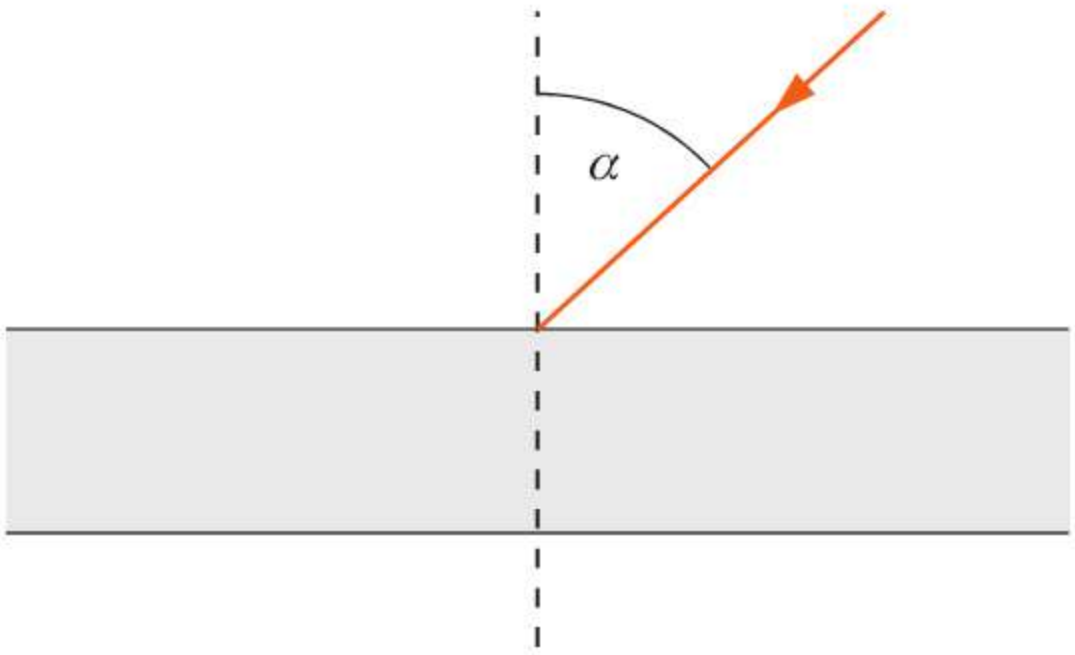
C.



4. Promień światła przechodzi z ośrodka A do ośrodka B (ryc.). Przerysuj rysunek do zeszytu, a następnie zaznacz na nim kąt padania i kąt załamania. W którym ośrodku światło rozchodzi się z większą prędkością?

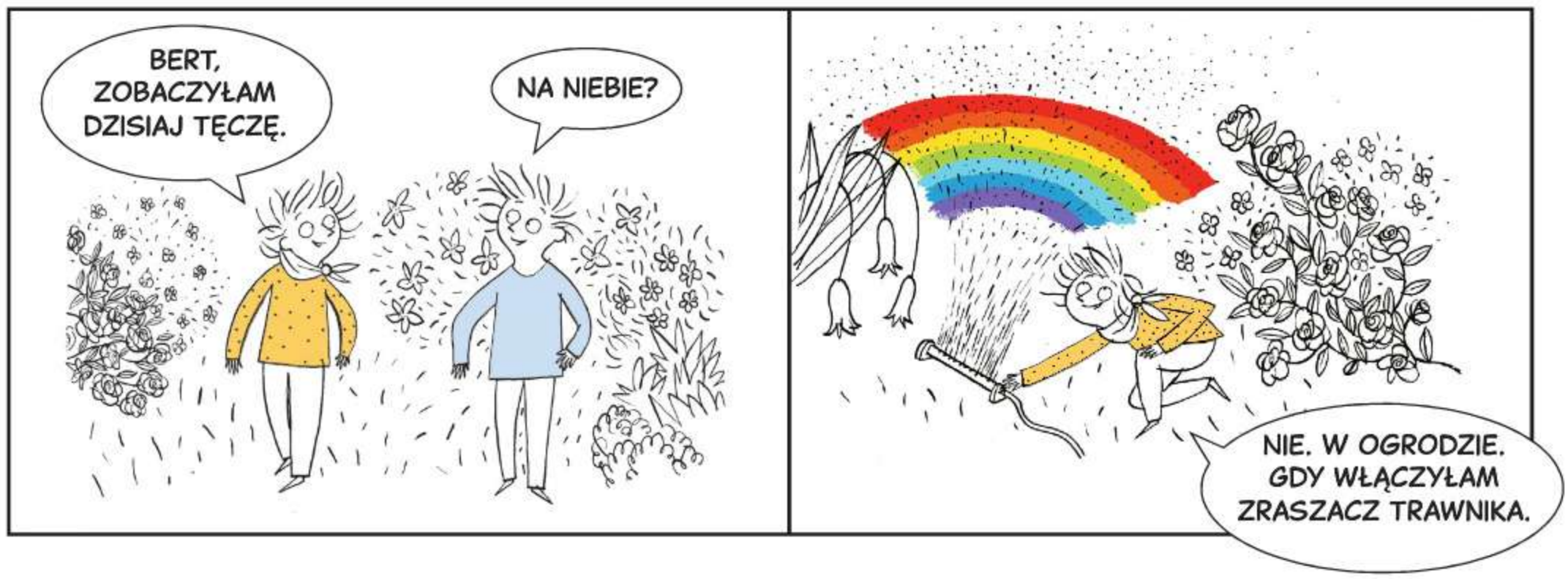


5*. Światło pada pod pewnym kątem na powierzchnię prostopadłościennego kawałka przezroczystej galaretki. Przerysuj rysunek do zeszytu i zaznacz na nim dalszy bieg promienia światła. Zaznacz kąt, pod jakim światło wychodzi z galaretki.



30. Rozszczepienie światła białego

- Na czym polega zjawisko rozszczepienia światła?
- Jak rozszczepić światło białe?



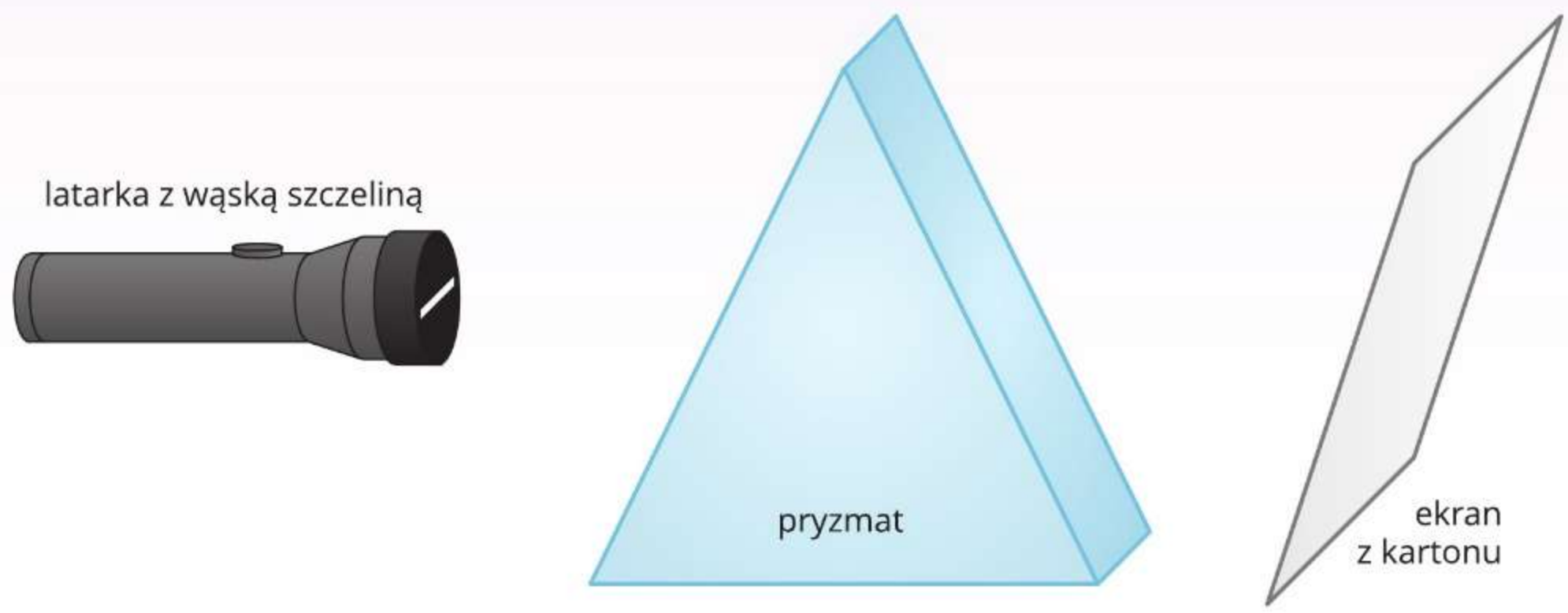
Tęcza to zjawisko, które można zobaczyć na niebie w ciągu dnia, gdy słońce oświetla krople padającego deszczu. Natomiast nocą wokół Księżyca można czasem dostrzec otaczające go kolorowe okręgi, czyli halo księżycowe. Oba te zjawiska są skutkiem załamania światła białego, w przypadku tęczy – w kroplach deszczu, a w przypadku halo księżycowego – w kryształkach lodu znajdujących się w chmurze przesłaniającej Księżyc (ryc. 30.1.) Tęcza oraz halo to zjawiska, w których światło białe na skutek załamania w wodzie (w stanie ciekłym bądź stałym) ulega rozdzieleniu na poszczególne barwy, co nazywamy rozszczepieniem światła białego.

Ryc. 30.1. Kolorowe okręgi wokół Księżyca – halo księżycowe

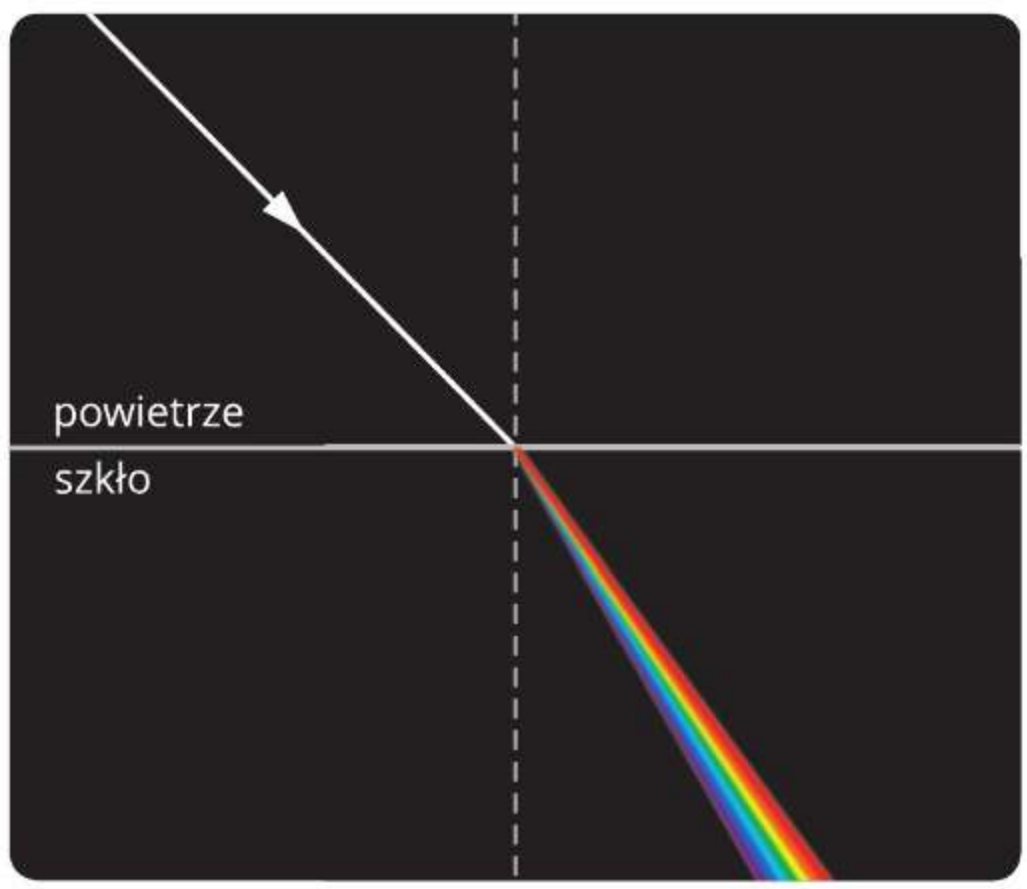
Zbadaj to sam!

Demonstrujemy rozszczepienie światła

1. Do doświadczenia będą potrzebne: latarka z żarówką żarową, kartonowa nakładka na latarkę, wykonana na potrzeby doświadczenia z modułu *Zbadaj to sam!* ze s. 224, pryzmat, biały karton.
2. Nałóż kartonową nakładkę na latarkę.
3. W zaciemnionym pomieszczeniu ustaw na stole pryzmat, a w niewielkiej odległości za nim biały karton, który będzie pełnił funkcję ekranu.
4. Skieruj wiązkę światła z latarki na jedną ze ścian pryzmatu. Znajdź takie położenie latarki w stosunku do pryzmatu, które sprawi, że na ekranie pojawią się barwne paski.
5. Zapisz w zeszycie spostrzeżenia.

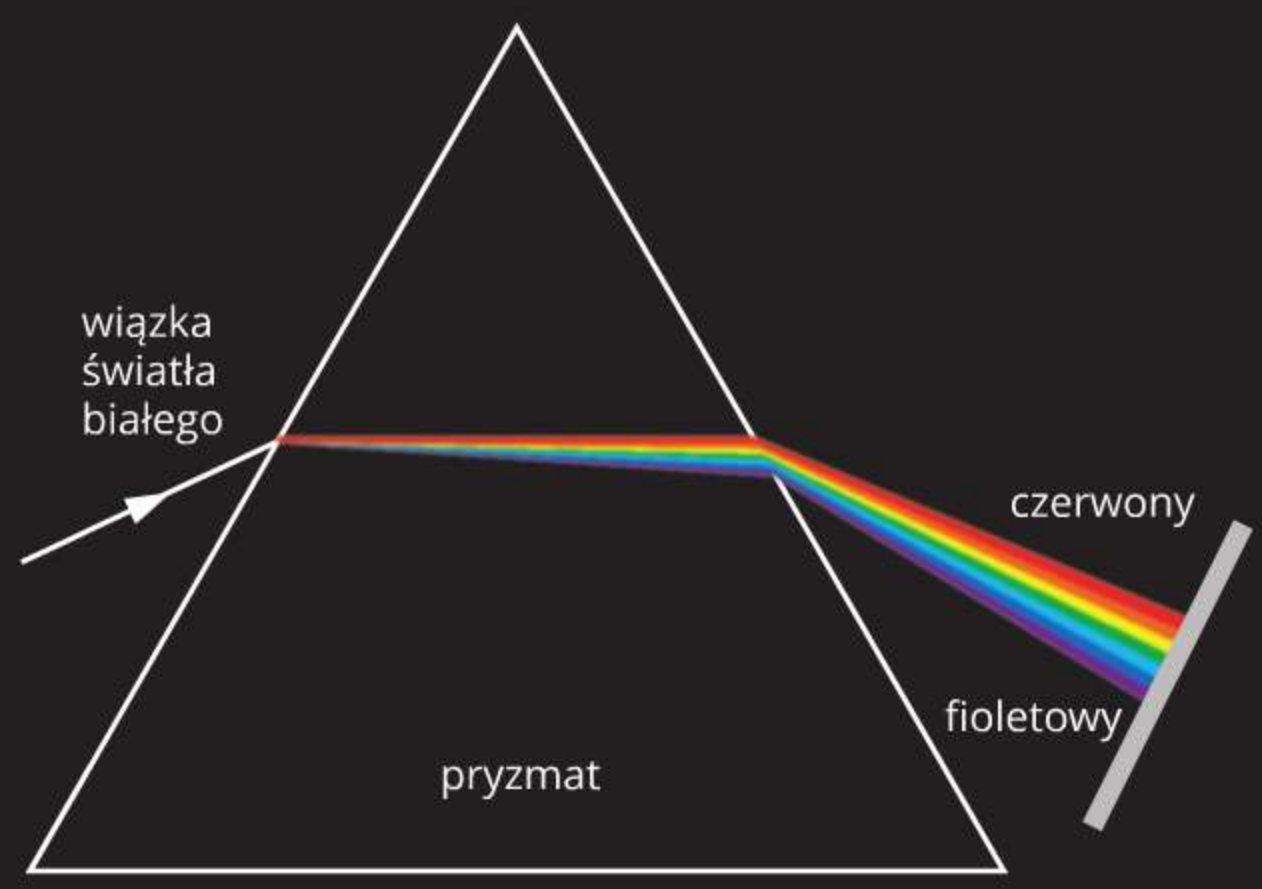


Światło białe w rzeczywistości jest mieszaniną wielu barw. W wyniku rozszczepienia światła białego uzyskujemy barwy tęczy, płynnie przechodzące jedna w drugą. Do rozszczepienia światła białego w pryzmacie dochodzi na skutek załamania światła na granicy ośrodków. Prędkość rozchodzenia się światła w materiale pryzmatu jest różna dla różnych długości fal, przy czym największą prędkość ma światło czerwone, a najmniejszą – fioletowe. Z tego powodu, gdy światło białe przechodzi z powietrza do szkła lub wody, każda z jego składowych załamuje się pod innym kątem – światło czerwone pod największym kątem, a fioletowe pod najmniejszym (ryc. 30.2.).



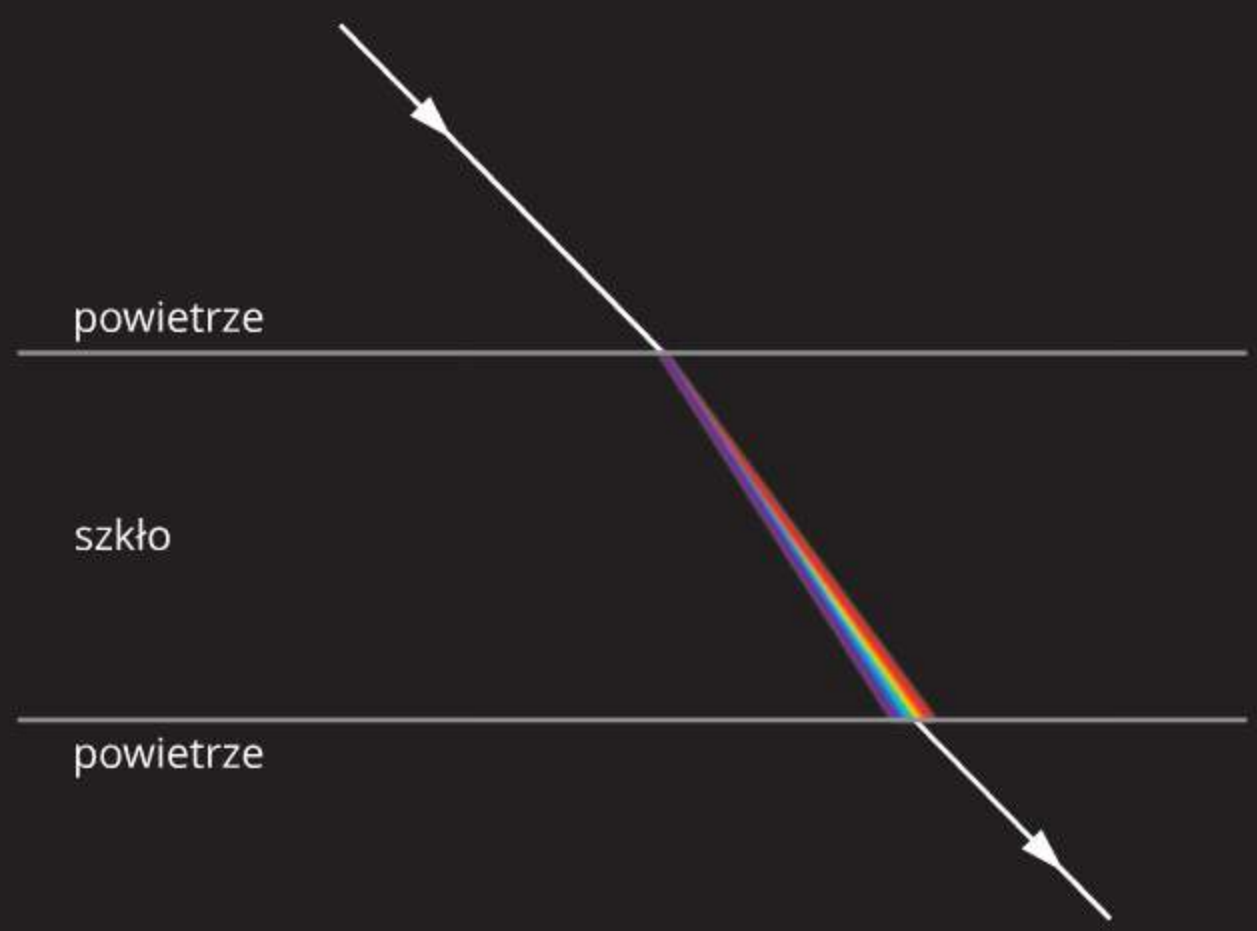
Ryc. 30.2. Schematyczne przedstawienie załamania światła białego przy przejściu z powietrza do szkła

Rozszczepienie światła jest dobrze widoczne w pryzmacie, ponieważ do załamania światła dochodzi w nim dwukrotnie, a ścianki pryzmatu ustawione są pod pewnym kątem do siebie. Gdy wiązkę światła białego skierujemy na pryzmat, ulega ona rozszczepieniu na skutek załamania przy przejściu z powietrza do pryzmatu. Następnie każdy z barwnych promieni załamuje się ponownie przy wyjściu z pryzmatu do powietrza (ryc. 30.3.), co powoduje zwiększenie różnicy między kątami załamania tych promieni.



Ryc. 30.3. Rozszczepienie światła białego w pryzmacie

Barwnej wstęgi nie obserwujemy jednak, gdy światło przechodzi przez szybę. Gdy wiązka światła białego pada na przezroczysty prostopadłościan lub szybę, przy przejściu z powietrza do szkła załamuje się, co powoduje jej rozszczepienie. Potem światło załamuje się po raz drugi przy przejściu ze szkła do powietrza. Ponieważ obie powierzchnie szyby są do siebie równoległe, a szyba ma zazwyczaj niewielką grubość, barwne promienie ponownie formują wiązkę światła białego (ryc. 30.4.).



Ryc. 30.4. Podwójne załamanie światła białego przy przejściu przez szybę

Zjawisko rozszczepienia światła białego zachodzi w każdym przezroczystym obiekcie, którego ścianki nie są do siebie równoległe, np. w kropli wody lub kryształku lodu.

Rozszczepieniu światła nie ulega światło lasera, gdyż jest ono jednobarwne, czyli jest światłem o jednej określonej długości fali.

Rozglądaj się wokół!

Przykłady rozszczepienia światła

Rozszczepienie światła, dzięki któremu widzimy barwy tęczy, możemy zaobserwować w różnych sytuacjach.

Barwną tęczę można zobaczyć również na kroplach wody, gdy w słoneczny dzień podlewamy trawnik za pomocą zraszacza.

W szklanych ozdobach zachodzi zjawisko rozszczepiania światła, dzięki czemu cieszą one oko obserwatora feerią barw.

To, w jaki sposób barwami tęczy mienią się oszlifowane oczka pierścionków, pozwala stwierdzić, z jakiej substancji zostały wykonane.

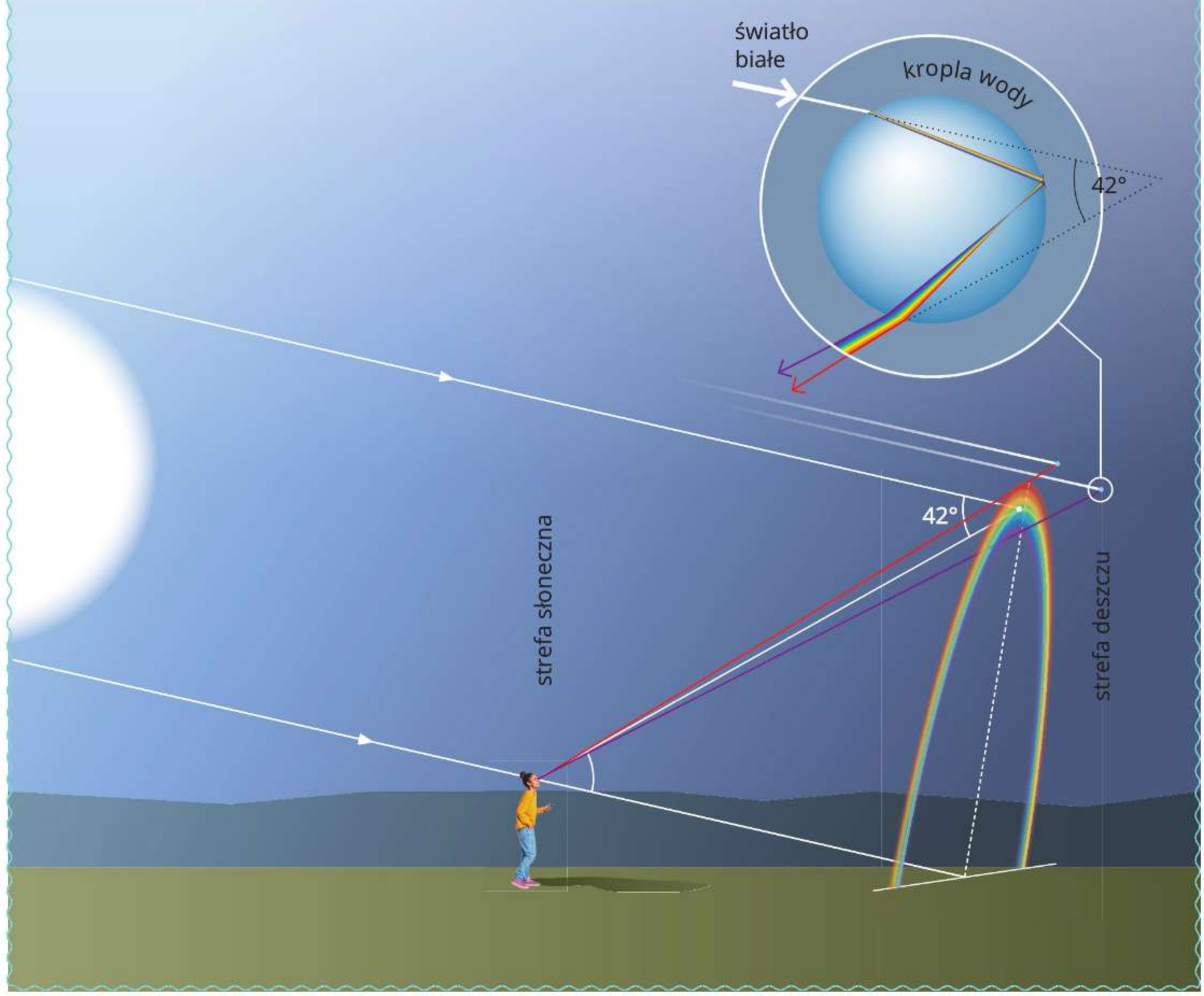
W słoneczny i deszczowy dzień widzimy przed sobą tęczę, gdy słońce świeci zza naszych pleców, a przed nami pada deszcz.

Dowiedz się więcej!

Jak powstaje tęcza?

Aby zobaczyć tęczę, obserwator powinien znajdować się pomiędzy słońcem a padającym deszczem, przodem do deszczu (ryc.). Światło słoneczne pada na kroplę wody i załamuje się na granicy powietrze – woda, co powoduje jego rozszczepienie na poszczególne barwy. Barwne promienie poruszają się wewnątrz kropli i docierają do jej wewnętrznej powierzchni. Część światła ponownie załamuje się na granicy woda – powietrze, a część ulega odbiciu od niej. To odbite światło podczas wyjścia z kropli także się załamuje (ryc.).

