

REFORMA
2017

FIZYKA

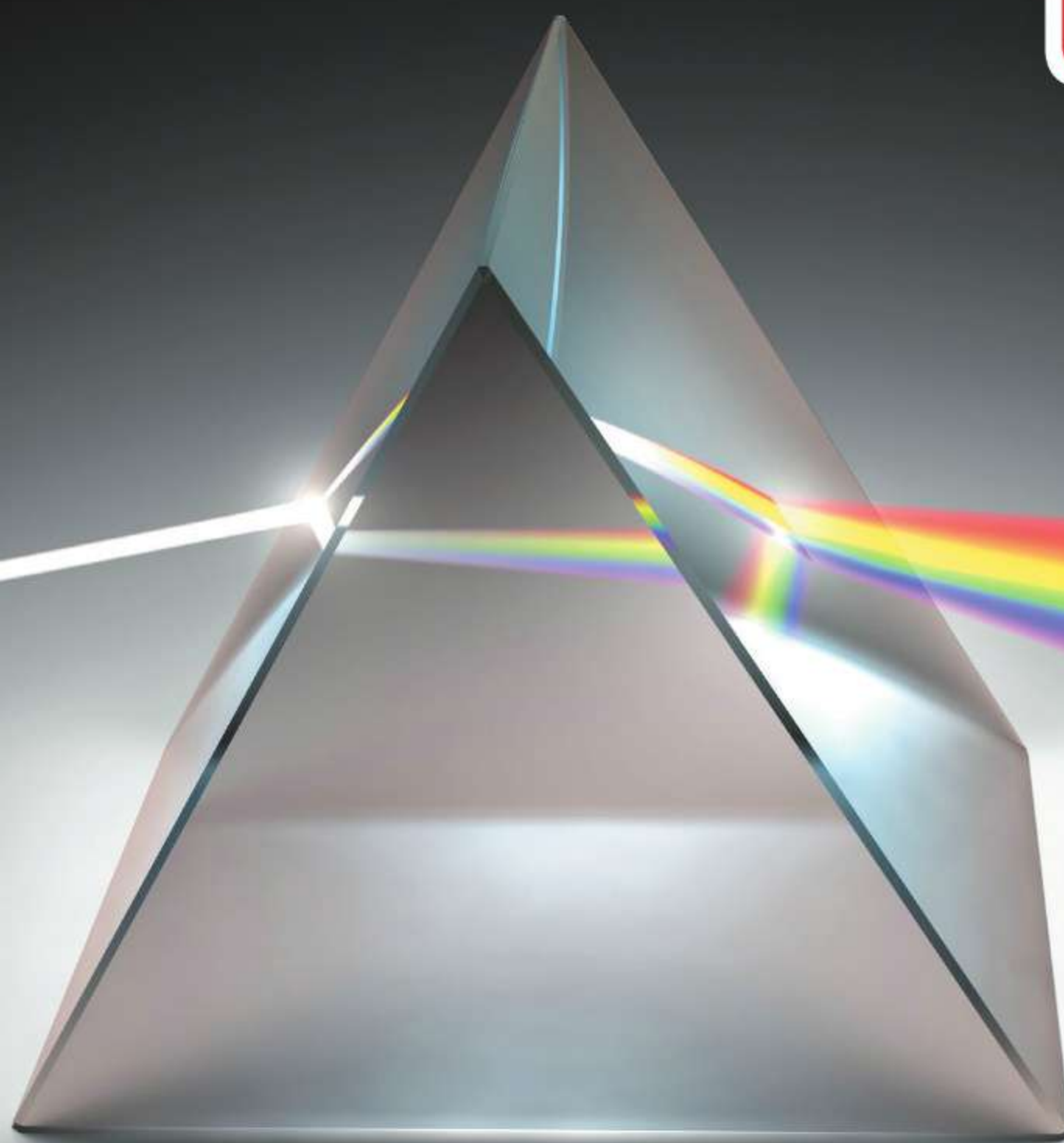
Świat fizyki

podręcznik

Oznaczono
zmiany
i wykreślenia

E-book
na eduranga.pl

PODSTAWA
2024



8



szkoła podstawowa

Drogi WSiP,

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

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

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

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

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

Przedstawiam e-book, który spełnia wszystkie oczekiwania uczniów.

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

Spis treści

O podręczniku	5
7. Przemiany energii w zjawiskach cieplnych	7
7.1. Energia wewnętrzna i jej zmiana przez wykonanie pracy	8
7.2. Ciepły przepływ energii	12
7.3. Zjawisko konwekcji	16
7.4. Ciepło właściwe	20
7.5. Przemiany energii w zjawiskach topnienia i parowania	26
Podsumowanie	32
Sprawdź się	34
Zadania problemowe	36
8. Drgania i fale sprężyste	37
8.1. Ruch drgający	38
8.2. Wahadło. Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań	44
8.3. Fala sprężysta	46
8.4. Dźwięki i wielkości, które je opisują	51
Podsumowanie	62
Sprawdź się	64
Zadania problemowe	66
9. O elektryczności statycznej	67
9.1. Elektryzowanie ciała przez tarcie i dotyk	68
9.2. Siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych	75
9.3. Przewodniki i izolatory	78
9.4. Zjawisko indukcji elektrostatycznej	82
9.5. Pole elektryczne	88
Podsumowanie	92
Sprawdź się	94
Zadania problemowe	98
10. O prądzie elektrycznym	99
10.1. Prąd elektryczny w metalach	100
10.2. Źródła napięcia. Obwód elektryczny	106
10.3. Natężenie prądu elektrycznego	111
10.4. Opór elektryczny przewodnika	116
10.5. Obwody elektryczne i ich schematy	122
10.6. Praca i moc prądu elektrycznego	127
Podsumowanie	134
Sprawdź się	136
Zadania problemowe	138



11. O zjawiskach magnetycznych	139	
11.1. Właściwości magnesów trwałych	140	
11.2. Przewodnik z prądem jako źródło pola magnetycznego	145	
11.3. Silnik elektryczny na prąd stały	149	
*11.4. Zjawisko indukcji elektromagnetycznej	152	
11.5. Fale elektromagnetyczne	156	
Podsumowanie	166	
Sprawdź się	168	
Zadania problemowe	170	
12. Optyka, czyli nauka o świetle	171	
12.1. Źródła światła. Powstawanie cienia	172	
12.2. Odbicie światła	177	
12.3. Obrazy otrzymywane w zwierciadle płaskim	182	
12.4. Obrazy otrzymywane w zwierciadłach kulistych	184	
12.5. Załamanie światła na granicy dwóch ośrodków	189	
12.6. Przejście wiązki światła białego przez pryzmat	193	
12.7. Soczewki	197	
12.8. Obrazy otrzymywane za pomocą soczewek	201	
12.9. Porównujemy fale mechaniczne i elektromagnetyczne	206	
Podsumowanie	208	
Sprawdź się	212	
Zadania problemowe	216	
Tabele	217	
Odpowiedzi do zadań	222	
Skorowidz	231	
Źródła ilustracji i fotografii	232	

*Gwiazdką oznaczono treści nadobowiązkowe.



Treści usunięte według podstawy programowej z 2024 roku.



Treści fakultatywne według podstawy programowej 2024.

O podręczniku

Podręcznik składa się z sześciu działów. Działy podzielone są na rozdziały. Funkcje wyróżnień zastosowanych w podręczniku przedstawiono poniżej.

[illegible]

W tekście głównym wyróżniono przykłady i doświadczenia.

8.5 Fala sprężyna

W każdym ośrodku sprężystym może się rozchodzić się **fala podłużna**.

Doświadczenie 8.5

Obserwujemy rozchodzenie się fali podłużnej (model).

Potrzebna przedmioty: długi sprężyna, kawałek kółkowej wstążki.

Kolory czynniki:

- Sprężyna poddawana na zwichnięciach przemieszczonych do poziomu leżącej, w punkcie jej długości zawieszamy wstążkę,
- Śledzimy kształt pierwiastka swojego, a następnie je pomiarowy.

W ośrodku sprężystym przemieszczają się fale w postaci zgrzeszenia i rozciągania zwojów żel. Zwoje zgrzeszenia odpowiadają w tym modelu cząstkami ośrodka. Kierunek drgań cząstek ośrodka jest w tym przypadku zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali. Podobnie zachowują się cząsteczki powietrza tworzące fale dźwiękowe. Będąc w tym modelu w następnym rozdziale.

Drugą, którą fala przemieszcza w czasie, gdy dowolna cząstka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie (czyli w czasie jednego okresu), nazywamy **długością fali** i oznaczamy grecką literą λ (czytaj: łamda). Na rysunku z to o długość między punktami A i B. Długość fali wyrażamy w metrach. Fala rozchodzi się ruchem jednostajnym; ze wzoru na drogę w tym ruchu ($v = \lambda \cdot f$) wynika, że:

$$\lambda = v \cdot T$$

gdzie:

v – szybkość rozchodzenia się fali, λ – długość odległości między dwoma, T – okres drgań (związany także z okresami fali).

Długość fali można także wyznaczyć przez częstotliwość drgań:

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

Długość fali jest równa odległości między sąsiadnymi grzebieniami lub dolinami fali poruszającej się wzdłuż osi x z prędkością v w kierunku x fali pod zmienną.

Długość cząstek ośrodka jest równa do długości drgań: $\lambda = v \cdot T$ lub $\lambda = \frac{v}{f}$. Fala, która ma ten sam kierunek i ten sam okres, może być ostateczną.

49

Najważniejsze **nowe pojęcia** wyróżniono.

Temat 7 PRZEMIANY ENERGII W ZJAWISKACH CIĘPLOWYCH

molekularyzacja: nie są się atomy grawitacji. Są to siły słabsze. Będą się więc o nich uczyć już niedługo.

Jeśli na dnie przekształconego na zdjęciu (na poprzedniej stronie) cylindra umieszcimy odrubniętą wodę szklaną, dziesięciocentymetrowy, zamknięty cylinder i szklanym rurkiem przesłaniemy otwór w dół, woda się zapali. Wykonano przez nas proces spowodujący zwiększenie energii kinetycznej cząstek powietrza i alkoholu, co wiąże się z gwałtownym wzrostem temperatury. W wyniku tego zachodzi reakcja chemiczna – spalanie. Energia potencjalna wosku zmienia oddziaływania cząstek i energii kinetyczne ich ruchu to słabsze energii wewnętrznej ciała.

Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząstek oraz ich energii potencjalnych wynikających ze wzajemnego oddziaływania międzymolekularnego.

W każdym zjawisku, w którym występuje tarcie, przystosowanie energii wewnętrznej jest równy pracy wykonanej przy pokonywaniu sił tarcia.

$$\Delta E = W$$

Nie tylko widzialnym zjawiskiem, w którym dochodzi do przekształceń energii wewnętrznej ciała, są meteority. Bryła skalna wpadająca z kosmosu do atmosfery z ogromną szybkością rozgrzewa się do białego światła. Rozgrzewa meteor, a zwłaszcza otaczające go powietrze, przez krótki czas świeci, po czym zwykle meteor zgaśnie i zniknie. Jeśli bryła nie zgaśnie, to z wielką energią uderzy w Ziemię (od tej chwili nazywa się meteoritem) i tworzy czapę ognistego krateru. Zdarzyło się poniżej przekształca krater utworzony na pustyni w amerykańskim stanie Arizona około 50 000 lat temu przez meteoroid o średnicy około 50 m. W chwili uderzenia energia kinetyczna meteoroidu zmieniła się w energię wewnętrzną, więc temperatura otaczającego go powietrza wzrosła. Skutek można porównać ze skutkiem wybuchu 150 bomb atomowych, takich jak te, które zrzucono na Hiroszimą i Nagasaki podczas drugiej wojny światowej.

10

Definicje i prawa wyraźnie zaznaczono innym kolorem.

7.1. Energia wewnętrzna i jej zmiany przez wykonanie pracy

Podsumowanie

1. Wartość średniej energii kinetycznej chaotycznego ruchu cząsteczek cieplej i gęstości ma ruchu drgającego cząsteczek ciała stałego zależy od temperatury.
2. Największą część energii wewnętrznej ciała to energia kinetyczna chaotycznego ruchu jego cząsteczek i energia potencjalna wynikająca z ich wzajemnego oddziaływania siłami międzymolekularnymi.
3. Energię wewnętrzną ciała można zwiększyć przez wykonanie pracy W , np. przez pokonywanie siły tarcia przy odkształcaniu tego ciała. Wówczas przyrost tej energii jest równy tej pracy:

$$\Delta E_w = W$$

Zadania i doświadczenia

1. Opisz przemiany energii, jakie zachodzą podczas hamowania roweru.
2. Wytłumacz, dlaczego podczas jazdy ciśnienie w oponach samochodu wzrasta.
3. W przedmiotowych szklanych naczyniach jest woda. Odczytaj na podanej skali

- W których naczyniach cząsteczki wody mają największą średnią energię kinetyczną?
- W którym naczyniu woda ma największą, a w którym najmniejszą energię wewnętrzną?
- Sprężony gaz podziałał siłą, czyli wykonał pracę. Co odczytasz z energii wewnętrznej gazu?

11

Na końcu każdego rozdziału zamieszczono **Podsumowanie** oraz **Zadania i doświadczenia**.

OPTYKA, CZYLI NAJLEPIEJ GŁÓWIE

Sprawdź się

1. Naturalnymi źródłami światła są

A. lampy i Słońce,
C. Słońce i Księżyc.

B. lampy, Słońce i Księżyc,
D. kwiat słonecznika, Słońce.

2. Ciężki przedmiot na ścianie ma wysokość

A. 20 cm

B. 30 cm

C. 40 cm

D. 50 cm

3. Na rysunku pokazano, jak światło odbija się od wypolerowanej powierzchni.

Które zdanie jest prawdziwe?

A. AO to promień padający, BOC to kąt padania.

B. BO to promień padający, BOA to kąt padania.

C. BOC to kąt odbicia, AO to promień padający.

D. AOC to kąt padania, OC to promień odbity.

212

Na końcu każdego działu zamieszczono **zadania testowe**
Sprawdź się...

Zadania problemowe

Zadanie 1.
Zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gęstość, ciśnienie i natężenie ciepła, zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gęstość, ciśnienie i natężenie ciepła, zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gęstość, ciśnienie i natężenie ciepła, zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gęstość, ciśnienie i natężenie ciepła.

Do dyspozycji masz sterowaną laboratoryjnie i maszyny z ciepłą wodą.
Wypisz krótkie zarysy i wyniki doświadczenia.

Zadanie 2.
Metalowy kubek zawierający wodę o temperaturze 4°C jest zanurzony do połowy w dużym naczyniu z mieszaniną rozcieńczonego lodu w wodę o temperaturze 0°C .
Wybierz poprawny opis procesu zachodzącego w kubku.
A. Ochladzająca się woda w kubku wypływa do góry.
B. Ochladzająca się woda w kubku opada na dno.
C. Woda w kubku równomiernie ochładza się bez przeniesienia w inną miejsc.
Uzasadnij wybór.

Zadanie 3.
Byłoby ciekawo o masie 200 g dostarczono ciepła. Zależność temperatury od ilości dostarczonego ciepła przedstawia poniższy wykres. Początkowa temperatura obrotu była temperaturą przemianowania, w którym znajdowała się bryła.

a) Podaj w stopniach Celsjusza temperaturę przemianowania i temperaturę topnienia obrotu.

b) Oblicz ciepło właściwe obrotu.
c) Oblicz ciepło topnienia obrotu.
d) Ciepło topnienia lodu wynosi $335\,000\,\frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Podaj, o ile razyś wielkość ciepła topnienia lodu jest większe od ciepła topnienia obrotu.

36

... oraz **Zadania problemowe.**

Pamiętaj,
by odpowiedzi do wszystkich zadań zamieszczonych w podręczniku zapisywać w zeszycie przedmiotowym.

7

Przemiany energii w zjawiskach cieplnych



Piloci paralotni po
natrafieniu na komin
termiczny próbują jak
najdłużej pozostawać w jego
zasięgu i korzystać z prądów
konwekcyjnych.

Nierównomierne nagrzanie
podłoża przez promienie
słoneczne powoduje konwekcję
i powstawanie tzw. kominów
termicznych.

7.1 Energia wewnętrzna i jej zmiana przez wykonanie pracy

W dziale *Praca, moc, energia mechaniczna* zajmowaliśmy się rodzajami energii mechanicznej ciał. Mówiliśmy, że jeden rodzaj energii może ulegać zamianie na inny. Na przykład podczas spadania ciała jego energia potencjalna grawitacji maleje, a jej kosztem rośnie energia kinetyczna. Jeśli spadanie odbywa się w próżni, to przyrost energii kinetycznej wynosi dokładnie tyle, ile ubytek energii potencjalnej, a suma obu tych energii (czyli całkowita energia mechaniczna ciała) jest w każdej chwili taka sama. Jednak gdy ciało uderzy w podłoże i nie ulegnie odbiciu, to traci energię kinetyczną uzyskaną podczas spadania. Co staje się z tą energią? Czy znika, czy zmienia się w jeszcze inny, nieznany ci dotąd rodzaj energii? Podobne pytania możemy zadać w przypadku, gdy ciało spada w powietrzu. Wówczas przyrost energii kinetycznej jest mniejszy niż ubytek energii potencjalnej, zatem całkowita energia mechaniczna ciała podczas spadania maleje. Wobec tego, co dzieje się z częścią energii mechanicznej?

Wykonajmy dwa doświadczenia.

Potrzyj przez chwilę jedną dłoń o drugą, a następnie przyłóż dłonie do policzków. Poczujesz, że temperatura dłoni wzrosła.

Jeśli będziesz pocierać tkaniną końcówkę elektronicznego termometru lekarskiego, zwiększysz temperaturę termometru i tkaniny. Wskazania termometru wzrosną.

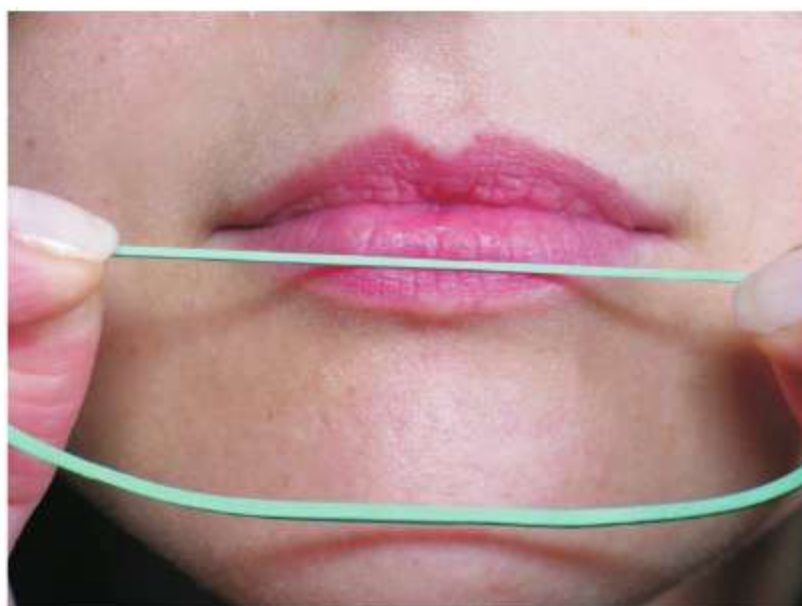
W każdym z powyższych przypadków została wykonana praca związana z pokonywaniem siły tarcia. Skutkiem tej pracy nie był ani wzrost energii kinetycznej ciała, ani jego energii potencjalnej, a jedynie wzrost temperatury ciał trących o siebie. Co oznacza wzrost temperatury ciała? Spróbujmy odpowiedzieć na to pytanie.



Wiesz już, że wszystkie ciała składają się z cząsteczek lub atomów. Atomy (cząsteczki) ciała stałego wykonują drgania wokół swoich położeń równowagi, a gazów i cieczy poruszają się chaotycznie, pędząc od zderzenia do zderzenia z innymi atomami lub cząsteczkami. Podczas zderzeń, których w każdej sekundzie jest bardzo wiele, prędkość każdej cząsteczki ulega zmianie. Zmieniają się kierunki, zwroty i wartości prędkości (czyli szybkości) cząsteczek. W związku ze zmianą szybkości cząsteczek zmieniają się także ich energie kinetyczne. Gdyby w pewnej chwili zsumować energie kinetyczne wszystkich cząsteczek ciała i tę sumę podzielić przez liczbę cząsteczek, otrzymamy **średnią energię kinetyczną cząsteczek**.

Jak pamiętasz, w wyższej temperaturze szybkości cząsteczek są większe, większa jest zatem średnia energia kinetyczna cząsteczek. Wobec tego, gdy średnia energia kinetyczna cząsteczek ciała jest większa, to wyższa jest jego temperatura. Temperatura jest związana tylko z energią kinetyczną atomów i cząsteczek: w ciałach stałych jest to energia ruchu drgającego, w cieczach i gazach – ruchu chaotycznego.

Łatwo się zatem domyślić, że **praca wykonana przy pokonywaniu tarcia spowodowała** w opisanym powyżej doświadczeniu **wzrost średniej energii kinetycznej cząsteczek** końcówki termometru i tkaniny. W sumie energia cząsteczek wzrosła o tyle, ile pracy wykonano. Czy cząsteczki ciała posiadają tylko energię kinetyczną? Jak wiesz, cząsteczki danego ciała działają na siebie siłami międzycząsteczkowymi. Wiesz także, że ze wzajemnym oddziaływaniem związana jest energia potencjalna zależna od odległości oddziałujących ciał – a w naszym przypadku oddziałujących wzajemnie cząsteczek ciała. Jeśli cząsteczki ciała przyciągają się, to podczas zwiększania się odległości między nimi energia potencjalna rośnie. Możemy się o tym przekonać w następujący sposób: chwytamy palcami kawałek gumki recepturki, jak pokazano na fotografii, i dotykamy gumką warg. Następnie wielokrotnie rozciągamy gumkę i ponownie dotykamy nią warg. Podczas rozciągania gumki na skutek wykonania pracy odległości międzycząsteczkowe wzrastają i wzrasta energia potencjalna układu cząsteczek. Gdy puszcza gumkę, energia potencjalna zamienia się w energię kinetyczną ruchu drgającego cząsteczek i wzrasta temperatura gumki. Zapamiętaj, że siły



międzycząsteczkowe nie są siłami grawitacji. Są to siły elektryczne. Będziesz się o nich uczyć już niedługo.

Jeśli na dnie przedstawionego na zdjęciu (na poprzedniej stronie) cylindra umieścimy odrobinę waty nasączonej denaturatem, zamkniemy cylinder i szybkim ruchem przesuniemy tłok w dół, wata się zapali. Wykonana przez nas praca spowoduje zwiększenie energii kinetycznej cząsteczek powietrza i alkoholu, co wiąże się z gwałtownym wzrostem temperatury. W wyniku tego zachodzi reakcja chemiczna – spalanie.

Energie potencjalne wzajemnego oddziaływania cząsteczek i energie kinetyczne ich ruchu to składniki **energii wewnętrznej** ciała.

Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząsteczek oraz ich energii potencjalnych wynikających ze wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego.

W każdym zjawisku, w którym występuje tarcie, przyrost energii wewnętrznej jest równy pracy wykonanej przy pokonywaniu sił tarcia.

$$\Delta E_w = W$$

Niezwykłe widowiskowym zjawiskiem, w którym obserwujemy wzrost energii wewnętrznej ciała, są meteory. Bryła skalna wpadająca z kosmosu do atmosfery z ogromną szybkością rozgrzewa się „do białości” wskutek tarcia o powietrze. Rozgrzany meteor, a zwłaszcza otaczające go powietrze, przez krótki czas świecą, po czym zwykle meteor spala się i znika. Jeśli bryła nie zdąży się spalić, to z wielką energią uderza w Ziemię (od tej chwili nazywa się meteorytem) i tworzy często ogromny krater. Zdjęcie poniżej przedstawia krater utworzony na pustyni w amerykańskim stanie Arizona około 50 000 lat temu przez meteoryt o średnicy około 50 m. W chwili uderzenia energia kinetyczna meteorytu zmieniła się w energię wewnętrzną, więc temperatura otoczenia gwałtownie wzrosła. Skutek można porównać ze skutkiem wybuchu 150 bomb atomowych, takich jak te, które zrzucono na Hiroszimę i Nagasaki podczas drugiej wojny światowej.



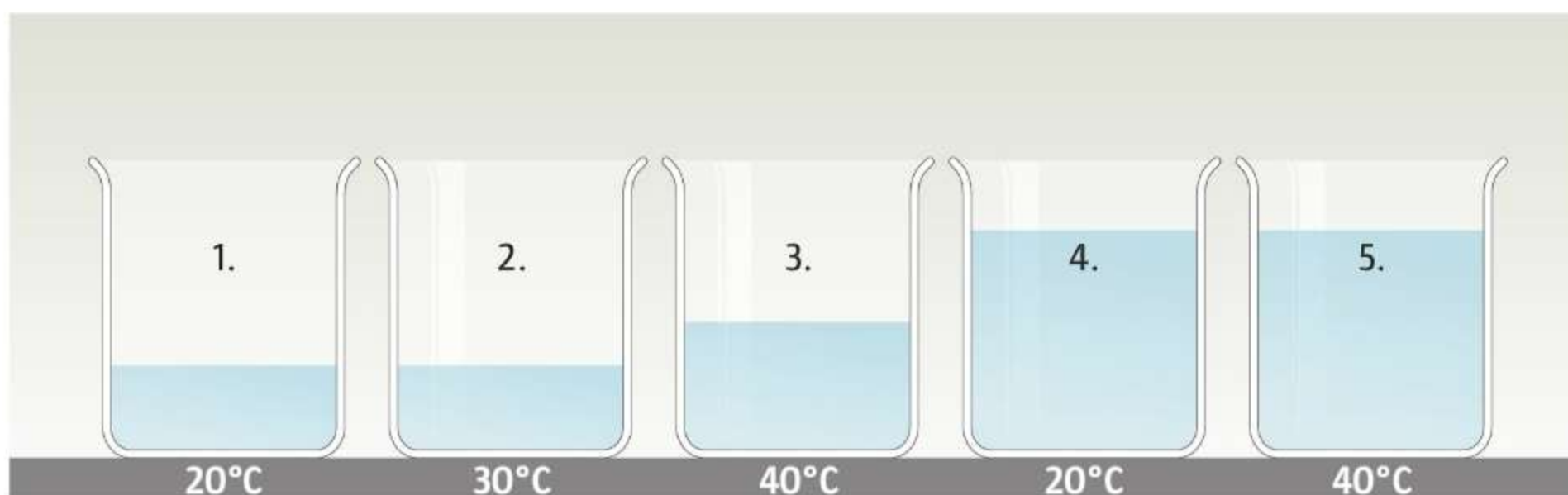
Podsumowanie

1. Wzrost średniej energii kinetycznej chaotycznego ruchu cząsteczek cieczy i gazów oraz ruchu drgającego cząsteczek ciała stałego objawia się wzrostem temperatury.
2. Najważniejsze składniki energii wewnętrznej ciała to: energia kinetyczna chaotycznego ruchu jego cząsteczek i energia potencjalna wynikająca z ich wzajemnego oddziaływania siłami międzycząsteczkowymi.
3. Energię wewnętrzną ciała można zwiększyć przez wykonanie pracy W , np. przy pokonywaniu tarcia lub przy odkształcaniu tego ciała. Wówczas przyrost tej energii jest równy tej pracy:

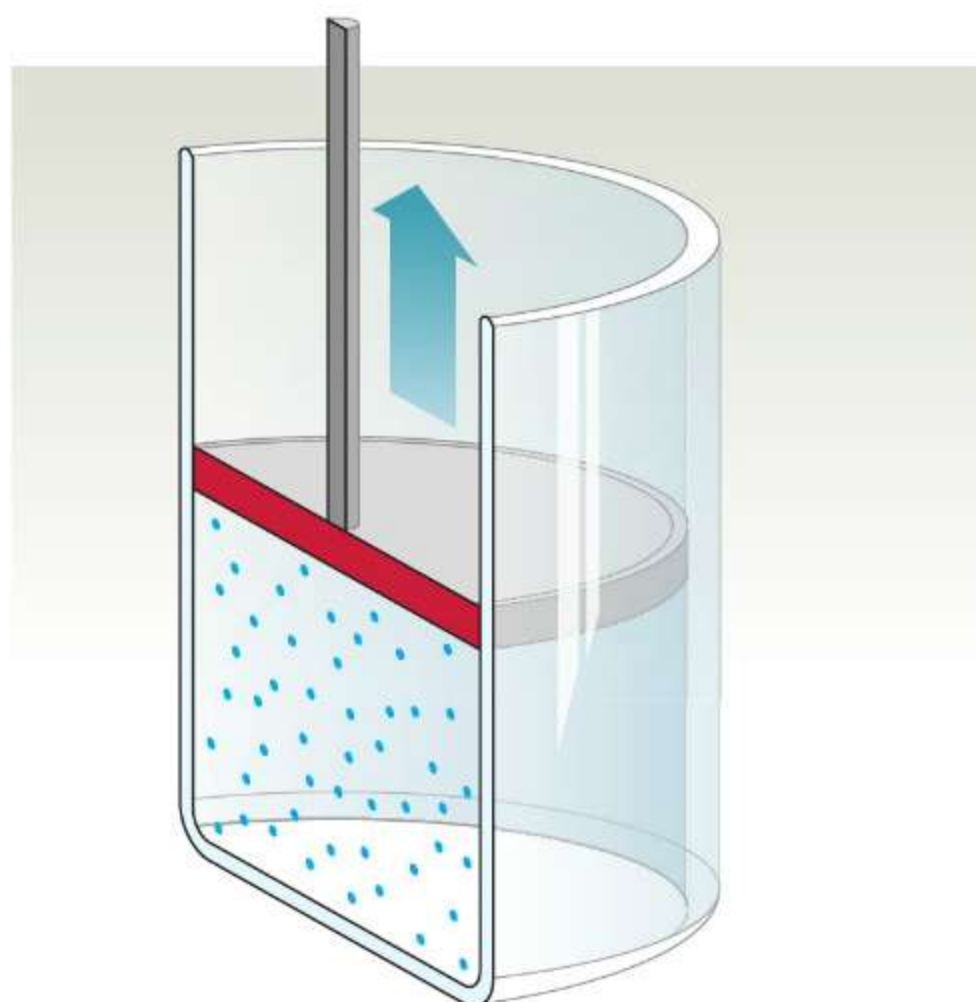
$$\Delta E_w = W$$

Zadania i doświadczenia

1. Opisz przemiany energii, jakie zachodzą podczas hamowania roweru.
2. Wy tłumacz, dlaczego podczas jazdy ciśnienie w oponach samochodu wzrasta.
3. W przedstawionych niżej naczyniach jest woda. Odpowiedz na podane pytania.



- W których naczyniach cząsteczki wody mają jednakowe średnie energie kinetyczne?
 - W którym naczyniu woda ma najmniejszą, a w którym największą energię wewnętrzną?
4. Sprężony gaz podniósł tłok, czyli wykonał pracę. Co się stało z energią wewnętrzną gazu?



7.2 Ciepły przepływ energii

Wykonywanie pracy nie jest jedynym sposobem zmieniania energii wewnętrznej ciała. Wykonajmy następujące doświadczenie.

Doświadczenie 7.1

Obserwujemy przewodzenie ciepła.

Potrzebne przedmioty: ceownik, którego używaliśmy już do kilku doświadczeń, lub metalowy pręt, świeca (parafina), kilka gwoździ, palnik spirytusowy lub gazowy.

Kolejne czynności:

- Parafiną przymocuj gwoździe do metalowego pręta.
- Jeden koniec pręta zamocuj w statywie, drugi ogrzewaj.
- Obserwuj zachowanie się gwoździ.

Wynik: Gwoździe kolejno (od strony ogrzewanego końca) odpadają od pręta.

Wniosek: W miarę upływu czasu wzrasta temperatura części pręta coraz bardziej oddalonych od palnika. Wyjaśnijmy to zjawisko.



Cząsteczki płomienia o wysokiej temperaturze poruszają się z dużymi szybkościami, a gdy zderzają się z atomami umieszczonego w płomieniu metalowego pręta, przekazują im część swojej energii. Wzrasta więc średnia energia kinetyczna drgających atomów w części pręta umieszczonej w płomieniu. Energia drgań tych atomów przekazywana jest przez oddziaływania (w uproszczeniu: zderzenia) kolejnym, sąsiednim atomom. Oznacza to, że stopniowo wzrasta energia wewnętrzna całego pręta.

Ten sposób zmiany energii wewnętrznej ciała nazywamy **ciepłym przepływem energii**. Jest on możliwy jedynie wtedy, gdy stykają się ze sobą dwa ciała (lub części tego

samego ciała) o różnych temperaturach. Energia przekazywana jest od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Ciepły przepływ energii trwa do chwili wyrównania się temperatur obu ciał. Od tej chwili ciała są w równowadze termicznej. Tak przekazaną energię oznaczamy literą Q i nazywamy **cieplem**. Jak można się domyślić, ilość energii uzyskanej przez jedno ciało jest równa ilości energii oddanej przez drugie. Inaczej możemy powiedzieć, że ciało „gorące” (tzn. o wysokiej temperaturze) straciło ciepło, a ciało „zimne” (tzn. o temperaturze niskiej) je zyskało.

Przyrost energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ciepło Q , zapisujemy następująco:

$$\Delta E_w = Q$$

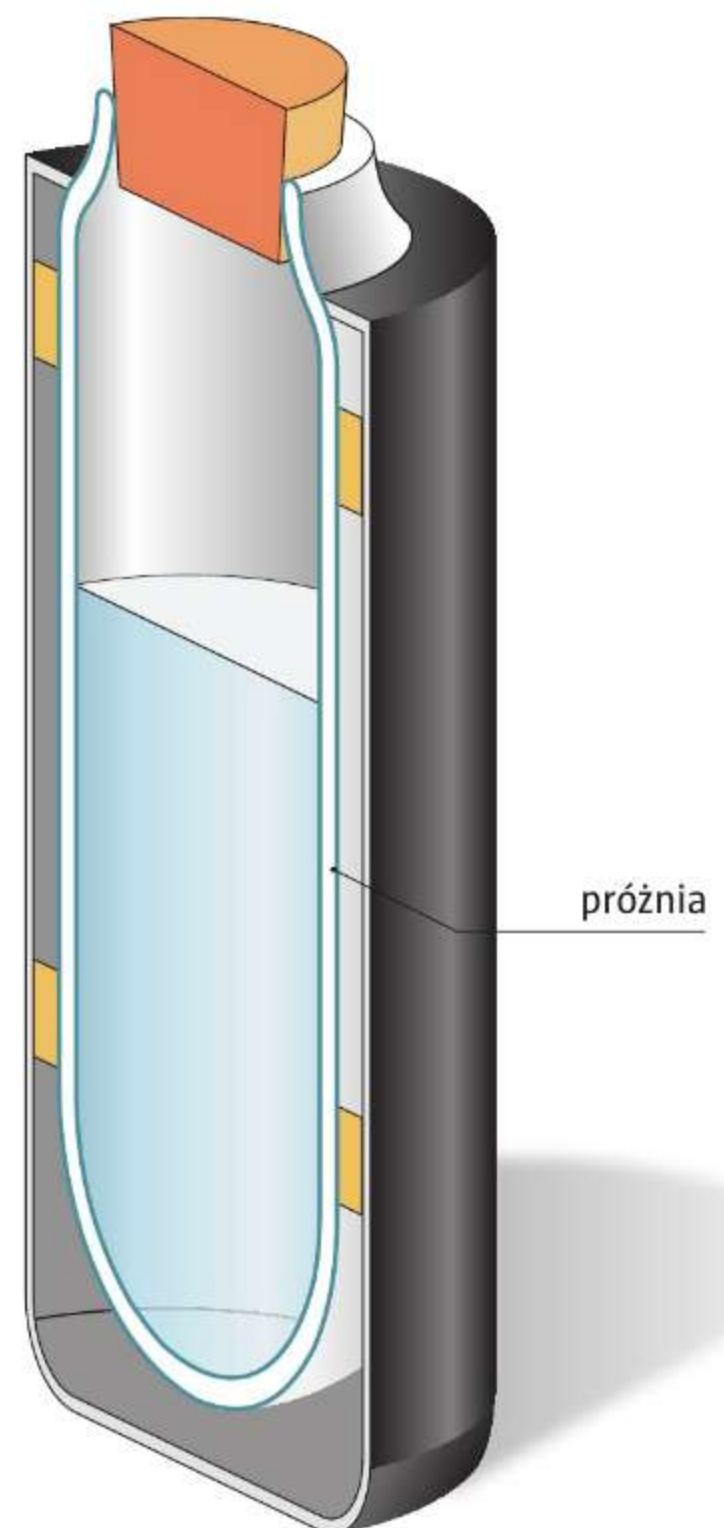
Nie wszystkie substancje jednakowo przewodzą ciepło. Gazy są złymi przewodnikami ciepła. Do złych przewodników ciepła należą także: większość cieczy, szkło, drewno, plastiki, słoma, styropian, futro, wełna, śnieg, wata szklana. Niektórych z tych substancji używamy, gdy chcemy zapobiec przepływowi ciepła np. przez ściany i okna budynków. Mówimy, że stanowią one **izolację cieplną**. Tę właściwość wykorzystujemy przy konstruowaniu okien z podwójnymi szybami, a także przy wytwarzaniu nowoczesnych materiałów budowlanych, które w swojej strukturze mają wolne przestrzenie wypełnione powietrzem.

O tym, że substancje różnią się przewodnictwem cieplnym, możesz się przekonać, gdy staniesz jedną stopą (bosą) na parkiecie lub desce, a drugą na płytce ceramicznej. Płytkę jest dobrym przewodnikiem ciepła, więc szybko pobierze ciepło od stopy i poczujesz chłód.

Przykładem praktycznego zastosowania próżni jako izolacji cieplnej jest termos (rys.). Termos to pojemnik o dwóch ściankach – szklanych lub metalowych – między którymi panuje próżnia. Uniemożliwia ona wymianę ciepła między wnętrzem termosu a jego otoczeniem. Dlatego termos może mieć zastosowanie do utrzymywania stałej temperatury zarówno gorących cieczy, jak i zimnych lodów.

Dobrymi przewodnikami ciepła są metale, dlatego metalowa łyżeczka włożona do gorącej herbaty po chwili nas parzy, a plastikowa nie. Możesz to sprawdzić poprzez wykonanie doświadczenia 1. opisanego na stronie 15.

Połączmy zatem wnioski wynikające z doświadczeń opisanych w rozdziałach – niniejszym i poprzednim.



Energię wewnętrzną ciała możemy zmienić albo przez wykonanie pracy (W), albo przez przekazanie ciepła (Q). Oczywiście może także nastąpić równoczesne wykonanie pracy i przekazanie ciepła.

$$\Delta E_w = W + Q$$

Twierdzenie to nosi nazwę **pierwszej zasady termodynamiki**.

Zauważ, że energię wewnętrzną, pracę i ciepło wyrażamy w tych samych jednostkach – dżulach. Tradycyjnie ciepło wyrażamy także w kaloriach.

$$1 \text{ cal} = 4,19 \text{ J}$$

Podsumowanie

1. Innym sposobem zmiany energii wewnętrznej ciała – poza wykonaniem pracy – jest przekazywanie ciepła Q ciału o niższej temperaturze przez ciało o wyższej temperaturze.

$$\Delta E_w = Q$$

2. Pierwsza zasada termodynamiki informuje nas o tym, jak można zmienić energię wewnętrzną ciała i czemu jest równa ta zmiana.

$$\Delta E_w = W + Q$$

3. Próżnia, gazy, ciecze, drewno, szkło i plastik są złymi przewodnikami ciepła. Dobrymi przewodnikami ciepła są metale.

Zadania i doświadczenia

1. Zademonstruj przekazywanie energii kinetycznej podczas zderzenia ze sobą dwóch metalowych kulek.
2. Jeśli mieszkasz na wsi lub osiedlu domków jednorodzinnych, sprawdź zimową porą, który z twoich sąsiadów ma dobrze izolowany cieplnie dach, a który gorzej. W tym celu obserwuj ilość śniegu na dachach.
3. Pewien rodzaj cegły nosi nazwę Porotherm. Jakie informacje chcieli przekazać użytkownikom twórcy tej nazwy?
4. Dlaczego ptaki zimą stroszą pióra?
5. Podaj znane ci przykłady zmiany energii wewnętrznej ciała przez wykonanie pracy i wymianę ciepła.
6. Wyjaśnij, dlaczego próżnia nie przewodzi ciepła.
7. Wyszukaj w internecie informacje o tym, jak opisuje się właściwości izolacyjne materiałów budowlanych. Przygotuj prezentację na ten temat.

Doświadczenie 1.**Badamy przewodnictwo ciepłe różnych materiałów.**

Potrzebne przedmioty: naczynie z gorącą wodą, podłużne przedmioty użytku domowego, wykonane z różnych substancji, np. posrebrzana, aluminiowa i drewniana łyżka, plastikowa linijka, rurka do napojów lub obudowa długopisu, długi szklany przedmiot i długi porcelanowy przedmiot, podłużny kawałek styropianu i inne.

Kolejne czynności:

- Włóż do naczynia wybrane przedmioty tak, by ich dolne części znalazły się w wodzie.
- Odczekaj przynajmniej 5 minut i dotknij wystających z wody końców przedmiotów, by sprawdzić, czy ich temperatura wzrosła.
- Oceń „z grubsza” przyrosty temperatury wszystkich przedmiotów i uszereguj rosnąco – ze względu na przewodnictwo ciepłe – materiały, z których je wykonano.

Doświadczenie 2.**Badamy właściwości izolacyjne kołdry i poduszek.**

Potrzebne przedmioty: 2 jednakowe słoiki z gorącą wodą, kołdry lub poduszki.

Kolejne czynności:

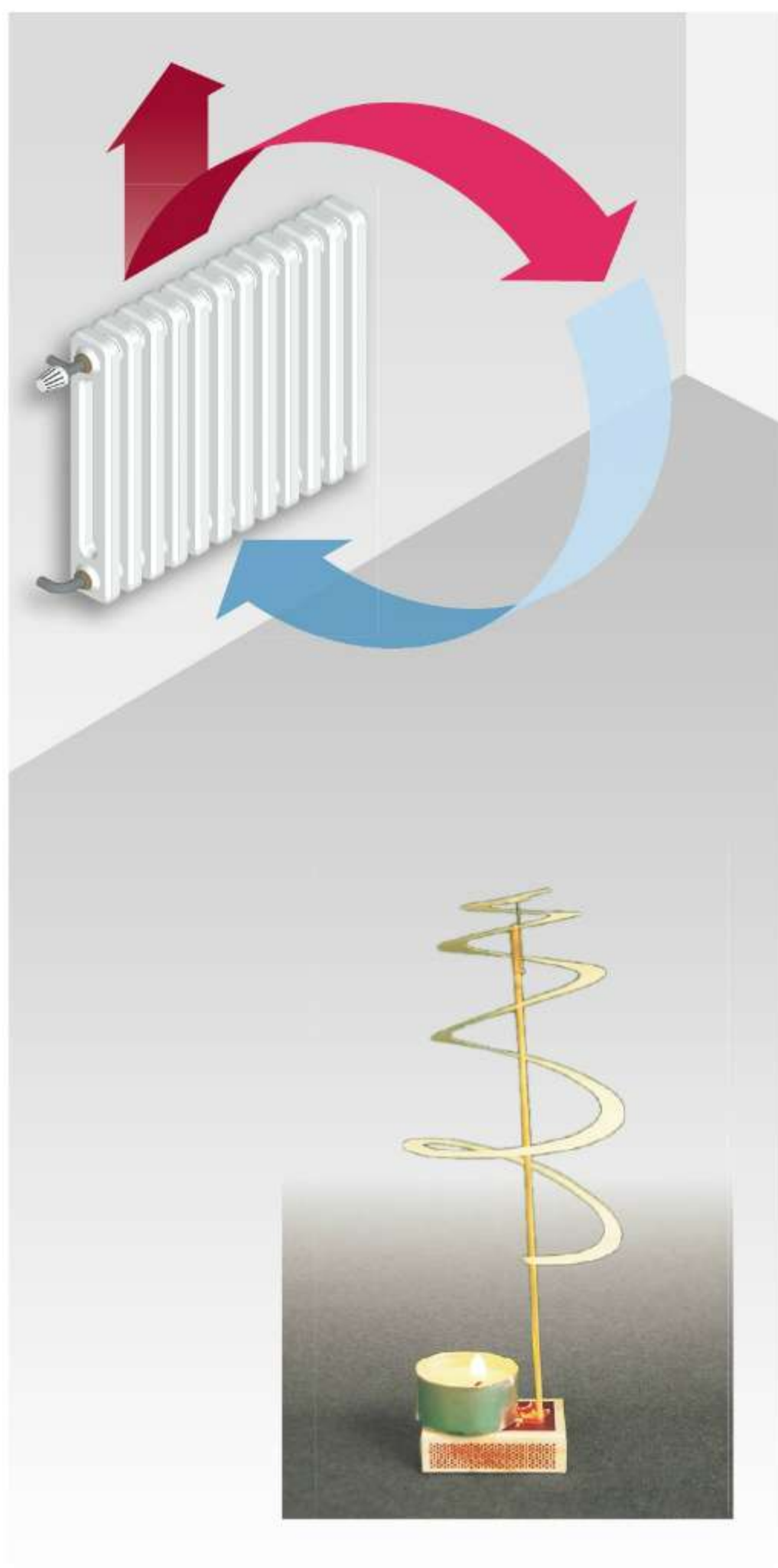
- Napełnij słoiki gorącą wodą i zakręć pokrywki.
- Jeden słoik postaw na stole, a drugi włóż między kołdry i poduszki.
- Po godzinie sprawdź temperaturę wody w słoikach.

Jeśli słoik wkładany między kołdry owiniesz w plastikowy woreczek, by nie dopuścić do wylania wody, owiń takim woreczkiem także drugi słoik, by wszystkie parametry, oprócz badanego, były jednakowe.

- Samodzielnie zapisz wynik doświadczenia i wniosek.

7.3 Zjawisko konwekcji

W ciałach stałych ciepło jest przekazywane głównie przez zderzenia drgających cząsteczek. Cząsteczki z części ciała o wysokiej temperaturze, czyli mające dużą energię kinetyczną, przekazują część tej energii wolniejszym cząsteczkom z chłodniejszej części ciała. Ten sposób transportu energii nazwaliśmy przewodnictwem cieplnym. W gazach i cieczech ciepło jest przenoszone głównie przez **konwekcję**. Przykładem może być ogrzewanie pokoju za pomocą grzejnika centralnego ogrzewania (rys.).



Najpierw ogrzewa się warstwa powietrza położonego blisko grzejnika. Średnie szybkości cząsteczek wzrastają, występuje zjawisko rozszerzalności temperaturowej, cząsteczki oddalają się od siebie, maleje gęstość powietrza. Zgodnie z prawem Archimedeasa powietrze o mniejszej gęstości unosi się do góry. Na jego miejsce wchodzi powietrze chłodne, które także się ogrzewa i następnie unosi. W pokoju odbywa się ciągła wędrówka prądów powietrza; noszą one nazwę prądów konwekcyjnych. W sklepach z zabawkami można kupić ptaszki na nitkach przyczepionych do poziomej listewki, którą, także na nitce, wiesza się pod sufitem. Ogrzane powietrze, wznoszące się ku górze, powoduje nieustanny ruch ptaszków. Odmianą tej zabawki jest wisząca u sufitu (lub nad palącą się świeczką) papierowa sprężyna o wzrastającej średnicy. Łatwo ją samemu wykonać – wystarczy przeciąć kartkę wzdłuż linii spiralnej.

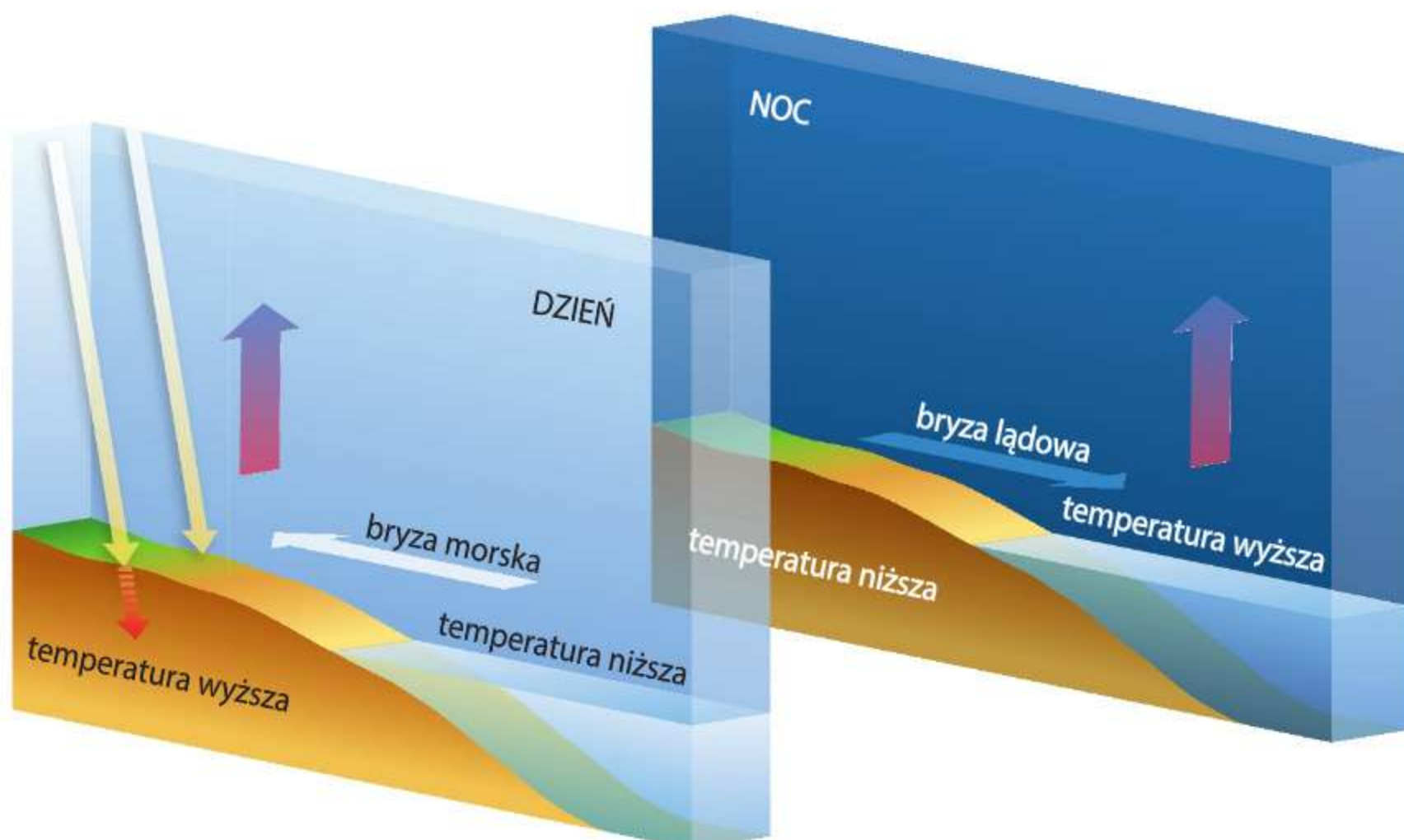
F

Doświadczenie 7.2**Obserwujemy zjawisko konwekcji.****Potrzebne przedmioty:** podwójna torebka z herbatą, talerzyk, zapalniczka.**Kolejne czynności:**

- Od torebki z herbatą odetnij pasek równoległy do krawędzi, do której jest doczepiona nitka, i wysyp herbatę do szklanki.
- Pozostałą część torebki uformuj w rurkę i postaw pionowo na talerzyku.
- Podpal rurkę u góry i obserwuj zachowanie jej spopielonych resztek.

Wynik: Spopielone resztki torebki fruną w górę.**Wniosek:** Powietrze wzdłuż palącej się rurki rozszerza się i unosi w górę (zjawisko konwekcji) wraz z resztkami torebki.

Zjawisko konwekcji możesz zaobserwować podczas wakacji nad morzem. W ciągu dnia woda morska (która ma bardzo duże ciepło właściwe; patrz następny rozdział) nagrzewa się o wiele wolniej niż piasek na plaży i nadmorskie skały. W nocy zaś wolniej się ochładza. Wskutek tego nad brzegiem zarówno w dzień, jak i w nocy wieje lekki wiatr zwany bryzą. Rozgrzane powietrze unosi się do góry (w dzień nad piaskiem, w nocy nad wodą), a jego miejsce zajmuje chłodniejsze powietrze; w dzień znad wody, w nocy znad lądu (rys.).



Zasadnicza różnica między przewodzeniem ciepła i konwekcją polega na tym, że w przypadku przewodzenia energia jest przekazywana poprzez zderzenia cząsteczek – **mamy więc transport energii bez transportu masy**. W przypadku konwekcji energia jest przenoszona razem z cząsteczkami gazu lub cieczy. **Transportowi energii towarzyszy transport masy**.

Konwekcja odgrywa ważną rolę w wentylacji naszych mieszkań. Na ogół w naszych domach mamy wentylację naturalną, zwaną także grawitacyjną. W ścianach domów pozostawia się kanały, których połączenie z pomieszczeniami w mieszkaniach jest zabezpieczone kratkami znajdującymi się pod sufitem. Powietrze dostające się do naszych mieszkań przez nieszczelne okna lub specjalne nawiewniki ogrzewa się, miesza z powietrzem znajdującym się wewnątrz, unosi się na zasadzie konwekcji i przez kanał wentylacyjny kominem wydostaje się na zewnątrz. Konwekcja zachodząca w kanale wentylacyjnym nosi nazwę **ciągu kominowego**. Wentylacja działa tym lepiej, im większa jest różnica temperatur na zewnątrz i wewnątrz budynku, dlatego najskuteczniejsza jest zimą. Wyjątek stanowią zimowe pogodne dni, gdy panuje bardzo wysokie ciśnienie atmosferyczne, ponieważ takie ciśnienie utrudnia konwekcję. To w takie dni najczęściej telewizja

donosi o zatruciach tlenkiem węgla z pieców gazowych i węglowych. Latem należy po prostu szeroko otwierać okna. Aby wentylacja dobrze działała, do pomieszczeń musi stale napływać powietrze z zewnątrz. Dawniej nieszczelności okien zapewniały wystarczający dopływ świeżego powietrza, ale dzisiaj okna są tak szczelne, że jeśli okno jest zamknięte, napływ powietrza jest praktycznie niemożliwy. Przebywanie w niewentylowanych pomieszczeniach jest bardzo niezdrowe. Przy oddychaniu i korzystaniu z kucharek i term gazowych zużywamy zawarty w powietrzu tlen. Jego niedobór może powodować zakłócenia snu, bóle głowy i wiele innych poważniejszych schorzeń. Dlatego producenci proponują okna, które można rozszczelnić dzięki ustawieniu klamki w odpowiedniej pozycji. Jeśli ktoś ma takie okna, powinien z tego udogodnienia korzystać na co dzień! Zapominalscy powinni montować nawiewniki automatyczne.



Podsumowanie

1. Konwekcja jest jednym ze sposobów przenoszenia ciepła. Polega na unoszeniu się w górę ogrzanych warstw gazu lub cieczy.
2. Konwekcja ma duże znaczenie dla oczyszczania powietrza w mieszkaniach.

Zadania i doświadczenia

1. Przyłóż kartkę papieru do kratki wentylacyjnej i sprawdź, czy kartka do niej przywiera, czyli czy w twoim mieszkaniu wentylacja działa prawidłowo (czy jest ciąg).
2. Odszukaj w internecie informacje o utrzymywaniu wysokiej temperatury w ciepłarni i o globalnym efekcie cieplarnianym. Czy te zjawiska wiążą się z konwekcją?

Doświadczenie 1.

Obserwujemy skutki występowania zjawiska konwekcji w cieczach.

Potrzebne przedmioty: patyk lub rurka do napojów z jednym końcem zamrożonym w kostce lodu, druga kostka lodu, 2 szklanki, mała grzałka elektryczna.

Kolejne czynności:

- Wlej do szklanki zimną wodę, zanurz w niej grzałkę możliwie głęboko.
- Wrzuć kostkę lodu i włącz grzałkę.
- Obserwuj lód oraz proces ogrzewania i wrzenia wody.
- Do drugiej szklanki włóż kostkę lodu z patykiem, nalej wody i za pomocą patyka utrzymuj lód przy dnie szklanki.
- Grzałkę umieść w górnej części szklanki i włącz.
- Doprowadź wodę do wrzenia i obserwuj kostkę lodu.
- Opisz przebieg obserwacji w obu przypadkach i wyjaśnij różnicę.



F



7.4 Ciepło właściwe

Zajmiemy się teraz takimi zjawiskami, w których wzrost temperatury ciała (a więc także wzrost jego energii wewnętrznej) następuje tylko na skutek pobierania ciepła Q . Wówczas: $W = 0$, a więc zgodnie z pierwszą zasadą termodynamiki:

$$\Delta E_w = Q$$

Umówmy się, że przez **ogrzewanie** ciała będziemy zawsze rozumieli wzrost jego temperatury, a przez **oziębianie** – spadek temperatury. W tym rozdziale odpowiemy na pytanie: „Jak obliczyć energię (ilość ciepła), którą należy dostarczyć ciału o masie m , aby ogrzać je o $\Delta t = \Delta T$?”.

Na co dzień obserwujemy ogrzewanie wody w czajniku stojącym na kuchennej płycie lub na palniku gazowym. Jeżeli płomień palnika jest ciągle tak samo intensywny, to ilość dostarczonego wodzie ciepła jest tym większa, im dłuższy jest czas jej ogrzewania. Wobec tego ilości pobranego ciepła Q możemy porównać przez porównanie czasów ich dostarczania. Łatwo zauważyć, że ten czas będzie tym dłuższy, im większy jest przyrost temperatury ΔT , który chcemy osiągnąć. A dokładniej: ilość ciepła potrzebnego do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do przyrostu jej temperatury.

Można to zapisać w postaci:

$$Q \sim \Delta T$$

Gdybyśmy ogrzewali wodę o dwa razy większej masie i chcieli uzyskać ten sam przyrost temperatury ΔT , musielibyśmy jej dostarczyć dwa razy więcej ciepła, czyli:

$$Q \sim m$$

Te dwie zależności można zapisać razem:

$$Q \sim m \cdot \Delta T$$

co odczytujemy: **ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do iloczynu jej masy i przyrostu temperatury**. Iloraz wielkości wprost proporcjonalnych jest stały, co zapisujemy jako:

$$\frac{Q}{m \cdot \Delta T} = \text{const}$$

Gdyby podobne doświadczenie wykonać dla innej substancji, okazałoby się, że iloraz ten także jest stały, ale ma inną wartość. Ta stała wartość nosi nazwę **ciepła właściwego** substancji. Oznaczamy ją literą c .

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Jednostką tej wielkości jest:

$$[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \text{lub} \quad [c] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Ciepło właściwe informuje nas o tym, ile ciepła (energii) należy dostarczyć, aby ogrzać 1 kg substancji o 1 K (lub o 1°C). Oczywiście, jeśli taką ilość energii odbierzemy 1 kilogramowi substancji, to jej temperatura obniży się o 1 K (1°C).

Wartości ciepła właściwego dla wybranych substancji podane są w tabeli 7.1 (w przypadku gazów jest to ciepło właściwe pod stałym ciśnieniem).

Tabela 7.1. Ciepło właściwe

Ciała stałe		Ciecze		Gazy	
nazwa substancji	ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$	nazwa substancji	ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$	nazwa substancji	ciepło właściwe $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}\right)$
ołów	130	rtęć	140	tlen	916
miedź	385	nafta	2100	azot	1050
aluminium	920	alkohol etylowy	2400	wodór	14 300
lód	2100	woda	4190	para wodna	1890

Ilość ciepła Q potrzebną do ogrzania ciała o masie m tak, aby nastąpił przyrost jego temperatury o ΔT , obliczamy za pomocą wzoru:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Przykład 7.1

Ciepło właściwe wody wynosi około $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Oznacza to, że do ogrzania $m = 1$ kg wody o $\Delta T = 1$ K potrzebne jest dostarczenie energii równej około 4200 J.

Przykład 7.2

Obliczmy energię, którą trzeba dostarczyć, aby ogrzać szklankę wody ($m = 250$ g) od temperatury 20°C do 50°C.

Dane: $\Delta T = \Delta t$, $\Delta T = 50^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 30^\circ\text{C} = 30$ K

$$m = 250 \text{ g} = 0,25 \text{ kg}, \quad c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Szukane: Q

Rozwiązanie:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

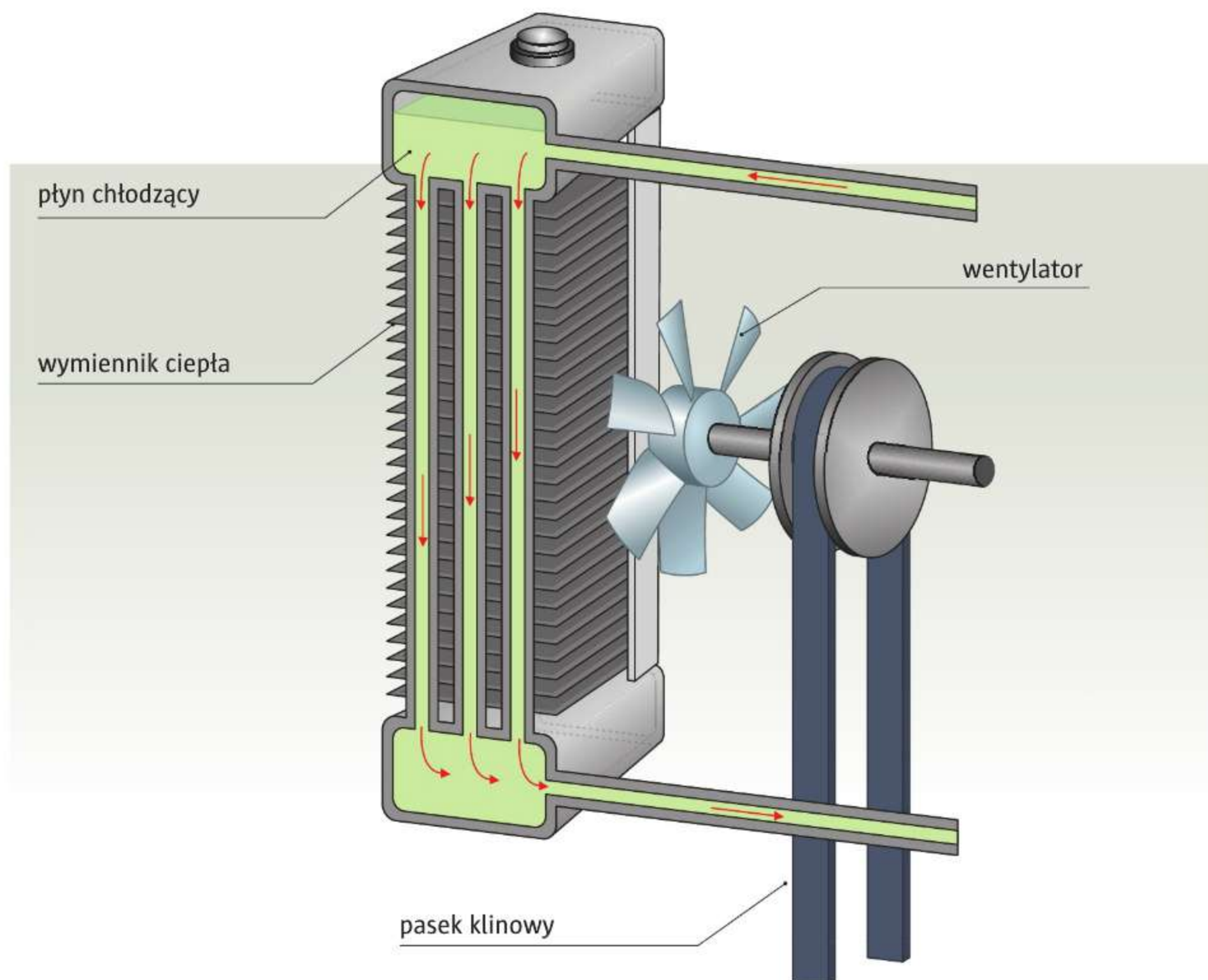
$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,25 \text{ kg} \cdot 30 \text{ K} = 31\,500 \text{ J}$$

Odpowiedź: Aby ogrzać wodę, należy dostarczyć 31,5 kJ ciepła.





Spośród substancji, z którymi stykamy się na co dzień, woda ma największe ciepło właściwe, a więc jej ogrzanie wymaga dostarczenia dużej ilości energii. Ochładzająca się woda także oddaje do otoczenia dużą ilość energii, dlatego jest szeroko stosowana jako substancja do magazynowania i przenoszenia energii. Gdy nie znano jeszcze poduszek elektrycznych, do nagrzewania chorych części ciała stosowano w lecznictwie tzw. termofory, czyli gumowe zbiorniki na gorącą wodę. Woda i para wodna przenoszą także energię w postaci ciepła z elektrociepłowni do kaloryferów w naszych mieszkaniach.



Woda była też dawniej (ale tylko w lecie!) używana w układach chłodzenia silników spalinowych do odprowadzania energii w postaci ciepła od silnika do chłodnicy (obecnie stosowane są inne ciecze). Jak widać na rysunku powyżej, powierzchnia chłodnicy jest ożebrowana. Taka konstrukcja służy zwiększeniu powierzchni zetknięcia ciał, między którymi zachodzi wymiana ciepła. Im większa powierzchnia, tym szybciej jest wymieniane ciepło (cząsteczki stykających się ciał mają więcej możliwości zderzania się). Dlatego metalowa część chłodnicy nazywa się wymiennikiem ciepła. Na tej samej zasadzie konstruuje się grzejniki CO. Kraty, pofałdowania powierzchni, żeberka zwiększają powierzchnię **wymiennika ciepła**. Podobną konstrukcję mają radiatory odprowadzające na zewnątrz ciepło z rozgrzanych w czasie pracy procesorów komputerowych.

Gdyby zdjąć obudowę piecyka gazowego, można by się przekonać, że rura z ogrzewaną wodą tworzy zwoje wokół przestrzeni, którą przepływa gorące powietrze, ogrzane palnikiem gazowym.

Szybkość wymiany ciepła z otoczeniem zależy także od różnicy temperatur ciał, między którymi taka wymiana zachodzi.

*Podczas wykonywania obliczeń związanych z wymianą ciepła między ciałami korzystamy z tzw. **bilansu cieplnego**.



Przykład 7.3*

W termosie znajdowało się 0,25 kg wody o temperaturze 36°C. Do tej wody dolano 0,25 kg wody o temperaturze 42°C. Termos zamknięto i przez potrząsanie wymieszano wodę. Posłużmy się zasadą zachowania energii i obliczmy temperaturę końcową wody w termosie.

Dane: $m_1 = 0,25 \text{ kg}$, $t_1 = 36^\circ\text{C}$, $m_2 = 0,25 \text{ kg}$, $t_2 = 42^\circ\text{C}$

Szukane: t_x – temperatura końcowa

Rozwiązanie:

Ilość ciepła pobrana przez chłodniejszą wodę jest równa:

$$Q_{\text{pobrane}} = 0,25 \text{ kg} \cdot c (t_x - 36^\circ\text{C})$$

Ilość ciepła oddana przez cieplejszą wodę jest równa:

$$Q_{\text{oddane}} = 0,25 \text{ kg} \cdot c (42^\circ\text{C} - t_x)$$

Zgodnie z zasadą zachowania energii (układamy bilans cieplny):

$$Q_{\text{pobrane}} = Q_{\text{oddane}}$$

$$0,25 \text{ kg} \cdot c (t_x - 36^\circ\text{C}) = 0,25 \text{ kg} \cdot c (42^\circ\text{C} - t_x) \quad /: (0,25 \text{ kg} \cdot c)$$

$$t_x - 36^\circ\text{C} = 42^\circ\text{C} - t_x$$

$$2t_x = 78^\circ\text{C}$$

skąd

$$t_x = 39^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Temperatura końcowa wody w termosie wynosiła 39°C.



Podsumowanie

1. Ciepło potrzebne do ogrzania o ΔT substancji o masie m obliczamy ze wzoru:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

gdzie c jest ciepłem właściwym tej substancji.

Jeśli zajmujemy się zjawiskami, dla których $W = 0$, to przyrost energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ciepło, wynosi:

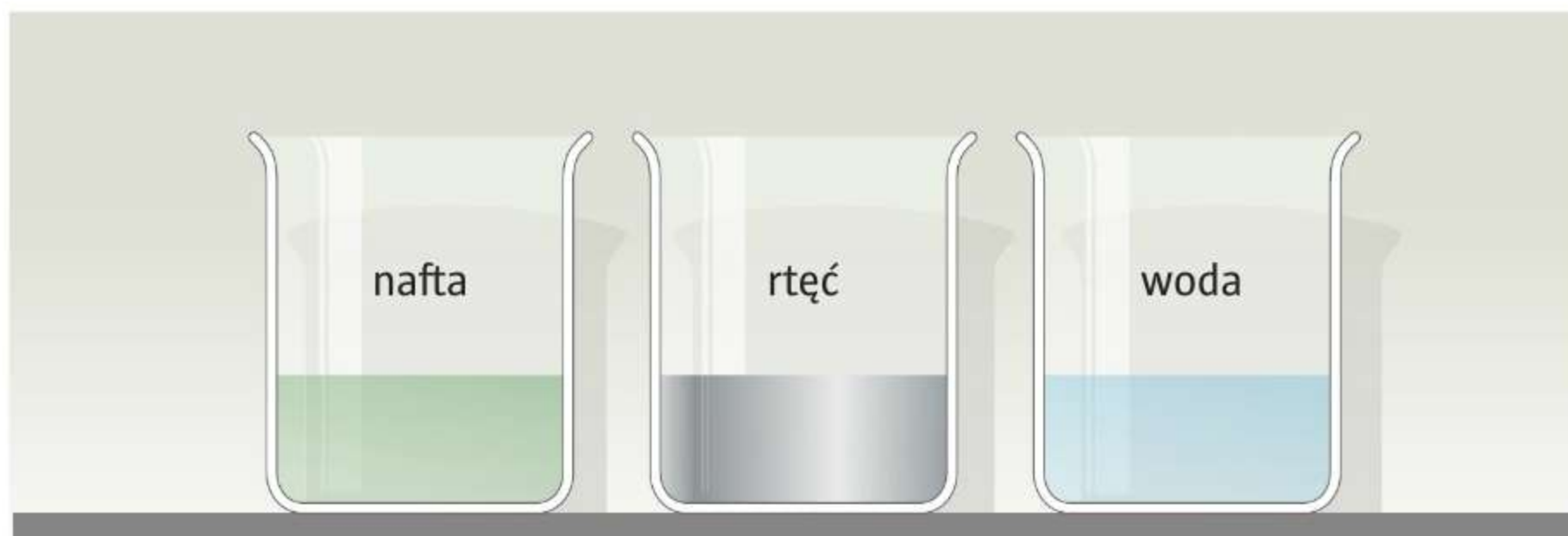
$$\Delta E_w = Q$$

$$\Delta E_w = c \cdot m \cdot \Delta T$$

2. Ciepło właściwe informuje nas, ile ciepła (energii) należy dostarczyć, aby ogrzać 1 kg substancji o 1 K. Wielkość tę wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.
3. Różne substancje mają różne ciepła właściwe.
4. Szybkość wymiany ciepła jest tym większa, im większa jest powierzchnia styku między ciałami.

Zadania i doświadczenia

1. Duża wartość ciepła właściwego wody (patrz tabela 7.1) wpływa na temperatury u wybrzeży morskich późną jesienią i wczesną wiosną. Wyszukaj informacje na ten temat i przygotuj wypowiedź ustną lub pisemną.
2. W naczyniach znajdują się jednakowe objętości nafty, rtęci i wody. Oblicz, do którego z naczyń trzeba dostarczyć najmniej ciepła, by ogrzać ciecz o 1°C . Potrzebne wartości ciepła właściwego odszukaj w tabeli 7.1. Gęstość rtęci wynosi $13\,500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, nafty $810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, a wody $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.



3. Dwa litry wody w aluminiowym naczyniu o masie 0,2 kg ogrzewamy od 0°C do 100°C . Oblicz, jaka część dostarczonej energii zostaje zużyta na ogrzanie naczynia. Skorzystaj z danych w tabeli 7.1.
4. Sprawdź w tabeli 7.1, w jakim stanie skupienia woda ma największe ciepło właściwe. Która substancja (woda, lód czy para wodna) wymaga największego dopływu energii podczas ogrzewania masy 1 kg o 1°C ?

Doświadczenie 1.*

Wykonaj doświadczenie opisane w przykładzie 7.3. Temperaturę wody możesz mierzyć elektronicznym termometrem lekarskim. Porównaj wynik obliczenia i pomiaru końcowej temperatury wody. Sformułuj własny komentarz dotyczący ich zgodności.



7.5 Przemiany energii w zjawiskach topnienia i parowania

Dotychczas rozważaliśmy zjawiska, w których dopływ ciepła był powodem wzrostu temperatury ciała (ogrzanie), a odpływ ciepła – ochłodzenia. Ale **dostarczanie ciepła nie zawsze skutkuje ogrzewaniem ciała**. Jeśli włożysz termometr do stojącego dłuższy czas w kuchni naczynia z pokruszonym lodem, przekonasz się, że temperatura lodu i powstałej z niego wody jest ciągle bliska 0°C , chociaż powietrze otaczające naczynie ma temperaturę o kilkanaście stopni wyższą. Skoro między powietrzem i lodem istnieje różnica temperatur, to na pewno następuje cieplny przepływ energii. Mimo to temperatura lodu nie zmienia się aż do całkowitego stopienia.

Na co więc zostaje zużyta energia dostarczona do lodu?

Lód ma budowę krystaliczną. Oznacza to, że jego cząsteczki tworzą regularną strukturę i są silnie ze sobą powiązane. Gdy dostarczymy tym cząsteczkom odpowiednio dużą energię, siły przyciągania zostaną przewyciężone i możemy spowodować zniszczenie regularnego ułożenia cząsteczek w kawałku lodu, czyli stopić go. Podczas topnienia rośnie średnia energia potencjalna cząsteczek lodu, nie zwiększa się natomiast średnia energia kinetyczna ich ruchu postępowego, tzn. ruchu od zderzenia do zderzenia, dlatego temperatura pozostaje stała. Dopiero po zniknięciu ostatniego kawałka lodu dalszy dopływ energii powoduje wzrost średniej energii kinetycznej ruchu cząsteczek wody, co objawia się wzrostem temperatury.

Energia potrzebna na stopienie pewnej masy m ciała stałego jest wprost proporcjonalna do tej masy.

$$Q \sim m, \quad \text{czyli} \quad \frac{Q}{m} = \text{const}$$

Stała wartość tego ilorazu, wyrażona w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$, informuje nas, ile trzeba dostarczyć energii (ciepła), aby stopić 1 kg ciała stałego (bez zmiany temperatury). Wielkość ta nosi nazwę **ciepła topnienia**, a oznaczamy ją symbolem c_t .

$$c_t = \frac{Q}{m}$$
$$[c_t] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Oczywiście gdy 1 kg wody krzepnie, oddaje chłodniejszemu otoczeniu taką samą ilość ciepła, jaką pobiera 1 kg lodu podczas topnienia. Wielkość ta nosi nazwę **ciepła krzepnięcia**, a oznaczamy ją jako c_k .

$$c_k = c_t$$

Przyrost (lub ubytek) energii wewnętrznej topniejącej (lub krzepnącej) substancji o masie m (gdy równocześnie nie jest wykonywana praca) obliczamy za pomocą wzorów:

$$\Delta E_w = c_t \cdot m \quad \text{i} \quad \Delta E_w = c_k \cdot m$$

W tabeli 7.2 podano wartości temperatury topnienia i ciepła topnienia kilku substancji.

Tabela 7.2. Temperatura topnienia i ciepło topnienia

Nazwa substancji	Temperatura topnienia		Ciepło topnienia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$
	K	°C	
alkohol metylowy	175	−98	100 000
rtęć	234	−39	11 400
lód (woda)	273	0	335 000
naftalen	353	80	148 000
ołów	600	327	25 000
złoto	1336	1063	63 000
żelazo	1808	1535	260 000
wolfram	3623	3350	190 000

Zwróć uwagę na bardzo duże ciepło topnienia lodu. Dzięki niemu na wiosnę śnieg i lód topią się wolno, co pozwala (na ogół) uniknąć powodzi. Z tabeli możemy odczytać jeszcze jedną ważną informację. Lód topi się już w temperaturze 0°C, ale żeby stopić 1 kg, trzeba w tej temperaturze dostarczyć aż 335 000 J ciepła. Złoto topi się dopiero w temperaturze około 1000°C, ale kiedy już ogrzejemy je do tej temperatury, to do stopienia 1 kg potrzeba tylko 63 000 J ciepła. Należy odróżniać ilość ciepła konieczną do ogrzania ciała do temperatury topnienia od ilości ciepła potrzebnej do jego stopienia. Nie wszystkie ciała stałe można stopić. Jeśli dostarczamy ciepło np. drewnu, to spali się, zamiast się topić.

Innym zjawiskiem, w którym dostarczenie ciepła nie powoduje wzrostu temperatury, jest wrzenie. To szczególny rodzaj parowania. Ciecze parują w każdej temperaturze, chociaż nie zawsze jednakowo intensywnie. W wyższej temperaturze parują szybciej. Aby poszczególne cząsteczki mogły oderwać się od powierzchni cieczy, muszą mieć odpowiednio dużą energię kinetyczną – wystarczającą do pokonania sił spójności. Najpierw odrywają się od powierzchni cieczy te cząsteczki, których szybkość jest największa, dlatego średnia energia kinetyczna cząsteczek cieczy, która pozostała, maleje. Gdybyśmy nie dostarczali energii z zewnątrz, temperatura parującej cieczy by się obniżała. Odczuwamy to np. wtedy, gdy wychodzimy z rzeki po kąpieli. Woda paruje i odbiera ciepło od naszego ciała.

Jeśli chcemy utrzymać stałą temperaturę cieczy, musimy dostarczać z zewnątrz energię w ilości wprost proporcjonalnej do masy m cieczy, która uległa zamianie w parę.

$$Q \sim m, \quad \frac{Q}{m} = \text{const}$$

Stałą wartość tego ilorazu nazywamy **cieplem parowania** cieczy i oznaczamy ją jako c_p .

$$c_p = \frac{Q}{m}$$

Jednostką tej wielkości jest:

$$[c_p] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Ciepło parowania informuje nas o tym, jaką energię należy dostarczyć cieczy o masie 1 kg, aby wyparowała bez zmiany temperatury.

Tabela 7.3. Ciepło parowania

Nazwa substancji	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$	Nazwa substancji	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia $\left(\frac{\text{J}}{\text{kg}}\right)$
aceton	520 000	chloroform	247 000
alkohol etylowy	858 000	eter	360 000
alkohol metylowy	1 100 000	woda	2 258 000
azot	201 000	wodór	467 000
benzen	394 000	rtęć	296 000

Gdy ogrzewana woda osiągnie temperaturę wrzenia, parowanie zachodzi nie tylko na powierzchni, ale w całej objętości wody – pęcherzyki pary wydobywają się nawet z całkiem nisko położonych warstw wody. Jednak **temperatura wrzącej wody pozostaje cały czas stała**. Oznacza to, że cała energia dopływająca z zewnątrz w postaci ciepła zostaje zużyta na zamianę cieczy w parę. Temperatura pary wynosi także około 100°C, zatem średnia energia kinetyczna cząsteczek pary nie wzrasta. Kosztem dostarczonej energii wzrasta za to znacznie średnia energia ich wzajemnych oddziaływań, bo w parze są one od siebie dużo bardziej odległe niż w cieczy. Wrzenie każdej cieczy odbywa się w stałej temperaturze, zależnej od zewnętrznego ciśnienia. Temperatura wrzenia wszystkich cieczy maleje wraz z obniżaniem się zewnętrznego ciśnienia, pod którym odbywa się wrzenie, a rośnie, gdy ciśnienie to staje się większe. Sprawdzaliśmy to doświadczalnie w klasie 7 (rozdział 2.2).

Ciepło oddane podczas skraplania pary o masie m obliczamy za pomocą wzoru:

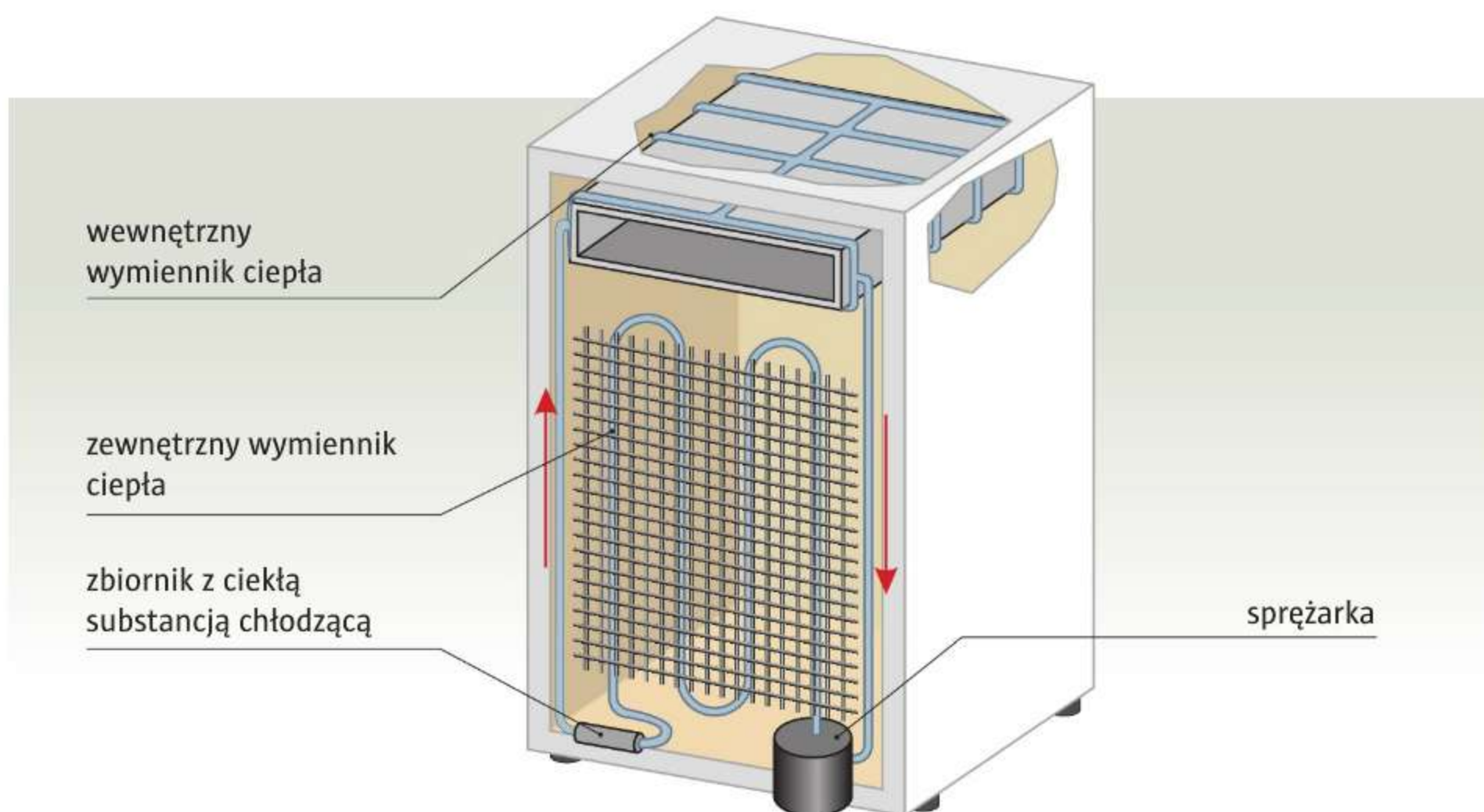
$$Q = c_s \cdot m$$

gdzie c_s nosi nazwę ciepła skraplania i jest równe ciepłu parowania substancji:

$$c_s = c_p$$

Jeśli wyjęty z lodówki napój wlejesz do szklanki, po chwili jej zewnętrzna powierzchnia pokryje się kropelkami wody. To para wodna zawarta w powietrzu uległa skropleniu na zewnętrznej powierzchni szklanki ochłodzonej przez napój.

Zjawisko ochładzania się cieczy wskutek szybkiego parowania wykorzystuje się w urządzeniach chłodniczych. Składają się one z czterech podstawowych części: zbiornika substancji chłodzącej, dwóch wymienników ciepła (wewnętrznego i zewnętrznego) i sprężarki. Jako substancji chłodzącej do początku lat dziewięćdziesiątych używano freonu. Substancja ta ma zabójczy wpływ na warstwę ozonową w atmosferze ziemskiej, dlatego obecnie stosuje się inne (przyjazne środowisku) gazy. Zasadę działania chłodziarki (nazywanej popularnie lodówką) przedstawiono na rysunku poniżej.



Substancja chłodząca w stanie ciekłym przepływa do rurek wewnętrznego wymiennika ciepła, oplatających wnętrze lodówki. Panuje w nich niskie ciśnienie, wskutek czego substancja chłodząca gwałtownie paruje, wewnątrz lodówki ochładza się i następuje pobieranie ciepła z produktów spożywczych. Następnie, już jako gaz, substancja chłodząca jest wsysana do sprężarki znajdującej się na zewnątrz lodówki. (Działanie sprężarki obniża ciśnienie w rurkach wewnętrznego wymiennika ciepła). W sprężarce następuje skroplenie pary substancji chłodzącej, co wiąże się z wydzielaniem ciepła. Ciepło to zostaje oddane do otoczenia w znajdującym się na zewnątrz lodówki wymienniku ciepła. Następnie substancja chłodząca w stanie ciekłym ponownie trafia do wewnętrznego wymiennika ciepła, gdzie w procesie parowania pobiera ciepło z wnętrza lodówki itd. Zwróć uwagę, że do działania lodówki konieczne jest jej zasilanie energią elektryczną, którą zużywa głównie sprężarka. Ilość energii elektrycznej konieczna do podtrzymywania pracy lodówki jest znacznie większa od ilości energii usuwanej z wnętrza lodówki, a więc otoczenie lodówki się ogrzewa.

Na podobnej zasadzie działają klimatyzatory, coraz powszechniej używane w samochodach i domach.

Podsumowanie

1. Topnienie substancji krystalicznej zachodzi w stałej i charakterystycznej dla tej substancji temperaturze zwanej temperaturą topnienia. Również krzepnięcie następuje w stałej temperaturze (temperatura topnienia jest równa temperaturze krzepnięcia).

2. Ciało topniejące pobiera ciepło z otoczenia (o temperaturze wyższej), zatem rośnie jego energia wewnętrzna (energia potencjalna cząsteczek).

$$\Delta E_w = Q = c_t \cdot m \quad (\text{gdy } W = 0)$$

3. Ciecz krzepnąca oddaje chłodniejszemu otoczeniu ciepło, więc jej energia wewnętrzna maleje o:

$$\Delta E_w = Q = c_k \cdot m \quad (\text{gdy } W = 0)$$

4. Ciepło topnienia substancji jest równe jej ciepłu krzepnięcia:

$$c_t = c_k$$

Wielkości te wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.

5. Ciecz paruje w każdej temperaturze.
6. Wrzenie polega na gwałtownym parowaniu cieczy w całej objętości. Wrzenie zachodzi w ściśle określonej temperaturze (zależnej od zewnętrznego ciśnienia), zwanej temperaturą wrzenia i charakterystycznej dla każdej cieczy.
7. Parująca ciecz pobiera z otoczenia ciepło:

$$Q = c_p \cdot m$$

gdzie c_p – ciepło parowania cieczy, zatem zwiększa się energia wewnętrzna pary (energia potencjalna jej cząsteczek).

8. Skraplająca się para oddaje otoczeniu ciepło:

$$Q = c_s \cdot m$$

gdzie c_s – ciepło skraplania pary, zatem energia wewnętrzna substancji podczas skraplania maleje.

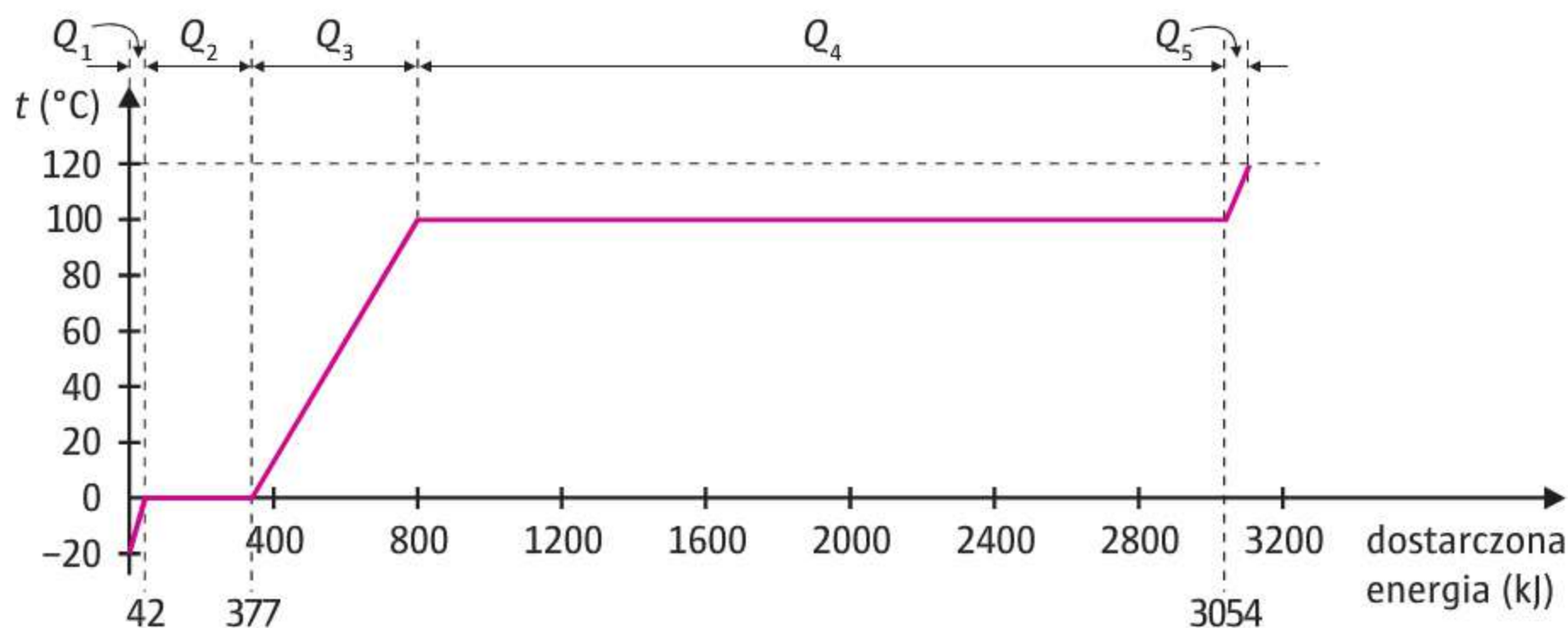
9. Ciepło skraplania substancji jest równe jej ciepłu parowania:

$$c_s = c_p$$

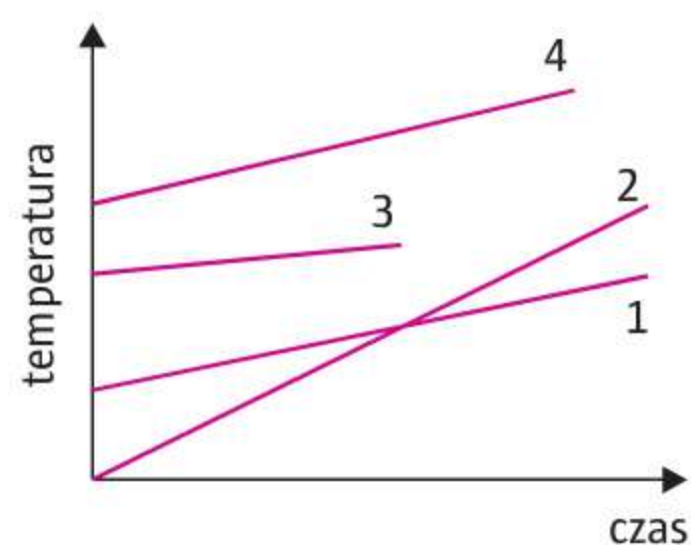
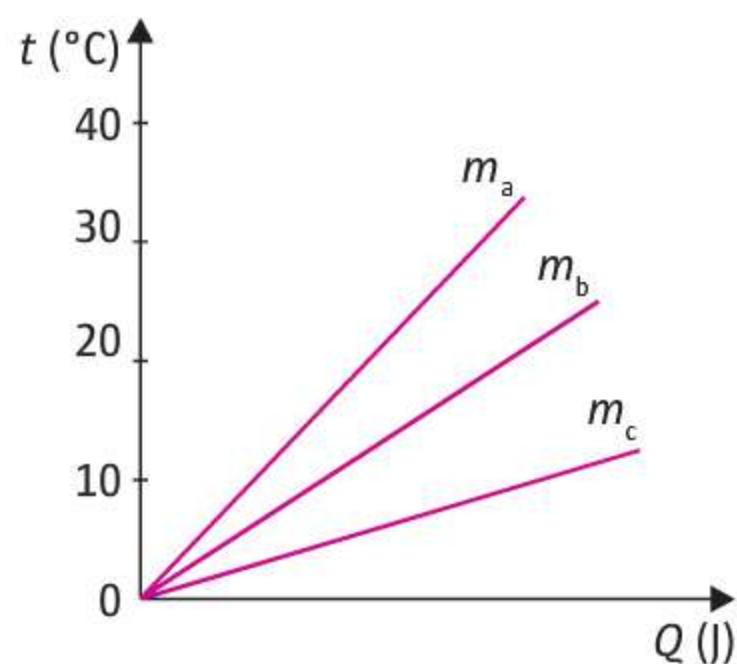
Zadania i doświadczenia

1. Jak za pomocą mokrego palca można określić kierunek wiatru?
2. Co jest bardziej bolesne: oparzenie wodą czy parą wodną o tej samej temperaturze? Uzasadnij odpowiedź.
3. Wyjaśnij, jaką rolę w naszym organizmie spełnia pocenie się.
4. Polej dłoni spirytusem salicylowym i nią pomachaj. Wyjaśnij swoje spostrzeżenia.
5. Przypomnij, na czym polegają zjawiska sublimacji i resublimacji. Podaj przykłady.
6. Oblicz ilość ciepła, które należy dostarczyć 1 litrowi wody o temperaturze 20°C, by się zagotowała, a następnie wyparowała. Potrzebne wielkości odczytaj w tabelach 7.1 i 7.3.

7. Poniższy wykres przedstawia zależność temperatury 1 kilograma substancji H_2O od dostarczonej energii.

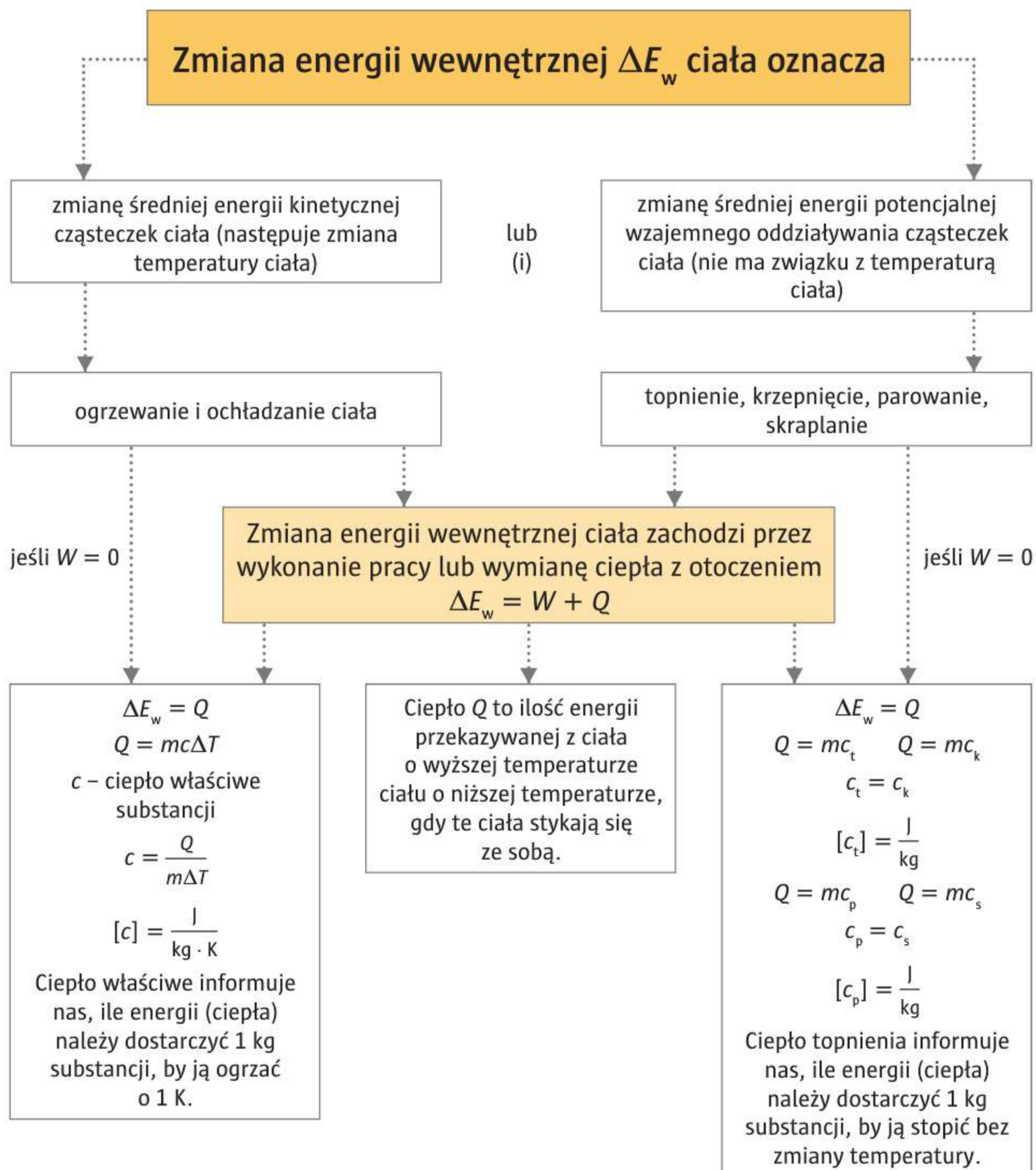


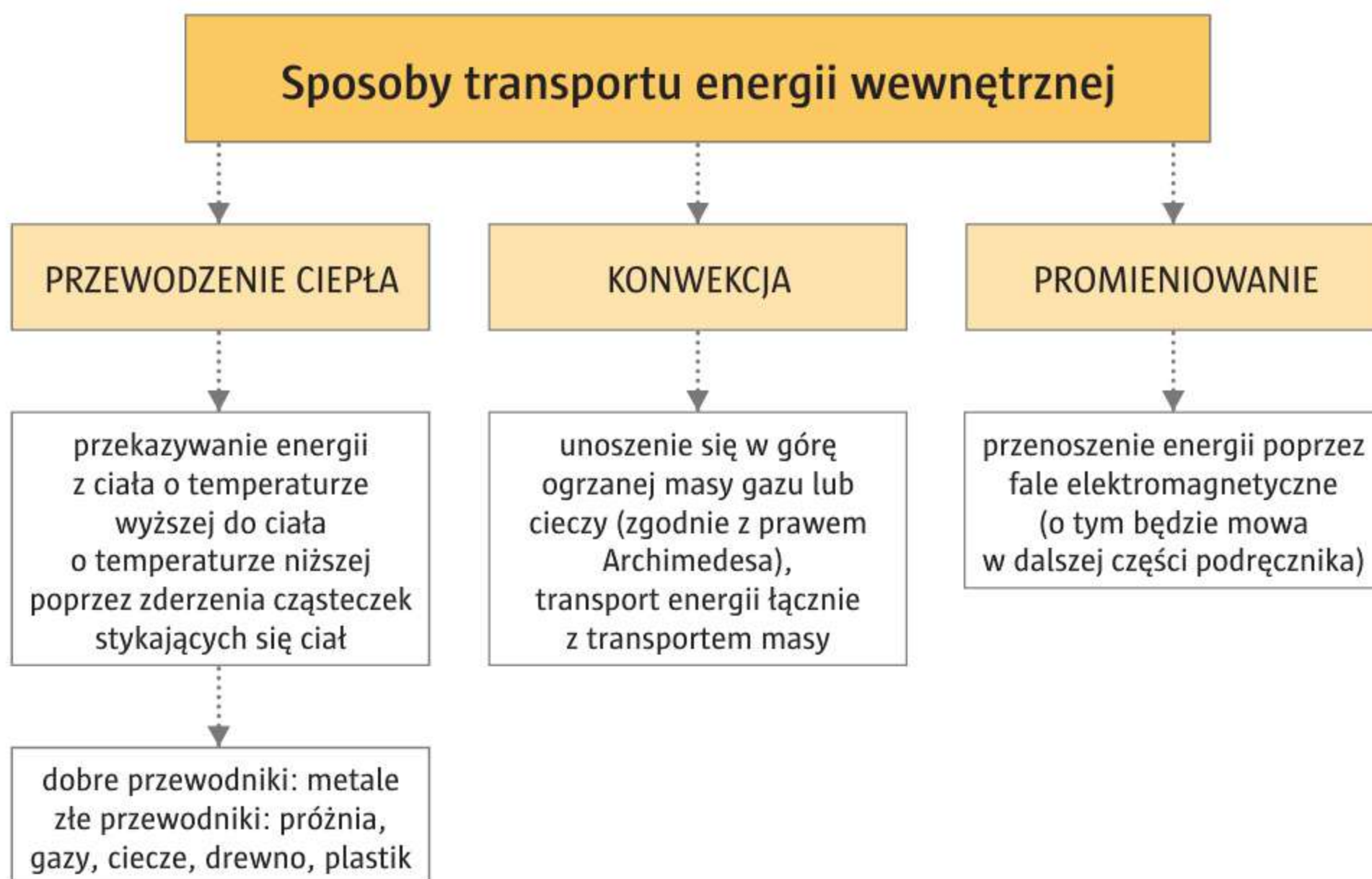
- Opisz kolejne procesy przedstawione na wykresie.
 - Odczytaj z wykresu:
 - początkową temperaturę lodu,
 - kończącą temperaturę pary wodnej,
 - przybliżoną ilość ciepła potrzebną do stopienia lodu,
 - przybliżoną ilość ciepła dostarczoną podczas wrzenia wody.
 - Porównaj ilość ciepła potrzebną do stopienia lodu z ilością ciepła potrzebną do ogrzania do 100°C wody powstałej z lodu.
 - Oblicz, ile razy (w przybliżeniu) ilość ciepła potrzebna do wyparowania wody podczas wrzenia jest większa od ilości ciepła potrzebnego do stopienia lodu.
 - Wskaż, w którym procesie lód pobiera ciepło $Q = mc_l [0^{\circ}\text{C} - (-20^{\circ}\text{C})]$, gdzie c_l jest ciepłem właściwym lodu.
8. Rysunek przedstawia zależność temperatury różnych mas wody m_a , m_b , m_c od ilości dostarczonego ciepła.
- Masy te spełniają warunki
- $m_a < m_b < m_c$
 - $m_a > m_b > m_c$
 - $m_a > m_c > m_b$
 - $m_a < m_c < m_b$
9. Czterem porcjom różnych substancji o jednokowej masie dostarczano ciepło w jednakowym tempie, powodując wzrost temperatury przedstawiony na wykresach. Która substancja ma największe ciepło właściwe? Odpowiedź uzasadnij pisemnie.
10. Podaj jednostkę, w której wyraża się szybkość przekazywania ciepła z jednej substancji do drugiej.



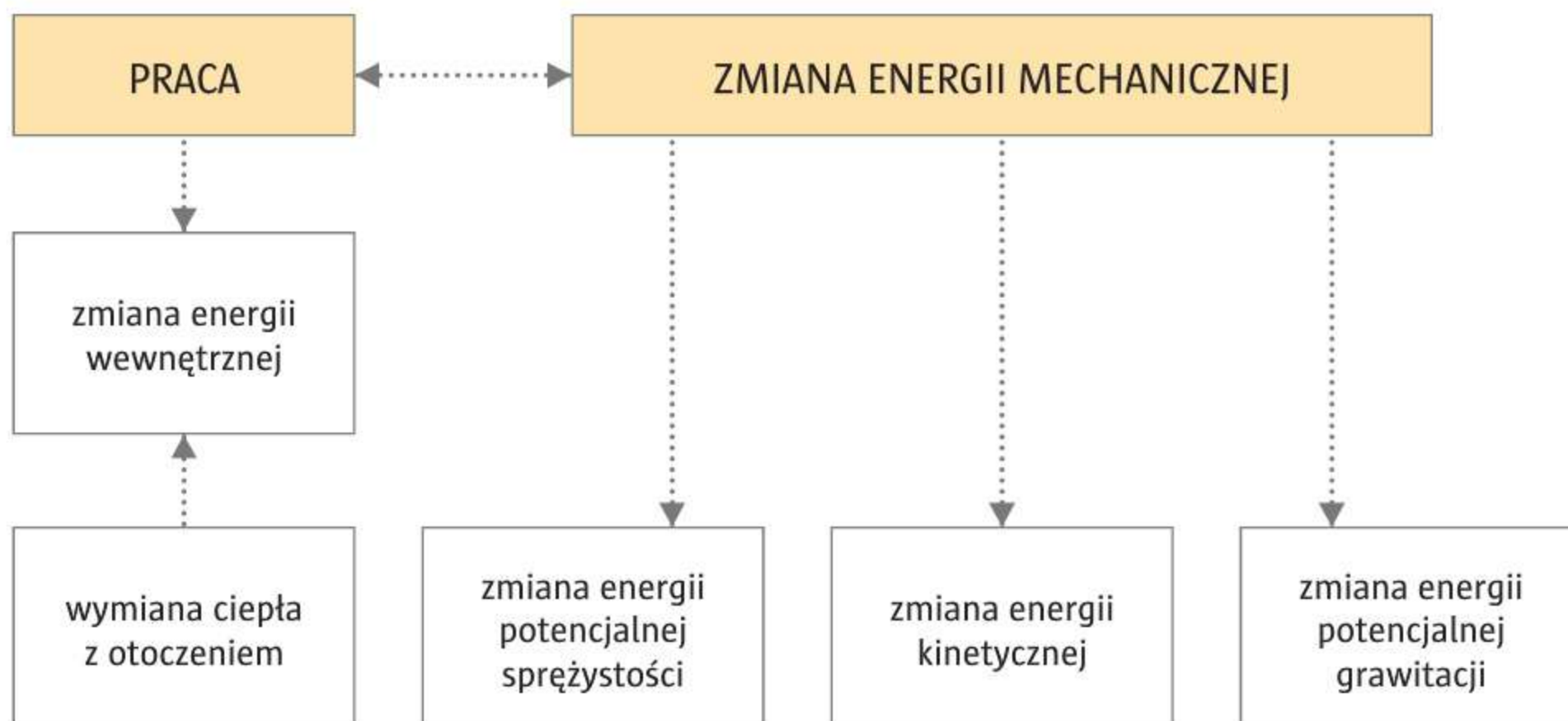
Podsumowanie

- Energia wewnętrzna ciała to suma energii kinetycznych chaotycznego ruchu wszystkich jego cząsteczek oraz ich energii potencjalnych wynikających z wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego.





■ W całej przyrodzie obowiązuje zasada zachowania energii.



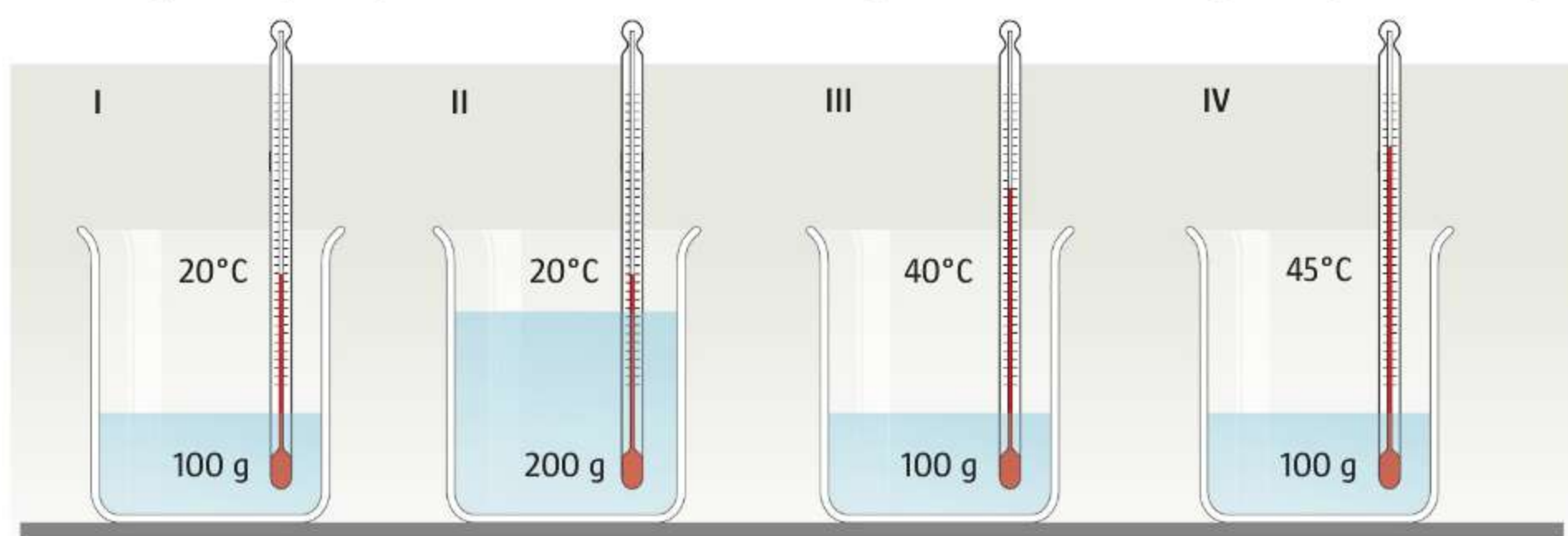
Sprawdź się

1. Wzrost energii wewnętrznej ciała (lub ciał) przez wykonanie pracy następuje w przypadku
- wygładzania powierzchni drewnianej papierem ściernym.
 - włożenia łyżeczki do gorącej herbaty.
 - jazdy samochodem z zaciągniętym hamulcem ręcznym.
 - wyrabiania ciasta za pomocą miksera.
 - doprowadzania do wrzenia wody w czajniku.
 - ruchu meteorów w atmosferze ziemskiej.

Poprawne są tylko dokończenia zdania

- A. a, c, d, f. B. a, c, f. C. a, d, f. D. c, f.

Na poniższych rysunkach do zadań 2., 3., 4. przedstawiono cztery naczynia z wodą.



2. Największą średnią energię kinetyczną chaotycznego ruchu mają cząsteczki wody w naczyniu
- A. I B. II C. III D. IV
3. Najmniejszą energię wewnętrzną ma woda w naczyniu
- A. I B. II C. III D. IV
4. Jeśli w każdym naczyniu wodę ogrzano o 10°C, to najwięcej ciepła dostarczono do naczynia
- A. I B. II C. III D. IV
5. Zakupione lody chcesz zanieść do domu w foliowej torbie. Dodatkowo, w celu zabezpieczenia przed roztopieniem, możesz użyć metalowego, porcelanowego lub styropianowego zbiorniczka oraz zmiętej gazety.

Najskuteczniejsze będzie użycie

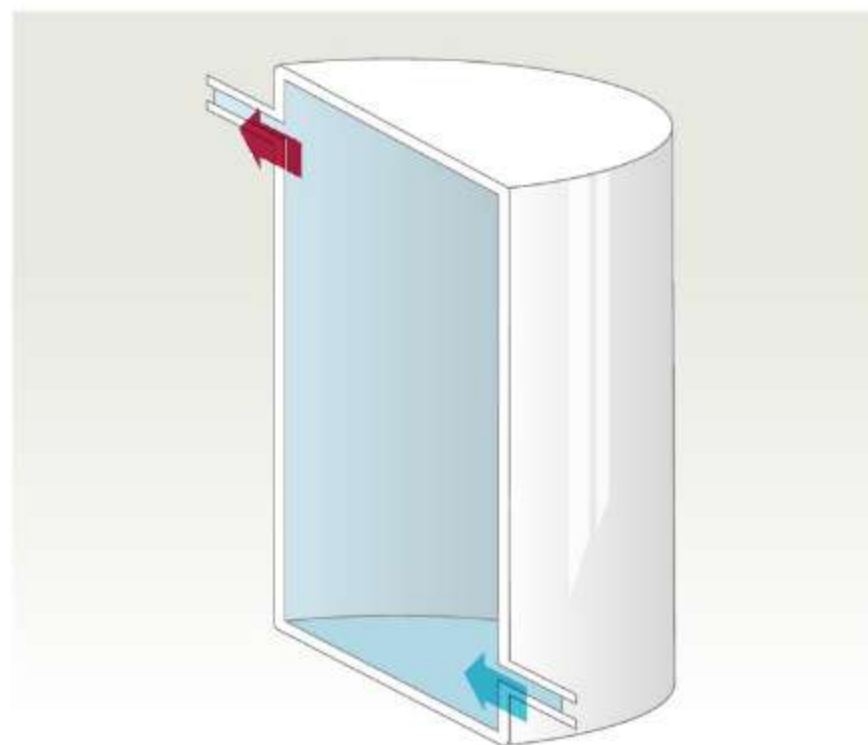
- A. tylko metalowego zbiorniczka. B. porcelanowego zbiorniczka i gazety.
C. tylko styropianowego zbiorniczka. D. styropianowego zbiorniczka i gazety.



6. Woda w bojlerach jest podgrzewana za pomocą grzałki elektrycznej.

Wskaż zdanie prawdziwe.

- A. Grzałka powinna być zamontowana przy dnie bojlera.
- B. Grzałka powinna być zamontowana w środku objętości wody.
- C. Grzałka powinna być zamontowana w górnej części bojlera.
- D. Miejsce zamontowania grzałki nie ma żadnego praktycznego znaczenia.



