

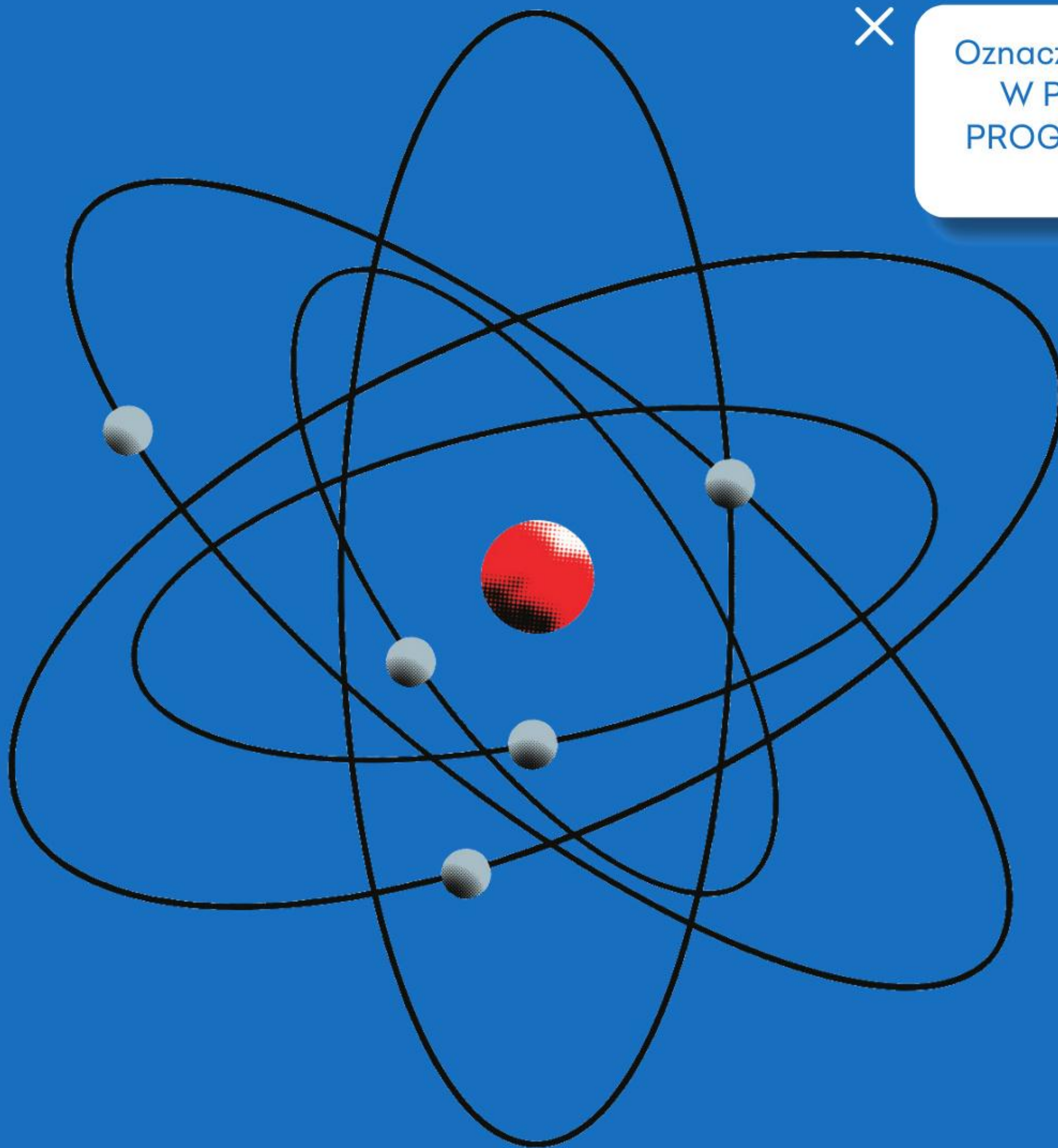
Fizyka

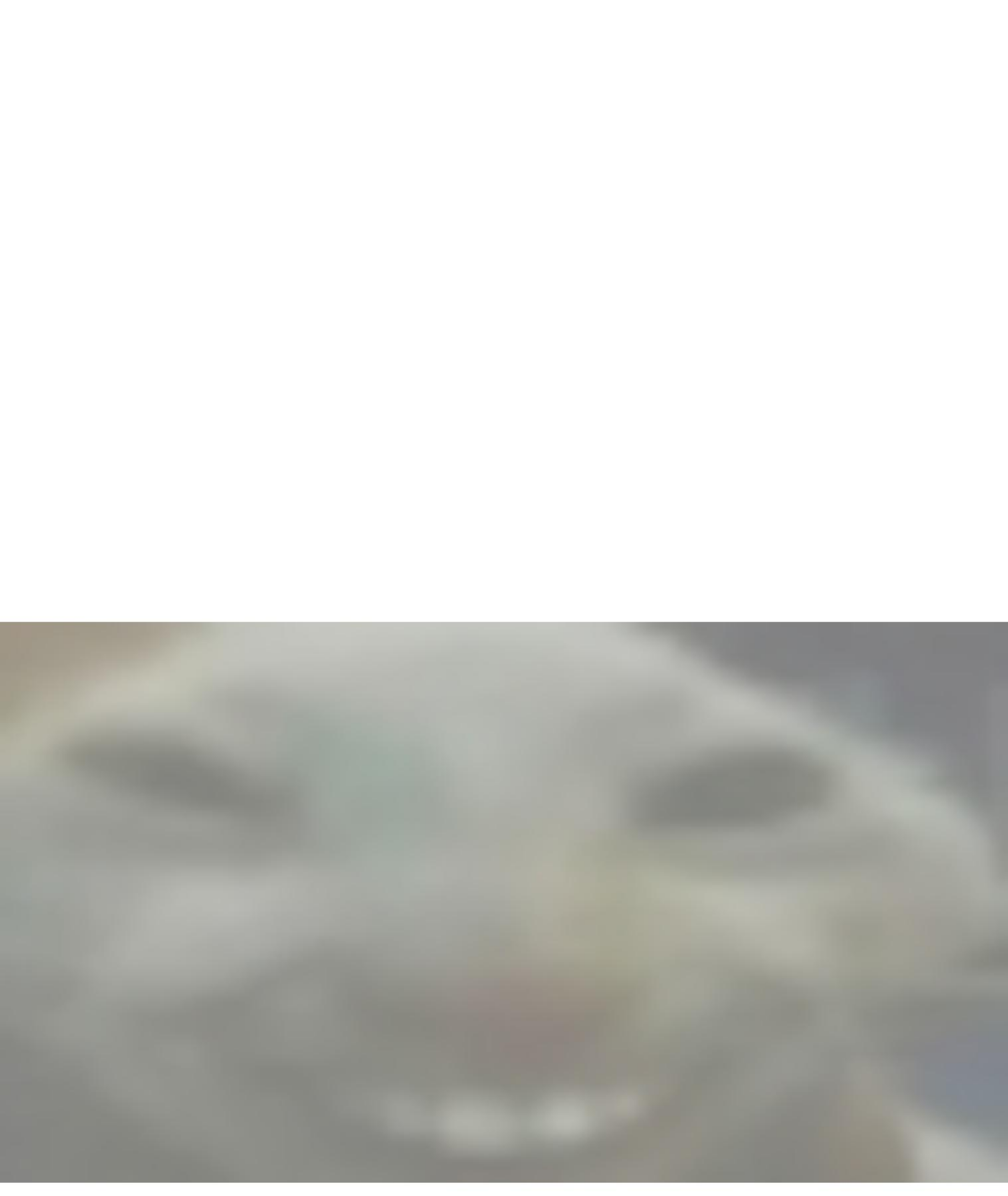
Podręcznik

8



Oznaczono zmiany
W PODSTAWIE
PROGRAMOWEJ
2024



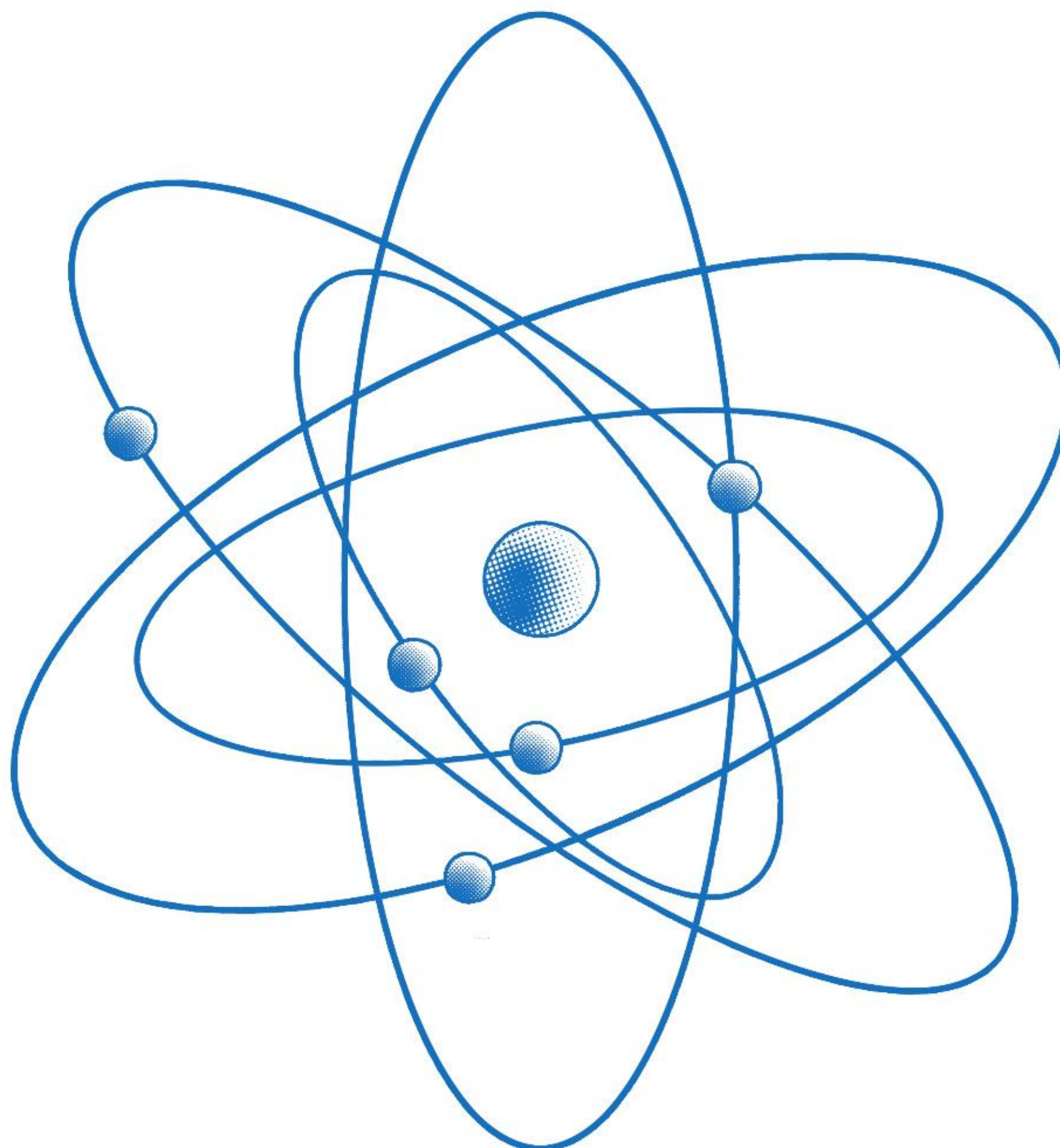


Małgorzata Wysocka-Kunisz
Leszek Krupiński
Grażyna Barna
Ryszard Dusza
Jolanta Fornalska

8

Fizyka

Podręcznik dla klasy ósmej szkoły podstawowej



Redaktor serii
Justyna Kubicka

Redakcja merytoryczna
Małgorzata Wysocka-Kunisz
Agnieszka Pawlusek
Urszula Wrońska

Konsultacja merytoryczna
Kazimierz Kunisz

Redakcja językowa i korekta
Krystyna Bajor
Patrycja Ledwójcik

Redakcja techniczna
Paweł Kowalski

Skład i łamanie
Adam Ziółkowski

Redakcja artystyczna
Magdalena Sarnot-Wrzecionowska
Marcin Kot
Agnieszka Staniec

Projekt i koncepcja artystyczna
Futu Creative / Kay Humelt i Rafał Kwiczor

Koordinacja prac graficznych
Magdalena Sarnot-Wrzecionowska

Projekt okładki
Futu Creative

Ilustracja na okładce, na stronie tytułowej
i ilustracje na stronach działowych
Acapulco Studio / Agata Dudek i Małgorzata Nowak

Fotoedycja
Grzegorz Wrzecionowski

Ilustracje

Archiwum wydawnictwa MAC / GE S.A.: termoskop, s. 27; (s. 62, 84, 89, 90, 96, 109, 130, 165, 176, 188, 201, 202); Franczak Marcin (s. 243); Grzegorz Gola (s. 210, 214, 216, 217, 219, 220, 223, 224, 227, 228, 229, 235, 236, 240, 241, 242, 244, 250, 251); Marcin Kot (s. 27, 29 / projekt *Linku do wiedzy*, 31, 60, 62, 63, 64, 67, 68, 71, 76, 84, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 121, 124, 125, 126, 130, 132, 133, 134, 137, 138, 140, 142, 143, 151, 154, 160, 161, 164, 167, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 188, 190, 191, 192, 194, 196, 199, 202); Grzegorz Kozłowski (s. 23, 25, 32, 34, 43, 53, 54, 59, 61, 66, 73, 77, 79, 81, 83, 85, 91, 125, 126, 155, 156, 180, 185, 186, 201, 202); Joanna Majewska (s. 212, 232); Marcin Mokierów-Czołowski (s. 60, 75, 114, 124, 197, 204, 207, 208, 210, 211, 215, 226, 228, 229, 233, 234, 246, 250); Agnieszka Staniec (s. 92 / projekt *Linku do wiedzy*, s. 195 / projekt *Linku do wiedzy*).

Wydawca oświadcza, że dołożył wszelkich starań, aby dotrzeć do wszystkich właścicieli i dysponentów praw autorskich. Osoby, których nie udało nam się ustalić, prosimy o kontakt z wydawnictwem.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Przestrzegaj praw, jakie im przysługują. Udostępniając książkę lub jej fragmenty, rób to wyłącznie w zakresie dozwolonego użytku, który określają przepisy prawa. Zawartość książki możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty.

© Grupa MAC S.A., Kielce 2021

ISBN 978-83-8227-129-4

Grupa MAC S.A.
25-561 Kielce, ul. Witosa 76
tel.: 41 366 55 55, faks: 41 366 33 02
e-mail: kontakt@mac.pl; www.mac.pl



Treści usunięte z podstawy programowej w 2024 r.



Wymagania fakultatywne z podstawy programowej w 2024 r.

Spis treści

Powtórzenie wiadomości z klasy 7 — 5

1. Zjawiska cieplne

1.1 Energia wewnętrzna i temperatura — 24

Link do wiedzy: *W świecie niskich i wysokich temperatur* — 29

1.2 Ciepły przepływ energii — 30

1.3 Sposoby przekazywania ciepła — 33

1.4 Ciepło właściwe — 38

1.5 Przemiany energii w procesach topnienia i parowania — 46

Podsumowanie działu 1 — 53

2. Drgania i fale mechaniczne

2.1 Ruch drgający — 58

2.2 Wahadło matematyczne — 66

2.3 Fale mechaniczne — 75

2.4 Dźwięki — 83

Link do wiedzy: *Instrumenty muzyczne* — 92

Podsumowanie działu 2 — 95

3. Elektrostatyka

3.1 Elektryzowanie ciał przez tarcie oraz przez dotyk — 100

3.2 Oddziaływanie ciał naelektryzowanych — 104

3.3 Mikroskopowy obraz elektryzowania ciał — 109

3.4 Elektryzowanie przez indukcję — 116

3.5 Pole elektrostatyczne — 123

Podsumowanie działu 3 — 127

4. Prąd elektryczny

4.1 Prąd elektryczny w metalach i elektrolitach — 132

4.2 Napięcie elektryczne — 134

4.3 Natężenie prądu — 140

4.4 Opór elektryczny. Prawo Ohma — 145

4.5 Obwody elektryczne — 152

4.6 Praca prądu elektrycznego — 159

4.7 Moc prądu elektrycznego — 162

Podsumowanie działu 4 — 166

5. Magnetyzm

5.1 Właściwości magnetyczne ciał — 172

5.2 Pole magnetyczne przewodnika z prądem — 179

5.3 Elektromagnes i jego zastosowanie — 183

5.4 Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem — 187

5.5 Silniki prądu elektrycznego — 191

Link do wiedzy: *Prąd indukcyjny* — 195

5.6 Fale elektromagnetyczne — 196

Podsumowanie działu 5 — 199

6. Optyka

6.1 Światło i jego właściwości — 204

6.2 Prostoliniowe rozchodzenie się światła — 207

6.3 Odbicie i rozproszenie światła — 213

6.4 Zwierciadła płaskie — 217

6.5 Zwierciadła kuliste i ich zastosowanie — 219

6.6 Obrazy wytworzone przez zwierciadła kuliste — 222

6.7 Zjawisko załamania światła — 226

6.8 Przejście światła przez pryzmat — 230

6.9 Zjawiska optyczne w przyrodzie — 233

6.10 Rodzaje i właściwości soczewek — 235

6.11 Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewek — 238

6.12 Konstrukcyjne wyznaczanie obrazów otrzymanych w soczewkach — 240

6.13 Przyrządy optyczne — 243

Link do wiedzy: *Fale a zmysły człowieka* — 246

Podsumowanie działu 6 — 247

Powtórzenie materiału z klas 7–8 — 251

Indeks terminów — 254

Spis tabel — 256

Odpowiedzi do zadań — 256

Jak korzystać z podręcznika

Numer i tytuł tematu

Podejmij temat

Wprowadzenie do tematu lekcji

Powołania na ilustracje oznaczono skrótem **il.** (ilustracja)

Ciekawe!

Interesujące wiadomości uzupełniające temat lekcji

Link do wiedzy

Treści, które mogą rozwinąć twoje zainteresowania

Definicja

treść ważna
Objaśnienie nowych terminów

Więcej na temat

Treści dodatkowe

Warto wiedzieć

Materiał uzupełniający. Poszerza wiadomości, ułatwia zrozumienie przedstawianych treści

Doświadczenia

Opisy doświadczeń

Podsumowanie działu

Powtórzenie najważniejszych treści działu

Przykłady

Przykładowe rozwiązania zadań

W skrócie

Najważniejsze informacje z lekcji

Czy już umiesz? Sprawdź się!

Polecenia i pytania na koniec lekcji

Tego podręcznika będą używać inni uczniowie. Niczego w nim nie zapisuj. Przekaż go w dobrym stanie.

Znaczenie ikon

 zastosowanie nowoczesnych technologii

 praca zespołowa

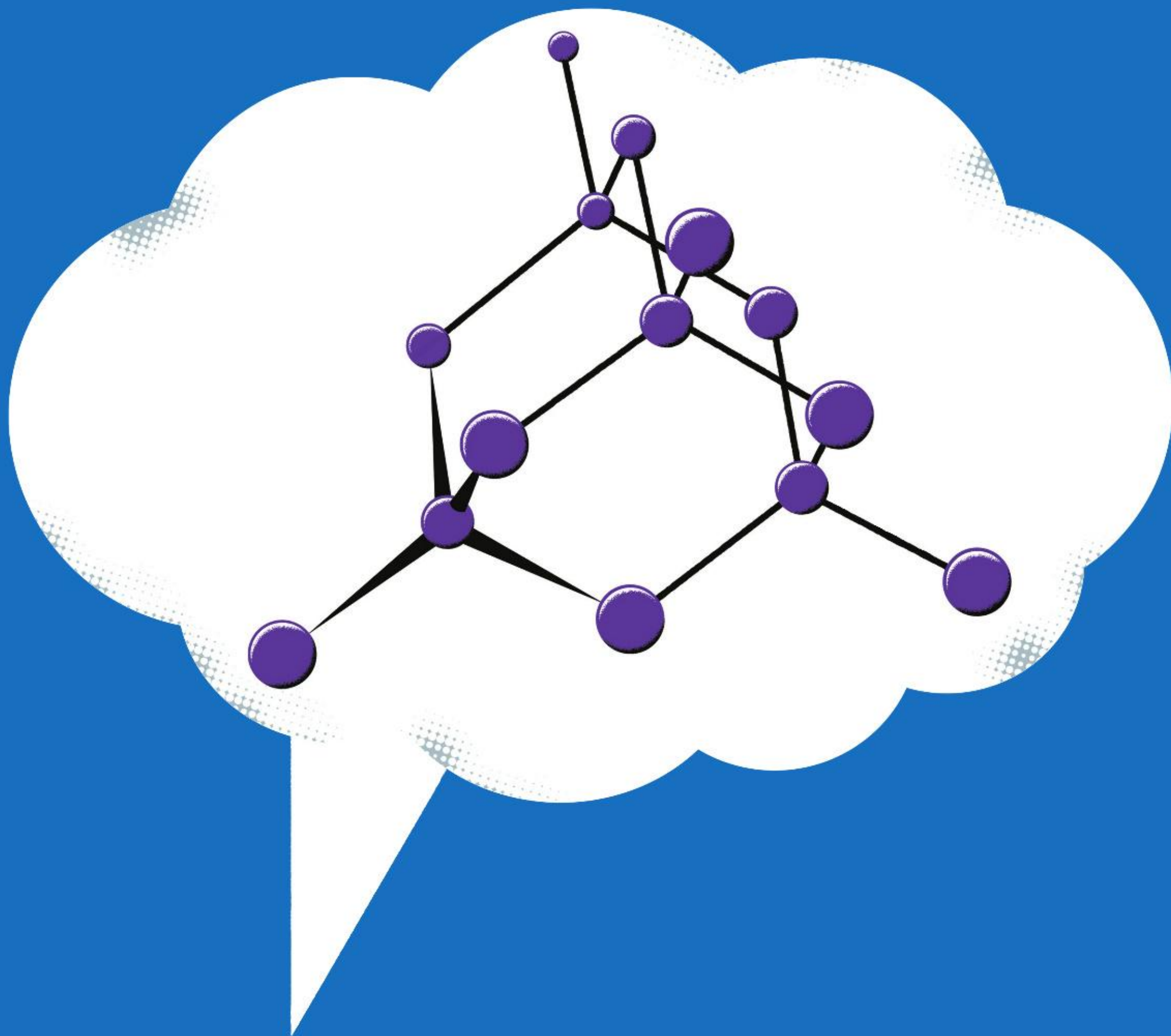
 warto wiedzieć

 nawiązanie do ilustracji

 oznaczenie polecenia trudniejszego

 uwaga

Powtórzenie wiadomości z klasy 7



1. Czy potrafisz powiedzieć, w jaki sposób powstaje obraz gór i roślinności na powierzchni wody albo skąd biorą się fale na wodzie? Zapewne jeszcze nie, jednak poznałeś już odpowiedzi na wiele innych pytań. Zanim zdobędziesz wiedzę, by odpowiadać na kolejne pytania, przypomnij sobie, o czym już się uczyłeś w klasie siódmej.
2. Twoi koledzy wymyślili wakacyjną zabawę. Z miejsc, w których byli podczas wakacji, przysyłali pocztówki, a na nich zapisywali pytania, zadania i różnorodne problemy. Z większością z nich powinieneś już sobie poradzić, gdyż spotkałeś się z nimi na lekcjach fizyki w poprzedniej klasie. Jeśli będziesz miał kłopoty z udzieleniem odpowiedzi, przeczytaj uważnie informacje – stanowiące wiedzę w pigułce – zamieszczone pod pocztówkami.

Podejmij temat

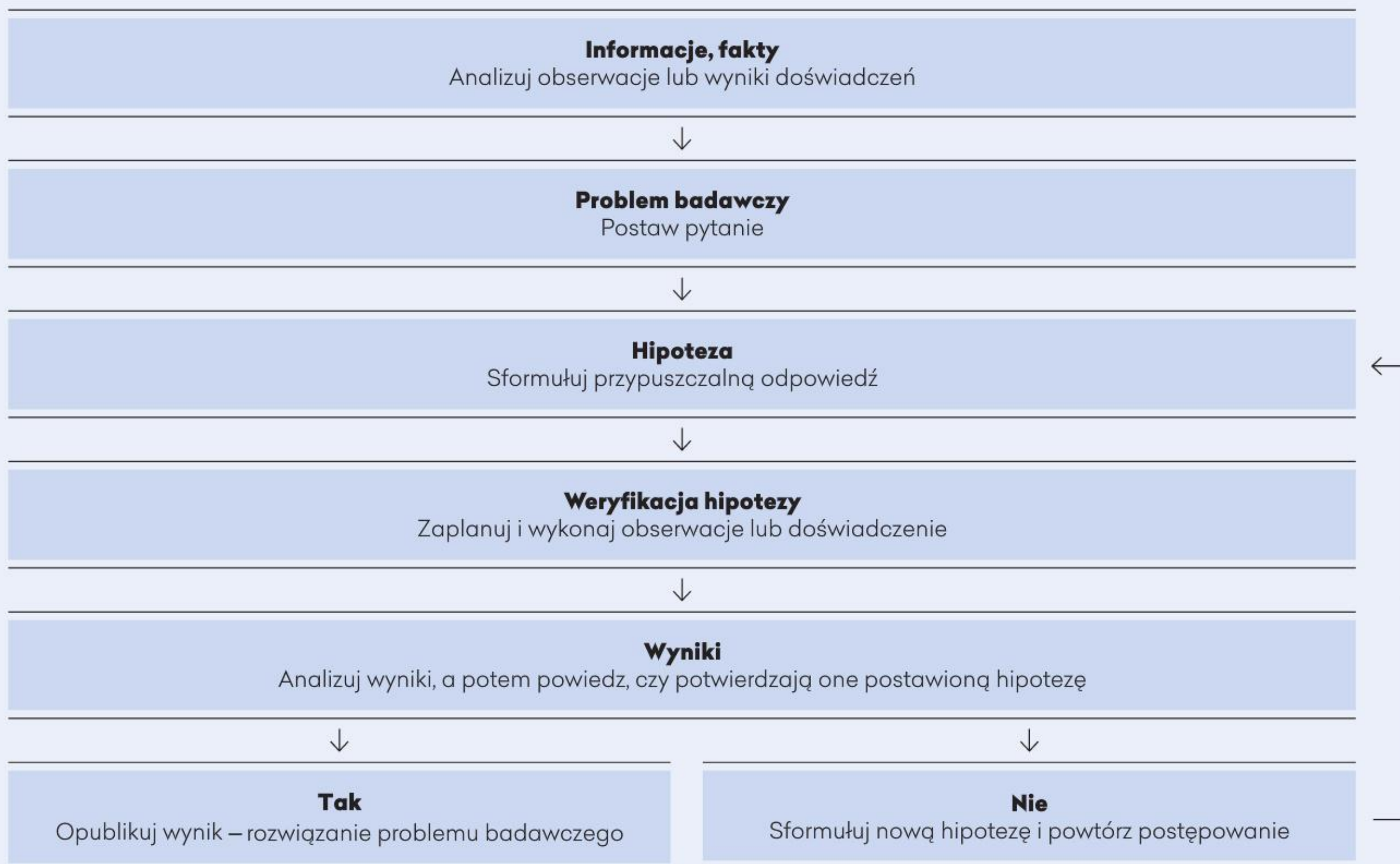


Kasia spędziła wakacje w górach. Zwiedzała Zakopane i jego okolice. Wyszukiwała w przewodniku miejsca, które warto odwiedzić, planowała wycieczki rowerowe i wyjścia w góry. Przygotowując się do każdej wycieczki, m. in. wyznaczała trasę i sprawdzała pogodę. Zainteresowało ją Podhale, jego ciekawa kultura, sztuka i tradycyjna kuchnia regionalna. Poniżej zadania-zagadki związane z jej pobytem w górach:

- Jakie zjawiska fizyczne mogła obserwować Kasia, siedząc nad górskim jeziorem? Podaj co najmniej trzy.
- Sprawdź, czy średnia tygodniowa temperatura, odczytywana codziennie o godzinie 10:00, wyniosła $18,57^{\circ}\text{C}$, jeśli w poniedziałek temperatura wynosiła $18,6^{\circ}\text{C}$, we wtorek była o $1,2^{\circ}\text{C}$ niższa, a w środę obniżyła się jeszcze o $0,6^{\circ}\text{C}$. W czwartek temperatura była wyższa od poniedziałkowej o $0,4^{\circ}\text{C}$, w piątek wzrosła w stosunku do poprzedniego dnia o $0,2^{\circ}\text{C}$, w sobotę wynosiła tyle samo, ile w czwartek, a w niedzielę była wyższa niż poprzedniego dnia aż o 1°C . Czy Kasia poprawnie podała wynik pomiarów? Czy potrafisz powiedzieć, jaką dokładność miał używany przez nią termometr i ile wynosi niepewność pomiarowa?
- Jak daleko Kasia miała do najbliższego sklepu, skoro potrzebowała 246 kroków, aby do niego dotrzeć? Przyjmij, że długość jednego kroku wynosi 60 cm. Podaj wynik w metrach z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.
- Oszacuj, ile wody wlało się podczas deszczu do kubka stojącego na dworze, skoro powierzchnia wody znajduje się na wysokości 3 cm od jego dna. Kubek o pojemności 300 ml miał kształt walca o wysokości 15 cm. Zastanów się i powiedz, czy kształt kubka ma znaczenie przy obliczeniach.
- Na straganie z minerałami Kasia kupiła na pamiątkę pobytu w górach ozdobny kamyk. Aby wyznaczyć objętość kamyka, Kasia wykorzystała plastikowy pojemnik o wymiarach dna $4\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, do którego nalała wody do wysokości 10 cm. Jaką objętość miał jej kamyk, skoro po włożeniu go do pojemnika poziom wody podniósł się o 3 cm?
- Z gumowej linki i wiklinowego koszyka na jabłka Kasia wykonała w sadzie wagę. Zmierzyła, że 1 kg cukru wydłużył linkę o 0,5 cm, a 2 kg cukru wydłużyło ją o 1 cm. Narysuj odpowiedni wykres i na jego podstawie określ, ile jabłek zebrała Kasia, skoro wydłużyły one linkę o 2,5 cm.

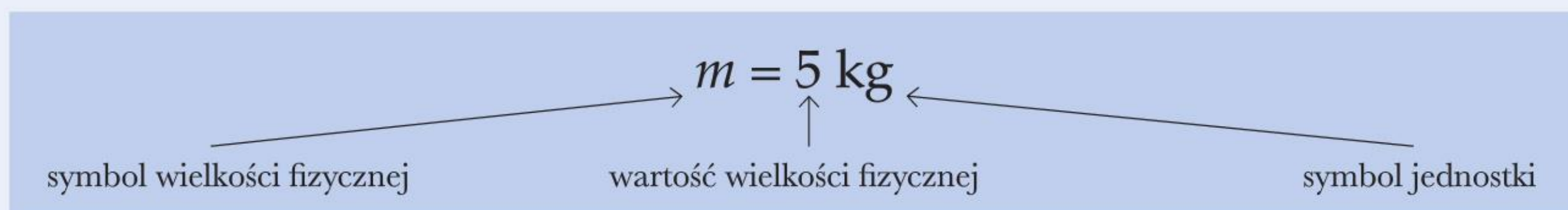
Przedmiot fizyki

- Fizyka zajmuje się poznawaniem tego, co nas otacza, bada materię i jej właściwości, wyjaśnia zjawiska zachodzące w przyrodzie i odkrywa prawa przyrody.
- Źródłem wiedzy i głównymi metodami badań fizyka są obserwacje, pomiary i doświadczenia. Na ich podstawie dochodzi on do pewnych wniosków i stawia hipotezy. Doświadczenia prowadzone są celowo, w sposób przemyślany, często mają za zadanie weryfikację przyjętej hipotezy. Wielokrotnie powtarzane w kontrolowanych warunkach doświadczenia, nazywane też **eksperymentami**, przeprowadzane są, aby wyjaśnić pewne prawidłowości. Te wykryte prawidłowości zwane są **prawami fizycznymi**, a opisana procedura – sposób postępowania badaczy – to **metoda naukowa**.



Wielkości fizyczne i ich pomiar

- Wielkości fizyczne to cechy i właściwości ciała fizycznego lub zjawiska dające się wyrazić w sposób ilościowy. Pomiar wielkości fizycznej to porównanie jej z wielkością wzorcową przyjętą za jej jednostkę. Wielkości fizyczne mierzymy za pomocą odpowiednich przyrządów. Każdy przyrząd ma określony zakres. Wyróżnia się dolną i górną granicę zakresu pomiarowego. Każda wielkość fizyczna ma ustalone jednostki, a jej wartość podaje się wraz z tą jednostką.



- Międzynarodowy Układ Jednostek Miar – układ SI – w którym zdefiniowano jednostki podstawowe, które stosujemy również w Polsce. Mniejsze i większe jednostki tworzy się za pomocą odpowiednich przedrostków (tabela poniżej).

Niektóre przedrostki nazw wielkości fizycznych

Wielokrotności			Podwielokrotności		
przedrostek	oznaczenie	mnożnik	przedrostek	oznaczenie	mnożnik
giga-	G	1 000 000 000	decy-	d	0,1
mega-	M	1 000 000	centy-	c	0,01
kilo-	k	1000	mili-	m	0,001
hekto-	h	100	mikro-	μ	0,000001
deka-	da	10	nano-	n	0,000000001

- Pomiar bezpośredni to pomiar, w którym odpowiedni przyrząd pomiarowy wyznacza od razu wartość mierzonej wielkości fizycznej. Żaden pomiar nie jest idealnie dokładny. Najmniejsza działka przyrządu pomiarowego określa dokładność, z jaką możemy dokonać pomiaru.

Pomiar długości, czasu, masy, temperatury i objętości

Podstawowe mierzone wielkości fizyczne

Mierzona wielkość	Symbol wielkości fizycznej	Przyrządy pomiarowe	Jednostki wielkości fizycznej najczęściej stosowane w czasie pomiarów
czas	<i>t</i>	stoper, zegar	1 s, 1 min, 1 h
temperatura	<i>T</i>	termometr	1°C, 1 K
masa	<i>m</i>	waga elektroniczna, waga szalkowa	1 g, 1 dag, 1 kg
długość, odległość	<i>l</i>	linijka, taśma miernicza	1 cm, 1 m, 1 km
objętość	<i>V</i>	cylinder miarowy do wyznaczenia objętości cieczy	1 cm³, 1 dm³, 1 m³

- Wyznaczając na wadze masę ciała, określasz ilość materii, z której zbudowane jest to ciało. Ważenie polega na porównaniu masy ważonego ciała z masą odważników.
- Objętość określa wielkość przestrzeni, jaką zajmuje dane ciało. Objętość cieczy mierzymy cylindrami miarowymi (menzurkami). Objętość ciał stałych można wyznaczyć metodą wyporu cieczy. Objętość wypartej cieczy jest równa objętości ciała całkowicie w niej zanurzonego.

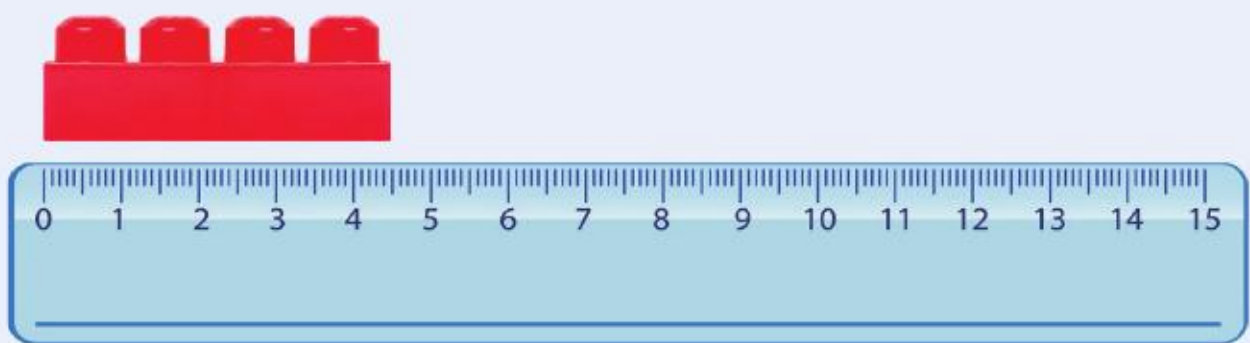
Średnia arytmetyczna

- Dla zwiększenia dokładności pomiaru określonej wielkości często dokonujemy pomiaru wielokrotnie, a następnie obliczamy średnią arytmetyczną, dodając wszystkie wyniki i dzieląc otrzymaną sumę przez liczbę pomiarów:

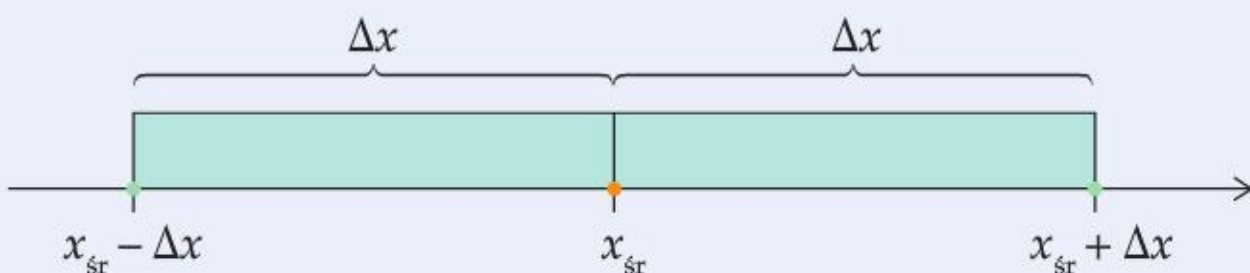
$$x_{\text{średnia}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Niepewność pomiarowa

- Niepewność pomiarowa zależy od użytego przyrządu i jest – w przypadku pomiarów bezpośrednich – równa dokładności użytego przyrządu. Czasami przyjmujemy większą wartość niepewności pomiarowej niż dokładność przyrządu, np. przy pomiarze czasu stoperem, z uwagi na czas (związany z naszym refleksem) potrzebny na włączenie i wyłączenie urządzenia.
- Pomiar polega na ustaleniu najbardziej prawdopodobnej wartości wielkości fizycznej x_{sr} oraz przedziału niepewności pomiarowej (Δx , czyt. delta x), w którym znajduje się wartość rzeczywista.



Wynik pomiaru długości klocka zapisujemy w postaci:
 $4,5\text{ cm} \pm 0,1\text{ cm}$



Do przedziału $2\Delta x$ należy rzeczywista wartość wielkości fizycznej; może nią być dowolna liczba z tego przedziału.

- Gdy wyniki różnią się od siebie o więcej, niż wynosi podwójna najmniejsza działka przyrządu pomiarowego, to wówczas możemy przyjąć, że niepewność pomiarowa jest równa połowie różnicy między największą (x_{max}) i najmniejszą wartością pomiaru (x_{min}):

$$\Delta x = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{2}$$

- Gdy obliczamy średnią arytmetyczną z otrzymanych wyników, za niepewność pomiarową przyjmujemy większą wartość z różnic: $x_{\text{max}} - x_{\text{sr}}$ lub $x_{\text{sr}} - x_{\text{min}}$
- Wyniki pomiarów i ich niepewności należy podawać z taką samą dokładnością.

Cyfry znaczące

- Podając wynik, najczęściej zaokrąglamy liczby z dokładnością do działki skali użytego przyrządu, równej niepewności pomiarowej. Podajemy tyle cyfr znaczących, ile jest określonych przez niepewność pomiarową. Pierwsza cyfra znacząca to pierwsza, różna od zera cyfra wyniku, gdy liczymy od lewej strony. Liczba cyfr znaczących określa dokładność, z jaką należy podać wynik. Najczęściej zaokrąglamy do trzech lub dwóch cyfr znaczących. Gdy pierwsza pomijana cyfra jest mniejsza od 5, to zaokrąglamy w dół, a od cyfry 5 – w górę.

Przykłady zaokrąglania	
liczba większa od jeden	liczba mniejsza od jeden
1632 m	0,02372 km
1 – pierwsza cyfra znacząca	2 – pierwsza cyfra znacząca
6 – druga cyfra znacząca	3 – druga cyfra znacząca
3 – trzecia cyfra znacząca	7 – trzecia cyfra znacząca
2 – czwarta cyfra znacząca	2 – czwarta cyfra znacząca
Zapis z dokładnością do dwóch cyfr znaczących: 1600 m, a z dokładnością do trzech cyfr znaczących: 1630 m.	Zapis z dokładnością do dwóch cyfr znaczących: 0,024 km, a z dokładnością do trzech cyfr znaczących: 0,0237 km.

Wielkości wprost proporcjonalne

- Dwie wielkości fizyczne są wprost proporcjonalne do siebie $x \sim y$, gdy iloraz wartości tych wielkości jest stały: $\frac{x}{y} = \text{const.}$
O tych wielkościach możemy powiedzieć, że jeśli wartość pierwszej wielkości wzrośnie n razy, to i wartość drugiej wielkości wzrośnie n razy.

Wykres

- Zależność jednej wielkości fizycznej od innej wielkości fizycznej można przedstawić na wykresie. Jeśli dwie wielkości są wprost proporcjonalne do siebie, to wykres jest półprostą wychodzącą z początku układu osi.

Jak rysujemy wykres zależności wydłużenia sprężyny od masy zawieszanej na niej obciążników, co zapisujemy: Δl (m)

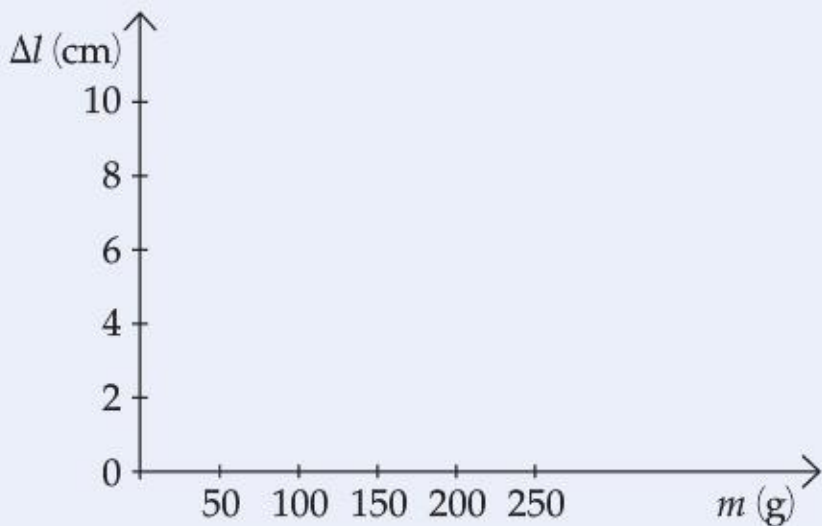
Wyniki pomiarów zamieszczono w poniższej tabeli.

Masa obciążników (g)	50	100	150	200	250
Wydłużenie sprężyny (cm)	2	4	6	8	10

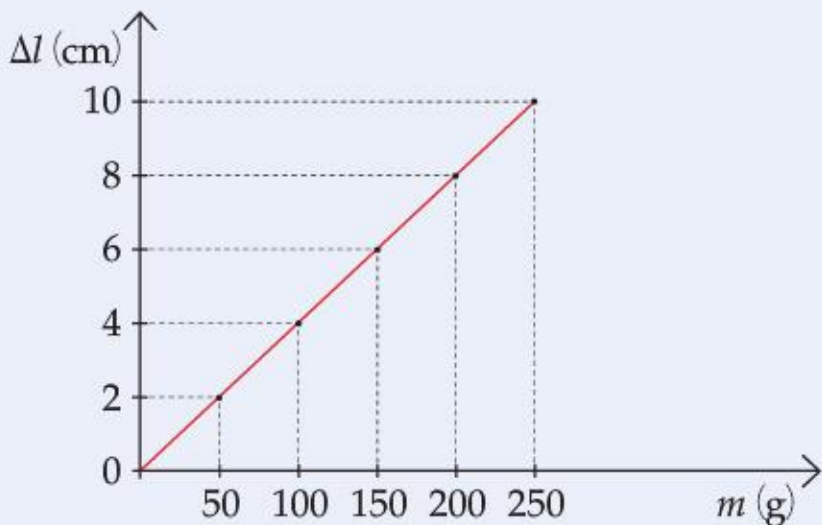
- Rysujemy dwie prostopadłe do siebie osie.** Oś pozioma reprezentuje masę – wielkość, którą zmieniamy. Na końcu osi umieszczamy symbol wielkości fizycznej i jej jednostkę: m (g) lub m , g. Jednostki zapisujemy w nawiasach okrągłych lub po przecinku. Na osi pionowej umieszczamy symbol i jednostkę wielkości, która zmienia się wraz ze zmianą masy: Δl (cm) lub Δl , cm. Punkt, w którym przecinają się osie, to początek układu, oznaczamy go symbolem 0.



- Zaznaczamy podziałkę i podpisujemy wartości.** Podziałkę dobieramy w taki sposób, aby największe zmierzone wartości znalazły się przy końcach osi. Odcinki od 0 do tych wartości dzielimy na tyle równych części, ile wykonaliśmy pomiarów. Podpisujemy wartości poniżej osi.



- Zaznaczamy punkty pomiarowe i rysujemy wykres.** Dla każdej pary zmierzonych wartości rysujemy przerywane linie pomocnicze, pionową i poziomą, wychodzące z danych wartości na osiach, i zaznaczamy punkty w miejscach przecięcia się linii. Przez wyznaczone punkty pomiarowe przeprowadzamy linię wychodzącą z punktu 0.

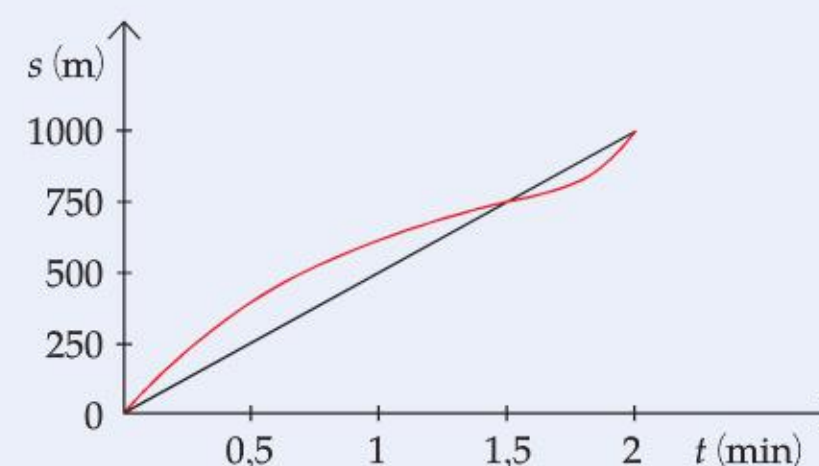


Podejmij temat



Podczas wakacji Adam wybrał się z rodziną do parku rozrywki. Czekają tam na niego mnóstwo atrakcji – różnego rodzaju karuzele, tor wyścigowy, kolejki górskie, diabelski młyn, park linowy, baseny ze zjeżdżalniami itp. Wcześniej dużo czytał w internecie na temat kolejek górskich. Dowiedział się, kiedy powstały, jakie były dawniej, a jakie są obecnie. Porównywał również różne parametry najnowszych kolejek górskich. Postanowił przygotować zadania związane z tym, czego się dowiedział i doświadczać w trakcie zabawy w parku rozrywki. Spróbuj rozwiązać następujące zadania-zagadki:

- Ile sekund Adam spędził w parku rozrywki, skoro wszedł tam o godzinie 10:05, a wyszedł o 15:20? Z ilu atrakcji w parku skorzystał, skoro średnio na jedną z nich przeznaczył 35 minut?
- Wymień tory ruchu, które widzisz na zdjęciach.
- „Największy pierwszy spadek” to różnica wysokości między szczytem kolejki górskiej a dołem pierwszego spadku, czyli rzeczywista wysokość, z której zjeżdża wagonik kolejki. Tam gdzie był Adam, różnica ta wynosiła 82 metry. Naszkicuj rysunek pomocniczy i powiedz, czy jest to jednocześnie droga, jaką przebywa na tym odcinku wagonik kolejki.
- Prędkość najszybszej kolejki górskiej na świecie wynosi $240 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Jak myślisz, czy chodzi o średnią wartość prędkości, czy o wartość prędkości chwilowej?
- Przejazd kolejką górską o długości 1500 metrów zajęła Adamowi tylko 2 minuty. Ile wynosiła średnia szybkość przejazdu tą kolejką?
- Na wykresach przedstawił ruch dwóch pojazdów w parku rozrywki.
 - Jakim kolorem Adam zaznaczył pojazd, który nie zmieniał swojej szybkości (wartości prędkości)? Jaką drogę przebył ten pojazd i ile wynosiła jego szybkość? Co możesz powiedzieć o siłach działających na ten pojazd?
 - Czy potrafisz opisać ruch każdego z pojazdów i obliczyć ich średnie wartości prędkości?
- Czy wiesz, że pociąg kolejki Formula Rossa w Abu Dhabi (czyt. dabi) osiąga szybkość $240 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ w ciągu 4 s? Czy wartość przyspieszenia tej kolejki jest większa od wartości przyspieszenia bolidu Formuły F1, która wynosi $16,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$? Ile wynosi wypadkowa siła działająca na ten bolid, którego masa wraz z kierowcą wynosi 740 kg? Podaj wynik w kN.
- Jaką rolę pełni woda na powierzchni długiej zjeżdżalni i w basenie znajdującym się na jej końcu?



Ruch i względność ruchu

- Ruch to zmiana położenia ciała względem wybranego układu odniesienia. Jeśli ciało nie zmienia swojego położenia względem innego ciała w miarę upływu czasu, to jest względem niego w spoczynku. Ruch i spoczynek są względne, zależą od wyboru układu odniesienia. Oznacza to, że dane ciało w tym samym czasie (jednocześnie) jest w ruchu względem jednego układu odniesienia, a w spoczynku – względem innego układu. Położenie ciała w dowolnej chwili można określić, stosując związany z danym układem odniesienia, wybrany – jedno-, dwu-, lub trójwymiarowy – układ współrzędnych.

Tor i droga

- Torem ruchu nazywamy linię, którą zakreśla poruszające się ciało. Ruch, którego torem jest linia prosta, nazywamy ruchem prostoliniowym. Ruch, którego torem jest dowolna linia krzywa, nazywamy ruchem krzywoliniowym. Droga to długość toru ruchu.
- Jeśli ciało przemieszcza się wzdłuż osi x i nie zawraca, to przebyta droga jest równa $s = \Delta x$. Droga jest najczęściej dłuższa niż odległość w linii prostej między miejscem rozpoczęcia ruchu a miejscem jego zakończenia.

Ruch jednostajny prostoliniowy

- Ruchem jednostajnym prostoliniowym nazywamy taki ruch, którego torem jest linia prosta i w jednakowych, dowolnych odstępach czasu ciało przebywa jednakowe drogi. Droga przebyta przez ciało w ruchu jednostajnym prostoliniowym jest wprost proporcjonalna do czasu jego trwania. Oznacza to, że jeśli czas rośnie, to droga rośnie tyle samo razy. Stwierdzenie to jest prawdziwe również dla ruchu jednostajnego krzywoliniowego. Wykresem zależności drogi od czasu $s(t)$ w ruchu jednostajnym prostoliniowym (i krzywoliniowym) jest półprosta wychodząca z początku układu współrzędnych i nachylona pod kątem ostrym do osi czasu.
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym wartość prędkości (szybkość) ciała określa, jaką drogę przebywa to ciało w jednostce czasu. Wartość prędkości (szybkość) ciała obliczamy, dzieląc drogę przez czas, w którym ta droga została przebyta: $v = \frac{s}{t}$

Jednostką wartości prędkości (szybkości) jest $1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Ruch prostoliniowy zmienny, średnia wartość prędkości i wartość prędkości chwilowej

- W ruchach zmiennych (prostoliniowych i krzywoliniowych) posługujemy się średnią szybkością (średnią wartością prędkości). Średnia szybkość jest ilorazem całkowitej drogi (s) i czasu (t), w którym została przebyta. Obliczamy ją ze wzoru: $v_{\text{sr}} = \frac{s}{t}$
- W ruchu prostoliniowym niejednostajnym wartość prędkości (szybkość) w danej chwili, czyli wartość prędkości chwilowej, można na przykład określić, odczytując ją z szybkościomierza (prędkościomierza) samochodowego lub rowerowego.

Ruch jednostajny przyspieszony i ruch jednostajnie opóźniony

- Ruch, w którym w dowolnych, równych odstępach czasu wartość prędkości wzrasta o tę samą wartość, nazywamy ruchem jednostajnie przyspieszonym. Wielkość fizyczną, która określa, jak zmienia się prędkość w jednostce czasu, nazywamy przyspieszeniem. Wartość przyspieszenia obliczamy ze wzoru: $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

Wartość przyspieszenia = $\frac{\text{zmiana wartości prędkości}}{\text{czas, w którym ta zmiana nastąpiła}}$.

Gdy wartość prędkości (szybkość) rośnie, to ruch nazywamy przyspieszonym, a gdy wartość prędkości maleje, to ruch nazywamy opóźnionym.

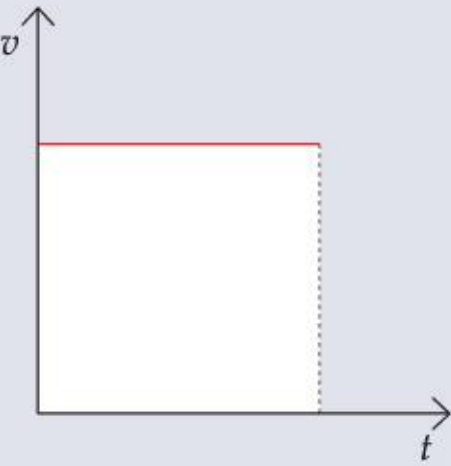
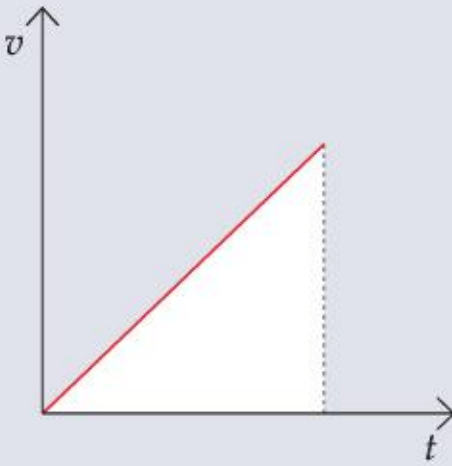
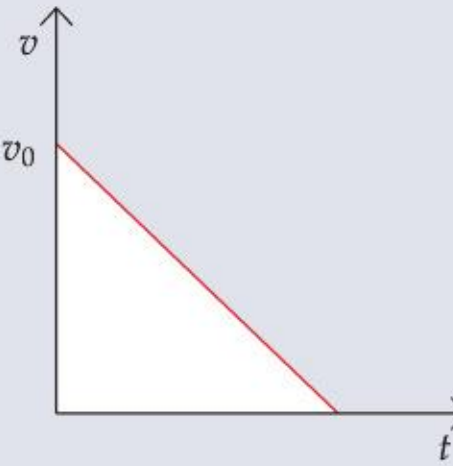
Prędkość i przyspieszenie to wielkości wektorowe. W ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym wektor prędkości i wektor przyspieszenia zwrócone są w tę samą stronę.

W ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym – zwrot wektora przyspieszenia jest przeciwny do zwrotu wektora prędkości.

- Przykładem ruchu prostoliniowego jednostajnie przyspieszonego występującego w przyrodzie jest spadanie swobodne ciał. Przyspieszenie swobodnego spadania nazywamy przyspieszeniem ziemskim i oznaczamy literą g . Dla Polski średnia wartość $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$.

Zestawienie wielkości i wzorów opisujących ruch ciał

Ruch – podział			
ze względu na tor	ze względu na prędkość		
prostoliniowy	jednostajny	zmienny	
krzywoliniowy		jednostajnie przyspieszony, jednostajnie opóźniony	niejednostajny

Ruch prostoliniowy			
	jednostajny	jednostajnie przyspieszony	jednostajnie opóźniony
wartość prędkości	$v = \frac{s}{t} = \text{const}$	$v = a \cdot t, \text{ gdy } v_0 = 0$	$v = v_0 - a \cdot t$
wartość przyspieszenia	$a = 0$	$a = \frac{v - v_0}{t} = \text{const}$	$a = \frac{v_0 - v}{t} = \text{const}$
droga	$s = v \cdot t$	$s = \frac{at^2}{2}$	$s = \frac{v_0 t}{2}$ gdy $v_{\text{końcowa}} = 0$
wykres wartości prędkości od czasu $v(t)$			
obliczanie drogi z wykresu	$s = v \cdot t$	$s = \frac{1}{2} v \cdot t$	$s = \frac{1}{2} v_0 \cdot t$

Oddziaływania i siły

- Wszystkie oddziaływania (mechaniczne, grawitacyjne, elektrostatyczne, magnetyczne) są wzajemne. Wyróżniamy statyczne i dynamiczne skutki wzajemnego oddziaływania ciał. Skutki dynamiczne związane są ze zmianą prędkości, a statyczne – ze zmianą kształtu ciała.
- Miarą wzajemnego oddziaływania ciał jest siła. W zależności od tego, w którą stronę działa siła o stałej wartości, skutek jej działania jest inny. Siła jest wielkością wektorową, która posiada wartość, kierunek, zwrot i punkt przyłożenia. Siłę można przedstawić graficznie, używając odcinka skierowanego zwanego wektorem. Wartość siły mierzy się siłomierzem i wyraża w jednostkach zwanych niutonami. Jeden niuton (1 N) to wartość siły wypadkowej, która ciału o masie 1 kg nadaje przyspieszenie $1 \frac{m}{s^2}$.

Siła wypadkowa i siła równoważąca

- Siłę, która zastępuje działanie na ciało dwu lub więcej sił i wywołuje taki sam skutek, nazywamy siłą wypadkową. Siły zastępowane siłą wypadkową nazywamy siłami składowymi, a czynność polegającą na znajdowaniu wypadkowej – składaniem sił.
Dwie siły działające na ciało wzdłuż tej samej prostej równoważą się wzajemnie, gdy mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty. Wypadkowa tych sił jest równa zeru.
- Wypadkowa dwóch lub więcej sił działających wzdłuż tej samej prostej lub prostych równoległych, zgodnie zwróconych, działa wzdłuż tej samej prostej, ma zwrot zgodny ze zwrotem tych sił i równa jest co do wartości sumie wartości tych sił.

$\vec{F_1}$

+

$\vec{F_2}$

=

$\vec{F}$

$F = F_1 + F_2$

Wypadkowa dwóch przeciwnie zwróconych sił działających wzdłuż tej samej prostej jest równa różnicy wartości tych sił i ma zwrot siły o większej wartości.

$\vec{F_1}$

+

$\vec{F_2}$

=

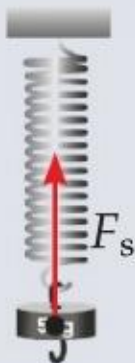
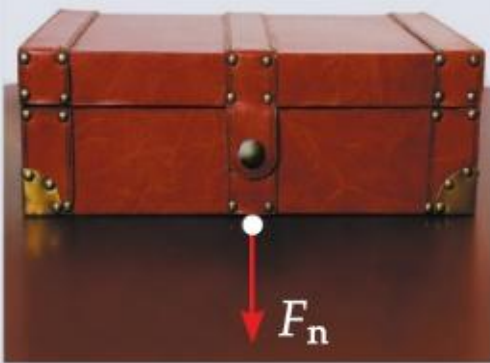
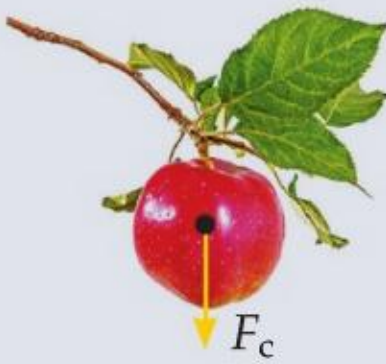
$\vec{F}$

$F = F_2 - F_1$

Zasady dynamiki Newtona

Pierwsza (zwana zasadą bezwładności)	Druga	Trzecia (zwana zasadą akcji i reakcji)
Jeżeli na ciało nie działają żadne siły lub działające siły się równoważą, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym. <i>Bezwładność (inercja) to zjawisko zachowania przez ciało prędkości, gdy działające siły wzajemnie się równoważą. Miarą bezwładności ciała jest jego masa.</i>	Pod wpływem stałej siły wypadkowej ciało porusza się ruchem jednostajnie zmiennym, w którym przyspieszenie jest wprost proporcjonalne do wartości tej siły, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała: $a = \frac{F}{m}$	Jeżeli jedno ciało działa na drugie z pewną siłą, to również drugie ciało oddziałuje na pierwsze siłą równą co do wartości, lecz przeciwnie zwróconą. Siły te przyłożone są do dwóch różnych ciał. $F_{12} = F_{21}$

Siły wokół nas

Siła sprężystości	powoduje powrót odkształconego ciała do jego pierwotnego kształtu.		Wartość siły sprężystości, którą sprężyna działa na zawieszone na niej ciało, jest wprost proporcjonalna do wydłużenia sprężyny: $F_s \sim x$
Siły oporów ruchu	to wszystkie siły działające na poruszające się ciało fizyczne, które przeciwdziałają poruszaniu się tego ciała.		Wartość sił oporu w powietrzu i wodzie zależy od prędkości oraz kształtu i wielkości powierzchni poruszającego się ciała: $F_o \sim v$
Siła nacisku	to siła, z jaką ciało działa na daną powierzchnię w kierunku prostopadłym do tej powierzchni.		Gdy powierzchnia jest płaska i pozioma, to wartość siły nacisku jest równa wartości ciężaru ciała.
Siła tarcia	powstaje na styku powierzchni dwóch ciał i przeciwdziała ich względnemu ruchowi.		Siła tarcia zależy od rodzaju stykających się powierzchni, ale nie zależy od ich wielkości. Wartość siły tarcia jest tym większa, im większa jest siła nacisku: $F_t = f \cdot F_n$
Siła ciężkości (ciężar, siła grawitacji, siła przyciągania ziemskiego)	to siła, z jaką Ziemia przyciąga wszystkie ciała.		Siła ciężkości zależy od masy ciała: $F_c = m \cdot g$ Wszystkie ciała pod wpływem siły ciężkości spadają swobodnie (w próżni) ruchem jednostajnie przyspieszonym ze stałym przyspieszeniem. Przyspieszenie, z jakim ciała spadają swobodnie, nie zależy od ich masy.

Rodzaje sił tarcia

Tarcie		
statyczne	kinetyczne	
siłami tarcia statycznego oddziałują między sobą ciała będące względem siebie w spoczynku	siła tarcia kinetycznego występuje, jeżeli ciała są względem siebie w ruchu	
	poślizgowe , gdy jedno ciało przesuwają się (ślizga się) po drugim	toczne , gdy ciało toczy się po drugim ciele
	wartość siły tarcia tocznego jest mniejsza niż wartość siły tarcia poślizgowego	
dla danych dwóch powierzchni maksymalna wartość siły tarcia statycznego jest większa od siły tarcia kinetycznego		

Właściwości materii

Podejmij temat



Piotr po raz pierwszy w swym życiu pojechał na obóz harcerski. Nigdy wcześniej nie spał w namiocie, nie brał prysznicza na dworze i nie robił kanapek dla kilkudziesięciu osób. Teraz brał udział w marszu na orientację, pełnił nocną wartę, razem ze swoim zastępem uczestniczył w przeróżnych konkurencjach organizowanych przez innych harcerzy oraz zdobywał sprawności harcerskie, poddając się kolejnym próbom. Zdobył m.in. sprawności wskazidrogi, kuchcika, grajka i harcownika. A oto zadania-zagadki związane z jego pobytem:

- Piotr miał za zadanie napełnić szklany pojemnik lampy naftowej. W plastikowym baniaczku znajdowało się 600 g nafty. Czy zmieściła się ona w półlitrowym pojemniku lampy?
- Czy ilość powietrza znajdująca się w dwulitrowej butelce zmieściłaby się w butelce półlitrowej?
- Czy kostki lodu, które harcerze zrobili z 1 litra wody, zmieściły się w słoiku o całkowitej pojemności 1,1 litra?
- Z jakiego metalu został najprawdopodobniej wykonany dla najlepszego zastępu medal, którego objętość wynosiła ok. 4 cm^3 , a masa ponad 40 g? Wymyśl, w jaki sposób Piotr bez przyrządów mógł wyznaczyć masę i objętość tego medalu w obozowej kuchni. Możesz wykorzystać różne naczynia, patyczki do szaszłyków, cienki sznurek, miarki o pojemności 1 ml, 2 ml, 5 ml i 10 ml, w których, niestety, nie mieści się medal, oraz kostkę drożdży o masie 10 dag, bo wagi elektronicznej Piotr nie miał pod ręką.
- Wyjaśnij, dlaczego w czasie deszczu harcerze zawsze sprawdzali, czy nic nie dotyka ścianek namiotu. ✓
- ★ Czy możliwe jest, że zapach przypalonych naleśników harcerze czuli w odległości 50 metrów od kuchni?
- Czy prawdą jest, że harcerze umieścili jednego z kolegów w wielkiej bańce mydlanej? Postaraj się wyjaśnić, co trzeba zrobić, aby utworzyć dużą bańkę mydlaną, i jak harcerze zaplanowali to doświadczenie.
- Przed namiotem stał drewniany stolik. Jaka była siła nacisku powietrza na górną powierzchnię blatu tego stolika o wymiarach $1 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ przy ciśnieniu atmosferycznym 1000 hPa? Czy to prawda, że takie ciśnienie odpowiada naciskowi ciała o masie 10 t na powierzchnię 1 m^2 ? Czy jest możliwe położenie na tym stoliku przedmiotów, których ciężar jest równy wyliczonej wartości siły nacisku powietrza?
- Czy nafta i woda o objętościach po 1 l, umieszczone w jednakowych butelkach o powierzchni dna 50 cm^2 , wywierają na dno takie samo ciśnienie? Ile ono wynosi?
- Piotr zbudował z kolegami mały podnośnik z dwóch strzykawek napełnionych wodą i połączonych wężykiem. Jaką minimalną masę musiał mieć obciążnik położony na strzykawce o tłoczku czterokrotnie mniejszym od tłoczka drugiej strzykawki, żeby podnieść przedmiot o masie 400 g leżący na tłoczku większej strzykawki?
- Czy jajko o masie 50 g i objętości 20 cm^3 utonie w osolonej wodzie o gęstości $1200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$?



Budowa i stany skupienia materii

- Substancje zbudowane są z cząsteczek, te z kolei z atomów, i występują w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym, gazowym.
- Substancje, których cząsteczki składają się z jednego rodzaju atomów, nazywamy pierwiastkami, a substancje zbudowane z różnych atomów nazywane są związkami chemicznymi.

BUDOWA SUBSTANCJI I JEJ WŁAŚCIWOŚCI			
	Ciała stałe	Ciecze	Gazy
Ułożenie a ruch cząsteczek	ściśle obok siebie – wykonują tylko drgania wokół położenia równowagi	blisko siebie – przemieszczają się w sposób nieuporządkowany względem siebie	daleko od siebie – swobodnie przemieszczają się w całej zajmowanej objętości w sposób chaotyczny
Siły międzycząsteczkowe a kształt i objętość	duże – mają określony kształt i określoną objętość	małe – mają określoną objętość, ale nie utrzymują kształtu, przyjmują kształt naczynia	bardzo małe – nie mają określonej objętości i określonego kształtu, wypełniają całe naczynie
Inne właściwości	mogą być kruche, plastyczne, sprężyste	praktycznie nieściśliwe	są ściśliwe i rozprężliwe

- Ze względu na budowę wewnętrzną ciała stałe dzielimy na:

ciała bezpostaciowe (amorficzne)	ciała o budowie krystalicznej
tworzą je cząsteczki ułożone w sposób dość chaotyczny, zbliżony do spotykanego w cieczech, ale utrzymujące kształt ciała stałego	tworzą je cząsteczki ułożone w regularnym, określonym porządku geometrycznym, zwanym siecią krystaliczną
przykłady: szkło, plastelina, воск, tworzywa sztuczne	przykłady: większość ciał stałych, m.in. sól, cukier, węgiel

Gęstość

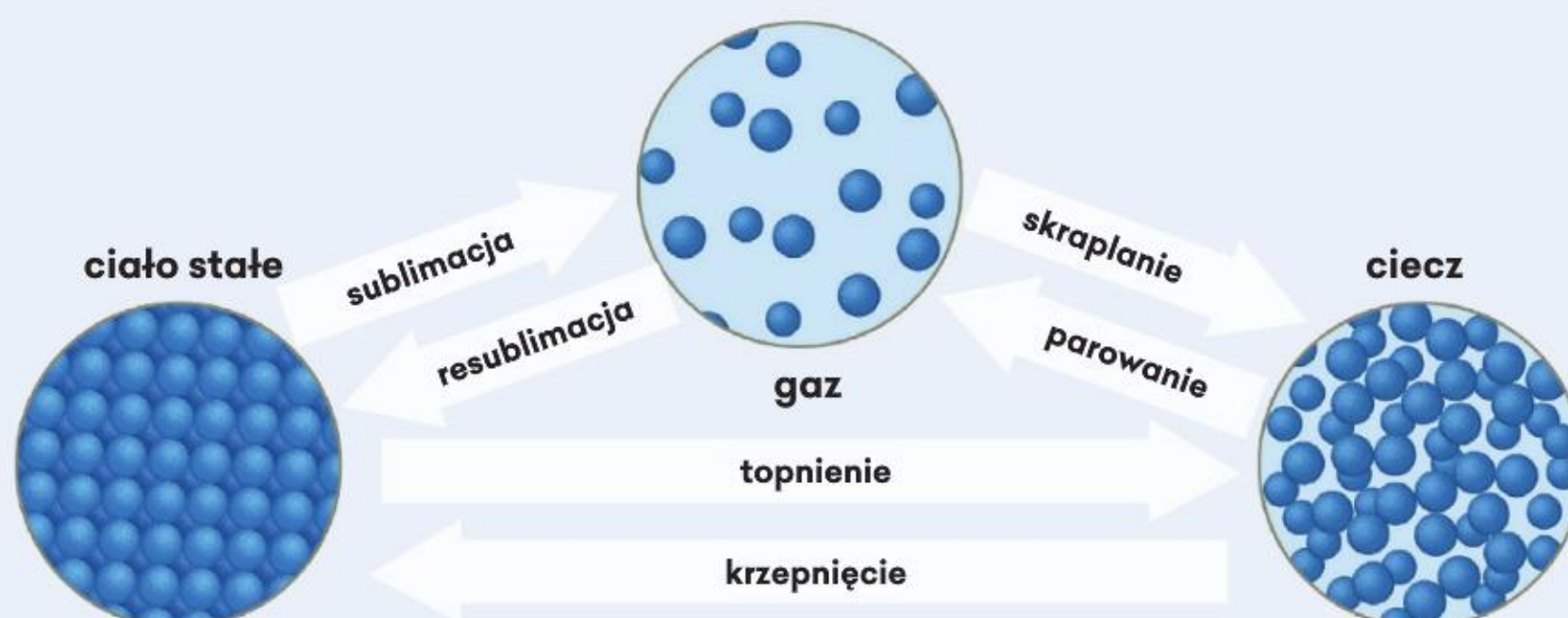
- Substancje różnią się gęstością, która informuje nas o tym, jaka jest masa jednostkowej objętości (1 cm³, 1 m³) danej substancji. Gęstość możemy wyznaczyć doświadczalnie, mierząc masę i objętość ciała wykonanego z tej substancji i obliczyć ze wzoru:

$$d = \frac{m}{V}$$

Jednostką gęstości w układzie SI jest $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Często gęstość wyrażamy też w $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$.

Zmiany stanów skupienia

- Wszystkie substancje, w zależności od warunków zewnętrznych, między innymi temperatury, zmieniają stan skupienia.



Rozszerzalność temperaturowa ciał

- Prawie wszystkie ciała (wyjątkiem jest woda) na skutek ogrzewania – wzrostu temperatury – zwiększają swoją objętość. Po wystygnięciu przedmioty wracają do swoich pierwotnych wymiarów. Zjawisko to nazywa się rozszerzalnością temperaturową ciał. Ciała o jednakowej objętości wykonane z różnych substancji, podgrzane o tę samą liczbę stopni różnie się rozszerzają. Przyrost objętości ΔV jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury Δt tego ciała: $\Delta V \sim \Delta t$. Również przyrost długości Δl (prętów, drutów) jest wprost proporcjonalny do ich przyrostu temperatury: $\Delta l \sim \Delta t$.
- Woda podczas ogrzewania między 0°C a 4°C zmniejsza swoją objętość (zjawisko anomalnej rozszerzalności). W temperaturze 4°C ma najmniejszą objętość, a więc największą gęstość. Powyżej temperatury 4°C woda zaczyna się rozszerzać wraz ze wzrostem temperatury.

Dyfuzja

- Samorzutne rozprzestrzenianie się cząsteczek jednej substancji w drugiej nazywamy dyfuzją. Dyfuzja zachodzi we wszystkich stanach skupienia, najwolniej w ciałach stałych. Zjawisko to zachodzi szybciej w wyższej temperaturze, gdyż cząsteczki poruszają się szybciej.

Siły międzycząsteczkowe

- Między cząsteczkami wszystkich ciał działają siły międzycząsteczkowe.



- Siły spójności powodują, że krople przyjmują kształt kulisty. Jeśli siły przylegania są większe niż siły spójności, ciecz zwilża powierzchnię. Jeśli siły spójności są większe niż siły przylegania, ciecz nie zwilża powierzchni.

- Skutkiem oddziaływań międzycząsteczkowych jest występowanie menisku, czyli zakrzywienia powierzchni cieczy przy ścianie naczynia. Menisk wklęsły tworzą ciecze zwilżające powierzchnię, a wypukły – ciecze niezwilżające powierzchnię.

Napięcie powierzchniowe

- Napięcie powierzchniowe to zjawisko powstawania cienkiej błonki na powierzchni cieczy na skutek działania sił przyciągania między cząsteczkami, czyli sił spójności. Siły napięcia powierzchniowego w błonce dążą do zmniejszenia jej powierzchni i powodują, że na powierzchni cieczy mogą utrzymywać się drobne przedmioty. Detergeny zmniejszają siły napięcia powierzchniowego, ułatwiając w ten sposób pranie czy zmywanie. Powodują również, że błonka na powierzchni znacznie lepiej się rozciąga, dzięki temu można np. puszczać banki mydlane. Napięcie powierzchniowe powoduje, że swobodna kropla cieczy przyjmuje kształt kulisty.

Ciśnienie

- Ciśnienie informuje nas, jak duża jest wartość siły działającej na jednostkę powierzchni. Ciśnienie to iloraz wartości siły nacisku (parcia), czyli siły działającej na podłoże lub powierzchnię innego ciała prostopadle do tej powierzchni, i powierzchni, na którą ta siła działa. Ciśnienie obliczamy ze wzoru: $p = \frac{F}{S}$
Ciśnienie mierzymy w paskalach: $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.
- Gaz w naczyniu (zbiorniku) wywiera parcie na ścianki naczynia i na wszystkie powierzchnie przedmiotów, które się w nim znajdują. Jest to wynik uderzeń cząsteczek gazu we wszystkie te powierzchnie.

Ciśnienie gazu w zbiorniku można zwiększyć	
przy stałej objętości	przy stałej masie
zwiększając masę gazu, czyli ilość cząsteczek gazu w zbiorniku	zmniejszając objętość zbiornika, podwyższając temperaturę gazu

Ciśnienie hydrostatyczne

- Ciśnienie hydrostatyczne to ciśnienie wywierane przez słup cieczy o określonej wysokości, spowodowane działaniem jego siły ciężkości na warstwy cieczy znajdujące się poniżej. Można je obliczyć ze wzoru: $p = d \cdot h \cdot g$
- Ciśnienie w cieczy na danej głębokości nie zależy od wielkości i kształtu zbiornika, natomiast zależy od gęstości cieczy oraz od wysokości słupa cieczy. Całkowite ciśnienie panujące w cieczy na określonej głębokości jest sumą ciśnienia hydrostatycznego i ciśnienia atmosferycznego:

$$p = p_{\text{atm}} + d \cdot h \cdot g$$

Naczynia połączone

- Naczynia połączone to układ co najmniej dwóch naczyń, między którymi ciecz może swobodnie przepływać. Ciecz w naczyniach połączonych dąży do wyrównania poziomów.

Ciśnienie atmosferyczne

- Ciśnieniem atmosferycznym nazywamy ciśnienie wywierane przez atmosferę okołozemską na powierzchnię Ziemi i na wszystkie znajdujące się na niej ciała. Spowodowane jest ono naciskiem warstw powietrza na warstwy znajdujące się poniżej.

Prawo Pascala

- Prawo Pascala mówi, że działanie siły zewnętrznej na zamkniętą w zbiorniku ciecz lub gaz powoduje wytworzenie dodatkowego ciśnienia przekazywanego jako niezmienniczone we wszystkich kierunkach i zwróconego prostopadle do ścian naczynia, w którym ciecz lub gaz się znajduje.
- Jeśli w zbiorniku panuje ciśnienie p , to wartość siły parcia (nacisku) na płaską, prostopadłą do siły powierzchnię S możemy obliczyć ze wzoru: $F = p \cdot S$
- Jeśli na ciecz w zbiorniku działa zewnętrzna siła, to całkowite ciśnienie wody na ścianki zbiornika jest sumą ciśnienia hydrostatycznego wynikającego z ciężaru cieczy i przenoszonego przez ciecz ciśnienia wytworzonego na skutek działania siły zewnętrznej.

Prasa hydrauliczna i inne urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne

- W urządzeniach, takich jak prasa hydrauliczna, hamulce samochodowe, przeróżne siłowniki czy podnośniki samochodowe, wykorzystywane jest prawo Pascala. W urządzeniach hydraulicznych i pneumatycznych działanie siłą o małej wartości na tłok o małej powierzchni powoduje, że na drugim tłoku, o większej powierzchni, otrzymujemy siłę dużej wartości. Wartość tej siły jest tyle razy większa od wartości mniejszej siły, ile razy powierzchnia dużego tłoka jest większa od powierzchni tłoka małego: $F_2 = \frac{S_2}{S_1} \cdot F_1$

Siła wyporu i prawo Archimedesesa

- Prawo Archimedesesa mówi, że na ciało zanurzone w cieczy (lub w gazie) działa siła wyporu zwrócona pionowo do góry równa co do wartości ciężarowi cieczy wypartej przez to ciało (lub ciężarowi wypartego gazu).
- Siłę wyporu możemy wyznaczyć doświadczalnie. Gdy ciało zanurzone w cieczy jest zawieszone na siłomierzu, to wskazanie siłomierza jest mniejsze od wskazań siłomierza w powietrzu o wartość siły wyporu. Jeśli od ciężaru ciała w powietrzu odejmiemy wynik pomiaru siły w cieczy, to otrzymamy wartość siły wyporu, z jaką ciecz działa na ciało.
- Wartość siły wyporu można obliczyć ze wzoru: $F_w = d_c \cdot V \cdot g$
 d_c – gęstość cieczy, V – objętość zanurzonego ciała (lub jego zanurzonej części), g – przyspieszenie ziemskie

Warunki pływania ciał

- Warunki pływania ciał zależą od ich gęstości (d) w porównaniu z gęstością cieczy (d_c):

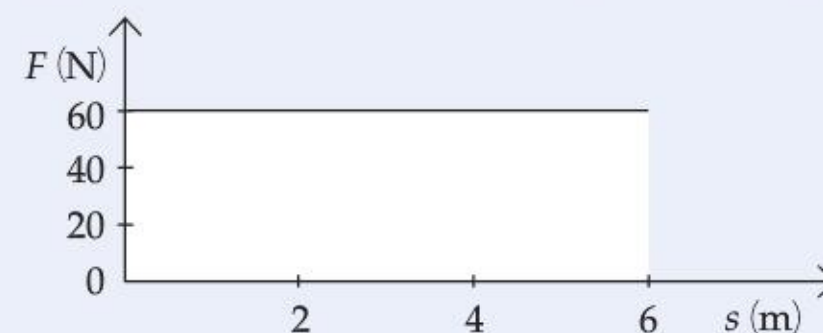
$d > d_c$	$F_c > F_w$	ciało tonie	jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest większa od gęstości tej cieczy, to ciało tonie
$d < d_c$	$F_c < F_w$	ciało wypływa	jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest mniejsza od gęstości tej cieczy, to ciało wypływa na jej powierzchnię
	$F_c = F_w$	ciało pływa częściowo zanurzone	objętość zanurzonej części ciała zależy od tego, ile razy gęstość tego ciała jest mniejsza od gęstości cieczy, w której pływa to ciało
$d = d_c$	$F_c = F_w$	ciało pływa całkowicie zanurzone	jeżeli gęstość ciała zanurzonego w cieczy jest równa gęstości tej cieczy, to ciało pływa całkowicie w niej zanurzone (nie tonie i nie wypływa na powierzchnię cieczy)

Podejmij temat



Ania spędzała wakacje w gospodarstwie agroturystycznym. Pomagała gospodarzom w opiece nad zwierzętami domowymi, zbierała owoce i warzywa, jeździła wozem konnym po siano na łąkę, uczyła się jazdy konnej, a nawet łowiła ryby. Ogromne wrażenie zrobił na niej młyn wodny, wyposażony w koło, w którym mechanizmy mielące ziarno pozyskiwały energię z energii spiętrzanej wody. W młynie zainstalowano również turbinę do produkcji energii elektrycznej, napędzaną wodą z rzeki. Pomimo że elektrownia wodna o mocy 25 kW wystarczała na zaspokojenie potrzeb gospodarstwa, to gospodarze pozyskiwali również ekologiczną energię z innych źródeł odnawialnych. Na podstawie zdjęć i treści poniżej spróbuj odpowiedzieć na pytania-zagadki:

- Z jakich odnawialnych źródeł energii gospodarze mogli jeszcze pozyskiwać energię?
- Jaką pracę wykonuje 50 litrów wody spadające na turbinę wodną z wysokości 10 metrów?
- Oblicz głębokość studni, z której Ania wyciągała wiadro z wodą o masie 15 kg, wiedząc, że wykonała pracę 30 kJ.
- Ania narysowała wykres siły, z jaką działał silnik urządzenia przesuwającego worek z ziarnem w czasie 10 s. Przyjmij, że siła i przesunięcie mają zgodne kierunki oraz zwroty, i sprawdź, czy poprawnie narysowała wykres, uwzględnij, że silnik pracował z mocą 30 W. Oblicz pracę wykonaną przez silnik urządzenia.



- Gospodarz podniósł worek mąki o masie 15 kg na wysokość 2 m. O ile wzrosła energia potencjalna worka?
- Czy energia kinetyczna dzika o masie 80 kg, biegnącego z szybkością $12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ jest większa od energii kinetycznej rowerzysty o masie 50 kg, jadącego z szybkością $36 \frac{\text{km}}{\text{h}}$?
- Ania obserwowała jabłko spadające swobodnie z wysokiego drzewa i oszacowała, że skoro spadało około 1 s, to tuż przed uderzeniem o ziemię miało szybkość $10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz, jaką energię mechaniczną miało jabłko w chwili uderzenia, skoro masa jabłka wynosiła 200 g. Czy potrafisz powiedzieć, z jakiej wysokości spadło jabłko i czy rozumowanie Ani z oszacowaniem szybkości jabłka było poprawne? Czy potrafisz obliczyć, z jakiej wysokości spadło jabłko, nie znając masy jabłka?

- ★ Pewnego dnia Ania obserwowała, jak gospodyni huśta się ze swoją córką na huśtawce zbudowanej przez gospodarza z długiego, podpartego w środku drewnianego bala o długości 4 m. W jakiej odległości od środka huśtawki siedziała gospodyni ważąca 60 kg, jeśli jej córka o masie 15 kg znajdowała się z drugiej strony punktu podparcia w odległości 2 m od środka, a huśtawka pozostawała w równowadze?

Praca i moc

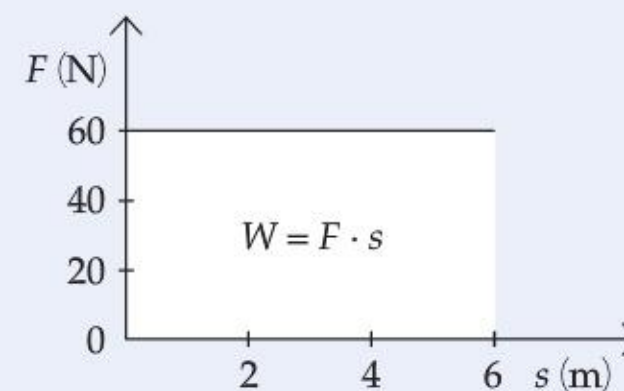
- Praca zostaje wykonana, gdy pod wpływem siły przyłożonej do ciała następuje jego przemieszczenie lub odkształcenie.

Gdy wartość działającej siły jest stała $F = \text{const}$, pracę możemy obliczyć:

gdy siła $\vec{F}$ zgodna z przemieszczeniem s
 $W = F \cdot s$

gdy $\vec{F}$ prostopadła do s
 $W = 0$

- Wartość pracy możemy również obliczyć metodą graficzną na podstawie wykresu zależności wartości siły od przebytej drogi. Praca jest liczbowo równa polu figury powstałej pod wykresem $F(s)$.
- Jednostką pracy jest džul: $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m}$



Moc

- Moc danego urządzenia informuje nas, jaka praca wykonywana jest w czasie jednej sekundy.
- Mocą nazywamy wielkość równą ilorazowi pracy i czasu, w którym została ona wykonana: $P = \frac{W}{t}$
- Jednostką mocy jest wat: $1 \text{ W} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$. Urządzenie ma moc 1 W, jeśli w czasie 1 s wykonuje pracę 1 J.

Energia

- Energia jest wielkością charakteryzującą stan ciała zdolnego do funkcjonowania, wykonywania różnych czynności. Energia mierzona jest w jednostkach zwanych džulami (1 J).
- Energia może przyjmować wiele postaci, np. energii mechanicznej (związanej z ruchem i oddziaływaniem ciał), chemicznej, wewnętrznej, elektrycznej, jądrowej, energii promieniowania.
- Energię pozyskujemy ze źródeł konwencjonalnych (ropa, gaz, węgiel) i z odnawialnych źródeł energii, do których zaliczamy: wiatr, wodę, słońce, wody geotermalne, biopaliwa (biogaz, biomasa), przyływy i odpływy morza.

Energia mechaniczna

- Energia mechaniczna to zdolność ciał do wykonania pracy. Może to być:

energia potencjalna		energia kinetyczna
grawitacji	sprężystości	związana z ruchem ciała $E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$
związana z położeniem ciała podniesionego na wysokość h $E_p = m \cdot g \cdot h$	związana z odkształceniem ciała (miarą jest praca, jaką może ciało wykonać, powracając do swojego początkowego kształtu)	

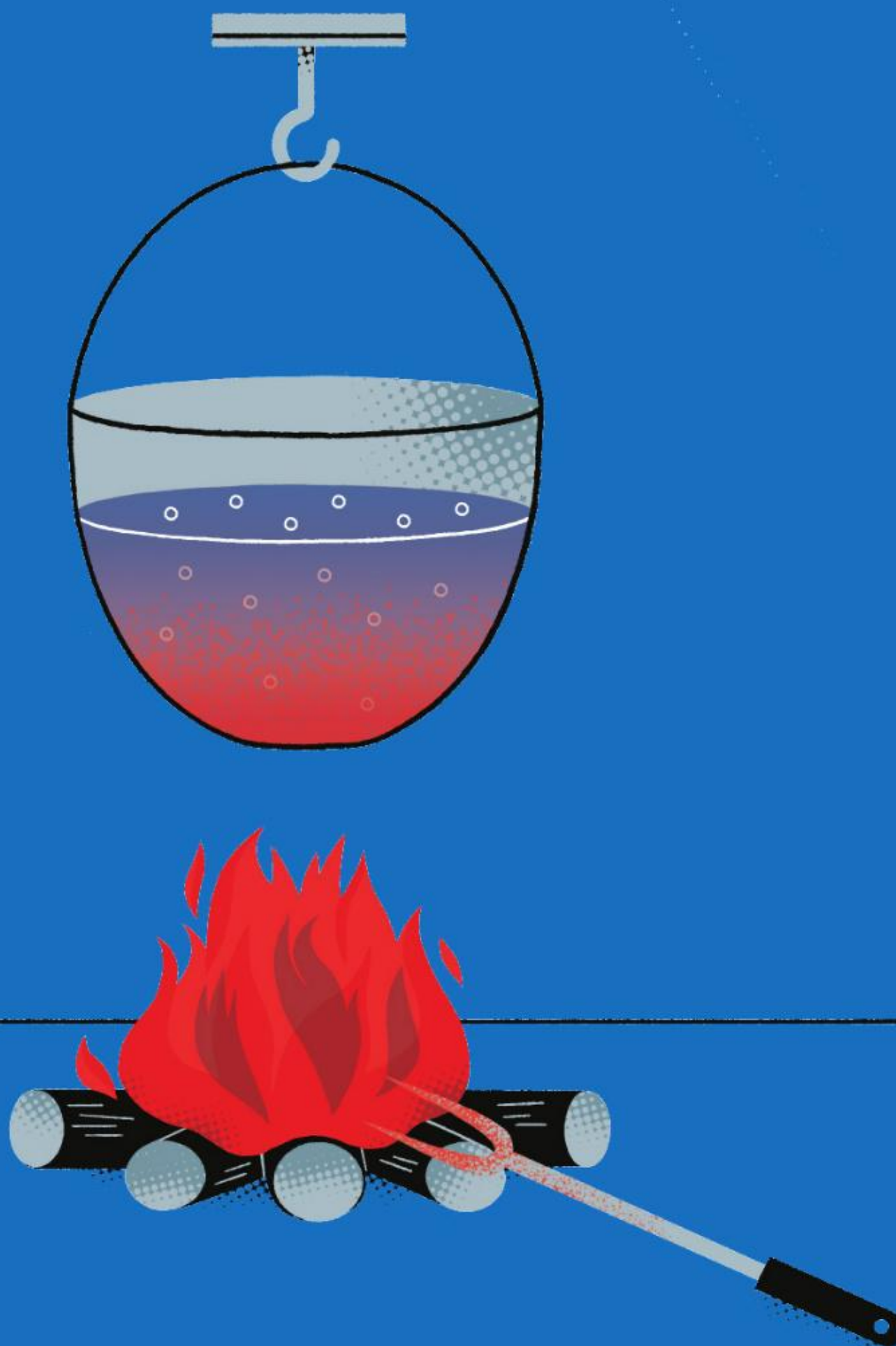
Zasada zachowania energii mechanicznej

- Jeżeli w układzie ciał nie działają siły zewnętrzne, to całkowita energia mechaniczna układu, czyli suma energii potencjalnej i kinetycznej, jest zachowana: $E_m = E_k + E_p = \text{const}$

Maszyny proste

- Do maszyn prostych zaliczamy: dźwignię dwustronną, dźwignię jednostronną, blok ruchomy, blok nieruchomy, kołowrót, równię pochyłą. Dźwignia pozwala zrównoważyć większą siłę za pomocą mniejszej, gdy mniejsza siła działa dalej od punktu podparcia. Dźwignia jest w równowadze, gdy: $F_1 \cdot r_1 = F_2 \cdot r_2$, gdzie r_1, r_2 – odległość działania siły od punktu podparcia.

1. Zjawiska cieplne



1. Jaki jest związek temperatury ciała z szybkością jego cząsteczek?
2. Czym jest energia wewnętrzna ciała?
3. Jaki jest związek energii wewnętrznej z temperaturą?
4. Jakie są możliwości przekazywania energii na sposób ciepła?
5. W jaki sposób można zmienić energię wewnętrzną ciała?

1.1 Energia wewnętrzna i temperatura

Podejmij temat



Dlaczego pokrywka umieszczona na naczyniu z wrzącą wodą podskakuje?
Dlaczego wzrasta temperatura metalu, gdy kowal uderza w niego młotem?



1.1 Zjawisko dyfuzji

Związek temperatury ciała z szybkością i energią cząsteczek

Przypomnij sobie doświadczenie z klasy siódmej, na podstawie którego omawialiśmy zjawisko dyfuzji (dział 3, doświadczenie nr 21). Obserwowałeś, jak rozchodziła się esencja herbaciana (il. 1.1) i nadmanganian potasu w szklankach z zimną i gorącą wodą. Stawialiśmy hipotezę, że dyfuzja będzie zachodziła znacznie wolniej w wodzie zimnej niż w wodzie gorącej. Wnioskowaliśmy, że zjawisko dyfuzji przebiega szybciej w wyższej temperaturze. Jak wiesz, cząsteczki danej cieczy nie poruszają się wszystkie z jednakową prędkością. Zderzają się ze sobą oraz uderzają o ścianki naczynia, przez co zmieniają się wartości i kierunki ich prędkości. Tak samo dzieje się w naczyniu wypełnionym gazem o określonej temperaturze – cząsteczki poruszają się chaotycznie z najróżniejszymi prędkościami. Jednak średnia wartość prędkości dowolnie dużej, losowo wybranej liczby cząsteczek jest ustalona. Mówimy wówczas o **średniej szybkości cząsteczek**, a więc i ich **średniej energii kinetycznej**. To znaczy, że średnia szybkość poruszania się cząsteczek danej substancji (i ich energia kinetyczna) związana jest z jej temperaturą. Im szybciej poruszają się cząsteczki substancji, tym wyższa jest jej temperatura. Jeśli cząsteczki poruszają się z większą szybkością, to wobec tego mają większą energię kinetyczną.

Im większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek substancji,
tym wyższa jest jej temperatura.

Ciekawe!

Kowadło to ciężka, stalowa podstawa, na której kształtuje się przedmiot podczas kucia ręcznego

W naszym doświadczeniu cząsteczki gorącej wody miały większą średnią energię kinetyczną niż cząsteczki wody zimnej. Część energii przekazana w czasie zderzeń cząsteczkom esencji herbacianej czy cząsteczkom nadmanganianu potasu wprowadzała je w ruch o dość dużej szybkości, w wyniku czego dyfuzja przebiegała znacznie szybciej niż w szklance zimnej wody, której cząsteczki miały mniejszą energię kinetyczną. Wnioskujemy również, że jeśli temperatura ciała w wyniku oziębienia obniży się, energia kinetyczna jego cząsteczek zmaleje.

W cieczech i gazach wzrost średniej energii kinetycznej powoduje wzrost szybkości, z jaką poruszają się cząsteczki ciała (il. 1.2). W ciałach stałych zwiększa się szybkość drgań, cząsteczki wychylają się bardziej z położeń równowagi i w związku z tym rosną odległości między cząsteczkami (rozszerzalność temperaturowa).

Różne skale temperatur

Wiesz już, że istnieje związek między energią kinetyczną cząsteczek danego ciała a jego temperaturą. Możemy też powiedzieć, że **temperatura jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek danego ciała**. Temperaturę ciała mierzyłeś termometrem ze skalą Celsjusza. Poznałeś ją w trakcie badań zjawiska rozszerzalności cieczy w doświadczeniu z termoskopem. Celsjusz wyznaczył na swojej skali punkty 0° (temperatura topnienia lodu) i 100° (temperatura wrzenia wody pod normalnym ciśnieniem). Punkty te, nazywane punktami stałymi, wyznaczają skalę temperatur Celsjusza. Temperaturę w tej skali oznaczamy literą t . Obecnie najczęściej stosowaną w nauce skalą temperatur jest skala Kelvina (oznaczana literą T) (il. 1.3). Skalę tę nazywamy również **skalą bezwzględną**, ponieważ nie występują w niej temperatury ujemne, a zero w tej skali nazywamy **zerem absolutnym**. Jak wiesz, w temperaturze zera bezwzględnego ustałby wszelki ruch cząsteczek. Podstawową jednostką temperatury w układzie SI jest **kelwin (1 K)**.

W niektórych krajach używa się skali Fahrenheita (czyt. farenhajta). Aby temperaturę w skali Celsjusza (t) przeliczyć na stopnie Fahrenheita (t_F), należy użyć wzoru:

$$t_F = \frac{9}{5}t + 32$$

Przeliczanie stopni w skali Celsjusza na kelwiny

Do przeliczania temperatury w skali Celsjusza na temperaturę w skali Kelvina, i odwrotnie, stosujemy wzory:

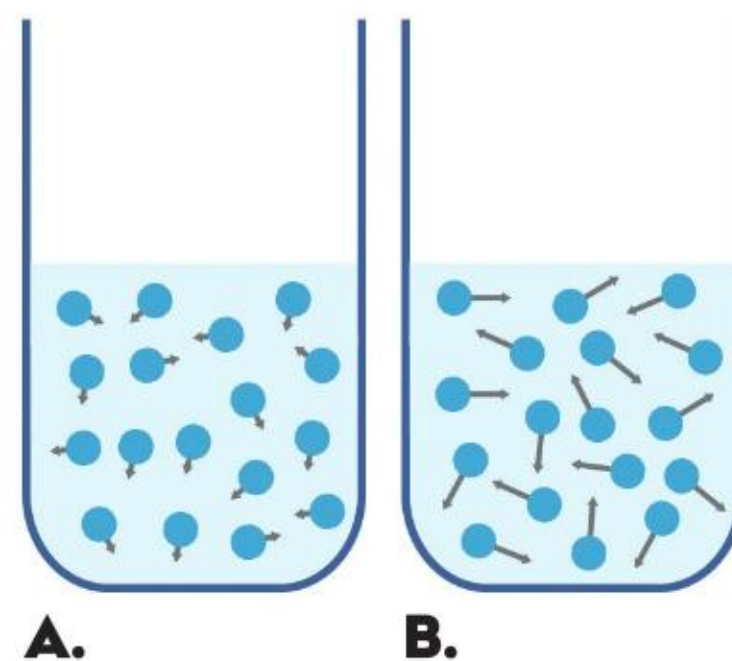
$$T = t + 273$$

Aby przeliczyć stopnie Celsjusza na kelwiny, należy do liczby stopni Celsjusza dodać 273.
Otrzymany wynik jest liczbą kelwinów.

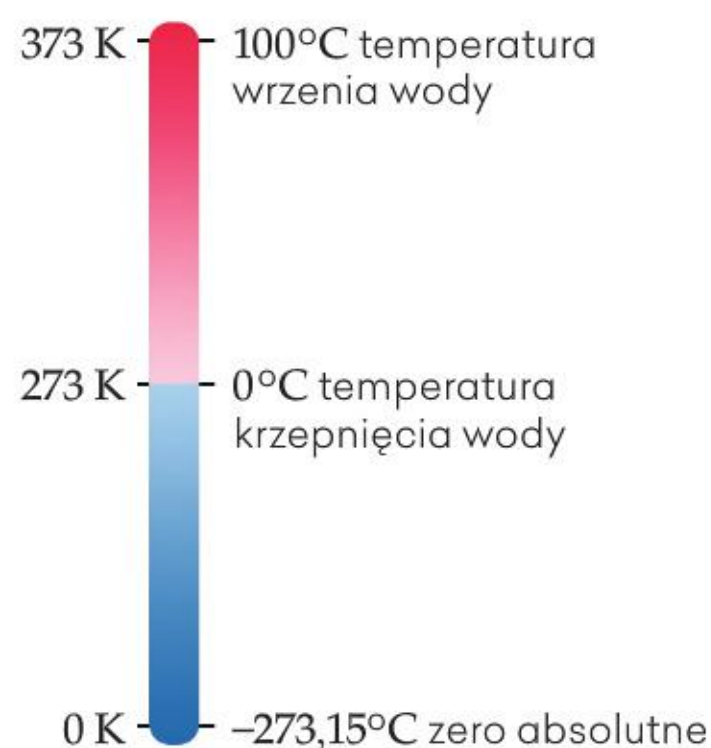
$$t = T - 273$$

Aby przeliczyć kelwiny na stopnie Celsjusza, należy od liczby kelwinów odjąć 273.
Otrzymany wynik jest liczbą stopni Celsjusza.

T – temperatura w kelwinach (K)
 t – temperatura w stopniach Celsjusza ($^{\circ}\text{C}$)



1.2 Modelowe przedstawienie ruchu cząsteczek cieczy zimnej (A.) i ciepłej (B.)



1.3 Różnica temperatury w skalach Kelvina i Celsjusza jest taka sama.
 $\Delta t = 11^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C}$,
co odpowiada:
 $\Delta T = 284 \text{ K} - 283 \text{ K} = 1 \text{ K}$
a więc: $\Delta t = \Delta T$

Przykład 1.

Podane temperatury wyraż we wskazanych jednostkach.

- a) 30°C w kelwinach
- b) -30°C w kelwinach
- c) 283 K w stopniach Celsjusza
- d) 173 K w stopniach Celsjusza

Rozwiązanie

- a) $T_1 = (30 + 273)\text{ K} = 303\text{ K}$, czyli $30^{\circ}\text{C} = 303\text{ K}$
- b) $T_2 = (-30 + 273)\text{ K} = 243\text{ K}$, czyli $-30^{\circ}\text{C} = 243\text{ K}$
- c) $t_1 = (283 - 273)^{\circ}\text{C} = 10^{\circ}\text{C}$, czyli $283\text{ K} = 10^{\circ}\text{C}$
- d) $t_2 = (173 - 273)^{\circ}\text{C} = -100^{\circ}\text{C}$, czyli $173\text{ K} = -100^{\circ}\text{C}$

Kiedy obserwujemy wzrost temperatury ciała?

Zapewne pamiętasz sposób na szybkie rozgrzanie zimnych rąk – pocieranie ich o siebie. Wiesz również, że w czasie ruchu z tarciem części maszyn ogrzewają się i ścierają. Wykonaj proste doświadczenie, aby przekonać się, kiedy rośnie temperatura ciał.

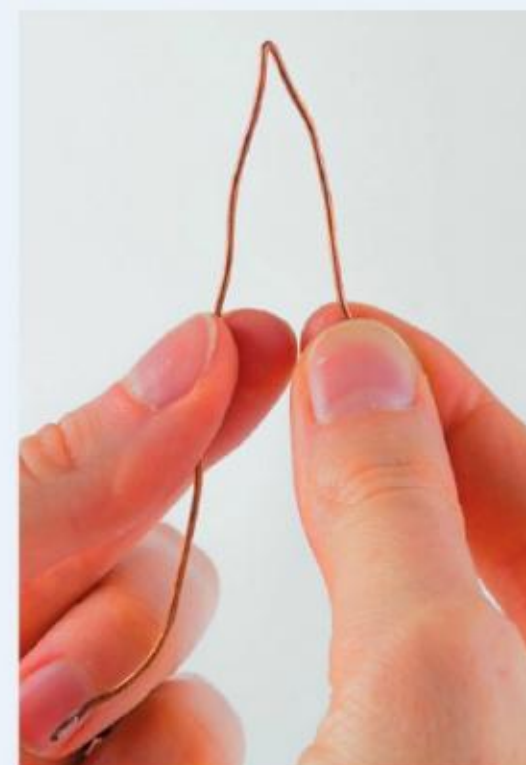
Doświadczenie 1.

Obserwujemy zmiany temperatury w ruchu z tarciem

Niezbędne przedmioty: gumka, papier, kawałek blachy (kowadło), młotek, stalowy drut, kawałek flaneli

Wykonanie:

- Potrzyj energicznie gumkę o papier. Dotknij gumki i papieru.
- Uderz kilka razy młoteczkiem o kowadło lub kawałek blachy. Dotknij kowadła lub blachy.
- Potrzyj stalowy drut flanelą lub zegnij go kilkakrotnie w jednym miejscu. Dotknij drut w tym miejscu.



Obserwacje: We wszystkich przypadkach obserwujemy rozgrzewanie się ciał.

Wniosek: Praca wykonana podczas pokonywania tarcia spowodowała wzrost średniej energii kinetycznej cząsteczek ciał.

Temperatura a energia wewnętrzna

Jeszcze większy wzrost temperatury ciał obserwujemy przy wierceniu otworu wiertarką. Dlaczego tak się dzieje? W każdym z tych doświadczeń praca wykonana nad układem nie spowodowała wzrostu energii kinetycznej ani potencjalnej ciał. Wzrosła natomiast energia związana z ich temperaturą zwana **energią wewnętrzną**.

Przybliżmy pojęcie energii wewnętrznej. W tym celu przypomnijmy sobie budowę wewnętrzną ciał. Każde ciało zbudowane jest z cząsteczek będących w ciągłym ruchu, a więc posiadających energię kinetyczną (każda cząsteczka ma przecież masę i prędkość). Cząsteczki te podczas ruchu oddziałują na siebie, mają więc też energię potencjalną. W czasie ruchu z tarcie wzrasta również energia potencjalna cząsteczek związana ze zmianą ich wzajemnego położenia.

Suma energii kinetycznych wszystkich cząsteczek danego ciała oraz energii potencjalnych związanych z oddziaływaniem wzajemnym tych cząsteczek jest energią wewnętrzną.

Jednostką energii wewnętrznej (tak jak innych znanych nam rodzajów energii) jest **dżul (1 J)**.

Energia wewnętrzna ciała określonego rodzaju w danej temperaturze **jest tym większa, z im większej ilości cząsteczek ciało się składa**.

Energia wewnętrzna i jej zmiana przez wykonanie pracy

Wiemy już, że w wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej. Możemy więc wnioskować, że wzrost temperatury trących o siebie ciał został spowodowany wzrostem energii wewnętrznej. Energia wewnętrzna ciała może też maleć. Dzieje się tak, gdy ciało wykonuje pracę nad innym ciałem, np. gaz, gwałtownie się rozprężając w zbiorniku, oziębia się, powodując też zmniejszenie temperatury pojemnika, w którym się znajduje. O zmianie energii wewnętrznej wnioskujemy na podstawie zmiany temperatury. Podwyższona temperatura ciała świadczy o tym, że energia wewnętrzna ciała wzrosła, zaś obniżenie temperatury ciała świadczy o zmniejszeniu się energii wewnętrznej ciała. W każdym z omawianych doświadczeń wykonana praca powodowała zmiany temperatury ciał, a więc i energii wewnętrznej tych ciał.

Zmiana energii wewnętrznej ciała jest równa pracy wykonanej nad ciałem.

$$\Delta E_w = W$$

ΔE_w – zmiana energii wewnętrznej ciała

W – praca wykonana nad ciałem

Ciekawe!



Pierwszy termoskop zbudowany został około 1600 roku. Jego skonstruowanie przypisywane jest Galileuszowi, choć najprawdopodobniej zbudował go i opisał w 1612 roku Santorio Santorio, włoski lekarz, fizyk i wynalazca. Termoskop stanowił pojemnik z wodą, w którym zanurzona była otwarta u dołu rurka. Poziom wody w tej rurce zmieniał się wraz z wahaniami temperatury (niestety przyrząd reagował również na zmiany ciśnienia). Przyrząd ten został udoskonalony przez tokańskiego księcia Ferdynanda, który w 1644 r. odizolował rurkę od otaczającego powietrza. Pierwszym przyrządem przypominającym z wyglądu współczesne termometry był termometr rtęciowy, udoskonalony na początku XVIII w. przez pochodzącego z Gdańska, a osiadłego w Holandii fizyka Gabriela Fahrenheita.



Dział fizyki zajmujący się zjawiskami cieplnymi to **termodynamika**.
Ogrzewanie cieczy jest zjawiskiem cieplnym.

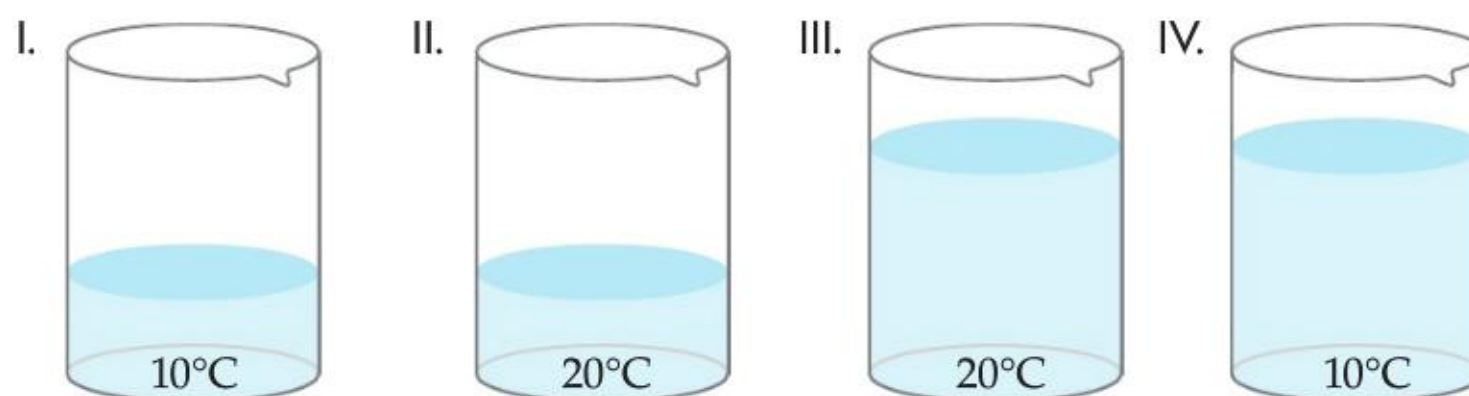


W skrócie

- Temperatura ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których zbudowane jest ciało. Im większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek substancji, tym wyższa jest jej temperatura.
- W cieczech i gazach wzrost średniej energii kinetycznej powoduje wzrost szybkości, z jaką poruszają się cząsteczki ciała. W ciałach stałych zwiększa się szybkość drgań, cząsteczki wychylają się bardziej z położeń równowagi i w związku z tym rosną odległości między cząsteczkami (rozszerzalność temperaturowa).
- Skalę Kelvina nazywamy skalą bezwzględną, a zero na tej skali zerem bezwzględnym, w którym zamiera ruch cząsteczek. Najniższą temperaturą w przyrodzie jest $-273^{\circ}\text{C} = 0\text{ K}$ (dokładnie to $-273,15^{\circ}\text{C}$).
- Energia wewnętrzna ciała jest sumą energii kinetycznych wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, i ich energii potencjalnych związanych z wzajemnym oddziaływaniem tych cząsteczek. Energia wewnętrzna określonego rodzaju ciała w danej temperaturze jest tym większa, z im większej ilości cząsteczek ciało się składa.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wyraź w skali Kelvina poniższe temperatury.
a) 37°C b) 100°C c) 0°C d) -73°C
- 2 Wyraź w skali Celsjusza temperatury podane w kelwinach.
a) 273 K b) 100 K c) 23 K d) 393 K
- 3 W naczyniach przedstawionych na rysunku znajduje się woda.

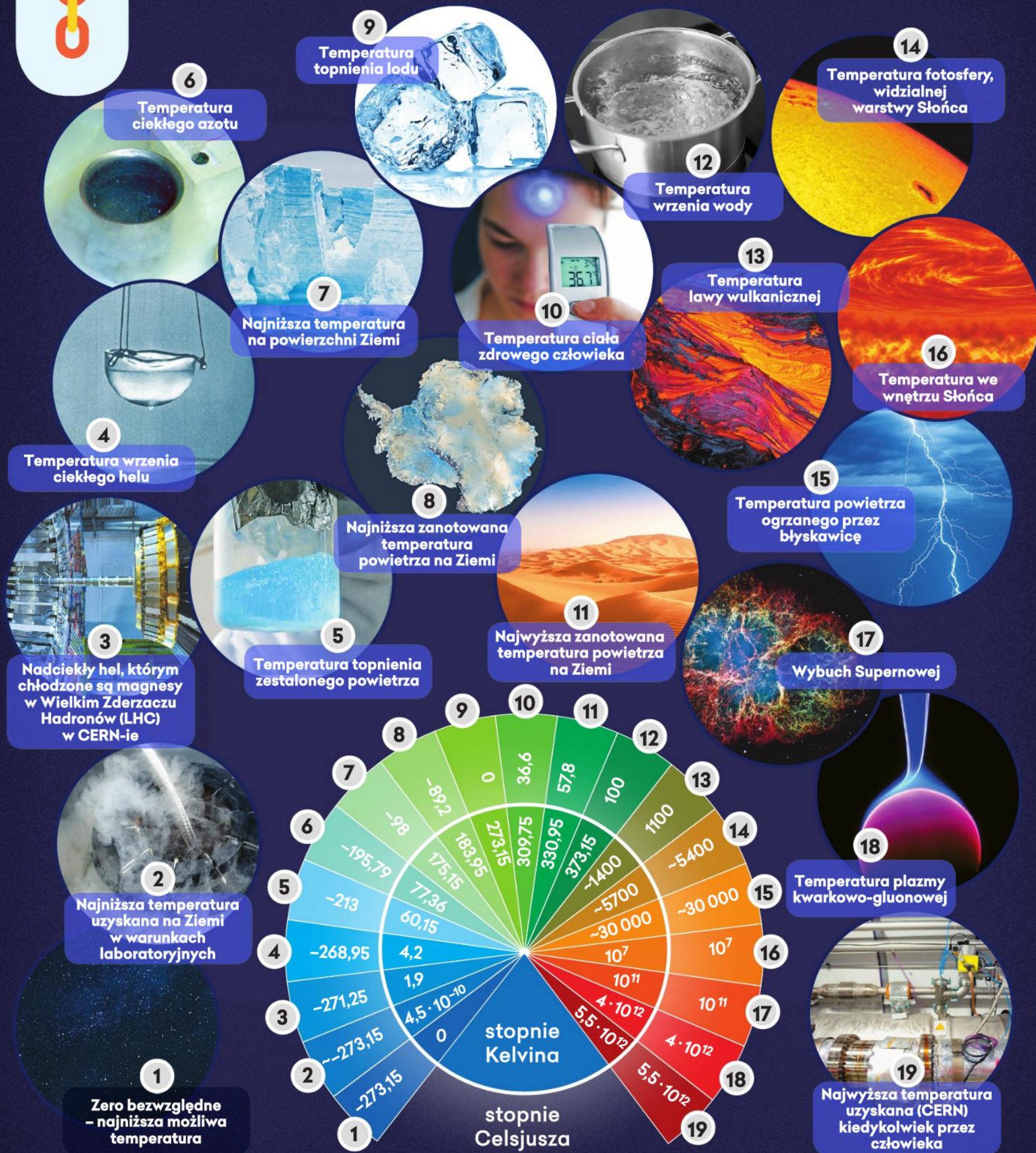


Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. W naczyniu I energia wewnętrzna wody i średnia energia kinetyczna cząsteczek wody są najmniejsze, a w naczyniu IV – największe.
 - B. W naczyniach II i III średnia energia kinetyczna cząsteczek wody jest jednakowa.
 - C. W naczyniach II i III energia wewnętrzna wody jest jednakowa.
 - D. W naczyniach II i III średnia energia kinetyczna cząsteczek wody jest jednakowa, a energia wewnętrzna wody większa w naczyniu z większą ilością wody.
- 4 Wyszukaj w internecie informacje na temat temperatur panujących na Saharze. Oblicz, ile wynosi różnica między temperaturami w dzień i w nocy, w skali Celsjusza. Powtórz obliczenia, wyrażając temperatury w skali Kelvina.



W świecie niskich i wysokich temperatur



1.2 Ciepły przepływ energii

Podejmij temat

- Dlaczego uchwyty przy garnkach najczęściej są drewniane?
- Co ma wspólnego ucieranie kremu mikserem z kuciem podkowy w kuźni?

Przekazywanie ciepła

Z codziennego życia wiesz, że pozostawiona w szklance gorąca woda po pewnym czasie się ochłodzi. Dzieje się tak, bo oddaje ona część swojej energii otoczeniu. Postawiona na gorącej płycie kuchenki patelnia nagrzewa się, bo uzyskuje energię od kuchenki.

Gdy więc zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to następuje przekazywanie energii z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej.

Ten sposób przekazywania energii nazywamy **ciepłym przepływem energii** lub przekazywaniem energii na sposób (w postaci) ciepła. Czasami mówimy w skrócie o „przepływie ciepła”. Ciepły przepływ energii trwa do chwili wyrównania się temperatury ciał i od tego momentu ciała pozostają w równowadze termicznej.

Doświadczenie 2.

Obserwujemy przekazywanie energii w postaci ciepła

Niezbędne przedmioty: szklanka z gorącą wodą, łyżeczka metalowa, łyżeczka plastikowa

Wykonanie:

- Włóż do szklanki z gorącą wodą obie łyżeczki – metalową i plastikową.
- Po chwili dotknij łyżeczek i powiedz, co odczuwasz.

Obserwacje: Gdy dotykamy łyżeczki metalowej, odczuwamy wyraźnie wzrost temperatury, gdy dotykamy łyżeczki plastikowej – tego nie odczuwamy.

Wniosek: Temperatura metalowej łyżeczki wzrosła dzięki przepływowi energii na sposób ciepła. Temperatura plastikowej łyżeczki praktycznie nie rośnie.



Przekazywanie energii na sposób ciepła a zmiana energii

W naszym doświadczeniu gorąca woda przekazała pewną ilość energii metalowej łyżeczce. Cząsteczki wody zderzają się z atomami substancji, z której wykonana jest łyżeczka, przekazując im część swojej energii. Te zderzają się z kolejnymi i przekazują im energię. Powoduje to wzrost energii wewnętrznej łyżeczki, co objawia się wzrostem jej temperatury. Energia wewnętrzna wody zmniejszyła się, a łyżeczki się zwiększyła. Zmiana energii wewnętrznej jest równa ilości energii przekazanej od ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej i trwa do chwili wyrównania się temperatur tych ciał.

Tę zmianę energii wewnętrznej równej wymienionemu ciepłu oznaczamy literą Q i mierzymy w dżulach (1 J).

$$\Delta E_w = Q$$

ΔE_w – zmiana energii wewnętrznej ciała, Q – przekazane (dostarczone) ciepło

Pierwsza zasada termodynamiki

Wiesz już, że energia wewnętrzna ciała może być zmieniona na dwa sposoby:

- dzięki wykonaniu pracy w ruchu z tarcie

$$\Delta E_w = W$$

- przez cieplny przepływ energii

$$\Delta E_w = Q$$

A czy może być zmieniona jednym i drugim sposobem jednocześnie?

Jeśli na kowadło położymy ogrzany kawałek metalu i będziemy w niego uderzać młotkiem (il. 1.4), to jego energia wewnętrzna, która najpierw wzrosła przez cieplny przepływ energii (ogrzanie metalu), będzie dalej rosła przez wykonanie pracy mechanicznej (uderzanie młotkiem). Ze zmianą energii wewnętrznej przez równoczesne wykonanie pracy i dostarczenie ciepła spotykamy się w życiu codziennym (il. 1.5). Jako podsumowanie zdobytych wiadomości możemy sformułować następujący wniosek:

energię wewnętrzną ciała możemy zmienić

albo przez wykonanie nad ciałem pracy (W), albo przez przekazanie energii na sposób ciepła (Q), albo równocześnie: wykonanie pracy i przekazanie ciepła.

$$\Delta E_w = W + Q$$

To sformułowanie nazywa się **pierwszą zasadą termodynamiki**.

Wynika z niej, że ciepło i praca mogą wywołać taki sam rezultat, dlatego zasadę tę nazywa się czasem zasadą równoważności pracy i ciepła. Oznacza to, że energia mechaniczna może być przekształcana w energię wewnętrzną i odwrotnie.



1.4 Kowal kujący metal najpierw ogrzewa go w płomieniu, a potem uderza w niego młotem



1.5 Podczas ucierania kremu na parze wykonujemy pracę mikserem i ogrzewamy krem



1.6 Parowóz

Silniki cieplne

Urządzeniami, które przetwarzają energię wewnętrzną w energię mechaniczną, są silniki cieplne. W silnikach tych energia ze spalania paliwa zamienia się w energię wewnętrzną gazu, który – rozprężając się – przesuwa tłok, wykonując nad nim pracę, a sam się oziębia. Tak więc energia wewnętrzna gazu zostaje zamieniona w energię mechaniczną tłoka i przez układ napędowy wprawia pojazd w ruch.

W kotle silnika parowego (il. 1.6) następuje zamiana wody na parę wodną, która ma wysoką temperaturę i wysokie ciśnienie. Para wpuszczana jest do cylindra zamkniętego ruchomym tłokiem. Podczas przesuwania tłoka objętość pary rośnie, wykonuje więc ona pracę. W silniku spalinowym gaz o wysokiej temperaturze powstaje wewnątrz cylindra na skutek wybuchu mieszanki zimnego powietrza i zimnych par benzyny. Mieszanka jest najpierw sprężana za pomocą tłoka tak, że jej objętość maleje. Następuje wtedy wybuch wywołany przeskokiem iskry elektrycznej. Po wybuchu gorący gaz rozpręża się, wykonuje więc pracę.

W skrócie

- Gdy zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to następuje przekazywanie energii z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Ten sposób przekazywania energii nazywamy cieplnym przepływem energii.
- Pierwsza zasada termodynamiki mówi, że energię wewnętrzną ciała możemy zmienić albo przez wykonanie nad ciałem pracy (W), albo przez przekazanie ciepła (Q), albo równocześnie – wykonanie pracy i przekazanie ciepła.

$$\Delta E_w = W + Q$$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ciepły przepływ energii to jeden ze sposobów zmiany energii wewnętrznej ciała.
 - B. Przepływ ciepła następuje od ciała o temperaturze niższej do ciała o temperaturze wyższej.
 - C. Zmiana energii wewnętrznej ciała jest równa sumie pracy wykonanej nad ciałem i dostarczonego ciepła.
- 2 Dobierz odpowiednie opisy procesu do sytuacji przedstawionych na zdjęciach.

A.



B.



C.



- I. Wzrost energii wewnętrznej w wyniku dostarczenia ciepła.
- II. Wzrost energii wewnętrznej w wyniku wykonania pracy w ruchu z tarcieniem.
- III. Zmniejszenie energii wewnętrznej w wyniku odpływu ciepła.

1.3 Sposoby przekazywania ciepła

Podejmij temat

- Dlaczego w termosie można trzymać przez jakiś czas zarówno gorącą herbatę, jak i zimne lody?

Przewodnictwo ciepłe

Jak już wiesz, energia wewnętrzna może być przekazywana między ciałami. Wykonajmy teraz doświadczenia, w których poznamy różne sposoby przepływu ciepła.

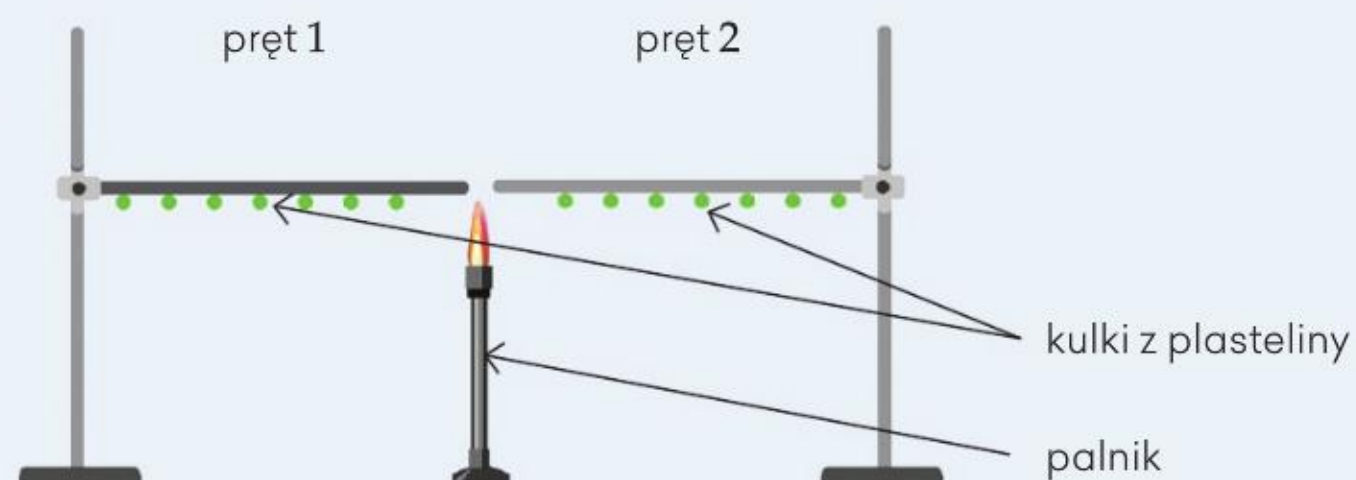
Doświadczenie 3.

Obserwujemy przewodzenie ciepła

Niezbędne przedmioty: pręty – metalowy i szklany (tej samej grubości), statywy, plastelina, palnik spirytusowy (może być świeczka)

Wykonanie:

- Przyklej, ale nie dociskaj mocno, małe kulki z plasteliny do pręta metalowego (1) i pręta szklanego (2), co kilka centymetrów.
- Zamocuj na statywach końce prętów metalowego i szklanego. Drugie końce prętów podgrzewaj palnikiem.
- Obserwuj zachowanie kulek z plasteliny.



Obserwacje: Po kilkudziesięciu sekundach obserwujemy, że z pręta metalowego kulki spadają kolejno, najpierw te od strony ogrzewanego jego końca, w wyniku wzrostu temperatury kolejnych części pręta. Ze szklanego pręta w tym samym czasie nie odpadła żadna kulka plasteliny.

Wniosek: W miarę upływu czasu wzrasta temperatura kolejnych części pręta metalowego, coraz bardziej oddalonych od palnika. Cząsteczki płomienia o wysokiej temperaturze poruszają się z dużymi szybkościami i, zderzając się z atomami metalowego pręta, przekazują im część energii. Energia kinetyczna drgających atomów przekazywana jest przez zderzenia kolejnym atomom pręta. Tak stopniowo wzrasta energia wewnętrzna całego pręta. Ten sposób zmiany energii wewnętrznej ciała przez cieplny przepływ energii nazywamy **przewodnictwem cieplnym**. W pręcie szklanym przekazywanie energii pomiędzy cząsteczkami zachodzi znacznie wolniej.

Miałeś okazję zaobserwować, że pręt otrzymał pewną ilość energii od płomienia. Działo się tak na skutek nasilenia się ruchów cząsteczek metalu w ogrzewanej części pręta (podwyższała się temperatura), a następnie ruch ten powodował wzrost drgań sąsiednich cząsteczek (wzrastała temperatura kolejnych części pręta).



Przewodnictwo ciepłe polega na przekazaniu energii bezładnych ruchów cząsteczek między częściami ciała, których temperatury się różnią.



1.7 Budowa termosu

Konwekcja polega na przemieszczaniu się ciepłych warstw gazu (lub cieczy) do góry. W tym czasie chłodniejsze warstwy gazu (lub cieczy) zajmują miejsce warstw ogrzanych.

Przewodniki i izolatory ciepłe

W doświadczeniach z ogrzewanymi łyżeczkami (metalową i plastikową) oraz prętami (metalowym i szklanym), można było się przekonać, że nie wszystkie ciała jednakowo przewodzą ciepło. Przewodnictwo ciepłe różnych substancji jest różne. Ciała, które dobrze przewodzą ciepło, nazywamy **przewodnikami ciepłymi**. Najlepszymi przewodnikami są metale, np. srebro, miedź. Ciała, które źle przewodzą ciepło, nazywamy **izolatorami ciepłymi**. Są nimi tworzywa sztuczne, styropian, szkło, drewno, wata szklana. Dlatego stosuje się je do **izolacji cieplnej budynków**.

Najlepszym izolatorem ciepłym jest próżnia, czyli przestrzeń wolna od powietrza i innych gazów. Tu nie może mieć miejsca przewodzenie ciepła, bo nie ma cząsteczek. Przykładem praktycznego zastosowania próżni jest **termos** (il. 1.7). To naczynie o podwójnych ściankach, między którymi znajduje się rozrzedzone powietrze, często zamykane korkiem i nakrętką. Służy do przechowywania substancji, których stałą temperaturę chcemy utrzymać przez pewien czas. Rozrzedzone powietrze znajdujące się między ściankami termosu izoluje jego zawartość od czynników zewnętrznych.

Zjawisko konwekcji

Istnieją również inne sposoby przepływu energii na sposób ciepła. Po umieszczeniu ręki w pobliżu rozgrzanego ciała lub nad płomieniem świeczki czujemy ciepłe masy powietrza poruszające się do góry. Przemieszczające się masy ciepłego powietrza nazywamy prądami konwekcyjnymi, a taki rodzaj przenoszenia energii nazywamy **konwekcją**. Możemy sprawdzić to doświadczalnie.

Doświadczenie 4.

Obserwujemy zjawisko konwekcji w gazach

Niezbędne przedmioty: spirala z papieru, patyczek do szaszłyków lub cienki drut o długości około 20 cm, plastelina lub pudełko po zapalniczkach z plasteliną w środku (lub statyw i nitka), świeczka

Wykonanie:

Uwaga! Wysoka temperatura – możliwość zapalenia się papieru.

- Wytnij z cienkiego kartonu lub kartki o średnicy ok. 8 cm wąską spiralę (papierowy ślimaczek).
- Zawieś spiralę na cienkim drucie (zaostrzonym patyczku), a drugi koniec wbij w pudełko lub plastelinę. Możesz również zawiesić spiralę na nitce przywiązanej do statywu.
- Postaw pod spiralą zapaloną świeczkę (ostrożnie, aby spiralę się nie zapaliła) i obserwuj jej zachowanie.

Obserwacje: Ciepłe warstwy powietrza poruszające się do góry powodują obrót spirali.

Wniosek: Warstwa powietrza nad świeczką ogrzewa się i rozszerza. Gęstość powietrza staje się mniejsza i unosi się ono do góry. Papierowa spirala obraca się dzięki prądom konwekcyjnym.



Doświadczenie 5.

Obserwujemy zjawisko konwekcji w cieczach

Niezbędne przedmioty: zlewka, woda, kryształki (lub tabletki) nadmanganianu potasu KMnO_4 , źródło ciepła, np. płyta elektryczna, palnik spirytusowy lub świeczka
Zamiast zlewki możesz użyć żaroodpornego kubka (lub innego żaroodpornego, przezroczystego naczynia), a nadmanganian potasu zastąpić innym barwnikiem (atramentem, syropem owocowym).

Wykonanie:

Uwaga! Wysoka temperatura.

- Zlewkę napełnij wodą (powyżej połowy jej wysokości) i wrzuć do niej kryształki nadmanganianu potasu.
- Zlewkę postaw na płycie kuchenki elektrycznej (lub nad innym źródłem ciepła), ogrzewaj zawartą w niej wodę i obserwuj miejsce położenia kryształka nadmanganianu potasu.



Obserwacje: Obserwujemy unoszenie się ku górze zabarwionych mas wody.

Wniosek: Ogrzewana woda z nadmanganianem potasu rozszerza się – jej gęstość się zmniejsza – i unosi do góry. Na jej miejsce napływa chłodniejsza woda z boków naczynia, która znów zostaje ogrzana i się unosi. Chłodniejsza woda o większej gęstości opada bokami w dół, a ogrzana, środkiem unosi się do góry. Przemieszczanie się zabarwionych mas wody trwa do chwili, aż woda ogrzeje się równomiernie. W zjawisku tym energia jest przenoszona z jednego miejsca w drugie wraz z substancją, tzn. wodą.

Wykorzystanie zjawiska konwekcji

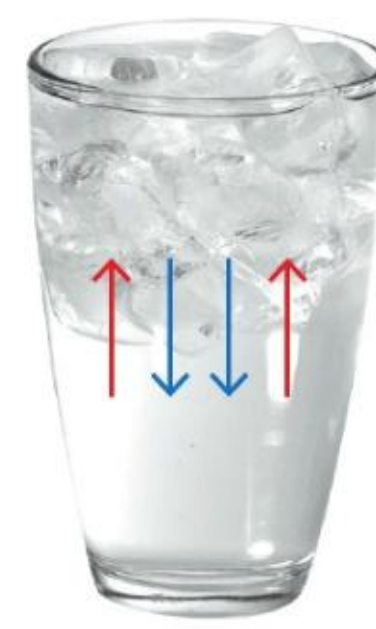
Gdybyśmy spróbowali ogrzać wodę w probówce, umieszczonej w płomieniu, to zauważylibyśmy, że górna warstwa wody wrze, a na dnie probówki może leżeć kawałek lodu (il. 1.8). Dlatego ciecze i gazy ogrzewamy od dołu (il. 1.9). Zjawisko konwekcji ma miejsce również przy schładzaniu napojów. Po wrzuceniu kostek lodu, które pływają po powierzchni napoju, schłodzony od nich napój opada, a na jego miejsce dostaje się cieplejsza ciecz (il. 1.10).



1.8 Aby ogrzać cały płyn, probówkę powinno ogrzewać się od spodu

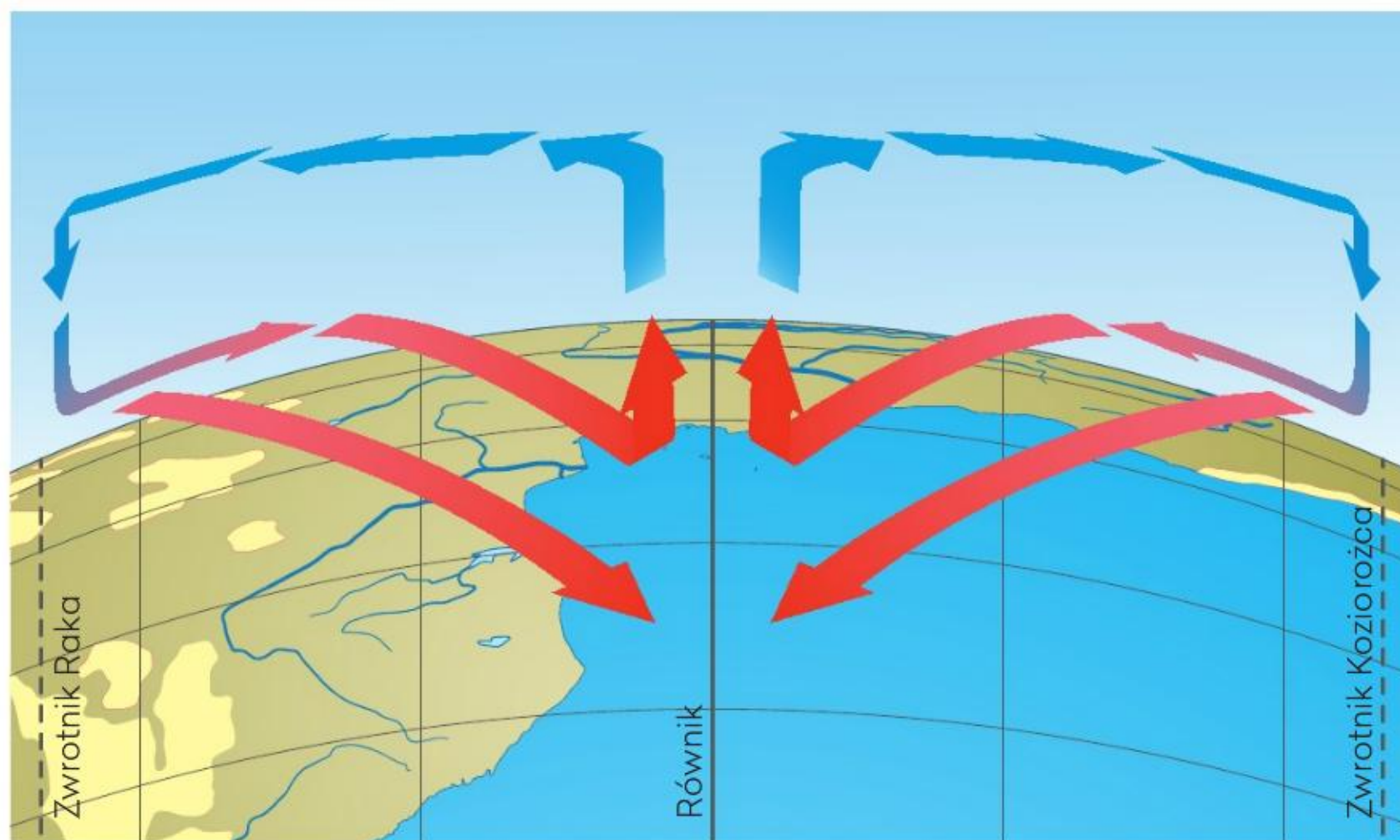


1.9 Ogrzewanie substancji od spodu powoduje szybsze jej ogrzanie



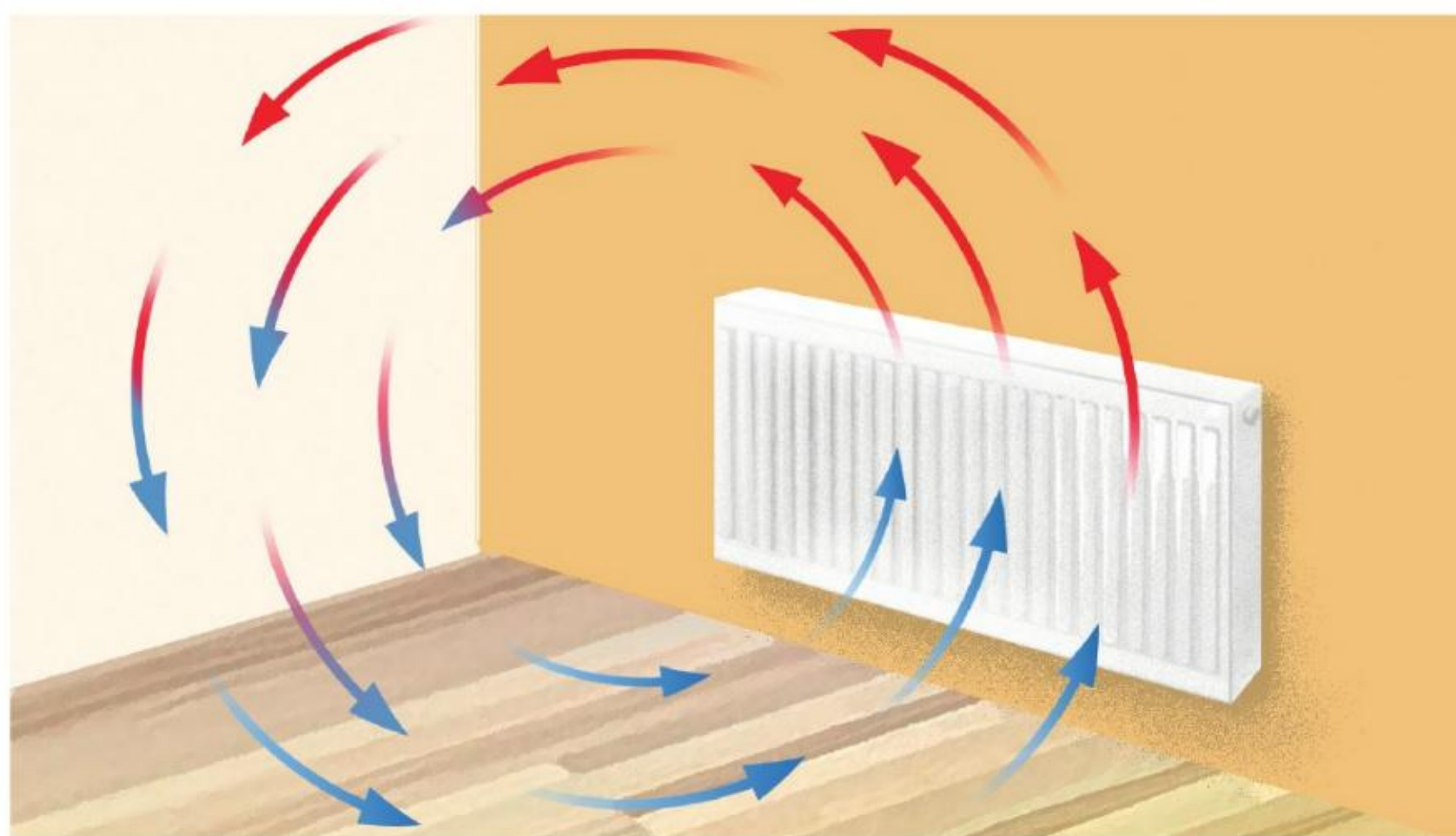
1.10 Cieplejsze warstwy płynu wędrują ku górze, chłodniejsze opadają na dno naczynia

Zjawisko konwekcji ma znaczenie w przyrodzie. Wiatry w atmosferze są prądami konwekcyjnymi o ogromnych rozmiarach (il. 1.11).



1.11 Prądy konwekcyjne w atmosferze

Dzięki konwekcji możliwe jest ogrzewanie naszych mieszkań oraz ich wentylacja (il. 1.12).



1.12 Ogrzewanie pomieszczeń dzięki konwekcji

Promieniowanie to sposób przekazywania energii wewnętrznej od ciał o wyższej temperaturze do ciał o niższej temperaturze, zachodzący nie tylko w powietrzu, ale również w próżni.

Promieniowanie

A jak dociera do Ziemi energia cieplna od Słońca? Dzieje się tak za pomocą **promieniowania**. Wszystkie ciała nagrzane przekazują energię cieplną w ten sposób i może się to odbywać bez obecności cząsteczek substancji. Im wyższa jest temperatura tych ciał, tym szybciej i więcej energii tracą one przez promieniowanie.

Doświadczenie 6.

Badamy promieniowanie cieplne

Niezbędne przedmioty: dowolne źródło ciepła (świeczka, zapalona żarówka, palnik spirytusowy), cienki zeszyt (lub tekturka wielkości zeszytu)

Wykonanie:

- Zbliź ostrożnie dłoń, z boku, do źródła ciepła. Co odczuwasz?
- Włóż zeszyt (tekturkę) między dłoń a źródło ciepła. Co tym razem odczuwasz?

Obserwacje: Najpierw odczuwamy ciepło, którego po wstawieniu tekturki nie czujemy.

Wniosek: Do ręki dociera energia w postaci ciepła w wyniku promieniowania. Nie jest to wynik konwekcji, bo rękę trzymamy z boku, ani przewodnictwa, gdyż nie dotykamy źródła ciepła.

Ciekawe!

Promieniowanie słoneczne niesie energię dochodzącą do powierzchni Ziemi. Ubiór musi odbijać, a czasem zatrzymywać energię promieniowania. Nie może zaburzać i utrudniać wymiany ciepła z otoczeniem. Dlatego w słoneczne dni zakładamy odzież o barwach jasnych, jednowarstwową, z surowców naturalnych. Zimą natomiast – odzież o barwach ciemnych i nieprzepuszczalnej bądź wielowarstwowej strukturze zawierającej powietrze jako izolator (np. kurtki puchowe).

W skrócie

- Wyróżniamy trzy sposoby cieplnego przepływu energii: przewodnictwo cieplne, konwekcja, promieniowanie.
- Przewodnictwo cieplne polega na przekazaniu energii ruchów cząsteczek, przez zderzenia z sąsiadującymi cząsteczkami, wywołanych różnicą temperatury. Transport energii odbywa się bez transportu masy.
- Konwekcja polega na unoszeniu się w górę ogrzanych warstw gazu lub cieczy. Transportowi energii towarzyszy transport masy.
- Promieniowanie zachodzi od ciał o wyższej temperaturze do ciał o niższej temperaturze nie tylko w powietrzu, ale również w próżni.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Często słyszymy powiedzenie: Zamknij drzwi, bo zimno leci! Wyjaśnij, dlaczego nie jest ono poprawne.
- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ciecze są złymi przewodnikami, ale dzięki konwekcji następuje w nich szybki transport energii.
 - B. W przypadku przewodzenia energia przekazywana jest poprzez zderzenia cząsteczek bez transportu masy, a w przypadku konwekcji transportowi energii towarzyszy transport masy.
 - C. Konwekcja zachodzi tylko w gazach.
 - D. W ubraniach pęcherzyki powietrza uwięzione są między włóknami tkaniny i to głównie one zapobiegają oddawaniu przez organizm ciepła do otoczenia.
 - E. Przekazywanie energii poprzez promieniowanie zachodzi także w próżni.
- 3 Przygotuj krótką odpowiedź na jedno z podanych pytań.
 - a) Na czym polega izolacja cieplna budynków i w jaki sposób ją się wykonuje?
 - b) Na czym polega wentylacja grawitacyjna?
 - c) Co wspólnego mają przeloty szybowców z transportem energii?

1.4 Ciepło właściwe

Podejmij temat

- Co jest łatwiej ogrzać – wodę czy olej?
- Dlaczego duża wartość ciepła właściwego wody wpływa na kształtowanie się klimatu na Ziemi?

Od czego zależy ilość pobieranego ciepła?

Wiesz już z doświadczeń, że w celu zwiększenia temperatury ciała należy dostarczyć mu określoną ilość ciepła. Zajmiemy się teraz tylko takimi przypadkami, w których wzrost energii wewnętrznej ciała następuje jedynie na skutek pobierania ciepła.

Pamiętasz z pierwszej zasady termodynamiki, że:

$$\Delta E_w = W + Q$$

$$\text{jeśli } W = 0, \text{ to } \Delta E_w = Q$$

Spróbujmy odpowiedzieć na pytanie, czy taka sama ilość ciepła jest potrzebna do ogrzania różnych mas danej substancji, w tym samym zakresie temperatur. W tym celu wykonajmy odpowiednie doświadczenie.

Doświadczenie 7.