Na tęczę składa się światło pochodzące z wielu kropel. Ponieważ światło o różnych barwach wychodzi z kropli pod różnymi kątami, tylko jeden z barwnych promieni z danej kropli trafia do obserwatora. Z kropel położonych wyżej do oka trafiają promienie światła czerwonego, które opuszczają krople pod kątem największym do poziomu. Z kolei promienie fioletowe docierające do obserwatora pochodzą z kropel położonych niżej. Dlatego górna część tęczy jest czerwona, a dolna fioletowa (ryc.). Łuk tęczy widzimy pod kątem 42 stopni.



Podsumujmy!

- **Rozszczepienie światła białego** w pryzmacie i kropli wody zachodzi w wyniku zjawiska załamania światła.
- Światło o różnych barwach załamuje się na granicy dwóch ośrodków **pod różnymi kątami**.

Sprawdź się!

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

1.	Światło białe składa się z wielu barw.	**P**	**F**
2.	Jeśli jednobarwne światło czerwone i światło fioletowe padają pod takim samym kątem na granicę ośrodków powietrze – szkło, kąt załamania światła czerwonego będzie większy niż fioletowego.	**P**	**F**
3.	Zielone światło laserowe podczas przejścia przez pryzmat nie ulega rozszczepieniu.	**P**	**F**
4.	Światło żółte rozchodzi się w szkle z większą prędkością niż światło niebieskie.	**P**	**F**

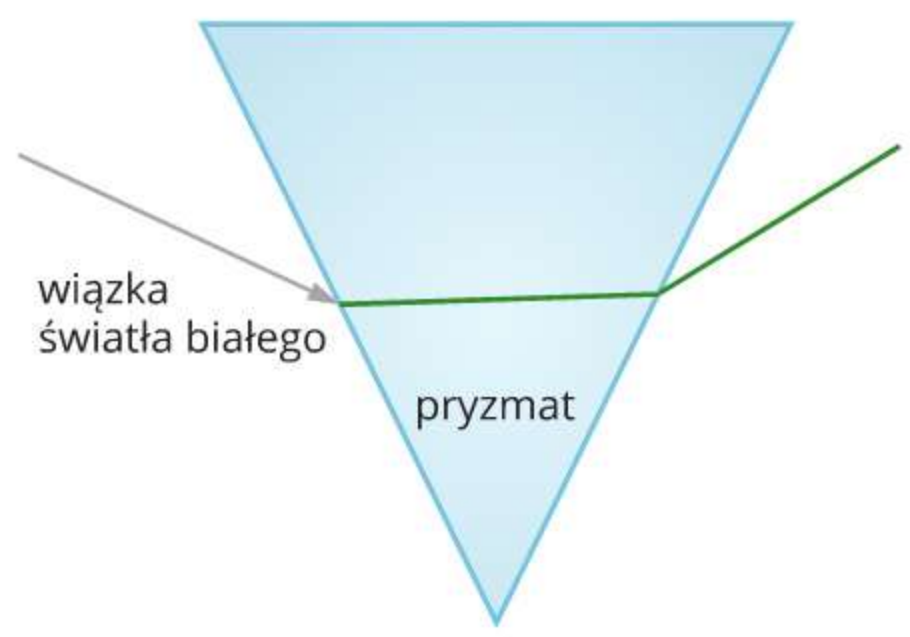
2. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.

W szkle światło pomarańczowe rozchodzi się z większą prędkością niż światło zielone. Oznacza to, że gdy promień światła pomarańczowego przechodzi z powietrza do szkła, odchyla się od swojego pierwotnego kierunku

A.	mniej niż promień światła zielonego,	ponieważ jego prędkość w szkle różni się od prędkości światła w powietrzu	**1.**	mniej niż dla światła zielonego.
B.	bardziej niż promień światła zielonego,		**2.**	bardziej niż dla światła zielonego.

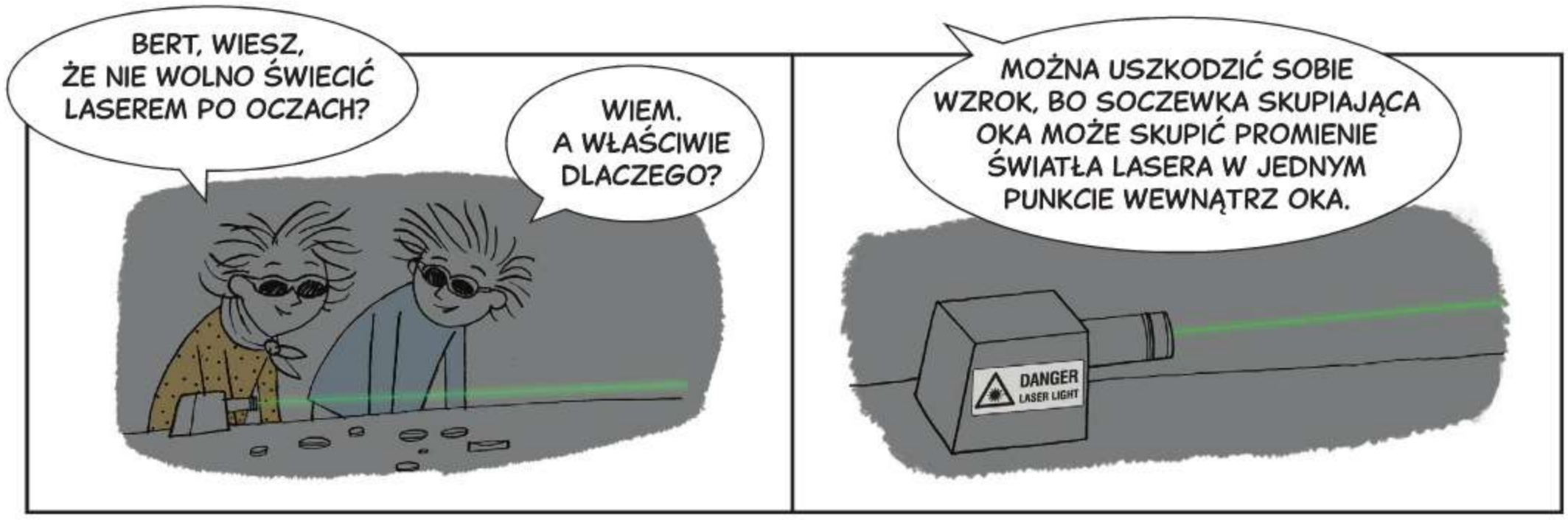
3. Na pryzmat pada wiązka światła białego, którego składowe odpowiadają trzem barwom: czerwonej, zielonej oraz niebieskiej. Czy światło to ulegnie rozszczepieniu? Uzasadnij odpowiedź.

4. Na pryzmat pada wiązka światła białego i ulega rozszczepieniu. Na rysunku przedstawiono dalszy bieg światła o barwie zielonej. Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj na nim bieg światła niebieskiego.



31. Soczewki skupiające

- Czym jest soczewka skupiająca?
- Do czego wykorzystujemy soczewki skupiające?



Szklane lub wypełnione wodą plastikowe butelki pozostawione na zewnątrz stwarzają zagrożenie pożarowe, szczególne podczas upałów i suszy, ponieważ mogą skupić padające na nie promienie światła słonecznego i spowodować pożar (ryc. 31.1.).

Do skupienia wiązki światła przechodzącej przez szkło lub wodę w plastikowej butelce dochodzi dzięki zjawisku załamania światła. Promienie słoneczne załamują się, gdy przechodzą z powietrza do szkła lub wody oraz gdy przechodzą ze szkła lub wody do powietrza. Zmiana kierunku ich biegu powoduje, że skupiają się w niewielkim obszarze, który na zdjęciach (ryc. 31.1.) jest widoczny jako jasno oświetlony fragment powierzchni kory drzewa.

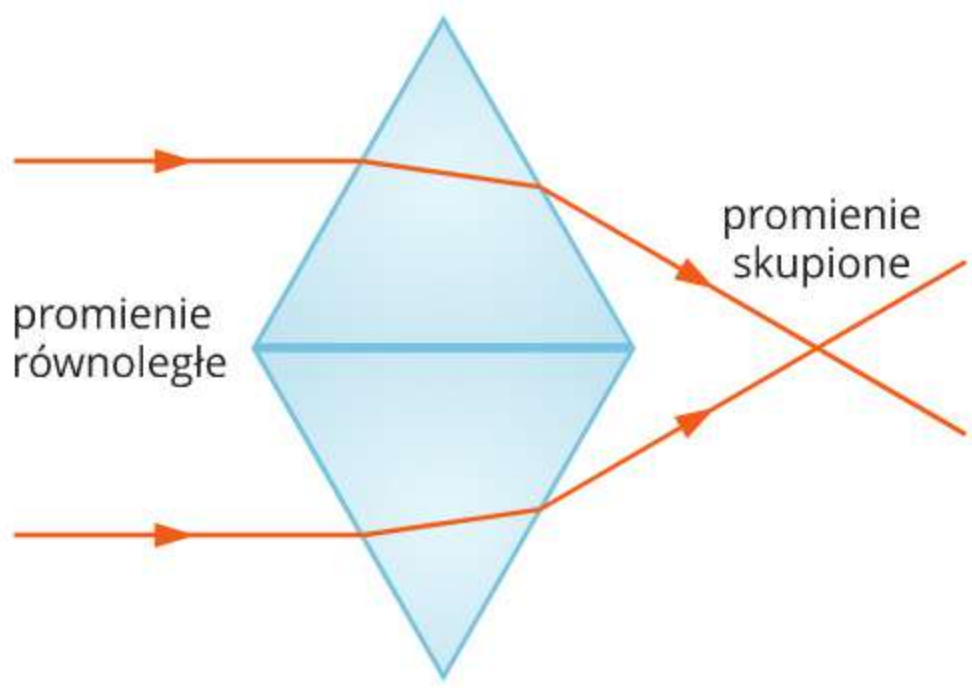
a)

b)

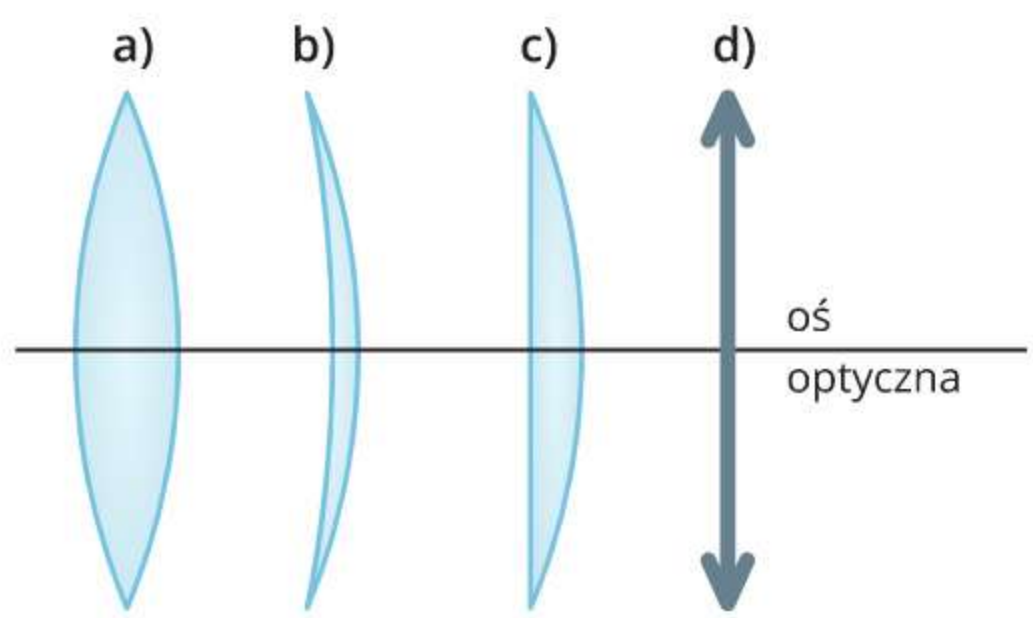
Ryc. 31.1. Fragment butelki szklanej (a) i butelki plastikowej wypełnionej wodą (b), skupiających promienie słoneczne

Skupienie światła można także zaobserwować na przykład wtedy, gdy na dwa identyczne szklane pryzmaty złączone ścianami bocznymi skierujemy dwa równoległe promienie światła laserowego w taki sposób, że każdy z nich przechodzi przez jeden z pryzmatów (ryc. 31.2.). Oba promienie przy przejściu przez pryzmat dwukrotnie się załamują, a potem skupiają się w jednym punkcie.

Podobnie do skupienia wiązki światła może dojść w bryle z przezroczystego materiału ograniczonej przynajmniej z jednej strony fragmentem sfery. Bryłę taką nazywamy soczewką sferyczną. Każda soczewka ma oś optyczną, czyli prostą pokrywającą się z osią symetrii soczewki. Wszystkie soczewki skupiające są najgrubsze pośrodku, czyli tam, gdzie przebiega oś optyczna. Gdy skupiająca soczewka sferyczna ma dwie powierzchnie wypukłe, wówczas nazywamy ją dwuwypukłą (ryc. 31.3.a), a gdy ma jedną powierzchnię wklęsłą i jedną wypukłą – nazywamy ją wklęsło-wypukłą (ryc. 31.3.b). Istnieją również soczewki skupiające nazywane płasko-wypukłymi, których jedna powierzchnia jest płaska, a druga jest wypukłą częścią sfery (ryc. 31.3.c). Na schematach soczewki skupiające oznaczamy odpowiednim symbolem graficznym (ryc. 31.3.d).

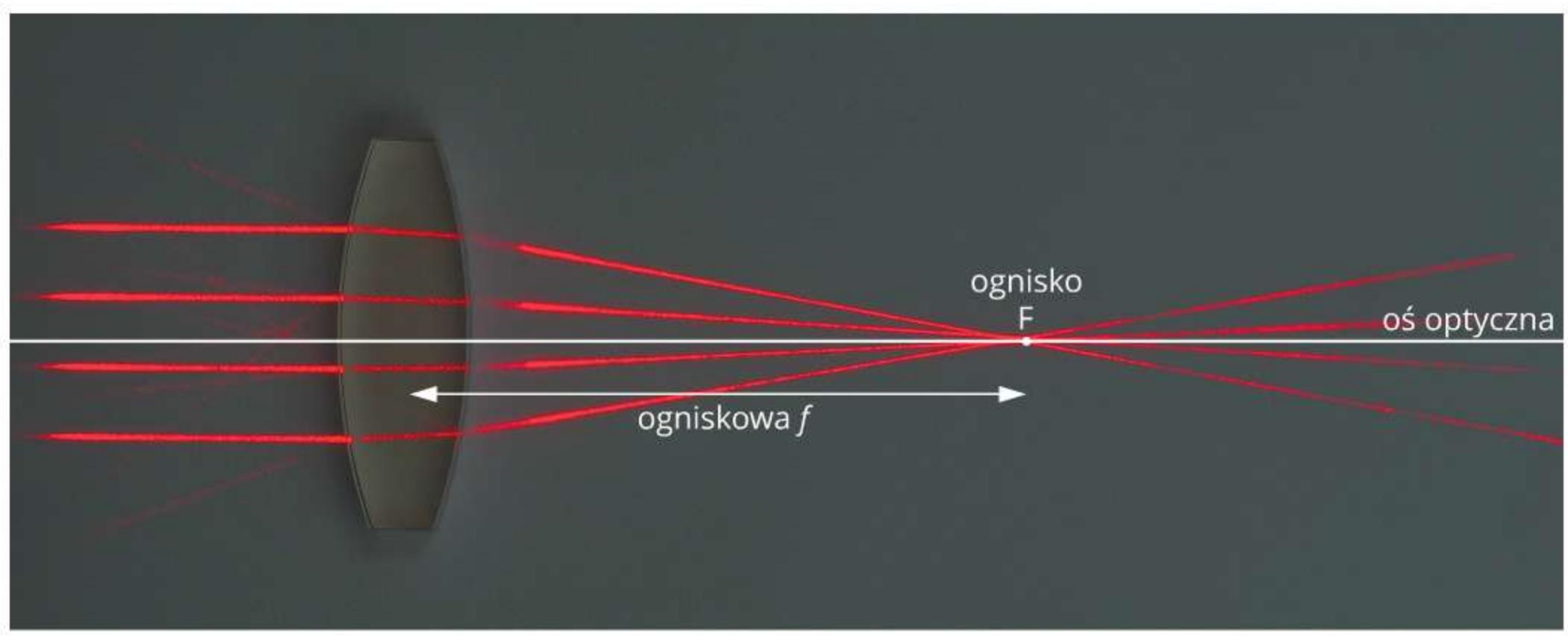


Ryc. 31.2. Skupienie promieni równoległych przez dwa identyczne pryzmaty



Ryc. 31.3. Soczewki skupiające o różnych kształtach (a, b, c) oraz symbol graficzny soczewki skupiającej stosowany na schematach (d)

Gdy na soczewkę skupiającą skierujemy równoległe do jej osi optycznej promienie światła laserowego, to ulegną one załamaniu. Po przejściu przez soczewkę promienie te przetną się w ognisku F soczewki. Ognisko soczewki leży na jej osi optycznej i jest oddalone od środka soczewki o ogniskową *f* (ryc. 31.4.).



Ryc. 31.4. Promienie równoległe do osi optycznej po załamaniu w soczewce skupiają się w ognisku.

Gdy na tę samą soczewkę skierujemy promienie światła z jej drugiej strony, to one również przetną się w ognisku, ale po przeciwnej stronie soczewki. Soczewka ma zatem dwa ogniska.

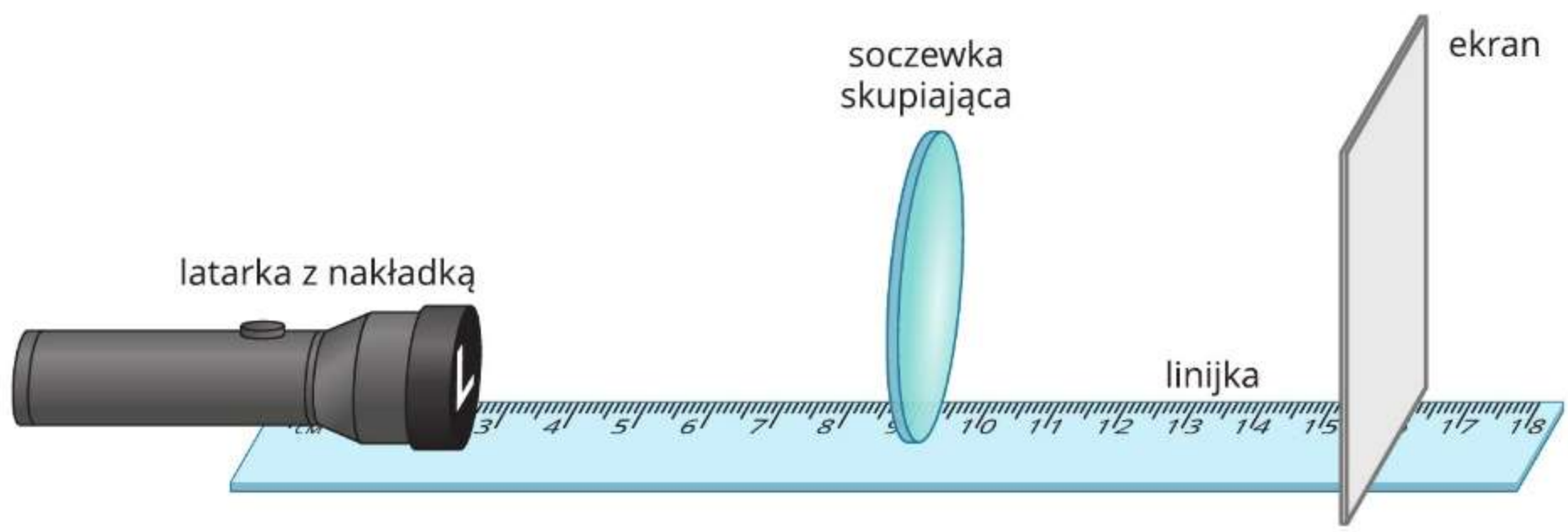
Przykładem soczewki skupiającej jest lupa wykorzystywana m.in. do powiększania tekstu, znaczków pocztowych lub obserwowania przyrody (ryc. 31.5.).

Ryc. 31.5. Lupa powiększająca tekst

Zbadaj to sam!

Badamy powstawanie obrazów na ekranie z użyciem soczewki skupiającej

1. Do doświadczenia będą potrzebne: latarka z kartonową nakładką ze szczeliną w kształcie litery L, soczewka skupiająca (np. lupa), linijka o długości co najmniej 20 cm, plastelina, biały karton.
2. Na stole połóż linijkę, a na niej umieść latarkę tak, aby litera L była ustawiona pionowo. Świecąca litera L będzie przedmiotem.
3. Za pomocą plasteliny przymocuj soczewkę do środka linijki w taki sposób, aby była ustawiona pionowo.
4. Ustaw biały karton za soczewką. Będzie on ekranem, na którym powstanie obraz litery L. Schemat układu doświadczalnego przedstawiono na ilustracji.



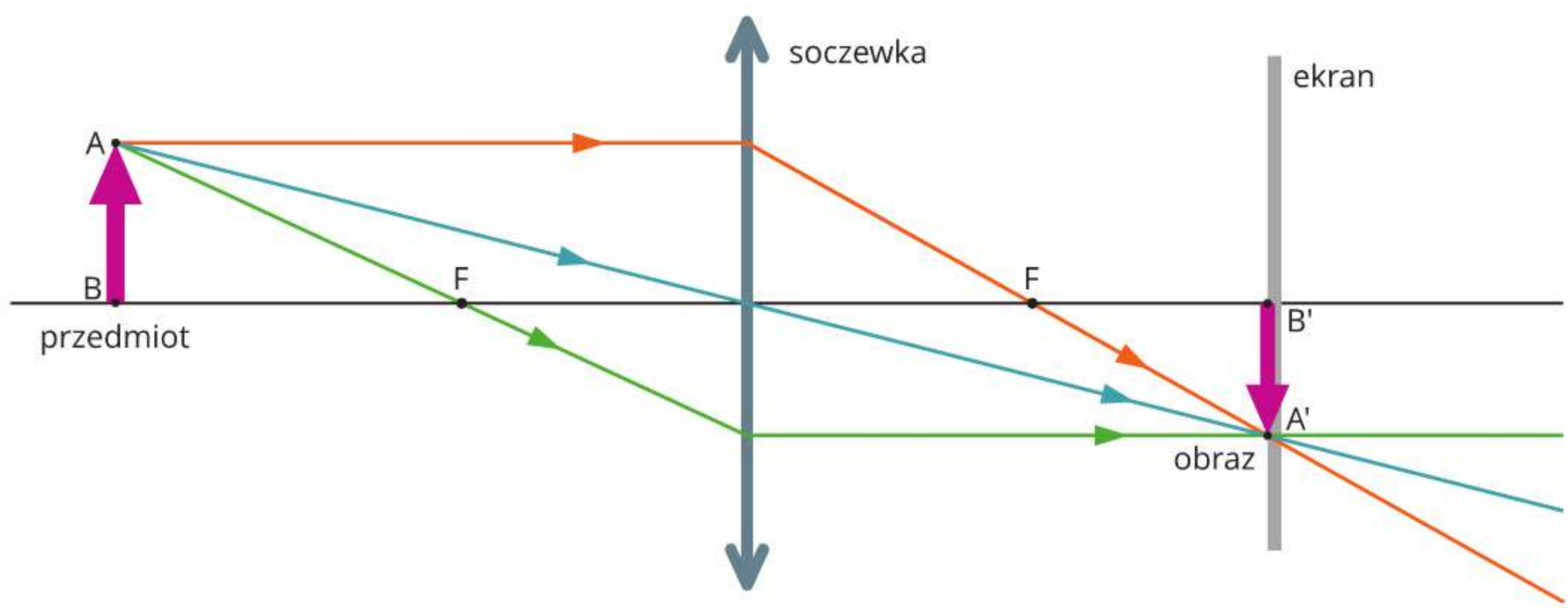
5. Zaciemnij salę oraz włącz latarkę. Zmieniaj odległość latarki i ekranu od soczewki tak, żeby na ekranie otrzymać ostry powiększony obraz litery L.
6. Następnie zmieniaj wzajemne położenie latarki i ekranu tak, żeby otrzymać pomniejszony obraz litery L.
7. Zapisz w zeszycie, jaka była odległość obrazu i odległość przedmiotu od soczewki w każdym przypadku.

Cechy obrazu powstającego w soczewce skupiającej zależą od położenia obiektu względem soczewki. Jeżeli patrzymy przez lupę na przedmiot znajdujący się w odległości mniejszej od jej ogniskowej, to widzimy obraz powiększony. Za pomocą soczewki skupiającej możliwe jest uzyskanie także obrazu pomniejszonego. Przeanalizujmy, jak taki obraz powstaje. Niech przedmiotem, którego obraz chcemy otrzymać, będzie strzałka znajdująca się w odległości większej od podwójnej ogniskowej od soczewki (ryc. 31.6.). Aby wyznaczyć położenie obrazu dowolnego punktu strzałki, np. punktu A, wystarczy wybrać dwa promienie spośród trzech opisanych niżej i przedstawionych na ilustracji. Gdy wykonujemy konstrukcję obrazu powstającego po przejściu światła przez soczewkę, promień przechodzący przez symbol soczewki rysujemy jako załamujący się tylko raz, na środku soczewki. W rzeczywistości promień załamuje się dwukrotnie − na obu powierzchniach soczewki.

Promień biegnący równolegle do osi optycznej (pomarańczowy) po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko po jej drugiej stronie. Promień biegnący przez środek soczewki (niebieski) przechodzi przez nią bez zmiany kierunku. Promień biegnący przez ognisko soczewki (zielony) po przejściu przez soczewkę biegnie równolegle do jej osi optycznej. Promienie przecinają się w punkcie A', który jest obrazem punktu A. Ponieważ strzałka jest prostopadła do osi optycznej, jej obraz również jest prostopadły do tej osi. Obraz punktu B leżącego na osi optycznej także na niej leży – jest to punkt B'. Obraz całej strzałki otrzymujemy przez połączenie obrazu jej początku i obrazu jej końca. Otrzymany obraz jest rzeczywisty (bo powstaje w miejscu przecięcia promieni, a nie ich przedłużeń, oraz można go zobaczyć na ekranie), odwrócony oraz pomniejszony. Aby otrzymać na ekranie ostry obraz przedmiotu, ekran należy umieścić w miejscu przecięcia promieni.

Gdybyśmy przedmiot ustawiali coraz dalej od soczewki, wówczas obraz tego przedmiotu byłby coraz mniejszy. Gdyby przedmiot znajdował się w odległości od soczewki równej dwóm ogniskowym, to jego obraz byłby tej samej wielkości co przedmiot.

Obrazy rzeczywiste powstające po przejściu światła przez soczewkę skupiającą są zawsze odwrócone.



Ryc. 31.6. Konstrukcja obrazu przedmiotu znajdującego się w odległości większej niż dwie ogniskowe od soczewki skupiającej

Rozglądaj się wokół!

Zastosowanie soczewek

Soczewki skupiające znajdują zastosowanie w wielu przyrządach optycznych wykorzystywanych na co dzień.

Powiększony obraz w **mikroskopie optycznym** otrzymuje się dzięki dwóm soczewkom skupiającym – pierwszej umieszczonej w obiektywie i drugiej znajdującej się w okularze przyrządu. Obraz roztoczy widoczny w mikroskopie jest większy niż roztocza.

Luneta to przyrząd optyczny, w którym także znajdują się dwie soczewki skupiające. Pozwala ona wyraźnie widzieć odległe obiekty, dzięki czemu jest przydatna na przykład przy obserwacji ptaków. Luneta pozornie przybliża obserwatora do obserwowanego obiektu, np. do sowy.

