8

Grażyna Francuz-Ornat
Teresa Kulawik
Maria Nowotny-Różańska

Spotkania z fizyką

PODRĘCZNIK DO FIZYKI
DLA KLASY ÓSMEJ SZKOŁY PODSTAWOWEJ

OZNACZENIA W E-PODRĘCZNIKU

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

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

Tak zaznaczono treści, o których realizacji decyduje nauczyciel.

nowa era
Twoje mocne strony

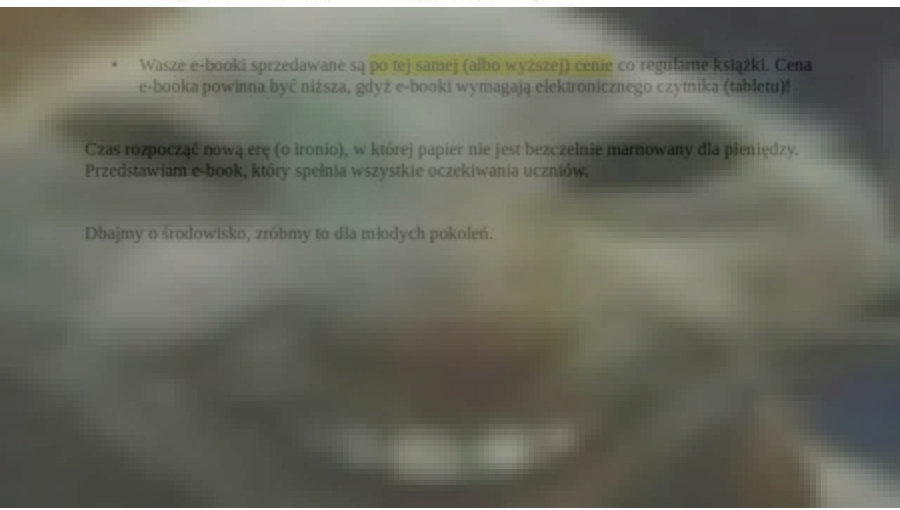
Droga Nowa Ero,

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

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

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

- W przeciwieństwie do fizycznej książki, licencja na e-book kończy się po roku. Oznacza to, że jeżeli moja córka chciałaby powtórzyć sobie całą wiedzę do matury, musiałabym jej kupić wszystkie wasze książki od nowa.
- Waszych e-booków nie da się pobrać! Wymagają one dostęp do internetu, co uniemożliwia ich użycie na naszej wsi, gdzie zasięg jest ograniczony.



- Wasze e-booki sprzedawane są po tej samej (albo wyższej) cenie co regularne książki. Cena e-booka powinna być niższa, gdyż e-booki wymagają elektronicznego czytnika (tabletu)!

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

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

To było w klasie siódmej

Siły i ruch 6
Właściwości materii 14
Energia i termodynamika 22

I Elektrostatyka

1. Elektryzowanie ciał 30
2. Budowa atomu. Jednostka ładunku elektrycznego 37
3. Przewodniki i izolatory 42
4. Elektryzowanie przez dotyk 47
5. Elektryzowanie przez indukcję 53

Powtórzenie. Elektrostatyka 58
Analiza tekstu. Gdzie wykorzystuje się elektryzowanie ciał 64

II Prąd elektryczny

6. Prąd elektryczny. Napięcie elektryczne i natężenie prądu 68
7. Pomiar natężenia prądu i napięcia elektrycznego 77
8. Opór elektryczny 86
9. Praca i moc prądu elektrycznego 93
10. Użytkowanie energii elektrycznej 102

Powtórzenie. Prąd elektryczny 112
Projekt. Żarówka czy świetlówka 117

III Magnetyzm

11. Bieguny magnetyczne 120
12. Właściwości magnetyczne przewodnika z prądem 128
13. Elektromagnes – budowa, działanie, zastosowanie 135
14. Oddziaływanie magnetyczne a silnik elektryczny 141

Powtórzenie. Magnetyzm 148
Analiza tekstu. Właściwości magnesów i ich zastosowania 153

IV Drgania i fale

15. Ruch drgający 158
16. Wykres ruchu drgającego. Przemiany energii 165
17. Fale mechaniczne 171
18. Fale dźwiękowe 177
19. Wysokość i głośność dźwięku 183

20. Fale elektromagnetyczne 193
Powtórzenie. Drgania i fale 202
Projekt. Prędkość i częstotliwość dźwięku 208

V Optyka

21. Światło i jego właściwości 212
22. Zjawiska cienia i półcienia 219
23. Odbicie i rozproszenie światła 224
24. Zwierciadła 229
25. Obrazy tworzone przez zwierciadła sferyczne 238
26. Zjawisko załamania światła 246
27. Soczewki 254
28. Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewek 260
Powtórzenie. Optyka 271
Analiza tekstu. Zastosowanie prawa odbicia i prawa załamania światła 278

Tabele 281
Odpowiedzi do zadań obliczeniowych 284
Indeks 286

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

Oznaczenia stosowane w podręczniku

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

oznaczenie zadań, które należy rozwiązać lub uzupełnić w zeszycie

DOŚWIADCZENIE 11

oznaczenie doświadczeń obowiązkowych zapisanych w podstawie programowej

? obszar do uzupełnienia po przepisaniu do zeszytu

R materiał spoza podstawy programowej

To było w klasie siódmej



Siły i ruch

Parametry opisujące ruch

- **Ruch** polega na zmianie położenia ciała względem **układu odniesienia** zachodzącej z upływem czasu. Bez wyboru układu odniesienia opis ruchu jest niemożliwy.
- Ciało może być w ruchu jednostajnym względem jednego ciała, a jednocześnie w ruchu zmiennym względem drugiego ciała i w spoczynku względem jeszcze innego. Na tym polega **względność ruchu**.
- Parametrami opisującymi ruch są między innymi: **tor**, **droga**, **prędkość** i **przyspieszenie**.
- **Tor** jest to linia, po której ciało się porusza.
- **Droga** (*s*) jest to długość toru ruchu.

Ze względu na **kształt toru** wyróżnia się ruch:

prostoliniowy,
którego torem jest linia prosta.



krzywoliniowy,
którego torem jest linia krzywa.



Ze względu **na prędkość** ruchy dzieli się na:

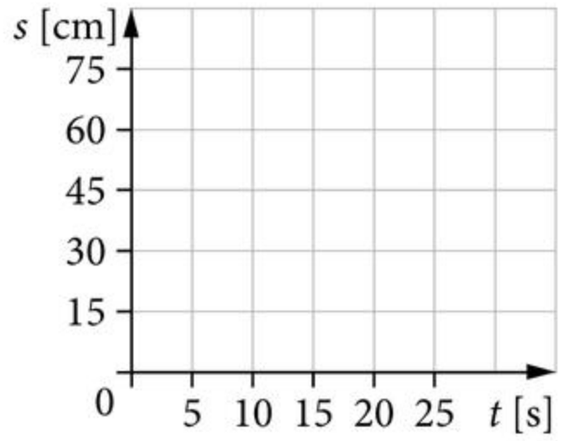
jednostajne
(w których prędkość ma stałą wartość).



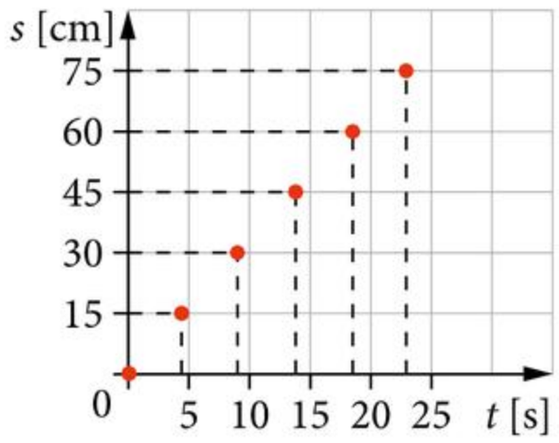
niejednostajne
(w których wartość prędkości zmienia się z upływem czasu).



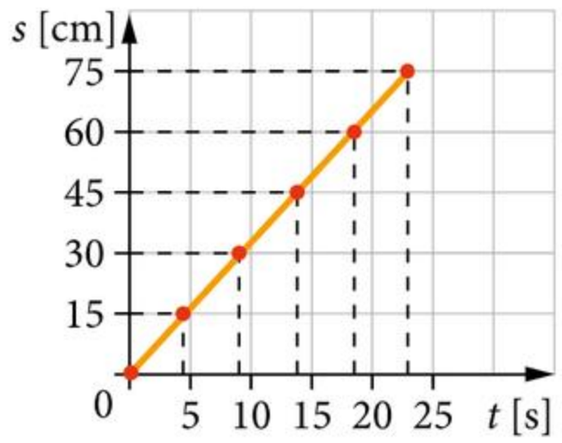
Sporządzanie wykresów (na przykładzie zależności przebytej drogi od czasu w ruchu jednostajnym prostoliniowym)



1 Rysujemy, skalujemy i opisujemy osie.



2 Zaznaczamy punkty pomiarowe.



3 Rysujemy wykres.

Ruch jednostajny prostoliniowy

- **Ruch jednostajny prostoliniowy** to ruch, w którym ciało pokonuje jednakowe odcinki drogi w takich samych odstępach czasu, a torem jest linia prosta.
- **Prędkość** jest wielkością wektorową. W ruchu jednostajnym prostoliniowym prędkość **jest stała**, zatem wartość prędkości można obliczyć ze wzoru:

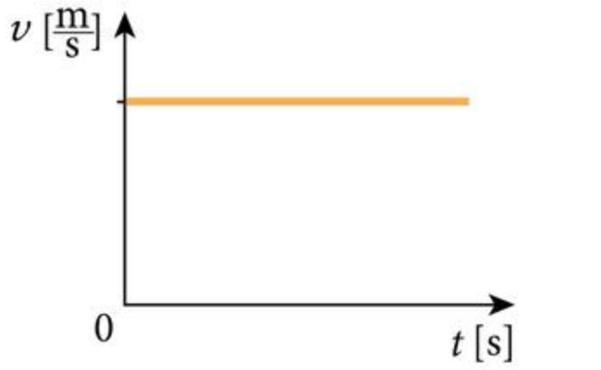
$\text{prędkość} = \frac{\text{droga}}{\text{czas}}$	$v = \frac{s}{t}$

Jednostką prędkości w układzie SI jest zatem $[v] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

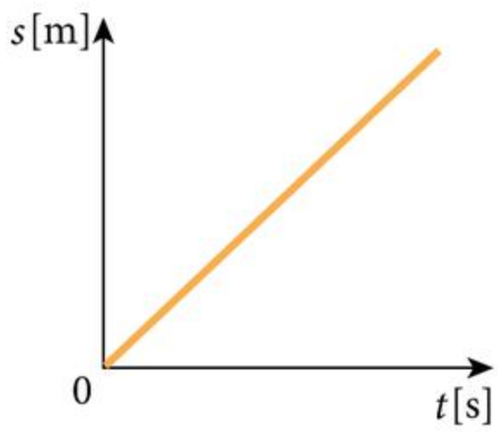
- **Droga** s, którą pokonuje ciało poruszające się ruchem jednostajnym prostoliniowym, jest proporcjonalna do czasu trwania ruchu.

droga = prędkość · czas	$s = v \cdot t$

- Jednostką drogi w układzie SI jest $[s] = \text{m}$.



Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.



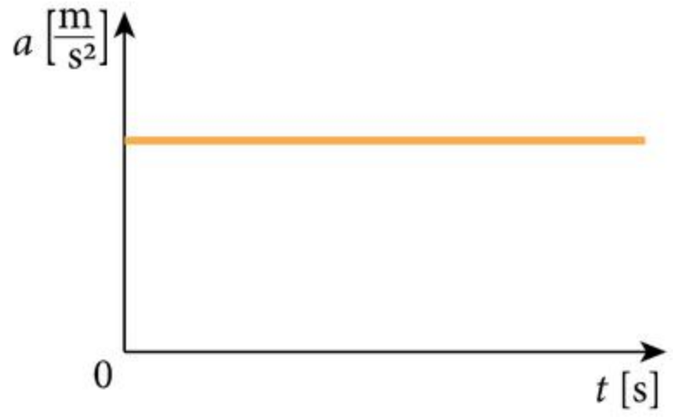
Wykres zależności drogi od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.



Pociągi często pokonują długie odcinki drogi ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Ruch prostoliniowy jednostajnie przyspieszony i opóźniony

- **Ruch jednostajnie przyspieszony** to ruch, w którym prędkość w każdej kolejnej sekundzie zwiększa się o taką samą wartość.
- **Przyspieszenie** określa, o ile zmienia się prędkość ciała w ciągu jednej sekundy.
- W ruchu jednostajnie przyspieszonym **przyspieszenie jest stałe**, a jego wartość oblicza się ze wzoru:

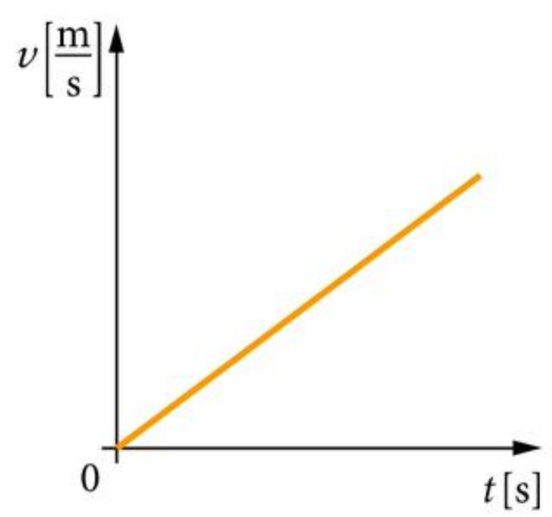


Wykres zależności przyspieszenia od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego.

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{prędkość końcowa} - \text{prędkość początkowa}}{\text{czas zmiany prędkości}} = \frac{\text{zmiana prędkości}}{\text{czas zmiany prędkości}} \qquad a = \frac{v_k - v_p}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

Jednostką przyspieszenia w układzie SI jest zatem $[a] = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

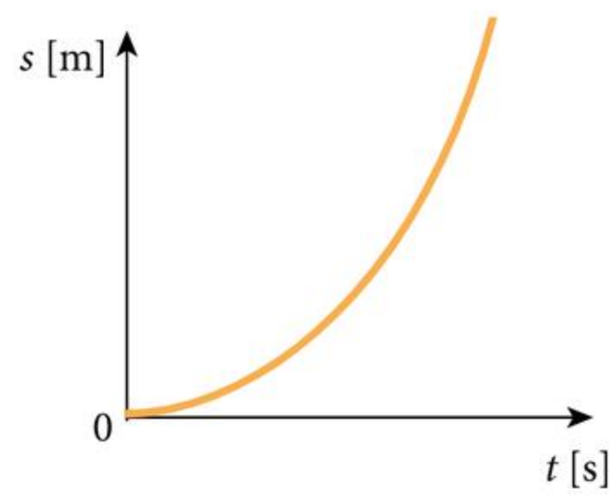
- Gdy przyspieszenie ma taki sam zwrot jak prędkość, ciało **się rozpędza**, a gdy zwroty prędkości i przyspieszenia są przeciwne, ciało **hamuje**.
- Jeżeli prędkość w kolejnych sekundach ruchu maleje o taką samą wartość, to taki ruch nazywa się **jednostajnie opóźnionym**.
- Jeżeli prędkość początkowa ciała jest równa $0\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, to prędkość, jaką po danym czasie osiągnie ciało poruszające się ruchem jednostajnie przyspieszonym, oblicza się ze wzoru:



Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, gdy prędkość początkowa jest równa zero.

$$\text{prędkość końcowa} = \text{przyspieszenie} \cdot \text{czas ruchu} \qquad v_k = a \cdot t$$

- **Drogę** w ruchu jednostajnie przyspieszonym z prędkością początkową równą zero oblicza się ze wzoru:



Wykres zależności drogi od czasu dla ruchu jednostajnie przyspieszonego, gdy prędkość początkowa jest równa zero.

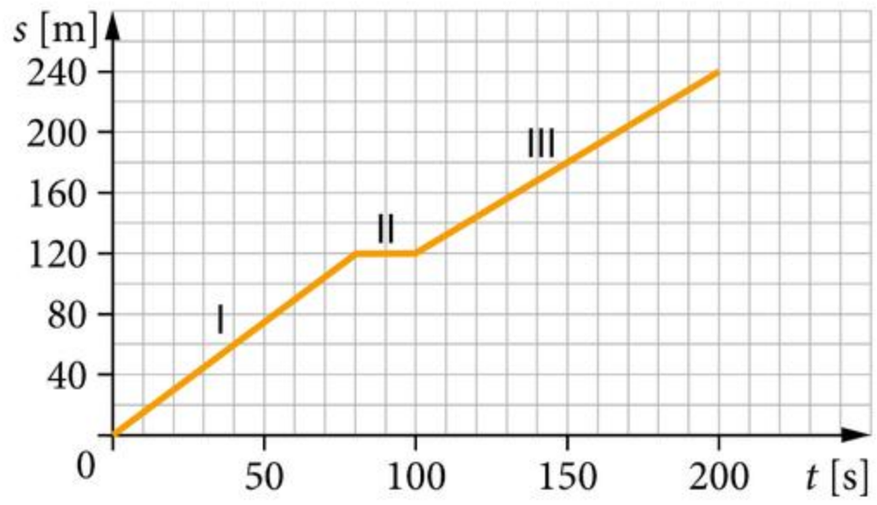
$$\text{droga} = \frac{\text{przyspieszenie} \cdot (\text{czas})^2}{2} \qquad s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Przykład 1. Obliczanie prędkości na podstawie wykresu

Wykres przedstawia zależność drogi – przebytej przez piechura podczas spaceru po mieście – od czasu. Piechur zatrzymał się na 20 sekund przed przejściem dla pieszych i czekał na zielone światło (etap II), a następnie ruszył w dalszą drogę (etap III).

a) Oblicz prędkość, z jaką poruszał się piechur w ciągu pierwszych 80 s ruchu (etap I), oraz prędkość po zmianie świateł.

b) Narysuj wykres zależności prędkości od czasu dla przedstawionego na wykresie ruchu piechura.



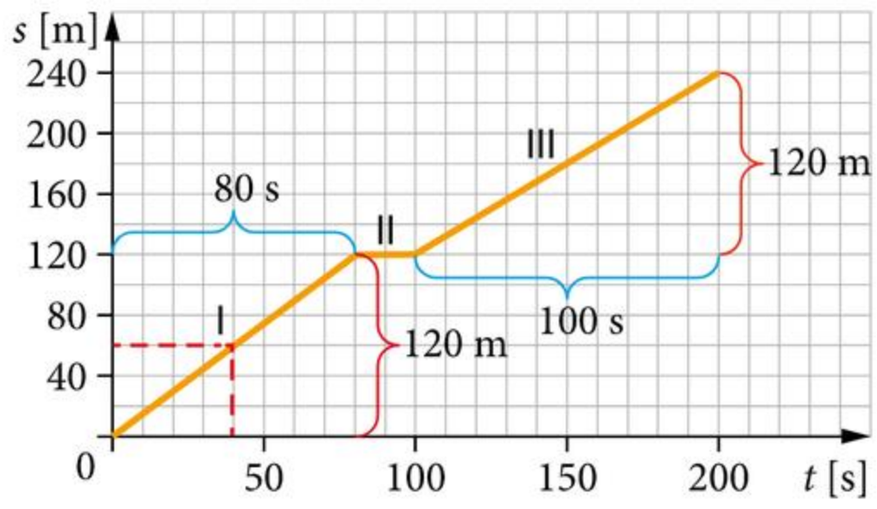
Rozwiązanie:

a) Z wykresu odczytujemy, że w ciągu pierwszych 80 s (etap I) piechur przebył jednostajnie drogę 120 m, zatem jego prędkość była stała i równa:

$$v_1 = \frac{120\,\text{m}}{80\,\text{s}} = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

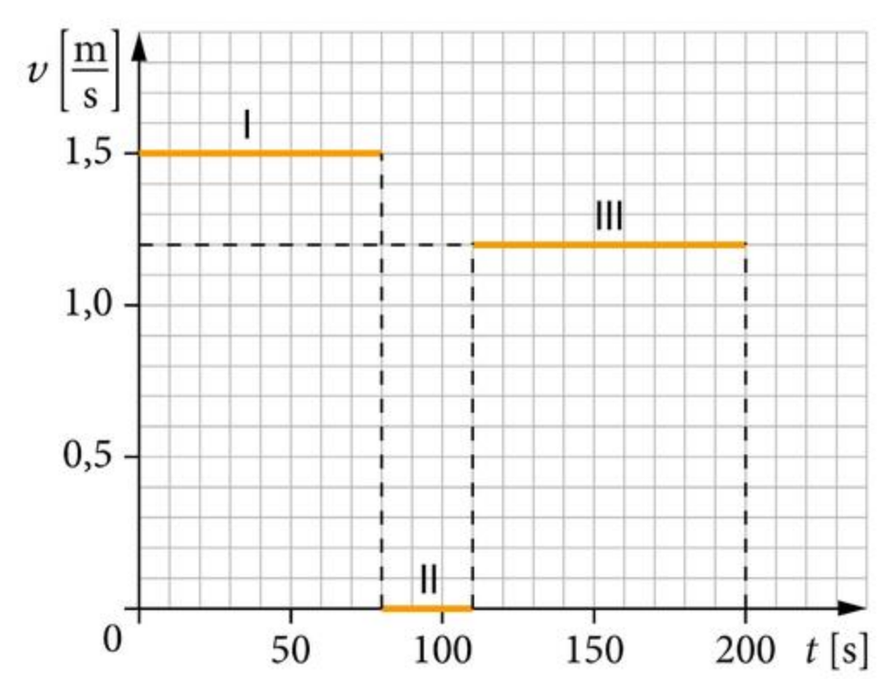
Po zatrzymaniu się na czerwonym świetle piechur ruszył dalej (upłynęło 100 s od rozpoczęcia ruchu i zaczął się etap III ruchu). Przez kolejne 100 s ruchem jednostajnym pokonał drogę 120 m, zatem poruszał się ze stałą prędkością:

$$v_2 = \frac{120\,\text{m}}{100\,\text{s}} = 1{,}2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Aby obliczyć prędkość na danym odcinku drogi, wystarczy odczytać współrzędne dowolnego punktu, np. dla etapu I $t_1 = 40$ s, $s_1 = 60$ m. Otrzymujemy $v_1 = \frac{60\,\text{m}}{40\,\text{s}} = 1{,}5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Na podstawie wyliczonych powyżej prędkości piechura na poszczególnych odcinkach drogi sporządzamy wykres zależności prędkości od czasu. W etapie I ruchu (przez 80 s) piechur poruszał się jednostajnie z prędkością 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. W etapie II, czyli przez 20 s, stał na przejściu, zatem jego prędkość była równa zero. Natomiast w III etapie ruchu przez 100 s poruszał się ze stałą prędkością 1,2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Odpowiedź: Piechur w ciągu pierwszych 80 s ruchu poruszał się ze stałą prędkością 1,5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a po zmianie świateł – ze stałą prędkością 1,2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Przykład 2. Analiza ruchu przyspieszonego

Samochód w ciągu 4 sekund zwiększył prędkość od 60 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ do 78 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, poruszając się ruchem jednostajnie przyspieszonym.

a) Oblicz przyspieszenie, z jakim poruszał się samochód.

b) Po jakim czasie samochód zwiększyłby prędkość o 15 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, gdyby ciągle poruszał się z takim samym przyspieszeniem?

Zmiana prędkości
$\Delta v = v_k - v_p$
v_k – prędkość końcowa,
v_p – prędkość początkowa.

Rozwiązanie:

a) Na początku obliczamy zmianę prędkości:

$$\Delta v = 78\,\frac{\text{km}}{\text{h}} - 60\,\frac{\text{km}}{\text{h}} = 18\,\frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Czas, w jakim samochód przyspieszał, podany jest w s, natomiast zmiana prędkości w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, dlatego zamieniamy jednostki prędkości z $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ na $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

$$\Delta v = \frac{18\,\text{km}}{1\,\text{h}} = \frac{18\,000\,\text{m}}{3600\,\text{s}} = 5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Przyspieszenie to iloraz zmiany prędkości i czasu, w którym ta prędkość się zmieniła.

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

Podstawiamy dane liczbowe: $a = \frac{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{4\,\text{s}} = 1{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Kolejne przekształcenia:
$a = \frac{\Delta v}{t} \quad |\cdot t$
$a \cdot t = \Delta v \quad |:a$
$t = \frac{\Delta v}{a}$

b) Korzystamy z definicji przyspieszenia: $a = \frac{\Delta v}{t}$. Po przekształceniu wzoru na przyspieszenie otrzymujemy:

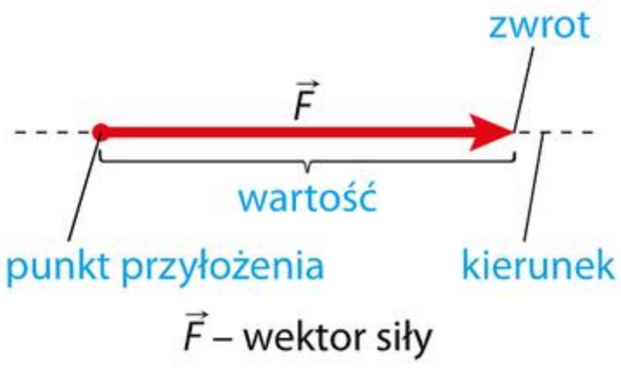
$$t = \frac{\Delta v}{a}$$

Podstawiamy dane liczbowe: $t = \frac{15\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{1{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 12\,\text{s}$ $\quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} : \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\cancel{\text{m}}}{\cancel{\text{s}}} \cdot \frac{\text{s}^{\cancel{2}}}{\cancel{\text{m}}} = \text{s}\right]$

Odpowiedź: Samochód poruszał się z przyspieszeniem 1,25 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Zwiększyłby on prędkość o 15 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ po 12 sekundach.

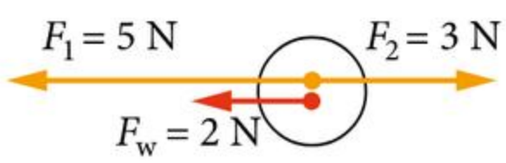
Siła jako wielkość wektorowa

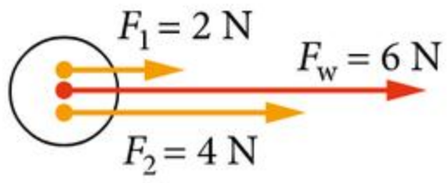
- Miarą oddziaływań jest **siła**. Siła jest wielkością **wektorową**.
- Jednostką siły jest **niuton** (**1 N**).
- Jeden niuton jest to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.
- Wartość siły można wyznaczyć za pomocą **siłomierza**.

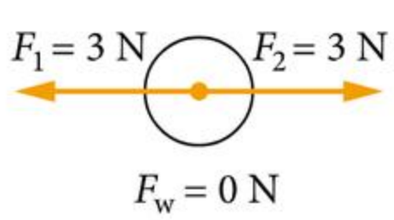


Siła wypadkowa, siły równoważące

- Siłę zastępującą działanie kilku sił nazywa się **siłą wypadkową** (czerwone strzałki).







- Dwie siły o takich samych wartościach, działające na to samo ciało wzdłuż tej samej prostej, ale mające przeciwne zwroty nazywa się **siłami równoważącymi się** (wypadkowa tych sił wynosi 0 N).

Pierwsza i druga zasada dynamiki Newtona

- **Pierwsza zasada dynamiki Newtona (zasada bezwładności)**: Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym.
- **Bezwładność** to cecha ciała, dzięki której dąży ono do zachowania swojej prędkości.
- Miarą bezwładności ciała jest jego **masa**.
- **Druga zasada dynamiki Newtona**: Jeżeli na ciało działają siły, które się nie równoważą (wypadkowa sił działających na ciało jest różna od zera), to ciało porusza się ruchem zmiennym z przyspieszeniem wprost proporcjonalnym do działającej siły i odwrotnie proporcjonalnym do masy ciała:

$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła wypadkowa}}{\text{masa ciała}}$	$a = \frac{F_w}{m}$

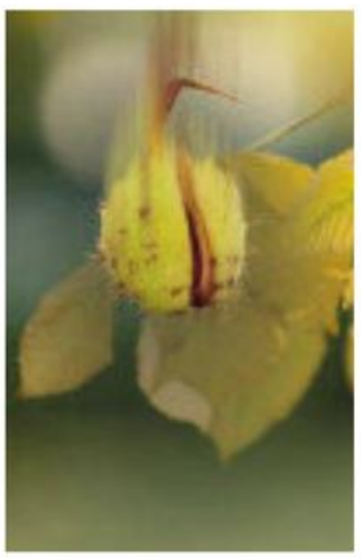
- Jeśli siła działa na ciało zgodnie z kierunkiem i zwrotem wektora prędkości, to porusza się ono **ruchem przyspieszonym** (rozpędza się). Jeśli siła działa przeciwnie do zwrotu wektora prędkości, to ciało porusza się **ruchem opóźnionym** (hamuje).

Siła ciężkości (ciężar ciała)

- **Siłę ciężkości** przy powierzchni Ziemi można obliczyć ze wzoru:

siła ciężkości = masa · przyspieszenie ziemskie	$F_g = m \cdot g$

gdzie g to **przyspieszenie ziemskie** równe około $10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.



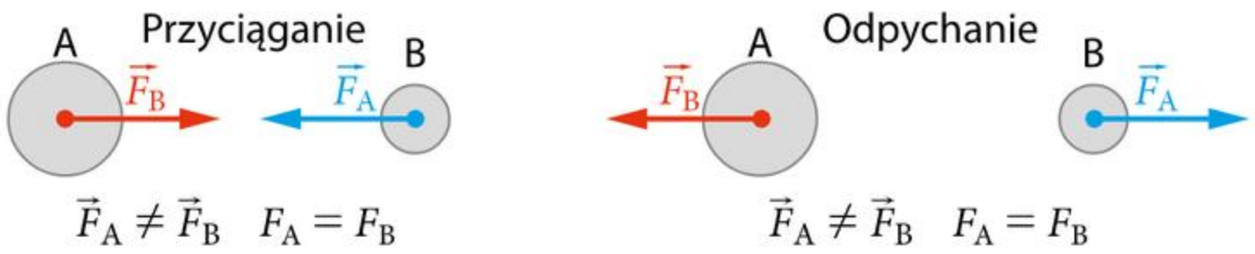
Spadanie swobodne



- **Spadanie swobodne** to ruch ciała pod wpływem siły grawitacji (ciężkości) bez oporów ruchu. W pobliżu Ziemi spadające swobodnie ciała poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z jednakowym dla wszystkich ciał przyspieszeniem ziemskim.
- **Czas swobodnego spadania** ciała z danej wysokości nie zależy od jego masy. Swobodne spadanie demonstruje się w tunelach próżniowych, takich jak widoczna na zdjęciu wieża w Bremie (Niemcy).

Trzecia zasada dynamiki Newtona

- **Trzecia zasada dynamiki Newtona:** Jeżeli ciało A działa siłą $\vec{F}_A$ na ciało B, to **jednocześnie** ciało B oddziałuje na ciało A siłą $\vec{F}_B$ równą co do wartości, mającą ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot.



Siły, z jakimi działają na siebie ciała A i B, nie równoważą się, ponieważ każda z nich działa na inne ciało.

- **Zjawisko odrzutu** ilustruje trzecią zasadę dynamiki.

Siły oporu, tarcie statyczne i kinetyczne

- **Siły oporu** ruchu to siły utrudniające ruch, jak np. tarcie.
- **Siła tarcia statycznego** działa na ciało, gdy jest ono w spoczynku, i przeciwdziała wprawianiu ciała w ruch.
- **Siła tarcia kinetycznego** działa na ciało, gdy jest ono w ruchu, i przeciwdziała ruchowi tego ciała.

Przykład 3. Obliczanie przyspieszenia i prędkości końcowej

Zawodnik podczas pchnięcia kulą działa na kulę o masie 6 kg średnią siłą 144 N.

a) Oblicz prędkość oraz średnie przyspieszenie, jakie uzyskuje kula, jeżeli kontakt ręki zawodnika z kulą w trakcie rzutu trwa 0,45 s.

b) Czy kula również działa na rękę zawodnika podczas pchnięcia? Jeśli tak, to jakie są wartość, kierunek i zwrot tej siły? Jeśli nie, to podaj prawo, które wyjaśnia to zagadnienie.

Rozwiązanie:

a) Przyspieszenie kuli obliczamy, korzystając z drugiej zasady dynamiki Newtona:

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

Podstawiamy dane liczbowe: $a = \frac{144\ \text{N}}{6\ \text{kg}} = 24\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

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

Prędkość, jaką uzyskała kula, obliczamy ze wzoru: $v = a \cdot t$. Zatem:

$$v = 24\ \frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}^2}} \cdot 0{,}45\ \cancel{\text{s}} = 10{,}8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b) Tak, działa. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki na rękę zawodnika również zadziała siła o wartości 144 N, jednak zwrócona przeciwnie niż siła, która działa na kulę.

Odpowiedź: Kula uzyskała przyspieszenie 24 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ oraz prędkość 10,8 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Kula działa na rękę zawodnika siłą 144 N, zwróconą przeciwnie niż siła działająca na kulę.

Przykład 4. Analiza ruchu spadającego ciała

W pewnej chwili po opuszczeniu samolotu, a jeszcze przed rozłożeniem spadochronu, skoczek spadał z przyspieszeniem 8 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Masa skoczka wraz ze spadochronem wynosiła 80 kg. Na skoczka działały: siła ciężkości $\vec{F}_\text{g}$ i siła oporu powietrza $\vec{F}_\text{o}$. Do obliczeń przyjmij, że $g = 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.



a) Oblicz siłę ciężkości działającą na skoczka.

b) Ile wynosiła wypadkowa siła działająca na skoczka w tamtej chwili?

c) Oblicz siłę oporu powietrza działającą na skoczka w tamtej chwili.

Rozwiązanie:

a) Siłę ciężkości obliczamy ze wzoru: $F_\text{g} = m \cdot g$.

Podstawiamy dane liczbowe: $F_\text{g} = 80\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 800\ \text{N}$

b) Siłę wypadkową obliczamy, korzystając z drugiej zasady dynamiki: $F = a \cdot m$.

$$F_\text{w} = 8\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 80\ \text{kg} = 640\ \text{N}$$

c) Siła ciężkości i siła oporu powietrza mają ten sam kierunek, lecz przeciwne zwroty, dlatego możemy zapisać: $F_\text{w} = F_\text{g} - F_\text{o}$

Zatem: $F_\text{o} = F_\text{g} - F_\text{w}$

$$F_\text{o} = 800\ \text{N} - 640\ \text{N} = 160\ \text{N}$$

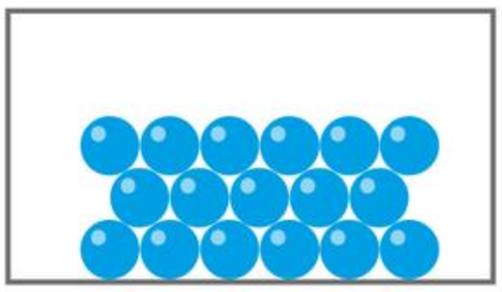
Odpowiedź: W chwili, gdy skoczek poruszał się z przyspieszeniem 8 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, działała na niego siła ciężkości równa 800 N. Siła wypadkowa działająca na skoczka wynosiła 640 N. Siła oporu powietrza wynosi 160 N.

Właściwości materii

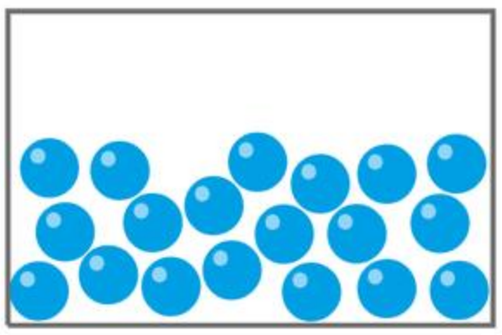
Stany skupienia

- Każda substancja jest zbudowana z **atomów** i/lub **cząsteczek**. W zależności od tego, jak atomy bądź cząsteczki oddziałują ze sobą, rozróżniamy trzy stany skupienia: stały, ciekły lub gazowy.
- **Ciała stałe** zachowują określony kształt i mają określoną objętość, ponieważ ich cząsteczki oddziałują ze sobą bardzo silnie i samoistnie nie zmieniają wzajemnego położenia (rys. A).
- **Ciecze** mają określoną objętość, ale nie utrzymują określonego kształtu, ponieważ ich gęsto upakowane cząsteczki nie oddziałują ze sobą tak mocno jak w ciałach stałych i mogą się samoistnie przemieszczać względem siebie (rys. B).
- **Gazy** nie mają określonej objętości (są ściśliwe i mogą się rozprężać) ani określonego kształtu, gdyż cząsteczki są w nich bardzo od siebie oddalone, a siły ich wzajemnego oddziaływania są znikome (rys. C).

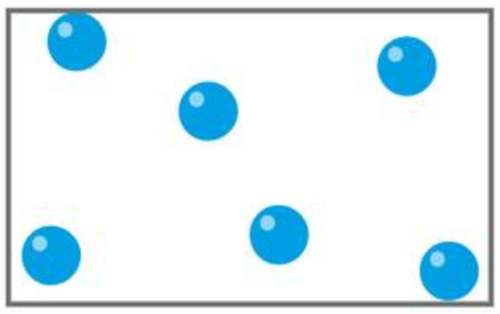
A.



B.



C.



Siły spójności, siły przylegania, napięcie powierzchniowe

- **Siły spójności** odpowiadają za wzajemne przyciąganie się cząsteczek tej samej substancji, natomiast **siły przylegania** powodują wzajemne przyciąganie się cząsteczek różnych substancji w miejscu, gdzie te substancje się stykają.

Oddziaływania międzycząsteczkowe

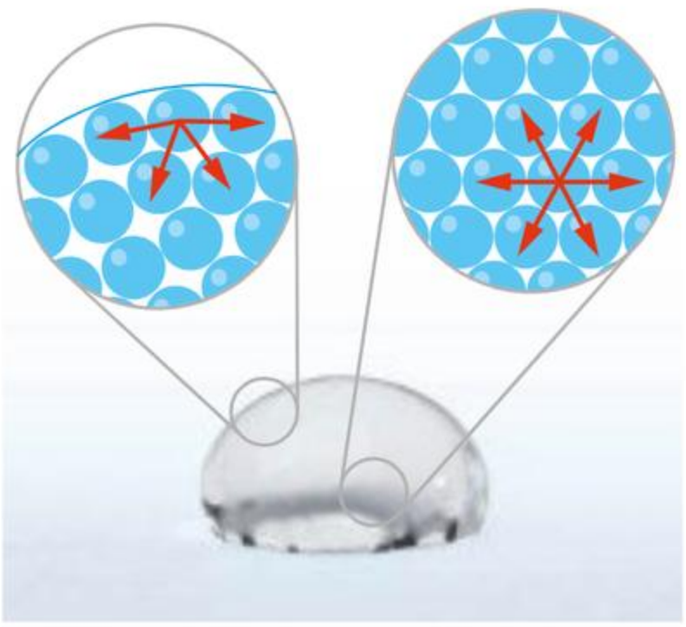
Siły spójności działają między cząsteczkami tej samej substancji.



Siły przylegania działają między cząsteczkami różnych substancji.



- Kropla przyjmuje kulisty kształt na skutek niezrównoważonych sił spójności działających na cząsteczki przy powierzchni cieczy.
- Niezrównoważone siły spójności działające na cząsteczki przy powierzchni cieczy są przyczyną występowania **napięcia powierzchniowego**, dzięki któremu powierzchnia cieczy zachowuje się jak napięta błona.
- Napięcie powierzchniowe wody można zmniejszyć, np. dodając detergentu, który zmniejszy siły spójności.



Masa i gęstość

- **Masa** jest wielkością, od której zależy bezwładność ciała. Wielkość tę stosuje się również do określania ilości substancji. Jednostką masy w układzie SI jest kilogram (1 kg).
- **Gęstość** to wielkość fizyczna, która określa, jaka jest masa jednostki objętości danej substancji. Jednostką gęstości w układzie SI jest zatem 1 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Gęstość można obliczyć, korzystając ze wzoru:

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

- Aby wyznaczyć gęstość substancji, z której zbudowane jest ciało, należy wyznaczyć masę i objętość tego ciała (lub jego próbki).

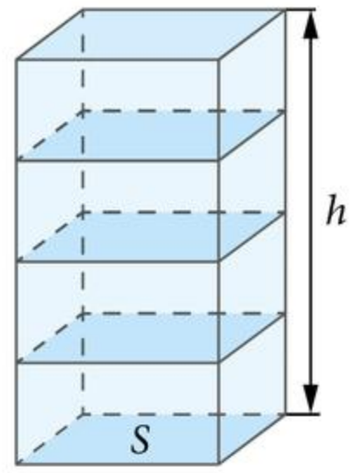
Nacisk, parcie i ciśnienie

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

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

Jak wynika z definicji, jednostką ciśnienia w układzie SI jest iloraz niutona i metra kwadratowego. Jednostce tej nadano nazwę **paskal**: $[p] = 1\ \text{Pa} = \frac{1\,\text{N}}{1\,\text{m}^2}$.

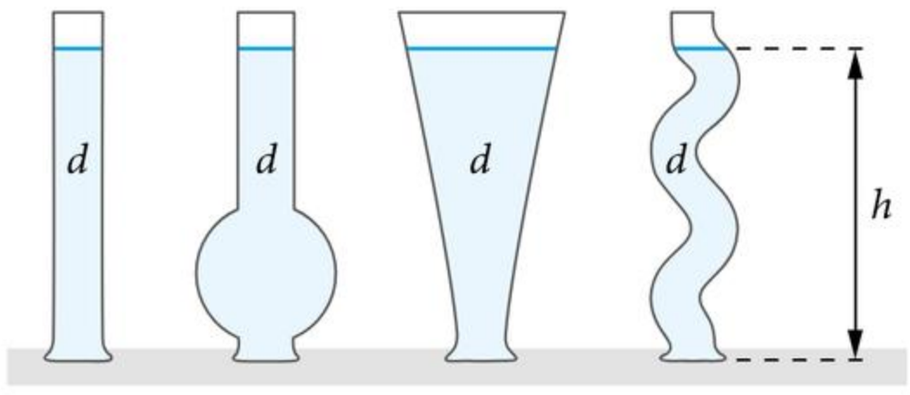
Ciśnienie hydrostatyczne, ciśnienie atmosferyczne



- Ciśnienie spowodowane naciskiem słupa cieczy nazywane jest **ciśnieniem hydrostatycznym**. Rośnie ono wraz z głębokością zanurzenia, tzn. zależy od wysokości słupa cieczy. Zależy również od gęstości cieczy.
- Ciśnienie hydrostatyczne oblicza się ze wzoru:

ciśnienie hydrostatyczne	=	gęstość cieczy	·	przyspieszenie ziemskie	·	wysokość słupa cieczy	$p = d \cdot g \cdot h$

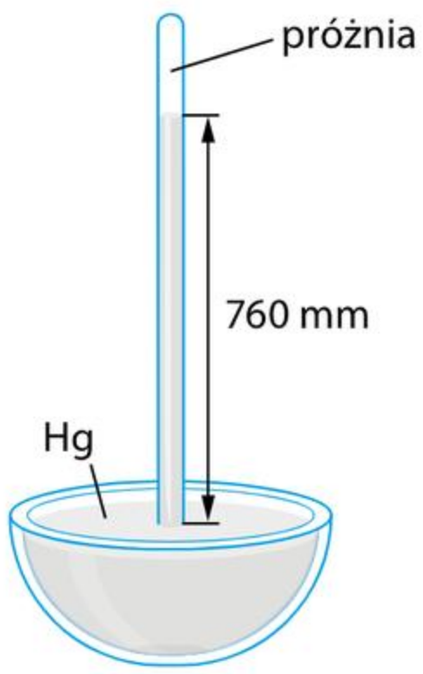
- **Ciśnienie hydrostatyczne** wywierane na dno naczynia nie zależy od wielkości i kształtu tego naczynia, ale wyłącznie od wysokości słupa cieczy i jej gęstości.



- Ciśnienie wywierane przez masy powietrza na wszystkie ciała znajdujące się w atmosferze nazywa się **ciśnieniem atmosferycznym**. Zależy ono od wysokości słupa powietrza nad punktem pomiaru ciśnienia.



- Im wyżej nad powierzchnią Ziemi, tym ciśnienie powietrza jest niższe.
- Pierwszego pomiaru ciśnienia atmosferycznego dokonał Evangelista Torricelli za pomocą naczynia i rurki z rtęcią.
- Ciśnienie wywierane przez słup rtęci o wysokości 760 mm nazwano **jedną atmosferą**. Dziś najczęściej używa się jednostki paskal (Pa) lub **hektopaskal** (1 hPa = 100 Pa).
- Ciśnienie mierzy się za pomocą **barometru**.



Prawo Pascala, prawo Archimedesa

- **Prawo Pascala:** Nacisk wywierany z zewnątrz na ciecz lub gaz powoduje jednakowy wzrost ciśnienia w całej objętości cieczy lub gazu.
- **Prawo Archimedesa:** Na każde ciało zanurzone w cieczy lub w gazie działa siła wyporu zwrócona ku górze i równa co do wartości ciężarowi wypartej cieczy lub wypartego gazu.
- **Wartość siły wyporu** można obliczyć ze wzoru:

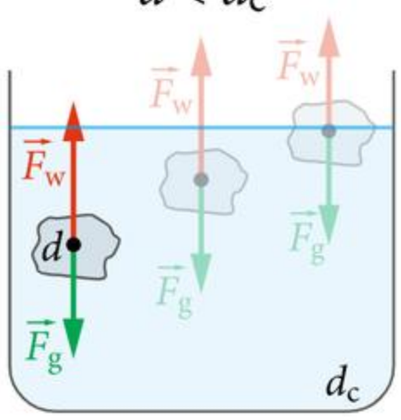
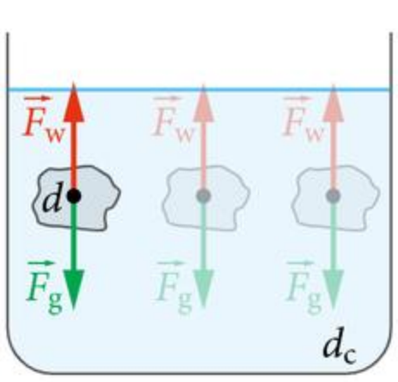
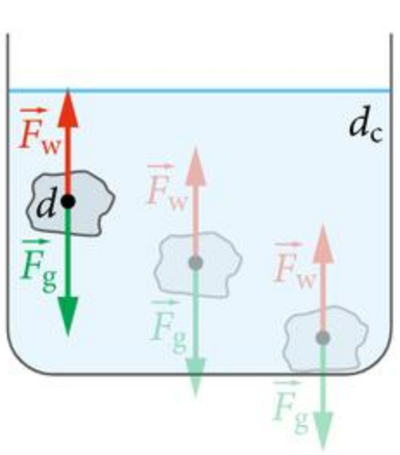
siła wyporu	=	gęstość cieczy	·	objętość wypartej cieczy	·	przyspieszenie ziemskie	$F_w = d_c \cdot V_c \cdot g$

Uwaga. Należy pamiętać, że objętość wypartej cieczy jest równa zanurzonej części ciała.

Warunki pływania ciał

- Aby sprawdzić, czy ciało tonie czy pływa w cieczy, należy porównać gęstości ciała i cieczy.

Jeżeli **gęstość ciała** zanurzonego w cieczy jest

mniejsza niż gęstość cieczy,	**równa** gęstości cieczy,	**większa** niż gęstość cieczy,
ciało umieszczone pod powierzchnią cieczy **wypłynie** i pozostanie częściowo wynurzone.	ciało umieszczone pod powierzchnią cieczy pozostanie **całkowicie zanurzone** (nie opadnie na dno ani nie wypłynie).	ciało umieszczone w cieczy **zatonie** i spocznie na dnie.
$d < d_c$	$d = d_c$	$d > d_c$
		
$F_g < F_w$	$F_g = F_w$	$F_g > F_w$

Przykład 1. Sprawdzenie warunku pływania ciał

Batyskaf o objętości 30 m^3 ma masę 6 t. Jego zbiorniki balastowe napełniono wodą o masie 15 t. Przyjmij, że gęstość wody morskiej wynosi 1025 $\frac{kg}{m^3}$.

a) Sprawdź, czy batyskaf zatonie czy będzie pływał.

b) Oblicz maksymalną masę wody, która może się znajdować w batyskafie, aby nie tonął.



Batyskaf to niewielka łódź podwodna.

Dane:

$V_b = 30\ m^3$

$m_b = 6\ t = 6000\ kg$

$m_w = 15\ t = 15\ 000\ kg$

$d_w = 1025\ \frac{kg}{m^3}$

Szukane:

$m = ?$

W zadaniach, w których trzeba sprawdzić, czy dane ciało utonie czy będzie pływać, należy porównać gęstość ciała zanurzonego w cieczy z gęstością tej cieczy.

Rozwiązanie:

a) Całkowita masa ciała znajdującego się w wodzie to łączna masa batyskafu i wody w zbiornikach balastowych: $m = m_b + m_w$

$$m = 6000\ kg + 15\ 000\ kg = 21\ 000\ kg$$

Obliczamy średnią gęstość batyskafu wraz z jego ładunkiem (wodą w zbiornikach balastowych), korzystając ze wzoru:

$$d_b = \frac{m}{V_b}$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$d_b = \frac{21\,000\ kg}{30\ m^3} = 700\ \frac{kg}{m^3}$$

Zatem: $d_b < d_w$, a więc batyskaf będzie pływał.

b) Należy obliczyć, jaką łączną masę musi mieć batyskaf wraz z wodą w zbiornikach balastowych, aby jego średnia gęstość była równa gęstości wody. W tym celu przekształcamy wzór na gęstość, aby obliczyć masę:

$$m = d \cdot V$$

$$m = 1025\ \frac{kg}{m^3} \cdot 30\ m^3 = 30\ 750\ kg$$

Łączna masa batyskafu i wody to 30 750 kg, natomiast masa samego batyskafu wynosi 6000 kg. Zatem w zbiornikach batyskafu może znajdować się woda o masie:

$$m = 30\ 750\ kg - 6000\ kg = 24\ 750\ kg = 24{,}75\ t$$

Odpowiedź: Gęstość batyskafu jest mniejsza od gęstości wody, więc batyskaf wypłynie. Aby nie zatonął, można napełnić jego zbiorniki wodą o maksymalnej masie 24 750 kg, czyli 24,75 tony.

Przykład 2. Obliczanie ciśnienia i parcia

Łódź podwodna znajduje się na głębokości $h = 80$ m.

a) Jakie jest całkowite ciśnienie wywierane na łódź podwodną? Gęstość wody morskiej $d = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, ciśnienie atmosferyczne $p_{\text{atm}} = 100$ kPa, a przyspieszenie ziemskie $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

b) Oblicz parcie działające na właz łodzi podwodnej, jeżeli pole powierzchni włazu wynosi $S = 0{,}6\ \text{m}^2$.



Dane:

$h = 80$ m

$d = 1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

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

$S = 0{,}6\ \text{m}^2$

Szukane:

$p = ?$

$F_{\text{n}} = ?$

Rozwiązanie:

a) Obliczamy ciśnienie hydrostatyczne, jakie woda wywiera na okręt podwodny. Korzystamy z zależności:

$$p_{\text{h}} = d \cdot g \cdot h$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$p_{\text{h}} = 1025 \frac{\cancel{\text{kg}}}{\text{m}^{\cancel{3}2}} \cdot 10 \frac{\text{N}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot 80\ \cancel{\text{m}} = 820\,000\ \text{Pa}$$

$$\frac{\cancel{\text{kg}}}{\text{m}^{\cancel{3}2}} \cdot \frac{\text{N}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot \cancel{\text{m}} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa}$$

Całkowite ciśnienie wywierane na okręt jest sumą ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia atmosferycznego:

$$p = p_{\text{atm}} + p_{\text{h}}$$

$$p = 100\,000\ \text{Pa} + 820\,000\ \text{Pa} = 920\,000\ \text{Pa} = 920\ \text{kPa}$$

b) Parcie wywierane na właz łodzi podwodnej obliczamy ze wzoru:

$$F_{\text{n}} = p \cdot S$$

Aby wyliczyć siłę nacisku F_{n}, przekształcamy wzór na ciśnienie:

$p = \frac{F_{\text{n}}}{S} \mid \quad \mid \cdot S$

$p \cdot S = F_{\text{n}}$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$F_{\text{n}} = 920\,000\ \text{Pa} \cdot 0{,}6\ \text{m}^2 = 552\,000\ \text{N} = 552\ \text{kN}$$

Odpowiedź: Całkowite ciśnienie wywierane na łódź podwodną wynosi 920 kPa. Parcie działające na właz łodzi podwodnej wynosi 552 kN.

Przykład 3. Zastosowanie prawa Pascala

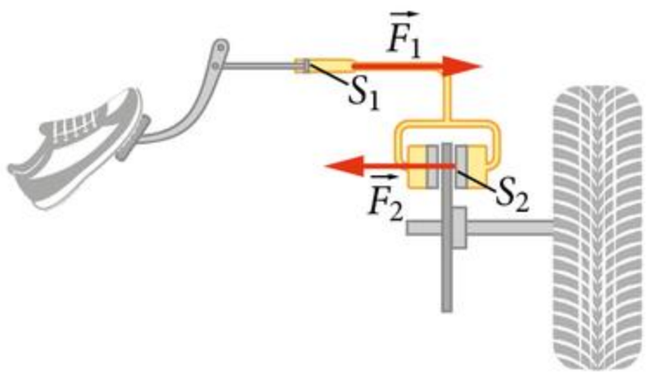
Podczas hamowania kierowca nacisnął pedał hamulca połączony z mechanizmem, który naciska tłok siłą $F_1 = 20$ N. Powierzchnia tłoków przy zaciskach klocków hamulcowych jest 100 razy większa niż powierzchnia tłoka przy pedale hamulca.

a) Porównaj ciśnienie, jakie działa na tłok przy pedale hamulca, z ciśnieniem, jakie wywiera płyn hamulcowy na tłoki przy zaciskach hamulcowych.

b) Oblicz siłę F_2, jaką klocki hamulcowe są dociskane do tarczy.

Dane:
$F_1 = 20$ N
$\frac{S_2}{S_1} = 100$

Szukane:
$F_2 = ?$



Rozwiązanie:

a) Zgodnie z prawem Pascala ciśnienie, jakie kierowca wywiera na tłok przy pedale hamulca, jest takie samo jak ciśnienie, jakim płyn hamulcowy działa na tłoki przy zaciskach klocków hamulcowych.

b) Jeżeli ciśnienie jest takie samo, to na tłoki przy zaciskach będzie działać tyle razy większa siła, ile razy większą powierzchnię mają tłoki w porównaniu z powierzchnią tłoka przy pedale hamulca. Zatem:

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1} \qquad p_2 = \frac{F_2}{S_2}$$

Z prawa Pascala wynika, że ciśnienia te są równe ($p_1 = p_2$), czyli:

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

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

Zależność ta wynika z porównania ciśnienia działającego na tłok przy pedale hamulca i na tłoki przy zaciskach.

Ostatecznie otrzymujemy:

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

Z treści zadania wiemy, że: $\frac{S_2}{S_1} = 100$. Powierzchnia jest 100-krotnie większa, więc również siła będzie 100 razy większa:

$$F_2 = 100 \cdot F_1 = 100 \cdot 20 \text{ N} = 2000 \text{ N} = 2 \text{ kN}$$

Odpowiedź: Ciśnienie wywierane na tłok przy pedale hamulca jest takie samo jak ciśnienie, jakim płyn hamulcowy działa na tłoki przy zaciskach klocków hamulcowych. Na tłoki przy zaciskach działa siła 2000 N, więc klocki są dociskane do tarczy siłą 2000 N (czyli 2 kN).

Przykład 4. Obliczanie siły wyporu



Na siłomierzu zawieszono żelazny przedmiot o objętości $V = 100\ \text{cm}^3$. Następnie przedmiot całkowicie zanurzono w wodzie. Do obliczeń przyjmij: gęstość żelaza $d_{ż} = 7800\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, gęstość wody $d_w = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, przyspieszenie ziemskie $g = 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

a) Oblicz wartość siły, jaką wskazuje siłomierz, gdy żelazny przedmiot nie jest zanurzony w wodzie.

b) Oblicz wartość siły wyporu działającej na żelazny przedmiot po jego całkowitym zanurzeniu w wodzie.

c) Jaką wartość wskazuje siłomierz, gdy żelazny przedmiot jest całkowicie zanurzony w wodzie?

Rozwiązanie:

a) Gdy ciało nie jest zanurzone w wodzie, siłomierz wskazuje wartość siły ciężkości. Nie znamy masy żelaznego przedmiotu. Aby ją obliczyć, przekształcamy wzór na gęstość do postaci:

$$m_{ż} = d_{ż} \cdot V$$

Podstawiamy dane liczbowe:

$$m_{ż} = 7800\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 100\ \text{cm}^3 = 7800\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{10\,000}\ \text{m}^3 = 0{,}78\ \text{kg}$$

Po wyznaczeniu masy obliczamy ciężar, korzystając ze wzoru:

$$F_g = m \cdot g$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$F_g = 0{,}78\ \text{kg} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 7{,}8\ \text{N}$$

b) Wartość siły wyporu obliczamy ze wzoru:

$$F_w = 1000\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 100\ \text{cm}^3 =$$

$$= 1000\ \frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{m}^3}} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot 0{,}0001\,\cancel{\text{m}^3} = 1\ \text{N}$$

Podczas wykonywania obliczeń w tego typu zadaniach należy zwracać szczególną uwagę na jednostki masy, objętości i gęstości.

c) Gdy ciało jest zanurzone w cieczy, siłomierz pokazuje różnicę między siłą ciężkości a siłą wyporu:

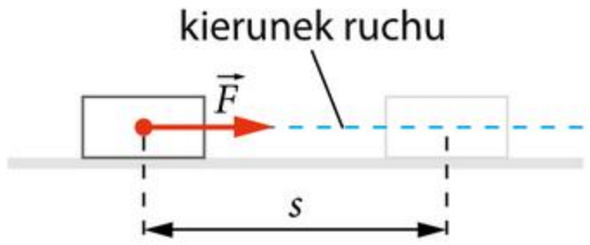
$$F = F_g - F_w$$

$$F = 7{,}8\ \text{N} - 1\ \text{N} = 6{,}8\ \text{N}$$

Odpowiedź: Gdy ciało nie jest zanurzone w wodzie, siłomierz wskazuje siłę 7,8 N. Gdy ciało jest w całości zanurzone w wodzie, działa na nie siła wyporu o wartości 1 N, a siłomierz wskazuje siłę 6,8 N.

Energia i termodynamika

Praca i moc



- **Praca** jest wykonywana wtedy, gdy na ciało działa siła, a ciało porusza się w kierunku innym niż prostopadły do kierunku działania siły.
- Jeżeli kierunek działania siły jest zgodny z kierunkiem ruchu ciała, to pracę oblicza się ze wzoru:

praca = siła · droga	$W = F \cdot s$

Z powyższej definicji pracy wynika, że w układzie SI jednostką pracy jest iloczyn niutona i metra. Jednostkę tę nazwano **dżul (1 J)**: 1 J = 1 N · 1 m

- **Moc** określa się jako iloraz pracy i czasu, w jakim praca ta została wykonana:

$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}}$	$P = \frac{W}{t}$

- Moc urządzenia informuje o tym, jaką pracę wykonuje urządzenie w jednostce czasu. Jednostką mocy jest **wat (1 W)**. Urządzenie ma moc 1 W, jeśli w czasie 1 s wykonuje pracę 1 J.
- Ciało, które ma **energię**, jest zdolne do wykonania pracy. $\Delta E = W$.

Energia potencjalna grawitacji i potencjalna sprężystości

- Każde ciało unoszone na pewną wysokość nad poziomem odniesienia (np. powierzchnią Ziemi) zwiększa swoją **energię potencjalną grawitacji**, a przyrost ten jest tym większy, im wyżej ciało zostało uniesione. **Przyrost energii potencjalnej** ciała jest równy pracy wykonanej przy jego unoszeniu i można go obliczyć ze wzoru:

przyrost energii potencjalnej = masa ciała · przyspieszenie ziemskie · wysokość	$\Delta E_p = m \cdot g \cdot h$

- Z im większej wysokości spada ciało, tym bardziej maleje jego energia potencjalna ciężkości i tym większą może wykonać pracę.
- Odkształcone ciało, np. napięty łuk lub ściśnięta sprężyna, powracając do pierwotnej postaci, wykonuje pracę dzięki **energii potencjalnej sprężystości**.

Energia kinetyczna. Zasada zachowania energii

- Każde poruszające się ciało ma **energię kinetyczną**. Im większe są masa ciała i prędkość jego ruchu, tym większa jest energia kinetyczna ciała i tym większą pracę to ciało może wykonać.
- Energię kinetyczną można obliczyć ze wzoru:

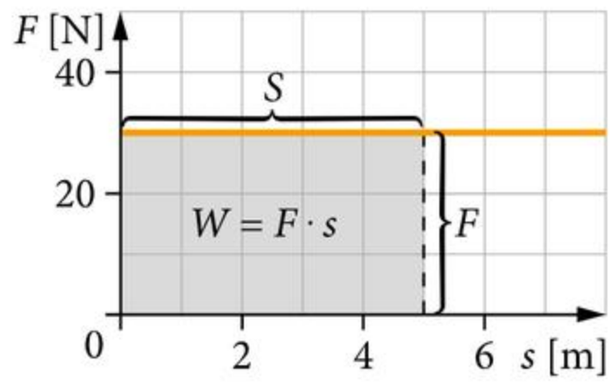
$$\text{energia kinetyczna} = \frac{\text{masa ciała} \cdot \text{prędkość}^2}{2} \qquad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

- Jeżeli dowolny układ ciał nie wymienia energii z otoczeniem, to jego całkowita energia jest stała. Taki układ nazywa się **układem izolowanym** (odosobnionym).
- Określona ilość energii jednego rodzaju może zostać zamieniona w równą ilość energii innego rodzaju.
- **Zasada zachowania energii mechanicznej**: W izolowanym układzie ciał przy braku oporów ruchu całkowita energia mechaniczna nie ulega zmianie: $\Delta E = 0$ J.

$$E = E_k + E_p = \text{constans}$$

Przykład 1. Obliczanie pracy i mocy

Dany jest wykres zależności siły, jaką działał silnik wciągarki przesuwający ładunek, od drogi, jaką pokonał ładunek. Przyjmij, że siła i przesunięcie mają zgodne kierunki i zwroty.



a) Oblicz pracę wykonaną na drodze 5 m.

b) Oblicz moc silnika, jeżeli przesunięcie ładunku na drodze 5 m trwało 15 s.

Rozwiązanie:

a) Z wykresu odczytujemy, że na drodze 5 m działała siła 30 N. Wykonaną pracę obliczamy ze wzoru:

$$W = F \cdot s$$

$$W = 30\ \text{N} \cdot 5\ \text{m} = 150\ \text{J}$$

Praca jest liczbowo równa polu powierzchni pod wykresem zależności siły od drogi.

b) Moc jest ilorazem wykonanej pracy i czasu, w którym została wykonana: $P = \frac{W}{t}$, zatem:

$$P = \frac{150\ \text{J}}{15\ \text{s}} = 10\ \text{W}$$

Odpowiedź: Silnik wciągarki wykonał pracę 150 J. Pracował z mocą 10 W.

Przykład 2. Obliczanie energii potencjalnej i energii kinetycznej

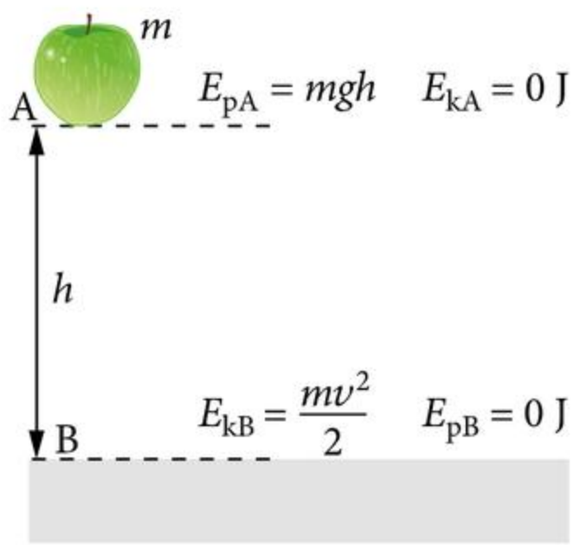
Z pewnej wysokości z drzewa spadło jabłko o masie 0,2 kg. Owoc uderzył w ziemię z prędkością $6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, a jego spadanie można uznać za swobodne. Przyjmij, że $g = 10\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}$ oraz że energia potencjalna na poziomie ziemi wynosi 0 J.

a) Oblicz końcową energię mechaniczną jabłka, gdy uderza ono w ziemię.

b) Oblicz początkową energię mechaniczną jabłka w chwili oderwania od gałęzi.

c) Oblicz wysokość, z jakiej spadło jabłko.

d) Wykonując odpowiednie przekształcenia wzorów i rachunki, wykaż, że wysokość, z jakiej spadło jabłko, można obliczyć bez znajomości masy jabłka. Za pomocą odpowiednich obliczeń wykaż, że niezależnie od masy wynik jest taki sam jak w podpunkcie c).



Rozwiązanie:

a) Jeżeli przyjmiemy, że w momencie, gdy jabłko spadło na ziemię, jego energia potencjalna wynosiła 0 J, to całkowitą energią mechaniczną jest tylko energia kinetyczna. Obliczamy ją ze wzoru:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Podstawiamy dane liczbowe: $$E_k = 0{,}2\,\mathrm{kg} \cdot \frac{\left(6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2} = 3{,}6\,\mathrm{J}$$

Odpowiedź: Końcowa energia mechaniczna jabłka wynosi 3,6 J.

b) Jeżeli spadanie jabłka było swobodne, to spełniona jest zasada zachowania energii mechanicznej.

Odpowiedź: Początkowa energia mechaniczna jest równa końcowej energii mechanicznej, czyli wynosi 3,6 J.

c) Początkowa energia mechaniczna jabłka była jednocześnie jego energią potencjalną na nieznanej wysokości h. Przekształcamy wzór na energię potencjalną grawitacji:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \qquad | : mg$$

$$h = \frac{E_p}{mg}$$

Podstawiamy dane liczbowe $$h = \frac{3{,}6\,\mathrm{J}}{0{,}2\,\mathrm{kg} \cdot 10\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} = 1{,}8\,\mathrm{m}$$

$$\frac{\mathrm{J}}{\cancel{\mathrm{kg}} \cdot \frac{\mathrm{N}}{\cancel{\mathrm{kg}}}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{N}} = \frac{\cancel{\mathrm{N}} \cdot \mathrm{m}}{\cancel{\mathrm{N}}} = \mathrm{m}$$

Odpowiedź: Jabłko spadło z wysokości 1,8 m.

d) Jeżeli jabłko spadało swobodnie, to początkowa energia potencjalna jabłka była równa jego końcowej energii kinetycznej:

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

Dzielimy równanie stronami przez mg i otrzymujemy:

$$m \cdot g \cdot h = m \cdot \frac{v^2}{2} \qquad |:mg$$

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

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

Podstawiamy dane liczbowe:

$$h = \frac{\left(6 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right)^2}{2 \cdot 10 \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} = 1{,}8\ \mathrm{m}$$

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

$$= \frac{\mathrm{m}^{\cancel{2}}}{\cancel{\mathrm{s}^2}} \cdot \frac{\cancel{\mathrm{s}^2}}{\cancel{\mathrm{m}}} = \mathrm{m}$$

Odpowiedź: Wykazaliśmy, że wysokość, z jakiej spadło jabłko, można obliczyć bez znajomości masy jabłka. Wynik obliczeń jest taki sam jak w podpunkcie c).

Temperatura, skale temperatur

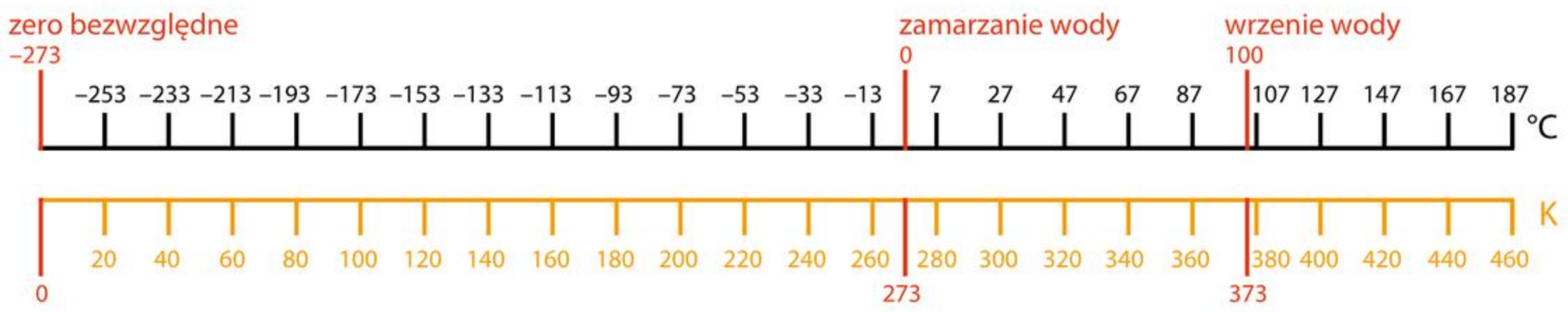
- **Temperatura** ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których zbudowane jest ciało.
- Jeżeli dwa ciała tworzące jeden układ mają taką samą temperaturę, to są w **stanie równowagi termicznej** (nie następuje przepływ ciepła między tymi ciałami).
- Jednostką temperatury w układzie SI jest **kelwin (1 K)**. W życiu codziennym w wielu krajach (m.in. w Polsce) stosowana jest jednak skala Celsjusza (1°C).
- Różnica temperatur w skali Kelvina odpowiada różnicy temperatur w skali Celsjusza. ΔT [K] = ΔT [°C].
- W skali Kelvina za 0 K przyjęto najniższą możliwą teoretycznie temperaturę – **temperaturę zera bezwzględnego**.



Najniższą temperaturę powietrza na Ziemi zanotowno na Antarktydzie.



Najwyższą temperaturę powietrza na Ziemi zanotowano w Libii na Saharze.

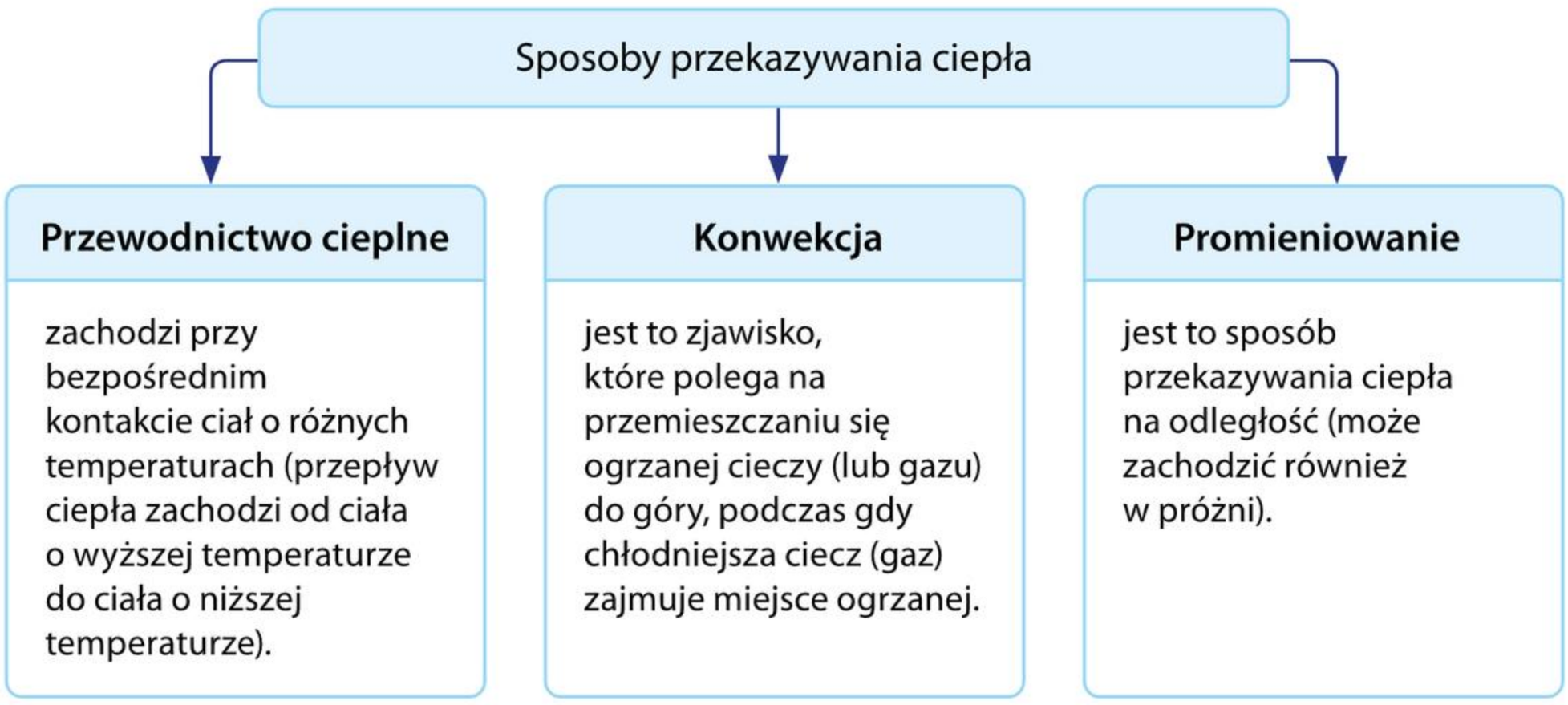


Energia wewnętrzna

- **Energia wewnętrzna ciała** jest sumą energii kinetycznych wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, i energii potencjalnych związanych z wzajemnym oddziaływaniem tych cząsteczek.
- Wzrost energii wewnętrznej może nastąpić wskutek **wykonania pracy** i/albo **przekazywania** energii w postaci **ciepła**.
- **Ciepło *Q*** to ilość energii wewnętrznej przekazanej między ciałami o różnych temperaturach bez wykonywania pracy.

Sposoby przekazywania ciepła

- Wyróżnia się **trzy sposoby przekazywania ciepła** opisane poniżej.

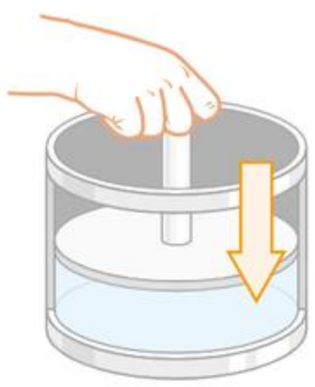


Pierwsza zasada termodynamiki

- **Pierwsza zasada termodynamiki**: Jeżeli praca wykonana nad ciałem prowadzi w całości do przyrostu energii wewnętrznej, to całkowity przyrost energii wewnętrznej ciała jest równy sumie pracy wykonanej nad ciałem i pobranego ciepła.

przyrost energii wewnętrznej	=	praca wykonana nad ciałem	+	ilość ciepła pobranego przez ciało	$\Delta E_w = W + Q$

- **Ilustracja pierwszej zasady termodynamiki**

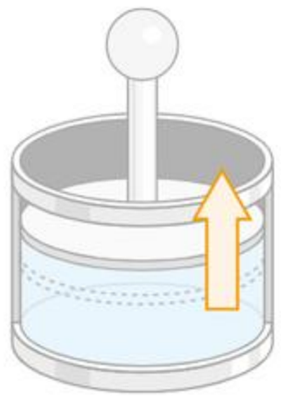


Jeżeli praca jest wykonana nad układem, to $W > 0$.

Jeżeli ciepło dopływa do układu, to $Q > 0$.



$$\Delta E_w = W + Q$$



Jeżeli układ wykonuje pracę, to $W < 0$.

Jeżeli ciepło odpływa z układu, to $Q < 0$.



Ciepło właściwe

- **Ciepło właściwe** jest równe liczbowo takiej ilości ciepła, która jest potrzebna do ogrzania 1 kg substancji o 1 K (lub o 1°C):

$$\text{ciepło właściwe} = \frac{\text{ciepło pobrane przez ciało}}{\text{masa ciała} \cdot \text{przyrost temperatury}} \qquad c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

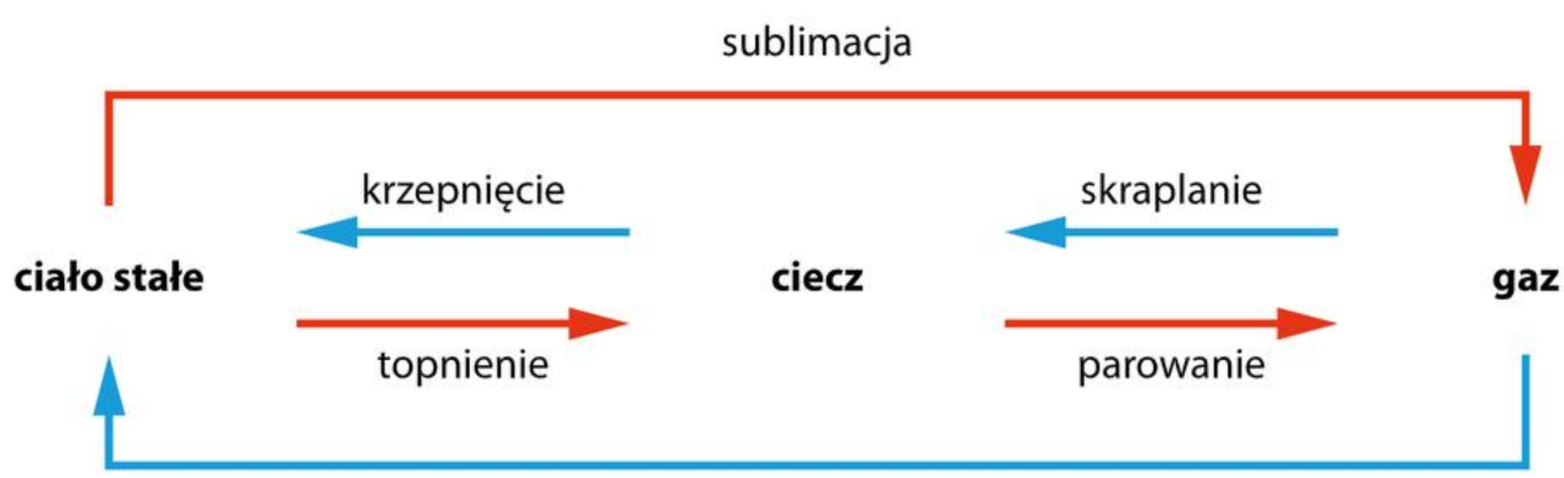
- **Ilość ciepła pobranego** (lub oddanego) przez ciało można obliczyć ze wzoru:

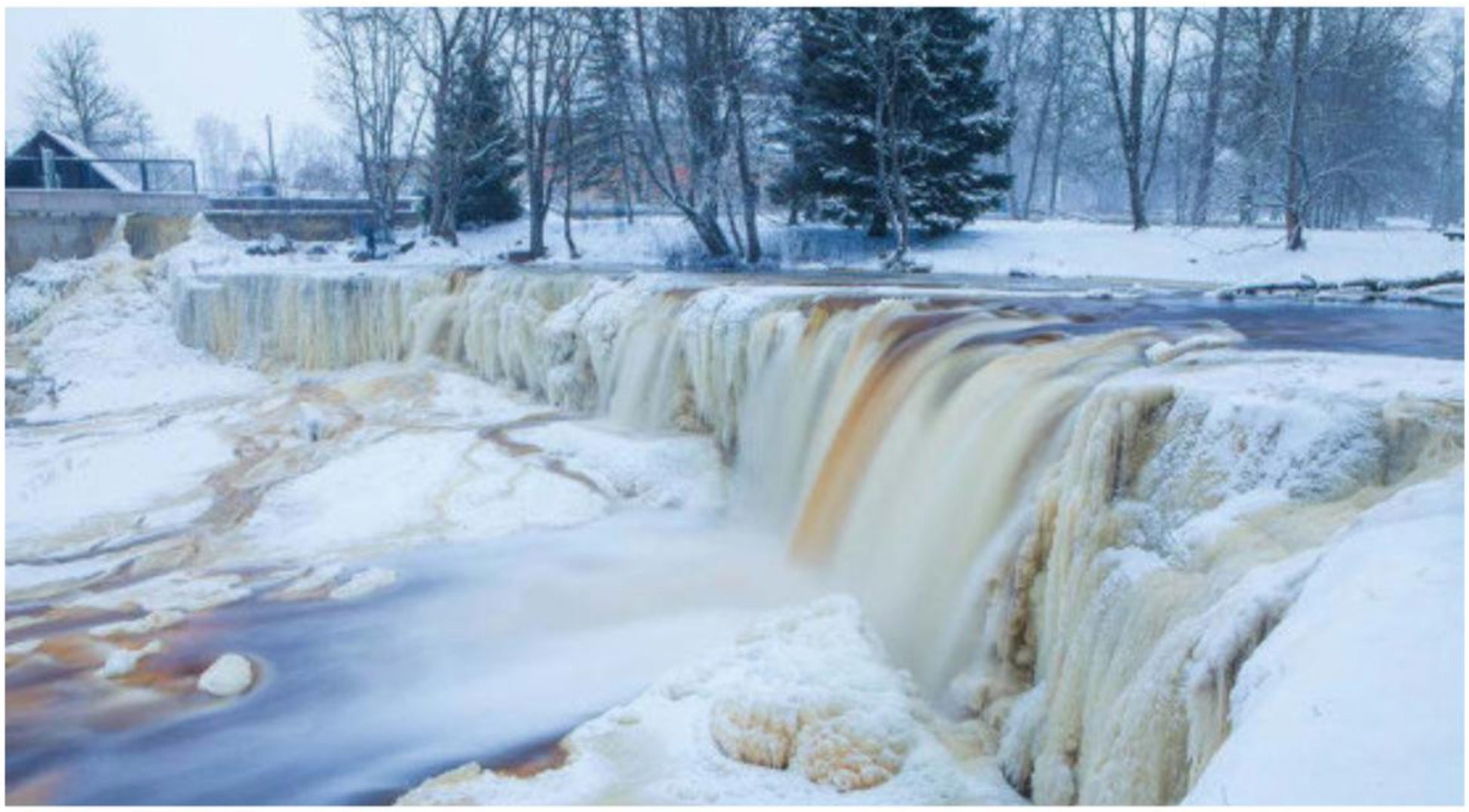
ciepło pobrane przez ciało	=	ciepło właściwe	·	masa	·	przyrost temperatury	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

- Woda ma prawie największe ciepło właściwie spośród wszystkich substancji i dlatego wolniej niż inne substancje się ogrzewa i wolniej stygnie.

Zmiany stanów skupienia. Temperatura topnienia i temperatura wrzenia

- Ciała o regularnym uporządkowanym układzie atomów lub cząsteczek to **kryształy**, a ciała, w których atomy lub cząsteczki są ułożone chaotycznie, to tzw. **ciała bezpostaciowe** (amorficzne).
- Substancje krystaliczne topnieją w stałej temperaturze, zwanej **temperaturą topnienia**.
- Dla ciał o budowie krystalicznej **temperatura topnienia jest równa temperaturze krzepnięcia**, natomiast ciała bezpostaciowe nie mają określonej temperatury topnienia i krzepnięcia.
- **Parowanie** cieczy zachodzi jedynie **na jej powierzchni swobodnej**. Parowanie zachodzi **w każdej temperaturze**, w której substancja jest w stanie ciekłym, ale im temperatura jest wyższa, tym szybciej przebiega proces parowania.
- **Wrzenie** to gwałtowne parowanie cieczy odbywające się **w całej jej objętości**. Temperatura wrzącej cieczy nie wzrasta.
- **Zmiany stanów skupienia** zilustrowano poniżej.





I

Elektrostatyka

Z tego rozdziału dowiesz się:

- na czym polega zjawisko elektryzowania,
- jakie są sposoby elektryzowania ciał,
- jak pokazać elektryzowanie przez dotyk i przez potarcie,
- jak oddziałują ze sobą ładunki elektryczne,
- w jaki sposób pokazać wzajemne oddziaływanie ciał naelektryzowanych,
- czym się różnią przewodniki od izolatorów,
- czy można naelektryzować przewodnik i izolator,
- jak jest zbudowany elektroskop i do czego służy,
- w jaki sposób można rozładować elektroskop,
- co to jest ładunek elementarny i jaka jest jego jednostka.



1 Elektryzowanie ciał

Cel lekcji: Dowiesz się, czym zajmuje się elektrostatyka i kiedy ciała się elektryzują, a także jak oddziałują ze sobą ciała obdarzone ładunkiem elektrycznym. Poznasz również rodzaje ładunków elektrycznych.

Czym zajmuje się elektrostatyka

Zapewne miewasz kłopoty z niesfornymi włosami, które – energicznie szczotkowane – nie układają się zgodnie z twoją wolą. Kiedy zdejmujesz szybkim ruchem sweter, słyszysz charakterystyczne trzaski, którym towarzyszą przeskoki iskier, wyraźnie widoczne zwłaszcza w ciemności. Gdy ślizgasz się w butach po wełnianym dywanie, a następnie dotykasz innej osoby lub klamki, nie tylko widzisz, lecz także czujesz przeskok iskry.

Właśnie takimi zjawiskami, często spotykanymi w życiu codziennym, zajmuje się elektrostatyka.



Czasem – bez względu na to, co robimy – włosy nie chcą się ułożyć.

Elektrostatyka to część nauki o elektryczności, która dotyczy oddziaływań i właściwości ładunków elektrycznych w stanie spoczynku.

Oddziaływania elektrostatyczne znane były już w starożytności. Niezwykłe właściwości bursztynu, który – potarty suknem – przyciąga niektóre lekkie ciała, zauważył już w VI w. p.n.e. Tales z Miletu, wielki grecki filozof, przyrodnik, astronom i matematyk.

Minęło jednak ponad dwa tysiące lat, zanim angielski fizyk William Gilbert (czyt. łiliam gilbert) stwierdził na podstawie licznych eksperymentów, że także inne ciała po potarciu zachowują się podobnie jak bursztyn. Nazwa *elektryczność* pochodzi od słowa *elektron*, które w języku greckim oznacza bursztyn.

Kiedy ciała się elektryzują

Przeprowadzanie doświadczeń z elektrostatyki i ich analiza pozwolą ci zaobserwować zjawiska elektryzowania się ciał i poznać prawa rządzące tymi zjawiskami. Wykonaj najprostsze doświadczenia z tej dziedziny.

Uwaga. Doświadczenia z elektrostatyki najlepiej wykonywać w suche dni lub przy włączonych kaloryferach.



Potarty suknem bursztyn przyciąga skrawki nitki.

DOŚWIADCZENIE 1

1. Przygotuj: kilka woreczków foliowych (np. śniadaniowych), kartkę i folię aluminiową.
2. Potrzyj woreczkiem o kartkę i unieś ją. Co obserwujesz?
3. Potrzyj następnym woreczkiem o drewniane drzwi szafki, a kolejnym o ścianę. Co zauważasz?
4. Powtórz doświadczenie, używając folii aluminiowej zamiast woreczków. Co obserwujesz?



Woreczek foliowy potarty o kartkę przyczepia się do niej.

Woreczek potarty o kartkę, ścianę czy drewniane drzwiczki przyczepiał się do nich. Folia aluminiowa nie wykazywała takich właściwości.

DOŚWIADCZENIE 2

1. Przygotuj: duży talerz lub miskę, styropian i balon.
2. Pokrusz styropian do miski albo na talerz tak, aby całkowicie przykryć dno naczynia.
3. Potrzyj nadmuchanym balonem o pokruszony styropian.
4. Unieś balon. Co obserwujesz?



Kawałki styropianu przywarły do balonu.

Z doświadczeń wynika, że różne potarte ciała przyciągają inne drobne ciała. Dzieje się tak dlatego, że podczas pocierania ciała **elektryzują się**, czyli gromadzą ładunek elektryczny.

Dwa rodzaje ładunków elektrycznych i ich wzajemne oddziaływanie

Czy naelektryzowane ciała zawsze się przyciągają? Aby się tego dowiedzieć, wykonaj kolejne doświadczenia.

DOŚWIADCZENIE 3

1. Przygotuj: statyw, żyłkę wędkarską, kawałek tkaniny, papier (np. gazetę), dwie słomki do napojów i szklankę.
2. Na statywie zawieś na żyłce wędkarskiej jedną słomkę i potrzyj ją kawałkiem tkaniny.
3. Do zawieszonej słomki zbliż drugą słomkę, również potartą kawałkiem tkaniny. Zaobserwuj, co się stanie.
4. Potrzyj szklankę papierem i zbliż ją do potartej tkaniną słomki zawieszonej na statywie. Co obserwujesz?



Potarte słomki odpychają się.



Potarta szklanka i potarta słomka przyciągają się.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Oddziaływania elektrostatyczne znalazły zastosowanie m.in. w kryminalistyce, w takich technikach śledczych jak daktyloskopia – przy zbieraniu odcisków linii papilarnych – oraz traseologia – przy zabezpieczaniu śladów obiektów poruszających się, np. bieżników opony samochodowej, śladów po butach.

DOŚWIADCZENIE 4

1. Przygotuj: trzy baloniki, nitkę, kawałek tkaniny i wełnianą rękawiczkę.
2. Nadmuchaj dwa baloniki i powieś je na nitkach blisko siebie, ale tak, aby się nie stykały.
3. Następnie potrzyj je energicznie kawałkiem tkaniny. Co obserwujesz?
4. Załóż wełnianą rękawiczkę i potrzyj nią trzeci balonik. Co zauważasz?

Wskazówka. Nie wszystkie baloniki można wystarczająco mocno naelektryzować. Jeżeli doświadczenie się nie powiedzie, spróbuj użyć innych baloników.

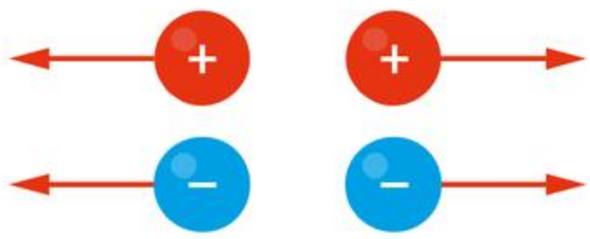


Baloniki się odpychają.



Balonik przywiera do rękawiczki.

Na podstawie doświadczeń 3 i 4 można stwierdzić, że pocieranie niektórych substancji wywołuje w nich zmiany, powodujące pojawienie się oddziaływania (przyciągania lub odpychania). Po wykonaniu długiej serii doświadczeń podobnych do doświadczeń 3 i 4, z użyciem różnych substancji, można by stwierdzić, że elektryzujące się materiały można podzielić na dwie kategorie. Materiały należące do tej samej kategorii po naelektryzowaniu odpychają się, a materiały należące do różnych kategorii – przyciągają się. Skłoniło to fizyków do przypisania naelektryzowanym ciałom cechy zwanej **ładunkiem elektrycznym**, oznaczanym symbolem q. Wartość q może być dodatnia albo ujemna. Jednej ze wspomnianych kategorii przypisano ładunki dodatnie ($q > 0$), a drugiej – ładunki ujemne ($q < 0$).



Ładunki jednoimienne (tego samego znaku) odpychają się.



Ładunki różnoimienne (różnych znaków) przyciągają się.

Wyróżnia się **dwa rodzaje ładunków elektrycznych**: dodatnie i ujemne. Dwa ciała naelektryzowane ładunkami jednoimiennymi (tego samego znaku) się odpychają, a dwa ciała naelektryzowane ładunkami różnoimiennymi (różnych znaków) – przyciągają.

Ładunek elektryczny będziemy dalej nazywać w skrócie ładunkiem.

Przedstawiona na fotografii maszyna elektrostatyczna pozwala na gromadzenie dużych ładunków elektrycznych obydwu znaków w tzw. butelkach lejdejskich. Są to urządzenia przypominające wysokie szklanki, pokryte zarówno z zewnątrz, jak i od środka odizolowanymi od siebie warstwami metalu.



Maszyna elektrostatyczna.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ładunek elektryczny** to cecha niektórych ciał pojawiająca się w wyniku ich pocierania (oraz innych procesów, które poznasz wkrótce), powodująca, że ciała te zaczynają oddziaływać ze sobą na odległość.
- Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych: **dodatnie** i **ujemne**.
- Ładunki jednoimienne się odpychają, a różnoimienne się przyciągają.
- Między naelektryzowanymi ciałami występuje **oddziaływanie elektrostatyczne**.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż zjawiska, które zachodzą w wyniku oddziaływania elektrostatycznego.

A. Kartka przykleja się do zwilżonej szyby.

B. Grzebień przyciąga rozczesywane włosy.

C. Zgarniane ze stołu kawałki styropianu przyczepiają się do dłoni.

D. Stalowe szpilki są przyciągane przez magnes.

2 Dopasuj cyfry do liter tak, aby powstały informacje prawdziwe.

A. Ładunki jednoimienne	**I.** przyciągają się.
B. Ładunki różnoimienne	**II.** odpychają się.
	III. nie oddziałują na siebie.

3 Przyporządkuj cechy oddziaływań do ich rodzajów. Przerysuj tabelę do zeszytu. Uzupełnij ją, wpisując numer cechy oddziaływań do właściwej kolumny.

Uwaga. Niektóre cechy mogą dotyczyć zarówno oddziaływań grawitacyjnych, jak i elektrostatycznych, a niektóre mogą w ogóle nie pasować.

I. Mogą występować na odległość.

II. Nie występują na odległość.

III. Zawsze powodują przyciąganie.

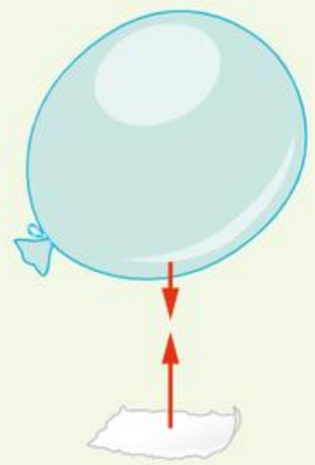
IV. Zawsze powodują odpychanie.

V. Mogą powodować zarówno przyciąganie, jak i odpychanie.

Oddziaływania elektrostatyczne	Oddziaływania grawitacyjne

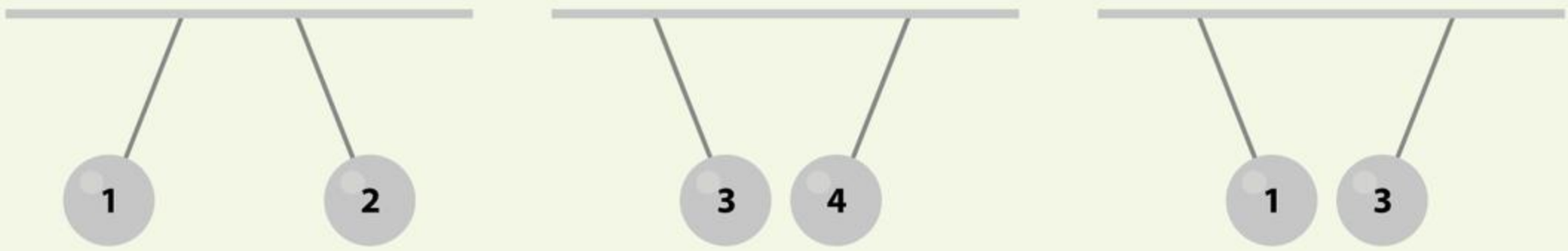
4 Jacek narysował wektory sił, jakimi działają na siebie naelektryzowany balon i skrawek papieru, który unosi się w stronę balonu. Swój rysunek skomentował następująco:

Zarówno balon, jak i papierek przyciągają się wzajemnie, co wynika z trzeciej zasady dynamiki. Balon jest znacznie większy, więc przyciąga papierek większą siłą niż papierek przyciąga balon.



Czy rozumowanie Jacka jest poprawne? Uzasadnij odpowiedź.

5 Cztery kulki zostały naelektryzowane. Na rysunkach przedstawiono, jak oddziałują niektóre z nich, gdy zostaną zawieszone obok siebie na nitkach.



Spośród poniższych zdań wybierz zdania prawdziwe.

I. Kulki 1 i 4 będą się przyciągać.

II. Kulki 2 i 3 będą się przyciągać.

III. Kulki 2 i 4 będą się odpychać.

IV. Kulki 1 i 2 mają ładunki tego samego znaku.

V. Spośród wszystkich kulek trzy mają ładunek tego samego znaku.

VI. Kulka 3 ma na pewno ładunek ujemny, a kulka 4 – na pewno ładunek dodatni.

6 Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 5

1. Przygotuj: dwie słomki do napojów, wykałaczkę, kawałek styropianu, plastikową linijkę oraz kawałek wełnianej tkaniny.
2. Za pomocą ostrego narzędzia zrób w słomce dwa otwory, a następnie przełóż przez nie wykałaczkę. Otwory muszą być większe niż średnica wykałaczki, aby słomka mogła się swobodnie obracać na wykałaczce.



3. Wbij wykałaczkę ze słomką w kawałek styropianu lub połóż ją na brzegu stołu i dociśnij książką.
4. Potrzyj obie słomki wełnianą tkaniną, następnie zbliż słomkę trzymaną w ręce do wiszącej słomki. Co obserwujesz?
5. Na podstawie wyniku przeprowadzonego doświadczenia wybierz poprawne uzupełnienia zdań.
   Obie słomki naelektryzowały się **A/ B/ C/ D**, ponieważ **E/ F/ G**.
   A. na pewno ładunkami dodatnimi
   B. na pewno ładunkami ujemnymi
   C. ładunkami tego samego znaku, ale nie wiadomo jakiego
   D. ładunkami przeciwnych znaków
   E. przyciągały się
   F. odpychały się
   G. nie przyciągały się ani nie odpychały
6. Plastikowa linijka potarta wełnianą tkaniną elektryzuje się ujemnie. Czy na podstawie tego, jak oddziałują ze sobą naelektryzowane ciała, można stwierdzić, jakimi ładunkami naelektryzowały się słomki w pierwszym etapie doświadczenia?
7. Sprawdź to doświadczalnie i uzasadnij odpowiedź.



2 Budowa atomu. Jednostka ładunku elektrycznego

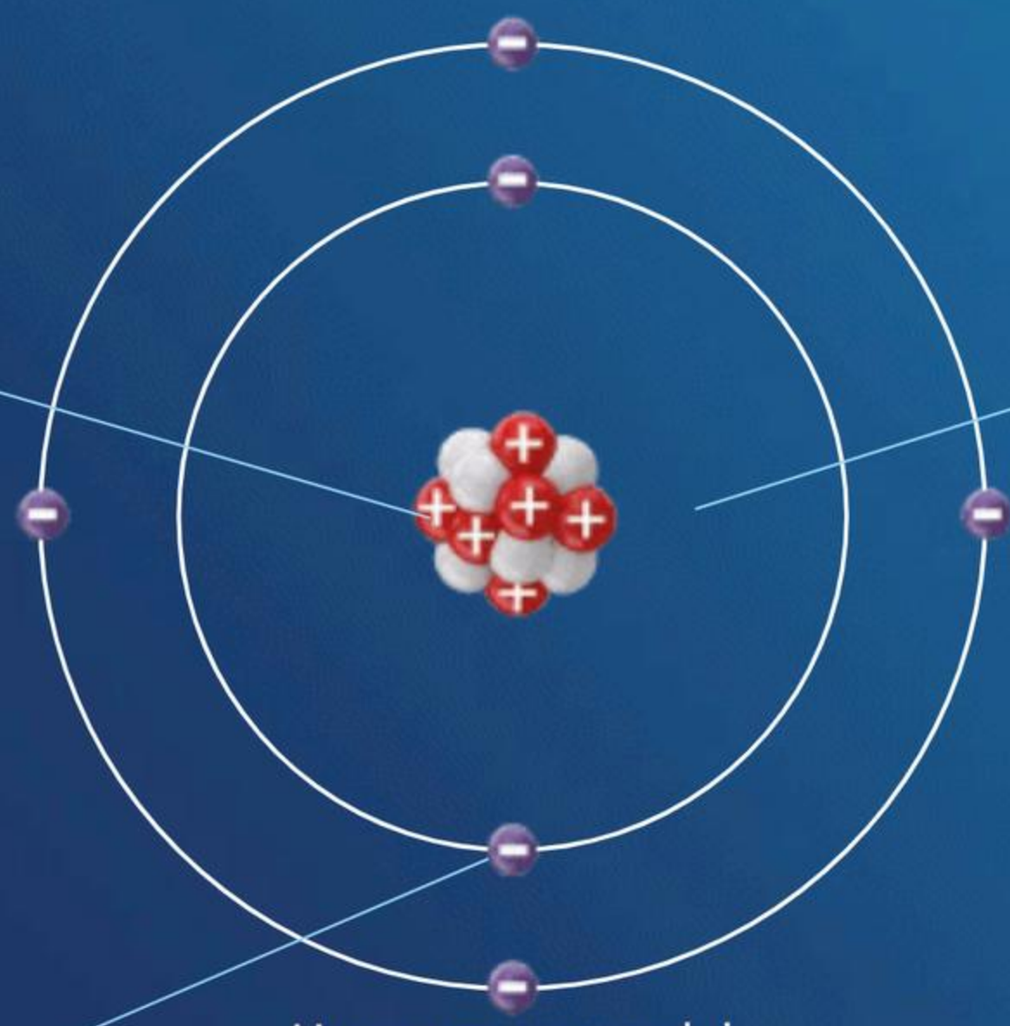
Cel lekcji: Dowiesz się, jak jest zbudowany atom, czym jest ładunek elementarny oraz na czym polega elektryzowanie się ciał.

Z czego jest zbudowany atom

Prawidłowy opis atomu jest możliwy dopiero po poznaniu mechaniki kwantowej, której nie ma w programie szkoły podstawowej. Zatem na razie wyobrazimy sobie atom w formie uproszczonej, jako składający się z dodatnio naładowanego jądra i **elektronów** – cząstek o ładunku ujemnym, krążących wokół jądra z dużą prędkością. W skład jądra wchodzą **protony** – cząstki o ładunku dodatnim – oraz elektrycznie obojętne **neutrony**. Atomy są bardzo małe. Mają promień rzędu 10^{-10} m i masę od około $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ kg do około $5 \cdot 10^{-25}$ kg. Masa elektronu jest 1836 razy mniejsza od masy protonu lub neutronu, dlatego w jądrze atomowym jest skupiona prawie cała masa atomu.
Elektrony krążą wokół jądra w różnych odległościach od niego, tworząc tzw. **powłoki elektronowe** (patrz ilustracja poniżej).

Budowa atomu

Rozmiary jądra są w rzeczywistości około 100 000 razy mniejsze niż rozmiary całego atomu. Gdyby jądro atomu powiększono do rozmiarów kuli o średnicy 1 m, to elektrony krążyłyby w odległości około 50 km od niej.



Uproszczony model atomu węgla.

Ładunek elementarny

Atom jest elektrycznie obojętny, ponieważ ma taką samą liczbę protonów i elektronów. Proton ma dodatni ładunek elektryczny, a elektron – ładunek ujemny. Wartości ładunku elektronu i protonu są takie same, różnią się tylko znakiem. Oznacza się je odpowiednio $-e$ oraz e. Ładunek o wartości e jest równy: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C i nazywamy go **ładunkiem elementarnym**.

Jednostką ładunku elektrycznego w układzie SI jest **1 kulomb** (**1 C**). Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska francuskiego fizyka Charles'a Augustina de Coulomba (czyt. szarla ogistena de kulomba).

Kulomb jest to bardzo duży ładunek elektryczny:

$$1 \text{ C} = 6{,}24 \cdot 10^{18}\, e$$

Elektryzowanie ciała a przemieszczanie się elektronów

Jeżeli z ostatniej powłoki, tzw. powłoki walencyjnej, zostają oderwane elektrony (jeden lub kilka), to elektryczna równowaga takiego atomu jest wówczas zachwiana – powstaje **jon**.

Jon dodatni, zwany kationem, powstaje wtedy, gdy od atomu zostają oderwane elektrony (jeden lub kilka). Gdy natomiast atom przyjmuje na swoją powłokę walencyjną dodatkowe elektrony, wówczas powstaje jon ujemny – anion.

W trakcie pocierania dwóch obojętnych elektrycznie ciał, takich jak balonik i kawałek tkaniny, zachodzi właśnie odrywanie i przyłączanie elektronów. Niektóre elektrony odrywają się od atomów jednego ciała (np. tkaniny) i przechodzą na powierzchnię drugiego ciała (np. balonika). Dzięki temu na baloniku gromadzi się **nadmiar ładunków ujemnych**, a na tkaninie pozostaje **niedobór ładunków ujemnych**.

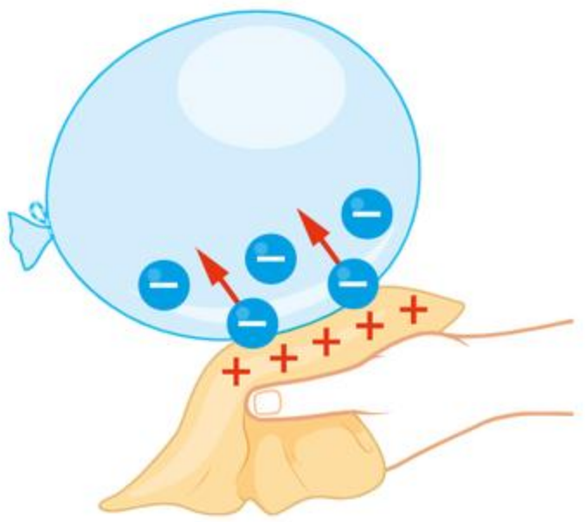
Elektryzowanie ciał polega na przenoszeniu elektronów z jednego ciała na drugie. Uwięzione w jądrach atomów dodatnio naładowane protony nie mogą się w ten sposób przemieszczać.

CIEKAWOSTKA

Charles Augustin de Coulomb (1736–1806), francuski fizyk, był oficerem w wojskach inżynieryjnych. Zajmował się zagadnieniami elektrostatyki, magnetyzmu i teorii maszyn prostych. Odkrył i sformułował prawo wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków elektrycznych, zwane prawem Coulomba.



Ch.A. de Coulomb.



Balonik naelektryzował się ujemnie, ponieważ zyskał część elektronów z tkaniny. Tkanina naelektryzowała się dodatnio, ponieważ część elektronów z obojętnych elektrycznie atomów przemieściła się na balonik, a więc pozostało w niej więcej protonów o ładunku dodatnim niż elektronów o ładunku ujemnym.

Skoro między ciałami przemieszczają się elektrony, to najmniejsza porcja nadmiarowego ładunku, jaka może zostać zgromadzona na danym ciele, jest równa wartości ładunku elementarnego (odpowiednio ze znakiem „–”, jeżeli mamy nadmiar jednego elektronu, albo ze znakiem „+”, jeżeli jednego elektronu brakuje).

Każdy ładunek zgromadzony na naelektryzowanym ciele jest wielokrotnością ładunku elementarnego.

Jaki jest znak ładunku

Skąd możemy się dowiedzieć, czy dana substancja elektryzuje się dodatnio czy ujemnie? To, jakim ładunkiem elektryzuje się dany materiał przez pocieranie, można odczytać z tzw. szeregu tryboelektrycznego (patrz rysunek poniżej). Substancja znajdująca się bliżej znaku + elektryzuje się dodatnio, a substancja bliżej znaku – elektryzuje się ujemnie. Jeśli np. szkło potrzemy bawełną, naelektryzuje się ono dodatnio, a bawełna – ujemnie. Im dalej od siebie w szeregu tryboelektrycznym znajdują się dane dwie substancje, tym silniej się one elektryzują.



Szereg tryboelektryczny.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Atom** jest zbudowany z **jądra** i **elektronów** tworzących powłoki elektronowe. W skład jądra atomowego wchodzą **protony** i **neutrony**.
- W **obojętnym elektrycznie** atomie liczba protonów w jądrze jest równa liczbie elektronów poruszających się wokół jądra.
- Protony mają ładunek **dodatni**, elektrony mają ładunek **ujemny**, a neutrony są elektrycznie **obojętne**.
- **Ładunek elementarny** to ładunek elektryczny protonu, którego wartość wynosi $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. Jednostką ładunku w układzie SI jest kulomb (1 C).
- Każdy ładunek zgromadzony na naelektryzowanym ciele jest **wielokrotnością** ładunku elementarnego.
- W trakcie elektryzowania między ciałami **mogą przemieszczać się jedynie elektrony**. Protony nie mogą się przemieszczać z jednego ciała na drugie.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie ładunku elektrycznego

Wiedząc, że ładunek elementarny e ma wartość $1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C, oblicz ładunek elektryczny (podaj wartość i znak) jonu, w którym brakuje trzech elektronów.

Rozwiązanie:

Jeżeli brakuje trzech elektronów, to znaczy, że jon ma trzy elementarne ładunki dodatnie:

$$q = 3 \cdot e = 3 \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\ \text{C} = 4{,}806 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

Odpowiedź: Ładunek elektryczny jonu jest dodatni i wynosi $4{,}806 \cdot 10^{-19}$ C.

1 Dopasuj litery do cyfr tak, aby powstały informacje prawdziwe.

I. Proton

II. Elektron

III. Neutron

IV. Anion

V. Kation

A. to jon ujemny – powstaje, gdy atom przyjmie elektron.

B. to jon dodatni – powstaje, gdy od jakiegokolwiek atomu zostanie oderwany przynajmniej jeden elektron.

C. to jon dodatni – powstaje, gdy atom przyjmie elektron.

D. ma ładunek ujemny.

E. jest elektrycznie obojętny.

F. ma ładunek dodatni.

2 Oblicz, jaki nadmiarowy ładunek uzyska atom, który:

a) przyjmie na swoją powłokę dwa elektrony,

b) straci jeden elektron,

c) przyjmie na swoją powłokę trzy elektrony.

3 Na podstawie poniższego rysunku wskaż zdania prawdziwe.

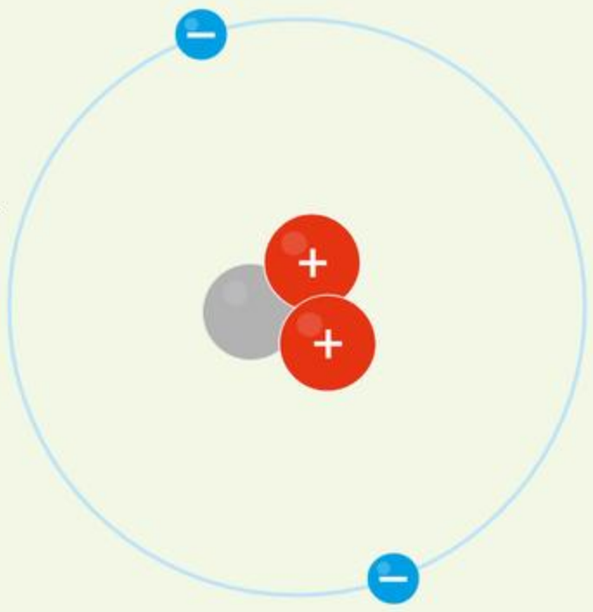
A. Na schemacie przedstawiono kation.

B. Jądro składa się z dwóch protonów i jednego neutronu.

C. Całkowity ładunek jądra jest równy $3{,}2 \cdot 10^{-18}$ C.

D. Przedstawiony układ jest elektrycznie obojętny.

E. Wokół jądra poruszają się dwa elektrony.



4 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) Szkło potarte jedwabiem elektryzuje się dodatnio, wobec tego **A/ B** przemieszczają się **C/ D**, wskutek czego jedwab elektryzuje się **E/ F**.

A. protony **C.** ze szkła na jedwab **E.** ujemnie

B. elektrony **D.** z jedwabiu na szkło **F.** dodatnio

b) Polipropylenowe opakowanie potarte wełną elektryzuje się ujemnie, wobec tego **A/ B** przemieszczają się **C/ D**, wskutek czego wełna elektryzuje się **E/ F**.

A. protony **C.** z polipropylenu na wełnę **E.** ujemnie

B. elektrony **D.** z wełny na polipropylen **F.** dodatnio

5 Określ, czy ciało jest naelektryzowane dodatnio, ujemnie, czy jest obojętne elektrycznie, jeżeli:

a) znajduje się w nim o $4 \cdot 10^6$ więcej elektronów niż protonów,

b) składa się z $5 \cdot 10^{28}$ atomów, a w każdym atomie znajduje się 6 protonów, 6 elektronów i 6 neutronów,

c) znajduje się w nim o $7{,}3 \cdot 10^4$ więcej protonów niż elektronów,

d) znajduje się w nim $6{,}5 \cdot 10^{24}$ protonów oraz $8{,}5 \cdot 10^{24}$ elektronów,

e) w jednym atomie na milion brakuje dwóch elektronów.

6 Zdarza się, że podczas dotykania metalowego przedmiotu, np. klamki, odczuwamy nieprzyjemne ukłucie związane z ładunkiem elektrycznym przepływającym między naszym ciałem a metalowym przedmiotem. Jest to wyraźnie wyczuwalne, gdy przepływający ładunek wynosi około 600 nC. Oblicz, ile elektronów przepływa wtedy między ręką a metalowym przedmiotem.



7 Czy może istnieć jon o ładunku $4 \cdot 10^{-19}$ C? Odpowiedź uzasadnij.

3 Przewodniki i izolatory

Cel lekcji: Dowiesz się, jaka jest różnica w budowie wewnętrznej przewodników i izolatorów elektrycznych oraz poznasz ich zastosowania.

Budowa przewodników i izolatorów

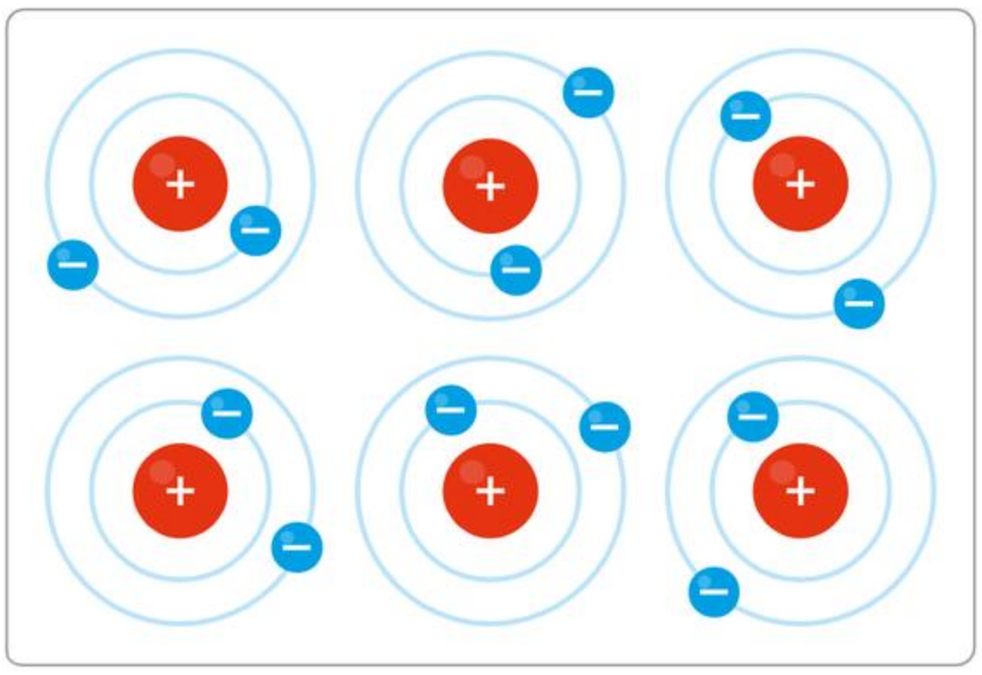
Przypomnij sobie doświadczenie 1 ze str. 31. Potarty woreczek foliowy przywierał do kartki lub ściany, podczas gdy folia aluminiowa nie wykazywała takich właściwości. Dlaczego?

Otóż ciała stałe różnią się właściwościami elektrycznymi. W metalach elektrony walencyjne nie są związane z atomami i tworzą wewnątrz przewodnika tzw. **gaz elektronowy**. Mogą się one swobodnie poruszać w obrębie całej bryły metalu i stąd ich nazwa: **elektrony swobodne**. Metale są **przewodnikami**. Po potarciu folii aluminiowej ładunek natychmiast przemieścił się (przez twoją rękę) między naelektryzowanym metalem (folią aluminiową) i ziemią, a obojętny elektrycznie przewodnik i kartka lub ściana nie przyciągały się.

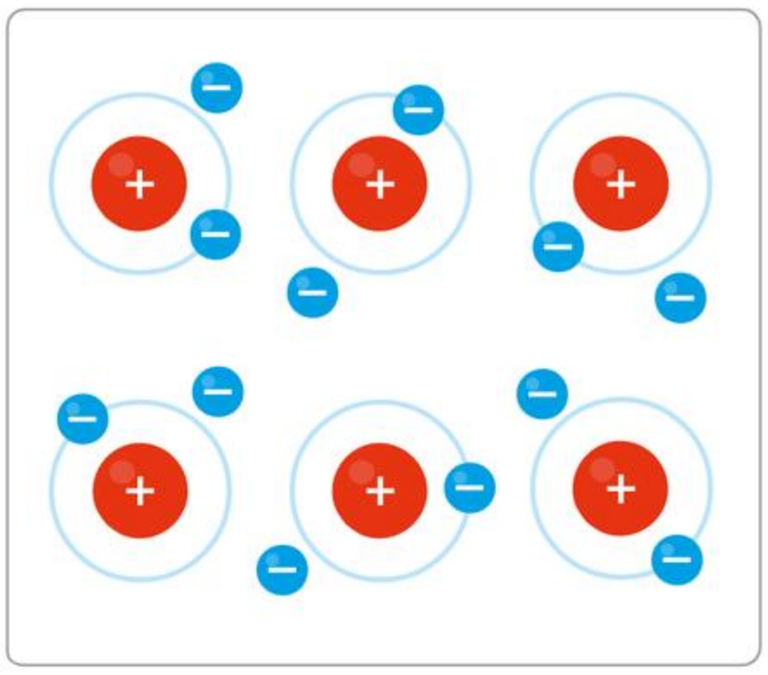


Przewodnikami prądu są wszystkie metale. Szkło, drewno i plastik to izolatory elektryczne.

Takie materiały jak szkło, ebonit, drewno czy plastik należą do tzw. **izolatorów**. Ich budowa wewnętrzna charakteryzuje się tym, że elektrony są mocno związane z atomami (lub cząsteczkami) i nie mają możliwości swobodnego ruchu w obrębie ciała.



W izolatorach elektrony są mocno związane z atomami (cząsteczkami) i nie mogą się przemieszczać.



W przewodnikach niektóre elektrony, tzw. swobodne, mogą się przemieszczać.

Ponieważ elektrony w izolatorach nie mogą się swobodnie poruszać, przemieszczają się między izolatorami tylko w miejscach ich styku.
Izolatorami są m.in.: powietrze, czysta chemicznie (destylowana) woda, guma, tworzywa sztuczne, szkło, ceramika, drewno.

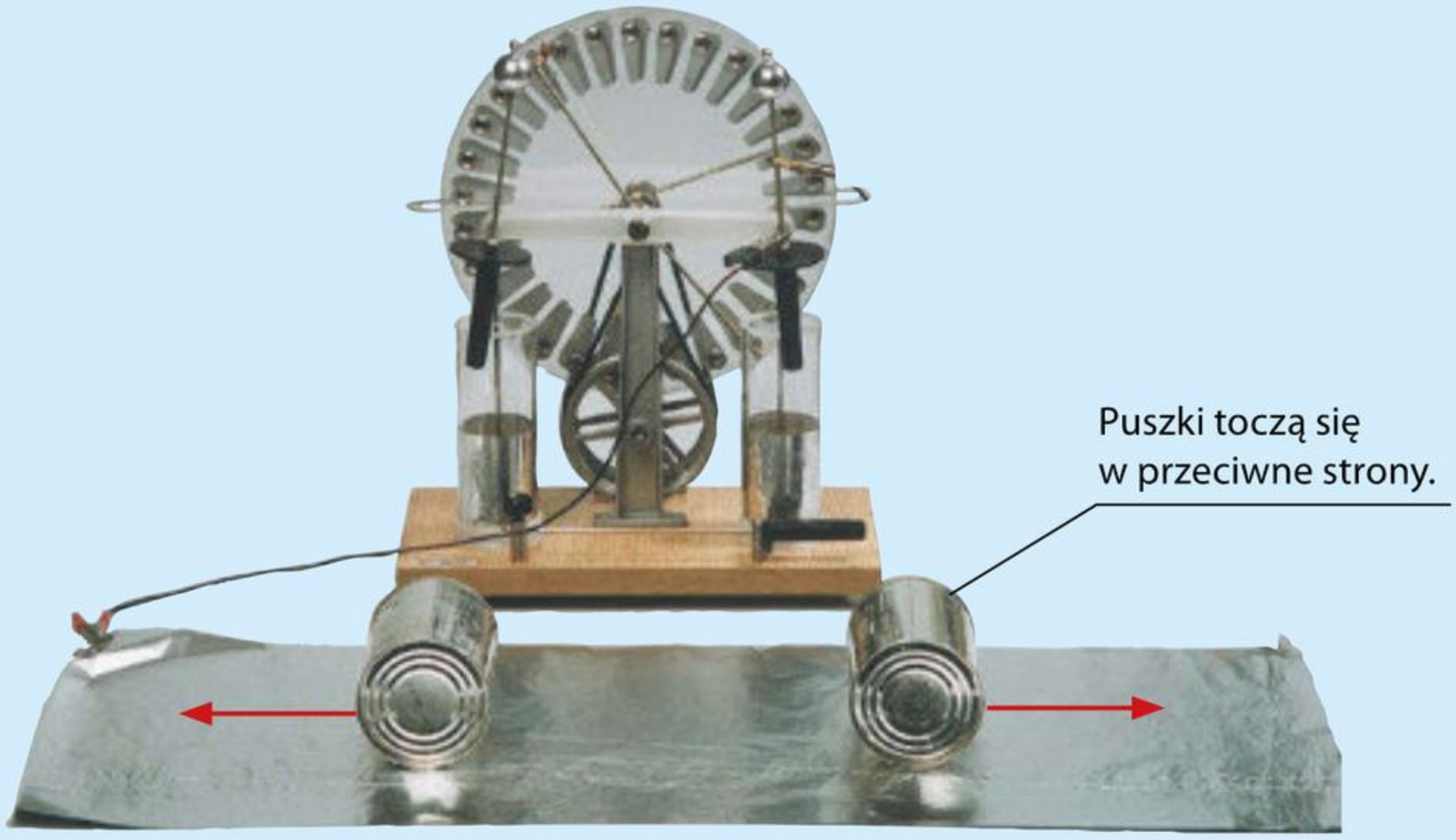
Ze względu na to, czy istnieje możliwość swobodnego przepływu ładunków elektrycznych, substancje dzieli się na **przewodniki** i **izolatory**.

Elektryzowanie przewodników

Wykonując doświadczenie, przekonasz się, że przewodnik też można naelektryzować.

DOŚWIADCZENIE 6

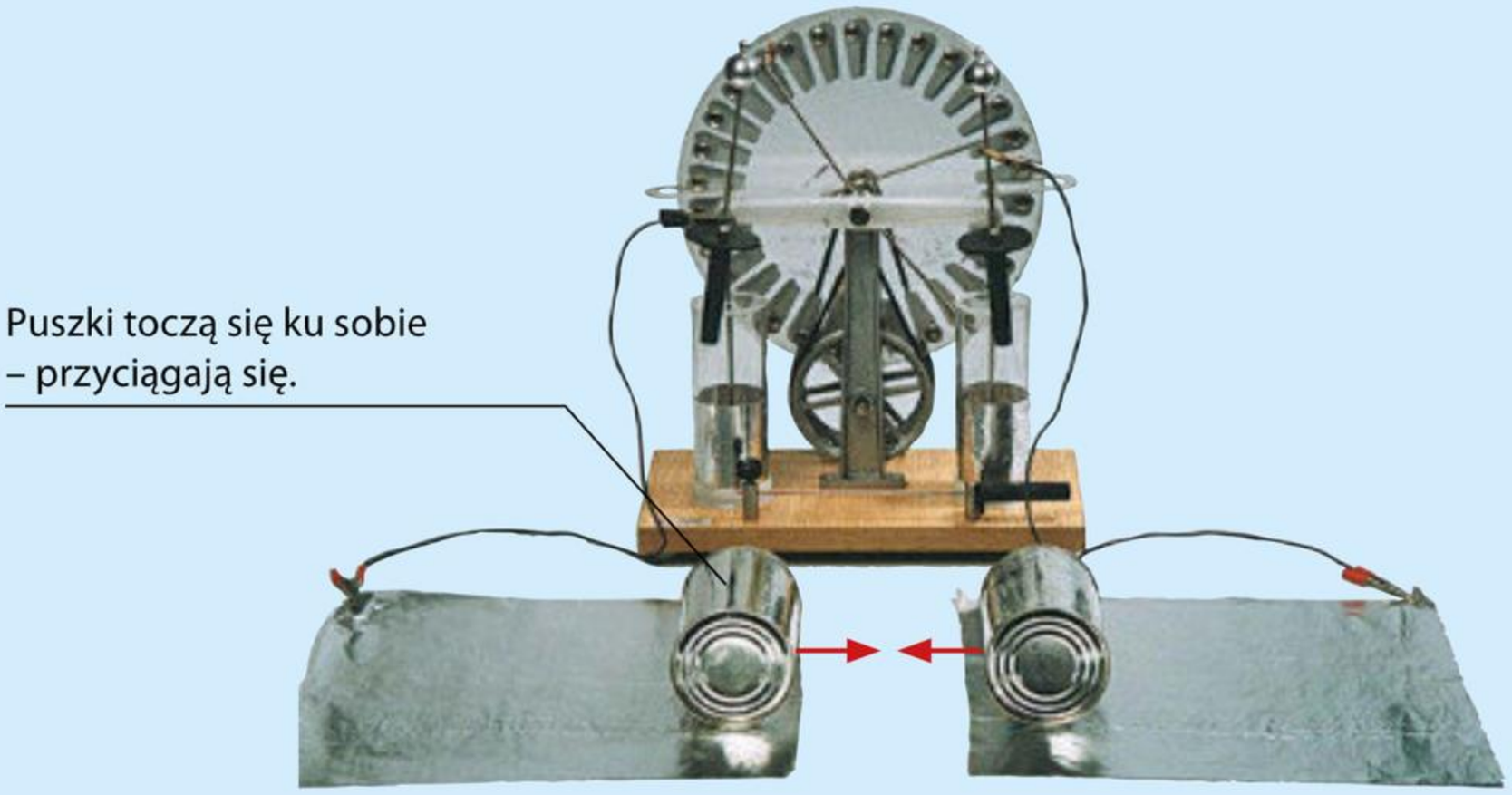
1. Przygotuj: dwie jednakowe metalowe puszki, płytę wykonaną z izolatora (np. z pleksi, styropianu albo dużą szybę), maszynę elektrostatyczną, przewody i folię aluminiową.
2. Na szerokim arkuszu folii aluminiowej rozpostartej na płycie z izolatora połóż puszki równolegle do siebie, tak aby się nie stykały.
3. Do folii podłącz jeden z biegunów (np. dodatni) maszyny elektrostatycznej.
4. Zakręć korbą maszyny. Co obserwujesz?



Po zakręceniu korbą maszyny puszki potoczyły się w przeciwne strony – odepchnęły się, ponieważ zostały naelektryzowane jednoimiennie. Jak widzisz, przewodnik można naelektryzować. Zauważ, że folia aluminiowa (przewodnik), leżąca na płycie, była odizolowana od otoczenia. Zgromadzony na niej ładunek mógł więc przemieścić się tylko do puszek. Ponieważ do folii podłączony był tylko jeden biegun maszyny elektrostatycznej, folia i obie puszki naelektryzowały się jednoimiennie. Puszki odepchnęły się i potoczyły w przeciwne strony.

DOŚWIADCZENIE 7

1. Przygotuj dwie jednakowe, metalowe puszki, płytę wykonaną z izolatora (np. z pleksi, styropianu albo dużą szybę), maszynę elektrostatyczną, przewody i folię aluminiową.
2. Umieść puszki równolegle do siebie na dwóch oddzielnych arkuszach folii aluminiowej rozpostartych na płycie z izolatora.
3. Do jednego arkusza folii podłącz jeden z biegunów (np. dodatni) maszyny elektrostatycznej, a do drugiego arkusza – biegun przeciwny.
4. Zakręć korbą maszyny. Co obserwujesz?



Każdy płat folii został podłączony do innego bieguna maszyny elektrostatycznej, jedna z puszek naelektryzowała się więc dodatnio, a druga – ujemnie. Puszki się przyciągają.
Z doświadczeń 6 i 7 wynika, że przewodnik można naelektryzować wówczas, gdy **odizoluje się** go od otoczenia, np. od ziemi, która jest dobrym przewodnikiem.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

W niektórych sytuacjach opony muszą przewodzić ładunki elektryczne, aby zapobiec elektryzowaniu się pojazdów. Wykonuje się je ze specjalnej przewodzącej gumy. Przykładowo metalowy kadłub samolotu elektryzuje się w trakcie lotu w wyniku tarcia o cząsteczki powietrza. Gdy samolot ląduje, ładunek elektryczny musi być odprowadzony do ziemi, aby wysiadający pasażerowie nie byli narażeni na wyładowanie elektrostatyczne.

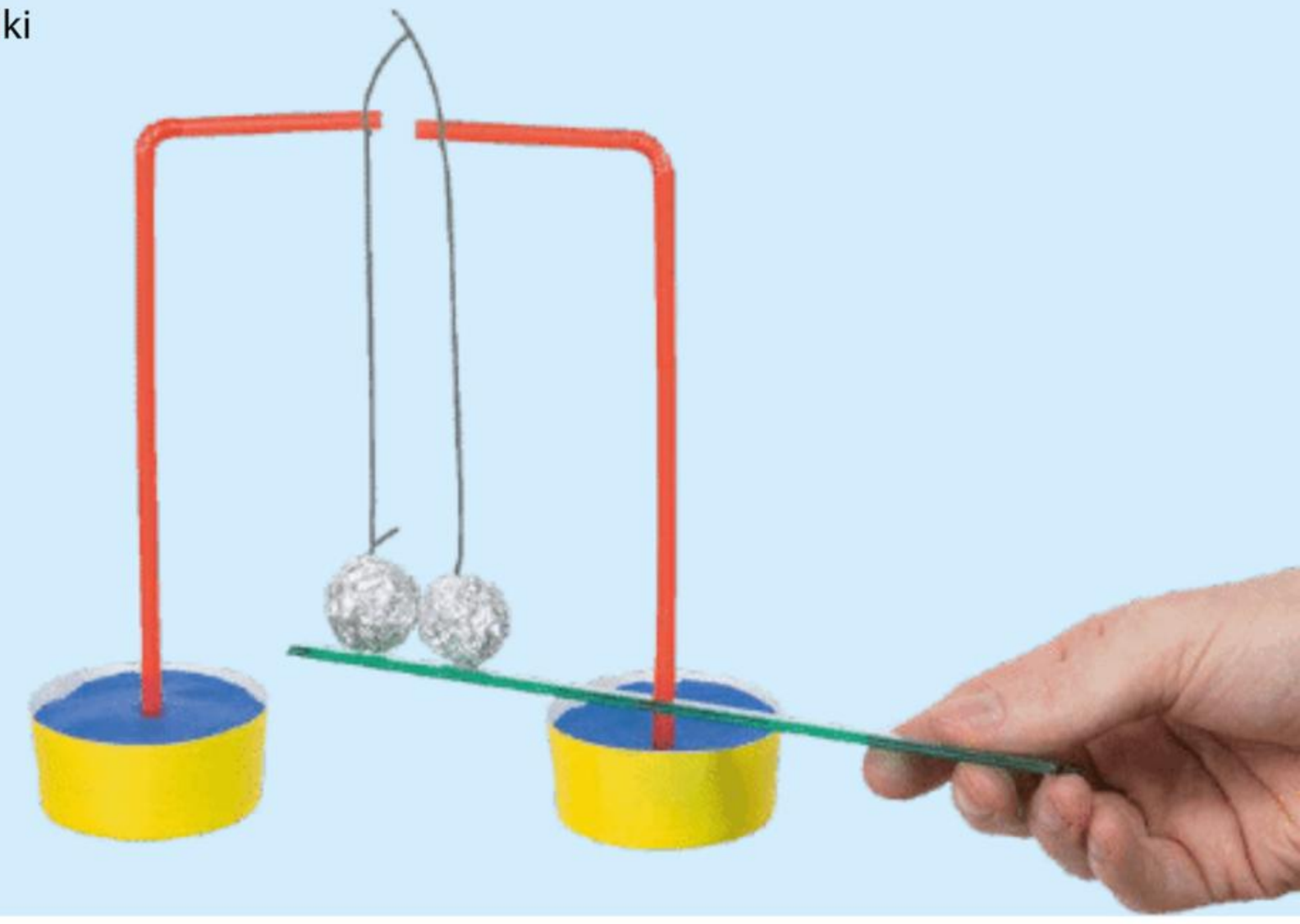
Jeśli nie masz dostępu do maszyny elektrostatycznej, o tym, że metale można naelektryzować, możesz się przekonać, wykonując jeszcze inne doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 8

1. Przygotuj: folię aluminiową, dwie zginane słomki do napojów, plastelinę, kubeczki jednorazowe, cienką żyłkę wędkarską, plastikową rurkę lub linijkę i kawałek tkaniny.
2. Odetnij spody jednorazowych kubków na wysokość ok. 2 cm. Wypełnij je częściowo plasteliną i wbij w nią słomki.