Badamy, od czego zależy ilość ciepła pobieranego przez ciało

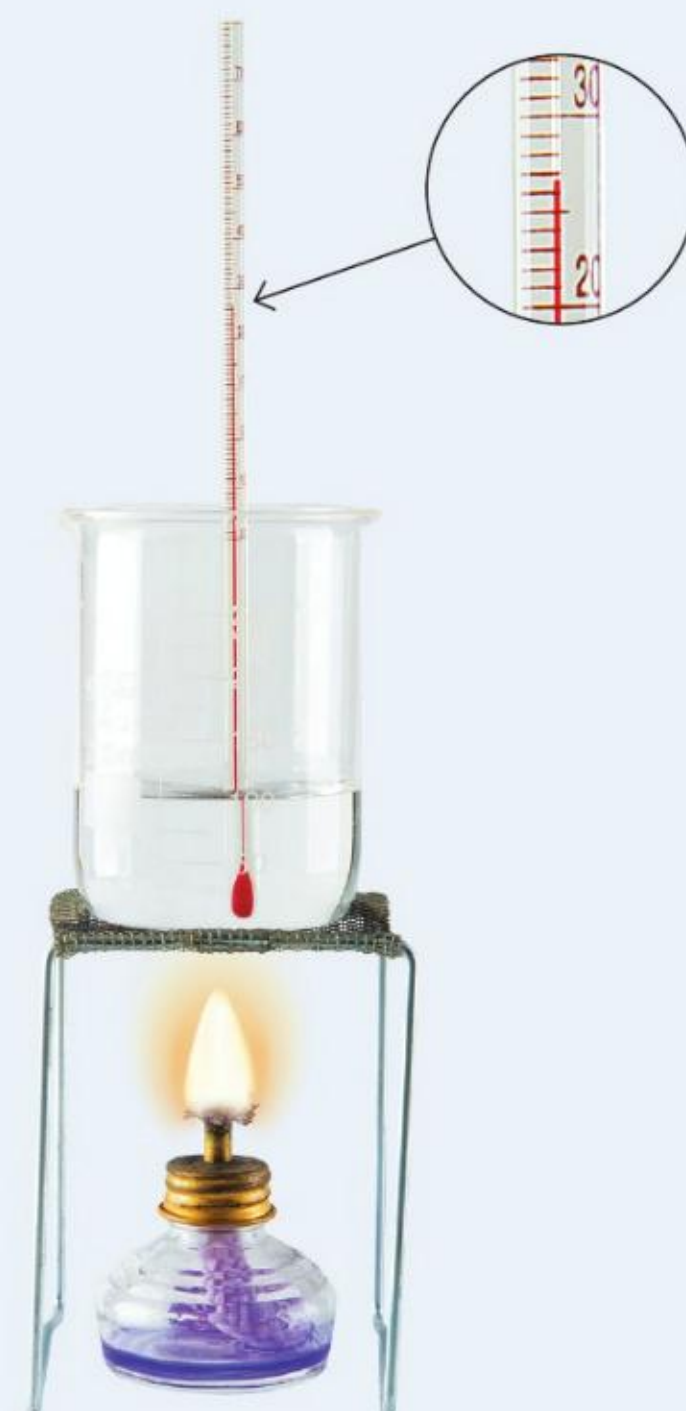
Niezbędne przedmioty: zlewka z żaroodpornego szkła, woda, palnik spirytusowy lub płyta elektryczna, termometr

Wykonanie:

- Nalej do zlewki wody o określonej objętości i temperaturze. Ogrzewaj ją w określonym czasie w płomieniu palnika (na płycie elektrycznej). Włóż termometr i obserwuj wzrost temperatury. Sprawdź, ile wynosi temperatura wody na koniec ogrzewania.
- Następnie nalej do zlewki dwa razy więcej wody o tej samej temperaturze. Ogrzewaj ją przez tyle samo czasu i sprawdź jej temperaturę końcową.

Obserwacje i wnioski:

- Im dłuższy czas ogrzewania (większa ilość dostarczonego ciepła), tym przyrost temperatury wody jest większy.
- Przy dwukrotnie większej masie wody wzrost temperatury jest około dwukrotnie mniejszy (jeśli ogrzewanie się nie zmieniało – było równomierne).



Zauważmy, że ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do przyrostu temperatury $Q \sim \Delta T$ (il. 1.13). Ponadto ilość ciepła dostarczonego wodzie jest tym większa, im większa jest masa wody $Q \sim m$. Do ogrzania dwukrotnie większej masy wody trzeba dostarczyć dwa razy więcej ciepła, aby uzyskać ten sam przyrost temperatury. Wynika stąd, że wzrost energii wewnętrznej substancji zależy również od jej masy.

Uwzględniając powyższe wnioski z obserwacji, możemy zapisać:

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

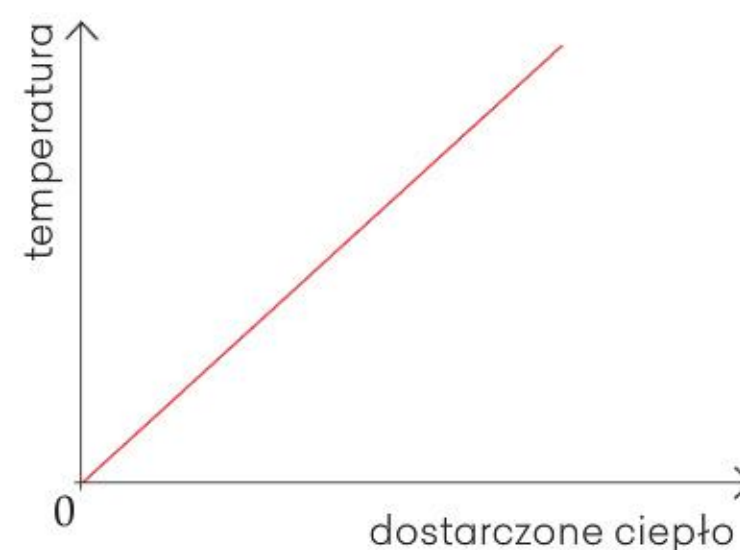
czyli ilość ciepła potrzebna do ogrzania wody jest wprost proporcjonalna do iloczynu jej masy i przyrostu temperatury.

Jak już wiesz, iloraz wielkości wprost proporcjonalnych jest stały, co zapisujemy:

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

Ciepło właściwe substancji

Sprawdźmy, czy dostarczenie takiej samej ilości ciepła różnym substancjom o jednakowej masie spowoduje jednakowy przyrost ich temperatury.



1.13 Wykres zależności przyrostu temperatury od ilości dostarczonego ciepła

Doświadczenie 8.

Badamy, czy różne substancje o tej samej masie ogrzewają się tak samo

Niezbędne przedmioty: woda i olej (o jednakowej masie i takiej samej temperaturze), aluminiowy sześciąt z haczykiem (może być walec lub kulka) na nitce, naczynie, w którym można podgrzać metal na kuchenke elektrycznej (nad palnikiem spirytusowym, w czajniku elektrycznym), termometr, termos lub owinięta ligniną zlewka, waga elektroniczna

Wykonanie:

- Przygotuj jednakowe masy wody i oleju, o tej samej temperaturze.
- Wlej do termosu wodę, zmierz jej temperaturę.
- Następnie włóż do wody w termosie wyjęty z wrzącej wody aluminiowy sześciąt.
- Zaczekaj około minuty i zmierz ustaloną temperaturę.
- Oblicz przyrost temperatury (różnicę między końcową i początkową temperaturą wody).
- Powtórz wszystkie czynności z olejem.

Obserwacje i wnioski: Dostarczenie takiej samej porcji ciepła spowodowało większy przyrost temperatury oleju niż wody.



Ciepło właściwe mówi nam, jaka ilość ciepła potrzebna jest do zmiany temperatury 1 kg substancji o 1°C lub o 1 K.

Skoro dostarczenie takiej samej ilości ciepła jednakowym masom oleju i wody spowodowało większy przyrost temperatury oleju niż wody, to oznacza, że stosunek $\frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ dla oleju i wody jest inny. Możemy też powiedzieć, że do ogrzania 1 kg oleju o 1°C potrzeba mniej ciepła niż do ogrzania 1 kg wody o 1°C. Tę stałą dla danej substancji wartość nazywamy **ciepłem właściwym** i oznaczamy literą c . Możemy więc zapisać:

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

Jednostką ciepła właściwego jest: $[c] = \frac{[Q]}{[m] \cdot [\Delta T]} = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ lub $1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Tabela 1. Ciepło właściwe różnych substancji

Ciała stałe		Ciała stałe		Ciecze		Gazy	
substancja	ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	substancja	ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	substancja	ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	substancja	ciepło właściwe $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
złoto	129	piasek	800	rtęć	138	tlen	916
ołów	130	glina	850	olej	1965	powietrze	1000
srebro	236	szkło	880	nafta	2100	azot	1050
miedź	385	aluminium	896	alkohol etylowy	2403	para wodna	1970
żelazo	452	lód	2100	gliceryna	2430	hel	5250
granit	750	drewno (dqb)	2400	woda	4190	wodór	14 300

Odczytamy z tabeli, że ciepło właściwe wody wynosi $4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. W związku z tym możemy powiedzieć, że do ogrzania 1 kg wody o 1 K (1°C) potrzebne jest dostarczenie energii równej 4190 J. Z kolei do ogrzania 1 kg lodu o 1 K (1°C) potrzeba 2100 J. Ciepło właściwe zależy nie tylko od rodzaju substancji, ale również od stanu skupienia.

Aby obniżyć temperaturę substancji o 1 K, należy odebrać taką samą ilość energii jak przy ogrzewaniu o 1 K.

Jak obliczyć ciepło pobrane?

Podsumowując – możemy stwierdzić, że ilość ciepła potrzebna do ogrzania ciała jest proporcjonalna do jego masy i przyrostu temperatury oraz zależy od rodzaju substancji, z jakiej wykonane jest ciało. Możemy zapisać to wzorem:

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

Jeśli substancja jest oziębianą, to ilość przekazanej otoczeniu energii jest proporcjonalna do jej masy i spadku temperatury.

Przykład 2.

Oblicz, ile energii potrzeba, aby podgrzać 0,5 kg wody o 10°C.

Przyjmij: $c_w = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Dane:

$$m = 0,5 \text{ kg}$$

$$\Delta T = \Delta t = 10^\circ\text{C}$$

Szukane:

$$Q = ?$$

Rozwiązanie

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

$$Q = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ kg} \cdot 10^\circ\text{C} = 21\,000 \text{ J}$$

Odpowiedź: Aby podgrzać tę wodę, należy dostarczyć 21 kJ ciepła.

Wyznaczanie ciepła właściwego wody

Żeby wyznaczyć ciepło właściwe wody, wykonamy doświadczenie.

Doświadczenie 9.

Wyznaczamy ciepło właściwe wody

Niezbędne przedmioty: grzałka (lub czajnik elektryczny o znanej mocy), termometr, zlewka, ewentualnie większa zlewka lub szklane naczynie do podgrzewania, woda (np. 0,5 kg), stoper

Wykonanie:

- Wyznacz masę wody za pomocą menzurki, pamiętaj o zależności: $m = d \cdot V$
- Wlej wodę do większej zlewki (czajnika) i zmierz jej temperaturę początkową.
- Zmierz czas (t) potrzebny na ogrzanie wody np. o 50°C.
- Zapisz moc grzałki (czajnika elektrycznego) zamieszczoną na płytce znamionowej. Jeśli podany jest określony zakres, przyjmij średnią wartość mocy.
- Oblicz ciepło właściwe wody na podstawie wyników pomiarów.
Jeśli przyjmujemy, że nie było strat ciepła, możemy zapisać, że ciepło pobrane przez wodę jest równe całej dostarczonej przez grzałkę (czajnik) energii, czyli $Q = E$
Wiedząc, jaka jest moc grzałki (czajnika) i czas ogrzewania do określonej temperatury, możemy policzyć, jaka energia została dostarczona: $E = P \cdot t$. Ciepło pobrane przez wodę możemy obliczyć ze wzoru: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$
Zatem $P \cdot t = c \cdot m \cdot \Delta T$ i stąd $c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$
- Doświadczenie możesz powtórzyć dla innych ilości wody i przyrostów temperatury.
Pamiętaj, że wynik może nie być zbyt dokładny. Rzeczywista wartość mocy grzałki (czajnika) może odbiegać od podanej wartości. Nie uwzględniamy również wymiany ciepła między wodą a naczyniem oraz między naczyniem a otoczeniem.

Uwaga! Zachowaj bezpieczeństwo przy korzystaniu z prądu sieciowego.

Wniosek: Wartość ciepła właściwego dla wody lub innej cieczy przy wykorzystaniu grzałki o znanej mocy możemy obliczyć ze wzoru: $c = \frac{P \cdot t}{m \cdot \Delta T}$

Znaczenie dużego ciepła właściwego wody

Wśród substancji, które spotykamy na co dzień, woda ma największe ciepło właściwe. Jest ono ok. 5 razy większe niż ciepło właściwe substancji (piasek, glina itp.) tworzących zewnętrzną warstwę Ziemi. To znaczy, że taka sama energia dostarczana przez Słońce w postaci promieniowania będzie powodować wolniejszy wzrost temperatury wody niż temperatury jej otoczenia. Wolniej także będzie malała temperatura wody w procesie stygnięcia. Wody mórz i oceanów stanowią więc zbiornik energii na okres nocy lub zimy. Z dużymi różnicami ciepła właściwego wód i lądów związane są różnice między klimatem morskim a lądowym (kontynentalnym). Klimat morski charakteryzuje się małymi różnicami temperatur między latem a zimą, natomiast w przypadku klimatu lądowego różnice te są duże. Właściwości wody mają więc zasadniczy wpływ na klimat i warunki atmosferyczne panujące na Ziemi.

Woda, dzięki swoim właściwościom, szeroko stosowana jest również do magazynowania i transportu ciepła, np. w układach grzewczych czy chłodzących.

Przykład 3.

Oblicz, o ile ogrzeje się 0,5 kg wody, jeśli dostarczymy jej 8400 J ciepła. Jaką temperaturę przy tej samej ilości dostarczonego ciepła uzyska 0,5 kg piasku? Przyjmij, że ciepło właściwe wody wynosi $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, a piasku $800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Dane:

$$m_1 = 0,5 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,5 \text{ kg}$$

$$c_w = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_p = 800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q = 8400 \text{ J}$$

Szukane:

$$\Delta t_1 = ?$$

$$\Delta t_2 = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na ilość ciepła potrzebną do ogrzania ciała.

$$\text{Dla wody: } Q = m_1 \cdot c_w \cdot \Delta t_1$$

$$\text{po przekształceniach otrzymujemy wzór: } \Delta t_1 = \frac{Q}{m_1 \cdot c_w}$$

$$\text{po podstawieniu danych: } \Delta t_1 = \frac{8400 \text{ J}}{0,5 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 4^\circ\text{C}$$

$$\text{Dla piasku: } \Delta t_2 = \frac{Q}{m_2 \cdot c_p}$$

$$\text{po podstawieniu wartości: } \Delta t_2 = \frac{8400 \text{ J}}{0,5 \text{ kg} \cdot 800 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} = 21^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Woda ogrzeje się o 4°C , a piasek przy tej samej ilości dostarczonego ciepła o 21°C .

Na podstawie przeprowadzonych w zadaniu obliczeń możemy stwierdzić, że woda ogrzewa się wolniej niż piasek. W upalny dzień nad morzem lub jeziorem wierzchnia warstwa piasku rozgrzewa się do wysokiej temperatury i często aż parzy w stopy. Woda wyraźnie jest chłodniejsza, nie tylko z tego powodu, że ogrzewa się wolniej, ale również dlatego, że pochłania promienie słoneczne w całej swojej objętości. Z tego powodu w upalne dni obserwujemy wiatr od morza (il. 1.14).

Bilans cieplny

Gdy przygotowujemy sobie kąpiel, często musimy mieszać wodę zimną z wodą gorącą, aby otrzymać ciepłą. Woda gorąca oddaje energię, a woda zimna ją pobiera, więc w rezultacie temperatura mieszaniny jest wyższa niż temperatura początkowa wody zimnej, ale niższa niż temperatura wody gorącej. Wykonane przez nas doświadczenie pozwoli na wyjaśnienie tego procesu. Posłużymy się **kalorymetrem** (il. 1.15). Jest to przyrząd zbudowany z dwóch, najczęściej aluminiowych naczyń (umieszczonych jedno w drugim) oddzielonych podkładką z drewna, szczelnie przykrytych. Czasami pomiędzy naczyniami kalorymetru znajduje się styropian. Dobra izolacja naczyń wewnętrznych pozwala uniknąć strat energii w wyniku wymiany ciepła z otoczeniem.



1.14 Powstawanie bryzy morskiej



1.15 Kalorymetr

Doświadczenie 10.

Określamy wymianę ciepła między ciałami – układamy bilans cieplny

Niezbędne przedmioty: kalorymetr, termometr, gorąca i zimna woda, zlewka

Wykonanie:

- Do kalorymetru włóż termometr i specjalne mieszadełko.
- Wlej pewną, określoną masę m_1 wody zimnej o temperaturze t_1 , dolej nieznaną, ale określoną przez kolegę (nauczyciela) masę m_2 wody gorącej o temperaturze t_2 , i zamieszaj.
- Po chwili temperatura mieszaniny się ustali. Odczytaj wówczas temperaturę końcową (t_k), gdzie $t_1 < t_k < t_2$.
- Oblicz masę m_2 , wykorzystując zasadę zachowania energii.

Dla ułatwienia obliczeń nie uwzględniamy wymiany ciepła z kalorymetrem i mieszadełkiem.

Ciepło pobrane przez wodę zimną obliczamy za pomocą wzoru: $Q_p = c \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1)$

Ciepło oddane przez wodę gorącą podobnie: $Q_o = c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_k)$

Ilość ciepła pobranego przez wodę o niższej temperaturze (zimną) jest równa ilości ciepła oddanego przez wodę o wyższej temperaturze (gorącą). A więc zgodnie z zasadą zachowania energii: $Q_p = Q_o$

lub ostatecznie

$$c \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1) = c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_k)$$

To równanie nazywane jest **bilansem ciepła**.

Z niego obliczysz: $m_2 = \frac{c \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1)}{c \cdot (t_2 - t_k)} = \frac{m_1 \cdot (t_k - t_1)}{(t_2 - t_k)}$ lub dowolną szukaną wielkość.

Wniosek: W układzie zamkniętym ilość ciepła pobranego przez ciało i ilość ciepła oddanego przez inne ciało są takie same.



Przykład

Do dzbanka nalano 0,6 kg wody o temperaturze 10°C, następnie dolano 0,2 kg wody o temperaturze 90°C. Ile wyniesie temperatura wody w dzbanku po jej wymieszaniu? Straty energii pomijamy.

Dane:

$$m_1 = 0,6 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,2 \text{ kg}$$

$$t_1 = 10^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 90^\circ\text{C}$$

Szukane:

$$t_k = ?$$

Rozwiązanie

Posłużymy się zasadą zachowania energii.

Ilość ciepła oddana przez gorącą wodę:

$$Q_0 = c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_k)$$

Ilość ciepła pobrana przez wodę zimną:

$$Q_p = c \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1)$$

Porównujemy:

$$Q_0 = Q_p$$

Po podstawieniu i przekształceniu:

$$c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_k) = c \cdot m_1 \cdot (t_k - t_1) \quad / : c$$

$$m_2 \cdot t_2 - m_2 \cdot t_k = m_1 \cdot t_k - m_1 \cdot t_1$$

$$m_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot t_1 = m_1 \cdot t_k + m_2 \cdot t_k$$

$$m_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot t_1 = t_k (m_1 + m_2)$$

$$t_k (m_1 + m_2) = m_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot t_1$$



$$\text{Wyznaczamy: } t_k = \frac{m_2 \cdot t_2 + m_1 \cdot t_1}{m_1 + m_2}$$

$$t_k = \frac{0,2 \text{ kg} \cdot 90^\circ\text{C} + 0,6 \text{ kg} \cdot 10^\circ\text{C}}{0,6 \text{ kg} + 0,2 \text{ kg}} = \frac{24 \text{ kg} \cdot ^\circ\text{C}}{0,8 \text{ kg}} = 30^\circ\text{C}$$

Odpowiedź: Temperatura mieszaniny wyniesie 30°C.

W skrócie

- Ciepło właściwe informuje nas, jaka ilość ciepła potrzebna jest do zmiany temperatury 1 kg substancji o 1°C lub o 1 K.

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

Jednostką ciepła właściwego jest $[c] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ lub $1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

- Różne substancje mają różne ciepła właściwe.
- Jeśli zajmujemy się zjawiskami, w których wzrost energii wewnętrznej ciała następuje jedynie na skutek pobierania ciepła $\Delta E_w = Q$ przy $W = 0$, to ciepło potrzebne do ogrzania o ΔT określonej masy substancji możemy obliczyć ze wzoru: $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

Rozwiązując zadania, korzystaj z tabeli ciepła właściwego (tabela 1., s. 40) i tabeli gęstości (poniżej).

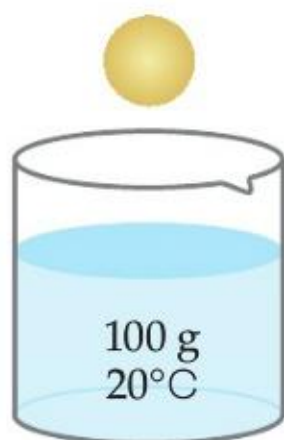
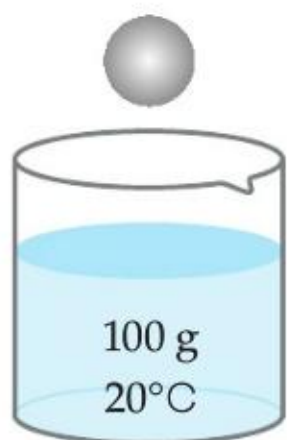
Substancja	Gęstość ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$)	Gęstość ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$)
aluminium	2700	2,7
mosiądz	8600	8,6
nafta	810	0,81
ołów	11 000	11
powietrze	1,29	0,00129
woda (4°C)	1000	1
złoto	19 300	19,3

1 Oblicz, ile energii potrzeba, aby podgrzać:

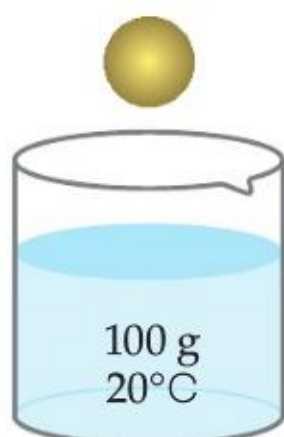
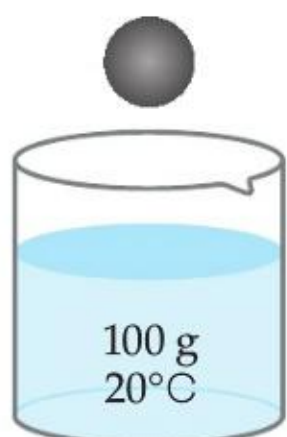
- a) 100 g wody o 1°C b) 1 kg nafty o 10°C
c) 0,5 kg ołowiu o 10°C d) 5 kg powietrza 5°C

2 W którym naczyniu po wrzuceniu kulek i wyrównaniu temperatury woda będzie najcieplejsza?

- A. 1 cm³ aluminium, 100°C B. 100 g złota, 100°C

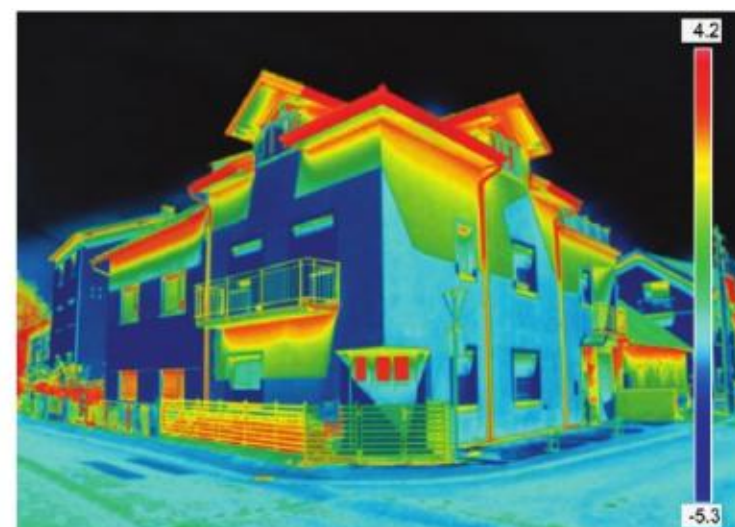


- C. 1 cm³ ołowiu, 100°C D. 1 cm³ mosiądzu, 100°C



3 Dlaczego w dzień zawsze wieje wiatr od morza? Odszukaj informacje na temat bryzy morskiej (diennej) i bryzy lądowej (nocnej) oraz wyjaśnij powstawanie tych zjawisk w oparciu o posiadaną przez siebie wiedzę z fizyki.

Ciekawe!



Kamera termowizyjna wizualizuje temperatury za pomocą termografii. Zjawisko termowizji znajduje szereg zastosowań, między innymi w budownictwie. Dzięki zastosowaniu kamer termowizyjnych można zlokalizować wady izolacji termicznej budynków.

1.5 Przemiany energii w procesach topnienia i parowania

Podejmij temat

- Dlaczego podczas topnienia lodu jego temperatura nie wzrasta mimo dostarczanej energii?

Proces topnienia substancji

Poznałeś już proces topnienia i krzepnięcia substancji, znasz je również z życia codziennego. Wiesz, że w czasie topnienia ciała stałego zmieniają się odległości między jego cząsteczkami i ciało zmienia swój stan na ciekły.

Ciała o budowie krystalicznej, w których cząsteczki ułożone są regularnie, zmieniają swój stan skupienia w stałej temperaturze. Przeprowadzimy doświadczenie, aby to sprawdzić. Zastanowimy się również, co się dzieje z energią wewnętrzną podczas procesu topnienia substancji.

Doświadczenie 11.

Obserwujemy topnienie substancji

Hipoteza: Podczas procesu topnienia temperatura ciała się nie zmienia.

Niezbędne przedmioty: zlewka 250 ml (szklanka), jedno niewysokie większe naczynie (może być niska zlewka), 2 termometry, około 0,25 kg pokruszonego lodu, około pół kostki masła (lub kubeczek masła roślinnego), gorąca woda

Wykonanie:

- Wrzuć pokruszony lód do zlewki (szklanki) i wstaw termometr tak, aby zbiorniczek termometru przykryty był lodem. Obserwuj wskazania termometru do momentu całkowitego stopienia się substancji i potem jeszcze przez chwilę.
- Zlewkę z masłem (lub kubeczek masła roślinnego) wstaw do naczynia z gorącą wodą. Włóż do masła termometr tak, aby cały zbiorniczek termometru był w maśle, obserwuj jego wskazania do czasu, aż masło w całości się stopi, a potem jeszcze przez chwilę.

Obserwacje:

- Termometr umieszczony w lodzie wskazuje cały czas 0°C (blisko 0°C) do momentu całkowitego stopienia lodu.
- W trakcie topnienia masła temperatura cały czas rośnie.

Wniosek:

Temperatura topnienia lodu (w normalnych warunkach, tzn. przy ciśnieniu atmosferycznym 1013 hPa) wynosi 0°C . **Temperatura nie zmienia się, dopóki całe ciało krystaliczne się nie stopi.** Aby sieć została rozerwana, musi wzrosnąć wzajemna energia potencjalna cząsteczek, które muszą się od siebie oddalić. W tym czasie średnia energia kinetyczna ich ruchu nie zmienia się, czyli temperatura pozostaje stała. Dostarczana energia (ciepło) z zewnątrz jest zużywana na zburzenie sieci krystalicznej – stopienie lodu. Jeśli ciągle będziemy dostarczać energii (ciepła), temperatura cieczy powstałej z ciała stałego podniesie się. Masło jest ciałem bezpostaciowym (amorficznym), w którym cząsteczki nie są ułożone w sposób regularny. W miarę dostarczania ciepła masło staje się miękkie i topi się, a temperatura praktycznie cały czas rośnie.



Ciepło topnienia substancji

Energia potrzebna do stopienia określonej masy danej substancji jest wprost proporcjonalna do tej masy: $Q \sim m$, wtedy $\frac{Q}{m} = \text{const}$

Iloraz ten, zwany ciepłem topnienia, informuje nas, ile energii (ciepła) potrzeba do stopienia 1 kg danej substancji (bez zmiany temperatury). Wielkość tę oznaczamy symbolem q_t i obliczamy, stosując wzór:

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

Jednostką ciepła topnienia jest $[q_t] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Tabela 2. Temperatuty topnienia i ciepło topnienia substancji

Substancja	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło topnienia ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)	Substancja	Temperatura topnienia (°C)	Ciepło topnienia ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)
alkohol etylowy	-114	105 000	ołów	327	25 000
rtęć	-39	12 000	żelazo	1535	270 000
lód (woda)	0	334 000	wolfram	3420	193 000

Aby obliczyć ilość energii potrzebną do stopienia pewnej masy substancji, zastosujemy wzór: $Q = m \cdot q_t$

Krzepnięcie substancji, ciepło krzepnięcia

Już wiesz, że podczas topnienia dostarczona energia zostaje zużyta na zniszczenie sieci krystalicznej układu cząsteczek ciała stałego, a nie na zwiększenie prędkości cząsteczek. W związku z tym energia kinetyczna cząsteczek nie zmienia się, a to oznacza, że temperatura substancji pozostaje bez zmian. Cząsteczki poruszają się, ale nie całkiem bezładnie. Ciecz w naczyniu jest częściowo uporządkowana. Jej cząsteczki są ze sobą związane, jednak już nie tak ściśle. Odwrotnie jest podczas procesu krzepnięcia (il. 1.16). Ciecz oddaje chłodniejszemu otoczeniu ciepło, w takiej samej ilości, jakie byłoby potrzebne, aby stopić ciało stałe w tę ciecz.

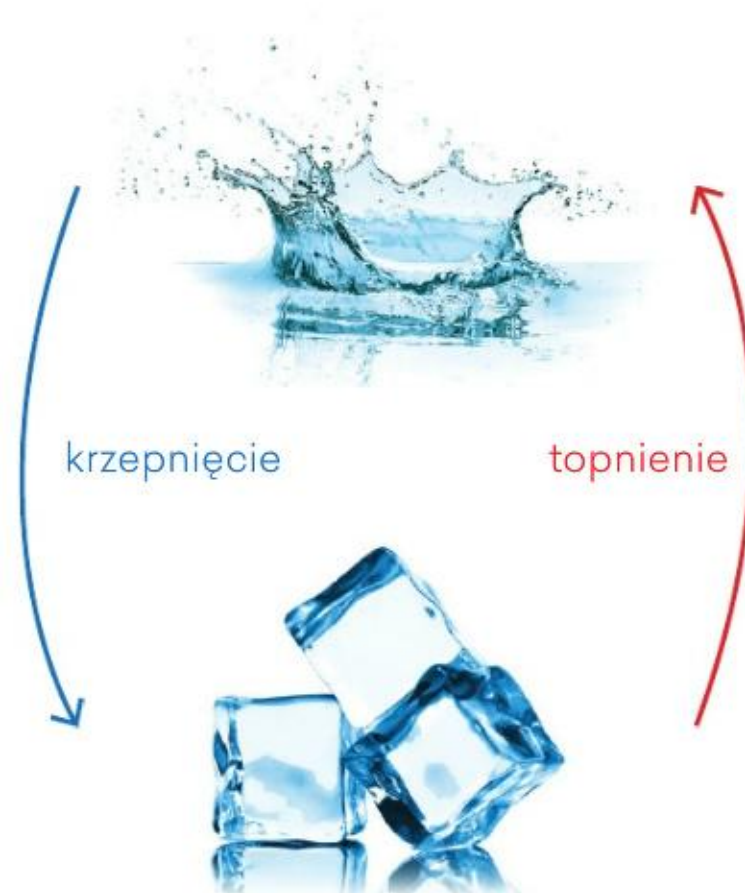
Ciepło krzepnięcia (q_k) informuje nas, jaka ilość energii (ciepła) została oddana przez 1 kg krzepnącej substancji (bez zmiany jej temperatury). Obliczamy je, stosując wzór:

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

Jednostką ciepła krzepnięcia jest $[q_k] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$



Czasami zamiast q_t stosowane są również inne oznaczenia, np. c_t lub Q_t .



1.16 Procesy topnienia i krzepnięcia

Aby obliczyć ilość energii oddanej przez krzepnącą substancję, zastosujemy wzór:

$$Q = m \cdot q_k$$

Dla danej substancji krystalicznej wartości ciepła topnienia i krzepnięcia są jednakowe:

$$q_k = q_t$$

Przykład 4.

Bryłę lodu o masie 1 kg i temperaturze -10°C ogrzano i stopiono w temperaturze 0°C . Ile energii dostarczono w tym procesie? Narysuj wykres zależności temperatury od dostarczonej energii.

Dane:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$t_1 = -10^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$c_1 = 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$q_t = 334\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$Q = ?$$

Rozwiązanie

Energię potrzebną do ogrzania lodu do temperatury 0°C obliczymy ze wzoru: $Q_1 = m \cdot c_1 \cdot (t_2 - t_1)$

Po podstawieniu danych: $Q_1 = 1 \text{ kg} \cdot 2100 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (0^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})) = 1 \cancel{\text{kg}} \cdot 2100 \frac{\text{J}}{\cancel{\text{kg}} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 10^{\circ}\text{C} = 21\,000 \text{ J}$

Energię potrzebną na stopienie lodu obliczymy

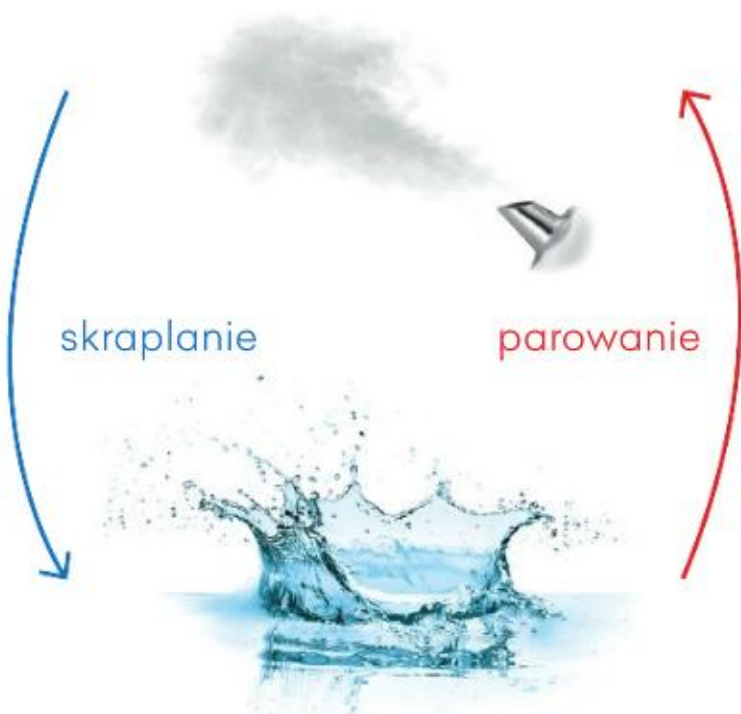
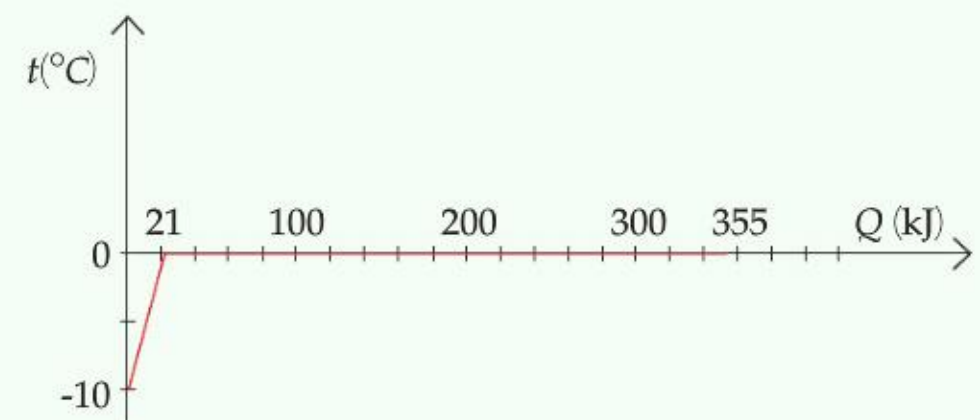
ze wzoru: $Q_2 = m \cdot q_t$

$$Q_2 = 1 \text{ kg} \cdot 334\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 334\,000 \text{ J}$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 21\,000 \text{ J} + 334\,000 \text{ J} = 355\,000 \text{ J} = 355 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: W tym procesie dostarczono 355 kJ energii.



1.17 Procesy parowania i skraplania

Parowanie i skraplanie

Przyjrzymy się teraz bliżej parowaniu i skraplaniu (il. 1.17). Jak pamiętasz, parowanie polega na zmianie stanu skupienia z ciekłego w gazowy (lotny). Zachodzi np. na powierzchni wody w temperaturze powyżej 0°C , a poniżej 100°C . W tej temperaturze bowiem istnieją w cieczy cząsteczki o energii na tyle dużej, że kontakt z cieczą zostaje zerwany, ponieważ siły spójności są za małe, aby temu zapobiec. Szybkość parowania zależy od rodzaju cieczy; od temperatury – im wyższa temperatura, tym ciecz paruje szybciej; od wielkości powierzchni parowania – im większa powierzchnia, tym szybciej paruje ciecz; od ciśnienia; wilgotności powietrza; ruchu powietrza nad powierzchnią parującą.

Skraplanie polega na zmianie stanu skupienia z gazowego (lotnego) w ciekły.

Wrzenie

Wrzenie jest to gwałtowne parowanie odbywające się w całej objętości cieczy, w ściśle określonej temperaturze (przy stałym ciśnieniu). Woda wrze w temperaturze 100°C przy ciśnieniu $p = 1013 \text{ hPa}$. Z wody wydostają się pęcherzyki pary wodnej i gazów rozpuszczonych w wodzie. Wykonaj proste doświadczenie, aby się przekonać, że temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia.

Doświadczenie 12.

Badamy, czy temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia

Hipoteza: Woda pod zmniejszonym ciśnieniem wrze w niższej temperaturze.

Niezbędne przedmioty: część I – duża strzykawka, ewentualnie termometr, gorąca woda;
część II – pompa próżniowa (lub pojemnik próżniowy), zlewka z wodą o temperaturze około 80°C , termometr

Wykonanie:

Uwaga! Wysoka temperatura – możliwość oparzenia.

Część I (możesz wykonać w domu)

- Do strzykawki nalej wody o temperaturze ok. 90°C (odciągnij tłok i wciągnij około $\frac{1}{4}$ pojemności strzykawki).
- Obróć strzykawkę tłokiem w dół i palcem zatkaj szczelnie otwór strzykawki.
- Odciągnij tłok strzykawki i obserwuj znajdującą się w niej wodę.

Część II

- Do zlewki nalej gorącej wody (około 80°C) i umieść ją pod kloszem pompy próżniowej (wstaw do pojemnika próżniowego).
- Zmierz termometrem i zapisz temperaturę wody.
- Wypompowuj powietrze spod klosza i obserwuj wodę w zlewce.
- Następnie otwórz zawór pompy, zdejmij klosz (otwórz pojemnik próżniowy) i szybko zmierz temperaturę wody w zlewce.

Obserwacje:

Część I

- Obserwujemy wrzenie cieczy (mimo że jej temperatura jest niższa niż 100°C) spowodowane gwałtownym zmniejszeniem ciśnienia powietrza zamkniętego nad wodą w strzykawce.

Część II

- Po obniżeniu ciśnienia pod kloszem pompy obserwujemy wrzenie wody w zlewce, tym intensywniejsze, im ciśnienie jest niższe.
- Temperatura wody, zmierzona po otwarciu pompy (pojemnika), jest niższa niż temperatura wody przed obniżaniem ciśnienia.

Wnioski:

Odciągnięcie tłoka strzykawki lub zmniejszenie ciśnienia nad powierzchnią wody w pompie lub pojemniku próżniowym powoduje obniżenie temperatury wrzenia. Ciecz wrze, choć jej temperatura jest mniejsza niż 100°C . Prowadzi to nas do wniosku, że woda pod zmniejszonym ciśnieniem wrze w niższej temperaturze. Szybkie obniżenie ciśnienia powietrza nad wodą powoduje wzrost szybkości parowania cieczy. Odbywa się to kosztem jej energii wewnętrznej i skutkuje obniżeniem temperatury wody w zlewce.



Temperatura, w której ciecz wrze, nosi nazwę **temperatury wrzenia**. Dla każdej cieczy proces przebiega podobnie. **Temperatura wrzenia nie wzrasta, dopóki cała ciecz nie zamieni się w gaz.**



Ciepło parowania

Parowaniu i wrzeniu towarzyszy zawsze obniżanie się temperatury, gdyż ucieczka najszybszych cząsteczek cieczy zmniejsza średnią energię kinetyczną pozostałych cząsteczek. Utrzymanie stałej temperatury w trakcie wrzenia cieczy wymaga dostarczania energii.

Energia ta jest wprost proporcjonalna do masy m cieczy: $Q \sim m$, a $\frac{Q}{m} = \text{const.}$

Ilość energii potrzebną do wyparowania 1 kg cieczy (w temperaturze wrzenia) nazywamy ciepłem parowania (q_p).

Obliczamy je, stosując wzór:

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

Jednostką ciepła parowania jest $[q_p] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Ciepło parowania wody wynosi $2258 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$. Oznacza to, że do przemiany 1 kg wody o temperaturze 100°C w parę o tej samej temperaturze potrzeba 2258 kJ energii. Fakt, że woda ma duże ciepło parowania, wykorzystujemy przy schładzaniu poparzonej skóry zimną wodą, która – parując – pobiera z otoczenia, a więc i z poparzonej skóry, dużo ciepła – schładza skórę i zmniejsza ból.

Aby obliczyć ilość energii potrzebnej do wyparowania cieczy w temperaturze wrzenia, stosujemy wzór:

$$Q = m \cdot q_p$$



Ciepło skraplania

Doprowadzając energię potrzebną do wyparowania cieczy, rozbijamy częściowo strukturę cząsteczkową cieczy. Ciecz staje się gazem, w którym cząsteczki poruszają się chaotycznie. Odwrotnie jest przy przemianie pary w ciecz. Zostaje wtedy uwolniona ta sama ilość energii, którą musieliśmy dostarczyć podczas wyparowywania cieczy.

Ilość energii oddana przez 1 kg skraplającej się pary nazywamy ciepłem skraplania (w stałej temperaturze).

Obliczamy ją, stosując wzór:

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

q_s – ciepło skraplania



Możliwe są również inne oznaczenia ciepła parowania, np. c_p , Q_p .

Jednostką ciepła skraplania jest $[q_s] = 1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

Dla danej substancji wartości ciepła parowania i skraplania są jednakowe:

$$q_p = q_s$$

Tabela 3. Temperatura wrzenia i ciepło parowania w temperaturze wrzenia wybranych substancji (pod normalnym ciśnieniem)

Substancja	Temperatura wrzenia (°C)	Ciepło parowania ($\frac{\text{J}}{\text{kg}}$)
wodór	-253	465 000
alkohol etylowy	78	854 000
woda	100	2 258 000
rtęć	356	285 000
ołów	1750	871 000
żelazo	2800	6 320 000
wolfram	5900	4 000 000

Przykład 5.

Ile energii należy dostarczyć, aby 1 kg wody o temperaturze 30°C doprowadzić do wrzenia i odparować ją w temperaturze wrzenia?

Dane:

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$t_1 = 30^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$c_w = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$q_p = 2\,258\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Szukane:

$$Q = ?$$

Rozwiązanie

Energię potrzebną do ogrzania wody od temperatury 30°C do temperatury 100°C obliczymy ze wzoru:

$$Q_1 = m \cdot c_w \cdot (t_2 - t_1)$$

Po podstawieniu danych:

$$Q_1 = 1 \text{ kg} \cdot 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} (100^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) = 294\,000 \text{ J} = 294 \text{ kJ}$$

Energię potrzebną na wyparowanie wody obliczymy ze wzoru:

$$Q_2 = m \cdot q_p$$

$$Q_2 = 1 \text{ kg} \cdot 2\,258\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 2\,258\,000 \text{ J} = 2\,258 \text{ kJ}$$

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 294 \text{ kJ} + 2\,258 \text{ kJ} = 2\,552\,000 \text{ J} = 2\,552 \text{ kJ}$$

Odpowiedź: Aby odparować 1 kg wody o temperaturze 30°C, trzeba dostarczyć 2552 kJ energii.

Ciekawe!

Postęp techniczny wymusza odprowadzanie dużych ilości energii generowanej przez nowoczesne urządzenia, aby mogły sprawnie funkcjonować. Dokonuje się tego w procesie wrzenia. Ten sposób chłodzenia zastosowano m.in. w Wielkim Zderzaczach Hadronów w Genewie.

W skrócie

- Topnienie i krzepnięcie substancji krystalicznej zachodzi w stałej, charakterystycznej dla danej substancji temperaturze. Ciała bezpostaciowe nie mają określonej temperatury topnienia i krzepnięcia.
- Ciepło topnienia (q_t) informuje nas, ile energii (ciepła) potrzeba do stopienia 1 kg danej substancji (bez zmiany temperatury). Ciepło krzepnięcia (q_k) informuje nas, ile energii oddaje otoczeniu 1 kg krzepnącej cieczy (bez zmiany temperatury). Ciepło topnienia (i krzepnięcia) obliczamy ze wzoru:
$$q_t = \frac{Q}{m} = q_k$$
 Wielkości te wyrażamy w $\frac{\text{J}}{\text{kg}}$.
- Ilość ciepła pobranego w czasie topnienia ($Q = m \cdot q_t$), od otoczenia o wyższej temperaturze, powoduje wzrost energii wewnętrznej ciała ($Q = \Delta E_w$). Rośnie energia potencjalna cząsteczek, a średnia energia kinetyczna cząsteczek się nie zmienia. W czasie krzepnięcia zmniejsza się energia wewnętrzna ciała o ilość ciepła oddanego do otoczenia o niższej temperaturze ($\Delta E_w = Q = m \cdot q_k$). Ilość ciepła pobranego w procesie topnienia jest taka sama, jak ilość ciepła oddanego podczas krzepnięcia.
- Parowanie zachodzi w każdej temperaturze. Parująca ciecz pobiera z otoczenia ciepło ($Q = m \cdot q_p$), które zwiększa jej energię wewnętrzną.
- Wrzenie to gwałtowne parowanie odbywające się w całej objętości cieczy. Zachodzi w ściśle określonej dla każdej cieczy temperaturze, zależnej od ciśnienia, zwanej temperaturą wrzenia.
- Ciepło parowania (q_p) to ilość energii potrzebna do wyparowania 1 kg cieczy (w stałej temperaturze): $q_p = \frac{Q}{m}$
- Skraplająca się para oddaje do otoczenia ciepło. Podczas skraplania energia wewnętrzna substancji maleje.
- Dla danej substancji ciepło parowania jest równe ciepłu skraplania: $q_p = q_s$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

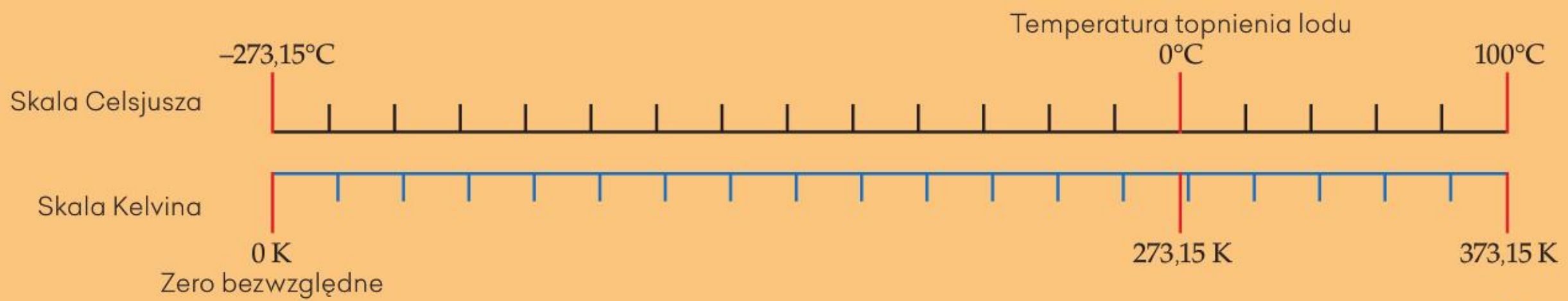
- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ilość energii potrzebna do stopienia danej substancji jest proporcjonalna do masy tej substancji.
 - B. W czasie topnienia lodu temperatura mieszaniny lodu i wody powoli się podnosi.
 - C. Ilość energii potrzebna do stopienia 1 kg lodu jest taka sama, jak ilość energii, którą oddaje 1 kg wody przy krzepnięciu.
- 2 Wyjaśnij.
 - a) Dlaczego dmuchamy na gorącą herbatę?
 - b) Jaką rolę w naszym organizmie spełnia pocenie się?
 - c) Dlaczego po wyjściu z kąpieli odczuwamy chłód?
 - d) Czy bardziej boli oparzenie gorącą wodą czy parą wodną?
- 3 Oblicz w zeszycie, ile energii należy dostarczyć, aby zamienić 1 kg lodu o temperaturze 0°C w parę wodną (o temperaturze wrzenia).

Podsumowanie działu 1

Ważne pojęcia

temperatura	skala Kelvina	temperatura zera bezwzględnego	skala Celsjusza	energia wewnętrzna
cieplny przepływ energii	ciepło	pierwsza zasada termodynamiki		przewodnictwo cieplne
konwekcja	promieniowanie	ciepło właściwe	ciepło topnienia	ciepło krzepnięcia
temperatura topnienia	temperatura krzepnięcia	wrzenie	ciepło parowania	ciepło skraplania

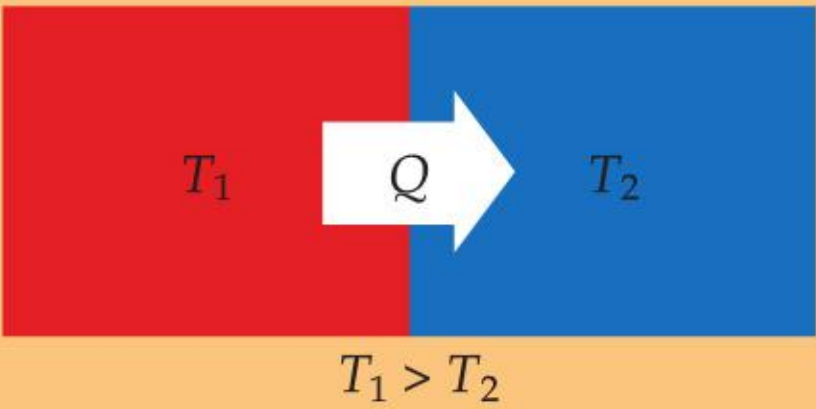
Temperatura ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek, z których zbudowane jest ciało. Im większa jest średnia energia kinetyczna cząsteczek substancji, tym wyższa jest jej temperatura.



W niektórych krajach na świecie, w tym w USA, stosowana jest skala temperatur w stopniach Fahrenheita (°F). Temperaturę między skalami Celsjusza a Fahrenheita należy przeliczyć, stosując odpowiednie wzory, gdyż 1°F nie jest równy 1°C.

$$t_C = \frac{5}{9}(t_F - 32)$$
$$t_F = 32 + \frac{9}{5}t_C$$

Gdy zetkniemy ze sobą dwa ciała o różnych temperaturach, to następuje przekazywanie energii z ciała o temperaturze wyższej do ciała o temperaturze niższej. Ten sposób przekazywania energii nazywamy cieplnym przepływem energii.



Energia wewnętrzna to suma energii kinetycznych wszystkich cząsteczek, z których zbudowane jest ciało, i ich energii potencjalnych wzajemnego oddziaływania.

Pierwsza zasada termodynamiki:

Energję wewnętrzną ciała	możemy zmienić przez	wykonanie nad ciałem pracy (W),	$\Delta E_w = W + Q$
		przekazanie ciepła (Q),	
		lub równocześnie: wykonanie pracy i przekazanie ciepła.	

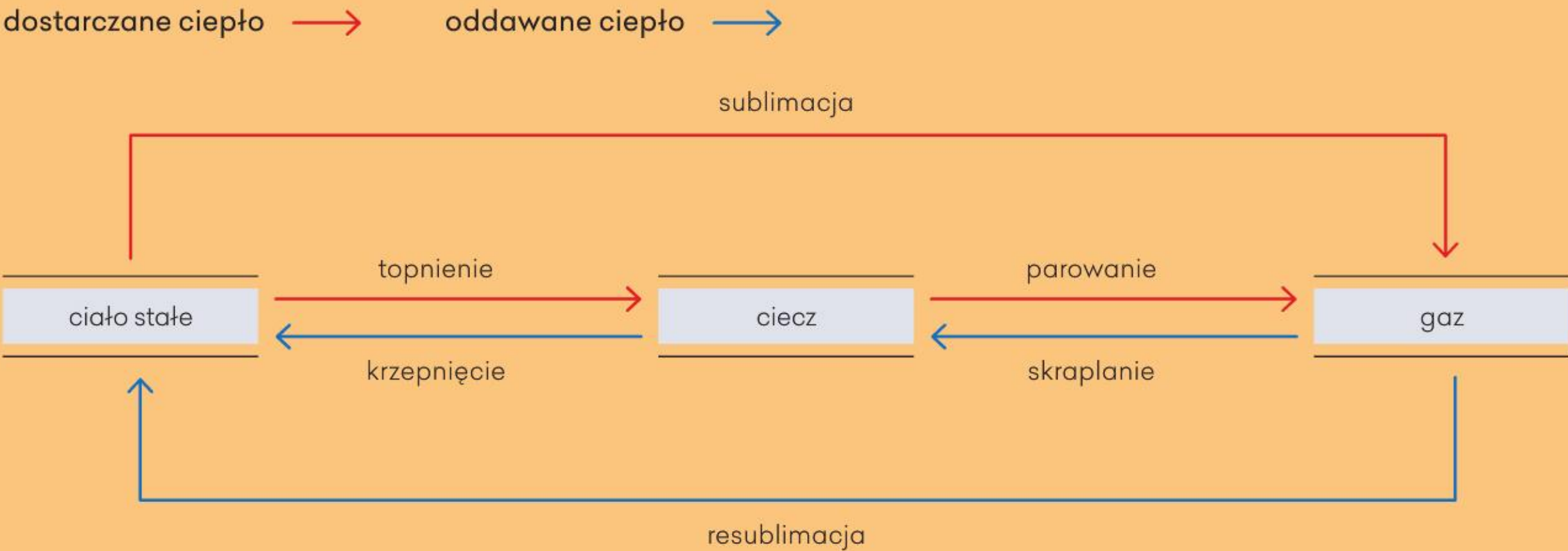
Sposoby ciepłego przepływu energii:

Przewodnictwo ciepłe	Konwekcja	Promieniowanie
polega na przekazaniu energii ruchów cząsteczek, przez zderzenia z sąsiadującymi cząsteczkami, wywołane różnicą temperatury; transport energii odbywa się bez transportu masy	polega na unoszeniu w górę ogrzanych warstw gazu lub cieczy; transportowi energii towarzyszy transport masy	zachodzi od ciał o wyższej temperaturze do ciał o niższej temperaturze, nie tylko w powietrzu, ale również w próżni

Przy $W = 0$:

zmiana energii wewnętrznej $\Delta E_w = Q$ (dostarczanie lub odbieranie ciepła)	i	zmienia się temperatura ciała (ochładzanie, ogrzewanie) – zmiana średniej energii kinetycznej cząsteczek ciała	→ $Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ c – ciepło właściwe, można je obliczyć ze wzoru: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ – ciepło właściwe określa, jaka ilość ciepła potrzebna jest do zmiany temperatury 1 kg substancji o 1°C lub o 1 K – jednostką ciepła właściwego jest 1 $\frac{J}{kg \cdot K}$ lub 1 $\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$
		nie zmienia się temperatura – zmiana średniej energii potencjalnej wzajemnego oddziaływania cząsteczek – zmiana stanu skupienia (topnienie, krzepnięcie, parowanie, skraplanie)	→ – ilość ciepła pobranego w czasie topnienia: $Q = m \cdot q_t$ – ilość ciepła oddanego w czasie krzepnięcia: $Q = m \cdot q_k$ $q_t = q_k$ – ciepło topnienia określa, ile energii (ciepła) potrzeba do stopienia 1 kg danej substancji (bez zmiany temperatury) $q_t = \frac{Q}{m} = q_k$ – ilość ciepła pobranego w czasie parowania: $Q = m \cdot q_p$ – ilość ciepła oddanego w czasie skraplania: $Q = m \cdot q_s$ $q_p = q_s$ – ciepło parowania określa, ile energii (ciepła) potrzeba do zamiany w parę 1 kg danej substancji (bez zmiany temperatury) $q_p = \frac{Q}{m} = q_s$ – wielkości te wyrażamy w $\frac{J}{kg}$

Zmiany stanów skupienia:



Czy już umiesz? Sprawdź się!

1 Która ze wskazanych temperatur jest najwyższa?

- A. -15°C B. 260 K C. -18°C D. 268 K

2 Jednostką ciepła jest

- A. stopień Celsjusza. B. dżul. C. kelwin. D. wat.

3 Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Gdy gorąca herbata stygnie,

energia wewnętrzna herbaty	A.	zwiększa się.	Średnia energia kinetyczna cząsteczek	A.	zwiększa się,	a cząsteczki poruszają się	A.	szybciej.
	B.	nie zmienia się.		B.	nie zmienia się,		B.	tak samo.
	C.	się zmniejsza.		C.	zmniejsza się,		C.	wolniej.

4 Na rysunkach przedstawiono naczynia z wodą. Wykorzystaj informacje z rysunków i wybierz poprawne zakończenia zdań w punktach a)–d).



a) Największą średnią energię kinetyczną mają cząsteczki w naczyniu

- A. I. B. II. C. III. D. IV.

b) Największą energię wewnętrzną ma woda w naczyniu

- A. I. B. II. C. III. D. IV.

c) Do każdego z naczyń wrzucono identyczną bryłkę aluminiową o temperaturze 100°C . Najmniej podniosła się temperatura w zlewce

- A. I. B. II. C. III. D. IV.

d) Jeśli w każdym naczyniu wodę ogrzano o 20°C , to najwięcej ciepła dostarczono do naczynia

- A. I. B. II. C. III. D. IV.

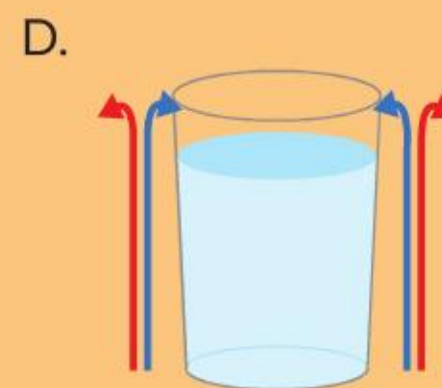
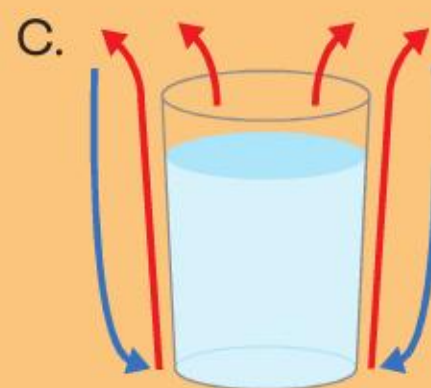
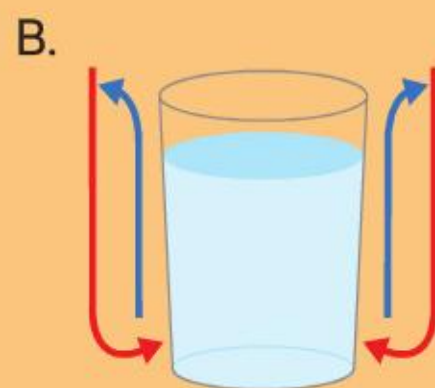
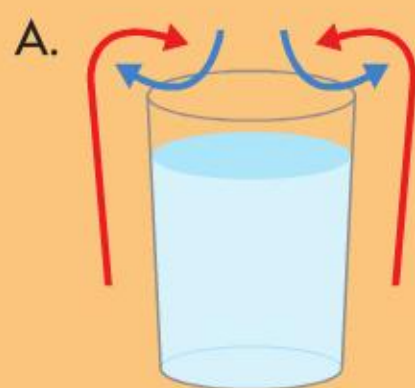
5 Energia dostarczana ciału przez cieplny przepływ energii nie zależy od

- A. masy ciała.
B. przyrostu temperatury ciała.
C. ciepła właściwego ciała.
D. kształtu ciała.

6 Wskaż zestaw zawierający same izolatory ciepła.

- A. szkło, metal, styropian
B. ebonit, powietrze, próżnia
C. plastik, miedź, srebro
D. marmur, aluminium, woda

7 Na którym rysunku najlepiej przedstawiono ruch powietrza w pobliżu szklanki z gorącą herbatą?



8 Ciepło właściwe informuje nas,

- A. ile energii odda 1 kg danej substancji, jeżeli zwiększy się jej temperaturę o 1 stopień.
- B. ile należy dostarczyć energii, aby 1 kg danej substancji ogrzać o 1 stopień.
- C. ile należy dostarczyć energii, aby stopić 1 kg danej substancji.
- D. ile energii odda 1 kg danej substancji przy zmniejszeniu temperatury o 100°C.

9 Ciepło właściwe wody wynosi $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Ilość ciepła potrzebna do ogrzania 10 dag wody o 10°C wynosi

- A. 420 000 J
- B. 4200 J
- C. 420 J
- D. 42 000 J

10 2 kg wody, stygnąc o 10°C, odda ciepło w ilości

- A. 42 kJ
- B. 20 000 J
- C. 84 kJ
- D. 20 J

11 Temperatura intensywnie parującej cieczy

- A. obniża się.
- B. podnosi się.
- C. nie zmienia się.
- D. szybko się obniża.

12 Nieprawdą jest, że

- A. wrzenie zachodzi w konkretnej temperaturze.
- B. wrzenie zachodzi w całej objętości cieczy.
- C. parowanie zachodzi w zakresie od temperatury topnienia do temperatury wrzenia.
- D. szybkość parowania nie zależy od rodzaju cieczy.

13 Jeżeli do wody o masie 10 kg i temperaturze 10°C dolejemy 10 kg wody o temperaturze 90°C, to otrzymamy temperaturę

- A. 40°C
- B. 50°C
- C. 0°C
- D. 100°C

14 Wykorzystaj dostępne źródła, m.in. internet, i przygotuj informacje na jeden z poniższych tematów.



- a) Jak działa lodówka?
- b) Domowe urządzenia klimatyzacyjne
- c) Energooszczędne sposoby ogrzewania domu
- d) Co to jest dom pasywny?

2. Drgania i fale mechaniczne



1. Czym się charakteryzuje ruch drgający?
2. Jakie wielkości opisują ruch drgający?
3. Jak wyznaczyć okres i częstotliwość drgań?
4. Jakie przemiany energii zachodzą w ruchu drgającym?
5. Czy drgające ciało może być źródłem fali?

2.1 Ruch drgający

Podejmij temat

- Co wspólnego mają ze sobą huśtawka i struna gitary?

Co to jest ruch drgający?

Zapewne nie raz huśtałeś się na huśtawce, a może również grałeś na gitarze (il. 2.1). Huśtawka i struna gitary wykonują ruchy, które zaliczamy do najczęściej spotykanych w życiu codziennym. Tego samego rodzaju ruch wykonują – wahadło w zegarze wahadłowym, łódka na falującej wodzie, szyba w oknie, gdy w pobliżu przejedzie samochód, czy struny głosowe człowieka podczas mówienia czy śpiewania.



2.1 Przykłady ciał wykonujących ruch drgający

Ciekawe!

Serce i płuca to przykłady układów drgających w ciele człowieka.

Można podać wiele przykładów urządzeń, w których obserwujemy ten ruch. Nazywamy go **ruchem drgającym** lub **drganiami**.

Drga ziemia, drgają budynki, mosty, liście na wietrze. Wiesz również, że cząsteczki w ciałach stałych wykonują drgania wokół swoich **położeń równowagi**. Jak widzisz, drgania występują powszechnie w przyrodzie i zawsze odbywają się po ograniczonym torze, na przemian raz w jedną, raz w drugą stronę.

W położeniu równowagi ciało się nie porusza.
W takim stanie ciało znajduje się przed wychyleniem.

Doświadczenie 13.

Obserwujemy ruch drgający

Niezbędne przedmioty: statyw, sprężyna, obciążnik (metalowa kulka), nitka o długości ok. 30 cm, brzeszczot (lub płaska sprężyna), ewentualnie plastikowa linijka, imadło

Wykonanie:

A.

- Zawieś sprężynę na statywie, a na niej powieś obciążnik.
- Wychyl obciążnik z położenia równowagi (pociągnij lekko) i obserwuj jego ruch i kształt toru ruchu.

B.

- Umieść brzeszczot (płaską sprężynę) lub linijkę w imadle.
- Wychyl z położenia równowagi, a następnie puść i obserwuj jego ruch. Czy można go porównać z ruchem obciążnika na sprężynie?

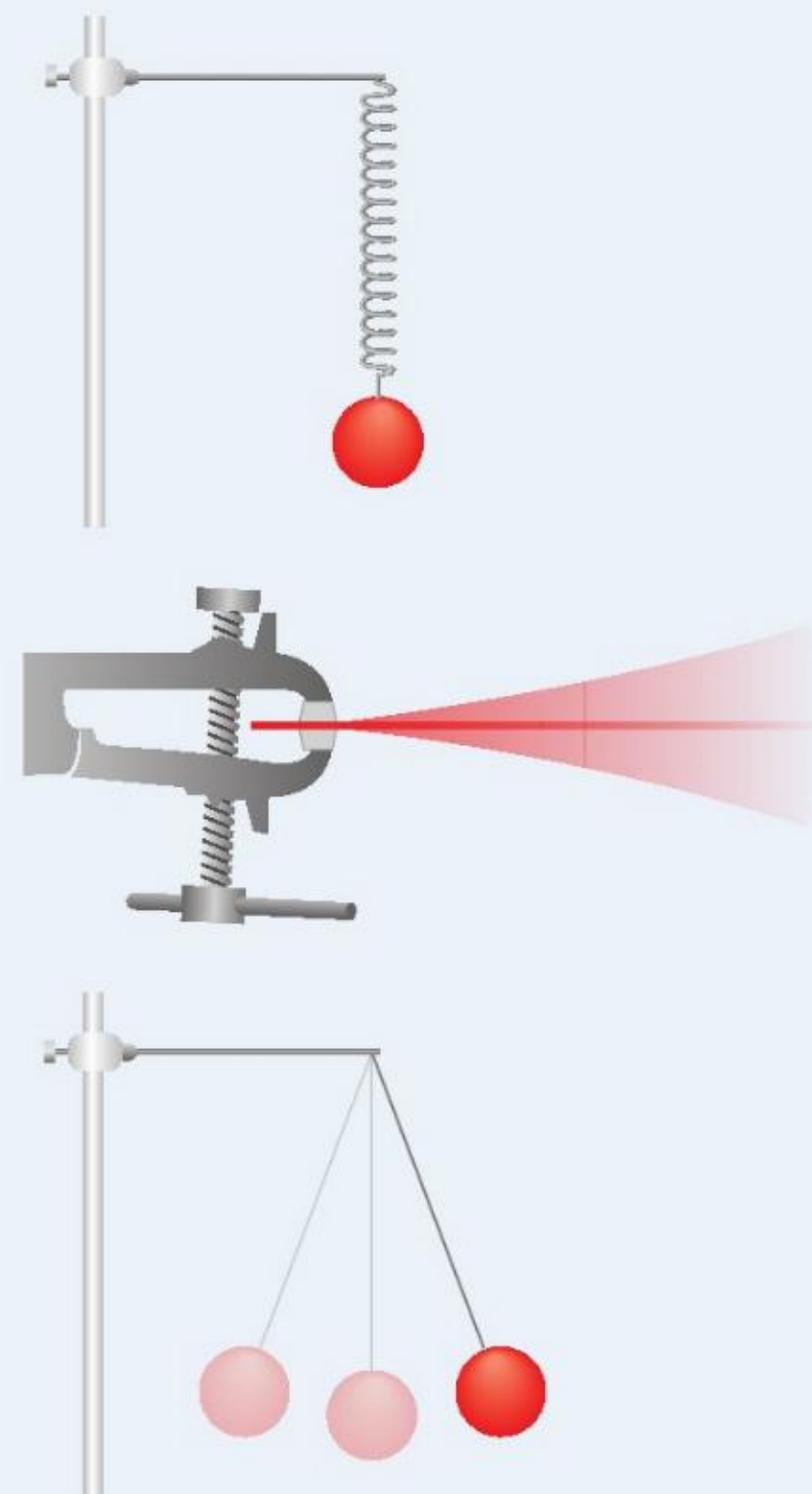
C.

- Zawieś na statywie obciążnik zawieszony na nitce.
- Odchyl obciążnik z położenia równowagi o niewielki kąt i puść swobodnie.
- Obserwuj ruch obciążnika i kształt toru.

Obserwacje:

- A. Sprężyna kurczy się i rozciąga. Obciążnik porusza się w górę i w dół, po tym samym torze. Wielokrotnie przechodzi przez punkt równowagi. Po pewnym czasie się zatrzymuje w położeniu równowagi.
- B. Koniec brzeszczotu porusza się po tym samym torze w górę i w dół. Po pewnym czasie ruch ustaje.
- C. Obciążnik porusza się po łuku okręgu, raz w prawo, raz w lewo. Ruch się powtarza aż do zatrzymania.

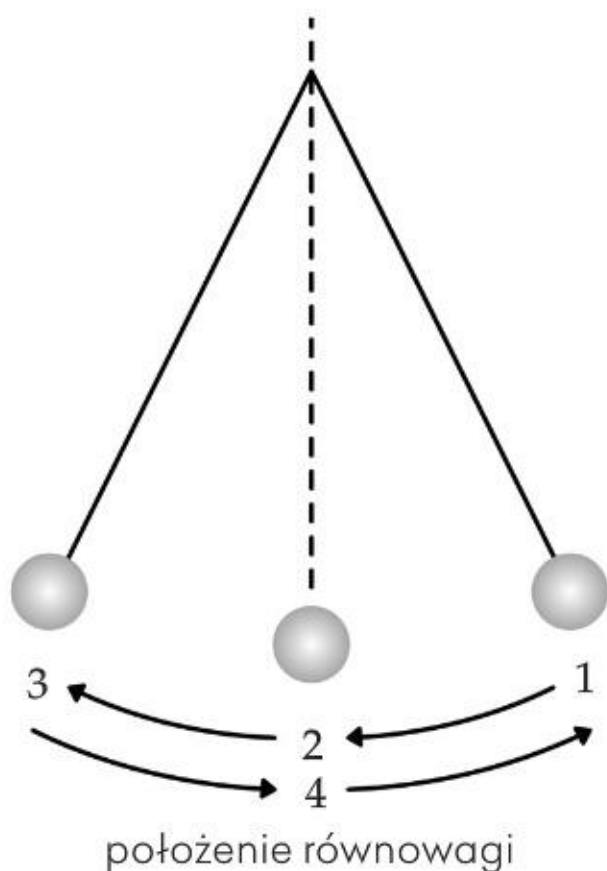
Wniosek: W ruchu drgającym ciała cyklicznie przemieszczają się tam i z powrotem po tym samym torze.



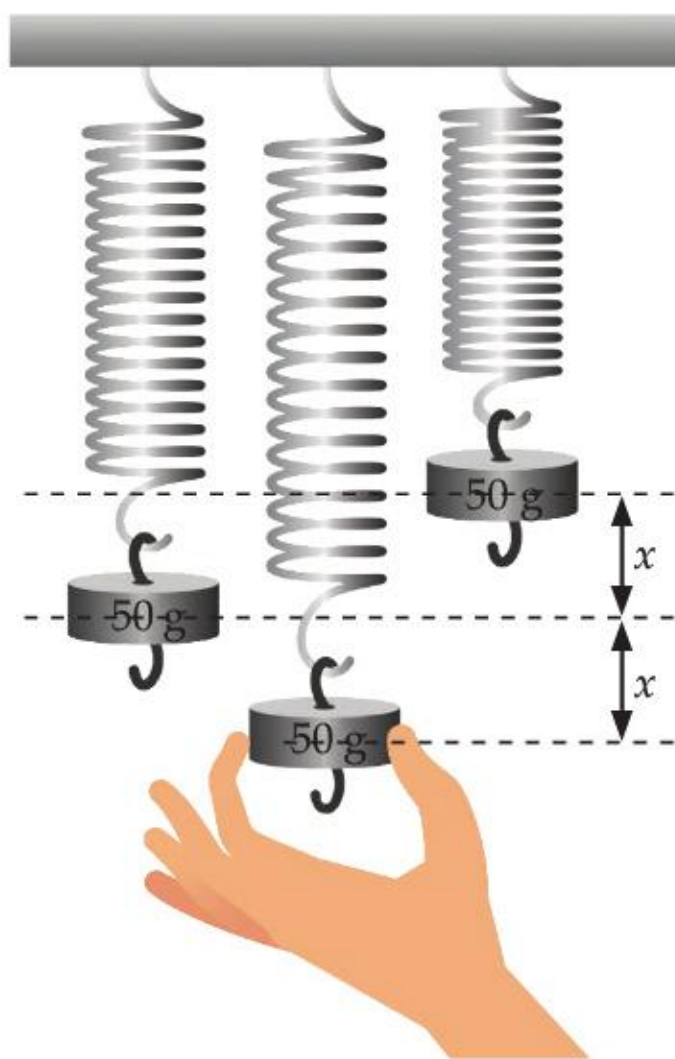
Jakie są cechy wspólne ruchu ciał drgających?

Ze wszystkich obserwacji w doświadczeniu 13. możemy wyciągnąć następujące wnioski:

- w ruchu ciała drgającego występuje położenie równowagi, w którym ono się znajduje, gdy nie drga; podczas drgań przechodzi przez to położenie wiele razy,
- przestrzeń, w której zachodzi ruch ciała, jest ograniczona,
- każdy z ruchów obserwowanych podczas doświadczeń zachodzi w jedną i drugą stronę, a więc powtarza się i to w równych odstępach czasu,
- aby wywołać drgania, trzeba dostarczyć energii,
- prędkość ciała jest zmienna i osiąga maksymalną wartość w momencie przejścia przez położenie równowagi, a zerową – w punktach maksymalnego wychylenia,
- dzięki oporom po pewnym czasie ruch ustaje.



2.2 Ciało wykonuje jedno pełne drganie, jeśli przemieści się z miejsca, do którego zostało wychylone (1) przez położenie równowagi (2), do drugiego skrajnego położenia (3) i wróci przez położenie równowagi (4) do pierwotnego położenia (1)



2.3 Wychylenie z położenia równowagi



Nazwa jednostki częstotliwości pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Heinricha Rudolfa Hertza (czyt. hajnrizia rudolfa herca).

Drgania mechaniczne
to ruchy wielokrotnie powtarzające się
w jedną i drugą stronę po określonym torze.

Gdyby nie było oporu ośrodka i innych oporów ruchu, drgania nie ustałyby. Obciążnik na sprężynie czy na nitce lub brzeszczot wykonywałyby **drgania swobodne**. Tak mogłoby się dziać w próżni. W powietrzu ruch jest hamowany, dlatego ciało traci energię i drgania ustają (gasną). Zaobserwowane przez nas ruchy nazywamy **drganiami gasnącymi**. Działając siłą zewnętrzną, możemy uzupełniać energię ciała drgającego i podtrzymywać drgania, które nazywamy wtedy **drganiami wymuszonymi**. Tak dzieje się na przykład podczas huśtania kogoś na huśtawce.

Jakie wielkości opisują ruch drgający?

Gdy ciało zostanie odchylone z położenia równowagi i puszczane, wykona ruch do skrajnego położenia znajdującego się po przeciwnej stronie punktu równowagi i wróci do położenia, z którego zostało wychylone (il. 2.2). Powiemy wtedy, że ciało wykonało **jedno pełne drganie**.

Wielkościami charakteryzującymi ruch drgający są:

- **wychylenie** (x) ciała z położenia równowagi; wychylenie określamy w jednostkach długości (il. 2.3),
- **amplituda** (A) – maksymalne wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi (il. 2.4); jednostką podstawową amplitudy jest **1 metr**,

$$[A] = 1 \text{ m}$$

- **okres** (T) – czas, w którym ciało wykonuje jedno pełne drganie (wahnięcie); jednostką podstawową okresu jest **1 sekunda**,

$$[T] = 1 \text{ s}$$

- **częstotliwość** (f) – od ang. *frequency* (czyt. friktens-i) – liczba pełnych drgań w jednostce czasu; znając liczbę drgań i czas ich trwania, możemy ją obliczyć ze wzoru:

$$\text{częstotliwość} = \frac{\text{liczba pełnych drgań}}{\text{czas trwania drgań}} = \frac{n}{t}$$

Częstotliwość informuje nas o liczbie drgań w czasie 1 sekundy. Możemy ją również obliczyć, stosując wzór:

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

Częstotliwość jest odwrotnością okresu drgań.

Jednostką częstotliwości jest **1 herc** (1 Hz).

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

Częstotliwość drgań jest równa 1 hercowi, gdy ciało drgające wykonuje jedno drganie w ciągu 1 sekundy.

Przykład 6.

Jaka jest częstotliwość drgań huśtawki, której jedno pełne wahnięcie trwa 2 sekundy?

Dane:

$$T = 2 \text{ s}$$

Szukane:

$$f = ?$$

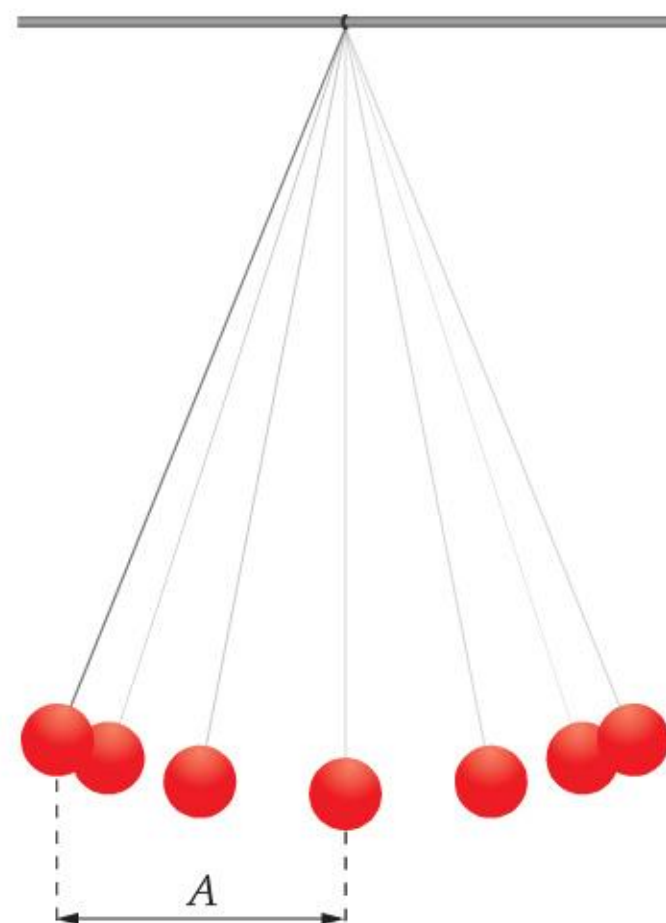
Rozwiązanie

Częstotliwość drgań huśtawki obliczamy ze wzoru: $f = \frac{1}{T}$

Po podstawieniu danych: $f = \frac{1}{2 \text{ s}} = 0,5 \frac{1}{\text{s}} = 0,5 \text{ Hz}$

Odpowiedź: Częstotliwość wahań tej huśtawki wynosi 0,5 Hz.

Oznacza to, że w ciągu 1 s odbywa się 0,5 wahań, czyli np. ruch od jednego skrajnego położenia do drugiego skrajnego położenia.



2.4 Maksymalne wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi – amplituda

Przykład 7.

Częstotliwość drgań struny gitary wynosi 20 Hz. Ile wynosi czas jednego pełnego drgania? Ile pełnych drgań odbywa się w ciągu 0,5 s?

Dane:

$$f = 20 \text{ Hz}$$

$$t = 0,5 \text{ s}$$

Szukane:

$$T = ?$$

$$n = ?$$

Rozwiązanie

Aby obliczyć okres drgań, przekształcimy wzór na częstotliwość:

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

$$\text{stąd } T = \frac{1}{f}$$

Po podstawieniu danych: $T = \frac{1}{20 \text{ Hz}} = \frac{1}{20 \frac{1}{\text{s}}} = 0,05 \text{ s}$

Aby dowiedzieć się, ile drgań wykona struna w ciągu 0,5 sekundy, skorzystamy z zależności:

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

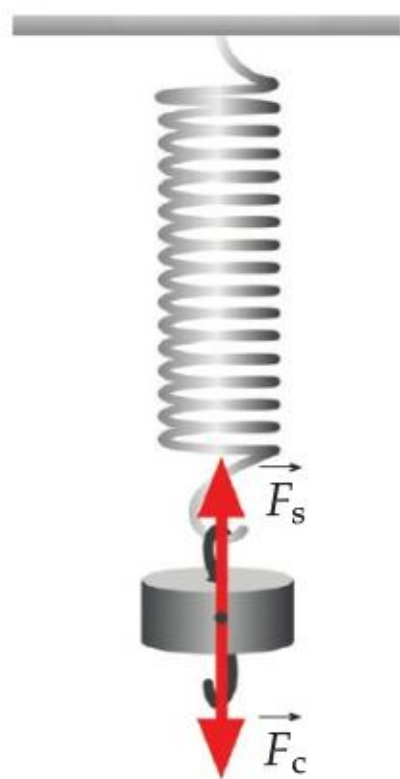
$$\text{stąd } n = \frac{t}{T}$$

Po podstawieniu danych: $n = \frac{0,5 \text{ s}}{0,05 \text{ s}} = 10$

Odpowiedź: Czas jednego pełnego drgania wynosi 0,05 s, a w ciągu 0,5 s struna wykona 10 drgań.

Ciekawe!

Ptaki i owady w czasie lotu machają skrzydłami z różną częstotliwością. Skrzydełka muchy wykonują ruch drgający z częstotliwością około 200 Hz. Wśród ptaków rekordzistą jest najmniejszy z nich – koliber – którego skrzydła poruszają się ze średnią częstotliwością ok. 100 Hz, a serce bije średnio 500–600 razy na minutę. Zdarza się nawet, że maksymalnie osiąga 1260 uderzeń na minutę.



$\vec{F}_c$ – siła ciężkości, źródłem jest Ziemia
 $\vec{F}_s$ – siła sprężystości, źródłem jest sprężyna

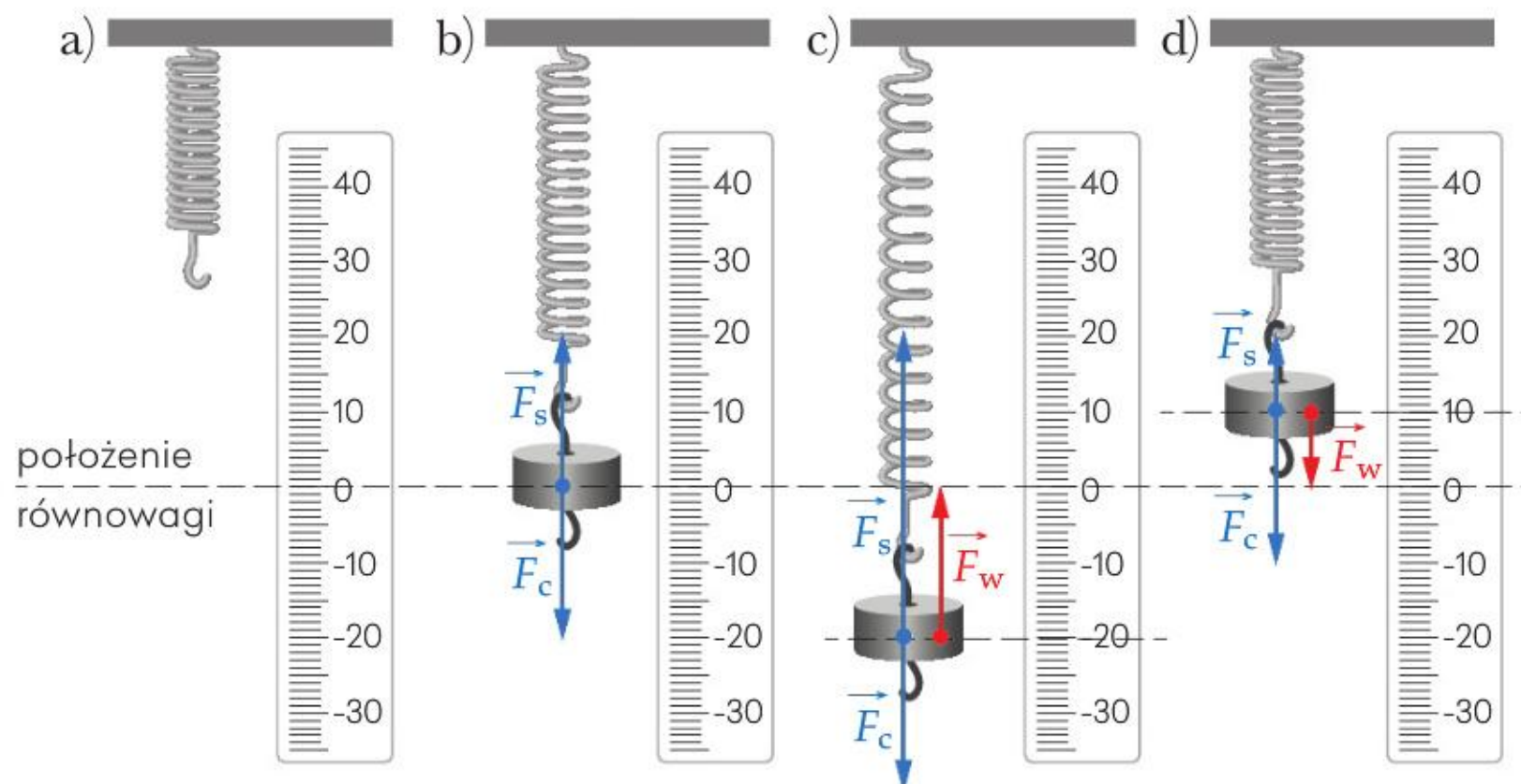
2.5 Siły działające na obciążnik

Jakie siły działają na obciążnik drgający na sprężynie?

W klasie siódmej (lekcja 6.4) dyskutowaliśmy, jakie siły działają na obciążnik wiszący na sprężynie (il. 2.5). Poznałeś wówczas siłę sprężystości i dowiedziałeś się, że wydłużenie sprężyny jest wprost proporcjonalne do wartości siły rozciągającej sprężynę. Sprężyna bez obciążenia jest krótsza (il. 2.6 a) niż z obciążeniem (il. 2.6 b).

Przeanalizujmy ponownie siły działające na obciążnik wiszący na sprężynie. Jeśli jest on w równowadze (il. 2.6 b), to wypadkowa sił działających na niego wynosi zero. Działająca na obciążnik ze strony Ziemi siła ciężkości $\vec{F}_c$ jest równoważona przez pochodzącą od sprężyny siłę $\vec{F}_s$. Obciążnik pozostaje w spoczynku, dopóki np. nie wychylimy go lekko w dół, naciągając sprężynę. Wówczas rozciągnięta sprężyna działa na obciążnik siłą większą od siły ciężkości. Siła wypadkowa jest zwrócona ku górze, w stronę położenia równowagi, i puszczony swobodnie obciążnik zaczyna poruszać się w górę (il. 2.6 c). Gdy obciążnik minie położenie równowagi, siła sprężystości jest zbyt mała (sprężyna jest słabo rozciągnięta), aby zrównoważyć ciężar obciążnika i wtedy siła wypadkowa zwrócona jest w dół (il. 2.6 d).

Wypadkowa sił działających na wychylone ciało zwrócona jest zawsze w stronę położenia równowagi.

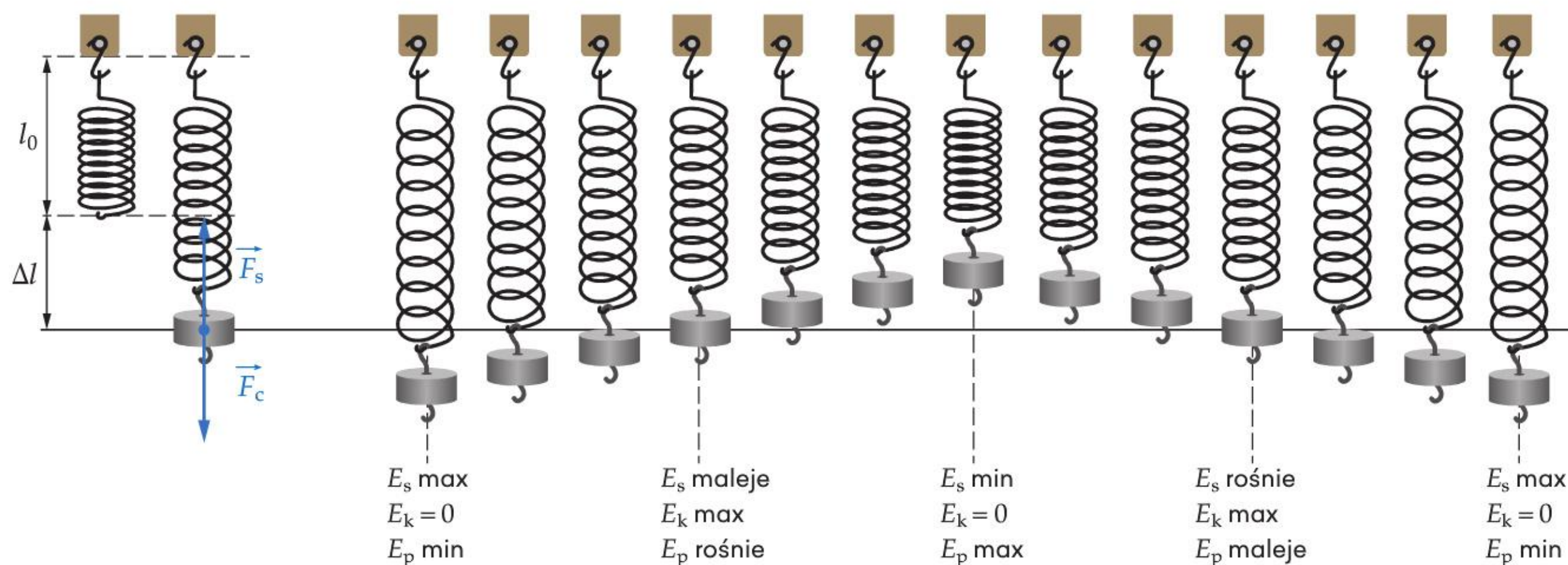


2.6 Ruch ciężarka na sprężynie

Przemiany energii w ruchu drgającym obciążnika

Gdy na sprężynie zawiesimy obciążnik, to sprężyna się wydłuży, ale układ obciążnik – sprężyna (wahadło sprężynowe) pozostanie w położeniu równowagi. Gdy pociągniemy obciążnik w dół, wtedy rozciągniemy dalej sprężynę i dostarczymy układowi dodatkowej energii, która spowoduje drgania układu. Siłę, z jaką działamy na obciążnik, dobierzemy tak, aby podczas ruchu obciążnika w górę sprężyna nie była ściskana ($l \geq l_0$, zobacz il. 2.7).

Rozciągając sprężynę, zwiększamy jej energię potencjalną sprężystości. Obciążnik po rozciągnięciu sprężyny znajduje się w miejscu, w którym jego energia potencjalna grawitacji jest minimalna. Podczas ruchu obciążnika w górę energia potencjalna sprężystości maleje i zmienia się w energię kinetyczną obciążnika (jego szybkość rośnie) i energię potencjalną grawitacji obciążnika (zwiększa się wysokość nad przyjętym poziomem zerowym). Gdy obciążnik minie położenie równowagi, zaczyna poruszać się wolniej – zmniejsza się zatem jego energia kinetyczna i nadal maleje energia potencjalna sprężystości, gdyż wydłużenie sprężyny wciąż się zmniejsza. Rośnie w tym czasie energia potencjalna grawitacji, która w najwyższym położeniu obciążnika jest największa. W tym momencie szybkość wynosi zero, więc i energia kinetyczna równa jest zero.



2.7 Przemiany energii w ruchu obciążnika na sprężynie

W czasie ruchu obciążnika w dół zaczyna rosnąć energia potencjalna sprężystości, aż do maksymalnej wartości w najniższym położeniu obciążnika. Energia kinetyczna obciążnika rośnie wraz z jego szybkością do wartości maksymalnej w momencie przejścia przez położenie równowagi, a potem maleje do zera, gdy obciążnik znajduje się w najniższym położeniu. Energia potencjalna podczas ruchu odważnika w dół cały czas maleje. Następnie cykl się powtarza – układ wykonuje drgania swobodne, sprężyna kurczy się i rozciąga, a obciążnik na przemian wznosi się i opada.

W czasie ruchu obciążnika zawieszonego na sprężynie i wykonującego drgania swobodne następują przemiany energii potencjalnej – czyli sumy energii potencjalnej sprężystości oraz energii potencjalnej grawitacji – w energię kinetyczną obciążnika.

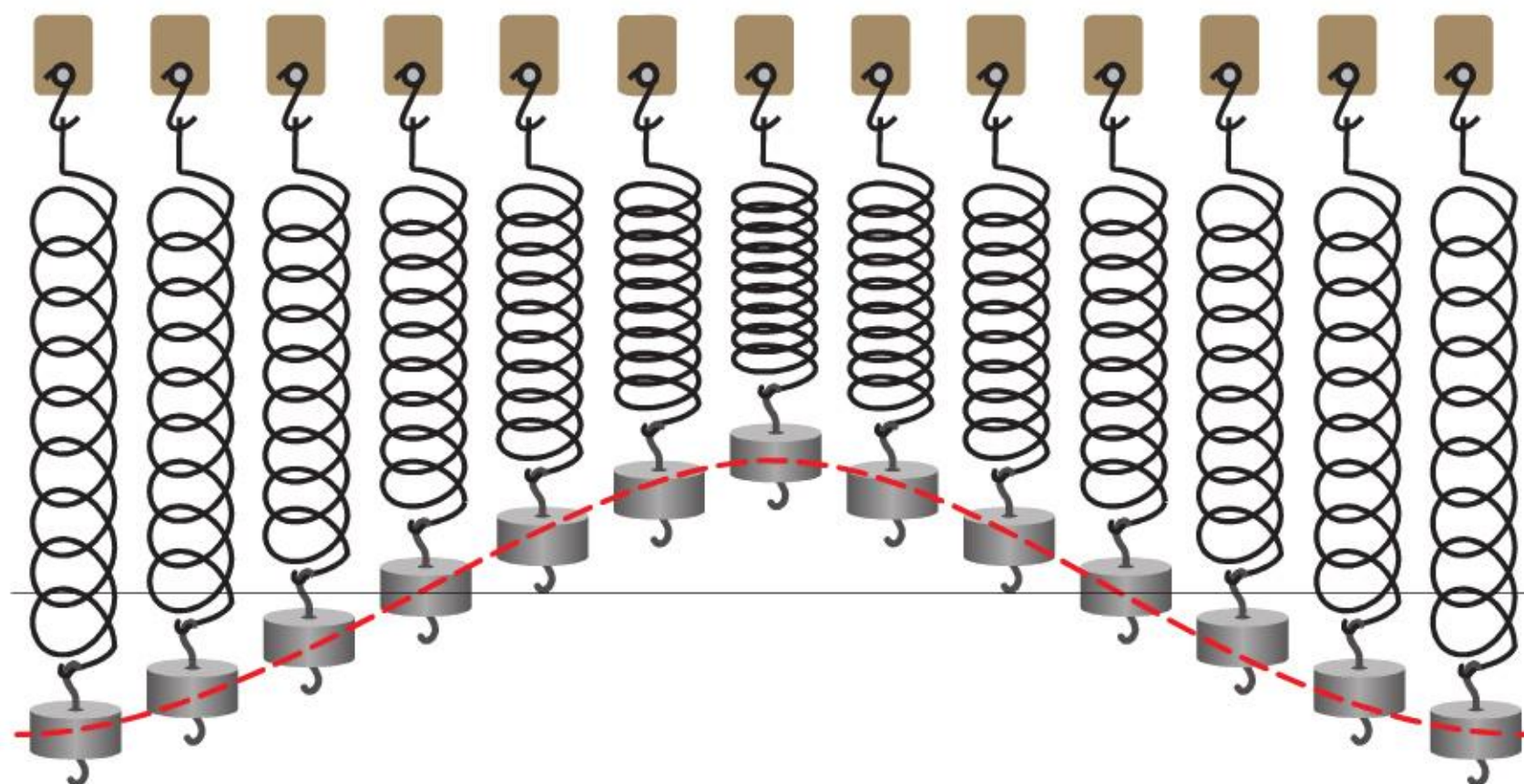
Przedstawiona analiza przemian energii jest poprawna tylko w przypadku, gdy amplituda drgań i masa odważnika są niewielkie.

Ciekawe!

Sinusoida – krzywa o takim kształcie często używana jest przez fizyków do opisu zjawisk charakteryzujących się regularną zmiennością.

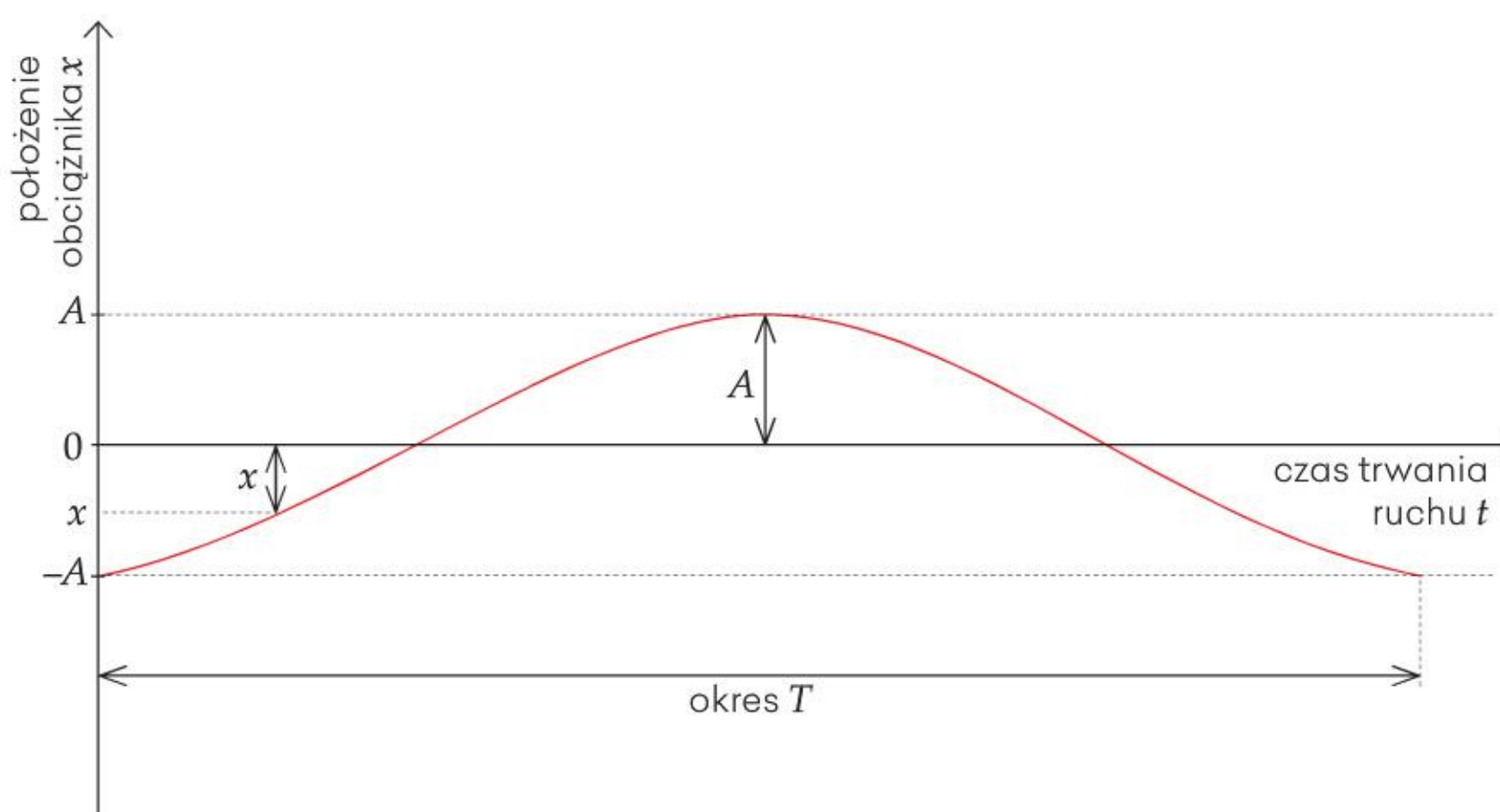
Wykres położenia obciążnika w ruchu drgającym

Popatrz raz jeszcze na rysunek przedstawiający ruch wahadła sprężynowego (il. 2.8). Zauważ, że kolejne położenia obciążnika wyznaczają krzywą, zwaną w matematyce sinusoidą. Czerwona linia opisuje położenie obciążnika w każdej chwili.



2.8 Położenie obciążnika w ruchu drgającym

Gdyby linię poziomą, przedstawiającą położenie równowagi, zastąpić osią czasu, a na osi pionowej zaznaczyć odległość odważnika od położenia równowagi, czyli jego wychylenie, to otrzymalibyśmy wykres $x(t)$ (il. 2.9). Przy takim wyborze układu współrzędnych wychylenia poniżej położenia równowagi mają znak minus, a wychylenia powyżej położenia równowagi – znak plus.



2.9 Wykres położenia obciążnika w ruchu drgającym

Na wykresie widać, że obciążnik maksymalnie oddala się od położenia równowagi na odległość A , którą nazwalismy amplitudą. Wychylenie ciała

zmienia się od wartości $-A$ do wartości A po drugiej stronie położenia równowagi. W położeniach skrajnych szybkość obciążnika równa jest zero – obciążnik zatrzymuje się, żeby powrócić. Przy przejściu przez położenie równowagi osiąga największą szybkość. Odważnik porusza się na przemian ruchem przyspieszonym i opóźnionym. Zawsze zbliża się do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, a oddala od niego ruchem opóźnionym.

Jak miałeś już okazję zauważyć, jest to wspólna cecha wszystkich ruchów drgających.

W skrócie

- Drgania mechaniczne to ruchy wielokrotnie powtarzające się w jedną i drugą stronę po określonym torze.
- Drgania mogą być swobodne, gasnące lub wymuszone.
- Amplituda (A) to maksymalne wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi. Jednostką amplitudy jest metr.
- Okres (T) to czas, w którym ciało wykonuje jedno pełne drganie. Jednostką okresu jest sekunda.
- Częstotliwość (f) to liczba pełnych drgań w jednostce czasu. Jednostką częstotliwości jest herc:

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

- Częstotliwość oblicza się ze wzorów:

$$f = \frac{1}{T} \text{ lub } f = \frac{n}{t}$$

T – okres drgań, n – liczba pełnych drgań, t – czas trwania n drgań

- Na wychylone w ruchu drgającym ciało działa siła wypadkowa zwrócona ku położeniu równowagi.
- Wahadło zbliża się do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, a oddala od niego ruchem opóźnionym.
- W czasie drgań swobodnych obciążnika zawieszonego na sprężynie (wahadła sprężynowego) następują przemiany energii potencjalnej – czyli sumy energii potencjalnej sprężystości oraz energii potencjalnej grawitacji – w energię kinetyczną obciążnika.
- Wykresem zależności wychylenia wahadła sprężynowego od czasu jest sinusoida.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

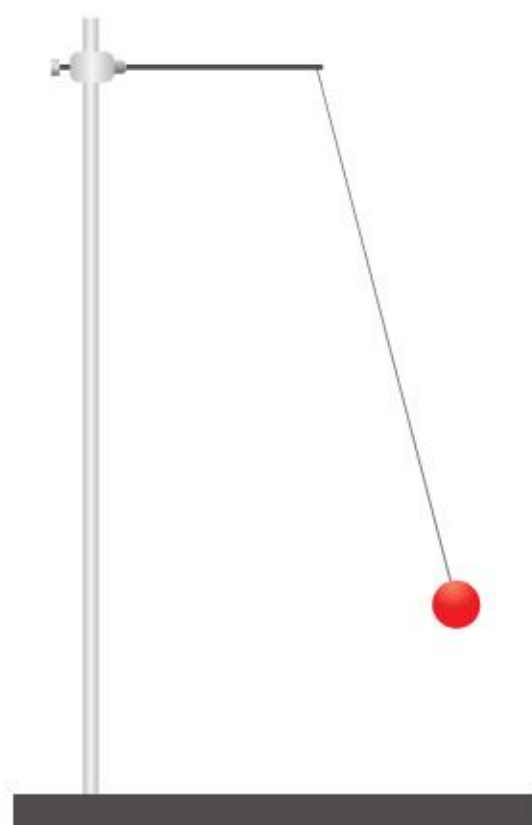
- 1 Przykładami ruchu drgającego są:
 - A. ruch wskazówki minutowej zegara na wieży ratusza,
 - B. ruch dzwonu na wieży kościoła,
 - C. ruch dziecka na huśtawce sprężynowej,
 - D. ruch piłeczki kauczukowej po odbiciu od podłogi,
 - E. ruch osoby huśtającej się na huśtawce.
- 2 Podaj charakterystyczne wielkości opisujące ruch drgający.
- 3 Uzupełnij luki w zdaniach.
 - a) Jeśli okres drgań wynosi $\frac{1}{10}$ s, to w czasie 1 sekundy ciało wykona ? drgań, a częstotliwość wyniesie ? Hz.
 - b) Jeśli okres drgań wynosi $\frac{1}{5}$ s, to w czasie 1 sekundy ciało wykona ? drgań, a częstotliwość wyniesie ? Hz.
 - c) Jeśli okres drgań wynosi $\frac{1}{2}$ s, to w czasie 1 sekundy ciało wykona ? drgań, a częstotliwość wyniesie ? Hz.
 - d) Jeśli okres drgań wynosi 2 s, to w czasie 1 sekundy ciało wykona ? drgań, a częstotliwość wyniesie ? Hz.
 - e) Jeśli okres drgań wynosi 2,5 s, to w czasie 1 sekundy ciało wykona ? drgań, a częstotliwość wyniesie ? Hz.
- 4 Huśtawka wykonała 2 drgania w ciągu 5 sekund. Ile wynosi okres, a ile częstotliwość drgań tej huśtawki?
- 5 Z jaką częstotliwością oddycha człowiek wykonujący 12 oddechów w ciągu minuty?

2.2 Wahadło matematyczne

Podejmij temat



Czy zegar wahadłowy na Księżycu będzie wskazywał czas tak jak na Ziemi?
Co to jest wahadło Foucaulta (czyt. fuko)?
W jaki sposób popychać huśtawkę, aby ją rozhuścić?
Dlaczego zwarte oddziały wojska nie powinny przechodzić przez most rytmicznym krokiem?



2.10 Wahadło matematyczne



Przyjmujemy, że masę punktową ma wahadło, którego rozmiary są znikomo małe w porównaniu z długością nici.

Co to jest wahadło matematyczne?

W poprzednim dziale obserwowałeś ruchy drgające różnych ciał, między innymi ciała zawieszonego na nitce. Jeśli ciało to ma bardzo małe rozmiary i jest zawieszone na odpowiedniej nici, może stanowić przyrząd zwany **wahadłem matematycznym** (il. 2.10).

Wahadło matematyczne to ciało o bardzo małej masie (masie punktowej), najczęściej w postaci kulki zawieszanej na nieważkiej (o znikomo małej masie) i nierozciągliwej nici.

Takie wahadło wytrącone z położenia równowagi i puszczone swobodnie drga z własną częstotliwością drgań swobodnych, charakterystyczną dla każdego wahadła, zwaną też **częstotliwością drgań własnych**.

Wahadła, których używamy w doświadczeniach – obciążniki lub kulki na niciach – możemy w przybliżeniu traktować jako wahadła matematyczne, gdyż stosunkowo duża masa skupiona jest w małej objętości i zawieszona na długich, nierozciągliwych i lekkich niciach.

Ruch drgający prosty

Jeśli wahadło zostanie wychylone z położenia równowagi i nie działają na nie opory ruchu, wówczas działa na wahadło siła zwrócona do położenia równowagi o wartości proporcjonalnej do wychylenia.

Wahadło wykonuje wtedy drgania swobodne o następujących cechach:

- odbywają się po tym samym torze, tam i z powrotem,
- amplituda drgań jest stała,

- wartość prędkości ciała ulega ciągłym zmianom, w położeniu maksymalnego wychylenia jest równa zero, a podczas przechodzenia przez położenie równowagi ma wartość maksymalną,
- zwrot prędkości zmienia się co 0,5 okresu,
- ciało zbliża się do położenia równowagi ruchem przyspieszonym, a oddala ruchem opóźnionym,
- ciało drga z określoną częstotliwością.

Ten szczególny przypadek rodzaju drgań nazywamy ruchem **drgającym prostym** lub ruchem harmonicznym.

Przemiany energii podczas drgań wahadła

Gdy obciążnik jest maksymalnie odchylony z położenia równowagi, znajduje się na największej wysokości względem tego położenia i jego energia potencjalna w tym momencie jest największa (il. 2.11).

Na wysokości h nad położeniem równowagi obciążnik ma energię potencjalną grawitacji wynoszącą

$$E_{p\max} = m \cdot g \cdot h$$

Energia kinetyczna w tym położeniu wynosi zero, gdyż szybkość kulki wynosi zero. Gdy obciążnik opada, jego szybkość rośnie i w punkcie równowagi jest największa – maksymalna jest w związku z tym energia kinetyczna tego ciała:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Energia potencjalna grawitacji obciążnika względem jego położenia równowagi jest równa zero.

Jak wiesz, energia mechaniczna ulega przemianom z jednego rodzaju w drugi, ale całkowita energia obciążnika nie zmienia się (pomijamy opory ruchu). Dlatego dzięki posiadanej energii kinetycznej obciążnik oddala się od położenia równowagi, jego szybkość maleje, a wysokość względem położenia równowagi rośnie, czyli rośnie energia potencjalna grawitacji. W punkcie maksymalnego wychylenia po drugiej stronie położenia równowagi energia potencjalna ma znów maksymalną wartość, a energia kinetyczna wynosi zero.

Jeśli wahadło znajduje się na wysokości H nad poziomem Ziemi (poziom zerowy), to energię potencjalną wahadła na wysokości h policzysz ze wzoru:

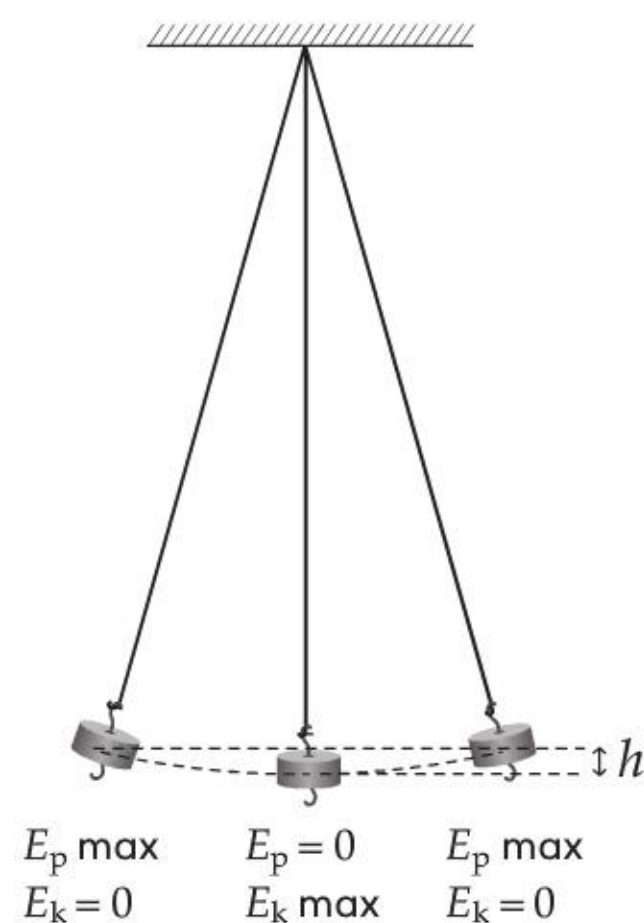
$$E_{p\max} = m \cdot g \cdot (H + h),$$

a w położeniu równowagi energia potencjalna wynosić będzie

$$E_{p\min} = m \cdot g \cdot H$$

Wykres opisujący ruch wahadła

Zastanówmy się teraz, czy wykres zależności wychylenia wahadła z położenia równowagi od czasu jest podobny do wykresu, który otrzymaliśmy dla wahadła sprężynowego, i od czego zależy amplituda drgań. W tym celu wykonajmy doświadczenie modelowe.



2.11 Przemiany energii podczas drgań wahadła

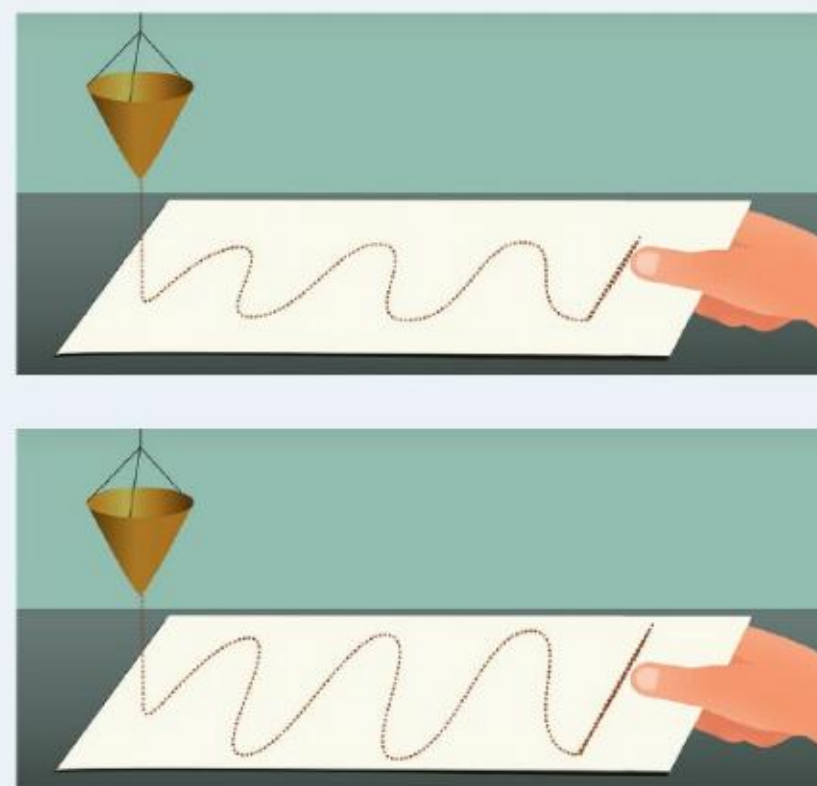
Doświadczenie 14.

Badamy zależność wychylenia wahadła z położenia równowagi od czasu

Niezbędne przedmioty: metalowy lejek z niewielkim otworem (lub plastikowa butelka z nakrętką z dziurką), piasek (może być kasza manna), cienka bawełniana linka (nić) o długości ok. 1 m, taśma papierowa o szerokości 25–30 cm, wykonana z kartki A1 (można skleić taśmą klejącą, pod spodem, kartki papieru do drukarek – A4), statyw; lejek można zastąpić butelką z płynem do mycia naczyń

Wykonanie:

- Przymocuj linkę do modelu wahadła matematycznego (lejka, butelki).
- Zawieś wahadło na statywie. Pod wahadłem umieść początek taśmy papierowej w taki sposób, aby szerokość taśmy była ustawiona w kierunku równoległym do kierunku drgań wahadła.
- Zatkaj otwór lejka palcem i nasyp do środka piasek.
- Odchyl wahadło o ok. 5 cm od pionu, zdejmij palec z otworu lejka i w tym samym momencie puść wahadło.
- Przesuwaj papierową taśmę ruchem jednostajnym.
- Powtórz doświadczenie, odchylając wahadło od pionu o ok. 10 cm.



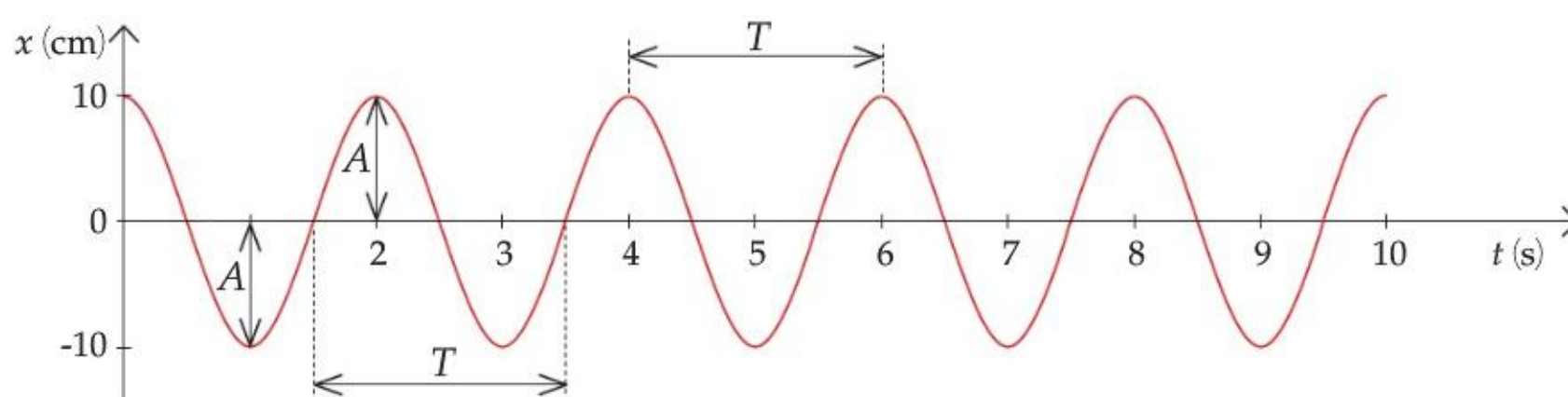
Obserwacje:

- Na papierowej taśmie piasek (kasza, płyn) wyznacza położenie wahadła. Gdy taśma się nie przesuwana, piasek rysuje odcinek o długości równej podwójnej amplitudzie. Gdy taśma przesuwana jest ruchem jednostajnym, wysypany piasek wyznacza sinusoidę. Im bardziej wychylimy lejek (dostarczymy więcej energii), tym amplituda drgań jest większa.

Wniosek: Wykresem położenia wahadła w ruchu drgającym, czyli zależności jego wychylenia z położenia równowagi od czasu, jest sinusoida. Im więcej energii dostarczymy ciału wprawianemu w drgania, tym większa jest amplituda jego drgań.

Analiza wykresu zależności wychylenia wahadła od czasu

W doświadczeniu mogłeś zauważyć, że lejek wykreślił sinusoidę. Jeśli znamy czas, w którym przesuwaliśmy papierową taśmę, to potrafimy również oszacować okres drgań lejka i narysować wykres $x(t)$ położenia wahadła (lejka) w ruchu drgającym. Precyzyjne określenie położenia byłoby możliwe, gdybyśmy zarejestrowali drgania na filmie lub zastosowali technikę stroboskopii (zobacz Ciekawe! s. 69).



2.12 Wykres zależności odległości lejka od położenia równowagi od czasu trwania ruchu

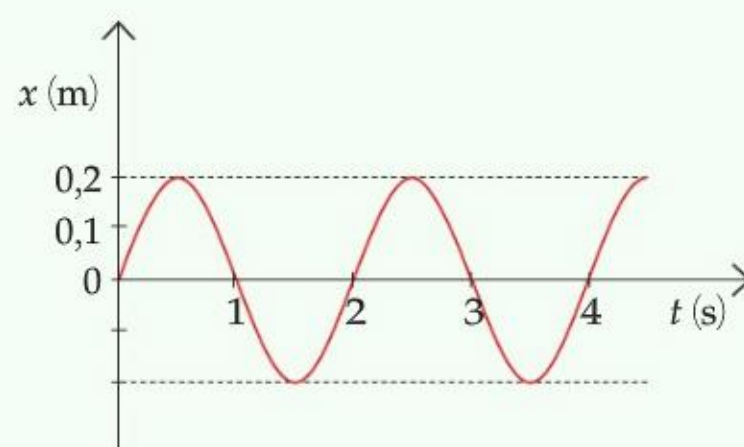


Odczytaj z wykresu $x(t)$ amplitudę, okres i częstotliwość drgań lejka.

Na osi poziomej zaznaczamy czas trwania ruchu, a na osi pionowej odległość lejka od położenia równowagi. Wychylenia wahadła w jedną stronę są na wykresie dodatnie, a w stronę przeciwną – z drugiej strony położenia równowagi – zaznaczone pod osią, są ujemne. Wychylenie lejka zmienia się na wykresie od wartości A do wartości $-A$ po drugiej stronie położenia równowagi. Czas, w którym lejek wykonał jedno pełne drganie, czyli okres, zaznaczono w kilku miejscach (il. 2.12). Zauważ, że w każdym przypadku możesz odnaleźć fragmenty wykresu – cztery części sinusoidy odpowiadające czterem fazom ruchu wahadła – obrazujące oddalanie się od położenia równowagi, zbliżanie się do niego z jednej strony i ponownie oddalanie się i zbliżanie z drugiej strony punktu równowagi. Okres zawsze zawiera te cztery fazy ruchu wahadła, możesz go zaznaczyć w dowolnym miejscu wykresu, byle zawierał wszystkie cztery fazy (il. 2.12). Z wykresu możesz odczytać, ile wynosi okres drgań i liczbę drgań w ciągu jednej sekundy, czyli częstotliwość drgań.

Przykład 8.

Odczytaj z wykresu okres i amplitudę drgań. Oblicz częstotliwość drgań wahadła.



Szukane:

$$T = ?$$

$$A = ?$$

$$f = ?$$

Rozwiązanie

Z wykresu odczytujemy amplitudę drgań. Wynosi ona 0,2 m.

Czas pełnego drgania, czyli okres, wynosi 2 s.

Obliczamy częstotliwość drgań:

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

Odpowiedź: Okres drgań wynosi 2 s, a amplituda 0,2 m. Skoro częstotliwość wynosi 0,5 Hz, to ciało w ciągu 1 s wykonuje $\frac{1}{2}$ drgania (od jednego skrajnego punktu, do drugiego skrajnego punktu).

Ciekawe!



Efekt stroboskopowy występuje, gdy poruszające się ciało oświetlane jest światłem migającym z określoną częstotliwością. W tym momencie możemy wykonać zdjęcie przedmiotu i mieć złudzenie, że ciało się nie porusza.

Wyznaczanie okresu drgań wahadła

Wyznamy teraz podstawową wielkość opisującą ruch wahadła, jaką jest okres, i zbadamy, od czego zależy. Sprawdzimy, czy długość wahadła, jego masa i amplituda mają wpływ na okres (i częstotliwość) drgań.

Doświadczenie 15.

Wyznaczamy i sprawdzamy, od czego zależy okres drgań wahadła

Niezbędne przedmioty: obciążnik o masie 50 g, obciążnik o masie 100 g, nierozciągliwa nić, nożyczki, stopery (np. te dostępne w smartfonach), linijki, taśma miernicza, ewentualnie statywy

Wykonanie: Doświadczenie najlepiej wykonać równolegle w trzech grupach. Wszystkie grupy wyznaczają okres drgań i częstotliwość oraz szukają odpowiedzi na podane pytania.

Grupa I

Czy okres drgań wahadła zależy od masy wahadła?

- Przywiąż nitkę o długości 50 cm do obciążnika 50 g i zawieś wahadło na statywie lub w innym miejscu tak, aby mogło swobodnie wykonywać drgania. Odchyl wahadło o 10 cm z położenia równowagi i je puść.
- Zmierz trzykrotnie czas trwania 10 pełnych drgań i wyniki zapisz w tabeli.

Masa wahadła (g)	Czas (t)				Okres drgań (T)	Częstotliwość (f)
	t ₁	t ₂	t ₃	t _{śr}		
50						
100						

- Oblicz średni czas, a następnie okres drgań, korzystając ze wzoru $T = \frac{t_{\text{śr}}}{10}$. Oblicz również częstotliwość.
- Powtórz doświadczenie dla obciążnika 100 g i takiego samego odchylenia.

Grupa II

Czy okres drgań wahadła zależy od amplitudy drgań?

- Przywiąż nitkę o długości 100 cm do obciążnika 50 g i zawieś wahadło na statywie lub w innym miejscu tak, aby mogło swobodnie wykonywać drgania.
- Odchyl wahadło o 5 cm od położenia równowagi i puść.
- Zmierz trzykrotnie czas trwania 10 pełnych drgań. Wyniki zapisz w tabeli, podobnej do tej powyżej, ale w pierwszej kolumnie zamiast „Masa wahadła (g)” wpisz „Amplituda (cm)”. Dodaj jeszcze jeden wiersz i uzupełnij pierwszą kolumnę odpowiednimi wartościami.
- Powtórz doświadczenie dla amplitud 10 cm i 15 cm. W każdym przypadku oblicz okres drgań i częstotliwość.

Grupa III

Czy okres drgań wahadła zależy od długości wahadła?

- Przygotuj trzy wahadła o długościach: 0,25 m, 1 m, 2,25 m.
- Dokonaj pomiarów dla każdego wahadła. Odchylaj je za każdym razem o 10 cm.
- Wykorzystaj tabelę dla grupy I, tylko tym razem w pierwszej kolumnie umieść „Długość wahadła (m)”.

Wyniki i wnioski:

Biorąc pod uwagę otrzymane wyniki i niepewności pomiarowe, możemy zauważyć, że:

- **okres (i częstotliwość) drgań wahadła nie zależy od masy wahadła,**
- **dla niewielkich amplitud okres drgań (i częstotliwość) nie zależy od amplitudy drgań,**
- **okres drgań wahadła zależy od jego długości – im większa długość wahadła, tym dłuższy jest okres jego drgań; zależność ta nie jest wprost proporcjonalna,**
- **wahadła mają własne, charakterystyczne dla każdego z nich, częstotliwości drgań swobodnych – częstotliwości drgań własnych.**

Określanie niepewności pomiarowej okresu drgań wahadła

Zastanawiałeś się, dlaczego nie mierzymy czasu jednego pełnego drgania?

Już samo włączenie i wyłączenie stopera w trakcie pomiaru czasu jednego drgania czasami byłoby trudne do wykonania, ale główna przyczyna takiego postępowania jest inna. Mimo że dokładność użytego stopera wynosi 0,01 s, to decydujący jest wpływ czasu reakcji eksperymentatora – przyjęto, że wynosi on 0,2 s. Gdybyśmy zmierzili pojedynczy okres drgania, to niepewność pomiarowa wyniosłaby właśnie 0,2 s. Jeśli zmierzymy czas trwania 10 okresów, to niepewność pomiaru też wyniesie 0,2 s. Aby podać końcowy wynik okresu drgań wahadła, musimy czas trwania 10 okresów podzielić przez 10, a także przez 10 podzielić niepewność pomiarową. Nasz wynik będzie więc obarczony dziesięciokrotnie mniejszą niepewnością pomiarową wynoszącą tylko 0,02 s. Aby dodatkowo zwiększyć dokładność pomiaru, możemy uśrednić wynik kilku pomiarów czasu trwania 10 drgań. Tak postąpiliśmy, wykonując doświadczenie nr 15.

Jaka jest zależność okresu drgań wahadła od długości wahadła?

Na podstawie doświadczenia miałeś okazję zaobserwować, że okres drgań wahadła zależy od długości wahadła. Im większa była jego długość, tym dłuższy był okres jego drgań, ale zależność ta nie była wprost proporcjonalna. Najprawdopodobniej uzyskałeś następujące wyniki:

- dla wahadła o długości $l = 0,25$ m okres $T = 1$ s,
- dla wahadła o długości $l = 1$ m okres $T = 2$ s,
- dla wahadła o długości $l = 2,25$ m okres $T = 3$ s.

Łatwo zauważyć, że dla wahadła o cztery razy większej długości okres jest dwa razy dłuższy, zaś dla wahadła o długości dziewięć razy większej – trzy razy dłuższy.

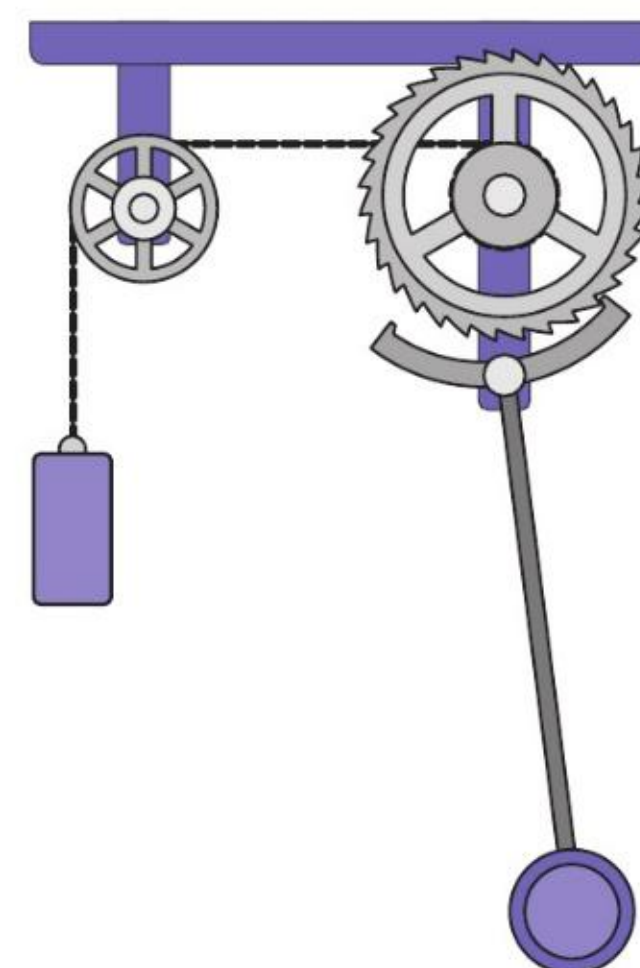
Okres drgań wahadła jest wprost proporcjonalny do pierwiastka z jego długości:

$$T \sim \sqrt{l}$$

Izochronizm

Na podstawie wyników otrzymanych w doświadczeniu mogliśmy wywnioskować, że dla wahadła o tej samej długości okres drgań wahadła matematycznego dla niewielkich wychyleń nie zależy od amplitudy.

Niezależność okresu drgań od amplitudy dla niewielkich wychyleń nosi nazwę **izochronizmu**. Nazwa ta pochodzi od greckich słów: *izos*, ‘stały’ oraz *chronos* ‘czas’. Tę ważną cechę ruchu wahadła wykorzystano w zegarach wahadłowych (il. 2.13). Okres wahań takiego zegara jest taki sam, niezależnie od tego, czy wychylenia jego są mniejsze czy większe. Energia układu drgającego w zegarze jest uzupełniana kosztem energii potencjalnej obciążnika odpowiednio z nim połączanego.



2.13 Mechanizm zegara wahadłowego

Zegar wahadłowy

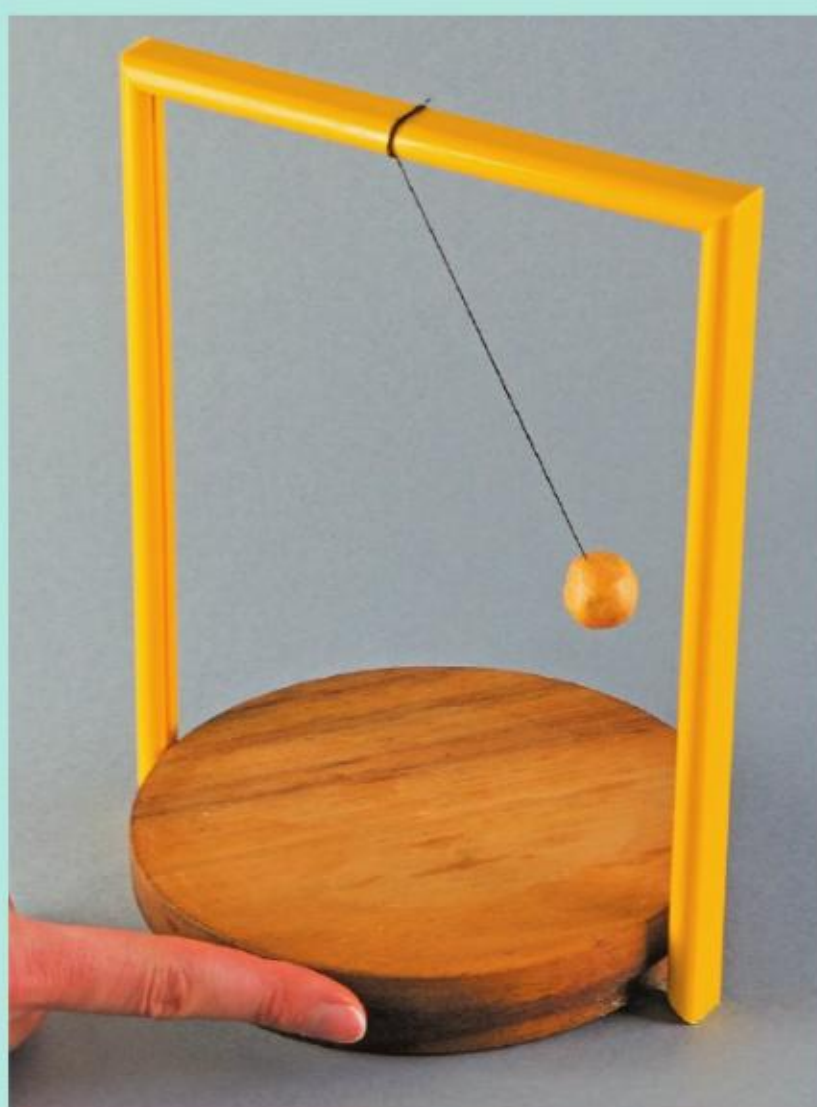
Zauważ też, że im dłuższy okres drgań wahadła, a więc i większa długość wahadła, tym mniejsza częstotliwość jego drgań. Własność ta została wykorzystana w zegarach wahadłowych przy ich regulacji.

Jeśli zegar się spóźnia, oznacza to, że częstotliwość drgań jest za mała i długość wahadła należy skrócić. I odwrotnie – jeśli zegar się spieszy, wahadło należy wydłużyć. W ten sposób zmniejszamy częstotliwość wahań.

Biorąc pod uwagę powyższe rozumowanie, zastanówmy się, czy na Księżycu zegar wahadłowy będzie wskazywał czas tak jak na Ziemi. Siła ciężkości działająca tam na ciało o masie m jest około 6 razy mniejsza niż na Ziemi. Wynika stąd, że siła powodująca ruch ciała po łuku okręgu będzie miała mniejszą wartość, a to z kolei spowoduje mniejszą wartość przyspieszenia. Czas jednego wahnięcia dla wahadła danego zegara będzie więc na Księżycu dłuższy niż na Ziemi.



Wahadło Foucaulta w Panteonie (Paryż)



Model wahadła Foucaulta

Więcej na temat



Wahadło Foucaulta

Wahadło nazwane tak na cześć Jeana B.L. Foucault (czyt. żana fuko), który w lutym 1851 roku w Paryskim Obserwatorium Astronomicznym przeprowadził swoje słynne doświadczenie, a następnie powtórzył, kilka tygodni później w Panteonie w Paryżu, z wahadłem o długości 67 m. Pokaz powtarzany był wielokrotnie i przyciągał tłumy widzów, którzy mogli zaobserwować w jego trakcie, że kierunek drgań wahadła zmieniał się względem nich, co dowodziło, że Ziemia się obraca.

Wprawione w ruch wahadło Foucaulta ma możliwość wahań w dowolnej płaszczyźnie pionowej i porusza się w tej płaszczyźnie – w płaszczyźnie swoich drgań swobodnych – niezależnie od obrotu Ziemi. Ponieważ płaszczyzna drgań wahadła pozostaje niezmienną, a w tym czasie Ziemia się obraca, to dlatego obserwatorzy, poruszający się wraz z Ziemią, obserwują zmianę płaszczyzny drgań wahadła. Powolna zmiana płaszczyzny ruchu wahadła względem Ziemi dowodzi, że obraca się ona wokół własnej osi.

Obserwację zmiany płaszczyzny drgań należy przeprowadzać przez kilka godzin. Na bardzo długiej nici zawiesza się kulę o dużej masie, tak aby wahadło miało odpowiednio dużą energię mechaniczną. Należy również zadbać, aby tarcie w miejscu zawieszenia wahadła było jak najmniejsze.

Możesz wykonać model wahadła Foucaulta (patrz zdjęcie) z deski obrotowej do serwowania serów, do której przybijesz ramę wykonaną z listewek lub plastikowej rynienki w kształcie litery U. Do ramy przymocuj nitkę z kulą z plasteliny. Wpraw wahadło w ruch drgający i powoli obracaj deską. Zobaczysz, że powierzchnia drgań wahadła nie zmienia się w trakcie obrotu deski, która jest modelem obracającej się Ziemi.

Rezonans mechaniczny

Poznamy teraz zjawisko, które musi być brane pod uwagę np. przy projektowaniu różnych budowli czy urządzeń. Dowiedziałeś się wcześniej, że gdy chcemy wywołać drgania wymuszone, musimy działać siłą zewnętrzną, np. żeby podtrzymać drgania huśtawki, musimy rytmicznie ją popychać. Takie **powtarzające się okresowo działanie siły wywołuje drgania wymuszone, których częstotliwość jest równa częstotliwości działającej siły**. Podobnie zachowuje się dziecko huśtające się samodzielnie na huśtawce. Zwiększa wychylenia huśtawki przez rytmiczne podkurczanie i prostowanie nóg.

Aby zrozumieć, dlaczego tak się dzieje, wykonajmy proste doświadczenie.

Ciekawe!

W wielu urządzeniach (maszynach, silnikach) oraz w konstrukcjach budynków, mostów i wiaduktów stosuje się rozmaite rozwiązania techniczne zapobiegające występowaniu niebezpiecznego zjawiska – rezonansu mechanicznego.

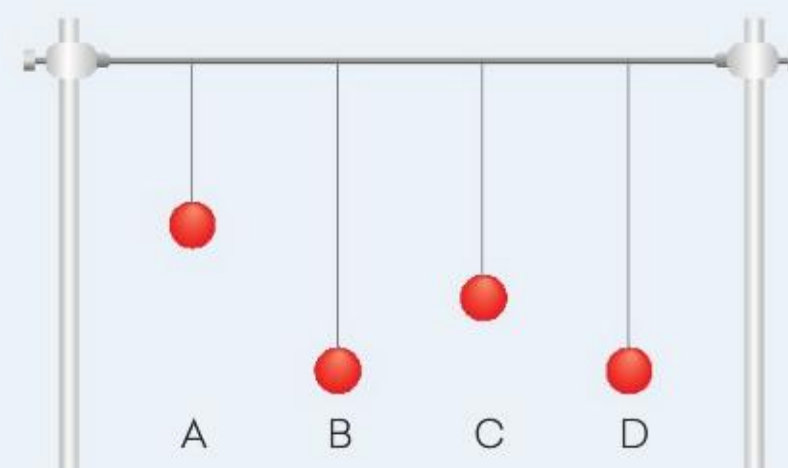
Doświadczenie 16.

Obserwujemy zjawisko rezonansu

Niezbędne przedmioty: dwa statywy, linka ok. 1 m długości, cztery wahadła wykonane np. z obciążników lub jednakowych kulek, dwa o tej samej długości i dwa o innej, dowolnej długości

Wykonanie:

- Przymocuj linkę do statywów i je rozsuń, tak aby linka była mocno naprężona.
- Zawieś wahadła na linie w pewnej odległości od siebie (patrz rysunek).
- Wpraw w drgania wahadło A i obserwuj zachowanie się wszystkich wahadeł przez około 3 minuty.
- Następnie wpraw w drgania wahadło B i obserwuj zachowanie wahadeł przez kilka minut.



Obserwacje:

- Drgania wahadła A poprzez linkę pobudzają do drgań pozostałe wahadła, których drgania są chaotyczne i mają niewielkie amplitudy.
- Wprawione w ruch wahadło B powoduje drgania wahadła D o znacznie większej amplitudzie niż pozostałych wahadeł.

Wniosek: Częstotliwość drgań wymuszonych wahadła D jest zgodna z częstotliwością jego drgań swobodnych, takich samych jak wahadła B, gdyż wahadła mają takie same długości. Wahadło D przejmuje energię drgań wymuszających wahadła B, dlatego jednocześnie obserwujemy zmniejszenie amplitudy drgań wahadła B. Energia drgań swobodnych wahadła B została przekazana wahadłu D. Po pewnym czasie wahadło D przekazuje ponownie energię wahadłu B.

Zauważyliśmy, że wahadła o takiej samej długości, a więc i częstotliwości drgań własnych, pobudzały się wzajemnie do drgań, czyli przekazywały sobie energię. Zjawisko to nosi nazwę **rezonansu mechanicznego**.

Rezonans może wywoływać zwiększanie amplitudy drgań układów drgających. Ze zjawiskiem tym mamy do czynienia również wtedy, gdy w otoczeniu ciała drgającego znajdują się inne ciała zdolne do wykonywania drgań o takiej samej lub zbliżonej częstotliwości drgań własnych i gdy pomiędzy nimi istnieje ośrodek sprężysty.

Ciekawe!



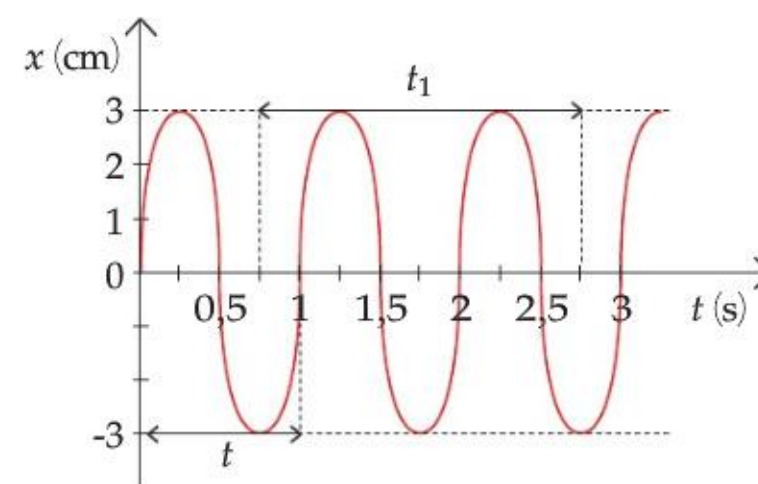
Oddziały wojska, przechodząc przez most w zwartym szyku krokiem marszowym, mogą pobudzić most do drgań. Gdyby częstotliwość marszu była zgodna z częstotliwością drgań własnych mostu, wówczas cała jego konstrukcja mogłaby ulec zniszczeniu. Takie zdarzenie miało miejsce w rzeczywistości, kiedy to 7.11.1940 roku w USA uszkodzeniu uległ most – Tacoma Narrows Bridge (zdjęcie – most obecnie) – z powodu rezonansu wywołanego przez rytmiczne uderzenia wiatru. Inne zdarzenie miało miejsce w 2000 roku w Londynie, nad Tamizą. Tuż po uroczystym oddaniu do użytku mostu Millennium Bridge trzeba było go zamknąć z powodu rezonansu wywołanego przez kroki pieszych, którzy odruchowo dostosowywali rytm swoich kroków do, początkowo niewielkich, drgań mostu. Most otwarto ponownie po poprawieniu jego konstrukcji.

W skrócie

- Wahadło matematyczne to ciało o bardzo małej masie (masie punktowej), najczęściej w postaci kulki zawieszona na nieważkiej (o znikomo małej masie) i nierozciągliwej nici.
- W czasie ruchu wahadła matematycznego następują przemiany energii potencjalnej w kinetyczną i odwrotnie. W punktach maksymalnego wychylenia energia potencjalna ma największą wartość, a energia kinetyczna wynosi zero. W położeniu równowagi energia potencjalna jest minimalna, a kinetyczna jest największa.
- Wykresem zależności wychylenia wahadła od czasu jest sinusoida.
- Okres T drgań wahadła matematycznego możemy wyznaczyć, mierząc czas t określonej liczby n drgań. Okres obliczymy ze wzoru: $T = \frac{t}{n}$
- Wahadła i inne ciała drgające mają własne częstotliwości drgań swobodnych. Częstotliwość, z jaką ciała wykonują drgania swobodne, to częstotliwość drgań własnych.
- Okres i częstotliwość drgań wahadła nie zależą od jego masy.
- Dla niewielkich amplitud okres drgań nie zależy od amplitudy drgań. Zjawisko to nosi nazwę izochronizmu.
- Okres drgań wahadła zależy od długości wahadła. Im większa długość wahadła, tym dłuższy okres jego drgań. **Okres drgań wahadła jest wprost proporcjonalny do pierwiastka z jego długości: $T \sim \sqrt{l}$**
- Rezonans to zjawisko przekazywania energii drgań między ciałami, gdy częstotliwość drgań wymuszających jest równa częstotliwości drgań własnych (swobodnych) ciała. Rezonans powoduje wzrost amplitudy układów drgających.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Przeanalizuj wykres $x(t)$ zależności wychylenia wahadła z położenia równowagi od czasu.
- Odczytaj z wykresu amplitudę drgań (A).
 - Odczytaj z wykresu okres drgań wahadła (T).
 - Oblicz częstotliwość drgań wahadła (f).
 - Podaj co najmniej dwa przykłady chwil, w których wahadło znajdowało się w położeniu równowagi.
 - Odczytaj współrzędną czasu, gdy wahadło było maksymalnie wychylone z położenia równowagi. Podaj przynajmniej po jednym przykładzie dla położenia wahadła po różnych stronach położenia równowagi.
 - Odczytaj, ilu okresom drgań odpowiadają zaznaczone na wykresie odcinki t i t_1 .