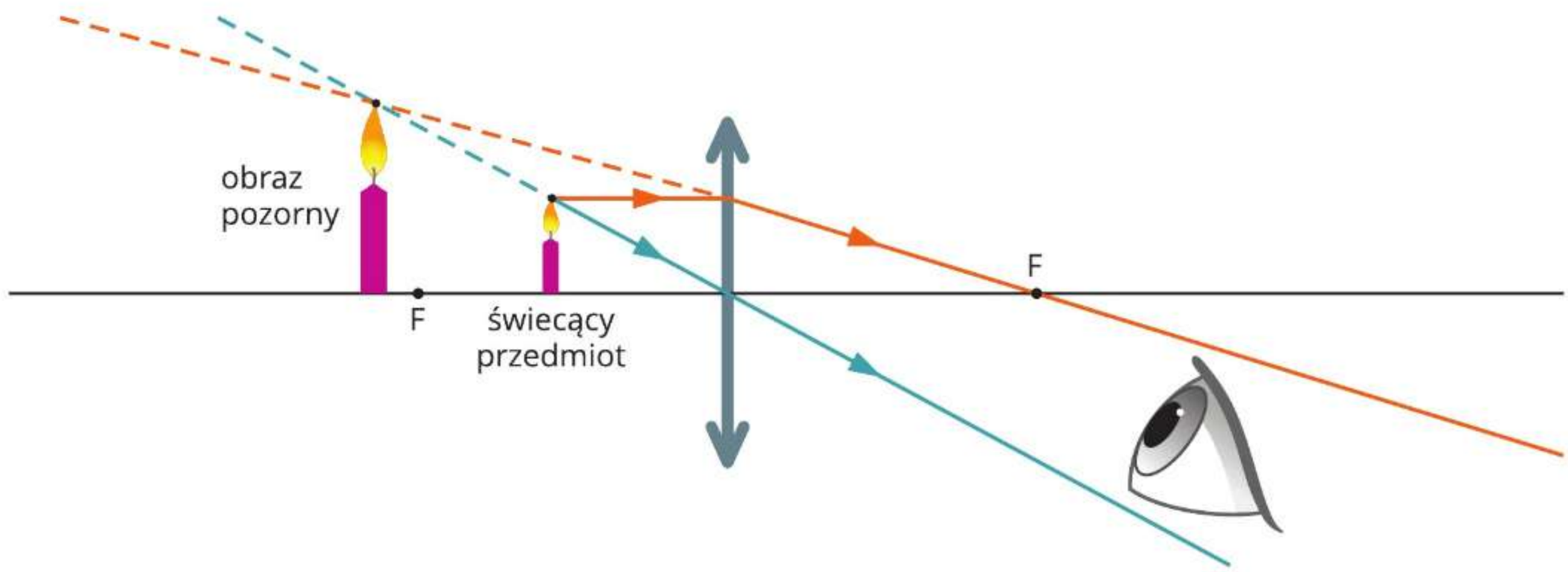
Teleskop optyczny to przyrząd wykorzystywany do obserwacji odległych obiektów takich jak Księżyc lub planety. Także on może być zbudowany z dwóch soczewek skupiających. Teleskopy mogą dawać obrazy proste lub odwrócone. Obraz powierzchni Księżyca powstający w teleskopie nie jest większy od obserwowanego obiektu.

Zobacz, jak to zrobić!

Przed soczewką skupiającą, w odległości mniejszej niż jej ogniskowa, ustawiono świeczkę. Ustalmy, jaki rodzaj obrazu świeczki powstanie dzięki tej soczewce.

Rozwiązanie:

Aby ustalić rodzaj obrazu, należy wykreślić dwa charakterystyczne promienie biegnące na przykład od płomienia świeczki.

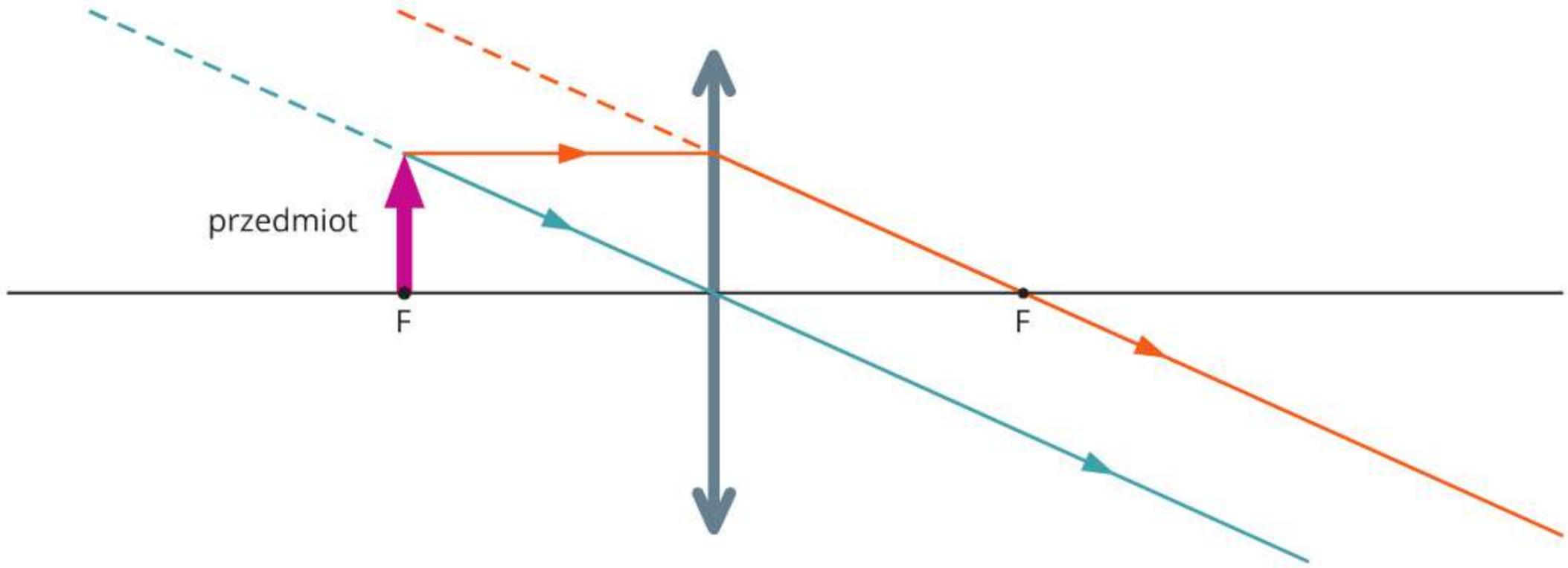


Promień biegnący równolegle do osi optycznej (pomarańczowy) po załamaniu w soczewce przechodzi przez ognisko. Drugi promień biegnący przez środek soczewki (niebieski) nie zmienia kierunku rozchodzenia się. Promienie po przejściu przez soczewkę się nie przecinają. W takiej sytuacji, aby narysować obraz wierzchołka świeczki, należy przedłużyć promienie w przeciwną stronę (linią przerywaną). W miejscu przecięcia się tych przedłużeń powstaje obraz pozorny wierzchołka świeczki. Obraz podstawy świeczki leży na osi optycznej, podobnie jak sama podstawa świeczki. Ponieważ świeczka jest prostopadła do osi optycznej, jej obraz również jest do niej prostopadły. Obraz całej świeczki otrzymujemy po połączeniu obrazu jej wierzchołka i podstawy.

Odpowiedź: Przy takim ustawieniu przedmiotu i soczewki powstał obraz pozorny, powiększony oraz prosty (nieodwrócony).

Obrazy pozorne powstające po przejściu światła przez soczewkę skupiającą są proste i powiększone.

Gdy przedmiot ustawimy w odległości równej ogniskowej soczewki skupiającej, nie otrzymamy jego obrazu (ryc. 31.7.). Promienie poprowadzone od niego po przejściu przez soczewkę są równoległe, a zatem się nie przecinają. Także ich przedłużenia poprowadzone w przeciwną stronę się nie przecinają.



Ryc. 31.7. Bieg promieni światła w przypadku, gdy przedmiot znajduje się w odległości równej ogniskowej soczewki skupiającej.

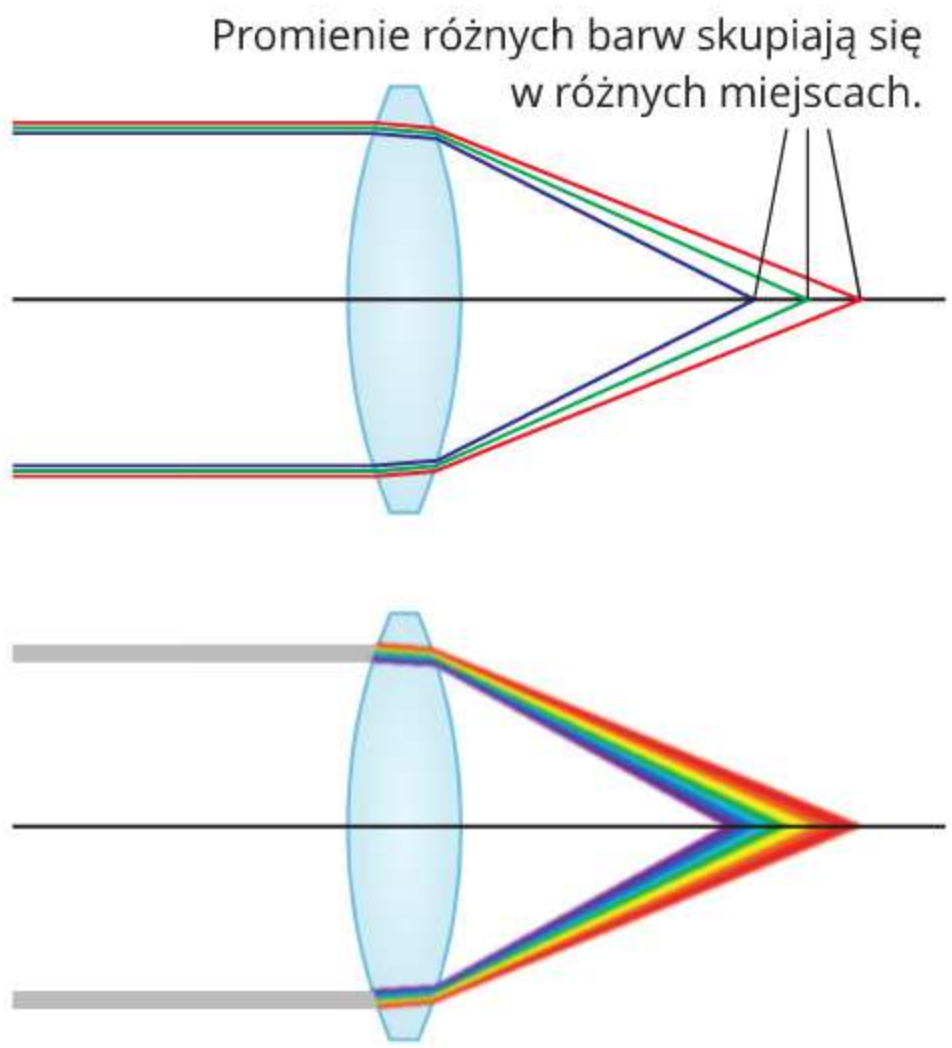
Tabela 31.1. Cechy obrazu w zależności od odległości przedmiotu od soczewki

Odległość *x* przedmiotu od soczewki	Cechy obrazu
$x < f$	pozorny, prosty, powiększony
$x = f$	brak obrazu (promienie równoległe)
$f < x < 2f$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x = 2f$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot
$x > 2f$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony

Dowiedz się więcej!

Aberracja chromatyczna

Gdy na soczewkę pada wiązka światła białego, na granicy ośrodków ulega ona rozszczepieniu (podobnie jak w pryzmacie), gdyż każda ze składowych światła białego załamuje się pod innym kątem. Wobec tego położenie ogniska dla każdej ze składowych jest także trochę inne. Nie ma jednego punktu, w którym zbiegają się wszystkie promienie świetlne o różnych barwach. W rezultacie wokół obserwowanych przedmiotów widzimy kolorową obwódkę, a powstały w soczewce obraz jest rozmyty. Zjawisko to nosi nazwę aberracji chromatycznej i jest wyraźnie widoczne zwłaszcza dla grubych soczewek. Pogarsza ono jakość obrazu szczególnie przy obserwacjach prowadzonych za pomocą lunety. Wadę tę koryguje się poprzez stosowanie dodatkowych soczewek wykonanych z różnych rodzajów szkła.

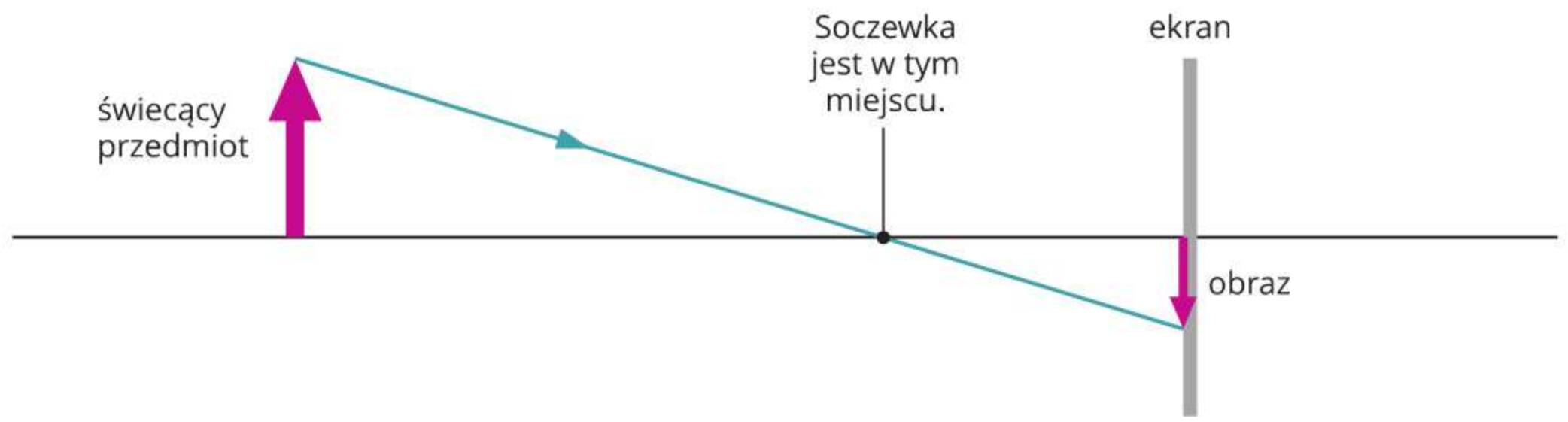


Zobacz, jak to zrobić!

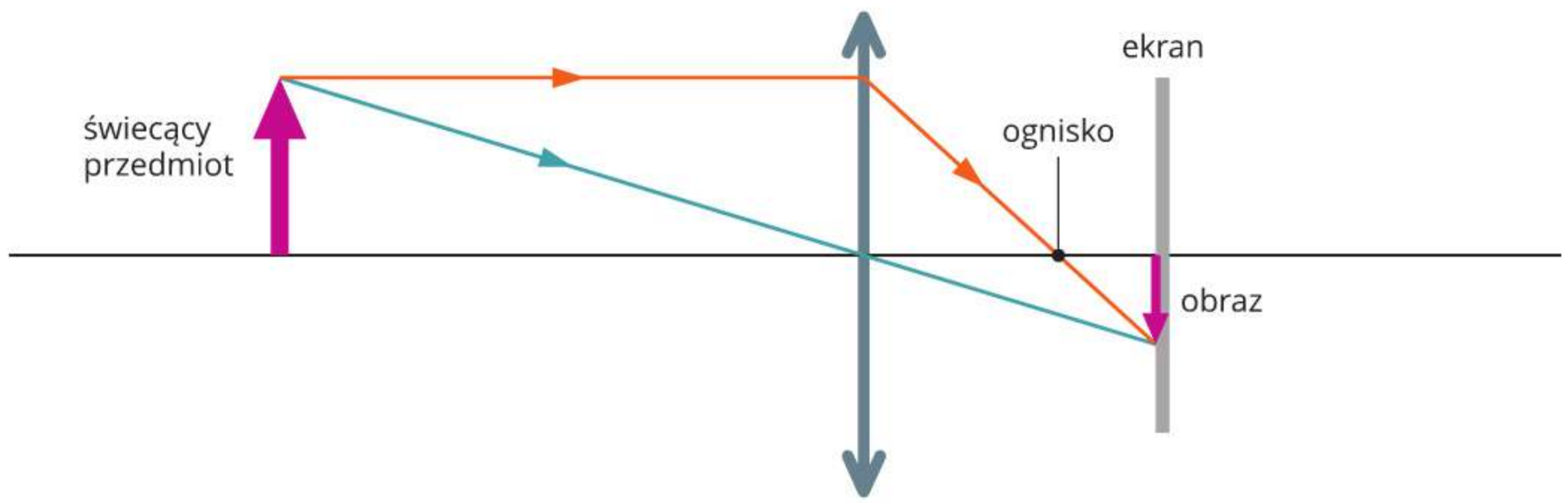
Ekran ustawiono w odległości 20 cm od świecącego przedmiotu. Gdy pomiędzy przedmiotem a ekranem ustawiono soczewkę skupiającą, to na ekranie powstał ostry odwrócony obraz tego przedmiotu, dwa razy mniejszy niż przedmiot. Wyznaczmy konstrukcyjnie położenie soczewki oraz położenie jej ogniska.

Rozwiązanie:

Rysujemy promień wychodzący z wierzchołka przedmiotu i dochodzący do wierzchołka obrazu. Promień ten nie zmienia kierunku rozchodzenia się podczas załamania w soczewce. Dlatego przecięcie tego promienia z osią optyczną wyznacza położenie soczewki.



W wyznaczonym miejscu należy narysować symbol soczewki. Następnie rysujemy promień wychodzący z wierzchołka przedmiotu i biegnący równolegle do osi optycznej, który po załamaniu w soczewce dochodzi do wierzchołka obrazu. Miejsce przecięcia tego promienia z osią optyczną wyznacza położenie ogniska soczewki.



Podsumujmy!

- **Soczewka sferyczna** to ciało przezroczyste ograniczone przynajmniej z jednej strony powierzchnią będącą fragmentem sfery.
- **Soczewka sferyczna skupiająca** to soczewka najgrubsza pośrodku, czyli tam, gdzie przebiega oś optyczna.
- **Obrazy rzeczywiste** powstające po przejściu światła przez soczewkę skupiającą są zawsze odwrócone.
- **Obrazy pozorne** powstające po przejściu światła przez soczewkę skupiającą są zawsze proste i powiększone.

Sprawdź się!

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

1.	W ognisku soczewki skupiającej przecinają się promienie, które przed dotarciem do soczewki biegły równolegle do jej osi optycznej.	**P**	**F**
2.	Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku rozchodzenia się.	**P**	**F**
3.	Obraz pozorny przedmiotu powstaje po przeciwnej stronie soczewki niż ta, po której znajduje się ten przedmiot.	**P**	**F**
4.	Obrazy rzeczywiste mogą być powiększone, pomniejszone lub tej samej wielkości co przedmiot.	**P**	**F**

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Jeśli przedmiot znajduje się w odległości równej połowie ogniskowej od soczewki skupiającej, jego obraz powstający po przejściu światła przez tę soczewkę jest

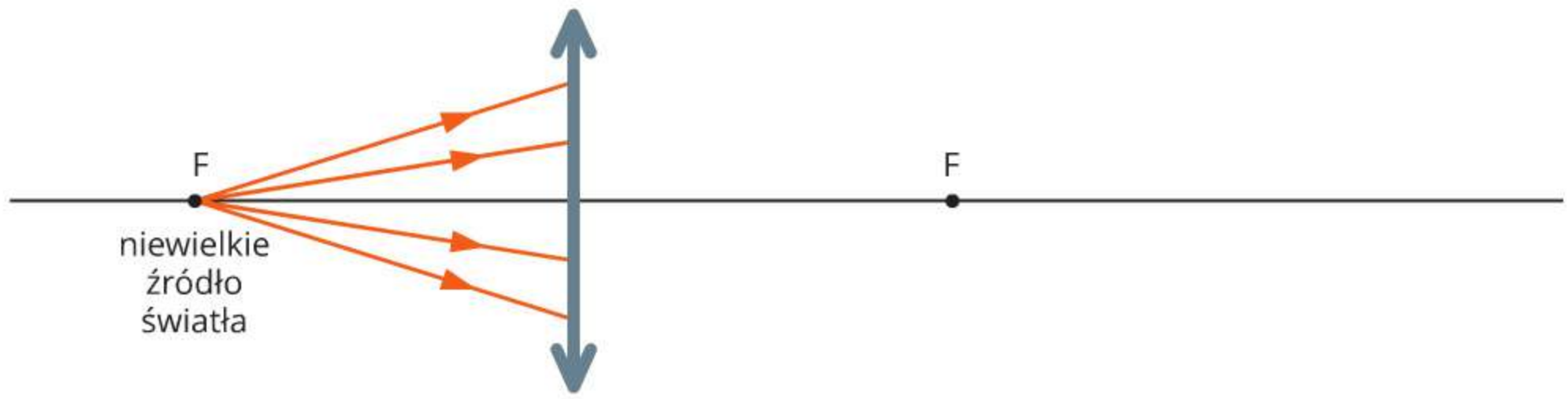
A. rzeczywisty, powiększony, prosty.

B. pozorny, powiększony, prosty.

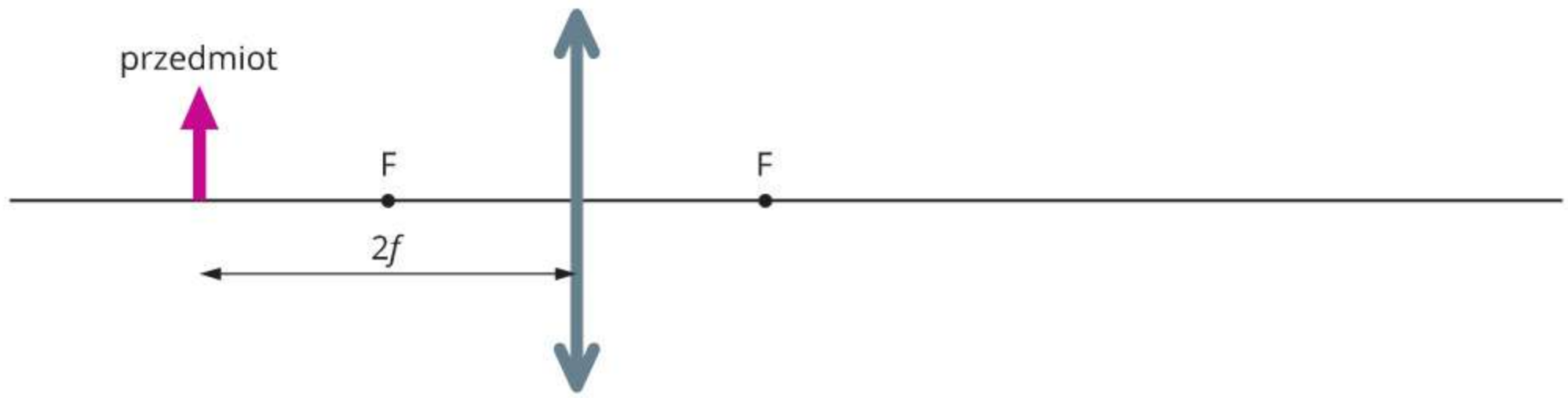
C. rzeczywisty, pomniejszony, odwrócony.

D. pozorny, pomniejszony, odwrócony.

3. W ognisku soczewki skupiającej umieszczono niewielkie źródło światła. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj na nim bieg promieni po przejściu przez soczewkę.



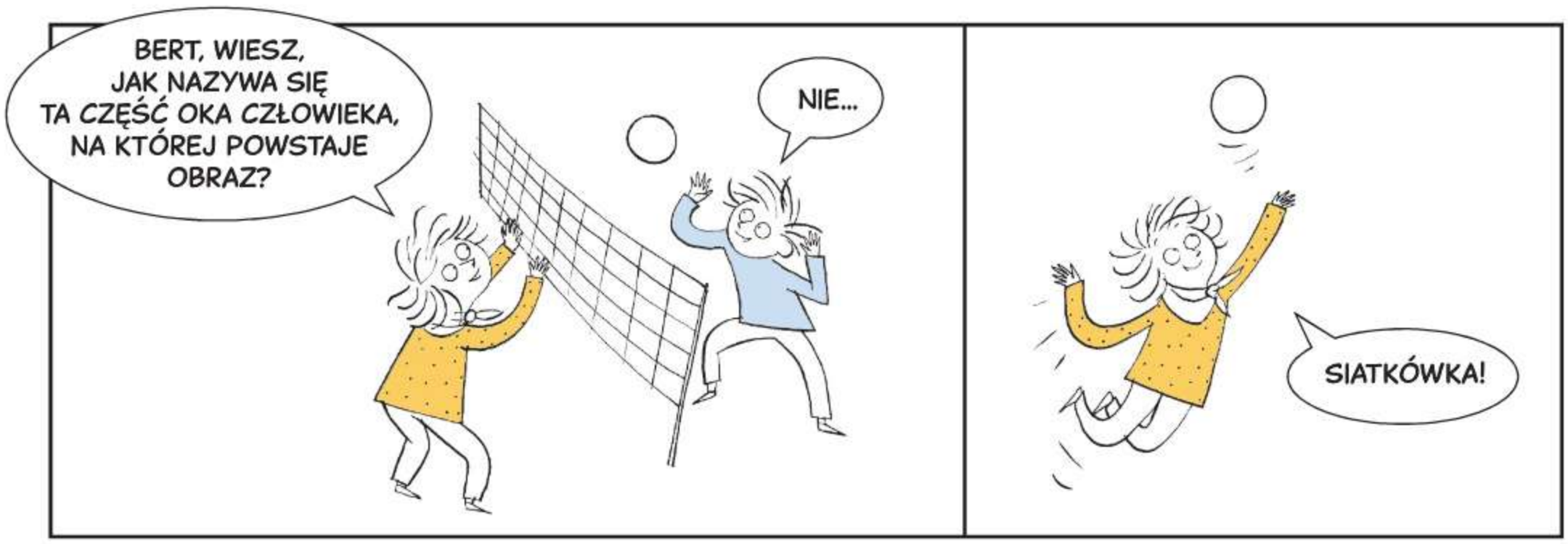
4. Przedmiot ustawiono w odległości równej dwóm ogniskowym od soczewki skupiającej. Przerysuj rysunek do zeszytu i wykreśl bieg promieni pozwalający ustalić, jaki obraz powstanie dzięki tej soczewce. Podaj cechy tego obrazu.



5. Pomiędzy przedmiotem a ekranem ustawiono soczewkę. Na ekranie powstał powiększony obraz przedmiotu. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj bieg promieni pozwalający ustalić położenie soczewki i położenie jej ogniska.

32. Soczewki rozpraszające. Krótkowzroczność i dalekowzroczność

- Czym jest soczewka rozpraszająca?
- Na czym polegają krótkowzroczność i dalekowzroczność?