Wskazówka. Tak powstałe proste statywy można wykorzystać również w innych doświadczeniach.

3. Zrób dwie jednakowe kulki z folii aluminiowej i za pomocą żyłki wędkarskiej zawieś je na poziomych fragmentach słomek do napojów (patrz zdjęcie).
4. Ustaw statywy tak, żeby kulki stykały się ze sobą.
5. Potrzyj tkaniną plastikową rurkę (lub linijkę) i dotknij nią aluminiowych kulek. Co obserwujesz?



Aluminiowe kulki po dotknięciu naelektryzowaną linijką oddaliły się od siebie.

Po dotknięciu naładowanym przedmiotem aluminiowe kulki odskoczyły od siebie, co oznacza, że zostały naelektryzowane ładunkami tego samego znaku. Zarówno przewodniki, jak i izolatory można naelektryzować.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Przewodniki** to ciała, w których może następować swobodny przepływ ładunków elektrycznych.
- **Izolatory** to ciała, w których nie występują swobodne ładunki elektryczne.
- Zarówno **przewodniki**, jak **i izolatory można naelektryzować**, ale przewodniki muszą być odizolowane od ziemi.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wyjaśnij, z czego wynikają różne właściwości przewodników i izolatorów elektrycznych.

2 Wśród wymienionych w ramce substancji wskaż te, które są:
a) przewodnikami, **b)** izolatorami.

żelazo • szkło • miedź • ołów • tworzywo sztuczne • porcelana • srebro • styropian • stal • drewno • ciało człowieka

3 Dopasuj litery do cyfr tak, aby powstały informacje prawdziwe.
Uwaga. Każdej cyfrze można przyporządkować kilka liter. Nie wszystkie litery muszą zostać przyporządkowane.

I. Przewodnik

II. Izolator

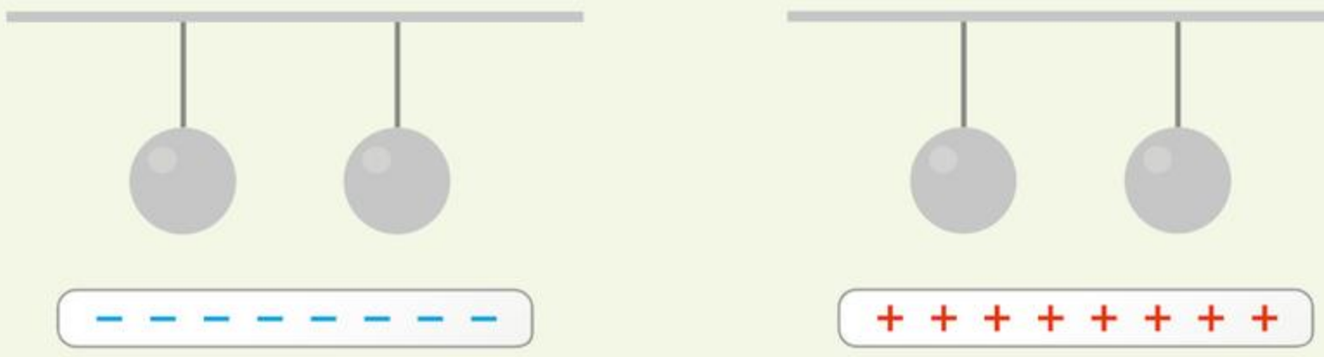
A. można naelektryzować.

B. nie może zostać naelektryzowany.

C. łatwo przewodzi ładunek elektryczny.

D. nie przewodzi ładunku elektrycznego.

4 Dwie metalowe płyty naelektryzowano – jedną dodatnio, drugą ujemnie. Nad nimi zawieszono na nieprzewodzących nitkach po dwie kule wykonane z przewodnika, początkowo obojętne elektrycznie. W pewnym momencie nitki przecięto i kulki spadły jednocześnie na każdą z płyt. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



Kulki, które spadły na metalową płytę naelektryzowaną ujemnie, **A/ B/ C**, ponieważ **D/ E/ F**. Gdy kulki spadły na metalową płytę naelektryzowaną dodatnio, **A/ B/ C**, ponieważ **D/ E/ F**.

A. zaczęły się odpychać

B. zaczęły się przyciągać

C. nie przyciągały się ani nie odpychały

D. naelektryzowały się ładunkami takich samych znaków

E. naelektryzowały się ładunkami przeciwnych znaków

F. pozostały elektrycznie obojętne

4 Elektryzowanie przez dotyk

Cel lekcji: Poznasz kolejny sposób elektryzowania ciał oraz zasadę zachowania ładunku elektrycznego. Dowiesz się, jak działa elektroskop i jakie ma zastosowanie.

Zasada zachowania ładunku elektrycznego

Wiesz już, że **pocierając** dwa ciała o siebie, można je naelektryzować. Dzieje się tak dlatego, że elektrony uwolnione z jednego ciała, np. tkaniny, przechodzą na drugie ciało, np. balonik. Na balonik przemieszcza się zatem tyle elektronów, ile ubywa ich z tkaniny. W obrębie dwóch ciał, które stanowią tzw. **układ izolowany** (czyli taki, który jest odizolowany elektrycznie od otoczenia), mogą więc przepływać ładunki elektryczne, ale ich liczba nie ulegnie zmianie.
Ta prawidłowość nosi nazwę **zasady zachowania ładunku elektrycznego**.

W izolowanym układzie ciał całkowity ładunek elektryczny, czyli suma algebraiczna ładunków dodatnich i ujemnych, nie ulega zmianie.

Przeanalizuj przykład, który ilustruje powyższą prawidłowość.

PRZYKŁAD

Analiza zasady zachowania ładunku

Na dwóch identycznych kulach wykonanych z przewodnika znajdują się ładunki elektryczne o znakach i wartościach takich jak na rysunku. Kule zetknięto ze sobą.

a) Z której kuli na którą będą przepływać ładunki?

b) Jakie ładunki będą na każdej z kul po ich zetknięciu?



Rozwiązanie:

a) Na lewej kuli jest nadmiar elektronów o łącznym ładunku −11 μC, na prawej – niedobór elektronów, przejawiający się nadmiarem ładunku dodatniego o wartości 7 μC. Przemieszczać mogą się tylko elektrony z lewej kuli. Elektrony te przyciągają się z dodatnim ładunkiem kuli prawej i odpychają się wzajemnie na kuli lewej. Zaczną więc przepływać na kulę prawą, neutralizując jej ładunek dodatni. Kiedy prawa kula będzie już obojętna elektrycznie, pozostałe elektrony na lewej kuli (ich łączny ładunek wyniesie −4 μC, bo ładunek −7 μC odpłynął i zneutralizował ładunek na prawej kuli) będą się wciąż wzajemnie odpychały. W wyniku tego połowa z nich przepłynie jeszcze na prawą kulę i dopiero wtedy rozkład ładunków będzie symetryczny i stabilny (założyliśmy, że kule są jednakowe).

b) To samo rozumowanie, można przeprowadzić na podstawie zasady zachowania ładunku. Całkowity ładunek elektryczny zgromadzony na obu kulach jest równy:

$$Q = -11\ \mu C + 7\ \mu C = -4\ \mu C$$

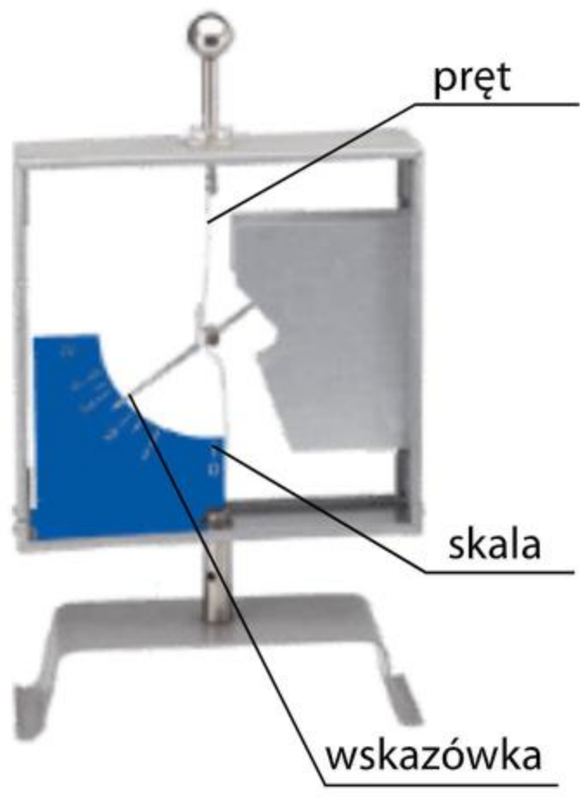
Kule są identyczne, więc ładunek $-4\ \mu C$ rozdzieli się po równo.
Zatem na każdej z kul po ich zetknięciu zgromadzi się ładunek:

$$q_1 = q_2 = \frac{-11\,\mu + 7\,\mu C}{2} = -2\,\mu C$$

Odpowiedź: Elektrony z kuli naładowanej ujemnie przepłyną do kuli naładowanej dodatnio. Na każdej z kul po ich zetknięciu zgromadzi się ładunek $-2\ \mu C$.

Elektroskop

Elektryzując jakiekolwiek ciało, sprawiasz, że uzyskuje ono nadmiar elektronów (wtedy elektryzuje się ujemnie) lub ma ich niedobór (wtedy elektryzuje się dodatnio). To, czy ciało jest naelektryzowane, można zbadać za pomocą przyrządu zwanego **elektroskopem**. Wyskalowany i zaopatrzony w odpowiednią podziałkę elektroskop to elektrometr. Najczęściej stosowanym typem tego przyrządu jest tzw. elektrometr wskazówkowy (patrz zdjęcie). Gdy pręt i wskazówka urządzenia są naładowane – odpychają się, więc im większy ładunek, tym większe odchylenie wskazówki.



Elektrometr.

Elektryzowanie przez dotyk

Ładunek może zgromadzić się na ciele nie tylko w wyniku pocierania o inne ciało. Aby się o tym przekonać, wykonaj doświadczenie.

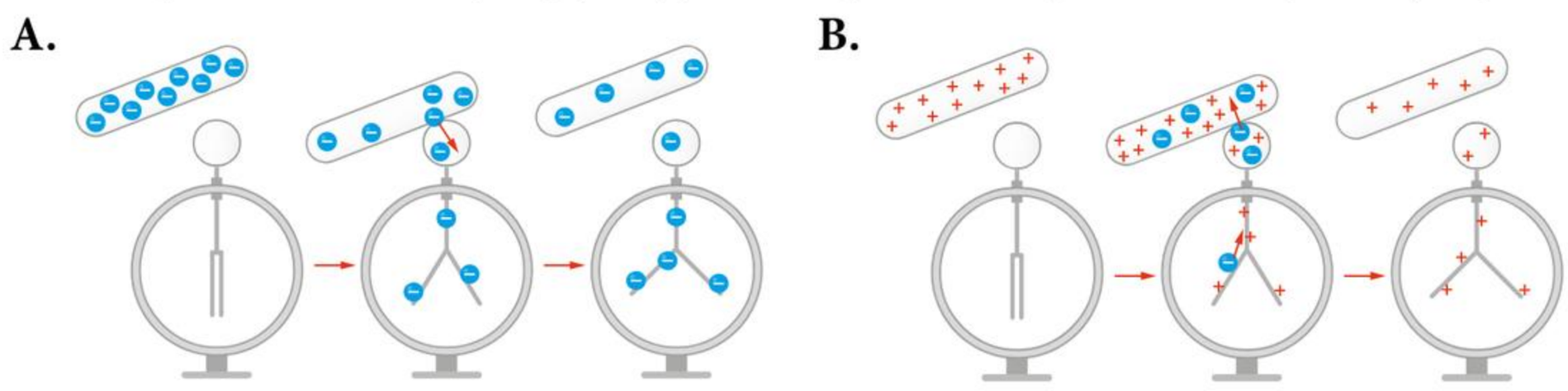
DOŚWIADCZENIE 9

1. Przygotuj: plastikową butelkę po napoju oraz drut (koniecznie bez izolacji), dwie kulki ugniecione z folii aluminiowej, dwa paski – również z folii aluminiowej – o szerokości ok. 1 cm i długości kilku centymetrów, kawałek tkaniny, słoik lub szklankę oraz balonik lub plastikową rurkę.
2. Osadź drut w butelce, przebijając ją poniżej szyjki. Wygnij koniec drutu (jak na zdjęciu) i zawieś na nim paski folii.
3. Na końcach drutu umieść kulki z folii aluminiowej.
4. Potrzyj tkaniną nadmuchany balonik (lub rurkę z tworzywa sztucznego) i przesuń nim po aluminiowej kulce.
5. Dotknij palcem aluminiowej kulki.
6. Potrzyj przedmiot ze szkła i przesuń nim po aluminiowej kulce. Co obserwujesz?


Zbudowany przyrząd to prosty elektroskop – urządzenie umożliwiające badanie stopnia naelektryzowania ciała.

Kiedy naelektryzujesz ujemnie balonik lub plastikową rurkę, a następnie dotkniesz nimi aluminiowej kulki nienaładowanego elektroskopu, elektrony przepłyną na metalową kulkę i na skutek wzajemnego odpychania rozbiegną się po metalowych częściach elektroskopu. W szczególności pojawią się na paskach folii, których końce, na skutek tego odpychania, rozchylą się. Dotknięcie kulki palcem powoduje rozładowanie elektroskopu.

Zamiast balonika lub plastikowej rurki możesz użyć szkła (na przykład szklanki). **Szkło elektryzuje się dodatnio**, ponieważ podczas pocierania część elektronów z powierzchni szkła przemieszcza się na tkaninę. Dotknięcie aluminiowej kulki dodatnio naelektryzowaną szklanką powoduje, że część elektronów z kulki, drutu i aluminiowych pasków przemieszcza się na szklankę (zostają przyciągnięte przez dodatni ładunek szklanki). W obu paskach folii (a także w aluminiowej kulce i drucie) jest zatem niedobór elektronów – paski zostały naelektryzowane dodatnio. Ponieważ ładunki jednoimienne się odpychają, także tym razem paski folii się rozchyliły.



Schemat elektryzowania przez dotyk: A. ciałem, na którym zgromadzono ładunek ujemny; B. ciałem, na którym zgromadzono ładunek dodatni. Podczas elektryzowania między ciałami zawsze przemieszczają się elektrony.

Doświadczenie 9 jest przykładem elektryzowania ciał przez **dotyk**. Ta metoda polega na dotknięciu ciała elektrycznie obojętnego ciałem naelektryzowanym (patrz powyższy schemat elektryzowania przez dotyk). Ciało dotychczas elektrycznie obojętne elektryzuje się ładunkiem o takim samym znaku jak znak ładunku zgromadzonego na ciele, którym zostało dotknięte.

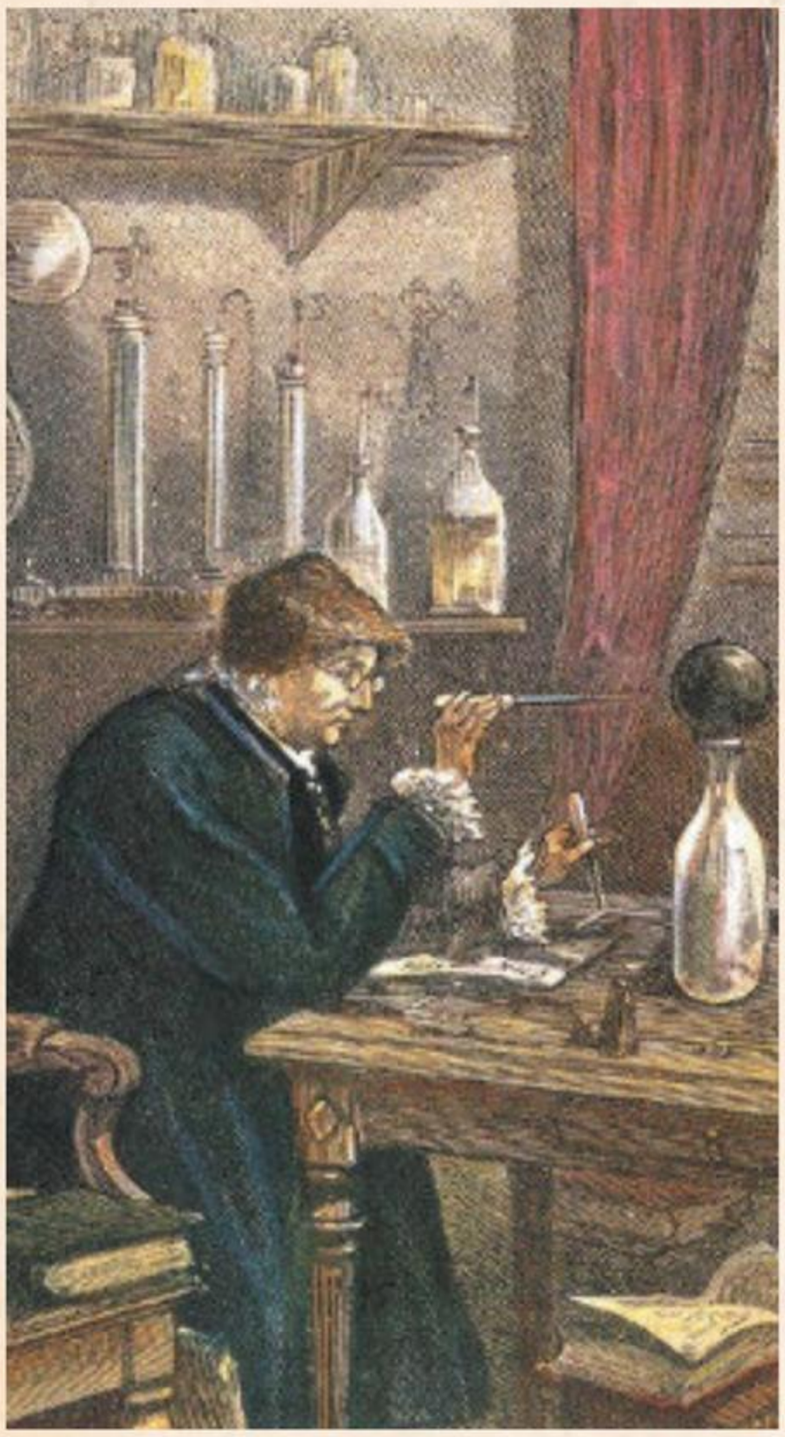
Aby elektroskop nie wskazywał naelektryzowania, czyli aby listki lub wskazówka wróciły do pozycji zerowej, trzeba elektroskop **rozładować**. Można to zrobić na dwa sposoby:

- jeżeli naelektryzowany elektroskop zostanie dotknięty innym ciałem, które jest naelektryzowane ładunkiem przeciwnym, nastąpi rozładowanie elektroskopu przez **zobojętnienie ładunku**;
- jeżeli naelektryzowany elektroskop połączy się z ziemią, np. dotykając ręką (ciało ludzkie jest dobrym przewodnikiem elektryczności), to nastąpi rozładowanie przez **uziemienie**.

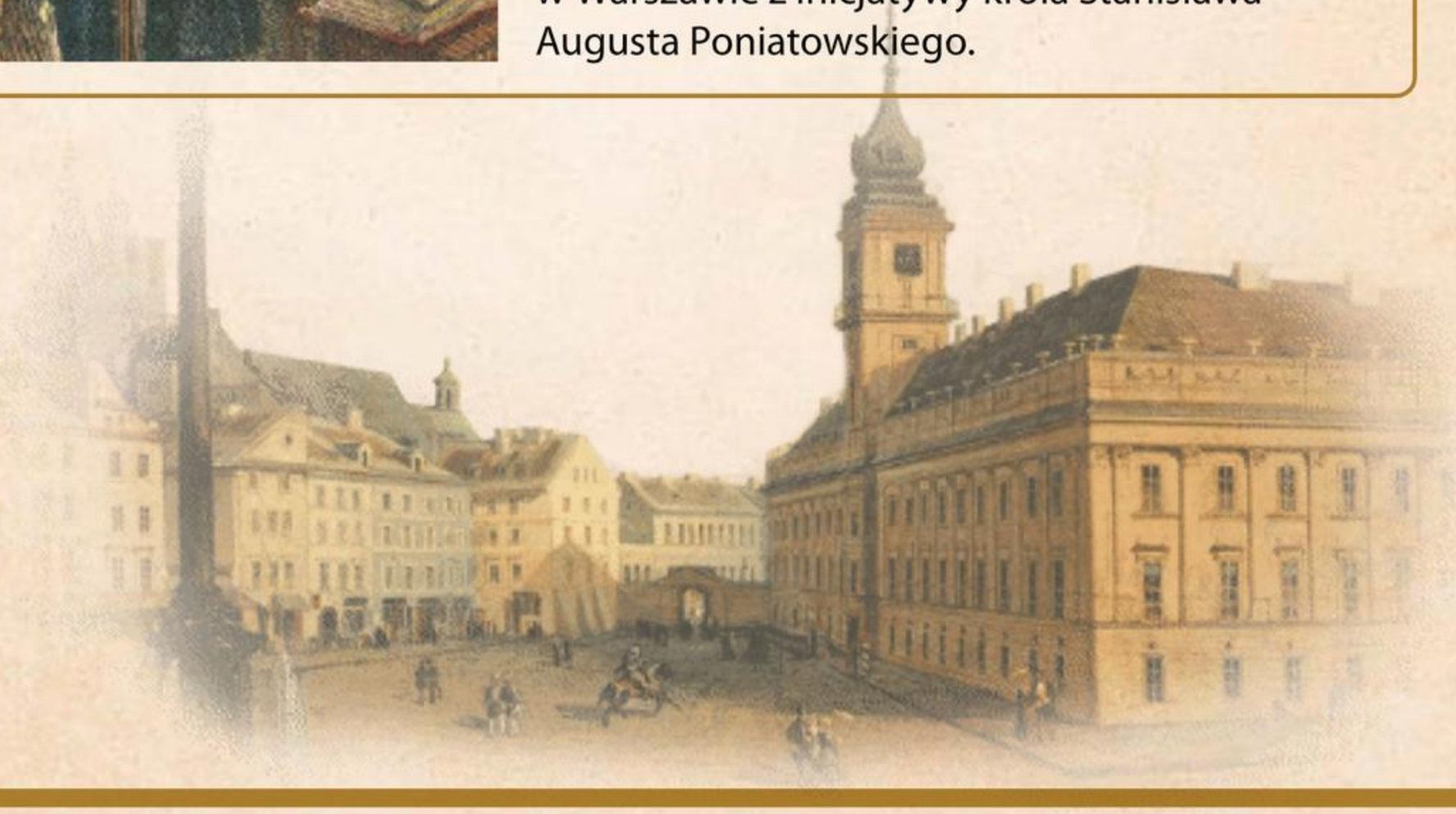
Zobojętnienie ciała naelektryzowanego następuje wtedy, gdy otrzyma ono ładunek przeciwnego znaku o takiej wartości jak ładunek zgromadzony na tym ciele lub odda swój ładunek innemu ciału. **Uziemienie** ciała naelektryzowanego następuje w wyniku przepływu ładunku między tym ciałem a ziemią.

Piorunochron

Uziemienie wykorzystano przy konstrukcji **piorunochronu**, urządzenia chroniącego np. budynki przed skutkami uderzenia pioruna. Działanie piorunochronu polega na odprowadzeniu do ziemi ładunków elektrycznych. Najprostszym piorunochronem jest zaostrzony metalowy pręt, ustawiony pionowo w najwyższym punkcie, np. na dachu budynku, i połączony z ziemią przewodem (najlepiej miedzianym). Przewód połączony z metalową płytą zakopuje się w ziemi.



Twórcą piorunochronu był **Benjamin Franklin** (czyt. bendżamin franklin; 1706–1790), amerykański polityk, przyrodnik, wynalazca i badacz elektryczności. Pewnej nocy, aby poznać, czym jest piorun, puszczał latawiec w czasie burzy. Latawiec był zaopatrzony w metalowy szpikulec, a do sznurka Franklin przymocował duży metalowy klucz. Przygotował też specjalne butelki, tzw. butelki lejdejskie, które stanowiły pierwowzór kondensatora i służyły do gromadzenia ładunku elektrycznego. Klucz był utrzymywany w pobliżu butelki lejdejskiej za pomocą długiej jedwabnej taśmy, z jednej strony przywiązanej do sznurka latawca, a z drugiej – trzymanej przez Franklina. Gdy piorun uderzył, między kluczem a butelką lejdejską przeskoczyła iskra. Było to bardzo niebezpieczne doświadczenie. W pierwszy skonstruowany przez siebie piorunochron Franklin wyposażył w 1752 r. swój dom w Filadelfii. W Polsce pierwsze piorunochrony zostały zainstalowane na Zamku Królewskim w Warszawie z inicjatywy króla Stanisława Augusta Poniatowskiego.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- Elektryzowanie ciał może odbywać się m.in. przez pocieranie i przez dotyk.
- **Elektroskop** umożliwia stwierdzenie, czy ciało jest naelektryzowane.
- W izolowanym układzie ciał **całkowity ładunek** elektryczny **nie ulega zmianie** (czyli suma ładunków dodatnich i ujemnych nie zmienia się).
- Obojętne ciało można naelektryzować, dotykając je ciałem naelektryzowanym. Dotknięte ciało ma ładunek tego samego znaku co ciało, którym je dotykano.
- **Uziemienie** ciała naelektryzowanego następuje w wyniku przepływu ładunku elektrycznego między ciałem a ziemią przez łączący je przewodnik.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przeczytaj uważnie poniższy tekst i wybierz wszystkie poprawne dokończenia zdania. Wykonano następujące doświadczenie:

- Balon potarto suchą gazetą, w wyniku czego gazeta naelektryzowała się dodatnio.
- Naelektryzowaną częścią balonu dotknięto kulki rozładowanego elektroskopu, w wyniku czego listki elektroskopu wychyliły się.
- W drugiej części doświadczenia potarto kawałkiem wełnianej tkaniny rurkę PCV, w wyniku czego rurka naelektryzowała się ujemnie.
- Na końcu naelektryzowaną częścią rurki dotknięto innego rozładowanego elektroskopu, w wyniku czego listki elektroskopu wychyliły się.

Na podstawie opisu doświadczenia można stwierdzić, że

A. oba elektroskopy naelektryzowano dodatnio.

B. oba elektroskopy naelektryzowano ujemnie.

C. oba elektroskopy pozostały elektrycznie obojętne.

D. elektroskopy naelektryzowano ładunkami przeciwnych znaków.

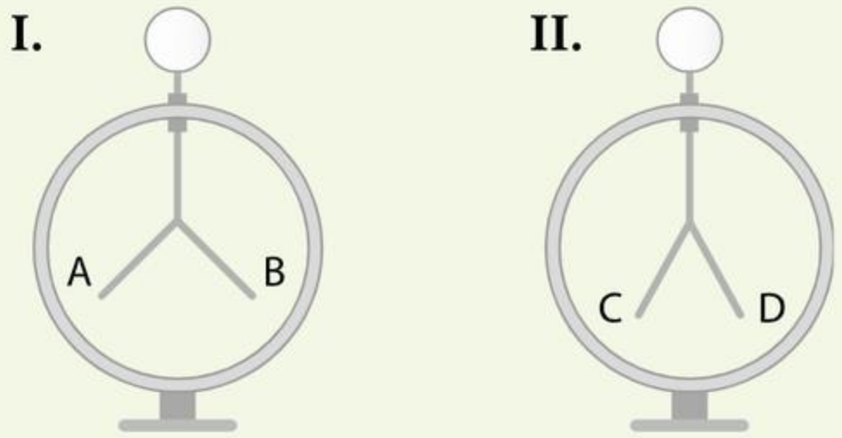
E. wełna i papier naelektryzowały się dodatnio.

F. wełna i papier naelektryzowały się ładunkami przeciwnych znaków.

2 Na rysunku przedstawiono dwa naelektryzowane elektroskopy (I i II), a ich listki oznaczono literami A, B, C i D. Odpowiedz na pytania.

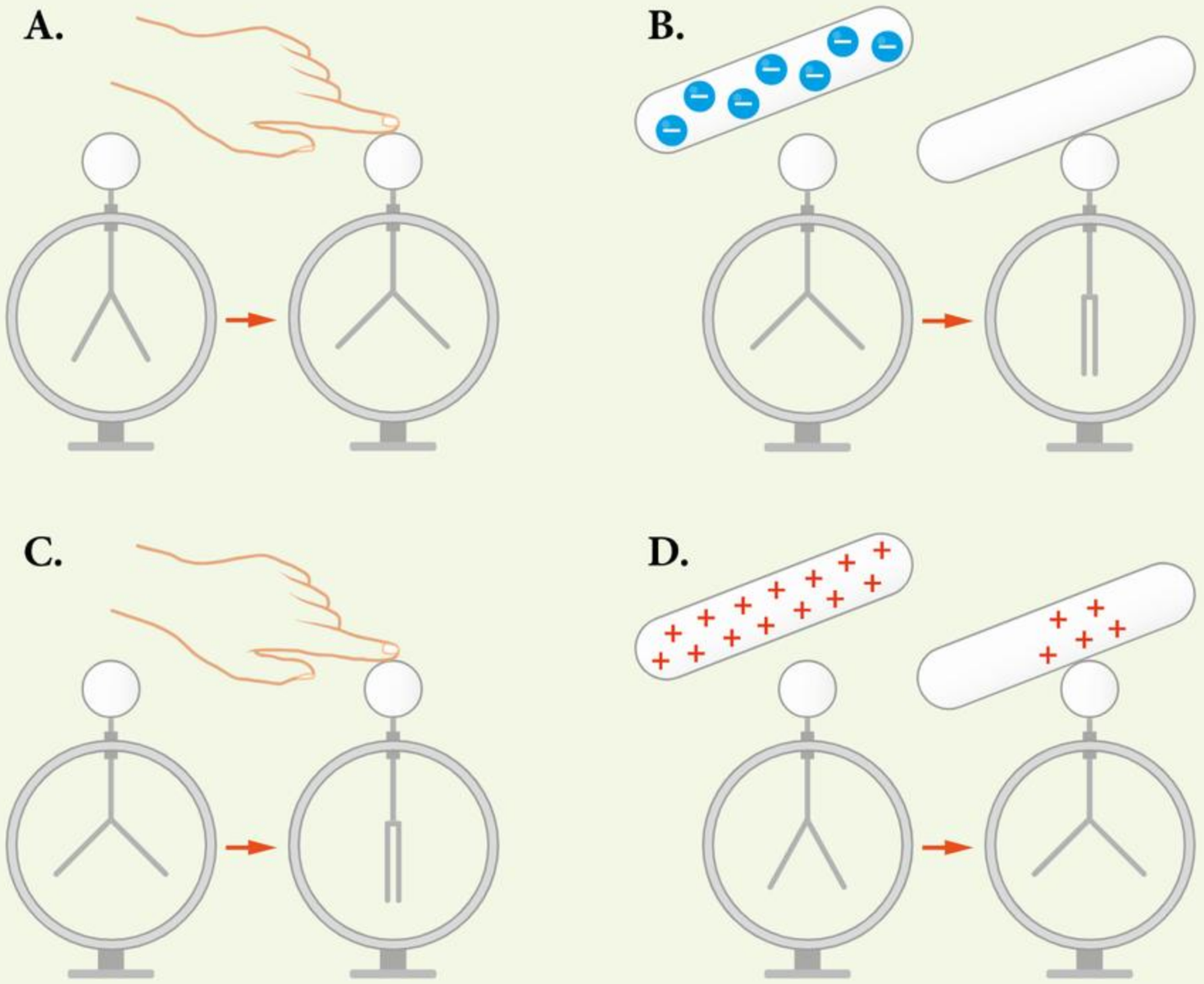
a) Na listkach którego elektroskopu znajduje się większy ładunek elektryczny? Dlaczego?

b) Jeżeli listek A jest naelektryzowany dodatnio, a listek D – ujemnie, to jakim ładunkiem są naelektryzowane listki B i C? Uzasadnij odpowiedź.

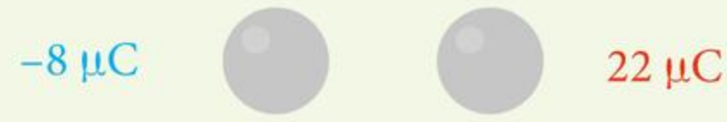


3 Przyjrzyj się dokładnie poniższym ilustracjom i wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Rozładowanie elektroskopu przez uziemienie poprawnie przedstawiono na rysunku **A/ B/ C/ D**. Rozładowanie elektroskopu przez zobojętnienie ładunku poprawnie przedstawiono na rysunku **A/ B/ C/ D**.



4 Na dwóch identycznych kulach wykonanych z przewodnika znajdują się ładunki elektryczne o znakach i wartościach takich jak na rysunku. Jakie ładunki będą na każdej z kul po ich zetknięciu?



5 Elektryzowanie przez indukcję

Cel lekcji: Poznasz trzeci sposób elektryzowania ciał – elektryzowanie przez indukcję.

Kolejny sposób elektryzowania ciał

Wiesz już, że ciała można elektryzować przez pocieranie i przez dotyk. Inny sposób możesz poznać, wykonując doświadczenie.

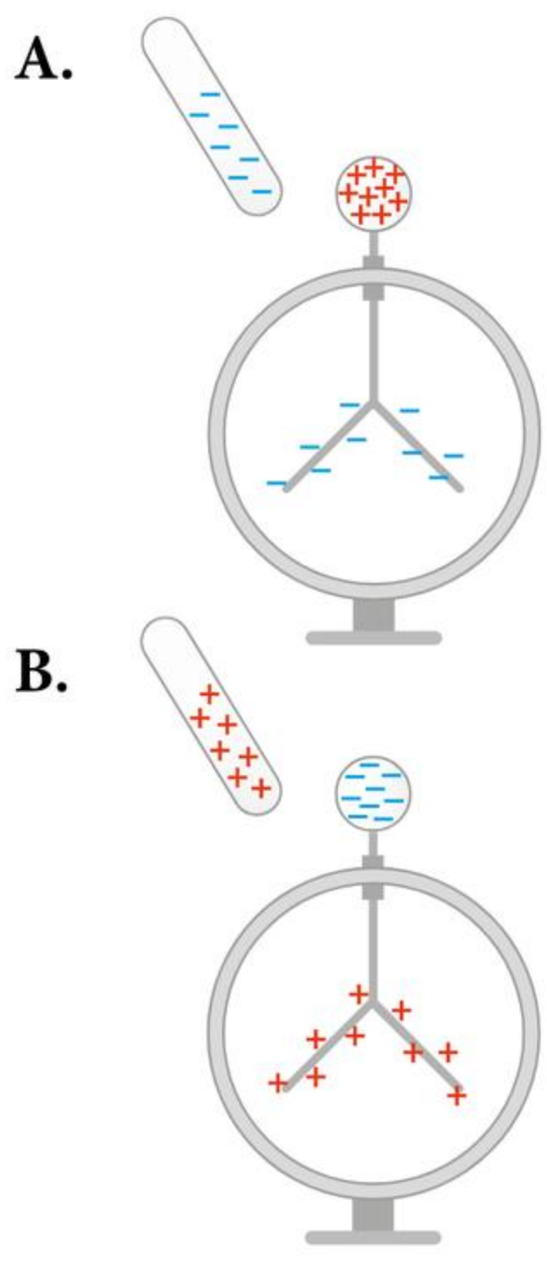
DOŚWIADCZENIE 10

1. Przygotuj elektroskop (możesz wykorzystać przyrząd zbudowany w doświadczeniu 9) i plastikową rurkę.
2. Naelektryzuj rurkę przez pocieranie, a następnie zbliż ją do kulki elektroskopu, nie dotykając go. Co obserwujesz?
3. Oddal rurkę od kulki elektroskopu. Co obserwujesz?



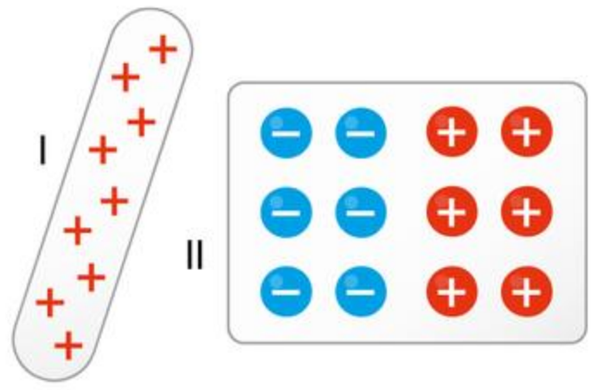
W doświadczeniu 10 listki elektroskopu najpierw się wychyliły, bo zostały naelektryzowane, a po odsunięciu rurki listki powróciły do położenia początkowego – zostały rozładowane.

Jak to wyjaśnić? Plastik elektryzuje się ujemnie. Ujemne ładunki zgromadzone na plastikowej rurce oddziaływały na swobodne elektrony pręta elektroskopu i odepchnęły je na listki, które się rozchyliły (rys. A). Na pręcie elektroskopu od strony rurki pozostały więc ładunki dodatnie. Po odsunięciu rurki listki elektroskopu opadły, ponieważ ładunki ujemne z powrotem rozprzestrzeniły się równomiernie w całym pręcie i zrównoważyły ładunki dodatnie.
Gdyby do elektroskopu zbliżono ciało naładowane dodatnio, efekt doświadczenia byłby taki sam (rys. B). Elektrony z listków elektroskopu zostałyby przyciągnięte w pobliże pałeczki, a ładunki dodatnie, które pozostałyby na listkach, spowodowałyby ich rozchylenie.



Elektryzowanie listków elektroskopu.

Jeżeli do obojętnego elektrycznie metalowego ciała zbliżysz naelektryzowany przedmiot, to w ciele dotychczas obojętnym nastąpi rozdział ładunku. Obszar położony najbliżej naelektryzowanego przedmiotu naelektryzuje się ładunkiem przeciwnym niż zgromadzony na zbliżonym przedmiocie, a pozostała część ciała naelektryzuje się ładunkiem tego samego znaku. Taki sposób elektryzowania nosi nazwę **indukcji elektrostatycznej**.



W wyniku zbliżenia naelektryzowanego ciała (I) do przewodnika (II) swobodne elektrony przemieszczają się wewnątrz metalu.

R

Skutki indukcji elektrostatycznej

Aby zaobserwować skutki indukcji elektrostatycznej, możesz wykonać proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 11

1. Przygotuj: tkaninę i nadmuchany balon (lub inne ciało, które dobrze się elektryzuje, np. plastikową linijkę).
2. Puść z kranu cienką strużkę wody i zbliż do niej naelektryzowany balonik.
3. Obserwuj zachowanie się strużki wody. Co zauważasz?

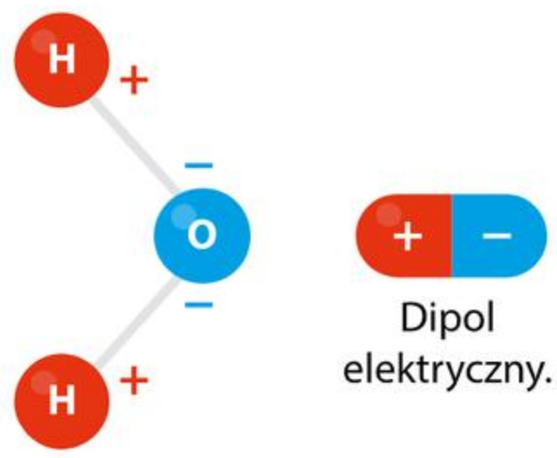
Strużka wody odchyla się w kierunku balonika.



Zaobserwowane zjawisko zachodzi dzięki **polaryzacji** cząsteczek wody (rys. A) w wyniku obecności ładunków zgromadzonych na baloniku. Cząsteczka wody tworzy **dipol elektryczny** (rys. B), czyli układ dwóch równych co do wartości, różnoimiennych ładunków elektrycznych, położonych w niewielkiej odległości od siebie. W cząsteczce wody w okolicy atomów wodoru występuje przewaga ładunku elektrycznego dodatniego, a w okolicy atomu tlenu – przewaga ładunku elektrycznego ujemnego.

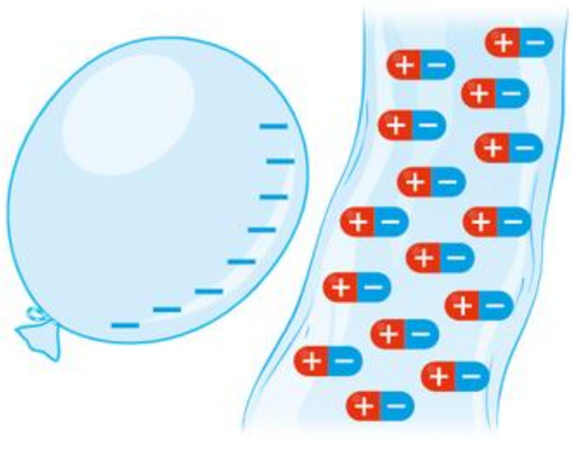
Ujemnie naładowany balonik przyciąga dodatnie ładunki w cząsteczce wody. Cząsteczki wody ustawiają się tak, że ich dodatnio naładowana strona znajduje się bliżej balonika (rys. C). Balonik przyciąga dodatnio naładowaną część cząsteczki wody, a odpycha jej część naładowaną ujemnie. Strona naładowana dodatnio znajduje się jednak bliżej balonika i oddziaływanie przyciągające jest silniejsze niż oddziaływanie odpychające, więc strużka wody odchyla się w stronę balonika.

A. **B.**



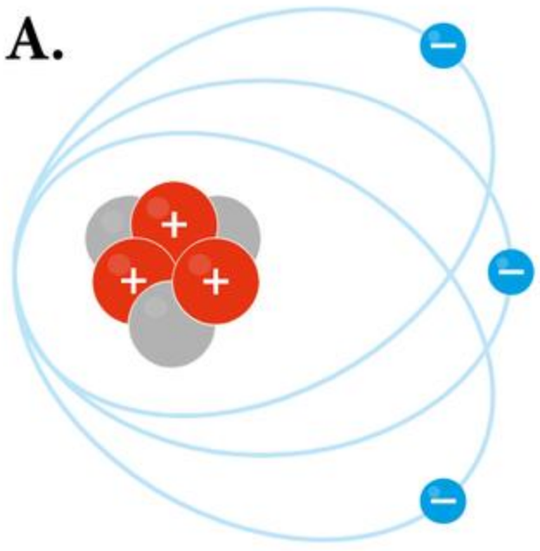
Cząsteczka wody.

C.


Balonik i strużka wody.

Na podobnej zasadzie, przez indukcję, elektryzują się izolatory. W izolatorach nie ma swobodnych elektronów, ale powłoki elektronowe przemieszczają się względem jąder swoich atomów, w wyniku czego powstają dipole.
Zwróć uwagę, że opisane zjawisko indukcji elektrostatycznej (w przypadku zarówno przewodników, jak i izolatorów) wyjaśnia, dlaczego ciała nienaelektryzowane są przyciągane przez ciała naelektryzowane. Strużka wody w doświadczeniu 11 jak i elektroskop w doświadczeniu 10 jako całość są obojętne elektrycznie.

A.



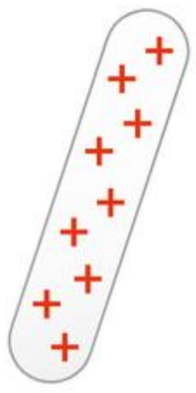
Atom z przesuniętymi powłokami elektronowymi – jądro nie znajduje się w środku atomu.

B.

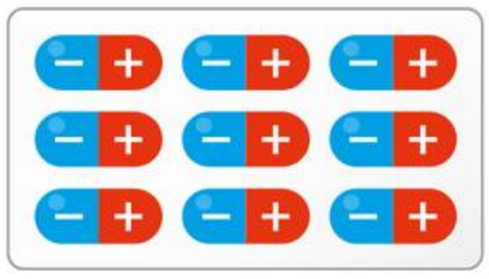


Dipol elektryczny.

C.



Naelektryzowane ciało.



Izolator.

Identyfikowanie znaku ładunku

Indukcję elektrostatyczną można wykorzystać również do tego, aby dowiedzieć się, jakim ładunkiem został naelektryzowany dany przedmiot. Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 12

1. Przygotuj: słomkę do napojów, plastelinę, jednorazowy kubek, kartkę A4, miernik uniwersalny z przewodami, naelektryzowany przedmiot (np. potarty tkaniną balon) i nożyczki.
2. Odetnij dół jednorazowego kubka na wysokości ok. 2 cm. Wypełnij tę część plasteliną i wbij w nią słomkę.
3. Z dłuższego boku kartki A4 odetnij wąski pasek (ok. 0,5 cm szerokości).
4. Jeden koniec papierowego paska włóż do słomki, a drugi do gniazdka miernika oznaczonego V.
5. Do gniazdka oznaczonego COM włóż przewód dołączany do miernika i zadbaj, aby jego wolna końcówka dotykała blatu stołu.
6. Ustaw pokrętło miernika na pomiar napięcia stałego (symbol V) i zakres do 200 mV. Włącz miernik.
7. Szybkim ruchem zbliż dowolny naelektryzowany przedmiot do słomki. Zaobserwuj wskazania miernika.
8. Następnie szybkim ruchem odsuń przedmiot od słomki. Co obserwujesz?



Pasek z papieru słabo, ale jednak przewodzi prąd (głównie za sprawą wilgoci). Zbliżenie do słomki przedmiotu naładowanego ujemnie powoduje odepchnięcie elektronów wzdłuż paska papieru. Elektrony przez krótki czas przepływają przez miernik, który pokazuje znak minus. Odsunięcie przedmiotu od słomki powoduje, że elektrony wracają na swoje miejsce. To znaczy, że przez miernik znów przez chwilę płynie prąd, ale w przeciwną stronę i miernik pokazuje napięcie ze znakiem plus. Zbliżenie przedmiotu naelektryzowanego dodatnio spowoduje wyświetlenie napięcia ze znakiem plus, a odsunięcie go – wyświetlenie napięcia ze znakiem minus.



Większość mierników pokazuje tylko znak –. Brak znaku przy liczbie oznacza +.

Uwaga. Więcej o napięciu i przepływie prądu (również o tym, dlaczego wilgotny papier przewodzi prąd) dowiesz się w kolejnym rozdziale.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Elektryzowanie ciał może odbywać się przez: **pocieranie**, **dotyk**, **indukcję elektrostatyczną**.
- **Dipol elektryczny** to układ dwóch równych co do wartości, różnoimiennych ładunków elektrycznych znajdujących się w niewielkiej odległości od siebie.
- Zbliżenie naelektryzowanego ciała do ciała elektrycznie obojętnego powoduje rozsunięcie ładunków elektrycznych w tym ciele.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

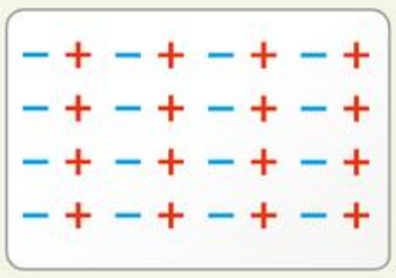
1 Na rysunkach przedstawiono schematycznie rozmieszczenie ładunków w początkowo elektrycznie obojętnych ciałach (II i IV), do których zbliżono ciała naelektryzowane (I i III).

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

I.

Ciało naelektryzowane

II.



III.

Ciało naelektryzowane

IV.



Ciało I jest naelektryzowane **A/ B**. Ciało III jest naelektryzowane **A/ B**.

Ciało II jest wykonane z **C/ D**. Ciało IV jest wykonane z **C/ D**.

A. dodatnio

B. ujemnie

C. przewodnika

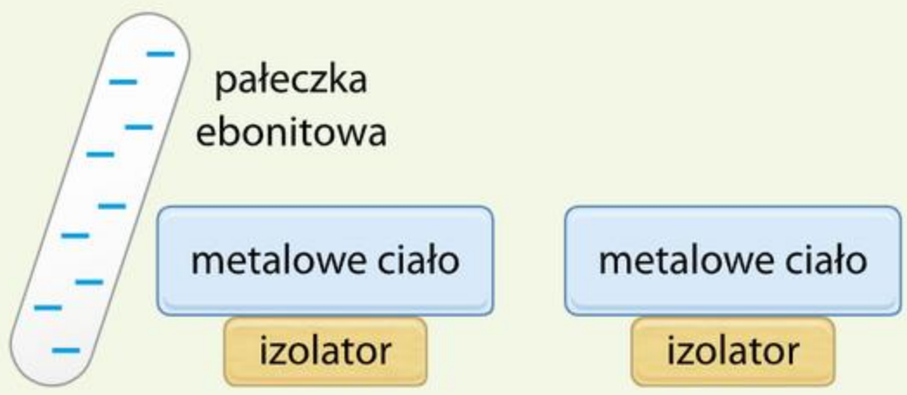
D. izolatora

2 Dwa stykające się metalowe przedmioty leżą na podstawkach z izolatora. Zbliżono do nich (nie dotykając) naelektryzowaną ujemnie pałeczkę ebonitową (rys. A). Nie zmieniając położenia pałeczki względem pierwszego przedmiotu, drugi metalowy przedmiot odsunięto, trzymając za podstawkę z izolatora (rys. B). Ładunki o jakim znaku zgromadziły się na każdym z metalowych przedmiotów? Odpowiedź uzasadnij.

A.



B.



3 Kulę naelektryzowano ładunkiem o nieznanym znaku. Wyjaśnij, jak możesz zidentyfikować znak tego ładunku, nie rozładowując kulki, jeśli masz do dyspozycji elektroskop oraz plastikową rurkę naelektryzowaną ładunkiem ujemnym przez pocieranie.

4 Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 13

1. Przygotuj: pustą puszkę po napoju, plastikową rurkę oraz kawałek tkaniny.
2. Połóż puszkę na stole, tak aby mogła się swobodnie toczyć.
3. Potrzyj rurkę tkaniną i zbliż naelektryzowaną rurkę plastikową do puszki, tak aby jej nie dotykać. Co obserwujesz?
4. Wyjaśnij wynik eksperymentu.



Powtórzenie. Elektrostatyka

- Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych: **ładunki dodatnie** i **ładunki ujemne**. Ładunki o tym samym znaku nazywa się ładunkami jednoimiennymi, a ładunki o przeciwnych znakach – różnoimiennymi.

- **Atom** jest zbudowany z **jądra** i krążących wokół niego **elektronów**. Jądro skupia prawie całą masę atomu; tworzą je **protony** i **neutrony**. Protony to cząstki o ładunku dodatnim, elektrony to cząstki o ładunku ujemnym, a neutrony są cząstkami elektrycznie obojętnymi.

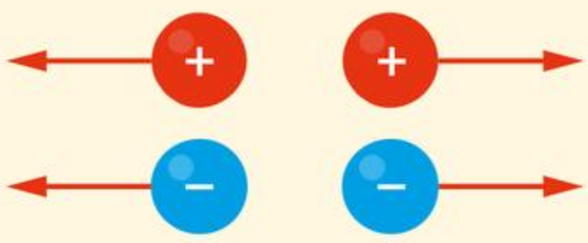
- Atom jest elektrycznie obojętny. W pewnych warunkach może się stać jonem:
  – **dodatnim** (kationem), jeśli z jego powłoki elektronowej zostaną oderwane elektrony (jeden lub kilka);
  – **ujemnym** (anionem), jeśli przyjmie on na swoją powłokę walencyjną jeden lub kilka elektronów.

- **Ładunek elementarny** jest to ładunek równy ładunkowi protonu: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. Ładunek elektronu jest równy $-e$, czyli $-1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C

- Jednostką ładunku elektrycznego jest **kulomb** (1 C).

- Zjawisko gromadzenia przez ciało ładunku elektrycznego jednego znaku to **elektryzowanie**.

- Dwa ciała naelektryzowane jednoimiennie odpychają się, a dwa ciała naelektryzowane różnoimiennie – przyciągają się.



Ładunki jednoimienne (tego samego znaku) odpychają się.

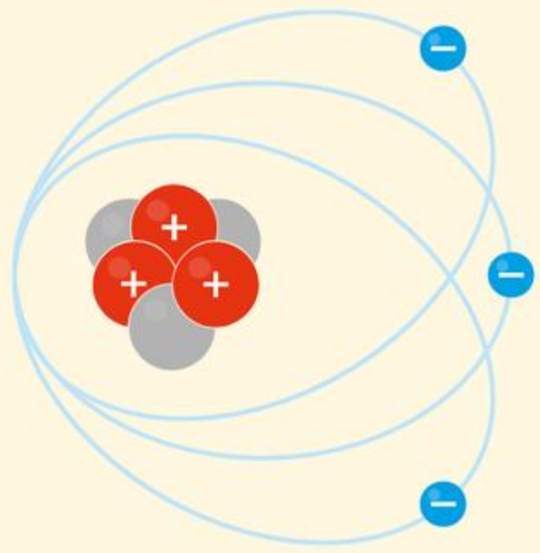


Ładunki różnoimienne (różnych znaków) przyciągają się.

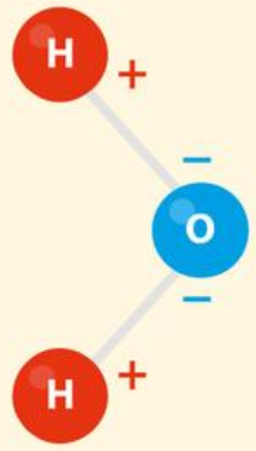
- Elektryzowanie ciał może odbywać się przez:
  – **pocieranie**, w wyniku czego elektrony przechodzą z jednego ciała na drugie, więc jedno ciało gromadzi ładunek ujemny, a drugie – dodatni;
  – **dotyk**, czyli przez zetknięcie ciała naelektryzowanego z ciałem obojętnym elektrycznie. Jeśli naelektryzowane ciało ma ładunek ujemny, to elektrony przepływają z niego do ciała elektrycznie obojętnego, a jeśli naelektryzowane ciało ma ładunek dodatni, to elektrony przemieszczają się do niego z ciała obojętnego elektrycznie;
  – **indukcję elektrostatyczną**, czyli na skutek przybliżenia ciała naelektryzowanego do ciała obojętnego elektrycznie. W ciele obojętnym elektrycznie następuje

rozsunięcie ładunków: w metalach przemieszczają się swobodne elektrony, w izolatorach następuje przesunięcie powłok elektronowych względem jąder atomów.

- **Dipol elektryczny** to układ dwóch równych co do wartości, różnoimiennych ładunków elektrycznych znajdujących się w niewielkiej odległości od siebie.



Atom z przesuniętymi powłokami elektronowymi – jądro nie znajduje się w środku atomu.



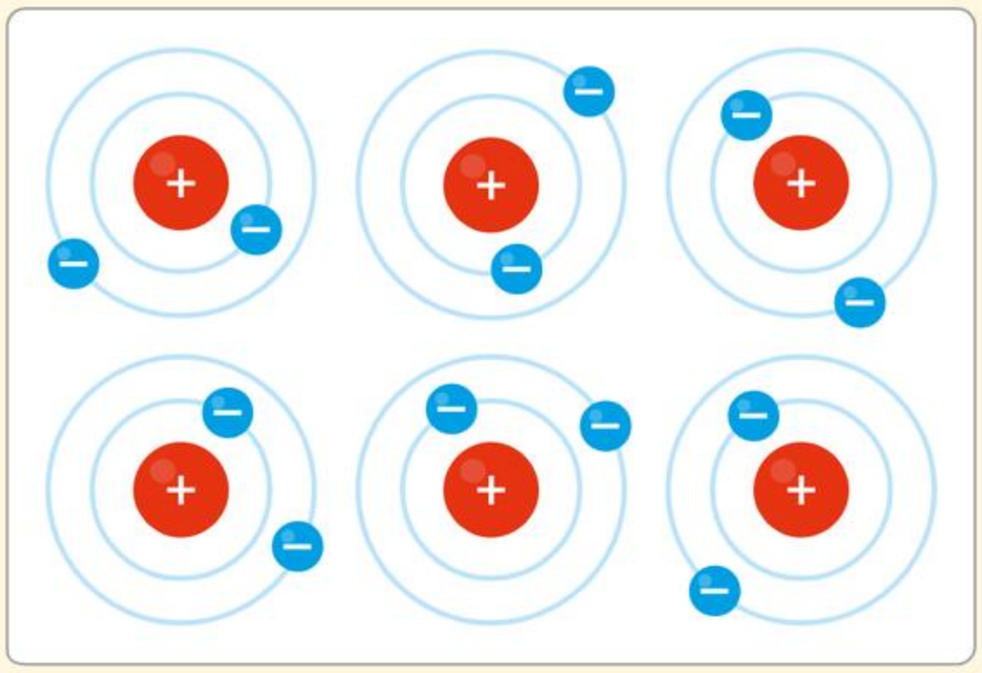
Cząsteczka wody.



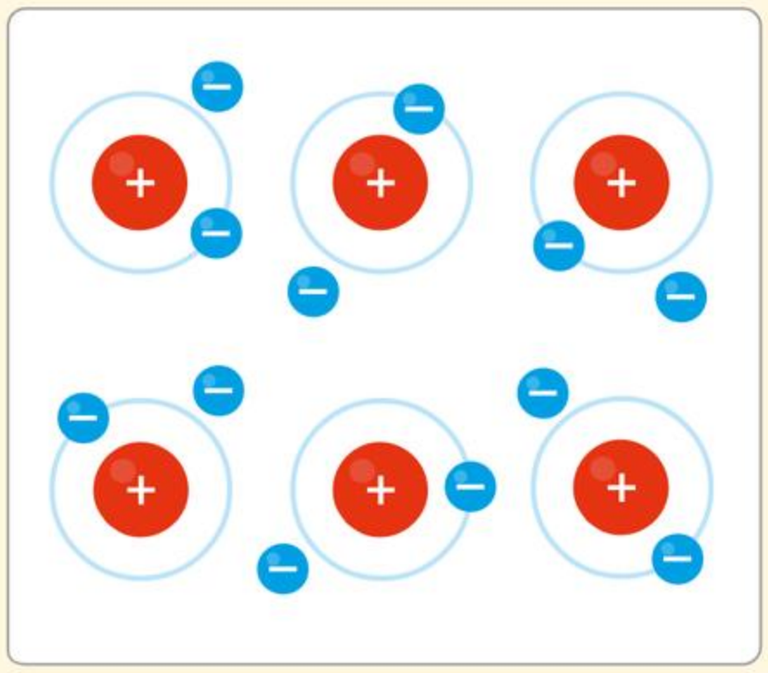
Dipol elektryczny.

- W **przewodniku** zachodzi swobodny przepływ ładunków elektrycznych. Przewodnikami są m.in. wszystkie metale.

- W **izolatorze** nie zachodzi swobodny przepływ ładunków elektrycznych.



W izolatorach elektrony są związane z atomami i nie mogą się przemieszczać.



W metalach niektóre elektrony, tzw. swobodne, mogą się przemieszczać.

- Jeżeli układ ciał jest izolowany elektrycznie, to całkowity ładunek tych ciał, czyli suma ładunków dodatnich i ujemnych, jest stały. Jest to **zasada zachowania ładunku elektrycznego**.

- **Elektroskop** umożliwia stwierdzenie czy ciało jest naelektryzowane.

- **Zobojętnienie** ciała naelektryzowanego następuje wtedy, gdy otrzyma ono ładunek o takiej wartości jak ładunek zgromadzony na tym ciele, ale o przeciwnym znaku lub odda swój ładunek innemu ciału.

- **Uziemienie** ciała naelektryzowanego następuje w wyniku przepływu ładunku elektrycznego między ciałem a ziemią przez łączący je przewodnik.

Test 1. To trzeba umieć

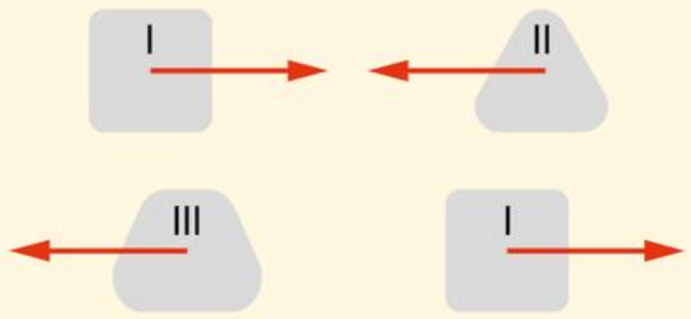
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1 i 2 wybierz poprawne dokończenia zdań.

1 Ciało jest naelektryzowane
A. wtedy, gdy ma tyle samo ładunków dodatnich co ujemnych.
B. tylko wtedy, gdy ma nadmiar ładunków ujemnych.
C. tylko wtedy, gdy ma nadmiar ładunków dodatnich.
D. zarówno wtedy, gdy posiada nadmiar ładunków dodatnich, jak i wtedy, gdy ma nadmiar ładunków ujemnych.

2 Początkowo obojętną elektrycznie szklaną rurkę naelektryzowano dodatnio. W wyniku naelektryzowania rurka
A. straciła część protonów.
B. straciła część elektronów.
C. zyskała dodatkowe protony.
D. zyskała dodatkowe elektrony.

3 Ciała I, II oraz III są naelektryzowane i oddziałują ze sobą tak, jak przedstawiono na poniższym rysunku.



Wskaż zdania prawdziwe.
A. Ciała I i II mają ładunki o tym samym znaku.
B. Ciała I i III mają ładunki jednoimienne.
C. Ciała II i III będą się wzajemnie przyciągać.

Uwaga. W zadaniach 4 i 5 wskaż poprawne uzupełnienia zdań.

4 Szklaną rurkę potarto jedwabną tkaniną. Następnie rurką dotknięto rozładowanego elektroskopu. Wiadomo, że jedwabna tkanina naelektryzowała się ujemnie.

Szklana rurka w wyniku pocierania jedwabiem **A/ B/ C**. Gdy rurkę zetknięto z elektroskopem, elektroskop **D/ E/ F**.
A. naelektryzowała się ujemnie
B. naelektryzowała się dodatnio
C. pozostała elektrycznie obojętna
D. naelektryzował się dodatnio
E. naelektryzował się ujemnie
F. pozostał elektrycznie obojętny

5 Ujemnie naelektryzowaną rurkę z tworzywa sztucznego zetknięto z nienaelektryzowanym elektroskopem. Następnie elektroskopu dotknięto palcem.
W wyniku zetknięcia rurki z tworzywa sztucznego z elektroskopem listki elektroskopu **A/ B/ C**. Podczas zetknięcia rurki z elektroskopem **D/ E** przepłynęły **F/ G**. Gdy dotknięto elektroskopu palcem, listki elektroskopu **A/ B/ C**, ponieważ **D/ E** przepłynęły **H/ I**.
A. zwiększyły wychylenie
B. zmniejszyły wychylenie
C. nie zmieniły wychylenia
D. elektrony **E.** protony
F. z rurki na elektroskop
G. z elektroskopu na rurkę
H. z elektroskopu do ziemi
I. z ziemi do elektroskopu

6 W pracowni szkolnej zgromadzono różne przedmioty, aby przeprowadzić doświadczenie. Wskaż zbiór, który zawiera wyłącznie izolatory.

A. miedziany drut, plastikowa rurka, szklanka

B. plastikowa linijka, porcelanowy talerzyk, gumka recepturka

C. porcelanowy kubek, mosiężna kulka, żelazny gwóźdź

D. szklana butelka, gazeta, monety

7 Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Zarówno izolatory, jak i przewodniki mają elektrony swobodne.

B. Ani izolatory, ani przewodniki nie mają elektronów swobodnych.

C. Izolatory mają elektrony swobodne, a przewodniki ich nie mają.

D. Izolatory nie mają elektronów swobodnych, a przewodniki je mają.

8 Dwie jednakowe metalowe kule naelektryzowano ujemnie tak, że ładunek na jednej z nich jest trzy razy większy niż na drugiej. Co się stanie z ładunkiem kul po zetknięciu ich ze sobą? Wskaż poprawną odpowiedź.



A. Obie kule będą miały taki sam ładunek ujemny.

B. Po zetknięciu ładunek na żadnej z kul nie ulegnie zmianie.

C. Obie kule zobojętnią się (nie będą naelektryzowane).

D. Kula po lewej stronie będzie naelektryzowana ujemnie, natomiast kula po prawej stronie będzie elektrycznie obojętna.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przyporządkuj informację do sposobu elektryzowania. Przerysuj tabelę do zeszytu i uzupełnij ją, wpisując numer informacji do właściwej kolumny.

Uwaga. Nie wszystkie informacje należy wykorzystać.

Elektryzowanie przez		
pocieranie	dotyk	indukcję

I. W wyniku tego sposobu elektryzowania elektrony przepływają między dwoma ciałami.

II. Ciało nienaelektryzowane uzyskuje ładunek o tym samym znaku co ciało naelektryzowane.

III. Przykładem może być elektryzowanie suchych włosów podczas czesania.

IV. Przykładem może być odchylenie strużki wody w kierunku naelektryzowanego ciała.

V. Dwa początkowo elektrycznie obojętne ciała uzyskują ładunki przeciwnych znaków.

VI. W wyniku tego sposobu elektryzowania między dwoma ciałami przepływają protony.

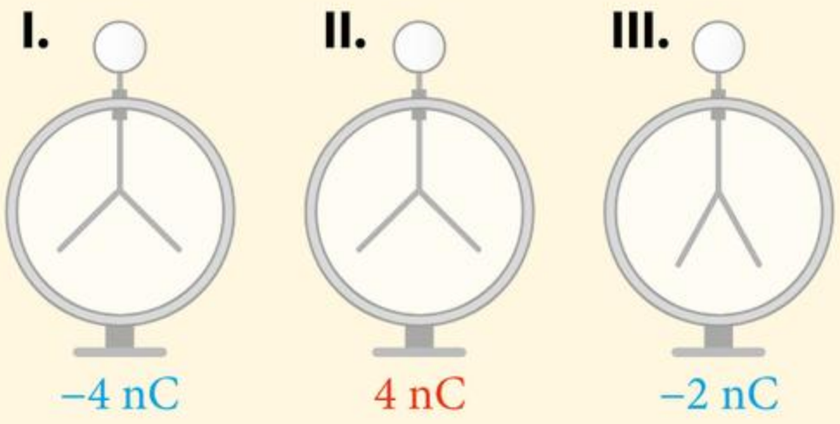
VII. W wyniku tego sposobu elektryzowania elektrony przemieszczają się wewnątrz elektrycznie obojętnego przewodnika.

VIII. Przykładem może być dotknięcie elektroskopu naelektryzowaną plastikową linijką.

IX. Występuje, gdy w pobliżu przewodnika umieścimy (bez jego dotykania) naelektryzowane ciało.

Informacja do zadań 2 i 3

Poniżej przedstawiono trzy naelektryzowane elektroskopy wraz z wartością ładunków, które się na nich znajdują.



2 Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Jeśli połączymy ze sobą elektroskopy I i II, to

A. na elektroskopie I listki zwiększą wychylenie, a na elektroskopie II zmniejszą wychylenie.

B. na elektroskopie II listki zwiększą wychylenie, a na elektroskopie I zmniejszą wychylenie.

C. na obu elektroskopach listki zmniejszą wychylenie.

D. na obu elektroskopach listki zwiększą wychylenie.

3 Wybierz zdania **fałszywe**.

A. Po połączeniu elektroskopów I i III oba będą naelektryzowane ujemnie.

B. Po połączeniu elektroskopów II i III elektrony przepłyną z elektroskopu II na III.

C. Gdy dotkniemy każdego z elektroskopów palcem, elektrony odpłyną z każdego z elektroskopów do ziemi.

D. Po połączeniu elektroskopów II i III oba będą naelektryzowane dodatnio.

4 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Gdy zbliżymy (nie dotykając) naelektryzowany ujemnie balon do elektrycznie obojętnej piłeczki ping-pongowej obłożonej folią aluminiową i zawieszonej na nieprzewodzącej nici, piłeczka **A/ B/ C**. Stanie się tak, ponieważ **D/ E/ F/ G/ H**.

A. wychyli się w stronę balonu

B. nie zmieni swojego położenia

C. odchyli się od balonu w przeciwną stronę

D. piłeczka jest elektrycznie obojętna

E. piłeczka naelektryzowała się ujemnie

F. piłeczka naelektryzowała się dodatnio

G. na folii aluminiowej bliżej balonu zgromadził się ładunek dodatni, a dalej od balonu – ładunek ujemny

H. na folii aluminiowej bliżej balonu zgromadził się ładunek ujemny, a dalej od balonu – ładunek dodatni

5 Wiedząc, że wartość ładunku elementarnego to około 1,6 · 10–19 C, wybierz zdania prawdziwe.

A. Naelektryzowane ciało może posiadać ładunek elektryczny równy $1{,}6 \cdot 10^{-20}$ C.

B. Naelektryzowane ciało może posiadać ładunek elektryczny równy $-1{,}6 \cdot 10^{-17}$ C.

C. Jon, któremu brakuje jednego elektronu, posiada ładunek elektryczny $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

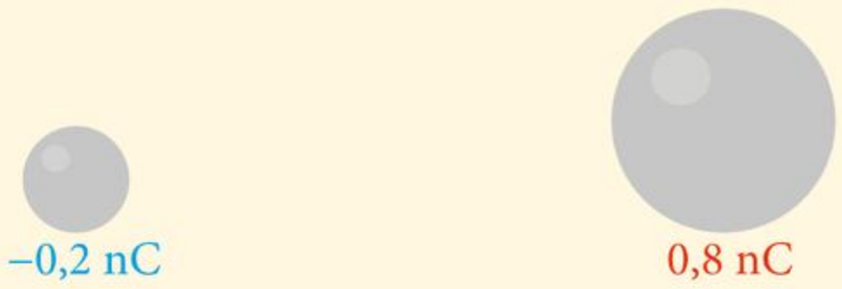
D. Ciało, które posiada ładunek elektryczny $-1{,}6 \cdot 10^{-6}$ C, ma nadmiar elektronów wynoszący ponad miliard.

E. Ciało, które posiada ładunek elektryczny $1{,}6 \cdot 10^{-15}$ C, ma niedobór elektronów wynoszący ponad milion.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Można udowodnić, że jeżeli ciało złożone z dwóch połączonych cienkim przewodnikiem metalowych kul, znacznie od siebie oddalonych, z których jedna ma promień dwukrotnie większy niż druga, zostanie naładowane pewnym ładunkiem, to na większej kuli zgromadzi się ładunek dwukrotnie większy niż na mniejszej, a drut pozostanie nienaładowany. Początkowo na kulach o promieniach 10 cm oraz 20 cm znajdowały się ładunki –0,2 nC i 0,8 nC (patrz rysunek).



Jakie ładunki zgromadzą się na każdej z kul, gdy połączymy je cienkim drucikiem?

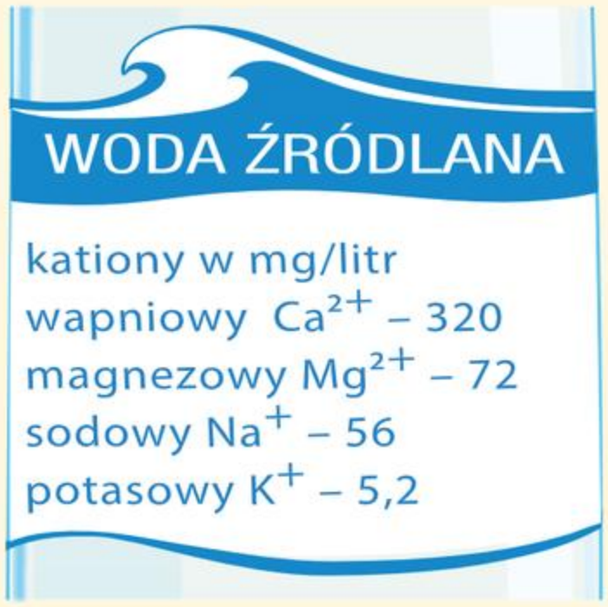
Wskazówka. Skorzystaj z zasady zachowania ładunku oraz informacji zawartej w treści zadania.

2 Rysunek przedstawia fragment etykiety z butelki pewnej wody mineralnej.

a) Czy kation wapniowy ma nadmiar czy niedobór elektronów? Ilu dokładnie?

b) Masa jednego jonu sodowego to około $3{,}82 \cdot 10^{-20}$ mg. Jaki ładunek elektryczny mają wszystkie jony sodowe zawarte w litrze wody źródlanej? Ładunek elementarny: $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

c) Porównaj ładunek obliczony w podpunkcie b) z ładunkiem, jaki przepływa przez układy telefonu komórkowego podczas jednego cyklu rozładowania baterii (około 5000 C).

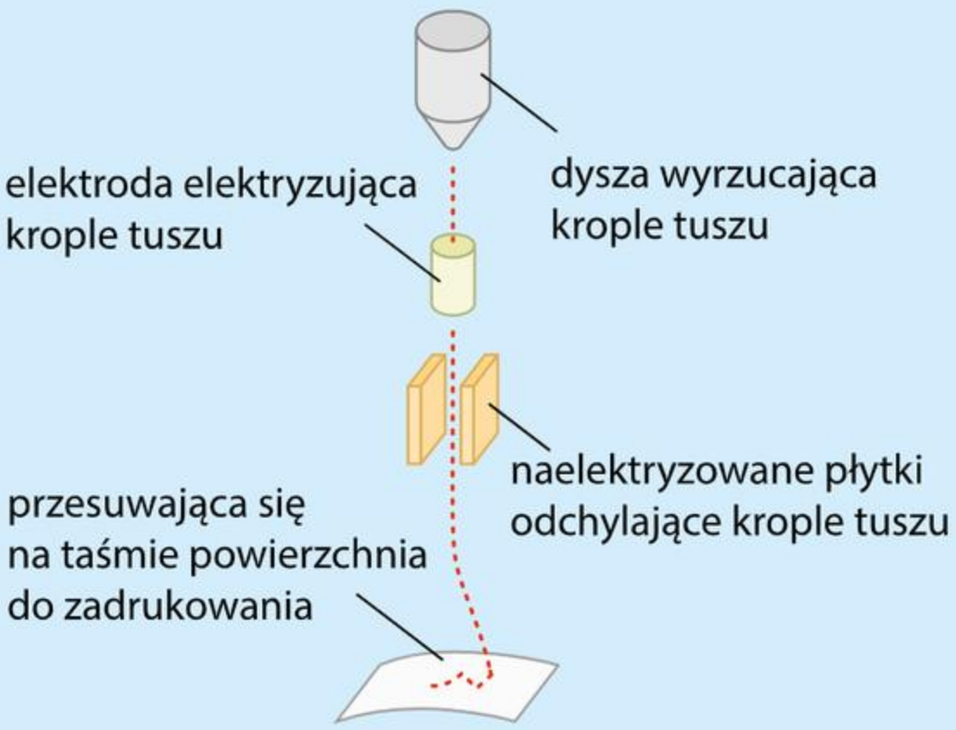


Analiza tekstu

Gdzie wykorzystuje się elektryzowanie ciał

W życiu codziennym często spotykamy się z elektryzowaniem się różnych przedmiotów. Najczęściej jest to dla nas uciążliwe. Nikt przecież nie lubi sterczących naelektryzowanych włosów, które nie chcą się ułożyć, trzasków podczas zdejmowania wełnianych ubrań czy nieprzyjemnego przeskoku iskry, gdy chwytamy za metalową klamkę w suchy dzień. Okazuje się jednak, że bardzo dużo urządzeń z naszego otoczenia nie mogłoby działać, gdyby nie zjawisko elektryzowania.

Jednym z najbardziej popularnych sprzętów, w których elektryzuje się odpowiednie elementy, jest **drukarka laserowa**. Cały proces tworzenia obrazu zaczyna się od naelektryzowania obrotowego bębna. Następnie światło lasera (stąd nazwa drukarki) jest kierowane na te obszary bębna, które nie będą zadrukowane. Pod wpływem światła ładunek elektryczny jest w tych miejscach neutralizowany. W kolejnym etapie czarny proszek zwany tonerem jest elektryzowany ładunkiem o znaku przeciwnym niż bęben. Dzięki temu toner przyczepia się tylko w miejscach, gdzie bęben drukarki był naelektryzowany (czyli tam, gdzie nie padało światło). W końcowym etapie druku toner z bębna jest przenoszony na kartkę papieru, a następnie utrwalany w wysokiej temperaturze. Warto wiedzieć, że toner zawiera nie tylko barwnik. Proszek używany do druku składa się w większości z miniaturowych drobinek specjalnego tworzywa sztucznego. Pełni ono dwie zasadnicze funkcje: ułatwia elektryzowanie tonera oraz sprawia, że w procesie utrwalania w wysokiej temperaturze toner jest trwale wprasowywany w kartkę i nie odpada od niej.



Schemat działania drukarki CIJ.



Końcówka drukarki do nanoszenia nadruków na opakowaniach metodą ciągłego strumienia tuszu (CIJ).

Zupełnie inną technikę druku stosuje się do oznaczania opakowań produktów np. numerem serii oraz datą przydatności do spożycia. **Technika** ta nosi skrótową nazwę **CIJ** (ang. *continuous ink jet* – dosł. ciągły strumień tuszu). W tym przypadku druk polega na nanoszeniu niewielkich kropel tuszu. Gdy spojrzymy np. na karton mleka czy butelkę soku, widać, że nadruk z datą przydatności do spożycia składa się z niewielkich kropek. Krople tuszu wyrzucane z dyszy są elektryzowane, a następnie, przelatując obok naelektryzowanych płytek, odchylają się odpowiednio w pionie. W tym samym czasie taśma z zadrukowanymi produktami przesuwa się w poziomie, co pozwala na tworzenie cyfr i liter (patrz ilustracje na str. 64).

Do nanoszenia barwników stosuje się elektryzowanie nie tylko w przypadku drukarek. **Przy malowaniu pistoletem** również elektryzuje się drobiny rozpylanej farby. Element, który ma być malowany, jest elektryzowany ładunkiem o znaku przeciwnym niż drobiny farby lub jest uziemiany. Dzięki temu drobinki naelektryzowanej farby łatwiej przyczepiają się do malowanego przedmiotu. Naelektryzowana chmura farby przywiera nie tylko od strony pistoletu, lecz także z pozostałych stron. Gdyby użyto nienaelektryzowanej farby, te jej drobinki, które ominęły malowany element, po prostu by się do niego nie przyczepiły.

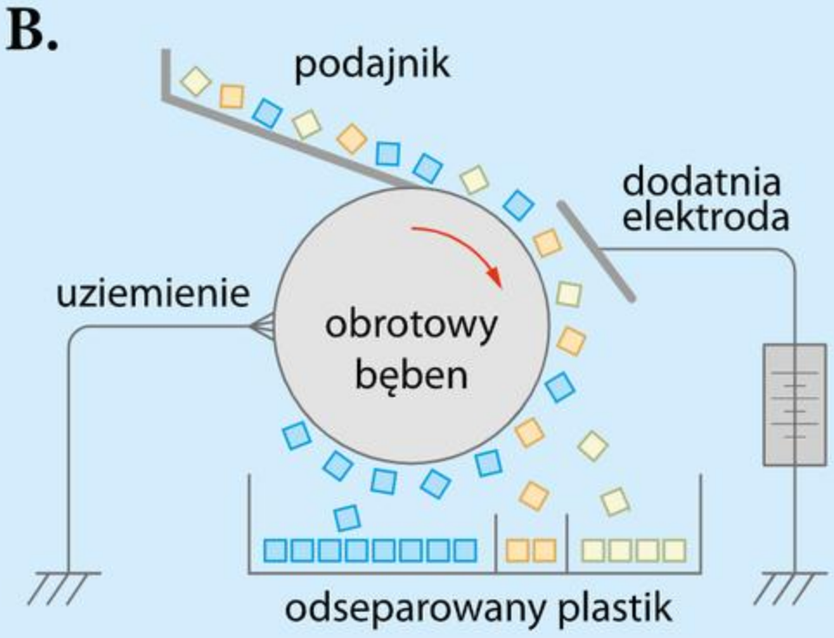


Jednym z bardziej oryginalnych zastosowań elektryzowania jest **sortowanie odpadów z tworzyw sztucznych**. Sortowanie plastikowych śmieci jest o tyle ważne, że w zależności od rodzaju tworzywa proces jego przetwarzania i powtórnej obróbki (np. w celu ponownego wyprodukowania opakowania) jest inny. W procesie sortowania wykorzystuje się fakt, że w wyniku tarcia o siebie rozdrobnione kawałki tworzywa sztucznego elektryzują się ładunkami o przeciwnych znakach. Całość trafia na obrotowy bęben, obok którego znajduje się dodatnia elektroda. Powoduje ona separację fragmentów tworzywa o różnych ładunkach elektrycznych. W wyniku jednego procesu sortowania można rozseparować ponad 90% początkowej mieszaniny tworzyw sztucznych.

A.



B.



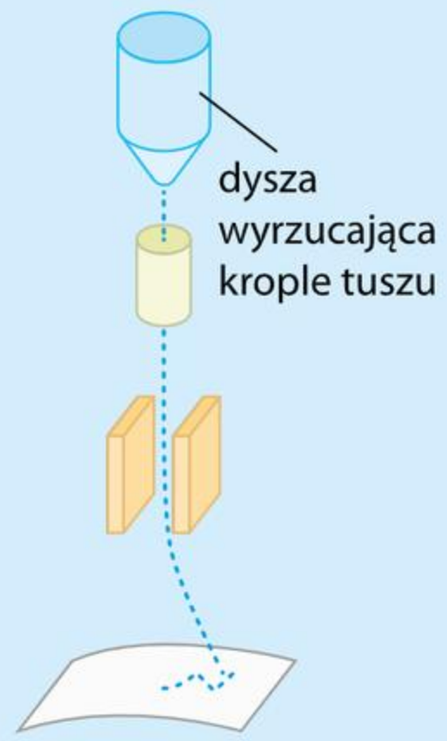
A. Urządzenie do sortowania plastikowych odpadów.

B. Uproszczony schemat jego działania.

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Poniżej przedstawiono schemat działania drukarki nanoszącej drobne kropelki tuszu na produkty na linii produkcyjnej (tzw. druk CIJ). Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.



W sytuacji pokazanej powyżej **A/ B/ C/ D**, ponieważ **E/ F**.

A. kropla tuszu nie jest naelektryzowana i płytki odchylające nie są naelektryzowane
B. kropla tuszu jest naelektryzowana dodatnio i prawa płytka odchylająca jest naelektryzowana dodatnio
C. kropla tuszu jest naelektryzowana ujemnie i prawa płytka odchylająca jest naelektryzowana ujemnie
D. kropla tuszu jest naelektryzowana ujemnie, a prawa płytka odchylająca jest naelektryzowana dodatnio
E. ładunki jednoimienne się przyciągają, a różnoimienne – odpychają
F. ładunki różnoimienne się przyciągają, a jednoimienne – odpychają

2 Spośród poniższych zdań wybierz zdania prawdziwe.

A. Separator tworzyw sztucznych w swoim działaniu wykorzystuje zjawisko elektryzowania przez pocieranie.
B. Rolą lasera w drukarce laserowej jest równomierne naelektryzowanie całego bębna.
C. W druku CIJ, wykorzystywanym do nanoszenia nadruków na etykiety na taśmie produkcyjnej, wszystkie kropelki tuszu przy wylocie z drukarki są elektrycznie obojętne.
D. W separatorze tworzyw sztucznych różne rodzaje tworzyw sztucznych elektryzują się jednocześnie dodatnio lub jednocześnie ujemnie.
E. Toner w drukarce laserowej łatwo elektryzuje się dzięki zawartym w nim drobinkom tworzywa sztucznego.
F. Podczas malowania metalowego elementu metodą elektrostatyczną zarówno drobinki farby, jak i malowany element są elektryzowane ładunkiem o tym samym znaku, co znacznie ułatwia przyczepianie się drobinek farby do metalu.

II

Prąd elektryczny

Z tego rozdziału dowiesz się:

- na czym polega przepływ prądu elektrycznego,
- co to jest natężenie prądu, jaka jest jego jednostka i jak się je mierzy,
- co to jest napięcie elektryczne, jaka jest jego jednostka i jak się je mierzy,
- czym są praca i moc prądu elektrycznego oraz jakie są ich jednostki,
- na jakie formy energii może być zamieniana energia elektryczna,
- co to jest opór elektryczny i jaka jest jego jednostka,
- jak się rysuje schematy obwodów elektrycznych,
- jaka jest rola bezpieczników w domowej sieci elektrycznej.



6 Prąd elektryczny. Napięcie elektryczne i natężenie prądu

Cel lekcji: Na tej lekcji dowiesz się, na czym polega przepływ prądu elektrycznego i poznasz dwie wielkości fizyczne – napięcie elektryczne i natężenie prądu.

Przepływ ładunków elektrycznych

Wiesz już, co to jest ładunek elektryczny oraz w jaki sposób ładunki jednoimienne i różnoimienne oddziałują ze sobą. Wiesz także, że w niektórych substancjach (np. w metalach) ładunki elektryczne mogą się swobodnie przemieszczać. Teraz zajmiemy się zjawiskami związanymi z uporządkowanym ruchem ładunków elektrycznych, czyli prądem elektrycznym. Aby łatwiej je zrozumieć, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 14

1. Przygotuj: dwa jednakowe elektroskopy, balonik, kawałek tkaniny i dobrze izolowany przewodnik.
2. Ustaw elektroskopy obok siebie.
3. Naelektryzuj balonik, pocierając nim o tkaninę.
4. Naelektryzuj jeden z elektroskopów, przesuwając balonikiem po jego kulce.
5. Używając izolowanego przewodnika, połącz kulki obu elektroskopów.

Uwaga. Przewodnika można dotykać tylko przez izolator (patrz zdjęcie).



6. Obserwuj wskazania elektroskopów. Co zauważasz?

W doświadczeniu wystąpił przepływ ładunków między elektroskopami. Naładowany elektroskop częściowo się rozładował, a obojętny – naelektryzował. Widzimy więc, że w pewnych warunkach występuje przepływ ładunków, który ustaje, gdy warunki się zmieniają.

Aby przybliżyć zagadnienia związane z przepływem ładunków, posłużymy się analogią miedzy oddziaływaniami: grawitacyjnym i elektrostatycznym.

Oddziaływanie elektrostatyczne a oddziaływanie grawitacyjne

Z klasy siódmej wiesz, że podniesienie ciała na pewną wysokość nad ziemię powoduje wzrost jego energii potencjalnej grawitacji. Aby podnieść to ciało, należy wykonać pracę, a gdy ciało spada, może ono wykonać pracę kosztem swojej energii potencjalnej.

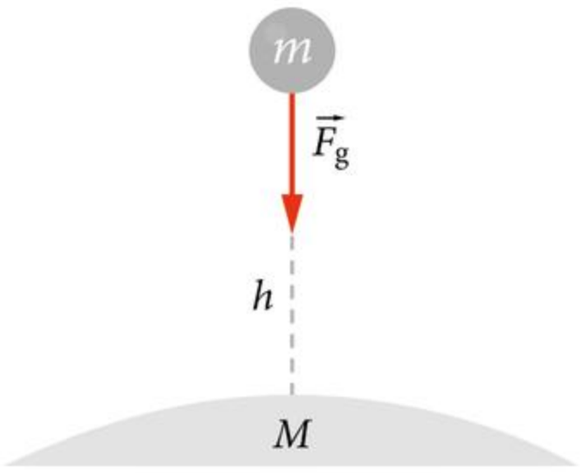
Istnieją pewne podobieństwa między oddziaływaniem elektrostatycznym i oddziaływaniem grawitacyjnym oraz pewne różnice między nimi.

Tabela. Podobieństwa i różnice oddziaływań: elektrostatycznego i grawitacyjnego

Oddziaływanie grawitacyjne	Oddziaływanie elektrostatyczne
Podobieństwa	
Ciała obdarzone masą **oddziałują** ze sobą **na odległość**.	Ciała obdarzone ładunkiem **oddziałują** ze sobą **na odległość**.
Ciała o danej masie mają **energię potencjalną** oddziaływania grawitacyjnego, która zależy od **odległości między nimi** i od **ich masy**.	Naelektryzowane ciała **mają energię potencjalną** oddziaływania elektrostatycznego, która zależy od **odległości między nimi** i od **wartości ich ładunków**.
Różnice	
W wyniku oddziaływania grawitacyjnego ciała **zawsze się przyciągają**.	Ładunki mogą się **przyciągać lub odpychać** – w zależności od znaku ładunków.

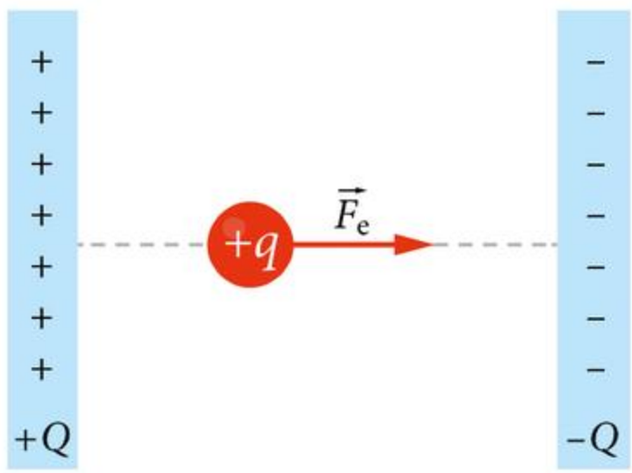
Porównajmy ilustracje obrazujące oddziaływanie grawitacyjne ciała o masie m i ciała o masie M z oddziaływaniem elektrostatycznym ładunku o wartości $+q$ i ładunków $+Q$ i $-Q$.

A.



Na ciało o masie m działa siła grawitacji. Gdy ciało spada, zmniejsza swoją energię potencjalną i kosztem tej energii może wykonać pracę, np. pokonując opór powietrza.

B.

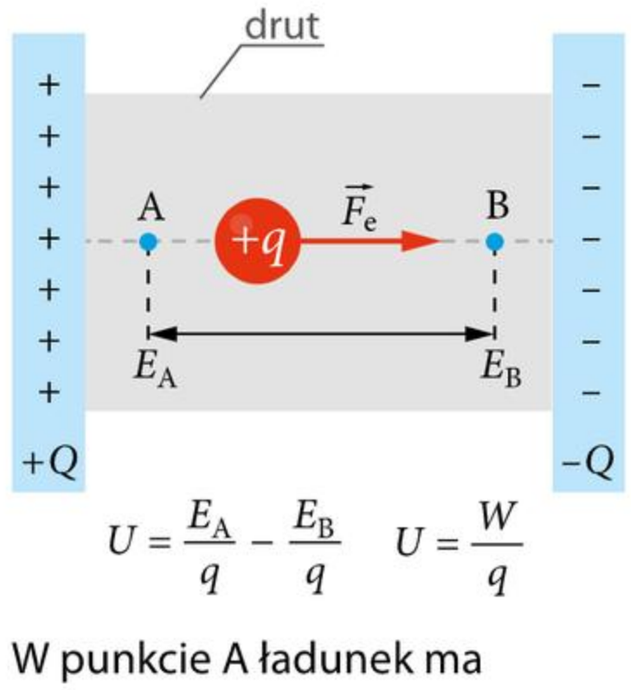


Na ładunek $+q$ działa siła elektrostatyczna; ładunek porusza się w stronę ładunku $-Q$. Podczas tego ruchu zmniejsza się energia potencjalna ładunku – ładunek może wykonać pracę.

Napięcie elektryczne

Przeanalizujmy dokładniej sytuację przedstawioną wyżej na rys. B. Na ładunek $+q$ działa siła elektrostatyczna $\vec{F}_e$, powodująca jego ruch w stronę ładunku $-Q$. Podczas tego ruchu zmniejsza się energia potencjalna ładunku $+q$ i uzyskuje on energię kinetyczną. Energia potencjalna ładunku $+q$ zależy więc od jego położenia względem ładunków $+Q$ i $-Q$.

Podczas przemieszczania się ładunku z punktu A, w którym ma on większą energię potencjalną, do punktu B, w którym ma on mniejszą energię potencjalną, albo rośnie jego energia kinetyczna (jeżeli ładunek porusza się swobodnie), albo ładunek wykonuje pracę (na przykład gdy przemieszcza się wzdłuż drutu, podgrzewając go).
Praca W wykonana przez ładunek q przy jego przemieszczaniu z punktu A do punktu B jest równa różnicy energii potencjalnej ładunku q w punkcie A i w punkcie B.



W punkcie A ładunek ma energię potencjalną większą niż w punkcie B ($E_A > E_B$). Dzięki tej różnicy ładunek może zyskać energię kinetyczną lub wykonać pracę.

Iloraz pracy, jaką wykonałby ładunek przy przemieszczaniu się z puntku A do punktu B, i wartości tego ładunku jest równy **napięciu elektrycznemu** U.

Zapisuje się to wzorem:

$$U = \frac{W}{q} = \frac{E_A - E_B}{q}$$

Zatem, aby wytworzyć napięcie, wystarczy zgromadzić ładunki w danym miejscu. Tak właśnie stało się w doświadczeniu 14. Ładunki zostały zgromadzone na jednym elektroskopie, a zatem między elektroskopami było napięcie. Połączenie elektroskopów przewodnikiem umożliwiło przepływ ładunków, który trwał do chwili, gdy napięcie między elektroskopami osiągnęło wartość zero. Z podobną sytuacją mamy do czynienia np. w przypadku baterii. Na jednym biegunie baterii zgromadzone są ładunki ujemne, a na drugim – ładunki dodatnie. Jeśli bieguny baterii zostaną połączone przewodnikiem, w którym znajdują się swobodne ładunki (elektrony), to będą one przyciągane przez biegun dodatni baterii, a odpychane przez biegun ujemny. Pomiędzy biegunami baterii istnieje więc **napięcie elektryczne**.
Bateria jest źródłem energii elektrycznej, która jest wykorzystywana do przemieszczania ładunku w przewodniku. Można zatem zdefiniować napięcie elektryczne następująco:

Napięcie elektryczne to wielkość określająca ilość energii potrzebnej do przeniesienia jednostkowego ładunku między dwoma punktami: $U = \frac{\Delta E}{q}$.

Jednostką napięcia elektrycznego jest **wolt** (1 V). Jej nazwa pochodzi od nazwiska włoskiego fizyka Alessandra Volty (czyt. wolty).

Między dwoma punktami jest napięcie 1 V, jeżeli praca wykonana przy przemieszczeniu ładunku 1 C między tymi punktami wynosi 1 J: $1\,\mathrm{V} = \frac{1\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{C}}$.

CIEKAWOSTKA

Alessandro Volta (1745–1827), włoski uczony, zajmował się zjawiskami związanymi z prądem elektrycznym. Zastanawiał się nad obserwacjami medyka Luigiego Galvaniego (czyt. luidżiego galwaniego), który zauważył, że udo żaby leżące na metalowej płytce (np. miedzianej), dotykane żelaznym skalpelem, drga. Volta stwierdził, że przyczyną tego jest napięcie elektryczne. W 1800 r. skonstruował prototypowe ogniwo zwane ogniwem galwanicznym (od nazwiska Galvaniego). Zdaniem francuskiego fizyka Dominique'a Arago (czyt. dominika arago) było ono „najcudowniejszym urządzeniem, jakie umysł ludzki kiedykolwiek stworzył".



Przepływ prądu elektrycznego

Jeżeli w danym ośrodku znajdują się swobodne ładunki elektryczne, to pojawienie się napięcia elektrycznego spowoduje ich uporządkowany ruch. Jak już wspomnieliśmy, jeśli podłączymy przewód do baterii, która jest źródłem napięcia, to elektrony swobodne będą przyciągane przez ładunki dodatnie zgromadzone na jednym końcu baterii i odpychane przez ładunki ujemne zgromadzone na jej drugim końcu i zaczną się poruszać w kierunku dodatniego bieguna baterii.

To, co w języku potocznym nazywamy baterią (np. bateria paluszek), zwykle jest ogniwem. Bateria to kilka ogniw połączonych ze sobą.

Ukierunkowany (uporządkowany) ruch ładunków nazywa się **prądem elektrycznym**.

Poruszać się mogą zarówno ładunki dodatnie, jak i ujemne, na przykład:

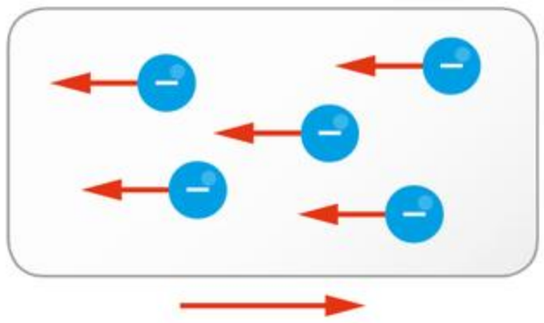
- w metalach poruszają się **elektrony**,
- w wodnych roztworach elektrolitów (czyli cieczach przewodzących prąd elektryczny) poruszają się **jony ujemne i dodatnie**,
- w gazach poruszają się elektrony, jony ujemne oraz dodatnie.

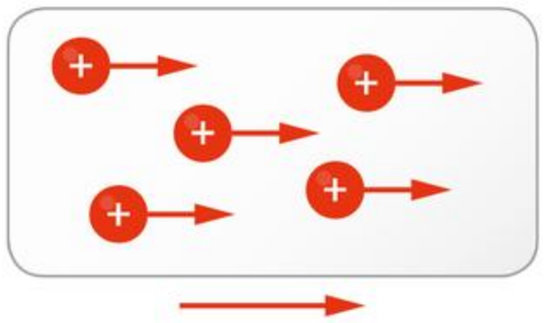


Bateria 9 V jest zbudowana z sześciu połączonych ogniw.

W rzeczywistości bardzo trudno jest odróżnić doświadczalnie prąd złożony z ładunków dodatnich, poruszających się w określonym kierunku, od podobnego prądu tworzonego przez ładunki ujemne, które poruszają się w przeciwną stronę. Dlatego wprowadzono wygodne umowne uproszczenie, dzięki któremu można analizować zjawiska związane z przepływem prądu niezależnie

od rzeczywistego kierunku ruchu ładunków. Tak więc przyjęto, że **umowny kierunek przepływu prądu** jest zgodny z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich, jeżeli prąd tworzą ładunki dodatnie, i przeciwny do kierunku ruchu ładunków ujemnych, jeżeli prąd tworzą ładunki ujemne.





Niezależnie od tego, jakie ładunki się poruszają, umownym kierunkiem przepływu prądu jest zawsze kierunek „od plusa do minusa".

Przepływ prądu może być spowodowany napięciem elektrycznym, ale może wystąpić także w innych sytuacjach. Na przykład Słońce nieustannie wysyła w przestrzeń protony oraz elektrony i to także jest prąd elektryczny.

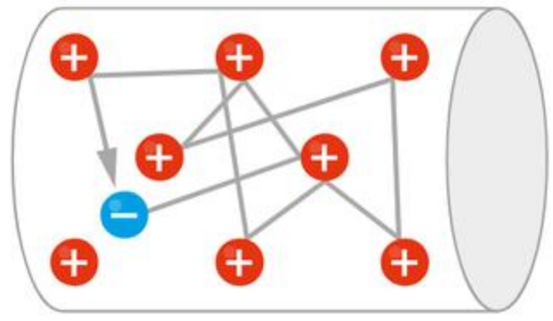
R

Jak szybko poruszają się elektrony w przewodzie

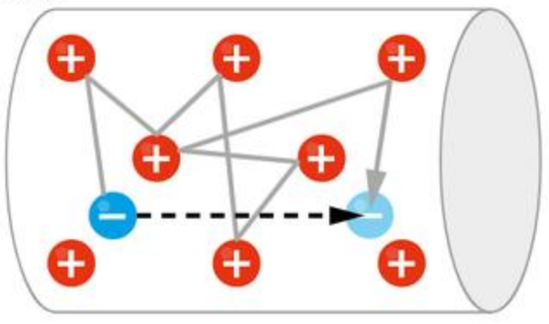
Swobodne elektrony w przewodniku poruszają się chaotycznie, nieustannie zderzają się ze sobą i z jonami, z których jest zbudowany przewód. Prędkość elektronów jest bardzo duża – w temperaturze pokojowej wynosi kilkaset tysięcy metrów na sekundę. Jednak przy każdym zderzeniu elektron odbija się w przypadkowym kierunku, więc tor jego ruchu wygląda jak na rysunku A, czyli elektron nie przemieszcza się wzdłuż przewodnika.

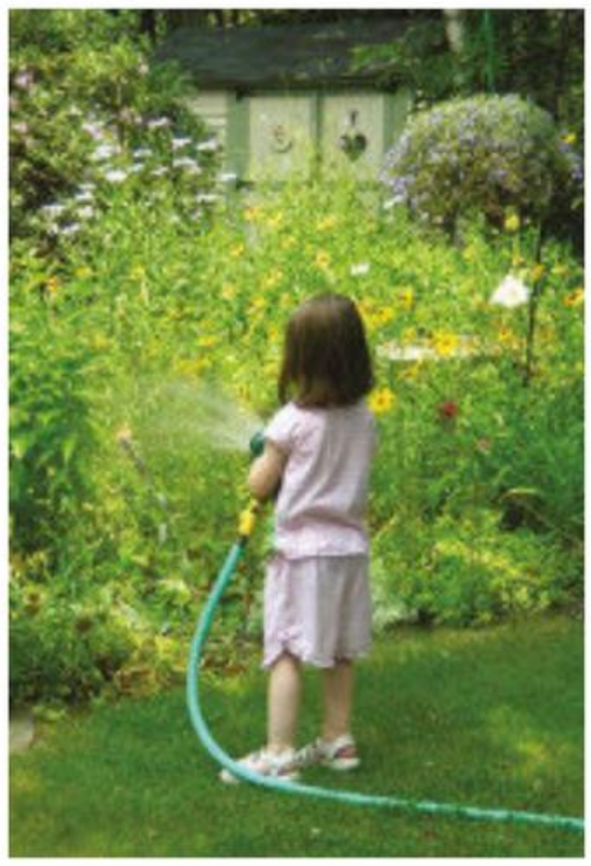
Gdy między końcami przewodnika pojawia się napięcie, elektrony nadal odbijają się od siebie i od jonów, ale zaczynają się przemieszczać wzdłuż przewodnika. Na rysunku B przedstawiono przykładowe przemieszczenie pojedynczego elektronu. Odbywa się to z prędkością ułamka milimetra na sekundę. Na pokonanie jednego metra w przewodniku elektron potrzebuje kilkudziesięciu minut. Skoro prąd płynie tak powoli, to dlaczego kiedy włączamy przełącznik na ścianie, żarówka w lampie zaczyna świecić niemal natychmiast? Włączenie przełącznika sprawia, że wszystkie elektrony swobodne są pod napięciem i ich ruch rozpoczyna się w całym przewodniku jednocześnie. Nie trzeba czekać, aż elektrony znajdujące się blisko przełącznika dotrą do żarówki. Podobnie odkręcenie kranu połączonego z wężem ogrodowym pełnym wody powoduje niemal natychmiastowy jej wypływ z końcówki węża (patrz zdjęcie).

A.



B.





Natężenie prądu elektrycznego

Kolejną ważną wielkością fizyczną związaną z przepływem prądu jest **natężenie prądu elektrycznego**. Aby lepiej zrozumieć, co opisuje ta wielkość, wykonaj doświadczenie modelowe.

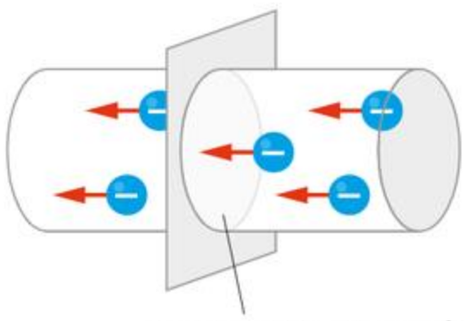
DOŚWIADCZENIE 15 (pomiar)

1. Wybierz się z kolegą lub koleżanką na spacer i zbadajcie natężenie ruchu na dwóch różnych ulicach.
2. Najprościej to zrobić, licząc pojazdy przejeżdżające w danym miejscu w wybranym przedziale czasowym, np. w ciągu 10 minut.
3. Jeżeli w tym samym czasie przez ulicę obserwowaną przez ciebie przejedzie więcej pojazdów niż przez ulicę obserwowaną przez kolegę (koleżankę), możesz uznać, że natężenie ruchu ulicznego na „twojej" ulicy jest większe.

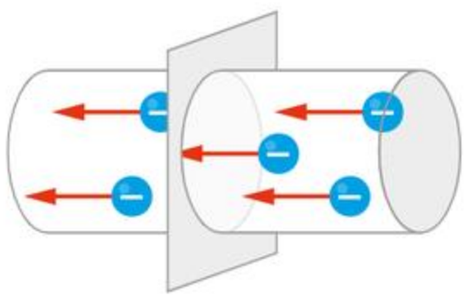


Zastanawiasz się pewnie, co to doświadczenie ma wspólnego z prądem elektrycznym. Wyobraź sobie, że przez przewód elektryczny (drut, cienki metalowy pręt) płynie prąd. Prąd elektryczny to uporządkowany ruch elektronów w przewodniku; aby zbadać jego natężenie, trzeba policzyć wszystkie elektrony płynące przez poprzeczny przekrój przewodnika w danym przedziale czasu.

Małe natężenie prądu.



Duże natężenie prądu.



Uwaga. Długość strzałek obrazuje wartość prędkości elektronów. Im większa prędkość, tym więcej elektronów przepływa przez poprzeczny przekrój przewodnika w jednostce czasu. Na rysunkach pominęliśmy opisany wcześniej chaotyczny ruch elektronów, zatem strzałki przedstawiają tu prędkość uśrednioną.

Natężenie prądu elektrycznego definiuje się jako iloraz wielkości ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu jego przepływu.

Wielkość tę oblicza się zatem ze wzoru:

$$\text{natężenie prądu} = \frac{\text{ładunek}}{\text{czas}} \qquad I = \frac{q}{t}$$

Jednostką natężenia prądu w układzie SI jest **amper** (**1 A**). Jego nazwa pochodzi od nazwiska francuskiego uczonego André Marie Ampèra (czyt. andre mari ampera).

Natężenie prądu wynosi jeden amper (1 A) wtedy, gdy przez poprzeczny przekrój przewodnika w czasie jednej sekundy (1 s) przepływa ładunek elektryczny jednego kulomba (1 C): $1\,\mathrm{A} = \frac{1\,\mathrm{C}}{1\,\mathrm{s}}$.

CIEKAWOSTKA

André Marie Ampère (1775–1836), francuski fizyk i matematyk. Choć nie chodził do szkoły (czytać i pisać nauczył go ojciec), od dzieciństwa interesował się naukami ścisłymi, zwłaszcza matematyką. Zainspirowany pracą innego fizyka – Hansa Christiana Oersteda (czyt. ersteda) – zajął się badaniem ładunków elektrycznych w ruchu. Dla nowej dziedziny nauki wymyślił nawet nazwę – elektrodynamika.
Ampère był niezwykle roztargniony. Opublikował na przykład podręcznik do matematyki, ale zapomniał podać jego tytuł i nazwisko autora. Według anegdoty, przechodził przez most na Sekwanie i zatrzymał się, aby obejrzeć kamień, który go zaciekawił. Podniósł go i chwilę oglądał z zainteresowaniem. Nagle przypomniał sobie, że spieszy się na wykład. Wyjął z kieszeni zegarek, aby sprawdzić czas, po czym schował kamień do kieszeni, a zegarek wyrzucił do rzeki.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Napięcie elektryczne** określa ilość energii potrzebnej do przeniesienia jednostkowego ładunku między dwoma punktami. $U = \frac{\Delta E}{q}$.
- Pod wpływem napięcia elektrycznego swobodne ładunki przemieszczają się w ukierunkowany sposób. Taki uporządkowany ruch ładunków elektrycznych nazywa się **prądem elektrycznym.**
- Swobodnymi ładunkami mogą być nie tylko **elektrony** w metalach, lecz także **jony dodatnie** i **ujemne** w cieczach oraz **elektrony, jony dodatnie i ujemne** w gazach.
- **Umowny kierunek przepływu prądu** to „od plusa do minusa", a więc jest on zgodny z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich i przeciwny do kierunku ruchu ładunków ujemnych.
- **Natężenie** prądu elektrycznego informuje o tym, jak duży ładunek przepłynął przez poprzeczny przekrój przewodnika w jednostce czasu: $I = \frac{q}{t}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Obliczanie wartości ładunku elektrycznego

Oblicz wartość ładunku elektrycznego, który przepłynął w ciągu 2 minut przez poprzeczny przekrój przewodnika. Natężenie prądu wynosiło 20 mA.

Dane:
$t = 2\ \text{min} = 120\ \text{s}$
$I = 20\ \text{mA} = 0{,}02\ \text{A}$

Szukane:
$q = ?$

Przedrostek m (czyt. mili) to $\frac{1}{1000}$, zatem
$20\ \text{mA} = 20 \cdot \frac{1}{1000}\ \text{A} = 0{,}02\ \text{A}$.

Rozwiązanie:
Przekształcamy wzór definiujący natężenie prądu: $I = \frac{q}{t}$ i otrzymujemy:

$$q = I \cdot t$$

Podstawiamy dane liczbowe: $q = 0{,}02\ \text{A} \cdot 120\ \text{s} = 2{,}4\ \text{C}$

Odpowiedź: Przez poprzeczny przekrój przewodnika w ciągu 2 minut przepłynął ładunek 2,4 C.

1 W cieczach przepływ prądu jest związany z ruchem kationów – jonów dodatnich – oraz anionów – jonów ujemnych, natomiast w metalach z przemieszczaniem się elektronów. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Jeżeli prąd w naczyniu z wodnym roztworem soli kuchennej płynie w prawo, to kationy poruszają się **A/ B/ C/ D**, natomiast aniony poruszają się **A/ B/ C/ D**. Jeżeli prąd płynie w miedzianym przewodzie do góry, to elektrony przemieszczają się **A/ B/ C/ D**.

A. w prawo **B.** w lewo **C.** do góry **D.** w dół

2 Dopasuj opisy do pojęć z ramki. **Uwaga.** Nie wszystkie opisy należy wykorzystać.

I. Określa pracę, jaką należy wykonać, aby przemieścić jednostkowy ładunek elektryczny między dwoma punktami.

II. Jednostka energii i pracy.

III. Jednostka napięcia elektrycznego.

IV. Jednostka natężenia prądu elektrycznego.

V. Uporządkowany ruch ładunków elektrycznych.

- *amper*
- *przepływ prądu elektrycznego*
- *napięcie elektryczne*
- *wolt*

3 Używając odpowiednich przedrostków, zapisz w zeszycie jednostkę:

a) 10^3 razy większą od 1 wolta,

b) 1000 razy mniejszą od 1 ampera,

c) milion razy mniejszą od 1 ampera,

d) 10^6 razy większą od 1 wolta.

4 Wybierz poprawne dokończenia zdań.

Przez poprzeczny przekrój przewodnika w czasie 5 s przepływa ładunek elektryczny 2 C. Oznacza to, że natężenie prądu jest równe **A/ B/ C**.

Jeżeli natężenie prądu wzrośnie czterokrotnie, to w tym samym czasie przepłynie **D/ E/ F** ładunek elektryczny.

Jeżeli przez poprzeczny przekrój przewodnika w trzykrotnie dłuższym czasie przepłynie trzykrotnie większy ładunek elektryczny, to natężenie prądu **G/ H/ I**.

A. 0,4 A
B. 2,5 A
C. 10 A

D. czterokrotnie większy
E. czterokrotnie mniejszy
F. taki sam

G. wzrośnie 3 razy
H. wzrośnie 9 razy
I. nie zmieni się

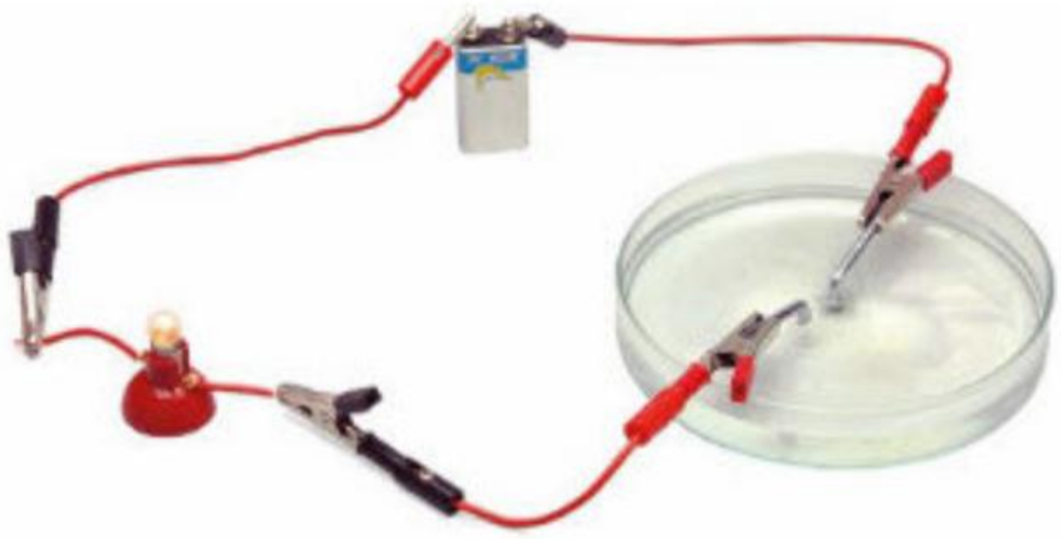
5 Przeanalizuj „Przykład" na str. 75 i rozwiąż zadanie.

Podczas pracy turystycznej lodówki samochodowej przez jej obwód przepływa prąd o natężeniu 4 A. Oblicz ładunek, jaki przepłynie w czasie 1 minuty pracy lodówki.

6 Wykonaj doświadczenie, które ilustruje przepływ prądu przez wodny roztwór elektrolitu.

DOŚWIADCZENIE 16

1. Przygotuj: baterię 9 V, przewody elektryczne, żaróweczkę na podstawce, naczynie z destylowaną lub przegotowaną wodą, sól kuchenną oraz dwa metalowe gwoździe lub haki.
2. Zmontuj obwód taki jak na zdjęciu.
3. W naczyniu z wodą zanurz gwoździe lub haki (patrz zdjęcie). Uważaj, aby nie stykały się ze sobą.
4. Dosyp do wody nieco soli kuchennej.
5. Obserwuj żarówkę.
6. Zapisz w zeszycie swoje obserwacje i wniosek z doświadczenia.



Wskazówka. Zamiast przewodów i gwoździ możesz użyć pasków folii aluminiowej.

7 Pomiar natężenia prądu i napięcia elektrycznego

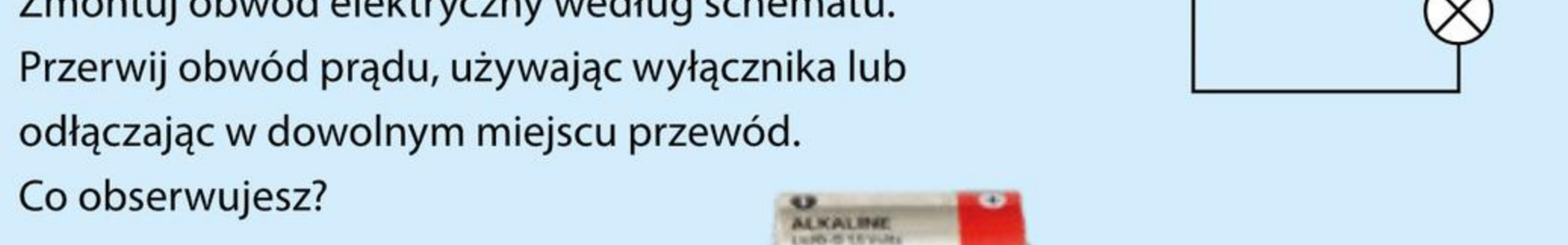
Cel lekcji: Dowiesz się, jak buduje się obwody elektryczne i co wchodzi w ich skład oraz jak prawidłowo wykonywać pomiary napięcia i natężenia prądu elektrycznego.

Obwody elektryczne

Wiesz już, że aby w przewodniku popłynął prąd, musi istnieć napięcie elektryczne na jego końcach. Napięcie jest wytwarzane przez źródło energii elektrycznej. Jest wiele takich urządzeń: bateria, dynamo w rowerze, akumulator, fotoogniwo. Aby wykorzystać energię elektryczną, należy zbudować **obwód elektryczny**.

Najprostszy obwód składa się z następujących elementów:
- **źródła energii elektrycznej** (np. baterii, akumulatora),
- **przewodów elektrycznych** (przewodników w izolacji),
- **odbiornika energii elektrycznej** (np. żarówki, silnika).

Elementy obwodu elektrycznego można przedstawiać na schematach za pomocą odpowiednich symboli. Oto niektóre z nich.



Wskazówka do doświadczeń związanych z prądem elektrycznym
Warto zaopatrzyć się w końcówki przewodów, tzw. bananki i krokodylki, oraz oprawki na żaróweczki. Znacznie ułatwi to łączenie poszczególnych elementów. Stalowe bananki i krokodylki można łączyć z biegunami baterii za pomocą małych magnesów neodymowych.

DOŚWIADCZENIE 17

1. Przygotuj: baterię 1,5 V, przewody i żarówkę.
2. Zmontuj obwód elektryczny według schematu.
3. Przerwij obwód prądu, używając wyłącznika lub odłączając w dowolnym miejscu przewód.

Co obserwujesz?

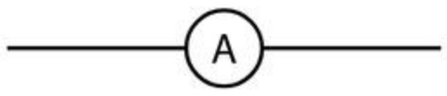


Po zamknięciu obwodu obserwujesz świecenie żarówki. W obwodzie płynie prąd elektryczny. Po przerwaniu obwodu żarówka nie świeci, co oznacza, że prąd nie płynie.

Prąd elektryczny płynie w obwodzie elektrycznym tylko wtedy, gdy spełnione są dwa warunki: między biegunami źródła energii elektrycznej **istnieje napięcie** i **obwód jest zamknięty**.

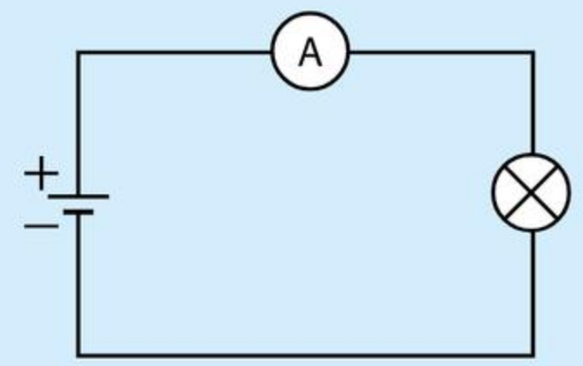
Pomiar natężenia prądu

Jak zapewne pamiętasz, natężenie prądu elektrycznego to iloraz wielkości ładunku elektrycznego i czasu jego przepływu przez poprzeczny przekrój przewodnika. Przyrządem, który jest w stanie zmierzyć, ile jednostek ładunku przepływa przez poprzeczny przekrój przewodnika w ciągu jednej sekundy, jest **amperomierz.** Amperomierz najczęściej jest wyskalowany w amperach, ale może być także wyskalowany we wszystkich jednostkach większych lub mniejszych od ampera, np. w miliamperach (1 A = 1000 mA).

Symbol amperomierza: 

DOŚWIADCZENIE 18

1. Przygotuj: baterię 1,5 V, przewody, żarówkę i amperomierz.
2. Zmontuj obwód elektryczny według schematu.
3. Zmierz natężenie prądu między biegunem dodatnim baterii i żarówką oraz między biegunem ujemnym baterii i żarówką. Co obserwujesz?





Wskazówka. Jeśli korzystasz z miernika uniwersalnego, podłącz przewody do gniazd oznaczonych COM i A. Pokrętło ustaw na największy zakres w obszarze pomiaru natężenia prądu stałego. Może być na mierniku oznaczony symbolem ⎓ A albo podpisany DC lub DCA (ang. *direct current amperage* – natężenie prądu stałego).

4. Po włączeniu miernika zmniejszaj pokrętłem zakres, aby uzyskać jak najdokładniejsze wskazanie, ale tak, aby zakres był cały czas większy niż wskazanie miernika.

Uwaga. Jeśli dobrze dobierzesz zakres miernika, będziesz mieć pewność, że nie uszkodzisz przyrządu, przepuszczając przez niego prąd o zbyt dużym natężeniu. Co prawda większość mierników uniwersalnych jest zabezpieczona przed skutkami podłączenia przy niewłaściwie ustawionym zakresie pomiarowym, ale i tak przepaleniu może ulec bezpiecznik, który trzeba będzie wymienić, aby miernik działał.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Niektóre zwierzęta potrafią wytwarzać napięcie elektryczne. Płaszczki elektryczne i strętwy wykorzystują je do ogłuszania lub zabijania swych ofiar. Zapas energii elektrycznej zgromadzony w ciele strętwy wystarczyłby do rozbłyśnięcia kilkunastu żarówek.

W 1939 roku na światowej wystawie w Nowym Jorku napięcie wytworzone przez strętwę posłużyło do włączania świateł. Ponieważ praca pod napięciem wymaga określonych uprawnień, strętwę wpisano na listę członków związku zawodowego elektryków.

W doświadczeniu 18 możemy zauważyć, że: **w każdym punkcie obwodu natężenie prądu ma taką samą wartość** i nie maleje nawet w wyniku przepływu prądu przez żarówkę, powodującego jej świecenie. Tak samo byłoby, gdyby zamiast żarówki w obwód został włączony inny odbiornik energii elektrycznej, np. silnik elektryczny. Podobnie jest ze strumieniem wody, który wprawia w ruch koło młyńskie – zarówno przed kołem, jak i za nim korytem płynie tyle samo wody.



Napędzanie koła młyńskiego nie powoduje, że wody ubywa z koryta.

Połączenia szeregowe i równoległe

Sposób łączenia elementów obwodu elektrycznego, w którym elementy występują kolejno po sobie bez rozgałęziania przewodów (jak na schematach w doświadczeniach 17 i 18), nosi nazwę **połączenia szeregowego**.

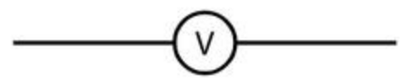
Amperomierz w obwód prądu elektrycznego włącza się **szeregowo**.

Przykładem szeregowego łączenia elementów obwodu jest połączenie w zestawie lampek choinkowych. Często w ten sposób łączy się też baterie, dzięki czemu obwód jest podłączony do napięcia **równego sumie napięć wszystkich baterii** (patrz zdjęcie obok).



Kiedy połączymy szeregowo trzy baterie o napięciu 1,6 V, otrzymamy napięcie 4,8 V.

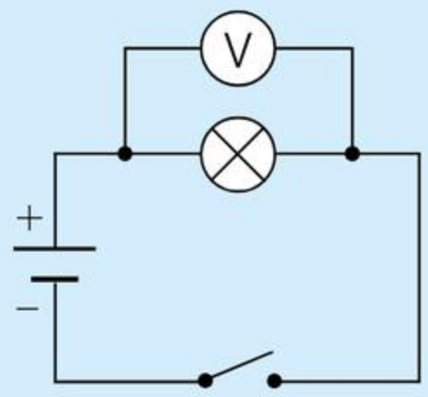
Nietrudno przewidzieć, że o wielkości natężenia prądu płynącego przez odcinek przewodnika decyduje napięcie między jego końcami. Można więc wybrać dowolny fragment obwodu elektrycznego i do jego końców podłączyć przyrząd mierzący napięcie, zwany **woltomierzem**. Woltomierz może być wyskalowany w woltach lub w jednostkach mniejszych albo większych, np. miliwoltach (1 V = 1000 mV).



Symbol woltomierza na schematach elektrycznych.

DOŚWIADCZENIE 19 (pomiar)

1. Przygotuj: baterię 1,5 V, przewody, wyłącznik, żarówkę i woltomierz.
2. Zmontuj obwód elektryczny według schematu.
3. Zmierz napięcie między zaciskami żarówki. Zwróć uwagę na sposób podłączenia woltomierza.

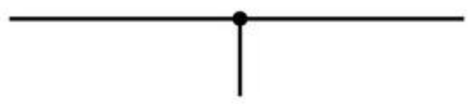


Wskazówka. Pamiętaj, aby przewody podłączyć do właściwych gniazd miernika cyfrowego (czyli oznaczonych COM i V), a pokrętło ustawić na właściwy zakres pomiaru napięcia stałego oznaczonego $\overline{\cdots}$ V lub podpisanego DV albo DCV (ang. *direct current voltage* – dosł. napięcie prądu stałego). Jeśli nie wiesz, jakiej wartości napięcia się spodziewać, ustaw na największy zakres i zmniejszaj go. W przypadku baterii 1,5 V należy ustawić na mierniku zakres 2 V.

W powyższym doświadczeniu woltomierz mierzy napięcie panujące między zaciskami żarówki. Analizując schemat, zwróć uwagę na punkty (oznaczono je kropkami), w których łączą się trzy przewody elektryczne. Punkty, do których dochodzą

co najmniej trzy przewody, nazywa się **węzłami**, a fragment obwodu między węzłami to tzw. **gałąź**. Obok zamieszczono symbol graficzny węzła.

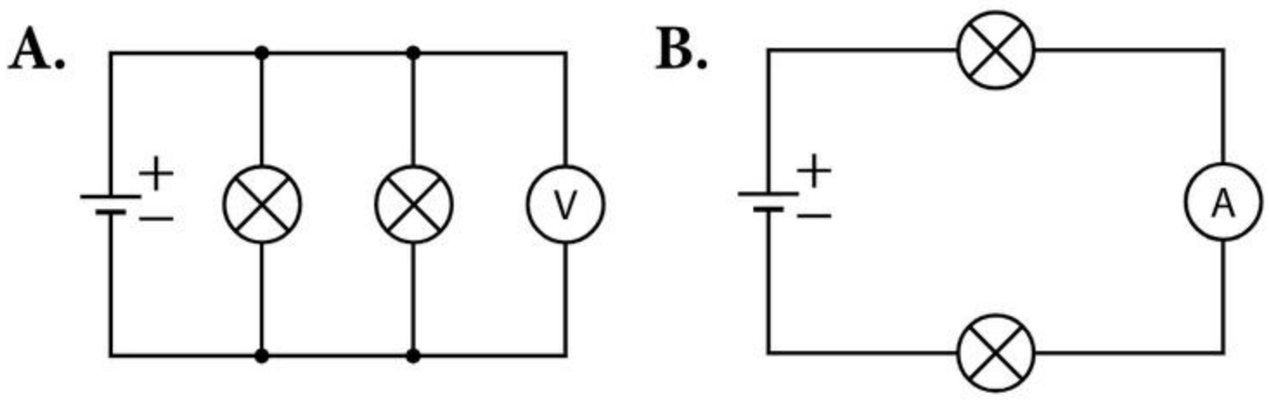
Symbol graficzny węzła:



Woltomierz w doświadczeniu 19 mierzy napięcie między dwoma punktami obwodu elektrycznego. Taki sposób łączenia elementów obwodu, gdy są one wpięte między tę samą parę węzłów, nosi nazwę **połączenia równoległego**.

Woltomierz włącza się do obwodu **równolegle** z elementem, na którego zaciskach ma być mierzone napięcie elektryczne.

Połączenie równoległe stosowane jest w domowej sieci elektrycznej. Wszystkie urządzenia tej sieci dostosowane są do napięcia 230 V. Na schemacie A pokazano połączenie równoległe żarówek. Na każdej z nich jest takie samo napięcie.



Przykładowe połączenie odbiorników energii (żarówek): A. równolegle, B. szeregowo.



Lampki choinkowe najczęściej są połączone szeregowo.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Obwód elektryczny** – zespół elementów połączonych przewodami ze źródłem energii elektrycznej tak, aby tworzyły zamkniętą drogę dla prądu elektrycznego.
- **Gałąź** – fragment obwodu elektrycznego, w którym nie ma rozgałęzień przewodów.
- **Węzeł** – punkt obwodu elektrycznego, do którego podłączone są co najmniej trzy gałęzie.
- **Amperomierz** – przyrząd służący do pomiaru natężenia prądu płynącego przez obwód elektryczny; do obwodu włącza się go szeregowo.
- **Woltomierz** – przyrząd służący do pomiaru napięcia między dwoma punktami obwodu elektrycznego; do obwodu włącza się go równolegle.

Jak powstaje burza

W jednej chwili na całym świecie odnotowuje się około 1800 burz, a co mniej więcej sekundę gdzieś w ziemię uderza piorun. Każde wyładowanie atmosferyczne jest związane z gwałtownymi przemianami ogromnych ilości energii.



1. Chmury burzowe cumulonimbus powstają z małych obłoków *cumulus*. Ciepłe i wilgotne powietrze szybko się wznosi, a zawarta w nim para wodna ulega ciągłej kondensacji (skraplaniu i resublimacji). Obłok rozbudowuje się w górę i stopniowo przekształca w chmurę burzową. Po osiągnięciu wysokości kilku – kilkunastu kilometrów nad powierzchnią ziemi chmura przestaje się rozbudowywać w górę i przyrasta na boki, tworząc charakterystyczny kształt kowadła.



2. Wewnątrz chmury burzowej wieje silny wiatr, mieszający krople wody i drobiny lodu, które trą mocno o siebie. Lód przemieszcza się ku górze chmury, po drodze oddając elektrony wodzie, więc górna część chmury zostaje naładowana dodatnio. Ujemny ładunek na dole chmury staje się tak duży, że napięcie pomiędzy ziemią a chmurą dochodzi do 100 000 000 V.



3. Przy tak dużym napięciu elektrycznym następuje wyładowanie – piorun, który jest zjawiskiem bardzo złożonym. Najpierw od chmury odrywa się ujemny ładunek pilotujący (prekursor), który skokami pędzi w kierunku ziemi – przebywa 50 m, zatrzymuje się na ok. 50 ms i znowu rusza, zwykle w nieco innym kierunku. Jego droga, pełna ładunków ujemnych, staje się kanałem łączącym chmurę z ziemią. Gdy w końcu ładunek zbliży się do ziemi, zaczyna się wyładowanie w jego kierunku. Główne, najjaśniejsze uderzenie biegnie od ziemi do chmury. Prąd w błyskawicy może mieć natężenie ponad 10 000 A.



4. Po upływie kilku setnych sekundy biegnie w dół nowy prekursor, zwany ciemnym prekursorem. Porusza się tą samą drogą co pierwszy, ale już nie przystaje. Znowu następuję uderzenie powrotne po przygotowanej przez niego drodze. Takich kolejnych uderzeń może być wiele (zaobserwowano do 42 błyskawic na tym samym torze), zawsze jednak następują one bardzo szybko po sobie.



5. Przepływ prądu o tak dużym natężeniu powoduje, że powietrze w kanale błyskawicy rozgrzewa się do 30 000°C i gwałtownie się rozpręża – słychać grzmot.



6. Wiemy, że piorun uderza w wystające, ostro zakończone przedmioty. Dlaczego? Otóż koncentracja ładunków na zaostrzonym końcu jest zwiększona i w jego pobliżu oddziaływanie elektrostatyczne jest większe. Gdy prekursor znajdzie się w pobliżu wystającego budynku lub drzewa, wyładowanie zaczyna się od tego ostrza i dosięga prekursora.



7. Wyładowania mogą zachodzić między różnoimiennie naładowanymi częściami jednej chmury, między dwiema chmurami lub między chmurą a ziemią.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do pojęć A–D dopasuj ich opisy I–VI. **Uwaga.** Do jednego pojęcia może pasować więcej niż jeden opis.