7. Ciepło właściwe nafty jest równe $2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Ilość ciepła potrzebna do ogrzania 100 g nafty o 10°C wynosi
- A. 1050 J B. 2100 J C. 3150 J D. 4200 J
8. Jednakowe masy ołowiu, lodu, wolframu i złota doprowadzono do ich temperatur topnienia. Przy dalszym dostarczaniu ciepła z jednakową szybkością w najkrótszym czasie roztopi się
- A. lód. B. złoto. C. wolfram. D. ołów.
9. W celu wygładzenia powierzchni lodowiska wylano na nie 250 litrów wody o temperaturze 30°C . Aby uzyskać powierzchnię lodu o temperaturze 0°C , należy odprowadzić ciepło o wartości (skorzystaj z danych zamieszczonych w tabelach)
- A. 115 175 kJ B. 220 000 kJ C. 245 850 kJ D. 331 175 kJ
10. Ciepło parowania wody jest równe $2\,258\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Ilość ciepła, którą trzeba dostarczyć wodzie o temperaturze 100°C , by wyparował jej 1 g, wynosi
- A. 1129 J B. 1890 J C. 2258 J D. 3150 J
- *11. Woda ma pięć razy większe ciepło właściwe od piasku. Kilogram gorącego piasku wrzucono do jednego litra wody o temperaturze 20°C . Otrzymano mieszaninę o temperaturze 36°C . Przed wrzuceniem do wody piasek miał temperaturę
- A. 52°C B. 80°C C. 116°C D. 123°C



Zadania problemowe

Zadanie 1.

Zaplanuj doświadczenie, którego celem jest wykazanie, że gaz, któremu dostarczymy ciepło, kosztem swojej energii wewnętrznej może wykonać pracę.

Do dyspozycji masz strzykawkę lekarską i naczynie z ciepłą wodą.

Wypisz kolejne czynności i wynik doświadczenia.

Zadanie 2.

Metalowy kubek zawierający wodę o temperaturze 4°C jest zanurzony do połowy w dużym naczyniu z mieszaniną rozdrobnionego lodu z wodą o temperaturze 0°C .

Wybierz poprawny opis procesu zachodzącego w kubku.

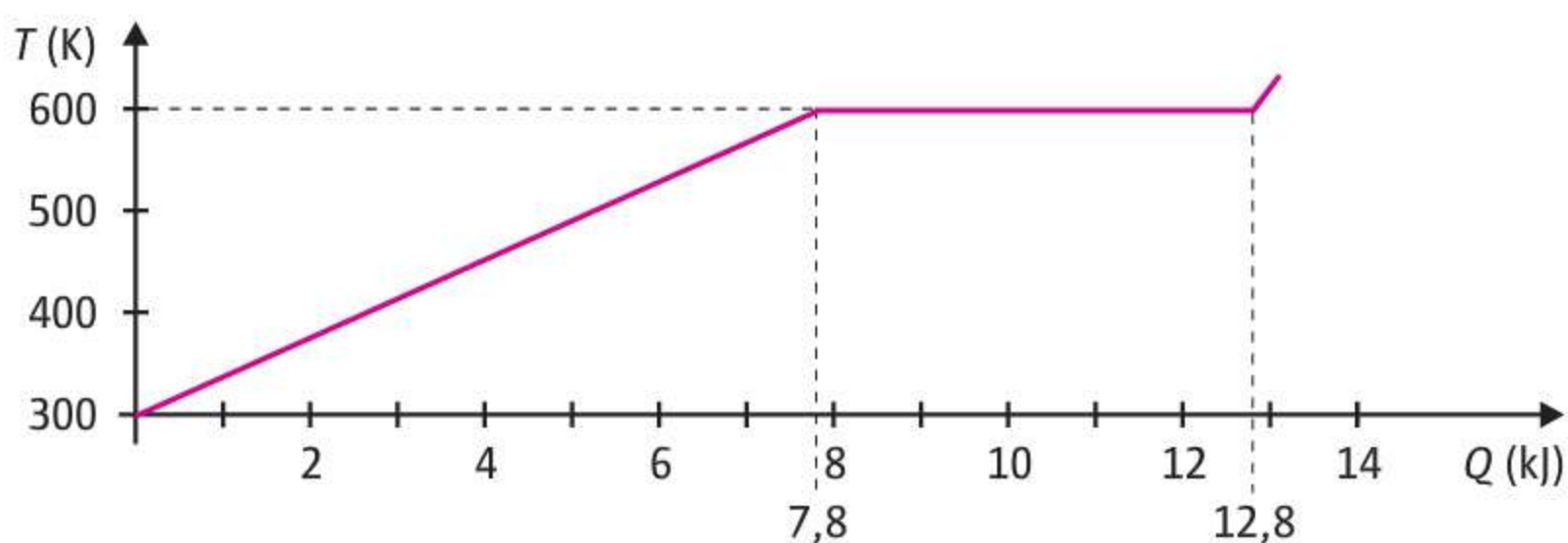
- A. Ochładzająca się woda w kubku wypływa do góry.
- B. Ochładzająca się woda w kubku opada na dno.
- C. Woda w kubku równomiernie ochładza się bez przemieszczania w inne miejsce.

Uzasadnij wybór.

Zadanie 3.

Bryłce ołowiu o masie 200 g dostarczano ciepło. Zależność temperatury ołowiu od ilości dostarczanej energii przedstawia poniższy wykres. Początkowa temperatura ołowiu była temperaturą pomieszczenia, w którym znajdowała się bryłka.

- a) Podaj w stopniach Celsjusza temperaturę pomieszczenia i temperaturę topnienia ołowiu.



- b) Oblicz ciepło właściwe ołowiu.
- c) Oblicz ciepło topnienia ołowiu.
- d) Ciepło topnienia lodu wynosi $335\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$. Podaj, o ile rzędów wielkości ciepło topnienia lodu jest większe od ciepła topnienia ołowiu.

8

Drgania i fale sprężyste

Drgania źródła
dźwięku wywołują drgania
cząsteczek otaczającego
powietrza. W przestrzeni
rozchodzi się fala
dźwiękowa.



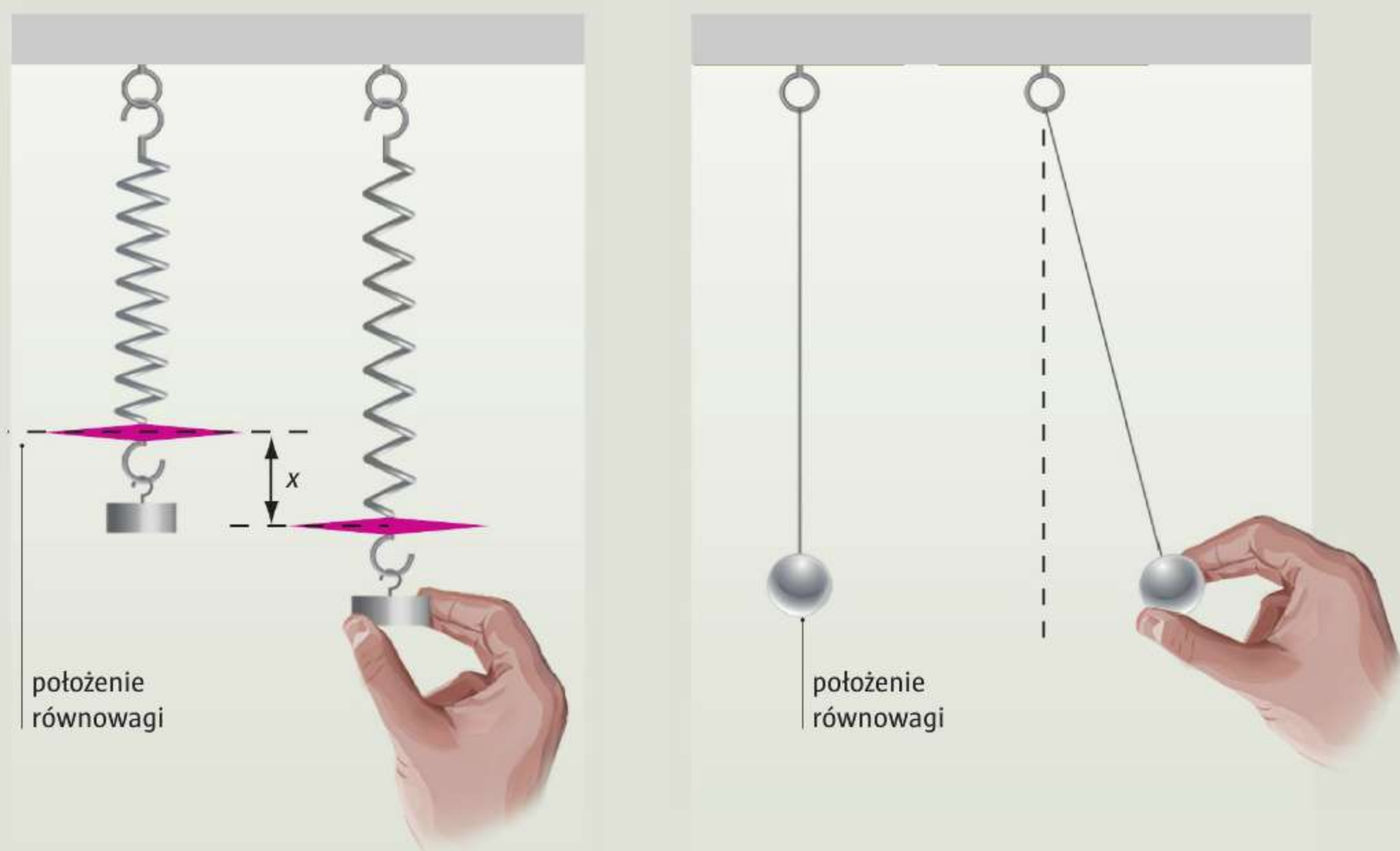
8.1 Ruch drgający

Słowo **ruch** kojarzy się nam z przemieszczaniem się ludzi i pojazdów z punktu A do punktu B. W przyrodzie bardzo rozpowszechniony jest również ruch o zupełnie innym charakterze. Gdy patrzymy, jak trzepocą flagi na wietrze lub jak kołysze się korek wrzucony na wodę w miednicy, widzimy ruch powtarzający się po ograniczonym torze.

Doświadczenie 8.1

Badamy cechy ruchu drgającego.

Potrzebne przedmioty: statyw lub inny uchwyt, sprężyna, ciężarki, nitka o długości ok. 50 cm.



Kolejne czynności:

- Zawieszamy ciężarek na sprężynie.
- Wyprowadzamy go ze stanu spoczynku, czyli stanu równowagi, przez pociągnięcie w dół i puszczenie.
- Obserwujemy kształt toru ciężarka. Stukamy ołówkiem o blat ławki w chwili, gdy ciężarek jest w najniższym punkcie toru i „na ucho” porównujemy odstępy czasowe między kolejnymi chwilami przejścia ciężarka przez ten punkt.

- Ciężarek zawieszony na nitce odchylamy od pionu o 6–7 cm, a następnie puszcamy.
- Ponownie obserwujemy kształt toru oraz porównujemy czasy pomiędzy kolejnymi chwilami przejścia ciężarka przez początkowy punkt toru.
- W zeszycie wykonujemy schematyczne rysunki i zapisujemy wyniki obserwacji.

Wynik: Stwierdzamy, że każdy z tych ruchów:

- zachodzi tam i z powrotem,
- powtarza się w równych odstępach czasu,
- po pewnym czasie ustaje.

Ruchy obserwowane w doświadczeniu nazywamy **drganiami gasnącymi (tłumionymi)**. Zapewne domyślasz się, dlaczego drgania po pewnym czasie zanikają. Dzieje się to na skutek oporu ośrodka, w tym przypadku powietrza. Energia mechaniczna drgających ciał ulega przemianie w energię wewnętrzną: zostaje stopniowo przekazana cząsteczkom powietrza, a także cząsteczkom tych ciał.

Aby podtrzymać drgania, należy uzupełniać energię przez działanie – w odpowiednich chwilach – na ciało drgające siłą zewnętrzną (np. popychanie huśtawki). Takie podtrzymywane drgania nazywamy **drganiami wymuszonymi**.

Aby dokładniej opisać właściwości ruchu drgającego, wprowadzimy następujące pojęcia:

- **wychylenie ciała** z położenia równowagi – oznaczamy je literą x ;
- **amplituda** – największe wychylenie ciała z położenia równowagi – oznaczamy ją literą A ;
- **okres drgań** – czas, w którym ciało wykonuje pełne drganie, tzn. przebywa drogę od jednego skrajnego położenia do drugiego i z powrotem. Okres oznaczamy literą T .

Do opisu zjawisk powtarzających się w czasie, a więc także ruchów drgających, stosuje się wielkość zwaną **częstotliwością** drgań, oznaczaną literami f lub ν (to grecka litera „ni”), informującą nas o liczbie drgań w czasie jednej sekundy. Częstotliwość wyrażamy w jednostkach zwanych hercami (Hz). Jeśli w czasie 1 s ciało wykonuje jedno drganie, to częstotliwość drgań wynosi 1 Hz.

Częstotliwość jest odwrotnością okresu drgań.

$$f = \frac{1}{T} \quad [f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$$

Na przykład:

- jeśli okres $T = \frac{1}{10}$ s, czyli w czasie 1 sekundy nastąpi 10 drgań, to $f = 10$ Hz,
- jeśli okres $T = \frac{1}{2}$ s, czyli w czasie 1 sekundy nastąpią 2 drgania, to $f = 2$ Hz,
- jeśli $T = 3$ s, czyli w czasie 1 sekundy nastąpi $\frac{1}{3}$ drgania, to $f = \frac{1}{3}$ Hz itd.

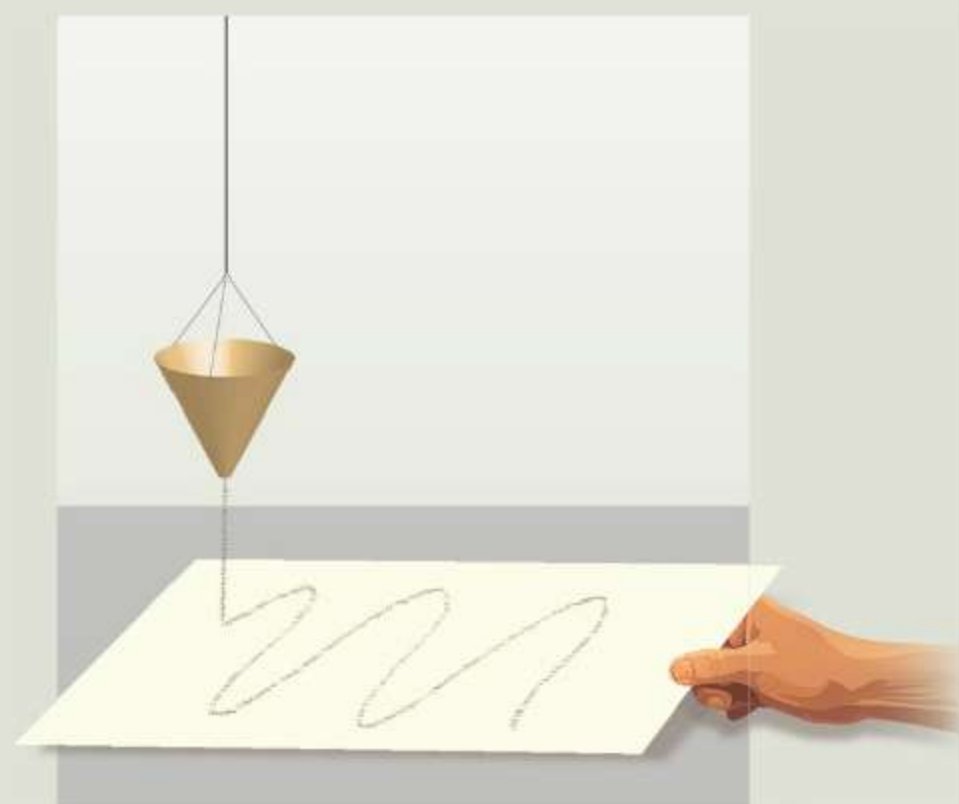
Doświadczenie 8.2

Badamy zależność wychylenia wahadła z położenia równowagi od czasu.

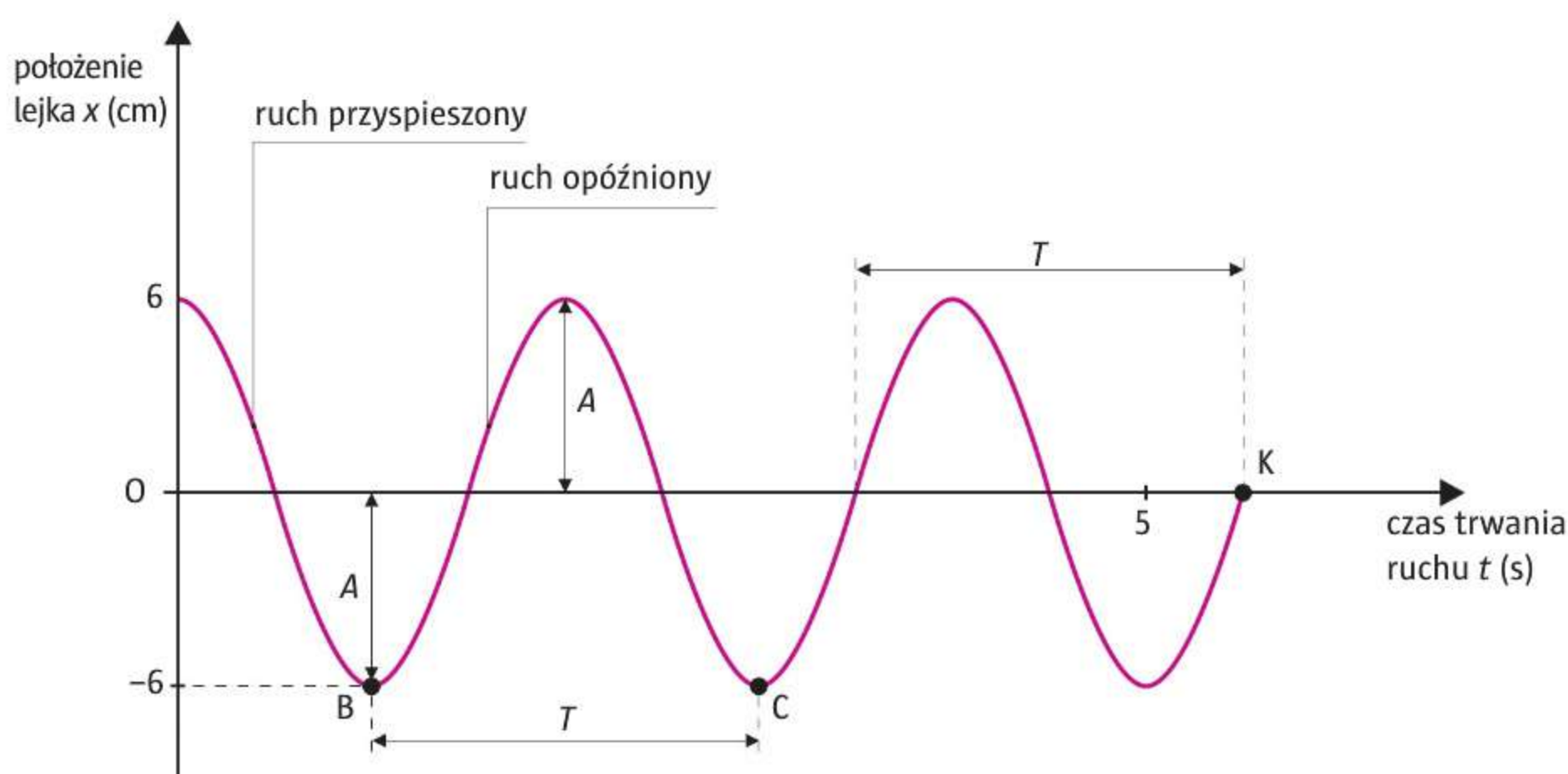
Potrzebne przyrządy: plastikowy lub kartonowy lejek z otworkiem o średnicy ok. 2 mm, zawieszony na nitce o długości ok. 1 m, szklanka suchego maku, grysiku lub piasku, pasek papieru o wymiarach ok. 20 cm × 100 cm (np. trzy starannie sklezione kartki A4), pisak.

Kolejne czynności:

- Pod lejkiem umieszczamy początek paska papieru.
- Zatykamy od dołu palcem otwór lejka i nasypujemy do niego ziarenka.
- Zatkany lejek odchylamy od położenia równowagi o około 6 cm w kierunku prostopadłym do dłuższego boku arkusza papieru.
- Usuwamy palec, puszczamy lejek i równocześnie przesuwamy pasek papieru ruchem jednostajnym.
- Wzdłuż wysypanego piasku rysujemy pisakiem linię obrazującą ruch drgający.



Wykres położenia lejka $x(t)$ w ruchu drgającym (czyli jego wychylenia z położenia równowagi dla pierwszych kilku wahanć) przedstawiono na rysunku.



Punkt O to położenie równowagi otworu lejka. Z nieruchomego lejka piasek wysypywałby się na przesuwany pasek papieru wzdłuż prostej, na której leżą punkty O, K. Czas, w którym zakreślona została część wykresu od punktu B do C, to okres ruchu T . Na wykresie widać, że lejek maksymalnie oddala się od położenia równowagi na odległość A , którą nazwalismy amplitudą. Wobec tego wychylenie lejka zmienia się od wartości A po jednej stronie położenia równowagi do wartości $-A$ po drugiej.

Łatwo zauważyć (można to było zaobserwować w doświadczeniach 8.1 i 8.2), że w położeniach skrajnych szybkość ciała drgającego jest równa zero – ciało musi się tam zatrzymać, aby zawrócić – zaś przy przejściu przez położenie równowagi ciało ma największą szybkość. Jest to wspólna właściwość wszystkich ruchów drgających.

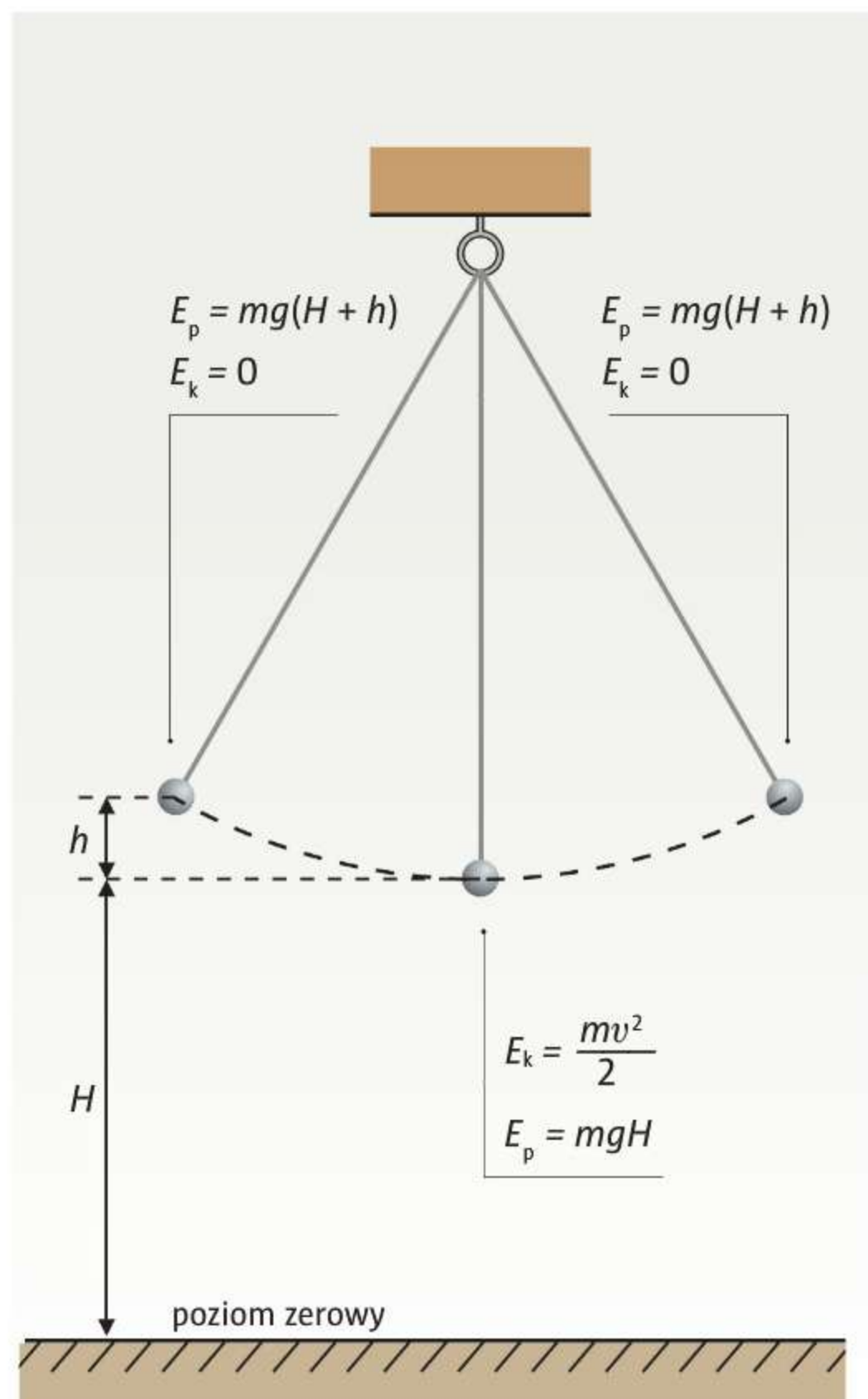
Drgające ciało wykonuje na przemian ruch przyspieszony i opóźniony. Zawsze zbliża się ono do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, a oddala się od niego ruchem opóźnionym.

Zawieszone na nici ciało (lejek, ciężarek, kulka) wykonujące drgania nosi nazwę **wahadła**. Początek ruchu wahadła to chwila $t = 0$, kiedy nieruchoma kulka jest maksymalnie odchylona od położenia równowagi i wtedy znajduje się na największej wysokości względem Ziemi $H + h$ (rys.). Dlatego też w tym punkcie toru energia potencjalna wahadła jest największa. Energia kinetyczna natomiast wynosi zero, bo szybkość kulki jest równa zero.

Puszczona kulka wahadła porusza się w stronę położenia równowagi, zwiększając swą szybkość i w położeniu równowagi osiąga największą możliwą w swym ruchu szybkość, a tym samym największą energię kinetyczną. Położenie równowagi wahadła jest tym punktem toru, który leży najbliżej Ziemi, a więc tu energia potencjalna wahadła jest najmniejsza ($E_p = mgH$).

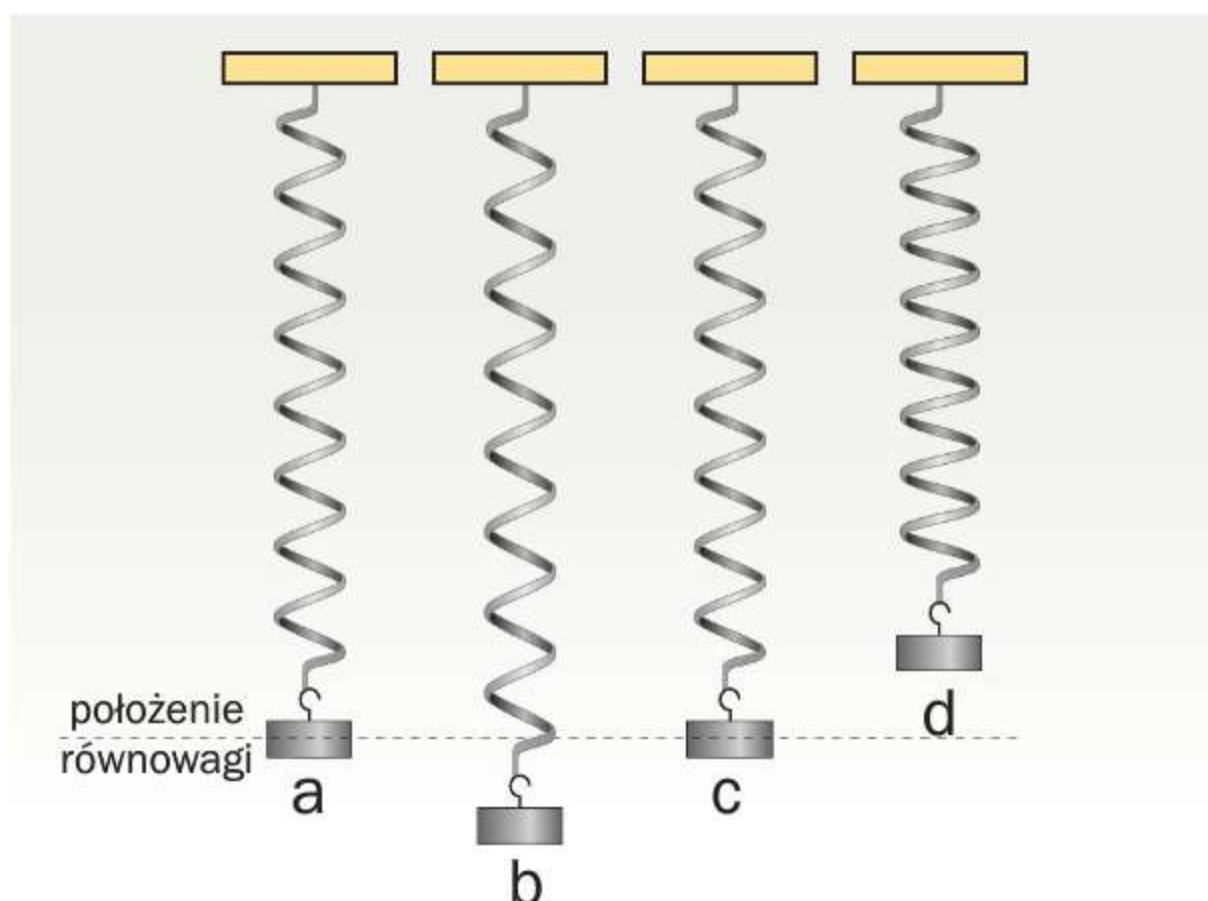
Dzięki posiadanej energii kinetycznej kulka porusza się w stronę punktu maksymalnego wychylenia po drugiej stronie położenia równowagi. Jej szybkość zmniejsza się, kulka ma więc coraz mniejszą energię kinetyczną. Jednocześnie znowu zwiększa się wysokość kulki nad poziomem zerowym, czyli zwiększa się energia potencjalna. Jeśli pominiemy opory ruchu, jest spełniona zasada zachowania energii mechanicznej.

Podobnie można przeanalizować przemiany energii w ruchu drgającym ciężarka zawieszonego na sprężynie (rys. na następnej stronie). Gdy wychylamy ciężarek z położenia równowagi (a) do położenia (b), wykonujemy pracę, dzięki





której układ sprężyna – ciężarek uzyskuje energię potencjalną sprężystości. W miarę ruchu w górę energia ta zmienia się w energię kinetyczną E_k ciężarka. Przy przejściu ciężarka przez położenie równowagi E_k stanowi całkowitą energię układu (sprężyna nie jest napięta). Przy przejściu z położenia (c) do (d) kosztem tej energii sprężyna zostaje ściśnięta i układ ponownie uzyskuje energię potencjalną sprężystości.



Przedstawioną analizę przemian energii w ruchu ciężarka zawieszonego na sprężynie możemy uznać za poprawną tylko w przypadku, gdy masa ciężarka i amplituda jego drgań są niewielkie. Nie uwzględniliśmy bowiem przemian energii potencjalnej grawitacji ciężarka (pominęliśmy przyciąganie ziemskie). Ich uwzględnienie bardzo komplikuje tę analizę. Ruch drgający wykonywany przez wahadło i ciężarek na sprężynie nosi nazwę ruchu harmonicznego.

Podsumowanie

1. Ciężarek zawieszony na sprężynie lub na nitce po wychyleniu z położenia równowagi wykonuje ruch drgający, zwany w fizyce ruchem harmonicznym.
2. Ruch drgający charakteryzują: amplituda i okres lub częstotliwość. Amplitudą drgań (A) nazywamy największe wychylenie z położenia równowagi, okres (T) to czas jednego pełnego drgania, częstotliwość (f) to liczba drgań w jednej sekundzie; częstotliwość jest równa odwrotności okresu.

$$[A] = 1 \text{ m} \quad [T] = 1 \text{ s} \quad [f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$$

3. Ciało drgające wraca do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, a oddala się od niego ruchem opóźnionym.
4. W czasie ruchu wahadła cyklicznie następują przemiany energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie. Energia potencjalna wahadła ma wartość największą w punktach maksymalnego wychylenia – wtedy energia kinetyczna ma wartość zero. W położeniu równowagi energia kinetyczna wahadła jest największa, natomiast potencjalna ma wartość najmniejszą.

Zadania i doświadczenia

1. Podaj przykłady ruchów drgających.
2. Sformułuj wyniki obserwacji z doświadczenia 8.1 w sposób bardziej precyzyjny, z użyciem pojęć: amplituda, okres, częstotliwość. Opisz, jak podczas tych ruchów zmienia się szybkość ciał.
3. Przeanalizuj wykres ze s. 40 i załóż, że okres ruchu przedstawionego na wykresie wynosi $T = 2$ s, a potem odpowiedz na pytania.
 - a) W jakim czasie lejek przemieszcza się z położenia równowagi do najbliższego maksymalnego wychylenia?
 - b) W jakim czasie powstał wykres od punktu O do punktu K?
 - c) Jaka jest częstotliwość ruchu lejka?
4. Wyjaśnij, co to znaczy, że częstotliwość drgań wynosi 50 Hz. Oblicz, ile wówczas wynosi okres tych drgań.
5. Zawieszony na sprężynie ciężarek wykonuje ruch od położenia równowagi do położenia maksymalnego wychylenia w czasie 1 s. Oblicz okres i częstotliwość drgań tego ciężarka.
6. Rozważ, czy dla drgającego ciężarka jest spełniona zasada zachowania energii mechanicznej w przypadku, gdy:
 - a) można pominąć wszystkie opory ruchu,
 - b) drgania ciężarka są gasnące.
7. Spójrz na rysunek ciężarka na sprężynie z doświadczenia 8.1. Przypomnij sobie, jak wartość siły sprężystości zależy od wydłużenia sprężyny x . Na tej podstawie wywnioskuj, czy ruch drgający składa się z wykonywanych na przemian ruchów jednostajnie przyspieszonych i jednostajnie opóźnionych.



8.2 Wahadło.

Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań

Wiemy już, że ciężarek zawieszony na nici nazywamy wahadłem. Wahadło ma pewną właściwość, która już w XVII wieku zadziwiła Galileusza. Otóż czas trwania jednego pełnego drgania – czyli okres wahadła – jest taki sam dla różnych (ale niezbyt dużych!) amplitud. Galileusz odkrył tę właściwość, gdy odmierzał okres wahań kościelnego żyrandola za pomocą własnego pulsu, bo... stopera nie miał! Dziś łatwo możemy powtórzyć to doświadczenie.

Doświadczenie 8.3

Wyznaczamy okres drgań wahadła i sprawdzamy, że nie zależy on od amplitudy drgań.

Potrzebne przedmioty: ciężarek 50 g, nierozciągliwa nić o długości 1 m, stoper, linijka.

Kolejne czynności:

- Przywiązujemy nitkę do ciężarka i zawieszamy wahadło w dogodnym miejscu, by mogło swobodnie się wahać.
- Wychylamy wahadło o 5 cm z położenia równowagi i puszczamy.
- Trzykrotnie mierzymy stoperem czas trwania 10 pełnych drgań (t_1, t_2, t_3), obliczamy średni czas t_{sr5} i wynik zapisujemy w zeszycie w tabeli, takiej jak poniżej. Następnie obliczamy okres drgań $T_5 = \frac{t_{sr5}}{10}$.
- Powtarzamy doświadczenie z odchyleniem wahadła o 10 cm i 15 cm. W tabeli w zeszycie zapisujemy wyniki kolejnych pomiarów czasu oraz średnie wartości, czyli t_{sr10} i t_{sr15} .
- Obliczamy okresy T_{10} i T_{15} . Obliczamy częstotliwości f_5, f_{10} i f_{15} .

Amplituda (cm)	t				T	f
	t_1	t_2	t_3	t_{sr}		
5						
10						
15						

Wynik i wniosek: Gdy porównamy otrzymane wyniki i weźmiemy pod uwagę niepewności pomiarowe, stwierdzamy, że okres i częstotliwość drgań wahadła przy małych wychyleniach nie zależą od amplitudy drgań.

Zjawisko niezależności okresu drgań od amplitudy (dla niewielkich amplitud) nazywamy **izochronizmem** (od greckich słów *izos* – stały i *chronos* – czas). Okazało się ono niezwykle użyteczne. Już Galileusz zasugerował użycie wahadła do odmierzania równych odstępów czasu.

Okres drgań wahadła nie zależy od masy wahadła, zależy natomiast od jego długości. Im dłuższa nić wahadła, tym dłuższy jego okres drgań. Możesz się o tym przekonać dzięki wykonaniu doświadczenia opisanego w *Zadaniach i doświadczeniach*.

Podsumowanie

1. Okres drgań wahadła wyznacza się poprzez zmierzenie czasu t określonej liczby n pełnych drgań, a następnie podzielenie tego czasu przez tę liczbę:

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

2. Przy małych wychyleniach okres drgań wahadła nie zależy od amplitudy. Zjawisko to nosi nazwę izochronizmu.
3. Okres drgań wahadła zależy od jego długości. Im większa długość wahadła, tym dłuższy okres wahań.

Zadania i doświadczenia

1. Długie wahadło wychylone o mały kąt wykonuje drgania o okresie 2 s i amplitudzie 12 cm. Oblicz średnią szybkość wahadła w czasie przemieszczenia z jednego krańcowego położenia w drugie.
2. Zaplanuj, wykonaj i opisz doświadczenie, którego celem jest sprawdzenie, że okres wahadła nie zależy od jego masy.

Doświadczenie 1.

Badamy zależność okresu drgań wahadła od jego długości.

Potrzebne przedmioty: śruby, nakrętki lub inne małe, ale ciężkie przedmioty zawieszone na niciach o długości 0,5 m i 2 m, stoper lub zegarek z sekundnikiem, linijka.

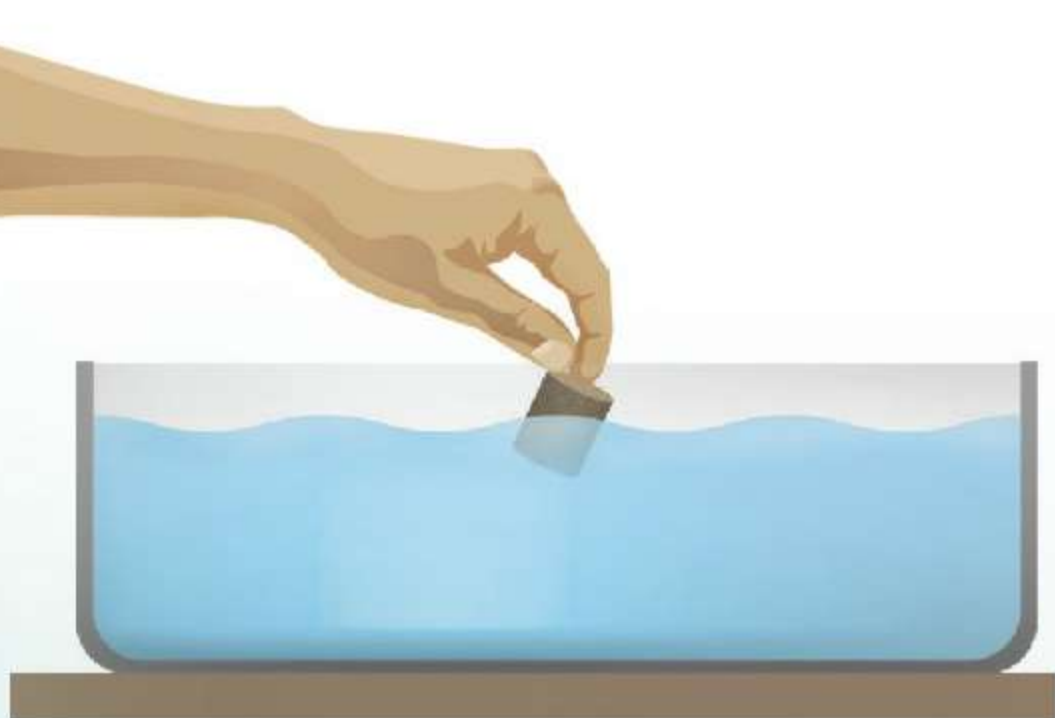
Kolejne czynności:

- Przygotuj tabelę podobną do tabeli z doświadczenia 8.3. W miejsce *Amplituda* wpisz *Długość wahadła* i zmniejsz liczbę wierszy w tabeli (tylko dwie długości).
- Zawieś wahadła w dogodnym miejscu, by mogły swobodnie się wahać.
- Trzykrotnie zmierz stoperem czas trwania 10 pełnych drgań krótszego wahadła o niewielkiej amplitudzie; wynik zapisz w tabeli, a następnie oblicz okres drgań $T = \frac{t}{10}$ oraz częstotliwość drgań f .
- Powtórz doświadczenie dla długiego wahadła, odchylanego o podobny jak poprzednio mały kąt.
- Wypełnij tabelę i zapisz wniosek z doświadczenia.

8.3

Fala sprężysta

Kamień wrzucony do spokojnej wody jeziora lub sadzawki powoduje zmianę kształtu jej powierzchni: odkształcenie rozchodzi się po powierzchni w postaci powiększających się okręgów o wspólnym środku. Gdy na powierzchnię wody w dużej miednicy położymy korek i naciskając palcem, będziemy powodować jego drgania, to zaobserwujemy rozchodzące się we wszystkie strony odkształcenie wywołane drganiami korka (rys.). Jak pamiętamy, pomiędzy cząsteczkami wody działają siły spójności, dlatego porcje wody wprowadzone w ruch przez drgający korek pobudzają do ruchu dalsze porcje wody. Zaburzenie rozchodzi się w postaci okręgów, tworzy kolejne „grzbiety” i „doliny”, czyli tzw. **okresową falę sprężystą**. Drgający korek jest źródłem tej fali.



Doświadczenie 8.4

Obserwujemy rozchodzenie się odkształcenia w ośrodku sprężystym.

Potrzebne przedmioty: długa stalowa sprężyna lub gumowy wąż o długości ok. 3 m, kawałek kolorowej wstążki.

Kolejne czynności:

- Dwie osoby chwytają sprężynę tak, by była naprężona.
- W dowolnym miejscu na sprężynie przywiązujemy wstążkę.
- Jedna z osób szybkim ruchem unosi koniec sprężyny i opuszcza do początkowego położenia: obserwujemy przemieszczanie się odkształcenia wzdłuż sprężyny i ruch wstążki.
- Jeden koniec sprężyny wprowadzamy w ruch drgający. Obserwujemy ruch wstążki.



Wynik: W obu przypadkach odkształcenia przesuwają się wzdłuż sprężyny, a wstążka drga w górę i w dół, nie przesuwając się wzdłuż sprężyny.

Gdy wychylamy z położenia równowagi koniec sprężyny, powodujemy wychylenie się także sąsiednich części. Dzieje się tak dlatego, że między cząsteczkami sprężyny działają siły. W ciałach stałych siły te są szczególnie duże.

Wychylony z położenia równowagi pewien **niewielki obszar cząsteczek (nazwiemy go cząstką)** pociąga za sobą sąsiedni, ten znowu następny itd.

Spójrz na rysunki na następnej stronie. Chwytny koniec sprężystego węża i napinając go lekko, wykonujemy ręką okresowy ruch drgający. W pewnej chwili cząstka A węża zostanie maksymalnie wychylona w dół. Wskutek występowania sił międzycząsteczkowych cząstka A pociągnie za sobą cząstkę B, a ta cząstkę C, która ruszy w dół (rys. a).

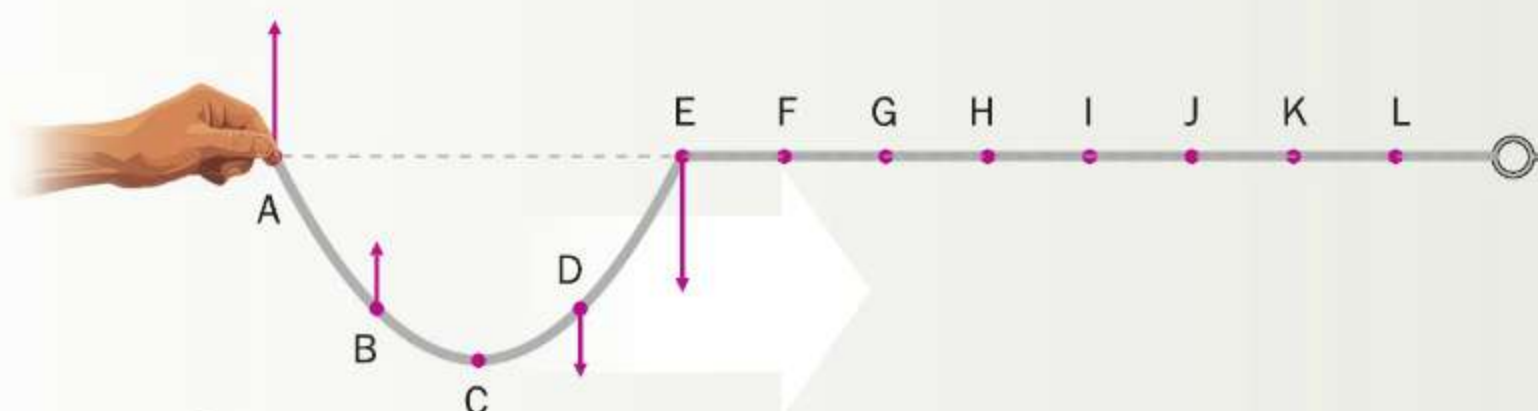
Po $\frac{1}{4}$ okresu cząstka A wróci do położenia równowagi, a największe wychylenie osiągnie cząstka C. Pociągnie ona za sobą cząstkę D, a to z kolei spowoduje, że E ruszy z położenia równowagi (rys. b). Po następnej $\frac{1}{4}$ okresu cząstka E osiągnie swoje maksymalne wychylenie (rys. c) itd. Spróbuj samodzielnie opowiedzieć, co będzie się działo dalej. Łatwo dostrzec, że każdy punkt węża drga wokół swego położenia równowagi, a odkształcenie przesuwa się wzdłuż węża ze stałą szybkością.

Opisano tutaj, w jaki sposób w ośrodku rozchodzi się tzw. **fala poprzeczna**. Nazwa pochodzi stąd, że kierunek drgań cząstek ośrodka jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali.

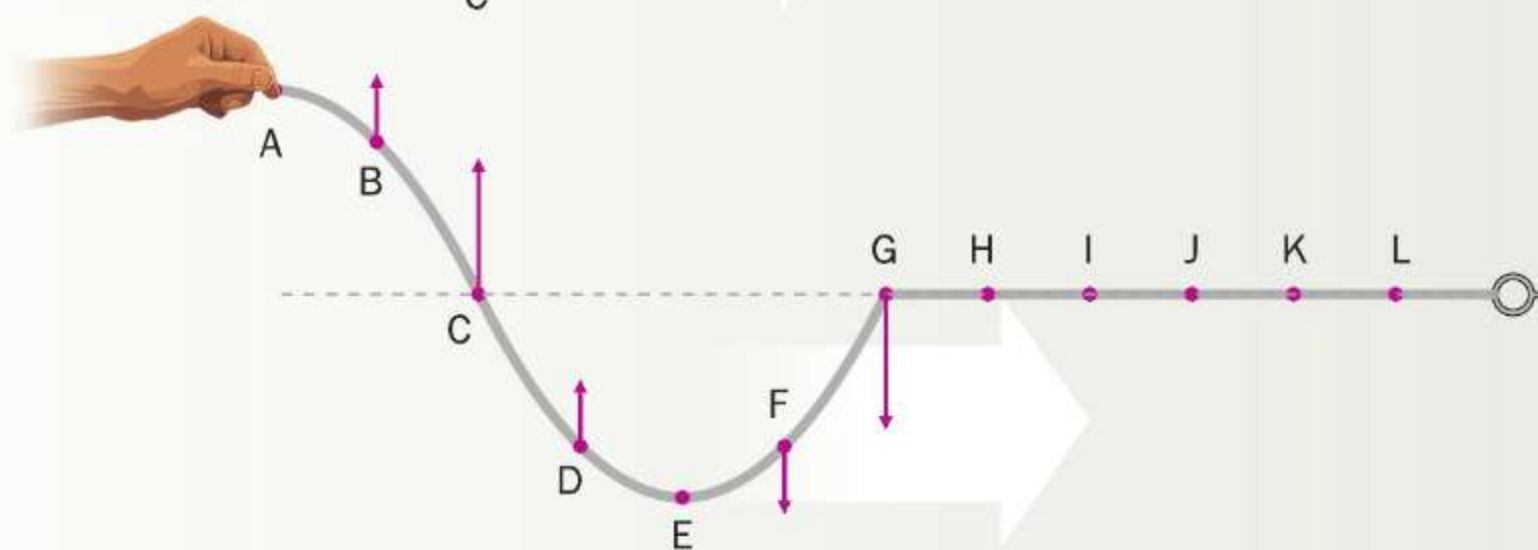
a)



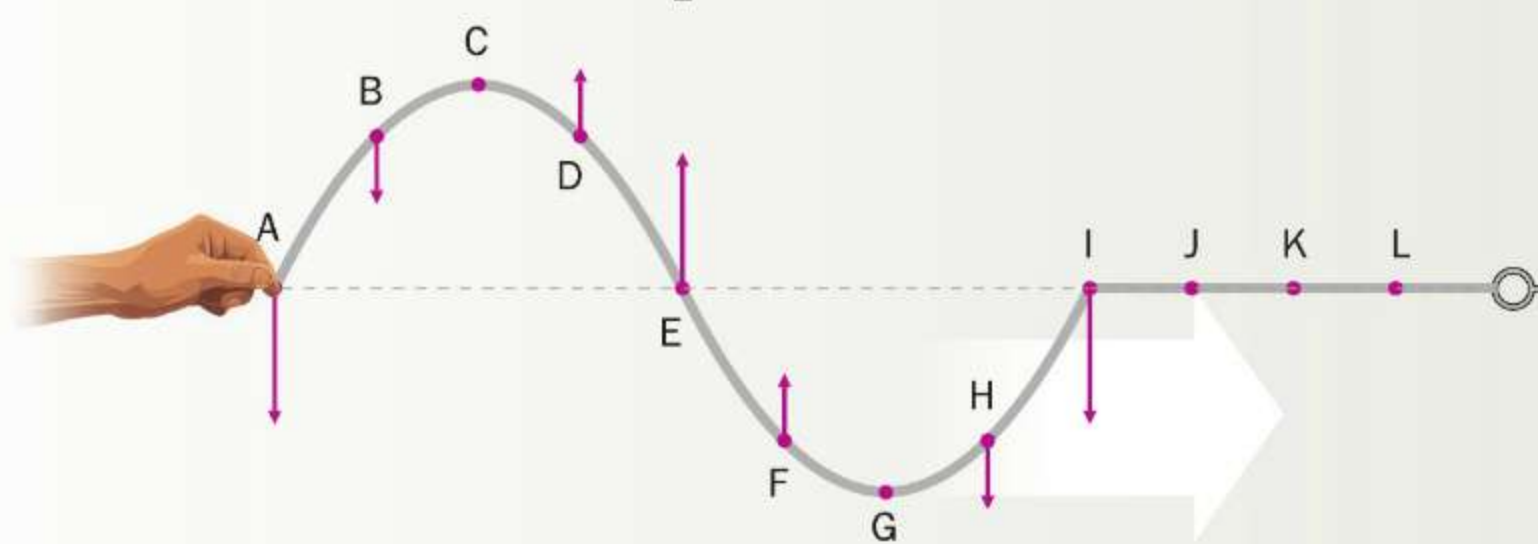
b)



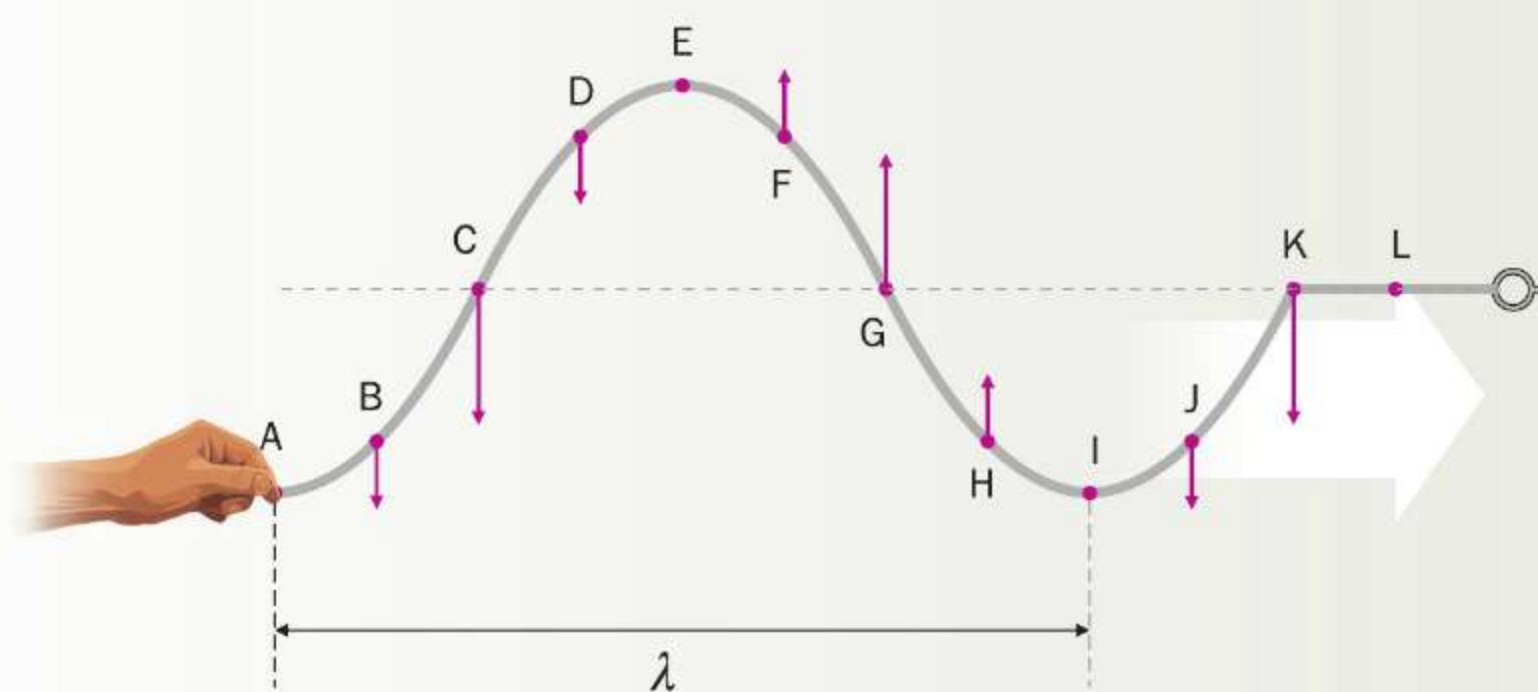
c)



d)



e)



W każdym ośrodku sprężystym może też rozchodzić się **fala podłużna**.

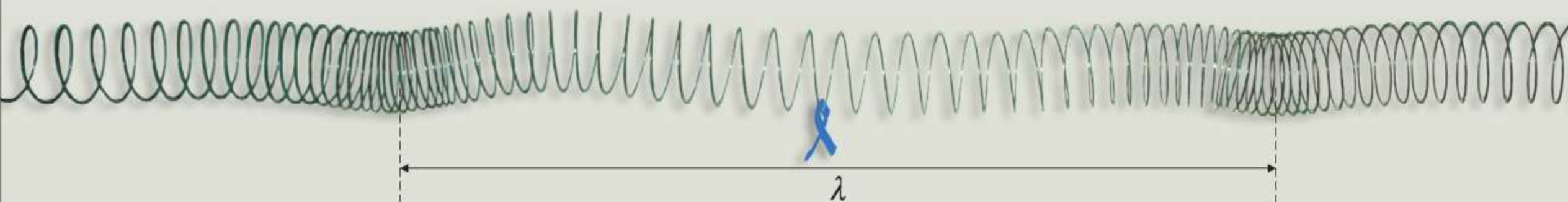
Doświadczenie 8.5

Obserwujemy rozchodzenie się fali podłużnej (model).

Potrzebne przedmioty: długa sprężyna, kawałek kolorowej wstążki.

Kolejne czynności:

- Sprężynę podwieszamy na niciach przymocowanych do poziomej listwy; w połowie jej długości zawiązujemy wstążkę.
- Ściskamy kilka pierwszych zwojów, a następnie je puszczamy.



Wzdłuż sprężyny przesuwa się fala w postaci zgęszczenia i rozrzedzenia zwojów. Zwoje sprężyny odpowiadają w tym modelu cząstkom ośrodka. Kierunek drgań cząstek ośrodka jest w tym przypadku zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali. Podobnie zachowują się cząsteczki powietrza tworzące falę dźwiękową. Będzie o tym mowa w następnym rozdziale.

Drogę, którą fala przebywa w czasie, gdy dowolna cząstka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie (czyli w czasie jednego okresu), nazywamy długością fali i oznaczamy grecką literą λ (czytaj: lambda). Na rysunku e to odległość między punktami A i I.

Długość fali wyrażamy w metrach. Fala rozchodzi się ruchem jednostajnym; ze wzoru na drogę w tym ruchu ($s = v \cdot t$) wynika, że:

$$\lambda = v \cdot T$$

gdzie:

v – szybkość rozchodzenia się fali, zależna od rodzaju ośrodka,

T – okres drgań (zwany także okresem fali).

Długość fali można także wyrazić przez częstotliwość drgań:

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

Długość fali jest równa odległości między sąsiednimi grzbietami lub dolinami fali poprzecznej lub sąsiednimi zgęszczeniami cząsteczek w przypadku fali podłużnej.

Drgające cząstki ośrodka pobudzają do drgań następne i przekazują im energię. Fala, dzięki temu, że niesie z sobą energię, może wykonać pracę.



Aby się o tym przekonać, wystarczy ułożyć na stole dwie monety dwuzłotowe (1 i 2) tak, aby się stykały. Następnie, przyciskając palcem do stołu monetę 1., należy uderzyć w nią trzecią monetą. Moneta 2. odskoczy od 1., bo fala podłużna, wytworzona w monecie 1. na skutek uderzenia, wykonuje pracę.

Podsumowanie

1. Rozchodzące się w ośrodku zaburzenie nazywamy falą. Fala rozchodząca się w ośrodku sprężystym to fala sprężysta; w tym przypadku zaburzenie jest odkształceniem niewielkiego obszaru ośrodka lub zmianą zgęszczenia cząsteczek.
2. W zależności od kierunku drgań cząstek (porcji cząsteczek) ośrodka w porównaniu z kierunkiem rozchodzenia się fali rozróżniamy:
 - fale poprzeczne (kierunek drgań cząstek jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali),
 - fale podłużne (kierunek drgań cząstek jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali).
3. Falę charakteryzują:
 - częstotliwość – liczba drgań wykonywanych w czasie 1 s,
 - długość fali – droga, jaką przebywa fala w czasie jednego okresu drgań cząstek,
 - szybkość fali – zależna od rodzaju ośrodka,
 - amplituda fali – równa amplitudzie drgań cząstek ośrodka.

Zadania i doświadczenia

1. Łódka kołysząca się na wodzie wykonuje drgania o okresie 4 s. Oblicz szybkość rozchodzenia się fal na wodzie, jeśli długość fali wynosi 8 m.
2. Skorzystaj z wyniku poprzedniego zadania i oblicz, jakie będą odległości między sąsiednimi grzbietami fali na wodzie, jeśli wytworzymy na niej falę o częstotliwości $f = 1$ Hz.
3. Gdy uderzamy krawędzią deseczki w powierzchnię wody, wytwarzamy na wodzie tzw. falę płaską: odkształcenie powierzchni ma kształt linii prostych. Jeśli chcemy opisać tę falę, podajemy amplitudę, częstotliwość, długość fali, szybkość rozchodzenia się. Które z wielkości opisujących falę zależą od nas i możemy je zmieniać?

8.4 Dźwięki i wielkości, które je opisują

Obserwowaliśmy fale powstające na wodzie i przemieszczające się wzdłuż sprężystego węża. W ośrodku przezroczystym, takim jak np. powietrze, fal zobaczyć nie możemy, ale w pewnych warunkach możemy je usłyszeć.

Doświadczenie 8.6

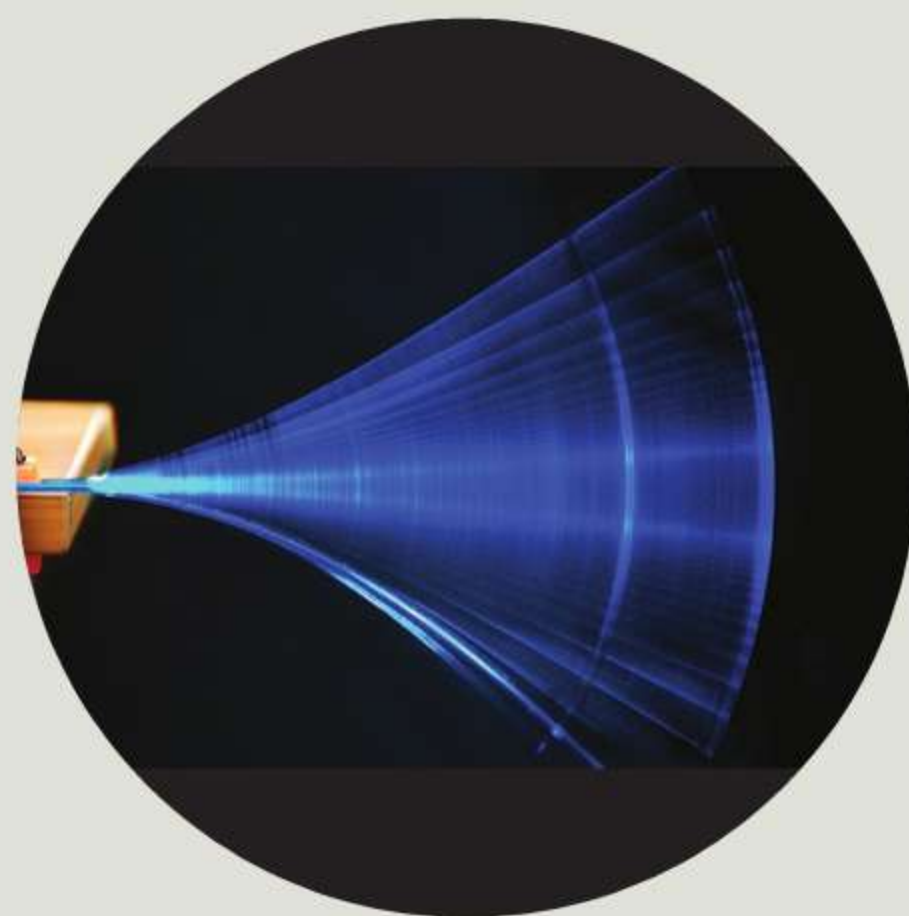
Wytwarzamy falę dźwiękową.

Potrzebne przedmioty: stalowa lub plastikowa linijka o długości co najmniej 30 cm, stół.

Kolejne czynności:

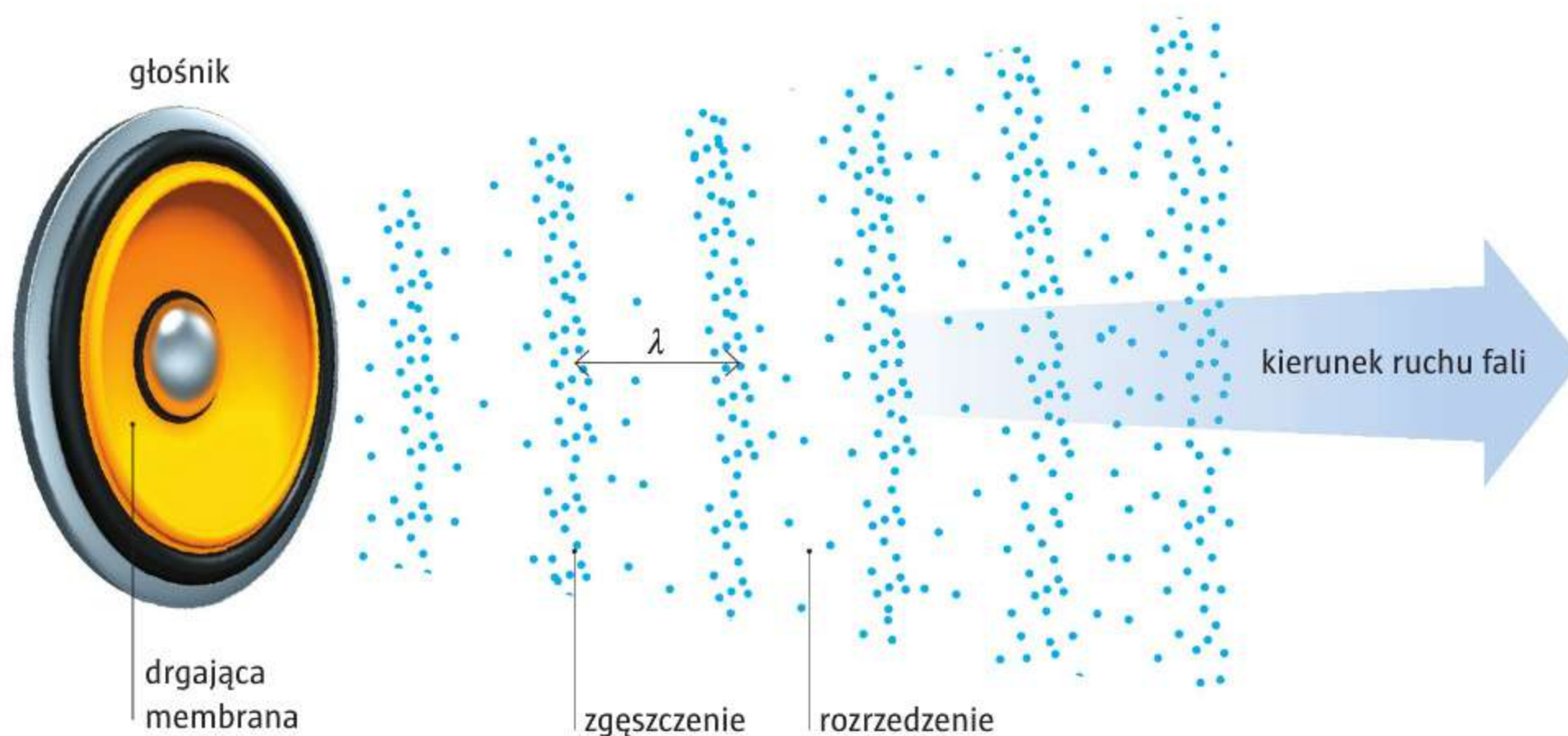
- Prostopadle do krawędzi stołu kładziemy na nim linijkę tak, aby jej znaczna część wystawała poza stół.
- Palcami przyciskamy do stołu koniec linijki znajdujący się przy krawędzi, a część linijki wystającą poza stół wprawiamy w drgania.
- Powtarzamy kilkakrotnie doświadczenie, stopniowo zmniejszając długość drgającej części linijki.

Wynik: Gdy odpowiednio zmniejszymy długość drgającej części linijki, to usłyszymy dźwięk. Jego wysokość wzrasta w miarę skracania drgającej części linijki.



Drgająca linijka po jednej stronie ściska przylegającą do niej warstwę powietrza, a jednocześnie po stronie przeciwnej powoduje jego rozrzedzenie. Gdy cząsteczki ściśniętej warstwy powietrza rozprężają się, przekazują energię kolejnym warstwom powietrza. Podobny skutek wywołują drgania wykonanej z tektury membrany głośnika.

Zgęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek rozchodzą się i tworzą w powietrzu falę podłużną. Fala ta dociera do naszego ucha. Okresowe zgęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek powietrza powodują drgania błony bębenkowej. Jeśli ich częstotliwość zawiera się w przedziale od 20 Hz do 20 kHz, człowiek słyszy dźwięk. Drgania takie nazywamy **drganiami akustycznymi**, a rozchodzącą się falę – **falą akustyczną** (czyli głosową lub dźwiękową).



F

Do fal akustycznych zaliczamy także **infradźwięki** o częstotliwościach poniżej 20 Hz i **ultradźwięki** o częstotliwościach ponad 20 000 Hz. Człowiek nie słyszy fal o tych częstotliwościach, ale słyszą je niektóre zwierzęta.

Gdy zmniejszaliśmy długość drgającej części linijki, zwiększaliśmy częstotliwość jej drgań (czego niestety nie da się obserwować gołym okiem). Wreszcie osiągnęliśmy taką częstotliwość, która mieści się w granicach słyszalności; słyszymy więc dźwięk, którego źródłem jest drgająca linijka.

Gdy przyłożymy palce do krtani i zaczniemy mówić, wyczuwamy drgania. Źródłem fali głosowej są w tym przypadku struny głosowe. O tym, jak ośrodek wpływa na rozchodzenie się fal, możesz się przekonać dzięki wykonaniu doświadczenia 2. opisanego w *Zadaniach i doświadczeniach*.

Fale akustyczne mogą się rozchodzić w każdym ośrodku, tzn. w ciałach stałych, cieczech i gazach. Fale te są zawsze falami podłużnymi, które – jak wiadomo – polegają na przesuwa-

niu się zgęszczeń i rozrzedzeń cząsteczek. W każdym ośrodku, ze względu na różną sprężystość, fala głosowa ma inną szybkość – w powietrzu wynosi ona około 340 m/s. W wodzie dźwięk rozchodzi się ponad cztery razy szybciej. Szybkość dźwięku w żelazie jest około 15 razy większa od szybkości dźwięku w powietrzu.

W próżni fale akustyczne nie mogą się rozchodzić, bo nie ma ośrodka, w którym następowałoby przekazywanie energii mechanicznej. Znaczne utrudnienie w rozchodzeniu się dźwięku możemy zademonstrować poprzez ustawienie np. tykającego głośno budzika w naczyniu próżniowym. Po wypompowaniu części powietrza wydobywające się z naczynia tykanie jest o wiele cichsze. Gdybyśmy dysponowali prawdziwą pompą próżniową i dodatkowo potrafili uniknąć kontaktu nóżek zegara z podłożem, to dźwięku w ogóle nie byłoby słychać.



Przykład 8.1

Obliczmy długość fali akustycznej wytworzonej w powietrzu przez napięty między dwoma uchwytami drut, drgający z częstotliwością 275 Hz.

Dane: $f = 275 \text{ Hz}$, $v = 340 \text{ m/s}$

Szukane: λ

Rozwiązanie:

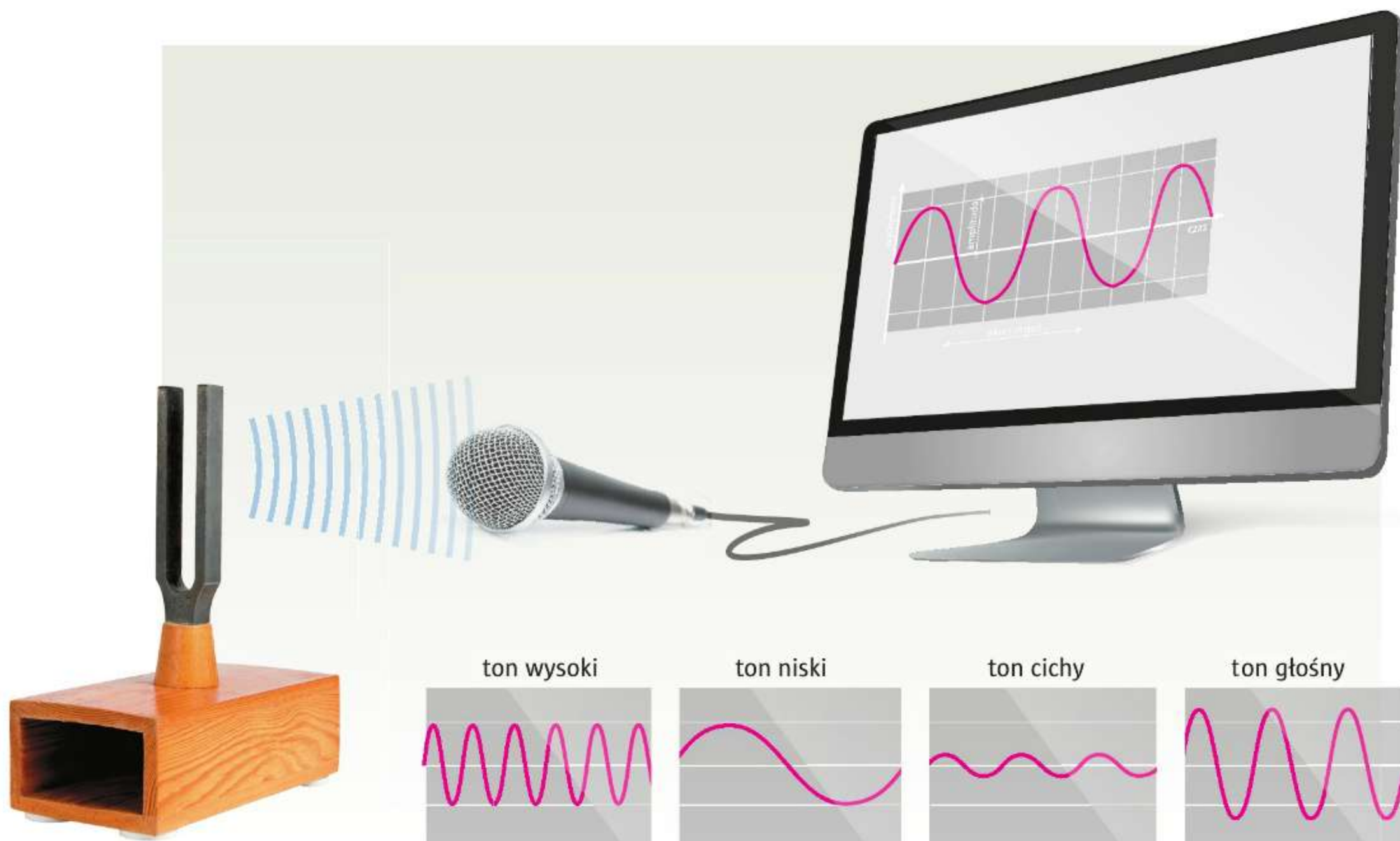
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{275 \frac{1}{\text{s}}} = 1,24 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \text{s} = 1,24 \text{ m}$$

Odpowiedź: Długość fali wynosi 1,24 m.

Źródłem fali akustycznej może być kamerton. Jest to zgięty metalowy pręt umocowany na uchwycie lub na otwartym z boku pudle. Jeśli uderzymy koniec jednego ramienia kamertonu, to wykonuje on drgania, które przenoszą się na pudło; w efekcie cały układ drga, staje się źródłem fali akustycznej o ściśle określonej częstotliwości. Tak wytworzony dźwięk nazywamy **tonem**.

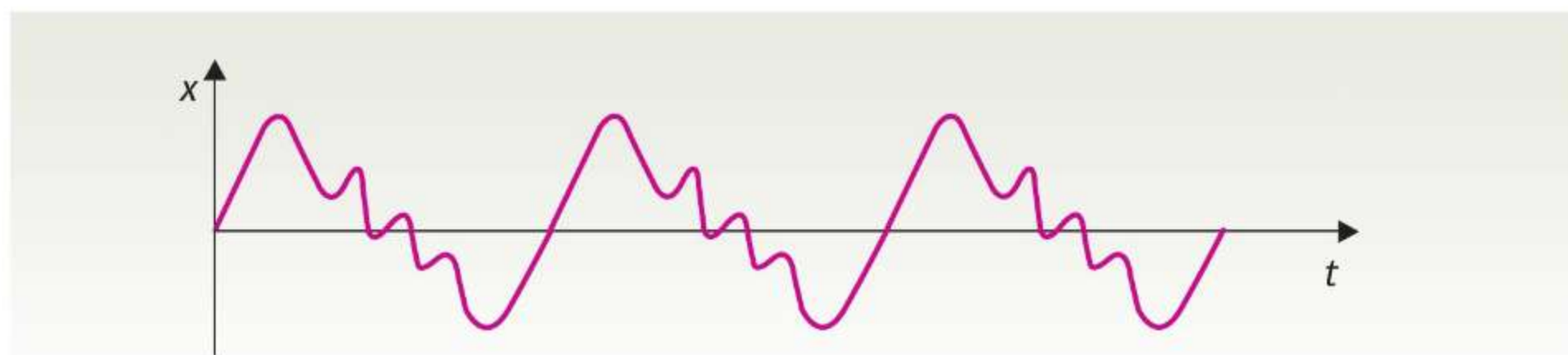
Falę akustyczną odpowiadającą tonowi (falę harmoniczną) można oglądać za pośrednictwem urządzenia zwanego oscyloskopem. W doświadczeniu 1. opisanym w *Zadaniach i doświadczeniach* pokazano, jak korzystać z tego urządzenia.

Jeśli przed mikrofonem ustawimy kamerton wytwarzający ton o określonej częstotliwości i podłączymy mikrofon do komputera, na ekranie otrzymamy tzw. wykres fali.

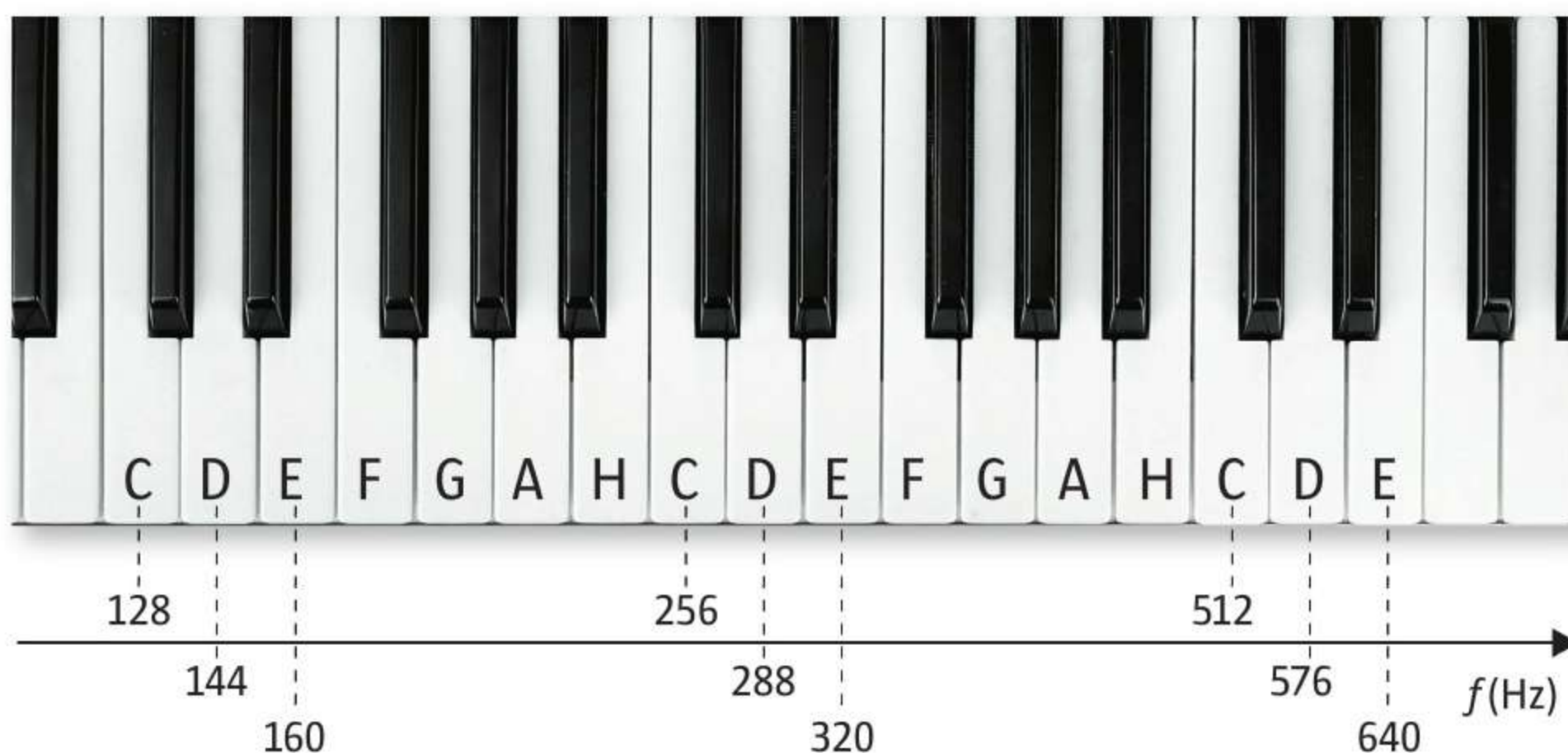


Nie wszystkie źródła fal akustycznych drgają w taki sposób jak kamerton, tzn. nie wszystkie wydają tony.

Istnieją takie źródła, które wykonują drgania okresowe (tzn. ze stałą częstotliwością), ale bardziej skomplikowane niż kamerton. Te źródła (są to np. instrumenty muzyczne lub struny głosowe śpiewającego człowieka) wysyłają dźwięki składające się z wielu tonów o różnych częstotliwościach i amplitudach. Z dźwięków skomponowana jest każda melodia.



Zdjęcie przedstawia fragment klawiatury pianina. Naciskanie klawiszy sprawia, że młoteczki uderzają w struny i wprawiają je w drgania. Przenoszone przez powietrze dźwięki dochodzą do naszych uszu. Co osiem białych klawiszy, czyli co oktawę, częstotliwość dźwięku ulega podwojeniu.



Oprócz instrumentów strunowych, w których źródłem dźwięków są drgające struny, i perkusyjnych, w których dźwięk wytwarzamy zazwyczaj przez uderzanie w sprężystą błonę, dużą grupę stanowią instrumenty dęte. W takich instrumentach źródłem dźwięku są drgające słupy powietrza. Należą do nich np. flety, trąbki, rogi, puzony i saksofony. Wysokość dźwięku wytworzonego w instrumencie dętym zależy od długości drgającego słupa powietrza.

Doświadczenie 8.7**Badamy zależność wysokości dźwięku od długości słupa powietrza.**

Potrzebne przedmioty: rurka do napojów, ostre nożyczki.

Kolejne czynności:

- Odcinamy kawałki jednego końca rurki i nadajemy mu kształt jak na rysunku.
- Lekko ściskamy w zębach przycięty koniec rurki i mocno wdmuchujemy powietrze do środka.
- Ćwiczymy tak długo, aż z rurki zacznie wydobywać się ciągły, niski dźwięk. Wtedy powtarzamy całą procedurę z odcinaniem kolejnych fragmentów rurki.

Wynik: Im krótsza rurka, tym wyższy dźwięk się z niej wydobywa.



W tabeli 8.1 zestawiono cechy dźwięków rozpoznawalne przez ucho człowieka i odpowiadające im cechy fizyczne (jako fal).

Tabela 8.1. Cechy dźwięków

Cechy dźwięku, które można zmierzyć	Cechy dźwięku rozpoznawalne przez ucho
częstotliwość (Hz)	wysokość
natężenie dźwięku lub tzw. poziom natężenia (związane z energią przenoszoną przez falę dźwiękową); zależne od amplitudy drgań źródła dźwięku i wielkości powierzchni emitującej falę dźwiękową	głośność
liczba i jakość tonów składowych	barwa

Wprawne ucho muzyka rozpozna różnicę w wysokości dźwięków nawet wtedy, gdy różnica ich częstotliwości jest bardzo niewielka.

Rozchodzenie się fali wiąże się z przenoszeniem energii ruchu drgających cząsteczek. Gdy fala rozchodzi się w powietrzu, jej energia z czasem zmienia się w energię chaotycznego ruchu cząsteczek (energii wewnętrzną) i uporządkowane drgania zanikają. Im większa częstotliwość fali, tym szybciej zachodzi ten proces. Dlatego gdy słuchamy muzyki z dużej odległości, słyszymy wyraźniej dźwięki niskie.

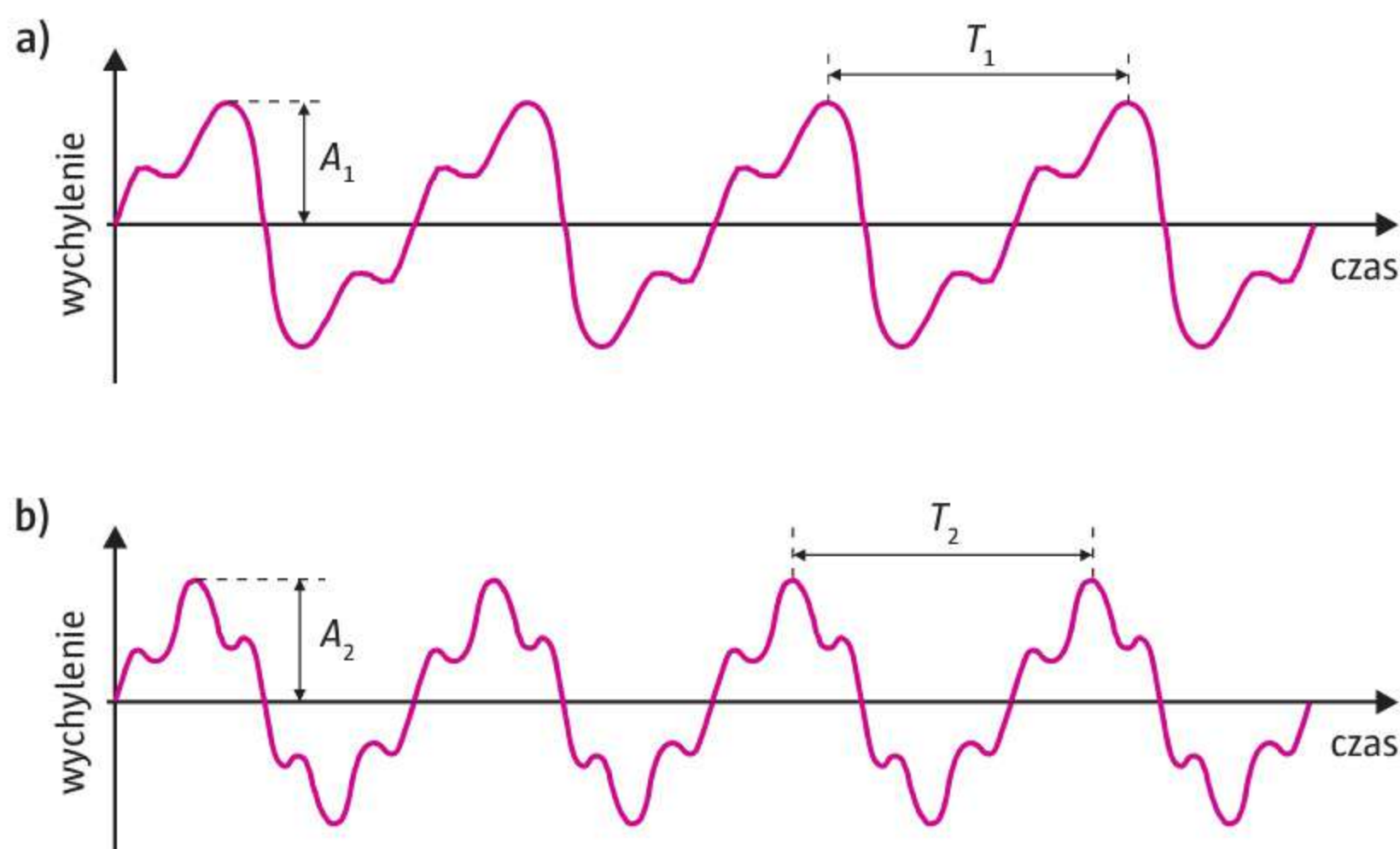
Na ogół im większą energię w jednostce czasu przenosi fala akustyczna (a więc im większą energię odbiera błona bębenkowa ucha), tym dźwięk słyszymy jako głośniejszy. Napisaaliśmy tutaj „na ogół”, trzeba bowiem pamiętać o tym, że ucho ludzkie nie jest jednakowo czułe na dźwięki o różnych częstotliwościach. Najczęściej w nauce (np. w ekologii) i przemyśle operuje się tzw. poziomem natężenia dźwięku. Poziom natężenia wyrażamy w decybelach (dB). Tabela 8.2 zawiera typowe wartości poziomu natężenia dla niektórych źródeł fal głosowych.

Hałas o poziomie natężenia powyżej 90 dB jest szkodliwy dla uszu. Pamiętaj, że bardzo głośna muzyka jest często przyczyną uszkodzeń słuchu!

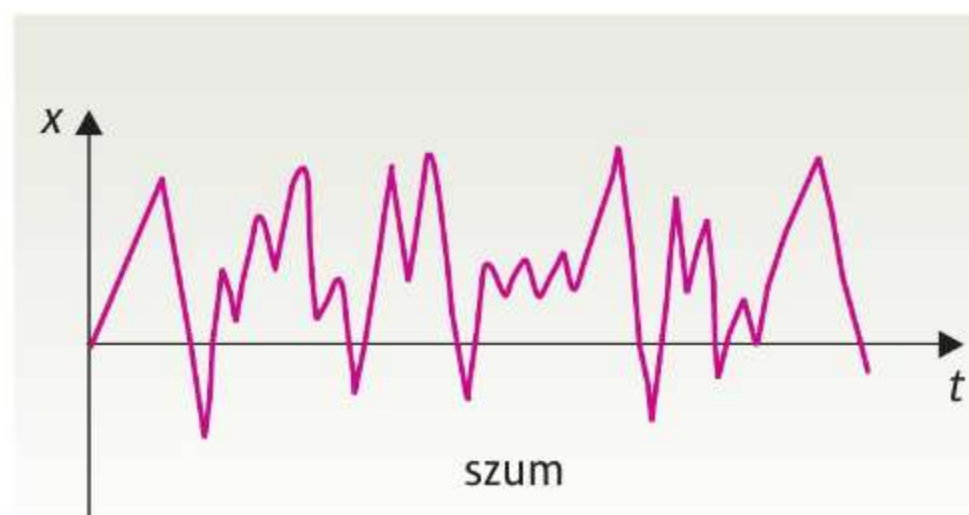
Tabela 8.2. Poziom natężenia dźwięku

Źródło	Poziom natężenia (dB)
odtwarzacz MP3 nastawiony głośno	130
koncert rockowy	110
dzwoniący telefon	70
spokojna rozmowa	60

Niejednokrotnie zdarza nam się słyszeć tę samą piosenkę zaśpiewaną tak samo głośno i w tej samej tonacji, ale przez różnych piosenkarzy. Już przy pierwszych taktach rozpoznajemy bezbłędnie, kto śpiewa. Poznajemy to po **barwie** wydawanych dźwięków. Struny głosowe każdego człowieka (nawet gdy wydaje on dźwięk o tej samej częstotliwości i natężeniu) drgają nieco inaczej, u jednego w sposób mniej, a u innego w sposób bardziej skomplikowany; pokazują to wykresy a i b. To samo można powiedzieć o dźwiękach wydawanych przez różne instrumenty muzyczne. Im bardziej złożone są drgania, tym barwa dźwięku jest przyjemniejsza dla ucha.



Dźwięki przedstawione na wykresach mają jednakowe amplitudy $A_1 = A_2$ i jednakowe częstotliwości $f_1 = f_2$, a więc także okresy $T_1 = T_2$. Różnią się tylko barwą. Większość źródeł fal akustycznych w ogóle nie ma stałej częstotliwości, ciągle ulega ona zmianie, tzn. drgania są nieregularne. Wówczas słyszymy tzw. **szum** (lub szmer). Szumem jest

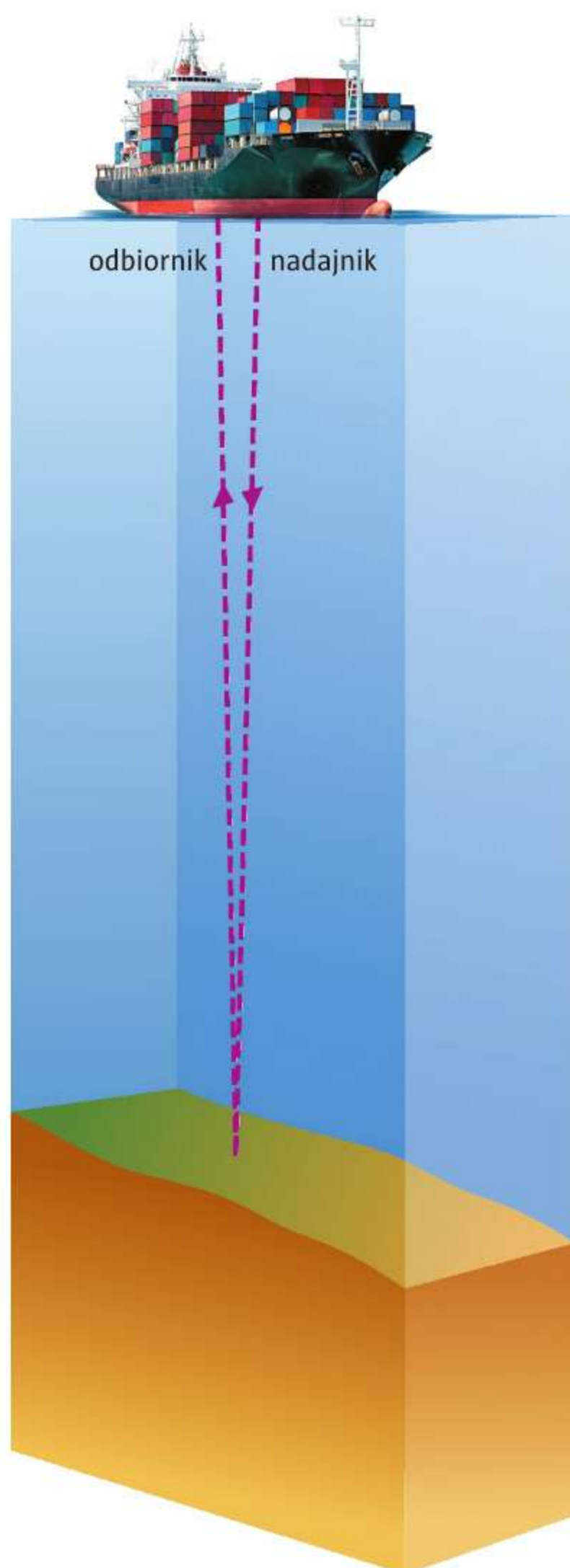


np. szept, szum drzew, chrobot myszy lub hałas, jaki panuje w hali maszyn, nawet gdy jest głośny. Widzisz więc, że słowo „szum” ma nieco inne znaczenie w fizyce niż w życiu.

Zjawiska akustyczne, które często można zaobserwować, to **echo** i **pogłos**.

Echo powstaje, gdy fala głosowa odbija się np. od dostatecznie odległego zbocza góry, ściany budynku lub lasu i wraca do nas po czasie dłuższym niż 0,1 s (takiego czasu potrzebuje dźwięk na przebycie drogi do powierzchni, od której się odbija, i z powrotem). Wtedy dźwięki: wysłany i odbity słyszymy oddzielnie. Jeśli ściana znajduje się niezbyt daleko od nas, usłyszymy pogłos. Wówczas nie ma przerwy między słowem usłyszonym bezpośrednio a wracającym w postaci fali odbitej. W pomieszczeniu zamkniętym często dźwięk „wędruje” w wyniku wielokrotnego odbicia od ścian. Pogłos dochodzący do słuchacza przedłuża czas trwania dźwięku. Jest to zjawisko niepożądane. W celu wyeliminowania pogłosu niektóre pomieszczenia (np. telewizyjne i radiowe studia nagrań, sale koncertowe) wyklada się całkowicie lub częściowo materiałami pochłaniającymi fale głosowe. Wnętrza sal teatralnych są skonstruowane w specjalny sposób i wyłożone materiałami dźwiękochłonnymi, zapobiegającymi występowaniu pogłosu. Zdjęcie poniżej przedstawia fragment widowni Teatru im. Juliusza Słowackiego w Krakowie.





Zjawisko echa znalazło zastosowanie w instalowanych na statkach echosondach do pomiaru głębokości wody. Urządzenie takie wysyła w stronę dna wiązkę fal ultradźwiękowych. Po odbiciu od dna fala powraca do urządzenia. Czas powrotu echa zależy od głębokości wody. Jeśli znamy ten czas i szybkość dźwięku w wodzie (wynosi ona 1450 m/s), można obliczyć drogę, jaką przebyła fala. Połowa tej drogi równa jest w przybliżeniu głębokości wody.

Ultradźwięki mają zastosowanie m.in. w medycynie w ultrasonografach (popularnie nazywanych USG). Są to urządzenia stosowane do badania wewnętrznych organów człowieka. Głowica zawierająca nadajnik i odbiornik ultradźwięków przesuwa się po powierzchni ciała pacjenta i odbiornik odbiera fale ultradźwiękowe odbite od wewnętrznych narządów ciała. Odebrane sygnały są analizowane przez komputer i przedstawiane na monitorze w postaci obrazu. Metoda ta jest znacznie bezpieczniejsza dla zdrowia człowieka od prześwietlania ciała promieniami rentgenowskimi.

Ultradźwięki o większej mocy używane są do bezoperacyjnego kruszenia kamieni, które tworzą się w ludzkich nerkach.

Na podobnej zasadzie jak USG działają urządzenia zwane defektoskopami, które są używane w przemyśle i służą do wykrywania pęknięć w metalowych przedmiotach.



Podsumowanie

1. Fale akustyczne słyszalne przez człowieka to fale o częstotliwościach zawartych w granicach od 20 Hz do 20 000 Hz. Fale o częstotliwościach mniejszych od 20 Hz to infradźwięki, a o częstotliwościach większych od 20 000 Hz to ultradźwięki.
2. Fale akustyczne w cieczech i gazach są falami podłużnymi; polegają one na rozchodzeniu się następujących po sobie na przemian zgęszczeń i rozrzedzeń cząstek ośrodka. W ciałach stałych fale akustyczne mogą być zarówno poprzeczne, jak i podłużne.
3. Szybkość rozchodzenia się fal akustycznych zależy od rodzaju ośrodka.
4. W powietrzu fale dźwiękowe rozchodzą się z szybkością 340 m/s.
5. Fale głosowe okresowe (o określonej częstotliwości) to tony i dźwięki. Można z nich skomponować melodię.
6. Fizyczne cechy dźwięku to: częstotliwość, natężenie (lub poziom natężenia) i charakter drgań; z nimi są związane cechy rozpoznawalne subiektywnie (uchem): jak wysoki jest dźwięk, jak głośny jest dźwięk i jaka jest jego barwa.
7. Poziom natężenia fali dźwiękowej wyrażamy w decybelach (dB).

Zadania i doświadczenia

1. Szybkość fali dźwiękowej w powietrzu wynosi 340 m/s. Oblicz, w jakich granicach zawierają się długości fal akustycznych w tym ośrodku, słyszalnych przez człowieka.
2. Podaj, jaką częstotliwość ma w powietrzu fala dźwiękowa wytworzona przez strunę drgającą z częstotliwością 4000 Hz.
3. Który z owadów z większą częstotliwością macha skrzydłami: pszczoła czy komar? Uzasadnij swoją odpowiedź.
4. Czy w przestrzeni kosmicznej mogą rozchodzić się dźwięki? Uzasadnij odpowiedź.
5. Wyszukaj w internecie informacje na temat infradźwięków i ultradźwięków. Przygotuj prezentację.

Doświadczenie 1.

Oglądamy dźwięki.

Potrzebne przedmioty: komputer z zainstalowanym programem Windows Media Player, kartą dźwiękową i głośnikami lub słuchawkami, próbki różnych dźwięków w postaci plików dźwiękowych.

Kolejne czynności:

- Odszukaj w internecie próbki różnych dźwięków zapisanych w postaci plików dźwiękowych.
- Uruchom Windows Media Player. Ustaw wizualizację, rodzaj obrazu towarzyszącego odtwarzanym plikom dźwiękowym, w następujący sposób: z menu wybierz widok/wizualizacje/paski i fale/oscyloskop.



- Zapis dźwięku polega na rejestracji drgań cząsteczek powietrza (w pobliżu mikrofonu) spowodowanych drganiami źródeł dźwięku. Jego odtworzenie polega na wprowadzeniu w analogiczne drgania cząstek powietrza za pomocą głośnika lub słuchawek. Obserwowany obraz to graficzne przedstawienie fali dźwiękowej.
- Odtwarzaj kolejno pliki z próbkami różnych dźwięków. Obserwuj charakterystyczne cechy obrazu odpowiadające dźwiękom niskim i wysokim.
- Wskaż, co odpowiada amplitudzie drgań (głośności dźwięku), a co okresowi drgań (wysokości dźwięków).

Doświadczenie 2.

Porównujemy rozchodzenie się fali akustycznej w różnych ośrodkach.

Potrzebne przedmioty: łyżka przywiązana w połowie cienkiego sznurka o długości ok. 80 cm, stół.

Kolejne czynności:

- Końce sznurka owiń dwa razy wokół palców wskazujących.
- Uderz łyżką o krawędź stołu i wsłuchaj się w dźwięk, jaki wydaje łyżka.
- Ponownie uderz łyżką o krawędź stołu i zatykaj szczelnie uszy palcami wskazującymi. Ponownie wsłuchaj się w dźwięk wydawany przez łyżkę.



Wynik: W drugim przypadku dźwięk jest wyraźnie głośniejszy.

Wniosek: W pierwszej próbie słyszysz dźwięk przenoszony przez powietrze, a w drugiej głównie przez sznurek i palce. Powietrze przenosi energię drgań we wszystkich możliwych kierunkach. Oznacza to, że do twoich uszu trafia tylko niewielka część tej energii. Natomiast sznurek i palce kierują znacznie większą część energii do twoich uszu.

Doświadczenie 3.**Obserwujemy pracę wykonywaną przez falę dźwiękową.**

Potrzebne przedmioty: radio lub głośnik od wieży lub komputera, kartka papieru, łyżeczka cukru.

Kolejne czynności:

- Głośnik ustawiamy poziomo, włączamy muzykę i ustawiamy na tony niskie.
- Na głośniku kładziemy kartkę, a na nią sypiemy nieco cukru.
- Zwiększamy głośność dźwięku.

Wynik: W miarę zwiększania głośności dźwięku obserwujemy coraz silniejsze ruchy ziarenek cukru.

Wniosek: Drgania membrany i obudowy głośnika przenoszone są na kartkę, która wykonuje pracę, wprawiając w ruch kryształki cukru. Fala niesie z sobą energię i może wykonać pracę.



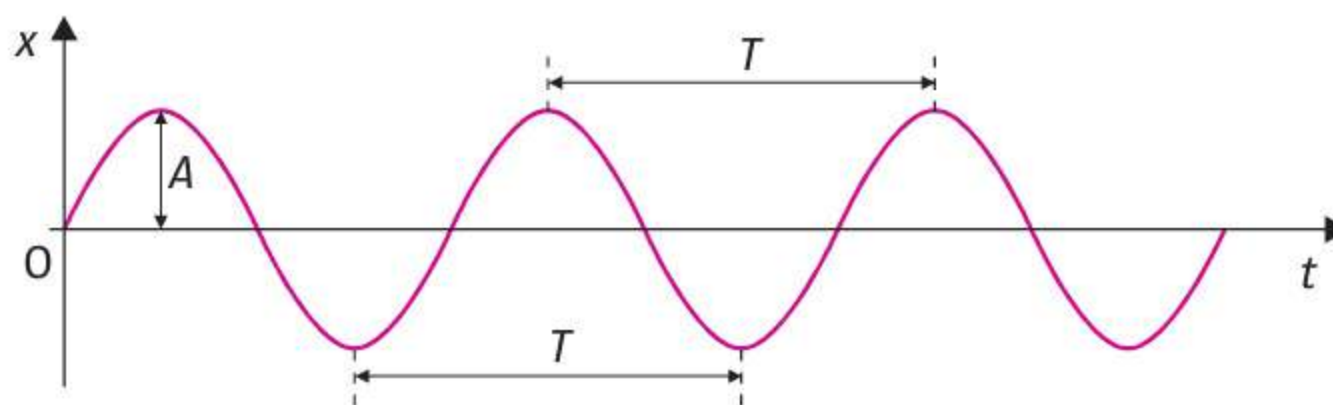
Podsumowanie

- Ruch drgający wykonuje np. wahadło, ciężarek na sprężynie.

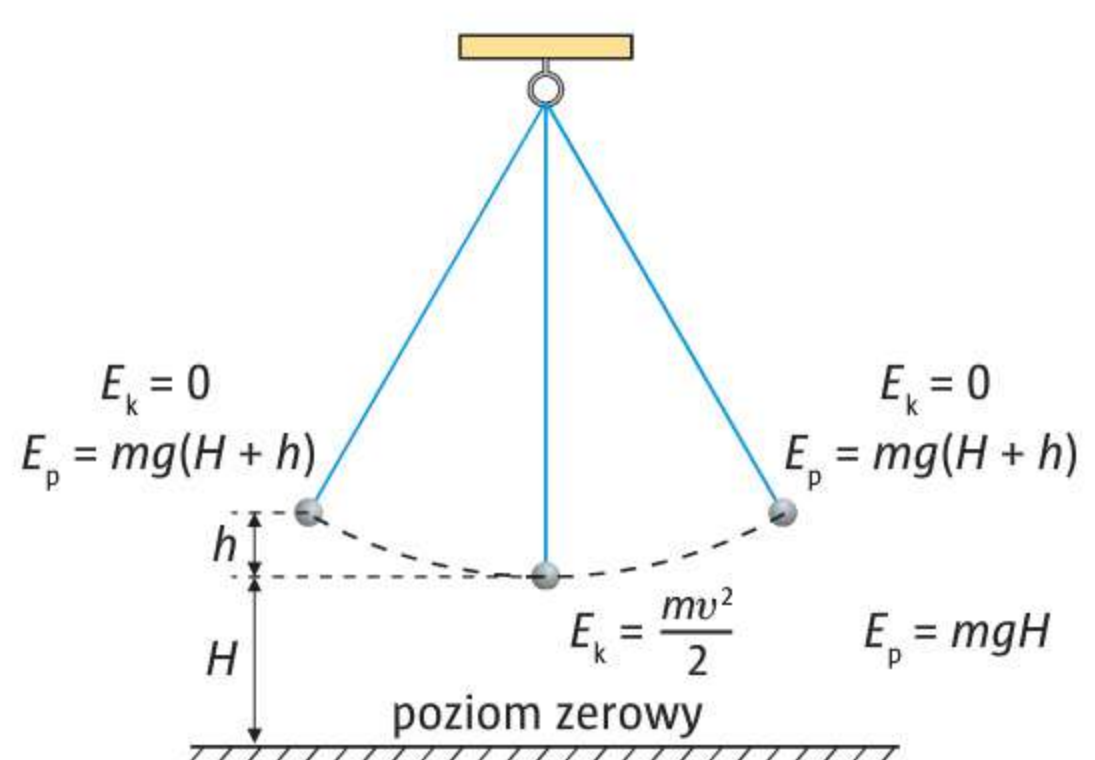
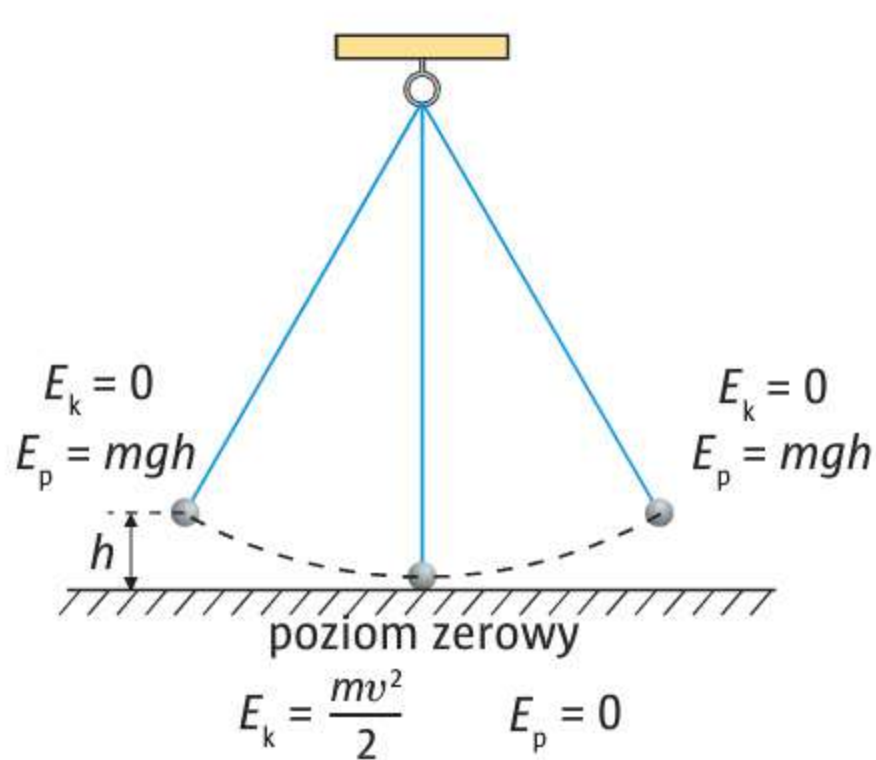
- Wielkości opisujące ruch drgający:

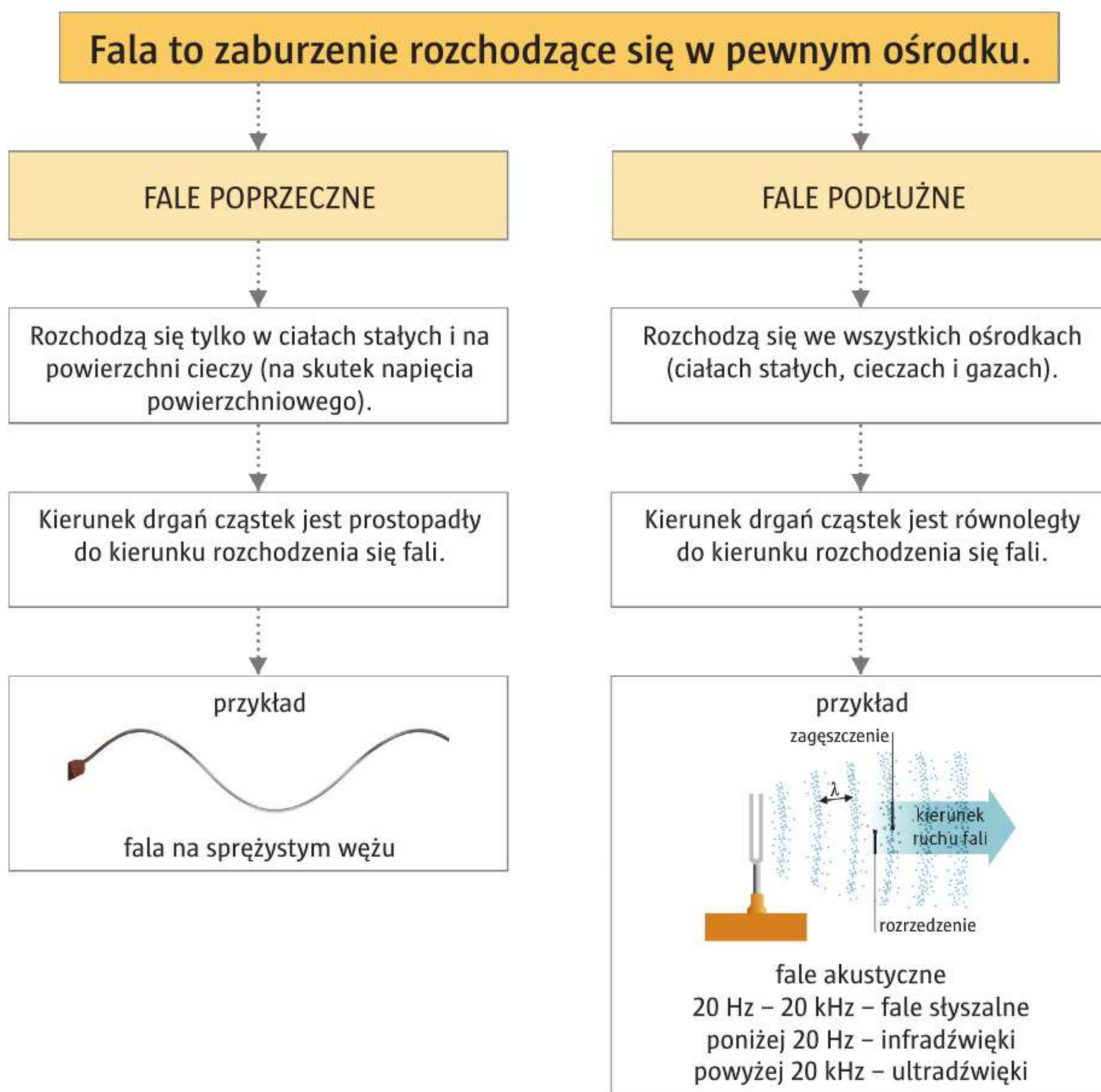
Amplituda	A ; $[A] = 1 \text{ m}$	maksymalne wychylenie z położenia równowagi
Okres	T ; $[T] = 1 \text{ s}$	czas jednego pełnego drgania
Częstotliwość	$f = \frac{1}{T}$; $[f] = \frac{1}{\text{s}} = 1 \text{ Hz}$	liczba drgań w jednostce czasu

- Wykres zależności wychylenia ciała drgającego z położenia równowagi od czasu



- Przemiany energii mechanicznej w ruchu wahadła w zależności od wyboru poziomu zerowego

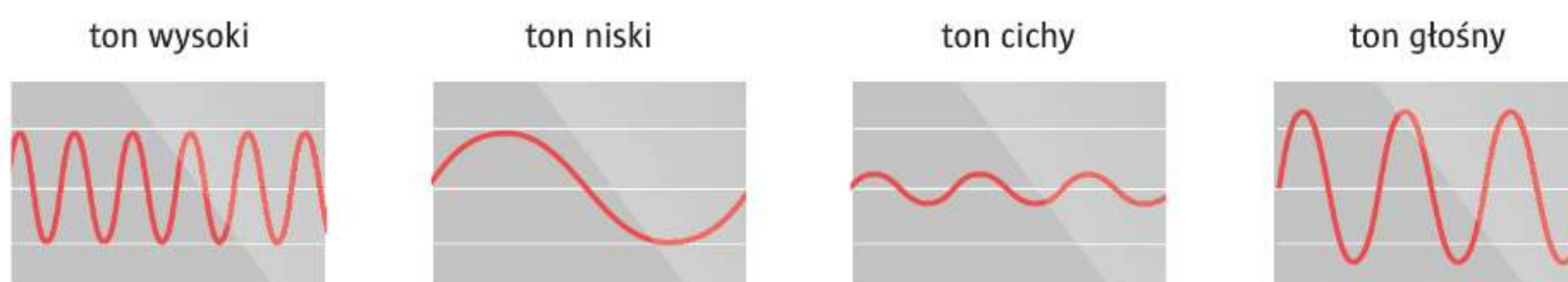




- Długość fali (λ) to droga, jaką fala przebywa w czasie, gdy dowolna cząstka (nie-wielki obszar cząsteczek) ośrodka wykonuje jedno pełne drganie.

$$\lambda = vT \quad \text{lub} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

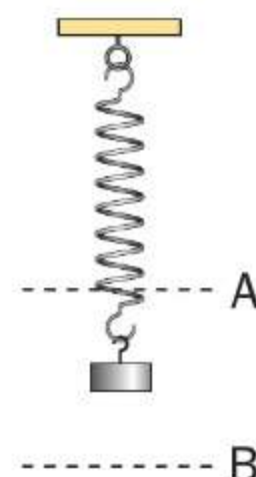
- Cechy dźwięków na przykładzie tonów:



- Instrumenty muzyczne dzielą się na: strunowe (drgania strun), perkusyjne (drgania np. sprężystych membran), dęte (drgania słupa powietrza).