2.3 Fale mechaniczne

Podejmij temat

- Co wspólnego mają ze sobą tzw. fala meksykańska, tworzona przez kibiców na trybunach stadionów, z ruchem falowym w fizyce?

Zjawisko ruchu falowego

Ze zjawiskiem ruchu falowego (falami) spotykasz się codziennie, gdyż jest ono powszechne. Słyszałeś o falach radiowych, świetlnych, głosowych czy powstających na wodzie. Zajmiemy się teraz tymi, które rozchodzą się w wodzie, powietrzu lub innych ośrodkach sprężystych, to znaczy falami mechanicznymi zwanymi też sprężystymi.

Z pewnością wielu z was miało okazję zaobserwować zjawisko, które zachodzi na wodzie po wrzuceniu do niej kamyka (il. 2.14). Jeśli powierzchnia wody była spokojna, to wrzucenie kamyka spowodowało powstanie fali rozchodzącej się promieniście we wszystkie strony w postaci kolistego zaburzenia.

Falą nazywamy zaburzenie rozchodzące się w ośrodku w miarę upływu czasu.

Zjawisko to możemy zaobserwować w pracowni szkolnej lub domu, wykonując następujące doświadczenie.



2.14 Fala na powierzchni wody

Doświadczenie 17.

Obserwujemy rozchodzenie się fali na wodzie

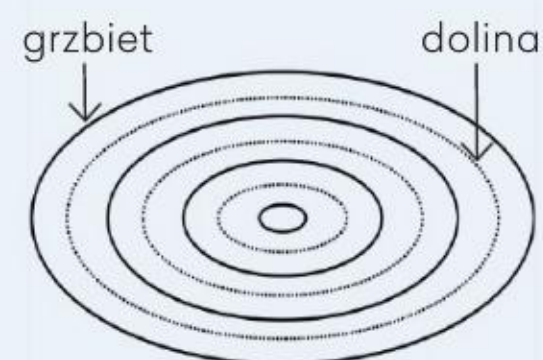
Niezbędne przedmioty: przyrząd (wanienka) do wytwarzania fal, woda, w warunkach domowych – wanna, zlew lub duża miednica napełnione wodą, zagięty na końcu pręt metalowy, przedmiot, np. kamyk, linijka

Wykonanie:

- Wywołaj zaburzenie na powierzchni wody, uderzając raz w powierzchnię wody końcem pręta lub wrzucając do niej kamyk. W przypadku przyrządu do wytwarzania fal uderz raz prętem przymocowanym do wanienki. Co obserwujesz?
- Odczekaj, aż woda się uspokoi. Uderzaj teraz równomiernie w powierzchnię wody prętem lub wpraw w drgania pręt przymocowany do wanienki. Co obserwujesz?

Obserwacje i wnioski:

- W przypadku pojedynczego zaburzenia na powierzchni wody przemieszcza się zaburzenie, o którym mówimy **impuls falowy**. Widać początek fali zwany **czołem fali**.
- W przypadku równomiernych uderzeń powstaje fala okresowa zwana też **harmoniczną**. Jej źródłem są drgające w górę i dół cząsteczki wody, które poruszają następne cząsteczki, z uwagi na istniejące między nimi siły spójności. W wyniku tych drgań na powierzchni tworzą się **grzbiety** i **doliny**. Jednakże woda jako ośrodek drgający nie będzie się przemieszczać.



Jak rozchodzi się fala mechaniczna?

Falę mechaniczną możemy wywołać również w innych ośrodkach sprężystych. Zbadamy teraz, jak rozchodzi się fala na sznurze, sprężynie lub gumowym wężu.

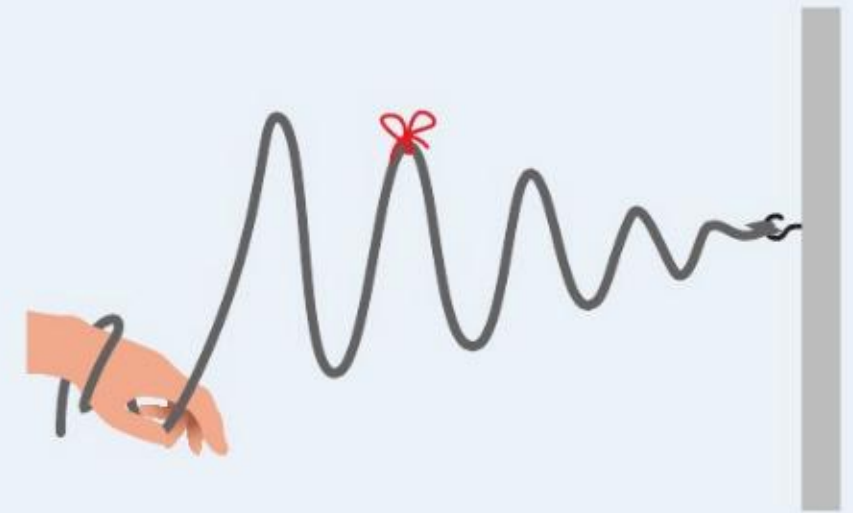
Doświadczenie 18.

Obserwujemy rozchodzenie się fali w ośrodku sprężystym i czy drgania mogą być przekazywane

Niezbędne przedmioty: długi (ok. 3 m) gumowy wąż lub stalowa sprężyna o niewielkiej średnicy, wstążka lub kawałek sznurka

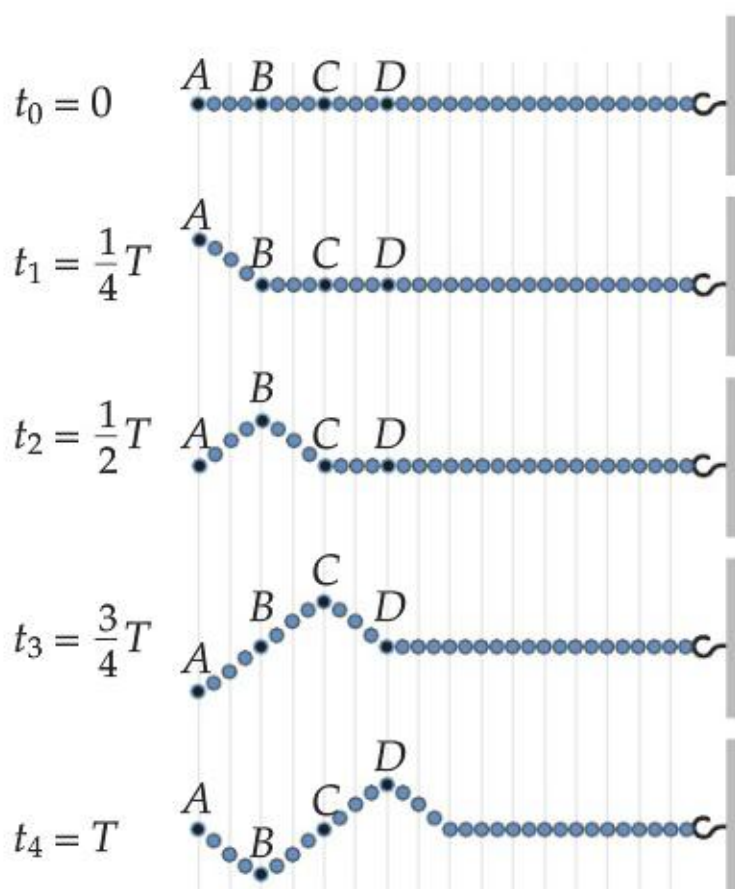
Wykonanie:

- Przymocuj jeden koniec gumowego węża (z przywiązaną pośrodku wstążką) do ściany, klamki przy drzwiach lub u okna, możesz również wykonać doświadczenie z kolegą, który będzie trzymał wąż w dłoni.
- Trzymaj w dłoni drugi koniec węża (sprężyny), napnij go, a następnie szarpnij raz końcem węża.
- Następnie poruszaj końcem węża w górę i dół (patrz rysunek).



Obserwacje i wnioski:

- Sznur lub wąż staje się ośrodkiem drgającym. W miejscu szarpnięcia sznur się wygina i odkształcenie to przemieszcza się wzdłuż całej długości, lecz bez przemieszczenia się ośrodka drgającego (węża) jako całości. Drgające części węża przekazują energię kolejnym jego częściom. Wzdłuż węża przemieszcza się impuls falowy.
- W przypadku kilku drgań widzisz, że przenoszą się one wzdłuż węża. Poszczególne części węża raz wznoszą się, a raz opadają. Wykonują ruchy tylko w górę i w dół. W ten sposób w wężu przemieszcza się fala mechaniczna.



2.15 Przekazywanie drgań w ośrodku sprężystym

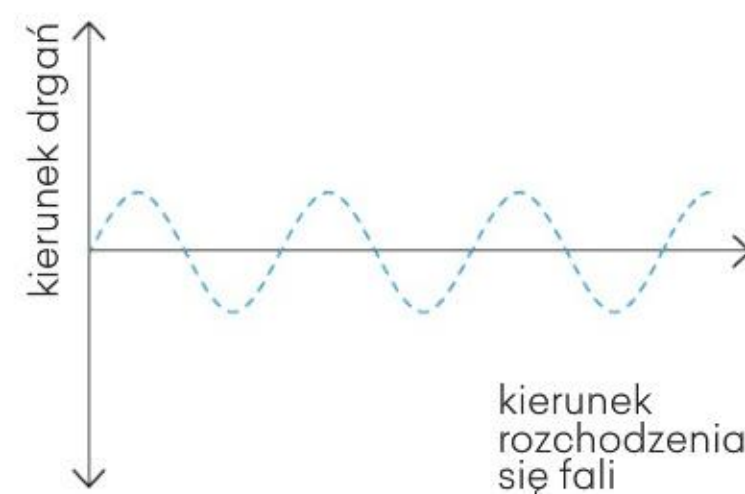
Fala poprzeczna

Przeanalizujmy teraz, co się dzieje, gdy przekazywane są drgania od punktu A, znajdującego się na końcu węża, którym poruszamy, do kolejnych jego części (il. 2.15). W chwili t_0 wąż jest naprężony i żadna jego część nie jest wychylona. W chwili t_1 wychylamy koniec węża A z położenia równowagi do maksymalnego wychylenia w górę. Spowoduje to wychylenie, w tę samą stronę, sąsiadujących elementów węża. Po czasie t_2 , równym $\frac{1}{2}$ części okresu drgań T , punkt A powraca do położenia równowagi, a maksymalnie wychylony w górę jest punkt B węża. W kolejnej chwili – t_3 – koniec linii wychylamy w dół. Punkt B powraca do położenia równowagi, a w górę przemieszcza się kolejny punkt C oddalony o tę samą odległość od poprzedniego punktu. Po czasie $t_4 = T$ punkt A powraca do położenia równowagi, punkt B jest maksymalnie wychylony w dół, punkt C jest również w położeniu równowagi, a punkt D jest maksymalnie wychylony w górę. **Po czasie równym okresowi drgań zaburzenie przemieściło się wzdłuż węża na odległość, w którym cząstka A wykonała jedno pełne drganie.** Cząsteczki ośrodka wykonują tylko drgania wokół swoich położenia równowagi, a w tym czasie w ośrodku przemieszcza się fala.

Zauważ, że w obu prezentowanych doświadczeniach **kierunek drgań cząsteczek ośrodka jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali** (il. 2.16). Taką falę nazywamy **falą poprzeczną**.

Fala podłużna

Inny rodzaj fali może powstać w powietrzu, inny w ciele stałym lub cieczy. Aby w tych ośrodkach powstała i rozchodziła się fala, muszą zostać wprowadzone w drgania ich cząsteczki.



2.16 Schemat fali poprzecznej

Doświadczenie 19.

Obserwujemy rozchodzenie się fali podłużnej

Niezbędne przedmioty: długa, metalowa spiralna sprężyna typu Slinky (może być plastikowa), kawałek wstążki, cienki sznurek, dwa statywy, ewentualnie młotek

Wykonanie:

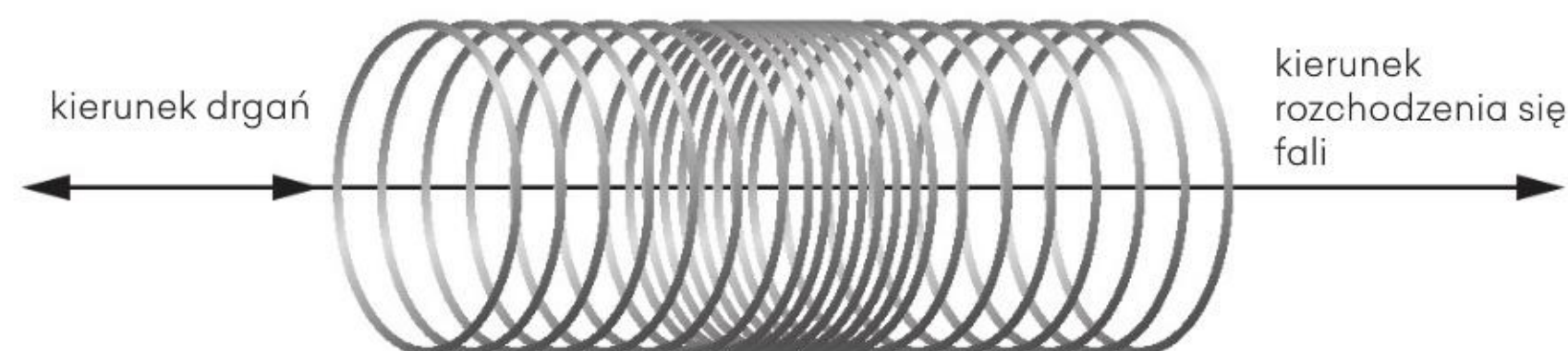
- Zawieś na kilku cienkich sznurkach przyczepionych do statywów sprężynę lub połóż ją swobodnie na stole. Sprężyna jest modelem ośrodka, w którym zwoje sprężyny odpowiadają cząsteczkom ośrodka.
- Przywiąż w połowie długości sprężyny wstążkę.
- Ściśnij kilka pierwszych zwojów, a następnie puść.
- Gdy sprężyna leży na stole, możesz uderzyć w nią z jednej strony młotkiem. Doświadczenie powtórz kilka razy, gdyż zjawisko to zachodzi szybko, co utrudnia obserwację.



Obserwacje i wnioski: Wzdłuż sprężyny rozchodzi się fala w postaci zagęszczenia i rozrzedzenia zwojów. Podobnie w innych ośrodkach obserwujemy zagęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek danego ośrodka. Za zagęszczeniem następuje rozrzedzenie zwojów, ale sprężyna jako cały ośrodek nie zmienia swojego położenia.

W tym doświadczeniu **kierunek drgań cząsteczek ośrodka i kierunek rozchodzenia się fali były zgodne**. Taką falę nazywamy **falą podłużną**.

Możemy również podsumować nasze obserwacje stwierdzeniem, że fale podłużne to rozchodzące się w ośrodku sprężystym zagęszczenia i rozrzedzenia ośrodka (il. 2.17).



2.17 Fala podłużna

Ośrodki (ciała) posiadające **sprężystość postaci** charakteryzują się tym, że po ustąpieniu działania siły odkształcającej ośrodek (ciało) wraca do swojej poprzedniej postaci.



2.18 Fala na stadionie



Dobrym modelem do przedstawienia istoty ruchu falowego jest fala meksykańska, jaką kibice piłkarscy tworzą na trybunach stadionów. Polega ona na tym, że przyjmują oni kolejno pozycję stojącą z uniesieniem rąk w górę, a następnie pozycję siedzącą z opuszczeniem rąk. Taką postawę przyjmują kolejno kibice sąsiednich rzędów. Fala ta rozchodzi się bez przemieszczania się kibiców. Możecie wywołać ją w klasie.

Mechanizm rozchodzenia się fal

Fala podłużna, którą zaobserwowałeś w sprężynie, będzie się też rozchodzić w powietrzu. Na przykład – jeśli w imadle zamocujemy płaską sprężynę (brzeszczot) i wprowadzimy ją w drgania przez odchylenie jej z położenia równowagi, spowodujemy powstawanie zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza następujących po sobie i rozchodzących się od niej. Tego efektu możesz nie zauważyć, ale możesz go odczuć na dłoni lub twarzy. Lekkie podmuchy powietrza następujące po sobie to efekt zagęszczeń i rozrzedzeń rozchodzących się od ciał drgających.

Nasuwa się pytanie, czy fale poprzeczne i podłużne mogą powstawać we wszystkich rodzajach ośrodków. Otóż okazuje się, że **fale poprzeczne mogą powstawać jedynie w ciałach stałych i na powierzchni cieczy**, czyli tylko w ośrodkach mających tzw. **sprężystość postaci**. **Fale podłużne powstają we wszystkich ośrodkach sprężystych, niezależnie od ich stanu skupienia.**

Po przeanalizowaniu wszystkich poznanych przypadków powstawania fal możemy stwierdzić, że źródłem lub przyczyną ruchu falowego (fali mechanicznej – sprężystej) jest ruch drgający. Zachodzi on w ośrodku materialnym, sprężystym składającym się z cząsteczek. Drgające cząsteczki ośrodka pobudzają do drgań następne, przekazując im energię. **Fala więc niesie energię, a sam ośrodek się nie przemieszcza.**

Wielkości opisujące ruch falowy

Wiesz już, że fala mechaniczna rozchodzi się w ośrodku sprężystym poprzez rozprzestrzenianie się drgań ośrodka. Jeśli przyczyną powstawania są drgania harmoniczne, to i fala jest falą harmoniczną. Taką falę możemy obserwować na sznurze, uderzając rytmicznie ręką w ten sznur.

Fale charakteryzują się pewnymi wielkościami, które możemy zmierzyć. Są nimi: częstotliwość, okres, długość, amplituda oraz prędkość rozchodzenia się fali. W związku z tym, że przyczyną ruchu falowego jest ruch drgający cząsteczek ośrodka, w którym fala się rozchodzi, niektóre z wielkości charakteryzujących obydwa zjawiska są ściśle ze sobą związane.

I tak – częstotliwość fali jest taka jak częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka, w którym ta fala się rozchodzi. Okres fali jest równy okresowi drgań cząsteczek, a amplituda fali równa amplitudzie drgań cząsteczek ośrodka. W wykonanych doświadczeniach mogłeś na pewno zauważyć, że w miarę oddalania się od źródła fali amplituda fali maleje i energia, jaką niesie fala, staje się mniejsza.

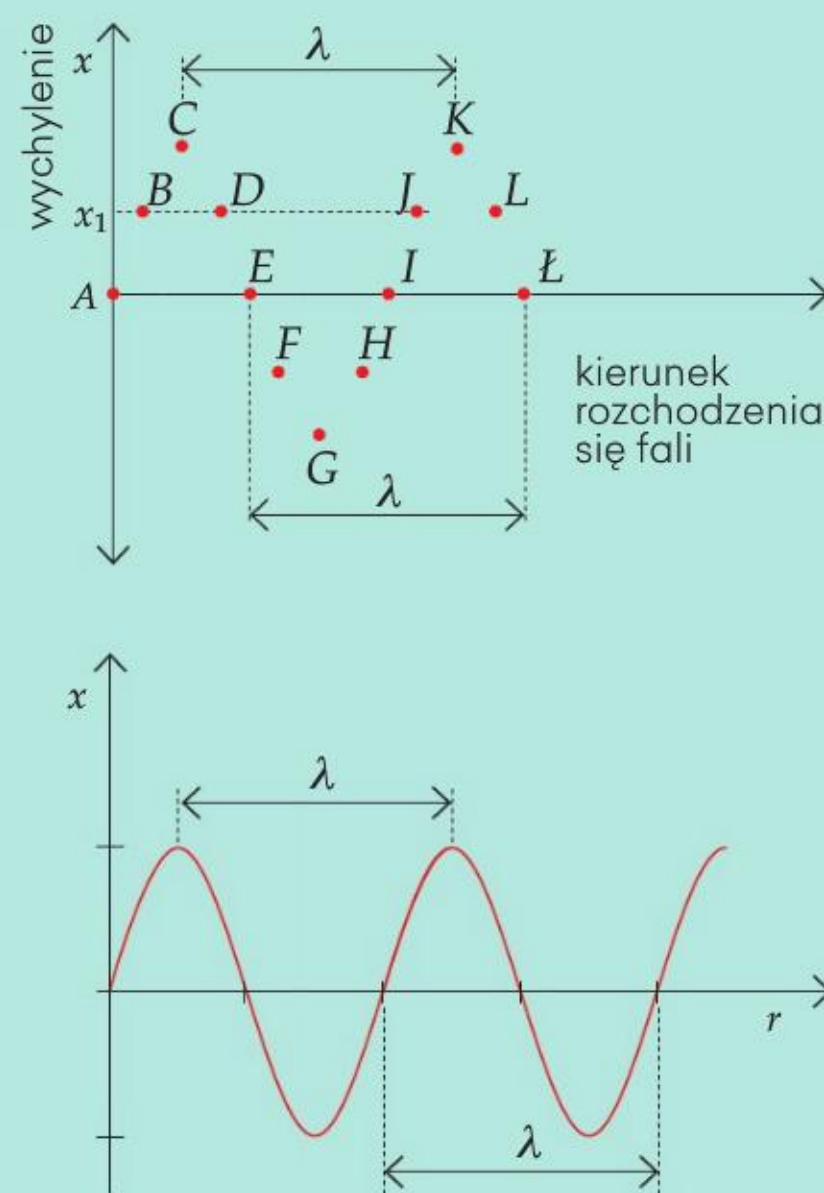
W czasie t , gdy cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie, fala przebywa drogę, którą nazywamy jej długością (oznaczoną grecką literą λ – lambda). W danym ośrodku fala rozprzestrzenia się z określoną stałą **szybkością** (v). Wielkość ta zależy od cech ośrodka, w którym dana fala się rozchodzi.

Określenie fazy fali

Inną ważną cechą opisującą ruch falowy jest **faza fali**. Podczas rozchodzenia się zaburzenia falowego różne cząsteczki ośrodka mają w danej chwili różne wychylenia względem ich położenia równowagi. Aby przybliżyć tę cechę ruchu falowego, przeanalizujemy rysunek przedstawiający chwilowe położenie wybranych cząsteczek ośrodka, w którym rozchodzi się fala poprzeczna.

Cząsteczka A jest chwilowo w położeniu równowagi, cząstka B ma wychylenie x_1 i porusza się w górę, cząsteczka D ma wychylenie $x_2 = x_1$, ale porusza się w dół, zaś cząsteczka C osiągnęła maksymalne wychylenie. Cząsteczki A, B, C, D znajdują się w różnych fazach. Możemy też powiedzieć, że fala w tych punktach ma różne fazy. Jednocześnie stwierdzamy, że cząsteczki B i J lub D i L oraz E i Ł lub A i I są w tej samej fazie, bo mają dokładnie takie samo wychylenie i poruszają się w tę samą stronę, jak również mają takie same szybkości (a nawet takie same prędkości).

Możemy przedstawić wykres takiej fali. Jest on podobny do wykresu drgań. Wykres drgań dotyczy jednak wychylenia jednej cząsteczki, a wykres fali ilustruje położenie x różnych cząsteczek ośrodka (punktów) w jednej chwili w zależności od odległości r od źródła fali.

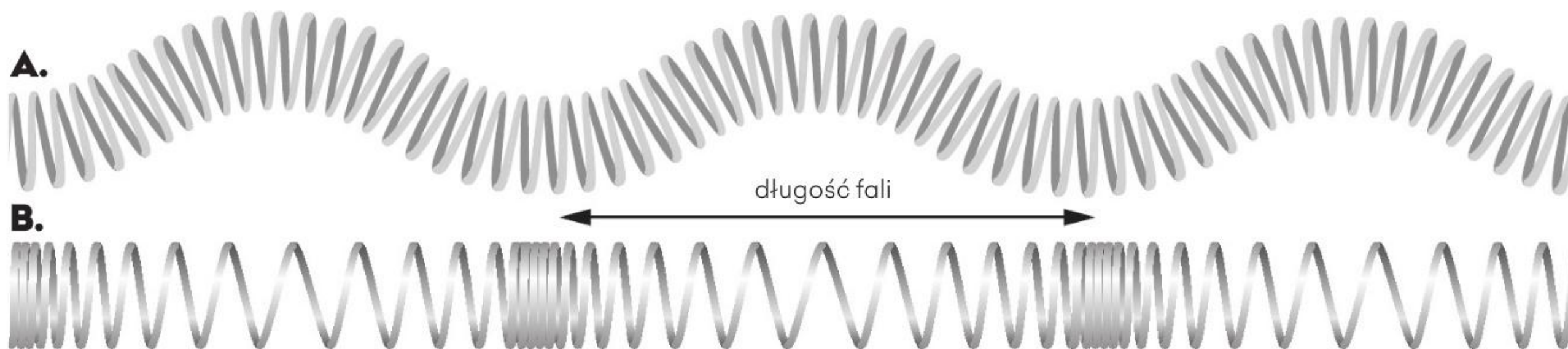


Określenie długości fali

Wiesz już, że gdy cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie, fala przebywa drogę, którą nazywamy jej **długością**. Dla fal wzbudzonych w sprężynie mogłeś zaobserwować, że odległość między kolejnymi zagęszczeniami zwojów, dla fali podłużnej, czy między kolejnymi grzbietami lub dolinami, dla fali poprzecznej (il. 2.19), nie zmieniała się. Odległość ta również określa długość fali.

Możesz również przeanalizować sporządzone wcześniej wykresy fali. Otóż odległość pomiędzy kolejnymi punktami na wykresie o tej samej fazie drgań jest równa **długości fali**. Możemy więc dla fali poprzecznej określić długość fali np. jako odległość między dwoma kolejnymi grzbietami lub dwiema kolejnymi dolinami fali.

W wypadku fali podłużnej długość fali jest równa odległości między kolejnymi zagęszczeniami lub kolejnymi rozrzedzeniami ośrodka.



2.19 Fale o tej samej długości fali, poprzeczna (A.) i podłużna (B.)

Ciekawe!

Fale sejsmiczne, wywołane przez trzęsienia ziemi, rozchodzą się we wnętrzu Ziemi na odległość tysięcy kilometrów. Fale te mogą być podłużne (skały pobudzone są do drgań do przodu i do tyłu) oraz poprzeczne (skały drgają w górę i w dół oraz na boki). Fale poprzeczne powodują największe zniszczenia.

Związek między wielkościami opisującymi falę

Znając określenie długości fali, możemy zdefiniować, podobnie jak w ruchu drgającym, okres fali i jej częstotliwość.

Okres fali T to czas, w którym fala przebywa drogę równą swojej długości. Okres drgań wyznaczamy w sekundach.

Częstotliwość fali f wyznaczamy ze wzoru: $f = \frac{1}{T}$ i wyrażamy w hercach ($1 \text{ Hz} = \frac{1}{1 \text{ s}}$).

Fala rozchodzi się w danym ośrodku ruchem jednostajnym, więc ze wzoru na drogę ($s = v \cdot t$) można określić związek pomiędzy długością fali, jej okresem a wartością prędkości (szybkością) jej rozchodzenia się:

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

Szybkość rozchodzenia się fali w danym ośrodku możemy obliczyć ze wzoru:

$$v = \lambda \cdot f$$

v – szybkość ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$)

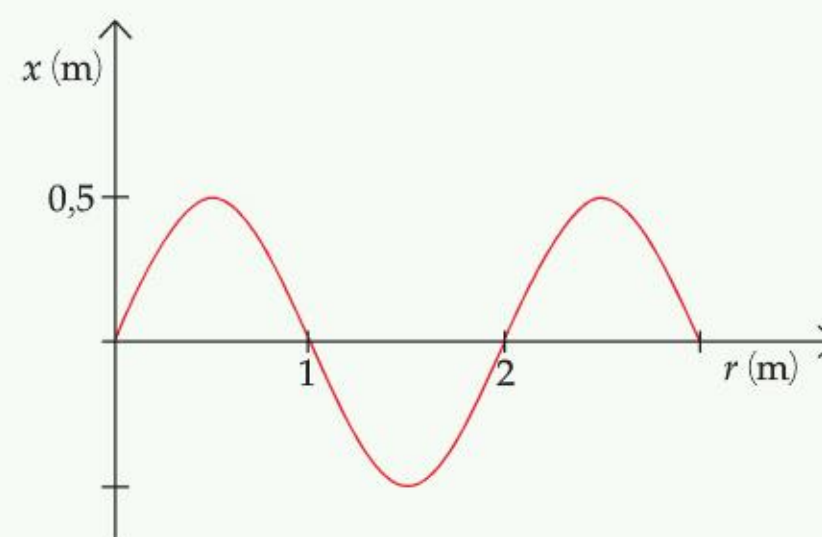
λ – długość fali (m)

f – częstotliwość fali (Hz)

Rozpatrzmy przykład.

Przykład 9.

Częstotliwość drgań fali przedstawionej na rysunku wynosi 2 Hz. Oblicz okres i odczytaj amplitudę oraz długość tej fali.



Dane:

$$f = 2 \text{ Hz}$$

Szukane:

$$T = ?$$

$$\lambda = ?$$

Rozwiązanie

Obliczamy okres fali, korzystając ze wzoru: $f = \frac{1}{T}$ to $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2 \text{ Hz}} = \frac{1}{2 \frac{1}{\text{s}}} = 0,5 \text{ s}$

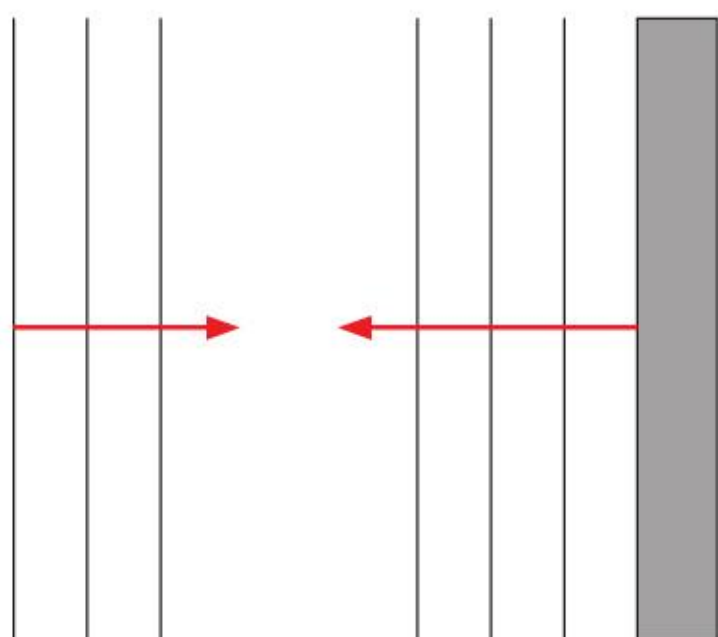
Odczytujemy z wykresu amplitudę fali – wynosi ona 0,5 m. Odczytujemy z wykresu długość fali: $\lambda = 2 \text{ m}$.

Odpowiedź: Okres fali wynosi 0,5 s, amplituda 0,5 m, a długość fali 2 m.

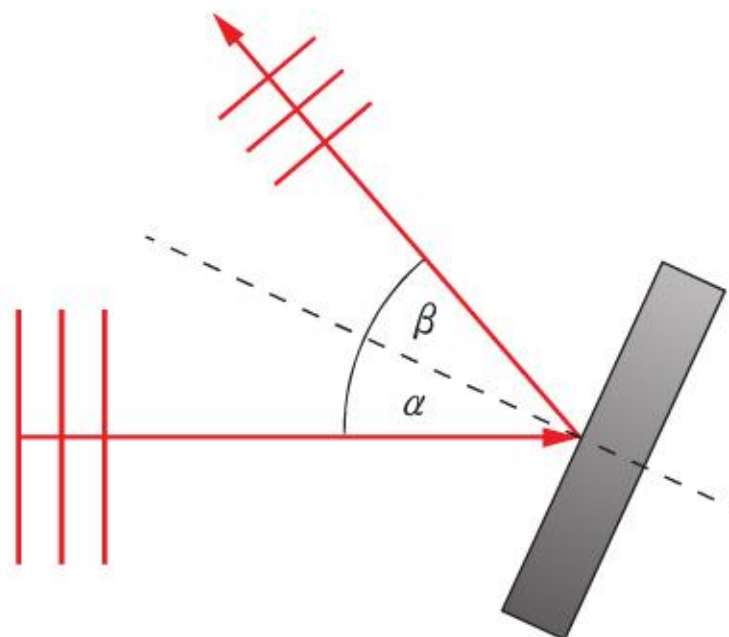
Zjawisko odbicia fal

Po natrafieniu na przeszkodę fala ulega **odbiciu**, zmieniając kierunek rozchodzenia się fali lub choćby tylko swój zwrot. Jeśli wzbudzisz impuls falowy na wężu przymocowanym jednym końcem do ściany (il. 2.15), zauważysz, że impuls odbity jest odwrócony. Oznacza to, że impuls, który dotarł do przeszkody (ściany) jako „grzbiet”, odbija się od niej „doliną”, zaś ten, który dotarł jako „dolina”, odbija się od niej jako „grzbiet” (il. 2.20).

Odbiciu ulegają także fale biegnące po powierzchni wody. Wzbudzony za pomocą linijki impuls falowy dociera do przeszkody jako fala płaska. Na rysunkach widzisz odbicie fali płaskiej od metalowej przeszkody ustawionej prostopadle (il. 2.21) i ukośnie (il. 2.22) do kierunku jej rozchodzenia. Fala odbita, po odbiciu od przeszkody ustawionej ukośnie, porusza się w innym kierunku niż fala padająca.



2.21 Kierunek rozchodzenia się fali po odbiciu od przeszkody ustawionej prostopadle do kierunku jej rozchodzenia



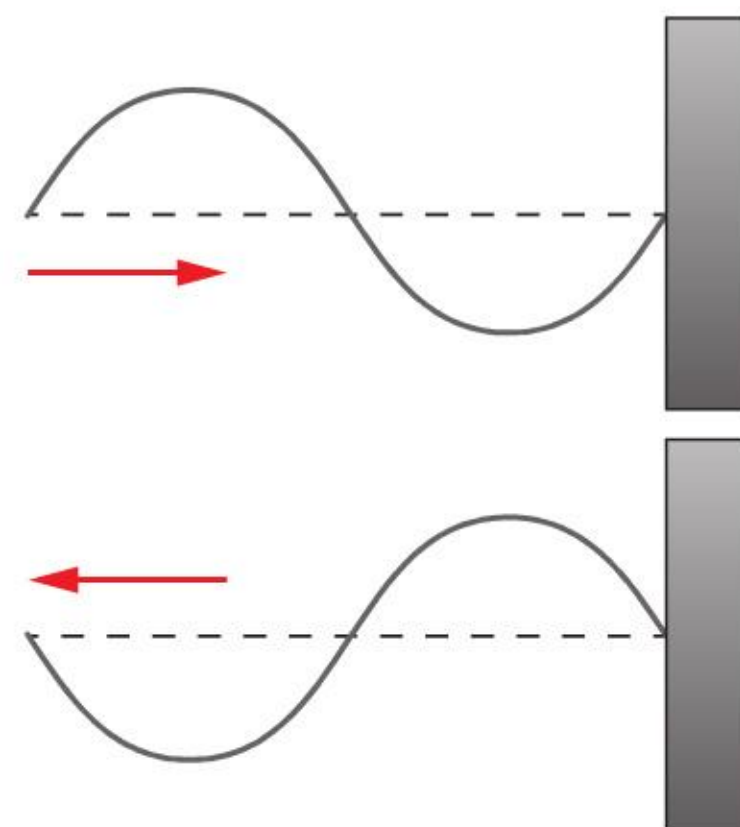
2.22 Kierunek rozchodzenia się fali po odbiciu od przeszkody ustawionej ukośnie do kierunku jej rozchodzenia

Kąt zawarty między kierunkiem fali padającej a prostą prostopadłą do płaszczyzny wystawionej w punkcie padania to kąt padania α , zaś kąt zawarty między kierunkiem fali odbitej a normalną to kąt odbicia β (il. 2.23).

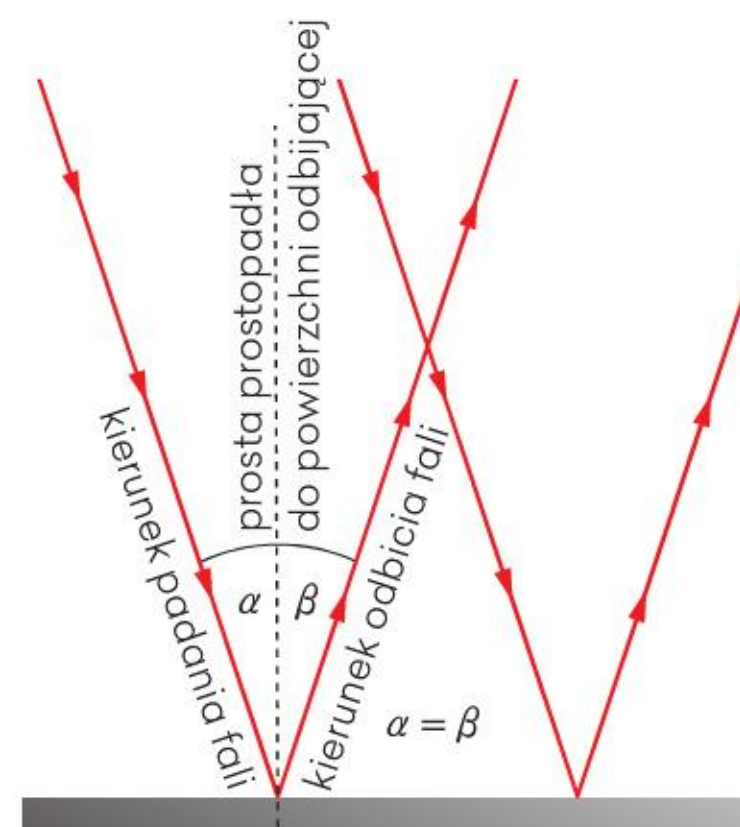
Fale po dotarciu do przeszkody odbijają się od niej tak, że kąt odbicia jest równy kątowi padania i kąty te leżą w jednej płaszczyźnie.

Zauważ, że zjawisko odbicia impulsów falowych i piłki od przeszkody odbywa się w oparciu o to samo prawo, o czym dowiesz się więcej w toku dalszej nauki.

Fale ulegają też innym zjawiskom – dyfrakcji, czyli ugięciu na szczelinach lub przeszkodach o małych rozmiarach (na przykład na kamieniu) – i interferencji, czyli nakładaniu się. Zjawisko to może doprowadzić do wzmocnienia impulsów lub ich do wygaszenia. Fale ulegają też załamaniu, o czym będziesz się uczył pod koniec klasy ósmej.



2.20 Odbicie impulsu falowego od przeszkody



2.23 Prawo odbicia fali

Ciekawe!

Czoło fali określa się jako linię lub powierzchnię falową oddzielającą obszar, do którego fala dotarła, od obszaru, w którym jej jeszcze nie ma. Jeśli fala rozchodzi się w przestrzeni, to w zależności od kształtu powierzchni falowej rozróżniamy fale płaskie lub kuliste. W wypadku fal płaskich czołem fali jest płaszczyzna, a u fal kulistych – powierzchnia kuli. Mówi się na przykład, że czoło fali sejsmicznej dotarło do określonego obszaru.

W skrócie

- Falą mechaniczną nazywamy zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym w miarę upływu czasu. Zaburzenie to może być odkształceniem jakiegoś małego obszaru ośrodka lub zmianą zagęszczenia jego cząsteczek. Możemy też powiedzieć, że fala mechaniczna to rozchodzące się drgania ośrodka sprężystego, przenoszące energię, bez przemieszczania się materii.
- Wyróżniamy fale:
 - poprzeczną, w której kierunek drgań ośrodka jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali, rozchodzącą się tylko w ciałach stałych i na powierzchni cieczy (na skutek napięcia powierzchniowego),
 - podłużną, której kierunek drgań ośrodka jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali; fala ta rozchodzi się we wszystkich ośrodkach.
- Wielkościami opisującymi falę są:
 - długość fali – droga, którą przebywa fala w czasie t , gdy cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie; o taką drogę przemieszcza się w tym czasie czoło fali,
 - okres fali – czas, w którym fala przebywa drogę równą swojej długości,
 - częstotliwość, którą możemy określić liczbą drgań ośrodka wykonywanych w czasie 1 sekundy lub jako liczbę długości fali mieszczących się w drodze przebytej w ciągu 1 sekundy,
 - amplituda fali, która jest równa amplitudzie drgań cząsteczek ośrodka.
- Fala w danym ośrodku przemieszcza się ruchem jednostajnym. Jej prędkość rozchodzenia się obliczamy ze wzoru: $v = \lambda \cdot f$
- Fale po dotarciu do przeszkody odbijają się od niej tak, że kąt odbicia równy jest kątowi padania i kąty leżą w jednej płaszczyźnie.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Fala może się rozchodzić na duże odległości,	A.	bo cząsteczki ośrodka drgają, przekazują energię kolejnym cząsteczkom i przemieszczają się wraz z falą.
	B.	bo cząsteczki wykonują drgania i przekazują energię kolejnym cząsteczkom, ale same nie przemieszczają się wraz z nią.

- Fala o częstotliwości 4 Hz rozchodzi się z szybkością $4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz jej długość i okres. Narysuj wykres zależności wychylenia tej fali od czasu.
- Długość fali wynosi 1,5 m, a szybkość jej rozchodzenia się wynosi $3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz okres i częstotliwość tej fali.
- Boja unosząca się na wodzie wykonuje 20 drgań w ciągu minuty. Oblicz szybkość, z jaką rozchodzi się fala, wiedząc, że odległość między grzbietami fali wynosi 9 m.

2.4 Dźwięki

Podejmij temat

- Co to jest dźwięk i czy można go zobaczyć?
- Dlaczego kosmonauci na Księżycu nie mogą ze sobą rozmawiać tak, jak na Ziemi?

Fala akustyczna i źródła dźwięków

Poznamy teraz rodzaj fal, których nie możemy zobaczyć. Możemy jednak za pomocą zmysłu słuchu odebrać wrażenie, jakie one wywołują. Ten rodzaj fal nazywamy **falami akustycznymi** (dźwiękowymi). Aby zrozumieć mechanizm ich powstawania, wykonamy doświadczenie.

Doświadczenie 20.

Wytwarzamy falę dźwiękową

Niezbędne przedmioty: brzeszczot (płaska sprężyna) ewentualnie metalowa lub plastikowa linijka (ok. 50 cm), imadło (niekoniecznie)

Wykonanie:

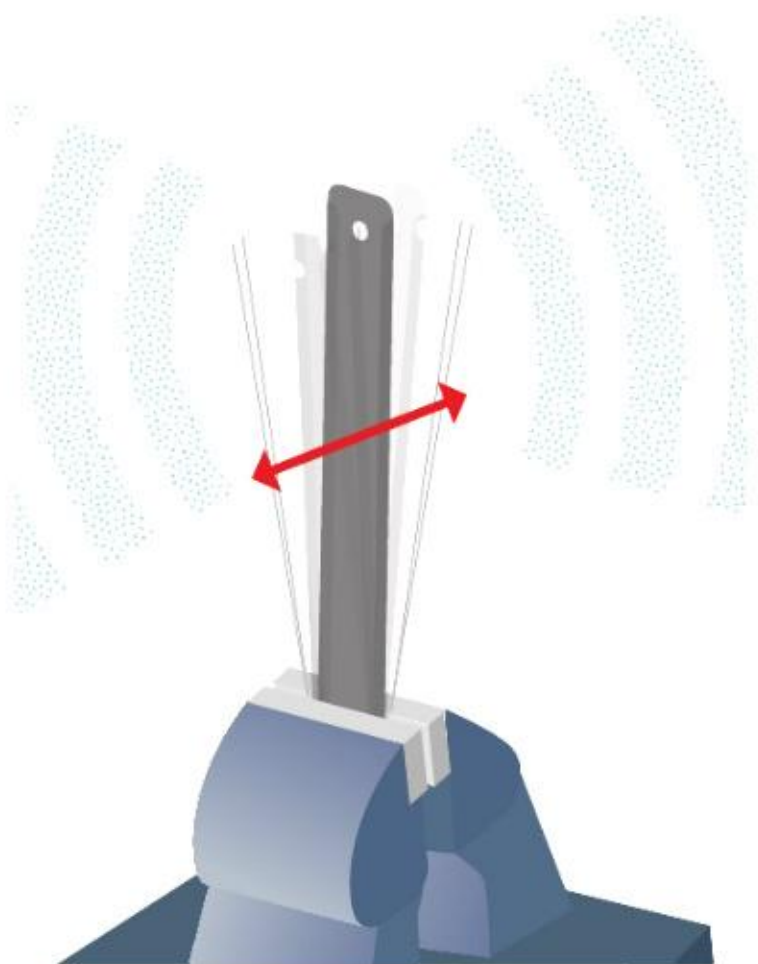
- Umieść brzeszczot (płaską sprężynę) lub linijkę w imadle lub połącz prostopadłe do krawędzi ławki (stołu), tak aby w większości długości wystawała poza ławkę.
- Wpraw brzeszczot (linijkę) w drgania, odchylając go z położenia równowagi.
- Obserwuj okresowo powtarzające się drgania.
- Stopniowo skracaj długość brzeszczotu i za każdym razem obserwuj drgania. Zwróć uwagę, czy słysząc dźwięk.

Obserwacje: Kiedy długość brzeszczotu odpowiednio skrócimy, wówczas wywołanym drganiom towarzyszy dźwięk.

Wniosek: Zmniejszenie długości drgającej części brzeszczotu powodowało zwiększenie częstotliwości jej drgań. Przy pewnej częstotliwości dźwięk stał się słyszalny i dotarł do nas dźwięk, którego źródłem był drgający brzeszczot.
Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwościach z zakresu od 16 Hz do 20 000 Hz.



Wyjaśnijmy mechanizm tego zjawiska. Drgająca z dostatecznie dużą częstotliwością płaska sprężyna (lub linijka) powoduje lokalne zmiany ciśnienia – z jednej strony ściskanie warstw powietrza, a z drugiej strony ich rozrzedzenie. Te następujące po sobie zagęszczenia i rozrzedzenia rozchodzą się od drgającej płaskiej sprężyny, tworząc falę podłużną (il. 2.24). Jeśli fala ta dotrze do ucha człowieka, wywołuje drgania błony bębenkowej. Drgania te nazywamy **drganiami akustycznymi**. Człowiek wtedy słyszy **dźwięk**.



2.24 Drgania brzeszczotu są źródłem fali podłużnej rozchodzącej się w powietrzu

Dźwięk to fala akustyczna rozchodząca się w ośrodku sprężystym (powietrzu, metalu, wodzie) – jest ona falą podłużną. Jednocześnie jest to wrażenie słuchowe wywołane tą falą. Ciała drgające, którym towarzyszą dźwięki, nazywamy źródłami dźwięku.

Wokół nas występują zarówno naturalne źródła dźwięku, jak i wytworzone przez człowieka. Do tych pierwszych zaliczymy: struny głosowe ludzi, zwierząt, spadającą wodę w wodospadzie, wodę płynącą w rzece, brzęczenie owadów, grzmoty. W drugiej grupie znajdują się drgające z określoną częstotliwością przedmioty, np. instrumenty muzyczne, kamertony, generatory drgań akustycznych. Szczególnymi źródłami dźwięków są właśnie **instrumenty muzyczne**. Wyróżniamy wśród nich m.in. strunowe, perkusyjne, dęte, elektryczne.

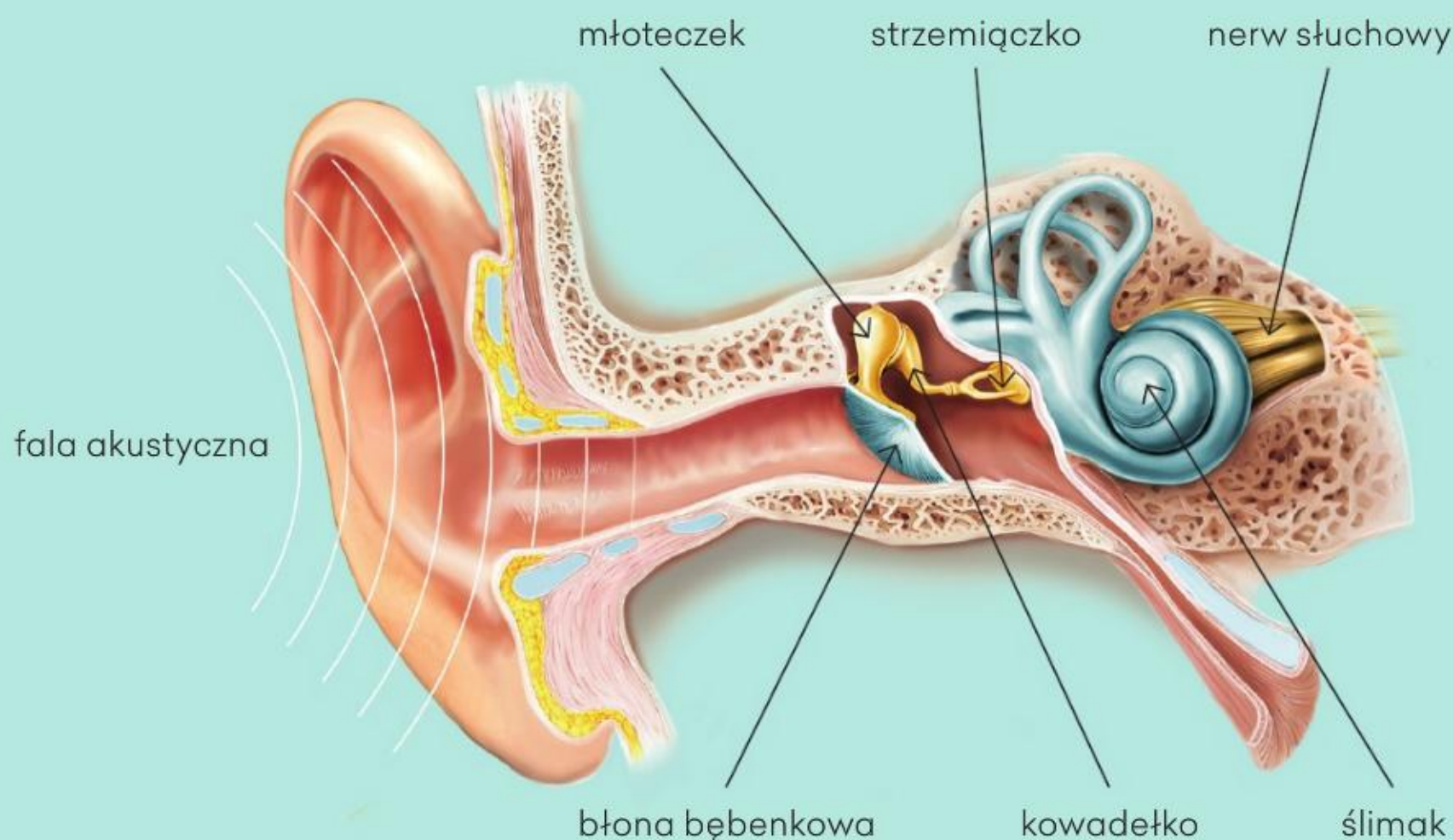
W instrumentach strunowych źródłem dźwięku jest drgająca napięta struna; w dętych – drgający słup powietrza; w perkusyjnych – drgające elementy perkusji, zaś w elektrycznych – drgania elektryczne.

Więcej na temat

Jak działa zmysł słuchu człowieka?

W ośrodku, w którym rozchodzi się fala akustyczna, powstają chwilowe zagęszczenia i rozrzedzenia cząsteczek ośrodka. W ten sposób w powietrzu obok ciśnienia atmosferycznego powstaje dodatkowe **ciśnienie fali dźwiękowej, zwane ciśnieniem akustycznym**. Zmiany ciśnienia, które są niewielkie, ale często występujące, rejestruje dzięki błonie bębenkowej nasze ucho. Drgania błony bębenkowej przenoszone są przez kosteczki słuchowe – młoteczek, kowadełko, strzemiączko – do ślimaka w uchu wewnętrznym.

Ślimak jest ostatnim odcinkiem układu przewodzącego dźwięk. W kanale ślimaka znajduje się narząd Cortiego, w którym mieszczą się komórki słuchowe pokryte rzęskami. Zmysłem słuchu odbieramy tylko te drgania, które pobudzają rzęski komórek słuchowych, czyli drgania o częstotliwościach z zakresu od 16 Hz do 20 000 Hz. Komórki słuchowe zamieniają drgania mechaniczne w impulsy nerwowe (elektryczne), które wzdłuż włókien nerwu słuchowego przekazywane są do mózgu, gdzie powstaje wrażenie słuchowe.



Budowa ucha

Rodzaje dźwięków

Wiesz już, że ucho ludzkie odbiera jako dźwięki drgania o częstotliwościach od 16 Hz do 20 kHz. Struny głosowe człowieka podczas mówienia wydają dźwięki o częstotliwościach od 50 Hz do 440 Hz. Dźwięki o częstotliwościach mniejszych od 16 Hz to **infradźwięki**, zaś o częstotliwościach powyżej 20 kHz to **ultradźwięki**. Infradźwięki nie są słyszane przez człowieka, ale są odczuwane jako wibracje. Wiatr, opony samochodowe w trakcie jazdy, powietrze opływające wysokie budynki wydają dźwięki o bardzo niskich częstotliwościach, mogą one wywoływać u ludzi senność i być powodem zaburzeń pracy innych narządów. Ultradźwięki, które pozostają poza zakresem słyszalności ucha ludzkiego, są odbierane i wydawane przez niektóre zwierzęta.

Naturalnymi źródłami ultradźwięków są nietoperze, wieloryby, delfiny, a infradźwięków – np. słonie.

Ciekawe!

Pies słyszy dźwięki o częstotliwościach do 38 kHz. Fakt ten wykorzystują w pracy policjanci. Psy policyjne reagują na specjalne gwizdki, których dźwięku nie słyszą ludzie.

Ciekawe!

Brzeszczot to zębate ostrze, najczęściej stalowe, będące główną częścią piły, czyli narzędzia służącego do przecinania rozmaitych materiałów, lub samodzielnym przyrządem do cięcia, np. metalu, drewna.

Oscylogram dźwięku

Dźwięki, których źródłem jest kamerton – zgięty metalowy pręt umocowany na uchwycie lub otwartym z boku drewnianym pudle – to dźwięki proste, nazywamy je **tonami**. Są to drgania harmoniczne o ściśle określonej częstotliwości i mają, najczęściej w przypadku kamertonów szkolnych, częstotliwość 440 Hz. Wykorzystując mikrofon i oscyloskop, możesz obejrzeć zapis dźwięku kamertonu – fali akustycznej odpowiadającej tonowi.

Doświadczenie 21.

Obserwujemy dźwięki zarejestrowane na ekranie oscyloskopu – oscylogramy

Niezbędne przedmioty: kamerton z młoteczkim, mikrofon podłączony do oscyloskopu przygotowanego do pomiarów przez nauczyciela

Wykonanie: Uderz młoteczkim w widelki kamertonu i obserwuj na ekranie zarejestrowane drgania kamertonu.

Obserwacje: Drgania kamertonu powodują powstawanie fali akustycznej, która rozchodzi się w powietrzu i dociera do mikrofonu. Mikrofon przekształca zmiany ciśnienia akustycznego na sygnał elektryczny. Otrzymujemy na ekranie tzw. wykres fali.

Wniosek: Na ekranie oscyloskopu obserwujemy zależność zmian ciśnienia akustycznego od czasu. Z wykresu można odczytać okres drgań źródła dźwięku i na tej podstawie obliczyć jego częstotliwość.



Cechy dźwięków

Dźwięki charakteryzują się różnymi cechami. Aby się o tym przekonać, wykonamy doświadczenia.

Doświadczenie 22.

Badamy, od czego zależy wysokość, głośność i barwa dźwięku

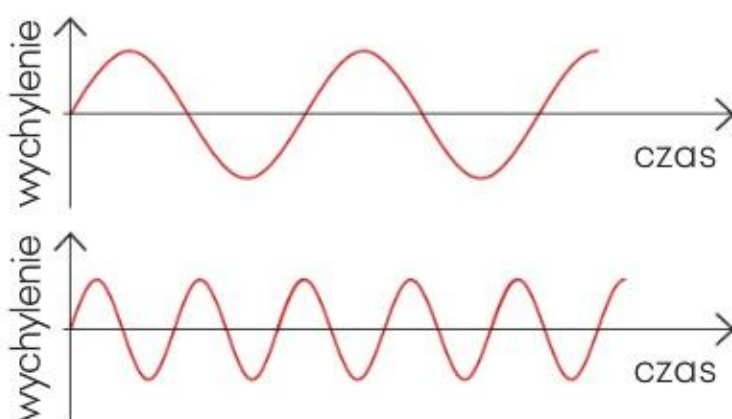
Niezbędne przedmioty: brzeszczot (płaska sprężyna) ewentualnie metalowa lub plastikowa linijka (ok. 50 cm), imadło (niekoniecznie), gitara (lub gumka recepturka naciągnięta na talerzyk), kamerton z młoteczkami

Wykonanie:

- Wpraw brzeszczot (lub linijkę) w drgania, odchylając go z położenia równowagi. Zbadaj dźwięki wydawane przez brzeszczot (linijkę) dla kilku jej długości. Zaobserwuj, że im krótsza część drgająca, tym częstotliwość drgań jest większa. Posłuchaj, w jaki sposób zmienia się dźwięk przy skracaniu brzeszczotu (linijki).
- Brzeszczot o zadanej (ustalonej) długości wpraw tak jak poprzednio w drgania, zmieniając tym razem amplitudę drgań przez różne wychylanie jej z położenia równowagi.
- Wpraw w drgania strunę gitary (naciągniętą gumkę) przez szarpnięcie jej palcami, przeciągnij po strunie palcem.
- Uderz młoteczkami w widełki kamertonu i posłuchaj jego dźwięku (najczęściej to dźwięk a). Następnie posłuchaj odpowiadającego mu dźwięku (też dźwięku a) na gitarze.

Obserwacje i wnioski:

- Możemy stwierdzić, że przy różnych częstotliwościach drgań **wysokość** dźwięku jest różna.
- Amplituda drgań wpływa na **głośność** dźwięku.
- Każde ze źródeł dźwięku wydaje dźwięk o innym brzmieniu, czyli o innej **barwie**.



2.25 Zapis na ekranie oscyloskopu. Te tony różnią się tylko wysokością

Wysokość dźwięku

Miałeś okazję zaobserwować, że dźwięki różnią się wysokością, głośnością i barwą. Są to cechy wrażenia słuchowego, te zaś zależą od fizycznych cech dźwięku jako fali, a więc i od drgań źródła.

Wysokość dźwięku zależy od częstotliwości drgań źródła dźwięku. Im większa jest częstotliwość drgań źródła dźwięku, tym dźwięk jest wyższy.

Przyjrzyj się oscylogramowi – zapisowi dwóch tonów wytworzonych przez generator dźwięku (il. 2.25).

Głośność dźwięku

W doświadczeniu 22. mogłeś zauważyć, że jeżeli szarpnięcie struny gitary było silniejsze, to słyszany dźwięk był głośniejszy. Głośność dźwięku związana jest z energią fali dźwiękowej i wywołanym przez tę falę ciśnieniem akustycznym. Zmieniające się w czasie ciśnienie akustyczne działa na błonę bębenkową ucha, co odbieramy jako dźwięk – cichy lub głośny – zależny od amplitudy dźwięku.

Im większa jest amplituda drgań o danej częstotliwości, tym większa jest głośność dźwięku.

Głośność dźwięku mierzy się w **fonach**. Próg słyszalności (próg czułości ucha) ma 0 fonów, szept odpowiada głośności 20 fonów, głośna rozmowa to 60 fonów, start samolotu 120 fonów, a próg bólu 130 fonów. Próg słyszalności dźwięków o różnych częstotliwościach nie jest jednakowy. Większość ludzi dobrze słyszy dźwięki o częstotliwościach od 1 kHz do 5 kHz, nawet jeśli są ciche. U osób, które słabo słyszą, zmniejsza się zarówno zakres częstotliwości odbieranych dźwięków, jak i zakres ciśnienia akustycznego działającego na błonę bębenkową ucha.

Głośność a natężenie dźwięku

Głośność dźwięku zmniejsza się, gdy oddalamy się od źródła dźwięku. Gdy 10-krotnie zwiększymy odległość od źródła dźwięku, to słyszymy go aż 100 razy słabiej. Dzieje się tak, ponieważ energia fali akustycznej rozchodzącej się kuliście rozkłada się na coraz większą powierzchnię falową – powierzchnię kuli. Podobnie było przy rozchodzeniu się fali na wodzie. Jej amplituda też malała w miarę oddalania się od źródła zaburzenia, gdyż energia fali rozkładała się na obwodzie coraz większych okręgów powierzchni falowych.

Nasze ucho rozpoznaje, czy dźwięk jest cichy czy głośny, ale żeby zmierzyć tę cechę dźwięku posługujemy się inną wielkością fizyczną – **natężeniem dźwięku**.

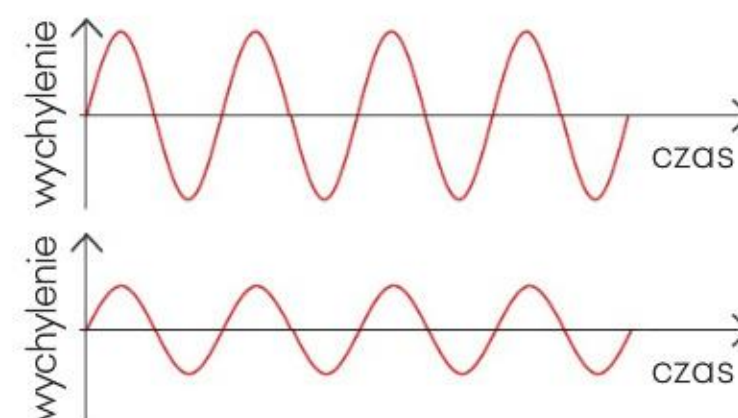
Natężenie dźwięku, lub inaczej poziom natężenia dźwięku, zależy od amplitudy drgań źródła dźwięku i wielkości powierzchni emitującej falę dźwiękową.

Natężenie dźwięku to wielkość określająca, jaka energia jest przenoszona przez jednostkową powierzchnię w jednostce czasu.

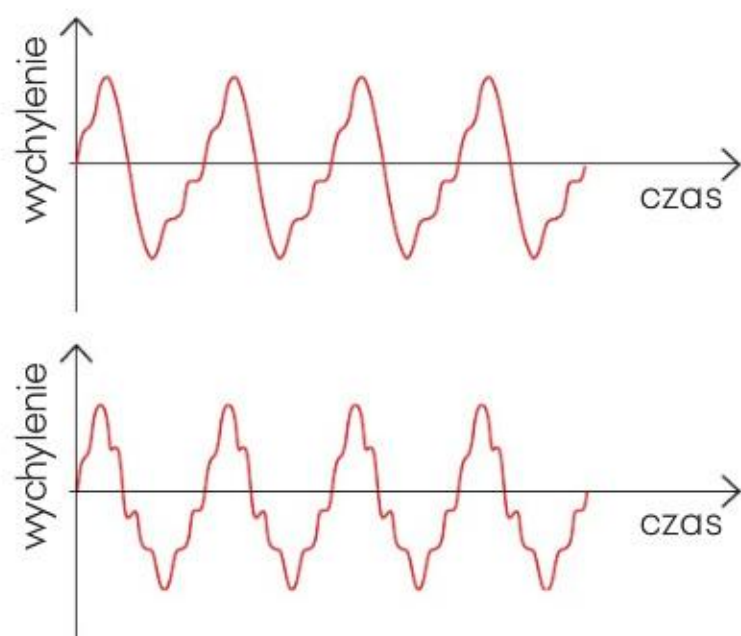
Natężenie dźwięku jest tym większe, im większa jest amplituda drgań (il. 2.26). Poziom natężenia dźwięku wyrażamy w **decybelach** (dB). Decybel to 0,1 bela (od nazwiska Aleksandra Grahama Bella – wynalazcy telefonu). Dokładną definicję decybela poznasz w toku dalszej nauki.

Ciekawe!

Fale akustyczne docierają do nas dwiema drogami – powietrzną (przez uszy) oraz kostną. Odbiór wibracji ma duże znaczenie dla osób niesłyszących. Okolice twarzy i dłoni są na nie najbardziej wrażliwe.



2.26 Zapis na ekranie oscyloskopu. Dźwięki różnią się głośnością i natężeniem



2.27 Zapis na ekranie oscyloskopu. Dźwięki mają taką samą częstotliwość i amplitudę, ale ich kształt jest inny, różnią się więc barwą

Barwa dźwięku

Zapewne zdarzyło ci się słyszeć tę samą piosenkę wykonywaną przez różne osoby. Mimo że wykonywana tak samo głośno i w tej samej tonacji, brzmiała inaczej. Również inaczej brzmi ten sam dźwięk pochodzący z różnych instrumentów muzycznych. Barwa dźwięku jest związana ze źródłem dźwięku – z jego właściwościami oraz sposobem pobudzania go do drgań. Dwa różne źródła dźwięku przy takiej samej głośności i tej samej wysokości wydają dźwięki różniące się od siebie. To samo źródło dźwięku wyda inny dźwięk przy innym sposobie pobudzenia go do drgań. I tak na przykład struna skrzypiec wyda inny dźwięk przy szarpnięciu jej palcem niż przy pociągnięciu jej smyczkiem. Dwie osoby mówiące lub śpiewające wydają dźwięki o różnych barwach, bo ich struny głosowe, nawet przy takim samym natężeniu i takiej samej wysokości, drgają inaczej (il. 2.27). Im bardziej złożone są drgania, tym barwa dźwięku odbierana jest jako przyjemniejsza dla ucha. Zazwyczaj dźwięk składa się z równocześnie wysyłanych ze źródła kilku tonów o różnych częstotliwościach i amplitudach. Ton o najniższej częstotliwości nazywamy **tonem podstawowym**, to od niego zależy wrażenie słuchowe wysokości dźwięku.

Barwa dźwięku zależy od częstotliwości i amplitudy tonów dodatkowych tworzących wraz z tonem podstawowym dźwięk.

Badamy dźwięki

Możemy już podsumować wiadomości o wielkościach charakteryzujących dźwięki i zestawień poznane cechy dźwięków rozpoznawalne przez ucho człowieka oraz te, które możemy zmierzyć (tabela 4.).

Tabela 4. Cechy dźwięków i odpowiadające im wielkości mierzalne

Cechy dźwięku rozpoznawalne przez człowieka	Wielkości, które mierzymy	Zapis dźwięku
wysokość	częstotliwość (Hz)	dźwięk niski dźwięk wysoki
głośność (fon)	natężenie dźwięku lub tzw. poziom natężenia dźwięku (dB)	ton głośny ton cichy
barwa	liczba, rodzaj tonów składowych	ton dźwięk o złożonej barwie

Wykonaj teraz doświadczenie i spróbuj zaobserwować, jak zmieniają się oscylogramy różnych dźwięków.

Doświadczenie 23.

Oglądamy różne dźwięki

Niezbędne przedmioty: komputer z programem do wizualizacji dźwięków (np. Windows Media Player (czyt. łindoł midje plejer), Winscope (czyt. łinskeup) lub inny bezpłatny), mikrofon, głośniki lub słuchawki, ewentualnie różne instrumenty muzyczne, kamertony, także nagrania rozmaitych dźwięków (pamiętaj, że tylko niektóre programy mają możliwość odtwarzania dźwięków z zapisanych plików)

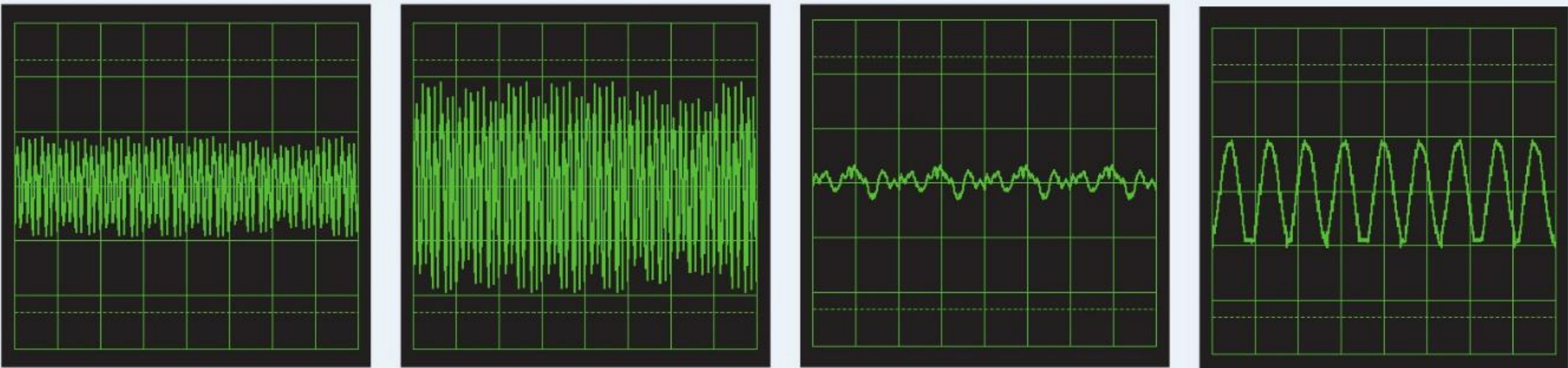
Uwaga: Możesz wykorzystać również smartfon. Wyszukaj aplikację pod hasłem „oscyloskop” (ang. oscilloscope).

Wykonanie:

- Wybierz i uruchom program do wizualizacji dźwięków (sprawdź, czy mikrofon jest włączony lub ewentualnie podłącz mikrofon do komputera).
- Obejrzyj wykresy różnych dźwięków: swojego głosu (np. szeptu, śmiechu, śpiewu, słów wypowiedzianych niskim i wysokim głosem), kamertonów, instrumentów muzycznych, hałasu itp. lub odtwarzaj pliki z różnymi dźwiękami.
- Zapisz obrazy z wykresami lub zrób zrzut z ekranu z obrazami dźwięków.
- Zaobserwuj charakterystyczne cechy obrazu odpowiadające dźwiękom cichym i głośnym oraz wypowiedziane niskim i wysokim głosem.
- Wskaż na wykresach, co odpowiada głośności dźwięku (amplitudzie drgań) oraz wysokości dźwięku (okresowi drgań).



Obserwacje: Analiza wykresów pozwala zauważyć, że im głośniejszy dźwięk, tym amplituda fali jest większa. Im wyższy dźwięk, tym okres fali mniejszy, czyli częstotliwość dźwięku jest większa.



Rozchodzenie się dźwięków w różnych ośrodkach

Fala akustyczna może rozchodzić się nie tylko w powietrzu, ale i w innych ośrodkach sprężystych – w innych gazach, cieczach i ciałach stałych. W danym ośrodku i w danych warunkach wartość prędkości rozchodzenia się dźwięku jest stała. Jej wartość zależy od rodzaju ośrodka, w którym się rozchodzi, jego właściwości fizycznych oraz od temperatury. Na przykład w powietrzu szybkość dźwięku zależy od gęstości, temperatury i wilgotności powietrza oraz od ciśnienia atmosferycznego.

Tabela 5. Wartość prędkości dźwięku w wybranych ośrodkach

Ośrodek	powietrze	woda	drewno	stal	ziemia	szkło
Szybkość ($\frac{m}{s}$) w temp. 20°C	340	1497	3500–4500	5130	5580	5170–5950

Zapewne domyślasz się, że w próżni dźwięk się nie rozchodzi. Aby tego dowieść, wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 24.

Obserwujemy rozchodzenie się dźwięku w różnych ośrodkach

Hipoteza: Dźwięk nie rozchodzi się w próżni.

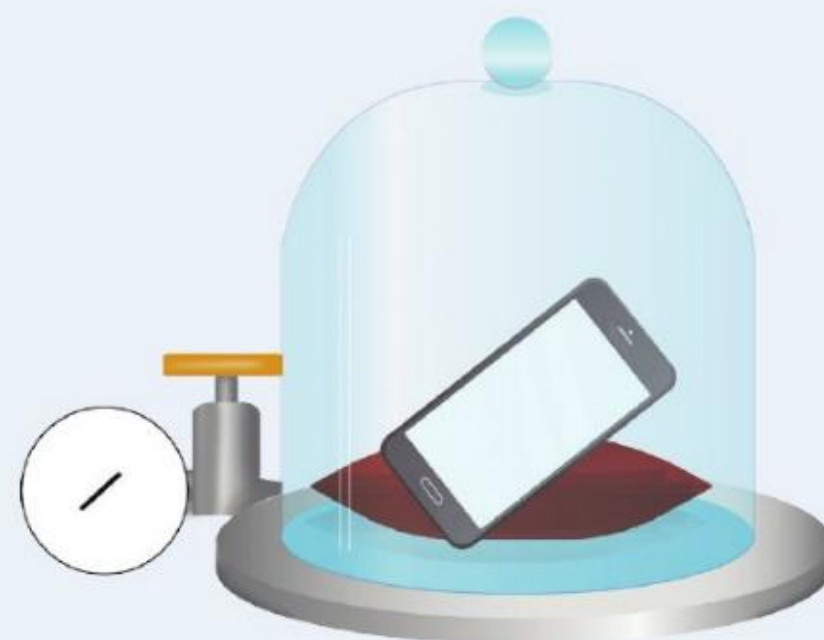
Niezbędne przedmioty: pompa próżniowa lub pojemnik próżniowy do żywności, budzik lub smartfon

Wykonanie:

- Umieść pod kloszem pompy próżniowej (lub w pojemniku próżniowym) dzwoniący budzik lub smartfon odtwarzający muzykę.
- Wypompowuj powietrze i obserwuj (słuchaj), co się dzieje.

Obserwacje: W miarę obniżania ciśnienia powietrza dźwięk słabnie, aż w końcu zanika (całkiem – tylko pod kloszem pompy próżniowej).

Wniosek: W próżni fale akustyczne nie mogą się rozchodzić, gdyż nie ma ośrodka, który mógłby przekazywać energię mechaniczną.



Na Księżycu praktycznie nie ma atmosfery, zatem dźwięki się nie rozchodzą. Kosmonauci lądujący tam nie mogą więc bezpośrednio porozumiewać się ze sobą.

Pomiędzy szybkością rozchodzenia się dźwięku (v), długością powstającej fali (λ), okresem drgań (T) oraz częstotliwością (f) zachodzą znane ci już związki:

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

Wynika stąd, że

im większa jest częstotliwość drgań źródła, tym powstała fala jest krótsza, a małym częstotliwościom odpowiadają większe długości fali.

Ciekawe!

Różnica w szybkości dźwięku ($340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) i światła ($300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$) w powietrzu jest bardzo duża. Dlatego w czasie burzy najpierw widzimy błyskawice, a dopiero za pewien czas dociera do nas dźwięk grzmotu. Jeżeli zmierzmy czas, jaki upłynął między błyskawicą a grzmo-tem, możemy oszacować, w jakiej odległości od nas nastąpiło wyładowanie atmosferyczne.

Najczęściej fale dźwiękowe docierają do naszych uszu, przemieszczając się w powietrzu. Jednak dźwięk rozchodzi się też w wodzie oraz w ciałach stałych. Gdy jesteśmy zanurzeni w wodzie, na przykład podczas nurkowania, możemy usłyszeć wydany w niej dźwięk. Dźwięk doskonale rozchodzi się w metalach (np. w szynach), w ziemi. Z pewnością widziałeś taką filmową scenę, w której bohater przykładając ucho do ziemi, by usłyszeć tętent końskich kopyt, czy do szyn – nasłuchując stukotu kół pociągu.

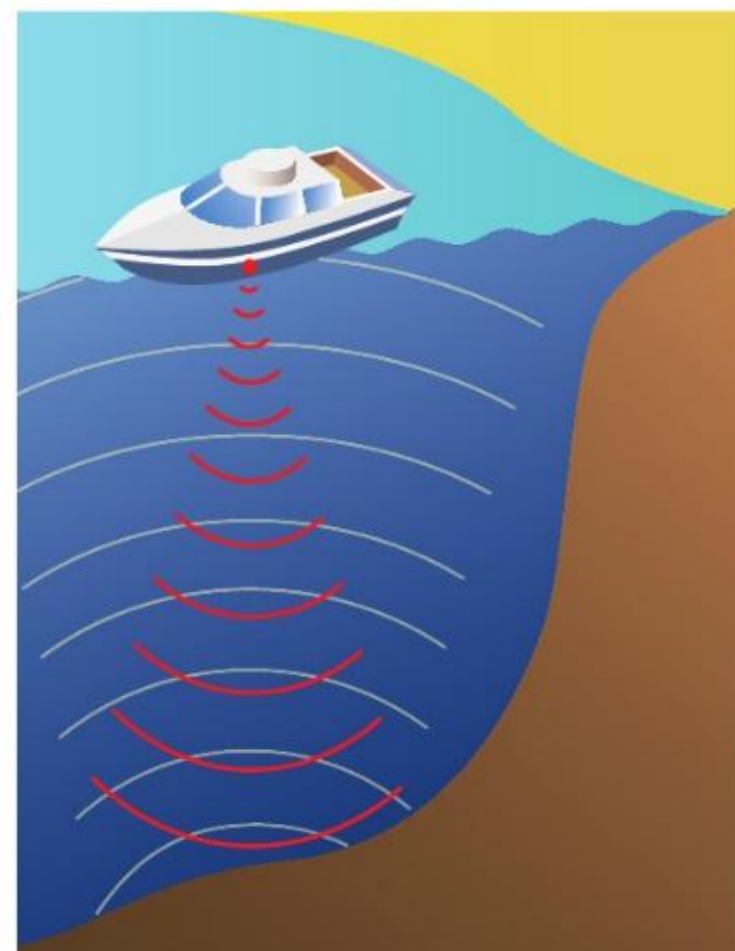
Dźwięk we wszystkich ośrodkach jest falą podłużną. W niektórych ciałach stałych – charakteryzujących się sprężystością postaci – fale akustyczne mogą być zarówno podłużne, jak i poprzeczne.

Zastosowanie dźwięków

Dźwięk jest wykorzystywany przez ludzi i zwierzęta do zdobywania i wymiany informacji. Jest więc nośnikiem informacji. Porozumiewanie się ludzi, wymiana wiadomości w bezpośredniej rozmowie lub przez telefon, przekazywanie komunikatów przez radio czy telewizję, to tylko niektóre przykłady wykorzystania dźwięku jako nośnika informacji. Dźwięk odgrywa ważną rolę w działaniu urządzeń medycznych, np. stetoskop pozwala usłyszeć dźwięki pochodzące z wnętrza ciała człowieka (m.in. bicie serca).

Powszechnie znane jest wykorzystywanie przez człowieka ultradźwięków. Mają one zastosowanie w medycynie do badań ultrasonograficznych (USG), w których wykorzystywane są fale o częstotliwości między 2 a 50 MHz. Równie powszechne jest zastosowanie ultradźwięków do echolokacji, czyli orientacji w przestrzeni za pomocą fal dźwiękowych. Fale te wykorzystywane są w sonarach – urządzeniach do pomiaru głębokości wody – do wyszukiwania ławic ryb czy np. wykrywania wraków na dnie oceanów (il. 2.28). Ultradźwięki stosuje się także w defektoskopach, czyli urządzeniach do wykrywania pęknięć w metalowych przedmiotach.

Echolokację wykorzystują też organizmy żywe (nietoperze, delfiny, płetwale), które wyposażone są w naturalne echosondy.



2.28 Pomiar głębokości wody - działanie echosondy

Więcej na temat



Zjawiska echa i pogłosu

W życiu codziennym możesz zaobserwować zjawiska echa i pogłosu. U podstaw tych zjawisk leży fakt, że szybkość rozchodzenia się dźwięku jest skończona. **Echo** jest skutkiem odbicia dźwięku od przeszkody dostatecznie odległej, by fala odbita wróciła do obserwatora dopiero wówczas, gdy nie słyszy on już dźwięku dochodzącego bezpośrednio ze źródła. Aby można było usłyszeć echo spowodowane przez krótkie sygnały dźwiękowe, każdy oddzielnie, sygnały te nie mogą następować po sobie szybciej niż co 0,1 s. Oznacza to, że w wypadku dźwięku rozchodzącego się w powietrzu echo może powstać przy odbiciu od przeszkody odległej co najmniej o 17 m od obserwatora. Możesz to sprawdzić w prosty sposób, obliczając drogę przebytą przez dźwięk w czasie 0,1 s ze wzoru:

$$s = v \cdot t = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,1 \text{ s} = 34 \text{ m}$$

Dźwięk pokonuje drogę od źródła do przeszkody i z powrotem, zatem odległość przeszkody od źródła jest połową przebytej drogi i wynosi właśnie 17 m. Zjawisko echa jest wykorzystywane w życiu. Znając odległość odbijającej „ściany” i mierząc czas powrotu echa, możesz obliczyć szybkość dźwięku, a mierząc czas powrotu echa, obliczysz odległość od „ściany”.

W pomieszczeniach zamkniętych mamy do czynienia z innym zjawiskiem towarzyszącym zjawisku odbicia dźwięku. Gdy dźwięk odbija się od ścian, zwykle ma do przebycia niewielką odległość. Dźwięki wydawane przez źródło ulegają wielokrotnemu odbiciu od ścian, nakładają się na siebie i na dźwięki wysyłane ze źródła. Wynikiem częściowego nakładania się tych dźwięków jest zjawisko zwane **pogłosem**. Najczęściej można go usłyszeć w pustych pomieszczeniach lub podczas jazdy pociągiem przez tunel, kiedy otworzy się okno.

INSTRUMENTY MUZYCZNE

Człowieka od zawsze fascynowały występujące w przyrodzie dźwięki. Starał się je naśladować i tworzyć nowe wrażenia dźwiękowe. Tak powstawała towarzysząca nam na co dzień muzyka. Jej odmiany – np. ludowa, rozrywkowa, folkowa, jazzowa (czyt. dżezowa), symfoniczna – różnią się stylem i zasadami kompozycji, ale wszystkie powstają z użyciem szczególnego źródła dźwięków, jakim są instrumenty muzyczne. Wśród nich wyróżniamy m.in. strunowe, dęte, perkusyjne i elektryczne.

W instrumentach strunowych źródłem dźwięku jest drgająca napięta struna, która zostaje pobudzona do drgań przez szarpnięcie, pociągnięcie smyczkiem lub uderzenie młoteczką.

Zaliczamy do nich instrumenty: szarpiane – np. gitara, harfa; klawiszowe – pianino, fortepian; smyczkowe – skrzypce, wiolonczela, kontrabas. Różnice w sposobie szarpnięcia strun, pociągnięcia smyczkiem czy uderzenia w klawisze dają inną barwę dźwięku.

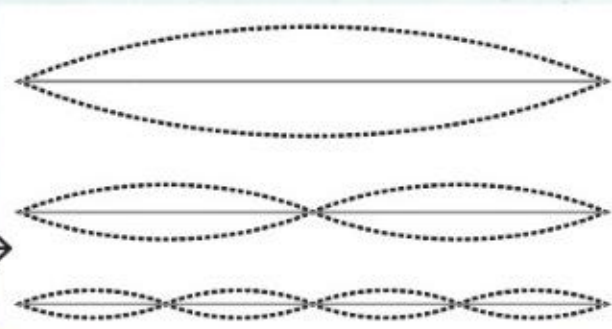
Niektóre z tych instrumentów, np. gitara, mają pudło rezonansowe, które powoduje wzmocnienie dźwięku i nadaje mu barwę. Zmianę częstotliwości dźwięku można uzyskać poprzez zmianę długości drgającej struny, gdy dociskamy ją na progu – skrócenie struny daje wyższy dźwięk. Im struna jest grubsza, tym dźwięk jest niższy.

Na podobnej zasadzie działają np. skrzypce, z tym że ich struny wprowadzane są w drgania przez pociągnięcie smyczkiem.

Jednym z najsłynniejszych twórców skrzypiec był Antonio Stradivari (1644–1737). Zbudował ich około 1100, niektóre przetrwały do dziś.

Innym instrumentem strunowym jest fortepian. Naciskając klawisze, powodujemy, że młoteczki uderzają w struny i wprowadzają je w drgania. Pobudzana do drgań struna drga nie tylko z częstotliwością podstawową, lecz także z wyższymi częstotliwościami składowymi o różnych amplitudach. Drgania te nakładają się na siebie i tworzą dźwięk o charakterystycznej barwie, zależnej od liczby i amplitudy fal składowych.

Co osiem klawiszy częstotliwość dźwięku się podwaja



Inną dużą grupę instrumentów muzycznych stanowią instrumenty dęte, do których należą: blaszane (trąbki, puzony, saksofony), drewniane (flety, klarnety) i klawiszowe (akordeony, organy). W instrumentach dętych drga słup powietrza znajdujący się w ich obudowie, a wysokość dźwięku zależy od ich długości.



Instrumenty elektryczne to grupa instrumentów muzycznych, w których dźwięk wytwarzany jest za pośrednictwem drgań elektrycznych (dowiesz się o nich więcej w toku późniejszej nauki). Należą do nich m.in. gitary elektryczne, organy Hammonda, syntezatory.

Źródłem dźwięku w instrumentach perkusyjnych jest drganie całego instrumentu (idiofony) lub jego części, np. drgająca napięta membrana (membranofony). Należą do nich m.in. kotły, bębny, trójkąty, dzwony, dzwonki chromatyczne, marakas, talerze. Dźwięki tych instrumentów są złożone z wielu różnych częstotliwości.



Zadania

1. Poszukaj informacji na temat orkiestry symfonicznej. Jakie instrumenty wchodzi w jej skład i jak są rozmieszczone na scenie w sali koncertowej?
2. Jakie są częstotliwości dźwięków wydawanych przez różne instrumenty muzyczne?
3. Wyszukaj informacje i według nich zbuduj prosty aerofon ze szklanych butelek z wąską szyjką, o niedużej pojemności (np. 330 ml), napełnionych wodą o różnej wysokości słupa powietrza nad wodą.

Szkodliwość dźwięków

Dźwięki mogą też wywoływać ujemne skutki zdrowotne. Związane jest to z **hałasem**, czyli dźwiękiem szkodliwym lub niepożądanym, nawet jeśli jest cichy. Hałas może powodować różne choroby, wywoływać zmęczenie, złe samopoczucie, zdenerwowanie, osłabienie koncentracji czy bezsenność. Hałas związany jest z energią drgań przekazywaną przez źródło dźwięku otoczeniu, a więc i błonie bębenkowej ucha. **Próg słyszalności** przyjmujemy jako 0 dB, a za szkodliwy uważa się hałas przekraczający 90 dB (il. 2.29). Długotrwałe oddziaływanie na człowieka hałasu o wyższym natężeniu prowadzi do trwałych ubytków słuchu. Możemy mieć również do czynienia z tak zwanym hałasem uciążliwym, o niższym poziomie natężenia niż 90 dB. Dopuszczalne poziomy hałasu w określonych warunkach określone są przez odpowiednie normy. I tak w centrum miast w dzień nie powinien on przekraczać 60 dB, a w nocy 50 dB. Na terenach chronionych, to znaczy w strefach uzdrowiskowych, odpowiednio 40 i 30 dB. Źródłem niebezpiecznego hałasu może być na przykład smartfon ustawiony na głośne odtwarzanie muzyki. Jego słuchawki wywołują duże zmiany ciśnienia powietrza, a więc i fali akustycznej oddziałującej na błonę bębenków ucha. Za bardzo szkodliwy uważa się również systematyczny hałas w miejscach, w których zazwyczaj przebywamy. Pracownicy zmuszeni do przebywania w pobliżu źródeł dźwięków o wysokim natężeniu (na przykład operatorzy hałaśliwych maszyn) powinni stosować ochroniacze. Szkodliwe jest także częste przebywanie w miejscach, gdzie słucha się bardzo głośnej muzyki.

W skrócie

- Dźwięk to fala akustyczna rozchodząca się w ośrodku sprężystym (powietrzu, metalu, wodzie) – jest ona falą podłużną. Jednocześnie jest to wrażenie słuchowe wywołane tą falą.
- Ciała drgające, którym towarzyszą dźwięki, nazywamy źródłami dźwięku.
- Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwości od około 16 Hz do około 20 kHz.
- Infradźwięki to dźwięki o częstotliwości niższej od 16 Hz.
- Ultradźwięki to dźwięki o częstotliwości wyższej od 20 kHz.
- Ton to dźwięk prosty o określonej częstotliwości, wydawany np. przez kamerton.
- Wysokość, głośność i barwa dźwięku to cechy dźwięku rozpoznawalne zmysłami. Zmierzyć możemy częstotliwość, poziom natężenia dźwięku, liczbę, rodzaj i natężenie tonów składowych.
- Im wyższa jest częstotliwość drgań źródła dźwięku, tym większa jest wysokość tego dźwięku.



Ciekawe!



Zasady bezpiecznego używania słuchawek

- Nie ustawiaj na maksymalną głośność.
- Najlepiej ustawiaj dźwięk w połowie skali głośności.
- Ogranicz czas słuchania do 1 godziny dziennie.
- Jeśli musisz słuchać dłużej, rób częste przerwy.
- Im bardziej szczelne słuchawki, tym ciszniej ustawiaj dźwięk.
- Przy podłączaniu słuchawek ustawiaj głośność na 0.

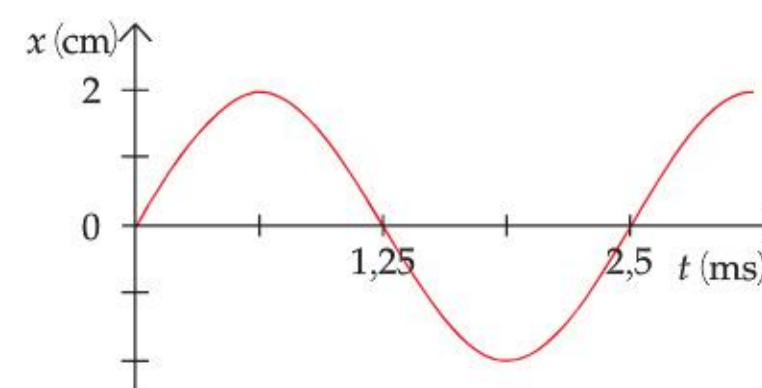
- Im większa jest amplituda drgań o danej częstotliwości, tym większa jest głośność dźwięku i tym większe natężenie dźwięku.
- Barwa dźwięku zależy od częstotliwości i amplitudy tonów dodatkowych tworzących wraz z tonem podstawowym dźwięk. Tonem podstawowym dźwięku jest dźwięk o najniższej częstotliwości.
- Poziom natężenia dźwięku, który możemy zmierzyć, wyrażamy w decybelach (dB).
- Pamiętaj! Dbaj o słuch – unikaj hałasu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

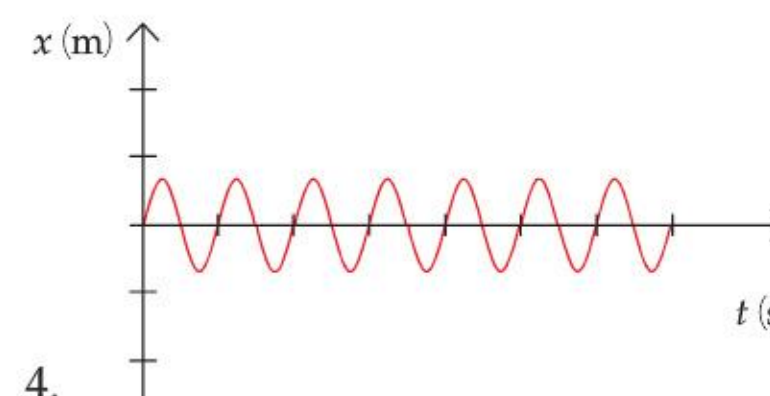
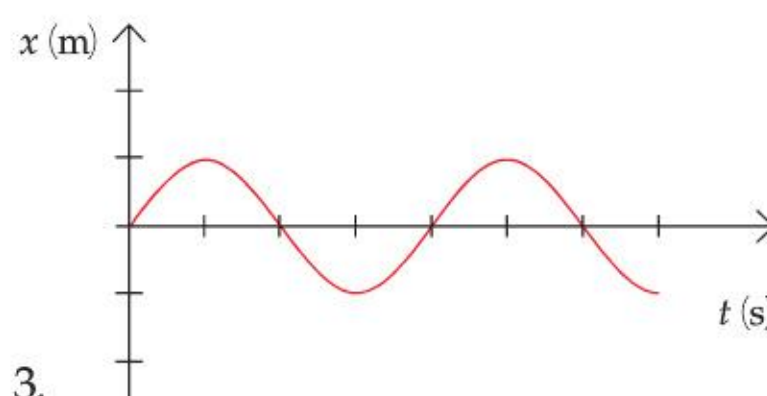
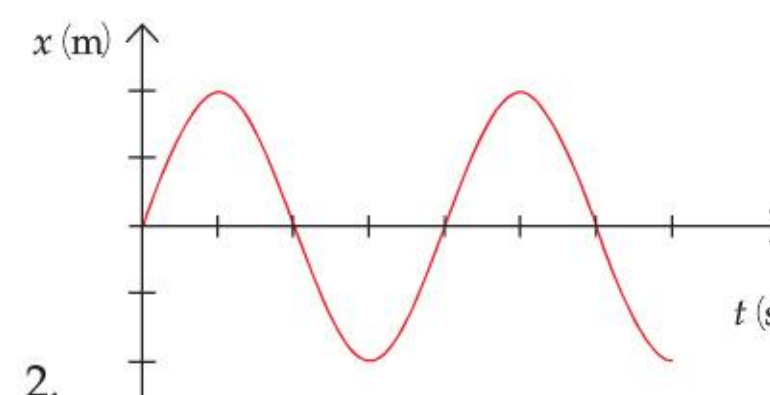
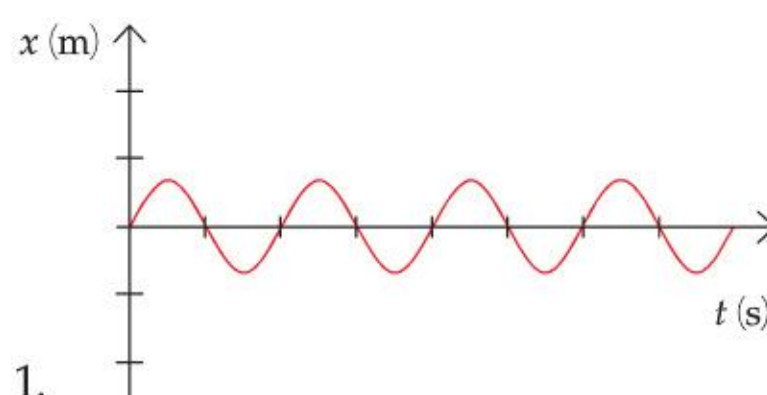
- 1 Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Dźwięk to fala akustyczna	A.	rozchodząca się w ośrodku sprężystym z szybkością $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
	B.	rozchodząca się w ośrodku sprężystym z szybkością zależną od rodzaju ośrodka.

- 2 Odczytaj z oscylogramu dźwięku okres drgań źródła dźwięku i oblicz częstotliwość dźwięku.



- 3 Przeanalizuj cztery wykresy fali i wskaż zdania prawdziwe.



1. Dźwięk przedstawiony na wykresie 1. ma taką samą wysokość jak dźwięk na wykresie 4.
2. Dźwięk na wykresie 2. ma taką samą wysokość jak dźwięk na wykresie 3.
3. Najgłośniejszy jest dźwięk na wykresie 2.
4. Dźwięki na wykresach 2. i 3. są tak samo wysokie.
5. Najwyższy jest dźwięk na wykresie 4.

Podsumowanie działu 2

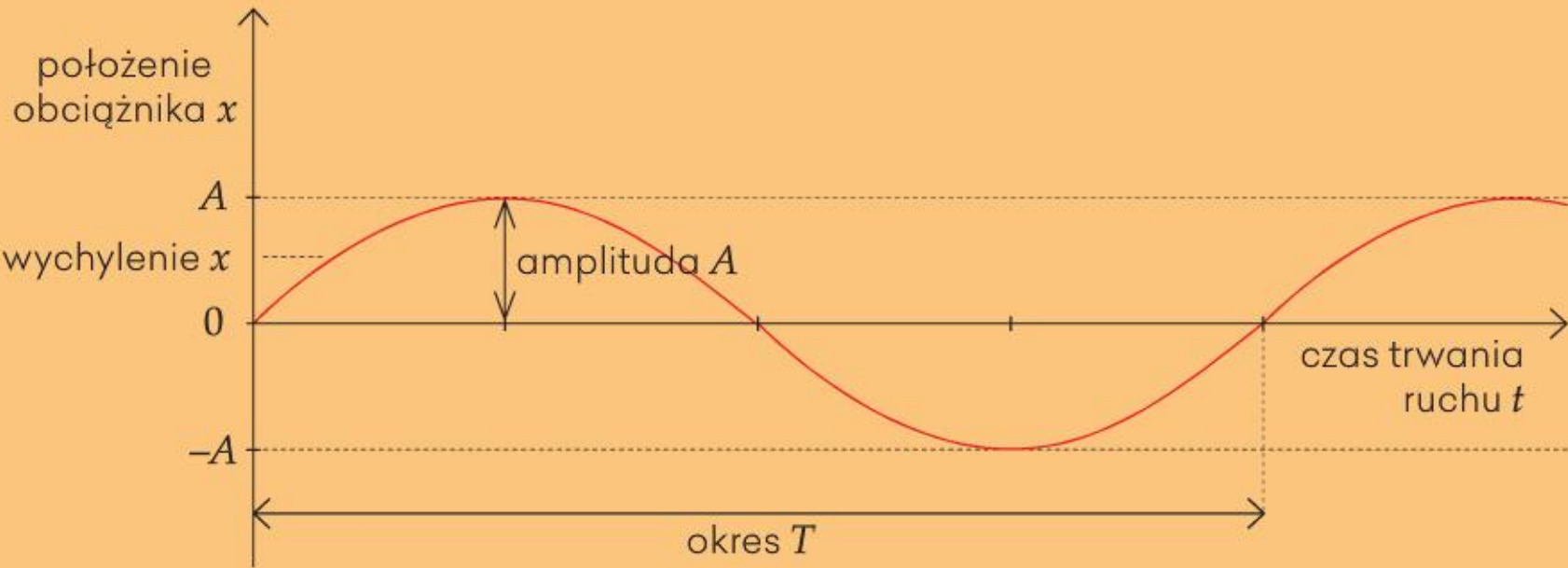
Ważne pojęcia

drgania	ruch drgający prosty lub harmoniczny	drgania swobodne	drgania wymuszone
drgania gasnące	amplituda drgań	okres drgań	częstotliwość drgań
herc	wykres zależności wychylenia ciała drgającego z położenia równowagi od czasu		częstotliwość drgań swobodnych
wahadło matematyczne	długość wahadła	izochronizm wahadła	rezonans mechaniczny
fala mechaniczna	impuls falowy	czoło fali	fala poprzeczna
częstotliwość fali	prędkość fali	szybkość fali	amplituda fali
dźwięk	źródło dźwięku	instrumenty muzyczne	odbicie dźwięki słyszalne
ton wysoki	ton niski	ton cichy	ton głośny
ton podstawowy	fon	natężenie dźwięku	poziom natężenia dźwięku
			bel
			decybel (dB)

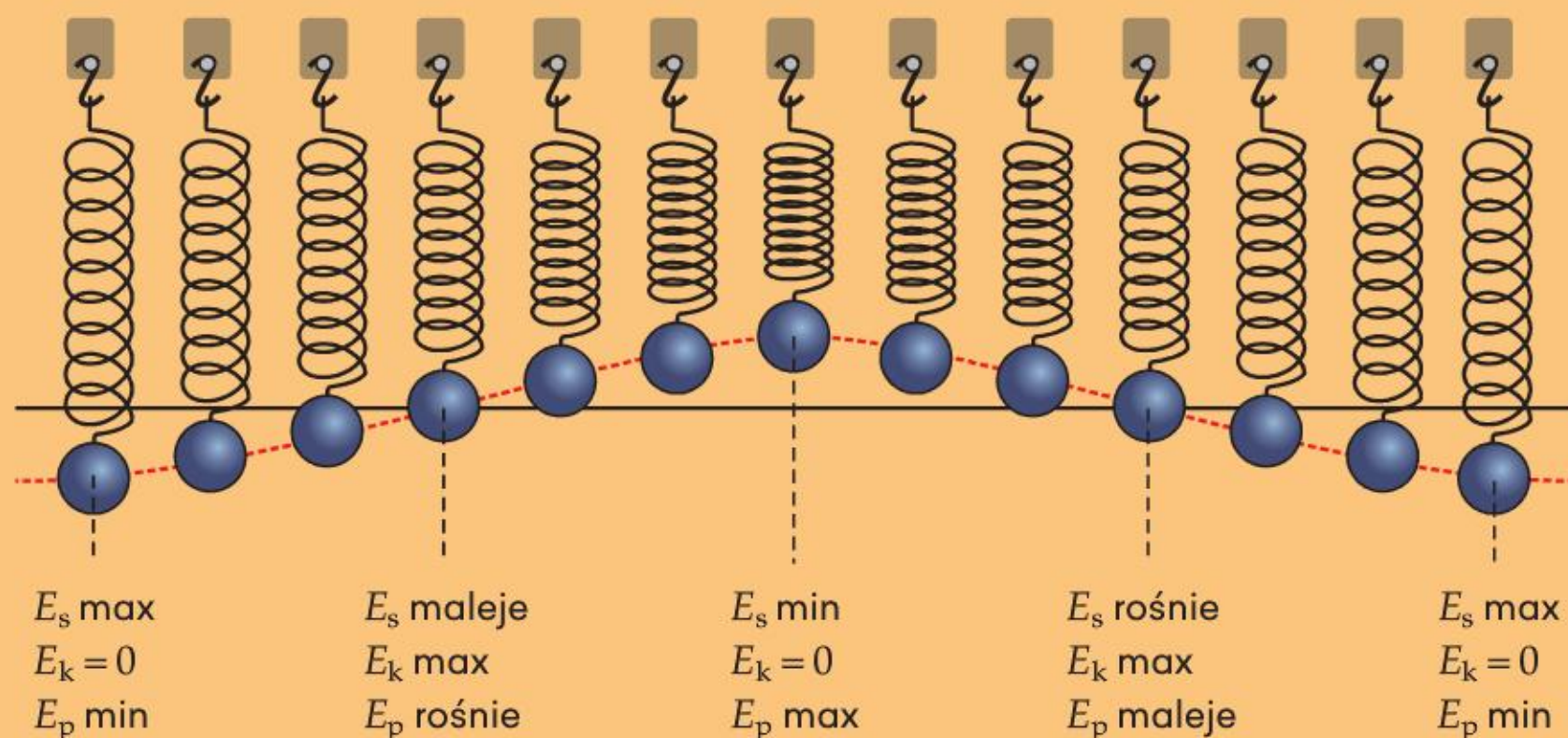
- Drgania mechaniczne to ruchy wielokrotnie powtarzające się w jedną i w drugą stronę po określonym torze. Ruch drgający wykonują np. ciężarek na sprężynie, wahadło.
- Wielkości opisujące ruch drgający.

Wielkość	Opis	Jednostka, wzory
amplituda	maksymalne wychylenie ciała drgającego z położenia równowagi	$[A] = 1 \text{ m}$
okres	czas, w którym ciało wykonuje jedno pełne drganie (wahnięcie)	$[T] = 1 \text{ s}$ $T = \frac{1}{f}$ $T = \frac{\text{czas trwania drgań}}{\text{liczba pełnych drgań}} = \frac{t}{n}$
częstotliwość	liczba pełnych drgań w jednostce czasu	$[f] = \frac{1}{\text{s}} = \text{Hz}$ $f = \frac{1}{T}$ $f = \frac{\text{liczba pełnych drgań}}{\text{czas trwania drgań}} = \frac{n}{t}$

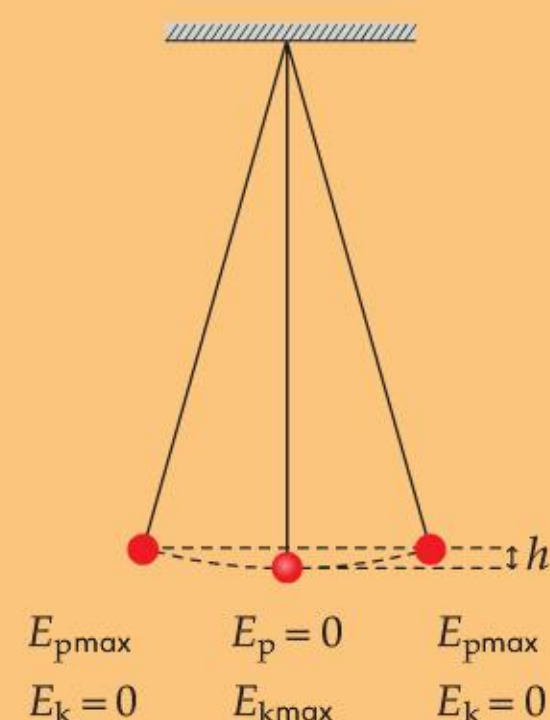
- Wykresem zależności wychylenia ciała drgającego z położenia równowagi od czasu jest sinusoida.



- Na wychylone z położenia równowagi ciało działa siła wypadkowa zwrócona ku położeniu równowagi.
- W czasie drgań swobodnych obciążnika zawieszonego na sprężynie (wahadła sprężynowego) następują przemiany energii potencjalnej – czyli sumy energii potencjalnej sprężystości oraz energii potencjalnej grawitacji – w energię kinetyczną obciążnika.



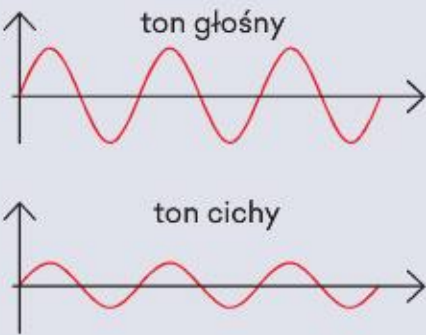
- Wahadło matematyczne to ciało o bardzo małej masie (masie punktowej), najczęściej w postaci kulki zawieszanej na nieważkiej (o znikomym małej masie) i nierozciągliwej nici.
- W czasie ruchu wahadła matematycznego następują przemiany energii potencjalnej w kinetyczną, i odwrotnie. W punktach maksymalnego wychylenia energia potencjalna ma największą wartość, a energia kinetyczna wynosi zero. W położeniu równowagi energia potencjalna jest minimalna, a kinetyczna jest największa.
- Wahadła i inne ciała drgające mają własne częstotliwości drgań swobodnych. Częstotliwość, z jaką ciała wykonują drgania swobodne, to częstotliwość drgań własnych.
- Okres i częstotliwość drgań wahadła matematycznego nie zależą od jego masy.
- Dla niewielkich amplitud okres drgań nie zależy od amplitudy drgań. Zjawisko to nosi nazwę izochronizmu.



- Okres drgań wahadła zależy od jego długości. Im większa długość wahadła, tym dłuższy jest okres jego drgań. Okres drgań wahadła jest wprost proporcjonalny do pierwiastka z jego długości: $T \sim \sqrt{l}$
- Rezonans to zjawisko przekazywania energii drgań między ciałami, gdy częstotliwość drgań wymuszających jest równa częstotliwości drgań własnych (swobodnych) ciała. Rezonans powoduje wzrost amplitudy układów drgających.
- Falą mechaniczną nazywamy zaburzenie rozchodzące się w ośrodku sprężystym w miarę upływu czasu. Możemy też powiedzieć, że fala mechaniczna to rozchodzące się drgania ośrodka sprężystego, przenoszące energię, bez przemieszczania się materii.
- Wyróżniamy fale mechaniczne:
 - poprzeczną, w której kierunek drgań ośrodka jest prostopadły do kierunku rozchodzenia się fali, rozchodzącą się tylko w ciałach stałych i na powierzchni cieczy (na skutek napięcia powierzchniowego),
 - podłużną, której kierunek drgań ośrodka jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się fali; fala podłużna rozchodzi się we wszystkich ośrodkach.

- Wielkościami opisującymi falę są:
 - długość fali – droga, którą przebywa fala w czasie t , gdy cząsteczka ośrodka wykonuje jedno pełne drganie; o taką drogę przemieszcza się w tym czasie czoło fali,
 - okres fali – czas, w którym fala przebywa drogę równą swojej długości,
 - częstotliwość, którą możemy określić liczbą drgań ośrodka wykonywanych w czasie 1 s lub jako liczbę długości fali mieszczących się w drodze przebytej w ciągu jednej sekundy,
 - amplituda fali, która jest równa amplitudzie drgań cząsteczek ośrodka.
- Fala w danym ośrodku przemieszcza się ruchem jednostajnym. Jej szybkość rozchodzenia się obliczamy: $v = \lambda \cdot f$
- Dźwięk to fala akustyczna rozchodząca się w ośrodku sprężystym (powietrzu, metalu, wodzie) – jest ona falą podłużną. Jednocześnie jest to wrażenie słuchowe wywołane tą falą. Dźwięk nie rozchodzi się w próżni.
- Ciała drgające, którym towarzyszą dźwięki, nazywamy źródłami dźwięku.
- Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwości od około 16 Hz do około 20 kHz.
- Infradźwięki to dźwięki o częstotliwości niższej od 16 Hz. Ultradźwięki to dźwięki o częstotliwości wyższej od 20 kHz.
- Ton to dźwięk prosty o określonej częstotliwości, wydawany np. przez kamerton.
- Wysokość, głośność i barwa dźwięku to cechy dźwięku rozpoznawalne zmysłami. Zmierzyć możemy częstotliwość, poziom natężenia dźwięku, liczbę, rodzaj i natężenie tonów składowych.

Tabela 6. Cechy dźwięków i odpowiadające im wielkości mierzalne

Cechy dźwięku rozpoznawalne przez człowieka	Wielkości, które mierzymy	Zapis dźwięku	Opis
wysokość	częstotliwość (Hz)		Im wyższa jest częstotliwość drgań źródła dźwięku, tym większa jest wysokość tego dźwięku.
głośność (fon)	natężenie dźwięku lub tzw. poziom natężenia dźwięku (dB)		Im większa jest amplituda drgań o danej częstotliwości, tym większa jest głośność dźwięku i większe jest natężenie dźwięku.
barwa	liczba, rodzaj tonów składowych		Barwa dźwięku zależy od częstotliwości i amplitudy tonów dodatkowych tworzących wraz z tonem podstawowym dźwięk. Tonem podstawowym dźwięku jest dźwięk o najniższej częstotliwości.

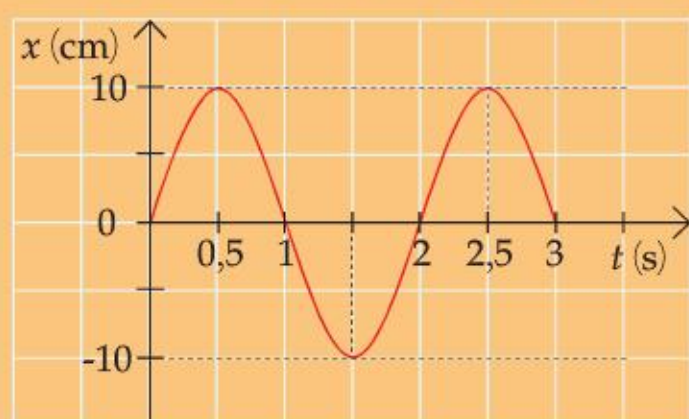
- Poziom natężenia dźwięku, który możemy zmierzyć, wyrażamy w decybelach (dB). Pamiętaj! Dbaj o słuch – unikaj hałasu.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

W zadaniach 1–9 wskaż prawdziwe dokończenia zdań.

- 1 Ruchem drgającym porusza się
 - A. Janek huśtający się na linie.
 - B. lekkoatleta okrążający trzykrotnie boisko stadionu.
 - C. trzepaczka (sprężynowa) w ręku kucharki.
 - D. poruszona struna kontrabas.
- 2 Częstotliwość wahań skrzydeł ptaka wynosi 50 Hz. Oznacza to, że
 - A. okres wahań skrzydeł wynosi 50 s.
 - B. skrzydła wykonują 50 wahań w czasie 1 s.
 - C. skrzydła wykonują 1 pełne wahnięcie w czasie 50 s.
 - D. skrzydła wykonują 50 drgań w czasie 1 min.

- 3 Wykres przedstawia zależność wychylenia wahadła od czasu. Wychylenia w prawo oznaczono jako dodatnie, a wychylenia w lewo jako ujemne.



- 1) Amplituda drgań wahadła wynosi
 - A. -10 cm
 - B. 10 cm
 - C. 20 cm
 - D. 0 cm
- 2) Okres drgań wahadła wynosi
 - A. 1 s
 - B. 2 s
 - C. 0,5 s
 - D. 3 s
- 3) Częstotliwość wahań wahadła wynosi
 - A. 1 Hz
 - B. 2 Hz
 - C. 0,5 Hz
 - D. 0,3 Hz
- 4) Odczytaj z wykresu, kiedy:
 - a) energia kinetyczna wahadła była najmniejsza,
 - b) energia kinetyczna wahadła była największa,
 - c) energia potencjalna wahadła była najmniejsza,
 - d) energia potencjalna wahadła była największa.
- 4 Długość pierwszego wahadła matematycznego jest cztery razy większa od długości drugiego wahadła matematycznego. Częstotliwość pierwszego wahadła jest
 - A. taka sama jak drugiego.
 - B. cztery razy większa niż drugiego.
 - C. cztery razy mniejsza niż drugiego.
 - D. dwa razy większa niż drugiego.
 - E. dwa razy mniejsza niż drugiego.

- 5 Struna drga z częstotliwością 2 Hz. Wykonuje ona w czasie 1 min
 - A. 0,5 drgania
 - B. 2 drgania
 - C. 30 drgań
 - D. 120 drgań

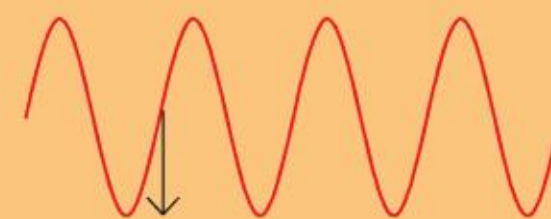
- 6 Strzałką zaznaczono kierunek, w którym rozchodzi się fala na wodzie. Boja znajdująca się w punkcie A
 - A. porusza się w dół.
 - B. porusza się w górę.
 - C. nie porusza się.
 - D. porusza się w prawo.
 - E. porusza się w lewo.



- 7 Aby obliczyć prędkość, z jaką rozchodzi się fala, trzeba znać
 - A. amplitudę fali i okres.
 - B. amplitudę fali i jej długość.
 - C. częstotliwość fali i amplitudę.
 - D. długość fali i okres.

- 8 Strzałka wskazuje, w którą stronę porusza się jedna z cząsteczek ośrodka. Fala

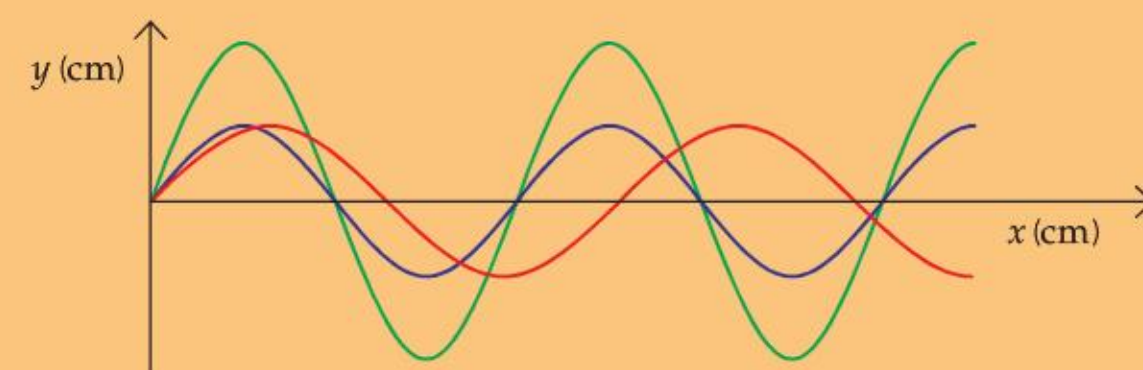
- A. rozchodzi się w prawo.
 - B. rozchodzi się w lewo.
 - C. rozchodzi się w górę.
 - D. rozchodzi się w dół.



- 9 Dźwięki nie mogą rozchodzić się w

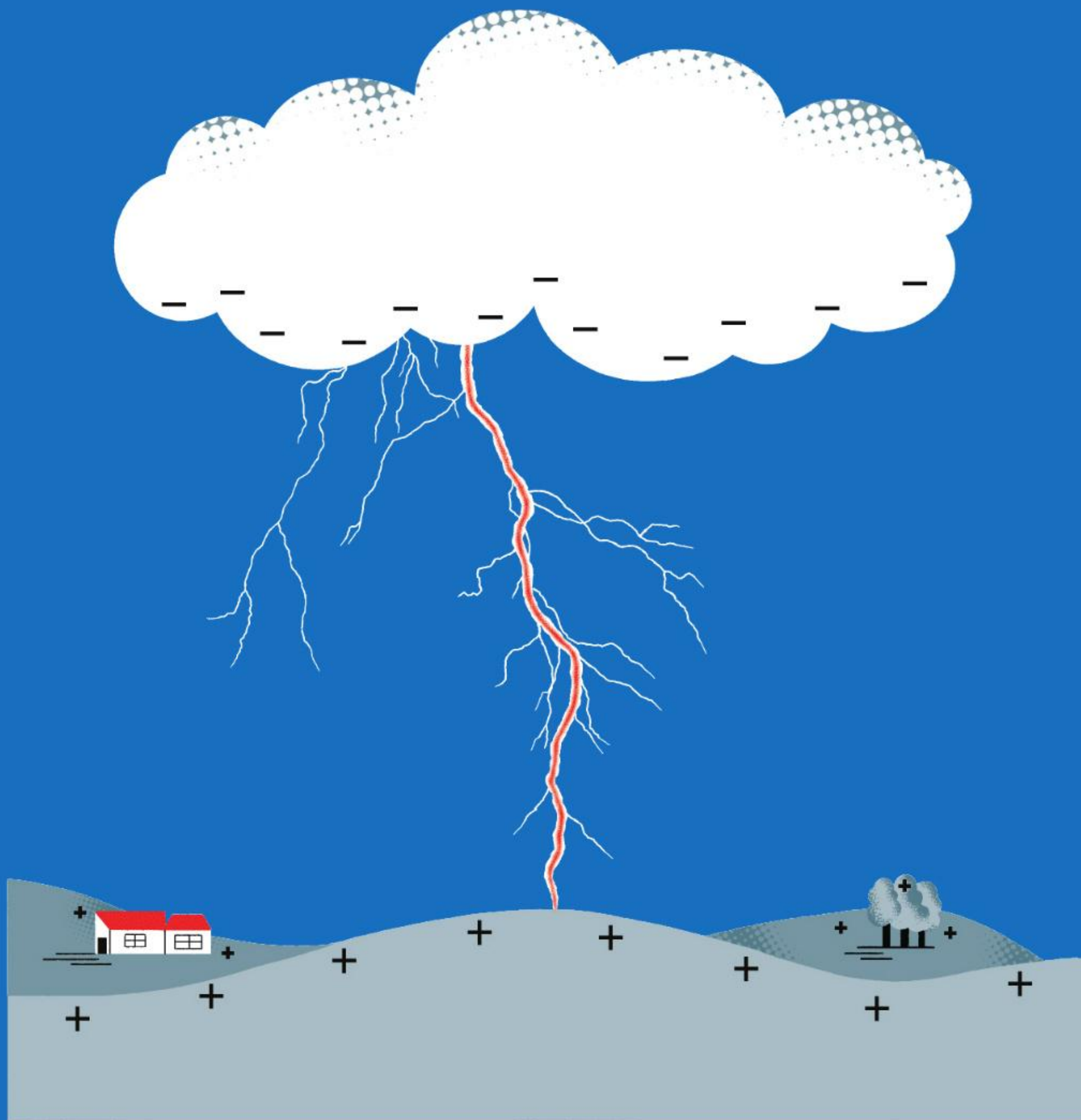
- A. ciałach stałych.
 - B. cieczech.
 - C. gazach.
 - D. próżni.

- 10 Na rysunku przedstawiono trzy fale. Wskaż nieprawdziwe stwierdzenia.



- A. Fale niebieska i czerwona mają taką samą amplitudę.
 - B. Fale niebieska i czerwona mają taką samą długość.
 - C. Fale niebieska i zielona mają taką samą długość.
 - D. Fale niebieska i zielona mają taką samą częstotliwość.
 - E. Fale niebieska i zielona mają taką samą amplitudę.

3. Elektrostatyka



1. Kiedy ciało jest naelektryzowane?
2. W jaki sposób elektryzują się ciała?
3. Jak oddziałują na siebie ładunki elektryczne?
4. Czym się różnią przewodniki od izolatorów?

3.1 Elektryzowanie ciał przez tarcie oraz przez dotyk

Podejmij temat

- Dlaczego naelektryzowany grzebień przyciąga lekkie suche włosy?

Elektrostatyka (elektryczność statyczna) zajmuje się oddziaływaniami ładunków elektrycznych będących w spoczynku. Jest ona częścią nauki o elektryczności, która zajmuje się również ładunkami będącymi w ruchu, w tym prądem elektrycznym. Nazwa elektryczność pochodzi od greckiego słowa *elektron*, czyli 'bursztyn'.

Elektrostatyka

W codziennym życiu z pewnością zetknąłeś się z problemem związanym z podnoszeniem się włosów po przeczesaniu ich plastikowym grzebieniem. Na pewno znasz również charakterystyczne trzaski towarzyszące zdejmowaniu swetra czy przeskok iskry, który widoczny jest czasami w ciemności, gdy ręką dotykasz klamki. Zjawiska te, związane z **elektryzowaniem ciał** i istnieniem **ładunków elektrycznych**, opisuje **elektrostatyka**.

Zainteresował się nimi już w VI w. p.n.e. grecki filozof, astronom i matematyk, Tales z Miletu. Zauważył, że potarty suknom bursztyn przyciąga małe, lekkie ciała. Dopiero w XVII w. angielski fizyk William Gilbert (czyt. *filiam gilbert*) w wyniku wielu eksperymentów wykazał, że takie właściwości mają też inne ciała.

Doświadczenie 25.

Obserwujemy zachowanie się naelektryzowanych ciał

Niezbędne przedmioty: nadmuchany balon (plastikowa linijka lub plastikowy długopis), papier, kawałek wełnianej tkaniny

Wykonanie:

- Zbliz balon (linijkę lub długopis) do skrawków papieru i zaobserwuj, co się będzie działo.
- Potrzyj balon (linijkę lub długopis) wełnianą tkaniną lub o sweter, przybliz do skrawków papieru i obserwuj, co się dzieje.
- Przybliz teraz wełnianą tkaninę, którą pocierałeś balon, do skrawków papieru i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje:

- Niepotarty balon (niepotarty długopis, niepotarta linijka) nie przyciąga skrawków papieru.
- Potarty balon (potarty długopis, niepotarta linijka) przyciąga skrawki papieru.
- Wełniana tkanina, którą pocierano balon, przyciąga skrawki papieru.

Wniosek:

W wyniku wzajemnego pocierania plastikowy balon i wełniana tkanina zmieniły swoje właściwości. Ciała mające własność przyciągania drobnych ciał nazywamy **naelektryzowanymi**. Mówimy, że **naelektryzowane ciała są obdarzone ładunkiem elektrycznym**.



Elektryzowanie przez tarcie

W doświadczeniu zaobserwowałeś, że w wyniku wzajemnego pocierania ciała zmieniły swoje właściwości – zostały naelektryzowane. Taki sposób uzyskiwania przez nie stanu naelektryzowania nazywamy **elektryzowaniem ciał przez pocieranie (tarcie)**. Istnieje wiele substancji, które można naelektryzować przez pocieranie (il. 3.1). Najlepszy efekt uzyskamy, gdy uda się dobrać odpowiednie dwie substancje. Najczęściej stosowane do doświadczeń szkolnych tworzywa sztuczne – ebonit (twarda guma), PVC – elektryzujemy przez pocieranie wełną, sukniem lub futrem, zaś szklane – papierem lub jedwabiem.



3.1 Szereg tryboelektryczny – zestawienie obrazujące, które materiały łatwiej elektryzują się dodatnio, a które łatwiej ujemnie

Z niezamierzonym procesem elektryzowania ciał stykamy się codziennie w trakcie chodzenia po wykładzinach dywanowych, czesania się lub rozbierania. Na pewno zauważyłeś, że najłatwiej elektryzują się np. ubrania wykonane z materiałów zawierających dodatki tworzyw sztucznych. Na ich powierzchniach gromadzi się ładunek elektryczny.

Elektryzowanie ciał bywa również niebezpieczne. Proces ten może wywołać tragiczne skutki, np. podczas przelewania benzyny z plastikowego kanistra lub podczas przewożenia jej w takim pojemniku. Elektryzowanie się benzyny i plastiku może spowodować przeskok iskry i stać się przyczyną wybuchu paliwa.

Elektroskop

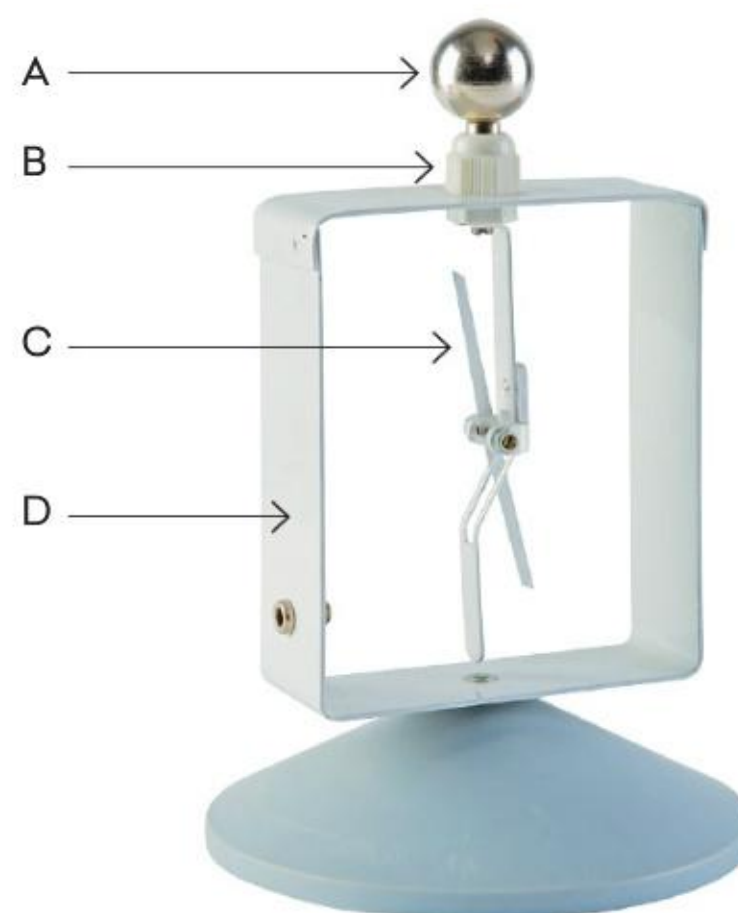
Istnieje specjalny przyrząd służący do wykrywania i obserwowania stanu naelektryzowania ciał. Jest nim **elektroskop** (il. 3.3).

W badaniu zjawiska elektryzowania się ciał wykorzystywane są elektroskopy różnego typu, ale najczęściej stosuje się elektroskop listkowy i elektroskop wskazówkowy. Zasada konstrukcji każdego z nich jest podobna. Podstawowym elementem przyrządu jest metalowy pręt zakończony z jednej strony metalowym elementem, na przykład kulką (A). Na drugim końcu pręta w elektroskopie listkowym wiszą dwa cienkie metalowe listki, zaś w elektroskopie wskazówkowym zamocowana jest metalowa wskazówka (C). Ta część pręta, na której są listki lub wskazówka, znajduje się wewnątrz osłony oddzielonej od obudowy izolatorem (B). Osłona elektroskopu (D) jest najczęściej, choć nie zawsze, z dwóch stron oszklona.

Aby sprawdzić, jak za pomocą tego przyrządu określić, czy ciało jest naelektryzowane, wykonamy doświadczenie.



3.2 Znamienny przykład elektryzowania ciał obserwujemy podczas gładzenia kota, zwłaszcza kiedy głaszczemy go pod włos – mogą posypać się iskry



3.3 Elektroskop wskazówkowy

Doświadczenie 26.

Sprawdzamy za pomocą elektroskopu, czy ciało jest naelektryzowane

Niezbędne przedmioty: elektroskop, pałeczka ebonitowa (rurka z PVC), wełniana tkanina (sukno)

Wykonanie:

- Zbliź do elektroskopu nienaelektryzowaną pałeczkę ebonitową (rurkę z PVC) i zaobserwuj, co się będzie działo.
- Potrzymaj tkaninę o pałeczkę, aby ją naelektryzować.
- Przybliź naelektryzowaną pałeczkę do elektroskopu i obserwuj, co się dzieje.
- Oddal naelektryzowaną pałeczkę od elektroskopu i patrz, co się dzieje.
- Przybliź teraz wełnianą tkaninę (sukno), którą pocierałeś pałeczkę, do elektroskopu i patrz, co się dzieje.



Obserwacje:

- Po zbliżeniu ciała nienaelektryzowanego wskazówka elektroskopu się nie porusza.
- Wskazówka elektroskopu wychyla się z położenia równowagi po zbliżeniu do niej ciała naelektryzowanego, a po oddaleniu pałeczki wraca do położenia równowagi. Tak samo zachowuje się wskazówka elektroskopu, gdy zbliżamy i oddalamy sukno, którym elektryzowaliśmy pałeczkę ebonitową.

Wniosek: Obserwując uważnie zachowanie wskazówki elektroskopu, wnioskujemy, że **wychyla się ona z położenia równowagi tylko po zbliżeniu do niej ciała naelektryzowanego**, a podczas oddalania od niej tego ciała – wraca do położenia równowagi. Nie porusza się, gdy zbliżamy ciało nienaelektryzowane.

Elektryzowanie przez dotyk

Sprawdzimy teraz, co się zmienia w zachowaniu wskazówki elektroskopu, gdy jego kulki dotkniemy ciałem naelektryzowanym.

Doświadczenie 27.

Sprawdzamy, czy elektroskop elektryzuje się przez dotyk

Niezbędne przedmioty: elektroskop, pałeczka szklana, czysta kartka papieru (lub jedwab)

Wykonanie:

- Potrzymaj zmiętym papierem pałeczkę szklaną.
- Przyłóż naelektryzowaną pałeczkę do kulki elektroskopu, a następnie odsuń pałeczkę od elektroskopu i zaobserwuj, co się będzie działo.

Obserwacje: Po dotknięciu kulki elektroskopu naelektryzowaną pałeczką szklaną wskazówka przyrządu wychyla się, a po jej oddaleniu wskazówka elektroskopu pozostaje wychylona.

Wniosek: Po dotknięciu kulki elektroskopu ciałem naelektryzowanym wskazówka przyrządu wychyla się, a po oddaleniu ciała – pozostaje wychylona. Mówimy, że elektroskop został naelektryzowany, gdyż zgromadził się na nim ładunek.



Z przeprowadzonego doświadczenia wynika więc, że **ładunek elektryczny możemy przekazać z jednego ciała na drugie**. Zjawisko elektryzowania ciała przez **dotknięcie ciałem naelektryzowanym** nazywamy **elektryzowaniem przez dotyk**. W ten sposób ciało, które było naelektryzowane, traci część ładunku, a uzyskuje go to ciało, które było elektrycznie obojętne. Elektryzowanie ciał przez dotknięcie ciałem naelektryzowanym zostało wykorzystane w procesie uziemiania. Ciało naelektryzowane łączone jest z ziemią metalowym przewodem, aby przekazać jej ładunek elektryczny. Z uwagi na duże rozmiary Ziemi ciało uziemione traci cały swój ładunek.

Więcej na temat

Elektryzowanie w drukarce laserowej

Zjawisko elektryzowania ciał jest wykorzystywane w wielu urządzeniach, na przykład w drukarkach laserowych. Najważniejszym elementem takiej drukarki jest bęben, zwany również wałkiem światłoczułym, który w pierwszym etapie druku jest elektryzowany ujemnie. Następnie odbywa się proces naświetlania laserem, co w miejscach naświetlania prowadzi do utraty ładunku elektrycznego. Na powierzchnię bębna nanoszony jest toner. Na skutek oddziaływania elektrostatycznego przykleja się on do miejsc, które utraciły ładunek elektryczny. Następnie toner przenoszony jest na papier, po czym w procesie przejścia między rozgrzаныmi wałkami, zostaje utwalony na tym papierze.

W skrócie

- Ciała mogą zostać naelektryzowane przez pocieranie ich o siebie (przez tarcie). W wyniku tego procesu oba ciała uzyskują ładunek elektryczny.
- Ciało może zostać naelektryzowane przez dotknięcie tego ciała innym ciałem naelektryzowanym. Wówczas część ładunku przepływa z jednego ciała na drugie.
- Elektroskop to przyrząd służący do wykrywania i obserwowania stanu naelektryzowania ciał.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie wykazujące, że dane ciało naelektryzowane jest przez tarcie. Podaj przykłady ciał, które się elektryzują tym sposobem.
- 2 Podaj przykłady elektryzowania się ciał przez dotknięcie ciałem naelektryzowanym, znane ci z codziennego życia.
- 3 Wyszukaj informację i odpowiedz na pytanie, dlaczego cysterny przewożące benzynę mają paski łączące cysternę z ziemią.

3.2 Oddziaływanie ciał naelektryzowanych

Podejmij temat



Czy naelektryzowane ciała zawsze się przyciągają?
Dlaczego świeżo umyte i wysuszone włosy trudno ułożyć?



Jak się zachowują względem siebie naelektryzowane ciała?

Wiesz już, że wszystkie naelektryzowane ciała mają tę własność, że przyciągają ku sobie inne ciała, np. skrawki papieru. A jak naelektryzowane ciała zachowują się względem siebie? Aby się o tym przekonać, wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie 28.

Badamy zachowanie się ciał naelektryzowanych

Niezbędne przedmioty: 2 statywy (wózki obrotowe), nitka, 2 pałeczki ebonitowe (rurki z PVC), sukno (wełna), 2 pałeczki szklane, czysta kartka papieru (lub jedwab)

Wykonanie:

A.

- Zawieś na specjalnym uchwycie przymocowanym do statywu łaskę ebonitową (lub wykonaj z nitki dwie pętelki samozaciskowe i przełóż przez nie pałeczkę). Koniec nitki zamocuj na statywie. Jeśli w pracowni znajduje się wózek obrotowy z zestawu do elektrostatyki, to połóż na nim pałeczkę.
- Zbliź do końca pałeczki ebonitowej drugą pałeczkę ebonitową, a następnie zbliź szklaną i obserwuj, co się dzieje.



B.

- Naelektryzuj koniec pałeczki ebonitowej wiszącej na statywie oraz drugą taką samą pałeczkę i zbliź do siebie naelektryzowane końce. Obserwuj, co się dzieje.
- Następnie zamocuj pałeczkę szklaną na statywie lub wózku.
- Zbliź nienaelektryzowaną pałeczkę szklaną do tej wiszącej na statywie, a następnie zbliź do niej pałeczkę szklaną naelektryzowaną zmietym papierem. Obserwuj, co się dzieje.
- Następnie zbliź potartą pałeczkę ebonitową do szklanej wiszącej na statywie i naelektryzowaną szklaną do ebonitowej przymocowanej do statywu. Patrz, co się dzieje.



Obserwacje:

- Dwie nienaelektryzowane pałeczki ebonitowe nie oddziałują na siebie.
- Dwie nienaelektryzowane pałeczki szklane nie oddziałują na siebie.
- Nienaelektryzowane pałeczki ebonitowa i szklana nie oddziałują na siebie.
- Dwie potarte sukrem pałeczki ebonitowe odpychają się od siebie.
- Dwie potarte papierem pałeczki szklane odpychają się od siebie.
- Naelektryzowana pałeczka ebonitowa i naelektryzowana pałeczka szklana przyciągają się.

Wniosek: Obserwując zachowanie naelektryzowanych pałeczek, stwierdzamy, że oddziałują na siebie, przy czym oddziaływania te są różne. Dwie naelektryzowane pałeczki ebonitowe wzajemnie się odpychają. To samo dzieje się z dwoma pałeczkami szklanymi, zaś pałeczka ebonitowa i szklana przyciągają się.

Dwa rodzaje ładunków elektrycznych

Zachowanie naelektryzowanych pałeczek użytych w doświadczeniu możemy wyjaśnić dość prosto. Otóż dwie takie same pałeczki ebonitowe potarte sukrem musiały być obdarzone ładunkiem tego samego rodzaju. Podobnie pałeczki szklane potarte papierem miały jednakowy rodzaj ładunku. Jeśli jednak naelektryzowane pałeczki ebonitowe odpychają się i naelektryzowane pałeczki szklane też się odpychają, a naelektryzowane pałeczki – ebonitowa i szklana – przyciągają się, to ładunek zgromadzony na pałeczce szklanej musi być inny niż ładunek zgromadzony na pałeczce ebonitowej.

Wnioskujemy stąd, że **istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych**. Dwa ciała naelektryzowane ładunkami jednoimiennymi odpychają się, a dwa ciała naelektryzowane ładunkami różnoimiennymi przyciągają się.

Ładunek, jaki gromadzi się na ebonicie potartym futrem lub sukrem, nazywamy **ładunkiem ujemnym**, zaś ładunek gromadzący się na szkle potartym o papier lub jedwab – **ładunkiem dodatnim**.

Gdy się czesemy, elektryzują się nasze włosy, a także grzebień, przy czym włosy dodatnio, a grzebień ujemnie. Włosy naelektryzowane jednoimiennie odpychają się, a równocześnie są przyciągane przez grzebień. Stąd ich ułożenie stwarza kłopot.

Oddziaływanie ładunków elektrycznych

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że ciała naelektryzowane oddziałują na siebie w określony sposób. W ten sam sposób oddziałują na siebie ładunki naelektryzowanych ciał.

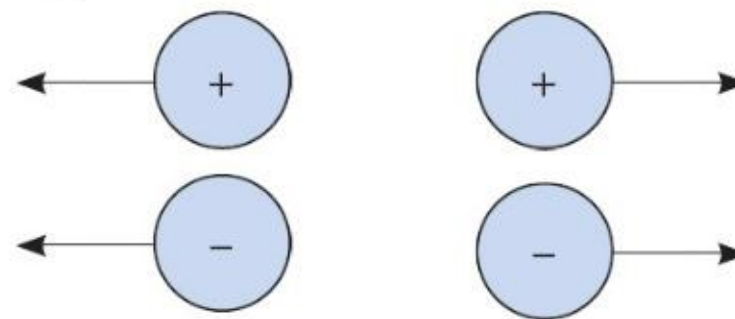
Ładunki jednoimienne (dodatnie z dodatnimi oraz ujemne z ujemnymi) wzajemnie się odpychają, zaś ładunki różnoimienne, czyli dodatnie z ujemnymi, wzajemnie się przyciągają (il. 3.4).

Ich wzajemne oddziaływania są zgodne z trzecią zasadą dynamiki Newtona.



Wyróżniamy dwa rodzaje ładunków elektrycznych – ujemne i dodatnie.

A.



B.



3.4 Oddziaływanie ładunków
A. jednoimiennych
B. różnoimiennych

Siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych

Siły, z jakimi oddziałują na siebie ładunki elektryczne, nazywamy **siłami elektrycznymi** lub **kulombowskimi**. Aby je zbadać, wykonajmy proste doświadczenie.

Doświadczenie 29.

Badamy siły wzajemnego oddziaływania ciał naelektryzowanych

Niezbędne przedmioty: 2 statywy z poziomym prętem, nitka, pałeczka ebonitowa (rurka z PVC) i sukno, lub pałeczka szklana i czysta kartka papieru (lub jedwab), folia aluminiowa (można też użyć nadmuchanych baloników i naelektryzować je wełnianą rękawiczką)

Wykonanie:

A.

- Utnij dwa, około 30 cm długości, kawałki nitki.
- Na końcu każdej nitki przymocuj małą, do ok. 1 cm średnicy, kulkę z folii aluminiowej.
- Każdą nitkę z kulką zawieś na końcu poziomego pręta statywu, tak aby znajdowały się na tej samej wysokości.
- Oddal od siebie statywy na odległość ok. 0,5 m.
- Za pomocą naelektryzowanej pałeczki ebonitowej lub szklanej naelektryzuj jednoimiennie przez dotyk obie kulki aluminiowe.

B.

- Zbliżaj do siebie, bardzo powoli, naelektryzowane kulki, zbliżając statywy. Zaznacz położenie statywów, w którym kulki zaczynają oddziaływać na siebie.
- Kontynuuj zbliżanie kulek i obserwuj, co się dzieje.

C.

- Rozsuń kulki i naelektryzuj ponownie przez dotyk, tym samym ładunkiem, obie kulki. Kilukrotnie elektryzuj pałeczkę i dotykaj aluminiowych kulek.
- Postaraj się zaobserwować moment, w którym kulki zaczynają oddziaływać na siebie. Określ, czy w położeniu statywów, które zaznaczyłeś poprzednio, odchylenie kulek jest większe.



Obserwacje:

- W miarę zbliżania kulek do siebie wzrasta odchylenie nitek od pionu. Kulki się oddalają.
- Gdy ładunek kulek wzrósł, wzrosła również odległość między kulkami.

Wnioski:

Obserwując zachowanie naelektryzowanych kulek, stwierdzamy, że:

- w miarę zbliżania do siebie naelektryzowanych ciał rośnie wartość siły wzajemnego oddziaływania (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 naelektryzowanych ciałach siła wzajemnego oddziaływania wzrasta.

Prawo Coulomba

Podczas badania wzajemnego oddziaływania naelektryzowanych ciał mogłeś zauważyć, że nie zawsze są one jednakowo silne. Ilościowe zbadanie zjawiska oddziaływań elektrycznych jest jednak trudne. Udało się to francuskiemu uczonemu Charles'owi Augustinowi de Coulomb (czyt. szarłowi ogustinowi de kul**ab**).

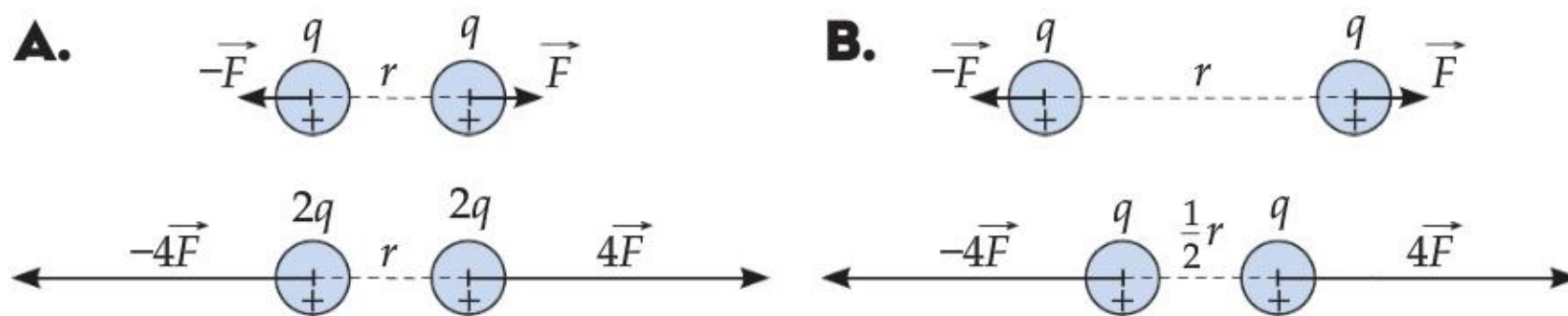
Doświadczenia doprowadziły uczonego do sformułowania prawa, które nazywamy **prawem Coulomba**.

Wartość siły wzajemnego oddziaływania naładowanych kulek jest wprost proporcjonalna do iloczynu wartości ich ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami.

$$F \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

q_1, q_2 – wartości ładunków, r – odległość między ładunkami

Zależność tę możemy przedstawić graficznie (il. 3.5).



3.5 Wartości sił wzajemnego oddziaływania dla ładunków o większej wartości (A.) i znajdujących się w mniejszej odległości od siebie (B.)

Zauważ, że jeśli ładunek każdej z kulek wzrasta dwukrotnie, to wartość siły ich wzajemnego oddziaływania wzrasta czterokrotnie. Jeśli ładunek kulek nie ulega zmianie, a odległość między nimi zmniejsza się dwukrotnie, to wartość siły ich wzajemnego oddziaływania również wzrasta czterokrotnie.