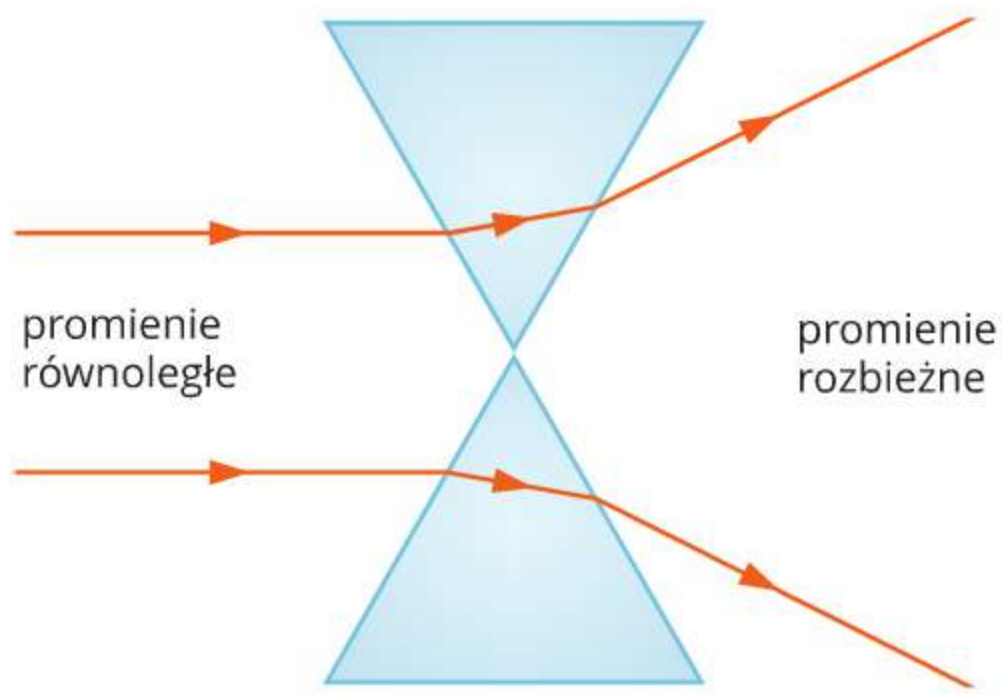
Obrazy świata wokół nas rejestrujemy za pomocą oczu. Poprawne widzenie wymaga uzyskania na siatkówce oka ostrego obrazu otaczających nas przedmiotów. Obraz w oku człowieka powstaje po przejściu światła przez soczewkę skupiającą oka. Niektórzy ludzie potrzebują okularów korekcyjnych lub szkieł kontaktowych, żeby lepiej widzieć. Służą do tego różne soczewki, które skupiają promienie światła lub powodują, że są one rozbieżne (ryc. 32.1.). To, jak zachowa się wiązka promieni światła po przejściu przez te dodatkowe soczewki, zależy przede wszystkim od ich kształtu. Dobór odpowiednich soczewek sprawia, że na siatkówce oka powstaje ostry obraz.

Ryc. 32.1. W okularach korekcyjnych znajdują się soczewki.

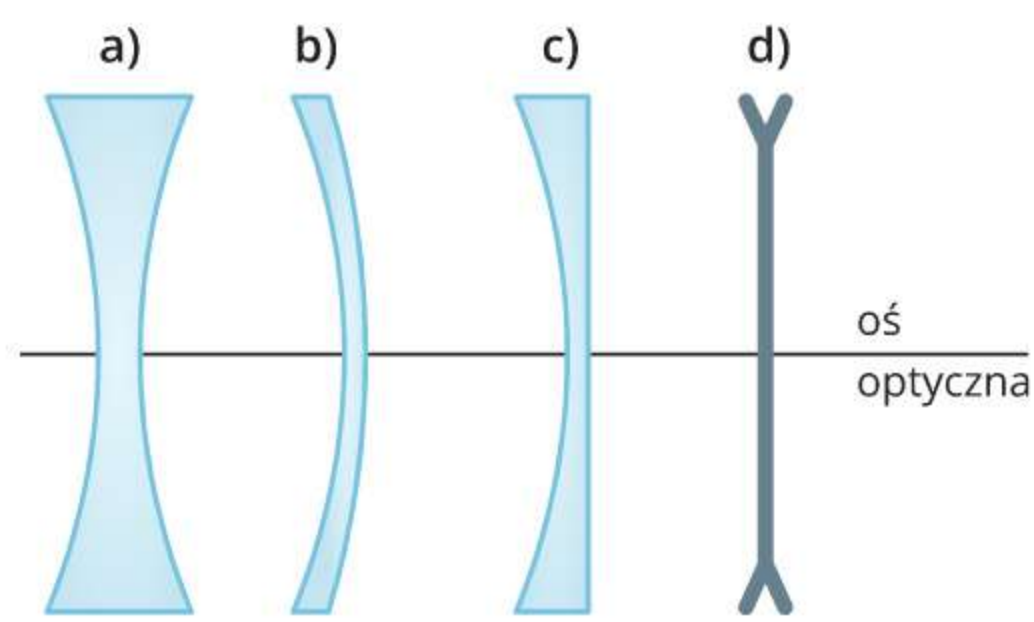
Rozbieżną wiązkę światła można otrzymać w wyniku załamania światła w szkle lub tworzywie sztucznym. Można to zaobserwować na przykład wtedy, gdy na dwa identyczne szklane pryzmaty

stykające się krawędziami bocznymi skierujemy dwa równoległe promienie światła laserowego w taki sposób, że każdy z nich przechodzi przez jeden z pryzmatów (ryc. 32.2.). Oba promienie podczas przechodzenia przez pryzmat dwukrotnie się załamują, a po wyjściu z pryzmatów rozchodzą się na zewnątrz.

Podobnie rozbieżną wiązkę światła można otrzymać w soczewce rozpraszającej. Jest to taka soczewka sferyczna, która jest najcieńsza na środku, czyli tam, gdzie przebiega oś optyczna. Gdy soczewka rozpraszająca ma dwie powierzchnie wklęsłe, nazywamy ją dwuwklęsłą (ryc. 32.3.a), a gdy ma jedną powierzchnię wypukłą i jedną wklęsłą – nazywamy ją wypukło-wklęsłą (ryc. 32.3.b). Istnieją również soczewki rozpraszające nazywane płasko-wklęsłymi, których jedna powierzchnia jest płaska, a druga jest wklęsłą częścią sfery (ryc. 32.3.c). Na schematach soczewki rozpraszające oznaczamy odpowiednim symbolem graficznym (ryc. 32.3.d).

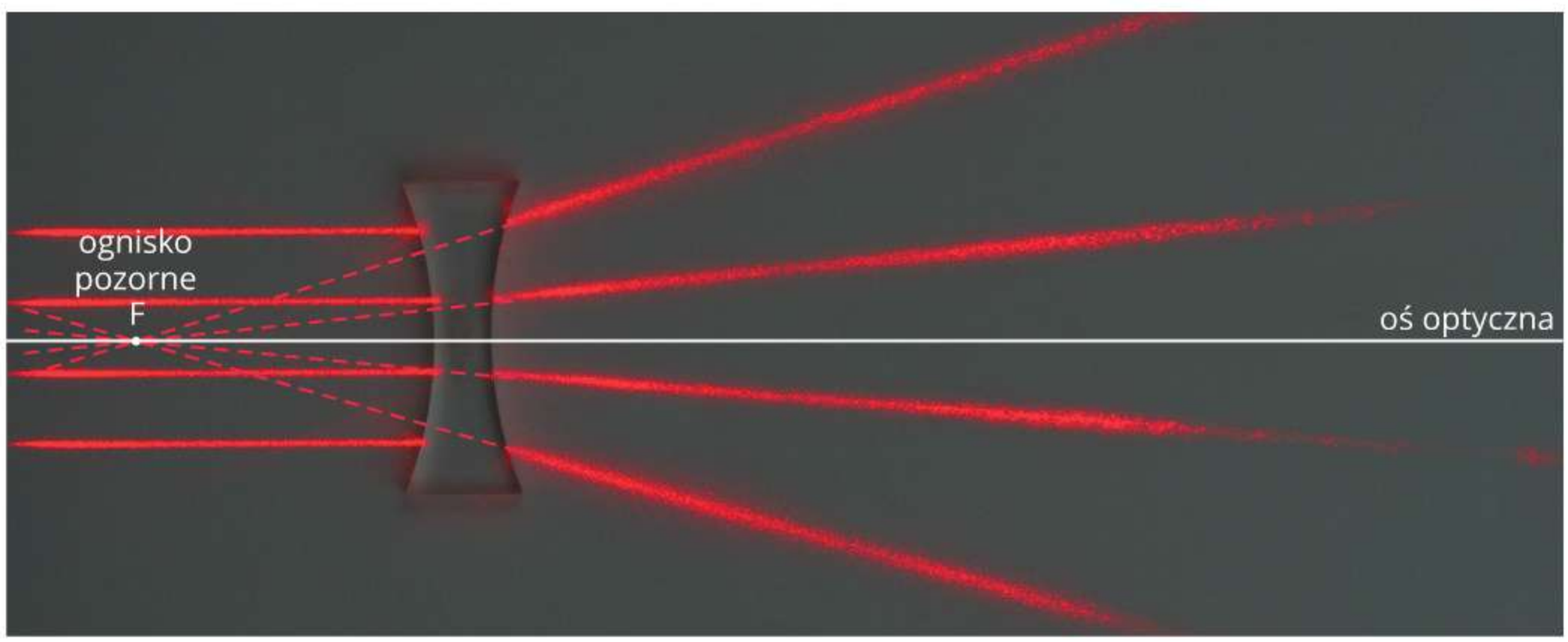


Ryc. 32.2. Przejście promieni równoległych przez dwa pryzmaty stykające się krawędziami



Ryc. 32.3. Różne kształty soczewek rozpraszających (a, b, c) oraz symbol graficzny soczewki rozpraszającej (d) stosowany na schematach

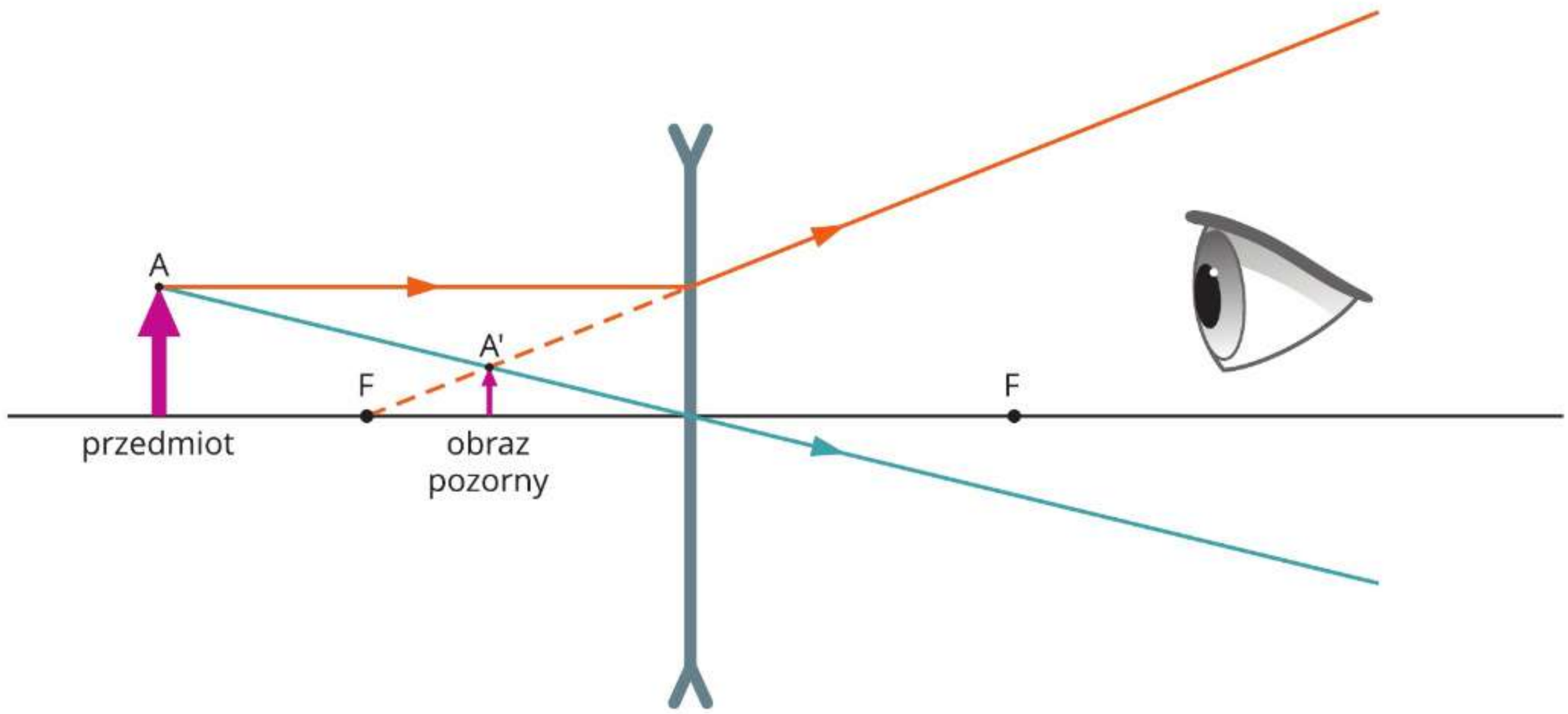
Gdy na soczewkę rozpraszającą skierujemy równoległe do jej osi optycznej promienie światła laserowego, to ulegną one załamaniu i utworzą wiązkę rozbieżną. Gdy poprowadzimy przedłużenia tych promieni, to przetną się one w jednym punkcie – w ognisku pozornym. Tak samo zachowają się promienie równoległe do osi optycznej, padające na soczewkę z drugiej strony. Dlatego mówimy, że soczewka rozpraszająca ma dwa ogniska pozorne.



Ryc. 32.4. Promienie równoległe do osi optycznej po załamaniu w soczewce rozpraszającej tworzą wiązkę rozbieżną.

Przeanalizujmy, jak powstaje obraz uzyskany za pomocą soczewki rozpraszającej. Niech przedmiotem, którego obraz chcemy otrzymać, będzie strzałka znajdująca się w pewnej odległości od soczewki (ryc. 32.5.). Do konstrukcji obrazu punktu A (wierzchołka strzałki) wystarczą dwa promienie. Promień biegnący początkowo równolegle do osi optycznej (pomarańczowy) po załamaniu w soczewce biegnie w taki sposób, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne. Promień padający na środek soczewki (niebieski) przechodzi przez nią bez zmiany kierunku. W miejscu przecięcia się tego promienia oraz przedłużenia pierwszego promienia powstaje obraz wierzchołka strzałki (punkt A'). Obraz ten jest pozorny (bo powstaje w miejscu przecięcia jednego promienia z przedłużeniem drugiego i nie można go zobaczyć na ekranie), prosty (nieodwrócony) oraz pomniejszony.

Niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki dzięki soczewce rozpraszającej otrzymujemy zawsze obraz pozorny, prosty i pomniejszony.



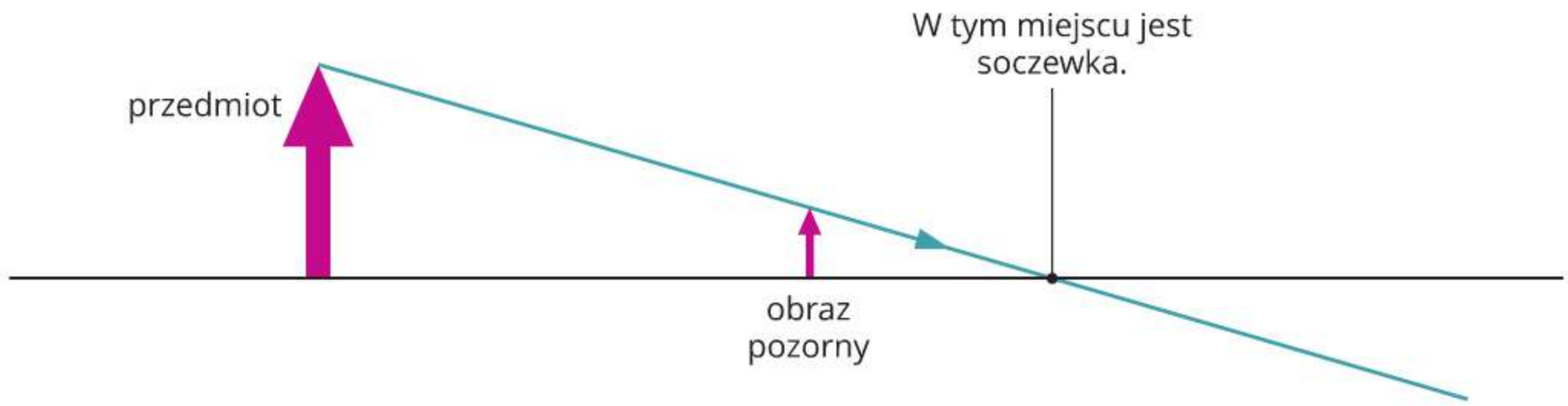
Ryc. 32.5. Konstrukcja obrazu przedmiotu w soczewce rozpraszającej

Zobacz, jak to zrobić!

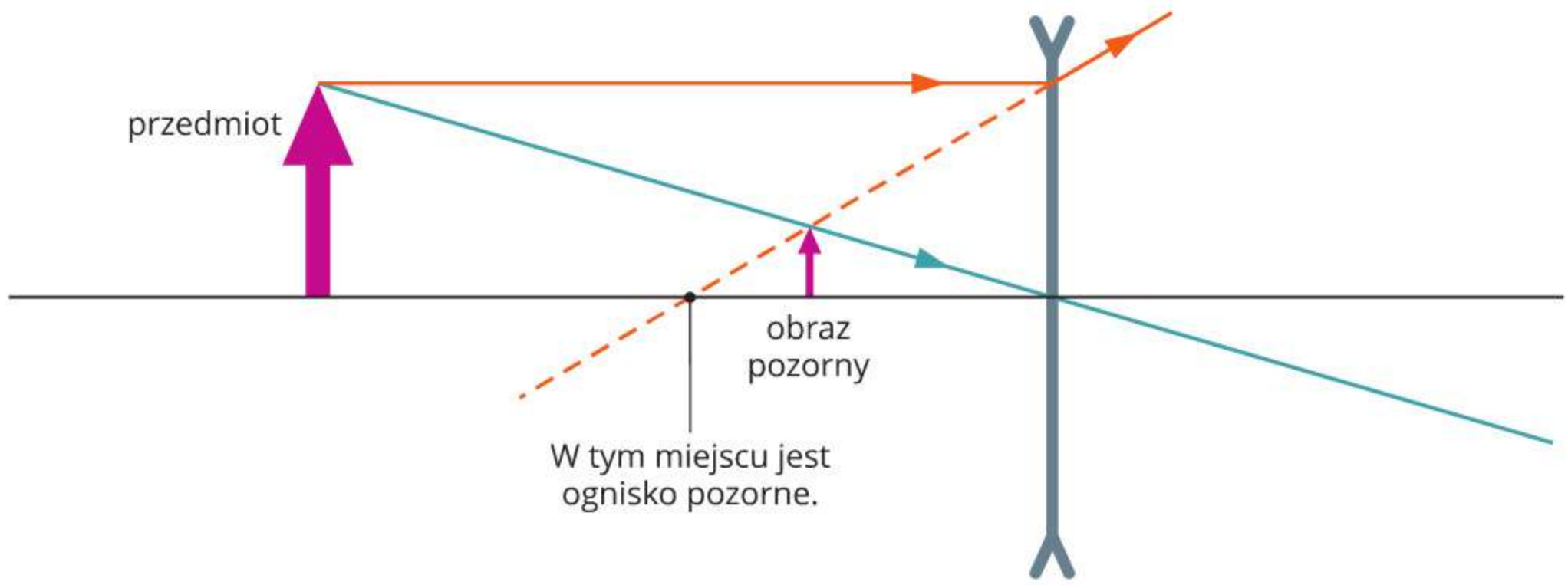
Za pomocą soczewki rozpraszającej otrzymano pomniejszony obraz przedmiotu. Obraz ten znajdował się bliżej soczewki niż przedmiot i był od niego 3 razy mniejszy. Wyznaczmy konstrukcyjnie położenie środka soczewki oraz położenie jej ogniska.

Rozwiązanie:

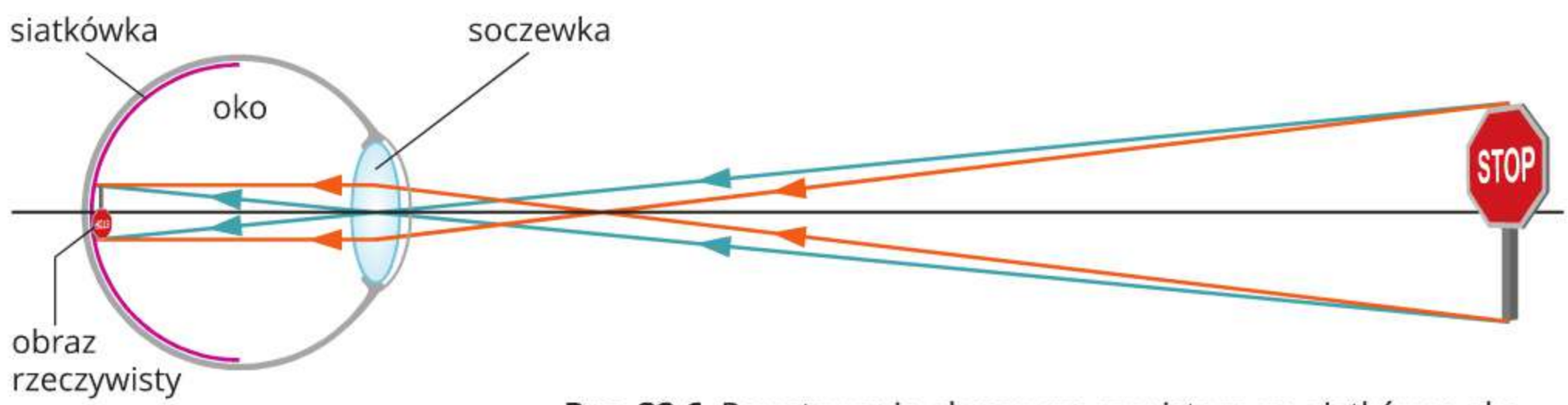
Rysujemy promień wychodzący z wierzchołka przedmiotu i przechodzący przez wierzchołek obrazu. Jest to promień, który nie zmienia kierunku rozchodzenia się podczas przechodzenia przez soczewkę, czyli taki, który przechodzi przez jej środek. Dlatego przecięcie tego promienia z osią optyczną wyznacza położenie soczewki.



W wyznaczonym miejscu należy narysować symbol soczewki. Następnie rysujemy promień wychodzący z wierzchołka przedmiotu, biegnący równolegle do osi optycznej. Kierunek rozchodzenia się tego promienia po załamaniu w soczewce rysujemy tak, aby jego przedłużenie przechodziło przez wierzchołek obrazu. Przecięcie tego przedłużenia z osią optyczną wyznacza położenie ogniska pozornego soczewki.



F Oko jest narządem pozwalającym człowiekowi widzieć świat. Światło dociera do wnętrza oka przez soczewkę oka – jest to soczewka skupiająca. Ostry obraz przedmiotów powstaje w środku gałki ocznej, na jej tylnej powierzchni, czyli na siatkówce. Ten obraz jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony (ryc. 32.6.). Podczas przetwarzania wrażeń wzrokowych przez nasz mózg obraz ten jest odwracany, dlatego nie widzimy świata „do góry nogami".



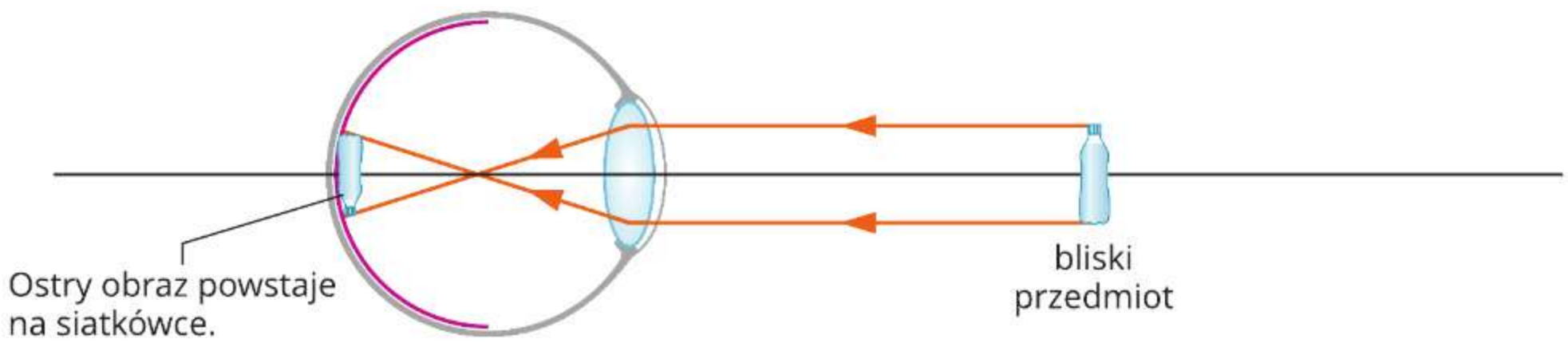
Ryc. 32.6. Powstawanie obrazu rzeczywistego na siatkówce oka

Prawidłowo działające oko pozwala na ostre widzenie obiektów znajdujących się zarówno blisko nas, jak i daleko od nas. Doświadczenia z soczewką skupiającą (np. *Zbadaj to sam!* s. 255) pokazują, że to, w jakiej odległości od soczewki powstaje ostry obraz, zależy od odległości przedmiotu od tej soczewki. Jednak w oku ostry obraz powinien zawsze powstać na siatkówce, której odległość od soczewki oka jest stała. Aby było to możliwe, ogniskowa soczewki oka powinna zmieniać się za każdym razem, gdy zmieni się odległość człowieka od przedmiotu, na który patrzy. Umożliwiają to mięśnie gałki ocznej, które mogą zmieniać kształt soczewki, a w rezultacie jej ogniskową.

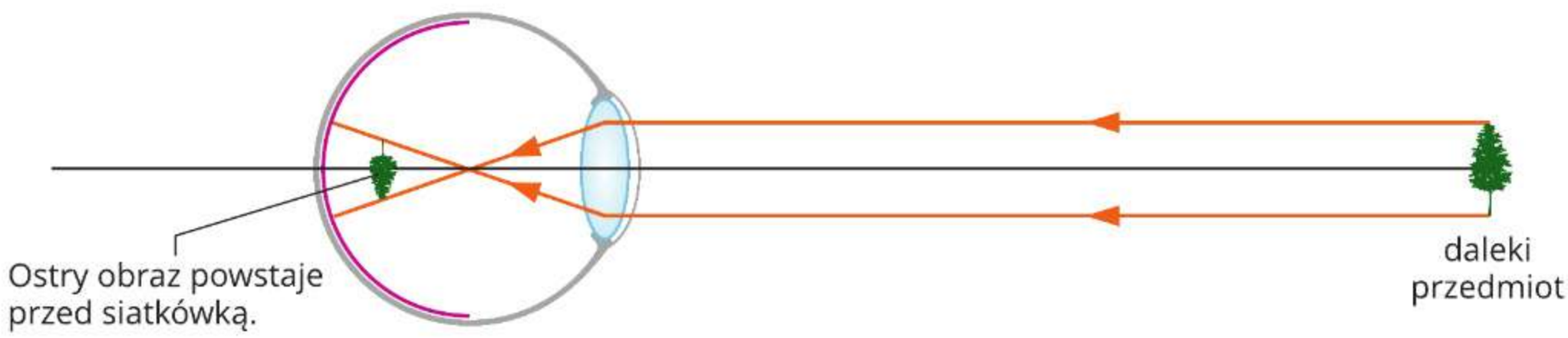
Oko może jednak działać nieprawidłowo w wyniku różnych wad wzroku. Najczęstsze z nich to krótkowzroczność, czyli nieostre widzenie przedmiotów znajdujących się w dużej odległości od oka, i dalekowzroczność, czyli nieostre widzenie przedmiotów znajdujących się blisko.

Krótkowidz dobrze widzi obiekty znajdujące się w niedużej odległości od oka (ryc. 32.7.a), a słabiej – znajdujące się dalej. Obraz odległego przedmiotu w oku krótkowidza powstaje przed siatkówką (ryc. 32.7.b), więc obraz na siatkówce jest nieostry. Przyczyny krótkowzroczności bywają różne, np. może ona wynikać z budowy oka. Do skorygowania tej wady wzroku używamy okularów z soczewkami rozpraszającymi lub rozpraszających soczewek kontaktowych. Sprawiają one, że ostry obraz przedmiotu tworzy się na siatkówce (ryc. 32.7.c).