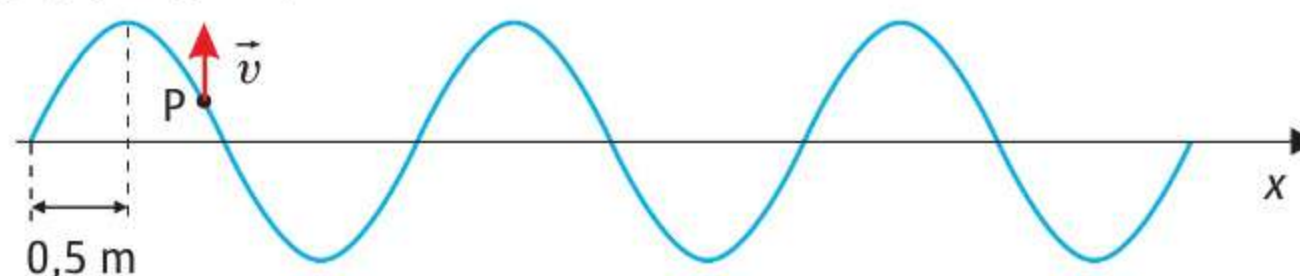
Sprawdź się

1. Obciążnik zawieszony na sprężynie drga między punktami A i B. Czas przejścia z położenia A do B wynosi 1,5 s. Okres drgań obciążnika jest równy
 A. 1,5 s B. 2 s C. 2,5 s D. 3 s
2. Odważnik zawieszony na sprężynie pociągnięto w dół i wykonano w ten sposób pracę 0,18 J, a następnie go puszczo. Odważnik porusza się w górę i przy przejściu przez położenie równowagi ma energię kinetyczną równą
 A. 0,18 J B. 0,32 J C. 0,64 J D. 1,28 J



Tekst do zadań 3 i 4.

Rysunek przedstawia sfotografowaną w pewnej chwili falę poprzeczną rozchodzącą się wzdłuż sprężystego węża.



3. Długość fali przedstawionej na rysunku wynosi
 A. 0,5 m B. 1 m C. 1,5 m D. 2 m
4. Fala rozchodzi się z szybkością 2 m/s. Jeśli w chwili wykonania fotografii punkt P węża poruszał się w górę, to
 A. fala przemieszcza się w prawo, a jej częstotliwość wynosi 1 Hz.
 B. fala przemieszcza się w lewo, a jej częstotliwość wynosi 2 Hz.
 C. fala przemieszcza się w prawo, a jej częstotliwość wynosi 2 Hz.
 D. fala przemieszcza się w lewo, a jej częstotliwość wynosi 1 Hz.
5. Związek pomiędzy szybkością fali v , jej długością λ i częstotliwością f wyraża się wzorem:

$$v = \lambda \cdot f$$

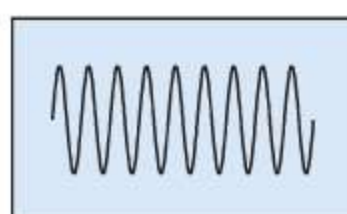
Prawdą jest, że

- A. szybkość fali zależy od jej długości i częstotliwości.
- B. częstotliwość fali zależy od częstotliwości drgań jej źródła, szybkość zależy od ośrodka, w którym się rozchodzi, a długość fali zależy od v i f .
- C. częstotliwość fali zależy od częstotliwości drgań źródła fali, a szybkość rozchodzenia się fali zależy od jej długości.

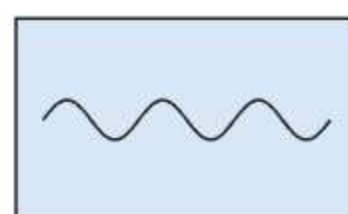
6. Szybkość dźwięku w powietrzu wynosi 340 m/s . Żołnierz podczas ćwiczeń na poligonie w pobliżu wysokiego wzniesienia wystrzelił i po 3 sekundach usłyszał echo. Wzniesienie znajdowało się w odległości
- A. 120 m B. 340 m C. 510 m D. 1020 m
7. Uderzenie pioruna usłyszano 10 s po błyskawicy. Jeśli uwzględnimy fakt, że szybkość światła jest równa $300\,000 \text{ km/s}$, a szybkość dźwięku w powietrzu to 340 m/s , można oszacować, że piorun uderzył w odległości
- A. 340 m B. 680 m C. 3400 m D. $300\,000 \text{ m}$
8. Rysunki przedstawiają zależność wychylenia od czasu dla fali akustycznej wytworzonej w powietrzu przez drgające kamertony. Ton najwyższy i równocześnie najcichszy przedstawia rysunek
- A. I B. II C. III D. IV



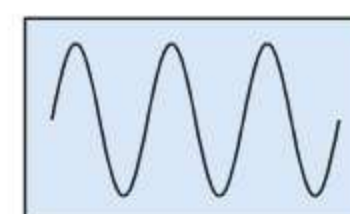
I



II



III



IV

9. Fala dźwiękowa przechodzi z powietrza do wody. Wysokość dźwięku (a więc i częstotliwość fali) w wodzie jest taka, jak w powietrzu. Długość fali w wodzie jest
- A. taka, jak w powietrzu.
B. mniejsza niż w powietrzu.
C. większa niż w powietrzu.
10. Rysunek przedstawia fragment klawiatury fortepianu.



- Częstotliwość najniższego tonu C, który jest słyszalny dla człowieka, wynosi
- A. 20 Hz B. 32 Hz C. 38 Hz D. 64 Hz

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Mały, ciężki przedmiot (np. odważnik) zawieszony na długiej nierozciągliwej nici (czyli wahadło), wyprowadzony z położenia równowagi wykonuje drgania o okresie T określonym wzorem:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

gdzie l jest długością wahadła, a g – wartością przyspieszenia ziemskiego.

- Zaplanuj doświadczenie, w którym za pomocą takiego wahadła wyznacysz wartość przyspieszenia ziemskiego.
 - a) Wymień przyrządy pomiarowe, których użyjesz, i podaj dokładności, z jakimi będziesz dokonywać pomiarów (niepewności pomiarowe).
 - b) Zaprojektuj tabelę, w której umieścisz wyniki pomiarów.
 - c) Wymień kolejne czynności i obliczenia.
- Na podstawie powyższego wzoru sporządź wykres zależności $T(l)$ dla wahadła.

Zadanie 2.

Przeczytaj poniższy fragment opowiadania Sławomira Mrożka *Ptaszek ugupu*.

„Kiedy byłem mały, starszy brat posadził mnie na rozpalonej blasze. (...) Porcję kalorii, którą otrzymałem wtedy, tam, na blasze, oddałem z kolei atmosferze po przekształceniu energii cieplnej w fonetykę, czyli, jak sądzę, w energię kinetyczną, zważywszy, że głos polega na drganiach, czyli ruchu”.

- a) Wymień wszystkie występujące w tym tekście wyrażenia, które są pojęciami fizycznymi.
- b) Podaj poprawną fizyczną nazwę energii, którą autor nazywa energią cieplną.
- c) Napisz własnymi słowami, jaki (hipotetyczny) proces fizyczny autor miał na myśli, gdy pisał, że energia cieplna przekształciła się w fonetykę.
- d) Czy hipoteza autora dotycząca przemian energii jest twoim zdaniem prawdziwa?

Zadanie 3.

Za pomocą odpowiednich wzorów zapisz zasadę zachowania energii mechanicznej dla ruchu wahadła przedstawionego na rysunkach na stronie 62.

9

O elektryczności statycznej



W chmurze mogą się gromadzić ładunki elektryczne.

W pewnych warunkach może nastąpić gwałtowny przepływ ładunku między chmurą i Ziemią (tzw. wyładowanie), któremu towarzyszy błyskawica.

Na powierzchni Ziemi, budynków, drzew itp. w wyniku zjawiska indukcji gromadzi się ładunek mający przeciwny znak niż ładunek chmury.

9.1 Elektryzowanie ciała przez tarcie i dotyk

Elektryczność to dziedzina fizyki i techniki obejmująca zagadnienia związane z oddziaływaniem ładunków elektrycznych:

- będących w spoczynku (elektrostatyka, czyli elektryczność statyczna)

oraz

- będących w ruchu (elektromagnetyzm, w tym prąd elektryczny).

Naukę o elektryczności rozpoczniemy od opisu i wyjaśnienia tych zjawisk, w których po raz pierwszy stwierdzono istnienie ładunków elektrycznych, tj. od elektryzowania ciał. Niektóre ciała przy pocieraniu zyskują nowe, niezwykle właściwości. Aby się o tym przekonać, plastikową linijkę lub grzebień zbliżamy do drobnych skrawków papieru rozsypanych na stole i obserwujemy ich zachowanie. Następnie pocieramy tę linijkę kawałkiem wełnianej tkaniny (np. sukna) i zbliżamy ją ponownie do skrawków papieru.



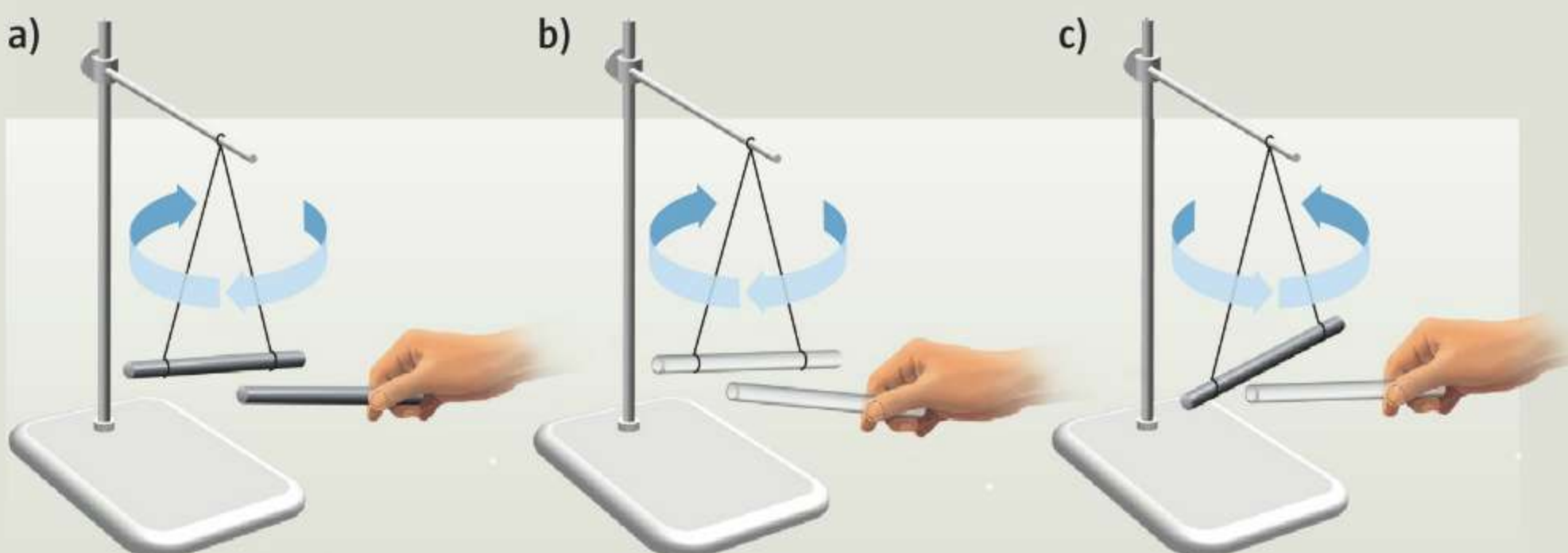
W pierwszym przypadku linijka nie przyciąga skrawków papieru, natomiast potarta wełną zaczyna je przyciągać. Podobnie oddziałuje na skrawki papieru wełniana tkanina, której użyliśmy do pocierania linijki. Stwierdzamy więc, że w wyniku wzajemnego pocierania linijka i wełna zmieniają swoje właściwości – mówimy, że zostały one **naelektryzowane**. Skąd nazwa tego zjawiska? Podobne eksperymenty wykonywał już około 600 lat p.n.e. Grek Tales z Miletu. Tales pocierał kawałek bursztynu (który w języku greckim nazywano *elektro-nem*) i stwierdził, że potarte miejsca przyciągały niektóre lekkie ciała. Doświadczenia wykonane w wieku XVII przez angielskiego filozofa i fizyka Williama Gilberta pokazały, że podobne właściwości ma wiele innych ciał. Gilbert wprowadził też do fizyki termin *elektryczność*. Widoczny efekt elektryzowania ciał uzyskujemy, jeśli uda nam się dobrać odpowiednie pary substancji. I tak np. tworzywa sztuczne pocieramy tkaniną wełnianą lub futrem, a szkło – papierem lub jedwabiem. W następnych doświadczeniach wykazemy, że każda substancja w takiej parze elektryzuje się inaczej.

Doświadczenie 9.1**Badamy zachowanie się ciał naelektryzowanych przez tarcie.****Potrzebne przedmioty:** 2 pałeczki ebonitowe (lub rurki z PVC), 2 pałeczki szklane, 2 statywy.**Kolejne czynności:**

- Na końcach długiej nitki robimy pętelki, wkładamy w nie ebonitową pałeczkę, a następnie środek nitki mocujemy do statywu. Podobnie wieszamy pałeczkę szklaną (rys.).
- Po zbliżeniu do zawieszonych ciał kolejno drugiej pałeczki ebonitowej, a potem pałeczki szklanej nie obserwujemy żadnego oddziaływania.
- Powtarzamy doświadczenie z tą różnicą, że przed umieszczeniem na statywie każdą z pałeczek ebonitowych pocieramy suchą wełną, a każdą pałeczkę szklaną – suchą gazetą. Obserwujemy wyraźne oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi ciałami.



Wynik: Potarte pałeczki ebonitowe (a) i potarte pałeczki szklane (b) odpychają się wzajemnie, natomiast potarta pałeczka ebonitowa i potarta pałeczka szklana (c) przyciągają się wzajemnie.



Elektryczność, którą przez pocieranie zyskują pałeczki ebonitowe (ebonit to kauczuk utwardzony sadzą lub siarką), plastikowe linijki i używane np. w budownictwie rurki z PVC, nazwano **elektrycznością ujemną**, a tę, którą uzyskuje szkło, nazwano **elektrycznością dodatnią**. Aby wyjaśnić zaobserwowane zjawiska oraz inne zjawiska, z którymi spotkamy się w dalszej części podręcznika, przypomnijmy sobie wiadomości dotyczące budowy materii, poznane na lekcjach chemii.

1. Najmniejszą porcją pierwiastka chemicznego, z którą jest związana większość jego właściwości, jest **atom**.

2. Do naszych dalszych rozważań przyjmujemy uproszczony model budowy atomu.

• Atom zbudowany jest z:

- **protonów** o ładunku elektrycznym dodatnim,
- **elektronów** o ładunku elektrycznym ujemnym,
- **neutronów** elektrycznie obojętnych (neutralnych).

Ładunek elektronu jest najmniejszą porcją ujemnego ładunku, a ładunek protonu jest najmniejszą porcją ładunku dodatniego. Ładunki te nazywamy **ładunkami elementarnymi**. Każdy inny ładunek jest wielokrotnością ładunku elementarnego.

- Wartości ładunków protonu i elektronu są takie same, różnią się tylko znakami.
- Centralną częścią atomu jest bardzo małe, ale ciężkie (patrz tabela niżej) **jądro**, w którego skład wchodzi protony i neutrony.
- Elektrony w atomie poruszają się wokół jądra w różnych od niego odległościach i tworzą tzw. **powłoki elektronowe**, w których prawdopodobieństwo znalezienia elektronu jest największe.
- **Atom jest elektrycznie obojętny**, co oznacza, że suma ładunków protonów w jądrze jest równa sumie ładunków elektronów krążących wokół jądra, czyli liczba protonów jest równa liczbie elektronów.

Tabela 9.1. Składniki atomu

Nazwa cząstki	Ładunek elektryczny cząstki	Przybliżona masa cząstki jako wielokrotność masy elektronu m_e
proton	+e	$1840m_e$
elektron	-e	$1m_e$
neutron	0	$1840m_e$

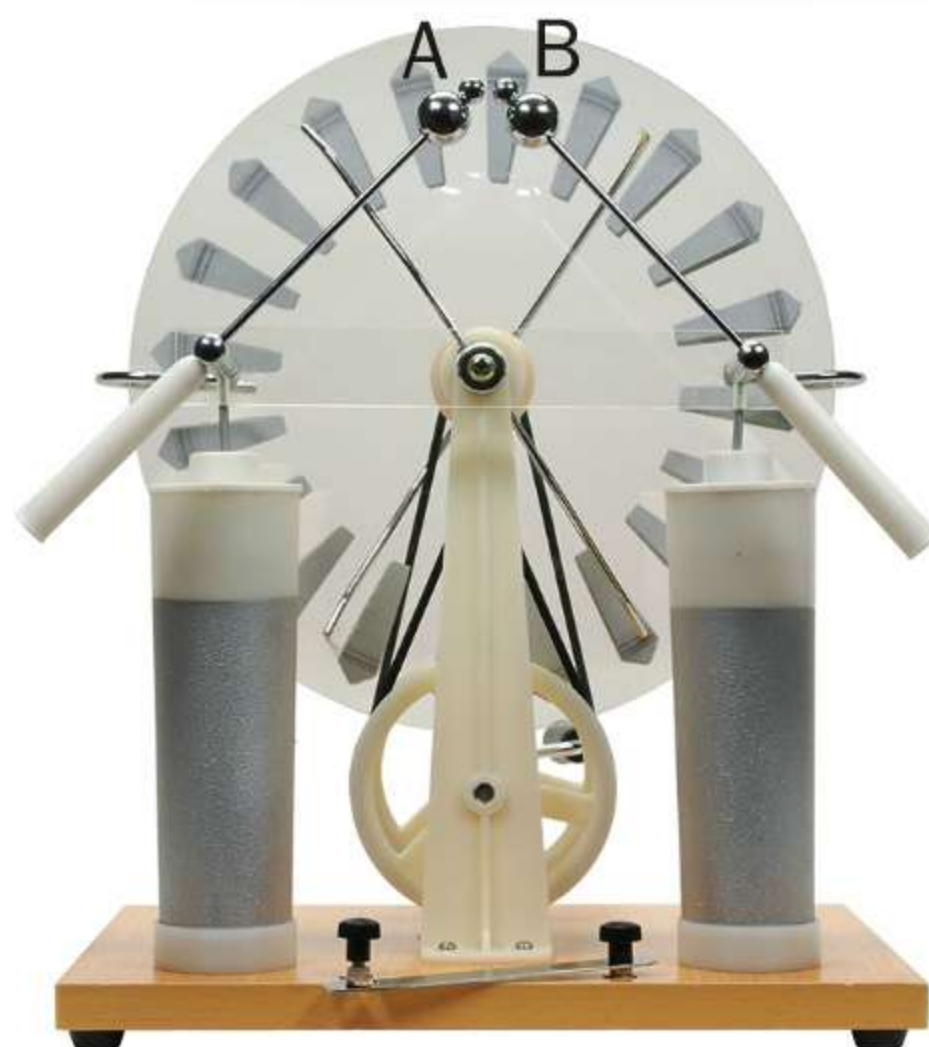
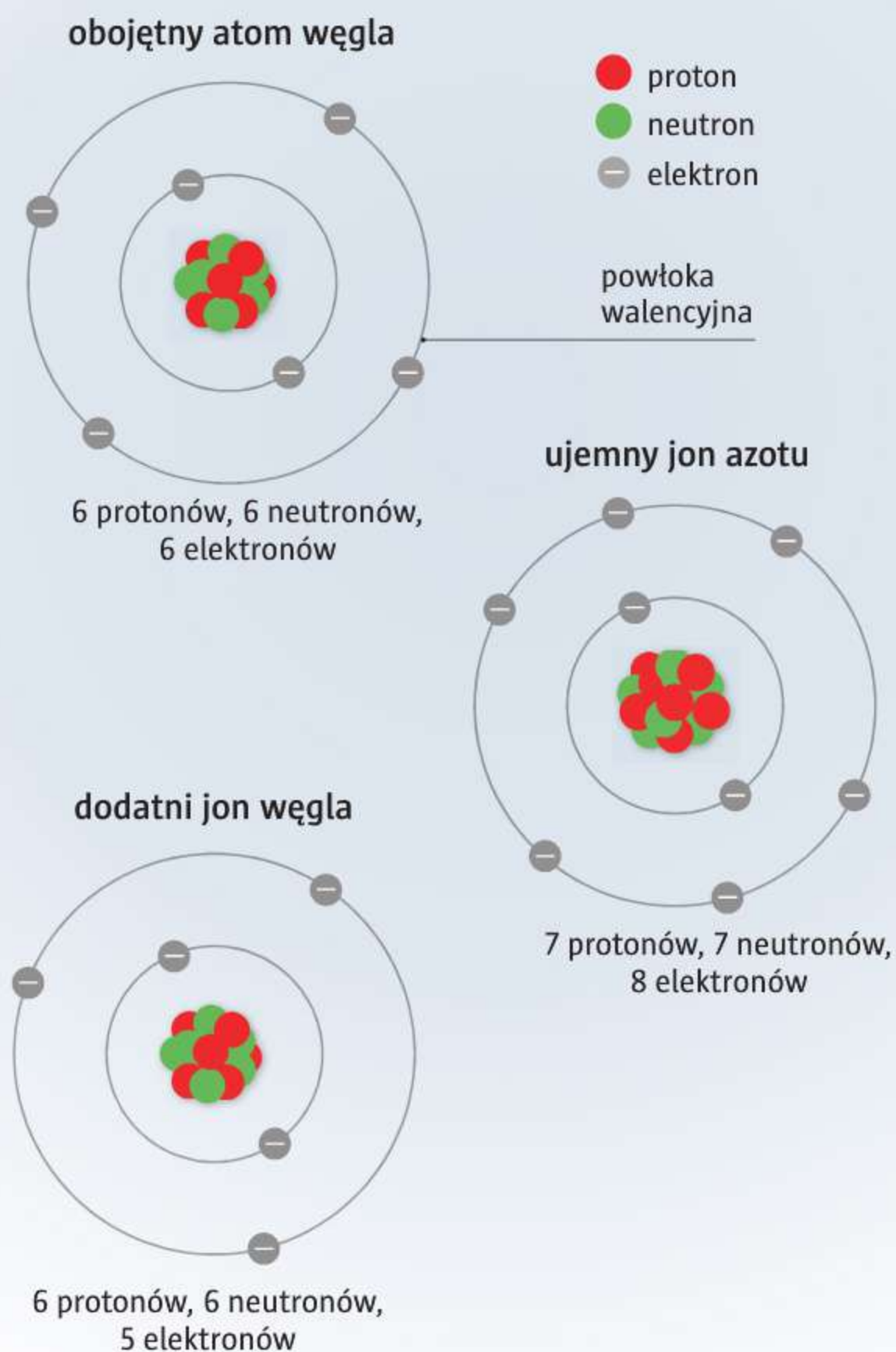
3. O właściwościach chemicznych pierwiastków decydują tylko tzw. **elektrony walencyjne**, wypełniające w atomie zewnętrzną powłokę (zwaną walencyjną).

4. Atom, który zyskał dodatkowy elektron i ma na powłokach większą liczbę elektronów niż liczbę protonów w jądrze, jest naładowany ujemnie. Nazywamy go **jonem ujemnym** (rys. na s. 71). Atom, który oddał elektron i ma na powłokach niedobór elektronów, jest naładowany dodatnio. Nazywamy go **jonem dodatnim** (rys. na s. 71).

Wykorzystanie wiadomości o budowie atomu pozwoli nam wyjaśnić, na czym polega elektryzowanie ciał przez tarcie. W czasie wzajemnego pocierania dwóch ciał wykonujemy pracę, wzrastają energie ruchu drgającego składników obu ciał i niektóre elektrony walencyjne z jednego ciała przechodzą do drugiego. Ciało, które traci elektrony, ma ich niedobór i staje się ciałem naładowanym dodatnio. Natomiast ciało, które zyskało elektrony, ma ich nadmiar i jest naładowane ujemnie. Elektryczność ujemna jest zatem związana z **uzyskiwaniem** przez ciało ładunku ujemnego, a elektryczność dodatnia – z **utratą** ładunku ujemnego. Ładunek elementarny jest ładunkiem bardzo małym, dlatego za **jednostkę ładunku przyjmujemy ładunek równy $6,25 \cdot 10^{18}$ ładunkom elementarnym**. Tę jednostkę nazywamy **kulombem (1 C)**.

Wróćmy do doświadczenia 9.1. Teraz możemy stwierdzić, że ładunki jednoimienne (dodatni z dodatnim lub ujemny z ujemnym) odpychają się, a ładunki różnoimienne (dodatni z ujemnym) się przyciągają. Zamiast mówić o wzajemnym oddziaływaniu ciał naelektryzowanych, możemy mówić o oddziaływaniu ładunków elektrycznych tych ciał.

Na fotografii obok przedstawiono maszynę elektrostatyczną. Jest to urządzenie dość skomplikowane, ale najważniejsze dla nas jest to, że podczas kręcenia korbką kulki A i B, zwane biegunami maszyny elektrostatycznej, elektryzują się: jedna dodatnio, a druga ujemnie. Po zbliżeniu kulek do siebie obserwujemy powstanie



iskry elektrycznej. Jest ona wynikiem przemieszczania się ładunków pomiędzy kulkami maszyny elektrostatycznej.

Za pomocą maszyny elektrostatycznej możemy pokazać, że ciało elektrycznie obojętne można naelektryzować przez zetknięcie z ciałem naładowanym.

Doświadczenie 9.2

Badamy elektryzowanie ciała obojętnego elektrycznie przez zetknięcie z ciałem naelektryzowanym.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: folia aluminiowa, nitka, maszyna elektrostatyczna.

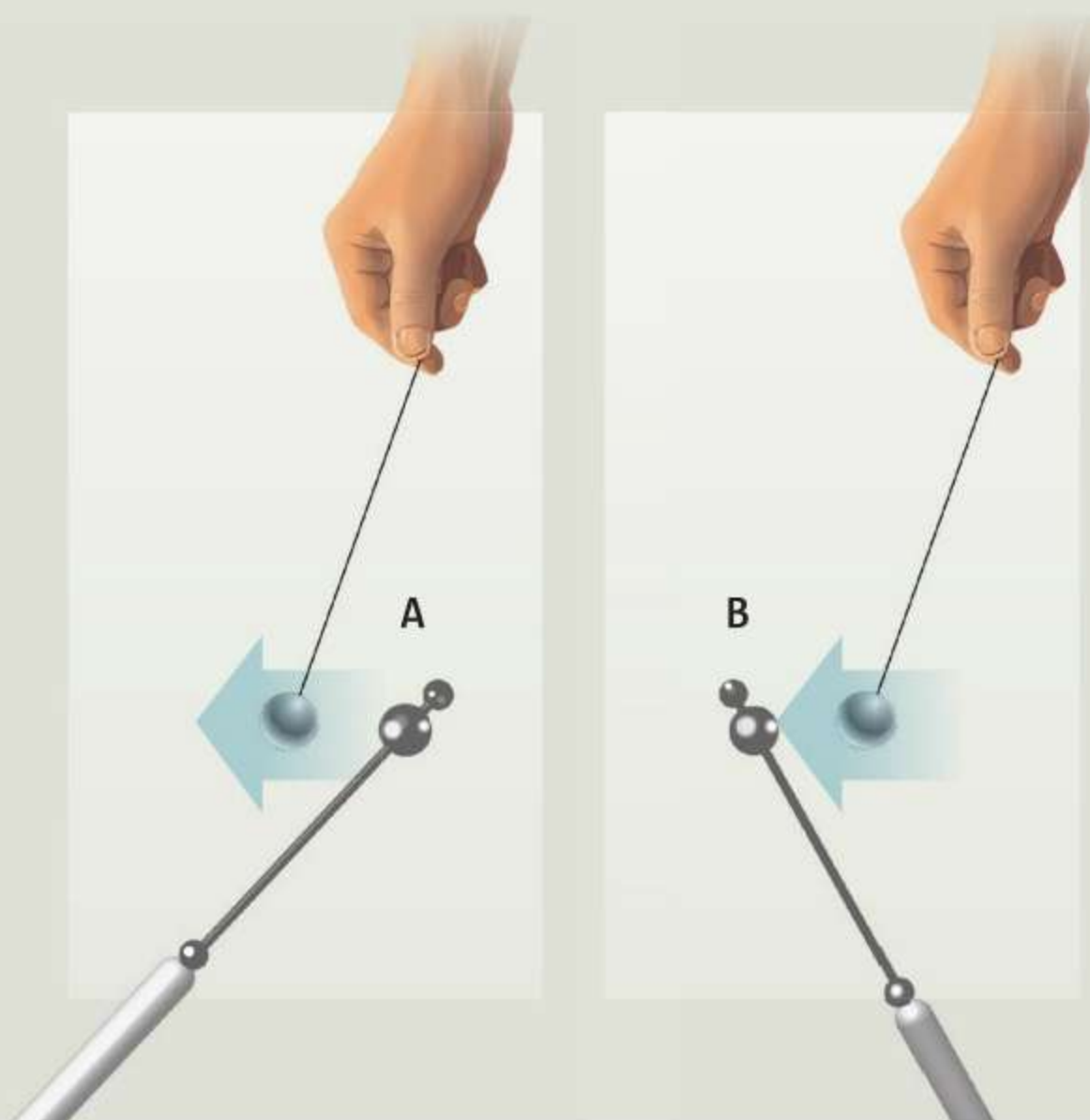
Kolejne czynności:

- Koniec nitki otaczamy kawałkiem folii aluminiowej i formujemy z folii kuleczkę o średnicy około 0,5 cm.
- Kręcąc korbą maszyny elektrostatycznej, elektryzujemy bieguny A i B ładunkami przeciwnych znaków.
- Dotykamy kulką z folii aluminiowej bieguna A i obserwujemy jej zachowanie.
- Bardzo wolno zbliżamy kulkę aluminiową do bieguna B i obserwujemy jej zachowanie.

Wynik:

- Po zetknięciu kulki aluminiowej z biegunem A obserwujemy odpychanie kulki z folii przez ten biegun.
- Biegun B przyciąga kulkę aluminiową.

Wniosek: Zetknięcie aluminiowej kulki z biegunem A maszyny spowodowało naelektryzowanie się tej kulki ładunkiem tego samego znaku.



Jeśli bieżnik A był naelektryzowany ujemnie, to w chwili zetknięcia część nadmiarowych elektronów przepływa do kulki aluminiowej, która elektryzuje się ujemnie. Jeśli bieżnik A był naelektryzowany dodatnio, a więc miał niedobór elektronów, w chwili zetknięcia kulka aluminiowa oddaje mu część swoich elektronów, ale nie tyle, by go zneutralizować. Tym sposobem bieżnik A i kulka są naelektryzowane dodatnio.

Podsumowanie

1. Istnieją dwa rodzaje ładunków. Przyjęto, że szkło przy pocieraniu elektryzuje się dodatnio (+), a ebonit elektryzuje się ujemnie (–).
2. Elektryzowanie przez pocieranie polega na przejściu elektronów z jednego ciała do drugiego. To ciało, które traci elektrony, elektryzuje się dodatnio, a to, które zyskuje – ujemnie. Całkowity ładunek pocieranych o siebie ciał się nie zmienia.
3. Elektryzowanie ciała jest możliwe także przez dotknięcie tego ciała innym ciałem naelektryzowanym. Następuje wtedy przemieszczenie się części elektronów z jednego ciała do drugiego. W efekcie oba ciała są naelektryzowane ładunkiem tego samego znaku.
4. Jednostką ładunku jest 1 kulomb (1 C). Ładunek taki odpowiada ładunkowi około $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów.

Zadania i doświadczenia

1. Plastikową linijkę potarto wełnianą szmatką. Linijka naelektryzowała się ujemnie.



Czy wełniana szmatka także się naelektryzowała? Sprawdź, czy szmatka przyciąga skrawki papieru. Jeśli tak, to wykonaj podobny rysunek w zeszycie i dorysuj ładunki, których nadmiar jest w szmatce. Opisz zjawisko zachodzące podczas pocierania linijki szmatką.

2. Ten sam odważnik raz naelektryzowano dodatnio, a następnie – ujemnie. Gdybyśmy dysponowali wystarczająco czułą wagą, to w którym przypadku odważnik ważyłby więcej? Odpowiedź uzasadnij.

3. Dlaczego gdy zdejmujemy koszule i bluzki ze sztucznego tworzywa, słyszymy trzaski jak przy rozładowaniu maszyny elektrostatycznej? W jakim celu używa się płynów antystatycznych?
4. Doświadczenie, które opiszemy poniżej, nie jest możliwe do wykonania. Wyobrażamy sobie tylko, „co by było, gdyby...”. Takie doświadczenia w fizyce nazywają się doświadczeniami myślowymi lub pomyślanymi.
Metalowy pręt naelektryzowano, a następnie przecięto na dwie połowy, co spowodowało, że w jednej połowie pręta pozostała połowa ładunku. Jeśli teraz połowę pręta znów przetniemy na dwie połowy, to w jednej części pozostanie $\frac{1}{4}$ całkowitego ładunku pręta. Czy jest jakaś granica, do której możemy dzielić pręt, a zatem i zgromadzony na nim ładunek?
5. Odpowiedz na pytania.
 - a) Dlaczego rozpylacze do farb konstruuje się w taki sposób, by wylatujące kropelki były naelektryzowane jednoimiennie?
 - b) Dlaczego podczas głaskania psa w ciemności możemy zauważyć iskry przeskakujące między ręką i sierścią psa?
6. Odszukaj informacje na temat zasady działania elektrofiltrów lub kserokopiarek i przygotuj prezentację.

Doświadczenie 1.

Przy okazji mycia włosów umyj także starannie grzebień i, podobnie jak włosy, wysusz go suszarką.

Zauważ, że gdy rozczesujemy suche włosy grzebieniem, stwarzamy warunki, w których włosy i grzebień się elektryzują. Część elektronów z włosów przechodzi do grzebienia i w wyniku tego włosy elektryzują się dodatnio, a grzebień ujemnie. Włosy są przyciągane przez grzebień (bo są to ciała naelektryzowane różnoimiennie), a poszczególne włosy odpychają się (bo są naelektryzowane jednoimiennie). Poproś kogoś z domowników, by sfotografował cię podczas czesania. Jeśli masz taką możliwość, to wydrukuj zdjęcie i wklej do zeszytu.

Sformułuj cel tego doświadczenia.

Doświadczenie 2.

W skarpetach, szurając stopami, przejdź przez pomieszczenie, którego podłoga jest wyłożona dywanem lub wykładziną. Następnie zbliż nos do nosa drugiej osoby. Opisz i objaśnij wynik doświadczenia.

9.2 Siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych

Zaobserwowane przez nas wzajemne oddziaływanie ciał naelektryzowanych nazywamy **oddziaływaniem elektrycznym**, a siły występujące przy takim oddziaływaniu nazywamy **siłami elektrycznymi**. W celu zbadania, od czego zależy wartość sił elektrycznych, wykonamy następujące doświadczenie.

Uwaga: doświadczenia z elektrostatyki nie udają się przy dużej wilgotności powietrza (wyjaśnienie w rozdziale 9.3).

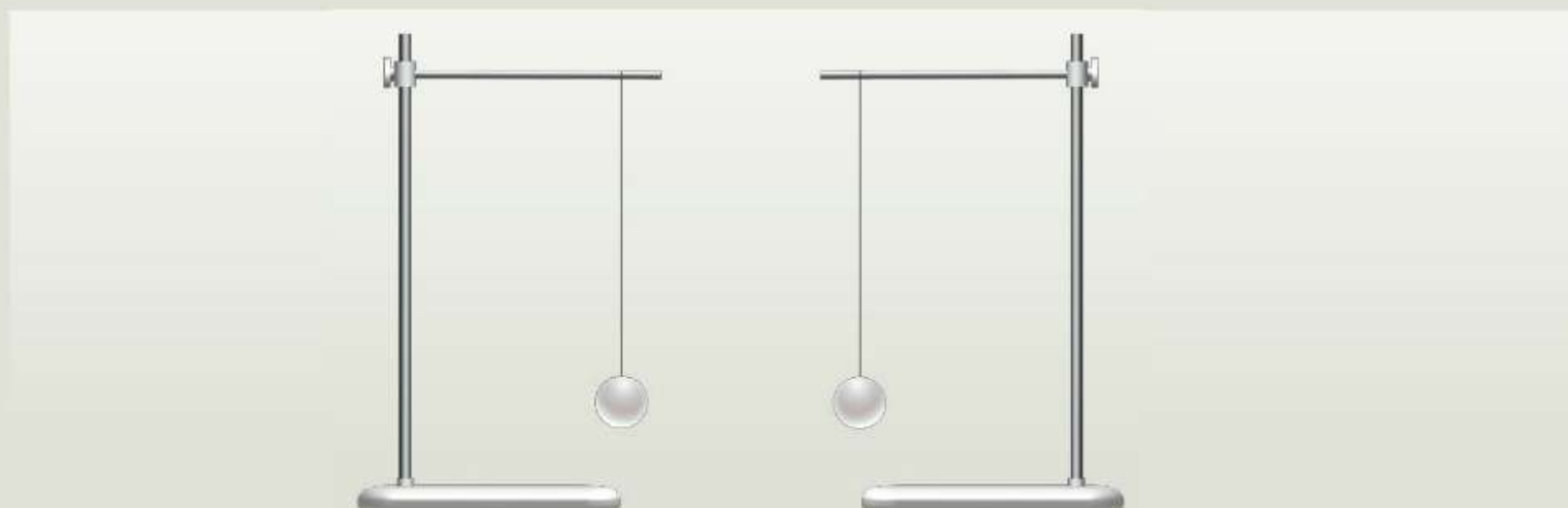
Doświadczenie 9.3

Badamy siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: folia aluminiowa, 2 nici, 2 statywy, pałeczki szklane lub ebonitowe.

Kolejne czynności:

- Jeden koniec nitki otaczamy kawałkiem folii aluminiowej i formujemy z folii kulkę o średnicy około 0,5 cm.
- Drugi koniec nitki, na której wisi kulka, przywiązujemy do statywu. Podobnie postępujemy z drugą nitką.



- Statywy oddalamy od siebie na odległość kilkudziesięciu centymetrów.
- Za pomocą naelektryzowanej pałeczki (ebonitowej lub szklanej) kulki elektryzujemy jednoimiennie.

- Bardzo wolno zbliżamy do siebie statywy i obserwujemy wzajemne oddziaływanie kulek.



Wynik: Przy zbliżaniu kulek wzrasta odchylenie nitek od pionu.

- W drugiej części doświadczenia wykorzystujemy jedną wiszącą na nitce kulkę z folii i kilka pałeczek ebonitowych lub szklanych.
- Kulkę elektryzujemy.
- Następnie zbliżamy do niej na tę samą odległość kolejno jedną, dwie i trzy naelektryzowane pałeczki z tego samego materiału.



Wynik: Gdy ładunek pałeczek umieszczonych w pobliżu kulki wzrasta, rośnie także odchylenie nitki od pionu.

Wnioski:

- W miarę zbliżania do siebie ciał naelektryzowanych rośnie wartość siły wzajemnego odpychania zgromadzonych na nich ładunków.
- Wartość siły wzajemnego oddziaływania ładunków umieszczonych w pewnej odległości od siebie zależy od wielkości tych ładunków.
- Wraz ze wzrostem ładunku na jednym z oddziałujących ciał wzrasta wartość siły wzajemnego oddziaływania.

Podsumowanie

- 1.** Dwa jednoimiennie naelektryzowane ciała się odpychają, a naelektryzowane różnoimiennie się przyciągają. Takie oddziaływanie ciał naelektryzowanych nazywamy oddziaływaniem elektrycznym. Siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych nazywamy siłami elektrycznymi.
- 2.** Wraz ze wzrostem odległości między ładunkami wartość siły elektrycznej maleje. Wraz ze wzrostem wartości ładunków wartość tej siły wzrasta.

Zadania i doświadczenia

- 1.** Narysuj (zgodnie z trzecią zasadą dynamiki) wektory obrazujące siły wzajemnego oddziaływania dwóch kulek naelektryzowanych:
 - a) jednoimiennie,
 - b) różnoimiennie,
 umieszczonych w małej i dużej odległości od siebie.
- 2.** Dlaczego łatwiej oderwać elektron walencyjny od atomu, który ma kilkadziesiąt elektronów, niż od atomu, który ma kilka elektronów?

Doświadczenie 1.

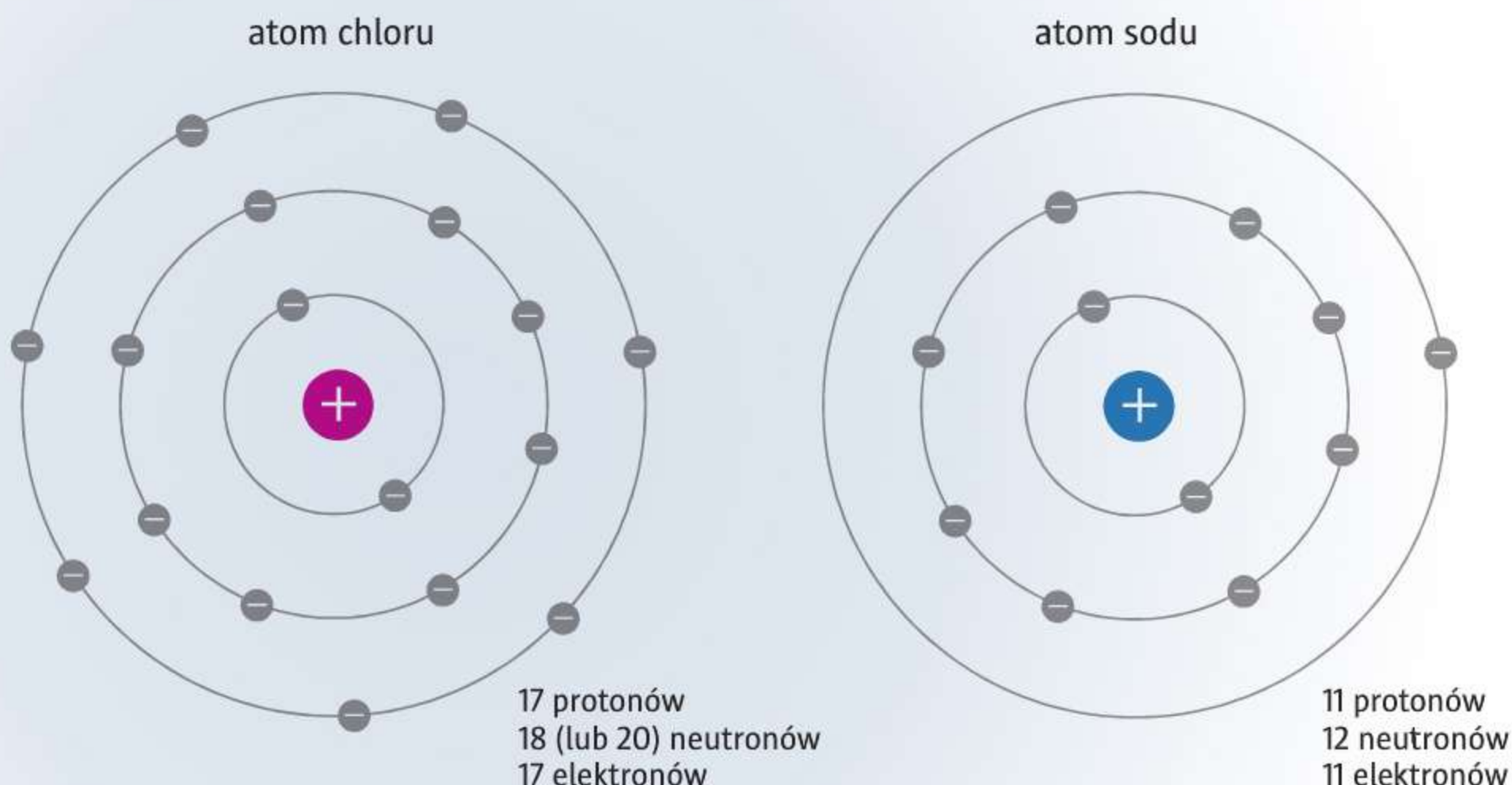
Powtórz doświadczenie 9.3. Użyj napompowanych baloników zawieszonych na długich nitkach. Baloniki elektryzuj przez pocieranie ich zmiętym papierem gazetowym. W takim przypadku baloniki elektryzują się ujemnie. Wykonaj zdjęcia lub rysunki. Sformułuj wnioski z doświadczenia.

9.3 Przewodniki i izolatory

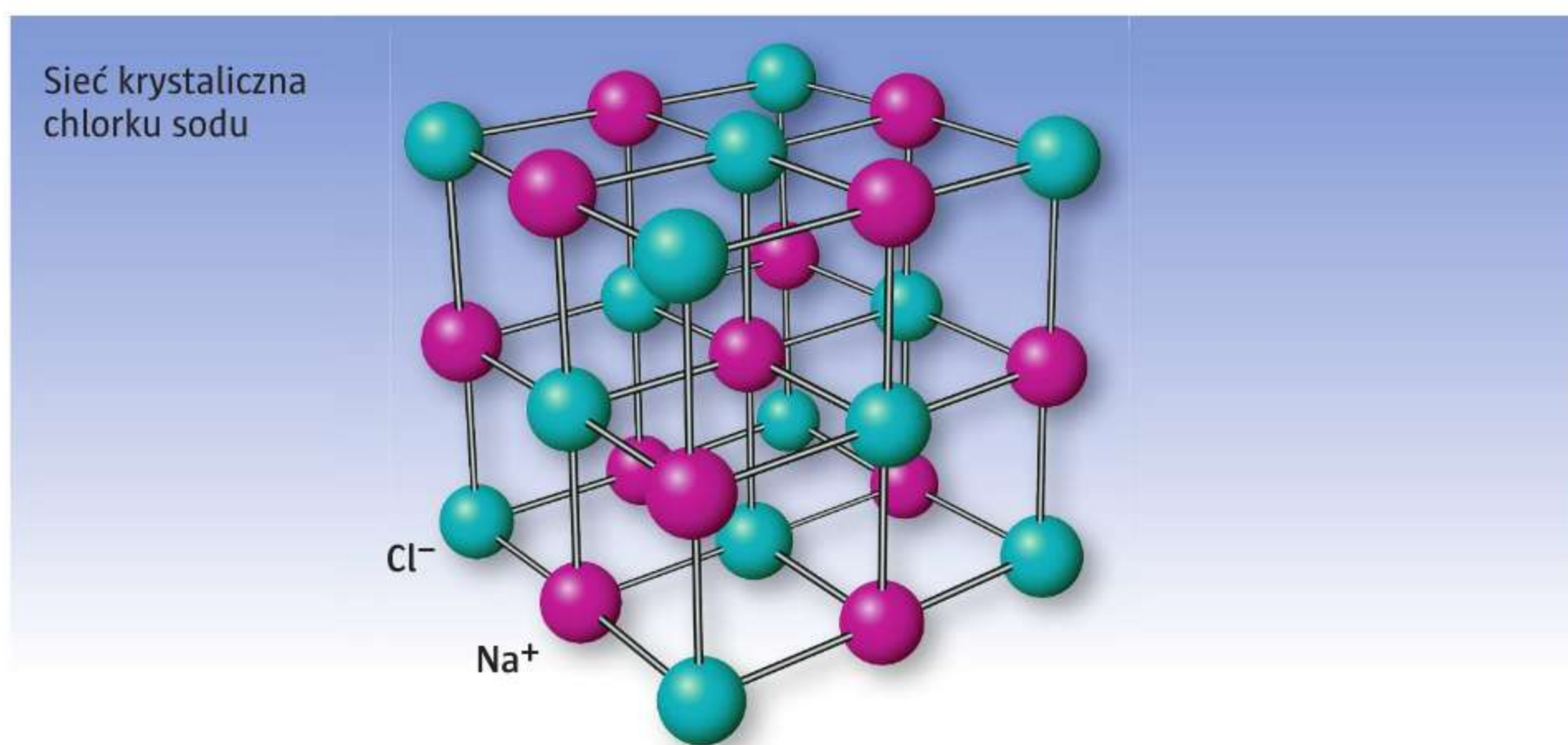
Spróbujmy teraz wyjaśnić zjawiska zaobserwowane w doświadczeniach 9.1, 9.2 i 9.3. Podczas badania oddziaływania naelektryzowanych pałeczek w doświadczeniu 9.1 trzymaliśmy je w dłoni. Pałeczki pozostawały cały czas naelektryzowane. Natomiast gdybyśmy dotknęli, choćby palcem, w dowolnym miejscu kulek z folii aluminiowej z doświadczenia 9.3, przestałyby one wzajemnie oddziaływać. To świadczyłoby o tym, że nie są już naelektryzowane. Aby wyjaśnić tę różnicę, musimy uzupełnić naszą wiedzę o budowie ciał.

Jak wiesz, wiele substancji ma budowę krystaliczną. Częsteczki lub atomy tych substancji są ułożone w regularny sposób, charakterystyczny dla każdej z nich. Przykładem może być chlorek sodu, czyli znana nam sól kuchenna.

Każdy atom sodu ma jądro składające się z 11 protonów i 12 neutronów. Jądro jest otoczone powłokami elektronowymi. Pierwsza z nich zawiera 2 elektrony, druga – 8 elektronów, trzecia – 1 samotny elektron.

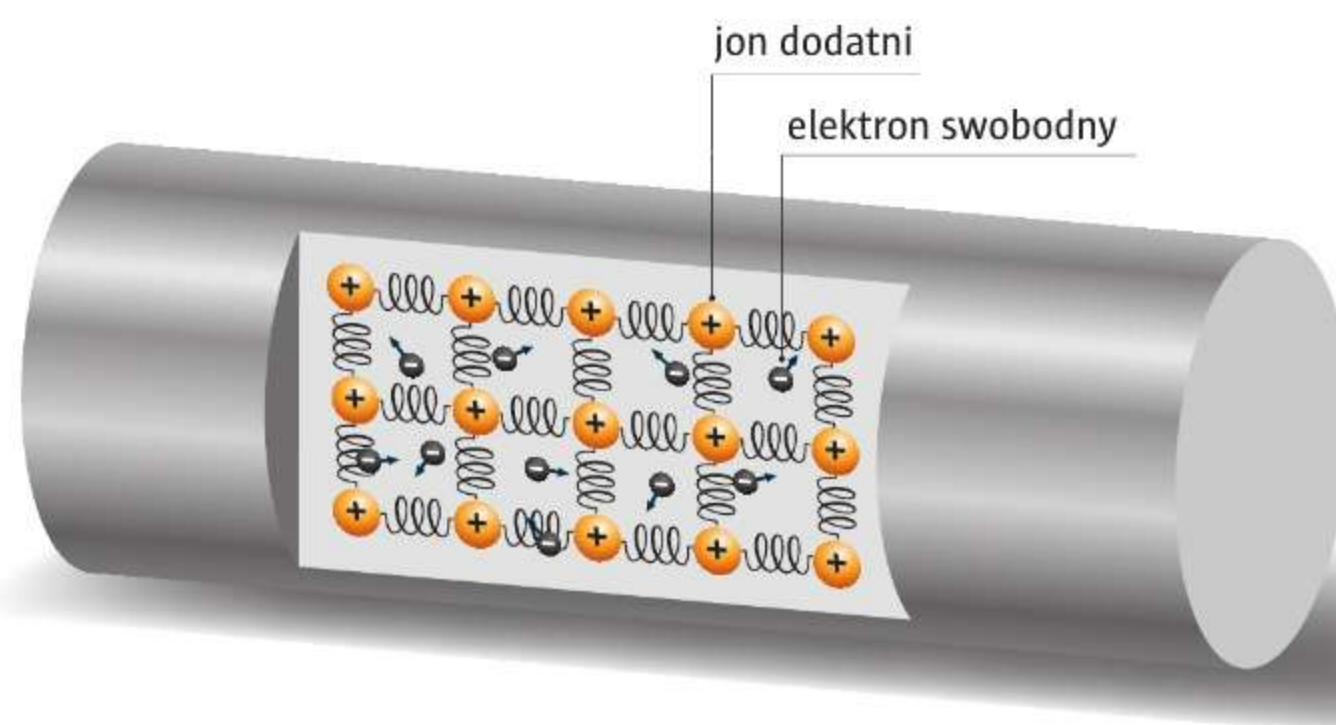


Atom chloru ma jądro zbudowane z 17 protonów i 18 lub 20 neutronów. Jądro to jest otoczone przez 17 elektronów. Powłoki: pierwsza i druga są całkowicie wypełnione (pierwsza zawiera 2, a druga 8 elektronów), ale powłoka trzecia, która powinna mieć 8 elektronów, aby mieć ich komplet, ma ich tylko 7. Sód oddaje więc chlorowi swój zewnętrzny elektron i staje się jonem dodatnim, a atom chloru, który pobrał elektron, staje się jonem ujemnym.



Sieć krystaliczną chlorku sodu tworzą ułożone na przemian dodatnie jony sodu i ujemne jony chloru, wykonujące drgania wokół swoich położenia równowagi. Oddziaływania elektryczne nie pozwalają kryształowi rozpaść się na pojedyncze atomy.

W metalach sieć krystaliczną tworzą jony dodatnie jednego pierwiastka. Tu także elektrony z nie w pełni obsadzonych powłok walencyjnych odrywają się, ale poruszają się swobodnie ruchem chaotycznym. Takie elektrony nazywamy **elektronami swobodnymi**. Model budowy metalu przedstawia poniższy rysunek.



Chlorek sodu jest przykładem **izolatora**, a metale są **przewodnikami**.

Dwa ciała wykonane z różnych izolatorów (ebonit i wełna, szkło i papier) potarte o siebie elektryzują się różnoimiennie. Podczas pocierania elektrony przechodzą z powierzchni jednego ciała na powierzchnię drugiego. W efekcie jedno ciało elektryzuje się dodatnio, a drugie – ujemnie. Elektrony w izolatorach nie mają jednak swobody poruszania się, jak w metalach. Dlatego **w izolatorze elektryzuje się jedynie ta jego część zewnętrzną, która w czasie pocierania styka się z drugim ciałem**. Fakt, że trzymamy w dłoni jeden koniec pałeczki, nie ma żadnego wpływu na ładunek elektryczny na drugim jej końcu.



Aluminiowa folia jest przewodnikiem. Jeśli dotkniemy palcem naelektryzowanej ujemnie piłeczki pokrytej folią, swobodne elektrony odpłyną przez nasze ciało do Ziemi. Jeśli piłeczka jest naelektryzowana dodatnio, w chwili jej dotknięcia z Ziemi przez nasze ciało napływają swobodne elektrony i zobojetniają piłeczkę (rys.).

Przy różnych czynnościach wykonywanych w życiu codziennym ciała elektryzują się, ale na ogół nie zagraża to życiu człowieka. Elektryzowanie ciał jest niebezpieczne w sytuacjach, w których występuje zagrożenie powstania pożaru lub wybuchu. Z tego też powodu np. cysterny samochodowe przewożące benzynę są wyposażone w specjalny łańcuszek łączący cysternę z powierzchnią Ziemi. Elektrony mogą odpływać do Ziemi lub z niej przyływać. To zapobiega powstawaniu iskry elektrycznej między cysterną a Ziemią.

Do przewodników zaliczamy między innymi:

- metale (najlepszymi przewodnikami są: srebro, złoto, miedź, aluminium);
- grafit (węgiel);
- niektóre ciecze zwane elektrolitami (wodne roztwory kwasów, zasad i soli), wodę z kranu;
- ciała organizmów żywych (one również zawierają elektrolity);
- zjonizowane gazy (w których istnieją jony dodatnie i ujemne oraz elektrony swobodne).

Cząstki naładowane, które wewnątrz przewodników mogą się swobodnie poruszać, nazywamy nośnikami ładunku elektrycznego. Są nimi:

- w metalach i graficie – elektrony swobodne,
- w elektrolitach – jony dodatnie i ujemne,
- w zjonizowanych gazach – jony dodatnie i ujemne oraz elektrony swobodne.

Ciała, w których nie występują elektrony swobodne (lub jony dodatnie czy ujemne), nazywamy izolatorami. Izolatory nie przewodzą (nie przenoszą) ładunków elektrycznych. Ładunek zgromadzony w pewnym miejscu na ich powierzchni nie zmienia swojego położenia.

Izolatorami są: tworzywa sztuczne, szkło, papier, guma, porcelana, a także niektóre substancje o budowie krystalicznej, np. gips lub kwarc.

Podsumowanie

1. Ciała, które łatwo przenoszą (mówimy też: przewodzą) ładunek elektryczny, nazywamy przewodnikami. Do przewodników zaliczamy m.in. metale, które w swoim wnętrzu zawierają elektrony swobodne. Elektrony swobodne to elektrony, które opuściły powłokę walencyjną i poruszają się wewnątrz ciała ruchem chaotycznym (nieuporządkowanym). Przewodnikami, oprócz metali, są również m.in. grafit, elektrolity (w tym woda z kranu), zjonizowane gazy i ciała organizmów żywych.
2. Ciała, w których nie ma nośników ładunku, nazywamy izolatorami. Izolatory nie przewodzą (nie przenoszą) ładunków elektrycznych. Do izolatorów zaliczamy m.in. tworzywa sztuczne, porcelanę, szkło, papier, gips.

Zadania i doświadczenia

1. Plastikową linijkę można naelektryzować nawet wtedy, gdy trzyma się ją w czasie pocierania bezpośrednio w ręce. Wyjaśnij, dlaczego w ten sposób nie możemy naelektryzować metalowej łyżki.
2. Co jest lepszym przewodnikiem: liść świeży czy uschnięty? Drewno mokre czy suche?
3. Dlaczego doświadczenia z elektryzowaniem ciał, takie jak doświadczenie 9.3, nie udają się w deszczowe dni?

Doświadczenie 1.

Sprawdzamy, czy ciało ludzkie jest przewodnikiem czy izolatorem.

Potrzebne przedmioty: linijka, wełniana szmatka, plastikowy woreczek, skrawki papieru.

Kolejne czynności:

- Wróć do początku rozdziału 9.1. Gdy potarta wełną linijka przyciągnie już skrawki papieru, włóż rękę do plastikowego woreczka i przesuwaj nim po linijce, aż usuniesz przyczepione skrawki papieru.
- Powtórnie zbliż linijkę do skrawków i przekonaj się, czy są przez nią przyciągane.
- Wyjmij rękę z woreczka i przesunij ją po obu stronach linijki.
- Ponownie zbliż linijkę do skrawków papieru, by się przekonać, czy zostaną przyciągnięte.
- Zapisz wynik doświadczenia i wniosek.

Doświadczenie 2.

Przedmioty codziennego użytku mogą być wykonane z przewodnika lub izolatora. Zaproponuj sposób, w jaki można to sprawdzić doświadczalnie.

Wykonaj doświadczenie, a następnie je opisz.

9.4 Zjawisko indukcji elektrostatycznej



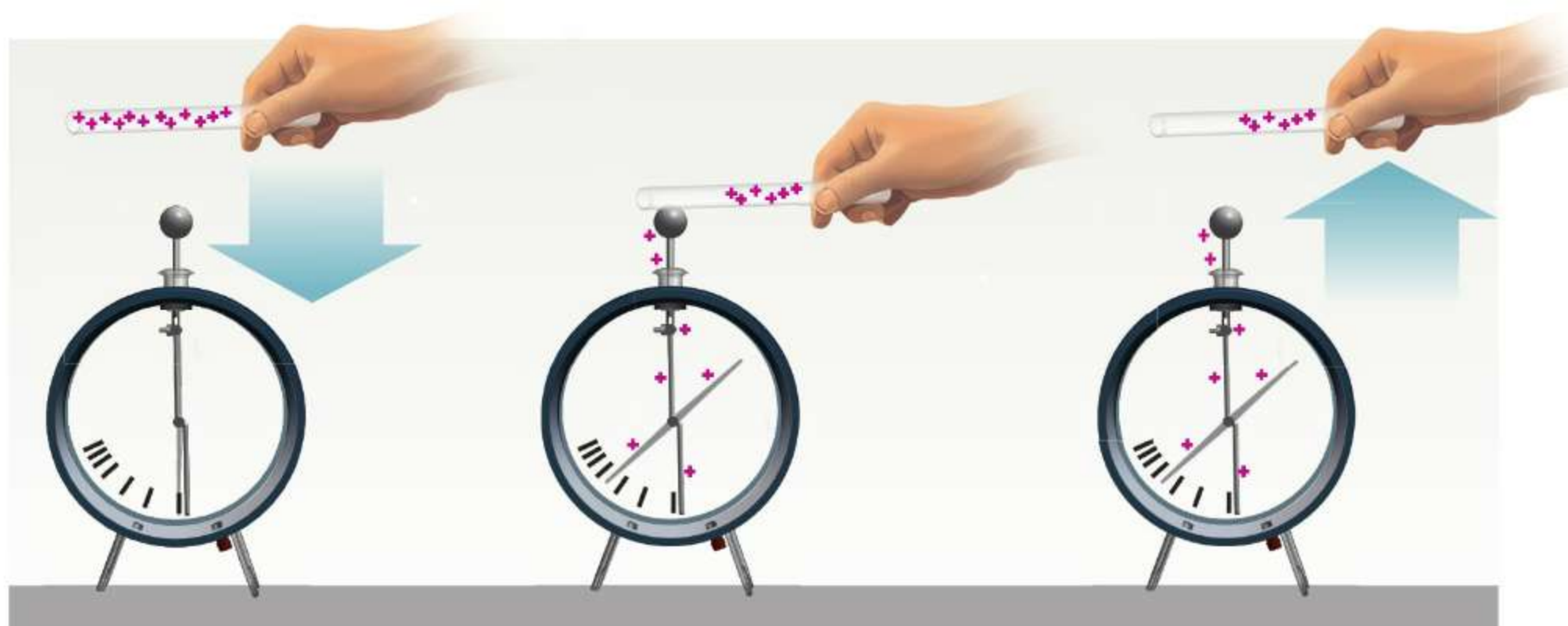
Rysunek obok przedstawia elektroskop, czyli przyrząd, za pomocą którego możemy sprawdzić, czy dane ciało jest naelektryzowane. Zasadniczą częścią elektroskopu jest metalowy pręt (4) zakończony metalową kulką (1). Do pręta jest przyczepiona ruchoma wskazówka (5). Pręt jest odizolowany od metalowej obudowy (3) pierścieniem (2) wykonanym z tworzywa sztucznego. Pręt zakończony kulką i wskazówka tworzą układ ciał odizolowanych elektrycznie od otoczenia, tzn. elektrony nie mogą odpływać z tego układu ciał ani do niego napływać.

Sprawdźmy, co się stanie, gdy naelektryzowaną pałeczką ebonitową najpierw dotkniemy pręta elektroskopu, a następnie ją oddalimy.



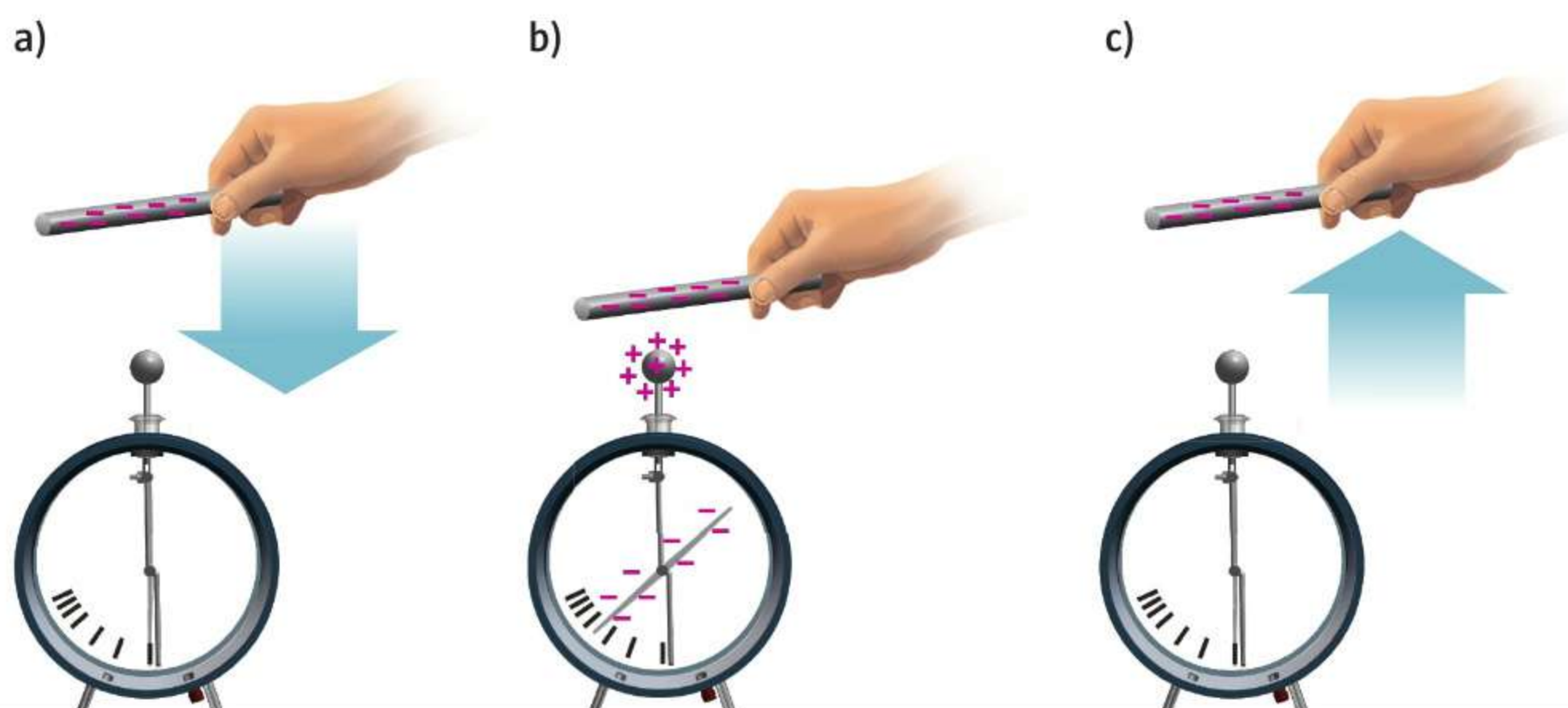
Obserwujemy wychylenie wskazówki. Po oddaleniu pałeczki od elektroskopu wskazówka pozostaje wychylona (rys.). Zaobserwowane zjawisko tłumaczymy tym, że część elektronów z pałeczki przechodzi na pręt i wskazówkę, które elektryzują się ujemnie. Wychylenie wskazówki jest spowodowane wzajemnym oddziaływaniem ładunków jednoimiennych (elektronów) zgromadzonych na pręcie i wskazówce. Równocześnie maleje liczba elektronów znajdujących się na pałeczce ebonitowej.

Po wykonaniu tych samych czynności z pałeczką szklaną naelektryzowaną dodatnio okazuje się, że po jej oddaleniu od elektroskopu wskazówka także pozostaje wychylona.



W tym przypadku dodatni ładunek pałeczki przyciąga elektrony swobodne z pręta i wskazówki. Część tych elektronów przemieszcza się na pałeczkę. Pręt i wskazówka elektryzują się dodatnio, co powoduje wychylenie wskazówki. Równocześnie maleje dodatni ładunek pałeczki.

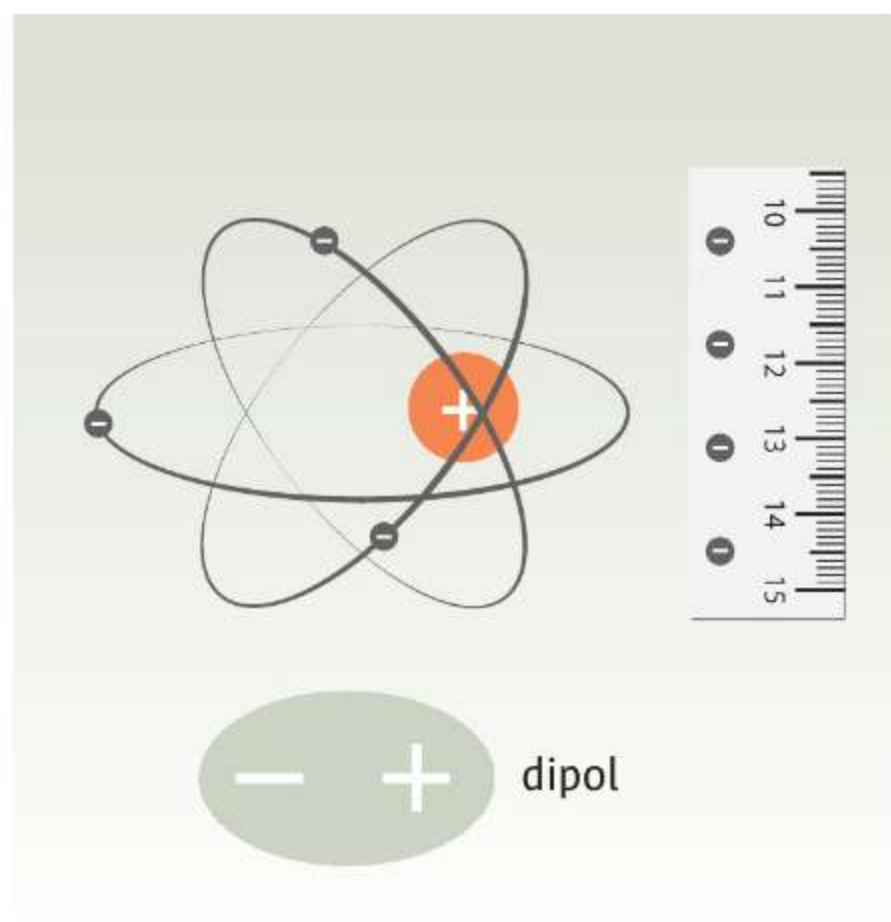
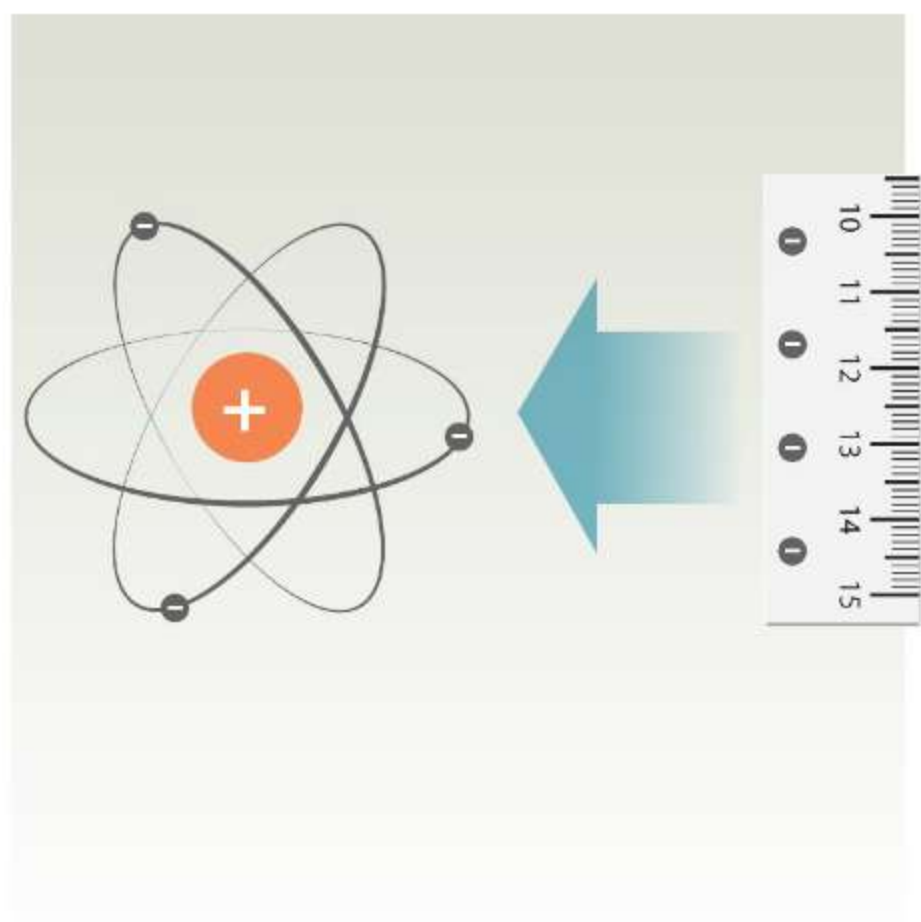
Na kolejnych rysunkach pałeczkę ebonitową najpierw zbliżamy do kulki elektroskopu (bez dotykania jej), a następnie oddalamy.



Najpierw obserwujemy wychylenie wskazówki elektroskopu (rys. b), a następnie jej powrót do położenia początkowego (rys. c). Ładunek ujemny zgromadzony na pałeczce odpycha elektrony swobodne znajdujące się w kulce elektroskopu, a one przesuwają się do dolnej części pręta i do wskazówki. Ponieważ ładunki jednoimienne się odpychają, wskazówka odchyła się od pręta (rys. b). Ten sposób elektryzowania nazywa się **elektryzowaniem przez indukcję**. Gdy oddalamy pałeczkę od pręta, elektrony swobodne wracają do swych pierwotnych położań, a wychylenie wskazówki znika (rys. c).

Zwróć uwagę, że w wyniku elektryzowania przez indukcję nie zmienił się całkowity ładunek kulki, pręta i wskazówki – jest on nadal równy zeru. **Zmienił się jedynie rozkład ładunku** w tych częściach elektroskopu.

Takie wyjaśnienie dotyczy tylko przewodników. Inaczej jest w przypadku skrawków papieru przyciąganych przez naelektryzowaną linijkę w doświadczeniu z rozdziału 9.1. Papier jest izolatorem i nie ma w nim elektronów swobodnych. Pod wpływem ładunku naelektryzowanego ciała (w naszym przypadku linijki) w izolatorach następuje przesunięcie ładunków elektrycznych o przeciwnych znakach **wewnątrz atomów**. Powłoki elektronowe deformują się, a jądro przestaje być centralną częścią atomu (rys.).



Powstaje tzw. **dipol**, który z jednej strony jest naładowany dodatnio, a z drugiej ujemnie. Takie rozsuniecie ładunków wewnątrz atomu nazywamy **polaryzacją**. Zachodzi ona także w gumowym baloniku (guma jest izolatorem), do którego zbliżamy naelektryzowaną linijkę.

Skrawek papieru i balonik, których atomy uległy polaryzacji, są przyciągane przez naelektryzowaną linijkę.

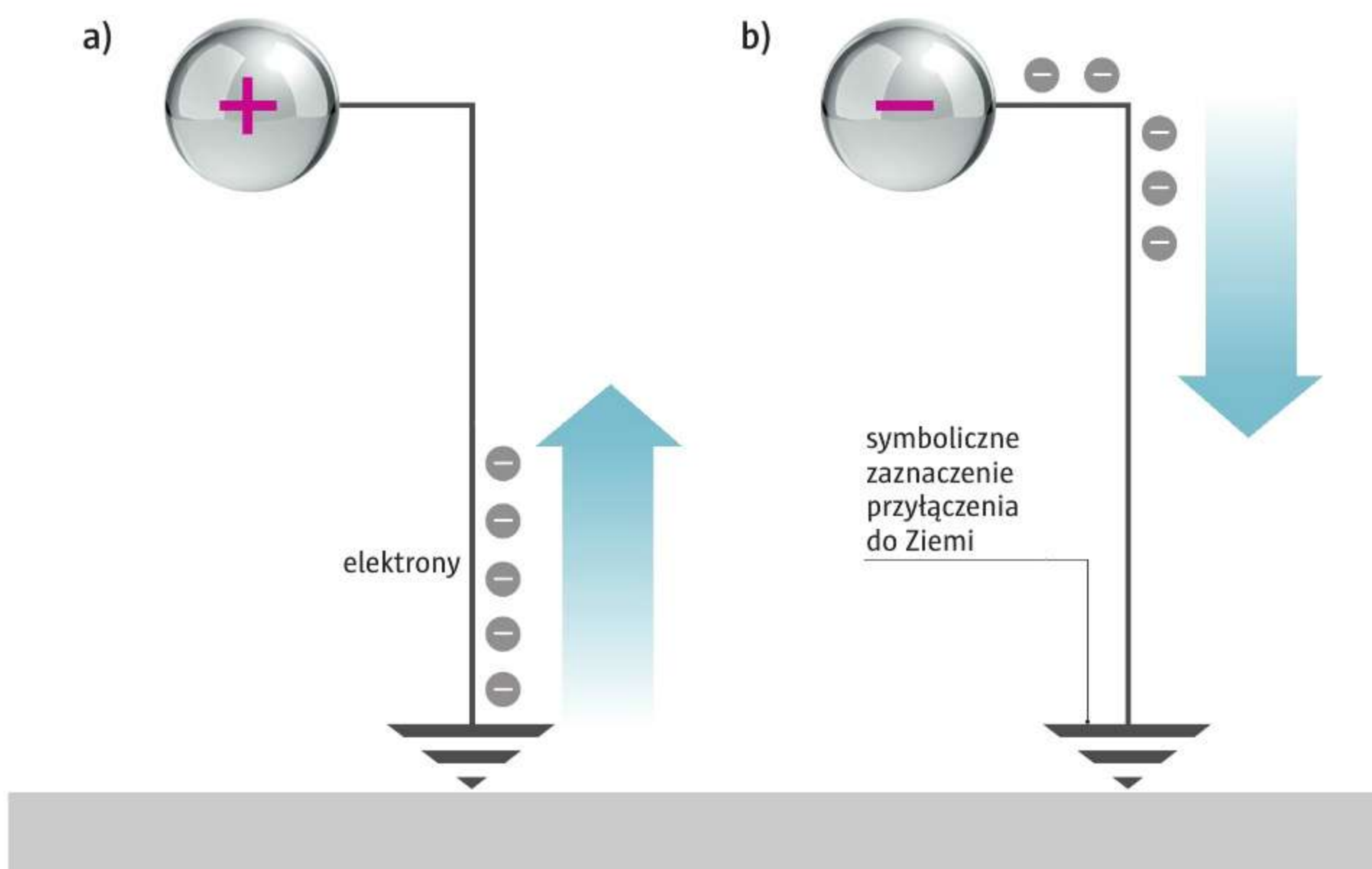
Wszystkie przeprowadzone przez nas doświadczenia pokazują, że

w układzie ciał izolowanych elektrycznie od otoczenia całkowity ładunek (suma ładunków dodatnich i ujemnych) nie ulega zmianie. Ładunek może jedynie przemieszczać się z jednego ciała (lub jego części) do innego ciała (lub jego części).

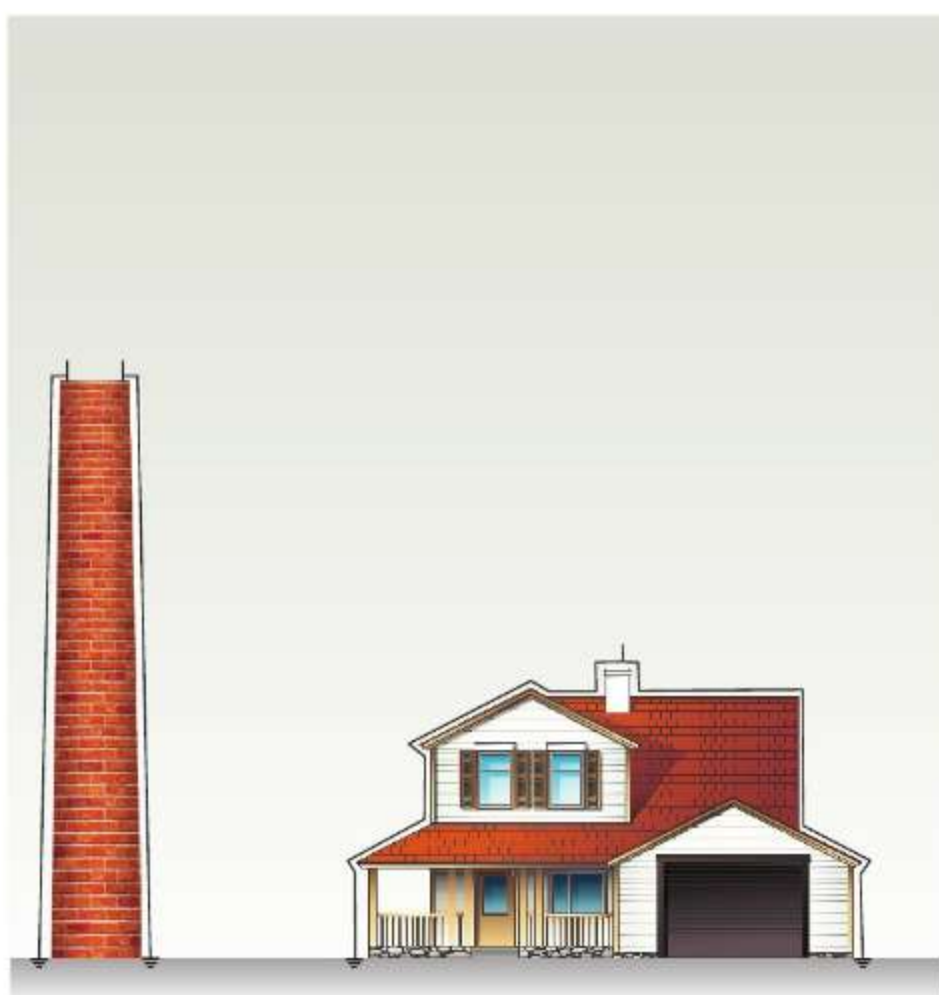
To stwierdzenie nazywamy **zasadą zachowania ładunku**.

Przeprowadzone przez fizyków eksperymenty wykazały, że jeżeli naelektryzowany przewodnik i ciała przewodzące, które chcemy naelektryzować przez dotknięcie, mają jednakowe kształty i rozmiary, to ładunek dzieli się równomiernie między wszystkie ciała zetknięte ze sobą. I tak np. jeżeli ciało naelektryzowane ma kształt kuli i chcemy podzielić zgromadzony na tej kuli ładunek na dwie równe części, to musimy zetknąć tę kulę z drugą taką samą kulą, która nie jest naelektryzowana.

Jeżeli rozmiary zetkniętych ze sobą ciał przewodzących są różne, to większość ładunku przechodzi na ciało o większych rozmiarach. Fakt ten wykorzystano przy tzw. **uziemianiu** ciał naelektryzowanych, które polega na połączeniu ciała naelektryzowanego z (ogromną w porównaniu z nim) Ziemią za pomocą przewodnika.



W przypadku a) elektrony z Ziemi są przyciągane przez dodatnio naładowaną kulę i przemieszczają się do niej z Ziemi. W przypadku b) elektrony z ujemnie naładowanej kuli przemieszczają się do Ziemi. W obu przypadkach kule ulegają zubożeniu.



Zjawisko indukcji elektrostatycznej pozwala wytłumaczyć powstawanie pioruna. W chmurze mogą się gromadzić ładunki elektryczne. Ładunek chmury oddziałuje na będącą przewodnikiem Ziemię. Na jej powierzchni i na powierzchni budynków, drzew itp. w wyniku zjawiska indukcji gromadzi się ładunek przeciwnego znaku niż ładunek chmury.

W pewnych warunkach może nastąpić gwałtowny, bardzo krótki (trwający zaledwie tysięczne części sekundy) przepływ ładunku między chmurą i Ziemią (tzw. wyładowanie), któremu towarzyszy błyskawica. Iskra wytworzona w maszynie elektrostatycznej, którą posługiwaliśmy się w doświadczeniach, to właśnie taki miniaturowy piorun.

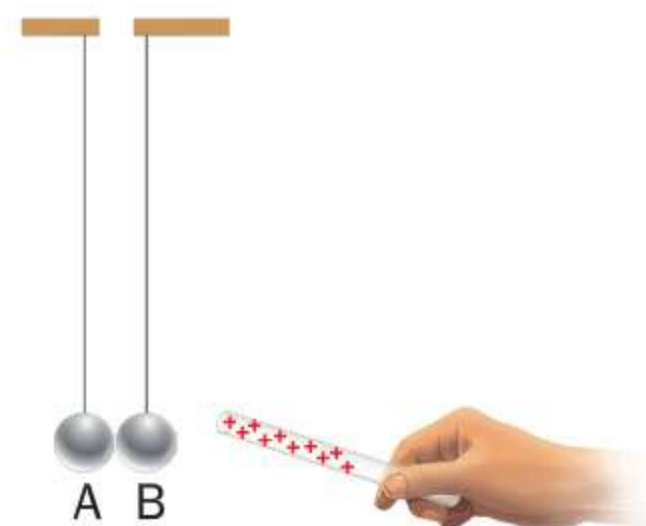
W przeszłości pioruny stanowiły groźne i tajemnicze zjawisko. Dopiero w 1752 roku Amerykanin Benjamin Franklin zbudował pierwszy **piorunochron**, którym było ostrze z trudno topliwego materiału połączone z Ziemią. Obecnie na chronionych przed piorunami budynkach i obiektach przemysłowych (np. kominach) montuje się instalację odgromową, np. oplata się je metalową siecią, której końce są uziemione, czyli połączone z Ziemią. Wówczas wyładowanie następuje między chmurą a piorunochronem, a nie między chmurą a budynkiem.

Podsumowanie

1. Elektryzowanie przewodnika przez indukcję polega na przemieszczeniu się w nim elektronów swobodnych pod wpływem zbliżania naelektryzowanego ciała.
2. Zbliżanie naelektryzowanego ciała do izolatora powoduje jego polaryzację elektryczną.
3. W układzie ciał izolowanych elektrycznie od otoczenia całkowity ładunek (suma ładunków dodatnich i ujemnych) nie ulega zmianie. Ładunek może jedynie przemieszczać się z jednego ciała (lub jego części) do innego ciała (lub jego części). To stwierdzenie nazywamy zasadą zachowania ładunku.

Zadania i doświadczenia

1. Kulki dwóch jednakowych elektroskopów naelektryzowanych ładunkiem o tej samej wartości połączono przewodem.
Opisz zachowanie się wskazówek tych elektroskopów, jeśli:
 - a) oba były naładowane dodatnio,
 - b) oba były naładowane ujemnie,
 - c) były naelektryzowane ładunkami przeciwnego znaku.
2. Przedmiot naelektryzowany ładunkiem o nieznanym znaku zbliżono do elektroskopu naelektryzowanego ujemnie. Jaki był znak ładunku na tym przedmiocie, jeśli listki elektroskopu:
 - a) częściowo opadły,
 - b) bardziej się rozchyliły?
3. Dwie metalowe kulki wiszą na niciach i stykają się ze sobą. Do kulek zbliżono pałeczkę szklaną naładowaną dodatnio. Bez zmiany położenia pałeczki kulkę A oddalono od B. Jak naelektryzowała się kulka A, a jak kulka B?
4. Wyjaśnij, dlaczego w czasie burzy nie należy się chować pod wysokimi drzewami.



Doświadczenie 1.

Obserwujemy zjawisko elektryzowania przez indukcję (I).

Potrzebne przedmioty: plastikowa linijka, wełniana szmatka.

Kolejne czynności:

- Puszczamy z kranu cienki strumień wody.
- Elektryzujemy linijkę przez pocieranie jej szmatką.
- Z różnych stron zbliżamy linijkę do strumienia wody.
- Zapisz wynik doświadczenia, wyjaśnij obserwowane zjawiska i sformułuj wniosek.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy zjawisko elektryzowania przez indukcję (II).

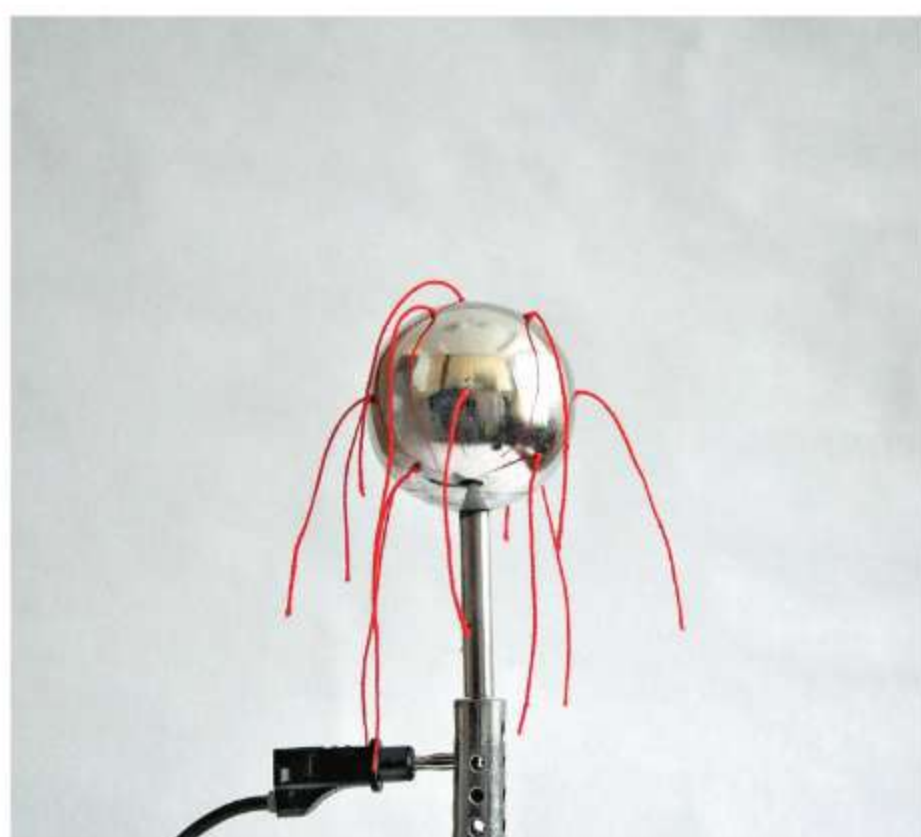
Potrzebne przedmioty: lekka, metalowa puszka po napoju, duży plastikowy przedmiot, np. linijka o długości 30 cm lub rura z PVC (taka, jakiej używa się do wykonywania domowych instalacji wodnych), kawałek wełnianej tkaniny lub futra.

Kolejne czynności:

- Puszkę połóż poziomo na gładkim stole tak, by mogła swobodnie się toczyć.
- Naelektryzuj linijkę przez pocieranie jej mocno wełną. Zbliź linijkę równolegle do puszki na odległość 3–4 cm. Obserwuj zachowanie puszki. Ponownie naelektryzuj linijkę i zbliź do puszki z drugiej strony. Jak teraz zachowuje się puszka?
- Powtórz doświadczenie, ale zamiast metalowej puszki użyj tekturowej rurki (np. z ręczników kuchennych) i tej samej linijki.
- Zapisz wynik doświadczenia.
- Wyjaśnij zjawiska zachodzące w metalowej puszcze i w tekturowej rurce.

9.5 Pole elektryczne

Jeśli do metalowej kuli ustawionej na statywie wykonanym z izolatora w różnych miejscach za pomocą plasteliny przymocujemy nitki o długości około 15 cm i kulę naelektryzujemy przez połączenie jej z jednym z biegunów maszyny elektrostatycznej, to zaobserwujemy, że nitki układają się w charakterystyczny sposób.

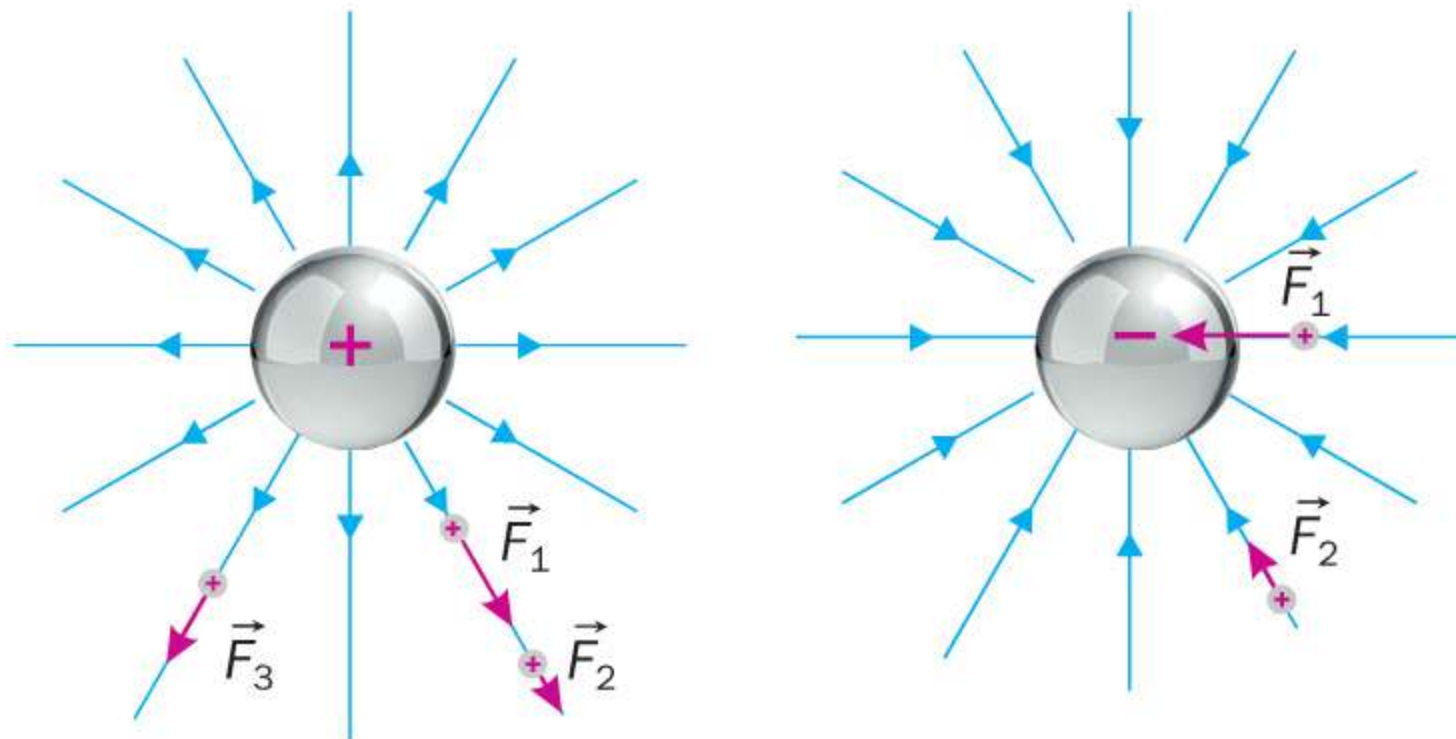


Aby wyjaśnić obserwowane zjawisko, zaczniemy od doświadczenia myślowego zupełnie niezwiązanego z elektrycznością. Wyobraź sobie, że dysponujesz termometrem o dużej dokładności i pewnego dnia zimą mierzysz nim temperaturę w każdym punkcie wokół rozgrzanego kaloryfera. Blisko kaloryfera temperatury będą wyższe, wraz z oddalaniem się od niego w sposób ciągły będą się one obniżać. To, co otrzymamy w wyniku przyporządkowania każdemu punktowi określonej temperatury, można nazwać polem temperatur, a rozgrzany kaloryfer będzie źródłem tego pola.

Pole może być stałe (gdy temperatura jest stała) lub zmienne (jeśli w pewnej chwili ustawimy pokrętko kaloryfera na zero i będziemy mierzyć temperaturę w danym punkcie np. co 10 minut, to okaże się, że z upływem czasu jest ona coraz niższa).

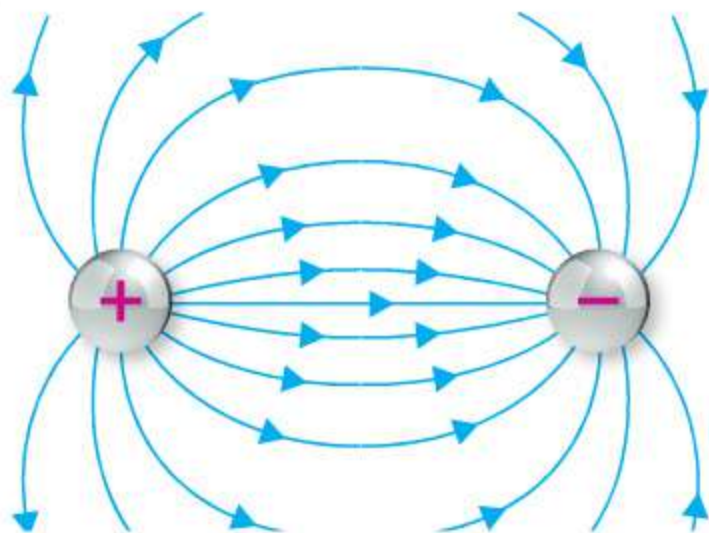
Wróćmy teraz do metalowej kuli naelektryzowanej dodatnio. Za pomocą małej kuleczki naelektryzowanej niewielkim ładunkiem, tzw. ładunkiem próbnym (fizycy umówili się, że będzie to ładunek **dodatni**), można zmierzyć siłę elektryczną działającą na ładunek próbny w każdym punkcie wokół naładowanej kuli. Przez przyporządkowanie każdemu punktowi wokół kuli określonej **siły elektrycznej działającej w tym punkcie na próbny ładunek dodatni** opisujemy statyczne (stałe) **pole elektryczne**, którego źródłem jest ładunek kuli.

Tak określone pole elektrostatyczne naładowanej kuli można przedstawić na rysunku za pomocą skierowanych linii, wzdłuż których na ładunek próbny działają siły elektryczne. Takie linie nazywamy **liniami pola elektrostatycznego**. Przypisujemy im zwrot zgodny ze zwrotem siły działającej na umieszczony w danym punkcie ładunek dodatni. Linie pola elektrostatycznego wytworzonego przez ładunek punktowy lub przez ładunek naładowanej kuli rozchodzą się promieniście we wszystkich kierunkach. Takie pole nosi nazwę **pola centralnego**.

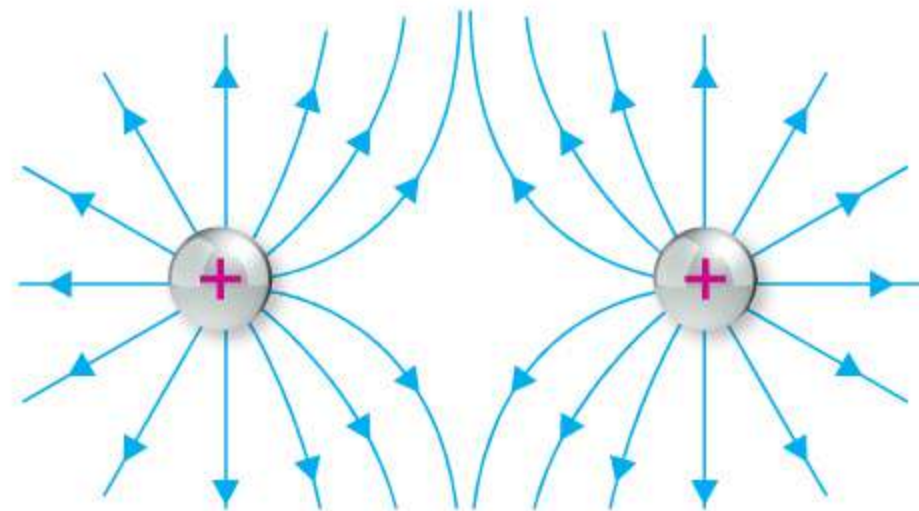


W przypadku gdy pole elektrostatyczne wytwarzają dwie naelektryzowane kulki, linie pola mają kształt pokazany na rysunkach poniżej: a – kulki naelektryzowane różnoimiennie i b – kulki naelektryzowane jednoimiennie.

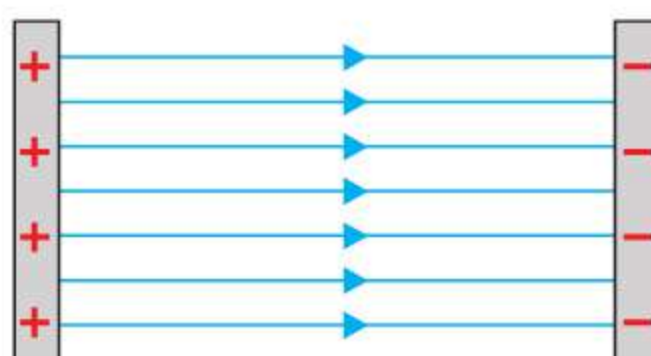
a)



b)



Pole elektrostatyczne, którego linie są do siebie równoległe, nazywamy **polem jednorodnym**. Takie pole występuje między naelektryzowanymi różnoimiennie równoległymi płytkami metalowymi.



Doświadczenie 9.4

Budujemy przyrząd do obserwacji jednorodnego pola elektrycznego.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: 2 wieczka z uchwyty z blaszanych puszek, 10 nitki o długości około 15 cm, klej, 2 statywy, maszyna elektrostatyczna.

Kolejne czynności i obserwacje:

- Do powierzchni jednego wieczka przyklej jeden koniec każdej nitki.
- Przymocuj wieczka do statyw tak, by były pionowe, odległe od siebie mniej więcej 15 cm i żeby nitki zwisały między nimi.
- Uchwyty wieczek połącz z biegunami maszyny elektrostatycznej.
- Obserwuj zachowanie nitki podczas kręcenia korbką maszyny elektrostatycznej.
- Zapisz i objaśnij wynik obserwacji.

Pole temperatur wokół grzejnika CO istnieje także wtedy, gdy nie ma w nim żadnego termometru. Podobnie pole elektryczne wokół ciał naładowanych istnieje także wtedy, gdy nie ma w pobliżu ładunków próbnych.

Pole elektryczne jest właściwością przestrzeni polegającą na tym, że na każdy ładunek elektryczny umieszczony w tej przestrzeni działa siła elektryczna. Siła ta jest tym większa, im:

- silniejsze jest pole elektrostatyczne,
- większy jest ładunek umieszczony w polu.

Działająca siła może spowodować ruch ładunku; pole wykonuje wówczas pracę nad ładunkiem.

Wiesz, że warunkiem wykonywania pracy jest posiadanie energii. Wnioskujemy więc, że skoro **pole elektryczne jest zdolne do wykonania pracy**, tj. wprowadzenia w ruch ładunków elektrycznych lub ogólnie: zmiany ich prędkości, to ma energię.

Podsumowanie

1. Obszar wokół ciała naelektryzowanego ma specjalne właściwości: na każde inne ciało naelektryzowane (na ładunki) działa w tym obszarze siła elektryczna. Mówimy, że ciało naelektryzowane wytwarza wokół siebie pole elektrostatyczne, tzn. jest jego źródłem.
2. Pole elektryczne posiada energię i może wykonać pracę przez wprowadzanie w ruch ładunków elektrycznych.

Zadania i doświadczenia

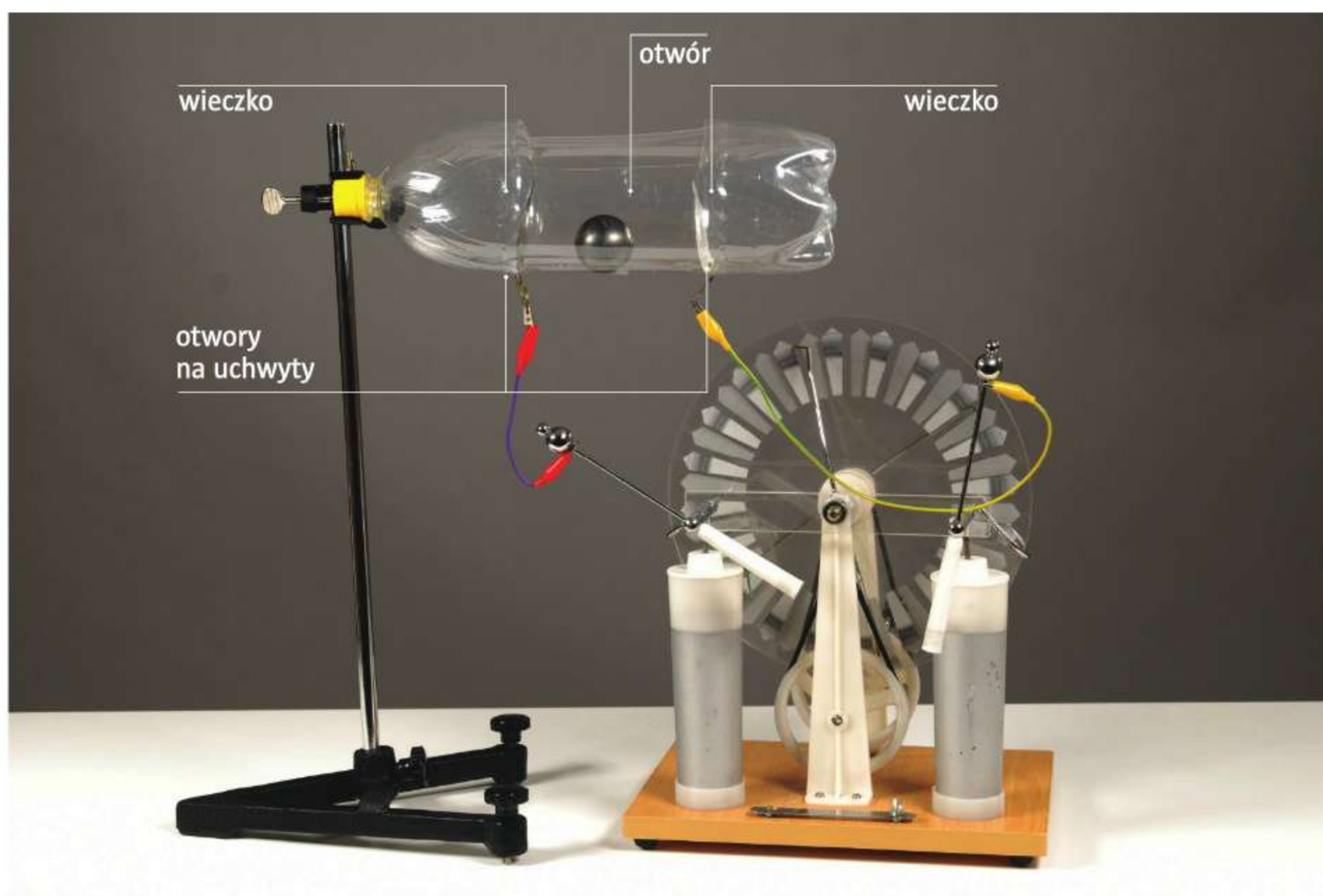
Doświadczenie 1.

Obserwujemy wykonywanie pracy przez pole elektrostatyczne.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: plastikowa butelka 1,5 l, 2 wieczka z uchwyty z blaszanych puszek, piłeczka pingpongowa, maszyna elektrostatyczna.

Kolejne czynności:

- Wytnij w butelce prostokątny otwór i dwa mniejsze otwory po drugiej stronie.
- Włóż wieczka do butelki tak, by ich uchwyty wystawały na zewnątrz przez mniejsze otwory.
- Piłeczkę pokryj grafitem, rysując po niej ołówkiem, a następnie włóż ją do butelki między wieczka.
- Przynieś model na lekcję i z nauczycielem połącz przewodami uchwyty wieczek z biegunami maszyny elektrostatycznej.
- Kręć korbą maszyny elektrostatycznej i obserwuj zachowanie piłeczki.



Wynik: Piłeczka wykonuje ruch od jednego wieczka do drugiego i z powrotem.

Wniosek: Pole elektrostatyczne między wieczkami wykonuje pracę, wprawiając piłeczkę w ruch. Skoro pole elektrostatyczne jest zdolne do wykonania pracy, to znaczy, że posiada energię.

Wyjaśnij zjawiska zachodzące w **chwilach zetknięcia** piłeczki z wieczkiem naładowanym dodatnio i wieczkiem naładowanym ujemnie. Pomoże ci to zrozumieć, dlaczego piłeczka porusza się tam i z powrotem.

Podsumowanie



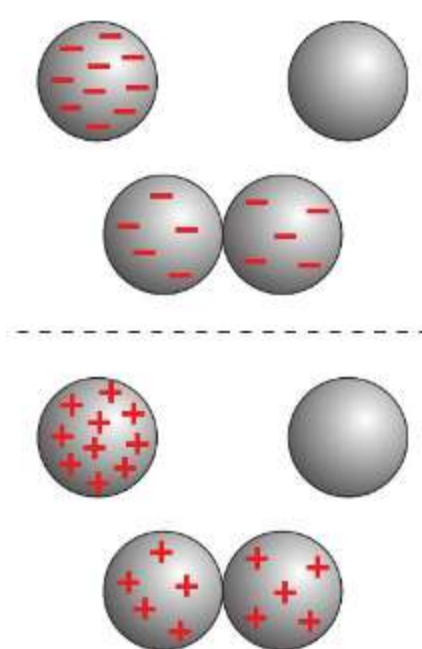
Sposoby elektryzowania ciał elektrycznie obojętnych

PRZEZ TARCIE



Ten sposób elektryzowania stosujemy głównie do izolatorów.

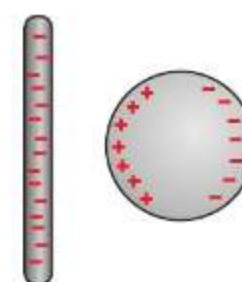
PRZEZ ZETKNIĘCIE Z CIAŁEM NAELEKTRYZOWANYM



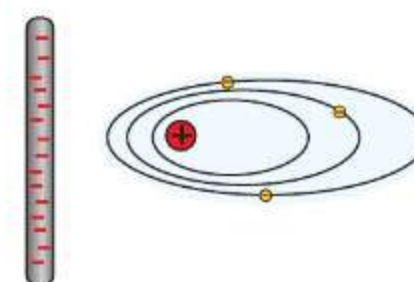
Ten sposób elektryzowania stosujemy głównie do przewodników.

PRZEZ INDUKCJĘ

W przewodniku następuje przemieszczanie elektronów w obrębie ciała.



W izolatorze następuje deformacja powłok elektronowych (polaryzacja).



We wszystkich zjawiskach elektrycznych obowiązuje zasada zachowania ładunku.

Ze względu na budowę wewnętrzną ciał stałych rozróżniamy

PRZEWODNIKI

Sieć krystaliczną tworzą jony dodatnie, są elektrony swobodne.

IZOLATORY

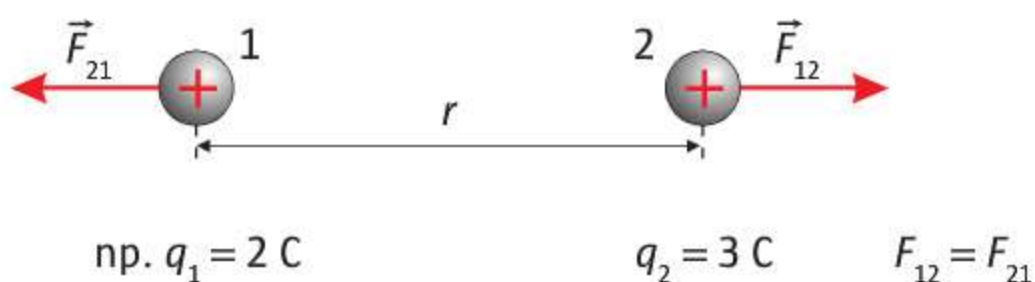
Sieć krystaliczną tworzą jony dodatnie i ujemne, brak elektronów swobodnych.

Wzajemne oddziaływanie ciał naelektryzowanych

Ładunki jednoimienne się odpychają.

Ładunki różnoimienne się przyciągają.

Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki siły wzajemnego oddziaływania ładunków q_1 i q_2 mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty.



Wartość siły wzajemnego oddziaływania

rośnie wraz ze wzrostem wartości oddziałujących ładunków.

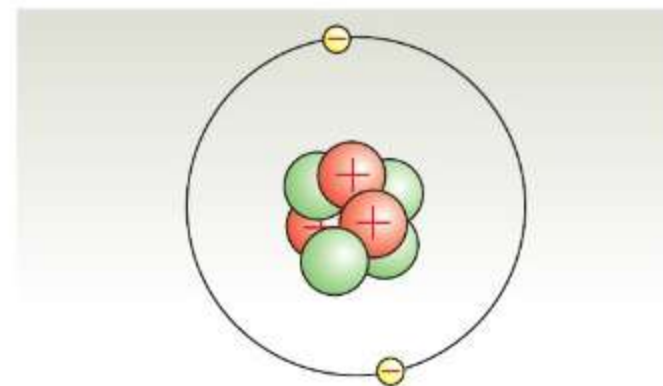
maleje wraz ze wzrostem odległości między ładunkami.

Sprawdź się

1. Na rysunku przedstawiono schematycznie

- A. atom litu.
- B. jon dodatni litu.
- C. jon ujemny litu.
- D. atom wodoru.

Wskaż poprawną odpowiedź i ją uzasadnij.