Przykład 10.

Dwa ładunki działają na siebie siłą o wartości 2 N. Jaka będzie wartość siły ich wzajemnego oddziaływania, jeśli ładunek jednej kulki wzrośnie dwukrotnie, a drugiej trzykrotnie, bez zmiany odległości między nimi?

Rozwiązanie

Zgodnie z prawem Coulomba wartość siły oddziaływania między ładunkami jest wprost proporcjonalna do iloczynu wartości ładunków: $F \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$

Siła ta wzrośnie sześciokrotnie, bo iloczyn wartości ładunków zwiększył się 6 razy ($2 \cdot 3 = 6$), i będzie wynosić:
 $F = 6 \cdot 2 \text{ N} = 12 \text{ N}$

Odpowiedź: Wartość siły ich wzajemnego oddziaływania wynosić będzie 12 N.



Charles Augustin de Coulomb (1736–1806), francuski fizyk, zajmował się zagadnieniami dotyczącymi elektrostatyki, magnetyzmu i teorii maszyn prostych. Za pomocą eksperymentów z wagą skręceń sformułował prawo nazwane od jego nazwiska prawem Coulomba. Od jego nazwiska pochodzi również jednostka ładunku elektrycznego – kulomb.

W skrócie

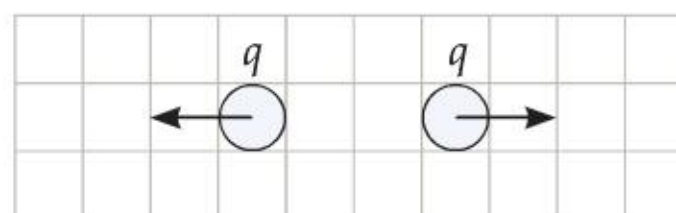
- Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych. Ładunki jednoimienne odpychają się, a różnoimienne się przyciągają.
- Ładunek, jaki gromadzi się na ebonicie potartym sukrem, nazwano ładunkiem ujemnym, a ładunek gromadzący się na szkle potartym o papier – ładunkiem dodatnim.
- Ładunki jednoimienne (dodatnie z dodatnimi oraz ujemne z ujemnymi) wzajemnie się odpychają, zaś ładunki różnoimienne, czyli dodatnie z ujemnymi, wzajemnie się przyciągają.
- Siły, z jakimi oddziałują ładunki elektryczne, nazywamy siłami elektrycznymi lub kulombowskimi. Wraz ze wzrostem odległości między ładunkami wartość siły elektrycznej maleje. Jeśli wartości oddziałujących ładunków rosną, to rośnie również wartość tej siły.
- Prawo Coulomba mówi, że wartość siły wzajemnego oddziaływania naładowanych kulek jest wprost proporcjonalna do iloczynu wartości ich ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Dwa ładunki różnoimienne	A.	wzajemnie się odpychają siłami o tej samej wartości i przeciwnych zwrotach.
	B.	wzajemnie się przyciągają siłami o tej samej wartości i przeciwnych zwrotach.

- Rysunek przedstawia dwie kule naelektryzowane jednoimiennie, oddziałujące ze sobą siłą 1 N.



Narysuj w zeszycie wektory obrazujące siły wzajemnego oddziaływania kul:

- jeśli wartości ładunków kul wzrosną trzykrotnie, a odległość między nimi się nie zmieni,
- jeśli wartości ładunków kul nie zmienią się, a odległość między ładunkami zmniejszy się o połowę,
- jeśli wartości ładunków kul wzrosną dwukrotnie, a odległość między nimi zmniejszy się o połowę,
- jeśli kule będą naelektryzowane różnoimiennie.

- Zaplanuj i przeprowadź doświadczenie, w którym naelektryzujesz dowolne ciało i podasz sposób wykrycia, jakim rodzajem ładunku ciało zostało naelektryzowane.

3.3 Mikroskopowy obraz elektryzowania ciał

Podejmij temat



Czym się różni w budowie wewnętrznej metal od szkła?

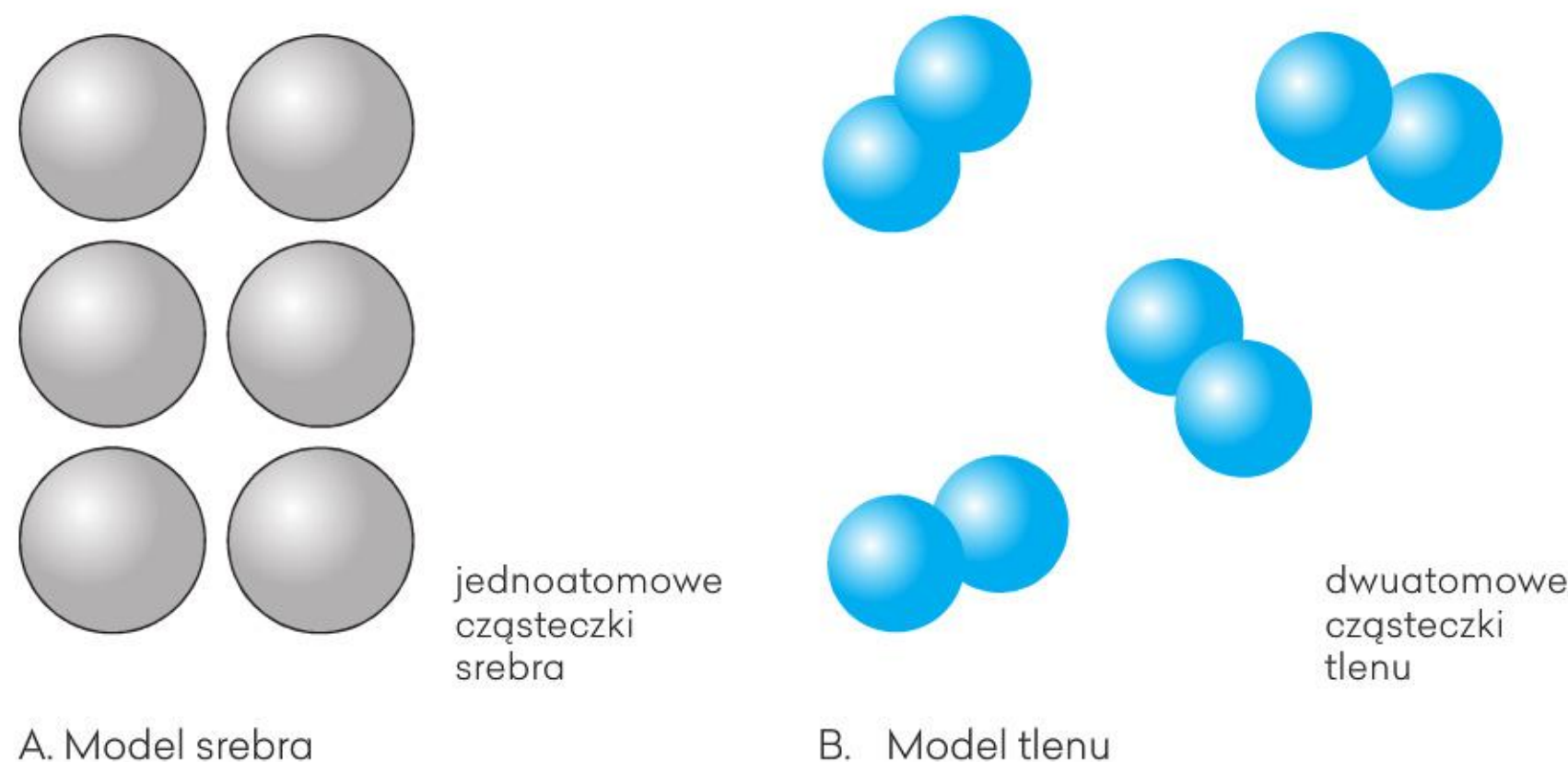
W jaki sposób elektryzujemy metal, a w jaki – szkło?



Jeszcze o budowie materii. Pierwiastki

Jak zapewne już wiesz, wszystkie substancje (np. szkło, tlen, azot, srebro) składają się z **cząsteczek**. Cząsteczki składają się z jeszcze mniejszych elementów zwanych atomami. W niektórych substancjach cząsteczki mogą być jednoatomowe, w innych są wieloatomowe (il. 3.6).

Substancje, których cząsteczki składają się z jednakowych atomów lub są pojedynczymi atomami, nazywamy **pierwiastkami chemicznymi**. Do pierwiastków należą między innymi: tlen, wodór, srebro, miedź, żelazo.



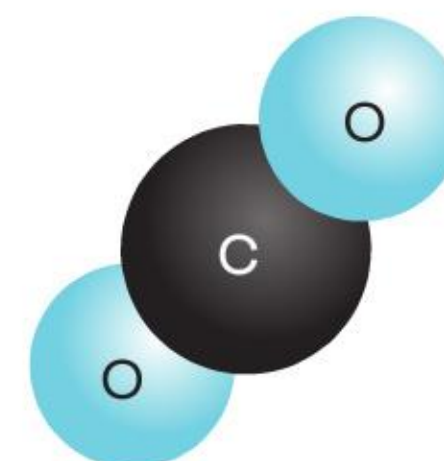
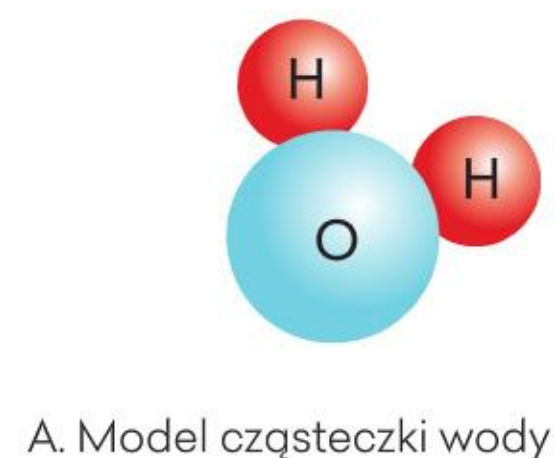
3.6 Modele budowy pierwiastków – o cząsteczkach jednoatomowych (A.) oraz dwuatomowych (B.)

Związki chemiczne

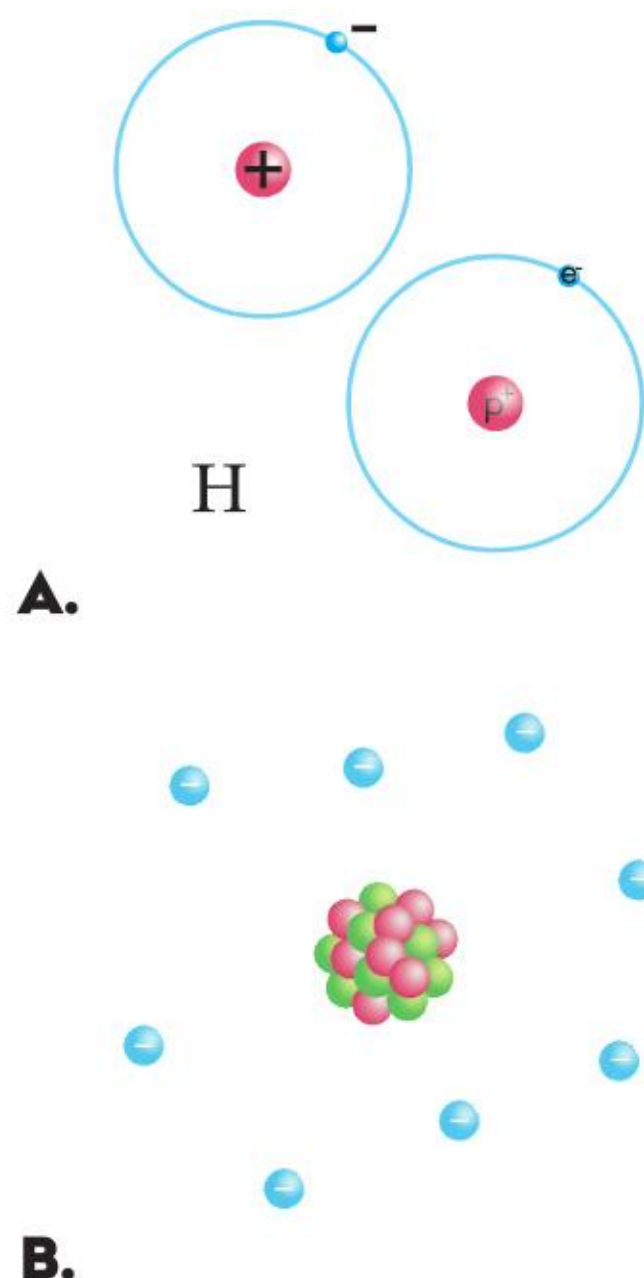
Substancje, których cząsteczki składają się przynajmniej z dwóch różnych atomów, nazywamy **związkami chemicznymi** (il. 3.7).

Do związków chemicznych najpowszechniej występujących w przyrodzie należą: woda, dwutlenek węgla oraz sól kuchenna. Związkami chemicznymi są między innymi: kwasy, zasady, sole, tlenki i dwutlenki pierwiastków.

Cząsteczka to najmniejsza część danej substancji zdolna do samodzielnego istnienia i zachowująca cechy tej substancji.



3.7 Modele budowy cząsteczek związków chemicznych



3.8 Uprozczone modele budowy atomów – wodoru (A.) oraz tlenu (B.)



Ładunek elementarny (e) to ładunek równy $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



$1 \text{ C} = 6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów (ładunków elementarnych)

Atom i model budowy atomu

Atom stanowi najmniejszą cząstkę pierwiastka zdolną do samodzielnego istnienia i niedającą się podzielić bez zmiany właściwości danego pierwiastka. Do dalszych rozważań przyjmujemy uproszczony model budowy atomu, według którego każdy atom zbudowany jest z trzech rodzajów cząstek elementarnych: **elektronów**, **protonów**, **neutronów**. Protony i neutrony tworzą **jądro atomowe**, naładowane dodatnio, wokół którego w różnych odległościach od niego, w tzw. **powłokach elektronowych**, krążą ujemnie naładowane elektrony (il. 3.8). Elektrony i protony są obdarzone ładunkiem elektrycznym równym co do wartości, ale przeciwnego znaku. Neutrony nie są obdarzone ładunkiem. Liczba protonów w jądrze i liczba elektronów na powłokach jest jednakowa, a więc atom jest **elektrycznie obojętny**.

Ładunki elementarne

Ładunek protonu nazywa się **elementarnym ładunkiem dodatnim**, natomiast ładunek elektronu – **elementarnym ładunkiem ujemnym**. Masa elektronu jest równa $9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, a masy protonu i neutronu są około 1840 razy większe (tabela 7.). Wynika z tego, że prawie cała masa atomu jest skupiona w jego jądrze.

Tabela 7. Składniki atomu

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

Ładunki naelektryzowanych ciał

Mówimy, że ciała naelektryzowane posiadają określony ładunek. Najmniejszą porcją ładunku ujemnego jest ładunek elektronu ($-e$), a najmniejszą porcją ładunku dodatniego ładunek protonu ($+e$). Występujące w przyrodzie ładunki elektryczne są całkowitą wielokrotnością ładunków elementarnych.

Od nazwiska Coulomba pochodzi nazwa jednostki ładunku w układzie SI – **1 kulomb (1 C)**.

Dwa takie ładunki umieszczone w odległości 1 kilometra w próżni oddziaływałyby na siebie, zgodnie z prawem Coulomba, siłą o wartości 9 kiloniuutonów (9 kN). Zgromadzenie tak wielkiego ładunku w ciele o niezbyt dużych rozmiarach praktycznie nie jest możliwe. Najczęściej stosujemy mniejsze jednostki ładunku elektrycznego: 1 milikulomb (1 mC) oraz 1 mikrokulomb (1 μC).

Jony

Obojętne atomy substancji mogą tracić lub przyjmować elektrony. Cząstki powstałe w wyniku oderwania się od atomów jednego lub więcej elektronów nazywamy jonami dodatnimi. **Jon dodatni** ma w jądrze większą liczbę protonów niż liczbę elektronów na powłokach (il. 3.9). Cząstki powstałe w wyniku przyłączenia się do atomów jednego lub więcej elektronów nazywamy jonami ujemnymi. **Jon ujemny** ma na powłokach większą liczbę elektronów niż liczbę protonów w jądrze (il. 3.10).

Przewodniki i izolatory

Właściwości chemiczne i fizyczne pierwiastków zależą m.in. od rozkładu elektronów na powłokach elektronowych, a w szczególności od tzw. elektronów walencyjnych zapełniających ostatnią (zewnętrzną) powłokę, zwaną również walencyjną.

W metalach elektrony odrywają się łatwo z ostatnich powłok atomów, tworząc **chmurę swobodnych elektronów**, zaś powstałe **jony dodatnie** tworzą regularną strukturę zwaną siecią krystaliczną. Jony sieci drgają wokół swoich położeń równowagi, a elektrony poruszają się między nimi ruchem chaotycznym.

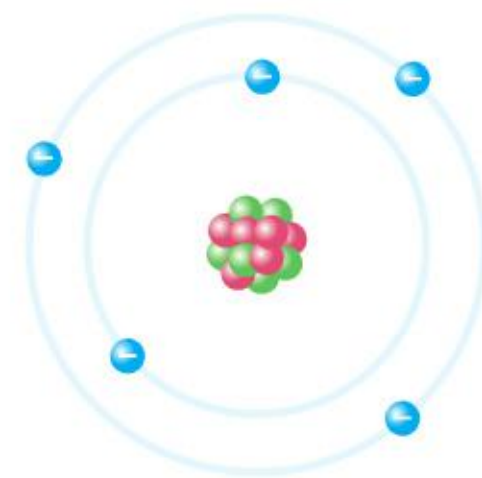
Całkowity ładunek dodatni jonów sieci jest równy pod względem wartości ujemnemu ładunkowi wszystkich elektronów swobodnych, tak że ciało jest elektrycznie obojętne. Substancje zawierające **elektrony swobodne** (il. 3.11), dzięki którym następuje przewodzenie ładunku, nazywamy **przewodnikami**. Do najlepszych przewodników należą srebro i miedź.

Istnieje grupa ciał, w których elektrony są związane z jądrami atomów. Substancje te nie mają swobodnych nośników ładunku (il. 3.12). Ich własnością jest to, że nie przewodzą ładunku elektrycznego. Są to **izolatory**. Zaliczamy do nich m.in. szkło, plastik, ebonit, PVC, porcelanę, papier, gumę.

Na czym polega elektryzowanie przez tarcie izolatora

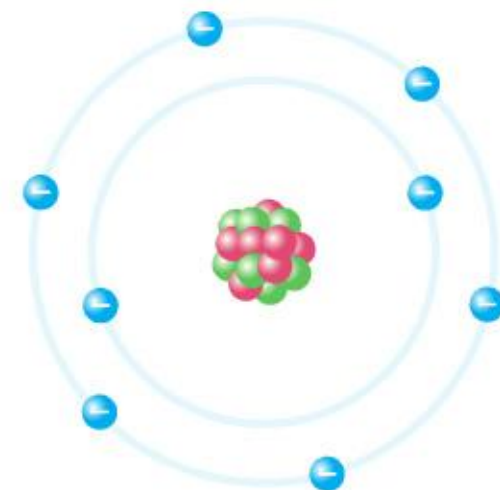
Ciało elektryzuje się wówczas, gdy traci lub otrzymuje elektrony. Podczas pocierania ciał o siebie wykonujemy pracę, w wyniku której wzrasta energia ruchu drgającego składników obu ciał i pewna liczba elektronów przechodzi z jednego ciała na drugie. W efekcie to ciało, na które przeszły elektrony, ma ich nadmiar i elektryzuje się ujemnie, zaś to, które je utraciło, ma ich niedobór i elektryzuje się dodatnio.

Wiesz już, że laska ebonitowa pocierana o sukno elektryzuje się ujemnie, a sukno dodatnio. Dzieje się tak dlatego, że atomy sukna słabiej utrzymują wchodzące w ich skład elektrony niż atomy ebonitu. W związku z tym elektrony odrywają się właśnie od sukna i przechodzą na ebonit. Ebonit uzyskuje nadmiar elektronów, elektryzując się ujemnie, a sukno ma ich niedobór i elektryzuje się dodatnio (il. 3.13).



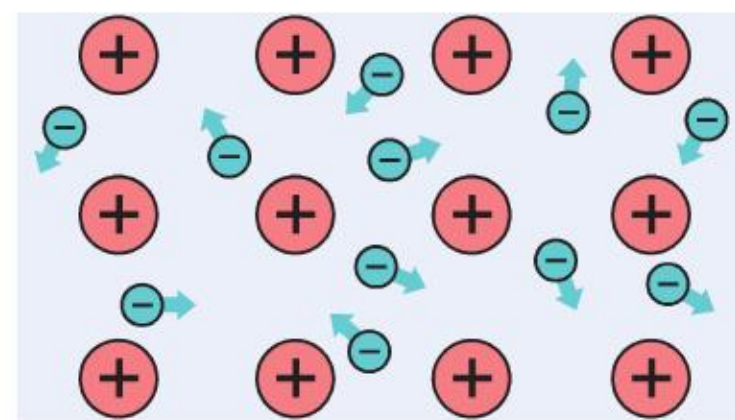
6 protonów, 6 neutronów, 5 elektronów

3.9 Model dodatniego jonu węgla

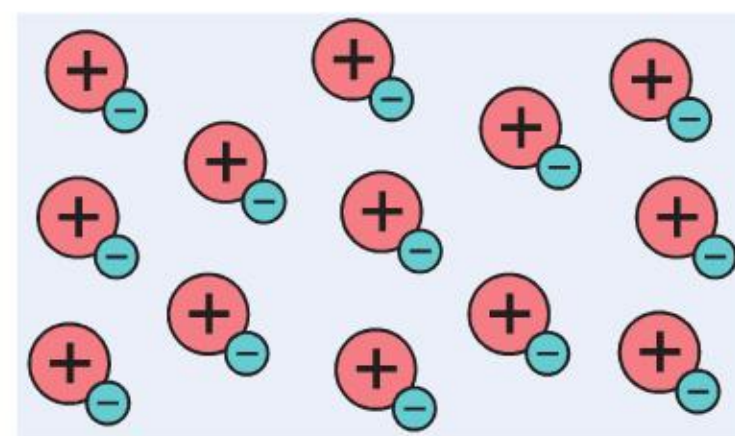


7 protonów, 7 neutronów, 8 elektronów

3.10 Model ujemnego jonu azotu



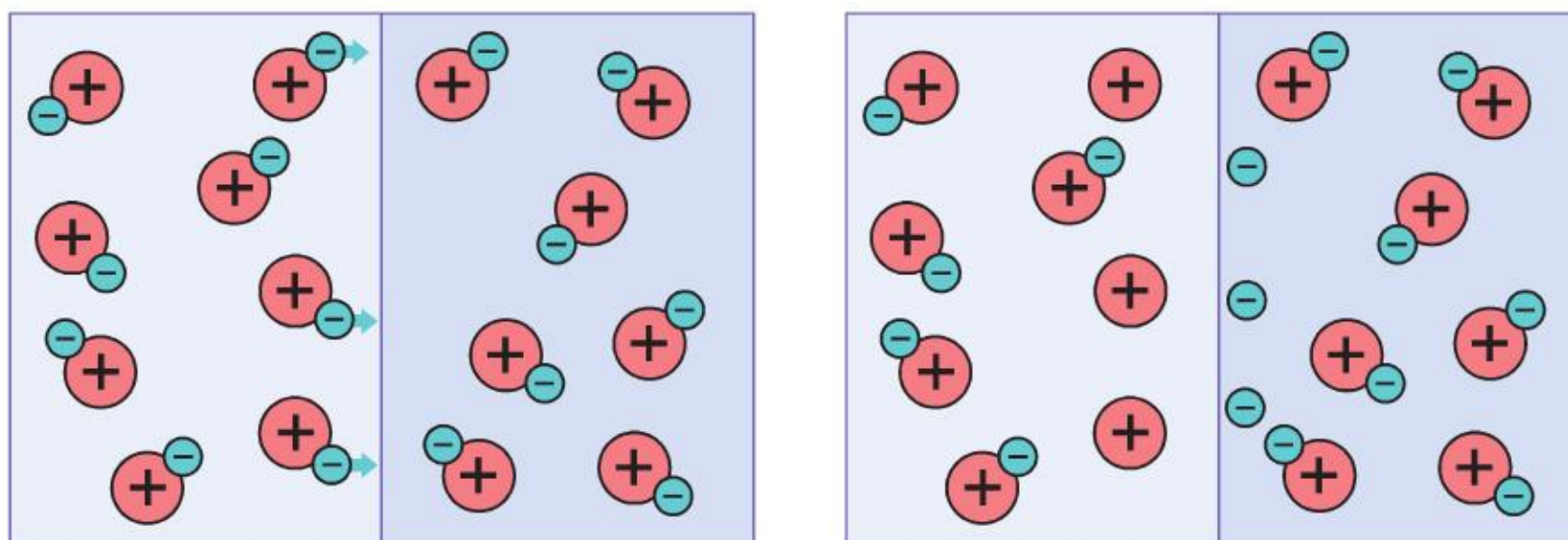
3.11 Model przewodnika



3.12 Model izolatora



3.14 Podczas **pocierania izolatorów o siebie elektrony przechodzą jedynie z powierzchni jednego ciała na powierzchnię drugiego i elektryzuje się tylko ta część obu ciał, która podczas pocierania styka się ze sobą**



3.13 Elektryzowanie ciał przez pocieranie

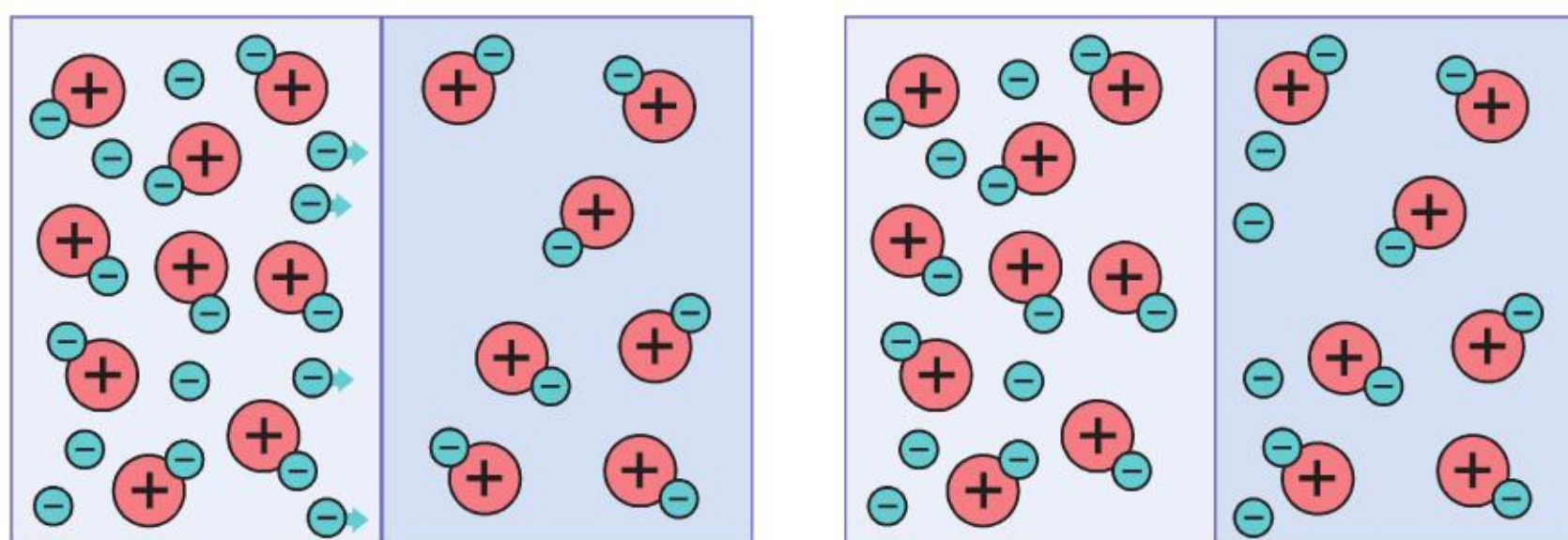
Podczas pocierania laski szklanej o papier szkło traci elektrony, które przechodzą na papier. Szkło ma więc ich niedobór i elektryzuje się dodatnio, a papier uzyskuje ich nadmiar i elektryzuje się ujemnie.

Podczas elektryzowania ciał przez pocieranie traci elektrony i elektryzuje się dodatnio to ciało, którego atomy słabiej utrzymują elektrony. Drugie ciało otrzymuje elektrony. Wynika stąd, że:

Elektryzowanie ciał nie powoduje powstawania ładunków, a tylko ich rozdzielanie. W wypadku elektryzowania przez potarcie ciała elektryzują się różnoimiennie.

Na czym polega elektryzowanie przez dotyk izolatora

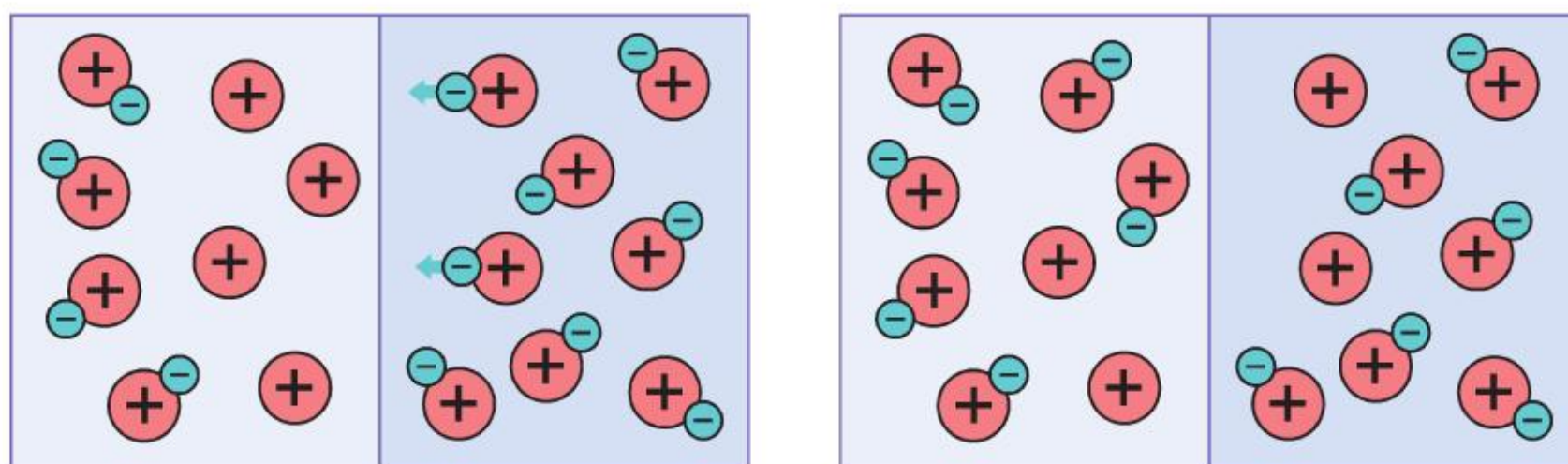
Jeśli ciało obojętne elektrycznie dotkniemy ciałem naelektryzowanym ujemnie, pewna liczba elektronów z ciała naelektryzowanego przechodzi na ciało obojętne. W efekcie obydwa ciała są naelektryzowane ujemnie (il. 3.15).



3.15 Elektryzowanie ciała obojętnego elektrycznie ciałem naelektryzowanym ujemnie

A jak jest w wypadku dotknięcia ciała obojętnego ciałem naelektryzowanym dodatnio? Wiesz, że tylko elektrony mają możliwość przemieszczania się. Otóż z ciała obojętnego elektrony są przyciągane przez ciało naelektryzowane dodatnio i pewna ich ilość przechodzi do ciała naelektryzowanego dodatnio, zobojętniając część jego ładunku dodatniego (il. 3.16).

Ciało, które było obojętne, tracąc elektrony, elektryzuje się więc dodatnio. W efekcie obydwa ciała są naelektryzowane dodatnio.



3.16 Elektryzowanie ciała obojętnego elektrycznie ciałem naelektryzowanym dodatnio

Elektryzowanie elektroskopu przez dotyk

Jeśli na przykład laską ebonitową naelektryzowaną ujemnie dotkniemy obojętnego elektroskopu, wówczas pewna ilość elektronów przejdzie z laski na elektroskop. Wskazówka i pręt uzyskają elektrony i wzajemnie będą się odpychać, dlatego wskazówka się wychyli (il. 3.17).

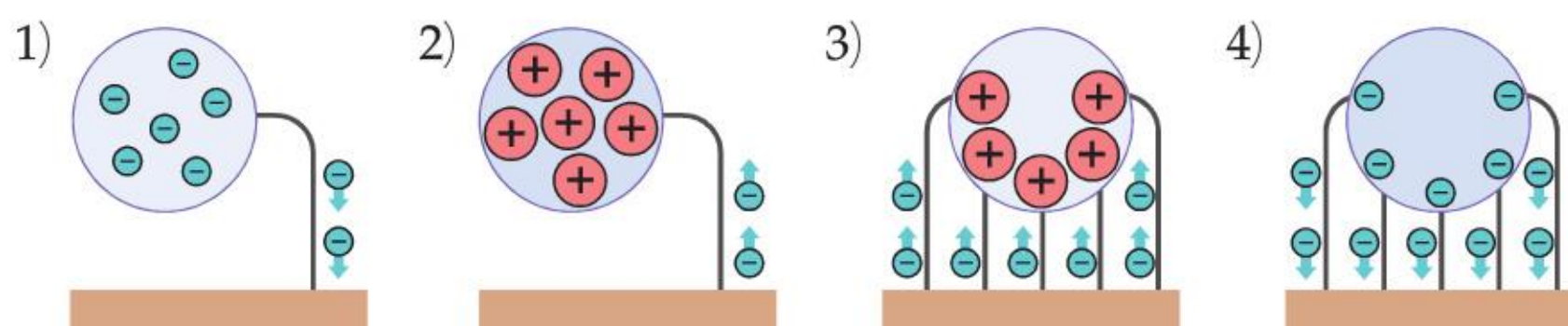
Gdy jednak kulki elektroskopu dotkniemy laską szklaną naelektryzowaną dodatnio, wówczas pewna ilość elektronów przejdzie ze wskazówki i pręta na laskę szklaną, zobojętniając część jej dodatniego ładunku. Wskazówka wychyli się, bo podobnie jak pręt będzie miała niedobór elektronów, będzie więc przez niego odpychana (il. 3.18).

Analizując zjawisko elektryzowania ciał przez dotyk, stwierdzamy, że podobnie jak w wypadku elektryzowania ciał przez pocieranie ładunek nie powstaje, lecz zawsze przechodzi z jednego ciała na drugie.

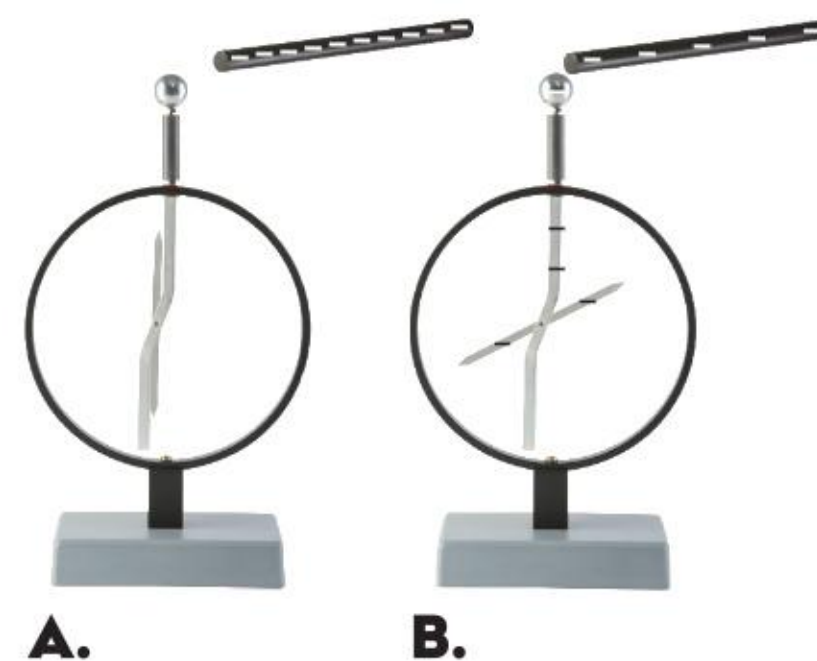
W wypadku elektryzowania ciał przez dotyk ciałem naelektryzowanym obydwa ciała elektryzują się jednoimiennie.

Uziemienie

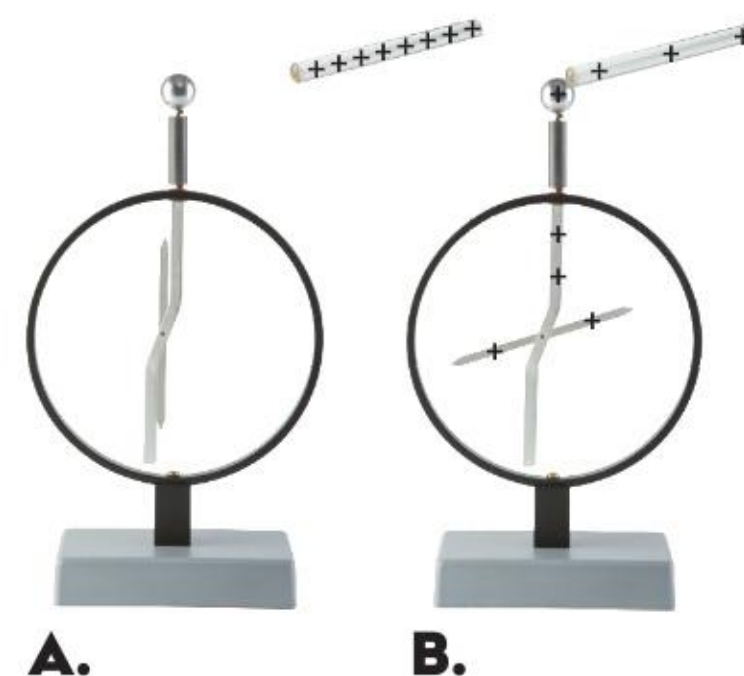
Elektryzowanie ciał przez dotknięcie ciałem naelektryzowanym jest wykorzystywane w procesie uziemiania (il. 3.19). Ciało naelektryzowane łączy się z ziemią metalowym przewodem, aby przekazać jej ładunek elektryczny. Uziemione ciało staje się obojętne, ponieważ Ziemia ma duże rozmiary i odbiera cały nadmiarowy ładunek ujemny z ciała naelektryzowanego ujemnie (1) lub dostarcza ciału naelektryzowanemu dodatnio wystarczająco dużo elektronów, aby zobojętnić cały jego nadmiar ładunków dodatnich (2).



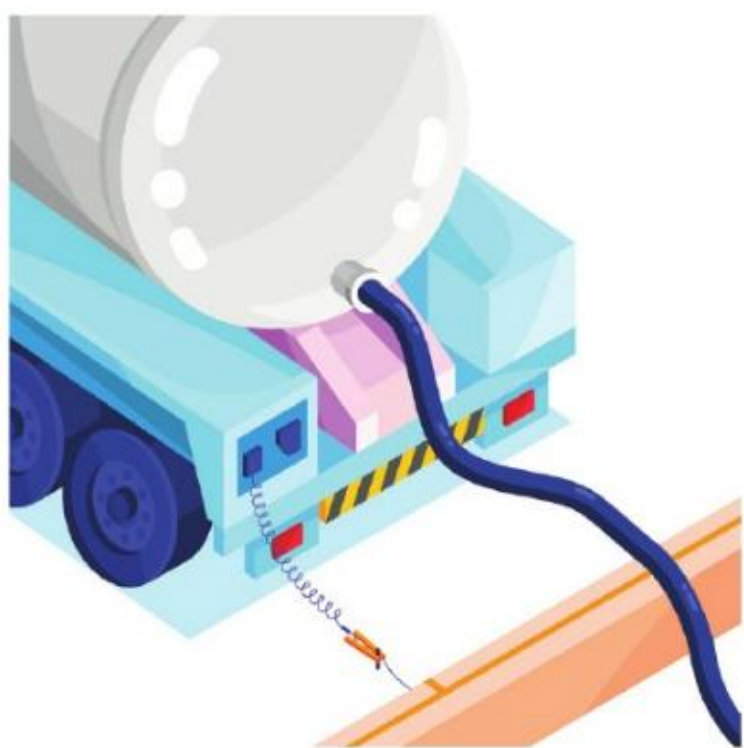
3.19 Proces uziemiania przewodnika (1, 2) i izolatora (3, 4)



3.17 Elektroskop przed dotknięciem (A.) i po dotknięciu laską ebonitową naelektryzowaną ujemnie (B.)



3.18 Elektroskop przed dotknięciem laską szklaną naelektryzowaną dodatnio (A.) i po dotknięciu nią (B.)



3.20 Uziemienie cysterny z benzyną

Uziemiane są np. cysterny z benzyną, aby zabezpieczyć je przed powstaniem iskry i wybuchem. Uziemianie polega na połączeniu cysterny z ziemią za pomocą znajdującego się na ziemi łańcucha lub paska przewodzącego łańcuch (il. 3.20). Takie paski, nazywane antystatycznymi, mocują też kierowcy niektórych innych aut, aby uziemić karoserię samochodu, która w czasie jazdy może się elektryzować przez tarcie o powietrze.

Czy można naelektryzować metalową pałeczkę?

Wiesz już, że wyróżniamy przewodniki i izolatory. Elektryzowanie pałeczki szklanej (czy ebonitowej) nie stwarzało żadnego problemu. Mogłeś trzymać w dłoni jeden koniec pałeczki i naelektryzować w tym czasie jej drugi koniec. Wiesz również, że elektrony w izolatorach nie mają swobody przemieszczania się, a to one poruszają się w czasie elektryzowania ciał. Zastanów się, czy w takim razie da się naelektryzować pałeczkę metalową, trzymając ją w dłoni. Wykonaj doświadczenie, aby to sprawdzić.

Doświadczenie 30.

Badamy elektryzowanie przewodnika

Niezbędne przedmioty: pałeczka (rurka) metalowa, sukno (wełna), pałeczka (rurka) metalowa z uchwytem z izolatora, elektroskop

Wykonanie:

- Potrzyj suknem metalową pałeczkę i dotknij nią kulkę elektroskopu. Obserwuj, co się będzie działo.
- Wykonaj te same czynności z pałeczką z końcówką z izolatora.

Obserwacje:

- Dotknięcie naelektryzowaną metalową pałeczką nie spowodowało wychylenia wskazówki elektroskopu.
- Dotknięcie naelektryzowaną metalową pałeczką z uchwytem z izolatora spowodowało wychylenie wskazówki elektroskopu.

Wniosek: Nie można naelektryzować przewodnika, trzymając go w dłoni, gdyż elektrony swobodne odpływają przez ciało do ziemi. **Aby naelektryzować metal – przewodnik – należy go odizolować od ziemi.**



W skrócie

- Atom jest najmniejszą częścią pierwiastka zachowującą jego właściwości. Zbudowany jest z jądra atomowego, w skład którego wchodzi protony i neutrony, oraz z elektronów krążących wokół jądra, tworzących powłoki elektronowe. W elektrycznie obojętnym atomie liczba protonów w jądrze jest równa liczbie elektronów.

- Każdy ładunek zgromadzony na naelektryzowanym ciele jest wielokrotnością ładunku elementarnego. Ładunek protonu nazywa się elementarnym ładunkiem dodatnim, zaś ładunek elektronu – elementarnym ładunkiem ujemnym.
- Jednostką ładunku w układzie SI jest 1 kulomb (1 C).
 $1\text{ C} = 6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów (ładunków elementarnych).
- Substancje zawierające elektrony swobodne, dzięki którym następuje przewodzenie ładunku, nazywamy przewodnikami. Do najlepszych przewodników zaliczamy srebro i miedź.
- Substancje, które nie posiadają swobodnych nośników ładunku, nazywamy izolatorami.
- Elektryzowanie ciał nie powoduje powstawania ładunków, a tylko ich rozdzielanie. W wypadku elektryzowania przez pocieranie ciała elektryzują się różnoimiennie.
- W przypadku elektryzowania ciał przez dotyk ciałem naelektryzowanym obydwa ciała elektryzują się jednoimiennie.
- Uziemienie ciała naelektryzowanego polega na połączeniu przewodnikiem ciała naelektryzowanego z ziemią.
- Naelektryzowanie metalu (przewodnika) możliwe jest po odizolowaniu go od ziemi.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

W wyniku pocierania balonika wełnianą rękawiczką, ciała elektryzują się	A.	jednoimiennie,	a zgromadzony na nich ładunek	A.	ma taką samą wartość.
	B.	różnoimiennie,		B.	ma różną wartość.

- 2 Wskaż poprawne dokończenia zdania.

Wskaźówka elektroskopu wychyli się, jeśli jego kulkę dotkniemy:

- a) naelektryzowaną szklaną pałeczką,
- b) obojętną elektrycznie rurką z PVC,
- c) potartą suknem laską ebonitową,
- d) wełnianą rękawiczką,
- e) metalową rurką.

- 3 Scharakteryzuj pod względem elektrycznym wewnętrzną budowę metalu oraz izolatora.

- 4 Wyjaśnij mechanizm elektryzowania ciał przez:

- a) pocieranie,
- b) dotyk ciałem naelektryzowanym ujemnie,
- c) dotyk ciałem naelektryzowanym dodatnio.

- 5 Dlaczego trzymaną w dłoni pałeczkę ebonitową lub szklaną można naelektryzować przez potarcie innym materiałem, a nie da się w ten sposób naelektryzować ciała metalowego?

Ciekawe!

Masa kulki metalowej naelektryzowanej dodatnio, a następnie naelektryzowanej ujemnie ładunkiem o takiej samej wartości, nieznacznie wzrasta. Z dwóch identycznych kulek metalowych, naładowanych różnoimiennie kulka naładowana ujemnie ma nieznacznie większą masę.

3.4 Elektryzowanie przez indukcję

Podjmij temat



Co ma wspólnego elektryzowanie przez indukcję z powstawaniem pioruna?



Jeszcze o elektryzowaniu ciał

Poznałeś już dwa sposoby elektryzowania ciał – przez dotyk i pocieranie (tarcie). Na początku nauki o elektrostatyce na pewno obserwowałeś przyciąganie drobnych ciał, np. skrawków papieru przez naelektryzowane ciała. Czy potrafisz wskazać, którym ze znanych ci sposobów elektryzowały się skrawki papieru? Przeanalizujemy jeszcze inny sposób elektryzowania ciał, wykonując kolejne doświadczenia.

Doświadczenie 31.

Badamy zachowanie przewodnika i izolatora w obecności naelektryzowanego ciała

Niezbędne przedmioty: pałeczka ebonitowa, sukno (wełna), pałeczka szklana, papier, nitka jedwabna, kulka papierowa, kulka z folii aluminiowej, statyw

Wykonanie:

- Na jedwabnej nici zawieś na statywie papierową kulkę, a następnie zbliż do niej naelektryzowaną przez potarcie suknem pałeczkę ebonitową. Zaobserwuj zachowanie kulki.
- Powtórz te same czynności dla kulki z folii aluminiowej i obserwuj, co się dzieje.
- Następnie wykonaj doświadczenia z obydwoma kulkami, zbliżając do nich pałeczkę szklaną naelektryzowaną przez potarcie papierem.

Obserwacje:

- Zarówno kulka z papieru, jak i kulka aluminiowa wychylają się w stronę naelektryzowanej pałeczki ebonitowej.
- Tak samo zachowują się kulki, jeśli zbliżymy do nich naelektryzowaną pałeczkę szklaną.

Wniosek:

W obecności naelektryzowanego ciała kulki zachowują się jak ciała naelektryzowane. Zaobserwowane zjawisko dotyczy zarówno izolatorów, jak i przewodników elektrycznych.

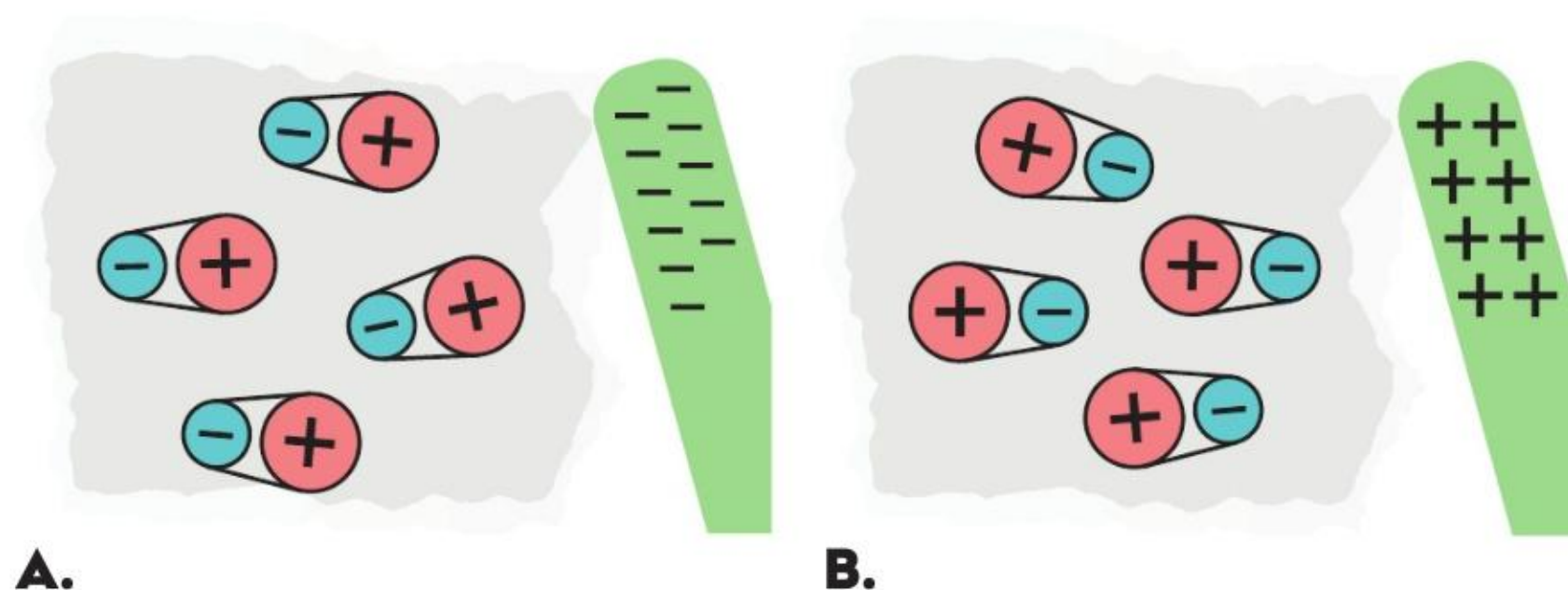


Wyjaśniamy zachowanie kulki aluminiowej

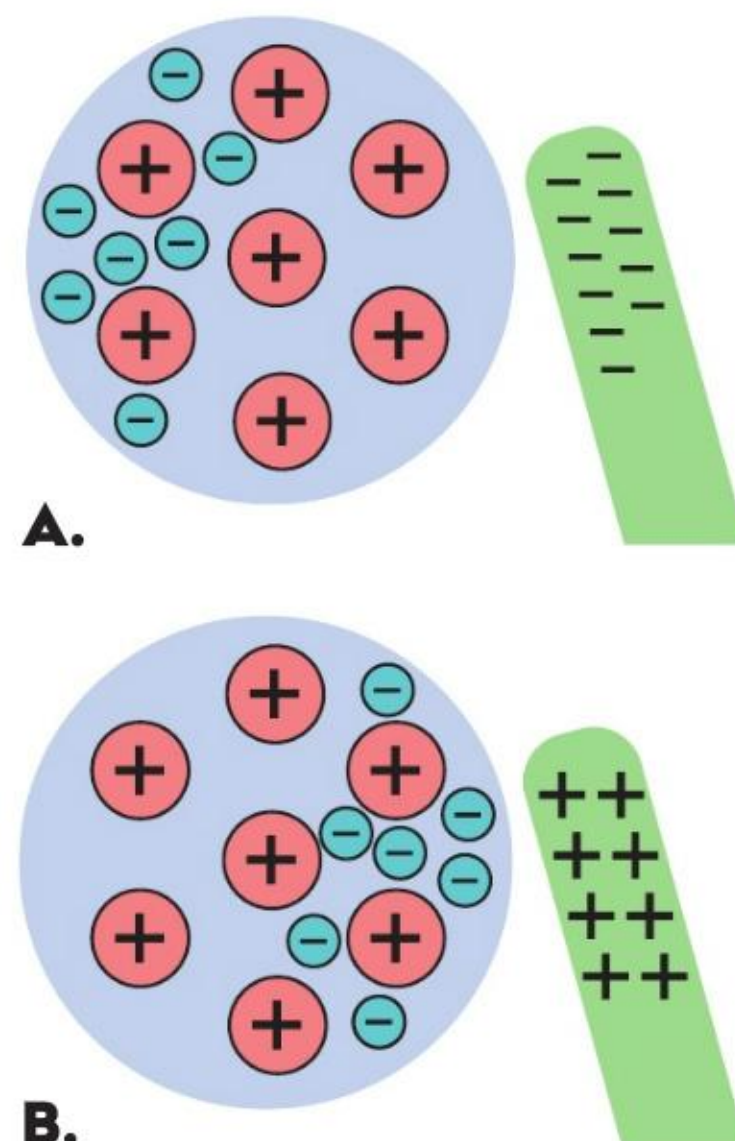
Mimo że efekt doświadczenia jest taki sam zarówno dla kulki papierowej, jak i aluminiowej, to mechanizm zjawiska dla każdej z nich jest inny. W przypadku przewodnika (kulki aluminiowej) w całej jego objętości znajdują się elektrony swobodne rozmieszczone równomiernie. Jeżeli zbliżymy do niego ciało naelektryzowane (pałeczkę), to elektrony w tym przewodniku zmieniają swoje położenie. Pojawia się w nim dwa obszary naelektryzowania. Elektrony zgromadzą się w obszarze najbliższym lub najdalszym w stosunku do zbliżanego ciała, w zależności od rodzaju jego naelektryzowania (il. 3.21 A. i B.). Jeśli do obojętnej kulki aluminiowej zbliżymy ujemnie naelektryzowaną pałeczkę ebonitową, to elektrony przemieszczą się na tę część obszaru kulki, która znajduje się najdalej od pałeczki, i ta część kulki będzie naelektryzowana ujemnie. W przeciwległej części kulki wystąpi niedobór elektronów i ta jej część będzie naładowana dodatnio (il. 3.21 A.). Jeśli do kulki aluminiowej zbliżymy dodatnio naelektryzowaną pałeczkę szklaną, to elektrony przemieszczą się na tę część obszaru kulki, która znajduje się najbliżej pałeczki, i ta część kulki naelektryzuje się ujemnie. Przeciwną część kulki będzie naelektryzowana dodatnio, bo będzie miała niedobór elektronów (il. 3.21 B.). Dzieje się tak za sprawą sił elektrycznych występujących między ładunkami ciała naelektryzowanego a ładunkami przewodnika.

Wyjaśniamy zachowanie kulki papierowej

W przypadku izolatorów mechanizm obserwowanego zjawiska jest trochę inny. W ciałach tych, jak wiemy, nie ma elektronów swobodnych, zatem nie możliwe jest ich przemieszczenie się między atomami lub cząsteczkami. Jeśli więc zbliżymy do izolatora ciało naelektryzowane, to następuje – w wyniku oddziaływania elektrostatycznego między ładunkami obu ciał – przemieszczenie elektronów w obrębie atomów lub cząsteczek (il. 3.22). Takie cząsteczki naładowane z jednej strony ładunkiem dodatnim, a z drugiej ujemnym nazywamy **dipolami elektrycznymi** (il. 3.23 i 3.26).



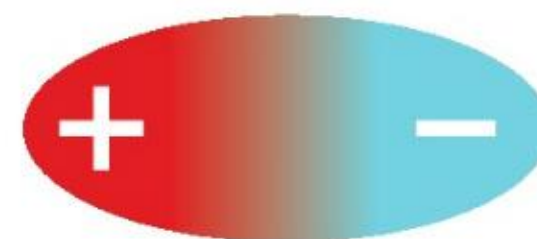
3.22 Ułożenie dipoli na powierzchni izolatora w obecności – pałeczki ebonitowej (A.), pałeczki szklanej (B.)



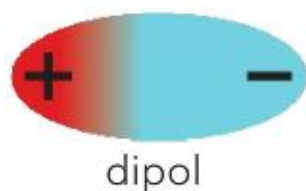
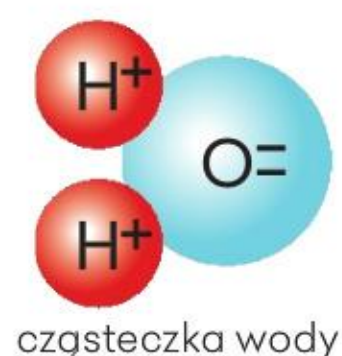
3.21 Przemieszczanie elektronów w przewodnikach pod wpływem ciała naelektryzowanego ujemnie (pałeczka ebonitowa) lub dodatnio (pałeczka szklana)



Dipol jest naładowany z jednej strony dodatnio, z drugiej – ujemnie. W izolatorach następuje przesunięcie – wewnątrz atomów – w obecności naelektryzowanego ciała ładunków elektrycznych o przeciwnych znakach.



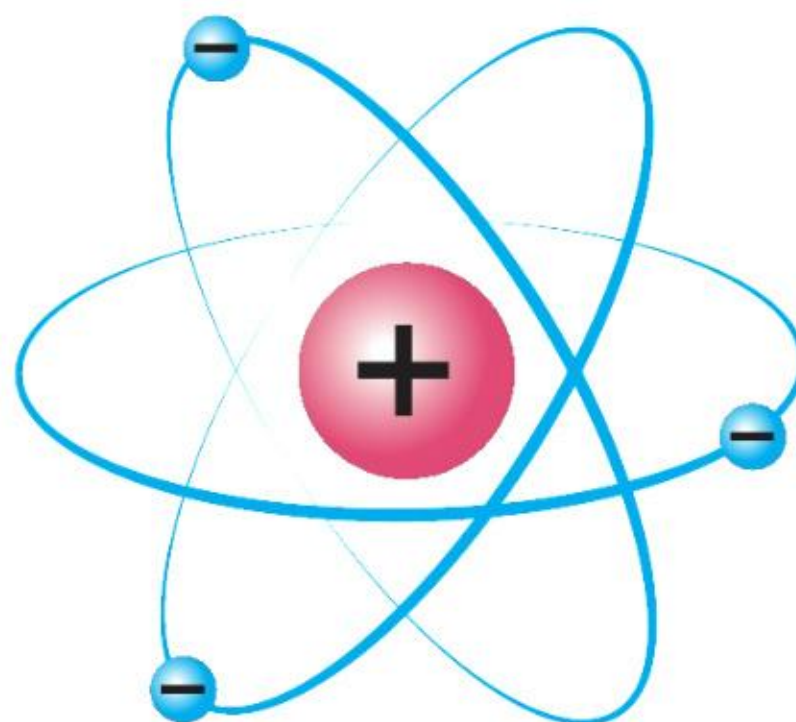
3.23 Model dipola elektrycznego



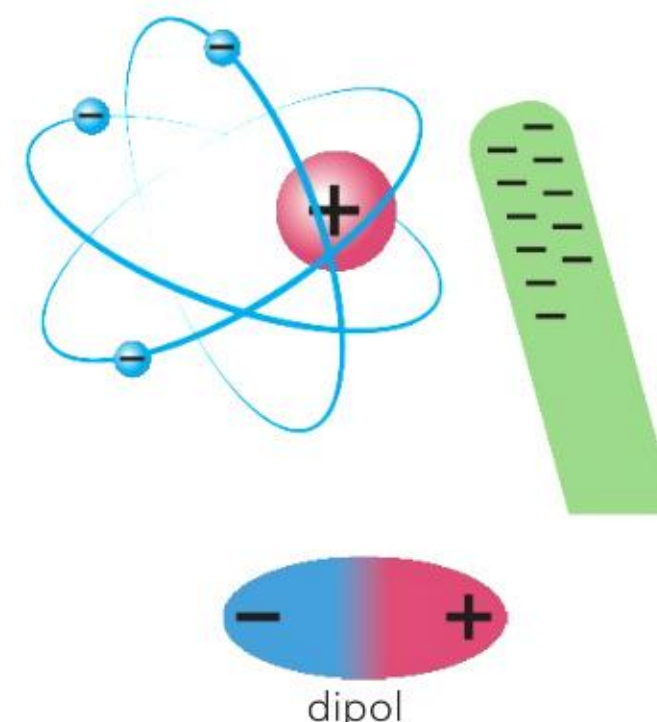
3.24 Dipolowa budowa cząsteczki wody

Jeśli więc do papierowej kulki zbliżymy naelektryzowaną ujemnie pałeczkę ebonitową, wówczas w kulce powstaną dipole naładowane od strony pałeczki dodatnio, a z przeciwnej strony – ujemnie (il. 3.22 A.).

Jeśli zaś zbliżymy do kulki papierowej naelektryzowaną laskę szklaną, to dipole będą zwrócone ładunkami ujemnymi w stronę laski szklanej (il. 3.22 B.).



3.25 Model atomu elektrycznie obojętnego



3.26 Model atomu w obecności naelektryzowanego ciała

Dipol elektryczny tworzy cząsteczka wody (il. 3.24). Atomy w cząsteczce są tak ułożone, że w okolicy atomów wodoru występuje przewaga ładunku dodatniego, w okolicy atomu tlenu – przewaga ładunku ujemnego.

Doświadczenie 32.

Badamy zachowanie cząsteczek wody w obecności naelektryzowanego ciała

Niezbędne przedmioty: balon (linijka, plastikowa łyżka lub pudełko, pałeczka ebonitowa), sukno (wełniana rękawiczka), strumień wody z kranu (może być z plastikowej butelki, np. po płynie do mycia naczyń, z zamykaniem zaciskowym, i miska)

Wykonanie:

- Odkręć kran i ustaw cienki strumień wody (może być wyciekający z plastikowej butelki do miski).
- Naelektryzuj przez tarcie balon (linijkę, plastikową łyżkę, pałeczkę).
- Zbliź naelektryzowany balon do strumienia i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje: Strumień wody zostaje przyciągnięty do naelektryzowanego ciała.

Wniosek: Po zbliżeniu ujemnie naelektryzowanego balonu do strumienia wody następuje jego oddziaływanie na cząsteczki wody (dipole elektryczne) w strumieniu. Cząsteczki ustawiają się tak, że dodatnio naładowana strona dipola jest przez balon przyciągana i znajduje się bliżej strumienia wody. Ujemna część dipola jest odpychana, ale to oddziaływanie jest słabsze. W związku z tym następuje przyciąganie strumienia wody – jego odchylenie – w stronę naelektryzowanego przedmiotu.



Zjawisko indukcji elektrostatycznej

Na podstawie analizy zjawisk obserwowanych w czasie doświadczenia z elektryzowaniem kulek mogłeś zauważyć, że ich istotą jest przemieszczanie się ładunków elektrycznych (elektronów) w przewodniku bądź w izolatorze pod wpływem ciał naelektryzowanych. Zjawisko to nosi **nazwę indukcji elektrostatycznej**.

Przez indukcję można elektryzować ciała. W przypadku przewodnika ten sposób elektryzowania nazywa się **elektryzowaniem ciał przez indukcję**. Rozsuniecie ładunków wewnątrz atomów izolatora nazywamy **polaryzacją**.

Jeśli przypomnisz sobie sposób działania elektroskopu jako wskaźnika naelektryzowania ciała, to zauważysz, że zasada jego działania również opiera się na wykorzystaniu zjawiska indukcji elektrostatycznej.

Pod wpływem ciała naelektryzowanego w elektroskopie następuje rozdział ładunków. W kulce gromadzi się ładunek przeciwnego znaku niż ładunek zbliżonego do niej ciała, a na wskazówce i pręcie gromadzi się ładunek przeciwny niż ładunek uzyskany przez kulkę. Zbliżenie pałeczki naelektryzowanej ujemnie powoduje, że elektrony swobodne znajdujące się na kulce elektroskopu przesuwają się do pręta i wskazówki. Wskazówka oddala się od pręta – wychyla się – gdyż jednoimienne ładunki się odpychają (il. 3.27). Zbliżenie pałeczki naelektryzowanej dodatnio powoduje przyciąganie elektronów z pręta i wskazówki na kulkę elektroskopu. Pręt i wskazówka elektryzują się dodatnio (il. 3.28). Pręt i wskazówka naelektryzowane ładunkiem tego samego rodzaju odpychają się, w wyniku czego wskazówka się wychyla. Po oddaleniu od elektroskopu ciała naelektryzowanego stan jego naelektryzowania zanika. Jest to więc naelektryzowanie nietrwałe.



3.27 Rozdział ładunków w elektroskopie pod wpływem ciała naelektryzowanego ujemnie



3.28 Rozdział ładunków w elektroskopie pod wpływem ciała naelektryzowanego dodatnio

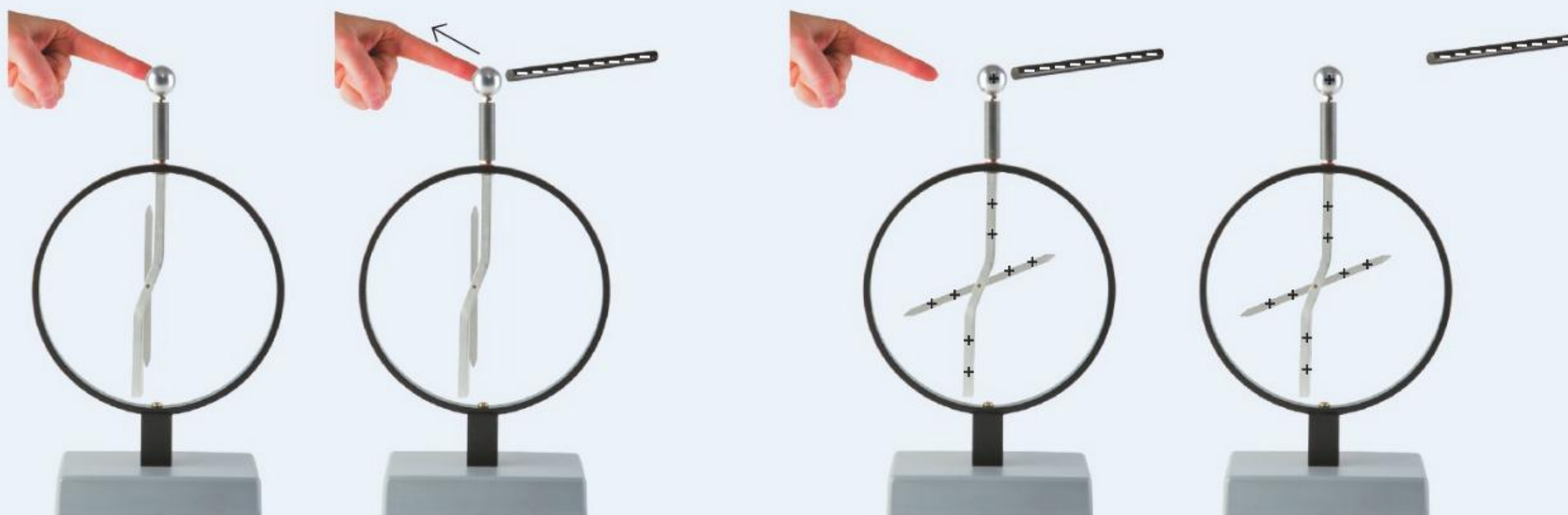
Doświadczenie 33.

Badamy, czy elektroskop można w sposób trwały naelektryzować przez indukcję

Niezbędne przedmioty: elektroskop, pałeczka ebonitowa (rurka z PVC), wełniana tkanina (sukno)

Wykonanie:

- Naelektryzuj pałeczkę ebonitową.
- Uziem elektroskop, np. dotykając jego kulki palcami, po czym zbliż do jego kulki naelektryzowaną pałeczkę.
- Cały czas trzymając pałeczkę blisko elektroskopu, przerwij uziemienie i powoli odsuń pałeczkę. Obserwuj, co się dzieje.



Obserwacje: Po przerwaniu uziemienia wskazówka elektroskopu wychyla się i pozostaje wychylona nawet po oddaleniu naelektryzowanej pałeczki.

Wniosek: Po zbliżeniu do kulki uziemionego elektroskopu pałeczki ebonitowej naelektryzowanej ujemnie następuje rozdział ładunków. Elektrony z elektroskopu zostają odepchnięte do ziemi przez ujemnie naelektryzowaną pałeczkę ebonitową. Elektroskop ma więc niedobór elektronów. Po przerwaniu uziemienia niedobór elektronów w elektroskopie pozostaje, gdyż elektrony nie mają możliwości powrotu z ziemi. Elektroskop pozostaje więc naelektryzowany dodatnio.



Zasada zachowania ładunku

Obserwując w poprzednich doświadczeniach zachowanie kulek papierowej i aluminiowej, a także polaryzacji skrawków papieru czy baloników, mogłeś zauważyć, że ładunki elektryczne (elektrony) jedynie przemieszczały się w ciałach pod wpływem naelektryzowanych przedmiotów. Jeśli elektryzowaliśmy elektroskop przez indukcję, to ładunek w tym elektroskopie przemieszczał się tylko w jego obrębie. Jeśli w chwili początkowej był równy zero, to w każdej chwili pozostawał taki sam, czyli równy zero.

Mozemy więc na tej podstawie sformułować wniosek, że:

W układzie ciał odizolowanym od otoczenia suma ładunków dodatnich i ujemnych, czyli całkowity ładunek elektryczny, pozostaje stała i może być równa zero.

Przykład 11.

Kulkę metalową o ładunku $+20\ \mu\text{C}$ zetknięto z drugą identyczną kulką o ładunku $+10\ \mu\text{C}$. Jaki ładunek będzie miała każda z kulek po ich zetknięciu, a następnie rozdzieleniu?

Dane:

$$q_1 = +20\ \mu\text{C}$$

$$q_2 = +10\ \mu\text{C}$$

Szukane:

$$q = ?$$

Rozwiązanie

Obliczamy ładunek układu kulek: $q_c = q_1 + q_2$

Po podstawieniu danych: $q_c = +20\ \mu\text{C} + (+10\ \mu\text{C}) = +30\ \mu\text{C}$

Ponieważ kulki są identyczne, to ładunek każdej z nich będzie po rozdzieleniu taki sam: $q = q_x = q_y$

Należy więc całkowitą wartość ładunku podzielić przez 2.

$$q = +30\ \mu\text{C} : 2 = +15\ \mu\text{C}$$

Odpowiedź: Po rozdzieleniu kulek każda z nich będzie miała ładunek $+15\ \mu\text{C}$.

Zjawisko indukcji elektrostatycznej w przyrodzie

Poznane zjawisko indukcji elektrostatycznej pozwala wytłumaczyć, co się dzieje w trakcie burzy. Źródłem obserwowanych piorunów są ładunki elektryczne zgromadzone w chmurach burzowych, które w trakcie swojego formowania się, na skutek ruchu kropel wody i kryształków lodu w silnych prądach wznoszących, elektryzują się (il. 3.29). Górna część chmur burzowych elektryzuje się dodatnio, a dolna – ujemnie. Naładowane podczas burzy chmury powodują powstawanie ładunków o przeciwnym znaku na powierzchni ziemi, drzew, budynków i innych obiektów. Jest to wynik zjawiska indukcji elektrostatycznej. Pioruny to wyładowania atmosferyczne zachodzące między przeciwnie naładowanymi chmurami lub między chmurą a ziemią.



3.29 Ładunki elektryczne w chmurach burzowych

W skrócie

- Ciała mogą się elektryzować również dzięki zjawisku indukcji elektrostatycznej.
- Elektryzowanie przez indukcję przewodnika polega na przemieszczeniu się ładunków elektrycznych (elektronów swobodnych) pod wpływem naelektryzowanego ciała.
- Zbliżenie naelektryzowanego ciała do izolatora powoduje jego polaryzację.
- W układzie ciał odizolowanym od otoczenia całkowity ładunek elektryczny, czyli suma ładunków dodatnich i ujemnych, pozostaje stały i może być równy zero.

Ciekawe!

By uchronić budynki przed wyładowaniami atmosferycznymi, wykorzystuje się piorunochrony. Na budynkach montowana jest stanowiąca uziemienie instalacja odgromowa z przewodnika, która oplata cały budynek od jego najwyższego punktu przez dach i ściany, aż do ziemi, w której zakopane są końce przewodnika. Pierwszy piorunochron zbudował w 1752 roku na swoim domu amerykański wynalazca, przyrodnik i polityk Benjamin Franklin (czyt. bendżamin) (1706–1790).

Czy już umiesz? Sprawdź się!

1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Po zbliżeniu dodatnio naelektryzowanej pałeczki szklanej do strumienia wody następuje	A.	silniejsze oddziaływanie z dodatnio naładowaną stroną cząsteczek (dipoli) wody.	W związku z tym następuje	A.	przyciąganie strumienia wody do szklanej pałeczki.
	B.	silniejsze oddziaływanie z ujemnie naładowaną stroną cząsteczek (dipoli) wody.		B.	odpychanie strumienia wody od szklanej pałeczki.

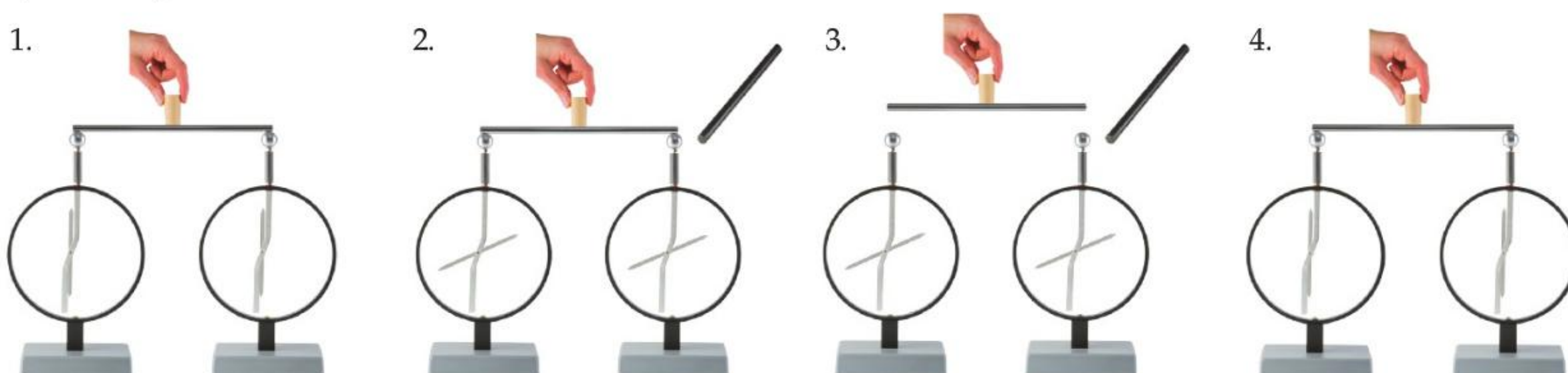
2 Jakim ładunkiem naelektryzuje się elektroskop przez indukcję i uziemienie, jeśli zbliżysz do kulki elektroskopu łaskę szklaną potartą o papier?

3 Przerysuj do zeszytu tabelę i wykonaj doświadczenie według podanych czynności. Wyjaśnij jego przebieg i dokończ jego opis.

Tytuł (cel doświadczenia):	Obserwujemy zjawisko elektryzowania przez...
Hipoteza:	
Potrzebne przyrządy:	rura PVC (do instalacji wodnych lub od odkurzacza), wełniana rękawiczka, pusta aluminiowa puszka po napoju
Wykonanie:	- Połóż puszkę na stole, tak aby mogła się swobodnie przemieszczać (toczyć). - Naelektryzuj rurę przez potarcie rękawiczką. - Zbliż rurę równoległe do puszki na odległość kilku centymetrów. Obserwuj, co się dzieje, i reaguj na zachowanie puszki. - Zbliż rurę z drugiej strony puszki na taką samą odległość i obserwuj zachowanie puszki.
Obserwacje:	
Wniosek:	

4 Jakim ładunkiem naelektryzują się elektroskopy, jeśli wykonasz następujące czynności?

- Ustaw dwa elektrycznie obojętne elektroskopy w takiej odległości od siebie, aby można było ich kulki połączyć metalowym łącznikiem z uchwytem z izolatora (il. 1).
- Zbliż do kulki jednego z elektroskopów pałeczkę ebonitową potartą o sukno (il. 2). Obserwuj, co się dzieje.
- W obecności pałeczki przerwij połączenie elektroskopów, usuwając łącznik (il. 3). Uważaj przy tym, aby nie dotknąć ręką metalowej części.
- Odsuń pałeczkę i obserwuj, co się dzieje.
- Ponownie połącz kulki elektroskopów metalowym łącznikiem. Odpowiedz na pytanie: Czy w doświadczeniu spełniona jest zasada zachowania ładunku?



Podejmij temat

- Dlaczego ciała naelektryzowane oddziałują na siebie na odległość?

Siły i pole elektryczne

Jak pamiętasz, między naelektryzowanymi ciałami występują siły wzajemnego oddziaływania – siły przyciągania lub odpychania. Siły te nazywamy elektrycznymi. Naelektryzowane ciała oddziałują na siebie, nawet w pewnej odległości od siebie. Przyciąganie drobnych ciał obojętnych przez ciała naelektryzowane odbywa się również bez konieczności ich stykania. Możemy więc wnioskować, że siły elektryczne pochodzące od ciał naelektryzowanych działają w przestrzeni otaczającej te ciała. Tę przestrzeń nazywamy **polem elektrycznym**, a ładunki wytwarzające to pole – **źródłem pola elektrycznego**. Zbadamy pole elektryczne, którego źródłem są spoczywające naelektryzowane określonym ładunkiem ciała, wytwarzające wokół siebie **pole elektrostatyczne**. Nie możesz go zobaczyć, ale możesz zaobserwować skutki jego działania.

Maszyna elektrostatyczna

Przedstawiony na zdjęciu przyrząd pozwala na gromadzenie dużych ładunków elektrycznych obydwu znaków w tzw. butelkach lejdejskich (il. 3.30). W czasie ruchu tarczy, wywołanego ruchem obrotowym korbki, metalowe szczoteczki trą o tarczę. Następuje rozdzielenie ładunków elektrycznych. Ładunki te gromadzą się nie tylko w butelkach lejdejskich, ale także na biegunach, którymi są metalowe pręty zakończone z jednej strony kulkami, a z drugiej ebonitowymi uchwytyami.



3.30 Maszyna elektrostatyczna



Podczas pracy z maszyną należy zachować ostrożność i nie dotykać jej metalowych części, gdy nie jest rozładowana. Podczas zbliżania kulek maszyny może nastąpić przeskok iskry elektrycznej, która stanowi zagrożenie dla zdrowia i życia. Po każdym doświadczeniu maszynę należy rozładować, doprowadzając za pomocą ebonitowych uchwyty do zetknięcia się jej kulek.

Doświadczenie 34.

Obserwujemy pole wokół naelektryzowanego ciała

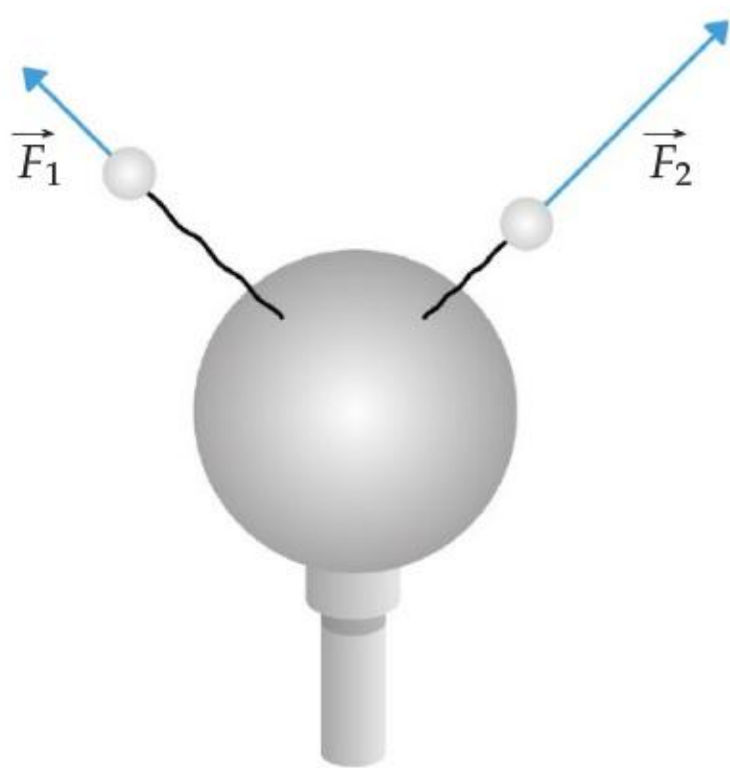
Niezbędne przedmioty: kula metalowa wydrążona wewnątrz (konduktor), statyw z podstawą z izolatora, jedwabne nitki (paski z kalki), plastelina, maszyna elektrostatyczna, przewód, krokodylek, nożyczki, folia aluminiowa

Wykonanie:

- Przymocuj za pomocą plasteliny nitki (paski z kalki) o długości 10–15 cm w różnych miejscach metalowej kuli.
- Połącz konduktor z jednym z biegunów maszyny elektrostatycznej za pomocą krokodylka.
- Naelektryzuj konduktor, a więc i nitki (paski), kręcąc kilka razy korbką maszyny, i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje: Po kilku obrotach maszyny elektrostatycznej nitki podnoszą się i układają promieniście wokół konduktora.

Wniosek: Nitki elektryzują się tym samym ładunkiem, którym elektryzuje się konduktor. Ładunki na nitkach i konduktorze oddziałują na siebie – odpychają się, co powoduje odchylenie nitek od konduktora. Na ładunki na nitkach działają siły elektryczne tym mniejsze, im dalej znajduje się ładunek elektryczny.



3.31 Siły wokół naelektryzowanej kuli metalowej

Pole elektrostatyczne centralne

Wyobraźmy sobie, że nitki z naszego doświadczenia są różnej długości i na końcu każdej z nich znajduje się mała kulka z folii aluminiowej (możesz wykonać takie doświadczenie, modyfikując doświadczenie 34.). Podobnie jak nitki kuleczki również będą się elektryzować takim samym ładunkiem jak ten, którym elektryzuje się konduktor. Na kulki rozmieszczone na nitkach wokół kuli, w polu wytworzonym przez naelektryzowany konduktor, działają we wszystkich kierunkach siły elektryczne. Małe aluminiowe kulki są odpychane od kuli konduktora, gdyż ładunek kuli i kulek jest takiego samego rodzaju. Oddziaływanie jest tym słabsze, im kulka dalej się znajduje (il. 3.31).

Za pomocą małej naelektryzowanej niewielkim ładunkiem kulki można zmierzyć działającą na nią siłę elektryczną w każdym punkcie wokół naładowanej kuli. Umówiono się, że takim ładunkiem próbnym będzie ładunek **dodatni**. Pole elektrostatyczne (stałe pole elektryczne) **opisujemy, przyporządkowując każdemu punktowi przestrzeni wokół naelektryzowanej kuli siłę elektryczną działającą w tym punkcie na próbny ładunek dodatni**.

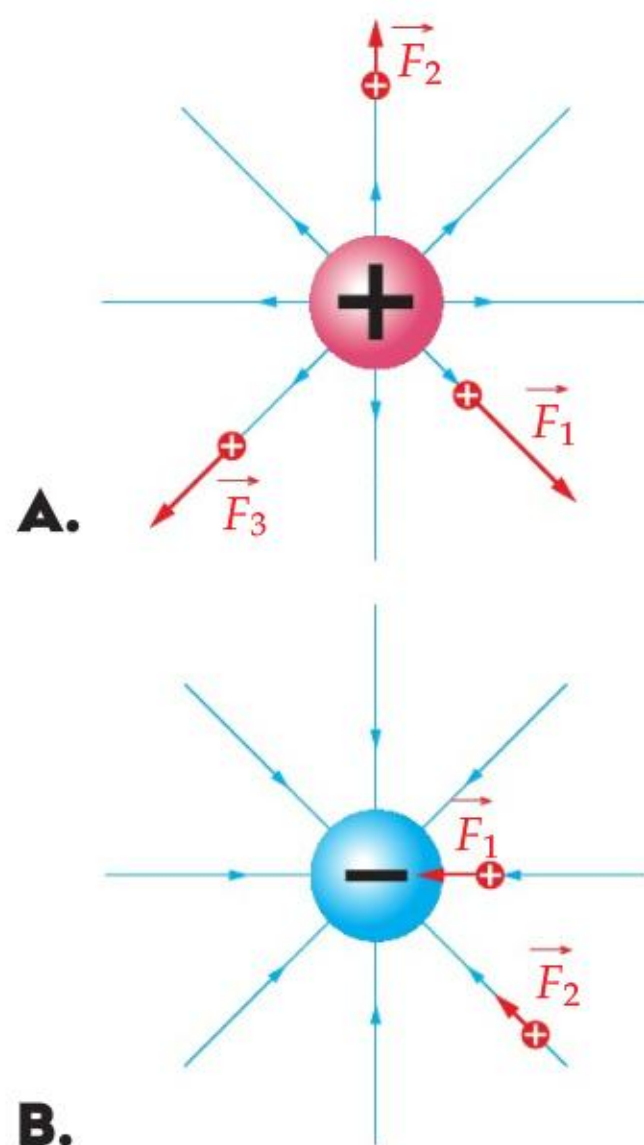
Wokół metalowej kuli istnieje pole elektrostatyczne, które jest **polem centralnym**. W polu centralnym, w różnych jego punktach, na ładunek (a więc i na naładowane ciała) działają siły o różnych kierunkach, zwrotach i wartościach.

Linie pola elektrostatycznego

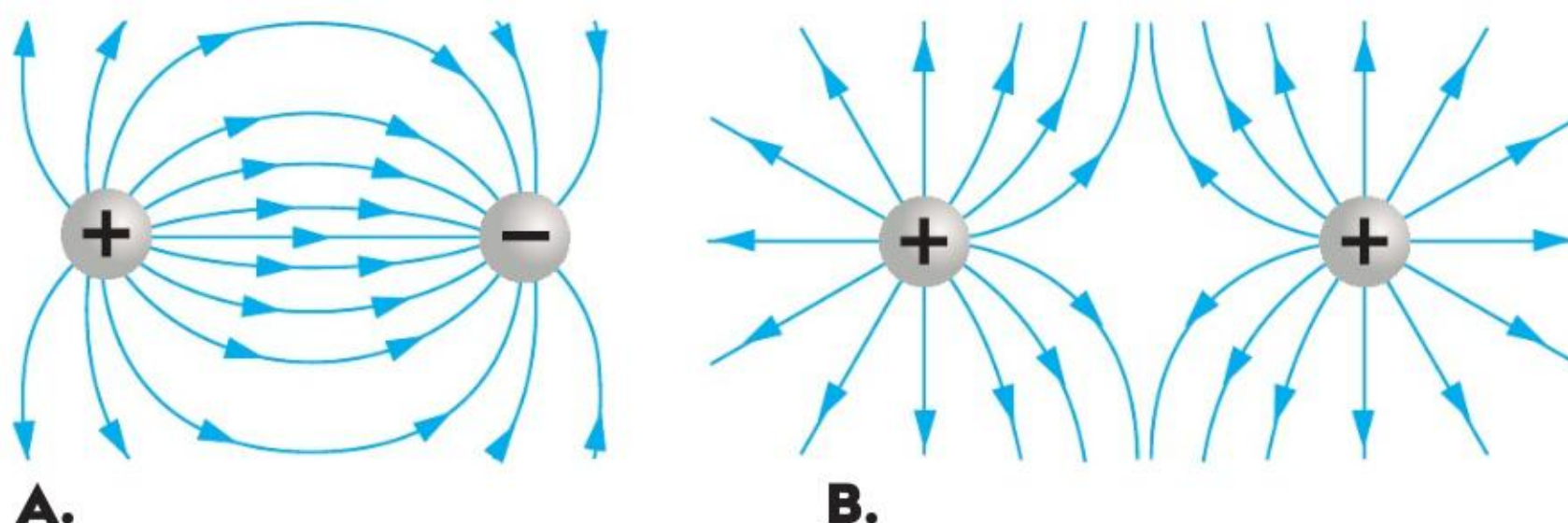
Pole elektrostatyczne można przedstawić graficznie za pomocą skierowanych linii – **linii pola elektrostatycznego** (il. 3.32). Obrazem pola centralnego są linie proste ułożone promieniście we wszystkich kierunkach względem źródła pola, których zwrot zależy od rodzaju ładunku źródła.

Linie pola elektrostatycznego dla ładunku dodatniego mają zwrot od tego ładunku, a dla ładunku ujemnego mają zwrot do tego ładunku (il. 3.32).

Dwie naelektryzowane kulki wytwarzają pole elektrostatyczne, którego linie mają kształt pokazany na rysunkach poniżej (il. 3.33).



3.32 Linie pola elektrostatycznego centralnego wokół ładunków: dodatniego (A.) i ujemnego (B.)



3.33 Linie pola elektrycznego między kulkami naładowanymi różnoimiennie (A.) i jednoimiennie (B.)

Pole jednorodne

Poznasz teraz drugi rodzaj pola elektrostatycznego. Aby go zbadać, wykonamy następujące doświadczenie.

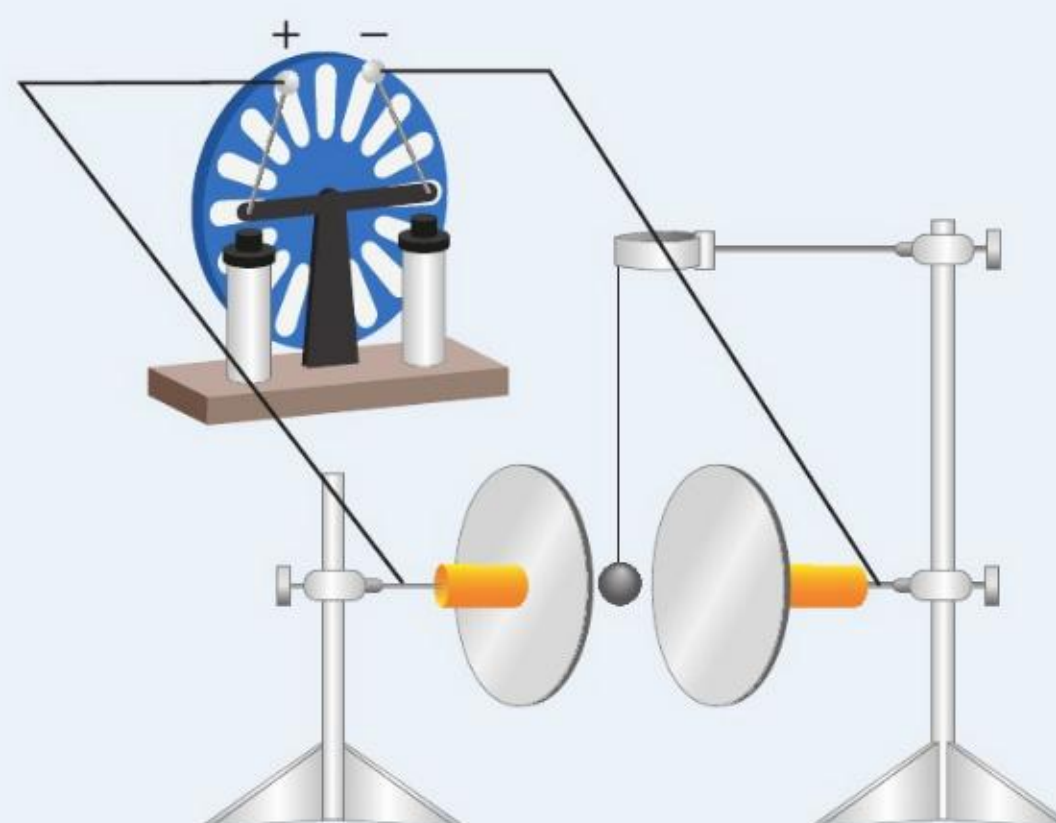
Doświadczenie 35.

Obserwujemy pole jednorodne

Niezbędne przedmioty: dwa statywy z przymocowanymi płaskimi metalowymi płytkami (np. krążkami od elektroforów) z plastikowymi uchwytami (którymi są umocowane w celu ich odizolowania od metalowych części statywów), statyw z podstawą z izolatora z wiszącą na jedwabnej nitce pingpongową piłeczką pomalowaną metalizowaną farbą, maszyna elektrostatyczna, przewody, krokodylki

Wykonanie:

- Ustaw równolegle metalowe płytki w odległości 15–20 cm.
- Podłącz przewodami metalowe płytki, każdą z innym biegunem maszyny elektrostatycznej.
- Ustaw piłeczkę wiszącą na statywie w środku pomiędzy metalowymi płytkami.
- Pokręć równomiernie korbką maszyny elektrostatycznej i obserwuj, jak się zachowuje piłeczka pingpongowa. Jeśli pozostaje w miejscu, to dotknij delikatnie nitki, aby poruszyć piłeczkę.
- Pokręć szybciej korbką i obserwuj, co się dzieje.
- Skróć odrobinę nitkę i powtórz doświadczenie.

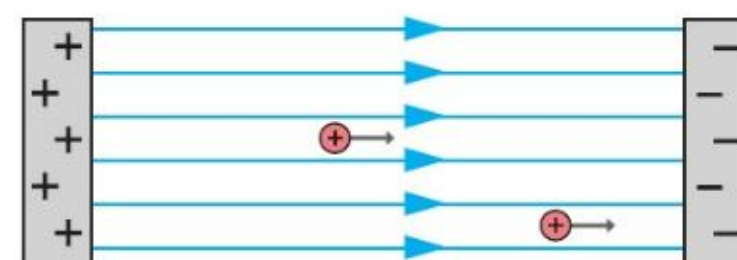


Obserwacje: Po kilku obrotach maszyny elektrostatycznej piłeczka pingpongowa zaczyna się poruszać po linii prostej – od jednej płytki do drugiej. Im szybciej kręcimy i większy ładunek gromadzi się na płytkach, tym piłeczka porusza się szybciej. Piłeczka porusza się po linii prostej między płytkami również po skróceniu nitki.

Wniosek: Piłeczka pokryta metalizowaną farbą elektryzuje się przez indukcję w taki sposób, że nadmiar ładunków przeciwnego znaku niż ładunek zgromadzony na metalowej płytce znajduje się bliżej tej płytki. W związku z tym piłeczka jest przyciągana, dotyka tej płytki, a ładunek w tym miejscu zostaje zneutralizowany ładunkiem z płytki. Potem elektryzuje się od niej przez dotyk ładunkiem takiego samego rodzaju, z tego powodu jest szybko od płytki odpychana i porusza się po linii prostej w kierunku płytki naelektryzowanej przeciwnym ładunkiem. Od tej płytki piłeczka elektryzuje się takim samym ładunkiem, jaki znajduje się na płytce, i znów odpychana porusza się w kierunku drugiej płytki po linii prostej. Potem sytuacja się powtarza.

Między naelektryzowanymi równoległymi płytkami istnieje pole elektrostatyczne. Na ładunki w nim umieszczone działają siły, których kierunki są w każdym punkcie równoległe do siebie, a prostopadłe do płytek. Linie pola w tym wypadku są równoległe do siebie (il. 3.34). Takie pole elektrostatyczne nazywamy **polem jednorodnym**.

W polu jednorodnym na określony ładunek w każdym punkcie działa siła o takiej samej wartości, takim samym kierunku i zwrocie.



3.34 Jednorodne pole elektrostatyczne

Właściwości pola elektrycznego

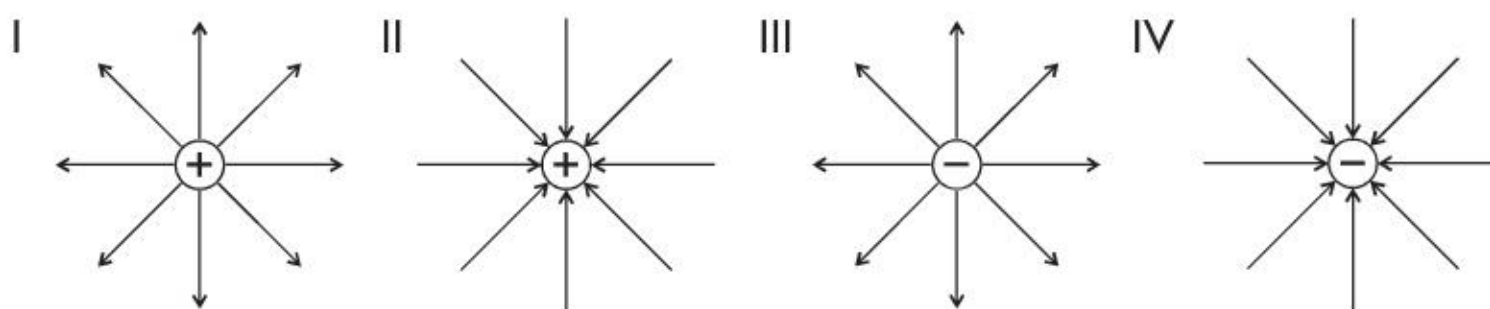
W ostatnim doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że **pole elektrostatyczne jest zdolne do wykonania pracy**, gdyż działające na piłeczkę siły powodowały, że wykonywała ona ruch od płytki do płytki. Jeśli pole jest zdolne do wykonania pracy, to znaczy, że posiada energię. Im większy ładunek zgromadzony jest na płytkach, tym silniejsze jest pole elektrostatyczne, a piłeczka porusza się szybciej. Wiesz również, że im większy będzie ładunek umieszczony w polu, tym większa siła będzie działała na ten ładunek. Pamiętaj jednak, że pole elektryczne wokół ciał naelektryzowanych będzie istniało również wtedy, gdy nie będzie umieszczonego w nim żadnego ładunku.

W skrócie

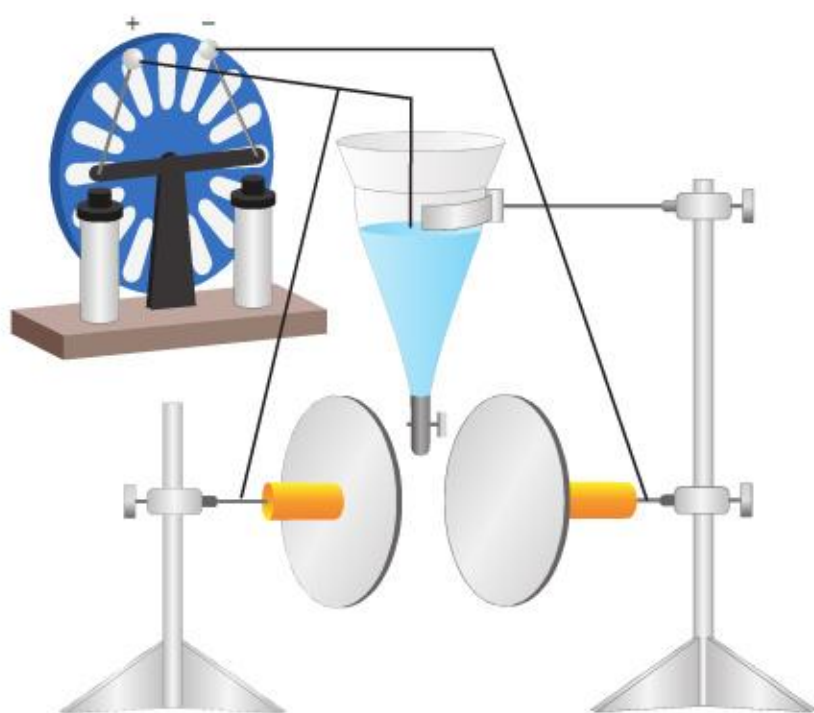
- Pole elektryczne jest właściwością przestrzeni polegającą na tym, że na każdy ładunek elektryczny umieszczony w tej przestrzeni działa siła elektryczna. Pole elektryczne wokół ciał naelektryzowanych istnieje również wtedy, gdy nie ma umieszczonych w nim żadnych ładunków. Spoczywające naelektryzowane określonym ładunkiem ciała wytwarzają wokół siebie pole elektrostatyczne. Wyróżniamy pole elektrostatyczne centralne i pole jednorodne.
- Pole elektrostatyczne można przedstawić graficznie za pomocą skierowanych linii – linii pola elektrostatycznego. Zwrot linii jest zgodny ze zwrotem siły działającej na punktowy ładunek dodatni.
- Obrazem pola centralnego są ułożone promieniście względem źródła pola linie proste, których zwrot zależy od rodzaju ładunku źródła. Linie obrazujące pole jednorodne są równoległe do siebie.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Które rysunki poprawnie przedstawiają linie pola elektrostatycznego?



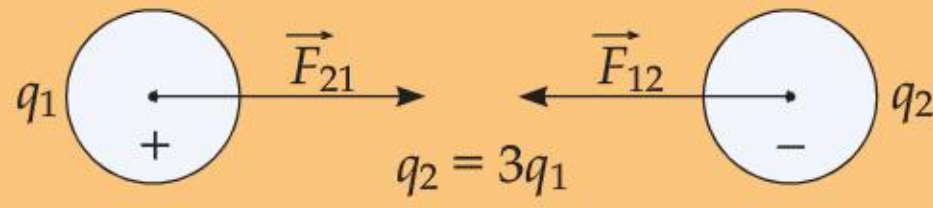
- 2 Zmontuj zestaw przedstawiony w doświadczeniu 35., z tą różnicą, że w miejsce piłeczki na nitce umocuj łapę i umieść w niej lejek z wężykiem i zaciskiem (patrz rysunek obok). Do lejka nalej wody i włóż długi przewód metalowy połączony z jednym biegunem maszyny elektrostatycznej. Płytki metalowe również połącz z biegunami maszyny elektrostatycznej (jedną z nich z tym samym biegunem, z którym została połączona woda, a drugą – z drugim biegunem). Woda z lejka powinna wyciekać kroplami i spadać pionowo w dół pomiędzy płytkami. Pokręć równomiernie korbką maszyny i zaobserwuj, jak zachowuje się naładowana kropla w obszarze między płytkami. Rozładuj bieguny maszyny i powtórz doświadczenie, przyłączając tym razem przewód do drugiego bieguna maszyny i ładując wodę przeciwnie. Jak zachowuje się naładowana kropla wody? Wyjaśnij przebieg doświadczenia.



Podsumowanie działu 3

Ważne pojęcia

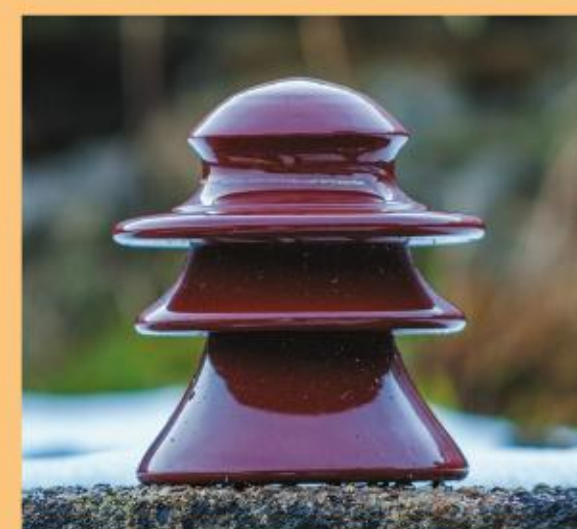
elektrostatyka ładunek elektryczny pałeczka ebonitowa pałeczka szklana ładunek dodatni ładunek ujemny ładunek próbny 1 C (kulomb) ładunek elementarny zasada zachowania ładunku prawo Coulomba atom jon elektron neutron proton jon dodatni jon ujemny powłoka elektronowa przewodniki izolatory elektryzowanie przez tarcie (pocieranie) elektroskop maszyna elektrostatyczna elektryzowanie przez dotyk elektryzowanie przez wpływ (indukcję elektrostatyczną) dipol elektryczny polaryzacja elektryczna uziemienie pole elektryczne pole elektrostatyczne pole centralne pole jednorodne linie pola elektrostatycznego

- Elektrostatyka (elektryczność statyczna) zajmuje się oddziaływaniami ładunków elektrycznych będących w spoczynku. Jest ona częścią nauki o elektryczności, która zajmuje się również ładunkami będącymi w ruchu, w tym prądem elektrycznym. Nazwa elektryczność pochodzi od greckiego słowa *elektron*, które oznacza ‘bursztyn’.
- Elektroskop to przyrząd służący do wykrywania i obserwowania stanu naelektryzowania ciał.
- Rozróżniamy dwa rodzaje ładunków elektrycznych – dodatnie i ujemne.
- Ładunki tego samego znaku (jednoimienne) odpychają się, a różnych znaków (różnoimienne) się przyciągają.
- Jednostką ładunku elektrycznego jest 1 C (kulomb). Ładunek taki odpowiada ładunkowi ok. $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów.
- Każdy ładunek jest całkowitą wielokrotnością ładunku elementarnego e .
- Zasada zachowania ładunku mówi, że w układzie ciał izolowanym elektrycznie od otoczenia całkowita wartość ładunku elektrycznego się nie zmienia. Ładunku nie możemy wytworzyć i nie może on zniknąć, może się jedynie przemieszczać z jednego ciała do innego lub wewnątrz danego ciała.
- Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona siły wzajemnego oddziaływania ładunków mają jednakowe wartości i przeciwne zwroty.
- Wartość siły wzajemnego oddziaływania rośnie wraz ze wzrostem wartości oddziałujących ładunków, a maleje wraz ze wzrostem odległości między ładunkami.
- Zgodnie z prawem Coulomba wartość siły wzajemnego oddziaływania między ładunkami jest wprost proporcjonalna do iloczynu wartości ładunków i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi:
$$F \sim \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, \quad q_1, q_2 - \text{wartości ładunków}, r - \text{odległość między środkami ładunków}.$$
- Każdy atom składa się z jądra atomowego i krążących wokół niego elektronów – cząstek o ładunku ujemnym. W skład jądra atomowego wchodzi protony – cząstki o ładunku dodatnim – i neutrony, nieposiadające ładunku. Cały atom jest elektrycznie obojętny, gdyż ładunek protonów jest taki sam co do wartości bezwzględnej, jak ładunek elektronów, których w atomie jest tyle samo, ile protonów.
- Jonem ujemnym nazywamy atom, który zyskał dodatkowy elektron i ma na powłokach elektronowych większą liczbę elektronów (nadmiar elektronów) niż liczbę protonów w jądrze. Jest on naładowany ujemnie.

- Jonem dodatnim nazywamy atom, który oddał elektron, więc ma niedobór elektronów na powłokach elektronowych. Jest on naładowany dodatnio.
- Przewodniki to substancje, przez które łatwo mogą przepływać (lub: które łatwo przewodzą) ładunki elektryczne. Do przewodników należą m.in. metale, grafit, elektrolity (słona woda), zjonizowane gazy.



- Izolatory to substancje, które nie przewodzą ładunków elektrycznych. Do izolatorów zaliczamy m.in. tworzywa sztuczne, szkło, papier, porcelanę, powietrze.



- Ciała możemy elektryzować przez:

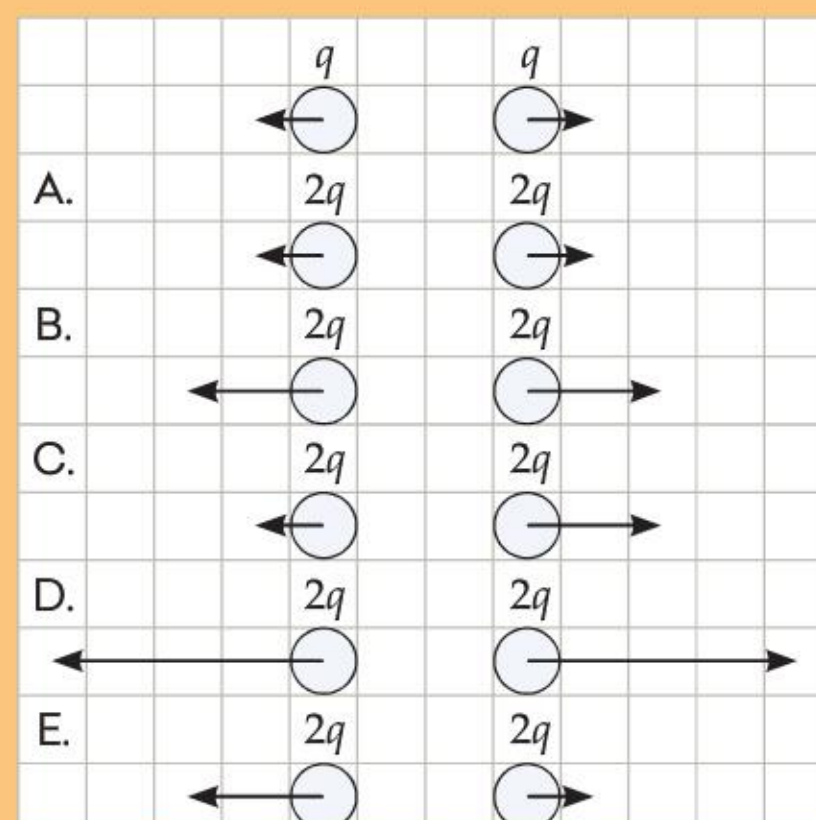
tarcie (pocieranie)	dotyk	wpływ (indukcję elektrostatyczną)
Elektryzowanie przez pocieranie polega na przepływie elektronów z jednego ciała do drugiego. Ciało, które traci elektrony, elektryzuje się dodatnio, a to, które zyskuje – elektryzuje się ujemnie. W ten sposób elektryzujemy głównie izolatory, które elektryzują się w miejscu pocierania.	W wyniku elektryzowania przez dotknięcie ciałem naelektryzowanym następuje przemieszczenie części elektronów z jednego ciała na drugie. W wyniku elektryzowania przez dotyk oba ciała elektryzują się tym samym ładunkiem. W ten sposób elektryzujemy przede wszystkim przewodniki.	Elektryzowanie przez indukcję elektrostatyczną przewodnika powoduje przemieszczanie ładunków elektrycznych wewnątrz przewodnika. W izolatorze deformacji ulegają powłoki elektronowe, a jądro atomowe nie leży w centralnej części atomu. Powstaje tzw. dipol elektryczny, który z jednej strony jest naładowany dodatnio, a z drugiej – ujemnie. Takie rozsuniecie ładunków nazywamy polaryzacją.

- Uziemienie ciała naelektryzowanego polega na połączeniu przewodnikiem ciała naelektryzowanego z ziemią.
- Pole elektryczne jest właściwością przestrzeni polegającą na tym, że na każdy umieszczony w nim ładunek elektryczny działa siła elektryczna. Spoczywające ciało naelektryzowane wytwarza wokół siebie pole elektrostatyczne.
- Ładunek punktowy jest źródłem pola centralnego, a np. kondensator płaski – układ dwóch równoległych, różnoimiennie naelektryzowanych płytek – wytwarza pole jednorodne.
- Pole elektryczne posiada energię i może wykonać pracę, przemieszczając ładunek elektryczny.

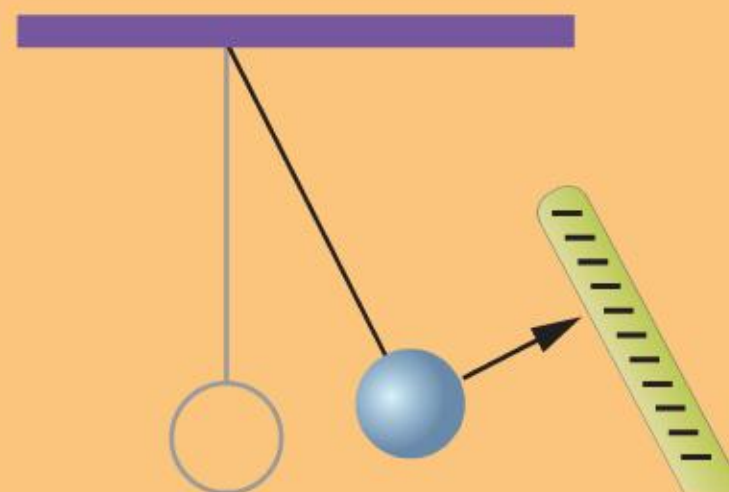
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Elektryzowanie ciał przez potarcie polega na
 - A. wytworzeniu nowych ładunków w obu pocieranych o siebie ciałach.
 - B. wytworzeniu nowego ładunku w jednym z elektryzowanych ciał.
 - C. przepływie elektronów z jednego ciała do drugiego.
 - D. przepływie protonów z jednego ciała do drugiego.
 - E. wzajemnej wymianie ładunków elektrycznych.
- 2 Ładunek ujemny ma
 - A. atom.
 - B. proton.
 - C. elektron.
 - D. neutron.
 - E. jon dodatni.
- 3 Jednostką ładunku elektrycznego jest
 - A. elektron.
 - B. proton.
 - C. neutron.
 - D. 1 C.
 - E. 6,2 elektronów.
- 4 Elektryzowanie ciał przez dotyk polega na
 - A. wytworzeniu nowego ładunku w dotykanyim cieie.
 - B. przepływie protonów z jednego ciała do drugiego.
 - C. przepływie elektronów z jednego ciała do drugiego.
 - D. przepływie elektronów z naelektryzowanego ciała.
 - E. wzajemnej wymianie ładunków elektrycznych.
- 5 W wyniku elektryzowania przez dotyk
 - A. oba ciała elektryzują się zawsze ujemnie.
 - B. oba ciała elektryzują się zawsze dodatnio.
 - C. oba ciała elektryzują się różnoimiennie.
 - D. oba ciała elektryzują się tym samym ładunkiem.
 - E. oba ciała elektryzują się zawsze różnoimiennie.
- 6 Gdy zbliżamy (nie dotykając) do elektroskopu ciało naelektryzowane ładunkiem o takim samym znaku, jakim naelektryzowany jest pręt z kulką i wskazówka elektroskopu, to
 - A. kąt wychylenia wskazówki się nie zmienia.
 - B. kąt wychylenia wskazówki się zwiększy.
 - C. kąt wychylenia wskazówki się zmniejszy.
 - D. kąt wychylenia wskazówki wzrasta, gdy zbliżamy ciała naelektryzowane ujemnie, a maleje, gdy zbliżamy ciała naelektryzowane dodatnio.
 - E. kąt wychylenia wskazówki maleje, gdy zbliżamy ciała naelektryzowane ujemnie, a wzrasta, gdy zbliżamy ciała naelektryzowane dodatnio.
- 7 Rysunek przedstawia dwie, naelektryzowane jednoimiennie, oddziałujące na siebie kule.

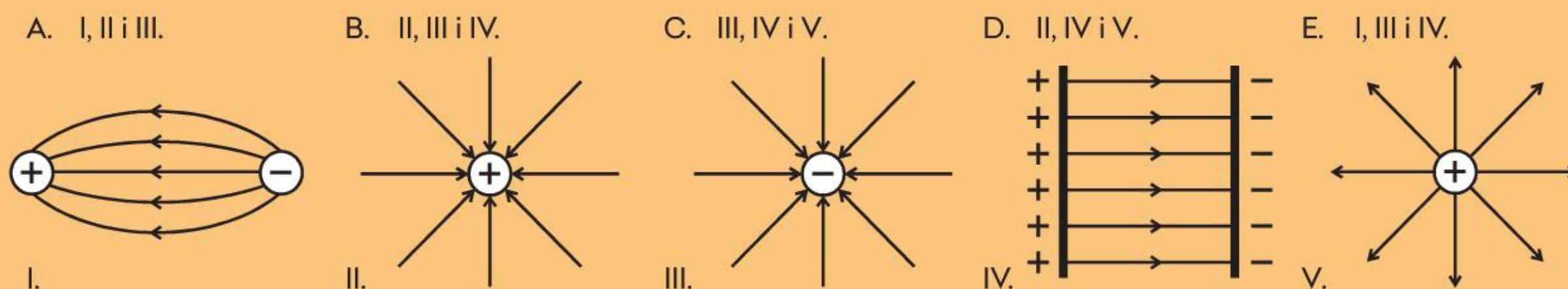
Jeśli ładunek każdej kuli zwiększymy dwukrotnie, nie zmieniając odległości między nimi, to siłę ich wzajemnego oddziaływania poprawnie przedstawia rysunek oznaczony literą...
- 8 Siła oddziaływania między ładunkami elektrycznymi zależy
 - A. tylko od wartości tych ładunków.
 - B. tylko od odległości między ładunkami.
 - C. tylko od wartości znaku tych ładunków.
 - D. od odległości między nimi oraz od wartości tych ładunków.
 - E. tylko od znaków i wartości ładunków.



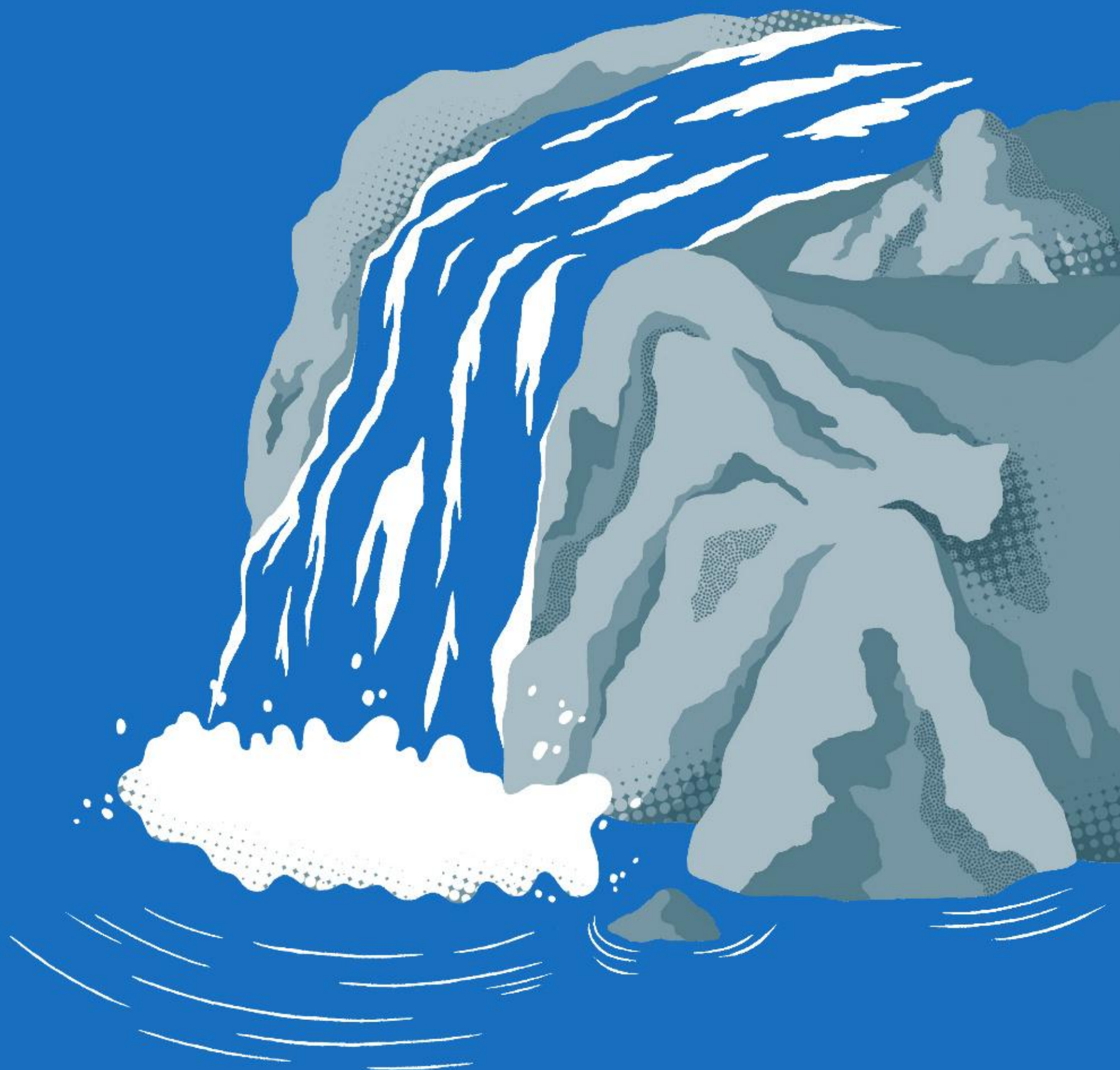
9. Jeśli ładunek jednej z kulek wynosi $+2 \mu\text{C}$, a drugiej takiej samej wynosi $-4 \mu\text{C}$, to po ich zetknięciu każda z kulek będzie miała ładunek
- A. $-4 \mu\text{C}$ B. $-2 \mu\text{C}$ C. $-1 \mu\text{C}$ D. $+2 \mu\text{C}$ E. $0 \mu\text{C}$
10. Jeśli odległość między ładunkami wzrosła dwukrotnie, to siła oddziaływania między nimi
- A. wzrosła dwukrotnie. B. nie zmieniła się.
C. zmalała dwukrotnie. D. zmalała czterokrotnie.
E. wzrosła czterokrotnie.
11. Na jedwabnej nici wisi mała kulka wykonana z izolatora. Kulka odchyła się od pionu i zbliża do naelektryzowanej ujemnie ebonitowej pałeczki. Wynika z tego, że
- A. kulka na pewno jest elektrycznie obojętna.
B. kulka na pewno jest naelektryzowana ujemnie.
C. kulka na pewno jest naelektryzowana dodatnio.
D. kulka może być elektrycznie obojętna lub naelektryzowana ujemnie.
E. kulka może być elektrycznie obojętna lub naelektryzowana dodatnio.
12. Wskaż zestaw zawierający wyłącznie przewodniki.
- A. miedź, woda destylowana, srebro B. srebro, grafit, szkło
C. żelazo, ebonit, złoto D. srebro, miedź, grafit
E. złoto, żelazo, porcelana
13. Wskaż zestaw zawierający wyłącznie izolatory.
- A. szkło, grafit, plastik B. plastik, ebonit, miedź
C. srebro, PVC, guma D. ołów, porcelana, papier
E. ebonit, plastik, szkło
14. Elektroskop służy do
- A. zubożniania ciał naelektryzowanych.
B. wykrywania ładunków elektrycznych.
C. mierzenia ładunków elektrycznych.
D. wytwarzania ładunków elektrycznych.
E. elektryzowania ciał.
15. Przy pocieraniu pałeczki z PVC o wełnianą rękawiczkę
- A. pałeczka elektryzuje się dodatnio, a rękawiczka ujemnie.
B. pałeczka elektryzuje się ujemnie, a rękawiczka dodatnio.
C. pałeczka i rękawiczka elektryzują się ujemnie.
D. pałeczka i rękawiczka elektryzują się dodatnio.
E. pałeczka i rękawiczka nie elektryzują się.



16. Linie pola elektrostatycznego poprawnie przedstawiają rysunki:



4. Prąd elektryczny



1. Czy za pomocą wody możemy uzyskać prąd?
2. Czy różnica poziomów wody ma coś wspólnego z napięciem elektrycznym?
3. Czym są praca i moc prądu?
4. Jak rysujemy schematy obwodów elektrycznych?
5. Czy wszystkie substancje przewodzą prąd elektryczny?

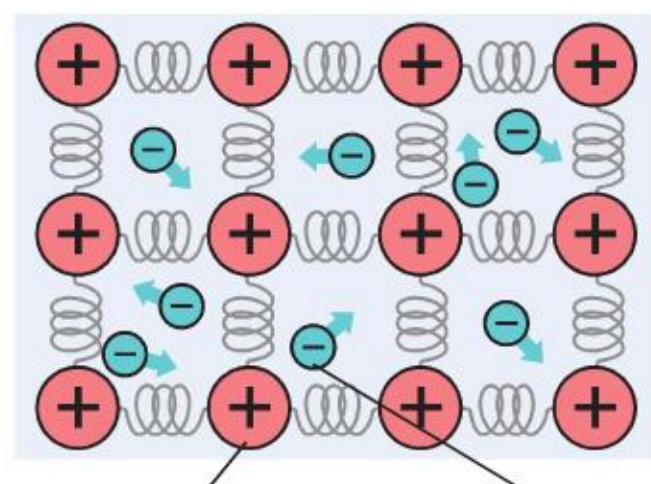
4.1 Prąd elektryczny w metalach i elektrolitach

Podejmij temat

- Dlaczego dwa elektroskopy naelektryzowane różnoimiennie można rozładować, łącząc je metalowym łącznikiem?
- Na czym polega przepływ prądu elektrycznego?

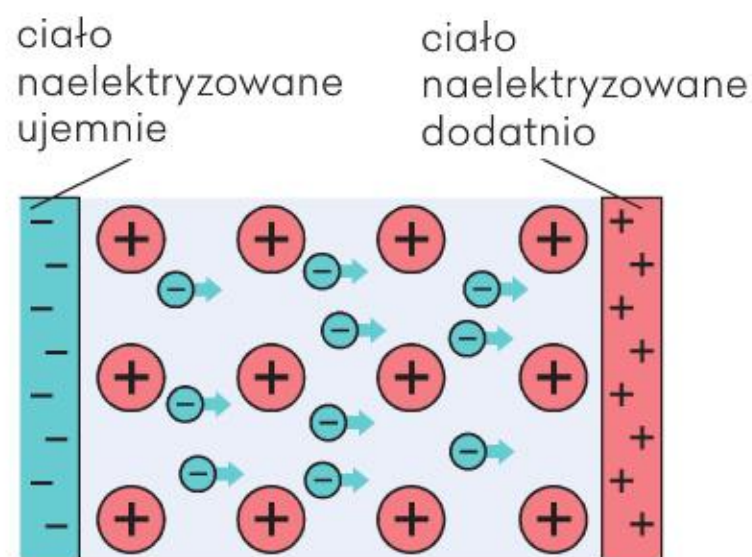


4.1 Naelektryzowane różnoimiennie elektroskopy połączone metalowym łącznikiem rozładowują się



jon dodatni elektron

4.2 Model metalowego przewodnika z elektronami swobodnymi



4.3 Elektrony swobodne przemieszczają się w stronę ciała naelektryzowanego dodatnio

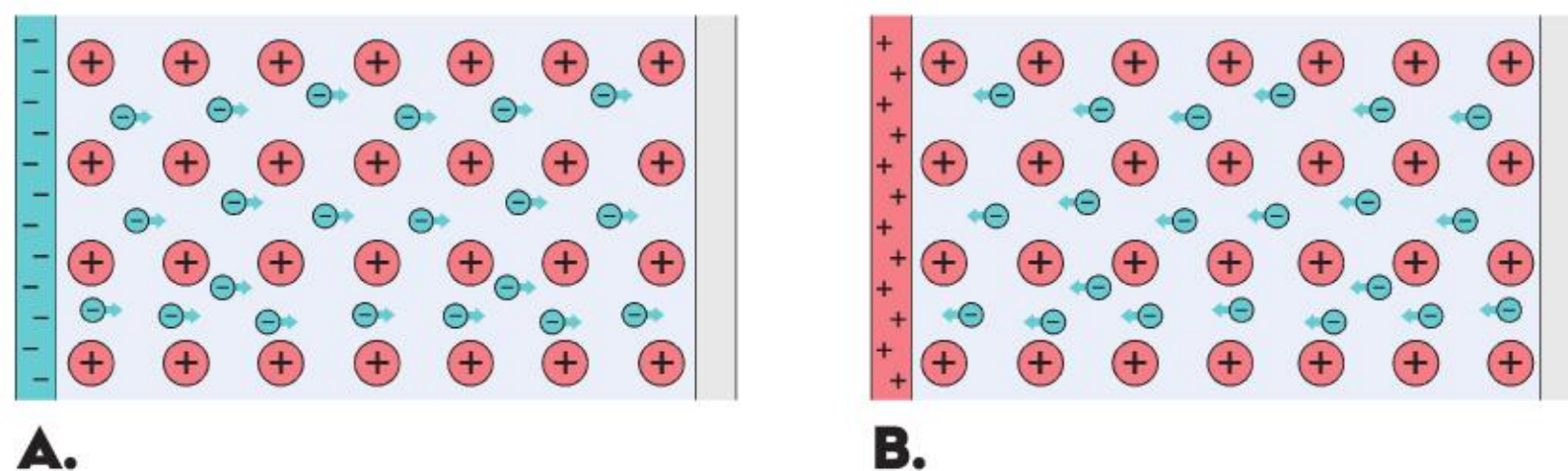
Przepływ ładunków w metalach

Zapewne pamiętasz, że dwa naelektryzowane różnoimiennie ciała, na przykład dwa elektroskopy (s. 122), odizolowane od podłoża, połączone metalowym prętem z uchwytem z izolatora rozładowywały się (il. 4.1).

Przez metalowy przewodnik przepłynął z ciała naelektryzowanego ujemnie do ciała naelektryzowanego dodatnio nadmiar elektronów. Metalowy przewodnik przewodzi ładunek elektryczny dzięki istnieniu w nim nośników ładunku, czyli elektronów swobodnych. Mechanizm tego zjawiska ilustrują rysunki obok (il. 4.2 i 4.3).

Po połączeniu naelektryzowanych ciał w przewodniku metalowym powstaje pole elektryczne, a na chaotyczny ruch elektronów nakłada się ruch uporządkowany, spowodowany działaniem sił elektrycznych wytworzonych przez naelektryzowane różnoimiennie ciała. Jony dodatnie metalu rozmieszczone w jego sieci krystalicznej nie przemieszczają się (il. 4.2). Siły elektryczne powodują przemieszczenie się swobodnych elektronów wzdłuż przewodnika. W czasie przemieszczania się elektrony zderzają się z jonami sieci krystalicznej i przekazują im część energii. W wyniku tych zderzeń jony zaczynają drgać mocniej, wzrasta ich energia kinetyczna i zawsze skutkuje to wzrostem temperatury przewodnika, a czasami może doprowadzić do jego świecenia.

W podobny sposób będą się poruszać elektrony swobodne w przewodniku łączącym ciało naelektryzowane z ciałem obojętnym elektrycznie (il. 4.4).



4.4 Elektrony swobodne przemieszczają się w przewodniku łączącym ciało naelektryzowane ujemnie (A.) lub dodatnio (B.) i ciało obojętne elektrycznie

Uporządkowany ruch elektronów swobodnych w przewodniku metalowym nazywamy prądem elektrycznym.

Przepływ ładunków w cieczach i gazach

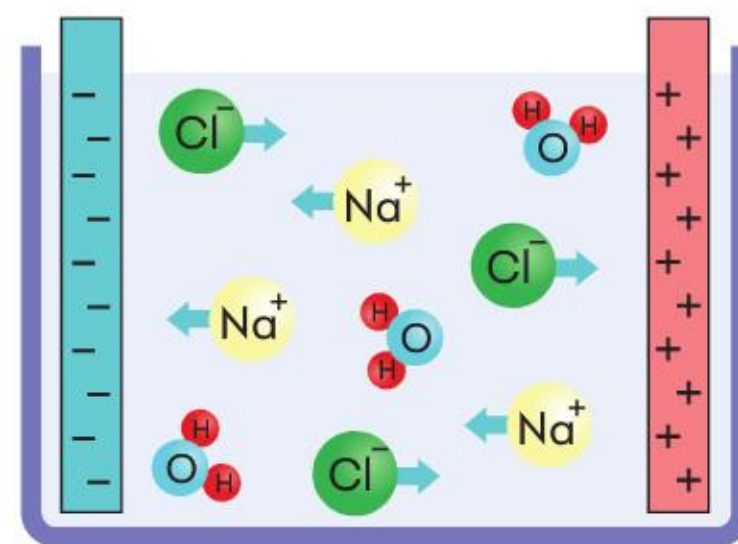
Na lekcjach chemii zapewne poznałeś zjawisko dysocjacji elektrolitycznej. Wiesz już, że roztwory wodne, w których znajdują się zdysocjowane cząsteczki soli, zasad i kwasów, nazywamy elektrolitami. W elektrolitach jony mogą poruszać się ruchem chaotycznym, zderzając się z cząsteczkami lub z innymi jonami.

Jeżeli w elektrolicie zanurzymy dwie różnoimiennie naelektryzowane płytki (**elektrody**) wykonane z przewodnika, to nastąpi uporządkowany ruch jonów w roztworze (il. 4.5). Do elektrody dodatniej (**anody**) wędrować będą jony ujemne (**aniony**), a do elektrody ujemnej (**katody**) – jony dodatnie (**kationy**).

Przepływ prądu elektrycznego w niektórych cieczach polega na uporządkowanym dwukierunkowym ruchu jonów elektrolitu.

Przepływ prądu elektrycznego może odbywać się również w gazach, gdyż zawsze znajduje się w nich pewna niewielka liczba jonów dodatnich, jonów ujemnych oraz elektronów swobodnych. Gdy jony gazu lub elektrony znajdują się w polu elektrycznym, nabierają większej prędkości i, zderzając się z obojętnymi cząsteczkami gazu, powodują ich jonizację (odrywanie się elektronów od cząsteczek gazu). Jednym z najczęściej występujących czynników wywołujących **jonizację** gazów jest wysoka temperatura.

Prąd elektryczny w gazie zjonizowanym tworzą jony lub elektrony poruszające się pod wpływem sił elektrycznych.



4.5 Uporządkowany ruch jonów w elektrolicie – roztworze soli kuchennej

Ciekawe!

W metalu ogrzanym do 1000 K elektrony swobodne uzyskują tak dużą energię kinetyczną, że „wyskakują” z powierzchni metalu. Wokół niego tworzy się chmura elektronów. Zjawisko to nosi nazwę **termoemisji**. Elektrony wysyłane przez rozgrzane metale mogą być wykorzystane jako nośniki ładunków elektrycznych w próżni.

W skrócie

- Prądem elektrycznym nazywamy uporządkowany (ukierunkowany) ruch elektronów swobodnych w przewodniku metalowym.
- Przepływ prądu elektrycznego w niektórych cieczach polega na uporządkowanym dwukierunkowym ruchu jonów elektrolitu. Do elektrody dodatniej (anody) przemieszczają się jony ujemne (aniony), a do elektrody ujemnej (katody) płyną jony dodatnie (kationy).
- Prąd elektryczny w gazie zjonizowanym tworzą jony lub elektrony poruszające się pod wpływem sił elektrycznych.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wykonaj doświadczenia potwierdzające rozładowanie dwóch elektroskopów naelektryzowanych różnoimiennie po połączeniu ich przewodnikiem. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko. Sprawdź i wyjaśnij, co zaobserwujesz, jeśli naelektryzowane elektroskopy połączysz szklaną lub ebonitową pałeczką.
- 2 Podaj przykłady sytuacji, w których spotykamy się z przepływem ładunków elektrycznych w przewodniku.
- 3 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ukierunkowany ruch elektronów swobodnych w przewodniku metalowym nazywamy prądem elektrycznym.
 - B. W czasie przemieszczania się w przewodniku elektrony zderzają się z jonami sieci krystalicznej i przekazują im część energii.
 - C. Temperatura przewodnika maleje, gdyż przemieszczające się elektrony tracą część energii.

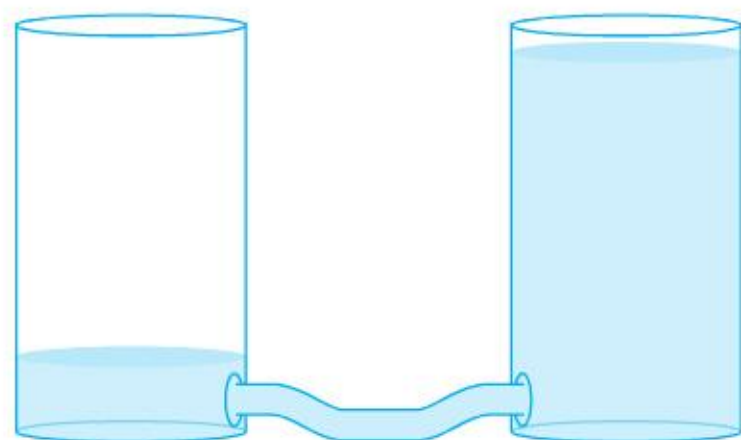
4.2 Napięcie elektryczne

Podejmij temat



Kiedy w obwodzie elektrycznym popłynie prąd?

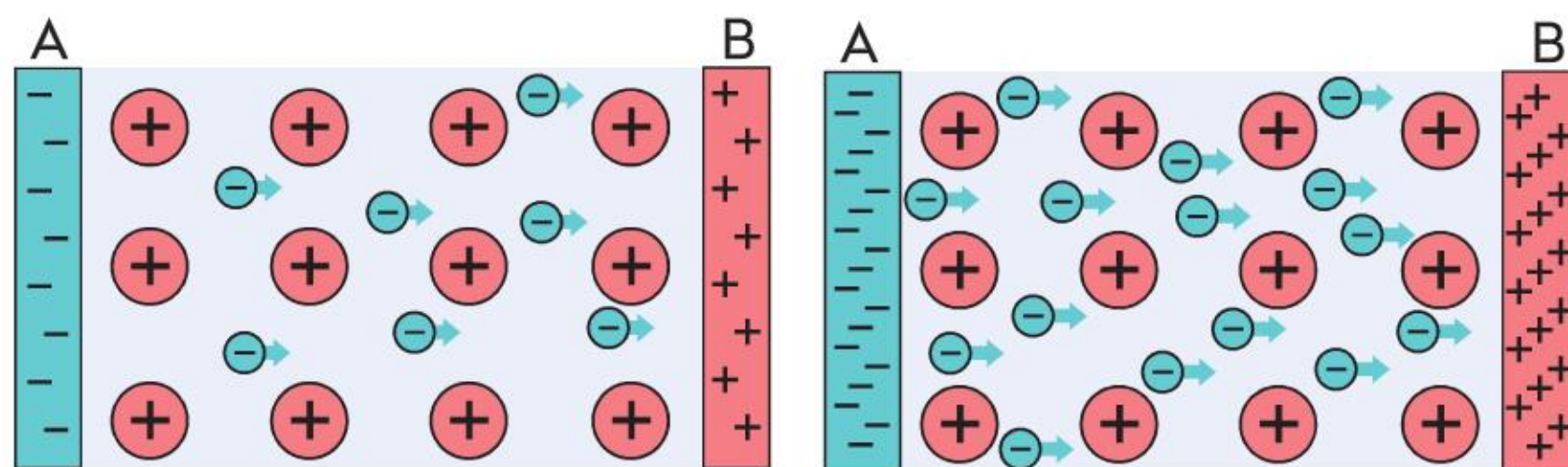
Czy widzisz analogię między przelewającą się wodą a przepływającym prądem?



W naczyniach połączonych różnica poziomów cieczy powoduje jej przepływ, analogicznie napięcie elektryczne powoduje przemieszczanie się ładunków elektrycznych.

Czy przepływające ładunki wykonują pracę? Napięcie elektryczne

Wiesz już, że w przewodniku łączącym dwa różnoimiennie naelektryzowane elektroskopy (ciała) na elektrony swobodne działają siły elektryczne. Siły te są tym większe, im większą pracę wykonaliśmy przy elektryzowaniu ciał. Siły elektryczne, powodując przemieszczanie się elektronów swobodnych wzdłuż przewodnika, wykonują pracę. Wartość tej pracy jest tym większa, im większy jest ładunek przemieszczany przez siły elektryczne między określonymi punktami (il. 4.6), czyli praca ta jest wprost proporcjonalna do wartości tego ładunku, a iloraz tych wartości jest stały i nazywa się **napięciem elektrycznym**.



4.6 Im większy jest przemieszczany ładunek, tym większą pracę wykonują siły elektryczne

Napięcie elektryczne możemy zapisać wzorem:

$$U_{AB} = \frac{\text{praca sił elektrycznych wykonana przy przemieszczaniu ładunków w przewodniku}}{\text{ładunek przesuwany z punktu A do B}}$$

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

Napięcie elektryczne między określonymi punktami A i B przewodnika jest wielkością, która informuje nas, jaką pracę wykonają siły elektryczne podczas przemieszczania jednostkowego ładunku (1 C) między tymi punktami.

Jednostka i pomiar napięcia elektrycznego

Jednostką napięcia jest **wolt** (1 V). Aby otrzymać tę jednostkę, wstawiamy do określonego wcześniej wzoru definicyjnego jednostki pracy i ładunku:

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

Napięcie między punktami A i B wynosi 1 V, jeśli przy przemieszczeniu między tymi punktami ładunku 1 C siły elektryczne wykonają pracę 1 J. Ładunek może być przemieszczony zarówno w przewodniku metalowym łączącym dwa naelektryzowane różnoimiennie ciała, jak i w samym polu elektrostatycznym. Jeśli na przykład między dwoma punktami pola elektrostatycznego napięcie wynosi 5 V, to oznacza, że podczas przesuwania między tymi punktami ładunku 1 C siły elektryczne wykonają pracę 5 J albo że do przeniesienia tego ładunku potrzebujemy energii o wartości 5 J.

Napięcie elektryczne między końcami przewodnika mierzymy za pomocą woltomierza (il. 4.7).



4.7 Przykłady przyrządów pomiarowych stosowanych jako woltomierze

Źródła prądu elektrycznego

W dotychczasowych rozważaniach analizowaliśmy sytuacje, gdy źródłem napięcia elektrycznego, powodującego przepływ prądu elektrycznego były dwa różnoimiennie naelektryzowane ciała połączone przewodnikiem. Mogliśmy zauważyć, że wystarczy zgromadzić ładunki elektryczne na elektroskopach, aby między nimi było napięcie. Jednak przepływ prądu był krótkotrwały i trwał do chwili, aż napięcie między elektroskopami osiągnęło wartość zero. Aby prąd mógł przepływać bez przerwy, należałoby, na przykład, kręcić maszyną elektrostatyczną w sposób ciągły, ładować przynajmniej jeden podłączony do niej elektroskop. Taki sposób pozyskiwania prądu jest jednak najczęściej niewygodny. W życiu codziennym zachodzi potrzeba korzystania ze źródeł prądu działających bez przerwy. Pierwsze stałe źródło prądu skonstruował w 1800 roku włoski fizyk Alessandro Volta. Pierwsze **ogniwo** Volty (tzw. stos Volty) było zbudowane z płytek ułożonych jedna na drugiej (il. 4.8), na przemian srebrnych i cynkowych, oddzielonych kawałkami papieru nasyczonego roztworem soli (słoną wodą). Na jednym biegunie ogniwa gromadzą się ładunki dodatnie, a na drugim – ładunki ujemne. Jeśli bieguny ogniwa zostaną połączone przewodnikiem, w którym znajdują się swobodne elektrony, to będą one przyciągane przez biegun dodatni ogniwa i nastąpi ich przemieszczanie.

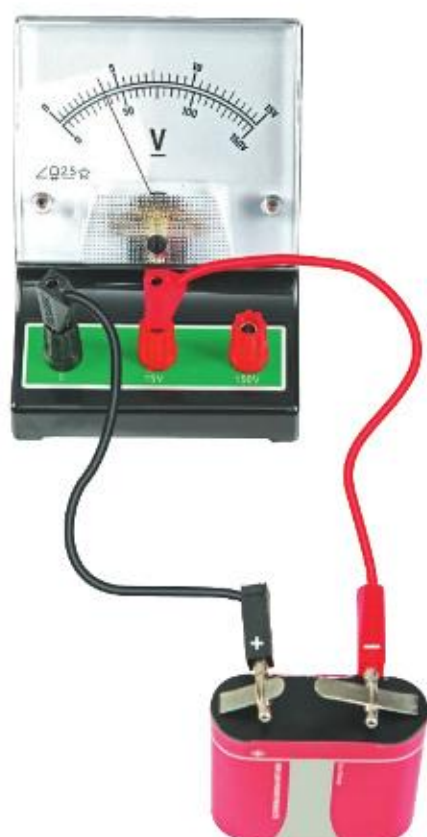
Ciekawe!



Nazwa jednostki 1 V pochodzi od nazwiska wybitnego włoskiego fizyka, wynalazcy i konstruktora Alessandra Volty (1745–1827). Volta od najmłodszych lat wykazywał zainteresowanie elektrycznością. Wynalazł m.in. elektrofor, elektroskop, kondensator oraz pierwsze źródło napięcia.



4.8 Stos Volty



4.9 Pomiar napięcia baterii płaskiej. Woltomierz podłączony równolegle do źródła

Inne źródła napięcia elektrycznego

Na podstawie zdobytej dotąd wiedzy możemy powiedzieć, że napięcie elektryczne charakteryzowane jest przez układ ciał, który powoduje przepływ prądu elektrycznego. Źródłami tego typu jak ogniwo Volty są również baterie (zestawy ogniw) i akumulatory. W przypadku takich źródeł końcówki przewodnika połączone są z biegunami lub elektrodami. W ogniwie, wskutek zachodzących przemian chemicznych, jedna elektroda stale ładuje się dodatnio, a druga elektroda – ujemnie. Wytwarzana energia chemiczna zmienia się w energię elektryczną. Bateria jest więc źródłem napięcia elektrycznego – źródłem **energii elektrycznej** wykorzystywanej do przemieszczania ładunku w przewodniku.

Aby zmierzyć napięcie źródła napięcia, należy zacisk (+) woltomierza połączyć z biegunem (+) źródła napięcia, a zacisk (–) woltomierza połączyć z biegunem (–) źródła napięcia (il. 4.9).

Instalacja domowa zasilana jest prądem wytwarzanym przez prądnice w elektrowniach. Przykładem małej prądnicy jest dynamo rowerowe (il. 4.10). Coraz częściej stosowanym źródłem napięcia elektrycznego są ogniwa słoneczne (il. 4.11). Aby w mieszkaniu świeciły żarówki, pracowały urządzenia, takie jak ładowarka do telefonu, lodówka, pralka, telewizor, należy je połączyć za pomocą przewodów elektrycznych z odpowiednim źródłem napięcia.