A. obwód elektryczny

B. amperomierz

C. woltomierz

D. źródło energii elektrycznej

I. np. bateria, akumulator

II. służy do pomiaru napięcia

III. musi być zamknięty, aby mógł płynąć w nim prąd

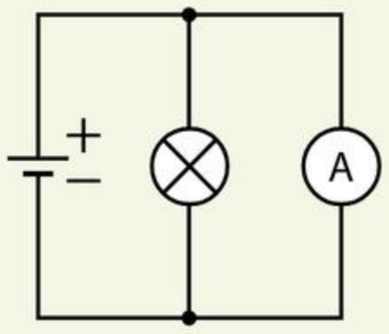
IV. włącza się szeregowo w obwód prądu elektrycznego

V. służy do pomiaru natężenia prądu elektrycznego

VI. łączy się go równolegle z danym elementem obwodu

2 Wyjaśnij, na czym polegają połączenia szeregowe i równoległe. Narysuj w zeszycie przykładowe schematy obu rodzajów połączeń.

3 Do obwodu włączono amperomierz tak jak na schemacie. Wyjaśnij, dlaczego jest to połączenie nieprawidłowe. Narysuj w zeszycie schemat obwodu z poprawnie włączonym amperomierzem.



4 Narysuj w zeszycie schemat obwodu elektrycznego złożonego z dwóch żarówek połączonych szeregowo i baterii. Dorysuj woltomierz tak, aby mógł mierzyć napięcie:

a) na zaciskach baterii, **b)** na zaciskach jednej z żarówek.

5 Na zdjęciu przedstawiono panel miernika uniwersalnego, na którym literami oznaczono niektóre zakresy pomiarowe. Przepisz zdania do zeszytu i uzupełnij je, wstawiając jedną z liter w miejsce ? .

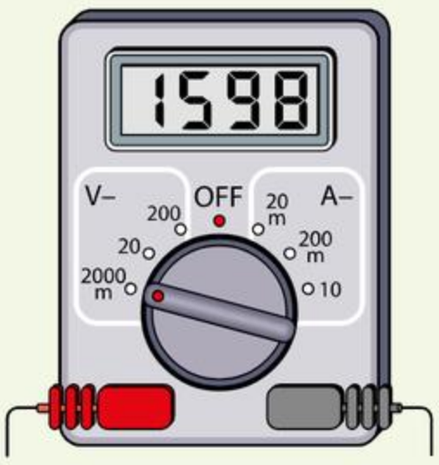
a) Jeśli chcemy wyznaczyć napięcie na akumulatorze samochodowym, które wynosi w przybliżeniu 12 V, powinniśmy ustawić pokrętło miernika uniwersalnego w pozycji ? .

b) Jeśli chcemy sprawdzić, jakie jest napięcie baterii paluszka 1,5 V, powinniśmy ustawić pokrętło miernika uniwersalnego w pozycji ? .

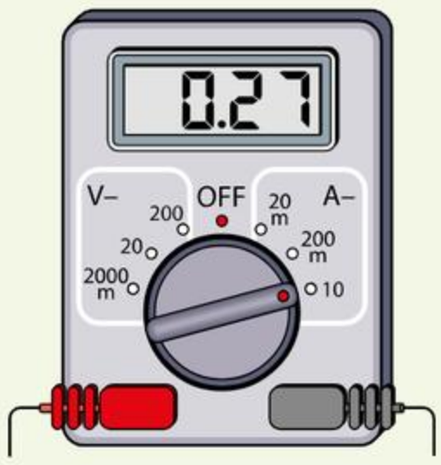
c) Jeśli chcemy wyznaczyć natężenie prądu w obwodzie z baterią i nie potrafimy tego natężenia oszacować, to powinniśmy początkowo ustawić pokrętło miernika w pozycji ? .



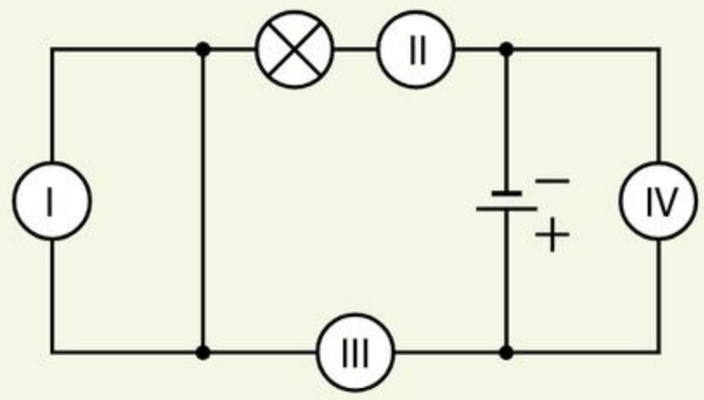
6 Na rysunkach zaznaczono wskazania dwóch mierników uniwersalnych oraz schemat obwodu, w którym wykonywano pomiary. Zaznaczono na nim cyframi rzymskimi miejsca, w których mogły, ale nie musiały się znaleźć mierniki.



miernik 1



miernik 2



a) Uzupełnij zdania, wstawiając odpowiednią wartość liczbową w miejsce ? .

Miernik 1 wskazał napięcie elektryczne równe ? . Miernik 2 wskazał natężenie prądu równe ? .

b) Wybierz poprawne dokończenia zdań.

Miernik 1 (mierzący napięcie na baterii) **A/ B/ C/ D**.

A. mógł być podłączony zarówno w punkcie I, jak i IV

B. na pewno był podłączony w punkcie IV

C. na pewno był podłączony w punkcie I

D. mógł być podłączony zarówno w punkcie II, jak i III

Miernik 2 (mierzący natężenie prądu płynącego przez żarówkę) **E/ F/ G/ H**.

E. na pewno był podłączony w punkcie IV

F. na pewno był podłączony w punkcie II

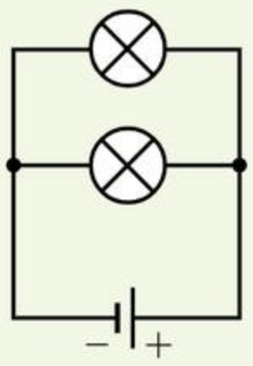
G. na pewno był podłączony w punkcie III

H. mógł być podłączony zarówno w punkcie II, jak i III

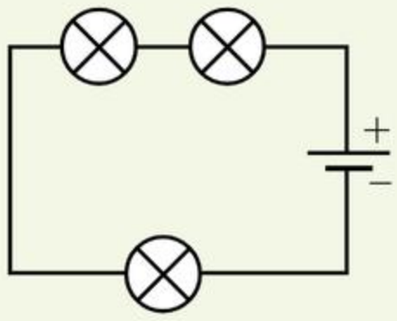
7 Wskaż elementy obwodów elektrycznych połączone:

a) szeregowo, **b)** równolegle.

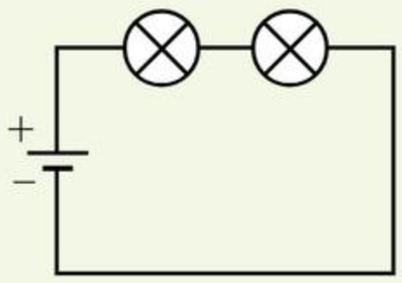
A.



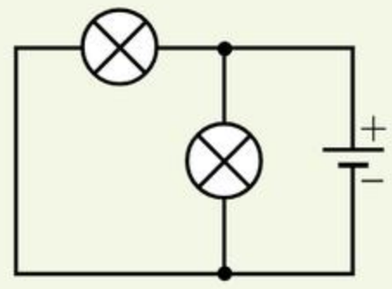
B.



C.



D.



8 Opór elektryczny

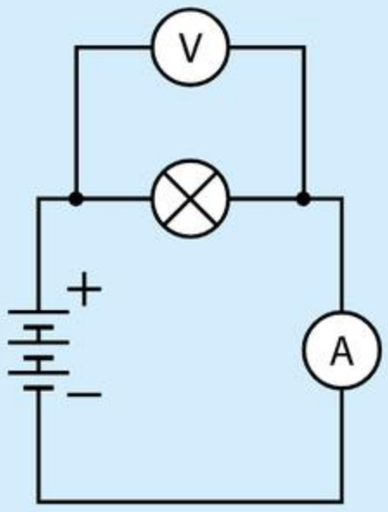
Cel lekcji: Dowiesz się, co to jest opór elektryczny, jak się go wyznacza i od jakich wielkości zależy opór przewodnika.

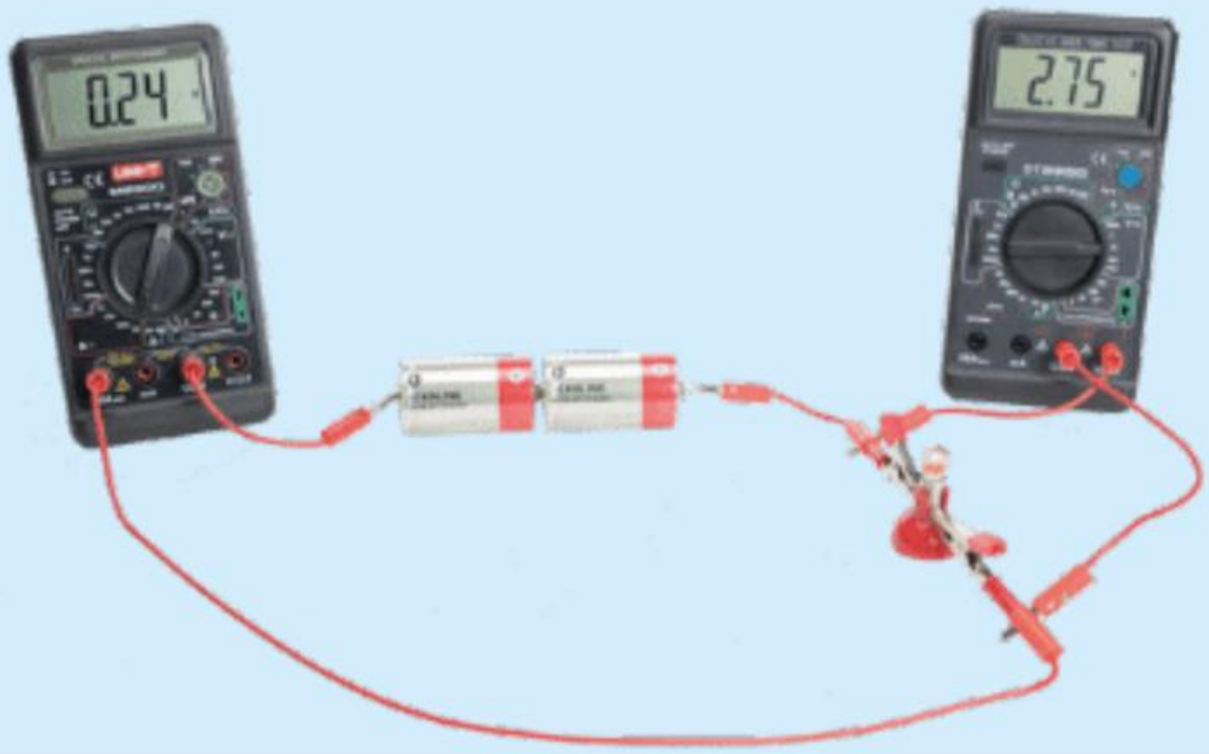
Opór elektryczny

Wiesz już, że ze względu na właściwości elektryczne można podzielić ciała na przewodniki i izolatory. Jak łatwo się domyślić, nie wszystkie izolatory jednakowo dobrze izolują i nie wszystkie przewodniki jednakowo dobrze przewodzą prąd. Wielkością, za pomocą której określamy, jak dobrze lub źle dane ciało przewodzi prąd, jest **opór elektryczny**.
Aby lepiej zrozumieć, czym jest ta wielkość fizyczna, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 20

1. Przygotuj: dwie baterie 1,5 V, dwie żaróweczki przystosowane do pracy pod różnym napięciem, np. 2,5 V i 4,5 V, przewody, amperomierz i woltomierz.
2. Zmontuj obwód według schematu (symbolem —|H|H|— oznaczono kilka źródeł energii elektrycznej, np. baterii połączonych szeregowo).
3. Użyj najpierw jednej żarówki, następnie drugiej.
4. Za każdym razem odczytuj wartość natężenia prądu w obwodzie i napięcia na zaciskach żarówki.
5. Wyniki zanotuj w tabeli wykonanej w zeszycie. Przeanalizuj wyniki pomiarów.





Przykładowe wyniki uzyskane w doświadczeniu.

	U [V]	I [A]	$\frac{U}{I}\left[\frac{\text{V}}{\text{A}}\right]$
Żarówka 2,5 V	2,74	0,30	9,1
Żarówka 4,5 V	2,75	0,24	11,5

Zauważmy, że natężenie prądu mierzone amperomierzem jest sumą natężeń prądów płynących przez żarówkę i woltomierz. Woltomierze są jednak konstruowane w taki sposób, aby miały bardzo duży opór, w wyniku czego przez woltomierz w naszym pomiarze płynął bardzo mały prąd.

W doświadczeniu 20 natężenie było różne w zależności od rodzaju żarówki, mimo że były podłączone do tego samego źródła napięcia. Dzieje się tak dlatego, że podłączony odbiornik wpływa na natężenie prądu płynącego w obwodzie. Dla danego elementu obwodu elektrycznego można obliczyć iloraz $\frac{U}{I}$, zwany **oporem elektrycznym** (**rezystancją**) tego elementu. Opór oznacza się symbolem R.

Opór elektryczny określa zdolność ciała do „przeciwstawiania się" przepływowi prądu.

Z powyższych rozważań wynika, że:

$$\text{opór elektryczny} = \frac{\text{napięcie}}{\text{natężenie prądu}} \qquad R = \frac{U}{I}$$

Jednostką oporu elektrycznego (rezystancji) jest **om**:

$$1\,\Omega = \frac{1\,\text{V}}{1\,\text{A}}$$

Nazwa jednostki oporu pochodzi od nazwiska niemieckiego uczonego Georga Simona Ohma (czyt. georga zimona oma).

Przewodnik ma **opór jednego oma** (1 Ω), jeżeli przyłożone do niego napięcie jednego wolta (1 V) wywołuje przepływ prądu o natężeniu jednego ampera (1 A).

W doświadczeniach często będziesz używać **oporników** (**rezystorów**), czyli elementów służących do ograniczania natężenia prądu płynącego w obwodzie.

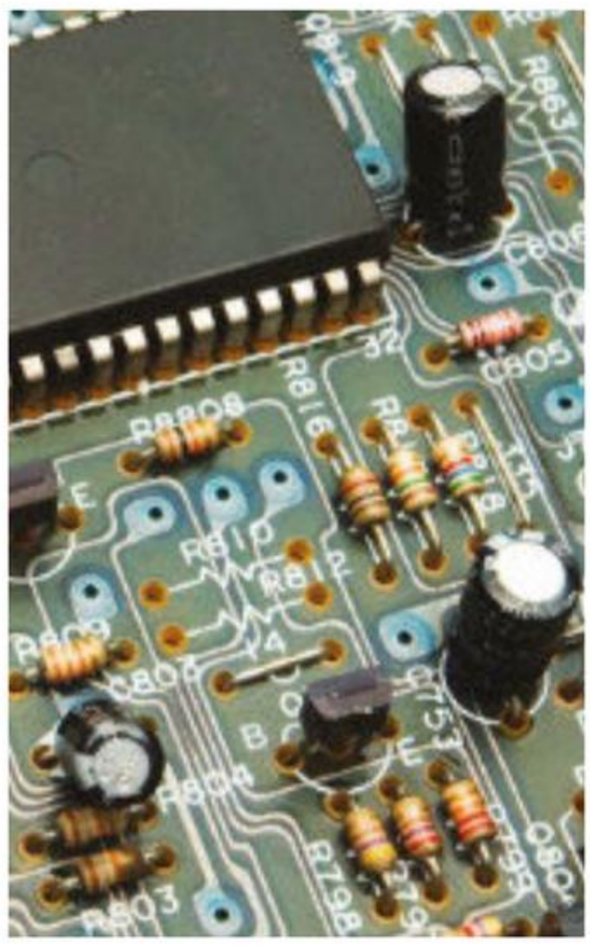


Oznaczenie opornika na schematach elektrycznych.

CIEKAWOSTKA

Georg Simon Ohm (1787–1854), niemiecki matematyk i fizyk, przeszedł do historii nauki dzięki odkryciu w 1827 roku prawa proporcjonalności między natężeniem prądu a napięciem. Wykazał także, że opór przewodnika jest wprost proporcjonalny do jego długości i odwrotnie proporcjonalny do pola jego przekroju poprzecznego. G.S. Ohm stwierdził, że ogrzane przewodniki metalowe stawiają prądowi większy opór, a ogrzane ciecze – mniejszy.





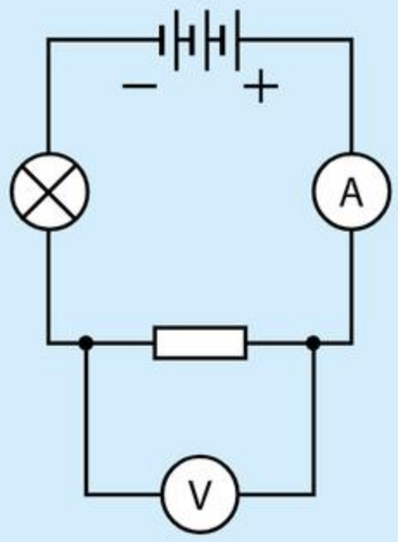
Oporniki (na zdjęciu elementy elektroniczne z kolorowymi paskami) są ważnymi elementami obwodów elektrycznych.

Od czego zależy opór elektryczny przewodnika

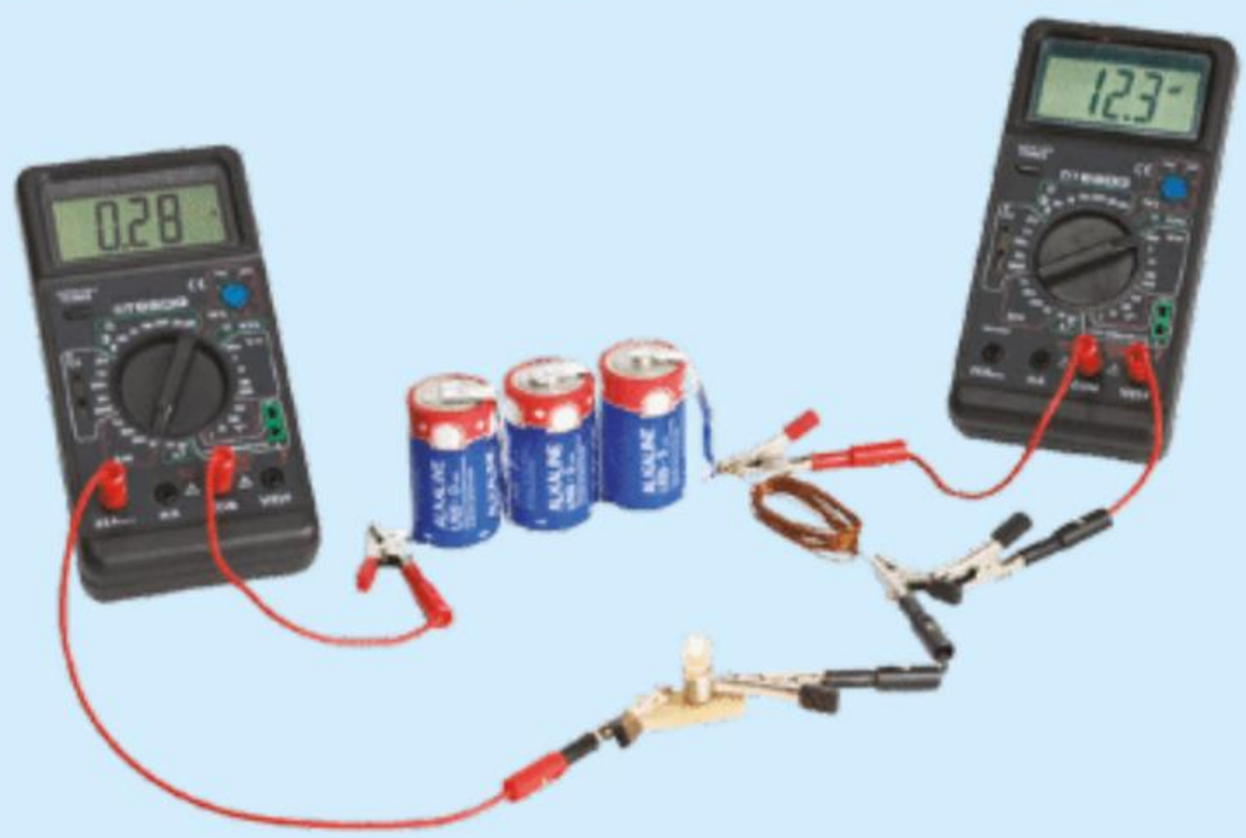
Wykonaj proste doświadczenie, aby sprawdzić, od czego zależy opór przewodnika.

DOŚWIADCZENIE 21

1. Przygotuj: trzy baterie 1,5 V, żarówkę na podstawce, amperomierz i woltomierz oraz cztery kawałki izolowanego drutu: pierwszy miedziany o długości 6 m; drugi również miedziany o takim samym przekroju, ale o długości 2 m; trzeci o takim samym polu przekroju i długości 2 m, ale wykonany z innego metalu, np. z aluminium; czwarty – miedziany o długości 2 m i innym polu przekroju poprzecznego niż poprzednie.



2. Zmontuj obwód według schematu. Symbol —▭— oznacza opornik, a w tym doświadczeniu – kawałek drutu.
3. Włącz do obwodu pierwszy (6-metrowy) kawałek drutu. Odczytaj wartość napięcia *U* i natężenia prądu *I*. Zanotuj w zeszycie wyniki pomiaru.
4. Powtórz doświadczenie dla każdego kawałka drutu. Odczytuj wskazania woltomierza i amperomierza. Zapisuj je w zeszycie.
5. Oblicz w zeszycie opór elektryczny każdego drutu, korzystając ze wzoru: $R = \frac{U}{I}$.
6. Porównaj wartości oporu. Zauważ, że dla miedzianych drutów o tym samym przekroju opór pierwszego (6-metrowego) drutu jest tyle razy większy, ile razy jest on dłuższy od drugiego (2-metrowego) drutu.



Zmiana jasności świecenia żarówki sygnalizuje zmianę natężenia prądu płynącego w obwodzie.

Wykonanie serii podobnych doświadczeń z użyciem kawałków drutu różniących się długością wykazałoby, że:

- **wartość oporu jest wprost proporcjonalna do długości przewodu**.

Analizując pomiary dla dwóch kawałków miedzianego drutu o tej samej długości i różnych przekrojach, zauważymy, że drut o mniejszym polu przekroju poprzecznego stawia większy opór elektryczny niż drut o większym polu przekroju. Dokładne pomiary z uwzględnieniem wielkości pola przekroju pozwalają stwierdzić, że:

- **wartość oporu przewodnika jest odwrotnie proporcjonalna do pola jego przekroju poprzecznego**.

Porównując wartości oporu dla drutu miedzianego i aluminiowego o takiej samej długości i takim samym polu przekroju poprzecznego, można stwierdzić, że drut miedziany stawia mniejszy opór niż drut aluminiowy, zatem:

- **opór elektryczny zależy od rodzaju substancji, z której przewodnik jest wykonany**.

Podsumowując, z doświadczenia 21 wynika, że:

Opór elektryczny przewodnika jest wprost proporcjonalny do jego długości i odwrotnie proporcjonalny do pola jego przekroju poprzecznego oraz zależy od rodzaju substancji, z której jest wykonany.

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

Tę zależność można zapisać w postaci wzoru:

$$\text{opór elektryczny} = \frac{\text{opór właściwy} \cdot \text{długość}}{\text{pole przekroju poprzecznego}} \qquad R = \frac{\rho l}{S}$$

Opór właściwy ρ jest wielkością stałą dla danego materiału w danej temperaturze. Jego jednostkę można wyprowadzić, przekształcając wzór:

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad | \cdot S$$

$$R \cdot S = \rho l \quad | : l$$

$$\rho = R \cdot \frac{S}{l}$$

$$[\rho] = \Omega \cdot \frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{m}} = \Omega \cdot \mathrm{m}$$

Opór właściwy niektórych materiałów przedstawiono w tabeli na str. 282.

Przewody elektryczne zazwyczaj wykonuje się z miedzi, gdyż jest ona dobrym przewodnikiem elektryczności. Materiały o dużym oporze właściwym, takie jak konstantan (stop miedzi i niklu), nikielina (stop miedzi, niklu i manganu), kantal (stop żelaza, chromu, glinu i kobaltu) czy chromonikiel (stop chromu i niklu), są stosowane do budowy oporników.



Wartość oporu jest często zapisywana na opornikach w postaci kolorowego kodu paskowego (patrz str. 283).

R

PRZYKŁAD

Obliczanie oporu elektrycznego

W celu wyznaczenia oporu elektrycznego fragmentu długiego przewodu podłączono jego końce do baterii i zmierzono natężenie prądu oraz napięcie elektryczne. Otrzymano następujące wyniki pomiarów: $U_1 = 1{,}45$ V, $I_1 = 232$ mA.

a) Oblicz opór elektryczny tego przewodu.

b) Jakie napięcie przyłożono do fragmentu przewodu, jeżeli jego opór się nie zmienił, natomiast amperomierz wskazał natężenie równe $I_2 = 0{,}6$ A?

Dane:
$U_1 = 1{,}45$ V
$I_1 = 232$ mA $= 0{,}232$ A
$I_2 = 0{,}6$ A

Szukane:
$R = ?$
$U_2 = ?$

Rozwiązanie:

a) Korzystamy z definicji oporu elektrycznego: $R = \frac{U}{I}$

Podstawiamy do wzoru wartość napięcia oraz natężenia prądu:

$$R = \frac{1{,}45\ \text{V}}{0{,}232\ \text{A}} = 6{,}25\ \Omega$$

b) Przekształcamy wzór na opór elektryczny, mnożąc obie strony przez natężenie prądu:

$$R = \frac{U_2}{I_2} \qquad |\cdot I_2$$

Otrzymujemy: $U_2 = R \cdot I_2$

Podstawiamy dane liczbowe do wzoru:

$$U_2 = 6{,}25\ \Omega \cdot 0{,}6\ \text{A} = 3{,}75\ \text{V}$$

Odpowiedź: Opór fragmentu przewodu wynosi 6,25 Ω. Do przewodu przyłożono napięcie 3,75 V.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Opór elektryczny** (**rezystancja**) to wielkość charakteryzująca właściwości elektryczne przewodnika. Jego miarą jest iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia płynącego w nim prądu: $R = \frac{U}{I}$.
- Jednostką oporu elektrycznego jest **om** $\left(1\ \Omega = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}\right)$.
- Przewodnik ma rezystancję **jednego oma** (1 Ω), jeżeli przyłożone do niego napięcie jednego wolta (1 V) wywoła przepływ prądu o natężeniu jednego ampera (1 A).

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do trzech połączonych baterii o łącznym napięciu 4,5 V podłączano po kolei cztery różne żarówki i mierzono za każdym razem natężenie płynącego prądu. Otrzymano wyniki pomiarów podane w tabeli:

Żarówka I	Żarówka II	Żarówka III	Żarówka IV
0,31 A	0,12 A	0,27 A	0,18 A

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

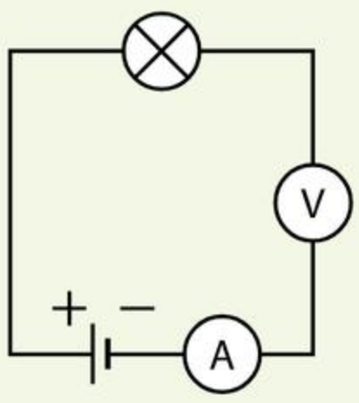
Największy opór elektryczny miała żarówka **A/ B/ C/ D**, ponieważ płynął przez nią prąd **E/ F**. Najmniejszy opór elektryczny miała żarówka **A/ B/ C/ D**, ponieważ płynął przez nią prąd **E/ F**.

A. I **B.** II **C.** III **D.** IV
E. o najmniejszym natężeniu **F.** o największym natężeniu

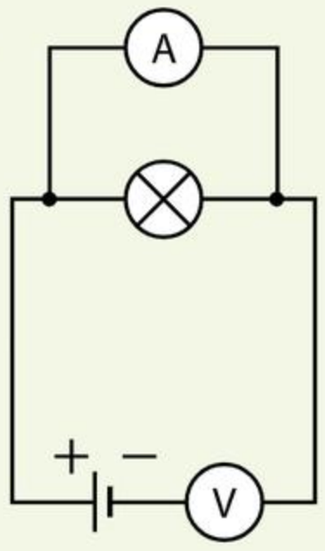
2 Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Aby poprawnie wyznaczyć opór elektryczny żarówki, należy zbudować obwód elektryczny wg schematu **A/ B/ C/ D**.

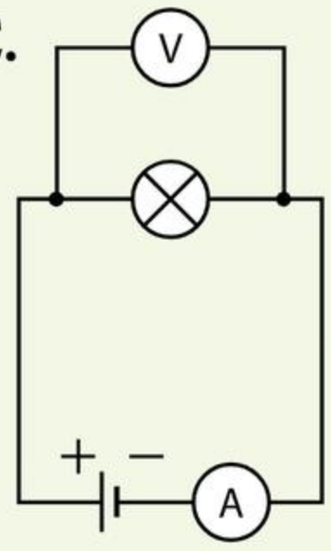
A.



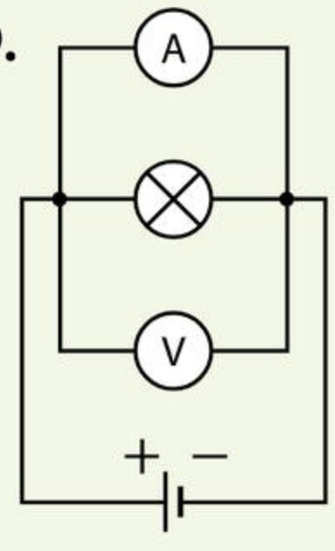
B.



C.



D.



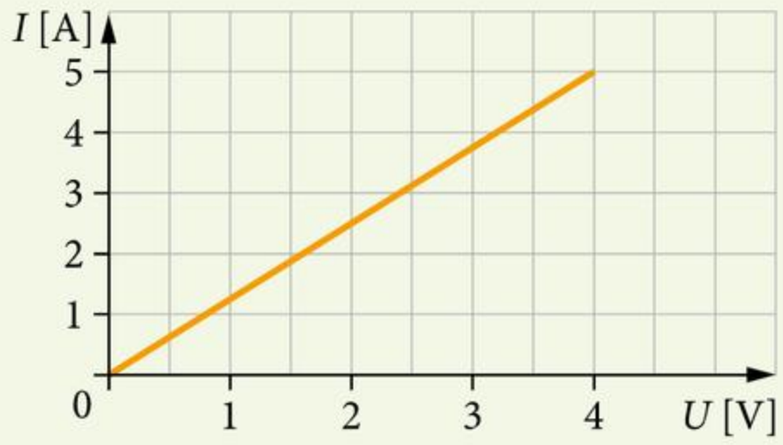
3 Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez przewodnik od przyłożonego napięcia.

a) Odczytaj z wykresu, jakie jest natężenie prądu, gdy napięcie wynosi 2 V.

b) Odczytaj z wykresu, jakie jest natężenie prądu, gdy napięcie wynosi 4 V.

c) Udowodnij, wykonując odpowiednie obliczenia, że opór jest taki sam zarówno przy napięciu 2 V, jak i 4 V.

d) Jakie jest natężenie prądu, gdy napięcie wynosi 1 V?



4 Wskaż właściwe dokończenie zdania. Opór właściwy przewodnika zależy od

A. długości przewodnika.

B. pola przekroju przewodnika.

C. rodzaju substancji, z której wykonany jest przewód.

D. masy przewodnika.

5 Uczniowie chcieli sprawdzić, w jaki sposób natężenie prądu zależy od przyłożonego napięcia. W tym celu zbudowali obwód z opornika o nieznanym oporze, mierników oraz zasilacza, dzięki któremu mogli płynnie regulować napięcie. Niestety osoba odpowiedzialna za notowanie wyników nie zapisała dwóch pomiarów. To, co zostało zapisane, przedstawia poniższa tabela. Wiadomo jednak, że opór opornika się nie zmieniał.

Napięcie [V]	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Natężenie prądu [mA]	25	50			125	150

a) Oblicz opór opornika.

b) Oblicz brakujące wartości natężenia prądu.

c) Sporządź w zeszycie wykres zależności natężenia prądu od przyłożonego napięcia. Co zauważasz?

6 Przeanalizuj „Przykład” zamieszczony na str. 90 i rozwiąż zadanie.

Przez gotujący wodę czajnik elektryczny podłączony do napięcia sieciowego 230 V płynie prąd o natężeniu 7,8 A. Oblicz opór czajnika podczas jego pracy.

7 Opór grzałki tostera podczas jego pracy wynosi 80 Ω. Oblicz natężenie prądu, który płynie przez spiralę tostera, gdy jest on podłączony do napięcia 230 V.



9 Praca i moc prądu elektrycznego

Cel lekcji: Poznasz rodzaje elektrowni, zasoby energii, które te elektrownie wykorzystują, i rodzaje energii, w którą zamienia się energia elektryczna. Dowiesz się, jak obliczyć pracę i moc prądu elektrycznego oraz koszt zużycia energii elektrycznej.

Praca, moc, energia

Wiesz, że pojęcia praca i moc znaczą w fizyce coś zupełnie innego niż w życiu codziennym. Z lekcji fizyki w klasie siódmej być może pamiętasz, że energia oznacza zdolność do wykonania pracy oraz że energia jednego rodzaju może zostać zmieniona w energię innego rodzaju.

Podobnie jest w przypadku energii elektrycznej. Najpierw omówimy wytwarzanie energii elektrycznej i jej przemiany w inne formy energii.

Przypomnienie symboli:
W – praca, P – moc.
Zmiana energii jest równa wykonanej pracy:
$\Delta E = W$

Wytwarzanie energii elektrycznej

Wiesz już, że źródłem energii elektrycznej są baterie i akumulatory. Jednak trudno byłoby np. zapewnić oświetlenie całemu miastu, korzystając wyłącznie z baterii. Energię elektryczną na dużą skalę wytwarza się w elektrowniach.

Najbardziej znane są elektrownie: **tradycyjne** (w których spala się paliwa naturalne), **wodne**, **wiatrowe**, **słoneczne**, **pływów morskich**, **geotermalne** i **jądrowe**.

CIEKAWOSTKA

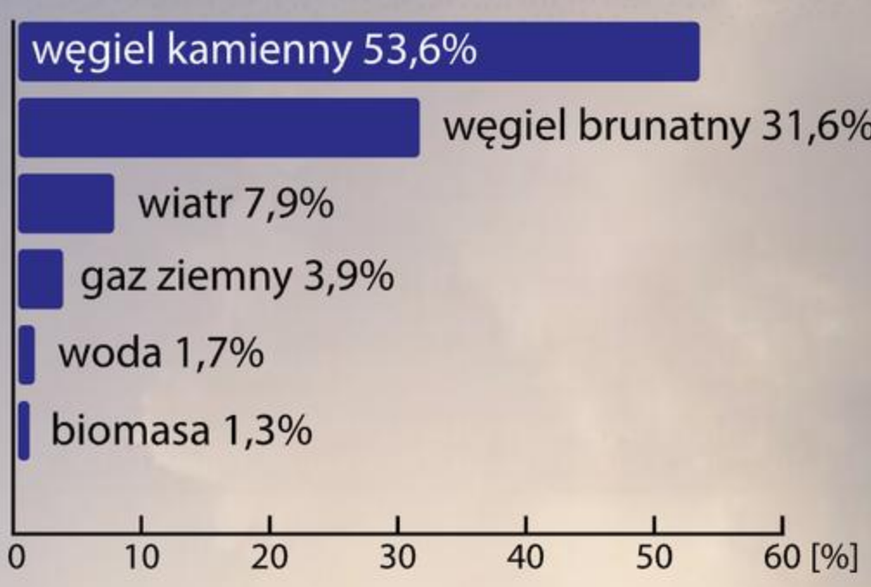
W tradycyjnych elektrowniach energię elektryczną pozyskuje się ze spalania węgla. W wyniku tego spalania energia chemiczna zamieniana jest na energię wewnętrzną – ogrzewana jest woda, która wrze. Para wodna napędza turbiny, czyli energia wewnętrzna zamienia się w energię kinetyczną pary, która porusza turbinę i połączoną z nią prądnicę, wytwarzającą energię elektryczną. Ze względu na zanieczyszczenie środowiska coraz częściej zamiast węgla spala się inne paliwa, np. biogaz powstający w procesie fermentacji odpadów na wysypiskach, słomę lub drewno ze specjalnych gatunków roślin, a także olej rzepakowy.



Wytwarzanie energii elektrycznej

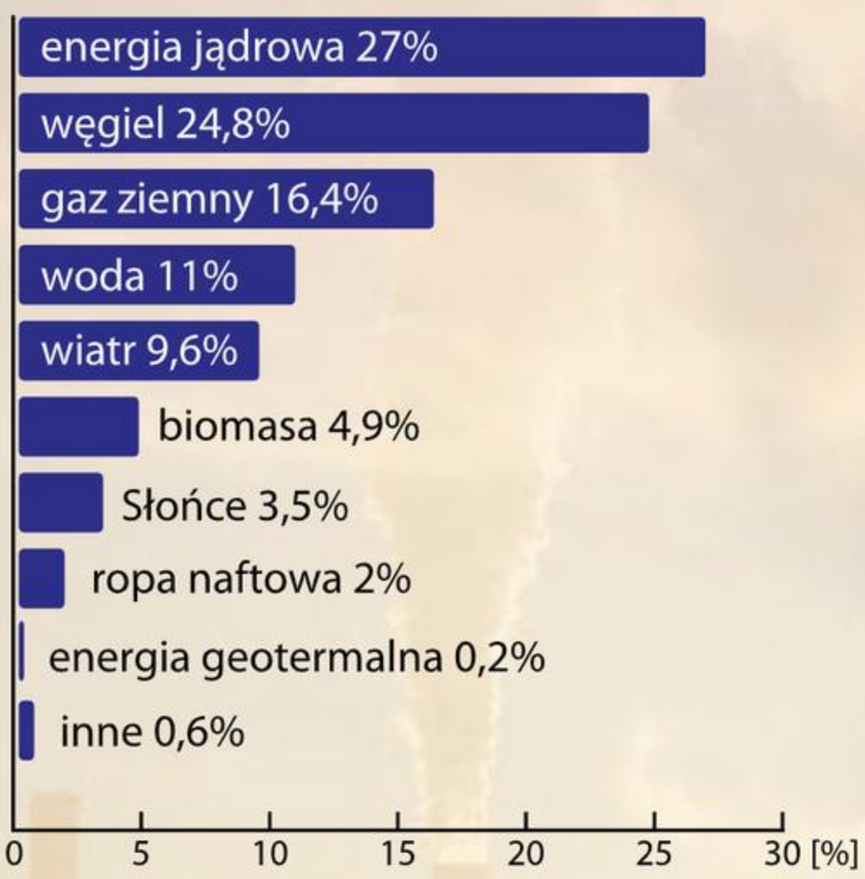
W 2015 roku w Unii Eupropejskiej wyprodukowano łącznie około 3 070 TWh energii elektrycznej [1 TW (terawat) = 10^{12} W], a w Polsce 160 TWh. Energia elektryczna na dużą skalę wytwarzana jest w elektrowniach.

Źródła energii elektrycznej w Polsce[1]



[1] Dane za rok 2016

Źródła energii elektrycznej w Unii Europejskiej[2]



[2] Dane za rok 2015

energia kinetyczna wiatru

wiatrowe



węglowe



energia chemiczna węgla

energia geotermalna

geotermalne



energia potencjalna spiętrzonej wody

wodne



elektrownie



jądrowe

energia jądrowa: rozszczepienie jąder atomowych



słoneczne

energia promieniowania

Przemiany energii elektrycznej w inne formy energii

Energia elektryczna zamienia się na inne formy energii. Jak to się dzieje? Z elektrowni energia elektryczna jest przesyłana w miejsca, w których jest potrzebna, m.in. do twojego domu. Dociera ona do instalacji elektrycznych, z których pobieramy ją, aby np. naładować smartfon lub włączyć światło w pokoju. To właśnie wtedy dochodzi do przemiany energii elektrycznej w inne formy energii.

Urządzenia i elementy elektryczne, które przetwarzają energię elektryczną na inne formy energii, nazywane są **odbiornikami energii elektrycznej**.

W odbiornikach energii elektrycznej, z których korzystasz na co dzień, dochodzi do opisanych przykładowo przemian energii.

- W odbiornikach z grzałkami elektrycznymi, np. piecykach, kuchenkach elektrycznych czy żelazkach, energia elektryczna zamienia się na **energię wewnętrzną** (potocznie mówimy, że wydziela się wtedy ciepło).
- W żarówkach, świetlówkach i diodach LED energia elektryczna zamienia się na **światło** (**energię promieniowania**), choć warto pamiętać, że w tradycyjnych żarówkach większość energii elektrycznej zamienia się na energię wewnętrzną, a na światło widzialne jedynie ok. 4%.
- Kiedy włączasz głośniki w komputerze, następuje przemiana energii elektrycznej w **energię akustyczną**.
- Jeśli odbiornik energii elektrycznej ma silnik elektryczny, to energia elektryczna zamienia się w nim na **energię mechaniczną**. Dzieje się tak np. wtedy, gdy odkurzasz podłogę odkurzaczem lub miksujesz ciasto za pomocą robota kuchennego.



Energia elekryczna w żelazku zamienia się w energię wewnętrzną (potocznie mówimy, że wydziela się ciepło).

Zatem:

Kosztem energii elektrycznej może być wykonana praca.

Praca prądu elektrycznego

Wiesz już, że energia potencjalna ładunku poruszającego się od punktu A do punktu B, między którymi istnieje napięcie, zmienia się (patrz rys. na str. 97). Dzięki

energii może być wykonana praca $\Delta E_p = W$. Ładunek, który porusza się wskutek oddziaływania elektrostatycznego, może np. rozgrzać drut, w którym płynie.

praca prądu = ładunek · napięcie	$W = q \cdot U$

Wiesz także, że natężenie prądu oblicza się jako iloraz ładunku q przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu przepływu t: $I = \frac{q}{t}$.

Jeśli znamy natężenie prądu i czas, możemy obliczyć, jaki ładunek przepłynął przez poprzeczny przekrój przewodnika: $q = I \cdot t$.
Obliczony w ten sposób ładunek możemy podstawić do wzoru na pracę prądu.

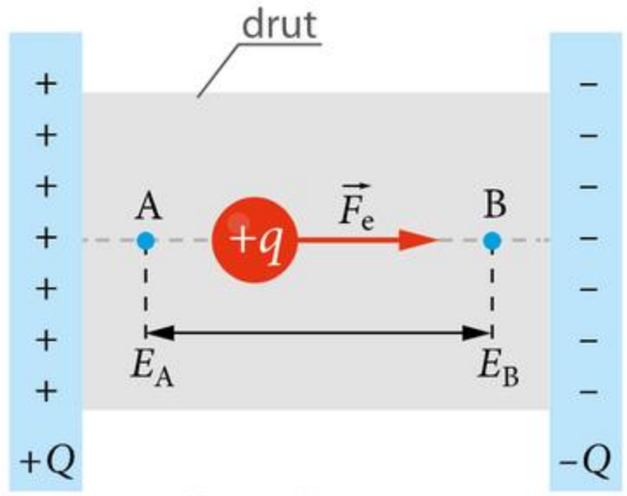
praca prądu = napięcie · natężenie · czas	$W = U \cdot I \cdot t$

Wzór ten żartobliwie nazywany jest wzorem wójta.

Otrzymana zależność to wzór na **pracę prądu elektrycznego** lub inaczej na energię elektryczną wykorzystaną do zasilania różnych urządzeń.

Przypomnijmy: jednostką pracy i energii jest **dżul** (1 J):

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



Oznaczenia symboli:
$+Q$, $-Q$, $+q$ – ładunki,
E_A, E_B – energia potencjalna odpowiednio w punktach A i B.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Dzięki bateriom słonecznym mogą poruszać się nawet samochody i samoloty. Jednak ich osiągi są o wiele gorsze niż osiągi pojazdów napędzanych w wyniku spalania paliwa i zależą od pogody.



Moc prądu elektrycznego

Z lekcji fizyki w klasie siódmej wiesz, że moc to iloraz pracy i czasu jej wykonywania: $P = \frac{W}{t}$.
Po podstawieniu w miejsce W iloczynu $U \cdot I \cdot t$ otrzymasz wzór na moc prądu elektrycznego, czyli:

moc = napięcie · natężenie prądu	$P = U \cdot I$

Moc prądu elektrycznego to iloczyn napięcia elektrycznego przyłożonego do urządzenia i natężenia przepływającego prądu.

Jednostką mocy w układzie SI jest **wat**.

$$1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{V} \cdot 1\ \mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} \cdot 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$$

W klasie siódmej, gdy wyznaczaliśmy ciepło właściwe wody, moc prądu elektrycznego odczytaliśmy z tabliczki znamionowej. Zauważ, że takie tabliczki znajdują się na wielu urządzeniach elektrycznych. Dzięki informacjom na niej zawartym możesz m.in. obliczyć, ile energii elektrycznej zużyje dane urządzenie pracujące przez określony czas.

Moc to inaczej szybkość wykonywania pracy.

Z tego wzoru obliczysz moc, z jaką urządzenia elektryczne pobierają energię elektryczną.



Na liczniku energii elektrycznej zużycie energii podawane jest w kilowatogodzinach.

Obliczanie zużycia energii

Ilość zużytej energii elektrycznej obliczymy, kiedy pomnożymy moc urządzenia przez czas jego użytkowania. Zwyczajowo zużycie energii elektrycznej wyraża się w **kilowatogodzinach** (1 kWh).

Jedna kilowatogodzina to energia pobrana przez urządzenie o mocy 1 kW w czasie 1 h.

Kilowatogodziny można łatwo zamienić na dżule:
$1\ \mathrm{kWh} = 1\ \mathrm{kW} \cdot 1\ \mathrm{h} = 1000\ \mathrm{W} \cdot 3600\ \mathrm{s} = 3\,600\,000\ \mathrm{J}$
Jeśli wiadomo, jakim napięciem jest zasilane dane urządzenie (np. w Polsce napięcie w domowej sieci elektrycznej wynosi 230 V), można – znając moc znamionową – obliczyć także natężenie prądu płynącego przez dane urządzenie.

Moc znamionowa to wartość mocy, z jaką urządzenie pracuje, podłączone do napięcia znamionowego, czyli zgodnie z zaleceniami producenta. Napięcie znamionowe i moc znamionowa zwykle są podawane na tabliczce znamionowej, fabrycznie zamontowanej na urządzeniu.

PRZYKŁAD

Obliczanie kosztów zużycia energii

Czajnik elektryczny o mocy 1800 W jest podłączony do napięcia 230 V.

a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez czajnik.

b) Oblicz, ile energii w dżulach oraz kilowatogodzinach zużyje czajnik podczas jednego podgrzewania wody trwającego 4 minuty.

c) Ile łącznie zapłacimy za energię zużytą przez czajnik w ciągu miesiąca (30 dni), jeżeli pracuje on dziennie 20 minut, a koszt 1 kWh energii wynosi 55 groszy?

Dane:
$P = 1800$ W
$U = 230$ V
cena energii $= 55 \frac{\text{gr}}{\text{kWh}}$

Szukane:
$I = ?$
$E = ?$
koszt miesięczny = ?

czas użytkowania: $20 \frac{\text{min}}{\text{dzień}}$; 30 dni

Rozwiązanie:

a) Przekształcamy wzór na moc prądu elektrycznego:

$$P = U \cdot I \quad | : U \qquad I = \frac{P}{U}$$

Podstawiamy dane:

$$I = \frac{1800\ \text{W}}{230\ \text{V}} \approx 7{,}83\ \text{A}$$

b) Wydzielona energia jest równa pracy wykonanej przez prąd elektryczny:

$$W = P \cdot t$$

$$W = 1800\ \text{W} \cdot 4 \cdot 60\ \text{s} = 432\,000\ \text{J} = 432\ \text{kJ}$$

Obliczamy energię w kilowatogodzinach:

$$W = 1{,}8\ \text{kW} \cdot \frac{4}{60}\ \text{h} = 0{,}12\ \text{kWh}$$

Aby obliczyć zużytą energię w kilowatogodzinach, zamieniamy waty na kilowaty, a minuty na godziny.

c) Czajnik będzie pracował w ciągu miesiąca łącznie:

$$t = 20 \frac{\text{min}}{\text{dzień}} \cdot 30\ \text{dni} = 600\ \text{min} = 10\ \text{h}$$

Energia zużyta w tym czasie przez czajnik wyrażona w kWh jest równa:

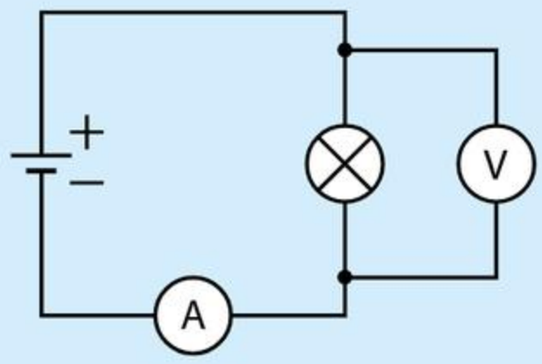
$$E = 1{,}8\ \text{kW} \cdot 10\ \text{h} = 18\ \text{kWh}$$

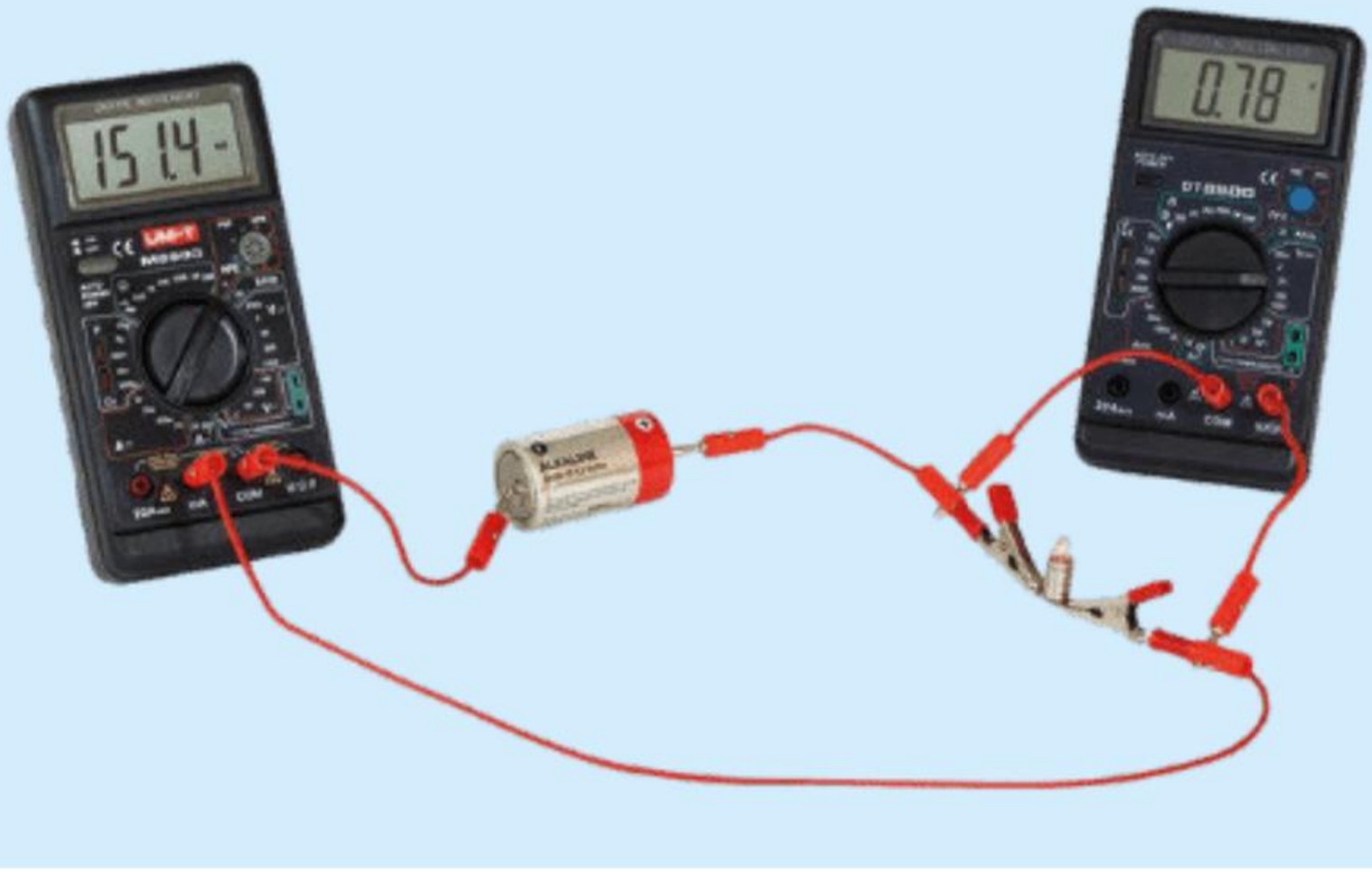
Za taką ilość zużytej energii zapłacimy: $18\ \text{kWh} \cdot 55 \frac{\text{gr}}{\text{kWh}} = 990\ \text{gr} = 9{,}90$ zł.

Odpowiedź: Natężenie prądu płynącego przez czajnik wynosi 7,83 A. Przez 4 minuty czajnik zużyje 432 kJ, czyli 0,12 kWh energii. Miesiąc pracy czajnika po 20 min dziennie kosztuje 9,90 zł.

DOŚWIADCZENIE 22 (pomiar)

1. Przygotuj: baterię 1,5 V, żarówkę o napięciu znamionowym 1,5 V, amperomierz i woltomierz.
2. Zmontuj obwód według schematu.
3. Odczytaj wskazania amperomierza i woltomierza.
4. Oblicz w zeszycie moc żarówki, podstawiając otrzymane dane do wzoru $P = U \cdot I$.
5. Porównaj tak wyznaczoną moc z mocą znamionową żarówki.





Moc pobierana przez odbiornik (np. żarówkę) zmienia się przy zmianie napięcia zasilającego i jest równa mocy znamionowej tylko wtedy, gdy odbiornik jest zasilany napięciem znamionowym.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Energię elektryczną**, która jest równa pracy ($E = W$), oblicza się ze wzoru $E = U \cdot q$, gdzie U – napięcie, q – ładunek elektryczny.
- **Pracę prądu elektrycznego** oblicza się ze wzoru $W = U \cdot I \cdot t$, gdzie I – natężenie, t – czas.
- Jednostką pracy prądu jest **dżul** (1 J).
- **Moc prądu** elektrycznego oblicza się ze wzoru $P = U \cdot I$.
- Jednostką mocy prądu jest **wat** (1 W).
- Powszechnie stosowaną jednostką energii elektrycznej jest **kilowatogodzina**, 1 kWh = 3 600 000 J.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Dopasuj urządzenie do rodzaju energii, na jaką jest w nim zamieniana energia elektryczna. **Uwaga.** Do niektórych urządzeń można dopasować więcej niż jeden rodzaj energii.

A.



B.



C.

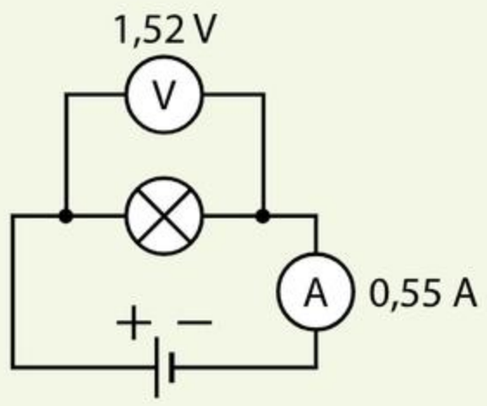


D.



energia cieplna • energia świetlna (promieniowania) • energia akustyczna • energia mechaniczna

2 Na schemacie przedstawiono obwód elektryczny do pomiaru napięcia i natężenia prądu płynącego przez żarówkę i podano zmierzone wartości. Oblicz moc wydzielaną na żarówce podczas jej świecenia.



3 Moc grzałki piekarnika wynosi 2000 W. Piekarnik jest podłączony do napięcia 230 V.



a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez spiralę piekarnika.

b) Oblicz, ile energii w kilowatogodzinach oraz w dżulach zużyje piekarnik w ciągu 1,5 godziny pracy.

c) Ile zapłacimy za energię zużytą przez piekarnik w ciągu tygodnia, jeżeli pracuje on średnio 8 godzin w tygodniu, a koszt 1 kWh energii elektrycznej wynosi 55 groszy?

4 Przez żarówkę o mocy 55 W płynie prąd o natężeniu 4,6 A. Jest to żarówka

A. małej kieszonkowej latarki zasilana jedną baterią – paluszkiem 1,5 V.

B. latarki zasilanej dwiema bateriami – paluszkami (łącznie 3 V).

C. samochodowa zasilana napięciem z akumulatora (12 V).

D. dostosowana do napięcia sieciowego (230 V).

10 Użytkowanie energii elektrycznej

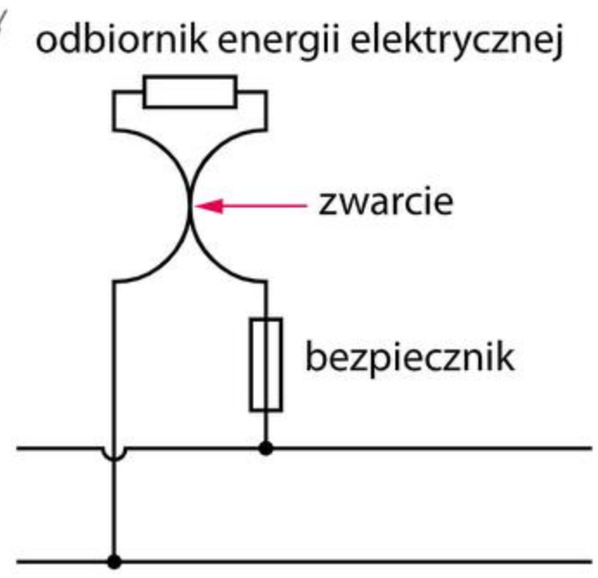
Cel lekcji: Dowiesz się więcej o domowej sieci elektrycznej, roli bezpieczników i izolacji. Poznasz zasady bezpiecznego użytkowania urządzeń elektrycznych.

Domowa instalacja elektryczna

W skład domowej instalacji elektrycznej wchodzą m.in. gniazdka, wyłączniki, liczniki energii elektrycznej, bezpieczniki. Przewody elektryczne zwykle są umieszczone w ścianach (czasami biegną przy powierzchni ściany). Domowa sieć elektryczna jest zbudowana tak, że we wszystkich gniazdkach oraz końcówkach, do których podłącza się oświetlenie, jest **takie samo napięcie równe 230 V**. Oznacza to, że jeżeli włączysz równocześnie kilka odbiorników, to przez każdy z nich popłynie prąd o natężeniu zależnym od oporu odbiornika, a w przewodach doprowadzających prąd do mieszkania – **o natężeniu równym sumie natężeń** prądów płynących przez poszczególne odbiorniki. Duże natężenie prądu powoduje wydzielanie się dużej ilości energii w formie ciepła, co może powodować przepalanie się przewodów.

Zwarcie i rola bezpieczników

Innym niebezpieczeństwem jest tzw. **zwarcie**, występujące wtedy, gdy zetkną się ze sobą (np. z powodu uszkodzonej izolacji) dwa przewody doprowadzające prąd. Prąd płynie wówczas tylko przez te przewody, pomijając odbiorniki energii elektrycznej. Kiedy płynący prąd nie napotyka dużego oporu, ma duże natężenie. Powoduje to wydzielanie się dużej ilości ciepła i w rezultacie – przepalenie przewodów. Zwarcie może nastąpić np. w wyniku uszkodzenia odbiornika, zalania wodą lub zawilgocenia, a także nieumiejętnych (amatorskich) napraw urządzeń. Często bywa ono przyczyną pożarów. Zwarciu może towarzyszyć krótkotrwały błysk. Aby uniknąć przepalania się przewodów, co może wywołać pożar, stosuje się różnego rodzaju **bezpieczniki**. Znajdują się one w mieszkaniach, najczęściej w pobliżu liczników energii elektrycznej.



Podczas zwarcia prąd płynie, omijając odbiornik energii elektrycznej. Bezpiecznik przerywa obwód, co zapobiega uszkodzeniom instalacji.

Znane są różne rodzaje bezpieczników. Najstarszy typ to **bezpieczniki topikowe**. Wewnątrz takiego bezpiecznika znajduje się cienki drucik z topliwego materiału. Opór drucika jest tak dobrany, aby spowodować jego stopienie się przy odpowiednio dużym natężeniu


Bezpieczniki topikowe.

prądu. Stopienie drucika przerywa obwód. Taki bezpiecznik należy wymienić na nowy po uprzednim usunięciu przyczyny przepalenia.

Uwaga. Bezpieczników topikowych nie wolno naprawiać. Nowy bezpiecznik musi być właściwie dobrany, tzn. przerywać obwód po przekroczeniu określonej wartości natężenia prądu. Tylko wtedy bezpiecznik zapobiega przepaleniu się przewodów.

W niektórych urządzeniach bezpieczniki stosuje się również w celu zabezpieczenia przed uszkodzeniem ich ważnych elementów.

Znacznie częściej wykorzystuje się **bezpieczniki automatyczne**. Urządzenia takie samoczynnie przerywają dopływ prądu w przypadku zwarcia lub przeciążenia sieci elektrycznej. Po usunięciu przyczyny awarii bezpiecznik lub jego wyłącznik można włączyć i przywrócić dopływ prądu elektrycznego.



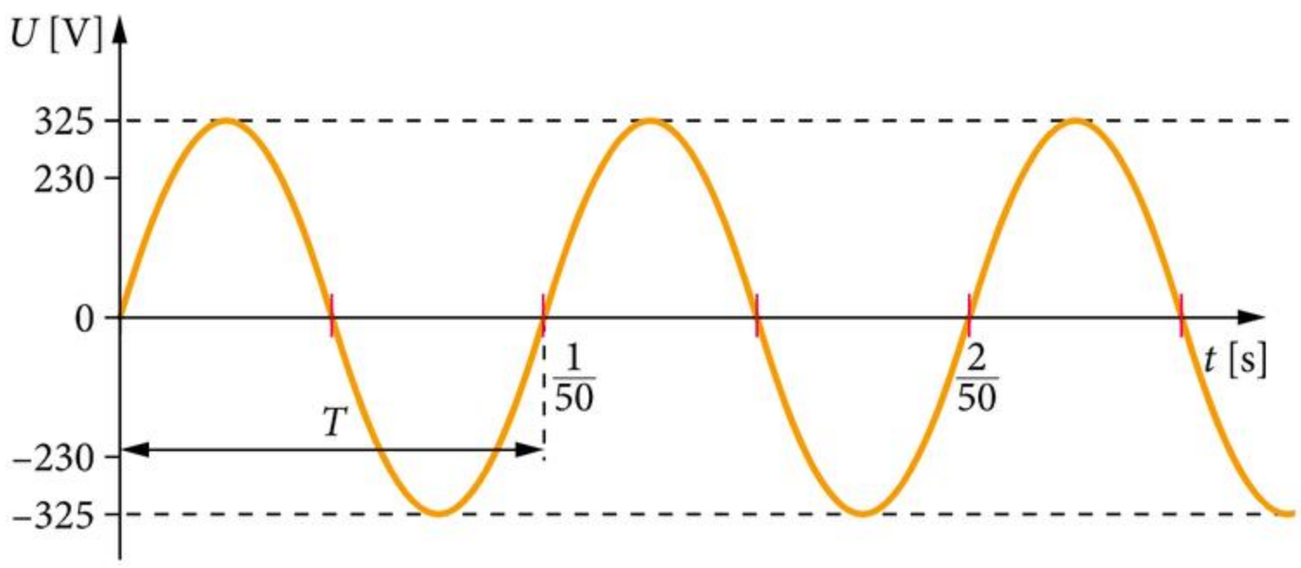
Bezpieczniki automatyczne.

Prąd stały i prąd przemienny

Napięcie baterii lub akumulatora **jest stałe**. Po podłączeniu do takiego źródła napięcia przez odbiornik płynie prąd o stałym natężeniu. Natomiast w przewodach doprowadzających prąd do mieszkań napięcie zmienia się w czasie, tak jak pokazano na wykresie. Jest to tzw. **napięcie przemienne**.



Akumulator jest źródłem prądu stałego.



Zależność napięcia przemiennego od czasu.

Napięcie rośnie i maleje cyklicznie. Zmiany z wartości dodatnich na ujemne i odwrotnie można porównać do bardzo szybkich zmian biegunów baterii podłączonej do obwodu.

Napięcie w domowej sieci elektrycznej osiąga maksymalną wartość +325 V (i minimalną –325 V) 50 razy w ciągu każdej sekundy, a więc zmienia się cyklicznie (okresowo) z częstotliwością 50 Hz.

R

Mimo że napięcie w domowej sieci elektrycznej zmienia się od +325 V do –325 V, to prąd, który płynie w urządzeniach, ma taką moc, jakby były one podłączone do napięcia stałego (takiego jak z baterii) wynoszącego 230 V. Tę wartość napięcia nazywa się zatem **napięciem skutecznym** dla domowej sieci elektrycznej.
Wiele urządzeń nie może być zasilanych bezpośrednio napięciem przemiennym. Stosuje się wtedy odpowiednie **zasilacze**, które podłączane do domowej sieci elektrycznej zmieniają napięcie przemienne na napięcie stałe i takim napięciem zasilają dane urządzenie.

Instalacje elektryczne a bezpieczeństwo

Przy codziennym korzystaniu z domowych urządzeń elektrycznych należy pamiętać o przestrzeganiu zasad bezpieczeństwa. Takie urządzenia jak lampy, miksery, roboty kuchenne, żelazka, odkurzacze, suszarki, prostownice powinny być przechowywane i użytkowane w miejscach suchych, bez dostępu wody. W czasie kąpieli nie wolno używać suszarki do włosów, ponieważ woda dobrze przewodzi prąd elektryczny – wpadnięcie suszarki do wody spowoduje porażenie prądem. Ciało człowieka składa się w przeważającej części (około 60%) z wody, w której rozpuszczone są sole mineralne, jest więc dobrym przewodnikiem elektryczności.



Naprawy urządzeń działających pod wysokim napięciem wymagają szczególnych środków ostrożności, m.in. używania specjalnych rękawic i butów wykonanych z materiałów będących izolatorami prądu elektrycznego.

Pamiętaj, że **porażenie prądem** z domowej instalacji elektrycznej **może być śmiertelne!**

Nawet przed wymianą żarówki należy odłączyć napięcie za pomocą bezpiecznika. Wkręcając lub wykręcając żarówkę, nie dotykaj jej metalowej oprawki, bo to grozi porażeniem.

Wpływ prądu elektrycznego na organizmy żywe

Prąd elektryczny, bez którego nie sposób wyobrazić sobie współczesnej cywilizacji, może być bardzo groźny dla człowieka i innych organizmów. Opór właściwy żywej tkanki jest dla prądu stałego większy niż opór właściwy metali, ale mniejszy niż opór powszechnie używanych izolatorów. Skóra ludzka ma największą rezystancję (opór elektryczny), gdy jest sucha. Przy kontakcie skóry z dużym napięciem następuje jej przepalenie.

Zapamiętaj!

- Nie dotykaj gołymi rękami nieizolowanych części obwodu elektrycznego.
- Nie wykonuj samodzielnie żadnych napraw elektrycznych. Powierz to zadanie osobom wykwalifikowanym.

Prąd, działając na organizm człowieka, wywołuje w nim zmiany fizyczne, biologiczne i chemiczne.

- Szczególnie niebezpieczny jest prąd stały, który może powodować zmiany prowadzące do zaburzeń oddychania komórkowego. Częste stykanie się z prądem stałym prowadzi do zwyrodnienia nerwów i mięśni.
- Prąd zmienny o wysokim napięciu może doprowadzić do wrzenia płynu tkankowego, a po dłuższym działaniu – do zwęglenia kończyn lub nawet całego ciała.
- Działanie prądu zmiennego na układ nerwowy przejawia się zakłóceniem czynności centralnego układu nerwowego, co grozi zaburzeniami słuchu i wzroku, utratą pamięci i zaburzeniami psychicznymi.
- Prąd o natężeniu rzędu 5–10 mA wywołuje w organizmie lekki skurcz mięśni.
- Prąd o natężeniu 10–25 mA powoduje, oprócz skurczu mięśni, także niebezpieczny wzrost ciśnienia krwi.
- Prąd o natężeniu do 80 mA wywołuje migotanie komór sercowych oraz częściowe porażenie ośrodków oddechowych, co może doprowadzić do utraty przytomności.
- Prąd o natężeniu powyżej 80 mA powoduje silne drgania komór sercowych, utratę przytomności i w końcu śmierć.
- Za bezpieczne dla człowieka uważa się napięcie do 25 V.



Do prac przy urządzeniach podłączonych do napięcia należy używać przeznaczonych do tego narzędzi z izolacją.

Uwaga!

Wyjątkowo groźny jest przepływ prądu elektrycznego na linii ręka–noga, gdyż po drodze prąd przepływa przez wszystkie ważne organy wewnętrzne, w tym serce, i może spowodować ich uszkodzenie.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Przepływ prądu przez ciało człowieka jest dla niego śmiertelnym zagrożeniem. Jednak w przypadku zaburzeń pracy serca celowo zastosowany impuls elektryczny może uratować życie. Wykorzystuje się to w zabiegu medycznym zwanym defibrylacją, do której służy tzw. defibrylator. Aby pobudzić serce do pracy, dwie elektrody urządzenia podłącza się do ciała poszkodowanego.
Coraz częściej w bardzo uczęszczanych miejscach znajdziemy przenośne defibrylatory, które mogą pomóc uratować życie osobie z zatrzymaniem krążenia. Takiego defibrylatora może użyć nawet osoba niewykwalifikowana, znająca jedynie podstawowe zasady udzielania pierwszej pomocy.



Porażenie prądem elektrycznym

Nieostrożne obchodzenie się z urządzeniami elektrycznymi lub instalacją elektryczną może doprowadzić do porażenia prądem elektrycznym. Ciało człowieka staje się wówczas przewodnikiem. W zależności od nasilenia porażenie wywołuje różne obrażenia – poparzenie skóry (różnego stopnia i o różnej rozległości), a nawet uszkodzenie tkanek gładkich (układu nerwowego, serca, mięśni).

Uwaga. Porażenia prądem nie należy lekceważyć, gdyż nawet przy niewielkim oparzeniu skóry mogło dojść do poważnego uszkodzenia narządów wewnętrznych. Konieczne są konsultacja medyczna i wykonanie badania EKG, ponieważ do 24 godzin po porażeniu mogą wystąpić zaburzenia pracy serca.

Objawy:

- bóle mięśniowe z odczuciem mrowienia lub drętwienia
- czasami skurcze mięśni, które uniemożliwiają wypuszczenie z dłoni przewodu elektrycznego, lub niedowład kończyn
- kołatanie serca lub zaburzenia jego rytmu
- nagłe zaburzenia słuchu lub wzroku
- uczucie strachu, niepokój
- drgawki, zawroty głowy
- zaburzenia oddychania lub jego zatrzymanie
- utrata świadomości





Pierwsza pomoc

1. Postępuj szybko, ale rozważnie. Nie panikuj.
2. Odłącz źródło napięcia – wyjmij wtyczkę z gniazdka, wyłącz bezpieczniki automatyczne lub główny wyłącznik przy liczniku energii.
3. Jeśli wokół porażonego jest rozlana woda – pod żadnym pozorem do niej nie wchodź.
4. Jeżeli odłączenie źródła napięcia jest niemożliwe, nie dotykaj osoby porażonej rękoma bez osłony – prąd może porazić również ciebie. Stań na materiale nieprzewodzącym prądu, np. książce albo gumowej wycieraczce. Następnie za pomocą przedmiotu wykonanego z izolatora, np. plastikowego lub drewnianego kija od szczotki, odepchnij poszkodowanego z miejsca wypadku.
5. Sprawdź, czy poszkodowana osoba jest przytomna, czy praca serca i oddech są w normie.
6. Jeśli porażony czuje się źle, należy zaprowadzić go do lekarza lub wezwać pogotowie. Nie pozostawiaj takiej osoby bez opieki – jej stan może się nagle pogorszyć.
7. Jeśli porażony jest nieprzytomny, sprawdź jego puls i oddech. Jeśli jest oddech i puls, należy poszkodowanego ułożyć w pozycji bocznej bezpiecznej. Sprawdź, czy nie należy udrożnić dróg oddechowych (np. wyjąć z ust ciał obcych), i wezwij pogotowie.
8. Jeśli u porażonego stwierdzisz brak pulsu lub oddechu, natychmiast wezwij pogotowie i rozpocznij resuscytację krążeniowo-oddechową (czyli podejmij czynności mające na celu podtrzymanie oddechu i krążenia).

Pamiętaj, tylko bezwzględne przestrzeganie zasad obchodzenia się z urządzeniami elektrycznymi zapewni bezpieczne korzystanie z dobrodziejstwa energii elektrycznej.

Braki dostaw energii elektrycznej

Cała nasza obecna cywilizacja funkcjonuje dzięki energii elektrycznej. Podłączamy do prądu sprzęty ułatwiające nam wykonywanie codziennych prac, takich jak gotowanie czy sprzątanie, a także urządzenia, które umożliwiają komunikację czy służą rozrywce. Bez energii elektrycznej nie mogłoby również funkcjonować wiele zakładów produkcyjnych oraz instytucji. Wielu odbiorców energii ma kluczowe znaczenie dla społeczeństwa, np. szpitale wyposażone w aparaturę podtrzymującą i ratującą życie, producenci żywności czy przedsiębiorstwa i firmy transportowe, które często wykorzystują transport kolejowy.

Choć nie zdarza się to często, musimy być przygotowani na nagły brak dostępu do energii elektrycznej, który może nastąpić na przykład z powodu:

- niewystarczającej ilości energii w sieci energetycznej lub jej nagłej awarii, wynikającej np. z przestarzałej infrastruktury czy nieumyślnego przeciążenia sieci przez użytkowników (skutkuje to automatycznym wyłączeniem lub uszkodzeniem różnych urządzeń, np. transformatora),
- planowanego wyłączenia sieci w celu wykonania napraw i konserwacji,
- uszkodzeń spowodowanych przez klęski żywiołowe takie jak wichury lub powodzie, których skutki mogą być odczuwalne na dużych obszarach i trudne do usunięcia.

O planowanych wyłączeniach sieci energetycznej możesz się dowiedzieć z komunikatów na stronie internetowej twojego operatora. Jeżeli nie masz pewności, który z czterech głównych operatorów jest dostawcą energii elektrycznej do twojego domu, to pomoże ci w tym mapa zamieszczona obok. Informacje o swoim operatorze możesz znaleźć również na rachunku za energię elektryczną.

Planowane wyłączenia sieci energetycznej nie trwają zbyt długo (zazwyczaj do kilku godzin). Warto jednak wiedzieć o nich wcześniej. Pozwala to uniknąć wielu stresów i nieprzyjemnych sytuacji.



Najwięksi dystrybutorzy energii elektrycznej w Polsce i obszary, które obsługują.

Skutki przerwania dostaw energii elektrycznej

Ograniczenia w poborze energii elektrycznej wywołują negatywne skutki dla pojedynczych odbiorców, czyli naszych gospodarstw domowych, a także dla sytuacji gospodarczej całego kraju, transportu, komunikacji, bezpieczeństwa i zdrowia ludzi.



W przypadku awarii zasilania brak światła w mieszkaniu to najmniejszy problem.

Wskutek awarii zasilania m.in.:

- pogorszeniu ulegają warunki bytowe ludzi (brak światła, ogrzewania, możliwości korzystania z urządzeń elektrycznych),
- ograniczenie działalności firm i zakładów przemysłowych wiąże się z natychmiastową utratą przychodów z powodu obniżenia wielkości produkcji i sprzedaży, grozi utratą konkretnych klientów, stratami finansowymi i ryzykiem utraty pozycji na rynku,
- zmniejszenie produkcji, zwłaszcza towarów o kluczowym znaczeniu dla społeczeństwa (żywność, paliwa), może prowadzić do podwyższenia cen,
- poważne problemy mają piloci samolotów, którzy nie widzą pasów startowych i nie mają możliwości kontaktu drogą radiową z wieżą kontroli lotów,
- aparatura medyczna ratująca życie lub umożliwiająca pomoc ciężko chorym przestaje działać,
- może nastąpić paraliż komunikacyjny – nie kursują pociągi, metro, tramwaje.

Zasilanie awaryjne

Ponowne uruchamianie urządzeń o kluczowym znaczeniu (np. aparatury medycznej, napędów elektrycznych w fabrykach) wiąże się z dużo większym poborem mocy, mnoży koszty, a także może prowadzić do uszkodzeń aparatury. Z tego powodu stosuje się systemy zasilania awaryjnego – urządzenia służące do ochrony wybranych odbiorników przed zakłóceniami zasilania z sieci energetycznej. Przykładem takiego urządzenia jest **agregat prądotwórczy**, który stosuje się w przypadku dłuższych przerw w zasilaniu, dla odbiorników tolerujących chwilowy zanik napięcia, np. chłodnie magazynowe, urządzenia wentylacyjne.



W przypadku awarii zasilania do podtrzymania pracy urządzeń, np. komputerów, można wykorzystać zasilacze awaryjne UPS (ang. *uninterruptible power supply* – niezakłócone zasilanie energią).

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Pamiętaj, że **porażenie prądem** z domowej instalacji elektrycznej **może być śmiertelne!**
- Z urządzeń elektrycznych korzystaj wyłącznie zgodnie z ich przeznaczeniem i w warunkach zalecanych przez producenta. Nie wykonuj samodzielnie napraw instalacji elektrycznej i urządzeń elektrycznych.
- **Bezpiecznik** – urządzenie chroniące sieć elektryczną przed przeciążeniem.
- **Zwarcie** – zetknięcie dwóch przewodów doprowadzających, w wyniku którego prąd płynie z ominięciem odbiornika.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

PRZYKŁAD

Analiza funkcji bezpieczników

Do fragmentu domowej instalacji elektrycznej zabezpieczonej bezpiecznikiem 20 A chcemy podłączyć suszarkę o mocy 2200 W, grzejnik elektryczny o mocy 1500 W oraz oświetlenie o mocy 120 W. Wszystkie urządzenia są podłączone do napięcia sieciowego 230 V. Czy bezpiecznik rozłączy obwód, gdy włączymy wszystkie urządzenia jednocześnie?

Rozwiązanie:
Bezpiecznik, o którym mowa w zadaniu, rozłączy obwód, jeżeli popłynie w nim prąd o natężeniu większym niż 20 A.
Dodajemy moc poszczególnych urządzeń, aby obliczyć całkowitą moc czerpaną z sieci elektrycznej:

$$P = 2200\ \text{W} + 1500\ \text{W} + 120\ \text{W} = 3820\ \text{W}$$

Obliczmy natężenie prądu, jaki popłynie przez bezpiecznik, gdy będzie pobierana łączna moc 3820 W. Skorzystajmy ze wzoru:

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

Podstawiamy dane: $I = \frac{3820\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 16{,}6\ \text{A}$

Odpowiedź: Natężenie prądu będzie mniejsze niż 20 A, dlatego bezpiecznik nie rozłączy tego obwodu.

1 Spośród podanych czynności wybierz te, które poprawiają bezpieczeństwo elektryka przy naprawie instalacji elektrycznych. Uzasadnij, dlaczego pozostałe odpowiedzi są błędne.

A. Stosowanie metalowych kombinerek bez izolacji.

B. Zabezpieczenie skrzynki z bezpiecznikami po ich wyłączeniu, aby nikt ich przypadkowo nie włączył podczas naprawy.

C. Stosowanie specjalnych rękawic zrobionych z izolatora.

D. Wykonywanie prac wilgotnymi dłońmi.

E. Stosowanie butów z grubymi podeszwami z dobrego izolatora.

F. Użycie drewnianego lub plastikowego trzonka od szczotki (mopa) do rozdzielenia splątanych kabli, między którymi mogło wystąpić zwarcie.

2 Odpowiedz na pytania.

a) W jaki sposób **nie wolno** gasić pożaru przedstawionego na zdjęciu? Zaproponuj sposób ugaszenia ognia.

b) Co można zrobić przed rozpoczęciem gaszenia pożaru, aby uniknąć porażenia prądem?



3 Przeanalizuj „Przykład. Analiza funkcji bezpieczników” zamieszczony na str. 110 i rozwiąż zadanie.

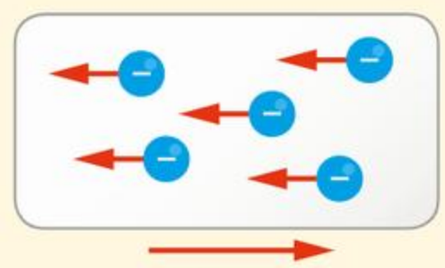
Część instalacji w biurze jest zabezpieczona bezpiecznikiem 16 A. Czy bezpiecznik wyłączy przepływ prądu, jeżeli do napięcia sieciowego 230 V podłączymy jednocześnie: trzy komputery, każdy o mocy 200 W, oświetlenie o mocy 300 W oraz ekspres do kawy o mocy 1500 W?

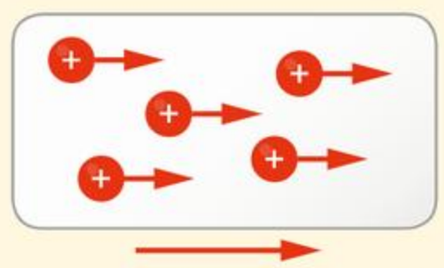
4 W większości gniazdek oprócz dwóch otworów występuje także bolec, który przewodem jest połączony z ziemią. W dostępnych źródłach informacji poszukaj, dlaczego stosuje się takie rozwiązanie, i wyjaśnij, na jakiej zasadzie ono działa.



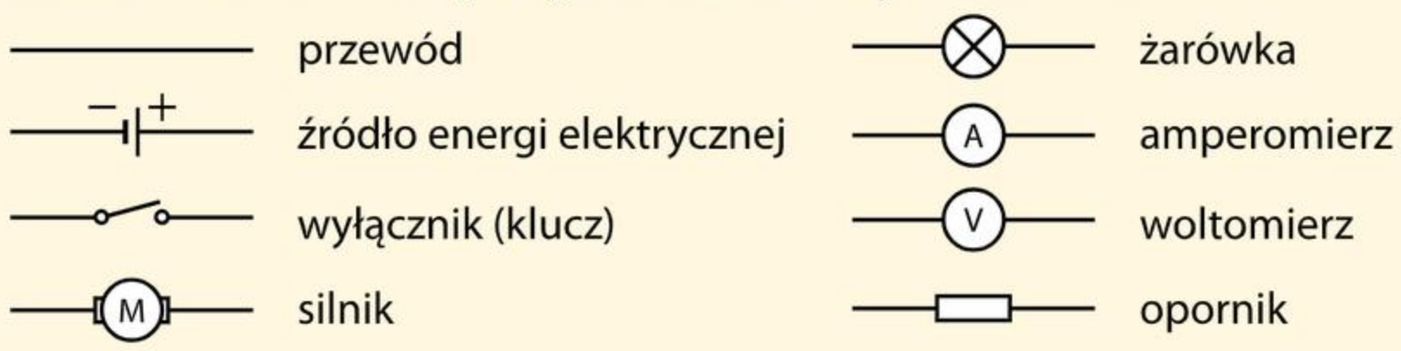
Powtórzenie. Prąd elektryczny

- **Prądem elektrycznym** nazywa się ukierunkowany (uporządkowany) ruch ładunków elektrycznych.
- Niektóre ciała stałe (przewodniki) przewodzą prąd elektryczny. Nośnikami prądu w metalach są **swobodne elektrony**. W gazach i elektrolitach nośnikami prądu są **elektrony, jony ujemne** i **jony dodatnie**.
- Niezależnie od tego, jakie ładunki się poruszają, umownym kierunkiem przepływu prądu jest zawsze kierunek od plusa do minusa.





- Źródłem energii elektrycznej jest każde urządzenie wytwarzające **napięcie elektryczne** (np. baterie, akumulatory).
- Zespół elementów połączonych przewodami ze źródłem prądu tak, aby utworzyły zamkniętą drogę dla prądu elektrycznego, nosi nazwę **obwodu elektrycznego**. Elementy obwodu oznacza się odpowiednimi symbolami.



- Jeśli w ośrodku, w którym znajdują się swobodne ładunki, pojawi się napięcie, ładunki zaczną się poruszać w sposób uporządkowany – zacznie płynąć prąd.
- **Napięcie elektryczne** U, między dwoma punktami to iloraz pracy, jaka byłaby wykonana przy przemieszczaniu ładunku między tymi punktami, i wartości tego ładunku (czyli praca przypadająca na ładunek jednostkowy).

$$\text{napięcie elektryczne} = \frac{\text{praca}}{\text{ładunek}} \qquad U = \frac{W}{q} = \frac{\Delta E}{q}$$

- Jednostką napięcia jest **wolt** (**1 V**). Między dwoma punktami jest napięcie 1 V, jeżeli przy przemieszczeniu ładunku 1 C między tymi punktami wykonana praca wynosi 1 J.

$$1\,\text{V} = \frac{1\,\text{J}}{1\,\text{C}}$$

- Do pomiaru napięcia między dwoma punktami obwodu elektrycznego służy **woltomierz**. Woltomierz do obwodu elektrycznego włącza się **równolegle** do elementu, na którego zaciskach ma być zmierzone napięcie.

- Przez przewodnik może płynąć prąd o różnym **natężeniu**. Natężenie prądu I to iloraz wartości ładunku przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu jego przepływu:

$\text{natężenie prądu} = \frac{\text{ładunek}}{\text{czas}}$	$I = \frac{q}{t}$

- Jednostką natężenia prądu jest **amper** (**1 A**). Przez przewodnik płynie prąd o natężeniu 1 A, jeśli w ciągu 1 s przez przekrój poprzeczny przewodnika przepłynie ładunek 1 C.

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

- Do pomiaru natężenia prądu płynącego przez dany element obwodu służy **amperomierz**, który do obwodu elektrycznego włącza się **szeregowo** z tym elementem.
- Aby w obwodzie elektrycznym popłynął prąd, muszą być spełnione dwa warunki: musi istnieć źródło energii elektrycznej i obwód musi być zamknięty.
- Wielkością charakterystyczną i stałą dla danego przewodnika w danej temperaturze jest **opór elektryczny** (**rezystancja**) R. Jego miarą jest iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia prądu.

$\text{opór elektryczny} = \frac{\text{napięcie}}{\text{natężenie prądu}}$	$R = \frac{U}{I}$

- Jednostką oporu jest om (1 Ω). Przewodnik ma opór 1 Ω, jeżeli przyłożone do niego napięcie 1 V wywołuje w nim przepływ prądu o natężeniu 1 A. $1\,\Omega = \frac{1\,\text{V}}{1\,\text{A}}$.
- **Moc prądu elektrycznego** P oblicza się ze wzoru:

$\text{moc} = \text{napięcie} \cdot \text{natężenie prądu}$	$P = U \cdot I$

- Jednostką mocy prądu jest **wat** (1 W).

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

- **Pracę prądu elektrycznego** W oblicza się ze wzoru:

$\text{praca prądu} = \text{napięcie} \cdot \text{natężenie prądu} \cdot \text{czas}$	$W = U \cdot I \cdot t$

- Jednostką pracy prądu jest **dżul** (1 J).

$$1\,\text{J} = 1\,\text{V} \cdot 1\,\text{A} \cdot 1\,\text{s}$$

- Jedna **kilowatogodzina** to energia pobrana przez urządzenie o mocy 1 kW w czasie 1 h. 1 kWh = 3 600 000 J.

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–3 i 6 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Prąd elektryczny to **A/ B/ C/ D**.

A. przepływ atomów w izolatorze
B. uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych
C. chaotyczny ruch elektronów w metalach
D. nieuporządkowany ruch ładunków elektrycznych w izolatorze

2 Iloraz pracy wykonanej przy przemieszczaniu ładunku elektrycznego między dwoma punktami i wartości tego ładunku mierzymy w **A/ B/ C/ D**.

A. amperach
B. woltach
C. omach
D. watach

3 Uczniowie wykonali pomiar napięcia U i natężenia prądu I płynącego przez opornik w dwóch sytuacjach:
- gdy do opornika podłączona była jedna bateria (paluszek),
- gdy podłączone były dwie takie baterie.

Wyniki zapisali w tabeli.

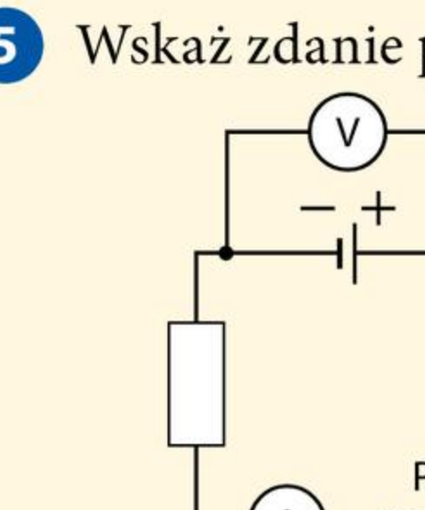
	U [V]	I [A]
1 bateria	1,5	0,3
2 baterie	3	0,6

Opór opornika w przypadku podłączenia do jednej baterii wynosi **A/ B/ C** i jest **D/ E/ F** w przypadku podłączenia dwóch baterii.

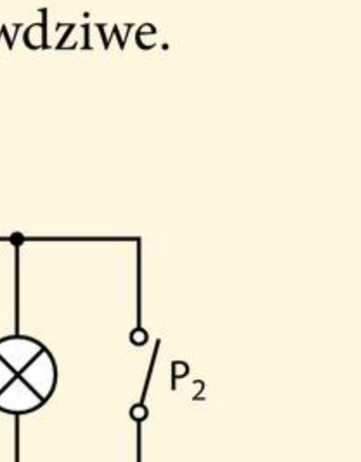
A. 0,45 Ω
B. 0,2 Ω
C. 5 Ω
D. mniejszy niż
E. taki sam jak
F. większy niż

4 Wskaż, na którym schemacie **błędnie** przedstawiono połączenie mierników w celu wyznaczenia oporu elektrycznego żarówki.

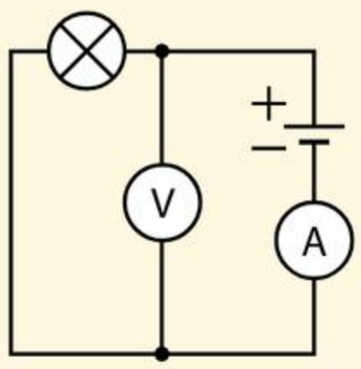
A.



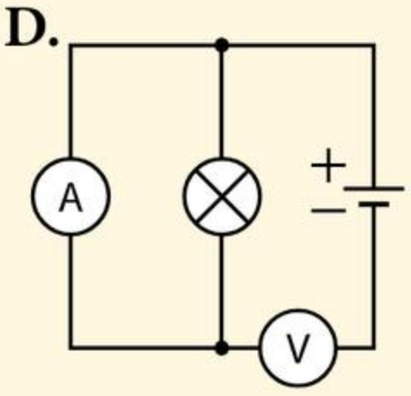
C.



B.



D.



5 Wskaż zdanie prawdziwe.

I. Gdy oba wyłączniki są otwarte, woltomierz wskazuje zero.
II. Gdy wyłącznik P_2 jest zamknięty, natomiast P_1 otwarty, amperomierz wskazuje zero.
III. Gdy wyłączniki P_1 i P_2 są otwarte, przez żaden element obwodu nie płynie prąd.
IV. Gdy oba wyłączniki są zamknięte, amperomierz wskazuje zero.

6 Jeżeli przez przewodnik w czasie 60 s przepłynął ładunek 120 C, to natężenie płynącego prądu wynosi **A/ B/ C/ D**.

A. 0,5 A **B.** 2 A **C.** 120 A **D.** 7,2 kA

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 2, 3 i 5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Umowny kierunek przepływu prądu jest **A/ B/ C/ D**.

A. taki sam jak kierunek przepływu jonów dodatnich i elektronów
B. przeciwny do kierunku przepływu jonów dodatnich i elektronów
C. taki sam jak kierunek przepływu elektronów i przeciwny do kierunku przepływu jonów dodatnich
D. taki sam jak kierunek przepływu jonów dodatnich i przeciwny do kierunku przepływu elektronów

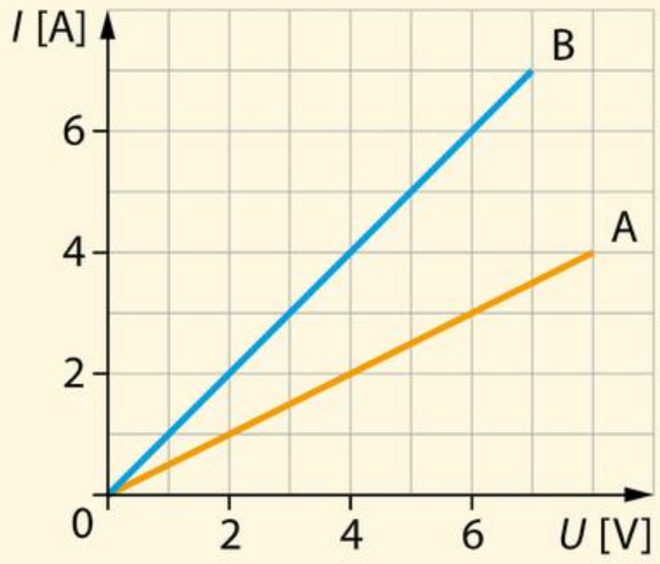
2 W obwodzie podłączonym do baterii popłynął prąd 6 A. Po 1 godzinie bateria się wyczerpała. Ładunek, jaki przepłynął w tym czasie przez obwód elektryczny, to **A/ B/ C/ D**.

A. 21,6 C
B. 2160 C
C. 21 600 C
D. 216 kC

3 Opór elektryczny fragmentu drutu **nie zależy** od **A/ B/ C/ D**.

A. grubości izolacji
B. długości przewodu elektrycznego
C. przekroju poprzecznego przewodu elektrycznego
D. materiału, z którego zbudowany jest przewód elektryczny

4 Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu od przyłożonego napięcia dla dwóch oporników oznaczonych A i B.



Wskaż zdania prawdziwe.

A. Gdy do obu oporników jest przyłożone to samo napięcie, przez opornik B płynie prąd o dwukrotnie większym natężeniu niż przez opornik A.
B. Opór opornika B jest dwukrotnie większy niż opornika A.
C. Moc wydzielana na oporniku B wynosi 36 W, gdy jest do niego przyłożone napięcie 6 V.

5 Instalacja elektryczna w kuchni pewnego domu została zabezpieczona bezpiecznikiem, który wyłącza się, gdy moc, z jaką pracują urządzenia kuchenne (podłączone do napięcia 230 V), przekroczy 3450 W.

W instalacji użyto bezpiecznika **A/ B/ C/ D**.

A. 5 A
B. 15 A
C. 10 A
D. 20 A

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.
W metalach znajdują się swobodne elektrony oraz dodatnie jony, które mogą jedynie wykonywać drgania.

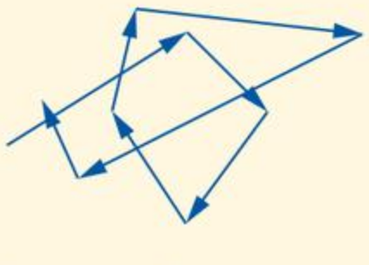
Ruch elektronu, gdy w metalu płynie prąd, najlepiej ilustruje rysunek **A/ B/ C**, ponieważ elektrony **D/ E/ F**.

A.



B.

C.



D. są bardzo małe w porównaniu z jonami, dzięki czemu mogą bez problemu poruszać się ciągle w jedną stronę

E. podczas ruchu zderzają się również z drgającymi dodatnimi jonami. Mimo wielu zderzeń przemieszczają się jednak w sposób ukierunkowany

F. podczas ruchu zderzają się również z drgającymi dodatnimi jonami. Z powodu ciągłych zderzeń nie przemieszczają się w uporządkowany sposób

2 Producenci oporników oprócz podanej wartości oporu elektrycznego podają także tzw. tolerancję, czyli zakres, w jakim może się zawierać opór. Przykładowo, jeżeli producent podał dla opornika opór 20 Ω z tolerancją 5%, to opór opornika mieści się w zakresie
od $20\ \Omega - 5\% \cdot 20\ \Omega = 19\ \Omega$
do $20\ \Omega + 5\% \cdot 20\ \Omega = 21\ \Omega$.
Opornik, dla którego producent podał opór elektryczny 100 Ω z tolerancją 2%, podłączono do napięcia 5 V. Jaki jest zakres wartości natężenia prądu, który może płynąć przez opornik, jeżeli uwzględnimy dane producenta?

3 Przez grzałkę o rezystancji 60 Ω (przedstawioną na zdjęciu), płynie prąd o natężeniu 3,8 A.



a) Oblicz moc grzałki.

b) W jakim czasie można podgrzać grzałką ćwierć litra wody o 80°C (np. od 20°C do 100°C). Załóż, że na ogrzewanie wody jest zużywane 60% mocy pobieranej przez grzałkę, a do ogrzania 1 litra wody o 1°C potrzeba 4200 J energii.



Projekt

Żarówka czy świetlówka

Problem badawczy

Czy opłaca się wymienić tradycyjne żarówki na świetlówki kompaktowe oraz oświetlenie typu LED?

Cele główne

Realizując ten projekt, możesz się dowiedzieć:

- gdzie szukać informacji przydatnych przy wyborze źródeł światła do domu,
- jakie są wady i zalety tradycyjnych żarówek, świetlówek i oświetlenia LED oraz jaki rodzaj oświetlenia będzie najbardziej ekonomiczny w wybranym pomieszczeniu w twoim domu,
- jak przemyślany wybór rodzaju oświetlenia może pomóc oszczędzać energię elektryczną.

Zadania szczegółowe

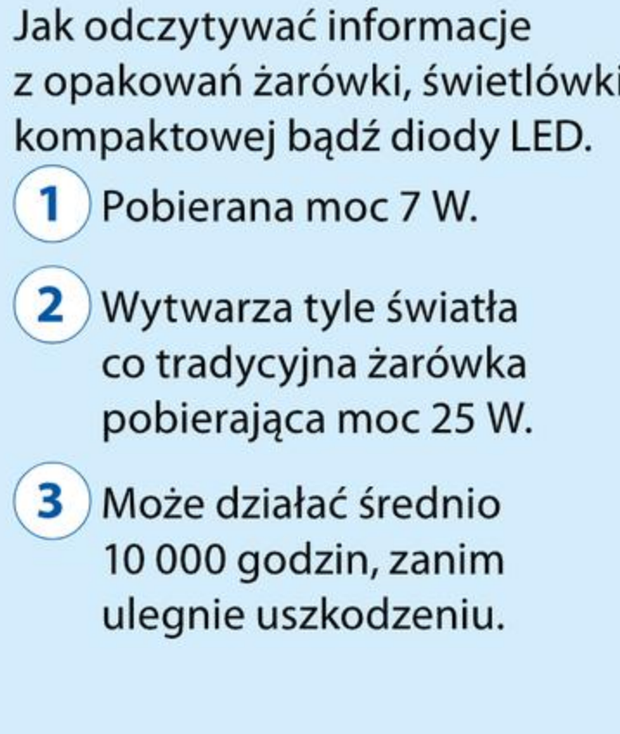
Zadanie 1

Spróbuj obliczyć, jaki rodzaj oświetlenia będzie najbardziej ekonomiczny w wybranym pomieszczeniu w twoim domu (np. w korytarzu, kuchni czy sypialni). W tym celu musisz zebrać pewne informacje i odpowiedzieć na poniższe pytania.

- Jakiej mocy żarówki, świetlówki kompaktowe oraz diody LED należałoby zastosować, aby dawały taką samą ilość światła, niezbędną do właściwego oświetlenia danego miejsca?

  Takie informacje znajdziesz na opakowaniach żarówek i świetlówek. Pamiętaj, że jeżeli do tej pory była stosowana żarówka 25 W, musisz wyszukać taką świetlówkę albo diodę LED, na której opakowaniu będzie zaznaczone, że ilość wytwarzanego światła odpowiada tradycyjnej żarówce 25 W (patrz zdjęcie obok).

- Jak długo dany rodzaj oświetlenia będzie działać, zanim ulegnie uszkodzeniu? Tę informację znajdziesz na opakowaniu albo stronie internetowej producenta.
- Ile czasu dany rodzaj oświetlenia jest używany w ciągu jednego dnia, a ile – w ciągu roku? Pamiętaj, że sztuczne oświetlenie w niektórych miejscach jest potrzebne dłużej w ciągu doby w miesiącach zimowych, a krócej w miesiącach letnich – uwzględnij ten fakt.
- Ile kosztują żarówka, świetlówka i oświetlenie LED wytwarzające taką samą ilość światła?



Jak odczytywać informacje z opakowań żarówki, świetlówki kompaktowej bądź diody LED.

1. Pobierana moc 7 W.
2. Wytwarza tyle światła co tradycyjna żarówka pobierająca moc 25 W.
3. Może działać średnio 10 000 godzin, zanim ulegnie uszkodzeniu.

Wskazówka. Na całkowity koszt oświetlenia składa się koszt energii elektrycznej, jaką zużyje dane źródło światła, oraz koszt żarówek, świetlówek czy diod LED, które zostaną zużyte w ciągu roku (uwzględniamy średni czas prawidłowego działania przewidziany przez producenta). Wyszukane informacje możesz zapisywać w tabeli, takiej jak zamieszczona poniżej.

Dane dotyczące źródła światła	Rodzaj źródła światła		
	Żarówka	Świetlówka kompaktowa	Oświetlenie LED
czas świecenia w ciągu roku – w godzinach			
czas działania przewidziany przez producenta – w godzinach			
liczba sztuk zużytych w ciągu roku			
koszt jednej sztuki			
koszt wszystkich sztuk zużytych w ciągu roku			
moc w kW			
ilość energii elektrycznej zużytej w ciągu roku w kWh			
koszt jednej kWh zużytej energii elektrycznej			
koszt energii elektrycznej zużytej w ciągu roku			
całkowity koszt: koszt zakupu oświetlenia + koszt zużytej energii elektrycznej			

Zadanie 2

Przeanalizuj zamieszczony przykład i wykonaj analogiczne obliczenia dla wybranych przez ciebie źródeł światła. Następnie porównaj koszty. Jakie wnioski możesz wyciągnąć?

PRZYKŁAD

Oblicz roczny koszt użytkowania tradycyjnej żarówki, na opakowaniu której znajdują się następujące informacje:

Zużywana moc: 60 W • Czas świecenia: 1000 godzin • Cena: 1,45 zł

Rozwiązanie:

W ciągu 3 miesięcy zimowych żarówka świeci średnio 13 h na dobę, w ciągu 6 miesięcy jesiennych i wiosennych – średnio 10 h na dobę, natomiast w czasie 3 miesięcy letnich – średnio 8 h na dobę. Daje to łącznie około 3700 godzin świecenia w ciągu roku.

Koszt 1 kWh energii wynosi 0,55 zł.

Jeżeli czas działania 1 żarówki wynosi 3700 godzin, a producent podaje średni czas świecenia 1000 godzin, to w ciągu roku zużyjemy 4 żarówki. Będzie nas to kosztowało:

$$4 \cdot 1{,}45 \text{ zł} = 5{,}8 \text{ zł}$$

Żarówka ma moc 0,06 kW, więc w ciągu roku zużyje:

$$0{,}06 \text{ kW} \cdot 3700 \text{ h} = 222 \text{ kWh}$$

Za zużytą energię zapłacimy:

$$0{,}55 \text{ zł} \cdot 222 = 122{,}1 \text{ zł}$$

Odpowiedź: Łącznie za zużyte żarówki i zużytą energię elektryczną zapłacimy w ciągu roku 127,9 zł.

Magnetyzm

Z tego rozdziału dowiesz się:

- jakie są bieguny magnesów i w jaki sposób oddziałują ze sobą,
- jak zachowuje się igła magnetyczna w obecności magnesu,
- jak działa kompas,
- gdzie są bieguny magnetyczne Ziemi,
- jak na przykładzie żelaza opisać oddziaływanie magnesów na materiały magnetyczne,
- do czego wykorzystuje się oddziaływania magnetyczne,
- jak zachowuje się igła magnetyczna w otoczeniu prostoliniowego przewodnika z prądem,
- jak jest zbudowany i jak działa elektromagnes,
- jak elektromagnesy i magnesy oddziałują na siebie wzajemnie,
- jakie zastosowania mają elektromagnesy,
- jaką rolę odgrywa oddziaływanie magnetyczne w silnikach elektrycznych.



11 Bieguny magnetyczne

Cel lekcji: Dowiesz się, jak magnesy oddziałują ze sobą. Zrozumiesz zasadę działania kompasu i poznasz właściwości magnetyczne Ziemi.

Magnetyzm

Oddziaływania magnetyczne interesowały ludzi już w starożytności, jednak poznanie ich natury trwało wiele stuleci. Dziś są one powszechnie wykorzystywane. Na najbliższych lekcjach będziemy się zajmować właściwościami magnetycznymi magnesów zwanych trwałymi oraz przewodników, w których płynie prąd.

CIEKAWOSTKA

Słowa „magnes", „magnetyt" (jedna z rud żelaza), „magnetyzm" pochodzą prawdopodobnie od nazwy starożytnego miasta Magnezja w Azji Mniejszej, w którym znaleziono magnetyt. Zdolność magnetytu do przyciągania małych kawałków żelaza opisał Tales z Miletu (przełom VII i VI w p.n.e.). Przetrwała też legenda, zgodnie z którą słowa „magnes", „magnetyt" i „magnetyzm" pochodzą od imienia pasterza Magnesa, który zauważył zjawisko przyciągania się kawałków rudy żelaza – magnetytu.



Magnetyt.

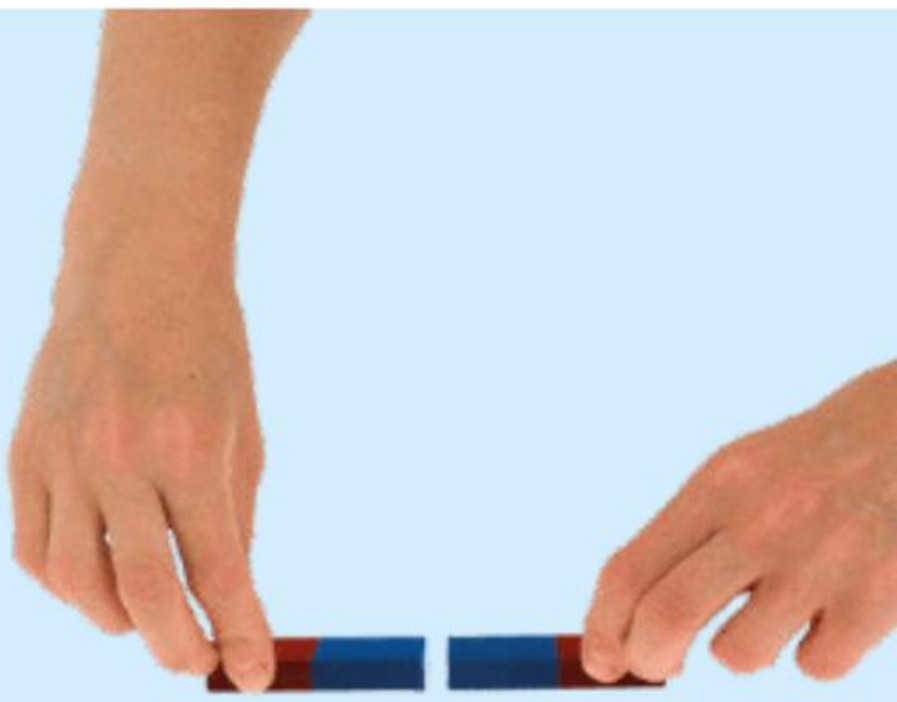
Oddziaływanie magnesów

Na początek wykonaj proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 23

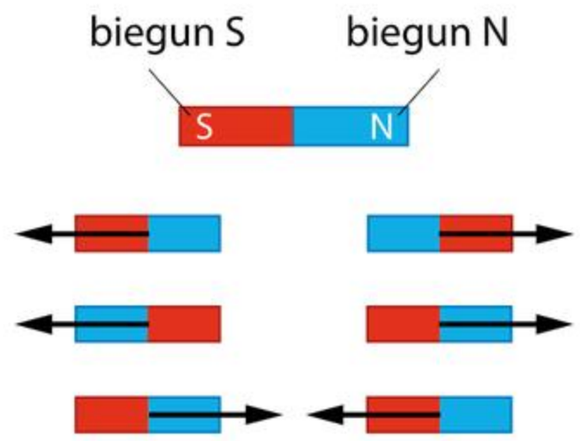
1. Przygotuj dwa magnesy sztabkowe, najlepiej niezbyt silne.
2. Jeden magnes dociśnij mocno do stołu, a drugi zbliżaj do pierwszego. Co obserwujesz?
3. Odwróć magnes trzymany w ręce tak, aby był zwrócony drugim biegunem do magnesu dociskanego do stołu i powtórz doświadczenie. Co zauważasz?

Wskazówka. Jeśli nie masz magnesów sztabkowych z oznaczonymi biegunami, możesz wykorzystać inne magnesy. Poeksperymentuj, zbliżając je do siebie różnymi stronami. W przypadku magnesów neodymowych zachowaj ostrożność, gdyż często są bardzo silne i mogą boleśnie przytrzasnąć rękę.



Bieguny jednoimienne się odpychają.

W doświadczeniu można zauważyć, że magnesy przyciągają się lub odpychają – w zależności od tego, jak są do siebie zwrócone.
Dzieje się tak dlatego, że **każdy magnes ma dwa bieguny** – N i S. Magnesy przyciągają się, gdy są zwrócone do siebie różnymi biegunami, a odpychają się, gdy są zwrócone do siebie jednakowymi biegunami.



Bieguny jednoimienne magnesów odpychają się, a różnoimienne – przyciągają.

Magnesy zwrócone do siebie biegunami jednoimiennymi odpychają się, a zwrócone biegunami różnoimiennymi – przyciągają się.

Kompas i bieguny magnetyczne Ziemi

Przyciąganie się i odpychanie biegunów magnetycznych wykorzystano w **kompasach**, których najważniejszą częścią jest **igła magnetyczna**. Igła magnetyczna to magnes w kształcie dwustronnej wskazówki. Jej ułożenie pozwala odczytać kierunek na kompasie. Aby zrozumieć zasadę działania kompasu, wykonaj doświadczenie.

W Polsce umownie biegun N magnesu oznacza się kolorem niebieskim, a biegun S – czerwonym. Możesz się jednak spotkać z innym oznaczeniem, np. w Wielkiej Brytanii biegun N ma przypisany kolor czerwony, a biegun S – niebieski.

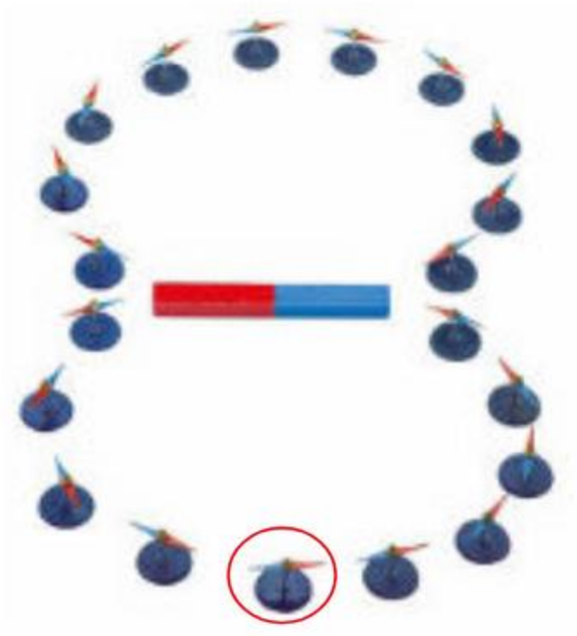
DOŚWIADCZENIE 24

1. Przygotuj magnes sztabkowy z oznaczonymi biegunami i kompas (lub igłę magnetyczną).
2. Połóż kompas najpierw przy jednym biegunie magnesu, a następnie przy drugim. Co obserwujesz?
3. Przesuwaj kompas od bieguna N magnesu do bieguna S w niewielkiej odległości od magnesu. Obserwuj igłę magnetyczną kompasu.
4. Ponownie przesuń kompas od bieguna N magnesu do bieguna S, ale po drugiej stronie magnesu.
5. Zwróć uwagę, jak jest ułożona igła kompasu, gdy leży on obok magnesu pośrodku jego długości.

Wskazówka. Jeśli masz kilka kompasów, umieść je dookoła magnesu.



W doświadczeniu 24 widać, że igła magnetyczna obraca się w miarę przesuwania obok magnesu. Gdy kompas leży obok magnesu, bieguny igły magnetycznej i magnesu są zwrócone w przeciwne strony.
Oddziaływanie magnesu na umieszczone dookoła niego igły magnetyczne jest takie, że układają się one dookoła magnesu wzdłuż linii, które tworzą pętle.



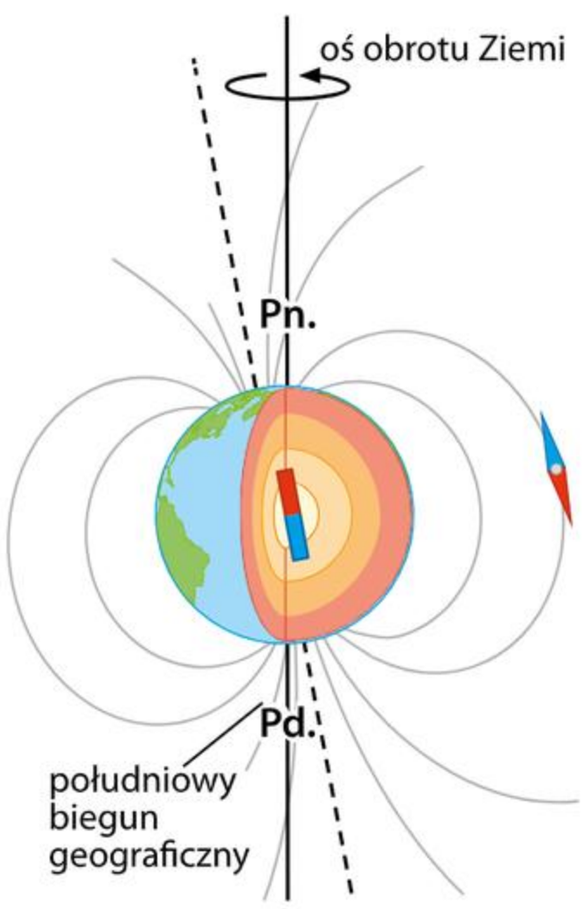
Bieguny igły magnetycznej zaznaczonej kółkiem są zwrócone przeciwnie do biegunów tego magnesu.

Ziemia jako magnes

Okazuje się, że Ziemia zachowuje się tak, jak gdyby w jej wnętrzu tkwił olbrzymi magnes, a igła kompasu przy jej powierzchni ustawia się podobnie jak obok magnesu sztabkowego.
Niebieski koniec igły magnetycznej (biegun N) wskazuje geograficzny kierunek północny (N: ang. *north* – północny), a czerwony koniec igły magnetycznej (biegun S) – wskazuje geograficzny kierunek południowy (S: ang. *south* – południowy).
Zwróć uwagę, że:

Oddziaływanie magnetyczne Ziemi jest takie, jak gdyby w jej wnętrzu tkwił magnes, który jest zwrócony końcem N w stronę południowego bieguna geograficznego, a końcem S w stronę północnego bieguna geograficznego.

Warto też zwrócić uwagę, że oś oddziaływania magnetycznego Ziemi i oś obrotu planety nie pokrywają się (patrz rysunek obok).



Ziemia, jako wielki magnes, oddziałuje z igłą magnetyczną kompasu.

CIEKAWOSTKA

Właściwości magnetyczne odkryto w Chinach. Pierwsze kompasy, tzw. geomantyczne, miały postać łyżki magnetycznej umieszczanej na specjalnej tarczy i były wykorzystywane do wróżb. W tej postaci kompas na pewno był już znany w I w. n.e. Później zaobserwowano, że igła magnetyczna pozostawiona swobodnie zawsze układa się wzdłuż jednego kierunku. Kompas służący do określania kierunków geograficznych przybrał postać igły magnetycznej unoszącej się na powierzchni wody. Udokumentowane opisy wykorzystania przez Chińczyków kompasu do nawigacji morskiej pochodzą z końca XI w. Do Europy przyrząd ten trafił pod koniec XII w. – prawdopodobnie drogą lądową przez Jedwabny Szlak.



Replika starożytnego chińskiego kompasu geomantycznego.

CIEKAWOSTKA

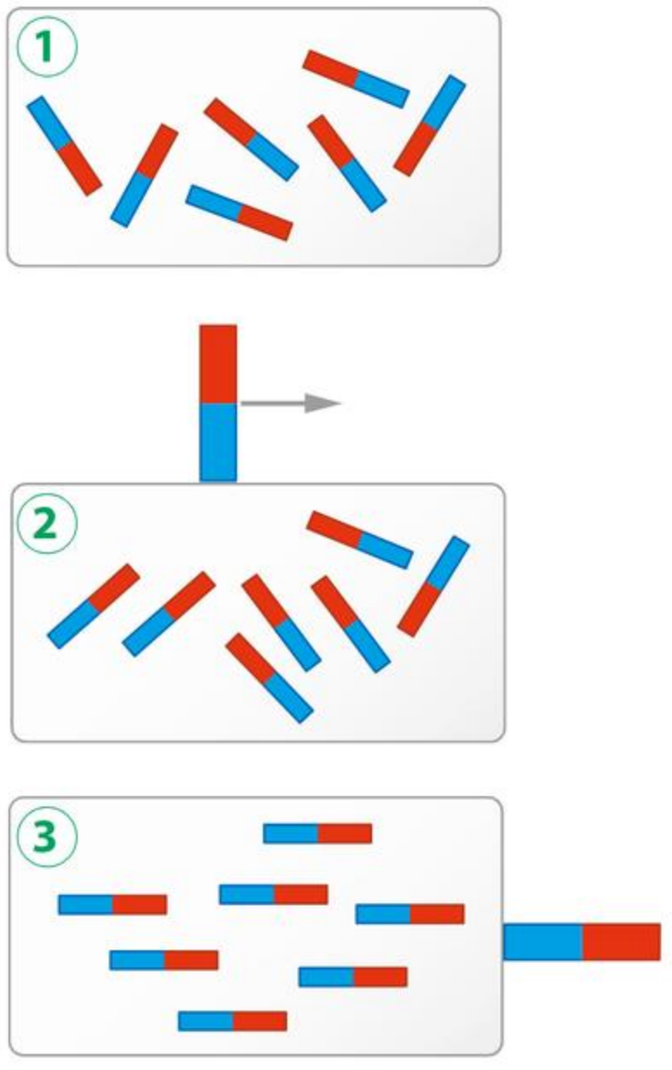
Niektóre ptaki mają zmysł magnetyczny i potrafią wyczuwać oddziaływanie magnetyczne Ziemi, co ułatwia im wybieranie właściwego kierunku lotu podczas corocznych wędrówek. Rekordzistką w tej dziedzinie jest prawdopodobnie rybitwa popielata, która każdego roku przelatuje trasę około 40 000 km z Arktyki na Antarktydę i z powrotem.



Ferromagnetyki

W przyrodzie występują substancje zwane **ferromagnetykami**, które mają silne właściwości magnetyczne. Ferromagnetykami są np. żelazo (które wchodzi w skład wielu stopów, m.in. stali), a także kobalt oraz nikiel i ich stopy. Ferromagnetyki mają specyficzną budowę wewnętrzną, która jest przyczyną ich właściwości magnetycznych. Znajdują się w nich obszary namagnesowania, tzw. **domeny magnetyczne**, które zachowują się jak małe magnesy. Domeny te są najczęściej ułożone chaotycznie (rys. 1 obok) i ich działanie może się wzajemnie znosić. Aby ferromagnetyk stał się **magnesem trwałym**, należy go namagnesować.

Nazwa „ferromagnetyk" pochodzi od łacińskiej nazwy żelaza (Fe): *ferrum*.

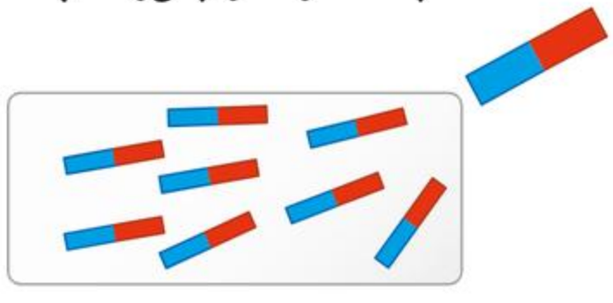


Schemat magnesowania ferromagnetyku.

Namagnesowanie ferromagnetyku polega na uporządkowaniu domen magnetycznych.

Można to zrobić różnymi sposobami. Jeden z nich polega na przesunięciu jednym z biegunów magnesu wzdłuż sztabki ferromagnetyku (rys. 2). Biegun magnesu przyciąga bieguny domen magnetycznych, które ustawiają się w sposób uporządkowany, tworząc magnes. W zilustrowanym przykładzie biegun N magnesu przyciągnął bieguny S domen (rys. 3).

Dzięki temu, że domeny magnetyczne ferromagnetyku po zbliżeniu magnesu układają się w uporządkowany sposób, magnes i nawet nienamagnesowany trwale ferromagnetyk przyciągają się wzajemnie.



Schemat oddziaływania magnesu i domen magnetycznych ferromagnetyku.



Wydobywanie rudy żelaza.

Możesz wykonać własny magnes trwały. W tym celu przeprowadź doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 25

1. Przygotuj: igłę, magnes, naczynie z wodą i kompas.
2. Namagnesuj igłę za pomocą magnesu, tak jak opisano na str. 123.
3. Połóż ostrożnie tę igłę na powierzchni wody.
4. Porównaj jej ułożenie z ułożeniem igły magnetycznej kompasu.

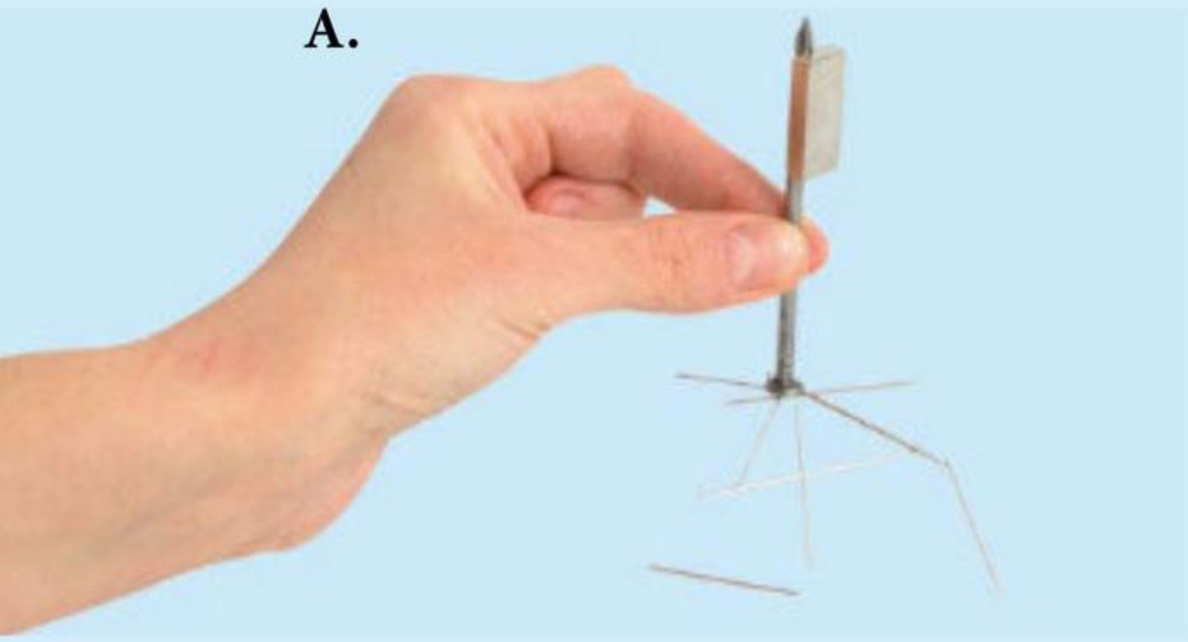


Wykonana z ferromagnetyku igła została namagnesowana. Po położeniu na powierzchni wody ułożyła się w kierunku zgodnym z kierunkiem igły magnetycznej w kompasie. Zwykła stalowa igła stała się igłą magnetyczną (kompasem). Dzięki temu, że ferromagnetyk ulega namagnesowaniu, można go wykorzystać do wzmacniania właściwości magnetycznych. Aby się o tym przekonać, wykonaj kolejne doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 26

1. Przygotuj: stalowy gwóźdź, magnes neodymowy i kilka szpilek lub igieł.
2. Połóż szpilki na stole.
3. Przyłóż magnes do gwoździa, tak jak pokazano na zdjęciu A.
4. Zbliż łepek gwoździa do szpilek. Zwróć uwagę, przy jakiej odległości od magnesu szpilki zostały przyciągnięte przez gwóźdź.
5. Połóż wszystkie szpilki na stole i zbliż do nich sam magnes, tak aby znalazł się nad nimi na podobnej wysokości jak w pierwszej części doświadczenia.
6. Sprawdź, czy z tej odległości magnes przyciąga szpilki. Co zauważasz?

A.



B.



Gwóźdź namagnesował się pod wpływem magnesu i przyciągnął szpilki.

W pierwszej części doświadczenia 26 gwóźdź pod wpływem magnesu został namagnesowany (sam stał się magnesem) i przyciągnął szpilki. W drugiej części doświadczenia zbliżenie magnesu do szpilek na podobną odległość nie spowodowało ich przyciągnięcia. Oznacza to, że gwóźdź – wykonany z ferromagnetyku – wzmacnia oddziaływanie magnetyczne magnesu.

CIEKAWOSTKA

Ferromagnetyk o odpowiednim kształcie można wykorzystać również do zmniejszenia oddziaływania magnetycznego magnesu trwałego na inne obiekty. Mamy wtedy do czynienia z tzw. **ekranowaniem magnetycznym**.

Ekranowanie magnetyczne znalazło zastosowanie np. w głośnikach. Na zdjęciu A pokazano głośnik nieekranowany. Jeżeli magnes głośnika zostanie obudowany stalową osłoną, to jej obecność znacznie zmniejszy wpływ oddziaływań magnetycznych, np. na elementy elektroniczne w sąsiednich urządzeniach (zdjęcie B).

Ekranowanie magnetyczne wykonuje się również wokół niektórych bardzo precyzyjnych przyrządów pomiarowych, aby odizolować je od wpływu oddziaływań magnetycznych Ziemi.

A.



B.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- Każdy magnes ma **dwa bieguny**: N i S.
- Magnesy zwrócone do siebie biegunami różnoimiennymi **przyciągają się**, a zwrócone biegunami jednoimiennymi – **odpychają się**.
- Ziemia zachowuje się tak, jakby w jej wnętrzu był olbrzymi magnes.
- Biegun N igły kompasu wskazuje północny kierunek geograficzny, a biegun S – południowy.
- **Ferromagnetyk** wykazuje silne właściwości magnetyczne. Jest substancją, w której występują domeny magnetyczne.
- **Domeny magnetyczne** to bardzo małe obszary namagnesowania wewnątrz ferromagnetyku.
- **Magnes trwały** to ferromagnetyk po uporządkowaniu domen magnetycznych.
- **Namagnesowanie** to stan uporządkowania domen magnetycznych w ferromagnetykach.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Trzy kawałki żelaza, których strony oznaczono literami, oddziałują w sposób pokazany na rysunkach. Niektóre z żelaznych bloczków są trwale namagnesowane (są magnesami trwałymi), a niektóre są nienamagnesowane. Wybierz zdania prawdziwe.

I. 

III. 

II. 

IV. 

A. Na rysunku II są przedstawione magnesy zwrócone tymi samymi biegunami.

B. Jeżeli po stronie oznaczonej literą B znajduje się biegun S, to po stronie oznaczonej literą D znajduje się biegun N.

C. Jeżeli po stronie oznaczonej literą A znajduje się biegun N, to po stronie oznaczonej literą D znajduje się biegun S.

D. Kawałek żelaza oznaczony literami E i F nie jest trwale namagnesowany.

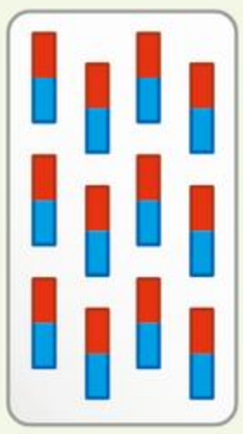
2 Do magnesu sztabkowego przyczepił się nienamagnesowany gwóźdź, a następnie do gwoździa przyczepiła się nienamagnesowana szpilka, tak jak pokazano na rysunku.

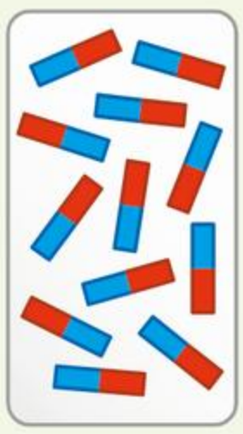


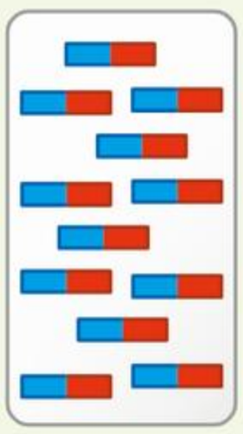
Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

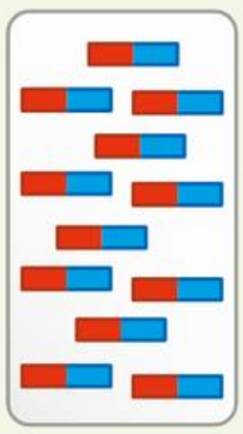
Ułożenie domen magnetycznych w gwoździu przed przyczepieniem do magnesu najlepiej odzwierciedla rysunek **A/ B/ C/ D/ E**.

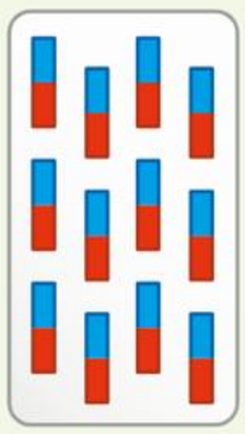
Ułożenie domen magnetycznych w szpilce po tym, jak została przyciągnięta do gwoździa, najlepiej pokazuje rysunek **A/ B/ C/ D/ E**.

A. 

B. 

C. 

D. 

E. 

3 Igła magnetyczna kompasu z wyszczerbionym końcem początkowo była ustawiona tak jak na rysunku I na str. 127. Igła była wtedy daleko od wszelkich źródeł oddziaływania magnetycznego oprócz Ziemi.

Gdy zbliżono do kompasu magnes, igła obróciła się wyszczerbionym końcem w jego kierunku, tak jak na rysunku II. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Początkowo wyszczerbiony fragment igły magnetycznej wskazywał **A/ B** kierunek geograficzny Ziemi.

A. północny

B. południowy

I.



II.



4 Na dwóch spośród poniższych zdjęć przedstawiono praktyczne zastosowanie oddziaływania magnesów z ferromagnetykami.

A.



B.



C.



D.



a) Na których zdjęciach znajdują się przedmioty wykorzystujące te oddziaływania?

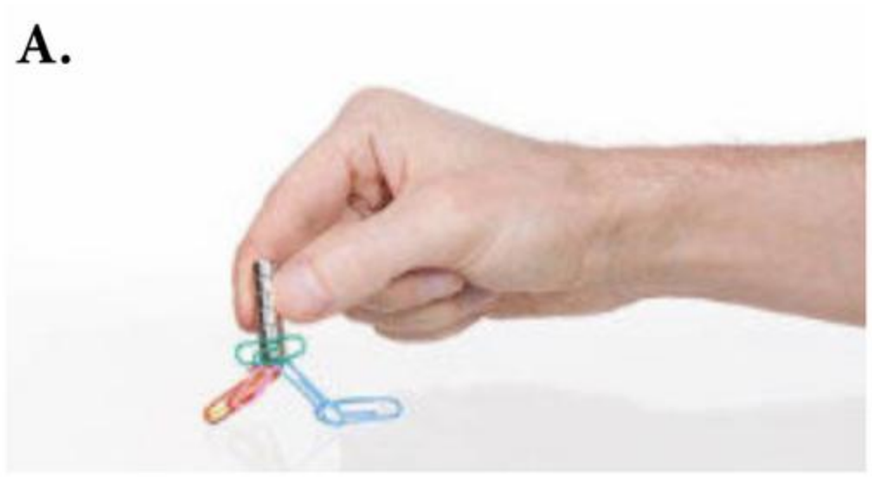
b) Uzasadnij wybór, krótko opisując, dlaczego w tych przedmiotach znalazły zastosowanie magnesy.