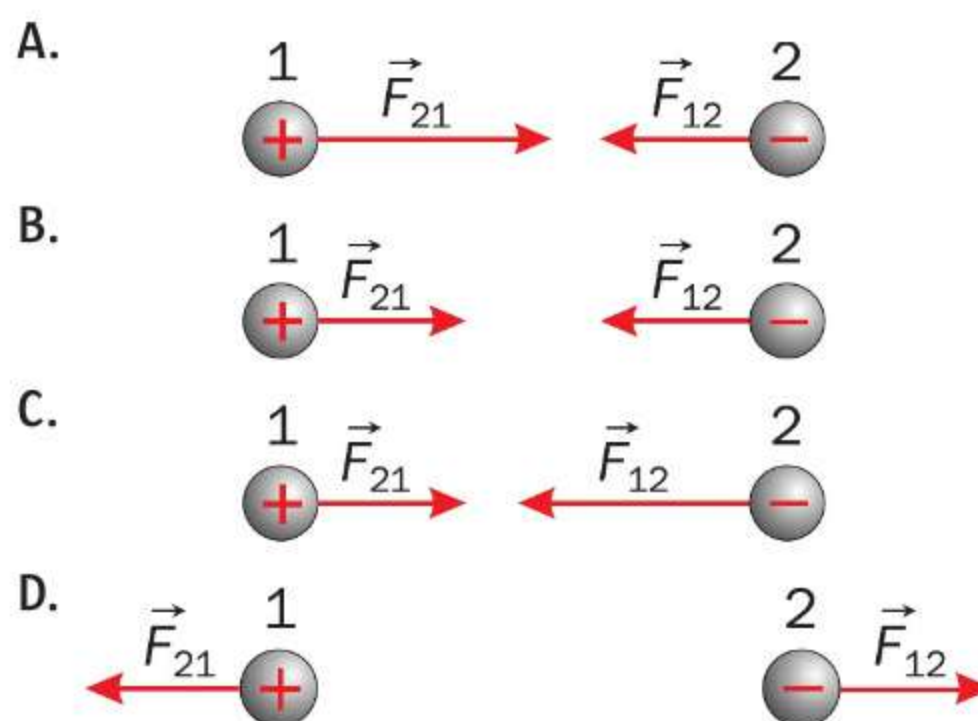
2. Zosia zauważyła, że podczas rozczesywania włosów przyklejają się one do szczotki, a po jej oddaleniu podnoszą się w górę. Takie zjawisko występuje

- A. zawsze.
- B. gdy włosy długo nie były myte (są tłuste).
- C. w dni mgliste i deszczowe przy otwartych oknach.
- D. szczególnie zimą, gdy grzeją kaloryfery, a włosy są świeżo umyte i suche.

3. Ładunek elektryczny

- A. musi być wielokrotnością ładunku elementarnego i jest wyrażany w kulombach.
- B. może mieć dowolną wartość i jest wyrażany w niutonach.
- C. musi być wielokrotnością ładunku elementarnego i jest wyrażany w woltach.
- D. może mieć dowolną wartość i jest wyrażany w kulombach.

4. Siły wzajemnego oddziaływania dwu naładowanych kulek (patrz rysunek poniżej) poprawnie przedstawiono na rysunku A/B/C/D.



5. Uchwyty przyrządów, którymi posługuje się elektryk, mogą być wykonane
- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| A. z drewna, plastiku, aluminium. | B. z gumy, porcelany, miedzi. |
| C. z drewna, plastiku, szkła. | D. z ebonitu, gumy, grafitu. |

6. Kulkę nienaładowanego elektroskopu zetknięto z pałeczką szklaną naładowaną dodatnio.

Wybierz zdanie prawdziwe.



- A. Część ładunków dodatnich spłynęła do kulki, pręta i wskazówki elektroskopu.
 B. Część elektronów zbliżyła się do pałeczki, kulka naładowała się ujemnie, a pręt i wskazówka dodatnio.
 C. Część elektronów z kulki, pręta i wskazówki przepłynęła do pałeczki.
 D. Szkło jest izolatorem, więc może zyskiwać i tracić ładunki tylko przez pocieranie. Elektroskop się nie naładowuje.

7. Żyjący w XVIII w. angielski badacz elektryczności, Stephen Gray (czyt. grej), wykonał doświadczenie, które przedstawiono na rysunku.

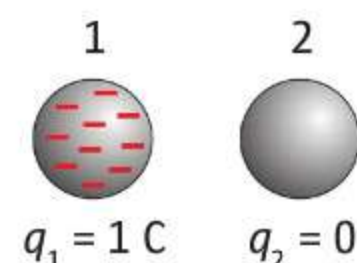
Zbliżenie do stóp mężczyzny przedmiotu o dużym ładunku dodatnim spowodowało „podskoczenie” do jego twarzy leżących na stole kawałków papieru.



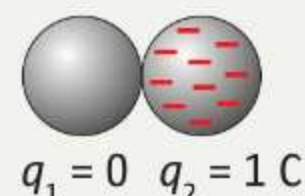
W tym doświadczeniu mieliśmy do czynienia

- A. z elektryzowaniem przez indukcję, polaryzacją, oddziaływaniem ciał naelektryzowanych.
 B. z elektryzowaniem przez dotyk, oddziaływaniem ciał naelektryzowanych.
 C. z elektryzowaniem przez pocieranie, polaryzacją.
 D. wyłącznie z elektryzowaniem przez indukcję.

8. Na rysunku przedstawiono dwie jednakowe metalowe kulki, z których jedna jest naelektryzowana. Jeśli kulki zetkniemy, to

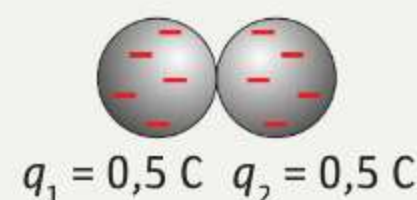


A. nadmiar elektronów z kulki 1. przepłynie do kulki 2.

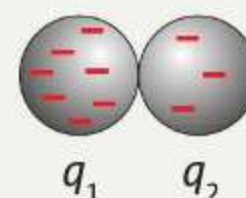


B. ładunki dodatnie z kulki 2. spłyną do kulki 1. i zubożą ją, znajdujący się na kulce 1. ładunek ujemny.

C. kulki podzielą się równo ładunkami ujemnymi kulki 1.



D. kulki podzielą się ładunkami ujemnymi, ale $q_1 > q_2$.



9. Samolot wylądował na lotnisku w celu uzupełnienia paliwa. Koła samolotu mają gumowe opony.

- I. Przed zatankowaniem samolot musi być uziemiony, ponieważ w czasie podłączania do cysterny z paliwem iskra elektryczna może spowodować wybuch.
- II. Podczas lotu samolot naelektryzował się przez tarcie o powietrze.
- III. Gumowe opony kół uniemożliwiają uziemienie samolotu.

Prawdziwe

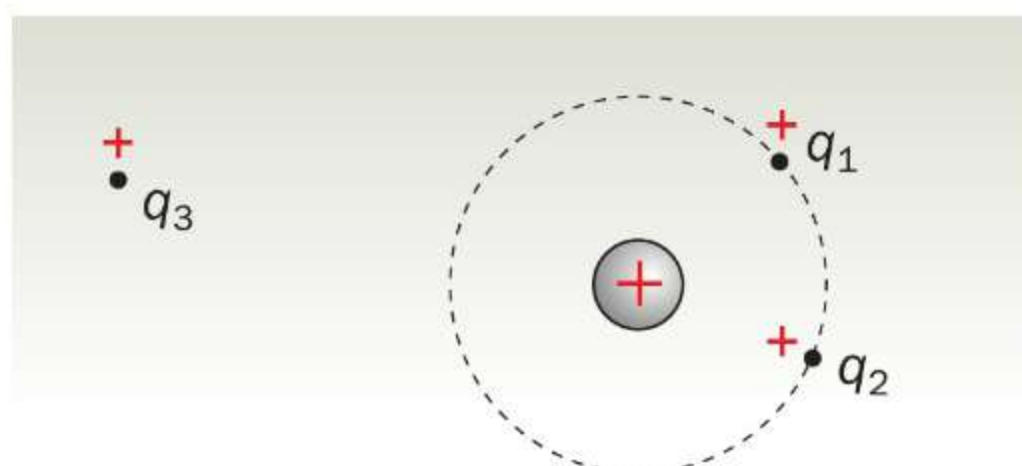
A. jest tylko twierdzenie I.

B. są twierdzenia I i II.

C. są twierdzenia I, II i III.

D. jest tylko twierdzenie III.

10. W pobliżu dodatnio naładowanej kulki, w jednakowych odległościach od niej, umieszczono próbne ładunki dodatnie q_1 i q_2 takie, że $q_2 > q_1$. Trzeci próbny ładunek, także dodatni, $q_3 = q_1$ umieszczono w większej odległości od kulki.



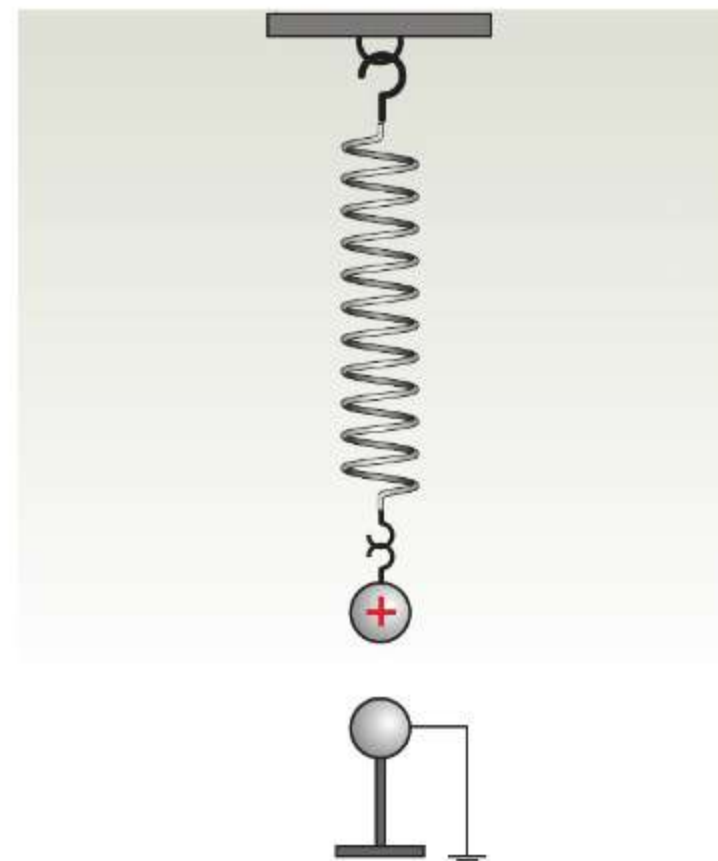
- I. Na ładunek q_2 działa siła o większej wartości niż na ładunek q_1 .
- II. Na ładunek q_3 działa siła o mniejszej wartości niż na ładunek q_1 .
- III. Siły działające na wszystkie trzy ładunki (q_1 , q_2 , q_3) mają jednakowe wartości.

Prawdziwe

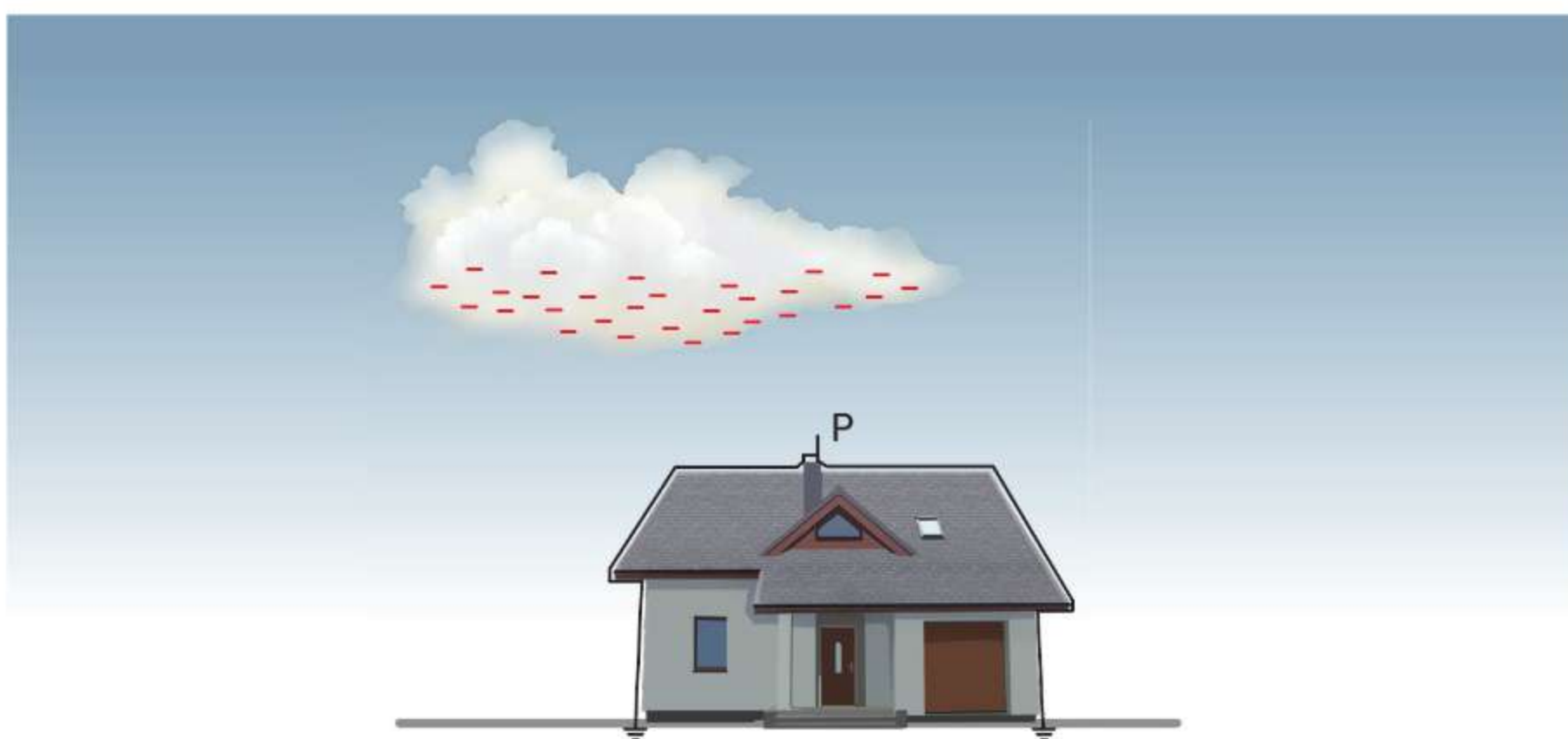
- A. są tylko twierdzenia I i II.
C. jest tylko twierdzenie I.

- B. jest tylko twierdzenie III.
D. jest tylko twierdzenie II.

11. Naelektryzowana dodatnio kulka wisi na sprężynie (rys.). Jeśli pod kulką ustawimy drugą metalową, uziemioną kulkę, to
- A. sprężyna ulegnie skróceniu.
B. sprężyna wydłuży się.
C. naprężenie sprężyny nie ulegnie zmianie.



12. W celu uniknięcia porażień spowodowanych wyładowaniami atmosferycznymi na domach montuje się piorunochrony.



Które z poniższych zdań są prawdziwe?

- I. Tylko wtedy, gdy niska chmura dotknie dachu, elektrony spływają z niej do piorunochronu.
II. Gdy chmura znajdzie się nad budynkiem, koniec P piorunochronu ładuje się dodatnio i między nim a chmurą przepływa ładunek elektryczny.
III. Koniec P piorunochronu jest naładowany dodatnio i przyciąga chmurę nad budynek.

Prawdziwe

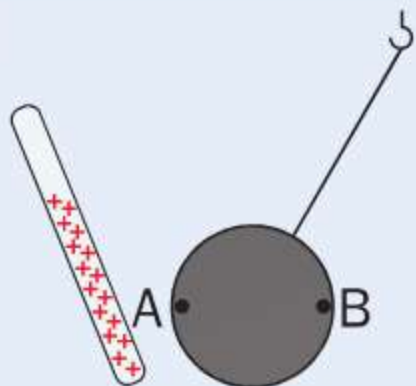
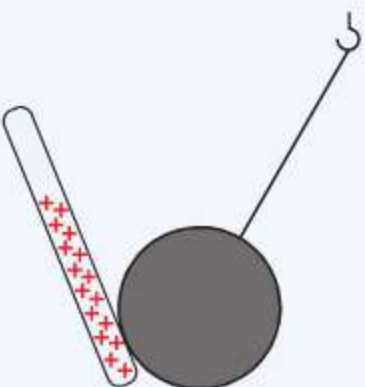
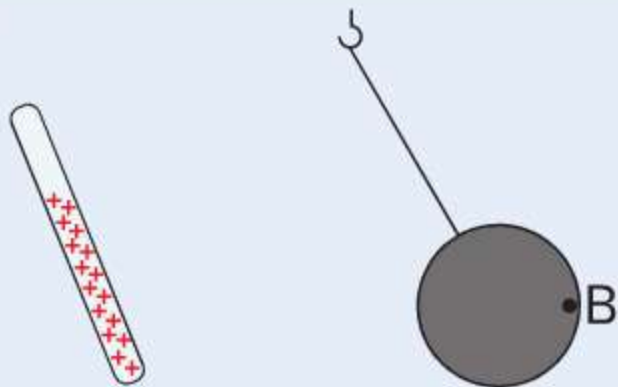
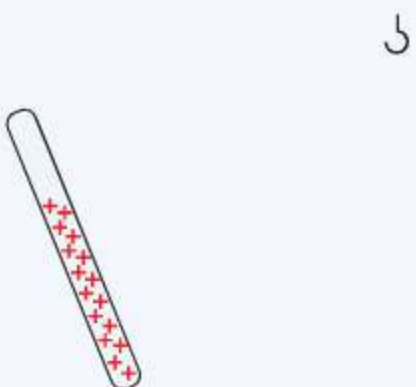
- A. jest tylko zdanie II.
C. jest tylko zdanie III.

- B. jest tylko zdanie I.
D. są zdania I i III.

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Przerysuj rysunki do zeszytu i polecenia wykonaj w zeszycie.

Rysunki przedstawiające kolejne sytuacje	Informacje i polecenia	Całkowity ładunek piłeczki (otocz kółkiem)
a) 	Piłeczkę pingpongową pokryto folią aluminiową i zawieszono na nici.	0 + -
b) 	Do piłeczki zbliżono pałeczkę szklaną naładowaną dodatnio. Zaznacz znak ładunku na piłeczce w pobliżu punktów A i B.	0 + -
c) 	Dodatnio naładowaną pałeczkę zetknięto z piłeczką.	0 + -
d) 	Po zetknięciu z pałeczką piłeczka oddaliła się od niej. Zaznacz znak ładunków na piłeczce w pobliżu punktu B.	0 + -
e) 	Piłeczki dotknięto palcem, a następnie palec odsunięto. Narysuj położenie piłeczki na nici.	0 + -

10

O prądzie elektrycznym

Trudno wyobrazić sobie współczesny świat bez prądu elektrycznego.

Kula ziemską jest opleciona gęstą siecią energetyczną, o czym świadczą również zdjęcia wykonane z kosmosu.

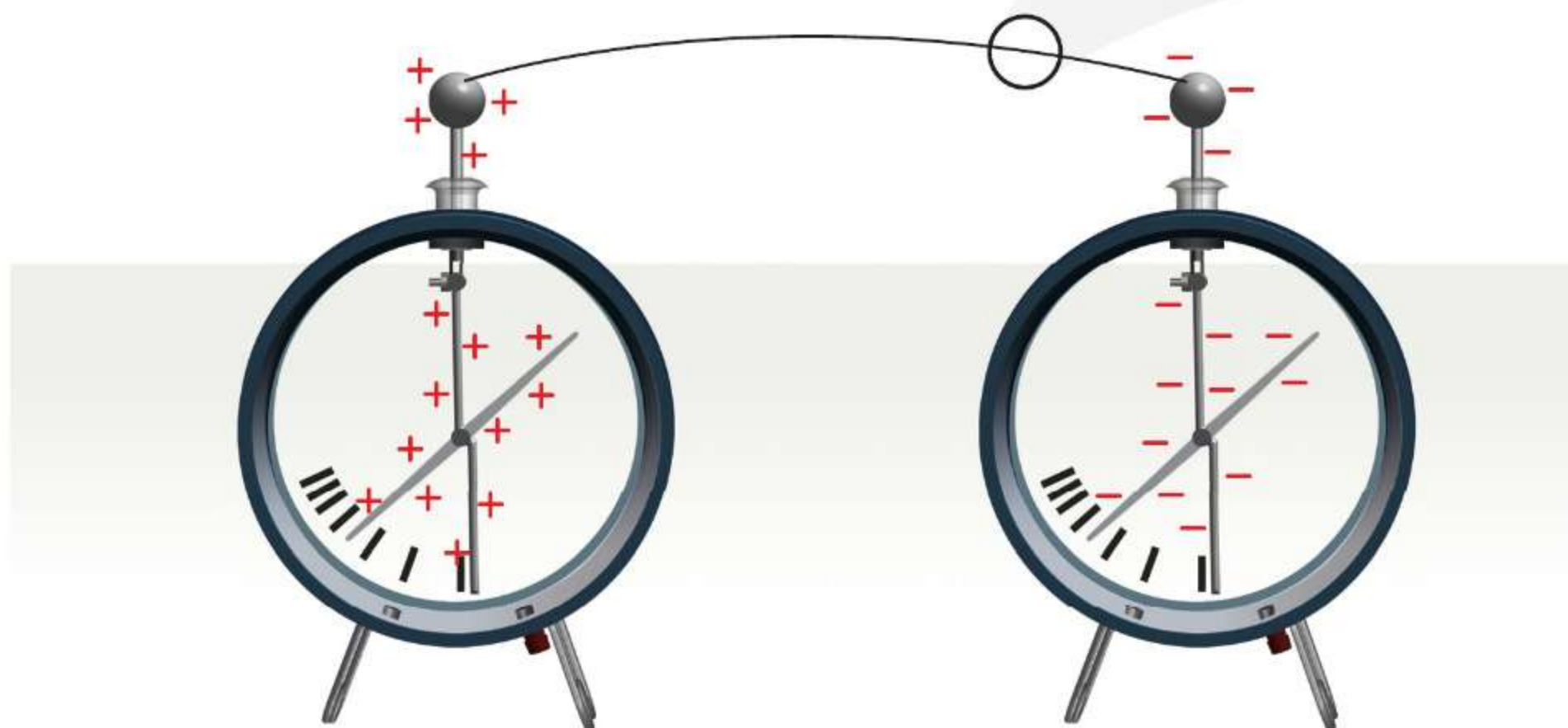


10.1 Prąd elektryczny w metalach



Spróbuj wyobrazić sobie choćby kilka dni bez dostępu do źródeł prądu elektrycznego. Zaczniemy od domu. Nie mamy światła, w budynkach wielopiętrowych nie mamy wody, bo nie działają pompy, często nie ma ogrzewania. Nie działają żadne urządzenia wspomagające prowadzenie gospodarstwa domowego. Wyjdźmy więc z domu. Nie działają sklepy, bankomaty, sygnalizacja świetlna, nie jeżdżą tramwaje, pociągi, no i po wyczerpaniu baterii nie działają telefony komórkowe i komputery. Nie działa internet, sparaliżowana jest praca wszystkich urzędów i szpitali. Nawet krótkie przerwy w zasilaniu powodują ogromne straty w gospodarce. Są to koszty związane z utraconą produkcją, często koszty związane ze zniszczonymi surowcami, a także związane z ponownym uruchomieniem produkcji.

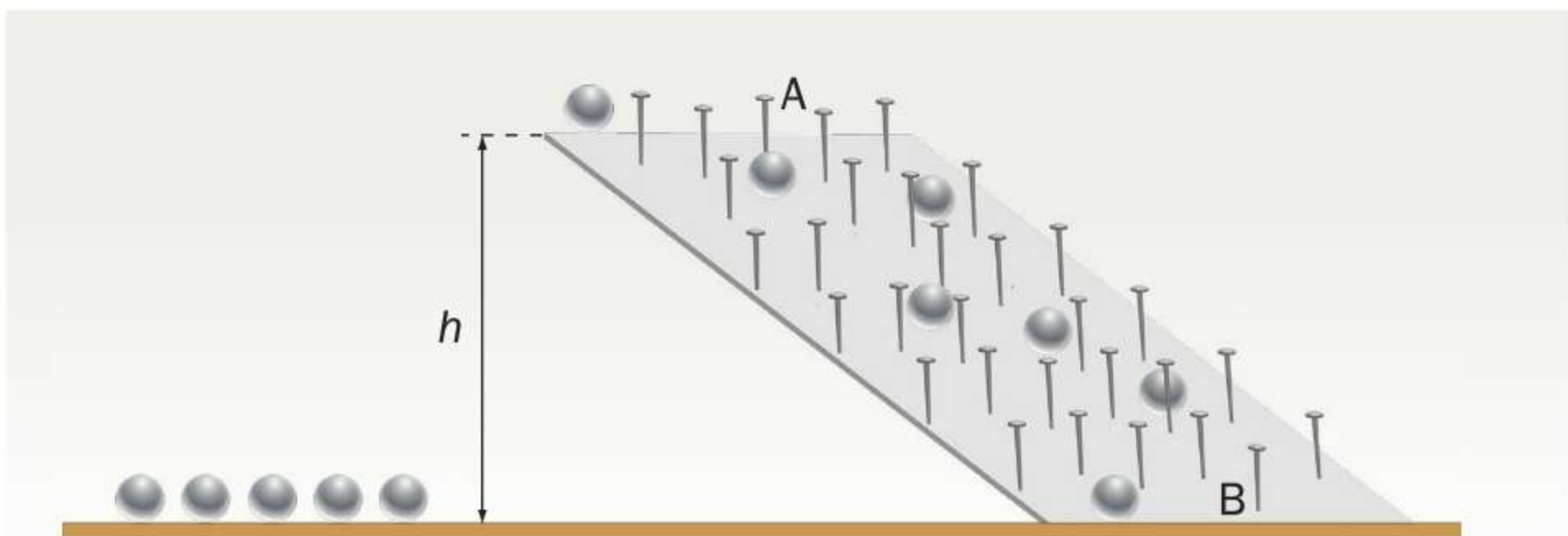
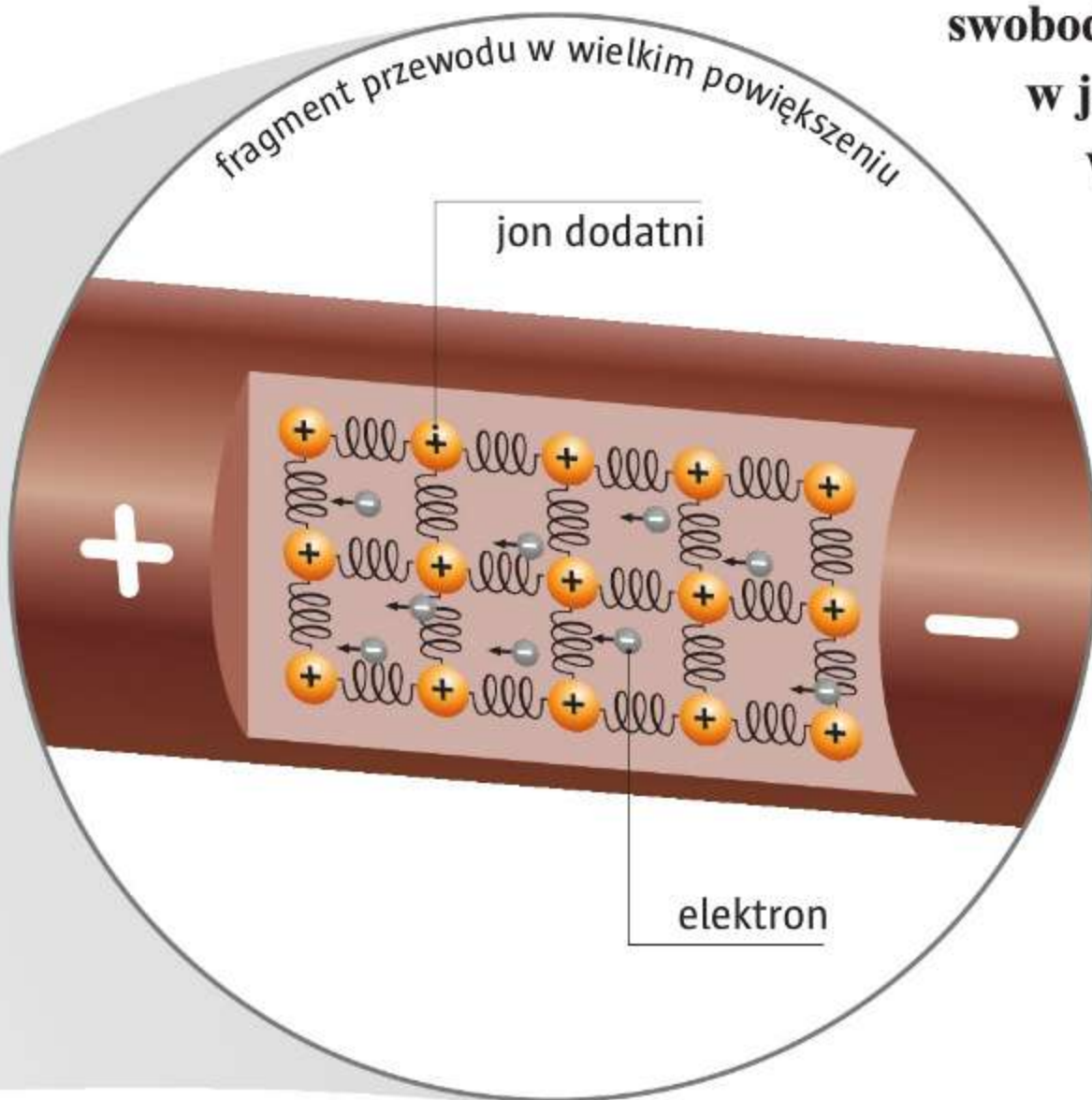
Odkrycia zjawisk, które doprowadziły do wynalezienia urządzeń wykorzystujących prąd elektryczny, to jedno z najważniejszych odkryć w historii cywilizacji. Teraz je poznasz. Nasze rozważania rozpoczniemy od prostej obserwacji. Dwa jednakowe elektroskopy elektryzujemy różnoimiennie (np. przez zetknięcie z biegunami maszyny elektrostatycznej) tak, aby ich wskazówki były wychylone z położenia pionowego o taki sam kąt. Następnie kulki elektroskopów łączymy metalowym przewodem.



Po połączeniu kulek przewodnikiem obserwujemy rozładowanie elektroskopów. Ich wskazówki powracają do położenia pionowego. Zaobserwowane zjawisko tłumaczymy za pomocą modelu przedstawionego na rysunku (fragment w powiększeniu).

Między naelektryzowanymi kulkami elektroskopu w łączącym je przewodzie powstaje pole elektryczne. Na znajdujące się w nim ładunki działają siły elektryczne. Jony dodatnie metalu, „zamocowane” w sieci krystalicznej, pod działaniem tych sił nie mogą się przemieszczać. Natomiast elektrony swobodne przemieszczają się w stronę elektroskopu naelektryzowanego dodatnio. Wobec tego oprócz wykonywania ruchu chaotycznego (zależnego od temperatury przewodnika) **elektrony swobodne w przewodzie przemieszczają się w jedną stronę. Mówimy wówczas, że w przewodzie płynie prąd elektryczny.**

Zjawisko przepływu prądu można przedstawić za pomocą modelu (rysunek poniżej). Do jego wykonania potrzebny jest wydłużony prostokąt z twardej tektury, długie szpilki lub gwoździe i kilka kulek lub koralików. Szpilki wbijamy w tekturę, tak aby utworzyły regularną „sieć”. Krawędź A unosimy na wysokość h .



Gdy podnosimy kulki na wysokość h , wykonujemy nad nimi pracę. Im większa wysokość, tym ta praca jest większa i tym większą pracę wykonają kulki podczas staczania się (spowodują silniejsze drgania lub większe odchylenie szpilek).

Podobnie elektryzowanie każdego z elektroskopów wymagało wykonania pracy. Musieliśmy kręcić korbą maszyny elektrostatycznej lub pocierać pałeczki z ebonitu i szkła. Ukierunkowany ruch elektronów w przewodzie, którym połączyliśmy elektroskopy,

nie byłby możliwy, gdybyśmy wcześniej nie wykonali pracy podczas elektryzowania tych elektroskopów. Im większą pracę wykonamy, tym większa będzie praca wykonana przez siły elektryczne przy przesuwaniu ładunków. Pod działaniem tych sił swobodne elektrony rozpędzają się i zderzają się z jonami sieci krystalicznej, a przy tym przekazują im część swojej energii. Jony zaczynają drgać mocniej, co – niezależnie od innych skutków przepływu prądu – zawsze objawia się wzrostem temperatury przewodu, a niekiedy nawet jego świeceniem.

Opisany powyżej łańcuch przemian energii możemy przedstawić na schemacie.



Iloraz pracy W wykonanej przy przemieszczaniu ładunku q z punktu A do punktu B przewodnika i tego ładunku fizycy nazwali **napięciem elektrycznym** między punktami A i B. Wyraża się ono wzorem:

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \quad (10.1)$$

gdzie:

U_{AB} – napięcie między punktami A i B przewodnika,

$W_{A \rightarrow B}$ – praca sił elektrycznych wykonana przy przesuwaniu ładunków w przewodniku (praca prądu elektrycznego),

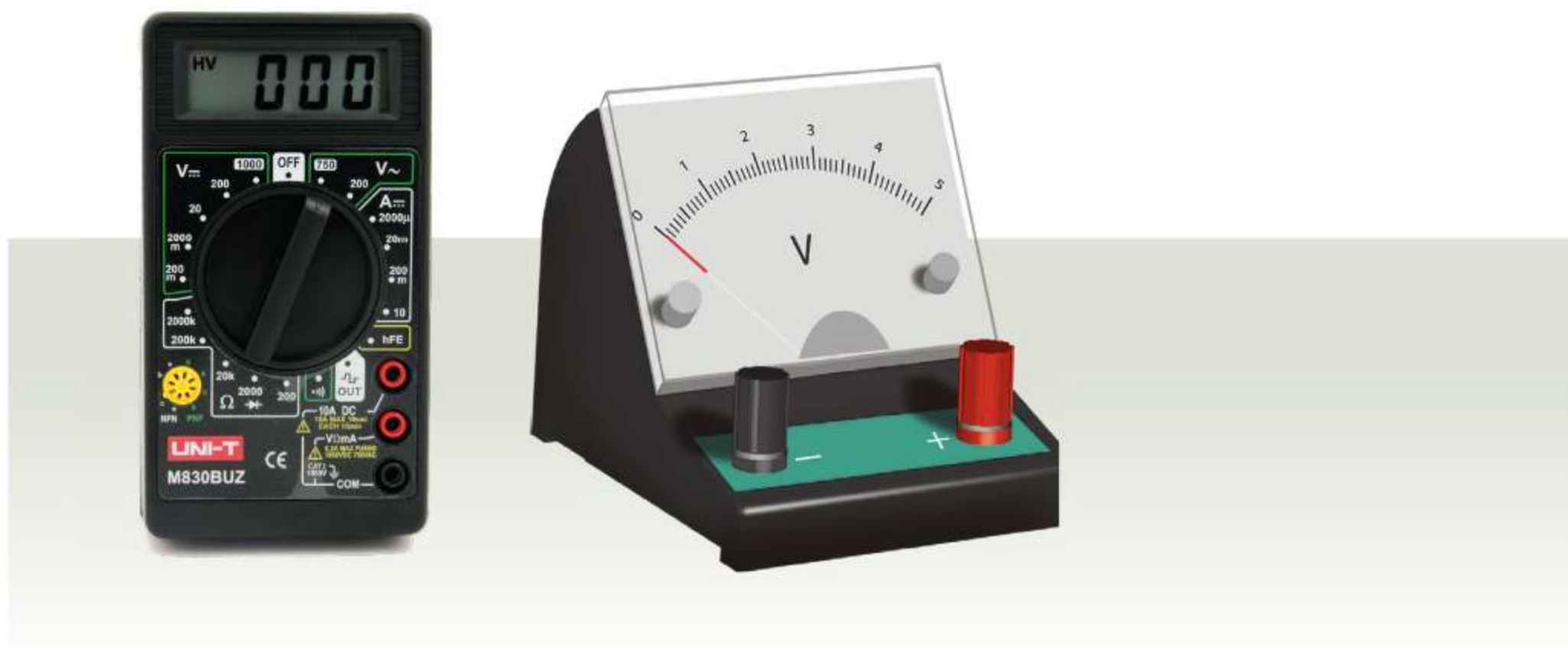
q – ładunek przesuwany między punktami A i B.

Napięcie elektryczne między dwoma punktami przewodnika informuje nas o tym, jaką pracę wykonają siły elektryczne podczas przesuwania między tymi punktami ładunku jednostkowego (1 C). Aby otrzymać jednostkę napięcia, do wzoru wstawiamy jednostki pracy i ładunku:

$$[U] = \frac{[W]}{[q]} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}} = 1 \text{ V}$$

Jednostką napięcia jest **wolt** (1 V). Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska włoskiego fizyka Alessandra Volty. Napięcie między dwoma punktami wynosi 1 V, jeśli przemieszczenie między tymi punktami ładunku 1 C wymaga pracy 1 J.

Napięcie elektryczne między dwoma punktami przewodu można zmierzyć woltomierzem. W tradycyjnych woltomierzach analogowych napięcie wskazuje wskazówka. W nowoczesnych woltomierzach cyfrowych wynik pomiaru otrzymujemy w postaci liczby na wyświetlaczu cyfrowym.



Ruchu elektronów w metalowym przewodzie nie możemy zobaczyć. O przepływie prądu możemy wnioskować na podstawie obserwacji zjawisk towarzyszących temu przepływowi. Popatrzmy na rysunki a–c.

Rysunek a przedstawia żarówkę połączoną z baterią. Przepływowi prądu elektrycznego przez żarówkę towarzyszy wzrost temperatury włókna i świecenie żarówki. Na rysunku b przedstawiono miedziany przewód, przez który płynie prąd elektryczny. Umieszczona pod przewodem igła magnetyczna po włączeniu prądu zmienia swoje położenie.

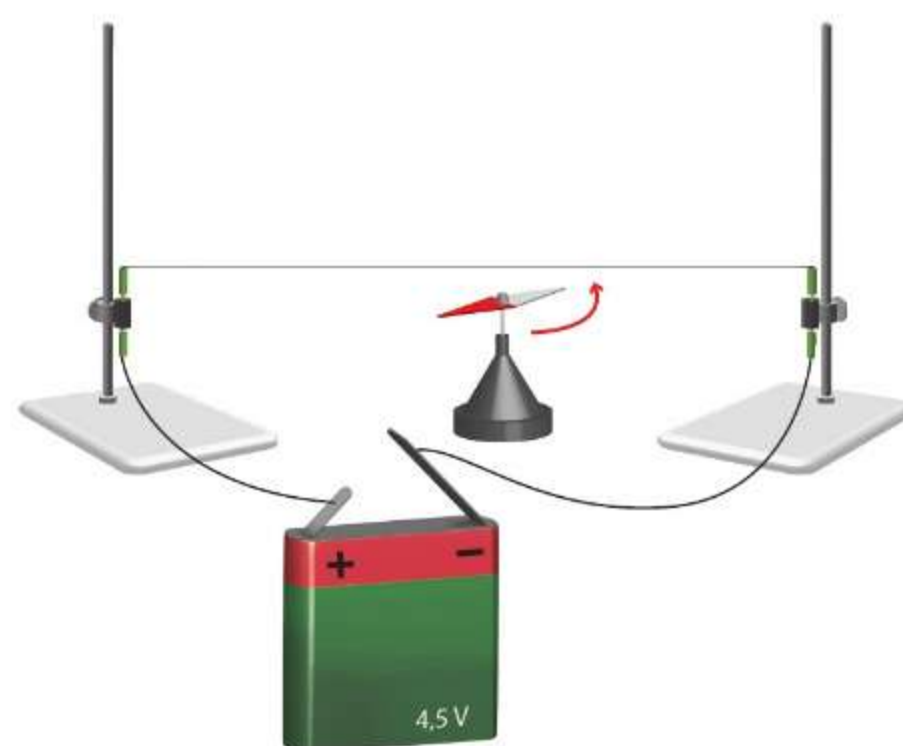
Na rysunku c przedstawiono wiertarkę elektryczną, którą można wywiercić otwór w betonowej ścianie. W tym przypadku prąd elektryczny spowoduje wykonanie pracy mechanicznej.

Na rysunkach a–c przedstawiono najważniejsze skutki przepływu prądu elektrycznego: **cieplny, świetlny, magnetyczny i wykonanie pracy mechanicznej.**

a)



b)



c)



Podsumowanie

1. Prąd elektryczny w przewodniku metalowym to ukierunkowany ruch elektronów pod wpływem sił elektrycznych. Prąd elektryczny może również płynąć przez niektóre ciecze (elektrolity) i zjonizowane gazy.
2. Skutkami przepływu prądu mogą być m.in.
 - wzrost temperatury przewodnika,
 - wysyłanie (czyli emisja) światła,
 - wykonanie pracy mechanicznej,
 - oddziaływanie magnetyczne,
 - reakcje chemiczne (ładowanie akumulatorów).
3. Napięciem U_{AB} między dwoma punktami A i B przewodnika nazywamy iloraz pracy $W_{A \rightarrow B}$ wykonanej przez siły elektryczne podczas przenoszenia ładunku q z punktu A do punktu B tego przewodnika i wartości przenieszonego ładunku.

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$

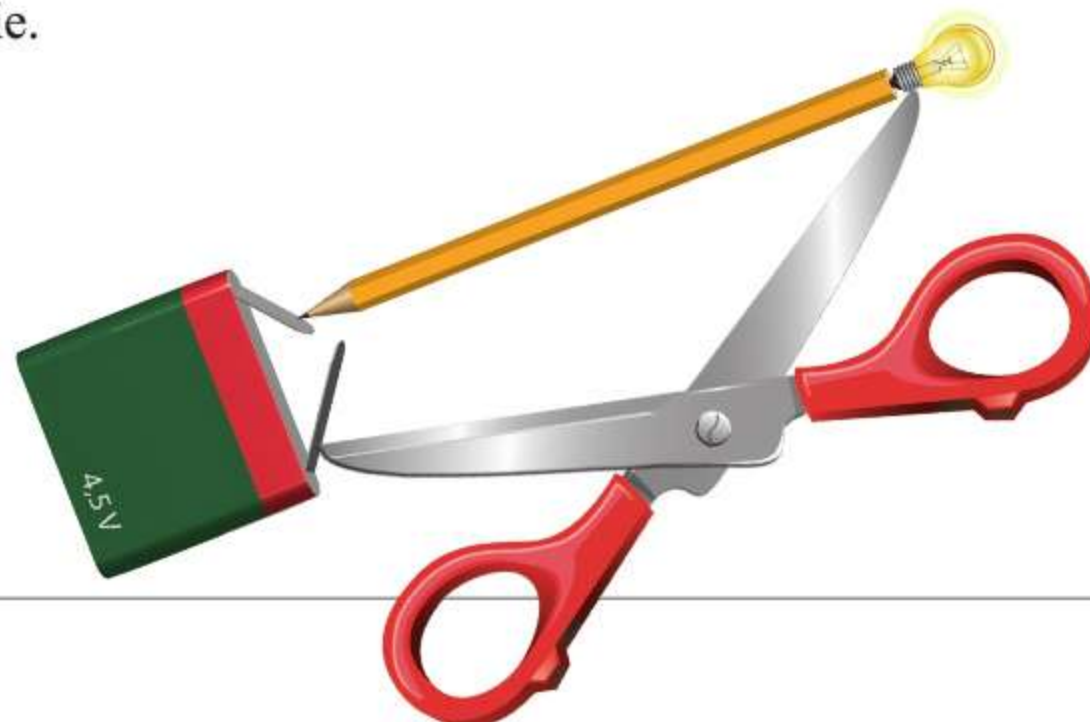
4. Napięcie między dwoma punktami przewodnika informuje nas o tym, jaką pracę wykonują siły elektryczne przy przenoszeniu ładunku jednostkowego (1 C) między tymi punktami.
5. Jednostką napięcia jest wolt $\left(1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}\right)$.
6. Istnienie napięcia między końcami przewodnika jest warunkiem koniecznym, aby w tym przewodniku płynął prąd elektryczny.
7. Przyrząd służący do pomiaru napięcia nazywamy woltomierzem.

Zadania i doświadczenia

1. Oblicz pracę, jaką wykonały siły elektryczne przy przemieszczaniu ładunku 3 C między końcami przewodnika, jeżeli napięcie między tymi końcami wynosi 12 V.
2. Napięcie między końcami przewodnika wynosi 4,5 V. Jaki ładunek przeniosły między tymi końcami siły elektryczne, jeżeli wykonały one pracę 90 J?

Doświadczenie 1.

Co może być celem doświadczenia przedstawionego na rysunku? Wykonaj i opisz doświadczenie.



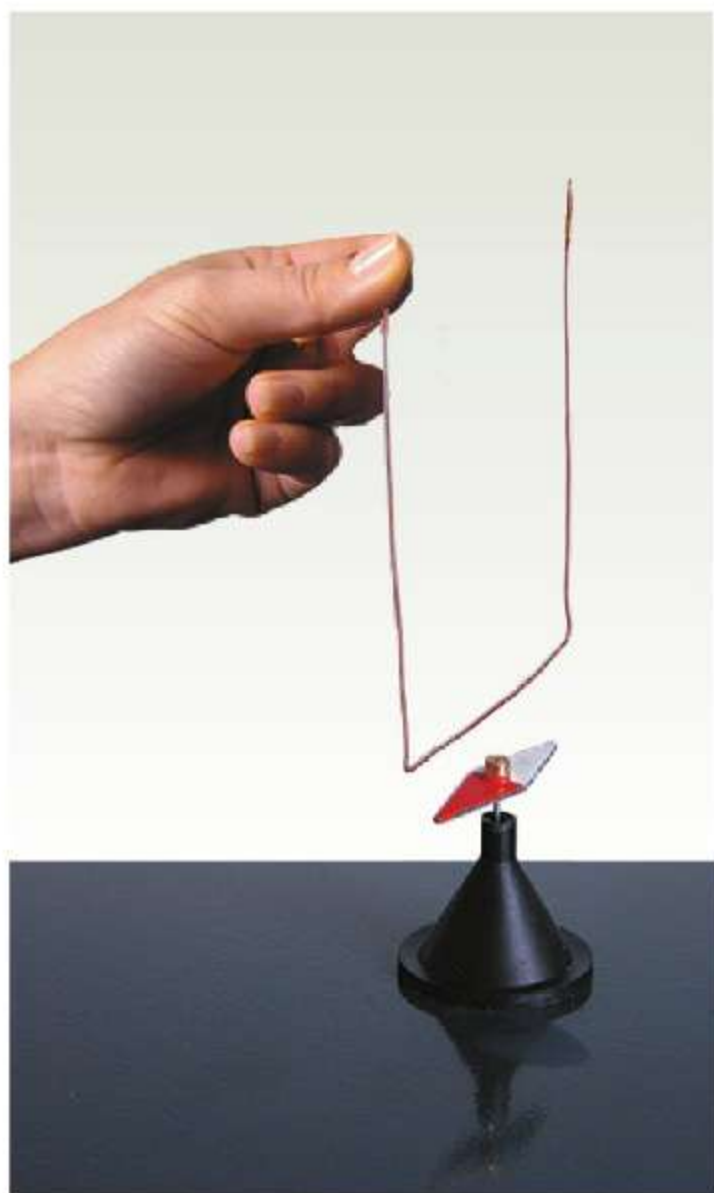
Doświadczenie 2.

Pasek folii aluminiowej o długości 15 cm i szerokości 2 cm złoż dwukrotnie tak, aby otrzymać cienki drucik o długości 15 cm i szerokości 0,5 cm. Końce tego drucika włącz między bieguny ogniwa 1,5 V (np. R6, R14 lub R20). Po 10 sekundach, przy zamkniętym obwodzie, dotknij drucika. Podaj cel doświadczenia, jego wynik oraz wniosek.

Uwaga! Nie zwieraj drucikiem biegunów ogniwa dłużej niż 20 sekund, aby nie spowodować rozładowania ogniwa.

Doświadczenie 3.

Zdjęcia zamieszczone poniżej pochodzą ze strony 139 podręcznika *Świat fizyki* do klasy 7. Przypomnij sobie, czego dotyczyło to doświadczenie, wykonaj je i opisz. Zamiast igły magnetycznej możesz użyć kompasu.



10.2 Źródła napięcia. Obwód elektryczny

W poprzednim rozdziale mówiliśmy o krótkotrwałym przepływie prądu w przewodzie łączącym dwa naelektryzowane różnoimiennie elektroskopy. Aby prąd elektryczny w przewodniku płynął w sposób ciągły, stale musi istnieć napięcie między końcami tego przewodnika. Aby więc **źródło napięcia** pracowało w sposób ciągły, musimy mu dostarczać energię.

W przypadku ogniw i akumulatorów końcówki przewodnika, przez który ma płynąć prąd, łączymy z metalowymi płytkami zwanymi biegunami lub elektrodami. Wskutek zachodzących w ogniwie przemian chemicznych jedna elektroda stale ładuje się dodatnio, a druga elektroda ładuje się ujemnie. Oznacza to, że energia chemiczna zmienia się w energię elektryczną.



W prądnicach stanowiących źródła napięcia w elektrowniach wykorzystuje się energię mechaniczną wody spadającej z dużej wysokości, a także energię mechaniczną pozyskaną z przetwarzania innych rodzajów energii, np. energii spalnego węgla lub energii jądrowej. Do wytwarzania prądu elektrycznego coraz częściej wykorzystuje się też energię słoneczną i energię wiatru.

Zdjęcie obok przedstawia baterię słoneczną zasilającą uliczną latarnię.

Warto sobie uświadomić, że źródła napięcia wykorzystują energię różnego rodzaju, by dostarczyć energię elektryczną.

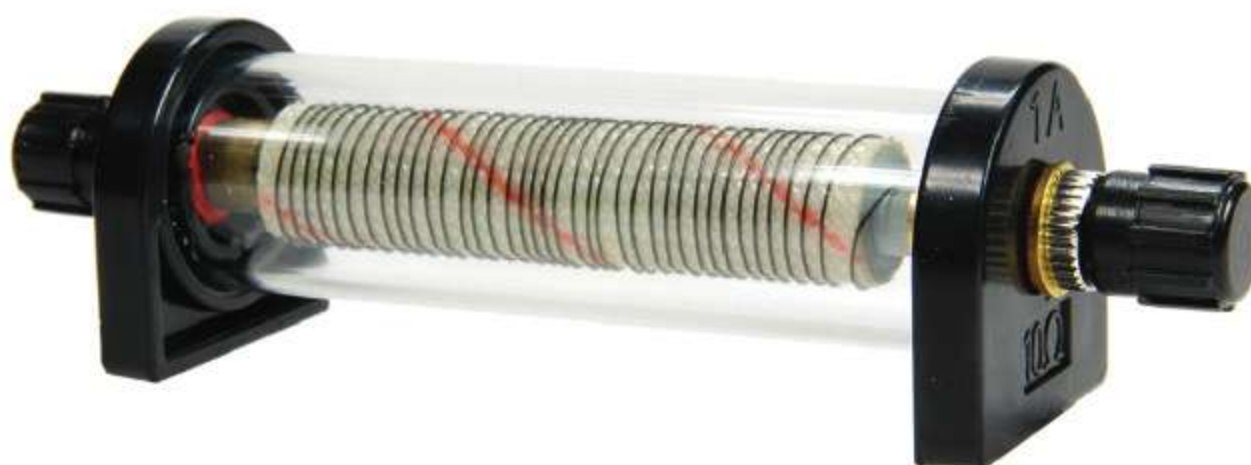
Przykłady napięć, z jakimi spotykamy się w życiu codziennym, podano w tabeli 10.1.



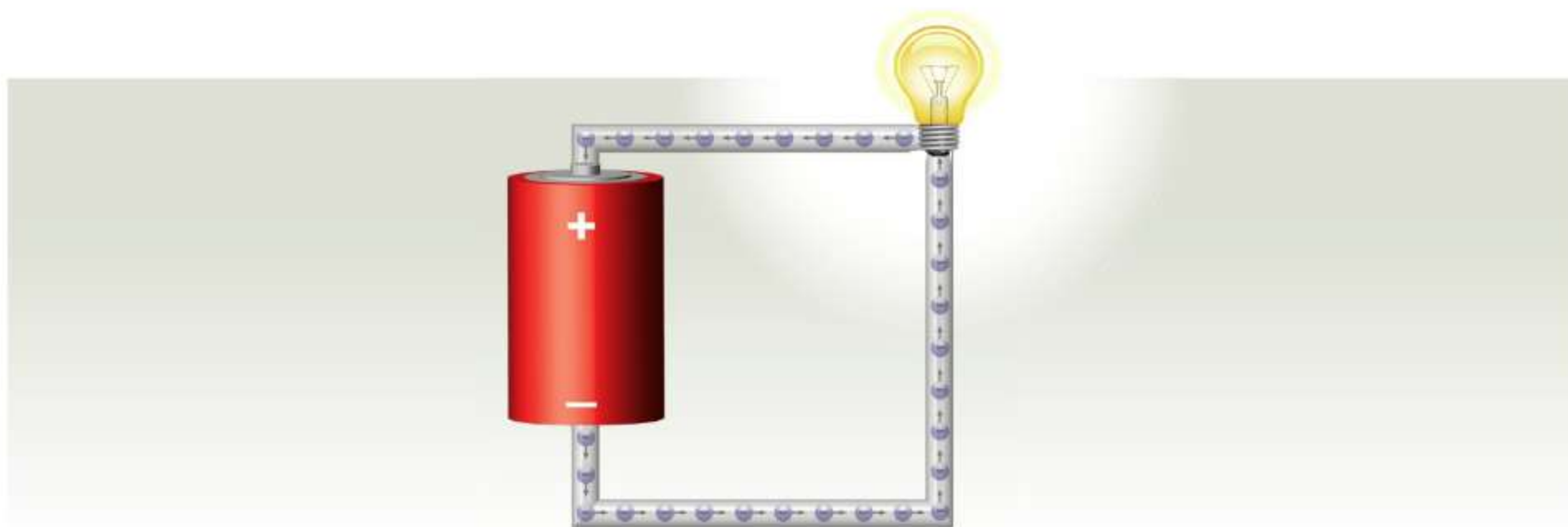
Tabela 10.1. Wartości napięcia elektrycznego

Rodzaj urządzenia	Napięcie elektryczne (V)
ogniwo galwaniczne (np. „paluszek”)	1,5
bateria płaska	4,5
akumulator samochodowy	12
instalacja elektryczna mieszkaniowa	230
instalacja elektryczna „siłowa”	400
trakcja elektryczna (kolej)	6000
sieć energetyczna (przesyłowa)	15 000–750 000

Odbiornikami energii elektrycznej są np. żarówka, grzejnik (piecyk) elektryczny, pralka, bojler, telewizor, tramwaj, telefon komórkowy, iPod, kalkulator, elektrokardiograf, rozrusznik serca i wiele innych urządzeń. Może to być także drut zwinięty w spiralę, zwany opornikiem drutowym (fot.).



Źródło napięcia wraz z podłączonym do niego odbiornikiem tworzy najprostszy **obwód elektryczny** (rys. na s. 108).



Najogólniej mówiąc, obwód elektryczny to zespół elementów wykonanych z przewodników tworzących dla przepływu prądu zamkniętą drogę.

W skład obwodu elektrycznego wchodzi:

- **źródło napięcia**, w którym jest wytwarzana energia elektryczna;
- **odbiorniki**, w których przepływ prądu powoduje wykonanie pracy (można też powiedzieć, że odbiornik czerpie energię elektryczną ze źródła);
- **przewody** łączące źródło z odbiornikami;
- inne elementy, takie jak wyłącznik, przyrządy pomiarowe.

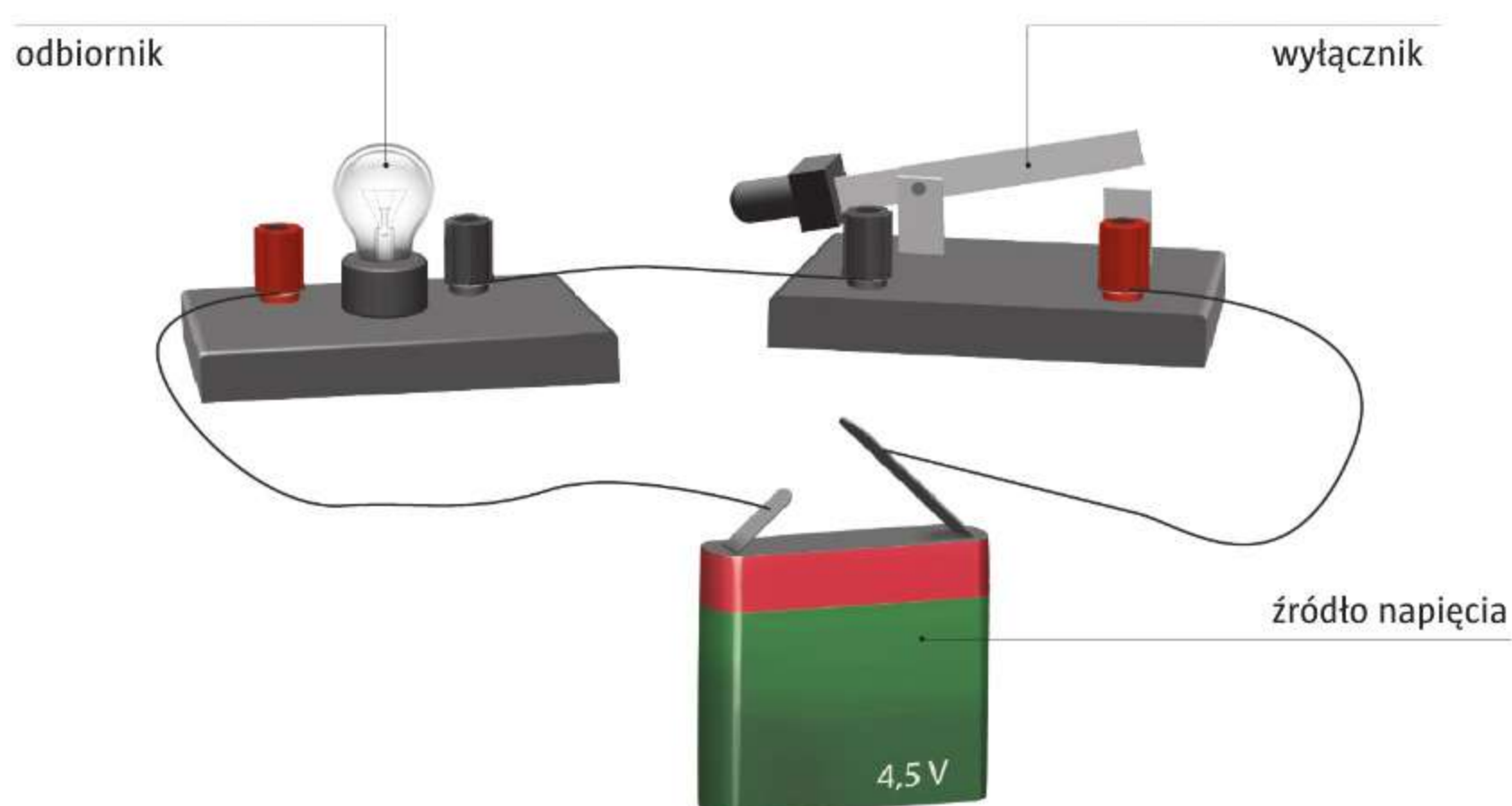
Każde źródło napięcia ma dwa bieguny (zaciski):

- biegun dodatni (+), na którym przeważa ładunek elektryczny dodatni;
- biegun ujemny (–), na którym przeważa ładunek elektryczny ujemny.

Najczęściej stosowane źródła napięcia to:

- źródła elektrochemiczne, do których zaliczamy: akumulatory, ogniwa galwaniczne (np. „paluszki”) i baterie, czyli zespoły ogniw – wytwarzają one energię elektryczną kosztem energii chemicznej;
- źródła elektromechaniczne, do których zaliczamy prądnice – wytwarzają one energię elektryczną kosztem energii mechanicznej.

Rysunek poniżej pokazuje, jak wygląda prosty obwód elektryczny.



W praktyce przyjęło się rysowanie obwodów elektrycznych w postaci tzw. **schematu elektrycznego**, na którym poszczególne elementy obwodu przedstawia się za pomocą umownych symboli graficznych. Niektóre najczęściej spotykane symbole przedstawia tabela 10.2.

Za pomocą odpowiednich symboli możemy narysować schemat obwodu elektrycznego przedstawionego na wcześniejszym rysunku.

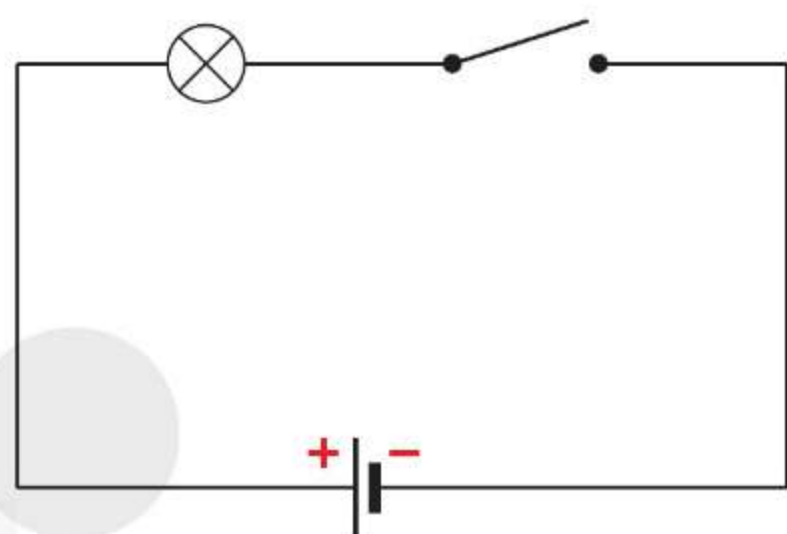
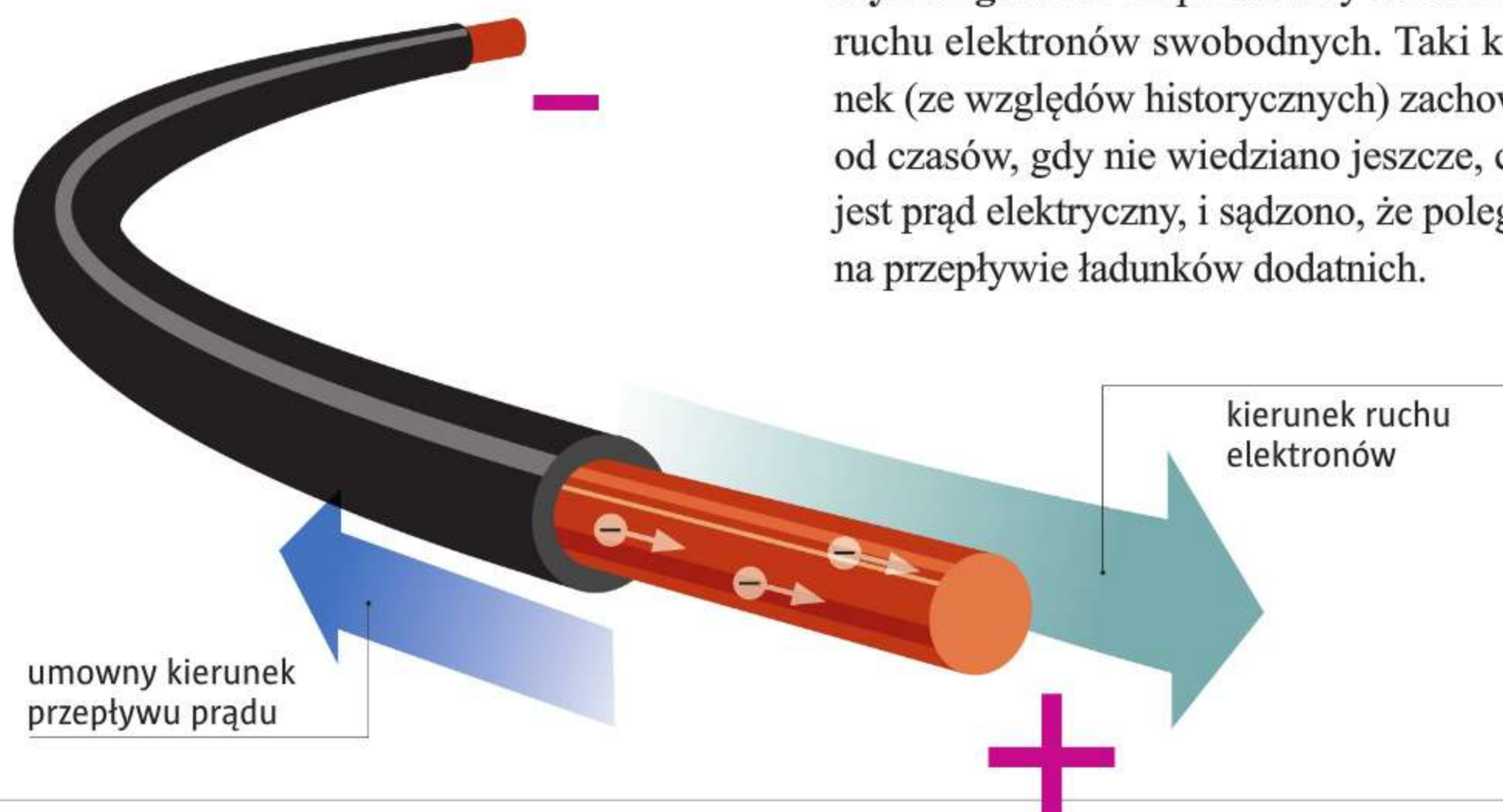


Tabela 10.2. Symbole elementów obwodów elektrycznych

Symbol	Znaczenie symbolu
	przewód elektryczny
	odbiornik
	zwojnica (cewka)
	wyłącznik
	amperomierz
	woltomierz
	żarówka
	źródło napięcia
	odgałężenie przewodu

Wiemy już, że przepływ prądu elektrycznego w przewodniku metalowym polega na ukierunkowanym ruchu elektronów swobodnych pod wpływem sił elektrycznych w stronę dodatniego bieguna źródła napięcia. Na schemacie obwodu elektrycznego oznaczamy zwykle tzw. **umowny kierunek prądu elektrycznego**. Jest on przeciwny do kierunku ruchu elektronów swobodnych. Taki kierunek (ze względów historycznych) zachowano od czasów, gdy nie wiadano jeszcze, czym jest prąd elektryczny, i sądzono, że polega on na przepływie ładunków dodatnich.

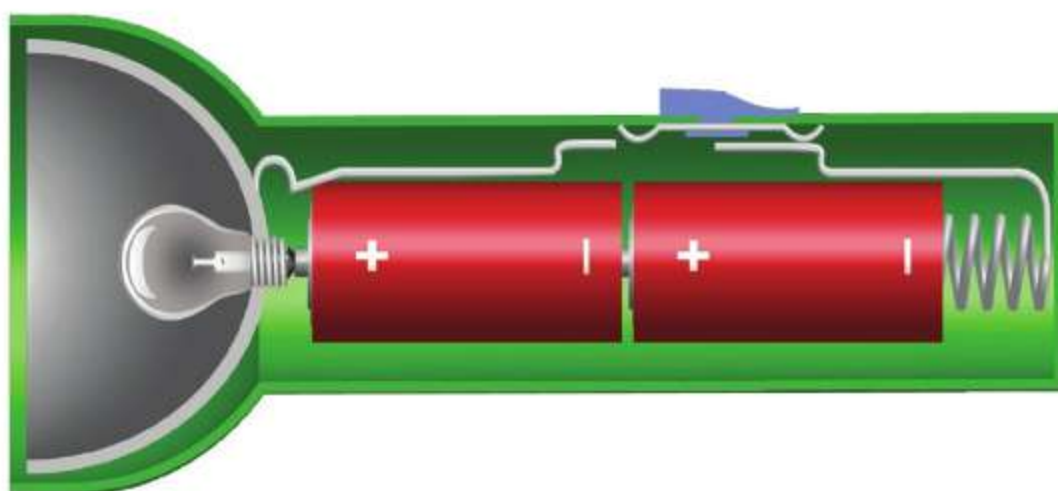


Podsumowanie

1. W skład każdego obwodu elektrycznego wchodzi: źródło napięcia, odbiornik i przewody łączące źródło z odbiornikiem.
2. Graficznym obrazem obwodu elektrycznego jest schemat elektryczny, na którym poszczególne elementy obwodu przedstawia się za pomocą umownych symboli.
3. Na schematach elektrycznych oznaczamy tzw. umowny kierunek (zwrot) prądu, który jest przeciwny do zwrotu prędkości elektronów swobodnych.

Zadania i doświadczenia

1. Opisz, z jakich elementów zbudowana jest latarka.



2. Odszukaj w internecie informacje na temat węgorza elektrycznego i przygotuj wypowiedź na ten temat.

Doświadczenie 1.

Zużytą baterię płaską (4,5 V) lub „paluszek” rozłóż na poszczególne elementy. Przyjrzyj się im dokładnie, podaj ich nazwy i opisz kolejne elementy.

Doświadczenie 2.

Do przekrojonej na pół cytryny lub przekrojonego jabłka wbij dwie blaszki (lub druty): jedną ocynkowaną, drugą miedzianą. W ten sposób udało ci się zbudować proste źródło napięcia, tzw. ogniwo. Zmierz napięcie tego źródła. W tym celu wykorzystaj woltomierz, którym dysponuje nauczyciel fizyki. Możesz wykorzystać również tzw. miernik uniwersalny. Spytaj rodziców, czy nie mają takiego przyrządu w domu. Poproś, aby wyjaśnili ci, jak się nim posługiwać.



10.3

Natężenie prądu elektrycznego

W poprzednim rozdziale powiedzieliśmy, że prąd elektryczny w przewodniku to ruch elektronów pod działaniem sił elektrycznych. Gdyby przewodnik był pustą rurą, elektrony, zgodnie z drugą zasadą dynamiki, poruszałyby się ruchem przyspieszonym i przez poprzeczny przekrój przewodnika w jednej sekundzie przelatowałyby ich coraz więcej. Jednak wcale tak nie jest. Metale mają budowę krystaliczną. Jak to pokazano na modelu (s. 101), elektrony „przedziera się” między oddziałującymi na nie dodatnimi jonami sieci krystalicznej (w modelu – kulki poruszające się między szpilkami) i zderzają się z nimi, a przy tym oddają część swojej energii kinetycznej. W rezultacie rozpędzają się tylko między zderzeniami, więc ich średnia szybkość mierzona wzdłuż przewodu jest stała i wynosi około 1 mm/s. Zgodnie z zasadą zachowania ładunku w przewodzie nie może przybyć ani ubyć ładunku, więc przez dowolnie wybrany przekrój poprzeczny przewodnika w jednostce czasu przepływa taki sam ładunek. Im większy jest ten ładunek, tym prąd ma większe **natężenie**.

$$\text{natężenie prądu} = \frac{\text{przepływający ładunek}}{\text{czas przepływu tego ładunku przez przekrój poprzeczny przewodnika}}$$

Oznaczamy je literą I (od pierwszej litery angielskiego słowa *intensity* – natężenie) i wyrażamy za pomocą wzoru:

$$I = \frac{q}{t} \quad (10.2)$$

W celu określenia jednostki natężenia prądu do powyższego wzoru wstawiamy jednostki ładunku i czasu.

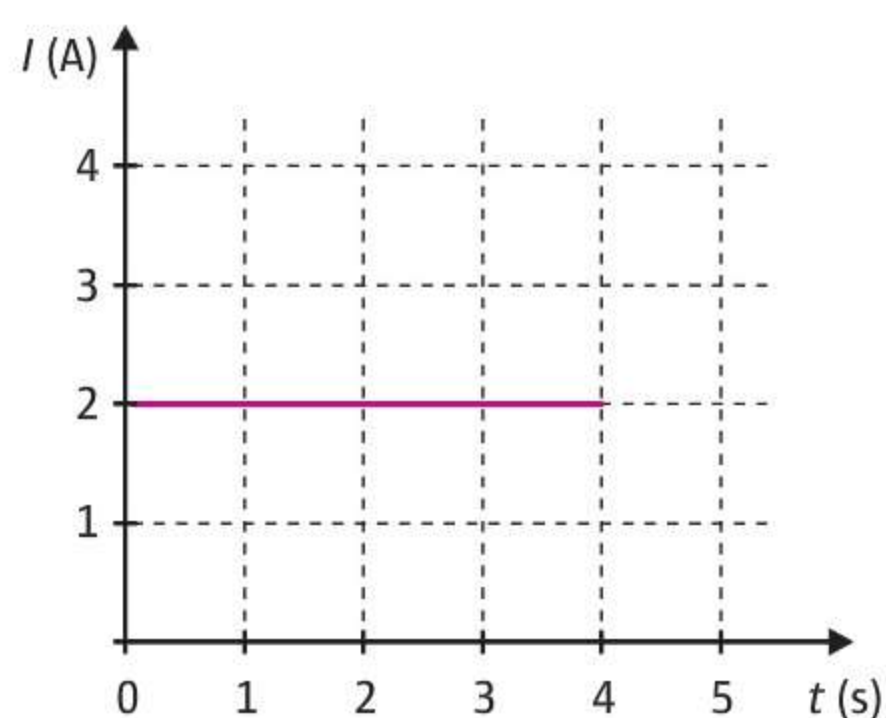
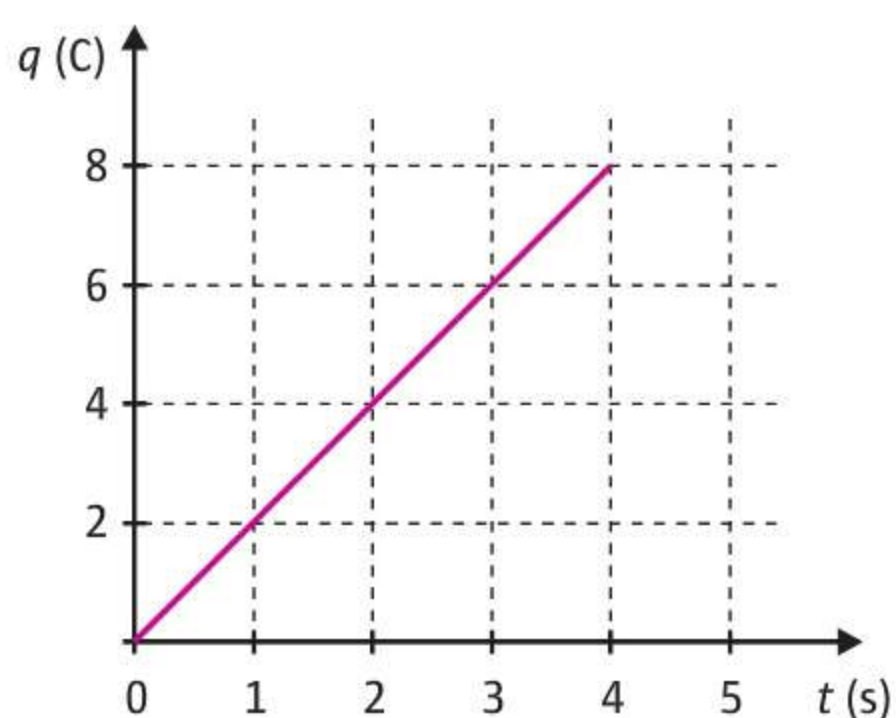
$$[I] = \frac{[q]}{[t]} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ A}$$

Jednostkę natężenia prądu elektrycznego nazywamy **amperem** (1 A). Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska francuskiego fizyka André Marie Ampère’a.

Mówimy, że w przewodniku płynie prąd o natężeniu 1 A, jeżeli w czasie 1 s przez jego poprzeczny przekrój przepływa ładunek 1 C. Wobec tego **natężenie prądu informuje nas, jak duży ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez poprzeczny przekrój przewodnika w dowolnym miejscu obwodu**.

Przykład 10.1

Jeżeli w przewodniku płynie prąd elektryczny o stałym natężeniu 2 A, to znaczy, że w czasie 1 s przez poprzeczny przekrój tego przewodnika w dowolnym miejscu przepływa ładunek 2 C, w czasie 2 s ładunek 4 C, w czasie 4 s ładunek 8 C itd.

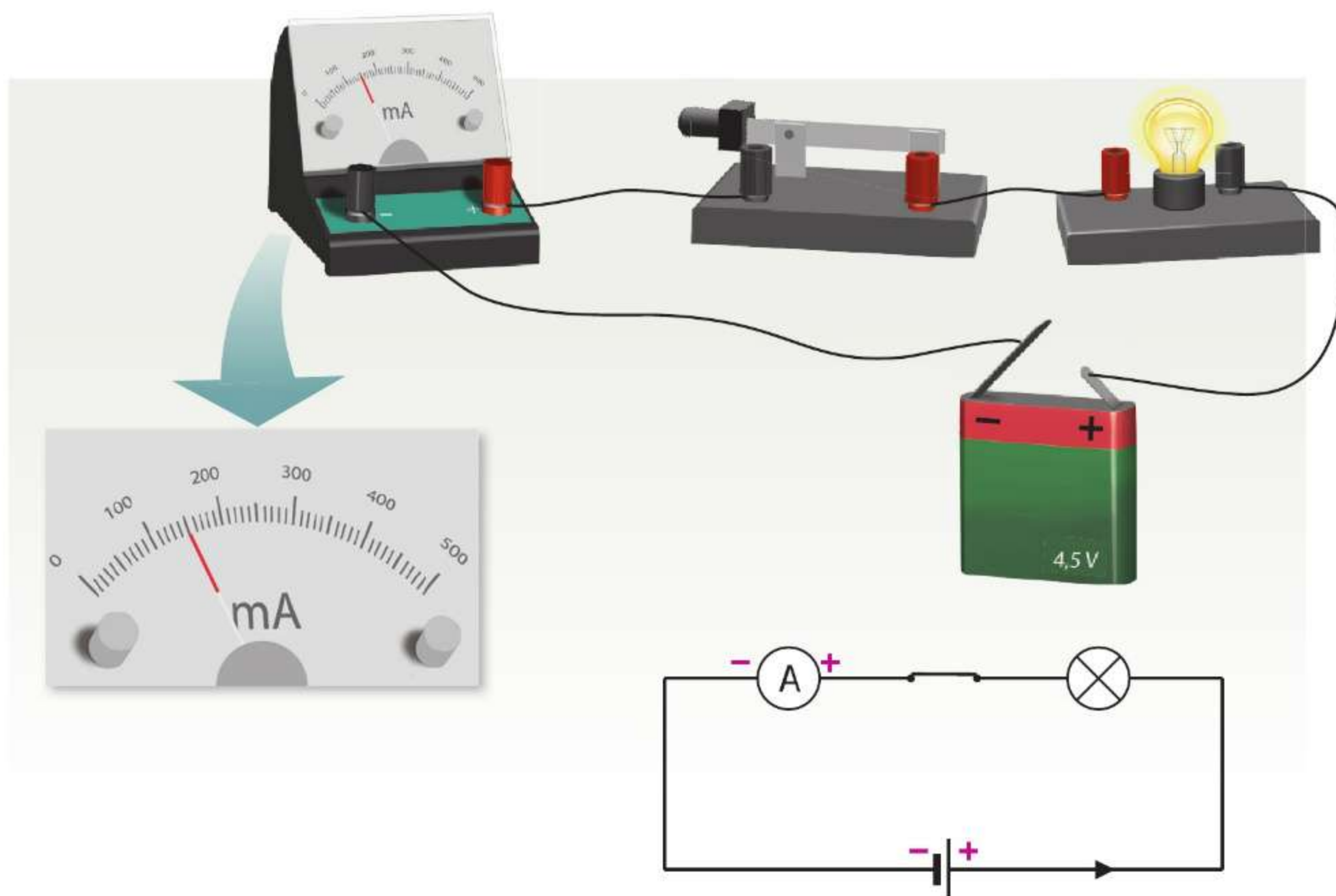


W tabeli 10.3 zamieszczono przykładowe wartości natężenia prądu, z którymi możesz spotkać się w życiu codziennym.

Tabela 10.3. Wartości natężenia prądu

Przykład urządzenia	Natężenie prądu elektrycznego (A)
lampa („żarówka”) LED	0,02–0,06
żarówka tradycyjna	0,1–0,9
telewizor LED (40 cali)	ok. 0,2
tablet (podczas korzystania z internetu)	0,4–0,6
żelazko	ok. 4–5
czajnik elektryczny	5–10
pralka automatyczna	ok. 10
elektryczny zestaw trakcyjny Pendolino	ok. 1900
piorun	30 000–50 000

Do pomiaru natężenia prądu służy amperomierz. Włączamy go w obwód elektryczny w taki sposób, aby prąd elektryczny, którego natężenie mierzymy, przepływał również przez amperomierz. W przypadku prostego obwodu elektrycznego amperomierz możemy włączyć w dowolnym miejscu, gdyż w każdym miejscu obwodu płynie prąd o takim samym natężeniu. Również przez źródło płynie taki sam prąd. Zwróć uwagę, że w źródle prąd płynie od „–” do „+”.



Na rysunku najmniejsza działka na skali amperomierza to 10 mA, zakres przyrządu to 500 mA, a wskazanie natężenia prądu wynosi 150 mA.

W tradycyjnych amperomierzach wskazówkowych wynik pomiaru natężenia prądu odczytujemy z położenia wskazówki na tle skali. W nowoczesnych amperomierzach cyfrowych wynik pomiaru otrzymujemy w postaci liczby na wyświetlaczu cyfrowym.

Każdy amperomierz ma dwa zaciski:

- „+” który włączamy w obwód od strony bieguna dodatniego (+) źródła,
- „-” który włączamy w obwód od strony bieguna ujemnego (-) źródła.

Po przekształceniu wzoru (10.2) do postaci $q = I \cdot t$ widać, że:

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ As}$$

Kulomb jest to ładunek przepływający w ciągu 1 sekundy przez przekrój poprzeczny przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu 1 A. 1 C można nazwać inaczej **amperosekundą** (1 As). Jeżeli jako jednostkę czasu wstawimy 1 godzinę (1 h = 3600 s), to otrzymamy jednostkę ładunku zwaną **amperogodziną** (1 Ah).

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}$$

Amperogodzina jest to ładunek przepływający w ciągu 1 godziny przez przekrój poprzeczny przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu 1 ampera.

Przykład 10.2

Żarówka reflektora samochodowego jest zasilana akumulatorem, który może dostarczyć do obwodu ładunek $q = 45 \text{ Ah}$. Jak długo świeciłaby ta żarówka, gdyby płynął przez nią prąd o stałym natężeniu 3 A ?

Dane: $q = 45 \text{ Ah}$, $I = 3 \text{ A}$

Szukane: t

Rozwiązanie:

$$I = \frac{q}{t}, \quad t = \frac{q}{I}, \quad t = \frac{45 \text{ Ah}}{3 \text{ A}} = 15 \text{ h}$$

Odpowiedź: Żarówka świeciłaby 15 godzin.

Podsumowanie

1. Wielkością charakteryzującą prąd elektryczny jest natężenie prądu I . Natężenie prądu informuje nas o tym, jaki ładunek elektryczny q przepływa w jednostce czasu t przez dowolny poprzeczny przekrój przewodnika.

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

2. Jednostką natężenia prądu jest amper.

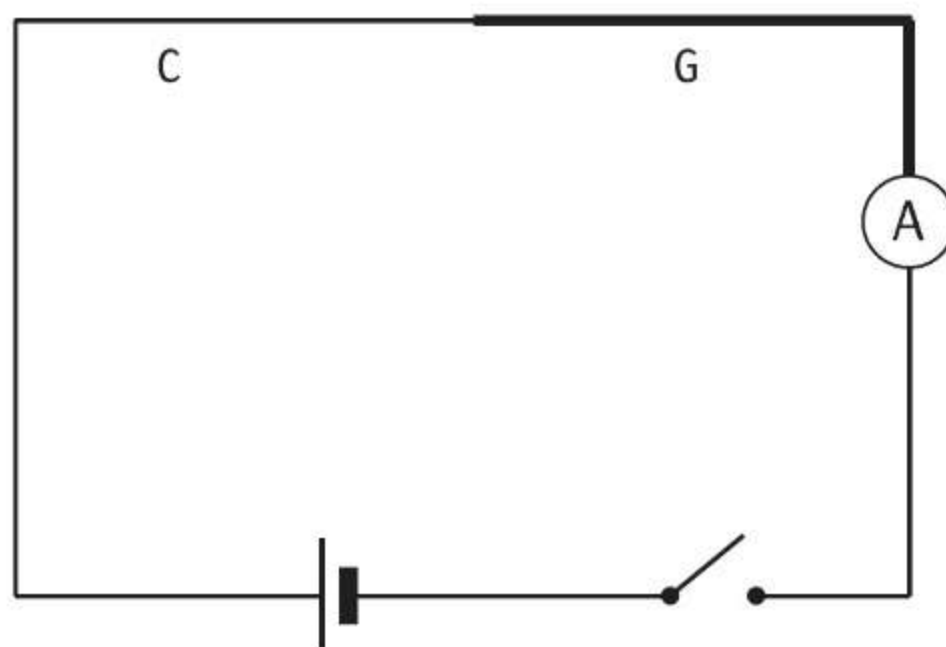
$$1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

3. Amperomierz jest przyrządem służącym do pomiaru natężenia prądu.
4. Ładunek elektryczny można wyrażać w kulombach, amperosekundach i amperogodzinach.

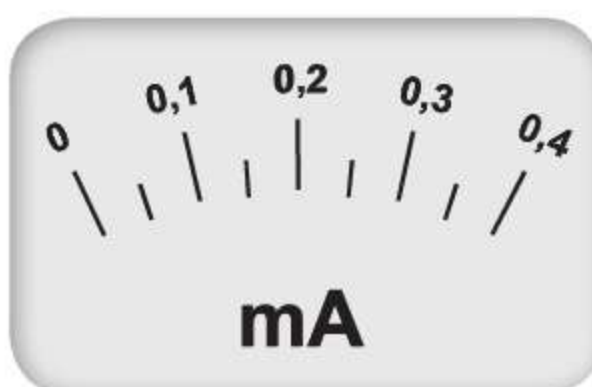
$$1 \text{ C} = 1 \text{ As}, \quad 1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}$$

Zadania i doświadczenia

1. W obwodzie elektrycznym odbiornikami są dwa druty o różnych grubościach: cienki C i gruby G. Czy natężenie prądu w drutach C i G jest jednakowe? Odpowiedź uzasadnij za pomocą właściwego prawa fizycznego.
2. Na podstawie danych zawartych w tabeli 10.3 oblicz, jak długo trwa wyładowanie burzowe, jeśli z chmury do Ziemi zostaje przemieszczony ładunek 50 C .



3. Przez grzałkę elektryczną czajnika w ciągu 5 sekund przepływa ładunek 25 As. Oblicz natężenie prądu w grzałce.
4. Oblicz, w jakim czasie przez grzałkę z zadania 3. przepływa ładunek 1 Ah.
5. Jeśli ktoś w twojej rodzinie ma samochód, dowiedz się, jaki całkowity ładunek elektryczny może dostarczyć do obwodu elektrycznego akumulator. Informuje nas o tym tzw. pojemność akumulatora (podana w Ah). Jej wartość można odczytać na obudowie akumulatora.
6. Jak wiesz, średnia szybkość elektronów tworzących prąd elektryczny, mierzona wzdłuż przewodu, jest bardzo mała i wynosi około 1 mm/s. Dlaczego więc po zamknięciu obwodu wszystkie żarówki zapalają się równocześnie?
7. Nazwa jednostki natężenia prądu pochodzi od nazwiska francuskiego fizyka André Marie Ampère'a. Odszukaj informacje na temat tego uczonego i przygotuj wypowiedź.
8. Jakie są zakresy i dokładności mierników, których skale pokazano poniżej?
Uwaga: jako dokładność przyjmij wartość, której odpowiada najmniejsza działka skali.



10.4

Opór elektryczny przewodnika

Warunkiem koniecznym przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik jest istnienie napięcia elektrycznego między jego końcami.

Wykonajmy doświadczenie, które ma odpowiedzieć na pytanie, czy i jak natężenie prądu płynącego przez przewodnik zależy od napięcia przyłożonego do jego końców.

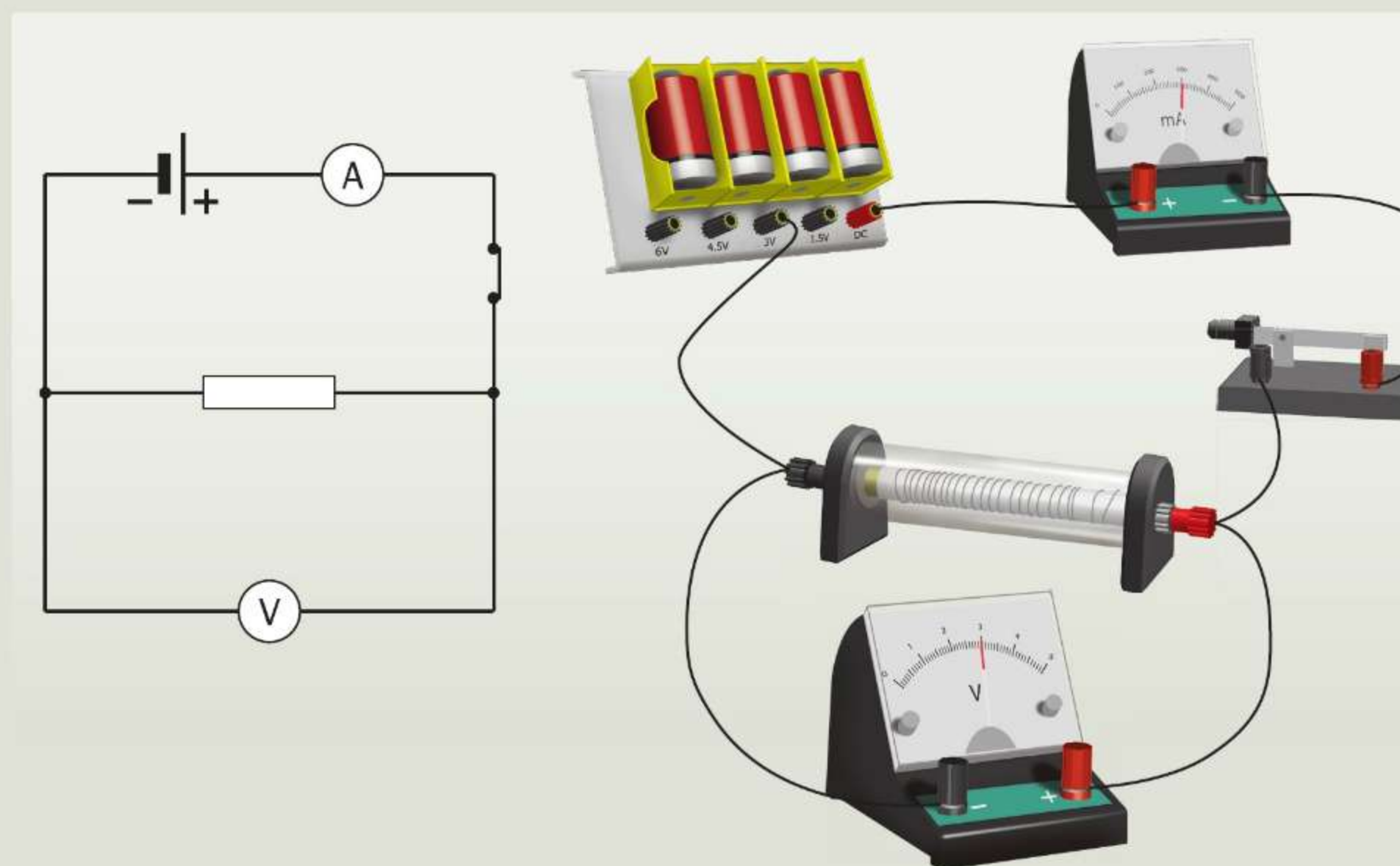
Doświadczenie 10.1

Badamy zależność natężenia prądu od napięcia między końcami opornika. Wyznaczamy opór elektryczny opornika.

Potrzebne przyrządy: zasilacz bateryjny z ogniwami typu R20, opornik drutowy, woltomierz, miliamperomierz, przewody.

Kolejne czynności:

- Rysujemy schemat obwodu.
- Budujemy obwód elektryczny zgodnie ze schematem.



- Zapisujemy najmniejsze działki skali przyrządów pomiarowych (np. $\Delta U = 0,1 \text{ V}$, $\Delta I = 0,01 \text{ A}$), które możemy uważać za niepewności pomiarowe.

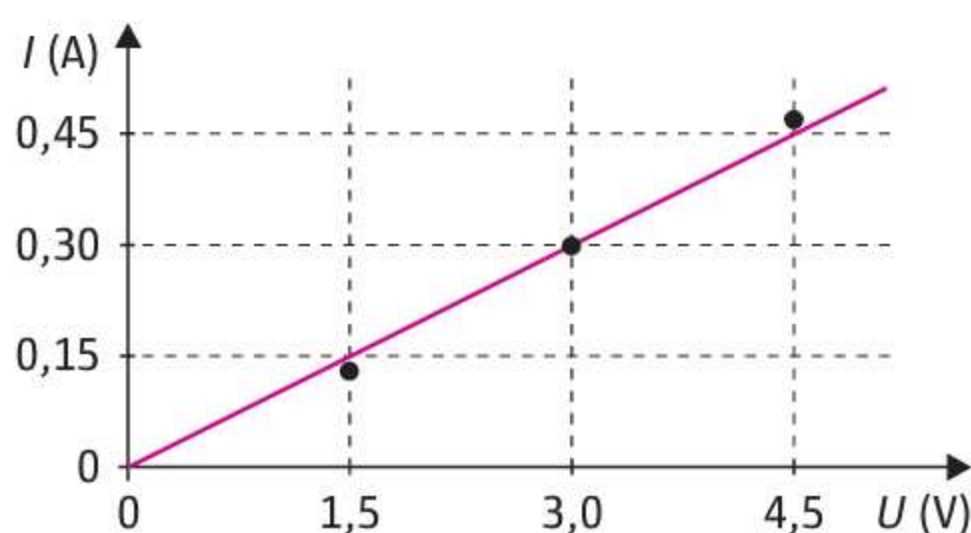
- Sporządzamy w zeszycie tabelę, w której będziemy zapisywać wyniki pomiarów.
- Wykonujemy kolejno trzy pomiary natężenia prądu płynącego przez opornik dla napięć na zasilaczu: 1,5 V, 3 V, 4,5 V. Za każdym razem mierzymy także napięcie między końcami opornika wskazywane przez woltomierz (może się ono nieco różnić od napięcia zapisanego na zasilaczu).

Uwaga: by nie dopuścić do wyładowania baterii, za każdym razem obwód zamykamy tylko na krótką chwilę wykonywania pomiarów.

- Wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli w zeszycie (poniżej podano przykładowe wyniki).
- Uzupełniamy ostatnią kolumnę tabeli.

U (V)	I (A)	$\frac{U}{I} \left(\frac{V}{A} \right)$
0	0	–
1,5	0,14	10,7
3,0	0,30	10,0
4,5	0,46	9,8

Otrzymane wyniki pomiarów przedstawiamy na wykresie zależności natężenia prądu w przewodniku od napięcia przyłożonego między jego końcami. Jeśli prosta nie przechodzi dokładnie przez zaznaczone punkty, rysujemy ją jak najbliżej tych punktów.



Wykresem zależności $I(U)$ jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych i nachylona pod kątem ostrym do osi napięcia.

Na podstawie wyników pomiarów możemy stwierdzić, że zwiększenie napięcia między końcami przewodnika:

- dwukrotne – spowodowało dwukrotny wzrost natężenia prądu płynącego przez spiralę,
- trzykrotne – spowodowało trzykrotny wzrost natężenia prądu itd.

Oznacza to, że:

natężenie prądu w przewodniku jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego między jego końcami.

Wniosek ten nosi nazwę **prawa Ohma** (czyt. oma).

Z obliczeń $\frac{U}{I}$ zawartych w tabeli w doświadczeniu 10.1 wynika, że dla danego przewodnika kolejne ilorazy napięcia między jego końcami i natężenia płynącego przez ten przewodnik prądu są jednakowe.

Możemy zatem przyjąć, że **dla danego przewodnika iloraz napięcia między jego końcami i natężenia płynącego przez ten przewodnik prądu jest wielkością stałą**. Zapisujemy to w postaci wzoru:

$$\frac{U}{I} = \text{const}$$

Ten stały dla danego przewodnika iloraz nazywamy **oporem elektrycznym** przewodnika. Oznaczamy go symbolem R od pierwszej litery francuskiego słowa *résistance* oznaczającego opór. Dlatego w elektrotechnice i elektronice opór nazywany jest **rezystancją**.

$$\text{opór przewodnika} = \frac{\text{napięcie między końcami przewodnika}}{\text{natężenie prądu płynącego przez przewodnik}}$$

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

Jednostkę oporu otrzymamy przez wstawienie do powyższego wzoru jednostki napięcia i jednostki natężenia prądu:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \Omega \quad (\text{om})$$

Jednostką oporu elektrycznego jest **om** (1Ω). Nazwa tej jednostki pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka i matematyka Georga Simona Ohma. Opór 1Ω to opór przewodnika, w którym pod napięciem równym 1 V płynie prąd elektryczny o natężeniu 1 A .

Gdyby doświadczenie 10.1 powtórzyć dla innego opornika, to iloraz $\frac{U}{I}$, czyli jego opór, byłby także stały, ale miałby inną wartość.

Występujące w obwodach elektrycznych odbiorniki charakteryzujące się określonym oporem elektrycznym nazywamy także **opornikami**.

Przykład 10.3

Na podstawie wyników doświadczenia 10.1 obliczymy średni opór elektryczny opornika drutowego.

$$R_{\text{sr}} = \frac{10,7 \, \Omega + 10,0 \, \Omega + 9,8 \, \Omega}{3} \approx 10,2 \, \Omega$$

Wartości maksymalna i minimalna oporu to:

$$R_{\text{max}} = 10,7 \, \Omega \quad R_{\text{min}} = 9,8 \, \Omega$$

Średnia wartość oporu różni się od wartości maksymalnej i minimalnej o:

$$R_{\text{max}} - R_{\text{sr}} = 0,5 \, \Omega \quad R_{\text{sr}} - R_{\text{min}} = 0,4 \, \Omega$$

Rzeczywista wartość oporu opornika drutowego to:

$$R = (10,2 \pm 0,5) \, \Omega$$

(Jako niepewność pomiarową przyjmujemy większą spośród wartości $R_{\text{max}} - R_{\text{sr}}$ i $R_{\text{sr}} - R_{\text{min}}$).

Tabela 10.4. Opory elektryczne niektórych odbiorników

Rodzaj urządzenia	Opór elektryczny (Ω)
żelazko	15–50
żarówka tradycyjna	260–2100
suszarka do włosów	20–50
czajnik elektryczny	20–30
żarówka halogenowa w reflektorze samochodowym	2,6

Prąd elektryczny może także płynąć przez ciało człowieka. W skrajnych przypadkach może to spowodować śmierć. Opór ciała człowieka zależy od wielu czynników i zmienia się w szerokim zakresie od 1000 Ω do 100 000 Ω . Mniejszy opór ma ciało z uszkodzonym naskórkiem i mokrą powierzchnią skóry, większy – z naskórkiem grubym i suchym. Niebezpieczny dla organizmu jest już przepływ prądu o natężeniu około 0,025 A.

Prąd o natężeniu niebezpiecznym dla życia przepływa np. przez ciało skoczka spadochronowego, który utknął na linii wysokiego napięcia i ręką dotyka jednego przewodu, a nogą drugiego. Napięcie między dotykanyymi punktami dwóch przewodów może być bardzo wysokie i zgodnie z prawem Ohma może powodować przepływ prądu o dużym natężeniu.

Ptaki siedzące na drutach wysokiego napięcia są bezpieczne. Między dwoma bliskimi punktami drutu, których dotykają nóżki ptaka, jest bardzo małe napięcie, więc prąd płynący przez ciało ptaka ma tak małe natężenie, że nie wyrządza ptakom szkody, mimo że napięcie między końcami sieci wynosi tysiące woltów.



Podsumowanie

1. Prawo Ohma: natężenie prądu w przewodniku jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego między końcami tego przewodnika.
2. Stały dla danego przewodnika iloraz napięcia U między jego końcami i natężenia prądu I w nim płynącego nazywamy oporem elektrycznym i oznaczamy literą R .

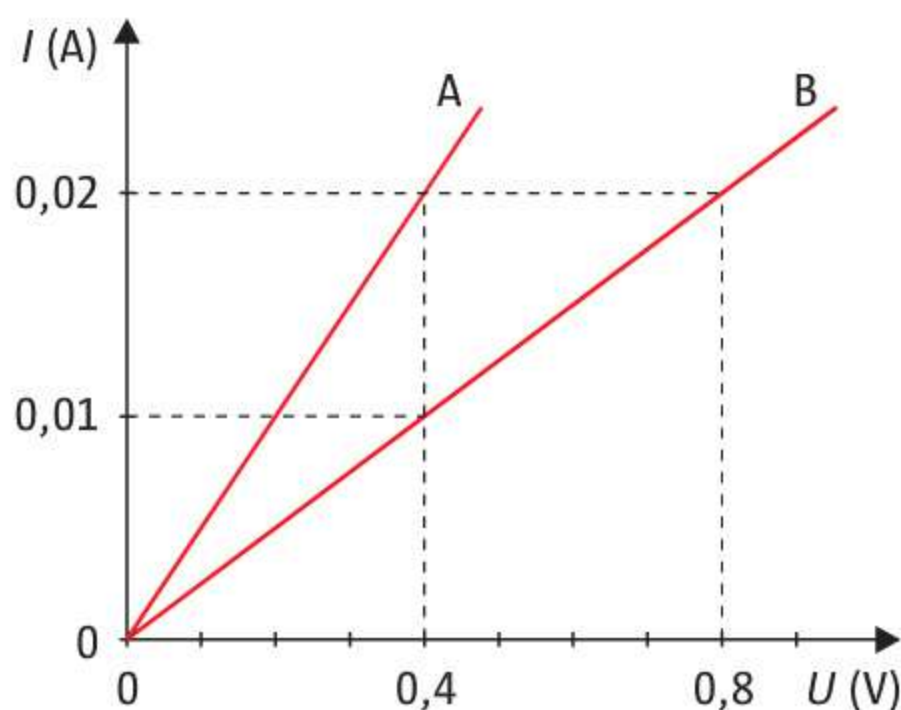
$$R = \frac{U}{I}$$

3. Jednostką oporu elektrycznego jest om (1Ω).

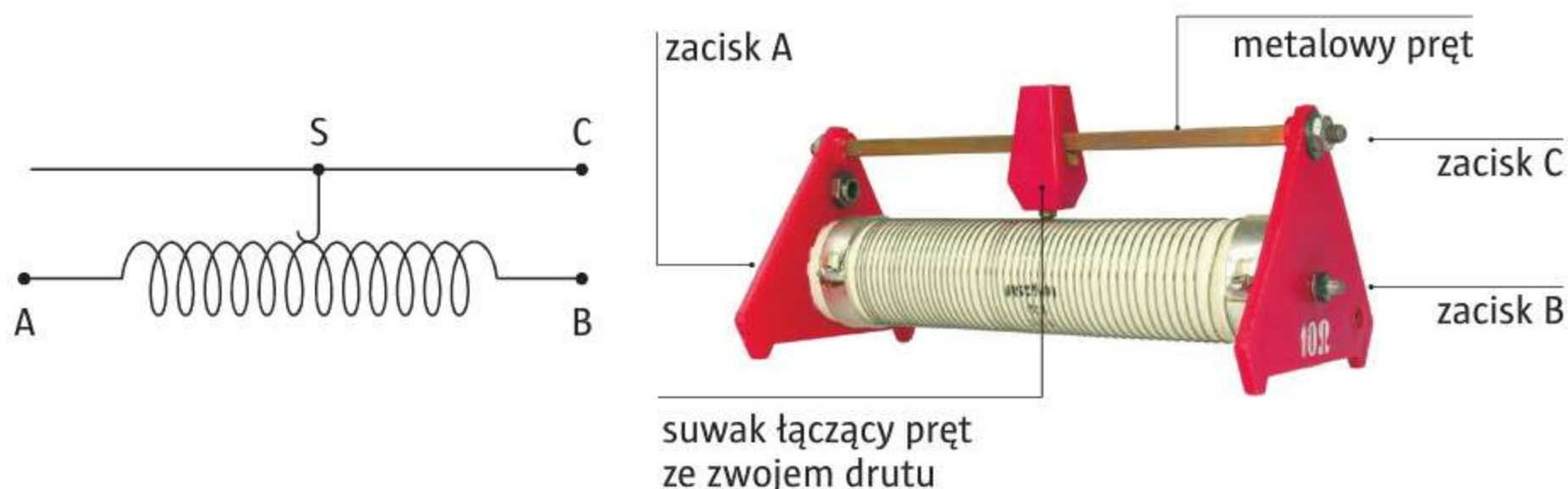
$$1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Zadania i doświadczenia

- *1. Skorzystaj z modeli zjawiska przepływu prądu przedstawionych w rozdziale 10.1 i odpowiedz, czy opór elektryczny metalowego drutu zależy od budowy krystalicznej metalu.
- *2. Skorzystaj z modeli zjawiska przepływu prądu przedstawionych w rozdziale 10.1 i odpowiedz, czy opór elektryczny przewodnika zależy od jego temperatury.
3. Jeżeli odbiornik połączono ze źródłem napięcia $4,5 \text{ V}$, to płynął w nim prąd o natężeniu $0,6 \text{ A}$. Oblicz natężenie prądu płynącego w tym odbiorniku, jeżeli dołączymy go do źródła o napięciu $1,5 \text{ V}$. Ile wynosi opór tego odbiornika?
4. Na podstawie wykresów $I(U)$ dla dwóch różnych odbiorników (rys.) ustal, który z nich ma większy opór i ile razy. Oblicz opór każdego z odbiorników.



5. Przyjrzyj się, jak zbudowana jest opornica suwakowa. Którymi dwoma zaciskami włączysz opornicę do obwodu tak, aby można było zmieniać opór przez przesuwanie suwaka?



6. Aby krowy nie opuszczały pastwiska, cały teren otacza się drutem podtrzymywanym drewnianymi palikami. Do drutu doprowadza się specjalny prąd elektryczny o charakterze impulsowym. Wyjaśnij, jak działa takie ogrodzenie.
7. Poszukaj informacji o odkrywcy prawa $I \sim U$. Przygotuj wypowiedź na jego temat.

Doświadczenie 1.

Sprawdzamy prawo Ohma.

Jeśli masz dostęp do internetu, znajdź aplet *Prawo Ohma* Waltera Fendta (www.walter-fendt.de/html5/phpl). Przeczytaj dokładnie instrukcję i uruchom symulację.

Kolejne czynności:

- Przeczytaj dokładnie opis i wypróbuj różne czynności proponowane w programie.
- Wybierz wartość oporu odbiornika włączonego do obwodu.
- Zwiększaj napięcie i dla pięciu różnych wartości napięcia odczytaj natężenie prądu.
- Narysuj w zeszycie tabelę, taką jak poniżej, i wpisz do niej wyniki pomiarów.

Nr	U (V)	I (A)	$\frac{U}{I} \left(\frac{V}{A} \right)$
1			
2			
3			
4			
5			

- Sporządź wykres zależności natężenia prądu (I) od przyłożonego napięcia (U).
- Dla każdego pomiaru oblicz $\frac{U}{I}$ i uzupełnij tabelę.
- Powtórz doświadczenie dla odbiornika o innym oporze.
- Sformułuj wnioski z doświadczenia.

10.5 Obwody elektryczne i ich schematy

W obwodach elektrycznych, które budowaliśmy dotąd, był tylko jeden odbiornik: opornik drutowy lub żarówka. Na ogół jednak w obwodach elektrycznych jest więcej odbiorników. Tak jest np. w naszej domowej sieci elektrycznej. Odbiorniki mogą być połączone **szeregowo** lub **równolegle**. Aby się przekonać, jaka jest różnica między tymi dwoma sposobami łączenia odbiorników i który z nich wykorzystuje się w naszych domach, wykonaj doświadczenie.

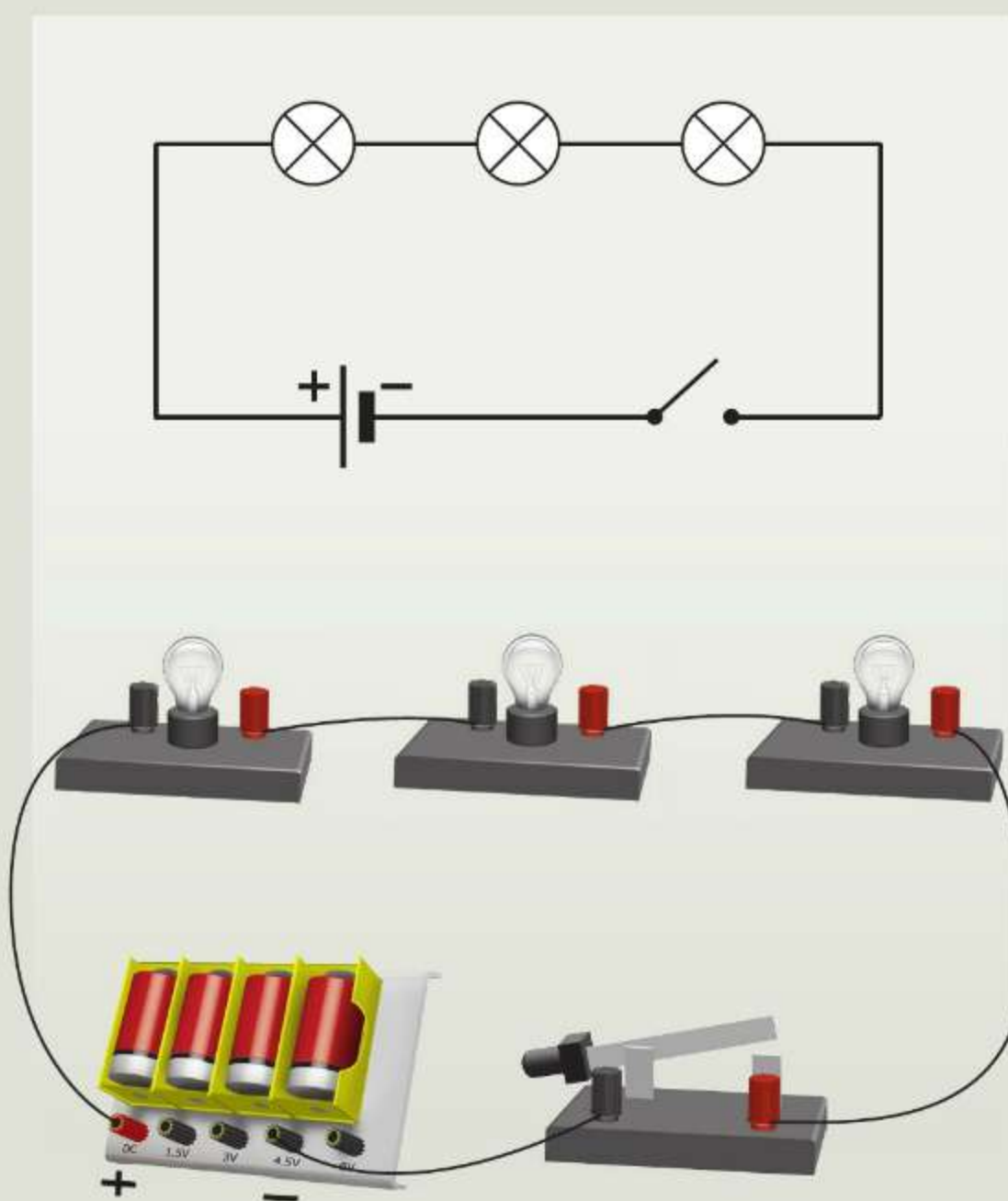
Doświadczenie 10.2

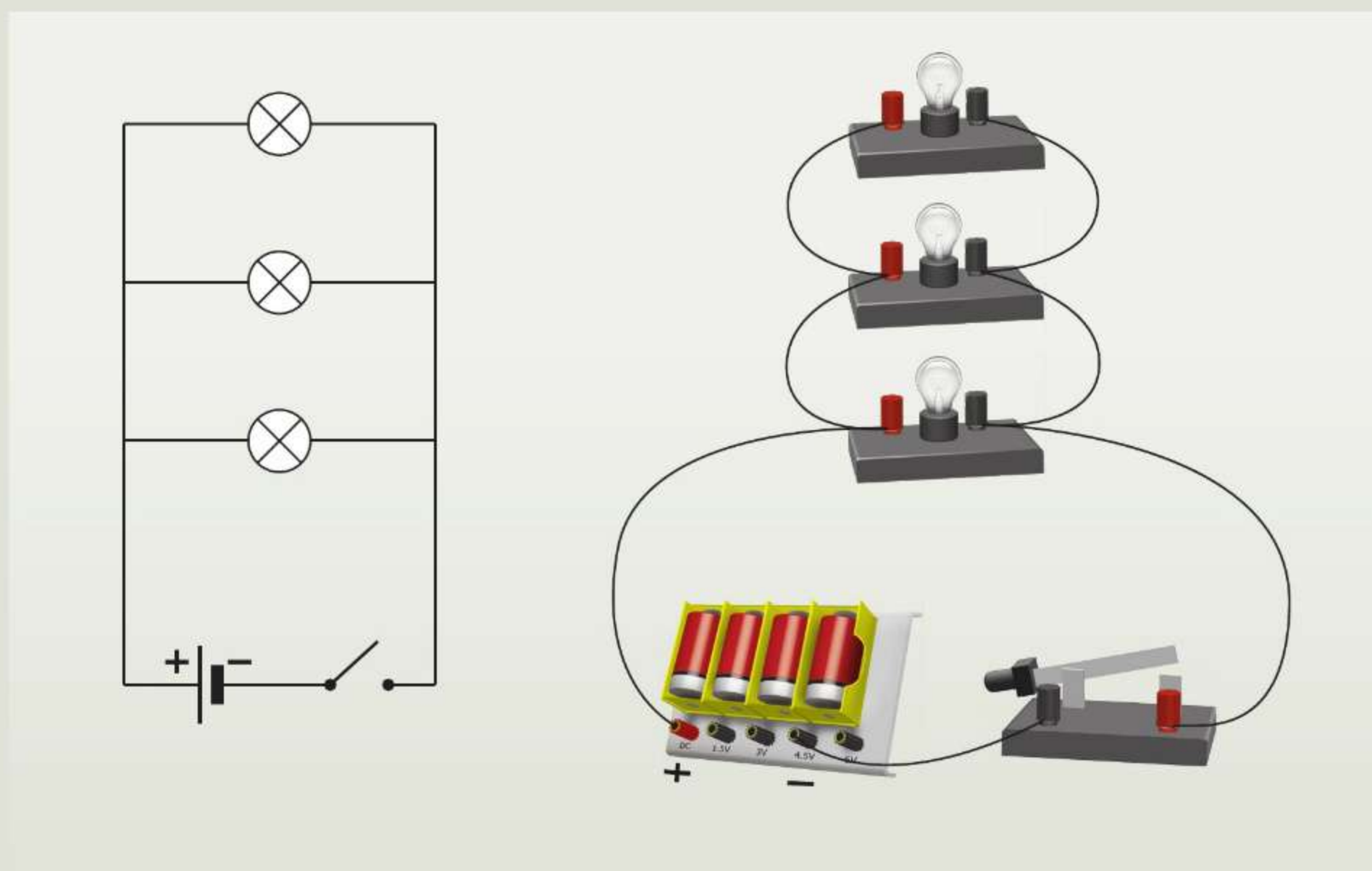
Badamy połączenia szeregowe i równoległe odbiorników.

