8

Marcin Braun
Weronika Śliwa

To jest fizyka

PODRĘCZNIK DO FIZYKI DLA KLASY ÓSMEJ
SZKOŁY PODSTAWOWEJ

OZNACZENIA W E-PODRĘCZNIKU

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

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

Tak zaznaczono treści, o których realizacji decyduje nauczyciel.

nowa era
Twoje mocne strony

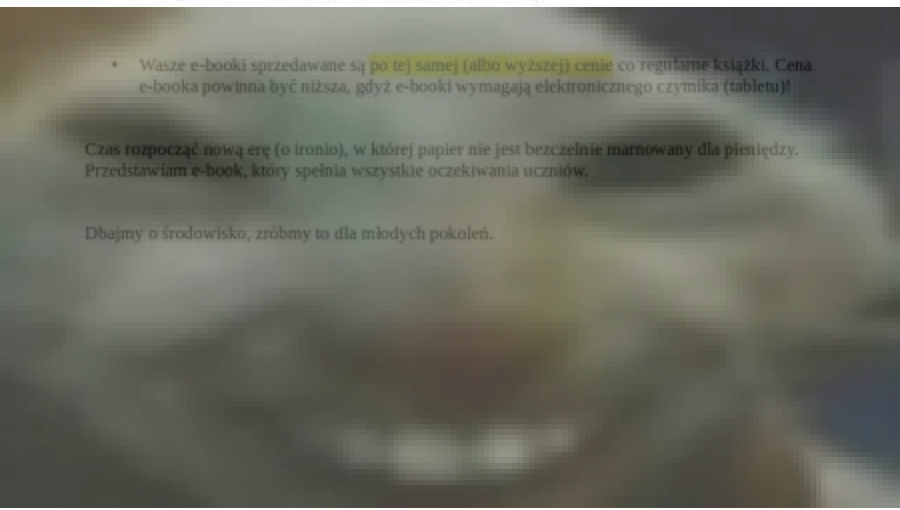
Droga Nowa Ero,

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

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

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

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



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

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

Dbajmy o środowisko, zróbmy to dla młodych pokoleń.

SPIS TREŚCI

Struktura podręcznika 5
Jak korzystać z podręcznika 6
To było w klasie 7 7

I. ELEKTROSTATYKA I PRĄD ELEKTRYCZNY

Temat 1. Elektryzowanie ciał 16
Temat 2. Ładunki elektryczne 20
Temat 3. Indukcja elektrostatyczna 25
Temat 4. Obwód prądu elektrycznego 29
Temat 5. Prąd elektryczny w cieczach 35
Temat 6. Prąd elektryczny w gazach 39
Temat 7. Napięcie elektryczne i natężenie prądu elektrycznego 44
Infografika. Napięcie i natężenie wokół nas 47
Temat 8. Praca i moc prądu elektrycznego 49
Infografika. Moce elektryczne duże i małe 50
Temat 9. Pomiar napięcia i natężenia. Wyznaczanie mocy 54
Temat 10. Przykłady obwodów elektrycznych 58
Powtórzenie 63
Analiza tekstu Żywe paralizatory 68
Praca badawcza Zegarek na owoce 70

II. ELEKTRYCZNOŚĆ I MAGNETYZM

Temat 11. Opór elektryczny 72
Temat 12. Wyznaczanie oporu elektrycznego 77
Temat 13. Domowa sieć elektryczna 81
Temat 14. Ochrona sieci elektrycznej 85
Temat 15. Magnesy 88
Temat 16. Prąd elektryczny i magnetyzm 93
Temat 17. Silnik elektryczny 97
Powtórzenie 100
Analiza tekstu Wędrujące bieguny 104
Praca badawcza Cichy napęd łodzi podwodnej 106

III. DRGANIA I FALE

Temat 18. Ruch drgający 108
Temat 19. Wykresy ruchu drgającego 113
Temat 20. Przemiany energii w ruchu drgającym 117
Temat 21. Fale 122
Temat 22. Dźwięk 127
Temat 23. Wysokość dźwięku 131
Infografika. Instrumenty muzyczne 134
Temat 24. Fale elektromagnetyczne 138
Infografika. Widmo fal elektromagnetycznych 140

Temat 25. Energia fal elektromagnetycznych 143
Infografika. Efekt cieplarniany 145
Temat dodatkowy. Dyfrakcja i interferencja fal 147
Temat dodatkowy. Rezonans 152
Powtórzenie 155
Analiza tekstu Mowa oceanu 160
Praca badawcza Analiza widma dźwięku 162

IV. OPTYKA

Temat 26. Światło i cień 164
Temat 27. Widzimy dzięki światłu 169
Infografika. Kamera obskura 170
Temat 28. Załamanie światła 174
Temat 29. Soczewki 178
Temat 30. Obrazy tworzone przez soczewkę skupiającą 182
Temat 31. Konstruowanie obrazów tworzonych przez soczewkę skupiającą 186
Temat 32. Obrazy tworzone przez soczewkę rozpraszającą 189
Temat 33. Oko i aparat fotograficzny 192
Infografika. Jak zwierzęta tworzą ostry obraz 194
Temat 34. Zwierciadła płaskie 199
Temat 35. Zwierciadła wklęsłe 204
Infografika. Zastosowania zwierciadeł wklęsłych 206
Temat 36. Zwierciadła wypukłe 211
Temat dodatkowy. Luneta i mikroskop 215
Temat 37. Barwy 218
Temat dodatkowy. Składanie barw 222
Powtórzenie 226
Analiza tekstu Harry Potter i tajemnice metamateriałów 231
Praca badawcza Budujemy własny mikroskop 234

V. FIZYKA I MY

Temat dodatkowy. Gotujemy obiad 236
Temat dodatkowy. Czas na deser 239
Temat dodatkowy. U lekarza 242
Temat dodatkowy. Sport 246
Temat dodatkowy. Słuchamy muzyki 249
Temat dodatkowy. Oglądamy film 253
Infografika. Polaryzacja światła 256
Praca badawcza Głośnik 260

Wykresy i tablice 261
Praktyczne wskazówki dotyczące budowania obwodów elektrycznych 264
Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań 266
Indeks 269

Struktura podręcznika



W tej części podręcznika znajduje się powtórzenie najważniejszych wiadomości z klasy siódmej.

1



W tym rozdziale omawiamy zagadnienia związane z elektryzowaniem ciał i prądem elektrycznym:

- elektryzowanie ciał, ładunki i siły elektryczne,
- prąd elektryczny i obwody elektryczne,
- napięcie i natężenie prądu elektrycznego,
- pracę i moc prądu elektrycznego.

2



W tym rozdziale omawiamy kolejne zagadnienia związane z prądem elektrycznym oraz zjawiska magnetyczne:

- opór elektryczny,
- domową sieć elektryczną,
- magnesy,
- związek między elektrycznością i magnetyzmem.

3



W tym rozdziale omawiamy zagadnienia związane z ruchem drgającym i różnymi rodzajami fal:

- drgania i ich opis,
- fale na wodzie,
- dźwięk,
- rodzaje i właściwości fal elektromagnetycznych.

4



Jest to ostatni dział programu nauczania fizyki. Obejmuje zagadnienia związane ze światłem:

- rozchodzenie się światła, powstawanie cienia i półcienia,
- odbicie i załamanie światła,
- działanie zwierciadeł i soczewek, powstawanie obrazów,
- proces widzenia, wady wzroku i ich korygowanie,
- barwy i widzenie barwne.

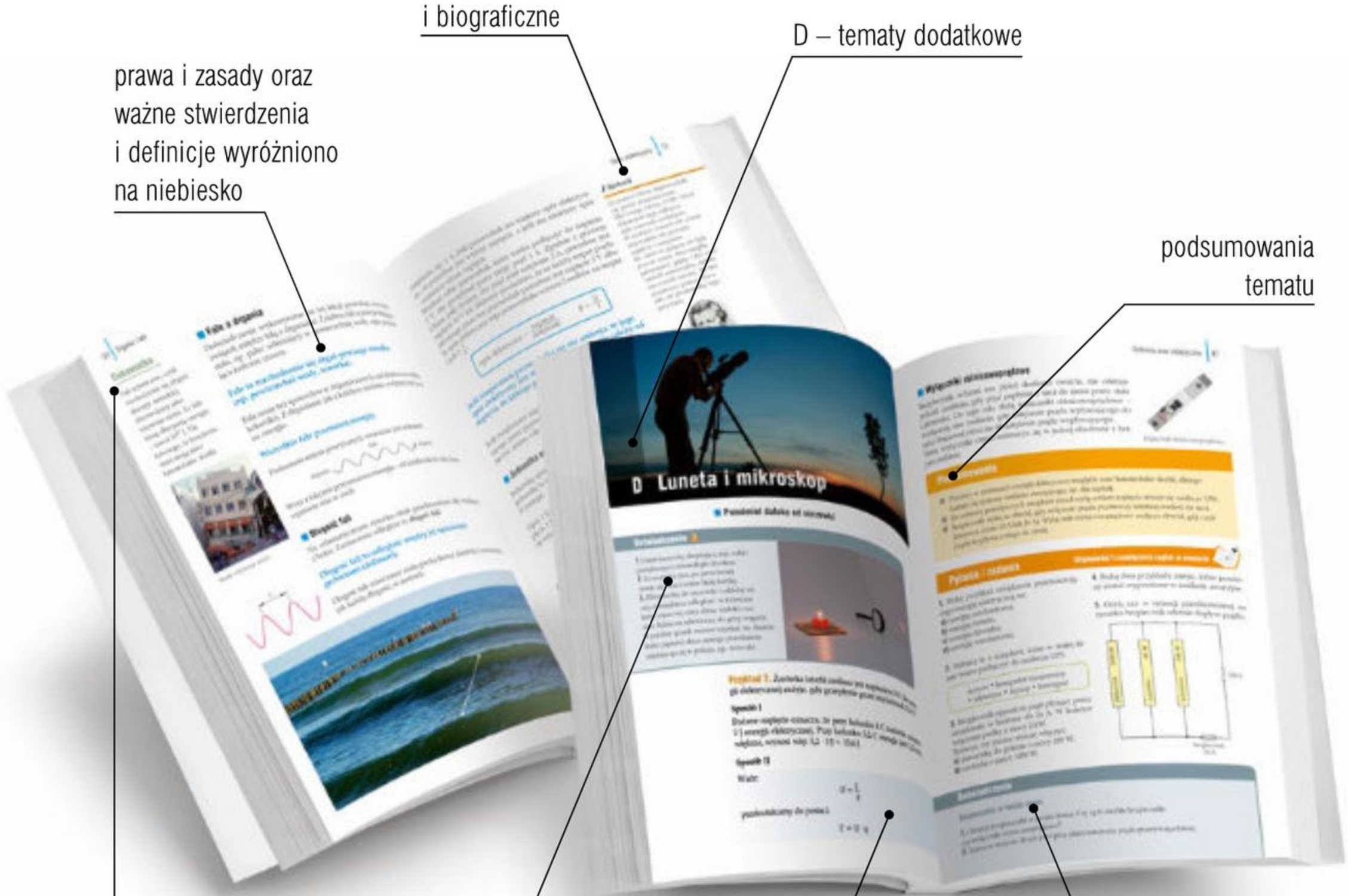
5



W tym rozdziale zawarto wyłącznie tematy dodatkowe przeznaczone do realizacji pod koniec roku.
Są one niezależne od siebie i można wybrać dowolne z nich.

Jak korzystać z podręcznika

Zapamiętaj! Nie wolno pisać po podręczniku.
Za rok przekażesz go młodszym koleżankom i kolegom.



doświadczenia obowiązkowe zapisane w podstawie programowej

materiał trudny lub nadobowiązkowy

doświadczenia do samodzielnego wykonania

Oznaczenia zadań

- trudne zadania
- bardzo trudne zadania
- żartobliwie sformułowane zadania (ale poza tym zupełnie poważne!)

Ruch ciał



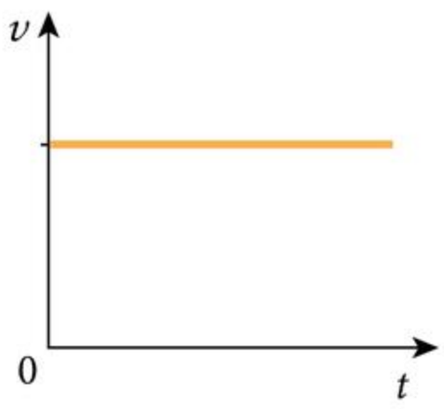
- W szkole podstawowej badamy tylko ruch prostoliniowy, czyli ruch po linii prostej.
- Ruch ciała będziemy opisywać za pomocą następujących pojęć: **tor**, **droga**, **prędkość** i **przyspieszenie**.
- **Drogę** mierzymy wzdłuż **toru**, czyli linii, po której porusza się ciało.

Ruch jednostajny

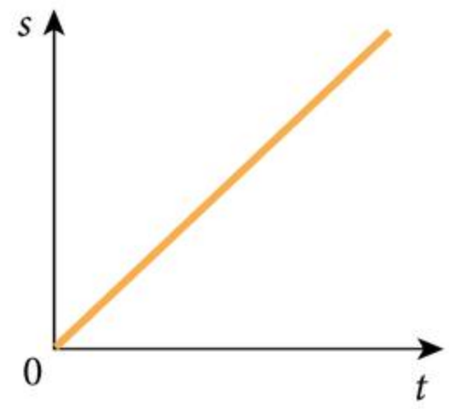
- W ruchu jednostajnym prostoliniowym **prędkość** ciała się **nie zmienia**. Jej wartość możemy obliczyć, dzieląc drogę przez czas, w którym została ona przebyta.

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

- Podstawową jednostką prędkości jest metr na sekundę, $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Gdy prędkość w danym ruchu się zmienia, z powyższego wzoru możemy obliczyć **prędkość średnią**.



Wykres zależności prędkości od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.



Wykres zależności drogi od czasu dla ruchu jednostajnego prostoliniowego.



Pociągi często pokonują długie odcinki drogi ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Ruch jednostajnie przyspieszony i jednostajnie opóźniony

- **Przyspieszenie** to wielkość określająca, o ile zwiększa się prędkość ciała w ciągu sekundy.

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

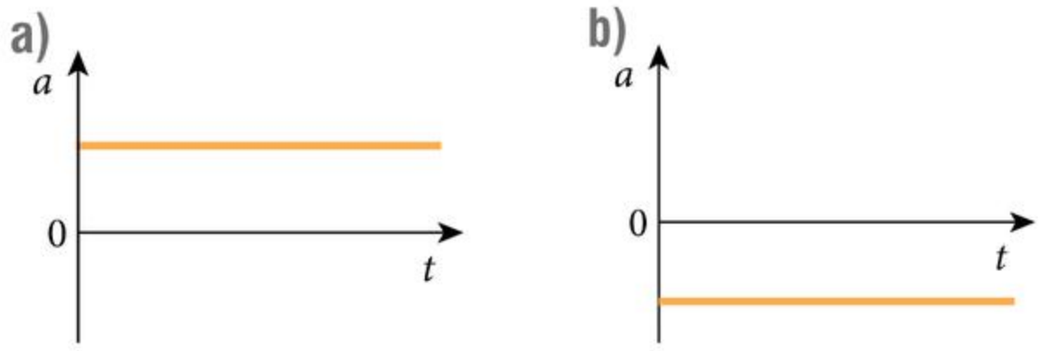
Oznaczenia: v_p – prędkość początkowa, v_k – prędkość końcowa.

- Jednostką przyspieszenia jest $\frac{\frac{m}{s}}{s}$, zapisywany w skrócie $\frac{m}{s^2}$.

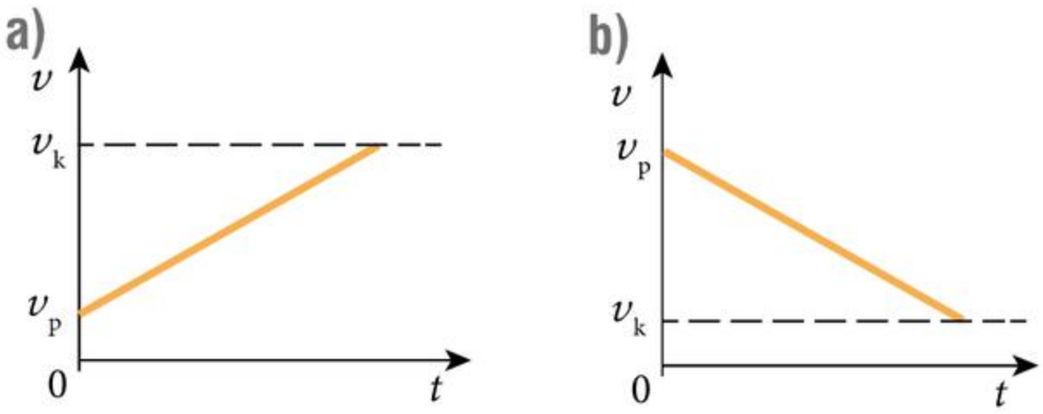
- Jeżeli prędkość ciała się zmniejsza, jego przyspieszenie jest ujemne. Wówczas ruch nazywamy **opóźnionym**.

- Przyspieszenie $5\ \frac{m}{s^2}$ oznacza, że w ciągu każdej sekundy ciało zwiększa prędkość o $5\ \frac{m}{s}$, a przyspieszenie $-5\ \frac{m}{s^2}$ – że ciało zmniejsza prędkość o $5\ \frac{m}{s}$ w ciągu 1 s.

- Wykresy zależności **przyspieszenia od czasu** dla ruchu jednostajnie przyspieszonego (rys. a) i jednostajnie opóźnionego (rys. b).



- Wykresy zależności **prędkości od czasu** dla ruchu jednostajnie przyspieszonego (rys. a) i jednostajnie opóźnionego (rys. b).



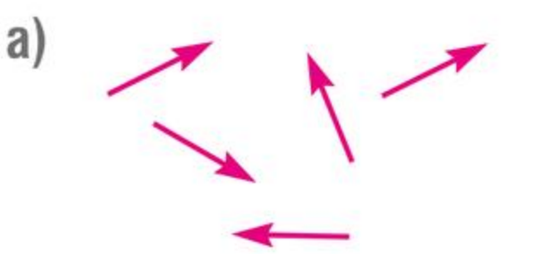
Siła

- Siła jest wielkością opisującą działanie jednego ciała na inne.

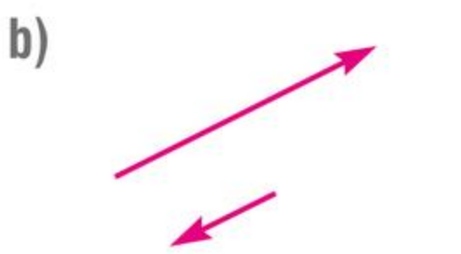
- Siła jest wielkością wektorową – ma nie tylko **wartość**, lecz także **kierunek** i **zwrot** oraz **punkt przyłożenia**.

- Znaczenie pojęć wartości, kierunku oraz zwrotu wektora przestawiają rysunki a)–d).

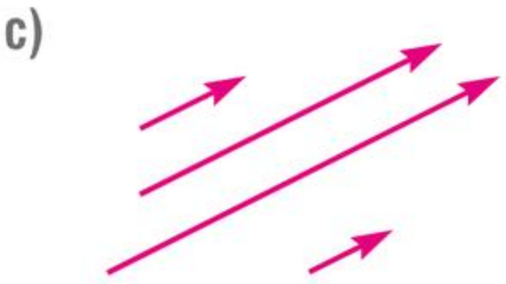
- Jednostką siły jest **niuton**, $1\,N = 1\,kg \cdot 1\,\frac{m}{s^2}$.



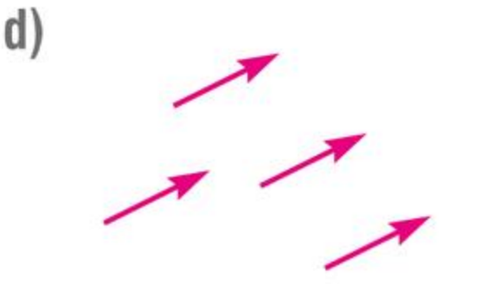
Wektory o jednakowej wartości przedstawiamy jako strzałki jednakowej długości.



Wektory o jednakowym kierunku (kierunkach równoległych) i przeciwnych zwrotach.



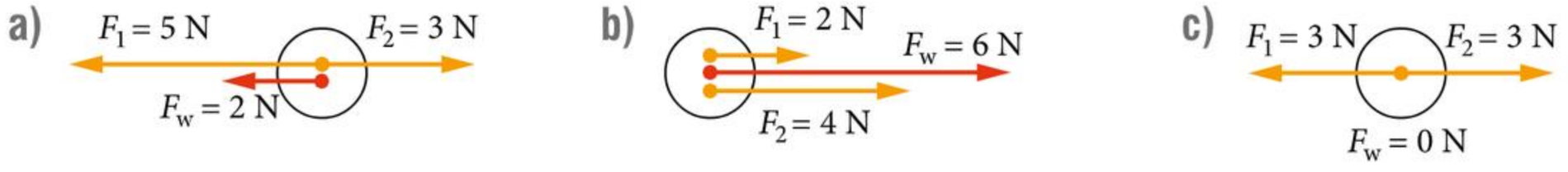
Wektory o jednakowym kierunku i zwrocie, ale różnych wartościach.



Wektory o jednakowym kierunku, zwrocie i wartości.

Siła wypadkowa, siły równoważące się

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



- Siły się **równoważą**, jeśli ich wypadkowa ma wartość zero (rys. c).

Zasady dynamiki Newtona

- **Pierwsza zasada dynamiki**
  Jeżeli na ciało nie działa żadna siła albo działające na nie siły się równoważą, to:
  – gdy ciało nie poruszało się, nadal nie będzie się poruszać,
  – gdy ciało poruszało się, nadal będzie się poruszać bez zmiany prędkości i kierunku ruchu.



Opór powietrza równoważy siłę ciężkości – spadochroniarz porusza się ze stałą prędkością.

- **Druga zasada dynamiki**
  Jeśli siła wypadkowa działająca na ciało nie jest równa zero, ciało porusza się z przyspieszeniem, które można obliczyć ze wzoru:

$$\text{przyspieszenie} = \frac{\text{siła}}{\text{masa ciała}} \qquad a = \frac{F}{m}$$



Żeby nadać przyspieszenie ciału o dużej masie, potrzebna jest duża siła.

- Ciało **przyspiesza**, jeżeli siła działa w tę stronę, w którą się ono porusza. Jeśli siła działa w przeciwną stronę, ciało **zwalnia**.

- **Trzecia zasada dynamiki**
  Jeżeli ciało A działa siłą na ciało B, to jednocześnie ciało B oddziałuje na ciało A siłą równą co do wartości, mającą ten sam kierunek, lecz przeciwny zwrot.



$$\vec{F}_A \neq \vec{F}_B$$
$$F_A = F_B$$



Płyta betonowa uderza w dłoń karateki z taką samą siłą, z jaką jego dłoń uderza w płytę.

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

- Siły, o których mowa w trzeciej zasadzie dynamiki, nigdy się **nie równoważą**, ponieważ działają na różne ciała (mają różne punkty przyłożenia).

Siła ciężkości i spadek swobodny

- Ziemia przyciąga wszystkie znajdujące się na niej ciała. Wartość siły ciężkości, czyli ciężar ciała, obliczamy ze wzoru:

ciężar = masa · przyspieszenie ziemskie

$$Q = m \cdot g$$

- Jeżeli pominiemy opór powietrza, każde ciało spadające swobodnie na Ziemi porusza się z przyspieszeniem $g \approx 10 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, zwanym **przyspieszeniem ziemskim**. Różnice w przebiegu spadania ciał ciężkich i lekkich wynikają wyłącznie z oporu powietrza.



Ciało o większej masie ma większy ciężar, więc naciska na podłoże większą siłą. Dlatego ze względów bezpieczeństwa na mostach często wprowadza się ograniczenie ruchu ciężkich pojazdów.

Tarcie

- **Siła tarcia** zależy od nacisku oraz rodzaju stykających się powierzchni.

- **Tarcie statyczne** występuje, gdy ciało jest nieruchome, a **tarcie kinetyczne** – gdy ciało się porusza.

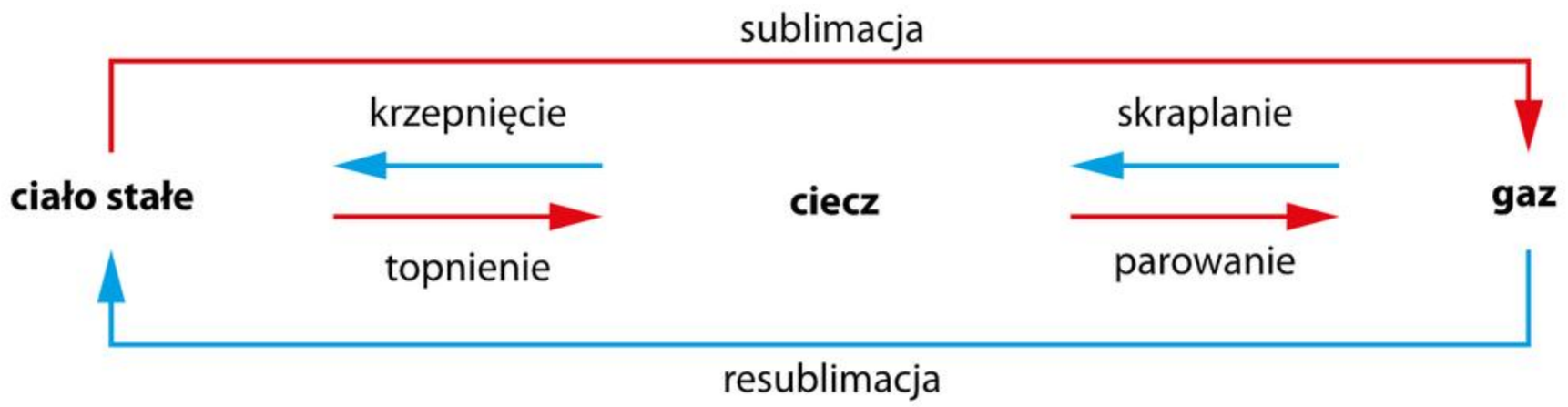
- Wartość siły tarcia kinetycznego jest mniejsza od maksymalnej wartości siły tarcia statycznego.



Między oponami a jezdnią działają siły tarcia.

Stany skupienia

- Nazwy stanów skupienia i ich przemian przedstawia diagram.



- Wśród ciał stałych wyróżniamy ciała o budowie **krystalicznej**, w których atomy lub cząsteczki ułożone są w pewnym porządku geometrycznym. Do kryształów należą m.in. wszystkie metale w stanie stałym.

Formy energii i zasada zachowania energii



Elektrownia wodna.

Kiedy podnosimy ciało, wykonujemy pracę, zwiększając jego **energię potencjalną grawitacji**. Spadając, ciało wykonuje pracę kosztem tej energii.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

E_p – energia potencjalna,
m – masa ciała,
g – przyspieszenie ziemskie,
h – wysokość, na której znajduje się ciało.



Pędzący samochód.

Im szybciej porusza się ciało, tym większa jest jego **energia kinetyczna**. Dlatego aby rozpędzić ciało, musimy wykonać pracę, a rozpędzone ciało może wykonać pracę, hamując.

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

E_k – energia kinetyczna,
m – masa ciała,
v – prędkość tego ciała.



Gorąca herbata.

Aby ogrzać ciało, musimy mu dostarczyć energii, która zmienia się w jego **energię wewnętrzną**. Stygnące ciało oddaje energię.

$$\Delta E = m \cdot c \cdot \Delta t$$

ΔE – zmiana energii,
m – masa ciała,
c – ciepło właściwe,
Δt – zmiana temperatury.



Sprężyna w dzwonku.

Aby napiąć sprężynę, wykonujemy pracę i zwiększamy w ten sposób jej **energię potencjalną sprężystości**, dzięki której sprężyna może wykonać pracę.



Ognisko.

W czasie przemian chemicznych, np. spalania, **energia chemiczna** może się zmieniać w energię wewnętrzną.



Grzejnik.

Energia promieniowania jest obecna zarówno w świetle widzialnym, jak i w niewidocznych rodzajach promieniowania, o których więcej powiemy w tym roku.

- **Zasada zachowania energii**

Energia nie powstaje z niczego i nie znika, może jedynie zmieniać postać.

Sposoby przekazywania energii

PRACA

– kiedy siła powoduje przemieszczenie ciała na drodze s.

praca = siła · droga $\quad W = F \cdot s$

CIEPŁO

– kiedy energia jest przekazywana z ciała cieplejszego do zimniejszego.

- **przewodnictwo cieplne** (między stykającymi się ciałami)
- **konwekcja** (związana z ruchem cieczy lub gazu)
- **promieniowanie**

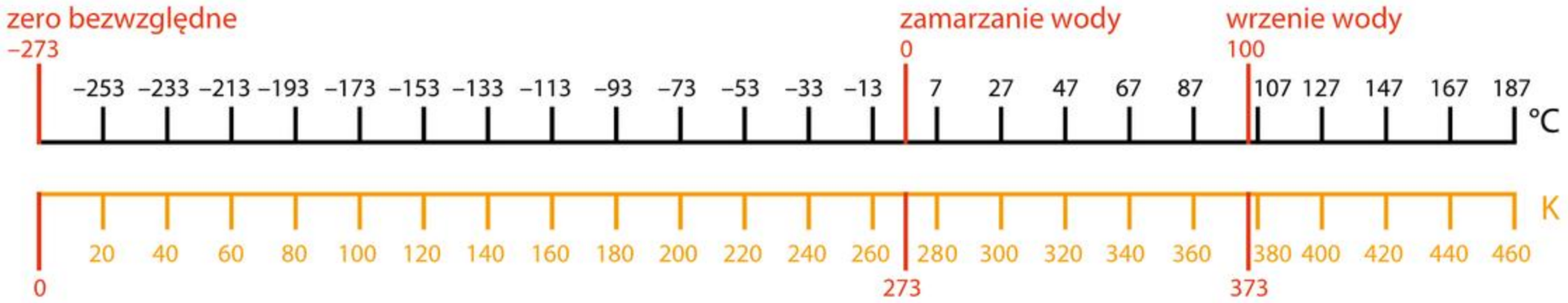


Uwaga. Praca i ciepło nie są formami energii, ale sposobami jej przekazywania.

- Substancje, przez które ciepło przepływa szybko (np. metale), nazywamy **przewodnikami ciepła**, a te, przez które ciepło przepływa wolno (np. drewno) – **izolatorami ciepła**.

Skale temperatury

- Oprócz stopni Celsjusza używamy również innych jednostek temperatury, m.in. stopni Fahrenheita (czyt. Farenhajta, symbol °F) i kelwinów (symbol K).



- 1 K to taka sama różnica temperatury co 1°C, ale skala Kelvina zaczyna się od 0 K, czyli **zera bezwzględnego** – najniższej możliwej temperatury, która w stopniach Celsjusza wynosi około –273°C.

Moc

- **Moc** to wielkość określająca, jaka praca została wykonana lub ile energii zostało wykorzystane (uległo przemianie) w jednostce czasu.

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

albo

$$\text{moc} = \frac{\text{energia}}{\text{czas}} \qquad P = \frac{E}{t}$$



Koparką o małej mocy również można wykopać wielki rów, ale zajmie to więcej czasu.

- Jednostką mocy jest **wat**, $1\ \text{W} = 1\frac{\text{J}}{\text{s}}$.

- Z jednostką mocy związana jest jednostka pracy i energii – **kilowatogodzina**, równa energii przetworzonej przez urządzenie o mocy 1 kW w czasie 1 h.

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



Kilowatogodzin używa się m.in. przy obliczaniu opłat za energię elektryczną.

Gęstość

- **Gęstość** to wielkość fizyczna, która informuje nas, jaka jest masa jednostki objętości substancji. Innymi słowy, jeśli znamy gęstość substancji, możemy powiedzieć, jaką masę ma np. $1\ \text{cm}^3$ czy $1\ \text{m}^3$ tej substancji.

  Żelazo ma gęstość: $d = 7{,}9\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 7900\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, co oznacza, że $1\ \text{cm}^3$ żelaza ma masę 7,9 g, a $1\ \text{m}^3$ żelaza ma masę 7900 kg.



Złoto jest nie tylko kosztowne, lecz także bardzo ciężkie – ma gęstość prawie dwa razy większą niż ołów.

- Gęstość można obliczyć, dzieląc masę przez objętość.

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

$$1\ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0{,}001\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

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

Siła wyporu. Prawo Archimedesa

- **Prawo Archimedesa**
  Na ciało zanurzone w cieczy (lub gazie) działa skierowana w górę **siła wyporu**, równa co do wartości ciężarowi cieczy (lub gazu) wypartej przez to ciało.

- **Siłę wyporu** można obliczyć, wiedząc, że objętość wypartej cieczy jest równa objętości zanurzonej części ciała.



Siła wyporu powoduje wznoszenie balonu.

- Jeśli ciało pływa po powierzchni cieczy **częściowo** w niej **zanurzone**, to znaczy, że siła wyporu równoważy ciężar ciała, a więc obie siły mają taką samą wartość.



Siła wyporu równoważy ciężar okrętu, dlatego unosi się on na wodzie.

Ciśnienie

- **Ciśnienie** to wielkość określająca siłę działającą na jednostkę powierzchni. Obliczamy je, dzieląc siłę nacisku przez pole powierzchni.

$$\text{ciśnienie} = \frac{\text{siła nacisku}}{\text{pole powierzchni}} \qquad p = \frac{F}{S}$$

- Jednostką ciśnienia jest **paskal**, $1\ \text{Pa} = 1\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$.



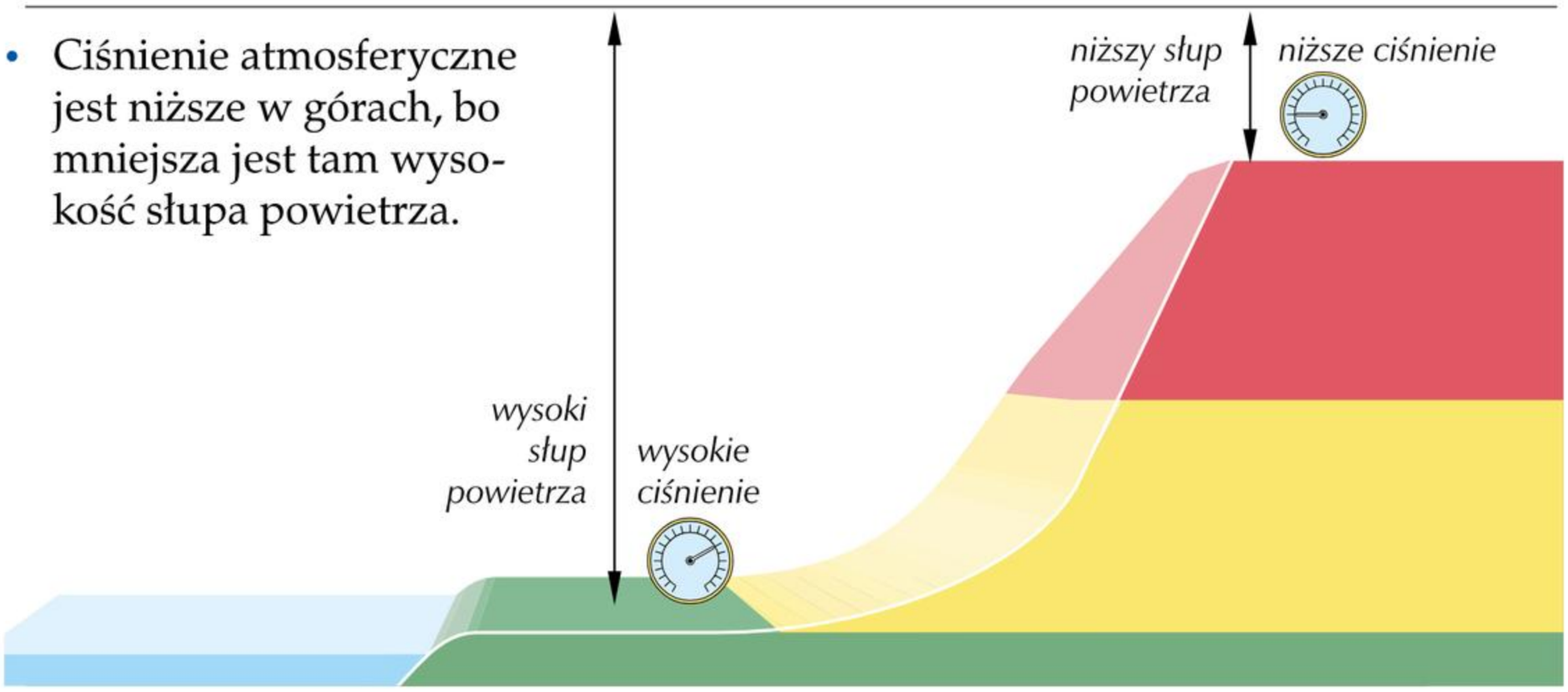
Spychacz ma masę kilku ton i wywiera na ziemię duży nacisk. Ponieważ jednak gąsienice mają dużą powierzchnię, ciśnienie wywierane na podłoże jest niewielkie i pojazd nie zapada się w miękkim gruncie.

Ciśnienie hydrostatyczne i atmosferyczne

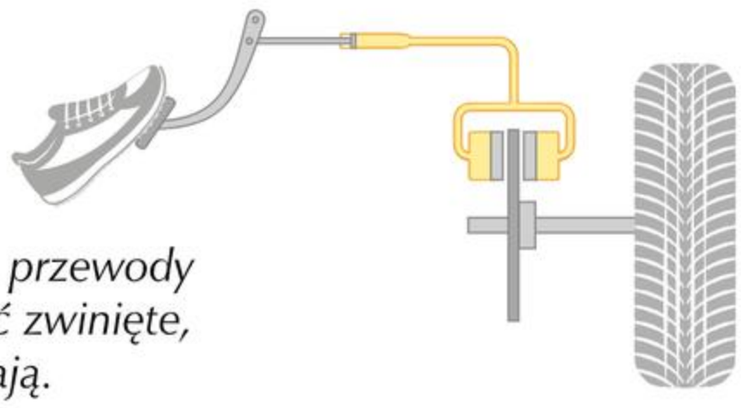
- Ciśnienie wywierane przez słup cieczy możemy obliczyć ze wzoru:

$$\text{ciśnienie hydrostatyczne} = \text{gęstość cieczy} \cdot \text{przyspieszenie ziemskie} \cdot \text{wysokość słupa cieczy} \qquad p = d \cdot g \cdot h$$

- Ciśnienie atmosferyczne jest niższe w górach, bo mniejsza jest tam wysokość słupa powietrza.



- **Prawo Pascala**
  Ciecz przenosi wywierane na nią ciśnienie równomiernie we wszystkich kierunkach.



Dzięki prawu Pascala przewody hamulcowe mogą być zwinięte, a hamulce i tak działają.

Dotknięcie przewodów pod napięciem grozi śmiercią.
Dlaczego więc mogą na nich siadać ptaki?

Elektrostatyka i prąd elektryczny

Z tego rozdziału dowiesz się, czym jest prąd elektryczny, zrozumiesz niektóre zachodzące wokół ciebie zjawiska oraz zasadę działania urządzeń elektrycznych.



1 Elektryzowanie ciał

Rozejrzyj się wokół. Prawdopodobnie zauważysz wiele urządzeń elektrycznych. Nawet jeśli siedzisz pośrodku lasu bez telefonu i zegarka, to twoje ubranie, buty, a także tę książkę wyprodukowano za pomocą maszyn zasilanych prądem elektrycznym. Skoro więc elektryczność wykorzystujemy tak powszechnie na co dzień, warto wiedzieć, na czym polegają zjawiska elektryczne i jakie prawa nimi rządzą. Zajmiemy się tym przez najbliższe kilka tygodni.

Elektryzowanie przez potarcie

Zaczniemy od przeprowadzenia prostego doświadczenia.

Doświadczenie ⚠



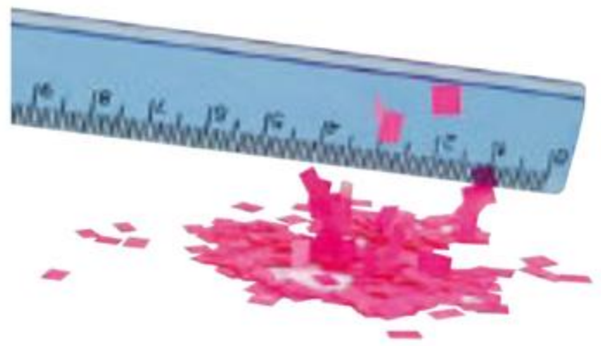
1. Powieś nadmuchany balonik np. na żyrandolu.
2. Potrzyj go mocno kilkanaście razy wełnianym szalikiem lub swetrem.
3. Zbliż szalik do balonika. Jak zachowuje się balonik? Czy szalik przyciąga go czy odpycha? Czy siła tego przyciągania lub odpychania jest większa wtedy, gdy balonik jest bliżej szalika, czy wtedy, gdy jest dalej?
4. Zbliż do balonika drugi taki sam balonik, także potarty szalikiem. Czy coś się zmieniło?

Uwagi. Pocieraj jedną stronę balonika, a drugą trzymaj ręką. Szalik lub balonik zbliżaj do tej strony balonika, która została potarta.

Doświadczenie – jak wszystkie związane z elektryzowaniem ciał – trzeba wykonywać suchymi rękami w suchym pomieszczeniu. Warto też osuszyć przedmioty strumieniem ciepłego powietrza z suszarki do włosów.

Do zawieszenia balonika możesz użyć żyłki wędkarskiej albo rozciętej gumki recepturki, ale nie używaj zwykłej bawełnianej nitki.