5 Wykonaj doświadczenie, które pokazuje ekranowanie magnetyczne (patrz ciekawostka na str. 125).

DOŚWIADCZENIE 27

1. Przygotuj: magnes, płaski stalowy przedmiot (np. łopatkę do ciasta) i drobne stalowe przedmioty (np. spinacze biurowe lub szpilki).
2. Sprawdź, czy magnes przyciąga szpilki lub spinacze.
3. Umieść płaski stalowy przedmiot na magnesie (magnes sam go przyciągnie).
4. Zbliż magnes do spinaczy (lub szpilek) w taki sposób, aby stalowy przedmiot znajdował się między magnesem a spinaczami (patrz zdjęcie B). Co zauważasz?

A.



B.



12 Właściwości magnetyczne przewodnika z prądem

Cel lekcji: Dowiesz się, jak przewodniki, w których płynie prąd, oddziałują ze sobą i z magnesami trwałymi. Poznasz wnioski, które płyną z doświadczenia Oersteda.

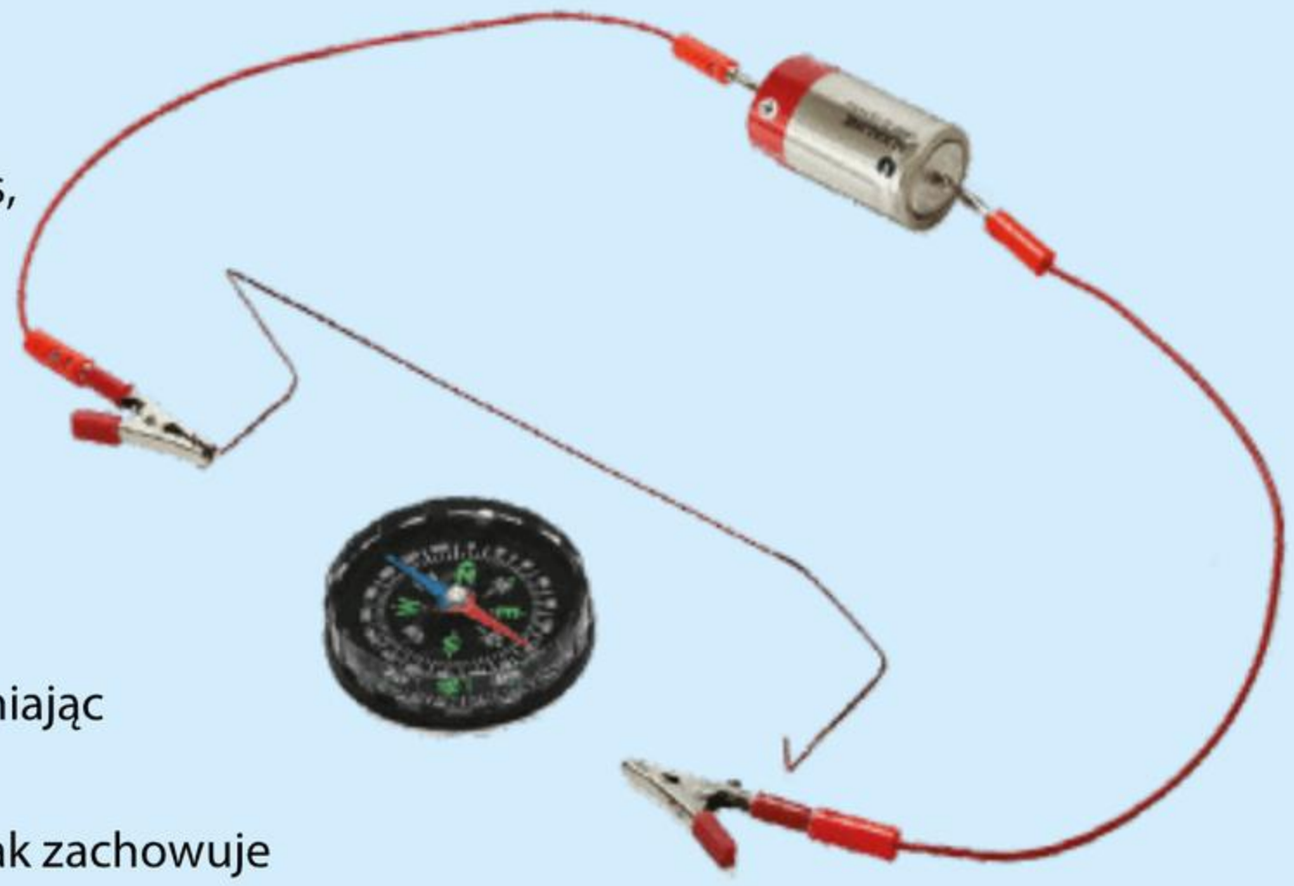
Doświadczenie Oersteda

Potrafisz już opisać właściwości magnesów trwałych. Okazuje się, że również przewodniki, w których płynie prąd, wykazują właściwości magnetyczne. Odkrył to duński fizyk **Hans Christian Oersted** (czyt. ersted) w 1820 roku. Powtórz doświadczenie, które po raz pierwszy wykonał ten uczony.

DOŚWIADCZENIE 28

1. Przygotuj: igłę magnetyczną lub kompas, przewód elektryczny i baterię.
2. Zmontuj układ tak jak na zdjęciu. Zadbaj o to, aby przewodnik nad kompasem był ułożony na linii północ–południe.
3. Zamknij obwód. Co obserwujesz?
4. Zmień kierunek przepływu prądu (zmieniając bieguny baterii). Co zauważasz?

Wskazówka. Poeksperymentuj i sprawdź, jak zachowuje się igła, gdy przewód nad kompasem jest zorientowany w linii wschód–zachód oraz pod dowolnym kątem.



Po zamknięciu obwodu igła kompasu wychyla się.

CIEKAWOSTKA

Hans Christian Oersted (1777–1851) był duńskim fizykiem, który zajmował się zagadnieniami związanymi z prądem elektrycznym i magnetyzmem. Stwierdził, że prąd elektryczny oddziałuje magnetycznie. Odkrycie to było wtedy nazywane efektem magnetycznym prądu elektrycznego. Doświadczenie Oersteda i odkryte przez niego zjawisko zapoczątkowały intensywny rozwój badań nad właściwościami magnetycznymi przewodników z prądem i umożliwiły odkrycie innych zjawisk, np. indukcji elektromagnetycznej. Uczony zajmował się również inną dziedziną nauki – chemią. W 1825 roku odkrył i wyodrębnił pierwiastek glin (Al).



Igła magnetyczna wychyla się w chwili zamknięcia obwodu elektrycznego. Po wyłączeniu prądu wraca do pierwotnego położenia. Zmiana kierunku przepływu prądu powoduje wychylenie się igły magnetycznej w przeciwną stronę.

Oddziaływanie magnesów trwałych i przewodników z prądem

Doświadczenie Oersteda pokazuje, że przewodnik, w którym płynie prąd, oddziałuje magnetycznie. Spróbujmy nieco dokładniej zbadać to zjawisko. W tym celu wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 29

1. Przygotuj: długi, cienki drut miedziany w izolacji, przewody, baterię R20, magnes neodymowy, statyw lub linijkę oraz kilka książek.
2. Z drutu wykonaj zwojnicę: nawiń kilkadziesiąt (przynajmniej 20) zwojów drutu na palce, pozostawiając długie końcówki.

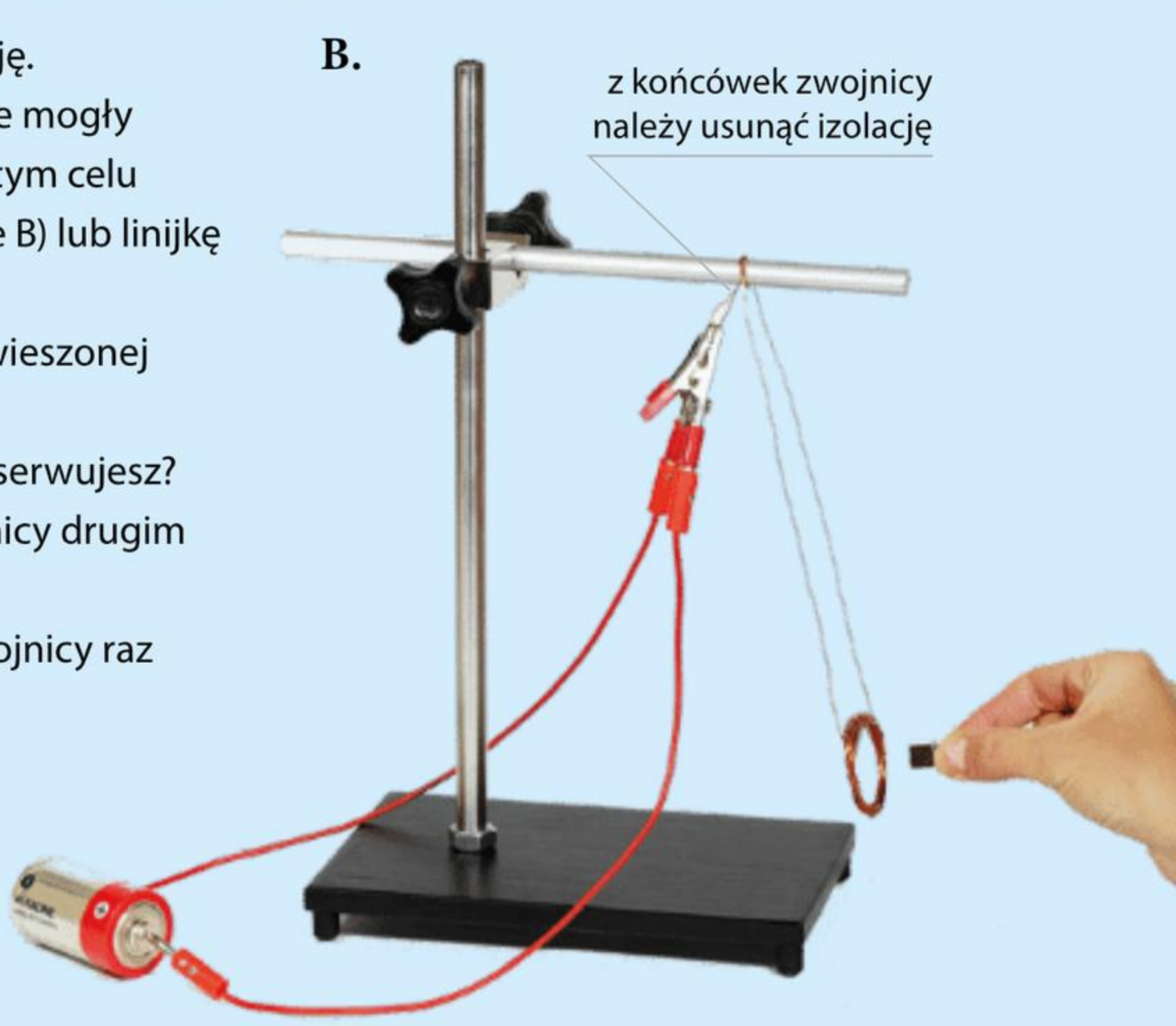
Wskazówka. Aby zwojnica pozostała ciasno zwinięta, możesz jej pętle ścisnąć i okleić w dwóch miejscach taśmą klejącą lub obwiązać kawałkami drutu (patrz zdjęcie A).

A.



3. Z końcówek zwojnicy usuń izolację.
4. Zawieś zwojnicę tak, aby jej końce mogły się swobodnie wahać. Możesz w tym celu wykorzystać statyw (patrz zdjęcie B) lub linijkę podpartą książkami.
5. Podłącz baterię do końcówek zawieszonej zwojnicy.
6. Zbliż do zwojnicy magnes. Co obserwujesz?
7. Następnie zbliż magnes do zwojnicy drugim biegunem. Co zauważasz?
8. Zbliż magnes z drugiej strony zwojnicy raz jednym biegunem, raz drugim.
9. Zmień kierunek przepływu prądu przez zwojnicę (podłącz odwrotnie baterię) i powtórz doświadczenie.
10. Odłącz baterię i sprawdź, czy magnes oddziałuje ze zwojnicą.

B.

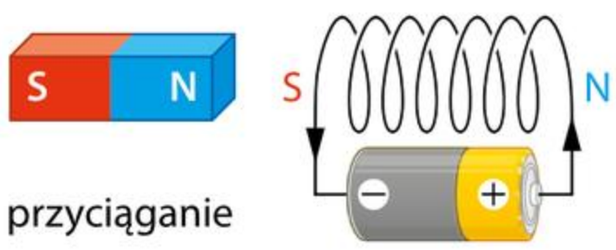


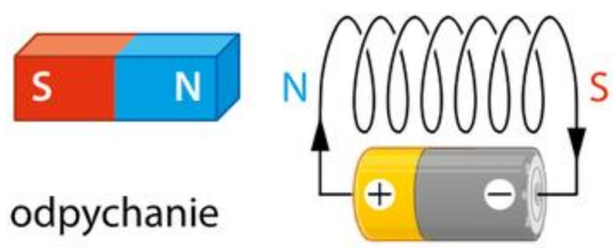
Wskazówka. Jeśli doświadczenie się nie udaje, można do pętli podłączyć dwie baterie R20. Należy jednak uważać, bo przewody mogą się bardzo rozgrzewać.

Zwojnica, przez którą płynął prąd, była przyciągana lub odpychana przez magnes trwały w zależności od tego, który biegun magnesu do niej zbliżono i jak podłączona była bateria. Kiedy prąd przez zwojnicę nie płynął, nie wykazywała ona żadnych właściwości magnetycznych.

Zwojnica, przez którą płynie prąd, zachowuje się jak magnes. Ułożenie biegunów magnetycznych takiej zwojnicy zależy od kierunku przepływu prądu.

Na rysunku przedstawiono schematycznie bieguny magnetyczne zwojnicy i kierunek płynącego przez nią prądu.





Oddziaływanie magnetyczne dwóch przewodników z prądem

Skoro zwojnica, przez którą płynie prąd, zachowuje się jak magnes, to dwie zwojnice również powinny się przyciągać i odpychać w zależności od kierunku przepływu prądu. Sprawdź to, wykonując doświadczenie.

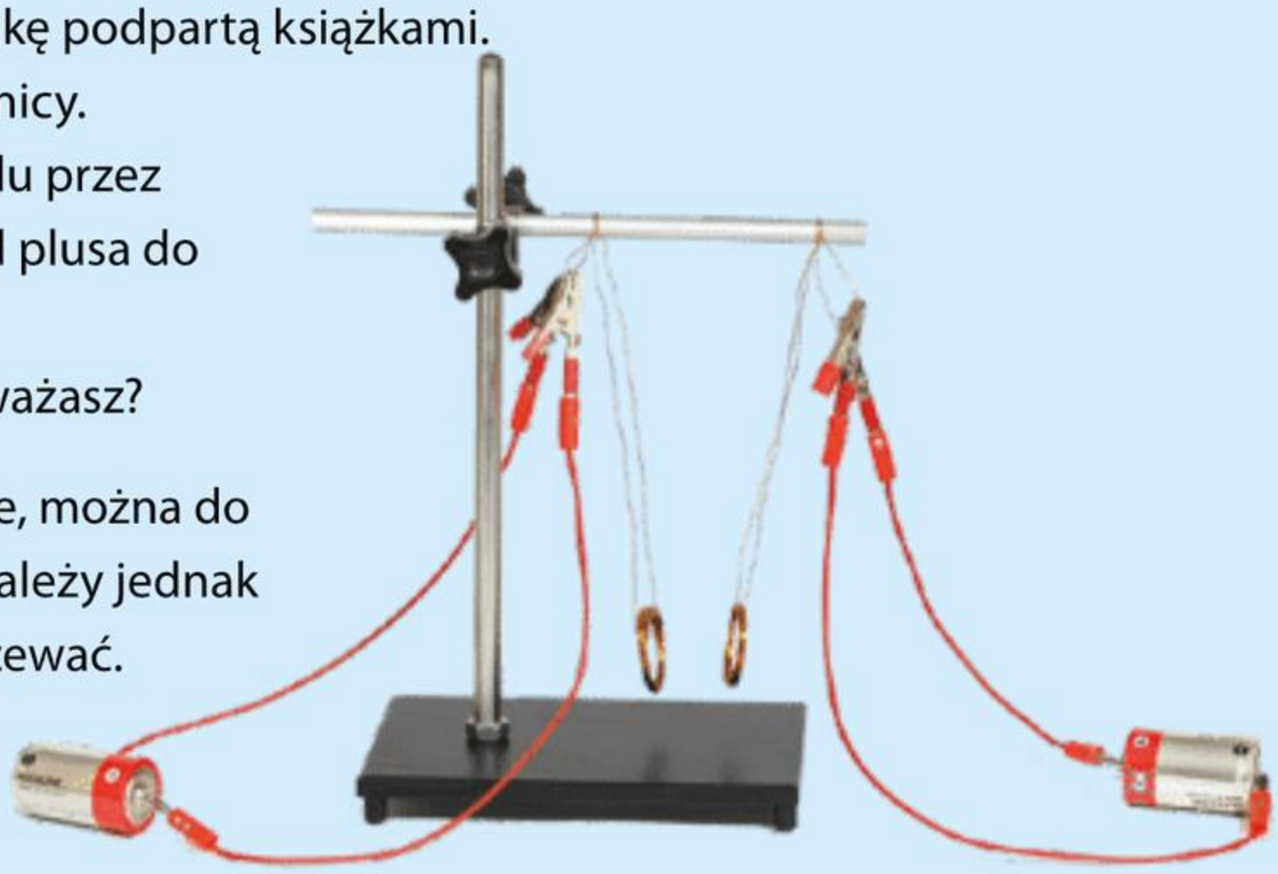
DOŚWIADCZENIE 30

1. Przygotuj: długi cienki drut miedziany w izolacji, przewody, dwie baterie R20, statyw lub linijkę oraz kilka książek.
2. Drut podziel na dwie części. Z każdego kawałka wykonaj zwojnicę: nawiń kilkadziesiąt (przynajmniej 20) zwojów drutu na palce, pozostawiając długie końcówki.

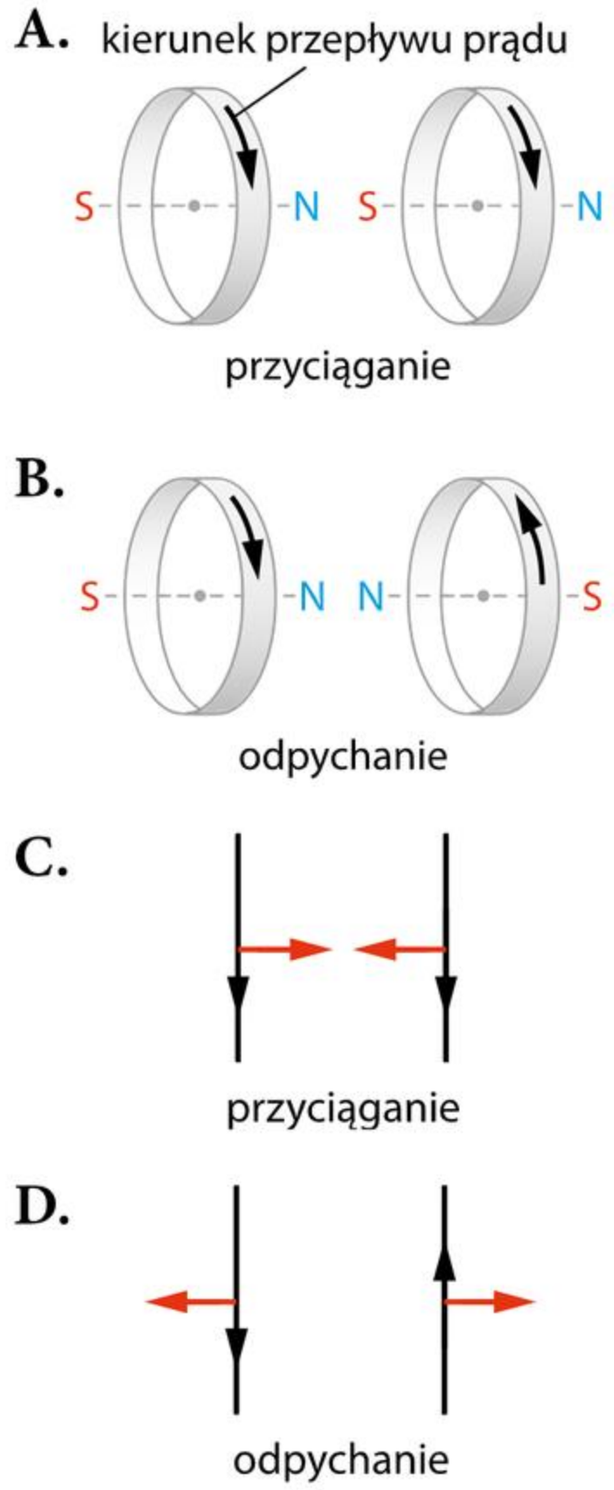
Wskazówka. Aby zwojnica pozostała ciasno zwinięta, możesz jej pętle ścisnąć i okleić w dwóch miejscach taśmą klejącą lub obwiązać kawałkami drutu.

3. Z końcówek zwojnic usuń izolację.
4. Zawieś obie zwojnice tak, aby mogły się swobodnie wahać. Możesz w tym celu wykorzystać statyw (patrz zdjęcie) lub linijkę podpartą książkami.
5. Podłącz baterie do końcówek każdej zwojnicy. Zwróć uwagę na kierunek przepływu prądu przez obie zwojnice (pamiętaj, że prąd płynie od plusa do minusa). Co obserwujesz?
6. Jedną baterię podłącz odwrotnie. Co zauważasz?

Wskazówka. Jeśli doświadczenie się nie udaje, można do każdej pętli podłączyć po dwie baterie R20. Należy jednak uważać, bo przewody mogą się bardzo rozgrzewać.



Wykonując doświadczenie 29, możemy się przekonać, że dwie zwojnice rzeczywiście przyciągają się i odpychają, podobnie jak magnesy trwałe. Ich wzajemne oddziaływanie zależy od kierunku przepływu prądu. Przedstawiono to na rysunkach A i B obok. Dla uproszczenia narysowano tylko jeden zwój zwojnicy. Taki przewodnik (pojedynczy zwój) nazywa się **przewodnikiem kołowym**.



Oddziaływanie magnetyczne występuje również między dwoma prostoliniowymi przewodnikami, przez które płynie prąd elektryczny, umieszczonymi względem siebie równolegle. Podobnie jak w wypadku przewodników kołowych, jeśli prąd płynie przez przewodniki prostoliniowe w tę samą stronę, to będą się one przyciągać, a jeśli prąd płynie w przeciwnych kierunkach – będą się odpychać (rys. C i D).

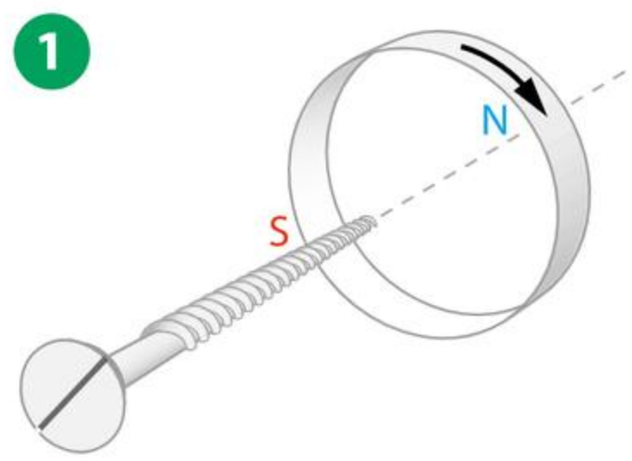
Jeśli prąd płynie w tę samą stronę przez dwa równolegle ułożone przewodniki, przyciągają się one, a jeśli prąd płynie w przeciwnych kierunkach – odpychają się.

Przewodnik kołowy a biegunowość

Biegunowość magnetyczną przewodnika kołowego, przez który płynie prąd elektryczny, można wyznaczać różnymi sposobami.

1 Jeden z nich, zwany metodą **śruby prawoskrętnej** lub korkociągu, przedstawiono na rysunku 1.

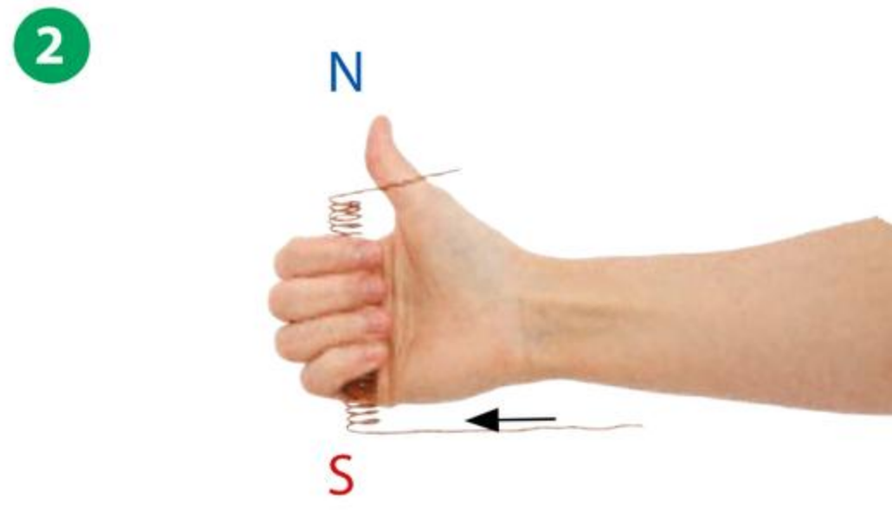
Śruba prawoskrętna wkręcana w środek przewodnika kołowego zgodnie z kierunkiem płynącego w nim prądu wskaże swoim czubkiem biegun N przewodnika kołowego, a po stronie łepka będzie biegun S.



Ilustracja metody śruby prawoskrętnej.

2 Bieguny zwojnicy możesz wyznaczyć także w inny sposób – **metodą prawej dłoni**.

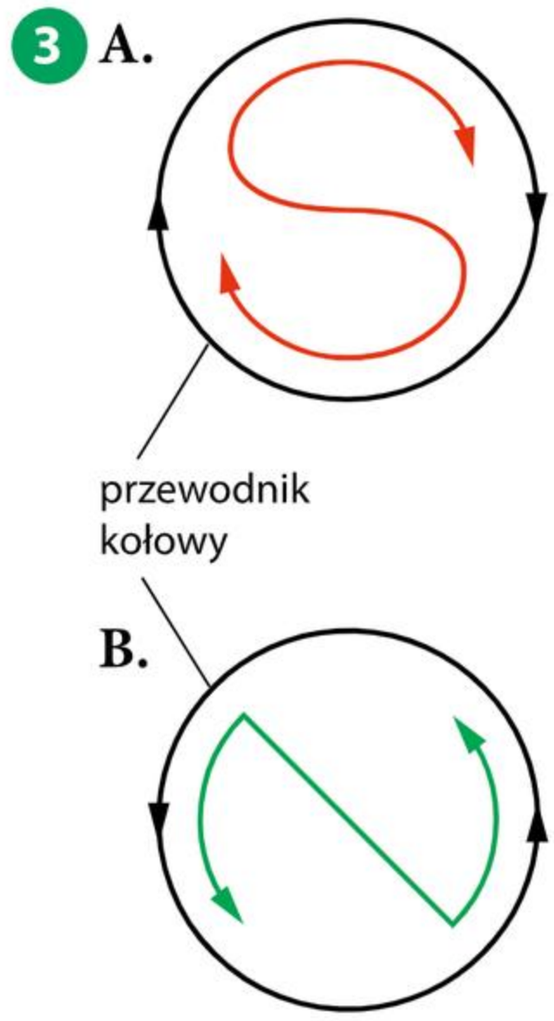
Jeśli palce prawej dłoni ułożysz tak, żeby wskazywały kierunek przepływu prądu, to odgięty kciuk wskaże biegun N magnetyczny zwojnicy.



Ilustracja metody prawej dłoni.

3 Jeszcze inną metodę określającą bieguny magnetyczne przedstawiono na rysunku obok.

- Jeśli strzałki oznaczające kierunek przepływu prądu elektrycznego układają się w kształt litery S, przed obserwatorem jest biegun S (rys. A).
- Jeśli strzałki oznaczające kierunek przepływu prądu elektrycznego układają się w kształt litery N, przed obserwatorem jest biegun N (rys. B).

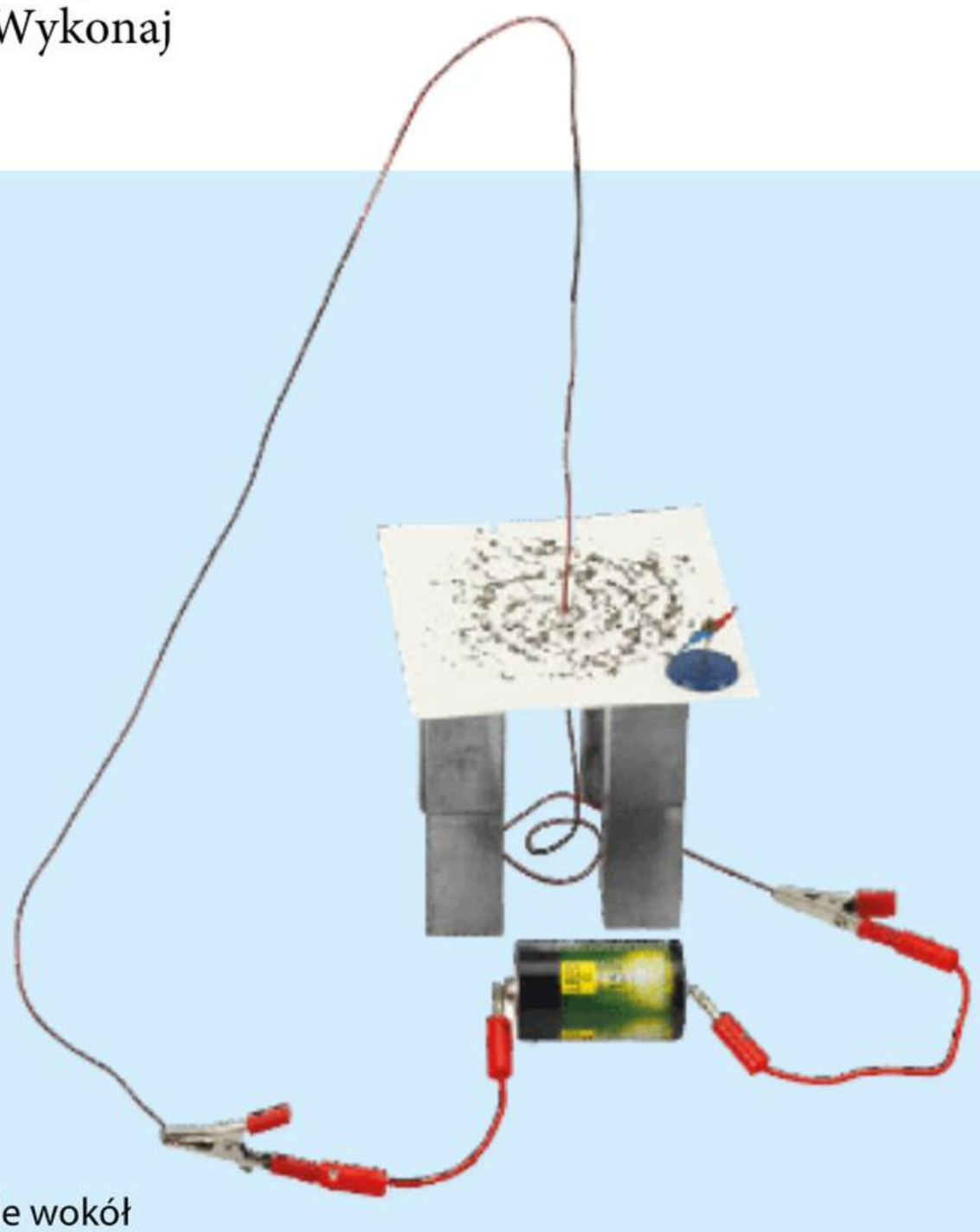


Oddziaływanie magnetyczne wokół prostoliniowego przewodnika z prądem

Wiesz już, w jaki sposób magnetycznie oddziałują zwojnice, przez które płynie prąd. Jak pamiętasz z poprzedniej lekcji, magnes trwały oddziaływał na igły magnetyczne tak, że układały się one wzdłuż linii tworzących pętle. W przypadku zwojnic z prądem będzie podobnie. A jak zachowa się igła kompasu w otoczeniu prostoliniowego przewodnika? Wykonaj doświadczenie, aby się tego dowiedzieć.

DOŚWIADCZENIE 31

1. Przygotuj: kwadratową tekturkę, długi drut np. miedziany, baterię R20, kompas, żelazne opiłki i cztery podpórki pod tekturkę (np. klocki).
2. Umieść tekturkę na podpórkach.
3. Drut przebij przez środek tekturki i podłącz do baterii, jak pokazano na zdjęciu.
4. Po włączeniu prądu przesuwaj kompas dookoła drutu po tekturce. Obserwuj ustawienie igły magnetycznej.
5. Jeśli masz żelazne opiłki, rozsyp je równomiernie w pobliżu miejsca, w którym drut przechodzi przez tekturkę. Co obserwujesz?



Opiłki układają sie wokół przewodnika z prądem wzdłuż współśrodkowych okręgów.

Zauważ, że linie, wzdłuż których igła kompasu lub opiłki układają się wokół przewodnika, mają **kształt współśrodkowych okręgów**.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Dzięki temu, że przewód, przez który płynie prąd, jest źródłem oddziaływań magnetycznych, można wykrywać przewody elektryczne umieszczone w ścianach pod tynkiem lub boazerią. Za pomocą specjalnego urządzenia (patrz zdjęcie) możemy precyzyjnie określić położenie tych przewodów. Dzięki temu, wiercąc otwór czy wbijając gwóźdź, jesteśmy pewni, że nie przebijemy przewodu pod napięciem i nie porazi nas prąd.



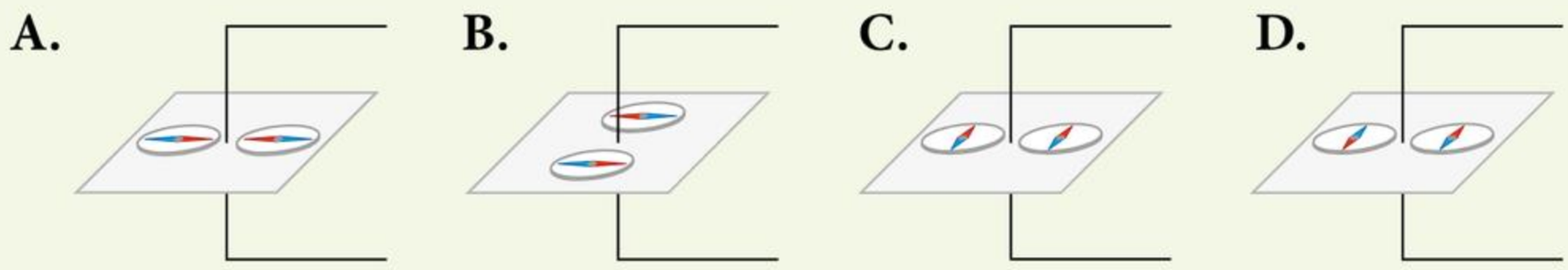
TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Przewodniki**, przez które płynie prąd elektryczny, mają właściwości magnetyczne.
- **Przewodnik kołowy**, przez który płynie prąd, ma bieguny magnetyczne, podobnie jak sztabkowy magnes trwały.
- Ułożenie biegunów kołowego przewodnika z prądem zależy od kierunku przepływu prądu.
- Przewodniki, w których prąd płynie w tę samą stronę, przyciągają się, a te, w których prąd płynie w przeciwnych kierunkach – odpychają się.

Rozwiąż zadania

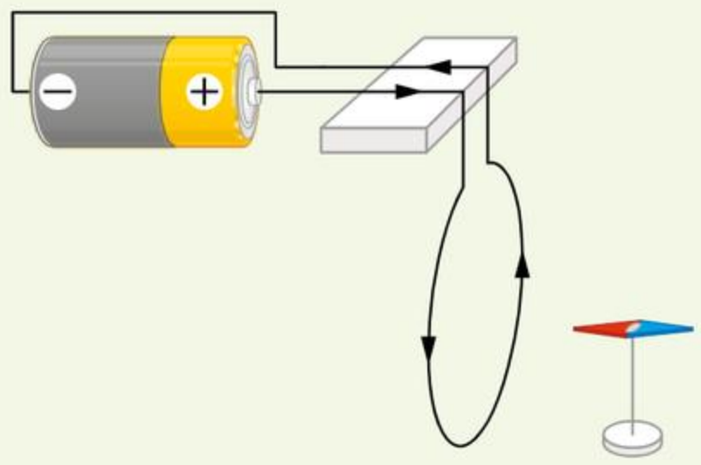
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż dwa rysunki przedstawiające możliwe ustawienie igieł magnetycznych w pobliżu przewodnika, przez który płynie prąd.



2 Czy jest możliwe takie ustawienie igły kompasu w pobliżu przewodu, że igła nie obróci się, jeśli w przewodzie zacznie płynąć prąd? Uzasadnij odpowiedź.

3 Do pętli podłączonej do baterii zbliżono igłę kompasu. Igła ustawiła się tak jak na rysunku.
Wybierz zdanie fałszywe.



A. Jeżeli zamienimy bieguny baterii, igła kompasu obróci się o 180°.

B. Jeżeli umieścimy igłę kompasu z lewej strony pętli, będzie ona ustawiona tak samo jak igła umieszczona z prawej strony pętli.

C. Jeżeli chcemy, aby pętla odchyliła się w lewo, z prawej strony pętli należy zbliżyć magnes zwrócony biegunem S w stronę pętli.

4 Wskaż na fotografii bieguny S i N zwojnicy podłączonej do baterii.



5 O tym, jak oddziałują ze sobą prostoliniowe przewodniki, możesz się przekonać, wykonując następujące doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 32



1. Przygotuj: cztery baterie R20, dwa paski folii aluminiowej o długości 50 cm i szerokości 1 cm, patyczek (np. do szaszłyków), przewody oraz statyw lub kilka książek do wykorzystania jako podpórki.
2. Zmontuj dwa obwody jak na zdjęciu. Paski folii muszą luźno zwisać z patyczka, ale nie mogą się ze sobą stykać.
3. Zamknij obwody i obserwuj, co się dzieje z paskami folii.
4. W jednym obwodzie podłącz baterie odwrotnie. Co zauważasz?
5. Narysuj w zeszycie schemat pierwszej i drugiej części doświadczenia, oznacz na nim kierunki przepływu prądu w obwodach i opisz lub zaznacz, w jaki sposób oddziaływały ze sobą paski folii.

13 Elektromagnes – budowa, działanie, zastosowanie

Cel lekcji: Dowiesz się, jak jest zbudowany elektromagnes oraz jak można wzmocnić jego właściwości magnetyczne. Poznasz także zastosowania elektromagnesów.

Budowa elektromagnesu

Z dotychczasowych rozważań wiesz, że zwojnica, przez którą płynie prąd elektryczny, działa jak magnes. Wiesz już, że niektóre substancje, tzw. ferromagnetyki, wykazują właściwości magnetyczne. Sprawdź, co się stanie, gdy we wnętrzu zwojnicy umieścisz ferromagnetyk. Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 33

1. Przygotuj: izolowany drut (najlepiej miedziany), gruby stalowy gwóźdź, dwie baterie R20 oraz drobne przedmioty żelazne lub stalowe (np. gwoździki czy szpilki).
2. Nawiń drut na gwóźdź.
3. Wyjmij gwóźdź z powstałej zwojnicy, a następnie podłączoną do baterii zwojnicę zbliż jednym końcem do gwoździków lub szpilek. Co się dzieje?
4. Umieść gwóźdź w zwojnicy i ponownie zbliż ją do gwoździków. Co zauważasz?
5. Podłącz do zwojnicy dwie baterie połączone szeregowo i powtórz doświadczenie.
6. Zmień liczbę zwojów zwojnicy, np. odwiń i odetnij część drutu, i sprawdź, jak przyciągane są gwoździki, najpierw gdy podłączona jest jedna bateria, a następnie – dwie baterie.
7. Przerwij obwód elektryczny. Co obserwujesz?



Zwojnica bez gwoździa najprawdopodobniej nie była w stanie przyciągnąć gwoździków lub przyciąganie było bardzo słabe. Umieszczenie gwoździa wewnątrz zwojnicy spowodowało, że stalowe przedmioty były przyciągane. Przerwanie obwodu prądu elektrycznego sprawiło, że gwoździki odpadły.
Zbudowane przez ciebie urządzenie jest najprostszym **elektromagnesem**.

Elektromagnes składa się ze zwojnicy i umieszczonego w niej rdzenia wykonanego z ferromagnetyku.

W doświadczeniu rdzeniem elektromagnesu był gwóźdź. Umieszczenie rdzenia ze **stali miękkiej** (patrz ciekawostka poniżej), która jest ferromagnetykiem, sprawia, że domeny magnetyczne wewnątrz rdzenia zostają uporządkowane zgodnie z biegunowością zwojnicy. Oddziaływanie rdzenia zawierającego uporządkowane domeny wzmacnia oddziaływanie samej zwojnicy.

Elektromagnesy działają jak magnesy. Ich działanie można także wzmocnić, zwiększając liczbę zwojów nawiniętych na rdzeń lub wartość natężenia prądu płynącego przez zwojnicę.

CIEKAWOSTKA

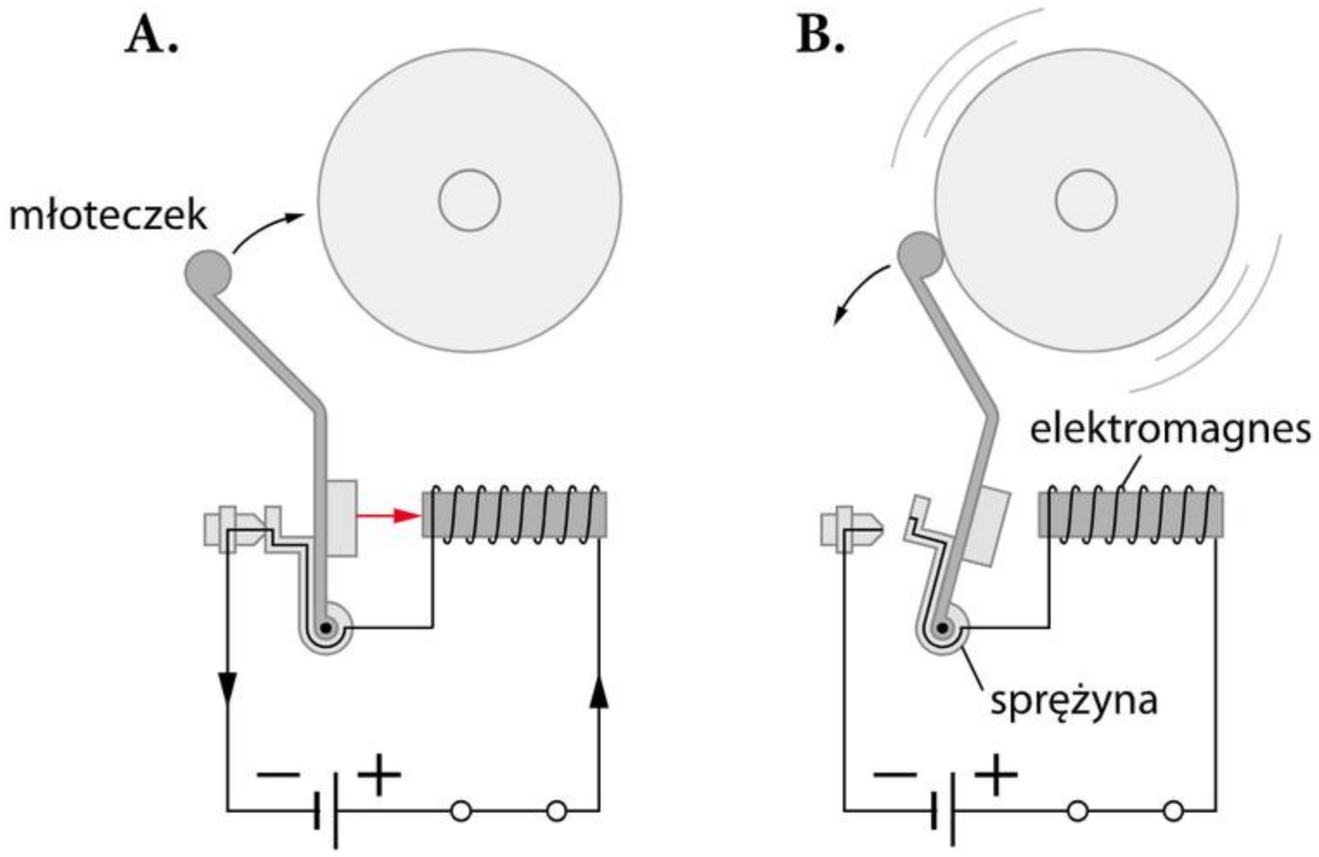
Stal twarda to stop żelaza z domieszką niklu, kobaltu i glinu. Trudno ją namagnesować i rozmagnesować. Jest stosowana do produkcji magnesów trwałych.

Stal miękka to stop żelaza z domieszką krzemu. Łatwo się magnesuje i łatwo rozmagnesowuje. Wykonuje się z niej rdzenie elektromagnesów.

Jak działają dzwonki i zamki elektromagnetyczne

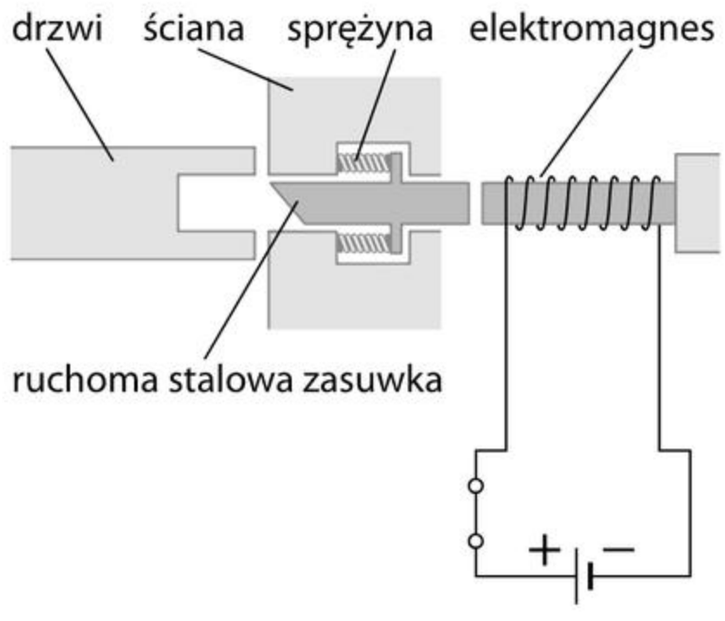
Dzwonek elektromagnetyczny, zwykle stosowany w szkołach do sygnalizowania początku i końca lekcji, jest przykładem zastosowania elektromagnesu.





Budowę takiego dzwonka przedstawiono na zdjęciu, a jego działanie wyjaśniają schematy. W chwili zamknięcia obwodu wyłącznikiem prąd płynie przez elektromagnes, a ten przyciąga płytkę, do której umocowany jest młoteczek uderzający w czaszę dzwonka (rys. A). Przyciągnięcie tej stalowej płytki powoduje jednak przerwanie obwodu elektrycznego. Prąd przestaje płynąć przez elektromagnes, który przestaje przyciągać stalową płytkę – wraca ona do położenia początkowego, zamykając tym samym obwód. Następnie cały cykl się powtarza, aż do wyłączenia obwodu wyłącznikiem (rys. B).

Kolejnym zastosowaniem elektromagnesów są **zamki elektryczne**, stosowane często przy drzwiach wejściowych, np. otwieranych domofonem.
Głównymi elementami takiego zamka są obwód elektryczny ze zwojnicą i stalowa lub żelazna zasuwa. Zasuwa ma taki kształt i jest tak umieszczona, że po zamknięciu obwodu jest przyciągana przez elektromagnes. Po zwolnieniu przycisku zamykającego obwód elektryczny sprężyny przyciągają zasuwę z powrotem do pozycji blokującej otwarcie drzwi.



Magnetyczne właściwości substancji

R

Na podstawie codziennych obserwacji możemy rozróżnić materiały, które silnie oddziałują magnetycznie (są przyciągane przez magnes), oraz te, które nie wykazują takiej właściwości (nie są przyciągane). Jak wiesz, substancje przyciągane przez magnes, trwały to ferromagnetyki.
Wśród pozostałych substancji, które – wydawać by się mogło – w ogóle nie oddziałują z magnesami, możemy wyróżnić dwie grupy.

Paramagnetyki – substancje, które są przyciągane przez magnes, jednak oddziaływanie to jest tak słabe, że nie zaobserwujemy go bez specjalnej aparatury pomiarowej lub obecności bardzo silnych elektromagnesów. Do paramagnetyków należą np. glin, magnez, ciekły tlen czy hemoglobina zawarta we krwi.



Ciekły tlen jest przyciągany przez bardzo silny elektromagnes (na zdjęciu widać fragment rdzenia elektromagnesu w kształcie rozciętej od góry litery O). Świadczy to o paramagnetycznych właściwościach tej substancji.

Diamagnetyki – substancje, które są zawsze odpychane przez magnesy (niezależnie od tego, do którego bieguna są zbliżane). Na co dzień bardzo trudno zaobserwować oddziaływanie diamagnetyków np. z magnesami, ponieważ jest ono dużo słabsze niż w przypadku ferromagnetyków. Do diamagnetyków należą m.in. woda, złoto, bizmut i grafit.
Oddziaływanie diamagnetyków z magnesami, mimo że jest bardzo słabe, można zaobserwować w warunkach domowych. W tym celu przygotuj: kawałek styropianu, miskę z wodą, niewielką rurkę plastikową oraz silny magnes neodymowy (patrz zdjęcie). Niezależnie od tego, którą stroną będziesz zbliżać magnes, styropian odpłynie, ponieważ woda w rurce ze względu na właściwości diamagnetyczne jest zawsze odpychana od magnesu.



Woda w rurce wbitej w styropian jest odpychana przez magnes neodymowy.

Zastosowania elektromagnesów

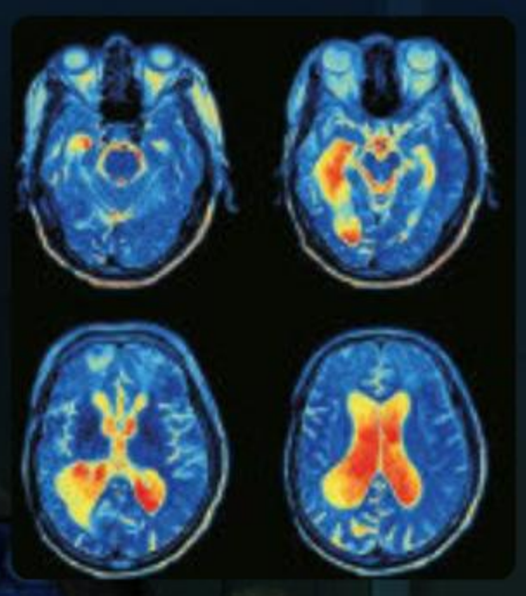
Pierwszy elektromagnes zbudował w 1825 roku brytyjski elektrotechnik William Sturgeon (czyt. łiliam sterdżen, 1783–1850). Nawinął on nieizolowany drut na żelazny rdzeń, pokryty lakiem w celu zapewnienia izolacji elektrycznej. Od tamtej pory elektromagnesy znalazły wiele zastosowań.





Ogromne **dźwigi elektromagnetyczne** służą w hutach do przenoszenia złomu żelaznego, w stoczniach – do transportu blach stalowych, a w halach produkcyjnych utrzymują ciężkie części stalowe poddawane obróbce mechanicznej.





Elektromagnesy wykorzystuje się także w **medycynie**, np. w okulistyce do usuwania żelaznych opiłków tkwiących w oku pacjenta, do usuwania za pomocą sondy żelaznych przedmiotów z żołądka. Mają też zastosowanie w tzw. magnetycznym rezonansie jądrowym (NMR) przy badaniach wnętrza ludzkiego ciała.





Ogromnych elektromagnesów używa się w **badaniach naukowych** dotyczących budowy i rozpadu jąder atomowych oraz cząstek elementarnych. Na zdjęciu widać znajdujący się w Laboratorium Fermiego w USA akcelerator kołowy. Elektromagnesy służą m.in. do zakrzywiania toru cząstek, które się w nim poruszają.

TO NAJWAŻNIEJSZE

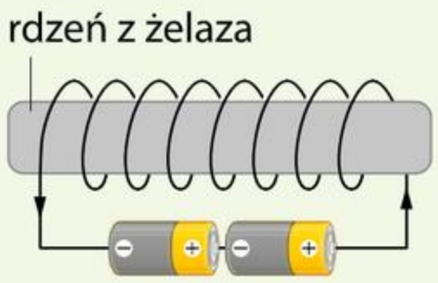
- **Elektromagnes** składa się ze zwojnicy i rdzenia wykonanego z ferromagnetyku.
- Ferromagnetyczny rdzeń wzmacnia właściwości magnetyczne zwojnicy.
- Siła oddziaływania elektromagnesu zależy od liczby nawiniętych zwojów i natężenia prądu płynącego przez zwoje.

Rozwiąż zadania

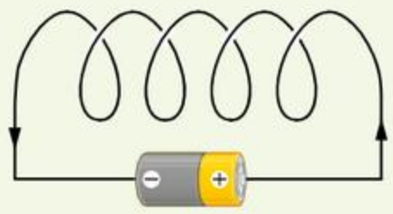
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Uporządkuj przedstawione elektromagnesy w kolejności od tego, który oddziaływałby najsłabiej, do tego, który oddziaływałby najsilniej ze znajdującą się w pobliżu igłą magnetyczną. Uzasadnij swój wybór.

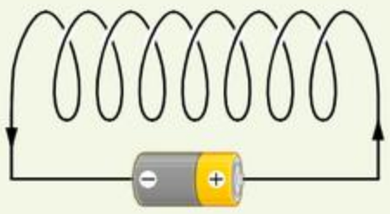
A.



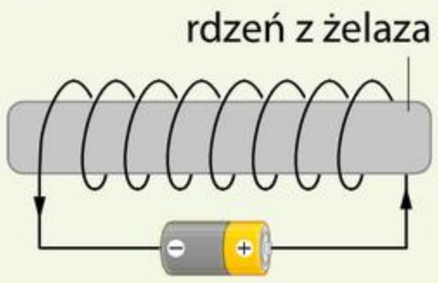
B.



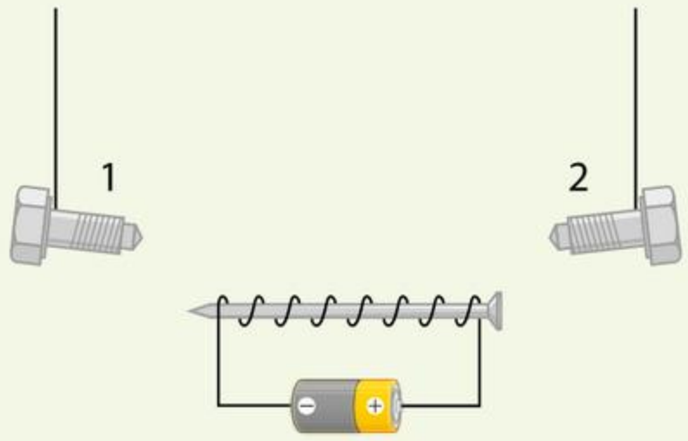
C.



D.



2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



a) Elektromagnes na rysunku obok będzie **A/ B/ C/ D**. Gdy zamienimy bieguny baterii, elektromagnes będzie **A/ B/ C/ D**.

A. przyciągał obie stalowe śruby

B. przyciągał stalową śrubę 1, natomiast odpychał stalową śrubę 2

C. odpychał stalową śrubę 1, natomiast przyciągał stalową śrubę 2

D. odpychał obie stalowe śruby

b) Środkowy elektromagnes na rysunku poniżej będzie **A/ B/ C/ D**.

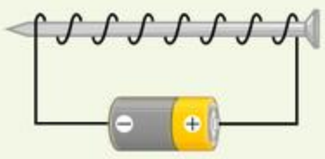
A. przyciągał elektromagnes I i odpychał elektromagnes III

B. przyciągał elektromagnes III i odpychał elektromagnes I

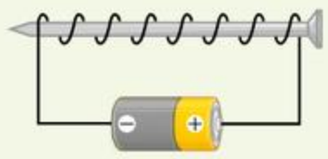
C. odpychał zarówno elektromagnes I, jak i elektromagnes III

D. przyciągał elektromagnesy I i III

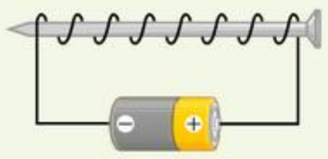
I.



II.



III.



3 Wskaż zestaw przedmiotów odpowiedni do wykonania elektromagnesu.

A. magnes, drut i bateria

B. magnes, gwóźdź i bateria

C. gwóźdź i bateria

D. drut, gwóźdź i bateria

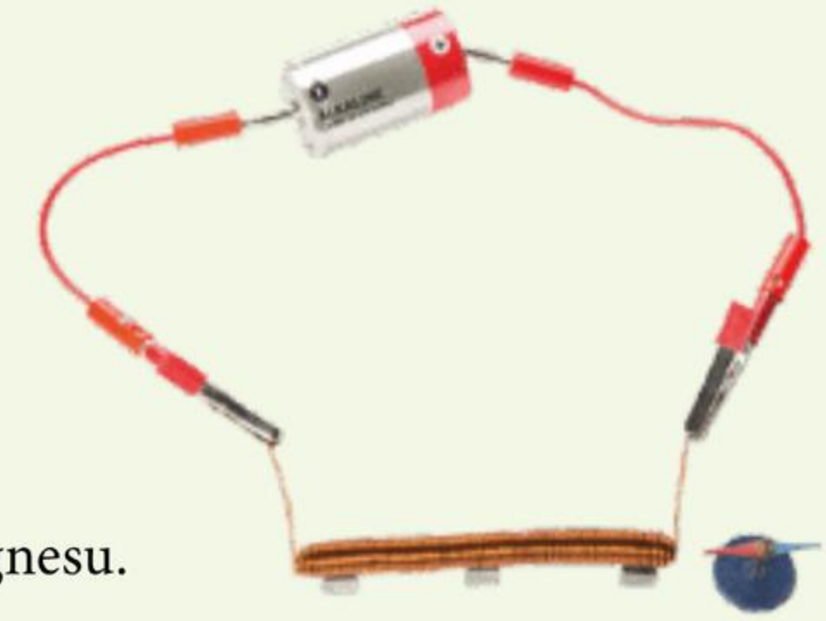
4 Stalowy rdzeń w elektromagnesie

A. wzmacnia jego działanie.

B. osłabia jego działanie.

C. decyduje o jego biegunowości.

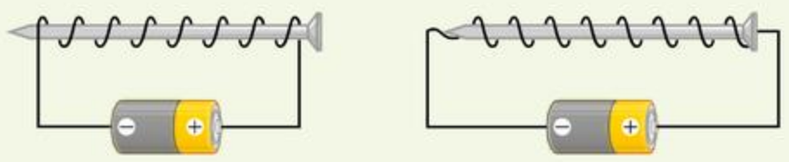
D. stanowi element konstrukcyjny, nie ma wpływu na działanie elektromagnesu.



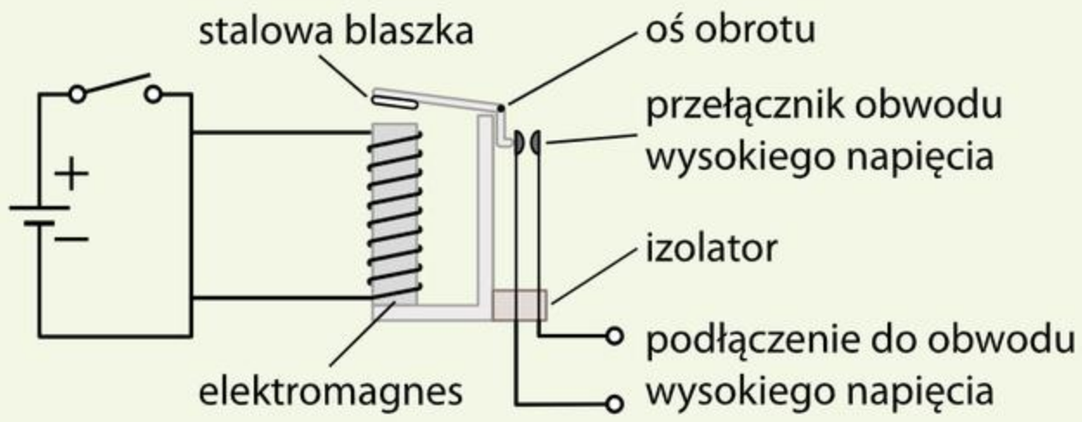
5 Jacek i Tomek zbudowali proste elektromagnesy z gwoździa, przewodu elektrycznego i baterii.

– *Zobacz* – powiedział Jacek – *nasze elektromagnesy mają takie same bieguny magnetyczne z prawej strony, bo podłączyliśmy tak samo bieguny baterii.*
– *Mylisz się* – odpowiedział Tomek – *bieguny z prawej strony naszych magnesów będą przeciwne.*

Kto miał rację? Uzasadnij swoją odpowiedź.



6 Przeanalizuj schemat wyłącznika elektromagnetycznego.



a) Wyjaśnij, dlaczego włączenie przełącznika w obwodzie z baterią spowoduje przepływ prądu w obwodzie zasilanym wysokim napięciem, mimo że te obwody są od siebie elektrycznie odizolowane.

b) Jak sądzisz, dlaczego stosujemy tego typu włączanie obwodów (np. w niektórych maszynach), chociaż jest ono bardziej skomplikowane od zwykłego prostego wyłącznika?

14 Oddziaływanie magnetyczne a silnik elektryczny

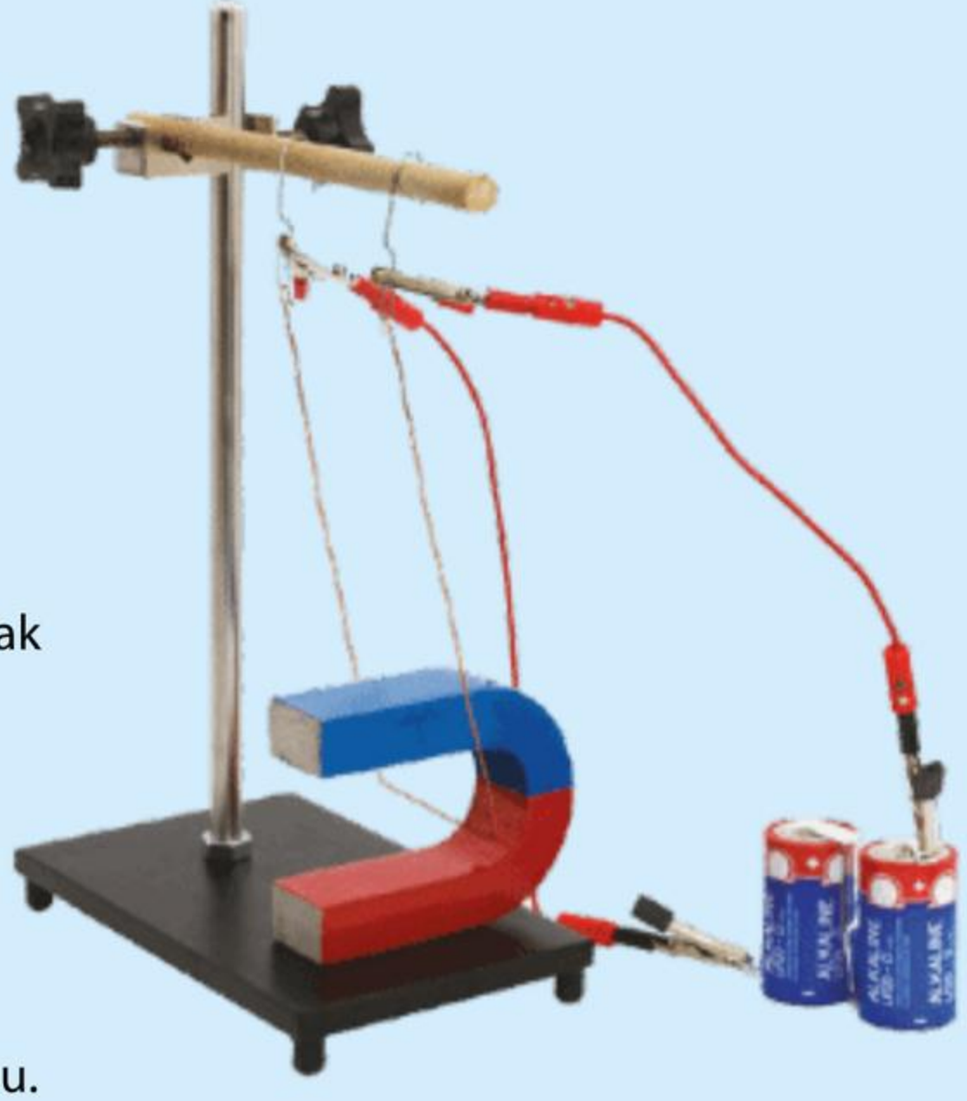
Cel lekcji: Dowiesz się, od czego zależy siła magnetyczna, a także jak jest zbudowany silnik elektryczny, jak działa i gdzie ma zastosowanie.

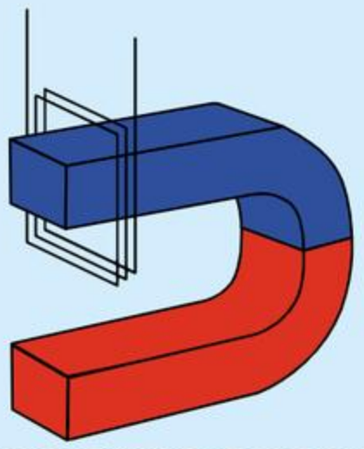
Siła magnetyczna

Z dotychczas przeprowadzonych doświadczeń i obserwacji możesz wyciągnąć wniosek, że na przewodnik, przez który płynie prąd i który jest umieszczony w pobliżu magnesu lub innego przewodnika z prądem, działa siła. Nazywa się ona **siłą magnetyczną** lub (tradycyjnie, ze względów historycznych) **siłą elektrodynamiczną**. Poniższe doświadczenie pozwoli ci poznać cechy siły magnetycznej.

DOŚWIADCZENIE 34

1. Przygotuj: dwie baterie R20, przewody, drut miedziany w izolacji, dwa stalowe spinacze biurowe, statyw z niemetalową poprzeczką (lub kilka książek i np. drewnianą łyżkę), magnes podkowiasty oraz dwa magnesy neodymowe.
2. Z drutu zrób ramkę i zawieś ją tak jak na rysunku obok (usuń izolację w miejscu, gdzie ramka styka się ze spinaczami).
3. Do ramki podłącz jedną baterię.
4. Po włączeniu prądu obserwuj zachowanie się ramki.
5. Podłącz odwrotnie bieguny baterii i obserwuj, co dzieje się z ramką.
6. Zamień miejscami bieguny magnesu i sprawdź, jak wpłynie to na ruch ramki.
7. Zwiększ natężenie prądu (włącz szeregowo do obwodu drugą baterię) i porównaj wychylenie się ramki z poprzednim wychyleniem.
8. Sprawdź, czy magnes oddziałuje na ramkę, gdy znajduje się ona nad górnym ramieniem magnesu.
9. Obserwuj zmiany wychylenia przewodnika, gdy ramkę zastąpisz kilkoma zwojami nawiniętymi tak, aby otaczały górne ramię magnesu (patrz rys.).
10. Po wewnętrznych stronach ramion magnesu podkowiastego zamocuj magnesy neodymowe i powtórz doświadczenie. Zapisz w zeszycie wyniki obserwacji.





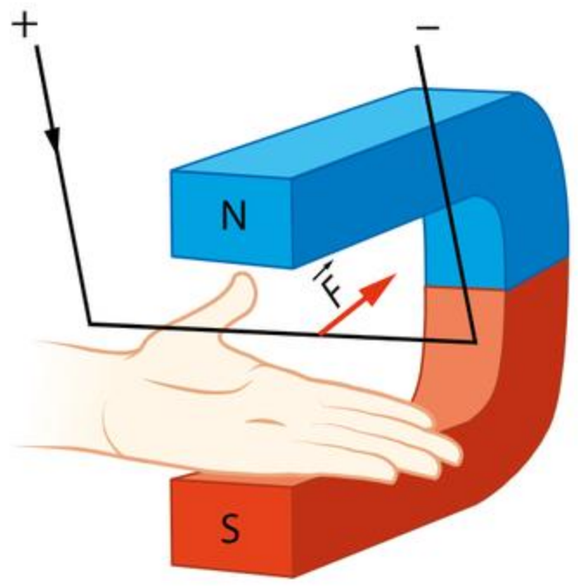
Od czego zależy siła magnetyczna

W wyniku działania siły magnetycznej druciana ramka odchyla się. Na kąt wychylenia ramki mają wpływ różne czynniki:

- włączenie drugiej baterii, czyli zwiększenie natężenia prądu,
- zwiększenie długości przewodu, na który oddziałuje magnes,
- zastosowanie silniejszych magnesów.

Ponadto odwrócenie magnesu albo odwrotne podłączenie baterii powodują zmianę kierunku wychylenia drucianej ramki.
Kierunek i zwrot siły magnetycznej pomaga ustalić tzw. **reguła lewej dłoni**:

Jeżeli lewą dłoń ustawisz tak, aby jej wewnętrzna strona była zwrócona w stronę bieguna N magnesu, a wszystkie palce – z wyjątkiem kciuka – wskazywały kierunek prądu, to odchylony kciuk wskaże kierunek i zwrot siły magnetycznej.



Ilustracja reguły lewej dłoni.

Uwaga. Pamiętaj, że prąd płynie „od plusa do minusa".

W sytuacji przedstawionej na rysunku obok siła magnetyczna działająca na ramkę wciągnie ją do wnętrza magnesu.

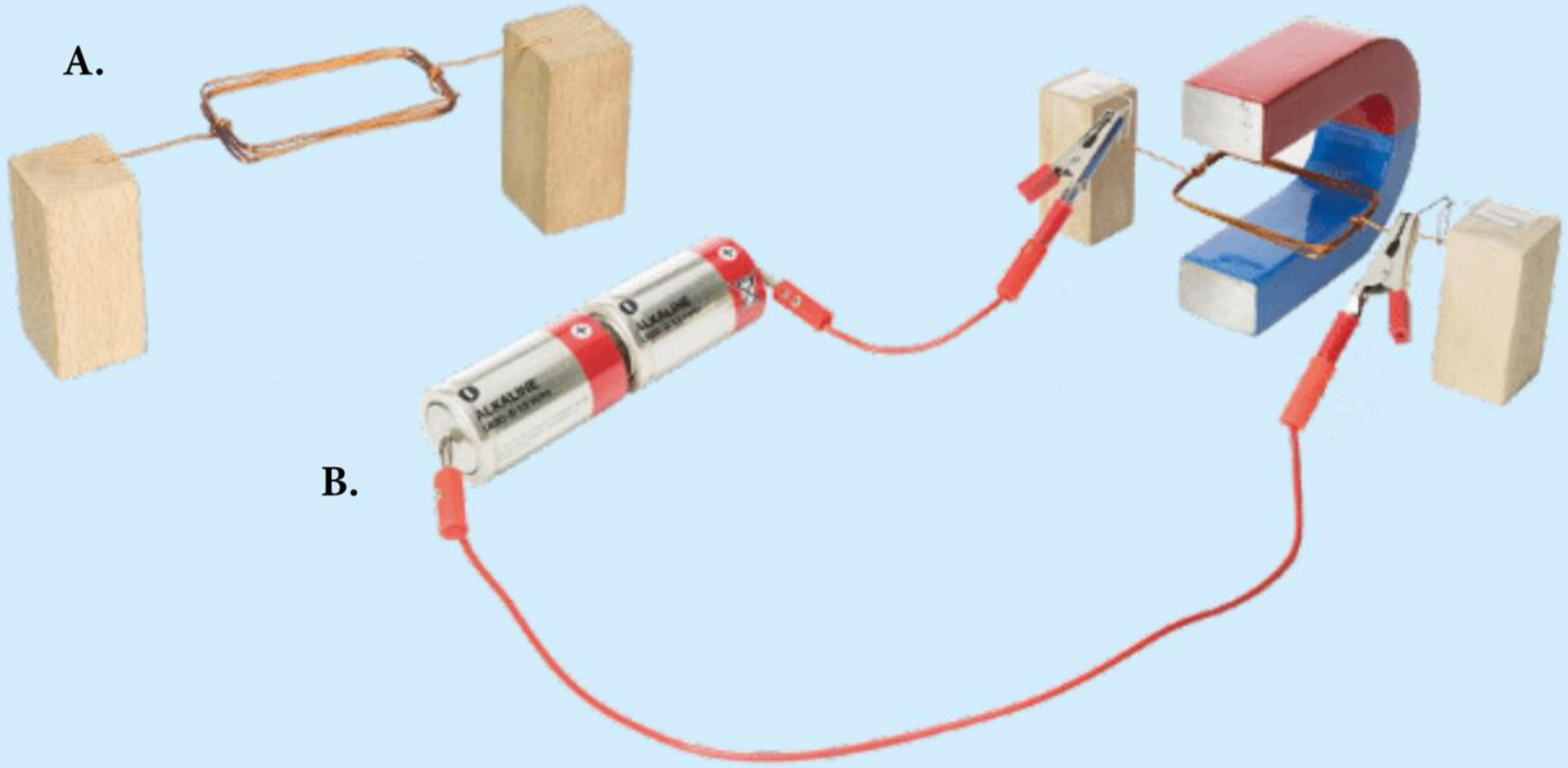
Silnik prądu stałego

Siła magnetyczna ma bardzo duże znaczenie w technice, stwarza bowiem możliwość zamiany energii elektrycznej na energię mechaniczną (patrz schemat poniżej). W jaki jednak sposób zamienić krótkotrwały ruch przewodnika z prądem na ciągły ruch obrotowy potrzebny do napędzania różnych urządzeń technicznych? Wyjaśni to analiza doświadczenia 35.



DOŚWIADCZENIE 35

1. Przygotuj: silny magnes podkowiasty (lub dwa magnesy sztabkowe), drut miedziany w izolacji, dwa metalowe spinacze biurowe, dwie podpórki, dwie baterie R20 i taśmę klejącą.
2. Z drutu wykonaj zwojnicę. Jej końce usytuuj tak, aby leżały wzdłuż jej osi symetrii. Ważne jest, aby zwojnica była dobrze wyważona i nie przekręcała się. Możesz to sprawdzić, kładąc zwojnicę na podpórkach (patrz zdjęcie A).
3. Z końcówek zwojnicy usuń izolację.
4. Ze spinaczy uformuj zawieszki i przymocuj je do podpórek, np. za pomocą taśmy klejącej.
5. Na zawieszkach ułóż zwojnicę i podłącz do nich baterię, jak na zdjęciu B. Obserwuj ruch zwojnicy po włączeniu prądu.



Zwojnica obróciła się i po kilku wahnięciach znieruchomiała, ustawiając się biegunami naprzeciw różnoimiennych biegunów magnesu (biegun N naprzeciw bieguna S magnesu, a biegun S naprzeciw bieguna N magnesu). Ruch zwojnicy świadczy o tym, że energia elektryczna zamieniła się na mechaniczną. Aby można było wykorzystać tę zamianę do napędzania urządzeń, ruch musi być ciągły, a to nie jest możliwe bez zmiany biegunowości magnesu lub zwojnicy. Zamienić biegunowość magnesu jest dość trudno, natomiast bieguny zwojnicy można odwrócić przez zmianę kierunku prądu, np. cyklicznie zmieniając podłączenie do baterii. Oczywiście jest to dość niewygodne. Jak rozwiązano ten problem? Dowiesz się tego, analizując schemat działania silnika elektrycznego.
W doświadczeniu 35, mimo niedoskonałości konstrukcji, pokazaliśmy, że:

Oddziaływanie magnetyczne jest podstawą działania silników elektrycznych.

R

Schemat działania silnika elektrycznego

Przeanalizujmy, w jaki sposób w silniku elektrycznym następuje ciągły ruch obrotowy. Na schemacie w celu uproszczenia opisu przedstawiono ruch tylko jednego zwoju zwojnicy w postaci ramki. Oba końce ramki podłączono do odizolowanych od siebie metalowych półpierścieni, tzw. **komutatora**, które obracają się razem z ramką. Po powierzchni komutatora ślizgają się metalowe **szczotki** doprowadzające prąd do ramki.

Jeżeli ramka znajduje się w położeniu 1 (rysunek poniżej), to po zamknięciu obwodu elektrycznego siły magnetyczne spowodują jej obrót zgodnie z ruchem wskazówek zegara (patrząc od strony komutatora) do położenia 2.

Schemat działania silnika elektrycznego.

W tym położeniu, dzięki zastosowaniu komutatora, następuje zmiana kierunku prądu w ramce. Przez chwilę szczotki nie dotykają komutatora i w ramce nie płynie prąd, ale rozpędzona ramka mija położenie 2 i chwilę później w położeniu 3 znów pojawia się siła magnetyczna powodująca obrót ramki. Dzięki zmianie kierunku przepływu prądu siły magnetyczne działające na boki ramki powodują jej dalszy obrót w tym samym kierunku, aż do położenia 5.

R

Następnie cały cykl zaczyna się od początku. Ramka zatem ciągle obraca się w tę samą stronę, dopóki szczotki doprowadzają prąd elektryczny, a komutator zmienia jego kierunek co pół obrotu ramki.

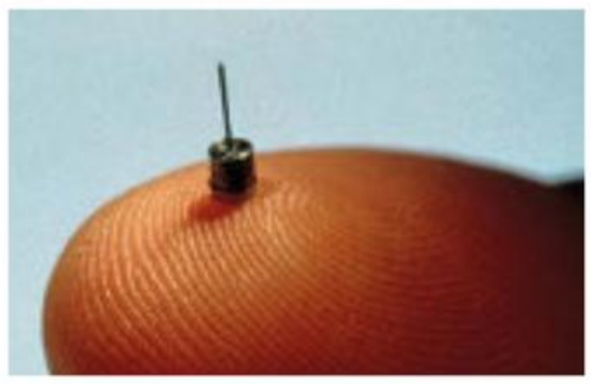
Obracająca się ramka jest prototypem tzw. **wirnika**. W rzeczywistości wirnik składa się z wielu zwojnic. Każda para końcówek zwojnic jest połączona z komutatorem. Podczas obrotu wirnika pracę nieustannie podejmują kolejne zwojnice; dzięki temu ruch obrotowy odbywa się płynnie. Magnesy umieszczone są w silniku elektrycznym na tzw. **stojanie**, czyli nieruchomej części silnika. W rzeczywistym silniku zamiast magnesów trwałych w stojanie najczęściej stosuje się elektromagnesy.



Wirniki w silnikach elektrycznych składają się z wielu zwojnic.

CIEKAWOSTKA

Dzięki rozwojowi techniki produkuje się również bardzo zminiaturyzowane silniki elektryczne, np. silniki wykorzystywane w mikrochirurgii, w systemach chłodzących miniaturowych obwodów elektrycznych czy urządzeniach pracujących w kosmosie. Ich średnica może być mniejsza niż 1 mm.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Siła magnetyczna (elektrodynamiczna)** to siła działająca na przewodnik, w którym płynie prąd i który jest umieszczony w pobliżu magnesu lub innego przewodnika z prądem.
- Wartość siły magnetycznej (elektrodynamicznej) zależy od: natężenia prądu, długości przewodnika, właściwości magnesu (magnes słabszy lub silniejszy)
- **Silnik elektryczny** to urządzenie przetwarzające energię elektryczną na energię mechaniczną.
- Silniki elektryczne działają dzięki wzajemnemu oddziaływaniu magnesów z elektromagnesami (lub elektromagnesów z elektromagnesami), czyli wykorzystaniu oddziaływania magnetycznego.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Które z poniższych przedmiotów zawierają jeden lub kilka silników elektrycznych? Jaką funkcję pełnią silniki w tych urządzeniach?

A.



B.



C.



D.



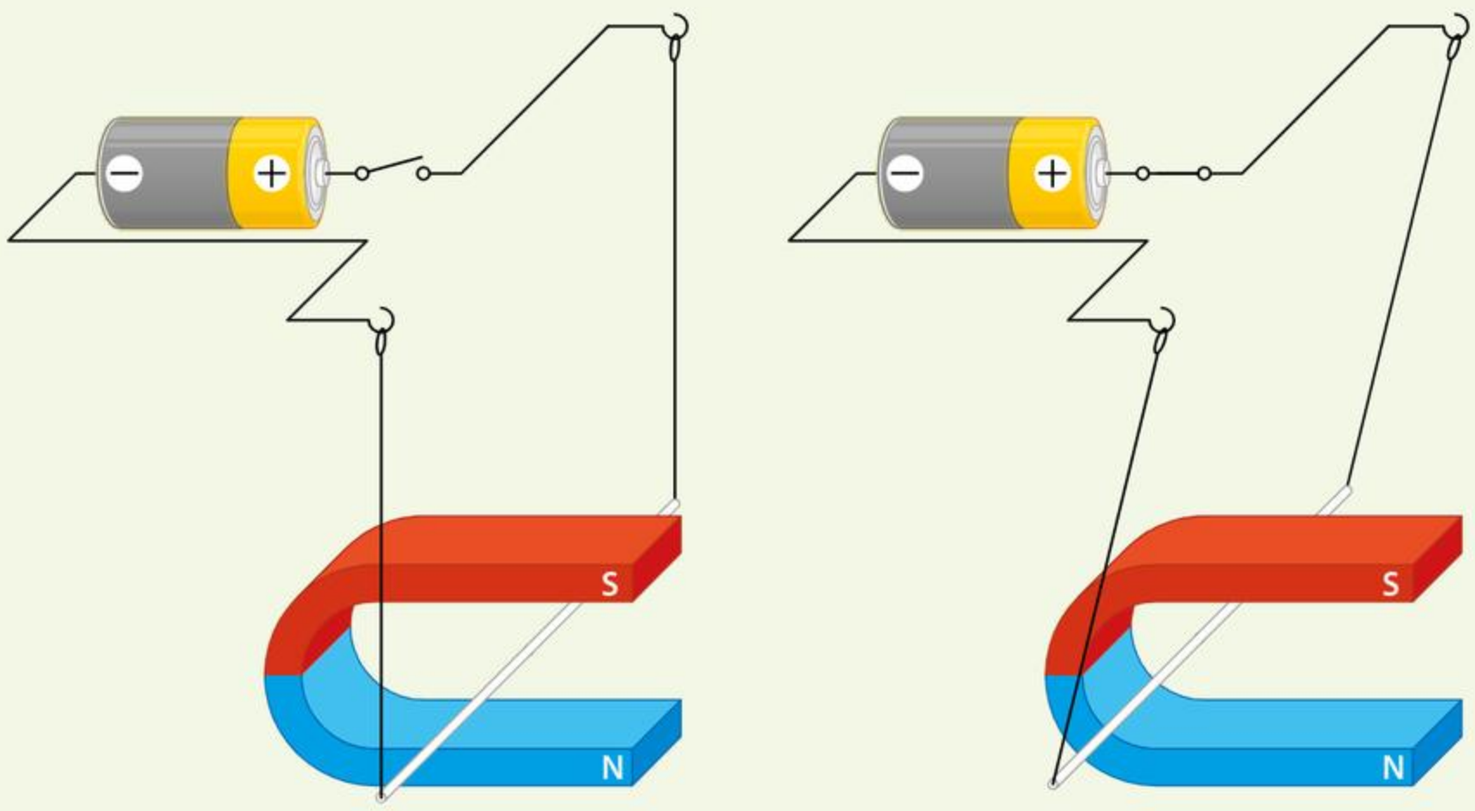
E.



F.



2 Przewód umieszczono wewnątrz magnesu podkowiastego i włączono przełącznik. Wtedy przewodnik wychylił się w stronę wnętrza magnesu – tak jak na poniższym rysunku.



Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Gdy zamienimy miejscami bieguny baterii, ale nie zamienimy biegunów magnesu, przewód **A/ B/ C/ D/ E**.

Gdy zamienimy miejscami bieguny magnesu, ale nie zamienimy biegunów baterii, przewód **A/ B/ C/ D/ E**.

Gdy zamienimy miejscami i bieguny baterii, i bieguny magnesu, przewód
A/ B/ C/ D/ E.

A. zostanie wciągnięty do wnętrza magnesu

B. zostanie wypchnięty na zewnątrz magnesu

C. zostanie przyciągnięty przez górne ramię magnesu

D. zostanie przyciągnięty przez dolne ramię magnesu

E. w ogóle się nie poruszy

3 Dopasuj litery do cyfr tak, aby powstały zdania prawdziwe.

I. Komutator	**A.** to element doprowadzający prąd elektryczny do wirnika.
II. Szczotki	**B.** to ruchoma część silnika.
III. Wirnik	**C.** służy do zmiany kierunku prądu.
IV. Stojan	**D.** składa się z jednego zwoju.
	E. to nieruchoma część silnika.

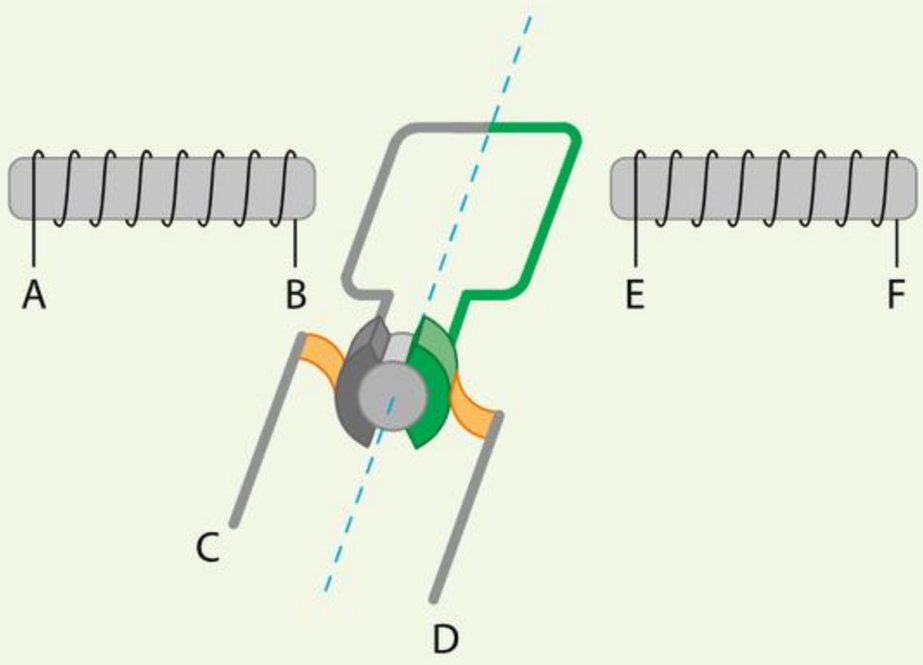
4 W silniku zamiast magnesów można wykorzystać również elektromagnesy.

Określ, jaki biegun baterii (dodatni czy ujemny) powinien być podłączony do zacisków A, B, C, D, E oraz F, aby silnik działał prawidłowo i poruszał się:

a) zgodnie z ruchem wskazówek zegara,

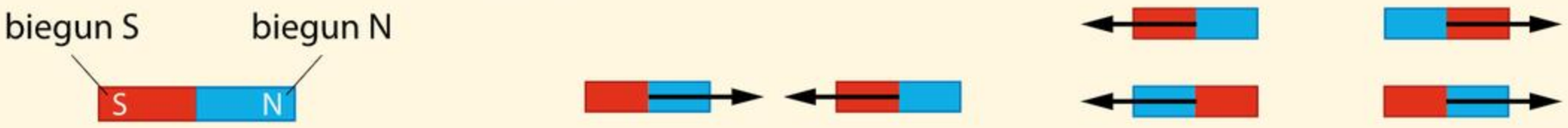
b) przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Uwaga. Zadanie ma więcej niż jedno rozwiązanie.



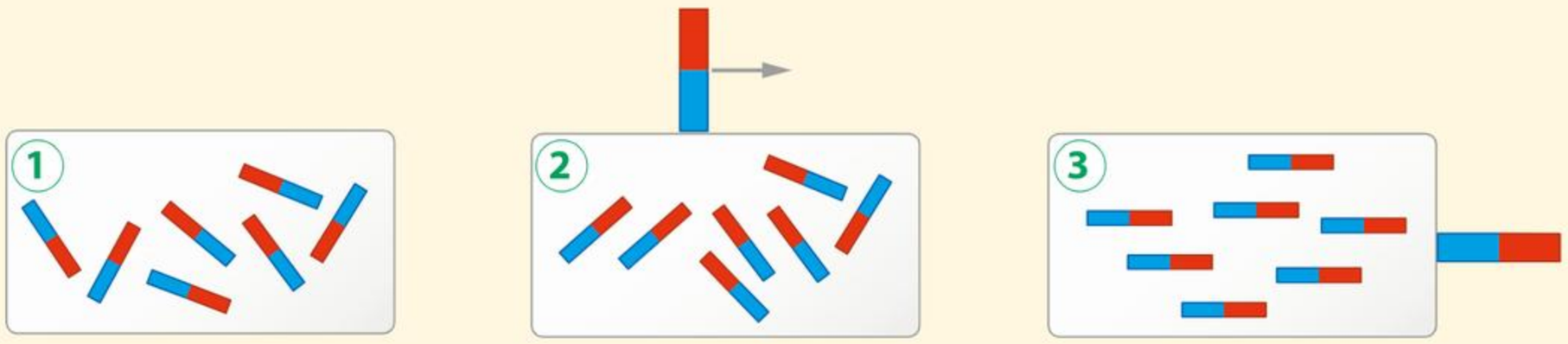
Powtórzenie. Magnetyzm

- Każdy magnes ma **dwa bieguny**: N i S. Bieguny różnoimienne przyciągają się, a jednoimienne – odpychają się.



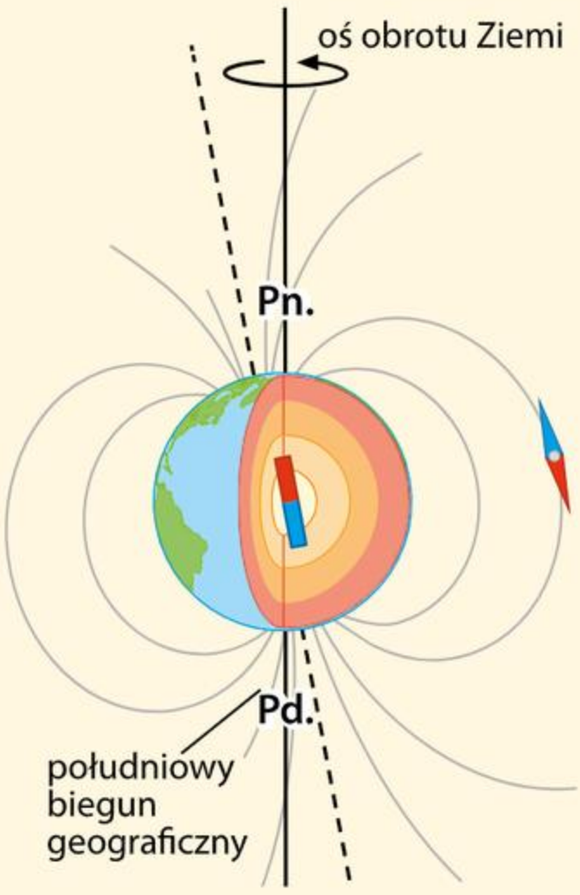
- Ciała wykazujące silne właściwości magnetyczne to **ferromagnetyki** (np. żelazo i jego stopy, kobalt, nikiel). Ferromagnetyk staje się magnesem po namagnesowaniu.

- Namagnesowanie ferromagnetyku polega na uporządkowaniu jego **domen magnetycznych**, które zachowują się jak małe magnesy. Na schemacie pokazano kolejne etapy (1–3) namagnesowania ferromagnetyku.



- Biegun N igły kompasu wskazuje północny kierunek geograficzny, a biegun S – południowy.

- Oddziaływanie magnetyczne Ziemi jest takie, jak gdyby w jej wnętrzu tkwił magnes zwrócony końcem N w stronę południowego bieguna geograficznego, a końcem S w stronę północnego bieguna geograficznego.



- **Przewodnik**, przez który płynie prąd elektryczny, wykazuje właściwości magnetyczne.

- **Elektromagnes** to zwojnica z umieszczonym wewnątrz rdzeniem ze stali miękkiej, dzięki temu silniej oddziałuje magnetycznie. Ma zastosowanie np. w zamku elektromagnetycznym, dzwonku, dźwigach elektromagnetycznych.

- Zwiększenie liczby zwojów zwojnicy lub zwiększenie natężenia prądu przepływającego przez zwoje powoduje wzmocnienie właściwości magnetycznych elektromagnesu.

- **Siła magnetyczna** (**elektrodynamiczna**) to siła, która działa na przewodnik z prądem umieszczony w pobliżu magnesu. Jej wartość zależy od: natężenia prądu, długości przewodnika, właściwości magnesu (tego, czy jest słaby czy silny).

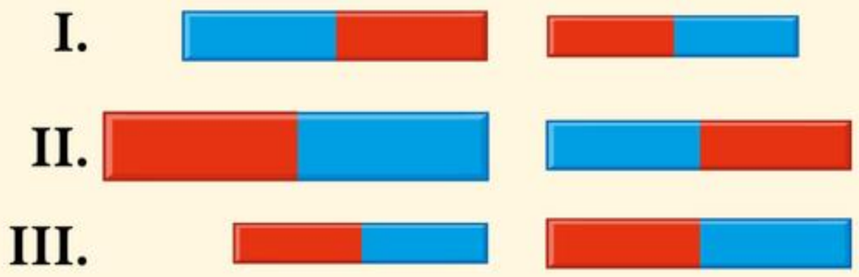
- **Silniki elektryczne** działają dzięki wykorzystaniu oddziaływania magnetycznego.

Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 2, 3 i 5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Poniżej przedstawiono trzy pary oddziałujących ze sobą magnesów.



Wskaż zdanie prawdziwe.

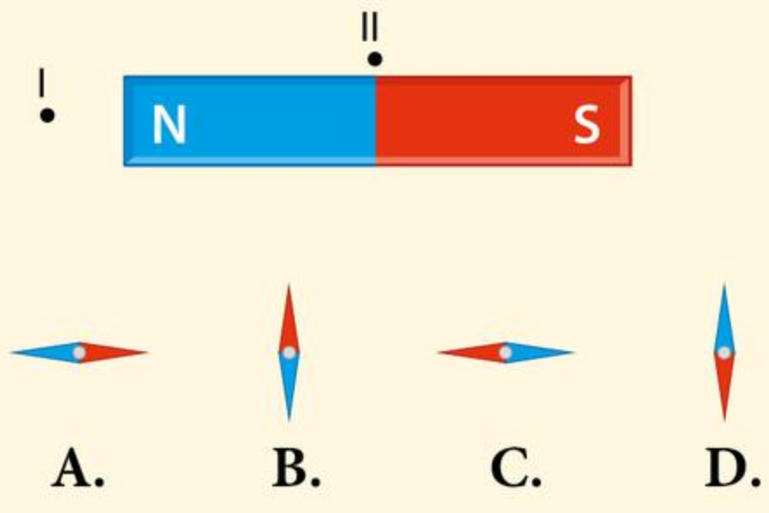
A. Magnesy na rysunku I odpychają się, działając siłami o takiej samej wartości.

B. Magnesy na rysunku II odpychają się, działając siłami o różnej wartości.

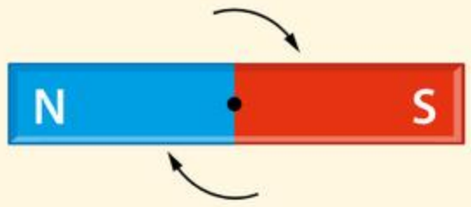
C. Magnesy na rysunku III przyciągają się, działając siłami o różnej wartości.

2 Gdy umieścimy igłę magnetyczną w punkcie I, ustawi się ona tak jak na rysunku **A/ B/ C/ D**.

Gdy umieścimy igłę magnetyczną w punkcie II, ustawi się ona tak jak na rysunku **A/ B/ C/ D**.



3 Jeśli umieścimy stalową śrubę i miedzianą blaszkę z prawej strony magnesu, to **A/ B/ C**. Gdy obrócimy magnes o 180° wokół osi zaznaczonej na rysunku, to **A/ B/ C**.



A. śruba będzie przyciągana, a miedziana blaszka nie będzie przyciągana

B. zarówno śruba, jak i miedziana blaszka będą przyciągane

C. śruba będzie odpychana, a miedziana blaszka nie będzie przyciągana

4 Wskaż zdania prawdziwe.

A. Siła oddziaływania magnetycznego zwojnicy po wsunięciu do jej wnętrza żelaznego rdzenia znacznie się zwiększy.

B. Siła oddziaływania magnetycznego zwojnicy po wsunięciu do jej wnętrza aluminiowego rdzenia znacznie się zwiększy.

C. Zwiększenie natężenia prądu płynącego przez zwojnicę zwiększy siłę jej oddziaływania magnetycznego.

D. Jeśli przez dwie zwojnice o równej długości i takim samym polu przekroju poprzecznego płynie prąd o takim samym natężeniu, silniej oddziałuje magnetycznie ta, która ma więcej zwojów.

5 Igła magnetyczna znajdująca się z dala od wszystkich źródeł oddziaływania magnetycznego oprócz Ziemi ustawi się w przybliżeniu wzdłuż kierunków geograficznych **A/ B**, a biegun N igły będzie wskazywał **C/ D** biegun geograficzny Ziemi.

A. północy i południa
B. wschodu i zachodu
C. północny **D.** południowy

6 Wskaż te pary przedmiotów, które oddziałują ze sobą magnetycznie.

A. Igła kompasu z igłą kompasu.
B. Igła kompasu z magnesem sztabkowym.
C. Igła kompasu z elektromagnesem, przez który płynie prąd.
D. Miedziany drucik z elektromagnesem, przez który płynie prąd.
E. Stalowa szpilka z przewodem, przez który płynie prąd.
F. Magnes sztabkowy z elektromagnesem, przez który płynie prąd.
G. Magnes sztabkowy z przewodem, przez który płynie prąd.
H. Igła kompasu ze stalową szpilką.
I. Stalowa nienamagnesowana szpilka ze stalową nienamagnesowaną szpilką.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 2, 4 i 5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

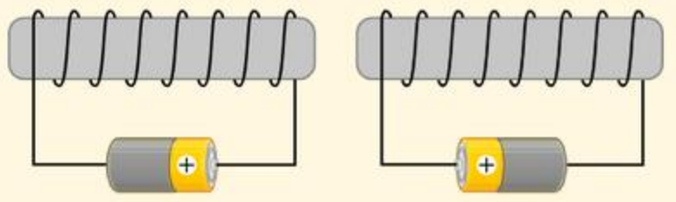
1 Wskaż wszystkie poprawne dokończenia zdania.
Z magnesu całkowicie zdarła się farba określająca jego bieguny magnetyczne. Można jednak sprawdzić, gdzie znajduje się jego biegun N, a gdzie biegun S, jeśli dysponujemy

A. magnesem sztabkowym z zaznaczonymi biegunami.
B. kawałkiem nienamagnesowanego żelaza.
C. przewodem i baterią.
D. kompasem.
E. elektromagnesem i baterią.

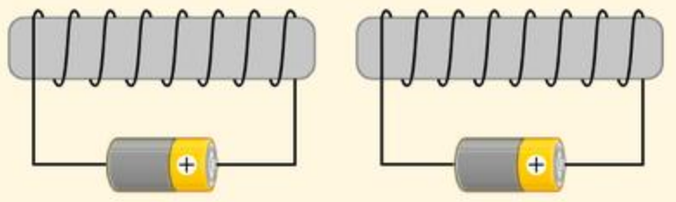
2 Elektromagnesy przedstawione na rysunku I będą **A/ B**, a elektromagnesy na rysunku II będą **A/ B**. Stalowa kulka zawieszona na sznurku byłaby **C/ D/ E**.

A. się odpychać **B.** się przyciągać
C. przyciągana przez każdy z elektromagnesów niezależnie od tego, z której strony byłaby umieszczona
D. odpychana przez każdy z elektromagnesów niezależnie od tego, z której strony byłaby umieszczona
E. przyciągana lub odpychana przez dany elektromagnes w zależności od tego, z której strony byłaby umieszczona

I.



II.



3 Wskaż wszystkie poprawne odpowiedzi.

Kompas nie będzie działał poprawnie, jeśli

A. będzie miał obudowę wykonaną ze stali.

B. będzie miał obudowę wykonaną z miedzi.

C. w jego pobliżu będzie się znajdował magnes.

D. będzie miał obudowę wykonaną z tworzywa sztucznego.

E. w jego pobliżu będzie się znajdował nieizolowany miedziany przewód, przez który płynie prąd.

F. w jego pobliżu będzie się znajdował izolowany miedziany przewód, przez który płynie prąd.

4 Silnik elektryczny to urządzenie, które zamienia energię **A/ B /C /D**.

A. elektryczną w mechaniczną

B. mechaniczną w elektryczną

C. cieplną w elektryczną

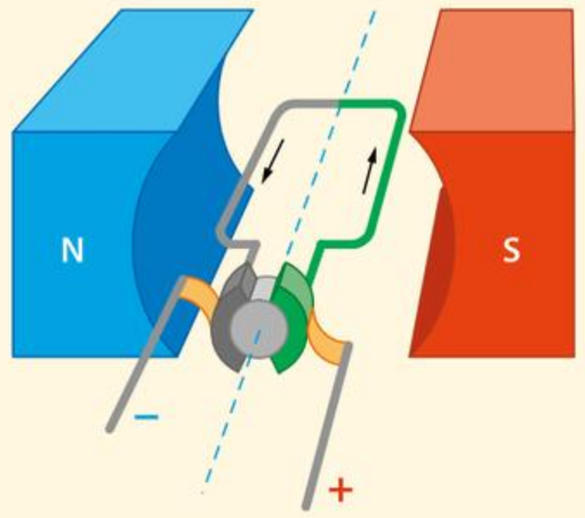
D. jądrową na mechaniczną

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

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

1 Oba magnesy mają ciężar 1 N. Z rysunku możemy wywnioskować, że magnesy **A/ B**, działając siłą o wartości **C/ D/ E**, natomiast dolny magnes naciska na stół siłą **F/ G/ H**.



A. odpychają się

B. przyciągają się

C. 0,4 N

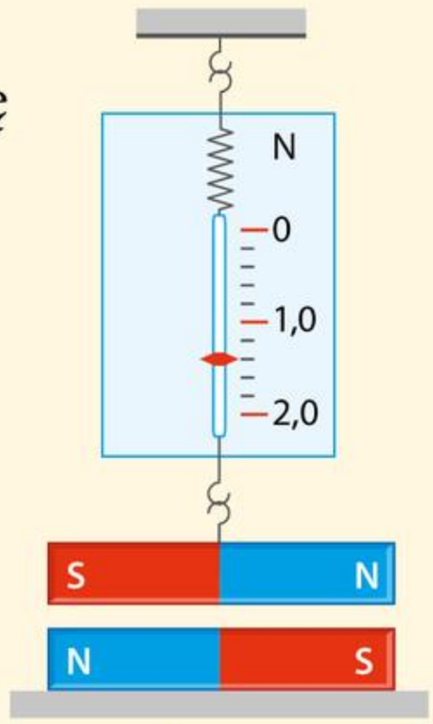
D. 1,2 N

E. 1,4 N

F. 1,4 N

G. 1 N

H. 0,6 N



2 Ramka silnika, początkowo znajdująca się w pozycji takiej jak na rysunku, obróciła się o 180°. W następstwie tego ramka **A/ B/ C**, a prąd w ramce **D/ E/ F**. Natomiast siły magnetyczne działające na ramkę **G/ H/ I**.

A. zatrzyma się na chwilę

B. nadal będzie się obracać w tę samą stronę

C. będzie się obracać w przeciwną stronę

D. przez chwilę nie będzie płynął

E. popłynie w przeciwną stronę niż na rysunku

F. popłynie w tę samą stronę co na rysunku

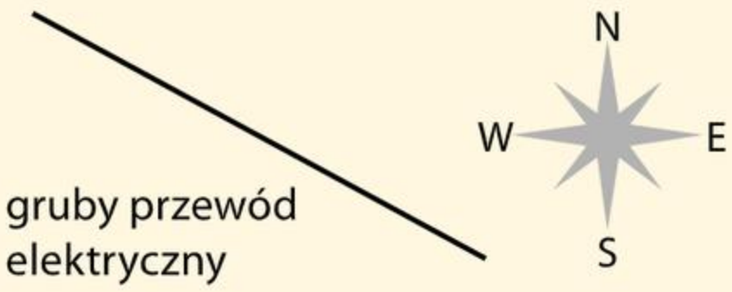
G. przez chwilę będą równe zero

H. będą zwrócone tak samo jak w początkowym położeniu ramki

I. będą zwrócone przeciwnie niż w początkowym położeniu ramki

Uwaga. W zadaniach 3 i 4 wybierz poprawne dokończenie zdań.

3 Na rysunku pokazano, jak względem kierunków geograficznych ustawiony jest przewód elektryczny.



Gdy ustawimy igłę magnetyczną w pewnej odległości nad przewodem (tak, że nie możemy pominąć oddziaływania magnetycznego igły z Ziemią) i w przewodzie zacznie płynąć prąd, wówczas igła ustawi się

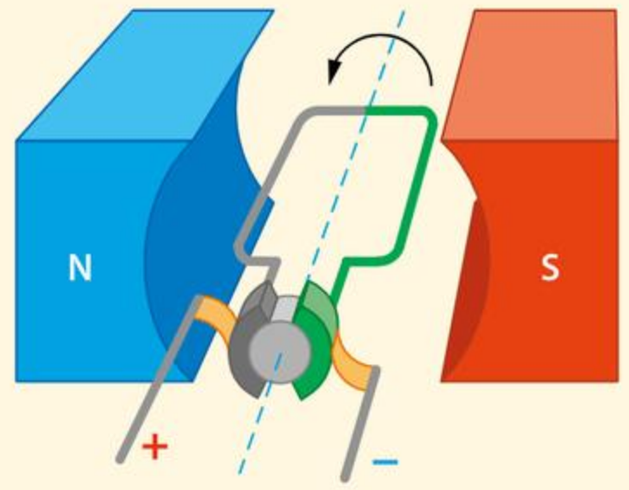
A. pod pewnym kątem do przewodu, a gdy zmienimy kierunek prądu – obróci się o 180°.

B. pod pewnym kątem do przewodu, a gdy zmienimy kierunek prądu – obróci się o pewien kąt inny niż 180°.

C. równolegle do przewodu, a kierunek wskazywany przez biegun N igły będzie zależał od kierunku płynącego prądu.

D. prostopadle do przewodu, a kierunek wskazywany przez biegun N igły będzie zależał od kierunku płynącego prądu.

4 Rysunek przedstawia model silnika.



Jeżeli zamienimy tylko bieguny baterii, to ramka będzie się obracać **A/ B**.

Jeżeli zamienimy tylko bieguny obu magnesów, to ramka będzie się obracać **A/ B**.

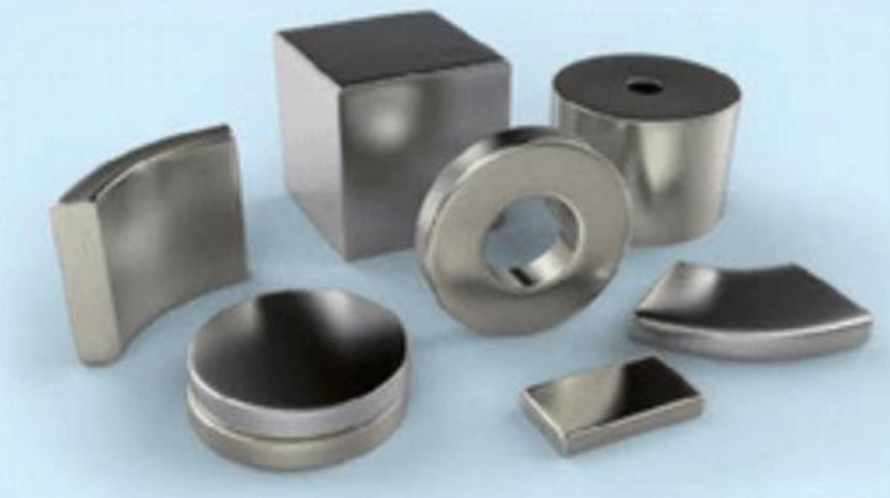
Jeżeli jednocześnie zamienimy bieguny baterii i oba bieguny magnetyczne, to ramka będzie się obracać **A/ B**.

A. w tę samą stronę

B. w przeciwną stronę

Analiza tekstu

Właściwości magnesów i ich zastosowania



Jednym z rodzajów magnesów są **magnesy ferrytowe**. Mają one postać ciemnoszarych krążków lub płytek. Wykorzystuje się je w zatrzaskach magnetycznych do szafek i torebek, a także do utrzymywania niezbyt ciężkich przedmiotów. Stanowią też element magnesów na lodówkę czy tablicę magnetyczną. Niewątpliwą zaletą tych magnesów jest ich niska cena oraz niewrażliwość na korozję, dzięki czemu nie muszą posiadać obudowy. Zachowują swoje właściwości magnetyczne w temperaturze do około 120°C.





Bardzo duże chwytaki z magnesami neodymowymi mogą utrzymywać stalowe przedmioty o masie nawet kilkuset kilogramów. Magnesy neodymowe, w przeciwieństwie do elektromagnesów, nie wymagają zasilania.

Magnesy neodymowe

Ci, którzy potrzebują naprawdę silnych magnesów, powinni się zainteresować **magnesami neodymowymi**. Taki magnes jest w stanie utrzymać przedmiot o masie nawet dwudziestokrotnie większej niż on sam. Magnesy neodymowe są jednak bardzo kruche i mało odporne na korozję, dlatego powleka się je warstwą zabezpieczającą (mają przez to zawsze srebrzystą, błyszczącą powierzchnię). Maksymalna temperatura, w której nie tracą swoich właściwości magnetycznych, jest niższa niż w przypadku magnesów ferrytowych, natomiast kosztują znacznie więcej.

Magnesy alnico

Podczas pracy w bardzo wysokich temperaturach stosuje się magnesy będące stopem glinu, niklu i kobaltu – w skrócie **magnesy alnico** (ich nazwa pochodzi od symboli pierwiastków chemicznych, z których są wykonane). Swoje właściwości magnetyczne zachowują do temperatury 500°C. Są nieco słabsze niż

magnesy neodymowe, jednak silniejsze niż magnesy ferrytowe. Ich cena jest natomiast znacznie wyższa niż magnesów neodymowych.

Taśmy magnetyczne

Coraz popularniejsze stają się także elastyczne taśmy magnetyczne, będące mieszaniną drobnych ziarenek ferrytu baru z elastycznym tworzywem sztucznym. Taka taśma może być stosowana np. do umieszczania reklam na elementach stalowych bez używania kleju.
Ferromagnetyki znalazły również zastosowanie w urządzeniach magazynujących dane. Kiedyś były to taśmy magnetyczne zawierające w sobie sproszkowane tlenki żelaza lub chromu. Służyły one do zapisu obrazu i dźwięku. Kilkanaście lat temu przestano je stosować na rzecz zapisu optycznego na płytach CD i DVD oraz pamięci typu flash.

Dyski twarde

Substancje magnetyczne wykorzystuje się w **dyskach twardych** komputerów, gdzie talerze – wykonane najczęściej ze stopu aluminium – powleka się cienką warstwą kobaltu lub ferrytu.



Temperatura Curie

Różne magnesy mogą pracować w różnych zakresach temperatur. Jest to związane z tzw. temperaturą Curie (czyt. kiri). Gdy temperatura ferromagnetyku przekroczy temperaturę Curie, traci on swoje właściwości magnetyczne (czyli przestaje oddziaływać z innymi ferromagnetykami). Gdy temperatura ponownie spadnie poniżej tej temperatury, materiał nie odzyskuje własności magnetycznych aż do momentu ponownego namagnesowania. Przykładowo dla niklu temperatura Curie wynosi około 350°C, natomiast dla żelaza – około 770°C.

Magnetostrykcja

Czy zastanawialiście się kiedyś, skąd bierze się charakterystyczne buczenie w zwojnicach transformatora? Jest to spowodowane zjawiskiem zwanym magnetostrykcją, czyli powstawaniem niewielkich odkształceń w ferromagnetyku, gdy poddawany jest on



Generator ultradźwięków używany w stomatologii, np. do usuwania kamienia nazębnego, wykorzystuje zjawisko magnetostrykcji.

oddziaływaniom magnetycznym. W liniach przesyłowych płynie prąd zmienny, co powoduje ciągłe przemagnesowywanie rdzenia elektromagnesu w transformatorze. W wyniku magnetostrykcji rdzeń zmienia swoje rozmiary, wykonując niewielkie drgania, co wprawia w drgania otaczające powietrze. Jest to odbierane jako charakterystyczne buczenie. Zjawisko magnetostrykcji wykorzystywane jest między innymi do wytwarzania ultradźwięków – dźwięków o bardzo wysokiej częstotliwości, niesłyszalnych dla człowieka.

Zjawiskiem odwrotnym do magnetostrykcji jest **efekt Villariego**, w którym wywołanie naprężeń w substancji ferromagnetycznej może doprowadzić do jej namagnesowania. Zjawisko to wykorzystuje się w działaniu detektorów drgań, przemieszczeń i naprężeń. Jak wiadomo, ferromagnetyk uzyskuje właściwości magnetyczne w kontakcie z innym namagnesowanym ferromagnetykiem. Można także namagnesować ferromagnetyk, wykorzystując efekt Villariego, np. na skutek uderzania ferromagnetyku młotkiem.

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Dopasuj opisy I–V do rodzajów magnesów A–C. **Uwaga.** Do niektórych rodzajów magnesów można dopasować więcej niż jeden opis.

A. magnesy ferrytowe **B.** magnesy neodymowe **C.** magnesy alnico

I. Są kosztowne w produkcji, mało odporne na korozje i nie mogą być używane w zbyt wysokich temperaturach.

II. Są najsilniejsze ze wszystkich magnesów, dzięki czemu są stosowane w uchwytach do podnoszenia bardzo ciężkich przedmiotów.

III. Są odporne na korozję i tanie w produkcji.

IV. Są najdroższe w produkcji, jednak mogą pracować w najwyższych temperaturach.

V. Są wykorzystywane m.in. w magnesach na lodówkę lub tablicę, mają ciemnoszarą barwę.

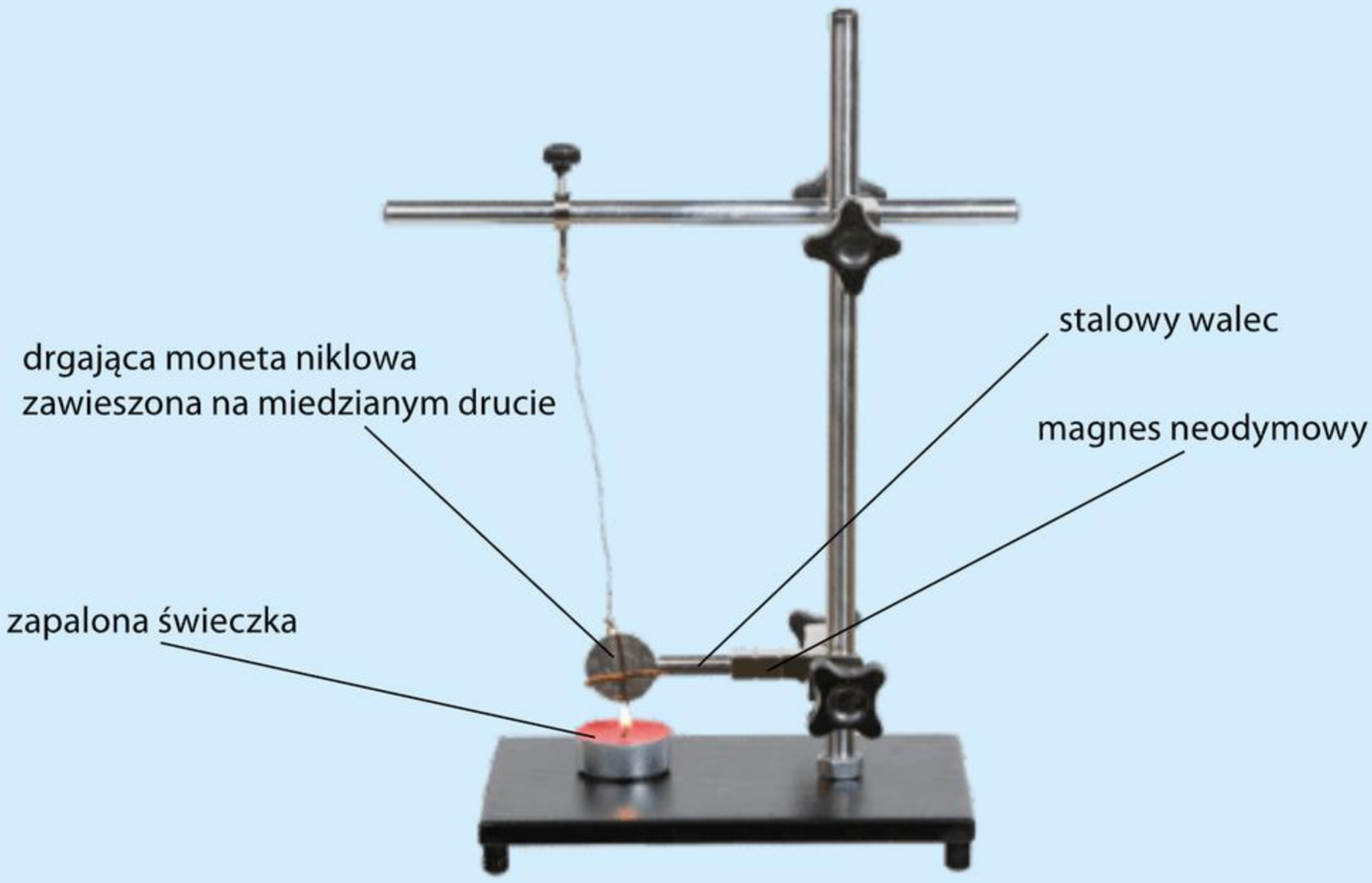
2 Wskaż urządzenia, na których dane mogą zostać uszkodzone, jeżeli w pobliżu znajdzie się silny magnes.

A. Twardy dysk komputera – HDD
B. Płyta DVD
C. Taśma kasety wideo – VHS
D. Płyta CD
E. Taśma kasety magnetofonowej – MC

3 **a)** Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Powyżej temperatury Curie
A. namagnesowany ferromagnetyk traci właściwości magnetyczne.
B. namagnesowany ferromagnetyk staje się jeszcze silniejszym magnesem.
C. nienamagnesowany ferromagnetyk samoczynnie magnesuje się, pochłaniając energię cieplną z otoczenia.
D. namagnesowany ferromagnetyk zamienia miejscami swoje bieguny magnetyczne, pochłaniając energię cieplną z otoczenia.

b) Na poniższym rysunku przedstawiono monetę wykonaną z niklu, zawieszoną na drucie obok magnesu. Gdy moneta nagrzeje się, kołysze się na drucie, mimo że nie widać, aby jakakolwiek siła wprawiała ją w taki ruch. Wyjaśnij zachowanie monety.



4 Wskaż wszystkie poprawne dokończenia zdania.

Stalowy widelec może się trwale namagnesować, gdy
A. przez długi czas leży wzdłuż linii wyznaczonej przez północny i południowy biegun geograficzny Ziemi.
B. będziemy wielokrotnie przesuwać magnes wzdłuż widelca.
C. będziemy intensywnie uderzać widelec młotkiem.

5 W jednym z odcinków serialu główny bohater chce wydobyć z kratki ściekowej ampułkę z antidotum. W tym celu chwyta pręt i uderza nim o hydrant. Następnie opuszcza pręt do kratki ściekowej. Pręt przyciąga ampułkę, a bohater serialu wyciąga ją na zewnątrz. Odpowiedz na pytania.

a) Jakie zjawisko wykorzystał bohater serialu?

b) Z jakiego rodzaju materiału były wykonane pręt oraz ampułka z antidotum?

IV

Drgania i fale

Z tego rozdziału dowiesz się:

- na czym polega ruch drgający,
- czym są amplituda, okres i częstotliwość drgań i jak je odczytać z wykresu drgań,
- jak wyznaczyć okres i częstotliwość w ruchu okresowym,
- jakie przemiany energii zachodzą w ruchu drgającym,
- jak powstaje fala mechaniczna,
- jakie są rodzaje fal elektromagnetycznych.



15 Ruch drgający

Cel lekcji: Dowiesz się, jaki ruch nazywamy drgającym oraz jakie wielkości fizyczne go opisują. Nauczysz się wyznaczać okres i częstotliwość drgań wahadła.

Z klasy siódmej wiesz, że ruch można klasyfikować ze względu na tor (np. ruch prostoliniowy lub ruch krzywoliniowy), można też wyróżnić ruch jednostajny albo jednostajnie zmienny. **Ruch drgający** jest kolejnym rodzajem ruchu charakteryzującym się określonymi cechami.

Amplituda, okres, częstotliwość drgań

Czym charakteryzuje się ruch drgający? Jak można opisać jego cechy? Na początek przeprowadź prostą obserwację.

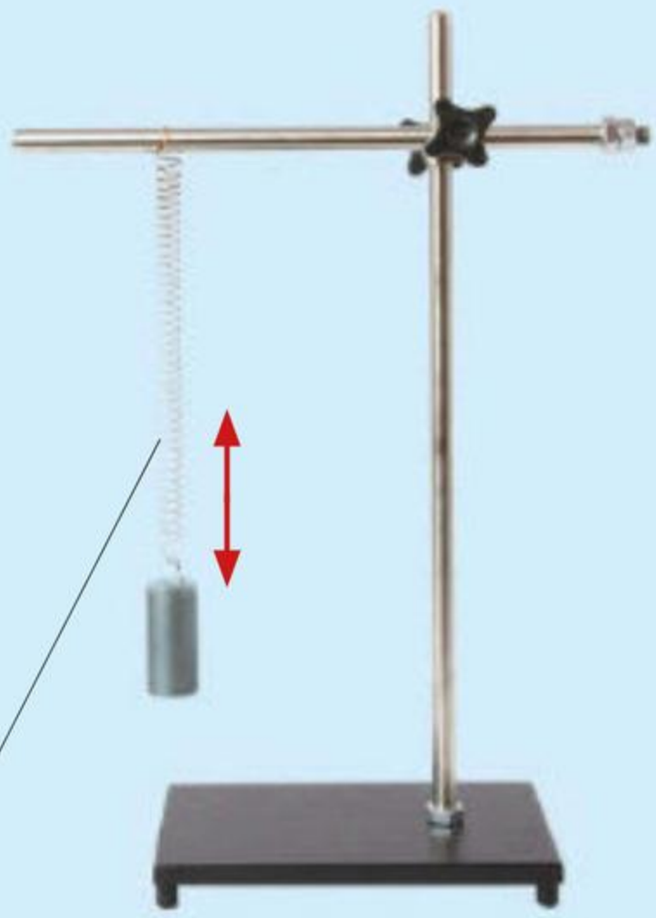
DOŚWIADCZENIE 36

1. Przygotuj: nierozciągliwą nitkę, sprężynę (lub gumkę) i obciążnik, który możesz do niej przymocować (np. kulkę z plasteliny, jabłko, stalową nakrętkę), oraz statyw lub linijkę i kilka książek.

Wskazówka. Sprężyna lub gumka musi być odpowiednio dopasowana do obciążnika – pod jego ciężarem powinna się wyraźnie rozciągnąć, ale nie do granic możliwości.

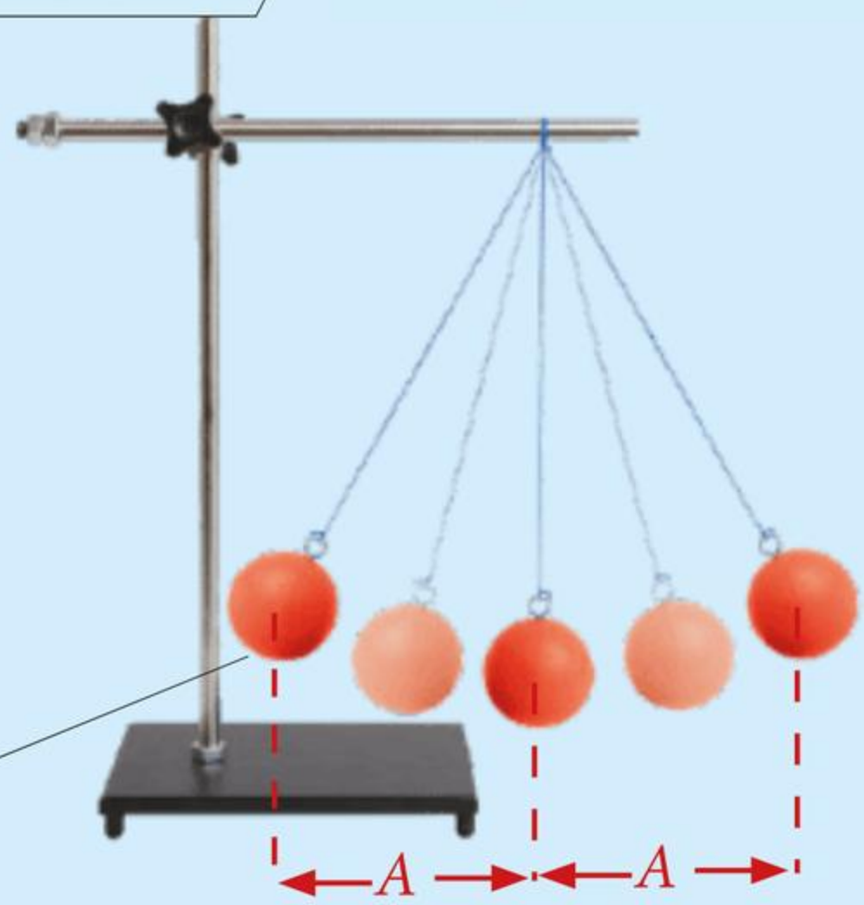
2. Zawieś obciążnik na sprężynie lub gumce. Naciągnij lekko i puść swobodnie. Co zauważasz?

Sprężyna na przemian kurczy się i rozciąga, a obciążnik porusza się w górę i w dół. Jego ruch się powtarza do chwili zatrzymania.



3. Zamocuj obciążnik na nitce, a nitkę zawieś na statywie lub na linijce podpartej książkami tak, aby obciążnik mógł się swobodnie wahać.
4. Odchyl obciążnik od pionu o niewielki kąt i puść swobodnie. Obserwuj jego ruch.

Obciążnik porusza się po łuku okręgu raz w lewo, raz w prawo, po tym samym torze.



W doświadczeniu 36 obserwujesz ruch drgający. Zarówno obciążnik na nici, jak i obciążnik na sprężynie zatrzymały się w położeniu, w jakim były przed wychyleniem – tzw. **położeniu równowagi**. W obydwu przypadkach ciała wykonywały drgania wokół położenia równowagi, tzn. poruszały się raz w jedną, raz w drugą stronę względem niego.

Ciało porusza się **ruchem drgającym**, jeśli przemieszcza się tam i z powrotem po tym samym torze i ruch powtarza się w równych odstępach czasu.



Wahadło zegara porusza się ruchem drgającym.

Ciało drgające osiąga maksymalne wychylenie w jedną stronę, następnie zmienia kierunek ruchu, po chwili przechodzi przez położenie równowagi i ponownie osiąga maksymalne wychylenie – tym razem w drugą stronę. Obciążnik zawieszony na nici to model **wahadła matematycznego**. Przyjmuje się, że wahadło matematyczne to punktowa (tzn. skupiona w jednym punkcie) masa zawieszona na nierozciągliwej i nieważkiej nici (czyli nici, która nie ma ciężaru). Ciężarek drgający na sprężynie jest nazywany **wahadłem sprężynowym**.

Największe wychylenie z położenia równowagi nazywa się **amplitudą** drgań.

Amplitudę oznacza się literą *A* (zaznaczono ją na ilustracji w doświadczeniu 36).

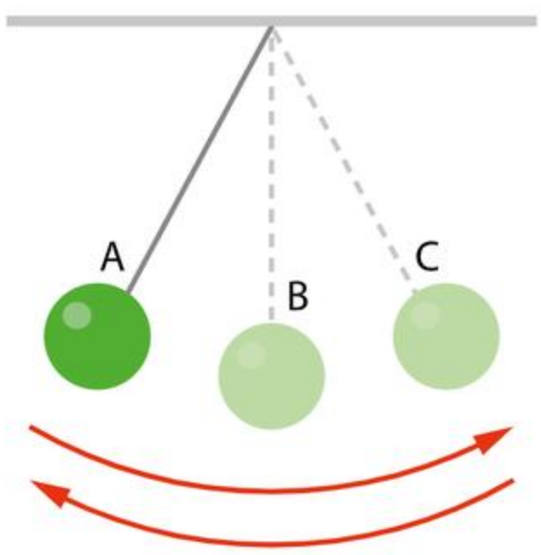
FIZYKA WOKÓŁ NAS

Drga wahadło starego zegara ściennego oraz dzwon na wieży. Boja na powierzchni jeziora i dziecko na huśtawce także wykonują ruch drgający. Drgają twoje struny głosowe, kiedy mówisz, drgają struny instrumentów muzycznych, a także membrany głośników emitujących dźwięki.

Wielkością opisującą ruch drgający jest okres drgań.

Okres drgań T to czas potrzebny na wykonanie jednego pełnego drgania (wahnięcia).

Jednostką okresu jest **sekunda** (1 s).
Jeśli ruch wahadła rozpatruje się od chwili, gdy znajduje się ono w położeniu maksymalnego wychylenia np. w lewo (patrz rysunek), to pełne drganie nastąpi, gdy wahadło wychyli się maksymalnie w drugą stronę (po minięciu położenia równowagi) i powróci do położenia maksymalnego wychylenia w lewo (czyli dwukrotnie przejdzie przez położenie równowagi).



Schematyczne przedstawienie ruchu wahadła w ciągu jednego okresu drgań.
A – maks. wychylenie w lewo,
B – położenie równowagi,
C – maks. wychylenie w prawo.

Wielkością opisującą ruch drgający jest też częstotliwość.

Częstotliwość f jest to liczba drgań wykonanych w jednostce czasu.

Można ją więc obliczyć ze wzoru:

$$\text{częstotliwość} = \frac{\text{liczba pełnych drgań}}{\text{czas trwania tych drgań}} \qquad f = \frac{n}{t}$$

Ponieważ okres T jest czasem potrzebnym do wykonania jednego drgania, częstotliwość można obliczyć również ze wzoru:

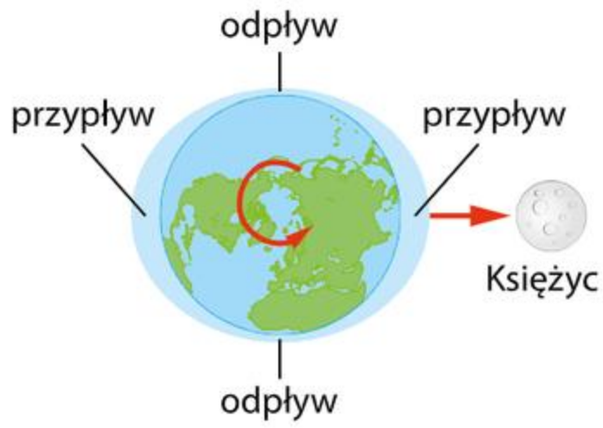
$$\text{częstotliwość} = \frac{1}{\text{okres}} \qquad f = \frac{1}{T}$$

Jednostką częstotliwości jest **herc** (**1 Hz**). $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Heinricha Rudolfa Hertza (czyt. hajnricha rudolfa herca).

O Heinrichu Rudolfie Hertzu więcej przeczytasz na str. 194.