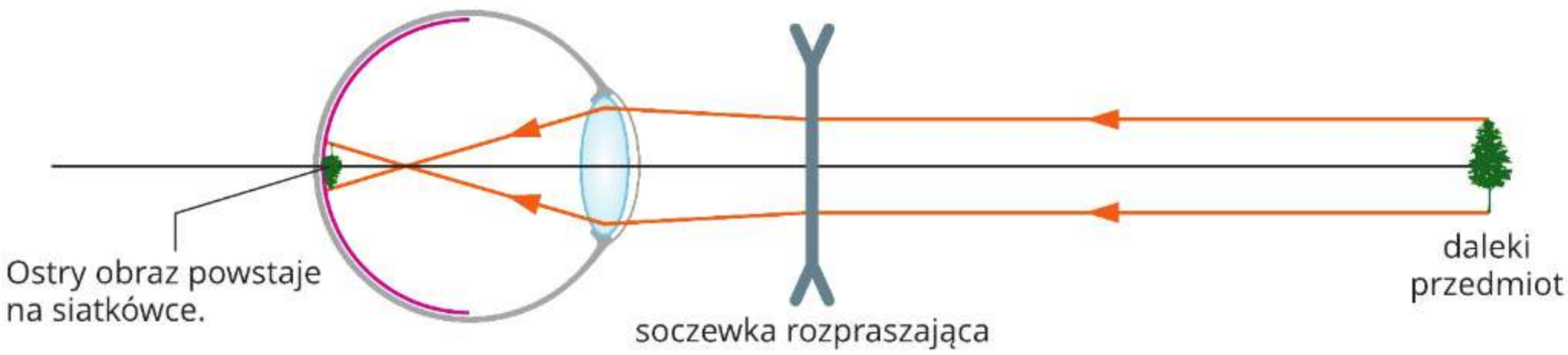
a) Gry krótkowidz patrzy na coś, co jest blisko niego.



b) Gdy krótkowidz patrzy na odległy przedmiot.



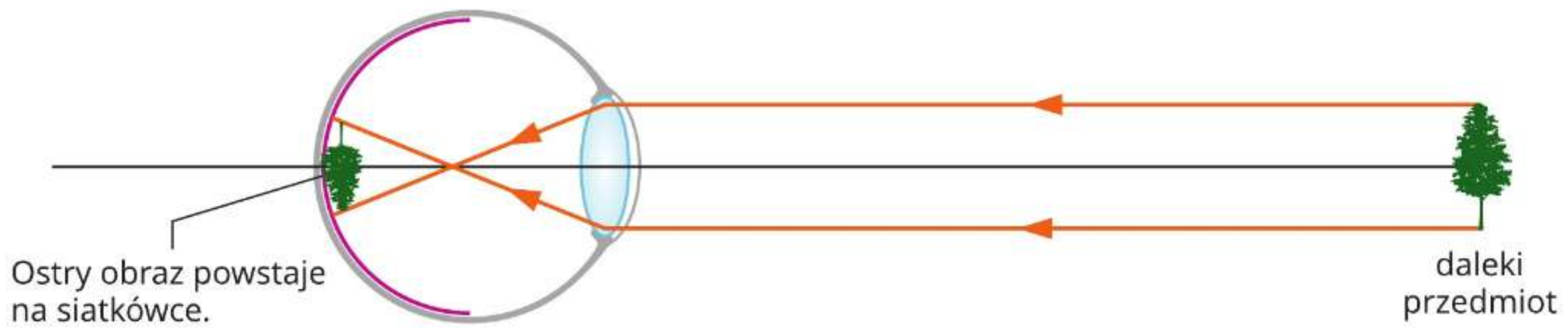
c) Gdy krótkowidz patrzy na odległy przedmiot przez soczewkę rozpraszającą.



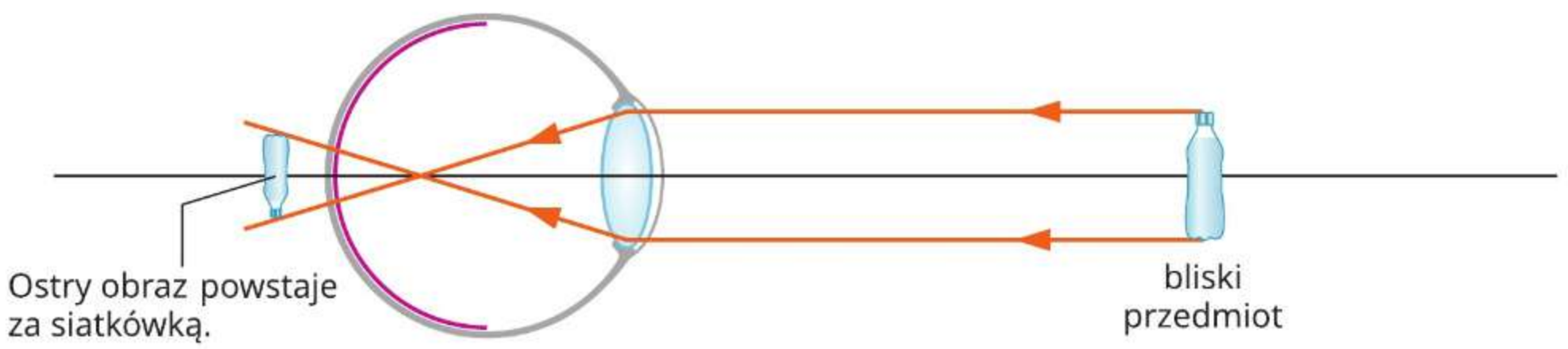
Ryc. 32.7. Bieg promieni padających na oko krótkowidza: od bliskiego przedmiotu (a), od odległego przedmiotu (b), od odległego przedmiotu, ale po umieszczeniu przed okiem soczewki rozpraszającej (c)

F Dalekowidz dobrze widzi obiekty znajdujące się w dużej odległości od oka (ryc. 32.8.a), a słabiej – znajdujące się blisko. Obraz bliskiego przedmiotu w oku dalekowidza powstaje za siatkówką oka (ryc. 32.8.b), więc obraz na siatkówce jest nieostry. Do skorygowania tej wady wzroku używa się okularów z soczewkami skupiającymi lub skupiających soczewek kontaktowych. Soczewki te sprawiają, że ostry obraz bliskiego przedmiotu powstaje na siatkówce (ryc. 32.8.c).

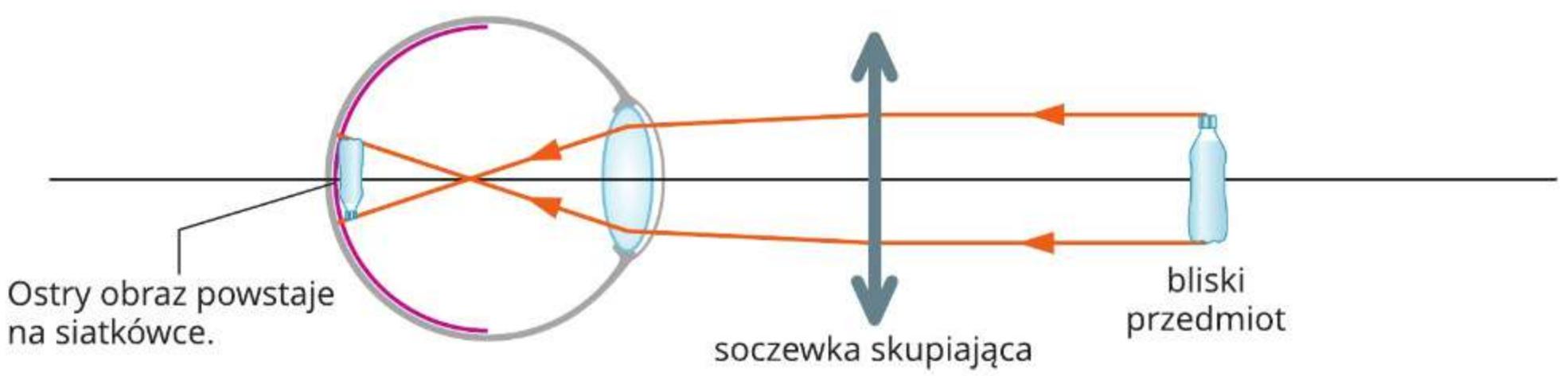
a) Gdy dalekowidz patrzy na coś, co jest daleko od niego.



b) Gdy dalekowidz patrzy na bliski przedmiot.



c) Gdy dalekowidz patrzy na bliski przedmiot przez soczewkę skupiającą.



Ryc. 32.8. Bieg promieni padających na oko dalekowidza: od dalekiego przedmiotu (a), od bliskiego przedmiotu (b), od bliskiego przedmiotu, ale po umieszczeniu przed okiem soczewki skupiającej (c)

Na ilustracjach 32.7. oraz 32.8. przedstawiono bieg dwóch promieni wychodzących z dwóch skrajnych punktów każdego przedmiotu. Każdy z tych promieni wychodzi z innego punktu, nie można zatem uznać tych rysunków za konstrukcje powstawania obrazów. Aby powstała konstrukcja, z każdego ze skrajnych punktów powinny wybiegać co najmniej dwa promienie. W miejscu przecięcia promieni biegnących z jednego punktu powstałby obraz tego punktu, a obrazy dwóch skrajnych punktów przedmiotu pozwoliłyby na narysowanie obrazu całego przedmiotu. Tu zrezygnowano z konstrukcji, żeby ilustracje były bardziej przejrzyste.

Dowiedz się więcej!

Zdolność skupiająca soczewki

Zdolność skupiająca soczewki to wielkość opisująca, jak bardzo zmienia się bieg wiązki światła podczas przechodzenia przez soczewkę, czyli jak bardzo soczewka skupia lub rozprasza światło. Zdolność skupiającą *Z* soczewki można obliczyć ze wzoru:

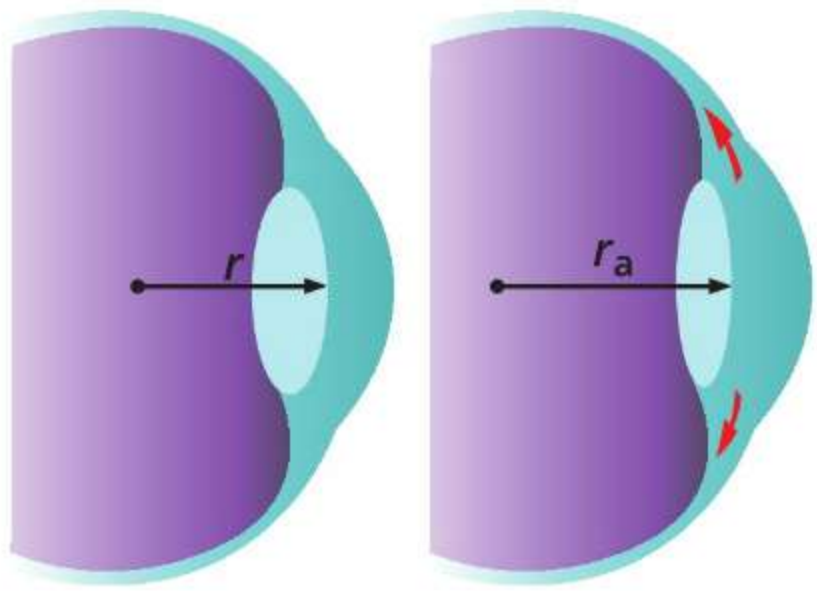
$$Z = \frac{1}{f}$$

gdzie *f* jest ogniskową wyrażoną w metrach.

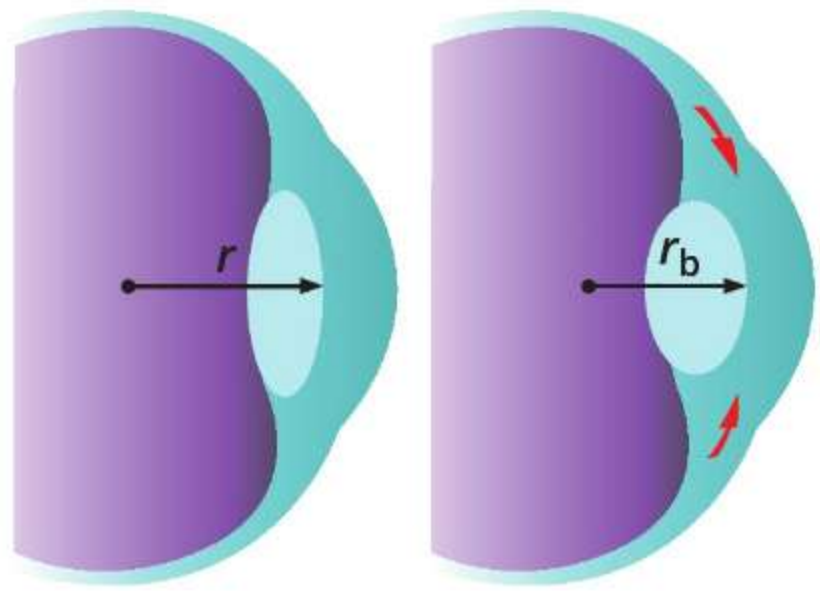
Jednostką zdolności skupiającej soczewki jest dioptria. Soczewka o zdolności skupiającej 1 dioptrii ma ogniskową 1 m. Przyjmujemy, że soczewki skupiające mają dodatnią zdolność skupiającą, a soczewki rozpraszające – ujemną. Dlatego okulary dalekowidzów to tzw. „plusy", a okulary krótkowidzów to „minusy".

Zdolność skupiająca soczewki zależy zatem od jej ogniskowej, natomiast ogniskowa soczewki zależy m.in. od promienia krzywizny *r* powierzchni tej soczewki. Dlatego, gdy mięśnie gałki ocznej zmieniają kształt soczewki oka, zmienia się jej zdolność skupiająca. Na ilustracji poniżej promień krzywizny *r* odpowiada sytuacji, w której mięśnie gałki ocznej nie są napięte. Promień krzywizny soczewki oka zwiększa się ($r_a > r$), gdy obserwujemy przedmioty znajdujące się daleko (a), a maleje ($r_b < r$), gdy patrzymy na przedmioty znajdujące się w niewielkiej odległości (b). Proces ten nazywamy akomodacją oka.

a) obserwacja dalekich obiektów



b) obserwacja bliskich obiektów



Podsumujmy!

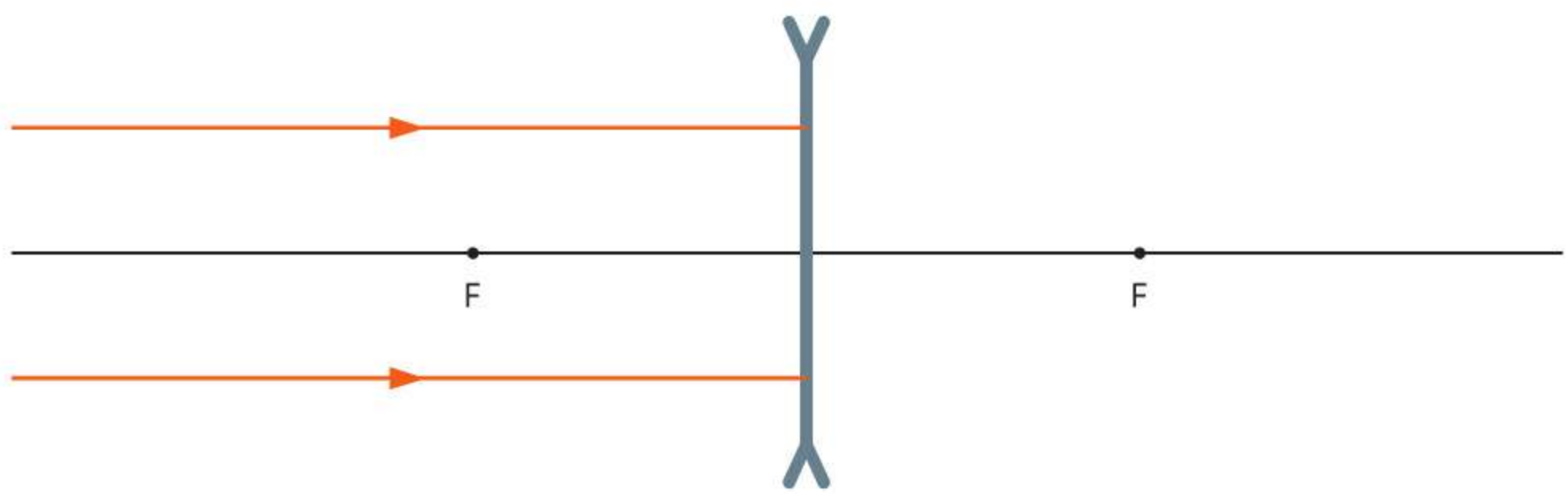
- **Soczewka rozpraszająca** to soczewka ograniczona przynajmniej jedną powierzchnią wklęsłą sfery. Jest ona najcieńsza na środku.
- W soczewkach rozpraszających powstają tylko obrazy **pozorne**, **proste** i **pomniejszone**.
- Do korekcji wzroku przy **krótkowzroczności** używa się soczewek rozpraszających.
- Do korekcji wzroku przy **dalekowzroczności** używa się soczewek skupiających.

Sprawdź się!

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

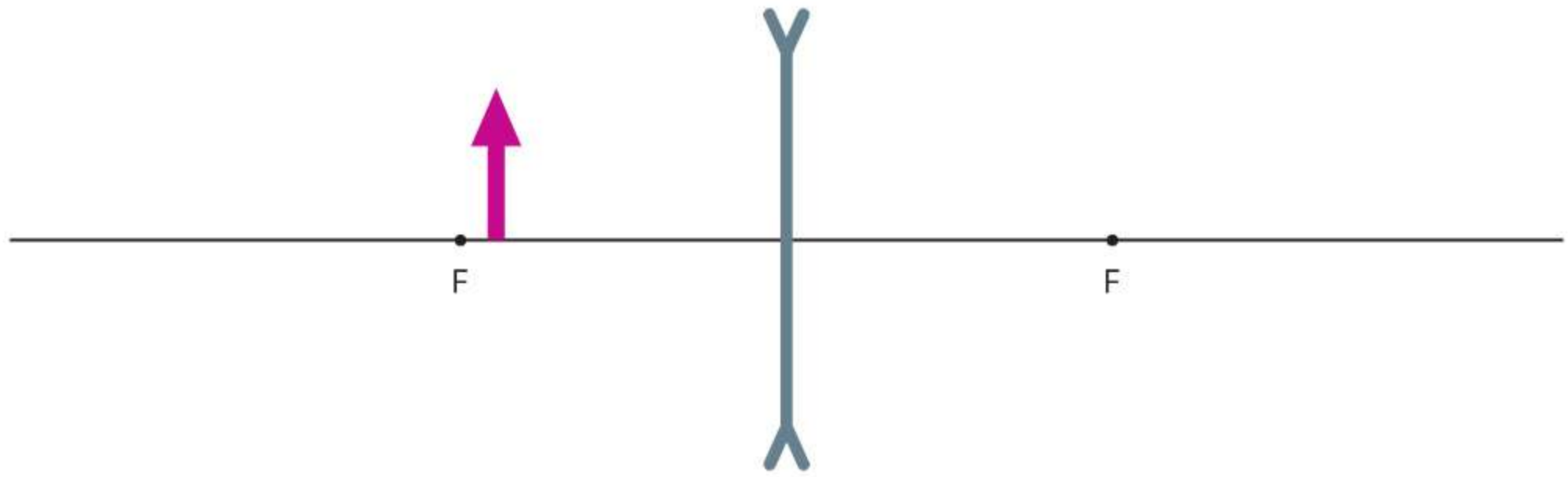
1.	Soczewki rozpraszające mają ogniska pozorne.	**P**	**F**
2.	Obrazy uzyskane za pomocą soczewek rozpraszających mogą być powiększone lub pomniejszone.	**P**	**F**
3.	W oku krótkowidza powstają ostre obrazy bliskich przedmiotów.	**P**	**F**
4.	W okularach dalekowidza są soczewki rozpraszające.	**P**	**F**

2. Na soczewkę rozpraszającą padają dwa promienie równoległe do osi optycznej. Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj bieg promieni po przejściu przez tę soczewkę.



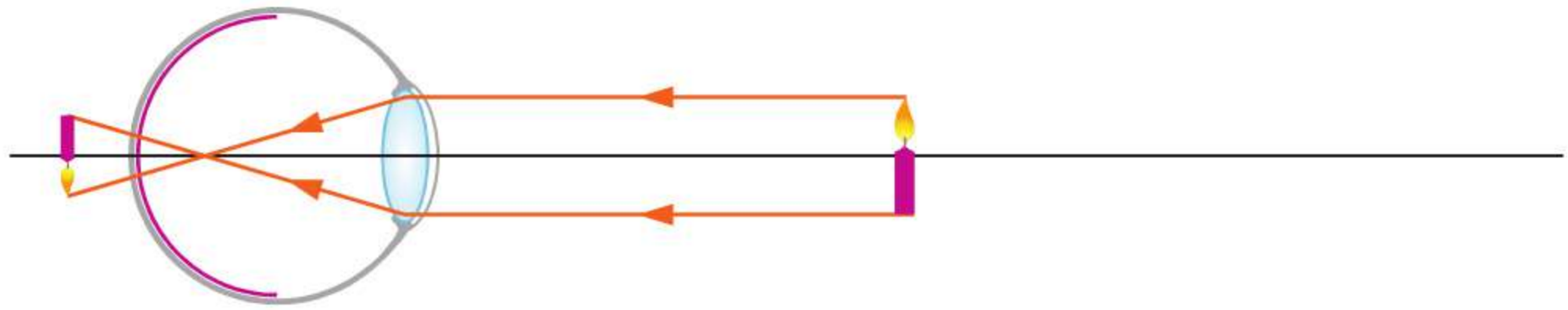
3. Za pomocą soczewki rozpraszającej uzyskano pozorny obraz przedmiotu. Ustawienie przedmiotu P oraz jego obrazu O przedstawiono na rysunku. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj bieg promieni pozwalający ustalić położenie soczewki oraz jej ogniska.

4. W odległości mniejszej niż ogniskowa od soczewki rozpraszającej umieszczono przedmiot (strzałkę). Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj bieg promieni pozwalający ustalić, jaki obraz powstanie dzięki tej soczewce. Podaj cechy tego obrazu.

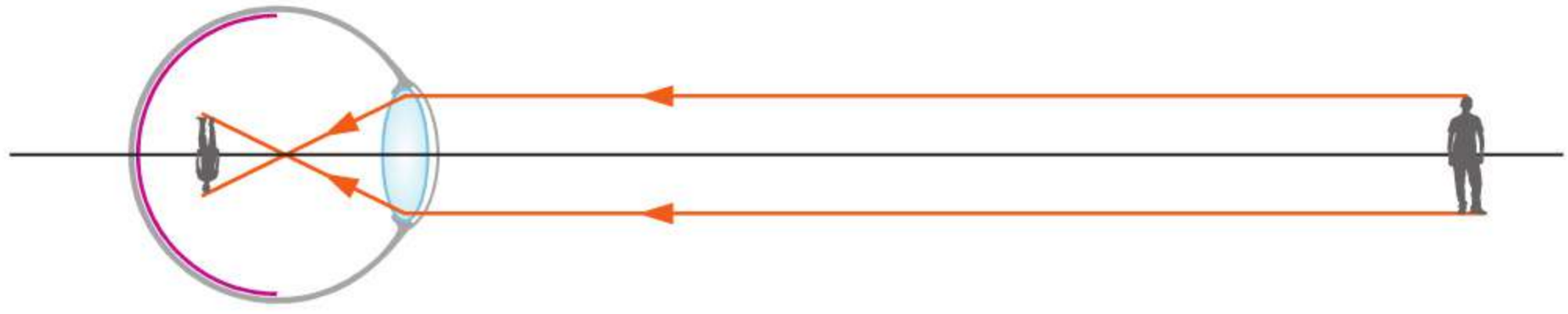


5. Wskaż, na którym rysunku przedstawiono oko krótkowidza, a na którym dalekowidza.

A.



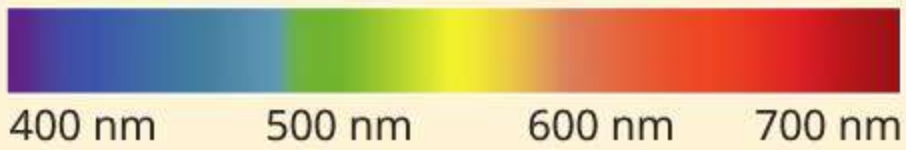
B.



POWTÓRZENIE
Światło

Światło widzialne

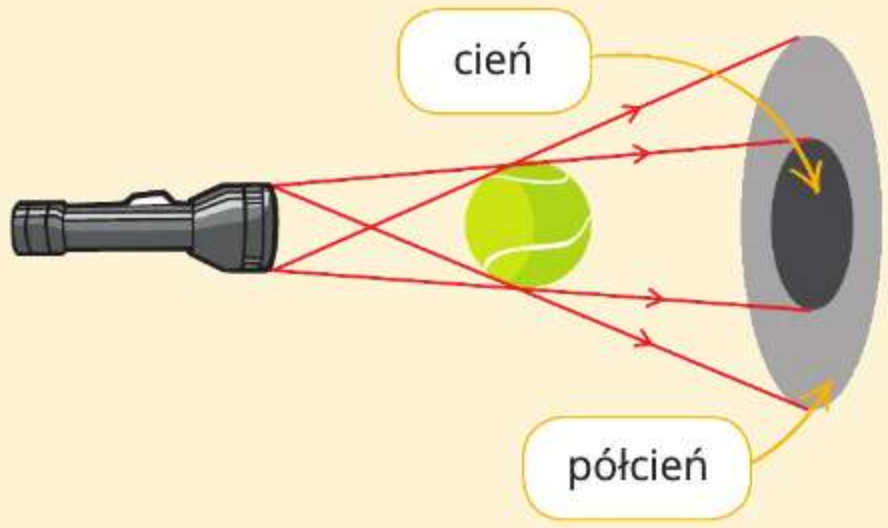
Światło widzialne to fale elektromagnetyczne o długości mniej więcej od 400 nm do 700 nm.



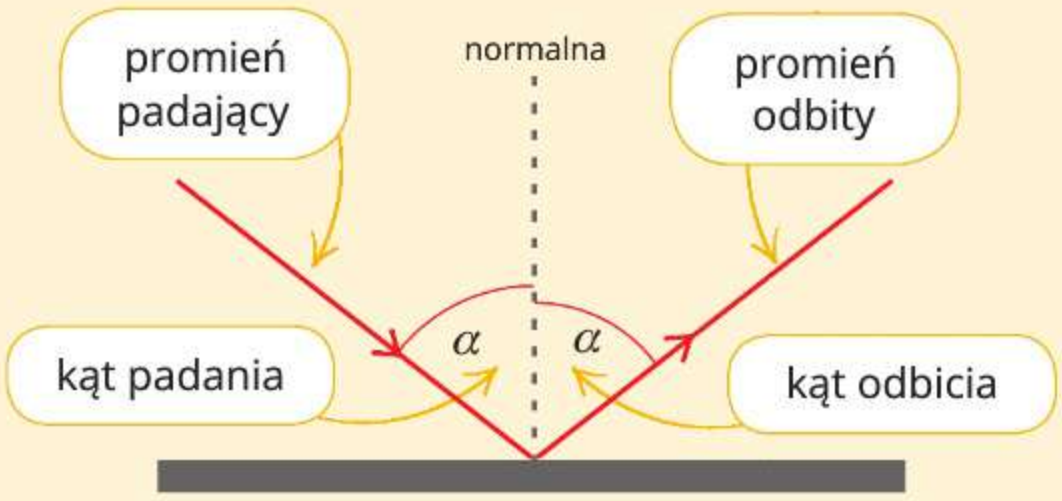
Rozchodzenie się światła

Prędkość rozchodzenia się światła w próżni wynosi ok. 300 000 km/s.