Z codziennych obserwacji wiemy, że niektóre ciała, gdy zostaną potarte, zaczynają przyciągać inne ciała, np. potarta kawałkiem wełny linijka przyciąga skrawki papieru, włosy lub kurz. Mówimy, że potarte ciało zostało **naelektryzowane**. Poznaliśmy więc metodę elektryzowania ciał – **elektryzowanie przez potarcie**.



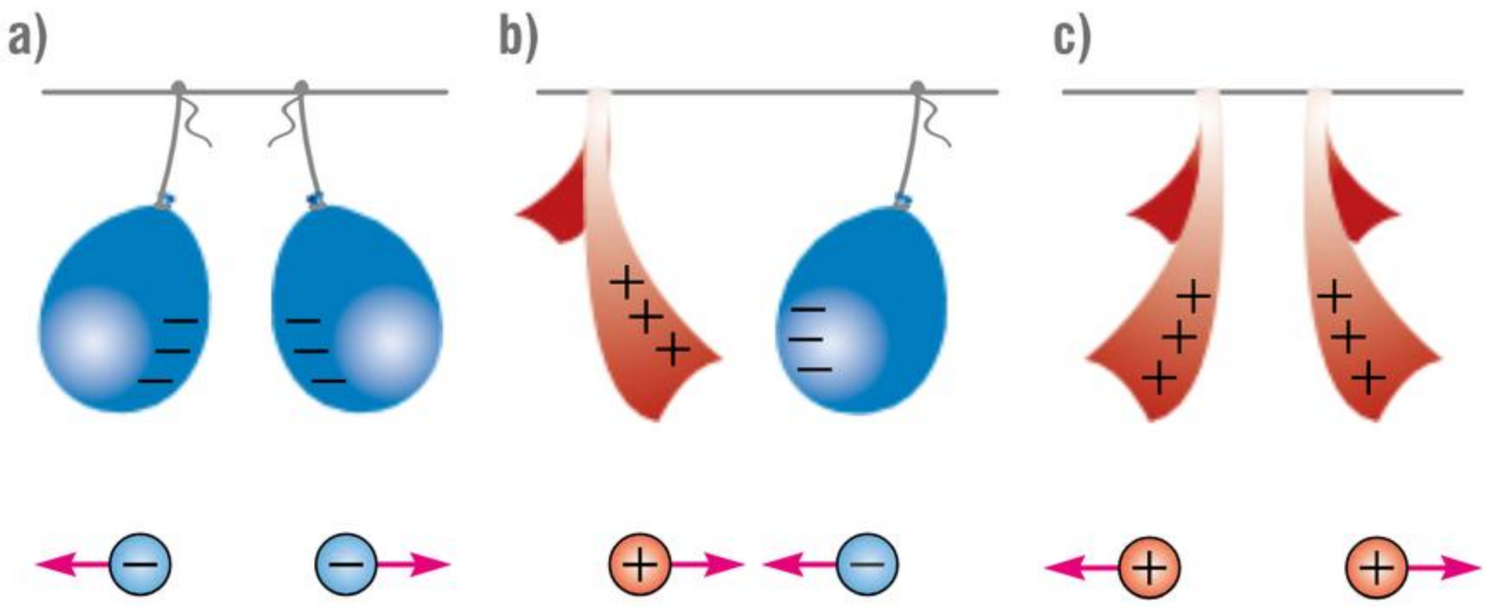
Potarta wełnianym swetrem linijka przyciąga drobne skrawki papieru.

Dwa rodzaje ładunków elektrycznych

Mówimy, że naelektryzowane ciało ma **ładunek elektryczny**. Ładunek elektryczny (dalej krótko: ładunek) jest więc pewną właściwością naelektryzowanego ciała. Ciało silniej naelektryzowane ma ładunek o większej wartości. Widzisz jednak, że naelektryzowane ciała czasem się przyciągają, a czasem odpychają. Aby opisać te różnice, ładunek oznaczamy znakiem + lub –.

Naelektryzowane ciało może mieć ładunek dodatni (oznaczany +) lub ujemny (oznaczany –).

W doświadczeniu, które wykonaliśmy na początku lekcji, na szaliku zgromadził się ładunek jednego znaku, a na baloniku – drugiego. Zaobserwowaliśmy, że dwa baloniki odpychały się, a balonik i szalik – przyciągały. Gdybyśmy potarli baloniki dwoma szalikami, te szaliki także odpychałyby się, ale trudno byłoby to zaobserwować. Mają one bowiem dużą masę i nawet swobodnie zawieszone nie odchyliłyby się zauważalnie.



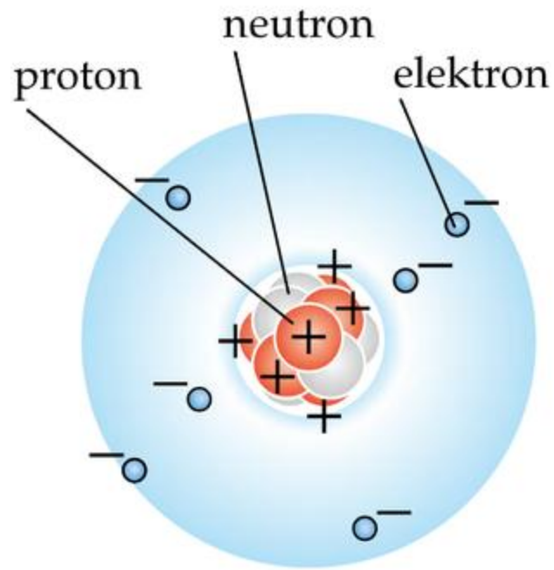
Ładunki o jednakowym znaku (dwa dodatnie lub dwa ujemne) odpychają się, a ładunki o przeciwnych znakach (dodatni i ujemny) przyciągają się.

Elektryzowanie ciał a atomy

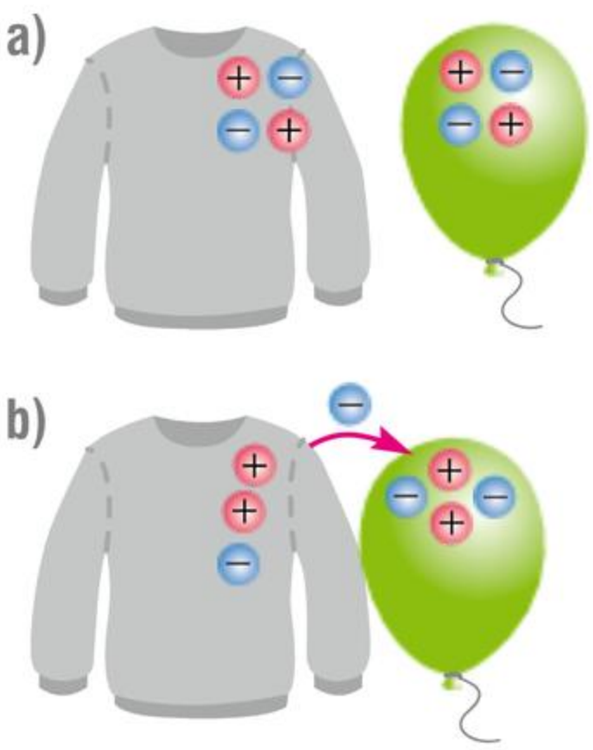
Z lekcji chemii znasz budowę atomu.

Każdy atom składa się z jądra i elektronów.
Jądro atomowe jest złożone z protonów i neutronów.

Protony i elektrony mają ładunek elektryczny. Protony są naładowane dodatnio, a elektrony – ujemnie. Neutrony to cząstki obojętne



Budowa atomu.



Przemieszczenie elektronu ze swetra na balonik.

elektrycznie. Ładunki protonu i elektronu mają taką samą wartość bezwzględną, ale przeciwne znaki. Dlatego całkowity ładunek atomu jest równy zero. Ciała, z którymi mamy do czynienia na co dzień, są obojętne elektrycznie nie dlatego, że nie ma w nich ładunków elektrycznych, ale dlatego, że jest w nich tyle samo protonów co elektronów (rys. a).

Jak wiesz z lekcji chemii, elektrony w atomie poruszają się wokół jądra. W niektórych sytuacjach mogą one zostać oderwane od swoich atomów. Tak właśnie dzieje się przy elektryzowaniu ciała. Gdy pocieramy balonik wełnianym swetrem (lub szalikiem), niektóre elektrony ze swetra przechodzą na balonik (rys. b), natomiast wszystkie protony pozostają na swoich miejscach. Na balonik przemieściły się dodatkowe elektrony, a liczba protonów nie zmieniła się. Dlatego jest w nim więcej elektronów niż protonów i jest on naelektryzowany ujemnie. Natomiast w swetrze pozostają protony, a brakuje niektórych elektronów. Sweter elektryzuje się więc dodatnio.

Elektryzowanie przez potarcie ciał polega na przemieszczeniu się elektronów z jednego ciała na drugie.

Jeśli ciało uzyskuje elektrony, elektryzuje się **ujemnie**; natomiast jeśli oddaje elektrony, elektryzuje się **dodatnio**.

Od czego zależy siła elektryczna?

Ciała naelektryzowane mogą przyciągać się lub odpychać silniej lub słabiej. Innymi słowy, działające między nimi siły mogą mieć większą albo mniejszą wartość. Od czego to zależy?

Przede wszystkim od tego, jak mocno ciała zostały naelektryzowane, to znaczy ile elektronów straciły lub zyskały podczas elektryzowania.

Wyniki doświadczenia na s. 16 przekonują nas, że drugim czynnikiem wpływającym na wielkość tej siły jest odległość między oddziałującymi ciałami. Jak łatwo się domyślić, im dalej od siebie znajdują się ciała, tym słabiej na siebie oddziałują.

Z historii

Ciekawe doświadczenia z ładunkami elektrycznymi prowadził w XVIII w. Robert Symmer. Uzyskiwał on ładunek, zdejmując z nóg pończochy nałożone jedna na drugą. Symmer wymyślił interesującą, choć wymagającą poświęcenia metodę mierzenia ładunku. Dotykał naelektryzowanego ciała i jeśli na skutek porażenia bolała go cała ręka, uznawał, że ładunek był większy niż wtedy, gdy ręka bolała go tylko do łokcia.

Podsumowanie

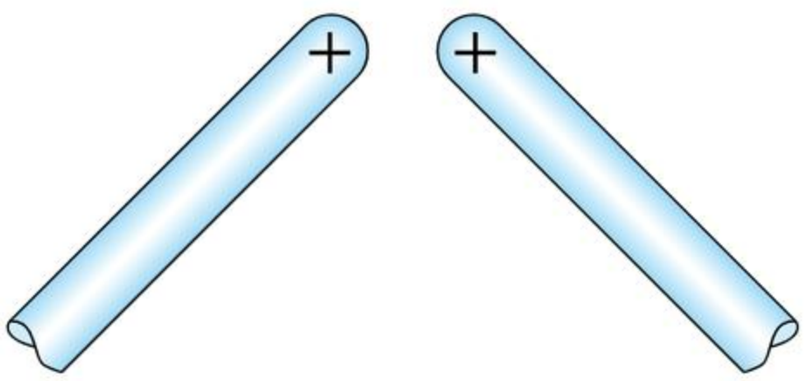
- Są dwa rodzaje ładunków elektrycznych: dodatnie i ujemne. Ładunki o jednakowych znakach się odpychają, a ładunki o przeciwnych znakach – przyciągają.
- Spośród cząstek tworzących atom proton ma ładunek dodatni, elektron – ujemny (o tej samej wartości bezwzględnej co proton), a neutron jest obojętny elektrycznie.
- Podczas pocierania ciał elektrony przemieszczają się z jednego ciała na drugie, w ten sposób jedno ciało elektryzuje się dodatnio, a drugie – ujemnie.
- Siła elektryczna zależy od tego, jak mocno ciała zostały naelektryzowane, oraz od odległości między ciałami.

Pytania i zadania

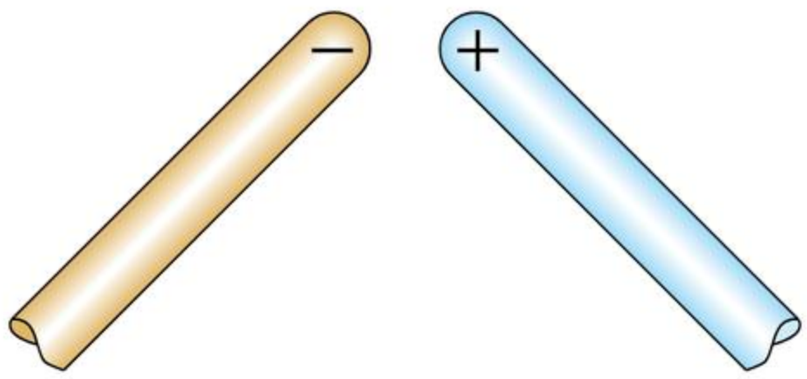
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Określ, czy narysowane metalowe pręty odpychają się czy przyciągają.

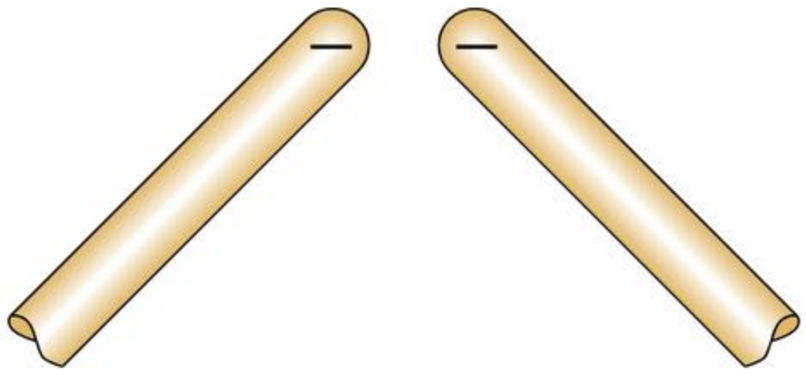
a)



b)



c)



2. W doświadczeniu opisanym na s. 16 balonik był przyciągany przez szalik. Nie obserwowaliśmy jednak przyciągania szalika przez balonik. Zastanów się dlaczego. Może przyciąganie było po prostu słabsze?

3. Szkło elektryzuje się dodatnio, a bursztyn – ujemnie.

a) Ustal, czy w naelektryzowanym szkle jest więcej, mniej czy tyle samo elektronów co w szkle nienaelektryzowanym.

b) Ustal, czy w naelektryzowanym bursztynie są protony. Jeśli tak, to czy jest ich mniej, więcej czy tyle samo co w bursztynie nienaelektryzowanym.

4. Gdy gumową piłkę pocieramy szmatką, elektrony przemieszczają się ze szmatki na piłkę. Określ, czy piłka elektryzuje się dodatnio czy ujemnie. A szmatka?

5. Na stole znajdują się dwie naładowane elektrycznie kulki. Pod wpływem przyciągania zaczęły się do siebie zbliżać. Jakim ruchem się poruszają, jeśli pominiemy tarcie: jednostajnym, jednostajnie przyspieszonym czy ze zmiennym przyspieszeniem? Dlaczego?

Doświadczenie

Elektryzowanie taśmy klejącej

1. Weź taśmę klejącą, najlepiej szeroką, używaną do zaklejania tekturowych pudeł.
2. Końcówkę taśmy przyklej do krawędzi stołu. Szybkim ruchem odwiń dłuższy kawałek taśmy. Odetnij go tak, aby pasek taśmy zwisał ze stołu. W pobliżu taśmy nie powinno być żadnych przedmiotów.
3. Sprawdź, czy rolka taśmy i rozwinięty kawałek przyciągają się czy odpychają.
4. Odwiń w podobny sposób drugi kawałek taśmy, odklej go od stołu i zbliż do pierwszego. Sprawdź, czy kawałki taśmy przyciągają się czy odpychają.



2 Ładunki elektryczne

Poznaliśmy już jeden sposób elektryzowania ciał – przez potarcie. Teraz omówimy kolejny.

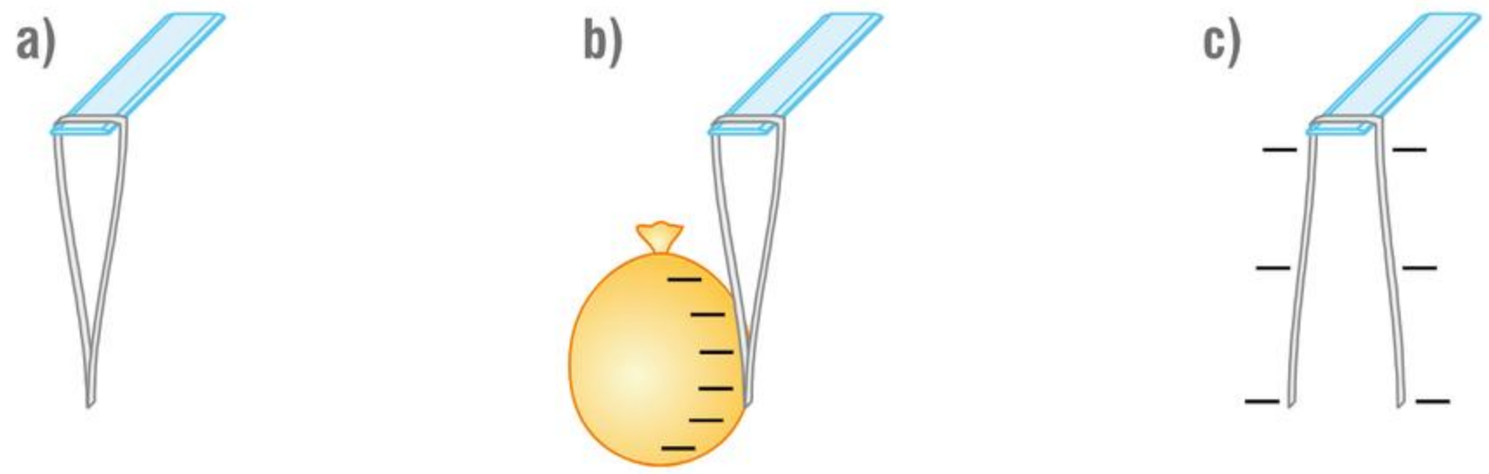
Elektryzowanie przez dotyk

Doświadczenie ⚠



1. Połóż plastikową linijkę na brzegu stołu tak, aby większa część wystawała poza blat. Aby linijka nie spadła, obciąż ją np. książką.
2. Wytnij z folii aluminiowej pasek o długości około 30 cm i szerokości około 2 cm.
3. Przełóż pasek przez linijkę tak, aby zwisał z dwóch stron. Końcówki powinny się lekko dotykać (patrz zdjęcie).
4. Od dołu dotknij paski naelektryzowanym ciałem, np. balonikiem. Dlaczego końcówki paska oddaliły się od siebie?
5. Odsuń naelektryzowane ciało. Jak się zachowują końcówki paska?
6. Dotnij pasków ręką. Co się dzieje?

Początkowo pasek był obojętny elektrycznie, więc jego końce można było ustawić blisko siebie (rys. a). Balonik natomiast był naelektryzowany ujemnie, czyli było na nim za dużo elektronów.



Gdy dotknęliśmy nim końców paska, część dodatkowych elektronów przemieściła się na pasek (rys. b). Zostały tam nawet wtedy, gdy odsunęliśmy balonik. Pasek został więc naelektryzowany ujemnie.

Jego końcówki odpychają się, bo obie mają ładunek tego samego znaku (rys. c). Dopiero gdy dotkniemy go palcem, dodatkowe elektrony przemieszczą się do ziemi i paski opadną.
Gdybyśmy zamiast balonika użyli szklanej pałeczki, która wskutek potarcia elektryzuje się dodatnio, zjawisko przebiegałoby podobnie. W szklanej pałeczce brakuje elektronów, więc część elektronów z paska folii przemieściłaby się na szkło. W rezultacie pasek naelektryzowałby się dodatnio.

Przemieszczanie się elektronów z ciała naelektryzowanego na nienaelektryzowane lub w drugą stronę nazywamy elektryzowaniem przez dotyk.

Ładunek elektryczny

Ciało może się naelektryzować słabiej lub silniej, w zależności od tego, czy zyska (albo straci) więcej czy mniej elektronów. Wielkością fizyczną pozwalającą opisać, jak mocno ciało zostało naelektryzowane, jest ładunek elektryczny. Jego jednostką jest kulomb.

Jeden kulomb (1 C) to ładunek równy wartości bezwzględnej ładunku $6 \cdot 10^{18}$ elektronów.

Kulomb to duża jednostka: $6 \cdot 10^{18}$ elektronów to aż 6 miliardów miliardów elektronów. Jeden elektron ma więc ładunek zaledwie $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Ładunek o takiej wartości bezwzględnej nazywamy **ładunkiem elementarnym**.
Elektryzujące się ciała zyskują bardzo niewielki ładunek, liczony w miliardowych częściach kulomba.

Z historii

*Charles Augustin de Coulomb [czyt. szarl ogi**sten** de ku**lą**], (1736–1806), francuski fizyk, był oficerem w wojskach inżynieryjnych. Zajmował się zagadnieniami elektrostatyki, magnetyzmu i teorii maszyn prostych. Odkrył i sformułował prawo wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków elektrycznych, zwane prawem Coulomba. Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki ładunku elektrycznego.*



Zasada zachowania ładunku

Gdy pocieramy balonik wełnianym swetrem, oba ciała się elektryzują. W baloniku przybywa tyle elektronów, ile ich ubywa w swetrze. Dlatego wartość bezwzględna ładunku swetra jest taka sama jak wartość bezwzględna ładunku balonika. Różnią się one tylko znakiem. Ich suma jest równa zero.
Jeśli naelektryzowanym ciałem dotkniemy ciała nienaelektryzowanego, część elektronów z jednego z nich może przemieścić się do drugiego. Żadne elektrony nie powstaną jednak ani nie znikną. Również łączny ładunek pozostanie bez zmian.

Zasada zachowania ładunku elektrycznego: Ładunek nie powstaje ani nie znika. Łączny ładunek (obliczony z uwzględnieniem znaków + i –) pozostaje bez zmian.

Elektroskop

Aby sprawdzić, czy ciało jest naelektryzowane, możemy posłużyć się **elektroskopem**. Ten przyrząd możesz zbudować samodzielnie.

Doświadczenie



1. Plastikową butelkę po napoju przebij gwoździem.
2. Przez otwory przełóż drut miedziany lub stalowy, wygięty w haczyk (patrz zdjęcie).
3. Nałóż na drut dwa paski folii aluminiowej tak, aby przylegały do siebie. Uważaj, aby nie zagiąć folii.
4. Oba końce drutu owiń folią aluminiową uformowaną w kulki.
5. Dotknij jednej z kulek naelektryzowanym ciałem (np. balonikiem potartym wełnianym swetrem). Co się dzieje z foliowymi listkami?

Uwaga. Przypomnijmy, że wszystkie doświadczenia z elektrostatyki wykonujemy suchymi rękoma, w suchym pomieszczeniu, za pomocą suchych przyrządów.



Elektroskop.

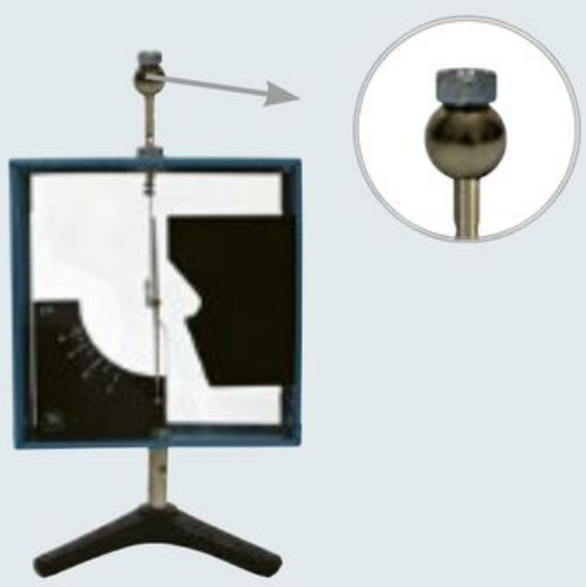
Zasada działania elektroskopu jest podobna do zjawiska, które obserwowaliśmy w doświadczeniu na s. 20: ładunek przemieścił się z balonika na foliowe listki, gdyż w metalu elektrony poruszają się z łatwością. Listki są jednakowo naładowane, więc się odpychają.
W przypadku naładowanego balonika elektrony przemieściły się na elektroskop, a w przypadku naładowanej wełnianej szmatki – z elektroskopu na szmatkę.
Fabryczne elektroskopy, podobne do przedstawionego na zdjęciu, są bardziej czułe, ponadto pozwalają sprawdzić nie tylko, czy ciało jest naładowane, lecz także – jak silnie jest naładowane.

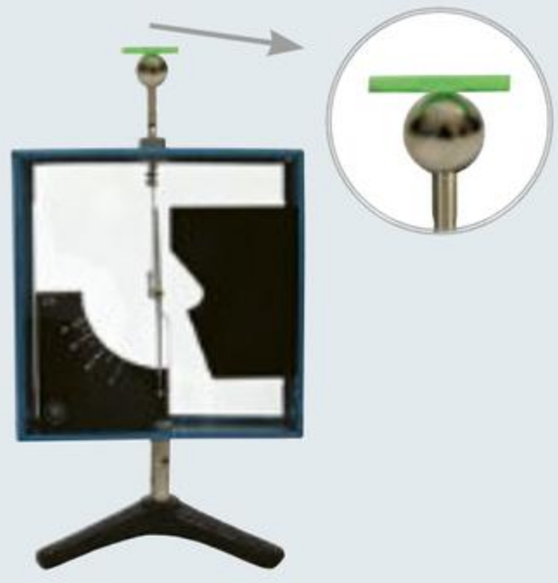
Przewodniki i izolatory

Doświadczenie ⚠

1. Do kulki elektroskopu przymocuj metalowy przedmiot (np. łyżeczkę lub śrubkę) i dotknij go naelektryzowanym ciałem.

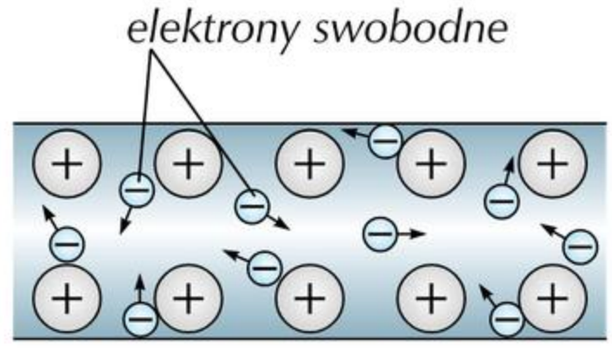
2. Powtórz doświadczenie, używając zamiast metalu tworzywa sztucznego (np. słomki do napojów). Co zauważasz?





Gdy naelektryzowane ciało połączyliśmy z kulką elektroskopu za pomocą kawałka metalu, wskazówka wychyliła się tak, jakbyśmy dotknęli bezpośrednio kulki. Możemy wyciągnąć stąd wniosek, że elektrony z łatwością przemieściły się w metalu.
Inaczej jest w przypadku tworzywa sztucznego. Elektroskop nie zostaje naładowany, a więc elektrony nie mogły się przemieścić.
Mówimy, że metal jest **przewodnikiem elektrycznym**, a tworzywo sztuczne – **izolatorem**.

To, czy substancja jest izolatorem czy przewodnikiem, zależy od jej budowy. W metalach część elektronów nie jest na stałe związana z żadnym atomem. Przemieszczają się one swobodnie po całym kawałku metalu, dlatego nazywamy je **elektronami swobodnymi** (patrz rysunek obok).



Budowa przewodnika.

W metalu znajdują się elektrony swobodne.

Elektrony swobodne poruszają się bezładnie, podobnie jak cząsteczki gazu w naczyniu. Jeśli kawałek metalu połączymy z ciałem naładowanym ujemnie, elektrony z tego ciała przemieszczą się do metalu i dołączą do elektronów swobodnych. Jeśli zaś kawałek metalu połączymy z ciałem naładowanym dodatnio, część elektronów swobodnych przemieści się do tego ciała.
W szkle, porcelanie, papierze, tworzywach sztucznych jest bardzo mało elektronów swobodnych i ładunki praktycznie nie mogą się poruszać.

Przewodnik to substancja, w której mogą się przemieszczać ładunki elektryczne, a izolator to substancja, w której nie mogą się one przemieszczać.

Podsumowanie

- Elektryzowanie przez dotyk: elektrony przemieszczają się z ciała naelektryzowanego ujemnie do ciała nienaelektryzowanego albo z ciała nienaelektryzowanego do ciała naelektryzowanego dodatnio.
- Jednostką ładunku elektrycznego jest kulomb (1 C). Jest on równy wartości bezwzględnej ładunku $6 \cdot 10^{18}$ elektronów.
- Zasada zachowania ładunku: ładunek nie powstaje ani nie znika. Łączny ładunek (obliczony z uwzględnieniem znaków + i –) pozostaje bez zmian.
- Substancje, w których mogą się przemieszczać ładunki elektryczne, nazywamy przewodnikami, a substancje, w których ładunki się nie przemieszczają, nazywamy izolatorami.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Gdy pocieramy balonik szmatką, na baloniku pojawiają się dodatkowe elektrony. Wyjaśnij, skąd się one biorą.

2. Wypisz w zeszycie wymienione substancje w dwóch kolumnach – osobno przewodniki, osobno izolatory.

aluminium • guma • miedź • papier • porcelana • szkło • złoto • żelazo

3. Jagna i Zbyszek trzymali jednakowo naelektryzowane balony. Jagna przyłożyła swój balon do kulki elektroskopu. Zbyszek przesunął swój balon po kulce drugiego elektroskopu.
a) Określ, w którym elektroskopie listki rozchyliły się bardziej. Wyjaśnij dlaczego.
b) Wyjaśnij, czy gdyby zamiast baloników użyć jednakowo naelektryzowanych kulek metalowych, efekt doświadczenia byłby taki sam.

4. Wymień kilka przewodników i kilka izolatorów znanych z życia codziennego.

5. Gdy szklaną rurkę pocierano o wełniany sweter, przemieściło się z niej na sweter 10 mld elektronów. Oblicz, jaki ładunek ma rurka, a jaki – sweter. Określ zarówno znak, jak i wartość ładunku.

6. Przeczytaj informacje podane niżej. Ustal, czy czarny proszek (toner) przyczepia się do płyty w miejscach, które zostały wcześniej oświetlone, czy w tych, które pozostawały cały czas w ciemności.

Półprzewodniki to substancje, które w pewnych warunkach są przewodnikami, a w innych – izolatorami. Wyobraź sobie połączony z ziemią metalowy wałek, z zewnątrz pokryty półprzewodnikiem, który w ciemności jest izolatorem, a oświetlony staje się przewodnikiem.
W ciemności elektryzujemy zewnętrzną powierzchnię wałka (pokrytą półprzewodnikiem). Jest to możliwe, gdyż w ciemności półprzewodnik nie przewodzi prądu. Następnie część jego powierzchni oświetlamy. W tej części półprzewodnik przewodzi prąd i elektrony przemieszczają się z niej przez metalowy wałek do ziemi. Gasimy światło i zbliżamy wałek do czarnego proszku. Tam, gdzie wałek pozostał naelektryzowany, przyczepia się do niego proszek.
Następnie przetaczamy wałek po kartce papieru, która „brudzi się" od proszku. Wystarczy ogrzać kartkę, aby proszek się „przypalił", i mamy gotowy obrazek. Taka jest zasada działania kserografu i drukarki laserowej, choć oczywiście w maszynie wszystko to dzieje się automatycznie i znacznie szybciej. W kserografie na wałek pada światło odbite od kartki z oryginałem, a w drukarce pochodzi ono z lasera.



Doświadczenie

Plus czy minus

W życiu codziennym często obserwujemy elektryzowanie się ciał, jednak niełatwo odpowiedzieć na pytanie, które ciała elektryzują się dodatnio, a które – ujemnie.
Aby to zbadać, najłatwiej użyć lampki neonowej.
Uwaga. Doświadczenie najlepiej wykonywać w pomieszczeniu częściowo zaciemnionym.

1. Kup najtańszy próbnik napięcia. Jest to przyrząd podobny do śrubokrętu, ma jednak małą lampkę służącą do sprawdzania, czy w gniazdku elektrycznym jest napięcie.
2. Rozmontuj próbnik i delikatnie wyjmij z niego lampkę.
3. Trzymając lampkę za jedną z końcówek, przesuwaj drugą końcówkę wzdłuż naelektryzowanego ciała, np. balonika lub rury PCV potartych wełnianym swetrem.
4. Patrz bardzo uważnie na migotanie lampki. Gaz świeci w niej tylko wokół jednego z dwóch drucików – tego, którym elektrony przemieszczają się do lampki.
5. Ustal, jak naładowane jest ciało, jeśli gaz świeci przy druciku od strony ciała, a jak – jeśli gaz świeci przy druciku od strony ręki.
6. Sprawdź tą metodą znak ładunku różnych ciał naelektryzowanych.





3 Indukcja elektrostatyczna

Do tej pory gdy wykonywaliśmy doświadczenia z elektroskopem, dotykaliśmy jego kulki naelektryzowanym ciałem. Zbadajmy, co się dzieje, gdy takie ciało tylko zbliżamy do kulki elektroskopu.

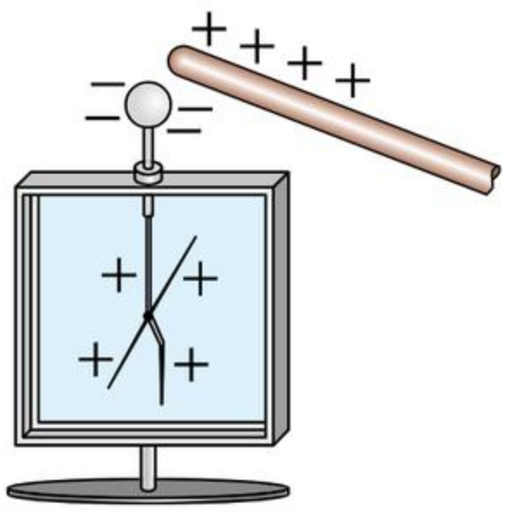
Doświadczenie



1. Zbliż naelektryzowane ciało do kulki elektroskopu (fabrycznego lub zbudowanego samodzielnie – patrz s. 22). Spróbuj wyjaśnić, dlaczego wskazówka się wychyliła, choć ciało nie dotknęło kulki i ładunki nie mogły się na nią przemieścić.
2. Odsuń ciało od kulki. Czy wskazówka ciągle jest wychylona?
3. Zbliż ponownie ciało do kulki. Dotknij jej, a następnie odsuń ciało. Co się dzieje?
4. Spróbuj wyjaśnić zaobserwowane zjawiska.

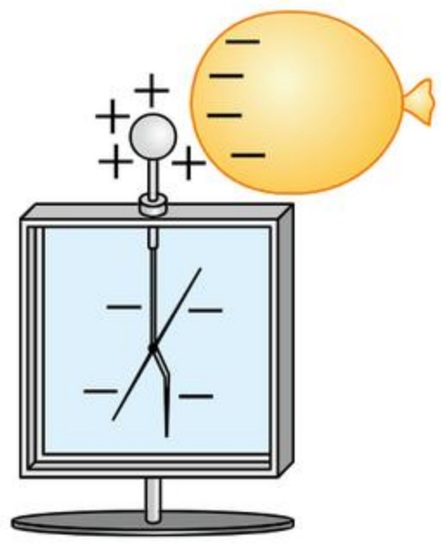
Gdy naelektryzowane ciało zbliżymy do kulki elektroskopu, ale nie dotkniemy jej, elektrony nie mogą się przemieścić z ciała na kulkę ani z kulki na ciało. Dlaczego więc wskazówka się wychyla? Aby to wyjaśnić, rozważmy dwa przypadki: gdy ciało naelektryzowane jest dodatnio i gdy jest naelektryzowane ujemnie.

a)



Do kulki elektroskopu zbliżamy ciało naelektryzowane dodatnio.

b)



Do kulki elektroskopu zbliżamy ciało naelektryzowane ujemnie.

Na rysunku a) (s. 25) zbliżone ciało przyciąga elektrony, dlatego przemieszczają się one na kulkę. Wskazówka i pręt są naładowane dodatnio, więc się odpychają (wskazówka się wychyla). Na rysunku b) (s. 25) zbliżone ciało odpycha elektrony, dlatego przemieszczają się one z kulki na pręt i wskazówkę. Są one teraz naładowane ujemnie, więc się odpychają (wskazówka się wychyla). Tak więc wskazówka się wychyla niezależnie od ładunku zbliżonego ciała.

Przemieszczenie elektronów w przewodniku pod wpływem przyciągania lub odpychania przez zbliżone naelektryzowane ciało nazywamy indukcją elektrostatyczną.

Przyciąganie nienaładowanych przewodników

Doświadczenie

1. Powieś na żyłce lub gumce pasek folii aluminiowej długości kilkunastu centymetrów.
2. Zbliż do niego balon potarty wełnianym swetrem. Co się dzieje z folią?



$\vec{F}_1$ – siła elektryczna
$\vec{F}_2$ – siła elektryczna
$\vec{F}_w$ – siła wypadkowa

Folia nie była naładowana elektrycznie, a jednak balon ją przyciągał. Dlaczego?
Jak wiesz, kawałek folii jest obojętny elektrycznie nie dlatego, że nie ma w nim ładunków, ale dlatego, że jest w nim tyle samo ładunków dodatnich co ujemnych. Elektrony swobodne w folii odpychane przez ujemnie naładowany balon odsuwają się od niego jak najdalej. Ładunki dodatnie pozostają na miejscu. Folia staje się naelektryzowana dodatnio od strony balonu, a ujemnie od strony przeciwnej. Balon przyciąga „dodatnią" stronę folii, a odpycha „ujemną". Jednak strona „dodatnia" jest bliżej, więc przyciąganie jest silniejsze od odpychania i siła wypadkowa przyciąga folię do balonu.

Z historii

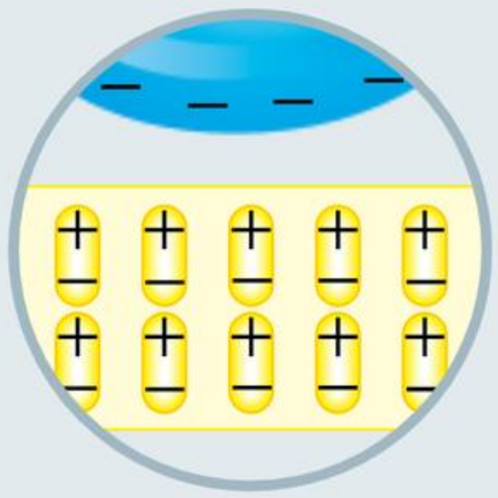
O właściwości bursztynu, który po potarciu przyciąga pył, kawałki słomy czy sukna, wiedzieli już starożytni Grecy 2,5 tys. lat temu. Jednak dopiero po 2 tys. lat angielski uczony William Gilbert [czyt. łiliam gilbert] odkrył, że podobną właściwość mają także inne substancje, np. szkło czy siarka.
W ten sposób rozpoczęły się badania nad elektrycznością, które doprowadziły do powstania elektrowni, silników elektrycznych, telegrafu, telefonu, radia, telewizji, komputerów i wielu innych wynalazków.
Nazwę „elektryczność" utworzył Gilbert od greckiej nazwy bursztynu: elektron.



Przyciąganie nienaładowanych izolatorów

Doświadczenie

1. Potrzyj nadmuchany balonik wełnianym swetrem.
2. Zbliż balonik do rozsypanych na stole małych skrawków papieru.
Co obserwujesz?





Zjawisko jest podobne do tego z poprzedniego doświadczenia, ale jego wyjaśnienie jest inne. Papier jest izolatorem i nie ma w nim swobodnych elektronów, które mogłyby się przemieścić w inne miejsce. Okazuje się jednak, że choć elektron nie może się oderwać od swojej cząsteczki, może przynajmniej przesunąć się na jedną lub drugą stronę tej cząsteczki.
Gdy w pobliżu znajdzie się ujemnie naładowany balon, odpycha on elektrony, które przemieszczają się na drugą stronę cząsteczki. Choć cząsteczka nadal jest obojętna elektrycznie, to z jednej strony jest naładowana ujemnie, a z drugiej – dodatnio. Dzięki temu, podobnie jak w folii aluminiowej, ładunki dodatnie znajdują się bliżej balonu niż ładunki ujemne i przyciąganie przeważa nad odpychaniem.

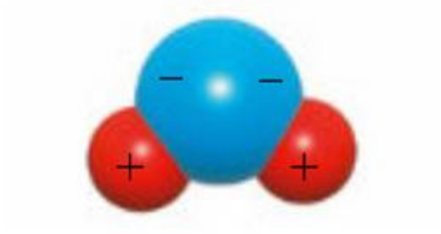
Siły działające między cząsteczkami

Doświadczenie

1. Puść z kranu słaby strumień wody.
2. Zbliż do niego naelektryzowany przedmiot (np. balonik potarty swetrem).
Co obserwujesz?

strumień wody





Rozmieszczenie ładunku w cząsteczce wody.

Cząsteczka wody jako całość jest obojętna elektrycznie, tzn. jej całkowity ładunek jest równy zero. Jednak ładunki nie są w niej rozmieszczone równomiernie; z jednej strony przeważa ładunek dodatni, a z drugiej – ujemny. Dlatego naelektryzowane ciało przyciąga cząsteczki wody, podobnie jak przyciąga skrawki papieru.

W klasie siódmej mówiliśmy o siłach działających między cząsteczkami. Teraz możemy wyjaśnić ich naturę: są to **siły elektryczne** działające między protonami i elektronami znajdującymi się w tych cząsteczkach.