CIEKAWOSTKA

Wiele zjawisk występujących w przyrodzie zachodzi okresowo. Przykładem są przypływy i odpływy, czyli zmiany poziomu wód mórz i oceanów. Przyczyną pływów morskich jest oddziaływanie grawitacyjne Księżyca i Słońca na wody mórz i oceanów oraz rotacja Ziemi.
Woda po stronie Księżyca jest przyciągana przez satelitę i wybrzusza się w jego stronę. Po przeciwnej stronie Ziemi przyciąganie Księżyca jest najsłabsze i tam woda również się wybrzusza.
W wyniku rotacji Ziemi obszar spiętrzonej wody (przypływu) przemieszcza się względem Ziemi. Na podobnej zasadzie na morza i oceany oddziałuje Słońce. Największe przypływy występują wtedy, gdy Księżyc i Słońce znajdują się w jednej linii, czyli podczas nowiu i pełni.



PRZYKŁAD

Obliczanie częstotliwości i okresu drgań

Dziecko rozbujało huśtawkę i odeszło z placu zabaw. Krzysiek obserwował tę huśtawkę i policzył, że wykonała dokładnie 20 drgań w ciągu minuty. Ile wynoszą okres i częstotliwość drgań huśtawki?

Dane:
$n = 20$
$t = 1$ min

Szukane:
$T = ?$
$f = ?$

Rozwiązanie:
Skoro 20 drgań trwało 1 minutę, czyli 60 s, to jedno drganie trwa:

$$T = 60\ \text{s} : 20 = 3\ \text{s}$$

Okres drgań wynosi 3 s. Częstotliwość jest odwrotnością okresu, zatem:

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

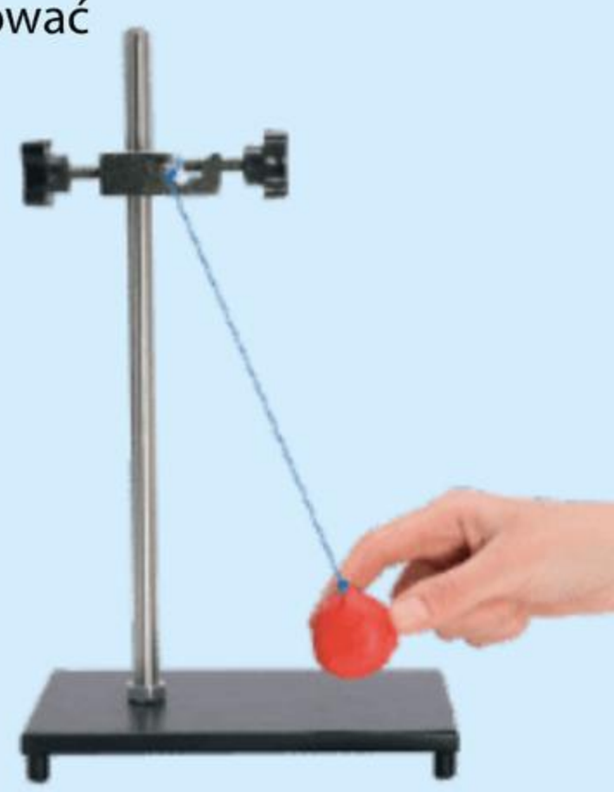
Odpowiedź: Okres drgań huśtawki to 3 s, a częstotliwość wynosi $\frac{1}{3}$ Hz.

Badanie okresu drgań

Aby zbadać ruch drgający, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 37

1. Przygotuj: nierozciągliwą nitkę, obciążnik, który możesz do niej przymocować (np. kulkę z plasteliny, jabłko, stalową nakrętkę), statyw lub linijkę i kilka książek oraz stoper (np. w telefonie komórkowym).
2. Zamocuj obciążnik na długiej nitce, a nitkę zawieś na statywie lub na linijce podpartej książkami tak, aby obciążnik mógł się swobodnie wahać.
3. Odchyl obciążnik od pionu o niewielki kąt i puść swobodnie, równocześnie włączając stoper.
4. Zmierz czas 10 drgań i zapisz wyniki w zeszycie.
5. Otrzymany czas trwania 10 drgań podziel przez 10 – uzyskasz w ten sposób wartość okresu drgań wahadła.
6. Powtórz doświadczenie dla innych długości nici.
7. Oblicz w zeszycie częstotliwość drgań dla danej długości nici wahadła.



Zauważ, że niepewność pomiaru czasu zależy głównie od dokładności stopera, refleksu eksperymentatora oraz jego oceny położenia wahadła. Wahadło porusza się dość szybko i praktycznie nie da się włączyć i wyłączyć stopera w idealnym momencie. Jednak ma to znaczenie tylko na początku i na końcu eksperymentu

– niezależnie od liczby drgań. Zatem niepewność pomiaru wynikająca z niedokładnego włączenia i wyłączenia stopera przypada na cały pomiar, a więc na tyle drgań, ile wahadło wykona od puszczenia do zatrzymania. Oznacza to, że zmierzenie czasu 10 drgań i podzielenie uzyskanego wyniku przez 10 da dokładniejszy wynik niż pomiar czasu pojedynczego wahnięcia.
Zwróć uwagę, że okres drgań zależał od długości nici.

Im większa długość wahadła matematycznego, tym dłuższy okres jego drgań (czyli mniejsza częstotliwość drgań)*.

Wykonaj poniższe doświadczenie, by zbadać ruch wahadła sprężynowego.

DOŚWIADCZENIE 38

1. Przygotuj: sprężynę lub gumkę, dwa obciążniki, które możesz do niej przymocować (np. kulki z plasteliny, stalowe nakrętki), stoper, statyw albo linijkę i kilka książek.

Wskazówka. Sprężyna lub gumka musi być odpowiednio dopasowana do obciążnika – pod jego ciężarem powinna się wyraźnie rozciągnąć, ale nie do granic możliwości.

2. Zawieś obciążnik na sprężynie lub gumce. Naciągnij lekko i puść swobodnie, włączając równocześnie stoper.
3. Zmierz czas 10 drgań.
4. Do pierwszego obciążnika dołącz drugi i powtórz doświadczenie.
5. Oblicz czas i częstotliwość drgań obciążników zawieszonych na sprężynie.



Częstotliwość drgań zależała od masy zawieszonych ciężarków.

Im większa masa wahadła sprężynowego, tym dłuższy okres jego drgań (czyli mniejsza częstotliwość drgań)*.

Zwróć uwagę, że w doświadczeniach 37 i 38 wahadła wytrącone z położenia równowagi i puszczone swobodnie drgały z określoną częstotliwością, która zależała odpowiednio od długości nici lub masy obciążnika. Taką częstotliwość drgań charakterystyczną dla każdego wahadła nazywa się częstotliwością drgań własnych.

Częstotliwość, z jaką ciało wytrącone z położenia równowagi wykonuje drgania swobodne, to **częstotliwość drgań własnych**.

* Nie jest to zależność wprost proporcjonalna.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Ruch drgający** to ruch, w którym ciało cyklicznie przemieszcza się tam i z powrotem po tym samym torze.
- **Amplituda** to największe wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi.
- **Okres** to czas jednego pełnego drgania. Jednostką okresu jest sekunda.
- **Częstotliwość** jest liczbą drgań wykonanych w jednostce czasu. Jednostką częstotliwości jest **herc**: $1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$.
- **Częstotliwość drgań** oblicza się ze wzorów:

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{lub} \quad f = \frac{n}{t},$$

gdzie: T – okres drgań, n – liczba cykli drgań, t – czas trwania n cykli drgań.

- **Częstotliwość drgań własnych** to częstotliwość, z jaką ciało wytrącone z położenia równowagi wykonuje drgania swobodne.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Spośród poniższych zdań wybierz te, które opisują ruch drgający.

A. Torem ruchu może być odcinek.

B. Ciało może ciągle poruszać się ruchem jednostajnym.

C. Przykładem może być ruch wahadła zegara.

D. Przykładem może być ruch dzwonu na wieży.

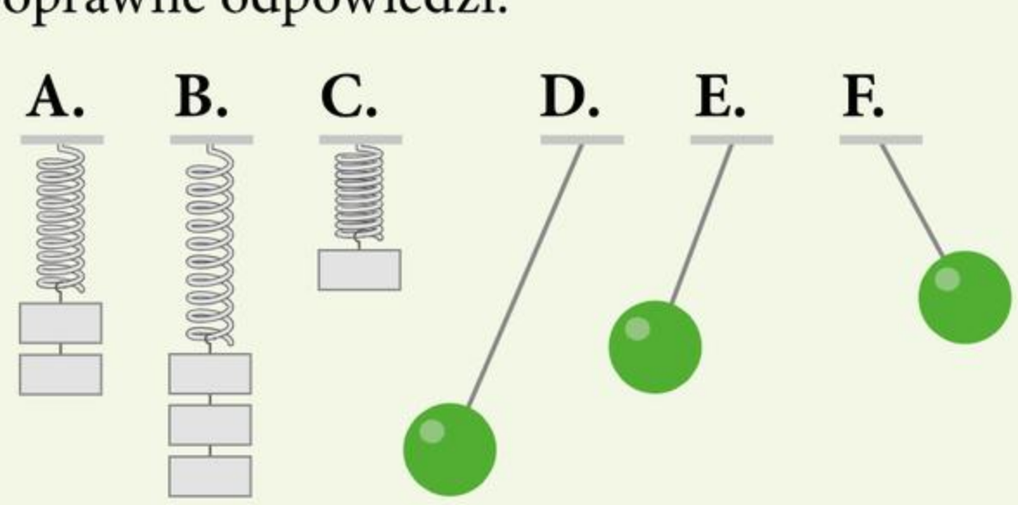
E. Torem ruchu może być fragment łuku okręgu.

F. Przykładem może być spadanie piłki z niewielkiej wysokości.

G. Po upływie określonego czasu ciało znajdzie się w tym samym położeniu.

2 Przyjrzyj się rysunkom i wybierz poprawne odpowiedzi.

a) Jeżeli wszystkie sprężyny i ciężarki są identyczne, to najdłuższy okres drgań ma ciało na rysunku **A**/ **B**/ **C**, natomiast największą częstotliwość drgań – ciało na rysunku **A**/ **B**/ **C**.



b) Najdłuższy okres drgań ma wahadło na rysunku **D**/ **E**/ **F**, natomiast największą częstotliwość ma wahadło na rysunku **D**/ **E**/ **F**.

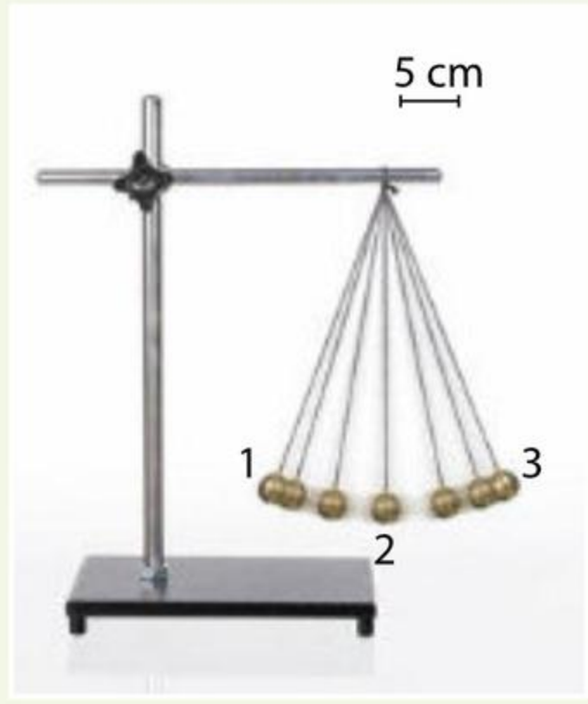
3 Przeanalizuj poklatkową prezentację wahadła w ruchu zamieszczoną poniżej.

a) Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Wprawienie wahadła w ruch odbyło się przez wychylenie go w lewo i puszczenie. Wahadło znajduje się w położeniu równowagi w **A/ B/ C/ D**.

A. punkcie 1 **C.** punkcie 3

B. punkcie 2 **D.** punktach 1 oraz 3



b) Korzystając z podziałki na zdjęciu, określ przybliżoną amplitudę drgań tego wahadła.

4 Czworo uczniów wyznaczało okresy drgań wahadeł o różnych długościach. Zapisali swoje wyniki pomiarów. Przerysuj tabelę do zeszytu, wykonaj odpowiednie obliczenia i ją uzupełnij. Pierwszy wiersz tabeli został dla przykładu uzupełniony.

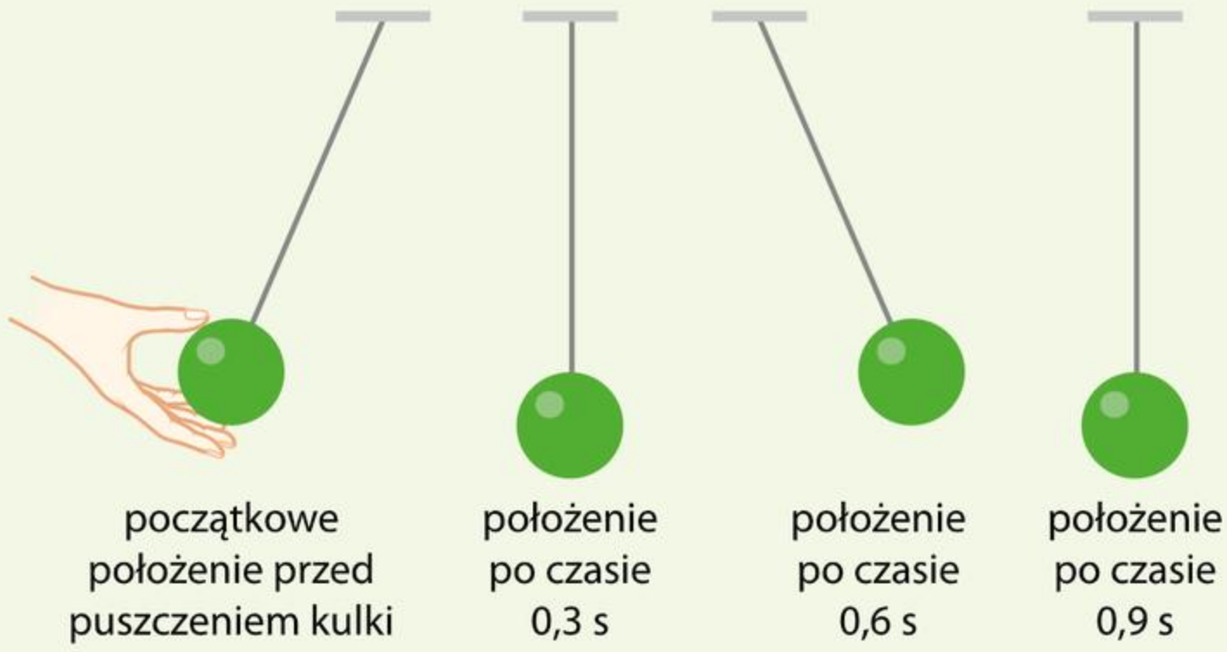
Numer pomiaru	Zmierzony czas	Liczba wahnięć	Okres drgań [s]	Częstotliwość drgań [Hz]
1	1 min 20 s	100	0,8	1,25
2	30 s	60		
3	1 min	48		
4	1 min 40 s	40		

5 Przeanalizuj rysunek pokazujący kolejne położenia wahadła tuż po wprawieniu go w drgania. Zwróć uwagę na zamieszczone opisy. Na podstawie rysunków podaj:

a) czas, jaki mija między kolejnymi przejściami wahadła przez położenie równowagi,

b) czas, jaki mija między przejściem przez położenie równowagi a maksymalnym wychyleniem,

c) okres drgań tego wahadła.

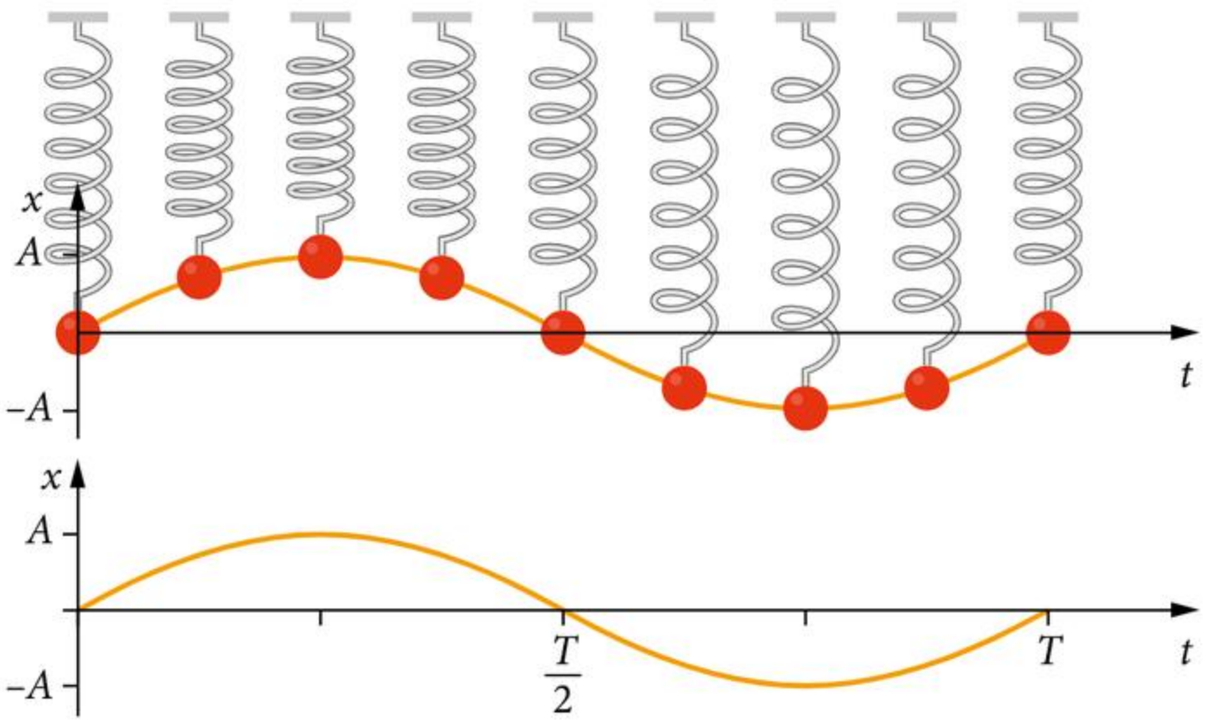


16 Wykres ruchu drgającego. Przemiany energii

Cel lekcji: Dowiesz się, jak za pomocą wykresu przedstawić ruch drgający, jakie informacje można odczytać z takiego wykresu oraz jakie przemiany energii zachodzą w tym ruchu.

Wykres opisujący ruch wahadła sprężynowego

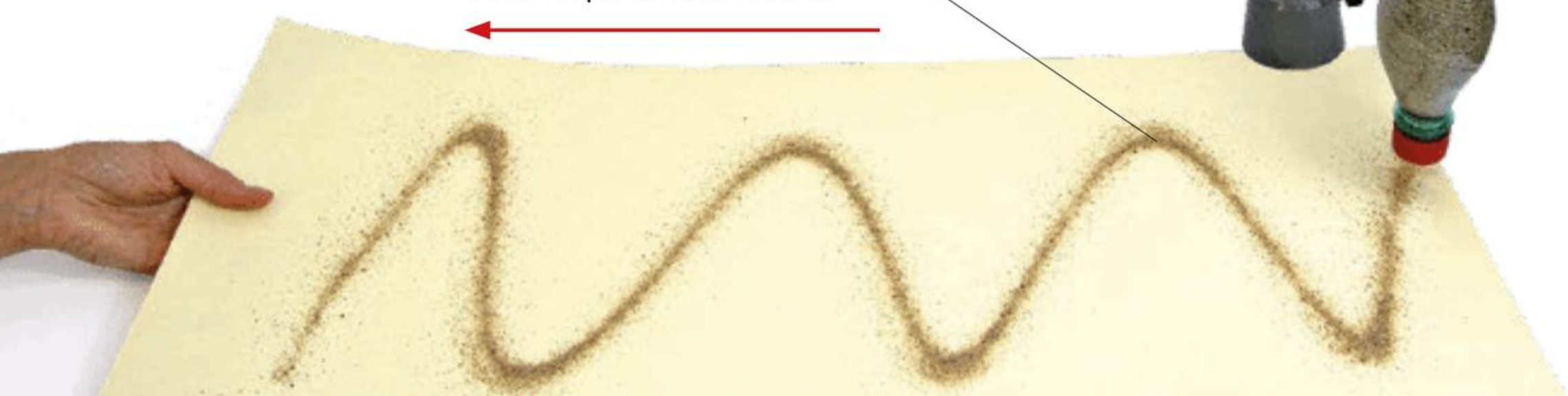
Z lekcji fizyki w klasie siódmej wiesz już, jak sporządzić wykres zależności drogi od czasu dla poruszającego się ciała. Wahadło jest poruszającym się ciałem, zatem i jego ruch można przedstawić na wykresie. Ponieważ wahadło porusza się cyklicznie tam i z powrotem po tym samym torze, w jego przypadku będziemy analizować, jak zmienia się w czasie jego położenie, a nie przebyta droga.
Rozpatrzmy ruch ciężarka zawieszonego na sprężynie. Jeśli przyjmiemy, że porusza się on wzdłuż osi x, a jego położenie początkowe znajduje się w punkcie 0, to jego ruch można przedstawić jak na rysunku poniżej.



Schematyczne przedstawienie sposobu powstawania wykresu drgań.



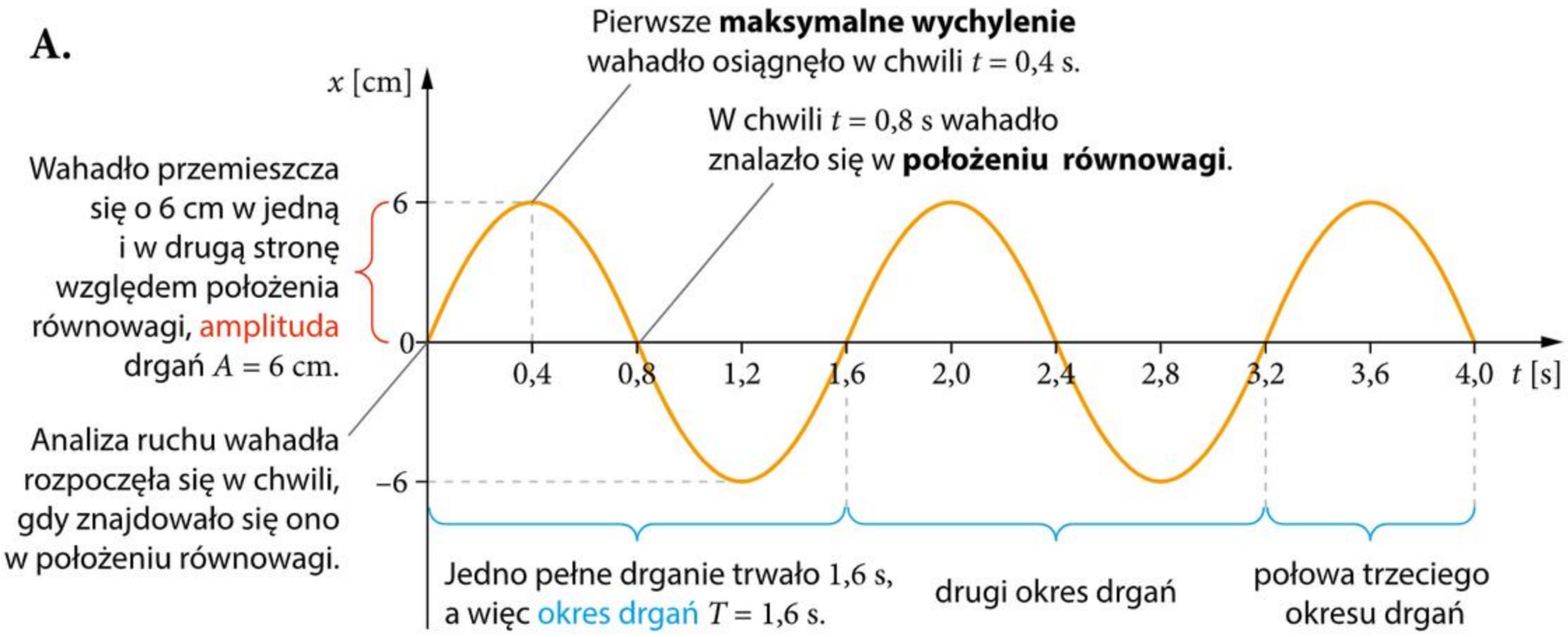
Jeśli butelkę napełnisz suchym piaskiem i w nakrętce zrobisz niewielki otwór oraz wprawisz wahadło (butelkę) w ruch, to na przesuwanym ruchem jednostajnym papierze otrzymasz krzywą, która obrazuje wykres zależności położenia wahadła od czasu.



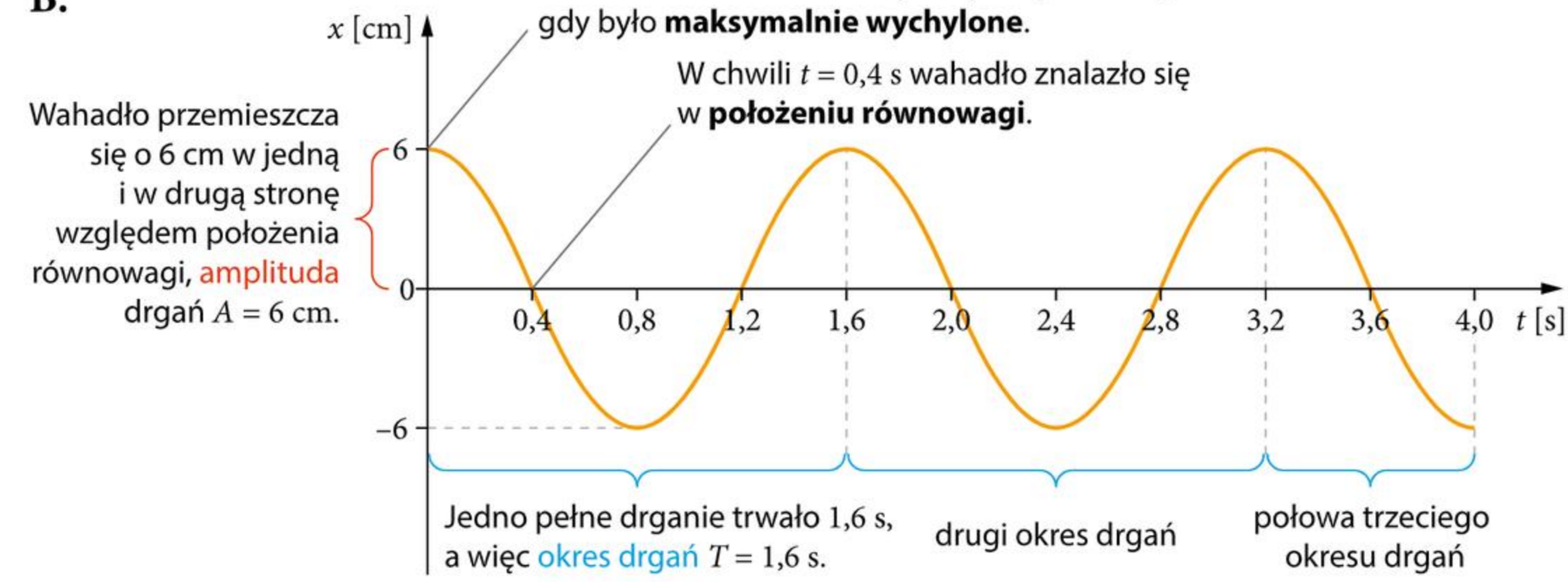
Odczytywanie informacji z wykresu *x*(*t*) ruchu drgającego

Jakie informacje można odczytać z wykresu zależności położenia od czasu dla ruchu drgającego? Przyjrzyj się poniższym wykresom i zapisanym przy nich informacjom. Zwróć uwagę, że przedstawiono na nich ruch tego samego wahadła, a jedyną różnicą jest moment rozpoczęcia analizy jego ruchu.

A.



B.



Wykres zależności położenia od czasu dla drgającego wahadła, które rozpoczęło ruch od: A. położenia równowagi, B. maksymalnego wychylenia.

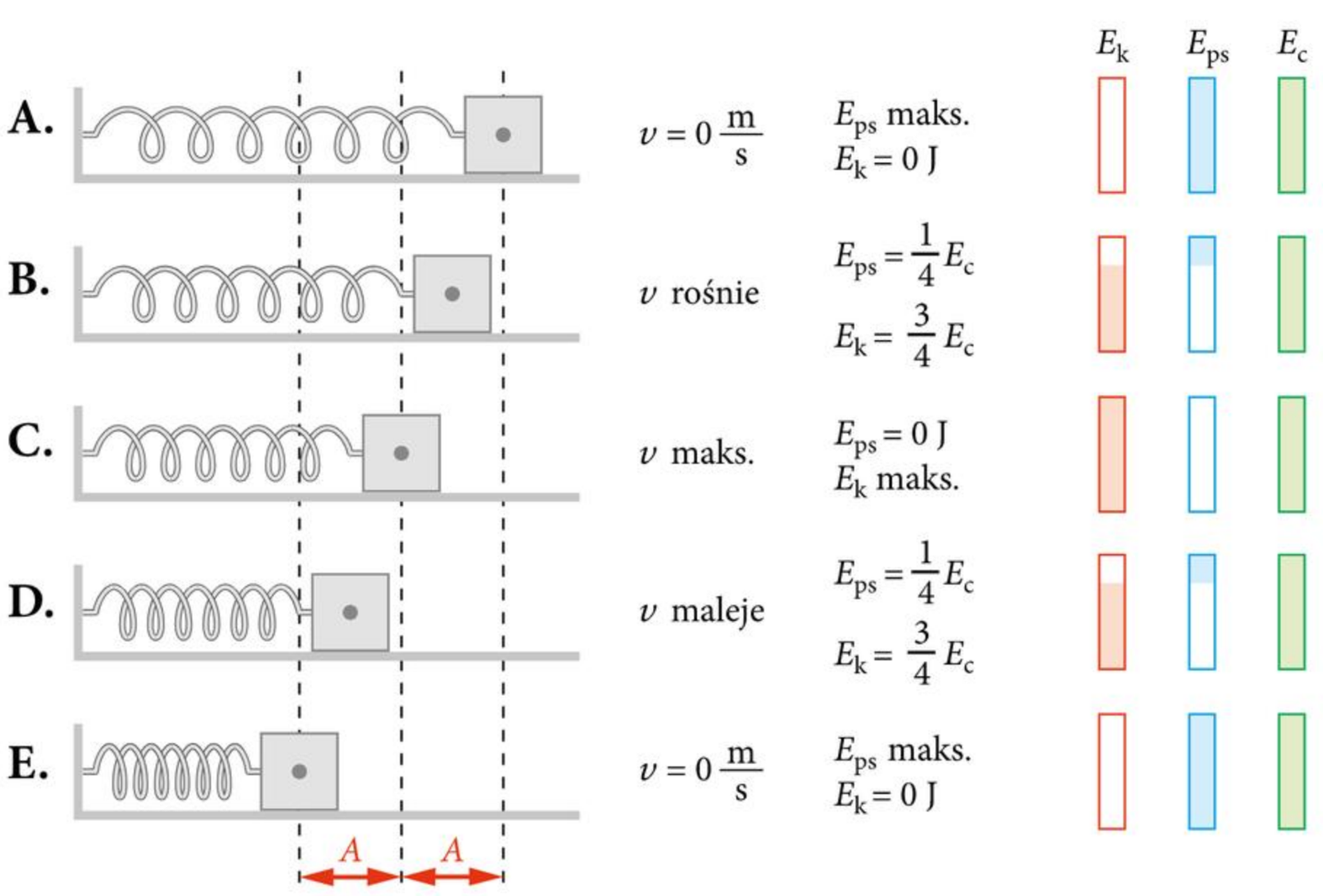
Przemiany energii w ruchu poziomym ciężarka na sprężynie

Rozważmy przemiany energii w ruchu poziomym obciążnika przymocowanego do sprężyny. Przyjmijmy, że **nie występują opory ruchu**. Zauważ, że okresowo zmieniają się dwie wielkości: długość sprężyny i prędkość obciążnika przyczepionego do sprężyny.

Ze zmianą długości sprężyny wiąże się zmiana jej **energii potencjalnej sprężystości**. Gdy sprężynę rozciągasz lub ściskasz, uzyskuje ona tę energię dzięki pracy twoich mięśni. Im większa jest zmiana długości, tym większą energię potencjalną sprężystości zyskuje sprężyna i tym większą siłą sprężystości sprężyna działa na twoje dłonie. Zarówno siła sprężystości, jak i energia potencjalna zmieniają się w trakcie drgań ciężarka na sprężynie, gdyż obie te wielkości zależą od rozciągnięcia (ściśnięcia) sprężyny.

Energia potencjalna sprężystości w położeniu równowagi (sprężyna nierozciągnięta) jest równa zero, a największa jest przy maksymalnym wydłużeniu (sprężyna rozciągnięta) i maksymalnym skróceniu sprężyny (sprężyna ściśnięta).

Diagram przedstawia przemiany energii potencjalnej sprężystości E_{ps} i energii kinetycznej E_k, które zachodzą podczas ruchu klocka na sprężynie (w poziomie).



Schematyczne przedstawienie przemian energii w ruchu wahadła sprężynowego w poziomie; E_k – energia kinetyczna, E_{ps} – energia potencjalna sprężystości, E_c – energia całkowita.

Podczas drgań poziomych obciążnika przymocowanego do sprężyny okresowo zmienia się również jego prędkość, a więc i **energia kinetyczna**.

- Kiedy obciążnik przechodzi przez położenie równowagi (rys. C), jego prędkość jest największa, po czym stopniowo maleje i osiąga wartość zero w położeniu maksymalnego skrócenia sprężyny (rys. E).
- Następnie obciążnik zaczyna poruszać się w stronę położenia równowagi i jego prędkość znowu rośnie.
- Prędkość ponownie przyjmuje maksymalną wartość w położeniu równowagi.
- Następnie prędkość maleje i w położeniu maksymalnego wydłużenia sprężyny (rys. A) wynosi zero.

Potem cały **cykl się powtarza**. Podsumujmy:

Energia kinetyczna obciążnika jest równa zero przy maksymalnym wydłużeniu i maksymalnym skróceniu sprężyny, a największą wartość przyjmuje podczas przejścia przez położenie równowagi.

- Zatem energia potencjalna rozciągniętej sprężyny zamienia się stopniowo w energię kinetyczną obciążnika, która przyjmuje największą wartość przy przechodzeniu obciążnika przez położenie równowagi (rys. C na stronie 167), gdzie prędkość jest maksymalna (więc E_k jest maksymalna).
- Następnie energia kinetyczna obciążnika stopniowo zamienia się w energię potencjalną sprężystości ściskanej sprężyny (rys. D).
- W położeniu maksymalnego wychylenia (rys. E) energia kinetyczna jest równa zero, a energia potencjalna sprężystości jest maksymalna.
- Gdy obciążnik porusza się w stronę położenia równowagi, energia potencjalna rozciągającej się sprężyny zamienia się w energię kinetyczną obciążnika.
- Następnie sprężyna znów się rozciąga i uzyskuje energię potencjalną sprężystości (energia kinetyczna stopniowo maleje do zera), po czym cały proces się powtarza.



Podczas skakania na sprężynie zachodzi przemiana energii potencjalnej sprężystości w energię potencjalną grawitacji i energię kinetyczną.

W poziomym ruchu drgającym obciążnika przymocowanego do sprężyny następują cykliczne zamiany **energii potencjalnej sprężystości w energię kinetyczną** obciążnika i odwrotnie.

Gdyby nie było oporów ruchu, to zgodnie z zasadą zachowania energii mechanicznej suma energii potencjalnej sprężystości i energii kinetycznej byłaby taka sama w każdym położeniu obciążnika, a ruch trwałby nieskończenie długo.
Opory ruchu powodują stopniowe zmniejszanie się energii mechanicznej aż do zatrzymania się ciężarka. Energia mechaniczna jest zamieniana na pracę związaną z pokonywaniem oporów ruchu.

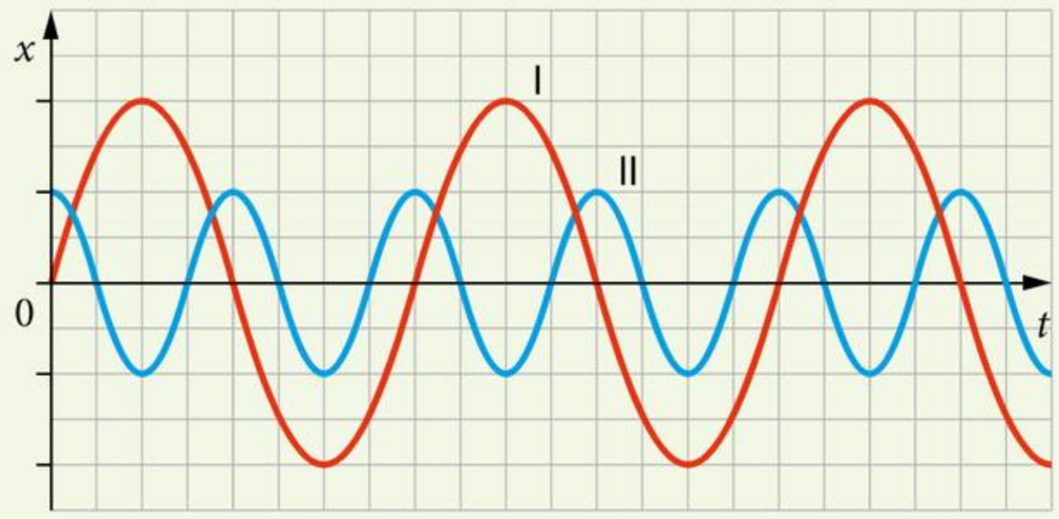
TO NAJWAŻNIEJSZE

- Ruch drgający można przedstawić na **wykresie zależności wychylenia od czasu**. Z takiego wykresu można odczytać okres i amplitudę drgań.
- Podczas drgań wahadła następują **okresowe przemiany energii**.
- W przypadku obciążnika przymocowanego do sprężyny i drgającego w poziomie **energia potencjalna sprężystości zamienia się** okresowo **w energię kinetyczną**. W położeniu równowagi takie wahadło ma największą energię kinetyczną, a przy maksymalnym wychyleniu ma największą energię potencjalną sprężystości.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przeanalizuj wykresy zależności położenia od czasu dla dwóch drgających obciążników zawieszonych na sprężynach. Wskaż zdania prawdziwe.



Czerwona krzywa – zależność dla ciężarka I, niebieska krzywa – zależność dla ciężarka II.

A. W pewnych chwilach oba ciężarki jednocześnie są maksymalnie wychylone z położenia równowagi.

B. Amplituda drgań ciężarka I jest dwukrotnie większa od amplitudy drgań ciężarka II.

C. Oba ciężarki przechodzą przez położenie równowagi w tym samym czasie.

D. Częstotliwość drgań ciężarka II jest dwukrotnie mniejsza niż ciężarka I.

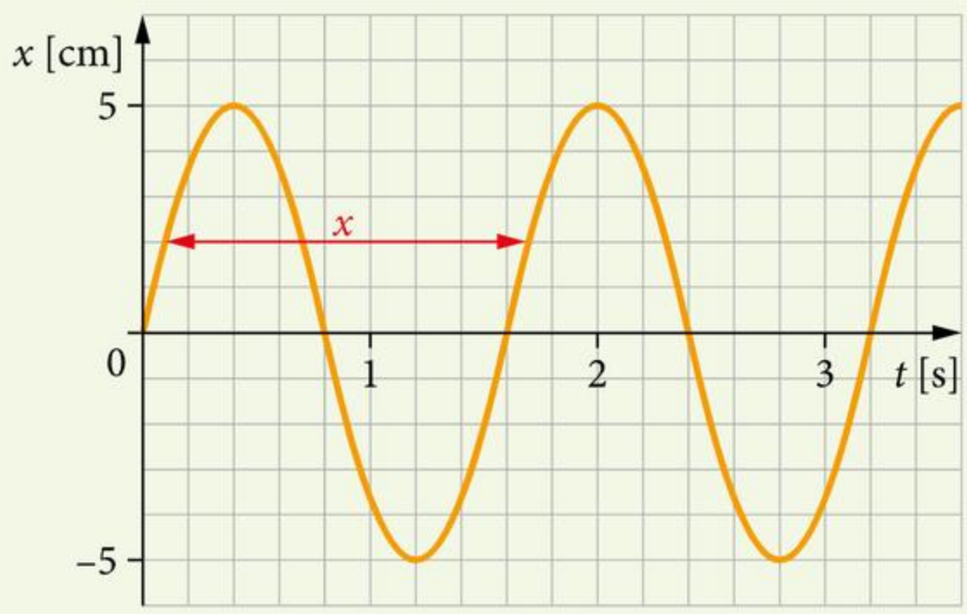
2 Przeanalizuj wykres zależności wychylenia z położenia równowagi od czasu dla drgającego wahadła.

a) Odczytaj z wykresu amplitudę drgań.

b) Odczytaj z wykresu okres drgań.

c) Oblicz częstotliwość drgań.

d) Podaj przykłady dwóch chwil, w których wahadło było maksymalnie wychylone z położenia równowagi.



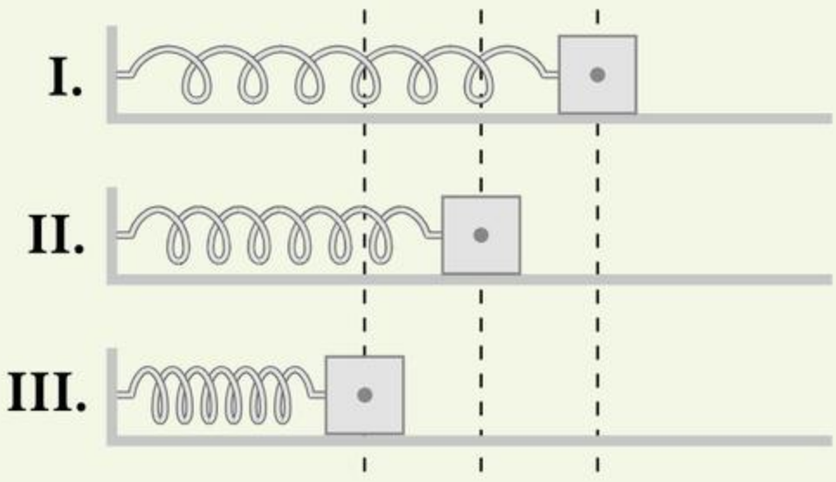
e) Podaj przykłady dwóch chwil, w których wahadło znajdowało się w położeniu równowagi.

f) Zaznaczony na wykresie odcinek x odpowiada **A**/ **B**.

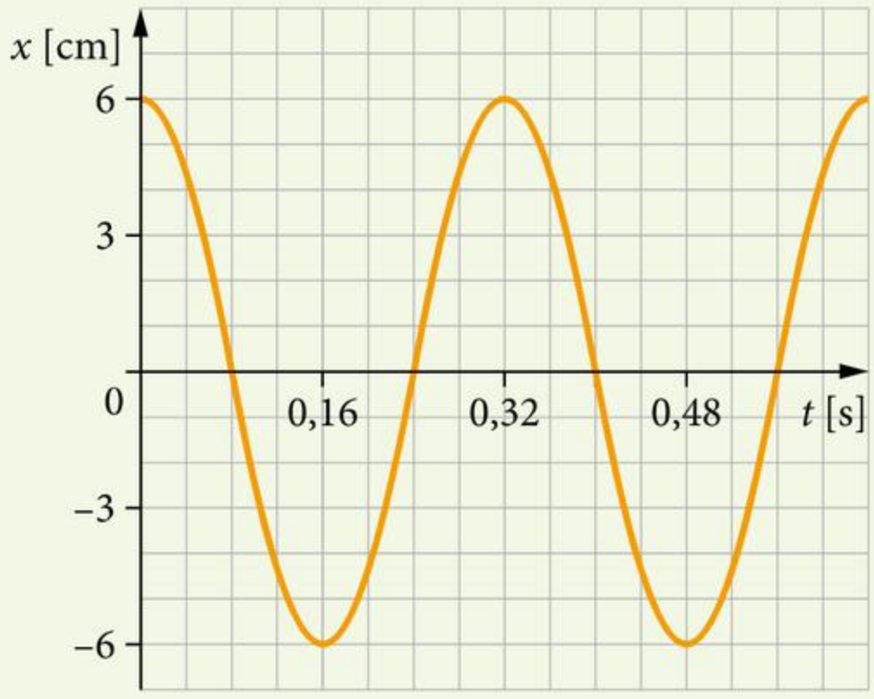
A. dwóm okresom drgań

B. okresowi drgania

3 Wyobraź sobie, że ciężarek na sprężynie ślizgał się po gładkim stole (poruszał się ruchem drgającym bez tarcia). W położeniu I sprężyna była maksymalnie rozciągnięta, w położeniu II – nie była ani ściśnięta, ani rozciągnięta, natomiast w położeniu III – była maksymalnie ściśnięta.



Przeanalizuj wykres ilustrujący zależność położenia tego obciążnika od czasu.



Początkowe położenie obciążnika (w chwili $t = 0$ s) jest takie jak na rysunku I. Po czasie 0,08 s ciężarek znajdował się w położeniu II, a po czasie 0,16 s – w położeniu III. Wybierz poprawne dokończenia zdań.

a) Dla $t = 0{,}24$ s oraz 0,40 s ciężarek znajduje się **A/ B/ C**, a jego energia potencjalna sprężystości jest **D/ E**.

b) Dla $t = 0{,}32$ s oraz 0,64 s ciężarek znajduje się **A/ B/ C**, a jego energia kinetyczna jest **D/ E**.

c) Dla $t = 0{,}56$ s oraz 0,72 s ciężarek znajduje się **A/ B/ C**, a jego energia kinetyczna jest **D/ E**.

d) Dla $t = 0{,}48$ s oraz 0,80 s ciężarek znajduje się **A/ B/ C**, a jego energia potencjalna sprężystości jest **D/ E**.

A. w położeniu I
B. w położeniu II
C. w położeniu III
D. maksymalna
E. minimalna

4 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Okres drgań wahadła wynosi 0,6 s. Maksymalną energię kinetyczną wahadło osiąga co **A/ B/ C/ D**. Maksymalną energię potencjalną wahadło osiąga co **A/ B/ C/ D**.

A. 0,3 s
B. 1,2 s
C. 0,6 s
D. 0,15 s

Wskazówka. Ile razy wahadło przechodzi przez położenie równowagi, a ile razy znajduje się w maksymalnym wychyleniu podczas jednego okresu drgań?

17 Fale mechaniczne

Cel lekcji: Dowiesz się, czym jest fala, jakie ma właściwości, jakie wielkości ją opisują i jaki jest związek między drganiami a falami.

Jak powstaje fala mechaniczna

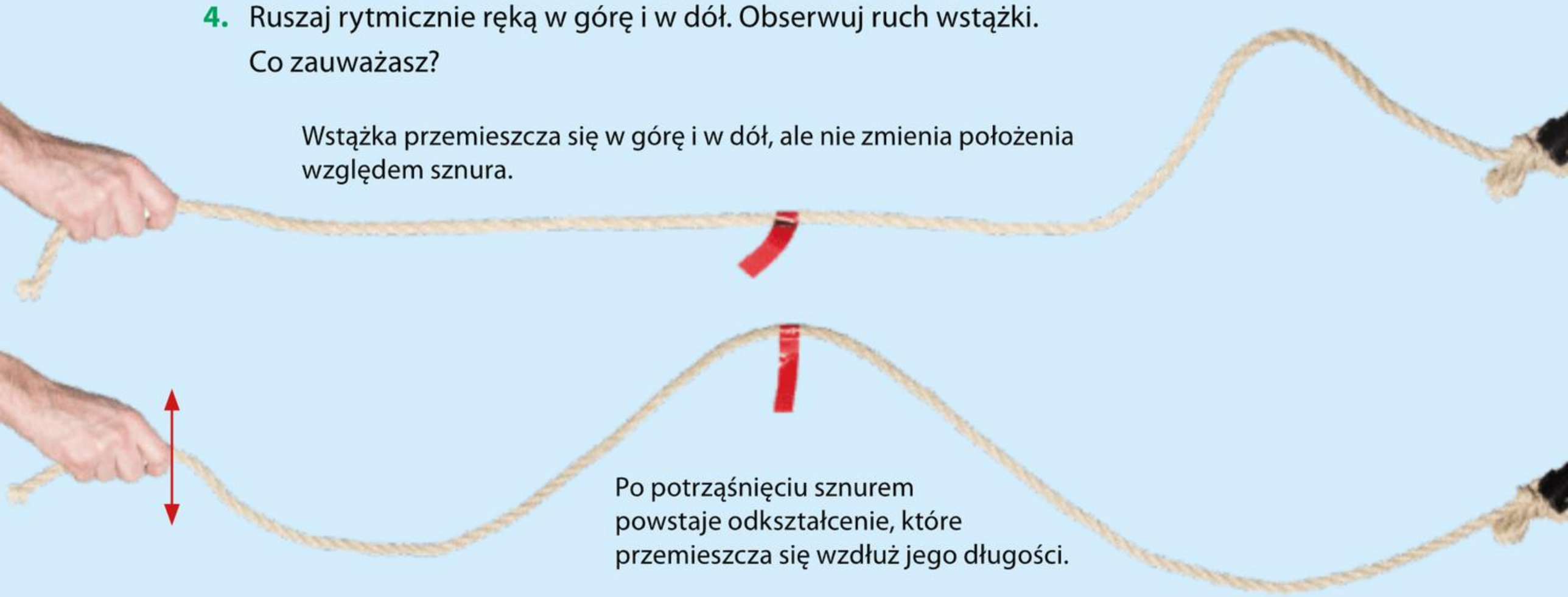
Na pewno zdarzyło ci się obserwować fale na powierzchni wody. Często słyszysz też o falach radiowych czy akustycznych. Czym właściwie jest fala i jak powstaje? Aby odpowiedzieć na to pytanie, wykonaj proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 39

1. Przygotuj długi gruby sznur lub gumowy wąż (najlepiej 2–3 m) i kawałek kolorowej wstążki albo taśmy.

Wskazówka. Do doświadczenia potrzebne będzie dużo miejsca.

2. Przymocuj jeden koniec sznura np. do klamki zamkniętych drzwi lub do kaloryfera. Przywiąż wstążkę w dowolnym miejscu na sznurze.
3. Naciągnij wąż, trzymając jego drugi koniec jedną ręką, a następnie szybko potrząśnij jednokrotnie w górę i w dół. Co obserwujesz?
4. Ruszaj rytmicznie ręką w górę i w dół. Obserwuj ruch wstążki. Co zauważasz?

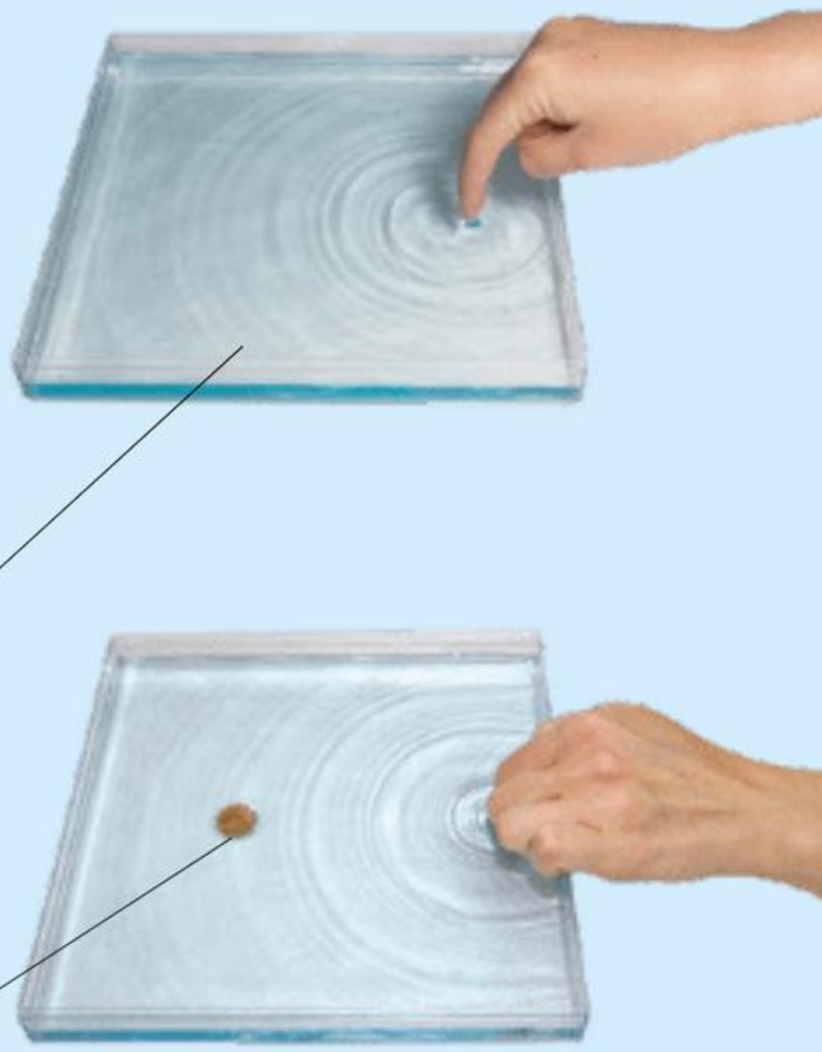


W pierwszej części doświadczenia można zaobserwować pojedyncze odkształcenie, które przemieszcza się wzdłuż sznura. Jest to tzw. **impuls falowy**, czyli krótkotrwała fala. Rytmicznie potrząsając sznurem, wytwarzasz ciąg impulsów falowych – falę, która powstaje, dopóki poruszasz ręką. Każde zaburzenie (każdy

impuls falowy) w tej fali odpowiada jednemu potrząśnięciu sznurem. W dalszej części doświadczenia można zauważyć, że gdy odkształcenie przesuwa się wzdłuż sznura, wstążka drga w górę i w dół wokół położenia równowagi – nie przemieszcza się wzdłuż sznura.
Wykonajmy kolejne doświadczenie pokazujące, jak podobne zaburzenie przemieszcza się na powierzchni wody.

DOŚWIADCZENIE 40

1. Przygotuj: wanienkę taką jak na fotografii (możesz ją zastąpić przezroczystym pudełkiem lub akwarium), lampę i korek lub kawałek styropianu.
2. Do wanienki nalej wody i oświetl ją od góry. Uderzaj palcem lekko, w stałym tempie w powierzchnię wody. Co obserwujesz?
3. Na powierzchni wody połóż korek. Uderzaj rytmicznie w powierzchnię wody i obserwuj, co się dzieje z korkiem. Co zauważasz?



Odkształcenie powierzchni wody rozchodzi się we wszystkie strony w postaci powiększających się okręgów o wspólnym środku. Ich cień można obserwować na dnie naczynia.

Drgania palca wywołują zaburzenie, które wprawia w drgania korek. Położony na powierzchni wody korek nie podąża za poziomym ruchem fali, ale wykonuje ruchy w górę i w dół.

Uderzanie w powierzchnię wody powoduje drgania – powierzchnia wody rytmicznie unosi się i opada. W doświadczeniu można zaobserwować rozchodzące się zaburzenia (odkształcenie powierzchni wody) w postaci okręgów, tworzące kolejne grzbiety i doliny (patrz rys. obok). Przemieszczanie się fali nie powoduje poziomego ruchu korka. Oznacza to, że:



Schematyczne przedstawienie fali na wodzie.

> Cząsteczki wody nie przemieszczają się razem z falą, czyli fale **nie przenoszą materii**.

Jak i gdzie rozchodzi się fala mechaniczna

Zarówno sznur, jak i woda w doświadczeniach 39 i 40 są dla rozchodzących się fal ośrodkiem. W wyniku

drgania jakiegoś ciała (np. ręki) w ruch drgający wprawiane są cząsteczki ośrodka (wody, sznura), te **przekazują energię** drgań kolejnym cząsteczkom i w ośrodku przemieszcza się zaburzenie zwane **falą mechaniczną**. Zauważ, że rytmiczne potrząsanie ręką to ruch drgający wykonywany z określoną częstotliwością. A zatem:



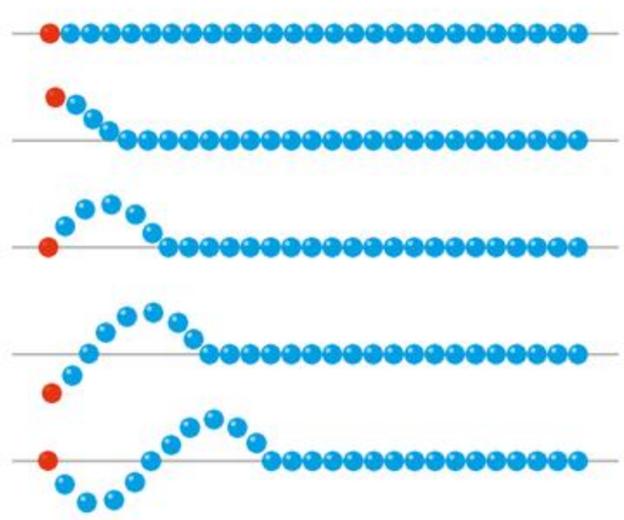
Fale na powierzchni wody powodują, że boja morska wykonuje drgania.

Źródłem fali jest drgające ciało.

Możemy teraz zdefiniować falę mechaniczną.

Rozchodzące się w ośrodku zaburzenie (odkształcenie) nosi nazwę **fali mechanicznej**. Fala może rozchodzić się na duże odległości, choć cząsteczki ośrodka nie przemieszczają się wraz z nią, a jedynie wykonują drgania.

Ciała sprężyste, w których mogą się rozchodzić fale, nazywamy **ośrodkami sprężystymi**. W przypadku powierzchni cieczy ta „sprężystość" polega na tym, że po odkształceniu powierzchnia cieczy wraca do pierwotnego płaskiego kształtu.



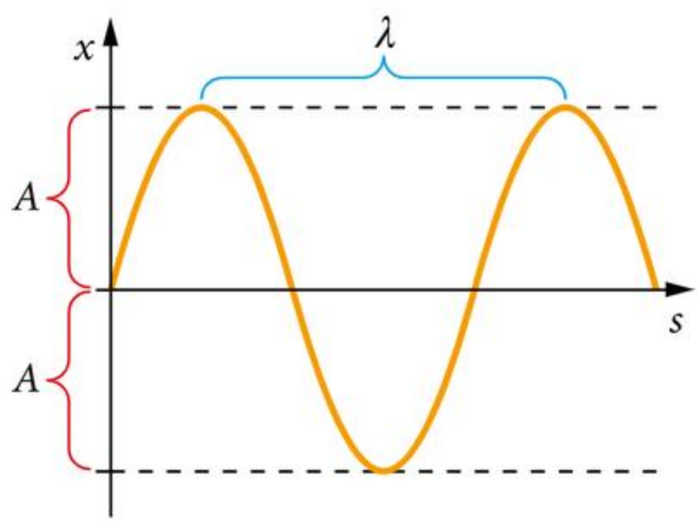
Model ośrodka sprężystego, w którym rozchodzi się fala mechaniczna.

Aby lepiej zrozumieć mechanizm powstawania i rozchodzenia się fal mechanicznych, przeanalizuj rysunek zamieszczony obok. Przedstawia on model ośrodka sprężystego, w którym cząsteczki oddziałują na siebie siłami sprężystości.

Jeżeli do drgań zostanie pobudzona pierwsza cząsteczka (na rys. oznaczona kolorem czerwonym), to spowoduje ona drganie drugiej cząsteczki, ta – następnej itd. Po pewnym czasie drgać będzie cały zespół cząsteczek. Ich położenie wyznacza krzywa, która jest graficznym obrazem fali.

Wielkości opisujące fale

Zauważ, że w czasie potrzebnym pierwszej cząsteczce do wykonania jednego pełnego drgania fala przemieszcza się na pewną odległość. Przemieszczenie to nosi nazwę **długości fali**, którą oznaczamy symbolem λ (lambda).



Długość fali λ to odległość między kolejnymi grzbietami.

Odległość, którą fala przebywa w czasie, gdy dowolnie wybrana cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie, nosi nazwę **długości fali**.

Inaczej: długość fali to odległość między jej kolejnymi grzbietami lub dolinami (patrz rys. na str. 173).
Jak już wiesz, źródłem fali mogą być drgające ciała, a fale i ruch drgający są opisywane przez te same wielkości fizyczne: amplitudę, okres i częstotliwość. Ponadto do opisu fali używa się pojęć: długość fali i prędkość rozchodzenia się fali.

Czas, w którym cząsteczka ośrodka pobudzona do drgań wykonuje jedno pełne drganie, nosi nazwę **okresu fali**.

Okres fali oznacza się literą T.
Częstotliwość fali oblicza się ze wzoru:

$\text{częstotliwość fali} = \frac{1}{\text{okres fali}}$	$f = \frac{1}{T}$

W określonym **ośrodku jednorodnym** fala rozchodzi się ze stałą prędkością v, której wartość można obliczyć ze wzoru na prędkość w ruchu jednostajnym ($v = \frac{s}{t}$).
Jak powiedzieliśmy, w czasie jednego drgania, czyli okresu (a więc dla $t = T$), zaburzenie ośrodka przebywa odległość równą długości fali ($s = \lambda$).
Zatem **prędkość fali** obliczamy ze wzoru:

$\text{prędkość fali} = \frac{\text{długość fali}}{\text{okres fali}}$	$v = \frac{\lambda}{T}$

Ponieważ $T = \frac{1}{f}$, po podstawieniu otrzymamy wzór na prędkość rozchodzenia się fali w postaci:

$\text{prędkość fali} = \text{długość fali} \cdot \text{częstotliwość}$	$v = \lambda \cdot f$

Amplituda fali to największe wychylenie cząsteczek drgającego ośrodka z położenia równowagi. Podobnie jak w ruchu drgającym, amplitudę fali oznacza się literą A (patrz rys. na str. 173).

CIEKAWOSTKA

Samiec nartnika potrafi nie tylko chodzić po powierzchni wody, lecz także tupać, i to z określoną częstotliwością: 90 Hz. W ten sposób przywołuje samice, które odróżniają fale wywołane tupaniem samca od innych fal rozchodzących się po powierzchni wody.



Ośrodek jednorodny to taki, który ma jednakowe właściwości (np. gęstość, sprężystość) w całej objętości.

Skoro prędkość fali jest dla danego ośrodka stała, to długość fali zależy od częstotliwości drgań.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Falą mechaniczną** nazywa się rozchodzące się zaburzenie ośrodka.
- Fala może się rozchodzić na duże odległości, choć cząsteczki ośrodka nie przemieszczają się wraz z nią, lecz jedynie wykonują drgania, przekazując energię kolejnym cząsteczkom.
- **Długość fali** to odległość, jaką fala pokonuje w czasie jednego pełnego drgania cząsteczki ośrodka.
- **Okres**, **częstotliwość** i **amplituda** fali to odpowiednio okres, częstotliwość i amplituda drgań cząsteczek ośrodka.
- Związek między prędkością v, długością fali λ i częstotliwością f przedstawia wzór:

$$v = \lambda \cdot f.$$

Rozwiąż zadania

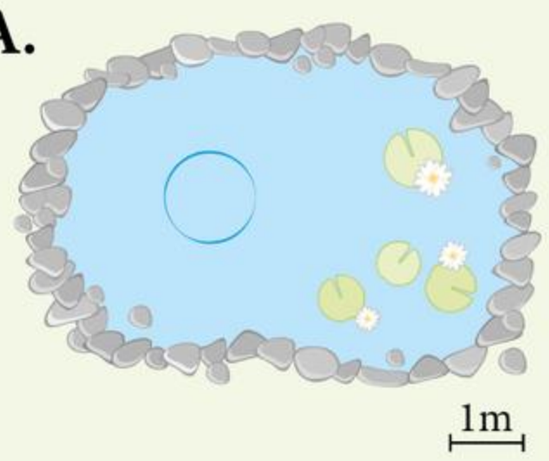
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do sadzawki wrzucono kamyk, który wytworzył na powierzchni wody falę w kształcie okręgu. Na rysunkach A i B pokazano dwa obrazy tej fali uchwycone w odstępie dwóch sekund.

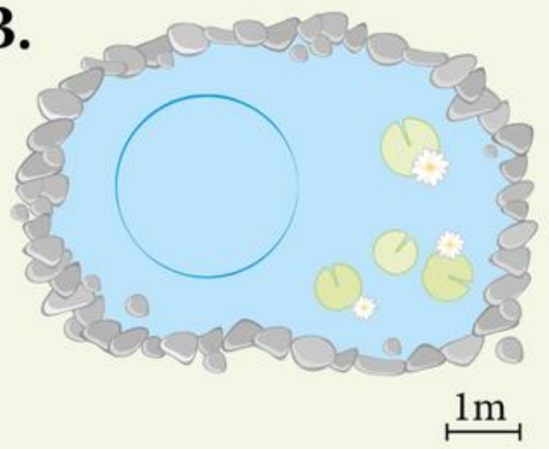
a) Oblicz prędkość rozchodzenia się fali.

b) Po jakim czasie od chwili pokazanej na drugim rysunku fala dotrze do brzegu sadzawki?

A.



B.



2 Zdjęcie przedstawia falę wytworzoną na sznurze. Określ w przybliżeniu amplitudę oraz długość tej fali. Skorzystaj z przedstawionej na zdjęciu podziałki.



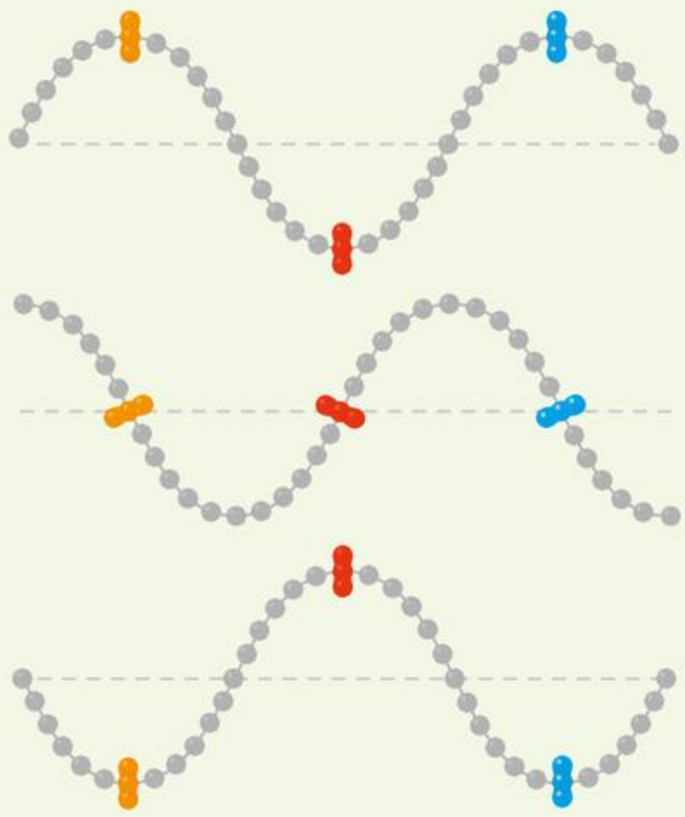
3 Pewnego dnia odległość między grzbietami fali na morzu wynosiła 2,5 m. Najkrótszy czas pomiędzy najniższym a najwyższym położeniem łodzi unoszącej się na powierzchni wody wynosił 0,625 s.

a) Oblicz okres fali.

b) Oblicz prędkość fali.

4 Na poniższych rysunkach przedstawiono fragment rozchodzącej się na sznurze fali, której okres wynosi 0,4 s. Przeanalizuj dokładnie rysunki i wybierz poprawne odpowiedzi.

a) Odległość między niebieską i pomarańczową wstążką wynosi **A/ B/ C/ D**.



A. jedną długość fali

B. dwie długości fali

C. połowę długości fali

D. ćwierć długości fali

b) Między sytuacją pokazaną na pierwszym rysunku a sytuacją widoczną na drugim rysunku **A/ B**.

A. fala przemieściła się w lewo **B.** fala przemieściła się w prawo

c) W ciągu 0,2 s fala przemieściła się o **A/ B/ C**.

A. dwie długości fali **B.** połowę długości fali **C.** ćwierć długości fali

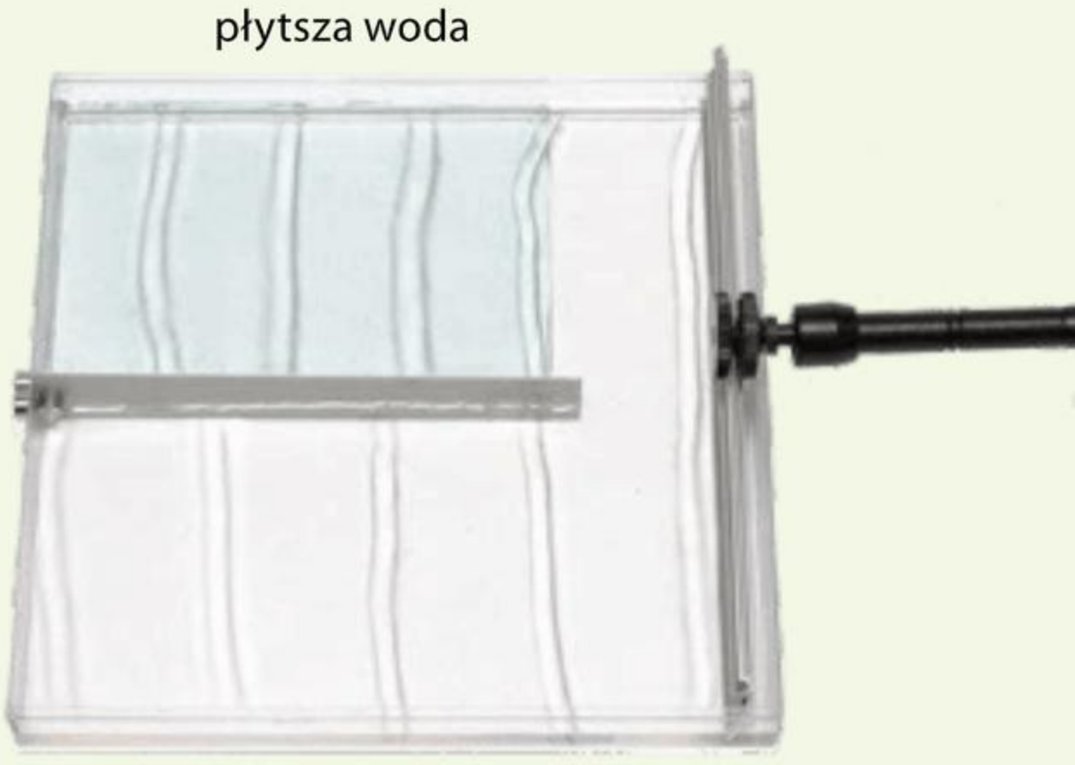
5 Prędkość rozchodzenia się fali na sznurze wynosi 2,4 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Z jaką częstotliwością należy poruszać sznurem, aby wytworzyć na nim falę o długości 1,2 m?

b) Jaka będzie długość fali powstającej na sznurze, jeśli będziemy poruszać jego końcem z częstotliwością 6 Hz?

6 Na płytkiej wodzie prędkość rozchodzenia się fali zależy od głębokości wody. Im głębsza woda, tym szybciej rozchodzi się fala. Na zdjęciu przedstawiono widok z góry na naczynie z wodą, w którym rozchodziła się fala. Oszacuj w przybliżeniu, ile razy szybciej rozchodziła się fala na wodzie głębszej niż na wodzie płytszej.

Wskazówka. Częstotliwość fali w całym naczyniu jest taka sama.



18 Fale dźwiękowe

Cel lekcji: Dowiesz się, co jest źródłem dźwięku, jak powstają fale dźwiękowe i jakie wielkości fizyczne je opisują oraz od czego zależą.

Źródła dźwięku

Dźwięki otaczają nas z każdej strony, ale co tak naprawdę sprawia, że je słyszymy? Wykonując poniższe doświadczenie, dowiesz się, co jest źródłem dźwięku.

DOŚWIADCZENIE 41

1. Przygotuj: szklany kieliszek na nóżce oraz gitarę lub – jeśli jej nie masz – gumkę recepturkę i talerz.
2. Szarpnij strunę gitary albo naciągnij gumkę recepturkę na talerz i szarpnij ją. Co zauważasz?



Po szarpnięciu struny lub gumki recepturki słychać dźwięk. Jego źródłem jest drgająca struna lub gumka recepturka.

3. Umyj kieliszek płynem do mycia naczyń i nalej do niego wody.
4. Jedną ręką przytrzymaj stopkę kieliszka, a mokrym palcem drugiej ręki pocieraj brzeg kieliszka i obserwuj powierzchnię wody. Co zauważasz?



Podczas pocierania brzegu kieliszka palcem słychać dźwięk. Jego źródłem jest drgające szkło. O tym, że czasza kieliszka drga, możesz się przekonać, obserwując wodę wewnątrz naczynia. Jej powierzchnia pod wpływem tych samych drgań marszczy się – widać falę.

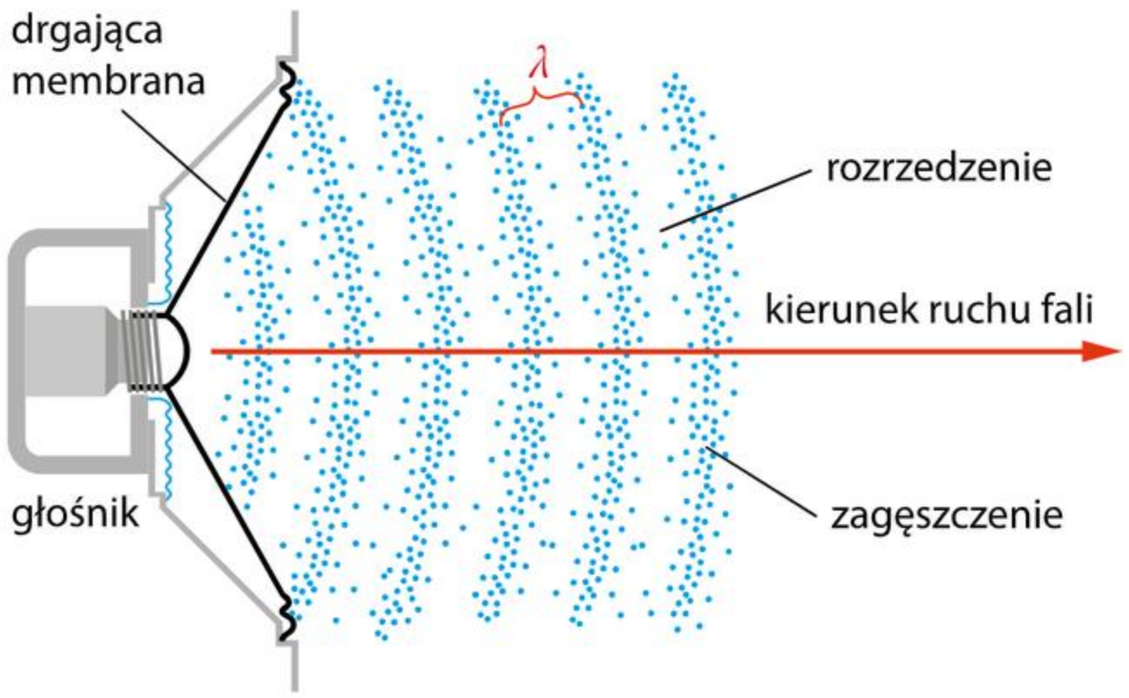
Na podstawie doświadczenia 41 można sformułować wniosek:

Źródłem dźwięku jest drgające ciało.

Każde źródło dźwięku wywołuje drgania warstw cząsteczek otaczającego je ośrodka sprężystego (np. powietrza), które są przekazywane kolejnym cząsteczkom. Powoduje to chwilowe zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka, które rozchodzą się, tworząc **falę dźwiękową**, czyli **akustyczną** (patrz rys. poniżej).



Drgające struny gitary są źródłem dźwięku.



Drgania membrany głośnika powodują powstawanie zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza – rozchodzi się fala dźwiękowa.

Na czym polega rozchodzenie się dźwięku

Kiedy mówisz, wprawiasz w drgania struny głosowe w gardle. Możesz to sprawdzić, dotykając gardła w trakcie mówienia. Drgające struny wprawiają w drgania otaczające je warstwy powietrza (jak na rysunku z głośnikiem), które przekazują te drgania kolejnym, bardziej oddalonym warstwom. Takie okresowe zagęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek powietrza przemieszczają się, docierają do uszu i powodują drgania błony bębenkowej (patrz „Fizyka wokół nas" na str. 179).

Rozchodzenie się fali dźwiękowej polega na rozprzestrzenianiu się drgań warstw cząsteczek ośrodka (np. powietrza).

Fale dźwiękowe to fale mechaniczne, podobnie jak fale na sznurze i fale na powierzchni wody.

CIEKAWOSTKA

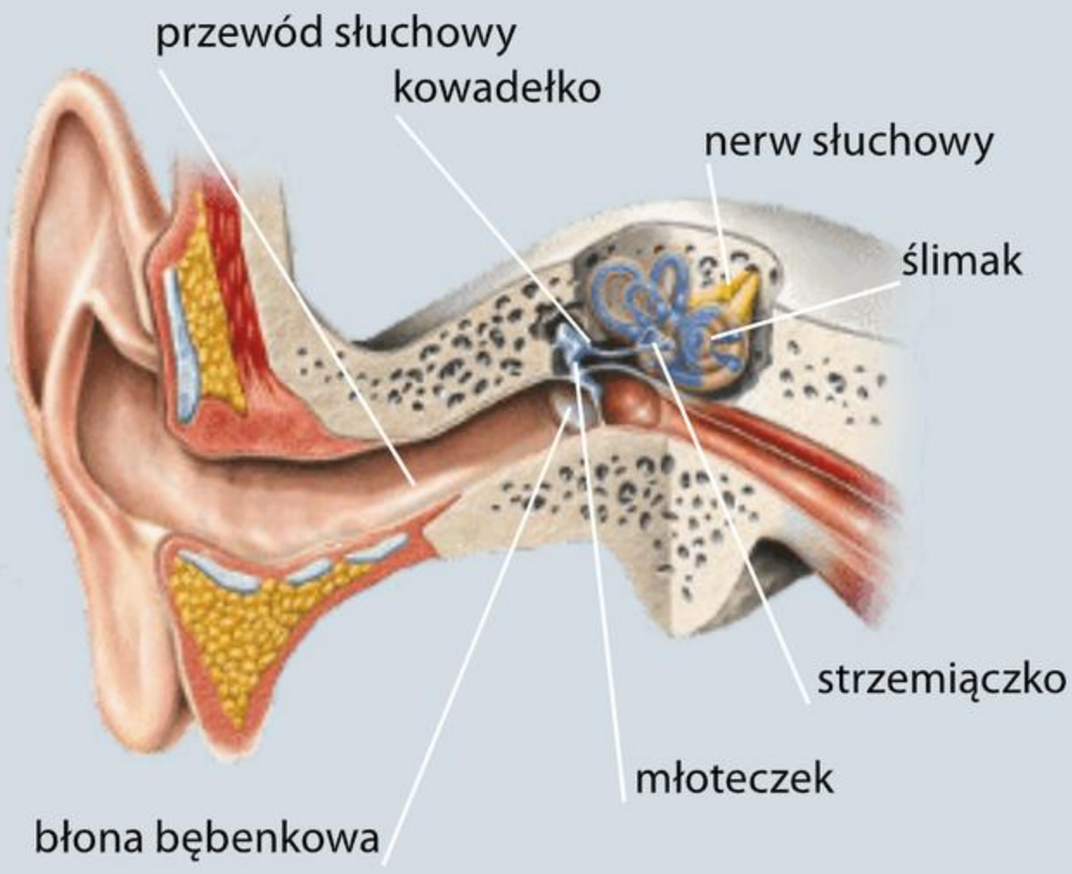
Nie wszystkie zwierzęta odbierają dźwięki podobnie jak ludzie. Koniki polne wyczuwają rozchodzące się dźwięki za pomocą nóg.

Węże nie mają uszu, nie słyszą więc dźwięków przenoszonych przez powietrze, wyczuwają tylko drgania gruntu. Ryby zaś odbierają dźwięki całym ciałem.



FIZYKA WOKÓŁ NAS

Kiedy fala dźwiękowa dociera do ucha, wprawia w drgania błonę bębenkową. Te drgania są przenoszone przez kosteczki słuchowe (młoteczek, strzemiączko i kowadełko) do ślimaka. W ślimaku znajduje się narząd Cortiego, składający się z komórek słuchowych pokrytych rzęskami. Fala dźwiękowa porusza tymi rzęskami, a komórki słuchowe zamieniają drgania w impulsy nerwowe. Następnie informacja nerwem słuchowym przekazywana jest do mózgu.



Fale dźwiękowe w ośrodkach innych niż powietrze

Aby się przekonać, że do rozchodzenia się dźwięku potrzebny jest ośrodek, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 42

1. Przygotuj pompę próżniową (lub pojemnik próżniowy do przechowywania żywności) oraz budzik lub telefon komórkowy.
2. Pod kloszem pompy próżniowej lub w pojemniku próżniowym umieść dzwoniący budzik lub telefon odtwarzający muzykę.
3. Wypompuj powietrze. Co zauważasz?



W miarę rozrzedzania powietrza pod kloszem (w pojemniku) dźwięk budzika cichnie, wreszcie przestaje być słyszalny.

Fala dźwiękowa **nie może się rozchodzić w próżni**, ponieważ nie ma tam cząsteczek, które mogłyby przekazywać energię drgań. Natomiast w rozrzedzonym powietrzu, gdzie jest mniej cząsteczek, fale dźwiękowe rozprzestrzeniają się słabiej.

Rozchodzenie się dźwięku odruchowo kojarzymy z powietrzem, ale drgania mogą przenosić się również w innych ośrodkach. Wiele zwierząt w oceanach porozumiewa się za pomocą dźwięków. Fale dźwiękowe mogą się też rozprzestrzeniać w ciałach stałych. W zależności od rodzaju ośrodka dźwięk rozchodzi się z różną prędkością.

Prędkość rozchodzenia się dźwięku zależy od ośrodka, w którym się rozchodzi.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Samoloty, które mogą się poruszać szybciej niż dźwięk, nazywane są ponaddźwiękowymi. Miarą ich prędkości jest jednostka o nazwie **mach**. Jeden mach to prędkość dźwięku w powietrzu. Najszybszy załogowy samolot odrzutowy świata (amerykański Lockheed SR-71 Blackbird) poruszał się z prędkością 3,5 macha. Został wycofany ze służby w 1998 roku.



Samolot Lockheed SR-71 Blackbird.

Prędkość, z jaką rozchodzi się dźwięk w przykładowych ośrodkach, przedstawiono w tabeli poniżej.

Ośrodek	Prędkość $\left[\frac{m}{s}\right]$	Ośrodek	Prędkość $\left[\frac{m}{s}\right]$	Ośrodek	Prędkość $\left[\frac{m}{s}\right]$
diament	18 000	cegła	3600	powietrze (15°C)	340
stal	6000	woda (20°C)	1450	tlen	317
szkło kwarcowe	5900	wodór	1286	kauczuk	54
drewno dębowe	3800	korek	500	tlenek węgla(IV)	261

Fale dźwiękowe można opisać za pomocą tych samych zależności między prędkością v, długością λ i okresem fali T, które dotyczą wszystkich fal.

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

PRZYKŁAD

Obliczanie długości fali

Oblicz długość fali dźwiękowej tonu a^1 granego na fortepianie, jeśli jego częstotliwość wynosi 440 Hz.

Rozwiązanie:
Jeśli $f = 440$ Hz, a $T = \frac{1}{f}$, to okres wynosi:

$$T = \frac{1}{440\ \text{Hz}} \approx 0{,}00227\ \text{s}$$

Dźwięk rozchodzi się z prędkością $v = 340\ \frac{m}{s}$, więc w czasie $T = 0{,}00227$ s przebywa drogę: $s = v \cdot t$, zatem $s = 340\ \frac{m}{s} \cdot 0{,}00227\ \text{s} \approx 0{,}77\ \text{m}$.
Fala w czasie równym swojemu okresowi pokonuje drogę równą swojej długości, a więc obliczona wielkość to szukana długość fali dźwiękowej.

$$\lambda = 0{,}77\ \text{m}$$

Odpowiedź: Długość fali tonu a^1 wynosi 0,77 m.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Fala dźwiękowa** (czyli **akustyczna**) jest falą mechaniczną. Jej rozchodzenie polega na rozprzestrzenianiu się drgań warstw cząsteczek ośrodka (np. powietrza).
- **Źródłem dźwięku** jest ciało drgające.
- Fala dźwiękowa rozprzestrzenia się w różnych ośrodkach, np. w powietrzu, wodzie, szkle. Drgania są przenoszone przez cząsteczki tych ośrodków.
- **Prędkość** rozchodzenia się dźwięku zależy od ośrodka, w którym się on rozchodzi.
- Dźwięk (ani żadna inna fala mechaniczna) **nie rozchodzi się w próżni**.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Ułóż zjawiska w takiej kolejności, w jakiej występują, gdy słyszymy muzykę.

A. Rozchodzenie się fali dźwiękowej w powietrzu.

B. Wprawienie w drgania błony bębenkowej ucha.

C. Wprawienie w drgania powietrza przy membranie głośnika.

D. Wprawienie w drgania membrany głośnika.

2 Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Fale dźwiękowe szybciej rozchodzą się w powietrzu niż w ciałach stałych.

B. Fale dźwiękowe nie mogą się rozchodzić wewnątrz cieczy.

C. Fale dźwiękowe nie mogą się rozchodzić w próżni.

3 Kto pierwszy usłyszy plusk kamienia wrzuconego do jeziora w punkcie A: płetwonurek czy ptak? Uzasadnij odpowiedź.



4 W dostępnych ci źródłach informacji sprawdź, które z wymienionych obiektów mogą poruszać się z prędkością ponaddźwiękową.

A. samolot pasażerski

B. samolot wojskowy

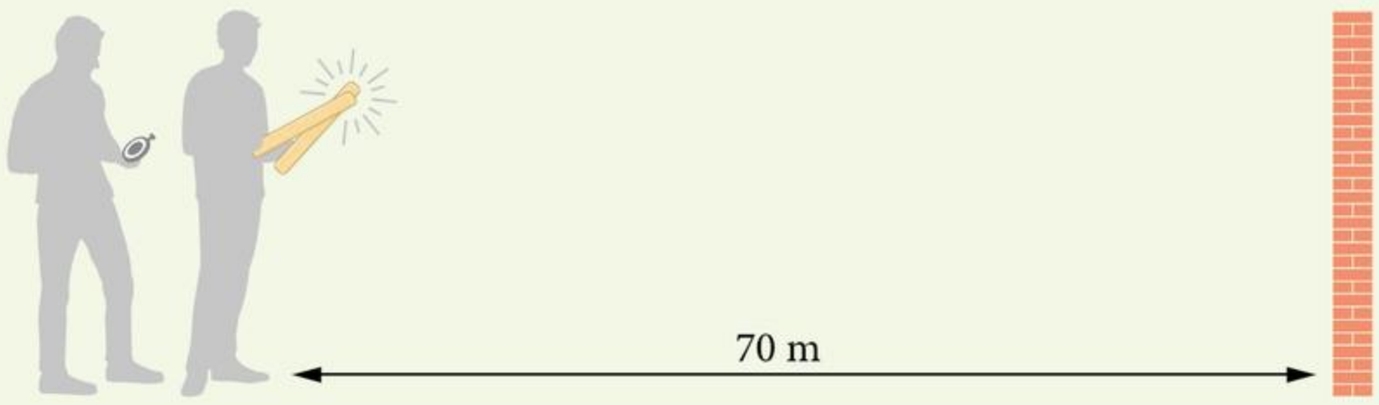
C. pocisk wystrzelony z karabinu

D. sokół wędrowny rzucający się w lot nurkowy za ofiarą

E. najszybszy pojazd lądowy skonstruowany przez człowieka

5 Membrana głośnika drga z częstotliwością 500 Hz. Oblicz, ile wynosi najmniejsza odległość między dwoma obszarami zagęszczeń powietrza przed głośnikiem. Przyjmij, że prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu to 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

6 Dwóch uczniów, Łukasz i Jarek, opracowało sposób pomiaru prędkości dźwięku w powietrzu z wykorzystaniem echa. Zjawisko echa polega na odbiciu się fali dźwiękowej od przeszkody położonej daleko od źródła dźwięku. Na rysunku przedstawiono schematyczną ilustrację doświadczenia.



W momencie gdy Łukasz uderzył jednym kawałkiem drewna o drugi, Jarek włączał stoper, a gdy usłyszał echo (czyli falę dźwiękową odbitą od ściany), wyłączał stoper. W celu zmniejszenia niepewności pomiaru uczniowie powtórzyli eksperyment pięciokrotnie i otrzymali wyniki podane w tabeli.

Numer pomiaru	Czas [s]
1	0,48
2	0,52
3	0,57
4	0,45
5	0,53

a) Oblicz średni czas z pięciu wykonanych pomiarów.

b) Oblicz prędkość dźwięku wyznaczoną przez uczniów. Pamiętaj, że fala dźwiękowa wędruje w kierunku ściany, a następnie odbija się od niej i wraca. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

c) Prędkość dźwięku w powietrzu w temperaturze, w której uczniowie wykonywali eksperyment, jest równa 341 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, o ile procent wyznaczona przez uczniów prędkość dźwięku jest mniejsza od rzeczywistej prędkości dźwięku. Co jest główną przyczyną tak dużej niedokładności?

19 Wysokość i głośność dźwięku

Cel lekcji: Dowiesz się, jakie wielkości fizyczne opisują głośność i wysokość dźwięku.

Od czego zależy wysokość i głośność dźwięku

O niektórych dźwiękach mówimy, że są wysokie, o innych – że są niskie. Jak wiesz, dźwięki różnią się też głośnością. Aby zbadać, od czego zależą głośność i wysokość dźwięku, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 43

1. Przygotuj plastikową linijkę i gitarę (jeśli nie masz gitary, przygotuj talerz i gumkę recepturkę).
2. Jedną ręką mocno dociśnij linijkę do stołu tak, aby część linijki wystawała poza jego krawędź.
3. Drugą ręką wpraw w drgania koniec linijki wystający poza krawędź stołu.
4. Zmień długość części linijki wystającej poza krawędź stołu i ponownie wpraw ją w drgania. Co zauważasz?
5. Wystającą część linijki wpraw w drgania, wychylając raz mocniej, raz słabiej. Jak zmienia się dźwięk?
6. Szarpnij strunę gitary. Jeśli nie masz gitary, naciągnij gumkę recepturkę na talerz tak jak w doświadczeniu 41.
7. Następnie szarpnij kilkakrotnie strunę gitary, dociskając ją na różnych progach lub gumkę, dociskając ją do talerza w różnych odległościach od jego krawędzi.
8. Odciągnij niedociskaną strunę gitary lub recepturkę i puść ją. Następnie odciągnij ją bardziej i znowu puść. Odciągnij ją jeszcze bardziej i puść. Co zauważasz?



Gdy zmieniasz długość drgającej części linijki, słyszysz dźwięk o innej wysokości.



Mocniejsze szarpnięcie struny sprawia, że dźwięk jest głośniejszy.

Linijka lub struna wprawione w drgania mają określoną częstotliwość drgań własnych. Podobnie jak w przypadku wahadła matematycznego częstotliwość drgań własnych

struny lub linijki zależy od długości drgającego elementu. Zatem zmiana długości wystającej części linijki lub zmiana długości drgającej części struny (recepturki) spowodowała zmianę częstotliwości drgań własnych. Im krótsza struna, tym częstotliwość jest większa. Wrażenie wysokości dźwięku wiąże się z częstotliwością drgań.

Im większa częstotliwość drgań, tym **dźwięk wyższy**.

Zwiększenie wychylenia linijki (struny) przy wprawianiu ich w drgania było równoznaczne ze zwiększeniem amplitudy drgań, a słyszane dźwięki były coraz głośniejsze.

Im większa amplituda drgań, tym **głośniejszy dźwięk**.



Odległość między skrajnymi położeniami struny lub linijki jest równa dwukrotności amplitudy.

Energia fali

Pewnie zdarzyło ci się usłyszeć stwierdzenie, że huk, np. w wyniku wybuchu gazu, był tak głośny, że w budynku popękały szyby. Jak to możliwe? Czy to rzeczywiście kwestia głośności? Okazuje się, że tak. Jak wiesz, w trakcie rozchodzenia się fali drgają warstwy cząsteczek ośrodka, a w trakcie drgań zachodzą przemiany energii. Energia tych drgań jest zależna od ich amplitudy. Zatem rozprzestrzeniające się fale przenoszą energię.

Energia fali jest sumą energii potencjalnej sprężystości i energii kinetycznej drgającego ośrodka i jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy: $E \sim A^2$.

Symbol ~ oznacza zależność wprost proporcjonalną.

Wiesz już, że **głośność** dźwięku zależy od amplitudy, a więc **od energii fali**. Tak więc stwierdzenie, że „huk był tak głośny, że popękały szyby", jest jak najbardziej poprawne. W przypadku innych fal mechanicznych, np. fal na wodzie, energia fali w identyczny sposób zależy od amplitudy fali.

Mechanizm wytwarzania dźwięku w instrumentach muzycznych

Źródłem dźwięku w instrumentach muzycznych jest drgające ciało, ale mechanizmy wytwarzania dźwięków są różne.



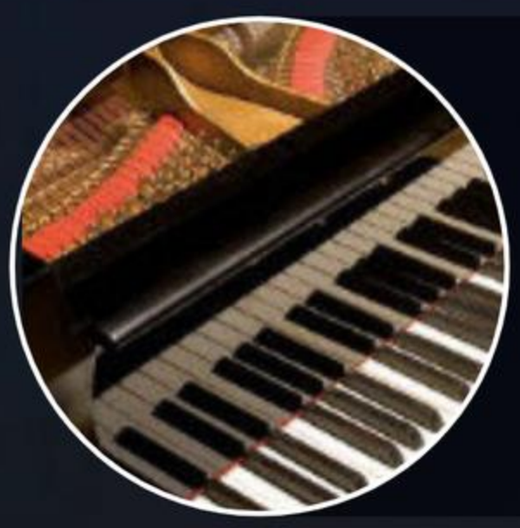
W bębnie pod wpływem uderzeń **drga** napięta **membrana** (w niektórych bębnach można regulować jej naprężenie).



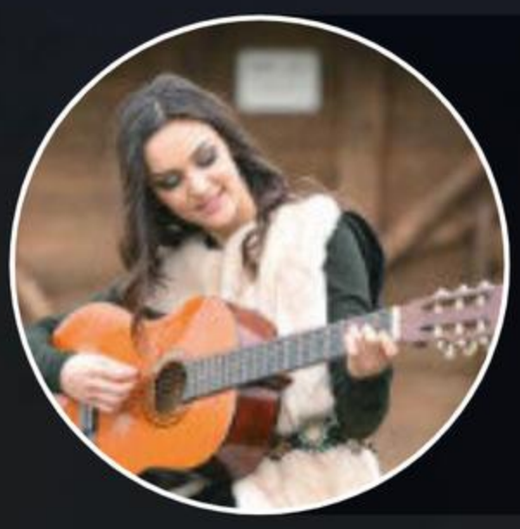
We flecie drga słup powietrza od ustnika do otwartego otworu, co umożliwia otrzymywanie dźwięków o częstotliwościach od 250 Hz do 2500 Hz.



W organach również **drga słup powietrza** – w piszczałkach różnej długości: od 8 cm do 2,5 m. Wydają one dźwięki o częstotliwości od 8 Hz do 12,5 kHz.



Fortepian to instrument strunowy. Jego **struny** uderzane są przez młoteczki połączone z klawiszami. Częstotliwość najwyższego dźwięku fortepianu przekracza 4 kHz.



W gitarze podstawowym elementem drgającym jest **struna**, pobudzana do drgań przez szarpanie. Drgania struny wprawiają w drgania powietrze w pudle rezonansowym. Dociskając strunę na progu, zmienia się jej długość, a tym samym – częstotliwość drgań.

Natężenie fali

Z doświadczenia wiesz, że im dalej jesteś od źródła dźwięku, tym jest on cichszy. Oznacza to, że do twojego ucha dociera fala o mniejszej energii. Spadek głośności wraz z oddalaniem się od źródła dźwięku wynika z tego, że energia dźwięku rozchodzi się kuliście, czyli rozkłada się na powierzchnię kuli, która jest tym większa, im dalej jest od źródła dźwięku. Tę powierzchnię, która jest zawsze prostopadła do kierunku przemieszczania się fali, nazywamy **powierzchnią falową**.



Śpiewający ptak jest źródłem fali dźwiękowej, która rozchodzi się kuliście. Te kule, to powierzchnie falowe.

Jeśli uważnie przyjrzysz się falom na wodzie (takim jak w doświadczeniu 39), również zaobserwujesz, że amplituda fali maleje w miarę oddalania się od źródła zaburzenia (w tym przypadku energia rozkłada się na obwodzie rosnących okręgów, które pełnią rolę powierzchni falowych). Dlatego też do opisu fal stosuje się jeszcze inną wielkość fizyczną – natężenie fali.

Natężenie fali opisuje, jaka energia jest przenoszona przez jednostkową powierzchnię w jednostce czasu.

W praktyce interesuje nas natężenie dźwięku docierającego do wybranego miejsca.

R Jeśli określimy powierzchnię falową S przechodzącą przez to miejsce, możemy obliczyć natężenie fali:

$$\text{natężenie fali} = \frac{\text{energia fali przechodząca przez wybraną powierzchnię falową}}{\text{czas} \cdot \text{pole wybranej powierzchni falowej}} \qquad I = \frac{E}{t \cdot S}$$

Skoro iloraz energii i czasu to moc, zatem jednostką natężenia fali jest: $\frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$.

Z definicji natężenia wynika, że – podobnie jak energia fali – jest ono proporcjonalne do kwadratu amplitudy: $E \sim A^2$.

Możemy teraz zrozumieć, dlaczego oddalając się od źródła dźwięku, słyszymy go coraz słabiej: przy rosnącej odległości powierzchnia S szybko rośnie, a we wzorze na natężenie pole powierzchni znajduje się w mianowniku. Zatem przy większej odległości ta sama energia rozłożona jest na większej powierzchni.

Oscylogramy dźwięków

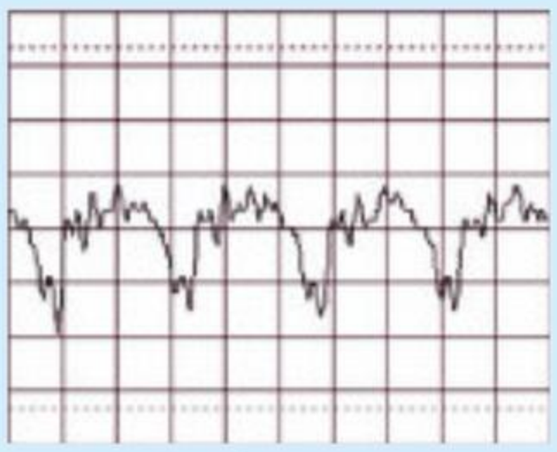
Dźwięk można zilustrować na wykresie. Jeśli podłączysz mikrofon do oscyloskopu lub komputera z odpowiednim oprogramowaniem, mikrofon przetworzy drgania powietrza na napięcie elektryczne, które zmienia się zgodnie ze zmianami głośności i częstotliwości dźwięku. Dzięki temu na ekranie zaobserwujesz wykres dźwięku – **oscylogram**.

DOŚWIADCZENIE 44

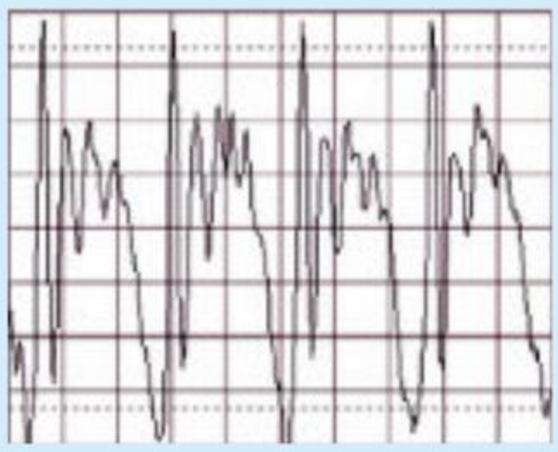
1. Przygotuj komputer i program do badania dźwięku (takie programy są udostępniane bezpłatnie w internecie, np. program Winscope), mikrofon i – jeśli masz – różne instrumenty muzyczne.

Wskazówka. Możesz wykorzystać również telefon komórkowy z odpowiednią aplikacją. Wyszukasz ją pod hasłem „oscyloskop" lub po angielsku „oscilloscope".

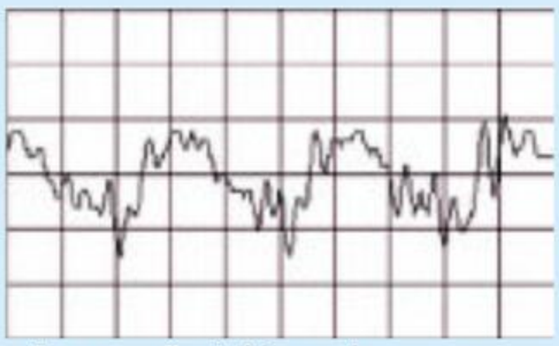
2. Podłącz mikrofon do komputera z oprogramowaniem do badania dźwięku.
3. Obejrzyj wykresy różnych dźwięków, np.: swojego głosu, gitary, kamertonu, szelestu kartki papieru, hałasu z ulicy. Zapisz obrazy z tymi wykresami (jeśli program lub aplikacja nie mają funkcji zapisywania obrazu, wykonaj zrzut ekranu).
4. Porównaj otrzymane wykresy. Czym się one różnią?



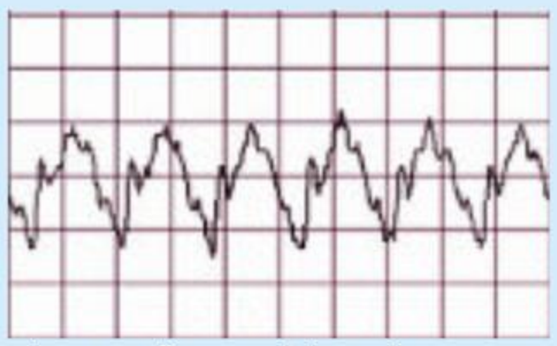
„Aaaa…" cicho.



„Aaaa…" głośno.



„Aaaa…" niskim głosem.



„Aaaa…" wysokim głosem.

Analiza wykresów pozwala zauważyć, że im głośniejszy dźwięk, tym większa amplituda fali.

Zależność między amplitudą drgań a głośnością dźwięku możesz zbadać także innym sposobem. W oprogramowaniu dołączonym do większości systemów operacyjnych komputera znajduje się aplikacja Rejestrator głosu. Jeśli ją włączysz i zaczniesz mówić do mikrofonu podłączonego do komputera, to zauważysz, że im głośniejsze dźwięki wydajesz, tym większą amplitudę rejestruje program.

Infradźwięki i ultradźwięki

Jak już wiesz, jedną z cech dźwięku jest wysokość, bezpośrednio związana z częstotliwością drgań. Im szybciej coś drga, tym wyższy wytwarza dźwięk, im wolniej drga, tym dźwięk jest niższy. Na przykład częstotliwość brzęczenia pszczoły wynosi 200 Hz, a częstotliwość drgań powietrza w organach – od 8 Hz do około 12 500 Hz.

Ucho ludzkie może rejestrować dźwięki tylko wtedy, gdy częstotliwość fali dźwiękowej mieści się w granicach od około 16 Hz do około 20 000 Hz. Dźwięki takie nazywa się **dźwiękami słyszalnymi**.

Są to częstotliwości skrajne, które mogą być słyszalne tylko przez niektóre osoby. Przeciętny dorosły człowiek nie słyszy dźwięków powyżej 15 000 Hz.

Dźwięki o częstotliwości niższej od 16 Hz nazywa się **infradźwiękami**, a o częstotliwości wyższej od 20 000 Hz – **ultradźwiękami**.

Źródłami infradźwięków mogą być trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów, wyładowania atmosferyczne lub wichury, ale również samoloty albo elektrownie wiatrowe. Infradźwięki o dużym natężeniu mogą spowodować drgania konstrukcji budynków.

Zastosowania ultradźwięków

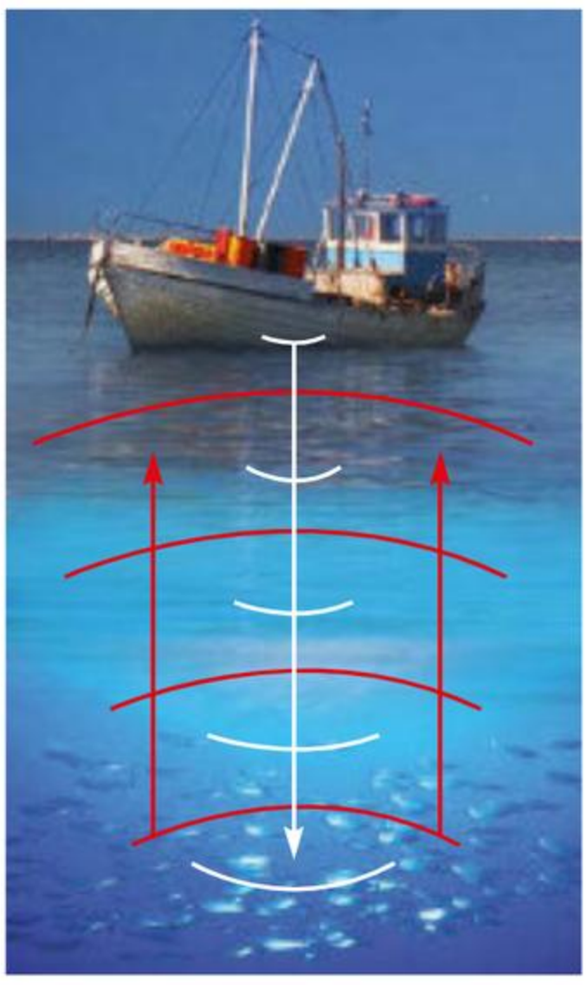
Powszechnie znane jest zastosowanie **ultradźwięków** w medycynie do badań ultrasonograficznych (USG). W ultrasonografii medycznej wykorzystuje się fale o częstotliwości między 2 a 50 MHz.

Ultradźwięki znajdują zastosowanie również w urządzeniach echolokacyjnych (sonarach). **Echolokacja** to orientacja w przestrzeni za pomocą fal dźwiękowych. Polega na wysyłaniu ultradźwięków, a następnie odbieraniu powracającej fali odbitej od przeszkody. Gdy znamy prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej w danym ośrodku, a mierzymy czas, po jakim dźwięk powraca do źródła, możemy określić odległość od przeszkody.

Urządzenia echolokacyjne wykorzystuje się do poszukiwania ławic ryb, mierzenia głębokości wody i badania dna morskiego.

Z echolokacji korzystają także wieloryby, delfiny i nietoperze. Odbity dźwięk pozwala im określić położenie obiektów znajdujących się w otoczeniu.

Urządzenia echolokacyjne pozwalają inżynierom stwierdzić obecność wad lub pęknięć w metalowych elementach konstrukcyjnych. Metoda badania ciał stałych za pomocą fali dźwiękowej nosi nazwę defektoskopii ultradźwiękowej.



Schemat działania echosondy.



Słuchanie zbyt głośnej muzyki przez słuchawki douszne powoduje systematyczne i bezpowrotne wyłamywanie rzęsek pokrywających komórki słuchowe (patrz opis ucha na s. 179), co jest częstą przyczyną uszkodzenia słuchu.

Szkodliwość hałasu

Środki transportu, maszyny i urządzenia nagłaśniające zamieniają ogromne ilości energii na energię akustyczną. Zbyt głośne, nieprzyjemne i drażniące dźwięki są nazywane **hałasem**. Hałas, zwłaszcza długotrwały, jest szkodliwy dla zdrowia.

Słyszalność dźwięków

Wiele zwierząt słyszy dźwięk w zakresach częstotliwości innych niż dźwięki słyszalne dla człowieka.



Większość **nietoperzy** do echolokacji używa dźwięków w zakresie 20 kHz – 80 kHz, ale zdarzają się gatunki wykorzystujące częstotliwości powyżej 200 kHz.



Delfiny wydają dźwięki o częstotliwości od 500 Hz do około 200 kHz. Są one bardzo zróżnicowane i złożone. Podejrzewa się, że tworzą język.



Słonie porozumiewają się za pomocą infradźwięków (czyli drgań o częstotliwości niższej od 16 Hz).



Psy – słyszą dźwięk przeciętnie do około 50 kHz.

Za najbardziej szkodliwe uważa się:

- słuchanie zbyt głośnej muzyki przez słuchawki wkładane do uszu,
- częste przebywanie na dyskotekach,
- systematyczny hałas w miejscu pracy, np. w hali produkcyjnej.

Uwaga. Długotrwałe narażenie na hałas może spowodować uszkodzenia układu nerwowego, upośledzenie słuchu, stres, nerwowość, zaburzenia krążenia i trawienia, zmęczenie oraz bezsenność.

Zwalczanie hałasu polega głównie na eliminowaniu jego źródeł lub odizolowywaniu miejsc przebywania człowieka od dźwięków uciążliwych, męczących lub szkodliwych. W tym celu stosuje się m.in. ekrany dźwiękochłonne, konstruuje urządzenia pracujące ciszej, a urządzenia wytwarzające hałas – obudowuje materiałami dźwiękochłonnymi.

Ludzkie ucho nie odbiera głośności dźwięków wprost proporcjonalnie do ich natężenia. Dlatego wprowadzono wielkość zwaną **poziomem natężenia dźwięku**, która lepiej odzwierciedla sposób, w jaki słyszy ludzkie ucho.

Uwaga. Natężenie dźwięku i poziom natężenia dźwięku to różne wielkości, mimo że ich nazwy są bardzo podobne.

Poziom natężenia dźwięku podaje się w jednostkach zwanych **belami** (**1 B**). Najczęściej jednak stosuje się mniejszą jednostkę: **decybele** (**1 dB**), **1 dB = 0,1 B**. 0 dB to tzw. **próg słyszalności**. Hałas o poziomie natężenia powyżej 70 dB jest szkodliwy dla zdrowia (patrz ilustracja na str. 190).

R

Poziom natężenia dzwięku

Skutkiem działania na organizm dźwięków o poziomie natężenia 150 dB może być: pęknięcie błony bębenkowej w uchu, uszkodzenie lub utrata słuchu. Dźwięki powyżej 180 dB są śmiertelne.



samolot odrzutowy na wysokości 150 m

160 dB — startująca rakieta

130 dB — **próg bólu**

120 dB

110 dB



koncert rockowy



samochody ciężarowe

100 dB

90 dB

80 dB — dźwięk budzika

70 dB — zgiełk w dużym sklepie

60 dB — rozmowa dwóch osób (pomiar głośności z odległości 1 m)



cicha rozmowa, szum w biurze

40 dB

30 dB — szelest papieru, szept

10 dB

0 dB — **próg słyszalności**



szelest liści na wietrze

TO NAJWAŻNIEJSZE

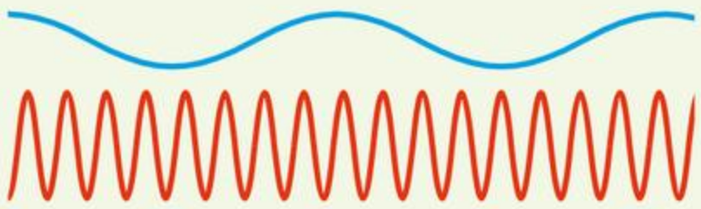
- Wrażenie **głośności dźwięku** zależy od amplitudy drgań ośrodka drgającego. Im większa amplituda, tym głośniejszy dźwięk (tym większe są energia i natężenie fali).
- Wrażenie **wysokości dźwięku** zależy od częstotliwości drgań. Im większa częstotliwość, tym wyższy dźwięk.
- **Człowiek słyszy dźwięki** o częstotliwości od około 16 Hz do około 20 kHz.
- **Infradźwięki** to dźwięki o częstotliwości niższej od 16 Hz.
- **Ultradźwięki** to dźwięki o częstotliwości wyższej od 20 kHz.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Przeanalizuj oscylogramy czterech dźwięków wygenerowanych za pomocą programu komputerowego.

Uzupełnij poniższe zdania, wpisując w okienko odpowiednią cyfrę od 1 do 4 oznaczającą dany oscylogram.

1.

2.
3.
4.

A. Dźwięk przedstawiony na oscylogramie 3 ma taką samą wysokość jak dźwięk przedstawiony na oscylogramie [?].

B. Najwyższy dźwięk jest przedstawiony na oscylogramie [?].

C. Najniższy dźwięk jest przedstawiony na oscylogramie [?].

D. Najgłośniejszy dźwięk jest przedstawiony na oscylogramie [?].

2 Antek przechwala się, że dzięki jego nowym głośnikom wspaniale słucha się każdego rodzaju muzyki, szczególnie jeśli chodzi o odtwarzanie dźwięków o wysokich częstotliwościach od 25 000 Hz do 35 000 Hz. Czy Antek może mówić prawdę czy to tylko przechwałki? Odpowiedź uzasadnij.

3 Wskaż zdania prawdziwe.

A. Źródłem dźwięku w fortepianie jest drgająca struna.

B. Im dłuższy fragment struny gitary drga, tym wyższy jest dźwięk.

C. Źródłem dźwięku w organach jest drgający słup powietrza.

D. Mocniejsze szarpnięcie struny powoduje powstanie wokół niej fali dźwiękowej o większej częstotliwości niż przy słabszym szarpnięciu.

4 Dopasuj poniższe źródła dźwięku do odpowiednich oscylogramów

A. stukanie ołówkiem o blat biurka

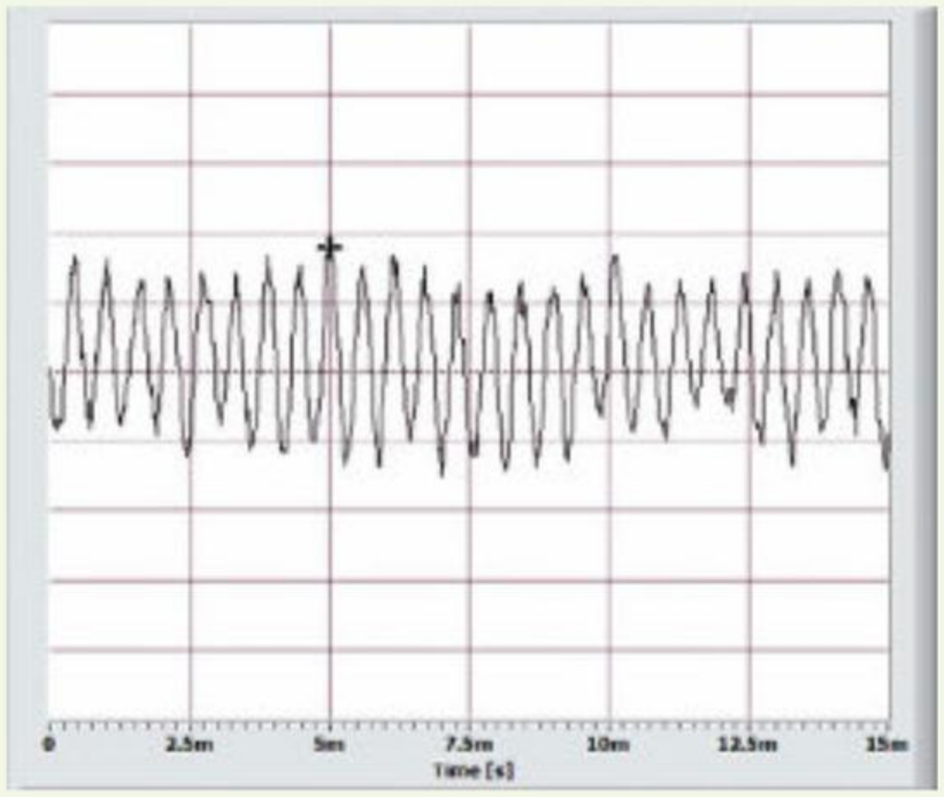
B. ciche gwizdanie

C. głośne gwizdanie

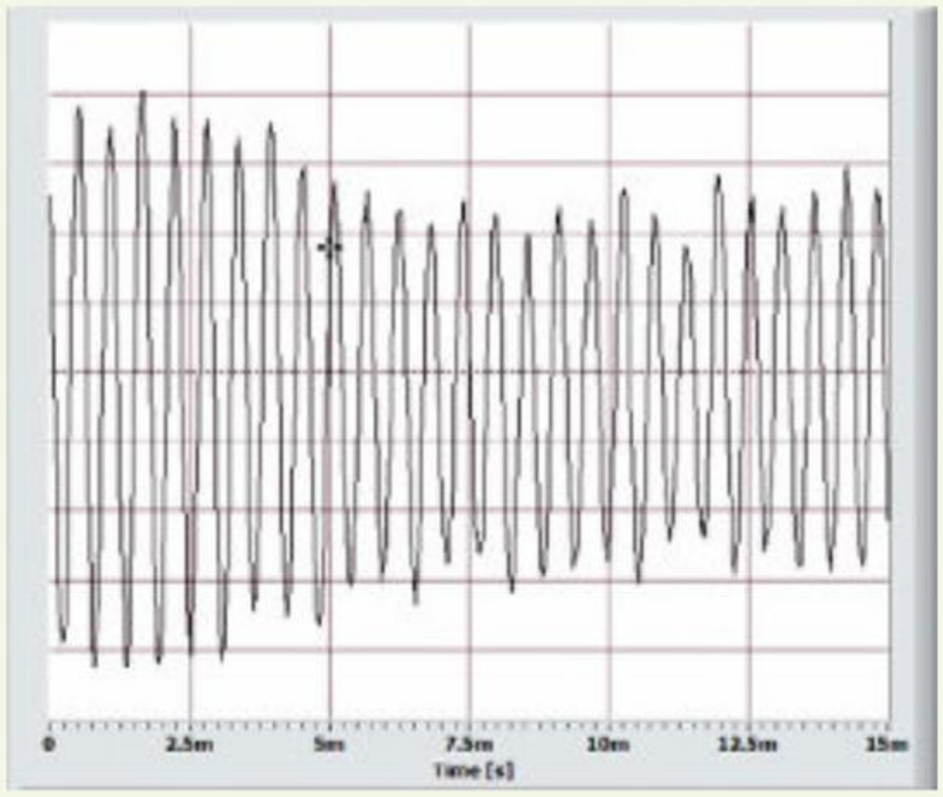
D. dźwięk piosenki

Wskazówka. Zwróć uwagę na skalę czasu na oscylogramach.

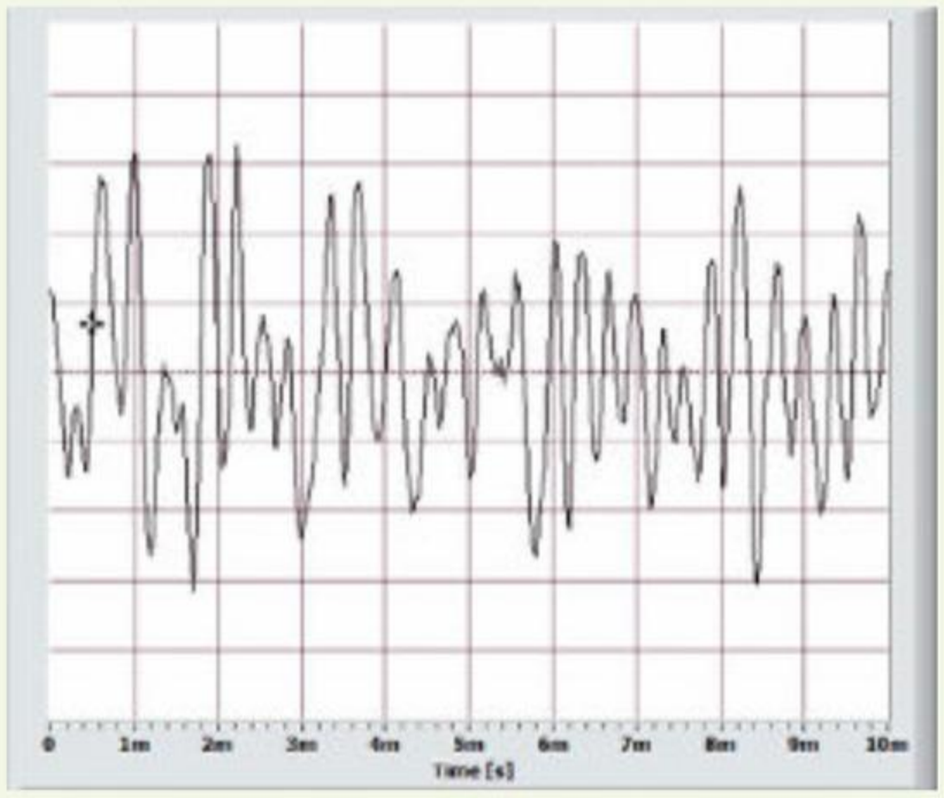
I.



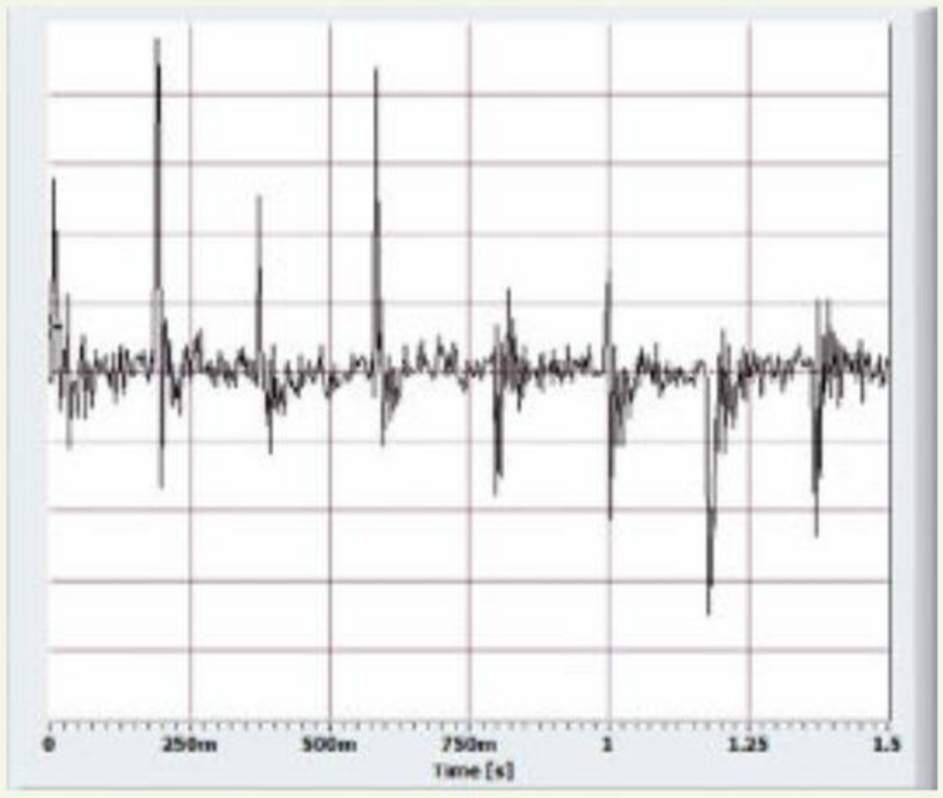
II.



III.



IV.



5 **a)** Do opisanych sytuacji dopasuj poziom natężenia dźwięku z ramki.

A. pracująca piła mechaniczna

B. tykanie zegarka

C. wnętrze samochodu podczas jazdy

D. głośna dyskoteka

70 dB • 110 dB • 120 dB • 20 dB

b) W których spośród wymienionych wyżej sytuacji poziom natężenia dźwięku może być dla nas szkodliwy? W jaki sposób można zmniejszyć negatywne skutki zbyt głośnego dźwięku w tych sytuacjach?

20 Fale elektromagnetyczne

Cel lekcji: Dowiesz się, jak powstają fale elektromagnetyczne, jakie są rodzaje tych fal, od czego zależą ich właściwości oraz jakie mają zastosowania.

Pojęcie fali elektromagnetycznej

Z rozdziałów o elektrostatyce i magnetyzmie wiesz, że ładunki i prądy elektryczne (które nazwiemy źródłami oddziaływań) mogą oddziaływać elektrycznie i magnetycznie na inne ładunki i prądy w swoim otoczeniu. Zwróćmy uwagę, że poruszający się ładunek to również jest prąd, a więc oddziałuje na otoczenie zarówno elektrycznie, jak i magnetycznie. Jeśli ładunek porusza się w sposób zmienny lub zmienia się prąd (np. zmienia się jego natężenie albo w sposób zmienny porusza się przewodnik z prądem), to zmiany w oddziaływaniu elektrycznym i magnetycznym rozchodzą się w otoczeniu z ogromną, ale skończoną prędkością. Jeśli zmienny ruch ładunków jest okresowy lub okresowo zmieniają się prądy, to zmiany w oddziaływaniu elektrycznym i magnetycznym rozchodzą się w postaci fali, tzw. **fali elektromagnetycznej**.

Źródłem fal elektromagnetycznych są **drgające ładunki elektryczne** oraz prąd o natężeniu zmieniającym się w czasie.

Między falami mechanicznymi i elektromagnetycznymi istnieją podobieństwa. Obydwa rodzaje fal są wywoływane przez drgania i obydwa przenoszą energię. Występują jednak między nimi istotne różnice. Fale mechaniczne nie rozchodzą się w próżni, a fale elektromagnetyczne mogą się tam rozchodzić.

Fale elektromagnetyczne mogą się rozchodzić w każdym ośrodku – także w próżni. Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni wynosi około 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Długość fali elektromagnetycznej oblicza się tak jak długość fali mechanicznej:

$$\text{długość fali} = \frac{\text{prędkość fali}}{\text{częstotliwość}} = \text{prędkość fali} \cdot \text{okres} \qquad \lambda = \frac{v}{f} = v \cdot T$$

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Fala elektromagnetyczna rozprzestrzenia się tak szybko, że w ciągu sekundy dobiegłaby z Ziemi w pobliże Księżyca. Dlatego rozprzestrzenianie się oddziaływań elektromagnetycznych wydaje się natychmiastowe, chociaż w istocie takie nie jest.



Alfabet Morse’a

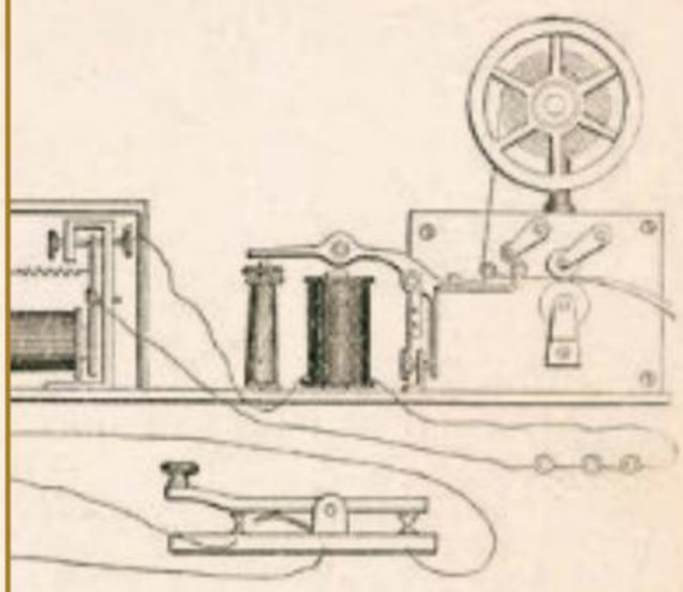
W 1865 roku **James Maxwell** (czyt. dżejms maksłel) sformułował prawa opisujące wzajemne zależności między elektrycznością a magnetyzmem. Przewidział także istnienie fal elektromagnetycznych. Na podstawie jego teorii inni uczeni rozpoczęli próby wytworzenia tych fal. Jako pierwszy falę elektromagnetyczną wyemitował i odebrał niemiecki fizyk **Heinrich Rudolf Hertz** (czyt. hajnrich rudolf herc) w 1886 roku. Hertz badał właściwości fal elektromagnetycznych i wykazał, że fale elektromagnetyczne i światło mają taką samą naturę. Dziesięć lat później **Guglielmo Marconi** (czyt. gulielmo markoni) zbudował radio przekazujące sygnały alfabetem Morse’a (czyt. morsa).

James Maxwell



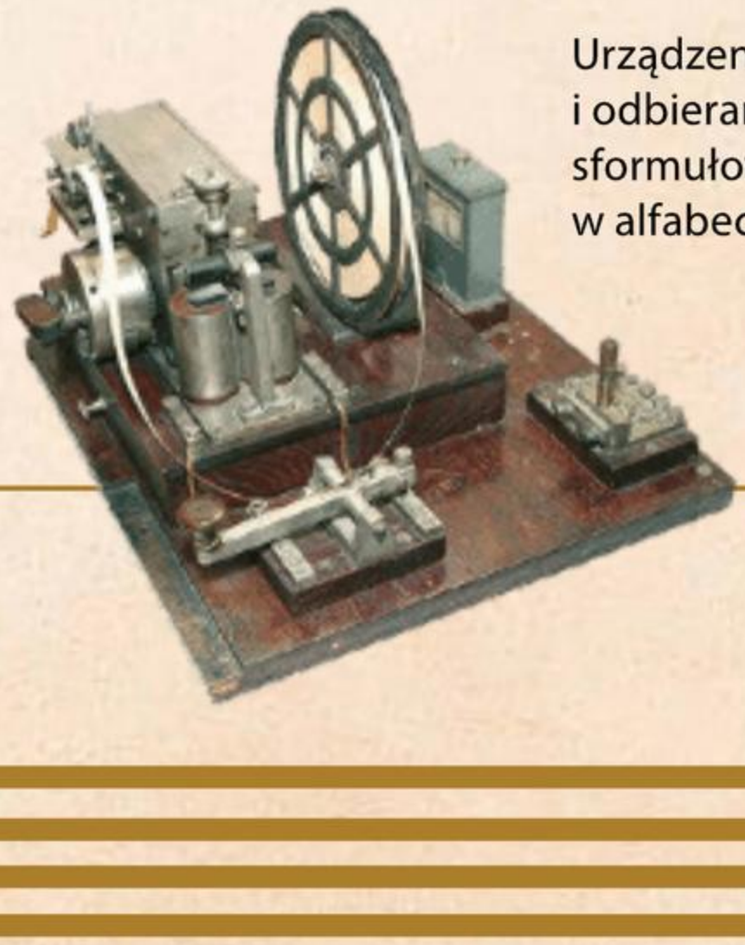
Heinrich Rudolf Hertz





Alfabet Morse’a to sposób kodowania informacji opracowany przez amerykańskiego malarza Samuela Finleya Breese’a Morse’a (czyt.: samjuela finleja brisa morsa; 1791–1872). Każda litera jest w nim zakodowana jako ciąg krótkich i długich sygnałów, zapisywanych jako kropki i kreski. Krótkie lub długie sygnały przekazywano na odległość za pomocą przewodów, a następnie odszyfrowywał je operator. Ulepszone telegrafy same kodowały litery i potrafiły je rozkodować. Wiadomości zakodowane alfabetem Morse’a można również przekazywać za pomocą sygnałów dźwiękowych i świetlnych, a nawet ruchem chorągiewek.

A ·–	B –···	C –·–·	D –··	E ·	F ··–·	G ––·
H ····	I ··	J ·–––	K –·–	L ·–··	M ––	N –·
O –––	P ·––·	Q ––·–	R ·–·	S ···	T –	U ··–
	V ···–	W ·––	X –··–	Y –·––	Z ––··	



Urządzenie do nadawania i odbierania komunikatów sformułowanych w alfabecie Morse’a.

Rodzaje fal elektromagnetycznych i ich zastosowania

Diagram na stronie 196 przedstawia widmo fal elektromagnetycznych, czyli przegląd fal o różnych długościach i częstotliwościach. Jest to jedna ze skal o największej rozpiętości w przyrodzie. Na diagramie przedstawiono zakres fal o długościach od 10^5 m do 10^{-15} m, co odpowiada przedziałowi częstotliwości od 10^3 Hz do 10^{23} Hz.

Promieniowanie gamma (γ) to promieniowanie elektromagnetyczne najkrótszych fal (poniżej 1 nm). Wysyłane jest przez substancje promieniotwórcze. Więcej na ten temat dowiesz się w szkole ponadpodstawowej. Promieniowanie gamma jest bardzo niebezpieczne dla żywych organizmów. Bardzo trudno uchronić się przed nim – przenika nawet przez trzymetrową warstwę betonu! Jest przyczyną powstawania nowotworów. Na co dzień nie spotykasz się z promieniowaniem gamma o natężeniu szkodliwym dla człowieka.