Potrzebne przyrządy: podstawka z żaróweczkami, przewody, zasilacz bateryjny, 4 ogniwa R20, wyłącznik.

Kolejne czynności:

- Budujemy obwód według schematu obok (łączenie szeregowe).
- Zamykamy obwód i sprawdzamy, czy wszystkie żaróweczki świecą.
- Wykręcamy jedną z żaróweczek i sprawdzamy, czy pozostałe żaróweczki świecą.





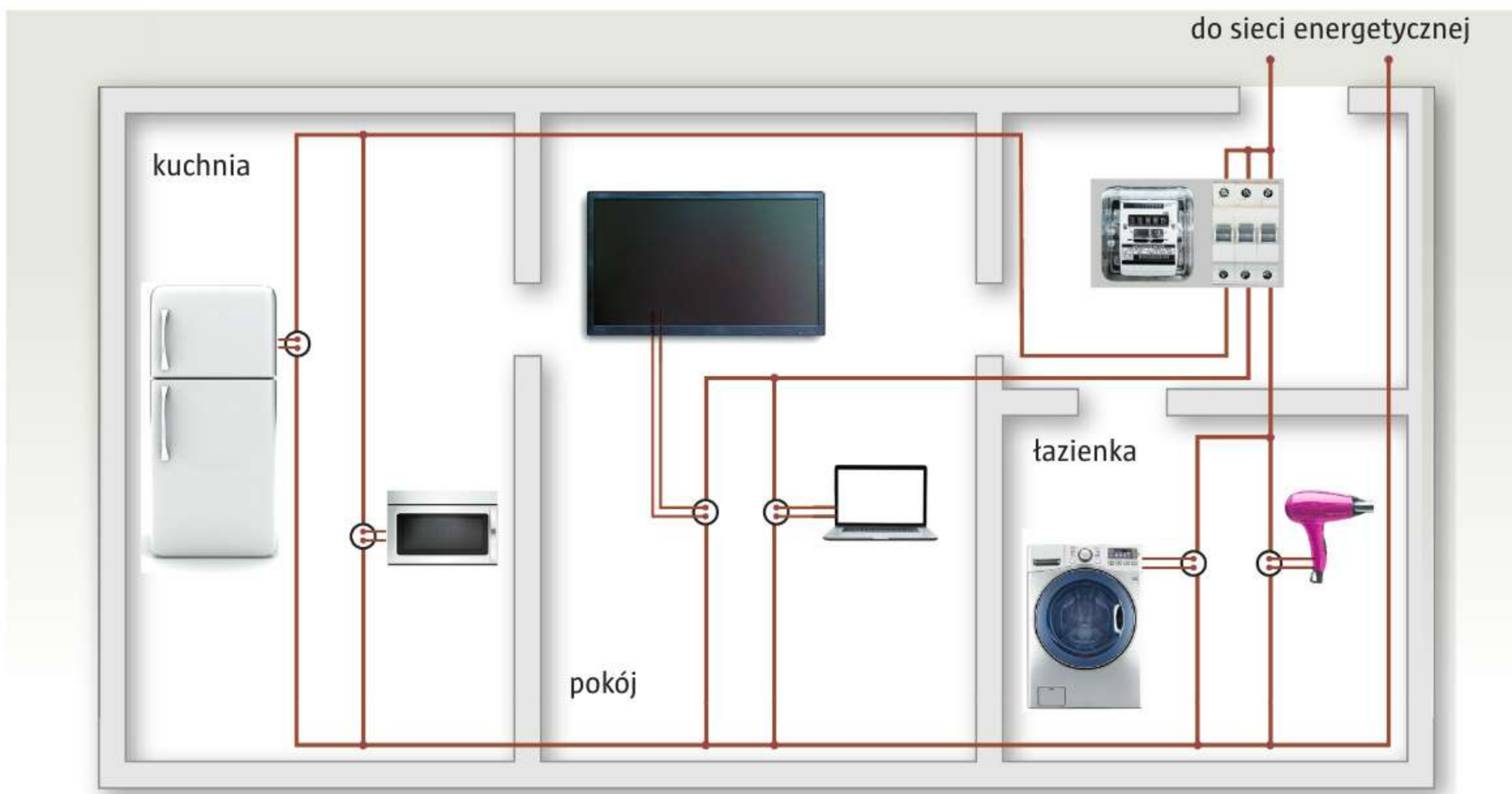
- Rozmontowujemy obwód i ponownie łączymy elementy według schematu przedstawionego powyżej (łączenie równoległe).
- Zamykamy obwód i sprawdzamy, czy wszystkie żarówki świecą.
- Wykręcamy jedną z żarówek i sprawdzamy, czy pozostałe świecą.

Wynik: Po wykręceniu jednej żarówki w pierwszym przypadku żadna żaróweczka nie świeci. W drugim przypadku wszystkie pozostałe żarówki świecą.

Wnioski:

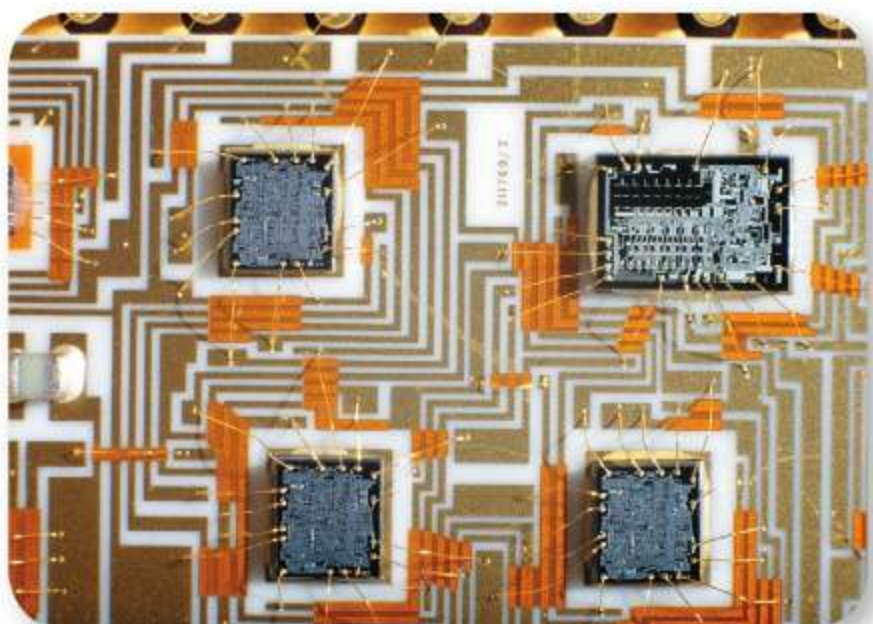
- Włączeniu szeregowym wyłączenie jednego odbiornika oznacza przerwę w obwodzie i odłączenie od źródła napięcia wszystkich tak połączonych odbiorników.
- Włączeniu równoległym po wyłączeniu jednego z odbiorników prąd elektryczny płynie przez pozostałe odbiorniki. Obwód jest zamknięty.

W naszych mieszkaniach odbiorniki są połączone równoległe, żebyśmy każdego z nich mogli używać niezależnie od tego, czy przez pozostałe płynie prąd. Każde urządzenie jest oddzielnie włączone do sieci energetycznej i może pracować niezależnie od innych. Na ilustracji na następnej stronie przedstawiono uproszczony schemat obwodu elektrycznego w mieszkaniu. Wyłącznik w skrzynce rozdzielczej pozwala wyłączyć tylko urządzenia znajdujące się w danym pomieszczeniu, np. w kuchni lub w łazience.



Zdarza się, że w oświetleniu choinkowym wszystkie żarówki mogą pracować tylko równocześnie. Oznacza to, że są one połączone szeregowo.

Wszędzie, gdzie używamy prądu elektrycznego z sieci energetycznej, a więc i w naszych mieszkaniach, znajdują się skrzynki z bezpiecznikami. Bezpiecznik wyłącza odbiornik, jeśli natężenie prądu jest zbyt duże.

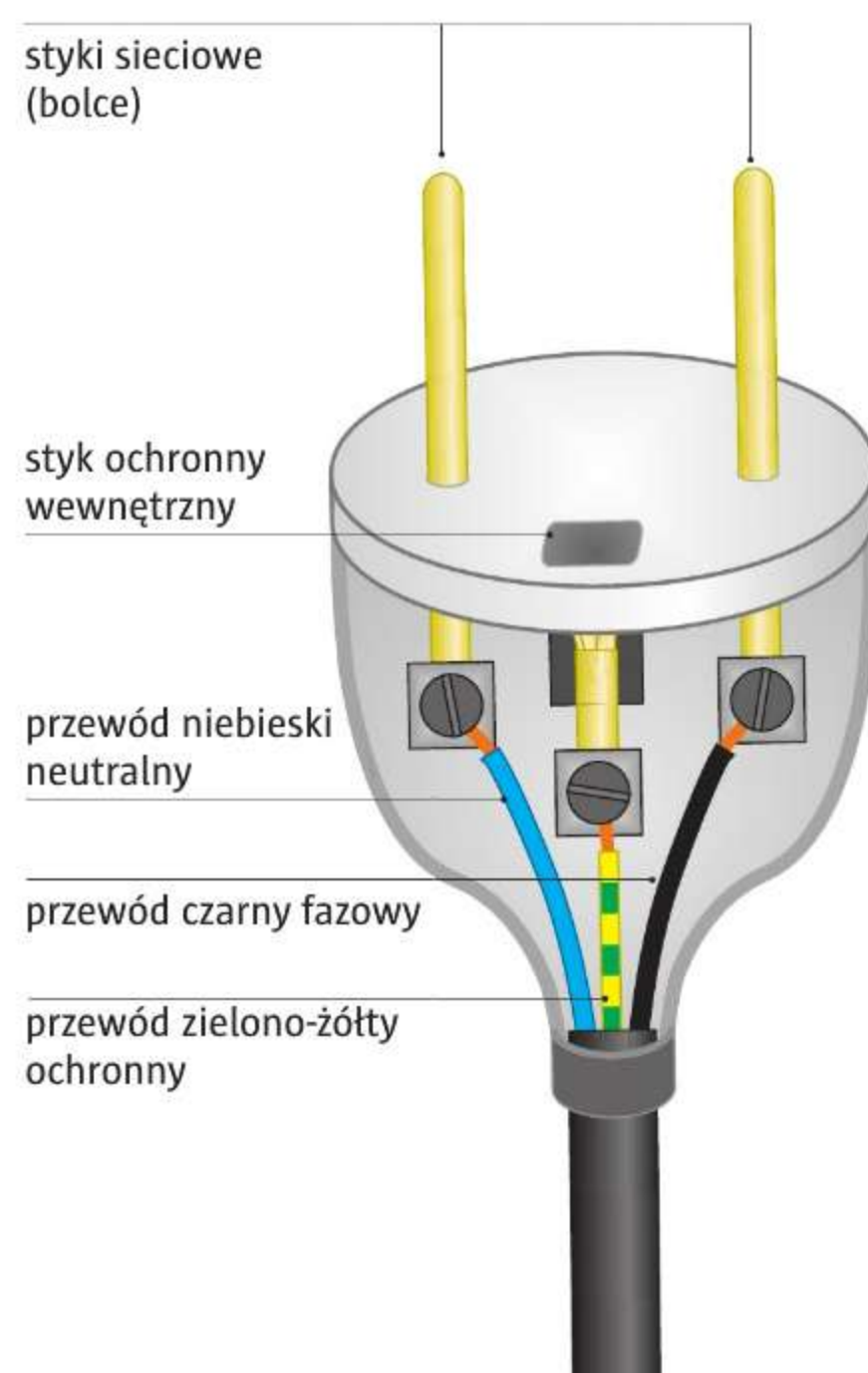
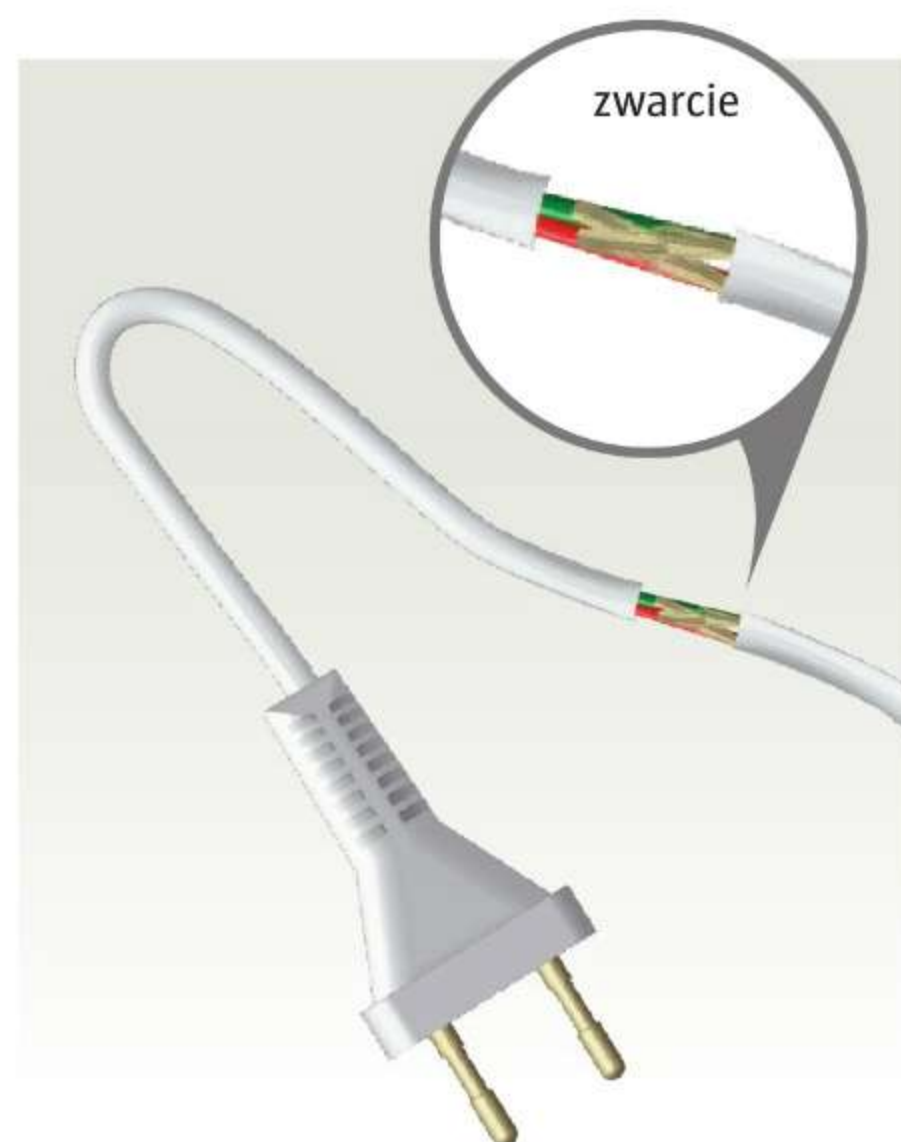


Obecnie, w dobie miniaturyzacji, często do budowy obwodów elektrycznych nie używa się już przewodów. Na płytkę z izolatora nanosi się warstwę substancji przewodzącej. Następnie tę substancję wytrawia się chemicznie według zaplanowanego wzoru. To, co pozostaje na płytce, tworzy obwód, do którego w odpowiednich miejscach dołącza się odpowiednie miniaturowe elementy elektroniczne, w zależności od przeznaczenia konstruowanego urządzenia (fot.). Takie obwody noszą nazwę hybrydowych układów scalonych.

F

Odbiorniki używane w gospodarstwach domowych mają dość duże opory elektryczne. Może się jednak zdarzyć, że np. w przewodzie doprowadzającym prąd do spirali żelazka nastąpi uszkodzenie plastikowej izolacji i druty się zetkną (nastąpi **zwarcie**). Wtedy prąd nie dopłynie do spirali żelazka, a odcinek przewodu od wtyczki do zetknięcia będzie miał bardzo mały opór. Natężenie prądu w obwodzie gwałtownie wzrośnie i bezpiecznik odłączy obwód od sieci. Obecność prawidłowo działającego bezpiecznika w sieci elektrycznej naszych mieszkań jest bardzo ważna. Gdy bezpiecznik nie zadziała, prąd o dużym natężeniu tak rozgrzewa przewody, że może doprowadzić do pożaru. Odbiorniki energii elektrycznej, z których korzystamy w domu, są włączone do gniazda sieci za pomocą dwóch izolowanych przewodów elektrycznych zakończonych wtyczką. Obudowa wtyczki jest wykonana z tworzywa sztucznego, czyli izolatora. Każda wtyczka ma dwa metalowe styki (bolce), do których są podłączone dwa przewody łączące sieć energetyczną z odbiornikiem.

Odbiorniki z metalową obudową, np. żelazko, lodówka, pralka, są połączone z siecią za pomocą trzech przewodów elektrycznych. Ten trzeci przewód, zwany przewodem ochronnym, łączy metalową obudowę odbiornika z przewodem ochronnym sieci energetycznej. W przypadku wystąpienia zwarcia w odbiorniku lub pomiędzy przewodami go zasilającymi ta metalowa obudowa może stać się częścią obwodu elektrycznego i wtedy płynie przez nią prąd elektryczny. Dotknięcie takiej obudowy przez człowieka może spowodować porażenie go prądem elektrycznym – prąd płynie wówczas przez ciało człowieka do ziemi. Rozwiązanie techniczne z trzema przewodami łączącymi odbiornik z gniazdem zapewnia człowiekowi pełne bezpieczeństwo – obwód prądu elektrycznego zamyka się wówczas nie przez ciało człowieka, lecz przez trzeci przewód ochronny. W takim przypadku zadziała zabezpieczenie odłączające odbiornik od sieci i to uchroni człowieka przed porażeniem prądem elektrycznym.

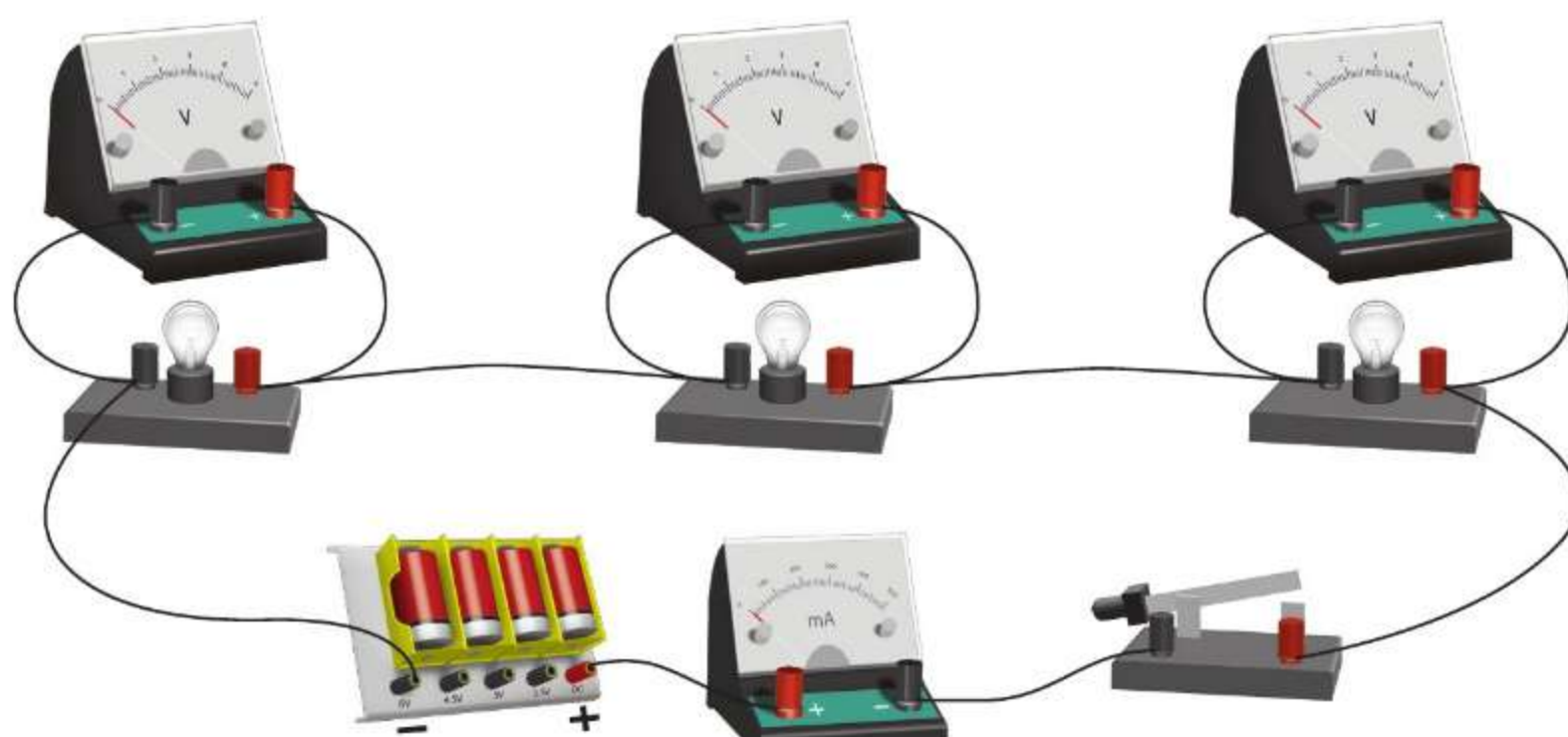


Podsumowanie

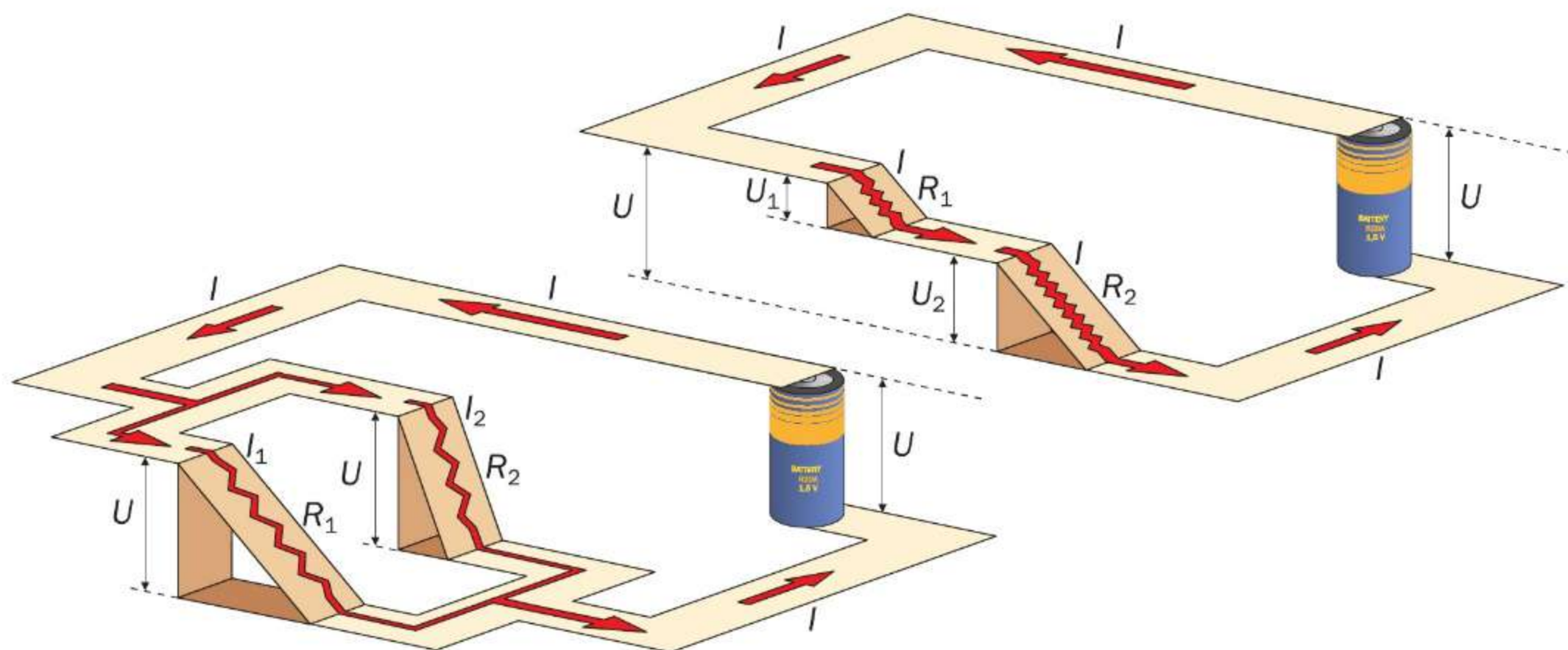
1. Odbiorniki mogą być połączone szeregowo lub równolegle.
2. Odbiorniki połączone szeregowo mogą pracować tylko równocześnie.
3. Odbiorniki połączone równolegle mogą pracować niezależnie od pozostałych.

Zadania i doświadczenia

1. Narysuj schemat przedstawionego niżej obwodu.



2. Dlaczego w instalacji domowej odbiorniki łączy się równolegle, a nie szeregowo?
3. Przyjrzyj się modelom przedstawionym na rysunkach. Pierwszy przedstawia obwód, w którym dwa odbiorniki są połączone szeregowo, drugi – równolegle. Odczytaj informacje dotyczące związków między natężeniami prądu i związków między napięciami w każdym z tych połączeń.



Doświadczenie 1.

Jeśli masz w domu oświetlenie choinkowe, to sprawdź, czy żarówki są połączone szeregowo czy równolegle. Opisz sposób, w jaki to zrobisz.

10.6 Praca i moc prądu elektrycznego

Energia elektryczna w odbiornikach zamienia się na inne rodzaje energii lub na pracę. I tak np. w żarówce energia elektryczna zamienia się na energię wewnętrzną żarzącego się włókna, co powoduje wzrost jego temperatury (część tej energii zmienia się w energię świetlną). Silniki elektryczne pralek, odkurzaczy, mikserów wykonują pracę mechaniczną, w odbiorniku radiowym następuje zamiana energii elektrycznej na energię fali akustycznej (powstaje dźwięk), a w kuchence mikrofalowej – na energię fal elektromagnetycznych, o których niebawem będziesz się uczyć, a później na energię wewnętrzną potraw, co powoduje wzrost ich temperatury, itd.

Pracę prądu elektrycznego (równą energii zużytej przez odbiorniki) można odczytać na liczniku energii znajdującym się w każdym mieszkaniu. Można ją także obliczyć. W tym celu wykorzystuje się znany ci już wzór na napięcie elektryczne (10.1):

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

Wzór ten przekształcamy tak, aby można było z niego obliczyć pracę wykonywaną przez siły elektryczne przy przesuwaniu ładunku q :

$$W = U \cdot q \quad (10.3)$$

Ładunek, który przepłynął w obwodzie elektrycznym, można obliczyć z definicji natężenia prądu:

$$I = \frac{q}{t}, \quad \text{skąd} \quad q = I \cdot t$$

Po wstawieniu tej ostatniej zależności do wzoru (10.3) otrzymujemy:

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

Praca prądu elektrycznego w danym odbiorniku jest równa iloczynowi napięcia między jego końcami (U), natężenia prądu (I) w nim płynącego i czasu przepływu prądu (t).

Sprawdźmy, czy po podstawieniu do powyższego wzoru jednostki napięcia, natężenia prądu i czasu otrzymamy jednostkę pracy – dżul (1 J):

$$[W] = [U] \cdot [I] \cdot [t] = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}} \cdot \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ J}$$

Jednostką pracy prądu elektrycznego jest **dżul** (1 J).

Przykład 10.4

Oblicz pracę prądu elektrycznego przepływającego przez żarówkę halogenową reflektora samochodowego o danych: $U = 12 \text{ V}$, $I = 5 \text{ A}$, w czasie $t = 5 \text{ min}$.

Dane: $U = 12 \text{ V}$, $I = 5 \text{ A}$, $t = 5 \text{ min}$

Szukane: W

Rozwiązanie:

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

$$W = 12 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} \cdot 300 \text{ s} = 18\,000 \text{ J} = 18 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Prąd elektryczny wykona pracę 18 kJ. Inaczej mówiąc, żarówka zużyje w tym czasie 18 kJ energii elektrycznej.

Zapewne używasz suszarki do włosów. Prawie każda z suszarek ma przełącznik, za pomocą którego możemy regulować temperaturę gorącego powietrza, a tym samym czas suszenia włosów. Oznacza to, że tę samą pracę, polegającą na wysuszeniu włosów, suszarka może wykonać w różnym czasie, czyli **może pracować z różną mocą**.

Po wstawieniu do wzoru określającego moc $P = \frac{W}{t}$ wyrażenia na pracę prądu elektrycznego otrzymujemy:

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

moc prądu = napięcie · natężenie prądu

$$P = U \cdot I$$

Sprawdźmy, czy otrzymana jednostka mocy prądu to 1 wat.

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

Jednostką mocy prądu jest wat (1 W). Moc jednego wata ma odbiornik, który pracę 1 J wykonuje w czasie 1 s.

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

Przykład 10.5

Oblicz moc żarówki z poprzedniego przykładu. Co oznacza otrzymany wynik?

Szukane: P

Rozwiązanie:

$$P = U \cdot I, \quad P = 12 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 60 \text{ W}$$

Odpowiedź: Moc żarówki wynosi 60 W. Oznacza to, że prąd płynący w żarówce w czasie 1 s wykonał pracę 60 J lub że w tym czasie żarówka zużyła 60 J energii elektrycznej.

Przykład 10.6

Jaką pracę wykona prąd przepływający przez czajnik elektryczny o mocy $P = 2000 \text{ W}$ w czasie $t = 3 \text{ min}$?

Rozwiązanie:

$$W = U \cdot I \cdot t = (U \cdot I) \cdot t = P \cdot t$$

$$W = 2000 \text{ W} \cdot 180 \text{ s} = 360\,000 \text{ J} = 360 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Prąd elektryczny w czasie 3 minut wykona pracę 360 kJ lub: czajnik zużywa w czasie 3 min 360 kJ energii elektrycznej.

Każdy odbiornik energii elektrycznej charakteryzuje się tzw. **danymi znamionowymi**, podanymi na tabliczce znamionowej lub bezpośrednio na odbiorniku. Oprócz znamionowego (czyli przewidzianego dla normalnej pracy odbiornika) napięcia podawana jest również moc znamionowa. I tak np. napis na żarówce „230 V, 100 W” oznacza, że żarówka jest przeznaczona do pracy przy napięciu 230 V i wówczas ma moc 100 W. Typowe wartości mocy niektórych odbiorników zamieszczono w tabeli 10.5.

Jeśli znamy moc znamionową urządzenia, np. czajnika elektrycznego, możemy obliczyć pracę wykonywaną przez prąd płynący przez grzałkę czajnika w określonym czasie, który tutaj oznaczmy grecką literą τ (tau). Symbolem t oznaczmy temperaturę wody w czajniku.

$$W = P \cdot \tau$$

Praca prądu zostaje zużyta na zwiększenie energii wewnętrznej wody w czajniku, co objawia się wzrostem jej temperatury. Praca ta jest więc równa ciepłu, które należy dostarczyć wodzie, by ją ogrzać o ΔT . Ciepło to wyrażamy wzorem:

$$Q = mc\Delta T$$

gdzie m jest masą wody w czajniku, c – ciepłem właściwym wody, ΔT – przyrostem temperatury wody. Zgodnie z zasadą zachowania energii (przy pominięciu strat):

$$W = Q$$

czyli

$$P\tau = mc\Delta T \quad (10.4)$$

Tabela 10.5. Moc różnych urządzeń elektrycznych

Rodzaj urządzenia	Moc prądu (W)
telewizor LED podczas czuwania	0,3
lampy LED	ok. 4–20
żarówki tradycyjne (w instalacji mieszkaniowej)	25–150
kuchenka mikrofalowa	800
odkurzacz	1600
suszarka do włosów	1000–2000
żelazko	ok. 2000
silnik elektryczny zespołu trakcyjnego Pendolino	5 664 000



Jeśli znamy moc P czajnika i zmierzmy czas τ ogrzewania masy m wody o ΔT stopni, możemy wyznaczyć doświadczalnie ciepło właściwe c wody.

Doświadczenie 10.3

Wyznaczamy ciepło właściwe wody za pomocą czajnika elektrycznego o znanej mocy.

Potrzebne przedmioty i przyrządy: czajnik elektryczny lub grzałka z tabliczką znamionową, naczynie o pojemności 1 litra, stoper, termometr.

Kolejne czynności:

- Do czajnika wlewamy 1 litr wody ($m = 1 \text{ kg}$).
- Mierzmy temperaturę początkową t_p wody w czajniku.
- Włączamy czajnik i równocześnie rozpoczynamy mierzenie czasu ogrzewania wody.
- Gdy temperatura wzrośnie mniej więcej o 30°C , wyłączamy czajnik, odczytujemy temperaturę końcową t_k oraz na stoperze czas ogrzewania τ .
- Wyniki pomiarów zapisujemy w zeszycie, w tabeli takiej jak poniżej.

$m \text{ (kg)}$	$t_p \text{ (}^\circ\text{C)}$	$t_k \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\tau \text{ (s)}$	$P \text{ (W)}$

Obliczenia:

Po przekształceniu wzoru (10.4) otrzymujemy ($\Delta T = \Delta t$):

$$c = \frac{P\tau}{m(t_k - t_p)}$$

Podstawiamy wartości wielkości fizycznych i wykonujemy obliczenia. Wynik należy podać z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Cyfry znaczące w wyniku uzyskanym z obliczenia numerujemy od lewej strony tego wyniku, rozpoczynając od pierwszej cyfry niebędącej zerem. Przećwiczmy zaokrąglanie

do dwóch cyfr znaczących. Na przykład w wyniku $c = 4131 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ dwie pierwsze cyfry

znaczące to 4 i 1. Po cyfrze 1 jest cyfra 3, czyli mniej niż 5. Gdy kolejną cyfrą po cyfrach znaczących jest mniej niż 5, wynik zaokrąglamy „w dół”, czyli w miejsca wszystkich po-

zostałych cyfr stawiamy zero: $c = 4100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. Gdyby kolejną cyfrą po cyfrach znaczą-

cych było 5 lub więcej, wynik zaokrąglilibyśmy „w górę”. Na przykład $c = 4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących to $c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

Uwaga: Duża ilość ciepła zostaje zużyta na ogrzanie czajnika (a nie wody), stąd wynik doświadczenia będzie dokładniejszy, jeśli użyjemy grzałki nurkowej.

Popatrz na licznik energii elektrycznej zainstalowany w twoim domu. Wartość zużytej energii elektrycznej odczytasz w kilowatogodzinach (kWh). **1 kWh odpowiada pracy urządzenia o mocy 1 kW w czasie 1 godziny.** Wobec tego:

$$\begin{aligned} 1 \text{ kWh} &= 1000 \text{ Wh} \\ 1 \text{ kWh} &= 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3\,600\,000 \text{ Ws} = \\ &= 3\,600\,000 \frac{\text{J}}{\text{s}} \cdot \text{s} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ} \\ (1 \text{ MJ} &= 1\,000\,000 \text{ J} = 10^6 \text{ J}) \end{aligned}$$



Przykład 10.7

Oblicz wartość i koszt energii zużytej przez laptop o mocy 50 W w czasie 2 godzin jego użytkowania, jeżeli cena 1 kWh energii elektrycznej wynosi 0,56 zł.

Dane: $P = 50 \text{ W}$, $t = 2 \text{ h}$, cena = 0,56 zł/1 kWh

Szukane: $W = E$, koszt zużytej energii

Rozwiązanie:

$$W = P \cdot t$$

$$W = 50 \text{ W} \cdot 2 \text{ h} = 100 \text{ Wh} = 0,1 \text{ kWh}$$

$$\text{koszt energii} = \text{cena 1 kWh} \cdot \text{liczba kWh} =$$

$$= 0,56 \frac{\text{zł}}{\text{kWh}} \cdot 0,1 \text{ kWh} \approx 0,06 \text{ zł}$$

Odpowiedź: Laptop wykonał pracę 0,1 kWh. Koszt zużytej energii wyniósł 0,06 zł.

Uwaga: Przy rozwiązywaniu podobnych zadań dowiedz się, jaka jest aktualna cena 1 kWh energii elektrycznej. Możesz ją odczytać na ostatnim rachunku za energię elektryczną.

Praca prądu elektrycznego w odbiorniku nie jest w całości zamieniana na ten rodzaj energii, o który nam głównie chodzi, czyli na tzw. energię użyteczną. I tak np. żarówkę skonstruowano po to, by otrzymać światło, ale większość dostarczanej energii zostaje zużyta na ogrzewanie żarówki i otoczenia. W mikserze praca prądu elektrycznego powinna być w jak największej części zamieniona na pracę silnika obracającego łopatkę

miksera. Ogrzewanie się przewodów, przez które płynie prąd, jest niekorzystnym skutkiem ubocznym.

Wielkością, która charakteryzuje odbiornik pod tym względem, jest jego sprawność (η), inaczej zwana wydajnością. Obliczamy ją następująco:

$$\eta = \frac{W_{\text{zamieniona w energię użyteczną}}}{W_{\text{całkowita wykonana w odbiorniku}}} \cdot 100\%$$

To pojęcie odnosi się także do pracy urządzeń mechanicznych.

Konstruktorzy współczesnych urządzeń elektrycznych wykorzystują nowoczesne technologie, które pozwalają znacznie zwiększyć sprawność urządzeń powszechnie stosowanych w gospodarstwach domowych. I tak na przykład tradycyjne żarówki mające sprawność rzędu kilku procent są zastępowane lampami LED (*light-emitting diode* – tzn. dioda emitująca światło), których sprawność wynosi ponad 90%. Lampy LED wykorzystuje się także jako lampki kontrolne i elementy świecące różnego rodzaju wyświetlaczy, a także w nowych konstrukcjach samochodów jako tzw. światła dzienne i światła STOP. Obecnie naukowcy pracują nad nowymi źródłami światła o niemal stuprocentowej sprawności. Używanie takich źródeł pozwoli zaoszczędzić dość dużo energii elektrycznej. Poza tym będą one miały dużą trwałość (około 10 tysięcy godzin świecenia) i pozwolą nadawać obiektom świecącym dowolne kształty. Przestaniemy więc używać lamp i żyrandoli. Świecić będzie np. sufit lub przezroczyste w ciągu dnia okno. Dawniej, gdy urządzenia grzewcze nie miały zamontowanych termostatów i np. przez grzałkę żelazka włączonego do sieci prąd płynął bez przerwy, było istotne, jaka jest moc kupowanego żelazka. Zbyt duża moc dawała zbyt wysoką temperaturę, co prowadziło do dużego zużycia prądu. Obecnie o oszczędzanie energii dbają producenci urządzeń elektrycznych – montują w nich różnego rodzaju termostaty i wyłączniki. Także dzięki kolejnym odkryciom zwiększającym sprawność tych urządzeń możemy oszczędzać energię.

Niezależnie od tego staraj się wyłączać zbędne oświetlenie, nie wkładaj ciepłych produktów do lodówki, gotuj w czajniku tylko tyle wody, ile potrzebujesz. Jeśli twoja rodzina jest wystarczająco zdyscyplinowana, możesz sprawdzić, ile energii uda się zaoszczędzić np. w ciągu tygodnia. W tym celu odczytaj stan licznika elektrycznego, zapisz go, a następnie powtórz odczyt za tydzień. Różnica to ilość energii zużytej przez twoją rodzinę w ciągu tygodnia. Odczytasz ją w kilowatogodzinach (kWh).

Podsumowanie

1. Praca prądu elektrycznego w danym odbiorniku jest równa iloczynowi napięcia U między jego zaciskami, natężenia prądu I w nim płynącego i czasu pracy t :

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

2. Jednostkami pracy prądu są džul (1 J), zwany też watosekundą (1 Ws), i kilowatogodzina (1 kWh).

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

3. Iloraz pracy prądu W i czasu t , w którym praca została wykonana, nazywamy mocą.

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

4. Moc odbiornika energii elektrycznej jest równa iloczynowi napięcia U między jego zaciskami i natężenia prądu I płynącego przez ten odbiornik.

$$P = U \cdot I$$

5. Jednostką mocy prądu jest wat (1 W).

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

6. Energia elektryczna ulega w odbiornikach zamianie na inne rodzaje energii, np. energię wewnętrzną, świetlną, fal akustycznych, mechaniczną.

Zadania i doświadczenia

1. Odczytaj dwa razy w odstępie dwóch dni wskazania licznika energii elektrycznej w swoim mieszkaniu. Na podstawie tych odczytów oblicz wartość i koszt wykorzystanej w ciągu tych dni energii elektrycznej. Oszacuj koszt energii zużytej w twoim mieszkaniu w ciągu 1 miesiąca.
2. Odczytaj dane znamionowe kilku odbiorników energii elektrycznej, np. żaróweczki stosowanej w latarce, kilku różnych żarówek podłączonych do instalacji domowej, żelazka lub czajnika elektrycznego. Zapisz te dane w zeszycie.
- *3. Jeśli w twoim domu używa się jeszcze tradycyjnych żarówek, poszukaj dwóch najbardziej różniących się mocą. Przyjrzyj się ich włóknom, gdy nie świecą. Czy są jednakowe? Oblicz opory R_1 i R_2 obu włókien.
4. Grzałkę o mocy 1000 W zanurzono w 1 litrze wody o temperaturze 20°C i włączono do sieci. Po 5,6 minuty woda zaczęła wrzeć. Oblicz ciepło właściwe wody.



Podsumowanie

■ Elektryczne wielkości fizyczne i związki między tymi wielkościami

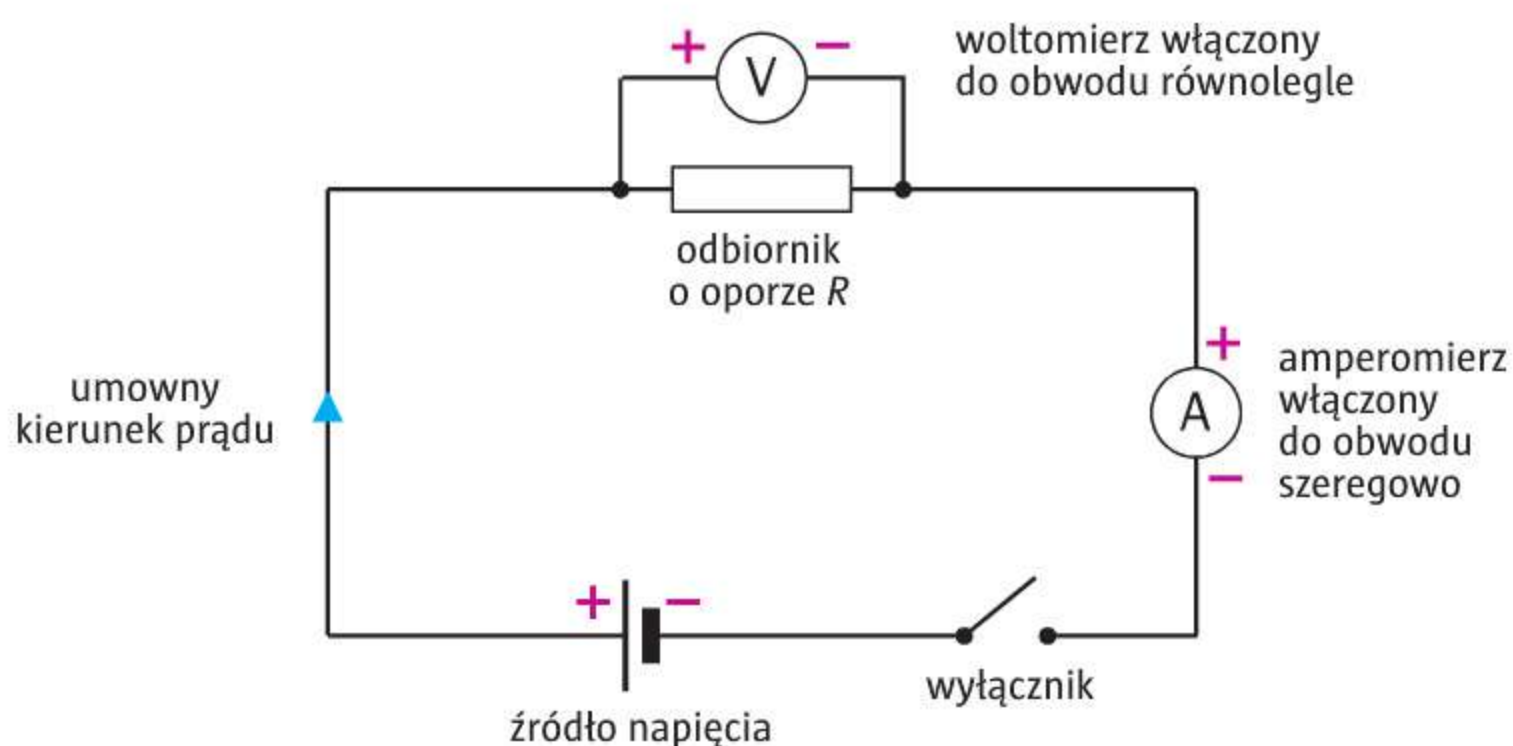
Wielkość	Symbol	Jednostka	Wzory
ładunek	q	1 C, 1 As, 1 Ah	$q = I \cdot t$
napięcie	U	1 V	$U = \frac{W}{q}$ (definicja napięcia)
natężenie prądu	I	1 A	$I = \frac{q}{t}$ (definicja natężenia prądu) $I \sim U$ (prawo Ohma)
opór odbiornika	R	1 Ω	$R = \frac{U}{I}$ (definicja oporu odbiornika)
praca prądu	W	1 J, 1 Ws, 1 kWh	$W = qU$ $W = It \cdot U = U \cdot It$ $W = IR \cdot It = I^2 Rt$ $W = U \cdot \frac{U}{R} \cdot t = \frac{U^2}{R} t$
moc prądu	P	1 W, 1 kW	$P = \frac{W}{t}$ (definicja mocy) $P = \frac{UI \chi}{\chi} = UI$ $P = IU = I \cdot IR = I^2 R$ $P = U \cdot I = \frac{U}{R} \cdot U = \frac{U^2}{R}$
energia elektryczna	E	1 J, 1 Ws, 1 kWh	$E = W$ (uzyskana energia równa pracy prądu) $E = Q$ (włożona energia równa przekazanemu ciepłu)

Prąd elektryczny w metalach to ukierunkowany ruch elektronów swobodnych.

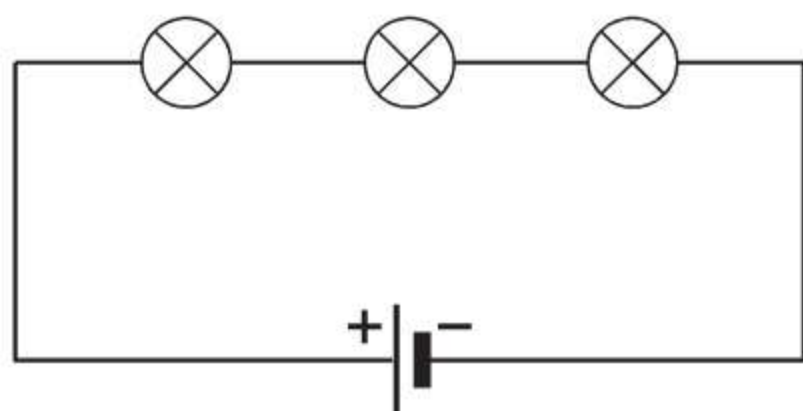
Warunkiem przepływu prądu jest istnienie między końcami obwodu napięcia elektrycznego.

Źródłami napięcia są ogniwa, baterie, akumulatory i prądnice (generatory).

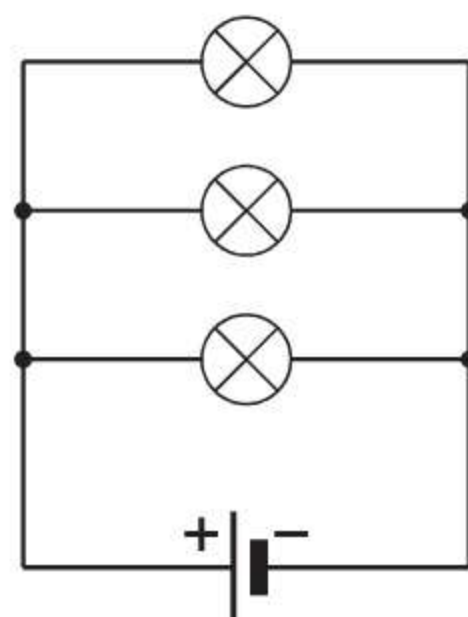
■ Obwód elektryczny do pomiaru oporu i mocy odbiornika



■ Przykłady łączenia szeregowego i równoległego odbiorników



żarówki połączone szeregowo



żarówki połączone równolegle

W sieci domowej odbiorniki są połączone równolegle.

Sprawdź się

1. Przez przekrój poprzeczny przewodnika stanowiącego element obwodu elektrycznego w czasie 3 s przepływa ładunek 6 C. Natężenie prądu przepływającego przez ten przewodnik jest równe

A. 1 A B. 2 A C. 3 A D. 4 A

2. Amperosekunda jest jednostką

A. natężenia prądu. B. czasu. C. ładunku. D. napięcia.

Tekst do zadań 3. i 4.

Obwód elektryczny składa się z opornika drutowego, zasilacza bateryjnego, amperomierza i woltomierza.

3. Zwiększenie napięcia na oporniku z 1,5 V do 7,5 V spowodowało wzrost natężenia prądu z 0,3 A do 1,5 A. Gdyby napięcie na oporniku zwiększyć z 1,5 V do 3 V, natężenie wzrosłoby z 0,3 A do

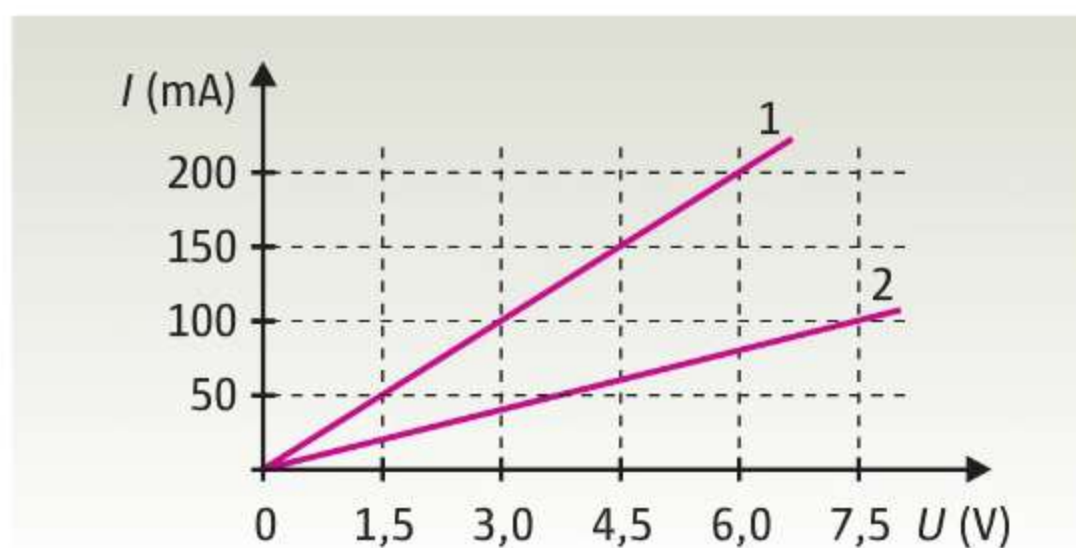
A. 0,3 A B. 0,4 A C. 0,5 A D. 0,6 A

4. Opór opornika drutowego z zadania 3. wynosi

A. 5 Ω B. 7 Ω C. 10 Ω D. 12 Ω

5. Wykresy przedstawiają zależność $I(U)$ dla dwóch odbiorników. Jeśli ich opory oznaczymy odpowiednio jako R_1 i R_2 , to iloraz $\frac{R_1}{R_2}$ będzie wynosił

A. 0,4 B. 0,5
C. 0,6 D. 0,8



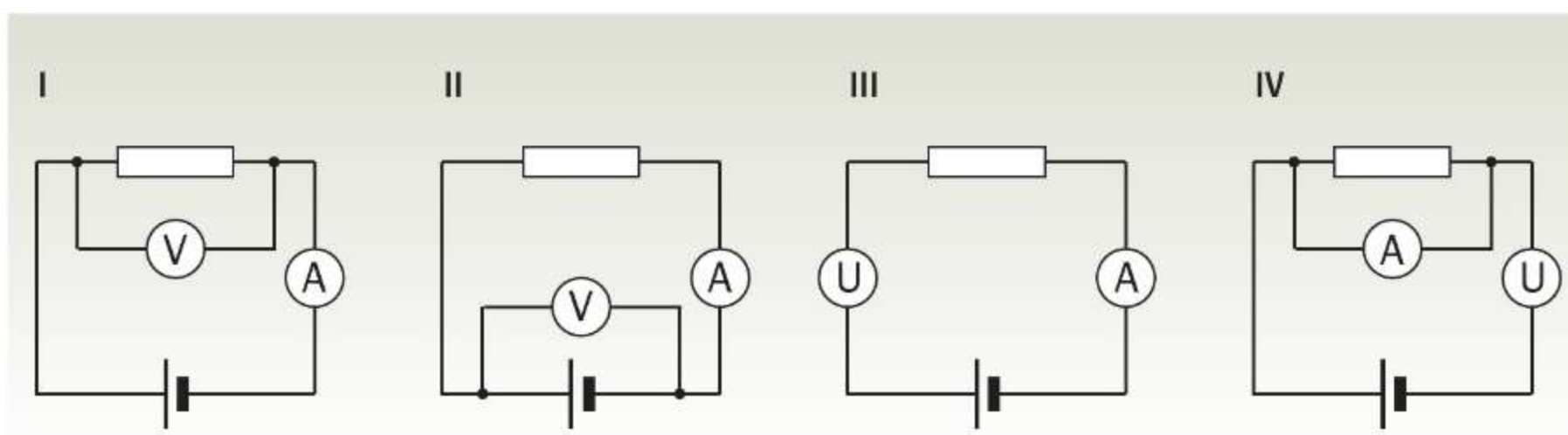
6. Grzałka ogrzewająca wodę przekazała jej w pewnym czasie 2000 J ciepła. Praca wykonana przez prąd elektryczny w tym czasie była równa

A. 1000 J B. 2000 J C. 3000 J D. 4000 J

7. Licznik elektryczny mierzy zużycie energii elektrycznej w naszych domach

A. w dżulach. B. w kilowatach.
C. w kilowatogodzinach. D. w amperogodzinach.

8. Przyrządy pomiarowe zostały poprawnie włączone do obwodu przedstawionego



A. tylko na schematach I i III.

B. tylko na schemacie II.

C. tylko na schemacie IV.

D. tylko na schematach I i II.

9. W celu ogrodzenia boiska szkolnego robotnicy wbili w ziemię betonowe słupki zbrojone stalowymi prętami. Jeden z prętów uszkodził izolację i dotknął pod ziemią przewodu linii energetycznej. Które z poniższych zdań jest prawdziwe?

I. Dotknięcie stalowego pręta na uszkodzonym słupku powoduje, że prąd elektryczny przepłynie przez ciało człowieka do ziemi. Stwarza to zagrożenie dla życia.

II. Niebezpieczeństwo porażenia prądem jest mniejsze, jeśli człowiek nosi buty z bardzo dobrego izolatora.

III. Niebezpieczeństwo porażenia prądem wzrasta w czasie deszczu.

IV. Dotknięcie stalowego pręta nie jest niebezpieczne.

A. Prawdziwe jest tylko zdanie IV.

B. Prawdziwe są tylko zdania I i II.

C. Prawdziwe są tylko zdania I i III.

D. Prawdziwe są zdania I, II, III.

10. Zbudowano grzejnik elektryczny o oporze $66\ \Omega$. Do obliczenia mocy tego grzejnika trzeba koniecznie znać

A. napięcie, do którego włączymy grzejnik, i natężenie prądu płynącego przez zwoje grzejnika.

B. tylko napięcie, do którego włączymy grzejnik, lub tylko natężenie prądu płynącego przez zwoje grzejnika.

C. ciepło oddawane przez grzejnik do otoczenia.

D. czas, w którym grzejnik może pracować bez przerwy.

11. W domowej sieci elektrycznej odbiorniki są połączone

A. wszystkie szeregowo.

B. wszystkie równolegle.

C. najwyżej trzy szeregowo i powstałe w ten sposób szeregi – równolegle.

D. w dowolny sposób.

Zadania problemowe

Zadanie 1.

Wymyśl i podaj opis doświadczenia, w którym za pomocą licznika elektrycznego wyznaczysz moc swojego żelazka.

Podaj sposób sprawdzenia poprawności otrzymanego wyniku.

Zadanie 2.

Do wyznaczenia ciepła właściwego wody za pomocą czajnika elektrycznego posłużono się wzorem:

$$c = \frac{P \cdot \tau}{m(t_k - t_p)}$$

gdzie: P – to moc czajnika odczytana z tabliczki znamionowej, τ – czas ogrzewania, m – masa wody, t_p i t_k – temperatura początkowa i końcowa wody.

Obliczona wartość c jest

A. zaniżona. B. zawyżona.

Uzasadnij swój wybór.

Zadanie 3.

Połowa poniższych zdań wyraża przyczynę, a połowa skutek. Narysuj w zeszycie tabelę, taką jak pokazana poniżej. Do lewej kolumny wpisz numery zdań wyrażających przyczynę, a do prawej odpowiadające im skutki.

1. Przełączenie samochodowych świateł mijania ($P = 50$ W) na światła długie (60 W).
2. Wzrost czasu ogrzewania.
3. Przełączenie żarówek z napięcia 230 V (sieć polska) na 110 V (sieć w USA).
4. Zwiększenie zużycia energii elektrycznej.
5. Oszacowanie rozpiętości skrzydeł największych ptaków.
6. Zmniejszenie natężenia prądu.
7. Zwiększenie masy wody w czajniku.
8. Odległość między drutami linii wysokiego napięcia.

Przyczyna	Skutek

11

O zjawiskach magnetycznych

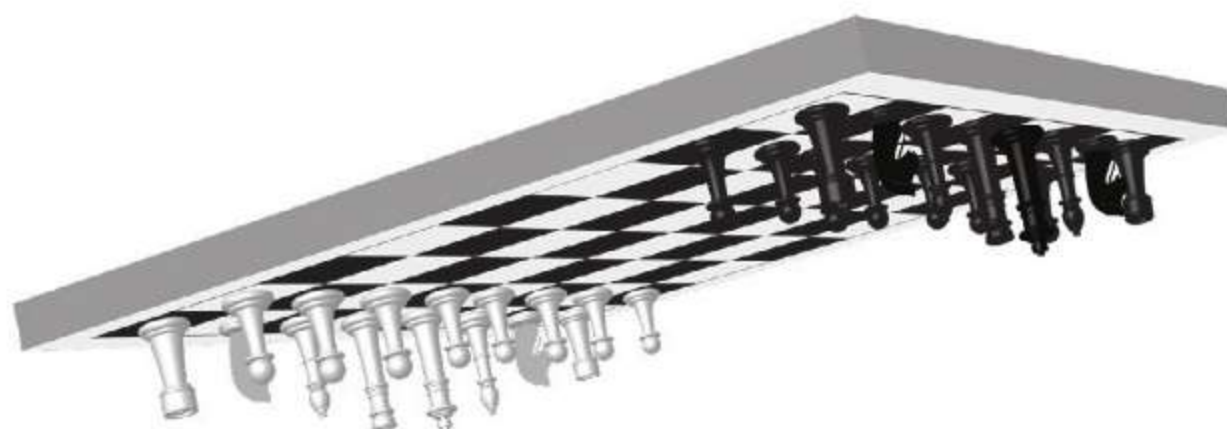
Zorza polarna to zjawisko świetlne obserwowane na dużych szerokościach geograficznych.

Ziemskie pole magnetyczne wychwytuje cząstki tzw. wiatru słonecznego, które powodują świecenie atomów obecnych w atmosferze ziemskiej.



11.1 Właściwości magnesów trwałych

W przyrodzie występuje pewna specyficzna ruda żelaza – magnetyt. Przez Chińczyków jest on nazywany kochającym kamieniem (tszu-szi), ponieważ „przyciąga żelazo, jak czuła matka przytula swoje dzieci”. Podobne właściwości mają magnesy (sztabkowe, igły magnetyczne i inne). Magnesy są stosowane w bardzo różnych dziedzinach. Często posługujemy się kompasem, którego najważniejszą częścią jest igła magnetyczna. Ustawia się ona zawsze tak, że jednym biegunem wskazuje północ geograficzną (dlatego ten biegun igły nazwano północnym), a drugim – południe (ten biegun nazwano południowym). Magnesów używa się też w głośnikach, do przyczepiania karteczek z informacjami na lodówkach, w zamkach magnetycznych, zabawkach, szachach magnetycznych, a także do łączenia obwodów elektrycznych.



Aby lepiej poznać właściwości magnesów, wykonajmy kilkuczęściowe doświadczenie.

Doświadczenie 11.1

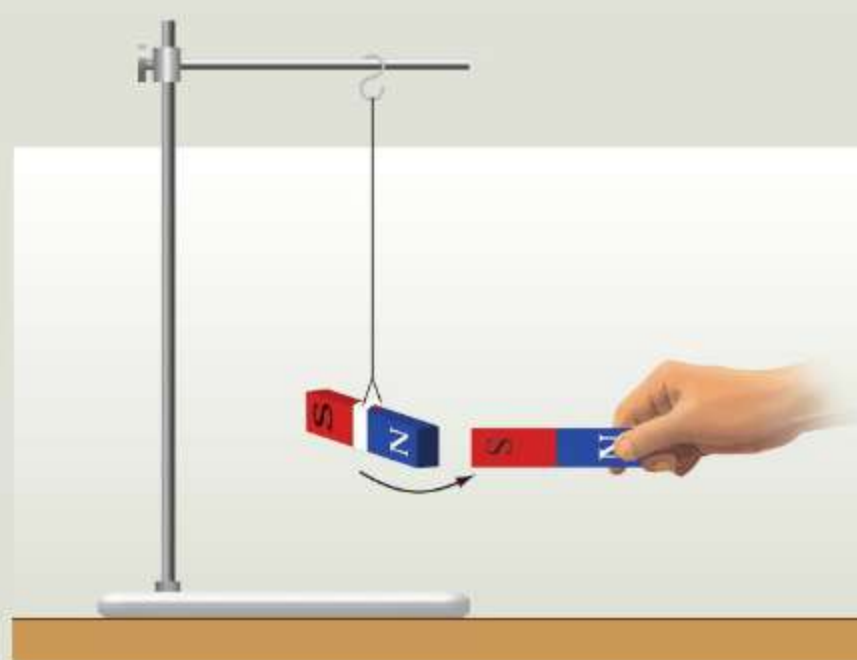
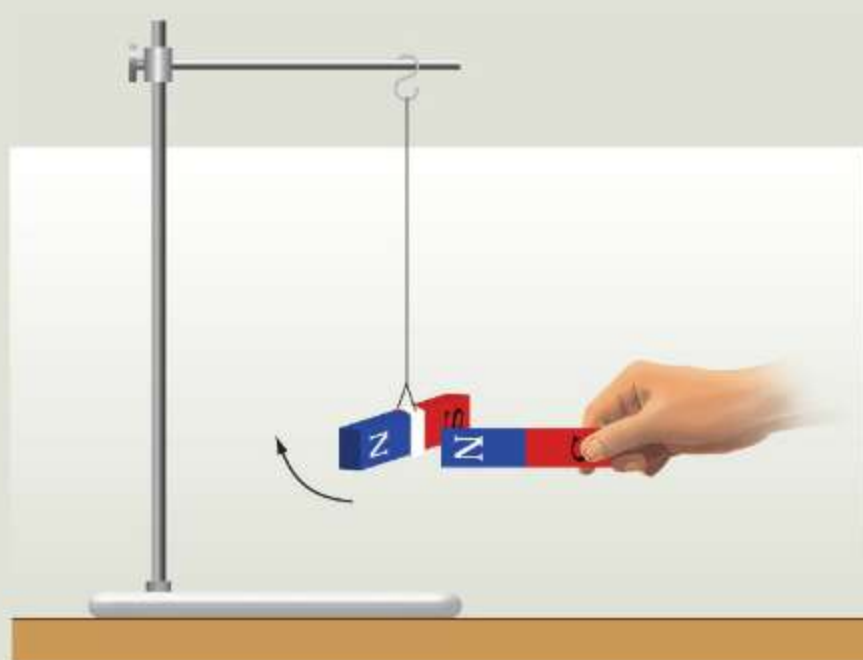
Badamy właściwości magnesów.

Potrzebne przedmioty: 2 magnesy sztabkowe, 2 statywy, stalowa śruba, kawałek drutu miedzanego, folia aluminiowa, stalowe gwoździe lub szpilki, opiłki żelazne.

Kolejne czynności:

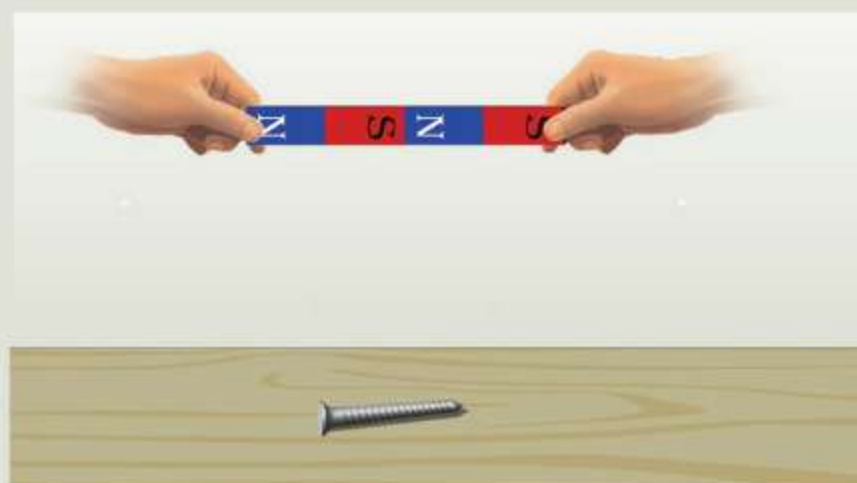
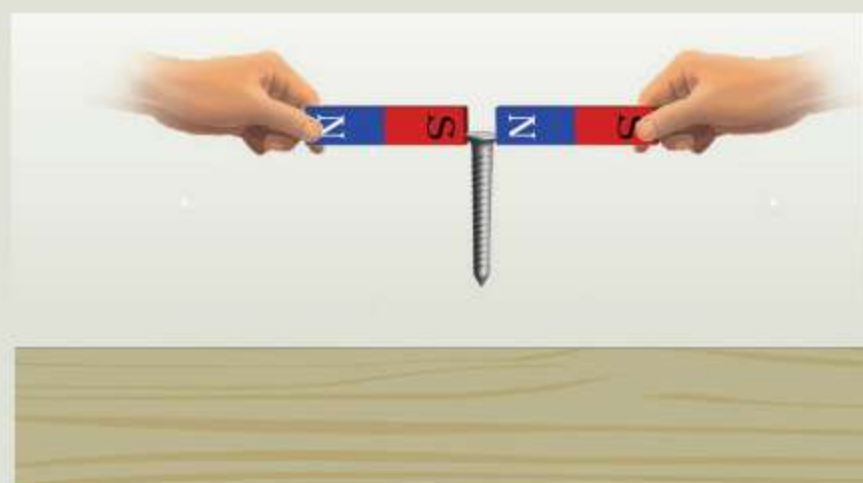
1.

- Jeden magnes wieszamy na statywie.
- Do bieguna północnego wiszącego magnesu zbliżamy drugi magnes: najpierw biegunem północnym, potem południowym.



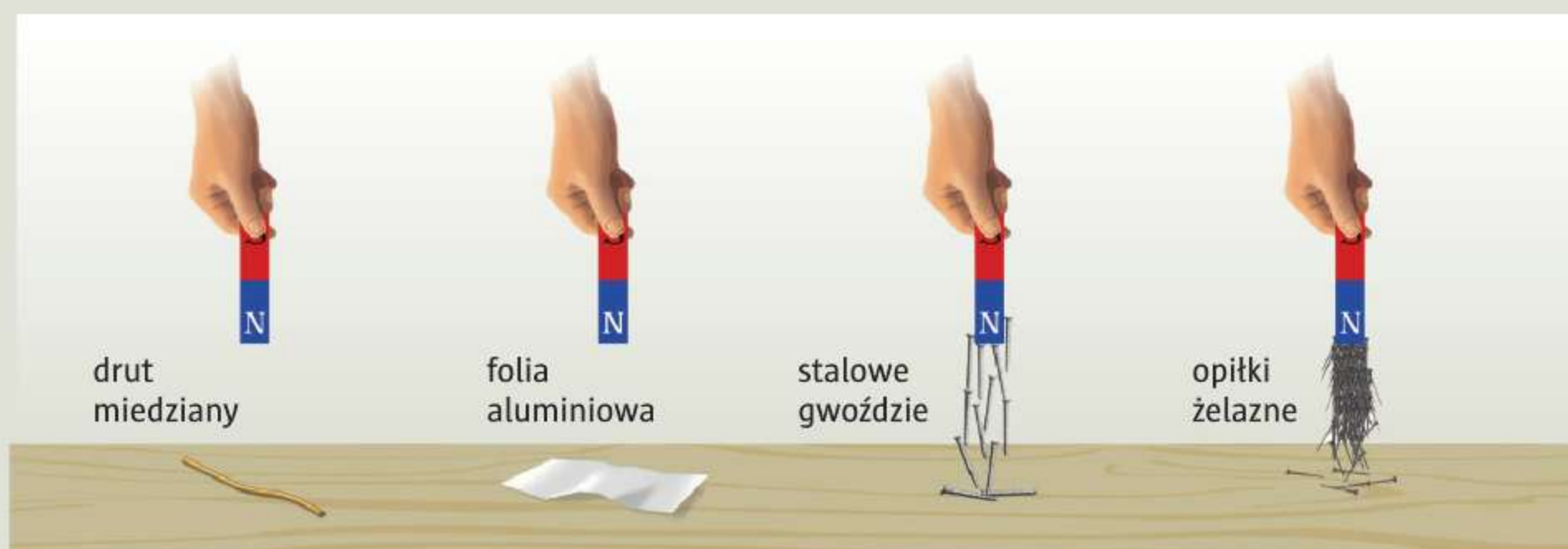
2.

- Między przeciwnymi biegunami magnesów umieszczamy stalową śrubę.
- Oba magnesy dosuwamy do siebie i tworzymy w ten sposób jeden długi magnes.



3.

- Magnes sztabkowy zbliżamy kolejno do położonych na stole: kawałka drutu miedzanego, kawałka folii aluminiowej, stalowych gwoździ lub szpilek i opiłków żelaznych.



W każdym przypadku obserwujemy skutki naszego postępowania.

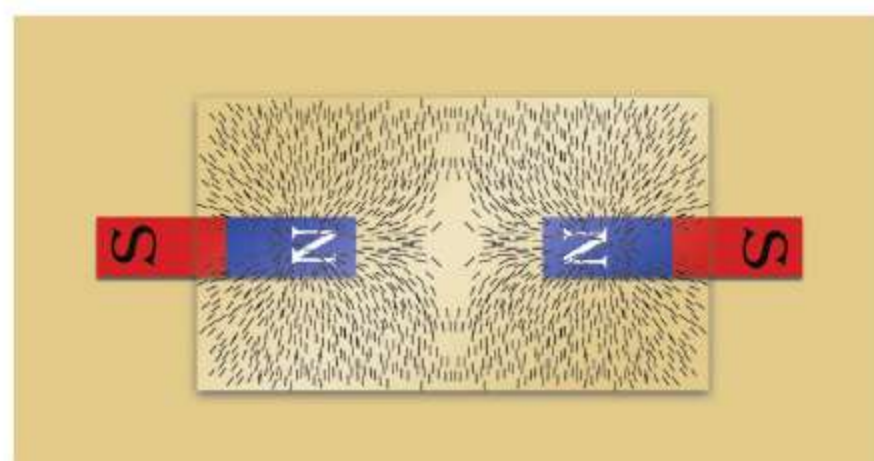
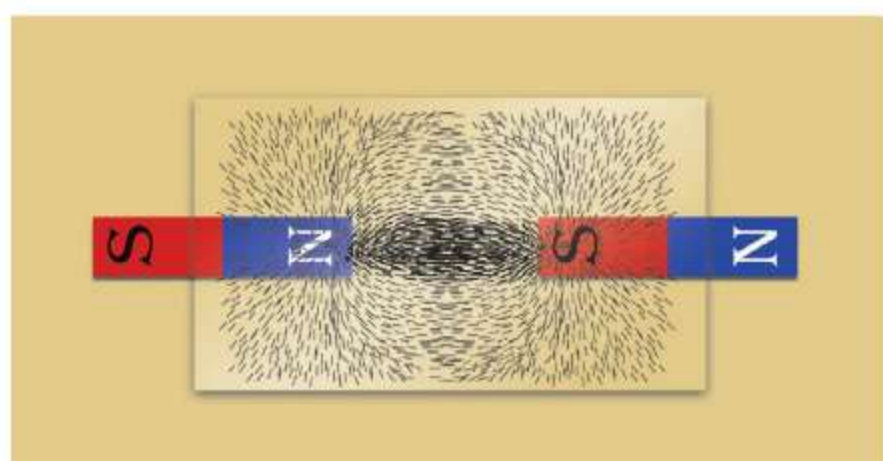
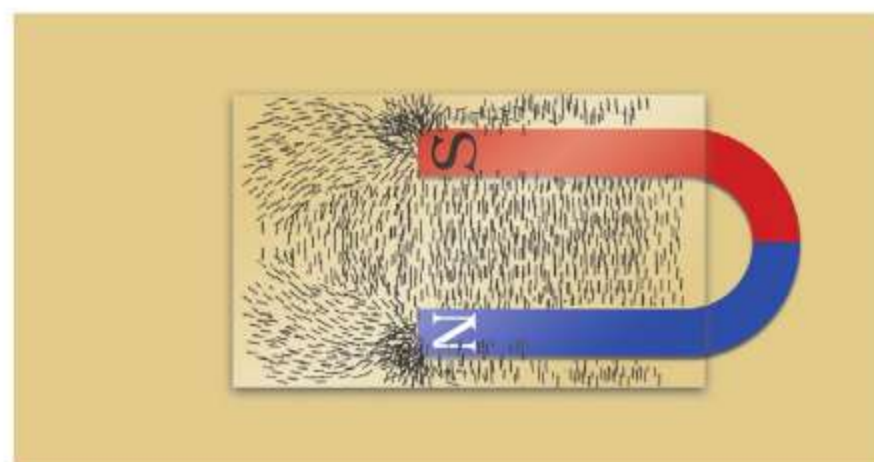
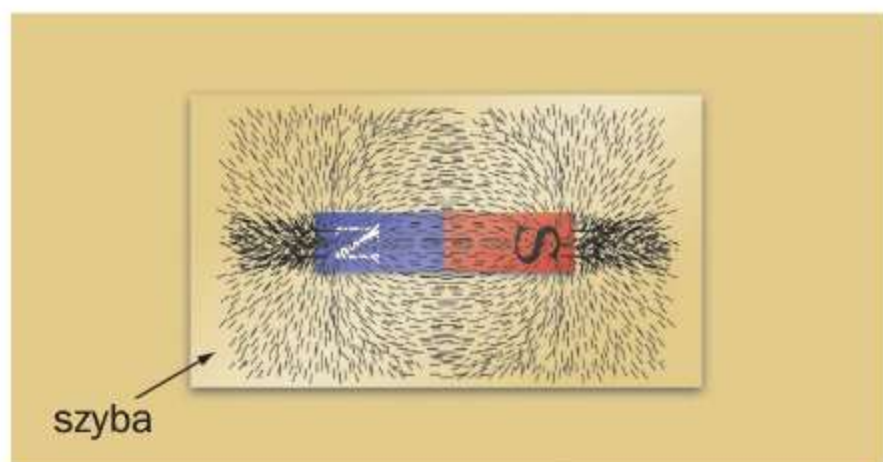
Wyniki:

1. W pierwszym przypadku obserwujemy wzajemne odpychanie się, a w drugim wzajemne przyciąganie się biegunów magnetycznych.
2. Po całkowitym dosunięciu magnesów śruba spada na stół.
3. Magnes przyciąga tylko stalowe gwoździe i szpilki oraz opitki żelazne.

Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań możemy stwierdzić, że:

- magnesy zbliżane do siebie biegunami jednoimiennymi odpychają się, a zbliżane biegunami różnoimiennymi się przyciągają;
- najsilniejsze oddziaływanie magnesu na przedmioty stalowe występuje przy jego biegunach, swoją środkową częścią magnes nie przyciąga tych przedmiotów;
- drobne przedmioty stalowe i żelazne umieszczone w pobliżu magnesu są przyciągane przez ten magnes;
- tylko niektóre substancje umieszczone w pobliżu magnesu są przez niego przyciągane (nie dotyczy to np. aluminium i miedzi).

Gdy badaliśmy pole elektrostatyczne (patrz rozdział 9.5), w pobliżu ciała naelektryzowanego umieszczaliśmy inne ciało o małych rozmiarach z ładunkiem elektrycznym (próbnym). Do zbadania właściwości przestrzeni wokół magnesu, czyli **pola magnetycznego**, można użyć igiełek magnetycznych lub opitków żelaza, które w tym polu stają się magnesami (magnesują się). Jeśli umieścimy magnes pod szklaną szybą, a na szybie rozsypimy opitki żelaza, to opitki ustawią się tak, jak pokazano na ilustracjach na s. 143. Magnes nadaje otaczającej go przestrzeni własność polegającą na tym, że na magnesiki działa siła zwana **siłą magnetyczną**. Wobec tego magnes wytwarza w swoim otoczeniu pole magnetyczne (jest źródłem pola), a pole to działa na umieszczone tam inne magnesy oraz przedmioty stalowe i żelazne.

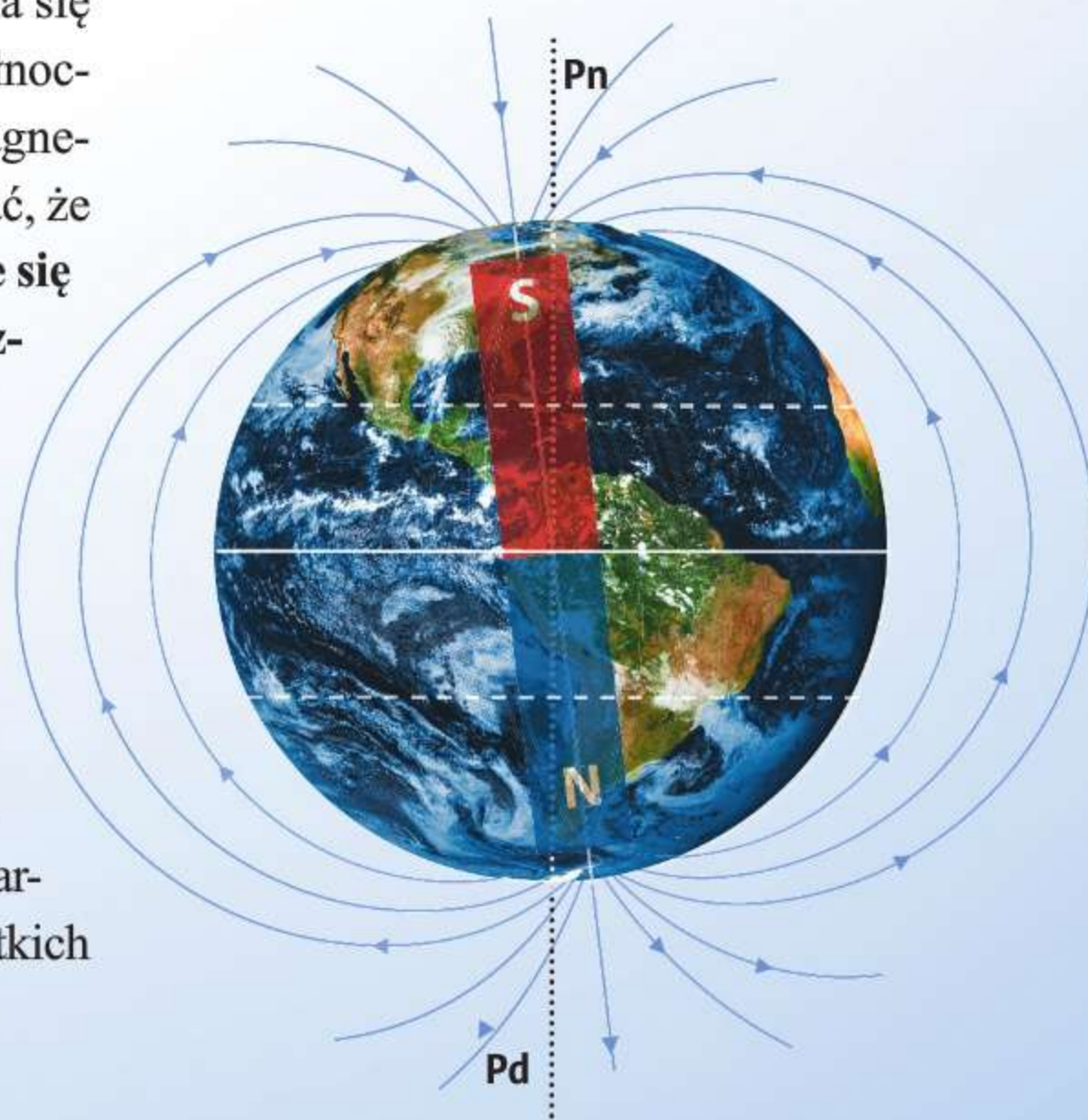
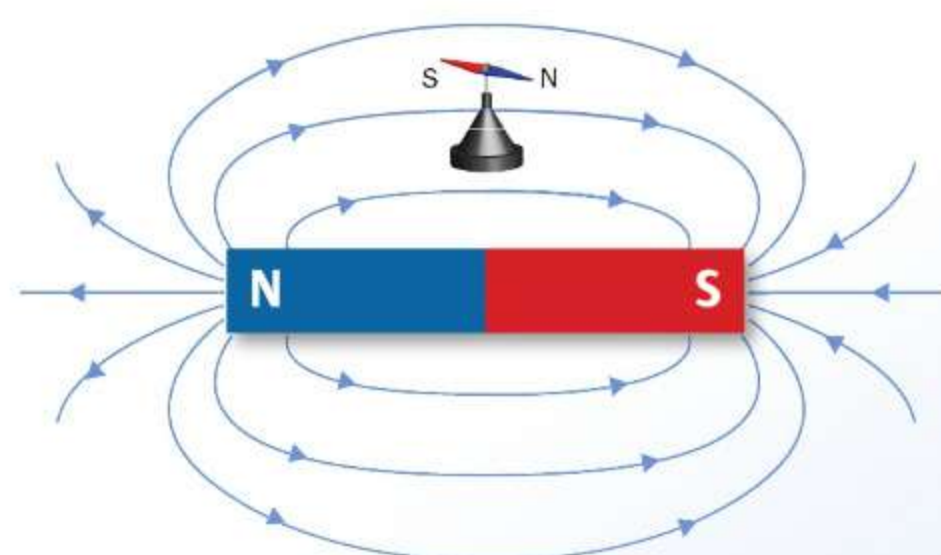


Igiełki magnetyczne i opiłki żelaza układają się w charakterystyczne linie zwane **liniami pola magnetycznego**. Liniom nadajemy zwrot w tę stronę, w którą zwraca się północny biegun igielki magnetycznej w tym polu (rys.).

Kula ziemską jest olbrzymim magnesem. Linie ziemskiego pola magnetycznego mają taki kształt, jakby we wnętrzu Ziemi znajdował się olbrzymi magnes sztabkowy.

Biegun północny igły magnetycznej ustawia się zawsze w stronę geograficznego bieguna północnego. Ponieważ bieguny różnoimienne magnesów przyciągają się, możemy wywnioskować, że **południowy biegun magnetyczny znajduje się w pobliżu północnego bieguna geograficznego**. Wzajemna odległość tych biegunów zmienia się z upływem czasu w zakresie od kilkuset do ponad tysiąca kilometrów. Odszukaj na mapie położenie biegunów magnetycznych Ziemi.

Magnesowanie się niektórych materiałów (np. zawierających tlenek żelaza) wykorzystuje się powszechnie do zapisywania danych na twarde dyskach, kartach kredytowych i wszystkich urządzeniach z tzw. paskiem magnetycznym.



Podsumowanie

1. Każdy magnes ma dwa bieguny: północny (N) i południowy (S). Bieguny jednoimienne magnesów odpychają się, a bieguny różnoimienne się przyciągają.
2. Drobne przedmioty stalowe i żelazne umieszczone w pobliżu magnesu są przez ten magnes przyciągane.
3. Magnetyt, magnes stały (czyli namagnesowany przedmiot stalowy), kula ziemiska wytwarzają wokół siebie pole magnetyczne, które możemy badać za pomocą igielki magnetycznej lub opiłków żelaznych.
4. Pole magnetyczne przedstawiamy na rysunku w postaci linii pola magnetycznego.
5. Pole magnetyczne w pobliżu Ziemi jest podobne do pola wytworzonego przez magnes sztabkowy.
6. W pobliżu północnego bieguna geograficznego znajduje się obecnie południowy biegun magnetyczny, a w pobliżu południowego bieguna geograficznego znajduje się północny biegun magnetyczny Ziemi.

Zadania i doświadczenia

1. Dlaczego karty kredytowej nie wolno trzymać w kieszeni razem z silnym magnesem?
2. Znajdź w internecie informacje o polskich ośrodkach naukowych zajmujących się badaniem magnetyzmu ziemskiego.

Doświadczenie 1.

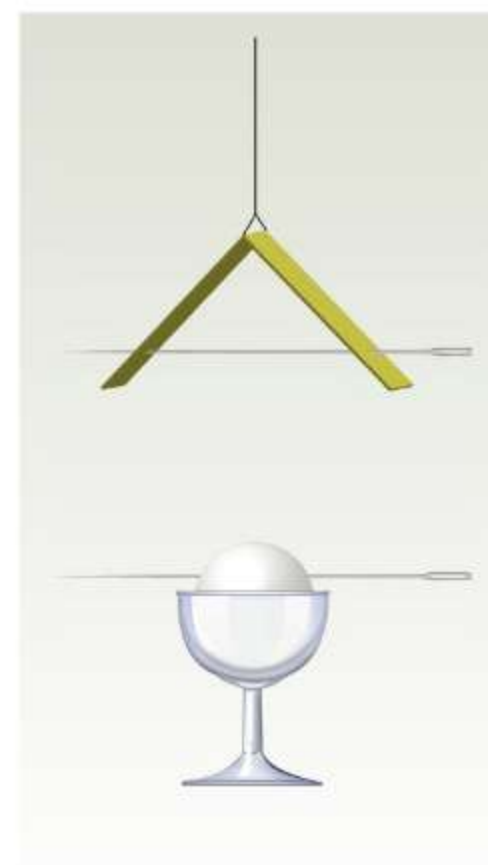
Jeśli masz w domu stary głośnik lub radio, zdemontuj je i wyjmij magnes. Przesuwaj magnesem po stalowym przedmiocie (np. nożyczkach, igle, drucie do robótek) **stałe w tę samą stronę**, by go namagnesować. Otrzymasz tzw. magnes trwały. Sprawdź, czy przyciąga on inne przedmioty żelazne i stalowe.

Doświadczenie 2.

Skonstruuj uchwyty na igłę przedstawione na rysunku. Namagnesuj igłę i przebij nią tekturkę lub piłeczkę pingpongową pływającą w kieliszku wypełnionym wodą. Przyjrzyj się ustawieniu igły, a następnie oznacz jej biegun północny (N) i południowy (S).

Doświadczenie 3.

Zaplanuj, przeprowadź i opisz doświadczenie, w którym za pomocą kompasu zidentyfikujesz bieguny magnesu trwałego.



11.2 Przewodnik z prądem jako źródło pola magnetycznego

Aż do XIX wieku sądzono, że zjawiska elektryczne i magnetyczne są zupełnie odrębnymi i niezależnymi zjawiskami. Dopiero duński fizyk Hans Christian Oersted (czyt. ersted) w 1820 roku przypadkowo zauważył, że igła magnetyczna znajdująca się w pobliżu piorunochronu zaczęła drgać w czasie silnej burzy. Skłoniło to uczonego do zbadania właściwości magnetycznych przestrzeni wokół przewodnika z prądem.

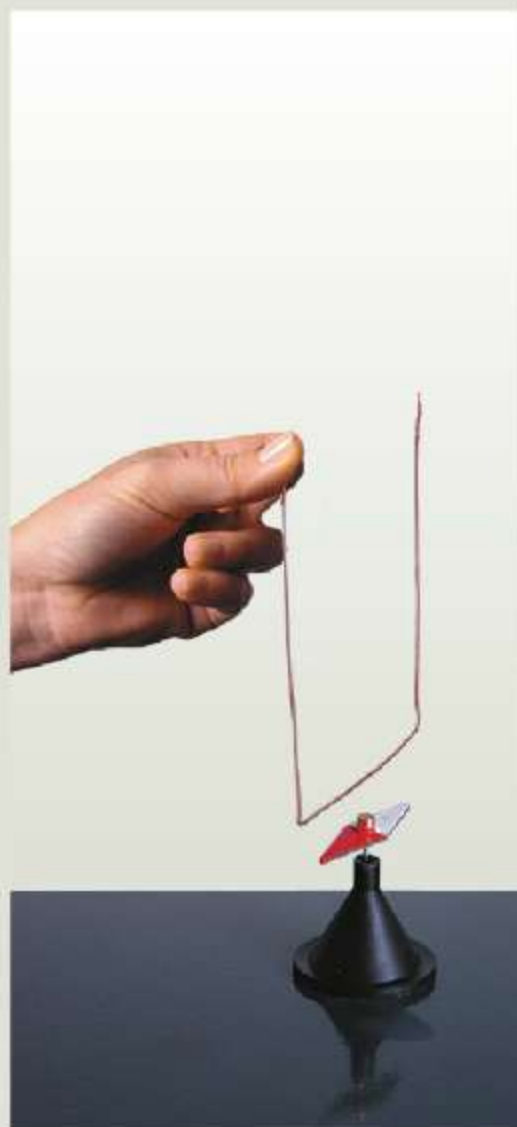
Doświadczenie 11.2

Badamy oddziaływanie przewodnika z prądem na igłę magnetyczną.

Potrzebne przedmioty: około 0,5 m miedzianego drutu, bateria płaska 4,5 V, igła magnetyczna lub kompas.

Kolejne czynności:

- Z drutu formujemy ramkę i zbliżamy ją do igły magnetycznej tak, by przewód był do niej równoległy.
- Następnie zakrzywione końce ramki zaczepiamy o bieguny baterii i obserwujemy zachowanie igły magnetycznej.
- Odczepiamy ramkę od baterii, a baterię obracamy tak, by końce ramki były połączone z biegunami przeciwnymi niż poprzednio.

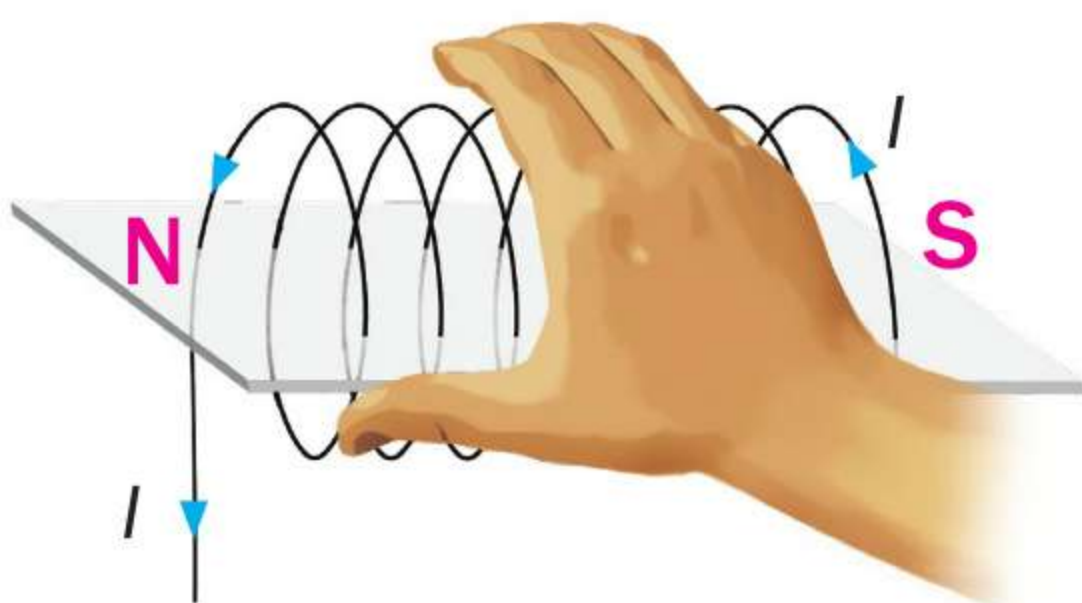
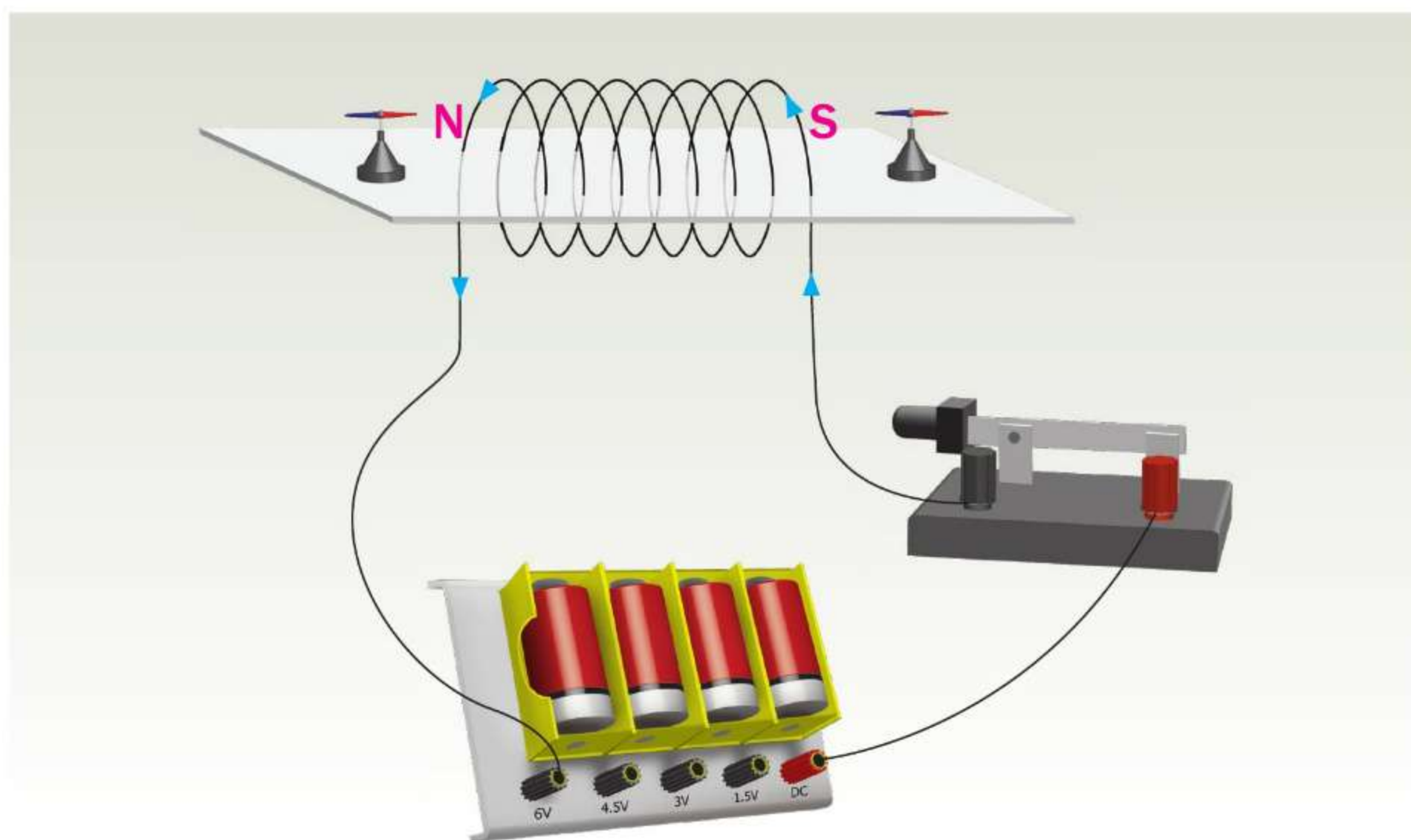


Wynik: Gdy przez ramkę płynie prąd elektryczny, igła magnetyczna wychyla się ze swojego pierwotnego położenia. Gdy zmienimy kierunek prądu w ramce, igła wychyla się w przeciwną stronę.

Wniosek: Wokół przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne, w którym na igłę magnetyczną działa siła.

Uwaga: Obwód elektryczny w tym doświadczeniu, jak i w następnych, zamykamy tylko na kilka sekund, by nie spowodować rozładowania baterii. Aby uzyskać w obwodzie większe natężenie prądu, należy dwie baterie płaskie połączyć szeregowo.

Skoro prostoliniowy przewód wytwarza pole magnetyczne, to wytwarza je także przewód zwinięty w kształcie zwojnicy. Zbadajmy pole magnetyczne wokół zwojnicy.



Na podstawie zaobserwowanego ułożenia igielki magnetycznej ustawianej w różnych miejscach w pobliżu zwojnicy możemy wskazać bieguny magnetyczne zwojnicy. Po stronie, w którą zwraca się biegun N igielki, znajduje się biegun S zwojnicy. Po stronie, w którą zwraca się biegun S igielki, znajduje się biegun N zwojnicy. Położenie tych biegunów możemy także określić, jeśli posłużymy się regułą prawej dłoni (rys.).

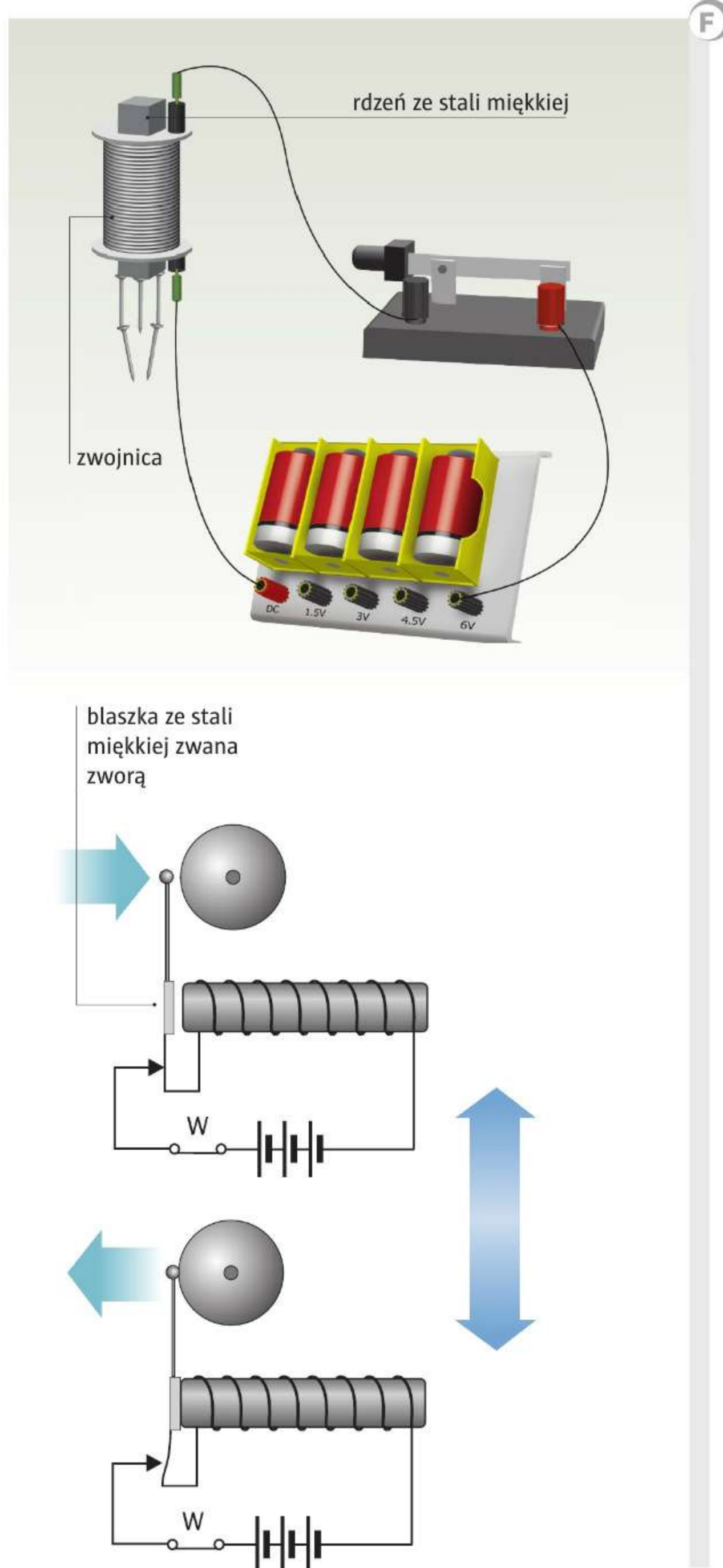
Jeżeli prawą dłoń obejmiemy zwojnicę tak, aby cztery palce były skierowane zgodnie z płynącym w zwojnicy prądem, to odchylony kciuk wskaże koniec zwojnicy, przy którym znajduje się jej biegun północny.

Reguła ta dotyczy także zwojnicy złożonej z jednego zwoju, czyli pierścienia.

Jest oczywiste, że w każdym przypadku prąd o większym natężeniu wytwarza w swoim otoczeniu silniejsze pole magnetyczne. Pole to słabnie w miarę oddalania się od przewodnika. Jeśli wewnątrz zwojnicy umieścimy stalowy rdzeń, to otrzymamy **elektromagnes** (rys.), który jest znacznie silniejszym magnesem niż pusta zwojnica. Rdzenie elektromagnesów wykonuje się z tzw. stali miękkiej lub z żelaza. Te dwie substancje magnesują się nietrwale, tzn. stają się magnesami tylko wtedy, gdy umieścimy je w polu magnetycznym, np. w zwojnicy, przez którą płynie prąd elektryczny. Po wyjęciu z niej tracą właściwości magnetyczne.

Elektromagnesy znalazły duże zastosowanie w technice, np. w słuchawkach telefonicznych i głośnikach. Na rysunku obok pokazano zastosowanie elektromagnesu w dzwonku elektrycznym.

Po zamknięciu obwodu wyłącznikiem W zwojnica staje się magnesem, przyciąga zworę i kulka uderza w czaszę dzwonka. Przyciągnięcie zwory przerywa przepływ prądu w obwodzie. Zwojnica przestaje przyciągać zworę, która odskakuje, i znowu obwód zostaje zamknięty. Ruchy zwory i uderzenia kulki w czaszę trwają dopóty, dopóki wyłącznik W zamyka obwód.



Podsumowanie

1. Własności magnetyczne wykazują: magnesy naturalne (głównie magnetyt), kula ziemską, namagnesowane przedmioty stalowe i żelazne, przewodniki, przez które płynie prąd elektryczny.
2. Przewodnik z prądem ustawiony nad igłą magnetyczną równolegle do niej powoduje zmianę położenia igły.
3. Zwojnica wytwarza pole magnetyczne podobne do pola magnesu sztabkowego. Położenie biegunów tego pola wyznaczamy za pomocą reguły prawej dłoni.
4. Elektromagnesem nazywamy zwojnicę, wewnątrz której umieszczono rdzeń ze stali miękkiej lub żelaza. Elektromagnes jest tym silniejszym magnesem, im ma więcej zwojów i im większe jest natężenie prądu płynącego przez jego zwoje.

Zadania i doświadczenia

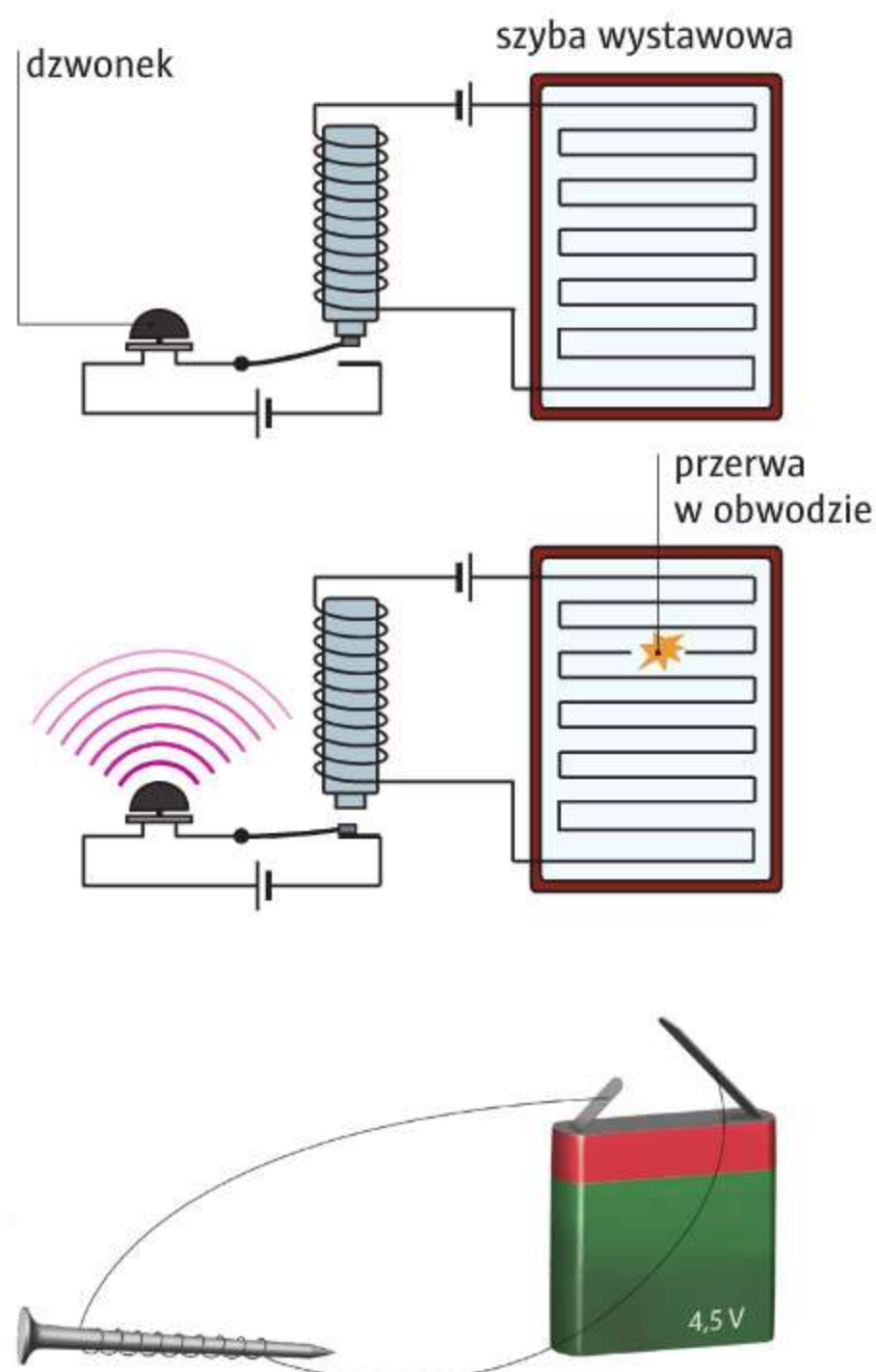
1. Szyby wystawowe ochrania się specjalnymi systemami alarmowymi. W szkłe zatapia się niewidoczne przewody połączone z elektromagnesem, dzwonkiem i źródłem napięcia. Przeanalizuj poniższe dwa rysunki i wyjaśnij zasadę działania alarmu.

Doświadczenie 1.

Wykonaj elektromagnes. Masz do dyspozycji: izolowany przewód o długości około 1 m, długi, stalowy gwóźdź i baterię płaską. Przewód nawiń na gwóźdź, a jego końcówki odizoluj i podłącz do baterii (rys.). Elektromagnes skieruj teraz w stronę ułożonych na stole: spinacza biurowego, monety, kawałka folii aluminiowej i drucika miedzianego. Co zauważasz?

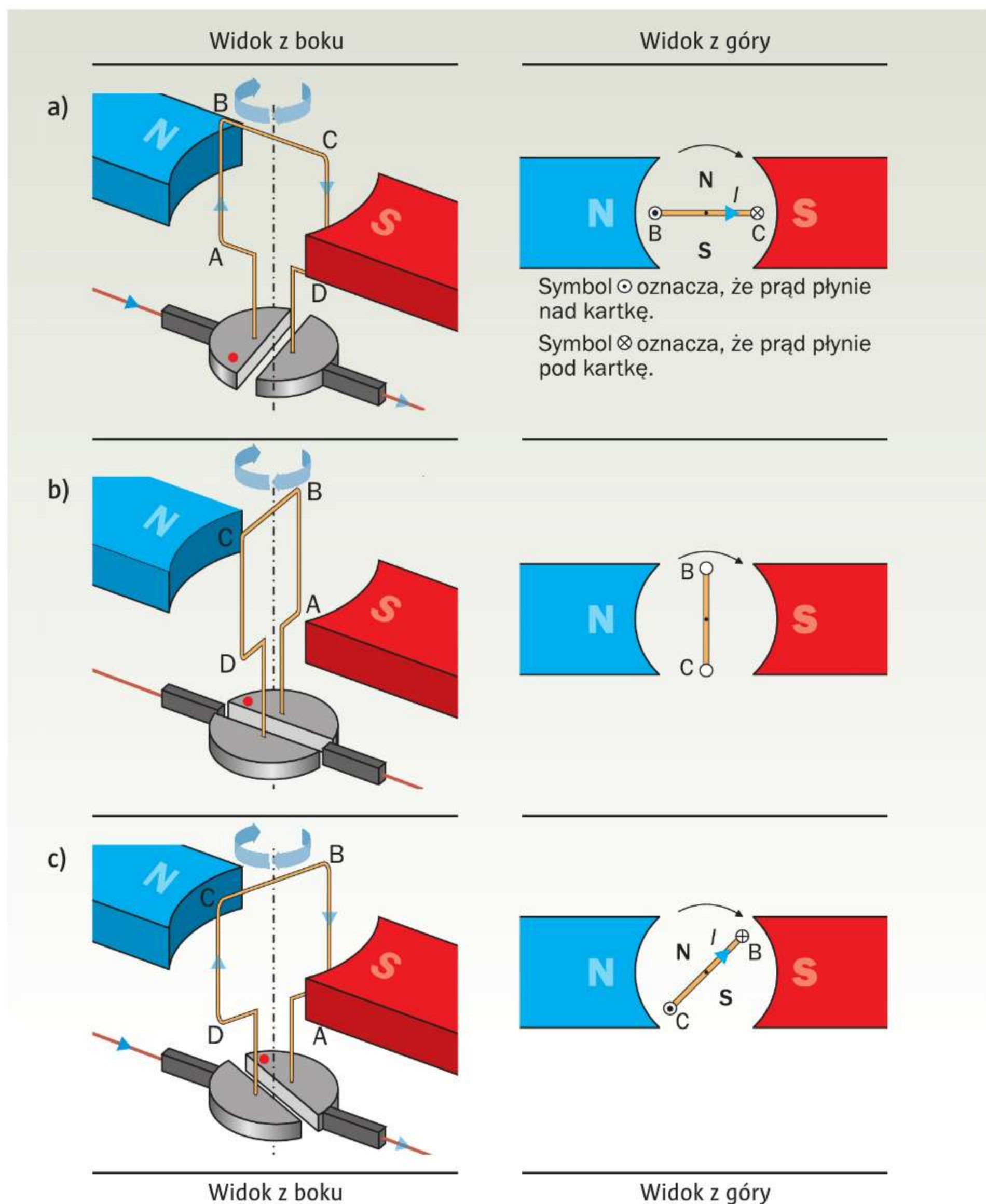
Doświadczenie 2.

Powtórz doświadczenie 11.2. Posłuż się ramką z drutu, płaską baterią i wykonaną przez siebie igłą magnetyczną. Prawą dłoń ustaw **nad ramką** tak, by cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek prądu w jej poziomej części, a kciuk tworzył z nimi kąt 90° . Sprawdź, w stronę którego bieguna igły odchylony jest kciuk. Sformułuj regułę prawej dłoni, podobnie jak to zrobiliśmy w przypadku zwojnicy.



11.3 Silnik elektryczny na prąd stały

Silnik elektryczny to urządzenie, w którym kosztem energii elektrycznej uzyskujemy energię mechaniczną. Model silnika przedstawiono na rysunkach.



F

Działanie silnika jest skutkiem oddziaływania magnesów i elektromagnesów zasilanych prądem o stałym natężeniu i kierunku. Taki rodzaj prądu elektrycznego nazywa się **prądem stałym**.