Podsumowanie

- Przemieszczenie się elektronów w przewodniku pod wpływem przyciągania lub odpychania przez zbliżone ciało nazywamy indukcją elektrostatyczną.
- Jeśli obojętny elektrycznie przewodnik znajduje się w pobliżu ciała naelektryzowanego, to znajdujące się w nim elektrony swobodne mogą zmienić położenie. Dlatego naelektryzowane ciało przyciąga także obojętny elektrycznie przewodnik.
- Jeśli obojętny elektrycznie izolator znajduje się w pobliżu ciała naelektryzowanego, znajdujące się w nim elektrony mogą przemieścić się na dalszą lub bliższą stronę swoich cząsteczek. Dlatego naelektryzowane ciało przyciąga także obojętny elektrycznie izolator.
- Siły działające między cząsteczkami to siły elektryczne.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Metalowa sztabka nie była naelektryzowana. Od strony jej końca A zbliżamy naelektryzowany ujemnie balonik.



a) Określ, jak przemieszczą się elektrony w sztabce: od końca A do B czy od B do A.

b) Określ, jak będzie naładowany koniec A: dodatnio czy ujemnie.

c) Wyjaśnij, co się stanie, gdy od sztabki odsuniemy balonik.

2. Jakie byłyby odpowiedzi do zadania 1, gdyby zamiast balonika zbliżyć naładowaną dodatnio szklaną pałeczkę?

3. Gdy nad ziemią pojawia się chmura burzowa, której spód jest naładowany ujemnie, pod jej wpływem ziemia też się elektryzuje. Określ, jaki jest ładunek powierzchni ziemi: dodatni czy ujemny.

4. Przyczepianie się różnego rodzaju pyłów do naelektryzowanych ciał bywa kłopotliwe. Czasem jednak to zjawisko można wykorzystać z pożytkiem dla ludzi i środowiska. Sprawdź w książkach lub wiarygodnych źródłach internetowych i napisz, jak działają elektrofiltry.

4 Obwód prądu elektrycznego

Żarówka świeci, gdy przez jej włókno przepływają elektrony. Mówimy wówczas, że przez włókno **płynie prąd elektryczny**.

Prąd elektryczny w metalu to uporządkowany ruch elektronów swobodnych.

Zwróć uwagę na określenie „uporządkowany". W każdym metalu elektrony swobodne nieustannie się poruszają, jest to jednak ruch bezładny, chaotyczny, dlatego nie nazywamy go prądem.

Napięcie elektryczne

Między biegunami baterii jest **napięcie elektryczne**. Oznacza to, że gdy bieguny połączymy przewodem, popłynie między nimi prąd, czyli w przewodzie zaczną się przemieszczać elektrony. Bateria jest zatem **źródłem napięcia**. Źródłami napięcia są także prądnice, baterie słoneczne itd.



Uwaga. W wielu doświadczeniach będziemy wykorzystywać okrągłe ogniwa. W **ogniwie** napięcie powstaje dzięki reakcjom chemicznym. Potocznie ogniwa nazywane są bateriami, choć, mówiąc bardziej ściśle, bateria to kilka ogniw. Na przykład bateria 9 V składa się z sześciu ogniw 1,5 V każde we wspólnej obudowie (patrz zdjęcie wyżej).

Doświadczenie

Połącz baterię R20 (inne oznaczenie D, najgrubsza dostępna w sprzedaży) z żarówką na różne sposoby (jak na rysunkach niżej). Może spróbujesz jeszcze innych połączeń? Kiedy żarówka świeci?

Uwaga. Praktyczne wskazówki dotyczące budowania obwodów elektrycznych znajdziesz na s. 264–265.









Elektryk odizolowany od ziemi może bez obaw dotykać przewodu pod napięciem.

Aby popłynął prąd, obwód pomiędzy biegunami źródła napięcia musi być zamknięty, tzn. bieguny muszą być połączone przewodnikiem.

Elektrony przemieszczają się od ujemnego bieguna baterii przez przewód, żarówkę, drugi przewód, aż do bieguna dodatniego. Ale na tym się nie kończy, przemieszczają się one dalej od dodatniego do ujemnego bieguna wewnątrz baterii.
Możemy teraz wyjaśnić, dlaczego ptaki mogą bezpiecznie siadać na przewodach pod napięciem. Otóż ptak dotyka **tylko** przewodu, nie dotyka ziemi, więc obwód nie jest zamknięty i prąd nie może popłynąć. Gdyby ptak dotknął jednocześnie przewodu i słupa, zostałby natychmiast porażony.
Również człowiek jest bezpieczny, gdy dotyka tylko jednego przewodu, a nie jest podłączony do ziemi. Ten fakt wykorzystują monterzy naprawiający linie elektryczne (patrz rysunek obok). Muszą oni jednak bardzo uważać, aby nie dotknąć słupa lub ciał połączonych przewodnikiem z ziemią, zostaliby bowiem porażeni.

Zwarcie

Doświadczenie

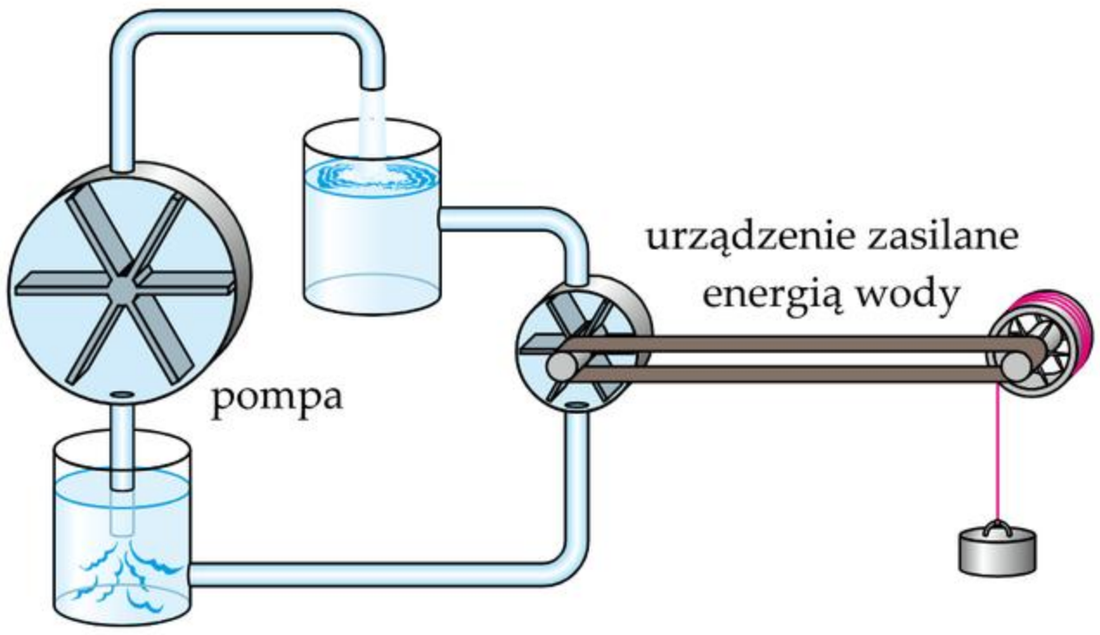
1. Do baterii (np. 1,5 V) podłącz żarówkę tak, aby świeciła.
2. Na chwilę połącz przewodem bieguny baterii. Czy żarówka nadal świeci?

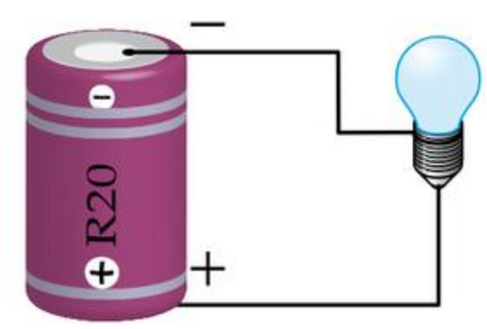


W tym doświadczeniu żarówka i bateria tworzyły obwód zamknięty, ale po podłączeniu dodatkowego przewodu powstał drugi obwód. W przewodzie ładunki przemieszczają się łatwiej niż przez żarówkę, dlatego prąd praktycznie omija żarówkę.
Taką sytuację nazywamy **zwarciem**. Prowadzi ono do szybkiego rozładowania baterii. Prąd zwarcia płynie zawsze wtedy, gdy połączymy przewodnikiem bieguny baterii. Żarówka w doświadczeniu pomogła go tylko zaobserwować.

Prąd elektryczny a prąd wody

Aby lepiej przedstawić zjawiska związane z prądem elektrycznym, często porównuje się je z prądem wody. Baterii odpowiada wtedy pompa tłocząca wodę na wyższy poziom.





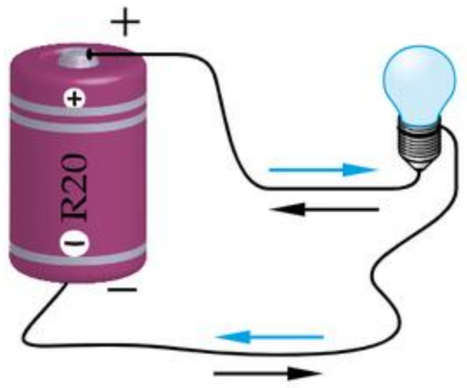
Na dole woda ma niższą energię potencjalną niż na górze.	*Przy dodatnim biegunie baterii elektron ma niższą energię niż przy biegunie ujemnym.*
Pompa zabiera wodę z niższego poziomu i tłoczy ją na poziom wyższy, zwiększając jej energię potencjalną.	*Bateria zabiera elektrony z „niższego poziomu”, czyli bieguna dodatniego, i „tłoczy” je na „wyższy poziom”, czyli do bieguna ujemnego, zwiększając ich energię.*
Pompa wykonuje przy tym pracę, musi więc być zasilana jakimś rodzajem energii.	*Bateria wykonuje przy tym pracę kosztem energii reakcji chemicznych.*
Następnie woda może płynąć z powrotem w dół i wykonywać pracę kosztem energii potencjalnej.	*Następnie elektrony mogą płynąć z powrotem „na dół”, czyli do bieguna dodatniego, i wykonywać pracę (zasilanie żarówki, silnika elektrycznego itp.) kosztem swojej energii.*
Z dołu pompa tłoczy wodę w górę i tak w kółko.	*Z dodatniego bieguna bateria „tłoczy” elektrony do ujemnego i tak w kółko.*

Różnicy poziomów wody odpowiada napięcie elektryczne.

Kierunek przepływu prądu a kierunek ruchu elektronów

Przyjęto, że prąd płynie „od plusa do minusa”, tak jakby zawsze przemieszczały się ładunki dodatnie.
Jednak prąd elektryczny w metalach to przemieszczanie się elektronów, które mają ładunek ujemny. Przemieszczają się one od bieguna ujemnego do bieguna dodatniego baterii.

Elektrony przepływają od ujemnego do dodatniego bieguna baterii, jednak kierunek przepływu prądu uważa się umownie za przeciwny.



Niebieskie strzałki wskazują umowny kierunek przepływu prądu – od plusa do minusa, a czarne – rzeczywisty kierunek ruchu elektronów – od minusa do plusa.

Całe to zamieszanie wywodzi się z czasów, gdy nie znano jeszcze elektronów ani atomów. Uważano wówczas, że prąd to przemieszczanie się ładunków dodatnich. Dziś wiemy, że w metalach jest inaczej, ale umowa co do kierunku prądu pozostała.

Elektrony nie muszą dopłynąć do przewodu

Elektrony swobodne znajdują się w przewodzie zawsze – także wtedy, gdy nie płynie w nim prąd. Gdy zamykamy obwód, elektrony zaczynają się poruszać w sposób uporządkowany. Ten ruch odbywa się z prędkością ślimaka. Gdyby elektrony musiały dopiero dotrzeć z przełącznika do żarówki, na zapalenie latarki czekalibyśmy kilka sekund od wciśnięcia przycisku, a na włączenie lampy w pokoju – nawet kilka minut.

Wyobraź sobie uczniów w sali gimnastycznej, którzy na gwizdek nauczyciela zaczynają biec dookoła sali (jak na rysunku). Uczniowie (odpowiedniki elektronów) biegną z prędkością kilkunastu kilometrów na godzinę, a sygnał gwizdka rozchodzi się z prędkością dźwięku – ponad 1000 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

W chwili zamknięcia obwodu wszystkie swobodne elektrony zaczynają się poruszać niezależnie od odległości od przełącznika, podobnie jak wszyscy uczniowie zaczynają biec, gdy usłyszą dźwięk gwizdka.

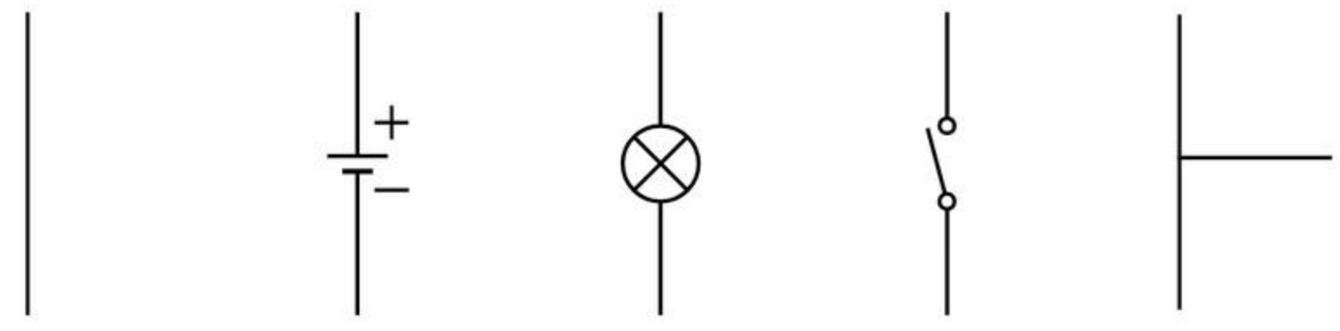


Podobnie jak elektrony w przewodzie uczniowie rozpoczynają swój ruch prawie równocześnie.

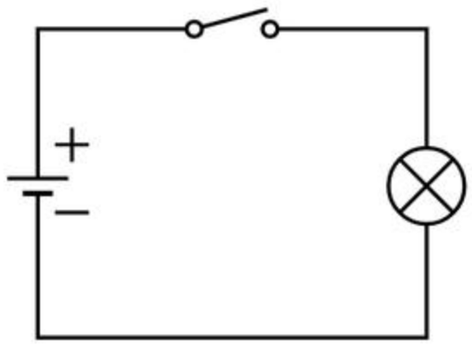
Symbole elementów w obwodach elektrycznych

Rysując obwód elektryczny, dotychczas umieszczaliśmy na nim rysunek baterii lub żarówki. Łatwiej jednak posługiwać się umownymi symbolami przedstawionymi poniżej.

W miarę potrzeby będziemy wprowadzać symbole innych elementów obwodu.



przewód elektryczny | *bateria* | *żarówka* | *wyłącznik* | *połączenie przewodów*



Obok przedstawiono schemat prostego obwodu złożonego z baterii, żarówki i wyłącznika.

Przewodnik czy izolator?

Zbadaliśmy już, że przez różne substancje mogą się przemieszczać elektrony pochodzące z naelektryzowanych ciał. Dokładnie tak samo przemieszczają się elektrony z baterii. Opisane na kolejnej stronie doświadczenie pozwala sprawdzić, czy interesująca nas substancja jest przewodnikiem czy izolatorem.

Doświadczenie

1. Połącz ogniwo, żarówkę i przewody tak, jak przedstawiono na zdjęciu. Obwód nie jest zamknięty, więc prąd nie płynie i żarówka nie świeci.
2. Dotknij wolnymi końcami przewodów kolejno do: gumki do ścierania, monety, kartki i innych przedmiotów.
3. Które z badanych przedmiotów wykonano z przewodników, a które – z izolatorów?



Podsumowanie

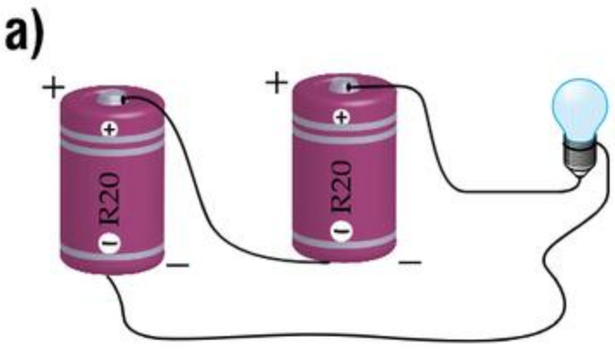
- Prąd elektryczny w metalu to uporządkowany ruch elektronów swobodnych.
- Prąd elektryczny płynie tylko w obwodzie zamkniętym.
- Gdy w obwodzie następuje zwarcie, prąd płynie „łatwiejszą" drogą.
- Prąd elektryczny (przepływ ładunków elektrycznych) można porównać z przepływem wody. Napięciu odpowiada różnica poziomów wody.
- Aby narysować schemat obwodu elektrycznego, stosujemy symbole umowne.
- Elektrony w obwodzie przemieszczają się od ujemnego do dodatniego bieguna baterii, jednak kierunek przepływu prądu uważa się umownie za przeciwny.

Pytania i zadania

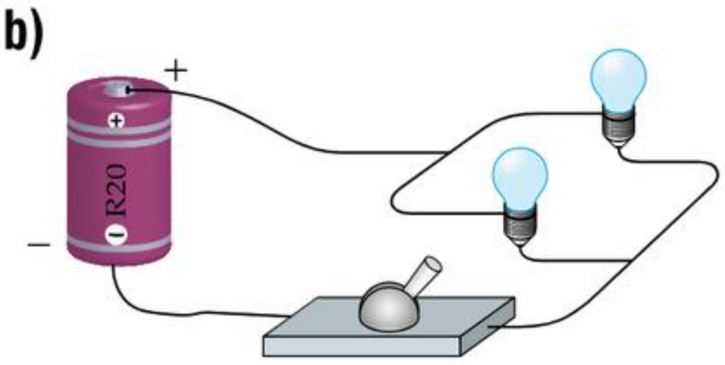
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Narysuj w zeszycie schemat każdego z obwodów przedstawionych na rysunkach.

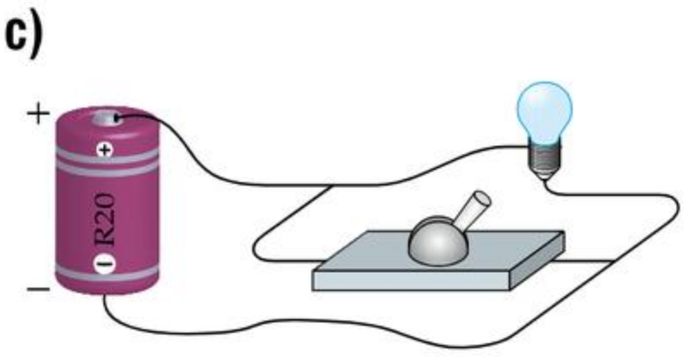
a)



b)

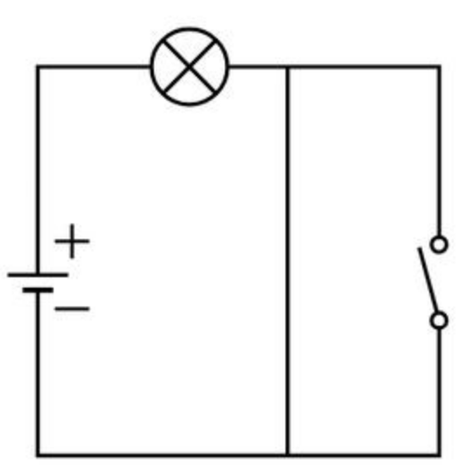


c)

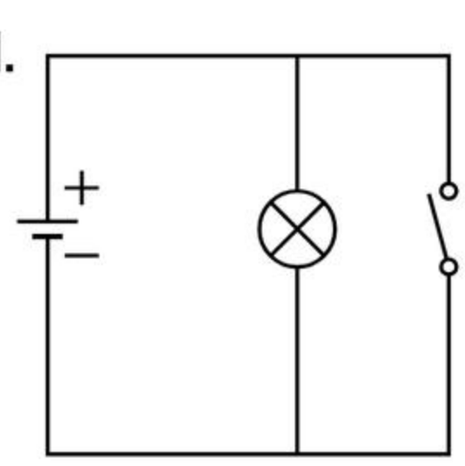


2. Dopasuj opisy A–D do schematów obwodów I–IV.

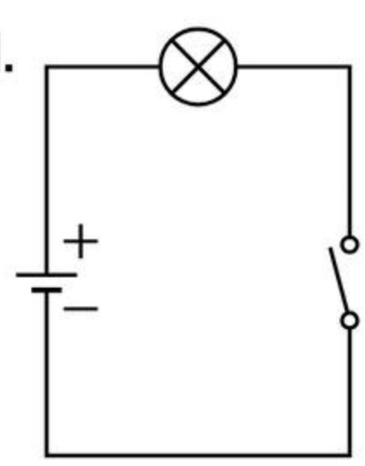
I.



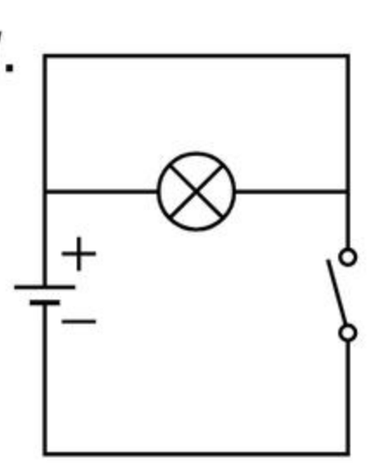
II.



III.



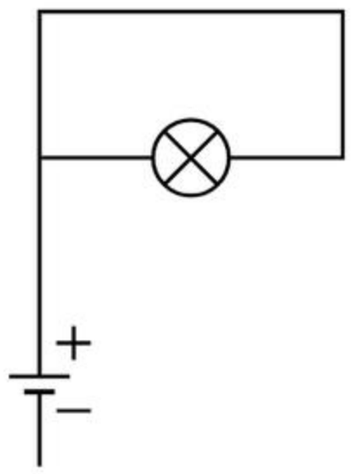
IV.



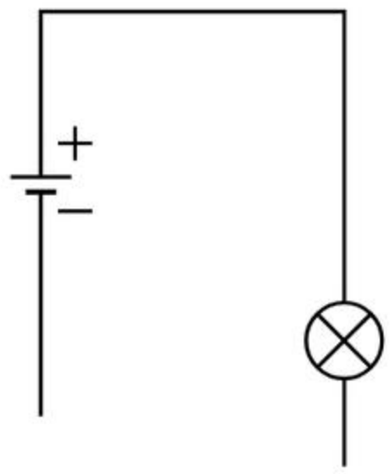
A. Żarówka świeci – niezależnie od tego, czy wyłącznik jest zamknięty czy otwarty.
B. Żarówka nie świeci – niezależnie od tego, czy wyłącznik jest zamknięty czy otwarty.
C. Żarówka świeci wtedy, gdy wyłącznik jest zamknięty.
D. Żarówka świeci wtedy, gdy wyłącznik jest otwarty.

3. Wskaż obwód, w którym żarówka świeci.

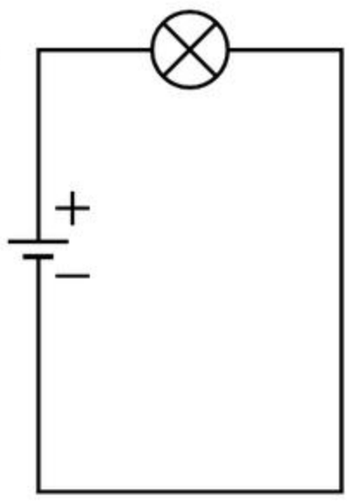
A.



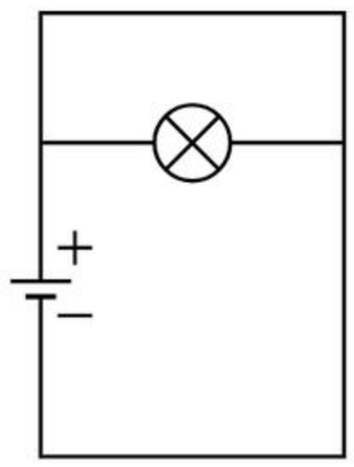
C.



B.



D.



4. Jaś podłączył obie końcówki żarówki do jednego bieguna baterii, a Małgosia – oba bieguny baterii do jednej końcówki żarówki. W żadnym z tych wypadków przez żarówkę nie płynął prąd. A przez baterię?

5. Wykonane ze stali kombinerki służą między innymi do naprawy urządzeń elektrycznych. Mają one – w odróżnieniu od zwykłych obcęgów do wyciągania gwoździ – uchwyty otoczone grubą warstwą tworzywa sztucznego. Wyjaśnij dlaczego.



6. Tramwaje i pociągi elektryczne zasilane są z jednego przewodu zawieszonego nad torami. Drugi biegun ich zasilania stanowią szyny połączone z ziemią. Wyjaśnij, dlaczego trolejbusy mają dwa pałąki.



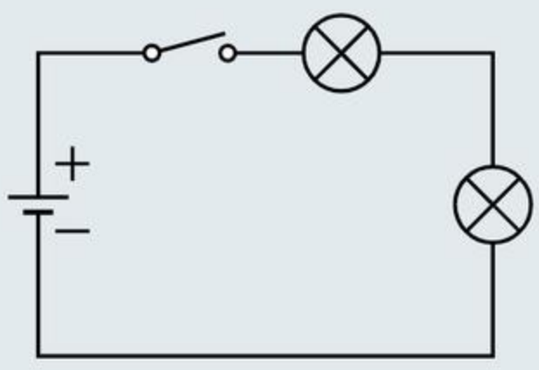
Trolejbus.

Doświadczenie

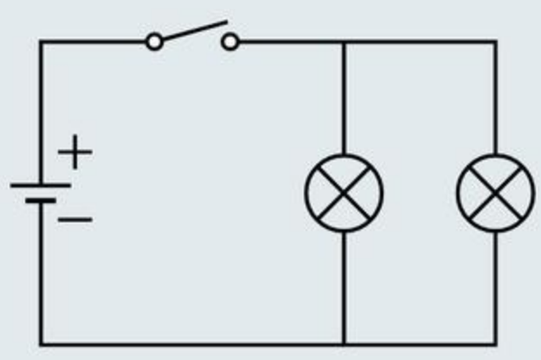
Obwody elektryczne

1. Zbuduj obwody według narysowanych schematów a) i b). Użyj jednakowych żarówek.
2. W którym obwodzie żarówki po zamknięciu obwodu świecą jaśniej? Spróbuj wyjaśnić, dlaczego tak się dzieje.

a)



b)



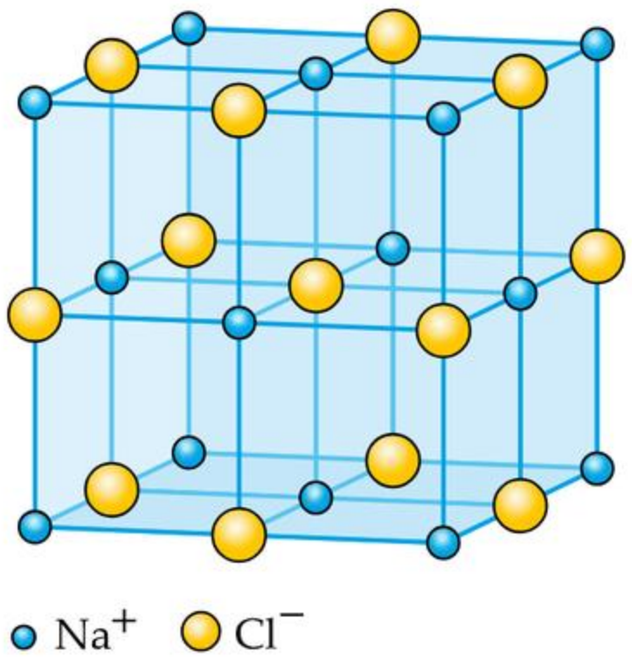
5 Prąd elektryczny w cieczach

Jony

Czasami atom traci albo zyskuje elektron. Wówczas przeważa w nim ładunek dodatni albo ujemny i z obojętnego elektrycznie atomu staje się on dodatnim albo ujemnym **jonem**. Na przykład wtedy, gdy atom chloru i atom sodu znajdą się blisko siebie, atom chloru przejmuje jeden z elektronów atomu sodu. W ten sposób atom chloru staje się jonem ujemnym Cl^-, a atom sodu – jonem dodatnim Na^+. Ponieważ te jony są naładowane przeciwnie, przyciągają się.

Kryształ chlorku sodu

W ten właśnie sposób powstaje kryształ chlorku sodu (NaCl), czyli zwykłej soli kuchennej. Gdy taki kryształ rozpuścimy w wodzie, będą się w niej znajdować pojedyncze jony, a nie obojętne elektrycznie cząsteczki.
Także atomy i cząsteczki gazów mogą zmieniać się w jony. Powiemy o tym na następnej lekcji.



Kryształ chlorku sodu (NaCl).



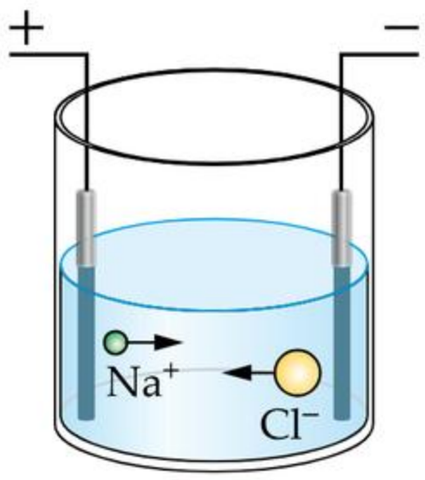
Kryształy chlorku sodu przyjmują kształt sześcianu, który odpowiada sześciennej siatce atomów.

Elektrony czy jony

Doświadczenie



1. Do czystego naczynia nalej wody destylowanej (a przynajmniej przegotowanej).
2. Do wody włóż dwa końce przewodów (lub dwa gwoździe) i zbuduj obwód jak na fotografii. Użyj żarówki 4,8 V i baterii 9 V. Czy żarówka świeci?
3. Wsyp do naczynia łyżeczkę soli kuchennej. Zamieszaj (uważaj, aby gwoździe się nie poruszyły).
4. Wsypuj powoli kolejne łyżeczki soli, mieszaj i obserwuj, co się dzieje z żarówką.



Jony w roztworze soli.

Wiesz już, że w metalu przepływ prądu polega na uporządkowanym ruchu elektronów. W wielu cieczach mechanizm przepływu prądu jest inny. Nie ma w nich swobodnych elektronów, są jony. W czystej chemicznie (destylowanej) wodzie nie ma jonów, dlatego nie przewodzi ona prądu. Nawet w wodzie przegotowanej jest ich niewiele. Gdy jednak rozpuścimy w niej sól albo inną substancję, która po rozpuszczeniu utworzy jony, prąd będzie mógł płynąć.

W niektórych roztworach wodnych znajdują się jony. W takich roztworach prąd elektryczny to uporządkowany ruch tych jonów.

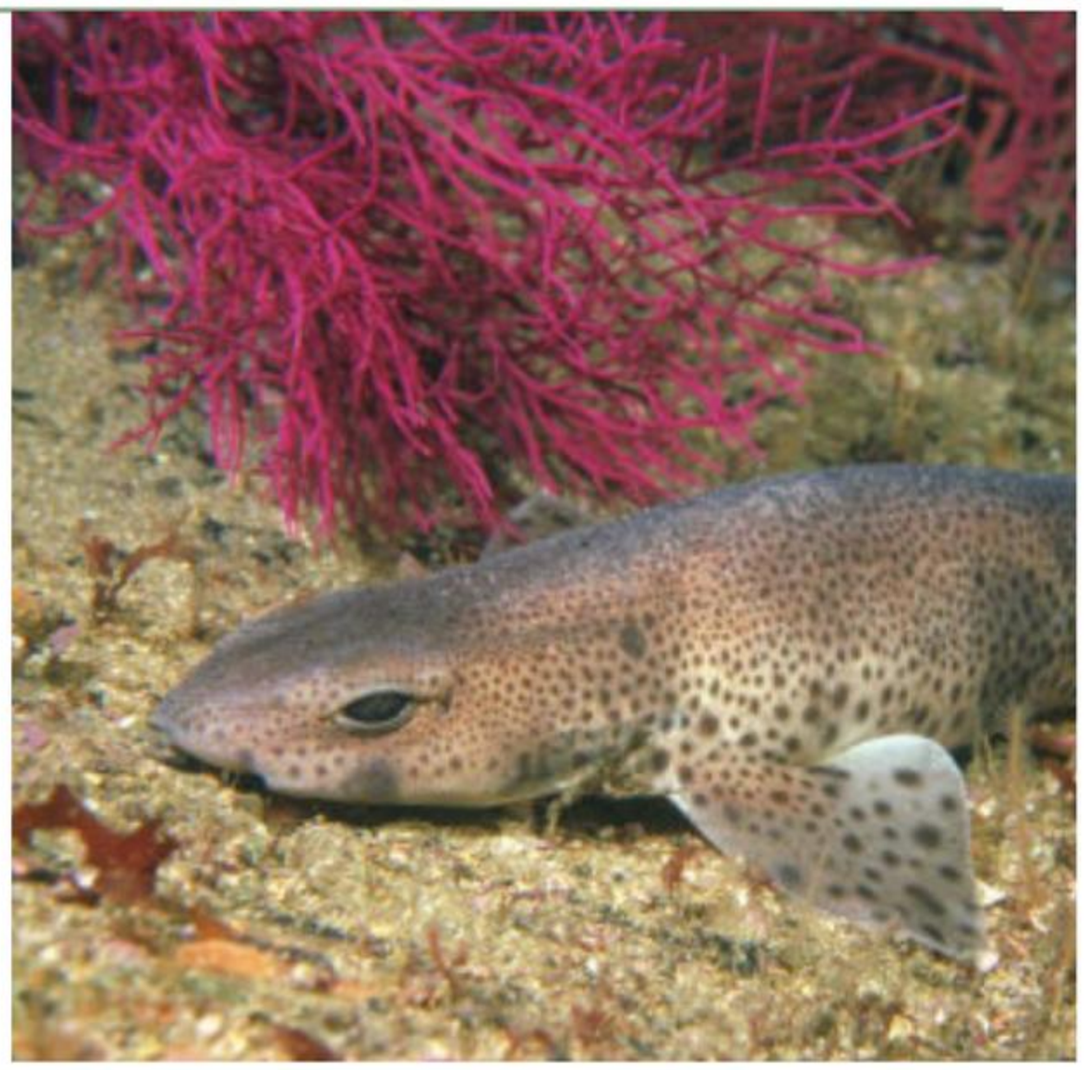
Elektryczność w organizmach żywych

Do przekazywania i przetwarzania informacji oraz sterowania pracą różnych urządzeń ludzie wykorzystują prąd elektryczny dopiero od około stu lat. Przyroda robi to od milionów lat. Niemal u wszystkich zwierząt, z wyjątkiem najbardziej prymitywnych, sygnały z narządów zmysłów do mózgu i z mózgu do mięśni przekazywane są w postaci elektrycznej. Funkcję przewodów pełnią nerwy. Sam mózg także jest zbudowany z komórek nerwowych – u człowieka występuje ich około 10 miliardów. Mózg to w dużej mierze „urządzenie elektryczne".
Oczywiście nerwy nie są zbudowane z metalu, ale – jak wszystkie komórki – głównie z cieczy. Znajdują się więc w nich jony. Rozmyślania nad książką, radość z wygranego meczu, zachwyt nad dziełem sztuki albo ukochaną osobą – wszystko to jest wynikiem przemieszczania się jonów.
Przesyłanie sygnału w nerwach nie polega na przepływie prądu wzdłuż nerwu, ale na przemieszczaniu się jonów z wnętrza komórki nerwowej na zewnątrz lub odwrotnie. W działaniu układu nerwowego, oprócz przesyłania impulsów elektrycznych, mają także udział reakcje chemiczne.

Mimo wielu odkryć działanie układu nerwowego, a zwłaszcza mózgu, ciągle jest zagadką dla badaczy. Nawet najlepsze komputery nie dorównują sprawnością mózgowi.

Ciekawostka

Niektóre gatunki ryb, np. węgorz elektryczny, wykorzystują wytwarzane przez siebie wysokie napięcie do obrony i polowania. Wiele innych ryb porozumiewa się za pomocą sygnałów elektrycznych lub wykorzystuje takie sygnały jako rodzaj radaru do lokalizowania różnych organizmów w mętnej wodzie.
Są też gatunki, które same nie wytwarzają elektryczności, ale potrafią wyczuć nawet bardzo słabe sygnały powstające w mięśniach innych ryb. Dzięki tej zdolności rekinek psi (na zdjęciu) może znaleźć flądrę całkowicie zagrzebaną w mule, a następnie odkopać ją i zjeść. Biolodzy sprawdzili, że na pewno chodzi tu o sygnał elektryczny, bo rekinek stara się „upolować" również zakopane w mule sztuczne źródło sygnałów elektrycznych naśladujących flądrę.



Rekinek psi.

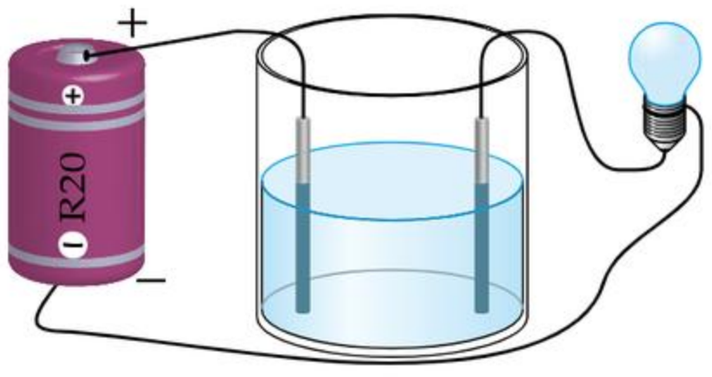
Podsumowanie

- W niektórych roztworach wodnych znajdują się jony. W takich roztworach prąd to uporządkowany ruch tych jonów.
- Układ nerwowy (w tym mózg) człowieka i innych zwierząt działa w znacznej mierze dzięki przesyłaniu impulsów elektrycznych.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Opisz, w której części obwodu przepływ prądu to ruch elektronów, a w której – jonów.



2. Wyjaśnij, dlaczego płonących urządzeń elektrycznych pod napięciem nie wolno gasić wodą.

3. Zastanów się, czy łzy człowieka przewodzą prąd elektryczny lepiej niż woda z wodociągu. A może gorzej? Uzasadnij odpowiedź.

4. Wodorotlenek sodu (NaOH), potocznie zwany sodą żrącą, jest jednym z głównych składników preparatów do udrożniania kanalizacji. W wodzie rozpada się na jony Na^+ i inny rodzaj jonów.
Zapisz w zeszycie wzór chemiczny tych jonów. Nie zapomnij o zaznaczeniu ładunku.

Doświadczenie

Galwanizacja

Uwaga. Doświadczenie do wykonania w szkole pod nadzorem nauczyciela.

1. Do doświadczenia potrzebny jest siarczan(VI) miedzi(II) ($CuSO_4$) – niebieski proszek, który można otrzymać w pracowni chemicznej.

Uwaga. Siarczan(VI) miedzi(II) jest trucizną!

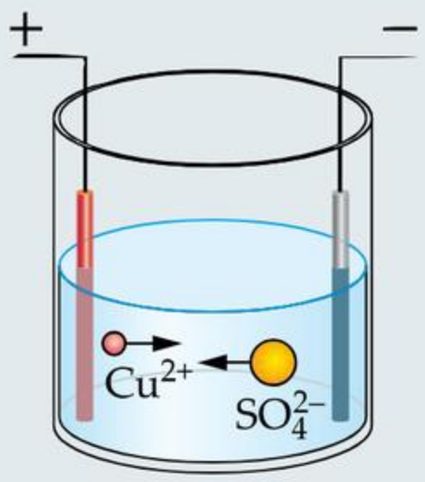
2. Do szklanki wlej trochę ciepłej wody. Rozpuść w niej siarczan(VI) miedzi(II) (tyle, ile wystarczy, aby uzyskać intensywnie niebieski roztwór).

3. Zanurz w wodzie miedzianą blaszkę lub gruby miedziany przewód pozbawiony izolacji na długości około 10 cm. Z drugiej strony włóż do naczynia stalowy spinacz.

4. Podłącz blaszkę (lub gruby przewód) do dodatniego bieguna baterii 9 V, a spinacz – do bieguna ujemnego.

5. Po kilkudziesięciu sekundach zobaczysz, że spinacz pokrył się miedzią. A co się stanie z blaszką?





Schemat galwanizacji.