Promieniowanie rentgenowskie, zwane promieniowaniem **X**, podobnie jak promieniowanie γ jest falą elektromagnetyczną niewidzialną dla ludzkiego oka. Ma ono zdolność przenikania przez wiele materiałów nieprzezroczystych dla światła (np. tkanki mięśniowe). Promieniowanie to częściowo pochłaniają substancje o dużej gęstości, np. wapń, ołów. Można je zatem wykorzystywać do prześwietleń (wapń jest głównym budulcem kości). Z substancji o dużej gęstości, np. ołowiu, konstruuje się osłony chroniące przed tym promieniowaniem. Nie jest ono obojętne dla zdrowia ludzkiego. Zbyt duże lub częste jego dawki pochłaniane przez organizm mogą wywołać choroby krwi i choroby nowotworowe.

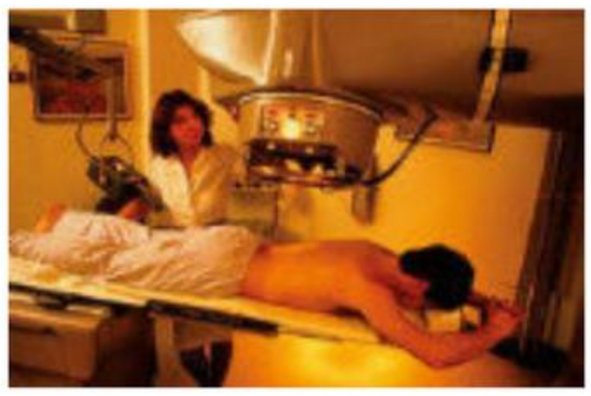
CIEKAWOSTKA

Promieniowanie X odkrył pod koniec XIX wieku niemiecki fizyk Wilhelm Conrad Roentgen (czyt. rentgen; 1845–1923). Pracował nad wyładowaniami elektrycznymi, badał zjawisko włoskowatości i zajmował się ciepłem właściwym ciał. Skonstruował pierwszą lampę rentgenowską i wskazał sposoby wykorzystania promieniowania X w medycynie. Był człowiekiem bardzo skromnym, nie przykładał wagi do zaszczytów i pieniędzy. Nie zastrzegł sobie praw patentowych do promieniowania X. W 1901 roku jako pierwszy otrzymał Nagrodę Nobla z fizyki.



CIEKAWOSTKA

Promieniowanie γ niszczy bakterie, dlatego stosuje się je w medycynie – do sterylizacji narzędzi chirurgicznych i odzieży, w przemyśle spożywczym – do naświetlania niektórych produktów spożywczych w celu przedłużenia ich trwałości oraz w radioterapii – w odpowiednio dobranych dawkach do leczenia niektórych nowotworów. Promieniowanie γ uszkadza komórki, ale jeśli jest precyzyjnie skierowane – niszczy komórki nowotworowe.



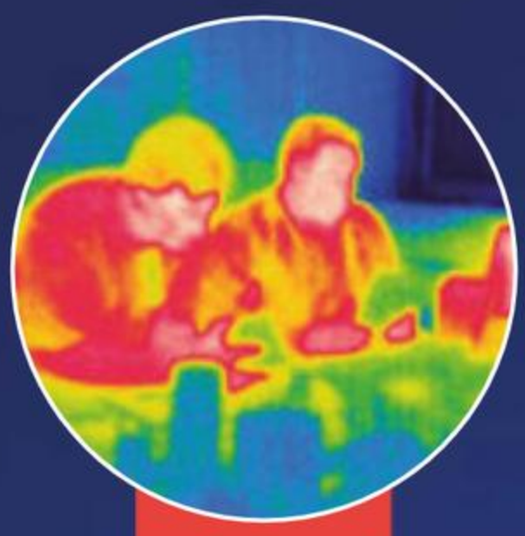
Bomba kobaltowa – urządzenie do terapii nowotworowej za pomocą naświetlania chorej tkanki promieniami γ.

Widmo fal elektromagnetycznych

Fale elektromagnetyczne różnią się długością i częstotliwością. Od długości i częstotliwości zależą ich właściwości i zastosowanie. Poszczególne rodzaje fal zachodzą na siebie. Tak jak płynnie zmienia się częstotliwość (i długość) fal w widmie, tak samo płynnie zmieniają się właściwości tych fal. Przedstawiono jedynie orientacyjne przedziały zastosowań tych fal.



długie



promieniowanie podczerwone



promieniowanie rentgenowskie

$(10^3$ Hz) 1 kHz — $(10^6$ Hz) 1 MHz — $(10^9$ Hz) 1 GHz — 10^{12} Hz — 10^{15} Hz — 10^{18} Hz — 10^{21} Hz — 10^{23} Hz — f

λ — 100 km (10^5 m) — 1 km (10^3 m) — 1 m — 1 mm (10^{-3} m) — 1 µm (10^{-6} m) — 1 nm (10^{-9} m) — 1 pm (10^{-12} m) — 1 fm (10^{-15} m)

pasma TV

od $3{,}8 \cdot 10^{14}$ Hz
od $7{,}8 \cdot 10^{-7}$ m

światło widzialne

od $7{,}9 \cdot 10^{14}$ Hz
od $3{,}8 \cdot 10^{-7}$ m

fale radiowe

długie — średnie — krótkie

mikrofale

promieniowanie nadfioletowe

promieniowanie gamma





Promieniowanie nadfioletowe (inaczej **ultrafioletowe**) stanowi część widma fal elektromagnetycznych o długościach mniejszych od światła fioletowego (składowej światła widzialnego). W naszym otoczeniu jego głównym źródłem jest Słońce. Wysyłają je także m.in. lampy kwarcowe używane w solariach. Promieniowanie nadfioletowe nie jest odbierane przez oko ludzkie, może jednak powodować opalenie skóry czy naświetlenie kliszy fotograficznej. Stymuluje (pobudza) wytwarzanie witaminy D w organizmie człowieka, ale należy pamiętać, że długotrwałe opalanie może się skończyć bolesnymi poparzeniami, a nawet rakiem skóry!
Promieniowanie nadfioletowe przenika częściowo przez chmury, ale nie przenika np. przez szyby okien. Zabija bakterie, dlatego jest wykorzystywane do sterylizacji sal operacyjnych i pomieszczeń, w których produkuje się i przechowuje leki oraz artykuły spożywcze. W kryminalistyce pomaga ustalić autentyczność dokumentów lub banknotów.



Promieniowanie nadfioletowe wysyłają lampy kwarcowe stosowane w solarium.

Światło widzialne zajmuje bardzo małą część widma fal elektromagnetycznych (380–780 nm). Pozostałe fale nie są odbierane przez oko ludzkie. W naszym otoczeniu głównym źródłem światła widzialnego jest Słońce. Światło białe to mieszanina fal o różnych barwach. Fala odpowiadająca światłu fioletowemu ma największą częstotliwość, czyli najmniejszą długość, a odpowiadająca światłu czerwonemu – najmniejszą częstotliwość, czyli największą długość. O właściwościach światła dowiesz się więcej z następnego rozdziału.

Promieniowanie podczerwone (podczerwień) obejmuje fale o długości większej niż długość fali światła czerwonego. Promieniowanie podczerwone nie jest widoczne, ale odbierane jest zmysłami, ponieważ ma ono zdolność rozgrzewania materiałów (możesz je odczuć, np. gdy staniesz w pobliżu otwartych drzwiczek piekarnika). Promieniowanie podczerwone wysyłają wszystkie ciała, a jego intensywność zależy od temperatury ciała. Także ciało człowieka emituje niewidzialne promieniowanie podczerwone, co wykorzystuje się w alarmach i czujnikach ruchu. Zobaczyć podczerwień pozwala kamera termowizyjna (patrz zdjęcie na str. 196). Podczerwień

CIEKAWOSTKA

Niektóre gatunki węży – boa dusiciel, pyton i grzechotnik – reagują na podczerwień. W pobliżu oczu mają parę prążkowanych otworów – wgłębień z receptorami promieniowania podczerwonego. Dzięki temu mogą polować w nocy, gdyż odbierają promieniowanie cieplne potencjalnej ofiary.



Grzechotnik reaguje na podczerwień.

wykorzystuje się w noktowizji (jest to technika obserwowania obiektów w ciemnościach), a także do sterowania telewizorem za pomocą pilota.
Tradycyjna żarówka emituje promieniowanie głównie w zakresie podczerwieni – 96%, a w zakresie widzialnym – tylko 4%.

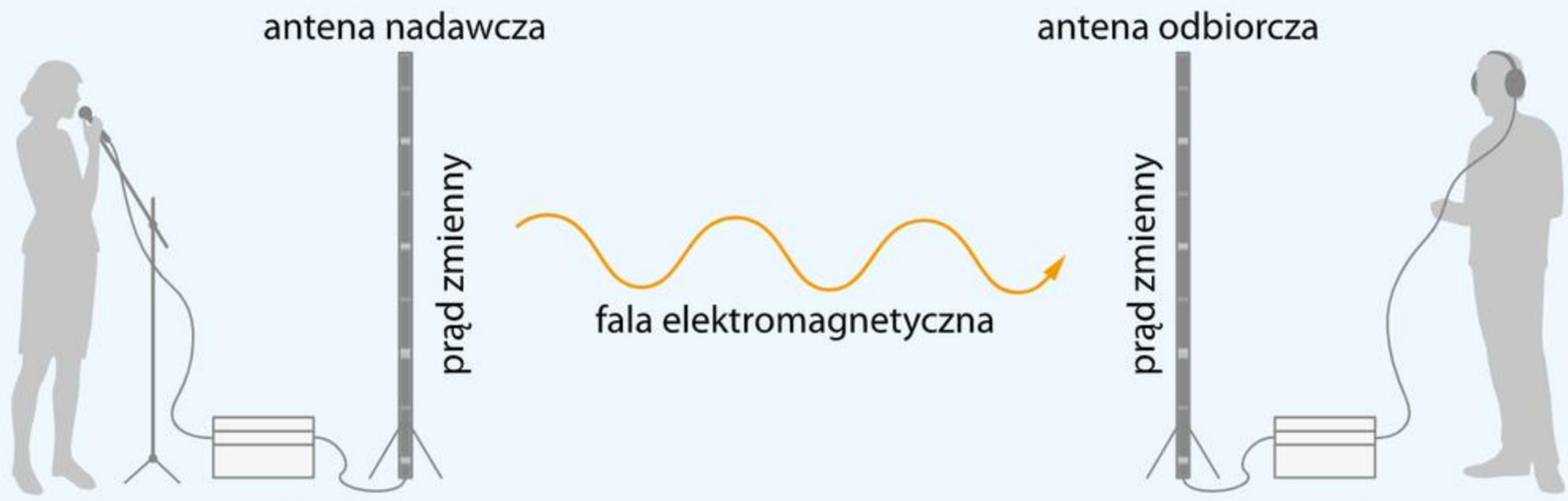
Mikrofale mają długość od 10^{-4} m do 10^{-1} m (w widmie mieszczą się zatem między promieniowaniem podczerwonym a falami radiowymi). Są wykorzystywane m.in. w radarach, kuchenkach mikrofalowych i telefonii komórkowej.



Kuchenka mikrofalowa.

Fale radiowe to fale elektromagnetyczne o długości od 10^{-4} m do 10^{5} m. Wyróżnia się fale długie, średnie, krótkie i ultrakrótkie. Ich źródłem są Słońce i inne gwiazdy, ale mogą także być wytwarzane sztucznie. Znajdują zastosowanie głównie w łączności i telekomunikacji. Dawniej stosowano fale dłuższe ze względu na większy zasięg. Do dziś długie fale radiowe wykorzystuje się w łączności z załogami łodzi podwodnych i pracownikami kopalń, mogą one bowiem wnikać w głąb wody i ziemi. Fale elektromagnetyczne radiowe wykorzystuje się w telekomunikacji. Na rysunku poniżej przedstawiono ogólną zasadę działania radia, telewizji i telefonów komórkowych.

Schemat przesyłania fal elektromagnetycznych



Elektrony przemieszczają się tam i z powrotem wzdłuż **anteny nadawczej**, tworząc zmienny prąd. Prąd ten powoduje powstanie fali elektromagnetycznej, która się rozprzestrzenia. Po dotarciu do **anteny odbiorczej** fala wzbudza w niej prąd o takiej samej częstotliwości jak częstotliwość prądu, który był źródłem fali w antenie nadawczej.

Jeśli w antenie nadawczej zmieni się częstotliwość prądu, to w antenie odbiorczej stanie się to samo. Przesyłane informacje (sygnały) koduje się za pomocą zmian amplitudy albo częstotliwości.

Za pomocą fali elektromagnetycznej można przesyłać dowolne informacje. Może to być zakodowana muzyka, film, e-mail albo informacja o tym, który przycisk został naciśnięty na klawiaturze bezprzewodowej. Aby urządzenia mogły się ze sobą komunikować, muszą pracować w takim samym zakresie częstotliwości fal. Na przykład telefonia komórkowa nadaje sygnał o częstotliwości około 900 MHz lub 1800 MHz, a stacje radiowe nadają audycje kodowane za pomocą fal o częstotliwości około 100 MHz. Każda stacja radiowa i telewizyjna nadaje program za pomocą precyzyjnie określonej częstotliwości, np. 89,3 MHz lub 106,6 MHz.

Jak zapewne pamiętasz, fale dźwiękowe wykorzystuje się w echolokacji. W podobny sposób można zastosować fale radiowe do **radiolokacji**, czyli wykrywania i śledzenia obiektów w przestrzeni oraz ustalania ich położenia. W radiolokacji wykorzystuje się zjawisko prostoliniowego rozchodzenia się fal ultrakrótkich (o długościach od kilku milimetrów do kilku metrów) oraz zjawisko odbicia tych fal od przeszkód.

Współcześnie radiolokacja obejmuje również radiolokację satelitarną.

Radar, zawierający w sobie równocześnie nadajnik i odbiornik fal ultrakrótkich, wysyła falę elektromagnetyczną, a następnie wychwytuje tę jej część, która została odbita od różnych przeszkód. Urządzenie rejestruje, w jakim kierunku i w jakiej odległości te przeszkody się znajdują. Odległość wyznacza się na podstawie pomiaru czasu między wysłaniem i odbiorem fali.



Radar lotniczy.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Fala elektromagnetyczna** to fala, której źródłem mogą być drgające ładunki elektryczne lub prąd, którego natężenie zmienia się w czasie.
- Do fal elektromagnetycznych należą: **promieniowanie γ**, **promieniowanie X**, **promieniowanie nadfioletowe**, **promieniowanie widzialne**, **promieniowanie podczerwone**, **mikrofale** i **fale radiowe**.
- Wszystkie fale elektromagnetyczne mają taką samą naturę. Ich właściwości zależą jedynie od długości fali.
- **Prędkość** fal elektromagnetycznych **w próżni** wynosi około **300 000** $\frac{\mathbf{km}}{\mathbf{s}}$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wśród poniższych opisów wskaż te, które dotyczą fali mechanicznej, oraz te, które dotyczą fali elektromagnetycznej. **Uwaga.** Niektóre z opisów mogą pasować do obydwóch rodzajów fal.

A. Przenosi energię.

B. Może powstać w wyniku drgania strun głosowych.

C. Może powstać w wyniku zmiennego prądu płynącego w antenie.

D. Rozchodzi się w powietrzu.

E. Może powstać w wyniku wyładowania atmosferycznego.

F. Rozchodzi się w wodzie.

G. Rozchodzi się w próżni.

H. Może się rozchodzić z prędkością około 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

I. Może odbijać się od przeszkód.

J. Rozchodzenie się tej fali jest związane z drganiami warstw ośrodka.

2 Do danego obiektu dopasuj rodzaj fal elektromagnetycznych, które on wytwarza. **Uwaga.** Niektóre z przedstawionych obiektów wytwarzają więcej niż jeden rodzaj fal elektromagnetycznych.

A.



B.



C.



D.



E.



F.



promieniowanie rentgenowskie • promieniowanie ultrafioletowe • mikrofale • światło widzialne • promieniowanie podczerwone • fale radiowe

3 Do rodzajów fal dopasuj ich zastosowania spośród podanych w ramce:

A. fale radiowe

B. mikrofale

C. promieniowanie podczerwone

D. promieniowanie nadfioletowe

E. promieniowanie rentgenowskie

sterylizacja pomieszczeń • wykrywanie nieznanych obiektów na morzu i w powietrzu • prześwietlanie ciała człowieka • przekazywanie obrazu i informacji na odległość • możliwość wykrywania w ciemności żywych obiektów • weryfikacja autentyczności dokumentów

4 Promieniowanie wytwarzane w lampie rentgenowskiej ma długość rzędu 0,1 nm. Oblicz, jaka jest częstotliwość tej fali. Zapisując wynik, użyj odpowiedniej potęgi liczby 10. Przyjmij, że fala elektromagnetyczna rozchodzi się z prędkością 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

5 Urządzenia komunikujące się za pomocą technologii wi-fi wykorzystują falę elektromagnetyczną o częstotliwości 2,4 GHz.



a) Oblicz, jakiej długości fali elektromagnetycznej odpowiada taka częstotliwość. Przyjmij prędkość fali elektromagnetycznej w powietrzu równą 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

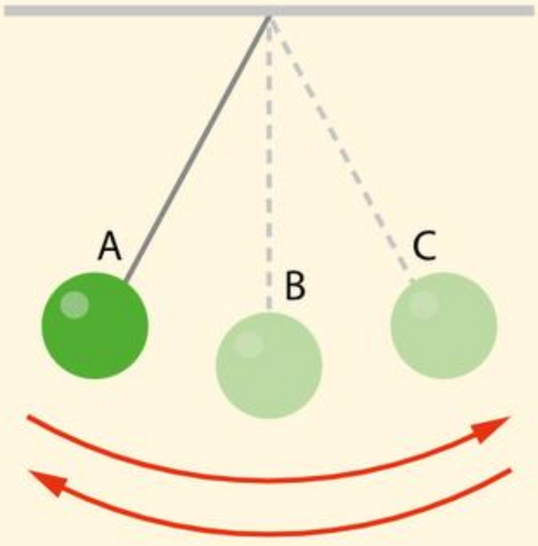
b) Jakiemu rodzajowi fal elektromagnetycznych odpowiada obliczona długość fali?

6 Przyjmijmy, że Ziemia i Mars znalazły się w takich pozycjach, że odległość między nimi wynosiła 120 mln km. W pewnym momencie marsjański łazik natrafił na ciekawy obiekt do zbadania i przesłał jego zdjęcie do centrali NASA na Ziemi. Po otrzymaniu fotografii naukowcy przeanalizowali ją dokładnie, co zajęło 30 minut, a następnie wysłali komendę, aby pojazd podjechał bliżej sfotografowanego obiektu na Marsie. Oblicz, ile czasu upłynęło od wysłania przez łazik informacji do otrzymania przez niego odpowiedniej komendy z Ziemi.



Powtórzenie. Drgania i fale

- Ciało porusza się **ruchem drgającym**, jeśli przemieszcza się tam i z powrotem po tym samym torze i ruch powtarza się w równych odstępach czasu.
- Wielkości opisujące ruch drgający to amplituda, okres drgań i częstotliwość drgań.



Schematyczne przedstawienie ruchu wahadła w ciągu jednego okresu drgań:
A – maksymalne wychylenie w lewo,
B – położenie równowagi,
C – maksymalne wychylenie w prawo.

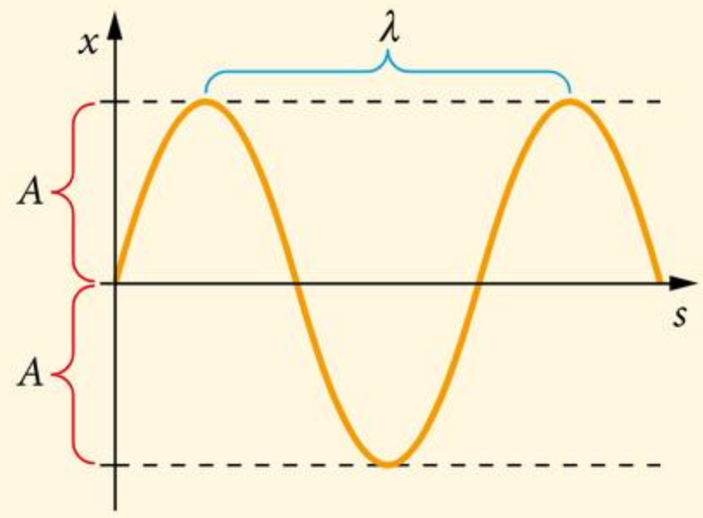
- **Amplituda** A jest to największe wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi.
- **Okresem** drgań T nazywa się czas jednego pełnego drgania. Jednostką okresu jest sekunda (1 s).
- **Częstotliwością** f nazywa się liczbę drgań w jednostce czasu. Jednostką częstotliwości jest **herc** ($1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$).

$$\text{częstotliwość} = \frac{\text{liczba pełnych drgań}}{\text{czas trwania tych drgań}} \qquad f = \frac{n}{t}$$

czyli (jeżeli rozważamy tylko jedno drganie)

$$\text{częstotliwość} = \frac{1}{\text{okres}} \qquad f = \frac{1}{T}$$

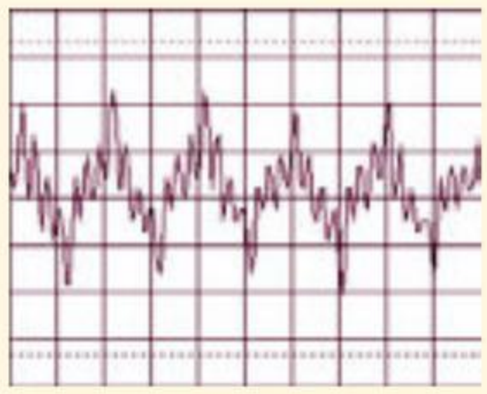
- **Częstotliwość drgań własnych** to częstotliwość, z jaką ciało wytrącone z położenia równowagi wykonuje drgania swobodne.
- Podczas drgań wahadła następują **okresowe przemiany energii**.
- W przypadku obciążnika przymocowanego do sprężyny i drgającego w poziomie **energia potencjalna sprężystości zamienia się** okresowo **w energię kinetyczną**. W położeniu równowagi takie wahadło ma największą energię kinetyczną, a przy maksymalnym wychyleniu ma największą energię potencjalną sprężystości.
- Ciała wprawione w ruch drgający mogą stać się źródłem **fali mechanicznej** – odkształcenia rozchodzącego się w otaczającym ośrodku. Fala może rozchodzić się na duże odległości, chociaż materia ośrodka nie przemieszcza się wraz z nią, a jedynie wykonuje drgania.



- Odległość, którą fala przebywa w czasie, gdy dana cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie, nosi nazwę **długości fali** λ.
- Jednostką długości fali jest metr (1 m).
- **Okres**, **częstotliwość** i **amplituda fali** to odpowiednio okres, częstotliwość i amplituda drgań cząsteczek ośrodka.
- Związek między prędkością, długością fali i częstotliwością przedstawia wzór:

prędkość fali = długość fali · częstotliwość	$v = \lambda \cdot f$

- **Źródłem dźwięku** jest drgające ciało (np. drgająca struna gitary).
- Rozchodzenie się **fali dźwiękowej** (akustycznej) polega na rozprzestrzenianiu się drgań warstw cząsteczek ośrodka (np. powietrza). Prędkość rozchodzenia się dźwięku zależy od ośrodka, w którym się on rozchodzi. W powietrzu rozchodzi się z prędkością ok. 340 $\frac{m}{s}$.
- Fale dźwiękowe **nie rozchodzą się w próżni**.
- Wrażenie **wysokości dźwięku** wiąże się z częstotliwością drgań. Im większa częstotliwość, tym dźwięk wyższy.
- Wrażenie **głośności dźwięku** wiąże się z amplitudą drgań. Im amplituda większa, tym dźwięk głośniejszy.


Dźwięk gitary.

- **Natężenie fali** opisuje, jaka energia jest przenoszona przez jednostkową powierzchnię w jednostce czasu.
- Ludzkie ucho może rejestrować dźwięki tylko wtedy, gdy częstotliwość fali akustycznej mieści się w granicach od około 16 Hz do około 20 000 Hz.
- Dźwięki o częstotliwości niższej od 16 Hz nazywa się **infradźwiękami**, a o częstotliwości wyższej od 20 000 Hz – **ultradźwiękami**.
- **Źródłem fali elektromagnetycznej** są drgania ładunków elektrycznych oraz prąd o natężeniu zmieniającym się w czasie.
- Ze względu na długość fali można wyróżnić: **fale radiowe**, **mikrofale**, **promieniowanie podczerwone**, **światło widzialne**, **promieniowanie nadfioletowe**, **promieniowanie rentgenowskie** i **promieniowanie gamma**.
- Fale elektromagnetyczne mogą się rozchodzić w każdym ośrodku – także w próżni. Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni wynosi **300 000** $\frac{km}{s}$.

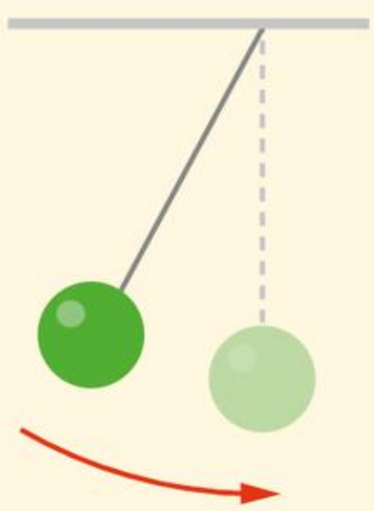
Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

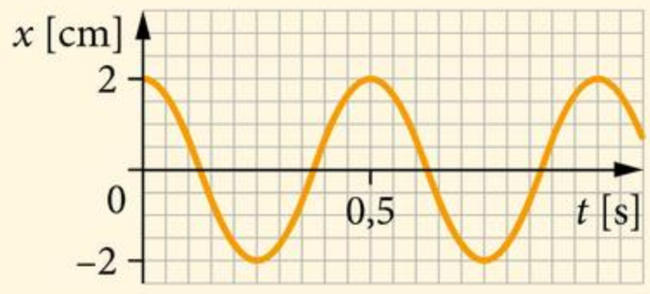
Uwaga. W zadaniach 3 i 4 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Jak zmieniają się energia kinetyczna (E_k) i energia potencjalna (E_p) wahadła w ruchu przedstawionym na rysunku?

A. E_k rośnie, E_p maleje.
B. E_k maleje, E_p rośnie.
C. E_k i E_p maleją.
D. E_k i E_p rosną.

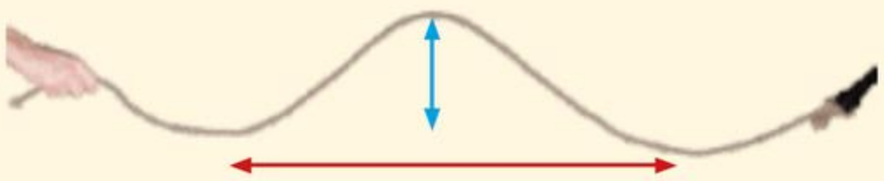


2 Na wykresie przedstawiono zależność położenia od czasu dla drgającego ciała.



Wskaż zdanie prawdziwe.
A. Dla $t = 0$ ciało jest w położeniu równowagi.
B. Okres drgań wynosi 0,5 s.
C. Amplituda drgań wynosi 4 cm.

3 Czerwoną strzałką zaznaczono odległość równą **A/ B/ C/ D**, natomiast niebieską strzałką – odległość równą **A/ B/ C/ D**.



A. długości fali
B. podwojonej amplitudzie
C. połowie długości fali
D. amplitudzie

4 Jeżeli do leżącego na powierzchni wody liścia dotrze fala kolista wywołana wrzuceniem spławika wędkarskiego, to liść będzie **A/ B/ C**, ponieważ fale mechaniczne przenoszą **D/ E/ F**.

A. tylko wykonywał drgania
B. przemieszczał się w kierunku rozchodzenia fali i jednocześnie wykonywał drgania
C. przemieszczał się w kierunku rozchodzenia się fali bez wykonywania drgań
D. materię i energię w kierunku rozchodzenia się fali
E. materię w kierunku rozchodzenia się fali, bez przenoszenia energii
F. energię w kierunku rozchodzenia się fali, bez przenoszenia materii

5 Wskaż zdanie <u>fałszywe</u>.
A. Drgająca struna jest źródłem fali dźwiękowej w powietrzu.
B. Plusk ryby w jeziorze jest źródłem fali dźwiękowej w powietrzu.
C. Rozchodzenie się fali dźwiękowej polega na przesuwaniu się wszystkich cząsteczek powietrza od źródła dźwięku do obserwatora.
D. Śpiewający ptak jest źródłem fali kulistej.

6 Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Fale mechaniczne i elektromagnetyczne różnią się tym, że

A. fale mechaniczne mogą się rozchodzić w ciałach stałych, a elektromagnetyczne nie.

B. fale elektromagnetyczne mogą się rozchodzić w próżni, a mechaniczne nie.

C. długość każdej fali elektromagnetycznej jest mniejsza niż mechanicznej.

D. w powietrzu prędkość fali elektromagnetycznej jest mniejsza niż mechanicznej.

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

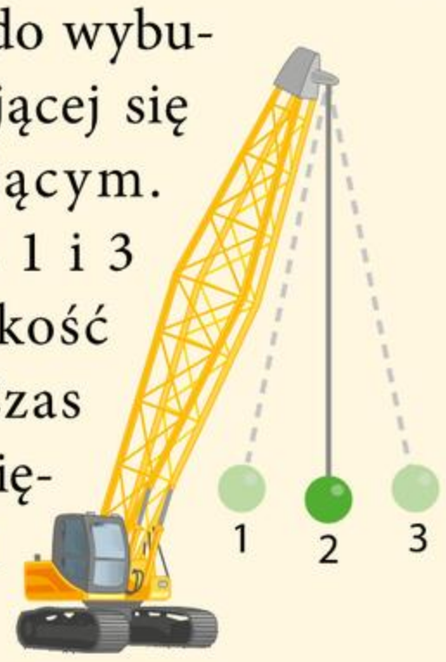
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1, 3–6 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

1 Liczba uderzeń na minutę jednego młota pneumatycznego wynosi 4080, a drugiego 2760. Częstotliwość uderzeń **A**/ **B** młota wynosi 46 Hz i jest około 1,5 raza **C**/ **D** niż częstotliwość uderzeń **A**/ **B** młota.

A. pierwszego **C.** mniejsza
B. drugiego **D.** większa

2 Na rysunku przedstawiono trzy położenia kuli do wyburzania poruszającej się ruchem drgającym. W położeniach 1 i 3 kula ma prędkość równą zero. Czas przejścia kuli między punktami 1 i 2 wynosi 3 s.



Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Amplituda drgań kuli to odległość między położeniami 1 i 2.

B. Największą energię kinetyczną kula ma w położeniu 3.

C. Przy ruchu kuli od punktu 3 do 2 jej energia kinetyczna maleje, a potencjalna – rośnie.

D. Okres drgań kuli wynosi 3 s.

E. Czas przejścia kuli z położenia 1 do 3 jest taki sam jak z położenia 3 do 2 i wynosi 1,5 s.

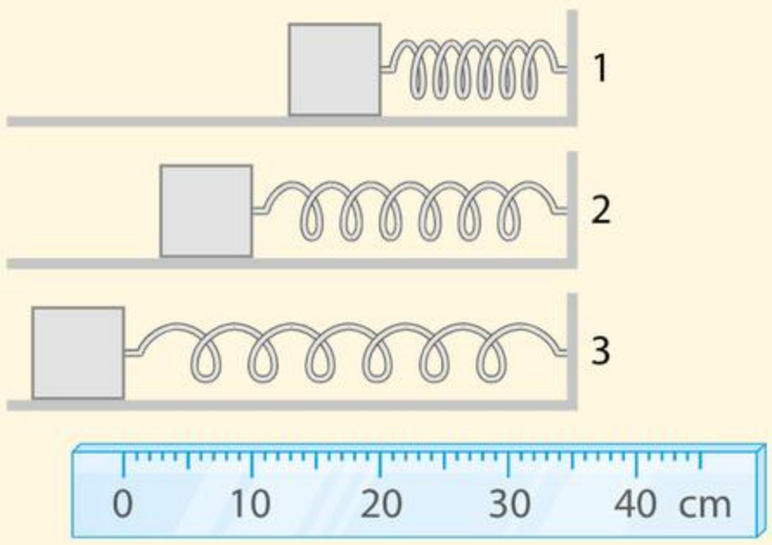
3 Drgająca membrana głośnika wytwarza w powietrzu falę dźwiękową o długości 17 cm. Przyjmij, że prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 340 $\frac{m}{s}$.
Membrana głośnika drga z częstotliwością **A**/ **B**/ **C**. Powstała fala dźwiękowa zalicza się do **D**/ **E**/ **F**.

A. 20 Hz **B.** 57,8 Hz **C.** 2000 Hz
D. infradźwięków **E.** ultradźwięków
F. dźwięków słyszalnych przez człowieka

4 Fale radiowe w porównaniu z promieniowaniem rentgenowskim mają **A**/ **B** długość fali i **A**/ **B** częstotliwość.

A. mniejszą **B.** większą

5 Na rysunku na str. 206 pokazano trzy położenia ciężarka zaczepionego na sprężynie i wykonującego drgania. W położeniu 1 ciężarek znajduje się w skrajnym prawym, a w położeniu 3 – w skrajnym lewym wychyleniu.

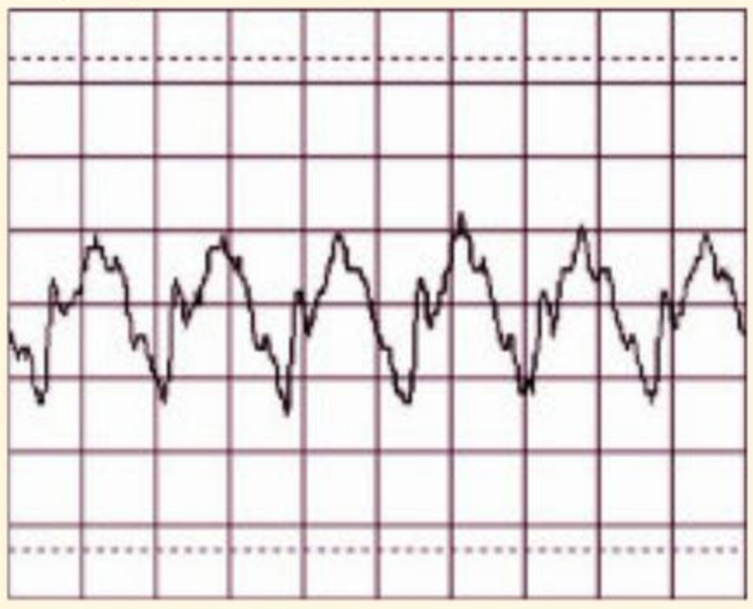


Amplituda drgań ciężarka wynosi **A/ B**. W położeniu 3 siła działająca na ciężarek jest **C/ D** i jest zwrócona **E/ F**.

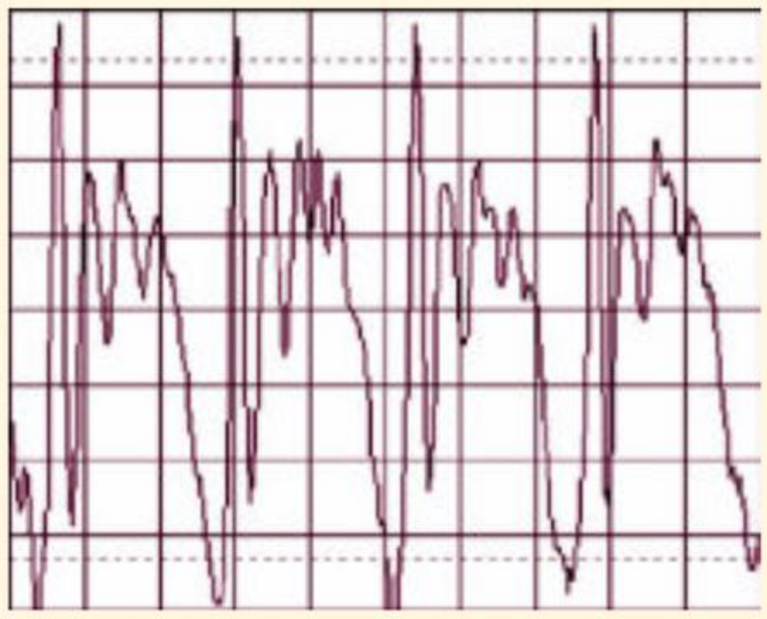
A. 10 cm
B. 20 cm
C. największa
D. najmniejsza
E. w lewo
F. w prawo

6 Na oscylogramach w tej samej skali zarejestrowano dźwięk samogłoski „a” wymawianej przez różne osoby.

oscylogram 1



oscylogram 2



Zarejestrowany dźwięk przedstawiony na oscylogramie 1 w porównaniu z dźwiękiem na oscylogramie 2 jest **A/ B** i **C/ D**.

A. niższy
B. wyższy
C. cichszy
D. głośniejszy

Uwaga. W zadaniach 7 i 8 wybierz poprawne dokończenie zdania.

7 Jeżeli grzbiety fal morskich są odległe od siebie o 16 m, a prędkość rozchodzenia się fali wynosi 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, to grzbiety fal będą uderzały o brzeg z częstotliwością około

A. 0,3 Hz.
B. 1,6 Hz.
C. 3 Hz.
D. 80 Hz.

8 Kibic siedzi na trybunie w odległości 35 m od pistoletu startowego. Jeżeli w pobliżu nie ma żadnych dużych przeszkód, to kibic

A. zobaczy wystrzał, a huk usłyszy po około 0,1 s.
B. jednocześnie zobaczy wystrzał i usłyszy huk.
C. zobaczy wystrzał, a huk usłyszy po około 0,03 s.
D. zobaczy wystrzał, a następnie usłyszy huk, jednak nie da się dokładnie ustalić kiedy, bo im głośniejszy huk, tym wcześniej kibic go usłyszy.

Uwaga. Przyjmij, że prędkość dźwięku w powietrzu to około 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz poprawne dokończenie poniższych zdań.

Jeżeli znamy długość nici, na której wisi kulka, to możemy obliczyć okres drgań wahadła, korzystając ze wzoru: $T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$, gdzie l to długość wahadła w metrach, a T – okres drgań wahadła w sekundach.

Okres drgań wahadła o długości 25 cm wynosi w przybliżeniu **A / B / C / D.** Wahadło o okresie drgań 8 s ma długość około **E / F / G /H.**

A. 10 s
B. 1 s
C. 0,5 s
D. 0,25 s
E. 4 m
F. 8 m
G. 12 m
H. 16 m

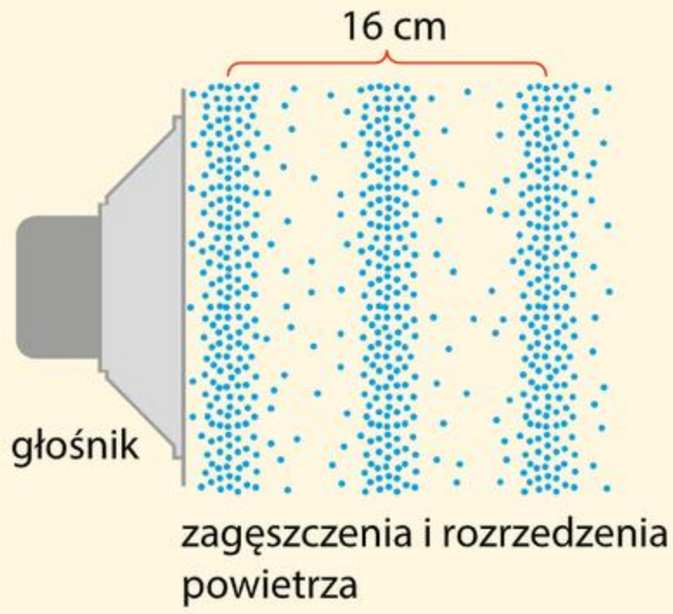
2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Fala dźwiękowa trafia na betonową ścianę. Częściowo się od niej odbija, a częściowo w nią wnika. Fala dźwiękowa po przejściu z powietrza do betonowej ściany **A / B**, ponieważ prędkość fali **C / D / E/ F**.

A. zmniejsza długość
B. zwiększa długość
C. się nie zmienia, a częstotliwość wzrasta
D. się nie zmienia, a częstotliwość maleje
E. rośnie, a częstotliwość się nie zmienia
F. maleje, a częstotliwość się nie zmienia

3 Na rysunku w schematyczny sposób przedstawiono zagęszczenia i rozrzedzenia powietrza w wyniku drgań membrany głośnika.

Oblicz, z jaką częstotliwością drga membrana głośnika, jeżeli prędkość dźwięku w powietrzu to około 340 $\frac{m}{s}$.



4 Betelgeuse to gwiazda w gwiazdozbiorze Oriona, która jest czerwonym nadolbrzymem. Gwiazda ta znajduje się w odległości ok. $4 \cdot 10^{15}$ km od Ziemi.
Ile czasu potrzeba, aby światło Betelgeuse dotarło do Ziemi?
Przyjmij prędkość światła równą 300 000 $\frac{km}{s}$.

5 Oblicz, ile wynosiłoby minimalne opóźnienie między zadanym pytaniem, a otrzymaną odpowiedzią w rozmowie astronauty, który znajduje się na Księżycu i operatorem przebywającym na Ziemi.
Przyjmij, że odległość Księżyca od Ziemi wynosi 385 tys. km.

Projekt

Prędkość i częstotliwość dźwięku



Problem badawczy

Jak można wyznaczyć prędkość dźwięku w powietrzu? Z jaką częstotliwością drgają różne ciała wytwarzające dźwięki?

Cele główne

Podczas realizacji projektu, możesz się dowiedzieć:

- jak wykorzystać echo do pomiaru prędkości dźwięku,
- jaką wysokość mają dźwięki wydawane przez różne drgające ciała i instrumenty,
- jaki jest zakres częstotliwości słyszanych przez ciebie dźwięków.

Zadania szczegółowe

Zadanie 1. Pomiar prędkości dźwięku z wykorzystaniem zjawiska echa

Zapewne niejednokrotnie zdarzyło ci się usłyszeć echo, np. podczas trzepania dywanu. Echo powstaje w wyniku odbicia fali dźwiękowej od oddalonych przeszkód. Można wykorzystać to zjawisko, aby obliczyć prędkość rozchodzenia się dźwięku w powietrzu.

- Przygotuj: stoper z możliwością zapisywania międzyczasów (może być też aplikacja na telefon), taśmę mierniczą oraz przedmioty, które posłużą do wytworzenia dźwięku, np. dwa kawałki drewna albo młotek i kawałek drewna.

  Uwaga. Wytwarzany dźwięk powinien być głośny, ale jednocześnie musi szybko zanikać, gdyż przedłużający się dźwięk łatwo pomylić z echem.

- Wybierz dość równy, pusty obszar z przeszkodą oddaloną od miejsca pomiaru o co najmniej 100 m, np. duże pole przed lasem lub pustą przestrzeń na końcu osiedla z blokami. Dobierz miejsce i czas wykonywania eksperymentu tak, aby nikomu nie przeszkadzać. Zmierz odległość od miejsca, gdzie będziesz wytwarzać dźwięk, do przeszkody, od której dźwięk będzie się odbijał, i zapisz wynik pomiaru.

  Uwaga. Zanim zmierzysz tę odległość, sprawdź, czy słychać wyraźne echo i czy czas między wytworzeniem dźwięku a pojawieniem się echa jest na tyle długi, że można go zmierzyć stoperem.

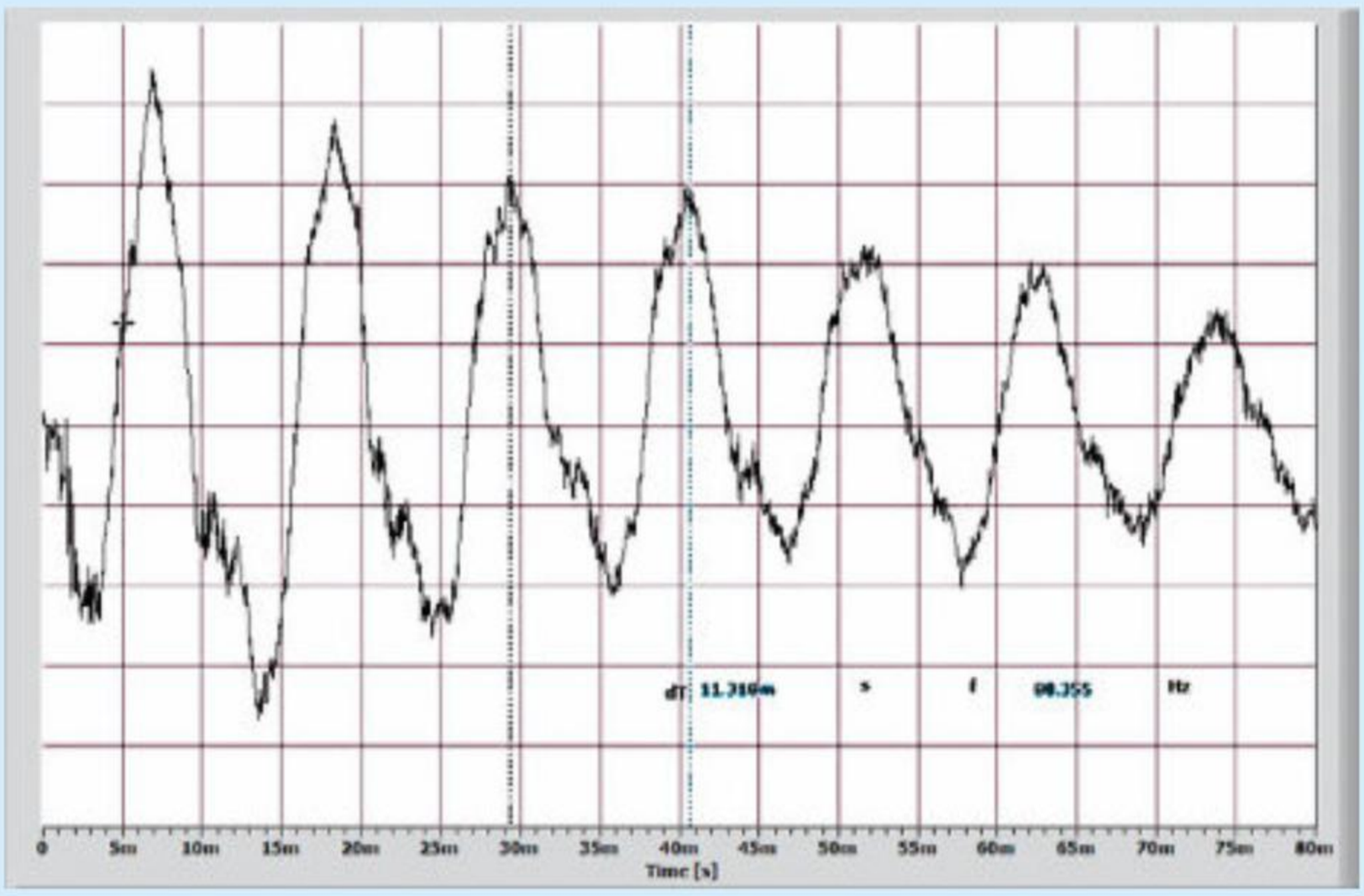
- Eksperyment wykonujcie w co najmniej dwie osoby. Niech jedna uderza jednym przedmiotem o drugi, a druga uruchamia stoper w momencie uderzenia i zatrzymuje w momencie usłyszenia echa. Należy wykonać co najmniej 10 pomiarów czasu.

Uwaga. Mierzone przedziały czasu będą bardzo krótkie. Osoba mierząca je powinna wyczuć odpowiedni rytm włączania i wyłączania stopera, a osoba wytwarzająca dźwięk – uderzać przedmiot w regularnych odstępach czasu.

- Z uzyskanych wyników pomiaru czasu oblicz średnią arytmetyczną i zaokrąglij wynik do dwóch cyfr znaczących.
- Wyznacz prędkość dźwięku. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 2. Wysokość dźwięku. Wyznaczanie częstotliwości

- Potrzebne będą: komputer z wejściem na mikrofon, prosty mikrofon (np. ten w słuchawkach nausznych), program do rejestracji dźwięku (np. Soundcard Oscilloscope, do pobrania ze strony https://www.zeitnitz.eu/scope_en), linijka, napięta struna wykonana z kawałka miedzianego drutu lub żyłki oraz proste instrumenty muzyczne, np. flet, harmonijka ustna.



Przykładowy oscylogram uzyskany dla drgającej linijki.

- Uruchom program i zapoznaj się z jego podstawowymi funkcjami, takimi jak rejestracja dźwięku i możliwość zapisu zarejestrowanych oscylogramów. Jedną z najważniejszych funkcji jest możliwość zmiany podziałki czasu (oś pozioma) w celu odczytania okresu drgań i obliczenia częstotliwości. Niektóre z programów mają funkcję automatycznego wyznaczania częstotliwości. Wtedy aby ją odczytać, wystarczy zaznaczyć dwoma pionowymi liniami (lub innymi znacznikami – w zależności od używanego programu) początek i koniec obszaru, który regularnie się powtarza.
- Na powyższym oscylogramie pierwsza z linii znajduje się na podziałce czasu równej ok. 29 ms, a druga na podziałce równej ok. 41 ms. Okres drgań wynosi więc

$$T = 41\ \text{ms} - 29\ \text{ms} = 12\ \text{ms} = 0{,}012\ \text{s},$$

a częstotliwość drgań: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}012\,\text{s}} \approx 83\,\text{Hz}.$

- Dociśnij linijkę do blatu biurka, tak aby wystawała poza blat na 5 cm. Szarpnij za wystający koniec linijki – raz słabiej, a raz silniej – i zarejestruj otrzymany oscylogram. Zwiększ długość wystającej części linijki (do 10 cm, a potem do 15 cm) i wykonaj analogiczne pomiary.
- Wyznacz opisanym sposobem częstotliwości drgań. Jaki wpływ ma długość wystającej części linijki na częstotliwość generowanych dźwięków?
- Wyznacz częstotliwość dźwięku wydawanego przez ciebie podczas gwizdania. Porównaj swoje wyniki z wynikami uzyskanymi przez koleżanki i kolegów. Czy bardzo się różnią? Kto z was podczas gwizdania wydaje najniższy, a kto najwyższy dźwięk?
- Wyznacz częstotliwość fali akustycznej wytwarzanej przez flet lub harmonijkę ustną, gdy grasz określony dźwięk. Czy otrzymany wynik zgadza się z częstotliwością, jaką powinien wytworzyć instrument dla tego dźwięku? Jeżeli nie masz żadnego instrumentu, spróbuj zarejestrować dźwięk struny wykonanej z kawałka miedzianego drutu lub żyłki. Zmieniaj długość struny i dla każdej długości zarejestruj dźwięk, gdy struna jest mocno i słabo napięta. Co zauważasz?

  Uwaga. Częstotliwości tonów znajdziesz w internecie.
- Wiele programów umożliwia wygenerowanie dźwięku o określonej częstotliwości. Możesz dzięki temu sprawdzić zakres słyszanych przez ciebie dźwięków. Przeciętny człowiek słyszy dźwięki w zakresie częstotliwości od 16 Hz do 20 000 Hz, chociaż skrajne wartości dla każdej osoby nieco się różnią.
- Zacznij od ustawienia w programie częstotliwości 20 Hz i sprawdź, czy słyszysz taki dźwięk. Jeśli tak, to spróbuj ustawić nieco mniejszą częstotliwość, a jeśli nie – ustaw nieco wyższą. Podobnie wykonaj odsłuch dla częstotliwości 15 000 Hz. Zapisz najniższą i najwyższą częstotliwość, jaką udało ci się usłyszeć.

Optyka

Z tego rozdziału dowiesz się:

- czym jest światło i jakie są jego właściwości,
- w jaki sposób powstają cień i półcień,
- na czym polegają zjawiska odbicia, rozproszenia i załamania światła,
- jak korygować wady wzroku,
- jak światło rozszczepia się, przechodząc przez pryzmat,
- jakie obrazy powstają przy użyciu zwierciadeł i soczewek,
- jak konstruować obrazy tworzone przez zwierciadła i soczewki.



21 Światło i jego właściwości

Cel lekcji: Dowiesz się, jakie są podstawowe właściwości światła oraz jak światło rozchodzi się w ośrodkach jednorodnych i niejednorodnych.

Nauka o świetle

Światło od dawna fascynowało naukowców. Początków nauki o świetle można doszukiwać się w starożytnej Grecji. Na przełomie wieków IV i III p.n.e. Euklides sformułował pierwsze prawa, jakim podlega promień światła. Dziś wiemy o świetle już całkiem dużo, a wiedza ta jest szeroko stosowana w praktyce. Gdyby nie badania nad naturą i właściwościami światła, nie istniałyby m.in. światłowody, telewizory i aparaty fotograficzne.

Nauką zajmującą się światłem i jego oddziaływaniem z materią jest **optyka**.

Prędkość światła

Wiesz już, że światło to fale elektromagnetyczne o długości od 380 nm do 780 nm, czyli o częstotliwości od $3{,}8 \cdot 10^{14}$ Hz do $7{,}9 \cdot 10^{14}$ Hz, odbieranej przez zmysł wzroku. Fale o określonej częstotliwości (z tego zakresu) postrzegamy jako różne barwy (patrz tabela 1).
Pamiętasz zapewne, że **prędkość światła** oraz prędkość każdej fali elektromagnetycznej w próżni jest zawsze stała, niezależnie od długości czy częstotliwości fali.

Tabela 1.

	Barwa	Długość fali [nm]
	czerwona	635–770
	pomarańczowa	590–635
	żółta	560–590
	zielona	500–560
	niebieska	450–500
	granatowa	430–450
	fioletowa	380–430

Prędkość światła $c = 299\,792\ \frac{\text{km}}{\text{s}} \approx 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Prędkość c jest **największą prędkością przenoszenia informacji**. Wysyłając i odbierając sygnały świetlne, można kodować informacje.
W ośrodkach przezroczystych, takich jak szkło czy woda, światło rozchodzi się z mniejszą prędkością niż w próżni, zależną od rodzaju ośrodka (patrz tabela 2).

Tabela 2.

Ośrodek	Prędkość światła $\left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]$
woda	225 000
szkło	190 000
diament	125 000

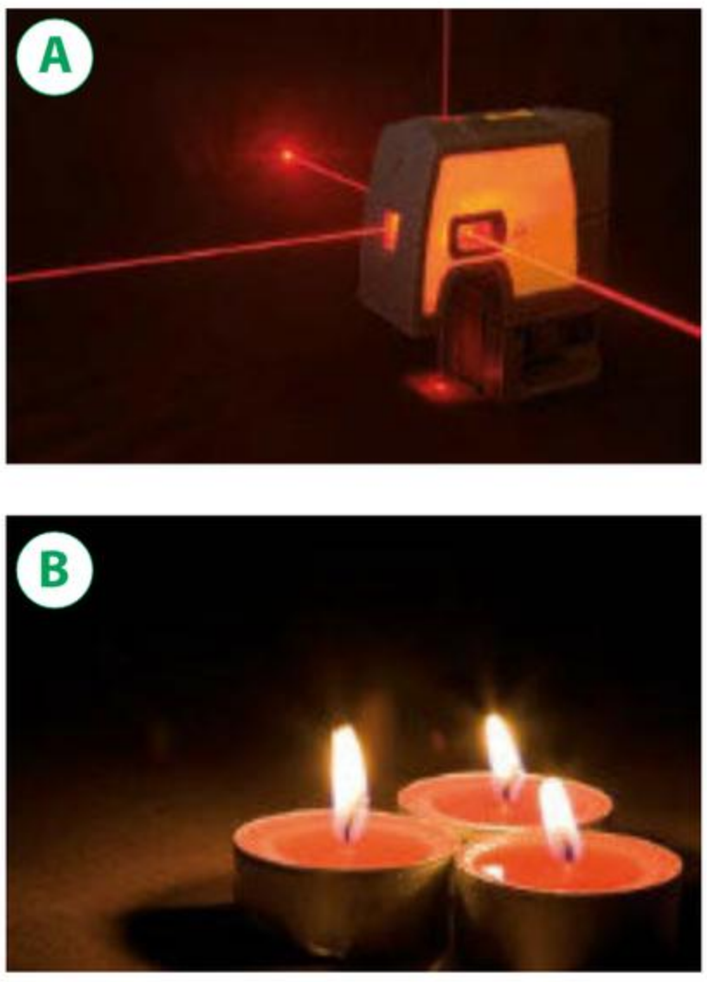
Źródła światła

Z własnych obserwacji wiesz, że w słoneczny dzień wyraźnie widać otaczający nas barwny świat. Jeśli dzień jest pochmurny, wszystko staje się szare, ponure i nie

dostrzegamy szczegółów obrazów. Gdy zapada zmrok, barwy tracą wyrazistość, a kontury przedmiotów się zacierają. W ciemnym pomieszczeniu, do którego nie dociera światło, nie widać nic.

Znasz wiele ciał, które wysyłają światło – są to m.in.: Słońce, gwiazdy, żarówka, płonące ognisko, lampa, laser i bardzo rozgrzany kawałek metalu. Nazywa się je źródłami światła. Najczęściej są to ciała o wysokiej temperaturze.

Źródłem światła jest każde ciało wysyłające promieniowanie widzialne.



Sztuczne źródła światła: A. laser, B. świece.

Księżyc nie jest źródłem światła, ponieważ świeci światłem odbitym pochodzącym ze Słońca. Również planety widoczne na nocnym niebie świecą światłem odbitym.

Źródła światła wysyłają światło dzięki przemianom jednej formy energii w inną. Przykładowo Słońce wysyła promieniowanie kosztem energii uwolnionej w procesach jądrowych zachodzących w jego wnętrzu, a tradycyjna żarówka z włóknem wolframowym świeci na skutek zamiany energii elektrycznej w energię wewnętrzną – rozżarzony drucik w jej wnętrzu wysyła promieniowanie, m.in. widzialne.

W fizyce zamiast mówić, że źródła światła świecą, stwierdza się, że wysyłają lub **emitują** światło. Ze względu na to, czy źródła światła zostały wytworzone przez człowieka czy nie, dzieli się je na **sztuczne** (np. żarówka, laser, świece) i **naturalne** (np. Słońce, błyskawica).

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Światło Słońca biegnie do Ziemi około 8 minut. To oznacza, że gdyby Słońce nagle zgasło, dowiedzielibyśmy się o tym po około 8 minutach.

CIEKAWOSTKA

Źródłami światła mogą być organizmy żywe, np. chrząszcze z rodziny świetlikowatych. U świetlików narządy świecące znajdują się po stronie brzusznej na odwłoku (patrz zdjęcie). Narząd świecący składa się z kilku warstw komórek emitujących światło zwanych fotocytami. Świetliki potrafią zmieniać intensywność świecenia – jest ona regulowana przez układ nerwowy. Biologiczne znaczenie świecenia przejawia się w rytuałach godowych świetlików. Samce wabią samice, emitując w regularnych odstępach czasu krótkie błyski charakterystyczne dla danego gatunku. W morzach i oceanach żyje wiele organizmów wytwarzających światło (ryby głębinowe, krewetki). Zdolność świecenia mają również niektóre grzyby i bakterie.



Światło przenosi energię

Aby poznać kolejną właściwość światła, wykonaj proste doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 45

1. Przygotuj lampkę i włącz ją.
2. Zbliż rękę do świecącej się żarówki. Co odczuwasz?

Wskazówka. Najlepiej do doświadczenia wykorzystać tradycyjną żarówkę z włóknem wolframowym lub żarówkę halogenową. Jeśli nie masz takiej, możesz użyć lampy ze świetlówką albo diodami LED. Wtedy dotknij ostrożnie powierzchni, przez którą emitowane jest światło świetlówki lub żarówki diodowej.

Uwaga. Dotykanie żarówki z włóknem wolframowym bądź halogenowej grozi poparzeniem.



Gdy zbliżysz rękę do świecącej się żarówki, odczuwasz ciepło.

Żarówki z włóknem wolframowym lub halogenowe emitują głównie promieniowanie podczerwone, czyli cieplne, a tylko niewielką część wysyłanego promieniowania stanowi światło. Dlatego wystarczy zbliżyć dłoń do takiej żarówki, aby odczuć ciepło. Jeśli do doświadczenia użyjemy lampy ze świetlówką albo żarówką diodową, samo zbliżenie dłoni może nie wystarczyć, ponieważ emitują one mniej ciepła niż tradycyjne żarówki. Jednak gdy dotkniemy powierzchni świetlówki lub żarówki diodowej, już wyraźnie odczujemy ich wyższą temperaturę. Światło widzialne w podobny sposób jak promieniowanie podczerwone przenosi energię z żarówki do twojej ręki. Tak samo światło ze Słońca przenosi energię na Ziemię.

Promieniowanie elektromagnetyczne przenosi energię.

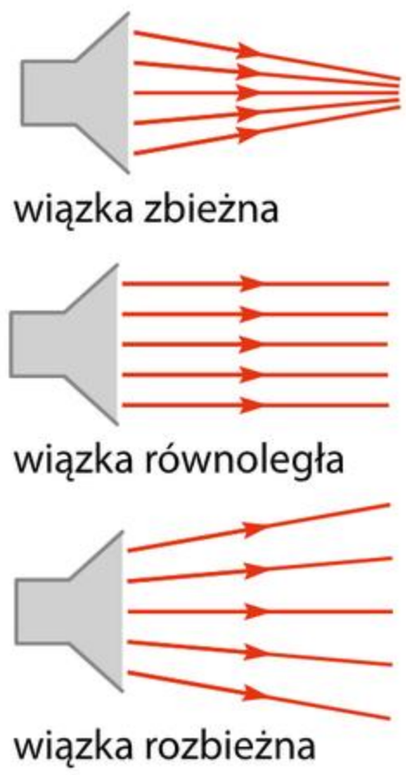
W języku fizyki często używa się sformułowań **promieniowanie świetlne** lub **promieniowanie widzialne**, które oznaczają po prostu światło.



Słońce to naturalne źródło światła. Dzięki procesom jądrowym zachodzącym w jego wnętrzu Słońce wysyła energię między innymi w postaci promieniowania widzialnego.

Rozchodzenie się światła

Kiedy będziesz mieć okazję, zwróć uwagę na to, w jaki sposób świecą różnego rodzaju lampy, reflektory (np. w teatrze) czy latarki. Porównaj rozchodzenie się światła z nieosłoniętej żarówki i z latarki. W przypadku żarówki światło rozchodzi się we wszystkie strony, natomiast latarka oświetla tylko wybrany obszar.
Można powiedzieć, że latarka wysyła **wiązkę światła**.
Rodzaje wiązek światła: zbieżną, równoległą i rozbieżną przedstawiono na rysunkach obok.
W optyce, aby opisać rozchodzenie się światła, często stosuje się pojęcie **promienia świetlnego** (promienia światła).



Promień świetlny jest to wąska wiązka światła.

Możesz spotkać się również z inną definicją promienia światła.

Promień światła to linia wyznaczająca kierunek rozchodzenia się światła.

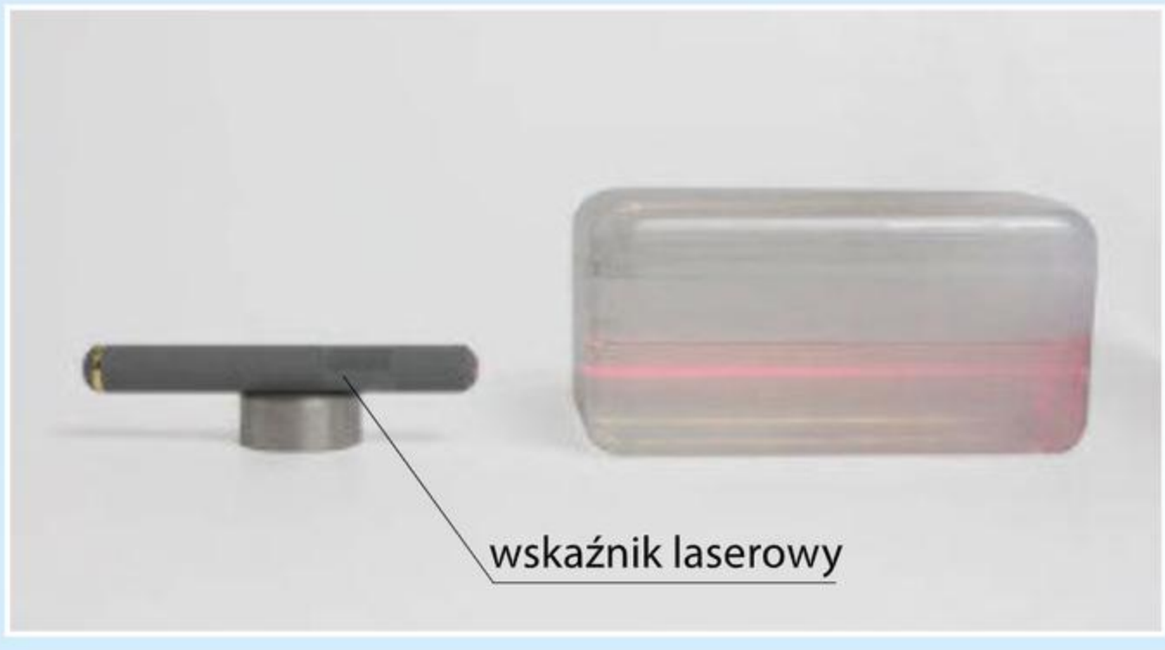
Bieg promieni światła można zaobserwować we mgle oraz w powietrzu, w którym unosi się dym lub kurz.



Na niektórych lampach, latarkach lub typach żarówek podawany jest kąt świecenia, który informuje o tym, jaką wiązkę emituje dane źródło światła.

DOŚWIADCZENIE 46

1. Przygotuj: akwarium (lub przezroczyste pudełko) z wodą, mleko oraz wskaźnik laserowy albo latarkę.
2. Do wody w naczyniu dodaj kilka kropel mleka.
3. W zaciemnionym pomieszczeniu skieruj na akwarium (pudełko z wodą) wąską wiązkę światła.



Wewnątrz naczynia promień światła biegnie prostoliniowo.

Wskazówka. Jeśli nie masz wskaźnika laserowego, ale masz latarkę, wąską wiązkę światła uzyskasz, gdy umieścisz w pewnej odległości przed latarką kartonik z wyciętym niewielkim otworem.

Nigdy nie kieruj promienia światła lasera w stronę oczu! Grozi to utratą wzroku.

Ośrodek, w którym może rozchodzić się światło, to **ośrodek optyczny**. Rozróżnia się ośrodki **optycznie jednorodne** i **optycznie niejednorodne**. Ośrodek optycznie jednorodny, w przeciwieństwie do niejednorodnego, w całej objętości ma jednakowe właściwości fizykochemiczne (m.in. gęstość, temperaturę, przejrzystość).

W ośrodku optycznie jednorodnym światło rozchodzi się po liniach prostych.



Prostoliniowe rozchodzenie się światła w powietrzu.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Światło** to fale elektromagnetyczne o długości od 380 nm do 780 nm.
- Prędkość światła *c* w próżni jest zawsze stała; wynosi około 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.
- **Źródło światła** to każde ciało wysyłające promieniowanie widzialne.
- **Promień świetlny** to linia wyznaczająca kierunek rozchodzenia się światła lub wąska wiązka światła.
- **Ośrodek optyczny** to ośrodek, w którym może rozchodzić się światło. Może być jednorodny lub niejednorodny.
- **Ośrodek optycznie jednorodny** to taki ośrodek optyczny, który ma jednakowe właściwości fizykochemiczne w całej objętości.
- W ośrodku optycznie jednorodnym światło rozchodzi się prostoliniowo.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Do podanych pojęć dopasuj ich definicje.

I. optyka	**A.** fale elektromagnetyczne o długości 380–780 nm
II. światło	**B.** ośrodek, w którym rozchodzi się światło
III. źródło światła	**C.** fala mechaniczna o długości 380–780 nm
IV. ośrodek optyczny	**D.** nauka o świetle i jego oddziaływaniu z materią
V. promień świetlny	**E.** linia wyznaczająca kierunek rozchodzenia się światła
	F. ciało wysyłające promieniowanie widzialne

2 Do każdego z poniższych zdjęć dopasuj odpowiedni opis z ramki.



Naturalne źródło światła. • *Sztuczne źródło światła.*
• *Obiekt widoczny na zdjęciu nie jest źródłem światła.*

3 Wskaż zdania prawdziwe.

A. Światło jest falą mechaniczną.

B. Światło może rozchodzić się w powietrzu i wodzie, ale nie może rozchodzić się w ciałach stałych.

C. W próżni światło widzialne rozchodzi się z taką samą prędkością jak promieniowanie podczerwone.

D. Światło potrzebuje więcej czasu na przebycie odległości 1 m w wodzie niż na przebycie 1 m w próżni.

E. Prędkość światła w próżni wynosi w przybliżeniu 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

4 Przeczytaj komentarze trojga uczniów i oceń, w których „świecenie" obiektów oznacza emitowanie światła, a w których – jego odbijanie.







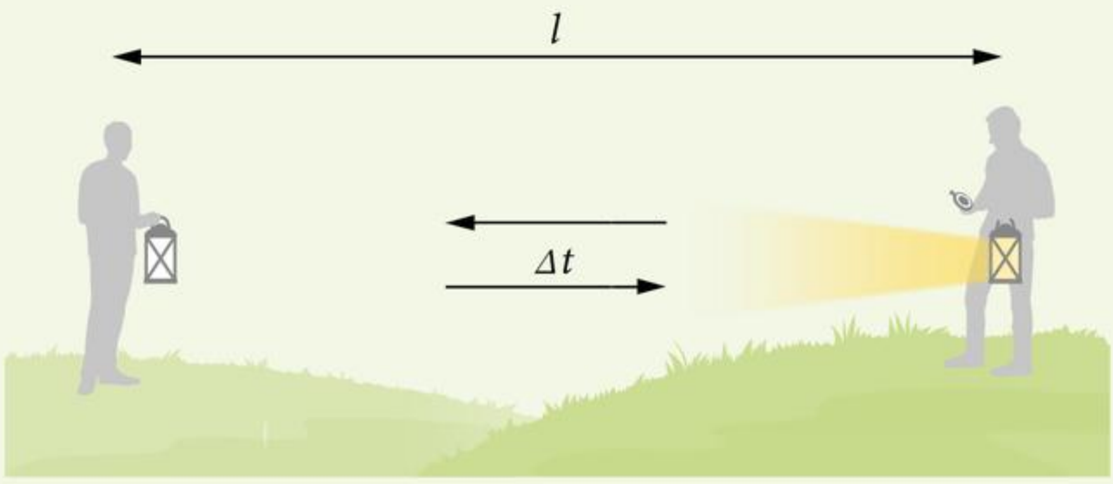
Adrian: *Oczy kota świecą w nocy. Szczególnie dobrze widać to na fotografii wykonanej z małej odległości z użyciem lampy błyskowej.*

Paweł: *Dzisiaj w nocy w ogóle nie mogłem zasnąć. Pewnie dlatego, że Księżyc był w pełni i mocno świecił.*

Agata: *Wydaje mi się, że świetlówka na korytarzu nie świeci wystarczająco jasno. Może trzeba by wymienić ją na inną?*

5 Pierwszą próbę pomiaru prędkości światła wykonał słynny Galileusz. Eksperyment polegał na tym, że uczony wraz ze swoim znajomym stanęli na dwóch odległych wzgórzach. Każdy z nich przyniósł ze sobą latarnię, która początkowo była zasłonięta. Pierwszy eksperymentator odsłonił swoją latarnię i zaczął mierzyć czas. Drugi miał odsłonić swoją latarnię w chwili, gdy zobaczy światło pierwszej latarni. Pierwszy eksperymentator miał zakończyć pomiar czasu, gdy zobaczy światło drugiej latarni.

Zapisz w zeszycie krótko, dlaczego pomysł Galileusza, choć poprawny w swoich założeniach, był w tamtych czasach z góry skazany na niepowodzenie.



22 Zjawiska cienia i półcienia

Cel lekcji: Dowiesz się, kiedy powstaje cień, a kiedy półcień. Poznasz także mechanizm zjawisk zaćmienia Słońca i zaćmienia Księżyca.

Obserwacja cieni i półcieni

Od niepamiętnych czasów w słoneczne dni człowiek obserwował cienie. Cień jest dla artystów często tak samo fascynujący jak światło. Już w starożytności ludzie wykorzystywali zjawisko cienia do budowy zegarów słonecznych (patrz zdjęcie). Przesuwający się cień rzucany przez wbity w ziemię kij lub inny wskaźnik wskazywał porę dnia.
Wykonaj doświadczenie, aby zaobserwować, kiedy powstaje cień, a kiedy – półcień.



Zegar słoneczny.

DOŚWIADCZENIE 47

1. Przygotuj: dwie lampki lub dwie latarki oraz nieprzezroczysty przedmiot (np. stojącą figurkę albo wazon).
2. Zasłoń okna lub wykonaj doświadczenie wieczorem, gdy jest ciemno.
3. Włącz lampkę i skieruj jej światło na ekran lub na ścianę. Na drodze promieni świetlnych ustaw figurkę, wazon bądź inny nieprzezroczysty przedmiot. Co obserwujesz?
4. Włącz dwie lampki i ustaw je tak jak na zdjęciu obok. Przedmiot umieść między lampami a ekranem. Co obserwujesz?



Na ekranie (ścianie) obserwujesz cień oświetlanego przedmiotu.



Kiedy na przedmiot pada światło z dwóch lampek, oprócz cienia widzisz półcień.

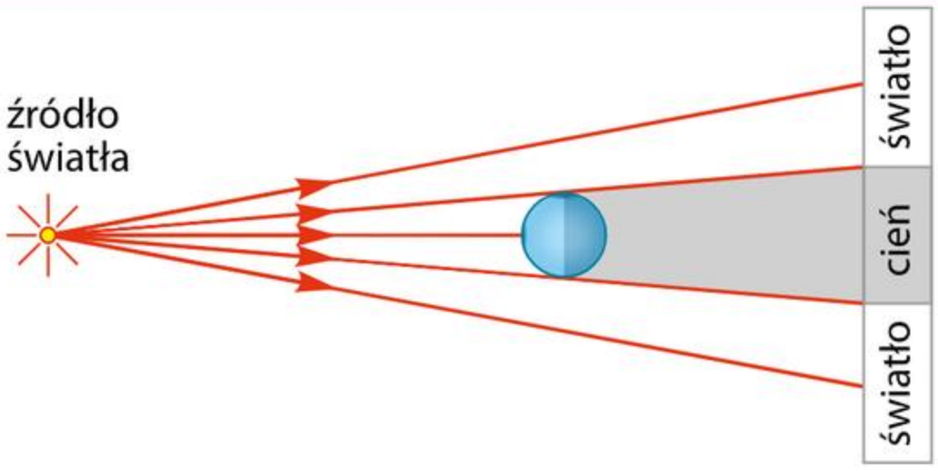
Wiesz już, że w ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się po linii prostej. Jeśli na drodze promieni świetlnych umieścimy przeszkodę, to za nią utworzy się cień.

Cień to obszar, do którego światło nie dochodzi z powodu nieprzezroczystej przeszkody znajdującej się na drodze promieni świetlnych.

CIEKAWOSTKA

Teatr cieni powstał w starożytnych Chinach ok. III w. p.n.e. Wycięte ze skóry sylwetki bohaterów były przesuwane przez lalkarza między ekranem i silnym źródłem światła, a widzowie znajdujący się po drugiej stronie ekranu oglądali przedstawienie podobne do współczesnego filmu animowanego. Z czasem role wyciętych sylwetek przejmowali prawdziwi aktorzy.





Schemat powstawania cienia przedmiotu przy punktowym źródle światła.

Zaćmienia Słońca i Księżyca

Znając mechanizm powstawania cienia i półcienia, można wytłumaczyć zjawiska zaćmienia Słońca i zaćmienia Księżyca.

Jeśli okrążający Ziemię Księżyc ustawi się między Słońcem a Ziemią, to przesłoni część promieni wysyłanych przez Słońce. Pewien obszar Ziemi znajdzie się w cieniu Księżyca. Na tym obszarze ludzie będą obserwować **całkowite zaćmienie Słońca**, a w obszarze półcienia – **zaćmienie częściowe**.

Podobnie dzieje się w przypadku zaćmienia Księżyca, ale promienie słoneczne przesłania wtedy Ziemia i nie docierają one do Księżyca – Księżyc znajduje się w cieniu Ziemi.

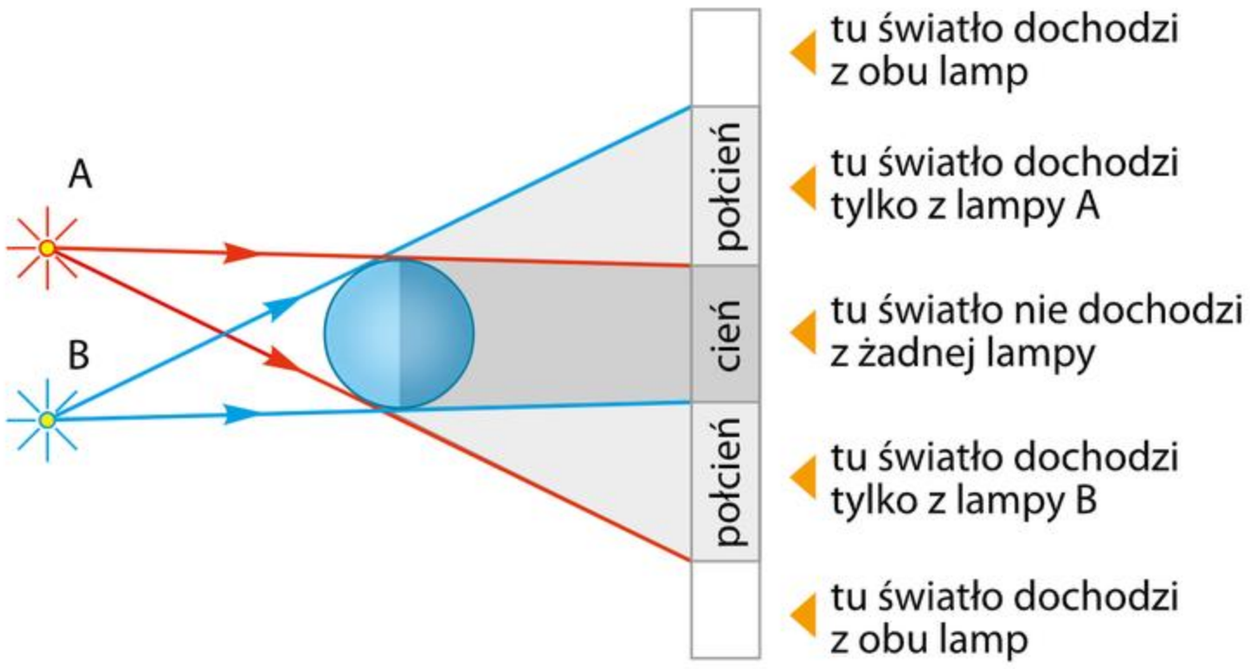


Kolejne fazy podczas całkowitego zaćmienia Słońca.



Kolejne fazy podczas całkowitego zaćmienia Księżyca.

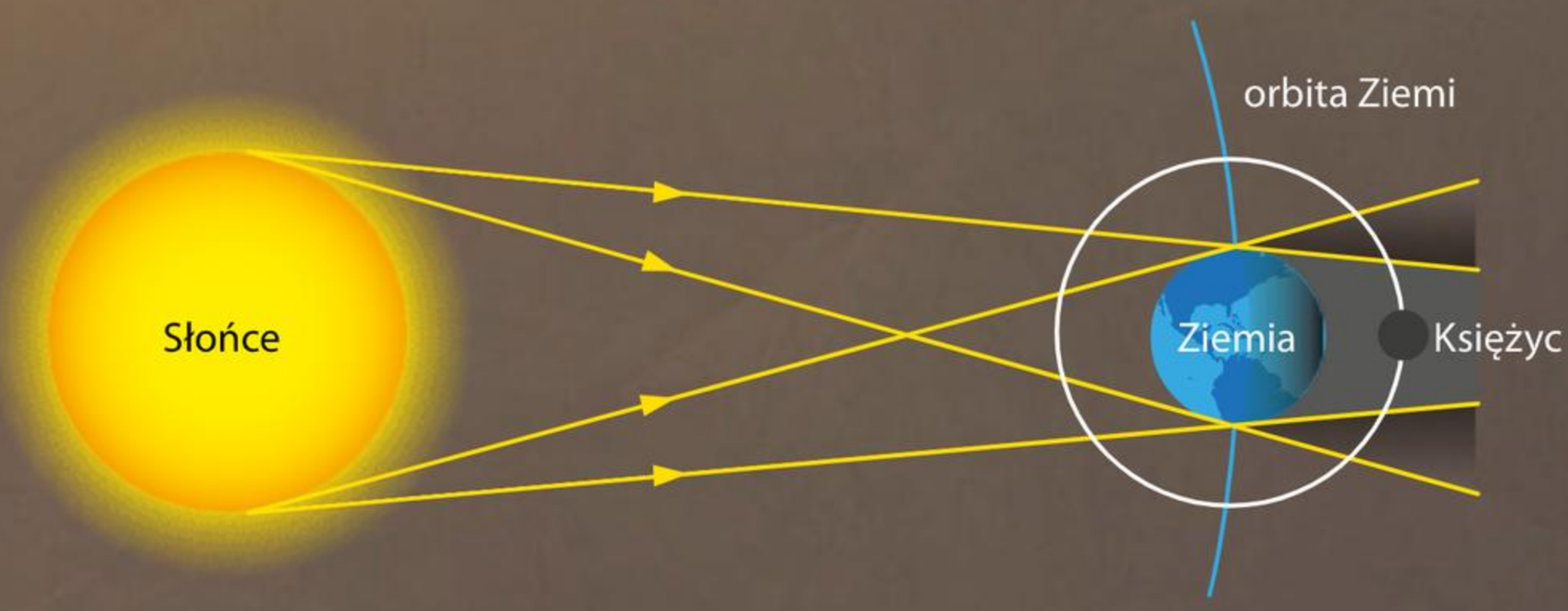
Jeśli na przedmiot pada światło z dwóch źródeł (doświadczenie 47 na str. 219), to za tym przedmiotem są: obszar w pełni oświetlony, obszar cienia i obszar, do którego światło dochodzi tylko z jednego źródła światła, nazywany **półcieniem**.



Schemat powstawania cienia i półcieni przy dwóch punktowych źródłach światła.



Schematyczne przedstawienie zaćmienia Słońca.



Schematyczne przedstawienie zaćmienia Księżyca.

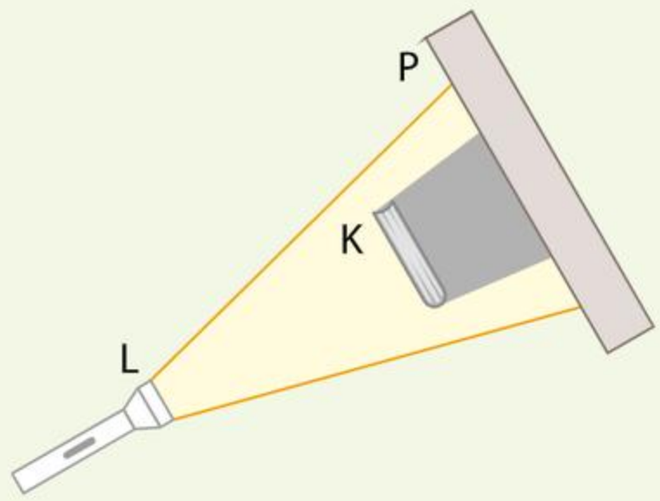
TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Cień** to obszar, do którego światło nie dochodzi z powodu nieprzezroczystej przeszkody znajdującej się na drodze promieni świetlnych.
- Jeżeli przedmiot oświetlany jest dwoma źródłami światła, to **półcień** jest obszarem, na który pada światło tylko z jednego z nich.
- Do **zaćmienia Słońca** dochodzi, gdy Księżyc znajduje się między Słońcem a Ziemią.
- Do **zaćmienia Księżyca** dochodzi, gdy Ziemia znajduje się między Słońcem a Księżycem.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

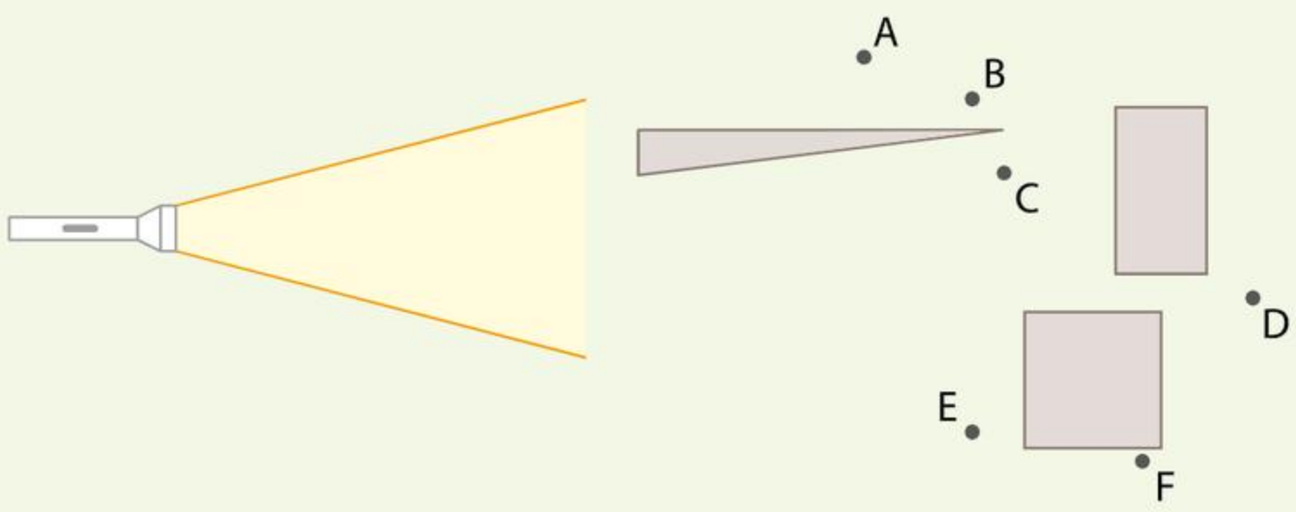
1 Na rysunku przedstawiono wiązkę światła z latarki (L) padającą na książkę (K) i cień na pudełku (P). Przeanalizuj rysunek i wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



Gdy przybliżymy książkę do pudełka, cień książki **A/ B**. Gdy oddalimy pudełko od książki, cień książki **A/ B**. Gdy przysuniemy latarkę do książki, cień książki **A/ B**.

A. pomniejszy się **B.** powiększy się

2 Na rysunku poniżej przedstawiono fragment rozbieżnej wiązki latarki skierowanej na trzy przeszkody. Sprawdź za pomocą linijki (nie rysuj po książce!), do których punktów dotrze światło latarki.



3 Jeżeli odpowiednio ustawimy podłużne źródło światła, przedmiot oraz ekran, to na ekranie zaobserwujemy jedynie półcień (nie zaobserwujemy w ogóle cienia). Posługując się linijką, sprawdź, w którym przypadku świetlówka, przedmiot oraz ekran są ustawione w taki sposób, że:

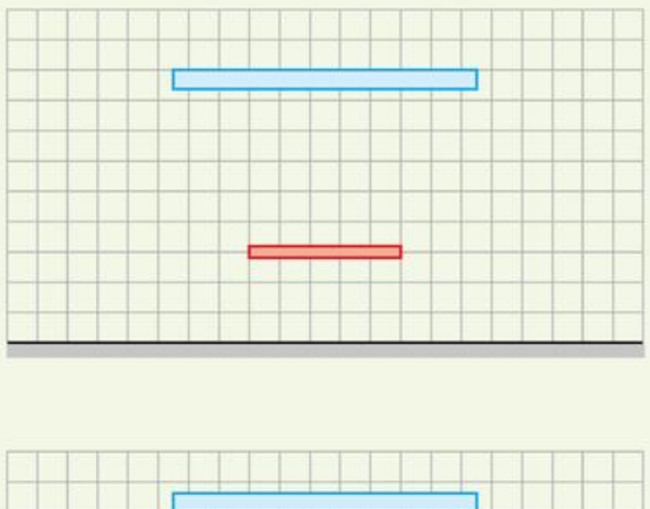
a) powstanie jedynie półcień,

b) cień na ekranie będzie największy.

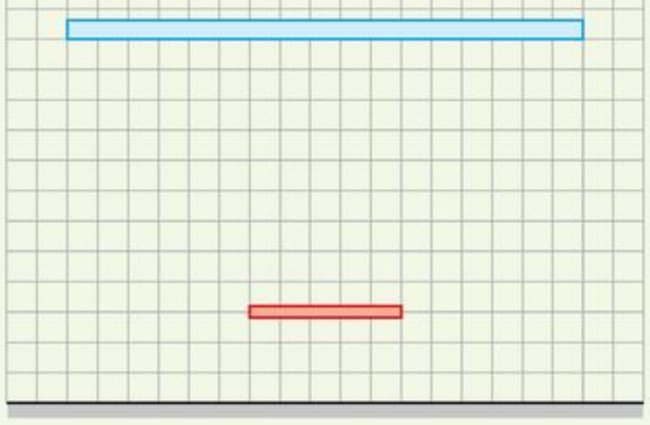
A.



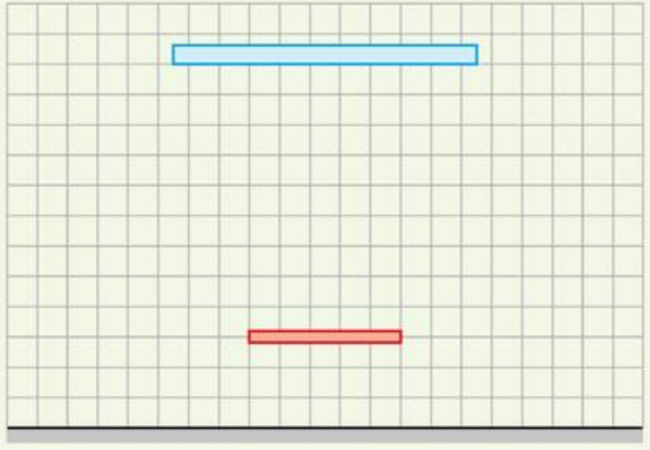
B.



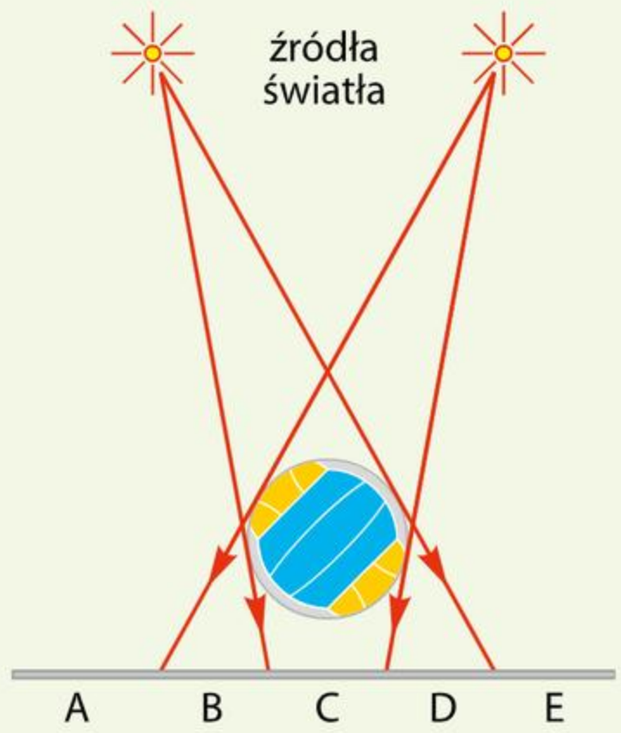
C.



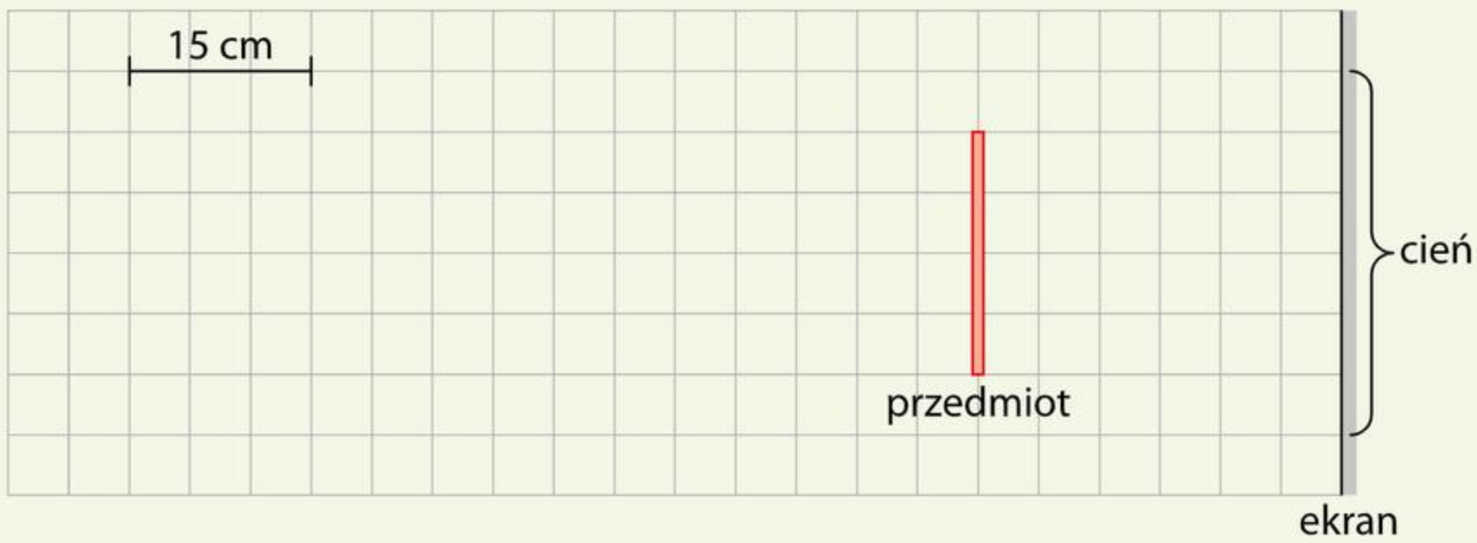
D.



4 Z dwóch punktowych źródeł światło pada na nieprzezroczystą piłkę (patrz rys. obok). Wskaż, którymi literami oznaczono cień, półcień i obszar oświetlony.



5 Na poniższym rysunku przedstawiono położenie przedmiotu i ekranu oraz wielkość cienia. Przerysuj ilustrację do zeszytu i za pomocą linijki wyznacz, w jakiej odległości od przedmiotu znajduje się punktowe źródło światła.



6 Krótko wyjaśnij, dlaczego podczas meczu piłkarskiego odbywającego się w nocy widać po kilka cieni każdego piłkarza, natomiast podczas meczu w pogodny dzień widać przy każdym piłkarzu tylko jeden cień.



23 Odbicie i rozproszenie światła

Cel lekcji: Poznasz prawo odbicia oraz jego zastosowania. Dowiesz się, jaka jest różnica między odbiciem a rozproszeniem światła.

Zjawisko odbicia światła

Ze zjawiskiem odbicia światła spotykasz się nieustannie. Dzięki niemu możesz przejrzeć się w lustrze lub w spokojnej powierzchni jeziora. Zjawisko odbicia sprawia, że widzisz wszystkie oświetlone przedmioty wokół siebie. Wiesz już także, że Księżyc nie świeci własnym światłem, lecz odbija światło słoneczne.



Przedmioty widzisz dzięki temu, że do oczu dociera odbite od nich światło.

Aby zbadać zjawisko odbicia, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 48

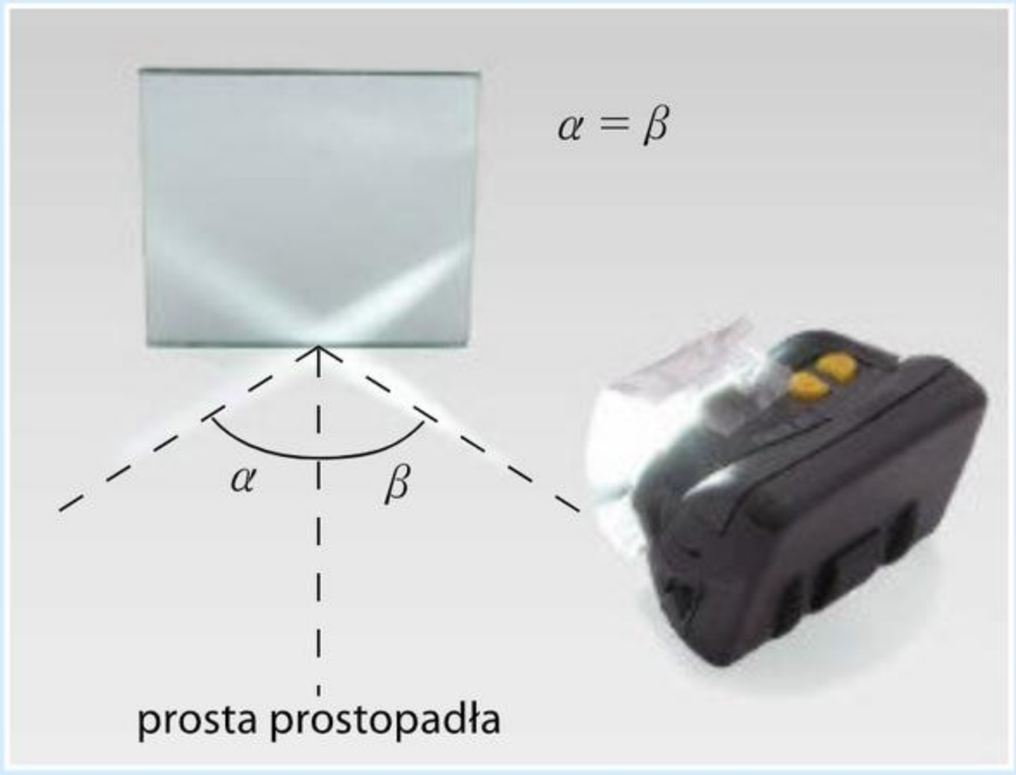
1. Przygotuj: latarkę, folię aluminiową, nożyk do tapet, prostokątne lusterko, linijkę, kątomierz oraz kartkę.
2. Połóż na stole kartkę, a na niej ustaw pionowo lusterko (możesz je podeprzeć od tyłu).
3. Narysuj na kartce prostą prostopadłą do lusterka.
4. Załóż na latarkę folię aluminiową, tak aby całkowicie zasłonić drogę światła. Postaraj się nie pognieść folii.
5. Nożykiem do tapet wykonaj w folii pionowe nacięcie.

Wskazówka. Nacięta folia może się jeszcze przydać w kolejnym doświadczeniu.

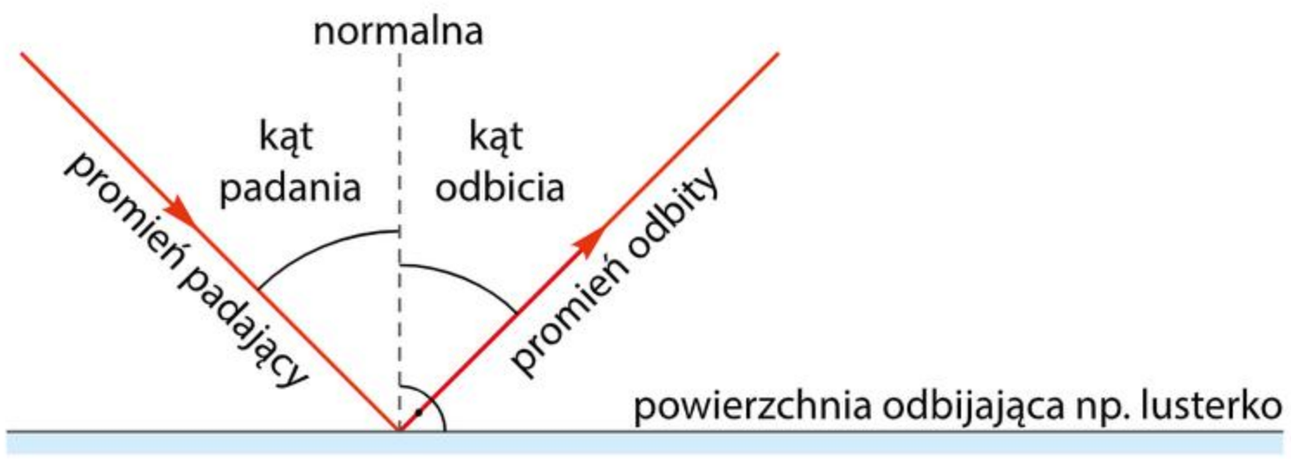
6. Skieruj promień latarki na lusterko pod kątem ostrym do narysowanej prostej prostopadłej.

7. Zmierz kątomierzem ten kąt oraz kąt między promieniem odbitym a prostą prostopadłą. Zanotuj obie wartości w zeszycie. Co zauważasz?
8. Zmień położenie latarki i powtórz pomiary.
9. Skieruj światło latarki prostopadle do lusterka. Jak biegnie promień odbity?

Oba zmierzone kąty są jednakowe.



Prostą prostopadłą do powierzchni odbijającej nazywamy **normalną**. Kąt między promieniem padającym a normalną to **kąt padania**. Kąt między normalną a promieniem odbitym nazywa się **kątem odbicia**.



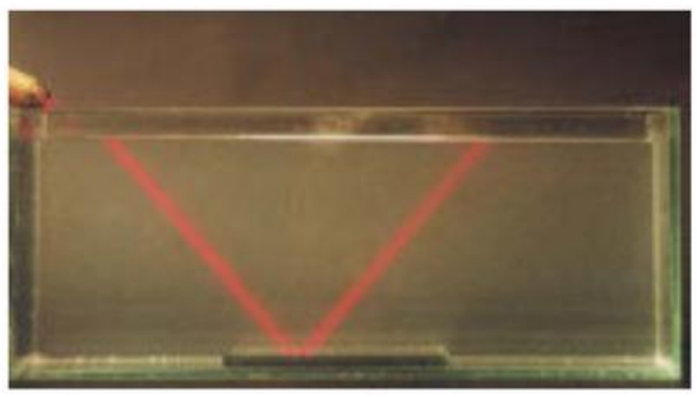
Schemat zjawiska odbicia światła.

Uwaga. Kąt padania i kąt odbicia mierzy się względem normalnej, a nie względem powierzchni odbijającej.

Na rysunku pokazano bieg jednego promienia świetlnego. W rzeczywistości zawsze mamy do czynienia z wiązką promieni padających i odbitych.
Podstawowe prawo optyki, którego potwierdzenie można było zaobserwować w doświadczeniu 48, nosi nazwę **prawa odbicia**. Brzmi ono następująco:

> Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promienie padający i odbity oraz normalna leżą w jednej płaszczyźnie.

Prawo odbicia zilustrowano na fotografiach obok. Zgodnie z nim odbija się zarówno światło lasera, jak i światło latarki (możesz użyć kątomierza i sprawdzić).





Zjawisko odbicia światła laserowego i latarki od lusterka ułożonego na dnie akwarium.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Światełko odblaskowe zawsze odbija promienie światła w tym samym kierunku, z którego one padają (patrz rys.). Kiedy jedziesz rowerem, światło reflektora samochodowego odbija się więc od światełek roweru i wraca w kierunku, z którego zostało wysłane – w stronę samochodu. Dzięki temu kierowca może w porę dostrzec rowerzystę. Dlatego stosowanie świateł odblaskowych jest ważne ze względów bezpieczeństwa.



Zjawisko rozproszenia światła

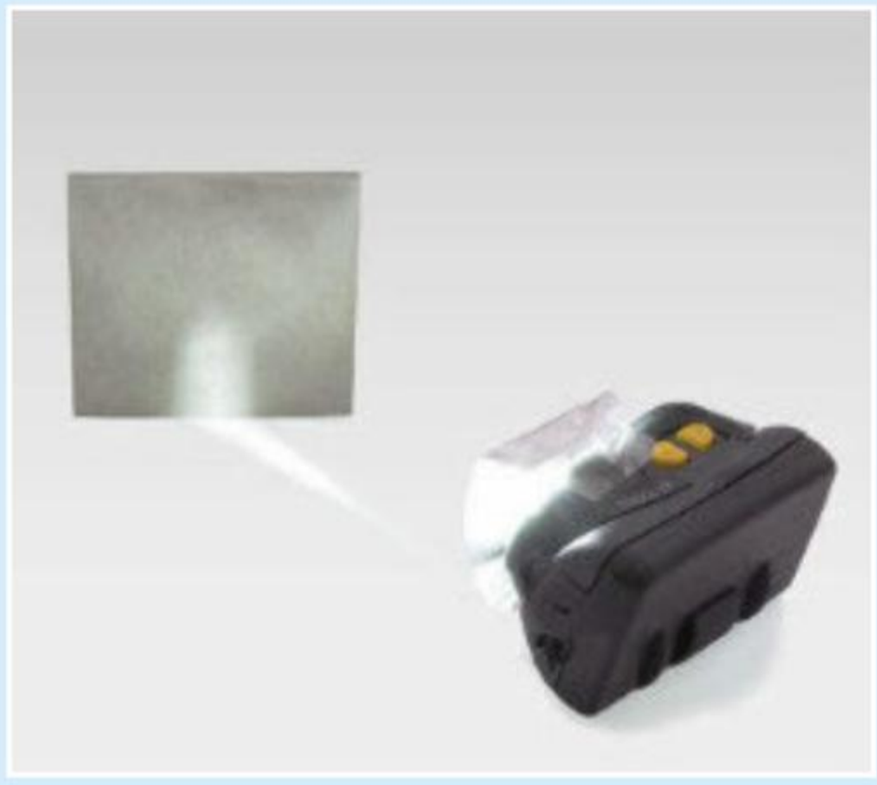
Z doświadczenia wiesz, że od ściany w pokoju światło nie odbija się tak samo jak od lustra. Jednak w jakiś sposób musi się odbijać, bo w przeciwnym wypadku w ogóle byśmy tej ściany nie widzieli. Co zatem dzieje się ze światłem padającym na ścianę? Aby to zrozumieć, wykonaj kolejne doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 49

1. Przygotuj: latarkę, folię aluminiową, nożyk do tapet oraz kawałek tektury lub kartkę z bloku rysunkowego.
2. Tekturę albo kartkę z bloku ustaw pionowo, jak zwierciadło w poprzednim doświadczeniu.
3. Załóż na latarkę folię aluminiową, tak aby całkowicie zasłonić drogę światła. Postaraj się nie pognieść folii.
4. Nożykiem do tapet wykonaj w folii podłużne nacięcie.

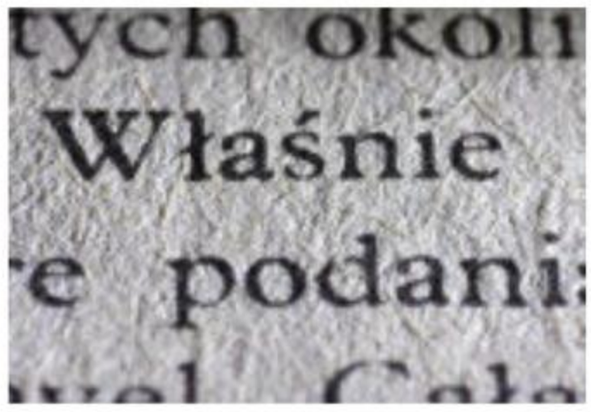
Wskazówka. Możesz wykorzystać naciętą folię z poprzedniego doświadczenia.

5. Skieruj promień latarki na tekturę (lub kartkę). Co obserwujesz?



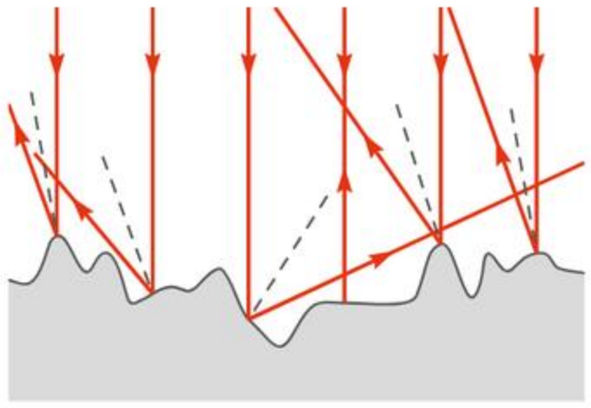
W doświadczeniu nie można zaobserwować promienia odbitego.

Dlaczego tym razem nie można było zaobserwować promienia odbitego? Tektura i kartka mają znacznie bardziej chropowatą powierzchnię niż lustro. Nie widać tego gołym okiem, ale w powiększeniu już tak. Na nierówną, chropowatą powierzchnię promienie światła padają pod różnymi kątami i odbijają się – zgodnie z prawem odbicia – każdy w innym kierunku. Mówi się, że wtedy światło ulega **rozproszeniu** (patrz schemat obok).



Powierzchnia zadrukowanego papieru w powiększeniu.

Rozproszenie światła to zjawisko polegające na tym, że światło rozchodzi się w różnych kierunkach w wyniku odbicia od chropowatej powierzchni albo gdy przechodzi przez ośrodek przezroczysty z licznymi zawieszonymi drobinami (mgła, woda zabielona mlekiem itp.).


Schemat rozproszenia światła padającego na nierówną (szorstką) powierzchnię.

Zjawisko rozproszenia światła możesz obserwować w różnych sytuacjach. Czynnikami powodującymi rozproszenie światła są m.in. kurz czy mgła. Na przykład światło reflektorów samochodu ulega rozproszeniu na mgle; to zjawisko jest najlepiej widoczne w nocy. W niektórych sytuacjach materiały dobrze i równomiernie rozpraszające światło mają szczególne znaczenie. Przykładowo w kinie ekran rozprasza światło padające z projektora. Wyobraź sobie, że jakiś punkt ekranu został oświetlony. Rozproszone światło rozbiega się od niego na wszystkie strony i dociera do widza niezależnie od tego, czy siedzi on z prawej czy z lewej strony sali.


Rozproszenie światła na ekranie w kinie.

TO NAJWAŻNIEJSZE

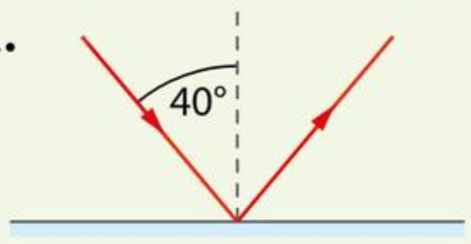
- Zgodnie z **prawem odbicia** światło odbija się pod takim samym kątem, pod jakim pada na daną powierzchnię, a promień padający, promień odbity i normalna leżą w jednej płaszczyźnie.
- **Normalna** to prosta prostopadła do powierzchni.
- **Kąt padania** to kąt zawarty między promieniem padającym a normalną.
- **Kąt odbicia** to kąt między promieniem odbitym a normalną.
- **Rozproszenie** polega na odbiciu światła w różnych kierunkach. Rozpraszanie może nastąpić po odbiciu od nierównej powierzchni, ale czynnikiem rozpraszającym mogą również być np. kurz, cząsteczki pyłów lub mgła.

Rozwiąż zadania

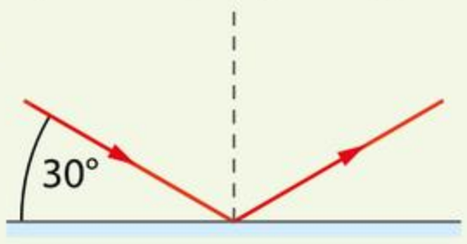
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na podstawie rysunków podaj miary kątów padania oraz kątów odbicia.

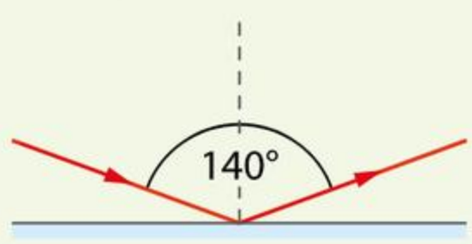
A.



B.



C.

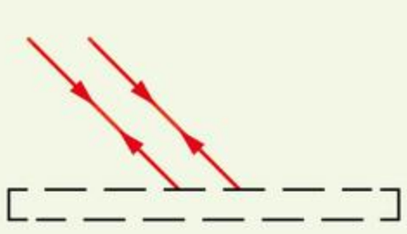


2 W miejsce znaku ? wstaw słowa *odbicie* lub *rozproszenie* w odpowiedniej formie, tak aby powstały informacje prawdziwe.

Kurz jest widoczny w powietrzu, ponieważ światło na jego cząsteczkach ulega ?. W wypolerowanym fragmencie metalowej powierzchni można się przejrzeć, ponieważ na takiej powierzchni światło ulega ?. Wiązka światła ze wskaźnika laserowego skierowana na ścianę ulega ?, natomiast skierowana na lustro ulega ?. W słoneczny dzień można „puszczać zajączki" za pomocą zegarka na rękę dzięki zjawisku ? światła.

3 Przeanalizuj rysunki obrazujące bieg dwóch blisko położonych promieni światła po odbiciu od różnych przedmiotów.

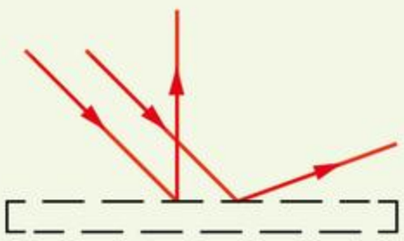
A.



B.



C.



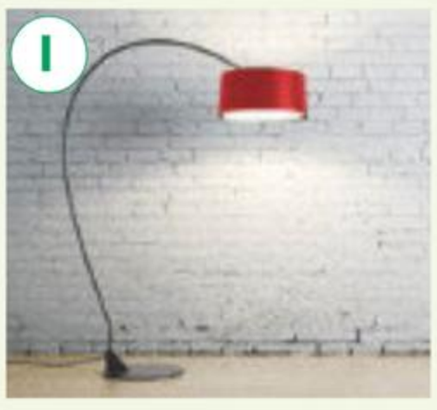
a) Dopasuj kształt powierzchni do sytuacji na rysunkach A, B i C.

I.

II. 

III.

b) Dopasuj bieg promieni pokazany na rysunkach A, B i C do sytuacji przedstawionych na zdjęciach.

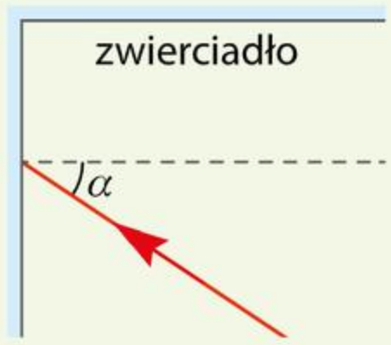








4 W pokoju znajdują się dwa lustra złączone krawędziami, ustawione względem siebie pod kątem prostym (rys. obok). Na pierwsze lustro pod kątem $\alpha = 30°$ pada promień świetlny leżący w płaszczyźnie prostopadłej do obydwu luster.



a) Ile wyniesie kąt odbicia promienia od drugiego zwierciadła?

b) Porównaj bieg promienia padającego na pierwsze zwierciadło z biegiem promienia odbitego od drugiego zwierciadła.

24 Zwierciadła

Cel lekcji: Dowiesz się, w jaki sposób powstaje obraz w zwierciadle płaskim oraz jakie ma cechy. Poznasz także właściwości zwierciadeł sferycznych wklęsłych i wypukłych.

Rodzaje zwierciadeł

Zwierciadłem nazywa się gładką powierzchnię, która odbija padające na nią światło. Aby wykonać zwierciadło, poleruje się powierzchnię kawałka metalu lub nanosi się bardzo cienką warstwę metalu, najczęściej srebra i aluminium, na powierzchnię przezroczystego szkła. Ze względu na kształt powierzchni odbijającej wyróżnia się m.in. zwierciadła **płaskie** i **sferyczne**.



Różne rodzaje zwierciadeł.

Zwierciadło płaskie to takie zwierciadło, którego powierzchnia odbijająca jest płaska.

Na przykład lustro łazienkowe, którego używasz na co dzień, jest właśnie zwierciadłem płaskim.

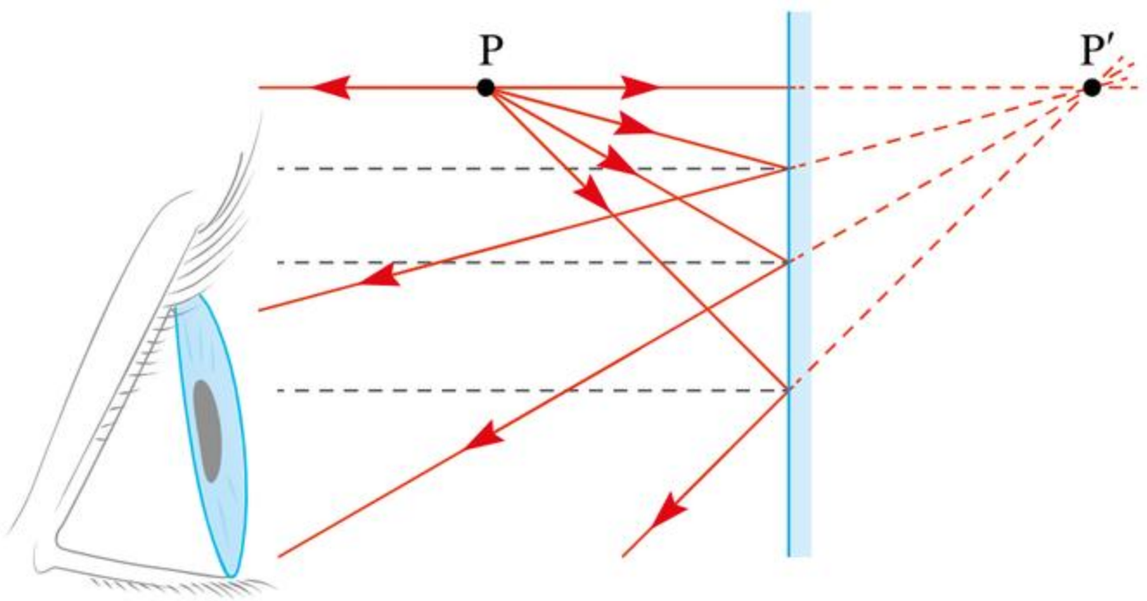
Obrazy tworzone przez zwierciadła płaskie

Z pewnością z doświadczenia wiesz, że obrazy widziane w zwierciadłach mogą różnić się od siebie, np. jeśli powierzchnia zwierciadła jest pofalowana, obraz jest zniekształcony. To, jaki obraz powstanie w zwierciadle, można sprawdzić, przeprowadzając **konstrukcję obrazu** według określonych zasad.

Na początek przeprowadźmy konstrukcję w najprostszym przypadku – wyznaczmy obraz świecącego punktu utworzony przez zwierciadło płaskie. Świecący punkt P jest umieszczony w pobliżu zwierciadła płaskiego i wysyła promienie świetlne (na rysunku na następnej stronie zaznaczono tylko niektóre z nich).

Zgodnie z prawem odbicia promienie świetlne odbijają się od powierzchni zwierciadła. Odbite promienie docierają do naszych oczu. Jeśli zostaną przedłużone po drugiej stronie zwierciadła (przedłużenia zaznaczono na rysunku liniami przerywanymi), okaże się, że przetną się one w punkcie P', tworząc **obraz pozorny** punktu P. Oko i mózg szukają obiektu na przedłużeniu promieni wpadających do oka, zatem patrząc w zwierciadło odbieramy promienie odbite tak, jak gdyby wychodziły one z punktu P' i widzimy obraz punktu P w punkcie P'.

Na rysunku przedstawiono bieg czterech promieni. W rzeczywistości z punktu P biegnie ich nieskończenie wiele, ale do znalezienia położenia obrazu punktu wystarczy analiza tylko dwóch z nich.

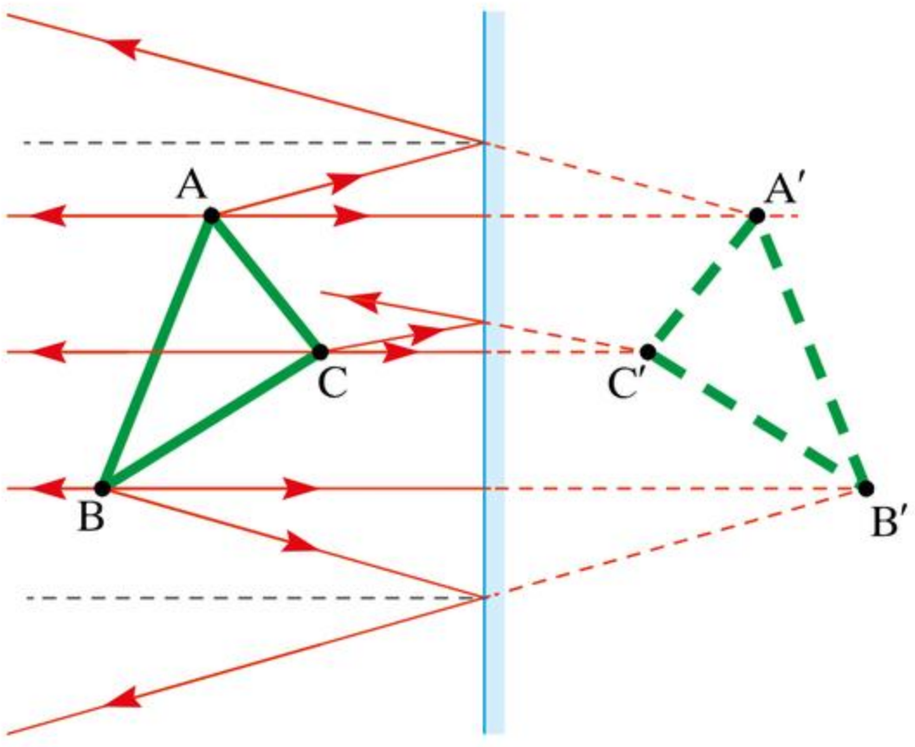


Konstrukcja obrazu punktu świecącego w zwierciadle płaskim.

Obraz pozorny powstaje w wyniku przecięcia się przedłużeń promieni odbitych od powierzchni zwierciadła. Obrazu pozornego nie można otrzymać na ekranie.

Ciało, którego obraz konstruujemy, nazywamy przedmiotem.

Na rysunku powyżej przedstawiono konstrukcję obrazu pojedynczego punktu. Aby skonstruować obraz figury, np. trójkąta ABC widocznego na rysunku poniżej, wystarczy odtworzyć proces powstawania obrazów punktów: A, B, C, czyli znaleźć położenia punktów A', B' i C', a następnie odpowiednio je połączyć.



Konstrukcja obrazu trójkąta w zwierciadle płaskim.

Wymieńmy cechy obrazu powstającego za pomocą zwierciadła płaskiego:
- obraz jest tej samej wielkości co przedmiot,
- obraz jest prosty, czyli nieodwrócony,
- obraz jest pozorny (powstaje w miejscu przecięcia przedłużeń promieni odbitych).

W zależności od rodzaju zwierciadła i położenia przedmiotu obraz może powstać w miejscu przecięcia promieni odbitych – taki obraz to **obraz rzeczywisty** – lub w miejscu przecięcia przedłużeń promieni odbitych – taki obraz nazywamy **obrazem pozornym**.



Odbicie wielokrotne świeczki ustawionej między dwoma zwierciadłami.

Obrazy otrzymywane za pomocą zwierciadeł płaskich są: **pozorne**, **proste** i **tej samej wielkości** co przedmioty.

Ogólnie obrazy tworzone przez zwierciadła opisywane są przez trzy cechy. Obrazy mogą być:
- pozorne lub rzeczywiste,
- proste albo odwrócone,
- pomniejszone, powiększone lub tej samej wielkości co przedmiot.

Zauważ, że w przypadku obrazów tworzonych przez zwierciadła płaskie przedmiot i obraz znajdują się w jednakowej odległości od powierzchni zwierciadła. Obraz jest symetryczny do przedmiotu względem zwierciadła (mówi się, że obraz jest lustrzanym odbiciem przedmiotu).

Samodzielnie określ cechy obrazu powstającego w zwierciadle płaskim – wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 50

1. Obejrzyj w lustrze obrazy różnych przedmiotów.
2. Zastanów się, jaka jest ich wielkość i czy zależy ona od odległości przedmiotu od zwierciadła.
3. Oceń, czy obrazy są odwrócone względem przedmiotów.



Zwierciadła sferyczne

Oprócz zwierciadeł płaskich istnieją zwierciadła, których powierzchnie są zakrzywione. Przeanalizujemy dwa rodzaje takich zwierciadeł: zwierciadła **sferyczne wklęsłe** i **sferyczne wypukłe**.

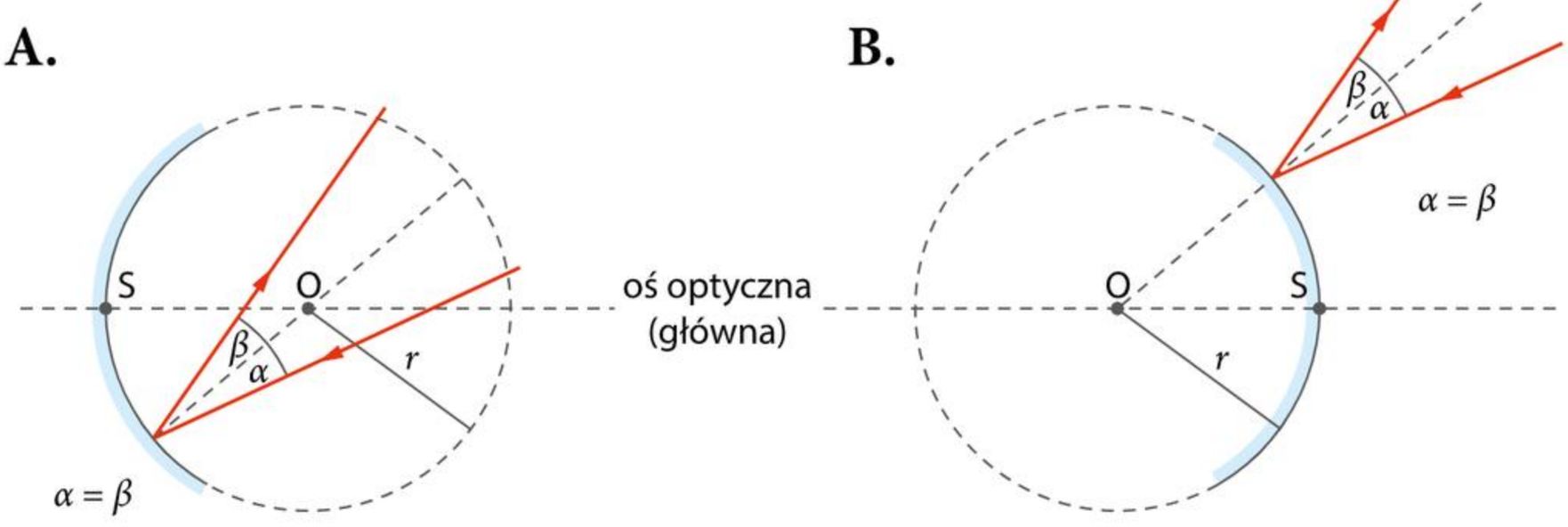
> Zwierciadło sferyczne to takie zwierciadło, którego powierzchnią odbijającą jest część powierzchni kulistej, wypolerowana i pokryta warstwą odbijającą.



Wklęsłe i wypukłe fragmenty zwierciadła powodują zniekształcenia obrazu, które mogą być bardzo zabawne.

W zwierciadle sferycznym wklęsłym promienie świetlne odbijają się od wewnętrznej strony sfery (powierzchni kuli). Jeśli promienie świetlne odbijają się od zewnętrznej powierzchni sfery, mówi się o zwierciadle sferycznym wypukłym.

Rysunki poniżej przedstawiają oba rodzaje zwierciadeł sferycznych. **Oś główna zwierciadła**, zwana **osią optyczną**, jest to prosta łącząca środek zwierciadła S ze środkiem O sfery, której częścią jest zwierciadło. Punkt O nazywa się środkiem krzywizny zwierciadła. Na rysunku zaznaczono także promień sfery *r*, nazywany **promieniem krzywizny zwierciadła**, oraz kąty: padania α i odbicia β. Kąty te są równe – zgodnie z prawem odbicia.



Schemat odbicia promienia światła od zwierciadła sferycznego: A. wklęsłego, B. wypukłego.

S – środek zwierciadła
O – środek sfery
r – promień krzywizny zwierciadła
α – kąt padania
β – kąt odbicia

Ognisko zwierciadła sferycznego wklęsłego

Aby zrozumieć, czym jest ognisko zwierciadła, przeprowadź kolejne doświadczenie. **Uwaga.** Można je wykonać jedynie w obecności osoby dorosłej.

DOŚWIADCZENIE 51

1. Przygotuj: zwierciadło sferyczne wklęsłe, trochę waty, patyk do szaszłyków i miskę z wodą.
2. Nałóż watę na koniec patyka do szaszłyków.
3. Ustaw zwierciadło sferyczne tak, aby odbite przez nie promienie słoneczne padały na watę.
4. Następnie przesuwaj patyk z watą tak, aby plamka odbitego światła na wacie była jak najmniejsza. Co zauważasz?

Uwaga. Manewrując zwierciadłem, uważaj, aby nie skierować światła w stronę oczu! Jeśli patyk z watą zacznie się palić, zanurz go w wodzie.



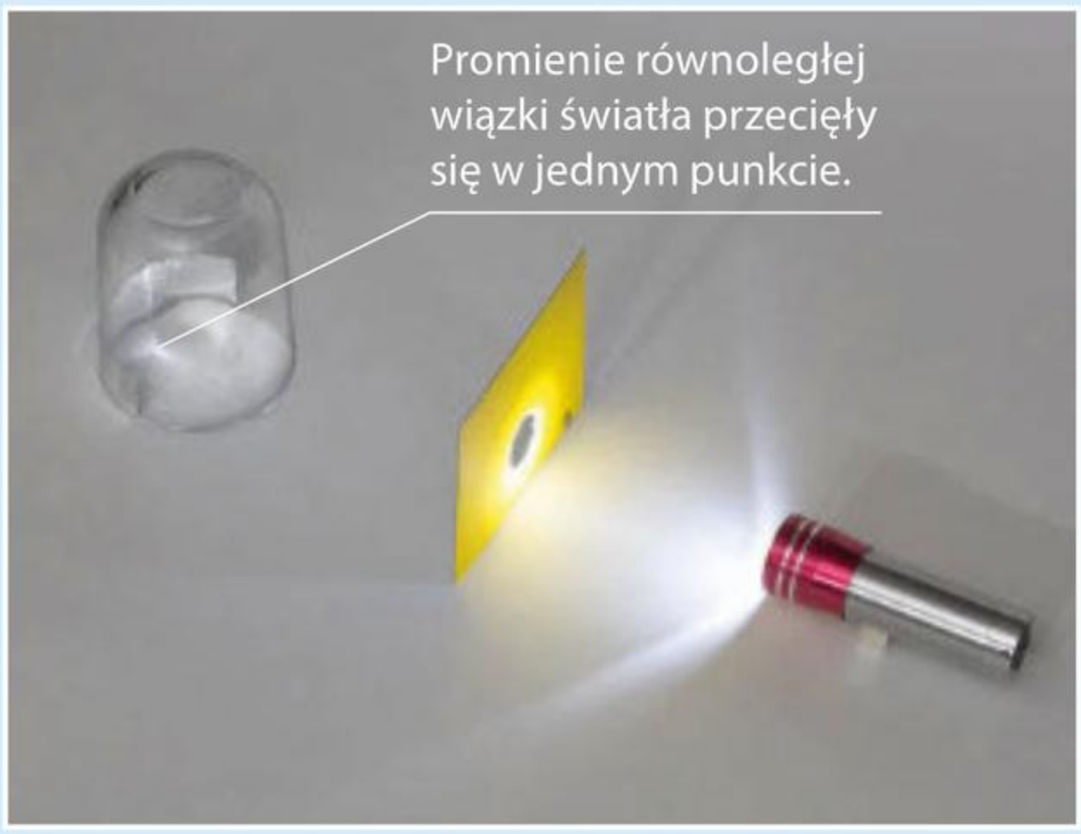
Jeśli uda ci się ustawić watę w odpowiedniej odległości od zwierciadła, wówczas zaobserwujesz, że wata się zapali. Oznacza to, że w tym punkcie skupiła się energia promieni słonecznych odbitych od zwierciadła.