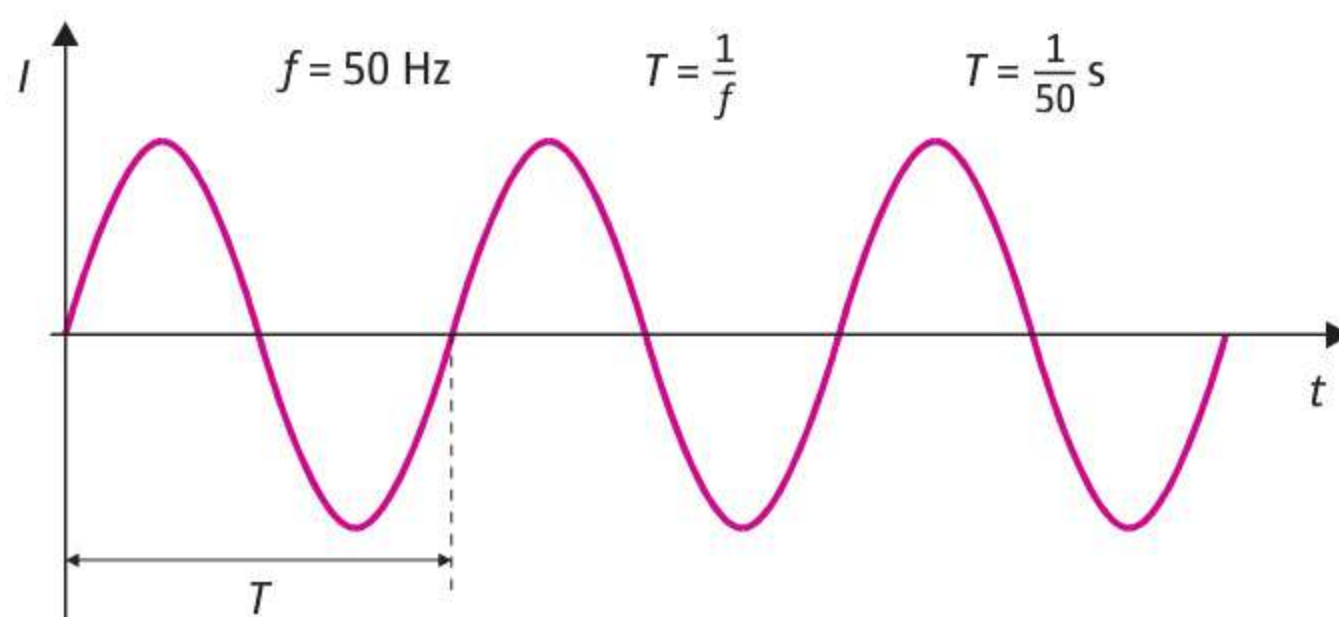
Ramka mająca możliwość obracania się (jest to model tzw. wirnika elektromagnesu, składającego się z wielu zwojów) jest umieszczona między biegunami magnesu stałego. W położeniu a) płynący przez ramkę prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne, którego biegun N jest za ramką, a biegun S przed ramką. Bieguny jednoimienne ramki i magnesu stałego odpychają się wzajemnie, a bieguny różnoimienne się przyciągają, więc ramka obraca się w zaznaczonym kierunku.

Dalszy obrót ramki jest możliwy dzięki komutatorowi i bezwładności wirnika. Urządzenie to tworzą dwa odizolowane od siebie półpierścienie osadzone na tej samej osi co ramka. Po komutatorze ślizgają się dwie metalowe (lub węglowe) „szczotki” połączone odpowiednio z biegunami (+) i (–) źródła napięcia. Za pośrednictwem szczotek i komutatora do ramki jest doprowadzany prąd elektryczny.

W położeniu b) przez ramkę nie płynie prąd (szczotki nie dotykają półpierścieni), ale ramka mija to położenie (bo jest rozpędzona), po czym zaczyna przez nią płynąć prąd w przeciwną stronę (szczotki komutatora stykają się z innymi półpierścieniami). Teraz po tej stronie ramki, po której był biegun północny, pojawia się biegun południowy, i na odwrót. Dzięki temu ramka może nadal poruszać się w tę samą stronę.

Prądem stałym zasilane są silniki tramwajów i lokomotyw elektrycznych. Prądem stałym wytwarzanym w akumulatorach są zasilane rozruszniki samochodowe i silniki samochodowych wycieraczek.

Prąd elektryczny, którego używamy w naszych domach, jest **prądem przemiennym**. Okresowo zmieniają się jego natężenie i kierunek.



Sposób wytwarzania prądu, którego natężenie i kierunek ulegają zmianie, wyjaśnimy w następnym rozdziale.

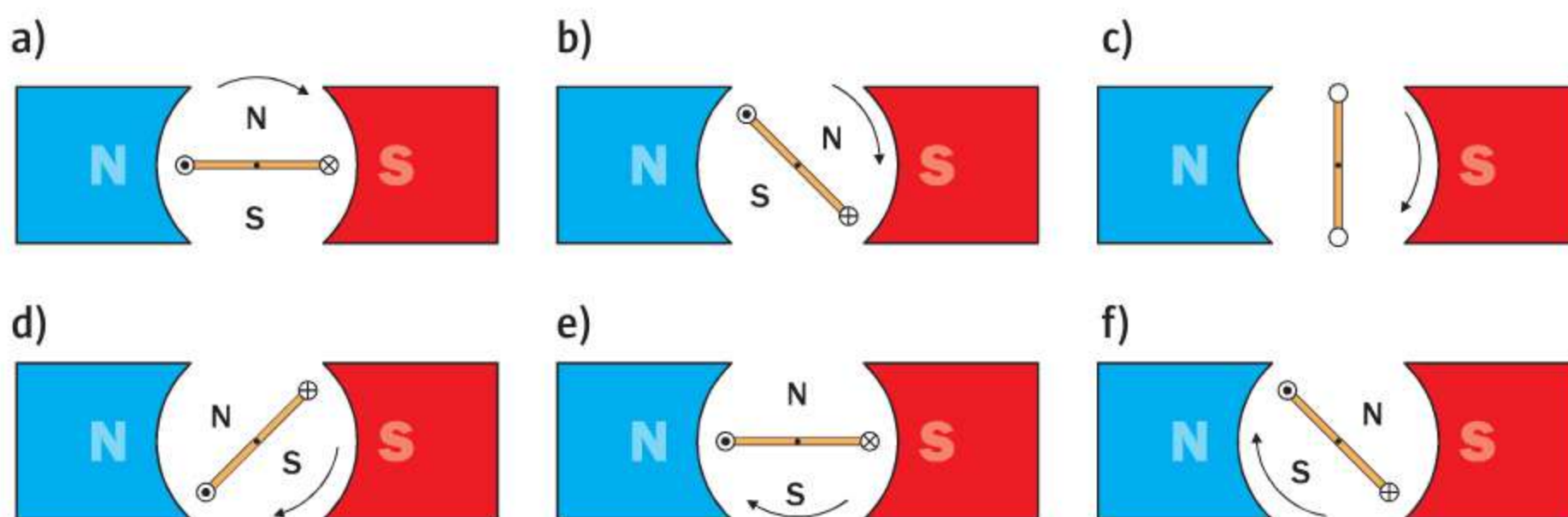
Silnik zasilany prądem przemiennym działa podobnie jak silnik prądu stałego, tzn. na zasadzie wzajemnego oddziaływania biegunów magnesów i elektromagnesów. Wszystkie urządzenia w naszych domach, w których kosztem energii elektrycznej jest wykonywana praca, mają taki silnik. Są to miksery, wentylatory, odkurzacze, suszarki do włosów, kosiarki elektryczne.

Podsumowanie

1. Oddziaływanie magnesów z elektromagnesami zostało wykorzystane do konstrukcji silnika elektrycznego.
2. W silniku energia elektryczna zamienia się na energię mechaniczną ruchu obrotowego wirnika.
3. Domowa sieć energetyczna jest zasilana prądem przemiennym o częstotliwości 50 Hz.

Zadania i doświadczenia

1. Prześledź dokładnie kolejne rysunki i wskaż siły wzajemnego przyciągania oraz odpychania biegunów, powodujące ruch ramki.



2. Sporządź rysunek, który przedstawiałby kolejną sytuację i byłby oznaczony literą g.

Doświadczenie 1.

Jeśli masz dostęp do internetu, znajdź modele silników na prąd stały. Zbuduj jeden z przedstawionych tam silników i zaprezentuj jego działanie na lekcji.

*11.4 Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

Jeśli prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne, to nasuwa się pytanie, czy pole magnetyczne może spowodować przepływ prądu.

Odpowiedź na to pytanie znalazł w 1831 roku angielski uczony Michael Faraday, który odkrył zjawisko **indukcji elektromagnetycznej**. Wykazał on, że można wytworzyć prąd elektryczny w obwodzie, ale **tylko podczas dokonywania zmiany pola magnetycznego** obejmowanego przez ten obwód.

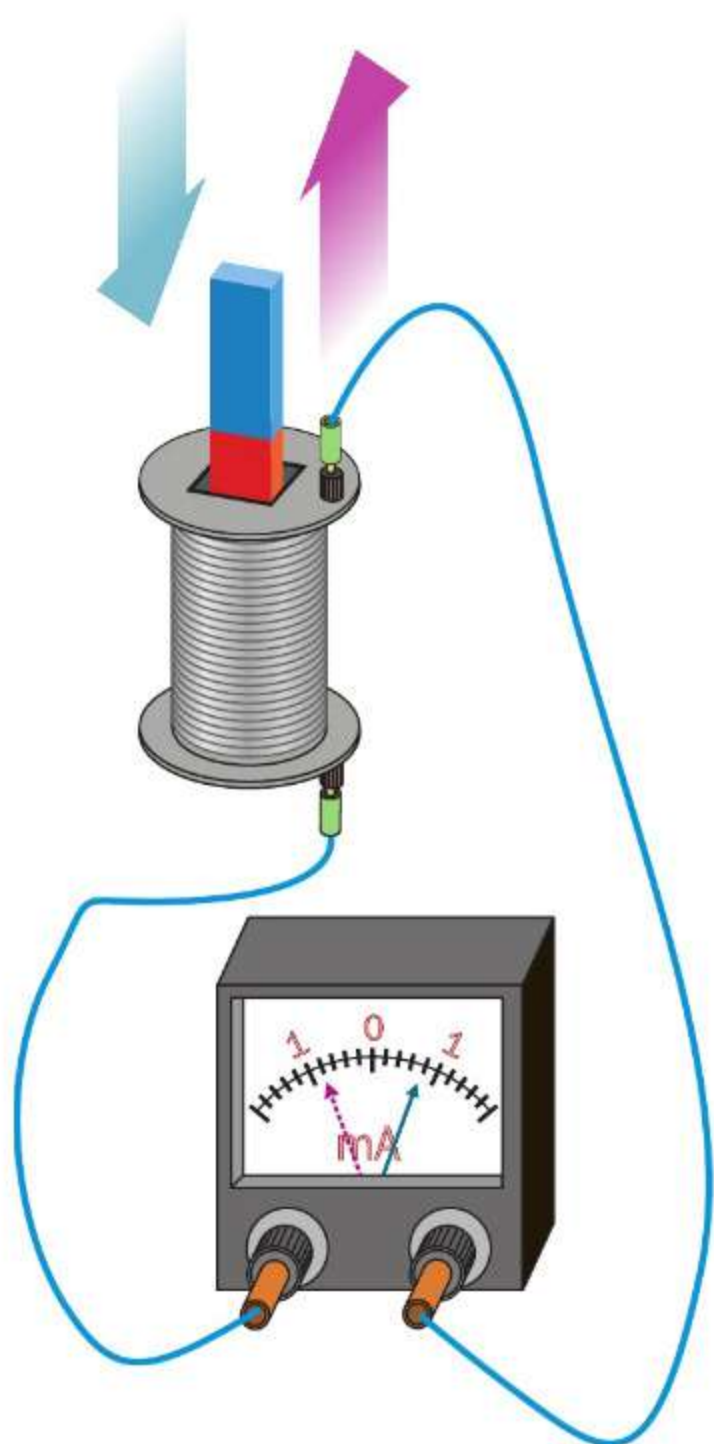
Aby zaobserwować to zjawisko, należy przygotować zwojnicę, magnes sztabkowy i miliamperomierz z zerem na środku skali. Po zmontowaniu takiego obwodu elektrycznego jak na rysunku obserwujemy zachowanie się wskazówki miliamperomierza podczas zbliżania lub oddalania magnesu.

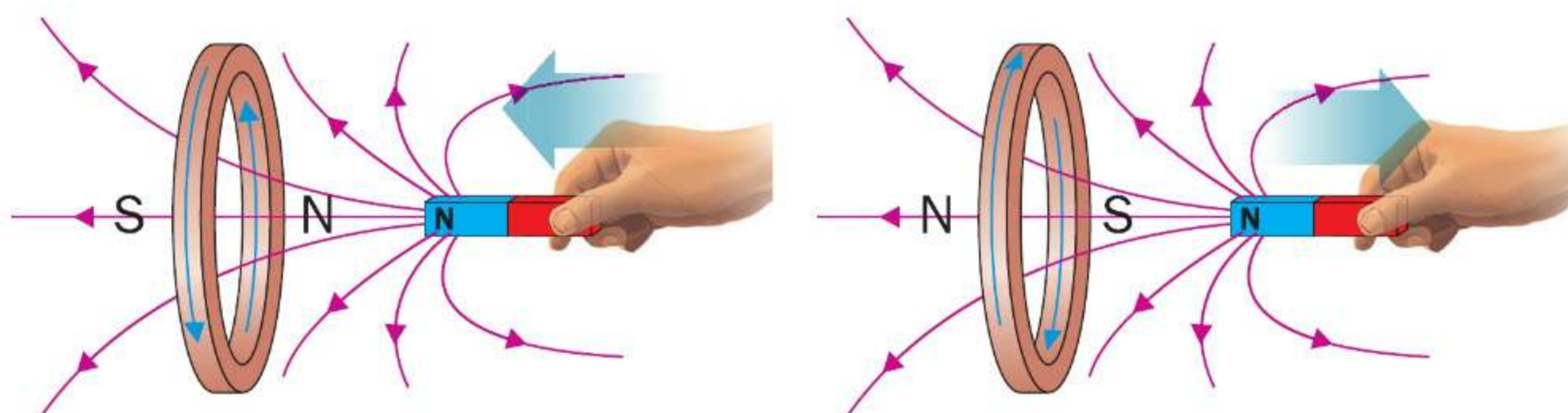
Uwaga: po zaobserwowaniu kierunku początkowego wychylenia wskazówki (np. podczas wsuwania magnesu) należy chwilę odczekać, aż wahania wskazówki ustaną, i dopiero wtedy wysunąć magnes ze zwojnicy.

Każdemu ruchowi towarzyszy wychylenie wskazówki miliamperomierza. Jeżeli magnes wsuwamy do zwojnicy, to wskazówka wychyla się w jedną stronę, a gdy go wysuwamy, wychyla się w stronę przeciwną. Im ruch jest szybszy, tym większe jest wychylenie wskazówki. Kierunki początkowego wychylenia wskazówki amperomierza zmieniają się na przeciwne, jeśli odwrócimy magnes o 180° . Jeżeli magnesu nie przesuwamy względem zwojnicy, wówczas prąd w zwojnicy nie płynie.

Jak wiesz, prąd elektryczny w przewodniku polega na uporządkowanym ruchu elektronów. Wprawienie elektronów w taki ruch wymaga wykonania pracy. Kto więc i w jaki sposób wykonuje tu pracę nad elektronami, dostarczając im energii? Aby to wyjaśnić, rozważmy metalowy pierścień obrazujący jeden zwój zwojnicy.

Jeśli do pierścienia (rys. na następnej stronie) zbliżamy biegun północny magnesu, **w pierścieniu płynie prąd elektryczny o takim kierunku, by od strony zbliżanego bieguna N powstał odpychający go biegun N**. Zbliżanie magnesu wymaga wtedy wykonania pracy, ponieważ jednocześnie bieguny odpychają się wzajemnie.





Jeśli magnes będziemy odsuwać, kierunek prądu w pierścieniu się zmieni. Od strony oddalanego bieguna N magnesu powstanie biegun S i oddalanie znowu będzie wymagało wykonania pracy.

W obu przypadkach podczas przesuwania magnesu wykonujemy pracę, która powoduje ukierunkowany ruch elektronów, czyli prąd elektryczny. Elektrony uzyskują energię dzięki pracy wykonanej przez nas przy poruszaniu magnesem. Podobne rozumowanie możemy przeprowadzić dla magnesu zbliżanego do pierścienia biegunem S. Im szybszy jest ruch magnesu, tym większa energia przekazywana elektronom w jednostce czasu i większe natężenie prądu w pierścieniu. Jeśli magnesu nie poruszamy względem pierścienia, nie jest wykonywana praca i prąd w pierścieniu nie płynie. Prąd powstający w zjawisku indukcji magnetycznej nosi nazwę **prądu indukcyjnego**.

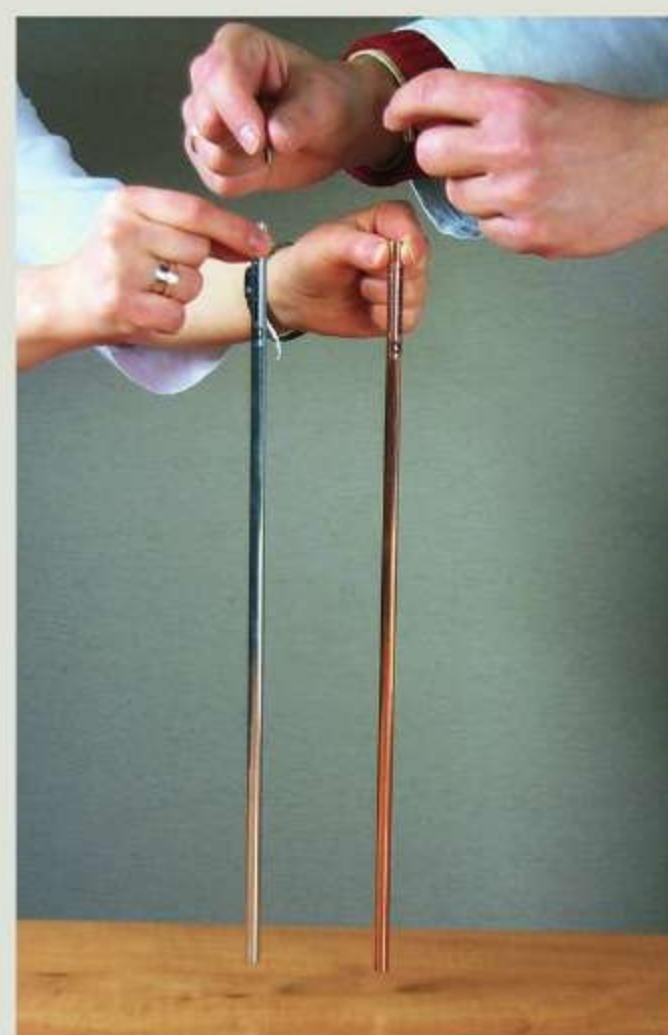
Doświadczenie 11.3

Obserwujemy zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

Potrzebne przedmioty: Jednakowej długości rurki: miedziana, aluminiowa i plastikowa, 2 walce mosiężne i 2 magnesy w kształcie walców o średnicy mniejszej niż średnica wewnętrzna rur.

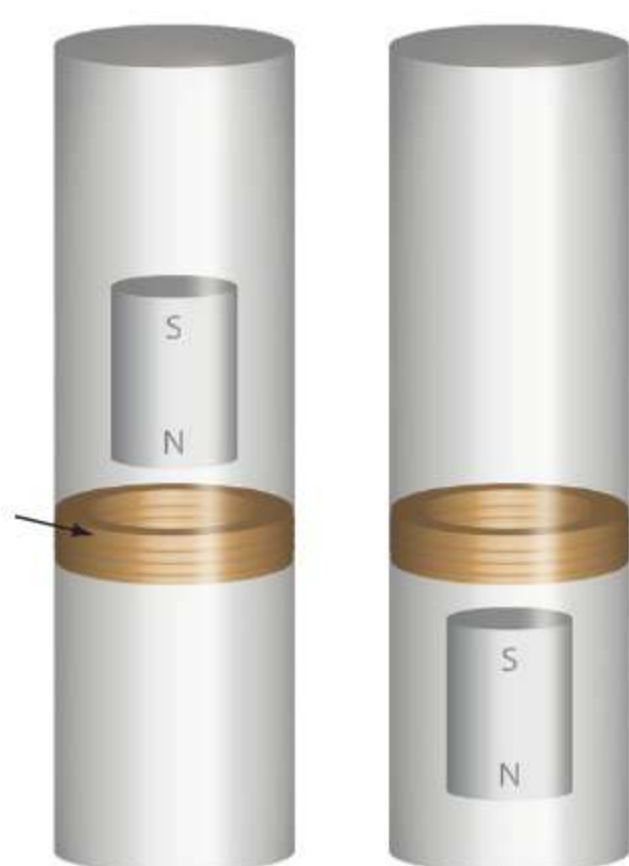
Kolejne czynności:

- Do pionowo ustawionych rurek miedzianej i plastikowej równocześnie wpuszczamy mosiężne, nie-magnesujące się małe walce. Obserwujemy czas przelotu walców przez rurki.
- Do rur wpuszczamy równocześnie magnesy i obserwujemy czas ich przelotu przez rury.
- Ustawiamy pionowo rury miedzianą i aluminiową. Obserwujemy czas przelotu walców mosiężnych i magnesów.



Wynik:

- Zarówno w przypadku rur miedzianej i plastikowej, jak i miedzianej i aluminiowej walce mosiężne przelatują przez rury tak samo długo.
- Ruch magnesu w rurze miedzianej trwał znacznie dłużej niż w rurze plastikowej, a wylatujący magnes miał małą szybkość.
- Czas przelotu magnesu przez rurę aluminiową był trochę krótszy niż przez rurę miedzianą, ale znacznie dłuższy niż czas przelotu walca mosiężnego przez każdą z rur i magnesu przez rurę plastikową.

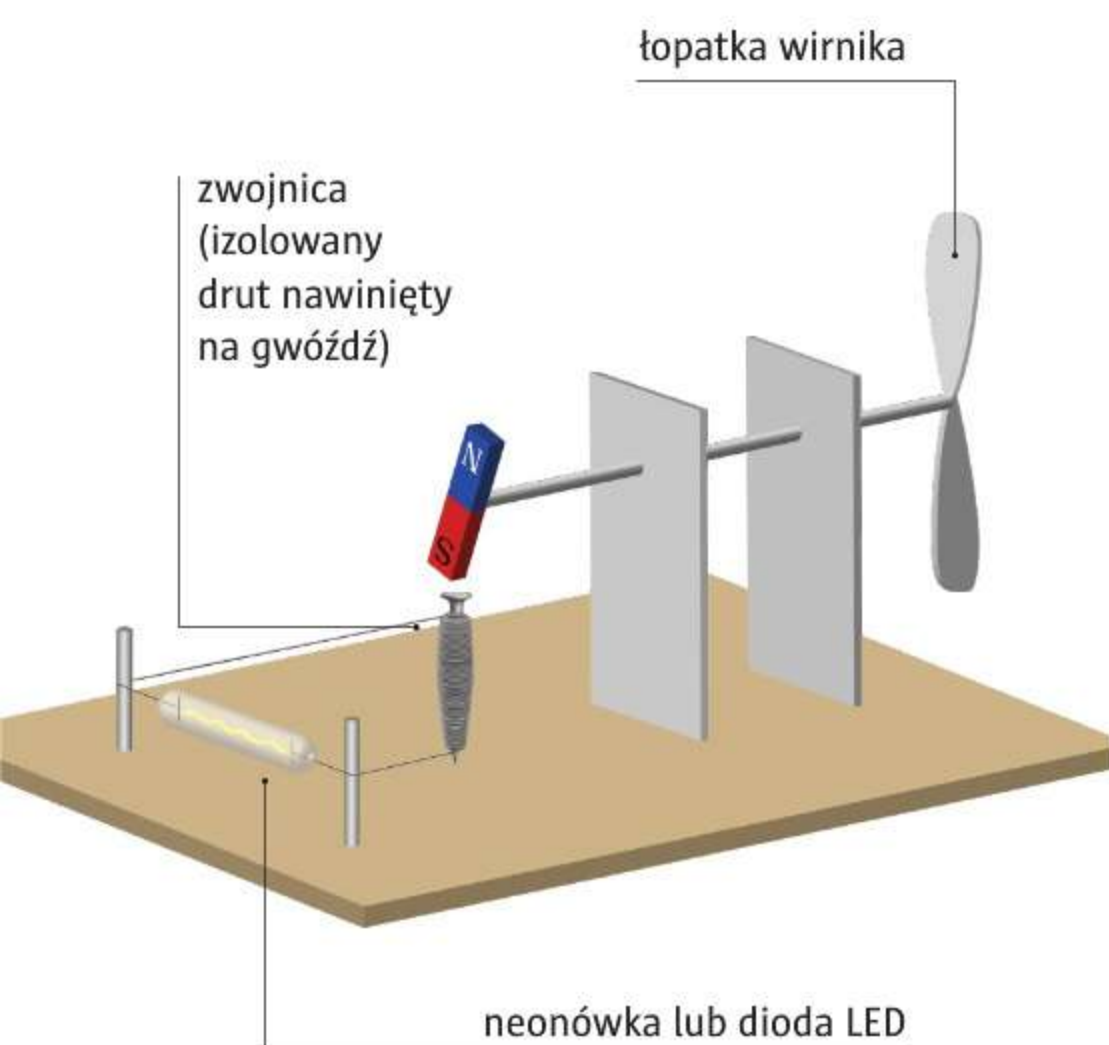


Aby ułatwić sobie wyjaśnienie zachowania magnesu, podzielmy w myśli rurę na szereg pierścieni ułożonych jeden na drugim (rys.). Jeśli pierścień i magnes ustawimy tak, by siłą powodującą ruch magnesu była siła przyciągania ziemskiego, to stanie się jasne, dlaczego magnes przelatujący przez rurę jest hamowany przez kolejne jej fragmenty (pierścienie).

Do wyjaśnienia ostatniego z wymienionych w doświadczeniu wyników trzeba wziąć pod uwagę, że aluminium jest gorszym przewodnikiem niż miedź. Gdy biegun magnesu zbliża się do jednego z pierścieni, wytworzony w nim prąd elektryczny ma mniejsze natężenie i wytwarza słabsze pole magnetyczne.

Odkrycie zjawiska indukcji elektromagnetycznej całkowicie zmieniło ludzką cywilizację. To właśnie dzięki indukcji powstaje prąd przemienny zasilaający sieci energetyczne na całym świecie, a bez prądu elektrycznego nie wyobrażamy sobie życia. Urządzenia do wytwarzania prądu przemiennego nazywają się **prądnicami** lub **generatorami** i stanowią główny element każdej elektrowni.

Na rysunku obok przedstawiono najprostszy model prądnicy. Wprawienie w ruch wiatraka, np. energią wiatru, powoduje ruch magnesu i indukowanie prądu w zwojnicy na skutek zmian pola magnetycznego w jej wnętrzu. Większość prądnic używanych w praktyce wytwarza prąd przemienny, którego natężenie zmienia się tak, jak pokazano na wykresie na s. 150.

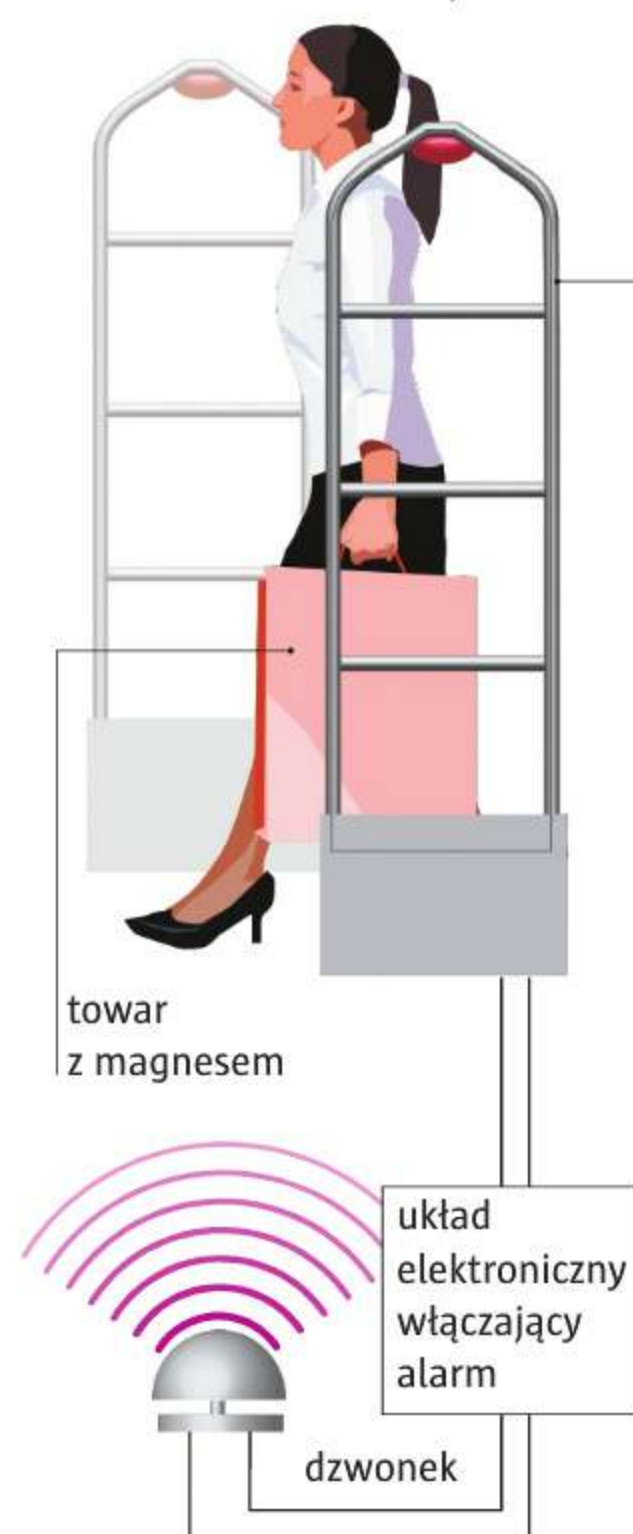


Każda prądnicą ma część ruchomą. Jeśli obrót tej części jest spowodowany przez wiatrak, to elektrownia, w której wytwarzamy prąd, nazywa się elektrownią wiatrową. Jeśli obrót powoduje woda spadająca na łopatki turbiny – mamy elektrownię wodną. W elektrowniach węglowych łopatki turbiny są obracane napierającą na nie parą wodną pod wysokim ciśnieniem. Parę uzyskujemy przez ogrzewanie węglem kotłów z wodą. Tak samo działają turbiny elektrowni jądrowych, tylko sposób podgrzewania wody jest w nich inny: wykorzystuje się do tego energię otrzymywaną z reakcji jądrowych i nie zanieczyszcza się środowiska.

Zjawisko indukcji elektromagnetycznej znalazło także inne zastosowanie, np. w alarmach informujących o próbie wyniesienia ze sklepu niezapłaconego towaru. Do towaru jest przymocowany zabezpieczający go magnes trwały. Gdy przechodzimy przez bramkę, magnes zmienia pole magnetyczne w zwoju znajdującym się w tej bramce. Powstający w zwoju prąd elektryczny uruchamia alarm. Uproszczony schemat urządzenia przedstawiono na rysunku obok.

Coraz częściej używa się urządzeń, których akumulatory są ładowane bezstykowo, tzn. nie ma w nich żadnych metalowych styków podłączanych do zasilacza! Są to na przykład elektryczne szczoteczki do zębów i niektóre golarki. Urządzenia takie mogą być bezpiecznie używane w kontakcie z wodą, bez obawy spowodowania zwarcia elektrycznego. Zastosowano w nich tzw. ładowanie indukcyjne polegające na tym, że w podstawce urządzenia jedna zwojnica wytwarza zmienne pole magnetyczne. Pole to w drugiej zwojnicy umieszczonej w szczoteczce indukuje prąd przemienny, który po „wyprostowaniu” ładuje akumulator.

bramka przy wyjściu ze sklepu
z wielkim zwojem drutu



Zadania i doświadczenia

Doświadczenie 1.

Z cienkiego, izolowanego, miedzianego drutu zrób 30 zwojów o średnicy 3–4 cm. Do odizolowanych końców drutu podłącz diodę LED (którą można kupić za kilkadziesiąt groszy w sklepie elektro-nicznym) i całość umieść w miejscu ładowania szczotki. Sporządź opis doświadczenia i wyjaśnij uzyskany efekt (fot.).



F 11.5 Fale elektromagnetyczne

W rozdziale 11.2 obserwowaliśmy zachowanie igielki magnetycznej w pobliżu przewodnika, przez który płynie prąd elektryczny. Wykazaliśmy, że powstaje wokół niego pole magnetyczne. Jeśli w przewodniku płynie prąd stały, wytworzone pole magnetyczne się nie zmienia. Natomiast gdy natężenie i kierunek prądu ulegają zmianie, zmienia się także pole magnetyczne wokół przewodnika.

Jeśli w przewodniku, np. w telewizyjnej lub radiowej antenie nadawczej, wytworzymy prąd zmienny o bardzo dużej częstotliwości (np. 10^7 Hz), elektrony będą wykonywać drgania z taką częstotliwością. W przestrzeni wokół anteny powstanie pole magnetyczne zmieniające się z taką samą częstotliwością. Ci z was, którzy poznali zjawisko indukcji elektromagnetycznej, wiedzą, że to pole magnetyczne wytworzy zmienne pole elektryczne, a to z kolei spowoduje powstanie zmiennego pola magnetycznego. Proces ten będzie trwać nieprzerwanie. W przestrzeni rozchodzi się wówczas **fala elektromagnetyczna**. Energia elektryczna nieustannie zmienia się w energię magnetyczną, a energia magnetyczna w elektryczną.

Dla powstania fali elektromagnetycznej nie jest konieczne, by szybkozmienny ruch drgających ładunków zachodził w przewodniku. Fala elektromagnetyczna powstaje także wtedy, gdy ładunki wykonują drgania np. w powietrzu albo w próżni, lub gdy drgają całe atomy (np. w ogrzewanych metalach).



promieniowanie
gamma



promieniowanie
rentgenowskie



ultrafiolet



światło
widzialne

10^{-14}

10^{-12}

10^{-10}

10^{-8}

10^{-6}

Nawet kiedy ruch ładunków ustaje i zanika pole pierwotne, to fala elektromagnetyczna nadal rozchodzi się w przestrzeni, oczywiście jeśli nie zostanie pochłonięta przez jakiś obiekt. W 1978 roku Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki przyznano za wykrycie fali elektromagnetycznej, która powstała w chwili narodzin Wszechświata, tj. około 14 miliardów lat temu (stąd nazwa tej fali: promieniowanie reliktowe).

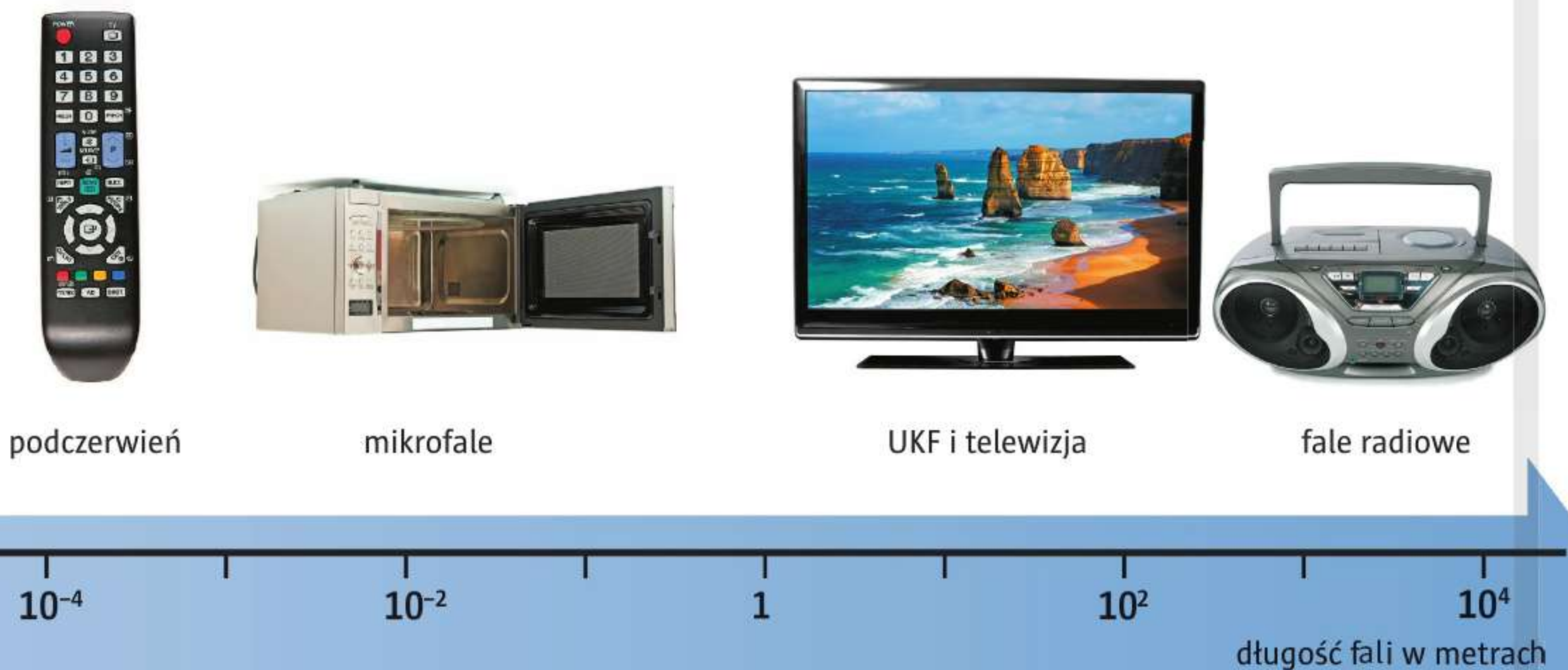
Chociaż do opisu fal elektromagnetycznych używa się takich samych wielkości jak dla fal sprężystych, to należy pamiętać, że są to zupełnie inne fale. **W przeciwieństwie do fal mechanicznych mogą rozchodzić się również w próżni** (w próżni rozchodzą się najszybciej, bo z prędkością o wartości $c = 300\,000\text{ km/s}$, a w powietrzu tylko nieznacznie wolniej). Mogą rozchodzić się także w izolatorach, np. ścianach z cegły, betonu lub drewna. Odbijają się od przedmiotów metalowych, dlatego np. kuchenka mikrofalowa ma metalowe ściany, a przednia szyba jest pokryta metalową siatką, by powstające we wnętrzu kuchenki fale elektromagnetyczne nie wydostawały się na zewnątrz. Lustro zaś to płytka szklana z jednej strony pokryta cienką warstwą metalu (najczęściej glinu), by fale elektromagnetyczne (światło) odbijały się od niej.

Fale elektromagnetyczne różnią się między sobą długością i częstotliwością oraz właściwościami. Między długością fali elektromagnetycznej (λ) a jej częstotliwością (f) zachodzi zależność:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

gdzie c jest szybkością rozchodzenia się fali w próżni.

Klasyfikację fal elektromagnetycznych według ich długości w próżni, zwaną często **widmem fal elektromagnetycznych**, przedstawia ilustracja poniżej.

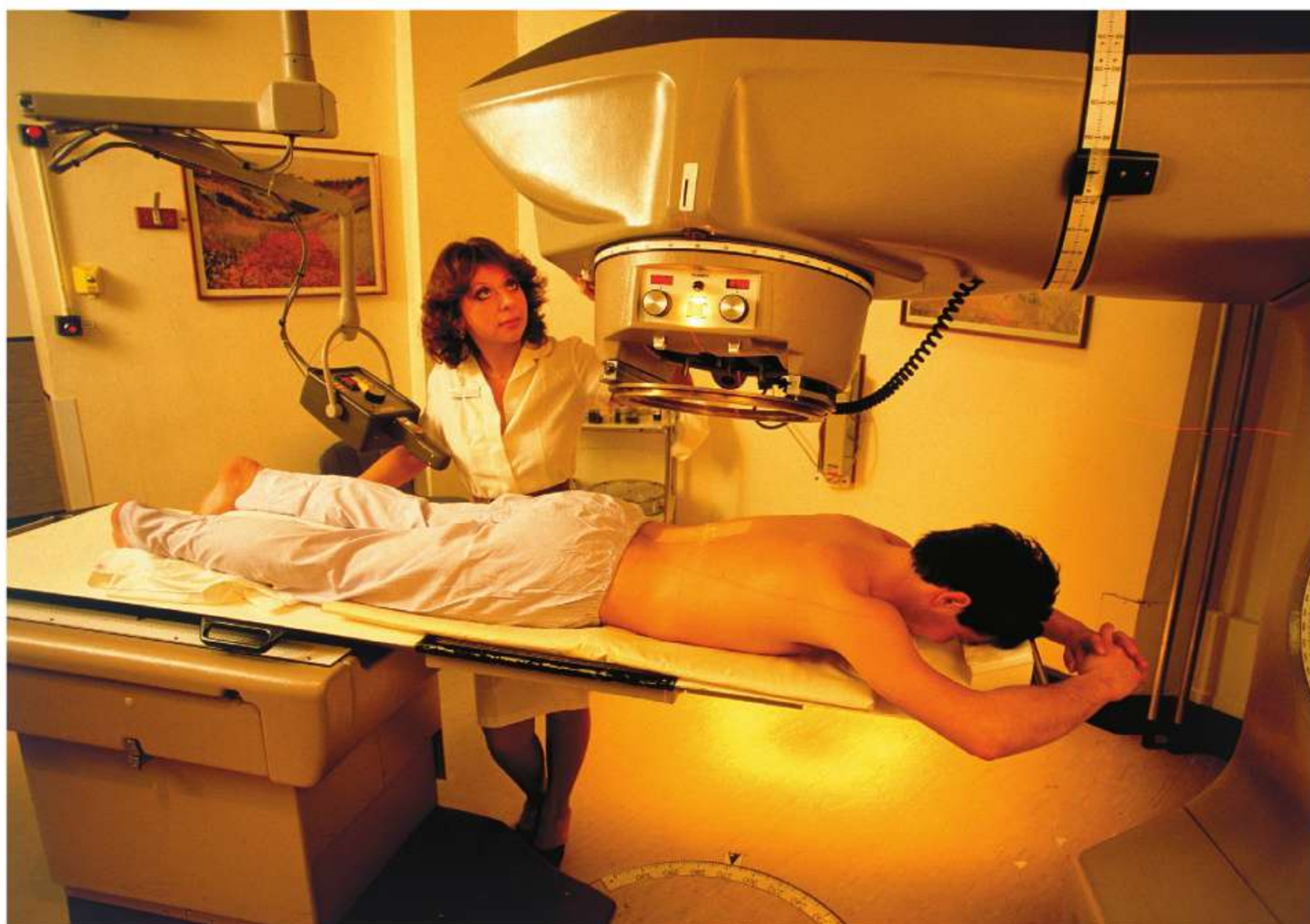


F

Sposoby wytwarzania, właściwości oraz sposoby wykorzystania fal elektromagnetycznych zależą od ich częstotliwości. Niektóre z nich omówimy poniżej.

Promieniowanie gamma obejmuje najkrótsze fale elektromagnetyczne. Jest ono wysyłane głównie przez substancje promieniotwórcze, o których dowiesz się w przyszłości. Ma najmniejszą długość fali, w widmie fal elektromagnetycznych zajmuje skrajne położenie odpowiadające długościom fali poniżej 0,1 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Odznacza się dużą zdolnością przenikania. Może przeniknąć przez trzymetrową warstwę betonu! Fale elektromagnetyczne o długości od 0,01 nm do 10 nm to **promieniowanie rentgenowskie**. Jest ono wytwarzane w specjalnych lampach.

Oba wymienione rodzaje fal elektromagnetycznych są promieniowaniem jonizującym, bo gdy przechodzą przez materię, jonizują atomy (odrywają od nich elektrony). Kiedy przenikają przez ciało ludzkie, powodują rozrywanie wiązań w cząsteczkach i rozpadanie się dużych cząsteczek na mniejsze cząsteczki i atomy. Mniejsze cząsteczki powstałe z rozpadu np. cząsteczek białka są substancjami obcymi, truciznami. Reagują z innymi cząsteczkami i powodują hamowanie funkcji życiowych komórek oraz ich śmierć, zaburzenie aktywności enzymów czy mutacje genów. Na taką chorobę, zwaną chorobą popromienną, zmarła nasza wielka rodaczka, Maria Skłodowska-Curie, która odkryła i badała substancje promieniotwórcze. Na tę chorobę umierali mieszkańcy Hiroshimy i Nagasaki napromieniowani w 1945 roku falą elektromagnetyczną gamma, powstałą wskutek wybuchu bomb atomowych. Tego promieniowania używa się w medycynie do niszczenia komórek nowotworowych (fot.).



F

Promieniowanie rentgenowskie (X) jest pochłaniane w różnym stopniu przez różne substancje. Pochłanianie promieniowania przez daną substancję wzrasta wraz z liczbą porządkową pierwiastków, z których ta substancja się składa. Tę właściwość wykorzystano w aparatach rentgenowskich do prześwietlania. Prześwietlany obiekt umieszcza się na tle płyty (matrycy) pokrytej detektorami wykrywającymi fale elektromagnetyczne. Miejsca, w których promieniowanie X przechodzi przez obiekt i pada na matrycę, po obróbce cyfrowej na monitorze komputera są zaczernione. Jeśli promieniowanie zostaje w całości pochłonięte w obiekcie (np. kości), to miejsca na ekranie odpowiadające temu obiektowi są białe. Pozostałe miejsca na ekranie, w zależności od natężenia promieniowania padającego na matrycę, przyjmują różne stopnie szarości. Tym sposobem można rozpoznać np. złamanie kości (fot.).

Zakres długości fal **promieniowania ultrafioletowego** to $10\text{ nm} - 0,4\text{ }\mu\text{m}$. To promieniowanie wchodzi w skład promieniowania słonecznego. W górnej części atmosfery ziemskiej znajduje się warstwa zawierająca ozon (cząsteczki z trzema atomami tlenu O_3), który chroni powierzchnię Ziemi przed zabójczym działaniem promieniowania ultrafioletowego. Wiele badań wskazuje na to, że substancje chemiczne zwane freonami, używane w aerozolach i lodówkach (starego typu), uwolnione do atmosfery powodują zanikanie warstwy ozonowej (tworzenie się tzw. dziury ozonowej). Międzynarodowe instytucje podejmują działania zapobiegające temu negatywnemu zjawisku. Pewna część słonecznego promieniowania ultrafioletowego, która dochodzi do Ziemi, odgrywa pozytywną rolę, ponieważ stymuluje (pobudza) produkcję witaminy D w organizmie człowieka. Zdjęcie obok przedstawia detektor, czyli wykrywacz promieniowania ultrafioletowego. Pod wpływem tego promieniowania białe koraliki się zabarwiają.



Doświadczenie 11.4

Badamy pochłanianie promieniowania UV przez szkło.

Potrzebne przyrządy: detektor promieniowania UV.

Kolejne czynności:

- W słoneczną pogodę otwórz okno, wyjmij detektor z pudełka i wystaw go na słońce.
- Zamknij okno, włóż na chwilę detektor do pudełka, wyjmij go ponownie i umieść przed zamkniętym oknem.
- Wejdź z detektorem do samochodu i trzymaj go w pobliżu przedniej szyby.

Za każdym razem obserwuj barwy koralików.

Wynik: Jeśli detektor trzymamy w otwartym oknie, koraliki natychmiast się zabarwiają. Umieszczenie go za szybą okienną powoduje na ogół bardzo słabe zabarwienie. Wewnątrz samochodu koraliki pozostają białe.

Wniosek: Szyby samochodowe całkowicie pochłaniają promienie UV. Nieco słabiej pochłaniają to promieniowanie szyby okienne.

Promieniowanie ultrafioletowe wysyłają lampy kwarcowe używane w szpitalach i solarach (nazwa lampy pochodzi od szkła kwarcowego, które w odróżnieniu od zwykłego szkła przepuszcza promieniowanie nadfioletowe wytworzone w lampie). Niszczy ono bakterie i wirusy, dlatego stosuje się je w szpitalach do sterylizacji.

Najważniejszym źródłem **światła i promieniowania podczerwonego** jest Słońce. Promieniowanie słoneczne biegnie przez przestrzeń kosmiczną, w której panuje próżnia. Energia nie może więc być przenoszona ani przez przewodzenie, ani przez konwekcję. Transport energii przez fale elektromagnetyczne to **promieniowanie**. Stąd właśnie fale elektromagnetyczne są nazywane także promieniowaniem elektromagnetycznym.

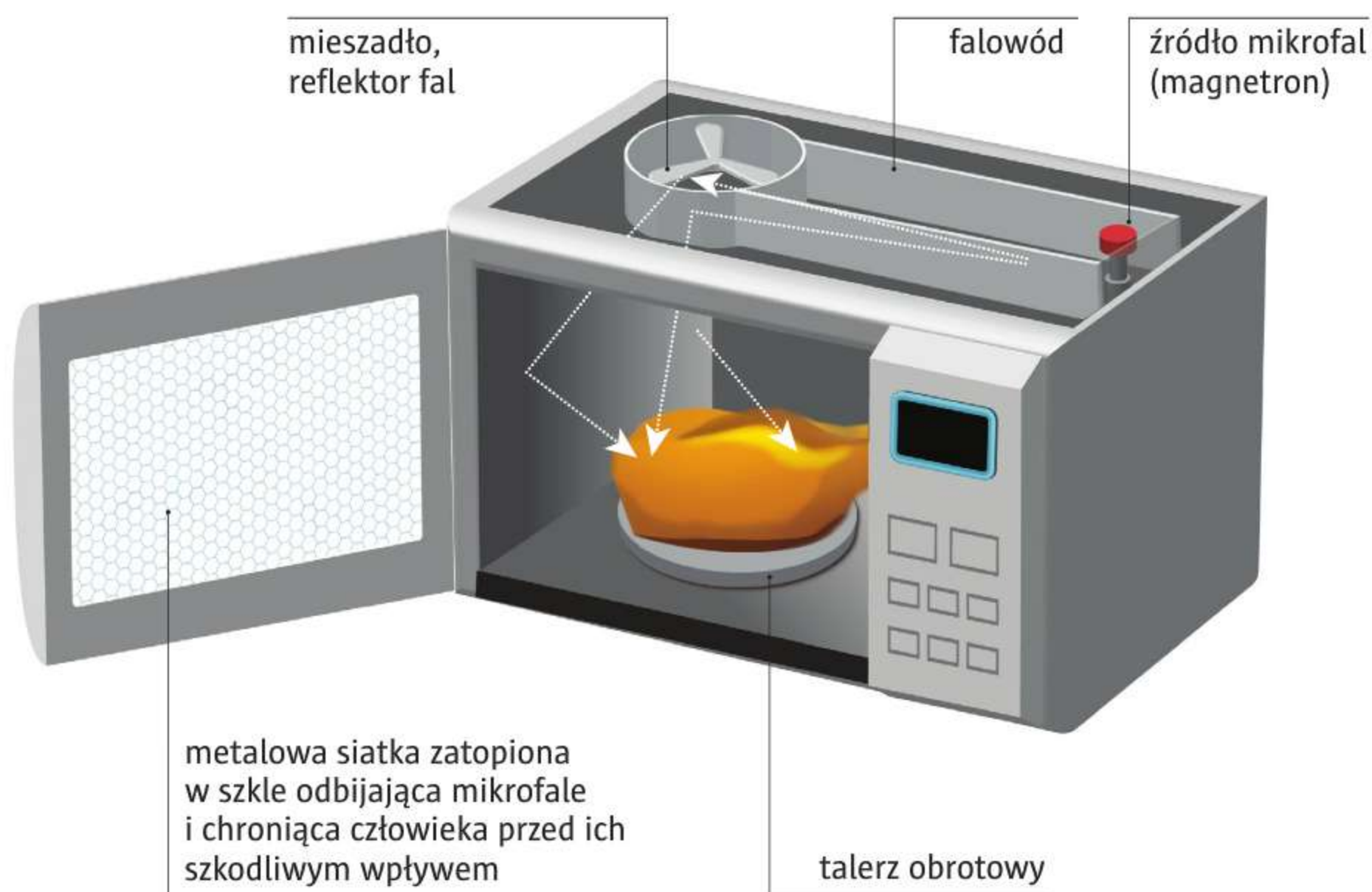
Zakres długości fal świetlnych, czyli fal elektromagnetycznych, które widzimy, to $0,4\ \mu\text{m}$ – $0,7\ \mu\text{m}$. Jest on bardzo wąski. Różnym długościom fal odpowiadają różne barwy. Największej długości odpowiada barwa czerwona, stąd promieniowanie poza tą granicą nazywamy promieniowaniem podczerwonym. Zakres długości fali niewidzialnego promieniowania podczerwonego to $0,7\ \mu\text{m}$ – $1\ \text{mm}$. Najmniejszej długości fali, tj. $0,4\ \mu\text{m}$, odpowiada światło o barwie fioletowej, więc mniejszym długościom fali odpowiada promieniowanie nadfioletowe.

Badania wykazały, że jeśli ogrzewamy jakieś ciało, to im wyższa jest jego temperatura, tym mniejsze długości mają fale wypromieniowane przez to ciało. Dlatego gdy badamy widmo promieniowania wysyłanego np. przez gwiazdę, możemy określić jej temperaturę. Zależność $\lambda(T)$ dla promieniowania podczerwonego wykorzystuje się w medycynie i technice. Służą do tego specjalne kamery (termowizyjne). Miejscowe różnice

temperatury w obrębie jakiegoś narządu mogą świadczyć o obecności nawet bardzo małego guza. Podobnie wykrywa się choroby drobnych naczyń krwionośnych (naczyń obwodowych), bo prowadzą one do lokalnych anomalii temperaturowych.

Fakt, że ciało człowieka emituje promieniowanie podczerwone, został wykorzystany w domowych systemach alarmowych. Przednia ścianka zawieszonego pod sufitem detektora jest podzielona na sektory odbierające promieniowanie podczerwone z różnych fragmentów przestrzeni chronionego pomieszczenia. Alarm nie jest uruchamiany przez nieruchome źródło promieniowania (np. lampę, która oprócz światła widzialnego emituje również promieniowanie podczerwone o długościach fal zbliżonych do emitowanych przez ciało człowieka), ale jeżeli źródło porusza się (np. włamywacz wchodzi przez okno), alarm zostaje włączony.

Za pomocą promieniowania podczerwonego sterujemy naszym telewizorem. Możesz się o tym przekonać, jeśli wykonasz doświadczenie 1. opisane na końcu tego rozdziału. Zakres długości **mikrofali** to 1 mm–1 m. Znalazły one zastosowanie w radarze, tj. urządzeniu wykorzystywanym do określania położenia obiektu, np. samolotu, a także do pomiaru na odległość szybkości samochodów – do tego celu używa radaru policja drogowa. Popularnym sprzętem w gospodarstwach domowych jest kuchenka mikrofalowa.

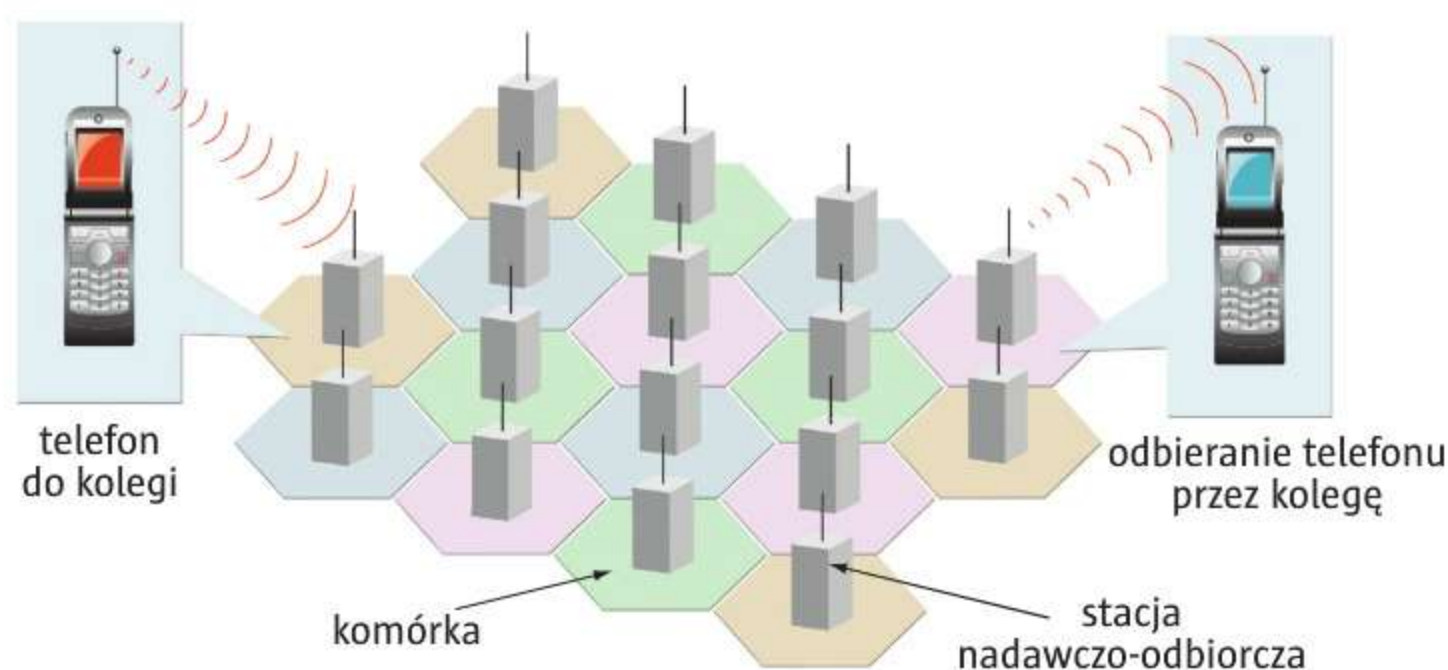


Podstawowym elementem każdej kuchenki jest urządzenie wytwarzające fale elektromagnetyczne o dużej częstotliwości, równej 2,45 GHz (1 GHz = 10^9 Hz), czyli właśnie mikrofale. Fale te za pomocą specjalnego falowodu w postaci blaszanej rury są

F

doprowadzane do komory roboczej kuchenki. Tutaj ulegają wielokrotnemu odbiciu od metalowych ścianek komory, a następnie zostają pochłonięte przez cząsteczki wody znajdującej się w potrawach. Mikrofałe, przekazując energię, zmuszają cząsteczki wody do wykonywania bardzo szybkich drgań, przez co wzrasta energia wewnętrzna wody. Oznacza to wzrost temperatury wody, a w konsekwencji wzrost temperatury potrawy. Przednia ścianka kuchenki ma metalową siatkę zatopioną w szkłe, chroniącą nas przed szkodliwym działaniem mikrofal. Niezależnie od tego należy unikać zbliżania twarzy do tej ścianki.

Mikrofałe wykorzystuje się także w **telefonii komórkowej** (rys.).



W telefonach komórkowych stosuje się miniaturowe odbiorniki i nadajniki radiowe o bardzo małej mocy. Zasięg takiego nadajnika nie przekracza kilku kilometrów, dlatego też obszar, w którym działa sieć telefonii komórkowej, jest podzielony na pola, w środkach których znajdują się stacje nadawczo-odbiorcze o większej mocy. Pola te nazwano „komórkami”, stąd też nazwa omawianego rodzaju telefonii. Osoba prowadząca rozmowę z odbiorcą jest połączona z najbliższą stacją nadawczo-odbiorczą, a ta przekazuje rozmowę do stacji najbliższej odbiorcy i nadaje ją wprost do jego telefonu. Konieczność gęstego usytuowania stacji nadawczo-odbiorczych, zwanych również stacjami bazowymi lub przekaźnikami, powoduje, że ustawia się je także w miejscach zamieszkałych. Wzbudza to zrozumiały niepokój mieszkańców. Większość obecnie dostępnych badań wskazuje, że przekaźniki nie są szkodliwe dla człowieka, choć nie ulega wątpliwości, że wysyłane przez nie fale oddziałują na nasze organizmy i są przez nie pochłaniane.

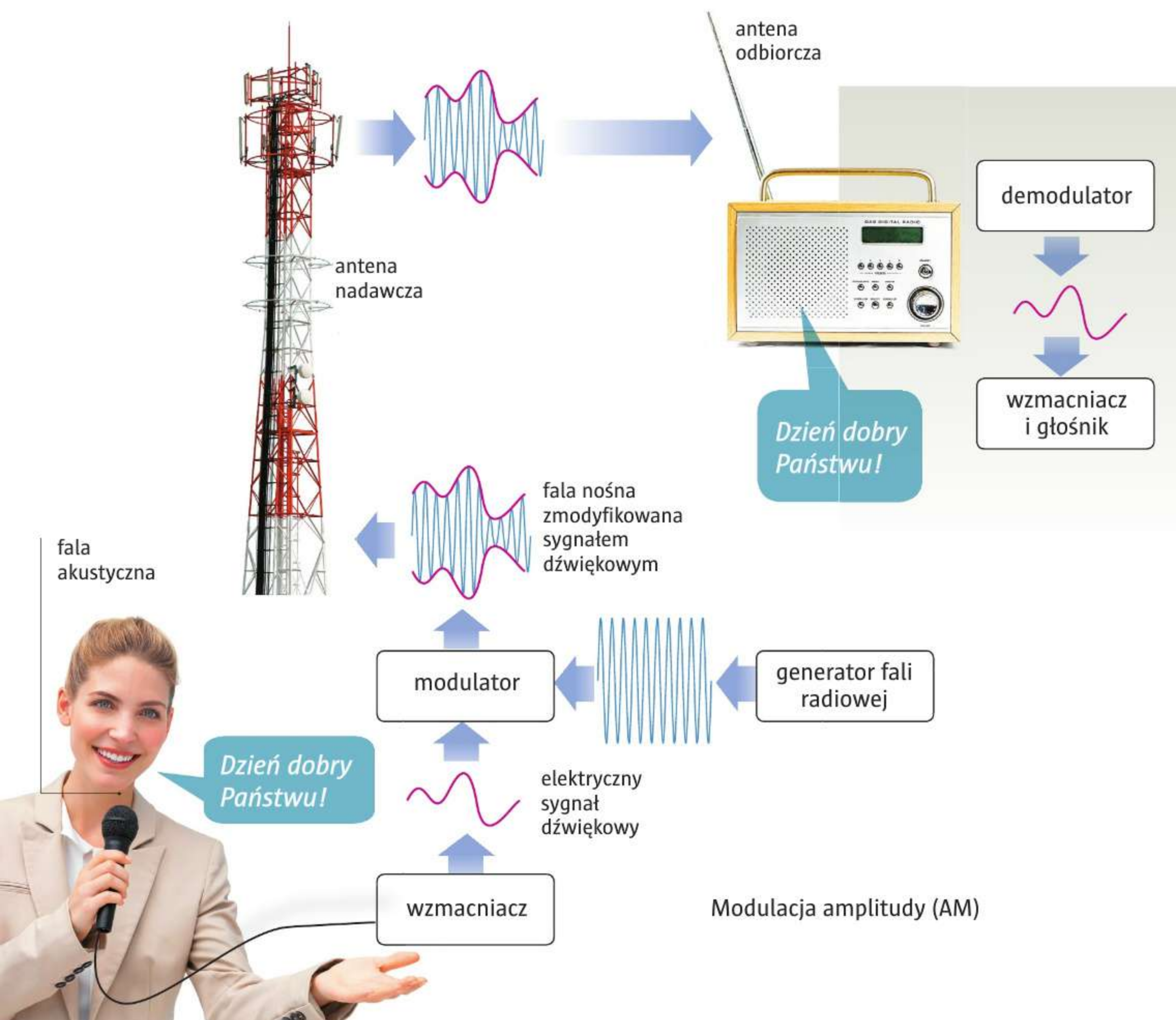
Źródłem szkodliwego promieniowania jest także nasz telefon komórkowy. Dlatego w trosce o zdrowie radzimy przestrzegać pewnych zasad, by ograniczyć nasz kontakt z telefonem. Jak najkrócej rozmawiaj przez telefon, a tam, gdzie to możliwe, używaj zestawu głośnomówiącego i słuchawek. W miarę możliwości zastępuj rozmowę wiadomościami SMS. Nie noś telefonu bezpośrednio przy sobie.

Pod koniec XX wieku do użytku cywilnego został przekazany amerykański wojskowy **GPS** (*Global Positioning System*), czyli obejmujący całą kulę ziemską system nawigacji satelitarnej. Niewielki odbiornik fal elektromagnetycznych odbiera równocześnie sygnały z czterech najbliższych spośród 31 satelitów GPS. Analiza tych sygnałów pozwala na określenie położenia pojazdu i prowadzenie go do wyznaczonego celu.

GPS pozwala także ustalić pozycję statków i samolotów, a ponadto monitoruje transport na drogach (np. Niemcy w ten sposób pobierają opłaty od ciężarówek jeżdżących po autostradach).

GPS pomaga dokładnie mierzyć wielkość działek rolniczych, co jest niezbędne do obliczenia kwoty dotacji z Unii Europejskiej, pomaga służbom ratowniczym i kontroluje granice. Pojawiające się w miastach elektroniczne tablice informujące o czasie odjazdu najbliższego autobusu lub tramwaju również działają dzięki nawigacji satelitarnej.

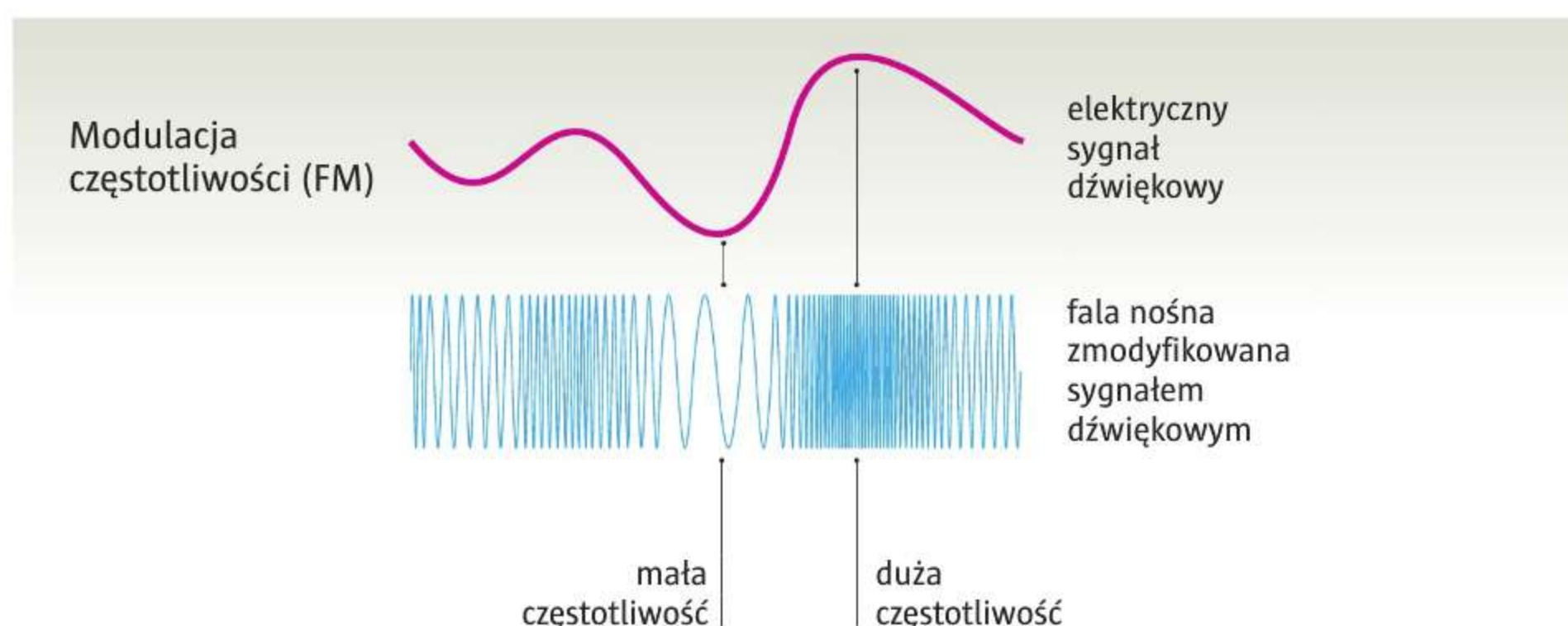
Zakres długości **fal radiowych** to 10–2000 m. Wykorzystano je w telewizji i radiofonii. W studiu radiowym fala głosowa wpada do mikrofonu (rys.), gdzie jest zamieniana na sygnał elektryczny. Sygnałem tym jest modulowana (kształtowana) powstająca



F

w generatorze fala nośna, czyli fala elektromagnetyczna o dużej częstotliwości. Antena nadawcza wysyła w przestrzeń zmodulowaną falę nośną, która w antenie odbiorczej radioodbiornika wzbudza bardzo słaby prąd. Po jego wzmocnieniu w procesie demodulacji (proces odwrotny do modulacji) otrzymujemy sygnał analogiczny do sygnału z mikrofonu. Głośnik przekształca go na falę dźwiękową.

Przedstawiony sposób modulowania fali nośnej nazywa się modulacją amplitudy (*Amplitude Modulation* – AM). Ten sposób modulacji stosuje się do przesyłania audycji radiowych za pomocą fal długich i średnich. Przy nadawaniu audycji na falach ultrakrótkich stosuje się inny rodzaj modulacji – modulację częstotliwości (*Frequency Modulation* – FM) (rys.). Przyjrzyj się skali częstotliwości na twoim radioodbiorniku. Zobaczysz tam napisy AM i FM.



Podsumowanie

1. Fala elektromagnetyczna to rozchodzące się w przestrzeni i przenikające się wzajemnie zmienne pola elektryczne i magnetyczne.
2. Fala elektromagnetyczna może rozchodzić się w próżni, w przeciwieństwie do fal mechanicznych (w tym dźwiękowych).
3. Właściwości fal elektromagnetycznych i wynikające z nich zastosowania tych fal zależą od ich częstotliwości.

Zadania i doświadczenia

1. Pierwszym, który potwierdził doświadczalnie teorię Maxwella dotyczącą istnienia fal elektromagnetycznych, był niemiecki fizyk Heinrich Hertz (1857–1894). W roku 1886 wytworzył on fale elektromagnetyczne, zmierzył ich długość i zbadał ich właściwości. Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki częstotliwości: herc (1 Hz). Odszukaj więcej informacji o tym uczonym.

2. Odszukaj informacje o japońskim żaglowcu kosmicznym *Ikaros*. Czy jego działanie może być dowodem na to, że fale elektromagnetyczne niosą energię?
3. Podaj częstotliwość stacji radiowej, której słuchasz najczęściej. Czy przenoszą ją fale elektromagnetyczne ma modulowaną częstotliwość czy amplitudę?
4. Jeśli masz dostęp do internetu, znajdź i obejrzyj zdjęcia największej na świecie kolekcji lamp rentgenowskich, zgromadzonej przez pana Grzegorza Jezierskiego z Opola.
5. Odszukaj w tekście tego rozdziału zakresy długości poszczególnych rodzajów fal elektromagnetycznych. Wykonaj odpowiednie obliczenia i podaj odpowiadające im zakresy częstotliwości.

Doświadczenie 1.

Za pomocą pilota telewizyjnego możemy włączać telewizor i zmieniać kanały dzięki impulsom promieniowania podczerwonego wysyłanym z okienka pilota, które kierujemy w stronę telewizora. Oko ludzkie nie rejestruje promieniowania podczerwonego i dlatego gdy naciskamy przyciski pilota, nie widzimy tego promieniowania. Możemy jednak sfotografować okienko za pomocą telefonu komórkowego. Wykonaj doświadczenie i sprawdź to.

Doświadczenie 2.

O tym, że pilot telewizyjny wysyła falę elektromagnetyczną (promieniowanie podczerwone), można się przekonać dzięki wykonaniu następującego doświadczenia.

Z kartki papieru uformuj rurkę i nałóż ją na ten koniec pilota, który kierujesz w stronę telewizora podczas przełączania kanałów. Poproś kogoś, aby trzymał lustro. Ustawcie się względem telewizora tak, by wysyłane przez pilot niewidoczne promieniowanie podczerwone padające na lustro po odbiciu padało na telewizor (kąt padania powinien być równy kątowi odbicia). Telewizor zareaguje na polecenia wysyłane za pomocą pilota, mimo iż pilot jest skierowany w zupełnie inną stronę.

Wykonaj odpowiedni schemat układu doświadczenia.

Doświadczenie 3.

Podczas prowadzenia rozmowy przez telefon komórkowy lub wysyłania SMS-a zbliż się do włączonego radioodbiornika. Usłyszysz zakłócenia w odbiorze radiowym. Następnie szczelnie osłoń telefon rękami. Zauważysz, że zakłócenia znacznie się zmniejszą lub znikną na skutek pochłaniania promieniowania przez ręce.

Sformułuj cel tego doświadczenia.

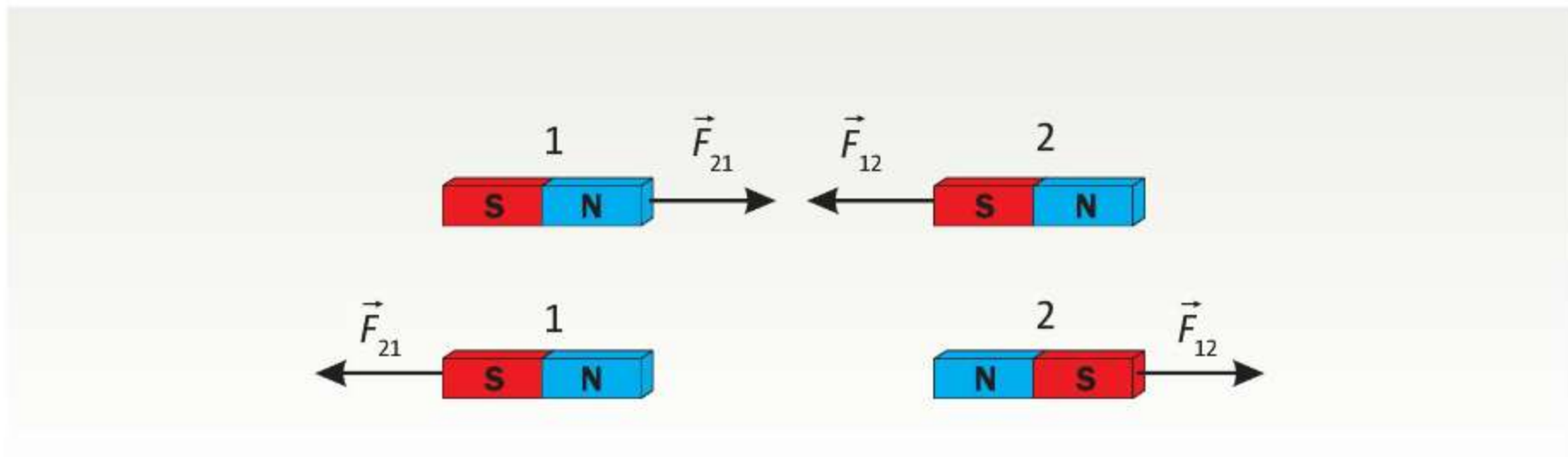
Doświadczenie 4.

Jak wiesz, fale elektromagnetyczne są odbijane przez przewodniki. Sprawdź to. Owiń telefon komórkowy folią aluminiową i spróbuj na niego zadzwonić z innego telefonu. Możesz także umieścić telefon w garnku, puszcze lub innym metalowym pojemniku.

Zapisz wyniki swoich eksperymentów.

Podsumowanie

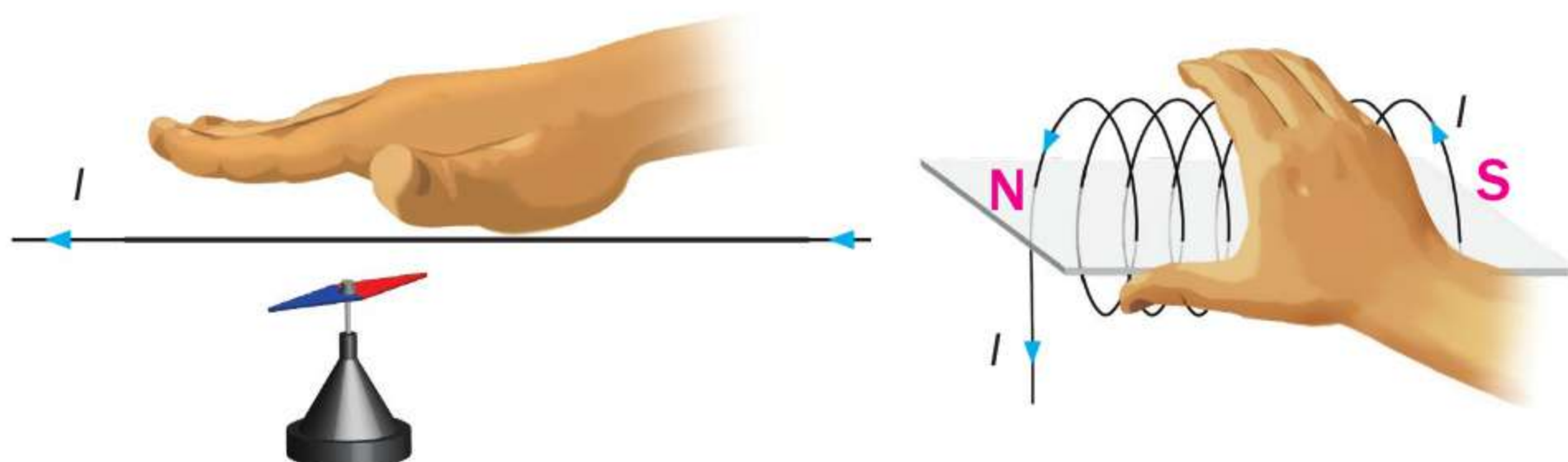
- Bieguny różnoimienne magnesów przyciągają się, a jednoimienne się odpychają.



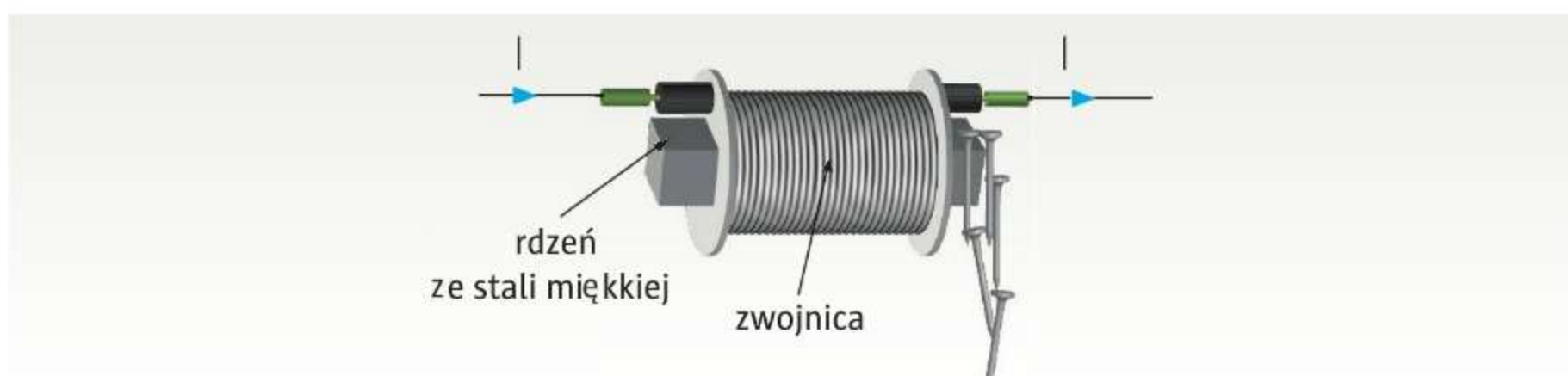
- Pole magnetyczne Ziemi jest podobne do pola magnesu sztabkowego. Igła magnetyczna kompasu ustawia się biegunem północnym w stronę bieguna południowego ziemskiego pola magnetycznego.



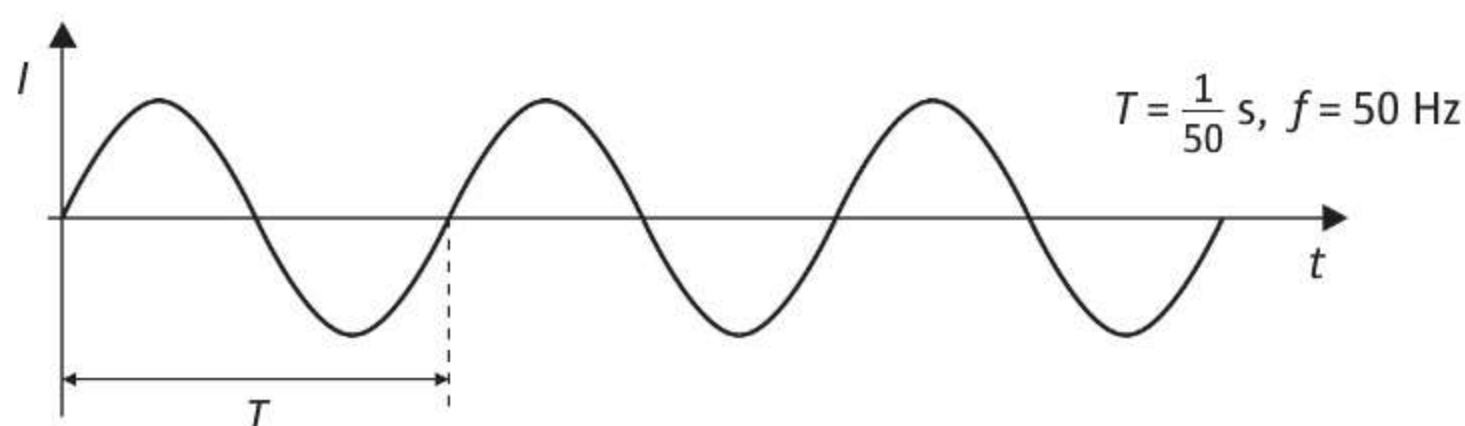
- Reguła prawej dłoni pozwala określić kierunek wychylenia północnego bieguna igły magnetycznej umieszczonej pod przewodem z prądem oraz wskazać koniec zwojnicy, przy którym znajduje się biegun północny.



- Elektromagnes jest silnym magnesem, ale tylko wtedy, gdy przez jego zwojnicę płynie prąd elektryczny. Rdzenie elektromagnesów wykonuje się z substancji magnesujących się nietrwale.



- W silniku elektrycznym następuje zamiana energii elektrycznej na energię mechaniczną. Ruch wirnika w silniku zasilanym prądem stałym jest spowodowany wzajemnym oddziaływaniem biegunów magnesów i elektromagnesów.
- W domowej sieci płynie prąd przemienny, bo taki charakter ma napięcie wytwarzane w prądnicach elektrowni.



- Przykłady zastosowania fal elektromagnetycznych.

Rodzaj promieniowania	Zastosowanie
promieniowanie gamma	niszczenie komórek nowotworowych, bomba kobaltowa, badanie diagnostyczne PET
promieniowanie rentgenowskie	prześwietlanie, tomografia komputerowa
promieniowanie ultrafioletowe (UV)	opalanie się, pobudzanie organizmu do wytwarzania witaminy D
światło widzialne	umożliwienie widzenia otaczającego świata
promieniowanie podczerwone	kamery termowizyjne, wykrywanie guzów i chorób naczyń krwionośnych, piloty telewizyjne, alarmy
mikrofale	radar, kuchenki mikrofalowe, telefonia komórkowa, GPS
fale radiowe	radio, telewizja

Sprawdź się

1. Igła magnetyczna kompasu zwraca się biegunem północnym do
- południowego bieguna magnetycznego.
 - północnego bieguna geograficznego.
 - południowego bieguna geograficznego.

Które z tych stwierdzeń jest prawdziwe?

- Prawdziwe są stwierdzenia I i II.
 - Prawdziwe jest tylko stwierdzenie I.
 - Prawdziwe jest tylko stwierdzenie II.
 - Prawdziwe jest tylko stwierdzenie III.
2. Magnesy przyciągają
- żelazo i stal.
 - żelazo, stal, miedź i aluminium.
 - wszystkie metale.
 - wszystkie substancje.
3. Wokół Ziemi istnieje pole magnetyczne podobne do pola magnetycznego wytworzonego przez magnes sztabkowy.

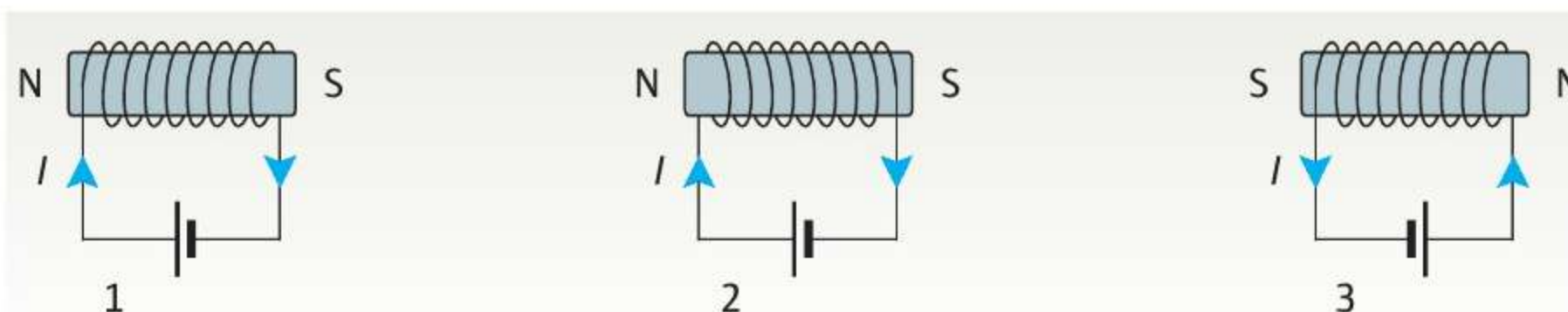
Wskaż stwierdzenie prawdziwe.

- W pobliżu geograficznego bieguna północnego znajduje się południowy biegun magnetyczny.
 - Bieguny tego pola są położone w płaszczyźnie równika.
 - W pobliżu geograficznego bieguna północnego znajduje się północny biegun magnetyczny.
 - Prosta przechodząca przez bieguny magnetyczne jest nachylona pod kątem 45° do prostej przechodzącej przez bieguny geograficzne.
4. W celu wykazania, że przewodnik, przez który płynie prąd, działa na igłę magnetyczną, należy
- ramkę wykonaną z przewodnika ustawić tak, by jej pozioma część była równoległa do stojącej pod nią igły magnetycznej, a następnie podłączyć ramkę do baterii.
 - igłę magnetyczną ustawić pod poziomą częścią ramki wykonanej z przewodnika tak, by była równoległa do niej, a następnie podłączyć ramkę do baterii.

Który ze sposobów jest możliwy do wykonania?

- Możliwy do wykonania jest tylko sposób I.
- Możliwy do wykonania jest tylko sposób II.
- Oba sposoby można wykorzystać.
- Żaden z tych sposobów nie może być wykorzystany.

5.



Bieguny magnetyczne elektromagnesu są poprawnie zaznaczone

- A. tylko na rysunku 1. B. na rysunkach 1 i 2.
C. na rysunkach 1 i 3. D. tylko na rysunku 3.

6. To, jak silnym magnesem jest elektromagnes, zależy od

- I. natężenia prądu płynącego w zwojnicy elektromagnesu.
II. rodzaju i wielkości rdzenia umieszczonego w zwojnicy elektromagnesu.
III. liczby zwojów i tego, jak gęsto są one nawinięte w zwojnicy elektromagnesu.

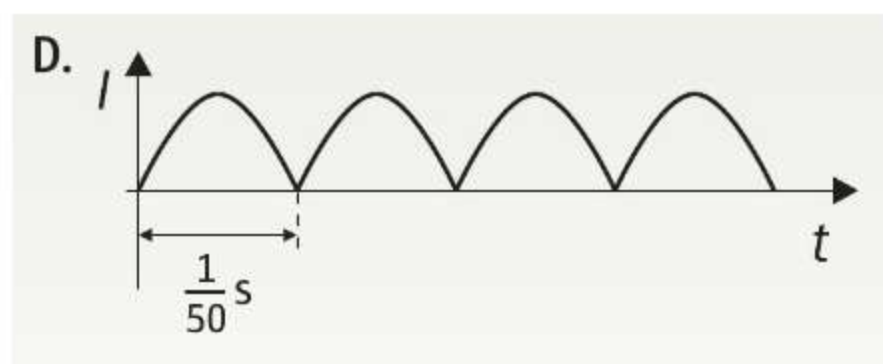
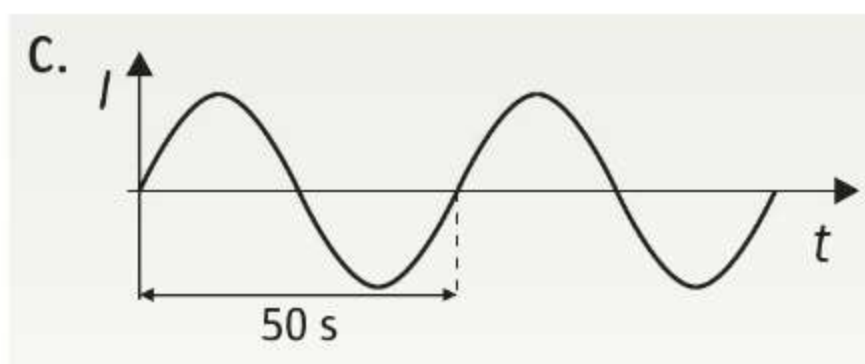
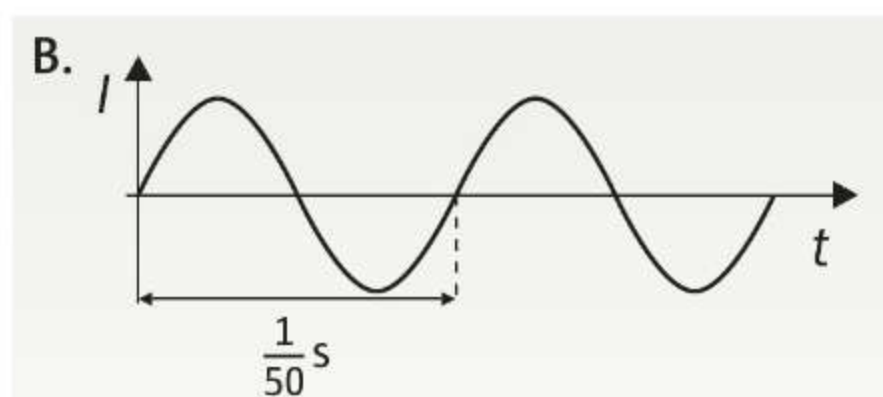
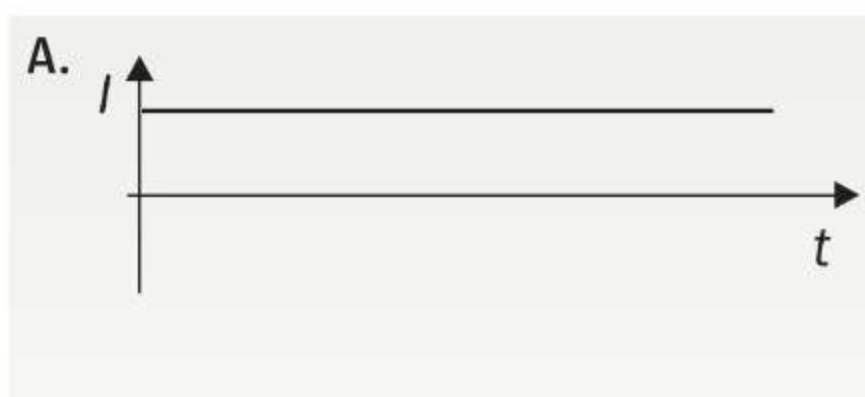
Które z tych stwierdzeń jest prawdziwe?

- A. Prawdziwe są stwierdzenia I, II i III. B. Prawdziwe są stwierdzenia I i II.
C. Prawdziwe jest tylko stwierdzenie I. D. Prawdziwe jest tylko stwierdzenie II.

7. Silnik elektryczny na prąd stały nie będzie działał, jeśli

- A. ramkę zastąpimy kilkoma zwojami drutu.
B. magnesy, między którymi obraca się wirnik, zastąpimy elektromagnesem zasilanym prądem stałym.
C. podłączymy go do domowej sieci elektrycznej.
D. podłączymy go do akumulatora.

8. Zależność natężenia prądu w sieci domowej od czasu $I(t)$ poprawnie przedstawia rysunek A/B/C/D.



9. Nie jest prawdą, że fale elektromagnetyczne

- A. rozchodzą się w próżni z szybkością 300 000 km/s.
B. rozchodzą się w izolatorach, ale są odbijane przez przewodniki.
C. są szkodliwe dla człowieka, jeśli ich długość jest większa od 1 m.
D. są wykorzystywane w radiofonii i telewizji.

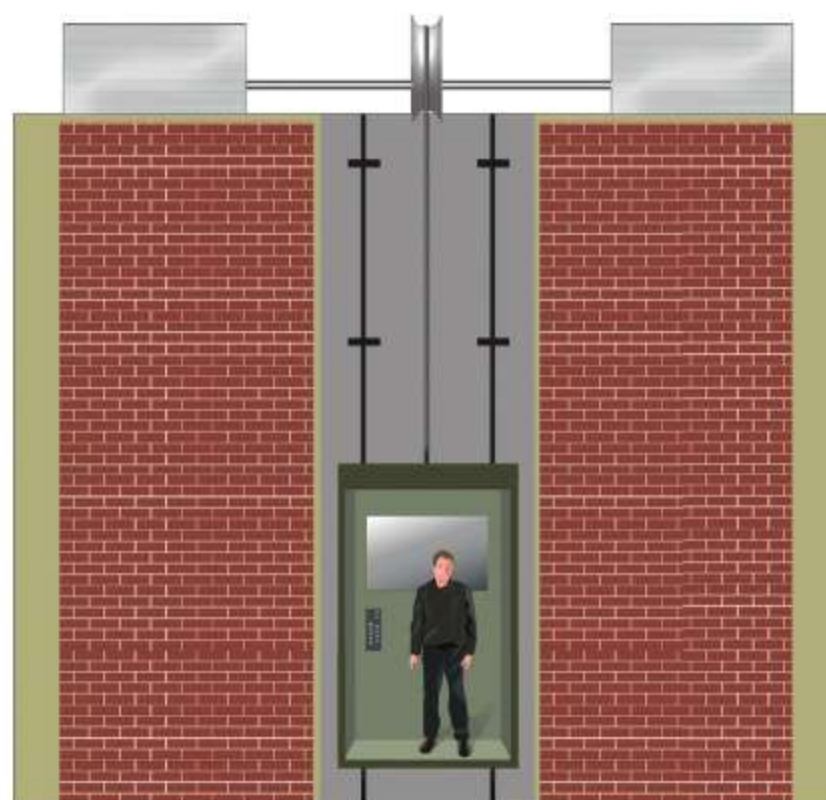
Zadania problemowe

F

Zadanie 1.

Silnik elektryczny powoduje obroty bloku, na który jest nawinięta lina unosząca kabinę windy. Ciężar kabiny jest równoważony przez tzw. przeciwwagę. W kabinie znajduje się pasażer o ciężarze 800 N. Kabina przebywa 30 m w ciągu 15 s.

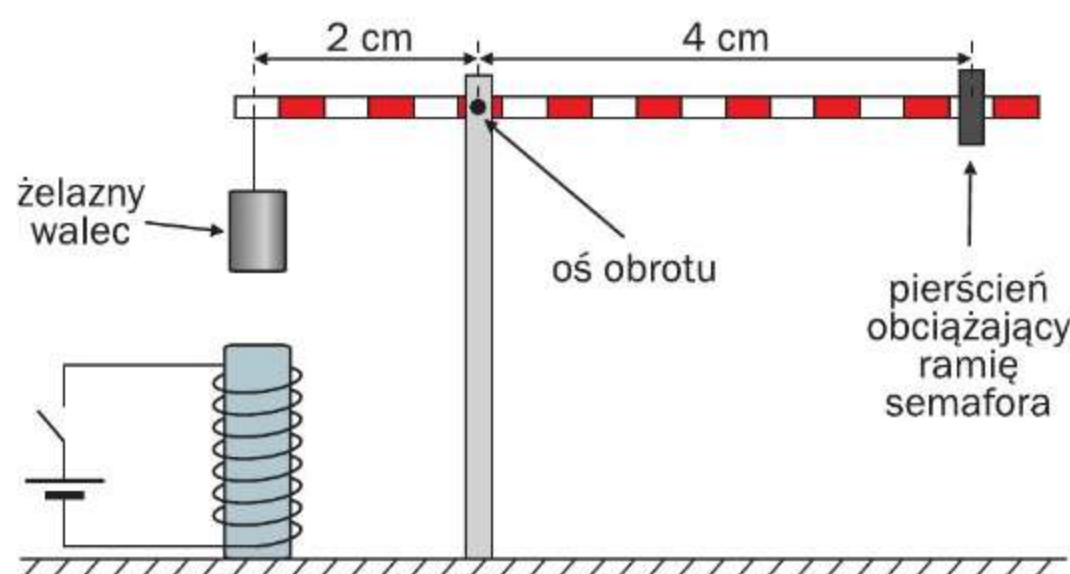
- Oblicz pracę wykonywaną przez silnik podczas podnoszenia kabiny z jednym pasażerem na wysokość 30 m.
- Oblicz przyrost energii mechanicznej pasażera. Napisz, jaki to rodzaj energii.
- Oblicz moc silnika elektrycznego windy.
- Oblicz masę pasażera.
- Do kabiny wsiadł jeszcze jeden dorosły pasażer. Oszacuj masę pasażerów.
- Przyjmij oszacowaną wyżej masę i oblicz pracę, którą wykonuje silnik, podnosząc kabinę na wysokość 30 m.
- Uczeń oszacował pracę (podpunkt f) i otrzymał wynik $W \approx 5000 \text{ J}$. Wynik ten jest
 - poprawny.
 - za duży o 1 rząd wielkości.
 - za mały o 1 rząd wielkości.
 - za mały o 2 rzędy wielkości.



Zadanie 2.

Jednym z elementów modelu kolejki elektrycznej jest semafor, którego szkic zamieszczono na rysunku.

- Opisz zasadę działania semafora.
- Odszukaj w internecie informacje o dźwigni dwustronnej i oblicz wartość ciężaru żelaznego walca, jeśli wiesz, że masa pierścienia obciążającego ramię semafora wynosi 5 dag, a semafor jest w równowadze. Pomiń masę ramion semafora.



12

Optyka, czyli nauka o świetle



W spokojnej powierzchni
tafli wody odbija się całe jej
otoczenie.

12.1 Źródła światła.

Powstawanie cienia

Optyka jest nauką o świetle. Jej nazwa pochodzi od greckich słów: *optikos*, czyli wzrokowy, i *optos*, czyli widzialny.

Światło i zjawiska z nim związane mają duże znaczenie dla poznawania i rozumienia otaczającego nas świata. Światła nie można ani dotknąć, ani usłyszeć. Można je jednak zobaczyć, ponieważ pobudza ono zmysł wzroku.

Światło, podobnie jak inne rodzaje fal elektromagnetycznych, rozchodzi się w próżni z szybkością 300 000 km/s. Mimo tej olbrzymiej szybkości na przebycie drogi ze Słońca na Ziemię potrzebuje około 8,3 minuty. W każdym innym ośrodku szybkość światła jest mniejsza od jego szybkości w próżni. Żadne poruszające się ciało nie może osiągnąć szybkości światła w próżni.

Światło jest niezbędne do życia na Ziemi. Rośliny wykorzystują energię światła do wzrostu i rozwoju. Zwierzęta i ludzie zjadają rośliny i przejmują część tej energii.

Energia światła słonecznego jest zamieniana za pomocą ogniw słonecznych na energię elektryczną. Baterie ogniw słonecznych należą do wyposażenia satelitów i statków kosmicznych. Stanowią w nich główne źródło energii.



Naturalnymi źródłami światła są wszystkie ciała świecące światłem własnym. Najsilniejszymi źródłami światła docierającego do Ziemi są gwiazdy, a w szczególności Słońce. Źródłami światła są również inne ciała wysyłające światło w wyniku np.

- podgrzania do temperatury powyżej 600°C (żarówka, płomień świecy),
- pobudzenia do świecenia cząsteczek lub atomów gazów w silnym polu elektrycznym (neonówki),
- pochłaniania promieniowania ultrafioletowego (tzw. luminofor, mający zastosowanie w świetlówkach),
- zjawiska elektroluminescencji, zachodzącego w materiałach półprzewodnikowych (lampy LED),
- reakcji chemicznych (niektóre organizmy, np. świetliki, pewne gatunki ryb, głowonogów – fot. i rosnących na drzewach grzybów).

Wszystkie przedmioty oświetlone światłem, np. słonecznym, odbijają lub rozpraszają to światło, więc stają się jego wtórnymi źródłami. Wtórne źródło światła to m.in. Księżyc, który świeci światłem słonecznym odbitym od jego powierzchni.

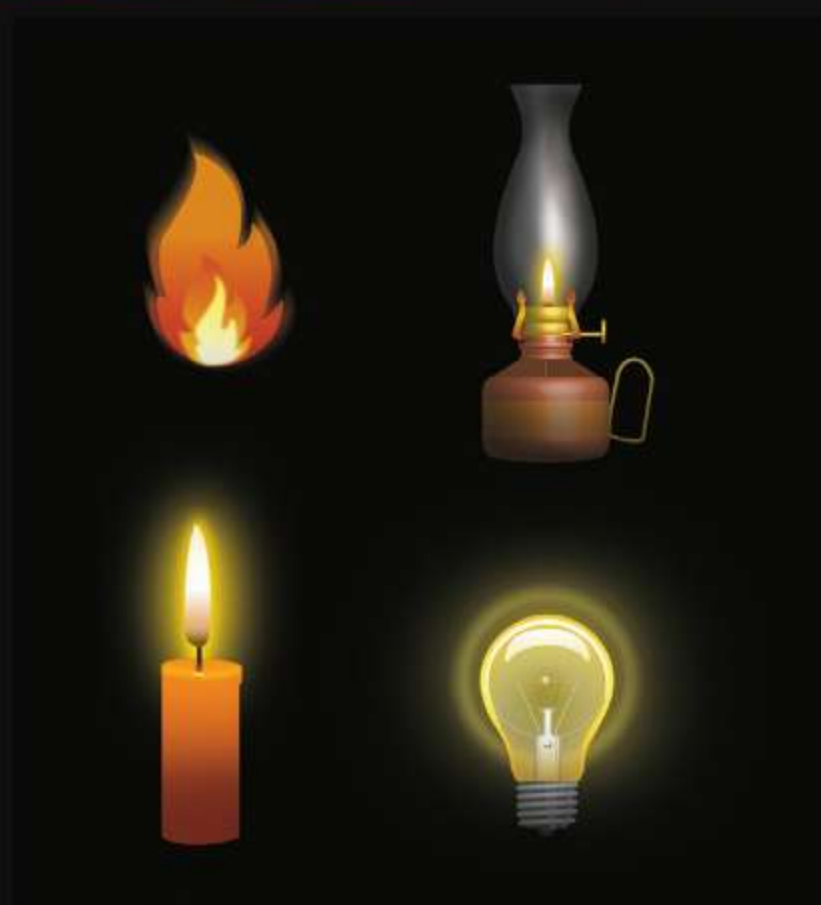
Źródłem światła o szczególnych właściwościach jest laser. Niektóre lasery mogą wytworzyć bardzo silny błysk światła, który trwa ułamek sekundy, ale ma olbrzymią moc i może spowodować np. przecięcie blachy stalowej. Laserów używa się do wiercenia otworów o mikroskopijnych średnicach, a także do spawania mikroskopijnych elementów. Światło laserowe ma też zastosowanie w medycynie jako niezwykle precyzyjny skalpel. Przecinane światłem laserowym naczynia krwionośne zasklepiają się na skutek wysokiej temperatury, co zapobiega krwawieniu rany.

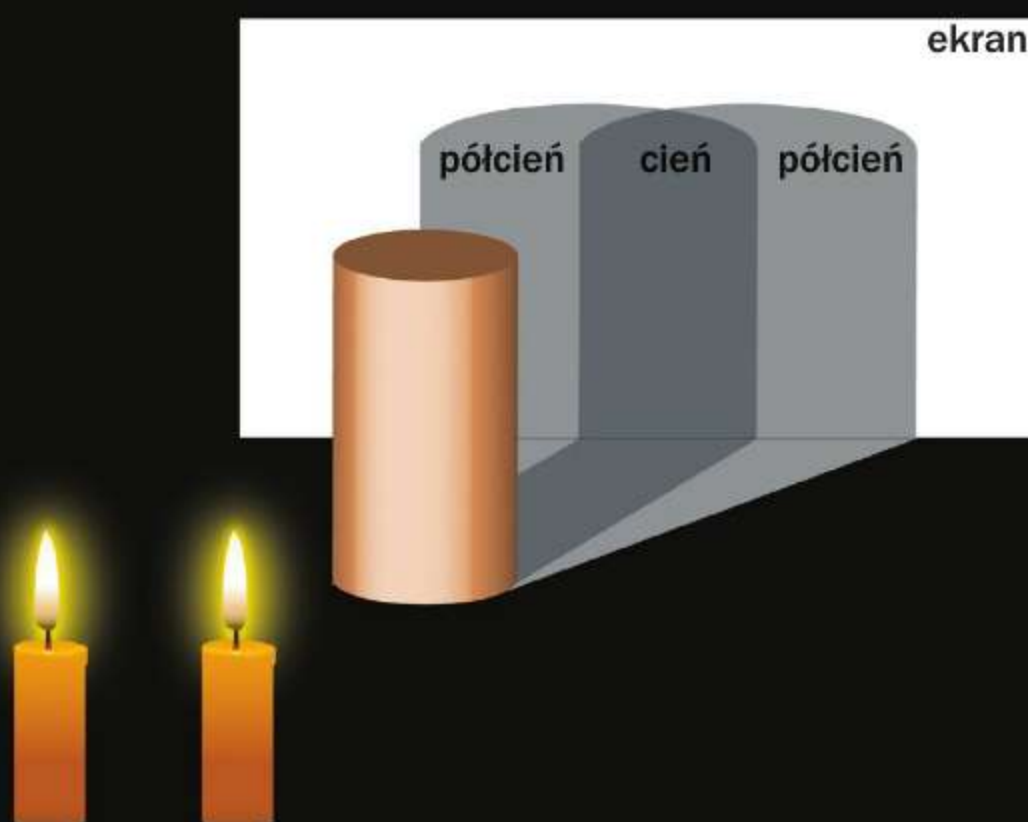
Laserów używa się także przy nagrywaniu i odtwarzaniu płyt kompaktowych, w drukarkach laserowych, w łączności kosmicznej i sterowaniu pojazdami kosmicznymi oraz pociskami. W supermarketach służą one do odczytywania cen towarów z kodów kreskowych.

Kierunek rozchodzenia się światła można zaobserwować za pomocą wskaźnika laserowego i rozpylacza wody używanego np. przy prasowaniu (rys.).

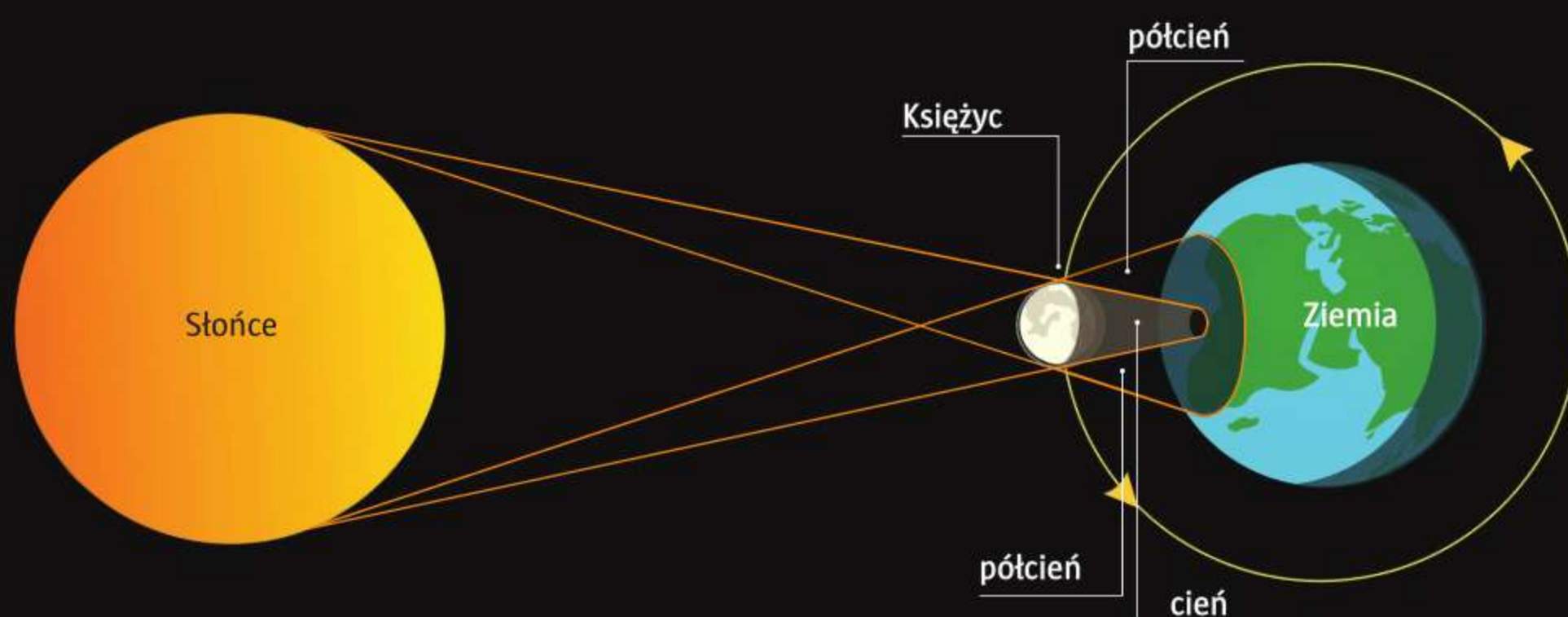
Zaobserwowaną przez nas linię nazywamy **promieniem świetlnym**. Taką linię możesz zobaczyć też w słoneczny dzień w pokoju, w którym opuszczono żaluzje. Przez ich szczeliny dostaje się światło. Kierunek, w którym się rozchodzi, możesz obserwować na ścianie lub meblach.

Na rysunkach promienie świetlne będziemy przedstawiać jako linie proste, których kierunki są zgodne z kierunkiem rozchodzenia się światła.

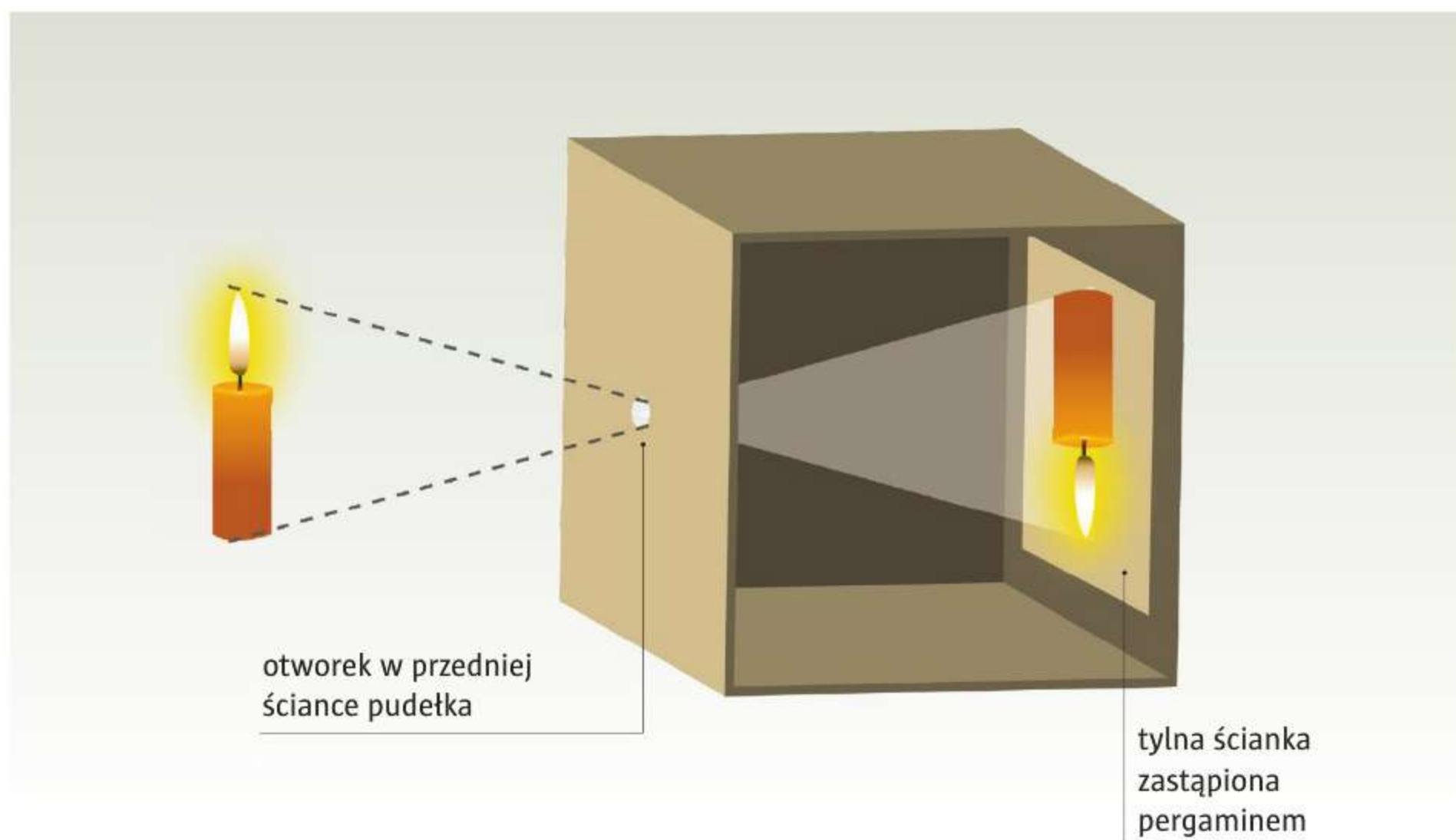




Umieszczenie na drodze światła ciała nieprzezroczystego powoduje powstawanie cienia. Jeśli przedmiot oświetlimy dwoma źródłami światła, uzyskamy efekt pokazany na powyższym rysunku. Środkowa, najmniejsza część ekranu nie jest oświetlona przez żadną z dwu świeczek. Ten obszar to cień. Do nieco jaśniejszych obszarów po obu stronach cienia dobiega światło od jednej świeczki. To obszary półcienia. Powstają one także wtedy, gdy źródło światła jest duże w porównaniu z oświetlanym obiektem (rys.).



O prostoliniowym rozchodzeniu się światła możemy się łatwo przekonać, kiedy korzystamy z tzw. kamery otworkowej. Możesz zbudować ją z kartonowego pudełka (skorzystaj z informacji podanych na rysunku na następnej stronie).



Na ekranie z pergaminu lub kalki technicznej otrzymujemy odwrócony obraz obserwowanego przedmiotu. Z rysunku wynika, że przyczyną odwrócenia obrazu jest prostoliniowe rozchodzenie się światła wysyłanego przez każdy punkt oświetlonego przedmiotu. Przedmiot ten wysyła ogromną ilość promieni świetlnych (we wszystkich kierunkach). Mały otworek kamery przepuszcza tylko niewielką ich część. Wielkość obrazu zależy od odległości obserwowanego przedmiotu od przedniej ścianki kamery.