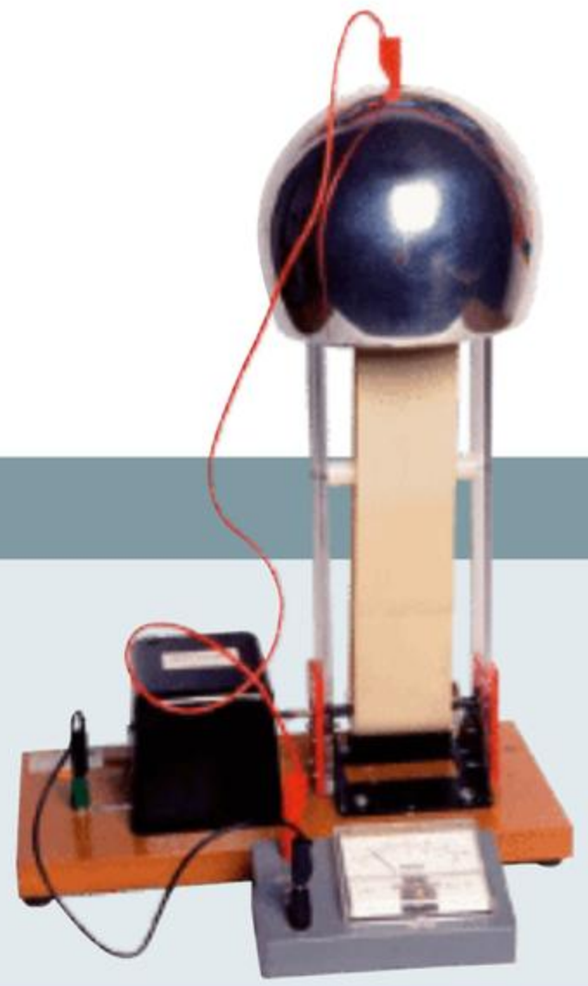
Siarczan(VI) miedzi(II) rozpada się w wodzie na dodatnie jony Cu^{2+} i ujemne jony SO_4^{2-}.
Dodatni biegun baterii „wysysa" elektrony z blaszki, więc zostają w niej jony. Przechodzą one do roztworu, wzbogacając go w miedź.
Tymczasem z drugiej strony elektrony przemieszczają się z baterii do spinacza. Znajdujące się w pobliżu dodatnie jony miedzi osiadają na spinaczu i przyłączają elektrony, stając się znowu atomami elektrycznie obojętnymi.
Siarczan(VI) miedzi(II) jest potrzebny po to, aby w roztworze zawsze znajdowała się pewna ilość „zapasowych" jonów. Ale w rezultacie bateria przekazuje z drutu do spinacza elektrony, a tymczasem jony przepływają przez roztwór. W sumie atomy przemieszczają się z jednej elektrody na drugą.
Ten proces nazywa się galwanizacją. W ten sposób pokrywa się różne ciała cienką warstwą metalu: pozłaca się przedmioty, a także pokrywa części pojazdów lub maszyn chromem i niklem.



6 Prąd elektryczny w gazach

Jonizacja powietrza

Do części doświadczeń na tej lekcji będziemy używać maszyny elektrostatycznej (patrz zdjęcie na s. 43) lub generatora Van de Graaffa (patrz zdjęcie obok). Każde z tych urządzeń pozwala osiągnąć wysokie napięcie.



Doświadczenie

1. Jeśli w szkole jest maszyna elektrostatyczna lub generator Van de Graaffa, zaobserwuj, jak powstają iskry elektryczne.
2. Jeśli w szkole nie masz takiej maszyny, może uda ci się naelektryzować swoje ciało, szurając nogami po podłodze. Gdy dotkniesz kaloryfera, między twoją ręką a kaloryferem przeskoczy niewielka iskra.

Powietrze jest izolatorem, ponieważ atomy, z których się składa, są obojętne elektrycznie i nie mogą przenosić ładunku. Jednak pod wpływem sił elektrycznych od niektórych atomów lub cząsteczek odrywane są elektrony. Część tych elektronów przyłącza się do innych atomów. Jak wiesz, atom (lub cząsteczkę), w którym brakuje elektronów lub w którym znajdują się dodatkowe elektrony, nazywamy jonem. Zatem pod wpływem sił elektrycznych w powietrzu mogą się tworzyć jony oraz swobodne elektrony. Mówimy wtedy, że powietrze jest zjonizowane.

Prąd elektryczny w gazach to uporządkowany ruch jonów i elektronów.

Żarówki i świetlówki

Przepływ prądu przez zjonizowany gaz wykorzystujemy w praktyce. Uliczne reklamy nazywamy czasem neonami, gdyż zbudowane są z lamp neonowych. W odróżnieniu od zwykłych żarówek,



Żarówka ze świecącym włóknem.



Świetlówki.



Lampa LED (żółte elementy to pojedyncze diody).

w których świeci rozgrzane metalowe włókno, w lampach neonowych źródłem światła jest zjonizowany gaz, a jednym z wykorzystywanych do tego gazów jest neon.
Również w świetlówkach energia pochodzi ze zjonizowanego gazu, „świeci" on jednak, wysyłając niewidzialne dla oka promieniowanie nadfioletowe. Ścianki świetlówki pokryte są od wewnątrz specjalną substancją, która – pobudzona tym promieniowaniem – świeci światłem widzialnym.
Oprócz świetlówek w kształcie długich rur, stosowanych np. w szkołach, dostępne są świetlówki kompaktowe, które można wkręcać do zwykłej oprawki na żarówki. Nazywane są one czasem (niezbyt poprawnie) żarówkami energooszczędnymi.
Podstawową przewagą świetlówek nad żarówkami jest lepsze wykorzystanie energii. Świetlówka daje tyle samo światła przy mniej więcej pięciokrotnie mniejszym zużyciu energii elektrycznej. Typowa żarówka zamienia na energię światła tylko około 4% energii elektrycznej, a świetlówka – około 20%.
Obecnie coraz popularniejsze stają się jeszcze bardziej wydajne źródła światła – diody świecące (LED). O ich działaniu dowiesz się więcej w szkole ponadpodstawowej.

Metalowe ostrze



Doświadczenie

1. Do kulki elektroskopu przymocuj gwóźdź (np. taśmą klejącą).

Uwaga. Jeśli korzystasz z elektroskopu własnej konstrukcji, opisanego na s. 22, możesz zdjąć jedną z kulek umieszczonych na końcach drutu.

2. Naładuj elektroskop. Czy rozładowuje się on szybciej czy wolniej niż zwykle?



Pod wpływem ujemnego ładunku chmury powierzchnia ziemi ładuje się dodatnio.

W metalowym ciele ładunek nie rozkłada się równomiernie. W ostrzu znajduje się go najwięcej. Taka duża ilość ładunku powoduje jonizację powietrza. Dlatego ładunek „wypływa" z ostrza.

Wyładowania atmosferyczne

Wiesz, że pioruny to iskry elektryczne. Skąd się one biorą?
Chmura burzowa składa się z pary wodnej, kropelek wody, pyłów i kryształków lodu. Te krople i kryształki nieustannie poruszają się dzięki konwekcji i elektryzują się w wyniku pocierania o siebie.
Dzięki temu w dolnej części chmury gromadzi się zwykle ładunek ujemny, a w górnej – dodatni. Od strony ziemi chmura jest naładowana ujemnie i odpycha ujemne ładunki w głąb ziemi.

Powierzchnia ziemi pod chmurą oraz znajdujące się na niej obiekty elektryzują się więc dodatnio. Jest to przykład znanego ci już zjawiska indukcji elektrostatycznej.
Wskutek różnicy dużych ładunków o przeciwnych znakach między chmurą a ziemią powstaje bardzo wysokie napięcie (kilkadziesiąt milionów woltów) i przepływa prąd elektryczny. Takie zjawisko to **wyładowanie atmosferyczne**, czyli **piorun**.
Iskry elektryczne mogą przeskakiwać także między chmurami oraz wewnątrz chmury.

Piorunochrony

Uderzenie pioruna może spowodować śmierć i zniszczenia. Chroni nas przed tym piorunochron: zazwyczaj ostro zakończony metalowy pręt wycelowany w niebo i połączony z ziemią grubym przewodem.
Podczas burzy na piorunochronie zbiera się ładunek elektryczny o dużej gęstości indukowany przez ładunek chmury i następuje częściowe wyładowanie, które istotnie neutralizuje naładowane elektrycznie chmury. Dlatego piorun w to miejsce najczęściej nie uderza. Rola piorunochronu jest więc podobna do roli dodatkowego przewodu w doświadczeniu opisanym na s. 30. Zarówno w jednym, jak i w drugim przypadku prąd wybiera łatwiejszą drogę.



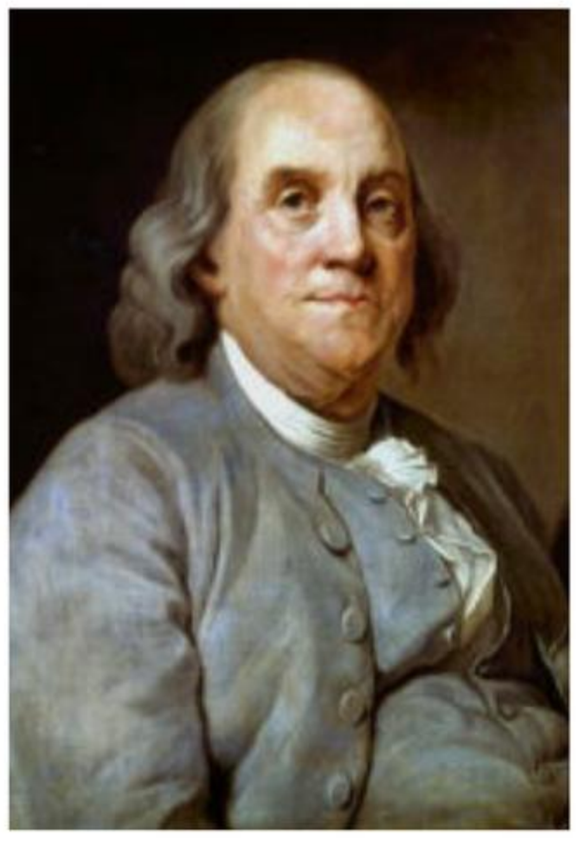
Piorunochron.

Zachowanie w czasie burzy

Piorun uderza zwykle w najwyższe obiekty, a także w takie, przez które najłatwiej płynie prąd. Mokre drzewo spełnia zwykle oba te warunki, dlatego tak często staje się celem uderzenia pioruna. Nigdy nie należy chronić się przed burzą pod drzewem ani w pobliżu słupów i innych wysokich obiektów.
Także woda dobrze przewodzi prąd. Nie należy więc w czasie burzy przebywać w wodzie ani na wodzie.

Z historii

Piorunochron jest wynalazkiem Benjamina Franklina [czyt. bendżamina franklina], żyjącego w XVIII w. amerykańskiego uczonego i bojownika o niepodległość Stanów Zjednoczonych. To Franklin odkrył, że piorun ma naturę elektryczną. Wcześniej sądzono, że jest to eksplozja substancji wybuchowej.
Genialny uczony żył 84 lata, co świadczy o dużym szczęściu przy dość lekkomyślnych metodach prowadzenia doświadczeń. Badał on pioruny, puszczając latawce w czasie burzy. Piorunochron na własnym domu wyposażył w dodatkowy przewód, prowadzący prąd elektryczny do pracowni.
Kiedyś na Boże Narodzenie zamierzał zabić indyka wyładowaniem elektrycznym. Gdy goście zeszli się na to niecodzienne widowisko, Franklin przez nieuwagę dotknął przyrządu i sam został porażony ładunkiem przeznaczonym dla ptaka. Na szczęście skończyło się tylko na utracie przytomności. „Żona tak się przeraziła, że usiłuje mnie powstrzymać od dalszych eksperymentów – pisał potem uczony – ale kwestia elektryczności w dalszym ciągu zaciekawia mnie i pociąga".
W Polsce pierwszy piorunochron zainstalowano na polecenie króla Stanisława Augusta Poniatowskiego na Zamku Królewskim w Warszawie.



Benjamin Franklin.

Niektórzy sądzą, że w czasie burzy należy się położyć. Co prawda leżąc, najmniej wystajemy nad ziemię, ale pojawia się inne niebezpieczeństwo. Gdy piorun uderzy w ziemię, prąd popłynie we wszystkich kierunkach. Jeśli leżysz na ziemi, twoje mokre ciało może okazać się lepszym przewodnikiem niż ziemia, więc prąd przepłynie przez nie (jak na rys. a).
Aby nie wystawać ponad poziom gruntu, warto przykucnąć, ale nie należy się kłaść. Oczywiście najlepiej schronić się w budynku wyposażonym w piorunochron albo w samochodzie. Nawet jeśli piorun uderzy w budynek, prąd spłynie do ziemi. Podobnie, gdy piorun trafi w pojazd, prąd spłynie do ziemi po stalowej karoserii (patrz rys. b).

a)



b)



Ciekawostka

Już przed wiekami żeglarze obserwowali, że gdy w nocy zbliża się burza, w pobliżu końcówek masztów i rej pojawiają się tajemnicze błękitne ogniki. Na cześć swojego patrona nazwali je ogniami św. Elma. Takie ogniki można czasem obserwować także na lądzie, np. w pobliżu metalowych przedmiotów, na czubkach wież, oraz przy skrzydłach samolotu.
Początkowo nie było oczywiście szans wyjaśnienia przyczyny tego zjawiska. Jednak po wykonaniu ostatniego doświadczenia pewnie już się domyślasz, skąd się biorą ognie św. Elma.



Podsumowanie

- Pod wpływem sił elektrycznych w gazach tworzą się jony (dodatnie i ujemne).
- Prąd elektryczny w gazach to uporządkowany ruch jonów i elektronów.
- Świecenie zjonizowanego gazu wykorzystujemy w świetlówkach i obserwujemy w błyskawicach.
- Pioruny to wyładowania elektryczne pomiędzy chmurami a ziemią. Chmury ładują się przez tarcie, a ziemia – pod wpływem ładunku chmury. Iskry elektryczne przeskakują także pomiędzy chmurami i wewnątrz chmur.
- Piorunochron łagodzi skutki uderzenia pioruna, odprowadzając ładunek do ziemi.
- W czasie burzy nie wolno chronić się pod drzewami i słupami, przebywać w wodzie czy na wodzie ani kłaść się na ziemi. Najlepiej schować się w budynku zaopatrzonym w piorunochron lub w samochodzie, a jeśli to niemożliwe – przykucnąć.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wyjaśnij, na czym polega przepływ prądu elektrycznego w powietrzu.

2. Cząsteczka tlenu O_2 zawiera 16 protonów (po 8 w każdym atomie) i tyle samo elektronów. Gdy utraci jeden elektron, staje się jonem dodatnim. Wyjaśnij, w jaki sposób cząsteczka O_2 może stać się jonem ujemnym.

3. Określ, która z lamp działa na zasadzie podobnej do świecenia błyskawicy: żarówka czy świetlówka.

4. Łyżkę i widelec położono na porcelanowych talerzach i naładowano elektrycznie. Określ, który ze sztućców dłużej zachowa ładunek. Wyjaśnij dlaczego.

5. Na podstawie informacji zamieszczonych w tabeli obok oblicz, ile złotych można zaoszczędzić w czasie 6000 h świecenia lampy, w której zainstalowano świetlówkę zamiast żarówki.

	Moc (przy tej samej ilości światła)	Cena	Trwałość
Żarówka	100 W	1 zł	1000 h
Świetlówka	20 W	15 zł	6000 h

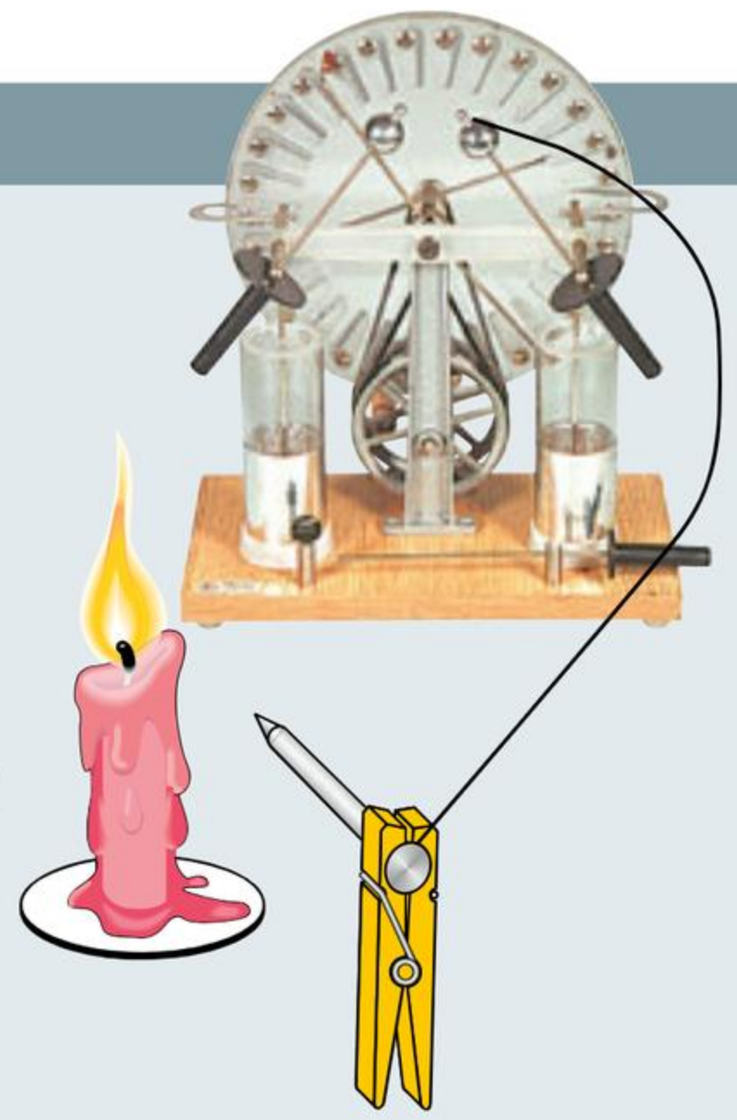
Cena energii elektrycznej: 50 gr za 1 kWh.

Doświadczenia

Wiatr elektryczny

Uwaga. Doświadczenie do wykonania w szkole pod nadzorem nauczyciela. Potrzebne są maszyna elektrostatyczna lub generator Van de Graaffa, które należy obsługiwać, przestrzegając zasad bezpieczeństwa.

1. Do jednego z biegunów maszyny elektrostatycznej lub generatora Van de Graaffa podłącz gwóźdź.
2. W odległości kilku centymetrów od gwoździa zapal świeczkę i wyceluj gwóźdź w płomień. Świeczkę zamocuj w statywie lub na świeczniku, nie trzymaj jej w ręku!
3. Włącz maszynę. Co się dzieje z płomieniem świeczki?



Świecące powietrze

Uwaga. Doświadczenie należy wykonywać przy minimalnym oświetleniu.

Do siatki generatora Van de Graaffa lub kulki maszyny elektrostatycznej zbliż wycelowany w nią szpikulec połączony przewodem z ziemią. Powietrze w pobliżu szpikulca zacznie świecić. Wyjaśnij przyczyny tego świecenia.

7 Napięcie elektryczne i natężenie prądu elektrycznego

Wodospady i żarówki

Czy wiesz, że w Polsce znajduje się wodospad wyższy od słynnej Niagary? Jest to Siklawa na potoku Roztoka w Tatrach. Niagara ma 64 m wysokości, a Siklawa – aż 70 m. Jednak w każdej sekundzie przez Niagarę przepływa 6000 m^3 wody, a przez Siklawę – tylko 0,5 m^3.

Wysokość wodospadu to zupełnie co innego niż ilość wody przepływającej przez niego w ciągu sekundy.

Napięcie elektryczne pomiędzy przewodami dochodzącymi do lampki nocnej wynosi 230 V. W wypadku reflektora długich świateł w samochodzie wynosi ono tylko 12 V. Jednak przez lampkę nocną w ciągu sekundy przepływa ładunek elektryczny równy tylko 0,1 C, a przez reflektor samochodowy – aż 5 C.

Napięcie to zupełnie co innego niż ilość ładunku przepływającego przez żarówkę w ciągu sekundy.

Gdy porównamy prąd elektryczny, czyli przepływ ładunków elektrycznych, z przepływem wody przez wodospad, napięciu odpowiada wysokość wodospadu. Natomiast ilość wody przepływającej w ciągu sekundy odpowiada innej wielkości – natężeniu prądu.



Napięcie elektryczne odpowiada wysokości wodospadu. Dlatego mówimy: „wysokie napięcie”, a nie: „duże napięcie”.

Napięcie elektryczne

Gdy żarówkę podłączymy do baterii, energia elektryczna zmienia się w energię światła, energię promieniowania cieplnego i energię wewnętrzną. Im większy ładunek przepłynie, tym więcej energii uzyskamy.
W przypadku okrągłego ogniwa (jak na zdjęciu obok) na każdy ładunek 1 C przypada 1,5 J energii. Mówimy, że napięcie między biegunami ogniwa wynosi 1,5 $\frac{\text{J}}{\text{C}}$, czyli krótko: 1,5 V (1,5 wolta).



Wszystkie te ogniwa mają jednakowe napięcie 1,5 V.

Napięcie elektryczne między dwoma punktami obwodu określa ilość energii elektrycznej, która zmieni się w inne rodzaje energii, gdy między tymi punktami przepłynie ładunek jednostkowy, czyli 1 C.

Jednostką napięcia jest **wolt** $\left(1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}\right)$.

Przykład 1. Gdy przez grzałkę przepłynął ładunek 5 C, wówczas 50 J energii elektrycznej zmieniło się w energię wewnętrzną i energię promieniowania cieplnego. Do jakiego napięcia podłączono grzałkę?

Skoro na 5 C przypada 50 J energii, to na 1 C przypada 10 J. Napięcie wynosiło więc 10 $\frac{\text{J}}{\text{C}}$, czyli 10 V.

Odpowiedź: Grzałkę podłączono do napięcia 10 V.

Ładunek elektryczny oznaczamy literą q, a napięcie – literą U. Przykład 1. pokazuje, że napięcie można obliczać ze wzoru:

$$\text{napięcie} = \frac{\text{energia}}{\text{ładunek}} \qquad U = \frac{E}{q}$$

Przykład 2. Żarówka latarki zasilana jest napięciem 3 V. Ile energii elektrycznej zużyje, gdy przepłynie przez nią ładunek 5,2 C?

Sposób I

Podane napięcie oznacza, że przy ładunku 1 C żarówka zużywa 3 J energii elektrycznej. Przy ładunku 5,2 C energia jest 5,2 razy większa, wynosi więc $5{,}2 \cdot 3\ \text{J} = 15{,}6\ \text{J}$.

Sposób II

Wzór:

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

przekształcamy do postaci:

$$E = U \cdot q$$

Podstawiamy dane:

$$E = 3\ \text{V} \cdot 5{,}2\ \text{C} = 3\ \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot 5{,}2\ \text{C} = 15{,}6\ \text{J}$$

Odpowiedź: Żarówka zużyje 15,6 J energii elektrycznej.

Natężenie prądu

Napięcie elektryczne nie jest jedyną wielkością pozwalającą opisywać zjawiska elektryczne. Równie ważnym pojęciem jest natężenie prądu.

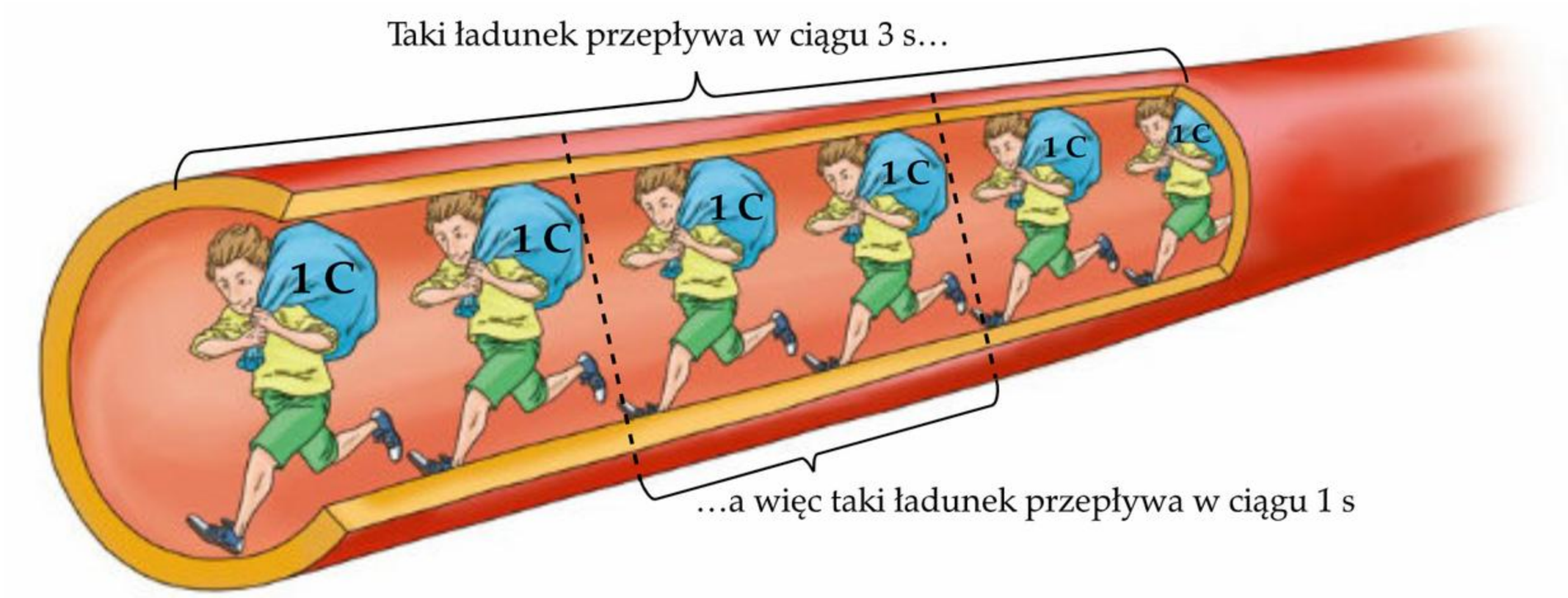
Natężenie prądu elektrycznego to wielkość określająca ilość ładunku elektrycznego przepływającego w ciągu sekundy przez określone miejsce w obwodzie.

Ćwiczenie. Jakie jest natężenie prądu płynącego przez żarówki lampki nocnej i reflektora samochodowego, o których była mowa na początku lekcji?

Przykład 3. Oblicz natężenie prądu elektrycznego płynącego przez żarówkę w reflektorze samochodowym, jeśli w ciągu 3 s przepłynął przez nią ładunek 6 C.

Skoro przez żarówkę w reflektorze samochodowym w ciągu 3 s przepłynął ładunek 6 C, to oznacza, że na 1 s przypada ładunek $6\ \text{C} : 3 = 2\ \text{C}$. Prąd ma więc natężenie $2\ \frac{\text{C}}{\text{s}}$.

Odpowiedź: Przez żarówkę płynie prąd o natężeniu $2\ \frac{\text{C}}{\text{s}}$.



Z przykładu 3. wynika, że aby obliczyć natężenie prądu, dzielimy przepływający ładunek przez czas, w którym ten ładunek przepływał. Natężenie prądu oznaczamy literą *I*, możemy więc zapisać wzór:

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

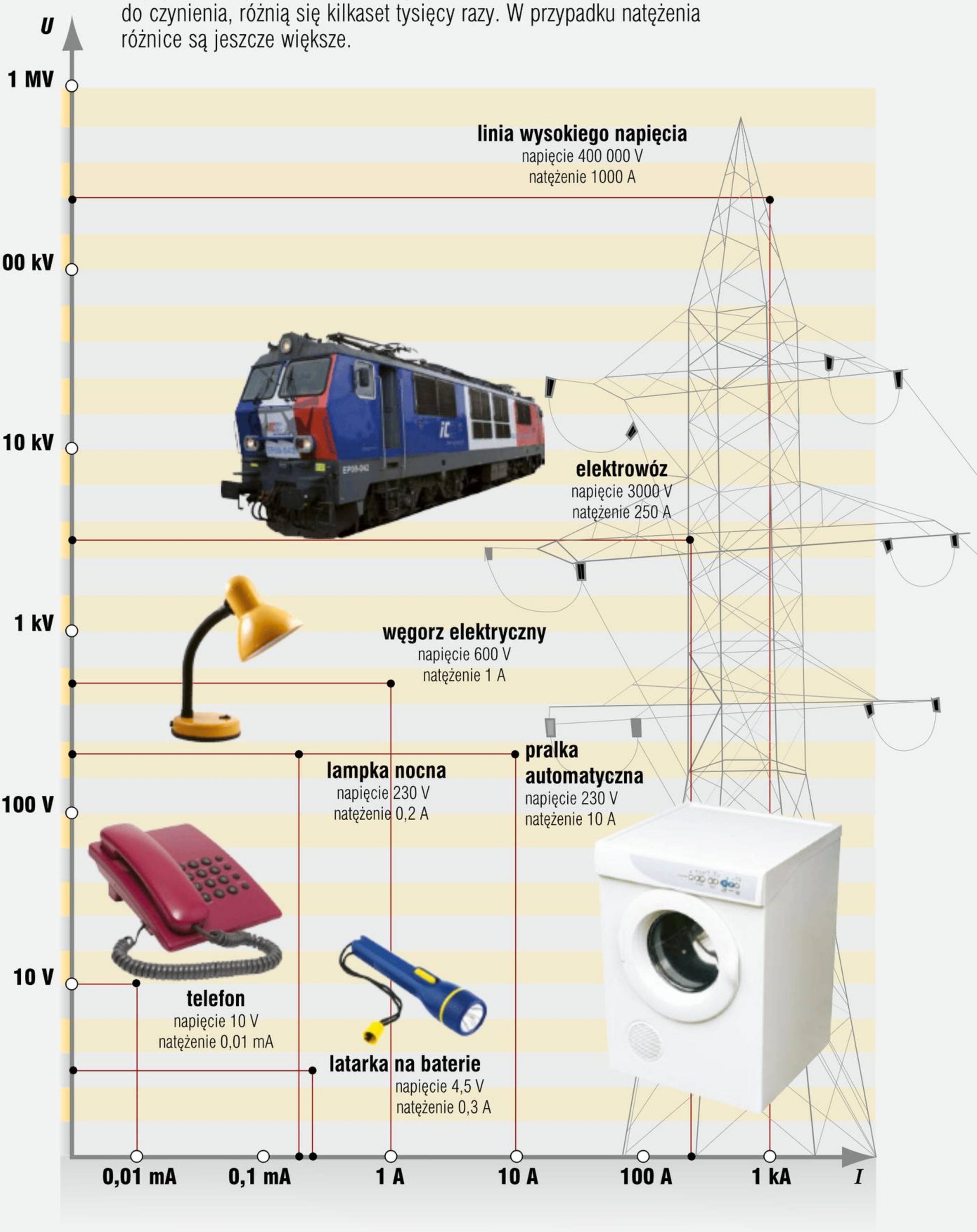
Jednostką natężenia prądu jest zatem kulomb na sekundę $\left(\frac{\text{C}}{\text{s}}\right)$. Ta jednostka ma specjalną nazwę: **amper** i oznaczana jest literą A.

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

Nazwa amper pochodzi od nazwiska francuskiego uczonego André Marie Ampère'a (czyt. and**re** mar**i** ampera), który przyczynił się m.in. do rozwoju nauki o elektryczności.

Napięcie i natężenie wokół nas

Najwyższe i najniższe wartości napięcia, z którymi mamy na co dzień do czynienia, różnią się kilkaset tysięcy razy. W przypadku natężenia różnice są jeszcze większe.



Podsumowanie

- Napięcie między dwoma punktami obwodu określa, ile energii elektrycznej zmieni się w inne rodzaje energii, gdy między tymi punktami przepłynie ładunek jednostkowy, czyli 1 C.
- Jednostką napięcia jest wolt $\left(1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}\right)$.
- Natężenie prądu elektrycznego to wielkość określająca ilość ładunku elektrycznego przepływającego w ciągu sekundy przez określone miejsce w obwodzie.
- Jednostką natężenia jest amper $\left(1\ \text{A} = 1\ \frac{\text{C}}{\text{s}}\right)$. Prąd o natężeniu 1 A płynie wtedy, gdy w ciągu 1 sekundy przez określone miejsce w obwodzie (dokładniej: przez przekrój poprzeczny przewodnika w tym obwodzie) przepływa ładunek 1 C.
- Jeśli porównamy prąd elektryczny z przepływem wody, napięciu odpowiada różnica poziomów, a natężeniu – ilość wody przepływającej w ciągu sekundy.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wodospad Niagara ma wysokość 64 m, a wodospad Wiktorii 108 m. Jednak przez pierwszy z nich w ciągu sekundy przepływa 6000 m^3 wody, a przez drugi 1090 m^3. Określ, który z nich ma większe „natężenie przepływu wody", a który – wyższe „napięcie".

2. Grzałka pracująca pod napięciem 20 V przekształciła 1000 J energii elektrycznej w energię wewnętrzną i energię promieniowania cieplnego. Oblicz ładunek, który przepłynął przez tę grzałkę.

3. Oblicz energię elektryczną zużytą przez wiertarkę zasilaną z akumulatora o napięciu 12 V, jeżeli przepłynie przez nią ładunek 20 C.

4. Oblicz natężenie prądu w następujących sytuacjach:
a) przez silnik odkurzacza w ciągu 4 s przepłynął ładunek 18 C,
b) przez diodę świecącą w ciągu minuty przepłynął ładunek 3 C.

5. Oblicz ładunek, jaki przepłynie przez obwód w czasie t przy natężeniu I.
a) $t = 3$ s, $I = 50$ mA
b) $t = 20$ s, $I = 100$ mA

6. Przeczytaj tekst w ramce.

> Pojemność akumulatora, czyli maksymalny ładunek, jaki można w nim zgromadzić, wyraża się zwykle w amperogodzinach (Ah). Ta jednostka oznacza ładunek, który jest przenoszony przez prąd o natężeniu 1 A w ciągu godziny. Pamiętając, że godzina to 3600 s, łatwo zamienić tę jednostkę na kulomby:
> $1\ \text{Ah} = 1\ \text{A} \cdot 1\ \text{h} = 1\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 3600\ \text{C}$

Pewien samochód ma akumulator o pojemności 48 Ah.
a) Przez włączone światła pozycyjne (wszystkie łącznie) płynie prąd o natężeniu 2 A. Oblicz, po ilu godzinach rozładuje się akumulator, jeśli kierowca, wysiadając, zapomni wyłączyć światła.
b) Rozrusznik działał przez 5 s, w tym czasie płynął przez niego prąd o natężeniu 100 A. Oblicz, jaki procent ładunku zgromadzonego w akumulatorze zużył rozrusznik.





8 Praca i moc prądu elektrycznego

Przemiany energii elektrycznej

Przepływ prądu elektrycznego przez przewód powoduje jego rozgrzewanie. To zjawisko wykorzystujemy w grzejnikach elektrycznych i grzałkach, a także w żarówce – jej włókno świeci, ponieważ pod wpływem przepływu prądu rozgrzewa się do wysokiej temperatury.

Spróbujmy przyjrzeć się temu zjawisku w skali atomowej. Jak wiesz z klasy siódmej, jony metalu tworzą regularną sieć krystaliczną. Nie spoczywają jednak, ale drgają, a ich drgania są tym szybsze, im wyższa jest temperatura. Przemieszczające się w przewodzie elektrony zderzają się z jonami metalu, co sprawia, że te jony zaczynają drgać szybciej. Szybszy ruch jonów oznacza wyższą temperaturę. Choć elektron oddaje swoją energię kinetyczną jonom metalu, szybko z powrotem się rozpędza pod wpływem siły elektrycznej. Następnie zderza się z kolejnym atomem, znowu się rozpędza i tak dalej.

W następnym rozdziale powiemy o zasadzie działania silnika elektrycznego, w którym energia elektryczna zamienia się w energię mechaniczną.

Energia elektryczna może zamieniać się w energię wewnętrzną, energię promieniowania (światło), energię mechaniczną lub inne formy energii.

Obliczanie energii

W przykładzie 2. na s. 45 obliczaliśmy, ile energii elektrycznej zużyje żarówka zasilana napięciem 3 V, gdy przepłynie przez nią ładunek 5,2 C. Przypomnijmy rozwiązanie.

Podane napięcie oznacza, że przy ładunku 1 C żarówka zużywa 3 J energii elektrycznej. Przy ładunku 5,2 C energia jest 5,2 razy większa, wynosi więc $5{,}2 \cdot 3\ \text{J} = 15{,}6\ \text{J}$.

Ciekawostka

Zwykle najwięcej energii potrzeba na ogrzewanie. Porównajmy:

- aby wypełnić pokój trudnym do wytrzymania hałasem, wystarczy włączyć głośniki o mocy 20 W;
- aby ten sam pokój oświetlić, wystarczą świetlówki o mocy 50 W;
- aby ten pokój ogrzać w zimie, potrzeba piecyka o mocy 2000 W.



Gdy urządzenie elektryczne zamienia energię elektryczną w inne formy energii, mówimy także, że prąd elektryczny wykonuje pracę. Ta praca jest równa przetworzonej energii.

Pracę prądu elektrycznego obliczamy, mnożąc napięcie przez ładunek, który przepłynął.

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

Sprawdźmy jednostki: $\mathrm{V} \cdot \mathrm{C} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} \cdot \mathrm{C} = \mathrm{J}$.

Przykład 1. Przez rozrusznik samochodowy zasilany napięciem 12 V przez 2 s płynął prąd o natężeniu 100 A. Oblicz pracę prądu elektrycznego w rozruszniku.

Natężenie 100 A oznacza, że w ciągu 1 sekundy przez rozrusznik przepływał ładunek 100 C. W ciągu 2 s przepłynął więc przez niego ładunek 200 C.
Napięcie 12 V oznacza, że na każdy kulomb przepływający przez silnik przypada 12 J. Łączna praca była więc równa:

$$200 \cdot 12\ \mathrm{J} = 2400\ \mathrm{J}$$

Odpowiedź: Prąd elektryczny płynący przez rozrusznik wykonał pracę 2400 J.

Pracę prądu elektrycznego można więc obliczyć, mnożąc napięcie przez natężenie i czas przepływu prądu.

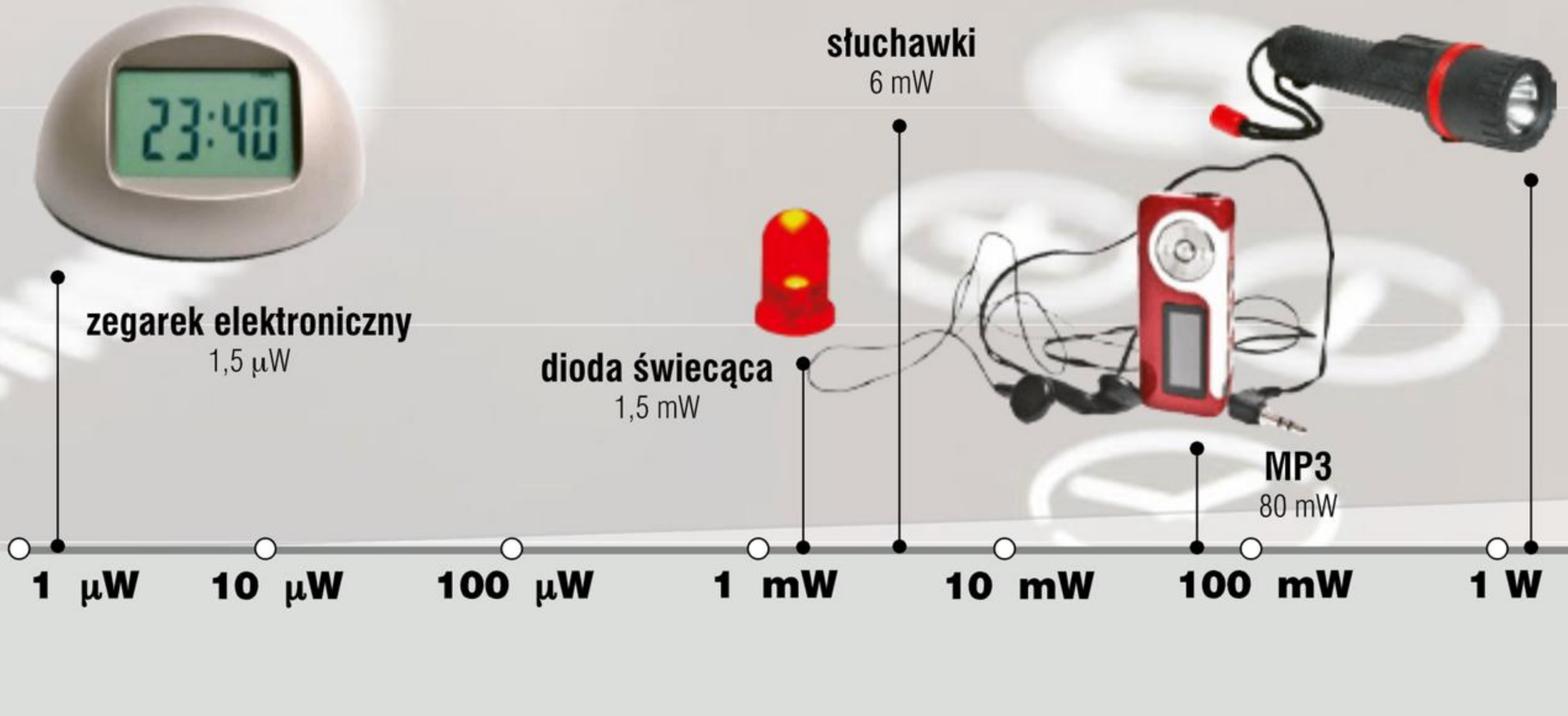
praca prądu = napięcie · natężenie · czas $\qquad W = U \cdot I \cdot t$

Ciekawostka

Wzór na pracę prądu elektrycznego bywa nazywany żartobliwie wzorem wójta. Czy domyślasz się dlaczego?

Moce elektryczne duże i małe

Jeden elektrowóz ma taką moc jak pół biliona zegarków.



Moc prądu elektrycznego

Jak wiesz z klasy siódmej, moc to wielkość określająca szybkość wykonania pracy. Moc obliczamy, dzieląc pracę przez czas jej wykonania.

$$\text{moc} = \frac{\text{praca}}{\text{czas}} = \frac{\text{napięcie} \cdot \text{natężenie} \cdot \cancel{\text{czas}}}{\cancel{\text{czas}}} = \text{napięcie} \cdot \text{natężenie}$$

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

Moc prądu elektrycznego obliczamy, mnożąc napięcie przez natężenie.