Uwaga. W podobny sposób pozostawiony w lesie odłamek szkła może skupić promienie słoneczne i spowodować pożar.

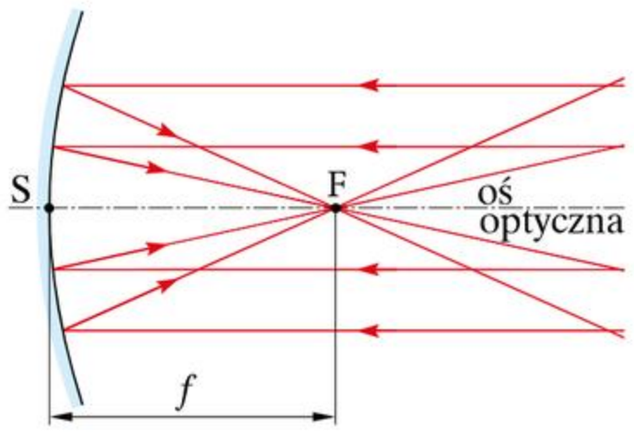
Jak biegły promienie słoneczne, że po odbiciu skupiły się w małym punkcie? Aby lepiej zobrazować to zjawisko, wykonaj kolejne doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 52

1. Przygotuj: źródło światła dające równoległą wiązkę (np. latarkę i przesłonę z otworkiem), białą kartkę, taśmę klejącą, folię aluminiową oraz szklankę.
2. Z folii aluminiowej wytnij pasek o szerokości 2 cm i długości 10 cm. Postaraj się nie pognieść folii.
3. Przyklej pasek folii taśmą klejącą wzdłuż krawędzi szklanki, zwrócony błyszczącą stroną do wnętrza, jak pokazano na zdjęciu.
4. Połóż szklankę na kartce dnem do góry i skieruj równoległą wiązkę promieni na pasek folii. Co zauważasz?

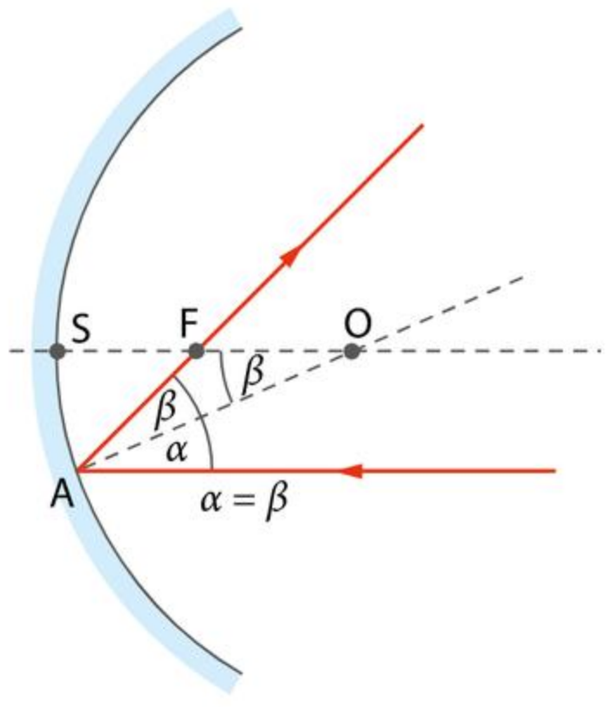


Jeżeli na zwierciadło sferyczne wklęsłe pada wiązka promieni równoległych do osi optycznej, to po odbiciu od powierzchni zwierciadła wszystkie promienie przechodzą (w przybliżeniu) przez jeden punkt nazywany **ogniskiem**. Oznacza się go literą F.
Odległość ogniska F od zwierciadła nazywana jest **ogniskową** i oznacza się ją literą *f*. Jednostką ogniskowej jest jednostka długości (w układzie SI jest nią metr).



Promienie równoległej wiązki światła po odbiciu od zwierciadła wklęsłego przechodzą przez ognisko.

Przeanalizuj rysunek obok. Zwróć uwagę, że kąt padania i kąt odbicia promienia światła są symetryczne względem promienia krzywizny, a zatem trójkąt OAF jest równoramienny: OF = FA.
Widzimy więc, że dla promieni światła biegnących równolegle do osi optycznej i blisko niej ogniskowa jest w przybliżeniu równa połowie promienia krzywizny. Im dalej od osi optycznej biegną równoległe do niej promienie światła, tym bliżej zwierciadła przetną oś optyczną po odbiciu.
W doświadczeniu 52 można spróbować ocenić odległość punktu przecięcia promieni od środka szklanki. Widzimy, że promienie odbite przecinają się na krótkim odcinku mniej więcej w połowie promienia szklanki. Możemy powiedzieć, że:



Trójkąt OAF jest równoramienny, więc OF = FA.

> Ogniskowa *f* jest w przybliżeniu równa połowie długości promienia krzywizny zwierciadła.

Wielkość tę obliczamy zatem ze wzoru:

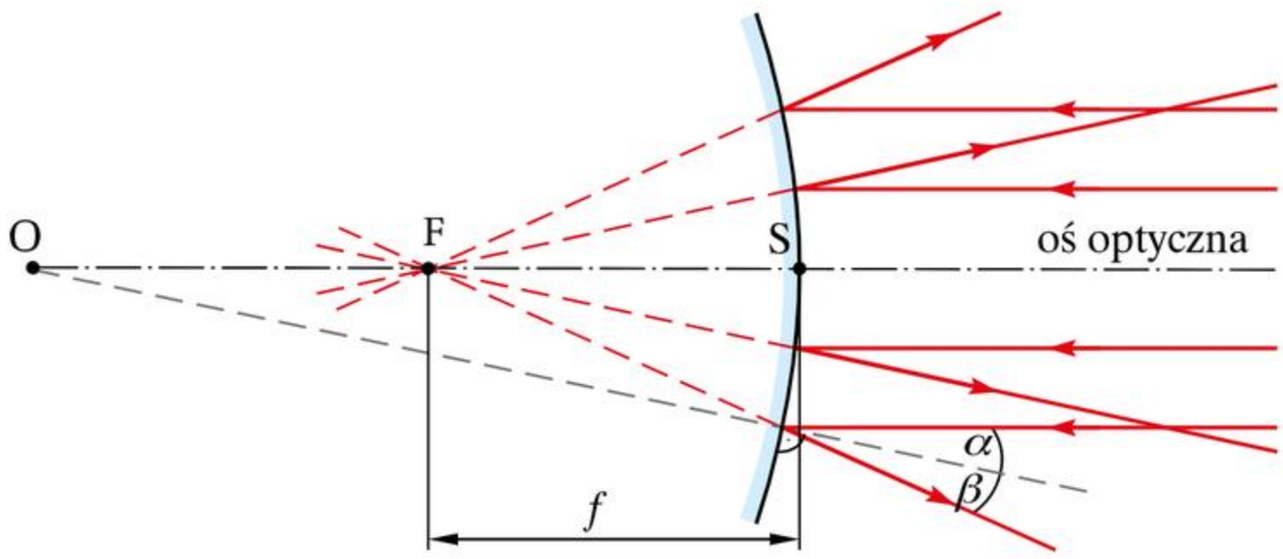
ogniskowa $= \frac{1}{2} \cdot$ promień krzywizny	$f = \frac{1}{2} \cdot r$

Ognisko zwierciadła sferycznego wypukłego

W przypadku zwierciadła wypukłego promienie wiązki równoległej po odbiciu od jego powierzchni nie mogą się przeciąć – zawsze tworzą wiązkę rozbieżną. Jednak jeśli skierujemy na zwierciadło wiązkę równoległą do jego osi optycznej i narysujemy przedłużenia promieni odbitych, to przetną się one w jednym punkcie za zwierciadłem. Ponieważ przecinają się przedłużenia

promieni odbitych, a nie rzeczywiste promienie, w przypadku zwierciadła wypukłego mówimy o **ognisku pozornym**.

Ognisko pozorne zwierciadła to punkt przecięcia się przedłużeń promieni odbitych, które przed odbiciem biegły równolegle do osi optycznej zwierciadła.



Konstrukcja ogniska pozornego zwierciadła kulistego wypukłego.
f – ogniskowa zwierciadła
O – środek krzywizny zwierciadła
α – kąt padania
β – kąt odbicia ($\alpha = \beta$)

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Zwierciadło płaskie** to zwierciadło, którego powierzchnia odbijająca jest płaska.
- **Zwierciadło sferyczne** to zwierciadło, którego powierzchnią odbijającą jest część powierzchni sfery. Wyróżnia się **zwierciadła sferyczne wklęsłe** i **zwierciadła sferyczne wypukłe**.
- **Obraz rzeczywisty** powstaje, gdy przecinają się promienie odbite.
- **Obraz pozorny** powstaje, gdy przecinają się przedłużenia promieni odbitych.
- **Oś główna (oś optyczna) zwierciadła** to prosta łącząca środek zwierciadła ze środkiem sfery, której częścią jest powierzchnia zwierciadła.
- **Ognisko zwierciadła sferycznego wklęsłego** to punkt na osi głównej, w którym przecinają się wszystkie promienie odbite od zwierciadła, które przed odbiciem biegły równolegle do osi optycznej.
- **Ognisko pozorne zwierciadła sferycznego wypukłego** to punkt na osi głównej, w którym przecinają się przedłużenia wszystkich promieni odbitych od zwierciadła, które przed odbiciem biegły równolegle do osi optycznej.
- **Ogniskowa** to odległość ogniska od zwierciadła, w przybliżeniu równa połowie promienia krzywizny zwierciadła: $f = \frac{1}{2}r$.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Dopasuj opis do typu zwierciadła.

Uwaga. Do danego zwierciadła może pasować więcej niż jeden opis.

A. zwierciadło płaskie

B. zwierciadło sferyczne wklęsłe

C. zwierciadło sferyczne wypukłe

I. Promienie równoległe do osi optycznej po odbiciu przecinają się w jednym punkcie.

II. Promienie równoległe do siebie po odbiciu również są równoległe.

III. Promienie równoległe po odbiciu tworzą wiązkę rozbieżną.

IV. Kąt padania jest równy kątowi odbicia.

2 Na rysunku przedstawiono przedmiot i jego obraz oraz wybrane promienie światła padające na zwierciadło i odbite od niego.

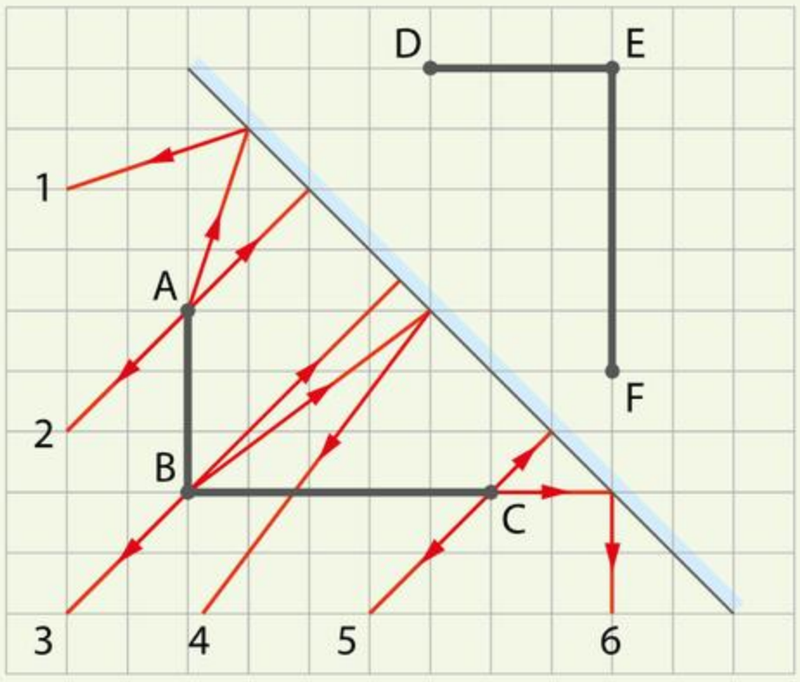
a) Uzupełnij zdania, wpisując w miejsce ? odpowiednie cyfry lub litery.

Punkt D jest obrazem punktu ?.

Punkt D znajduje się w miejscu przedłużeń promieni odbitych ? oraz ?.

Punkt E jest obrazem punktu ?.
Punkt E znajduje się w miejscu przedłużeń promieni odbitych ? oraz ?.

Punkt F jest obrazem punktu ?.
Punkt F znajduje się w miejscu przedłużeń promieni odbitych ? oraz ?.



b) Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

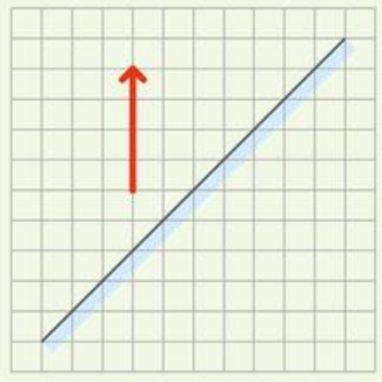
Powstały obraz przedmiotu jest **A/ B** oraz **C/ D**.

A. rzeczywisty **B.** pozorny **C.** prosty (nieodwrócony) **D.** odwrócony

3 Wskaż wyrazy, które odbite w lustrze będą wyglądały tak samo.

MAM DOK AHA EKO DOM OTTO EXO

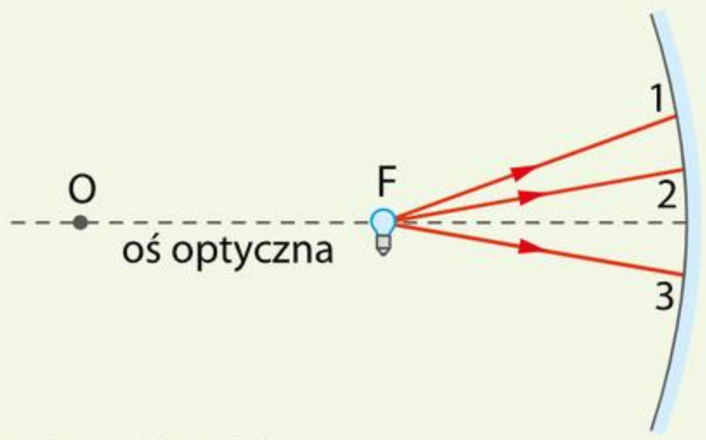
4 Przerysuj rysunek do zeszytu i skonstruuj obraz strzałki utworzony przez zwierciadło.



5 Dokładnie w ognisku F zwierciadła wklęsłego umieszczono żarówkę. Narysowano również trzy promienie światła wychodzące z żarówki i padające na zwierciadło. Żarówkę można potraktować w przybliżeniu jako punktowe źródło światła.

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Promień 1 po odbiciu od zwierciadła **A/ B/ C**. Promień 2 po odbiciu od zwierciadła **A/ B/ C**. Promień 3 po odbiciu od zwierciadła **A/ B/ C**.



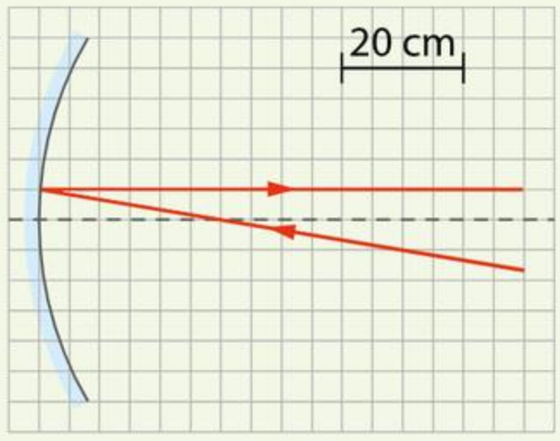
A. przejdzie przez środek krzywizny zwierciadła (punkt O)

B. będzie skierowany równolegle do osi optycznej zwierciadła

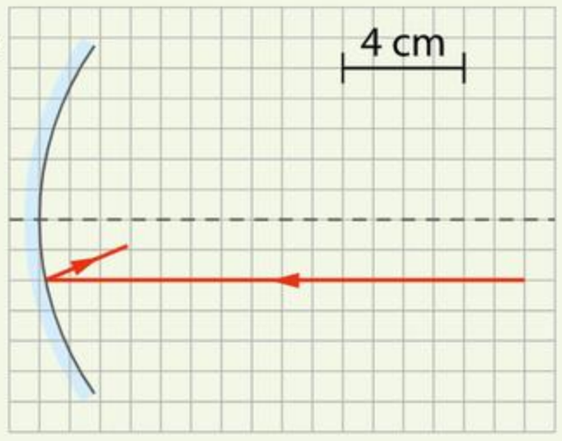
C. odchyli się do dołu

6 Wyznacz promienie krzywizny i ogniskowe w poniższych zwierciadłach (w przypadku rysunków B i C skorzystaj z linijki).

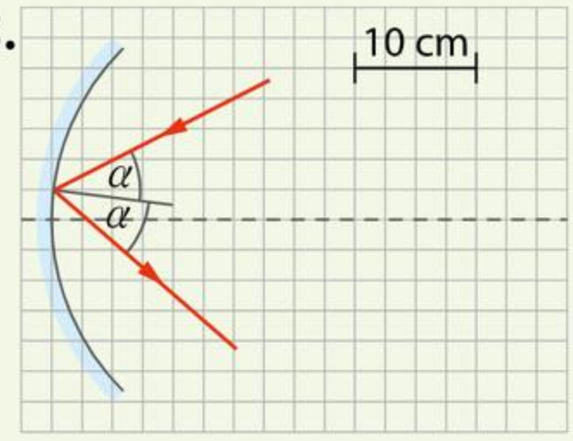
A.



B.

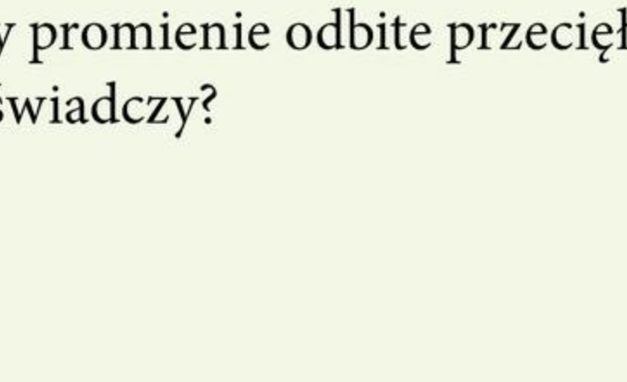


C.



7 Na każdym z rysunków wskaż **błędnie** zaznaczony promień odbity. Wyjaśnij krótko, jak powinien być narysowany ten promień.

A.



B.

8 Za pomocą cyrkla i linijki wykonaj w zeszycie schemat zwierciadła wklęsłego i osi optycznej. Następnie narysuj dwa promienie biegnące równolegle do osi optycznej i padające na zwierciadło – jeden położony blisko osi, a drugi od niej oddalony. Za pomocą cyrkla i linijki wykreśl starannie promienie odbite. Czy promienie odbite przecięły oś optyczną w tym samym punkcie? O czym to świadczy?

25 Obrazy tworzone przez zwierciadła sferyczne

Cel lekcji: Nauczysz się konstruować obrazy powstające w zwierciadłach wklęsłych i dowiesz się, jakie cechy mają te obrazy. Poznasz też zastosowania zwierciadeł wklęsłych.

Obrazy powstające w zwierciadłach sferycznych

Zapewne zdarzyło ci się obserwować obrazy powstające w bombkach choinkowych lub w dużych wypukłych lustrach ustawianych na skrzyżowaniach dróg z ograniczoną widocznością. Być może masz w domu lusterko kosmetyczne, które powiększa twarz – takie lustro jest wklęsłe, choć może nie widać tego wyraźnie.
Na początek samodzielnie zaobserwuj, jakie obrazy powstają w zwierciadłach wklęsłych i wypukłych – wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 53

1. Przygotuj: świeczkę oraz zwierciadło wklęsłe i zwierciadło wypukłe, np. powiększające lusterko kosmetyczne, bardzo błyszczącą łyżkę, chochelkę lub srebrną bombkę.



Wskazówka. W tym doświadczeniu bardzo dobrze sprawdza się lusterko dentystyczne.

2. Zapal świeczkę i umieść ją przed zwierciadłem wklęsłym.
3. Zmieniaj odległość świeczki od zwierciadła i obserwuj obraz w zwierciadle.



Wskazówka. Jeśli używasz lusterka kosmetycznego, przytrzymaj najpierw świeczkę w odległości kilkunastu centymetrów i trzymając świeczkę, odsuwaj się powoli na odległość ponad 2 m od zwierciadła.

4. Możesz też obserwować obraz swojego oka we wklęsłej stronie łyżki. W tym wypadku powoli zbliżaj łyżkę do oka do momentu, aż niemal całkowicie przytkniesz ją do twarzy.
5. Obejrzyj obraz świeczki w zwierciadle wypukłym (np. w wypukłej stronie łyżki).
6. Zmieniaj odległość świeczki od zwierciadła i obserwuj obraz.



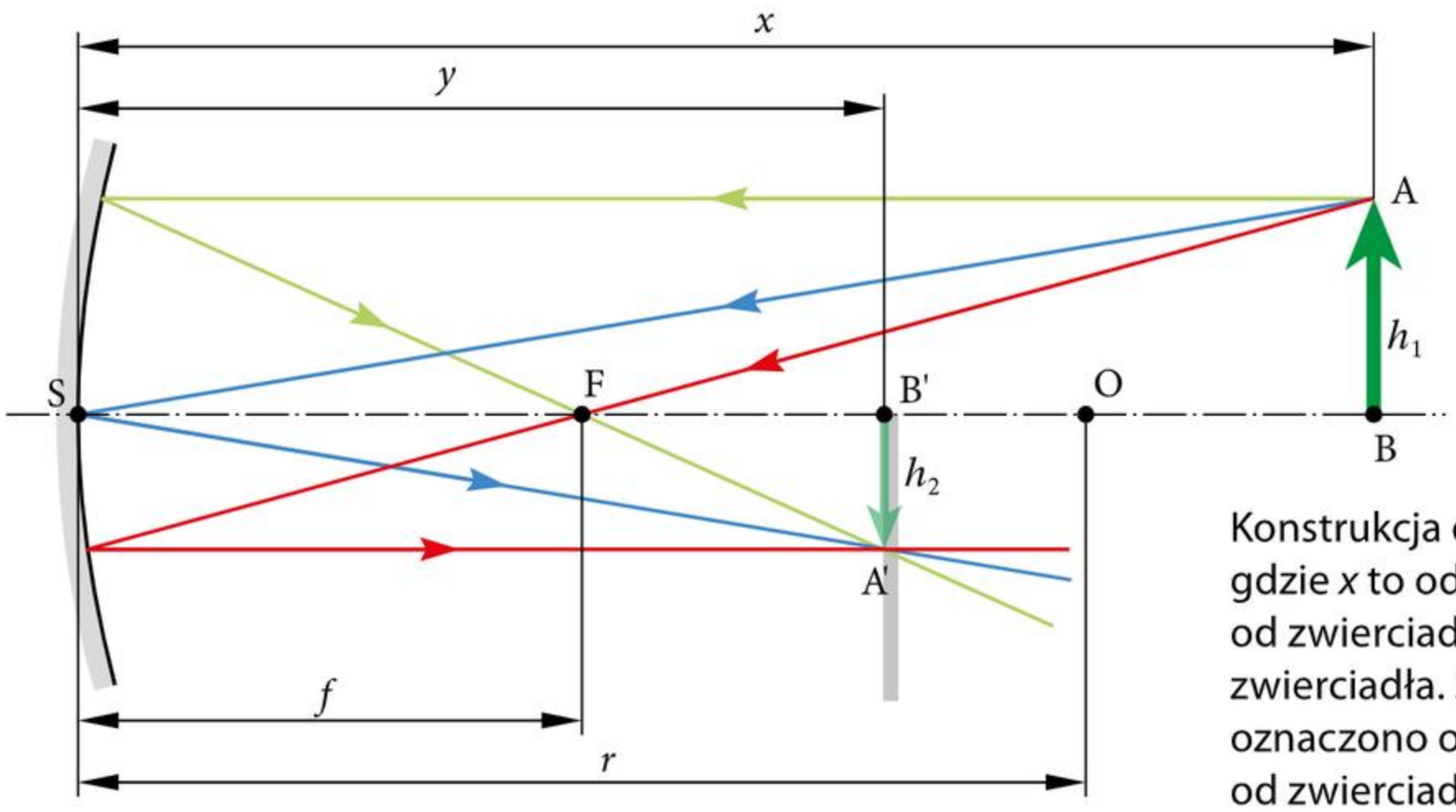
W zwierciadłach sferycznych obrazy widzimy zwykle w sposób zniekształcony. Przeanalizujmy, jak powstają te obrazy.

Zwierciadła sferyczne wklęsłe – konstrukcja obrazów

Spróbujmy skonstruować obraz przedmiotu AB (symbolicznej strzałki) umieszczonego w takiej odległości x od zwierciadła sferycznego wklęsłego, która będzie większa niż promień krzywizny ($x > r$). Przyjmujemy, że cała strzałka, w tym punkt A, jest oświetlona i rozprasza padające na nią światło. Oznacza to, że z punktu A we wszystkie strony rozchodzą się promienie światła rozproszonego. Ze wszystkich promieni zaznaczyliśmy na rysunku trzy, które są godne uwagi:

- **równoległy do osi optycznej**; po odbiciu od zwierciadła przejdzie przez ognisko;
- **padający na zwierciadło w punkcie S**; odbije się on symetrycznie względem osi optycznej;
- **przechodzący przez ognisko F**; po odbiciu będzie równoległy do osi optycznej.

Aby skonstruować obraz punktu A, wystarczy wykreślić dwa z trzech wyróżnionych promieni.



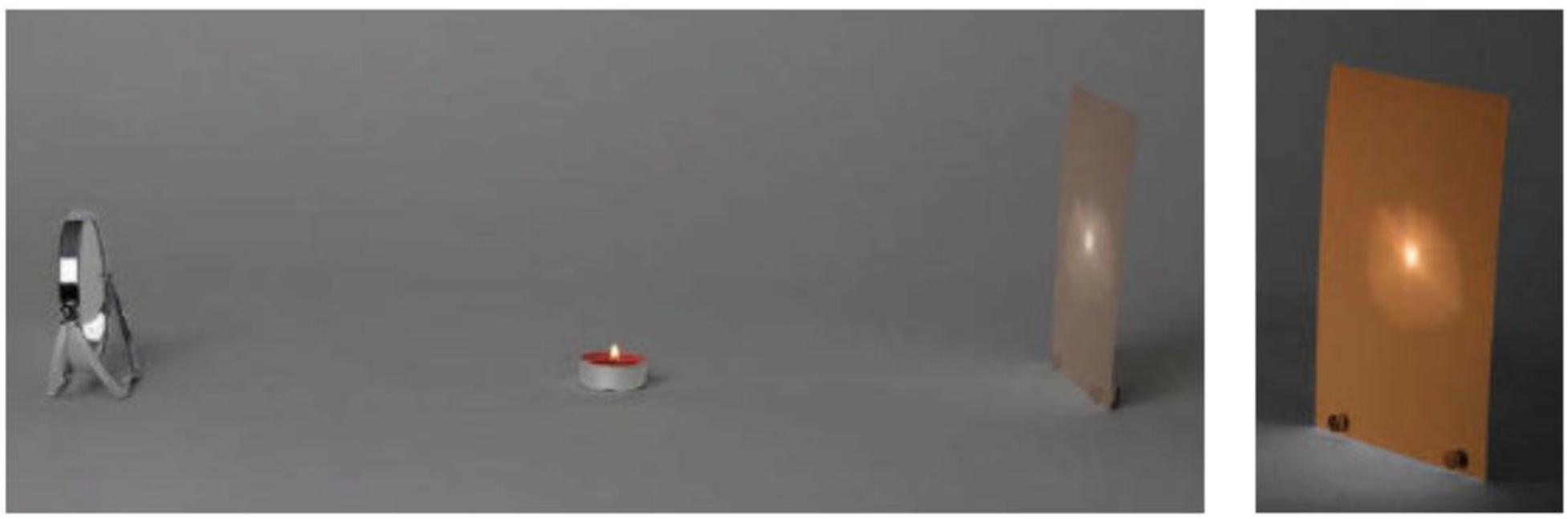
Konstrukcja obrazu dla $x > r$, gdzie x to odległość przedmiotu od zwierciadła, a r to promień zwierciadła. Symbolem y oznaczono odległość obrazu od zwierciadła.

Jeśli $x > r$, otrzymany obraz jest: **rzeczywisty**, **odwrócony**, **pomniejszony**.

Te promienie – podobnie jak wszystkie promienie wychodzące z punktu A i padające na zwierciadło – przetną się w punkcie A'.
Jeżeli w odległości y od zwierciadła, pod osią optyczną, zostanie ustawiony niewielki ekran (patrz rys. – ekran oznaczono symbolem E), to na tym ekranie punkt A' zostanie oświetlony takim samym światłem, jakie wysłał punkt A przedmiotu. Światło to zostanie na ekranie rozproszone z punktu A' we wszystkich kierunkach, czyli z punktu A' pobiegnie rozbieżna wiązka promieni, które między innymi wpadną do oka obserwatora. Powstaną dokładnie takie same warunki, jak gdyby w punkcie A' znajdowała się kopia świecącego punktu A – obserwator ulegnie złudzeniu: zobaczy w punkcie A' kopię punktu A przedmiotu.

Uwaga. Dla wszystkich punktów przedmiotu znajdujących się w odległości x od zwierciadła obrazy powstaną w odległości y (ich konstrukcji nie zaznaczono, aby rysunek był bardziej czytelny).

Obraz otrzymany w opisanej sytuacji różni się od obrazu pozornego, uzyskanego w zwierciadle płaskim. Obraz otrzymany za pomocą zwierciadła sferycznego powstał w miejscu przecięcia rzeczywistych promieni (a nie ich przedłużeń). Jak już powiedzieliśmy (str. 231), taki obraz nazywa się rzeczywistym. Obraz rzeczywisty, w przeciwieństwie do obrazu pozornego, można uzyskać na ekranie.



Obraz płomienia uzyskany na ekranie po jego odbiciu od zwierciadła wklęsłego.

Opis otrzymanego obrazu

Powiedzieliśmy, że **każdy obraz można opisać za pomocą trzech cech**.

- Pierwsza wynika ze **sposobu jego powstawania**. Jeżeli obraz powstaje w wyniku przecięcia promieni rzeczywistych – odbitych od zwierciadła – mamy do czynienia z obrazem rzeczywistym, a jeżeli powstaje w wyniku przecięcia przedłużeń tych promieni – powstaje obraz pozorny.
- Druga cecha jest związana z **ułożeniem obrazu względem przedmiotu**. Obraz może być odwrócony lub prosty.
- Trzecia cecha obrazu to jego **powiększenie**, definiowane jako iloraz wysokości obrazu h_2 i wysokości przedmiotu h_1. Powiększenie oznacza się literą p lub m.

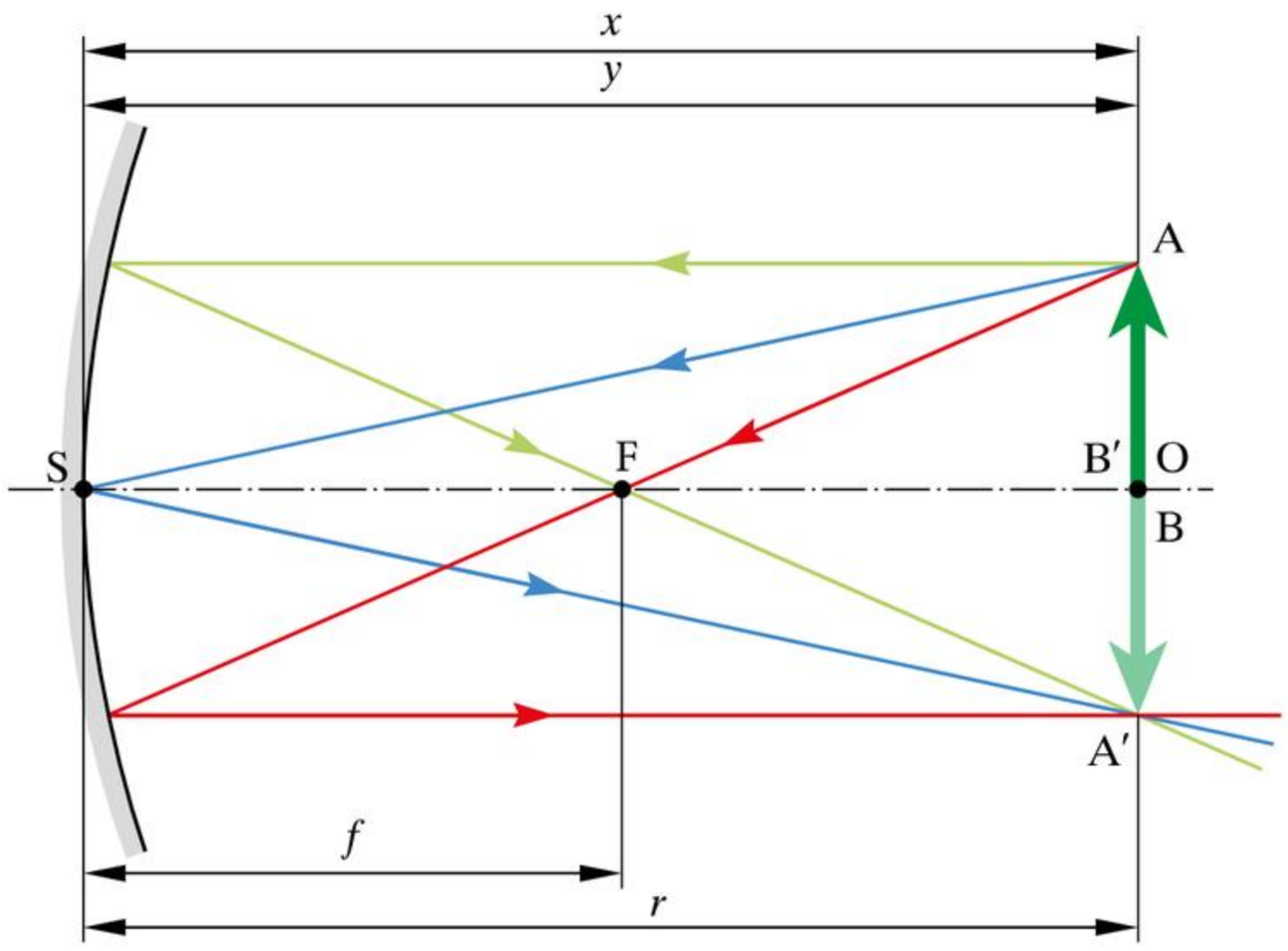
$\text{powiększenie} = \dfrac{\text{wysokość obrazu}}{\text{wysokość przedmiotu}}$	$p = \dfrac{h_2}{h_1}$

Powiększenie obrazu można również wyrazić jako iloraz odległości obrazu od zwierciadła i odległości przedmiotu od zwierciadła:

$\text{powiększenie} = \dfrac{\text{odległość obrazu od zwierciadła}}{\text{odległość przedmiotu od zwierciadła}}$	$p = \dfrac{y}{x}$

Obraz może być: **powiększony** ($p > 1$), **pomniejszony** ($p < 1$) lub **tej samej wielkości** co przedmiot ($p = 1$).

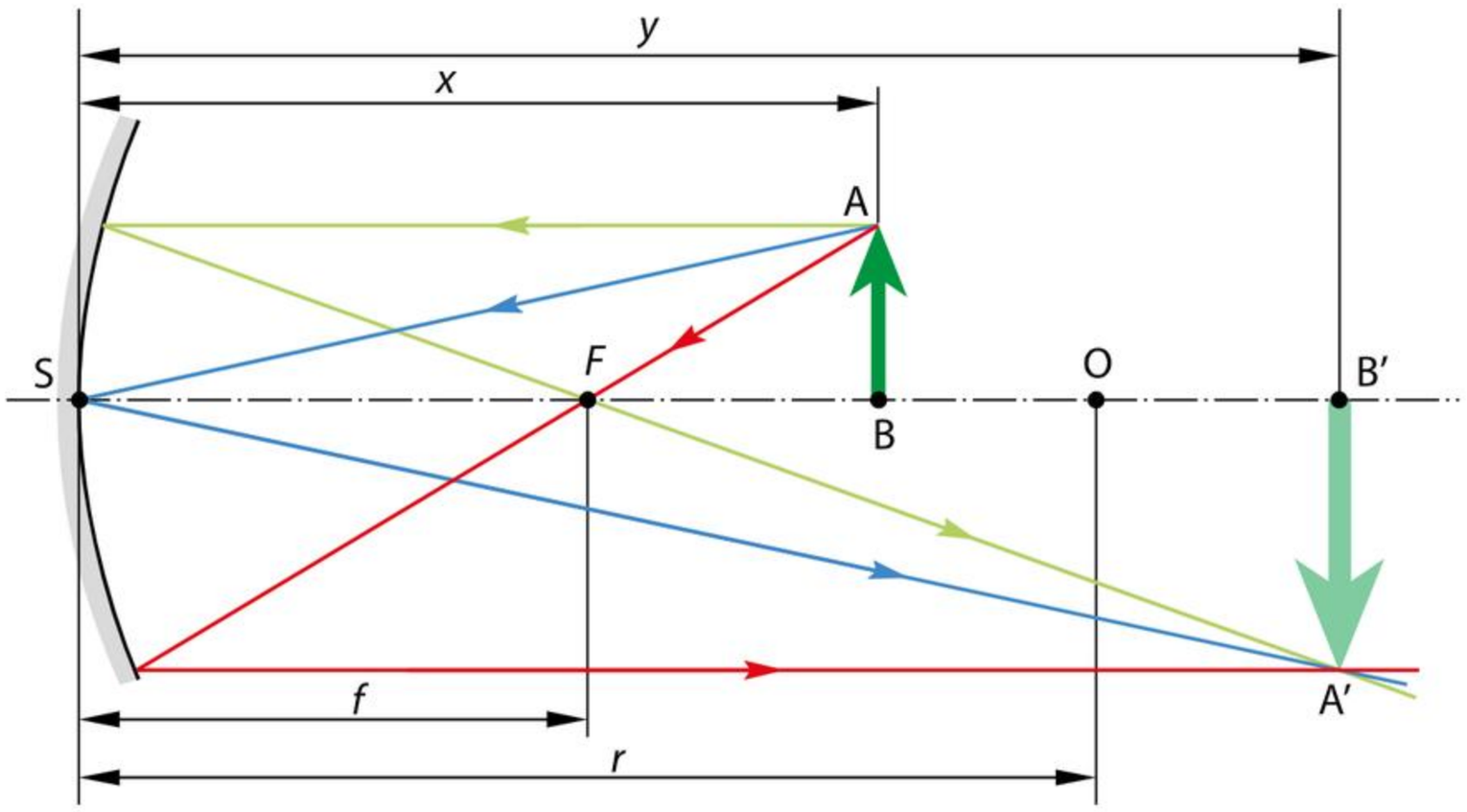
Przyjrzyj się konstrukcjom obrazów przy innych położeniach przedmiotu względem zwierciadła sferycznego wklęsłego. W każdym przypadku konstrukcję przeprowadza się analogicznie jak w sytuacji opisanej i zilustrowanej na stronie 239.



Konstrukcja obrazu dla $x = r$.

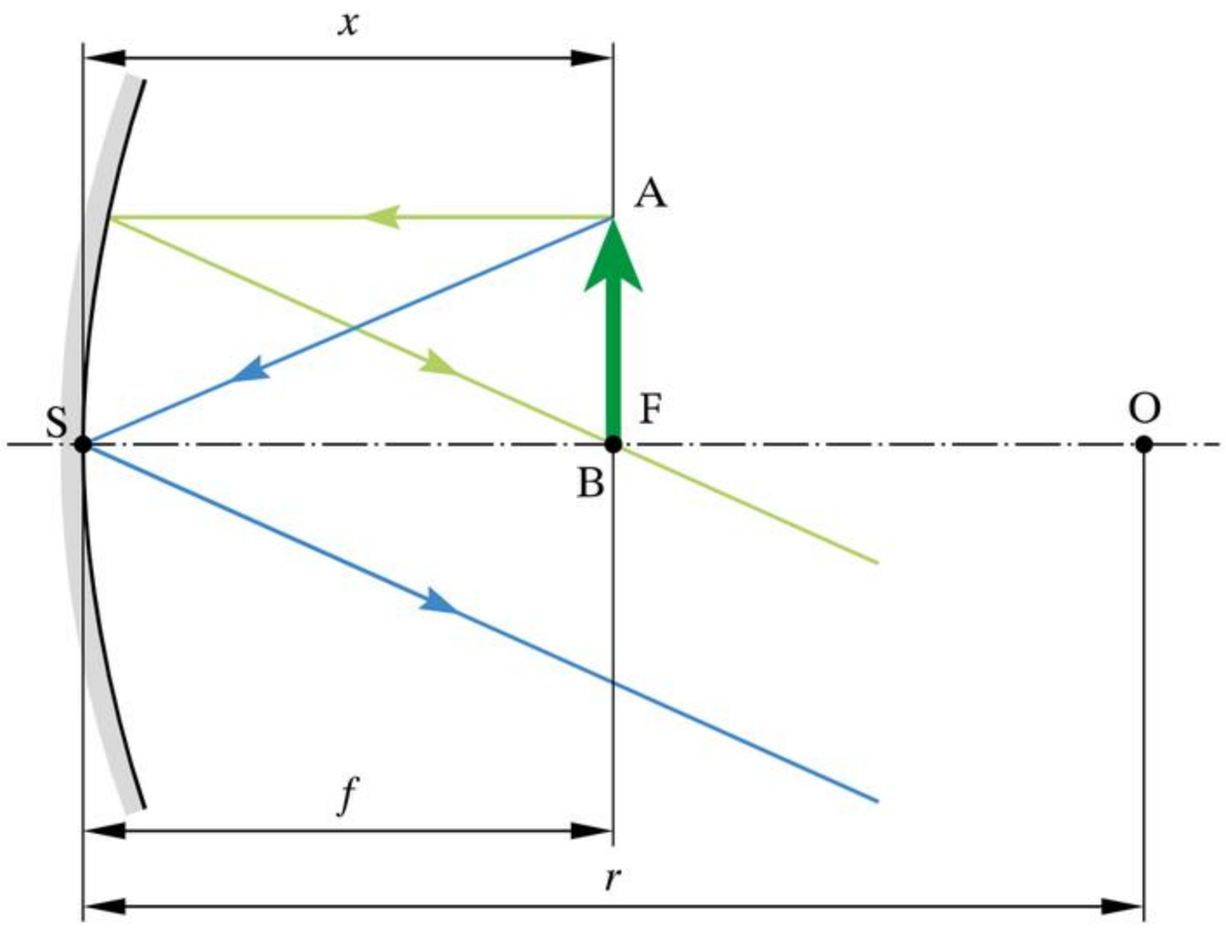
Jeśli $x = r$, to otrzymany obraz A'B' jest: **rzeczywisty**, **odwrócony**, **tej samej wielkości co przedmiot** ($p = 1$).

Przyjrzyj się konstrukcjom obrazów w kolejnym przypadku, gdy $f < x < r$.



Jeśli $f < x < r$, uzyskany obraz jest: **rzeczywisty**, **odwrócony**, **powiększony** ($p > 1$).

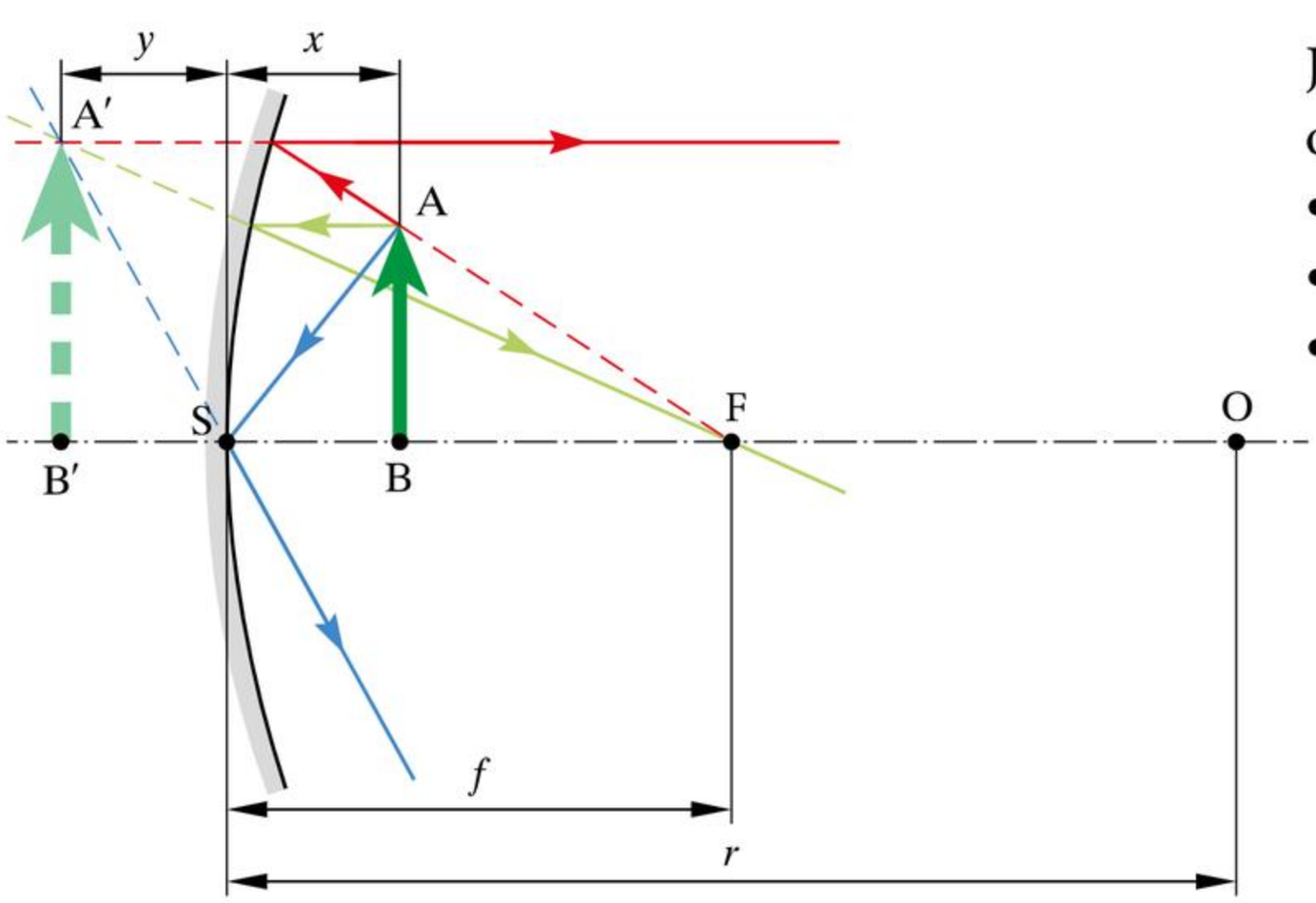
Wiesz już, że jeśli świecący punkt umieścisz w ognisku F, to po odbiciu od zwierciadła promieni wysłanych z ogniska otrzymasz wiązkę promieni równoległych (patrz rys. na str. 234). Podobnie dzieje się w przypadku innych świecących punktów znajdujących się poza osią optyczną w odległości f od zwierciadła.
Wzorując się na poprzednich przykładach, spróbujmy wykonać konstrukcję obrazu, gdy $x = f$ (patrz rys. na następnej stronie).



Jeśli $x = f$, to **obraz nie powstaje**.

Konstrukcja obrazu dla $x = f$, gdzie x to odległość przedmiotu od zwierciadła.

W takiej sytuacji **obraz nie powstaje**, ponieważ wiązka promieni odbitych od zwierciadła jest równoległa (ani promienie odbite, ani ich przedłużenia nie przecinają się). Gdy przedmiot AB umieścimy między ogniskiem a zwierciadłem ($x < f$), promienie odbite od zwierciadła utworzą wiązkę rozbieżną. Jeśli jednak przedłużymy promienie odbite po drugiej stronie zwierciadła, to przetną się one w punkcie A', gdzie utworzą pozorny obraz punktu A.



Jeśli $x < f$, to otrzymany obraz jest:

- **pozorny**,
- **prosty**,
- **powiększony** ($p > 1$).

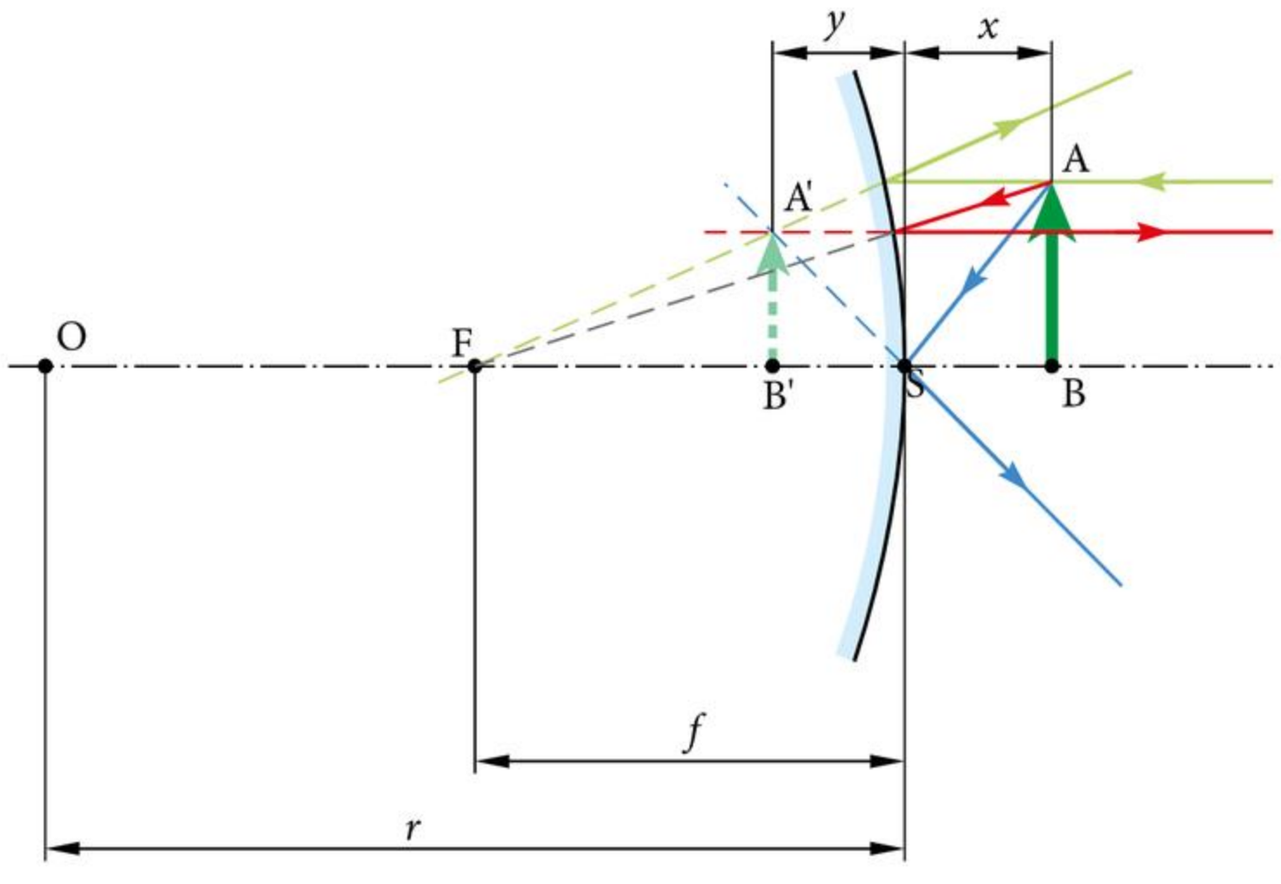
Obrazy tworzone przez zwierciadła sferyczne wypukłe

Aby skonstruować obraz punktu A tworzony przez zwierciadło wypukłe, wystarczy wykreślić dwa z trzech charakterystycznych promieni:

- **padający równolegle do osi głównej**; odbija się tak, że przedłużenie promienia odbitego przechodzi przez ognisko pozorne F;
- **padający na środek zwierciadła S**; odbija się symetrycznie względem osi optycznej;
- **padający tak, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne**, a po odbiciu biegnie równolegle do osi optycznej.

Przedłużenia promieni odbitych przecinają się w punkcie A'. Powstaje obraz pozorny A'B' przedmiotu AB.

Obrazy powstające w zwierciadle sferycznym wypukłym są **pozorne**, **proste** i **pomniejszone**, niezależnie od odległości przedmiotu od zwierciadła.



Konstukcja obrazu pozornego otrzymanego za pomocą zwierciadła sferycznego wypukłego.

CIEKAWOSTKA

Zwierciadła wypukłe znalazły zastosowanie m.in. w zewnętrznych lusterkach samochodowych. Kierowcy widzą szeroki obraz tego, co znajduje się za samochodem.



TO NAJWAŻNIEJSZE

- Rodzaj obrazu otrzymanego za pomocą **zwierciadła sferycznego wklęsłego** zależy od odległości x przedmiotu od zwierciadła:

  – dla $x < f$ powstaje obraz pozorny, prosty i powiększony,
  – dla $x = f$ obraz nie powstaje,
  – dla $f < x <$ r powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i powiększony,
  – dla $x = r$ powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i tej samej wielkości co przedmiot,
  – dla $x > r$ powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony.

- Obrazy powstające w **zwierciadle sferycznym wypukłym** są pozorne, proste i pomniejszone, niezależnie od odległości przedmiotu od zwierciadła.

- **Powiększenie obrazu** oblicza się ze wzorów:

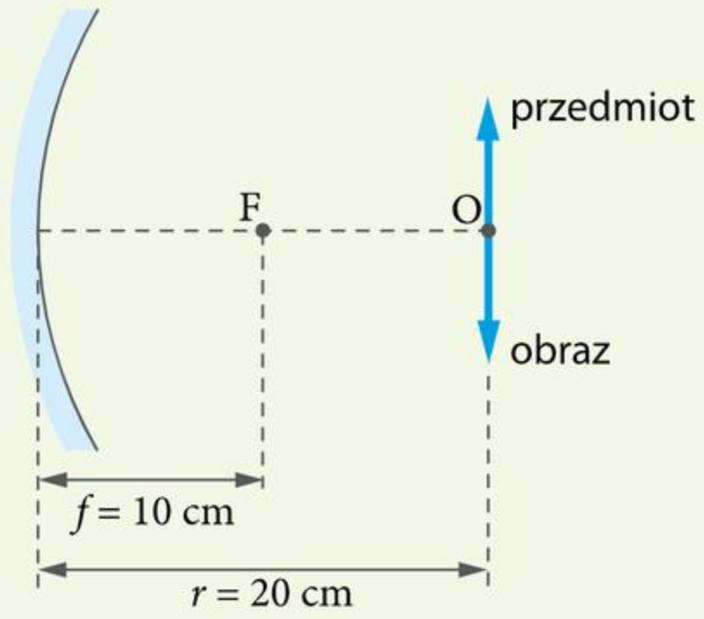
$$p = \frac{h_2}{h_1} \quad \text{lub} \quad p = \frac{y}{x}$$

  gdzie: h_2 – wysokość obrazu, h_1 – wysokości przedmiotu, x – odległość przedmiotu od zwierciadła, y – odległość obrazu od zwierciadła.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na rysunku przedstawiono położenie przedmiotu oraz obrazu w odległości *r* od zwierciadła sferycznego wklęsłego o podanej ogniskowej *f*.
Wybierz poprawne dokończenia zdań.



a) Jeżeli przysuniemy przedmiot do zwierciadła na odległość 10 cm, to obraz **A/ B/ C/ D**.

A. nie powstanie

B. będzie rzeczywisty i pomniejszony

C. będzie rzeczywisty i powiększony

D. będzie pozorny i powiększony

b) Jeżeli odsuniemy przedmiot o 5 cm od zwierciadła, to obraz będzie **A/ B/ C/ D**.

A. rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony

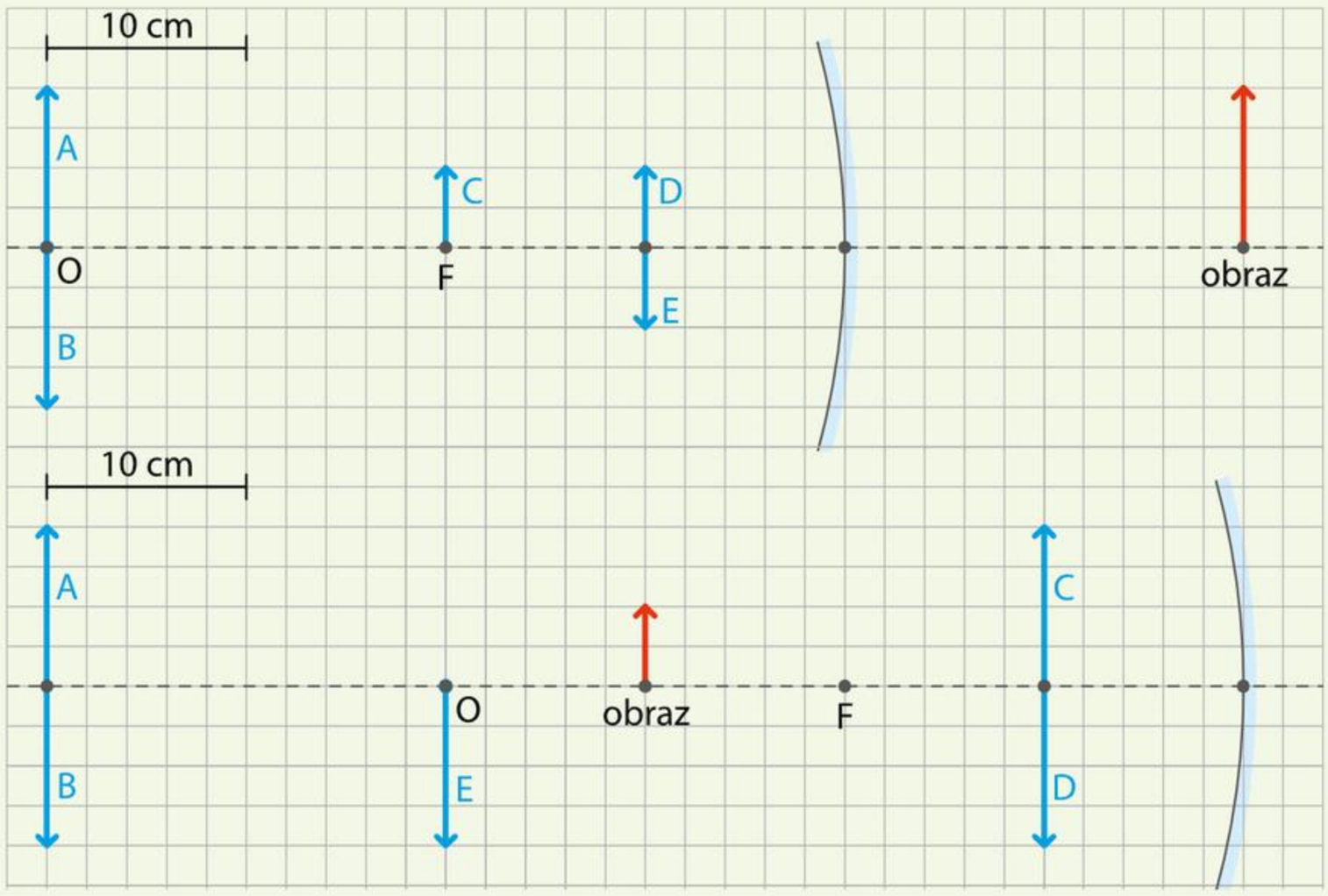
B. pozorny, pomniejszony i prosty

C. pozorny, powiększony i prosty

D. rzeczywisty, powiększony i prosty

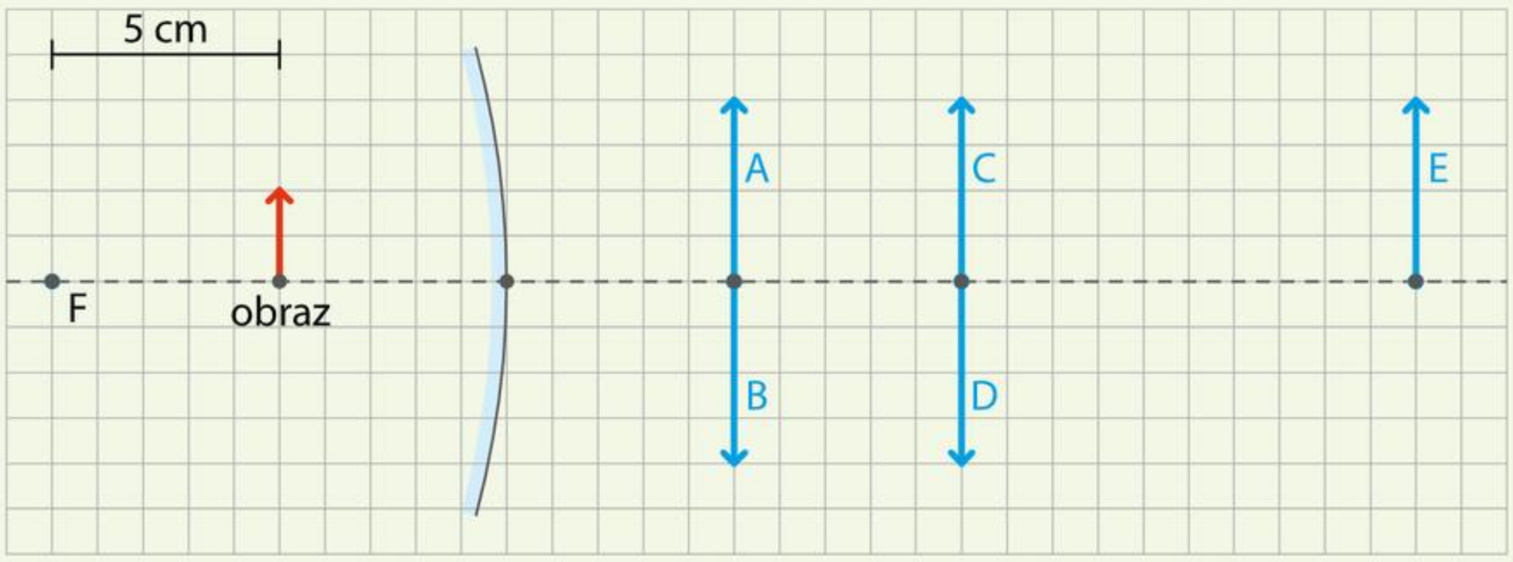
2 Na każdym z rysunków I–III przedstawiono położenie, w którym chcemy uzyskać obraz (czerwone strzałki) oraz kilka możliwych położeń przedmiotu (niebieskie strzałki). Na każdym rysunku wskaż literę oznaczającą prawidłowe położenie przedmiotu.

I.



II.

III.



3 Na lusterkach wstecznych niektórych samochodów można znaleźć ostrzeżenie: *Objects in mirror are closer than they appear* (obiekty widoczne w lusterku są bliżej, niż się wydaje).

Wyjaśnij tekst ostrzeżenia, odwołując się do odpowiedniej cechy obrazów powstających w zwierciadłach wypukłych.



4 Zwierciadła przy drogach zawsze są wypukłe, mimo że obrazy tworzone przez nie zawsze są pomniejszone. Wyjaśnij, dlaczego nie stosuje się w zamian zwierciadeł wklęsłych, które mogą tworzyć obrazy powiększone, a więc wyraźniejsze.



5 Paweł ustawił zwierciadło wklęsłe i ołówek tak, że obraz ołówka powstał w odległości 12 cm od zwierciadła.

a) W jakiej odległości od zwierciadła znajdował się ołówek, jeżeli jego obraz był dwukrotnie powiększony?

b) Oblicz promień krzywizny zwierciadła, wiedząc, że ognisko znajdowało się w odległości 4 cm od zwierciadła.

c) Określ cechy powstałego obrazu ołówka.

26 Zjawisko załamania światła

Cel lekcji: Poznasz zjawisko załamania światła. Dowiesz się, w jaki sposób można rozszczepić światło na poszczególne barwy.

Prawo załamania światła

Zapewne zdarzyło ci się obserwować przedmioty zanurzone w cieczy, np. słomkę w szklance z wodą (patrz zdjęcie) czy wiosło zanurzone w wodzie. Wydają się one wygięte lub złamane w miejscu zetknięcia z powierzchnią wody.
Aby wyjaśnić to zjawisko, przeprowadź i przeanalizuj doświadczenie.



DOŚWIADCZENIE 54

1. Przygotuj akwarium lub przezroczyste pudełko (np. do przechowywania żywności), i wskaźnik laserowy.
2. Nalej wody do pudełka.

Wskazówka. Doświadczenie należy wykonywać w zaciemnionym pomieszczeniu.
Nigdy nie kieruj promienia światła lasera w stronę oczu! Grozi to utratą wzroku.

3. Skieruj światło lasera tak, żeby promień ślizgał się po wewnętrznej stronie ścianki pudełka (patrz zdjęcie) i zmieniaj kąt padania promienia lasera na powierzchnię wody. Obserwuj bieg promieni świetlnych. Co zauważasz?
4. Następnie skieruj światło lasera tak, aby przechodziło z wody do powietrza. Zmieniaj kąt padania promienia lasera i obserwuj bieg promieni świetlnych. Co obserwujesz?
5. Skieruj promień lasera na naczynie pionowo raz z góry, raz z dołu naczynia. Co zauważasz?



Promień lasera na granicy powietrza i wody zmienia kierunek biegu.

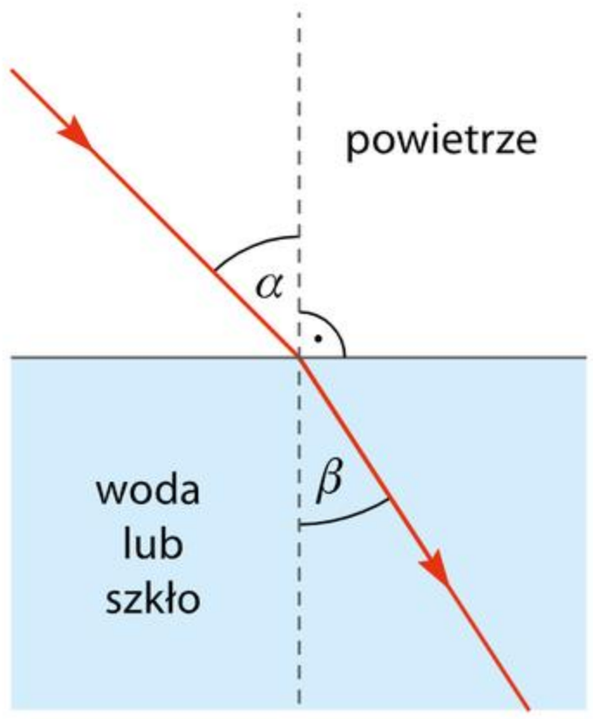
Podczas przeprowadzania doświadczenia można zaobserwować, że światło na granicy dwóch ośrodków (powietrza i wody) ulega **załamaniu**, tzn. promień świetlny zmienia kierunek. Dla promienia załamanego można zmierzyć kąt, jaki tworzy on z prostą prostopadłą do powierzchni załamującej. Ten kąt nazywamy **kątem załamania**.

Możemy również zauważyć, że jeśli światło przechodzi z powietrza do wody, to **kąt padania** α jest zawsze większy od **kąta załamania** β, niezależnie od ułożenia wskaźnika laserowego.

Gdy promień lasera przechodzi z wody do powietrza, kąt załamania β jest większy od kąta padania α.

Gdy promień lasera jest skierowany prostopadle do powierzchni wody (kąt padania $\alpha = 0$), światło nie ulega załamaniu (kąt załamania $\beta = 0$).

Jak pamiętasz, światło rozchodzi się prostoliniowo wewnątrz ośrodka jednorodnego. Na granicy dwóch ośrodków ulega odbiciu i załamaniu. Przyczyną załamania światła na granicy ośrodków jest to, że w każdym ośrodku światło ma inną prędkość v.

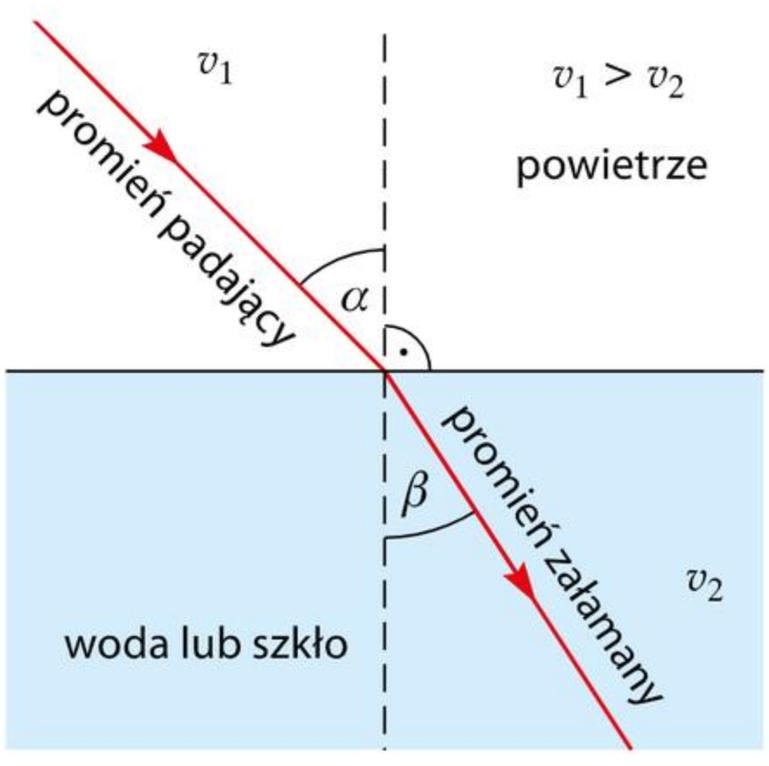


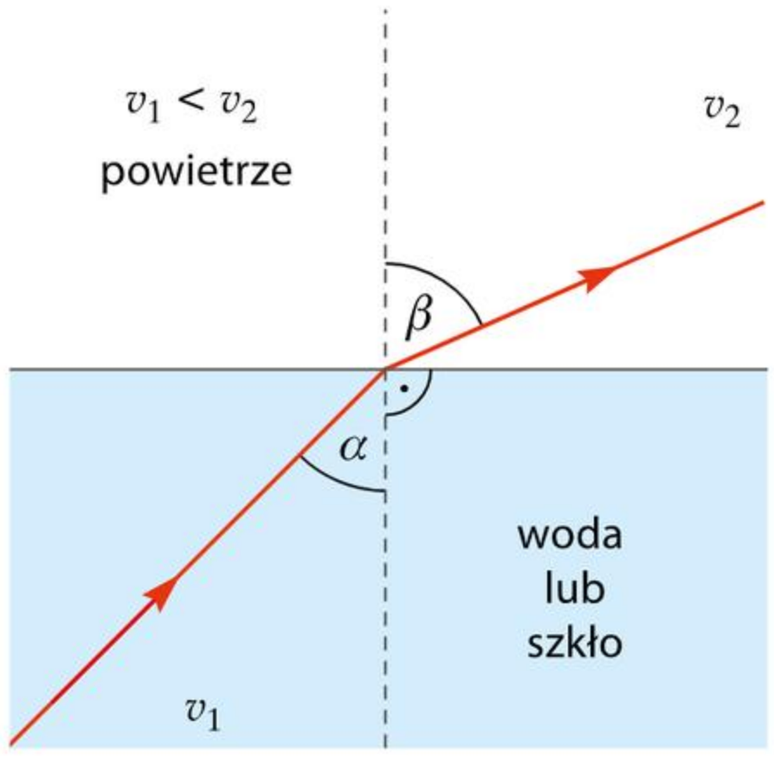
Kąt padania i kąt załamania mierzy się względem normalnej do powierzchni.

Prędkość światła w niektórych ośrodkach podano w tabeli na str. 212.

Promień światła załamuje się ku normalnej (kąt padania α jest większy od kąta załamania β), jeśli światło przechodzi z ośrodka, w którym porusza się szybciej, do ośrodka, w którym porusza się wolniej.

Jeżeli zaś promień świetlny przechodzi z ośrodka, w którym porusza się wolniej, do ośrodka, w którym porusza się szybciej (np. z wody do powietrza), to promień załamany odchyla się od normalnej.





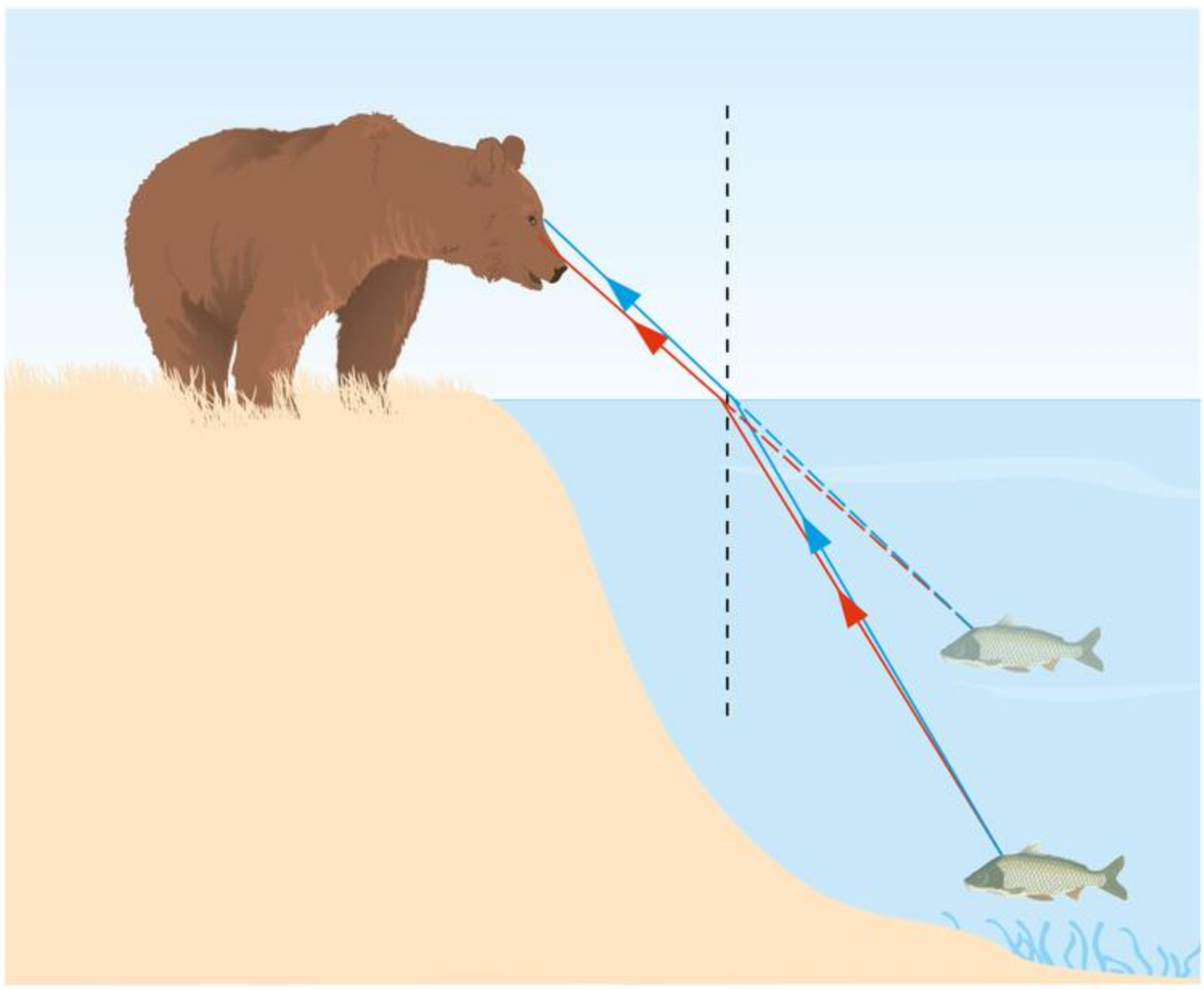
Zjawisko załamania światła na granicy dwóch ośrodków.

Im większa różnica między prędkościami światła w ośrodkach, tym silniej załamuje się światło.

Kąt załamania zależy od kąta padania promienia światła na granicę ośrodków oraz od prędkości rozchodzenia się światła w każdym z ośrodków. Promień padający na granicę dwóch ośrodków, normalna oraz promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie.

Powyższe stwierdzenie to **prawo załamania światła**. Zostało ono odkryte doświadczalnie i sformułowane w XVII wieku przez holenderskiego matematyka, fizyka i astronoma Willebrorda Snella van Royena (czyt. snela wan rojena).

CIEKAWOSTKA



Młode niedźwiadki mają sporo trudności podczas polowania na ryby. Muszą się nauczyć, że trzeba uderzyć łapą lub kłapnąć pyskiem nie w miejscu, w którym widzą rybę, ale nieco dalej od siebie i trochę głębiej. Dlaczego? Promienie wychodzące z wody, nim dotrą do oczu, ulegają załamaniu. Mózg tak interpretuje obraz, że wydaje się, jakby ryba znajdowała się na przedłużeniu promieni wpadających do oka. Obraz ryby jest nieco przesunięty względem jej rzeczywistego położenia.

Załamanie światła i pryzmat

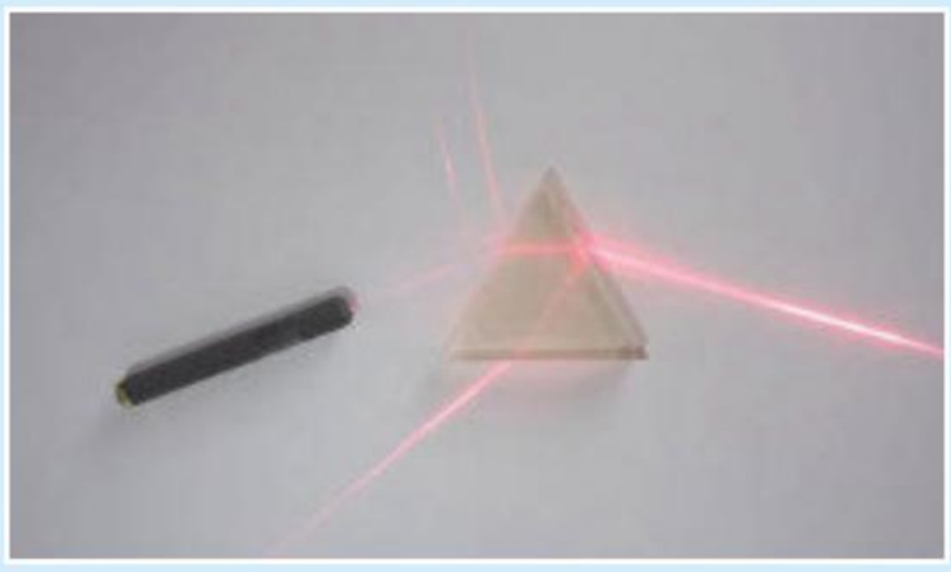
Zjawisko załamania światła można wykorzystać do jego **rozszczepienia**, czyli uzyskania światła w kolorach tęczy ze światła białego. W tym celu można wykorzystać **pryzmat**. Jest to bryła w kształcie graniastosłupa o podstawie trójkątnej, wykonana z materiału przezroczystego dla światła (np. ze szkła). Pryzmaty były znane już w starożytnym Rzymie, ale jedne z najwcześniejszych naukowych analiz rozszczepienia światła w pryzmacie przeprowadził Isaac Newton (czyt. izaak niuton).
Aby zaobserwować zjawisko rozszczepienia światła, wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 55

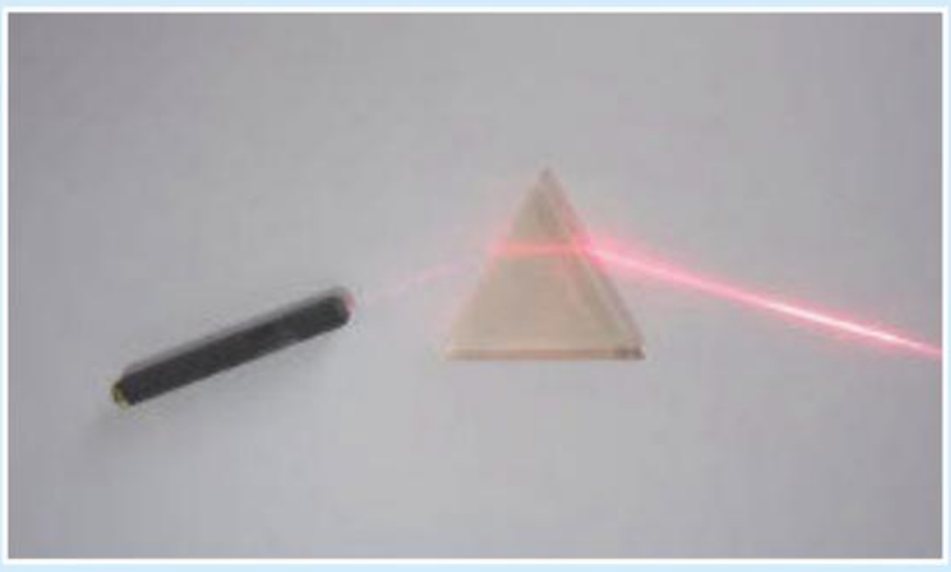
1. Przygotuj: pryzmat, kartkę papieru, wskaźnik laserowy , kartonik z wyciętym otworem i silną latarkę lub lampkę.

Wskazówka. Doświadczenie należy wykonywać w zaciemnionym pomieszczeniu. **Nigdy nie kieruj promienia światła lasera w stronę oczu!** Grozi to utratą wzroku.

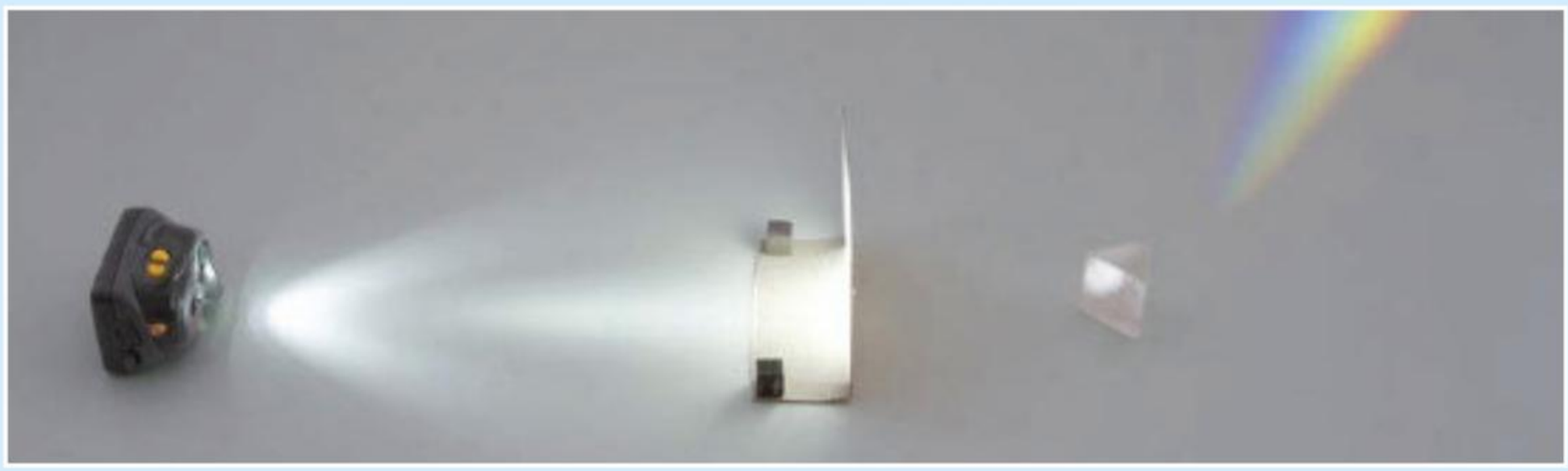
2. Połóż pryzmat na kartce i obrysuj jego kontury.
3. Skieruj światło lasera na ścianę boczną pryzmatu. Zaznacz na kartce promień wchodzący i promień wychodzący.
4. Skieruj światło latarki przez otwór w kartoniku na ściankę boczną pryzmatu. Co obserwujesz?



Światło, które pada na pryzmat, ulega zjawiskom załamania i odbicia. Światło przechodzące przez pryzmat ulega załamaniu dwukrotnie, zawsze w tę samą stronę.



Na powyższym zdjęciu w programie do obróbki graficznej zostały usunięte niektóre promienie, aby uwidocznić tor, po którym światło przechodzi przez pryzmat.

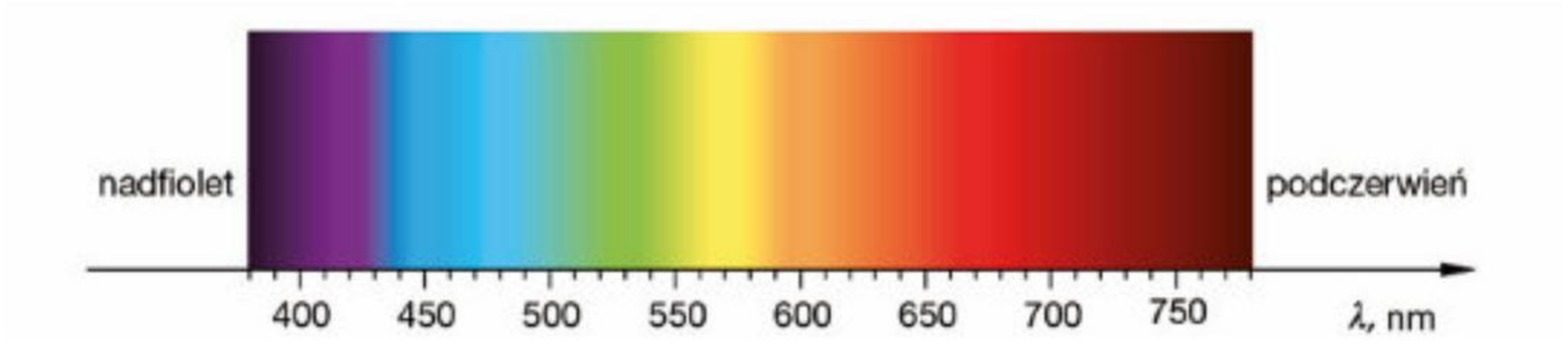


Po drugiej stronie pryzmatu nie widać już pojedynczej wiązki światła białego, lecz jego barwne widmo.

Rozszczepienie światła

Jak wyjaśnić efekt doświadczenia? Światło białe składa się z wielu barw. W lekcji 21 o falach elektromagnetycznych powiedzieliśmy, że człowiek widzi promieniowanie elektromagnetyczne w zakresie długości fali od 380 nm do 780 nm. Poszczególnym długościom fal odpowiadają różne barwy (patrz rys. na str. 250).

W próżni fale elektromagnetyczne odpowiadające poszczególnym barwom mają jednakową prędkość równą *c*. W innym ośrodku, np. szkle, mają różne prędkości. Zatem każda składowa światła, odpowiadająca określonej barwie, załamuje się pod innym kątem. Zachodzi zjawisko rozszczepienia światła białego na poszczególne barwy. Barwne pasma obserwowane na ekranie (np. ścianie) to **widmo światła białego** (patrz zdjęcie w doświadczeniu 55).



Długości fal poszczególnych składowych widma światła białego.

Zauważ, że światło fioletowe załamuje się najbardziej, a światło czerwone – najmniej (patrz zdjęcie w doświadczeniu 55 i rys. A na sąsiedniej stronie). Światło

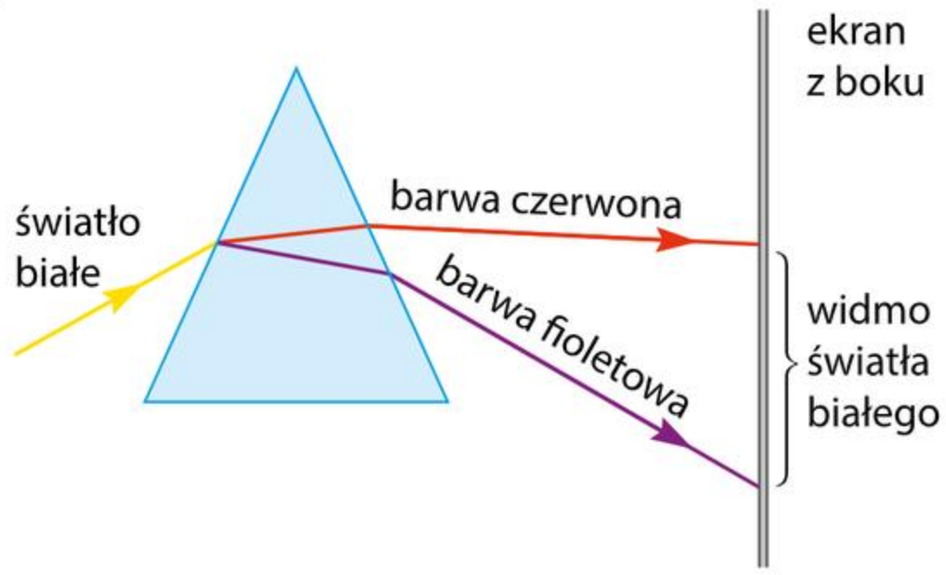
Powstawanie tęczy

Tęcza może powstać po deszczu, gdy nisko położone słońce oświetla deszcz padający z oddalającej się chmury. Zjawisko to można obserwować także wokół fontanny lub wody wypływającej z ogrodowego węża albo w pobliżu wodospadu. Aby powstała tęcza, powietrze musi zawierać dużą ilość kropel wody. Promień świetlny, padając na kroplę, ulega najpierw załamaniu, potem odbiciu wewnątrz kropli i następnie powtórnemu załamaniu.

Tęcza oglądana z ziemi ma kształt barwnych półokręgów. Najniżej położony jest półokrąg o barwie fioletowej, a najwyżej – o barwie czerwonej. Tęcza oglądana z samolotu ma postać pełnego okręgu. Zdarza się czasem, że tęczy towarzyszy tzw. tęcza wtórna, znacznie słabsza od pierwszej i o odwrotnej kolejności barw.

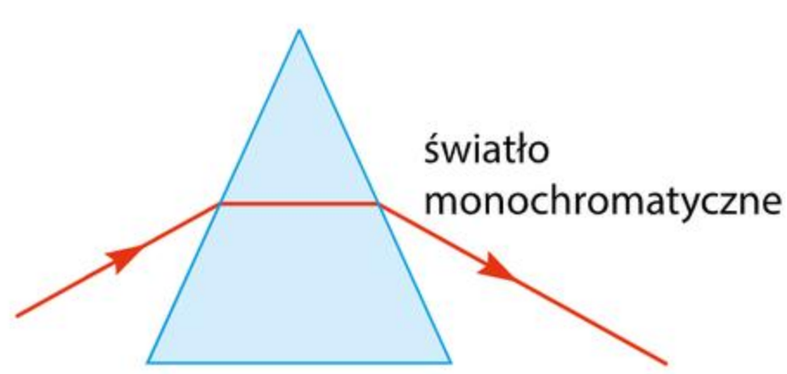
o barwach zawartych między czerwienią i fioletem załamuje się pod pośrednimi kątami – w ten sposób powstaje widmo.
Zjawiska rozszczepienia światła nie zaobserwujemy dla światła lasera. Emituje on światło o jednej określonej długości fali – tzw. światło **monochromatyczne**, czyli jednobarwne. Dlatego po przejściu promienia lasera przez pryzmat nie obserwujemy widma, a jedynie promień załamany (patrz rys. B).

A.



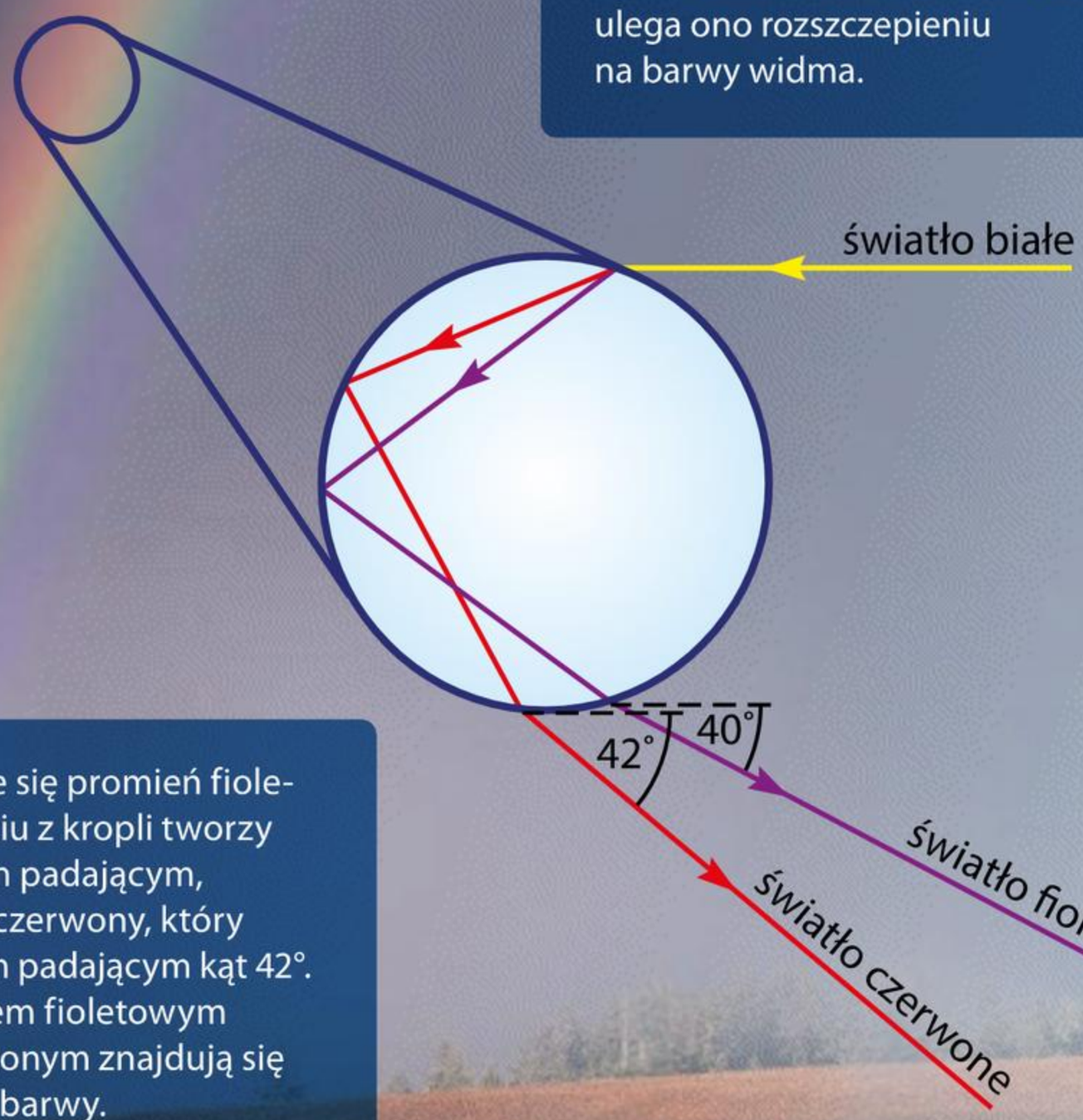
Rozszczepienie światła białego w pryzmacie.

B.



Bieg światła monochromatycznego (jednobarwnego) w pryzmacie.

Jeśli na kroplę pada światło białe, to podobnie jak w pryzmacie (gdzie również zachodzi dwukrotne załamanie), ulega ono rozszczepieniu na barwy widma.



Najbardziej załamuje się promień fioletowy, który po wyjściu z kropli tworzy kąt 40° z promieniem padającym, a najmniej promień czerwony, który tworzy z promieniem padającym kąt 42°. Pomiędzy promieniem fioletowym a promieniem czerwonym znajdują się wszystkie pozostałe barwy.

TO NAJWAŻNIEJSZE

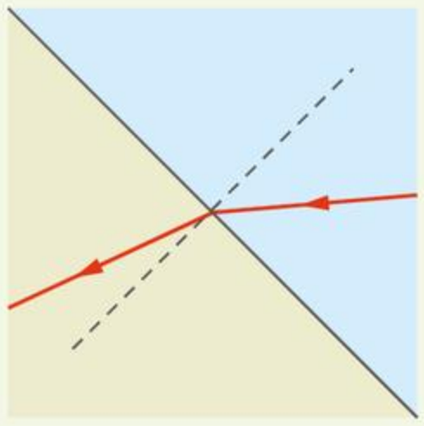
- **Prawo załamania światła:** Kąt załamania zależy od kąta padania promienia na granicy ośrodków oraz od prędkości rozchodzenia się światła w każdym z ośrodków. Promień padający na granicę dwóch ośrodków, prosta prostopadła do tej granicy w miejscu padania oraz promień załamany leżą w jednej płaszczyźnie.
- **Kąt załamania** to kąt między normalną a promieniem załamanym.
- Każda składowa światła odpowiada określonej barwie i załamuje się pod innym kątem. W wyniku tego w pryzmacie zachodzi **zjawisko rozszczepienia** światła białego na poszczególne barwy, którym odpowiadają fale elektromagnetyczne o długościach od 380 nm do 780 nm. Obserwuje się wtedy barwne widmo.
- **Monochromatyczne** (jednobarwne) światło lasera nie ulega rozszczepieniu.

Rozwiąż zadania

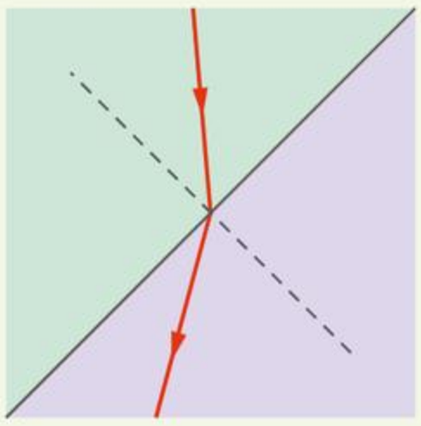
ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Na rysunkach przedstawiono promienie światła przechodzące przez granice między czterema parami ośrodków. Do każdego z rysunków dopasuj właściwe opisy.

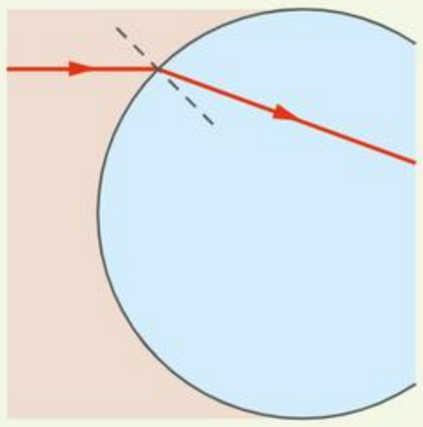
I.



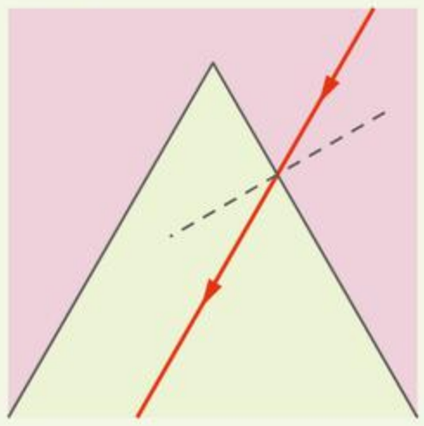
II.



III.



IV.



A. Kąt padania jest większy od kąta załamania.

B. Kąt padania jest mniejszy od kąta załamania.

C. Kąt padania jest równy kątowi załamania.

D. Światło przechodzi z substancji, w której rozchodzi się wolniej, do substancji, w której rozchodzi się szybciej.

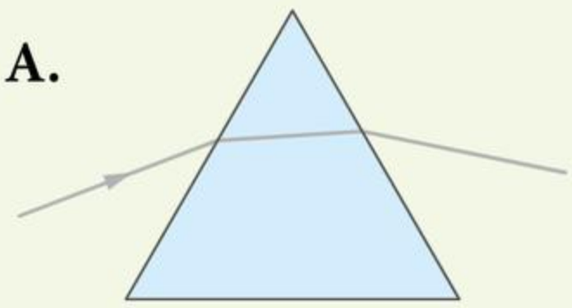
E. Światło przechodzi z substancji, w której rozchodzi się szybciej, do substancji, w której rozchodzi się wolniej.

F. Światło przechodzi między dwoma substancjami, w których rozchodzi się z tą samą prędkością.

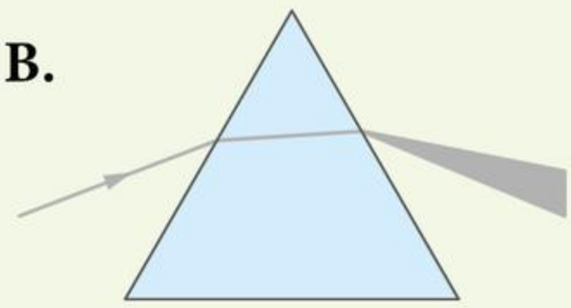
2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Wiązka światła białego skierowana na lewą ściankę pryzmatu będzie biegła tak, jak pokazano na rysunku **A/ B/ C**, ponieważ ulegnie ona **D/ E/ F**.
Wiązka światła czerwonego lasera będzie się zachowywać tak, jak pokazano na rysunku **A/ B/ C**, ponieważ ulegnie **D/ E/ F**.

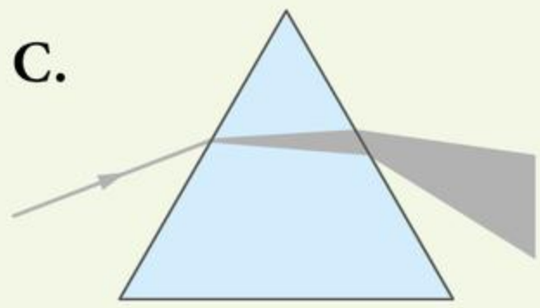
A.



B.

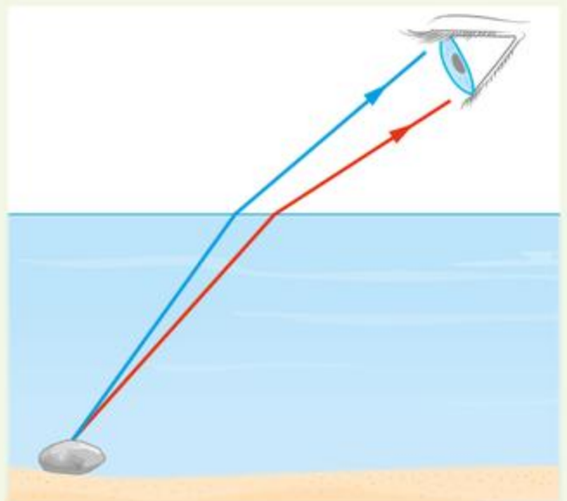


C.



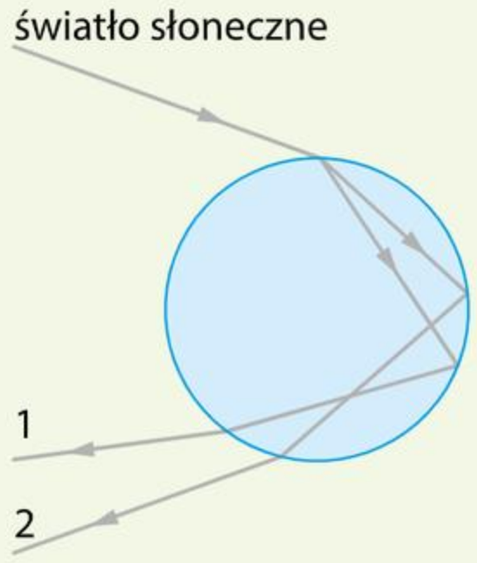
D. jedynie zjawisku załamania
E. zjawiskom załamania i rozszczepienia
F. jedynie zjawisku rozszczepienia

3 Na rysunku obok przedstawiono dwa wybrane promienie biegnące od kamienia do obserwatora. Sprawdź, gdzie przetną się przedłużenia promieni docierające do oczu obserwatora, i wybierz poprawne uzupełnienia zdania.
Obserwatorowi będzie się wydawać, że kamień jest **A/ B** oraz **C/ D** niż w rzeczywistości.



A. płycej
C. bliżej obserwatora
B. głębiej
D. dalej od obserwatora

4 Tęcza powstaje w wyniku oddziaływania światła z kropelkami wody zawartymi w atmosferze. Na rysunku schematycznie zaznaczono szarym kolorem bieg promieni o dwóch barwach tęczy, które znajdują się na jej dolnym i górnym brzegu. Wskaż zdania prawdziwe.



A. Tęcza może powstać między innymi dlatego, że promienie światła o różnych barwach padające pod tym samym kątem załamują się pod różnymi kątami.

B. Promień 1 odpowiada barwie fioletowej.

C. Promień 2 odpowiada barwie zielonej.

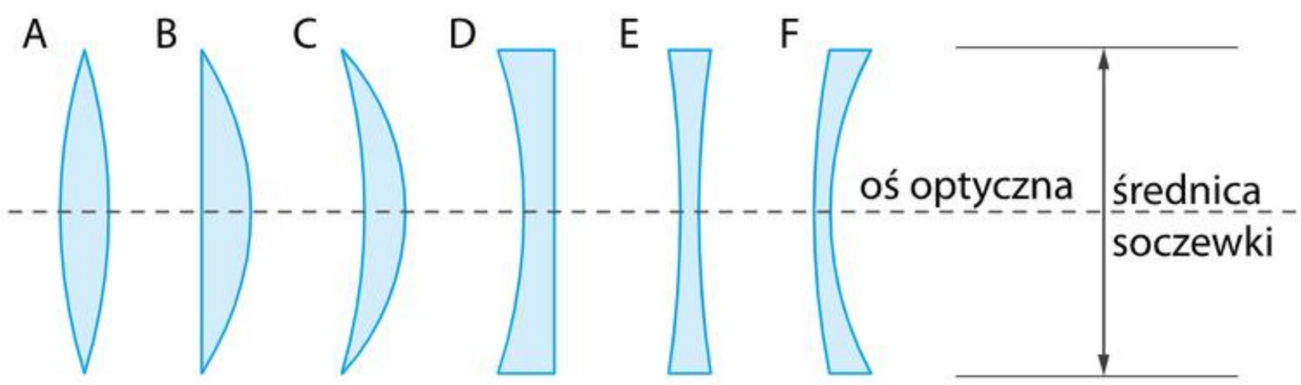
D. Każdy promień światła, przechodząc przez kroplę, ulega dwukrotnemu załamaniu.

27 Soczewki

Cel lekcji: Poznasz dwa rodzaje soczewek – skupiającą i rozpraszającą – oraz ich cechy. Dowiesz się, w jaki sposób promienie światła przechodzą przez soczewki.

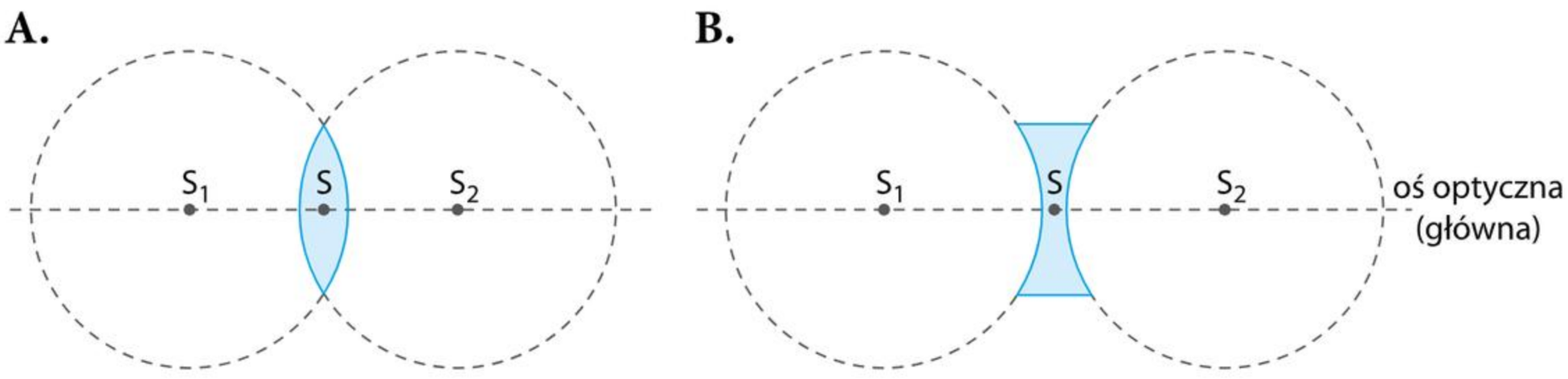
Rodzaje soczewek

Soczewka służy do skupiania lub rozpraszania światła. Istnieją różne rodzaje soczewek różniące się kształtem (wypukłością powierzchni ograniczających). Przedstawia je poniższy rysunek.



Ze względu na rodzaj wypukłości wyróżnia się soczewki: A. dwuwypukłą, B. płasko-wypukłą, C. wklęsło-wypukłą, D. wklęsło-płaską, E. dwuwklęsłą, F. wypukło-wklęsłą.

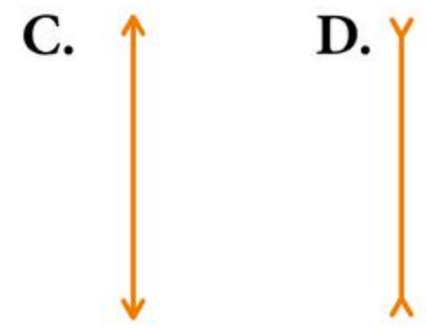
Dalsze rozważania będą dotyczyć soczewek symetrycznych dwuwypukłych i dwuwklęsłych, ograniczonych z obydwu stron identycznymi powierzchniami kulistymi. Prostą poprowadzoną przez środki obu kul i środek soczewki nazywa się **osią optyczną** (osią główną).



Schemat symetrycznych soczewek: A. dwuwypukłej, B. dwuwklęsłej. Powierzchnię każdej soczewki stanowią fragmenty dwóch sfer o środkach S_1 i S_2. Środek soczewki oznaczono literą S.

Wyróżnia się soczewki **skupiające** i **rozpraszające**. Na rysunkach w dalszej części podręcznika będziemy używać symboli soczewek (patrz rys. C i D obok).

Uwaga. Określenie „rozpraszanie" w odniesieniu do soczewki ma znaczenie przeciwieństwa „skupiania". Nie należy go mylić z rozproszeniem zdefiniowanym na str. 227.



Symbole soczewek:
C. soczewka skupiająca,
D. soczewka rozpraszająca.

FIZYKA WOKÓŁ NAS

Pojedyncze soczewki znajdują zastosowanie w prostych przyrządach, takich jak okulary czy lupa. Bardziej skomplikowane układy optyczne, składające się z kilku lub kilkunastu soczewek, znajdują się np. w lornetkach, mikroskopach, lunetach astronomicznych i obiektywach aparatów fotograficznych.

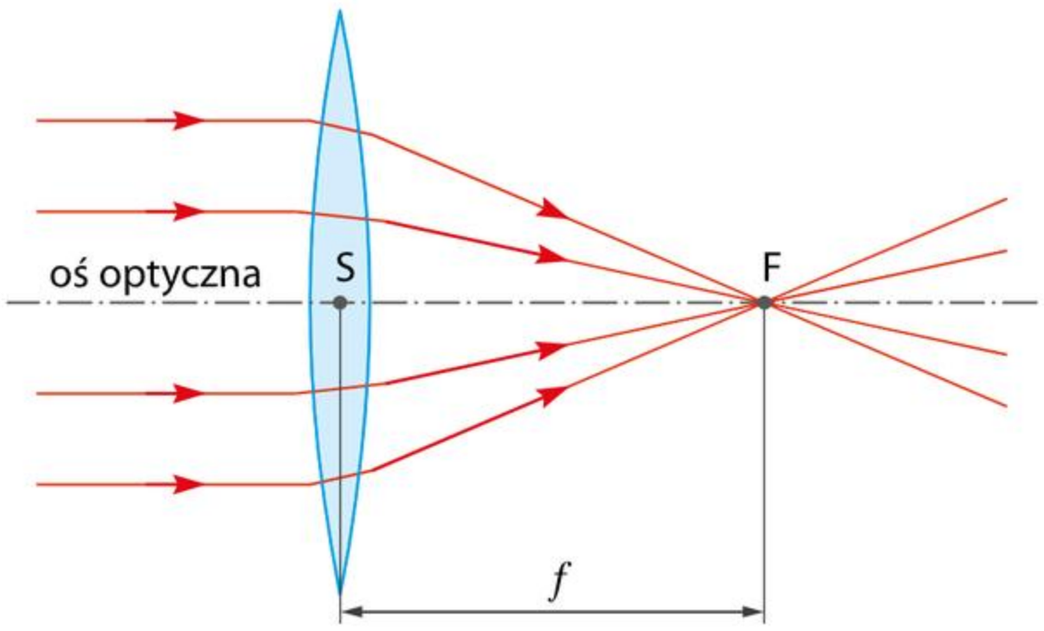


Soczewki skupiające

Przechodząc przez soczewkę, wiązka światła ulega dwukrotnemu załamaniu. Jeśli przed soczewką wypukłą wiązka światła była równoległa do osi optycznej, to po przejściu przez nią skupia się w jednym punkcie. Podobnie jak w przypadku zwierciadła ten punkt nazywa się **ogniskiem** F soczewki.

Ognisko *F* soczewki skupiającej jest to punkt przecięcia promieni załamanych, które przed przejściem przez soczewkę były równoległe do osi optycznej. Odległość ogniska od soczewki nazywa się jej **ogniskową** i oznacza literą *f*.

Jednostkami ogniskowej *f* są jednostki długości (w układzie SI jest to metr).



Bieg wiązki początkowo równoległych promieni światła przez soczewkę skupiającą.

Promień światła przechodzący przez soczewkę załamuje się dwukrotnie: najpierw przechodząc z powietrza do szkła, następnie przechodząc ze szkła do powietrza. Dla uproszczenia będziemy jednak rysować go tak, jakby załamywał się jeden raz, wewnątrz soczewki.

Soczewka skupiająca ma **dwa ogniska**. Leżą one na osi optycznej, symetrycznie po obu stronach soczewki. Konstrukcję drugiego ogniska można przeprowadzić tak samo jak konstrukcję pierwszego ogniska, ale po drugiej stronie soczewki. Zauważ, że promień pokrywający się z osią optyczną nie załamuje się. Od promieni krzywizn powierzchni zależy to, jak bardzo soczewka skupia światło.

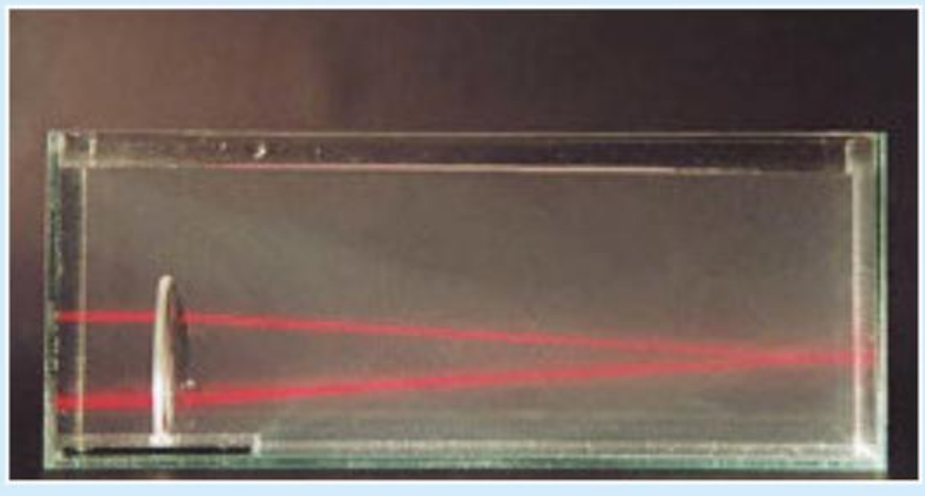
O tym, że soczewka skupia równoległą wiązkę promieni w jednym punkcie, możesz się przekonać, wykonując doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 56

1. Przygotuj: przezroczyste naczynie z wodą (np. akwarium lub pudełko), soczewkę skupiającą (np. lupę), mleko i dwa wskaźniki laserowe.

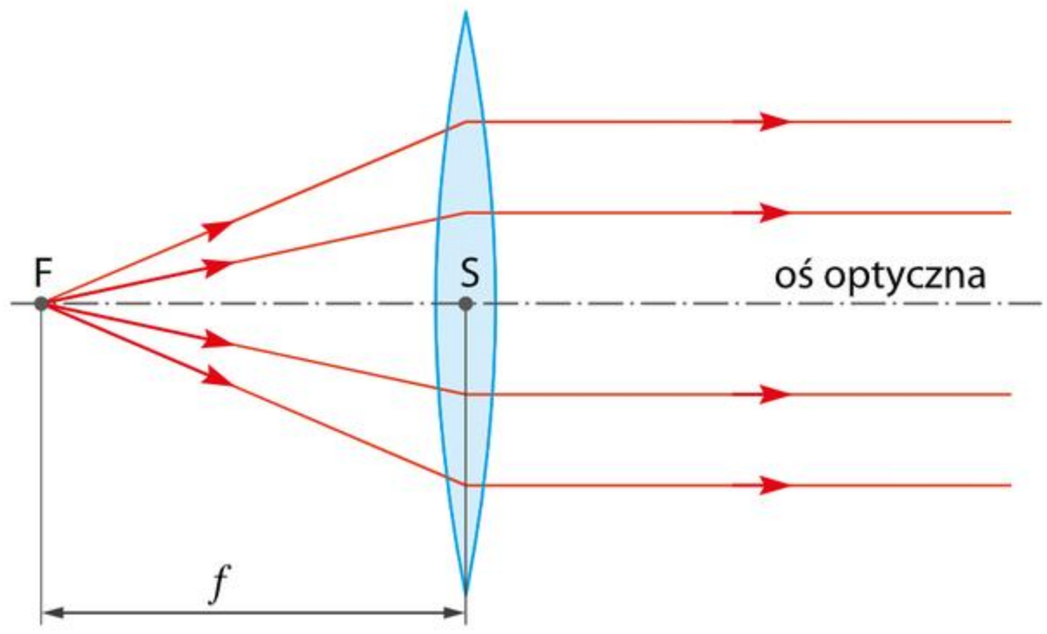
Wskazówka. Jeśli masz do dyspozycji tylko jeden wskaźnik, też możesz sobie poradzić, ale doświadczenie będzie wymagało większej uwagi w trakcie obserwacji.

2. Do naczynia z wodą dodaj kilka kropel mleka i wymieszaj.
3. Umieść soczewkę w naczyniu tak, jak pokazano na zdjęciu.
4. Skieruj na soczewkę światło z obu wskaźników równolegle do osi optycznej soczewki.



Wskazówka. Jeśli dysponujesz tylko jednym wskaźnikiem, skieruj jego światło na soczewkę równolegle do jej osi optycznej i przesuwaj wskaźnik prostopadle do osi. Uważnie obserwuj bieg promienia za soczewką.

Wiesz już, że wiązka promieni równoległych do osi optycznej zostaje skupiona przez soczewkę. Można zatem przewidzieć, co się stanie, gdy źródło światła umieści się w ognisku. Sytuację tę przedstawia poniższy rysunek.



Za pomocą soczewki skupiającej można otrzymać równoległą wiązkę promieni świetlnych.

Promienie wychodzące z ogniska po załamaniu w soczewce tworzą wiązkę równoległą.

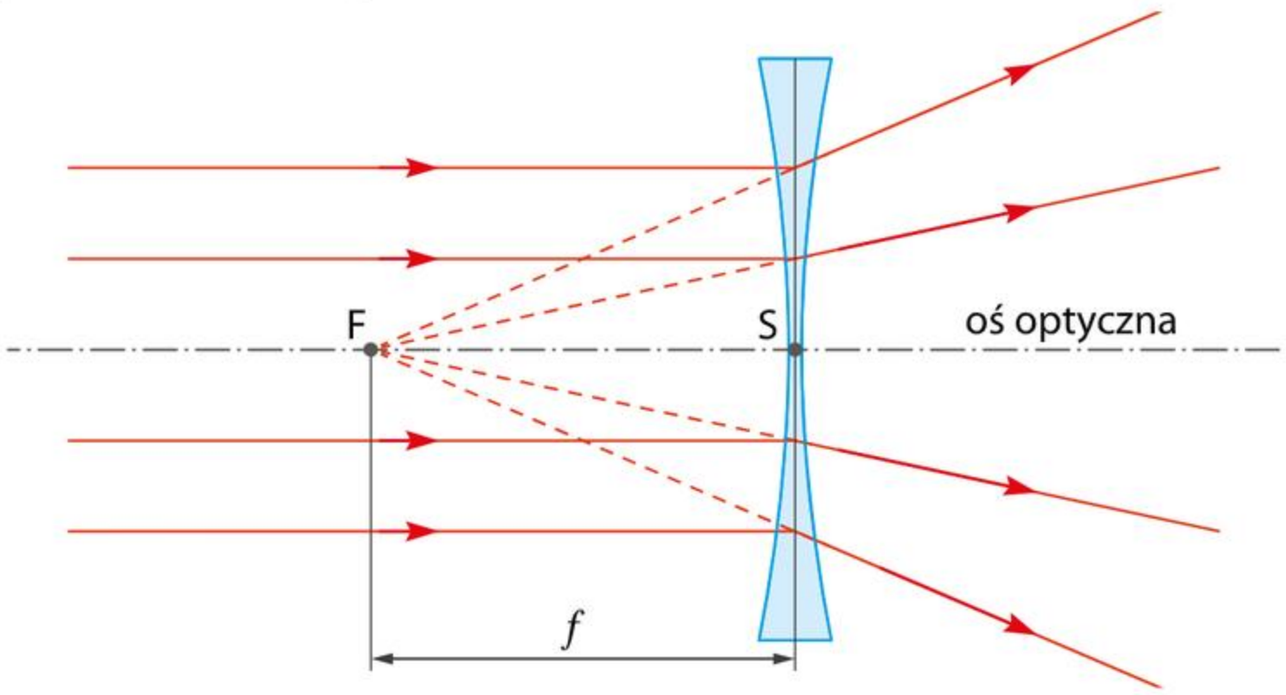


Lupa jest przykładem przyrządu, w którym wykorzystano soczewkę skupiającą.

Soczewki rozpraszające

Jeśli na drodze równoległej wiązki światła ustawimy soczewkę rozpraszającą, za soczewką uzyskamy wiązkę rozbieżną. Taka soczewka nie ma zatem ognisk rzeczywistych, ma jednak **ogniska pozorne**, leżące w punkcie przecięcia przedłużeń promieni załamanych, które przed przejściem przez soczewkę biegły równolegle do osi optycznej (patrz rys. poniżej).

Odległość ogniska pozornego od środka soczewki nazywa się **ogniskową soczewki rozpraszającej**. Ogniskowe soczewek rozpraszających umownie podaje się jako wartości ujemne.



Konstrukcja ogniska pozornego soczewki rozpraszającej.

Bieg promieni przez soczewkę rozpraszającą możesz zaobserwować, wykonując doświadczenie.

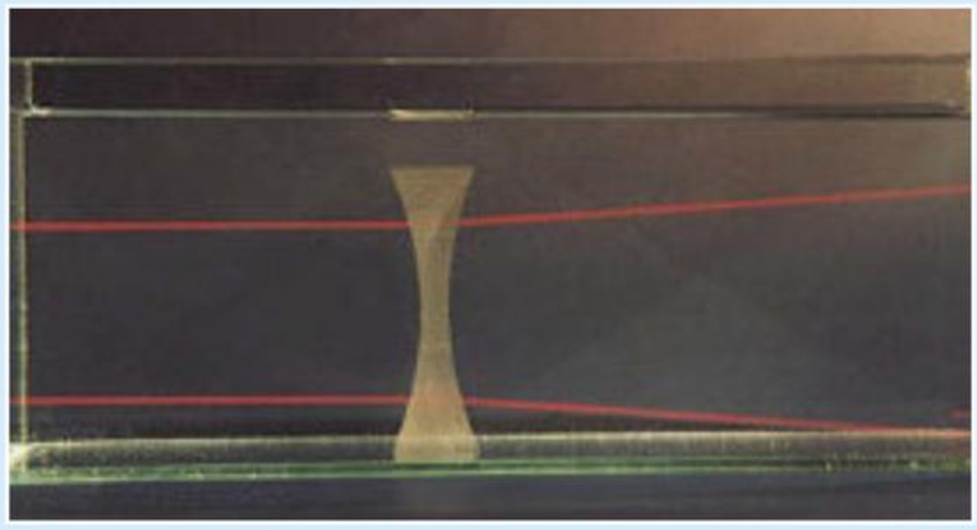
DOŚWIADCZENIE 57

1. Przygotuj: przezroczyste naczynie z wodą (np. akwarium lub pudełko), soczewkę rozpraszającą (np. okulary „minusy"), mleko i dwa wskaźniki laserowe.

Wskazówka. Jeśli masz do dyspozycji tylko jeden wskaźnik, też możesz sobie poradzić, ale doświadczenie będzie wymagało większej uwagi w trakcie obserwacji.

2. Do naczynia z wodą dodaj kilka kropel mleka i wymieszaj.
3. Umieść soczewkę w naczyniu tak, jak pokazano na zdjęciu.
4. Skieruj na soczewkę światło z obu wskaźników równolegle do osi optycznej soczewki.

Wskazówka. Jeśli masz tylko jeden wskaźnik, skieruj jego światło na soczewkę równolegle do jej osi optycznej i przesuwaj wskaźnik prostopadle do osi. Uważnie obserwuj bieg promienia za soczewką.



R

Zdolność skupiająca soczewki

Soczewki w zależności od promieni krzywizny ich powierzchni mają różne ogniskowe, czyli skupiają lub rozpraszają światło w różnym stopniu. Określa się dla nich tzw. **zdolnością skupiającą soczewki** Z, która jest równa odwrotności ogniskowej wyrażonej w metrach.

$$\text{zdolność skupiająca soczewki} = \frac{1}{\text{ogniskowa soczewki}} \qquad Z = \frac{1}{f}$$

Jednostką zdolności skupiającej jest **dioptria** (**1 D**).

$$1\ \text{D} = \frac{1}{\text{m}}$$

Soczewki skupiające mają zdolność skupiającą dodatnią, a rozpraszające – ujemną, gdyż – zgodnie z umową – ogniskowa w soczewce rozpraszającej ma wartość ujemną.

TO NAJWAŻNIEJSZE

- **Soczewka wypukła** skupia wiązkę światła (zamienia wiązkę równoległą na zbieżną), a wklęsła – rozprasza (zamienia wiązkę równoległą na rozbieżną).
- **Ognisko rzeczywiste** soczewki skupiającej to punkt, w którym po przejściu przez soczewkę skupiają się wszystkie promienie biegnące przed soczewką równolegle do osi optycznej.
- **Ognisko pozorne** soczewki rozpraszającej to punkt, w którym przecinają się przedłużenia promieni załamanych, które przed przejściem przez soczewkę były równoległe do osi optycznej.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wskaż opisy pasujące do soczewek: skupiającej oraz rozpraszającej.
Uwaga. Do każdej z soczewek może pasować kilka opisów, ale nie wszystkie opisy trzeba wykorzystać.

A. Na skutek zjawiska załamania soczewka ta zmienia bieg promieni światła.

B. Jeśli tę soczewkę wykonano ze szkła i znajduje się ona w powietrzu, to jest soczewką wypukłą.

C. Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez tę soczewkę przecina się w jednym punkcie.

D. Soczewka ta zawsze rozprasza wiązkę promieni równoległych do osi optycznej.

E. Na skutek zjawiska odbicia soczewka ta zmienia bieg promieni światła.

F. Soczewka ta ma ognisko pozorne.

G. Promienie przechodzące przez środek tej soczewki po przejściu są równoległe do jej osi optycznej.

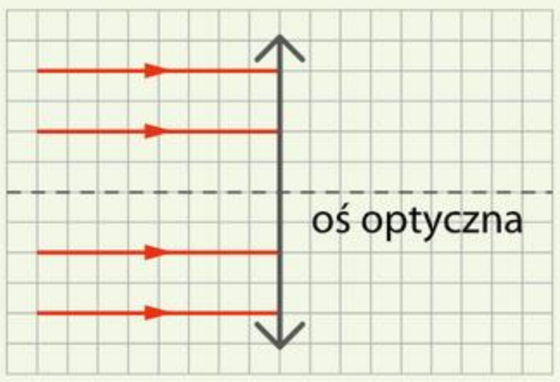
2 Dopasuj opis do rysunku. **Uwaga.** Literą F oznaczono położenie ogniska. Przedstawione soczewki są wykonane ze szkła i znajdują się w powietrzu.

A. Po przejściu przez soczewkę promienie będą równoległe do osi optycznej.

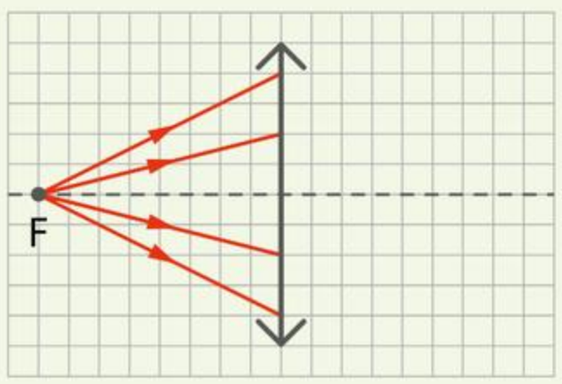
B. Po przejściu przez soczewkę promienie przetną się w jednym punkcie.

C. Po przejściu przez soczewkę promienie rozproszą się.

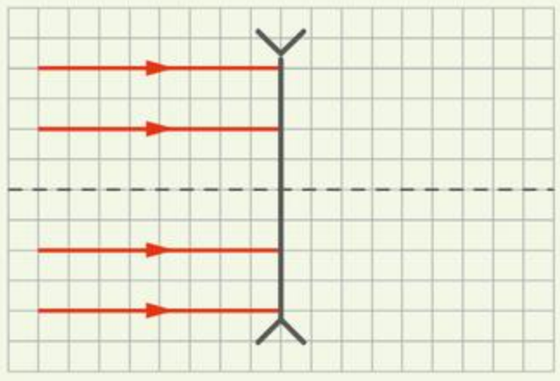
1.



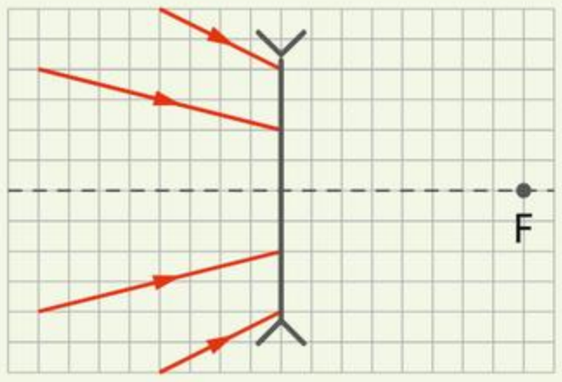
2.



3.



4.



3 Dwa równoległe promienie światła skierowano na soczewkę, a następnie soczewkę zakryto kartką. Wybierz poprawne dokończenia zdań.

I.



II.



III.



a) Na rysunku I za kartką znajduje się **A/ B/ C**.

b) Na rysunku II za kartką znajduje się **A/ B/ C**.

c) Na rysunku III za kartką znajduje się **A/ B/ C**.

A. na pewno soczewka skupiająca **B.** na pewno soczewka rozpraszająca
C. soczewka skupiająca lub soczewka rozpraszająca

Wskazówka. Soczewka może znajdować się za kartką w dowolnym miejscu.

28 Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewek

Cel lekcji: Dowiesz się, jak konstruuje się obrazy powstające w soczewkach i jakie cechy mają te obrazy. Poznasz zastosowania soczewek. Dowiesz się, na czym polegają krótkowzroczność i dalekowzroczność oraz w jaki sposób koryguje się te wady wzroku.

Otrzymywanie obrazów w soczewkach skupiających

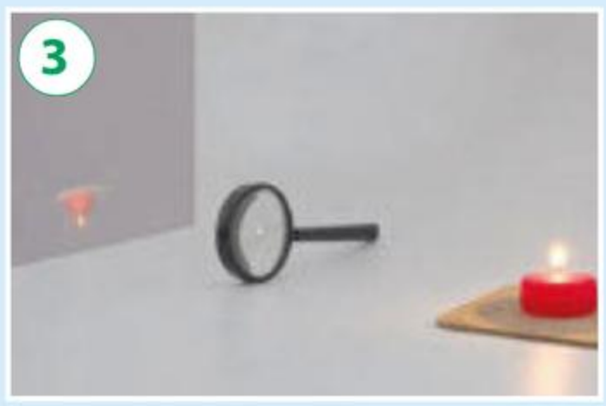
Spróbuj zaobserwować obrazy tworzone przez soczewkę skupiającą. Wykonaj doświadczenie.