Istnienie napięcia elektrycznego między końcami przewodnika jest warunkiem koniecznym przepływu prądu elektrycznego przez ten przewodnik.



4.10 Dynamo rowerowe

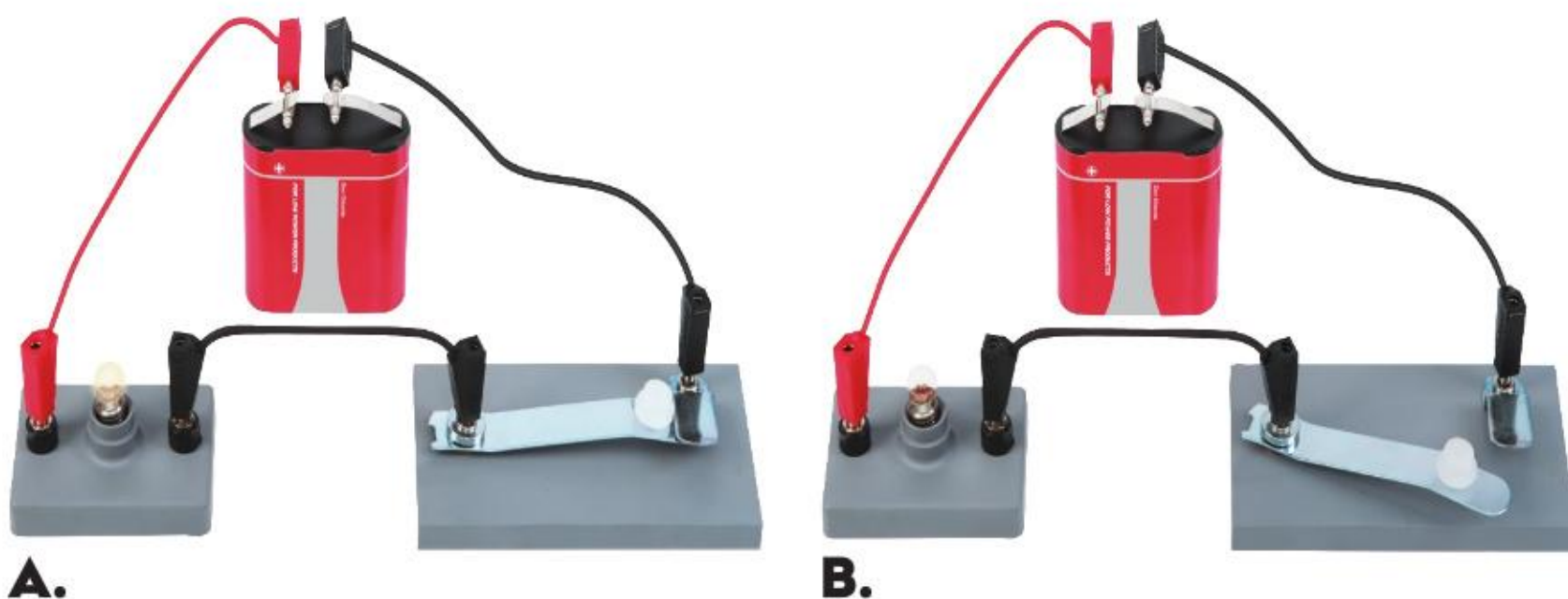


4.11 Ogniwa słoneczne

Obwody elektryczne i odbiorniki energii elektrycznej

Układ elementów elektrycznych wraz ze źródłem napięcia elektrycznego, połączonych przewodami, nazywamy **obwodem elektrycznym**.

Prąd płynie tylko w obwodzie zamkniętym. Możemy zatem powiedzieć, że warunkiem przepływu prądu jest **istnienie napięcia elektrycznego i zamknięty obwód**.



W obwodzie pokazanym na zdjęciu prąd przepływa przez cienki, spiralnie zwinięty drucik wolframowy żarówki i powoduje jego ogrzanie i świecenie (il. 4.12 A.). Wyłącznik umożliwia przerwanie obwodu elektrycznego (il. 4.12 B.). Takie elementy obwodu, jak żarówka, grzałka, telewizor, silnik elektryczny, nazywamy ogólnie **odbiornikami energii elektrycznej**.

Schematy elektryczne

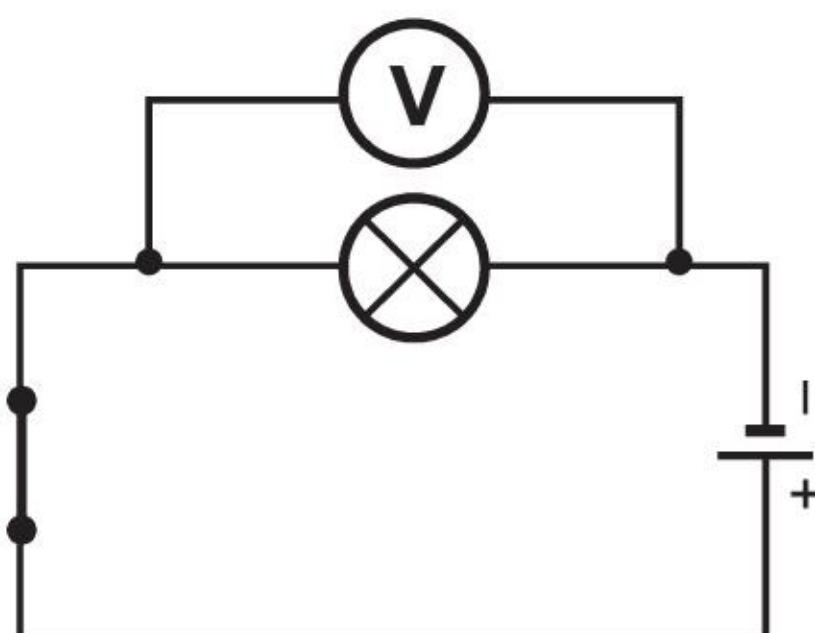
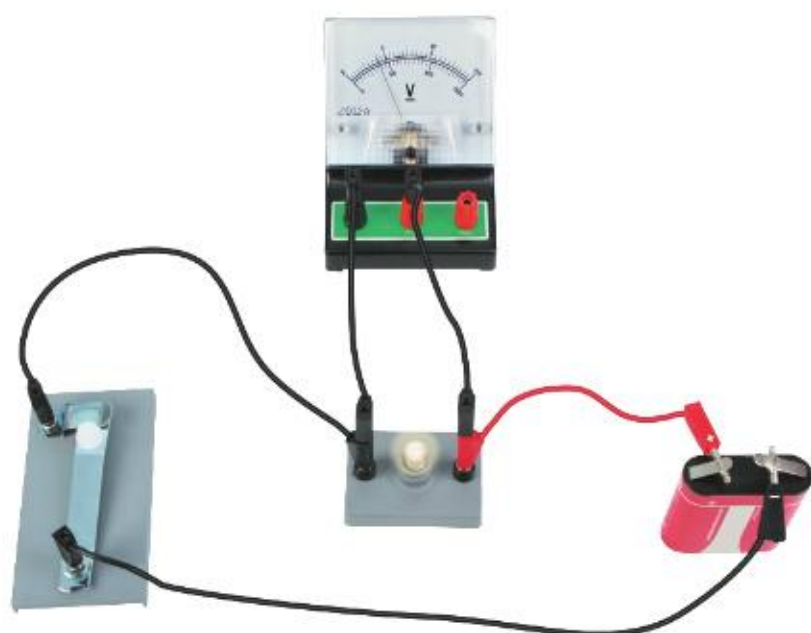
Obwody elektryczne rysuje się w formie tak zwanych **schematów elektrycznych**, używając odpowiednich symboli przedstawiających poszczególne elementy obwodu (il. 4.13). Obwód przedstawiony na zdjęciu 4.12 B. zamieszczono w postaci schematu obok.

Woltomierz w obwodzie elektrycznym

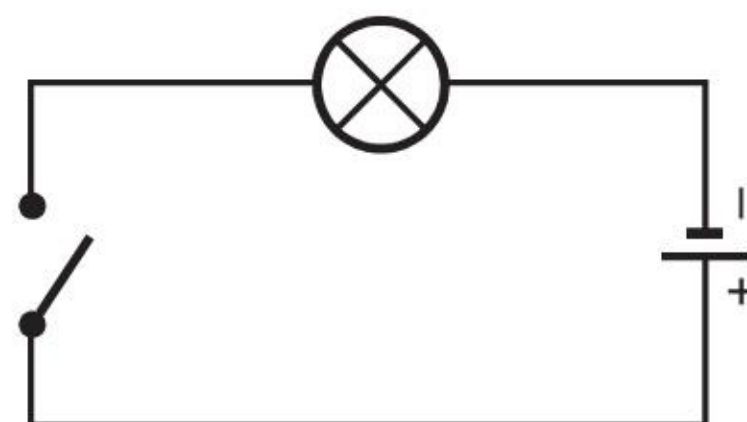
Badanie obwodów elektrycznych przeprowadzamy za pomocą odpowiednich mierników. Jeden z nich – woltomierz – już znasz, inne poznasz na następnych lekcjach.

Za pomocą woltomierza mierzymy napięcie między końcami odbiornika lub między dwoma dowolnymi punktami obwodu.

Takie połączenie woltomierza w obwodzie elektrycznym, jak pokazane poniżej (il. 4.14 i 4.15), nazywamy połączeniem **równoległym**.



Aby uzyskać oczekiwane efekty w doświadczeniach z prądem elektrycznym, trzeba pilnować, by droga dla prądu nie została gdzieś przerwana. Dzieje się tak przede wszystkim na stykach dwóch przewodów lub na stykach przewodów z elementami tworzącymi obwód elektryczny. Końcówki przewodów oraz zaciski należy dokładnie oczyścić, aby nie występowały przerwy w obwodzie prądu.



- | | |
|---|------------------------|
|  | - przewodnik |
|  | - źródło prądu stałego |
|  | - wyłącznik otwarty |
|  | - wyłącznik zamknięty |
|  | - żarówka |

4.13 Schemat i symbole elementów obwodu elektrycznego

Przykład 12.

Napięcie zmierzone woltomierzem między końcami przewodnika wynosi 230 V. Jakiej wartości ładunek przepłynął przez ten przewodnik, jeżeli przy jego przemieszczeniu między końcami tego przewodnika siły elektryczne wykonały pracę 575 J?

Dane:

$$U = 230 \text{ V}$$

$$W = 575 \text{ J}$$

Szukane:

$$q = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru definicyjnego na napięcie elektryczne między końcami przewodnika:

$$U_{AB} = \frac{W}{q}$$

i z niego wyliczamy wartość przepływającego ładunku:

$$q = \frac{W}{U_{AB}}$$

Po podstawieniu danych:

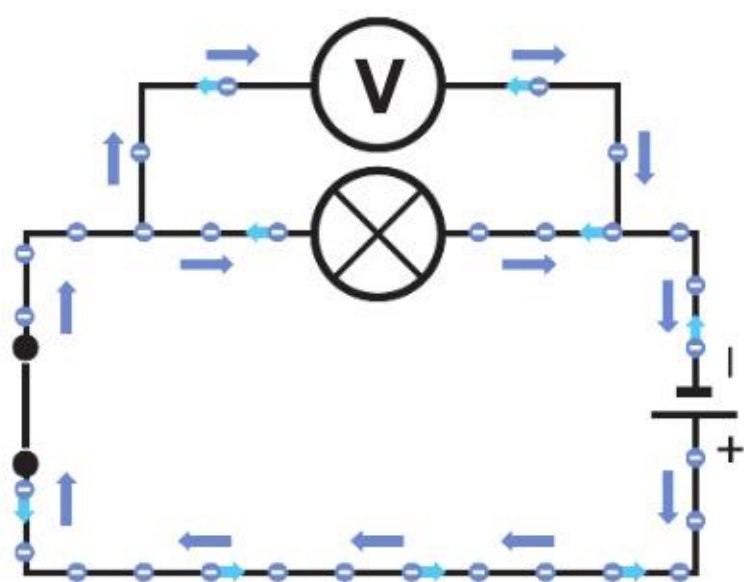
$$q = \frac{575 \text{ J}}{230 \text{ V}} = 2,5 \frac{\text{J}}{\text{J/C}} = 2,5 \text{ C}$$

Odpowiedź: Przez przewodnik przepłynął ładunek 2,5 C.

Kierunek przepływu prądu

Powiedzieliśmy już, że prąd w przewodniku metalowym to uporządkowany ruch elektronów swobodnych, które płyną od ujemnego do dodatniego bieguna źródła prądu (il. 4.16).

Kierunek przepływu prądu elektrycznego na schematach obwodów elektrycznych określamy umownie – od bieguna dodatniego do ujemnego źródła prądu, a więc przeciwnie do kierunku ruchu elektronów (przeciwnie do zwrotu prędkości elektronów).



4.16 Umowny kierunek przepływu prądu i kierunek ruchu elektronów

O elektryczności uczono już w XVIII wieku, ale wówczas nie wiedzieliśmy jeszcze, że w przewodniku metalowym poruszają się elektrony o ładunku ujemnym, sądzono, że są to ładunki dodatnie.

Wiedzę o poruszających się elektronach uzyskano dopiero na początku XX wieku, pozostawiono jednak dotychczasowe określenie kierunku prądu jako umowne ze względu na duże jego rozpowszechnienie. W elektrolitach i gazach zjonizowanych jako kierunek przepływu prądu określa się ruch ładunków (jonów) dodatnich.

Więcej na temat



Więcej o przepływie elektronów w przewodniku

Wiesz już, że swobodne elektrony w przewodniku przemieszczają się chaotycznie i zderzają się ze sobą i z jonami jego sieci krystalicznej. Szybkość, z jaką te elektrony poruszają się w przewodniku w temperaturze pokojowej, jest rzędu kilkuset tysięcy metrów na sekundę. Gdy na końcach przewodnika pojawia się napięcie elektryczne, elektrony dodatkowo zaczynają się przemieszczać wzdłuż niego, dalej zderzając się ze sobą i z jonami sieci. Szybkość ta jest jednak bardzo niewielka. Na przykład w przewodzie miedzianym wynosi zaledwie $0,15 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$, czyli w ciągu godziny elektron przemieszcza się o około $0,54 \text{ m}$. Można jeszcze zadać pytanie, dlaczego tuż po naciśnięciu włącznika zaczyna świecić żarówka czy pracować urządzenie, skoro prąd płynie tak wolno. Pamiętaj jednak, że z chwilą pojawienia się napięcia wszystkie elektrony na całej długości przewodnika ruszają w kierunku dodatniego bieguna źródła i nie trzeba czekać, aż dotrą te, które znajdują się blisko włącznika.



W skrócie

- Napięcie elektryczne między określonymi punktami A i B przewodnika jest wielkością, która informuje nas, jaką pracę wykonają siły elektryczne podczas przemieszczania jednostkowego ładunku (1 C) między tymi punktami.

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

- Jednostką napięcia elektrycznego jest wolt ($1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$).
- Napięcie między dwoma punktami przewodnika możemy zmierzyć woltomierzem. Woltomierz w obwód włączamy równolegle.
- Istnienie napięcia elektrycznego jest konieczne, aby w przewodniku płynął prąd elektryczny.
- Źródłami napięcia elektrycznego są m.in. ogniwa, baterie (zestawy ogniw), prądnice, akumulatory.
- Odbiornikami energii są np. żarówka, pralka, telewizor, telefon komórkowy, lokomotywa, lodówka.
- Prąd płynie tylko w obwodzie zamkniętym.
- Obwody elektryczne przedstawia się w formie tak zwanych schematów elektrycznych.
- Umowny kierunek (zwrot) prądu określamy od plusa do minusa, a więc zgodnie z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich, a przeciwnie do kierunku ruchu (zwrotu wektora prędkości) elektronów swobodnych.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

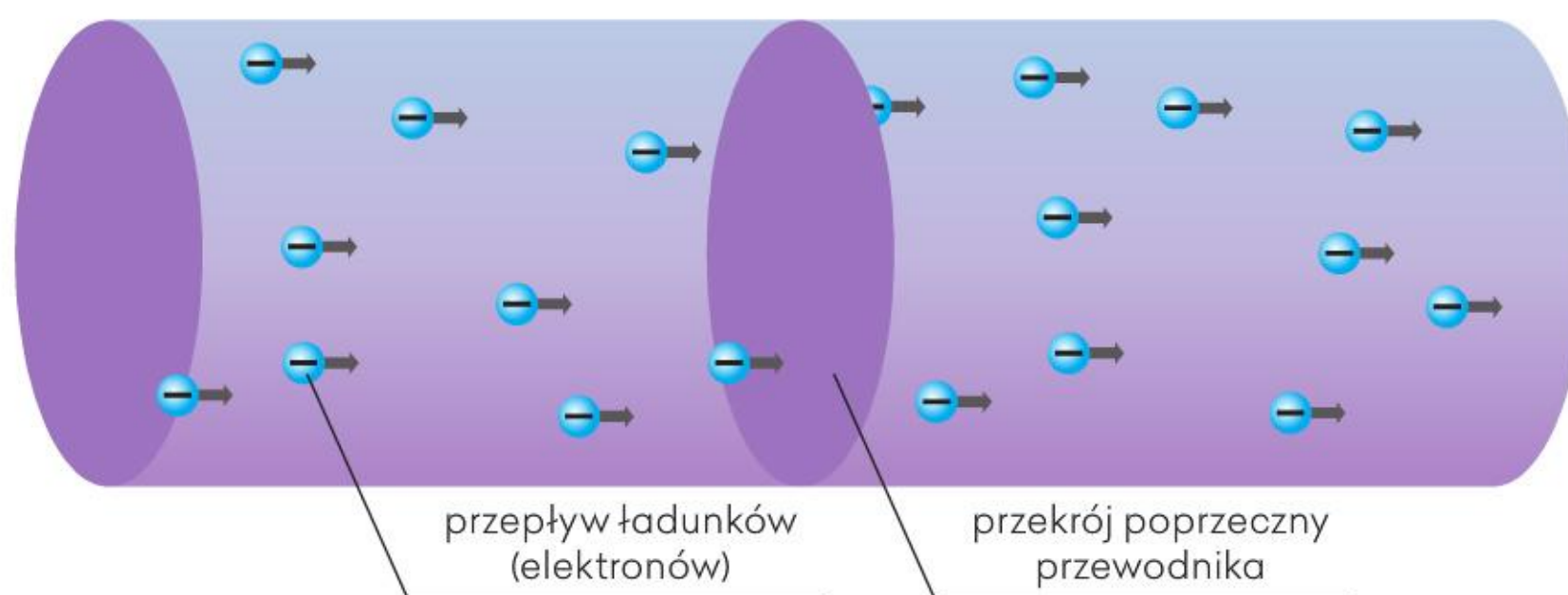
- Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Napięciem elektrycznym między dwoma końcami przewodnika nazywamy iloraz pracy wykonanej przy przemieszczaniu ładunku między tymi punktami i wartości tego ładunku.
 - B. Istnienie napięcia elektrycznego jest warunkiem koniecznym przepływu prądu w obwodzie.
 - C. Kierunek przepływu prądu w obwodzie określamy zgodnie ze zwrotem prędkości ruchu elektronów swobodnych.
 - D. Prąd płynie nie tylko w obwodach zamkniętych.
 - E. Na schematach elektrycznych oznaczamy kierunek prądu zgodny z kierunkiem ruchu (zwrotem prędkości) elektronów swobodnych.
- Wyjaśnij, co to znaczy zbudować obwód elektryczny.
- Wyjaśnij, kiedy napięcie wynosi 1 wolt (1 V)?
- Odszukaj w internecie informacje na temat, w jaki sposób można zbudować w domu źródło napięcia elektrycznego (ogniwo), wykorzystując do tego celu owoce i warzywa. Zaplanuj doświadczenie potwierdzające, że masz do czynienia z ogniwo.

4.3 Natężenie prądu

Podejmij temat



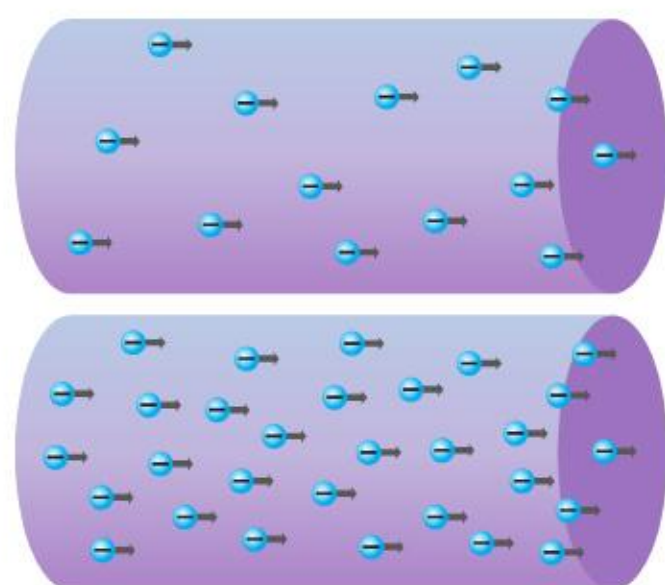
O czym informuje nas natężenie prądu elektrycznego?



Jak definiujemy natężenie prądu?

Poznałeś już model przepływu prądu w przewodnikach różnego typu i znasz warunki jego przepływu w obwodzie, czyli: źródło napięcia, nośniki prądu (elektrony lub jony), zamknięty obwód elektryczny.

Warunki przepływu prądu w obwodzie możemy porównać z warunkami przepływu wody w instalacji wodociągowej. Ilość wody przepływającej przez poprzeczny przekrój rur wodociagowych w jednostce czasu jest stała – tyle samo jej wpływa, ile wypływa. Ilość tę nazywamy wydajnością instalacji wodociągowej. Wielkość tę bierze się pod uwagę przy planowaniu, ile wody należy dostarczyć np. mieszkańcom miasta. Podobnie, aby prąd elektryczny mógł zasilić więcej odbiorników, przez poprzeczny przekrój przewodnika doprowadzającego prąd od źródła musi w jednostce czasu przepłynąć ładunek o większej wartości. Wielkość charakteryzującą ten przepływ nazywa się **natężeniem prądu elektrycznego**. Natężenie prądu określa więc, jaki (jak duży) ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez dowolny poprzeczny przekrój przewodnika.



Natężenie informuje nas, jak duży ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez poprzeczny przekrój przewodnika.

Natężeniem prądu elektrycznego nazywamy wielkość, której miarą jest iloraz ładunku elektrycznego przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu tego przepływu.

Natężenie I (od ang. *intensity* (czyt. intens-ity) ‘natężenie’) możemy obliczyć ze wzoru:

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

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

Jednostka natężenia prądu

Jednostką natężenia prądu jest **amper (A)**, od nazwiska francuskiego fizyka i matematyka André Marie Ampère’a, który wprowadził do fizyki pojęcie natężenia prądu elektrycznego.

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

Mówimy, że w przewodniku płynie prąd o natężeniu 1 ampera (1 A), jeżeli w czasie 1 sekundy (1 s) przez poprzeczny przekrój tego przewodnika przepływa ładunek 1 kulomba (1 C).

Tabela 8. Przykładowe wartości natężenia prądu

Urządzenie	Natężenie prądu (A)
lampa LED	ok. 0,05
żarówka tradycyjna	0,1–1
telewizor LED	ok. 0,3
lodówka	0,65
ładowarka smartfona	1–2
żelazko	5
grzejnik elektryczny, pralka	10
silniki transportowe i komunikacyjne	150

Pomiar natężenia prądu

Przyrządem służącym do pomiaru natężenia prądu jest **amperomierz** (il. 4.17).



4.17 Przykłady przyrządów pomiarowych stosowanych jako amperomierze

—(A)— – schematyczny symbol amperomierza

Amperomierz włączamy w obwód szeregowo, tak aby przez niego płynął cały prąd. Zacisk (+) przyrządu łączymy przewodem z biegunem (+) źródła, a zacisk (–) amperomierza z biegunem (–) źródła.

Ciekawe!



André Marie Ampère (czyt. andre mari amper) (1775–1836), wybitny francuski fizyk i matematyk. Choć nigdy nie uzyskał formalnego wykształcenia, to jego osiągnięcia naukowe były zawsze wysoko oceniane. Pierwszą pracę naukową napisał już w wieku 13 lat. Wprowadzone przez niego matematyczne formuły opisujące ilościowe zależności pomiędzy zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi stosowane są do dziś, w tym najsłynniejsze tzw. prawo Ampera (dowiesz się o nim w toku dalszej nauki).



Odczytaj zakresy i najmniejsze działki ze skali szkolnych amperomierzy przedstawionych na zdjęciach.

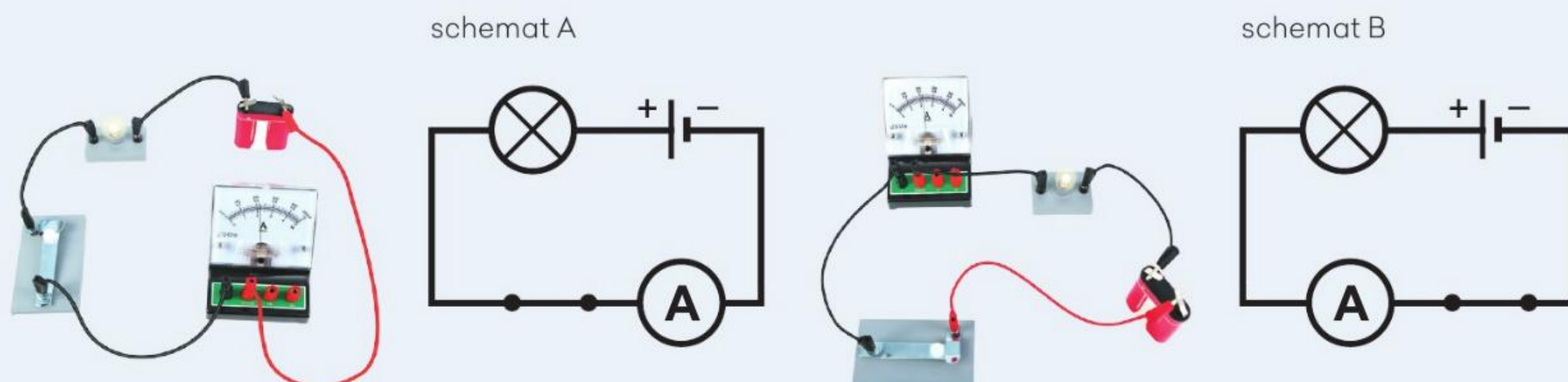
Doświadczenie 36.

Mierzmy natężenie prądu w obwodzie i sprawdzamy zasadę zachowania ładunku

Niezbędne przedmioty: źródło prądu (np. bateria płaska), żaróweczka w oprawie, wyłącznik, amperomierz, przewody

Wykonanie:

- Wykonaj obwód widoczny na zdjęciu i schemacie A.
- Określ na podstawie skali najmniejszą działkę amperomierza i jego zakres.
- Zamknij wyłącznik i odczytaj wskazanie amperomierza.
- Przepnij amperomierz w inne miejsce obwodu (np. schemat B) i ponownie odczytaj wskazanie amperomierza.



Obserwacje: Stwierdzamy, że po zamknięciu obwodu w obu przypadkach wskazania amperomierza są takie same.

Wnioski:

- W każdym miejscu obwodu płynie prąd o takim samym natężeniu. Nie zmienia się więc ładunek elektryczny, który w określonym czasie przepływa przez dowolny poprzeczny przekrój przewodnika. Jest to zgodne z zasadą zachowania ładunku – ładunku nie ubywa ani nie przybywa.
- W przypadku takiego prostego obwodu elektrycznego amperomierz możemy włączyć w dowolnym miejscu obwodu.

Obliczamy wartość przepływającego ładunku

Znając natężenie prądu płynącego w obwodzie i czas jego przepływu, można obliczyć wartość ładunku elektrycznego, który przepłynął w tym czasie.

Skoro $I = \frac{q}{t}$, to po przekształceniu wzoru otrzymamy: $q = I \cdot t$

Po podstawieniu jednostek otrzymamy:

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

czyli $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ (**amperosekunda**).

Na tej podstawie możemy również powiedzieć, że 1 kulomb to ładunek przepływający w ciągu 1 sekundy przez poprzeczny przekrój przewodnika, w którym płynie prąd o natężeniu 1 ampera.

Jeśli prąd o natężeniu 1 A będzie przepływał przez poprzeczny przekrój przewodnika w ciągu 1 godziny, to przepłynie w tym czasie ładunek równy **1 amperogodzinie**.

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

Więcej na temat

Rozgałęzienie w obwodzie. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Dowiedziałeś się właśnie, że natężenie prądu w obwodzie w każdym punkcie obwodu ma tę samą wartość. Obwód, który zbudowałeś w ostatnim doświadczeniu, był prosty, nie zawierał rozgałęzień. Sprawdźmy teraz, jakie będą wartości natężenia prądu, jeżeli obwód będzie rozgałęziony.

Zbudujemy obwód prądu, jak na schemacie obok.

W zbudowanym przez nas obwodzie prąd elektryczny płynie ze źródła przez żaróweczkę (1) i amperomierz (A_1), wskazując natężenie prądu I_1 . W punkcie X prąd elektryczny rozdziela się na dwie części, z których jedna płynie przez żaróweczkę (2) i amperomierz (A_2) wskazujący natężenie I_2 . Druga część płynie przez żaróweczkę (3) i amperomierz (A_3) wskazujący natężenie I_3 . W punkcie Y obie części prądu ponownie się łączą i płyną zgodnie z umownym kierunkiem prądu, w stronę ujemnego bieguna źródła napięcia.

Uzyskane w doświadczeniu wyniki pomiarów wskazują, że wartość natężenia prądu przed rozgałęzieniem jest równa sumie wartości natężenia prądów w rozgałęzieniach: $I_1 = I_2 + I_3$.

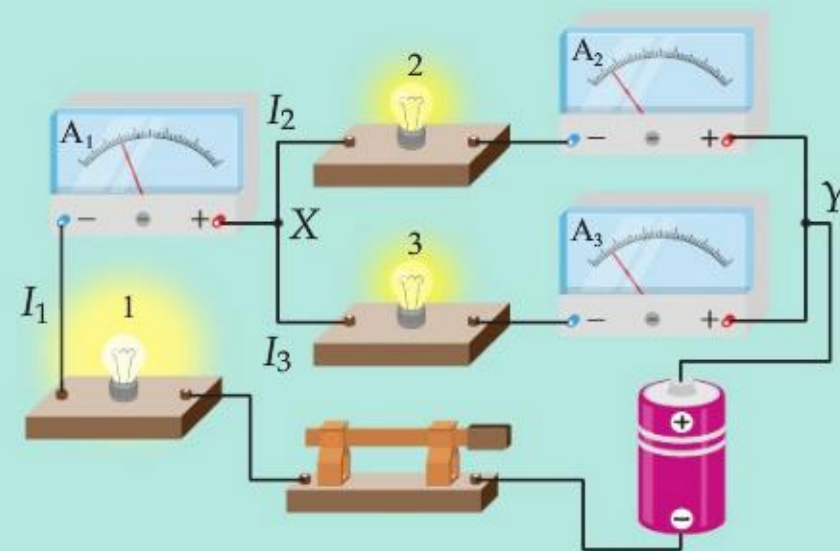
Punkty X i Y, w których prąd elektryczny ulega rozgałęzieniu, nazywamy punktami rozgałęzienia lub **węzłami**. W obwodach elektrycznych do węzłów może wpływać wiele prądów i wiele też z nich wypływać.

Wyniki uzyskane w doświadczeniu i wnioski z nich wypływające są zgodne z prawem sformułowanym przez niemieckiego fizyka Gustawa Roberta Kirchhoffa (czyt. kirshofa) (1824–1887), zwanym pierwszym prawem Kirchhoffa:

Suma natężeń prądów wpływających z węzła równa jest sumie prądów wpływających do węzła.

Zauważ, że pierwsze prawo Kirchhoffa jest zgodne z zasadą zachowania ładunku elektrycznego, gdyż wartość całkowitego ładunku wpływającego do węzła jest równa wartości całkowitego ładunku elektrycznego wypływającego z węzła.

W tym miejscu nasuwa się analogia do sieci wodociągowej, z której wypływa tyle samo wody, ile do niej wpływa.



Przykład 13.

Jak długo może pracować akumulator 46 Ah, jeżeli w obwodzie przepływa prąd o natężeniu 2 A?

Dane:

$$q = 46 \text{ Ah}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

Szukane:

$$t = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru definicyjnego na natężenie prądu: $I = \frac{q}{t}$

i z niego wyliczamy czas, w którym przepływa prąd: $t = \frac{q}{I}$

$$\text{Po podstawieniu danych: } t = \frac{46 \text{ Ah}}{2 \text{ A}} = 23 \text{ h}$$

Odpowiedź: Akumulator ten będzie pracował przez 23 godziny.

Przykład 14.

Przez 10 min przepływał w obwodzie prąd o natężeniu 0,5 A. Jakiej wartości ładunek został przemieszczony w tym czasie? Jaki ładunek zostanie przeniesiony w czasie dwukrotnie dłuższym oraz czterokrotnie dłuższym? Przedstaw sytuację graficznie na wykresie $q(t)$.

Dane:

$$I = 0,5 \text{ A}$$

$$t = 10 \text{ min} = 600 \text{ s}$$

$$t_1 = 2t = 1200 \text{ s}, t_2 = 4t = 2400 \text{ s}$$

Szukane:

$$q = ?$$

$$q_1 = ?$$

$$q_2 = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru definicyjnego na natężenie prądu: $I = \frac{q}{t}$ i z niego wyliczamy wartość przepływającego ładunku: $q = I \cdot t$

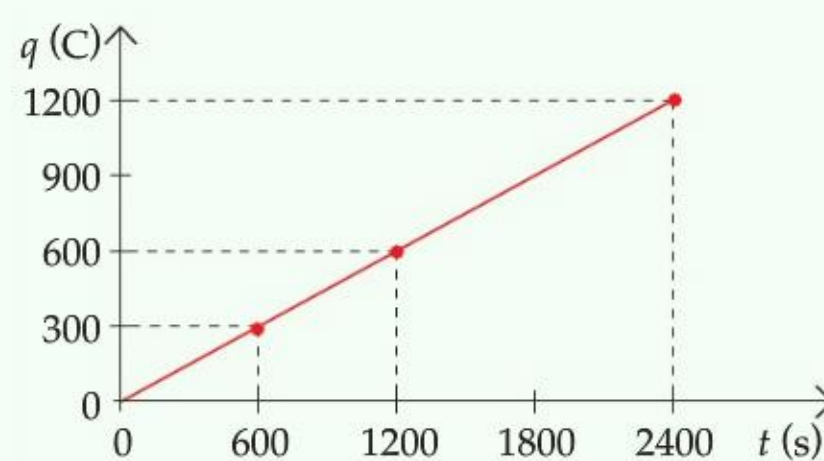
Po podstawieniu danych: $q = 0,5 \text{ A} \cdot 600 \text{ s} = 300 \text{ C}$

Skoro w przewodniku płynie prąd o stałym natężeniu, to zgodnie ze wzorem $q = I \cdot t$ wartość przepływającego ładunku jest wprost proporcjonalna do czasu jego przepływu. Bez obliczeń możesz więc powiedzieć, że wartość ładunku przepływającego w dwukrotnie dłuższym czasie będzie dwa razy większa, czyli wynosić będzie 600 C, a w czasie czterokrotnie dłuższym wyniesie 1200 C.

Sprawdź obliczenia, korzystając ze wzoru: $q = I \cdot t$

Odpowiedź: Wartość przemieszczonego ładunku wynosi 300 C. W czasie dwukrotnie dłuższym przemieszczony zostanie ładunek o wartości 600 C, a w czasie 40 minut ładunek o wartości 1200 C.

Wykres będzie wyglądał następująco:



W skrócie

- Wielkością charakteryzującą przepływ prądu jest natężenie prądu elektrycznego, które określa, jaki (jak duży) ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez poprzeczny przekrój przewodnika. Natężenie (I) możemy obliczyć jako iloraz ładunku elektrycznego (q) przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu tego przepływu (t).

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

- Jednostką natężenia prądu jest amper: $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$
- Natężenie prądu możemy zmierzyć amperomierzem, który włączamy w dowolnym miejscu prostego obwodu szeregowo.
- Przepływający ładunek możemy wyrażać nie tylko w kulombach, ale również w amperosekundach i amperogodzinach. $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$, $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

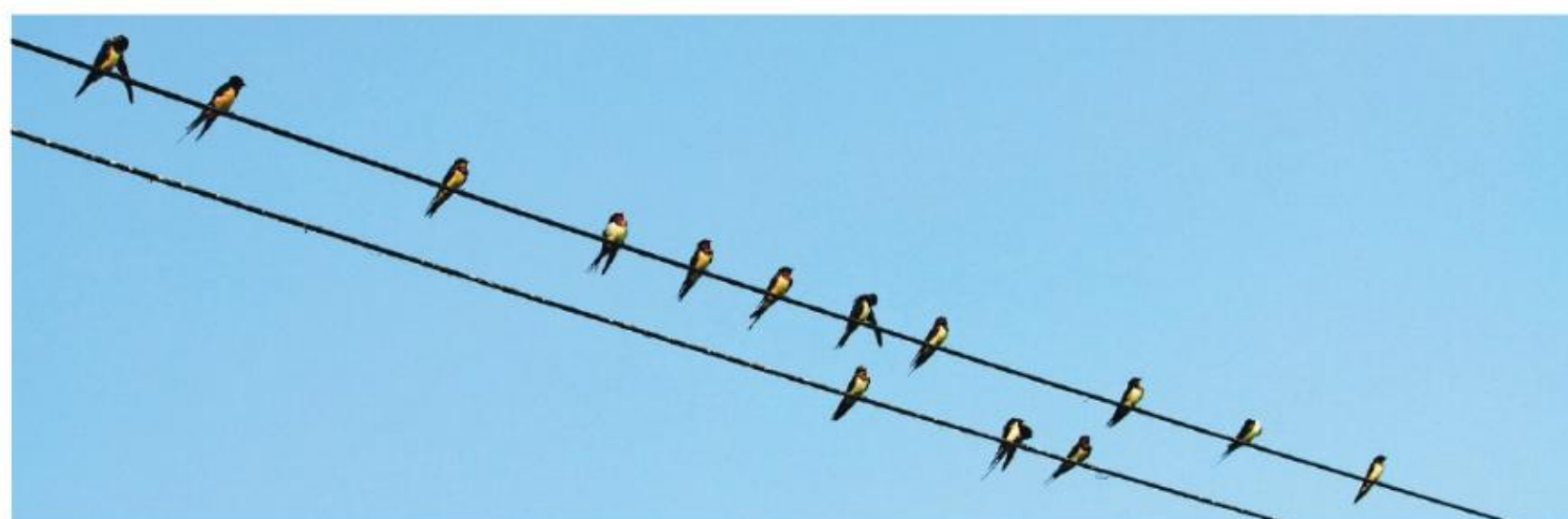
- Jaką wartość musi mieć natężenie prądu elektrycznego w przewodniku, by w czasie 15 minut przepłynął przez niego ładunek 180 C?
- Oceń prawdziwość podanych zdań. Natężenie prądu
 - informuje nas o tym, jaki ładunek elektryczny przepływa przez dokładnie wskazany poprzeczny przekrój przewodnika.
 - określa, jak duży ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez dowolny poprzeczny przekrój przewodnika.
 - obliczamy, dzieląc wartość ładunku elektrycznego przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika przez czas tego przepływu.
 - mierzymy woltomierzem włączonym w obwód równolegle.
 - mierzymy amperomierzem włączonym w obwód szeregowo.

4.4 Opór elektryczny. Prawo Ohma

Podejmij temat



Jak napięcie elektryczne wpływa na natężenie prądu w danym obwodzie elektrycznym?



Czy natężenie prądu zależy od napięcia?

Wróćmy do porównania przepływu prądu elektrycznego w przewodniku z przepływem wody w instalacji wodociągowej. Wiesz na pewno, że ilość wypływającej wody w jednostce czasu zależy od ciśnienia (wysokości słupa wody w wieży ciśnień lub ciśnienia w hydroforze). Czy podobnie natężenie prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik zależy od napięcia przyłożonego między jego końcami? Wykonajmy doświadczenie, które pozwoli udzielić odpowiedzi na to pytanie.

Doświadczenie 37.

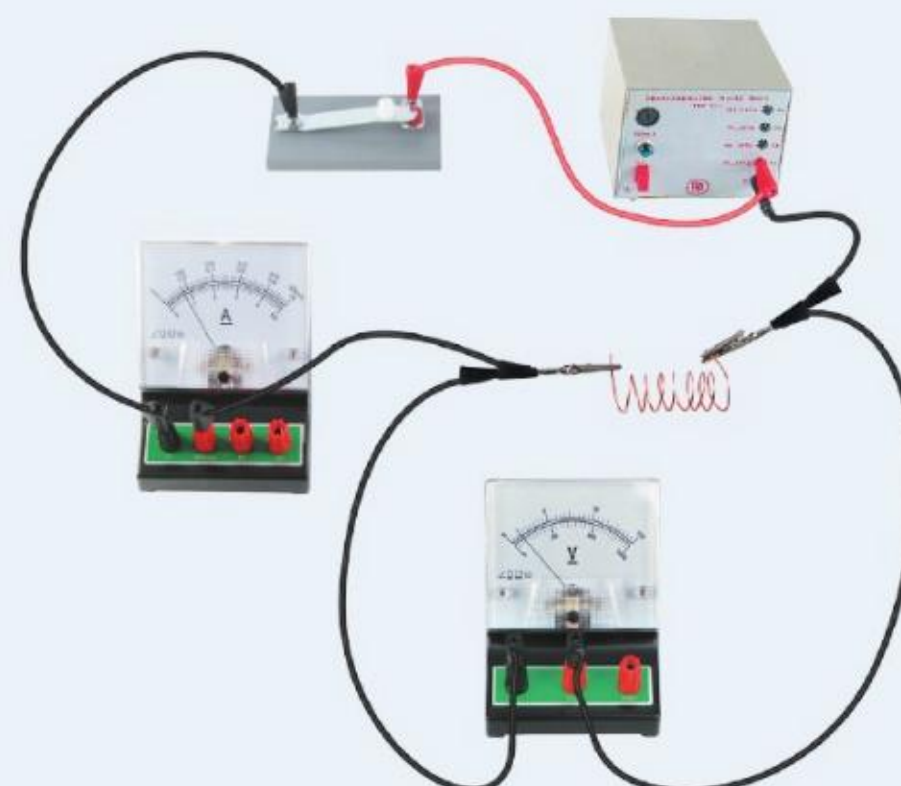
Badamy zależność natężenia prądu od napięcia między końcami spirali

Hipoteza: Natężenie prądu zależy od napięcia między końcami przewodnika (odcinka obwodu).

Niezbędne przedmioty: zasilacz prądu stałego (ang. *direct current*, DC) lub bateryjny (na baterie R16, R20 lub płaskie) z możliwością regulacji napięcia, amperomierz, woltomierz, 2 wykonane samodzielnie spirale z drutu oporowego, np. o długości 30 cm i 60 cm, zwinięte tak, aby spirale się nie dotykały, lub opornik drutowy

Wykonanie:

- Zbuduj obwód elektryczny zgodny z przedstawionym na zdjęciu.
- Wykonaj pomiary natężenia prądu dla czterech różnych napięć na zasilaczu. Zamykaj przełącznik na krótką chwilę i w tym czasie odczytuj wskazania na woltomierzu i amperomierzu. (Pamiętaj, że napięcie na woltomierzu może się różnić od tego, co jest napisane na zasilaczu bateryjnym, lub od tego, co wskazuje zasilacz).
- Powtórz pomiary dla drugiej spirali.
- Wpisz wyniki do wcześniej przygotowanej tabeli pomiarów z dokładnością do dwóch cyfr znaczących i uzupełnij ostatnią kolumnę.
- Określ niepewności pomiarowe na podstawie najmniejszej działki skali użytych przyrządów pomiarowych (woltomierza i amperomierza).

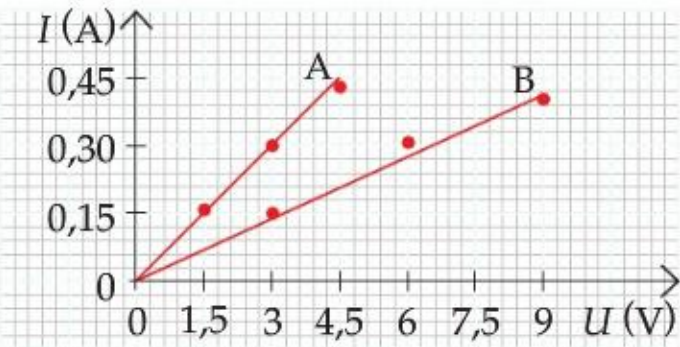


Wyniki: W jednej ze szkół uczniowie uzyskali następujące wyniki.

Spirala A			Spirala B		
U (V)	I (A)	$\frac{U}{I} \left(\frac{V}{A} \right)$	U (V)	I (A)	$\frac{U}{I} \left(\frac{V}{A} \right)$
0	0	–	0	0	–
1,5	0,16	9,4	3	0,15	20,0
3,0	0,30	10,0	6	0,31	19,4
4,5	0,43	10,5	9	0,44	20,5

Obserwacje i wnioski:

- Na podstawie wyników możemy stwierdzić, że jeśli napięcie między końcami spirali A wzrosło dwukrotnie, to natężenie prądu płynącego w spirali A również wzrosło około dwukrotnie. To samo dotyczy spirali B. Podsumowując – n -krotne zwiększenie napięcia między końcami spirali spowodowało n -krotne zwiększenie wartości natężenia prądu płynącego przez spiralę.
- Możemy powiedzieć, że U i I są wielkościami wprost proporcjonalnymi.



4.18 Wykres zależności natężenia prądu od napięcia, dla obu spiral $I(U)$

Wykres zależności natężenia prądu od napięcia

Na podstawie wyników pomiarów uzyskanych w doświadczeniu stwierdziliśmy, że napięcie U i natężenie I są wielkościami wprost proporcjonalnymi. Sporządźmy zatem wykres zależności natężenia prądu od napięcia dla obu spiral $I(U)$ (il. 4.18).

Możesz zaobserwować, że wykresami zależności $I(U)$ dla obydwu spiral są półproste wychodzące z początku układu współrzędnych i nachylone pod kątem ostrym do osi napięcia.

 Prawo Ohma i opór elektryczny

Wykresy $I(U)$ dla obydwu spiral są wykresami wielkości wprost proporcjonalnych. Tyle razy wzrosło natężenie prądu elektrycznego płynącego w spirali A, ile razy wzrosło napięcie między jej końcami. To samo dotyczy spirali B. Mówimy więc, że:

Natężenie prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik (odcinek obwodu) jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami tego przewodnika (odcinka obwodu).

Zależność ta w fizyce nosi nazwę **prawa Ohma** (czyt. oma). Z obliczeń wykonanych w ostatnim doświadczeniu wynika, że utworzony iloraz $\frac{U}{I}$ dla każdego pomiaru (tej samej spirali) ma prawie tę samą wartość (przedyskutujemy to później): $\frac{U}{I} = \text{const}$

Ten stały iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia płynącego przez przewodnik prądu jest wielkością charakterystyczną dla danego przewodnika i nazywa się **oporem elektrycznym** (rezystancją) przewodnika. Oznaczamy go literą R (od ang. *resistance*, czyt. **rezistens**, czyli ‘opór’).

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

Jednostką oporu jest om (Ω): $[R] = \frac{[U]}{[I]} = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}} = 1 \Omega$ (om).

Opór 1Ω ma przewodnik, w którym pod napięciem 1 V płynie prąd elektryczny o natężeniu 1 A .



$1000 \Omega = 1 \text{ k}\Omega$

$1\,000\,000 \Omega = 1 \text{ M}\Omega$

Opornik

Uwzględnimy wyniki naszego ostatniego doświadczenia i wyliczymy średni opór spirali A i B.

Przykład 15.

Oblicz średni opór spirali A i B oraz określ niepewności pomiarowe. Przedstaw wyniki wartości oporu spirali A i B z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Dane:

Spirala A			Spirala B		
$U \text{ (V)}$	$I \text{ (A)}$	$\frac{U}{I} \left(\frac{\text{V}}{\text{A}}\right)$	$U \text{ (V)}$	$I \text{ (A)}$	$\frac{U}{I} \left(\frac{\text{V}}{\text{A}}\right)$
0	0	–	0	0	–
1,5	0,16	9,4	3	0,15	20,0
3,0	0,30	10,0	6	0,31	19,4
4,5	0,43	10,5	9	0,44	20,5

Szukane:

$R_A = ?$

$R_B = ?$

Rozwiązanie

Średni opór spirali A wynosi:

$$R_{A\text{śr}} = \frac{9,4 \Omega + 10,0 \Omega + 10,5 \Omega}{3} = \frac{29,9 \Omega}{3} = 10,0 \Omega$$

Średni opór spirali B wynosi:

$$R_{B\text{śr}} = \frac{20,0 \Omega + 19,4 \Omega + 20,5 \Omega}{3} = \frac{59,9 \Omega}{3} = 20,0 \Omega$$

Aby określić niepewność pomiarową dla wartości średniej, określamy wartości maksymalne i minimalne oporu dla każdej spirali oraz różnice wartości maksymalnej i minimalnej od średniej:

$$R_{A\text{max}} = 10,5 \Omega, R_{A\text{min}} = 9,4 \Omega, R_{A\text{max}} - R_{A\text{śr}} = 10,5 \Omega - 10,0 \Omega = 0,5 \Omega, R_{A\text{śr}} - R_{A\text{min}} = 10,0 \Omega - 9,4 \Omega = 0,6 \Omega$$

Za niepewność pomiarową przyjmujemy większą z wyliczonych wartości, czyli: $\Delta R_{A\text{śr}} = 0,6 \Omega$

$$R_{B\text{max}} = 20,5 \Omega, R_{B\text{min}} = 19,4 \Omega, R_{B\text{max}} - R_{B\text{śr}} = 20,5 \Omega - 20,0 \Omega = 0,5 \Omega, R_{B\text{śr}} - R_{B\text{min}} = 20,0 \Omega - 19,4 \Omega = 0,6 \Omega$$

Również w tym przypadku za niepewność pomiarową przyjmujemy większą z wyliczonych wartości, czyli: $\Delta R_{B\text{śr}} = 0,6 \Omega$

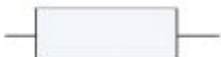
Odpowiedź: Wartości rzeczywiste oporów spirali A i B wynoszą: $R_A = 10,0 \Omega \pm 0,6 \Omega$ i $R_B = 20,0 \Omega \pm 0,6 \Omega$.



Odbiornik energii elektrycznej charakteryzuje się pewnym oporem, dlatego na schematach obwodów elektrycznych stosujemy czasami symbol opornika dla odbiornika energii elektrycznej.

Przewód o określonej długości i przekroju poprzecznym, wykonany z określonego materiału, ma stały opór i nazywamy go **opornikiem** (il. 4.19). Istnieją również oporniki, których opór może być regulowany, np. opornik suwakowy (il. 4.20).



 symbol graficzny opornika

4.19 Opornik o stałym oporze



 symbol graficzny opornika suwakowego

4.20 Opornik suwakowy

Więcej na temat



Od czego zależy opór przewodnika?

Wykonując doświadczenie, w którym wyznaczaliśmy opór spirali A i spirali B, używaliśmy drutów o długości 30 cm i 60 cm. Z naszych obliczeń wynika, że spirala B charakteryzowała się dwa razy większym oporem niż spirala A. Inny opór będzie miała również spirala o tej samej długości, ale wykonana z drutu o większym przekroju poprzecznym lub wykonana z innego materiału. Spróbuj zaplanować i wykonać stosowne doświadczenia. Potwierdź podane niżej wnioski.

Opór przewodnika jest:

- wprost proporcjonalny do jego długości: $R \sim l$,
- odwrotnie proporcjonalny do pola powierzchni jego przekroju poprzecznego: $R \sim \frac{1}{S}$.

Opór przewodnika zależy również od materiału, z którego jest wykonany. Możemy więc stwierdzić:

Opór przewodnika jest wprost proporcjonalny do długości tego przewodnika, odwrotnie proporcjonalny do pola powierzchni jego przekroju poprzecznego i zależy od rodzaju materiału, z którego przewód jest wykonany.

Zapisujemy to stwierdzenie następująco:

$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$, ρ (czyt. ro) – wielkość charakteryzująca materiał, z jakiego wykonany jest przewód, zwana oporem właściwym.

Gdybyśmy porównali opory przewodników wykonanych każdy z innego materiału, ale mających długość 1 m i pole powierzchni przekroju poprzecznego 1 m², to dla każdego z nich otrzymamy inną wartość.

Opór właściwy wyznaczamy ze wzoru:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l}, \text{ jednostką oporu właściwego jest: } [\rho] = \frac{[R] \cdot [S]}{[l]} = \frac{\Omega \cdot \text{m}^2}{\text{m}} = \Omega \cdot \text{m}$$

Tabela 9. Wartości oporów właściwych wybranych substancji

Substancja	Opór właściwy (Ω · m)
srebro	$1,6 \cdot 10^{-8}$
miedź	$1,7 \cdot 10^{-8}$
aluminium	$2,8 \cdot 10^{-8}$
cynk	$6,0 \cdot 10^{-8}$
żelazo	$10,0 \cdot 10^{-8}$
nikielina (stop miedzi, niklu i manganu)	$45,0 \cdot 10^{-8}$
chromonikielina	$110,0 \cdot 10^{-8}$
porcelana	$3 \cdot 10^{12}$
igelit	$10 \cdot 10^{16}$

Materiały, których wartość oporu właściwego jest mała, są przewodnikami prądu (np. srebro, miedź, aluminium), a materiały o dużej wartości oporu właściwego są izolatorami prądu (nie przewodzą prądu lub przewodzą w niewielkim stopniu, np. szkło, igelit, porcelana). Niektóre z tych materiałów (jak np. nikielina, chromonikielina, kantel) stosuje się do budowy oporników.



4.21 Wartość oporu opornika zapisywana jest w postaci kolorowego kodu

Przykład 16.

Grzałka elektryczna ma opór 57,5 Ω. Jakie jest natężenie płynącego przez nią prądu, jeżeli napięcie wynosi 230 V?

Dane:
 $R = 57,5 \text{ } \Omega$
 $U = 230 \text{ V}$

Szukane:
 $I = ?$

Rozwiązanie

Aby obliczyć natężenie prądu przepływającego przez grzałkę, skorzystamy z prawa Ohma:

$R = \frac{U}{I}$, z którego wyliczymy $I = \frac{U}{R}$

Po podstawieniu danych:

$I = \frac{230 \text{ V}}{57,5 \text{ } \Omega} = \frac{230 \cancel{\text{ V}}}{57,5 \frac{\cancel{\text{ V}}}{\text{ A}}} = 4 \text{ A}$

Odpowiedź: Natężenie prądu przepływającego przez grzałkę wynosi 4 A.



Georg Simon Ohm (czyt. georg simon om) (1787–1854), niemiecki fizyk i matematyk. Swoje prawo o proporcjonalności natężenia do napięcia opublikował w 1827 roku. Odkrył, że opór przewodnika jest wprost proporcjonalny do jego długości i odwrotnie proporcjonalny do pola jego przekroju poprzecznego. Stwierdził też, że opór zależy od temperatury i dla przewodników w wyższej temperaturze jest większy.

Opór elektryczny i jego znaczenie

Wiesz już, że dla danego przewodnika iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia płynącego przez ten przewodnik prądu jest wielkością stałą zwaną oporem elektrycznym. Wielkości oporów elektrycznych różnych odbiorników, urządzeń stosowanych na co dzień znajdziesz w tabeli poniżej.

Tabela 10. Opory elektryczne niektórych odbiorników

Urządzenie	Opór elektryczny (Ω)
żelazko	20–46
czajnik elektryczny	20–45
pralka	25–30
suszarka do włosów	25–50
kuchenka elektryczna	40–45
lodówka	200–220
żarówka tradycyjna	250–2300
telewizor	330–360

Prąd elektryczny może przepływać również przez ciało człowieka, co może doprowadzić do jego śmierci. Opór ciała człowieka mieści się w dość szerokich granicach (od kilkuset omów do stu kiloomów). Składa się na niego opór wewnętrzny organizmu, opór naskórka oraz opór przepływu między urządzeniem pod napięciem a ciałem. Opór ciała człowieka zależy od wielu czynników, m.in. wartości napięcia, czasu rażenia, drogi przepływu ładunków, wilgotności naskórka, powierzchni styku.

Z reguły przyjmuje się, że opór ciała człowieka wynosi 1000 Ω , a za niebezpieczny uznaje się przepływ prądu większego od 25 mA. Dotyk dwóch, będących pod wysokim napięciem przewodów może spowodować, zgodnie z prawem Ohma, przepływ prądu o zbyt wysokim dla człowieka natężeniu. Również uszkodzone linie przesyłowe wysokiego napięcia, sieci trakcyjnej (kolejowej czy tramwajowej) mogą być przyczyną porażeń. Gdy ktoś znajdzie się zbyt blisko miejsca uszkodzenia, może go porazić prąd przepływający w ziemi. Przepłynie on wtedy przez nogi człowieka na skutek tzw. napięcia krokowego (napięcie powstające między dwoma stopami oddalonymi od siebie o krok). Ptaki siedzące na przewodach elektrycznych są bezpieczne, mimo że napięcie między końcami przewodnika wynosi nawet tysiące woltów. Odległość między nóżkami ptaka jest bardzo niewielka, tym samym bardzo mała jest odległość między dwoma punktami przewodnika z prądem i bardzo małe napięcie między nimi. Prąd przepływający przez ciało ptaka ma tak niewielkie natężenie, że nie wyrządza mu krzywdy.

W skrócie

- Prawo Ohma mówi, że natężenie prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik (odcinek obwodu) jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami tego przewodnika (odcinka obwodu).
- Stały dla danego przewodnika iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia płynącego przez przewodnik prądu jest nazywany oporem elektrycznym (rezystancją) przewodnika. Oznaczamy go literą R i obliczamy ze wzoru: $R = \frac{U}{I}$
- Jednostką oporu elektrycznego jest om (1Ω).
 $1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$
Opór 1Ω ma przewodnik, w którym pod napięciem 1 V płynie prąd elektryczny o natężeniu 1 A .
- Opór przewodnika jest wprost proporcjonalny do długości tego przewodnika, odwrotnie proporcjonalny do pola powierzchni jego przekroju poprzecznego i zależy od rodzaju materiału, z którego przewodnik jest wykonany: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Jeśli dany odbiornik podłączymy do źródła o napięciu dwukrotnie mniejszym, to

- A. przez ten odbiornik popłynie prąd o dwukrotnie mniejszym natężeniu.
- B. opór odbiornika zmniejszy się dwukrotnie.

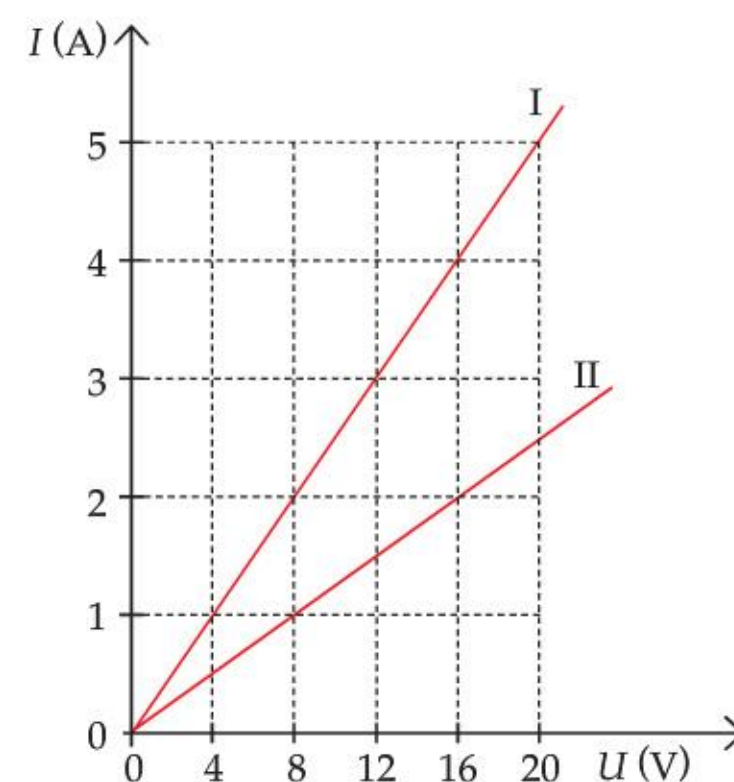
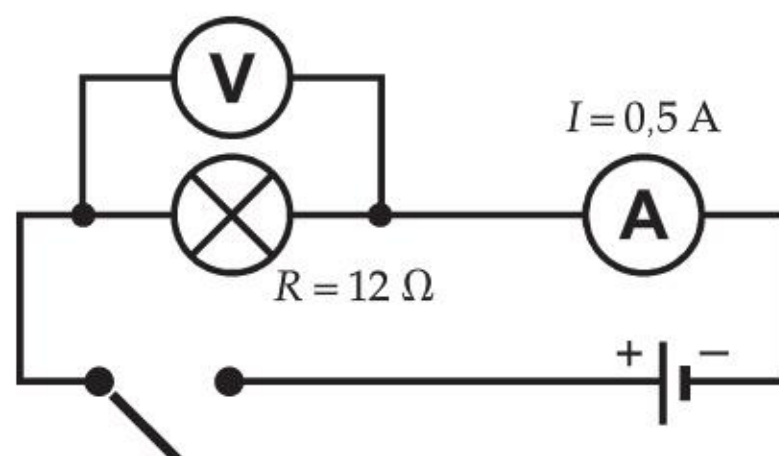
- 2 Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Jeśli dwa odbiorniki I i II połączono kolejno z tym samym źródłem napięcia, to przez odbiornik I popłynął prąd o natężeniu $0,4 \text{ A}$, a przez odbiornik II prąd o natężeniu $0,2 \text{ A}$. Oznacza to, że	A.	odbiornik I ma większy opór niż odbiornik II.
	B.	odbiornik II ma większy opór niż odbiornik I.

- 3 Na podstawie wykresów zależności natężenia od napięcia dla dwóch różnych odbiorników (rysunek obok) określ, który z nich ma większy opór i ile razy. Oblicz opór każdego z tych odbiorników.

- 4 Zbudowano obwód według podanego obok schematu.

Jakie napięcie wskaże woltomierz po zamknięciu obwodu? (Natężenie prądu przepływającego przez woltomierz jest minimalne i można je pominąć).



4.5 Obwody elektryczne

Podejmij temat

- Czym się różnią sposoby połączenia żarówek w instalacjach iluminacji świątecznych lub oświetlenia na choinkę?



Na skalę przemysłową elektrolizę stosuje się przy pokrywaniu metalu ulegającego korozji warstwą innego metalu, odpornego na korozję, czyli np. do posrebrzania, niklowania, chromowania.

Po czym poznajemy, że w obwodzie płynie prąd? Skutki przepływu prądu

Wiele już powiedzieliśmy o prądzie elektrycznym i opisujących go wielkościach. Sam prąd elektryczny, czyli uporządkowany ruch elektronów lub jonów, jest dla nas oczywiście niewidoczny. O jego przepływie wnioskujemy na podstawie zaobserwowanych skutków, które mu towarzyszą. Po zamknięciu wyłącznika w prostym obwodzie z żaróweczką mogłeś zaobserwować, że żarówka zaczęła świecić. Dotykając po chwili żarówki, możesz się przekonać, że się ogrzała. Zaobserwowane **skutki przepływu prądu** nazywamy odpowiednio **światlnym** i **cieplnym** (il. 4.22).

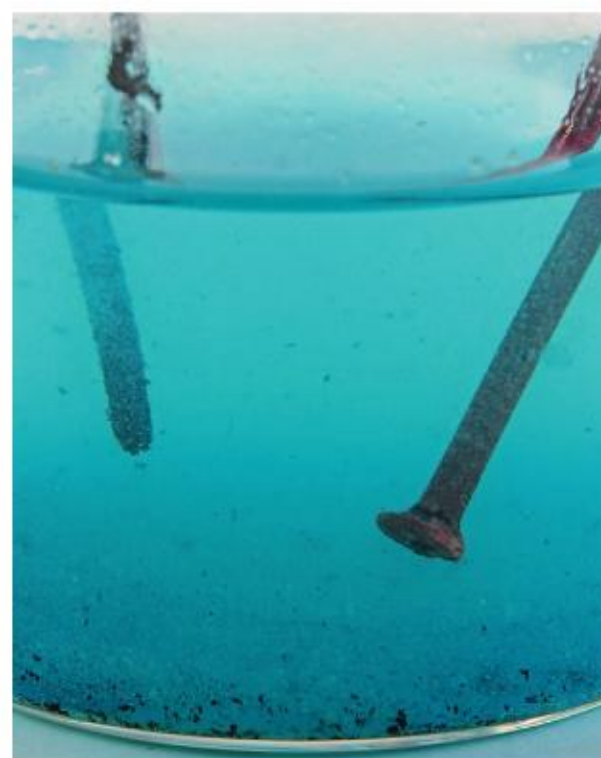
Jeśli po zamknięciu obwodu jakieś urządzenie wykonuje pracę mechaniczną, to ten skutek przepływu prądu nazywamy **mechanicznym** (il. 4.23). Taką pracę wykonują silniki miksera, dźwigu elektrycznego, wiertarki, młynka do kawy w ekspresie ciśnieniowym, rozrusznika w samochodzie czy wielu innych urządzeń. **Chemiczny** skutek przepływu prądu możemy zaobserwować, badając zjawisko elektrolizy (il. 4.24). Po zamknięciu obwodu z elektrodami zanurzonymi w wodnym roztworze siarczanu(VI) miedzi(II) na katodzie wydziela się warstwa miedzi, a na anodzie wydziela się tlen. Jeśli pod przewodem elektrycznym ustawimy igłę magnetyczną, to po zamknięciu obwodu igła magnetyczna się wychyla. Przewodnik z prądem oddziałuje na igłę magnetyczną jak inny magnes (il. 4.25). Mamy tu do czynienia z **magnetycznym** skutkiem przepływu prądu.



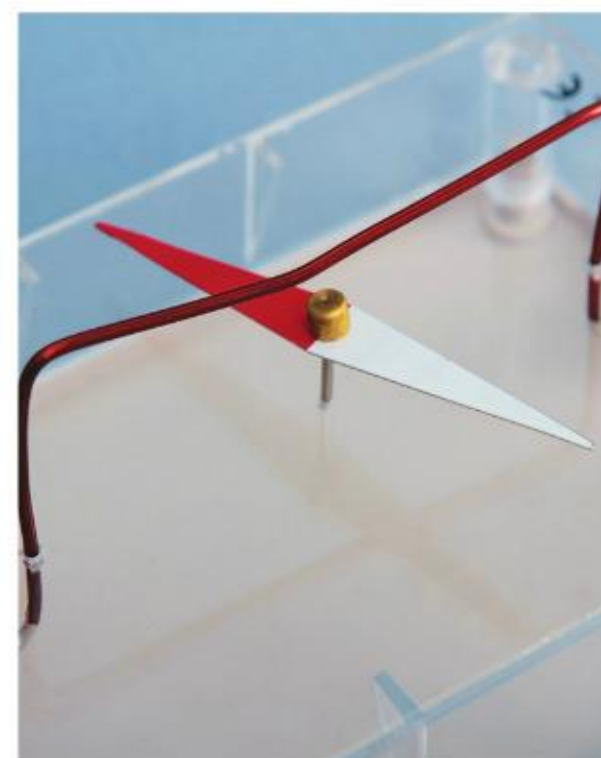
4.22 Światlny i cieplny skutek przepływu prądu. Żarówka świeci i wydziela się ciepło



4.23 Mechaniczny skutek przepływu prądu. Silniczek wykonuje pracę



4.24 Chemiczny skutek przepływu prądu. Na katodzie wydziela się warstwa miedzi



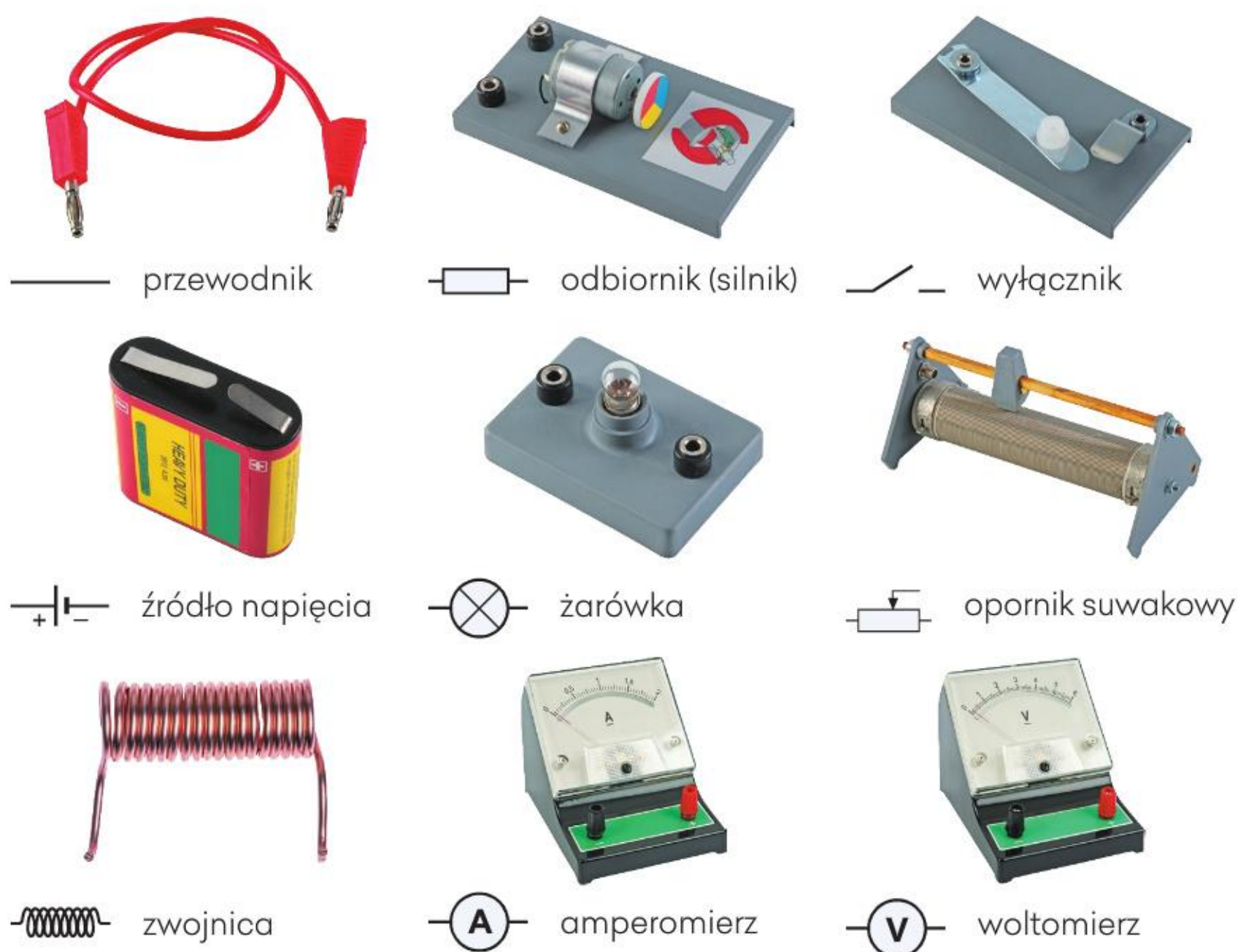
4.25 Magnetyczny skutek przepływu prądu. Igła wychyla się

Więcej o obwodach elektrycznych i ich schematach

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń i obserwacji z życia codziennego zauważyłeś, że przepływowi prądu elektrycznego mogą towarzyszyć następujące zjawiska: świetlne, cieplne, mechaniczne, chemiczne, magnetyczne. Najczęściej odbiornikami są urządzenia, w których zachodzi przemiana energii elektrycznej w inne rodzaje energii.

Do tej pory zajmowaliśmy się obwodami prądu, w których był tylko jeden odbiornik. Analizowaliśmy wielkości związane z przepływem prądu elektrycznego przez ten odbiornik. Nauczyłeś się mierzyć napięcie, natężenie i opór. Poznałeś przyrządy pomiarowe i ich symbole stosowane w schematach obwodów elektrycznych.

Grafika poniżej przedstawia uzupełnione zestawienie przyjętych i często stosowanych symboli elementów obwodu elektrycznego.



4.26 Elementy obwodów elektrycznych

Łączenie odbiorników energii elektrycznej

W praktyce najczęściej łączy się jednocześnie kilka odbiorników z biegunami jednego źródła napięcia. Każdy odbiornik prądu elektrycznego, np. żarówka, grzałka, odkurzacz, telewizor, ma dwa zaciski. Jeden z nich, przez który **doprowadzamy prąd** ze źródła, jest **zaciskiem wejściowym**, a drugi, przez który **prąd odprowadzamy**, to **zacisk wyjściowy**. Odbiorniki w obwodzie prądu elektrycznego mogą być połączone **szeregowo** lub **równolegle**. Wykonamy teraz doświadczenie, w którym poznasz sposoby połączenia odbiorników elektrycznych na przykładzie połączenia żarówek.



Dodatkowe symbole elementów obwodów elektrycznych, z którymi możesz spotkać się w szkole.



– źródło napięcia – prąd zmienny



– dzwonek



– galwanometr



– silnik

Doświadczenie 38.

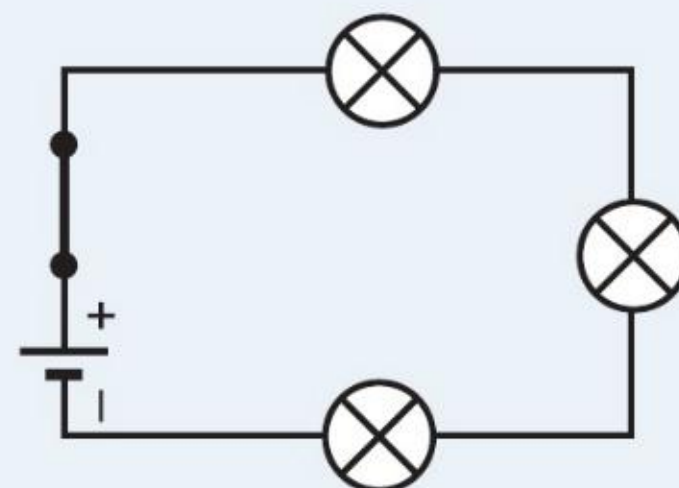
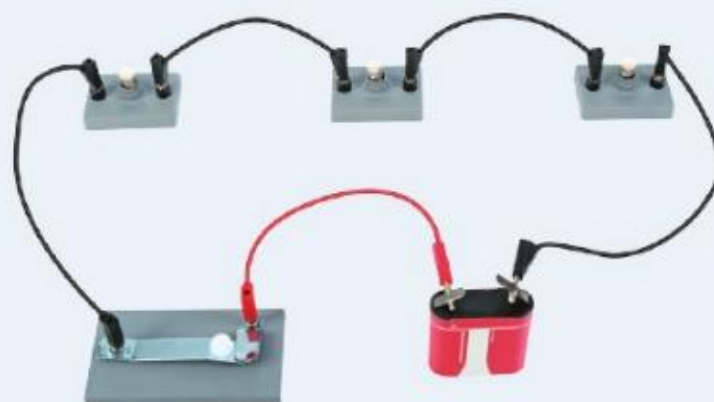
Badamy połączenia szeregowe i równoległe odbiorników

Niezbędne przedmioty: zasilacz bateryjny lub bateria płaska, minimum 2 podstawki z żarówkami (najlepiej 3), przewody, wyłącznik

Wykonanie:

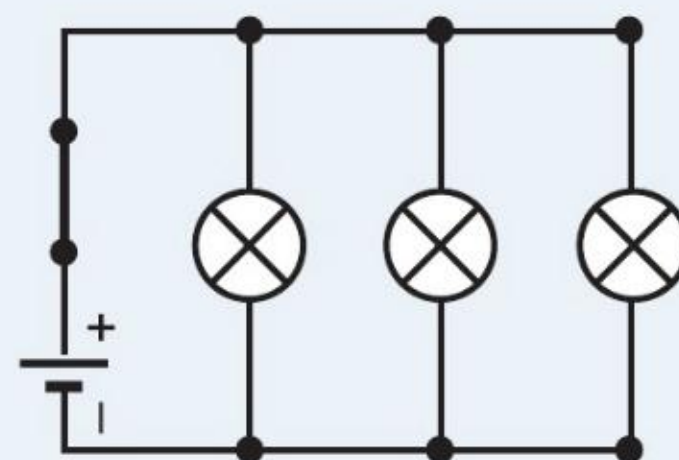
A. Połączenie szeregowe odbiorników

- Zbuduj obwód elektryczny zgodny ze zdjęciem i schematem połączenia szeregowego.
- Zamknij obwód i sprawdź, czy żarówki świecą.
- Otwórz wyłącznik, wykręć jedną z żarówek, a następnie zamknij wyłącznik i sprawdź, czy pozostałe żarówki świecą. Powtórz czynności, wykręcając inną żarówkę.



B. Połączenie równoległe odbiorników

- Zbuduj teraz obwód elektryczny zgodny ze zdjęciem i schematem połączenia równoległego.
- Zamknij obwód i sprawdź, czy żarówki świecą.
- Otwórz wyłącznik, wykręć jedną z żarówek, a następnie zamknij wyłącznik i sprawdź, czy żarówki świecą. Powtórz czynności, wykręcając inną żarówkę.



Obserwacje:

- W obwodzie, w którym żarówki połączone są szeregowo, po wykręceniu dowolnej żarówki pozostałe żarówki nie świecą.
- W obwodzie, w którym żarówki połączone są równolegle, po wykręceniu jednej, dowolnej, żarówki w obwodzie, pozostałe żarówki świecą.

Wniosek:

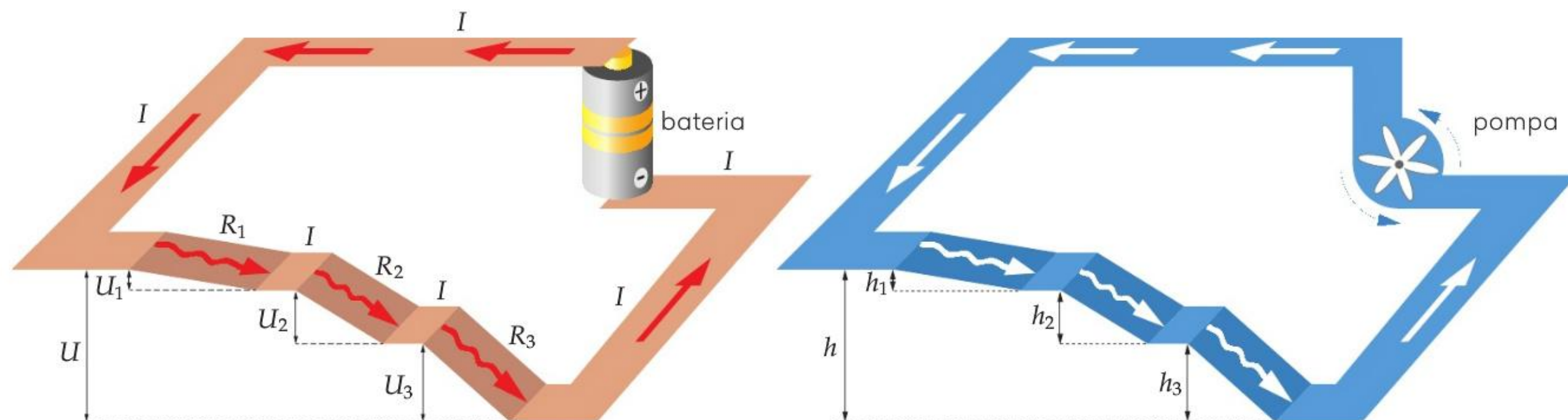
Gdy żarówki połączone są szeregowo, wyłączenie (wykręcenie, spalenie) jednej, dowolnej z nich, powoduje, że powstaje przerwa w obwodzie i pozostałe żarówki nie świecą. Przy połączeniu równoległym wyłączenie jednej, dowolnej żarówki nie powoduje przerwy w obwodzie. Pozostałe żarówki nadal się świecą, ponieważ obwód wciąż jest zamknięty.



Cechy połączenia szeregowego odbiorników

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że łączenie szeregowe polega na połączeniu zacisku wyjściowego jednego odbiornika z zaciskiem wejściowym następnego. W połączeniu szeregowym przez wszystkie kolejne odbiorniki przepływa ten sam ładunek elektryczny, a więc natężenie prądu we wszystkich punktach obwodu jest jednakowe. Obserwowałeś tę zasadę w doświadczeniu 36., w którym mierzyliśmy natężenie prądu w obwodzie i sprawdzaliśmy zasadę zachowania ładunku. Wyłączenie z obwodu jednego odbiornika powoduje przerwę w obwodzie i przez pozostałe odbiorniki prąd nie płynie.

Na modelu utożsamiającym przepływ prądu z przepływem wody (il. 4.27) przedstawiono sytuację w połączeniu szeregowym.

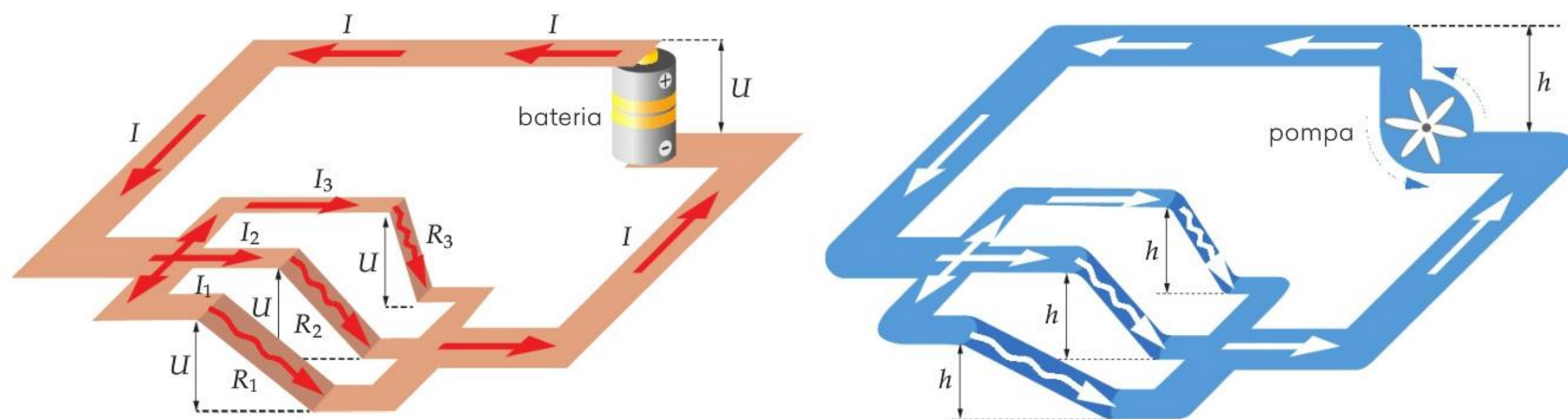


4.27 Przez wszystkie odbiorniki płynie prąd o tym samym natężeniu I ($I = \text{const.}$), podobnie jak nie zmieniałby się strumień wody przepływającej w analogicznym obwodzie z wodą. Napięcie źródła U jest równe sumie napięć ($U = U_1 + U_2 + U_3$) na poszczególnych odbiornikach w obwodzie. W obwodzie z wodą źródło napięcia U zastępuje pompa tłocząca wodę na wysokość h , a suma wysokości spadku wody z trzech stopni jest równa: h ($h = h_1 + h_2 + h_3$)

Połączenia szeregowe stosuje się wtedy, kiedy chcemy włączyć do sieci o większym napięciu odbiorniki przystosowane do mniejszego napięcia. Przykładem mogą być instalacje w iluminacji świątecznej lub oświetlenia na choinkę.

Cechy połączenia równoległego odbiorników

Łączenie równoległe odbiorników polega na połączeniu przewodnikiem zacisków wejściowych wszystkich odbiorników i takie samo połączenie zacisków wyjściowych. Tak połączone zaciski odbiorników łączymy z biegunami tego samego źródła prądu. Modelowy wygląd sytuacji przedstawiono poniżej.



4.28 Napięcie panujące między zaciskami każdego odbiornika jest jednakowe, gdyż jest to napięcie między tymi samymi punktami obwodu (poziomymi wody w modelu): $U = \text{const.}$ W tym połączeniu prąd rozgałęzia się na trzy strumienie, gdyż tyle odbiorników mamy połączonych równolegle. Natężenie prądu (I) w przewodzie głównym (przed lub za rozgałęzieniem) jest równe sumie natężeń prądów w poszczególnych rozgałęzieniach (I_1, I_2, I_3), zależnych od oporu przewodników. Podobnie dla wody – ile wody się wlewa do trzech koryt o różnej szerokości, tyle się z nich wylewa. W szerszej rurce woda płynie wolniej, mniejszy jest też opór przewodnika o większej średnicy

Całkowity opór zastępczy odbiorników połączonych szeregowo lub równolegle

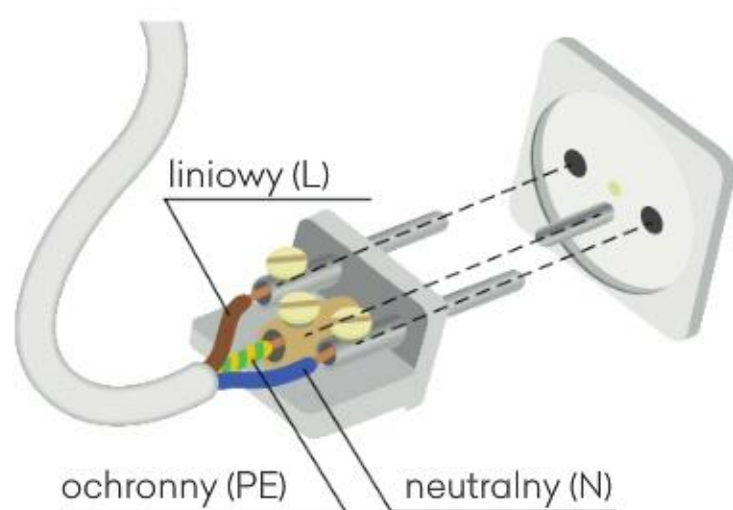
Im więcej odbiorników połączymy szeregowo, tym większy będzie ich opór całkowity. Oporem całkowitym (zastępczym) nazywamy opór takiego odbiornika, którego ulokowanie w miejsce kilku odbiorników nie zmieni natężenia prądu elektrycznego w obwodzie elektrycznym. Całkowity opór (zastępczy) odbiorników **połączonych szeregowo** jest równy sumie oporów elektrycznych poszczególnych odbiorników.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Odwrotność całkowitego (zastępczego) oporu odbiorników **połączonych równolegle** jest równa sumie odwrotności oporów poszczególnych odbiorników.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Opór elektryczny odbiorników połączonych równolegle będzie mniejszy od oporu każdego z tych odbiorników.



4.29 Przewody sieci elektrycznej znajdują się w kolorowej izolacji zabezpieczającej je przed zetknięciem (zwarcie). Kolorem brązowym (można też czarnym) oznaczono przewód fazowy (liniowy, L). Przewód neutralny (N) oznaczono kolorem niebieskim, a żółto-zielonym – przewód ochronny (PE).

Domowa sieć elektryczna

Połączenia równoległe są szeroko stosowane w instalacjach elektrycznych. Przykładem takiego połączenia jest domowa instalacja elektryczna (il. 4.30), w której napięcie między przewodami doprowadzającymi prąd elektryczny do naszych mieszkań oraz napięcia na odbiornikach są równe i wynoszą 230 V. Natężenie prądu pobieranego przez odbiorniki domowe jest równe sumie natężeń prądów płynących w poszczególnych odbiornikach. Odbiorniki domowe połączone są z siecią za pomocą dwóch lub **trzech przewodów elektrycznych** (il. 4.29) zakończonych wtyczką z dwoma bolcami. Przewody znajdują się w kolorowej osłonce, izolacji zabezpieczającej je przed zetknięciem – **zwarcie**. Urządzenia z metalową obudową, np. lodówka, pralka, grzejniki elektryczne, połączone są za pomocą trzech przewodów. W celu ochrony człowieka przed porażeniem prądem, spowodowanym ewentualnym tzw. przebiciem prądu na obudowę urządzenia, stosuje się dodatkowy przewód ochronny (oznaczony żółto-zielonym kolorem izolacji). W razie uszkodzenia i zwarcia przewodów obwód zamyka się przez ten przewód, a nie przez ciało człowieka. Następuje wtedy odcięcie prądu dzięki zabezpieczeniu odłączającemu odbiornik od sieci – wybicie **bezpiecznika**.



4.30 Schemat domowej instalacji elektrycznej

Bezpieczne korzystanie z sieci elektrycznej

Urządzenia domowe – domowe odbiorniki prądu – mają zazwyczaj duże opory elektryczne. Jeśli nastąpi uszkodzenie izolacji przewodów skutkujące ich zwarcie, prąd do urządzenia nie dopływa. Rośnie wtedy gwałtownie natężenie prądu, gdyż przewód od wtyczki do zwarcia ma bardzo mały opór. Na taki duży prąd (przeciążenie) zareaguje bezpiecznik, odłączając obwód z uszkodzonym przewodem od sieci. Jak widzisz, bardzo ważny jest odpowiednio dobrany do obciążenia sieci i działający bezpiecznik. W przeciwnym razie przepływający przez przewody prąd o dużym natężeniu tak je rozgrzeje, że skutkować to może pożarem instalacji elektrycznej.

Niezmiernie ważne jest również przestrzeganie zasad bezpieczeństwa, w trosce o własne zdrowie i życie.



4.31 Jak **nie** korzystać z urządzeń i sieci elektrycznej

Zasady bezpiecznego korzystania z sieci elektrycznej

Pamiętaj!

- Używaj tylko sprawnych urządzeń i zawsze informuj dorosłych, jeśli urządzenie jest niesprawne czy uszkodzone.
- Nigdy nie włączaj popsutych urządzeń do prądu.
- Sprawdzaj kabel, wtyczkę i wkładaj ją tylko do dobrze umocowanego gniazdka.
- Wkładaj i wyciągaj wtyczkę trzymając za nią, a nie za kabel.
- Przytrzymuj gniazdko przy wyciąganiu z niego wtyczki.
- Trzymaj urządzenia elektryczne daleko od wody.
- Nie dotykaj przewodów, wtyczek, kontaktów i przełączników wilgotnymi rękami.
- Nie wykonuj samodzielnie żadnych napraw urządzeń elektrycznych.
- Ze wszystkimi urządzeniami elektrycznymi obchodź się ostrożnie i uważnie. Nie zostawiaj ich włączonych do sieci, kiedy nie są używane.



Przeczytaj uważnie zasady bezpiecznego korzystania z sieci elektrycznej zamieszczone pod zdjęciami. Określ, jakie zagrożenia zostały przedstawione na zdjęciach.



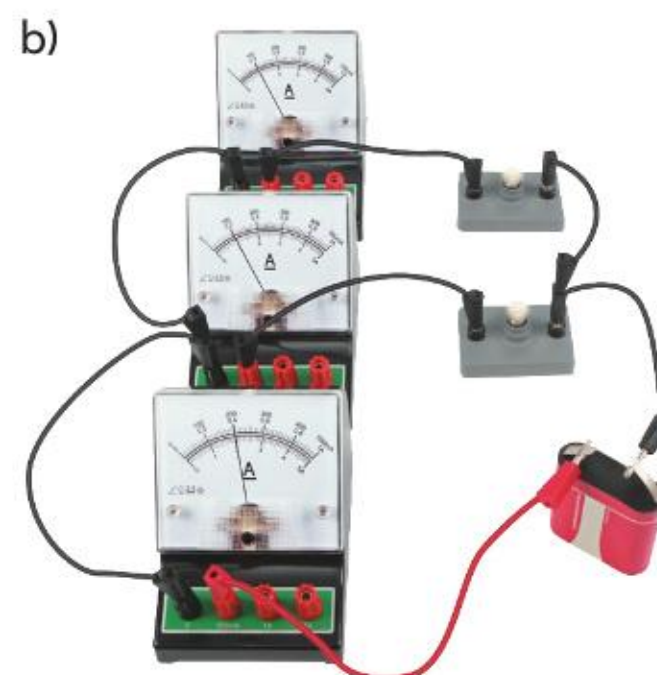
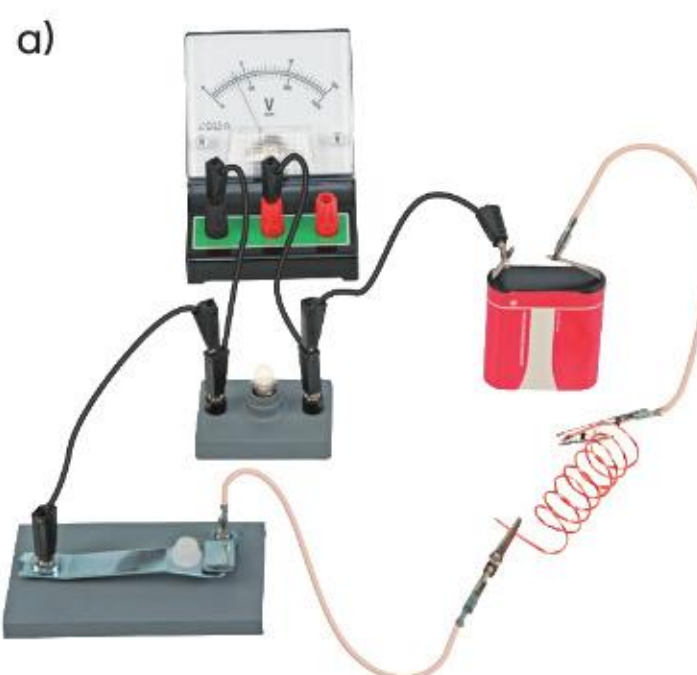
Obecnie przy zastosowaniu żarówek LED stosuje się połączenia mieszane – szeregi żarówek łączy się równoległe (np. skręca przewody). Przy spaleniu (uszkodzeniu) jednej żarówki w szeregu pozostałe szeregi świecą. Efekt końcowy najczęściej jest taki, że niektóre żarówki się nie świecą.

W skrócie

- Najważniejszymi efektami przepływu prądu elektrycznego są skutki: świetlne, cieplne, mechaniczne, chemiczne, magnetyczne.
- Każdy odbiornik prądu elektrycznego ma dwa zaciski. Jeden z nich, przez który doprowadzamy prąd ze źródła, jest zaciskiem wejściowym, a drugi, przez który prąd odprowadzamy, jest zaciskiem wyjściowym.
- Odbiorniki w obwodzie prądu elektrycznego mogą być połączone szeregowo lub równoległe.
- W domowych instalacjach elektrycznych odbiorniki są połączone równoległe, tak aby korzystanie z nich mogło odbywać się niezależnie od tego, czy przez pozostałe płynie prąd. Przewody elektryczne instalacji domowych znajdują się w kolorowej osłonce – izolacji, zabezpieczającej przewody przed zwarcie, to znaczy zetknięciem przewodników.
- Instalacje elektryczne zabezpieczone są bezpiecznikami, czyli urządzeniami chroniącymi sieć elektryczną przed przeciążeniami (przepływem prądu o zbyt dużym natężeniu).

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Narysuj schemat obwodu przedstawionego na zdjęciu. Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Żarówki w tym obwodzie połączone są szeregowo.
 - B. Żarówki w tym obwodzie połączone są równoległe.
 - C. Przez wszystkie żarówki płynie na pewno prąd o tym samym natężeniu co prąd wychodzący ze źródła.
 - D. Woltomierze podłączone kolejno do każdej z żarówek wskażą takie samo napięcie.
- 2 Narysuj schematy obwodów elektrycznych przedstawionych na zdjęciach. Określ, w jaki sposób połączone są odbiorniki na schematach a) i b).



4.6 Praca prądu elektrycznego

Podejmij temat

- Jak obliczamy pracę wykonaną przez silnik elektryczny?

Skutki przepływu prądu a praca prądu

O pracy prądu elektrycznego można wnioskować, obserwując skutki jego przepływu. Praca ta jest niczym innym jak pracą sił przemieszczających ładunki elektryczne wzdłuż przewodnika. Źródłem tej pracy jest energia źródła, którą (jak już wiesz) nazywamy energią elektryczną. Jest ona przenoszona w czasie przepływu prądu i ulega przemianie w inne rodzaje energii. Energia elektryczna to niezastąpiony obecnie rodzaj energii w gospodarstwach domowych (il. 4.32). Dzięki niej pracują najróżniejsze urządzenia techniczne, m.in. pralki, lodówki, odkurzacze, telewizory, komputery, kuchenki mikrofalowe. Może być również zamieniana na energię wewnętrzną przewodnika, co skutkuje wzrostem temperatury ciał, świeceniem czy przekazywaniem energii do otoczenia.

Jak obliczyć pracę prądu?

Praca, którą wykonuje prąd (porusza urządzenia, ogrzewa mieszkania), zgodnie z zasadą zachowania energii jest równa energii elektrycznej dostarczonej ze źródła do odbiorników: $W = E_{el}$

Możesz ją więc odczytać na liczniku energii elektrycznej. Wiesz również, że warunkiem przepływu prądu, a więc przenoszenia energii elektrycznej, jest istnienie napięcia elektrycznego określonego zależnością:

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

W – praca wykonana przez siły elektryczne przy przenoszeniu ładunku q .

Po przekształceniu:

$$W = U \cdot q$$

Wartość pracy prądu elektrycznego jest równa iloczynowi napięcia przyłożonego do odbiornika i wartości przepływającego ładunku elektrycznego.

Ze wzoru określającego natężenie prądu: $I = \frac{q}{t}$ wyznaczamy wartość przepływającego ładunku: $q = I \cdot t$ i po podstawieniu do wzoru na pracę: $W = U \cdot q$, otrzymujemy:

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

Praca prądu elektrycznego (W) w danym odbiorniku jest równa iloczynowi napięcia (U) między jego końcami, natężenia (I) przepływającego przez odbiornik prądu oraz czasu (t) jego przepływu.



4.32 Przykłady urządzeń wykorzystujących energię elektryczną w gospodarstwie domowym



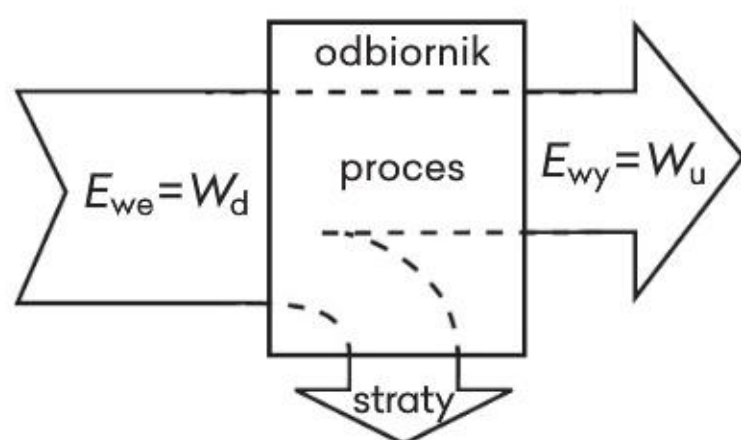
Przypomnijmy, że jednostkami większymi od 1 J są:

$1000 \text{ J} = 10^3 \text{ J} = 1 \text{ kJ}$ (kilodżul),

$1\,000\,000 \text{ J} = 10^6 \text{ J} = 1 \text{ MJ}$ (megadżul),

$1\,000\,000\,000 \text{ J} = 10^9 \text{ J} = 1 \text{ GJ}$ (gigadżul).

Ciekawe!



Schemat przedstawiający proces przemiany energii w urządzeniu

Energia elektryczna ulega w odbiornikach zamianie na inne rodzaje energii, np. mechaniczną, wewnętrzną, świetlną. Najczęściej nie jest w pełni wykorzystana w urządzeniu. Tę wykorzystaną część energii określamy, podając sprawność urządzeń (η) (najczęściej w procentach):

$$\eta = \frac{W_u}{W_d} \cdot 100\%$$

W_u – praca zamieniona na energię użyteczną

W_d – praca wykonana w odbiorniku

Jednostka pracy prądu

Jednostkę pracy prądu otrzymamy po podstawieniu do wzoru na pracę jednostek napięcia, natężenia i czasu.

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

Jak widzisz, jednostką pracy prądu elektrycznego jest dżul (1 J). Praca prądu w odbiorniku wynosi 1 J, jeżeli napięcie na nim wynosi 1 V i przepływa przez niego prąd o natężeniu 1 A w czasie 1 sekundy.

Przykład 17.

Jaką pracę wykonuje prąd elektryczny, przepływając przez żarówkę latarki kieszonkowej w czasie 3 min, jeżeli natężenie prądu w obwodzie latarki wynosi 0,3 A, a napięcie na zaciskach żarówki wynosi 4,5 V?

Dane:

$$U = 4,5 \text{ V}$$

$$I = 0,3 \text{ A}$$

$$t = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$$

Szukane:

$$W = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na pracę prądu elektrycznego: $W = U \cdot I \cdot t$

Po podstawieniu danych:

$$W = 4,5 \text{ V} \cdot 0,3 \text{ A} \cdot 180 \text{ s} = 243 \text{ J}$$

Odpowiedź: Prąd elektryczny wykonuje pracę 243 J.

Jak inaczej obliczyć pracę prądu elektrycznego?

Dla opornika lub żarówki pracę prądu elektrycznego można również wyrazić, wykorzystując poznany wcześniej wzór na opór odbiornika:

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

Po przekształceniu: $U = I \cdot R$

Po podstawieniu tego związku do wzoru na pracę: $W = U \cdot I \cdot t$, otrzymamy ostatecznie:

$$W = I^2 \cdot R \cdot t$$

Podobnie, obliczając $I = \frac{U}{R}$ ze wzoru na opór i podstawiając do wzoru na pracę, otrzymamy:

$$W = U \cdot \frac{U}{R} \cdot t$$

I ostatecznie:

$$W = \frac{U^2}{R} \cdot t$$

Przykład 18.

Oblicz opór uzwojenia silnika elektrycznego, który podnosi ciężar 1,1 kN na wysokość 3 m w czasie 30 s. Natężenie prądu płynącego przez uzwojenie silnika wynosi 5 A. Pomiń straty energii.

Dane:

$$F = 1,1 \text{ kN} = 1100 \text{ N}$$

$$s = 3 \text{ m}$$

$$t = 30 \text{ s}$$

$$I = 5 \text{ A}$$

Szukane:

$$R = ?$$

Rozwiązanie

Pracę mechaniczną wykonaną w celu podniesienia ciężaru obliczymy ze wzoru: $W_1 = F \cdot s$

Pracę prądu elektrycznego przepływającego przez silnik obliczymy ze wzoru: $W_2 = U \cdot I \cdot t$

Przy założeniu, że nie ma strat energii: $W_1 = W_2$, więc $F \cdot s = U \cdot I \cdot t$

Wiemy, że $U = I \cdot R$, po podstawieniu otrzymamy: $F \cdot s = I \cdot R \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t$

Z zależności tej obliczymy opór uzwojenia silnika: $R = \frac{F \cdot s}{I^2 \cdot t}$

$$\text{Po podstawieniu danych: } R = \frac{1100 \text{ N} \cdot 3 \text{ m}}{(5 \text{ A})^2 \cdot 30 \text{ s}} = \frac{3300 \text{ J}}{25 \cdot \text{A}^2 \cdot 30 \text{ s}} = \frac{3300 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{s}}{25 \text{ A}^2 \cdot 30 \text{ s}} = \frac{3300 \text{ V}}{750 \text{ A}} = 4,4 \Omega$$

Odpowiedź: Opór uzwojenia silnika wynosi 4,4 Ω .

W skrócie

- Praca prądu elektrycznego (W) w danym odbiorniku jest równa iloczynowi napięcia (U) między jego końcami, natężenia (I) przepływającego przez odbiornik prądu oraz czasu (t) jego przepływu:

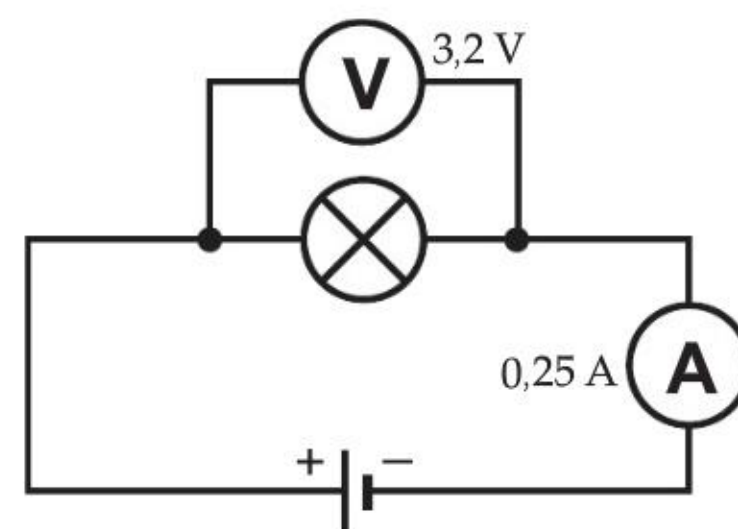
$$W = U \cdot I \cdot t$$

- Jednostką pracy jest dżul (1 J).

- Pracę prądu można obliczyć, stosując wzór: $W = \frac{U^2}{R} \cdot t$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Na schemacie przedstawiono obwód elektryczny. Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - Natężenie prądu płynącego przez żarówkę wynosi 3,2 V.
 - Natężenie prądu płynącego przez żarówkę wynosi 0,25 A.
 - Woltomierz włączono w obwód szeregowo.
 - Natężenie prądu płynącego przez amperomierz wynosi 0,25 A.
 - Napięcie na zaciskach żarówki wynosi 3,2 V.
 - Prąd elektryczny, przepływając przez żarówkę w czasie 1 min, wykonuje pracę 0,8 J.
 - Prąd elektryczny, przepływając przez żarówkę w czasie 2 min, wykonuje pracę 96 J.



4.7 Moc prądu elektrycznego

Podejmij temat



Jak ustalić moc żarówki elektrycznej?



4.33 Płyta indukcyjna



O mocy urządzenia elektrycznego możemy mówić przy założeniu, że przepływa przez nie prąd, a jej wartość określana jest dla danego, maksymalnego natężenia prądu. W tym sensie mówiąc o mocy prądu elektrycznego w urządzeniu, najczęściej myślimy po prostu o mocy urządzenia.



1 kW = 1000 W
1 MW = 1 000 000 W

Co to jest moc odbiornika?

Pamiętasz pewnie z lekcji fizyki w klasie siódmej, że tę samą pracę można wykonać w różnym czasie. Podobnie różne odbiorniki zasilane przez te same źródła napięcia mogą wykonać tę samą pracę w różnym czasie. Na płycie indukcyjnej (il. 4.33) taką samą ilość wody możesz zagotować w różnym czasie w zależności od ustawionego poziomu grzania, czyli różnej **mocy urządzenia**.

Wielkością informującą o szybkości wykonywanej pracy prądu elektrycznego jest **moc prądu**.

Jeśli do wzoru określającego moc $P = \frac{W}{t}$ podstawimy wyrażenie na pracę prądu elektrycznego $W = U \cdot I \cdot t$, to otrzymamy:

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

Moc prądu elektrycznego w urządzeniu jest równa iloczynowi napięcia przyłożonego do zacisków urządzenia i natężenia płynącego przez urządzenie prądu.

Jednostka mocy prądu

Sprawdźmy teraz, czy jednostką mocy prądu jest wat (1 W):

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

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

Moc jednego wata ma odbiornik, który pracę 1 J wykonuje w czasie 1 s.

W praktyce dość często używane są wielokrotności tej jednostki i moc wyrażana jest wtedy w kilowatach i megawatach.

Przykład 19.

Oblicz moc żarówki, przez którą przy napięciu 12 V przepływa prąd o natężeniu 400 mA.

Dane:

$$U = 12 \text{ V}$$

$$I = 400 \text{ mA} = 0,4 \text{ A}$$

Szukane:

$$P = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na moc prądu elektrycznego: $P = U \cdot I$

Po podstawieniu danych: $P = 12 \text{ V} \cdot 0,4 \text{ A} = 4,8 \text{ W}$

Odpowiedź: Moc żarówki wynosi 4,8 W.

Jak inaczej można obliczyć moc?

Wiesz już, że energia elektryczna może zamieniać się w inne rodzaje energii. Jeśli w obwodzie będzie występował opornik, to energia elektryczna zamieni się w energię wewnętrzną, co będzie prowadziło do wzrostu temperatury opornika.

Dla takiego opornika moc prądu elektrycznego można również wyrazić, wykorzystując poznany wzór $R = \frac{U}{I}$

Po przekształceniu: $U = I \cdot R$

Po podstawieniu tego związku do wzoru na moc: $P = U \cdot I$ otrzymamy ostatecznie: $P = I^2 \cdot R$

Podobnie, obliczając z przedstawionego wzoru na opór $I = \frac{U}{R}$ i podstawieniu go do wzoru na moc, otrzymamy:

$$P = U \cdot \frac{U}{R}$$

I ostatecznie:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Przykład 20.

Grzejnik elektryczny o oporze 46Ω ma moc nominalną 1,15 kW. Pod jakim napięciem ten grzejnik pracuje z pełną mocą?

Dane:

$$R = 46 \Omega$$

$$P = 1,15 \text{ kW} = 1150 \text{ W}$$

Szukane:

$$U = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na moc prądu elektrycznego: $P = U \cdot I$

oraz z zależności na opór: $R = \frac{U}{I}$, z której wyznaczamy $I = \frac{U}{R}$, podstawiamy do wzoru na moc i otrzymujemy:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Z powyższej zależności obliczamy $U^2 = P \cdot R$, a następnie $U = \sqrt{P \cdot R}$

Po podstawieniu danych: $U = \sqrt{1150 \text{ W} \cdot 46 \Omega} = \sqrt{1150 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot 46 \frac{\text{V}}{\text{A}}} = \sqrt{15290 \text{ V}^2} = 230 \text{ V}$

Odpowiedź: Grzejnik pracuje z pełną mocą pod napięciem 230 V.



~ lampa LED ~

zasilanie: 230 V ~ 50 Hz
moc: 50 W



4.34 Tabliczka znamionowa lampy



1 kWh odpowiada pracy urządzenia o mocy 1 kW w czasie 1 h.



4.35 Licznik energii elektrycznej

Moc znamionowa

Każdy odbiornik prądu elektrycznego ma **tabliczkę znamionową**, na której podane są **dane znamionowe** – wartości napięcia elektrycznego (niezbędnego do prawidłowej pracy) oraz **mocy znamionowej** odbiornika (il. 4.34). Napis na tabliczce lampki: „50 W / 230 V” oznacza, że dostosowana jest ona do pracy pod napięciem 230 V, a jej moc wynosi wtedy 50 W.

Inne jednostki energii elektrycznej

Jeśli znamy moc znamionową $P = \frac{W}{t}$, możemy obliczyć pracę wykonywaną przez prąd płynący przez żarówkę: $W = P \cdot t$.

Sprawdźmy jednostki: $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$

Stąd dżul często nazywany jest **watosekundą**.

Jeżeli moc wyrazimy w kilowatach (kW), a czas w godzinach (h), to otrzymamy jednostkę pracy zwaną **kilowatogodziną (kWh)**.

$$1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$$

Wyrażmy teraz 1 kWh w J

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

Kilowatogodzina jest najczęściej używaną jednostką pracy prądu elektrycznego, stosowaną również przy pomiarze energii elektrycznej zużytej w mieszkaniach (il. 4.35).

Tabela 11. Wartości mocy przykładowych odbiorników

Odbiornik	Moc odbiornika (W)
żarówka latarki	1
lodówkozamrażarka	150–250
czajnik elektryczny	500–2500
mikser ręczny	150–800
mikrofalą	400–1000
suszarka do włosów	850–2300

Przykład 21.

Wyraż energię 36 MJ w kWh.

Rozwiązanie

$$36 \text{ MJ} = 36\,000\,000 \text{ J} \cdot \frac{1}{3\,600\,000} \text{ kWh} = 10 \text{ kWh}$$

Odpowiedź: 36 MJ = 10 kWh

Przykład 22.

Oblicz koszt zagotowania wody w czajniku elektrycznym o mocy 1200 W w czasie 3 minut, jeżeli cena 1 kWh energii elektrycznej wynosi 0,62 zł. Ile łącznie zapłacisz za energię zużytą przez czajnik w ciągu miesiąca (30 dni), jeżeli średnio pracuje on 30 minut dziennie?

Dane:

$$t = 3 \text{ min} = 3/60 \text{ h}$$

$$P = 1200 \text{ W}$$

$$\text{cena} = 0,62 \text{ zł} / 1 \text{ kWh}$$

czas użytkowania: 30 dni; 30 min na dzień

Szukane:

$$W = E = ?$$

koszt zagotowania wody = ?

$$t_c = ?$$

$$E_c = ?$$

miesięczny koszt energii elektrycznej = ?

Rozwiązanie

Korzystamy ze wzoru na pracę prądu elektrycznego: $W = P \cdot t$

Czas wyrażamy w godzinach (h), aby wyrazić pracę w kWh.

Po podstawieniu danych: $W = 1200 \text{ W} \cdot 3/60 \text{ h} = 60 \text{ Wh} = 0,06 \text{ kWh}$

Koszt zagotowania wody = cena 1 kWh · liczba kWh

Po podstawieniu otrzymujemy: koszt zagotowania wody = $0,62 \frac{\text{zł}}{\text{kWh}} \cdot 0,06 \text{ kWh} \approx 0,04 \text{ zł}$

Aby obliczyć miesięczny koszt energii elektrycznej, najpierw obliczymy całkowity czas pracy czajnika

$$t_c = 30 \frac{\text{min}}{\text{dzień}} \cdot 30 \text{ dni} = 900 \text{ min} = 15 \text{ h}$$

Zużyta w tym czasie energia w kWh to: $E_c = 1200 \text{ W} \cdot 15 \text{ h} = 18\,000 \text{ Wh} = 18 \text{ kWh}$

Miesięczny koszt energii elektrycznej wynosi:

$$18 \text{ kWh} \cdot 0,62 \frac{\text{zł}}{\text{kWh}} = 11,16 \text{ zł}$$

Odpowiedź: Koszt zagotowania wody w czajniku to 0,04 zł. Za energię zużytą podczas pracy czajnika po 30 min dziennie w ciągu miesiąca zapłacisz 11,16 zł.

W skrócie

- Mocą prądu elektrycznego nazywamy iloraz pracy prądu (W) i czasu (t), w którym ta praca została wykonana: $P = \frac{W}{t}$
- Moc urządzenia (odbiornika) jest równa iloczynowi napięcia przyłożonego do zacisków urządzenia i natężenia płynącego przez urządzenie prądu.
 $P = U \cdot I$
- Jednostką mocy prądu jest wat (1 W): $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$
- Jeśli moc wyrazimy w kilowatach, a czas w godzinach, to otrzymamy jednostkę pracy prądu zwaną kilowatogodziną, stosowaną w pomiarze energii elektrycznej w mieszkaniach.
 $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Odczytaj przez trzy kolejne dni, o stałej porze, wskazania licznika energii elektrycznej w swoim domu. Oblicz wartość i koszt wykorzystanej energii. Oszacuj roczne zużycie energii elektrycznej i jej koszt.
- Odczytaj z tabliczki znamionowej moc urządzenia i oblicz natężenie płynącego przez nie prądu.

SUSZARKA DO WŁOSÓW

HAIRFREE

HAMBURG * GERMANY

SV 125 B2

zasilanie: 220 – 240 V~ 50 Hz

moc: 125 W

IAN: 3215553_12/19

S./N. 044357



Żarówka o mocy 60 W świeci z pełną mocą zasilana napięciem 230 V. Oblicz natężenie prądu płynącego przez żarówkę oraz opór jej włókna.

Podsumowanie działu 4

Ważne pojęcia

prąd elektryczny	elektrony swobodne	jony	jon dodatni	jon ujemny	napięcie elektryczne
odbiornik energii	przewodnik elektryczny		izolator elektryczny	woltomierz	wolt (1 V)
źródło napięcia elektrycznego		baterie	prądnice		akumulatory
obwód elektryczny	schemat elektryczny		kierunek prądu		umowny kierunek prądu
natężenie prądu	amper (1 A)		połączenie równoległe		połączenie szeregowe
ładunek elektryczny	kulomb (1 C)		amperosekunda (1 As)		amperogodzina (1 Ah)
opór elektryczny	rezystancja		om (1 Ω)		opór przewodnika
prawo Ohma	skutki przepływu prądu: świetlne, cieplne, mechaniczne, chemiczne, magnetyczne				
✓łączenie szeregowe odbiorników		łączenie równoległe odbiorników			przeciążenie ✓
zwarcie	izolacja	bezpiecznik		praca prądu elektrycznego	
moc prądu elektrycznego			wat (1W)		moc odbiornika ✗
tabliczka znamionowa	moc znamionowa	energia elektryczna		kilowatogodzina (1 kWh)	

Prąd elektryczny

- w przewodniku metalowym to uporządkowany (ukierunkowany) ruch elektronów swobodnych.
- w elektrolicie to uporządkowany dwukierunkowy ruch jonów elektrolitu.
- w gazie zjonizowanym tworzą jony lub elektrony poruszające się pod wpływem sił elektrycznych.

Napięcie elektryczne między określonymi punktami A i B przewodnika jest wielkością, która informuje nas, jaką pracę wykonają siły elektryczne podczas przemieszczania jednostkowego ładunku (1 C) między tymi punktami.

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

Jednostką napięcia elektrycznego jest **wolt** ($1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$). Napięcie między dwoma punktami przewodnika możemy zmierzyć **woltomierzem**, który w obwód włączamy równolegle.

Prąd płynie tylko w obwodzie zamkniętym. Warunkiem przepływu prądu jest istnienie między końcami obwodu napięcia elektrycznego.

Źródłami napięcia elektrycznego są m.in. ogniwa, baterie (zestawy ogniw), prądnice, akumulatory.



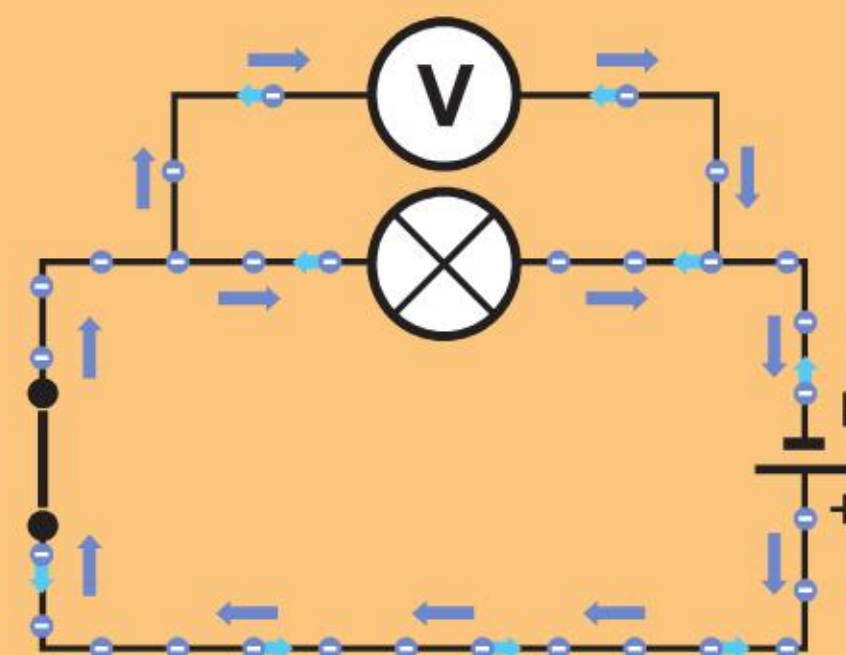
Odbiornikami energii są np. żarówka, pralka, telewizor, telefon komórkowy, lokomotywa, lodówka.

W skład obwodu elektrycznego wchodzi: źródło napięcia, odbiornik i przewody elektryczne łączące poszczególne elementy obwodu. Obwody elektryczne przedstawia się w formie tak zwanych **schematów elektrycznych**.

Symbol	Znaczenie symbolu	Symbol	Znaczenie symbolu
	przewodnik		żarówka
	odbiornik energii elektrycznej		dzwonek
	wyłącznik		zwojnica
	połączenie (odgałęzienie) przewodów		amperomierz
	źródło napięcia – prąd stały		woltomierz
	źródło napięcia – prąd zmienny		galwanometr

Umowny kierunek (zwrot) **prądu** określamy od plusa do minusa, a więc zgodnie z kierunkiem ruchu ładunków dodatnich, a przeciwnie do kierunku ruchu (zwrotu wektora prędkości) elektronów swobodnych.

- – umowny kierunek prądu
- ↺ – kierunek (zwrot wektora prędkości) elektronów swobodnych



Wielkością charakteryzującą przepływ prądu jest **natężenie prądu elektrycznego**. Natężenie prądu określa więc, jaki (jak duży) ładunek elektryczny przepływa w czasie 1 s przez poprzeczny przekrój przewodnika. Natężenie (I) możemy obliczyć jako iloraz ładunku elektrycznego (q) przepływającego przez poprzeczny przekrój przewodnika i czasu tego przepływu (t).

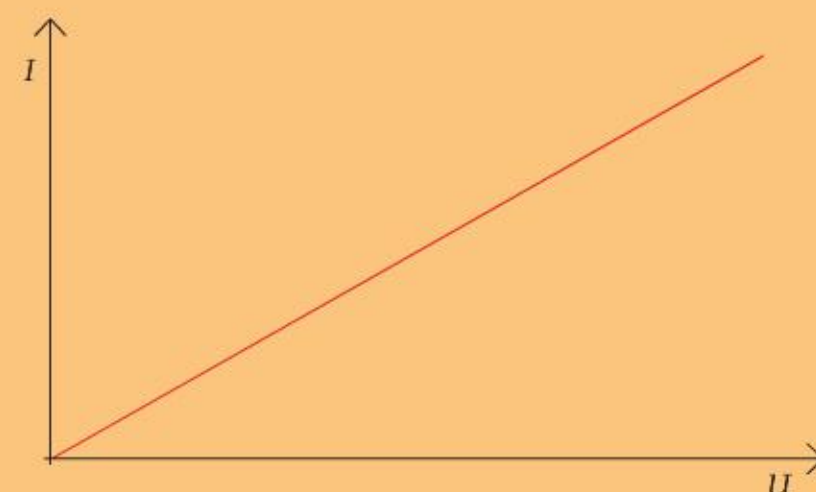
$$I = \frac{q}{t}$$

Jednostką natężenia prądu jest **amper** ($1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$).

Natężenie prądu możemy zmierzyć **amperomierzem**, który włączamy szeregowo w dowolnym miejscu prostego obwodu.

Przepływający ładunek możemy wyrażać nie tylko w **kulombach**, ale również w amperosekundach i amperogodzinach.
 $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$, $1 \text{ Ah} = 3600 \text{ As}$

Prawo Ohma mówi, że natężenie prądu elektrycznego płynącego przez przewodnik (odcinek obwodu) jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami tego przewodnika (odcinka obwodu).



- Stały dla danego przewodnika iloraz napięcia między końcami przewodnika i natężenia płynącego przez przewodnik prądu jest nazywany **oporem elektrycznym (rezystancją)** przewodnika. Oznaczamy go literą R i obliczamy ze wzoru:

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

Jednostką oporu elektrycznego jest **om** ($1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$).

Opór 1Ω ma przewodnik, w którym pod napięciem 1 V płynie prąd elektryczny o natężeniu 1 A .

- Najważniejszymi **skutkami przepływu prądu elektrycznego** są skutki: świetlne, cieplne, mechaniczne, chemiczne, magnetyczne. Przedstawiono je w poniższej tabeli.

Skutki przepływu prądu				
świetlne	cieplne	mechaniczne	chemiczne	magnetyczne
				

- W **domowych instalacjach elektrycznych** odbiorniki są połączone równolegle, tak aby korzystanie z nich mogło odbywać się niezależnie od tego, czy przez pozostałe płynie prąd.
- Przewody elektryczne instalacji domowych znajdują się w kolorowej osłonce – **izolacji** – zabezpieczającej przewody przed **zwarcie**m, czyli zetknięciem przewodników.
- Instalacje elektryczne zabezpieczone są **bezpiecznikami**, czyli urządzeniami chroniącymi sieć elektryczną przed przeciążeniami (przepływem prądu o zbyt dużym natężeniu).
- Praca prądu elektrycznego** w danym odbiorniku jest równa iloczynowi napięcia (U) między jego końcami, natężenia (I) przepływającego przez odbiornika prądu oraz czasu (t) jego przepływu.

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

Jednostką pracy jest **dżul** (1 J).

- Mocą prądu elektrycznego** nazywamy iloraz pracy prądu W i czasu t , w którym ta praca została wykonana:

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

- Moc urządzenia** (odbiornika) jest równa iloczynowi napięcia przyłożonego do zacisków urządzenia i natężenia płynącego przez urządzenie prądu.

$$P = U \cdot I$$

Jednostką mocy prądu jest **wat** ($1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$)

- Jeśli moc wyrazimy w kilowatach, a czas w godzinach, to otrzymamy jednostkę pracy prądu zwaną **kilowatogodziną**, stosowaną w pomiarze energii elektrycznej w mieszkaniach.

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wybierz odpowiednie uzupełnienia zdań.

Pod wpływem sił elektrycznych swobodne elektrony w przewodniku	A.	rozpędzają się i przemieszczają tylko wzdłuż przewodnika.	Jony dodatnie w sieci krystalicznej	A.	nie poruszają się, więc nie podnosi się temperatura przewodnika.
	B.	rozpędzają się i zderzają z jonami sieci krystalicznej, przekazując im część energii.		B.	drgają mocniej, co powoduje wzrost temperatury przewodnika.

- 2 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Prądem elektrycznym nazywamy

- A. chaotyczny ruch elektronów swobodnych w przewodniku.
B. ukierunkowany ruch elektronów swobodnych w przewodniku.

- 3 Iloraz pracy wykonanej przez siły elektryczne podczas przemieszczania jednostkowego ładunku między określonymi punktami A i B przewodnika i wartości tego ładunku to

- A. natężenie prądu.
B. napięcie elektryczne.
C. praca prądu.
D. opór przewodnika.
E. moc odbiornika.

- 4 Jeżeli przez poprzeczny przekrój przewodnika w czasie 20 s przepływa ładunek 40 C, to natężenie prądu płynącego przez ten przewodnik wynosi

- A. 2 A B. 40 A C. 0,8 kA D. 0,5 A E. 2 mA

- 5 W amperosekundach można wyrazić

- A. natężenie prądu.
B. napięcie.
C. ładunek.
D. czas.
E. opór.

- 6 W tabeli przedstawiono wyniki pomiaru natężenia prądu płynącego przez ten sam opornik dla dwóch różnych napięć.

Opór tego przewodnika przy napięciu 6 V

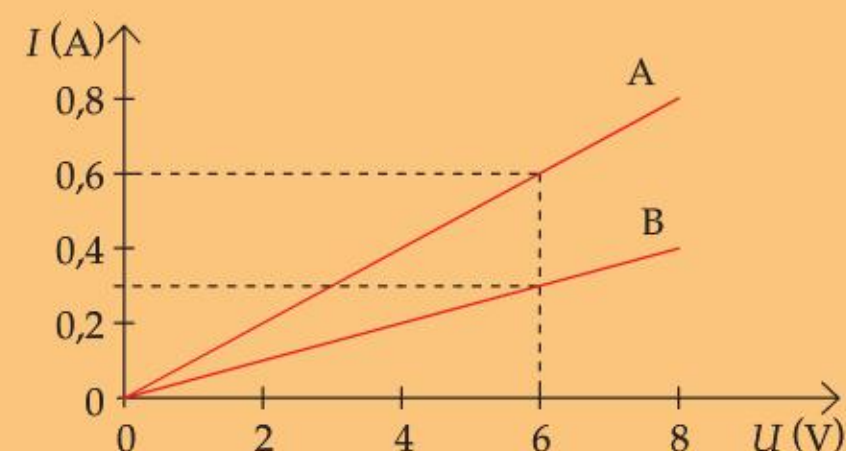
- A. jest czterokrotnie większy niż przy napięciu 1,5 V.
B. jest czterokrotnie mniejszy niż przy napięciu 1,5 V.
C. jest o $\frac{1}{3}$ większy niż przy napięciu 4,5 V.
D. jest taki sam jak w dwóch pierwszych pomiarach i wynosi 0,2 Ω .
E. jest taki sam jak w dwóch pierwszych pomiarach i wynosi 5 Ω .

Pomiar	U (V)	I (A)
1	1,5	0,3
2	4,5	0,9

- 7 Wykres przedstawia zależność $I(U)$ dla odbiorników A i B.

Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Przez odbiornik A płynie prąd o dwukrotnie mniejszym natężeniu.
B. Opór odbiornika B jest dwukrotnie większy niż opór opornika A.
C. Opór odbiornika B wynosi 20 Ω .
D. Opór odbiornika A jest o 10 Ω większy niż opornika B.
E. Moc odbiornika A wynosi 1,6 W, gdy jest do niego przyłożone napięcie 4 V.



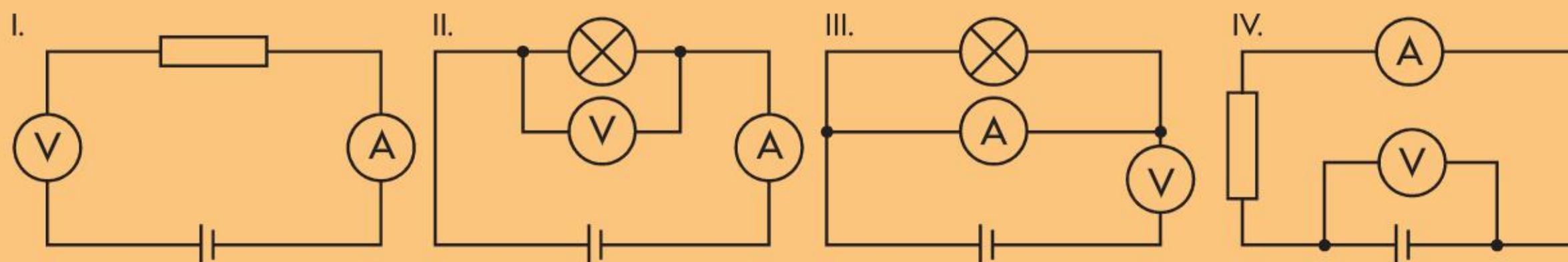
8 Odbiorniki domowej sieci elektrycznej podłączone są

- A. wszystkie równolegle.
- B. wszystkie szeregowo.
- C. w sposób mieszany – po kilka szeregowo, a szeregi równolegle.
- D. w sposób mieszany – po kilka równolegle, a te szeregowo.
- E. w dowolny sposób.

9 Zużycie energii elektrycznej na liczniku odczytujemy w

- A. J
- B. Ah
- C. kW
- D. kWh
- E. As

10 Na którym ze schematów poprawnie przedstawiono podłączenie przyrządów pomiarowych w obwodach elektrycznych?



- A. tylko na schemacie I
- B. tylko na schemacie II
- C. tylko na schemacie III
- D. tylko na schematach I i III
- E. tylko na schematach II i IV

11 Przez silnik elektryczny pod napięciem 230 V przepływa prąd o natężeniu 9,2 A. Jaką pracę wykona ten silnik w czasie 0,5 h?

12 Przez grzałkę elektryczną włączoną do gniazdka domowej sieci elektrycznej (230 V) przepływa prąd o natężeniu 2 A. Jaki jest opór grzałki i moc prądu przepływającego przez tę grzałkę?

13 W czajniku elektrycznym można zagotować 1 litr wody, o temperaturze początkowej 20°C, w czasie 1 minuty. Oblicz opór spirali czajnika, jeżeli przepływa przez nią prąd o natężeniu 10 A. Pomiń straty energii. Przyjmij: $c_w = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

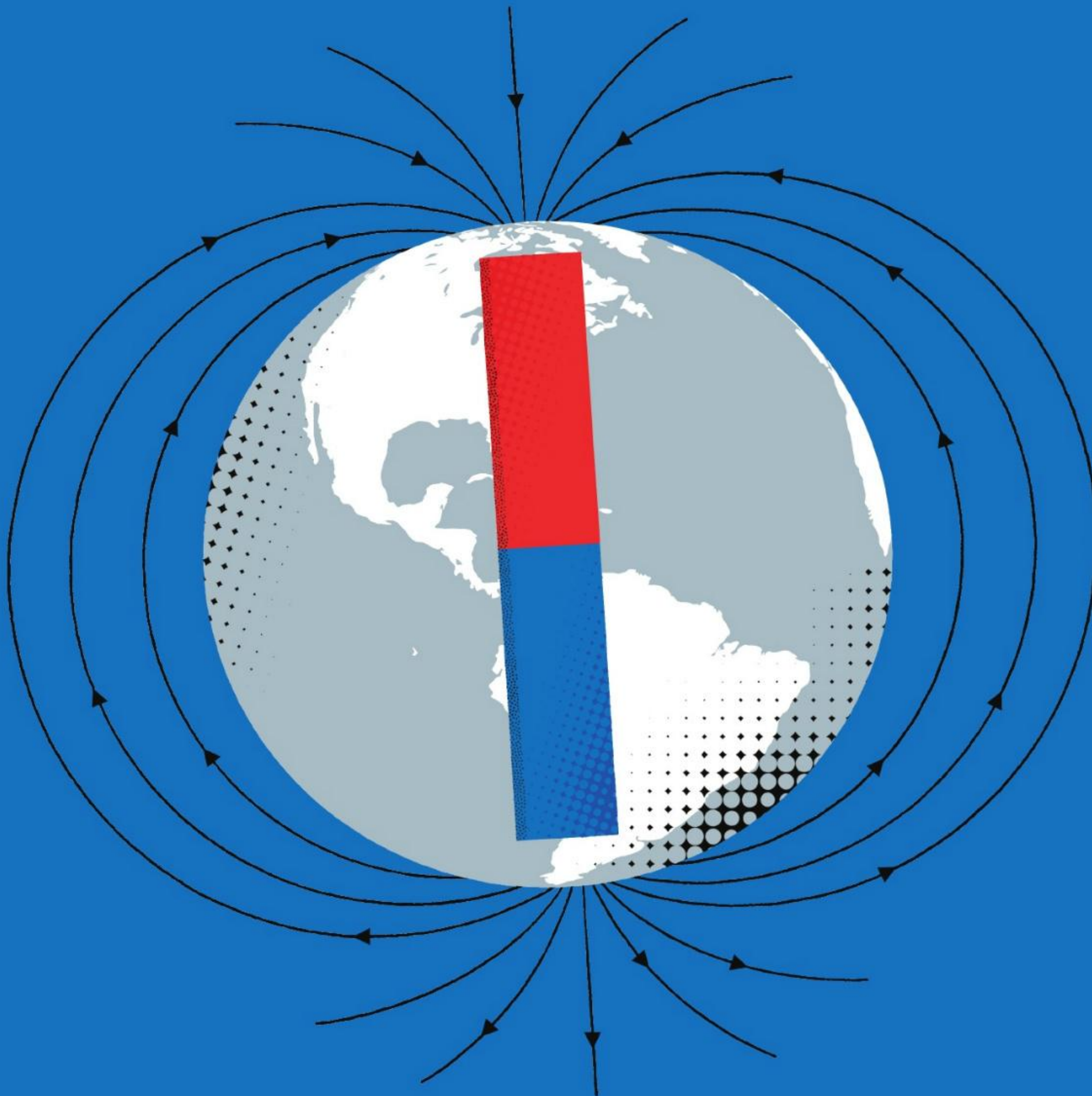
14 Instalację domową zabezpieczono bezpiecznikiem, który wyłącza się, gdy moc pracujących urządzeń podłączonych do napięcia 230 V przekroczy 4600 W. Jest to bezpiecznik

- A. 5 A
- B. 10 A
- C. 15 A
- D. 20 A
- E. 25 A

15 Uczniowie wyznacжали ciepło właściwe wody za pomocą czajnika elektrycznego o mocy 2250 W, który ogrzał 1 litr wody o temperaturze 20°C do temperatury 100°C w 2,5 minuty. Wskaż zdania fałszywe.

- A. Prąd przepływający przez grzałkę czajnika wykonał pracę 337,5 kJ.
- B. Grzałka czajnika przekazała wodzie w czasie 2,5 min ciepło 5625 J.
- C. Grzałka czajnika przekazała wodzie w czasie 150 s ciepło 337,5 kJ.
- D. Przyrost temperatury wody wynosi 80 K.
- E. Wynik ciepła właściwego wody, obliczony przez uczniów z dokładnością do dwóch cyfr, wynosi $4310 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

5. Magnetyzm



1. Jakie są bieguny magnesów?
2. W jaki sposób oddziałują na siebie magnesy?
3. Jak działa kompas?
4. Gdzie znajdują się bieguny magnetyczne Ziemi?
5. Do czego wykorzystywane jest oddziaływanie magnetyczne?

5.1 Właściwości magnetyczne ciał

Podejmij temat

- Co należy zrobić, aby z kawałka pręta żelaznego otrzymać magnes?

Właściwości magnesów trwałych

Z oddziaływaniami magnetycznymi spotykasz się na co dzień. Wspominaliśmy o nich również w klasie siódmej, klasyfikując oddziaływania ciał. Stwierdziliśmy wtedy, że magnesy mogą się wzajemnie przyciągać lub wzajemnie odpychać. Poinformowaliśmy również, że oddziaływania magnetyczne to oddziaływania na odległość. Z właściwości magnesów korzystasz, np. przyczepiając karteczkę z ważną informacją na lodówce, używając kompasu w marszach na orientację czy określając strony świata na lekcji geografii (il. 5.1). Obecnie zajmiemy się wyjaśnieniem tych zjawisk.



5.1 Zastosowanie magnesów

Magnes to najczęściej kawałek żelaza mający właściwość przyciągania lub odpychania innych magnesów oraz przyciągania ciał wykonanych z żelaza. Taki magnes nazywa się **trwałym**. Są też **magnesy naturalne**. Najbardziej znanym magnese naturalnym jest ruda żelaza zwana magnetytem (Fe_3O_4). W naszych doświadczeniach używać będziemy najczęściej magnesów trwałych w kształcie sztabki (**magnes sztabkowy**) i podkowy (**magnes podkowy**). W praktyce korzysta się z magnesów o różnych kształtach (pierścienie, półpierścienie itp.; il. 5.2). Najczęściej magnesy używane w szkolnych pracowniach są oznaczone kolorami: część magnesu, na której znajduje się **biegun północny**, pomalowana jest na niebiesko, czarno lub biało; część magnesu z **biegunem południowym** – na czerwono. Pamiętaj jednak, że to tylko symboliczne oznaczenie biegunów magnetycznych, ułatwiające obserwacje oddziaływań magnetycznych, i kolor nie ma tu znaczenia. Spotkasz również w pracowniach magnesy pomalowane na szaro, oznaczone za pomocą liter.



5.2 Magnesy trwałe o różnych kształtach

Każdy magnes ma dwa bieguny: północny – oznaczony literą N, i południowy, który oznaczamy literą S.

Doświadczenie 39.

Badamy właściwości magnesów trwałych

Niezbędne przedmioty: dwa magnesy sztabkowe, statyw, tekturowe (papierowe) strzemiączko z nitką

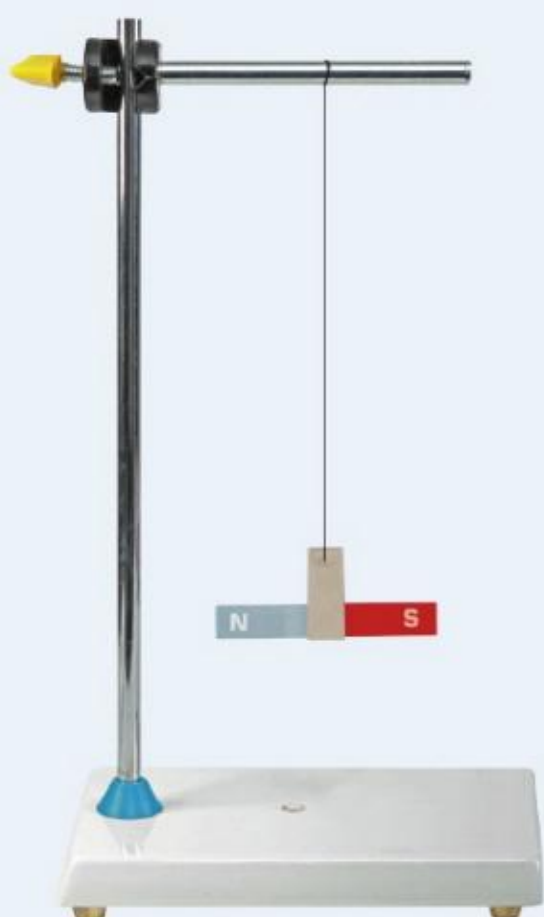
Wykonanie:

A.

- Włóż magnes do tekturowego lub papierowego strzemiączka zawieszonego na nitce na statywie.
- Poczekaj chwilę, aż położenie magnesu się ustali, a następnie lekko odchyl go z położenia równowagi. Obserwuj jego zachowanie.

B.

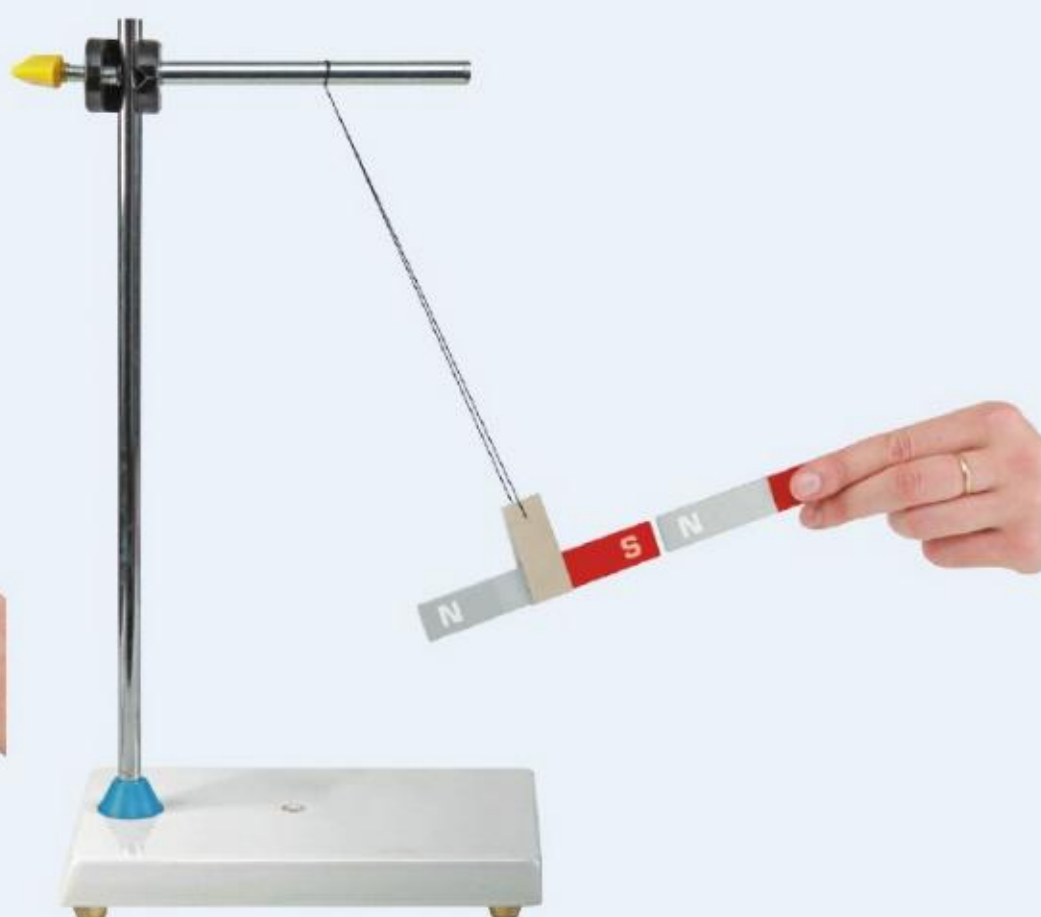
- Do północnego bieguna magnesu zawieszonego na statywie zbliż drugi magnes, też północnym biegunem. Obserwuj, co się dzieje.
- Następnie do bieguna południowego magnesu zawieszonego na statywie zbliż biegun północny drugiego magnesu. Obserwuj, co się dzieje.



A.



B.



Obserwacje:

A.

- Zawieszony na nitce magnes sztabkowy zawsze tym samym końcem ustawi się na północ, a drugim końcem – na południe.

B.

- Dwa takie same bieguny magnesów odpychały się wzajemnie.
- Dwa różne bieguny magnesów przyciągały się wzajemnie.

Wnioski:

- Jeśli w najbliższym otoczeniu nie ma innych magnesów, zawieszony na nitce magnes sztabkowy zawsze tym samym końcem ustawi się na północ, a drugim końcem – na południe.
- Takie same bieguny magnesów nazywamy jednoimiennymi, a różne bieguny – różnoimiennymi. **Bieguny jednoimienne wzajemnie się odpychają (dwa bieguny N lub dwa bieguny S), a różnoimienne wzajemnie się przyciągają (biegun N i biegun S).**

Doświadczenie 40.