W ośrodkach przezroczystych i jednorodnych światło rozchodzi się po liniach prostych. Wynikiem tego jest powstawanie cieni lub cieni i półcieni za nieprzezroczystymi ciałami.

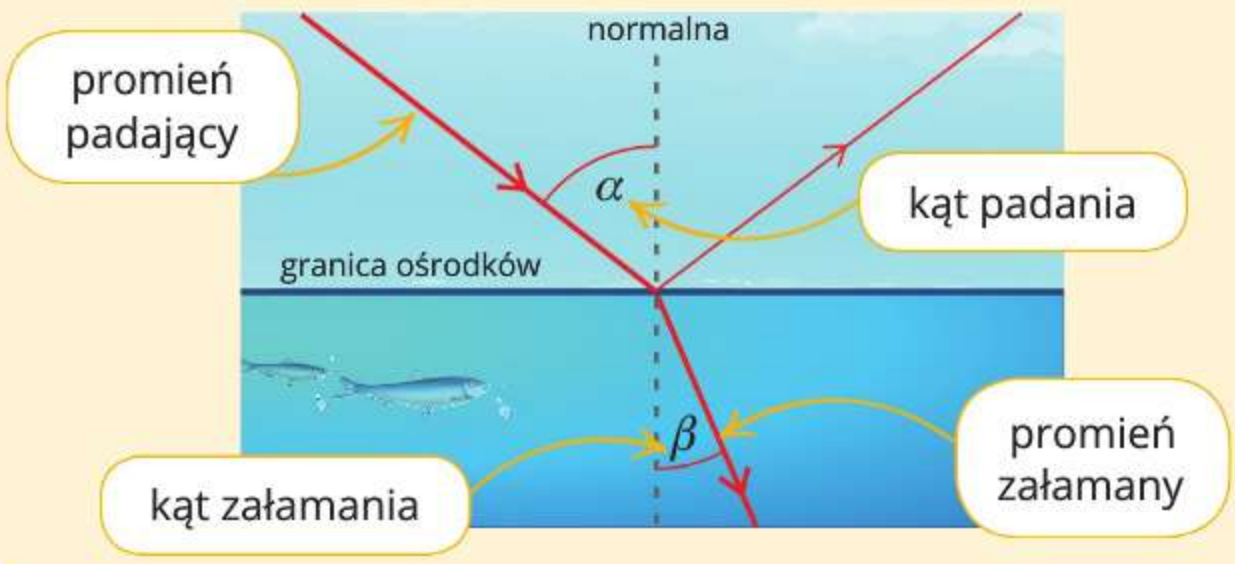


Odbicie światła



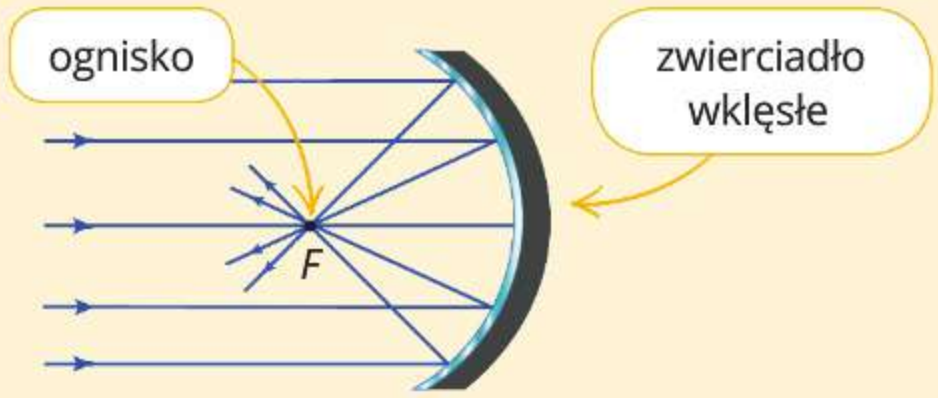
Kąt odbicia jest zawsze równy kątowi padania. Promień padający, promień odbity i normalna do powierzchni odbijającej leżą w tej samej płaszczyźnie.

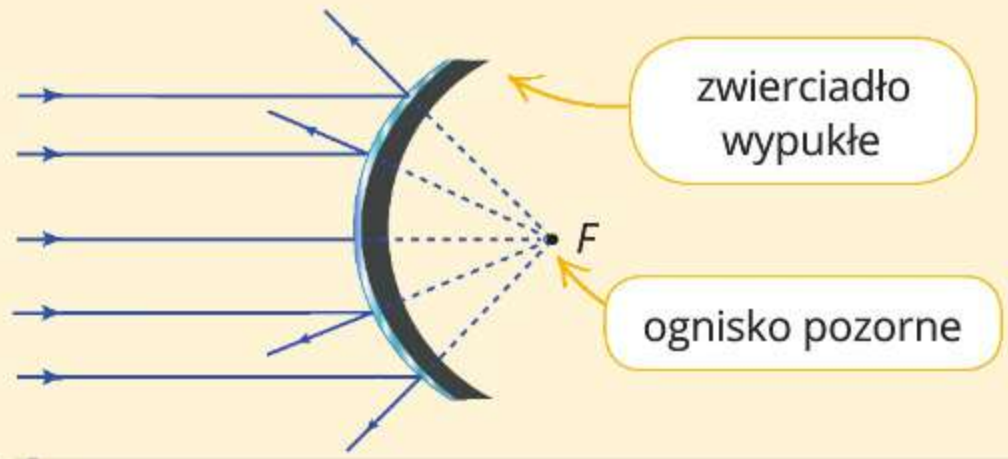
Załamanie światła

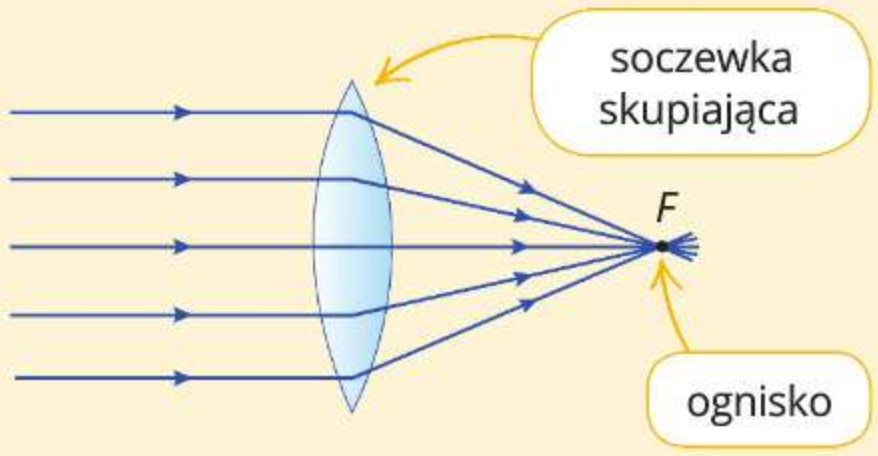


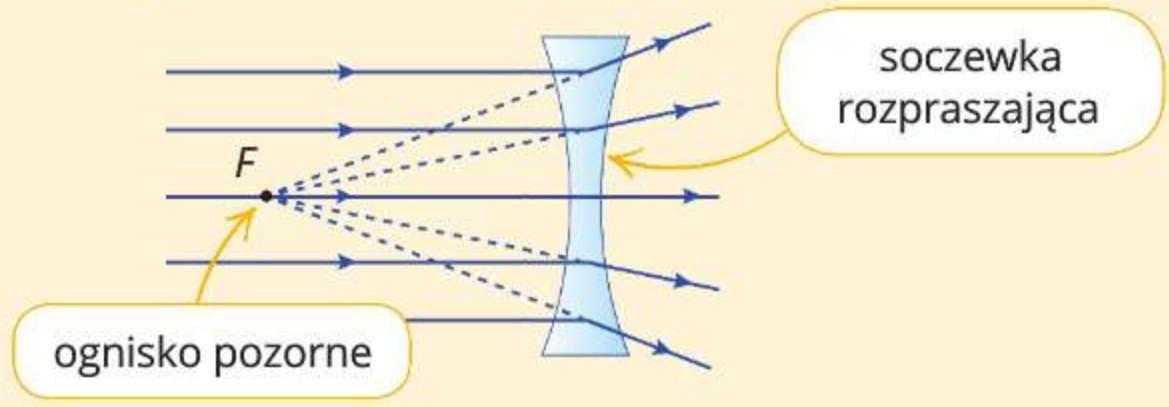
Gdy światło przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z mniejszą prędkością, kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.

Zwierciadła i soczewki



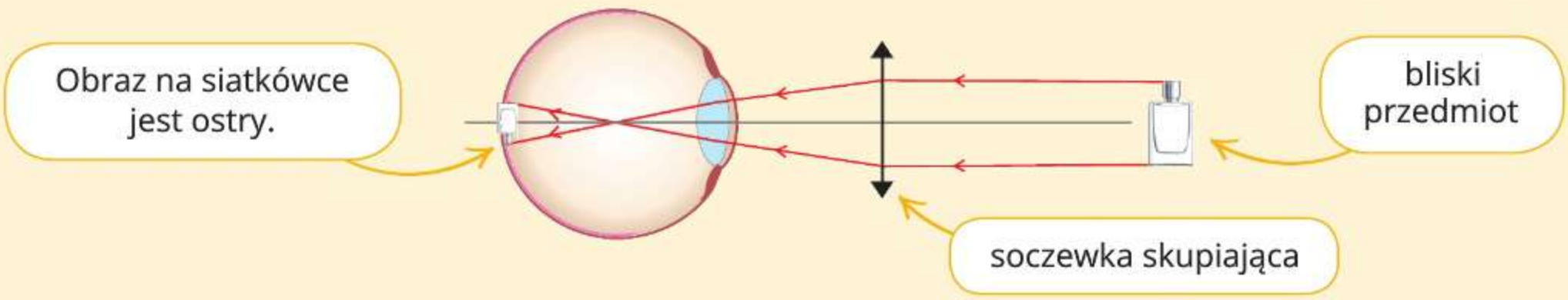




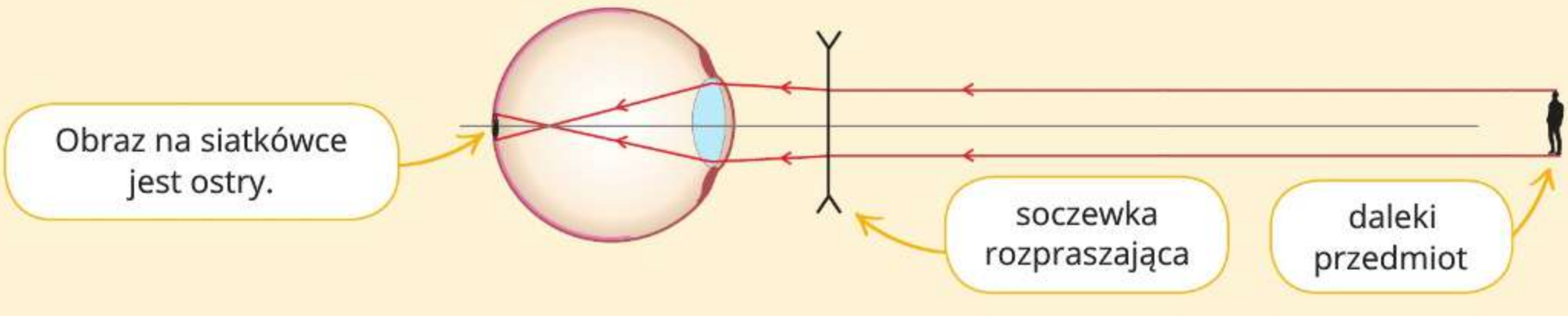


Wady wzroku

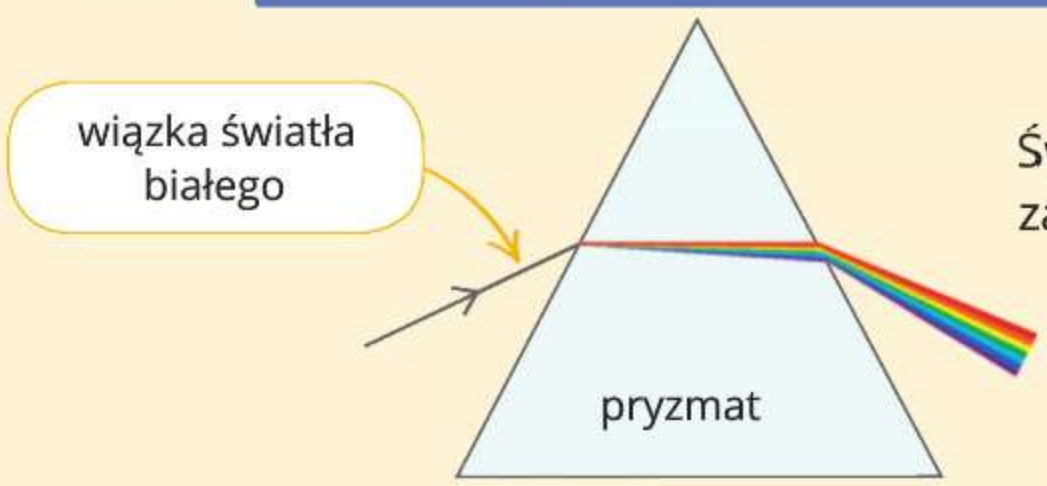
Dalekowzroczność to nieostre widzenie przedmiotów znajdujących się blisko oka. Do korekcji wzroku przy dalekowzroczności używa się soczewek skupiających.



Krótkowzroczność to nieostre widzenie przedmiotów znajdujących się w dużej odległości od oka. Do korekcji wzroku przy krótkowzroczności używa się soczewek rozpraszających.



Rozszczepienie światła białego



Światło o różnych barwach załamuje się pod różnymi kątami.

Sprawdź się!

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

1.	Laser jest przykładem źródła emitującego światło jednobarwne.	**P**	**F**
2.	W zwierciadle wypukłym powstaje powiększony obraz przedmiotu.	**P**	**F**
3.	Gdy światło przechodzi z powietrza do szkła, to kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.	**P**	**F**
4.	Światło zielone rozchodzi się w szkle z większą prędkością niż światło czerwone.	**P**	**F**
5.	Na ekranie umieszczonym za soczewką skupiającą powstają obrazy pozorne przedmiotów znajdujących się przed tą soczewką.	**P**	**F**

2. Przed zwierciadłem płaskim ustawiono literę R.

Wybierz właściwe dokończenie zdania.

Obraz tej litery w zwierciadle poprawnie przedstawiono na rysunku

A. B. C. D.

3. Na powierzchnię wody w akwarium pada wąska wiązka światła białego. Światło załamuje się i rozszczepia tak, że promień światła czerwonego tworzy z normalną do powierzchni granicznej pewien kąt.

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

Promień światła fioletowego załamuje się

A.	pod mniejszym kątem niż promień światła czerwonego,	ponieważ jego prędkość rozchodzenia się w wodzie	**1.**	jest większa niż światła czerwonego.
B.	pod większym kątem niż promień światła czerwonego,		**2.**	jest mniejsza niż światła czerwonego.

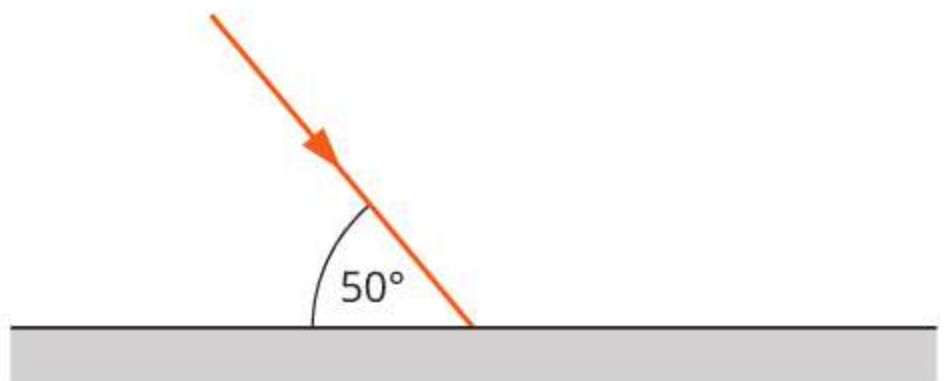
4. Uporządkuj w kolejności od najmniejszej do największej długości fali następujące barwy światła: niebieska, pomarańczowa, fioletowa, zielona, czerwona.

5. Sygnał świetlny biegnie w światłowodzie po dnie oceanu Atlantyckiego i przebywa dystans z Europy do Ameryki Północnej w czasie 37 ms. Oblicz, jak długi jest ten światłowód. Wynik zapisz w kilometrach z dokładnością do dwóch cyfr znaczących. Prędkość światła w światłowodzie jest równa 210 000 km/s.

6. Wenus jest planetą o rozmiarach porównywalnych z rozmiarami Ziemi, natomiast średnica Ziemi jest ponad 7 razy większa od średnicy Księżyca. Najmniejsza odległość Wenus od Ziemi jest ponad 100 razy większa od odległości Księżyca od Ziemi. Na Ziemi obserwujemy cień Księżyca i zjawisko to nazywamy zaćmieniem Słońca. Czy na Ziemi można zaobserwować cień Wenus? Uzasadnij odpowiedź.

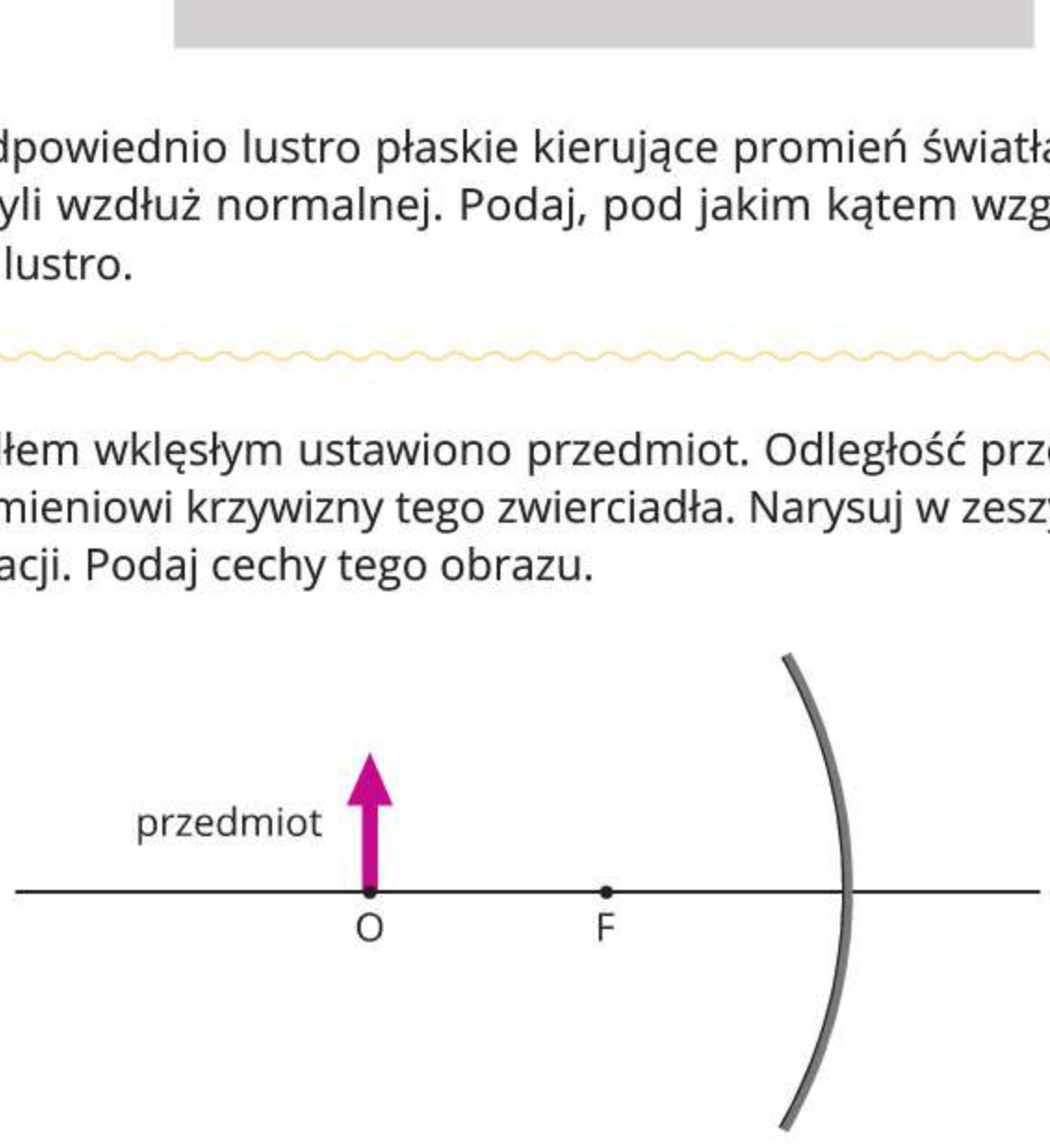
7. Światło słoneczne pada na poziomą powierzchnię pod kątem 50° mierzonym do tej powierzchni. Przerysuj do zeszytu szkic opisanej sytuacji.

a. Zaznacz na rysunku kąt padania oraz oblicz jego wartość.

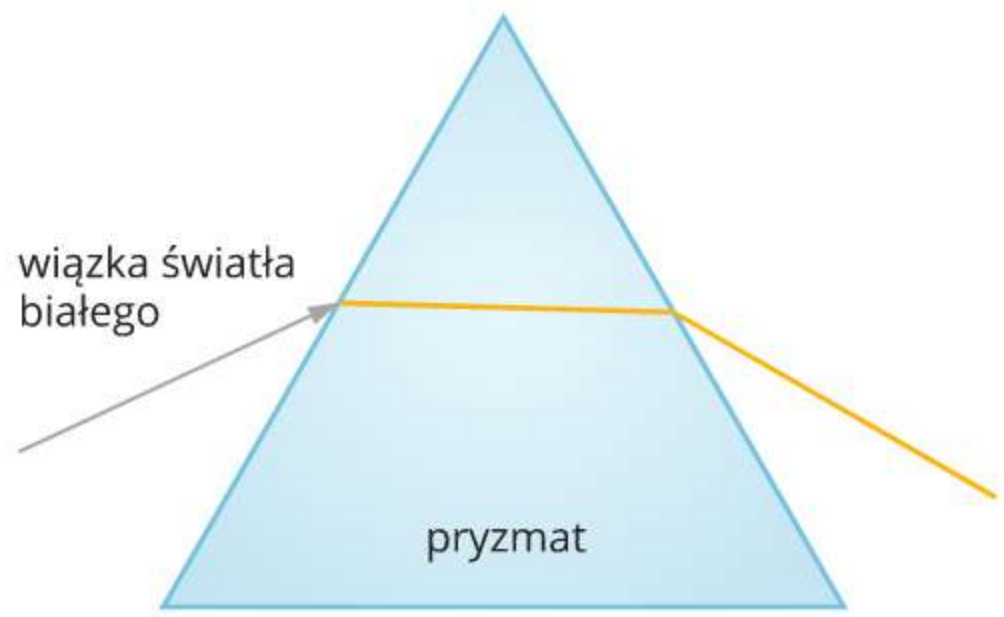


b*. Dorysuj odpowiednio lustro płaskie kierujące promień światła słonecznego pionowo w górę, czyli wzdłuż normalnej. Podaj, pod jakim kątem względem poziomu należy ustawić to lustro.

8. Przed zwierciadłem wklęsłym ustawiono przedmiot. Odległość przedmiotu od zwierciadła była równa promieniowi krzywizny tego zwierciadła. Narysuj w zeszycie konstrukcję obrazu w opisanej sytuacji. Podaj cechy tego obrazu.

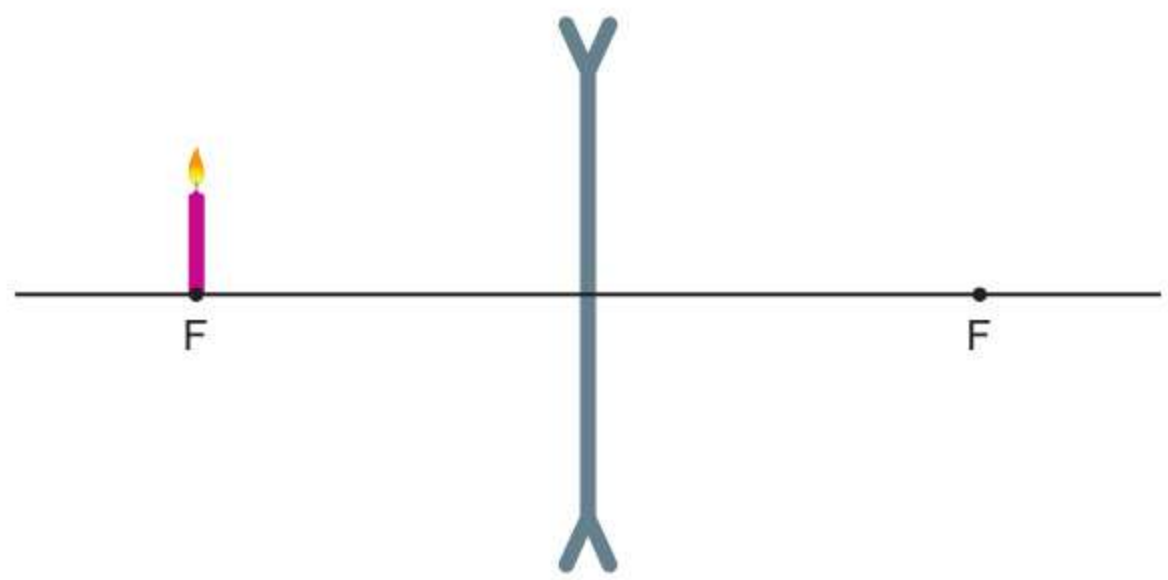


9. Na pryzmat pada światło białe i ulega rozszczepieniu na granicy ośrodków. Na rysunku przedstawiono bieg światła żółtego w tym pryzmacie. Przerysuj rysunek do zeszytu i dorysuj na nim bieg światła czerwonego.



10. Pomiędzy przedmiotem a ekranem ustawiono soczewkę. Na ekranie powstał ostry pomniejszony obraz tego przedmiotu. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj bieg promieni pozwalający ustalić położenie soczewki oraz położenie jej ogniska.

11. W ognisku pozornym soczewki rozpraszającej ustawiono świeczkę. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj bieg promieni pozwalający ustalić, jaki obraz świeczki powstanie dzięki tej soczewce. Podaj cechy tego obrazu.



12. Na rysunku przedstawiono przedmiot umieszczony w bliskiej odległości od oka dalekowidza. Literą F oznaczono ognisko soczewki oka. Przerysuj rysunek do zeszytu i wykonaj konstrukcję obrazu powstającego w tym oku.