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

Jak już wiesz, jednostką mocy jest wat. Przekonajmy się, że tę jednostkę otrzymujemy także z ostatniego wzoru.

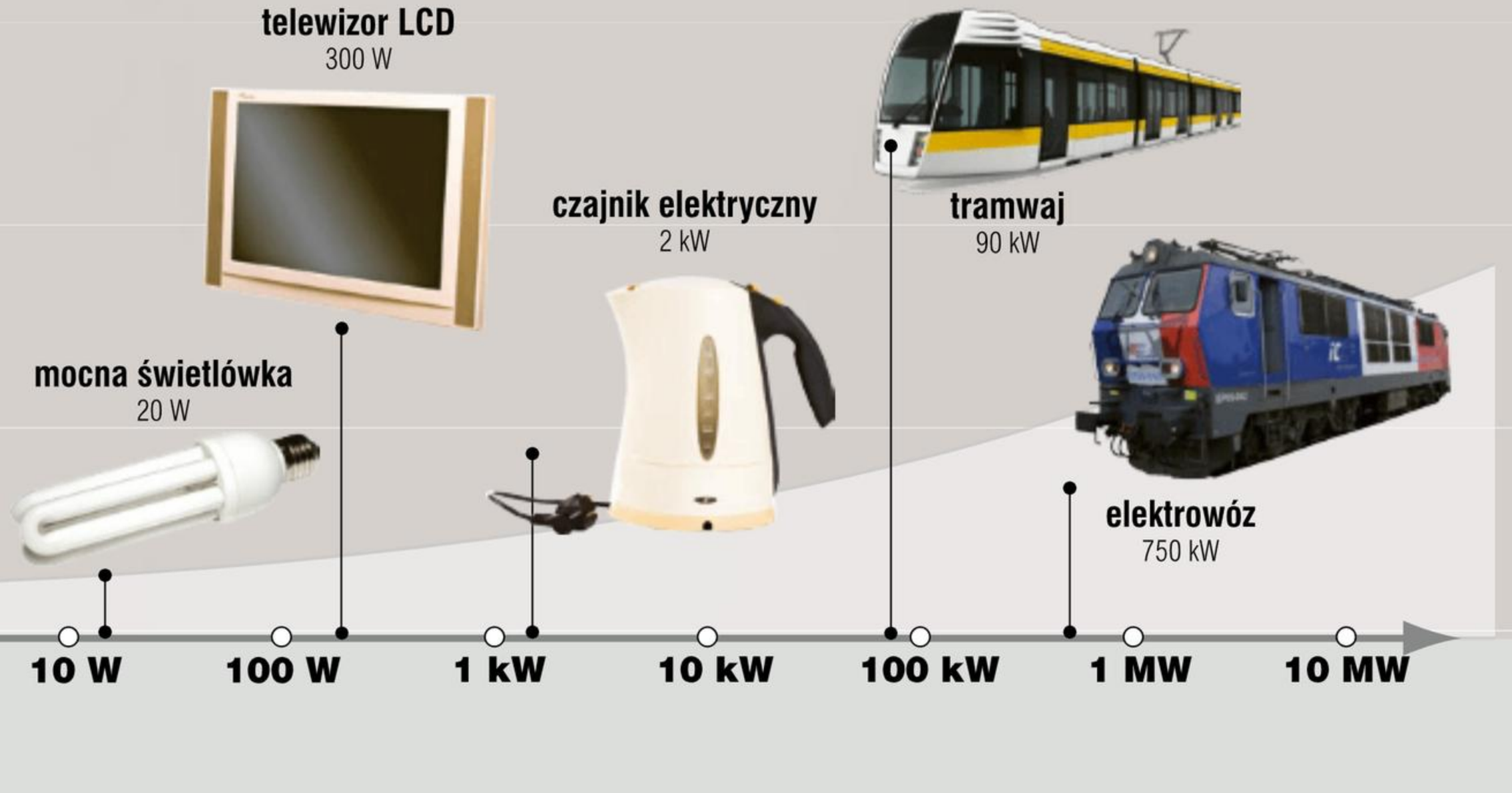
$$\text{V} \cdot \text{A} = \frac{\text{J}}{\cancel{\text{C}}} \cdot \frac{\cancel{\text{C}}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W}$$

Przykład 2. Na żarówce napisano „3,5 V, 1 W". Oblicz natężenie prądu, który przepłynie przez tę żarówkę, gdy zasilimy ją napięciem znamionowym (czyli podanym na żarówce).

Sposób I

Moc 1 W to napięcie 3,5 V pomnożone przez szukane natężenie prądu. Działaniem odwrotnym do mnożenia jest dzielenie, więc:

$$I = \frac{1\ \text{W}}{3{,}5\ \text{V}} \approx 0{,}29\ \text{A}$$



Sposób II

Wzór $P = U \cdot I$ przekształcamy do postaci:

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

stąd $$I = \frac{1\,\text{W}}{3{,}5\,\text{V}} \approx 0{,}29\,\text{A}$$

Odpowiedź: Przez żarówkę przepłynie prąd o natężeniu 0,29 A.

Przykład 3. Przez żarówkę podłączoną do sieci elektrycznej o napięciu 230 V płynie prąd o natężeniu 0,5 A. Ile zapłacimy za energię potrzebną na 24 h użytkowania tej żarówki, jeśli 1 kWh energii elektrycznej kosztuje 50 gr?

Dane: Szukane:

$U = 230\,\text{V}$ koszt energii elektrycznej = ?

$I = 0{,}5\,\text{A}$

1 kWh kosztuje 50 gr

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

$E = 230\,\text{V} \cdot 0{,}5\,\text{A} \cdot 24\,\text{h} = 115\,\text{W} \cdot 24\,\text{h} = 0{,}115\,\text{kW} \cdot 24\,\text{h} = 2{,}76\,\text{kWh}$

Opłata:

$$2{,}76 \cdot 50\,\text{gr} = 1{,}38\,\text{zł}$$

Odpowiedź: Za tę energię zapłacimy 1,38 zł.

Przykład 4. Piekarnik elektryczny zużył 3 kWh energii elektrycznej. Wyraź tę energię w dżulach.

$1\,\text{kW} = 1000\,\text{W}$

$1\,\text{h} = 60 \cdot 60\,\text{s} = 3600\,\text{s}$

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

$3\,\text{kWh} = 3 \cdot 3\,600\,000\,\text{J} = 10\,800\,000\,\text{J}$

Odpowiedź: Piekarnik zużył 10 800 000 J (czyli 10,8 MJ) energii elektrycznej.

Podsumowanie

- Pracę prądu elektrycznego można obliczyć, mnożąc napięcie przez natężenie i czas przepływu prądu.

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

- Moc prądu elektrycznego obliczamy, mnożąc napięcie przez natężenie: $P = U \cdot I$.
- Ilość zużytej energii elektrycznej zwyczajowo wyrażamy w kilowatogodzinach:

$$1\,\text{kWh} = 3\,600\,000\,\text{J} = 3{,}6\,\text{MJ}$$

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Oblicz moc:
a) żarówki świateł postojowych w samochodzie ($U = 12$ V, $I = 0{,}42$ A);
b) pojedynczego silnika elektrowozu ($U = 1500$ V, $I = 125$ A).

2. Oblicz natężenie prądu płynącego przez:
a) żarówkę świateł stopu w samochodzie (21 W, 12 V);
b) żarówkę sieciową (230 V) o mocy 75 W.

3. Węgorz elektryczny może porazić prądem o natężeniu 1 A pod napięciem 600 V. Drętwa wytwarza niższe napięcie, tylko 50 V, ale może porazić prądem o natężeniu 50 A. Ustal, która z ryb ma większą moc.

4. Do sieci 230 V podłączono na godzinę grzejnik elektryczny. Płynął przez niego prąd o natężeniu 5 A. Oblicz:
a) ładunek, jaki przepłynął przez grzejnik;
b) moc grzejnika;
c) o ile dżuli wzrosła energia wewnętrzna grzejnika i jego otoczenia;
d) ile trzeba zapłacić za zużytą energię elektryczną (po 50 gr za 1 kWh).

5. Napięcie między kulką naładowanego elektroskopu a ziemią wynosi 5000 V. Na kulce zgromadził się ładunek o wartości 10^{-8} C. Oblicz energię, jaką może przekazać twojemu ciału kulka, gdy dotkniesz jej ręką. Załóż, że między twoim ciałem a ziemią nie ma napięcia. Wyjaśnij, dlaczego tak ogromne napięcie nie jest szkodliwe dla człowieka, podczas gdy dotknięcie kabla pod napięciem zaledwie 230 V może się skończyć nawet śmiercią.

6. Ile kosztuje piorun? Pioruny biją bezpłatnie, ale możesz obliczyć, ile kosztuje taka sama ilość energii elektrycznej.
Dane pioruna:
$I = 10\,000$ A
$U = 100\,000\,000$ V
$t = 0{,}001$ s
Cena energii: 50 gr za 1 kWh.



9 Pomiar napięcia i natężenia. Wyznaczanie mocy

Mierniki

Do pomiaru napięcia elektrycznego i natężenia prądu elektrycznego służą specjalne przyrządy – **woltomierze** i **amperomierze**. Niektóre z nich mają wskazówkę pokazującą wynik pomiaru na skali, a inne wyświetlają wynik w postaci cyfr.

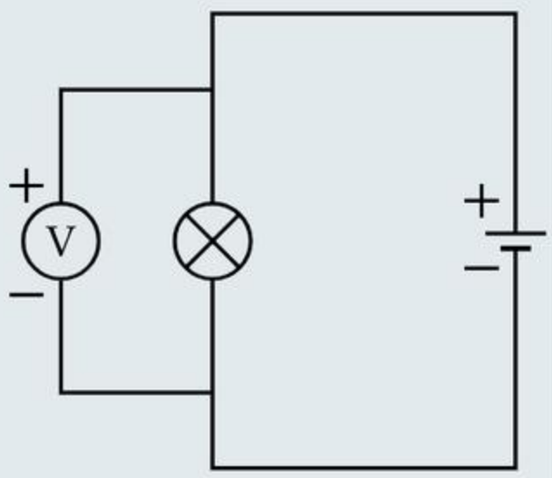
Aby prawidłowo dokonywać pomiarów i nie uszkodzić przyrządu, postępuj zawsze zgodnie ze wskazówkami nauczyciela i z instrukcją obsługi.

Woltomierz i amperomierz przedstawiamy na schematach za pomocą kółka z literą V lub A. Często przy symbolu znajdują się oznaczenia „+” i „–” wskazujące, jak podłączyć miernik.

Doświadczenie

1. Zbuduj obwód przedstawiony na schemacie. Zwróć uwagę na oznaczenia „+” i „–” na mierniku.

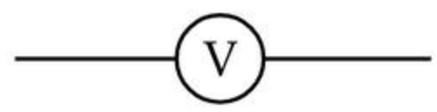
2. Odczytaj napięcie na woltomierzu.



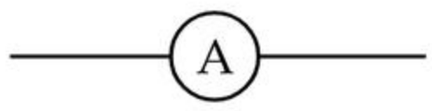


Woltomierz.

Symbol woltomierza:



Symbol amperomierza:



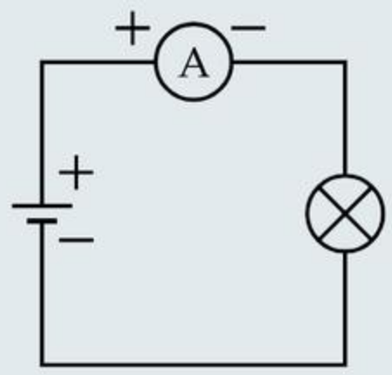
Pomiar napięcia

Do pomiaru napięcia służy woltomierz. Używając go, musisz pamiętać, że napięcie mierzymy **między dwoma punktami obwodu**. Przewody podłączone do woltomierza (zwykle kupuje się je w komplecie z przyrządem) powinny dotykać tych punktów. Nie trzeba więc niczego rozłączać w obwodzie, aby zmierzyć napięcie pomiędzy dwoma punktami.

Pomiar natężenia

Doświadczenie

1. Zbuduj obwód według schematu przedstawionego na rysunku.
2. Odczytaj natężenie prądu.
3. Podaj niepewność pomiaru.

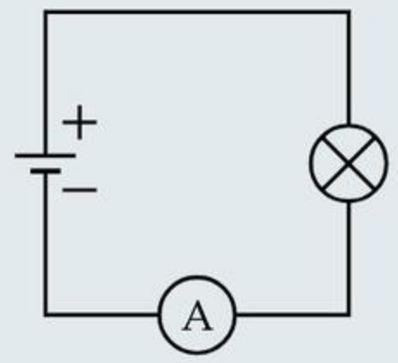




W odróżnieniu od napięcia natężenie prądu odnosi się do jednego miejsca w obwodzie. Określa wielkość ładunku przepływającego przez to miejsce w jednostce czasu. Dlatego aby zmierzyć natężenie, musimy rozłączyć obwód w interesującym nas miejscu i włączyć tam amperomierz. Prąd popłynie wówczas przez podłączony miernik.

Doświadczenie

1. Zbuduj obwód według schematu.
Jak teraz podłączysz + i – miernika?
2. Porównaj wynik pomiaru z wynikiem pomiaru w poprzednim doświadczeniu.



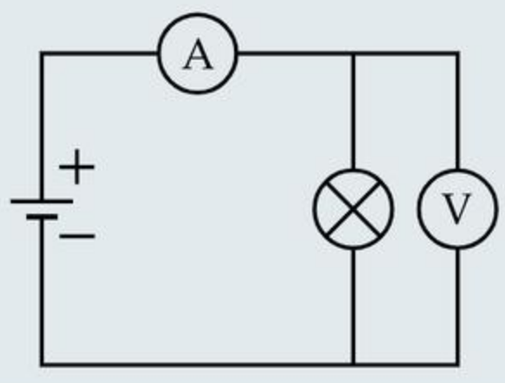
Za pomocą amperomierza odkryjemy ważny, choć dość oczywisty fakt związany z prądem elektrycznym.
Z ujemnego bieguna baterii wypływa tyle samo elektronów, ile ich dopływa do bieguna dodatniego. Żadne przecież nie uciekają z przewodu ani do niego nie dopływają. Dlatego natężenie prądu w każdym miejscu obwodu jest takie samo.

Wyznaczanie mocy

Z poprzedniej lekcji znamy sposób obliczania mocy urządzenia elektrycznego. Aby ją obliczyć, należy znać napięcie elektryczne i natężenie prądu. Ponieważ umiesz mierzyć te dwie wielkości, możesz wyznaczyć moc żarówki lub innego urządzenia.

Doświadczenie

1. Zbuduj obwód według schematu przedstawionego na rysunku.
2. Odczytaj napięcie i natężenie prądu.
3. Oblicz moc żarówki.







*Cyfrowy miernik uniwersalny. Skrót DC oznacza prąd stały (*direct current*), więc DCV to wolty prądu stałego.*

Miernik uniwersalny

Obecnie rzadko korzystamy z osobnych przyrządów do pomiaru napięcia i natężenia. Wygodniej jest posługiwać się miernikiem uniwersalnym, który – w zależności od potrzeb – może służyć jako amperomierz lub woltomierz albo spełniać inne funkcje, wybierane za pomocą odpowiedniego przełącznika.

Najczęściej do przełączania funkcji służy duże pokrętło. Pozwala ono nie tylko włączyć miernik np. jako woltomierz, lecz także wybrać odpowiedni zakres pomiaru. Miernik przedstawiony na zdjęciu jest ustawiony na zakres 20 V, co oznacza, że można nim mierzyć napięcie do 20 V. Użyjemy go więc np. do sprawdzenia, czy akumulator samochodowy jest naładowany do napięcia 12 V. Moglibyśmy to sprawdzić także na zakresie 200 V, ale wówczas wynik pomiaru będzie mniej dokładny. Nie należy jednak podłączać akumulatora do miernika ustawionego na zakres 2000 mV, czyli 2 V, bo może to spowodować jego uszkodzenie.

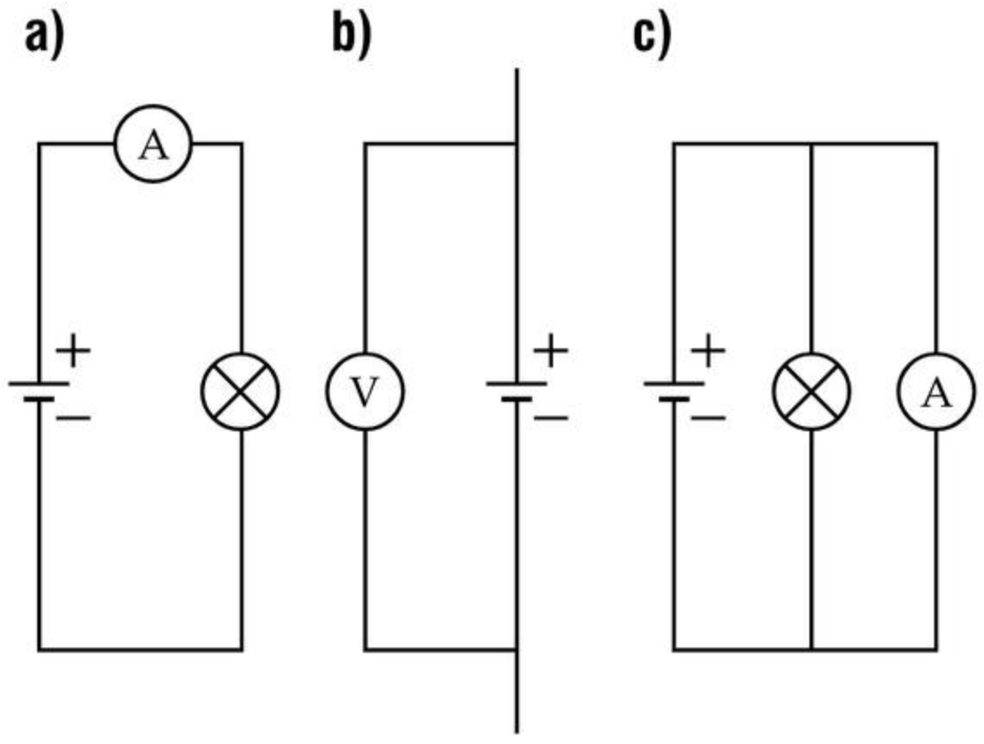
Podsumowanie

- Do pomiaru napięcia służy woltomierz, a do pomiaru natężenia – amperomierz.
- Napięcie mierzymy między dwoma punktami obwodu – przykładamy końcówki woltomierza do tych punktów (bezpośrednio, a nie przez izolację).
- Natężenie prądu mierzymy w jednym punkcie obwodu – rozłączamy obwód i włączamy w tym miejscu amperomierz.
- Gdy zmierzymy napięcie i natężenie, możemy obliczyć moc.
- Aby nie uszkodzić mierników, postępuj zgodnie z instrukcją i wskazówkami nauczyciela. Pamiętaj o biegunowości (+ i –) mierników.

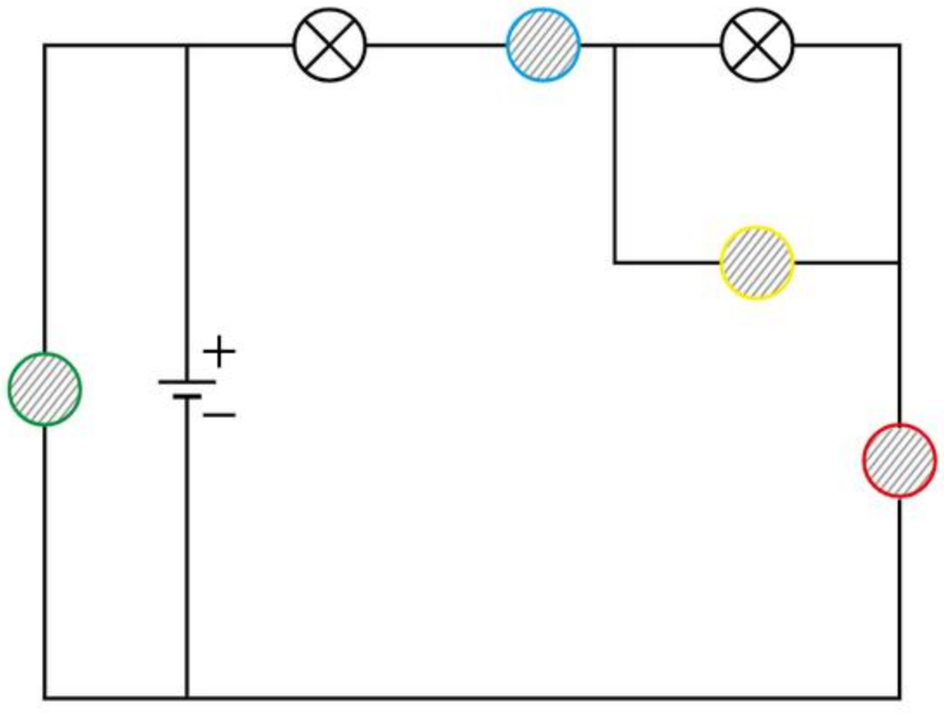
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

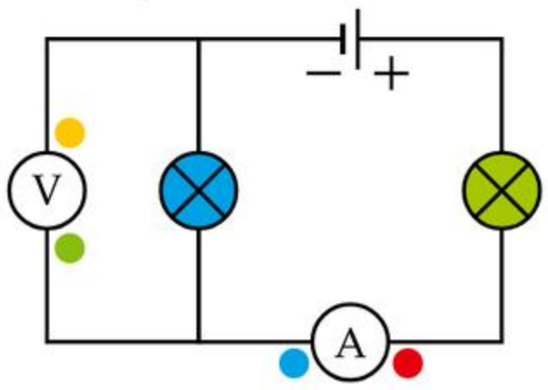
1. Ustal, czy miernik w każdym obwodzie został podłączony prawidłowo. Jeśli został podłączony niewłaściwie, co należałoby zmienić?



2. Jakie przyrządy pomiarowe należy włączyć w miejscach oznaczonych kolorowymi kółkami? Przerysuj schemat obwodu do zeszytu i uzupełnij go.



3. Kolorowe kółka zasłaniają znaki + i – na obudowie miernika. Określ, który znak ukrywa się pod zielonym kółkiem, a który – pod kółkiem czerwonym.



4. Oceń, czy obwód przedstawiony na rysunku do zadania 3. pozwala wyznaczyć moc żarówki oznaczonej kolorem zielonym czy żarówki zaznaczonej kolorem niebieskim.

5. Chcesz sprawdzić, czy okrągłe ogniwo się nie rozładowało. Możesz zmierzyć miernikiem uniwersalnym napięcie między jego biegunami.



a) Na jaki zakres najlepiej ustawić miernik: 1 V, 10 V czy 100 V?

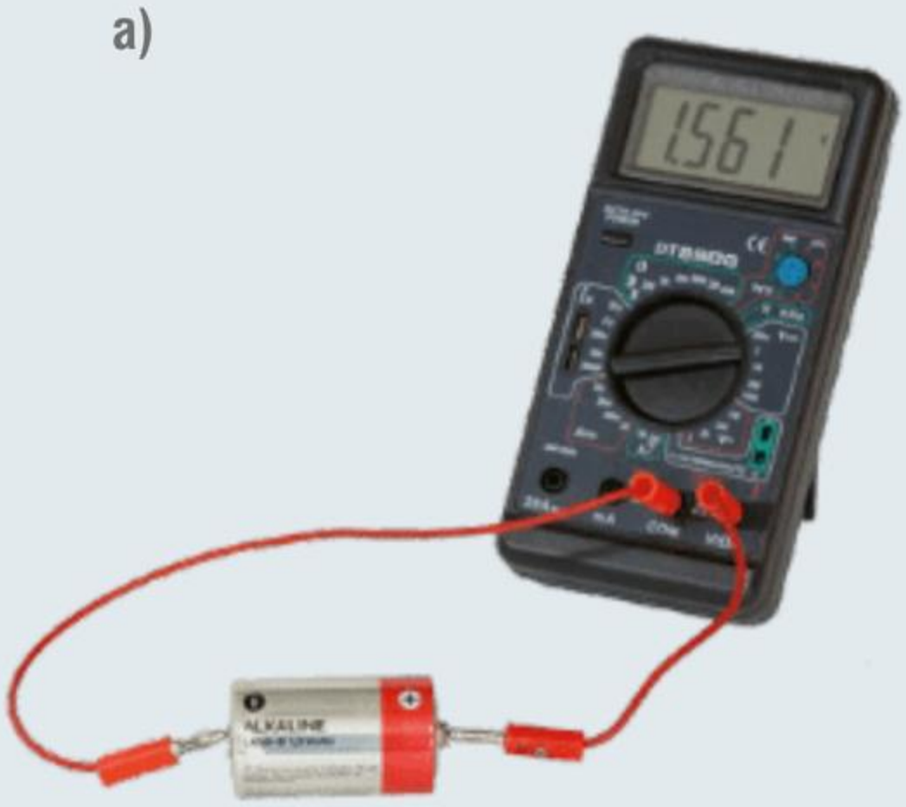
b) Czerwony przewód został podłączony do miernika, do gniazda oznaczonego +. Do którego bieguna ogniwa podłączysz ten przewód: górnego czy dolnego? Bateria ustawiona jest tak jak na zdjęciu.

Doświadczenia

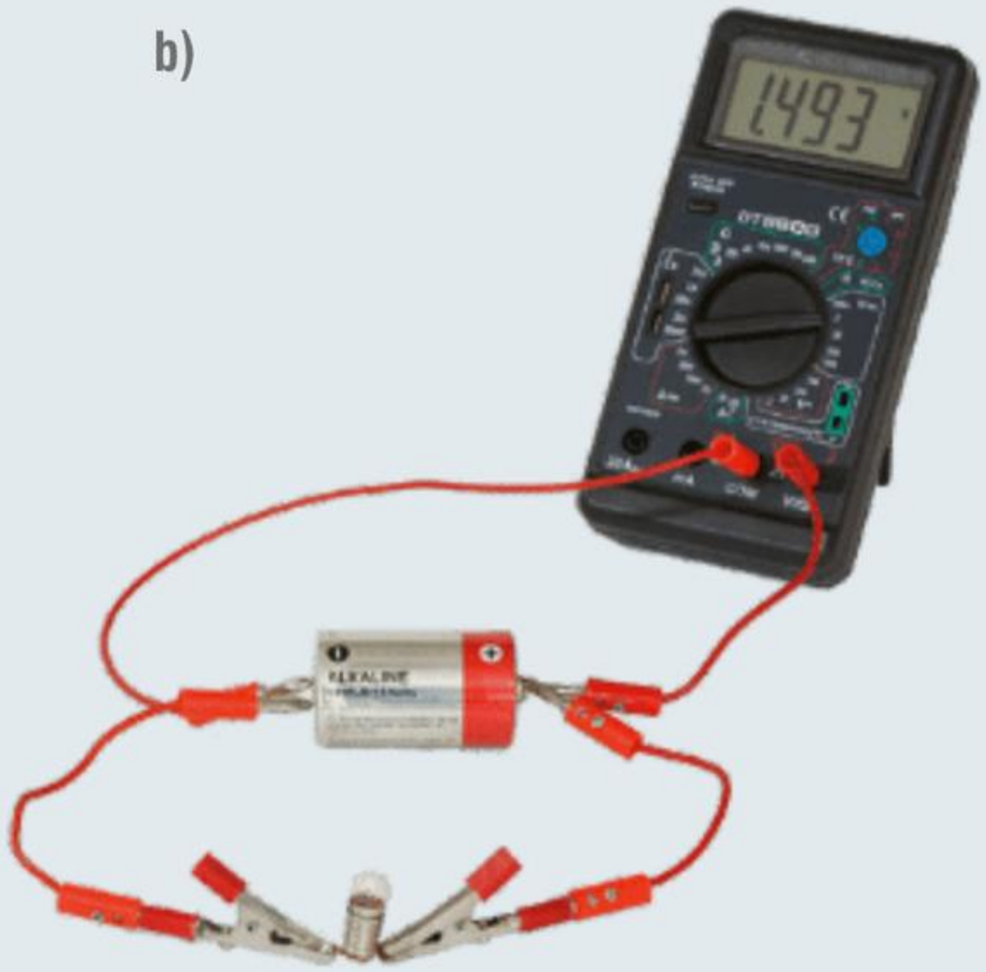
Pomiar napięcia

1. Zmierz napięcie między biegunami baterii R20 (patrz zdjęcie a).
2. Podłącz do baterii żarówkę (patrz zdjęcie b) i ponownie zmierz napięcie.
Co zauważasz?

a)

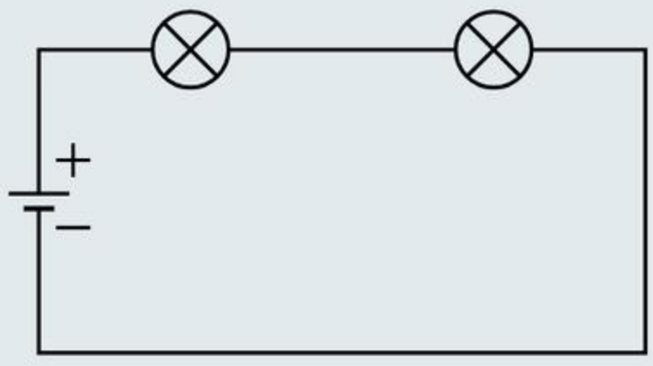


b)



Pomiar natężenia

1. Do baterii R20 podłącz jedną żarówkę.
2. Zmierz natężenie prądu płynącego przez obwód.
3. Podłącz do baterii dwie żarówki zgodnie ze schematem.
4. Zmierz natężenie prądu płynącego przez obwód.
5. Opisz, jaki jest związek między natężeniem prądu a jasnością światła żarówki.



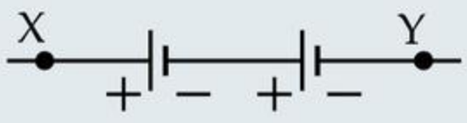


10 Przykłady obwodów elektrycznych

Połączenie szeregowe baterii

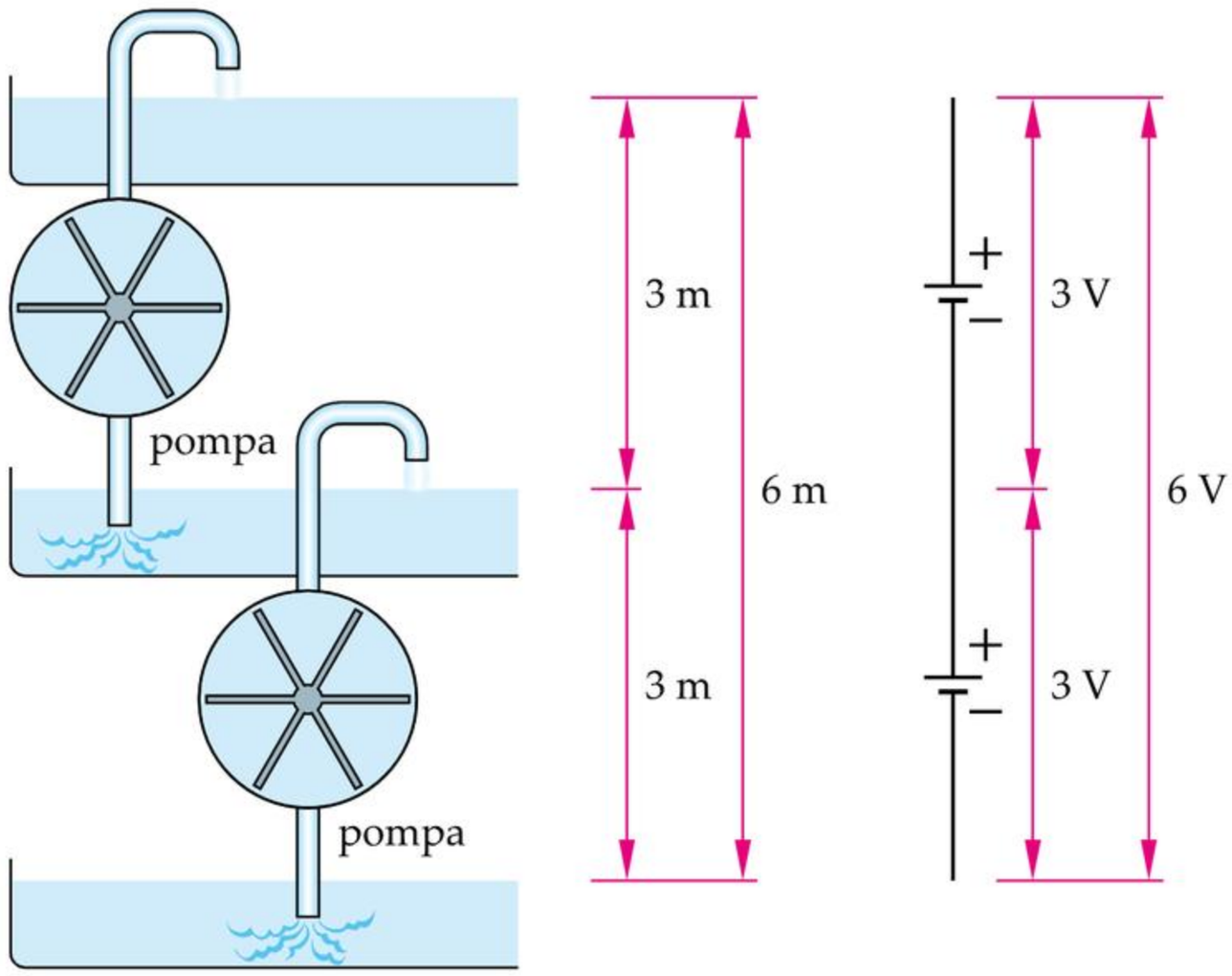
Połączenie przedstawione na rysunku obok nazywamy połączeniem **szeregowym**.

Doświadczenie



1. Połącz dwa okrągłe ogniwa (1,5 V) zgodnie ze schematem.
2. Zmierz napięcie między punktami X i Y.

Po raz kolejny posłużymy się porównaniem prądu elektrycznego z przepływem wody. Jeśli jedna pompa pompuje wodę na miejsce położone o 3 m wyżej, a stamtąd druga pompa pompuje ją jeszcze o 3 m wyżej, w sumie woda podnosi się o 6 m.
Podobnie, jeśli jedna bateria dodaje każdemu kulombowi ładunku energię 3 J, a następnie druga dodaje mu kolejne 3 J, to w sumie ładunek zyskuje 6 J energii.



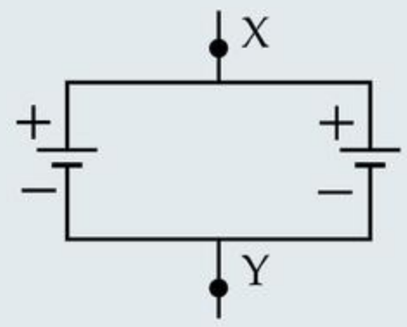
Przy łączeniu szeregowym napięcia baterii się sumują.

$$U = U_1 + U_2 + \ldots$$

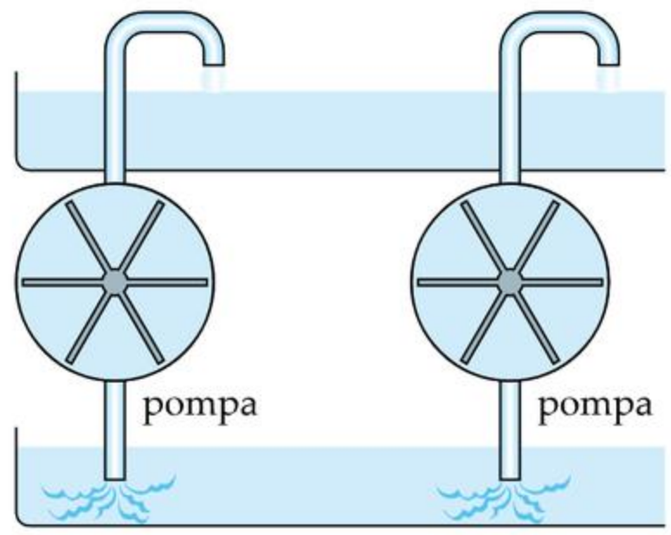
Połączenie równoległe baterii

Doświadczenie

1. Połącz dwa okrągłe ogniwa (1,5 V) zgodnie ze schematem.
2. Zmierz napięcie między punktami X i Y.



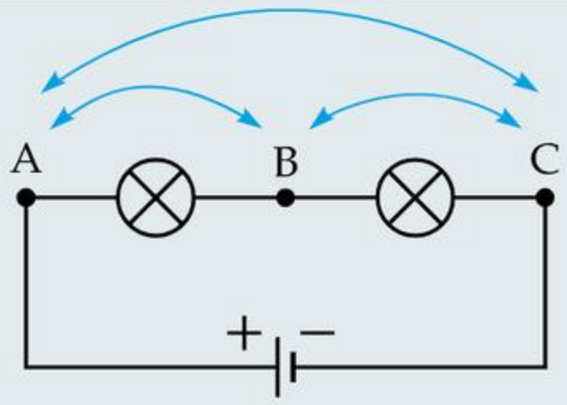
Połączenie przedstawione na rysunku nazywamy połączeniem **równoległym**.
Dwie baterie połączone równolegle można porównać z pompami ustawionymi obok siebie. Nie podnoszą one wody wyżej niż jedna pompa. Podobnie połączone równolegle baterie nie pozwalają uzyskać wyższego napięcia. Każdy elektron przepływa albo przez jedną baterię, albo przez drugą, zyskuje więc tylko tyle energii, ile dodaje mu jedna bateria.
Dwie pompy mogą jednak tłoczyć więcej wody niż jedna. Podobnie z dwóch połączonych baterii możemy czerpać prąd o większym natężeniu niż z jednej.



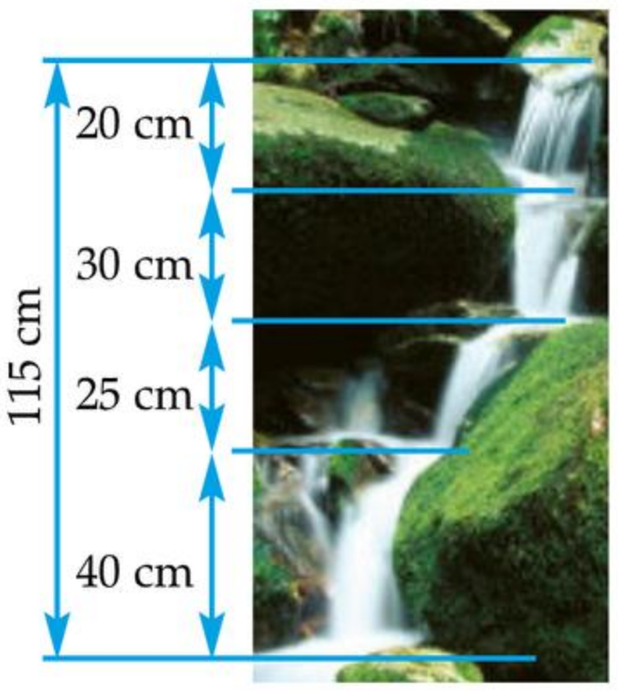
Łączenie szeregowe odbiorników

Doświadczenie

1. Zbuduj obwód według schematu.
2. Zmierz napięcia między punktami: A i B, B i C, A i C.
Jaką zależność zauważasz między tymi napięciami?



Odbiornik to każde urządzenie, które samo nie wytwarza napięcia, ale z niego korzysta. W doświadczeniach będziemy korzystać z żarówek, ale nasze wnioski mogą się równie dobrze odnosić do silników elektrycznych, grzałek itp.
Podobnie jak w przypadku baterii przedstawione połączenie odbiorników nazywamy połączeniem szeregowym.
Przy takim połączeniu przez każdy odbiornik płynie oczywiście prąd o takim samym natężeniu. Jak widzisz, żarówki świecą tak samo jasno. Natomiast napięcia się sumują. Jeśli dwie żarówki są identyczne, to na każdej z nich jest jednakowe napięcie równe połowie napięcia baterii („napięcie na żarówce" to napięcie między jej końcówkami).

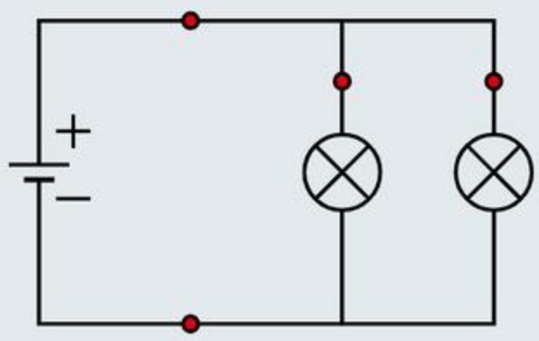


Prąd wody w wodospadzie.

Łatwo to zrozumieć, porównując prąd elektryczny z prądem wody w wodospadzie o kilku kolejnych progach. Jeśli pierwszy próg ma 20 cm, drugi – 30 cm, trzeci – 25 cm, a czwarty – 40 cm, to w sumie tworzą wodospad o wysokości 115 cm. Wysokość wodospadu jest zatem sumą wysokości kolejnych jego progów.

Łączenie równoległe odbiorników

Doświadczenie



1. Zbuduj obwód według schematu. Użyj dwóch różnych żarówek, np. 1,2 V oraz 2,2 V.
2. Zmierz natężenie prądu w każdym z miejsc oznaczonych kolorem czerwonym.

Obie żarówki są podłączone do tego samego napięcia.
Prąd wypływający z baterii dzieli się na dwie części. Jedna część płynie przez jedną żarówkę, a druga – przez drugą żarówkę. Suma natężeń jest równa natężeniu prądu płynącego przed rozgałęzieniem.