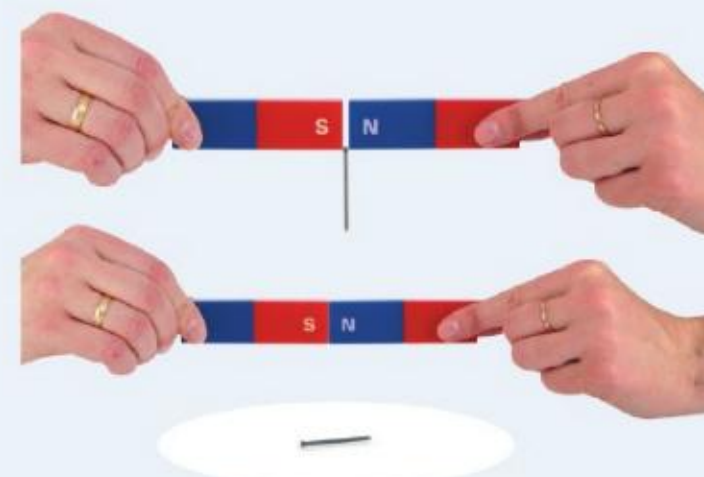
Badamy oddziaływanie magnesów z innymi ciałami i właściwości magnetyczne różnych substancji

Niezbędne przedmioty: dwa magnesy sztabkowe, stalowe gwoździe, szpilki, żelazna sztabka, opiłki żelazne, dowolne przedmioty, np.: kartka papieru, drut miedziany, folia aluminiowa, plastikowa linijka, monety groszowe, srebrny (lub złoty) pierścionek, spinacze

Wykonanie:

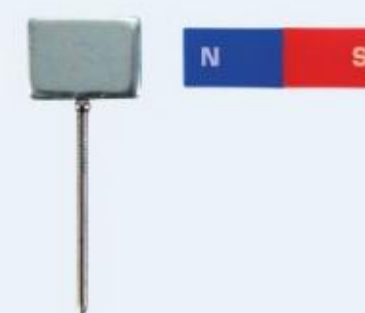
A.

- Zbliżaj po kolei stalowy gwóźdź do kilku punktów magnesu sztabkowego. Zaczynij od końca jednego z biegunów, a skończ na środku magnesu.
- Przyczep gwóźdź na końcu bieguna N jednego magnesu sztabkowego, a następnie dosuń drugi magnes biegunem S, tak aby magnesy się złączyły.
- W obu przypadkach obserwuj, co się dzieje.



B.

- W pobliżu magnesu ustaw żelazną sztabkę i zbliż do niej gwoździk. Obserwuj, co się dzieje.



C.

- Zbliżaj magnes sztabkowy kolejno do różnych przedmiotów położonych na stole (szpilki, spinacze, folia aluminiowa, drut miedziany, moneta, złoty pierścionek).



Obserwacje:

A.

- Gwóźdź trzyma się magnesu na jego końcu i w położeniach coraz bliższych środkowi magnesu. Na środku magnesu sztabkowego gwóźdź odpada.
- Gwóźdź trzyma się na końcu jednego magnesu, a po złączeniu magnesów odpada.

B.

- Żelazna sztabka, znajdująca się w pobliżu magnesu, przyciągnęła gwóźdź, czyli stała się magnesem.

C.

- Magnes przyciągnął: stalowe szpilki, gwoździe, spinacze, żelazne opiłki. Nie przyciągnął: kartki papieru, linijki, folii aluminiowej, drutu miedzianego, monet groszowych, srebrnego (lub złotego) pierścionka.

Wnioski:

- Magnes oddziałuje na inne ciała najsilniej na swoich końcach, a na swoim środku nie oddziałuje na nie wcale. Dwa magnesy połączone ze sobą stają się jednym magnesem, którego środek nie przyciąga innych przedmiotów.
- Żelazo w obecności innego magnesu staje się magnesem.
- Magnes przyciąga tylko drobne przedmioty stalowe i żelazne. Inne substancje umieszczone w pobliżu magnesu nie są przez niego przyciągane. Nie wszystkie metale są przyciągane przez magnes (np. aluminium, miedź, srebro, złoto).

Pole magnetyczne i linie pola

Przeprowadzone doświadczenia przekonały nas, że oddziaływania magnetyczne są oddziaływaniami na odległość. Wokół magnesu istnieje zatem przestrzeń, w której działają **siły magnetyczne**. Przestrzeń tę nazywamy **polem magnetycznym**. Umieszczone w polu magnetycznym stalowe lub żelazne przedmioty magnesują się, tzn. uzyskują właściwości magnesu. Do zbadania właściwości pola magnetycznego będziemy używać opiłków żelaza lub małych igiełek magnetycznych.

Doświadczenie 41.

Badamy pole magnetyczne wokół magnesów

Niezbędne przedmioty: dwa magnesy sztabkowe, opiłki żelazne, igielki magnetyczne, szklana szybka, magnes podkowiasty, stalowa sztabka

Wykonanie i obserwacje:

A.

- Na magnes sztabkowy połóż szklaną szybkę i bardzo wolno wsyp na nią opiłki żelaza. Zaobserwuj ich ułożenie.

B.

- Położ na stoliku dwa magnesy sztabkowe w niewielkiej odległości od siebie, zwrócone do siebie biegunami N i S (różnoimiennymi). Na nich postaw szybkę i posyp ją opiłkami. Zaobserwuj ich ułożenie.

C.

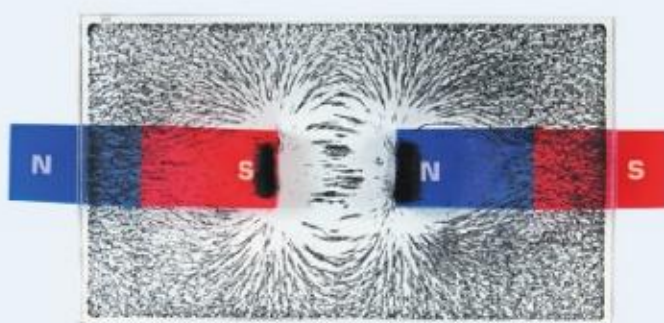
- Powtórz obserwacje dla ułożenia magnesów zwróconych tymi samymi biegunami.

D.

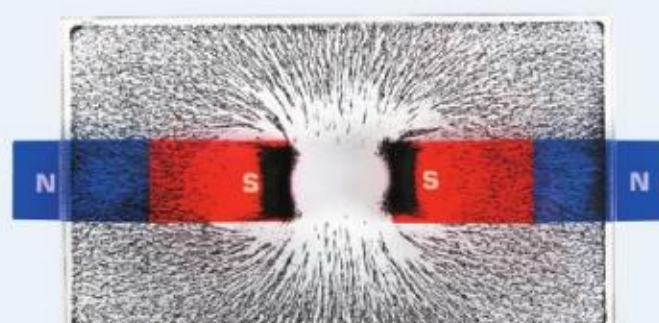
- Teraz pod szybką ułóż magnes podkowiasty. Posyp powierzchnię szybki opiłkami żelaznymi i zaobserwuj ich ułożenie.



A.



B.



C.



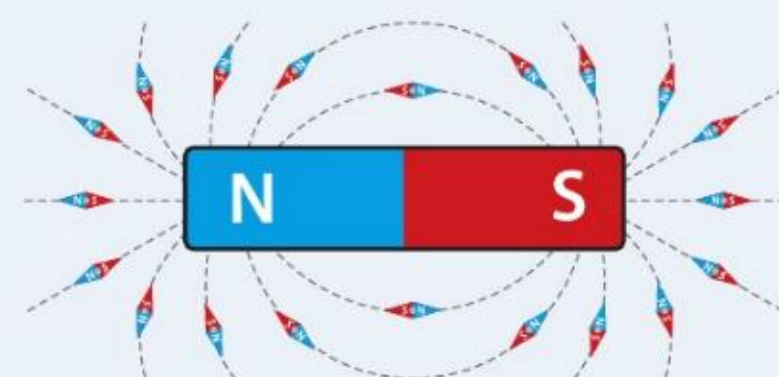
D.

E.

- Między dwa magnesy sztabkowe, zwrócone do siebie przeciwnymi biegunami, wstaw sztabkę stalową lub żelazną.
- Położ na nich szklaną szybkę i posyp opiłkami. Zaobserwuj układ opiłków.

Wnioski:

Opiłki żelaza i igielki magnetyczne układają się wokół magnesów w charakterystyczne linie – tworzą one pętle zwane **liniami pola magnetycznego**. Liniom przypisujemy zwrot zgodny ze zwrotem północnego bieguna igielki magnetycznej (czyli zwrot od bieguna północnego do południowego).

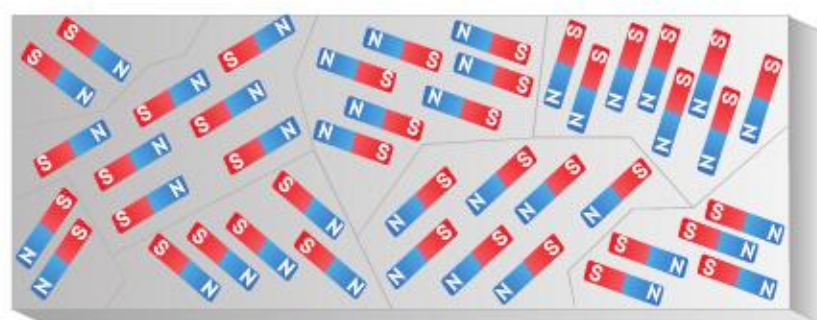




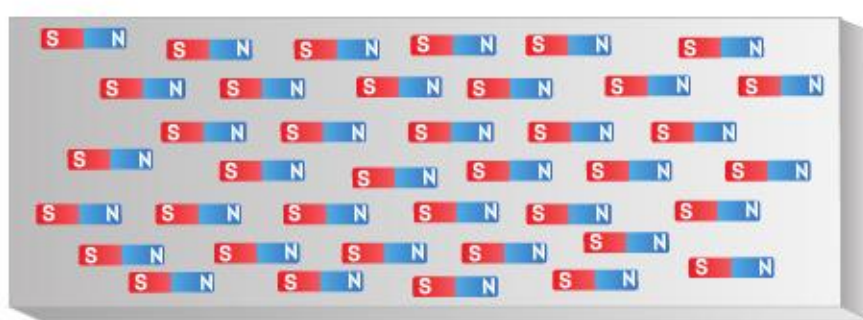
Stop żelaza z węglem i z dodatkiem krzemu to stal miękka. Stop żelaza z węglem i z dodatkiem niklu, kobaltu oraz glinu to stal twarda.

Ferromagnetyki i ich zastosowanie

Ostatnie doświadczenie przekonuje nas o tym, że umieszczona w polu magnetycznym stal wykazuje właściwości magnetyczne. Jeżeli jest to stal miękka, ma ona te właściwości tylko wtedy, gdy znajduje się w polu magnetycznym. Natomiast namagnesowana w ten sposób stal twarda staje się magnesem trwałym. Namagnesować możemy trwale również stalową twardą sztabkę lub stalowy pręcik poprzez przesuwanie po nich magnesu trwałego. Żelazo, stal (która jest stopem zawierającym żelazo), kobalt, nikiel oraz niektóre ich stopy łatwo się magnesują. Substancje takie o specyficznej budowie wewnętrznej – zwane ferromagnetykami – posiadają silne właściwości magnetyczne. Znajdują się w nich obszary stałego namagnesowania, tzw. domeny magnetyczne, zachowujące się jak małe magnesy wytwarzające wokół siebie pole magnetyczne. Domeny najczęściej ułożone są chaotycznie (il. 5.3 A.), dlatego czasami pola magnetyczne od sąsiadujących ze sobą domen mogą się znosić. Aby ferromagnetyk stał się magnesem trwałym, należy go namagnesować, czyli uporządkować domeny magnetyczne (il. 5.3 B.).



A.



B.



5.3 Domeny magnetyczne ułożone chaotycznie (A.) i uporządkowane – w obecności magnesu (B.)



5.4 Budowa kompasu

Magnesy znalazły liczne zastosowania w praktyce. Najbardziej znanym magnesem jest igła magnetyczna (il. 5.5), wykorzystana w kompasie i busoli, która ma dodatkowe urządzenie służące do celowania, pomagające w wyznaczaniu azymutu (il. 5.4 i 5.6). Igła magnetyczna to magnes w kształcie cienkiej blaszki, który ma swobodę ruchu w jednej płaszczyźnie (il. 5.5).



5.5 Igła magnetyczna



5.6 Busola

Magnesowanie się niektórych materiałów wykorzystywane jest do zapisu danych cyfrowych na dyskach, magnetycznych kartach płaćniczych czy w zamkach magnetycznych. Wykorzystywane jest także w systemach zabezpieczeń towarowych czy innych urządzeniach z tzw. paskiem magnetycznym.

Ziemia jako magnes

Mogłeś wcześniej zaobserwować, że swobodnie wiszący magnes ustawiał się zawsze w ten sam sposób. Dowiedziałeś się także, że bieguny magnetyczne różnoimienne wzajemnie się przyciągają. Ziemia musi więc być wielkim magnesem, którego północny biegun magnetyczny znajduje się obecnie w pobliżu południowego bieguna geograficznego, a południowy biegun magnetyczny – w pobliżu jej północnego bieguna geograficznego (il. 5.7). Zdarzało się na przestrzeni dziejów Ziemi, że bieguny magnetyczne się odwracały.

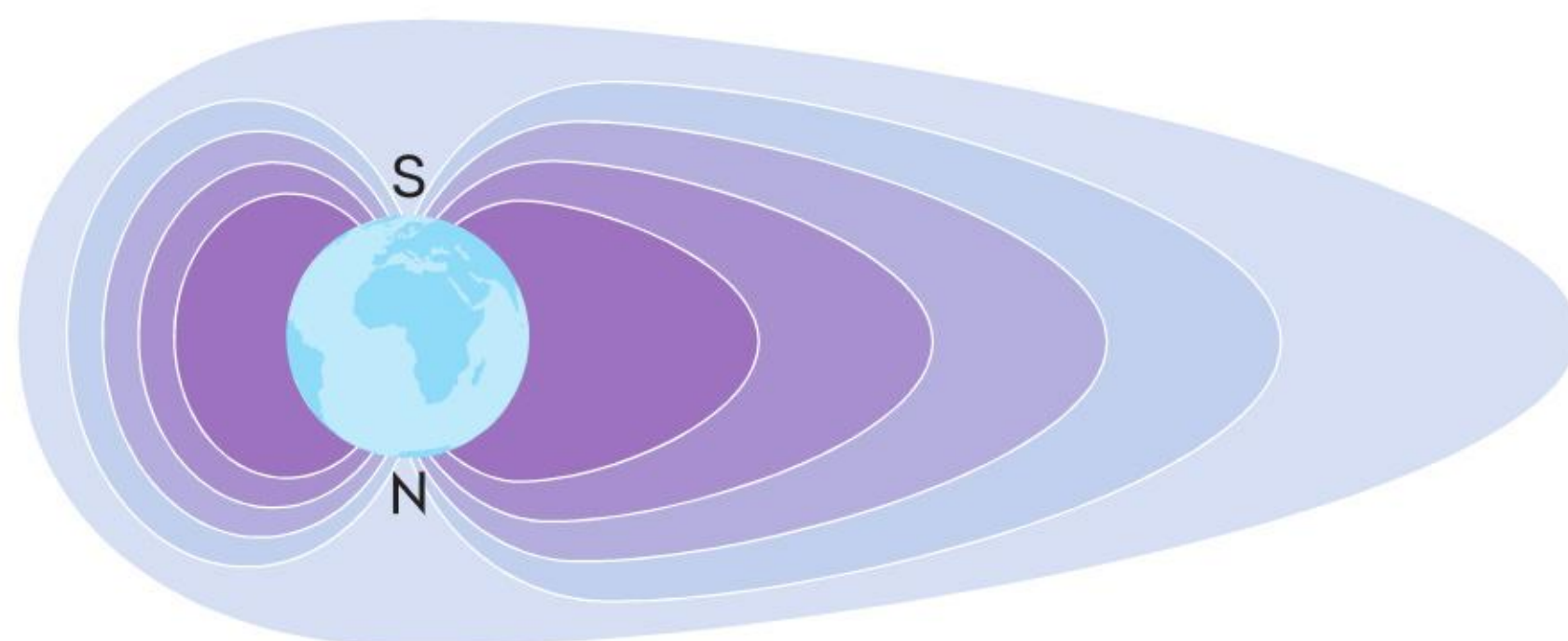
Bieguny geograficzne i magnetyczne Ziemi nie pokrywają się dokładnie (stąd określenie „w pobliżu”) i zmieniają nieco swe położenie z roku na rok. Takie położenie biegunów magnetycznych Ziemi powoduje, że igła magnetyczna busoli czy kompasu nie wskazuje dokładnie kierunków geograficznych (południowego i północnego). Dokładne określanie kierunków polega na dodawaniu lub odejmowaniu poprawek wyliczanych przez obserwatoria magnetyczne.

W Polsce takie obserwatoria znajdują się między innymi w Świdrze koło Warszawy i na Helu. Poprawki umieszczane są na marginesach map wymagających szczególnej dokładności, np. na mapach wojskowych.

Pole magnetyczne Ziemi

Wokół Ziemi, podobnie jak wokół magnesu sztabkowego, istnieje pole magnetyczne (il. 5.8). Na ziemskie pole magnetyczne silny wpływ wywierają strumienie naładowanych cząstek wyrzucanych ze Słońca, szczególnie w okresach jego wzmożonej aktywności, stąd niesymetryczny kształt linii pola magnetycznego Ziemi. Obserwujemy wówczas szybkie zmiany pola magnetycznego, tzw. burze magnetyczne, które w sporadycznych przypadkach mogą zakłócać pracę sieci elektrycznych i komunikację radiową. Burzom magnetycznym towarzyszą również spektakularne, naturalne zjawiska **zorzy polarnych** (il. 5.9).

Pole magnetyczne Ziemi rozprzestrzenia się na tysiące kilometrów wokół niej, tworząc magnetosferę, która ma kształt kropli. Wiele innych planet ma podobne pola.



5.8 Ziemskie pole magnetyczne



5.7 Kula ziemiska jest ogromnym magnesem

Ciekawe!

Zorza polarna to zjawisko świetlne obserwowane w atmosferze. Słońce emituje strumień naładowanych cząstek, tzw. wiatr słoneczny, który chwytyany jest i kierowany przez ziemskie pole magnetyczne w okolice biegunów, gdzie powoduje świecenie atomów atmosfery ziemskiej, głównie tlenu i azotu.



5.9 Zorza polarna

Ciekawe!



Igłę magnetyczną znano już ponad 2000 lat temu w Chinach, gdzie używano jej w postaci namagnesowanej łyżki, która mogła się obracać na kawałku kamienia lub brązowej płyty.

W skrócie

- Każdy magnes ma dwa bieguny: północny (N) i południowy (S). Bieguny różnoimienne wzajemnie się przyciągają, a jednoimienne odpychają.
- Magnetyt, magnesy stałe, kula ziemską wytwarzają wokół siebie pola magnetyczne.
- Pole magnetyczne przedstawiamy na rysunku w postaci linii pola magnetycznego. Przyjęto, że linie te mają zwrot od bieguna północnego do południowego.
- Pole magnetyczne Ziemi jest podobne do pola wytwarzanego przez magnes sztabkowy. Biegun N kompasu (igły magnetycznej) wskazuje obecnie północny biegun geograficzny i południowy biegun magnetyczny. Natomiast biegun S kompasu wskazuje południowy biegun geograficzny i północny biegun magnetyczny.
- Ferromagnetyki to substancje wykazujące silne właściwości magnetyczne. Znajdują się w nich bardzo małe obszary stałego namagnesowania, zwane domenami magnetycznymi, często ułożone chaotycznie. Namagnesowanie ferromagnetyka polega na uporządkowaniu domen magnetycznych, w wyniku czego powstaje magnes trwały.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

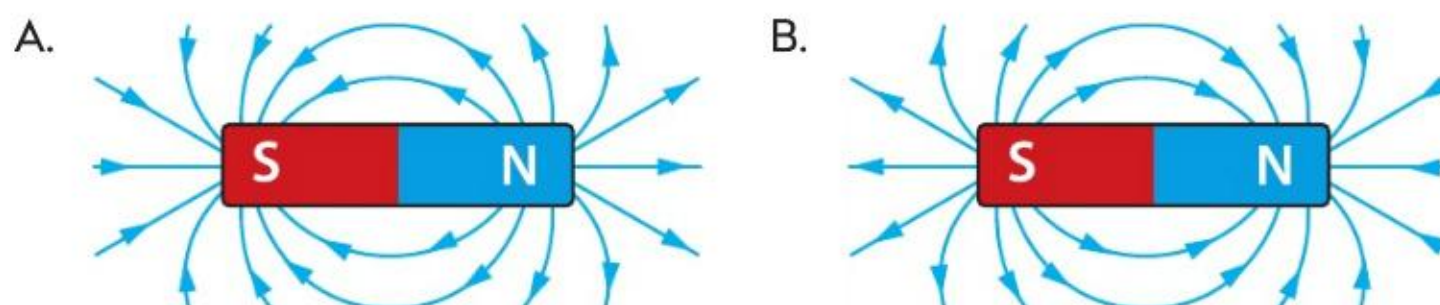
- 1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Oddziaływanie magnetyczne jest oddziaływaniem	A.	bezpośrednim.	Magnesy mogą się wzajemnie	A.	tylko przyciągać siłami równymi co do wartości, lecz przyłożonymi do obu oddziałujących magnesów.
	B.	na odległość.		B.	przyciągać lub odpychać siłami równymi co do wartości, lecz przyłożonymi do obu oddziałujących magnesów.

- 2 Określ na podstawie zdjęcia magnetytu i spinaczy, z jakiego materiału wykonane są spinacze. Określ miejsce, gdzie znajdują się bieguny magnetyczne spinaczy.



- 3 Na którym rysunku poprawnie przedstawiono linie pola magnetycznego?



5.2 Pole magnetyczne przewodnika z prądem

Podejmij temat



Bartek miał zegarek z wmontowanym kompasem. W czasie doświadczeń z prądem igła magnetyczna „wyprawiała różne harce” – wskazywała różne kierunki. Jak myślisz – dlaczego?



Słynne doświadczenie Oersteda

Opisując skutki przepływu prądu elektrycznego, stwierdziliśmy, że jednym z nich jest skutek magnetyczny. Zobaczyłeś doświadczenie z przewodnikiem i ustawioną pod nim igłą magnetyczną, która odchyłała się od położenia równowagi, gdy przez przewodnik płynął prąd. Zjawisko to odkrył w 1820 roku duński fizyk Hans Christian Oersted (czyt. ersted). Wykonamy teraz to doświadczenie i wyjaśnimy zachowanie się igły magnetycznej.

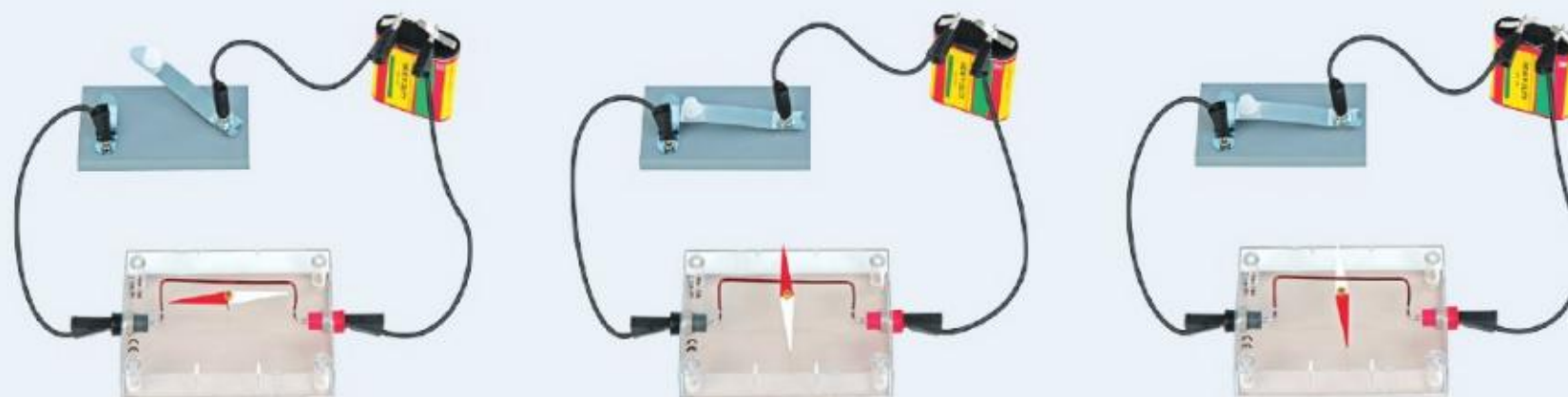
Doświadczenie 42.

Badamy oddziaływanie przewodnika z prądem na igłę magnetyczną

Niezbędne przedmioty: źródło prądu stałego (bateria płaska 4,5 V, a jeśli chcesz zwiększyć natężenie prądu, użyj zasilacza baterijnego), zestaw do pokazu z przewodnikiem i igłą magnetyczną lub igła magnetyczna na podstawce (kompas), wyłącznik, 2 statywy z uchwyty z izolatora, długi przewód miedziany (ok. 50 cm), przewody

Wykonanie:

- Użyj zestawu do pokazu lub rozciągnij przewód równoległe do powierzchni stołu, między uchwyty statywów, nad igłą magnetyczną na podstawce (kierunek północ-południe). Połącz przewód przez wyłącznik z biegunami baterii.
- Na chwilę zamknij, a potem otwórz obwód i obserwuj zachowanie igły magnetycznej. Powtórz raz jeszcze otwieranie i zamykanie obwodu, nadal obserwuj igłę magnetyczną.
- Powtórz doświadczenie, zmieniając kierunek przepływu prądu w przewodniku (zmień bieguny źródła prądu przy połączeniu z przewodnikiem) i obserwuj zachowanie się igły magnetycznej.

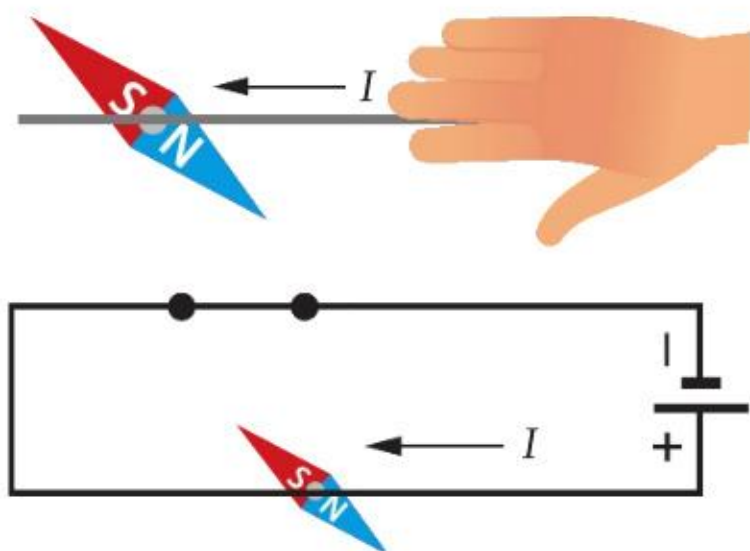


Obserwacje: W czasie przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik znajdującą się pod nim igła magnetyczna wychyla się ze swojego pierwotnego położenia. Po wyłączeniu prądu igła powraca do pierwotnego położenia. Po zmianie kierunku przepływu prądu zmienia się kierunek wychYLENIA określonego bieguna igły magnetycznej.

Wnioski: Wokół przewodnika, w którym przepływa prąd elektryczny, istnieje pole magnetyczne. W polu tym na igłę magnetyczną działa siła magnetyczna.

Ciekawe!

Reguła sformułowana przez Ampère'a mówiła, że człowiek płynący z prądem wzdłuż przewodnika i zwrócony twarzą do igły magnetycznej umieszczonej pod przewodnikiem widzi północny biegun tej igły odchylony w lewo.



5.10 Reguła Ampère'a

Jak się wychyla igła magnetyczna?

W doświadczeniu mogłeś zauważyć, że w czasie przepływu prądu elektrycznego przez przewodnik znajdująca się pod nim igła magnetyczna ulegała odchyleniu od pierwotnego położenia. Po wyłączeniu prądu igła wracała do pierwotnego położenia, a po zmianie kierunku przepływu prądu w przewodniku, zmienił się kierunek wychylenia określonego bieguna igły magnetycznej. Kierunek ten możesz określić za pomocą reguły prawej dłoni (il. 5.10), wzorowanej na **regule Ampère'a**, zwanej też regułą pływaka.

Jeżeli ustawimy prawą dłoń nad przewodnikiem tak, by wewnątrz dłoni zwrócone było do przewodnika, a cztery wyprostowane palce wskazywały umowny kierunek przepływu prądu, to odchylony kciuk pokaże nam wychylenie bieguna północnego (N) igły magnetycznej.

Pole magnetyczne wokół przewodnika z prądem

Zbadamy teraz dokładniej pole magnetyczne wokół przewodnika prostoliniowego, przez który płynie prąd elektryczny.

Doświadczenie 43.

Badamy pole magnetyczne wokół przewodnika z prądem

Niezbędne przedmioty: źródło prądu stałego (zasilacz bateryjny lub połączone szeregowo 3 baterie płaskie), wyłącznik, 2 statywy z uchwytami z izolatora, długi przewód miedziany ok. 50 cm, tekturka lub płytka z pleksi z przewodnikiem ustawionym prostopadłe do płytki w środku, przewody, opiłki, igielki magnetyczne

Wykonanie:

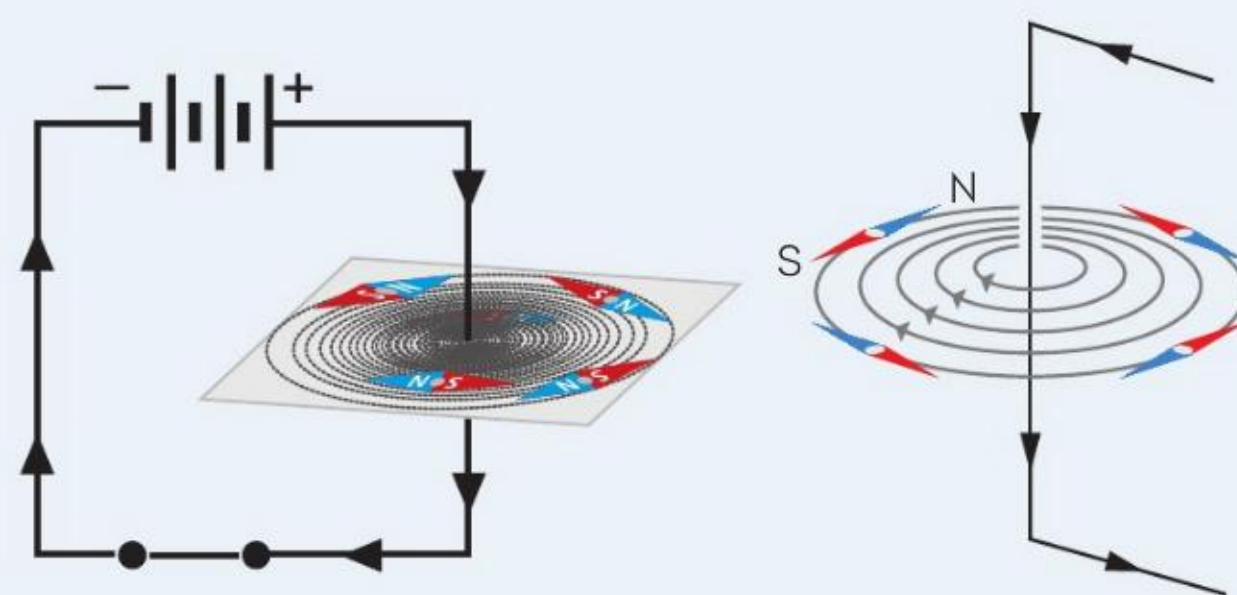
- Przez płytkę z tektury przeprowadź prostopadłe przewodnik włączony w obwód prądu stałego (według schematu). Płytkę podtrzymuj lub ustaw na podpórkach.
- Zamknij obwód i rozsyp opiłki wokół przewodnika. Obserwuj ułożenie opiłków.
- Sprzątnij opiłki i zamiast nich postaw na tekturce 4 małe igielki, jak pokazano na schemacie.
- Zamknij obwód i obserwuj ułożenie igiełek.
- Zmień kierunek prądu – zmień podłączenie do biegunów baterii.

Obserwacje:

- Wokół prostoliniowego przewodnika z prądem elektrycznym opiłki układają się w kształcie współśrodkowych okręgów. Im bliżej przewodnika, tym opiłki są bardziej zagęszczone. Im dalej, tym odległości między okręgami są coraz większe.
- Te same bieguny magnetyczne igiełek zwrócone są stycznie do wyznaczonego przez nie okręgu zawsze zgodnie lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara, w zależności od kierunku płynącego prądu.

Wnioski:

Linie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem mają kształt okręgów. Im bliżej przewodnika, tym pole magnetyczne jest silniejsze. Bieguny północne igiełek wskazują zwrot linii pola magnetycznego.



Zwrot linii pola magnetycznego

Zwrot linii pola magnetycznego wokół przewodnika możesz również ustalić, wykorzystując prawidłowość zwaną **regułą prawej dłoni** (il. 5.11):

Jeśli prawą dłoń ułożymy względem przewodnika tak, by kciuk wskazywał kierunek płynącego w nim prądu, to pozostałe zgięte palce wskażą zwrot linii pola magnetycznego.

Jak widzisz, wniosek ten jest zgodny z wnioskami Oersteda ustalonymi przez niego w czasie doświadczeń.

Regułę prawej dłoni możesz również zastosować do określenia wychYLENIA igły w doświadczeniu Oersteda (doświadczenie 42.). Sprawdź ją, wykorzystując zamieszczone zdjęcia.

Pole magnetyczne wokół przewodnika kołowego

Przeanalizujmy teraz, jak układają się linie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem, mającego kształt okręgu (przewodnika kołowego). Miedziany przewód przeciągniemy przez oddalone od siebie o kilkanaście centymetrów otwory w tekturce i uformujemy okrąg (pętlę). Końce przewodnika podłączymy przez wyłącznik do źródła napięcia, jak na rysunku obok (il. 5.12). Po zamknięciu obwodu, rozsypujemy opiłki żelazne i za pomocą igiełek magnetycznych określamy zwrot linii pola magnetycznego.

Zwrot linii pola magnetycznego wokół przewodnika kołowego łatwo można określić za pomocą poznanej reguły prawej dłoni. Jeśli kciuk zwrócony jest zgodnie z płynącym w przewodniku prądem, to pozostałe ugięte palce wskazują zwrot linii pola magnetycznego (il. 5.13).

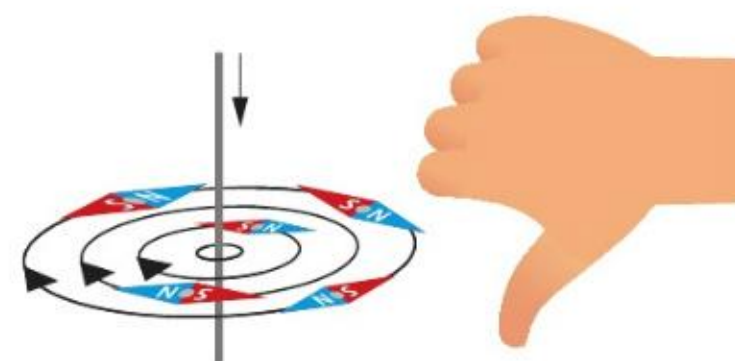
Reguła literowa dla przewodnika kołowego

Bieguny magnetyczne przewodnika kołowego z prądem łatwo możemy rozpoznać, stosując (oprócz reguły prawej dłoni) regułę literową polegającą na dorysowaniu literom N i S grotów strzałek zgodnych z kierunkiem przepływu prądu w przewodniku kołowym (il. 5.14).

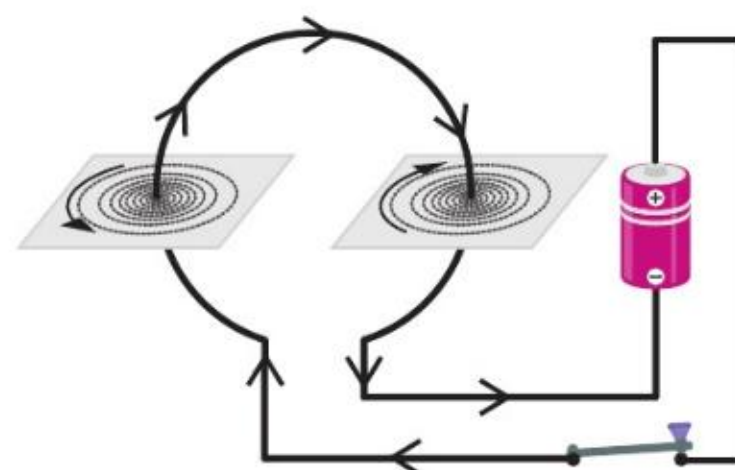
Stosując powyższe reguły, łatwo zauważyć, że

Jeśli w przewodniku kołowym prąd płynie zgodnie z ruchem wskazówek zegara, to wytworzone pole jest takie, jakby pochodziło od magnesu, którego biegun południowy S znajduje się przed płaszczyzną utworzoną przez przewód kołowy, a biegun północny N jest za płaszczyzną przewodnika kołowego.

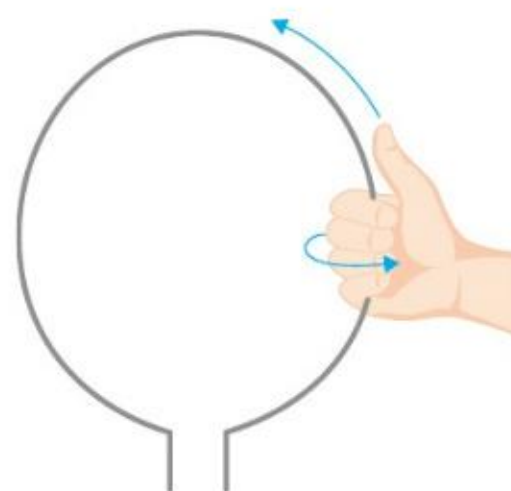
Zmiana kierunku przepływu prądu (na przeciwny) w przewodniku kołowym spowoduje zmianę biegunów magnetycznych na przeciwne.



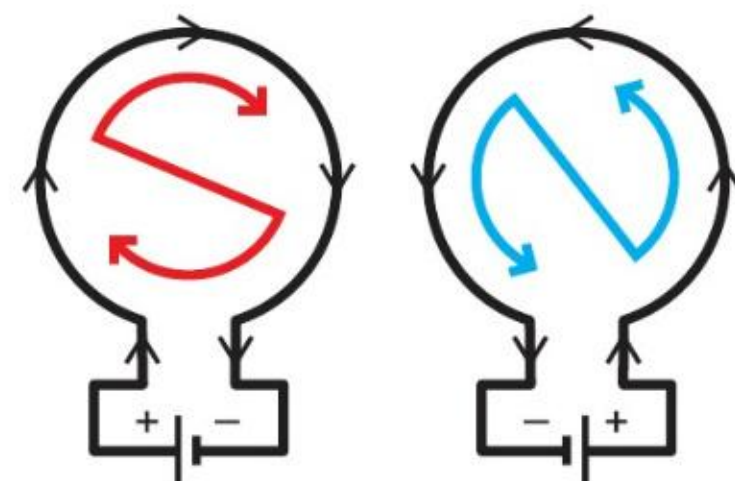
5.11 Reguła prawej dłoni



5.12 Linie pola magnetycznego wokół przewodnika kołowego



5.13 Reguła prawej dłoni dla przewodnika kołowego



5.14 Reguła literowa dla przewodnika kołowego

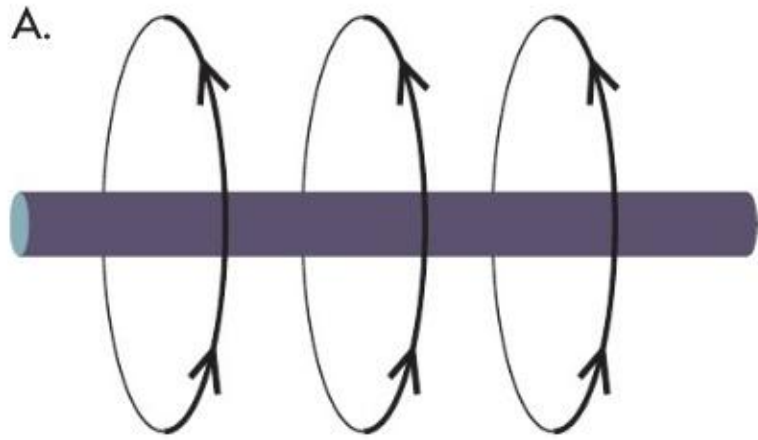
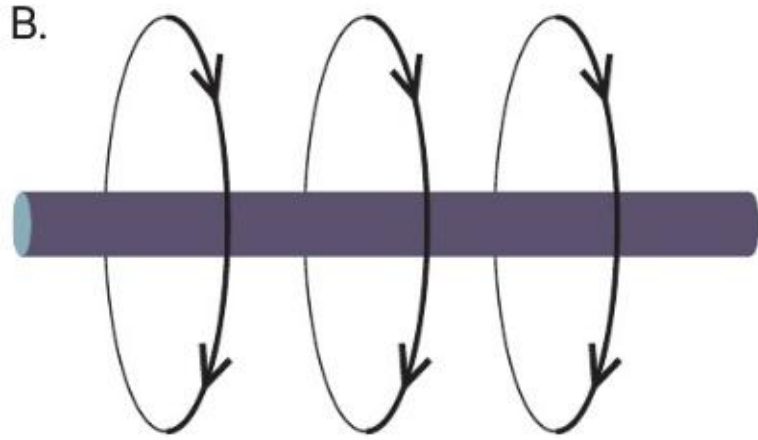
Ciekawe!

Odkrycie, że wokół przewodnika z prądem elektrycznym istnieje pole magnetyczne, pozwala przypuszczać, że pole magnetyczne magnesu trwałego można wyjaśnić istnieniem pól powstających wokół elektronów krążących wokół jądra i wirujących wokół własnej osi. Oznacza to, że pola elektryczne i magnetyczne są ze sobą ściśle związane. Pole elektryczne jest wytwarzane przez ładunki, które, poruszając się, wytwarzają też pole magnetyczne.

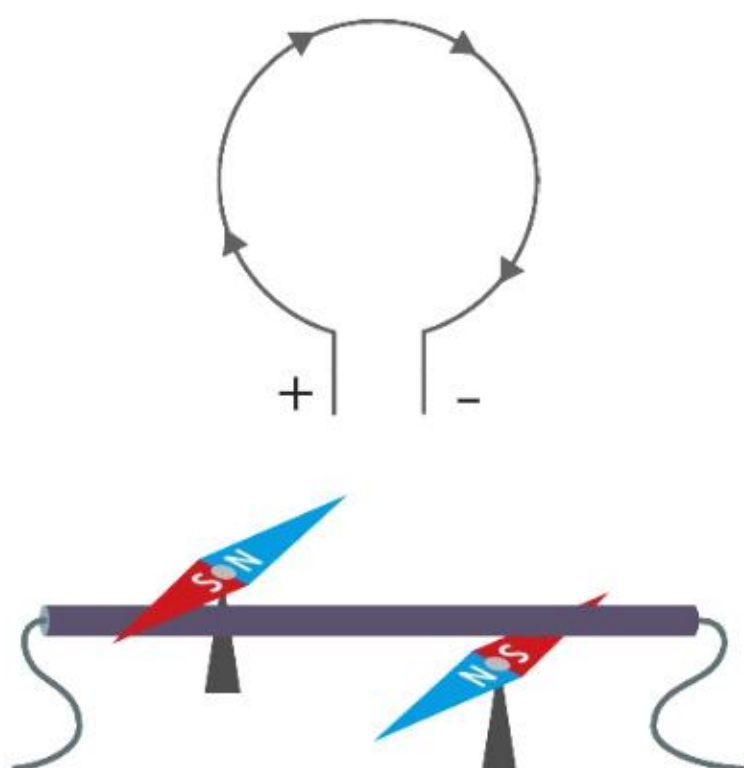
W skrócie

- Wokół przewodnika, w którym przepływa prąd elektryczny, istnieje pole magnetyczne, w którym na igłę magnetyczną działa siła magnetyczna.
- Igła magnetyczna ustawiona równolegle pod przewodnikiem zostaje odchylona w taki sposób, że jeśli ustawi się prawą dłoń nad przewodnikiem tak, by wnętrze dłoni zwrócone było do przewodnika, a cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek przepływu prądu, to odchylony kciuk wskaże wychylenie bieguna północnego tej igły.
- Zwrot linii pola magnetycznego wokół przewodnika możesz również ustalić, wykorzystując prawidłowość zwaną regułą prawej dłoni, która mówi, że jeśli prawą dłoń ułożymy względem przewodnika tak, by kciuk wskazywał kierunek płynącego w nim prądu, to pozostałe zgięte palce wskażą zwrot linii pola magnetycznego.
- W przewodniku kołowym bieguny magnetyczne możemy rozpoznać za pomocą prawej dłoni, jak również za pomocą reguły literowej.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Wybierz odpowiednie dokończenie zdania.
Wokół przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne, którego linie
A. to proste ustawione prostopadle do przewodnika.
B. mają kształt okręgów.
- Jeśli prąd w przewodniku płynie w prawo, to na którym rysunku poprawnie przedstawiono linie pola magnetycznego?
A. 
B. 
- Na rysunku obok przedstawiono przewodnik kołowy, przez który płynie prąd. Wybierz zdania fałszywe.
A. Wokół przewodnika powstało pole magnetyczne.
B. Prąd płynie przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
C. Biegun północny wytworzonego pola powstał przed przewodnikiem.
D. Biegun południowy wytworzonego pola powstał przed przewodnikiem.
E. Przewodnik kołowy oddziałuje z magnesem trwałym.

✶ Biegun północny igły magnetycznej stojącej pod przewodnikiem z prądem wychylił się przed przewodnik i biegun południowy igły magnetycznej umieszczonej nad przewodnikiem wychylił się przed przewodnik. Czy możliwa jest taka sytuacja? Określ kierunek (zwrot) prądu płynącego przez ten przewodnik.



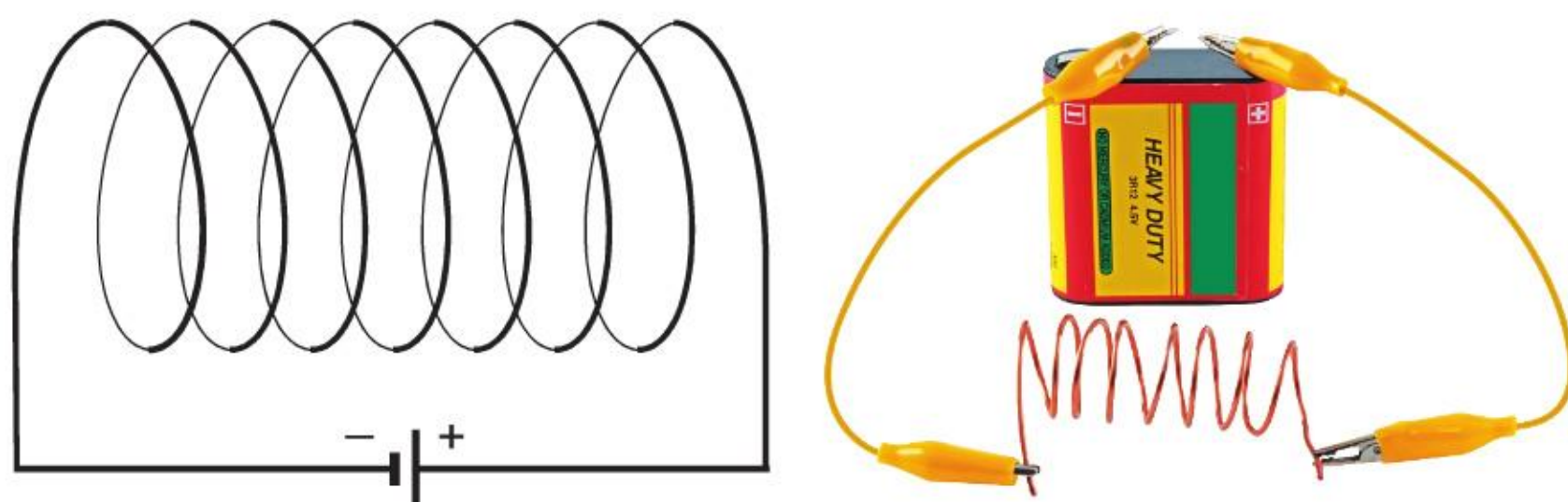
5.3 Elektromagnes i jego zastosowanie

Podejmij temat

- Dlaczego w dźwigach magnetycznych wykorzystuje się elektromagnes, a nie magnes stały?

Pole magnetyczne wokół zwojnicy

Do tej pory analizowaliśmy pole magnetyczne wytworzone wokół przewodnika prostoliniowego i kołowego. Jeżeli zamiast w jeden okrąg zwiniemy przewodnik w kształt sprężyny, to otrzymamy **zwojnicę** (cewkę, solenoid), którą możemy traktować jako szereg ułożonych obok siebie przewodników kołowych (il. 5.15). Pola magnetyczne tych przewodników składają się, tworząc pewne pole wypadkowe silniejsze od pola magnetycznego pojedynczego przewodnika kołowego.



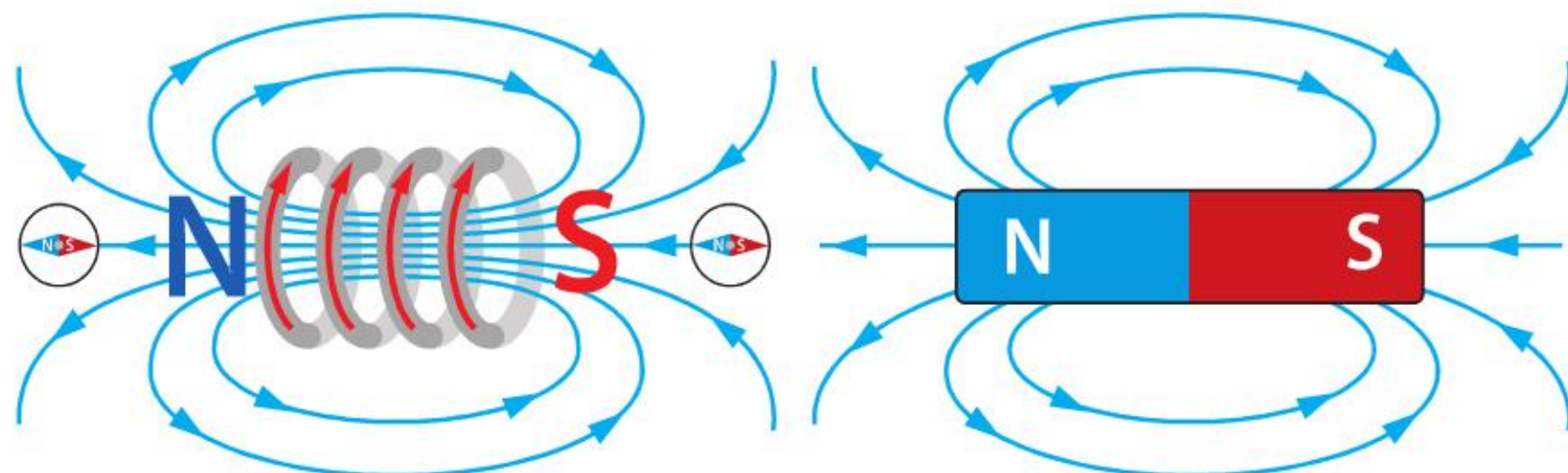
5.15 Zwojnica

Jeżeli porównamy właściwości magnetyczne zwojnicy, przez którą płynie prąd elektryczny, z magnesem sztabkowym, okaże się, że ich pola magnetyczne są podobne, co możemy sprawdzić doświadczalnie. Przedstawiają to poniższe rysunki (il. 5.16).

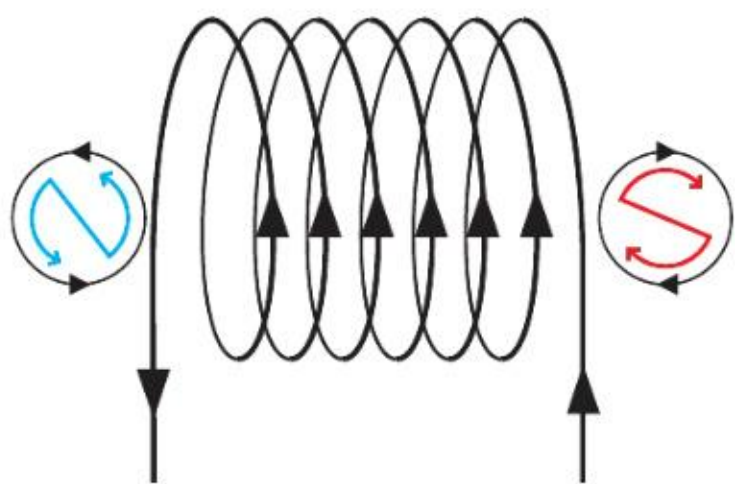
Na zewnątrz zwojnicy linie pola magnetycznego układają się tak, jak wokół magnesu sztabkowego. Wewnątrz zwojnicy linie te układają się równoległe – takie pole magnetyczne nazywamy **jednorodnym**.



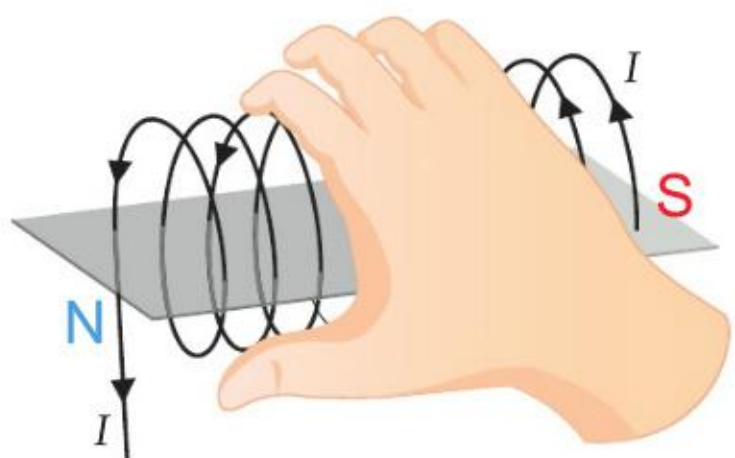
W każdym miejscu wewnątrz zwojnicy pole to jest jednakowo silne. W fizyce mówimy, że pole silniejsze ma większą **indukcję magnetyczną (B)**. W każdym punkcie jednorodnego pola magnetycznego wartość indukcji magnetycznej jest jednakowa.



5.16 Pola magnetyczne zwojnicy – przez którą płynie prąd – i magnesu sztabkowego



5.17 Bieguny magnetyczne zwojnicy



5.18 Reguła prawej dłoni dla zwojnicy

Bieguny magnetyczne zwojnicy

Bieguny magnetyczne zwojnicy możemy rozpoznać przez zastosowanie przy-swojonych już sposobów rozpoznawania biegunów magnetycznych przewod-nika kołowego, biorąc pod uwagę pierwszą z brzegu pętlę zwojnicy (il. 5.17).

Bardzo łatwo można rozpoznać bieguny magnetyczne zwojnicy, stosując kolejną regułę prawej dłoni.

Jeżeli prawą dłonią obejmiemy zwojnicę tak, aby cztery palce wskazywały kierunek prądu elektrycznego w zwojnicy, to odchylony kciuk wskaże koniec zwojnicy, przy którym znajduje się północny biegun powstałego magnesu.

Rysunek obok ukazuje rozpoznawanie biegunów magnetycznych zwojnicy za pomocą reguły prawej dłoni (il. 5.18).

Kiedy pole magnetyczne zwojnicy jest silniejsze?

Stwierdziliśmy wcześniej, że pole magnetyczne zwojnicy jest polem wypad-kowym jej zwojów. **Im zwojnica ma większą liczbę zwojów, tym pole magnetyczne wytworzone przez nią jest silniejsze.** Obserwacje i po-miary dowodzą również, że pole magnetyczne wytworzone przez zwojnicę jest tym **silniejsze, im większe jest natężenie prądu przepływającego przez zwojnicę.**

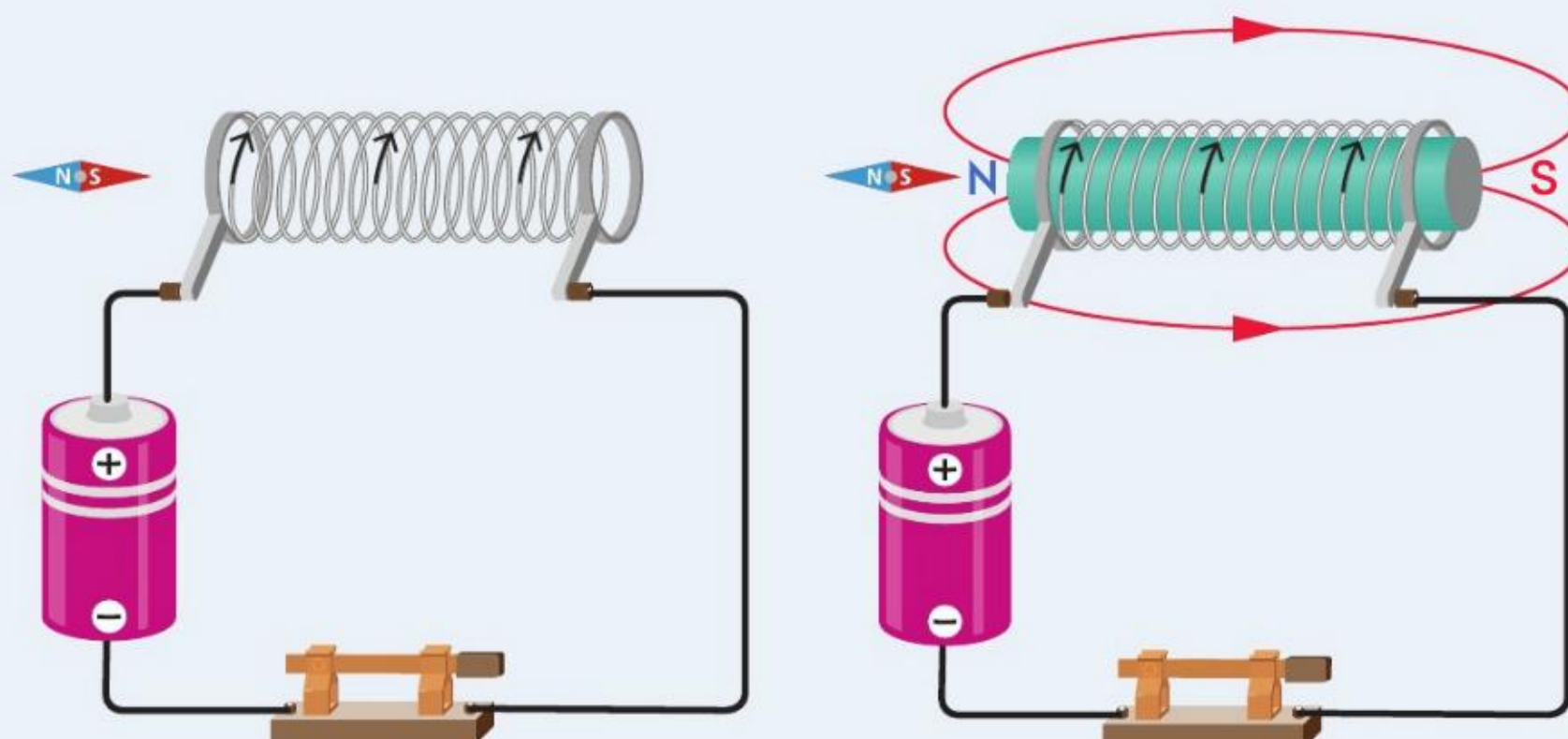
Doświadczenie 44.

Badamy oddziaływanie zwojnicy na igłę magnetyczną

Niezbędne przedmioty: zwojnica, rdzeń ze stali miękkiej (szybko się magnesującej i rozmagnesowującej) lub z żelaza, zasilacz bateryjny, przewody, igła magnetyczna, wyłącznik

Wykonanie:

- Zwojnicę, przez którą płynie prąd elektryczny, zbliż do igły magnetycznej. Obserwuj zachowanie się igły, zwracając uwagę, w którym momencie i jak szybko reaguje na przepływający w zwojnicy prąd.
- Włóż do środka zwojnicy rdzeń z miękkiej stali i zbliż go do igły magnetycznej. Porównaj, jak na zachowanie igły wpływa zwojnica pusta i zwojnica z rdzeniem ze stali.



Obserwacje i wnioski: Pole magnetyczne zwojnicy z rdzeniem z miękkiej stali jest znacznie silniejsze niż bez rdzenia.

Elektromagnes

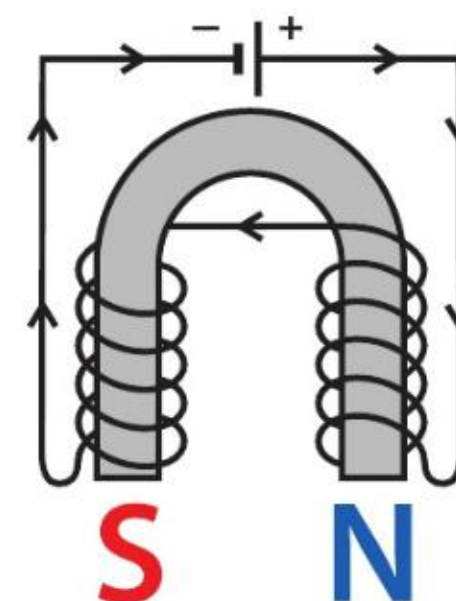
W ostatnim doświadczeniu zauważyłeś, że pole magnetyczne zwojnicy z rdzeniem z miękkiej stali jest znacznie silniejsze niż bez rdzenia. Takie urządzenie (zwojnica z rdzeniem z ferromagnetyka) nazywa się **elektromagnesem**. Najczęściej spotyka się elektromagnesy z rdzeniem żelaznym prostym i w kształcie podkowy (il. 5.19). Przy określaniu biegunów elektromagnesu w kształcie podkowy należy zwracać uwagę na kierunek przepływu prądu w zwojach nawiniętych na oba ramiona podkowy.

Elektromagnes wytwarza pole magnetyczne tylko wówczas, gdy przez jego uzwojenie płynie prąd elektryczny.

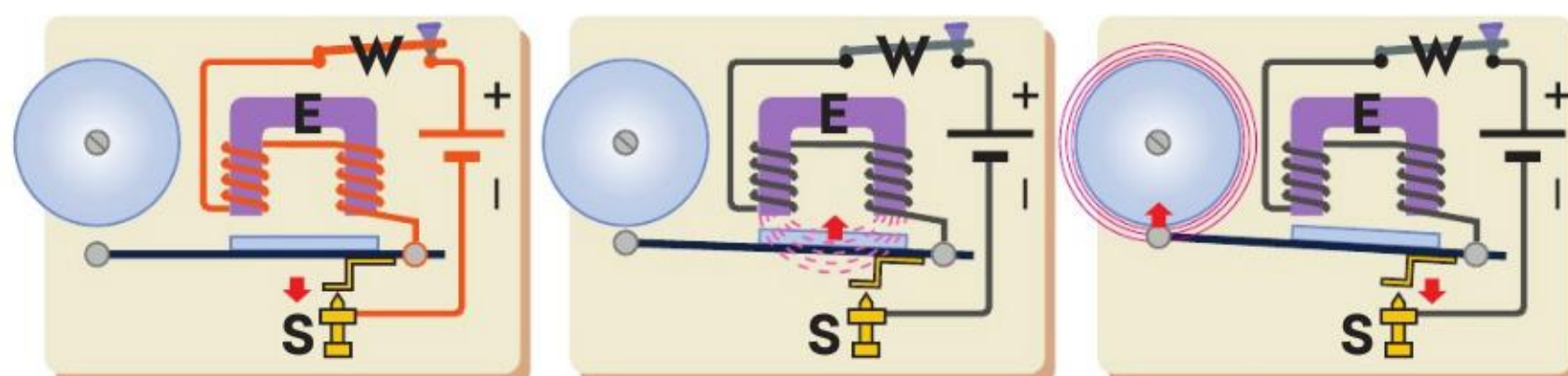
Pole magnetyczne elektromagnesu, podobnie jak pole magnetyczne magnesu, słabnie w miarę wzrostu odległości od niego. Zmieniając natężenie i kierunek (zwrot) prądu, możemy zmieniać wartość i zwrot wytwarzanego przez elektromagnes pola magnetycznego. Zmiany odległości od biegunów (również w wypadku magnesu trwałego), zmiany liczby zwojów, natężenia i kierunku (zwrotu) prądu w zwojnicy elektromagnesu powodują powstawanie **zmiennego pola magnetycznego**.

Zastosowanie elektromagnesów

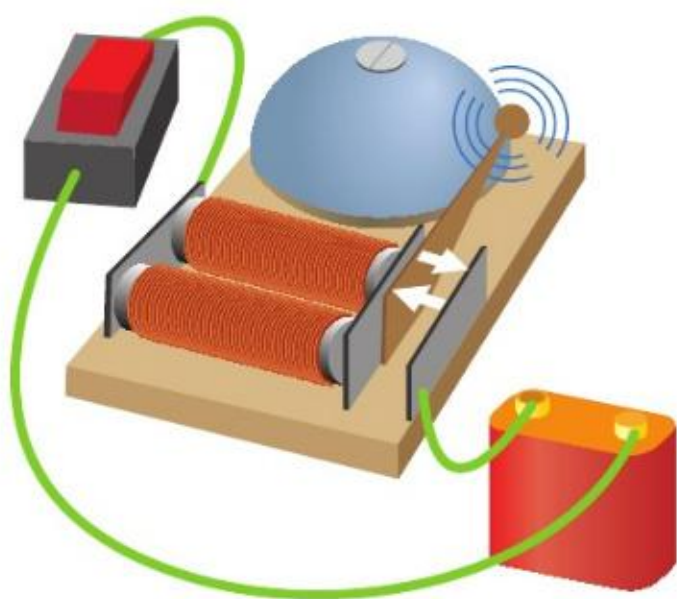
Elektromagnesy mają szerokie zastosowania praktyczne w wielu dziedzinach techniki i nauki. W hutnictwie stosuje się dźwigi elektromagnetyczne do transportu złomu żelaznego oraz do automatycznego oddzielania rudy żelaza od innych skał. Podobne zastosowanie mają elektromagnesy w składach i punktach przerobu surowców wtórnych. Ich niewątpliwą przewagą nad magnesami jest to, że po wyłączeniu prądu pole magnetyczne znika i wtedy unoszony ładunek spada. Od silnych magnesów trwałych przedmioty musiałyby być odrywane. W halach produkcyjnych stosuje się elektromagnesy do transportu blach i ciężkich stalowych elementów, produktów i półproduktów. W medycynie elektromagnesy wykorzystuje się np. do usuwania żelaznych odłamków, które utkwili w gałce ocznej czy w ranach, lub w urządzeniach diagnostycznych, m.in. w aparacie do wykonywania rezonansu magnetycznego. Liczne zastosowania znalazły elektromagnesy w różnych maszynach, urządzeniach i przyrządach. Przykładem może być zwykły **dzwonek elektryczny** (il. 5.20).



5.19 Elektromagnes



5.20 Schemat działania dzwonka elektrycznego



5.21 Budowa dzwonka elektrycznego

Jeśli wyłącznik W (il. 5.20) zostanie zamknięty (naciśnięcie przycisku dzwonka), w obwodzie zaczyna płynąć prąd i zwojnica E staje się magnesem. Przyciąga on zworę i kulka (młoteczek) zaczyna uderzać o czaszę dzwonka. Przyciągnięcie zwory do elektromagnesu przerywa przepływ prądu w miejscu styku S, a blaszka sprężynująca powoduje, że zwora z młoteczkiem opada, co ponownie łączy styk S – w obwodzie znów zaczyna płynąć prąd i sytuacja się powtarza. Dzwonek dzwoni, dopóki wyłącznik W jest włączony i zamyka obwód. Podobnie działają zamki elektryczne, często stosowane w drzwiach wejściowych otwieranych domofonem, czy elektrozaczepy w furtkach.

Zastosowanie elektromagnesów w silnikach i miernikach elektrycznych poznasz w toku dalszej nauki.

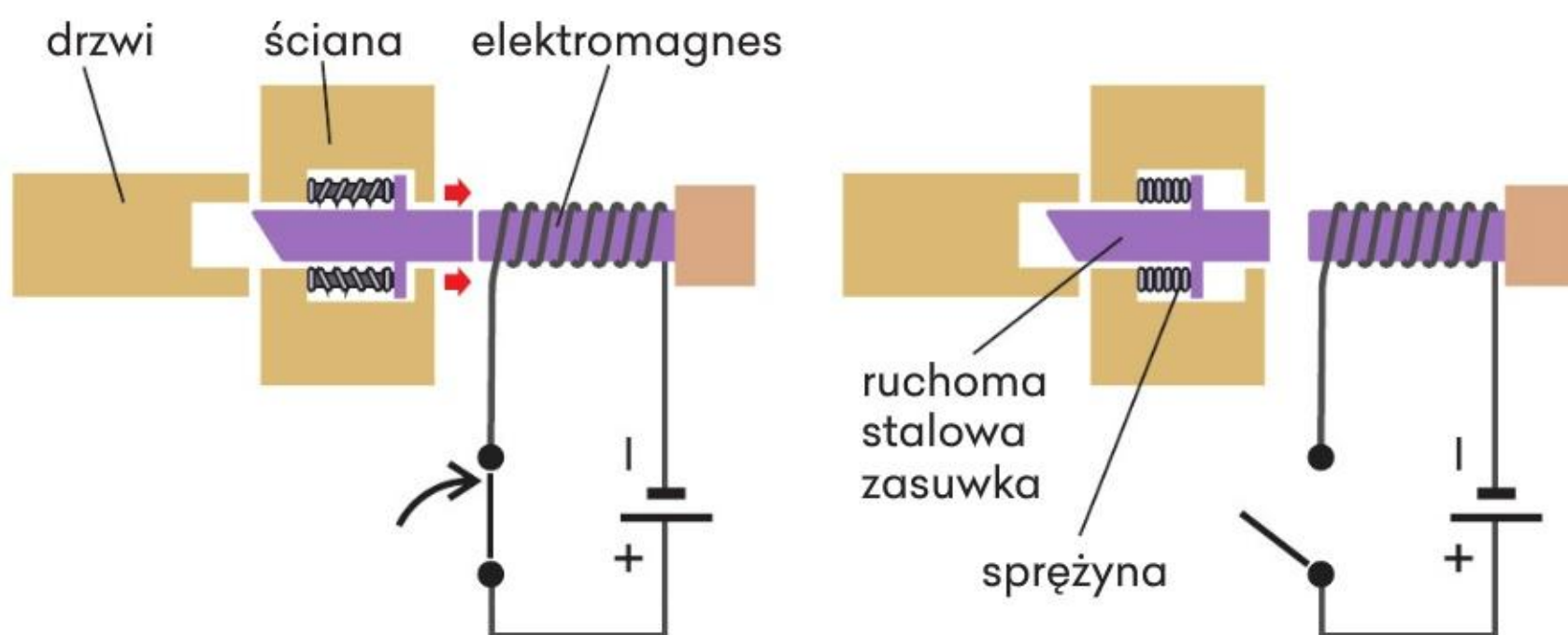
W skrócie

- Zwojnica wytwarza wokół siebie pole magnetyczne podobne do pola wytworzonego przez magnes sztabkowy. Położenie biegunów tego pola wyznaczamy, stosując regułę prawej dłoni. Jeżeli prawą dłońią obejmujemy zwojnicę tak, aby cztery palce wskazywały kierunek prądu elektrycznego w zwojnicy, to odchylony kciuk wskaże koniec zwojnicy, przy którym znajduje się północny biegun powstałego magnesu.
- Im zwojnica ma większą liczbę zwojów, tym pole magnetyczne wytworzone przez nią jest silniejsze. Pole magnetyczne wytworzone przez zwojnicę jest tym silniejsze, im większe jest natężenie prądu przepływającego przez zwojnicę.
- Elektromagnes to zwojnica, wewnątrz której znajduje się rdzeń ze stali miękkiej lub z żelaza.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Elektromagnes składa się ze zwojnicy i rdzenia wykonanego z ferromagnetyka (stali lub żelaza).
 - B. Elektromagnes składa się ze zwojnicy i rdzenia wykonanego z dowolnego metalu.
 - C. Bieguny magnetyczne elektromagnesu można rozpoznać, stosując regułę prawej dłoni.
 - D. Elektromagnes jest silniejszy, jeśli składa się z większej liczby zwojów i / lub płynie przez niego prąd o większym natężeniu.

- 2 Wyjaśnij zasadę działania zamka elektrycznego (rysunek obok).



- 3 Wykonaj samodzielnie elektromagnes, wykorzystując długi stalowy gwóźdź, baterię płaską oraz izolowany cienki przewód o długości kilkudziesięciu centymetrów. Przygotuj instrukcję wykonania elektromagnesu i udokumentuj jego działanie za pomocą zdjęcia.

5.4 Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem

Podejmij temat

- Dlaczego przewodnik z prądem umieszczony między biegunami magnesu jest wciągany do jego wnętrza lub z niego wypychany?

Siła magnetyczna (elektrodynamiczna)

Wiesz już, że wokół każdego przewodnika z prądem istnieje pole magnetyczne, w którym na igłę magnetyczną działa siła magnetyczna. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona igła magnetyczna, a dokładniej pole wytworzone wokół niej, powinna również oddziaływać na przewodnik z prądem siłą magnetyczną.

Czy tak jest, przekonamy się, wykonując doświadczenie. Igłę magnetyczną zastąpimy magnesem trwałym.

Doświadczenie 45.

Badamy oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem

Niezbędne przedmioty: magnes podkowiasty, lekka ramka aluminiowa lub wykonana z drutu miedzianego, bateria płaska, statyw, przewody, ewentualnie krokodylki

Wykonanie:

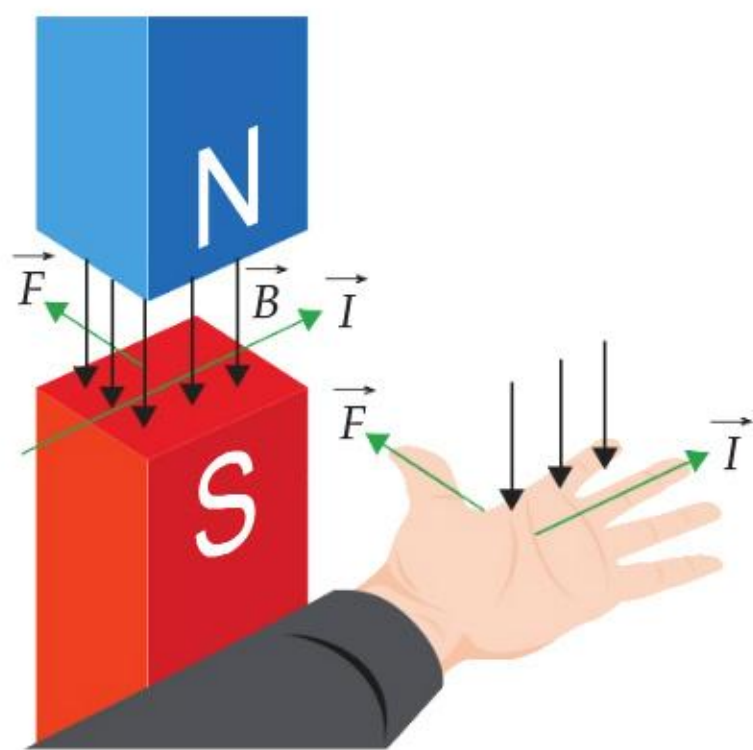
- Umieść między biegunami magnesu podkowiastego zawieszoną na statywie lekką ramkę.
- Połącz ją na chwilę z baterią (źródłem prądu stałego) i obserwuj, co się dzieje.
- Powtórz doświadczenie, raz zmieniając kierunek (zwrot) prądu (poprzez zmianę podpięcia przewodów do biegunów baterii), drugim razem – zmieniając bieguny magnesu podkowiastego (obróć magnesu). Za każdym razem obserwuj zachowanie ramki.

Obserwacje: Po podłączeniu do źródła prądu ramka wychyla się z położenia równowagi. Po zmianie kierunku prądu odchyła się w drugą stronę. Zmiana biegunów magnesu również powoduje zmianę odchylenia ramki.

Wnioski:

- Ramka wychyla się z położenia równowagi, gdy płynie przez nią prąd, a więc musi działać na ramkę siła magnetyczna ze strony pola magnetycznego magnesu. **Siłę, z jaką pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, nazywamy siłą elektrodynamiczną (magnetyczną).**
Kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej zależy od kierunku prądu płynącego w przewodniku oraz zwrotu linii pola magnetycznego magnesu, w którym umieszczony jest przewodnik z prądem.





5.22 Reguła lewej dłoni

Kierunek i zwrot siły magnetycznej (elektrodynamicznej)

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że kierunek przepływu prądu i linie pola magnetycznego magnesu są do siebie prostopadłe. Kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej można wyznaczyć za pomocą **reguły lewej dłoni**.

Jeżeli lewą dłoń ułożymy tak, aby jej wewnętrzna strona zwrócona była w stronę bieguna północnego N (linie pola magnetycznego wchodzić wówczas w dłoń), a cztery wyprostowane palce skierowane były zgodnie z kierunkiem płynącego prądu, to odchylony kciuk wskaże zwrot i kierunek siły elektrodynamicznej.

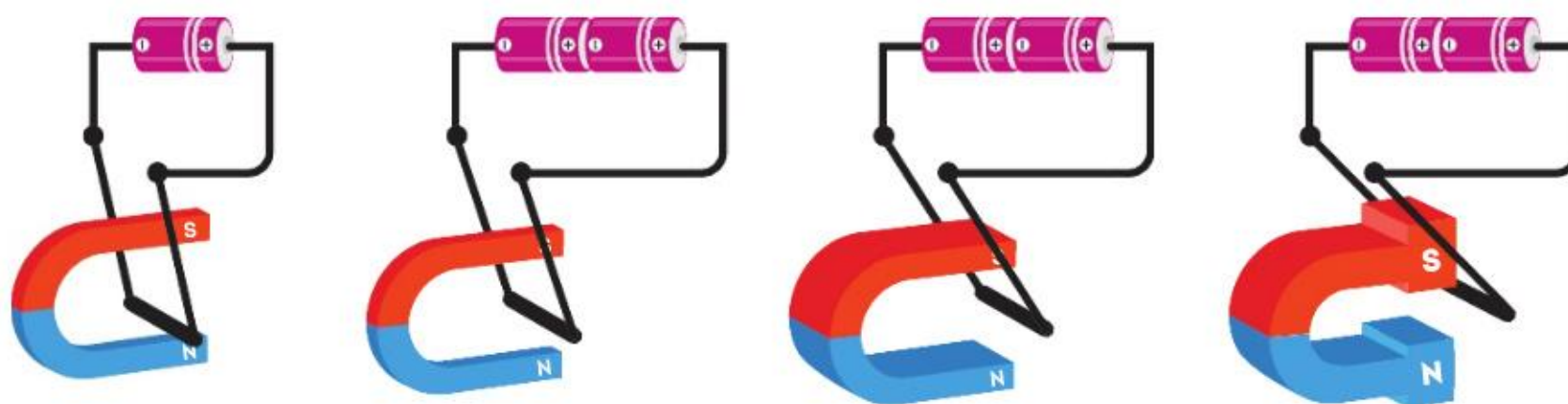
Musisz pamiętać, że:

- siła elektrodynamiczna działa na przewodnik z prądem tylko wówczas, gdy przewodnik **nie jest ułożony równolegle** do linii pola magnetycznego, w którym się znajduje,
- siła elektrodynamiczna działa zawsze w kierunku prostopadłym do kierunku linii pola magnetycznego.

Od czego zależy wartość siły elektrodynamicznej?

Możesz powtórzyć poprzednie doświadczenie, zwiększając natężenie prądu w przewodniku (dwie baterie połączone szeregowo), a następnie używając szerszego i silniejszego magnesu podkowiastego (il. 5.23). Zauważysz, że ramka, przez którą płynie prąd o większym natężeniu, wychyliła się o wiele bardziej z położenia równowagi. Podobny efekt zauważysz, używając silniejszego i szerszego magnesu. Zaobserwujesz też, że przy szerszym magnecie wzrasta długość przewodnika znajdująca się w jednorodnym polu magnetycznym. Na podstawie doświadczeń i naszych rozważań możemy sformułować następujący wniosek:

Wartość siły elektrodynamicznej jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu płynącego przez przewodnik oraz do długości przewodnika znajdującego się w polu magnetycznym i jest tym większa, im silniejsze pole magnetyczne oddziałuje na przewodnik z prądem.



5.23 Wartość siły elektrodynamicznej rośnie wraz ze wzrostem natężenia prądu, długości przewodnika oraz zastosowania silniejszych magnesów (wzrost wartości indukcji magnetycznej)

Jak obliczyć wartość siły elektrodynamicznej?

Wartość siły elektrodynamicznej jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu I oraz do długości przewodnika umieszczonego w polu l , a także zależy od wartości pola magnetycznego (tzw. indukcji magnetycznej B). Jest największa, gdy przewodnik jest ustawiony prostopadłe do linii pola magnetycznego i wtedy równa się: $F = B \cdot I \cdot l$, a równa zero, gdy przewodnik jest ustawiony wzdłuż linii pola magnetycznego.

Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem

Skoro stwierdziliśmy, że pole magnetyczne oddziałuje na przewodnik z prądem, i wiemy, że prąd elektryczny płynący w przewodniku wytwarza wokół niego pole magnetyczne, to również powinny oddziaływać na siebie dwa przewodniki z prądem. Sprawdźmy doświadczalnie, czy tak się dzieje.

Doświadczenie 46.

Badamy oddziaływanie dwóch przewodników z prądem

Niezbędne przedmioty: dwa paski folii aluminiowej długości 40–50 cm, cztery baterie płaskie (mogą być R20), drewniany statyw (lub metalowy z drewnianym wspornikiem), przewody, krokodylki

Wykonanie:

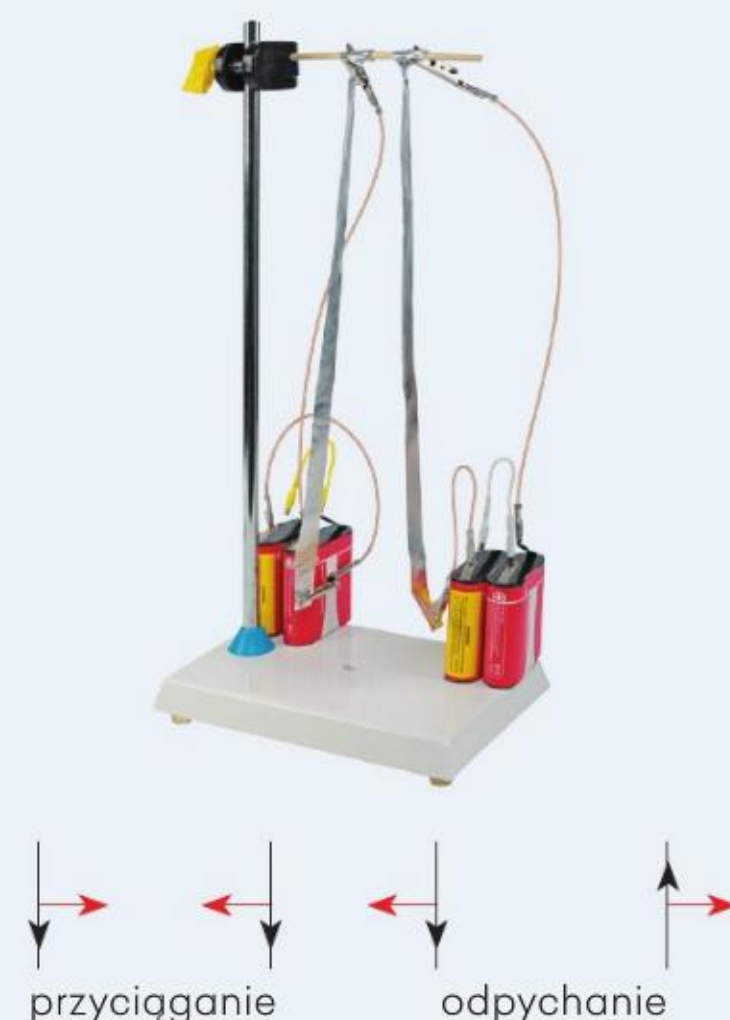
- Wykonaj dwa obwody z paskami folii, jak na zdjęciu. Paski folii zawieś w odległości 3–4 cm od siebie, tak aby nie stykały się ze sobą.
- Połącz przewodniki z bateriami, na krótko, by w paskach folii płynął prąd w tym samym kierunku, np. w dół, i obserwuj, co się dzieje.
- W jednym z obwodów zmień kierunek płynącego prądu (podłącz odwrotnie baterie) i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje i wnioski:

- Z obserwacji zachowania pasków wynika, że jeżeli przez dwa równoległe przewodniki płynie prąd w tych samych kierunkach (o tych samych zwrotach), to przewodniki te wzajemnie się przyciągają, a jeżeli kierunki (zwroty) płynących prądów w przewodnikach są przeciwne – przewodniki się odpychają.

Siła wzajemnego oddziaływania przewodników jest tym większa, im większe jest natężenie prądu płynącego w przewodnikach, a także im dłuższe są odcinki przewodników oddziałujących na siebie oraz im mniejsza jest odległość między przewodnikami.

Oddziaływanie pola magnetycznego na przewodniki z prądem jest podstawą działania silników elektrycznych na prąd stały.



W skrócie

- Siłę, z jaką pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, nazywamy siłą elektrodynamiczną (magnetyczną).
- Kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej zależą od kierunku prądu płynącego w przewodniku oraz zwrotu linii pola magnetycznego magnesu, w którym umieszczony jest przewodnik z prądem. Można ją wyznaczyć za pomocą reguły lewej dłoni: Jeżeli dłoń ułożymy tak, aby jej wewnętrzna strona zwrócona była w stronę bieguna północnego N (linie pola magnetycznego wchodzić wówczas w dłoń), a cztery wyprostowane palce skierowane były zgodnie z kierunkiem płynącego prądu, to odchylony kciuk wskaże zwrot i kierunek siły elektrodynamicznej.
- Wartość siły elektrodynamicznej jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu I , do długości przewodnika umieszczonego w polu l oraz zależy od wartości pola magnetycznego (tzw. indukcji magnetycznej B).
- Jeśli przez dwa równoległe ułożone przewodniki płynie prąd w tę samą stronę, to one się przyciągają. Jeśli prąd płynie w przeciwnych kierunkach, to się odpychają.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

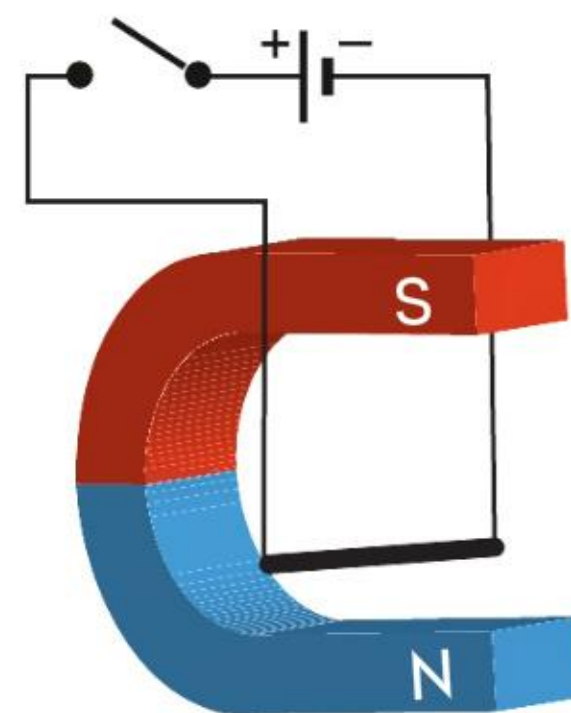
1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Siłą elektrodynamiczną nazywamy siłę, z jaką pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem.
- B. Siła elektrodynamiczna ma największą wartość, gdy przewodnik jest ułożony równolegle do linii pola magnetycznego.
- C. Im większe natężenie prądu płynącego przez przewodnik z prądem, tym większa jest wartość siły magnetycznej działającej na ten przewodnik.
- D. Im silniejsze pole magnetyczne oddziałuje na przewodnik z prądem, tym większa jest wartość siły elektrodynamicznej działającej na ten przewodnik.
- E. Im krótszy przewodnik z prądem umieszczony jest w polu magnetycznym, tym większa siła elektrodynamiczna na niego działa.

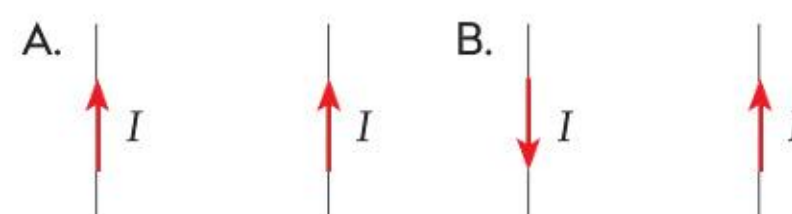
2 Określ, co się stanie po zamknięciu wyłącznika (patrz rysunek obok).

Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. W obwodzie będzie płynął prąd w kierunku od minusa do plusa baterii.
- B. Pole magnetyczne jest zwrócone z góry na dół, czyli od S do N.
- C. Przewodnik z prądem po zamknięciu wyłącznika zostanie wypchnięty na zewnątrz magnesu.
- D. Gdy odwrócimy magnes, ale nie zmienimy kierunku prądu, przewodnik z prądem po zamknięciu wyłącznika zostanie wciągnięty do wnętrza magnesu.
- E. Gdy odwrócimy magnes i jednocześnie zmienimy kierunek prądu (zamienimy bieguny baterii), przewodnik z prądem po zamknięciu wyłącznika zostanie wciągnięty do wnętrza magnesu.



★ Jak oddziałują na siebie dwa przewodniki z prądem? Skopiuj rysunek do zeszytu i dorysuj siły wzajemnego oddziaływania przewodników.



5.5 Silniki prądu elektrycznego

Podejmij temat



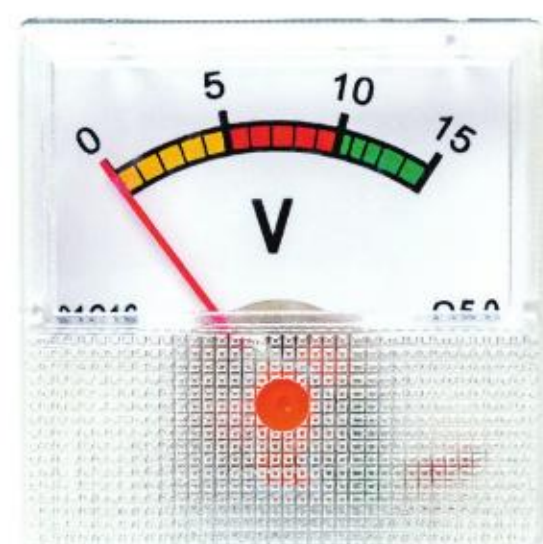
Co łączy mierniki prądu elektrycznego z silnikami elektrycznymi?



Jak wykorzystuje się działanie siły elektrodynamicznej?

Przykładami wykorzystania siły elektrodynamicznej w praktyce są mierniki prądu elektrycznego: woltomierze, miliamperomierze, galwanometry (il. 5.24) oraz silniki elektryczne różnego zastosowania.

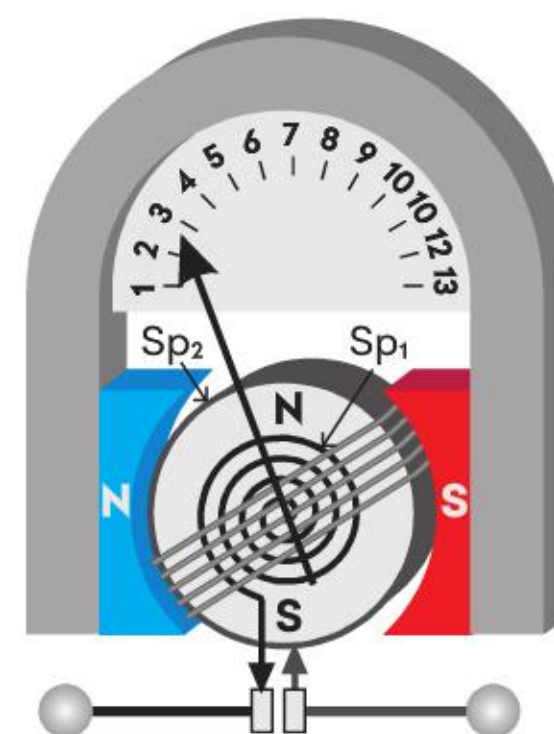
Ze względu na konstrukcję i zasady działania mierniki prądu elektrycznego dzielimy na trzy grupy: mierniki magnetoelektryczne, mierniki elektrodynamiczne i mierniki elektromagnetyczne.



5.24 Mierniki prądu elektrycznego

Jednymi z częściej stosowanych są mierniki magnetoelektryczne. Zbudowane są one ze stałych magnesów trwałych, a między różnoimiennymi biegunami tych magnesów umieszczona jest zwojnica w kształcie ramki osadzona na osi (il. 5.25). Do niej przymocowana jest wskazówka. Końce osi są przymocowane do dwóch sprężynek (Sp_1 , Sp_2), przez które dopływa prąd do zwojnicy. Im większe jest natężenie prądu płynącego przez zwojnicę, tym większa działa na nią siła elektrodynamiczna i tym większe jest wychylenie wskazówki.

W miernikach elektrodynamicznych zamiast magnesów trwałych wmontowane są dwie zwojnice tworzące elektromagnesy, ale zasada ich działania jest identyczna jak mierników magnetoelektrycznych. W miernikach zamontowane są dodatkowo różne oporniki oraz podziałki, dzięki którym możesz odczytać wartość natężenia, napięcia, a często i oporu.



5.25 Miernik magnetoelektryczny

Model silnika elektrycznego

Inną grupą urządzeń elektrycznych, w których wykorzystujemy siłę elektrodynamiczną, są **silniki elektryczne**. Zasadę działania silnika elektrycznego poznamy na przykładzie zamkniętej ramki z przewodnika zamocowanej na osi, która może swobodnie obracać się w polu magnetycznym między biegunami N i S stałego magnesu (il. 5.26). Końce ramki połączone są z dwoma odizolowanymi od siebie półpierścieniami (P_1 , P_2). Półpierścienie te tworzą **komutator** osadzony na tej samej osi co ramka. Końcówki ramki dotykają półpierścieni komutatora, do którego doprowadzany jest prąd za pomocą szczotek S_1 , S_2 , zbudowanych najczęściej z grafitu lub metalu.

W tym położeniu ramki prąd płynie w kierunku $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ (il. 5.27).

Stosując regułę lewej dłoni, zauważysz, że siła elektrodynamiczna na odcinku AB ramki zwrócona jest w prawo, a na odcinku CD w lewo. Pod działaniem sił elektrodynamicznych ramka zaczyna się obracać wokół osi obrotu, w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara.

Biegun S utworzony przed ramką przyciągany jest przez biegun N magnesu stałego.

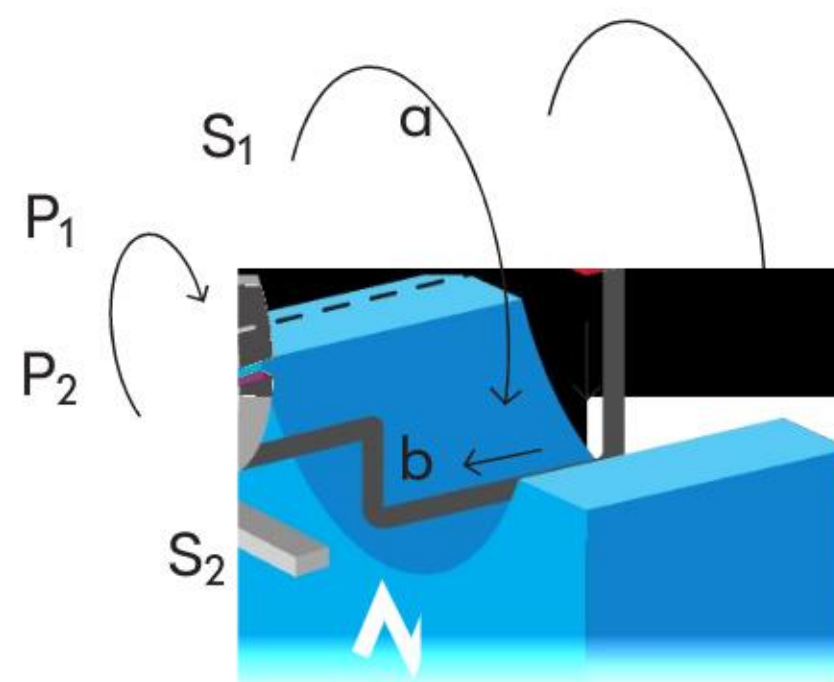
W tym położeniu prąd przez chwilę nie płynie, gdyż szczotki trafiają na przerwę między pierścieniami komutatora.

Dzięki bezwładności rozpędzona ramka szybko mija położenie, gdy obie szczotki nie zasilają ramki.

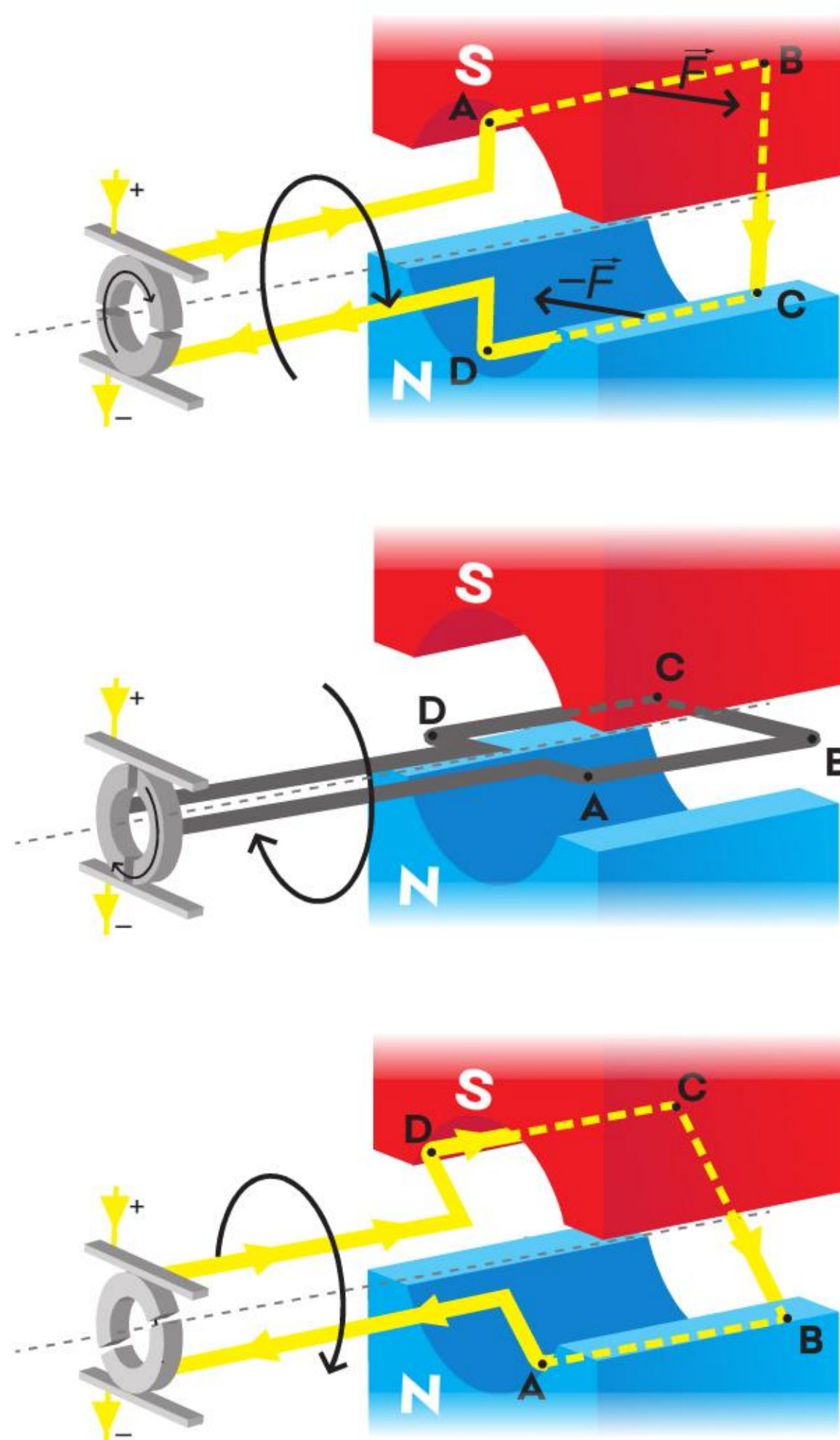
Teraz prąd płynie w kierunku $D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$. Szczotki dotykają innych pierścieni komutatora. Ramka dalej zmienia swoje położenie, a zwrot siły elektrodynamicznej pozostaje bez zmian.

Z tej strony ramki, gdzie był biegun S, jest teraz biegun N, w naszym modelu wciąż za ramką, a biegun S przed ramką. Bieguny jednoimienne ramki i magnesu stałego odpychają się, a później, po minięciu pozycji z pierwszego rysunku, różnoimienne się przyciągają.

Aby ramka mogła się ciągle obracać w tę samą stronę, musi zachodzić zmiana zwrotu płynącego w niej prądu co 180° jej obrotu. Zmiany te zapewnia komutator.



5.26 Budowa silnika elektrycznego



5.27 Schemat działania silnika elektrycznego

Silniki elektryczne na prąd stały

Na podstawie omawianego prostego modelu silnika mogłeś zaobserwować, że energia elektryczna zamieniana jest w nim na energię mechaniczną ruchu obrotowego ramki.

W stosowanych w praktyce silnikach pole magnetyczne jest najczęściej wytwarzane za pomocą elektromagnesów, a pojedyncza ramka zastąpiona została zwojnicą składającą się z większej liczby zwojów ułożonych w żłobkach cylindrycznego rdzenia (il. 5.28). Komutator składa się nie z dwóch półpierścieni, lecz z walca podzielonego na tyle par wycinków, ile ramek ma uzwojenie.

Każdy taki silnik składa się z dwóch części. Są to:

- 1) część nieruchoma – **stojan**, w postaci magnesu trwałego lub elektromagnesu,
- 2) część ruchoma – **wirnik**, w postaci zwojnicy lub kilku zwojnic umieszczonych na żelaznym rdzeniu.

Końce zwojnic połączone są z komutatorem. Uzwojenie elektromagnesu jest zasilane z tego samego źródła co uzwojenie wirnika.

Silniki pojazdów na prąd stały stosowane są w trakcjach elektrycznych lokomotyw, tramwajów, trolejbusów, a także w pojazdach mechanicznych – samochodach, motorowerach elektrycznych, wózkach akumulatorowych. Stosowane są również w napędach dźwigów, wentylatorów, rozrusznikach czy wycieraczkach samochodowych (il. 5.29).



5.29 Zastosowanie silników na prąd stały

Silniki elektryczne na prąd przemienny

W większości domowych urządzeń, w których kosztem energii elektrycznej wykonywana jest praca, znajdziesz silniki elektryczne. Są to silniki robotów kuchennych, mikserów, maszynek do mięsa, malakserów, sokowirówek, odkurzaczy, wentylatorów, suszarek do włosów. Zasilane są prądem przemiennym z domowej instalacji elektrycznej. Prąd taki charakteryzuje się okresowo zmieniającym się natężeniem i kierunkiem, o czym dowiesz się później.

Silniki zasilane prądem przemiennym działają na zasadzie wzajemnego oddziaływania biegunów magnesów i elektromagnesów.



5.28 Szkolny model silnika. Elektromagnesy (1) i zwoje ułożone w żłobkach cylindrycznego rdzenia (2)

Ciekawe!

Pierwszy model silnika elektrycznego zbudował w 1831 roku angielski fizyk Michael Faraday (czyt. majkel **faradej**; 1791–1867). Pierwszy silnik elektryczny z komutatorem zbudował i zastosował praktycznie (do napędu łódki) w 1834 roku Moritz (czyt. moric) Hermann Jakobi (1801–1874), rosyjski fizyk i elektrotechnik pochodzenia niemieckiego.

Ciekawe!

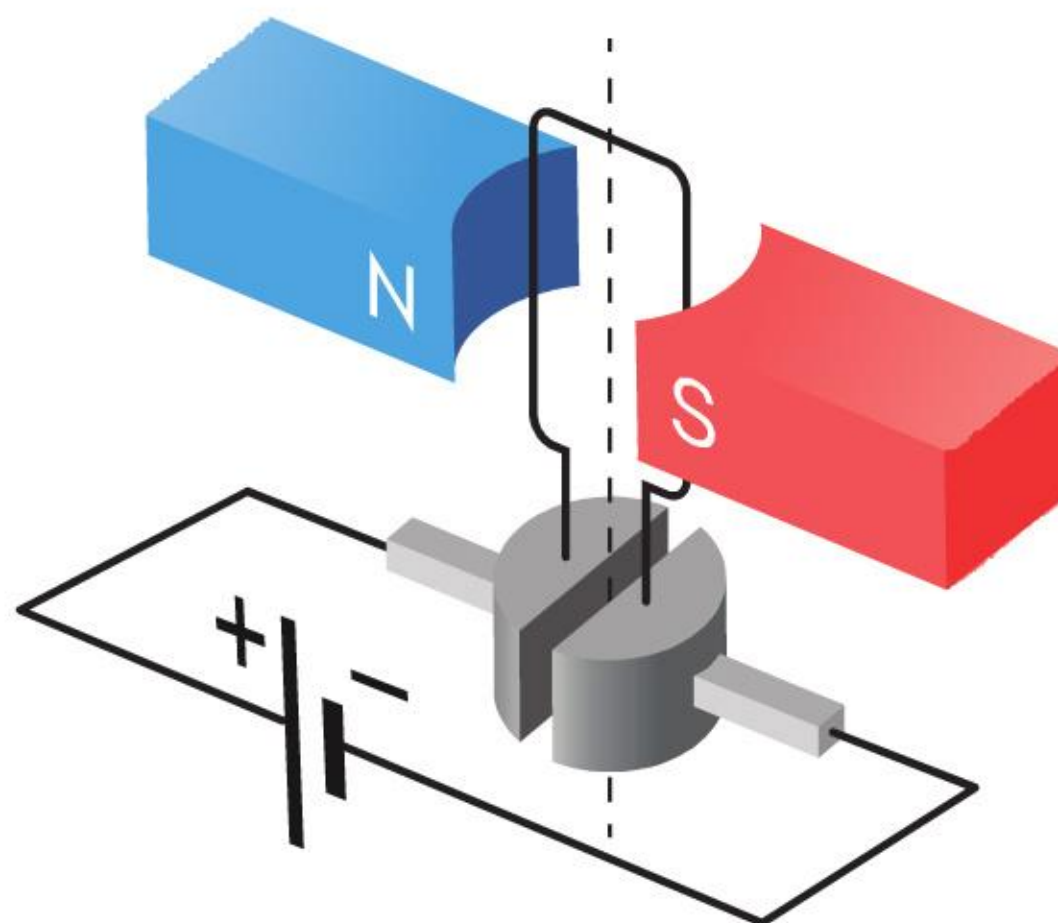
Obecnie coraz częściej stosowane są silniki elektryczne bezszczotkowe, ze względu na niezawodność oraz możliwość sterowania ich prędkością. Stosowane są w napędach dysków optycznych (CD, DVD), dyskach twarde, wentylatorach komputerowych, większości pojazdów o napędzie elektrycznym, elektronarzędziach akumulatorowych oraz urządzeniach, w których iskry powstające na szczotkach mogłyby doprowadzić do zaprószenia ognia czy wybuchu.

W skrócie

- Przykładami wykorzystania siły elektrodynamicznej w praktyce, czyli oddziaływania magnesów (lub elektromagnesów) z elektromagnesami, są mierniki prądu elektrycznego oraz silniki elektryczne.
- Każdy silnik składa się z dwóch części: nieruchomej (stojan), którą stanowi magnes trwały lub elektromagnes oraz ruchomej (wirnik) – w postaci zwojnicy lub kilku zwojnic umieszczonych na żelaznym rdzeniu.
- W silnikach energia elektryczna zamieniana jest na energię mechaniczną ruchu obrotowego wirnika. Silniki, w zależności od zastosowania, zasilane są prądem stałym lub przemiennym.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Oddziaływanie magnesów (lub elektromagnesów) z elektromagnesami zostało wykorzystane w konstrukcji silnika elektrycznego.
 - B. Każdy silnik składa się ze stojana oraz wirnika.
 - C. Stojan to część ruchoma silnika.
 - D. Wirnik to część ruchoma silnika.
 - E. Komutator służy do zmiany kierunku prądu.
 - F. Szczotki, zbudowane najczęściej z grafitu lub metalu, doprowadzają prąd do wirnika.
 - G. W silniku energia mechaniczna zamieniana jest na energię elektryczną.
- 2 Skopiuj rysunek do zeszytu, określ i uzupełnij rysunek o:



- a) zwrot płynącego w ramce prądu,
- b) linie pola magnetycznego wytworzonego przez magnesy stałe i ich zwrot,
- c) zwrot sił elektromagnetycznych oraz kierunek obrotu ramki,
- d) bieguny pola magnetycznego wytworzonego przez płynący w ramce prąd.

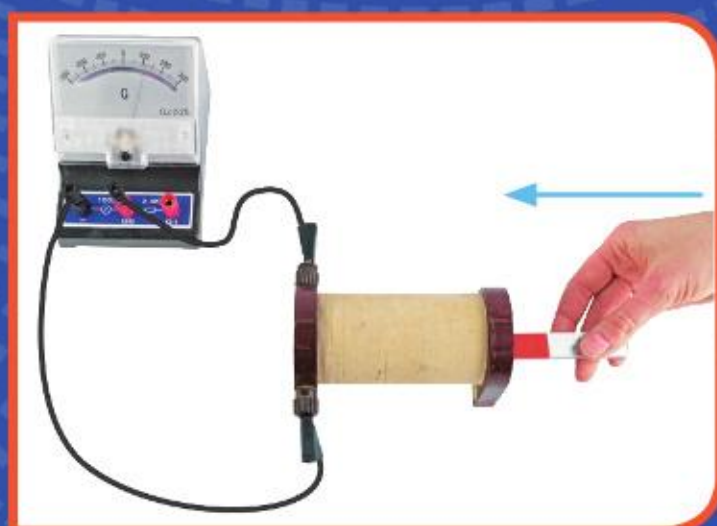
Zaznacz na rysunku komutator, wirnik i szczotki.



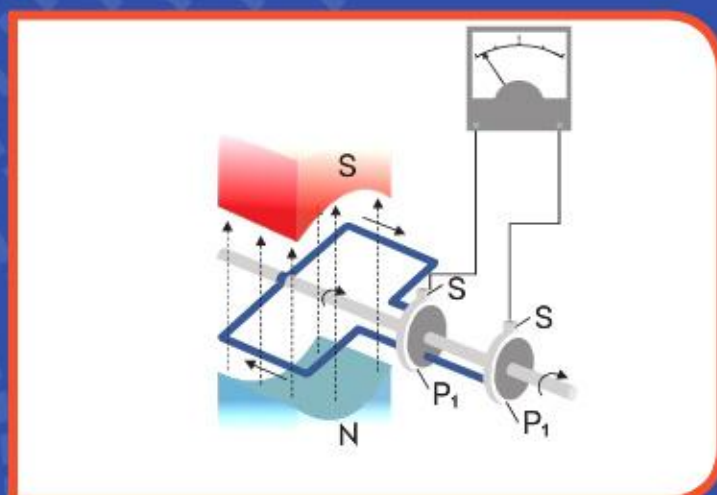
PRĄD INDUKCYJNY

Czy pole magnetyczne może być źródłem prądu?

Zarówno przy wsuwaniu magnesu do środka zwojnicy, jak i jego wysuwaniu ze środka obserwujemy wychylenie wskazówki miliamperomierza. Oznacza to, że w zwojnicy płynie prąd, który wzbudza się tylko wtedy, gdy magnes porusza się w polu magnetycznym lub pole magnetyczne się zmienia. Powstały w ten sposób w obwodzie prąd elektryczny nazywamy **prądem indukcyjnym**, a zjawisko jego powstawania – **indukcją elektromagnetyczną**. Zjawisko to zostało odkryte przez **Michaela Faradaya**.

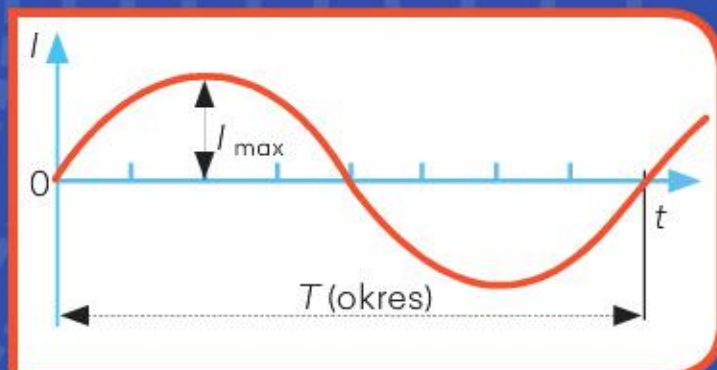


Reguła Lenza (czyt. lenca) mówi, że prąd indukcyjny ma zawsze taki kierunek, że wytworzone przez niego pole magnetyczne przeciwdziała przyczynie powstania tego prądu.

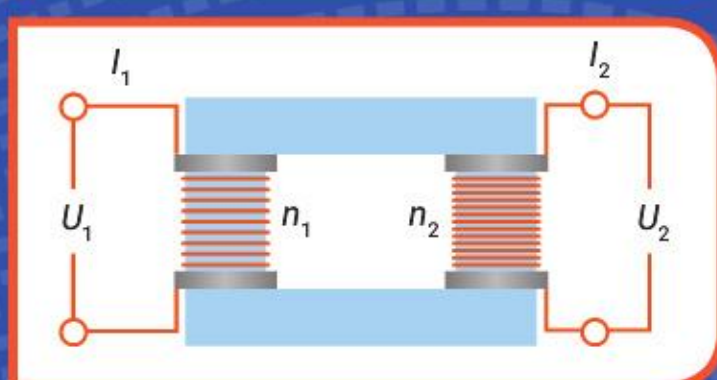


Zjawisko indukcji elektromagnetycznej pozwala wytwarzać energię elektryczną kosztem energii mechanicznej. Służą do tego **prądnice** lub generatory.

Obracając prostokątną ramkę w polu magnetycznym, możesz wytworzyć prąd zmieniający kierunek i natężenie, czyli **prąd przemienny**.



Prąd przemienny wytwarzany przez generatory w elektrowniach do odbiorców przesyłany jest pod możliwie wysokim napięciem przy niskim natężeniu prądu.



Urządzeniem służącym do takich zmian napięcia i natężenia prądu jest transformator, którego działanie jest również oparte na zjawisku indukcji elektromagnetycznej. Wielkością, która informuje, ile razy zostanie zmienione napięcie lub natężenie prądu, jest **przekładnia transformatora**: $p = \frac{n_1}{n_2}$ (iloraz liczby zwojów uzwojenia pierwotnego do liczby zwojów uzwojenia wtórnego).

Przekładnię możemy obliczyć również ze wzorów: $p = \frac{U_1}{U_2}$ lub $p = \frac{I_2}{I_1}$

5.6 Fale elektromagnetyczne

Podejmij temat

- Czy różnią się fale elektromagnetyczne od fal mechanicznych?

Jak powstaje fala elektromagnetyczna?

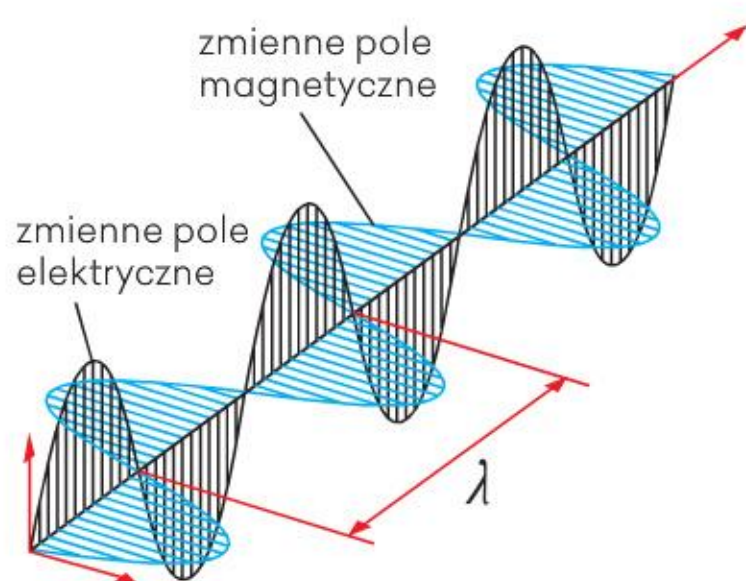
Dowiedziałeś się ostatnio, że wokół przewodnika z prądem, czyli poruszających się ładunków elektrycznych, powstaje pole magnetyczne, zmienne, jeśli zmienia się natężenie i kierunek przepływającego prądu. Badając zjawisko indukcji elektromagnetycznej, zobaczyłeś również, że zmienne pole magnetyczne może powodować powstanie zmiennego pola elektrycznego. Możemy więc powiedzieć, że każdej zmianie pola magnetycznego towarzyszy powstanie zmiennego pola elektrycznego, a każdej zmianie pola elektrycznego towarzyszy powstanie zmiennego pola magnetycznego. Zjawiska, które obserwowaliśmy, odkrył w XIX wieku angielski fizyk James Maxwell (czyt. dżejms maksłel). Na podstawie jego teorii można sformułować następujące wnioski:

- 1) zmienne pole elektryczne i zmienne pole magnetyczne, przenikając się wzajemnie, tworzą **pole elektromagnetyczne**,
- 2) zmienne pole elektromagnetyczne rozchodzi się w przestrzeni od źródła, tworząc **falę elektromagnetyczną**.

Jak rozchodzi się fala elektromagnetyczna?

James Maxwell ograniczył się do rozważań teoretycznych, choć przewidywał, że fale elektromagnetyczne występują w przyrodzie. Jego teoria została potwierdzona doświadczalnie dopiero w 1887 roku przez niemieckiego fizyka Heinricha Hertza (czyt. hajnrisia herca; 1857–1894), który fale elektromagnetyczne wytworzył doświadczalnie. Użył do tego obwodu drgającego (złożonego z kondensatora i zwojnicy) zasilanego ze źródła wysokiego napięcia.

Źródłem fali elektromagnetycznej mogą być drgające ładunki elektryczne oraz prąd o zmiennym w czasie natężeniu. Fala będzie się rozchodzić w przestrzeni nawet wtedy, gdy ustanie ruch ładunków lub zniknie pole inicjujące falę, aż do momentu, w którym nie zostanie pochłonięta przez jakiś obiekt. **Fala elektromagnetyczna może rozchodzić się w każdym ośrodku, także w próżni**, w przeciwieństwie do fal mechanicznych (w tym dźwiękowych), które, jak wiesz, rozchodzą się w ośrodkach sprężystych.



5.30 Fala elektromagnetyczna

Falą elektromagnetyczną nazywamy rozchodzące się w przestrzeni, przenikające i indukujące się wzajemnie zmienne pola elektryczne i magnetyczne.

Charakterystyka i widmo fali elektromagnetycznej

Fala elektromagnetyczna jest falą poprzeczną – płaszczyzny pól elektrycznego i magnetycznego są prostopadłe względem siebie i prostopadłe do kierunku rozchodzenia się fali (il. 5.30).

Tak jak inne fale, tak i fale elektromagnetyczne charakteryzowane są przez następujące wielkości: długość fali λ , szybkość rozchodzenia się v , częstotliwość f i okres T . Ich szybkość rozchodzenia się zależy od rodzaju ośrodka. I choć natura tych fal jest jednakowa, to różnią się one długością, a więc i częstotliwością, a także właściwościami. Z uwagi na różnice w długościach (i częstotliwościach) dokonano uporządkowania fal, które nazywamy **widmem fal elektromagnetycznych** (il. 5.31).

Wszystkie te fale mają następujące wspólne cechy:

- przenoszą energię,
- w próżni rozchodzą się z szybkością ok. $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$,
- dla wszystkich spełnione jest równanie:

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

c – prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w próżni

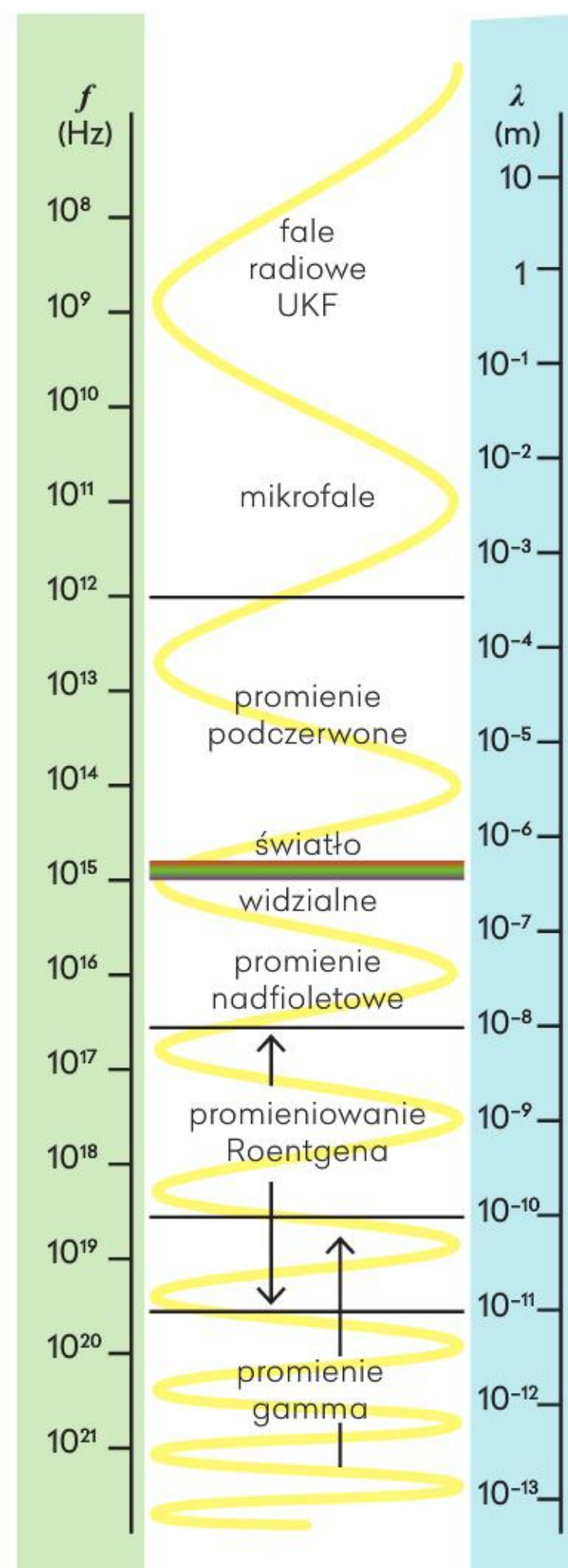
λ – długość fali

f – częstotliwość fali.

Fale elektromagnetyczne – ich rodzaje i źródła

Fale elektromagnetyczne są emitowane przez różnorodne, charakterystyczne dla poszczególnych rodzajów fal elektromagnetycznych, źródła.

Fale radiowe są wytwarzane przez prądy wysokiej częstotliwości, np. płynące w antenach urządzeń nadawczych. W Układzie Słonecznym promieniowanie radiowe wysyłają np. Słońce, Wenus, Jowisz. Źródłem **mikrofali** są drgania obwodów elektrycznych, tak zwanych anten nadawczych, specjalne lampy oraz generatory. Wykorzystywane są w mikrofalówkach, radarach i telefonii komórkowej. Promieniowanie **podczerwone** jest wysyłane przez Słońce, źródła ciepła czy lampy rozgrzewające stosowane w fizjoterapii (lampy Sollux). **Światło widzialne** wysyłane jest przez naturalne źródło – Słońce. Jego sztuczne źródła to wszelkie żarówki. **Promieniowanie nadfioletowe** lub **ultrafioletowe** jest częścią promieniowania wysyłanego przez Słońce. Jego źródłem są też łuki elektryczne powstające w czasie spawania i lampy kwarcowe, wewnątrz których powstaje ono podczas wyładowania elektrycznego w oparach rtęci. Źródłem promieniowania rentgenowskiego, zwanego też **promieniowaniem X**, są aparaty rentgenowskie, reaktory jądrowe oraz akceleratory (urządzenia do przyspieszania cząstek naładowanych). Na co dzień też mamy do czynienia z tym promieniowaniem – to na przykład promieniowanie kosmiczne. **Promieniowanie gamma** (γ) jest wysyłane przez substancje promieniotwórcze.



5.31 Widmo fali elektromagnetycznej



James Clerk Maxwell, jeden z najwybitniejszych fizyków wszech czasów, urodził się w Edynburgu, w Szkocji, w roku 1831. Swoją pierwszą pracę naukową napisał już w wieku 15 lat. Dotyczyła geometrii i została opublikowana przez wydawnictwo Edynburskiego Towarzystwa Królewskiego. Maxwell, choć żył niespełna 48 lat, ma na swym koncie wiele dokonań w dziedzinie fizyki teoretycznej: był twórcą klasycznej teorii elektromagnetyzmu, teorii pierścieni Saturna, trójkąta barw. Wniósł też znaczny wkład do rozwoju termodynamiki, teorii sprężystości oraz elektrodynamiki.

W skrócie

- Falą elektromagnetyczną nazywamy rozchodzące się w przestrzeni, przenikające i indukujące się wzajemnie zmienne pola elektryczne i magnetyczne. Źródłem fali mogą być drgające ładunki elektryczne oraz prąd o zmiennym w czasie natężeniu. Fala będzie się rozchodzić w przestrzeni nawet wtedy, gdy ustanie ruch ładunków lub zaniknie pole inicjujące falę, aż do momentu, w którym nie zostanie pochłonięta przez jakiś obiekt.
- Fala elektromagnetyczna może rozchodzić się w każdym ośrodku, także w próżni, w przeciwieństwie do fal mechanicznych. Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni wynosi około $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.
- Wszystkie fale elektromagnetyczne mają taką samą naturę, a ich właściwości i zastosowanie zależą od ich długości (częstotliwości). Do fal elektromagnetycznych należą: fale radiowe, mikrofae, promieniowanie podczerwone, promieniowanie widzialne, promieniowanie nadfioletowe (ultrafioletowe), promieniowanie rentgenowskie (X), promieniowanie gamma (γ).

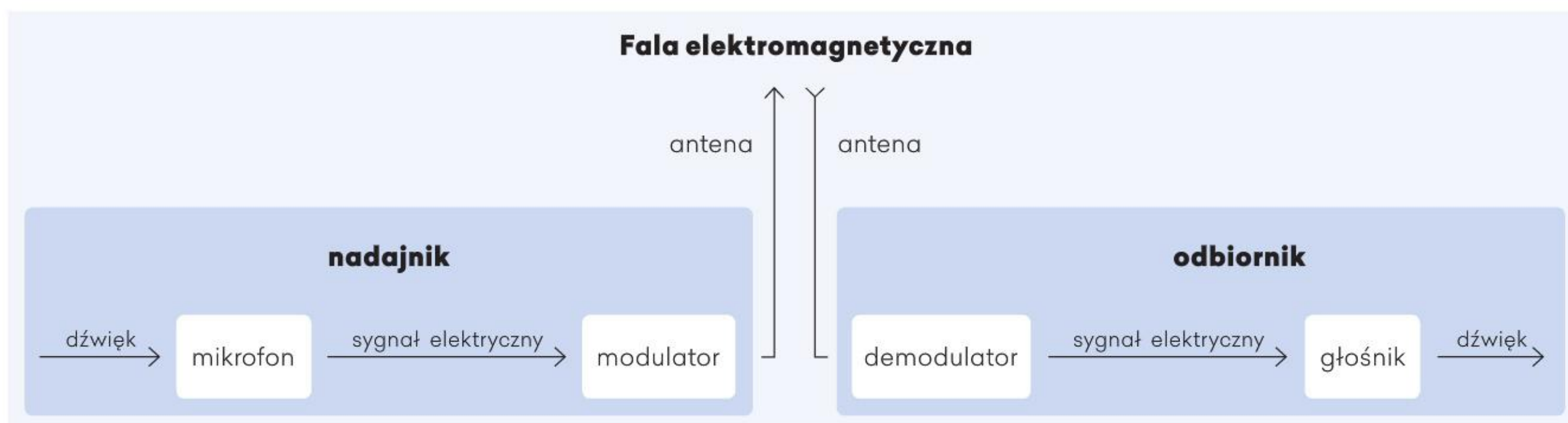
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Przeczytaj tekst, wykonaj polecenie i odpowiedz na pytanie sformułowane na końcu.



Transmisja dźwięku odbywa się najczęściej poprzez fale radiowe. W studiu radiowym dźwięk wpada do mikrofonu, gdzie jest zamieniany na sygnał elektryczny. Sygnałem tym modulowana jest fala nośna w generatorze. Antena nadawcza wysyła zmodulowaną falę nośną, która odbierana jest w antenie odbiorczej, wzbudzając w niej niewielki prąd. W procesie demodulacji (proces odwrotny do modulacji) prąd jest wzmacniany, a następnie przetwarzany na sygnał analogiczny do sygnału wejściowego. Czyli w odbiorniku fale elektromagnetyczne są z powrotem zamieniane na sygnały elektryczne, a w końcu na dźwięk.

Poszukaj informacji na temat modulowania (kształtowania) fali w procesie jej nadawania, w szczególności modulowania amplitudy (AM, ang. *Amplitude Modulation*) (czyt. amplitud modjulejszyn) oraz modulowania częstotliwości (FM, ang. *Frequency Modulation*) (czyt. frıklens-i modjulejszyn). Kiedy stosuje się AM, a kiedy FM?



Podsumowanie działu 5

Ważne pojęcia

magnes	magnes trwały	magnes naturalny	magnes sztabkowy	magnes podkowiasty
biegun północny (N)	biegun południowy (S)		bieguny jednoimienne	bieguny różnoimienne
siły magnetyczne	pole magnetyczne		linie pola magnetycznego	ferromagnetyki
domeny magnetyczne	namagnesowanie	igła magnetyczna	kompas	ziemskie pole magnetyczne
zorza polarna	pole magnetyczne przewodnika z prądem			doświadczenie Oersteda
reguła prawej dłoni	reguła Ampère'a	przewodnik kołowy	reguła literowa	zwojnica
indukcja magnetyczna	zmienne pole magnetyczne		elektromagnes	dzwonek elektryczny
siła elektrodynamiczna (magnetyczna)	reguła lewej dłoni		oddziaływanie dwóch przewodników z prądem	
mierniki	silnik elektryczny	komutator	stojan	wirnik
prąd przemienny	pole elektromagnetyczne	fala elektromagnetyczna	źródło fali elektromagnetycznej	
widmo fal elektromagnetycznych		fale radiowe	mikrofale	światło widzialne
promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe)		promieniowanie X (rentgenowskie)		promieniowanie gamma

- Każdy magnes ma dwa bieguny: północny (N) i południowy (S). Bieguny różnoimienne wzajemnie się przyciągają, a jednoimienne odpychają.
- Magnetyt, magnesy stałe, kula ziemską wytwarzają wokół siebie pole magnetyczne. Pole magnetyczne przedstawiamy na rysunku w postaci linii pola magnetycznego. Przyjęto, że linie te mają zwrot od bieguna północnego do południowego.
- Pole magnetyczne Ziemi jest podobne do pola wytwarzanego przez magnes sztabkowy. Biegun N kompasu (igły magnetycznej) wskazuje obecnie północny biegun geograficzny i południowy biegun magnetyczny, a biegun S kompasu – południowy biegun geograficzny i północny biegun magnetyczny.
- Ferromagnetyki to substancje wykazujące silne właściwości magnetyczne. Znajdują się w nich bardzo małe obszary stałego namagnesowania, zwane domenami magnetycznymi, często ułożone chaotycznie. Namagnesowanie ferromagnetyka polega na uporządkowaniu domen magnetycznych, w wyniku czego powstaje magnes trwały.
- Wokół przewodnika, w którym przepływa prąd elektryczny, istnieje pole magnetyczne, w którym na igłę magnetyczną działa siła magnetyczna.
- Igła magnetyczna ustawiona równolegle pod przewodnikiem zostaje odchylona w taki sposób, że jeśli ustawisz prawą dłoń nad przewodnikiem tak, by wewnątrz dłoni zwrócone było do przewodnika, a cztery wyprostowane palce wskazywały kierunek przepływu prądu, to odchylony kciuk wskaże wychylenie bieguna północnego tej igły.
- Zwrot linii pola magnetycznego wokół przewodnika możesz również ustalić, wykorzystując prawidłowość zwaną regułą prawej dłoni, która mówi, że jeśli prawą dłoń ułożymy względem przewodnika tak, by kciuk wskazywał kierunek płynącego w nim prądu, to pozostałe zgięte palce wskażą zwrot linii pola magnetycznego.
- W przewodniku kołowym bieguny magnetyczne możemy rozpoznać za pomocą prawej dłoni (patrz rysunek obok), jak również za pomocą reguły literowej.



- Zwojnica wytwarza wokół siebie pole magnetyczne podobne do pola wytworzonego przez magnes sztabkowy. Położenie biegunów tego pola wyznaczamy, stosując regułę prawej dłoni. Jeżeli prawą dłoń obejmujemy zwojnicę tak, aby cztery palce wskazywały kierunek prądu elektrycznego w zwojnicy, to odchylony kciuk wskaże koniec zwojnicy, przy którym znajduje się biegun północny powstałego magnesu.
- Im zwojnica ma większą liczbę zwojów, tym pole magnetyczne wytworzone przez nią jest silniejsze. Pole magnetyczne wytworzone przez zwojnicę jest tym silniejsze, im większe jest natężenie prądu przepływającego przez zwojnicę.
- Elektromagnes to zwojnica, wewnątrz której znajduje się rdzeń ze stali miękkiej lub żelaza.
- Siłę, z jaką pole magnetyczne działa na przewodnik z prądem, nazywamy siłą elektrodynamiczną (magnetyczną).
- Kierunek i zwrot siły elektrodynamicznej zależą od kierunku prądu płynącego w przewodniku oraz zwrotu linii pola magnetycznego magnesu, w którym umieszczony jest przewodnik z prądem. Można go wyznaczyć za pomocą reguły lewej dłoni: Jeżeli lewą dłoń ułożymy tak, aby jej wewnętrzna strona zwrócona była w stronę bieguna północnego N (linie pola magnetycznego wchodzić wówczas w dłoń), a cztery wyprostowane palce skierowane były zgodnie z kierunkiem płynącego prądu, to odchylony kciuk wskaże zwrot i kierunek siły elektrodynamicznej.
- Wartość siły elektrodynamicznej jest wprost proporcjonalna do natężenia prądu I , do długości przewodnika umieszczonego w polu l oraz zależy od wartości pola magnetycznego (tzw. indukcji magnetycznej B).
- Jeśli przez dwa równoległe ułożone przewodniki płynie prąd w tę samą stronę, to one się przyciągają. Jeśli prąd płynie w przeciwnych kierunkach, to się odpychają.



- Przykładami wykorzystania siły elektrodynamicznej w praktyce, czyli oddziaływania magnesów z elektromagnesami, są mierniki prądu elektrycznego oraz silniki elektryczne.
- Każdy silnik składa się z dwóch części, nieruchomej (stojan), którą stanowi magnes trwały lub elektromagnes, oraz ruchomej (wirnik) – w postaci zwojnicy lub kilku zwojnic umieszczonych na żelaznym rdzeniu.
- W silnikach energia elektryczna zamieniana jest na energię mechaniczną ruchu obrotowego wirnika.
- Silniki, w zależności od zastosowania, zasilane są prądem stałym lub prądem przemiennym.
- Falą elektromagnetyczną nazywamy rozchodzące się w przestrzeni, przenikające i indukujące się wzajemnie zmienne pola elektryczne i magnetyczne. Źródłem fali mogą być drgające ładunki elektryczne oraz prąd o zmiennym w czasie natężeniu. Fala będzie się rozchodzić w przestrzeni nawet wtedy, gdy ustanie ruch ładunków lub zaniknie pole inicjujące falę, aż do momentu, w którym nie zostanie pochłonięta przez jakiś obiekt.
- Fala elektromagnetyczna może rozchodzić się w każdym ośrodku, także w próżni, w przeciwieństwie do fal mechanicznych. Prędkość fali elektromagnetycznej w próżni wynosi około $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.
- Wszystkie fale elektromagnetyczne mają taką samą naturę, a ich właściwości i zastosowanie zależą od ich długości (częstotliwości). Do fal elektromagnetycznych należą: fale radiowe, mikrofały, promieniowanie podczerwone, promieniowanie widzialne, promieniowanie nadfioletowe (ultrafioletowe), promieniowanie rentgenowskie (X), promieniowanie gamma (γ).

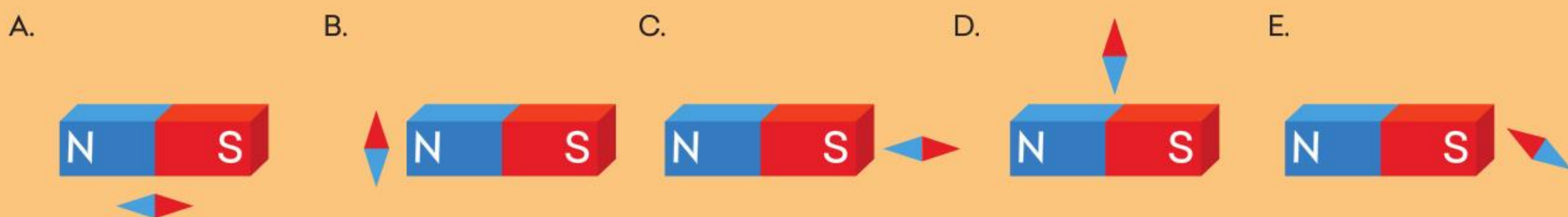


Czy już umiesz? Sprawdź się!

1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

- A. Dwa bieguny jednoimiennie przyciągają się wzajemnie.
- B. Biegun północny igły magnetycznej zwraca się w stronę południowego bieguna magnetycznego Ziemi.
- C. Biegun południowy igły magnetycznej zwraca się w stronę południowego bieguna geograficznego Ziemi.
- D. Siła, z jaką Ziemia przyciąga igłę magnetyczną, jest większa niż siła, z jaką igła magnetyczna przyciąga Ziemię.
- E. Pole magnetyczne Ziemi jest podobne do pola magnetycznego wytwarzanego przez magnes podkowiasty.

2 Ustal, na którym rysunku poprawnie zaznaczono ustawienie igły magnetycznej.



3 Po podzieleniu magnesu na dwie części otrzymamy

- A. rozdzielone dwa bieguny magnetyczne.
- B. dwa magnesy.
- C. dwa kawałki nienamagnesowanego metalu.
- D. dwa magnesy, ale tylko wtedy, gdy zostanie on podzielony na równe części.
- E. jeden magnes i jeden nienamagnesowany kawałek metalu.

4 Ustal, na którym rysunku poprawnie zaznaczono ustawienie igły magnetycznej.



5 Na rysunku widzisz, w jaki sposób ułożyły się opiłki żelaza na szklanej płytce, pod którą znajdują się dwa magnesy sztabkowe.

Wskaż poprawne dokończenie zdania.

W punktach X i Y na pewno znajdują się odpowiednio

- A. biegun N i biegun S.
- B. biegun S i kawałek metalu.
- C. biegun N i biegun S lub biegun S i biegun N.
- D. bieguny N i N lub bieguny S i S.
- E. dwa kawałki metalu.



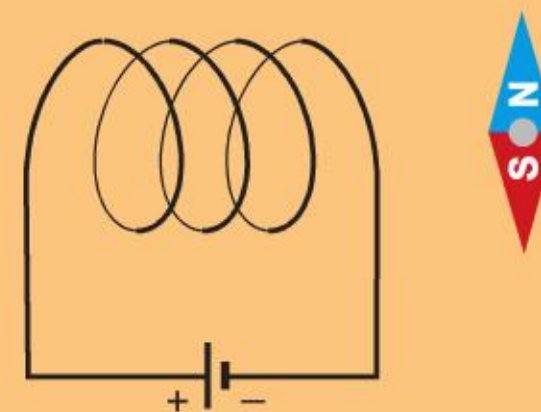
6 Wybierz fałszywe dokończenie zdania.

Oddziałują na siebie nawzajem magnetycznie

- A. igła magnetyczna i igła kompasu.
- B. magnes sztabkowy i sztabka srebra.
- C. stalowa szpilka i przewodnik, przez który płynie prąd.
- D. elektromagnes i przewód, przez który płynie prąd.
- E. przewodnik, przez który płynie prąd i igła magnetyczna.

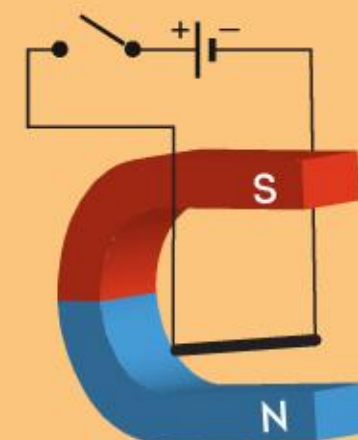
7 Zastosuj odpowiednią regułę i dokończ zdanie. Jeśli przez zwojnicę będzie płynął prąd, to igiełka magnetyczna

- A. pozostanie w pozycji przedstawionej na rysunku.
- B. obróci się biegunem południowym w stronę zwojnicy.
- C. obróci się biegunem północnym w stronę zwojnicy.
- D. obróci się dowolnym biegunem w stronę zwojnicy.
- E. będzie się obracać.

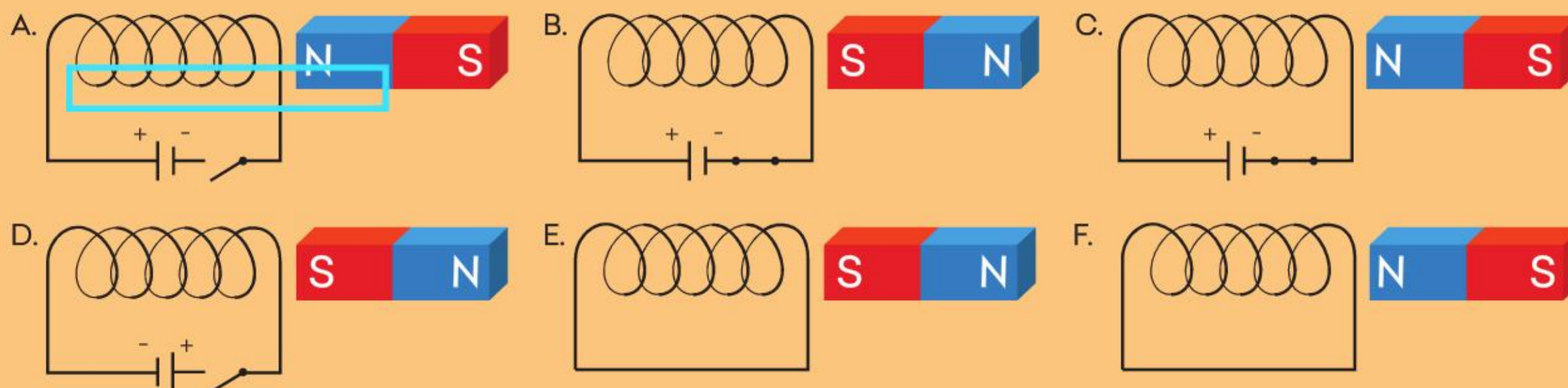


8 Po zamknięciu wyłącznika przewodnik

- A. zostanie wciągnięty do środka magnesu.
- B. nie poruszy się.
- C. zostanie wypchnięty na zewnątrz magnesu.
- D. zostanie wciągnięty lub wypchnięty z magnesu w zależności od kierunku prądu.
- E. będzie się huśtał.