DOŚWIADCZENIE 58

1. Przygotuj: soczewkę skupiającą (np. lupę), świeczkę, białą kartkę i plastelinę.
2. Postaw na stole zapaloną świeczkę i popatrz na nią przez soczewkę.
3. Zmieniaj odległość soczewki od świeczki i obserwuj, co się dzieje z obrazem. Co zauważasz?
4. Ustaw zapaloną świeczkę, soczewkę skupiającą i białą kartkę tak jak na zdjęciu 3.
5. Zbliżając lub oddalając ekran od soczewki (kartki papieru), postaraj się otrzymać ostry obraz zapalonej świeczki. Jakie cechy ma ten obraz?
6. Spróbuj uzyskać obraz takiej samej wielkości jak przedmiot.
7. Powtórz punkty 5 i 6 doświadczenia dla różnych odległości świeczki od soczewki. Czy udało ci się uzyskać obraz na ekranie, gdy świeczka była blisko soczewki?
8. Zgaś świeczkę po zakończeniu obserwacji.





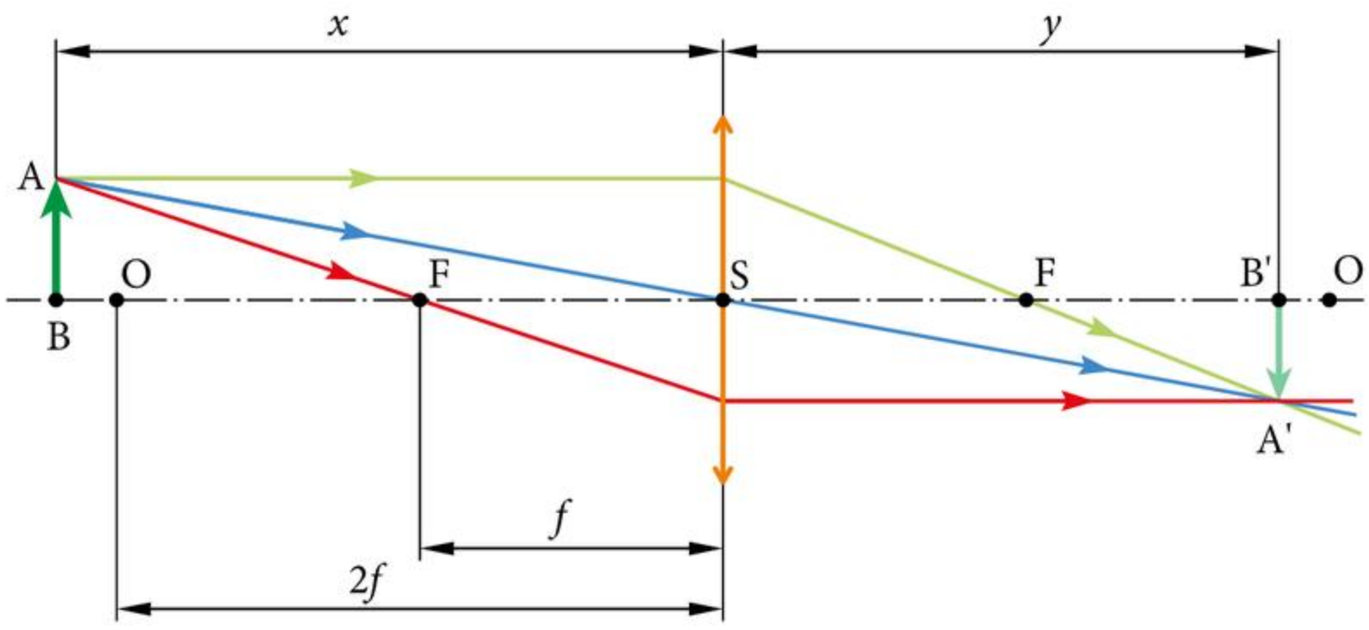


Obraz rzeczywisty można zobaczyć zarówno na ekranie, jak i bezpośrednio. Możesz usunąć ekran i spojrzeć na obraz zza miejsca, gdzie ekran się znajdował.

Podobnie jak zwierciadła, również soczewki tworzą obrazy, które można wyznaczać konstrukcyjnie. Rysunek na str. 261 przedstawia konstrukcję geometryczną jednego z uzyskanych obrazów. Oświetlony (lub świecący) przedmiot AB umieszczony jest w większej odległości od soczewki niż podwójna ogniskowa: $x > 2f$.

Z punktu A prowadzimy trzy charakterystyczne promienie:
— **promień równoległy do osi optycznej**, który po załamaniu w soczewce przejdzie przez ognisko;
— **promień przechodzący przez środek soczewki**, który nie ulega załamaniu;
— **promień przechodzący przez ognisko**, który po przejściu przez soczewkę będzie równoległy do osi optycznej.

Opisane promienie oraz wszystkie inne wychodzące z punktu A i przechodzące przez soczewkę przetną się w punkcie A'. Pamiętaj, że do skonstruowania obrazu – podobnie jak w zwierciadłach – wystarczą dwa promienie.



Dla $x > 2f$ obraz A'B' przedmiotu AB jest:
- **rzeczywisty**,
- **odwrócony**,
- **pomniejszony**.

Konstrukcja obrazu otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej, gdy $x > 2f$.

Jeśli ustawisz się tak, że promienie po przecięciu w punkcie A' wpadną do twojego oka, zobaczysz obraz „zawieszony" w powietrzu w miejscu, gdzie wcześniej był ekran.

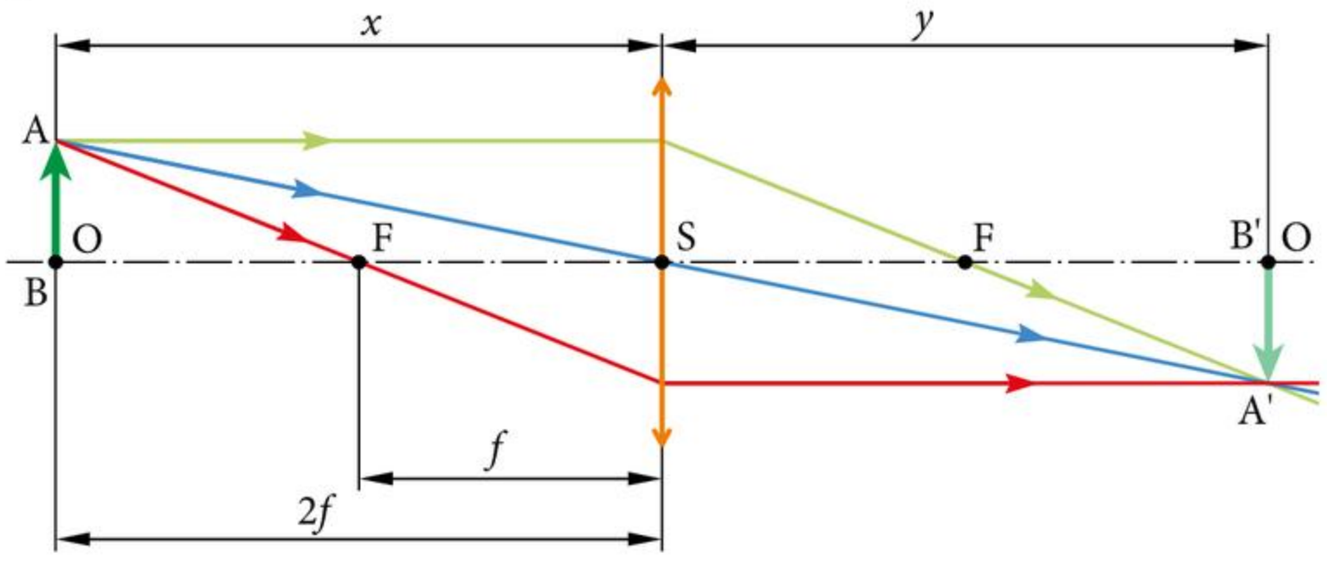
Powiększenie p, podobnie jak dla zwierciadeł, można obliczyć ze wzorów:

$$\text{powiększenie} = \frac{\text{wysokość obrazu}}{\text{wysokość przedmiotu}} \qquad p = \frac{h_2}{h_1}$$

lub

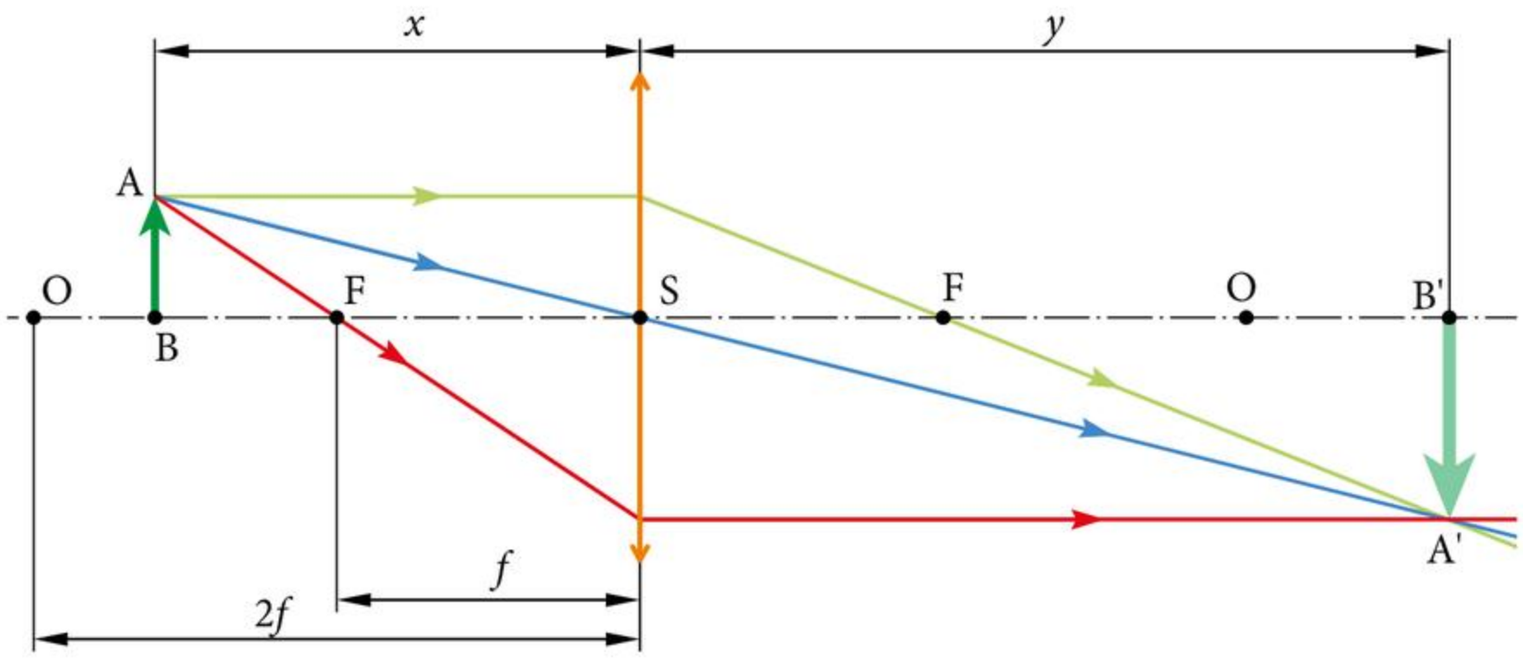
$$\text{powiększenie} = \frac{\text{odległość obrazu od zwierciadła}}{\text{odległość przedmiotu od zwierciadła}} \qquad p = \frac{y}{x}$$

Na kolejnych rysunkach przedstawiono konstrukcje obrazów dla innych odległości przedmiotu od soczewki.



Gdy $x = 2f$, obraz jest:
- **rzeczywisty**,
- **odwrócony**,
- **tej samej wielkości co przedmiot** ($p = 1$).

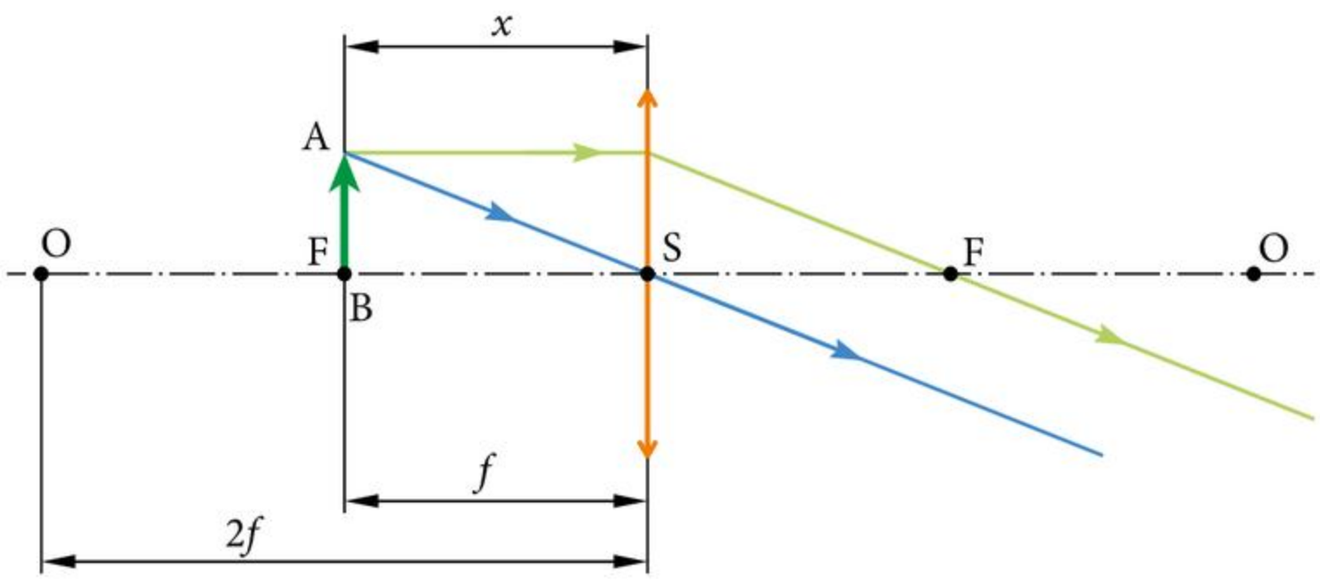
Konstrukcja obrazu otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej, gdy $x = 2f$.



Konstrukcja obrazu otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej, gdy $f < x < 2f$.

Jeśli $f < x < 2f$, powstaje obraz:
- **rzeczywisty,**
- **odwrócony,**
- **powiększony** ($p > 1$).

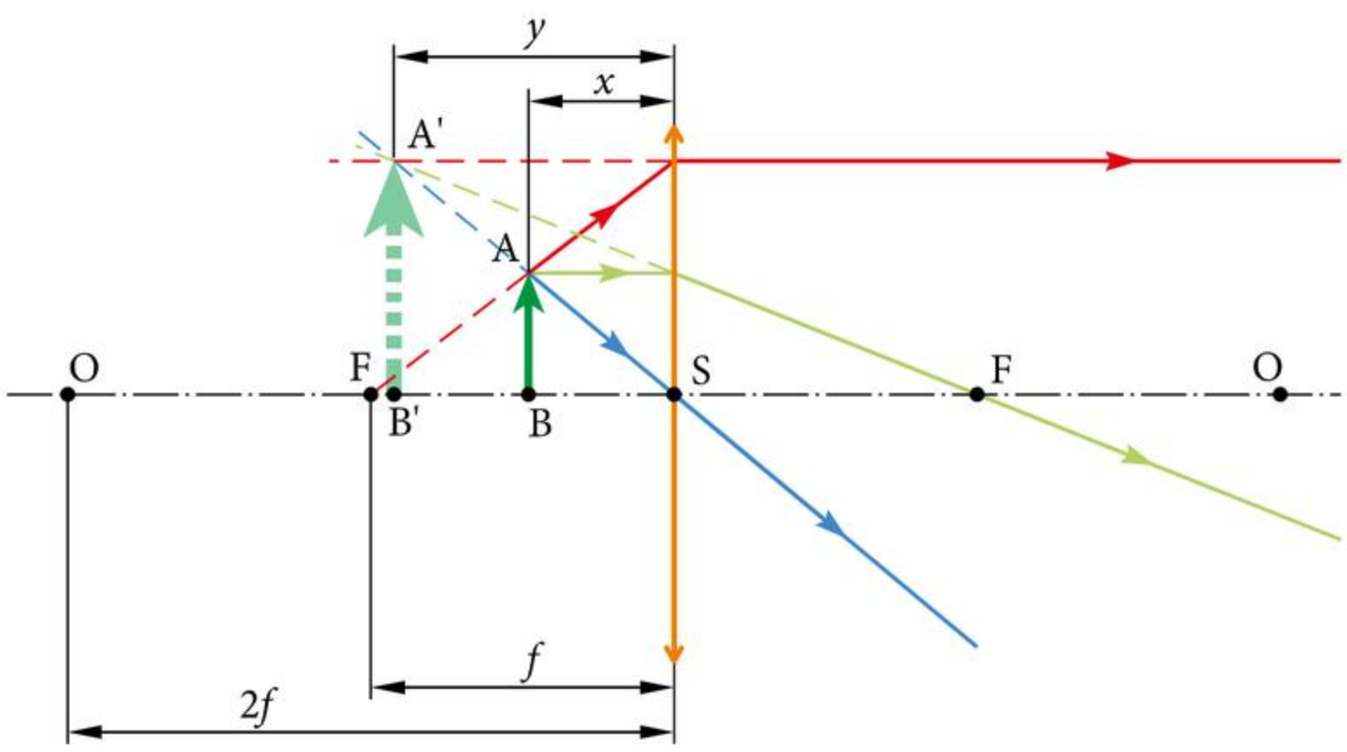
Wiesz już, że promienie świetlne wychodzące z ogniska, po załamaniu w soczewce tworzą wiązkę promieni równoległych. Przeprowadźmy konstrukcję obrazu, gdy przedmiot AB znajduje się w odległości równej ogniskowej ($x = f$).



Gdy $x = f$, promienie załamane po przejściu przez soczewkę są równoległe i **obraz nie powstaje**.

Konstrukcja obrazu, gdy przedmiot znajduje się w odległości równej ogniskowej.

Jeżeli przedmiot znajduje się między soczewką a ogniskiem ($x < f$), to konstrukcja jego obrazu przebiega inaczej niż w poprzednich przypadkach.
Promienie załamane są rozbieżne i nie przecinają się po przejściu przez soczewkę, więc obraz rzeczywisty nie powstaje. Przecinają się natomiast przedłużenia promieni załamanych, tworząc w punkcie A' pozorny obraz punktu A.



Gdy $x < f$, obraz A'B' jest:
- **pozorny,**
- **prosty,**
- **powiększony** ($p > 1$).

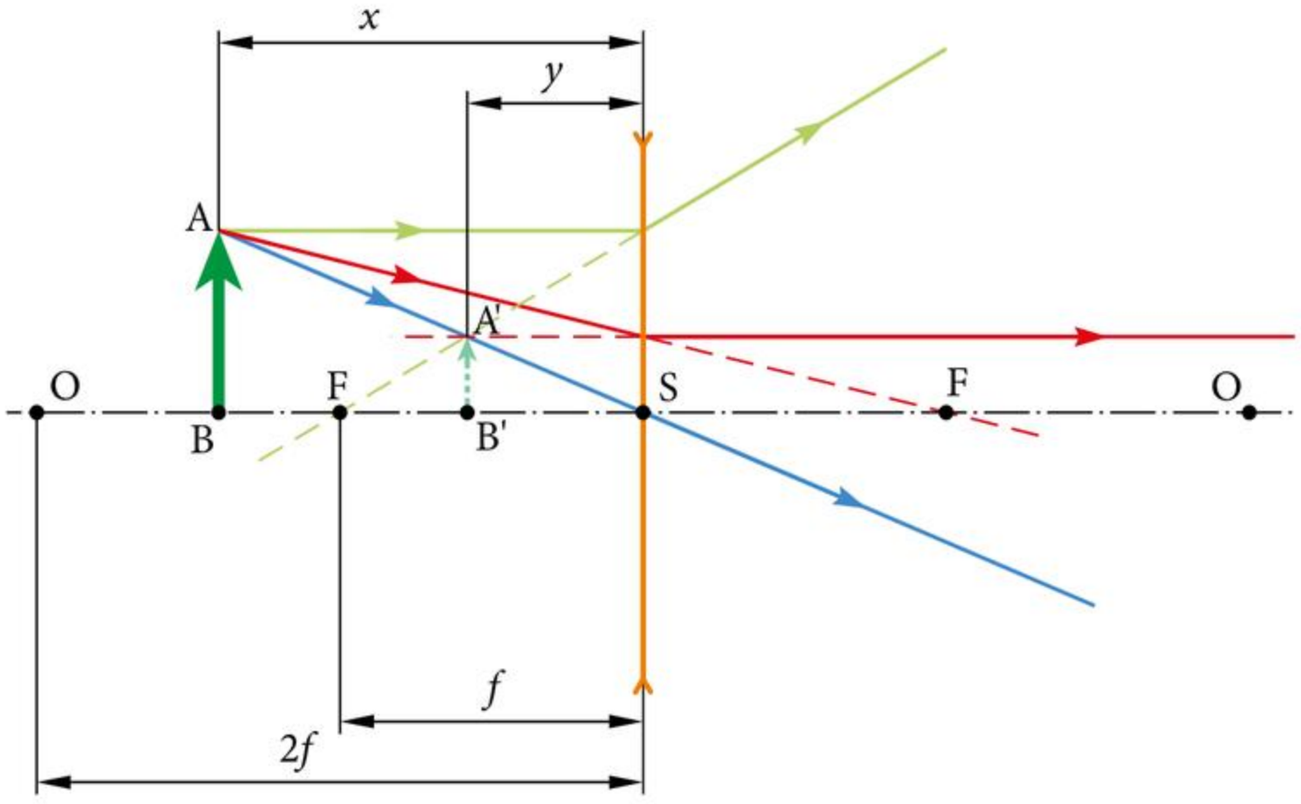
Konstrukcja obrazu pozornego otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej, gdy $x < f$.

Obraz pozorny jest położony po tej samej stronie soczewki co przedmiot.

Obrazu pozornego nie można otrzymać na ekranie, dlatego w doświadczeniu 58 poniżej pewnej odległości przedmiotu od soczewki nie udało się uzyskać obrazu na ekranie.

Obraz tworzony przez soczewkę rozpraszającą

Obraz tworzony przez soczewkę rozpraszającą konstruuje się w ten sam sposób niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki.



Konstrukcja obrazu otrzymanego za pomocą soczewki rozpraszającej.

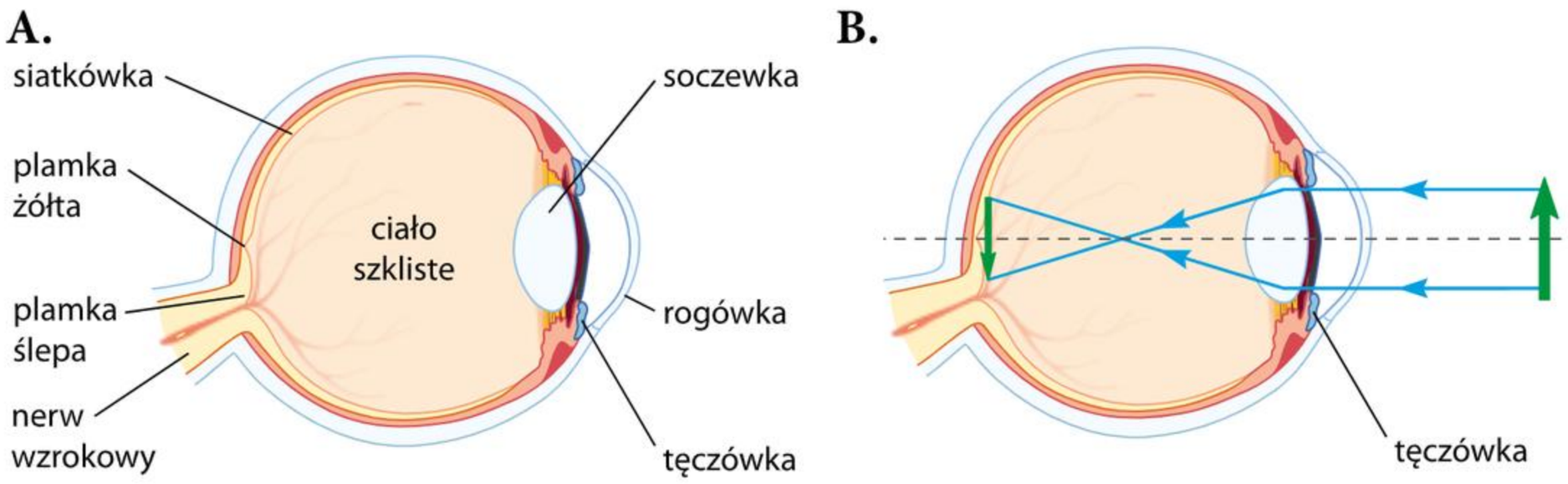
Za pomocą **soczewek rozpraszających** uzyskuje się zawsze (bez względu na odległość przedmiotu od soczewki) obraz:

- **pozorny**,
- **prosty**,
- **pomniejszony**.

Promienie załamane nie przecinają się, nie powstaje więc obraz rzeczywisty. Obraz pozorny powstaje w miejscu przecięcia się przedłużeń promieni załamanych.

Akomodacja oka

Wiesz już, w jaki sposób powstaje obraz po przejściu światła przez soczewkę skupiającą. Takie samo zjawisko zachodzi w oku. Budowę oka oraz powstawanie obrazu na siatkówce przedstawiono na rysunkach. Zauważ, że powstały obraz jest **odwrócony**.



Na rysunkach: A. schemat budowy oka, B. tworzenie obrazu na siatkówce.

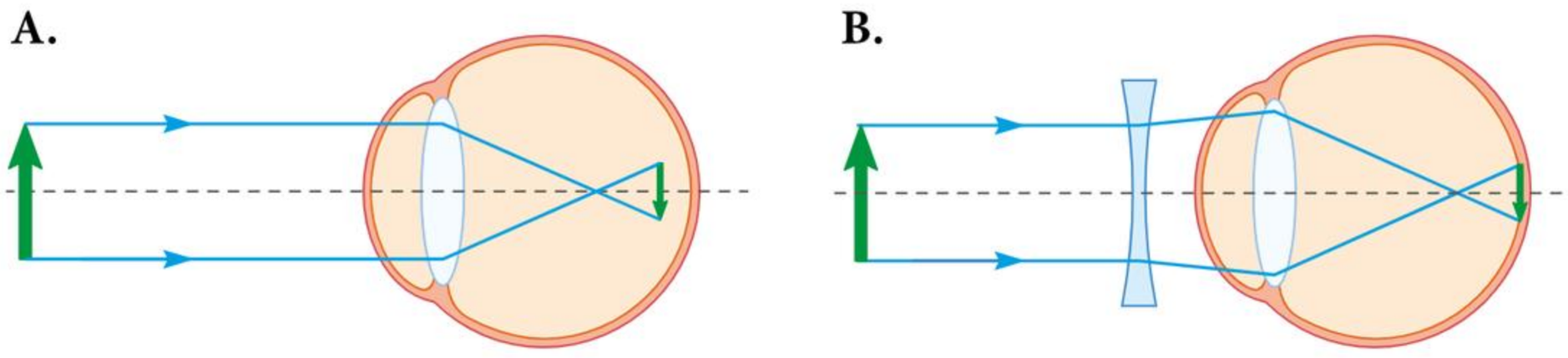
Ponieważ odległość *y* obrazu od soczewki dla danego oka jest ustalona, przy zmiennej odległości *x* przedmiotu od soczewki musi być możliwość zmiany ogniskowej. Gdy patrzysz na obiekty bliskie lub dalekie, soczewka zmienia grubość, dzięki czemu zmienia ogniskową, aby ją dostosować do różnych odległości.

Zdrowe oko ludzkie ma zdolność **akomodacji**, czyli zmiany ogniskowej soczewki. Umożliwia to ostre widzenie przedmiotów mniej lub bardziej odległych od oka. Jednak niemożliwe jest ostre widzenie równocześnie przedmiotów bliskich i dalekich. Soczewka dopasowuje bowiem ogniskową do odległości od tego przedmiotu, na który w danej chwili człowiek patrzy. Jeśli przedmiot jest blisko oka, soczewka staje się bardziej wypukła (jej ogniskowa się zmniejsza), a gdy obserwowany przedmiot jest odległy, soczewka staje się bardziej płaska (jej ogniskowa się zwiększa).

Krótkowzroczność i dalekowzroczność

U wielu ludzi występują **wady wzroku**. Należą do nich m.in. **krótkowzroczność** i **dalekowzroczność**.
Krótkowidz dobrze widzi przedmioty położone blisko. W oku krótkowidza miejsce, w którym powstawałby ostry obraz odległego przedmiotu, znajduje się przed siatkówką, obraz powstający na siatkówce jest więc nieostry. Aby poprawić widzenie i uzyskać na siatkówce ostry obraz, należy przed soczewką oczną krótkowidza umieścić soczewkę rozpraszającą. Mówi się potocznie, że krótkowidz nosi okulary „minusy", np. –2. Oznacza to, że jego okulary zbudowane są z soczewek rozpraszających o zdolności skupiającej –2 D (minus dwie dioptrie).

Wzrok **krótkowidza** koryguje się, stosując soczewki **rozpraszające**.



Obraz otrzymany w oku krótkowidza: A. bez soczewki okularów, B. z soczewką rozpraszającą okularów.

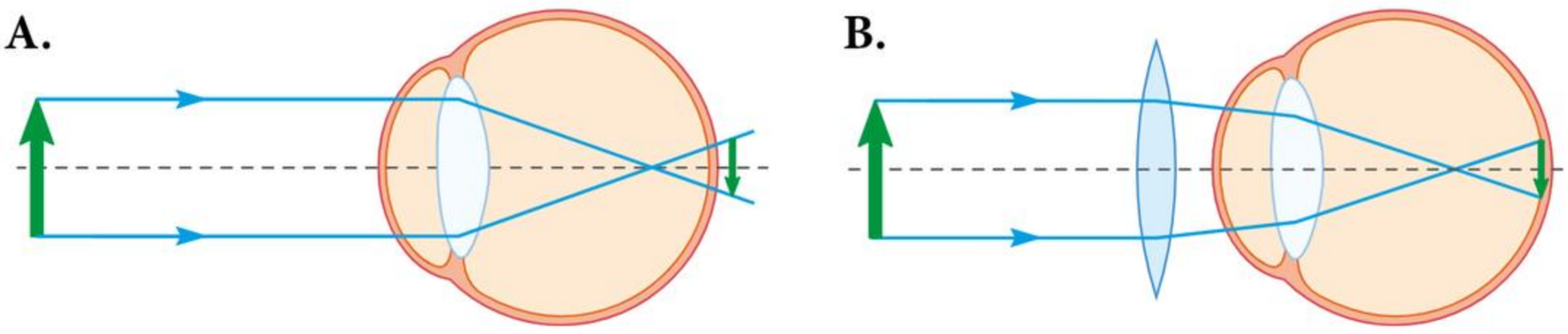
Dalekowidz dobrze widzi przedmioty odległe. W oku dalekowidza miejsce, gdzie powstawałby ostry obraz przedmiotu oglądanego z bliska, znajduje się za siatkówką. Aby skorygować tę wadę wzroku, należy przed okiem umieścić soczewkę skupiającą. Okulary dalekowidza to zatem soczewki skupiające o zdolności skupiającej dodatniej, np. +2 D (plus dwie dioptrie).

CIEKAWOSTKA

Czytając drukowany tekst lub oglądając szczegóły, człowiek o zdrowych oczach odruchowo umieszcza oglądany przedmiot w odległości około 25 cm od oka. Jest to tzw. odległość dobrego widzenia dla zdrowego oka. Najmniejsza odległość, z której człowiek potrafi widzieć ostro szczegóły, nosi nazwę odległości minimalnej. Odległość minimalna zmienia się w ciągu życia człowieka od około 12 cm w wieku 20 lat do 40 cm w wieku 50 lat.



Wzrok **dalekowidza** koryguje się, stosując soczewki **skupiające**.



Obraz otrzymany w oku dalekowidza: A. bez soczewki okularów, B. z soczewką skupiającą okularów.

Bardzo często występującą wadą wzroku jest **astygmatyzm** spowodowany zmienionym kształtem rogówki albo soczewki ocznej, której powierzchnia nie stanowi idealnego fragmentu sfery, tak jak powinna. Deformacja powierzchni łamiącej światło skutkuje zaburzeniem biegu promieni świetlnych. Przejawia się to brakiem ostrości widzenia. Astygmatyzm często jest połączony z krótkowzrocznością lub dalekowzrocznością.

Niektórzy ludzie cierpią na zaburzenia barwnego widzenia otaczającego świata. Zaburzenia rozpoznawania barwy czerwonej i zielonej nazwano **daltonizmem**, od nazwiska znanego uczonego Johna Daltona, który dopiero w wieku 26 lat stwierdził u siebie tę wadę wzroku. Jest to wada wrodzona i dziedziczna, trudna do rozpoznania przez samego chorego. Często ujawnia ją dopiero badanie lekarskie. Częściej spotyka się ją u mężczyzn – dotyka 1,5% ich populacji. U kobiet występuje trzykrotnie rzadziej.

R

TO NAJWAŻNIEJSZE

- Rodzaj obrazu otrzymanego za pomocą **soczewki skupiającej** zależy od odległości x przedmiotu od soczewki. Jeśli:
  - dla $x > 2f$, to obraz jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony,
  - dla $x = 2f$, to obraz jest rzeczywisty, odwrócony i tej samej wielkości,
  - dla $f < x < 2f$, to obraz jest rzeczywisty, odwrócony i powiększony,
  - dla $x = f$, to obraz nie powstaje,
  - dla $x < f$, to obraz jest pozorny, prosty i powiększony.
- **Soczewki rozpraszające** tworzą zawsze (bez względu na odległość przedmiotu od soczewki) obraz: pozorny, prosty, pomniejszony.
- **Powiększenie obrazu** wyraża się wzorem:

$$p = \frac{h_2}{h_1} \quad \text{lub} \quad p = \frac{y}{x}$$

gdzie: h_1 i h_2 – wysokość odpowiednio przedmiotu i obrazu, x – odległość przedmiotu od soczewki, y – odległość obrazu od soczewki.

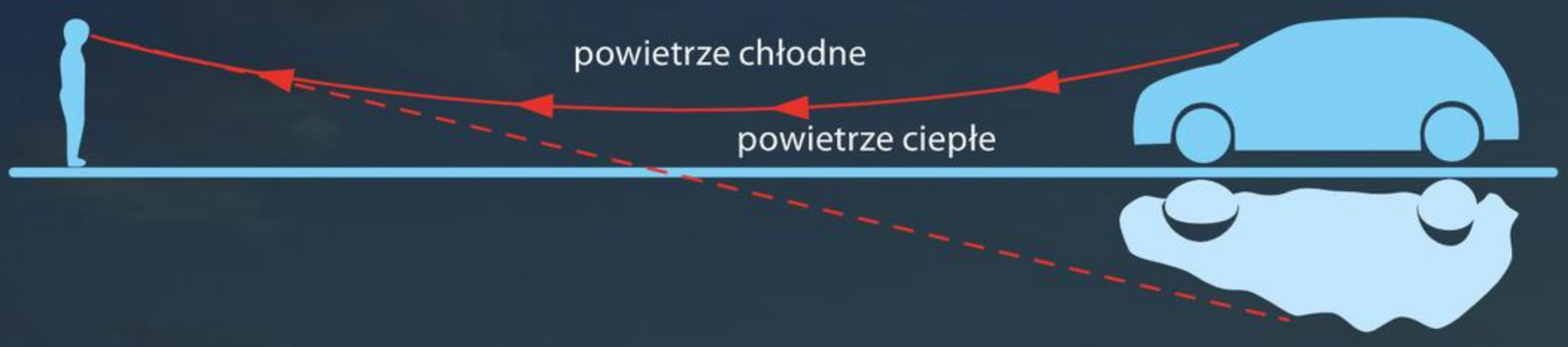
- Najczęstsze wady wzroku to **krótkowzroczność** i **dalekowzroczność**. Można je korygować, stosując odpowiednie soczewki (okulary).

Miraże i inne ciekawe obserwacje

W przyrodzie bardzo często obserwuje się zagadkowe zjawiska optyczne, np. „kałuże” na jezdni w upalny dzień, które znikają, kiedy dojedzie się tam, gdzie były widziane, albo oazę na pustyni w miejscu, w którym jej nie ma.

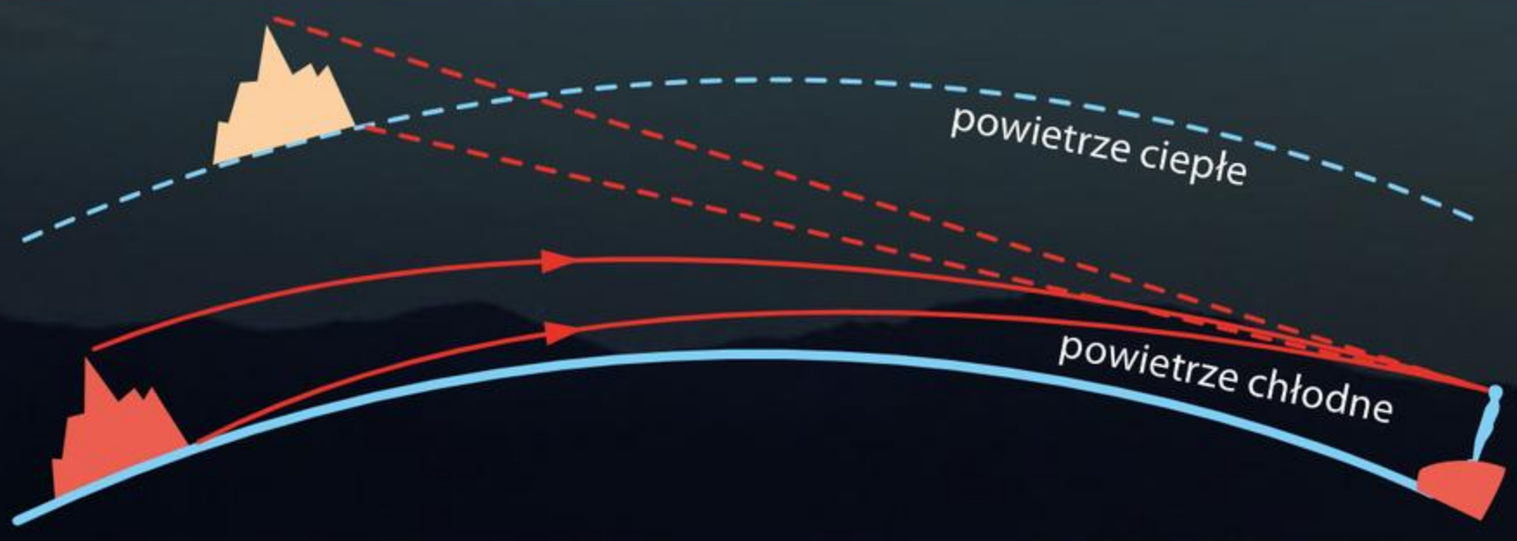
Zjawisko „mokrych plam” na szosie to tzw. **miraż dolny**. Występuje on, kiedy światło przechodzi przez silnie rozgrzane powietrze, które jest ośrodkiem optycznie niejednorodnym. Gęstość powietrza zmienia się wraz z wysokością, a światło wciąż się załamuje, więc promień światła nie biegnie prostoliniowo, lecz ulega zakrzywieniu. Mózg człowieka umiejscawia obraz, np. samochodu, wzdłuż stycznej do promienia docierającego do oka, czyli w zupełnie innym miejscu, niż się on rzeczywiście znajduje. Obraz taki wygląda jak odbicie w wodzie. Możesz zobaczyć wówczas na asfalcie jakby kałuże, które znikają, gdy do nich dojdziesz.





W przyrodzie zachodzi również zjawisko **mirażu górnego**. W tym przypadku warstwy ciepłego i chłodnego powietrza są ułożone odwrotnie niż w przypadku, gdy powstaje miraż dolny. Można wtedy zobaczyć obiekty znajdujące się za horyzontem. Przykładami takiego mirażu są **fatamorgana** oraz miasto lub statek widoczne w chmurach.





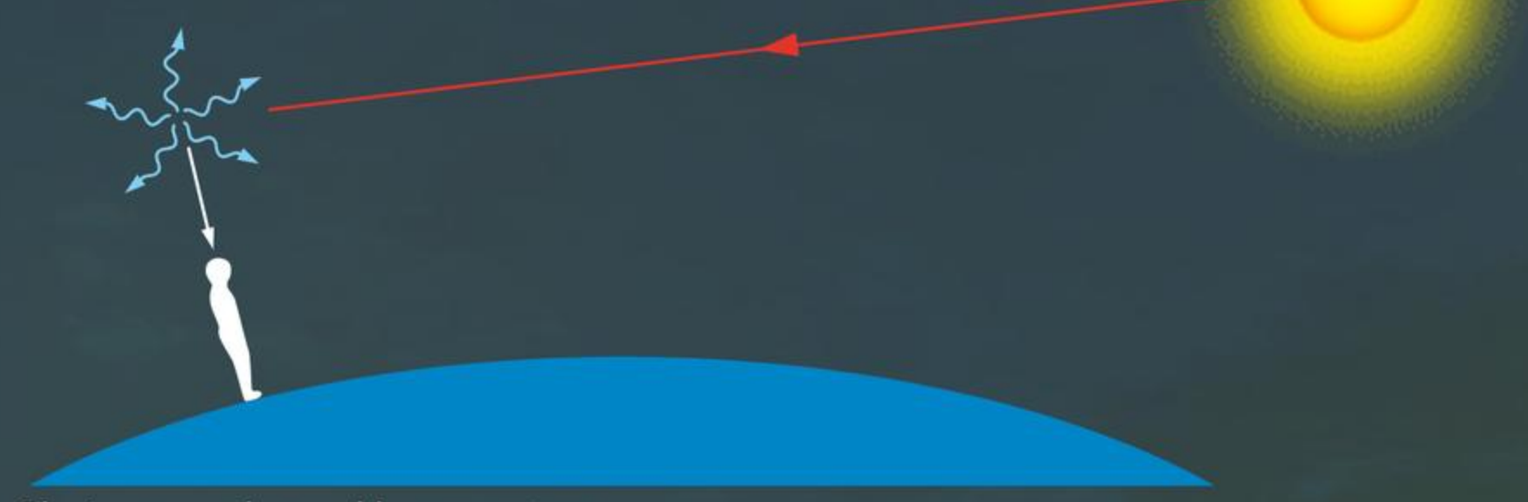
Dlaczego niebo jest niebieskie a Słońce o zachodzie czerwone?

W atmosferze zachodzi rozpraszanie światła, a im krótsza długość jego fali, tym większemu rozproszeniu światło ulega. Oznacza to, że kiedy światło słoneczne przechodzi przez atmosferę, najbardziej rozpraszane są składowe widma o barwie granatowej, następnie niebieskiej, zielonej, żółtej, pomarańczowej i czerwonej. Gdy Słońce widzisz nisko nad horyzontem, na drodze promieni słonecznych jest znacznie więcej atmosfery niż w ciągu dnia, dlatego do oka docierają tylko fale, które uległy najmniejszemu rozproszeniu – pomarańczowa i czerwona.



Słońce nisko nad horyzontem.

Najsilniejsze rozpraszanie światła o najkrótszej długości fali jest przyczyną błękitu nieba. Jeśli nie patrzysz bezpośrednio na słońce, to do twojego oka dociera właśnie światło rozproszone, a najbardziej ulegają rozproszeniu barwy granatowa i niebieska. Zwróć uwagę, że błękit nieba jest tym intensywniejszy, im wyżej kierujesz wzrok nad horyzont, a najintensywniejszy jest zawsze dokładnie nad głową, bo tam promieniowanie rozproszone ma do przebycia najkrótszą drogę przez atmosferę do oka obserwatora.



Słońce wysoko nad horyzontem.



Alpiniści wędrujący po wysokich górach widzą czasami cienie postaci, najczęściej własnych, na chmurze, która znajduje się poniżej. Zjawisko to nosi nazwę **widma Brockenu**, od szczytu Brocken, na którym w 1780 roku zostało zaobserwowane.



Innym zjawiskiem optycznym jest powstawanie białych lub barwnych pierścieni wokół Słońca lub Księżyca. Nosi ono nazwę **halo**. Białe pierścienie powstają wtedy, gdy światło odbija się od kryształków lodu znajdujących się w górnych warstwach atmosfery, barwne zaś wtedy, gdy na tych kryształkach światło ulega załamaniu, a zatem także rozszczepieniu.

Złudzenia optyczne

Nie wszystko, na co patrzymy, jest takie, jak nam się wydaje. Czasami nasz mózg, zwiedziony np. nietypowym kontrastem czy perspektywą, błędnie interpretuje obraz. Taka błędna interpretacja to złudzenie optyczne. Można je wytłumaczyć, odwołując się do praw optyki – złudzenie może być wynikiem takich zjawisk jak załamanie czy odbicie światła.



Zdjęcie ze świeczką w szklance z wodą nie jest fotomontażem, to znaczy nie zostało skomponowane z różnych zdjęć w programie graficznym. Powstało w wyniku jednego naciśnięcia spustu migawki w aparacie fotograficznym.

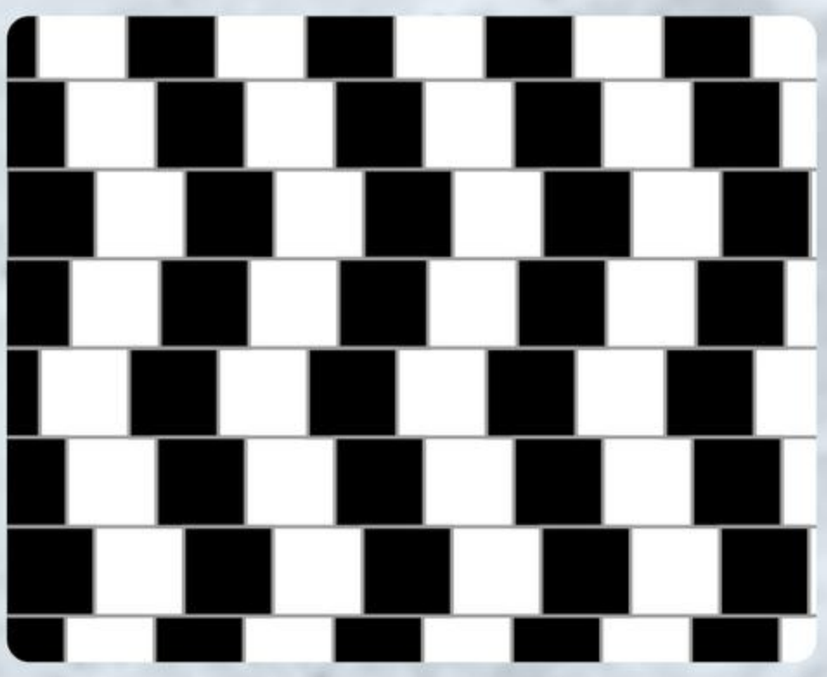


Odpowiednio oświetlona świeczka odbija się w szybie i powstaje obraz podobnie jak w zwierciadle płaskim. Za szybą ustawiono szklankę z wodą, aby pokrywała się z obrazem świeczki.

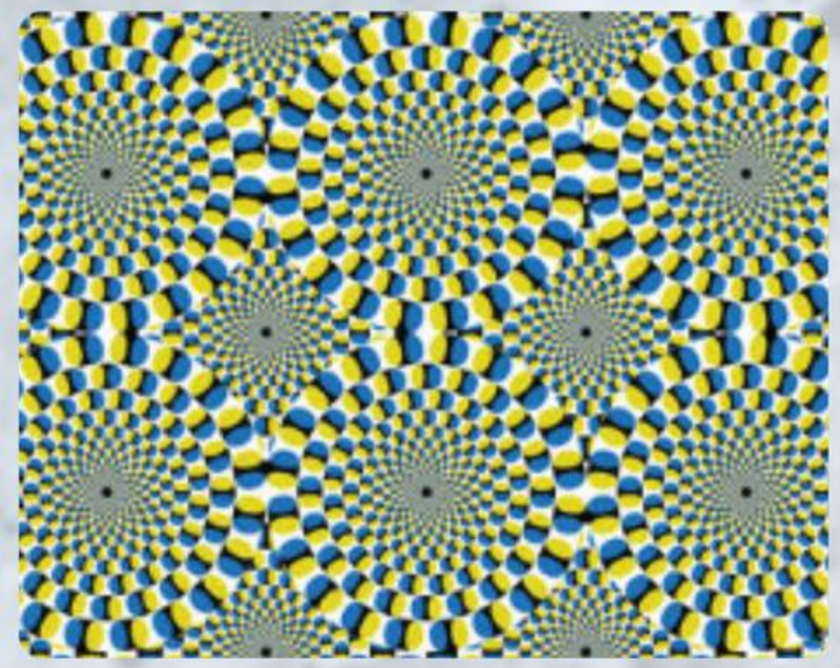


Rysunek przedstawia **trójkąt Penrose'a** (czyt. penrołza). Jest to figura niemożliwa do zbudowania. Wymyślił ją w 1936 roku szwedzki grafik Oscar Reutersvärd (czyt. oskar rojterswerd), a ponownie odkrył i spopularyzował matematyk Roger Penrose w latach 50. XX wieku.

Złudzeniom ulegamy również dlatego, że mózg ma skłonności do przypisywania znanych sobie kształtów i wzorów przypadkowym obiektom. To zjawisko nazywamy **pareidolią**. Właśnie dzięki niemu niektórym ludziom układy gwiazd przypominają niedźwiedzicę lub węża, a w przypadkowej formacji skalnej rozpoznajemy twarz. Zdjęcie obok przedstawia słynną „twarz" na powierzchni Marsa.



Poziome linie są równoległe, ale z powodu odpowiedniego ułożenia wzorku z kwadratów odnosimy wrażenie, że linie są ukośne. Tę iluzję zaobserwowano w pewnej brytyjskiej kawiarni na ścianie pokrytej białymi i czarnymi płytkami, dlatego nazwano ją **złudzeniem ściany kawiarni**.



Wydaje się, że obraz na rysunku się porusza, chociaż wiemy, że tak nie jest. Złudzenie jest wynikiem odpowiedniego ułożenia jasnych i ciemnych fragmentów obrazu.

Rozwiąż zadania

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz odpowiednie opisy pasujące do soczewek: skupiającej oraz rozpraszającej. **Uwaga.** Do danego rodzaju soczewki może pasować więcej niż jeden opis, ale nie wszystkie opisy trzeba wykorzystać.

A. Wytwarza tylko obrazy pozorne.

B. Wytwarza tylko obrazy rzeczywiste.

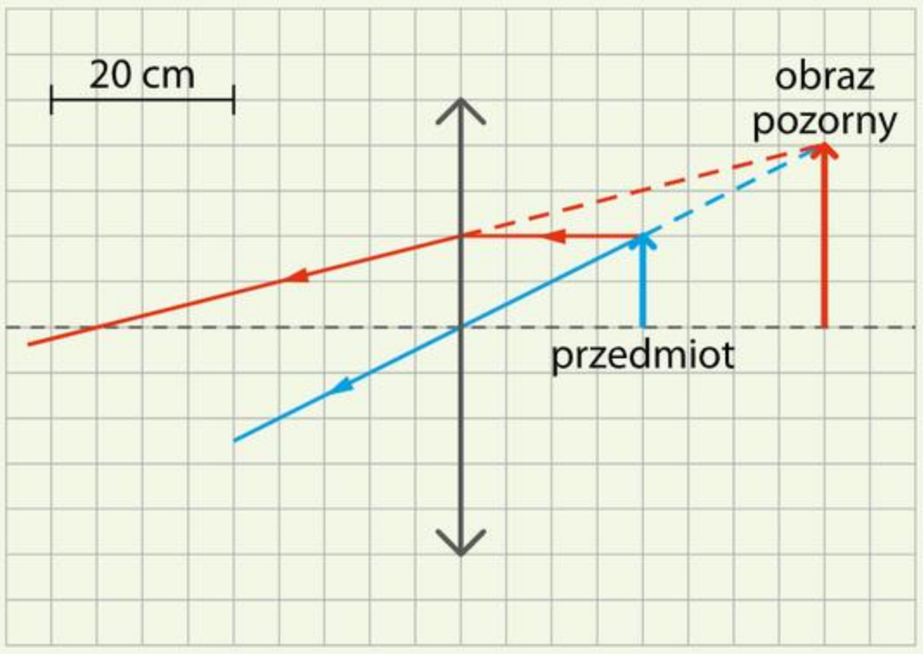
C. Może wytwarzać obrazy rzeczywiste oraz pozorne.

D. Obraz może znajdować się po tej samej stronie soczewki co przedmiot lub po przeciwnej stronie.

E. Obraz znajduje się zawsze po tej samej stronie soczewki co przedmiot.

F. Obraz zawsze znajduje się po przeciwnej stronie soczewki niż przedmiot.

2 Na rysunku przedstawiono konstrukcję obrazu w soczewce skupiającej.



Wskaż zdania prawdziwe.

A. Jeżeli ustawimy przedmiot w odległości 10 cm od soczewki, to jego obraz nie powstanie.

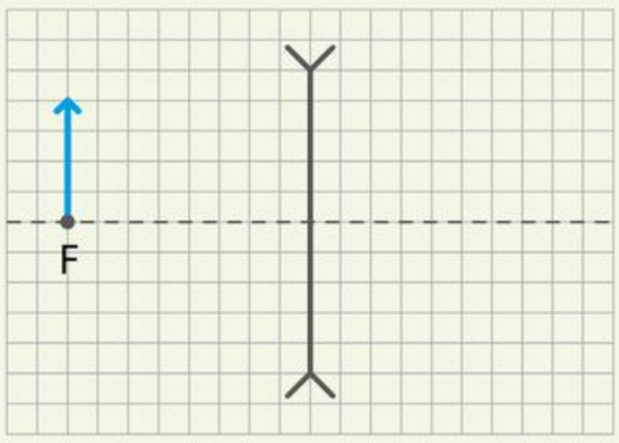
B. Gdy przedmiot znajdzie się w odległości 40 cm od soczewki, powstanie obraz pozorny.

C. Jeżeli przedmiot znajdzie się w odległości 80 cm od soczewki, to powstanie obraz rzeczywisty tej samej wielkości co przedmiot.

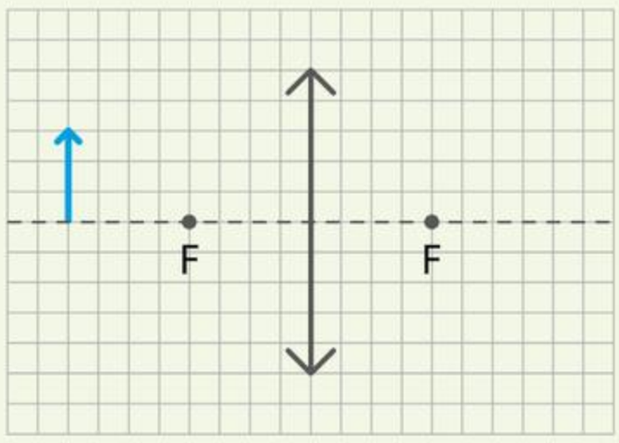
D. Gdy ustawimy przedmiot w odległości 120 cm od soczewki, jego obraz będzie pomniejszony i odwrócony.

3 Przerysuj poniższe schematy do zeszytu i skonstruuj obrazy przedmiotów. Podaj cechy oraz wysokość powstałych obrazów. Przyjmij, że jedna kratka na rysunku odpowiada jednej kratce w zeszycie.

A.

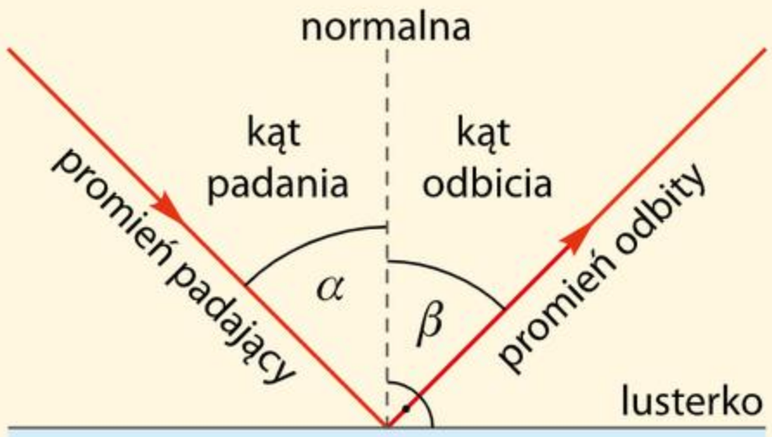


B.

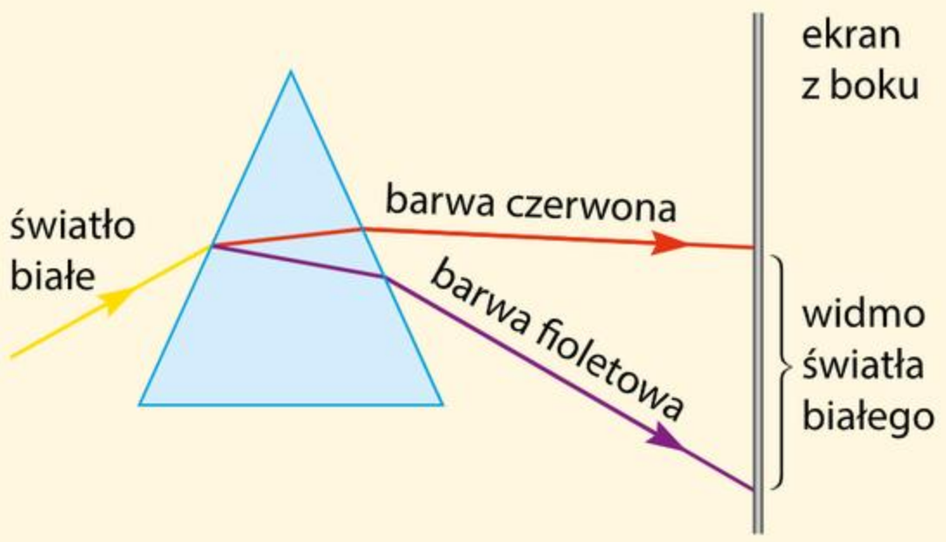


Powtórzenie. Optyka

- **Światło widzialne** odbierane jest za pomocą zmysłu wzroku. Obejmuje ono niewielki zakres widma fal elektromagnetycznych: od 380 nm do 780 nm.
- Źródłami światła są ciała, które wysyłają, czyli emitują światło.
- **Prędkość światła** oraz wszystkich innych fal elektromagnetycznych w próżni jest wielkością stałą i wynosi ok. 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Jest to największa prędkość w przyrodzie.
- **Ośrodek optyczny** to taki ośrodek, w którym może rozchodzić się światło.
- **Promień świetlny** jest to linia, wzdłuż której rozchodzi się światło w ośrodku optycznym, lub wąska wiązka światła.
- Powstawanie **cienia** i **półcienia** związane jest z zasadą prostoliniowości rozchodzenia się światła. **Zaćmienia Słońca i Księżyca** można wyjaśnić na podstawie zjawiska powstawania cienia i półcienia.
- **Prawo odbicia**: Kąt odbicia jest równy kątowi padania: $\alpha = \beta$. Promień padający, promień odbity i prosta prostopadła (normalna) do powierzchni odbijającej w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.



- **Prawo załamania światła**: Kąt załamania zależy od kąta padania promienia na granicę ośrodków oraz od prędkości rozchodzenia się światła w każdym z ośrodków. Jeżeli światło przechodzi z ośrodka, w którym porusza się z większą prędkością, do ośrodka, w którym porusza się z mniejszą prędkością ($v_1 > v_2$), to $\alpha > \beta$. W odwrotnej sytuacji $\beta > \alpha$. Promień padający, promień załamany oraz normalna do powierzchni granicznej leżą w jednej płaszczyźnie. **Kąt załamania** jest to kąt między normalną a promieniem załamanym.
- **Rozproszenie światła** to zjawisko polegające na tym, że światło rozchodzi się w różnych kierunkach w wyniku odbicia od chropowatej powierzchni albo gdy przechodzi przez ośrodek przezroczysty z licznymi zawieszonymi drobinami (mgła, woda zabielona mlekiem itp.).
- Promień świetlny, przechodząc przez **pryzmat**, ulega dwukrotnemu załamaniu. Ponieważ kąt załamania jest różny dla różnych długości fal, będących składowymi światła białego, w pryzmacie zachodzi **zjawisko rozszczepienia** światła na poszczególne barwy.



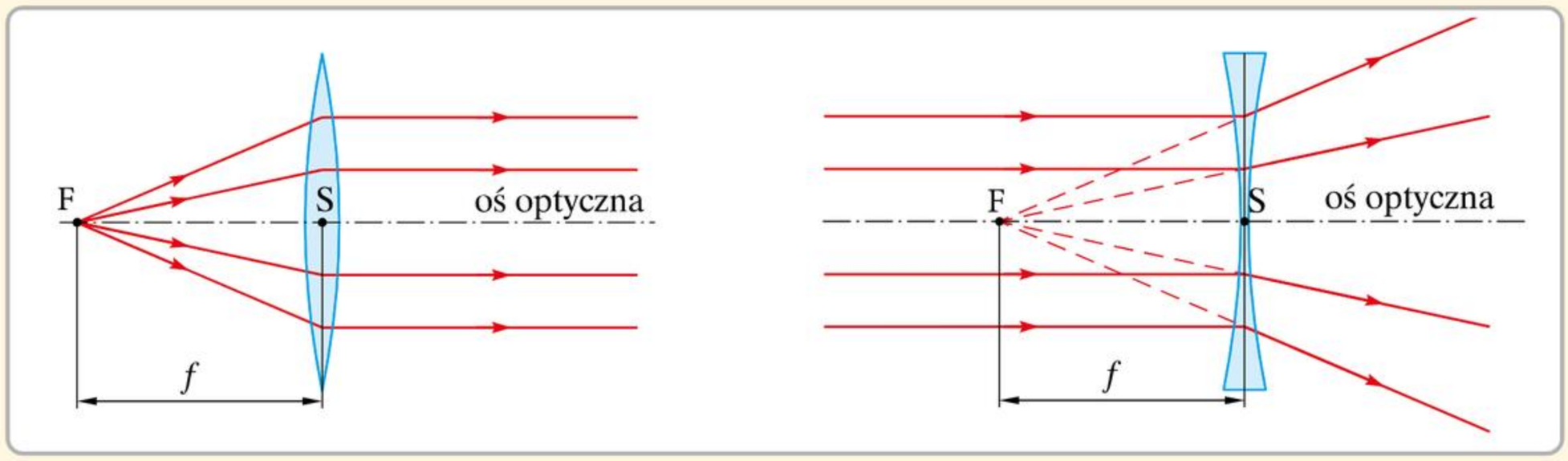
- **Zwierciadło** jest to gładka powierzchnia, która odbija padające na nią światło. Rozróżnia się m.in. **zwierciadła płaskie** oraz **sferyczne**: **wklęsłe** i **wypukłe**.
- Obraz wytworzony przez zwierciadło może być **rzeczywisty** lub **pozorny**, **prosty** albo **odwrócony** oraz **powiększony**, **pomniejszony** lub **tej samej wielkości** co przedmiot.
- Obraz pozorny wytworzony przez zwierciadło powstaje w wyniku przecięcia się przedłużeń promieni odbitych. Nie można go otrzymać na ekranie.
- Obraz rzeczywisty wytworzony przez zwierciadło powstaje w wyniku przecięcia się promieni odbitych.
- **Ogniskiem** zwierciadła sferycznego wklęsłego nazywa się punkt przecięcia promieni odbitych od zwierciadła, które przed odbiciem padały na zwierciadło równolegle do osi optycznej.
- **Ogniskiem pozornym** zwierciadła sferycznego wypukłego nazywa się punkt przecięcia przedłużeń promieni odbitych od zwierciadła, które przed odbiciem padały na zwierciadło równolegle do osi optycznej.
- **Oś optyczna (oś główna) zwierciadła** jest to prosta, która łączy środek zwierciadła ze środkiem sfery, której częścią jest powierzchnia zwierciadła.
- **Ogniskowa zwierciadła** f jest odległością ogniska od zwierciadła. Jednostkami ogniskowej są jednostki długości (w układzie SI jest to metr).
- Rodzaj obrazu otrzymanego za pomocą zwierciadła sferycznego wklęsłego zależy od odległości x przedmiotu od zwierciadła:
  – dla $x < f$ powstaje obraz pozorny, prosty i powiększony,
  – dla $f < x < r$ powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i powiększony,
  – dla $x = r$ powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i tej samej wielkości co przedmiot,
  – dla $x > r$ powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony,
  – dla $x = f$ obraz nie powstaje.
- W zwierciadle sferycznym wypukłym zawsze powstaje obraz pozorny, prosty, pomniejszony.
- **Powiększenie obrazu** można obliczyć ze wzorów:

$$\text{powiększenie} = \frac{\text{wysokość obrazu}}{\text{wysokość przedmiotu}} \qquad p = \frac{h_2}{h_1}$$

lub

$$\text{powiększenie} = \frac{\text{odległość obrazu od zwierciadła}}{\text{odległość przedmiotu od zwierciadła}} \qquad p = \frac{y}{x}$$

- **Soczewka** służy do skupiania lub rozpraszania światła. Wyróżnia się soczewki **skupiające** i **rozpraszające**.



- **Oś optyczna** (**główna**) soczewki jest to prosta przechodząca przez środki krzywizn powierzchni ograniczających oraz środek soczewki.
- **Ogniskiem** *F* soczewki skupiającej nazywa się punkt, w którym po przejściu przez soczewkę skupiają się wszystkie promienie początkowo równoległe do osi optycznej.
- **Ogniskowa soczewki** *f* jest to odległość ogniska F od soczewki. Jednostkami ogniskowej są jednostki długości (w układzie SI jest to metr).
- **Ogniskiem pozornym** soczewki rozpraszającej nazywa się punkt przecięcia przedłużeń promieni załamanych, które przed przejściem przez soczewkę były równoległe do osi optycznej soczewki. Ogniskowe soczewek rozpraszających umownie przyjmuje się jako ujemne.
- **Rodzaj obrazu** otrzymanego **za pomocą soczewki skupiającej** zależy od odległości x przedmiotu od soczewki:
  – dla $x > 2f$ obraz jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony,
  – dla $x = 2f$ obraz jest rzeczywisty, odwrócony i tej samej wielkości,
  – dla $f < x < 2f$ obraz jest rzeczywisty, odwrócony i powiększony,
  – dla $x = f$ obraz nie powstaje,
  – dla $x < f$ obraz jest pozorny, prosty i powiększony.
- **Za pomocą soczewek rozpraszających** uzyskuje się zawsze (bez względu na odległość przedmiotu od soczewki) obrazy pozorne, proste i pomniejszone.
- Soczewka oka załamuje promienie wchodzące do oka. Obraz tworzy się na **siatkówce**. Oko ma zdolność **akomodacji**, czyli zmiany ogniskowej soczewki. Najczęstsze wady wzroku to **krótkowzroczność** i **dalekowzroczność**.
- **Krótkowidz** dobrze widzi przedmioty znajdujące się blisko, natomiast ostry obraz odległych przedmiotów w jego oku powstaje przed siatkówką. Do korygowania wzroku krótkowidza stosuje się soczewki rozpraszające.
- **Dalekowidz** dobrze widzi przedmioty odległe, natomiast ostry obraz przedmiotów znajdujących się blisko jego oka powstaje za siatkówką. Do korygowania wzroku dalekowidza stosuje się soczewki skupiające.

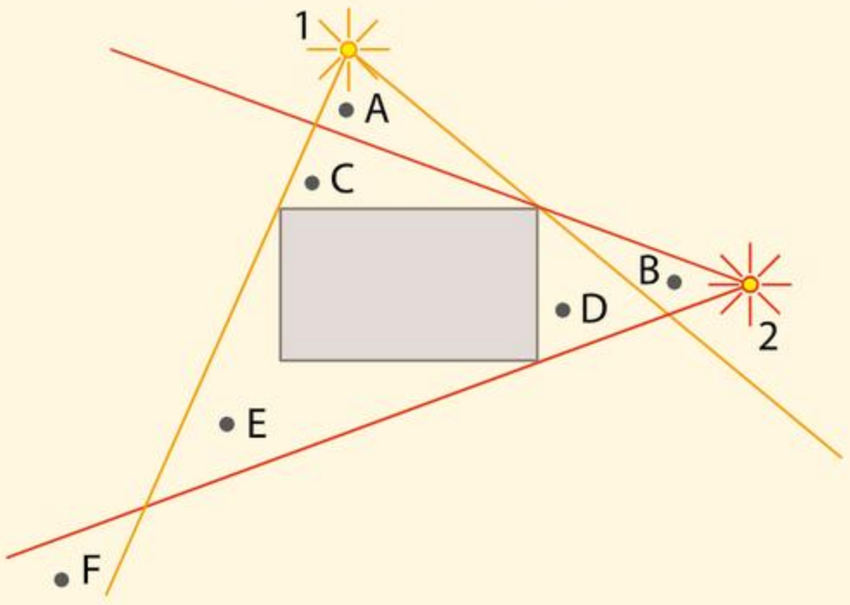
Test 1. To trzeba umieć

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1 i 5 wybierz poprawne zakończenia zdania.

1 Źródłami światła **nie** są
A. żarówka i robaczek świętojański.
B. ekran kinowy i Księżyc.
C. paląca się lampa oliwna i neon.
D. laser i Słońce.

2 Przeanalizuj rysunek przedstawiający padanie wybranych promieni światła dwóch latarni stojących obok wysokiego budynku.



Wskaż zdania prawdziwe.
A. W punkcie E jest obszar całkowitego cienia.
B. W punkcie F jest obszar półcienia.
C. W punkcie D nie widzimy światła docierającego z latarni 1.
D. W punkcie A nie widzimy światła docierającego z latarni 2.

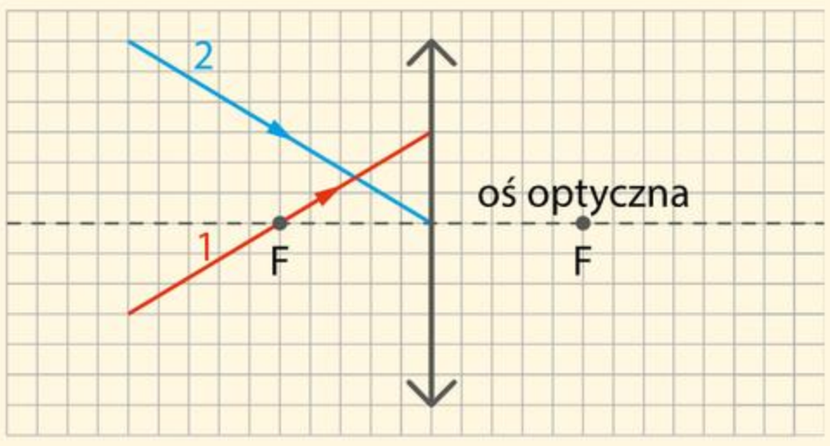
Uwaga. W zadaniach 3, 4, 7 i 8 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

3 Kąt między promieniem światła padającym na zwierciadło a powierzchnią zwierciadła wynosi 30°. Kąt padania jest równy **A/ B**, natomiast kąt odbicia jest **C/ D/ E**.
A. 30° **B.** 60°
C. większy niż kąt padania
D. mniejszy niż kąt padania
E. taki sam jak kąt padania

4 Obraz konika szachowego wytworzony przez zwierciadło wklęsłe jest **A/ B**, zatem konik znajduje się w odległości od zwierciadła **C/ D/ E**.
A. pozorny
B. rzeczywisty
C. równej ogniskowej zwierciadła
D. mniejszej niż ogniskowa zwierciadła
E. większej niż ogniskowa zwierciadła



5 Po przejściu przez soczewkę skupiającą



A. promień 1 będzie równoległy do osi optycznej, a promień 2 odchyli się do dołu.
B. promień 1 będzie równoległy do osi optycznej, a promień 2 nie zmieni kierunku.
C. promień 1 przejdzie przez ognisko z prawej strony, a promień 2 nie zmieni kierunku.
D. promień 1 odchyli się do góry, a promień 2 odchyli się do dołu.

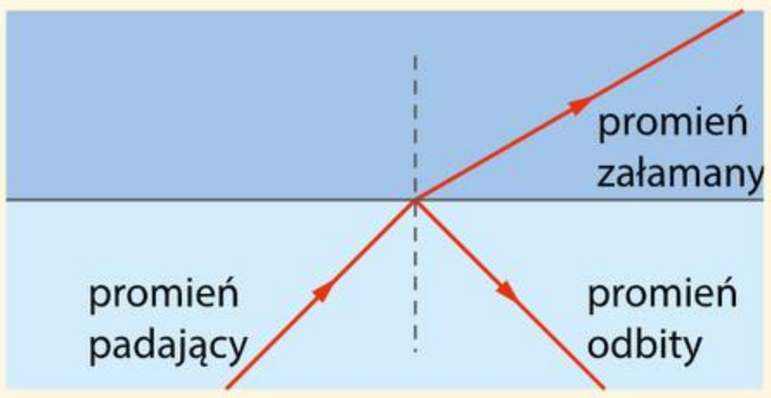
6 Wskaż zdanie fałszywe.

A. Zwierciadło wklęsłe skupia wiązkę promieni równoległych do osi optycznej.

B. Zwierciadło wklęsłe nigdy nie tworzy obrazów pozornych.

C. Zwierciadło wypukłe rozprasza wiązkę promieni równoległych do osi optycznej.

7 Z rysunku wynika, że promień światła przechodzi **A/ B**, ponieważ kąt padania jest **C/ D/ E**.



8 Tęcza powstaje, ponieważ światło o różnych barwach rozchodzi się w wodzie z **A/ B** prędkościami, w wyniku czego dla takiego samego kąta padania kąt **C/ D** jest różny dla światła o różnych barwach.

A. różnymi
B. takimi samymi
C. załamania
D. odbicia

A. z substancji, w której rozchodzi się wolniej, do substancji, w której rozchodzi się szybciej

B. z substancji, w której rozchodzi się szybciej, do substancji, w której rozchodzi się wolniej

C. większy od kąta załamania

D. mniejszy od kąta załamania

E. równy kątowi odbicia

Test 2. Dobrze, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

Uwaga. W zadaniach 1–5 wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

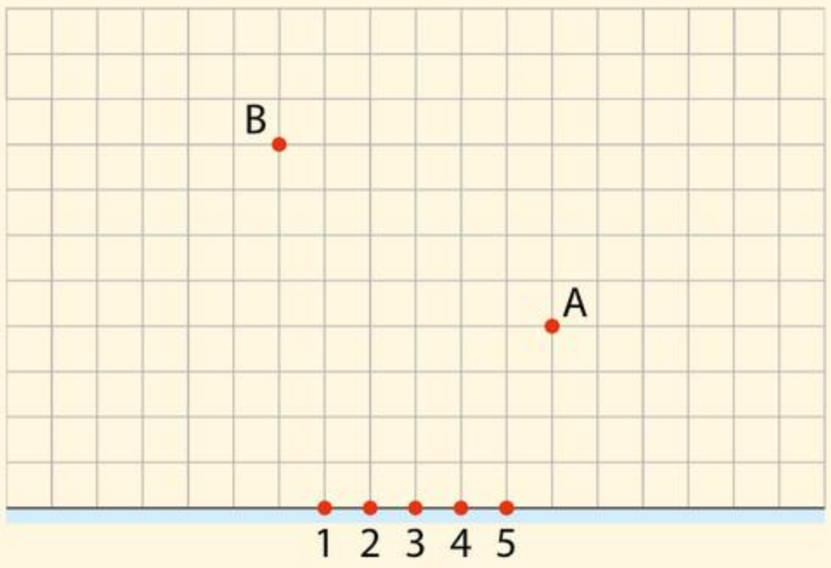
1 Przedmiot umieszczono w takiej odległości od zwierciadła wklęsłego, że jego obraz nie powstaje.

a) Jeżeli przysuniemy ten przedmiot do zwierciadła na dwa razy mniejszą odległość, to powstanie obraz **A/ B/ C/ D**.

b) Jeżeli odsuniemy ten przedmiot na dwa razy większą odległość, to powstanie obraz **A/ B/ C/ D**.

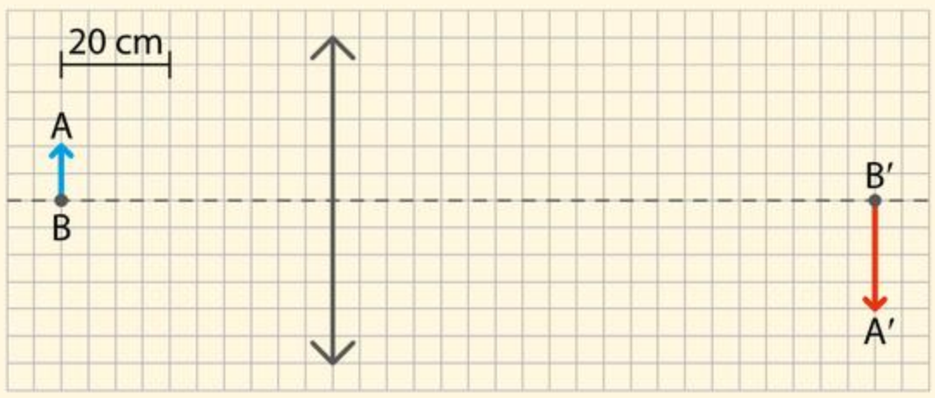
A. pozorny i pomniejszony
B. pozorny i powiększony
C. rzeczywisty i powiększony
D. rzeczywisty i tej samej wielkości co przedmiot

2 Promień światła wychodzi z punktu A i po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez punkt B. Promień ten odbija się od zwierciadła w punkcie **1/ 2/ 3/ 4/ 5**, ponieważ kąt padania jest **A/ B/ C**.



A. większy od kąta odbicia
B. mniejszy od kąta odbicia
C. równy kątowi odbicia

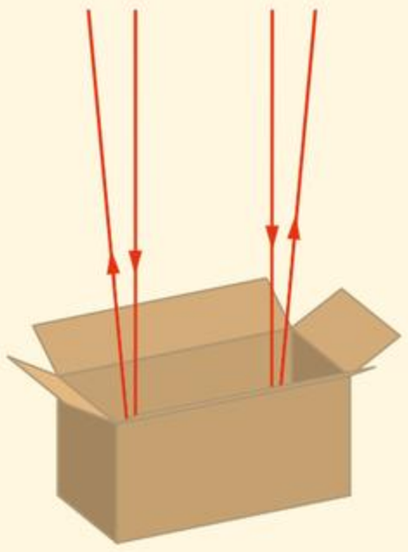
3 Na rysunku przedstawiono przedmiot (strzałka AB) i obraz (strzałka A'B') powstały w soczewce skupiającej.



Ogniskowa przedstawionej soczewki wynosi **A/ B/ C/ D**. Jeżeli w miejsce soczewki skupiającej wstawimy rozpraszającą, to obraz będzie **E/ F/ G**.

A. mniej niż 25 cm
B. dokładnie 25 cm
C. mniej niż 50 cm, ale więcej niż 25 cm
D. dokładnie 50 cm
E. zawsze pomniejszony
F. zawsze powiększony
G. powiększony lub pomniejszony, w zależności od ogniskowej soczewki

4 Na rysunku przedstawiono dwa promienie światła skierowane w stronę dna pudełka oraz dwa promienie odbite.



Z rysunku wynika, że na dnie pudełka **A/ B/ C**, ponieważ przedłużenia promieni odbitych przecinają się **D/ E/ F**.

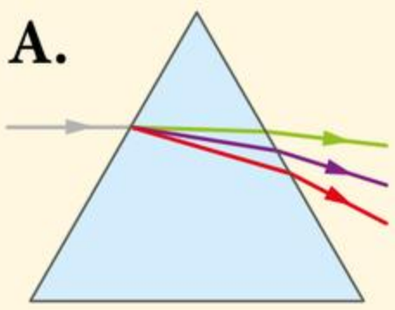
A. może się znajdować zwierciadło zarówno wklęsłe, jak i wypukłe
B. na pewno znajduje się zwierciadło wypukłe
C. na pewno znajduje się zwierciadło wklęsłe
D. pod dnem pudełka
E. nad dnem pudełka
F. dokładnie w miejscu, gdzie znajduje się dno pudełka

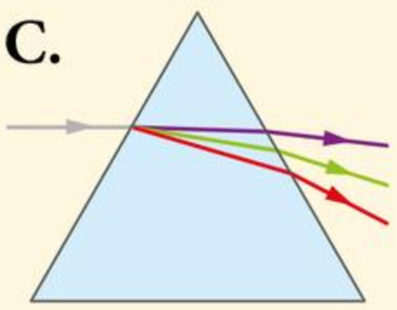
5 Kropla wody odgrywa rolę soczewki skupiającej. Obraz kwiatu widoczny w kropli jest **A/ B/ C**, a więc **D/ E**.

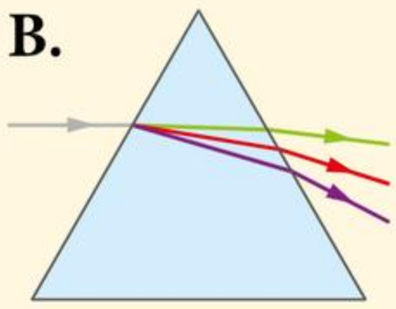
A. odwrócony, pomniejszony i rzeczywisty
B. prosty, pomniejszony i rzeczywisty
C. odwrócony, pomniejszony i pozorny
D. kwiat znajduje się dalej niż dwie ogniskowe od soczewki
E. kwiat znajduje się bliżej niż dwie ogniskowe od soczewki

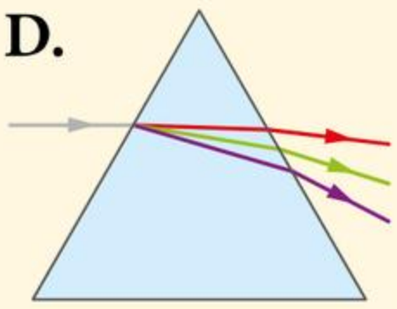


6 Na którym rysunku poprawnie przedstawiono rozchodzenie się wybranych promieni światła po rozszczepieniu światła białego padającego na pryzmat?

A.


C.


B.


D.


Test 3. Świetnie, jeśli to umiesz!

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Albedo (z łac. białość) określa, jaki ułamek padającego na dany obiekt światła jest odbijany. Im większa zdolność odbijania światła, tym większe albedo.

a) Uszereguj podane obiekty w kolejności, zaczynając od tego, który ma najmniejsze albedo, do tego, który ma największe albedo.

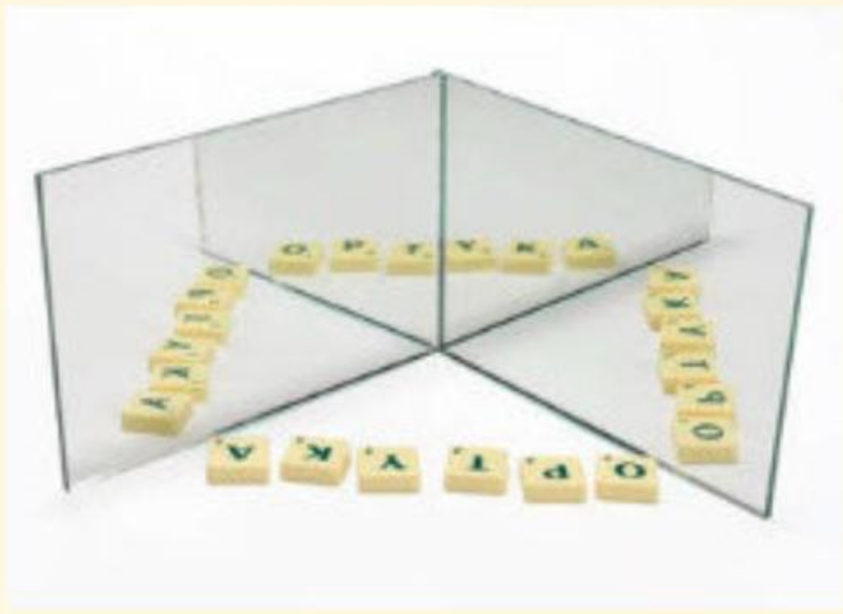
asfalt • *śnieg* • *piasek*

b) Sprawdź poprawność swojego rozwiązania, korzystając z dostępnych ci źródeł informacji.

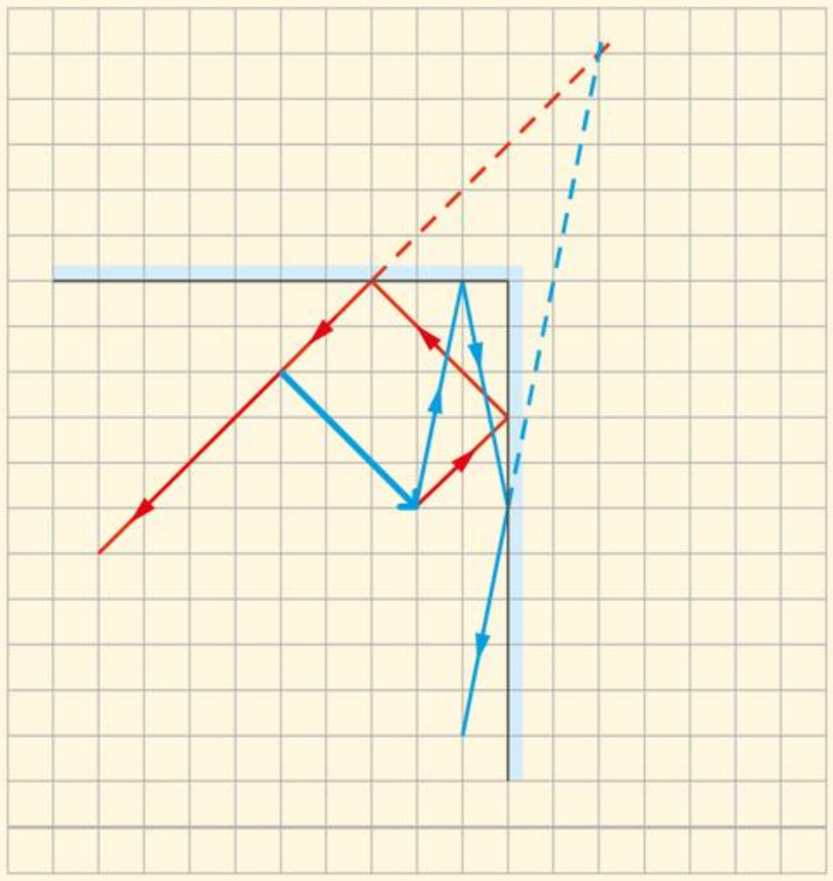
c) Sprawdź, jaka jest wartość albedo dla Księżyca. Czy wynik cię zaskoczył?

2 Kropla wody w powietrzu może pełnić rolę soczewki skupiającej. Czy pęcherzyk powietrza na drodze wiązki światła biegnącej w wodzie będzie soczewką skupiającą czy rozpraszającą? Odpowiedź uzasadnij.

3 W dwóch prostopadłych do siebie zwierciadłach płaskich powstają trzy obrazy. Dwa z nich to obrazy wytworzone przez pojedyncze zwierciadła, a trzeci (na zdjęciu środkowy) to obraz obrazu. Powstaje w wyniku odbicia promieni światła od obu zwierciadeł.



Na poniższym rysunku przedstawiono, jak skonstruować jeden punkt takiego obrazu.



a) Przerysuj rysunek do zeszytu i dokończ konstrukcję obrazu strzałki.

b) Kiedy łatwiej odczytać odbicie tekstu w lustrze – gdy zastosujemy jedno zwierciadło czy dwa? Odpowiedź uzasadnij.

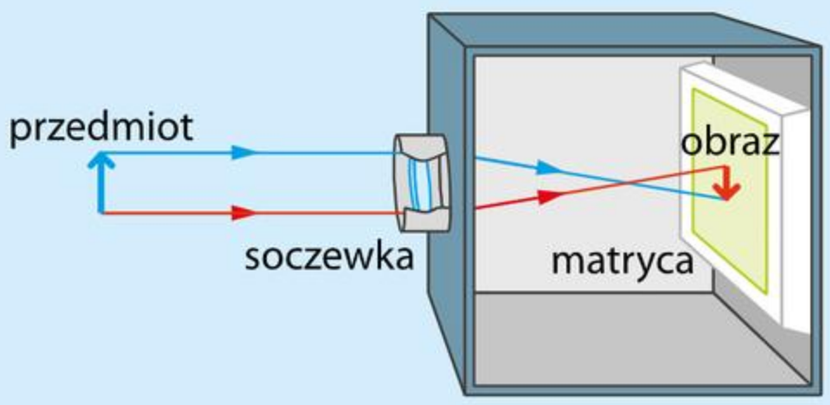
Analiza tekstu

Zastosowanie prawa odbicia i prawa załamania światła

Prawo odbicia i prawo załamania znalazły wiele praktycznych zastosowań, począwszy od zwierciadeł i odbłyśników w reflektorach, poprzez soczewki w okularach i aparatach fotograficznych, a kończąc na miniaturowych i bardzo złożonych układach optycznych w urządzeniach elektronicznych takich jak projektor cyfrowy.

Soczewka w aparacie fotograficznym

Przykładem przedmiotu, który wykorzystuje załamanie światła, jest telefon komórkowy – znajduje się w nim soczewka obiektywu aparatu fotograficznego. Ogólna zasada działania wszystkich aparatów fotograficznych jest taka sama. Obraz przedmiotu tworzony jest na matrycy (lub błonie) światłoczułej przez soczewkę lub układ soczewek. Jeśli nie stosuje się specjalnych obiektywów, to obraz, który powstaje w aparacie fotograficznym, jest pomniejszony, odwrócony i rzeczywisty. Ma więc takie same cechy jak obraz powstający na siatkówce oka. Gdy fotografowany przedmiot znajduje się w dużo większej odległości niż ogniskowa soczewki aparatu, można przyjąć, że obraz powstaje w niewiele większej odległości od soczewki, niż wynosi jej ogniskowa.



Powstawanie obrazu w aparacie fotograficznym.

Projektor DLP

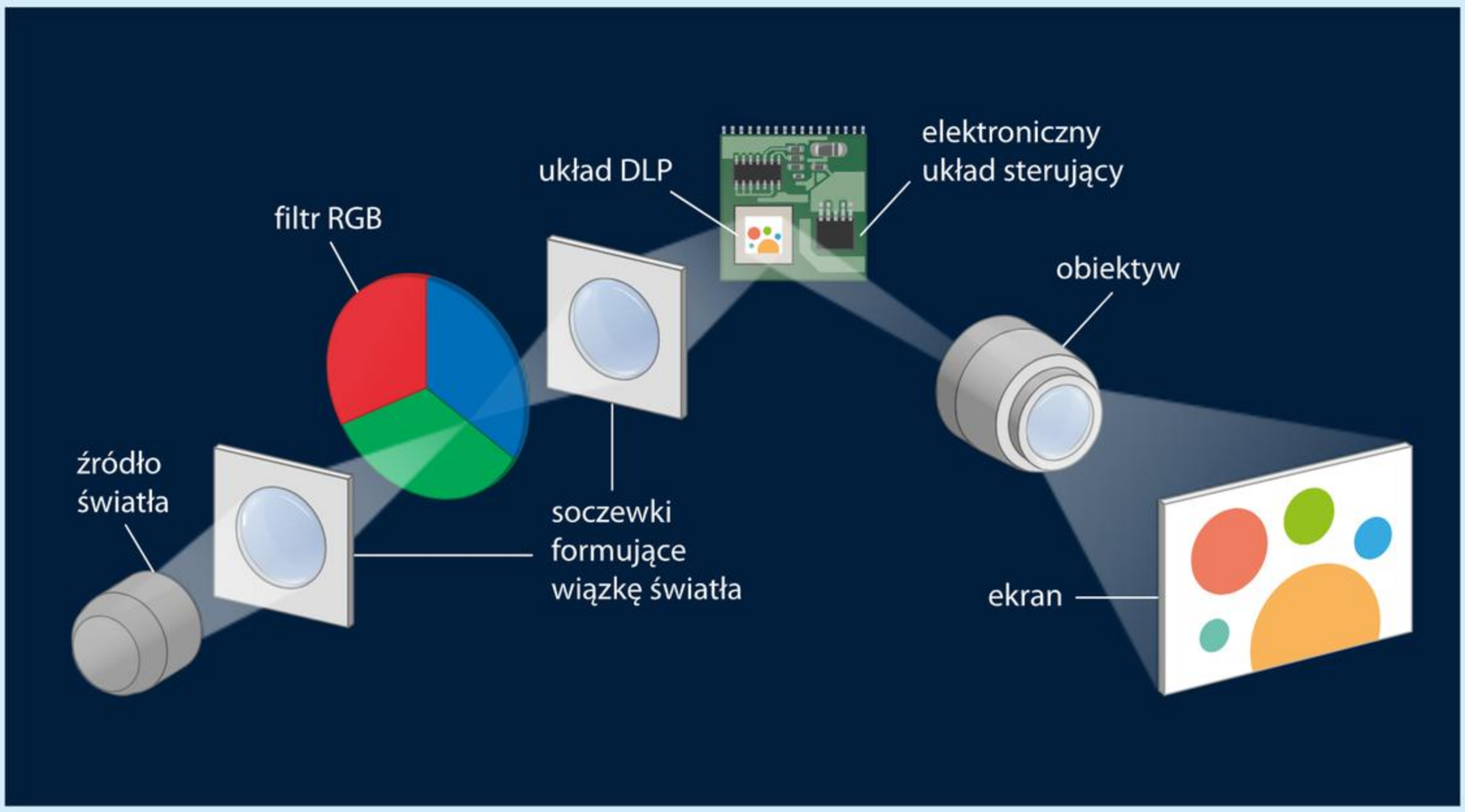
Niezwykle wyrafinowany układ optyczny znajduje się w projektorach cyfrowych wykonanych w technologii DLP (ang. *digital light processing*, czyli cyfrowego przetwarzania światła). Częścią układu przetwarzania światła w projektorze DLP jest matryca wykonana z wielu tysięcy miniaturowych zwierciadeł. Każde z takich zwierciadeł może być niezależnie odchylane.

Na zwierciadła jest kierowana wiązka światła z lampy, odpowiednio uformowana przez soczewkę. Tworzenie obrazu przypomina sytuację, w której kilka osób stojących blisko siebie i trzymających niewielkie lusterka próbowałoby puszczać na ścianę „zajączki". W zależności od ustawienia lusterek otrzymalibyśmy na ścianie różnie ułożone jasne plamy. Podobnie jest w cyfrowym



Projektor DLP.

projektorze – z tą różnica, że każde z miniaturowych zwierciadeł o rozmiarach kilkudziesięciu mikrometrów tworzy jeden piksel obrazu powstającego na ekranie przed projektorem. Obraz tworzony przez projektor jest barwny dzięki zastosowaniu na drodze światła z lampy wirującego koła z kolorowymi filtrami RGB. Filtry przez ułamek sekundy przepuszczają określoną barwę światła, która pada na układ zwierciadeł DLP. W danym momencie zwierciadła są ustawione w taki sposób, aby wytworzyć składową obrazu o określonej barwie. Poszczególne jednobarwne składowe obrazu generowane szybko jedna po drugiej dają w efekcie obraz wielobarwny.



Schemat budowy i zasada działania projektora cyfrowego korzystającego z technologii DLP.

Pytania i polecenia do tekstu

ROZWIĄZANIA ZAPISZ W ZESZYCIE

1 Wybierz zdanie, które najlepiej opisuje jeden z najważniejszych elementów układu optycznego w projektorze DLP.

A. Jest to układ wielu tysięcy małych soczewek, z których każda nieco inaczej prowadzi wiązkę światła, dzięki czemu powstaje złożony obraz.

B. Jest to zwierciadło, którego powierzchnia może się w niewielkim stopniu wyginać w różnych miejscach, co pozwala na uzyskanie odpowiedniego obrazu na ekranie.

C. Jest to układ wielu tysięcy małych zwierciadeł, z których każde może się poruszać niezależnie od pozostałych.

D. Jest to układ wielu tysięcy małych pryzmatów, z których każdy odpowiednio załamuje i rozszczepia światło, co w efekcie umożliwia powstawanie kolorowych obrazów.

2 Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Jeśli nie stosuje się specjalnych obiektywów, to obraz powstający na matrycy w cyfrowym aparacie fotograficznym jest **A**/ **B**/ **C**, więc ma cechy **D**/ **E** obraz powstający na siatkówce oka.

A. pomniejszony, prosty i pozorny
B. pomniejszony, odwrócony i rzeczywisty
C. pomniejszony, odwrócony i pozorny
D. inne niż
E. takie same jak

3 Wyznacz rozmiary matrycy aparatu w telefonie komórkowym. W tym celu wykonaj poniższe czynności:

– Przygotuj telefon komórkowy z aparatem oraz dwie linijki.

– Ustaw jedną linijkę jak na zdjęciu i podeprzyj ją, aby się nie przewracała.

– Przytrzymaj aparat tak, aby dłuższy bok ekranu był równoległy do linijki, i wykonaj zdjęcie. Pierwsza i ostatnia kreska na linijce muszą się znaleźć dokładnie na krawędziach zdjęcia.

– Następnie zmierz odległość między telefonem a linijką – będzie to odległość przedmiotu od soczewki obiektywu.

– Odczytaj ogniskową aparatu i oblicz rozmiar obrazu.



Wskazówka 1. Ogniskową aparatu w telefonie odczytasz, gdy wyświetlisz na komputerze szczegółowe informacje we właściwościach pliku ze zdjęciem.

Wskazówka 2. Rozmiar obrazu, a więc w naszym przypadku boku matrycy, obliczysz, korzystając ze wzoru:

$$h_2 = \frac{h_1 \cdot f}{x - f}$$

gdzie: h_2 – rozmiar obrazu w aparacie, h_1 – rzeczywisty rozmiar przedmiotu, f – ogniskowa obiektywu, x – odległość między aparatem a przedmiotem.

W podobny sposób wyznacz długość drugiego boku matrycy. Oblicz przekątną matrycy i poszukaj w internecie informacji o matrycy zastosowanej w twoim telefonie. **Uwaga.** Zwykle długości przekątnych matryc są podawane w calach.

Tabele

Tabela 1. Przedrostki tworzące nazwy jednostek

Nazwa przedrostka	Symbol	Wartość (mnożnik)
eksa-	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta-	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera-	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga-	G	$10^{9} = 1\ 000\ 000\ 000$
mega-	M	$10^{6} = 1\ 000\ 000$
kilo-	k	$10^{3} = 1000$
hekto-	h	$10^{2} = 100$
deka-	da	$10^{1} = 10$
decy-	d	$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0{,}1$
centy-	c	$10^{-2} = \frac{1}{100} = 0{,}01$
mili-	m	$10^{-3} = \frac{1}{1000} = 0{,}001$
mikro-	μ	$10^{-6} = \frac{1}{10^{6}} = 0{,}000\ 001$
nano-	n	$10^{-9} = \frac{1}{10^{9}} = 0{,}000\ 000\ 001$
piko-	p	$10^{-12} = \frac{1}{10^{12}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 001$
femto-	f	$10^{-15} = \frac{1}{10^{15}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 001$
atto-	a	$10^{-18} = \frac{1}{10^{18}} = 0{,}000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar – układ SI, przyjęty w 1960 roku, jest oparty na następujących siedmiu jednostkach podstawowych:

1. Jednostka długości – metr (m)
2. Jednostka masy – kilogram (kg)
3. Jednostka czasu – sekunda (s)
4. Jednostka natężenia prądu elektrycznego – amper (A)
5. Jednostka temperatury termodynamicznej – kelwin (K)
6. Jednostka światłości – kandela (cd)
7. Jednostka ilości materii – mol

Jednostki podstawowe uzupełniają dwie jednostki miary kątów:

1. Jednostka kąta płaskiego – radian (rad)
2. Jednostka kąta bryłowego – steradian (sr)

Na podstawie powyższych jednostek zdefiniowane zostały inne, tzw. jednostki pochodne.

Tabela 2. Elektryczne symbole graficzne

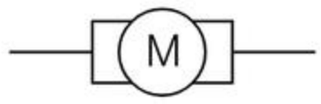
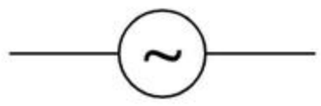
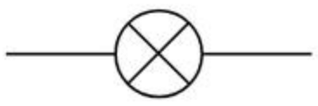
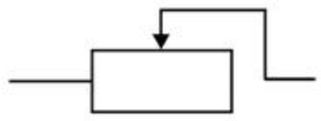
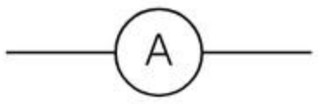
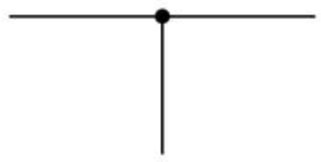
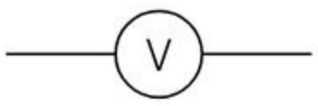
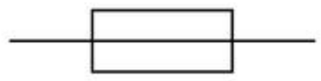
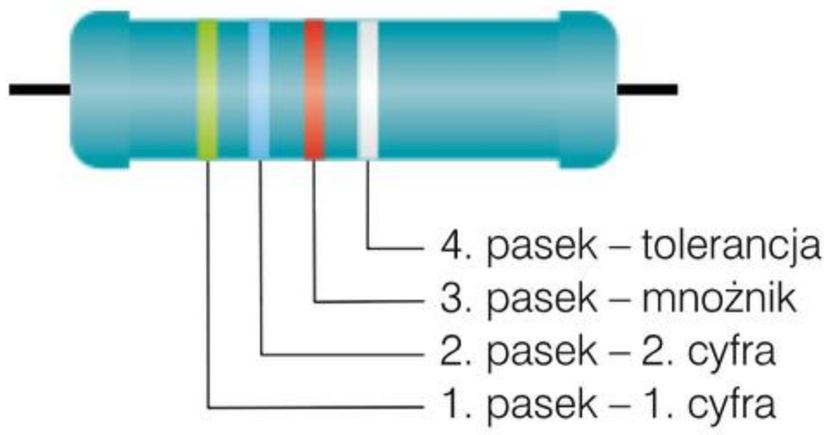
przewód elektryczny		silnik	
źródło energii elektrycznej prądu stałego		źródło energii elektrycznej prądu przemiennego	
wyłącznik (klucz)		opornik (rezystor)	
żarówka		opornik suwakowy	
amperomierz		węzeł	
woltomierz		bezpiecznik	

Tabela 3. Opór właściwy niektórych metali i stopów w temperaturze 0°C

Substancja	$\rho\left[10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}\right]$
rtęć	94,1
ołów	19,2
cyna	10,6
platyna	9,8
żelazo	8,6
nikiel	6,1
cynk	5,7
wolfram	4,9

Substancja	$\rho\left[10^{-8}\,\Omega\cdot\mathrm{m}\right]$
glin	2,5
złoto	2,3
miedź	1,6
srebro	1,5
konstantan	45,0
manganin	43,0
nikielin	43,0
mosiądz	6,3

Tabela 4. Oznaczenia na opornikach z barwnym kodem paskowym



Kolor	Wartość		Mnożnik	Tolerancja ± [%]
	1. pasek	2. pasek	3. pasek	4. pasek
czarny	0	0	10^0	–
brązowy	1	1	10^1	1
czerwony	2	2	10^2	2
pomarańczowy	3	3	10^3	15
żółty	4	4	10^4	–
zielony	5	5	10^5	0,5
niebieski	6	6	10^6	1,25
fioletowy	7	7	10^7	0,1
szary	8	8	10^8	–
biały	9	9	10^9	–
złoty	–	–	10^{-1}	5
srebrny	–	–	10^{-2}	10
brak oznaczenia	–	–	–	20

Uwaga:

– pierwszą cyfrą oznacza się pasek bliższy końca, a między mnożnikiem i tolerancją jest najczęściej odstęp,

– paski są zazwyczaj trzy lub cztery:

• jeśli są trzy paski – wtedy wszystkie trzy oznaczają oporność, a tolerancja wynosi ±20%,

• jeśli są cztery paski – wtedy trzy pierwsze oznaczają oporność, a czwarty – tolerancję.

Odpowiedzi do zadań obliczeniowych

I. Elektrostatyka

Str. 41 zad. 6. $n = \frac{600 \cdot 10^{-9}\text{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\text{C}} \approx 3{,}75 \cdot 10^{12}$

Str. 41 zad. 7. Nie może istnieć, liczba ładunków elementarnych musi być liczbą całkowitą.
$n = \frac{4 \cdot 10^{-19}\,\text{C}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\text{C}} = 2{,}5$

Str. 52 zad. 4. $q = \frac{-8\mu\text{C} + 22\mu\text{C}}{2} = 7\mu\text{C}$

Str. 63 zad. 5. $n_A = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-20}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \frac{1}{10}$ (fałsz),

$n_B = 100$ (prawda), $n_C = 1$ (prawda),
$n_D = 10^{13}$ (prawda), $n_E = 10^4$ (fałsz)

Str. 63 zad. 1.
$q_1 + q_2 = -0{,}2\,\text{nC} + 0{,}8\,\text{nC} = 0{,}6\,\text{nC}$

$\frac{q_2}{q_1} = 2$, zatem $q_1 = 0{,}2$ nC, $q_2 = 0{,}4$ nC

Str. 63 zad. 2. a) niedobór 2 elektronów

b) $q = \frac{56\,\text{mg}}{3{,}82 \cdot 10^{-20}\,\text{mg}} \cdot 1{,}602 \cdot 10^{-19}\,\text{C} \approx$
$\approx 235\,\text{C}$

c) $\frac{q}{5000\,\text{C}} \approx 0{,}05$

II. Prąd elektryczny

Str. 76 zad. 3. a) 1 kV b) 1 mA
c) 1 µA d) 1 MV

Str. 76 zad. 4. A $\left(I = \frac{q}{t} = 0{,}4\,\text{A}\right)$, D, I

Str. 76 zad. 5. $q = It = 240\,\text{C}$

Str. 92 zad. 4. a) $I = 2{,}5$ A b) $I = 5$ A
c) $R = \frac{U}{I} = \frac{2\,\text{V}}{2{,}5\,\text{A}} = \frac{4\,\text{V}}{5\,\text{A}} = 0{,}8\,\Omega$
d) $I = 1{,}25$ A

Str. 92 zad. 5. a) $R = \frac{U}{I} = 20\,\Omega$
b) 75 mA, 100 mA

Str. 92 zad. 6. $R = \frac{U}{I} \approx 29{,}5\,\Omega$

Str. 92 zad. 7. $I = \frac{U}{R} = 2{,}875$ A

Str. 101 zad. 2. $P = UI = 1{,}52\,\text{V} \cdot 0{,}55\,\text{A} = 0{,}836\,\text{W}$

Str. 101 zad. 3. a) $I = \frac{P}{U} \approx 8{,}7$ A

b) $E = Pt = 3$ kWh $= 10\,800\,000$ J

c) $2\,\text{kW} \cdot 8\,\text{h} \cdot 0{,}55\,\frac{\text{zł}}{\text{kWh}} = 8{,}80\,\text{zł}$

Str. 101 zad. 4. $U = \frac{P}{I} \approx 12\,\text{V}$ (odpowiedź C)

Str. 111 zad. 3.
$P = 3 \cdot 200\,\text{W} + 300\,\text{W} + 1500\,\text{W} = 2400\,\text{W}$
$I = \frac{P}{U} \approx 10{,}4\,\text{A} < 16\,\text{A}$
(bezpiecznik nie wyłączy prądu)

Str. 114 zad. 3. odpowiedź C, E
$R_1 = \frac{1{,}5\,\text{V}}{0{,}3\,\text{A}} = 5\,\Omega$, $R_2 = \frac{3\,\text{V}}{0{,}6\,\text{A}} = 5\,\Omega$

Str. 114 zad. 6. $I = \frac{120\,\text{C}}{60\,\text{s}} = 2$ A (odpowiedź B)

Str. 115 zad. 2. $q = It = 6\,\text{A} \cdot 3600\,\text{s} = 21\,600\,\text{C}$
(odpowiedź C)

Str. 115 zad. 5. $I = \frac{P}{U} = \frac{3450\,\text{W}}{230\,\text{V}} = 15\,\text{A}$
(odpowiedź B)

Str. 116 zad. 2.
$I_{\min} = \frac{U}{R_{\max}} \approx 0{,}049$ A,
$I_{\max} = \frac{U}{R_{\min}} \approx 0{,}051\,\text{A}$

Str. 116 zad. 3. a) $U = IR = 28$ V, $P = UI \approx 866$ W
b) $\eta Pt = mc_w\,\Delta T$, zatem
$t = \frac{mc_w\Delta T}{\eta P} \approx 160$ s

IV. Drgania i fale

Str. 164 zad. 4.
Brakujące okresy drgań: 0,5 s; 1,25 s; 2,5 s
Brakujące częstotliwości drgań: 2 Hz; 0,8 Hz; 0,4 Hz

Str. 164 zad. 5. a) 0,6 s b) 0,3 s c) 1,2 s

Str. 170 zad. 4. $t = \frac{T}{2} = 0{,}3$ s (odpowiedź A, A)

Str. 175 zad. 1. a) $v = \frac{0{,}5\,\text{m}}{2\,\text{s}} = 0{,}25\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$
b) $t = 2$ s

Str. 175 zad. 2. $A \approx 0{,}13$ m, $\lambda = 1$ m

Str. 175 zad. 3. a) $T = 2 \cdot 0{,}625\,\text{s} = 1{,}25$ s
b) $v = 2\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

Str. 176 zad. 5. a) $f = \frac{v}{\lambda} = 2\,\text{Hz}$
b) $\lambda = \frac{v}{f} = 0{,}4\,\text{m}$

Str. 176 zad. 6. $\frac{v_g}{v_p} = \frac{\lambda_g}{\lambda_p} = \frac{4}{3}$

Str. 182 zad. 5. $\lambda = \frac{v}{f} = 0{,}68\,\text{m}$

Str. 182 zad. 6. a) $t_{śr} = 0{,}51\,\text{s}$

b) $v = \frac{2l}{t_{śr}} = \frac{2 \cdot 70\,\text{m}}{0{,}51\,\text{s}} \approx 275\,\frac{\text{m}}{\text{s}}$

c) $\frac{341\frac{\text{m}}{\text{s}} - 275\frac{\text{m}}{\text{s}}}{341\frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 100\% \approx 19\%$

Str. 201 zad. 4.

$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}1 \cdot 10^{-9}\,\text{m}} = 3 \cdot 10^{18}\,\text{Hz}$

Str. 201 zad. 5. a)

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3 \cdot 10^8\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{2{,}4 \cdot 10^9\,\text{Hz}} = 0{,}125\,\text{m}$

Str. 201 zad. 6.

$t = 2 \cdot \frac{120\,000\,000\,\text{km}}{300\,000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}} + 30\,\text{min} =$

$= 2 \cdot 400\,\text{s} + 1800\,\text{s} = 2600\,\text{s} \approx 43\,\text{min}$

Str. 206 zad. 7. $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{5\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{16\,\text{m}} \approx 0{,}3\,\text{Hz}$

(odpowiedź A)

Str. 205 zad. 3. a) $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}17\,\text{m}} = 2000\,\text{Hz}$

(odpowiedź C)

Str. 206 zad. 8. $t = \frac{35\,\text{m}}{340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}} \approx 0{,}1\,\text{s}$

(odpowiedź A)

Str. 207 zad. 1. $T = 2\pi\sqrt{\frac{0{,}25\,\text{m}}{10\,\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} \approx 1\,\text{s}$

(odpowiedź B)

$l = \frac{gT^2}{4\pi^2} \approx 16\,\text{m}$ (odpowiedź D)

Str. 207 zad. 3. $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340\,\frac{\text{m}}{\text{s}}}{0{,}08\,\text{m}} = 4250\,\text{Hz}$

Indeks

Amper 74, 113
amperomierz 78, 79
amplituda 159, 202, 203
— fali 174
atom 14, 37, 58

Bel 189
bezpiecznik 102, 110, 282
— automatyczny 103
— topikowy 102
bezwładność 11
biegun magnetyczny 121, 125, 148

Ciała stałe 14
ciecze 14
cień 219, 222, 271
ciepło 26
— właściwe 27
ciężar ciała 11
ciśnienie 15
— atmosferyczne 16
— hydrostatyczne 16
cząsteczki 14
częstotliwość 160, 202, 203
— drgań własnych 162, 183, 202
— fali 174, 196, 203

Dalekowzroczność 264, 273
decybel 189
diamagnetyk 137
dioptria 258
dipol elektryczny 54, 59
długość fali 173, 193, 196, 203
domeny magnetyczne 123, 136, 146
domowa instalacja elektryczna 102
doświadczenie Oersteda 128
droga 6, 7, 8
druga zasada dynamiki Newtona 11
dźwięk – mechanizm wytwarzania 185
dźwięki słyszalne 187
dżul 22, 97, 100, 113

Echolokacja 188
elektromagnes 135, 139, 148
elektron 37, 47, 58
— swobodny 42, 53, 71, 112
elektroskop 48, 59
elektrownie 95
— geotermalne 95
— jądrowe 95
— słoneczne 95
— węglowe 93, 94
— wiatrowe 94
— wodne 95
elektryzowanie 38, 43, 58
— przez dotyk 47, 58
— — indukcję 53, 58
— — pocieranie 30, 58
energia 22
— chemiczna węgla 94
— elektryczna 94, 100
— geotermalna 95
— jądrowa: rozszczepienie jąder atomowych 95
— kinetyczna 23
— — wiatru 94
— potencjalna grawitacji 22
— — spadającej wody 95
— — sprężystości 22, 168
— promieniowania 95
— wewnętrzna 26

Fala akustyczna 178
— dźwiękowa 178, 203
— elektromagnetyczna 199
— mechaniczna 171, 173, 202
fale elektromagnetyczne 193
— radiowe 198
ferromagnetyk 123, 135, 137, 148

Gazy 14
gęstość 15, 17
— optyczna 247
głośność dźwięku 191, 203

Hałas 188
herc 160, 202
Hertz H. 194

Igła magnetyczna 121, 129
impuls falowy 171
indukcja elektrostatyczna 54
infradźwięki 188, 191, 203
izolator 42, 45, 59

Jon 38, 58, 71

Kąt odbicia 225, 227, 271
— padania 225, 227, 247, 271
— załamania 247, 252, 271
kelwin 25, 281
kierunek przepływu prądu 72, 74, 112
kilowatogodzina 98, 100, 113

kompas 121
konstrukcja obrazów 229, 239, 260
krótkowzroczność 264, 273
kulomb 38, 58

Ładunek elektryczny 33, 34, 58
— elementarny 38, 58

Mach 180
magnes 120
— trwały 123, 125
masa 11, 15
Maxwell J. 194
mikrofale 198
miraż 266
moc 22
— prądu elektrycznego 98, 100, 113
Morse S. 194

Nacisk (siła nacisku) 15
namagnesowanie 123, 125
napięcie elektryczne 70, 74, 112
— powierzchniowe 15
— przemienne 103
— stałe 103
natężenie fali 186, 203
— prądu 73, 74, 113
neutron 37, 58
niuton 10
normalna 225, 227

Obraz pozorny 231, 235
— rzeczywisty 231, 235
obwód elektryczny 77, 112
odbicie światła 224
odbiornik energii 77, 96
oddziaływanie elektrostatyczne 69
— grawitacyjne 69
Oersted H. 128
ognisko 234, 235, 255, 257, 258, 272, 273
ogniskowa 234, 235, 255, 257, 272, 273
Ohm G. 87
okres 202, 203
— drgań 160
— fali 174
om 87, 90
opór elektryczny 86, 90, 113
— właściwy 89
oscylogramy dźwięków 186
oś główna 232, 235, 254
— optyczna 232, 235, 254, 272, 273
ośrodek optyczny 216, 217, 271

Paramagnetyk 137
parcie 15
paskal 15
pierwsza zasada dynamiki Newtona 11
— — termodynamiki 27
polaryzacja 54
połączenie szeregowe 79
— równoległe 81
położenie równowagi 159
porażenie prądem 106
powiększenie 240, 243, 261, 272
poziom natężenia dźwięku 189
półcień 219, 222, 271
praca 22
— prądu elektrycznego 97, 100, 113
prawo Archimedesa 17
— odbicia 225, 227, 271
— Pascala 17
— załamania światła 246, 248, 252, 271
prąd elektryczny 71, 74, 112
prędkość 7
— dźwięku 180
— fal elektromagnetycznych 199
— fali 174
— światła 212, 271
promieniowanie gamma 195
— nadfioletowe 197
— podczerwone 197
— rentgenowskie 195
— ultrafioletowe 197
promień świetlny 215, 217, 271
proton 37, 58
próg słyszalności 189
próżnia 179
pryzmat 248, 271
przemiany energii 166, 168
przewodnik 42, 45, 59
— kołowy 131, 133
przyspieszenie 8
— ziemskie 11

Radiolokacja 199
Roentgen W. 195
rozproszenie 227
— światła 226, 271
rozszczepienie światła 249, 271
ruch 6
— jednostajnie opóźniony 8
— — przyspieszony 8
— jednostajny prostoliniowy 7
— drgający 158, 202

Silnik elektryczny 142, 145
siła 10
— ciężkości 11
— elektrodynamiczna 141, 145

— magnetyczna (elektrodynamiczna) 141, 145
— oporu 12
— przylegania 14
— równoważąca 11
— spójności 14
— tarcia statycznego 12
— — kinetycznego 12
— wypadkowa 11
— wyporu 17
soczewka 254, 273
— rozpraszająca 254, 257, 273
— skupiająca 254, 255, 273
spadanie swobodne 12
stany skupienia 14, 28
stojan 145
szereg tryboelektryczny 39

Światło 217, 271
— monochromatyczne 251, 252
— tarcie 12
temperatura 25
tor 6
trzecia zasada dynamiki Newtona 12

Układ izolowany 47
— odniesienia 6
ultradźwięki 188, 191, 203

Volta A. 71

Wahadło matematyczne 159
— sprężynowe 159, 165
wat 22, 98, 100, 113
wektor 10
wiązka światła 215
widmo fal elektromagnetycznych 196
— światła białego 250
wirnik 145
wolt 70, 112
woltomierz 81, 112
wykres ruchu drgającego 165
wysokość dźwięku 183, 191, 203

Zaćmienie Księżyca 220, 222
— Słońca 22, 252, 271
zasada zachowania energii 23, 166
— — ładunku elektrycznego 47, 59
zasilanie awaryjne 109
zdolność skupiająca soczewki 258
zero bezwzględne 25
zwarcie 102, 110
zwierciadło 229, 272
— płaskie 229, 235, 272
— sferyczne 229, 235, 272
— — wklęsłe 232, 235, 239, 241, 242
— — wypukłe 232, 235, 242

Źródło dźwięku 177, 181, 203
— energii elektrycznej 77
— fal 173, 271
— fali elektromagnetycznej 193, 203

Imię i nazwisko	Klasa	Rok szkolny	Podpis
1.	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....

Zdjęcie na okładce: Getty Images/Photographer's Choice/ATU Images.
Zdjęcia: Archiwum wydawnictwa: s. 26 (dłoń), 30, 42, 48 (elektrometr), 71 (bateria), 227 (tekst); **Agencja Gazeta:** Łukasz Głowala s. 105 (defibrylator);
BE&W: Alamy Stock Photo - Alvey & Towers Picture Library s. 7, Jochen Tack s. 32 (odciski palców), Lenscap s. 117 (żarówka w opakowaniu), MediaWorldImages s. 232, NASA Image Collection s. 6 (hamowanie promu), NASA Photo s. 180, NG Images s. 201 (łazik Curiosity), Real World People s. 168, Rod Jones s. 138 (CERN), Science History Images s. 138 (Tevatron), Stockimo/myrbob s. 218 (kot), Stocktrek Images, Inc. s. 193, The History Collection s. 38, UtCon Collection s. 195 (W.C. Roentgen), HeritageImages/Oxford Science Archive s. 194 (J. Maxwell), ImageBroker RM - Bernhard Classen s. 153 (magnes neodymowy, przemysłowy), Jaime Abecasis s. 71 (A. Volta), NYPL/Science Source s. 128 (H. C. Oersted), Science Source s. 74, 87 (G. S. Ohm), Charles D. Winters s. 137 (ciekły tlen przyciągany przez silny magnes), GIPhotoStock s. 274, New York Public Library s. 194 (H.R. Hertz), Photo Researchers s. 50 (B. Franklin), Richard T. Nowitz s. 79 (węgorz elektryczny), Spencer Grant s. 138 (elektromagnes);
Center of Applied Space Technology and Microgravity ZARM/Stefan Schmidbauer s. 12; **East News:** De Agostini Picture Library/A. Dagli Orti s. 50 (Warszawa), Science Photo Library/MDO s. 195 (bomba kobaltowa), World History Archive/Image Asset Management s. 268-269 (twarz na Marsie); **Forum:** SSPL/Science Museum s. 34; **Getty Images:** Corbis Documentary/Roger Ressmeyer/Corbis/VCG s. 29, Gamma-Rapho/Francis DEMANGE s. 97, iStock/Getty Images Plus – AndrejsJegorovs s. 79 (młyn), CathyKeifer s. 178 (konik polny), richcarey s. 188 (ławica ryb), StockPhotosArt s. 101 (grzejnik), PhotoAlto Agency RF Collections/PhotoAlto/Alix Minde s. 159 (huśtawka), Science Photo Library s. 107, ullstein bild s. 145 (miniaturowy silnik), Yuri_Arcurs s. 64; **Panthermedia:** Achim Glatz s. 196 (radar), Alexander Peters s. 196 (obraz w podczerwieni), Andrea Paggiaro s. 122 (chiński kompas), Andy Hunger s. 197 (grzechotnik), Karl-Heinz Riebensahm s. 186, Klaus-Peter Adler s. 188 (dziewczyna w słuchawkach); firma Prodekologia s. 65 (separator elektrostatyczny laboratoryjny); Piotr Rutkiewicz: s. 43, 44 (doświadczenie nr 7), 103 (bezpiecznik automatyczny 1); **Shutterstock:** 2happy s. 13, 44111 s. 188 (kuter), Adrian Reynolds s. 190 (samolot), alessen s. 220 (zaćmienie Księżyca), Alex Hubenov s. 219 (zegar słoneczny), Alexander Avdeev s. 157, Alexander Mak s. 198, Alexandr Vlassyuk s. 213 (zachód słońca), Alexey Stiop s. 220 (fazy Księżyca), Alta Oosthuizen s. 83 (burza 5), Altanaka s. 256 (patrzenie przez lupę), amperespy44 s. 245 (lustro drogowe), Andrey Emelyanenko s. 153 (magnesy na lodówkę), Andrey Eremin s. 109 (UPS), Andy Geldman s. 89, Anton Kozlovsky s. 136, Antonio S. s. 120 (magnetyt), Artem Avetisyan s. 223, Artesia Wells s. 266 (miraż), Balate Dorin s. 267 (Widmo Brockenu), Brian A Jackson s. 243, bunchan s. 174, Cathy Keifer s. 214 (robaczek świętojański), ChiccoDodiFC s. 98, chinasong s. 95 (elektrownia słoneczna), Christian Delbert s. 196 (aparat rentgenowski), crazychris84 s. 199, create jobs 51 s. 200 (prześwietlenie RTG), Dan Mensinger s. 72, Denise Sirois s. 226 (światełko odblaskowe), diskoVisnja s. 269 (złudzenie optyczne 1), Dsdesign s. 82 (chmury 2), dvande s. 138 (dźwig), EPSTOCK s. 138 (NMR - centrum), Fasttailwind s. 44 (podwozie samolotu), Fer Gregory s. 190 (prom kosmiczny), Fesus Robert s. 217 (łódź), Firma V s. 30 (naelektryzowane włosy), fotosergio s. 194 (telegraf), Frantisekhojdysz s. 190 (liście), Fred Cardoso s. 84, Galyna Andrushko s. 25 (Sahara), Gary Whitton s. 94 (elektrownia węglowa), Govert Nieuwland s. 229 (odbicie wierzb w wodzie), graphixmania s. 127 (waga), Greg Randles s. 67, gresie s. 147 (toster), GybasDigiPhoto s. 25 (Antarktyda), Hank Frentz s. 216 (promienie światła), Happy Together s. 200 (słońce), Helder Almeida s. 190 (rozmowa), s. 278, Hugh Lansdown s. 189 (nietoperz), Iarko Nataly s. 127 (noże), Igor Borodin s. 228 (odbicie w wodzie), Igor Zh. s. 220-221 (zaćmienie Słońca), imagedb.com s. 147 (sterowany samochód), Ivaschenko Roman s. 105 (obcęgi), Jacek Chabraszewski s. 11 (kasztan), James Steidl s. 196 (radio), Jhaz Photography s. 82 (chmury 1), s. 82-83 (burza 4, tło), Jiri Hera s. 102 (bezpiecznik topikowy 3), John Panella s. 83 (burza 7), JoLin s. 218 (świetlówki), June Marie Sobrito s. 127 (szpilki), kamilpetran s. 94-95 (elektrownia węglowa – tło), Karkas s. 197 (solarium), Kletr s. 95 (elektrownia atomowa), Krivosheev Vitaly s. 147 (telewizor), lafoto s. 95 (elektrownia wodna), Lano Lan s. 109 (nauka przy świeczce), LoopAll s. 103 (bezpiecznik automatyczny 2), Loskutnikov s. 266 (fatamorgana), Luis Chavier s. 82 (burza 3), Marcin-linfernum s. 224, Mark McClare s. 185 (fortepian), Mark Smith s. 93, maxim ibragimov s. 226 (dziecko na rowerze), Mikael Damkier s. 73, MilanB s. 208, Monika23 s. 213 (świeczki), MriMan s. 138 (obraz mózgu), MRony s. 245 (lusterko samochodowe), My_Gook s. 267 (halo wokół słońca), Natalia Bratslavsky s. 11 (liść kasztanowca), N.Minton s. 95 (elektrownia geotermalna), Nicku s. 173, Nicram Sabod s. 16, NWStock s. 106, Olga Gabay s. 14 (kropla rosy), Pablo Eder s. 87 (płyta główna), Pakhnyushchy s. 14 (krople wody), Pedro Nogueira s. 229 (lustro drogowe), Peshkova s. 228 (lampa), Peter Sobolev s. 153 (magnesy ferrytowe), Pheniti Prasomphethiran s. 196 (anteny), Pietus s. 159 (zegar), Piotr Adamowicz s. 111 (gniazdo elektryczne), popeye02 s. 215 (lampy), Praisaeng s. 220 (teatr cieni), Predrag Popovski s. 185 (gitara), Prushenoff s. 229 (odbicie kwiata), pryzmat s. 101 (piekarnik), PUSCAU DANIEL s. 81, puttapong jitrakyad s. 125 (głośnik nieekranowany), Rattawuth Malisorn s. 125 (głośnik ekranowany), Rawpixel.com s. 178 (gra na gitarze), Ray Whittemore s. 250-251, Regien Paassen s. 6 (ruch krzywoliniowy), RenoPicasso s. 185 (gitara – tło), Robert Kneschke s. 264, Rodolfo Arpia s. 18, Roman023_photography s. 266-267 (zachód słońca), SasaStock s. 189 (pies), Scott Milless s. 213 (laser), Sean Nel s. 185 (bębny), Sergey Yasenev s. 145 (silnik), Sergiy Kuzmin s. 116, Showcake s. 111 (pożar gniazda elektrycznego), Snaprender s. 19, Solis Images s. 5, Sorbis s. 217 (neon), SouWest Photography s. 189 (słoń), stephen rudolph s. 104, Steven Coling s. 26 (wrząca woda), StockLite s. 96, STRINGER Image s. 123 (kopalnia żelaza), Stuart Dow s. 185 (organy), Studio 37 s. 102 (bezpiecznik topikowy 1), superjoseph s. 217 (ryba głębinowa), Tata Donets s. 268 (trójkąt), Taylor Jackson s. 190 (koncert), Terrance Emerson s. 6 (ruch prostoliniowy), Tomasz Kubis s. 211, Triff s. 119, Tristan3D s. 269 (złudzenie optyczne 2), TVR s. 102 (bezpiecznik topikowy 2), Tyler Olson s. 138 (NMR), Vaclav Volrab s. 276, Vibrant Image Studio s. 190 (ciężarówka), Volodymyr Burdiak s. 94 (elektrownia wiatrowa), Voraorn Ratanakorn s. 218 (księżyc), Vtls s. 147 (laptop), wavebreakmedia s. 185 (flet), Wolfe Larry s. 255 (mikroskop), Yaorusheng s. 227 (kino), Youngryand s. 228 (rower), yousang s. 10, Yury Kosourov s. 142, YUU-ME s. 228 (odbicie w lustrze), Zastolskiy Victor s. 83 (burza 6); Stock.XCHNG: adamci s. 196 (prześwietlenie RTG); **Thinkstock/Getty Images:** Comstock Images s. 215 (słońce), Philip Lange s. 189 (delfin), iStockphoto - danabeth555 s. 147 (latarka), ET1972 s. 154 (generator ultradźwięków), fotoman-kharkov s. 28, frender s. 101 (głośniki), gielmichal s. 200 (pilot), Grassetto s. 200 (mikrofalówka, krótkofalówki), Grassetto s. 92, Ocs_12 s. 123 (rybitwa popielata), pioneer111 s. 101 (suszarka), scanrail s. 201 (modem), Sensay s. 117 (żarówki), sqback s. 154 (dysk), tab1962 s. 133, urfinguss s. 101 (mikser), s. 147 (pralka), winterling s. 127 (nożyczki), moodboard/Mike Watson Images s. 200 (żarówka), Stockbyte s. 6 (rowerzysta); **Anna Budzyńska:** s. 33, 36, 45, 55, 57, 68, 79 (baterie), 86, 121, 122 (magnes i kompasy), 127 (doświadczenie nr 27), 129, 130, 132, 134, 137 (woda w rurce), 140, 162, 164, 183, 184, 196 (tomografia), 225, 231, 246, 277; **Miłosz Budzyński:** s. 41, 156, 171, 175, 233 (doświadczenie nr 52), 240, 280; **Agnieszka Żak:** s. 21, 31, 32 (doświadczenie nr 3), 48 (doświadczenie nr 9), 53, 54, 76, 77, 78, 80, 88, 100, 103 (akumulator), 120 (doświadczenie nr 23), 124, 128 (doświadczenie nr 28), 131, 135, 141, 143, 158, 161, 165, 172, 176, 177, 179, 187, 192, 206, 214 (doświadczenie nr 45), 216 (doświadczenie nr 46), 219 (doświadczenie nr 47), 226 (doświadczenie nr 49), 233 (doświadczenie nr 51), 238, 249, 255 (lupa, lornetka, okulary), 256 (doświadczenie nr 56), 257, 260, 268 (świeczki); **Malawa Michał Malawski** s. 29.

Spotkania z fizyką

Elektrostatyka i prąd elektryczny

Napięcie elektryczne	$U = \frac{W}{q}$	W – praca wykonana przy przemieszczaniu ładunku q q – ładunek elektryczny
Natężenie prądu elektrycznego	$I = \frac{q}{t}$	q – ładunek elektryczny t – czas, w którym ładunek q przepłynął
Praca prądu elektrycznego	$W = U \cdot q$ $W = U \cdot I \cdot t$	U – napięcie elektryczne q – ładunek elektryczny I – natężenie prądu elektrycznego t – czas przepływu prądu
Moc prądu elektrycznego	$P = U \cdot I$	U – napięcie elektryczne I – natężenie prądu elektrycznego

Elektryczność i magnetyzm

Opór elektryczny	$R = \frac{U}{I}$	U – napięcie elektryczne I – natężenie prądu elektrycznego

Drgania i fale

Częstotliwość w ruchu drgającym	$f = \frac{1}{T}$ lub $f = \frac{n}{t}$	T – okres w ruchu drgającym n – liczba drgań t – czas trwania n drgań
Prędkość fali	$v = \frac{\lambda}{T}$	λ – długość fali T – okres w ruchu drgającym

Optyka

Zdolność skupiająca	$Z = \frac{1}{f}$	f – ogniskowa
Prawo odbicia	$\alpha = \beta$	α – kąt padania β – kąt odbicia

Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-4956-8