Przy równoległym łączeniu odbiorników jest na nich jednakowe napięcie, a prąd z głównego przewodu rozdziela się na części płynące przez poszczególne odbiorniki.

Każdy z elektronów wypływających z baterii przepłynie albo przez jedną żarówkę, albo przez drugą. Żaden elektron nie ginie ani nie pojawia się w obwodzie.
Podobnie jest z przepływem wody. Jeśli rzeka dzieli się na dwie części (jedna omija wyspę z prawej, druga z lewej strony), w tych dwóch częściach przepływa w sumie tyle samo wody, ile przepłynęło rzeką przed rozwidleniem.

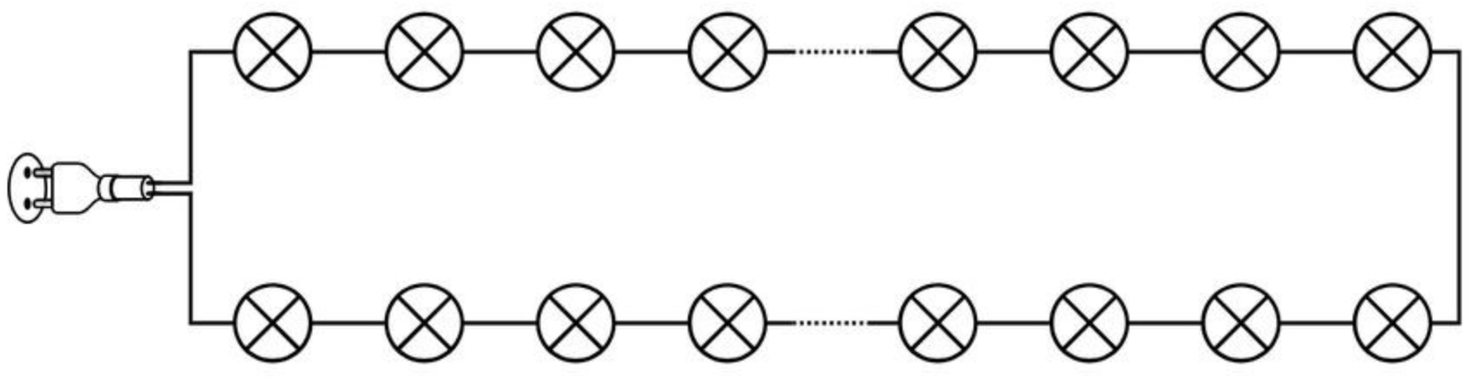
Ciekawostka

Wadą szeregowego łączenia żarówek, stosowanego m.in. w przypadku lampek choinkowych, jest to, że gdy przepali się jedna z nich, powstaje przerwa w obwodzie i wszystkie inne również przestają świecić. Odnalezienie tej jednej, przepalonej, jest czasochłonne. Dlatego obecnie produkuje się lampki innego typu. Gdy taka lampka się przepali, jej końcówki zwierają się, umożliwiając przepływ prądu.

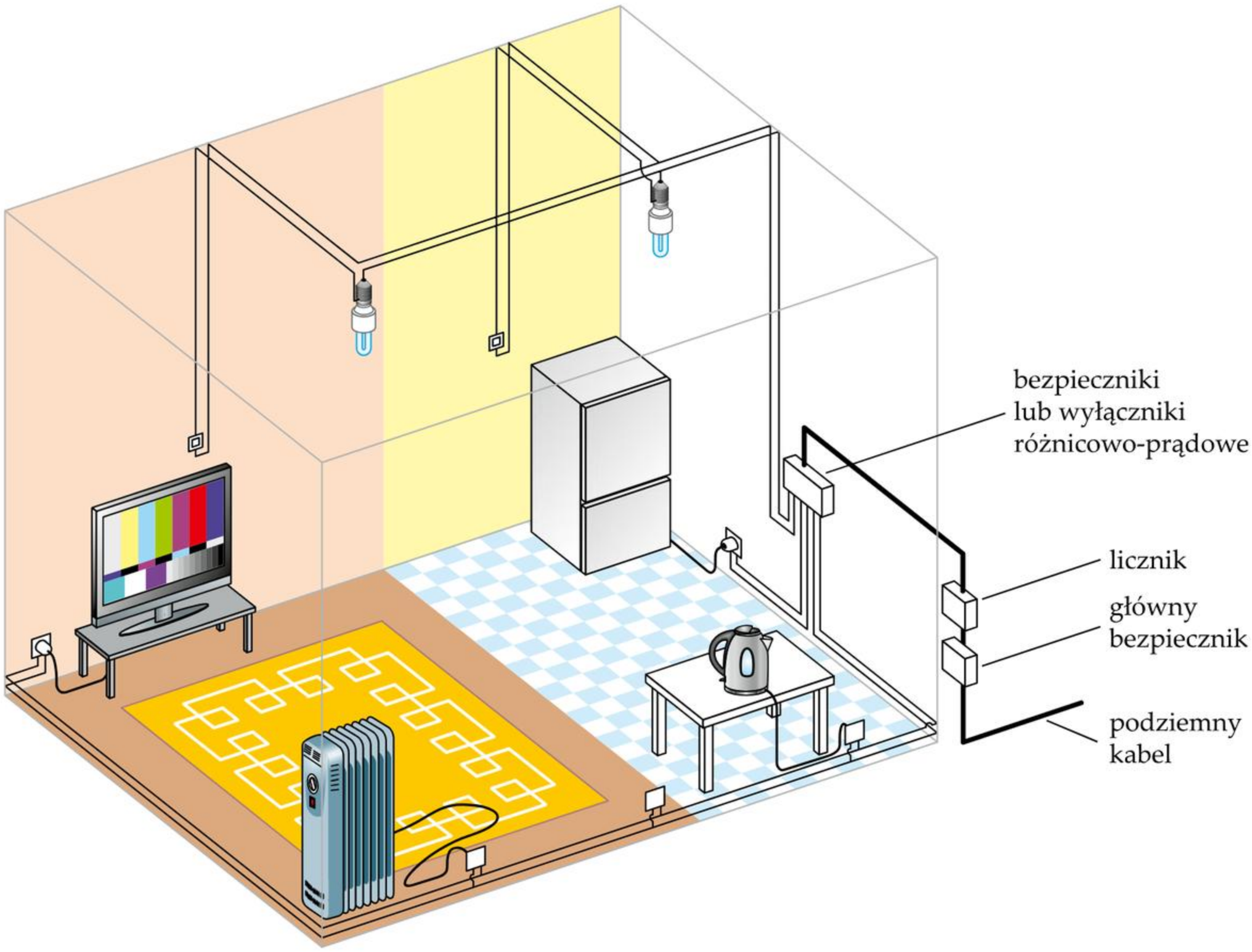
Przykłady zastosowań



Łączenie szeregowe występuje np. w zestawach lampek choinkowych. Gdyby do sieci 230 V podłączyć pojedynczą żarówkę dostosowaną do napięcia 5 V, przepaliłaby się natychmiast. Gdy jednak podłączamy 46 takich żarówek szeregowo, napięcie na każdej wynosi 230 V : 46 = 5 V. Każda żarówka działa więc poprawnie.



Natomiast połączenie równoległe stosujemy w domowej sieci elektrycznej. Wszystkie urządzenia w tej sieci są dostosowane do napięcia 230 V. Dlatego łączy się je równolegle.



W domowej sieci elektrycznej odbiorniki są połączone równolegle.

Podsumowanie

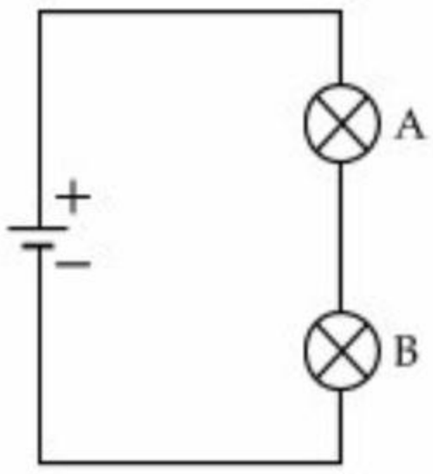
- Zarówno źródła napięcia, jak i odbiorniki można łączyć szeregowo lub równolegle (patrz rysunki w tekście).
- Przy szeregowym łączeniu baterii ich napięcia się sumują, a przy łączeniu równoległym możemy czerpać prąd o większym natężeniu.
- Przy szeregowym łączeniu odbiorników przez wszystkie płynie prąd o takim samym natężeniu, a napięcia między ich końcówkami się sumują.
- Przy równoległym łączeniu odbiorników jest na nich jednakowe napięcie, a prąd z głównego przewodu rozdziela się na części płynące przez poszczególne odbiorniki.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Pojedyncze ogniwo akumulatora ołowiowego wytwarza napięcie 2 V. Oblicz, ile takich ogniw zawiera akumulator samochodowy (12 V), a ile – akumulator motocykla (6 V). Jak są one połączone?

2. Trzej chłopcy zastanawiają się, która z jednakowych żarówek obwodu przedstawionego na rysunku będzie świecić jaśniej. Oceń, który z nich ma rację.



Antek: Żarówka A świeci jaśniej, bo prąd z baterii dopływa do niej w pierwszej kolejności.

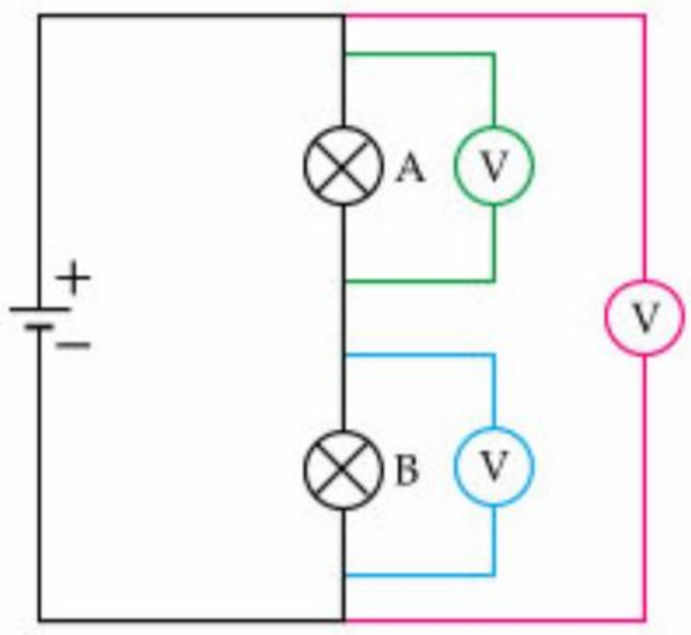
Bartek: To żarówka B świeci jaśniej, bo elektrony z baterii dopływają do niej w pierwszej kolejności.

Czarek: Obie żarówki świecą jednakowo, bo przez obie płynie prąd o takim samym natężeniu.

3. Dwie różne żarówki połączono szeregowo i podłączono do baterii.

a) Przez żarówkę A płynie prąd o natężeniu 0,2 A. Określ, jaki prąd płynie przez żarówkę B.

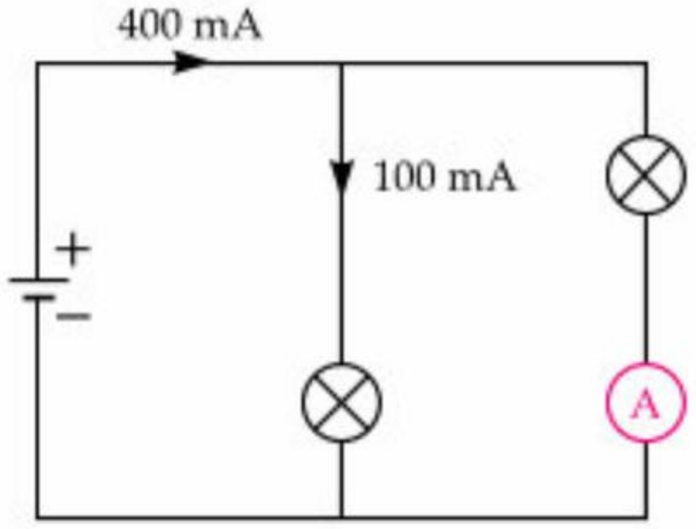
b) Zielony woltomierz wskazuje 2 V, a niebieski 2,5 V. Określ, co wskazuje czerwony woltomierz.



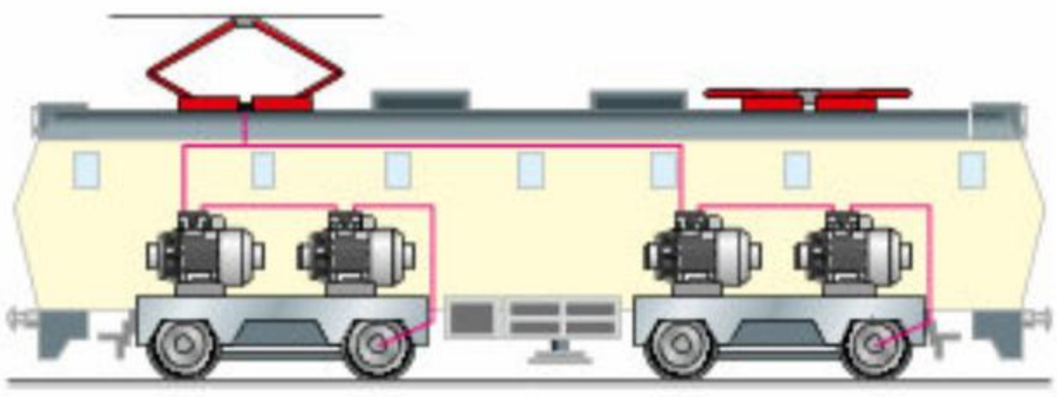
4. Węgorz elektryczny (strętwa) wytwarza napięcie 600 V za pomocą ogniw o napięciu 0,15 V. Te ogniwa zbudowane są z żywych komórek. Oblicz, ile takich ogniw połączonych jest szeregowo. Jakie napięcie wytwarzałyby te ogniwa, gdyby połączyć je równolegle?



5. Przy przewodach zapisano natężenia prądu, który przez nie płynie. Wyznacz wskazanie amperomierza.



6. Lokomotywa ma cztery silniki połączone tak jak na rysunku. Napięcie między przewodem zasilającym a ziemią wynosi 3000 V. Odpowiedz, do jakiego napięcia dostosowany jest każdy z silników.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma ona związku ze stopniem trudności.

1. Elektryzowanie ciał polega na przemieszczaniu się elektronów. Jeśli ciało zyskuje elektrony, elektryzuje się ujemnie; natomiast jeśli oddaje elektrony, elektryzuje się dodatnio. Ciała naładowane jednakowo (oba dodatnio albo oba ujemnie) odpychają się, a ciała naładowane przeciwnie (jedno dodatnio, drugie ujemnie) przyciągają się. Ciało naładowane powoduje przesuwanie ładunków elektrycznych w ciele nienaładowanym i dlatego może je przyciągać.

2. Prąd elektryczny to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych (np. elektronów w metalu, jonów w roztworze). Substancje, przez które prąd może płynąć, nazywamy przewodnikami, a te, przez które nie może płynąć – izolatorami.

3*. Pod wpływem sił elektrycznych cząsteczki gazu mogą rozpaść się na elektrony i jony. Zjonizowany gaz przewodzi prąd. To zjawisko zachodzi między innymi w przypadku piorunów oraz w świetlówkach.

4. W czasie burzy nie wolno chronić się pod drzewami i słupami, przebywać w wodzie ani na wodzie czy kłaść się na ziemi. Najlepiej schować się w budynku zaopatrzonym w piorunochron albo w samochodzie. Jeśli to niemożliwe, należy przykucnąć.

5. Jednostką ładunku elektrycznego jest kulomb (1 C). Jest to ładunek równy wartości bezwzględnej ładunku $6 \cdot 10^{18}$ elektronów. Napięcie między dwoma punktami obwodu określa ilość energii elektrycznej, która jest potrzebna, aby między tymi punktami przepłynął ładunek jednostkowy, czyli 1 C. Jednostką napięcia jest wolt, $1\ \mathrm{V} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}$. Natężenie prądu określa ilość ładunku przepływającego w ciągu 1 s przez przekrój poprzeczny przewodnika. Jednostką natężenia jest amper, $1\ \mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}$.

6. Prąd elektryczny płynie tylko w obwodzie zamkniętym. Można go porównać z przepływem wody. Napięciu odpowiada różnica poziomów. Natężeniu prądu odpowiada ilość wody przepływającej w ciągu 1 s.

7. Moc urządzenia elektrycznego możemy obliczyć, mnożąc napięcie przez natężenie: $P = U \cdot I$.

8. Przy połączeniu szeregowym napięcia się sumują, a prąd ma jednakowe natężenie w całym obwodzie. Przy połączeniu równoległym sumują się natężenia prądu.

Test 1.

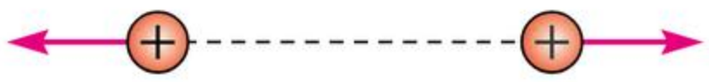
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To musisz umieć

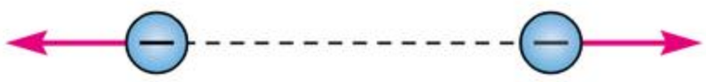
Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Wskaż rysunek, na którym **błędnie** narysowano siły, którymi ładunki oddziałują na siebie.

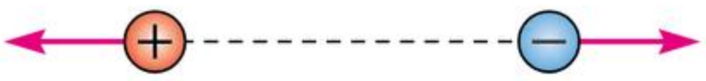
A.



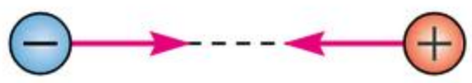
B.



C.



D.



2. Gdy się czeszesz, pewna liczba elektronów przechodzi z włosów na grzebień. Po czesaniu

A. włosy i grzebień są naładowane ujemnie.
B. włosy i grzebień są naładowane dodatnio.
C. włosy są naładowane ujemnie, a grzebień – dodatnio.
D. włosy są naładowane dodatnio, a grzebień – ujemnie.

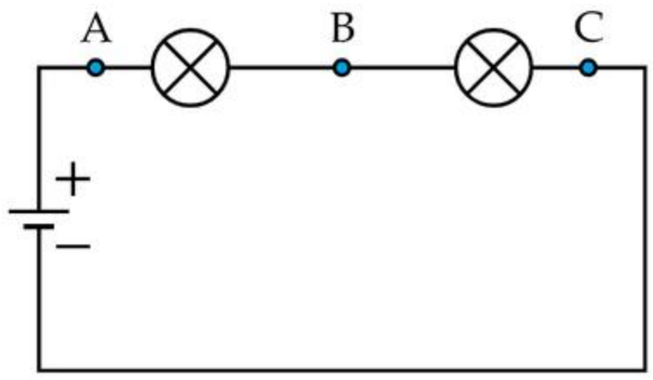
3. Przewodnikami elektrycznymi są:

A. żelazo, miedź i aluminium.
B. żelazo, miedź i guma.
C. guma, porcelana i miedź.
D. szkło, miedź i żelazo.

4. W czasie burzy z piorunami, jeśli nie można schronić się w budynku ani w samochodzie, należy

A. schronić się pod drzewem.
B. położyć się na ziemi.
C. wejść do wody.
D. przykucnąć.

5. W którym punkcie obwodu można umieścić wyłącznik pozwalający gasić i zapalać obie żarówki?



A. Tylko w A.
B. Tylko w B.
C. Tylko w C.
D. W każdym z nich.

6. Przez żarówkę A w ciągu sekundy przepływa więcej elektronów niż przez żarówkę B, czyli na pewno

A. żarówka A pracuje pod wyższym napięciem.
B. przez żarówkę A płynie prąd o większym natężeniu.
C. żarówka A ma mniejszą moc.
D. żarówka A ma większą moc.

7. Przez silnik elektryczny w ciągu 2 s przepływa ładunek 10 C, czyli na pewno

A. przez silnik płynie prąd 5 A.
B. przez silnik płynie prąd 20 A.
C. silnik pracuje pod napięciem 5 V.
D. silnik pracuje pod napięciem 20 V.

8. Jeśli połączymy szeregowo trzy jednakowe żarówki i podłączymy je do baterii, to

A. najjaśniej będzie świecić żarówka od strony dodatniego bieguna baterii.
B. najjaśniej będzie świecić żarówka od strony ujemnego bieguna baterii.
C. najsłabiej będzie świecić środkowa żarówka.
D. wszystkie żarówki będą świecić równie jasno.

Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Ładunek elektronu i ładunek protonu
- **A.** są sobie równe i mają jednakowe znaki.
- **B.** mają równe wartości bezwzględne, ale znak ładunku elektronu jest dodatni, a protonu – ujemny.
- **C.** mają równe wartości bezwzględne, ale znak ładunku elektronu jest ujemny, a protonu – dodatni.
- **D.** mają przeciwne znaki i różne wartości bezwzględne.

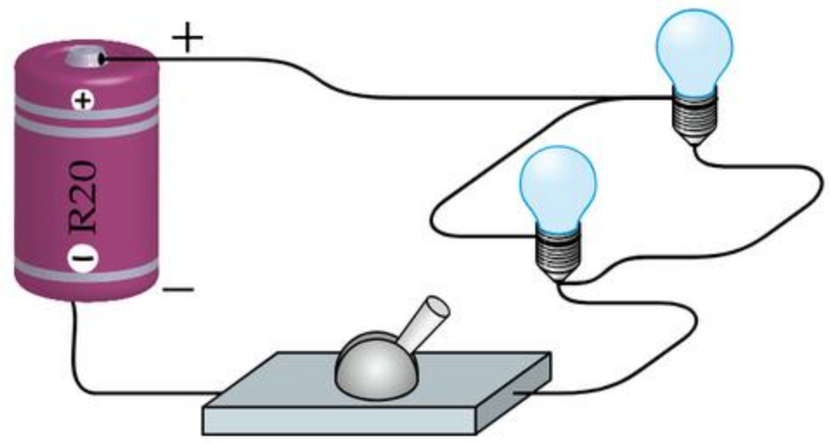
2. Dlaczego elektroskop jest zakończony kulką?
- **A.** Dla ozdoby.
- **B.** Aby uczniowie się nie pokłuli.
- **C.** Aby nie rozładowywał się zbyt szybko.
- **D.** Aby nie uszkodzić innych przyrządów używanych do doświadczeń.

3. Przez żarówkę przepływa prąd o natężeniu 0,8 A. Ładunek, jaki przepłynie przez nią w ciągu minuty, wynosi
- **A.** 0,8 C.
- **B.** 4,8 C.
- **C.** 48 C.
- **D.** 75 C.

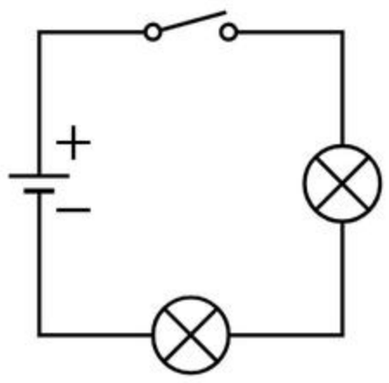
4. Ile żarówek na napięcie 2 V i w jaki sposób należy połączyć, aby obwód można było włączyć do napięcia sieciowego 230 V?
- **A.** Szeregowo 115.
- **B.** Szeregowo 460.
- **C.** Równolegle 115.
- **D.** Równolegle 460.

5. Przez żarówkę podłączoną do napięcia 12 V płynie prąd o natężeniu 2 A. Moc żarówki w tej sytuacji wynosi
- **A.** $\frac{1}{6}$ W.
- **B.** 6 W.
- **C.** 14 W.
- **D.** 24 W.

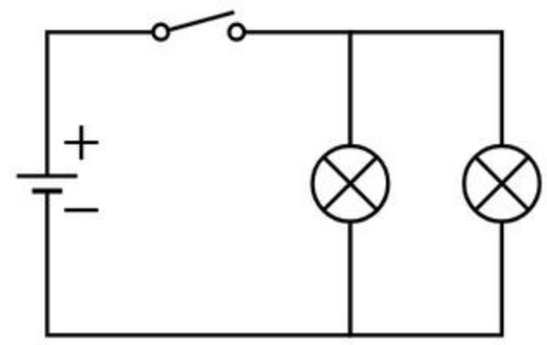
6. Wskaż, który z narysowanych schematów odpowiada rysunkowi obwodu.



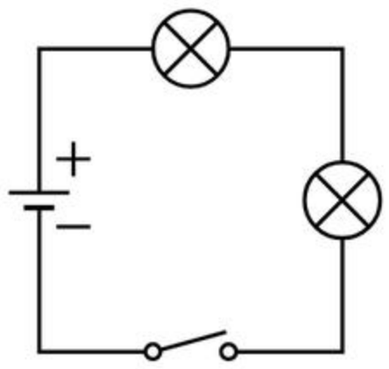
A.



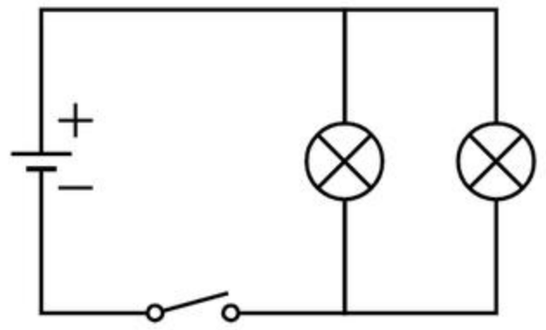
C.



B.



D.



7. Przez urządzenie sieci domowej płynie prąd o natężeniu 3 A. Oblicz, ile zapłacimy za 2 h korzystania z tego urządzenia. Przyjmij cenę 50 gr za 1 kWh.
- **A.** 3 zł
- **B.** 690 zł
- **C.** 69 gr
- **D.** 0,3 gr

8. Energia 20 kWh to inaczej
- **A.** 3 600 000 J.
- **B.** 7 200 000 J.
- **C.** 36 000 000 J.
- **D.** 72 000 000 J.

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To warto umieć

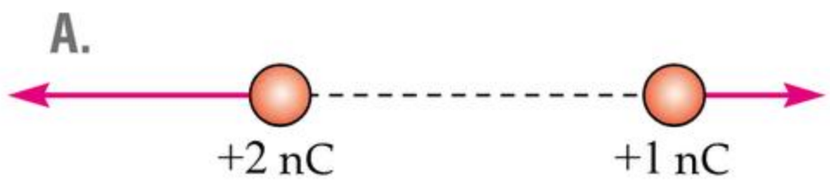
Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Naładowana dodatnio pałeczka szklana przyciąga skrawki papieru, ponieważ

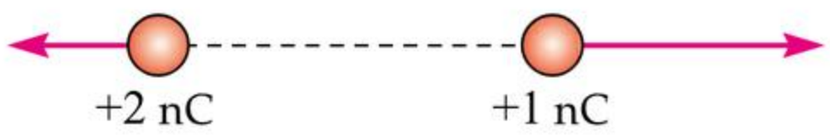
A. papierki zyskują ładunek dodatni.
B. papierki zyskują ładunek ujemny.
C. elektrony w papierku przepływają na stronę bliższą pałeczki.
D. elektrony w cząsteczkach, z których jest zbudowany papierek, przesuwają się na stronę bliższą pałeczki.

2. Siły elektryczne działające między dwiema kulami, na których zgromadzono ładunki dodatnie o różnych wartościach, prawidłowo przedstawiono na rysunku:

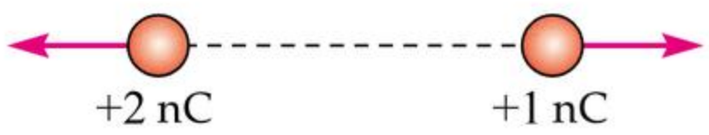
A.



B.



C.



D.



3. Kawałek wełny został naładowany dodatnio. Oznacza to, że

A. dostarczono do niego ładunki dodatnie.
B. dostarczono do niego ładunki ujemne.
C. nie ma już w nim ładunków ujemnych, ale tylko dodatnie.
D. usunięto z niego niektóre ładunki ujemne.

4. Oblicz czas, w jakim przez diodę świecącą o napięciu 2 V i mocy 0,04 W przepłynie miliard miliardów (10^{18}) elektronów. Ładunek elektronu wynosi $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

A. $1{,}3 \cdot 10^{17}$ s
B. $8 \cdot 10^{-18}$ s
C. 8 s
D. 0,1 s

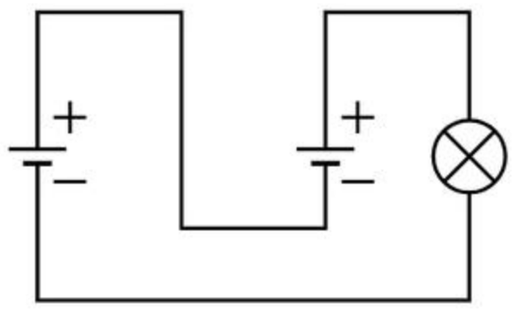
5. Gdyby w organizmie zanikły wszystkie napięcia elektryczne, wtedy

A. swoją funkcję mógłby pełnić mózg.
B. swoją funkcję mógłby pełnić układ krwionośny.
C. swoją funkcję mógłby pełnić układ mięśniowy.
D. żadna z części ciała nie mogłaby pełnić swojej funkcji.

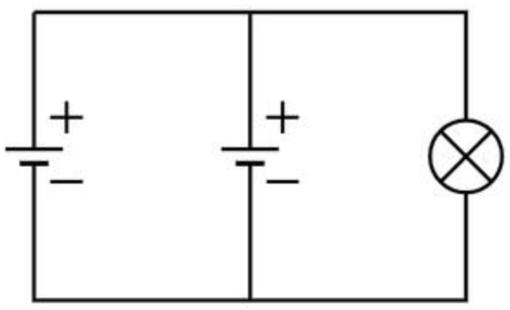
6. Na którym schemacie baterie połączono szeregowo, a na którym – równolegle?

A. Na obydwu szeregowo.
B. Na obydwu równolegle.
C. Na I szeregowo, na II równolegle.
D. Na I równolegle, na II szeregowo.

Schemat I



Schemat II



7. Ładunek 120 nC to inaczej

A. $1{,}2 \cdot 10^{-7}$ C.
B. $1{,}2 \cdot 10^{-8}$ C.
C. $1{,}2 \cdot 10^{-9}$ C.
D. $1{,}2 \cdot 10^{-10}$ C.

8. Jeśli 1 kWh energii elektrycznej kosztuje 50 gr, to 1 GJ kosztuje około

A. 139 gr.
B. 139 zł.
C. 72 gr.
D. 72 zł.

Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Świetnie, jeśli to umiesz

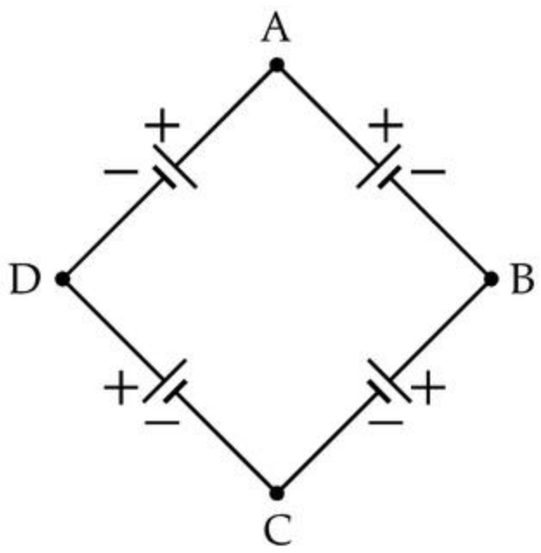
1. Wyjaśnij, dlaczego w czasie burzy bezpieczniej jest biec niż iść.

Wskazówka. Gdy idziesz, są chwile, gdy dotykasz ziemi obiema nogami.

2. Każde z ogniw na schemacie ma napięcie 1,5 V.

a) Oceń, czy w przedstawionym obwodzie płynie prąd.

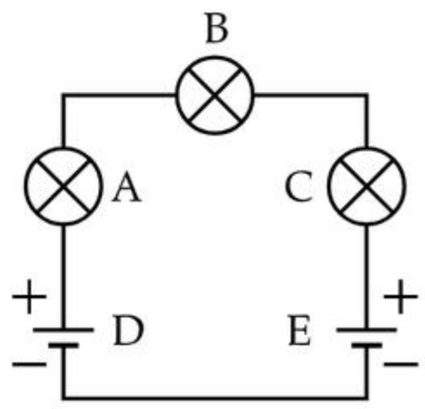
b) Określ, jakie napięcie wskaże woltomierz podłączony do punktów A i C, a jakie – do punktów B i D.



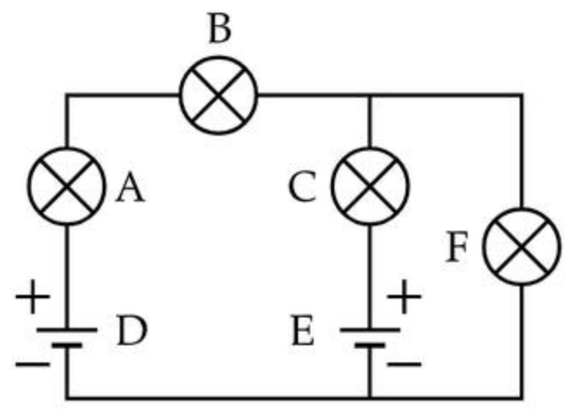
3. Litr benzyny kosztuje 4,50 zł. Z jego spalenia uzyskujemy energię 300 MJ, ale tylko 30% tej energii silnik spalinowy przekształca na użyteczną pracę. Z kolei 1 kWh energii elektrycznej kosztuje 50 gr, a 90% tej energii silnik elektryczny może zamienić na użyteczną pracę. Porównaj cenę 1 MJ użytecznej pracy uzyskanej z obu źródeł.

4. Wszystkie ogniwa w przedstawionym obwodzie, a także wszystkie żarówki, są identyczne. Określ, które żarówki świecą i które baterie się rozładowują.

a)



b)



Wskazówka. Jeśli masz wątpliwości, czy prąd płynie, zastanów się, w którą stronę może ewentualnie płynąć.

Z historii

Pod koniec XVII w. profesor anatomii Luigi Galvani [czyt. luidżi galwani] przypadkiem zauważył, że wypreparowany mięsień żaby kurczy się, gdy w pobliżu przeskakuje iskra elektryczna, a jednocześnie ktoś dotyka żaby metalowym ostrzem. Rozpoczął więc systematyczne badania i odkrył, że udko kurczy się także bez iskier, gdy dotkniemy go dwoma różnymi metalami połączonymi ze sobą. Galvani sądził, że przewody powodują rozładowanie ładunków elektrycznych zgromadzonych w tkankach żaby.



Luigi Galvani.

Dopiero inny włoski uczony, Alessandro Volta [czyt. wolta], wyjaśnił, że napięcie powstaje zawsze, gdy przewodząca ciecz – niekoniecznie pochodząca z żywego organizmu – znajdzie się między dwoma różnymi metalami. Korzystając z tego odkrycia, w 1800 r. zbudował pierwszą baterię elektryczną. Od nazwiska Volty pochodzi nazwa jednostki napięcia – wolt.



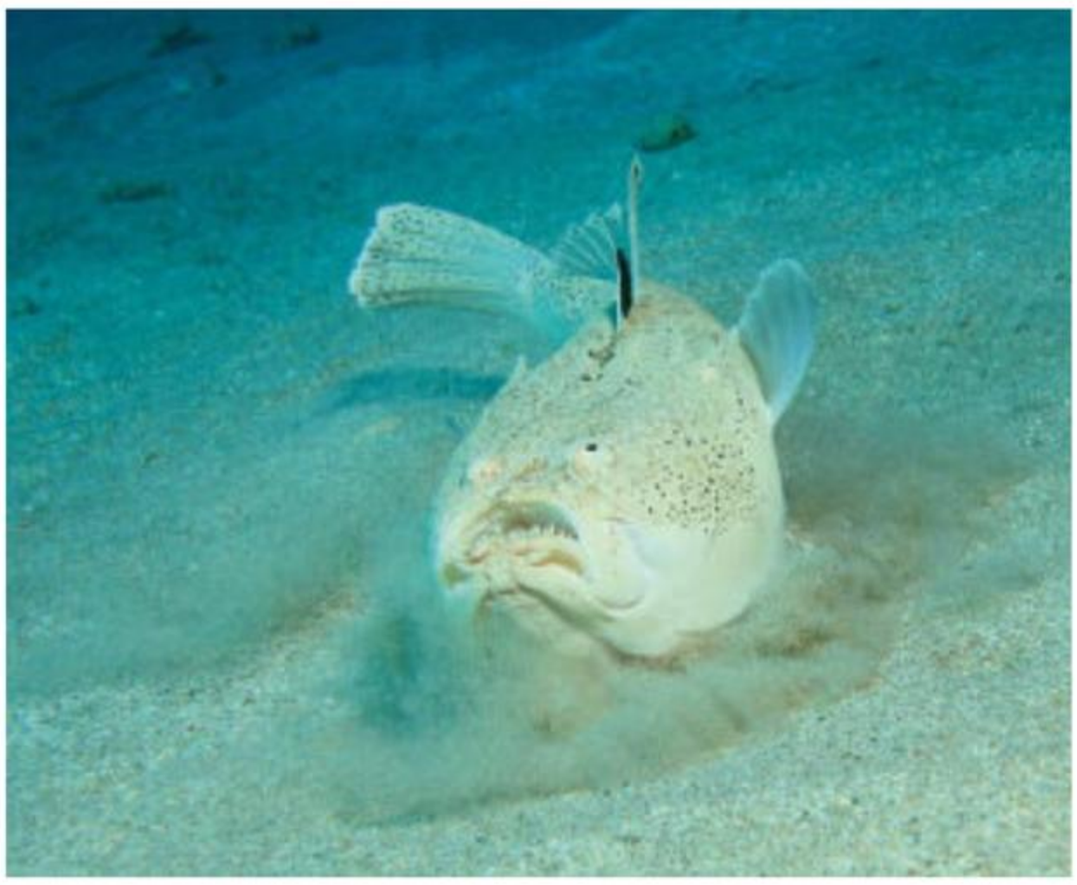
Alessandro Volta.

Analiza tekstu

ŻYWE PARALIZATORY

Ryby elektryczne mogą uśmiercić nawet duże zwierzę. W jaki sposób wytwarzają energię elektryczną i czy mogą ją wykorzystywać do czegoś innego niż tylko do rażenia przeciwnika?

Może się to wydać dziwne, ale pierwotnie prąd elektryczny wcale nie służył wytwarzającym go zwierzętom do porażenia przeciwnika lub upatrzonej ofiary. Pomagał przede wszystkim w orientacji w środowisku. Do dzisiaj węgorz elektryczny – a w zasadzie strętwa (*Electrophorus electricus*), bo tak brzmi prawidłowa nazwa tej południowoamerykańskiej słodkowodnej ryby – wykorzystuje generowane przez siebie pole elektryczne do lokalizacji przedstawicieli swojego gatunku, orientacji w otoczeniu czy nawet komunikacji. Ma dość słaby wzrok, a z wiekiem może stracić go całkowicie. Ale dzięki swoim elektrycznym zdolnościom potrafi sprawnie, niezależnie od wzroku, poruszać się w wodzie.



Niektóre skaraberowate są w stanie porazić ofiarę prądem o napięciu dochodzącym do 50 V. Organy elektryczne ryby zlokalizowane są w głowie.

Biologiczne ogniwo

Narządy elektryczne występują u kilkudziesięciu gatunków ryb określanych wspólnym mianem ryb elektrycznych, a więc takich, które mają naturalną zdolność do wytwarzania pola elektrycznego, odczuwania jego obecności lub odbierania zmian jego natężenia. Co ciekawe, gatunki te należą do zupełnie niespokrewnionych grup systematycznych. Narządy elektryczne wykształciły się zatem u nich zupełnie niezależnie. Mimo to wykazują podobieństwo – są to narządy parzyste (występują parami tak jak oczy czy uszy), składające się z elektrocytów.

Elektrocyty podobnie jak komórki włókien mięśniowych wytwarzają sygnały elektryczne (nie mogą się jednak kurczyć). Od środowiska zewnętrznego oddziela je zewnętrzna błona komórkowa. Z kolei błony śródkomórkowe dzielą wnętrze elektrocytu na szereg przedziałów. (…) Budowa elektrocytów pozwala sterować rozkładem dodatnich i ujemnych jonów wewnątrz komórki.

Wytwarzanie ładunku w elektrocytach polega na odpowiednim kierowaniu ruchem jonów dodatnich i ujemnych. Komórki te w stanie spoczynku charakteryzuje wysokie stężenie kationów (dodatnich jonów) potasu i niskie stężenie kationów sodu. Dzieje się tak, ponieważ w błonie komórkowej znajduje się enzym aktywnie transportujący jony sodu i potasu – tzw. pompa sodowo-potasowa, która wyrzuca na zewnątrz po trzy jony sodowe (osadzają się one na powierzchni komórki), wpuszczając do środka dwa jony potasowe (te grupują się wewnątrz komórki w środku jej przekroju). Oprócz kationów komórka zawiera też aniony (ujemne jony) chlorkowe, których stężenie odpowiada wewnętrznemu sumarycznemu stężeniu jonów potasu i sodu.