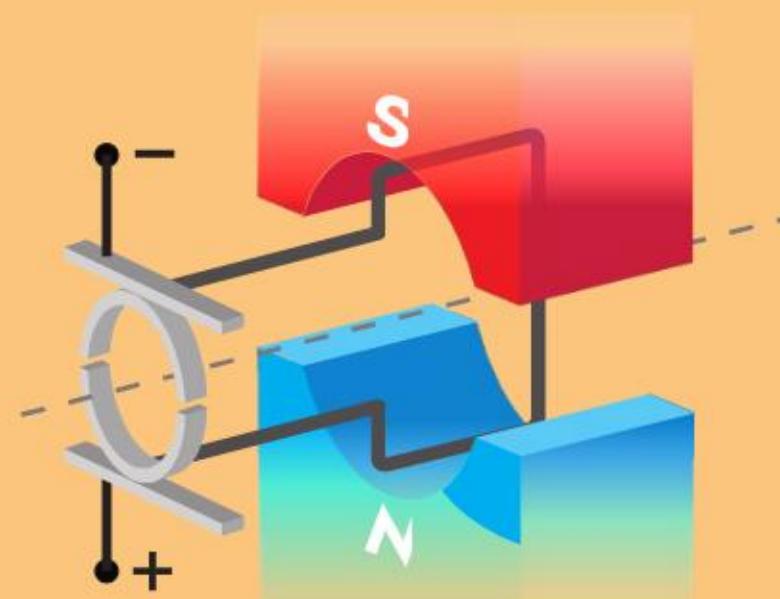


9 Wskaż rysunek, na którym przedstawiono sytuację, w której magnes i zwojnica przyciągają się wzajemnie.



10 Rysunek przedstawia model silnika. Wskaż zdania fałszywe.

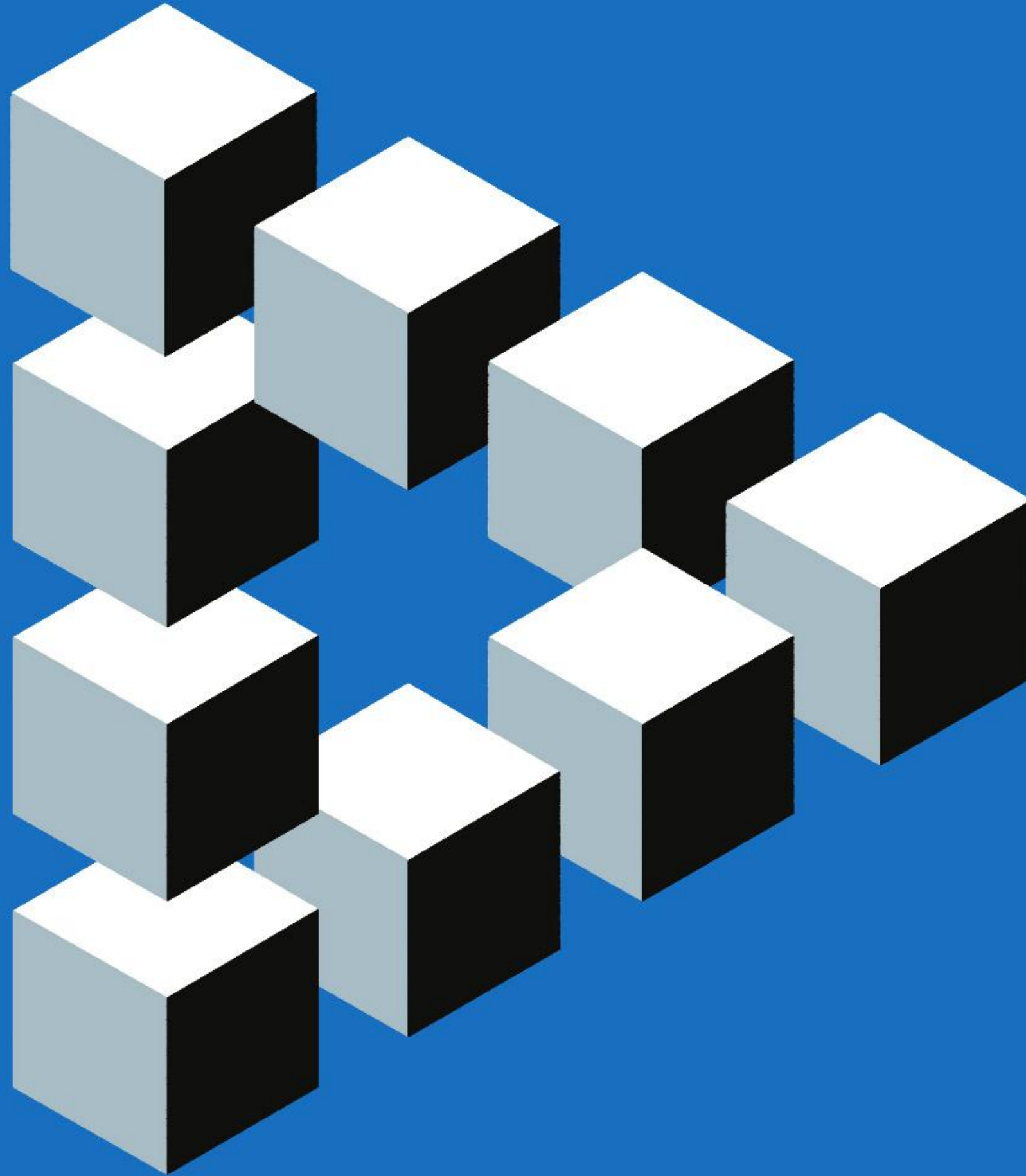
- A. Ramka silnika obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
- B. Jeśli zmienimy kierunek prądu (bieguny baterii), to ramka będzie się obracać w przeciwną stronę.
- C. Jeśli zmienimy bieguny magnesów, to ramka dalej będzie się obracać w tę samą stronę.
- D. Jeśli zmienimy kierunek prądu i jednocześnie odwrócimy bieguny magnesów, to ramka dalej będzie się obracać w tę samą stronę.
- E. Jeśli ramkę silnika podłączymy do domowej sieci elektrycznej, to będzie się ona obracać szybciej.



11 Widmo fal elektromagnetycznych ułożone od fal najdłuższych do najkrótszych przedstawia szereg:

- A. promieniowanie gamma, mikrofałe, promieniowanie radiowe.
- B. promienie X, mikrofałe, fale radiowe.
- C. radiowe, światło widzialne, mikrofałe.
- D. mikrofałe, promieniowanie podczerwone, promieniowanie nadfioletowe.
- E. światło widzialne, promieniowanie podczerwone, promieniowanie gamma.

6. Optyka



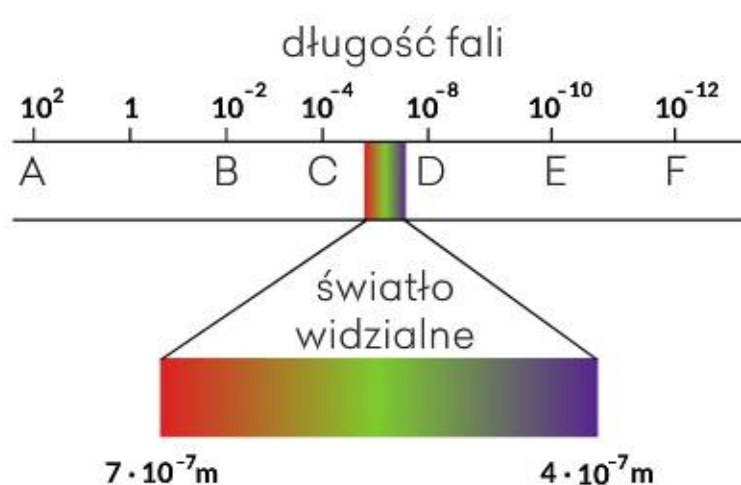
1. Co to jest światło i jak się ono rozchodzi?
2. Jakie są właściwości światła?
3. Czy zawsze to co widzimy istnieje w rzeczywistości?
4. Co to są złudzenia optyczne?

6.1 Światło i jego właściwości

Podejmij temat

● Światło to fala czy cząstka?

Optyka zajmuje się światłem i jego oddziaływaniem z materią.



A – fale radiowe
B – mikrofae
C – podczerwień
D – nadfiolet
E – promieniowanie rentgenowskie
F – promieniowanie gamma

6.1 Widmo fal elektromagnetycznych z wyróżnionym światłem widzialnym

Czym jest światło?

Jedną z pierwszych prób wyjaśnienia, czym jest światło, była hipoteza Isaaca Newtona. Zakładała, że światło jest strumieniem nadzwyczaj drobnych, niezwykle szybko poruszających się cząstek. Od łacińskiego słowa *corpuscula* ‘mała cząstka’ teorię tę nazwano korpuskularną. Poglądy Newtona na temat natury światła zmieniały się. W trakcie dalszej pracy badawczej zaczął przypuszczać, że światło jest falą, i w oparciu o tę teorię sam wyjaśnił wiele zjawisk. Współczesny Newtonowi holenderski fizyk Christian Huygens (czyt. hojhens; 1629–1695) w 1690 roku wysunął nową teorię – teorię falową światła. Według niej każdy punkt środowiska, do którego dociera fala, staje się źródłem nowego zaburzenia rozchodzącego się w postaci fali. Istniały również inne zjawiska (poznasz je w tym dziale), których nie potrafiono wyjaśnić w oparciu o teorię korpuskularną. Pogląd „cząsteczkowy” zaczął być wypierany przez teorię, że światło jest falą. W 1867 roku James Clerk Maxwell udowodnił, że światło jest falą elektromagnetyczną.

Jak widzisz, twierdzenia na temat natury światła zmieniały się w ciągu wieków, a prawdziwa natura światła jest bardzo trudna do określenia. Raz zachowuje się ono jak fala, a innym razem jak strumień cząstek (nazwanych wcześniej korpuskułami). Dlatego uważa się, że światło ma podwójną naturę – korpuskularno-falową. W dziale **optyka** (od gr. *optikos*, czyli ‘wzrokowy’ i *optos*, czyli ‘widzialny’) wykonamy doświadczenia, które potwierdzają tę opinię.

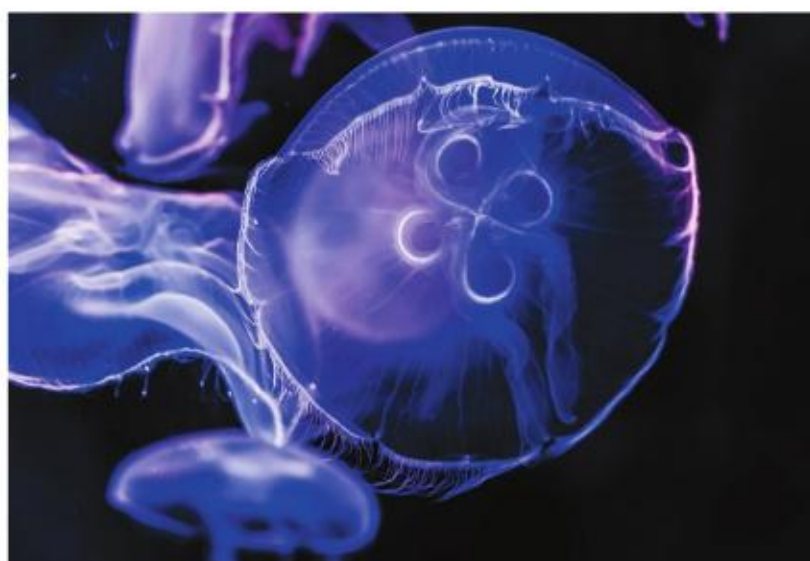
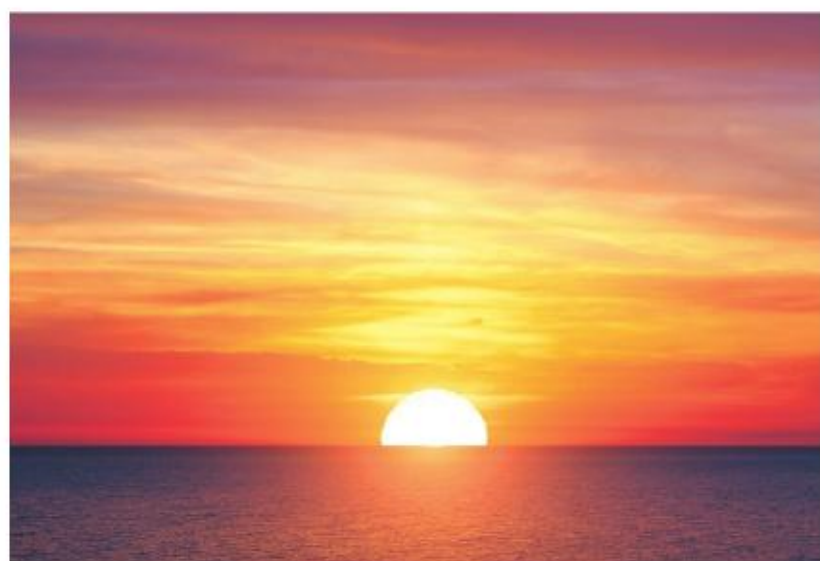
Światło jako fala elektromagnetyczna

Światło towarzyszy nam na co dzień – dzięki niemu widzimy, korzystamy z energii, jaką ono przenosi, oraz wykorzystujemy je w wielu dziedzinach życia. Jak wiesz, światło jest falą elektromagnetyczną odbieraną przez nasz zmysł wzroku. Przypomnij sobie informację na temat widma fal elektromagnetycznych – światłem widzialnym nazwaliśmy fale o długości od ok. 400 nm do ok. 700 nm (il. 6.1).

Źródła światła

Źródłami światła będziemy nazywać wszystkie ciała wysyłające promieniowanie widzialne. Znamy wiele źródeł światła, ale najpowszechniejszym i najsilniejszym jest Słońce. Źródłem energii promieniowania Słońca i innych gwiazd jest energia uwalniana w zachodzących w nich reakcjach jądrowych.

Wszystkie ciała świecące światłem własnym, czyli Słońce, gwiazdy, a także błyskawica, to **naturalne źródła światła** (il. 6.2). Źródła te wysyłają – emitują – światło dzięki przemianom jednej energii w drugą. Księżyc i inne planety widoczne na nocnym niebie nie są źródłami światła, gdyż świecą światłem odbitym od Słońca. Takie ciała stają się wtórnymi źródłami światła. Niektóre bakterie, grzyby, meduzy, skorupiaki, owady (robaczki świętojańskie) i ryby także emitują światło. Takie zjawisko świecenia organizmów żywych nosi nazwę bioluminescencji, czyli takiej **luminescencji**, w której światło powstaje w wyniku utleniania (reakcji chemicznej) substancji zwanej lucyferyną.



6.2 Naturalne źródła światła

Do **sztucznych źródeł światła** zaliczamy te wytwarzane przez człowieka, na przykład świecę, lampę naftową czy żarówkę (il. 6.3).



6.3 Sztuczne źródła światła

Innymi źródłami światła sztucznego są lampy jarzeniowe (światłówki), w których dzięki przepływowi prądu elektrycznego świeci rozrzedzony gaz. Barwa światła takiej lampy zależy od rodzaju świecącego gazu. Wewnętrzne ścianki świetlówek są pokryte warstwą luminoforu, czyli substancji emitującej światło w zjawisku luminescencji, która (jak już wiesz) nie zależy od temperatury świecącego ciała. W popularnych obecnie lampach LED światło wysyłane jest dzięki zjawisku elektroluminescencji w materiałach półprzewodnikowych, o których dowiesz się w toku dalszej nauki.

Innym, współcześnie często stosowanym źródłem światła dającym wąską wiązkę światła jednobarwnego, jest **laser** (il. 6.4).

Luminescencją (tzw. zimnym świeceniem) nazywamy zjawisko wysyłania światła, które nie zależy od temperatury świecącego ciała.

Ciekawe!



W tradycyjnej żarówce świeci wolframowe włókno rozgrzane do temperatury ok. 2500°C.



Lampę naftową zbudował Ignacy Łukasiewicz w 1853 roku.



6.4 Światło lasera to światło o bardzo dużej energii, wykorzystywane m.in. do badań naukowych, w technice oraz w medycynie

Ciekawe!



Światło w czasie 1 sekundy przebywa drogę 300 000 km. Mimo tak dużej szybkości od Słońca do Ziemi biegnie ono 8 min 20 s

Energia i prędkość światła

Każde źródło światła przetwarza jakiś rodzaj energii w światło. Z rozchodzeniem się światła związana jest też energia. Promieniowanie świetlne przenosi ją od źródła do ciała, na które pada. Z energii tej korzystają na Ziemi rośliny i zwierzęta. Wykorzystywana jest także przez człowieka – energia światła zamieniana jest za pomocą ogniw słonecznych (fotowoltaicznych) na energię elektryczną, a w kolektorach solarnych na energię cieplną do ogrzewania wody i domów.

Światło, jak wszystkie fale elektromagnetyczne, **rozchodzi się w próżni z szybkością $c = 299\,792,458 \frac{\text{km}}{\text{s}}$** , czyli w przybliżeniu $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ ($3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$). W powietrzu szybkość światła jest prawie taka sama jak w próżni. W innych ośrodkach, szybkość ta jest mniejsza, zależna od rodzaju ośrodka. W wodzie wynosi $225\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, a w szkle $190\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Wysyłając i odbierając sygnały świetlne, można przysyłać kodowane informacje. Światło jest najszybszym nośnikiem przepływu informacji.

W skrócie

- Optyka zajmuje się światłem i jego oddziaływaniem z materią.
- Światło to fale elektromagnetyczne o długości od ok. 400 nm do ok. 700 nm.
- Światło rozchodzi się w próżni z szybkością $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. W powietrzu szybkość światła jest prawie taka sama jak w próżni.
- Wszystkie ciała świecące światłem własnym to naturalne źródła światła. Ciała, które świecą światłem odbitym, są wtórnymi źródłami światła. Sztuczne źródła światła to źródła wytwarzane przez człowieka.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Światło jest falą	A.	mechaniczną.	Rozchodzi się	A.	w próżni i innych ośrodkach z szybkością $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.
	B.	elektromagnetyczną.		B.	w próżni z szybkością $300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

- 2 Dopasuj do każdego obiektu widocznego na zdjęciu odpowiedni opis z ramki.



naturalne źródło światła, wtórne źródło światła, sztuczne źródło światła

6.2 Prostoliniowe rozchodzenie się światła

Podejmij temat



Jak udowodnić, że światło rozchodzi się prostoliniowo?



Rozchodzenie się światła

Światło, napotykając na swojej drodze różne ciała, zachowuje się niejednako-wo. Istnieją ciała, które przepuszczają światło – nazywamy je **ciałami przezroczystymi**. Zaliczamy do nich na przykład wodę i szkło. Ciała, które nie przepuszczają światła, to **ciała nieprzezroczyste**. Częściowo przezroczyste są np. szkło matowe i mleczne, pergamin, natłuszczony papier.

Ośrodki, w których może rozchodzić się światło, to **ośrodki optyczne**. Mogą być one **optycznie jednorodne** i **optycznie niejednorodne**. Ośrodek jednorodny to ośrodek, którego właściwości fizykochemiczne (np. gęstość, temperatura) we wszystkich punktach są jednakowe (il. 6.5 A.).

Promień świetlny

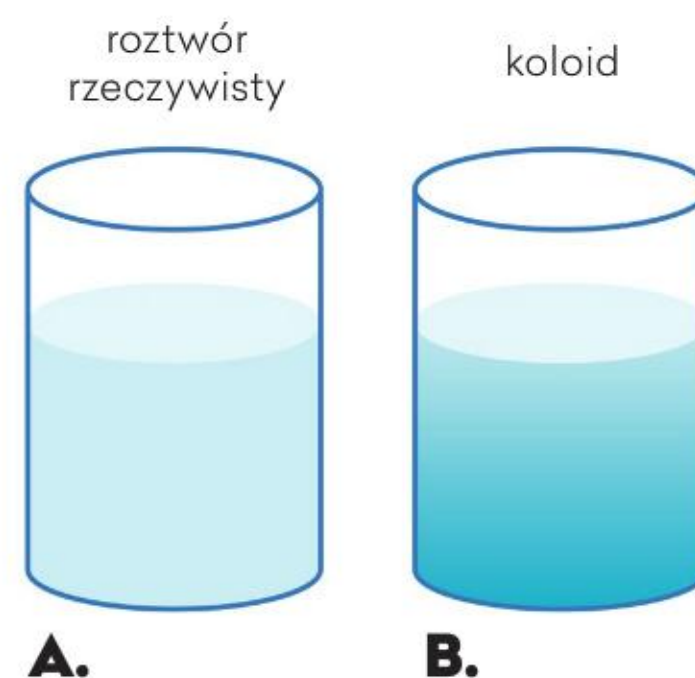
Patrząc na światło przenikające przez otwór w żaluzji, światło żarówki osłoniętej kloszem w ciemnym pokoju, na światła samochodu w nocy lub na promień lasera, możesz zaobserwować, że światło rozchodzi się wzdłuż linii prostych (prostoliniowe rozchodzenie się światła).

Promieniem świetlnym nazywamy wąską wiązkę promieniowania przedstawioną w postaci linii prostej, której kierunek jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się światła (il. 6.6).



6.6 Promień świetlny

Światło między dwoma dowolnymi punktami biegnie po takiej drodze, aby czas potrzebny na jej przebycie był jak najkrótszy. Prostoliniowe rozchodzenie się światła wykorzystuje się m.in. przy wytyczaniu linii prostych na powierzchni ziemi (w geodezji), oraz przy wyznaczaniu odległości w wodzie i w powietrzu.



6.5 Ośrodki – jednorodny (A.) i niejednorodny (B.)

Doświadczenie 47.

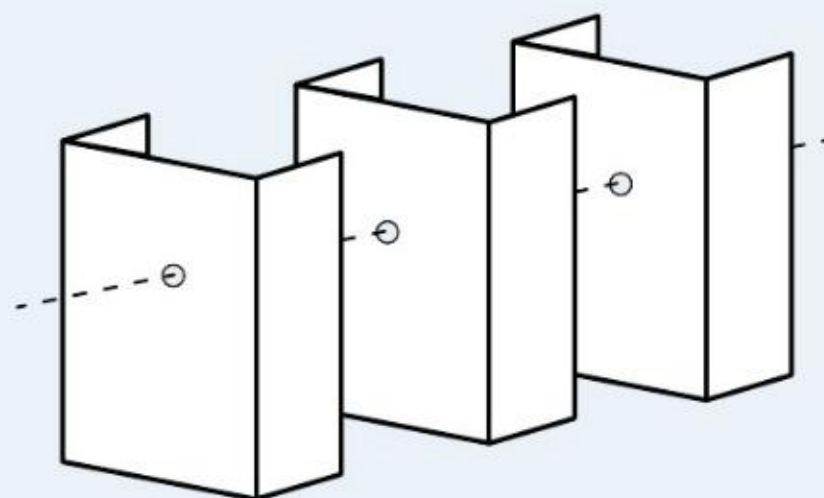
Badamy, w jaki sposób rozchodzi się światło w ośrodku jednorodnym

Niezbędne przedmioty: **A.** karton z bloku technicznego, latarka, gruba igła, nitka; można wykorzystać gotowe ekrany z dziurką z zestawów do optyki, ewentualnie wskaźnik laserowy
B. podstawka ze styropianu wielkości kartki z zeszytu, szpilki krawieckie, kartka z zeszytu, linijka, ołówek

Wykonanie:

A.

- Wytnij trzy prostokąty, np. wielkości połowy kartki A4.
- Złóż kartony razem, przekłuj je w środku igłą i zrób dużą dziurkę.
- Zagnij kartony w tych samych odległościach (ok. 4 cm) od dwóch naprzeciwległych, krótszych krawędzi.
- Ustaw kartony na stole, jeden za drugim, tak aby otwory znajdowały się na jednej linii (żeby mieć pewność, że tak jest, przeciągnij przez otwory nitkę i ją naciągnij).
- Na wysokości otworów, za ostatnią przesłoną, ustaw latarkę i ją włącz.
- Wyłącz światło i popatrz na latarkę przez trzy otwory jednocześnie.
- Przesuń jeden z kartoników i popatrz, czy w dalszym ciągu widzisz latarkę.
- Możesz powtórzyć doświadczenie, używając wskaźnika laserowego.



Uwaga! Tym razem nie zaglądasz przez otwory na świecący laser! Grozi to uszkodzeniem wzroku!

Skieruj promień lasera na otwory i zobacz, czy przejdzie on na drugą stronę kartonów. Następnie przesuń jeden z kartonów i obserwuj efekt.

B.

- Na podstawkę ze styropianu połóż kartkę papieru (może być z zeszytu).
- Wbij pierwszą szpilkę w części środkowej styropianu, w odległości ok. 2 cm od krótszego boku.
- Patrz na tę szpilkę (najlepiej zamknij jedno oko), trzymając podstawkę na wysokości oka.
- Ustaw następne szpilki (około pięciu) coraz dalej od krawędzi, przy której stoi szpilka, w taki sposób za pierwszą szpilką, żeby cały czas widzieć tylko pierwszą szpilkę (chowaj następne szpilki za pierwszą).
- Połóż podstawkę na stole, wyciągnij szpilki i narysuj linię przechodzącą przez dziurki po wbitych szpilkach.



Obserwacje:

A.

- W pierwszej części doświadczenia światło latarki jest widoczne, po przesunięciu jednego z kartoników już nie. Światło lasera przechodzi przez otwory w kartonikach, po przesunięciu jednego kartonika – nie przechodzi przez wszystkie otwory.

B.

- Narysowana linia jest linią prostą.

Wnioski: Doświadczenia dowodzą prostoliniowości rozchodzenia się światła. **W ośrodku jednorodnym światło rozchodzi się po liniach prostych.** Metoda z części B. doświadczenia wykorzystywana jest np. przez geodetów do wyznaczania linii prostej w terenie.

Powstawanie cienia i półcienia

Zapewne bawiłeś się kiedyś w teatrzyk cieni (il. 6.7) albo przynajmniej obserwowałeś cienie rzucane przez różne przedmioty. Aby sprawdzić, jak powstaje **cień**, i potwierdzić prostoliniowe rozchodzenie się światła, wykonaj w domu lub w szkole doświadczenie.



6.7 Cień na ścianie

Doświadczenie 48.

Obserwujemy, jak powstają cień i półcień

Niezbędne przedmioty: dwa źródła światła (lampki, latarki, świece), różne nieprzezroczyste przedmioty (np. mała porcelanowa figurka, flakon, doniczka, jabłko), ekran (ściana)

Wykonanie:

- Zasłoń okna lub wykonaj doświadczenie, gdy będzie ciemno.
- Między światłem a ekranem (może być ściana) umieszczaj dowolny przedmiot (przedmioty) w różnych odległościach od źródła światła i za każdym razem obserwuj, co widzisz na ścianie.
- Oświetl dowolny przedmiot dwoma źródłami światła i zaobserwuj, co widzisz na ścianie.



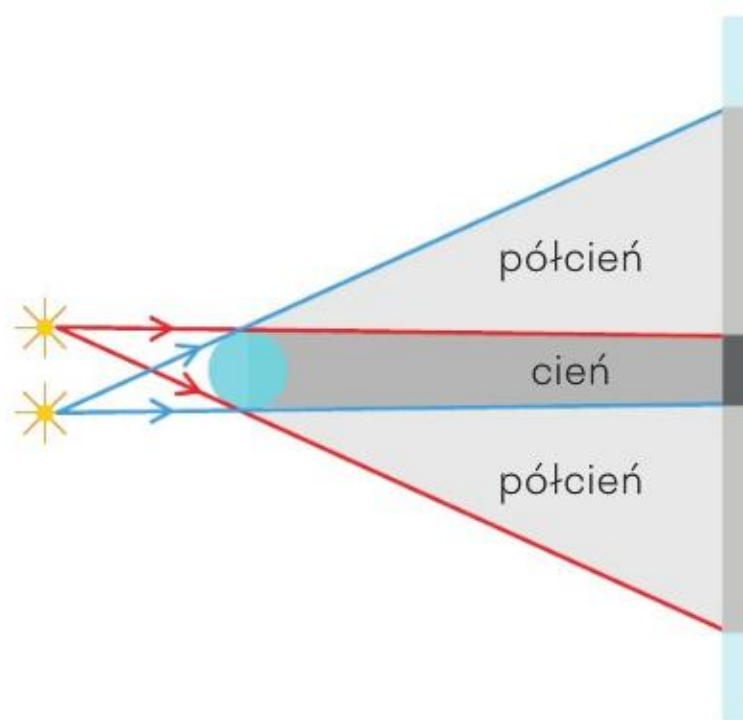
Obserwacje:

- Na ekranie widzimy cień każdego przedmiotu, odpowiadający jego kształtowi. Świadczy to o prostoliniowym rozchodzeniu się światła. Czasami powstaje obszar ciemny z rozmytymi wokół obszarami, do których częściowo dociera światło. Najwyraźniejszy obszar nieoświetlony powstaje, gdy oświetlany przedmiot znajduje się blisko ekranu.
- Obszary nieoświetlone lub częściowo nieoświetlone zmieniają wielkość, gdy zmienia się położenie przedmiotu i źródła światła.
- Gdy przedmiot oświetlony jest dwoma źródłami światła, oprócz obszaru nieoświetlonego widzimy obszar, gdzie docierają promienie tylko z jednego źródła.

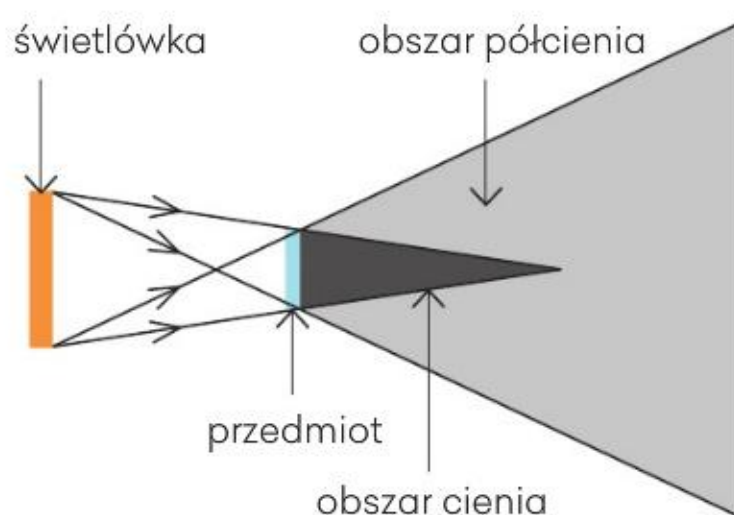
Wnioski:

- **Cień jest takim obszarem za nieprzezroczystym przedmiotem, do którego nie dociera światło.** Najwyraźniejszy cień powstaje, gdy oświetlany przedmiot znajduje się blisko ekranu.
- Gdy źródło światła jest duże w porównaniu z przedmiotem albo ciało znajduje się blisko źródła światła, powstają cień i półcień, a czasami powstaje jedynie **półcień, czyli obszar, do którego częściowo dociera światło**. Powstawanie cienia i półcienia zależy od wzajemnego położenia obiektu świecącego i przedmiotu.
- Gdy przedmiot oświetlony jest dwoma źródłami światła, oprócz obszaru cienia, do którego nie docierają promienie, widzimy obszar, gdzie docierają promienie tylko z jednego źródła – to obszar półcienia.

Źródło punktowe wysyła promieniowanie jednakowo we wszystkich kierunkach i jego rozmiary są niewielkie w porównaniu do odległości od przedmiotu.



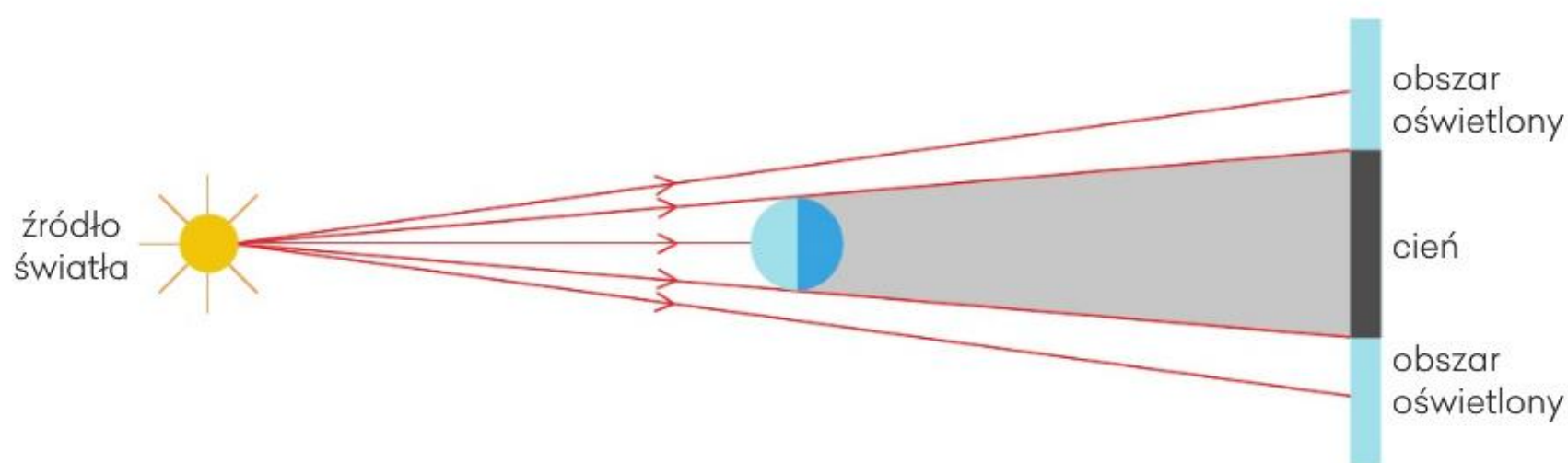
6.9 Schemat powstawania cienia dla dwóch punktowych źródeł światła



6.10 Schemat powstawania cienia dla rozciągniętego źródła światła (np. światłówki)

Schematy powstawania cienia i półcienia

W ostatnim doświadczeniu miałeś okazję zaobserwować, w jaki sposób powstaje cień, czyli obszar, do którego nie dociera światło z żadnego źródła, oraz półcień – obszar, do którego dochodzi światło tylko z jednego źródła. Zauważyłeś też, że cień i półcień zmieniają się w zależności od odległości przedmiotu od źródła światła i wielkości tego źródła. Potwierdziłeś również prostoliniowe rozchodzenie się światła. Przeanalizuj teraz schematy powstania cienia kuli dla **źródła punktowego**.



6.8 Schemat powstawania cienia dla punktowego źródła światła

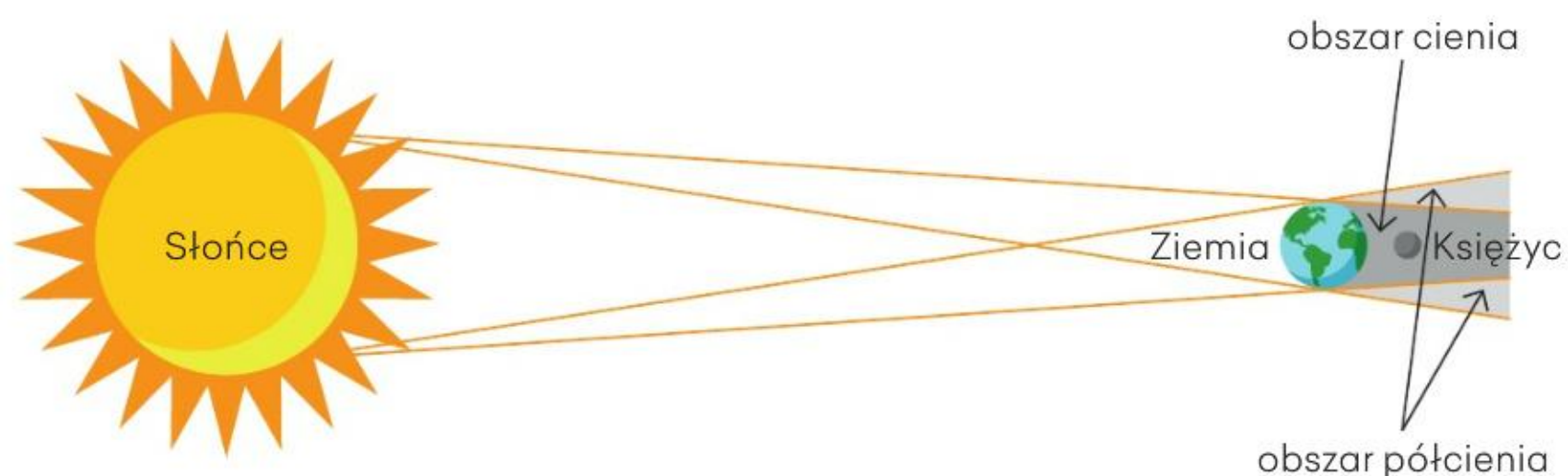
Zauważ, że rysujemy promienie wychodzące ze źródła i styczne do zewnętrznych części przedmiotu będącego na drodze promieni. Półkula znajdująca się od strony źródła jest oświetlona, do tej zaznaczonej ciemniejszym kolorem światło nie dociera (il. 6.8).

Zaćmienie Księżyca

Warunki do powstania cienia i półcienia zostają spełnione podczas oświetlania Ziemi i Księżyca przez Słońce. Wykorzystajmy te obserwacje do wyjaśnienia zaćmień Słońca i Księżyca.

Najbliższa naszej planecie gwiazda – Słońce – w porównaniu z innymi ciałami Układu Słonecznego jest obiektem bardzo dużym. Nie wysyła więc promieni światła punktowego, lecz wiązkę promieni.

Jeśli na drodze promieni słonecznych oświetlających Księżyc znajdzie się Ziemia, to utworzy ona wtedy cień (il. 6.11). Księżyc znajdujący się w cieniu naszej planety nie będzie odbijał światła słonecznego. Obserwując to zjawisko z Ziemi, zauważymy **zaćmienie Księżyca**.

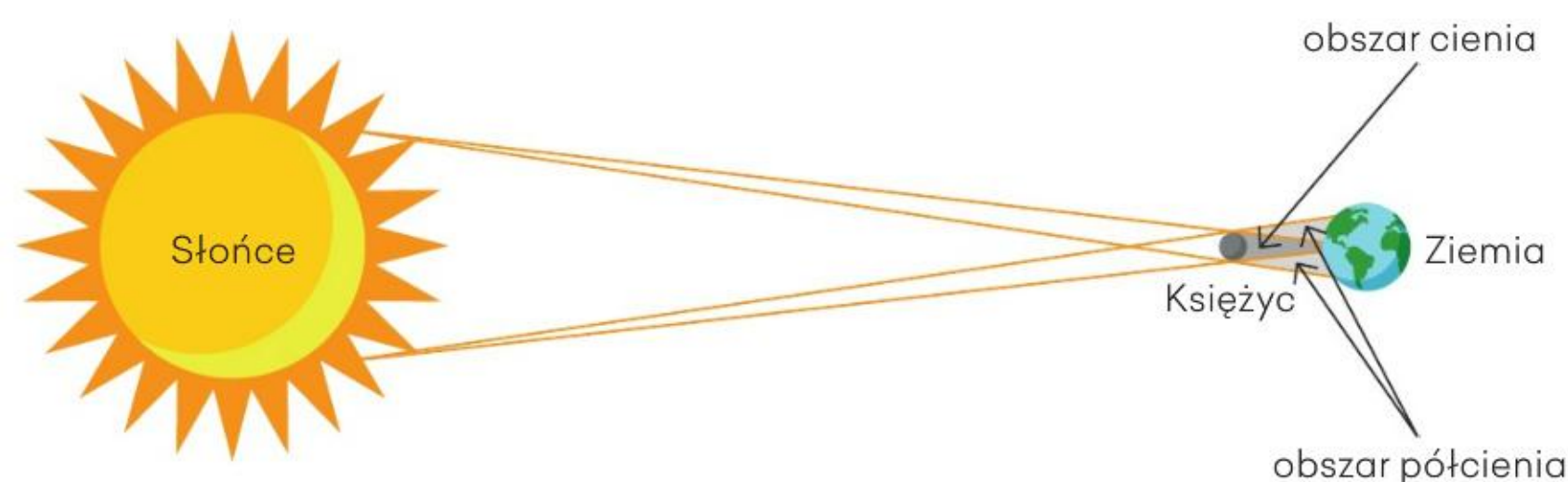


6.11 Zaćmienie Księżyca

Całkowite zaćmienie srebrnego globu trwa kilka godzin. Możemy obserwować także częściowe zaćmienie, jeśli tylko część tarczy Księżyca znajdzie się w obszarze cienia. Podczas całkowitego zaćmienia Księżyc nie jest oświetlany przez Słońce, więc jest on ciemny – tak widać go wtedy z każdego miejsca na Ziemi. Zaćmienie Księżyca jest widoczne jednakowo na całej półkuli ziemskiej zwróconej ku niemu. We wszystkich miejscach na Ziemi obserwacja zjawiska zaczyna się i kończy w tym samym czasie.

Zaćmienie Słońca

Jeśli na drodze promieni słonecznych docierających do Ziemi znajdzie się Księżyc, na naszej planecie obserwujemy częściowe lub całkowite zaćmienie Słońca (il. 6.12).



6.12 Zaćmienie Słońca

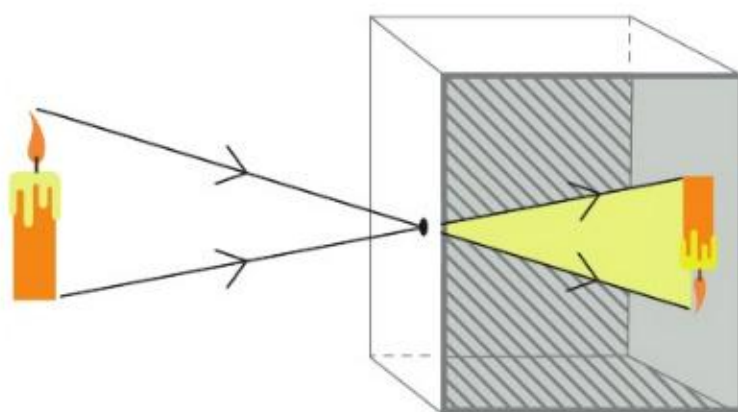
Srebrny glob jest znacznie mniejszy od naszej planety, dlatego jego cień nigdy jej całej nie przesłoni. Jednak w pewnych miejscach cień Księżyca pada na Ziemię i można tam zaobserwować całkowite zaćmienie Słońca. Choć w skali całej Ziemi zaćmienie to występuje dosyć często, ale widoczne jest zawsze na stosunkowo małym obszarze, w pasie węższym niż 300 km o długości kilku tysięcy km. Zaćmienie Słońca może trwać nawet około 8 minut i sprawia niesamowite wrażenie – w jednej chwili na tym obszarze robi się zupełnie ciemno i widać tylko świetlistą koronę słoneczną (il. 6.13). Sprawni obserwatorzy mogą wówczas dojrzeć niektóre gwiazdy.

W miejscach znajdujących się w półcieniu obserwujemy częściowe zaćmienie Słońca. Tarcza naszej gwiazdy jest wtedy przysłonięta, ale dosyć jasna, należy więc patrzeć na to zjawisko przez zaciemnione szkła. Zaćmienie Słońca występuje kilka razy w roku, ale na danym obszarze jest rzadko obserwowane. W Polsce prawie zawsze dotyczy zaćmienia częściowego, o różnej fazie. Całkowite zaćmienie Słońca można było obserwować w Polsce 30 czerwca 1954 roku na Suwalszczyźnie. Następne takie zaćmienie będzie widoczne w naszym kraju 7 października 2135 roku.

Zaćmienia Słońca i Księżyca były niegdyś bardzo tajemniczymi zjawiskami. Budziły grozę, ponieważ nie potrafiono wytłumaczyć ich powstania. Obecnie zjawiska te potrafimy wyjaśnić, ale nadal nas fascynują.



6.13 Całkowite zaćmienie Słońca



6.14 Schemat działania kamery otworkowej

Kamera otworkowa (camera obscura)

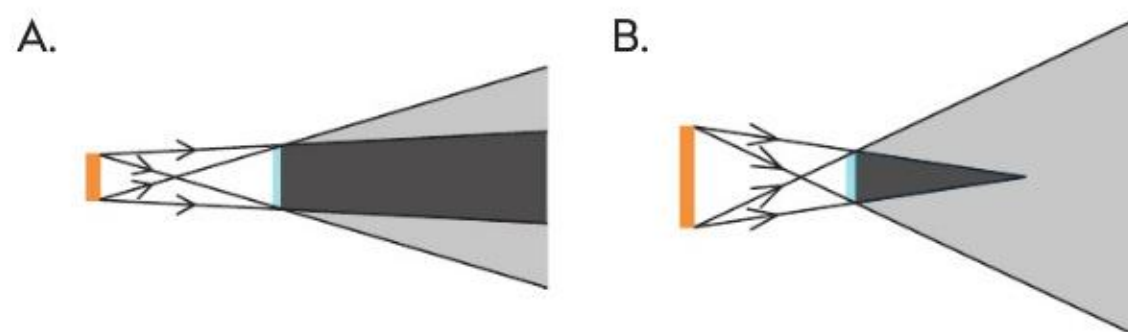
O prostoliniowym rozchodzeniu się światła możesz się również przekonać, korzystając z przyrządu optycznego camera obscura (czyt. **kamera obskura**) nazywanego również ciemnią optyczną lub kamerą otworkową (il. 6.14). Jest to szczelnie zamknięte pudełko, do którego światło wpada przez niewielki otwór w jednej ścianie. Przeciwległa ściana pokryta jest półprzezroczystym papierem (np. pergaminem) lub matowym szkłem. Jeśli oświetlimy umieszczony naprzeciw otworu dowolny przedmiot, na przeciwległej ścianie otrzymamy jego odwrócony **obraz rzeczywisty**, co świadczy o prostoliniowym rozchodzeniu się światła. Camera obscura to pierwowzór aparatu fotograficznego.

W skrócie

- Ciałami przezroczystymi nazywamy ciała, które przepuszczają światło. Te, które nie przepuszczają światła, to ciała nieprzezroczyste.
- W ośrodkach jednorodnych światło porusza się prostoliniowo.
- Promieniem świetlnym nazywamy wąską wiązkę promieniowania przedstawioną w postaci linii prostej, której kierunek jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się światła.
- Jeśli światło na swej drodze spotyka ciało nieprzezroczyste, to za ciałem, na ekranie lub innym przedmiocie, powstaje jego cień. Cień to obszar, do którego nie dociera światło. Jeśli dowolny przedmiot nieprzezroczysty oświetlimy dwoma punktowymi źródłami światła lub przedmiot jest bardzo mały w porównaniu ze źródłem światła, to oprócz cienia powstaje również częściowo oświetlony obszar półcienia.
- Źródło punktowe wysyła promieniowanie jednakowo we wszystkich kierunkach i jego rozmiary są niewielkie w porównaniu z odległością od przedmiotu.
- Do zaćmienia Księżyca dochodzi, gdy Ziemia znajduje się między nim a Słońcem, czyli Księżyc znajduje się w cieniu (całkowite zaćmienie) lub półcieniu Ziemi (częściowe zaćmienie). Do zaćmienia Słońca dochodzi, gdy Księżyc znajduje się między Ziemią a Słońcem. Na Ziemi pojawia się obszar cienia i półcienia Księżyca.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Ciała przezroczyste to takie ciała, które przepuszczają światło.
 - B. W dowolnym ośrodku światło rozchodzi się prostoliniowo.
 - C. Próżnia, szkło czy woda to ośrodki niejednorodne, w których światło rozchodzi się prostoliniowo.
 - D. Promieniem świetlnym nazywamy wąską wiązkę światła lub linię wyznaczającą kierunek rozchodzenia się światła.
 - E. Powstawanie cienia i półcienia zależy od wzajemnego położenia obiektu świecącego i przedmiotu.
- 2 Wyszukaj w internecie informacji na temat wykonania kamery otworkowej i ją wykonaj. Zbadaj, w jakim położeniu kamery i przedmiotu obraz przedmiotu staje się większy, a w jakim – mniejszy.
- 3 Wyjaśnij, dlaczego cień na rysunku A. różni się od tego na rysunku B.



6.3 Odbicie i rozproszenie światła

Podejmij temat



Dlaczego krajobraz odbity w tafli wody nie zawsze jest dobrze widoczny?



Zjawisko odbicia światła

Zjawisko odbicia światła jest nam bardzo dobrze znane z życia codziennego (il. 6.15). Widzimy w witrynie sklepowej obraz własnej postaci, podziwiamy krajobraz odbity w spokojnej tafli jeziora itp.

Powierzchniami bardzo dobrze odbijającymi światło są tak zwane powierzchnie zwierciadlane, na przykład gładka tafla szkła, wypolerowana powierzchnia metalu, idealnie gładka powierzchnia jeziora. Nazywamy je zwierciadłami lub lustrami. Aby sprawdzić, w jaki sposób odbija się światło w zwierciadle płaskim, takim o płaskiej powierzchni odbijającej, wykonamy doświadczenie.



6.15 Odbicie w witrynie sklepowej

Doświadczenie 49.

Badamy, w jaki sposób światło odbija się od zwierciadła

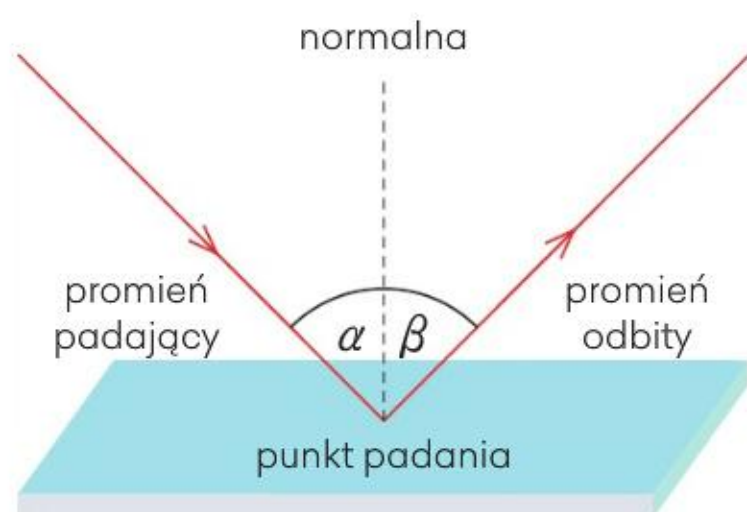
Niezbędne przedmioty: zestaw laserowy do optyki lub źródło światła, zwierciadło, tarcza Kolbego lub specjalny kątomierz

Wykonanie:

- Na tarczy Kolbego (patrz zdjęcie) ustaw zwierciadło płaskie wzdłuż jej środkowej linii (na środku tarczy).
- Skieruj pojedynczy promień lasera w stronę środka zwierciadła, w miejsce przecięcia linii, wzdłuż której położone jest zwierciadło, i prostej do niej prostopadłej (w miejscu padania promienia), tzw. normalnej. Określ kąt między promieniem padającym a normalną – kąt α – oraz kąt między normalną a promieniem odbitym – kąt β .
- Zmieniaj położenie lasera (lub obracaj tarczą Kolbego) i za każdym razem notuj wielkość kąta α i kąta β .



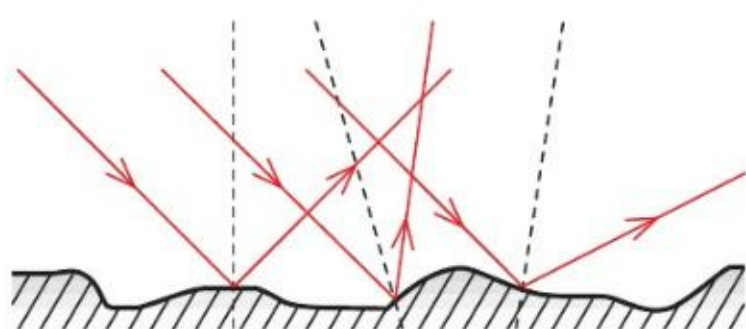
Obserwacje i wnioski: W każdym położeniu lasera (lub tarczy Kolbego) kąt zawarty między promieniem padającym a normalną oraz kąt między normalną a promieniem odbitym są takie same i kąt $\alpha = \text{kąt } \beta$.



6.16 Prawo odbicia



6.17 Odbicie wiązki równoległej od powierzchni gładkiej



6.18 Odbicie wiązki równoległej od powierzchni chropowatej

Prawo odbicia

Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną nazywamy **kątem padania** (α), a kąt między normalną a promieniem odbitym to **kąt odbicia** (β) (il. 6.16). Wykonane doświadczenie pozwala na sformułowanie prawa odbicia:

Kąt odbicia jest równy kątowi padania ($\beta = \alpha$).
Promień padający, promień odbity i normalna w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.

Jeśli powtórzysz poprzednie doświadczenie, ustawiając w źródle światła nie jeden promień światła, lecz trzy lub pięć promieni tworzących wiązkę równoległą, zobaczysz, że wszystkie promienie odbijają się w ten sam sposób i po odbiciu od zwierciadła tworzą również wiązkę równoległą (il. 6.17).

Rozproszenie światła

Kiedy promienie świetlne padają na powierzchnię **chropowatą**, czyli nie-wypolerowaną i niegładką, to po odbiciu od takiej powierzchni promienie nie są już równoległe (il. 6.18). Mimo że każdy promień z osobna odbija się zgodnie z prawem odbicia, to cała wiązka ulega **rozproszeniu** – promienie odbite rozchodzą się w różnych kierunkach, tworząc wiązkę rozbieżną.

Dzięki rozproszeniu światła na różnych powierzchniach widzimy je, chociaż same nie są źródłami światła. Jeśli tylko zostaną oświetlone, to część rozproszonych przez nie promieni dotrze do naszych oczu. Pamiętaj na pewno, że Księżyc i planety widzimy właśnie dlatego, że zostały oświetlone światłem słonecznym i rozproszone przez nie światło trafia do naszych oczu. Na podobnej zasadzie widzimy większość otaczających nas przedmiotów.

Czynnikami rozpraszającym światło mogą być również znajdujące się w powietrzu drobiny pyłów, kurzu czy dymu. Na pewno mogłeś zaobserwować rozproszenie światła z reflektorów samochodowych we mgle, szczególnie podczas podróży nocą.

Przykład 23.

Ile wynosi kąt między promieniem odbitym a powierzchnią zwierciadlaną, jeśli kąt padania jest równy 30° ?

Dane:
 $\alpha = 30^\circ$

Szukane:
 $\beta' = ?$

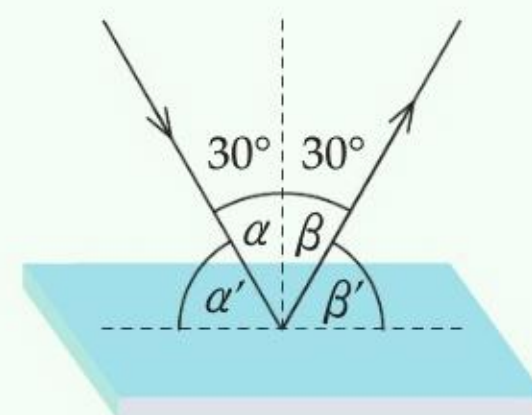
Rozwiązanie

Korzystamy z prawa odbicia: $\alpha = \beta$, stąd: $\beta = 30^\circ$

Ponieważ normalna tworzy z powierzchnią odbijającą światło kąt 90° , to $\beta + \beta' = 90^\circ$

Stąd $\beta' = 90^\circ - \beta$. Po podstawieniu danych: $\beta' = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

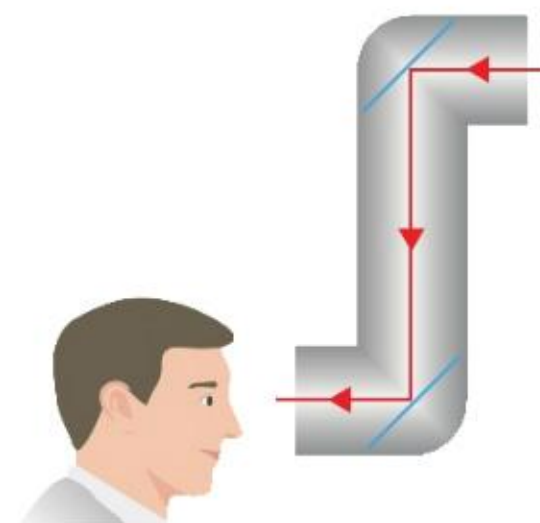
Odpowiedź: Kąt między promieniem odbitym a powierzchnią zwierciadlaną wynosi 60° .



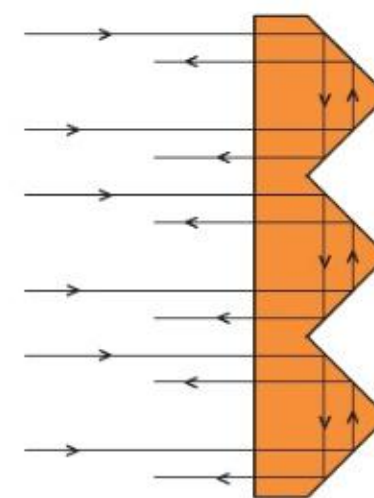
Wykorzystanie luster i prawa odbicia

Znajomość zjawiska odbicia światła w lustrach wykorzystano w wielu urządzeniach, w których istnieje potrzeba zmiany kierunku biegu promieni światła. Prawo odbicia światła znalazło zastosowanie np. w peryskopie (il. 6.19). Peryskop tworzy dość długa rura zgięta dwukrotnie pod kątem prostym. U dołu i u góry ma przymocowane zwierciadła płaskie, pod kątem 45° w stosunku do poziomu. Wiązka promieni świetlnych pada na zwierciadło górne, odbija się od niego, pada na zwierciadło dolne, znów się odbija i biegnie do oka obserwatora. Dzięki temu może on zobaczyć przedmioty znajdujące się znacznie wyżej od położenia jego oka. Peryskopy znalazły zastosowanie na okrętach podwodnych i w różnych urządzeniach wojskowych.

Zjawisko odbicia światła wykorzystuje się też w produkcji szkła odbłaskowych. Są one zbudowane z dużej liczby małych zwierciadeł, ustawionych względem siebie pod kątem 90° (il. 6.20). Można je dostrzec, oglądając takie szkło przez lupę. Światło po dwukrotnym odbiciu się od zwierciadeł zawsze wraca tam, skąd pada. Dlatego osoby lub przedmioty wyposażone w światła odbłaskowe (m.in. rowery) stają się widoczne dla innych użytkowników drogi, gdy trafią na nie np. światła reflektorów samochodowych.



6.19 Peryskop

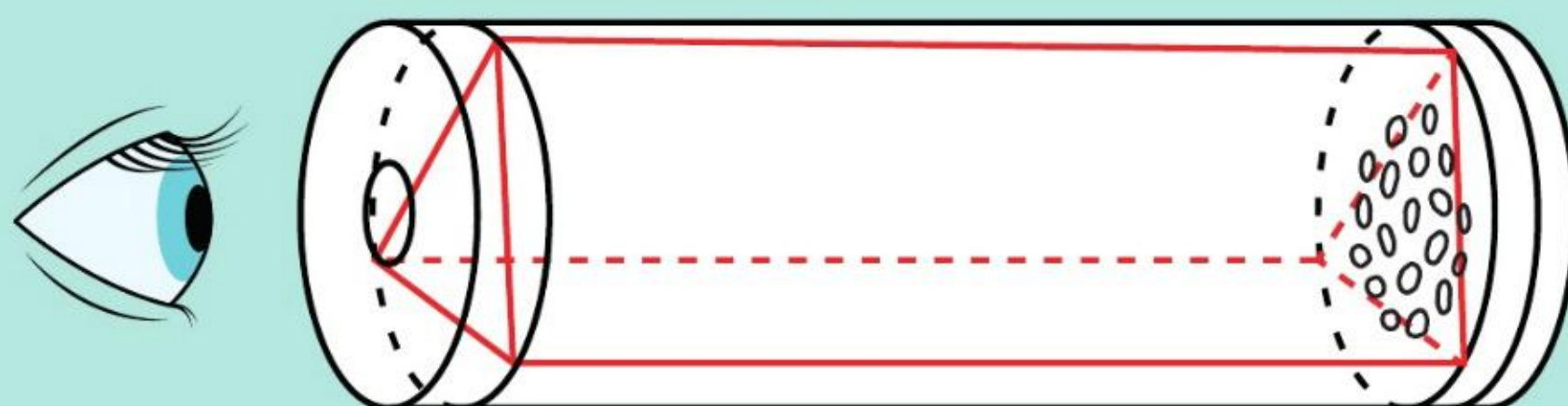


6.20 Bieg promieni świetlnych odbijanych od powierzchni odbłaskowej

Więcej na temat

Kalejdoskop

Innym przedmiotem, do którego skonstruowania zastosowano odbicie światła, jest kalejdoskop. Zasada jego działania jest niezwykle prosta. Możemy go zbudować, ustawiając trzy długie lusterka o jednakowej szerokości – tak, by tworzyły w przekroju trójkąt równoboczny. W lusterkach ujrzymy gwiazdę utworzoną z krawędzi tych właśnie lusterek. Jeśli na pasku papieru narysujemy kolorowe wzory, a następnie dobrze oświetlony pasek z rysunkami umieścimy pionowo między lusterkami, pojawi się wielokątna, różnokolorowa gwiazda. Kiedy pasek przesuniemy, obraz się zmieni. Dodatkowy efekt uzyskamy, umieszczając między lusterkami drobne przedmioty. Te piękne obrazy powstają na skutek wielokrotnego odbicia promieni światła w lusterkach.



Ciekawe!

Ustaw na stole dwa lusterka prostopadłe do siebie. Między nimi umieść nakrętkę od butelki z narysowaną strzałką. Popatrz na obraz, który otrzymałeś.

W skrócie

- Gładkie, wypolerowane powierzchnie to zwierciadła lub lustra. Te o płaskiej powierzchni odbijającej to zwierciadła płaskie.
- Kąt padania (α) to kąt zawarty między promieniem padającym a normalną do powierzchni padania, a kąt odbicia (β) zawarty jest między promieniem odbitym a normalną.
- Światło odbija się od powierzchni zgodnie z prawem odbicia, czyli w takim kierunku, że kąt odbicia jest równy kątowi padania: $\beta = \alpha$. Promień padający, promień odbity i normalna w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.
- Jeśli powierzchnia jest chropowata, to światło ulega rozproszeniu, czyli rozchodzi się w różnych kierunkach.
- Światło może rozpraszać się również na drobinach, które znajdują się na drodze światła.

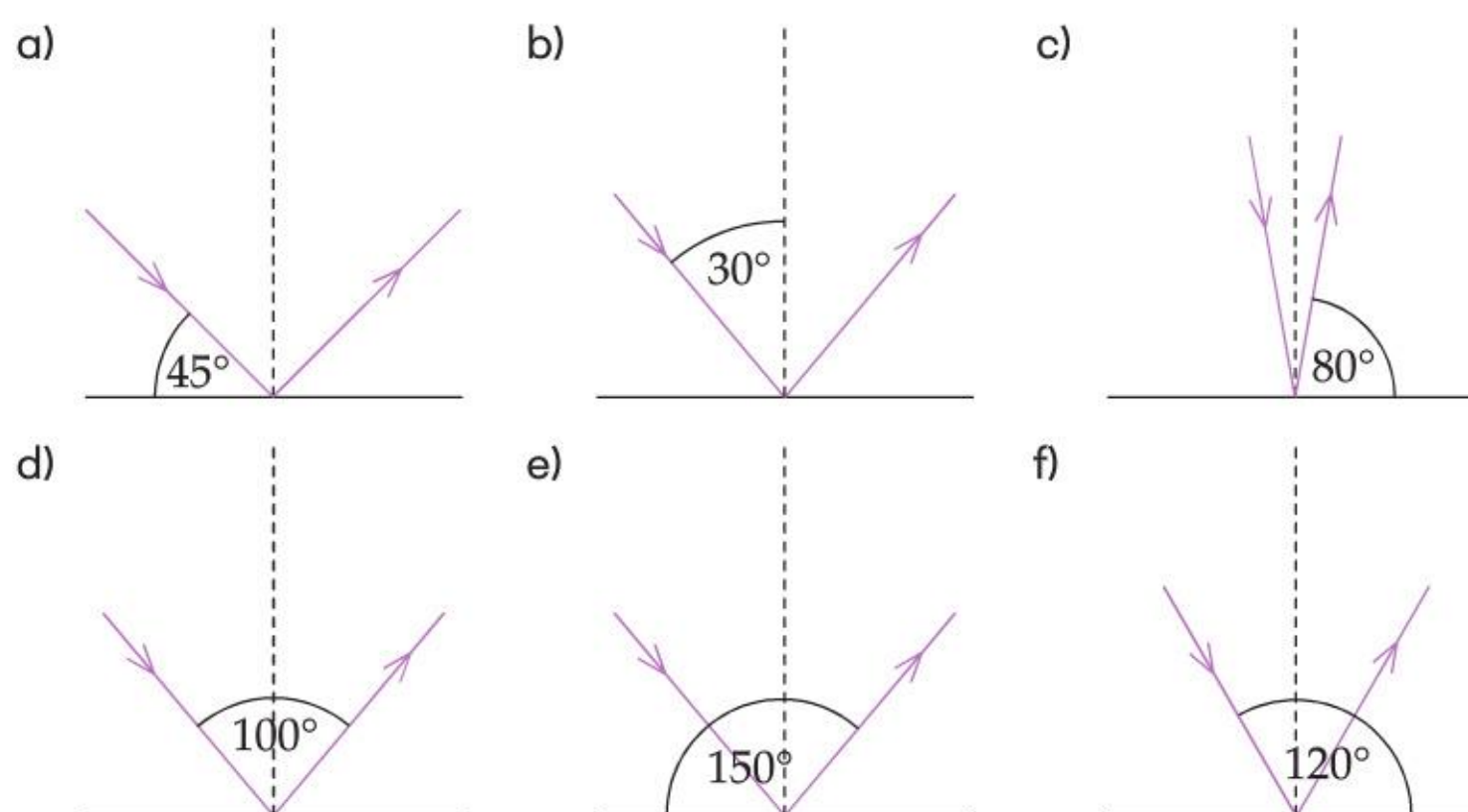
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Światło, padając na powierzchnię ciała,

- A. odbija się, tworząc wiązkę rozbieżną.
- B. odbija się zgodnie z prawem odbicia.
- C. odbija się, ale nie zawsze zgodnie z prawem odbicia.
- D. zawsze się rozprasza, niezależnie od rodzaju powierzchni ciała.
- E. rozprasza się zgodnie z prawem odbicia.

- 2 Na podstawie rysunków określ miary kątów odbicia.



- 3 Wykonaj doświadczenie z wanienką o szklanym dnie, ustawioną na rzutniku pisma (lub na przyrządzie do pokazu fal na wodzie). Sprawdź, czy fala płaska wytworzona na powierzchni wody (fala mechaniczna) ulega zjawisku odbicia.

6.4 Zwierciadła płaskie

Podejmij temat

- Jak powstaje obraz w lustrze?
- Co to znaczy, że w lustrze obraz jest pozorny?

Obraz świecącego punktu

Wiesz już, że światło odbija się od powierzchni ciał zgodnie z prawem odbicia. Doświadczasz tego codziennie, przyglądając się własnemu odbiciu w lustrze. Masz wtedy wrażenie, jakbyś znajdował się po drugiej stronie lustra. To, co widzisz w lustrze, to twój **obraz**, gdyż promienie świetlne stamtąd nie wychodzą. Spróbujemy wyznaczyć konstrukcyjnie obraz świecącego punktu (il. 6.21).

Konstruując obraz punktu w zwierciadle płaskim, **musimy uwzględnić przynajmniej dwa promienie** wysyłane przez przedmiot i padające na zwierciadło. Na przykład **jeden z nich może padać pod dowolnym kątem, a drugi prostopadle do zwierciadła** – wtedy kąt padania równy jest kątowi odbicia i wynosi 0° .

Każdy z nich odbija się zgodnie z prawem odbicia. Rysujemy przedłużenia promieni odbitych (na rysunku linia przerywana) przechodzące za lustro. Zauważmy, że **obraz punktu powstaje w wyniku przecięcia się przedłużeń promieni odbitych od powierzchni zwierciadła**. Odnosimy wrażenie, że promienie świetlne „wychodzą” spoza zwierciadła, chociaż tak się nie dzieje.

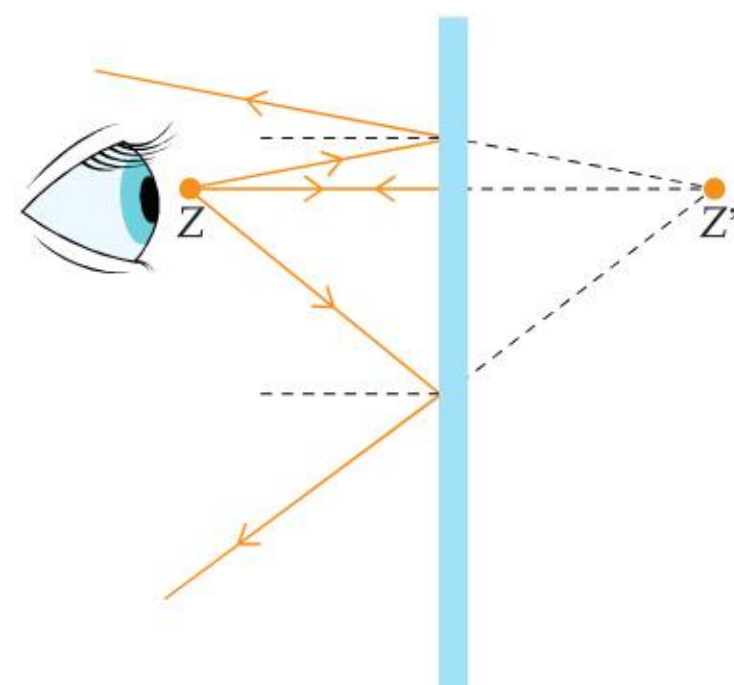
Jest to złudzenie i dlatego obraz powstający w zwierciadle płaskim nazywamy **obrazem pozornym**.

Obraz pozorny przedmiotu powstaje w miejscu przecięcia przedłużeń promieni, które po odbiciu dochodzą do oka obserwatora.

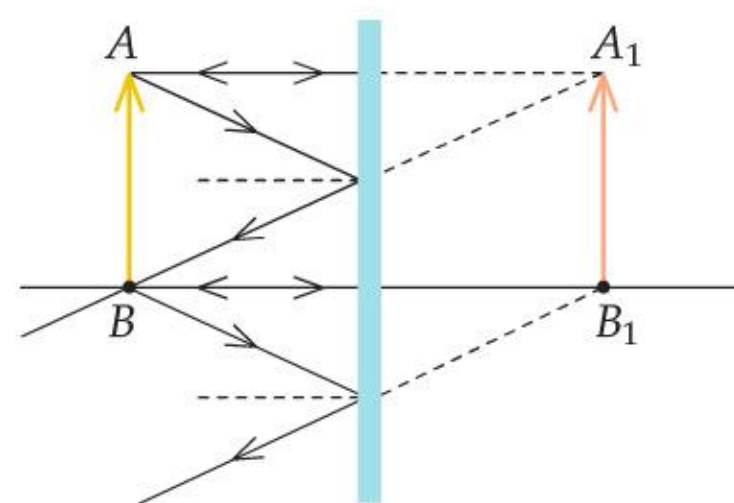
Obraz świecącego przedmiotu

Konstruując obraz przedmiotu, należy wziąć pod uwagę dwa jego skrajne punkty i znaleźć ich obraz (il. 6.22).

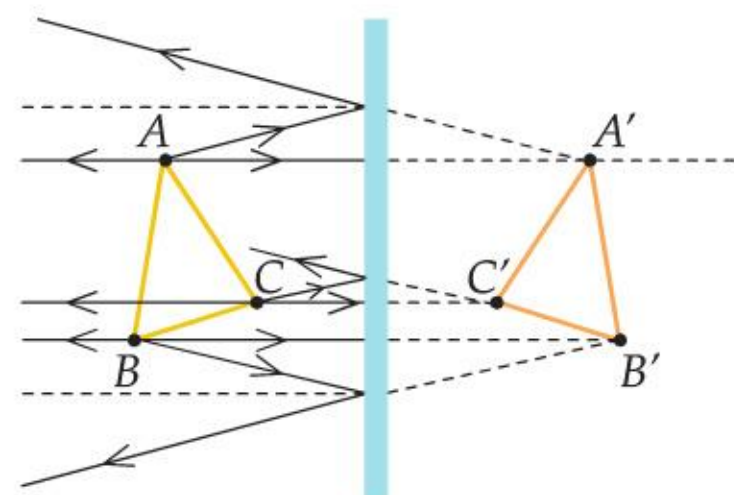
Przeanalizujmy konstrukcję przedstawioną na il. 6.23. Aby skonstruować obraz narysowanego trójkąta, należy znaleźć obraz wszystkich trzech punktów A , B , C . Z każdego rysujemy po dwa promienie, pierwszy prostopadły do powierzchni lustra, a drugi padający pod dowolnym kątem do jego powierzchni.



6.21 Konstrukcja obrazu świecącego punktu w zwierciadle płaskim



6.22 Konstrukcja obrazu świecącego przedmiotu



6.23 Konstrukcja obrazu trójkąta w zwierciadle płaskim



6.24 Obraz w zwierciadle płaskim

Cechy obrazu otrzymanego w zwierciadle płaskim

Obserwując powstające obrazy, mogłeś zauważyć, że odbicie w zwierciadle płaskim symetrycznie odwzorowuje dany obiekt na niego samego (il. 6.24). Gdy analizujemy konstrukcje, określamy następujące **cechy obrazu**:

- obraz **jest tej samej wielkości** co przedmiot,
- obraz **jest pozorny** – widzimy go wewnątrz zwierciadła; nie zobaczylibyśmy go na ekranie,
- **odległość** przedmiotu od zwierciadła **jest taka sama** jak obrazu od zwierciadła,
- **prawa strona obrazu jest taka jak lewa strona przedmiotu** i odwrotnie – jest to lustrzane odbicie,
- góra obrazu jest tam, gdzie góra przedmiotu – obraz nie jest odwrócony, **jest prosty**,
- obraz poruszającego się przedmiotu zbliża się do nas z taką samą szybkością jak przedmiot (sprawdź w domu przed lustrem).

W skrócie

- Obraz pozorny przedmiotu powstaje w miejscu przecięcia przedłużeń promieni odbitych.
- Za pomocą zwierciadła płaskiego otrzymujemy obraz pozorny, tej samej wielkości i prosty. Odległość przedmiotu od zwierciadła jest taka sama jak obrazu od zwierciadła. Jeśli przedmiot się porusza, to z tą samą szybkością porusza się obraz.
- Obraz w zwierciadle jest lustrzanym odbiciem przedmiotu, czyli lewa strona przedmiotu jest taka jak prawa strona obrazu i odwrotnie.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Oceń prawdziwość podanych zdań.
Obraz w zwierciadle płaskim powstaje w wyniku
A. przecięcia się przedłużeń promieni padających na powierzchnię zwierciadła.
B. przecięcia się przedłużeń promieni odbitych od powierzchni zwierciadła.
- Na którym rysunku właściwie pokazano obraz przedstawionego przedmiotu?
A.  B.  C.  D.  E. 
- Napisz wyraz AMBULANS tak, jak wyglądałby w lustrze, następnie sprawdź, czy go poprawnie napisałeś. Wyjaśnij, dlaczego to słowo zapisane jest tak na masce (z przodu) karetki pogotowia.

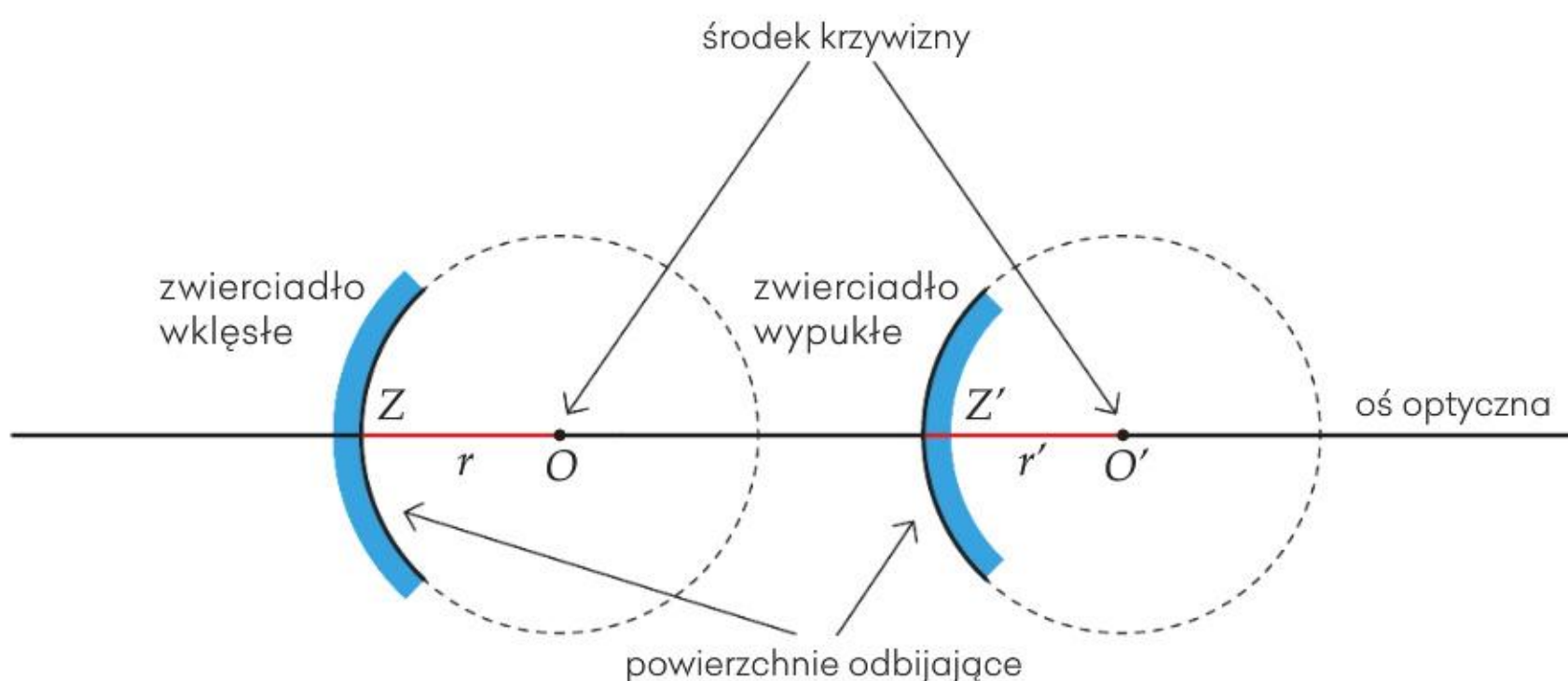
6.5 Zwierciadła kuliste i ich zastosowanie

Podjmij temat

- Dlaczego obraz twojej twarzy w srebrnej błyszczącej bombce jest zniekształcony?

Rodzaje zwierciadeł kulistych

Powierzchnia zwierciadlana, od której odbija się światło, może mieć kształt kulisty (il. 6.25). Jeśli promienie świetlne odbijają się od wewnętrznej strony czaszy kuli, zwierciadło takie nazwiemy **wklęsłym**. Zwierciadłem **wypukłym** natomiast nazwiemy zewnętrzną stronę czaszy kuli, od której odbijają się promienie światła.



6.25 Schematy zwierciadeł kulistych

Środek kuli oznaczmy literą **O**. Odległość od tego środka do wierzchołka zwierciadła **Z** to promień kuli równy r . Prosta przechodząca przez środek kuli nazywana jest **osią optyczną**. Sprawdźmy teraz doświadczalnie, jak wygląda wiązka promieni równoległych po odbiciu od zwierciadła wklęsłego i zwierciadła wypukłego.

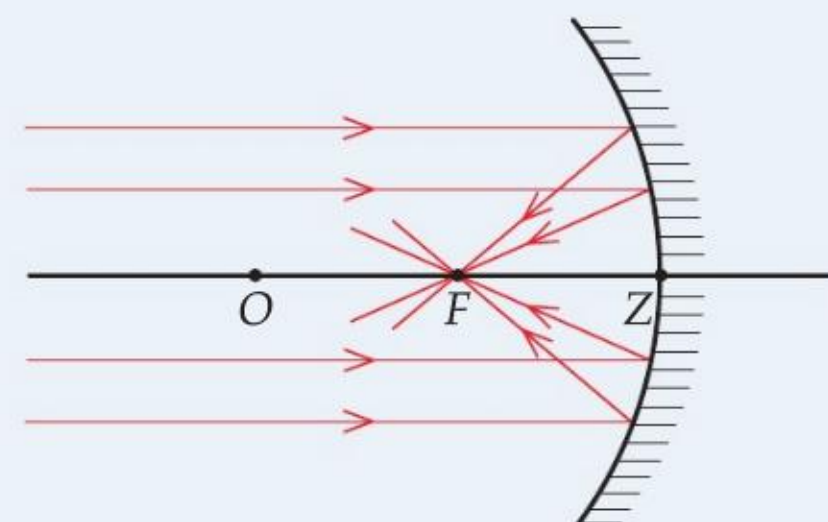
Doświadczenie 50.

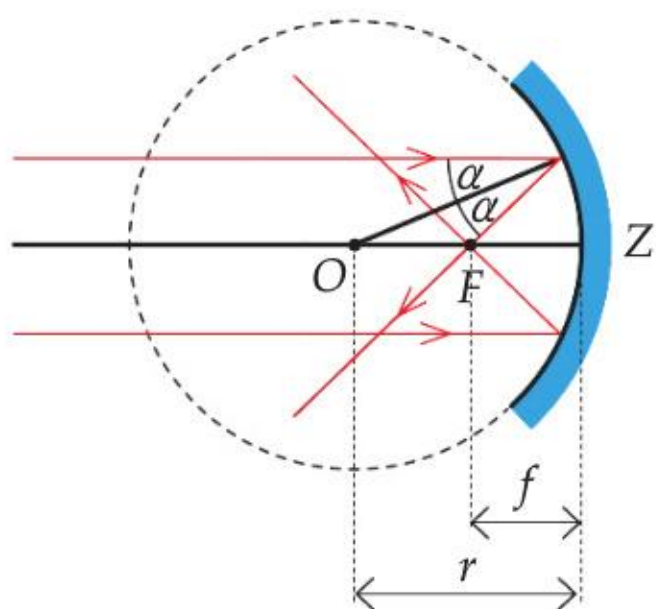
Obserwujemy, jak biegnie wiązka promieni równoległych odbitych od zwierciadła wklęsłego

Niezbędne przedmioty: zestaw do optyki z laserem (lub stół optyczny)

Wykonanie: Skieruj na zwierciadło wklęsłe wiązkę promieni równoległych i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje: Wszystkie promienie równoległe do osi optycznej po odbiciu od zwierciadła przechodzą przez jeden punkt.





6.26 Ogniskowa i promień krzywizny zwierciadła wklęsłego



Ogniskowa zwierciadła wklęsłego jest w przybliżeniu równa połowie jego promienia krzywizny.

Ognisko zwierciadła

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że wiązka promieni równoległych po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez jeden punkt. Ten punkt, oznaczony literą **F**, nazywamy **ogniskiem zwierciadła**. Odległość od ogniska do zwierciadła nazywamy **ogniskową** i oznaczamy ją literą **f**. Narysujmy ponownie odbicie od zwierciadła wklęsłego wiązki promieni równoległych. Zobacz i zmierz na il. 6.26 ogniskową oraz promień krzywizny zwierciadła.

Zależność między ogniskową a promieniem krzywizny przedstawia równanie:

$$f = \frac{r}{2}$$

Gdy umieścimy w ognisku zwierciadła wklęsłego punktowe źródło światła, zaobserwujemy, że promienie odbite od zwierciadła tworzą wiązkę równoległą. Możemy więc powiedzieć, że **bieg promieni świetlnych jest odwracalny** – jeśli światło biegło po określonej drodze w pewnym kierunku, to również po tej samej drodze będzie biec w kierunku przeciwnym.

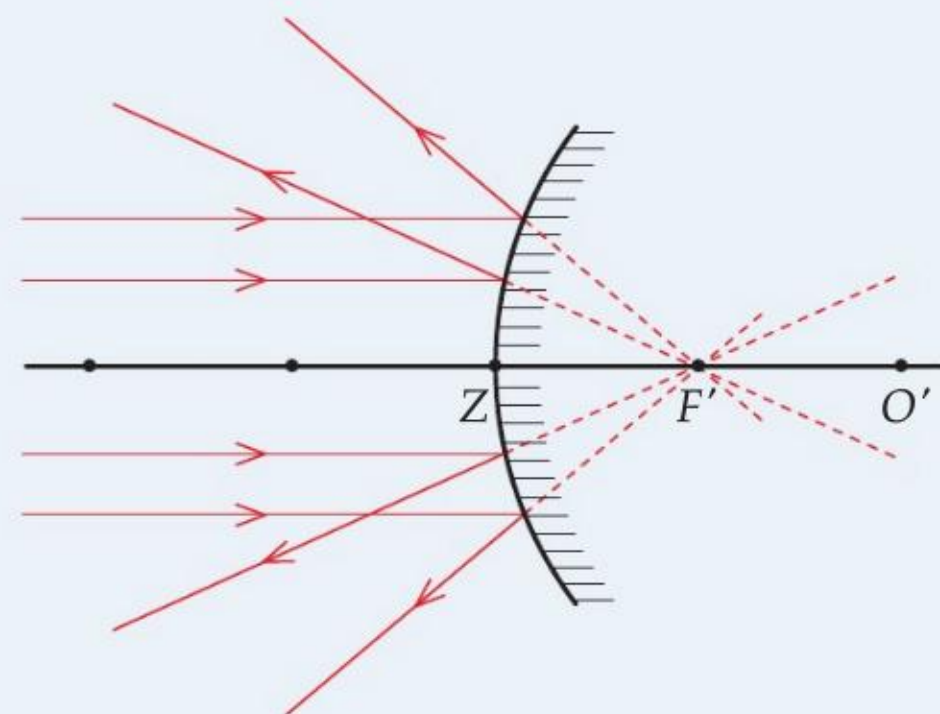
Doświadczenie 51.

Obserwujemy, jak biegnie wiązka promieni równoległych odbitych od zwierciadła wypukłego

Niezbędne przedmioty: zestaw do optyki z laserem (lub stolik optyczny)

Wykonanie: Skieruj na zwierciadło wypukłe wiązkę promieni równoległych i obserwuj, co się dzieje.

Obserwacje: Wiązka po odbiciu od zwierciadła jest wiązką rozbieżną.



6.27 Zastosowanie zwierciadła wklęsłego

W zwierciadle wypukłym promienie równoległe do głównej osi zwierciadła odbijają się od niego, tworząc wiązkę rozbieżną. Zauważmy jednak, że ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie, który jest **ogniskiem pozornym** zwierciadła wypukłego **F'**. Wnioskujemy więc, że w tego typu zwierciadłach powstają obrazy pozorne.

Zastosowanie zwierciadeł

Zwierciadła wklęsłe mają szerokie zastosowanie w medycynie, na przykład w lampach laryngologicznych, lusterkach dentystycznych (il. 6.27) czy do precyzyjnego oświetlenia pacjentów w gabinetach i salach operacyjnych. Wykorzystywane są również w kuchenkach słonecznych do podgrzewania żywności, latarkach elektrycznych, teleskopach astronomicznych czy reflektorach. Reflektor składa się ze zwierciadła wklęsłego oraz z silnego źródła światła, umieszczonego bardzo blisko jego ogniska. Promienie świetlne wysyłane przez

to źródło odbijają się od zwierciadła i tworzą po odbiciu wiązkę promieni prawie równoległych. Pojazdy lądowe i statki wykorzystują je do oświetlania drogi. Reflektory z silnym źródłem światła są instalowane w latarniach morskich, wykorzystywane są również w teatrach do oświetlania sceny, na planach filmowych (jupitery) oraz do oświetlania budynków i pomników (iluminacja).

Zwierciadła wypukłe znalazły zastosowanie w lusterkach samochodowych, jako lustra umieszczone przy drogach w miejscach z niewidocznymi wyjazdami lub na ostrych zakrętach (il. 6.28), a także w sklepach, gdzie odbijają obrazy miejsc niewidocznych dla personelu.



6.28 Zastosowanie zwierciadła wypukłego

W skrócie

- Zwierciadło kuliste to część powierzchni zwierciadlanej kuli, od której odbija się światło. Wyróżniamy zwierciadła kuliste wklęsłe i wypukłe. Jeśli promienie świetlne odbijają się od wewnętrznej strony czaszy kuli, zwierciadło takie nazwiemy wklęsłym. Zwierciadłem wypukłym natomiast nazwiemy zewnętrzną stronę czaszy kuli.
- Punkt, przez który przechodzą po odbiciu od zwierciadła wklęsłego promienie świetlne padające równoległe do osi optycznej, nazywamy ogniskiem zwierciadła (F). Bieg promieni jest odwracalny, czyli jeśli w ognisku umieścimy punktowe źródło światła, to po odbiciu od zwierciadła otrzymamy wiązkę promieni równoległych.
- Odległość od ogniska do środka czaszy zwierciadła nazywamy ogniskową (f). Ogniskowa zwierciadła wklęsłego jest równa w przybliżeniu połowie jego promienia krzywizny. Obliczamy ją ze wzoru: $f = \frac{r}{2}$
- W zwierciadle wypukłym promienie równoległe do osi optycznej zwierciadła odbijają się od niego, tworząc wiązkę rozbieżną. Ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie, który jest ogniskiem pozornym zwierciadła wypukłego (F').

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
Promień wysłany ze źródła światła, który przed odbiciem się od zwierciadła kulistego wklęsłego przeszedł przez jego ognisko,
A. odbije się od zwierciadła pod takim samym kątem, pod jakim na niego pada.
B. odbije się pod dowolnym kątem i ulegnie rozproszeniu.
C. po odbiciu od zwierciadła wróci tą samą drogą.
D. po odbiciu od zwierciadła będzie biegł równoległe do osi optycznej.
E. po odbiciu od zwierciadła przejdzie przez jego środek krzywizny.
- 2 Najczęściej powierzchnie zwierciadeł latarek i reflektorów samochodowych to zwierciadła paraboliczne, które nie są częścią wewnętrznej powierzchni kuli. Poszukaj informacji na temat tych zwierciadeł i spróbuj odpowiedzieć na pytanie, dlaczego są stosowane.

6.6 Obrazy wytworzone przez zwierciadła kuliste

Podejmij temat

- Jak powstaje obraz w lusterku dentystycznym?

Jakie obrazy otrzymujemy w zwierciadłach kulistych?

Na pewno miałeś okazję zaobserwować swój obraz w powiększającym lusterku kosmetycznym, bombce choinkowej czy łyżce do zupy. Przy użyciu zwierciadeł kulistych otrzymujemy obrazy, których cechy zależą od rodzaju zwierciadła oraz wzajemnego położenia przedmiotu i zwierciadła. Wykonaj proste doświadczenie, aby się o tym przekonać.

Doświadczenie 52.

Obserwujemy, jakie obrazy uzyskujemy w zwierciadłach kulistych

Niezbędne przedmioty: metalowa, błyszcząca łyżka (lub zwierciadła wklęsłe i wypukłe z zestawu do optyki), świeczka, ekran (ściana), zapalki

Wykonanie:

- Zapaloną świeczkę umieść przed wklęsłą powierzchnią łyżki. Zbliżaj i oddalaj łyżkę, obserwując obraz w łyżce.
- Ustaw łyżkę blisko ekranu (ściany) i poszukaj obrazu świeczki na ekranie.
- Zmieniaj ustawienie łyżki i zwierciadła, cały czas obserwując obraz na ekranie.
- Zapaloną świeczkę umieść przed wypukłą powierzchnią łyżki i obserwuj obrazy świeczki.
- Zaobserwuj swoje odbicie we wklęsłej i wypukłej stronie łyżki. Zmieniaj położenie łyżki i obserwuj obrazy.

Obserwacje: Dostrzegamy różne obrazy świeczki, pozorne w łyżce oraz rzeczywiste na ekranie. Obrazy mają różne wielkości, są proste lub odwrócone.



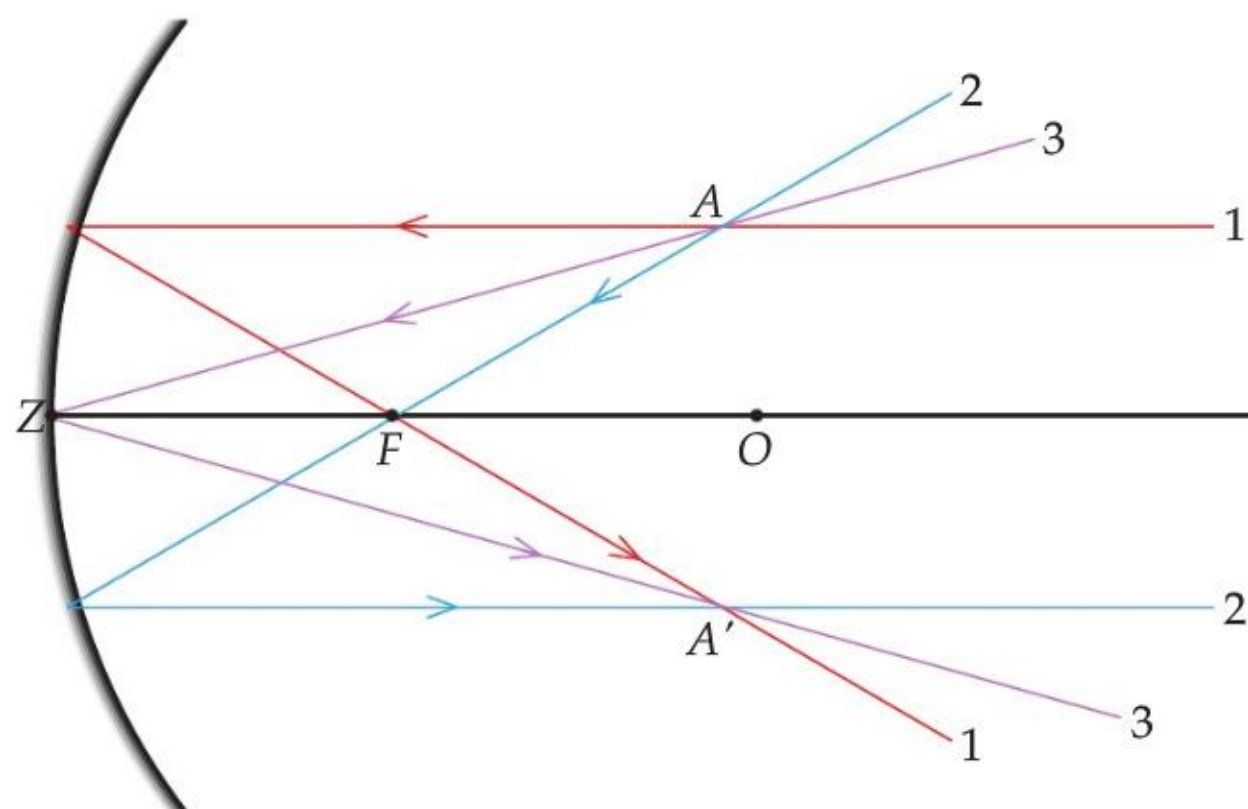
Obraz otrzymywany w zwierciadle może być:

- **rzeczywisty**, jeśli powstaje w wyniku przecięcia się promieni rzeczywistych, lub **pozorny**, gdy przecinają się przedłużenia promieni odbitych,
- **prosty (nieodwrócony)** lub **odwrócony** względem ułożenia przedmiotu,
- **tej samej wielkości** jak odbijany przedmiot, **powiększony** lub **pomniejszony**. Powiększenie obrazu (p) możesz obliczyć, dzieląc wysokość obrazu (h_2) przez wysokość przedmiotu (h_1): $p = \frac{h_2}{h_1}$

Konstrukcja obrazów powstających w zwierciadłach wklęsłych

Konstruując obrazy przedmiotów powstających za pomocą zwierciadeł wklęsłych, musimy poprowadzić przynajmniej dwa promienie (il. 6.29). Najczęściej będziemy wybierać dwa z trzech, których bieg już znamy. Wykorzystamy następujące promienie:

- **równoległy do osi optycznej**, który po odbiciu od zwierciadła przechodzi przez ognisko (na rysunku promień zaznaczony na czerwono) →
- **przechodzący przez ognisko F** , który po odbiciu będzie równoległy do osi optycznej →
- **padający na zwierciadło w punkcie Z** , który po odbiciu od zwierciadła odbije się symetrycznie względem osi optycznej →



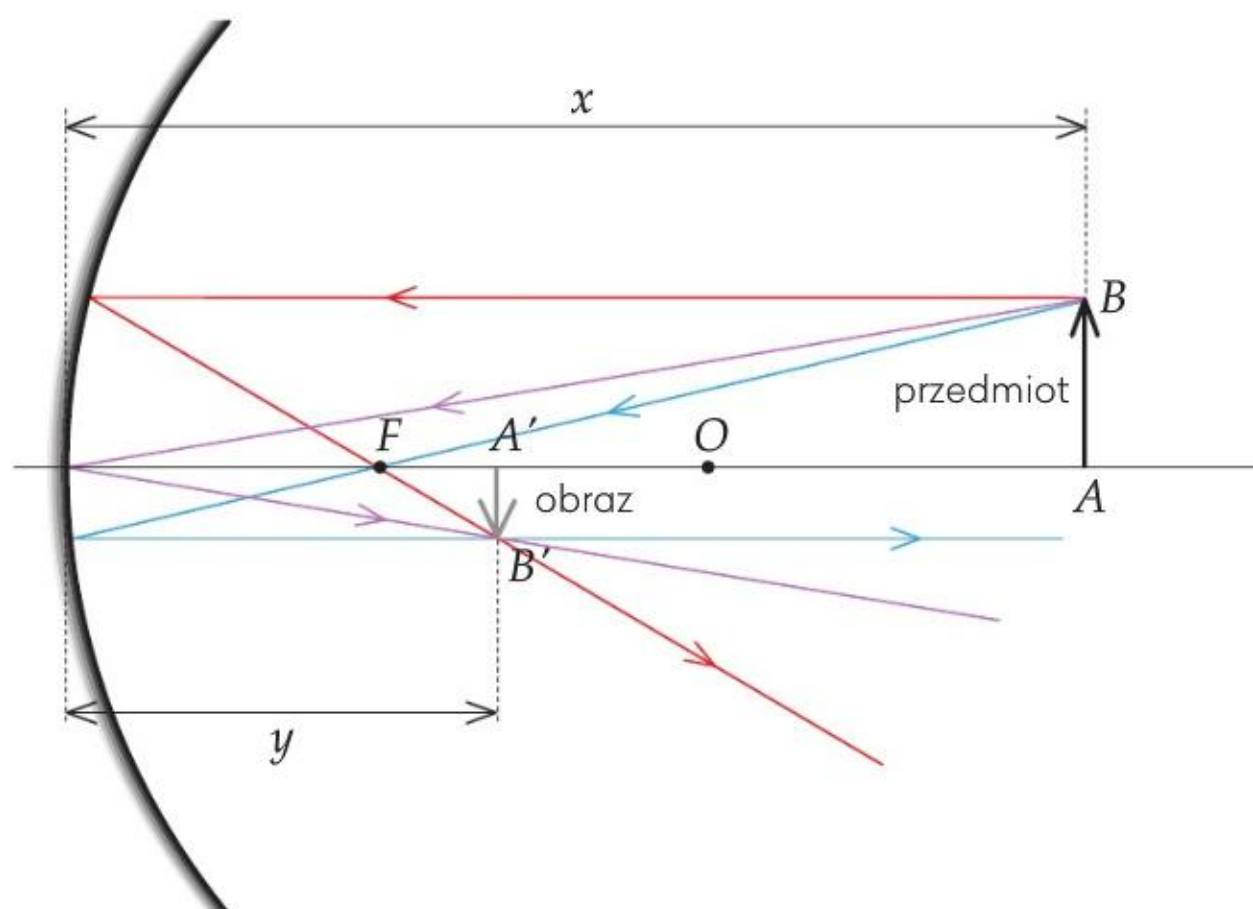
6.29 Konstrukcja obrazu w zwierciadle wklęsłym

Obrazy tworzone przez zwierciadła wklęsłe

Aby narysować konstrukcję obrazu przedmiotu, należałoby znaleźć obraz każdego jego punktu. Byłoby to bardzo czasochłonne. Dlatego do poznania mechanizmu powstawania obrazów wybieramy przedmiot o prostym kształcie (np. strzałkę), w którym łatwo rozróżniamy górę i dół. Zakładamy, że każdy punkt strzałki wysyła światło we wszystkich kierunkach, ale szukamy obrazów tylko jej skrajnych punktów A i B , a w zasadzie tylko punktu B , gdyż z punktu A leżącego na osi optycznej zwierciadła promień biegnący w stronę zwierciadła pada na nie pod kątem 0° . Po odbiciu od zwierciadła promień wraca po tej samej prostej, a więc punkt A' strzałki będzie zawsze leżał na osi optycznej zwierciadła.

• Przypadek I ($x > r$)

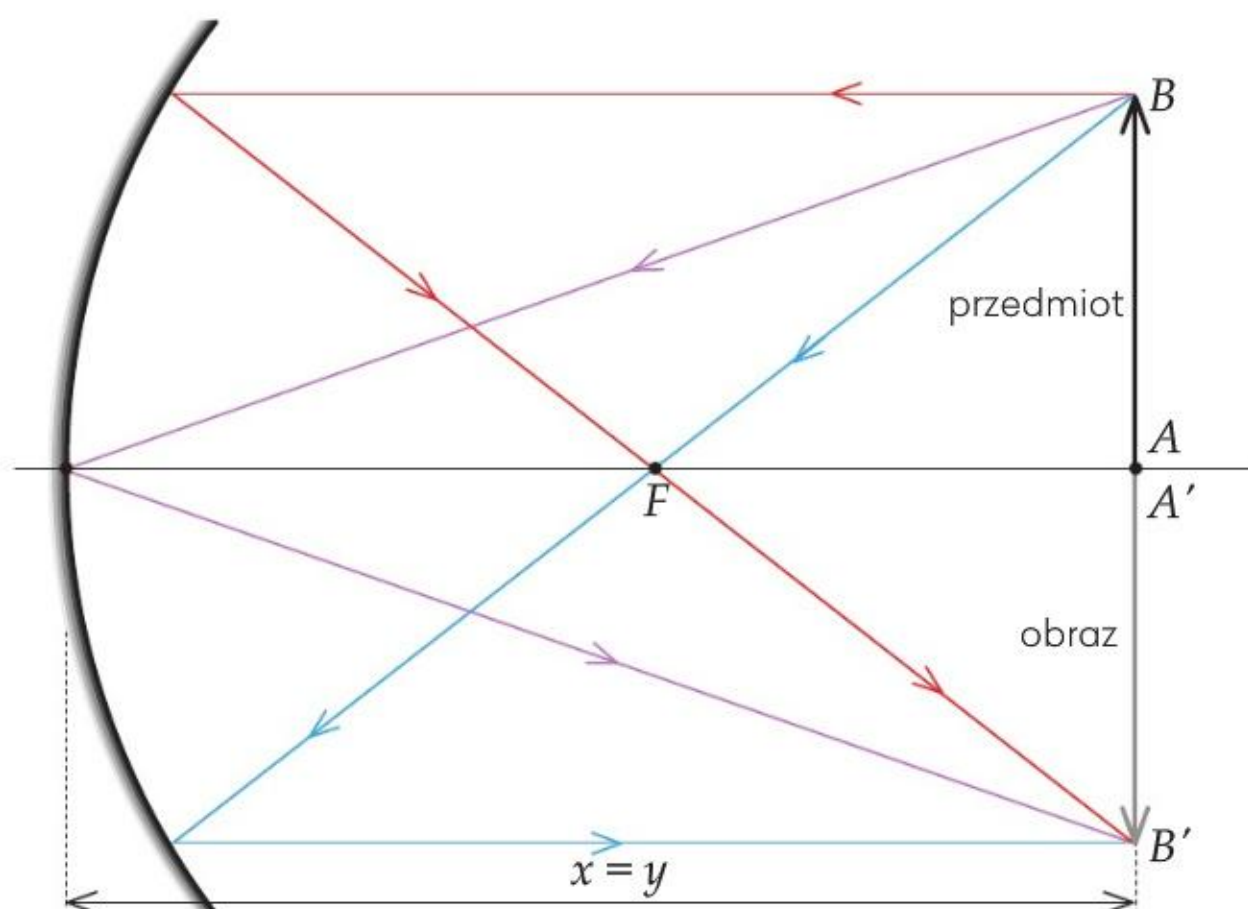
Konstrukcja obrazu przedmiotu AB umieszczonego w odległości x większej niż promień krzywizny zwierciadła r .



6.30 Otrzymujemy obraz **rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony**

• Przypadek II ($x = r$)

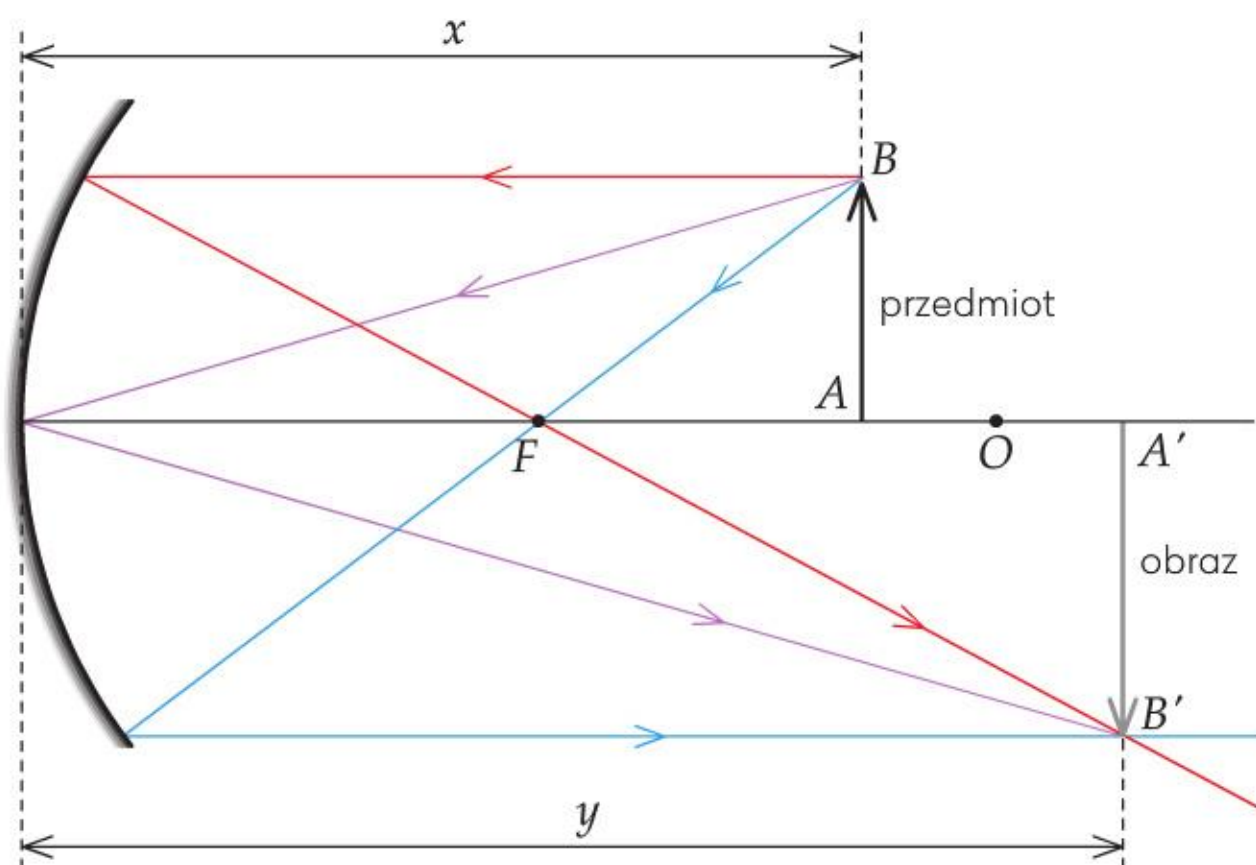
Konstrukcja obrazu przedmiotu AB umieszczonego w środku krzywizny ($x = r$).



6.31 Otrzymujemy obraz **rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot**

• **Przypadek III** ($f < x < r$)

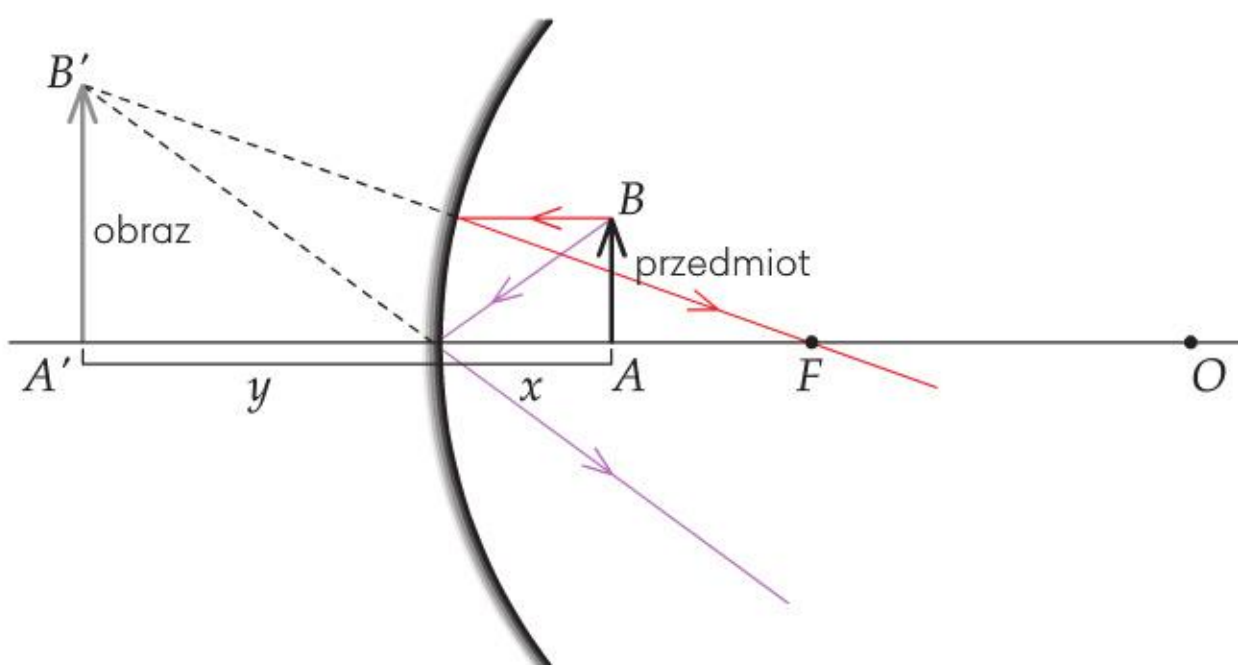
Konstrukcja obrazu przedmiotu umieszczonego między ogniskiem F a środkiem krzywizny w odległości x mniejszej niż promień krzywizny zwierciadła.



6.32 Otrzymujemy obraz **rzeczywisty, odwrócony, powiększony**

• **Przypadek IV** ($x < f$)

Konstrukcja obrazu przedmiotu umieszczonego między ogniskiem a zwierciadłem.



6.33 Otrzymujemy obraz **pozorny, prosty, powiększony**. Na tej zasadzie działa lusterko dentystyczne

• **Przypadek V** ($x = f$)

Jeżeli przedmiot umieszczony jest w ognisku ($x = f$), **obraz nie powstaje**. Promienie padające od przedmiotu po odbiciu od zwierciadła tworzą wiązkę promieni równoległych. Sprawdź to, wykonując odpowiednią konstrukcję.

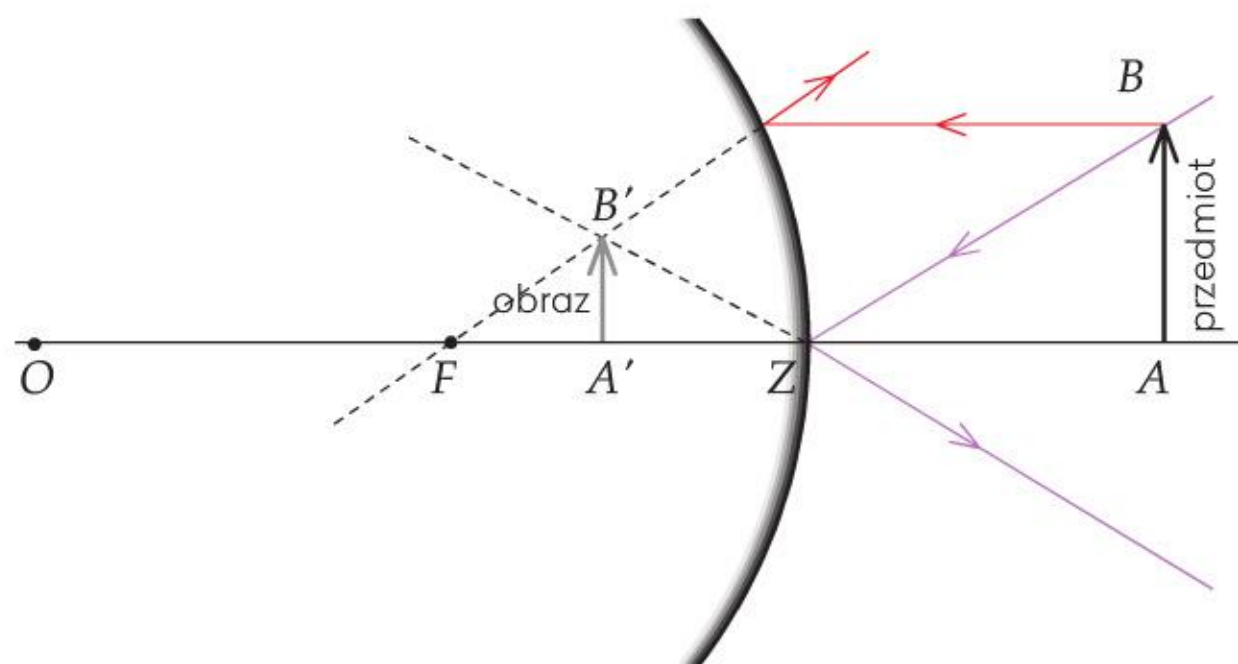
Dla zwierciadeł wklęsłych, w zależności od ich odległości od świecącego przedmiotu, otrzymujemy obrazy rzeczywiste lub pozorne. Obrazy rzeczywiste są odwrócone i powiększone lub pomniejszone, a obrazy pozorne są powiększone i proste.

Konstrukcja obrazów powstających w zwierciadłach wypukłych

Konstruując obrazy przedmiotów powstających za pomocą zwierciadeł wypukłych, również musimy poprowadzić przynajmniej dwa promienie (il. 6.34). Najczęściej będziemy wybierać dwa z następujących promieni:

- padający **równoległe do osi optycznej**, który odbija się tak, że przedłużenie promienia odbitego przechodzi przez ognisko pozorne (na rysunku promień zaznaczony na czerwono) →
- padający tak, że jego **przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne F'** , a po odbiciu będzie równoległy do osi optycznej →
- **padający na zwierciadło w punkcie Z**, który po odbiciu od zwierciadła odbija się symetrycznie względem osi optycznej →

Dla zwierciadeł wypukłych otrzymujemy tylko obrazy pozorne, pomniejszone i proste (nieodwrócone).



6.34 Otrzymujemy obraz **pozorny, pomniejszony i prosty**, niezależnie od odległości przedmiotu od zwierciadła

W skrócie

- Konstruując obrazy przedmiotów powstających za pomocą zwierciadeł wklęsłych, musimy poprowadzić przynajmniej dwa promienie.
- Rodzaj obrazu powstającego za pomocą zwierciadła wklęsłego zależy od odległości x przedmiotu od zwierciadła.

Położenie przedmiotu	Cechy obrazu
$x > r$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony
$x = r$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości
$f < x < r$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x < f$	pozorny, prosty, powiększony
$x = f$	obraz nie powstaje

- W zwierciadłach wypukłych otrzymujemy tylko obrazy pozorne, pomniejszone i proste.
- Powiększenie obrazu obliczamy ze wzoru: $p = \frac{h_2}{h_1}$

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.

Obraz powstający w wyniku odbicia w zwierciadle wypukłym

- A. jest zawsze rzeczywisty.
- B. jest zawsze pozorny.
- C. niezależnie od odległości przedmiotu od zwierciadła jest zawsze pomniejszony.
- D. niezależnie od odległości przedmiotu od zwierciadła jest zawsze prosty.
- E. zależy od odległości przedmiotu od zwierciadła.

- 2 Określ na podstawie zdjęcia:

- a) rodzaj zwierciadła,
 - b) cechy otrzymanego obrazu,
 - c) położenie przedmiotu względem zwierciadła.
- Skorzystaj z tabeli powyżej.



- 3 Poszukaj informacji na temat kuchenek słonecznych i wyjaśnij sposób ich działania.



Powiększenie obrazu możesz obliczyć również jako iloraz odległości obrazu od zwierciadła (y) i odległości przedmiotu od zwierciadła (x): $p = \frac{y}{x}$

6.7 Zjawisko załamania światła

Podejmij temat



Czy łyżeczka znajdująca się w szklance z wodą jest złamana?



Kiedy zachodzi zjawisko załamania światła?

Mówiliśmy dotychczas o rozchodzeniu się światła w jednym ośrodku, to znaczy w powietrzu. Jak zapewne pamiętasz, w różnych ośrodkach światło rozchodzi się z różną szybkością. W próżni i w powietrzu szybkość ta wynosi ok. $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, ale w innych ośrodkach jest mniejsza. A jak zachowa się światło na granicy dwóch różnych ośrodków, na przykład takich jak powietrze – woda czy powietrze – szkło? Wykonajmy doświadczenie, aby to zaobserwować.

Doświadczenie 53.

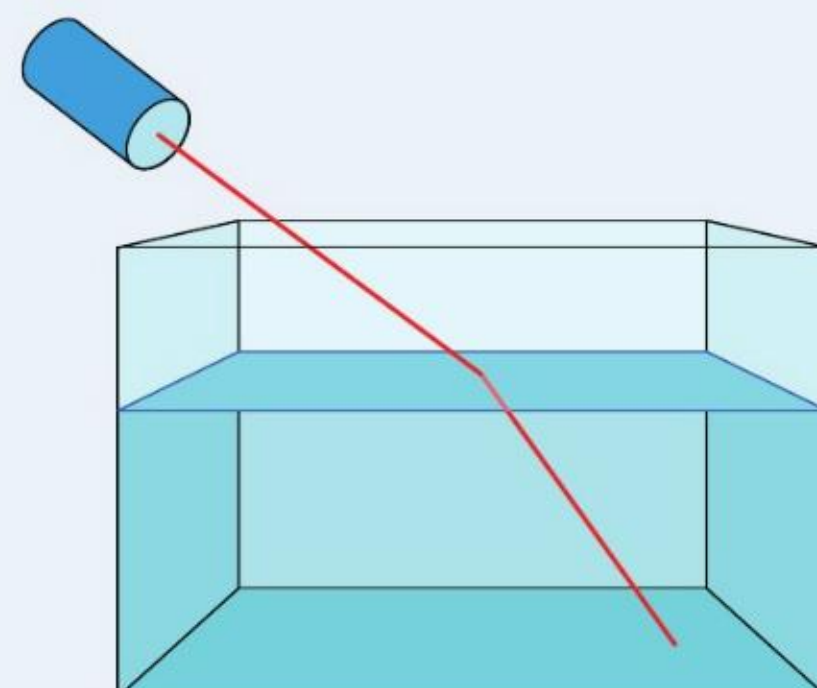
Obserwujemy zachowanie się światła na granicy dwóch ośrodków

Niezbędne przedmioty: szklane naczynie z wodą, źródło światła (laser lub półkrążek z zestawu do optyki), plansza z kątomierzem

Wykonanie:

- Skieruj wiązkę światła z powietrza do szklanego naczynia z wodą. Zmieniaj kąt i obserwuj bieg promienia w powietrzu i w wodzie w szklanym naczyniu.
- Wprowadź wiązkę światła prostopadłe do granicy ośrodków i zobacz, jak biegnie promień świetlny.

Obserwacje: Na granicy dwóch ośrodków następuje zmiana kierunku rozchodzenia się światła. Gdy promień świetlny jest prostopadły do granicy ośrodków, nie zmienia kierunku, przechodząc do drugiego ośrodka. Promień świetlny padający prostopadłe do ścian szklanego naczynia również nie zmienia kierunku po przejściu do innego ośrodka.



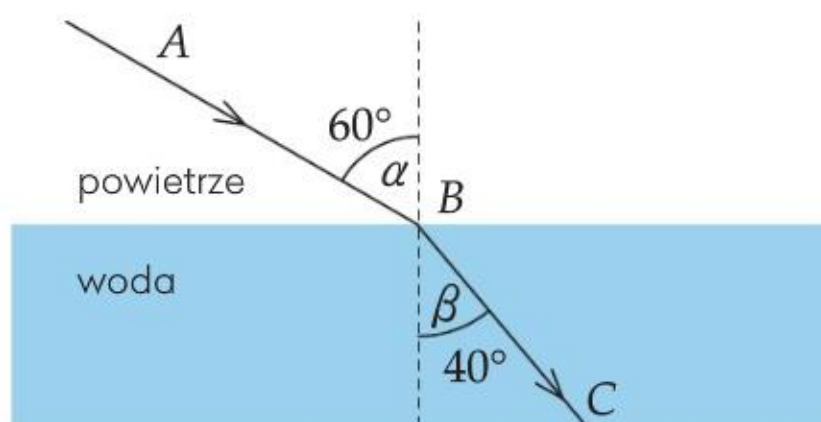
Prawo załamania światła

Mogłeś zaobserwować w doświadczeniu, że na granicy dwóch różnych ośrodków następuje zmiana kierunku rozchodzenia się światła. Mówimy, że światło **załamuje się**, a obserwowane przez nas zjawisko nazywa się **załamaniem światła** (il. 6.35). W punkcie załamania rysujemy prostą prostopadłą do powierzchni granicznej, nazywaną **normalną**. Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną nazywa się **kątem padania** – α , natomiast kąt między normalną a promieniem załamanym to **kąt załamania** – β . Promień padający, normalna w punkcie padania oraz kąt załamany leżą w jednej płaszczyźnie. Kierunek rozchodzenia się światła zmienia się wtedy, gdy kąt padania na granicy ośrodków jest ostry. Gdy kąt padania promienia wynosi 0° (promień jest prostopadły do granicy ośrodków), nie zmienia on kierunku przejścia do drugiego ośrodka.

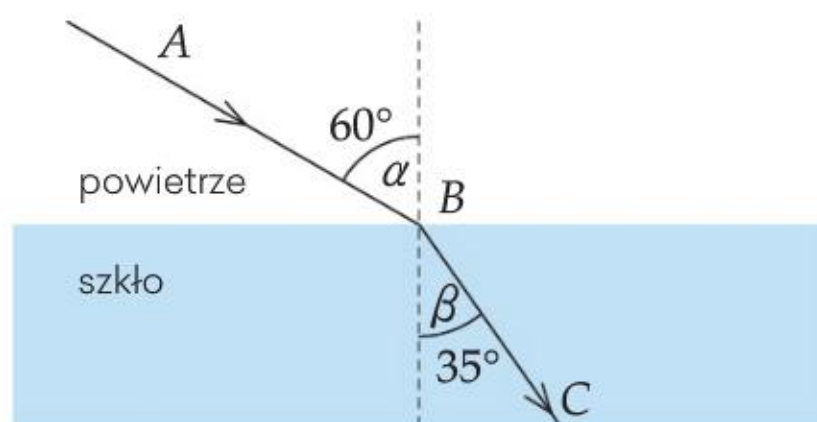
Wykonując doświadczenie, mogłeś zauważyć, że dla małych kątów zachodzi następujące zjawisko: jeżeli kąt padania wzrasta, wzrasta również kąt załamania.

W jaki sposób załamuje się światło?

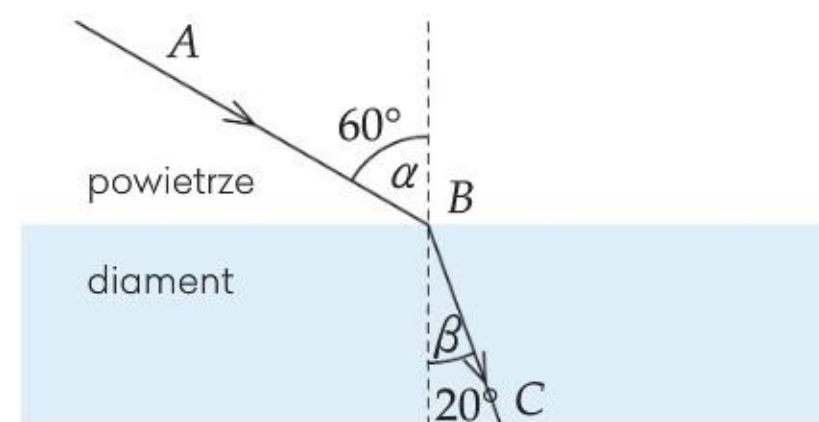
Zwróćmy uwagę na pewną prawidłowość w tym zjawisku – przy przejściu światła z powietrza do wody, z powietrza do szkła lub diamentu promień załamany zbliża się do normalnej (il. 6.36).



A.



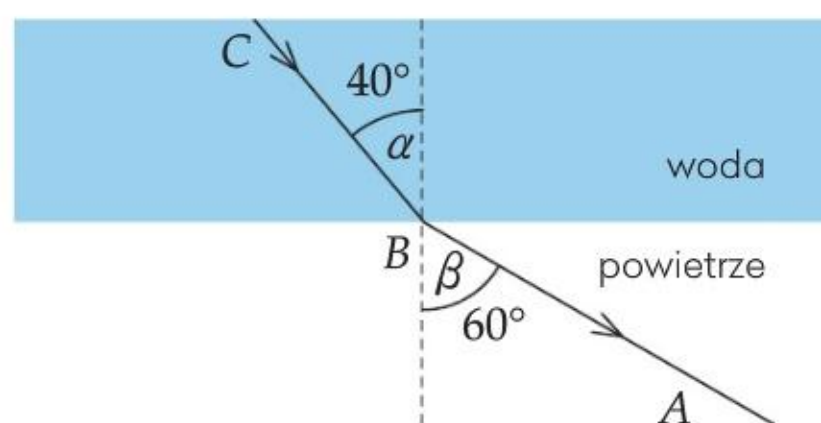
B.



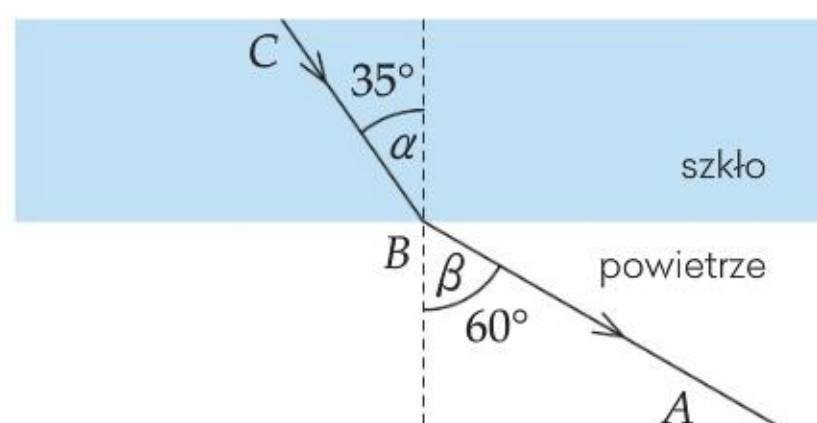
C.

6.36 Przejście światła z powietrza do wody (A.), szkła (B.), diamentu (C.)

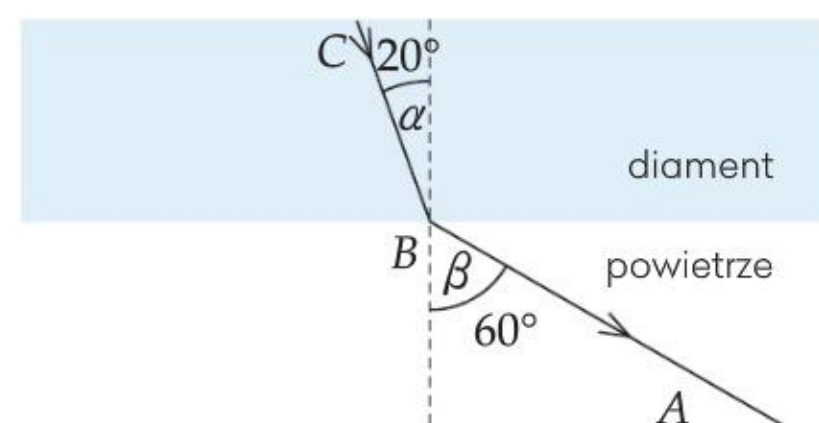
W przypadku gdy światło przechodzi z wody do powietrza, ze szkła lub diamentu do powietrza – promień załamany oddala się od normalnej w kierunku granicy dwóch ośrodków (il. 6.37).



A.

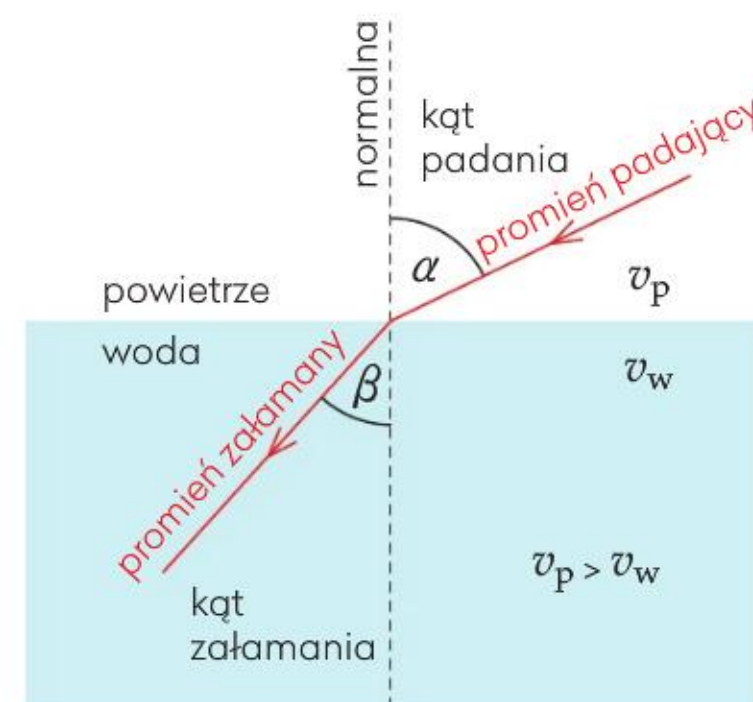


B.



C.

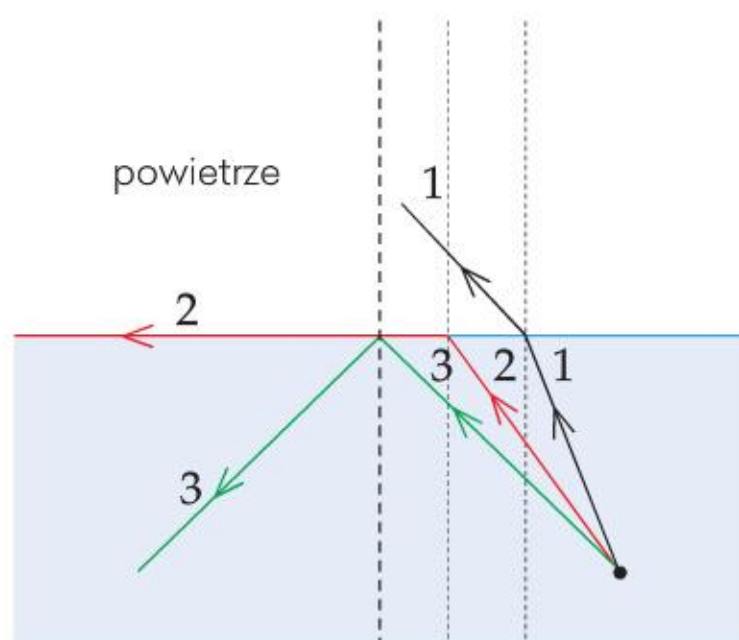
6.37 Przejście światła z wody (A.), szkła (B.) lub diamentu (C.) do powietrza



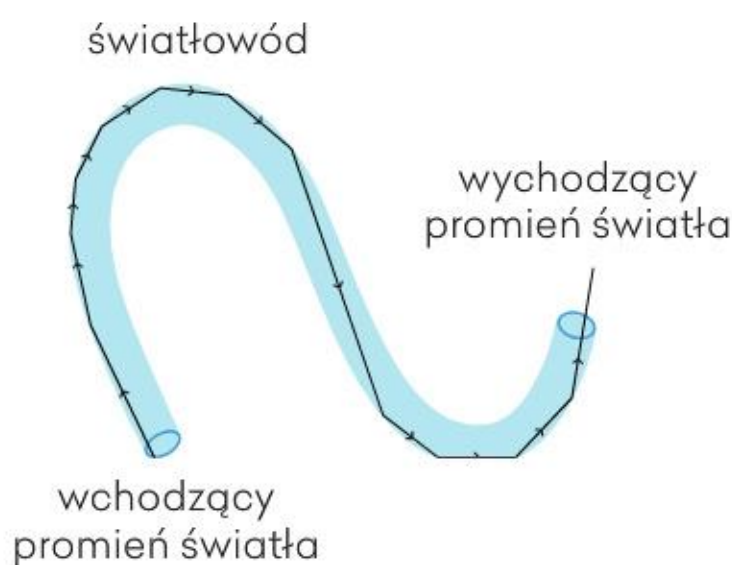
6.35 Zjawisko załamania światła; v_p – szybkość światła w powietrzu, v_w – szybkość światła w wodzie



Wskutek załamania światła część niedźwiedzia zanurzona w wodzie wydaje się znajdować w zupełnie innym miejscu.



6.38 Schemat całkowitego wewnętrznego odbicia światła



6.39 Schemat światłowodu

Na podstawie posiadanych wiadomości możesz również stwierdzić, że jeśli promień przechodzi z ośrodka, w którym światło rozchodzi się szybciej, czyli z ośrodka **rzadszego optycznie**, do ośrodka, w którym światło rozchodzi się wolniej – ośrodka **gęstszego optycznie** (np. powietrze – szkło) – to promień załamany zbliża się do normalnej. Jeśli promień świetlny przechodzi z ośrodka gęstszego do rzadszego optycznie (np. szkło – powietrze), kąt padania jest mniejszy niż kąt załamania, czyli oddala się od normalnej. Im większa jest różnica szybkości światła w tych ośrodkach, tym większa jest zmiana kąta.

Złudzenie optyczne

Załamanie światła powoduje czasami złudzenia optyczne. Łyżeczka czy słomka w szklance z wodą lub herbatą wyglądają jak złamane. Patyk lub wiosło zanurzone w wodzie sprawiają wrażenie złamanych w miejscu zetknięcia z nią.

Pozorne zmiany położenia przedmiotów znajdujących się w wodzie są oczywiście spowodowane załamaniem światła. Z tej przyczyny przy dobrze oświetlonym dnie i czystej wodzie wydaje się, że dno rzeki, jeziora lub basenu znajduje się na mniejszej głębokości niż jest naprawdę. Dlatego młode niedźwiedzie muszą nauczyć się łapać ryby, których położenie w wodzie jest inne niż w rzeczywistości.



Całkowite wewnętrzne odbicie

Przy przejściu światła z ośrodka optycznie gęstszego do rzadszego, na przykład z wody do powietrza, promień załamany oddala się od normalnej ku granicy ośrodków (promień 1, il. 6.38). Jeśli będziemy zwiększać kąt padania, kąt załamania będzie wzrastał aż do kąta prostego (będzie biegł wzdłuż granicy ośrodków; promień 2, il. 6.38). Taki kąt padania, dla którego kąt załamania jest równy 90° , nazywamy kątem granicznym. Gdy promień pada pod kątem większym niż graniczny, następuje całkowite wewnętrzne odbicie. Promień nie zostaje wtedy załamany, lecz odbity (promień 3, il. 6.38). Na podstawie doświadczeń obliczono, że kiedy światło przechodzi z wody do powietrza, całkowite wewnętrzne odbicie następuje wtedy, gdy kąt padania promienia w wodzie jest większy niż 49° (odpowiednio: ze szkła do powietrza – w szkło większy niż $35\text{--}42^\circ$ w zależności od rodzaju szkła; z diamentu do powietrza – w diamencie większy niż $24,5^\circ$). Wymienione kąty są kątami granicznymi dla danych substancji przezroczystych.

Zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia wykorzystano w **światłowodach**. Światłowody są przewodami optycznymi składającymi się z cienkich, szklanych włókien, w których naukowcy „uwięzili” światło (il. 6.39). Zastosowanie światłowodów jest bardzo szerokie – wykorzystywane są jako nośnik informacji, w telekomunikacji, w medycynie, technice laserowej, a także w celach dekoracyjnych.

W skrócie

- Przy przejściu światła z jednego ośrodka przezroczystego do drugiego następuje zmiana kierunku rozchodzenia się światła spowodowana tym, że rozchodzi się ono w różnych ośrodkach z różnymi szybkościami. Obserwowane na granicy dwóch ośrodków zjawisko nazywamy załamaniem światła.
- Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną nazywa się kątem padania – α , natomiast kąt między normalną a promieniem załamanym to kąt załamania – β . Promień padający, normalna w punkcie padania oraz kąt załamany leżą w jednej płaszczyźnie.
- Jeżeli promień przechodzi z ośrodka optycznie rzadszego, w którym szybkość światła jest większa, do ośrodka optycznie gęstszego, w którym szybkość światła jest mniejsza, to załamuje się „w kierunku” do normalnej. Kąt załamania jest mniejszy niż kąt padania ($\beta < \alpha$).
- Jeżeli promień przechodzi z ośrodka optycznie gęstszego, w którym szybkość światła jest mniejsza, do ośrodka optycznie rzadszego, w którym szybkość światła jest większa, to załamuje się od normalnej. Kąt załamania jest większy niż kąt padania ($\beta > \alpha$).
- Im większa jest różnica szybkości światła w dwóch ośrodkach, w których biegnie światło, tym większa jest zmiana kąta załamania.
- Jeśli zwiększa się kąt padania, to zwiększa się także kąt załamania światła.
- Jeżeli kąt padania jest równy 0° , to promień światła przechodzi do drugiego ośrodka bez zmiany kierunku.

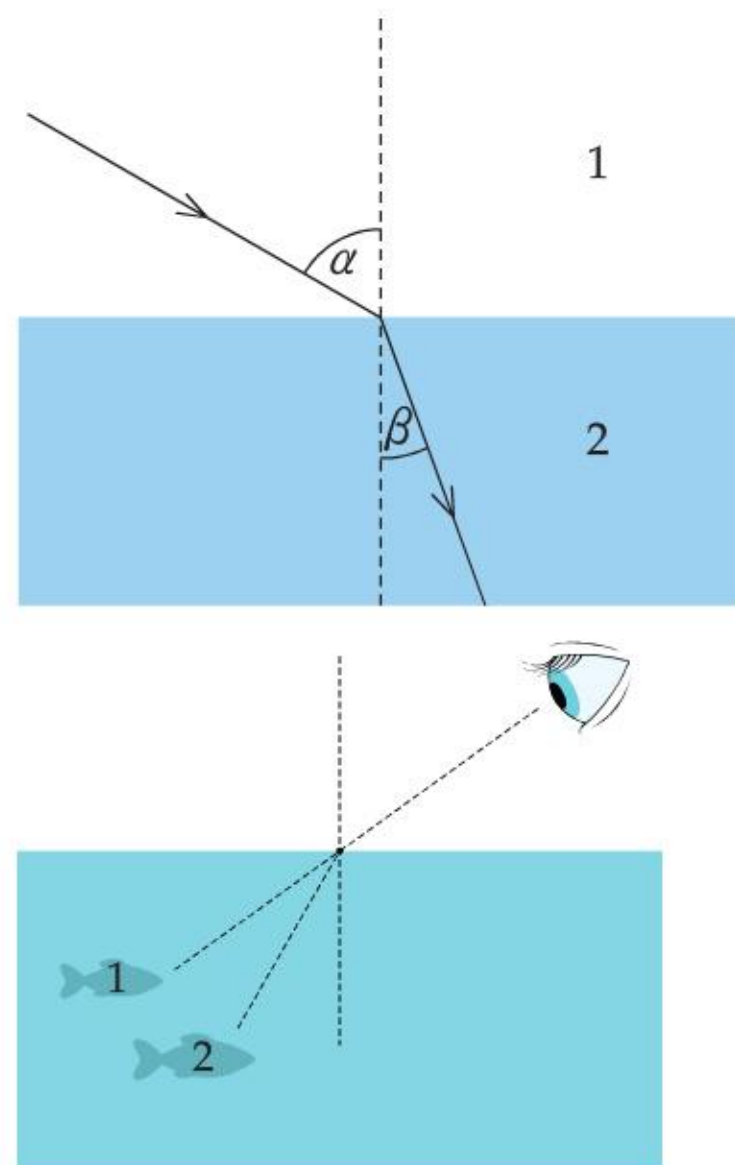
Ciekawe!



Człowiek używa światłowodów od niedawna (w 1977 roku położono pierwszy światłowod telekomunikacyjny), ale zasada ich działania była od dawna znana. Wiele komórek roślinnych potrafi przenosić światło na odległość większą niż 5 cm, np. kielkujące nasiona kukurydzy przewodzą światło aż do końca włóśników korzenia. Podobnie zachowują się łodygi owsa i innych roślin. W pewnych warunkach również lód jest naturalnym światłowodem przesyłającym światło na znaczne odległości.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Na rysunku przedstawiono promień świetlny przechodzący z jednego ośrodka do drugiego.
Oceń prawdziwość podanych zdań.
A. W ośrodku 1 światło rozchodzi się wolniej niż w ośrodku 2.
B. Kąt padania jest większy niż kąt załamania.
C. Światło załamuje się do normalnej.
D. Światło biegnie z ośrodka optycznie rzadszego do ośrodka optycznie gęstszego.
E. Światło biegnie z ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej.
- 2 W którym miejscu znajduje się ryba (pozycja rzeczywista), a w którym widzi ją obserwator znajdujący się na brzegu jeziora (patrz rysunek obok)? Uzasadnij odpowiedź.
- 3 Wykonaj doświadczenie z wanienką o szklanym dnie ustawioną na rzutniku pisma (lub na przyrządzie do pokazu fal na wodzie). Sprawdź, czy fala płaska wytworzona na powierzchni wody (fala mechaniczna) również ulega załamaniu, np. przy przejściu do płytszej wody lub na szczelinie.



6.8 Przejście światła przez pryzmat

Podejmij temat

- Co nazywamy widmem światła białego?

Pryzmat

Na co dzień spotykamy się z przypadkami, kiedy światło przechodzi przez ciała o różnych kształtach, np. przez szybę, butelkę, kroplę wody. Sprawdźmy, jak zachowa się ono, przechodząc przez **pryzmat**, czyli przezroczysty trójkątny graniastosłup, najczęściej wykonany ze szkła.

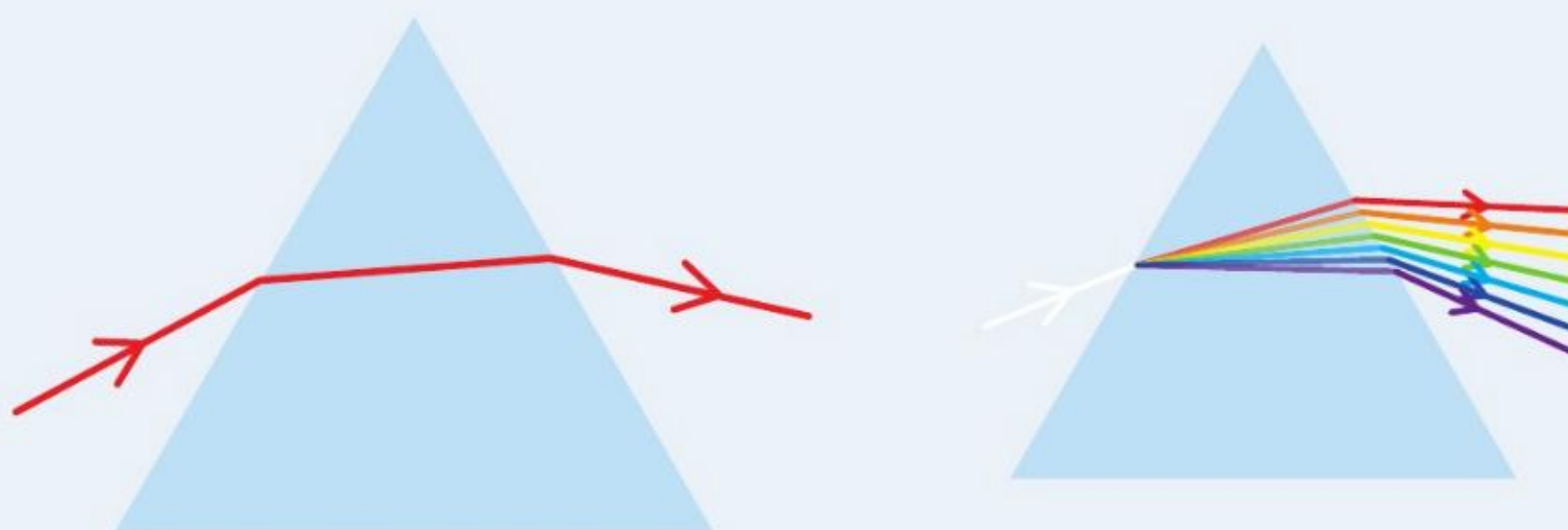
Doświadczenie 54.

Obserwujemy przejście światła przez pryzmat

Niezbędne przedmioty: pryzmat, laser (światło jednobarwne – monochromatyczne), źródło światła białego, ekran (ściana)

Wykonanie:

- Skieruj promień światła laserowego na pryzmat i obserwuj bieg promienia przechodzącego przez niego (nie analizujemy odbicia światła od kolejnych powierzchni pryzmatu).
- Skieruj wiązkę światła białego na pryzmat i zaobserwuj, co się stanie.