Taki obraz przedmiotu świecącego lub oświetlonego, który możemy zobaczyć na odpowiednio ustawionym ekranie, nazywa się **obrazem rzeczywistym** tego przedmiotu.

Podsumowanie

1. Naturalnymi źródłami światła są wszystkie ciała świecące światłem własnym. Przedmioty odbijające lub rozpraszające światło są źródłami wtórnymi.
2. Światło, podobnie jak inne rodzaje fal elektromagnetycznych, rozchodzi się w próżni z szybkością 300 000 km/s. W powietrzu szybkość światła jest niemal taka sama jak w próżni. W innych ośrodkach przezroczystych światło rozchodzi się z mniejszą szybkością.
3. W ośrodkach jednorodnych (np. w próżni, szkle, wodzie) światło porusza się prostoliniowo.
4. Jeżeli światło na swej drodze napotyka ciało nieprzezroczyste (czyli takie, które nie przepuszcza światła), na ekranie lub innym przedmiocie znajdującym się za ciałem powstaje cień tego ciała.
5. Jeśli ciało nieprzezroczyste jest oświetlone dwoma źródłami światła lub źródło światła ma duże rozmiary w porównaniu z oświetlanym obiektem, oprócz obszaru cienia powstają obszary półcienia.

Zadania i doświadczenia

1. Podaj przykłady kilku źródeł światła w twoim otoczeniu. Wyjaśnij, co jest przyczyną wysyłania światła przez te źródła.
2. Wykorzystaj informacje podane na rysunku ze s. 175 i wykonaj kamerę otworkową. Zbadaj, czy przy odsuwaniu kamery od przedmiotu jego obraz na ekranie staje się większy czy mniejszy.
3. W XVIII wieku we Francji bardzo modne było wykonywanie rysunków nazywanych „sylwetkami”. W prosty sposób można taką sylwetkę zrobić samodzielnie.



Osobę, która chciałaby mieć swoją „sylwetkę”, ustaw w zaciemnionym pokoju na tle ściany (profilem do ściany) w taki sposób, aby wiązka promieni świetlnych z lampy padała na boczną część twarzy tej osoby. Głowa naszego modelu rzuci wówczas cień na papier umieszczony na ścianie. Pisakiem zaznacz kontury cienia, a następnie tak zakreśloną powierzchnię zamaluj czarnym tuszem – i „sylwetka” gotowa.

4. Wyszukaj informacje o zaćmieniach Słońca i Księżyca i przygotuj kilkunastominutową prezentację na ten temat.

Doświadczenie 1.

Wykazujemy, że światło rozchodzi się prostoliniowo.

Potrzebne przedmioty: kartka formatu A4, 2 świecek.

Kolejne czynności:

- W pobliżu środka kartki zrób otworek o średnicy około 2 mm.
- W zaciemnionym pomieszczeniu ustaw pionowo kartkę w odległości około 15 cm od ściany.
- W odległości około 40 cm od ściany ustaw obok siebie zapalone świecek. Poruszaj nimi, aby stwierdzić, który punkt świetlny na ścianie pochodzi od której świecek.
- Sporządź rysunek obrazujący bieg promieni świetlnych od każdej świecek do ściany. Wykaż tym sposobem, że cel doświadczenia został osiągnięty.

12.2 Odbicie światła

Jeżeli światło napotyka na swej drodze gładki (wypolerowany) przedmiot zwany lustrem lub **zwierciadłem**, wówczas odbija się od niego.

Odbicie światła wykorzystujemy, kiedy przeglądamy się w lustrze. Lustro to szklana szyba pokryta z jednej strony warstewką metalu, a następnie polakierowana. Używa go m.in. kierowca – żeby bez odwracania głowy w lusterku samochodowym obserwować jadące za nim pojazdy. Lustra są instalowane na skrzyżowaniach niektórych ulic. Z małego lusterka korzysta stomatolog, kiedy chce obejrzeć dokładnie stan naszych zębów. Dzięki lustrom można się wspaniale bawić w tzw. gabinetach śmiechu. Zwierciadłem jest także łyżeczka i to zarówno po stronie wklęsłej, jak i wypukłej. Zauważ, jak dziwne jest twoje odbicie, kiedy się w niej przeglądasz.

W spokojnej powierzchni jeziora odbija się całe jego otoczenie.



Wszystkie wymienione zjawiska można wyjaśnić za pomocą **prawa odbicia światła**. W doświadczeniu, które teraz wykonamy, użyjemy zwierciadła płaskiego, czyli takiego, którego wypolerowana powierzchnia jest płaska.

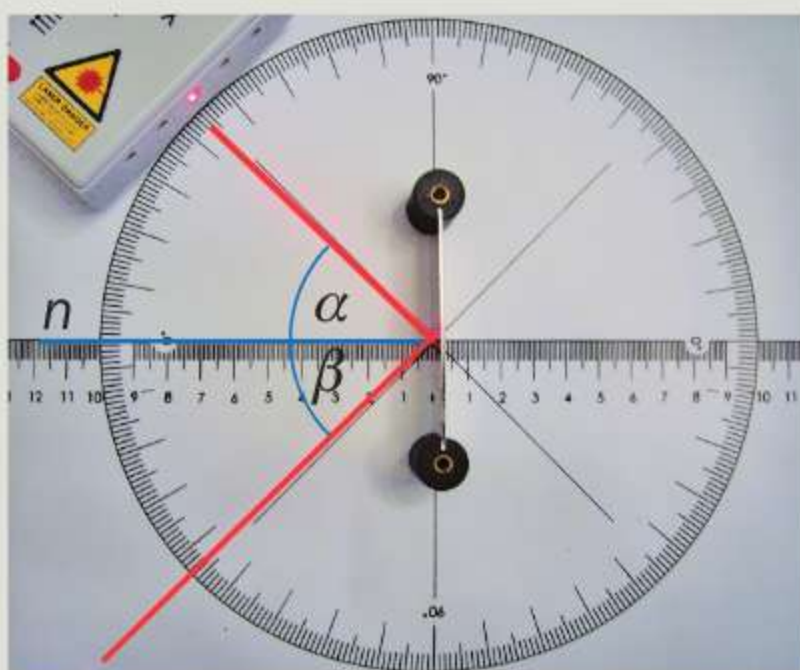
Doświadczenie 12.1

Odkrywamy prawo, zgodnie z którym światło odbija się od wypolerowanych, płaskich powierzchni.

Potrzebne przyrządy: zwierciadło płaskie, źródło światła – laser, kątomierz.

Kolejne czynności:

- Na planszy ustawiamy zwierciadło płaskie.
- Z lasera wysyłamy w stronę zwierciadła pojedynczy promień światła.
- Obracamy zwierciadło i zmieniamy jego położenie względem wiązki światła, a więc i kąt padania. Obserwujemy, jak zmienia się kąt odbicia.
- Za pomocą kątomierza odczytujemy wartości obu kątów dla kilku położenia zwierciadła.

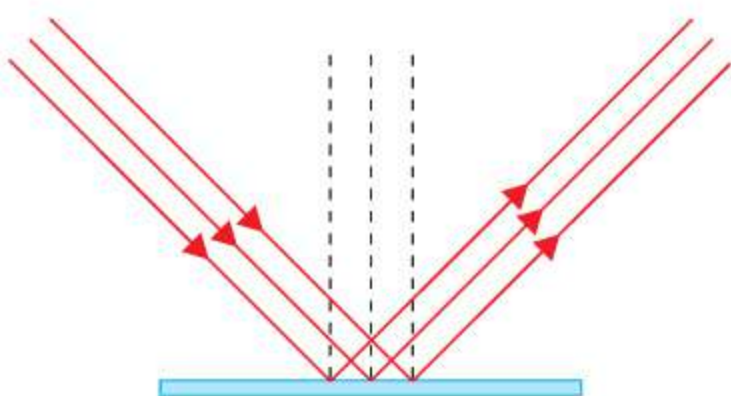


n – prosta prostopadła do powierzchni zwierciadła wykreślona w punkcie padania promienia na zwierciadło

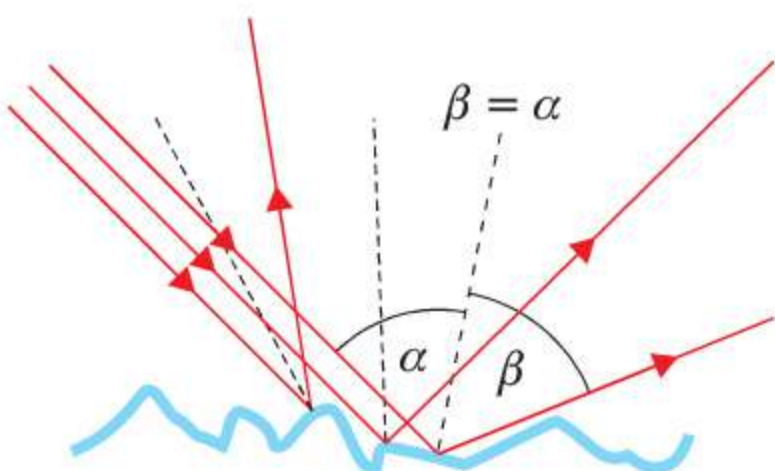
α – kąt padania (kąt między promieniem padającym a prostą n prostopadłą do powierzchni zwierciadła)

β – kąt odbicia (kąt między promieniem odbitym a prostą n)

a)



b)

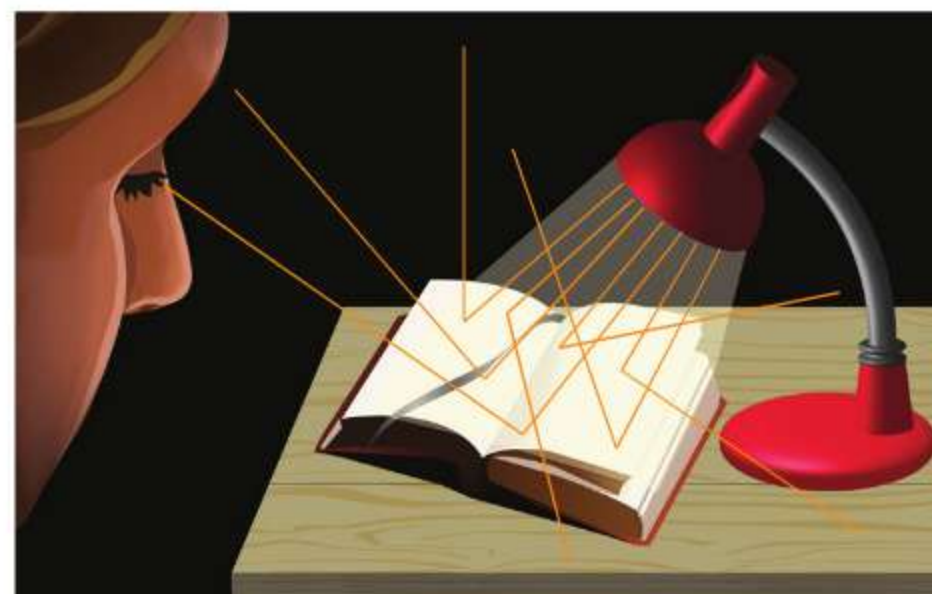


Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu możemy sformułować wniosek, który jest nazywany prawem odbicia.

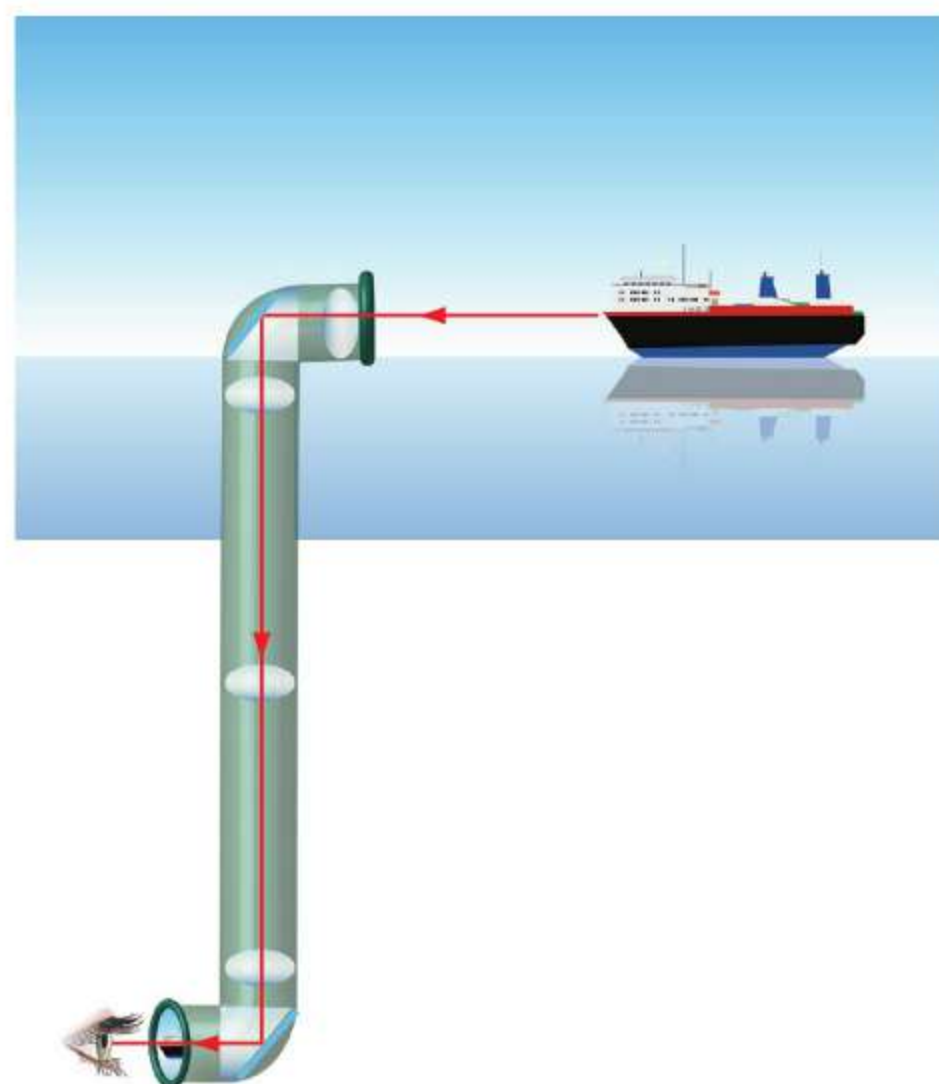
Światło odbija się od powierzchni ciał zawsze w takim kierunku, że kąt odbicia jest równy kątowi padania $\beta = \alpha$. Promień padający, promień odbity i prostopadła do powierzchni zwierciadła wykreślona w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.

Jeśli w naszym źródle światła zamienimy przesłonę z jednym otworem na przesłonę z trzema lub pięcioma otworami, otrzymamy kilka promieni równoległych. Jeśli powtórzymy poprzednie doświadczenie, zaobserwujemy, że po odbiciu od zwierciadła płaskiego promienie nadal są do siebie równoległe (rys. a).

Jeżeli jednak powierzchnia, na którą pada wiązka promieni równoległych, nie jest wypolerowana (mówimy, że jest chropowata), to po odbiciu od takiej powierzchni powstaje wiązka światła, której promienie nie są już do siebie równoległe. Taką wiązkę nazywamy wiązką promieni rozbieżnych, a zaobserwowane zjawisko – **rozproszaniem** światła (rys. b).



Dzięki rozproszeniu światła widzimy przedmioty, które same nie są źródłami światła (np. Księżyc, planety i większość codziennych przedmiotów). Wystarczy, aby ciała takie zostały oświetlone, a część rozproszonych przez nie promieni świetlnych dotrze do naszych oczu, niezależnie od tego, gdzie się znajdujemy (rys.). W małym stopniu zjawisko rozproszenia światła występuje również przy odbiciu od gładkiej powierzchni (np. od powierzchni zwyczajnego lustra), która w rzeczywistości nie jest idealnie gładka. Gdyby tak nie było, nie widzielibyśmy jego powierzchni.



Dzięki lustrom możemy zmieniać kierunek promieni świetlnych. Ma to zastosowanie w peryskopach, wykorzystywanych np. w okrętach podwodnych. Po wysunięciu peryskopu ponad powierzchnię wody z wnętrza okrętu podwodnego można obserwować obiekty znajdujące się na powierzchni wody lub ponad nią (rys.).

Na koniec przyjrzyjmy się zjawisku, które obserwujemy na co dzień, ale zwykle nie zwracamy na nie uwagi. Gdy patrzymy na budynki w dzień, nieoświetlone od wewnątrz okna są ciemne w porównaniu ze ścianami tych budynków. Światło pada na szyby okienne, przechodzi przez nie i nie jest odbijane. Ściany budynków są nieprzezroczyste i rozpraszają padające światło. Wieczorem sytuacja się odwraca. Światło z wnętrza mieszkań przechodzi przez szyby i wpada do naszych oczu. Nieoświetlone ściany budynków są ciemne (fot.).

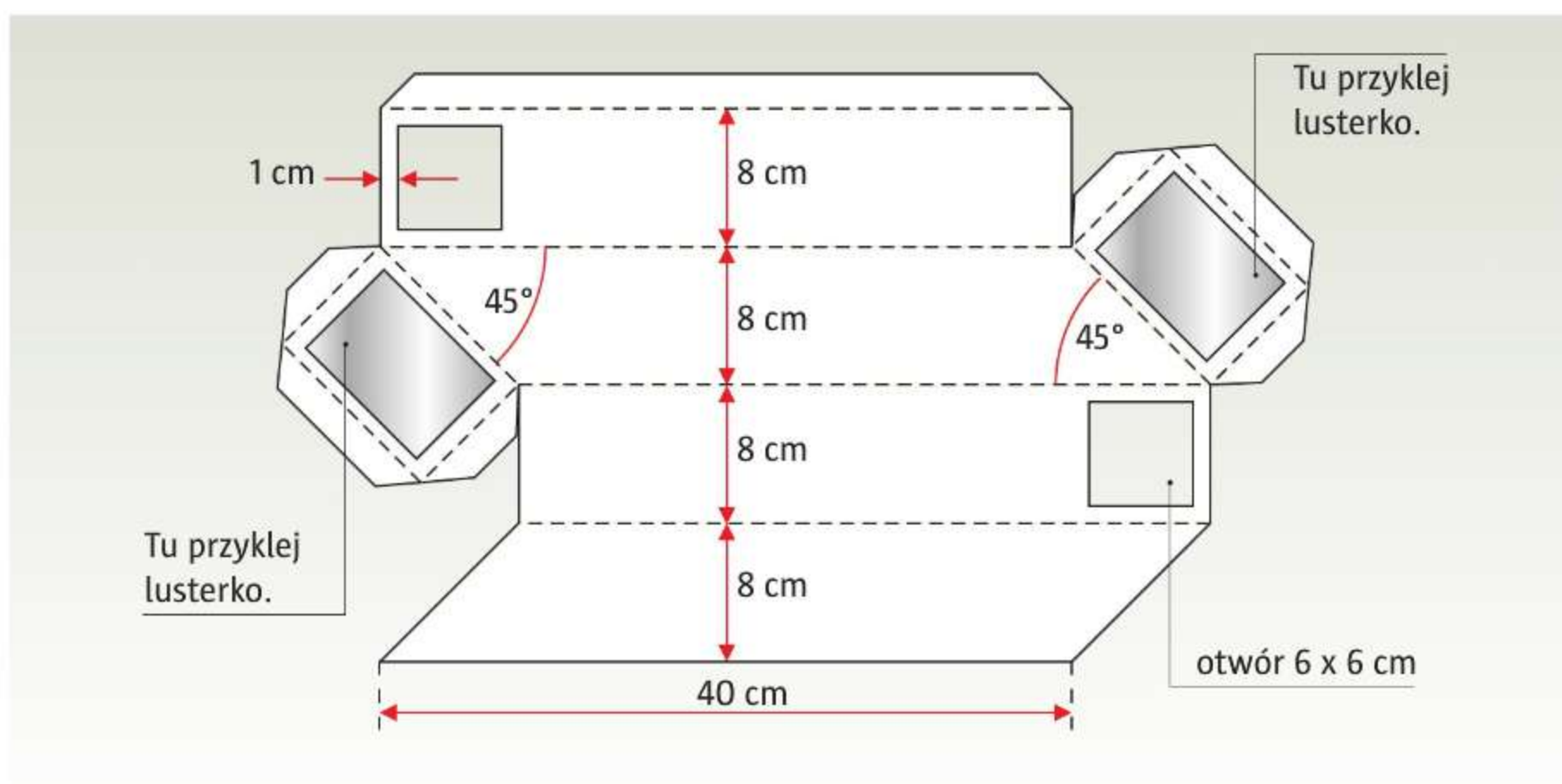


Podsumowanie

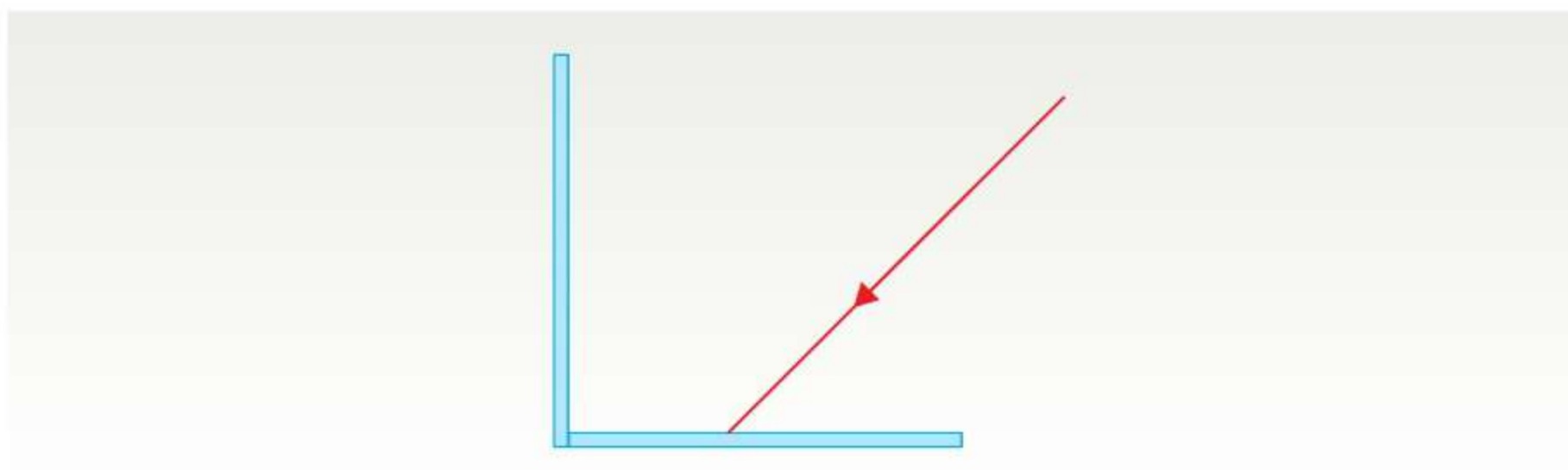
1. Jeśli światło pada na powierzchnię ciała, odbija się zgodnie z prawem odbicia.
2. Światło odbija się od powierzchni ciał zawsze w takim kierunku, że kąt odbicia jest równy kątowi padania $\beta = \alpha$. Promień padający, promień odbity i prostopadła do powierzchni zwierciadła wykreślona w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.
3. Jeśli powierzchnia ciała jest chropowata, światło ulega rozproszeniu.

Zadania i doświadczenia

1. Wykorzystaj informacje podane na rysunku i wykonaj peryskop. Będzie ci potrzebny karton o wymiarach 40×60 cm, 2 lusterka o wymiarach około 10×7 cm i mocny klej. Zastanów się nad możliwością wykorzystania peryskopu w praktyce.



2. Dwa zwierciadła ustawiono pod kątem prostym. Na poziome zwierciadło pada wiązka światła. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj dalszy bieg wiązki.



Doświadczenie 1.

Badamy rozpraszanie światła na kartce papieru i przejście światła przez przezroczystą część kartki.

Potrzebne przedmioty: kartka białego papieru, odrobina tłuszczu (masło, margaryna itp.).

Kolejne czynności:

- Na środku kartki rozmaż palcem tłuszcz i utwórz tłustą, częściowo przezroczystą plamę.
- Trzymaj kartkę pionowo i popatrz przez nią w stronę okna z odległości około 1 m.
- Odwróć się razem z kartką o 180° i popatrz na nią, stojąc tyłem do okna.
- W obu ustawieniach zaobserwuj, czy plama jest jaśniejsza od reszty kartki czy odwrotnie.
- Zapisz wynik doświadczenia i sformułuj wniosek.
- Spójrz w lustrze na swoje oczy. Czarny krążek pośrodku to źrenica oka. Dlaczego zawsze jest czarna?

**Doświadczenie 2.**

Badamy odbicie i rozpraszanie światła.

Potrzebne przedmioty: dwa kawałki folii aluminiowej, wskaźnik laserowy.

Kolejne czynności:

- Z jednego kawałka folii uformuj zmiętą bryłę, drugi pozostaw gładki.
- Na oba kawałki folii kolejno skieruj promień światła laserowego.
- Na dłoni (lub kartce papieru) ustawionej odpowiednio względem folii (prostopadle do gładkiego kawałka folii) zaobserwuj skutek odbicia światła w obu przypadkach.
- Zapisz wynik doświadczenia i sformułuj wniosek.

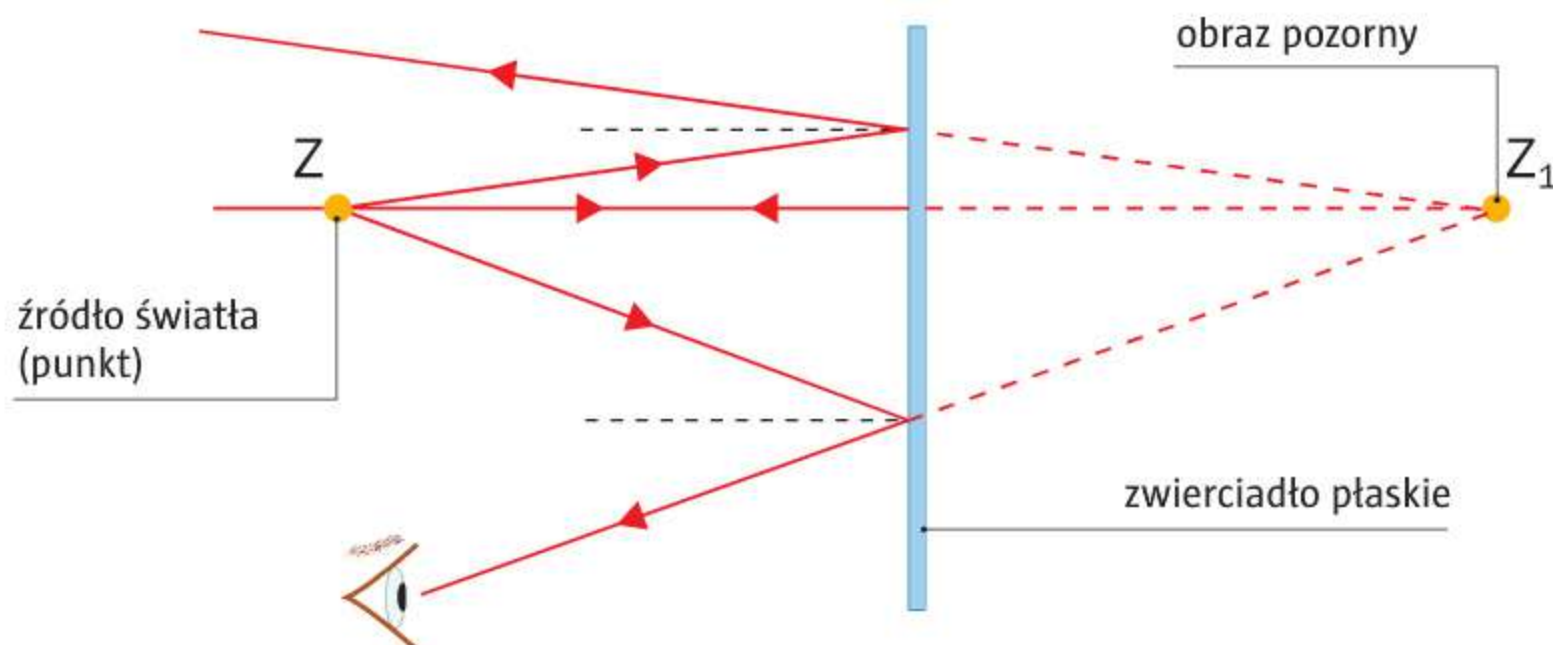
12.3 Obrazy otrzymywane w zwierciadle płaskim



Gdy patrzysz w lustro (zwierciadło), widzisz swoje odbicie. Masz wrażenie, że jesteś po jego drugiej stronie. W rzeczywistości promienie świetlne jednak wcale stamtąd nie wychodzą. Obraz, który widzisz w lustrze, to **obraz pozorny**.

Zwierciadłem płaskim jest również spokojna powierzchnia wody np. w jeziorze lub stawie, w której odbija się otoczenie. Przy konstruowaniu obrazu powstającego w zwierciadłach płaskich wystarczy uwzględnić przynajmniej dwa promienie wysyłane przez dowolny punkt źródła światła i padające na powierzchnię lustra: jeden np. prostopadle (dla niego kąt padania jest równy kątowi odbicia i wynosi 0°), a drugi – dowolnie.

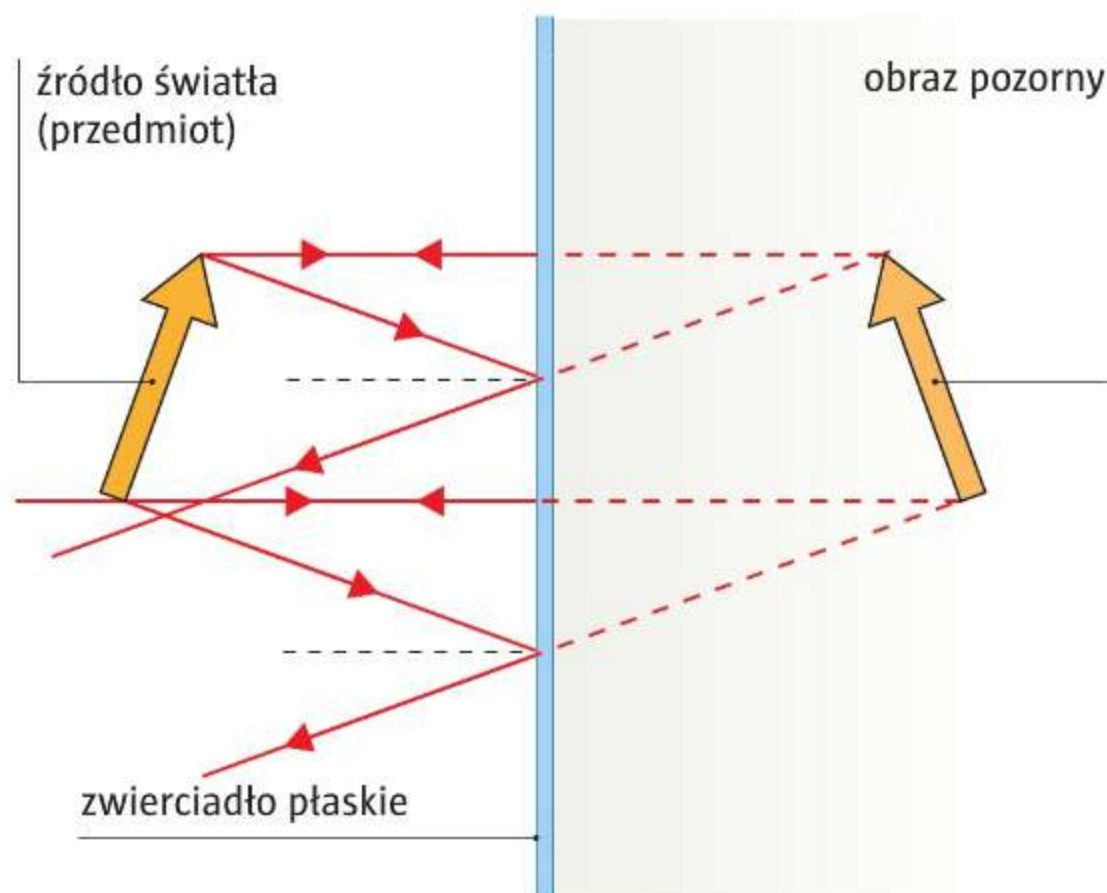
Obraz powstaje w wyniku przecięcia się przedłużeń promieni odbitych od powierzchni lustra (rys.). Do naszego oka promienie dobiegają tak, jakby ich źródłem był punkt Z_1 , a nie Z . Jednak jest to tylko złudzenie i dlatego punkt Z_1 nazywamy pozornym obrazem punktu Z .



Niezależnie od tego, w którym miejscu przed zwierciadłem znajduje się nasze oko, zawsze dobiega do niego część promieni wychodzących ze źródła Z i odbitych od zwierciadła.

Jeżeli źródłem światła jest przedmiot o pewnych rozmiarach, np. świecąca strzałka (rys.), wówczas przy konstruowaniu jego obrazu wystarczy znaleźć obraz dwóch skrajnych punktów tego źródła.

Powstały obraz jest obrazem **pozornym i symetrycznym względem płaszczyzny zwierciadła**. Oznacza to, że źródło i jego obraz są tej samej wielkości, a ich odległości od zwierciadła są jednakowe.



Podsumowanie

Za pomocą zwierciadła płaskiego otrzymujemy obraz pozorny i symetryczny względem powierzchni zwierciadła, tzn. obraz jest tej samej wielkości co przedmiot, w tej samej odległości od zwierciadła i nie jest odwrócony (mówimy, że jest prosty).

Zadania i doświadczenia

1. Na ambulansach ratunkowych na masce z przodu widnieje napis **AMBULANS**. Co on oznacza i dla kogo jest przeznaczony?
2. Przed lustrem ustawiono kubek z gorącą herbatą. Narysuj obraz kubka w lustrze.
3. Wymyśl i opisz sposób wyznaczania wysokości drzewa za pomocą leżącego na ziemi lustra. Do dyspozycji masz jeszcze przymiar metrowy.
4. Odpowiedz, dlaczego w celu otrzymania zwierciadła płytkę szklaną pokrywa się z jednej strony warstwą metalu.



zwierciadło

Doświadczenie 1.

Wymyśl, w jaki sposób z wykorzystaniem zwierciadła płaskiego możesz zobaczyć tylną część swojej głowy. Przeprowadź odpowiednie doświadczenie. Naszkicuj bieg kilku promieni.

Doświadczenie 2.

Na kartce papieru drukowanymi literami napisz swoje imię, a następnie przepisuj je tak, jak wyglądałoby w lustrze. Ustaw kartkę przed lustrem i sprawdź, czy udało ci się to zrobić poprawnie.

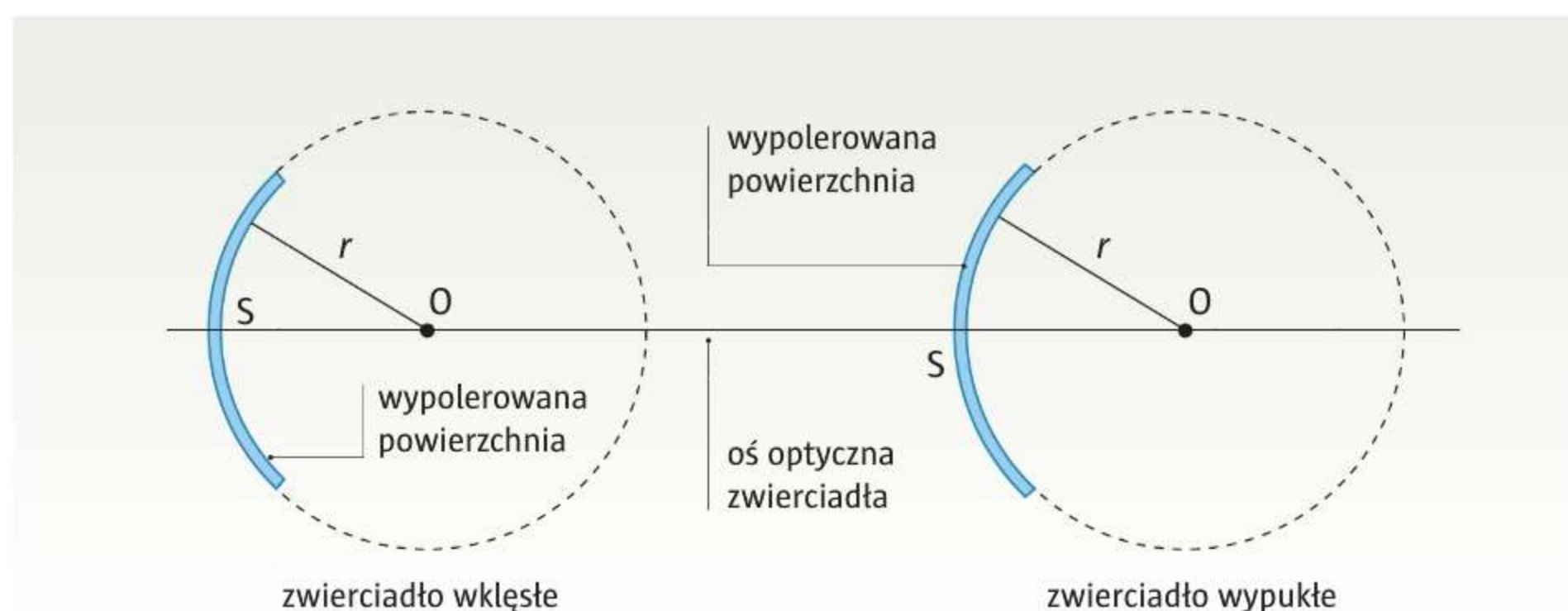
12.4 Obrazy otrzymywane w zwierciadłach kulistych

Oprócz zwierciadeł płaskich używa się również zwierciadeł kulistych. Są nimi np. zwierciadła stosowane na skrzyżowaniach ulic, w lusterkach i reflektorach samochodów, w lusterkach dentystycznych. Zwierciadło kuliste stanowi część gładkiej, wypolerowanej powierzchni kuli. Jako zwierciadło może być wykorzystana zewnętrzna lub wewnętrzna powierzchnia kuli. W związku z tym rozróżniamy zwierciadła kuliste:

- **wklęsłe** – gdy jako zwierciadło wykorzystujemy wewnętrzną powierzchnię kuli (rys.),
- **wypukłe** – gdy jako zwierciadło wykorzystujemy zewnętrzną powierzchnię kuli (rys.).

Każde zwierciadło kuliste ma:

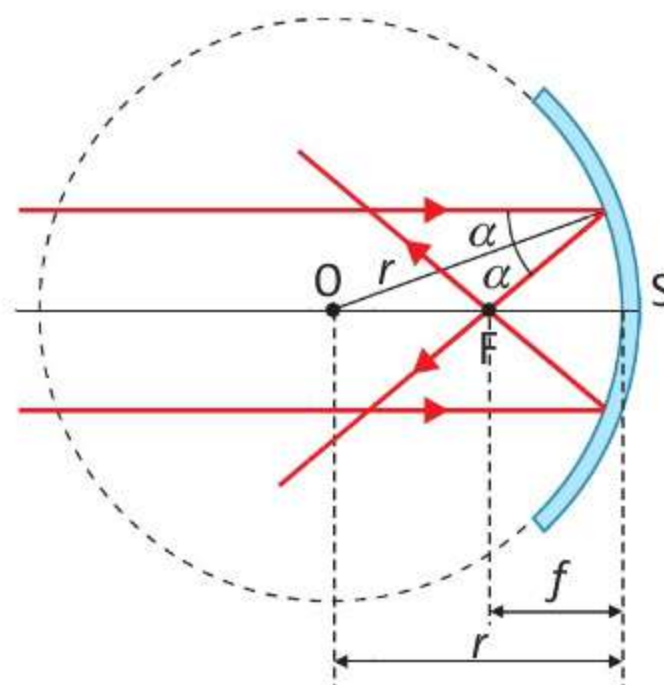
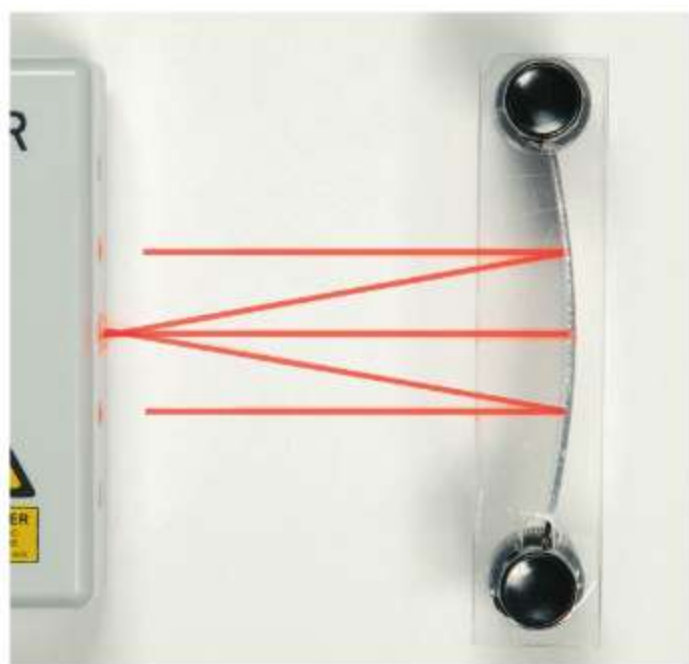
- **środek krzywizny** – jest nim środek kuli (O),
- **promień krzywizny** – jest nim promień kuli (r),
- **oś optyczną** – jest nią prosta przechodząca przez środek krzywizny (O) i środek czaszy zwierciadła (S).



Jeśli na powierzchnię zwierciadła kulistego wklęsłego skierujemy wiązkę promieni równoległych do osi optycznej zwierciadła, zaobserwujemy bieg promieni po odbiciu od powierzchni zwierciadła zgodny z prawem odbicia (fot. i rys. na s. 185). Prostopadła do powierzchni zwierciadła wykreślona w miejscu, w którym pada promień, przechodzi przez środek krzywizny zwierciadła O.

Promienie świetlne **równoległe** do osi optycznej po odbiciu od powierzchni zwierciadła kulistego wklęsłego przechodzą przez jeden punkt F zwany **rzeczywistym ogniskiem**

zwierciadła. Ognisko to leży na osi optycznej zwierciadła. Odległość ogniska od środka czaszy zwierciadła nazywamy **ogniskową** i oznaczamy literą f .



Na rysunku powyżej zmierz ogniskową i porównaj ją z promieniem krzywizny zwierciadła. Nietrudno zauważyć, że **ogniskowa zwierciadła wklęsłego jest w przybliżeniu równa połowie jego promienia krzywizny**

$$f = \frac{r}{2}$$

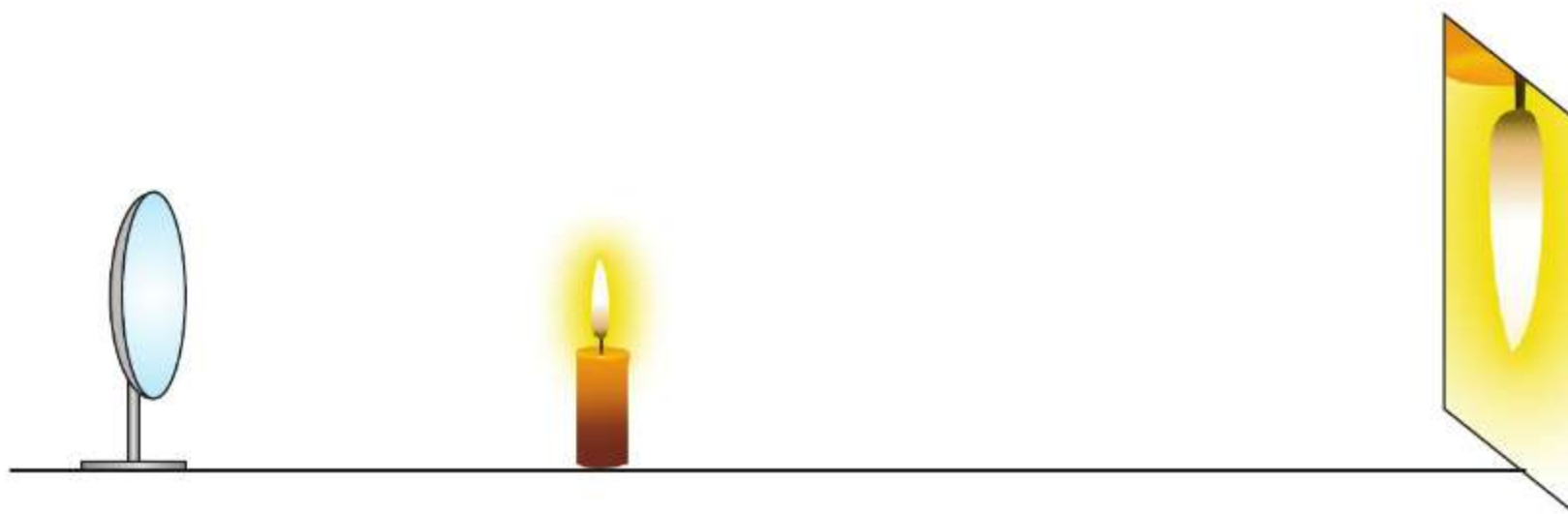
gdzie:

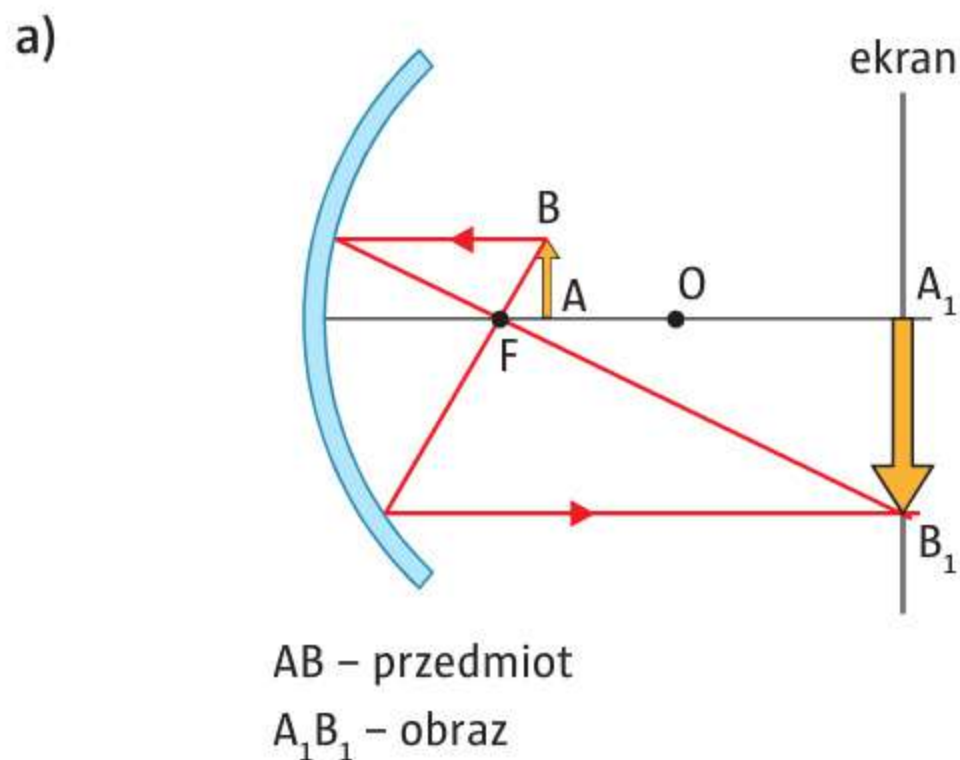
f – ogniskowa zwierciadła,

r – promień krzywizny.

Jeśli odwrócimy bieg promieni świetlnych, czyli umieścimy w ognisku zwierciadła wklęsłego punktowe źródło światła (a więc takie, którego rozmiary geometryczne można pominąć), otrzymamy po odbiciu od jego powierzchni wiązkę promieni równoległych do osi optycznej. Wykorzystano to m.in. w reflektorach samochodowych. Żarówka samochodowa nie jest jednak punktowym źródłem światła i dlatego (między innymi) wiązka promieni odbitych nie jest idealnie równoległa.

Jeżeli przed zwierciadłem kulistym ustawimy świecący lub oświetlony przedmiot, to na umieszczonym w odpowiednim miejscu ekranie lub w głębi zwierciadła uzyskamy obraz tego przedmiotu. W pierwszym przypadku będzie to **obraz rzeczywisty**, w drugim **pozorny**. Rysunek poniżej przedstawia sposób otrzymywania rzeczywistego obrazu płomienia świeczki za pomocą zwierciadła kulistego wklęsłego. Aby uzyskać taki obraz, świeczkę należało umieścić między ogniskiem a środkiem krzywizny zwierciadła.

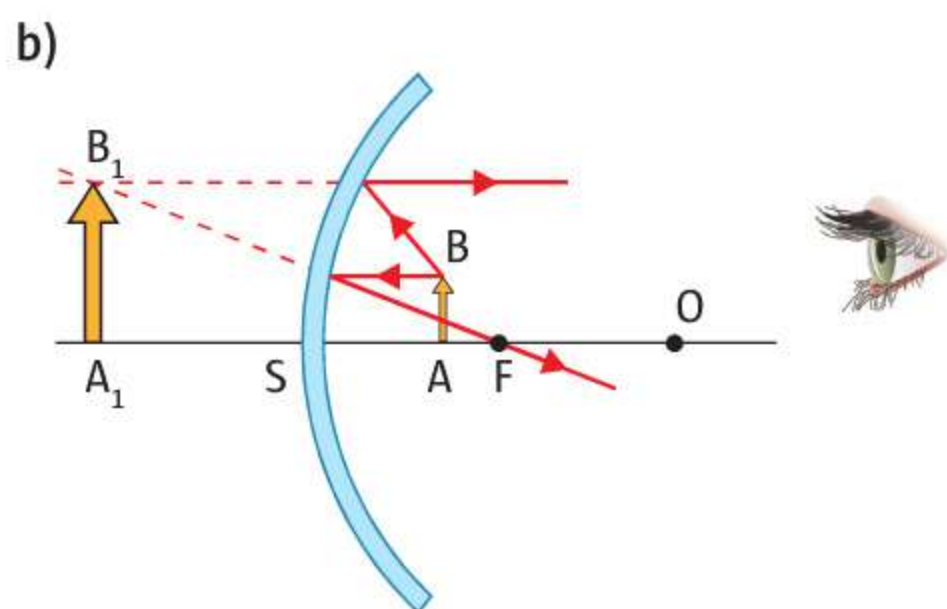




Zastąpmy świeczkę strzałką ustawioną w płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej. Jeden z końców strzałki leży na tej osi (rys. a). Każdy punkt strzałki wysyła światło we wszystkich kierunkach. Część promieni tego światła pada na zwierciadło.

Aby skonstruować obraz całej strzałki, wystarczy znaleźć obrazy jej skrajnych punktów A i B. Promień światła biegnący w stronę zwierciadła z punktu A pada na nie pod kątem 0° i po odbiciu wraca po tej samej prostej. Obraz A₁ punktu A leży więc na osi optycznej zwierciadła.

Z punktu B na zwierciadło pada wiele promieni, które odbijają się pod różnymi kątami. Wszystkie one po odbiciu od zwierciadła skupiają się w jednym punkcie. Aby wyznaczyć położenie tego punktu, wystarczy znać bieg dwóch promieni.



Wiemy, że:

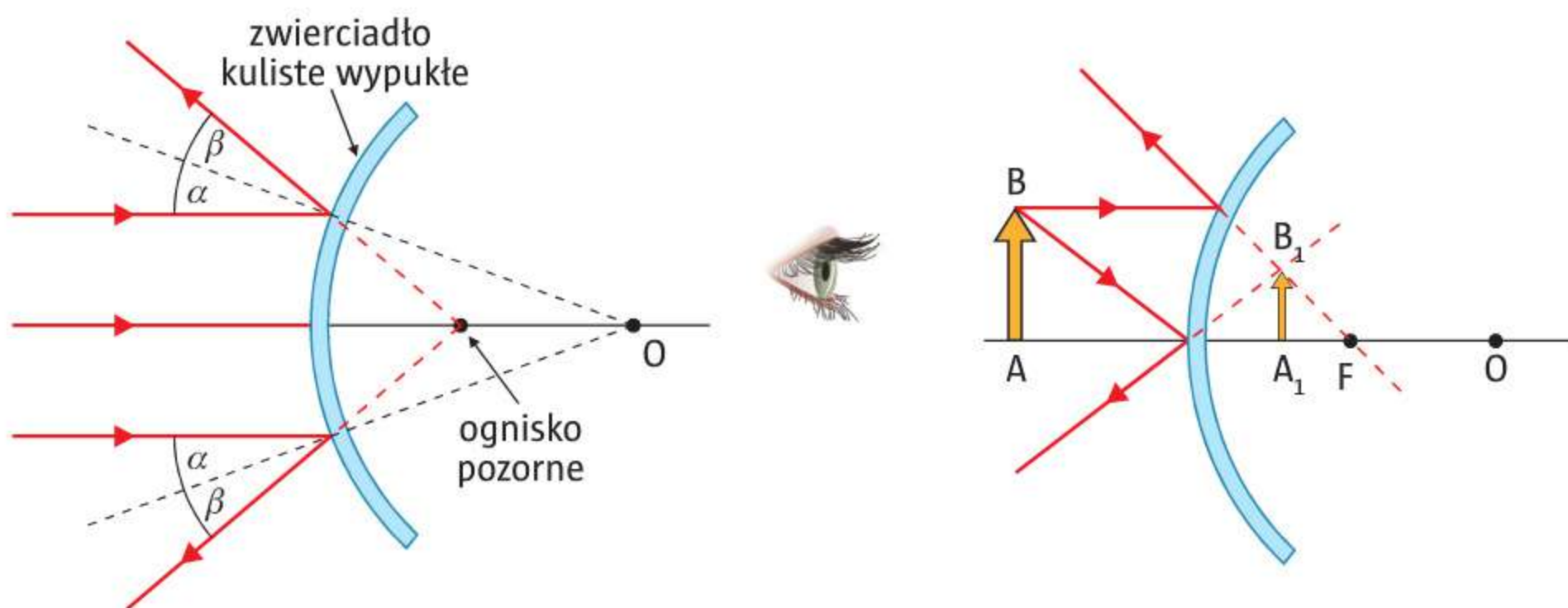
- promień równoległy do osi optycznej po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez jego ognisko,
- promień biegnący od punktu B przez ognisko po odbiciu biegnie równoległe do osi optycznej zwierciadła.

W punkcie przecięcia promieni odbitych (B₁) powstaje obraz punktu B.

Jeśli świecą strzałkę umieścimy w odległości większej niż promień krzywizny zwierciadła, to otrzymamy obraz rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony (wykonaj konstrukcję).

Na rysunku b przedmiot umieszczono między środkiem S zwierciadła a ogniskiem. Promienie nie przecinają się po odbiciu od zwierciadła. W punkcie przecięcia ich przedłużeń (B₁) zobaczymy jednak obraz strzałki (patrzac w głąb zwierciadła). Jest on pozorny, powiększony i nieodwrócony (prosty).

Jeśli zamienimy zwierciadło kuliste wklęsłe na zwierciadło kuliste wypukłe, wiązka promieni równoległych do osi optycznej po odbiciu od powierzchni zwierciadła staje się wiązką promieni rozbieżnych (nieprzecinających się). Jeżeli linie obrazujące promienie odbite przedłużymy w kierunku wnętrza zwierciadła, to przetną się one w jednym punkcie, położonym na osi optycznej. Ten punkt nazywamy **ogniskiem pozornym**. Ilustruje to kolejny rysunek.



W zwierciadłach kulistych wypukłych, niezależnie od tego, w jakiej odległości znajduje się oświetlony przedmiot, zawsze otrzymujemy obrazy pozorne, pomniejszone i nieodwrócone (rys.). Takie zwierciadła montuje się na skrzyżowaniach ulic, by zapobiec kolizjom samochodowym.

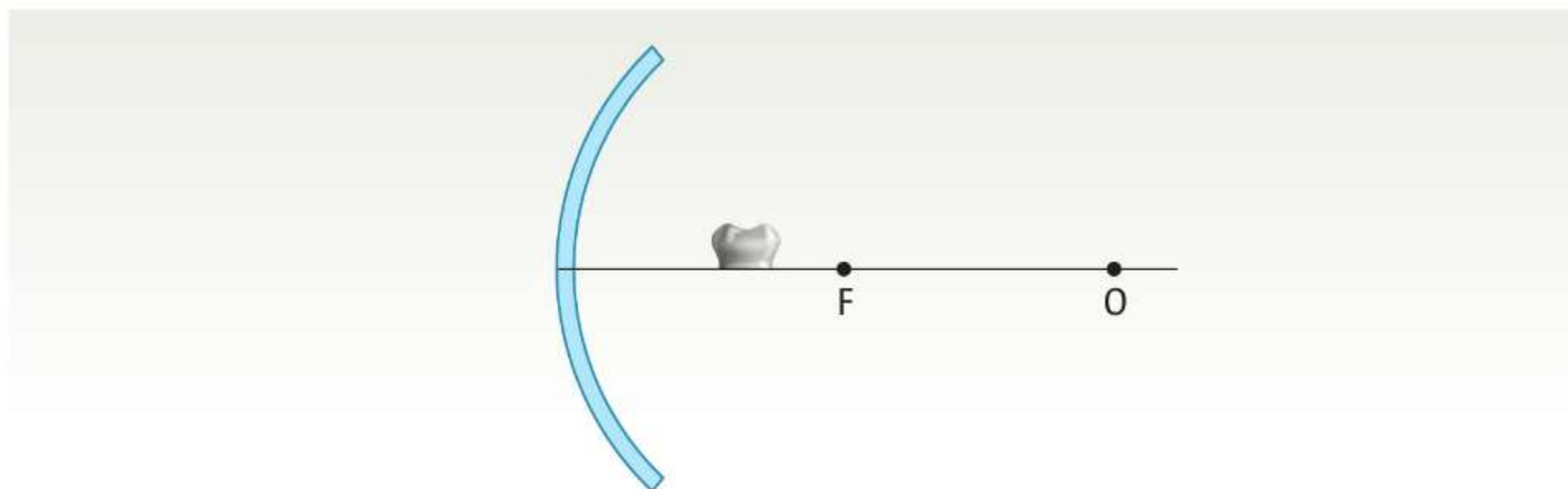
Zjawisko skupiania światła słonecznego za pomocą zwierciadeł wklęsłych wykorzystano w wielu współczesnych urządzeniach technicznych. W tzw. kuchenkach słonecznych skupione promienie świetlne służą do podgrzewania żywności, którą umieszcza się w ognisku zwierciadła.

Podsumowanie

1. Zwierciadło kuliste stanowi część gładkiej, wypolerowanej powierzchni kuli. Rozróżniamy zwierciadła kuliste wklęsłe i wypukłe.
2. Punkt, przez który przechodzą po odbiciu od powierzchni zwierciadła kulistego wklęsłego promienie świetlne padające równolegle do osi optycznej, nazywamy rzeczywistym ogniskiem tego zwierciadła.
3. Odległość ogniska od środka czaszy zwierciadła kulistego nazywamy ogniskową.
4. Ogniskowa zwierciadła wklęsłego jest równa w przybliżeniu połowie jego promienia krzywizny $f = \frac{r}{2}$.
5. W zależności od odległości świecącego przedmiotu od zwierciadła wklęsłego otrzymujemy obrazy rzeczywiste lub pozorne. Obrazy rzeczywiste są odwrócone i powiększone lub pomniejszone. Obrazy pozorne są powiększone i nieodwrócone.
6. Zwierciadło kuliste wypukłe posiada ognisko pozorne. Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po odbiciu od wypukłej powierzchni zwierciadła staje się wiązką promieni rozbieżnych, których przedłużenia skupiają się w jednym punkcie – w ognisku pozornym.
7. W zwierciadłach wypukłych otrzymujemy tylko obrazy pozorne, pomniejszone i nieodwrócone.

Zadania i doświadczenia

1. Zobacz swój obraz w wypolerowanej łyżce lub chochli.
2. W celu dokładnego obejrzenia zęba dentysta używa zwierciadła wklęsłego. Przerysuj rysunek do zeszytu, narysuj konstrukcję obrazu zęba i podaj cechy tego obrazu.



Doświadczenie 1.

Smażymy jajecznicę za pomocą promieniowania słonecznego.

Na zdjęciu obok pokazano sposób gotowania ziemniaków za pomocą zwierciadła kulistego wklęsłego.

Odpowiednie warunki i potrzebne

przedmioty: letni słoneczny dzień, duże półokrągłe naczynie (np. miednica), duża liczba małych płaskich lusterek, plastelina, chochla.

Kolejne czynności:

- Do wewnętrznej powierzchni naczynia przyczepiamy plasteliną lusterka – jedno obok drugiego.
- Otrzymane w ten sposób zwierciadło wklęsłe ustawiamy w stronę Słońca.
- Za pomocą kartki papieru znajdujemy ognisko zwierciadła i umieszczamy w nim chochlę z rozbitym jajkiem.

Życzymy smacznego!



12.5 Załamanie światła na granicy dwóch ośrodków

Jeśli światło pada na granicę dwóch przezroczystych ośrodków, to zwykle jego część odbija się (zgodnie z prawem odbicia), a część wchodzi do drugiego ośrodka, zmieniając na ogół kierunek swego biegu. Mówimy wówczas, że światło **się załamuje**.

Aby dokładniej zbadać zjawisko załamania światła, wykonajmy doświadczenie.

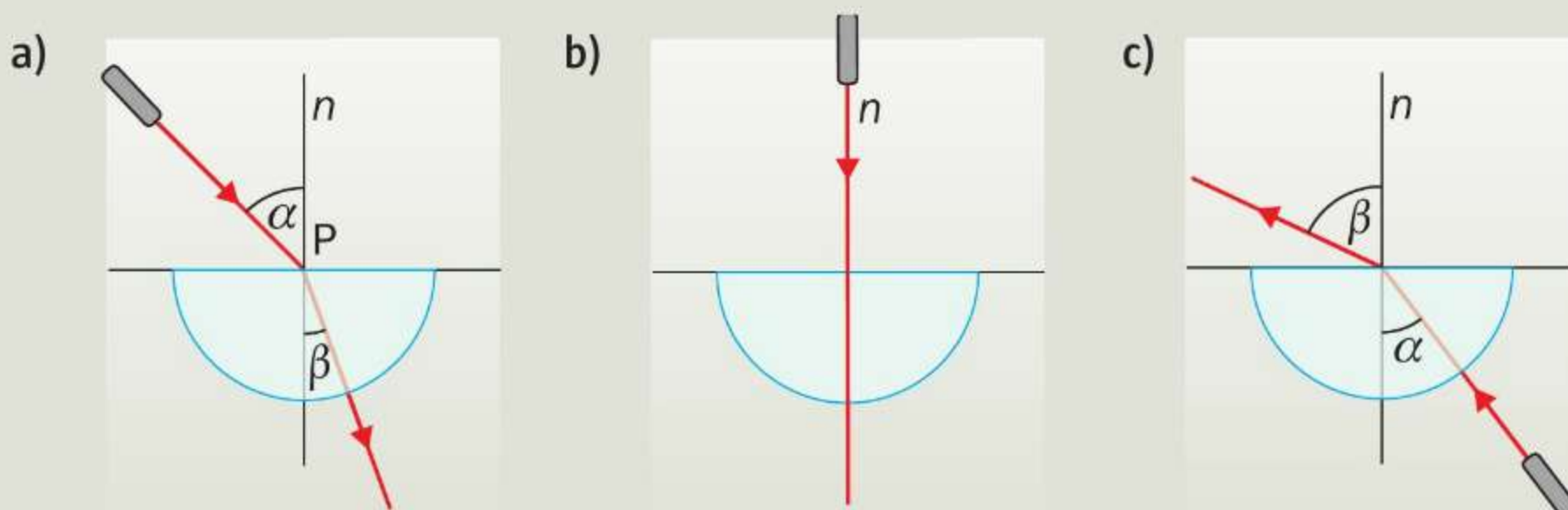
Doświadczenie 12.2

Badamy zjawisko załamania światła.

Potrzebne przedmioty: szklana płytką w kształcie półkrażka, wskaźnik laserowy.

Kolejne czynności:

- Na planszy z zestawu optycznego ustawiamy płytkę tak, by jej średnica pokrywała się z jedną z prostopadłych do siebie linii, a druga linia przebijała półkrażek w środku średnicy.
- Na płytkę kierujemy promień światła laserowego tak, aby padał na środek płytki (rys. a).
- Wprowadzamy następujące oznaczenia:
 n – prosta prostopadła do powierzchni padania, wykreślona w punkcie padania P,
 α – kąt padania (między promieniem padającym a prostą n),
 β – kąt załamania (między promieniem załamanym a prostą n).
- Obserwujemy, jak zmienia się kąt załamania, gdy zwiększamy kąt padania.
- Promień kierujemy wzdłuż prostej n i obserwujemy jego bieg w płytce (rys. b).
- Promień światła kierujemy tak, aby obserwować zmianę jego kierunku przy przejściu ze szkła do powietrza (rys. c).

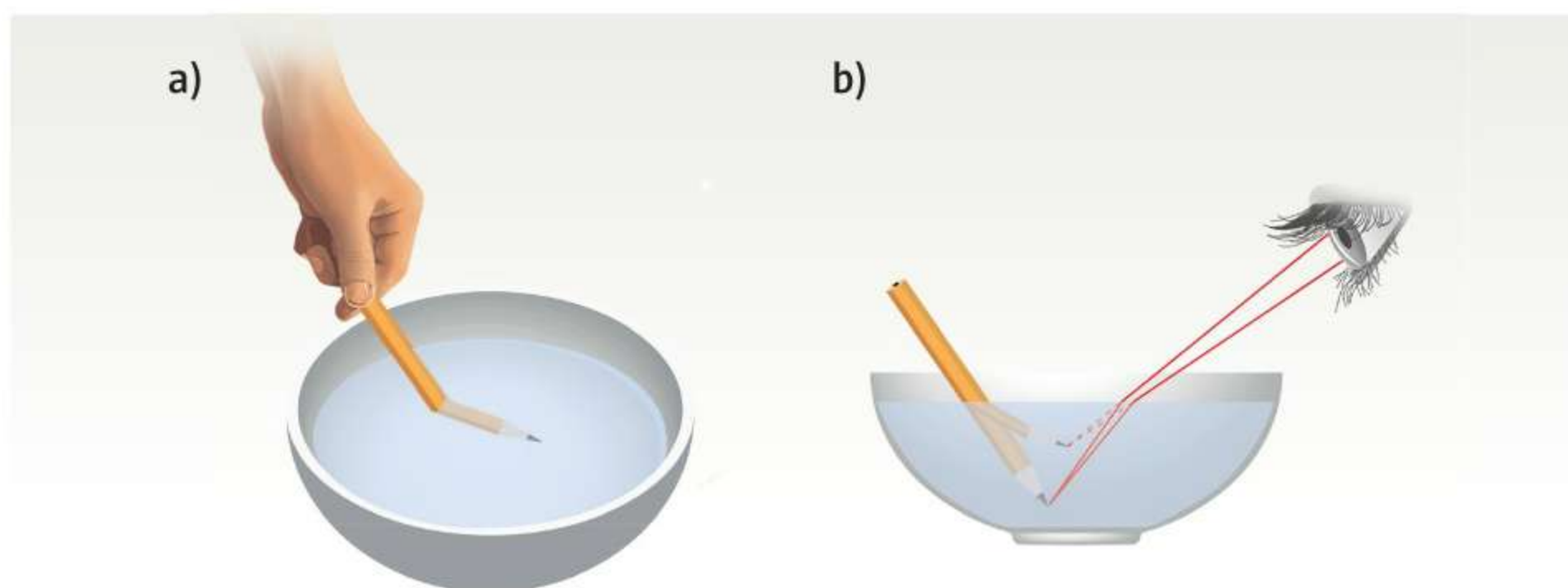


Wyniki:

- Gdy promień światła przechodzi z powietrza do szkła, załamuje się na płaskiej powierzchni półkrażka. Kąt załamania jest mniejszy od kąta padania ($\beta < \alpha$).
- Gdy kąt padania światła wzrasta, wzrasta również kąt załamania.
- Jeśli kąt padania jest równy zeru ($\alpha = 0$) – czyli promień padający jest prostopadły do powierzchni szklanego półkrażka – to wiązka światła przechodzi przez płytkę bez zmiany kierunku, a kąt załamania jest także równy zeru. Wówczas światło wychodzące z półkrażka do powietrza nie zmienia kierunku.
- Gdy promień światła przechodzi ze szkła do powietrza, załamuje się na płaskiej powierzchni półkrażka tak, że kąt załamania jest większy od kąta padania ($\beta > \alpha$).

Wniosek: Kiedy światło przechodzi z ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej, to załamuje się tak, że kąt załamania jest mniejszy od kąta padania ($\beta < \alpha$). Jeżeli światło przechodzi w odwrotną stronę, to załamuje się tak, że kąt załamania jest większy od kąta padania ($\beta > \alpha$). **Im większa różnica szybkości światła w dwóch stykających się ośrodkach, tym większa jest zmiana kąta.**

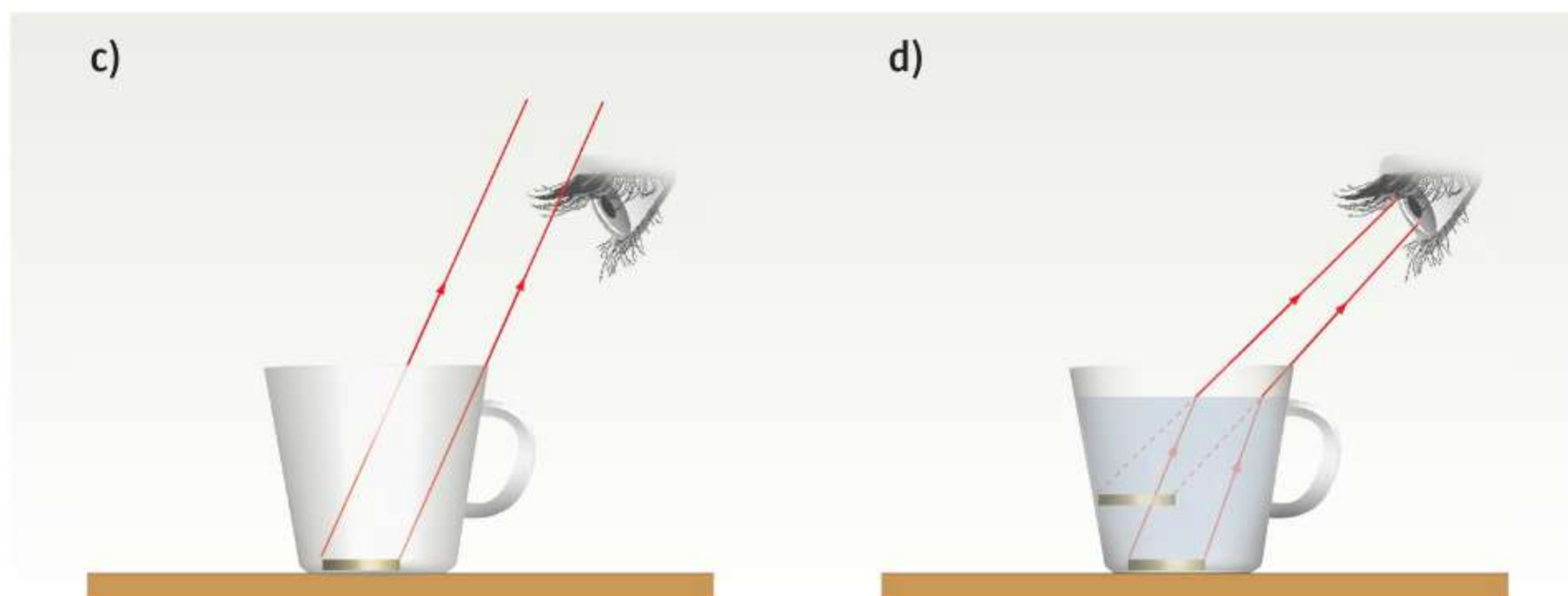
Aby zaobserwować skutki załamania światła, można np. w szerokim naczyniu z wodą (głęboki talerz lub miska) zanurzyć ołówek. Gdy spojrzymy z boku, będziemy mieć wrażenie, że jest on złamany (rys. a).



By zrozumieć to zjawisko, wystarczy prześledzić bieg promieni oświetlających część ołówka zanurzoną w wodzie, a następnie wybiegających z wody i dochodzących do naszych oczu. Na rysunku b pokazano bieg tych promieni od czubka ołówka. Nasze oko rejestruje te promienie tak, jakby wybiegały z miejsca, w którym łączą się linie przerywane.

Załamanie światła może spowodować pozorną zmianę położenia ciała. Aby to zaobserwować, należy na dnie nieprzezroczystego naczynia (filiżanka lub kubek) położyć monetę. Następnie ustawiamy się tak, by patrząc do kubka, nie widzieć jego dna (rys. c).

Jeśli druga osoba będzie napełniać naczynie wodą, to w pewnej chwili w czasie napełniania (nie zmieniamy swego położenia!) zobaczymy monetę leżącą na dnie (rys. d).



Oświetlona moneta rozprasza padające na nią światło. Odbijające się od niej promienie świetlne przy przejściu z wody do powietrza zmieniają swój kierunek. Część tych promieni dociera do oka obserwatora.

Podsumowanie

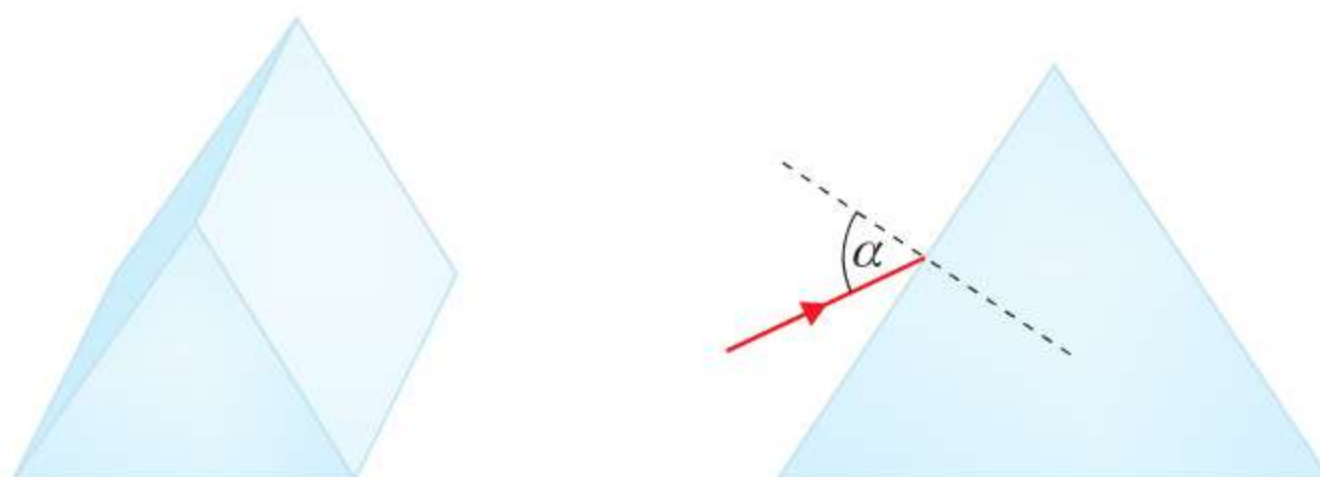
- 1.** Zjawisko załamania polega na zmianie kierunku rozchodzenia się światła przy przejściu z jednego ośrodka przezroczystego do drugiego.
- 2.** Zmiana kierunku promienia na granicy dwóch ośrodków jest spowodowana tym, że światło w różnych ośrodkach rozchodzi się z różnymi szybkościami.
- 3.** Przy przejściu promienia światła z jednego ośrodka do drugiego rozróżniamy następujące przypadki:
 - Jeżeli promień przechodzi z ośrodka, w którym szybkość światła jest większa, do ośrodka, w którym jest ona mniejsza, to kąt załamania jest mniejszy od kąta padania ($\beta < \alpha$).
 - Jeżeli kąt padania jest równy zeru, to promień światła przechodzi z jednego ośrodka do drugiego bez zmiany kierunku.
 - Jeżeli promień przechodzi z ośrodka, w którym szybkość światła jest mniejsza, do ośrodka, w którym jest ona większa, to kąt załamania jest większy od kąta padania ($\beta > \alpha$).
 - Gdy zwiększa się kąt padania – zwiększa się kąt załamania światła.

Zadania i doświadczenia

1. Dlaczego wydaje się nam, że dno potoku znajduje się wyżej niż w rzeczywistości?
2. W niektórych częściach świata ludzie łowią ryby za pomocą oszczepu. Jak łowca powinien celować oszczepem w rybę? Wybierz jedną z trzech możliwości.
 - A. Powinien celować dokładnie w to miejsce, w którym widzi rybę.
 - B. Powinien celować nieco powyżej miejsca, w którym widzi rybę.
 - C. Powinien celować nieco poniżej miejsca, w którym widzi rybę.
3. W mroźny zimowy dzień na szklanym dachu utworzyła się warstwa lodu. Szybkość światła w lodzie jest równa $2,29 \cdot 10^8$ m/s, a w szkłe $1,97 \cdot 10^8$ m/s. Ustal, czy kąt załamania β światła w szkłe będzie większy czy też mniejszy od kąta padania α na granicę lodu i szkła.



4. W wielu przyrządach optycznych używa się szklanego pryzmatu.



Na boczną ścianę pryzmatu pada światło pod kątem α (rys.). Szybkość światła w szkłe jest mniejsza od szybkości światła w powietrzu. Przerysuj rysunek do zeszytu i naszkicuj dalszy bieg promienia. Czy promień po opuszczeniu pryzmatu jest odchylony w stronę jego podstawy czy w stronę wierzchołka?

5. Poszukaj informacji o zjawisku całkowitego wewnętrznego odbicia i jego zastosowaniu w światłowodach. Przygotuj kilkuminutową prezentację na ten temat.
6. Odszukaj w internecie informacje o powstawaniu miraży i przygotuj prezentację, która wyjaśni to zjawisko.

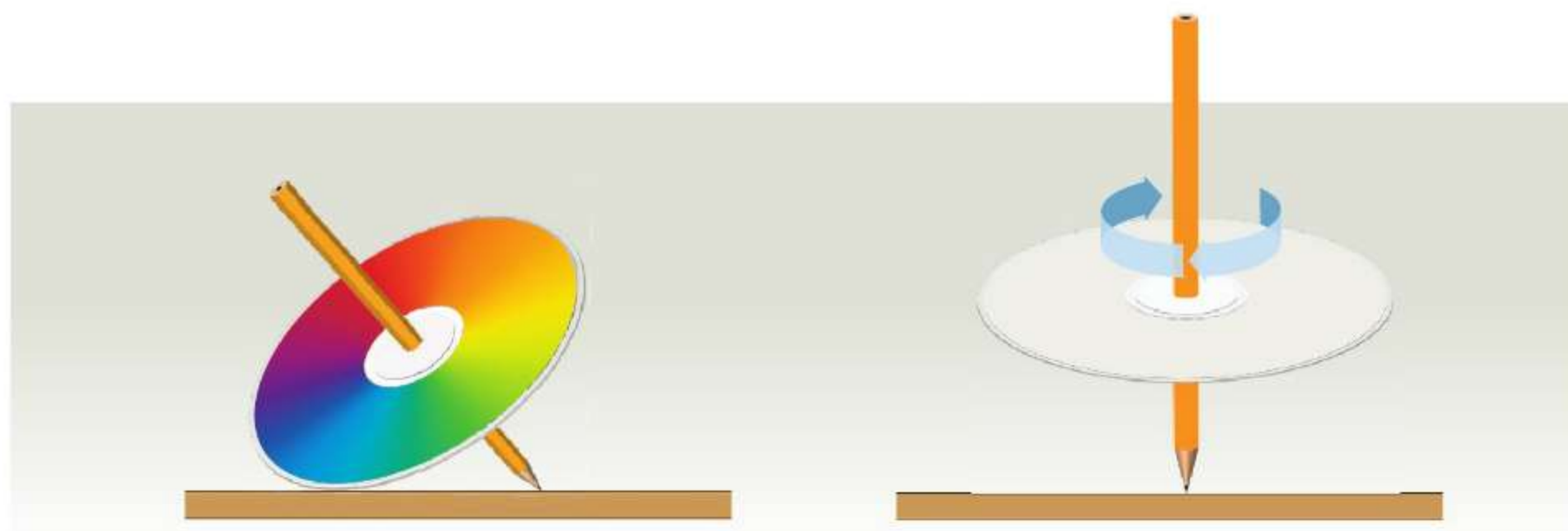
12.6 Przejście wiązki światła białego przez pryzmat

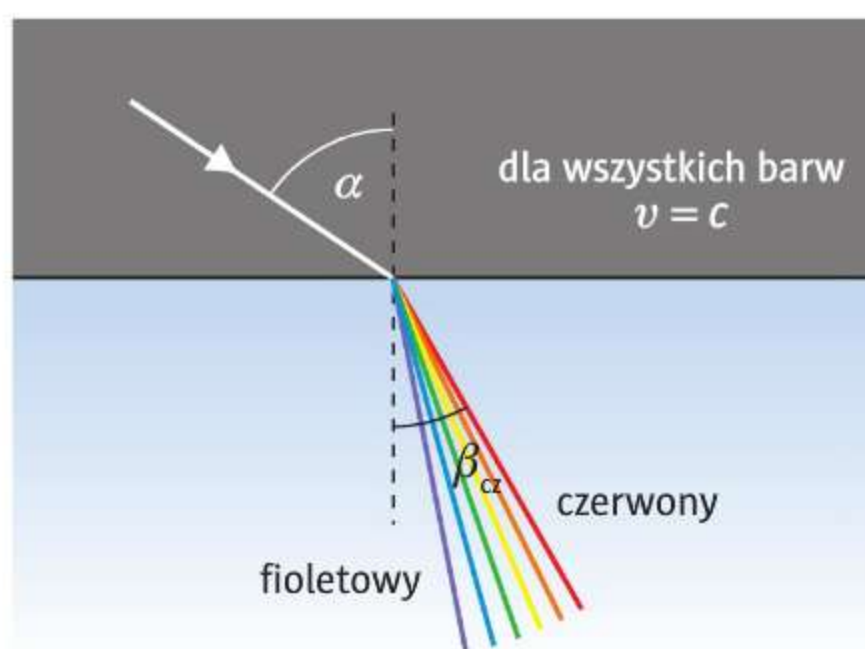
Światło białe to światło słoneczne, a także światło zwykłej żarówki. Już w XVII wieku Izaak Newton zaobserwował, że jeżeli wąską wiązkę światła słonecznego skierujemy na szklany pryzmat, na białej ścianie lub ekranie otrzymamy cały szereg barw.



Po przejściu światła białego przez pryzmat na ekranie obserwujemy nie tylko odchylenie światła od pierwotnego kierunku, ale również jego **rozszczerpienie** (czyli rozdzielenie) na **barwy**. Na ekranie otrzymamy różne barwy przechodzące w sposób ciągły jedna w drugą: od czerwonej poprzez pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską aż do fioletowej. Ten zestaw barw nazywamy widmem ciągłym światła białego. Gamę kolorów, od czerwieni do fioletu, obserwujemy też, gdy światło słoneczne przenika przez szklane przedmioty (np. kryształowy wazon) lub przez krople deszczu (i tworzy tęczę).

Fakt, że światło białe jest złożeniem światła o wielu barwach, można pokazać za pomocą krążka Newtona (rys.). Jest to rodzaj bąka, który możemy wprawić w szybki ruch obrotowy. Wtedy wszystkie barwy zlewają się ze sobą i wydaje się nam, że krążek jest biały.



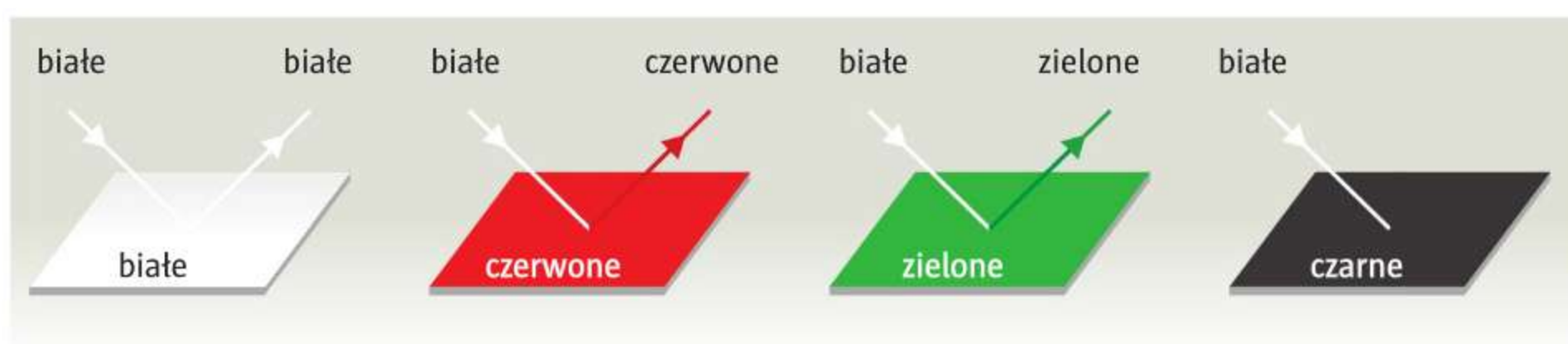


Światło o różnych barwach przy przejściu z powietrza do innego ośrodka, np. szkła, załamuje się pod różnymi kątami (rys.).

Światło czerwone odchyła się od pierwotnego kierunku najmniej, tzn. jego szybkość w szkłe najmniej różni się od szybkości światła w próżni (i w powietrzu).

To, że światło białe jest mieszaniną światła o różnych barwach, pozwala zrozumieć, dlaczego różne przedmioty mają różne

barwy. Przedmiot widzimy jako biały – jeżeli odbija (rozprasza) wszystkie składniki światła białego, jako czerwony – jeżeli odbija (rozprasza) światło o barwie czerwonej (a pozostałe barwy pochłania), jako zielony – jeżeli odbija (rozprasza) światło o barwie zielonej (a pozostałe barwy pochłania) itd. Przedmioty czarne, na które pada światło słoneczne, bardzo się nagrzewają, ponieważ pochłaniają światło o wszystkich barwach. Natomiast przedmioty białe są chłodniejsze, ponieważ odbijają światło o wszystkich barwach. Dlatego w upalne dni dobrze jest wkładać ubrania wykonane z białych tkanin.



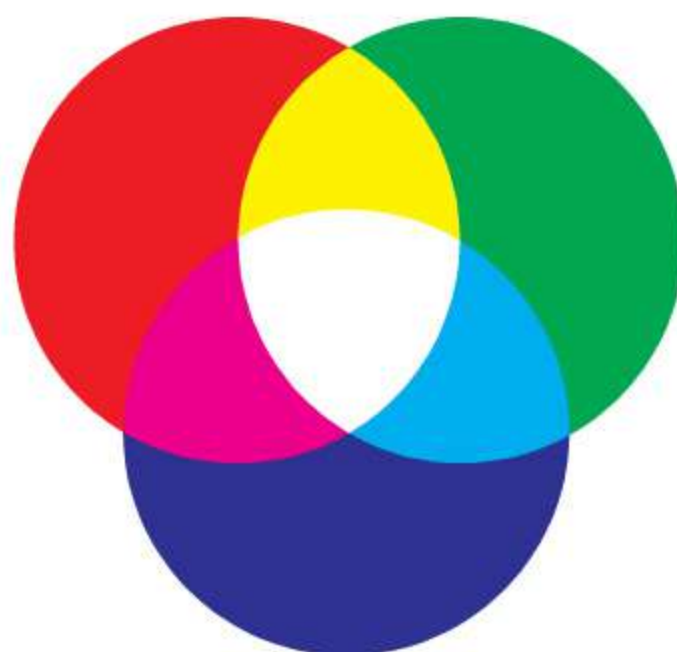
W teatrach i podczas koncertów muzycznych często używa się tzw. filtrów. Są to kolorowe, przezroczyste szkła umieszczane na reflektorach. Przez filtr przechodzi jedynie światło o barwie odpowiadającej kolorowi szkła. I tak np. przez filtr czerwony przechodzi jedynie światło czerwone. Wszystkie inne barwy są przez ten filtr pochłaniane.

Czerwone jabłko pochłania światło słoneczne z wyjątkiem barwy czerwonej, którą odbija. Światło odbite od jabłka wpada do naszego oka i widzimy je jako czerwone.

Jeśli światło czerwone odbite od jabłka padnie na filtr zielony, zostaje w nim pochłonięte (filtr zielony przepuszcza tylko światło zielone), a wtedy jabłko, na które będziemy patrzyli przez taki filtr, zobaczymy jako czarne (fot.).



Barwny obraz w odbiorniku telewizyjnym tworzy się w wyniku mieszania barw. Każdy element obrazu na ekranie telewizora składa się z trzech małych kolorowych świecących plamek o barwach: czerwonej, niebieskiej i zielonej, zwanych barwami podstawowymi (fot.). I tak w czerwonej części obrazu świecą tylko plamki czerwone, w niebieskiej – tylko niebieskie, a w zielonej – tylko zielone. Tam, gdzie widzimy barwę żółtą, świecą plamki zielone i czerwone, a w części białej świecą plamki o wszystkich trzech barwach podstawowych.



Już w rozdziale 12.1 napisaliśmy o niezwykłych właściwościach światła laserowego. Teraz możemy dodać jeszcze jedną ważną cechę tego światła. Jest ono jednobarwne (monochromatyczne). Stąd w doświadczeniu 12.2 nie zaobserwowaliśmy rozszczepienia wiązki światła laserowego przy przejściu z powietrza do szkła.

Podsumowanie

1. Przy przejściu światła białego przez pryzmat występuje nie tylko odchylenie światła od jego pierwotnego kierunku rozchodzenia się, ale również jego rozszczepienie (czyli rozdzielenie) na kilka barw.
2. Światło białe jest mieszaniną światła o barwach: czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej i fioletowej. Szereg barw przechodzących w sposób ciągły jedna w drugą od czerwieni do fioletu nazywamy widmem światła białego.
3. Rozszczepienie światła białego jest spowodowane tym, że światło o różnych barwach rozchodzi się w ciałach przezroczystych z różnymi szybkościami, a więc również załamuje się pod różnymi kątami. Najszybciej rozchodzi się światło czerwone, a najwolniej światło fioletowe. Tylko w próżni prędkość rozchodzenia się światła o różnych barwach ma taką samą wartość.

Zadania i doświadczenia

1. Dlaczego brudny płat śniegu topi się szybciej niż otaczający go czysty śnieg?
2. Poszukaj w internecie informacji o tym, jak powstaje tęcza. Przygotuj kilkuminutową prezentację na ten temat.
3. Poszukaj w internecie informacji wyjaśniających niebieską barwę nieba. Napisz notatkę na ten temat.
4. Poszukaj w encyklopedii informacji na temat twórczości Georges'a Seurata (czyt. sjurata) i stosowanych przez niego sposobów malowania.

Doświadczenie 1.

Wykazujemy, że przedmiot o określonej barwie odbija tylko światło o tej barwie, a inne pochłania.

Potrzebne przedmioty: telefon komórkowy z latarką lub latarka, duża biała kartka papieru, kartki zamalowane na czerwono, niebiesko, zielono i żółto.

Kolejne czynności:

- Włącz latarkę w telefonie i połóż go na białej kartce tak, by latarka była skierowana do góry.
- Nad latarką poziomo umieszczaj kolejno kolorowe kartki.
- Obserwuj za każdym razem zabarwienie kartki, na której leży telefon.
- Narysuj schemat układu doświadczalnego i zaznacz bieg promieni od latarki do barwnej kartki, a następnie po odbiciu do białej kartki.
- Zapisz wniosek z doświadczenia.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy tęczę.

Odpowiednie warunki i potrzebne przedmioty: słoneczny dzień, wąż do podlewania.

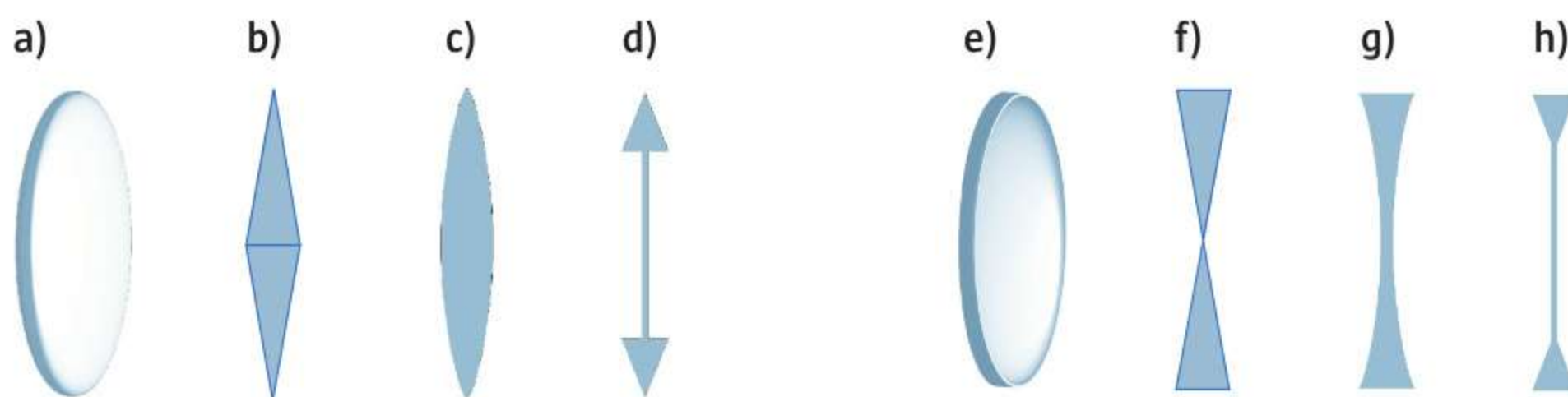
Kolejne czynności:

- Zatkaj koniec węża tak, by woda rozpryskiwała się na wszystkie strony.
- Stań tyłem do słońca i obserwuj kropelki wody.
- Zapisz wynik obserwacji i wniosek.

12.7 Soczewki

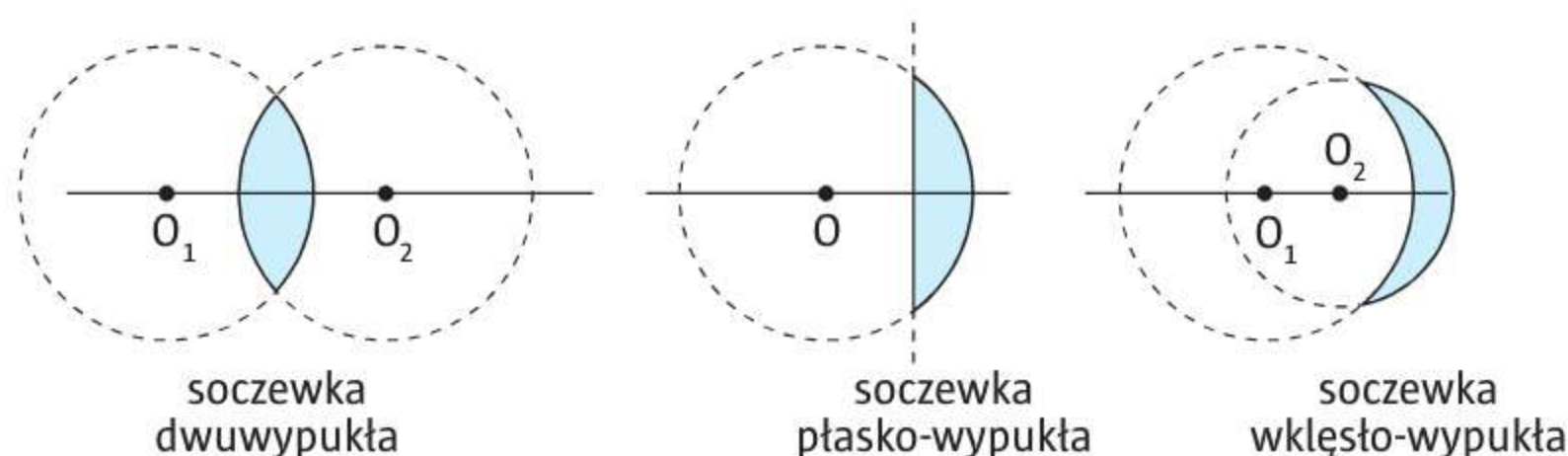
Najstarsze przyrządy optyczne skonstruowano około 2000 lat temu. Źródła greckie i rzymskie opisują np., jak używać zaokrąglonego szklanego naczynia wypełnionego wodą do otrzymywania powiększonych obrazów różnych przedmiotów. Szklane soczewki powstały znacznie później. Wykorzystywano je m.in. do korygowania wad wzroku oraz przy konstrukcji takich urządzeń, jak: lunety, mikroskopy, aparaty fotograficzne, kamery.

Soczewki to ciała przezroczyste (zbudowane najczęściej ze szkła), ograniczone z obu stron powierzchniami kulistymi lub z jednej strony powierzchnią kulistą, a z drugiej płaską. Soczewka zachowuje się podobnie jak pryzmat – załamuje przechodzące przez nią promienie świetlne. Soczewka wypukła (rys. a) odpowiada dwóm pryzmatom złączonym podstawami (rys. b). Schematycznie przedstawiamy ją tak, jak na rysunku d.



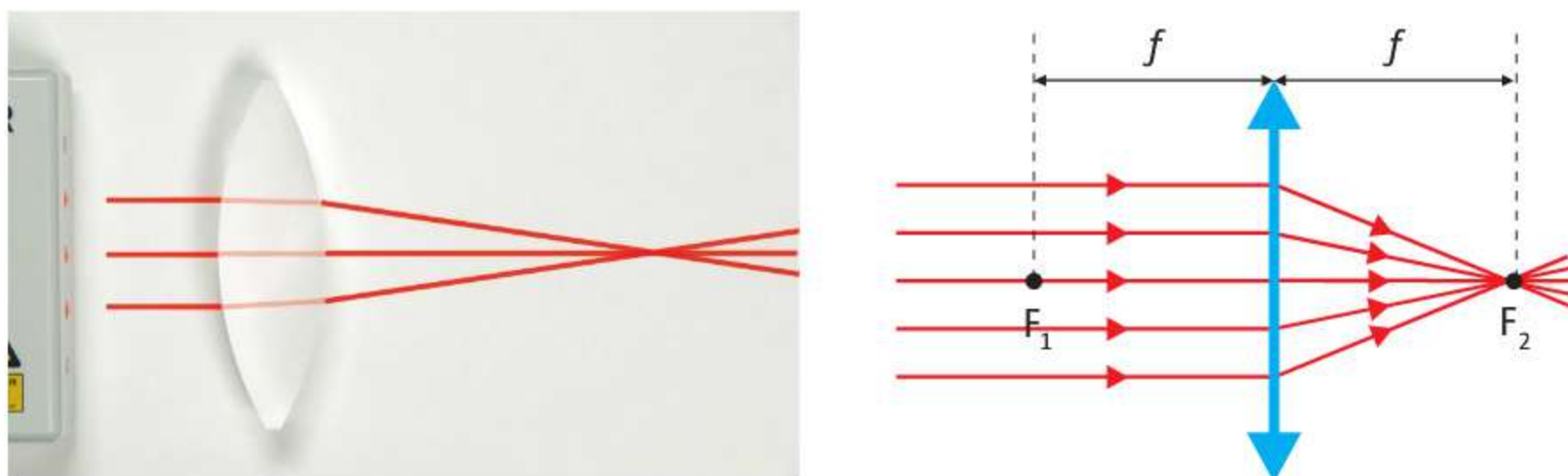
Soczewka wklęsła (rys. e) odpowiada dwóm pryzmatom złączonym wierzchołkami (rys. f). Schematycznie można ją narysować tak, jak na rysunku h.

Kolejne rysunki przedstawiają różne rodzaje soczewek wypukłych. Takie soczewki, umieszczone w powietrzu, skupiają padające na nie światło.



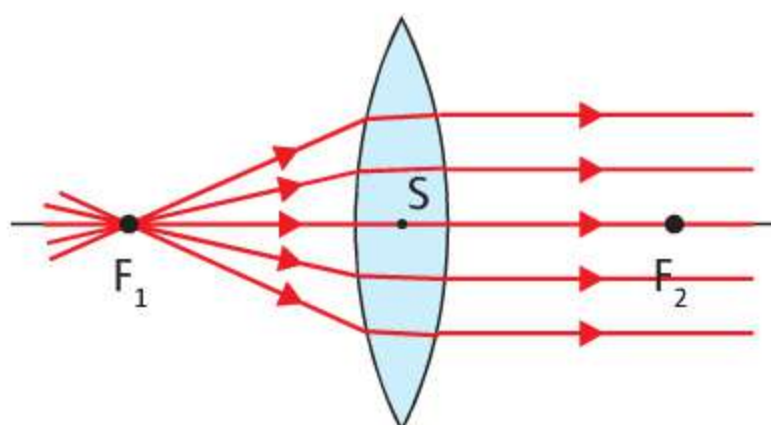
Dalsze rozważania poprowadzimy dla soczewki dwuwypukłej, ograniczonej z obu stron powierzchniami kulistymi i znajdującej się w powietrzu. Prostą poprowadzoną przez środki O_1 i O_2 obu kul nazywamy **osią optyczną**.

Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez soczewkę dwuwypukłą przechodzi przez jeden punkt położony na tej osi, zwany **rzeczywistym ogniskiem soczewki** (rys.).



Każda soczewka skupiająca posiada dwa ogniska położone po przeciwnych stronach soczewki, w jednakowych odległościach od jej środka. Odległość ogniska F od środka soczewki nazywamy **ogniskową soczewki** i oznaczamy literą f .

Jeśli niezbyt duże, ale silne źródło światła umieścimy w ognisku soczewki, to promienie świetlne po przejściu przez nią utworzą wiązkę promieni równoległych do osi optycznej.

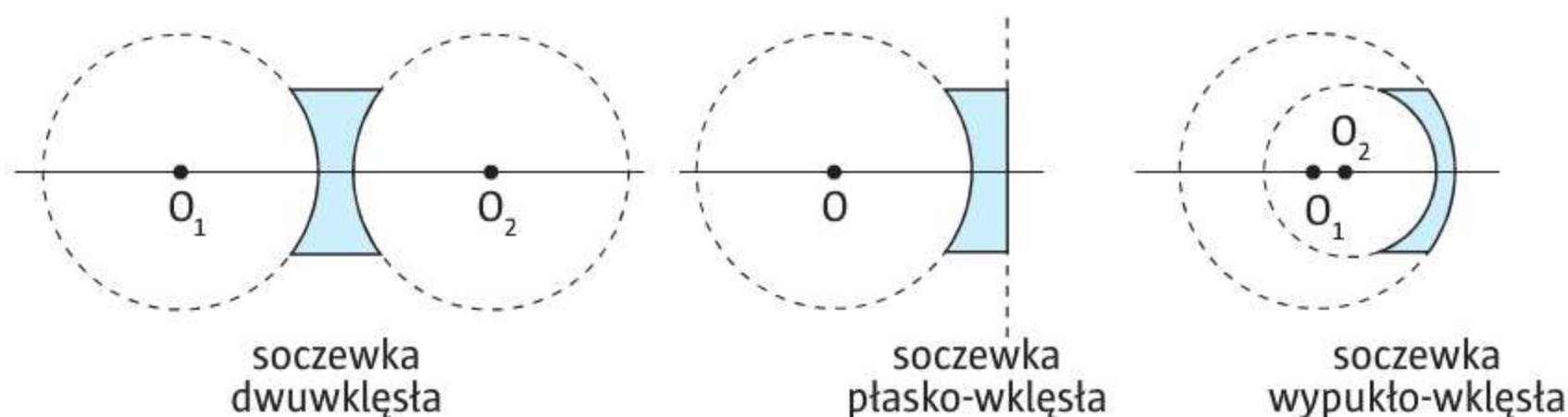


Wielkość, która charakteryzuje soczewkę, to tzw. **zdolność skupiająca Z** , która jest równa odwrotności ogniskowej f .

$$Z = \frac{1}{f} \quad [Z] = \frac{1}{[f]} = \frac{1}{\text{m}} = 1 \text{ dioptria (1 D)}$$

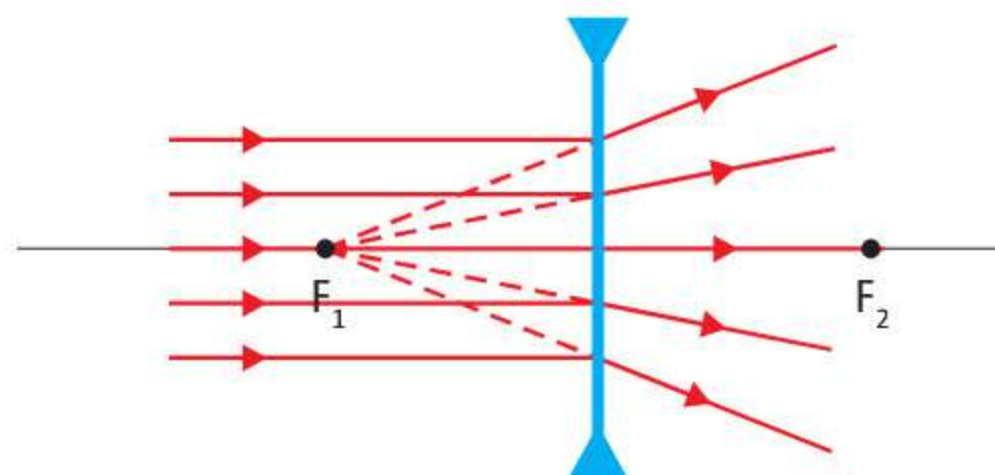
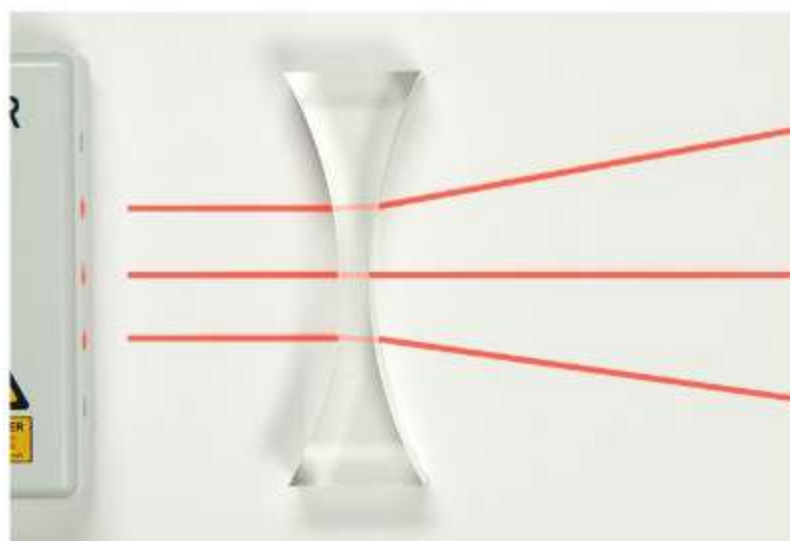
Jednostką zdolności skupiającej jest **dioptria** ($1 \text{ D} = \frac{1}{\text{m}}$). Zdolność skupiającą równą 1 dioptrii ma soczewka o ogniskowej 1 m.

Kolejne rysunki przedstawiają różne rodzaje soczewek wklęsłych.



Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez soczewkę wklęsłą staje się wiązką promieni rozbieżnych.

Przedłużenia promieni załamanych tworzą na osi optycznej **ognisko pozorne** F_1 (rys.). Takie samo ognisko pozorne F_2 istnieje również po drugiej stronie soczewki.



Bardzo często uczniowie mają kłopot z rozróżnieniem soczewki wklęsło-wypukłej i wypukło-wklęsłej. Wszystkie soczewki, które są najgrubsze w środkowej części i skupiają promienie świetlne, na końcu swojej nazwy mają wyraz „wypukła”. Soczewki, które są najcieńsze w środkowej części i tworzą wiązkę rozbieżną, na końcu swojej nazwy mają wyraz „wklęsła”.

Podsumowanie

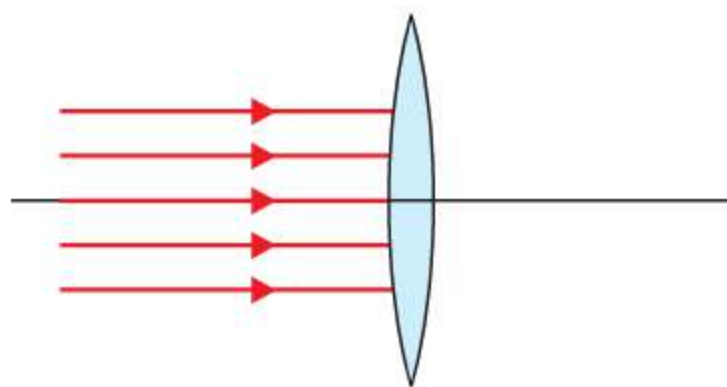
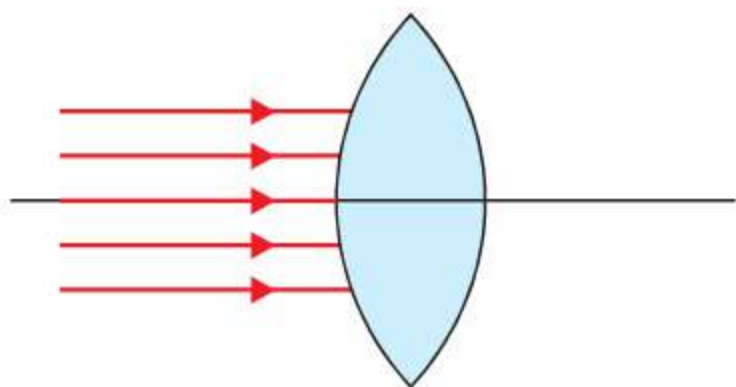
1. Rozróżniamy soczewki wypukłe (najgrubsze w środku) i wklęsłe (najcieńsze w środku).
2. W powietrzu wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez soczewkę:
 - wypukłą przechodzi przez jeden punkt, zwany ogniskiem soczewki;
 - wklęsłą staje się wiązką promieni rozbieżnych.
3. Soczewkę charakteryzują:
 - oś optyczna – prosta poprowadzona przez środki krzywizn soczewki;
 - dwa ogniska rzeczywiste (w soczewkach skupiających) – położone po przeciwnych stronach soczewki punkty, w których przecinają się po przejściu przez soczewkę promienie padające na nią równoległe do osi optycznej;
 - dwa ogniska pozorne (w soczewkach rozpraszających) – położone po przeciwnych stronach soczewki punkty, w których przecinają się po przejściu przez soczewkę przedłużenia promieni padających na nią równoległe do osi optycznej;
 - ogniskowa (f) – odległość każdego ogniska od środka soczewki;
 - zdolność skupiająca soczewki (Z) – wielkość równa odwrotności ogniskowej:

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

Zdolność skupiająca jest wyrażona w dioptriach ($1 \text{ D} = \frac{1}{\text{m}}$). W przypadku soczewek wklęsłych (o ogniskach pozornych) zdolność skupiająca jest ujemna.

Zadania i doświadczenia

1. Zastanów się, w jaki sposób można rozniecić ogień za pomocą lodu. Odpowiedź uzasadnij.
2. Rysunki przedstawiają dwie soczewki dwuwypukłe, na które padają wiązki światła równoległe do ich osi optycznych.



Przerysuj te rysunki do zeszytu i dorysuj dalszy bieg promieni. Czy długości ogniskowych są jednakowe?

Doświadczenie 1.

Masz do dyspozycji soczewkę skupiającą (np. z okularów lub lupę). Wyznacz jej ogniskową. Zaprojektuj odpowiednie doświadczenie i opisz je.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy przemianę energii światła (fali elektromagnetycznej) w energię wewnętrzną cieczy.

Odpowiednie warunki i potrzebne przedmioty: słoneczna pogoda, soczewka skupiająca (lupa lub okulary dalekowidza), termometr cieczowy.

Kolejne czynności:

- Poproś drugą osobę, by trzymała termometr w pozycji pionowej.
- Ustaw soczewkę tak, by padało na nią światło słoneczne.
- Przesuwaj soczewkę w stosunku do termometru do momentu, w którym jej ognisko znajduje się w zbiorniczku z cieczą zawartą w termometrze.
- Obserwuj wskazania termometru.
- Narysuj schemat układu doświadczalnego. Zapisz wynik i wniosek z doświadczenia.

12.8 Obrazy otrzymywane za pomocą soczewek

Za pomocą soczewki, podobnie jak za pomocą zwierciadła kulistego, możemy otrzymać obraz świecącego lub oświetlonego przedmiotu. W niektórych przypadkach będzie to obraz rzeczywisty, który zaobserwujemy na umieszczonym w odpowiednim miejscu ekranie, a w niektórych pozorny, który zobaczymy w głębi soczewki. Pamiętaj o tym, że w przypadku zwierciadeł obraz rzeczywisty tworzą zawsze promienie odbite, a w przypadku soczewek – promienie załamane.

Do obserwacji obrazów otrzymywanych za pomocą soczewek możemy wykorzystać prosty zestaw doświadczalny.

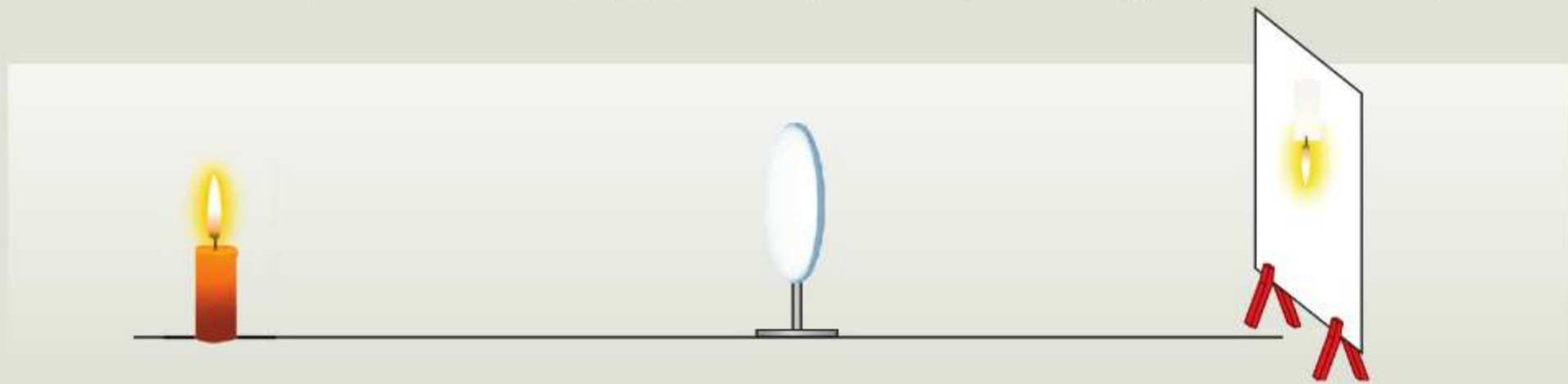
Doświadczenie 12.3

Otrzymujemy obrazy za pomocą soczewek.