Tekst popularnonaukowy

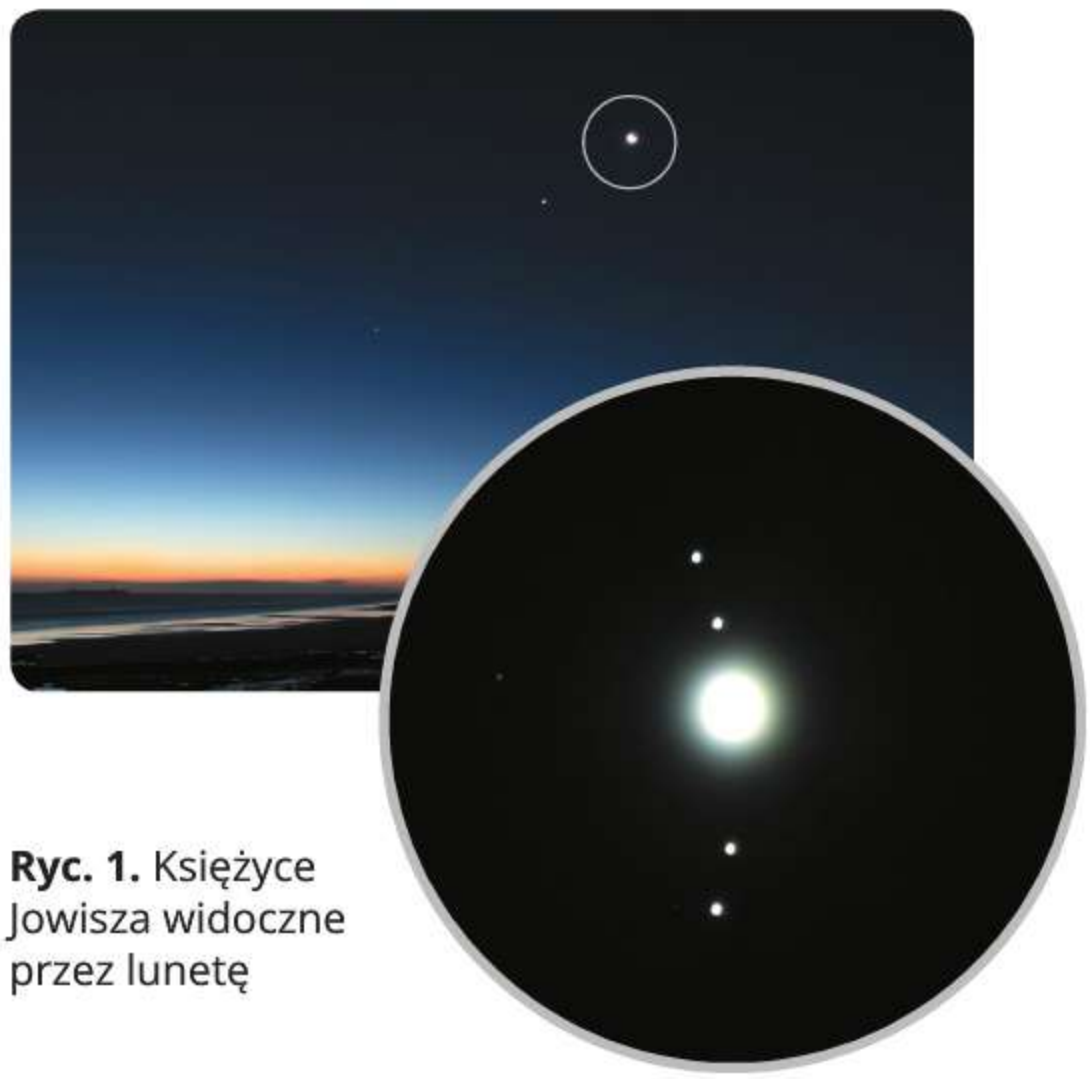
Krótka historia obserwacji nieba

Do początków XVII wieku, czyli do czasów Galileusza, ludzie obserwowali niebo wyłącznie gołym okiem. Podczas takich obserwacji gwiazdy i planety są widoczne na nocnym niebie jedynie jako punkty świecące mocniej lub słabiej. Jednym z takich jasno świecących punktów jest Jowisz. Gdy Galileusz rozpoczął obserwację tej planety przez osobiście skonstruowaną lunetę, zauważył obiegające go księżyce.

Użycie lunety umożliwiło dostrzeżenie księżyców Jowisza z dwóch powodów. Im większe są rozmiary soczewki, przez którą wpada światło, tym słabiej świecące obiekty można obserwować za jej pomocą. Im większa jest średnica soczewki, tym łatwiej można odróżnić od siebie dwa blisko położone obiekty. Użycie lunety pozwala na pozorne zbliżenie się do obserwowanych obiektów i zauważenie, że nie tworzą one całości (ryc. 1.).

W drugiej połowie XVII wieku Izaak Newton skonstruował przyrząd podobny do lunety, ale różniący się od niej tym, że jedną soczewkę zastąpiło w nim zwierciadło. Przyrząd taki nazywamy teleskopem. Dzięki temu, że w teleskopach wykorzystywano coraz większe zwierciadła, można było obserwować obiekty położone jeszcze dalej od obserwatora i przez to słabiej widoczne na niebie.

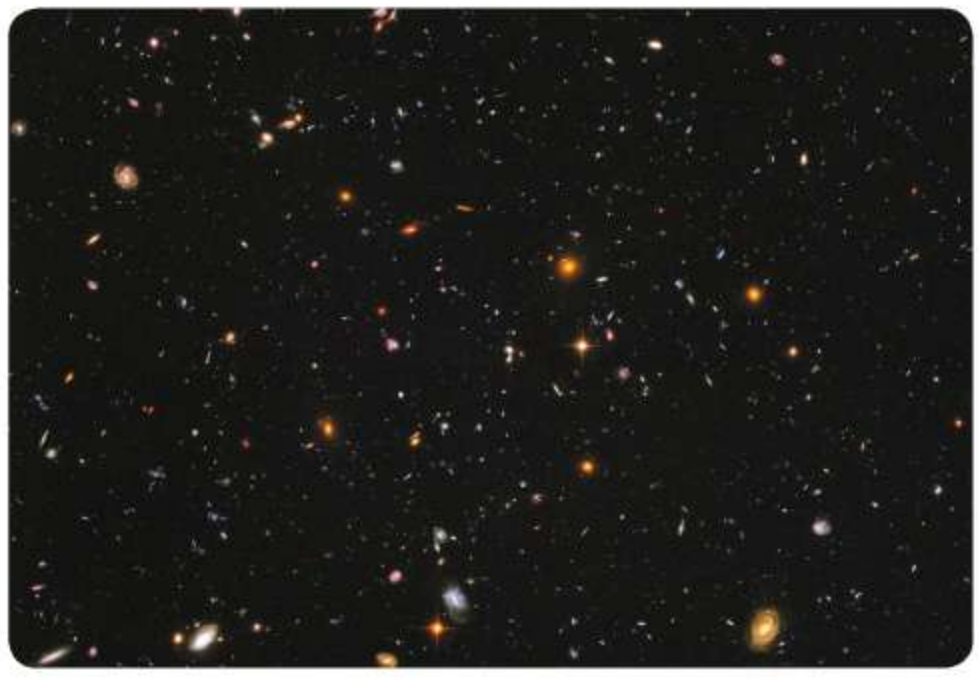
W połowie XIX wieku zaczęto fotografować niebo. Zastosowanie kliszy fotograficznej pozwala wydłużyć czas obserwacji i dostrzec obiekty, których nie możemy zaobserwować gołym okiem. Współczesne teleskopy do rejestracji obrazów (zamiast klisz fotograficznych) używają matryc podobnych do tych znajdujących się w kamerach smartfonów.



Ryc. 1. Księżyce Jowisza widoczne przez lunetę

Przeszkodą w obserwacji obiektów w kosmosie są ziemska atmosfera i znajdujące się w niej chmury. Z tego powodu największe teleskopy ustawia się w takich miejscach na Ziemi, w których pochmurnych nocy jest bardzo mało i które jednocześnie są położone na jak największej wysokości nad poziomem morza. Jednym z najlepszych miejsc do obserwacji kosmosu są Andy w Chile.

Zniekształcenie obrazu spowodowane obecnością atmosfery skłoniło naukowców do umieszczenia teleskopów na orbicie okołoziemskiej. Jednym z pierwszych optycznych teleskopów kosmicznych był teleskop Hubble'a (czyt. habla). Za pomocą tego teleskopu w 1995 roku przez 10 kolejnych dni rejestrowano światło pochodzące z bardzo odległych miejsc kosmosu. Odpowiadało to sytuacji, w której z odległości 100 m obserwowana byłaby piłka tenisowa. Na fotografii z tego teleskopu widać wiele galaktyk, z których każda składa się z wielu miliardów gwiazd (ryc. 2.).



Ryc. 2. Galaktyki widoczne z teleskopu Hubble'a

Sprawdź się!

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

1.	We wszystkich teleskopach obraz rejestruje się na kliszach fotograficznych.	**P**	**F**
2.	Użycie teleskopu pozwala na pozorne zbliżenie się do obserwowanych obiektów.	**P**	**F**
3.	Izaak Newton skonstruował teleskop wykorzystujący zwierciadło.	**P**	**F**
4.	Zastosowanie kliszy fotograficznej w teleskopie pozwoliło na wydłużenie czasu rejestracji światła z kosmosu.	**P**	**F**

2. Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród wariantów **A** i **B** oraz jego poprawne uzasadnienie spośród wariantów **1** i **2**.
Największe obserwatoria astronomiczne znajdują się

A.	nad morzem,	ponieważ lepszej jakości obrazy można uzyskać, gdy	**1.**	światło przechodzi przez warstwę atmosfery o małej grubości.
B.	wysoko w górach,		**2.**	jest duża wilgotność powietrza.

3. Wyjaśnij, dlaczego za pomocą Kosmicznego Teleskopu Hubble'a o średnicy lustra 2,4 m uzyskuje się lepsze obrazy niż za pomocą Wielkiego Teleskopu Kanaryjskiego (znajdującego się w Hiszpanii) o średnicy lustra 10,4 m.

4. Uniwersytet Warszawski dysponuje teleskopem o średnicy lustra 130 cm. Teleskop ten znajduje się w obserwatorium Las Campanas w górach na pustyni Atakama w Chile. Wyjaśnij, dlaczego miejsce to jest lepsze do prowadzenia obserwacji nieba niż na przykład Bieszczady.

5. Odszukaj w dostępnych źródłach informacje o Kosmicznym Teleskopie Keplera. Jakich obiektów poszukiwał ten teleskop?

Odpowiedzi i wskazówki do zadań

Drgania

Rozdział 1.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 F
3. C
4. Nie, bombka nadal będzie się poruszała ruchem drgającym i będzie miała w tym punkcie największą prędkość.
5. 0,5 cm

Rozdział 2.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. 4 s
3. 1 Hz
4. 4,2 Hz
5. 0,017 s

Rozdział 3.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
2. Od punktu B do punktu A energia kinetyczna maleje, a energia grawitacji rośnie, natomiast od punktu C do punktu B energia kinetyczna rośnie, a energia grawitacji maleje.
3. 8,2 mm
4. 2,2 m/s
5. A 1

Rozdział 4.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
2. A = 1,5 cm, T = 1,2 s
3. **a.** ok. 6 cm; **b.** ok. 2,5 cm
4. **a.** A = 3 cm, T = 1 s; **b.** 40 klatek/s
5*. $A \approx 1{,}6$ cm, $T \approx 1{,}3$ s

Rozdział 5.

1. 1 F, 2 F, 3 F, 4 P
2. **a.** wahadło (1); **b.** kulka na sprężynie (2)
3. A = 0,4 cm, T = 1,6 s
4. 2 Hz

Powtórzenie. *Drgania*

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F, 5 F
2. A 2
3. w położeniu 1
4. 3,8 s
5. ok. 3,3 s
6. ok. 11 mm
7. 0,022 s
8. **a.** ok. 5 cm; **b.** Był moment, gdy papier się nie poruszał – świadczy o tym pogrubiony fragment rysunku.
9. A_K = 2 cm, A_L = 1 cm, $f_K = f_L$ = 1,25 Hz
10. A = 1 cm, T = 1,2 s
11. **a.** w chwilach 0,4 s i 1,2 s; **b.** 25 cm

Tekst popularnonaukowy *Zegarek mechaniczny*

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. A 2
3. **a.** 8; **b.** 240
4. 0,0027 s

Fale

Rozdział 6.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. Uderzenia w barierkę stanowiły źródło fali – w barierce rozchodziła się fala mechaniczna.
3. D

Rozdział 7.

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 P
2. **a.** fala C; **b.** fala B; **c.** fala B
3. ok. 1,8 cm
4. 4,2 m/s
5. ok. 1,3 razy

Rozdział 8.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F
2. mucha
3. **a.** 28 kHz; **b.** nie
4. 0,77 m
5. Nie, w próżni fale mechaniczne nie mogą się rozchodzić.

Rozdział 9.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
2. drugi dźwięk
3. Dźwięk, którego źródłem była butelka.
4. ok. 430 Hz
5. Mikrofon przetwarza drgania elementu mechanicznego wywołane drganiami powietrza na sygnał elektryczny.

Powtórzenie. *Fale*

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P, 5 P
2. A
3. B 1
4. 0,15 m/s
5. 5,6 cm
6. 10 kHz
7. 0,28 m
8. $\lambda \approx 7{,}6$ cm, $A \approx 1{,}3$ cm
9. ok. 420 Hz
11. ok. 1,2 s
12. B
13. D

Tekst popularnonaukowy *Zjawisko Dopplera*

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 P
2. A 1
3. Podczas ruchu źródła każdy kolejny grzbiet fali powstaje w innym miejscu. Im prędkość źródła jest większa, tym odległości między grzbietami fal są mniejsze, a zatem częstotliwość odbieranego sygnału jest większa.

4*. ok. 1100 Hz przy zbliżaniu, ok. 920 Hz przy oddalaniu

Elektrostatyka

Rozdział 10.

1. 1 F, 2 F, 3 F, 4 P
2. D
3. elektrony
4. ok. $1{,}56 \cdot 10^{12}$, protonów
5. $-4 \cdot 10^{-9}$ C (ujemny)

Rozdział 11.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
2. ładunkiem dodatnim
3. **a.** ładunkiem ujemnym; **b.** elektrony
4. −4 μC

Rozdział 12.

1. **a.** Przyciągają się. **b.** Tak.
2. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
3. Są naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.
4. Gdy były bliżej.
5. Siły wzajemnego oddziaływania elektrycznego po zetknięciu kul będą mniejsze niż przed ich zetknięciem, bo iloczyn wartości ładunków zgromadzonych na każdej z kul zmalał.

Rozdział 13.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. A 1
3. Kulka naelektryzuje się dodatnio, a listki ujemnie.
4. Od przewodnika do kuli przepłynęły cząstki o ładunku ujemnym.

Powtórzenie. *Elektrostatyka*

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 F, 5 P
2. D
3. A 2
4. ładunkiem dodatnim
5. $4 \cdot 10^{11}$ elektronów
6. −0,71 μC
7. **a.** Przyciągają się. **b.** Tak.
9. Na kulce ładunek ujemny, a na listkach dodatni.
10. Przepłynęły elektrony − od kuli do ziemi.
11. $1{,}25 \cdot 10^{12}$ elektronów
12. łącznie +6 μC, po +3 μC na każdej
13. przewodniki: cyna, grafit, ślina człowieka, aluminium, pot człowieka; izolatory: wosk, silikon, jedwab, wełna
14. Oba ciała odpychają się wzajemnie, bo zostały naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.

Tekst popularnonaukowy *Drukarka laserowa*

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 P
2. Drobiny tonera powinny być przyciągane wyłącznie przez miejsca naelektryzowane dodatnio.
4. ok. $3{,}1 \cdot 10^{9}$ elektronów
5. +0,3 nC

Prąd elektryczny

Rozdział 14.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
2. B 2
3. 12 V
4. bateria samochodu elektrycznego – 400 V, iskrownik zapalniczki piezoelektrycznej – 10 000 V, sum elektryczny – 300 V, przewody sieci trakcyjnej tramwaju – 600 V
5. 3,50 V ± 0,25 V

Rozdział 15.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
2. 2 A
3. $1{,}25 \cdot 10^{18}$
4. 0,1 ms
5. 0,75 A ± 0,05 A

Rozdział 16.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
2. C
3. 11 Ω
4. 18 V

Rozdział 17.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
3. opornik B
4. Należy zmierzyć napięcie zasilania brzęczyka oraz natężenie prądu, który przez niego płynie.
5. 0,199 A

Rozdział 18.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
4. ok. 25 złotych
5. ok. 1200 W

Rozdział 19.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
3. 103,5 kJ ≈ 0,29 kWh
4. B 1
5. U = 230 V, P = 2250 W, I ≈ 9,8 A

Rozdział 20.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P
2. 1, 3 – przewodnik (metal), 2 – izolator (tworzywo sztuczne)
3. 2300 W
4. 20 A
5. Żeby nie uszkodzić elementów instalacji, np. nie wyrwać gniazda ze ściany.

Powtórzenie. *Prąd elektryczny*

1. 1 P, 2 F, 3 F, 4 P
2. A 1
4. B
5. 7,2 Ω
6. 5900 J ≈ 0,0016 kWh
7. 7,92 zł
8. ok. 5,45 kW
9. przez odbiornik A
10. P = 127 W, I = 0,55 A
11. 3680 W
12. ok. 1,4 Ω
13. ok. 44 s

Tekst popularnonaukowy *Defibrylator*

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. B 2
3. 1800 W
4. 1,2 A

Magnetyzm

Rozdział 21.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
3. Magnesy przyciągają się w sytuacji A, odpychają się w sytuacji B.
4. żelazo

Rozdział 22.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. Biegun S znajduje się w pobliżu igły magnetycznej, a biegun N z drugiej strony elektromagnesu.
3. Nie. Igła magnetyczna wskazuje położenie biegunów zarówno magnesu, jak i elektromagnesu.
4. Śruba pod wpływem pola magnetycznego zwojnicy sama staje się magnesem.

Rozdział 23.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 F
2. B 2
4. Zgodnie z ruchem wskazówek zegara.
5*. Na przykład zamienić miejscami bieguny magnetyczne w nieruchomej części silnika lub zmienić kierunek przepływu prądu w wirniku.

Rozdział 24.

1. 1 F, 2 F, 3 P, 4 P
2. Cecha wspólna: np. przenoszą energię; różnica: np. fale elektromagnetyczne – w przeciwieństwie do fal mechanicznych – mogą rozchodzić się w próżni.
3. od 1 GHz do 300 GHz
4. promieniowanie rentgenowskie, promieniowanie gamma
5. 699 nm

Powtórzenie. *Magnetyzm*

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. A 1
4. Odpychają się.

5. Tak, ponieważ igła nie wskazuje biegunów geograficznych Ziemi.
6. Biegun S znajduje się z lewej strony elektromagnesu, a biegun N – z prawej.
7. przeciwnie do ruchu wskazówek zegara
8. np. na energię wewnętrzną, energię fali dźwiękowej
9. podczerwień
10. mniej więcej od 0,38 m do 0,64 m
11. $3 \cdot 10^{14}$ Hz
12. Energia mechaniczna kulki staczającej się z góry równi rośnie na skutek pracy wykonanej nad kulką przez siłę oddziaływania magnetycznego z magnesem.

Tekst popularnonaukowy *Indukcja elektromagnetyczna*

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. na energię elektryczną i energię wewnętrzną
3. z elektromagnesów nieruchomych i ruchomych (wirnik)
4. A 1
5. Nie poruszał się i dlatego w obwodzie nie płynął prąd.

Światło

Rozdział 25.

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 F
2. czerwony, żółty, zielony, fioletowy
3. laser
4. naturalne: Syriusz, Gwiazda Polarna; sztuczne: latarka, świeczka

5*. Skrót CMYK powstał jako złożenie pierwszych lub ostatnich liter angielskich nazw kolorów. C od cyjan, czyli szarobłękitny (ang. ***c**yan*), M od magenta, czyli purpurowy (ang. ***m**agenta*), Y od żółty (ang. ***y**ellow*), K od czarny (ang. *blac**k***) lub kolor kluczowy (ang. ***k**ey colour*).

Rozdział 26.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 F
2. Dzień pochmurny, nie widać cieni wokół zawodników.
3. nisko
4. $1{,}5 \cdot 10^9$ km

Rozdział 27.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. Tak, bo kąt padania jest równy kątowi odbicia.
4. AMBULANS. Napis jest odwrócony, aby w lusterkach wstecznych pojazdów jadących przed karetką pogotowia był on widoczny w sposób umożliwiający jego przeczytanie.
5. 56 cm

Rozdział 28.

1. 1 F, 2 P, 3 F, 4 P
2. w ognisku
3. mniejszej niż ogniskowa zwierciadła
4. Obraz jest pozorny, prosty, pomniejszony.
5. Obraz jest rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony.

Rozdział 29.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 P
2. A
3. C
4. w ośrodku A

5*. również α

Rozdział 30.

1. 1 P, 2 P, 3 P, 4 P
2. A 1
3. Tak, ponieważ prędkości rozchodzenia się w szkle tych trzech składowych światła białego są różne i każda załamuje się pod innym kątem.

Rozdział 31.

1. 1 P, 2 P, 3 F, 4 P
2. B
4. rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot

Rozdział 32.

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F
4. pozorny, prosty, pomniejszony
5. A – dalekowidz, B – krótkowidz

Powtórzenie. *Światło*

1. 1 P, 2 F, 3 P, 4 F, 5 F
2. D
3. A 2

4. fioletowa, niebieska, zielona, pomarańczowa, czerwona

5. ok. 7800 km

6. Wenus jest dużo dalej od Ziemi niż Księżyc. Jej wielkość na niebie w porównaniu z wielkością Słońca na niebie jest zbyt mała, aby mógł powstać cień.

7. **b.** 20°

8. rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot

11. pozorny, prosty, pomniejszony

Tekst popularnonaukowy *Krótka historia obserwacji nieba*

1. 1 F, 2 P, 3 P, 4 P

2. B 1

3. Ziemska atmosfera jest przeszkodą w uzyskiwaniu dobrych obrazów obiektów nocnego nieba.

4. Na pustyni Atakama jest dużo więcej bezchmurnych nocy niż w Bieszczadach.

5. Poszukiwał planet obiegających gwiazdy podobne do Słońca.

Tabela 1. Stałe fizyczne

Wielkość fizyczna	Wartość
prędkość światła w próżni	$c = 299\,792\,458\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \approx 300\,000\ \frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$
ładunek elementarny	$e \approx 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \mathrm{C}$
przyspieszenie ziemskie	$g \approx 9{,}81\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
średnica atomu	ok. 10^{-10} m
średnica jądra atomowego	ok. 10^{-14} m

Tabela 2. Przedrostki do wielokrotności i podwielokrotności jednostek

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

Tabela 3. Prędkość dźwięku w wybranych ośrodkach

Ośrodek	Prędkość dźwięku $\left(\frac{m}{s}\right)$
powietrze w warunkach normalnych	340
dwutlenek węgla	260
hel	970
woda	1500
beton	3200–3800
żelazo	5020

Tabela 4. Wielkości fizyczne z ich symbolami, jednostkami oraz wzorami

Wielkość fizyczna	Symbol	Jednostka	Wzór	Strona w podręczniku
częstotliwość drgań	f	Hz	$f = \frac{n}{t}$ lub $f = \frac{1}{T}$	18
długość fali elektromagnetycznej	λ	m	$\lambda = \frac{c}{f}$	195
ładunek elektryczny	q	C	$q = n \cdot e$	83
moc prądu elektrycznego	P	W	$P = U \cdot I$	151
napięcie elektryczne	U	V	$U = \frac{E}{q}$	116
natężenie prądu elektrycznego	I	A	$I = \frac{q}{t}$	123
okres drgań	T	s	$T = \frac{t}{n}$	16
opór elektryczny	R	Ω	$R = \frac{U}{I}$	129
praca prądu w urządzeniu elektrycznym	W	J	$W = U \cdot I \cdot t$	150
prędkość fali	v	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = \frac{\lambda}{T}$	58
sprawność urządzenia	η	%	$\eta = \frac{W_u}{W_e} \cdot 100\ \%$	155
zdolność skupiająca	Z	dioptria	$Z = \frac{1}{f}$	269

Indeks rzeczowy

A
amperomierz 124
amplituda 9, 56

B
barwa dźwięku 71
bezpiecznik przeciążeniowy 159
bezpiecznik różnicowoprądowy 159

C
cień 218
częstotliwość 18, 58

D
dalekowzroczność 267
defibrylator 169
długość fali 57
domeny magnetyczne 176
drukarka laserowa 111
dźwięk 61

E
elektromagnes 182
elektron 82
elektroskop 97
elektryzowanie 83
elektryzowanie przez dotyk 90
elektryzowanie przez indukcję 102
elektryzowanie przez tarcie 89
energia kinetyczna 25
energia mechaniczna 25
energia potencjalna sprężystości 24

F
fala dźwiękowa 62
fala elektromagnetyczna 194
fala mechaniczna 50
fala radiowa 196
ferromagnetyk 175

G
głośność 70

I
igła magnetyczna 173
infradźwięki 65
izolator 100

K
kąt odbicia 225
kąt padania 225
kąt załamania 242
kilowatogodzina 142
krótkowzroczność 267

L
laser 212
lupa 255
lustro 223

Ł
ładunek elektryczny 83
ładunek elementarny 83

M
magnes 173
miernik uniwersalny 139
mikrofale 196
moc prądu elektrycznego 151

N
nadfiolet 198
napięcie elektryczne 116
natężenie dźwięku 70
natężenie prądu 123
neutron 82

O
obraz 225
odbicie światła 223
oddziaływanie elektryczne 94
ognisko 232, 254
ogniskowa 232, 254
okres drgań 16
opornik 130
opór elektryczny 129
oscylogram 69
oś optyczna 232, 254

P
piorunochron 104
podczerwień 197
położenie równowagi 8
półcień 218
praca prądu elektrycznego 150
prawo odbicia 225
prąd elektryczny 122
prędkość dźwięku 63
prędkość fali 58
promieniowanie gamma 198
promieniowanie rentgenowskie 198
promień światła 217
proton 82

pryzmat 243
przebicie elektryczne 101
przewodnik 100

R
rozładowanie 92
rozproszenie światła 225
rozszczepienie światła 247
ruch drgający 11

S
schemat obwodu elektrycznego 134
sejsmograf 29
silnik elektryczny 187
soczewka rozpraszająca 264
soczewka skupiająca 254

Ś
światło białe 210
światło widzialne 197, 210

T
tabliczka znamionowa 149
tęcza 251

U
ultradźwięki 65
ultrafiolet 198
uziemianie 92

W
wahadło 8
wahadło Foucaulta 11
wiązka światła 217
woltomierz 116
wyłącznik główny 158
wysokość dźwięku 69

Z
załamanie światła 240
zjawisko Dopplera 79
zwierciadło płaskie 226
zwierciadło wklęsłe 230
zwierciadło wypukłe 230