Obserwacje:

- Światło monochromatyczne załamuje się w pryzmacie dwukrotnie: pierwszy raz przy przejściu z powietrza do szkła, drugi raz – przy przejściu ze szkła do powietrza.
- Światło białe przy przejściu przez pryzmat rozdziela się na różne barwy światła. Na ekranie (ścianie) widzimy różnobarwną wstęgę, w której barwy przechodzą płynnie jedna w drugą (il. 6.40).



6.40 Rozszczepienie światła białego

Rozszczepienie światła

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować na ekranie barwną wstęgę przypominającą tęczę o siedmiu barwach w następującej kolejności: czerwona, pomarańczowa, żółta, zielona, niebieska, indygo (granatowa) i fioletowa (il. 6.40). Zjawisko rozdzielania światła na różne barwy nazywa się **rozszczeniem światła białego**, a obraz barw, które widzimy, nazywamy **widmem ciągłym światła białego**. Po raz pierwszy rozszczepienie światła białego w pryzmacie uzyskał w 1672 roku Isaac Newton.

W ośrodku przezroczystym szybkość rozchodzenia się poszczególnych barw jest różna. Najszybciej rozchodzi się światło barwy czerwonej, a najwolniej – światło barwy fioletowej ($v_{cz} > v_f$). W próżni światło różnych barw rozchodzi się z taką samą szybkością. Rozszczepienie światła białego w pryzmacie na poszczególne barwy świadczy o tym, że wiązka każdej barwy załamuje się pod innym kątem. Najślabiej załamuje się światło czerwone, gdyż różnica w jego szybkości w powietrzu i szkłe jest najmniejsza. Najmocniej – światło fioletowe, gdyż różnica jego szybkości w tych dwóch ośrodkach jest największa.

Promienie świetlne mogą się załamać i rozszczepić w wodzie lub innym przezroczystym ośrodku, dlatego też rozszczepienie światła obserwujemy m.in. na niebie, gdy po deszczu powstaje tęcza, w fontannie, gdy patrzymy na nią z odpowiedniego miejsca, a także widzimy je podczas przechodzenia światła przez kryształowy flakon.

Światło białe jako mieszanina barw

O świetle słonecznym najczęściej mówimy, że jest białe. Miałeś okazję się przekonać, że tak naprawdę światło białe jest mieszaniną promieni świetlnych o różnych barwach. Możesz to udowodnić, wykonując doświadczenie z wykonanym przez siebie krążkiem Newtona (il. 6.41). Jeśli krążek (dysk, bączek) pomalowany w odpowiedni sposób kolorami tęczy wprawisz w ruch obrotowy, to barwy zleją się, dając w efekcie krążek biały (lub prawie biały, gdyż dużo zależy od precyzji wykonania krążka).

Aby uzyskać barwę białą, nie potrzebujesz wszystkich barw widmowych. Światło białe i każdą inną barwę, którą odbiera nasze oko, możesz otrzymać przez zmieszanie w odpowiednich proporcjach trzech barw nazywanych barwami podstawowymi – czerwonej, zielonej i niebieskiej (il. 6.42).

Jeśli te barwy zmieszamy po dwie w równych proporcjach, otrzymamy barwy pochodne – żółtą, zielononiebieską i purpurową. Mieszając światło we wszystkich trzech barwach podstawowych lub wszystkich trzech barwach pochodnych, otrzymamy światło białe.

Zasada mieszania barw wykorzystana została w odbiornikach telewizyjnych pracujących w systemie **RGB**. Każdy element obrazu na ekranie składa się z trzech małych świecących barw podstawowych. Jego jednolita, określona barwa powstaje dzięki odpowiedniemu mieszaninowi barw podstawowych. Barwie białej odpowiada maksymalna intensywność świecenia wszystkich trzech składowych, a kolor czarny powstaje, gdy świecenie wszystkich barw podstawowych jest wygaszone.

Ciekawe efekty kolorystyczne możemy uzyskać dzięki odpowiednim filtrom. **Filtrem świetlnym** nazywamy ciało przezroczyste, przepuszczające jedną barwę. Gdy jest to barwa czerwona – filtr jest czerwony, barwa niebieska – filtr niebieski itd. Jeśli w wiązkę światła białego wstawimy barwny filtr, np. szklaną płytkę koloru czerwonego, przepuści on jedynie światło o barwie identycznej z kolorem filtru. Pozostałe składniki światła białego filtr pochłonie.

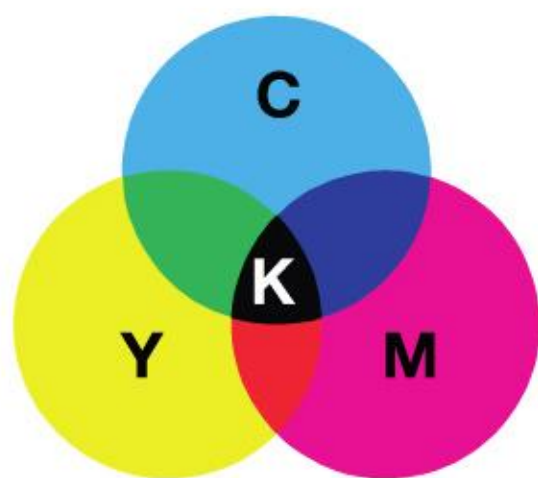


6.41 Krążek Newtona



6.42 Mieszanie barw

System RGB (od pierwszych liter angielskich nazw barw: R – *red* (czerwona), G – *green* (zielona) i B – *blue* (niebieska) to najczęściej stosowane rozwiązanie dające kolorowy obraz, polegające na zmieszaniu trzech barw podstawowych.

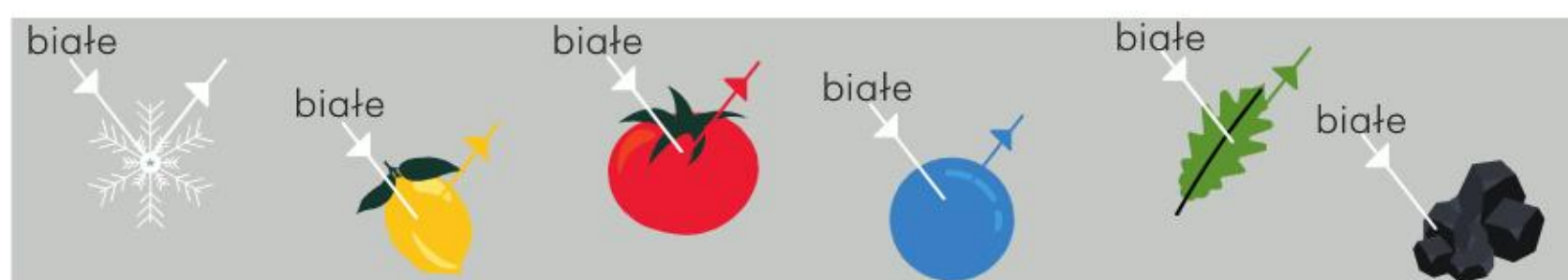


W drukarkach atramentowych do druku wielobarwnego stosuje się zestaw czterech podstawowych kolorów farb drukarskich tzw. CMYK. Skrót CMYK powstał jako złożenie pierwszych liter angielskich nazw kolorów: C – cyjan (ang. cyan), M – magenta (ang. magenta), Y – żółty (ang. yellow) i K – czarny lub kolor kluczowy (ang. black lub key colour).

Widzenie kolorów

Kolor widzianego przez nas ciała zależy od tego, jakiej barwy światło się od niego odbija, a światło jakiej barwy jest przez nie pochłaniane. Ciała kolorowe to te, które odbijają tylko promienie o określonej barwie, a inne barwy pochłaniają. Na przykład ciało koloru białego odbija wszystkie barwy, dlatego widzimy je jako białe. Ciało koloru czarnego pochłania wszystkie barwy, dlatego widzimy je jako czarne. Trawa jest zielona, ponieważ odbija tylko barwę zieloną, pochłaniając pozostałe barwy itd.

Różne przedmioty odbijają wybrane barwy i właśnie w takich kolorach je widzimy (il. 6.43). Najwięcej światła odbijają i rozpraszają powierzchnie widziane jako jasne, natomiast powierzchnie widziane jako ciemne więcej go pochłaniają. Dlatego w letnie, słoneczne i upalne dni powinniśmy zakładać jasne, najlepiej białe, ubrania.



6.43 Widzenie kolorów

W skrócie

- Światło białe jest mieszaniną barw – czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej, granatowej i fioletowej. Ten szereg barw przechodzących w sposób ciągły jedna w drugą nazywamy widmem światła białego.
- Przy przejściu światła białego przez pryzmat następuje zjawisko rozszczepienia światła – załamania oraz rozdzielania na barwy, z których się składa. Spowodowane jest to niejednakową szybkością rozchodzenia się różnych barw. Najszybciej rozchodzi się światło czerwone, a najwolniej fioletowe. Następuje więc ich załamanie pod różnymi kątami. W próżni szybkość rozchodzenia się światła o różnych barwach jest jednakowa.
- Światło jednobarwne (monochromatyczne) nie ulega rozszczepieniu przy przejściu przez pryzmat.
- Kolor obserwowanego przez nas ciała jest taki, jak barwa, która dociera do naszego oka po odbiciu od tego ciała. Pozostałe barwy zostają pochłonięte przez to ciało.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- Światło białe pada na kryształowy wazon. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Przy przejściu z powietrza do szkła	A.	barwa fioletowa odchyła się od pierwotnego kierunku najmniej,	gdyż	A.	szybkość światła w szkłe różni się najbardziej od szybkości światła w próżni.
	B.	barwa fioletowa odchyła się od pierwotnego kierunku najbardziej,		B.	szybkość światła w szkłe różni się najmniej od szybkości światła w próżni.

- Poszukaj informacji, na co może wpływać pył wulkaniczny osadzający się na śniegu w Arktyce.



Podejmij temat

● Jak powstaje tęcza?

Tęcza

Pięknym zjawiskiem świetlnym obserwowanym w przyrodzie jest **tęcza**. Ma postać kolorowego łuku o barwach od czerwonej (po zewnętrznej stronie łuku) do fioletowej (po stronie wewnętrznej).

Tęcza powstaje w atmosferze ziemskiej na skutek załamania, rozszczepienia i wewnętrznego odbicia światła słonecznego na kroplach deszczu, mżawki lub mgły. Światło słoneczne w punkcie *K* kropli zostaje rozszczepione, podobnie jak w pryzmacie, na barwne promienie, które po wewnętrznym odbiciu w punktach *L* i *L'* wychodzą z kropli, ponownie się załamują i – rozchodząc się w powietrzu – docierają do oka obserwatora (il. 6.44). Kiedy oko obserwatora ustawione jest pod odpowiednim kątem względem kropli i słońca, barwne promienie pochodzące od licznych kropeł tworzą w jego oku barwne widmo, czyli tęczę.

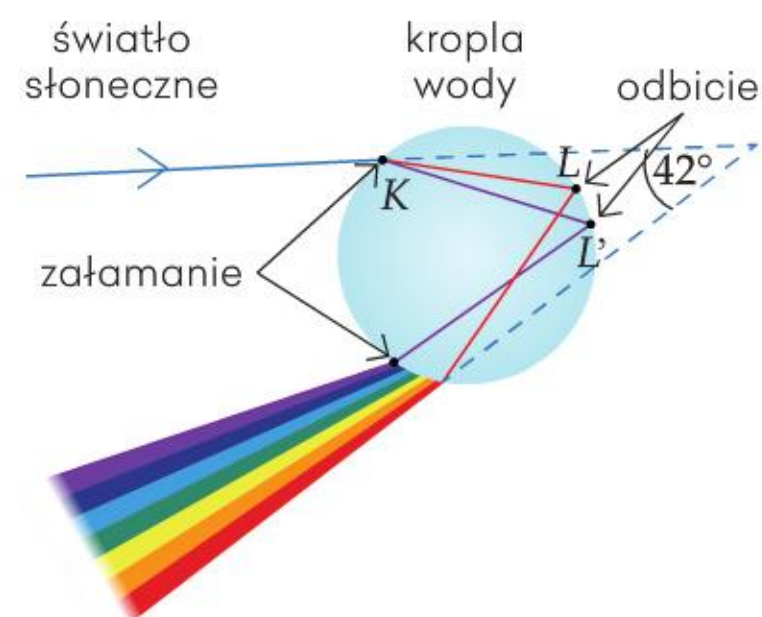
W świetle słonecznym tęczę można zobaczyć nie tylko po deszczu, lecz także w kroplach wodospadu, fontanny lub zraszaczy trawy.

Miraże

Wśród innych zjawisk optycznych występujących w atmosferze szczególnie ciekawe są **miraże**, które polegają na tworzeniu się pozornych obrazów będących odbiciem przedmiotów znajdujących się na horyzoncie lub poza nim.

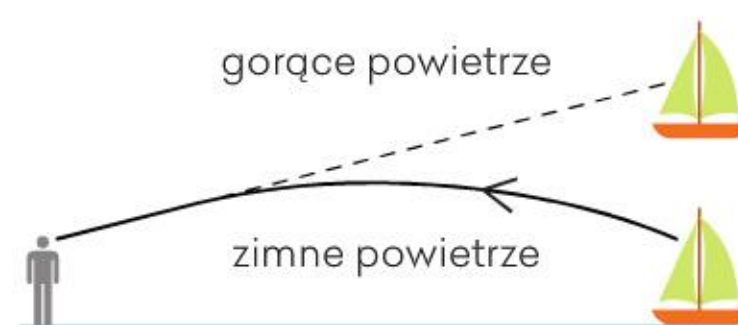
Jednym z nich jest **fatamorgana**, zaobserwowana po raz pierwszy nad Cieśniną Mesyńską. Aby mogła ona powstać, warunki atmosferyczne muszą sprawić złudzenie, że nieduże obiekty przekształca się w pionowe smugi, stwarzając iluzję ścian i budowli zakończonych iglicami.

Wyróżniamy miraże górny i dolny. **Miraż górny** to pozorny obraz powstający w atmosferze. Zaobserwowano, że wczesnym rankiem po bezwietrznej nocy lub wieczorem po upalnym dniu warstwa powietrza w pobliżu powierzchni ziemi jest chłodniejsza niż jego wyższe warstwy. Większa jest w związku z tym gęstość najniższej warstwy powietrza i wówczas światło słoneczne odbite od przedmiotu w najniższej warstwie, przechodząc do warstw wyższych (o mniejszej gęstości), stopniowo się załamuje. Promień światła zakrzywia się ku górze. Prosty, pozorny obraz przedmiotu będzie widoczny na przedłużeniu promieni wpadających do oka obserwatora, odbitych od przedmiotu (il. 6.45).

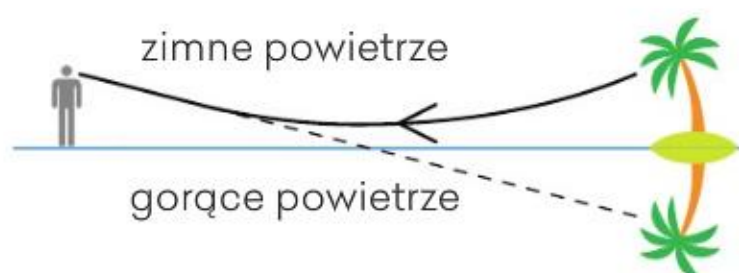


6.44 Schemat powstawania tęczy

Nazwa **fatamorgana** pochodzi od włoskiego słowa *fata*, czyli 'wróżka', oraz imienia przyrodniej siostry legendarnego króla Artura – Morgany – która mieszkała w kryształowym pałacu na dnie morza i potrafiła wznosić zamki z cienkich warstw powietrza.



6.45 Miraż górny



6.46 Miraż dolny



6.47 Miraże obserwuje się nad gorącymi powierzchniami, nagrzanymi przez słońce



6.48 Zjawisko halo wokół tarczy Słońca

Obserwuje się również miraże nad gorącymi powierzchniami, nagrzanymi przez promienie słoneczne. Widoczne są one jako obrazy znajdujące się poniżej tych powierzchni (pod horyzontem), dlatego nazywane są **mirażami dolnymi** (il. 6.46). Można je zaobserwować w ciepłych krajach, zwłaszcza na silnie nagrzanych piaskach pustyni lub na asfaltowych szosach. Podczas upalnej, bezwietrznej pogody niższa warstwa powietrza (w pobliżu gorącej powierzchni ziemi) jest silniej nagrzana niż warstwy znajdujące się wyżej. Gęstość najniższej warstwy powietrza jest więc mniejsza niż warstw górnych. Jeśli przedmiot znajdujący się w znacznej odległości od obserwatora pozostaje w gorącej warstwie powietrza, to odbite od niego światło słoneczne dochodzi do oka obserwatora wzdłuż linii zakrzywionej ku dołowi. Miraże dolne widzą wędrowcy na gorących piaskach pustyni jako oazy lub jeziora. Widzą je także czasami pasażerowie jadący w upalny dzień asfaltową szosą (il. 6.47).

Halo

Innym zjawiskiem optycznym w atmosferze ziemskiej, tym razem wywołanym załamaniem i odbiciem promieniowania świetlnego na kryształkach lodu w chmurach lub mgie lodowej, jest **halo**. Do najczęściej obserwowanych form halo należą tęczowe pierścienie wokół tarczy Słońca lub Księżyca, a także tęczowe łuki styczne do tych pierścieni (il. 6.48). Łuki te mają barwę czerwoną od strony wewnętrznej, natomiast niebieską od zewnątrz.

W przyrodzie obserwujemy ciekawe efekty rozproszenia światła. W dzień niebo jest jasne nie tylko w pobliżu Słońca, ale i w innych swoich częściach. Dzieje się tak dlatego, że atmosfera ziemską rozprasza światło we wszystkich kierunkach. Na zdjęciach robionych ze statków kosmicznych niebo jest czarne, bo na tak dużych wysokościach nie ma już cząsteczek powietrza, które mogłyby odbijać i rozpraszać światło.

W skrócie

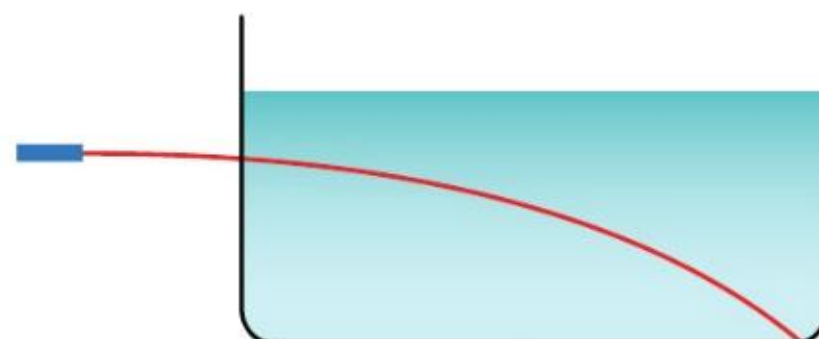
- W przyrodzie obserwujemy różne zjawiska optyczne powstające w atmosferze. Tęcza powstaje na skutek załamania, rozszczepienia i wewnętrznego odbicia światła w kroplach wody. Miraże to pozorne obrazy powstające w atmosferze wskutek załamania światła w warstwach powietrza o różnej gęstości. Halo powstaje na skutek załamania i odbicia światła na kryształkach lodu w chmurach.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Poszukaj informacji, aby odpowiedzieć na pytanie, dlaczego niebo ma kolor niebieski.



- 2 Wykonaj doświadczenie obrazujące zakrzywianie się promieni światła na warstwach cieczy o różnej gęstości (modelowanie istoty mirażu). Przygotuj w długim naczyniu (np. akwarium) mocny roztwór soli kuchennej i pozostaw go na kilka dni. Po tym czasie skieruj laser w sposób pokazany na rysunku. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko, narysuj bieg promienia świetlnego i napisz notatkę na ten temat.



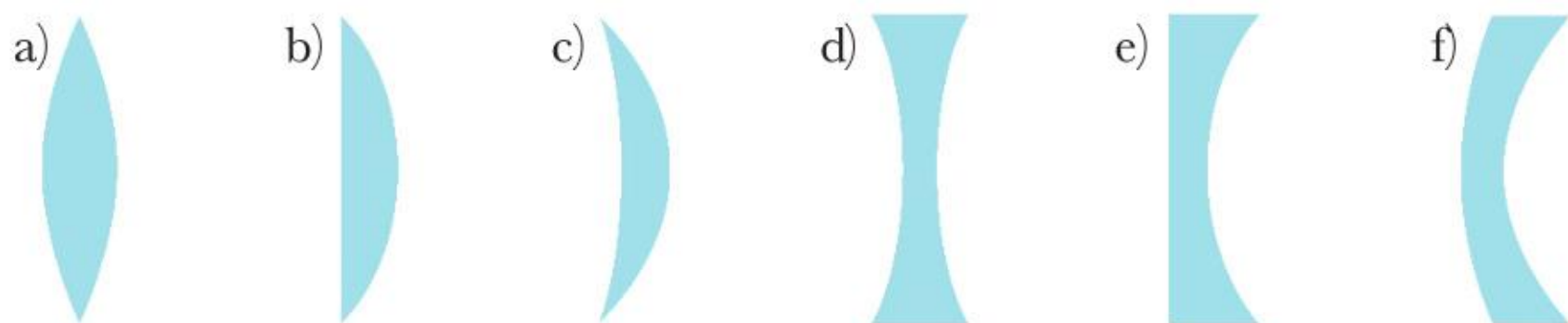
6.10 Rodzaje i właściwości soczewek

Podejmij temat

- Dlaczego pozostawiona w lesie szklana butelka może stać się przyczyną pożaru?

Rodzaje soczewek

Wiesz już, że promień przechodzący przez pryzmat załamuje się ku podstawie. Jeśli złączymy dwa pryzmaty wierzchołkami lub podstawami i oszlifujemy taki układ pryzmatów, to otrzymamy soczewkę optyczną (il. 6.49). **Soczewki są ograniczone z dwóch stron powierzchniami kulistymi (lub z jednej strony kulistą, a z drugiej – płaską) i wykonane z przezroczystego materiału, na przykład szkła czy tworzywa sztucznego.** Soczewki możemy podzielić na dwa podstawowe typy – **wypukłe** i **wklęsłe** (il. 6.50).

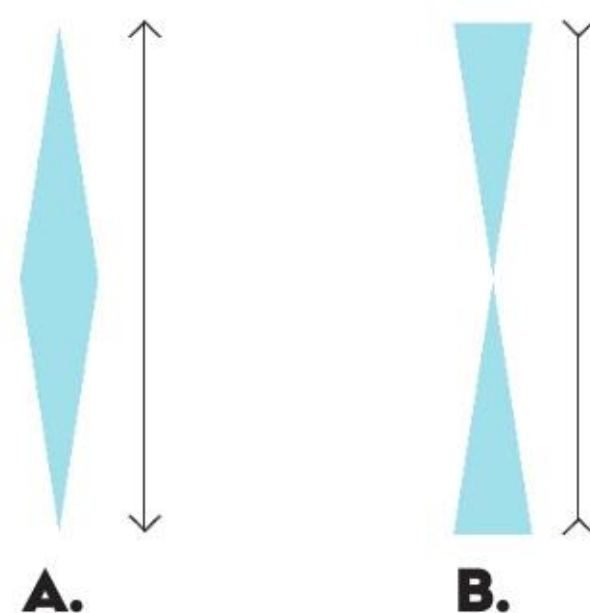


6.50 Soczewki wypukłe (a, b, c) i wklęsłe (d, e, f)

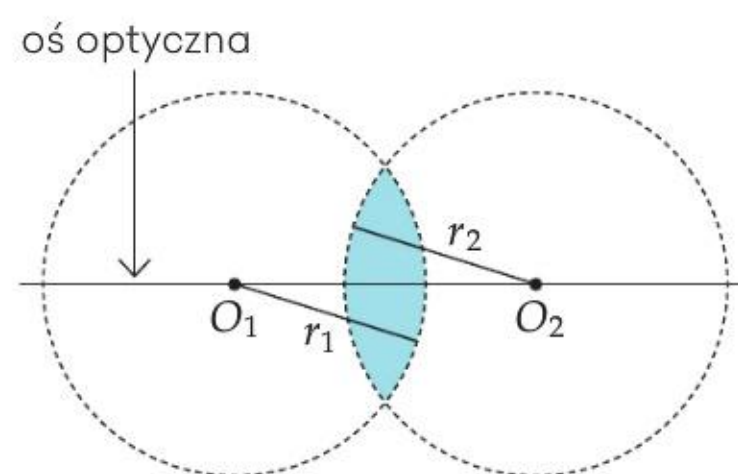
Soczewki skupiające

Mogłeś już zauważyć, że soczewki wypukłe są najgrubsze w swojej środkowej części, a soczewki wklęsłe są w tej części najcieńsze. W dalszych rozważaniach będziemy się zajmować soczewkami dwuwypukłymi, symetrycznymi, które ograniczone są z dwóch stron identycznymi powierzchniami kulistymi $r_1 = r_2$ (il. 6.51).

Zbadamy, jak zachowuje się wiązka promieni po przejściu przez taką soczewkę.



6.49 Soczewka wypukła odpowiada dwóm pryzmatom złączonym podstawami (A.), a soczewka wklęsła – dwóm pryzmatom złączonym wierzchołkami (B.). Strzałki obok rysunków to symbole tych soczewek



6.51 Schemat soczewki dwuwypukłej (r – promień krzywizny)

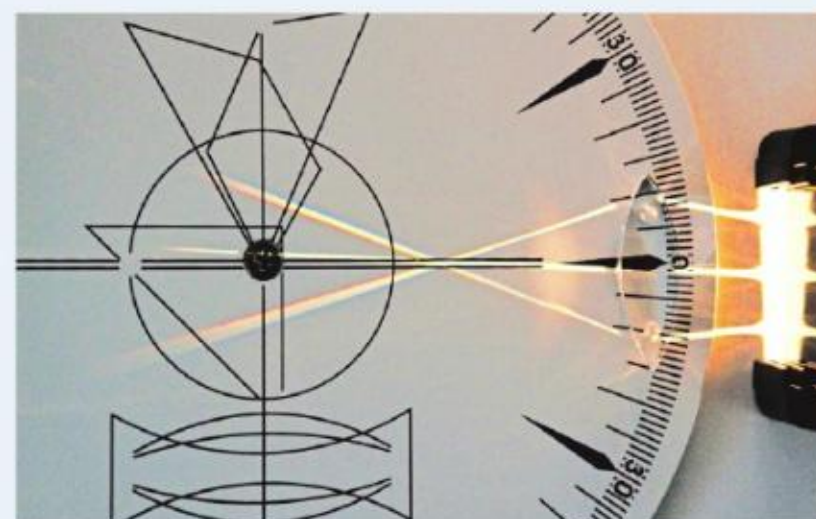
Doświadczenie 55.

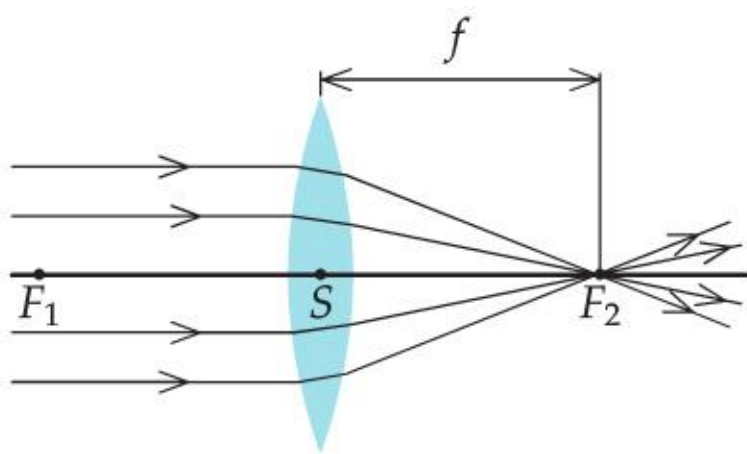
Obserwujemy przejście światła przez soczewkę dwuwypukłą

Niezbędne przedmioty: soczewka dwuwypukła, inne źródło światła np. stolik optyczny, tablica (tarcza Kolbego) lub laser z kilkoma promieniami

Wykonanie: Skieruj promień światła na soczewkę i obserwuj bieg przechodzących przez nią promieni.

Obserwacje: Wiązka promieni, przechodząc przez soczewkę, załamuje się dwukrotnie, a za nią przechodzi przez jeden punkt.





6.52 Przejście wiązki promieni świetlnych równoległych przez soczewkę skupiającą



Jednostką zdolności skupiającej soczewki jest dioptria.

$$[Z] = \frac{1}{[f]} = \frac{1}{\text{m}} = 1 \text{ D}$$

Jeśli na taką soczewkę (il. 6.52) skierujemy wiązkę promieni świetlnych równoległych do osi optycznej (głównej), to po przejściu przez nią i dwukrotnym załamaniu promienie te przetną się (czyli skupią) w jednym punkcie (leżącym oczywiście na głównej osi optycznej). Stąd soczewkę taką nazywamy również **soczewką skupiającą**, a taki punkt – **ogniskiem głównym** i oznaczamy go literą **F**. Każda soczewka symetryczna ma dwa ogniska główne (F_1 i F_2) jednakowo oddalone od jej środka. Odległość ogniska od środka soczewki nazywamy ogniskową i oznaczamy ją literą **f**.

Dla uproszczenia promienie w soczewce będziemy przedstawiać na rysunku tak, jakby załamywały się jeden raz.



Zdolność skupiająca soczewki

Im bliżej soczewki leży jej ognisko, tym krótsza jest ogniskowa. Oprócz ogniskowej soczewkę charakteryzuje wielkość zwana zdolnością skupiającą. **Zdolność skupiająca soczewki jest równa odwrotności jej ogniskowej.**

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

Z – zdolność skupiająca danej soczewki; f – ogniskowa

Przykład 24.

Oblicz zdolność skupiającą soczewek, z których jedna ma ogniskową 1 m, a druga 25 cm.

Dane:

$$f_1 = 1 \text{ m}, f_2 = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

Szukane:

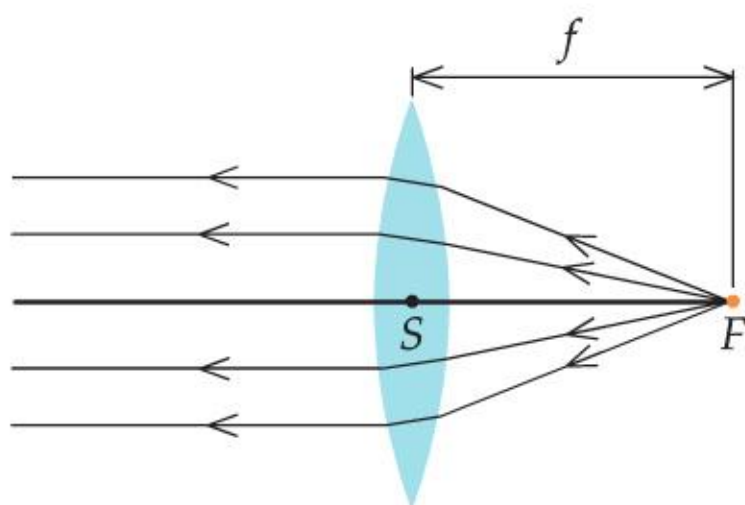
$$Z_1 = ?, Z_2 = ?$$

Rozwiązanie

Korzystamy z zależności: $Z_1 = \frac{1}{f_1}$, $Z_2 = \frac{1}{f_2}$

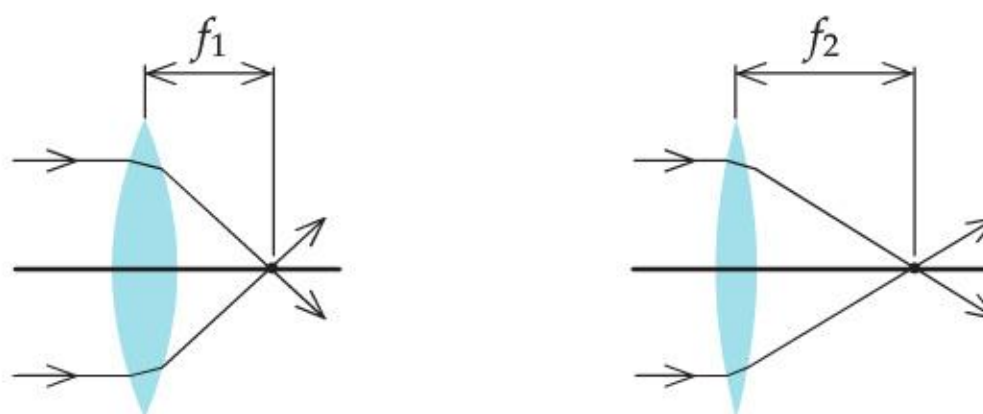
Po podstawieniu danych: $Z_1 = \frac{1}{1 \text{ m}} = 1 \text{ D}$, $Z_2 = \frac{1}{0,25 \text{ m}} = 4 \text{ D}$

Odpowiedź: Zdolność skupiająca soczewki o ogniskowej 1 m wynosi 1 D, a soczewki o ogniskowej 25 cm wynosi 4 D.



6.53 Jeśli w ognisku soczewki skupiającej umieścimy źródło światła, to po przejściu przez soczewkę jego wiązka jest równoległa do głównej osi optycznej

Analizując przejście światła przez dwie różne soczewki skupiające (il. 6.54), możemy zauważyć, że soczewka „grubsza” lepiej skupia światło, to znaczy ma większą zdolność skupiającą niż soczewka „cieńsza”. Ogniskowa soczewki grubszej ma mniejszą wartość niż soczewki cieńszej.



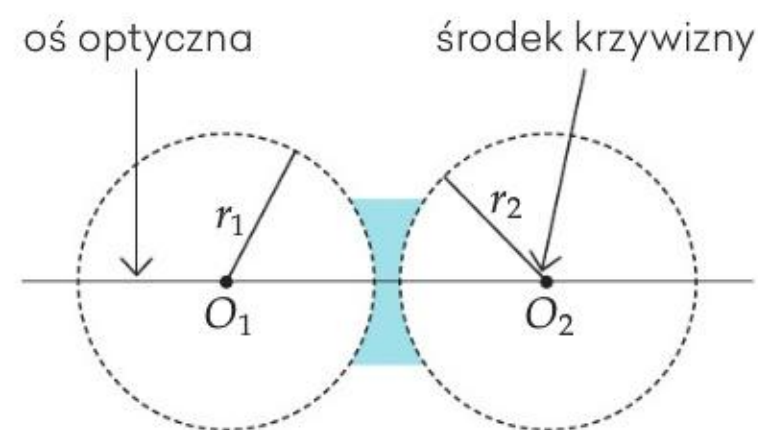
6.54 Przejście światła przez soczewki skupiające o różnej ogniskowej

Soczewki rozpraszające

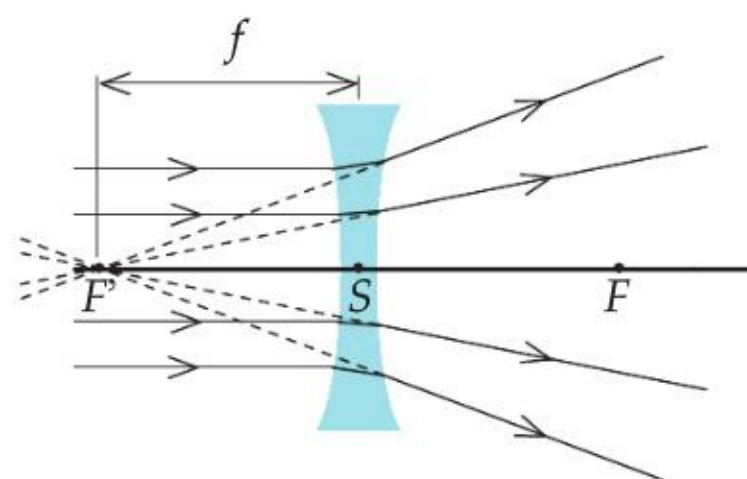
Zaobserwujmy teraz własności soczewek wklęsłych, na przykładzie symetrycznej soczewki dwuwklęsłej (il. 6.55). Powierzchnie takiej soczewki stanowią zewnętrzne powierzchnie sfer o środkach O_1 i O_2 .

Jeśli na soczewkę wklęsłą skierujemy wiązkę promieni świetlnych równoległych do głównej osi optycznej, to po przejściu przez soczewkę i załamaniu wiązka ta stanie się rozbieżna (il. 6.56). Mówimy, że taka soczewka rozprasza promienie, dlatego nazywamy ją **rozpraszającą**, choć nazwa, może trochę myląca, nie odnosi się do zjawiska rozpraszania światła, a dotyczy jedynie rozbieżności wiązki po przejściu przez tę soczewkę. Przedłużenia promieni załamanych przecinają się w jednym punkcie (na osi optycznej) nazywanym **ogniskiem pozornym** soczewki rozpraszającej. Ognisko to oznaczamy (podobnie jak poprzednio) literą F' , a ogniskową czyli odległość od środka soczewki do ogniska – literą f .

Zdolność skupiającą soczewki rozpraszającej obliczamy tak, jak soczewki skupiającej. Tyle że dla soczewek wklęsłych, o ogniskach pozornych, zdolność skupiająca jest ujemna. Dla soczewek skupiających zdolność skupiającą zapisujemy ze znakiem „+”, dla rozpraszających ze znakiem „-”.



6.55 Schemat soczewki rozpraszającej



6.56 Przejście wiązki promieni świetlnych równoległych przez soczewkę rozpraszającą

W skrócie

- Wyróżniamy soczewki wypukłe i wklęsłe.
- Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez soczewkę wypukłą przechodzi przez jeden punkt zwany ogniskiem. Odległość ogniska od soczewki nazywamy jej ogniskową i oznaczamy f .
- Soczewki wklęsłe powodują, że wiązka promieni równoległych po przejściu przez soczewkę staje się wiązką rozbieżną. Przedłużenia promieni przechodzą przez jeden punkt zwany ogniskiem pozornym.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Wiązka promieni świetlnych, równoległych do głównej osi optycznej, po przejściu przez soczewkę wypukłą przecina się w jednym punkcie.
 - B. Przy przejściu przez soczewkę wklęsłą wiązka promieni równoległych ulega w niej dwukrotnemu załamaniu, a następnie przecina się w ognisku pozornym tej soczewki.
 - C. Ognisko pozorne soczewki wklęsłej oddalone jest od niej o odległość równą ogniskowej tej soczewki.
 - D. Jeśli soczewka wypukła wykonana jest ze szkła i znajduje się w powietrzu, to jest soczewką skupiającą.

★ Jeśli zdolność skupiająca soczewki wynosi 2 D, to ile wynosi ogniskowa tej soczewki? Wynik podaj w centymetrach.



Pamiętaj, że o własności soczewki decyduje nie tylko jej kształt, ale również gęstość otoczenia. Jeśli soczewkę dwuwypukłą, wykonaną z dwóch szczelnie sklejonnych szkieł zegarkowych i wypełnioną powietrzem, zanurzymy w wodzie, stanie się soczewką rozpraszającą. Natomiast wypełniona wodą będzie w powietrzu soczewką skupiającą.

6.11 Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewek

Podejmij temat

Od czego zależy wielkość obrazów otrzymywanych za pomocą soczewek?

Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewki skupiającej

Za pomocą soczewki otrzymujemy obraz świecącego lub oświetlonego przedmiotu. Zbadajmy, jakie obrazy możemy otrzymać, używając różnych soczewek. W tym celu wykonajmy doświadczenie.

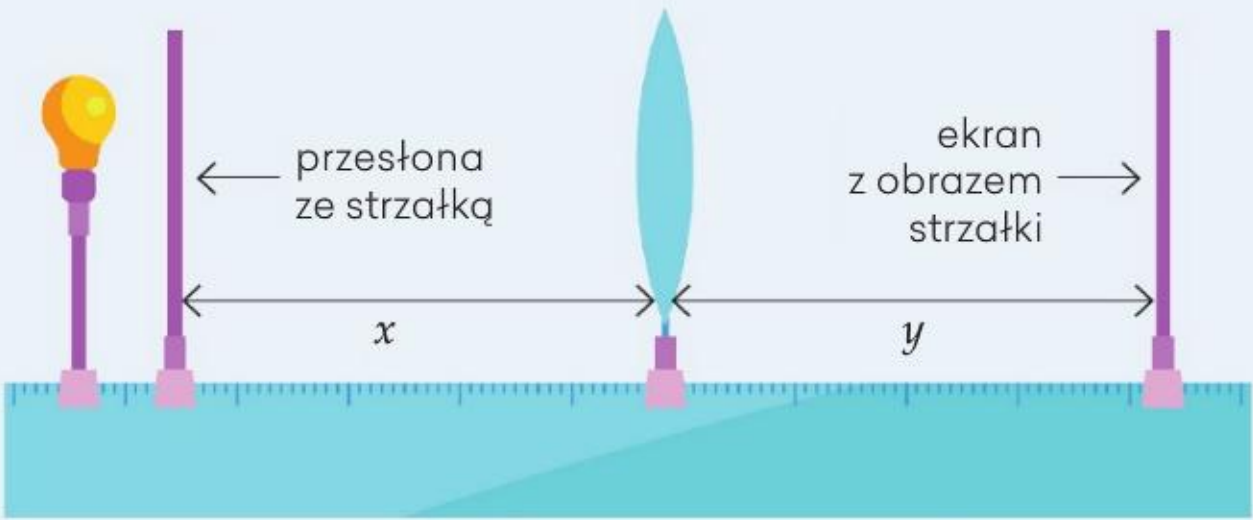
Doświadczenie 56.

Badamy, jakie obrazy otrzymujemy za pomocą soczewki wypukłej

Niezbędne przedmioty: szkolny zestaw do optyki z ławą optyczną lub soczewka skupiająca w obudowie (sprawdź, jaką ma ogniskową), ekran, świeczka (lub żaróweczka w specjalnej obudowie)

Wykonanie:

- Ustaw na ławie optycznej źródło światła, przesłonę ze strzałką, soczewkę skupiającą oraz ekran (świeczkę, soczewkę i ekran) w układzie pokazanym na rysunku.
- Przesuwaj soczewkę tak, aby znalazła się w odległościach, dla których: $x < f$, $f < x < 2f$, $x = 2f$, $x > 2f$. Za każdym razem postaraj się uzyskać wyraźny obraz strzałki (świeczki).



Obserwacje: Na ekranie widzimy obrazy rzeczywiste różnej wielkości. Rozmiar obrazu zależy od położenia przedmiotu względem soczewki. Gdy umieścimy soczewkę blisko przedmiotu, tzn. przedmiot będzie między nią a ogniskiem soczewki, nie otrzymamy obrazu na ekranie. W tym przypadku otrzymamy obraz pozorny, który będzie widoczny w głębi soczewki (obraz jak w lupie).

Wnioski: Wyniki obserwacji zestawiono w podanej tabeli.

Położenie przedmiotu (x)	Cechy obrazu
$x < f$	pozorny, prosty, powiększony
$x = f$	obraz nie powstaje, promienie załamane w soczewce tworzą wiązkę równoległą
$f < x < 2f$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x = 2f$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości jak przedmiot
$x > 2f$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony

Otrzymywanie obrazów za pomocą soczewki wklęsłej

Powtórzmy doświadczenie z takim samym zestawem jak poprzednio, ale między źródłem światła a ekranem umieścimy soczewkę rozpraszającą (il. 6.57).

Przekonasz się, że w tym przypadku, niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki, nie uzyskamy obrazu na ekranie. W każdym przypadku otrzymamy obrazy pozorne, proste i pomniejszone.

Powiększenie p możesz, podobnie jak dla zwierciadeł, obliczyć ze wzoru: $p = \frac{H}{h}$. Wskazuje ono, ile razy wysokość obrazu H jest większa od wysokości przedmiotu h . Powiększenie możesz obliczyć również jako iloraz odległości obrazu od soczewki i odległości przedmiotu od soczewki: $p = \frac{y}{x}$



6.57 Ława optyczna z soczewką rozpraszającą

W skrócie

- Za pomocą soczewek wypukłych (skupiających) otrzymujemy obrazy rzeczywiste na ekranie i obrazy pozorne (w soczewce) o cechach zależnych od położenia przedmiotu i soczewki.
- Powiększenie obliczamy ze wzoru: $p = \frac{H}{h}$. Wskazuje ono, ile razy wysokość obrazu H jest większa od wysokości przedmiotu h . Powiększenie można obliczyć również jako iloraz odległości obrazu od soczewki i odległości przedmiotu od soczewki: $p = \frac{y}{x}$

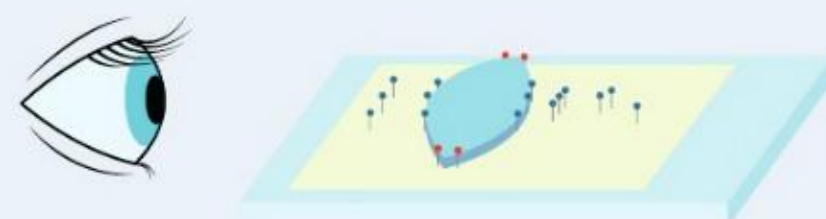
Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Wykonaj doświadczenie według załączonej instrukcji. Narysuj rysunek i zapisz wynik doświadczenia w zeszycie.

Doświadczenie 57.

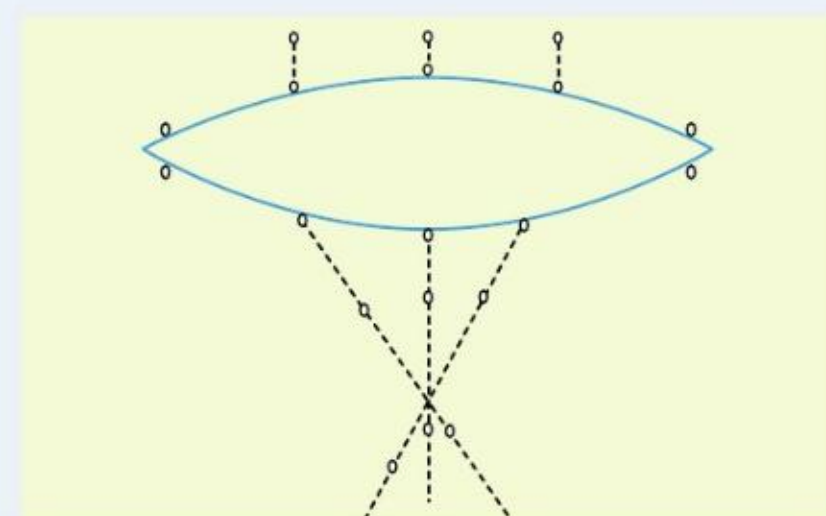
Wyznaczanie ogniskowej soczewki metodą szpilkową

Niezbędne przedmioty: podstawka ze styropianu wielkości kartki z zeszytu, szpilki krawieckie, soczewka wypukła, kartka papieru, ołówek, linijka



Wykonanie:

- Na podstawkę ze styropianu połóż kartkę papieru (może być z zeszytu).
- Przymocuj soczewkę do podstawki, wbijając po dwie szpilki przy jej końcach (rysunek).
- Wbij po jednej stronie soczewki trzy szpilki przy krawędzi podstawki (pierwszy rząd), jedną na wysokości środka soczewki i dwie oddalone 1,5–2 cm od niej, po lewej i po prawej jej stronie.
- Trzymając podstawkę na wysokości oka, wbij kolejne trzy szpilki tuż przy krawędzi soczewki.
- Patrz na każdą szpilkę po kolei (najlepiej zamykając jedno oko) i dalej przez soczewkę oraz ustaw za soczewką następne trzy szpilki. Ustaw w ten sposób kolejne trzy szpilki, odsuwając się coraz dalej od krawędzi soczewki. Staraj się ustawić tak, aby cały czas widzieć tylko pierwszą szpilkę.
- Połóż podstawkę na stole, wyciągnij szpilki i narysuj linię przechodzącą przez dziurki po wbitych szpilkach.



6.12 Konstrukcyjne wyznaczanie obrazów otrzymanych w soczewkach

Podejmij temat



Czy można za pomocą geometrycznej konstrukcji znaleźć miejsce, w którym powstaje obraz otrzymany za pomocą soczewki? Jak będzie wyglądał ten obraz?



Zasady konstrukcji obrazów

W doświadczeniu mogłeś się przekonać, że – stosując soczewki – uzyskujemy obrazy przedmiotów świecących lub oświetlonych i że mogą to być obrazy rzeczywiste lub pozorne.

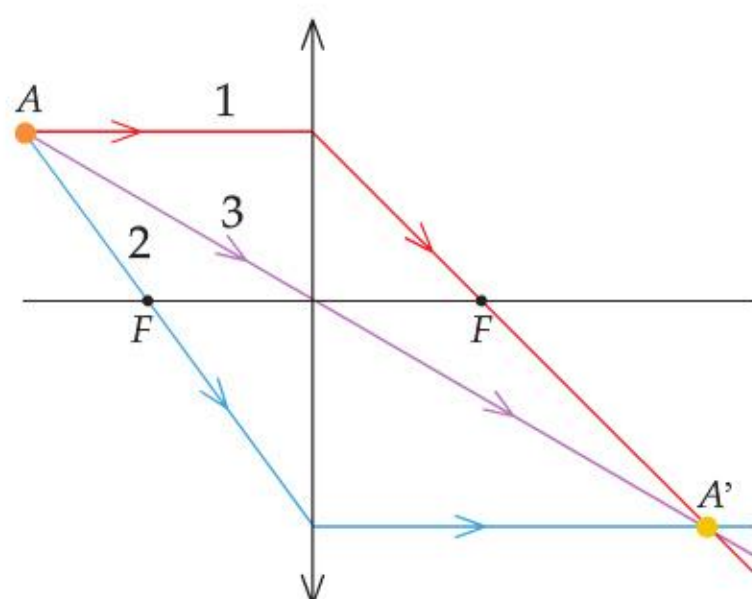
Jak się domyślasz, podobnie do konstrukcji obrazów uzyskiwanych w zwierciadłach możemy geometrycznie wyznaczyć obrazy otrzymywane za pomocą soczewek (il. 6.58). W zwierciadłach wykorzystywałeś promienie odbite od zwierciadeł, a w przypadku soczewek będziesz korzystać z promieni załamanych w soczewkach. Aby wyznaczyć konstrukcyjnie obrazy utworzone przez soczewki, musisz pamiętać o następujących prawidłowościach:

- **promień równoległy do osi optycznej** załamuje się w soczewce w taki sposób, że przechodzi przez ognisko (na rysunku promień zaznaczony na czerwono) →
- promień **przechodzący przez ognisko** załamuje się w soczewce i wychodzi jako równoległy do osi optycznej →
- **promień przechodzący przez środek cienkiej soczewki** nie ulega w niej załamaniu i nie zmienia kierunku →

W punkcie przecięcia tych promieni powstaje obraz rzeczywisty punktu, z którego promienie zostały wysłane. **Jeśli promienie się nie przecinają, szukamy przecięcia ich przedłużeń** – powstaje wtedy obraz pozorny. Do skonstruowania obrazu wystarczą dwa z trzech opisanych promieni.

Konstrukcja obrazów wytworzonych przez soczewkę skupiającą

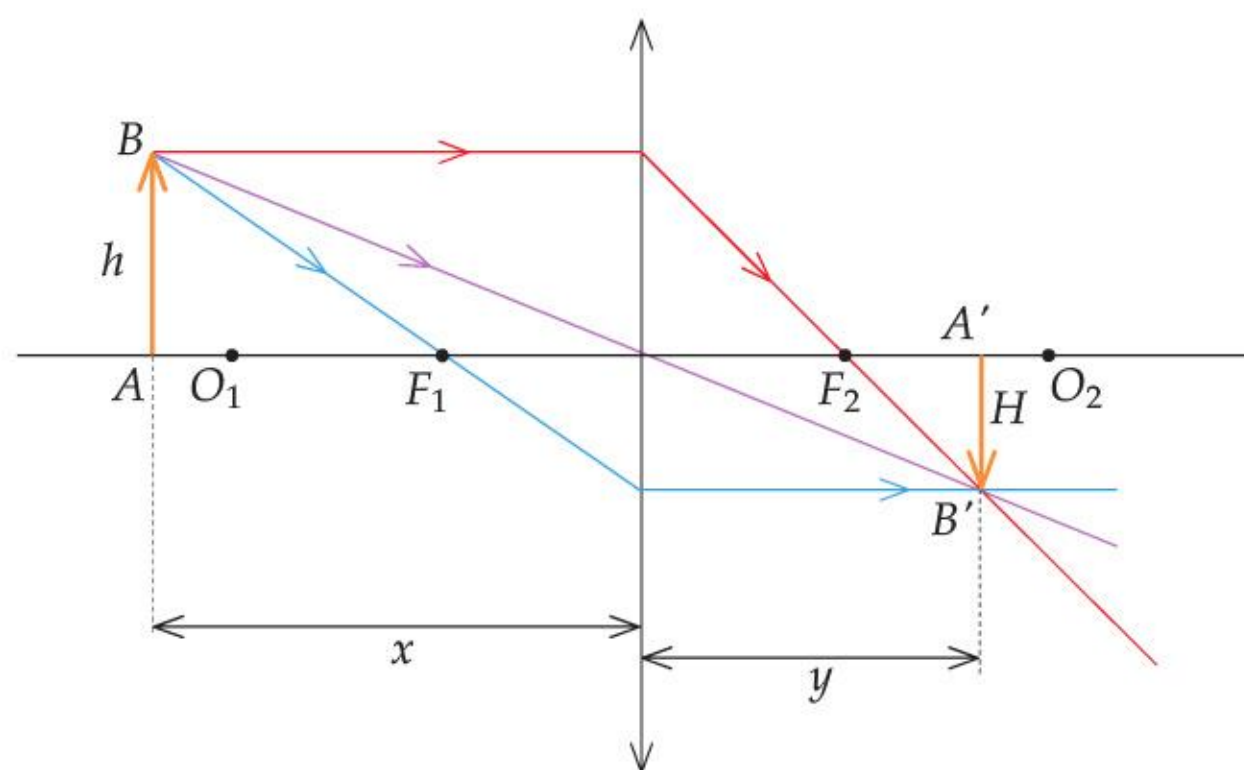
Jeśli znasz odległość przedmiotu od soczewki i ogniskową tej soczewki, to już możesz graficznie wyznaczyć położenie otrzymanego obrazu. W tym celu z granicznego punktu (lub granicznych punktów) przedmiotu prowadzimy dwa promienie. Sprawdzimy konstrukcyjnie przedstawione w tabeli wyniki z doświadczenia 56. (s. 238).



6.58 Obraz punktu świecącego uzyskany za pomocą soczewki skupiającej

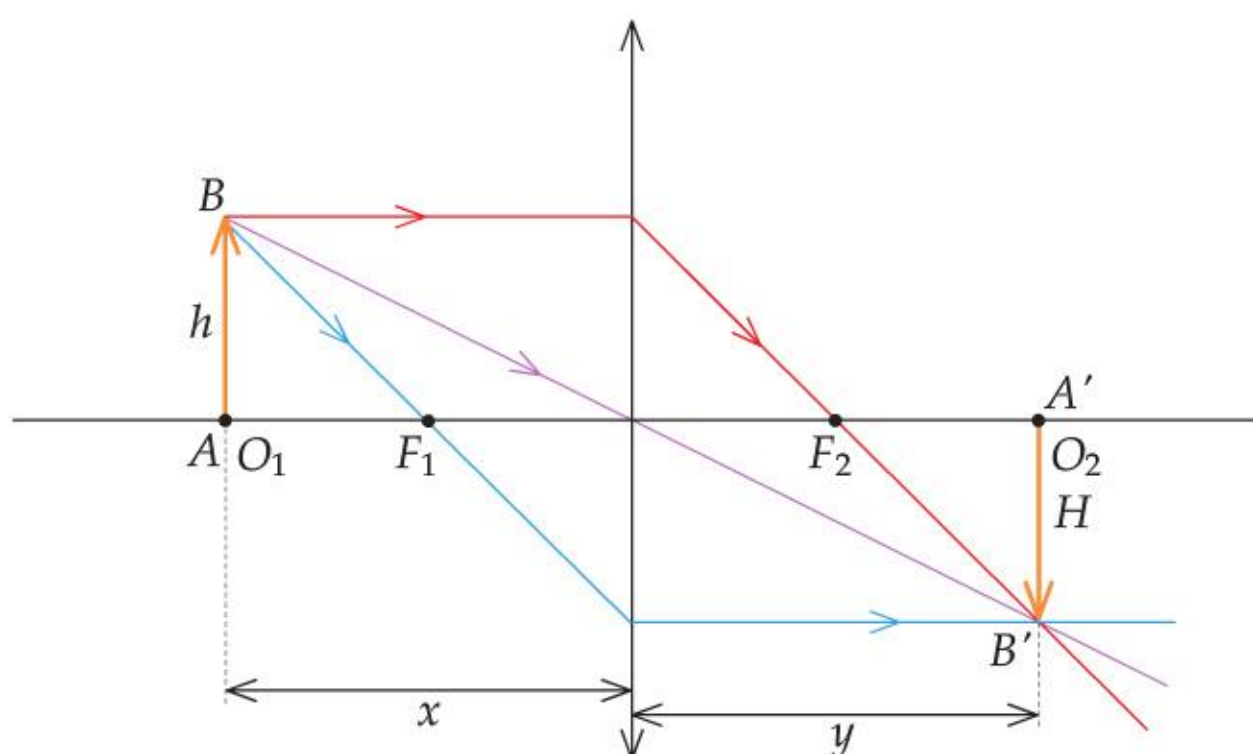
- **Przypadek I**

Konstrukcja obrazu przedmiotu umieszczonego w odległości x większej niż podwójna ogniskowa ($x > 2f$). Rysujemy oś optyczną, a następnie ciekłą soczewkę, zaznaczając ogniska. Przedmiot rysujemy w postaci świecącej strzałki, umieszczając go za podwójną ogniskową. Rysujemy strzałkę od osi optycznej, a z jej wierzchołka – dwa promienie. Pierwszy promień, równoległy do osi, po przejściu przez soczewkę załamuje się i przechodzi przez ognisko. Drugi promień przechodzi przez ciekłą soczewkę, bez zmiany kierunku. W punkcie przecięcia promieni otrzymujemy wierzchołek obrazu przedmiotu (strzałki).



6.59 Otrzymujemy obraz świecącej **rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony**

- **Przypadek II** ($x = 2f$)



6.60 Uzyskujemy obraz **rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot**

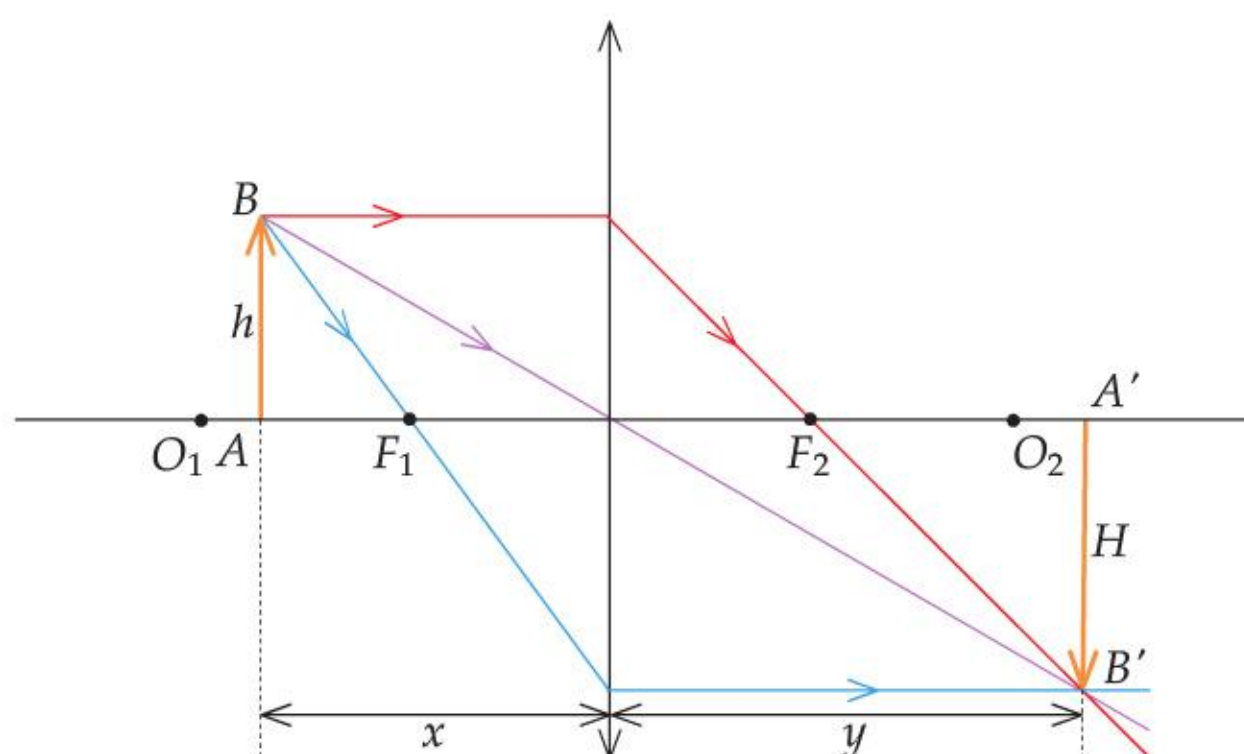
- **Przypadek IV** ($x < f$)

Konstrukcja obrazu przedmiotu umieszczonego w odległości mniejszej niż ogniskowa

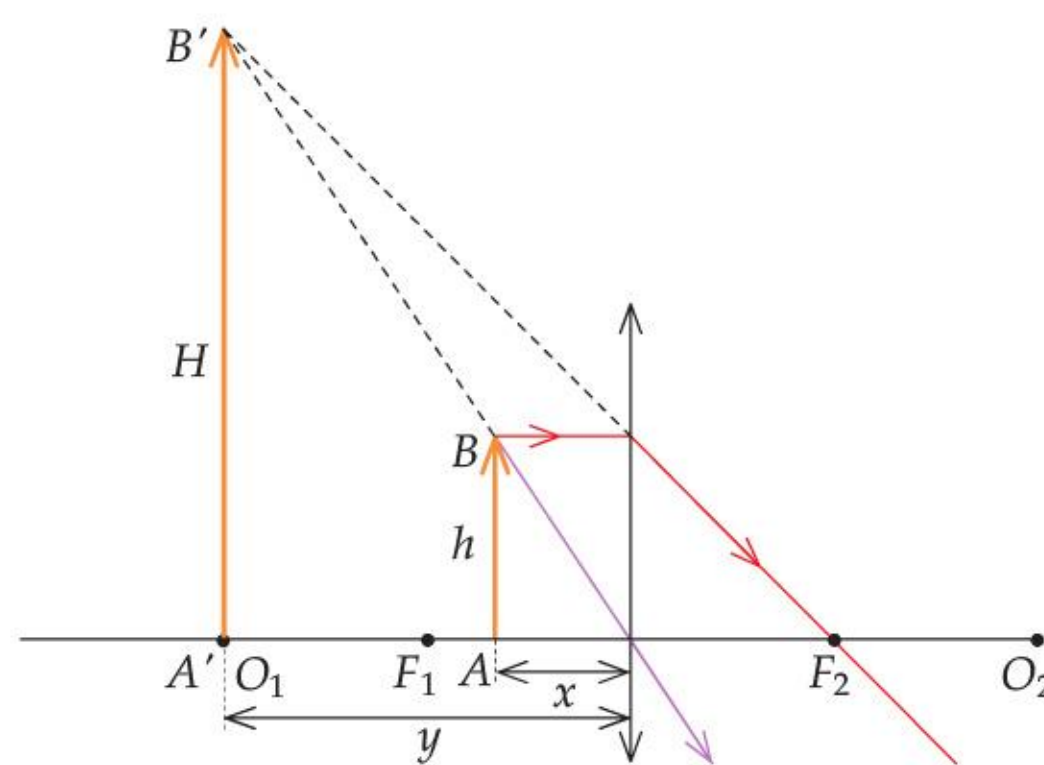
Gdy przedmiot umieścimy między ogniskiem a soczewką, możemy zauważyć, że promienie załamane w soczewce po wyjściu z niej są rozbieżne – dlatego rysujemy ich przedłużenia.

W miejscu przecięcia się tych przedłużeń otrzymujemy obraz punktu, z którego promienie zostały wysłane. Zauważ, że obraz znajduje się po tej samej stronie co przedmiot. Tak oglądamy przedmioty przez lupę – patrzymy przez soczewkę, w głąb soczewki.

- **Przypadek III** ($f > x > 2f$)



6.61 Otrzymujemy obraz **rzeczywisty, odwrócony, powiększony**

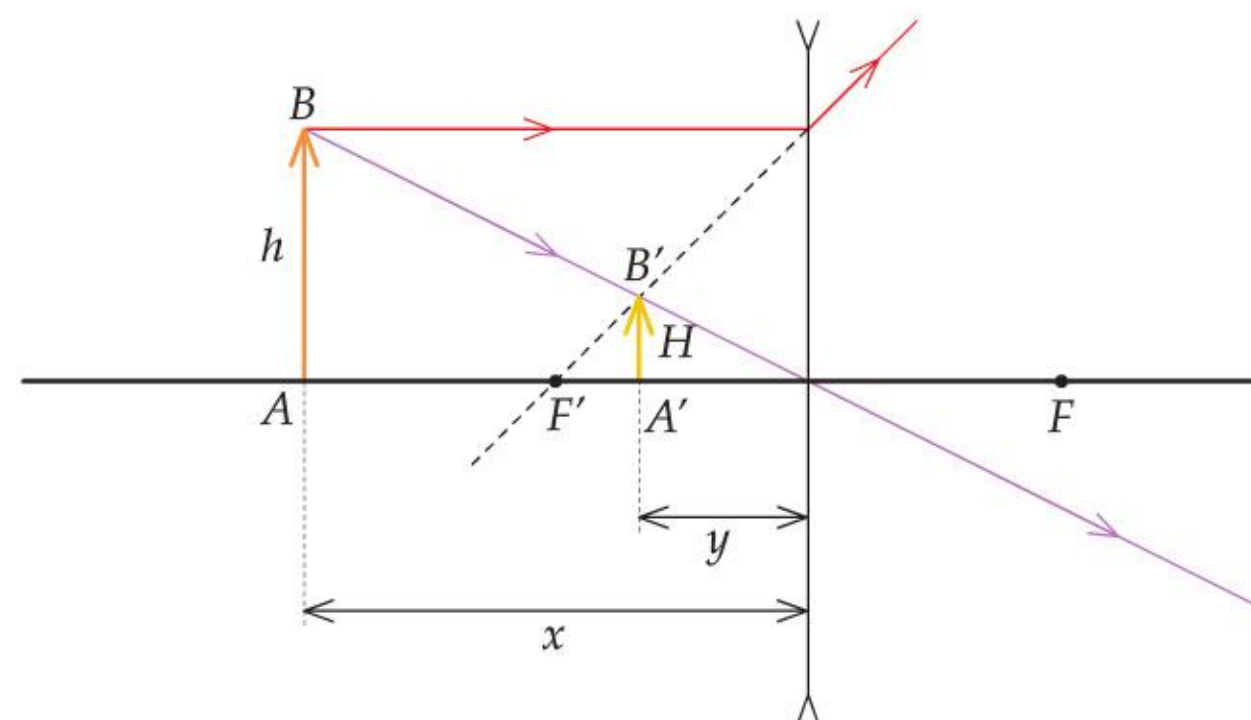


6.62 Otrzymujemy obraz **pozorny, prosty, powiększony**

Za pomocą soczewek skupiających można uzyskać obrazy rzeczywiste i odwrócone, gdy $x > f$, lub pozorne i proste, gdy $x < f$.

Konstrukcja obrazów wytworzonych przez soczewkę rozpraszającą

Wiązka równoległa po przejściu przez soczewkę rozpraszającą staje się rozbieżna, dlatego promienie nie mogą się przeciąć (il. 6.63). Przecinają się przedłużenia tych promieni w ognisku pozornym. Niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki, konstruując tworzony przez nią obraz, wykorzystujemy jeden z trzech charakterystycznych promieni opisanych przy konstrukcji dla soczewek skupiających.



6.63 Otrzymujemy obraz **pozorny, prosty, pomniejszony**

Stosując soczewki rozpraszające, zawsze uzyskujemy obrazy pozorne, proste i pomniejszone.

Ciekawe!



Soczewka Fresnela (czyt. frenela) jest niepodobna do znanych nam soczewek, ponieważ jest płaska. Soczewka ta składa się z szeregu pierścieniowych stref o tak dobranych promieniach krzywizny, że ich ogniskowe są jednakowe. Stosowana jest głównie w reflektorach o dużej sile światła, np. w latarniach morskich, oraz w przyrządach optycznych do równomiernego oświetlania pola widzenia, m.in. w rzutnikach.

W skrócie

- Znając bieg wybranych promieni padających na soczewkę oraz odległość przedmiotu od soczewki i ogniskową soczewki, można konstrukcyjnie (graficznie, geometrycznie) wyznaczyć położenie obrazu wytworzonego przez soczewkę.
- Za pomocą soczewek skupiających można uzyskać obrazy rzeczywiste i odwrócone, gdy $x > f$, lub pozorne i proste, gdy $x < f$.
- Stosując soczewki rozpraszające, zawsze uzyskujemy obrazy pozorne, proste i pomniejszone.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Obrazy przedmiotów świecących lub oświetlonych wytworzone przez soczewki mogą być rzeczywiste lub pozorne.
 - B. Promień biegnący równoległe do osi optycznej soczewki po załamaniu w soczewce skupiającej przechodzi przez ognisko soczewki.
 - C. Promień biegnący przez środek cienkiej soczewki rozpraszającej ulega odchyleniu.
 - D. Za pomocą soczewek skupiających można uzyskać obrazy rzeczywiste i odwrócone, gdy $x > f$, lub pozorne i proste, gdy $x < f$.
 - E. Obrazy wytworzone przez soczewki rozpraszające zawsze są pozorne, proste i powiększone.
- 2 Oświetlony przedmiot o wysokości 10 cm umieszczono w odległości 30 cm od soczewki, której ogniskowa wynosi 20 cm. Jaki obraz uzyskano za pomocą tej soczewki?
- 3 Poszukaj informacji i przygotuj notatkę na temat wykorzystania soczewek w życiu codziennym.

6.13 Przyrządy optyczne

Podejmij temat

● Co ma wspólnego oko z aparatem fotograficznym?

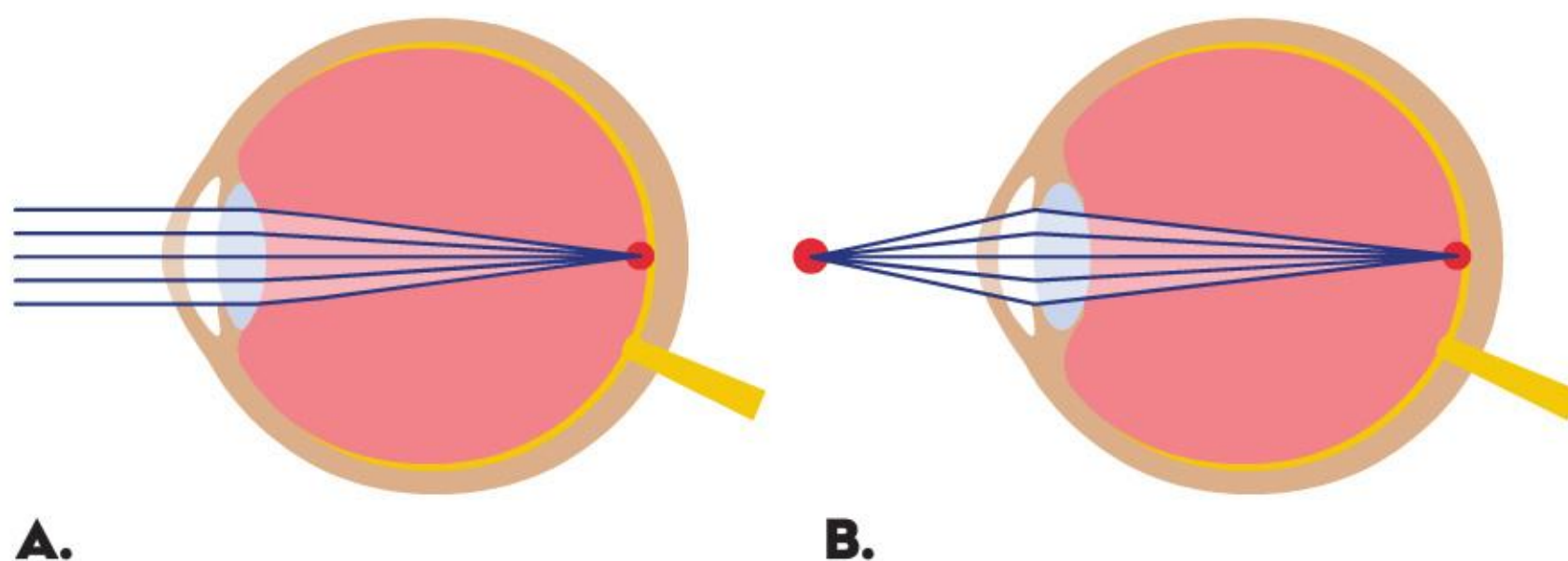
Oko i układ optyczny oka

Oko jest doskonałym przyrządem optycznym. Widzieć możemy tylko przedmioty wysyłające lub rozpraszające światło, które musi dotrzeć do naszego oka. Przednią część gałki ocznej stanowi rogówka (il. 6.64). Za nią znajduje się tęczówka z otworem zwanym źrenicą, która w zależności od oświetlenia zmienia swoją średnicę. Za źrenicą jest miękka i sprężysta soczewka skupiająca. Promienie świetlne wpadają do oka przez źrenicę, załamane przez rogówkę i soczewkę tworzą na siatkówce obraz rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony (il. 6.65). Tam też miliony komórek odbierają światło i przez nerw wzrokowy wysyłają informacje do mózgu. Mózg przetwarza je, dzięki czemu widzimy przedmioty w rzeczywistej wielkości i nieodwrócone.

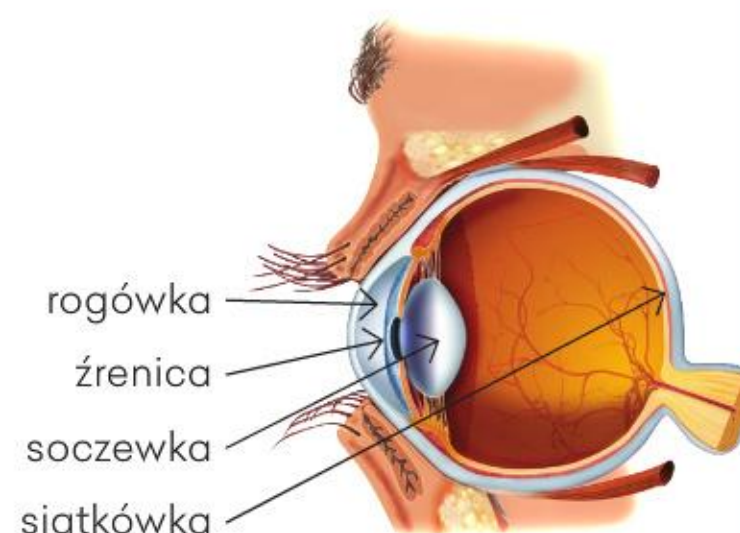
Można więc powiedzieć, że oko jest układem optycznym, który skupia promienie świetlne, wytwarza obraz oraz przekazuje sygnały nerwowe do mózgu, który je interpretuje.

Akomodacja

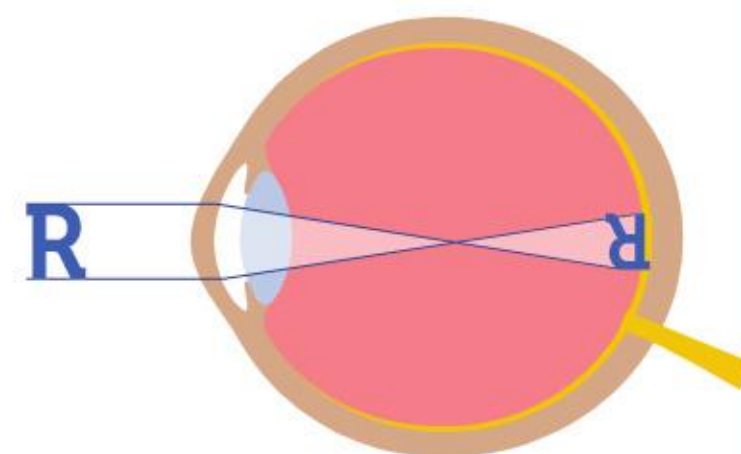
W doświadczeniu z soczewką miałeś okazję zaobserwować, że zmiana jej położenia względem ekranu umożliwiała otrzymanie ostrego obrazu strzałki czy świeczki. Siatkówka, która pełni rolę ekranu, nie może zmieniać położenia, ale soczewka posiada zdolność **akomodacji**. Przez zmianę grubości dostosowuje swoją ogniskową do oglądania przedmiotów zarówno z bliska, jak i z daleka (il. 6.66). Najlepiej widzimy przedmioty z odległości około 26 cm. Jest to **odległość dobrego widzenia**.



6.66 Schemat biegu promieni świetlnych w oku dochodzących od przedmiotu umieszczonego w dużej odległości (A.) oraz blisko (B.)



6.64 Budowa oka



6.65 Powstawanie obrazu w oku

Akomodacja to zdolność przystosowania się oka do wyraźnego widzenia przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach. Polega na zmianie grubości soczewki, a tym samym zmianie jej ogniskowej.



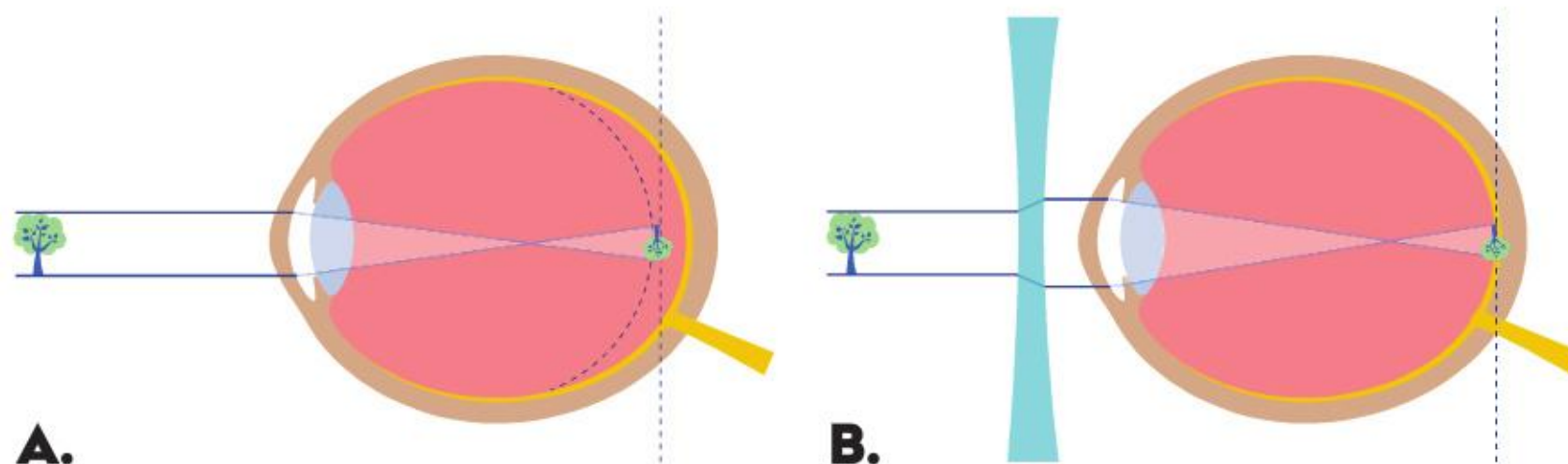
Krótkowidz nosi okulary „minusy”, np. szkła lub soczewki o zdolności skupiającej $-2,5\text{ D}$ (minus dwie i pół dioptrie).



Dalekowidz nosi okulary lub soczewki „plusy”, np. $+2\text{ D}$ (plus dwie dioptrie).

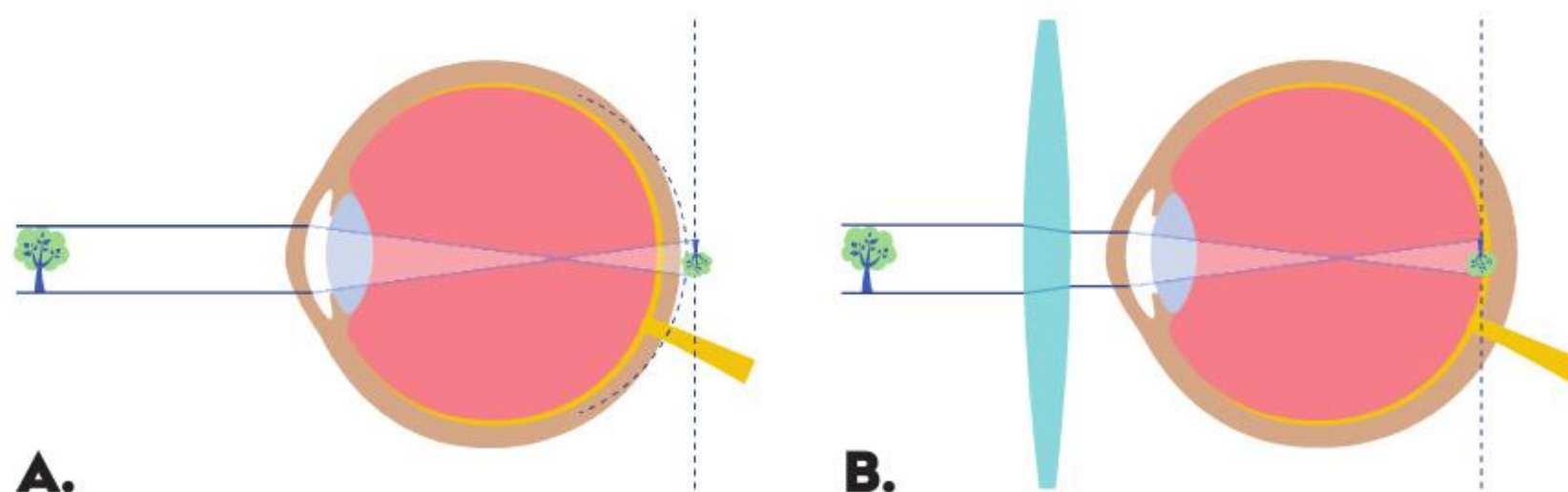
Wady wzroku i ich korekcja

Przyczyną złego widzenia może być wada wzroku, najczęściej krótkowzroczność lub dalekowzroczność. Krótkowzroczność polega na skupianiu się promieni świetlnych przed siatkówką, w wyniku czego przedmioty odległe są słabo widoczne (il. 6.67). Można ją skorygować za pomocą okularów lub szkła kontaktowych. Potrzebna jest tu soczewka rozpraszająca wklęsła.



6.67 Obrazy otrzymane w oku krótkowidza: bez soczewki okularów (A.), z soczewką rozpraszającą okularów (B.)

Przy dalekowzroczności promienie świetlne skupiają się za siatkówką, co utrudnia widzenie przedmiotów znajdujących się blisko (il. 6.68). Korygujemy tę wadę soczewką skupiającą wypukłą.



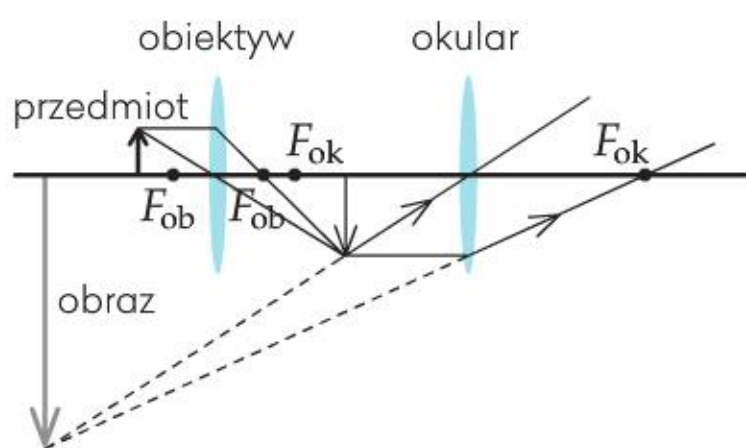
6.68 Obrazy otrzymane w oku dalekowidza: bez soczewki okularów (A.), z soczewką skupiającą okularów (B.)

Przyrządy powiększające obserwowane przedmioty

Bardzo mocne soczewki skupiające używane są jako szkła powiększające, czyli **lupy**. Są to proste przyrządy optyczne służące do oglądania małych przedmiotów. Odległość soczewki od przedmiotu musi być mniejsza od ogniskowej, aby powstał obraz pozorny, prosty, powiększony.

W pracowniach naukowych i szkolnych, na przykład biologicznych, do obserwacji preparatów używa się **mikroskopu**. Składa się on z dwóch układów soczewek – obiektywu i okularu (il. 6.69). Obiektyw daje obraz rzeczywisty, odwrócony, powiększony. Układ górny, okular, pełni funkcję lupy, dając obraz prosty, pozorny, powiększony. Całość daje obraz powiększony i odwrócony.

Obserwowany obiekt jest silnie oświetlony i oglądamy go w świetle przechodzącym. Soczewka wypukła obiektywu daje obraz obiektu, a soczewka wypukła okularu obraz jeszcze powiększa. Kolejne powiększenia w obu soczewkach sprawiają, że oglądany przez nas obraz obiektu jest silnie powiększony.



6.69 Budowa mikroskopu

Przyrządy do obserwacji i rejestracji obrazu

Luneta jest przyrządem optycznym służącym do zwiększania kąta widzenia odległych obiektów, zwiększania ilości dochodzącego od nich światła oraz wyznaczania kierunku, w jakim się te obiekty znajdują. Zasadnicze części lunety to obiektyw (o długiej ogniskowej) i okular (o krótkiej ogniskowej). W lunecie Keplera okular jest umieszczony za ogniskiem obiektywu i wytwarza obraz pozorny i odwrócony.

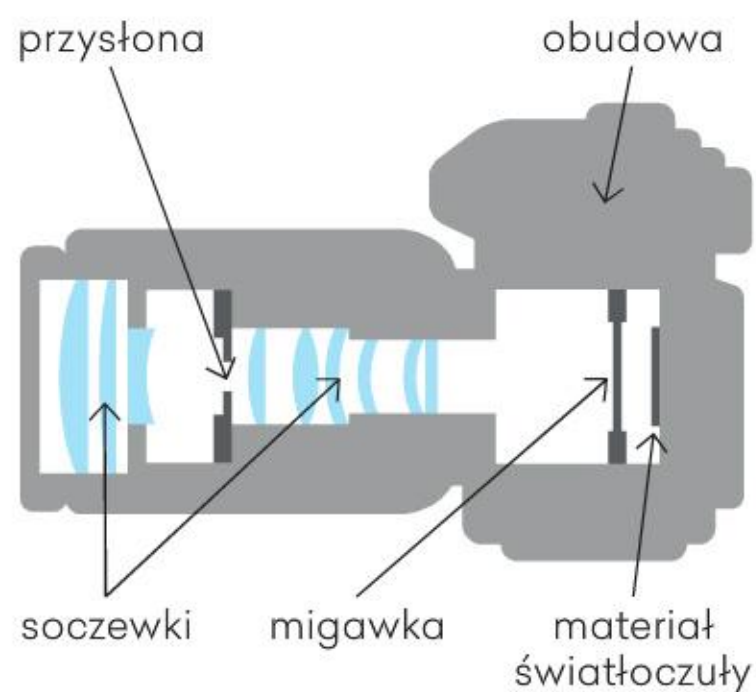
Aparat fotograficzny jest przyrządem służącym do rejestrowania obrazów – wykonywania zdjęć fotograficznych. Jak już wiesz, pierwowzorem aparatu fotograficznego była camera obscura.

Klasyczny aparat fotograficzny jest urządzeniem przystosowanym do rejestrowania obrazu na światłoczułej kliszy. Na błonach fotograficznych tworzą się obrazy rzeczywiste, pomniejszone i odwrócone. Za pomocą soczewki lub układu soczewek (il. 6.71) uzyskujemy w aparacie ostry obraz, gdyż odległość soczewki od kliszy może się zmieniać w zależności od położenia przedmiotu.

Obecnie klasyczne aparaty fotograficzne zostały prawie całkowicie wyparte przez aparaty cyfrowe, w których zamiast zapisu na kliszy stosuje się zapis cyfrowy na nośniku magnetycznym.



6.70 Luneta



6.71 Budowa aparatu fotograficznego

W skrócie

- Oko jest układem optycznym, który skupia i załamuje promienie świetlne, wytwarza obraz oraz przekazuje sygnały nerwowe do mózgu, który je interpretuje.
- Obraz powstający na siatkówce w oku jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony.
- Oko ma zdolność akomodacji, czyli przystosowania się do wyraźnego widzenia przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach od niego. Akomodacja polega na zmianie grubości soczewki, a tym samym zmianie jej ogniskowej.
- Najczęściej występującymi wadami wzroku są: krótkowzroczność, gdy obraz powstaje przed siatkówką, i dalekowzroczność, gdy promienie świetlne skupiają się za siatkówką.
- Odpowiednio dobrane soczewki (szkła okularów, soczewki kontaktowe) rozpraszające korygują krótkowzroczność, a soczewki skupiające – korygują dalekowzroczność.
- Soczewki wykorzystywane są w wielu przyrządach, takich jak np. lupa, luneta, teleskop, lornetka, mikroskop, aparat fotograficzny, kamera.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

- 1 Oceń prawdziwość podanych zdań.
 - A. Siatkówka zdrowego oka jest ekranem, na którym powstają obrazy widzianych przez nas przedmiotów.
 - B. Układ optyczny oka tworzy obraz pozorny, pomniejszony i odwrócony.
 - C. Wzrok krótkowidza koryguje się odpowiednio dobranymi soczewkami skupiającymi.
 - D. Soczewka skupiająca działa jak lupa, gdy odległość soczewki od przedmiotu jest mniejsza od jej ogniskowej.
 - E. W mikroskopie stosuje się układy soczewek, aby uzyskać jak największe powiększenie oglądanego obiektu.
- 2 Przygotuj krótką prezentację na jeden z podanych tematów.
 - Różnice w budowie między lunetą Keplera a lunetą Galileusza oraz zastosowanie tych lunet.
 - Budowa i zastosowanie lornetki.
- 3 Nie wszystko, co widzimy, jest takie, jak nam się wydaje. Przygotuj informacje na temat dowolnego złudzenia optycznego.



FALE A ZMYŚŁY CZŁOWIEKA

Porównanie fal mechanicznych i elektromagnetycznych

Wzrok i słuch można uznać za najważniejsze zmysły człowieka, dzięki którym odbieramy bodźce zewnętrzne i poznajemy otaczający nas świat. Narządy tych zmysłów, czyli oko i ucho, wyposażone są w receptory, które napływające z otoczenia informacje przekładają na impulsy elektryczne i przekazują je do odpowiedniej części mózgu, gdyż tam następuje ich analiza.

SŁUCH

Umożliwia odbieranie dźwięków słyszalnych
– **fal dźwiękowych**
o częstotliwości **od 16 Hz do 20 000 Hz**



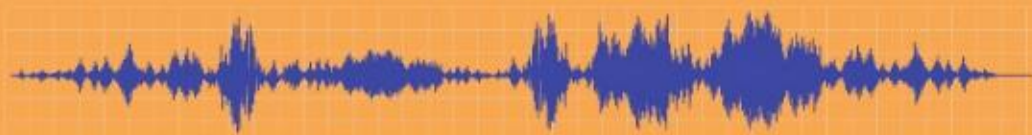
WZROK

Umożliwia rozpoznawanie światła
– **fal elektromagnetycznych** w zakresie widzialnym
o długości światła **od 380 nm do 780 nm**



ZESTAWIENIE CECH WSPÓLNYCH I RÓŻNIC W ROZCHODZENIU SIĘ FAL MECHANICZNYCH I ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Fale mechaniczne



Fale elektromagnetyczne



Powstawanie i istota

Rozchodzą się w danym ośrodku. Każdy punkt ośrodka wykonuje drgania wokół położenia równowagi. Fala przenosi energię bez przemieszczania materii.

Wokół zmiennego pola elektrycznego powstaje zmienne pole magnetyczne, a wokół zmiennego pola magnetycznego – zmienne pole elektryczne. Te wzajemnie przenikające się i indukujące pola to rozchodząca się w przestrzeni fala elektromagnetyczna, czyli rozchodząca się energia.

Źródło

Np. drgające struny, słupy powietrza, pręty, kamertony, membrany głośnika.

Np. drgające ładunki elektryczne, prąd o zmiennym w czasie natężeniu.

Przykłady

Fala na sznurze, sprężynie, na powierzchni wody, fale akustyczne (dźwięki słyszalne, infradźwięki, ultradźwięki), fale sejsmiczne.

Fale radiowe, mikrofały, promieniowanie podczerwone, światło widzialne, promieniowanie nadfioletowe, promieniowanie X, promieniowanie gamma.

Miejsce rozchodzenia się

Tylko w ośrodkach materialnych, sprężystych.

W próżni oraz w izolatorach, a odbija się od powierzchni przewodników (np. luster).

Szybkość rozchodzenia się

Rozchodzą się ze skończoną szybkością, stałą w ośrodkach jednorodnych, zależną od ośrodka. W powietrzu to ok. $340 \frac{m}{s}$, w wodzie $1500 \frac{m}{s}$, w aluminium $6300 \frac{m}{s}$, w diamencie $18\,000 \frac{m}{s}$.

W próżni dla światła ok. $300\,000\,000 \frac{m}{s}$ – największa szybkość w przyrodzie i jednocześnie największa, z jaką można przesyłać informacje. W innych ośrodkach mniejsza, zależna od ośrodka i częstotliwości fali. W powietrzu przyjmuje się ok. $3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$.

Sposób rozchodzenia się w zależności od kierunku drgań ośrodka lub pola

Mogą być podłużne, jeśli kierunek drgań cząsteczek ośrodka zachodzi wzdłuż kierunku rozchodzenia się fali oraz poprzeczne, jeśli drgania odbywają się w płaszczyźnie prostopadłej. Fale podłużne rozchodzą się w każdym ośrodku sprężystym. Fale poprzeczne tylko w ciałach stałych i na powierzchni cieczy.

Jest poprzeczna – drgania pola elektrycznego i pola magnetycznego leżą w płaszczyznach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali.

Wszystkie fale:

- ulegają odbiciu i załamaniu,
- przemieszczają się w danym ośrodku jednorodnym ruchem jednostajnie prostoliniowym, z szybkością $v = \lambda \cdot f$. Przy przejściu z jednego ośrodka do drugiego następuje zmiana szybkości, a zatem i długości fali, gdyż częstotliwość ani dźwięku, ani fali świetlnej się nie zmienia. Oznacza to, że taką samą częstotliwość ma dźwięk w powietrzu, jak i jego źródło np. kamerton, a fala świetlna o określonej częstotliwości, a więc i o określonej barwie, nie zmieni jej przechodząc z jednego ośrodka do drugiego, np. z powietrza do szkła.

Podsumowanie działu 6

Ważne pojęcia

optyka	źródła światła	ośrodek optyczny	ośrodek jednorodny	ośrodek niejednorodny
promień świetlny	cień	półcień	zaćmienie Księżyca	zaćmienie Słońca
zwierciadło	zwierciadło płaskie		kąt padania	normalna
promień padający		promień odbity	prawo odbicia	odbicie
powierzchnia chropowata		konstrukcja obrazu	obraz pozorny	obraz prosty (nieodwrócony)
obraz nieodwrócony		powiększenie	zwierciadło wypukłe	zwierciadło wklęsłe
promień krzywizny		wierzchołek zwierciadła	ognisko zwierciadła	ogniskowa
ognisko pozorne		oś optyczna (główna)	załamanie	kąt załamania
ośrodek gęstszy optycznie		ośrodek rzadszy optycznie	pryzmat	rozszczipienie światła
widmo ciągłe światła białego		tęcza	miraż	soczewki
soczewki wypukłe		zdolność skupiająca	akomodacja	odległość dobrego widzenia
wady wzroku	krótkowzroczność	dalekowzroczność	korekcja wad wzroku	lupa

- Światło to fale elektromagnetyczne o długości od ok. 400 nm do ok. 700 nm, rozchodzące się w próżni z szybkością $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.
- Wszystkie ciała świecące światłem własnym to naturalne źródła światła. Ciała, które świecą światłem odbitym, są wtórnymi źródłami światła. Do sztucznych źródeł światła zaliczamy źródła wytwarzane przez człowieka.
- W ośrodkach jednorodnych światło porusza się prostoliniowo, czego skutkiem jest powstawanie cienia i półcienia.
- Promieniem świetlnym nazywamy wąską wiązkę promieniowania przedstawioną w postaci linii prostej, której kierunek jest zgodny z kierunkiem rozchodzenia się światła.
- Światło odbija się od powierzchni zgodnie z prawem odbicia, czyli w takim kierunku, że kąt odbicia jest równy kątowi padania: $\beta = \alpha$. Promień padający, promień odbity i normalna w punkcie padania leżą w jednej płaszczyźnie.
- Jeśli powierzchnia jest chropowata, to światło ulega rozproszeniu, czyli rozchodzi się w różnych kierunkach. Światło może rozpraszać się również na drobinach, które znajdują się na drodze światła.
- Za pomocą zwierciadła płaskiego otrzymujemy obraz pozorny, tej samej wielkości i prosty. Obraz pozorny przedmiotu powstaje w miejscu przecięcia przedłużeń promieni odbitych. Odległość przedmiotu od zwierciadła jest taka sama jak obrazu od zwierciadła.
- Zwierciadło kuliste to część powierzchni zwierciadlanej kuli, od której odbija się światło. Wyróżniamy zwierciadła kuliste wklęsłe i wypukłe. Jeśli promienie świetlne odbijają się od wewnętrznej strony czaszy kuli, zwierciadło takie nazwiemy wklęsłym. Zwierciadłem wypukłym natomiast nazwiemy zewnętrzną stronę czaszy kuli.
- Punkt, przez który przechodzą po odbiciu od zwierciadła wklęsłego promienie świetlne padające równoległe do głównej osi optycznej, nazywamy ogniskiem zwierciadła (F). Odległość od ogniska do środka czaszy zwierciadła nazywamy ogniskową (f).
- W zwierciadle wypukłym promienie równoległe do głównej osi zwierciadła odbijają się od niego, tworząc wiązkę rozbieżną. Ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie, który jest ogniskiem pozornym zwierciadła wypukłego (F').
- W zwierciadłach wypukłych otrzymujemy tylko obrazy pozorne, pomniejszone i proste.

- Rodzaj obrazu powstającego za pomocą zwierciadła wklęsłego zależy od odległości x przedmiotu od zwierciadła.

Położenie przedmiotu (x)	Cechy obrazu
$x > r$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony
$x = r$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości
$r > x > f$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x < f$	pozorny, prosty, powiększony
$x = f$	obraz nie powstaje

- Przy przejściu światła z jednego ośrodka przezroczystego do drugiego następuje zmiana kierunku rozchodzenia się światła spowodowana tym, że w różnych ośrodkach światło rozchodzi się z różnymi szybkościami. Obserwowane na granicy dwóch ośrodków zjawisko nazywamy załamaniem światła.
- Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną nazywa się kątem padania – α , natomiast kąt między normalną a promieniem załamanym to kąt załamania – β . Promień padający, normalna w punkcie padania oraz kąt załamany leżą w jednej płaszczyźnie.
- Światło białe jest mieszaniną barw – czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej, granatowej i fioletowej. Ten szereg barw przechodzących w sposób ciągły jedna w drugą nazywamy widmem światła białego.
- Przy przejściu światła białego przez pryzmat następuje zjawisko załamania oraz rozdzielenia na barwy, z których się składa – rozszczepienie światła. Spowodowane jest to niejednakową szybkością rozchodzenia się różnych barw. Najszybciej rozchodzi się światło czerwone, a najwolniej fioletowe. Następuje więc ich załamanie pod różnymi kątami. Światło jednobarwne (monochromatyczne) nie ulega rozszczepieniu przy przejściu przez pryzmat.
- Kolor obserwowanego przez nas ciała jest taki jak barwa, która dociera do naszego oka po odbiciu od tego ciała. Pozostałe barwy są pochłaniane przez ciało.
- Wyróżniamy soczewki wypukłe (najgrubsze w środku) i wklęsłe (w środku najcieńsze).

- Wiązka promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez soczewkę wypukłą przechodzi przez jeden punkt zwany ogniskiem. Odległość ogniska od soczewki nazywamy jej ogniskową i oznaczamy f .
- Soczewki wklęsłe powodują, że wiązka promieni równoległych po przejściu przez soczewkę staje się wiązką rozbieżną. Przedłużenia promieni przechodzą przez jeden punkt zwany ogniskiem pozornym.
- Za pomocą soczewek skupiających otrzymujemy obrazy rzeczywiste na ekranie i obrazy pozorne (w soczewce).

Położenie przedmiotu (x)	Cechy obrazu
$x < f$	pozorny, prosty, powiększony
$x = f$	obraz nie powstaje, promienie załamane w soczewce tworzą wiązkę równoległą
$f < x < 2f$	rzeczywisty, odwrócony, powiększony
$x = 2f$	rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości jak przedmiot
$x > 2f$	rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony

- Stosując soczewki rozpraszające, zawsze uzyskujemy obrazy pozorne, proste i pomniejszone.
- Powiększenie obliczamy ze wzoru: $p = \frac{H}{h}$. Wskazuje ono, ile razy wysokość obrazu H jest większa od wysokości przedmiotu h . Obliczamy też jako iloraz odległości obrazu od soczewki i odległości przedmiotu od soczewki: $p = \frac{y}{x}$.
- Obraz powstający w oku jest rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony. Oko ma zdolność akomodacji, czyli przystosowania się do wyraźnego widzenia przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach. Akomodacja polega na zmianie grubości i tym samym zmianie ogniskowej soczewki.
- Najczęściej występującymi wadami wzroku są: krótkowzroczność, gdy obraz powstaje przed siatkówką, i dalekowzroczność, gdy promienie świetlne skupiają się za siatkówką. Odpowiednio dobrane soczewki rozpraszające korygują krótkowzroczność, a soczewki skupiające – korygują dalekowzroczność.

Czy już umiesz? Sprawdź się!

Zapisz w zeszycie poprawne dokończenia zdań lub właściwe odpowiedzi.

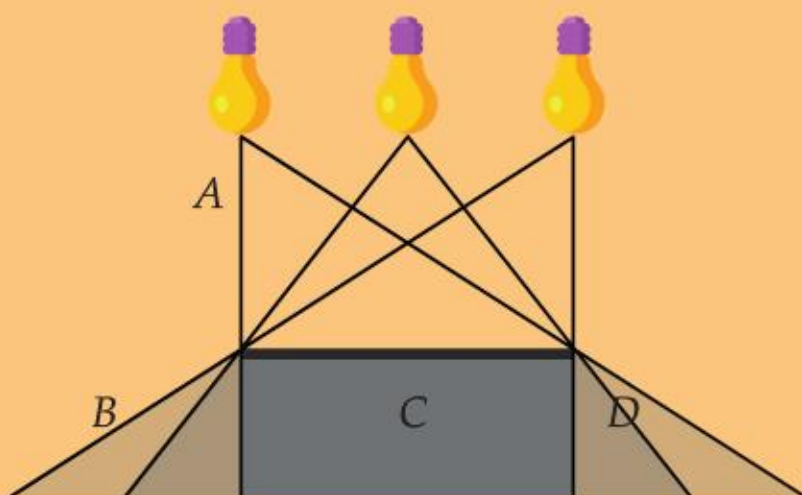
1 Źródłami światła są

- A. Księżyc i Słońce.
- B. żarówka i światło odbłaskowe.
- C. świeca i odbicie Słońca w jeziorze.
- D. zorza polarna i robaczek świętojański.
- E. tryskająca, rozgrzana lawa i odbicie świecy w lustrze.

2 Fale świetlne mają długość rzędu

- A. 10^{-9} m
- B. 10^{-6} m
- C. 10^{-3} m
- D. 10^3 m
- E. 10^6 m

3 Na rysunku przedstawiono przegrodę oświetloną światłem trzech żarówek.



Wskaż zdania prawdziwe.

- A. Punkt A oświetlony jest światłem trzech żarówek.
- B. Punkt B oświetlony jest tylko światłem żarówek 1. i 2.
- C. Punkt C leży w obszarze cienia.
- D. Punkt D oświetlony jest światłem żarówek 2. i 3.
- E. Punkt D leży w obszarze półcienia.

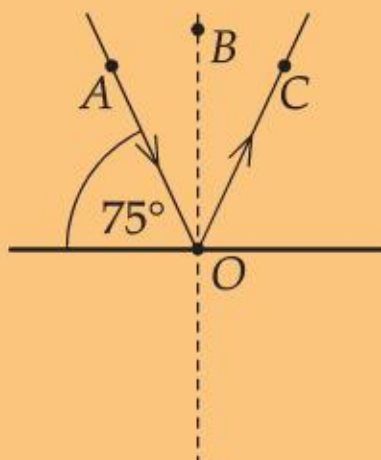
4 Oświetlony światłem słonecznym dom o wysokości 5 m rzuca cień o wysokości 7,5 m, a stojące obok domu drzewo rzuca cień 15 m. Wysokość drzewa wynosi

- A. 15 m
- B. 12,5 m
- C. 10 m
- D. 5 m
- E. 7,5 m

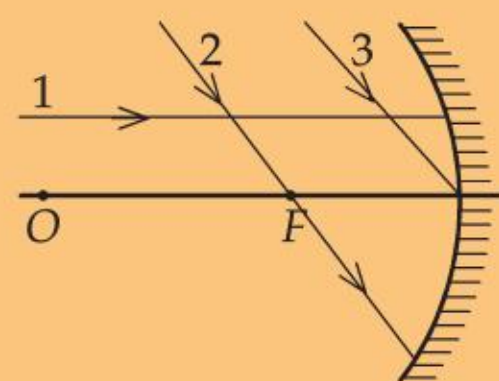
5 Na rysunku pokazano odbicie promienia świetlnego od powierzchni lustra.

Wskaż zdania prawdziwe.

- A. Kąt padania wynosi 15° .
- B. Kąt odbicia wynosi 75° .
- C. Promień padający, promień odbity i normalna leżą w jednej płaszczyźnie.
- D. Kąt AOB to kąt padania.
- E. Kąt między promieniem odbitym a lustrem wynosi 75° .



6 Po odbiciu od zwierciadła wklęsłego promienie wskazane na rysunku będą biegły w opisany niżej sposób.



Wskaż zdania prawdziwe.

- A. Promień 1. przejdzie przez ognisko zwierciadła.
- B. Promień 2. będzie biegł równoległe do osi optycznej (głównej).
- C. Promień 3. będzie biegł symetrycznie względem osi optycznej zwierciadła.
- D. Tylko promienie 2. i 3. odbiją się zgodnie z prawem odbicia.
- E. Wszystkie promienie odbiją się zgodnie z prawem odbicia.

7 Na białej tekturze wykonano napis zieloną farbą. Napis będzie najmniej widoczny, gdy tekturę oświetlimy światłem

- A. białym.
- B. zielonym.
- C. żółtym.
- D. czerwonym.
- E. niebieskim.

8 Promień świetlny przechodzi do ośrodka o innej gęstości.

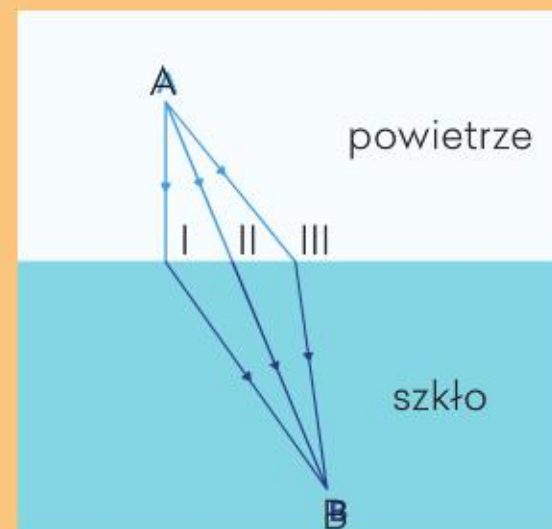
Wskaż zdania prawdziwe.

- A. Ośrodek, do którego przechodzi promień świetlny, jest przezroczysty dla światła.
- B. Przy przejściu do drugiego ośrodka zmienia się szybkość światła.
- C. Jeśli szybkość światła w drugim ośrodku będzie mniejsza, to kąt załamania będzie większy niż kąt padania.
- D. Jeśli szybkość światła w drugim ośrodku będzie większa niż w pierwszym, to promień załamie się w kierunku od normalnej.
- E. Jeśli promień świetlny pada pod kątem 0° , to przejdzie do drugiego ośrodka bez zmiany kierunku.

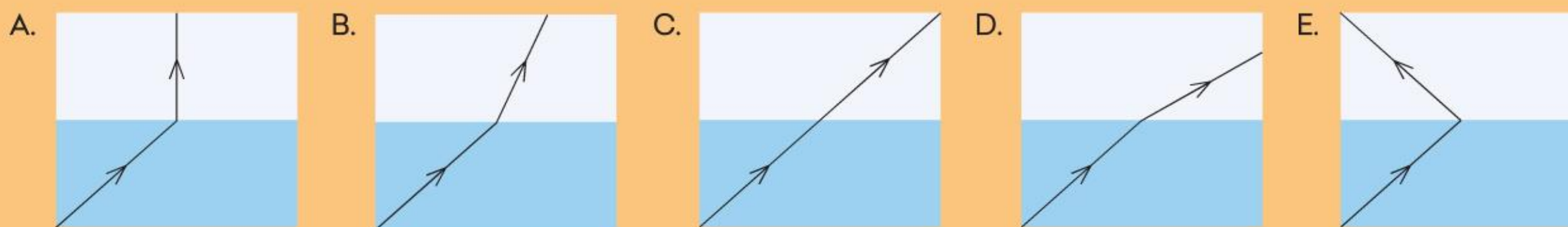
9 Na rysunku przedstawiono bieg wybranych promieni.

Błędnie narysowano bieg

- A. promieni I i II.
- B. tylko promienia I.
- C. tylko promienia II.
- D. promieni I i III.
- E. wszystkich promieni.



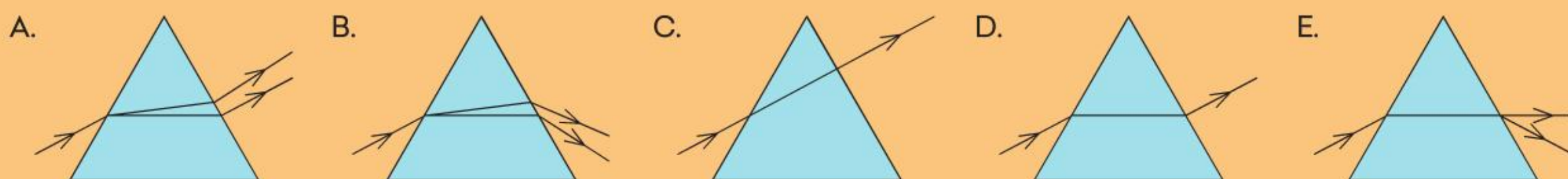
10 Bieg promienia świetlnego przy przejściu z wody do powietrza poprawnie przedstawiono na rysunku



11 Jeśli patrzymy na kamień leżący na dnie strumyka, to głębokość, na jakiej go widzimy, jest

- A. mniejsza niż w rzeczywistości.
- B. mniejsza niż w rzeczywistości, zależy od kąta, pod jakim patrzymy.
- C. taka sama jak w rzeczywistości.
- D. większa niż w rzeczywistości.
- E. większa niż w rzeczywistości, zależy od kąta, pod jakim patrzymy.

12 Przejście światła białego z powietrza przez szklany pryzmat poprawnie przedstawiono na rysunku



13 Wskaż zdanie prawdziwe.

- A. Za pomocą soczewek skupiających można uzyskać tylko obrazy rzeczywiste i odwrócone.
- B. Za pomocą soczewek skupiających otrzymujemy obrazy rzeczywiste na ekranie i obrazy pozorne w soczewce.
- C. Cechy obrazów otrzymanych za pomocą soczewek skupiających zależą od położenia przedmiotu i soczewki.
- D. Dla soczewek skupiających, gdy $x > f$, można uzyskać obrazy rzeczywiste i odwrócone, a gdy $x < f$ – pozorne i proste.
- E. Stosując soczewki rozpraszające, zawsze uzyskujemy obrazy pozorne, proste i pomniejszone, niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki.

14 Jeśli soczewkę chcemy użyć jako lupy, to obserwowany przedmiot należy umieścić względem soczewki w odległości

- A. dobrego widzenia.
- B. mniejszej niż ogniskowa.
- C. równej ogniskowej.
- D. równej podwójnej ogniskowej.
- E. większej niż podwójna ogniskowa.

15 Wskaż zdania prawdziwe: Krótkowzroczność jest wadą wzroku,

- A. która powoduje, że obraz przedmiotu powstaje za siatkówką oka.
- B. która powoduje, że obraz przedmiotu powstaje przed siatkówką oka.
- C. w wyniku której przedmioty odległe są nieostre i słabiej widoczne.
- D. która polega na nieprawidłowym skupianiu promieni świetlnych.
- E. którą korygujemy soczewką rozpraszającą.

16 Zdolność skupiająca soczewki wklęsłej o ogniskowej 25 cm wynosi

- A. 0,04 D
- B. -0,04 D
- C. 25 D
- D. 4 D
- E. -4 D

Powtórzenie materiału z klas 7–8

Wielkości fizyczne, jednostki, wzory i ich zastosowanie

Wielkość fizyczna		Jednostka	Wzór	Obliczamy
nazwa	symbol			
droga	s	1 m, 1 km	$s = v \cdot t$	drogę przebytą przez ciało ruchem jednostajnym
			$s = \frac{a \cdot t^2}{2}$	drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym, gdy $v_0 = 0$
			$s = \frac{v \cdot t}{2}$	drogę w ruchu jednostajnie przyspieszonym, gdy $v_0 = 0$
			$s = \frac{v_0 \cdot t}{2}$	drogę w ruchu jednostajnie opóźnionym, gdy $v_k = 0$
wartość prędkości (szybkość)	v	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = \frac{s}{t}$	wartość prędkości (szybkość) ciała w ruchu jednostajnym (siła wypadkowa $F_{\text{wyp}} = 0$)
			$v = a \cdot t$	wartość prędkości w ruchu jednostajnie przyspieszonym, gdy $v_0 = 0$
			$v = g \cdot t$	wartość prędkości w spadku swobodnym z przyspieszeniem ziemskim g, gdy $v_0 = 0$
średnia wartość prędkości (szybkość średnia)	v_{sr}	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}}, 1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	$v = \frac{s_{\text{całkowita}}}{t_{\text{całkowity}}}$	średnią wartość prędkości (szybkość średnią) ciała w dowolnym ruchu
wartość przyspieszenia	a	$1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a = \frac{\Delta v}{t}$	wartość przyspieszenia w ruchu jednostajnie zmiennym
			$a = \frac{v - v_0}{t}$	wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie przyspieszonym ($F_{\text{wyp}} = \text{const}$, zwrot $\vec{F}_{\text{wyp}}$ zgodny ze zwrotem $\vec{v}$)
			$a = \frac{v_0 - v}{t}$	wartość przyspieszenia w ruchu prostoliniowym jednostajnie opóźnionym ($F_{\text{wyp}} = \text{const}$, zwrot $\vec{F}_{\text{wyp}}$ przeciwny do zwrotu $\vec{v}$)
			$a = \frac{F_{\text{w}}}{m}$	wartość przyspieszenia ciała o masie m, jeśli znamy wypadkową siłę działającą na ciało (z drugiej zasady dynamiki Newtona)
ciężar	F_c	1 N (niuton)	$F_c = m \cdot g$	wartość siły ciężkości działającej na ciało o masie m
praca	W	1 J (dżul)	$W = F \cdot s$	pracę, gdy siła o stałej wartości działa zgodnie z przemieszczeniem ciała; gdy siła jest prostopadła do kierunku przemieszczenia to $W = 0$
moc	P	1 W (wat)	$P = \frac{W}{t}$	średnią moc urządzenia
energia potencjalna	E_p	1 J	$E_p = m \cdot g \cdot h$	energię potencjalną ciała na wysokości h nad wybranym poziomem odniesienia
energia kinetyczna	E_k	1 J	$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$	energię kinetyczną ciała o masie m poruszającego się z prędkością o wartości v

Wielkość fizyczna		Jednostka	Wzór	Obliczamy
nazwa	symbol			
temperatura	T	1 K (kelwin)	$T = t + 273$	temperaturę w kelwinach, jeśli znamy temperaturę wyrażoną w stopniach Celsjusza ($^{\circ}\text{C}$)
temperatura	t	1°C	$t = T - 273$	temperaturę w stopniach Celsjusza, jeśli znamy temperaturę T wyrażoną w kelwinach
			$t = \frac{5}{9}(t_F - 32)$	temperaturę w stopniach Celsjusza, jeśli znamy temperaturę t_F wyrażoną w stopniach Fahrenheita ($^{\circ}\text{F}$)
energia wewnętrzna	E_w	1 J	$\Delta E_w = Q + W$	zmianę energii wewnętrznej ciała, któremu dostarczono ilość ciepła Q i nad którym wykonano pracę W
ciepło właściwe	c	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$	$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$	ilość ciepła (energii) potrzebną do zmiany temperatury ciała o masie 1 kg o 1 K (lub 1°C)
ciepło	Q	1 J	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$	ilość ciepła (energii) pobranego lub oddanego przez ciało o masie m , wykonanego z substancji o cieple właściwym c przy ogrzaniu lub ochłodzeniu go o $\Delta T = \Delta t$
ciepło topnienia	q_t	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$q_t = \frac{Q}{m}$	ilość ciepła (energii) potrzebnego do stopienia 1 kg substancji (bez zmiany temperatury)
ciepło krzepnięcia	q_k	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$q_k = \frac{Q}{m}$	ilość ciepła (energii) oddanego otoczeniu przez 1 kg krzepnącej cieczy bez zmiany temperatury
ciepło parowania	q_p	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$q_p = \frac{Q}{m}$	ilość ciepła (energii) potrzebnego, by wyparowało 1 kg cieczy (w stałej temperaturze)
ciepło skraplania	q_s	$1 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$	$q_s = \frac{Q}{m}$	ilość ciepła (energii) oddanego otoczeniu przez 1 kg skraplanej pary (w stałej temperaturze)
gęstość	d	$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	$d = \frac{m}{V}$	gęstość jednorodnego ciała o masie m i objętości V
ciśnienie	p	1 Pa (paskal) = $1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	$p = \frac{F}{S}$	ciśnienie wywierane na powierzchnię S , gdy działa na nią równomiernie siła nacisku o wartości F
ciśnienie hydrostatyczne	p	1 Pa	$p = d \cdot g \cdot h$	ciśnienie wywierane przez słup cieczy o wysokości h
ciśnienie atmosferyczne	p	1 Pa	$p = d \cdot g \cdot h$	ciśnienie wywierane przez słup powietrza atmosferycznego o wysokości h
siła wyporu	F	1 N	$F = d \cdot V \cdot g$	wartość siły wyporu działającej na ciało o objętości V zanurzone całkowicie w cieczy o gęstości d
napięcie	U	1 V (wolt)	$U = \frac{W}{q}$	napięcie między dwoma punktami pola elektrycznego, gdy znamy pracę wykonaną przy przemieszczeniu ładunku między tymi punktami
ładunek	q, Q	1 C (kulomb) = 1 As (amperosekunda), 1 C = $6,25 \cdot 10^{18}$ elektronów (ładunków elementarnych)	$q = I \cdot t$	ładunek przepływający w czasie t przez poprzeczny przekrój przewodnika

Wielkość fizyczna		Jednostka	Wzór	Obliczamy
nazwa	symbol			
natężenie	I	1 A (amper)	$I = \frac{q}{t}$	natężenie prądu stałego, gdy znamy ładunek q przepływający przez poprzeczny przekrój przewodnika w czasie t
opór elektryczny	R	1 Ω (om)	$R = \frac{U}{I}$	opór przewodnika, gdy znamy napięcie U między jego końcami i natężenie prądu I płynącego w tym przewodniku
praca prądu elektrycznego	W	1 J = 1 Ws (watosekunda), również często stosowana kilowatogodzina: 1 kWh = 3,6 MJ	$W = U \cdot I \cdot t$	pracę prądu elektrycznego wykonaną w czasie t ($U = \text{const}$, $I = \text{const}$)
moc prądu elektrycznego	P	1 W	$P = U \cdot I$	moc prądu ($U = \text{const}$, $I = \text{const}$)
okres	T	1 s	$T = \frac{1}{f}$	okres drgań, gdy znamy częstotliwość drgań
częstotliwość	f	1 Hz (herc)	$f = \frac{1}{T}$	częstotliwość drgań, gdy znamy okres drgań
długość fali	λ	1 m	$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}$	długość fali rozchodzącej się w ośrodku jednorodnym z szybkością v , gdy znamy okres T fali lub jej częstotliwość f
powiększenie	p	nie ma jednostki (wielkość bezwymiarowa)	$p = \frac{y}{x} = \frac{H}{h}$	powiększenie obrazu znajdującego się w odległości y od soczewki w stosunku do wielkości przedmiotu znajdującego się w odległości x od soczewki; dla $p > 1$ wysokość obrazu H jest większa od wysokości przedmiotu h , dla $p < 1$ – wysokość obrazu H jest mniejsza od wysokości przedmiotu h
zdolność skupiająca soczewki	Z	1 D (dioptria)	$Z = \frac{1}{f}$	zdolność skupiającą soczewki o ogniskowej f

Wielkości fizyczne podstawowe i ich jednostki

Wielkość fizyczna		Jednostka	
nazwa	symbol	nazwa	symbol
czas	t	sekunda	s
długość	l	metr	m
masa	m	kilogram	kg
natężenie prądu elektrycznego	I	amper	A
temperatura	T	kelwin	K

Indeks terminów

A		E		K	
akomodacja	243	echolokacja	91	kamerton	85
amper (1 A)	141	elektromagnes	183–185	kąt	
amperomierz	141–143, 153	elektron	100, 110–121	odbicia	214
amplituda		swobodny	111, 117, 121, 132, 133	padania	214, 226–228
drgań	60–70, 86, 87	elektroskop	101–102, 113–114, 120	załamania	226
fali	78, 80, 87, 89	elektryzowanie	100	kelwin (1 K)	25
atom	110	przez dotyk	102, 112	kierunek przepływu prądu	138
B		przez indukcję (wpływ)	116	kilowatogodzina (1kWh)	164
barwa dźwięku	86, 88	przez pocieranie	101, 111	konwekcja	34, 37
bel (B)	87	energia	22	kompas	172, 176
bezpiecznik	157	elektryczna	159, 160, 163	komutator	192, 193
biegun magnetyczny (N, S)	172, 173, 184	wewnętrzna	27, 30–33, 46, 52	konstrukcja obrazów	217, 223, 244
C		F		krótkowzroczność	244
cień	209–212	fala		kulomb (1 C)	110, 142
ciepły przepływ energii	30–32	akustyczna	75, 83, 89	L	
ciepło	31, 34–35	dźwiękowa	83	linie pola	
krzepnięcia	47, 52	elektromagnetyczna	196–198	elektrostatycznego	124–126
parowania	49–52	mechaniczna	75–78, 81	magnetycznego	175, 180, 181
skraplania	50–52	podłużna	77, 78, 84, 90	luminescencja	205
topnienia	46–48, 52	poprzeczna	76, 77, 197	lupa	244
właściwe	38–45	radiowa	197	Ł	
ciśnienie	32, 49	ferromagnetyki	176	ładunek elektryczny	101, 103, 113, 120–126, 132, 140, 154
częstotliwość drgań	60, 61, 66, 69, 73	fon	87	dodatni	110, 111, 124
częstotliwość drgań swobodnych	66	G		elementarny	110
częstotliwość fali	78, 80, 83–104	głośność dźwięku	86, 87	próbny	124
czoło fali	82, 75	H		ujemny	110, 113
D		hałas	93	M	
dalekowzroczność	244	herc (1 Hz)	60	magnes	172–177
decybel (dB)	87	I		trwały	172
dioptria	236	igła magnetyczna	176, 177, 179, 180, 187	maszyna elektrostatyczna	123, 125
dipol elektryczny	117, 118	impuls falowy	75	mikrofale	197
długość fali	79, 80, 85	indukcja elektrostatyczna	119, 121	miraż	233
domeny magnetyczne	176	infradźwięki	85	moc	22
domowa instalacja elektryczna	156	instrumenty muzyczne	84	prądu elektrycznego	162, 163
doświadczenie Oersteda	179	izochronizm wahadła	71	N	
drgania	58–78	izolator	111, 114	namagnesowanie	176
swobodne	60, 63, 66	J		napięcie elektryczne	134–136, 139, 145
wymuszone	73	jon		natężenie	
dźwięk	83–93	dodatni	111, 132, 133	dźwięku	87
dżul (1 J)	27	ujemny	111, 133	prądu	140–146, 149, 154
				neutron	110
				normalna	226, 213–214

O			T		
obraz			temperatura		24, 25
pozorny	217, 223–245		topnienia		25, 46, 47
rzeczywisty	223, 240–244		zera bezwzględnego		25
prosty	222–224, 238–244		(absolutnego)		231, 233
obwód elektryczny	137, 140, 154		tęcza		88
odbicie			ton		
fali	81		U		
światła	213–215		ultradźwięki		85
oddziaływanie			uziemiaenie		113, 120
elektrostatyczne	103, 105, 117		W		
magnetyczne	174, 187, 189		wahadło matematyczne		66
ognisko	220, 223, 224, 236, 240–247		sprężynowe		62
pozorne	220, 224, 237		Foucaulta		72
ogniskowa	220, 236–238, 240–243		wat (1 W)		162
okres			widmo		
drgań	60, 61, 64, 68–72, 74		fal elektromagnetycznych	197, 204	
fali	78, 80		światła białego	204, 233	
om (Ω)	147		wirnik		193
opór elektryczny	145–146, 150, 156		wolt (1 V)		135
właściwy	148, 149		woltomierz	136, 137, 145,	
oscyllogram	85, 88		wrzenie		49, 52
oś (główna) optyczna	235, 237, 241		wysokość dźwięku		86, 88, 89
ośrodek optyczny	207		Z		
jednorodny	207		zjawisko załamania		
niejednorodny	207		światła	225–227, 233, 234	
P			zaćmienie		
polaryzacja elektryczna	119		Księżyca		210
pole elektrostatyczne	123–126		Słońca		211
centralne	124		zasada		
jednorodne	125		pierwsza termodynamiki	31–32	
pole magnetyczne	175, 176		zachowania energii	43, 44	
magnetyczne przewodnika	179–181		zachowania ładunku		
– ziemskie	177		elektrycznego	120, 122	
połączenie			zdolność skupiająca	236	
równoległe	154		zwarcie	156, 157	
szeregowe	154		zwierciadło		
położenie równowagi	58–60, 62–65, 67		płaskie	217–218	
powiększenie	222, 224, 239, 245		wklęsłe	219–223	
powłoka elektronowa	110		wypukłe	219–221, 224	
poziom natężenia dźwięku	87		zwojnica	183–186, 191, 193	
półcień	209–211		Ż		
praca	27, 31		źródło		
prądu elektrycznego	159, 160		dźwięku	84, 88, 93	
prawo			fali	78, 79, 84	
Coulomba	107, 108		fali elektromagnetycznej	196, 197	
odbicia światła	214–215		napięcia elektrycznego	135, 140, 155	
Ohma	146		punktowe światła	210	
załamania światła	226		światła	204–206	
prąd elektryczny		132, 133			
przemienny		195			
stały		189			
prądnica		195			
prędkość					
dźwięku		89			
fali		78, 80			
światła		206			
promieniowanie		36–37			
gamma		197			
podczerwone		197			
rentgenowski		197			
ultrafioletowe (nadfioletowe)		197			
promień świetlny		207			
proton		110			
przewodnictwo cieplne		33–34, 37			
przewodnik(i)		111, 114, 132, 137			
przewodnik kołowy		181			
próg słyszalności		93			
pryzmat		230, 235			
R					
reguła					
lewej dłoni		188			
prawej dłoni		181, 184			
rezonans mechaniczny		73			
rozproszenie światła		214			
rozzszczepienie światła		230			
ruch drgający		58			
S					
silnik		193			
siła		15			
elektrodynamiczna	187, 188, 191, 192				
elektryczna		104			
magnetyczna		179, 187			
skala					
Celsjusza		25			
Fahrenheita		25			
Kelvina		25			
soczewka		235–245			
wklęsła		235, 237, 239, 242			
wypukła	235, 236, 238, 240, 241				
stojan		193			
szereg tryboelektryczny		101			
Ś					
światło widzialne		204			

Spis tabel

Tabela 1. Ciepło właściwe różnych substancji	40
Tabela 2. Temperatuty topnienia i ciepło topnienia substancji	47
Tabela 3. Temperatura wrzenia i ciepło parowania w temperaturze wrzenia wybranych substancji (pod normalnym ciśnieniem)	51
Tabela 4. Cechy dźwięków i odpowiadające im wielkości mierzalne	88
Tabela 5. Wartość prędkości dźwięku w wybranych ośrodkach	89
Tabela 6. Cechy dźwięków i odpowiadające im wielkości mierzalne (Podsumowanie działu 2)	97
Tabela 7. Składniki atomu	110
Tabela 8. Przykładowe wartości natężenia prądu	141
Tabela 9. Wartości oporów właściwych wybranych substancji	149
Tabela 10. Opory elektryczne niektórych odbiorników	150
Tabela 11. Wartości mocy przykładowych odbiorników	164

Odpowiedzi do zadań

1. Zjawiska cieplne

1.1 Energia wewnętrzna i temperatura

1. a) 310 K b) 373 K c) 273 K d) 200 K
2. a) 0°C b) -173°C c) -250°C d) 120°C

1.4 Ciepło właściwe

1. a) $419 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ b) $21\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
c) $650 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ d) $25\,000 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

1.5 Przemiany energii w procesach topnienia i parowania

3. 3 009 000 J (3 MJ)

Podsumowanie działu 1

9. B. 4200 J 13. 50°C

2. Drgania i fale mechaniczne

2.1 Ruch drgający

4. $T = 2,5 \text{ s}$, $f = 0,4 \text{ Hz}$

2.2 Wahadło matematyczne

1. a) 3 cm b) 1 s c) 1 Hz d) 0; 0,5; 1; 1,5
e) 0,25 s; 0,75 s f) t – jeden okres; t_2 – dwa okresy

2.3 Fale mechaniczne

2. $\lambda = 1 \text{ m}$, $T = \frac{1}{4} \text{ s}$ 3. $T = \frac{1}{2} \text{ s}$, $f = 2 \text{ Hz}$ 4. $v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

2.4 Dźwięki

2. $T = 2,5 \text{ ms}$; $f = 400 \text{ Hz}$ 3. 2, 3, 4, 5

Podsumowanie działu 2

3. 1) B 2) B 3) C 4. a) 0,5 s b) 1 s c) 1 s d) 0,5 s 5. D

4. Prąd elektryczny

4.3 Natężenie prądu

1. $I = 0,2 \text{ A}$

4.4 Opór elektryczny. Prawo Ohma

3. ||; I – 4Ω , II – 8Ω ; $\frac{R_1}{R_2} = 2$

4. 6 V

4.7 Moc prądu elektrycznego

2. $P = 125 \text{ W}$, $I = 0,52 \text{ A}$
3. $R = 885 \Omega$; $I = 0,26 \text{ A}$

Podsumowanie działu 4

4. A

11. $W = 3\,808\,800 \text{ J}$

12. $R = 115 \Omega$, $P = 460 \text{ W}$

13. $R = 56 \Omega$

14. D 15. B, E

6. Optyka

6.3 Odbicie i rozproszenie światła

2. a) 45° b) 30° c) 10° d) 50° e) 60° f) 30°

6.10 Rodzaje i własności soczewek

2. 0,5 m = 50 cm

6.12 Konstrukcyjne wyznaczanie obrazów otrzymywanych w soczewkach

2. $h = 10 \text{ cm}$, $x = 30 \text{ cm}$, $f = 20 \text{ cm}$, obraz – rzeczywisty, odwrócony, powiększony

Podsumowanie działu 6

4. C 16. E

Archiwum wydawnictwa MAC / GE S. A.: termoskop, s. 27; BE&W: HERITAGEIMAGES (Alessandro Volta, s. 135); Alamy (André Marie Ampère, s. 141); Alamy (Georg Simon Ohm, s. 150) Alamy (soczewka Fresnela, s. 242); **Shutterstock:** My Good Images (dziewczyna nad jeziorem, s. 6); Ric Jacyno (domek górski, s. 6); Anastasia Petrova (stragan z oscypkami, s. 6); Dragance137 (linijka, s. 9); Rose Carson (klocek, s. 9); Radomir Rezny (kolejka górską, s. 11); Racheal Grazias (park rozrywki, s. 11); Preisler (zjeżdżalnia wodna, s. 11); Jarun Tedjaem (spadochroniarz, s. 15); lunamarina (walizka, s. 15); Burakova_Yulia (jabłko, s. 15); Matt Ragen (obóz harcerski, s. 16); FashionStock.com (ognisko, s. 16); zhukovvvlad (harcerskie aktywności, s. 16); atm2003 (dom z panelami słonecznymi, s. 21); Kateryna Mostova (wiatrak i turbina, s. 21); photomaster (garnek z podskakującą od pary pokrywką, s. 24); Lukas Pobuda (uderzanie młotem w metal, s. 24); Michael Rolands (kolba z wrzącą wodą, s. 28); Belish (Wielki Zderzac Hadronów w CERN-ie, s. 29); Allexxandar (wybuch Supernowej, s. 29); Iggy Nyx (wnętrze Słońca, s. 29); muratart (błyskawica, s. 29); Roman Vanur (fotosfera, s. 29); Budkov Denis (lawo wulkaniczna, s. 29); Africa Studio (wrząca woda, s. 29); freedom100m (Sahara, s. 29); TPROduction (kobieta z termometrem, s. 29); Valentyn Volkov (kostki lodu, s. 29); Ion Mes (lądolód, s. 29); D-VISIONS (LHC w CERN-ie, s. 29); Manuel Brea Colmeiro (próżnia kosmiczna, s. 29); (kucie metalu, s. 31); Chalerm Sak (ucieranie kremu, s. 31); Graeme Dawes (parowóz, s. 32); Lesterman (stygńska zupa, s. 32); Peter Horrox (gotowanie warzyw, s. 32); Chubarova Iryna (motocyklista, s. 32); Adam Gilchrist (szklanka z wodą i lodem, s. 35); Mariia Kamenska (widok na morze, s. 43); Ivan Smuk (zdjęcie z kamery termowizyjnej, s. 45); artjazz (kostki lodu, s. 47); kubais (woda, s. 47, 48); WakoPako (para wodna, s. 48); Kerem Gogus (wahadło w zegarze wahadłowym, s. 58); SAPHOTOG (boja na wodzie, s. 58); FamVeld (dziecko na huśtawce, s. 58); tommaso lizzul (granie na gitarze, s. 58); Soloviova Liudmyla (dziewczynka na huśtawce, s. 66); Celiafoto (efekt stroboskopowy, s. 69); Ella Hanochi (wahadło Foucaulta, s. 72); Real Window Creative (Tacoma Narrows Bridge, s. 74); Claudia Knopf (fala na wodzie, s. 75); daykung (fala na stadionie, s. 78); Smileus (gra na gitarze, s. 86); charu33 (kamerton, s. 86); Andrei_Diachenko (oscyllogram dźwięku na ekranie laptopa, s. 89); Jan Martin Will (drzewo, s. 93); Robyn Mackenzie (zegarek, s. 93); Vishnevskiy Vasily (ptak, s. 93); F8 studio (śpiewający człowiek, s. 93); V_E (samochód ciężarowy, s. 93); ssuaphotos (samolot, s. 93); M.Aurelius (start rakiety, s. 93); fizkes (słuchanie muzyki przez słuchawki, s. 94); Eliz A (głaskanie kota, s. 101); John D Sirlin (piorun, s. 116); TaurusY (metalowe rury, s. 128); Bruno Rodrigues B Silva (grafit, s. 128); Alexeysun (łyżka soli i szklanka wody, s. 128); Serena Apostol (zjonizowane gazy, s. 128); Jari Hindstroem (plastikowe rury, s. 128); sichkarenko.com (szkło, s. 128); Billion Photos (gazety, s. 128); Kelly Whalley (porcelana, s. 128); Gary Saxe (zapora na rzece, s. 134); Yes058 (woltomierz analogowy, s. 135); Andrei Nekrassov (woltomierz uczniowski, s. 135); stockphoto-graf (woltomierz elektroniczny, s. 135); J J Osuna Caballero (stos Volty, s. 135); Hamersmit Photography (dynamo rowerowe, s. 136); Soonthorn Wongsaita (ogniwa słoneczne, s. 136); igra.design (zasilacz, s. 139); Venn-Photo (amperomierz pokazowy, s. 141); Andrei Nekrassov (amperomierz szkolny, s. 141); Volodymyr Krasnyuk (amperomierz elektroniczny, s. 141); SARIN KUNTHONG (ptaki na przewodach wysokiego napięcia, s. 145); matej_z (opornik o stałym oporze, s. 148); Andrei Nekrassov (opornik suwakowy, s. 148); matej_z (oporniki, s. 149); Innershadows Photography (naprawa brytyjskiego gniazda elektrycznego, s. 157); Sanit Fuangnakhon (dotykanie mokrą ręką włącznika światła, s. 157); rodimov (zepsute gniazdo elektryczne, s. 157); Oleg Shvetsov (popsute urządzenie, s. 157); Africa Studio (choinka z lampkami, s. 158); New Africa (urządzenia gospodarstwa domowego, s. 159); Pushish Images (żarówka, s. 162); Steve Collender (lampa biurkowa, s. 164); CHALERMPHON SRISANG (licznik energii elektrycznej, s. 164); Yeti studio (baterie, s. 166); Jr images (akumulator, s. 166); Malll Themd (bateria Li-Po, s. 166); Nunik5 (grzejnik, s. 168); PH888 (zapalona żarówka, s. 168); Ilona Titova (blendowanie składników, s. 168); Room98 (ładowanie samochodu, s. 168); worradirek (żuraw magnesy, s. 168); New Africa (magnesy na lodówce, s. 172); Garsya (kompas, s. 172); mangax (magnes podkowiasty i magnes sztabkowy, s. 172); Pesique (magnes pierścieniowy, s. 172); 3d brained (kompas, s. 176); Simon's passion 4 Travel (zorza polarna, s. 177); Andrea Paggiaro (starożytny kompas, s. 178); anaken2012 (zegarek survivalowy, s. 179); Yes058 Montree Nanta (miernik elektryczny, s. 191); kvsan (silnik elektryczny, s. 191); ra3rn (woltomierz, s. 191); Mylimages – Micha (amperomierz, s. 191); Yes058 Montree Nanta (galwanomierz, s. 191); Anton Romanov (trakcja elektryczna, s. 193); Aleksandar Tasevski (system klimatyzacji, s. 193); Kim Christensen (igły magnetyczne wokół przewodnika z prądem, s. 199); Richard A McMillin (meduza, s. 205); djgis (zachód słońca, s. 205); Chones (żarówka, s. 205); NewFabrika (świeca, s. 205); Fer Gregory (lampa naftowa, s. 205); Mike_shots (promienie lasera, s. 205); slhy (wschód słońca, s. 206); Bessaliy (oświetlenie ogrodu, s. 206); Andrea Rene (zachód słońca nad rzeką, s. 206); Klagyivik Viktor (pełnia księżyca, s. 206); Ryan M. Bolton (świecące grzyby, s. 206); IdeallYours (zachodzące słońce odbijające się od powierzchni wody, s. 206); Denis Belitsky (rozchodzenie się światła, s. 207); oatawa (cień dłoni na ścianie, s. 209); Gabor Tinz (całkowite zaćmienie Słońca, s. 211); Shairaa (krajobraz odbity w tafli wody, s. 213); SergeBertasiu Photography (odbicie w witrynie sklepowej, s. 213); kudrashka-a (kalejdoskop, s. 215); Sari ONeal (odbicie w lustrze, s. 218); Bencemor (lusterko dentystyczne, s. 220); Aizzul A Majid (lustro drogowe, s. 221); Sandra Schramm (łyżeczka w szklance z wodą, s. 226); James Kirkikis (złudzenie optyczne, s. 228); asharkyu (światłowód, s. 229); Kostenko Maxim (pryzmat rozszczepiający światło, s. 230); caimacanul (mieszanie barw RGB, s. 231); nurlankarimov99 (mieszanie barw CMYK, s. 232); simoncritchell (miraż, s. 234); weerapong worranam (zjawisko halo, s. 234); Yahdi Bin Rus (kryształowa kula, s. 240); Andrey Burmakina (luneta, s. 245); **Tomasz Suszczyński:** (książka, s. 15; dwie strzykawki, s. 16; szklanki z herbatą, s. 24); **Wikipedia:** Blaise Frazier aka PiccoloNamek (plazma, s. 29); Dave Pape (Antarktyda, s. 29); David Monniaux (ciekły azot, s. 29); U.S. Air Force photo/Staff Sgt. Jim Araos (skroplone powietrze, s. 29); AlfredLeitner (ciekły hel, s. 29); Château de Versailles (Charles Augustin de Coulomb, s. 108); Anton Watman (klosz, s. 109); Fergus (James Clerk Maxwell, s. 198); **Grzegorz Wrzecionowski:** (ścieranie gumką rysunku, s. 26; uderzanie młotkiem o blachę, s. 26; wyginanie drutu, s. 26; dwie łyżki w szklance, s. 30; zjawisko konwekcji – spirala i świeczka, s. 34; zjawisko konwekcji w cieczach (zlewki z cieczami, palniki), s. 35; ogrzewanie próbki z kawałkiem lodu, s. 35; pobieranie ciepła przez ciało (zlewka z wodą i termometrem, palnik), s. 38; zlewka z wodą, s. 39; aluminiowy sześciąt, s. 39; termos, s. 39; kalorymetr, s. 43; zlewka z lodem i termometrem, s. 46; zlewka z masłem i termometrem w naczyniu z gorącą wodą, s. 46; strzykawka z wodą, s. 49; model wahadła Foucaulta, s. 72; miednica z wodą, s. 75; balon i skrawki papieru, s. 100; elektroskop, s. 101; elektroskopy i pałeczki ebonitowe, s. 102, 120; elektroskopy i pałeczki szklane, s. 102; statywy z nienaelektryzowanymi pałeczkami, s. 104; statywy z zawieszonymi na nitce kulkami z folii aluminiowej, s. 106; pocierany balon, s. 112; elektroskop przed dotknięciem i po dotknięciu laską ebonitową, s. 113; elektroskop przed dotknięciem i po dotknięciu laską szklaną, s. 113; elektroskop dotykany metalową pałeczką, s. 114; statyw z zawieszoną na nitce kulą, pałeczka szklana, s. 116; strumień wody i balon, s. 118; rozdział ładunków w elektroskopie pod wpływem ciał naelektryzowanych dodatnio i ujemnie, s. 119; elektroskopy połączone metalowym łącznikiem z izolatorem, pałeczki ebonitowe, s. 122; maszyna elektrostatyczna, s. 123; woltomierz połączony z baterią, s. 136; obwód elektryczny, s. 137, 145; obwód elektryczny z woltomierzem, s. 137; obwody elektryczne z amperomierzami, s. 142; żarówka, s. 152, 153; silniczek, s. 152; zjawisko elektrolizy w roztworze siarczanu(VI) miedzi(II), s. 152; obwód elektryczny z igłą magnetyczną, s. 152; przewodnik, s. 153; silniczek, s. 153; wyłącznik, s. 153; bateria, s. 153; opornik suwakowy, s. 153; zwojnica, s. 153; amperomierz, s. 153; woltomierz, s. 153; połączenia szeregowo i równoległe odbiorników, s. 154; trzy żarówki połączone równoległe, s. 158; połączenie szeregowo z woltomierzem, s. 158; trzy amperomierze połączone z dwoma żarówkami i baterią, s. 158; płyta indukcyjna z garczkami, s. 162; statywy z zawieszonymi na nitce i strzemiączku magnesami sztabkowymi, s. 173; oddziaływanie magnesów z innymi ciałami, s. 174; badanie pola magnetycznego wokół magnesów, s. 175; igła magnetyczna, s. 176; oddziaływanie przewodnika z prądem na igłę magnetyczną, s. 179; zwojnica i bateria, s. 183; oddziaływanie pola magnetycznego na przewodnik z prądem, s. 187; oddziaływanie dwóch przewodników z prądem, s. 189; szkolny model silnika, s. 193; cienie przedmiotów, s. 209; tarcza Kolbego, s. 213; obraz płonącej świeczki w wypukłej stronie łyżki, s. 222; obraz świeczki we wklęsłej stronie łyżki, s. 225; krążek Newtona, s. 231; przejście promieni lasera przez soczewkę dwuwypukłą, s. 235).



Grupa MAC S.A.
ul. Witosa 76
25-561 Kielce

www.mac.pl

ISBN 978-83-8227-129-4



9 788382 271294

indeks 881414