W stanie nieaktywnym cała powierzchnia elektrocytu naładowana jest dodatnio, a wnętrze – ujemnie (…) i komórka pozostaje obojętna elektrycznie dla otoczenia. Aby wyrównać zgromadzony na jej powierzchni dodatni ładunek elektryczny, bezpośrednio pod błoną komórkową gromadzą się ujemne jony chlorkowe. Pobudzenie elektrocytu następuje dzięki neuroprzekaźnikowi (…). Sygnał do uwolnienia acetylocholiny z zakończeń nerwowych pochodzi z mózgu. Neuroprzekaźnik otwiera kanały jonowe w błonie komórkowej, ale (…) tylko po jednej stronie elektrocytu (…). Natychmiast napływają nimi do środka jony sodowe z powierzchni błony komórkowej. Ten nagły dopływ ładunku dodatniego zmienia równowagę potencjału wewnątrzkomórkowego. By ją przywrócić, jony potasu muszą jak najszybciej opuścić komórkę, ale mogą to zrobić tylko po stronie przeciwnej komórki. Błona komórkowa jest dla nich przepuszczalna.

Napływające dodatnie jony sodu gromadzą się tuż pod błoną komórkową, a do opuszczonych przez nie miejsc na zewnętrznej powierzchni komórki bardzo szybko „przyczepiają" się pochodzące z zewnątrz jony ujemne. W tym czasie, po przeciwległej stronie komórki, na zewnętrznej jej powierzchni, zdążył się już zgromadzić ładunek dodatni, pochodzący od jonów potasowych, które opuściły przed chwilą wnętrze elektrocytu. (…) Po jednej stronie komórki mamy zgromadzony ładunek dodatni, a po drugiej ujemny (…). Zgromadzony (…) ładunek może zostać w dowolny sposób wykorzystany, np. do wygenerowania wyładowania elektrycznego, które ma porazić zakradającego się wroga. (…)

Marcin Bieńkowski, „Wiedza i życie", nr 2/2016.

Pytania do tekstu

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Żywe organizmy wytwarzają prąd elektryczny przede wszystkim po to, by

A. bronić się przed drapieżnikami.
B. komunikować się z innymi osobnikami.
C. orientować się w otoczeniu.
D. polować.

2. Przepływ prądu przez ryby elektryczne następuje wskutek przemieszczania się

A. elektronów.
B. tylko jonów ujemnych.
C. tylko jonów dodatnich.
D. jonów dodatnich i ujemnych.

3. W stanie nieaktywnym komórka elektryczna (elektrocyt) jest

A. cała naładowana dodatnio.
B. równomiernie wypełniona dodatnimi i ujemnymi ładunkami.
C. naładowana tak, że w jej jednym końcu gromadzą się ładunki dodatnie, a w drugim – ujemne.
D. naładowana tak, że po jej zewnętrznej stronie gromadzą się ładunki dodatnie, a wewnątrz – ujemne.

4. Tuż przez wyładowaniem elektrocyt

A. się kurczy.
B. ładuje się ujemnie.
C. ładuje się dodatnio.
D. w jednym końcu ładuje się dodatnio, a w drugim – ujemnie.



Praca badawcza

Zegarek na owoce

1. Weź plasterek obranego jabłka. Jedną połowę owiń folią aluminiową, w drugą wbij żelazny gwóźdź lub spinacz biurowy.

2. Zmierz napięcie między folią a gwoździem. Gdzie jest plus, a gdzie minus?

3. Jak długo utrzymuje się napięcie? Jak szybko się zmniejsza? Czy wiesz, dlaczego napięcie się zmniejsza? (Jest wiele przyczyn).

Doświadczenie pokazuje, jak łatwo i tanio można zbudować ogniwo. Działa ono dzięki jonom znajdującym się w jabłku. Jeśli dwa kawałki różnych metali (zwane elektrodami) włożymy do cieczy zawierającej jony, zajdą reakcje chemiczne, w wyniku których pomiędzy elektrodami pojawi się napięcie. Twoje ogniwo z jabłka może wytwarzać niewiele niższe napięcie niż ogniwo, które można kupić w kiosku. Zgromadzony w nim ładunek jest bardzo mały, dlatego nie dałoby się z niego zasilać np. latarki. Działa jednak na tej samej zasadzie.

4. Możesz wypróbować inne warzywa i owoce, a także inne elektrody – zamiast folii lub spinaczy używając np. miedzianego drutu. A może zamiast spinacza zastosujesz blaszkę przylegającą do większej powierzchni owocu?

Spróbuj uzyskać jak najlepsze ogniwo – o jak najwyższym napięciu, ale też jak najtrwalsze.

5. Weź cyfrowy zegarek elektroniczny (najtańszy!), wyjmij z niego baterię i zmierz jej napięcie. Czy twoje ogniwa mają podobne napięcie? A może trzeba je połączyć szeregowo?

6. Do blaszek w zegarku, które zazwyczaj dotykają biegunów baterii, podłącz przewody i połącz za ich pomocą zegarek ze swoim ogniwem (pamiętaj o biegunowości!).

7. Jeśli napięcie jest odpowiednie, połączenia prawidłowe, a zegarek nie działa, być może zbyt małe jest natężenie prądu, który można czerpać z ogniwa. Połącz wówczas równolegle kilka ogniw (lub ich baterii).



Pomiar napięcia elektrycznego w obwodzie z owocowym ogniwem.

8. Sprawdź, jak długo będzie chodził zegarek, zanim bateria się wyczerpie. Zegarek autorów tej książki chodził prawidłowo przez 12 godzin, potem zaczął się spóźniać. Spróbuj pobić ten rekord.

Gdyby w XIX w. fizycy nie odkryli zależności między elektrycznością a magnetyzmem, nie zbudowano by elektrowni, silników elektrycznych ani nawet spalinowych, nie mówiąc o telewizji czy komputerach. Jak wtedy wyglądałoby nasze życie?

Elektryczność i magnetyzm



Z tego rozdziału dowiesz się więcej o przepływie prądu elektrycznego. Poznasz też zależności między zjawiskami elektrycznymi a zjawiskami magnetycznymi.

11 Opór elektryczny

Doświadczenie

1. Podłącz żelazko do ogniwa 1,5 V. Popłynie prąd o małym natężeniu, który oczywiście nie rozgrzeje żelazka, ale można zmierzyć amperomierzem jego natężenie.
2. Zastąp ogniwo dwoma, a następnie trzema takimi ogniwami połączonymi szeregowo. Ile razy zwiększy się natężenie prądu?



Gdy dwa przewody jednakowego kształtu, miedziany i aluminiowy, podłączymy do jednakowego napięcia, przez przewód miedziany popłynie prąd o większym natężeniu niż przez przewód aluminiowy. Mówimy, że przewód aluminiowy stawia prądowi większy opór albo że ma większy **opór elektryczny** (dalej krótko: opór).
Skąd się bierze ten opór? Jak wiesz, elektrony poruszające się w przewodniku tracą energię, zderzając się z jonami. W miedzi zderzenia zdarzają się rzadziej niż w aluminium i elektrony łatwiej przepływają przez przewodnik.
Aby mierzyć opór elektryczny przewodników i wyrażać go w odpowiednich jednostkach, poznamy najpierw ważną zależność między napięciem a natężeniem prądu.

Prawo Ohma

W doświadczeniu mogłeś zaobserwować, że im większe napięcie przykładamy do przewodnika, tym większe jest natężenie prądu. Co więcej, gdy napięcie zwiększamy dwa albo trzy razy, natężenie także zwiększa się – odpowiednio – dwa albo trzy razy. (Być może twój pomiar jest zgodny z tą zasadą tylko w przybliżeniu, wszak każdy pomiar jest obarczony niepewnością).

Natężenie prądu płynącego przez przewodnik (przy stałej temperaturze) jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia.

To prawo odkrył Georg Ohm (czyt. georg om), dlatego nazywamy je prawem Ohma.

Opór elektryczny wyrażony liczbowo

Jak mierzyć opór elektryczny? Można mierzyć napięcie, jakie jest potrzebne, aby przez przewodnik popłynął prąd o ustalonym

natężeniu, np. 1 A. Jeśli przewodnik ma większy opór elektryczny, to potrzebne jest wyższe napięcie, a jeśli ma mniejszy opór – wystarczy niższe napięcie.
Wyobraź sobie przewodnik, który trzeba podłączyć do napięcia 5 V, aby przepłynął przez niego prąd 1 A. Zgodnie z prawem Ohma, jeśli chcemy, aby prąd miał natężenie 2 A, potrzebne jest napięcie 10 V itd. Możemy powiedzieć, że na każdy amper prądu płynącego przez ten przewodnik potrzebne jest napięcie 5 V albo że opór elektryczny tego przewodnika wynosi 5 woltów na amper, czyli 5 $\frac{\text{V}}{\text{A}}$.

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

Jeśli temperatura przewodnika się nie zmienia, to jego opór elektryczny jest stałą wielkością, tzn. nie zależy od napięcia, do którego przewodnik został podłączony.

Jeśli zwiększymy napięcie np. 5 razy, także natężenie prądu płynącego przez przewodnik zwiększy się 5 razy. Opór zaś pozostanie bez zmian, o ile tyko nie zmieni się temperatura przewodnika.

Jednostka oporu elektrycznego

Jednostką oporu jest „wolt na amper" $\left(\frac{\text{V}}{\text{A}}\right)$. Na cześć Georga Ohma jednostkę tę nazwano **omem**; oznaczana jest wielką grecką literą Ω (omega).

Opór 1 Ω oznacza, że jeśli dany przewodnik podłączymy do napięcia 1 V, popłynie przez niego prąd o natężeniu 1 A. Jeśli napięcie wyniesie 3 V, natężenie będzie równe 3 A itd.

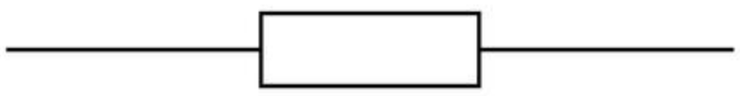
$$1\ \Omega = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

Opór elektryczny mierzymy za pomocą miernika zwanego **omomierzem**. Inny sposób wyznaczania oporu omówimy na następnej lekcji.

Oporniki

Jednym z podstawowych elementów obwodów elektronicznych jest **opornik**, czyli kawałek przewodnika o znanym oporze. Produkuje się wiele oporników o najróżniejszym oporze elektrycznym – od ułamków omów do kilku milionów omów.

Na schematach oporniki oznacza się prostokątem.



Z historii

Do prawa Ohma doprowadziło cię proste doświadczenie. Dla Georga Ohma (1789–1854) dokonanie tego odkrycia było znacznie trudniejsze. W tamtych czasach nie znano przyrządów do pomiaru napięcia i natężenia. Same te pojęcia nie były jeszcze znane. Ktoś mógłby powiedzieć: gdyby Ohm miał miernik uniwersalny, byłoby mu o wiele łatwiej. Ale bez znajomości prawa Ohma nikt nie zbudowałby tego przyrządu.



Georg Ohm.

Ćwiczenie. Jaki opór miało żelazko użyte przez ciebie w doświadczeniu na s. 72?



Różne rodzaje oporników.

Przykład 1. Jaki opór ma przewodnik, jeśli po podłączeniu do baterii 4,5 V płynie przez niego prąd o natężeniu 0,2 A?

Dane: Szukane:

$U = 4{,}5$ V – napięcie $R = ?$ – opór

$I = 0{,}2$ A – natężenie

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

$$R = \frac{4{,}5\ \text{V}}{0{,}2\ \text{A}} = 22{,}5\ \Omega$$

Odpowiedź: Opór tego przewodnika wynosi 22,5 Ω.

Przykład 2. Oblicz natężenie prądu, który popłynie przez przewodnik o oporze 300 Ω, jeśli podłączymy go do ogniwa 1,5 V.

Dane: Szukane:

$R = 300\ \Omega$ – opór $I = ?$ – natężenie

$U = 1{,}5$ V – napięcie

Sposób I

Podany opór oznacza, że gdy do opornika przyłożymy napięcie 300 V, popłynie przez niego prąd o natężeniu 1 A. W opisanym przypadku napięcie jest $\frac{300}{1{,}5} = 200$ razy mniejsze, a więc i natężenie prądu będzie 200 razy mniejsze.

$$I = \frac{1}{200}\ \text{A} = 0{,}005\ \text{A} = 5\ \text{mA}$$

Sposób II

Gdy do opornika przyłożymy napięcie 300 V, popłynie przez niego prąd o natężeniu 1 A. Napięcie jest proporcjonalne do natężenia, więc możemy zapisać proporcję:

$$\frac{300\ \text{V}}{1\ \text{A}} = \frac{1{,}5\ \text{V}}{I}$$

$$I = \frac{1\ \text{A} \cdot 1{,}5\ \text{V}}{300\ \text{V}} = 0{,}005\ \text{A} = 5\ \text{mA}$$

Sposób III

Wzór $R = \frac{U}{I}$ przekształcamy do postaci:

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

Podstawiamy wartości liczbowe:

$$I = \frac{1{,}5\ \text{V}}{300\ \Omega} = \frac{1{,}5}{300}\ \frac{\text{V}}{\frac{\text{V}}{\text{A}}} = 0{,}005\ \text{A} = 5\ \text{mA}$$

Odpowiedź: Przez przewodnik popłynie prąd o natężeniu 5 mA.

Ciekawostka

Gdy czterdziestowatowa żarówka z lampki nocnej jest wyłączona, jej włókno ma opór elektryczny zaledwie 100 Ω. Jednak gdy ta sama żarówka świeci, a jej włókno jest rozgrzane do temperatury wyższej niż 2000°C, jego opór rośnie nawet kilkanaście razy.



Ciekawostka

Opór elektryczny skóry zmienia się, gdy człowiek przeżywa silne emocje. Dlatego opór ten jest jedną z wielkości mierzonych przez wariograf (poligraf), zwany potocznie wykrywaczem kłamstw. Z tego urządzenia korzysta czasem policja, aby stwierdzić, czy podejrzany reaguje emocjonalnie np. na zdjęcie miejsca zbrodni albo domniemanego wspólnika. Niestety, podobne emocje może przeżywać osoba niewinna, natomiast przestępca może oszukać wariograf, powodując u siebie ból (np. gryząc się w język). Dlatego wskazania wariografu nie mogą być dowodem w procesach sądowych w Polsce i większości krajów.



Badanie wariografem.

Podsumowanie

- Jeśli dwa przewodniki podłączymy do takiego samego napięcia, to nie zawsze popłynie przez nie prąd o takim samym natężeniu. Przez przewodnik o większym oporze elektrycznym popłynie prąd o mniejszym natężeniu.
- Prawo Ohma: jeśli temperatura przewodnika się nie zmienia, to natężenie płynącego przez niego prądu jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia.
- Opór elektryczny przewodnika obliczamy ze wzoru: $R = \frac{U}{I}$.
- Opór elektryczny mierzymy w omach: $1\ \Omega = 1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Przez dwa przewodniki płynął prąd o takim samym natężeniu, choć każdy z nich podłączono do innego napięcia: pierwszy do napięcia 5 V, a drugi do napięcia 10 V. Oceń, który z nich miał większy opór. Oblicz, ile razy większy.

2. Oblicz opór opornika, przez który pod napięciem 12 V płynie prąd o natężeniu:
a) 2 A, **b)** 0,1 A, **c)** 20 mA.

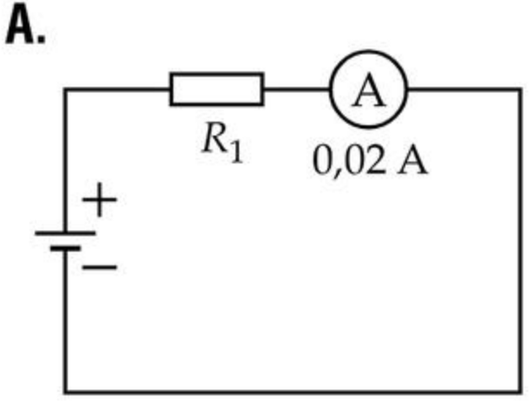
3. Oblicz natężenie prądu, który popłynie przez opornik o oporze R podłączony do napięcia U.
a) $R = 100\ \Omega$, $U = 2$ V
b) $R = 3$ kΩ, $U = 1{,}5$ V

4. Gdy opornik podłączono do napięcia 2 V, płynął przez niego prąd o natężeniu 0,5 A. Oblicz natężenie prądu, który popłynie przez ten sam opornik, gdy podłączymy go do napięcia:
a) 1 V,
b) 4 V,
c) 10 V.

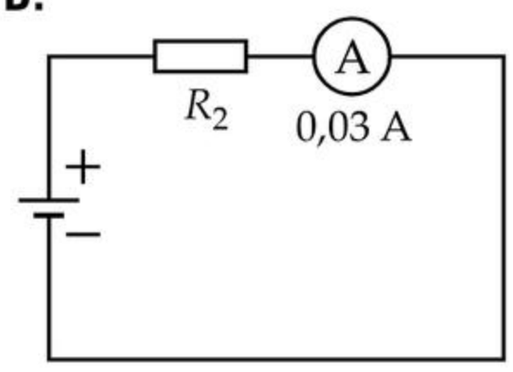
5. Oblicz napięcie, jakie należy przyłożyć do opornika o oporze R, aby płynął przez niego prąd o natężeniu I.
a) $R = 10\ \Omega$, $I = 2$ A
b) $R = 4{,}7$ kΩ, $I = 20$ mA
c) $R = 1$ MΩ, $I = 5\ \mu$A

6. Ogniwa na wszystkich poniższych schematach są jednakowe. Przy symbolach amperomierzy zapisano, jakie natężenie prądu wskazują. Wskaż, który z oporników ma największy opór, a który – najmniejszy.

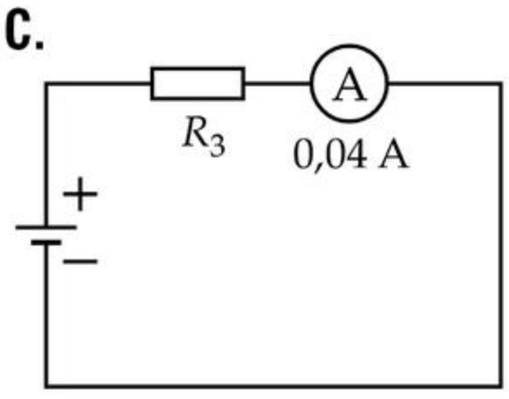
A.



B.



C.



Doświadczenie

Twój opór elektryczny

1. Spróbuj zmierzyć opór swojego ciała za pomocą omomierza. Możesz skorzystać z miernika uniwersalnego, wybierając pokrętłem odpowiednią funkcję. Czy przyrząd ma odpowiedni zakres, żeby zmierzyć tak duży opór?
Porównaj opór:
- między suchymi palcami jednej ręki (dwóch rąk),
- między zwilżonymi palcami jednej ręki (dwóch rąk),
- między palcami ręki a językiem.

Uwaga. Wyczyść wcześniej końcówki przyrządu!

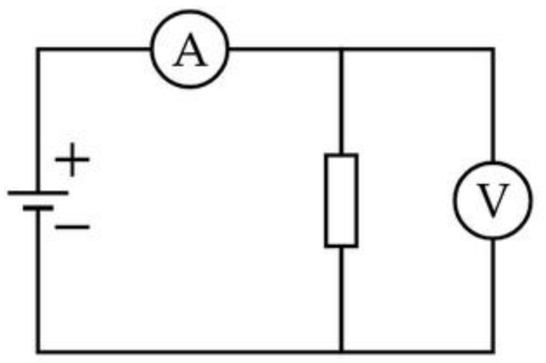
2. Zapisz w zeszycie wyniki pomiarów.
3. Wyobraź sobie, że przypadkowo podłączyłeś się do źródła napięcia. Od czego zależy natężenie prądu, który popłynie przez twoje ciało? Dlaczego nie należy sprawdzać tego w praktyce?
4. Czy dostrzegasz zależność między wynikiem tego doświadczenia a zaleceniem, aby w czasie kąpieli nie korzystać z urządzeń elektrycznych?



12 Wyznaczanie oporu elektrycznego

Jak wiesz, do pomiaru oporu elektrycznego służy przyrząd zwany omomierzem. Taką funkcję może spełniać większość mierników uniwersalnych. Jeśli nie dysponujemy omomierzem, możemy wyznaczyć opór na podstawie pomiaru napięcia i natężenia. Przyrządy łączymy w taki sam sposób, jaki stosuje się przy pomiarze mocy, ale w inny sposób wykorzystujemy wyniki pomiaru.

Przykład. Janek postanowił wyznaczyć opór grzałki. Zbudował obwód według schematu przedstawionego obok (grzałka została na nim zaznaczona jako opornik). Jako źródła napięcia użył najpierw jednego ogniwa, potem dwóch ogniw połączonych szeregowo, wreszcie trzech tak połączonych ogniw. Wyniki pomiarów zapisał w tabeli. Dla każdego z pomiarów obliczył opór grzałki.

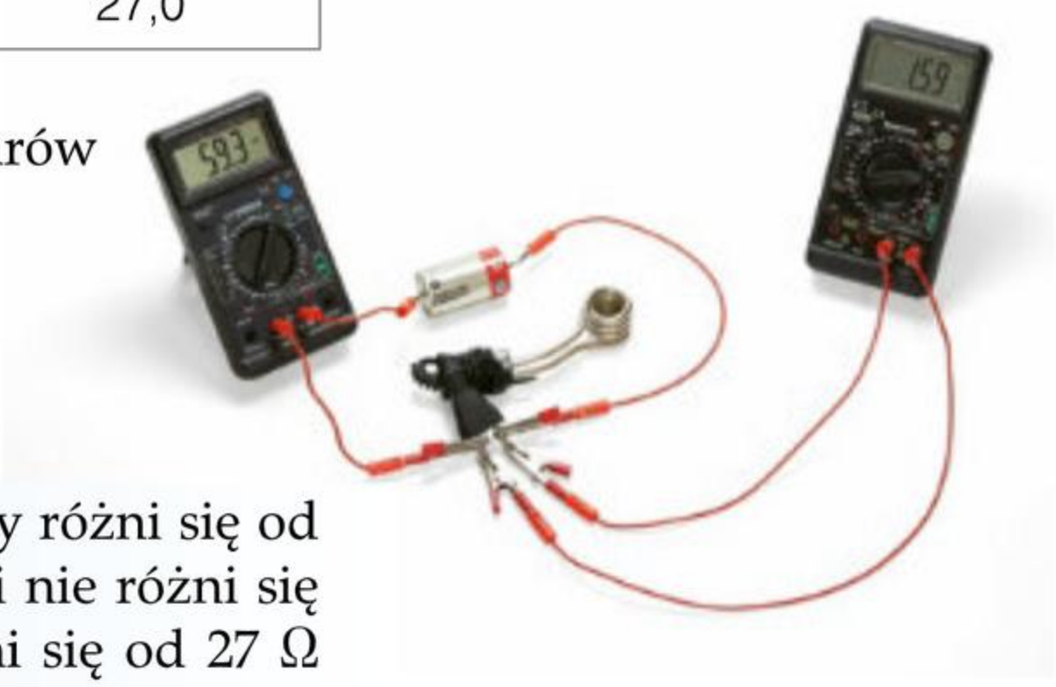


	U, V	I, mA	R, Ω
Pomiar 1.	1,59	59,3	26,8
Pomiar 2.	3,18	117,4	27,1
Pomiar 3.	4,34	160,5	27,0

Następnie obliczył średnią z trzech wyników pomiarów oporu i zaokrąglił ją do dwóch cyfr znaczących.

$$R = 27\ \Omega$$

Odpowiedź: Opór grzałki wynosi 27 Ω.



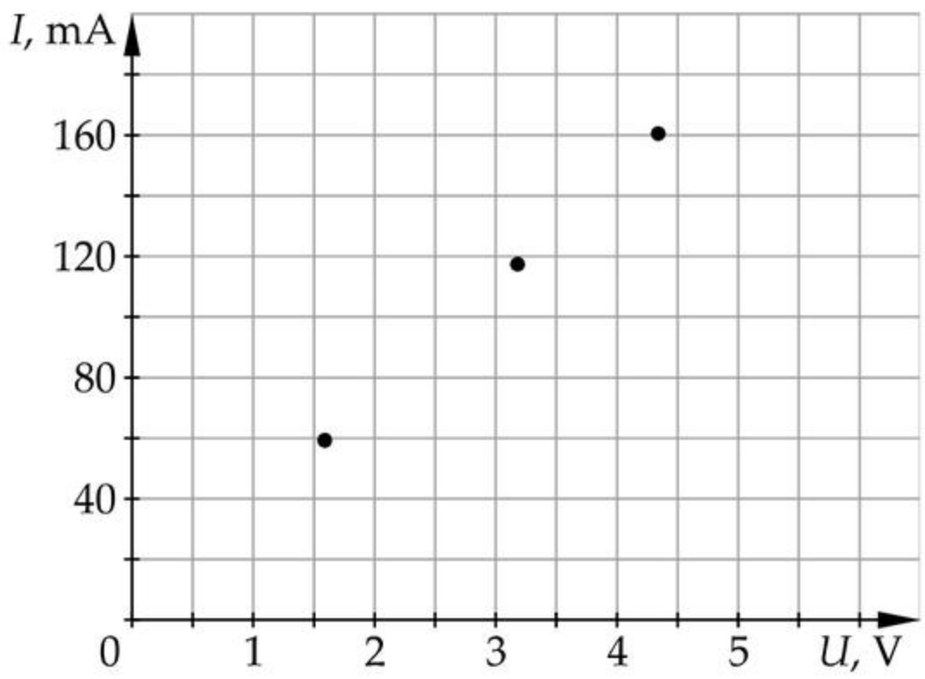
Spośród trzech wyników pomiarów oporu pierwszy różni się od obliczonej średniej o 0,2 Ω, drugi – o 0,1 Ω, a trzeci nie różni się wcale. Można więc szacować, że opór grzałki różni się od 27 Ω najwyżej o 0,2 Ω. Wynik pomiaru możemy zapisać:

$$R = 27{,}0\ \Omega \pm 0{,}2\ \Omega$$

Dlaczego obliczaliśmy tylko średni opór

Zauważ, że napięcie, pod które podłączyliśmy grzałkę, było bardzo niskie w stosunku do napięcia sieciowego. Dlatego grzałka praktycznie się nie rozgrzała i jej opór pozostał stały. Różnice wyników pomiarów oporu wynikały tylko z niepewności pomiarowej. Można przypuszczać, że niektóre pomiary dają wynik trochę za duży, a inne – trochę za mały. Dlatego obliczamy średnią, która jest najbardziej zbliżona do rzeczywistej wartości oporu.
Nie miałoby natomiast sensu obliczanie średniego napięcia z kolejnych pomiarów. Wyniki tych pomiarów różniły się nie z powodu ich niedokładności, ale dlatego, że najpierw mierzyliśmy napięcie jednego ogniwa, potem dwóch itd.
Z podobnych powodów nie obliczaliśmy średniego natężenia prądu.

Wykres I



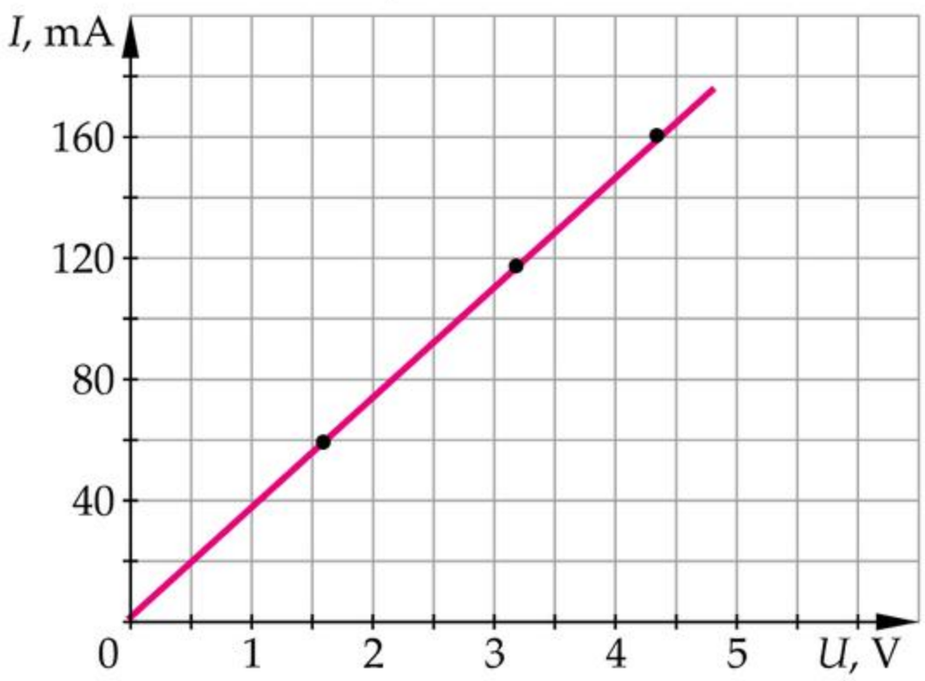
Wyniki pomiarów na wykresie

Wyniki swoich pomiarów Janek przedstawił także na wykresie. Na poziomej osi układu współrzędnych zaznaczył napięcie, a na pionowej – natężenie płynącego prądu przy danym napięciu (wykres I).
Zwróć uwagę, że zaznaczone punkty układają się wzdłuż prostej (wykres II). Zgadza się to z prawem Ohma.

Ponieważ natężenie prądu jest proporcjonalne do napięcia, wykresem zależności natężenia od napięcia jest linia prosta.

Gdyby Janek wykonał więcej pomiarów, one także znalazłyby się na tej prostej. Jej nachylenie zależy od oporu przewodnika.

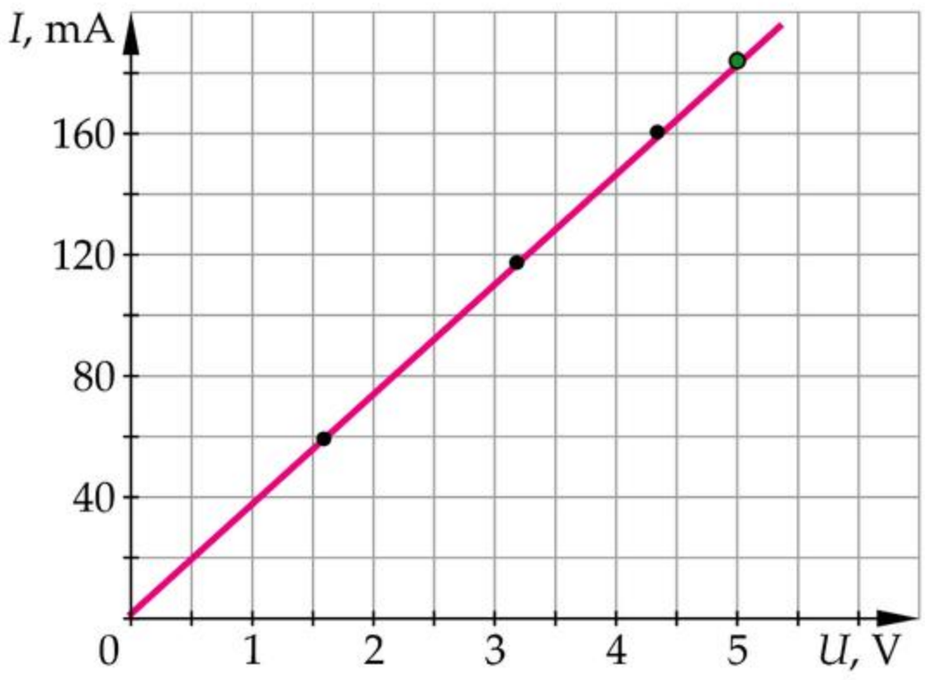
Wykres II



Odczytywanie oporu z wykresu

Z wykresu zależności natężenia od napięcia możemy odczytać opór przewodnika. Wystarczy wybrać jeden punkt wykresu i odczytać jego współrzędne (wykres III). Odczytujemy współrzędne punktu zaznaczonego na zielono.

Wykres III



$U = 5\ \text{V}$, $I = 184\ \text{mA} = 0{,}184\ \text{A}$
Teraz możemy obliczyć opór grzałki.

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

$$R = \frac{5\ \text{V}}{0{,}184\ \text{A}} \approx 27\ \Omega$$

Zauważ, że wynik jest taki sam jak wynik obliczeń w przykładzie na s. 77.

Podsumowanie

- Opór elektryczny można wyznaczyć, mierząc napięcie na końcach przewodnika i natężenie prądu płynącego przez ten przewodnik.
- Ponieważ przy stałym oporze elektrycznym napięcie jest proporcjonalne do natężenia prądu, wykresem zależności natężenia od napięcia jest linia prosta. Jej nachylenie zależy od oporu przewodnika.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Tabela przedstawia wyniki pomiarów napięcia i natężenia prądu podczas wyznaczania oporu pewnego opornika. Przerysuj ją do zeszytu. Dokończ obliczenia, oblicz średni wynik pomiaru oporu i podaj go z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

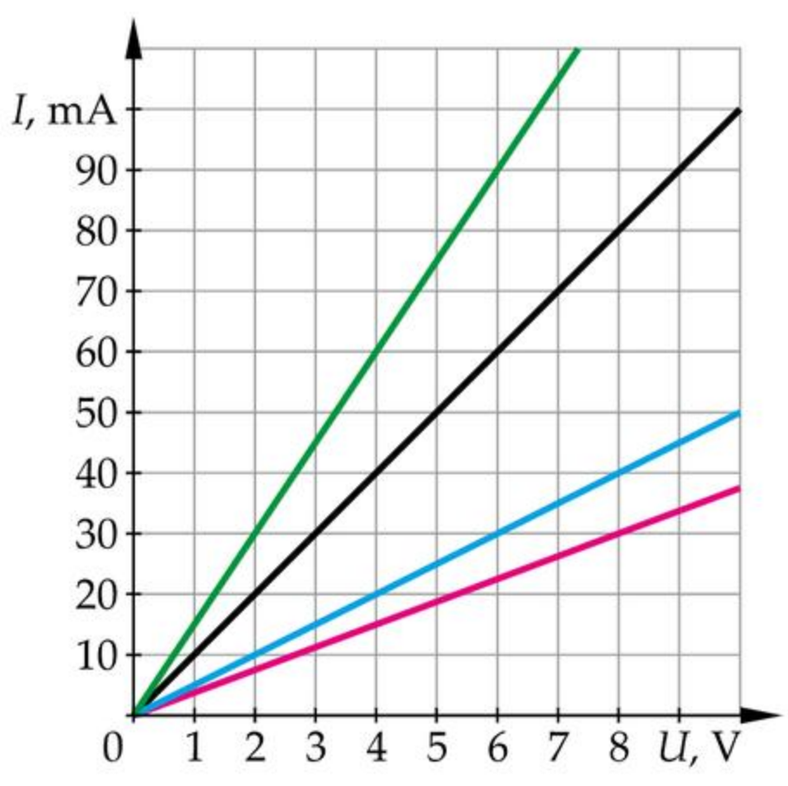
	U, V	I, mA	R, Ω
Pomiar 1.	1,48	3,2	
Pomiar 2.	2,99	6,3	
Pomiar 3.	4,42	10,1	
Pomiar 4.	6,0	12,2	

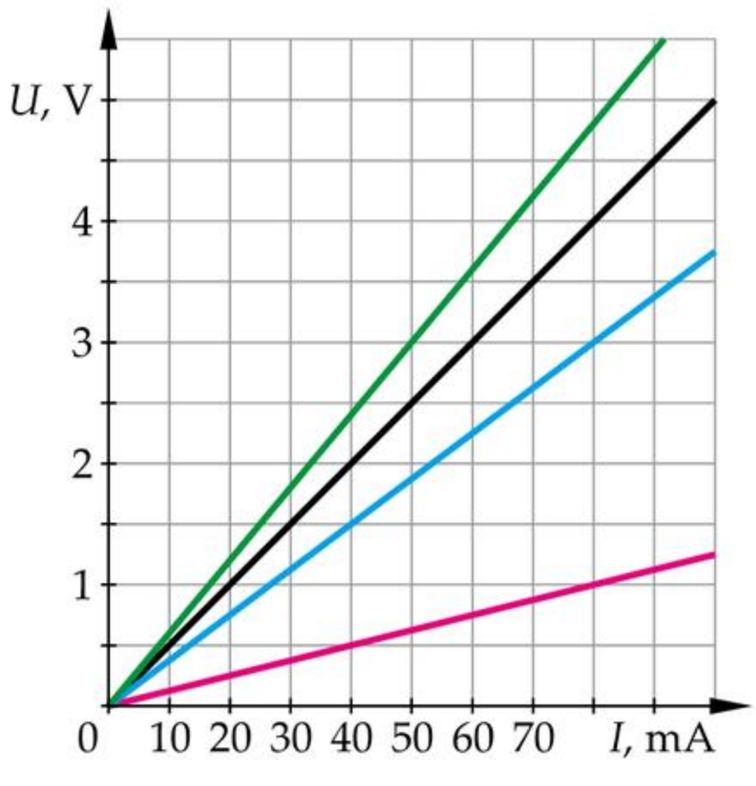
2. Każdy z wykresów przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez pewien opornik od przyłożonego napięcia.
a) Odpowiedz bez liczenia, który z oporników ma największy, a który najmniejszy opór.
b) Oblicz opór każdego z oporników.

3. Oto wyniki pomiarów napięcia i natężenia prądu podczas wyznaczania oporu. W jednym pomiarze prawdopodobnie popełniono błąd. Wskaż ten pomiar. Czy umiesz zrobić to bez wykonywania obliczeń? Odpowiedź zapisz w zeszycie.

	U, V	I, A	R, Ω
Pomiar 1.	2,5	0,38	
Pomiar 2.	4,9	1,99	
Pomiar 3.	7,6	1,15	
Pomiar 4.	10	1,54	

4. Każdy z wykresów przedstawia wyniki pomiarów napięcia na oporniku i natężenia płynącego przez niego prądu.
a) Odpowiedz bez liczenia, który z oporników ma największy opór.
b) Oblicz opór każdego z oporników.





Doświadczenie

Wyznaczanie oporu elektrycznego

Korzystając z woltomierza i amperomierza oraz kilku ogniw 1,5 V, wyznacz opór grzałki albo czajnika elektrycznego.

Uwaga. Możesz korzystać z jednego miernika uniwersalnego, raz włączając go jako woltomierz, a raz jako amperomierz.

Doświadczenie

Opór zimnej i gorącej żarówki

1. Przygotuj żarówkę na napięcie sieciowe.

Uwaga. Powinna to być żarówka, a nie świetlówka (czyli tzw. żarówka energooszczędna).

2. Wyznacz jej opór sposobem omawianym na tej lekcji.
3. Odczytaj z bańki lub stopki, jaka jest moc żarówki, gdy jest podłączona do sieci.
Na tej podstawie oblicz w zeszycie natężenie prądu, który wówczas przez nią płynie, a następnie opór żarówki podłączonej do sieci.
4. Porównaj wyniki. Spróbuj wyjaśnić wynik doświadczenia.



13 Domowa sieć elektryczna

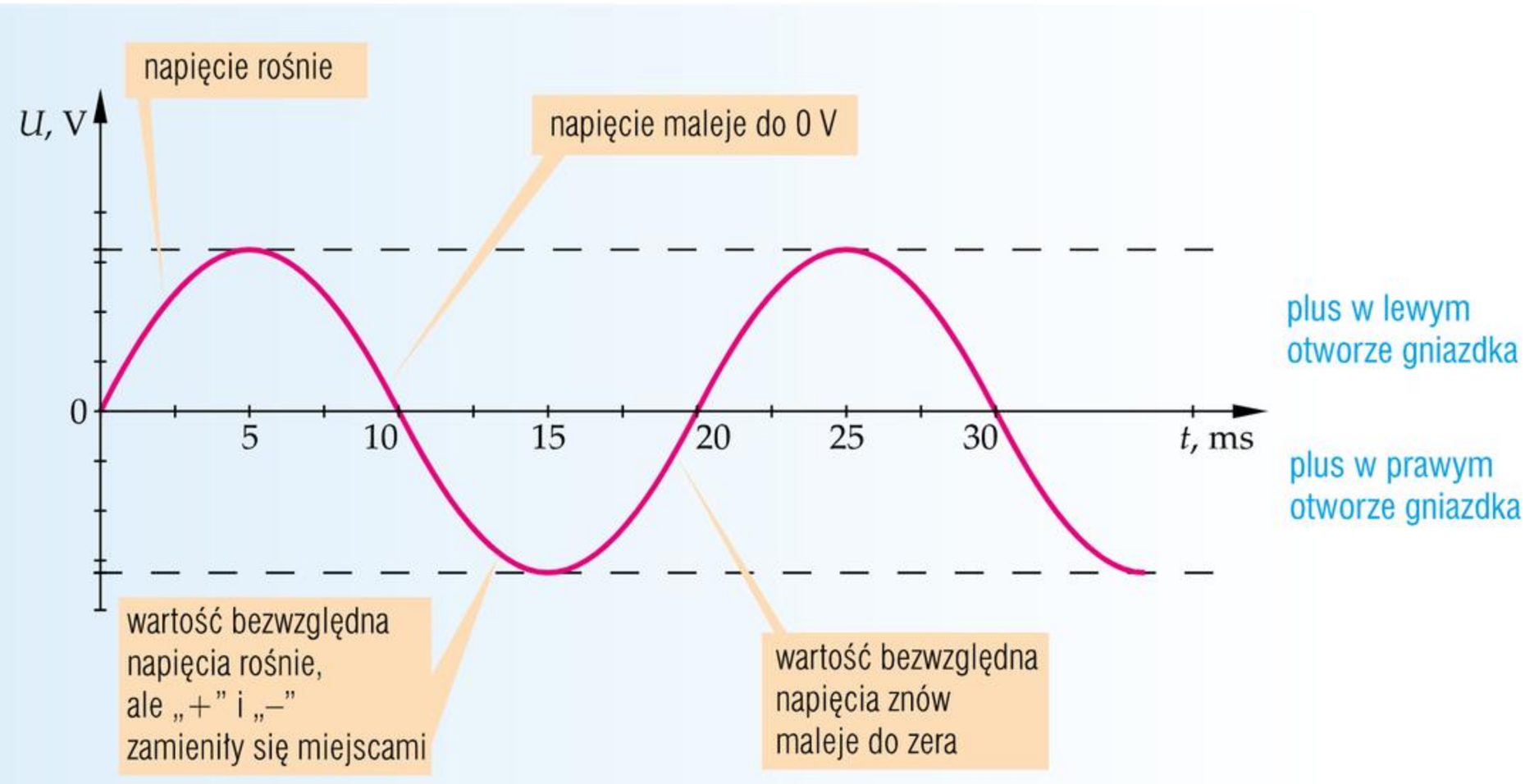
Napięcie przemienne

Baterie i ogniwa mają bieguny podpisane znakami + i –. Na zasilanych nimi urządzeniach narysowane jest, w którą stronę wkładać baterie. Gdy zamienimy plus z minusem, urządzenie nie będzie działać, a nawet może się zepsuć.