Ź
źródło fali 50
źródło napięcia 114

Źródła ilustracji i fotografii

Okładka: (gitarzysta) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com

Tekst główny: s. 9 (kulka na nici), (kulka na sprężynie), (ciężarek na sprężynie); s. 11 (ciężarek na sprężynie); s. 13 (kulka w misce); s. 14 (ciężarek na sprężynie); s. 16 (kulka na nici), (ciężarek na sprężynie); s. 17 (doświadczenie); s. 21 (kulka na sprężynie); s. 24 (wózek na sprężynie); s. 25 (doświadczenie); s. 26 (huśtawka); s. 28 (kulka w misce); s. 30 (wahadło z piaskiem); s. 31 (wykres), (położenia ciężarka na sprężynie); s. 32 (wykres); s. 33 (dwuczęściowe wahadło), (figury Lissajous); s. 34 (wykres), (piasek); s. 35 (wykres), (krople wody); s. 37 (doświadczenie), (wykres); s. 39 (wykres); s. 41 (wykres 1), (wykres 2); s. 44 (kulka na nici); s. 45 (ciężarek na sprężynie), (ślad wahadła), (wykres); s. 46 (wykres 1), (wykres 2); s. 47 (mechanizm zegarka); s. 51 (falownica), (fala na sznurze); s. 52 (fala w sprężynie), (fala na wężu); s. 55 (spławik), (sprężyna na membranie); s. 60 (fale), (związane sznury); s. 62 (wykres zmian ciśnienia); s. 72 (audiogram), (poziomy głośności); s. 76 (plastelina na sznurze); s. 77 (fala); s. 84 (elektryzowanie dodatnie), (elektryzowanie ujemne); s. 89 (pałeczka ebonitowa), (pałeczka szklana); s. 90 (elektryzowanie tacki), (elektryzowanie kuli); s. 91 (kule); s. 93 (kula i rurka); s. 95 (przyciąganie), (odpychanie); s. 97 (schemat elektroskopu); s. 99 (kule); s. 102 (puszka i linijka), (puszka i szmatka); s. 105 (elektroskop i piłeczka); s. 109 (kula i rurka), (elektroskop i kula); s. 110 (kula na podstawce); s. 115 (kulki); s. 121 (przepływ prądu); s. 122 (przepływ prądu); s. 123 (przekrój porzeczny); s. 124 (schemat działania amperomierza); s. 134 (symbole elementów obwodów); s. 135 (symbole elementów obwodów); s. 136 (schemat obwodu z żarówką), (schemat obwodu z brzęczykiem); s. 137 (schemat obwodu z opornikiem), (wykres); s. 138 (schematy obwodów z diodą), (schemat obwodu latarki); s. 141 (wykres); s. 157 (sieć elektroenergetyczna); s. 158 (instalacja doowa); s. 167 (obwód), (wykres); s. 174 (magnes i igła); s. 176 (stalowy gwóźdź przed i po namagnesowaniu);s. 178 (przełamanie magnesu); s. 179 (magnes podkowiasty), (magnesy); s. 181 (doświadczenie); s. 183 (elektromagnes i igła); s. 185 (budowa gongu rurowego); s. 186 (elektromagnes i igła); s. 192 (silnik bezszczotkowy); s. 193 (silnik); s. 202 (elektromagnes i magnes), (magnes); s. 203 (przewód i igła magnetyczna), (elektromagnes i igła), (silnik elektryczny); s. 206 (kulki na równi); s. 211 (tarcza Newtona), (składanie barw); s. 212 (piksele); s. 217 (laser), (latarka), (smartfony); s. 218 (powstawanie cienia), (powstawanie cienia i półcienia); s. 219 (cień za piłką); s. 221 (zaćmienie słońca), (zaćmienie księżyca); s. 222 (cień i półcień książki); s. 224 (nakładka na latarkę), (doświadczenie); s. 225 (gładka powierzchnia), (chropowata powierzchnia); s. 226 (konstrukcje obrazów 1-2); s. 228 (peryskop), (lustrzanka); s. 232 (bieg promieni w zwierciadle wklęsłym), (źródło światła w ognisku); s. 233 (konstrukcja 1 i 2); s. 234 (doświadczenie); s. 235 (zwierciadło wypukłe), (konstrukcja obrazu); s. 237 (zwierciadła akustyczne); s. 238 (rysunek do zadań 4 i 5); s. 240 (doświadczenie); s. 241 (doświadczenie); s. 242 (załamanie światła powietrze-szkło), (załamanie światła szkło-powietrze), (promień prostopadły); s. 243 (załamanie w pryzmacie); s. 244 (całkowite wewnętrzne odbicie); s. 246 (ilustracje do zadań 3, 4 i 5); s. 248 (doświadczene), (rozszczepienie światła); s. 249 (rozszczepienie w pryzmacie), (przejście przez szybę); s. 252 (pryzmat); s. 254 (pryzmaty), (soczewki); s. 255 (doświadczenie); s. 256 (konstrukcja obrazu); s. 258 (konstrukcja obrazu); s. 259 (przedmiot w ognisku), (aberracja chromatyczna); s. 260 (konstrukcje obrazów 1 i 2); s. 262 (ilustracje do zadań 3, 4 i 5); s. 264 (pryzmaty), (soczewki); s. 265 (konstrukcja obrazu); s. 266 (położenie soczewki), (położenie ogniska), (obraz w oku), (znak stop); s. 267 (krótkowzroczność a-c), (drzewo), (butelka); s. 268 (dalekowzroczność a-c); (drzewo), (butelka); s. 270 (ilustracje do zadań 2 i 3); s. 271 (ilustracja do zadania 4), (ilustracja do zadania 5), (świeczka), (sylwetka człowieka); s. 274 (ilustracja do zadania 2); s. 275 (ilustracje do zadań 7 i 8); s. 276 (ilustracje do zadań 9–12);

Autor: Sławomir Skryśkiewicz

s. 7 (konik na biegunach) benoitb/E+/Getty Images; s. 8 (huśtawka) Ljupco Smokovski/Shutterstock.com; s. 10 (dziecko) Sergei Kolesnikov/Shutterstock.com. (spławik) kaczor58/Shutterstock.com, (piłkarzyki) lekcej/iStockphoto/iStockphoto, (ptak) Aleksej Zhagunov/Shutterstock.com, (gruszka bokserska) Vereshchagin Dmitry/Shutterstock.com; s. 11 (wahadło Foucaulta) ELEPHOTOS/Shutterstock.com; s. 12 (ciężarek na sprężynie) Grzegorz F. Wojewoda; s. 15 (huśtawka wodna) www.waterfallswing.com; s. 18 (kot) Tony Campbell/Shutterstock.com, (cukierek)

Madlen/Shutterstock.com; s. 19 (żyrandol) Greta Gabaglio/Shutterstock.com; s. 20 (szlifierka) OlegSam/Shutterstock.com, (ubijak) Dario Sabljak/Shutterstock.com, (pistolet do masażu) nito/Shutterstock.com, (metronom) Dobos Bella Noemi/Shutterstock.com; s. 23 (kula wyburzeniowa) Lisa_Rivali/iStockphoto/Getty Images, (siodełko rowerowe) KILO LUX/Shutterstock.com; s. 27 (ważenie astronautki) NASA; s. 29 (sejsmograf) Route55/iStock/Getty Images Plus; s. 34 (linijka) Gearstd/Shutterstock.com; s. 35 (linijka) Gearstd/Shutterstock.com; s. 36 (EKG) ya_blue_ko/Shutterstock.com; s. 38 (zegar wahadłowy) lyf1/Shutterstock.com; s. 39 (wahadło zegara) AnneGM/Shutterstock.com; s. 40 (figura Chladniego) Science Photo Library/East News; s. 42 (gruszka bokserska) Krzysztof Kałucki, (ciężarek na sprężynie); s. 43 (małpka) Krzysztof Kałucki, (lokomotywa na sprężynie) Krzysztof Kałucki, (dziewczynka na huśtawce) Krzysztof Kałucki; s. 47 (zegarek mechaniczny) Serg64/Shutterstock.com; s. 49 (megafon) He2/Shutterstock.com; s. 50 (fale na wodzie) VisualArtStudio/Shutterstock.com; s. 53 (mężczyzna) Master1305/Shutterstock.com, (fale sejsmiczne) Naeblys/Shutterstock.com, (powstawanie tsunami) Drp8/Shutterstock.com, (fala tsunami) IgorZh/Shutterstock.com; s. 54 (Pelami) Ashley Cooper/Stockbyte Unreleased/Getty Images, (Crestwing) Crestwing; s. 56 (serfowanie na dużej fali) EpicStockMedia/Shutterstock.com, (dziewczyna na desce) Maksym Fesenko/Shutterstock.com; s. 57 (fala w zbiorniku) www.youtube.com/@pkvi, (fala na wodzie) Piotr Kubat/WSiP, (linijka) Gearstd/Shutterstock.com; s. 60 (fale na wodzie) Piotr Kubat/WSiP, (linijka) Gearstd/Shutterstock.com; s. 62 (głośnik) Yellow Cat/Shutterstock.com, (dźwięk w powietrzu) Stefan Drewiczewski; s. 63 (słuchawki) metamorworks/iStockphoto/Getty Images; s. 64 (trąbka) Sideways Design/Shutterstock.com, (perkusja) focal point/Shutterstock.com, (syntezator) Suradech Prapairat/Shutterstock.com, (skrzypce) Timmary/Shutterstock.com; s. 65 (wodospad) Edwin Verin/Shutterstock.com, (delfiny) EleSar/Shutterstock.com; s. 66 (skaler) Alex Mit/Shutterstock.com, (sonar) Thomas Andreas/Shutterstock.com, (USG) Thomas Andreas/Shutterstock.com, (badanie metalu) kimtaro/iStockphoto/Getty Images; s. 68 (Thomas Edison) Library of Congress, (płyta winylowa) Ted Kinsman/Science Source/BE&W; s. 69 (oscylogram) Grzegorz F. Wojewoda; s. 70 (oscylogramy 1 i 2) Grzegorz F. Wojewoda; s. 71 (oscylogramy 1–4) Grzegorz F. Wojewoda; s. 72 (odkurzacz) Icon Heaven/Shutterstock.com, (kosiarka) Icon Heaven/Shutterstock.com, (wanna) Happy Art/Shutterstock.com, (pies) Vlad Klok/Shutterstock.com, (ptak) Vlad Klok/Shutterstock.com, (samolot) Infinity design/Shutterstock.com, (ciężarówka) Infinity design/Shutterstock.com, (motocykl) Infinity design/Shutterstock.com; s. 73 (oscylogram) Grzegorz F. Wojewoda; s. 74 (ręka) RNko7/Shutterstock.com; s. 75 (chłopiec z trąbką) Dusan Pavlic/Shutterstock.com, (rudy chłopiec) Dusan Pavlic/Shutterstock.com, (głośniki) Marta Staniszewska, (słoń) Teguh Mujiono/Shutterstock.com, (dzieci) Dusan Pavlic/Shutterstock.com, (delfin) Bahtiar Maulanaa/Shutterstock.com, (nietoperz) SaveJungle/Shutterstock.com; s. 77 (metalowa linijka) Daboost/Shutterstock.com, (oscylogram) Grzegorz F. Wojewoda; s. 78 (oscylogramy 1 i 2) Grzegorz F. Wojewoda; s. 79 (człowiek z lewej) Di Studio/Shutterstock.com, (radiowóz) Soft Light/Shutterstock.com, (człowiek z prawej) Syda Productions/Shutterstock.com; s. 81 (balon) UID/Science Photo Library; s. 82 (piorun) LuckyPhoto/Shutterstock.com; s. 83 (model atomu) Stefan Drewiczewski; s. 87 (odkurzanie) M_Agency/Shutterstock.com; s. 88 (balony) ChrisGorgio/iStock/Getty Images Plus, (zjeżdżalnia) Matt Carr/Stone RF/Getty Images, (pies) enviromantic/iStockphoto/Getty Images, (miotełka) Yellow Cat/Shutterstock.com, (dłonie z kulkami) Evtushkova Olga/Shutterstock.com; s. 92 (cysterna) Roman Babakin/Shutterstock.com; s. 94 (elektryzowanie włosów) R3F/Science Photo Library/East News; s. 97 (elektroskop) Grzegorz F. Wojewoda/WSiP; s. 98 (filtr powietrza) Alnor Systemy Wentylacji Sp. z o.o.; s. 100 (elektroskop) haryigit/Shutterstock.com; s. 101 (widelec) ANTONIO TRUZZI/Shutterstock.com, (kubek) New Africa/Shutterstock.com, (atomy) Stefan Drewiczewski; s. 103 (kule) 123dartist/Shutterstock.com, (balonik) ChrisGorgio/iStock/Getty Images Plus; s. 104 (działanie piorunochronu) Stefan Drewiczewski, (błyskawica) Riddick Patrec/Shutterstock.com; s. 106 (atom) WSiP, (ręka z linijką), (puszka), (chłopiec w swetrze), (klamka) Krzysztof Kałucki; s. 107 (elektryzowanie włosów), (śruba), (krzesło) Krzysztof Kałucki, (baloniki) grayjay/Shutterstock.com, (elektroskopy) WSiP, (atomy) WSiP; s. 110 (folia nad balonem) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 111 (drukarka laserowa) Stefan Drewiczewski; s. 112 (bęben drukarki) Stefan Drewiczewski; s. 113 (lampka) Ohotnik/iStockphoto/Getty Images; s. 114 (telefon) vilax/Schutterstock.com, (zabawka) OMfotovideocontent/Schutterstock.com, (czajnik) talyonen/Schutterstock.com; s. 115

(baterie) Katerina Pereverzeva/Shutterstock.com; s. 116 (obwód z żarówką), (woltomierz analogowy), (woltomierz cyfrowy) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 117 (obwody 1-3) Wojciech Wójtowicz / WSiP; s. 118 (akumulator) BalancePhoto/Shutterstock.com, (bateria) Ensuper/Schutterstock.com, (panel fotowoltaiczny) Artem Egorov/Schutterstock.com, (turbiny wiatrowe) Norman Krauss/Schutterstock.com; s. 119 (obwód z cytryną) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 120 (woltomierz) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 122 (natężenie ruchu duże) DarSzach/Schutterstock.com, (natężenie ruchu małe) DarSzach/Schutterstock.com; s, 124 (amperomierz analogowy), (amperomierz cyfrowy), (obwód z żarówką) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 125 (burza) Dark Moon Pictures/ Schutterstock.com, (lampa LED) MirageC/Moment RF/Getty Images, (czajnik) Dmitry Syshchikov/Shutterstock.com, (spawanie) shinobi/Schutterstock.com; s. 127 (amperomierz) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 128 (las sosnowy) Alex Polo/Schutterstock.com, (las brzozowy) alex_ugalek/iStockphoto/Getty Images; s. 129 (długie przewody) Wojciech Wójtowicz /WSiP; s. 130 (obwód) Wojciech Wójtowicz /WSiP, (oporniki) moon.dream/Shutterstock.com; s. 131 (opornik nastawny) Andrei Nekrassov/Schutterstock.com; s. 132 (opornik nastawny) Andrei Nekrassov/Schutterstock.com, (odkurzacz) Irine and Andrew/Schutterstock.com, (maszyna do szycia) Lisa F. Young/Schutterstock.com, (potencjometr) Nasared/Schutterstock.com; s. 134 (zasilacz) Powerlab, (baterie) Katerina Pereverzeva/ Shutterstock.com, (przewody) deepblue4you/iStockphoto/Getty Images; s. 135 (wyłącznik) Aldona Griskeviciene/Shutterstock.com, (żarówka) koosen/Shutterstock.com, (mały opornik) Craig Walton/ Schutterstock.com, (duży opornik) aquatarkus/iStockphoto/Getty Images, (brzęczyk) VectorMine/ Schutterstock.com, (silnik elektryczny) VectorMine/Schutterstock.com, (dioda) VectorMine/Schutterstock.com, (woltomierz) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (amperomierz) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (omomierz) kckate16/Schutterstock.com; s. 136 (obwód z baterią) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 138 (obwody z diodą 1 i 2) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (wnętrze latarki) Stefan Drewiczewski; s. 139 (miernik uniwersalny 1 i 2) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 140 (obwód z brzęczykiem) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 141 (obwód z żarówką) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 142 (licznik cyfrowy) Dmitry Melnikov/Schutterstock.com, (licznik mechaniczny) Evgeny Tomeev/Schutterstock.com; s. 143 (elektrownia wodna) Claus Leisenberg/iStockphoto/Getty Images, (piekarnik) Omer Murat/Schutterstock.com, (licznik) adventtr/iStockphoto/Getty Images; s. 145 (człowiek na rowerku) Bee Creative; s. 146 (lampa naftowa) Cbenjasuwan/Schutterstock.com, (żarówka) Somchai Som/Shutterstock.com, (świetlówka) steamroller_blues/Shutterstock.com, (lampa LED) Coprid/Shutterstock.com; s. 147 (etykieta energetyczna) Stefan Drewiczewski; s. 149 (grzejnik) Maxx-Studio/Shutterstock.com, (tabliczka znamionowa) Stefan Drewiczewski; s. 150 (suszarka) Spantomoda/Shutterstock.com; s. 152 (obwód z żarówką) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (silnik modelarski) robert8/Shutterstock.com; s. 153 (wentylator) Serg_Zavyalov_photo/Schutterstock.com, (żarówka) koosen/Shutterstock.com, (czajnik) Salvador.F.Cortez/Schutterstock.com, (maszyna do popcornu) Bartosz Wojciechowski/galerialucznik.pl; s. 154 (czajniki) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 156 (tabliczka znamionowa) Stefan Drewiczewski; s. 158 (znak niebezpieczeństwa 1–3) WSiP, (przewody w izolacji) al_1033/iStockphoto/ Getty Images; s. 159 (bezpiecznik topikowy) lantapix/iStockphoto/Getty Images, (bezpiecznik b) Ryszard Piątkowski/WSiP, (bezpiecznik c) Volodymyr Krasyuk/Schutterstock.com, (bezpiecznik różnicowo-prądowy) nelikdulatov/Schutterstock.com; s. 160 (gniazdko) Pawel Michalowski/Schutterstock.com; s. 161 (nieprawidłowe podłączenie)MPIX/Shutterstock.com, (prawidłowe podłączenie)Rocco Herrmann/Schutterstock.com, (przewód) KatMoys/Schutterstock.com, (wtyczka) HenadziPechan/Schutterstock.com, (gniazdko)SpicyTruffel/Schutterstock.com; s. 162 (gniazdo typ C, E, F i zagraniczne)SpicyTruffel/Schutterstock.com, (adapter) grossishut/Schutterstock.com; s. 163 (wtyczka) annfoto/iStockphoto/Getty Images; s. 164 (bateria) vectortatu/Shutterstock.com; s. 165 (amperomierz) Andrei Nekrassov/Shutterstock.com, (woltomierz) Andrei Nekrassov/ Shutterstock.com, (bateria) vectortatu/Shutterstock.com, (opornik) zizou7/Shutterstock.com, (bateria) Golden Sikorka/Shutterstock.com, (żarówka) huntingSHARK/Shutterstock.com; s. 166 (bateria) Katerina Pereverzeva/Shutterstock.com, (żarówka) koosen/Shutterstock.com; s. 168 (tabliczka znamionowa) Stefan Drewiczewski, (dziecko w samochodziku) Kozub Vasyl/Shutterstock.com; s. 169 (znak defibrylatora) reprod, (defibrylator) Jin young-in/Shutterstock.com; s. 171 (klocki magnetyczne) Ohotnik/iStockphoto/Getty Images; s. 172 (zorza polarna) wootthisak nirongboot/Moment RF/Getty Images; s. 173 (igła magnetyczna) vosinstrumenten.nl, (kompas) Skymax/Shutterstock.com,

(Ziemia) pegasusa012/Shutterstock.com; s. 174 (zmiana położenia bieguna) Peter Hermes Furian-pryzmat/Shutterstock.com; s. 175 (igły magnetyczne wokół magnesu) B. Wojciechowski/WSiP; s. 176 (opiłki żelaza) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (magnes podkowiasty i sztabkowy) Afiq Sam/Shutterstock.com, (magnesy pastylkowe) Milton Buzon/Shutterstock.com, (taśma magnetyczna) durable.poznan.pl; s. 177 (zapięcie torebki) Boriboon Chutikasam/Dreamstime.com, (aglety) Sulpo, (klocki) Olga_Shestakova/Shutterstock.com, (zatrzaski) anmbph/iStockphoto/Getty Images, (ferrofluid) Oliver Hoffmann/Shutterstock.com; s. 178 (zorza polarna) NASA, (zorza polarna powstawanie) daulon/Shutterstock.com; s. 180 (elektromagnes na złomowisku) Petar An/Shutterstock.com; s. 182 (zwojnica z opiłkami) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (elektromagnes) KPixMining/Shutterstock.com; s. 183 (przewód na śrudbie) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 184 (dzwonek szkolny) iLexx/iStockphoto/Getty Images, (głośnik) Djaile/Shutterstock.com, (zamek elektromagnetyczny) Somsit/Shutterstock.com, (rezonans magnetyczny) gorodenkoff/iStockphoto/Getty Images; s. 185 (gong rurowy) ezamel.pl; s. 187 (hulajnogi) Matej Kastelic/Shutterstock.com; s. 188 (zwojnica z drutu) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (silnik z baterii i drutu) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 189 (model silnika elektrycznego) Paweł Domownik; s. 190 (silnik elektryczny w różnych momentach) Paweł Domownik; s. 191 (szczoteczka) Tatsiana Volkava/Moment RF/Getty Images, (mikser kuchenny) maxim ibragimov/Shutterstock.com, (rower elektryczny) deepblue4you/iStockphoto/Getty Images; s. 194 (nadajniki) Suwin66/Shutterstock.com; s. 196 (odpady promieniotwórcze) Dirk Ercken/Shutterstock.com, (solarium) Piotr Latacha/Shutterstock.com, (pilot) rangizzz/Shutterstock.com, (prześwietlenia) itsmejust/Shutterstock.com, (obiektyw) igorlale/Shutterstock.com, (anteny) PAP/Wojtek Szabelski, (radar pogodowy) tsmarkley/iStockphoto/Getty Images; s. 197 (radar drogowy) John Roman Images/Shutterstock.com, (telewizor) Franck Boston/Shutterstock.com, (ogień) LianeM/Shutterstock.com, (kobieta) Yuri Shevtsov/Shutterstock.com, (radioteleskop) cbpix/Shutterstock.com, (termometr bezprzewodowy) Foremniakowski/iStockphoto/Getty Images, (tęcza) Fat Jackey/Shutterstock.com; s. 198 (lampa UV) bio-clean.com.pl, (zdjęcie RTG) Panyawatt/iStockphoto/Getty Images, (nóż gamma) monkeybusinessimages/iStockphoto/Getty Images; s. 199 (pilot TV) Tomasz Greczyło/WSiP, (kuchenka mikrofalowa) goir/iStockphoto/Getty Images; s. 200 (kamera termowizyjna) Ivan Smuk/Shutterstock.com, (Słońce widzialne) NASA/SDO,(Słońce podczerwień) NASA/SMEI/NSO, (Słońce nadfiolet) NASA/SDO/AIA, (prześwietlenie plecaka) DawidKasza/iStockphoto/Getty Images, (walkie-talkie) Nudphon Phuengsuwan/Shutterstock.com; s. 202 (przepołowiony magnes) Katarzyna Stolarska, (elektromagnes) Katarzyna Stolarska, (bateria) vectortatu/Shutterstock.com, (magnesy) Katarzyna Stolarska, (lodówka) MarijaPiliponyte/Shutterstock.com, (magnes) Katarzyna Stolarska; s. 203 (igła magnetyczna) ArtMari/Shutterstock.com, (kompas) hvostik/Shutterstock.com, (Ziemia) peiyang/Shutterstock.com, (magnesy i igły) Katarzyna Stolarska, (silnik) Katarzyna Stolarska, (symbol gamma) Artstrov/Shutterstock.com, (prześwietlenie) Black Creator 24/Shutterstock.com, (leżak) bsd studio/Shutterstock.com, (żarówka) Design Ful/Shutterstock.com, (kaloryfer) Farah Sadikhova/Shutterstock.com, (mikrofalówka) Vector/Shutterstock.com, (nadajnik) HN Works/Shutterstock.com; s. 207 (samochód hybrydowy) greenbeanbattery.com, (prądnica) Toyota, (miernik) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (zwojnica) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (magnes) Afiq Sam/Shutterstock.com; s. 208 (miernik) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (zwojnica) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (magnes) Afiq Sam/Shutterstock.com; s. 209 (lupa) Retouch man/Shutterstock.com; s. 210 (światło widzialne) Stefan Drewiczewski; s. 212 (monitor) ISerg/iStockphoto/Getty Images, (laser) l i g h t p o e t/Shutterstock.com; s. 213 (Słońce) SOHO/NASA, (lampa naftowa) TheFlesh/iStockphoto/Getty Images, (żarówka) Retouch man/Shutterstock.com, (lampa LED) Coprid/Shutterstock.com, (świetlik) Ali Majdfar/Moment RF/Getty Images; s. 214 (czopki i pręciki) Omikron/Science Source/BE&W; s. 215 (CMYK) WSiP; s. 216 (słoneczny dzień) DMH Images/Photodisc/Getty Images, (pochmurny dzień) REB Images/Tetra images RF/Getty Images; s. 217 (światło) newelle/Shutterstock.com; s. 220 (stadion piłkarski – lampy w rogu) View Stock RF/Getty Images, (mecz – cienie) Barone Firenze/Shutterstock.com, (Stadion Narodowy) Mikolaj Barbanell/Shutterstock.com, (R. Lewandowski) Mikolaj Barbanell/Shutterstock.com, (lampy medyczne) nimon_t/iStockphoto/Getty Images, (lampy fotograficzne) ozgurdonmaz/iStockphoto/Getty Images; s. 222 (siatkówka) mariakray/Shutterstock.com, (cienie) Thomas Barwick/Digital Vision/Getty Images; s. 223 (bitwa) Wikipedia [Public Domain], (odbicie) Paul Blake/Shutterstock.com; s. 224

(lusterko) SpicyTruffel/Shutterstock.com; s. 225 (odbicie) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 226 (kot) Anita_Bonita/iStockphoto/Getty Images; s. 227 (człowiek) Di Studio/Shutterstock.com, (pokój lustrzany) Cavan Images RF/Getty Images, (kalejdoskop) Hiroshi Watanabe/Digital Vision/Getty Images; s. 228 (peryskop) Gartenwelt Riegelsberger, (sesja) Synergic Works OU/Shutterstock.com, (noktowizor) Stocktrek Images/Getty Images, (noktowizja) suman bhaumik/iStockphoto/Getty Images, (lustrzanka) L_Mirror/iStockphoto/Getty Images; s. 229 (ambulans) Grażyna Bryk/WSiP; s. 230 (lustra drogowe) alexfan32/Shutterstock.com; s. 231 (zwierciadło wklęsłe) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 234 (latarka) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 236 (bombka) snake3d/Shutterstock.com, (lustro sklepowe) prodrop.pl, (lusterko dentystyczne) Lighthunter/Shutterstock.com, (lusterko kosmetyczne) grey_and/Shutterstock.com, (lusterko wsteczne) oatintro/iStockphoto/Getty Images; s. 237 (zwierciadła akustyczne) Tomasz Greczyło; s. 239 (ryba) BRIAN BEVAN/Alamy Stock Photo/BE&W; s. 242 (załamanie) Wojciech Wójtowicz/WSiP, (ołówek w wodzie) Pat_Hastings/Shutterstock.com; s. 243 (ryba) Nosyrevy/Shutterstock.com, (mężczyzna) spaxiax/Shutterstock.com, (pryzmat) Audrius Merfeldas/Shutterstock.com; s. 244 (światłowód) Stefan Drewiczewski, (wiele światłowodów) Steve Collender/Shutterstock.com; s. 245 (foka) by wildestanimal/Moment RF/Getty Images, (niedźwiedź) ILYA AKINSHIN/Shutterstock.com; s. 247 (halo) QuanT/iStockphoto/Getty Images; s. 250 (zraszacz) BanksPhotos/iStockphoto/Getty Images, (ozdoby) Lina Dreznal/Shutterstock.com, (diament) DiamondGalaxy/Shutterstock.com, (tęcza) Bo Valentino/Shutterstock.com; s. 251 (tęcza w kropli) Stefan Drewiczewski, (powstawanie tęczy) Stefan Drewiczewski, (dziewczyna) mimagephotography/Shutterstock.com; s. 253 (denko szklanej butelki), (butelka z wodą) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 254 (soczewka skupiająca) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 255 (lupa) rogerashford/iStockphoto/Getty Images; s. 257 (mikroskop) Boogich/E+/Getty Images, (roztocza) SciePro/Shutterstock.com, (luneta) Cavan Images/Alamy Stock Photo/BE&W, (sowa) Losonsky/Shutterstock.com, (teleskop) AstroStar/Shutterstock.com, (Księżyc) Evgeniyqw/Shutterstock.com; s. 263 (okulary) Krakenimages.com/Shutterstock.com; s. 264 (soczewka rozpraszająca) Wojciech Wójtowicz/WSiP; s. 269 (akomodacja) Ewa Pawińska; s. 272 (światło widzialne) Katarzyna Stolarska, (odbicie) Katarzyna Stolarska, (załamanie) Katarzyna Stolarska, (dalekowzroczność) Katarzyna Stolarska, (krótkowzroczność) Katarzyna Stolarska, (pryzmat) Katarzyna Stolarska; s. 277 (niebo) DaveBolton/iStockphoto/Getty Images, (Jowisz) Emad Alkhuja/iStockphoto/Getty Images, (galaktyki) NASA, ESA, s. Beckwith (STScI) and the HUDF Team

Komiksy: Daniel de Latour

Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że podjęły starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępują zgodnie z art. 27^1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że są jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w wypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

WSiP

WYDAWNICTWA
SZKOLNE
i PEDAGOGICZNE

wsip.pl

sklep.wsip.pl

infolinia: 801 220 555