Potrzebne przedmioty: soczewka skupiająca o ogniskowej 15 cm, świeczka, sztywna kartka białego papieru, 2 klamerki do bielizny, taśma miernicza lub długa linijka.

Kolejne czynności:

- Ustaw świeczkę, soczewkę skupiającą i kartkę na uchwytach tak, jak pokazano na rysunku.



- Ustawiaj kolejno świeczkę w takiej odległości x od soczewki, aby między tą odległością a ogniskową soczewki zachodziły związki:

$$x > 2f$$

$$x = 2f$$

$$f < x < 2f$$

$$x < f$$

- Za każdym razem staraj się otrzymać wyraźny obraz świeczki.

Wyniki przedstawiono w poniższej tabeli.

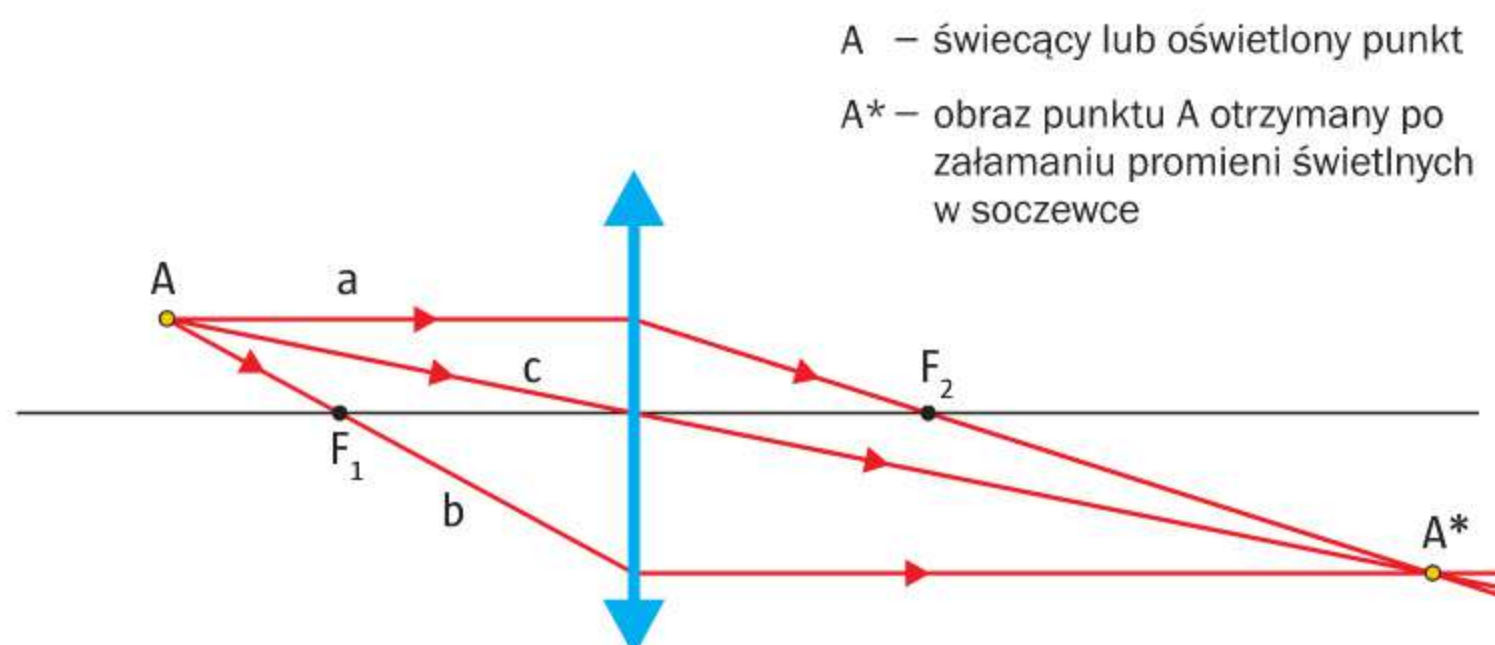
Tabela 12.1. Cechy obrazów otrzymywanych za pomocą soczewki skupiającej

Odległość x przedmiotu od soczewki	Otrzymany obraz jest
$x > 2f$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony
$x = 2f$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot
$f < x < 2f$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x < f$	pozorny (widoczny w głębi soczewki), prosty, powiększony (lupa)

Powtarzamy doświadczenie z użyciem soczewki rozpraszającej. W tym przypadku, niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki, niemożliwe jest uzyskanie obrazu rzeczywistego na ekranie. Zawsze otrzymujemy obraz pozorny, prosty i pomniejszony. Nasze spostrzeżenia możemy potwierdzić za pomocą geometrycznej konstrukcji obrazów otrzymywanych za pomocą soczewek. Skonstruujmy obraz punktu świecącego A uzyskiwany za pomocą soczewki skupiającej.

Punkt wysyła światło w różnych kierunkach. Część promieni tego światła pada na soczewkę. Aby wyznaczyć położenie obrazu punktu świecącego, wystarczy wybrać dwa promienie wychodzące z punktu i padające na powierzchnię soczewki. Mogą to być dwa promienie spośród trzech następujących (rys.):

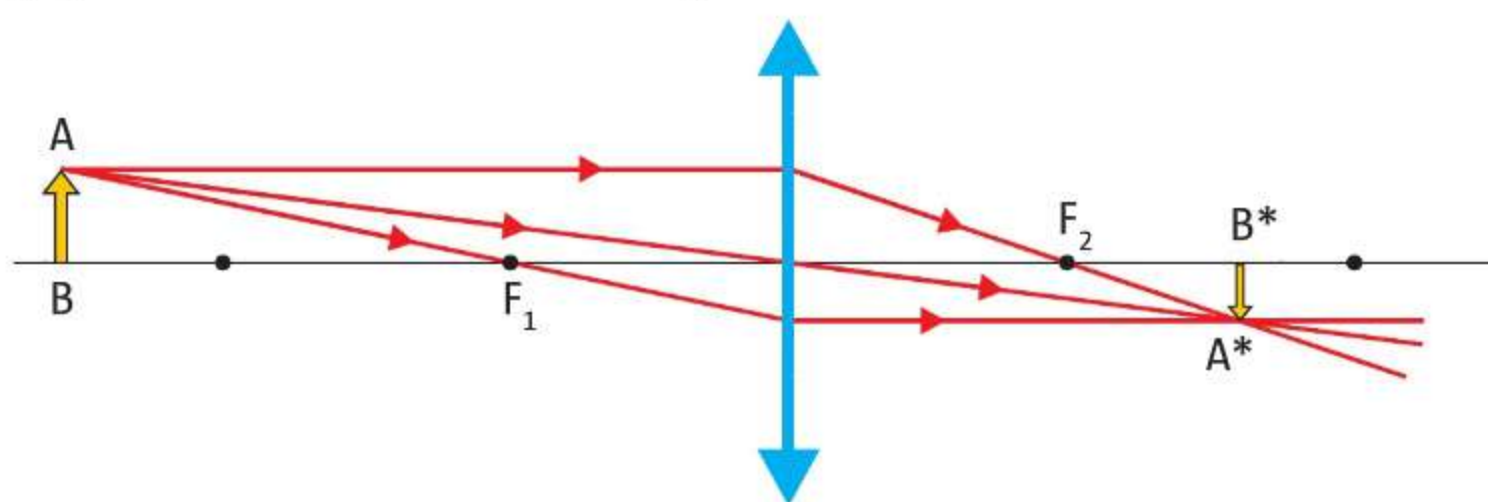
- promień równoległy do osi optycznej (a) – po przejściu przez soczewkę promień ten przechodzi przez jej ognisko,
- promień przechodzący przez ognisko (b) – po przejściu przez soczewkę promień ten biegnie równoległe do osi optycznej,
- promień przechodzący przez środek cienkiej soczewki (c) – po przejściu przez soczewkę nie zmienia on kierunku (nie ulega załamaniu).



Na rysunku widać, że wszystkie te trzy promienie po przejściu przez soczewkę przecinają się w jednym punkcie. W tym samym punkcie przetną się wszystkie promienie, które wyjdą z jednego punktu przedmiotu i przejdą przez soczewkę. Dlatego obraz jest tym jaśniejszy, im tych promieni jest więcej.

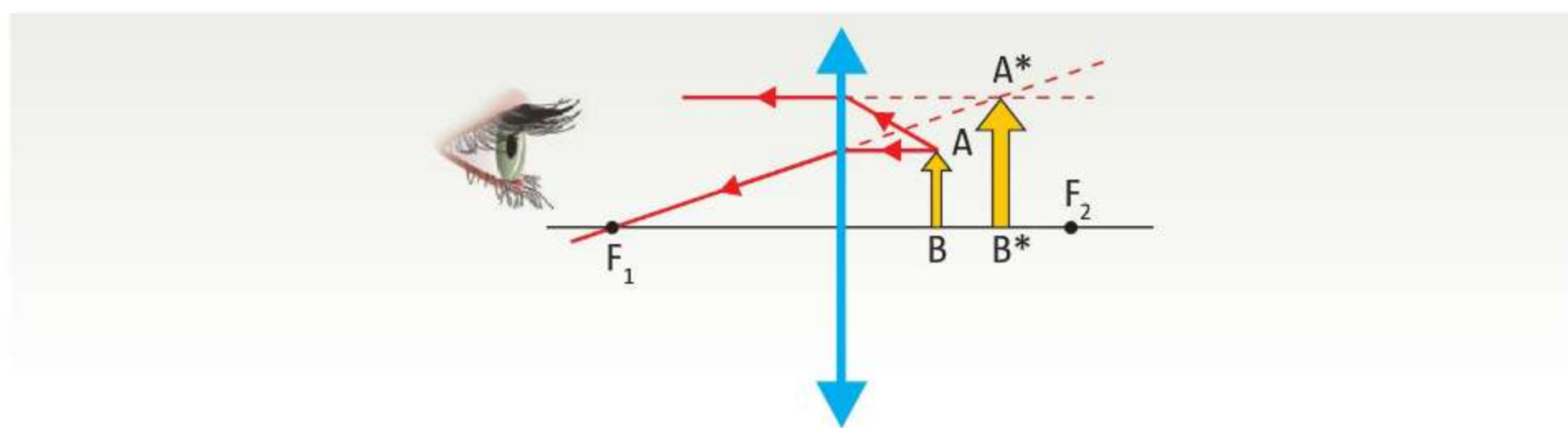
Jeżeli chcemy skonstruować obraz przedmiotu mającego postać np. świecącej strzałki, która będzie umieszczona w płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej, a jeden z jej końców będzie leżał na tej osi, wystarczy znaleźć obraz skrajnego punktu przedmiotu A. Obraz całego przedmiotu znajduje się również w płaszczyźnie prostopadłej do osi soczewki (obraz punktu leżącego na osi optycznej soczewki leży także na osi).

Jako przykład wykonamy konstrukcję obrazu otrzymanego za pomocą soczewki skupiającej, gdy zachodzi nierówność $x > 2f$.

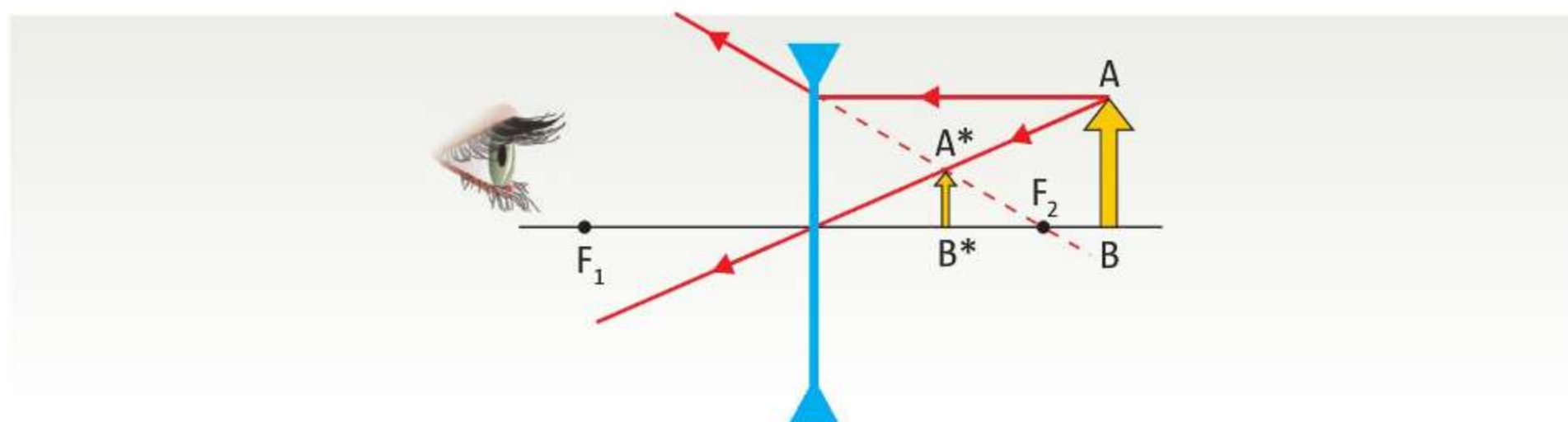


Otrzymany obraz jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony (porównaj to z wynikami doświadczenia). W taki sposób wykorzystuje się soczewki w aparatach fotograficznych. Konstrukcje przypadków $x = 2f$ oraz $f < x < 2f$ wykonaj samodzielnie, stosując się do opisanych wyżej zasad.

Dla $x < f$ otrzymamy obraz pozorny, powiększony, który powstaje na przecięciu przedłużeń promieni załamanych wychodzących z soczewki. Aby go zobaczyć, musimy patrzeć w głąb soczewki. Jest to powszechnie używana lupa.

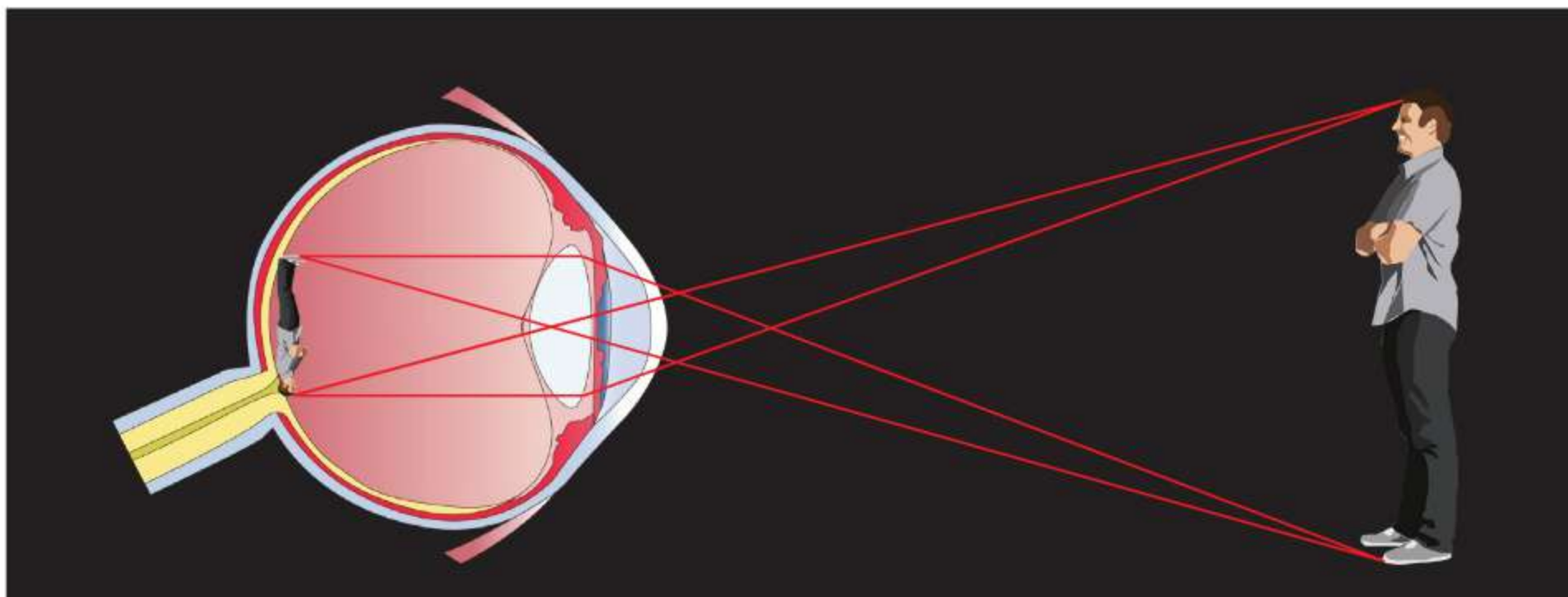


A oto konstrukcja obrazu pozornego w soczewce rozpraszającej.



F

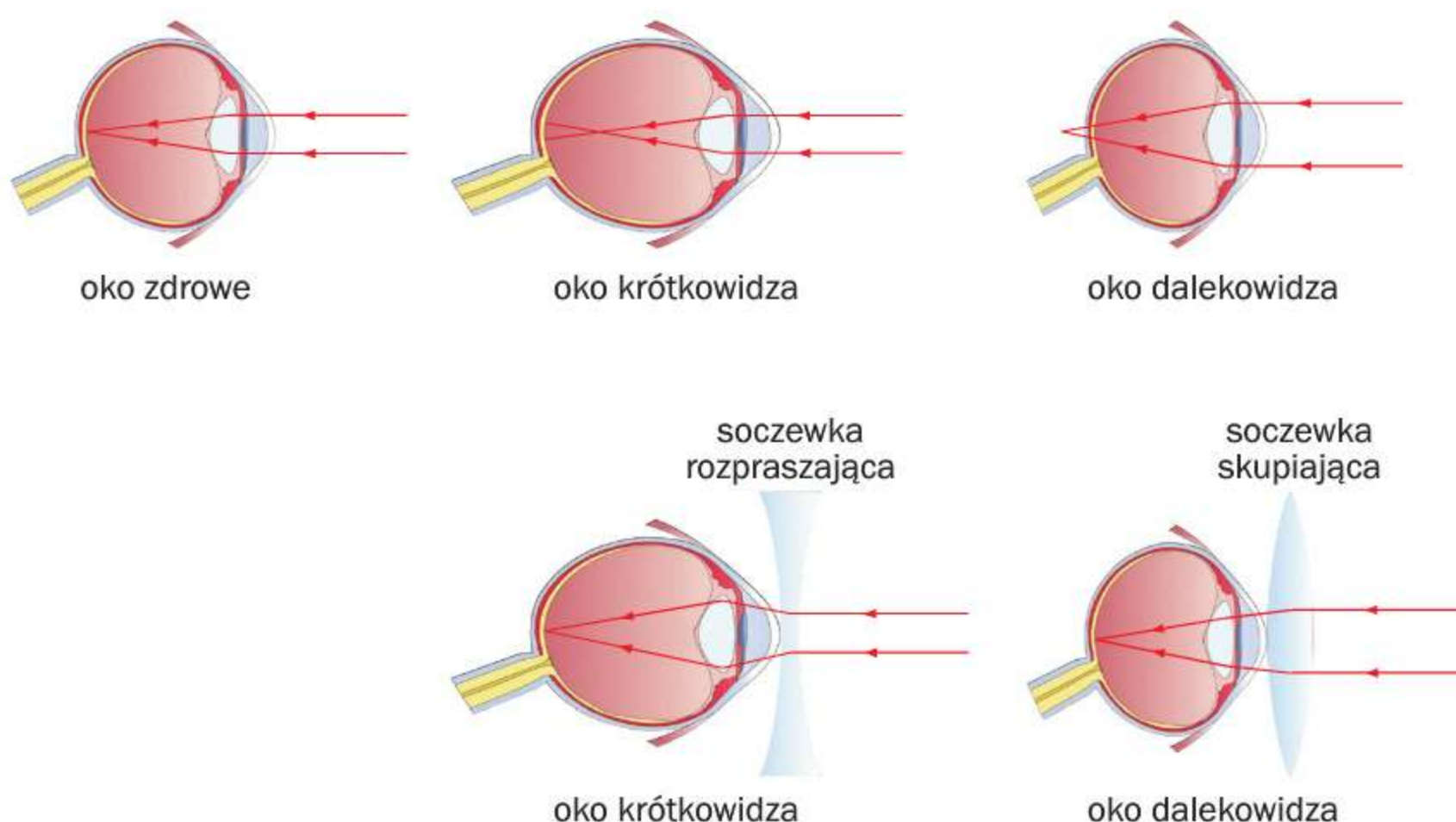
Aby obrazy rzeczywiste powstające na ekranie były ostre, zmienialiśmy odległość soczewki od ekranu. W naszym oku ekranem jest siatkówka (rys.), ale jej odległości od soczewki oka nie możemy zmienić!



Przyroda znalazła na to sposób. Specjalne mięśnie mogą powodować zmianę grubości soczewki oka. Zdolność do zmiany kształtu soczewki oka w celu uzyskania ostrego obrazu na siatkówce nazywa się **akomodacją**.

Oko może działać nieprawidłowo wskutek różnych wad wzroku. Najprostsze (i najczęstsze) z nich to **krótkowzroczność** i **dalekowzroczność**.

Krótkowidz ma wydłużoną gałkę oczną i dla odległych przedmiotów jego soczewka nie może wystarczająco się „spłaszczyć”. Jej ogniskowa jest za krótka i obraz powstaje przed siatkówką. Aby zwiększyć ogniskową, należy użyć okularów z soczewką rozpraszającą. Dalekowidz ma spłaszczoną gałkę oczną. Dla bliskich przedmiotów jego soczewka nie może uzyskać dostatecznie małej ogniskowej – obraz powstaje za siatkówką. Wobec tego okulary dla dalekowidza muszą mieć soczewki skupiające.



Oprócz korygowania wad wzroku soczewki znalazły też liczne inne zastosowania. Stanowią niezbędny element aparatów fotograficznych, kinowych, lornetek, teleskopów, rzutników, lunet i wielu różnych urządzeń.

Podsumowanie

1. W soczewkach otrzymujemy obrazy rzeczywiste (na ekranie) oraz pozorne (widzimy je w głębi soczewki).
2. Jeśli znamy bieg wybranych promieni padających na soczewkę od świecącego (lub oświetlonego) przedmiotu, możemy geometrycznie konstruować obrazy.
3. Soczewki służą do korygowania wad wzroku. Dalekowidz używa soczewek skupiających (zdolność skupiająca dodatnia, np. $+2\text{ D}$), a krótkowidz – rozpraszających (zdolność skupiająca ujemna, np. -3 D).

Zadania i doświadczenia

1. Oświetlony przedmiot o wysokości 2 cm umieszczono przed soczewką w odległości 18 cm. Na ekranie otrzymano obraz odwrócony o wysokości 1 cm. Posłuż się twierdzeniem Talesa, by obliczyć, w jakiej odległości od soczewki powstał obraz.
2. Oświetlony przedmiot umieszczono w odległości 30 cm od soczewki skupiającej o zdolności skupiającej 5 dioptrii. Jaki obraz uzyskano za pomocą tej soczewki?
3. Odszukaj odpowiednie informacje i przygotuj prezentację na temat wybranych zastosowań soczewek.

Doświadczenie 1.

Siatkówka oka jest ekranem, na którym powstają obrazy widzianych przez nas przedmiotów. Jest na niej miejsce zwane plamką ślepą. Charakteryzuje się ono tym, że jeśli obraz powstanie właśnie tam, to go nie widzimy.

- Na kartce papieru, w odległości około 10 cm od siebie, narysuj kółko i krzyżyk.



- Zasłoń lewe oko, a prawym patrz na krzyżyk. Powoli oddalaj kartkę od oczu. W pewnej chwili kółko powinno zniknąć.
- Powtórz doświadczenie, patrząc na krzyżyk oboma oczami. Wyjaśnij różnicę w wyniku obserwacji.

12.9 Porównujemy fale mechaniczne i elektromagnetyczne

W tym dziale omawialiśmy zjawiska świetlne i poznaliśmy bliżej właściwości fal elektromagnetycznych, bo światło jest taką falą. Możemy więc porównać właściwości fal mechanicznych i elektromagnetycznych.

Tabela 12.2. Porównanie fal mechanicznych i elektromagnetycznych

Kryteria	Fale mechaniczne	Fale elektromagnetyczne
przykłady	fala na sprężynie, sznurze, na powierzchni wody, fale akustyczne (dźwięki)	promieniowanie gamma, promieniowanie X, promieniowanie UV, światło widzialne, promieniowanie podczerwone, mikrofae, fale radiowe
sposób wytwarzania	drżania źródła fali (np. membrany głośnika, struny)	drżania o wysokiej częstotliwości elektronów i innych naładowanych cząstek; drżania prądu elektrycznego w antenie nadawczej
mechanizm rozchodzenia się	przekazywanie drgań kolejnym porcjom cząsteczek ośrodka	przenikające się wzajemnie pola elektryczne i magnetyczne; zmiana pola elektrycznego jako warunek powstawania pola magnetycznego i na odwrót
miejsce rozchodzenia się	tylko ośrodki materialne wykazujące sprężystość (fale te nie rozchodzą się w próżni)	w próżni oraz w materiałach nieprzewodzących prądu elektrycznego
sposób rozchodzenia się	w ośrodkach jednorodnych – prostoliniowo	
	odbijanie się od wszelkich przeszkód	odbijanie się od metali (np. luster)
oddziaływanie na nasze zmysły	fale w zakresie 20 Hz–20 000 Hz odbierane przez nas jako wrażenie słuchowe	fale w zakresie długości 0,4 μm –0,7 μm odbierane przez nas jako wrażenie wzrokowe, podczerwień wywołująca efekty cieplne
transport energii	energia mechaniczna drgań przekazywana kolejnym porcjom cząsteczek ośrodka	energia elektryczna zamieniana w energię magnetyczną, a magnetyczna w elektryczną

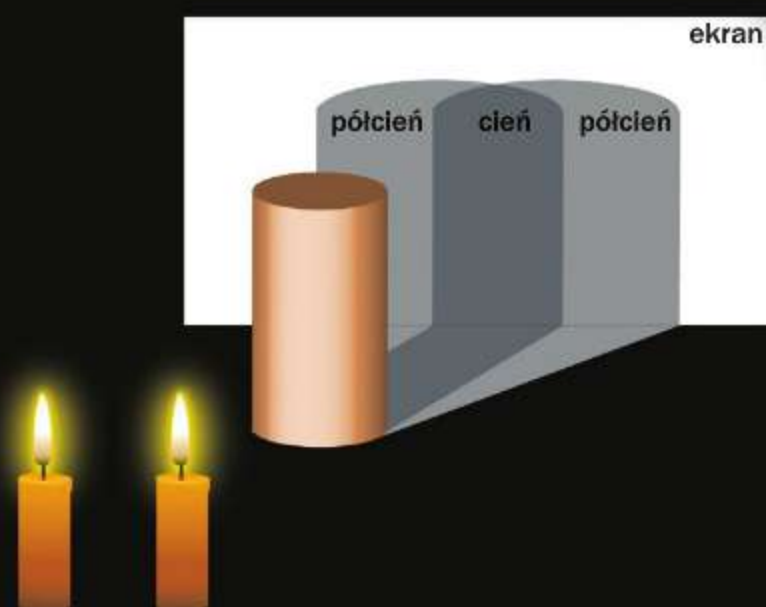
Kryteria	Fale mechaniczne	Fale elektromagnetyczne
szybkość rozchodzenia się	zależna od sprężystości ośrodka; fala akustyczna w powietrzu $v \approx 340$ m/s $v_{\text{w wodzie}} \approx 1250$ m/s $v_{\text{w żelazie}} \approx 5000$ m/s	w próżni $c \approx 300\,000\,000$ m/s; to największa szybkość w przyrodzie; możliwość przesyłania informacji z taką szybkością za pomocą fal elektromagnetycznych; w innych ośrodkach $v < c$; w powietrzu tylko nieco mniejsza od c
częstotliwość f	Przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego częstotliwość fali nie zmienia się (np. rozchodzący się w powietrzu dźwięk, który powstał na skutek drgań struny, ma taką samą częstotliwość jak drgania tej struny); światło jednobarwne, przechodzące z powietrza do wody, ma nadal taką samą częstotliwość, co objawia się taką samą barwą tego światła.	
długość fali λ	droga przebywana przez falę w czasie jednego okresu drgań	
związek między wielkościami opisującymi falę	$\lambda = \frac{v}{f}$ Przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego $f = \text{const}$, ale następuje zmiana szybkości v , a zatem zmiana długości fali λ .	
znaczenie	wielkie znaczenie w przyrodzie, a także w życiu człowieka	

Zadania i doświadczenia

1. Poszukaj odpowiednich informacji i przygotuj prezentację rozwijającą jeden z punktów powyższego zestawienia.
2. W czasie burzy Zosia zmierzyła czas, jaki upłynął między pojawieniem się błyskawicy i usłyszeniem grzmotu. Na tej podstawie oszacowała, w jakiej odległości od niej uderzył piorun. Zapisz w punktach rozumowanie, jakie przeprowadziła Zosia.

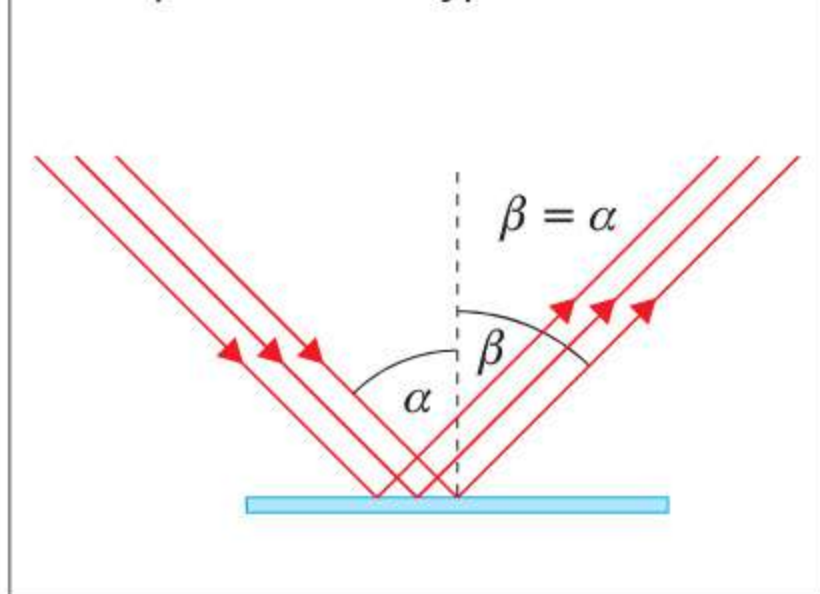
Podsumowanie

Światło rozchodzi się prostoliniowo.
Skutkiem tego jest tworzenie się cienia i półcienia.

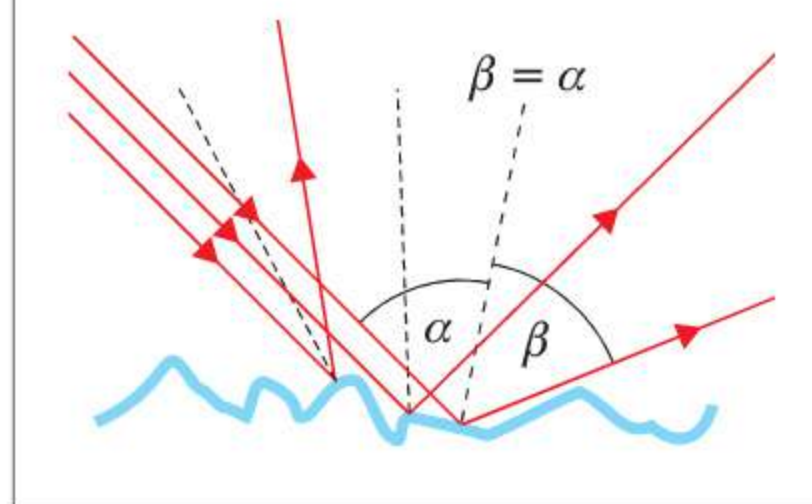


Padające na granicę dwóch ośrodków światło może ulec odbiciu.
Prawo odbicia: kąt odbicia β jest równy kątowi padania α .

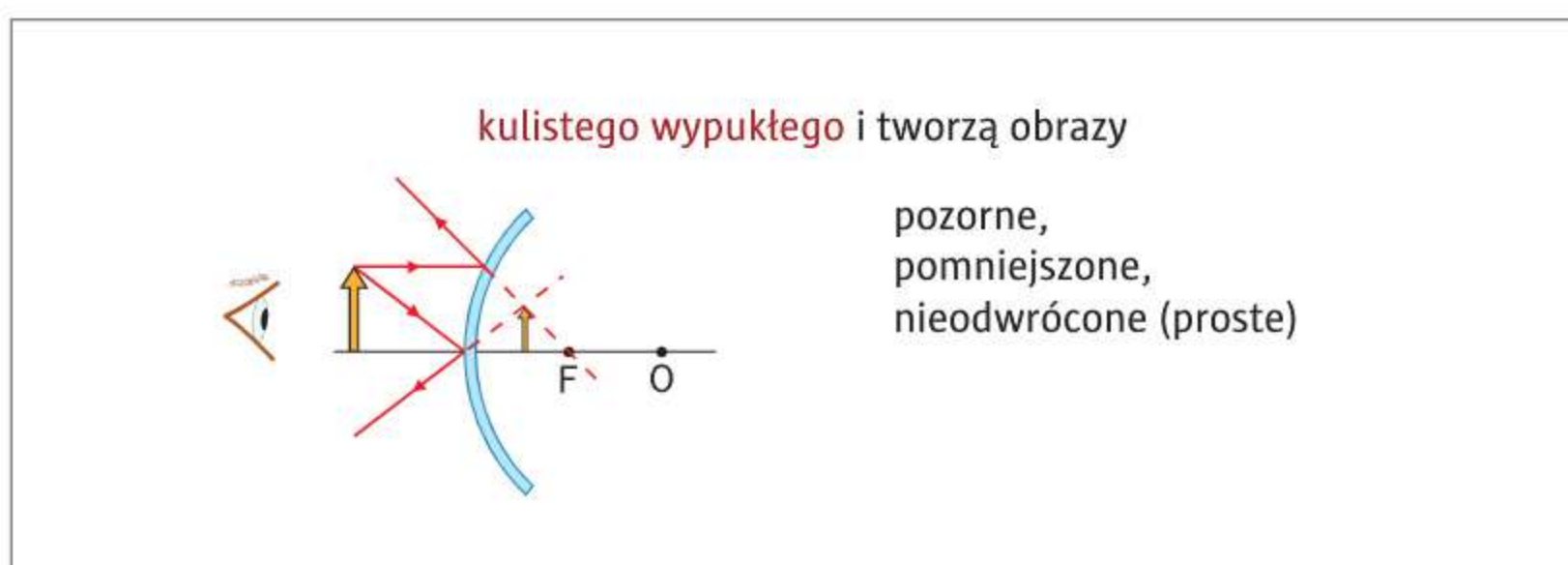
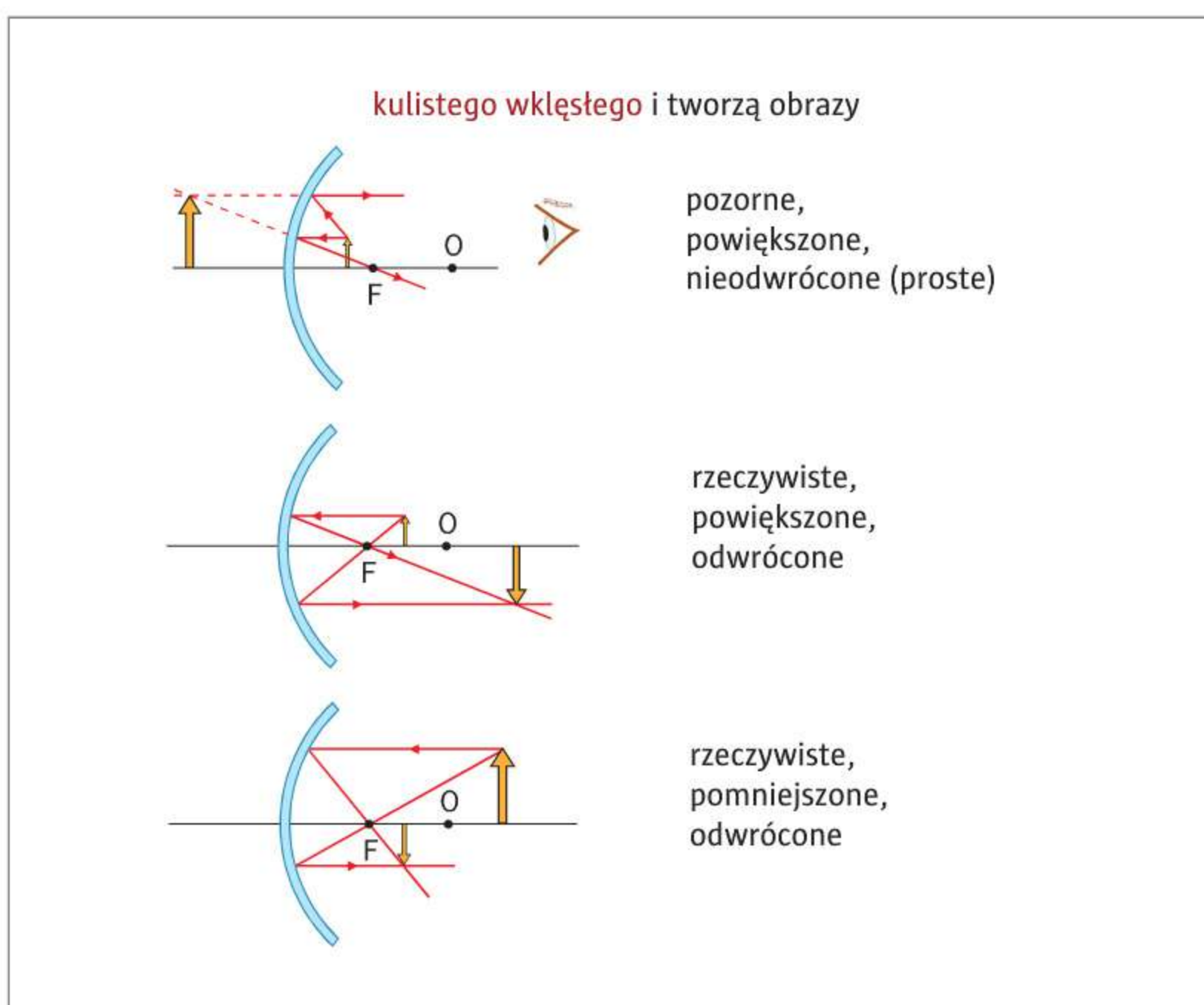
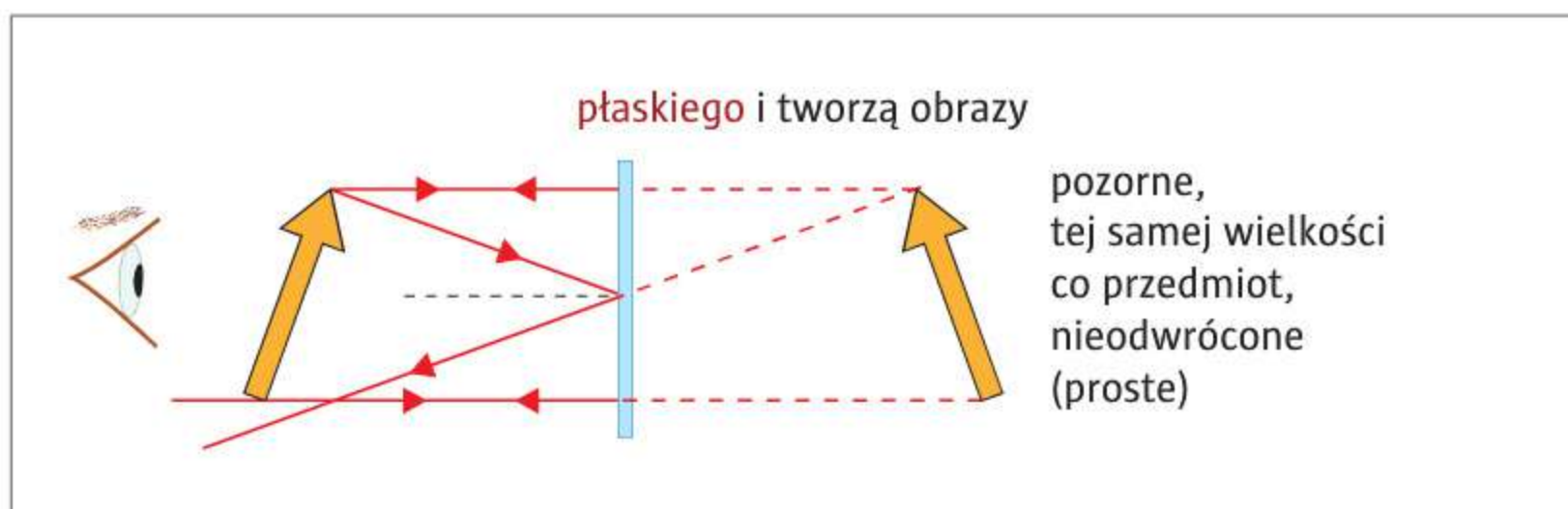
powierzchnia wypolerowana



powierzchnia chropowata
– rozproszenie światła

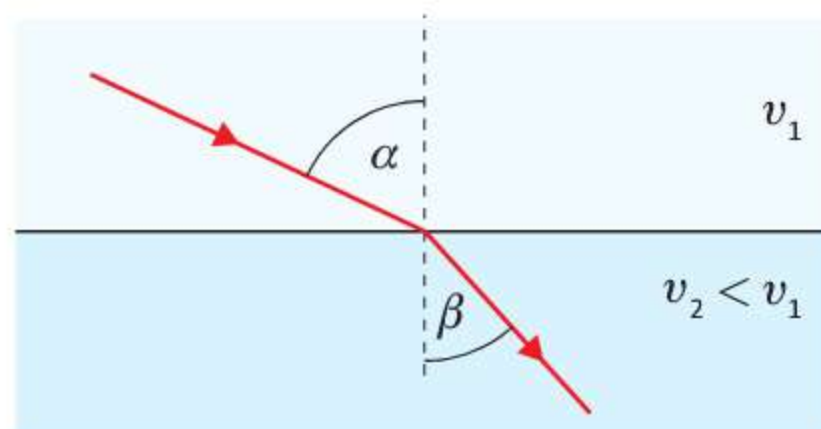


Promienie oświetlające przedmiot odbijają się od powierzchni zwierciadła:

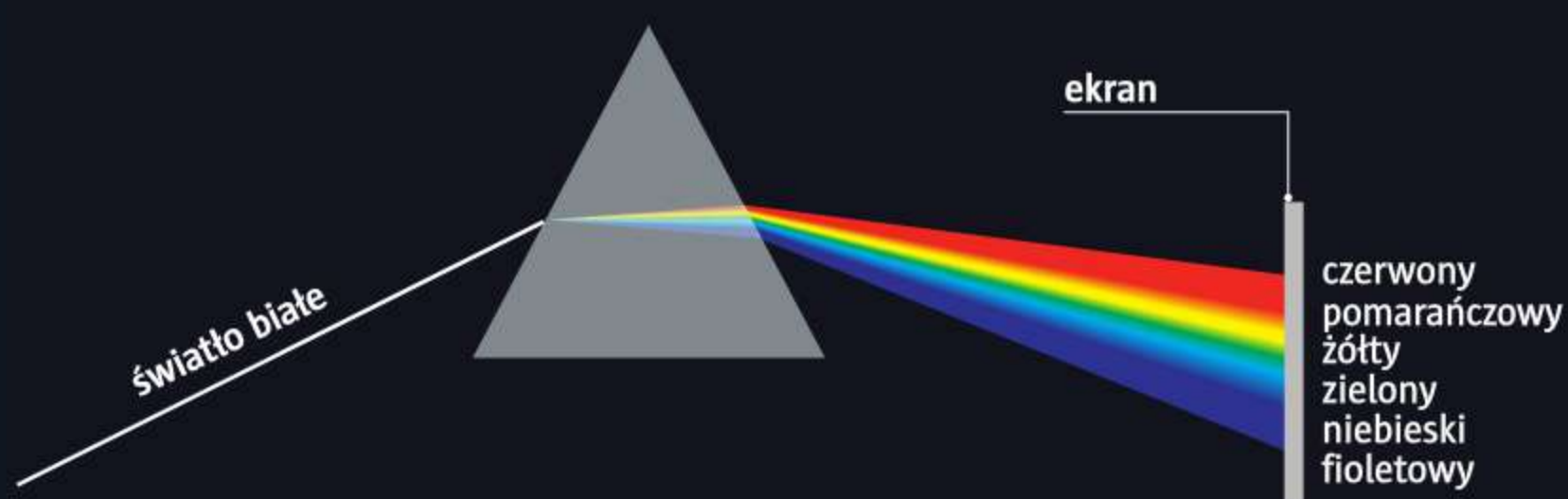


Padające na granicę dwóch ośrodków światło może ulec załamaniu.

Jeśli światło przechodzi z ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej (np. z powietrza), do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej (np. do szkła), kąt załamania β jest mniejszy od kąta padania α .

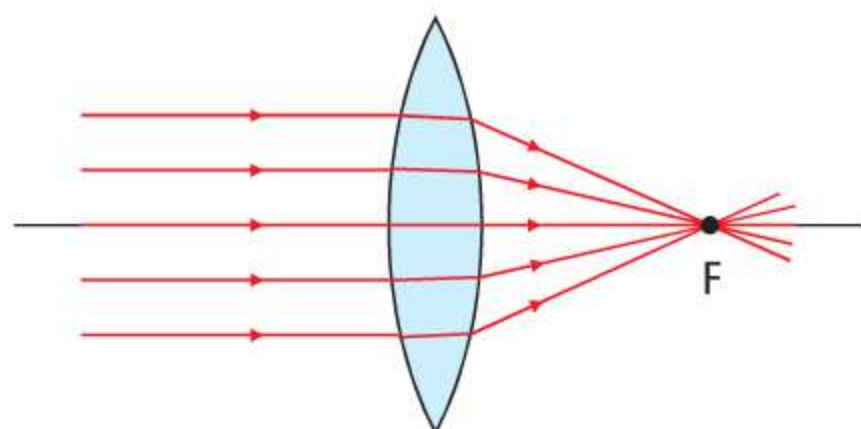


Światło białe przy przejściu do innego ośrodka ulega rozszczepieniu.

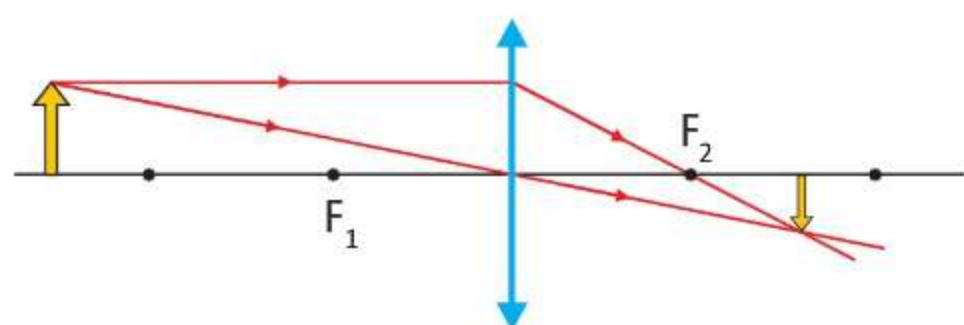


Światło laserowe jest jednobarwne (monochromatyczne) i nie ulega rozszczepieniu.

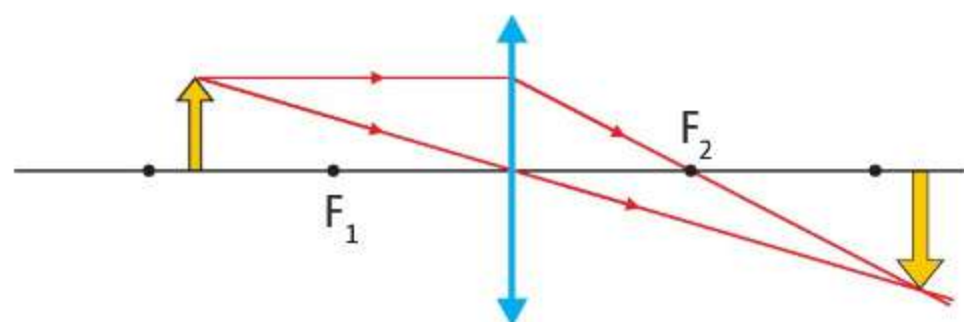
Promienie równoległe do osi optycznej padające na soczewkę wypukłą skupiają się w jej ognisku.



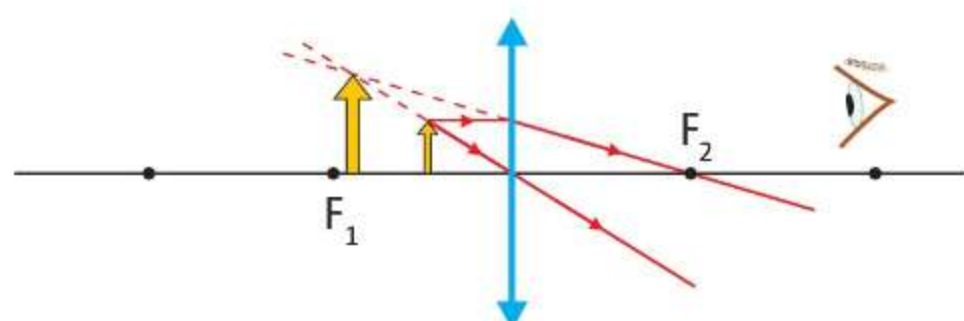
Za pomocą soczewek można otrzymywać obrazy przedmiotów świecących lub oświetlonych.



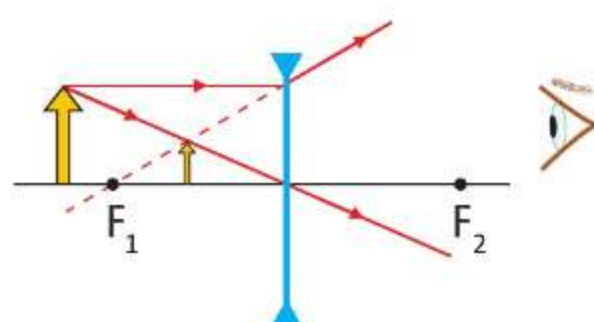
rzeczywiste,
pomniejszone,
odwrócone



rzeczywiste,
powiększone,
odwrócone

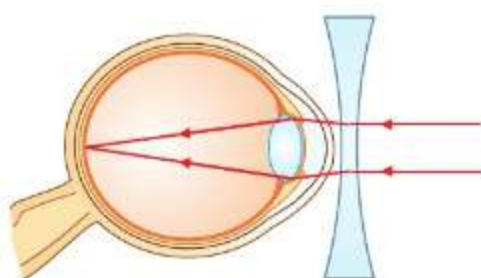


pozorne,
powiększone,
nieodwrócone
(proste)

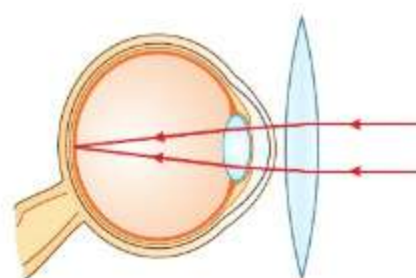


pozorne,
pomniejszone,
nieodwrócone
(proste)

Soczewki służą do korygowania wad wzroku.



krótkowidz



dalekowidz

W próżni i w powietrzu światło rozchodzi się z szybkością około 300 000 km/s. W innych ośrodkach szybkość światła zależy od rodzaju ośrodka i barwy światła, dlatego kąt załamania także zależy od rodzaju ośrodka i barwy światła.

Sprawdź się

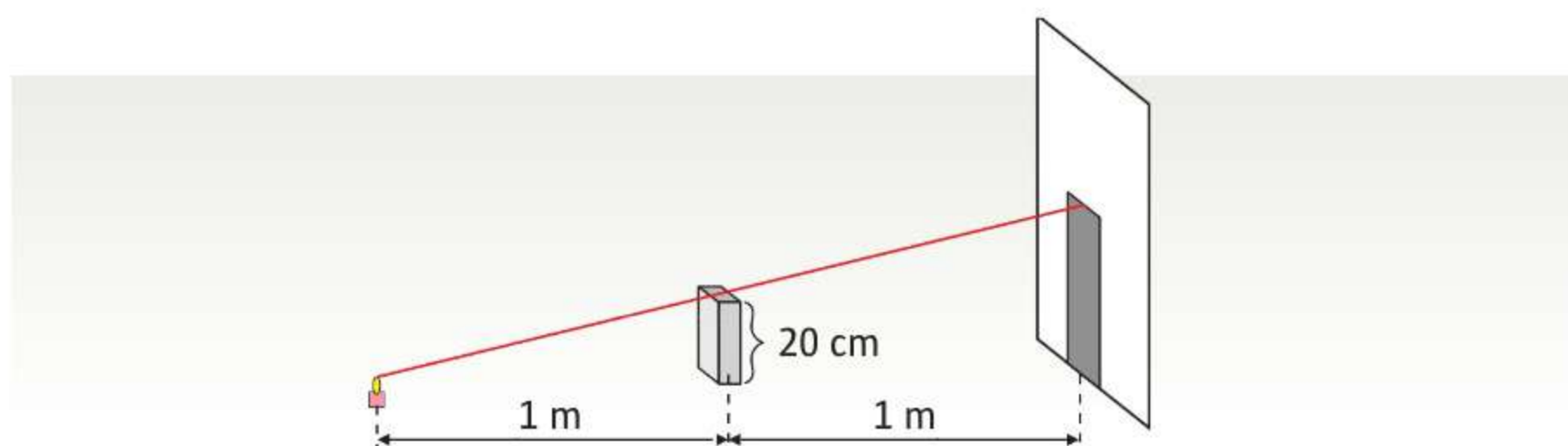
1. Naturalnymi źródłami światła są



- A. lampa i Słońce.
C. Słońce i Księżyc.

- B. lampa, Słońce i Księżyc.
D. kwiat słonecznika, Słońce.

2. Cień pudełka na ścianie ma wysokość



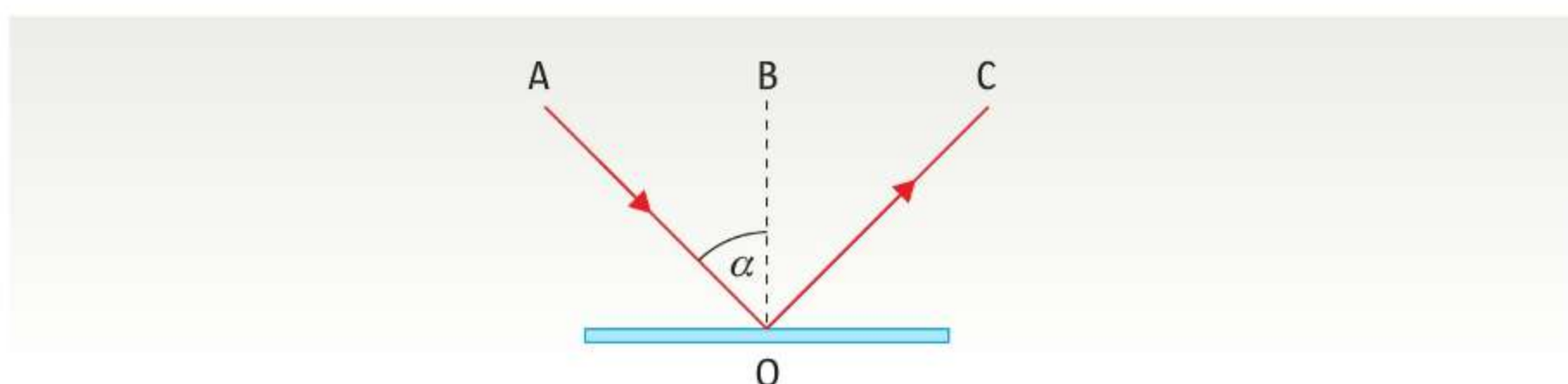
A. 20 cm

B. 30 cm

C. 40 cm

D. 50 cm

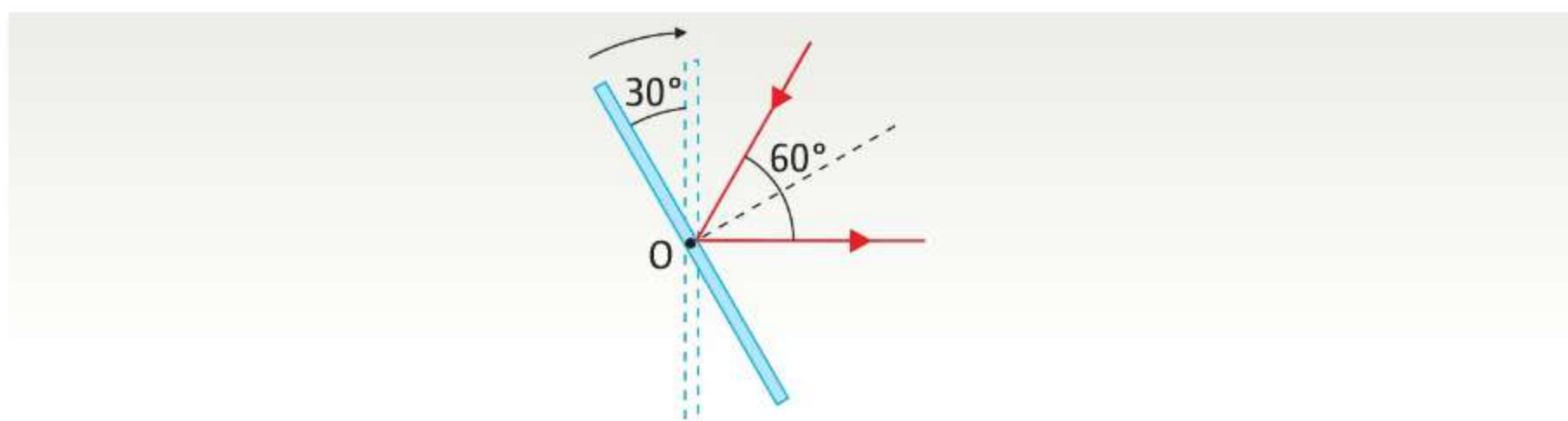
3. Na rysunku pokazano, jak światło odbija się od wypolerowanej powierzchni.



Które zdanie jest prawdziwe?

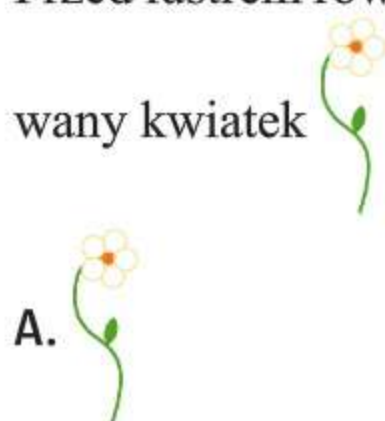
- A. AO to promień padający, BOC to kąt padania.
B. BO to promień padający, BOA to kąt padania.
C. BOC to kąt odbicia, AO to promień padający.
D. AOC to kąt padania, OC to promień odbity.

4. Kąt pomiędzy promieniem padającym i odbitym jest równy 60° . Jeżeli zwierciadło obrócimy wokół osi O o 30° w prawo, to kąt między promieniem padającym na zwierciadło i odbitym będzie wynosił

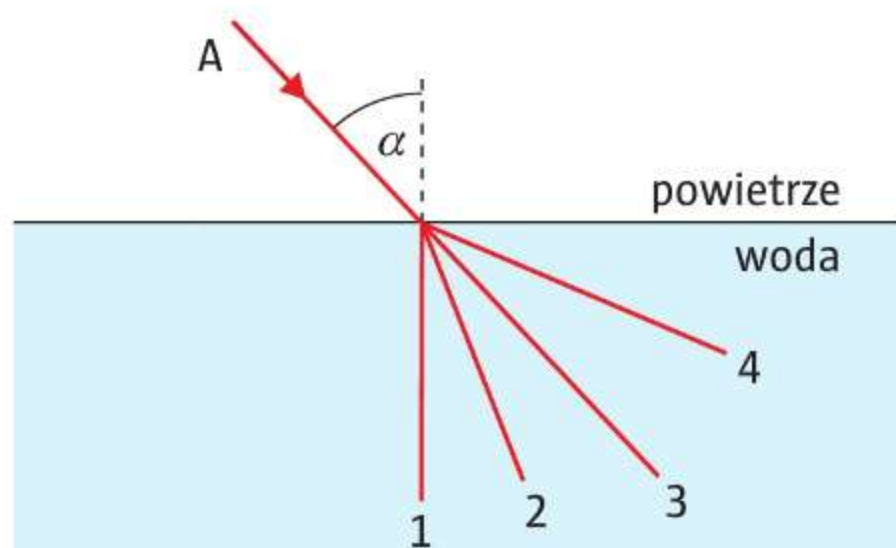


- A. 60° B. 90° C. 120° D. 150°

5. Przed lustrem równoległe do jego powierzchni ustawiono kartkę, na której jest narysowany kwiatek. Gdy spojrzysz w lustro, zobaczysz obraz A/B/C/D.

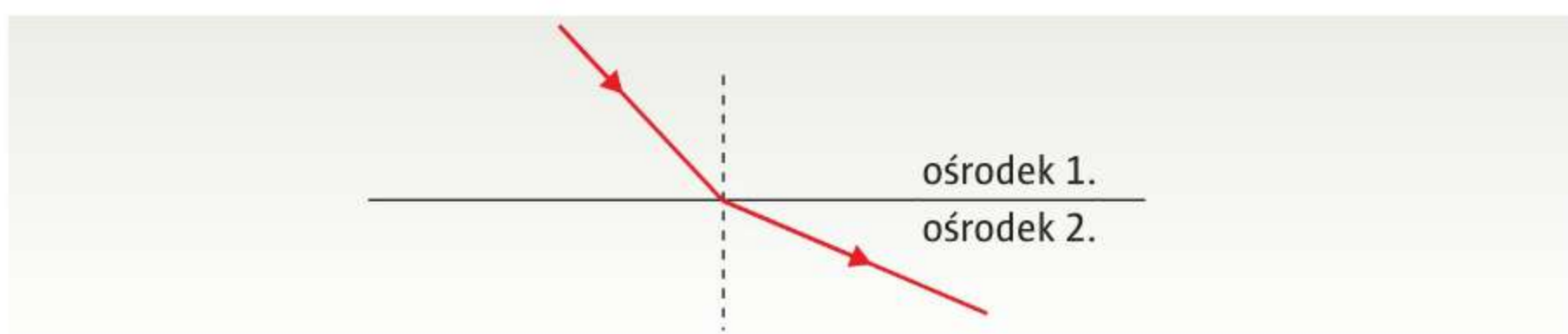


6. Promień światła A pada na powierzchnię wody. Jego dalszy bieg przedstawia półprosta



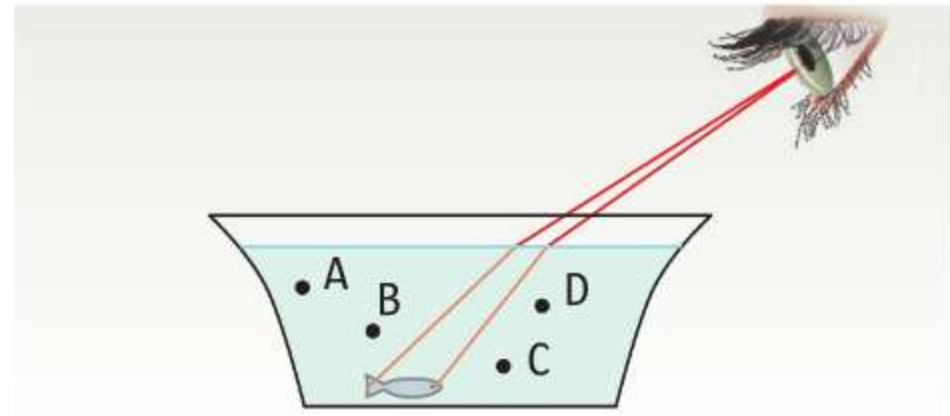
- A. 1. B. 2. C. 3. D. 4.

7. Na rysunku przedstawiono załamanie światła na granicy dwóch ośrodków. Mogą to być

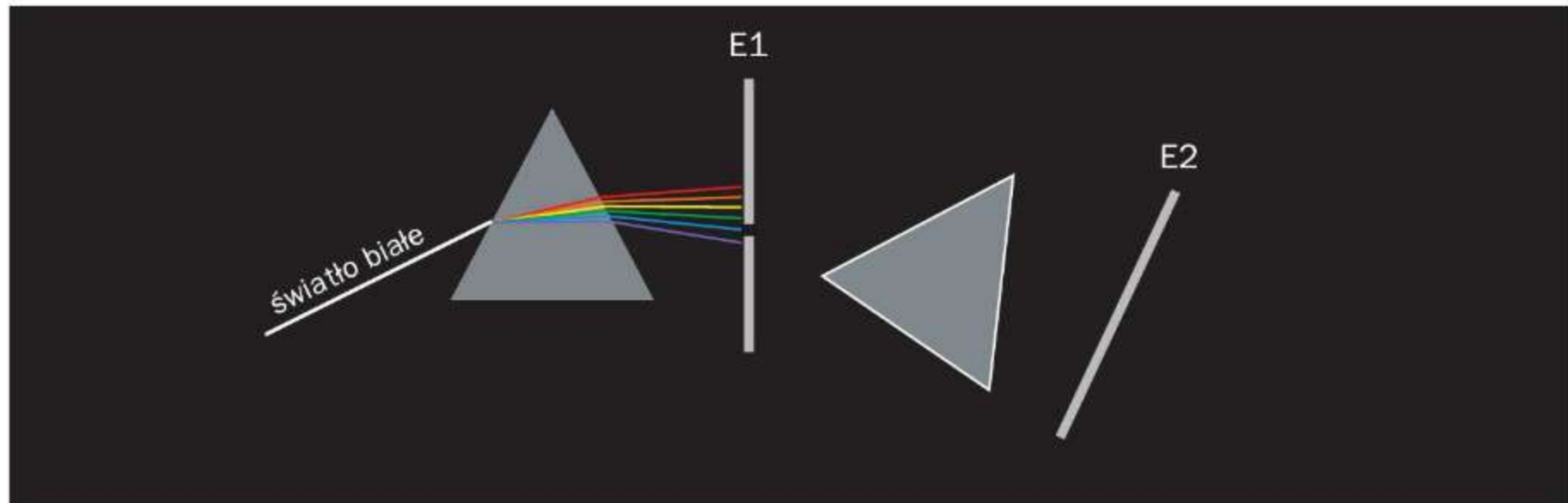


- A. 1. – powietrze, 2. – woda. B. 1. – powietrze, 2. – szkło.
C. 1. – woda, 2. – powietrze. D. 1. – woda, 2. – szkło.

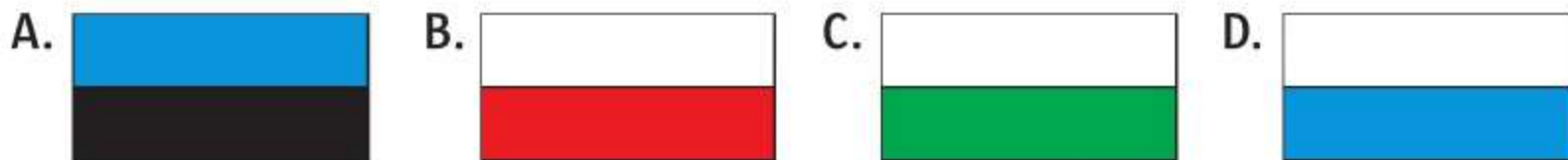
8. Promienie świetlne po odbiciu od ryby biegną do powierzchni wody i załamują się na niej. Stojący na brzegu człowiek widzi rybę w położeniu A/B/C/D.



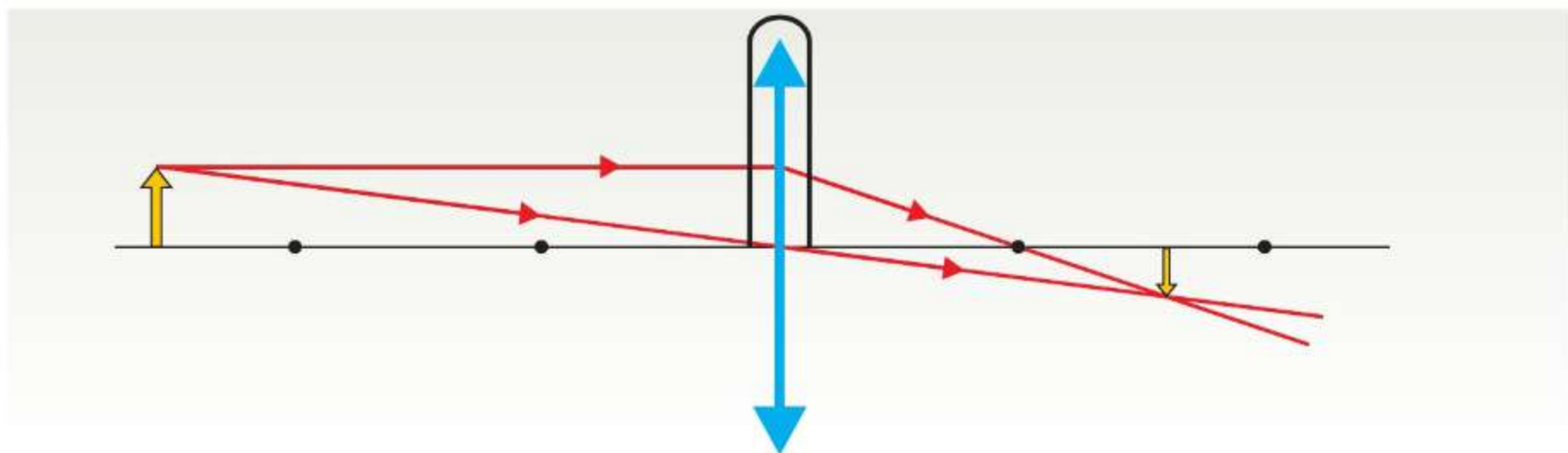
9. Światło białe pada na pryzmat. W ekranie E1 jest mały otwór. Na ekranie E2 otrzymamy



- A. białą plamkę.
B. widmo ciągłe.
C. widmo ciągłe bez barwy niebieskiej.
D. plamkę niebieską.
10. Polską flagę oglądaną przez filtr niebieski przedstawia rysunek A/B/C/D.

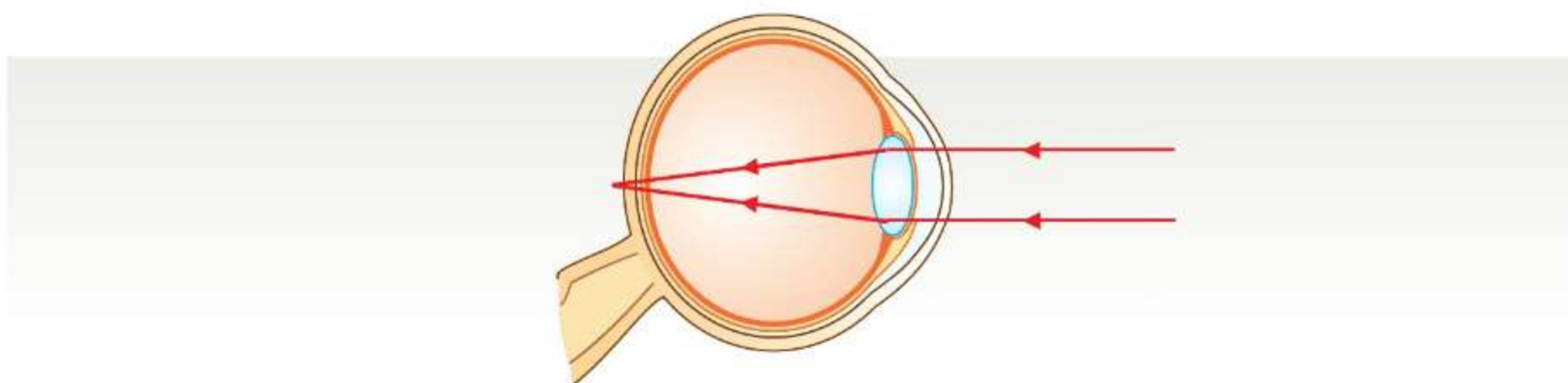


11. Za pomocą soczewki uzyskano obraz rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony. Górną połowę soczewki osłonięto czarnym papierem. Wskutek tego



- A. nie otrzymano obrazu.
B. otrzymano tylko połowę obrazu.
C. otrzymano taki sam obraz jak przed osłonięciem.
D. otrzymano cały obraz, ale ciemniejszy.

12. Rysunek przedstawia bieg promieni w oku



- A. krótkowidza, który powinien nosić soczewki skupiające.
- B. krótkowidza, który powinien nosić soczewki rozpraszające.
- C. dalekowidza, który powinien nosić soczewki skupiające.
- D. dalekowidza, który powinien nosić soczewki rozpraszające.

13. Światło laserowe

- A. ulega rozszczepieniu przy przejściu przez pryzmat.
- B. ulega rozszczepieniu przy przejściu przez soczewkę.
- C. ulega rozszczepieniu przy przejściu z powietrza do wody.
- D. nie ulega rozszczepieniu.

14. Przeczytaj poniższe zdania.

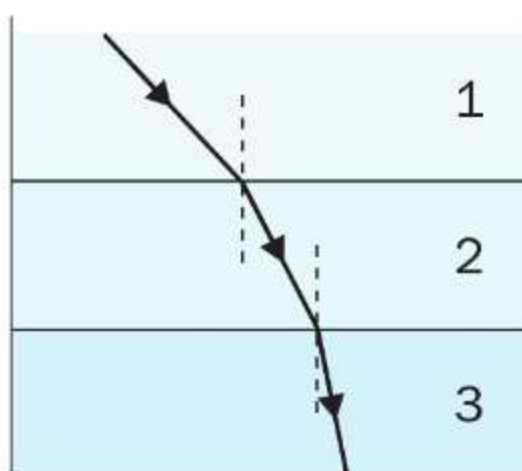
- I. Z szybkością $c = 300\,000\text{ km/s}$ rozchodzą się w próżni wszystkie rodzaje fal elektromagnetycznych.
- II. Szybkość $300\,000\text{ km/s}$ to największa szybkość, z jaką można przesyłać informacje (np. za pomocą światła lub fal radiowych).
- III. Światło nie rozchodzi się z szybkością $300\,000\text{ km/s}$, tylko z szybkością $300\,000\text{ m/s}$.

Prawdziwe

- A. są stwierdzenia III i II.
- B. jest tylko stwierdzenie III.
- C. są stwierdzenia I i II.
- D. jest tylko stwierdzenie I.

15. Między szybkościami rozchodzenia się światła w ośrodkach 1, 2, 3 zachodzi związek

- A. $v_1 < v_2 < v_3$
- B. $v_1 < v_2 > v_3$
- C. $v_1 > v_2 < v_3$
- D. $v_1 > v_2 > v_3$



Zadania problemowe

Zadanie 1.

Podaj, o ile rzędów wielkości szybkość światła w powietrzu jest większa od szybkości dźwięku w powietrzu.

Zadanie 2.

Po wstawieniu nowej lodówki do kuchni należy sprawdzić – zgodnie z załączoną do niej instrukcją – czy lodówka stoi dokładnie poziomo. Można to zrobić na cztery sposoby.

1. Za pomocą zamkniętej z obu stron szklanej rurki wypełnionej wodą z bąbelką powietrza.
2. Za pomocą kilkudziesięciocentymetrowej giętkiej plastikowej rurki częściowo wypełnionej wodą.
3. Z wykorzystaniem wskaźnika laserowego.
4. Za pomocą okrągłego koralika lub kulki.

Przypisz każdemu z tych sposobów jedno z poniższych zjawisk fizycznych, które ma w nim zastosowanie.

- a) Światło rozchodzi się po liniach prostych.
- b) Wysokość słupów tej samej cieczy w naczyniach połączonych jest jednakowa.
- c) Jeśli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest mniejsza od gęstości tej cieczy, to wypływa ono na powierzchnię.
- d) Wszystkie ciała w pobliżu Ziemi są przez nią przyciągane.

Zadanie 3.

Na niżej wymienione przedmioty pada światło słoneczne.

lustro, różnokolorowe przezroczyste płytki szklane, białe prześcieradło, kolorowe dmuchane materace, czarny płaszcz, szyba okienna

- a) Wskaż te spośród nich, których temperatura – twoim zdaniem – powinna wzrosnąć.
- b) Uzasadnij, dlaczego tak się dzieje.
- c) Podaj nazwę rodzaju energii, w którą w tym przypadku zamienia się część energii światła.
- d) Wyjaśnij, dlaczego w pozostałych przypadkach taka przemiana nie następuje.
- e) Jaką barwę mają kolektory słoneczne umieszczane na dachach domów?
- f) Uzasadnij dlaczego.

Tabele

Tabela 1. Najważniejsze zjawiska fizyczne

Zjawisko	Krótki opis
ruch	zmiana położenia ciała względem innego ciała zwanego układem odniesienia
występowanie różnych stanów skupienia	możliwość występowania substancji w postaci ciała stałego, cieczy lub gazu – w zależności od rodzaju substancji i od temperatury
zmiany stanu skupienia ciał	• topnienie – przechodzenie ze stanu stałego w ciekły • krzepnięcie – przechodzenie ze stanu ciekłego w stały • parowanie – przechodzenie ze stanu ciekłego w lotny • skraplanie – przechodzenie ze stanu lotnego w ciekły • sublimacja – przechodzenie ze stanu stałego w lotny (w parę) • resublimacja – przechodzenie ze stanu lotnego w stały
rozszerzalność temperaturowa ciał	zwiększanie się objętości (lub długości) ciała na skutek wzrostu jego temperatury
dyfuzja	samorzutne mieszanie się różnych substancji świadczące o cząsteczkowej budowie materii i nieustannym ruchu cząsteczek
bezwładność	zjawisko polegające na tym, że ciało pozostaje w spoczynku lub ruchu ze stałą prędkością, gdy nie działają na nie żadne siły lub gdy działające siły się równoważą (zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki); także cecha ciała związana z jego masą
sprężystość ciał	zdolność ciała do powrotu do początkowego kształtu i rozmiarów po ustaniu działania siły odkształcającej
oddziaływania wzajemne ciał	• bezpośrednie (mechaniczne) – wymagające zetknięcia się ciał • grawitacyjne – wzajemne przyciąganie się wszystkich ciał mających masę • elektrostatyczne – wzajemne przyciąganie lub odpychanie się ciał naelektryzowanych • magnetyczne – wzajemne przyciąganie lub odpychanie magnesów, wzajemne przyciąganie magnesów i przedmiotów z żelaza i jego stopów • elektromagnetyczne – oddziaływanie przewodnika z prądem na igłę magnetyczną i magnesu na przewodnik z prądem
tarcie, opory ruchu	oddziaływanie pomiędzy ciałem i podłożem (stycznie do niego) lub ciałem i ośrodkiem, względem którego ciało się porusza
przemiany energii	zamiany jednego rodzaju energii w drugi, podlegające zasadzie zachowania energii
cieplny przepływ energii	przekazywanie części energii wewnętrznej poprzez zderzenia cząsteczek stykających się ciał o różnych temperaturach

Zjawisko	Krótki opis
konwekcja	unoszenie się w górę ogrzanej masy gazu lub cieczy (zgodnie z prawem Archimedesesa)
izochronizm drgań wahadła	niezależność okresu drgań od kąta wychylenia wahadła z położenia równowagi dla małych wychyleń
fala sprężysta	rozchodzenie się w ośrodku zaburzenia polegającego na odkształcaniu kolejnych niewielkich obszarów ośrodka lub zagęszczaniu i rozrzedzaniu niewielkich jego obszarów
fala akustyczna (dźwiękowa)	fala sprężysta o częstotliwości 20 Hz–20 000 Hz wywołująca wrażenia słuchowe u człowieka
elektryzowanie ciał	nadawanie ciałom właściwości elektrycznych poprzez pocieranie, dotyk lub indukcję elektrostatyczną
prąd elektryczny w przewodnikach metalowych	ukierunkowany ruch elektronów pod wpływem sił elektrycznych
fala elektromagnetyczna	rozchodzące się w próżni z szybkością 300 000 km/s zaburzenie polegające na wzajemnym wytwarzaniu pól elektrycznych i magnetycznych
odbicie i załamanie światła	zmiana kierunku biegu promienia świetlnego na granicy dwóch ośrodków
rozszczipienie światła	rozdzielanie się wiązki światła słonecznego (lub z żarówki) na różne barwy na skutek załamania

Tabela 2. Wielkości fizyczne i ich jednostki

Nazwa	Symbol	Jednostka
droga	s	1 m, 1 km
czas	t	1 s, 1 h
wartość prędkości (szybkość)	v	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
średnia wartość prędkości (w ruchu zmiennym)	v_{sr}	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
wartość przyspieszenia	a	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
masa	m	1 g, 1 kg
wartość siły	F	1 N (niuton)
amplituda drgań	A	1 m
okres drgań	T	1 s
częstotliwość drgań	f	1 Hz (herc)

Nazwa	Symbol	Jednostka
długość fali	λ (lambda)	1 m
praca (mechaniczna i prądu elektrycznego)	W	1 J (dżul), 1 kWh
moc	P	1 W (wat)
energia (mechaniczna: potencjalna grawitacji, potencjalna sprężystości, kinetyczna; wewnętrzna; elektryczna)	E	1 J, 1 kWh
gęstość substancji	d	$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
ciśnienie	p	1 Pa (paskal)
temperatura	t	1°C
	T	1 K (kelwin)
ilość ciepła	Q	1 J
ładunek elektryczny	q, Q	1 C (kulomb), 1 Ah (amperogodzina)
napięcie elektryczne	U	1 V (wolt)
natężenie prądu	I	1 A (amper)
opór elektryczny	R	1 Ω (om)
ogniskowa soczewki	f	1 m
zdolność skupiająca soczewki	Z	1 D (dioptria)

Tabela 3. Prawa fizyczne

Prawo fizyczne lub zasada	Treść
Pierwsza zasada dynamiki Newtona	Jeśli na ciało nie działają żadne siły lub gdy działają siły wzajemnie się równoważące, to ciało porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym lub spoczywa.
Druga zasada dynamiki Newtona	Jeśli na ciało działają siły, które się nie równoważą, to ciało porusza się ruchem zmiennym. Wartość przyspieszenia ciała o masie m jest wprost proporcjonalna do wartości siły wypadkowej działającej na to ciało. Jeśli na ciała o różnych masach działają siły o takiej samej wartości, to ich przyspieszenia mają wartości odwrotnie proporcjonalne do ich mas.
Trzecia zasada dynamiki Newtona	Jeśli jedno ciało działa siłą na drugie ciało, to drugie ciało działa siłą na pierwsze. Siły wzajemnego oddziaływania mają takie same wartości, ten sam kierunek, przeciwne zwroty i różne punkty przyłożenia.

Prawo fizyczne lub zasada	Treść
Zasada zachowania energii mechanicznej	Jeśli pomiędzy ciałami układu działają siły grawitacyjne lub siły sprężystości, a siła zewnętrzna nie wykonuje pracy, to energia mechaniczna układu nie ulega zmianie.
Prawo Pascala	Jeśli na zamkniętą w zbiorniku ciecz (lub gaz) działamy siłą, to wytworzone w ten sposób dodatkowe ciśnienie jest jednakowe w całej objętości tej cieczy (lub gazu).
Prawo Archimiedesa	Na każde ciało zanurzone w cieczy (lub w gazie) działa zwrócona w górę siła wyporu; wartość siły wyporu jest równa wartości ciężaru cieczy (lub gazu) wypartej przez to ciało.
Pierwsza zasada termodynamiki	Energię wewnętrzną ciała możemy zmienić albo przez wykonanie pracy, albo przez przekazanie ciepła. Może także nastąpić równoczesne wykonywanie pracy i przekazywanie ciepła.
Zasada zachowania ładunku	W układzie ciał izolowanych elektrycznie od otoczenia całkowity ładunek nie ulega zmianie. Ładunek może jedynie przemieszczać się z jednego ciała (lub jego części) do innego ciała (lub jego części).
Prawo Ohma	Natężenie prądu w przewodniku jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego między końcami tego przewodnika.
Prawo odbicia światła	Kąt odbicia jest równy kątowi padania.

Tabela 4. Wzory fizyczne

Wzór	Zastosowanie
$v = \frac{s}{t}$	Pozwala obliczyć wartość prędkości (szybkość) ciała w ruchu jednostajnym ($F_{\text{wyp.}} = 0$).
$v_{\text{śr}} = \frac{s_{\text{całk.}}}{t_{\text{całk.}}}$	Pozwala obliczyć średnią wartość prędkości (szybkość średnią) ciała poruszającego się dowolnym ruchem.
$a = \frac{v - v_0}{t}$	Pozwala obliczyć wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym ($F_{\text{wyp.}} = \text{const}$, zwrot zgodny z $\vec{v}$).
$a = \frac{v_0 - v}{t}$	Pozwala obliczyć wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym ($F_{\text{wyp.}} = \text{const}$, zwrot przeciwny do $\vec{v}$).
$s = \frac{at^2}{2}$	Pozwala obliczyć drogę przebytą przez ciało ruchem jednostajnie przyspieszonym, gdy $v_0 = 0$.
$a = \frac{F_{\text{w}}}{m}$	Pozwala obliczyć wartość przyspieszenia ciała o masie m , jeśli znamy wypadkową siłę działającą na to ciało.
$F_c = mg$	Pozwala obliczyć wartość siły ciężkości działającej na ciało o masie m .

Wzór	Zastosowanie
$W = Fs$	Pozwala obliczyć pracę w przypadku, gdy stała siła działa zgodnie z przemieszczeniem.
$P = \frac{W}{t}$	Pozwala obliczyć średnią moc urządzenia.
$E_p = mgh$	Pozwala obliczyć energię potencjalną ciała na wysokości h nad wybranym poziomem.
$E_k = \frac{mv^2}{2}$	Pozwala obliczyć energię kinetyczną ciała o masie m poruszającego się z szybkością v .
$d = \frac{m}{V}$	Pozwala obliczyć gęstość jednorodnego ciała o masie m i objętości V .
$T = t + 273$	Pozwala temperaturę t zapisaną w stopniach Celsjusza wyrazić w kelwinach.
$p = \frac{F}{S}$	Pozwala obliczyć ciśnienie na powierzchni S , gdy jest znana wartość siły nacisku działającej równomiernie na tę powierzchnię.
$F = dVg$	Pozwala obliczyć wartość siły wyporu działającej na ciało o objętości V całkowicie zanurzone w cieczy o gęstości d .
$Q = mc\Delta T$	Pozwala obliczyć ilość ciepła pobranego lub oddanego przez ciało o masie m wykonane z substancji o cieple właściwym c przy ogrzaniu lub ochłodzeniu o $\Delta T = \Delta t$.
$\Delta E_w = Q + W$	Pozwala obliczyć przyrost energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ilość ciepła Q i nad którym wykonano pracę W .
$f = \frac{1}{T}$	Pozwala obliczyć częstotliwość drgań, gdy znamy okres drgań T .
$\lambda = vT = \frac{v}{f}$	Pozwala obliczyć długość fali rozchodzącej się z szybkością v , gdy znamy okres T lub częstotliwość f fali.
$U = \frac{W}{q}$	Pozwala obliczyć napięcie między dwoma punktami pola elektrostatycznego, gdy znamy pracę wykonaną przy przemieszczeniu ładunku q między tymi punktami.
$I = \frac{q}{t}$	Pozwala obliczyć natężenie prądu stałego, gdy znamy ładunek q przepływający przez poprzeczny przekrój przewodnika w czasie t .
$R = \frac{U}{I}$	Pozwala obliczyć opór przewodnika, gdy jest znane napięcie U między jego końcami i natężenie prądu I płynącego w tym przewodniku.
$W = UI t$	Pozwala obliczyć pracę prądu elektrycznego wykonaną w czasie t (gdy $U = \text{const}$ i $I = \text{const}$).
$P = UI$	Pozwala obliczyć moc prądu (gdy $U = \text{const}$ i $I = \text{const}$).
$= \frac{W_{\text{wykonana}}}{E_{\text{włożona}}} \cdot 100\%$	Pozwala obliczyć sprawność urządzenia.
$Z = \frac{1}{f}$	Pozwala obliczyć zdolność skupiającą soczewki.

Odpowiedzi do zadań

7. Przemiany energii w zjawiskach cieplnych

7.1. Energia wewnętrzna i jej zmiana przez wykonanie pracy

Strona	Zadanie	Odpowiedź
11	3	W pierwszym i czwartym oraz trzecim i piątym. Najmniejszą – w pierwszym, największą – w piątym.
11	4	Energia wewnętrzna gazu zmalała.

7.4. Ciepło właściwe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
24	2	Do naczynia z naftą.
25	3	Ciepło potrzebne do ogrzania wody: $Q_w \approx 840\,000\text{ J}$. Ciepło potrzebne do ogrzania naczynia: $Q_{Al} = 18\,400\text{ J}$. $\frac{Q_{Al}}{Q_w + Q_{Al}} = 0,02$, to jest 2%.

7.5. Przemiany energii w zjawiskach topnienia i parowania

Strona	Zadanie	Odpowiedź
30	2	Oparzenie parą, bo ciepło jest oddawane w procesie skraplania pary i ochładzania powstałej z niej wody do temperatury $36,6^\circ\text{C}$.
30	6	Ciepło potrzebne do ogrzania: $335\,200\text{ J}$. Ciepło potrzebne do wyparowania: $2\,258\,000\text{ J}$.
31	7	c) Ilość ciepła potrzebna do stopienia lodu wynosi około 300 kJ . Ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody do 100°C wynosi około 400 kJ . Ilość ciepła potrzebna do stopienia stanowi około $\frac{3}{4}$ ilości ciepła potrzebnego do ogrzania wody. d) Około 7 razy. e) W procesie ogrzewania lodu od -20°C do 0°C ($Q = Q_l$).
31	8	A
31	9	3
31	10	$\frac{\text{J}}{\text{s}}$

Sprawdź się (s. 34)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	7.1	1	A
2	7.1	1	D
3	7.1	1	A
4	7.2	1	B
5	7.2	1	D
6	7.3	1	A
7	7.4	1	B
8	7.5	2	D
9	7.4, 7.5	2	A
10	7.5	2	C
11	7.4	2	C

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
36	2	A. Anomalna rozszerzalność wody.
36	3	a) 27°C; 327°C; b) $130 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$; c) $25\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$; d) o jeden rząd wielkości

8. Drgania i fale sprężyste

8.1. Ruch drgający

Strona	Zadanie	Odpowiedź
43	3	a) 0,5 s, b) 5,5 s, c) 0,5 Hz
43	4	W czasie 1 s ciało wykonuje 50 pełnych drgań; $T = \frac{1}{50} \text{ s}$.
43	5	$T = 4 \text{ s}$, $f = 0,25 \text{ Hz}$
43	7	Ruch drgający składa się z ruchów niejednostajnie przyspieszonych i opóźnionych.

8.2. Wahadło. Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań

Strona	Zadanie	Odpowiedź
45	1	$v = 24 \text{ cm/s}$

8.3. Fala sprężysta

Strona	Zadanie	Odpowiedź
50	1	2 m/s
50	2	2 m
50	3	Nie możemy zmienić tylko szybkości rozchodzenia się fali.

8.4. Dźwięki i wielkości, które je opisują

Strona	Zadanie	Odpowiedź
59	1	0,017–17 m
59	2	4000 Hz
59	3	Wskazówka: porównaj wysokości dźwięków.

Sprawdź się (s. 64)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	8.1	1	D
2	8.1	1	A
3	8.3	1	D
4	8.3	1	A
5	8.3	1	B
6	8.4	1	C
7	8.4	1	C
8	8.4	1	A
9	8.4	2	C
10	8.4	1	B

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
66	2	a) kalorie, atmosfera, energia cieplna, energia kinetyczna, drgania, ruch; b) energia wewnętrzna; c) Energia wewnętrzna zamieniła się w energię dźwięku. d) Hipoteza jest fałszywa.
66	3	$mgh = \frac{mv^2}{2}$ $mg(H + h) = mgH + \frac{mv^2}{2}$

9. O elektryczności statycznej

9.1. Elektryzowanie ciała przez tarcie i dotyk

Strona	Zadanie	Odpowiedź
74	4	Tak, jeśli otrzymamy pojedyncze składniki atomu.
74	5	a) Ponieważ ciała naładowane jednoimiennie odpychają się wzajemnie. b) Ponieważ ręka i sierść elektryzują się przeciwnymi ładunkami.

9.2. Siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych

Strona	Zadanie	Odpowiedź
77	2	Ponieważ siła przyciągania elektrostatycznego zależy m.in. od odległości między oddziałującymi ładunkami.

9.3. Przewodniki i izolatory

Strona	Zadanie	Odpowiedź
81	3	Ponieważ kropelki wody znajdujące się w powietrzu są przewodnikami elektryczności.

9.4. Zjawisko indukcji elektrostatycznej

Strona	Zadanie	Odpowiedź
87	2	a) dodatni b) ujemny
87	3	A – dodatnio, B – ujemnie

Sprawdź się (s. 94)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	9.1	1	B
2	9.1	1	D
3	9.1	1	A
4	9.2	1	B
5	9.3	1	C
6	9.4	1	C
7	9.4	2	A
8	9.4	1	C
9	9.4	1	C
10	9.2	1	A
11	9.4	1	B
12	9.4	1	A

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
98	1	a) całkowity ładunek: 0 b) w pobliżu A: −, w pobliżu B: +, całkowity ładunek: 0 c) całkowity ładunek: + d) w pobliżu B: +; całkowity ładunek: + e) Piłeczka zbliży się do pałeczki. Całkowity ładunek: 0

10. O prądzie elektrycznym

10.1. Prąd elektryczny w metalach

Strona	Zadanie	Odpowiedź
104	1	$W = 36 \text{ J}$
104	2	$q = 20 \text{ C}$

10.3. Natężenie prądu elektrycznego

Strona	Zadanie	Odpowiedź
114	1	Odpowiedź wynika z zasady zachowania ładunku.
114	2	ok. 1–1,7 ms

Strona	Zadanie	Odpowiedź
115	3	$I = 5 \text{ A}$
115	4	$t = 0,2 \text{ h}$
115	6	Na elektrony swobodne w całym obwodzie działa siła elektryczna.
115	8	zakres 3 A, dokładność 0,2 A; zakres 0,4 mA, dokładność 0,05 mA

10.4. Opór elektryczny przewodnika

Strona	Zadanie	Odpowiedź
120	*1	tak
120	*2	Tak, wzrasta wraz ze wzrostem temperatury.
120	3	$I = 0,2 \text{ A}; R = 7,5 \Omega$
120	4	$R_B = 2R_A; R_A = 20 \Omega; R_B = 40 \Omega$
121	5	A i C lub B i C

10.6. Praca i moc prądu elektrycznego

Strona	Zadanie	Odpowiedź
133	4	$4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Sprawdź się (s. 136)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	10.3	1	B
2	10.3	1	C
3	10.4	1	D
4	10.4	1	A
5	10.4	1	A
6	10.6	1	B
7	10.6	1	C
8	10.5	1	D
9	10.5	1	D
10	10.6	1	B
11	10.5	1	B

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
138	2	Zawyżona, gdyż część pracy prądu jest zużywana m.in. na ogrzanie czajnika i grzałki.
138	3	1 – 4, 7 – 2, 3 – 6, 5 – 8

11. O zjawiskach magnetycznych

Sprawdź się (s. 168)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	11.1	1	A
2	11.1	1	A
3	11.1	1	A
4	11.2	1	A
5	11.2	1	C
6	11.2	1	A
7	11.3	1	C
8	11.3	1	B
9	11.5	1	C

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
170	1	a) 24 kJ; b) 24 kJ, energia potencjalna; c) 1,6 kW; d) 80 kg; e) ok. 160 kg; f) ok. 48 kJ; g) C
170	2	b) 1 N

12. Optyka, czyli nauka o świetle

12.3. Obrazy otrzymywane w zwierciadle płaskim

Strona	Zadanie	Odpowiedź
183	3	Należy przesunąć się w takie miejsce, by widzieć w lustrze wierzchołek drzewa.
183	4	Fale elektromagnetyczne odbijają się od przewodników.

12.5. Załamanie światła na granicy dwóch ośrodków

Strona	Zadanie	Odpowiedź
192	2	C

12.6. Przejście wiązki światła białego przez pryzmat

Strona	Zadanie	Odpowiedź
196	1	Ponieważ pochłania więcej światła niż czysty.

12.7. Soczewki

Strona	Zadanie	Odpowiedź
200	2	Soczewka bardziej wypukła ma krótszą ogniskową.

12.8. Obrazy otrzymywane za pomocą soczewek

Strona	Zadanie	Odpowiedź
205	1	Obraz powstał w odległości 9 cm od soczewki.
205	2	Rzeczywisty, powiększony, odwrócony.

12.9. Porównujemy fale mechaniczne i elektromagnetyczne

Strona	Zadanie	Odpowiedź
207	2	Należy założyć, że światło błyskawicy dociera natychmiast, a dźwięk grzmotu porusza się z szybkością 340 m/s.

Sprawdź się (s. 212)

Zadanie	Rozdział	Liczba punktów	Poprawna odpowiedź
1	12.1	1	A
2	12.1	1	C
3	12.2	1	C
4	12.2	1	C
5	12.3	1	B
6	12.5	1	B
7	12.5	1	C
8	12.5	1	B
9	12.6	1	D
10	12.6	1	A
11	12.8	1	D
12	12.8	1	C
13	12.6	1	D
14	12.9	1	C
15	12.5	1	D

Zadania problemowe

Strona	Zadanie	Odpowiedź
216	1	o 6 rzędów
216	2	1 – c; 2 – b; 3 – a; 4 – d
216	3	a) płytki, materace, płaszczyzny b) Ponieważ pochłaniają światło. c) Energia wewnętrzna. d) Ponieważ pozostałe przedmioty nie pochłaniają światła. e) Czarną. f) By pochłonąć jak najwięcej światła.

Skorowidz

A

akomodacja 204
amplituda 39
atom 70

B

barwa dźwięku 55, 56
bezpiecznik 125
bilans cieplny 23

C

cień i półcień 174
cieplny przepływ energii 12
ciepło 13
ciepło krzepnięcia 26
ciepło parowania 28
ciepło topnienia 26
ciepło właściwe 20
częstotliwość drgań 39, 52

D

dalekowzroczność 204
dipol elektryczny 84
długość fali 49, 157
drgania akustyczne 51
drgania gasnące 39
drgania wymuszone 39
dźwięk 52, 54

E

elektromagnes 147
elektron 70, 79
elektroskop 82

F

fala akustyczna 51
fala elektromagnetyczna 156
fala podłużna 49
fala poprzeczna 48
fala sprężysta 46
fale radiowe 157, 163

I

indukcja elektromagnetyczna 152
indukcja elektrostatyczna 83
infradźwięki 52
izochronizm 45
izolacja cieplna 13
izolator 79

J

jądro 70
jon 70

K

konwekcja 16
krótkowzroczność 204

L

linie pola elektrostatycznego 89
linie pola magnetycznego 143

Ł

ładunek elementarny 70

M

magnes 140
maszyna elektrostatyczna 71
mikrofale 157, 161
moc prądu elektrycznego 128

N

napięcie elektryczne 102, 107
natężenie dźwięku 55
natężenie prądu 111
neutron 70

O

obraz pozorny 182, 185
obraz rzeczywisty 175, 185
obwód elektryczny 107, 122
odbiornik energii elektrycznej 107
ognisko soczewki 198
ognisko zwierciadła 184, 186
okres drgań 39
opornik 107, 118
opór elektryczny 116

P

pierwsza zasada termodynamiki 14
piorunochron 86
podczerwień 157, 160
polaryzacja 84
pole elektryczne 88
pole magnetyczne 142
pole magnetyczne przewodnika z prądem 146
pole magnetyczne Ziemi 143
połączenie równoległe odbiorników 122
połączenie szeregowe odbiorników 122
praca prądu elektrycznego 127
prawo odbicia światła 177
prawo Ohma 118

prąd elektryczny 101
prąd indukcyjny 153
prąd przemienny 150
prąd stały 150

prądnica 154
promieniowanie gamma 156, 158
promieniowanie rentgenowskie 156, 158
proton 70
przewodnik ciepła 13
przewodnik prądu 79

R

rozproszenie światła 179
rozszczipienie światła 193

S

schemat elektryczny 109
silnik elektryczny 149
siła magnetyczna 142
siły elektryczne 75
soczewka 197

Ś

światło widzialne 156

T

ton 53
transport energii wewnętrznej 33

U

ultradźwięki 52
ultrafiolet 156, 159
ultrasonograf 58

W

wahadło 41, 44
widmo fal elektromagnetycznych 157

Z

załamanie światła 189, 194
zasada zachowania ładunku 85
zdolność skupiająca soczewki 198
zwarcie 125
zwierciadło 177
zwierciadło wklęsłe 184
zwierciadło wypukłe 184

Ź

źródła napięcia 106
źródła światła 172

Źródła ilustracji i fotografii

Okładka: (pryzmat) ktsimage/Getty Images/iStockphoto.com

Tekst główny: s. 7 (paralotniarze) ktsimage/Getty Images/iStockphoto.com; s. 8 (elektroniczny termometr) Łukasz Opaliński; s. 9 (gumka przy twarzy) Łukasz Opaliński, (cylinder z tłokiem) Barbara Sagnowska; s. 10 (krater w Arizonie) turtix/Shutterstock.com; s. 12 (pręt z gwoździami) Łukasz Opaliński; s. 16 (kaloryfer) Edilus/Shutterstock.com, (spirala nad świeczką) Barbara Sagnowska; s. 17 (konwekcja – torebki po herbacie) Barbara Sagnowska, (bryza) Stefan Drewiczewski; s. 18 (okno) Kekyalaynen/Shutterstock.com; s. 19 (szklanka z grzałką) Łukasz Opaliński; s. 23 (kaloryfer) Łukasz Opaliński; s. 24 (naczynia z cieczami) Stefan Drewiczewski; s. 34 (naczynia z wodą) Stefan Drewiczewski; s. 35 (schemat bojlera) Stefan Drewiczewski; s. 37 (trębacz) Ysbrand Cosijn/Shutterstock.com; s. 41 (wahadło) Stefan Drewiczewski; s. 46 (krople wpadające do wody) Kostiantyn Fastov/Shutterstock.com; s. 49 (fala w sprężynie) Mirosław Łoś; s. 50 (ręka) rvlsoft/Shutterstock.com; s. 51 (drgająca linijka) Łukasz Opaliński; s. 52 (głośnik) VikaSuh/Shutterstock.com, (fala dźwiękowa) Stefan Drewiczewski, (budzik w naczyniu) Krzysztof Opaliński; s. 53 (mikrofon) Bohbeh/Shutterstock.com, (monitor) Sasha Ka/Shutterstock.com, (kamerton) MilanB/Shutterstock.com; s. 54 (klawiatura pianina) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 55 (obcinanie rurki, słomka) Łukasz Opaliński; s. 57 (wnętrze teatru im. J. Słowackiego w Krakowie) PAP/Jacek Bednarczyk; s. 58 (kontenerowiec) Aun Photographer/Shutterstock.com, (działanie echosondy) Stefan Drewiczewski, (badanie USG) Alexander Rath/Shutterstock.com, (obraz USG) GagliardiImages/Shutterstock.com; s. 60 (chłopiec) Łukasz Opaliński; s. 61 (głośnik) Łukasz Opaliński; s. 65 (klawiatura pianina) Africa Studio/Shutterstock.com; s. 67 (piorun) Balazs Kovacs Images/Shutterstock.com, (maszyna elektrostatyczna) Łukasz Opaliński; s. 79 (sieć chlorku sodu), (model budowy metalu) Stefan Drewiczewski; s. 80 (dziewczyna) PhotoMediaGroup/Shutterstock.com; s. 84 (balon) ChrisGorgio/iStockphoto/Getty Images; s. 85 (metalowa kulka) 123dartist/Shutterstock.com; s. 86 (uderzenie pioruna) Chad R. Getz/Shutterstock.com, (domek) tan_tan/Shutterstock.com; s. 88 (kulka z nitkami) Grzegorz Wojewoda; s. 89 (metalowa kulka) 123dartist/Shutterstock.com; s. 91 (butelka z piłką i maszyna elektrostatyczna) Łukasz Opaliński; s. 99 (Ziemia z kosmosu) Photobank gallery/Shutterstock.com; s. 101 (fragment przewodu w powiększeniu) Stefan Drewiczewski; s. 103 (mierniki elektryczne) Łukasz Opaliński; s. 105 (igła magnetyczna i ręka z drutem), (igła magnetyczna i bateria z drutem) Łukasz Opaliński; s. 106 (baterie) Łukasz Opaliński, (akumulator) pryzmat/Shutterstock.com; s. 107 (bateria słoneczna z lampą uliczną) Pete Spiro/Shutterstock.com, (opornik drutowy) Łukasz Opaliński; s. 109 (umowny kierunek prądu) Stefan Drewiczewski; s. 110 (cytryna) Maks Narodenko/Shutterstock.com; s. 115 (skale mierników) Stefan Drewiczewski; s. 120 (ptaki na drucie) erzetic/Shutterstock.com; s. 121 (opornica suwakowa) Łukasz Opaliński; s. 124 (lodówka) Fotovika/Shutterstock.com, (kuchenka mikrofalowa) Pro3DArt/Shutterstock.com, (płaski telewizor) Tungphoto/Shutterstock.com, (laptop) guteksk7/Shutterstock.com, (pralka) Pro3DArt/Shutterstock.com, (tablica z bezpiecznikami) Bilanol/Shutterstock.com, (suszarka do włosów) Spantomoda/Shutterstock.com, (układ scalony) SIMON FRASER/WELWYN MICROCIRCUITS/Science Photo Library; s. 131 (licznik energii elektrycznej) free photo free idea/Shutterstock.com; s. 139 (zorza polarna) Fridthjofur M./Getty Images; s. 143 (Ziemia z kosmosu) Egyptian Studio/Shutterstock.com, (Ziemia i magnes) Stefan Drewiczewski; s. 145 (igła magnetyczna i ręka z drutem), (igła magnetyczna i bateria z drutem) Łukasz Opaliński; s. 153 (rurki i magnesy) Łukasz Opaliński; s. 155 (dioda i ładowarka) Danuta Szot-Gawlik; s. 156 (symbol radioaktywności) Kaspri/Shutterstock.com, (zdjęcie rentgenowskie dłoni) thailoei92/Shutterstock.com, (kobieta na leżaku) Galina Barskaya/Shutterstock.com, (lampka) Marco Prati/Shutterstock.com; s. 157 (pilot TV) eans/Shutterstock.com, (kuchenka mikrofalowa) Elnur/Shutterstock.com, (telewizor) GeorgeMPhotography/Shutterstock.com, (radioodtwarzacz) Pavel L Photo and Video/Shutterstock.com; s. 158 (naświetlanie) MDO/Science Photo Library/East News; s. 159 (RTG psiej głowy) Henk Vrieselaar/Shutterstock.com, (RTG złamanej ręki) Mohammed Anwarul Kabir Choudhury/Alamy Stock Photo/BE&W, (detektor promieniowania UV) Łukasz Opaliński; s. 163 (maszt telefonii komórkowej) warapatrs/Shutterstock.com, (radio) Peter Horrox/Shutterstock.com, (kobieta z mikrofonem) ESB Professional/Shutterstock.com; s. 171 (Dubaj) Mint Images/Getty Images; s. 172 (głownóg) Brandon Cole/NATURE, (dziewczynka i cień na ścianie) Łukasz Opaliński, (mężczyzna i cień na ścianie) Łukasz Opaliński; s. 177 (drzewa i odbicie w wodzie) Milos Muller/Shutterstock.com; s. 178 (odbicie światła) Łukasz Opaliński; s. 179 (budynki w dzień i w nocy) Samuel Borges Photography/Shutterstock.com; s. 182 (kotek i lustro) Ewais/Shutterstock.com; s. 185 (zwierciadło wklęsłe) Łukasz Opaliński; s. 188 (garnek w zwierciadle wklęsłym) Marek Godlewski; s. 194 (jabłko), (jabłko widziane przez filtr) Łukasz Opaliński; s. 198 (soczewka skupiająca) Łukasz Opaliński; s. 199 (soczewka rozpraszająca) Łukasz Opaliński

Pozostałe ilustracje: Katarzyna Mentel

Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że podjęły starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępują zgodnie z art. 27¹ ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne oświadczają, że są jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w wypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

FIZYKA

Świat fizyki

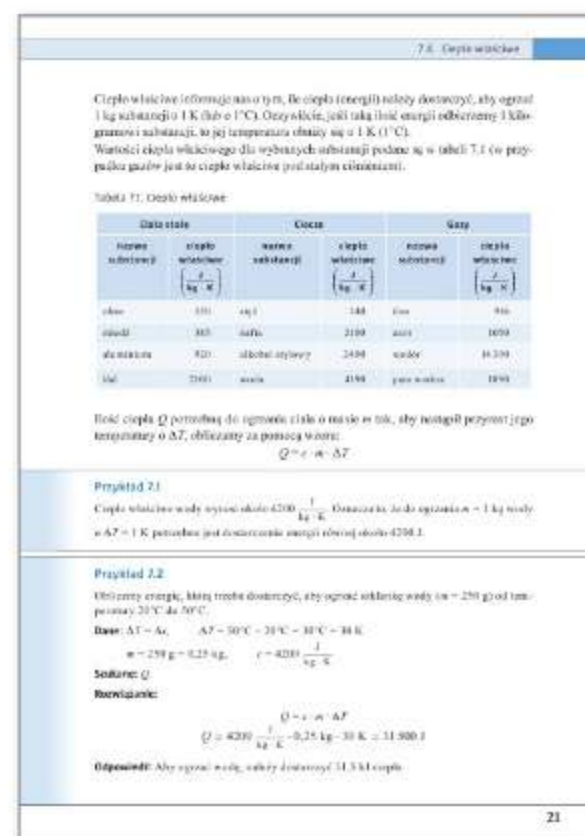
O podręczniku



Strony działowe wprowadzają do zagadnień omawianych w danym dziale.



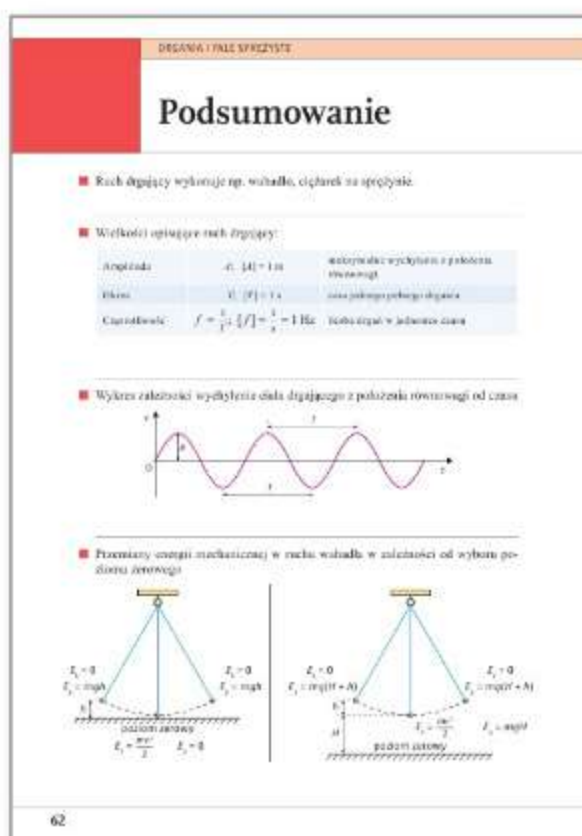
Doświadczenia pomagają wykształcić umiejętność stawiania hipotez i wyciągania wniosków.



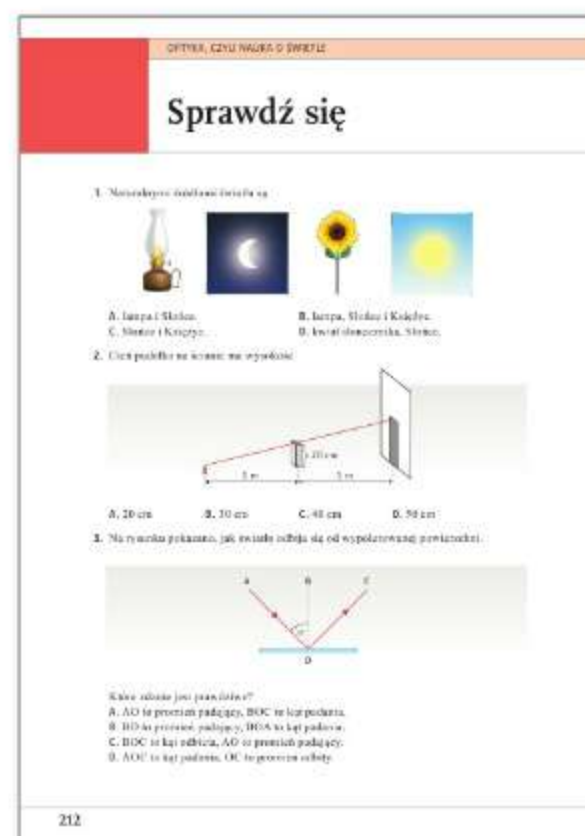
Przykłady rozwiązane w podręczniku ułatwiają pokonywanie trudności rachunkowych.



Zadania i doświadczenia pozwalają wyćwiczyć umiejętności określone w podstawie programowej.



Podsumowanie na końcu każdego działu pomaga w powtórzeniu najważniejszych treści.



Sprawdź się to zadania zamieszczone na końcu każdego działu – służą utrwaleniu materiału.



WYDAWNICTWA
SZKOLNE
i PEDAGOGICZNE

wsip.pl
sklep.wsip.pl
infolinia: 801 220 555