Inaczej jest w domowej sieci elektrycznej. Otworki w gniazdku nie są podpisane, a wtyczkę często można włożyć w dowolną stronę. Na czym polega różnica?

Otóż bateria wytwarza **napięcie stałe**. Ma ono nie tylko stałą wartość (np. 1,5 V albo 9 V), lecz także ustalone bieguny: jeden jest dodatni, a drugi – ujemny. W żarówce zasilanej taką baterią prąd płynie stale w tę samą stronę.

Natomiast w gniazdku sieciowym jest **napięcie przemienne**. Zmienia ono nie tylko wartość, ale i bieguny: plus jest raz w lewym, raz w prawym otworku gniazdka.



Wykres przedstawia zmiany napięcia przemiennego.

Napięcie i natężenie skuteczne

Napięcie w gniazdku stale się zmienia, więc nie można w prosty sposób odpowiedzieć na pytanie, jakie jest napięcie w sieci domowej. Okazuje się jednak, że prąd z sieci domowej ma taką moc, jakby napięcie miało niezmienną wartość 230 V.
Żarówka podłączona do gniazdka świeci tak samo jasno, jakby świeciła podłączona do baterii (złożonej z bardzo wielu ogniw) o napięciu 230 V. Mówimy, że **napięcie skuteczne** w sieci wynosi 230 V.

W domowej sieci elektrycznej jest napięcie przemienne o wartości skutecznej 230 V.

W praktyce jednak napięcie skuteczne w sieci domowej może odbiegać od 230 V nawet o 10%.
Natężenie prądu także stale się zmienia. Jednak, podobnie jak w przypadku napięcia, możemy mówić o skutecznej wartości natężenia prądu. Jeśli np. przez żarówkę płynie prąd przemienny o natężeniu skutecznym 0,43 A, to świeci ona tak jasno, jak gdyby płynął przez nią prąd stały o natężeniu 0,43 A.
Informacje o napięciu skutecznym i natężeniu skutecznym można wykorzystywać do obliczania mocy żarówki (w tym przypadku $230\ V \cdot 0{,}43\ A = 100\ W$) oraz obliczania oporu żarówki na podstawie prawa Ohma, tak jak robiliśmy to wcześniej.

Ciekawostka

Napięcie 230 V jest powszechnie przyjęte w całej Europie, ale w Stanach Zjednoczonych i niektórych innych krajach napięcie w sieci wynosi 110 V.

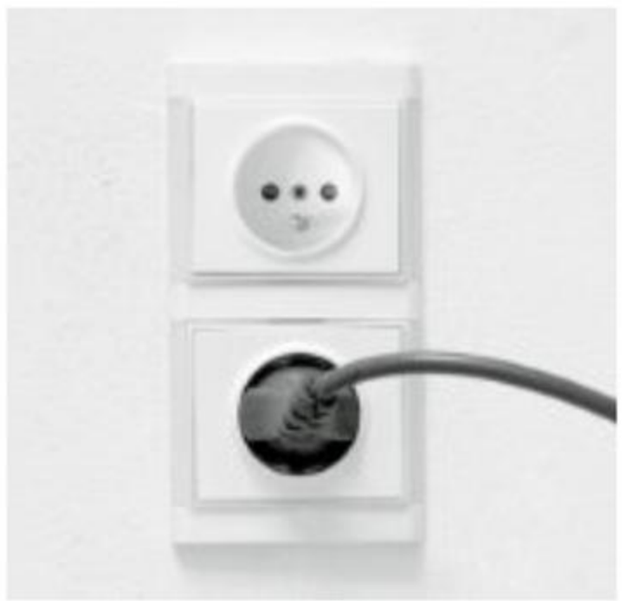
Dwa przewody

Do każdego gniazdka i urządzenia elektrycznego doprowadzone są dwa przewody. Jeden z nich to przewód neutralny, zwany „zero", pod napięciem 0 V w stosunku do ziemi. Napięcie między drugim przewodem a ziemią zmienia się od –325 V do +325 V.
Wskutek awarii urządzenia może się zdarzyć, że uszkodzony zostanie przewód „zera". Prąd nie popłynie, bo obwód nie będzie zamknięty, ale urządzenie pozostanie pod napięciem względem ziemi. Gdyby człowiek go dotknął, obwód zamknąłby się przez jego ciało. Dlatego nigdy nie wolno dotykać przewodów elektrycznych bez izolacji.

Uziemienie

W niektórych gniazdkach – oprócz dwóch otworów – znajduje się wystający metalowy bolec lub dodatkowy styk. Jest to **uziemienie**, czyli dodatkowy przewód połączony z ziemią.
Może się zdarzyć, że z powodu awarii metalowa obudowa pralki czy lodówki znajdzie się pod napięciem. Aby temu zapobiec, obudowa połączona jest z uziemieniem. Dzięki temu w uszkodzonym sprzęcie prąd płynie do ziemi przez przewód, a nie przez osobę dotykającą urządzenia.

Jeśli urządzenie jest zaopatrzone we wtyczkę z uziemieniem, należy je podłączać tylko do uziemionego gniazdka.



Gniazdko z uziemieniem.

Porażenie elektryczne



Znak ostrzegający przed porażeniem elektrycznym.

Jeśli dotkniesz przewodu pod napięciem, prąd przepłynie przez twoje ciało do ziemi. Jego natężenie zależy od oporu twojego ciała i ciał łączących je z ziemią.
Opór twojego ciała jest najmniejszy wtedy, gdy skóra jest wilgotna. Jeśli dotykasz rur wodociągowych albo kaloryferów, twoje ciało jest połączone z ziemią przewodnikiem o niskim oporze. Jeśli w takiej sytuacji dotkniesz przewodu pod napięciem, przez twoje ciało popłynie prąd o dużym natężeniu. Jest on bardzo niebezpieczny i może nawet spowodować śmierć.
Skutek porażenia zależy także od drogi, którą przepłynął prąd. Jeśli przepłynął między dwoma palcami jednej ręki, jest mniej groźny niż wtedy, gdyby przepłynął między rękoma. Wówczas bowiem może uszkodzić serce lub układ nerwowy.

PIERWSZA POMOC PRZY PORAŻENIU ELEKTRYCZNYM

- Zachowaj spokój, ale nie trać czasu.
- Jeśli porażony nie może sam odłączyć się od źródła napięcia, wyłącz napięcie (wyjmij wtyczkę z gniazdka albo wyłącz główny wyłącznik przy liczniku) lub odsuń porażonego od źródła napięcia. Nie dotykaj porażonej osoby rękoma, gdyż sam możesz zostać porażony; użyj izolatora, np. kija od szczotki.
- Jeśli porażony odczuł tylko chwilowy ból, oddycha, a jego serce pracuje normalnie, pomoc medyczna nie jest potrzebna.
- Jeśli porażony jest przytomny, ale źle się czuje, należy udać się z nim do lekarza lub wezwać lekarza. Nie wolno go zostawiać samego, bo jego stan może się pogorszyć.
- Jeśli porażony jest nieprzytomny, ale oddycha, a jego serce bije, należy go ułożyć na boku, wyjąć mu z ust ewentualne ciała obce i wezwać pogotowie ratunkowe. Nie wolno zostawiać go samego; oddech i pracę serca trzeba systematycznie sprawdzać.
- Jeśli brak oddechu, to należy niezwłocznie wezwać pogotowie i rozpocząć resuscytację krążeniowo-oddechową.

Ciekawostka

W Polsce większość energii elektrycznej powstaje w elektrowniach węglowych, które przyczyniają się do zanieczyszczenia środowiska. Planowana jest jednak budowa elektrowni atomowych (jądrowych), podobnych do tej na zdjęciu, znajdującej się w Vandellos w Hiszpanii. W wielu krajach takie elektrownie zaspokajają większą część zapotrzebowania na energię elektryczną. Zauważ, że elektrownia jądrowa nie zanieczyszcza środowiska – w pobliżu znajduje się ośrodek wypoczynkowy. W szkole ponadpodstawowej dowiesz się więcej o zasadach działania tego typu elektrowni.



Podsumowanie

- W domowej sieci elektrycznej jest napięcie przemienne. Jego wartość skuteczna wynosi 230 V, co oznacza, że np. podłączona do sieci żarówka świeci tak jasno, jakby była podłączona do napięcia stałego 230 V.
- Spośród dwóch końcówek w gniazdku jedna to „zero" – nie ma na niej napięcia względem ziemi. Napięcie skuteczne między drugą końcówką a ziemią wynosi 230 V.
- Uziemienie zabezpiecza przed porażeniem elektrycznym w wypadku awarii urządzenia. Jeśli urządzenie ma wtyczkę przeznaczoną do gniazdka z uziemieniem, należy ją włączać tylko do takiego gniazdka.
- Porażenie elektryczne prądem z sieci może nawet spowodować śmierć. Jest szczególnie groźne w wilgotnych pomieszczeniach oraz wówczas, gdy dotykamy jednocześnie przewodu pod napięciem i przewodnika połączonego z ziemią, np. metalowej rury.
- Osobę porażoną prądem należy bezpiecznie odłączyć od źródła napięcia, udzielić jej pierwszej pomocy i wezwać pogotowie ratunkowe.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wyjaśnij, dlaczego płonących urządzeń elektrycznych pod napięciem nie wolno gasić wodą ani gaśnicami pianowymi. A czy można je tak gasić po wyłączeniu napięcia?

2. Wyjaśnij, dlaczego nigdy nie należy suszyć włosów podczas kąpieli w wannie.

3. Gdy urządzenie elektryczne zapali się, trzeba je przede wszystkim wyłączyć z sieci. Co zrobisz, jeśli zapali się telewizor, a płomień nie pozwoli się zbliżyć do wyłącznika ani do gniazdka, do którego sprzęt jest podłączony?

4. Dowiedz się, gdzie w twoim domu znajduje się wyłącznik pozwalający odciąć zasilanie w całym mieszkaniu.

5. Wyznacz natężenie skuteczne prądu płynącego przez zasilaną z sieci domowej grzałkę o mocy 300 W.

Wskazówka. Przypomnij sobie przykład 2. ze s. 51.



14 Ochrona sieci elektrycznej

Większość otaczających nas urządzeń wykorzystuje energię elektryczną, gdyż właśnie tę formę energii najłatwiej przesyłać na duże odległości i zamieniać na inne rodzaje energii.

Skutki przerw w dostawach energii

Wyobraźmy sobie, jakie skutki mogłoby mieć przerwanie dostaw energii. Ciemne domy, zatrzymane pociągi, tramwaje i metro, brak wody w kranie (dostarczanej tam przez elektryczne pompy) nie należą do najpoważniejszych problemów. Znacznie gorzej, że w takiej sytuacji:

– piloci samolotów nie widzą oświetlenia pasów startowych, nie mogą skontaktować się z wieżą kontrolną ani lądować według systemów radiowych;

– w szpitalu wyłączona zostaje aparatura podtrzymująca życie ciężko chorych; w trakcie operacji gaśnie światło;

– górnicy nie mogą wydostać się z kopalni, a tymczasem przestają działać pompy usuwające z niej wodę.

Aby nie dopuścić do podobnej katastrofy, w instytucjach, którym szczególnie zagrażałyby przerwy w dostawie energii, znajdują się systemy podtrzymywania zasilania. System taki zawiera baterię akumulatorów dostarczającą energii podczas krótkich przerw w dostawie. Gdy przerwa trwa dłużej, włączony zostaje generator, czyli prądnica napędzana silnikiem spalinowym. Oczywiście nawet taki system nie może działać w nieskończoność, ale tylko dopóki dostarczamy mu paliwa.

Zasilacze awaryjne

Wyłączenia sieci elektrycznej na dużym obszarze zdarzają się na szczęście dość rzadko. Znacznie częściej mamy do czynienia



Zasilacz awaryjny, UPS – uninterruptible power supply.

z mniejszymi, lokalnymi awariami. Aby zapobiec ich skutkom, do zasilania poszczególnych urządzeń, np. aparatury medycznej, komputerów stacjonarnych, serwerów, używamy zasilaczy awaryjnych (UPS – *uninterruptible power supply*, tzn. nieprzerwana dostawa prądu). Taki zasilacz zawiera akumulatory, które ładują się w czasie normalnej pracy, a podczas przerwy w zasilaniu dostarczają energii.

Bezpieczniki



Bezpiecznik w sieci domowej.

W każdym mieszkaniu jest wiele gniazdek elektrycznych połączonych równolegle. Gdyby do każdego z nich podłączyć odbiornik prądu, całkowite natężenie prądu byłoby bardzo duże. Prąd o bardzo dużym natężeniu może popłynąć także wtedy, gdy w wyniku awarii nastąpi zwarcie. Mówimy wówczas, że sieć jest przeciążona. Może to prowadzić do przepalenia kabla, a nawet do pożaru. Aby temu zapobiec, instaluje się bezpieczniki.

Bezpiecznik to element obwodu elektrycznego, który przewodzi prąd tylko do pewnej wartości natężenia, a przy większym natężeniu przerywa obwód.



Bezpiecznik samochodowy.

Niewielkie bezpieczniki stosowane w samochodach zawierają cienki drut, który przepala się na skutek zbytniego rozgrzania. Przepalone bezpieczniki trzeba wymieniać. Natomiast w sieci domowej stosuje się bezpieczniki automatyczne, które tylko się wyłączają. Można je włączyć ponownie, oczywiście po usunięciu przyczyny przeciążenia.

Przykład. Mateusz włączył do sieci żelazko (1200 W), czajnik elektryczny (1100 W) i odkurzacz (1300 W). Czy bezpiecznik 10 A wyłączy prąd?

Łączna moc urządzeń:

$$P = 1200\ \text{W} + 1100\ \text{W} + 1300\ \text{W} = 3600\ \text{W}$$

Napięcie w sieci:

$$U = 230\ \text{V}$$

Natężenie prądu:

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

$$I = \frac{3600\ \text{W}}{230\ \text{V}} = 15{,}7\ \text{A}$$

Odpowiedź: W sieci popłynął prąd o natężeniu większym niż 10 A, więc bezpiecznik wyłączy prąd.

Mateusz powinien wyłączyć jedno z urządzeń i dopiero wtedy może ponownie włączyć bezpiecznik.

Wyłączniki różnicowoprądowe

Bezpiecznik ochroni nas przed skutkami zwarcia, nie odetnie jednak zasilania, gdy prąd popłynie z sieci do ziemi przez ciało człowieka. Do tego celu służą wyłączniki różnicowoprądowe – wyłączają one zasilanie, gdy natężenie prądu wpływającego do sieci domowej różni się od natężenia prądu wypływającego.
Takie wyłączniki często umieszcza się w jednej obudowie z bezpiecznikiem.



Wyłącznik różnicowoprądowy.

Podsumowanie

- Przerwy w dostawach energii elektrycznej mogłyby mieć katastrofalne skutki, dlatego buduje się systemy zasilania awaryjnego, np. dla szpitali.
- Do ochrony pojedynczych urządzeń przed wyłączeniem napięcia stosuje się zasilacze UPS.
- Bezpiecznik rozłącza obwód, gdy natężenie prądu przekroczy ustaloną wartość (w sieci domowej często 10 A lub 16 A). Wyłącznik różnicowoprądowy rozłącza obwód, gdy część prądu wypływa z niego do ziemi.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Podaj przykład urządzenia przetwarzającego energię elektryczną na:
a) energię mechaniczną,
b) energię światła,
c) energię dźwięku,
d) energię wewnętrzną.

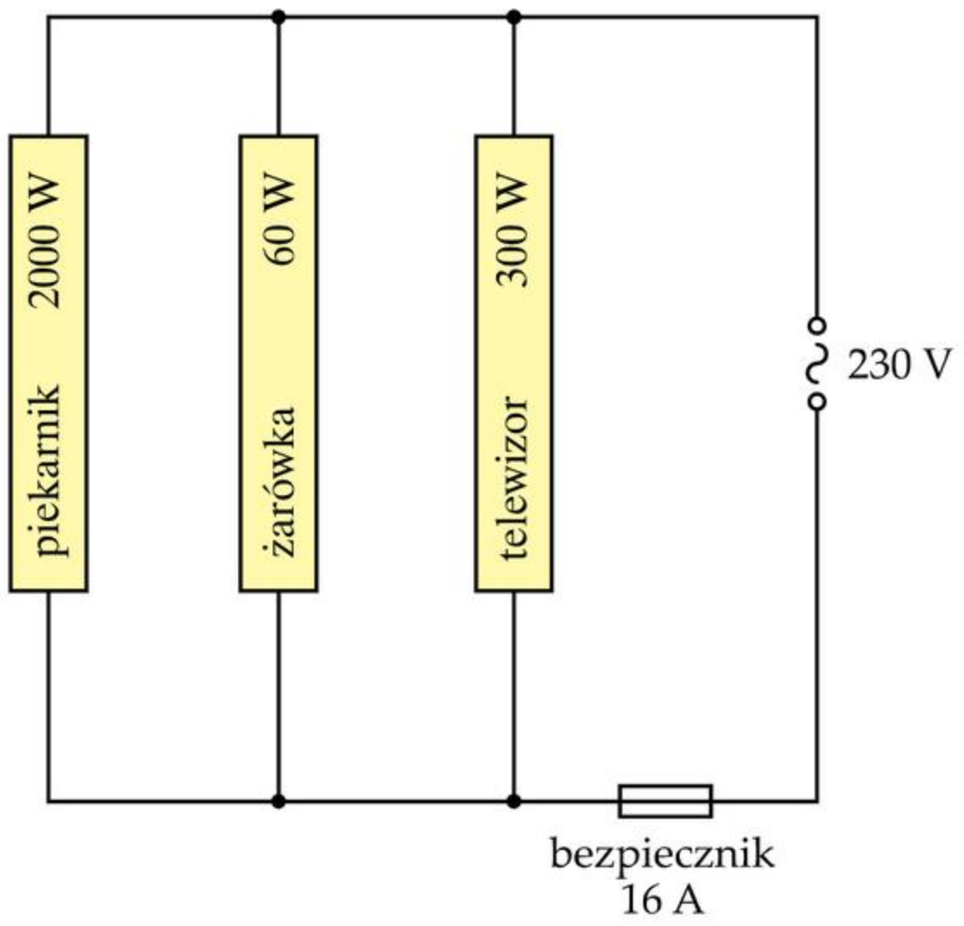
2. Wybierz te z urządzeń, które w małej firmie warto podłączyć do zasilacza UPS.

serwer • komputer stacjonarny • telewizor • laptop • kserograf

3. Bezpiecznik ogranicza prąd płynący przez urządzenia w łazience do 16 A. W łazience włączono pralkę o mocy 2 kW.
Rozważ, czy można jeszcze włączyć:
a) maszynkę do golenia o mocy 200 W,
b) suszarkę o mocy 1800 W.

4. Podaj dwa przykłady miejsc, które powinny zostać wyposażone w zasilanie awaryjne.

5. Oceń, czy w sytuacji przedstawionej na rysunku bezpiecznik odetnie dopływ prądu.



Doświadczenie

Bezpieczniki w twoim domu

1. Obejrzyj bezpieczniki w swoim domu. Czy są to zwykłe bezpieczniki czy wyłączniki różnicowoprądowe?
2. Zapisz w zeszycie, ile ich jest i przy jakim natężeniu prądu przerywają obwód.

15 Magnesy

Magnesy nie służą tylko do budowy kompasu i wieszania listy zakupów na lodówce. Towarzyszą nam stale, choć zwykle są ukryte wewnątrz różnych urządzeń. Magnes znajduje się w każdym silniku elektrycznym i każdej prądnicy, w każdym mikrofonie i głośniku.

Doświadczenie

Dwa magnesy w kształcie prostopadłościanu lub walca zbliż dwoma niebieskimi biegunami, potem dwoma czerwonymi, a następnie biegunami o różnych kolorach. Co obserwujesz?

Siła magnetyczna

Magnes ma dwa bieguny. Jeden z nich nazywamy północnym, drugi – południowym. Oznacza się je literami N (*north* – północ) i S (*south* – południe), podobnie jak strony świata, albo kolorami (zwykle północny – niebieskim, południowy – czerwonym, ale bywają też inne oznaczenia, czasem nawet odwrotne).



Magnes neodymowy z zaznaczonymi biegunami magnetycznymi.

Jednakowe (jednoimienne) bieguny odpychają się, a różne (różnoimienne) – przyciągają.

Do doświadczeń będziesz używać także magnesów neodymowych w kształcie pastylki (patrz zdjęcie obok). Są małe, ale bardzo silne. Taki magnes, położony płasko, jeden z biegunów ma na dole, a drugi – na górze.

Doświadczenie

Dwa magnesy zbliż różnymi biegunami i sprawdź, czy się przyciągają, gdy znajduje się między nimi papier, tworzywo sztuczne, folia aluminiowa lub inna substancja.

Jak wynika z doświadczenia, siły magnetyczne przenikają przez różne substancje. Nie jesteśmy w stanie całkowicie odizolować się od tych sił.

Z historii



Pierwszymi poznanymi przez ludzi magnesami były okruchy magnetytu – rudy żelaza. Znano je już w starożytności. Przez wiele wieków opowiadano o magnesie niezwykłe historie, np. że traci on swoje właściwości w pobliżu osoby, która jadła czosnek. Marynarze opowiadali o górze magnetycznej, której siła wyciąga gwoździe ze statków, powodując ich zatopienie.

Pierwszym poważnym zastosowaniem magnesu był kompas. Wynaleźli go Chińczycy już w starożytności, ale Europejczycy zaczęli się nim posługiwać dopiero w średniowieczu. Pozwoliło to na organizowanie dalekich wypraw i odkrywanie innych kontynentów.

Ziemia – wielki magnes

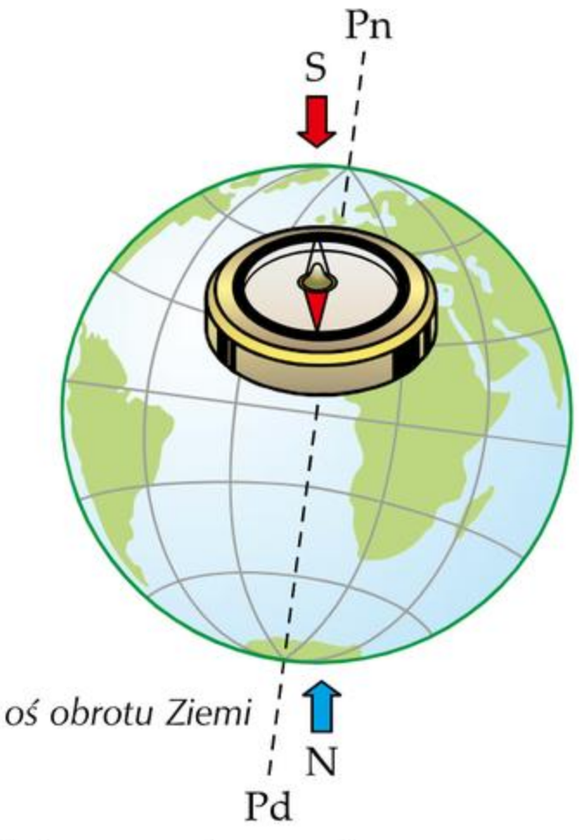
Na pewno umiesz się posługiwać **kompasem**. Zbadajmy, jak zachowuje się ten przyrząd, gdy zbliżymy do niego magnes.

Doświadczenie ⚠

Połóż na stole kompas, a następnie z różnych stron zbliżaj do niego magnes, raz zwracając go w stronę kompasu biegunem północnym, a raz – południowym.
Co obserwujesz? Jak to wyjaśnić?



Najważniejszym elementem kompasu jest igła magnetyczna. Jak widać z doświadczenia, igła jest po prostu małym magnesem umocowanym tak, aby mógł się swobodnie obracać.
Gdy do kompasu nie zbliżamy żadnego dodatkowego magnesu, jeden z końców igły zwraca się na północ, a drugi – na południe. Dlaczego?
Otóż igła magnetyczna oddziałuje z ogromnym magnesem, którym jest cała Ziemia. Południowy **biegun magnetyczny Ziemi** (jako magnesu) znajduje się w pobliżu północnego bieguna geograficznego. Przyciąga on północny biegun igły kompasu.
Ponieważ bieguny magnetyczne i geograficzne (wyznaczane przez oś obrotu Ziemi) nie pokrywają się, magnes nie pokazuje dokładnie północy. Na terenie Polski odchylenie nie jest wielkie (do 6° na kompasie). Zaznacza się je na dokładnych mapach.
Wiedząc, jak działa kompas, łatwo zrozumieć, dlaczego wskazuje on nieprawidłowy kierunek w pobliżu magnesów, które oddziałują z kompasem silniej niż Ziemia.
Dlaczego nienamagnesowane żelazo także zaburza działanie kompasu? Jak wynika z trzeciej zasady dynamiki, skoro magnes przyciąga żelazo, także żelazo przyciąga magnes. Łatwo to sprawdzić, zbliżając gwóźdź do igły magnetycznej.

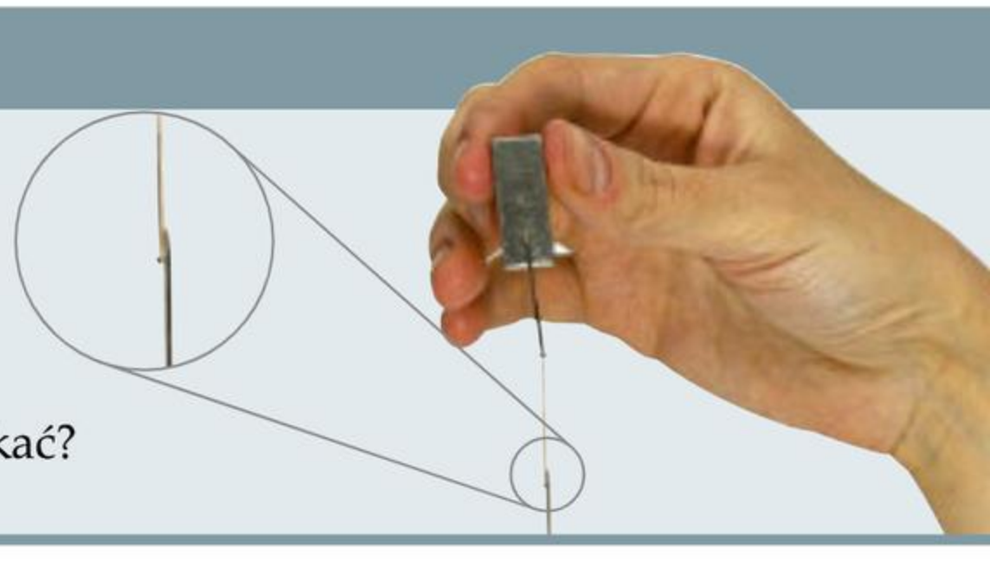


Igła magnetyczna kompasu ustawia się w kierunku biegunów magnetycznych Ziemi.

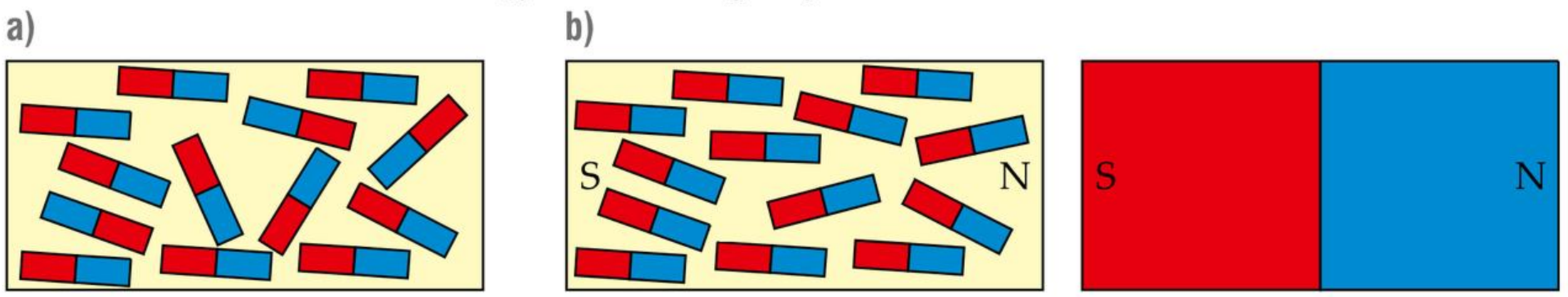
Oddziaływanie magnesów na żelazo

Doświadczenie

Zbliż do magnesu stalową (czyli wykonaną ze stopu żelaza) szpilkę, do niej następną itd.
Jak długi łańcuch uda ci się uzyskać?



Z doświadczenia wynika, że w pobliżu magnesu każdy kawałek żelaza staje się magnesem, czyli się namagnesowuje. Dlatego magnes przyciąga kawałki żelaza, nawet takie, które wcześniej nie były namagnesowane. To zjawisko można wyjaśnić, wiedząc, że w żelazie znajdują się **domeny magnetyczne**. Są to namagnesowane obszary (o wymiarach rzędu 0,01–0,1 mm), które zachowują się jak małe magnesy.



Na rysunkach powyżej domeny są przedstawione w postaci małych magnesów sztabkowych. W rzeczywistości mają one bardzo różne kształty i oczywiście nie są pomalowane.
Na ogół domeny są skierowane w różne strony (jak na rys. a).
Gdy jednak zbliżamy do żelaza np. południowy biegun magnesu, domeny ustawiają się w jego stronę biegunami północnymi. W ten sposób kawałek żelaza sam staje się magnesem (rys. b). Dlatego w zasadzie nie należy mówić, że magnes przyciąga nienamagnesowane żelazo. Magnes najpierw powoduje jego namagnesowanie, a dopiero potem przyciąga tak powstały magnes.
Domeny magnetyczne występują w niewielu metalach. Oprócz żelaza należy do nich np. nikiel. W innych, np. miedzi czy aluminium, domeny nie mogą się utworzyć, dlatego te metale nie magnesują się i nie są silnie przyciągane przez magnes. Niektóre z nich są przyciągane bardzo słabo, inne zaś są bardzo słabo odpychane.

Ciekawostka

Gdy zamkniemy rudzika jesienią w klatce, najczęściej ustawi się on dziobem w stronę, w którą odleciałby do ciepłych krajów, gdyby był na wolności. Jeśli jednak w pobliżu klatki umieścimy silny magnes, rudzik ustawi się zgodnie z „północą magnetyczną", a nie ze stronami świata. Płynie stąd wniosek, że wyczuwa on siły magnetyczne. Podobną zdolność mają także inne zwierzęta, np. krowy, które na pastwiskach układają się najczęściej w kierunku północ–południe. Także w mózgu człowieka odkryto kryształki magnetytu. Niestety, nie umiemy świadomie z nich korzystać i wyczuwać północy bez kompasu.

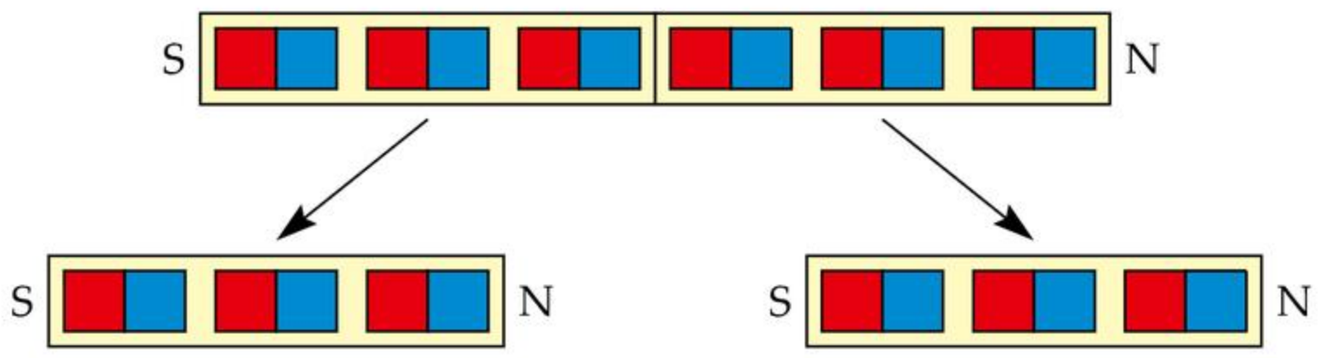


Nie ma pojedynczych biegunów

Siły magnetyczne przypominają siły elektryczne – można je opisać wspólną zasadą: „różne bieguny (lub ładunki) się przyciągają, jednakowe bieguny (lub ładunki) się odpychają". O ile jednak łatwo można oddzielić ujemny ładunek elektryczny od dodatniego, o tyle nie można wytworzyć pojedynczego bieguna magnetycznego.

Bieguny magnetyczne nigdy nie występują pojedynczo.

Jeśli przetniemy magnes na pół, w miejscu przecięcia pojawią się nowe bieguny i otrzymamy dwa magnesy. Staje się to zrozumiałe, jeśli pamiętamy o domenach. W każdej z połówek magnesu zostają one na swoich miejscach.



Ciekawostka

Przecinając magnes, nigdy nie otrzymamy pojedynczego bieguna. Warto się jednak zastanowić, czy nie można by go uzyskać w inny sposób. Fizycy przez wiele lat prowadzili doświadczenia, szukając pojedynczych biegunów magnetycznych, ale nikomu się to nie udało. Obecnie uważamy, że takie pojedyncze bieguny w ogóle nie istnieją.

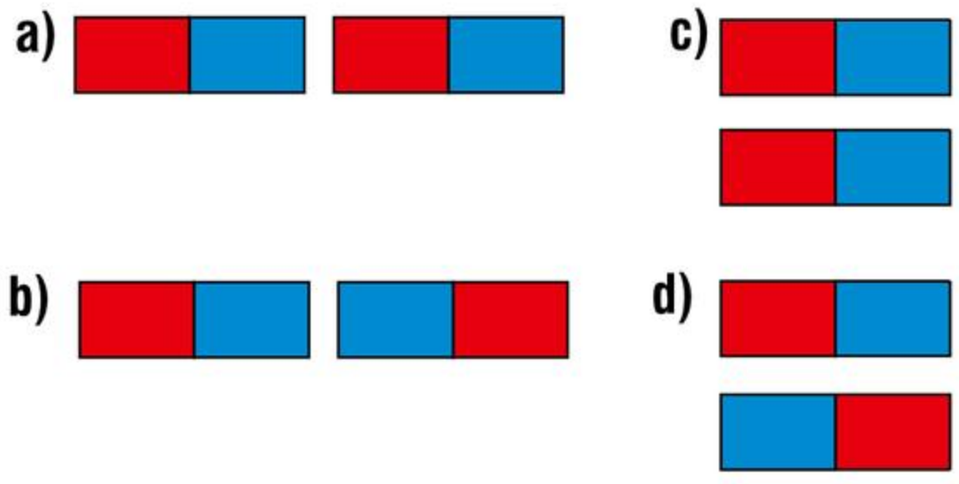
Podsumowanie

- Każdy magnes ma dwa bieguny: południowy i północny. Jednakowe bieguny magnesów odpychają się, a różne – przyciągają. Bieguny magnetyczne nigdy nie występują pojedynczo.
- W żelazie i niektórych innych metalach znajdują się domeny magnetyczne – obszary namagnesowane. Gdy żelazo zbliżamy do magnesu, odpowiednie domeny ustawiają się tak, że kawałek żelaza sam staje się magnesem. Dlatego magnes przyciąga nie tylko inne magnesy, lecz także żelazo.
- Ziemia jest wielkim magnesem. Jej północny biegun magnetyczny znajduje się w pobliżu południowego bieguna geograficznego i na odwrót, dlatego północny biegun igły magnetycznej zwraca się w przybliżeniu na północ.

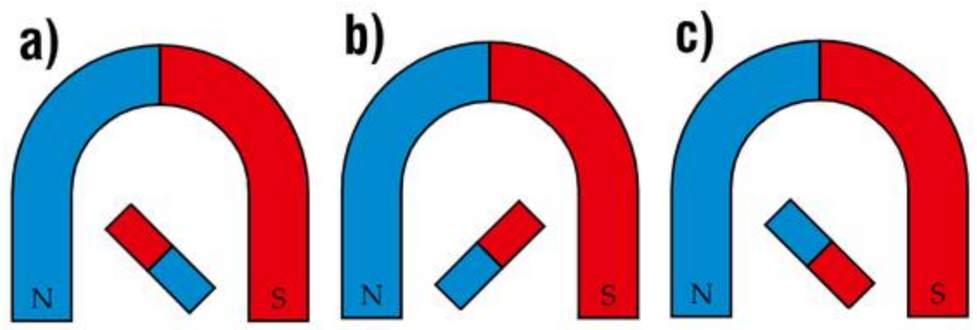
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Określ, jak zachowują się magnesy w sytuacjach przedstawionych na rysunkach: przyciągają się czy odpychają.

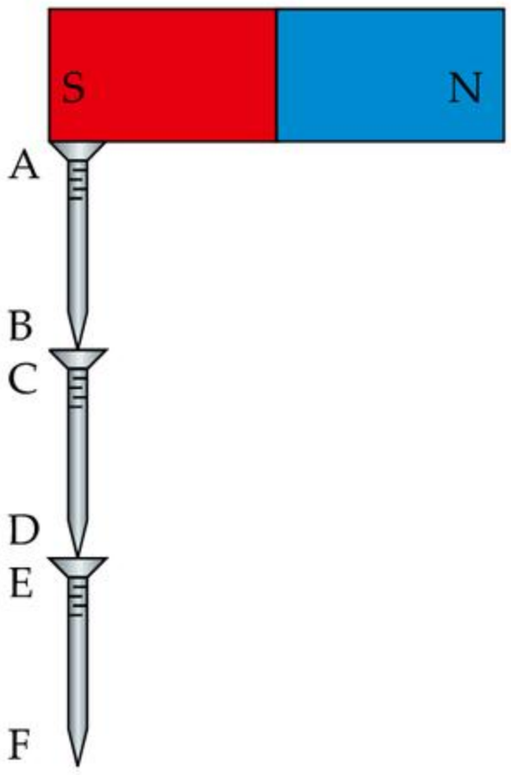


2. Magnes w kształcie podkowy zamocowany jest na stałe, a magnes sztabkowy może się obracać wokół swojego środka. Określ, w którą stronę się obróci.



3. Wyjaśnij, dlaczego zdanie: „Magnes przyciąga metale" nie jest prawdziwe. Popraw je.

4. Rysunek przedstawia magnes, do którego przyczepiło się kilka stalowych gwoździ. Gwoździe same stały się magnesami. Określ, które bieguny (S czy N) tych magnesów oznaczono poszczególnymi literami A–F.



5. Współrzędne geograficzne południowego bieguna magnetycznego Ziemi to: 87°N, 173°W.

a) Określ, w którym państwie znajduje się ten biegun (albo w pobliżu którego państwa, jeśli wypada na morzu).

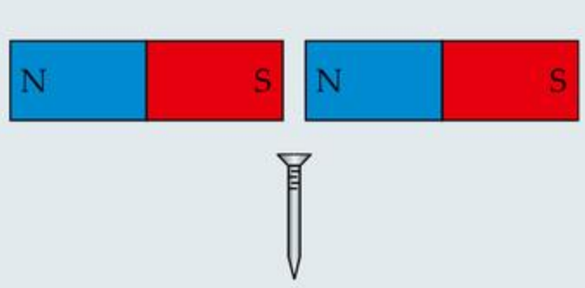
b) Oblicz, jak daleko od bieguna geograficznego znajduje się biegun magnetyczny.

c) Podaj współrzędne geograficzne miejsca, w którym kompas wskazuje kierunki świata odwrotnie niż powinien.

d) Czy jest takie miejsce na Ziemi, w którym oba końce igły magnetycznej wskazują geograficzną północ? Jeśli tak – jakie to miejsce?

Doświadczenia

Magnesy się łączą



1. Przekonaj się, że środek magnesu sztabkowego nie przyciąga żelaza (np. gwoździa).
2. Zbliż do siebie (bez stykania) przeciwne bieguny dwóch magnesów sztabkowych. Sprawdź, czy wówczas przyciągają one gwóźdź znajdujący się w pobliżu miejsca zbliżenia.
3. Co się stanie, gdy całkowicie zetkniesz magnesy?

Magnesowanie gwoździa



1. Weź duży gwóźdź i mocny magnes (np. neodymowy).
2. Przesuwaj magnes kilkakrotnie wzdłuż gwoździa (w tę samą stronę).
3. Sprawdź, czy gwóźdź został namagnesowany.
4. Zbadaj, jak silnie jest namagnesowany, np. policz, jak długi łańcuszek spinaczy biurowych może unieść.
5. Sprawdź, czy gwóźdź traci swoje właściwości magnetyczne z upływem czasu.
6. Sprawdź, czy gwóźdź rozmagnesowuje się pod wpływem zginania, uderzania, rozgrzewania, zamrażania.
7. Spróbuj wyjaśnić zaobserwowane zjawiska, korzystając z wiadomości o domenach magnetycznych.

16 Prąd elektryczny i magnetyzm

Wykonajmy doświadczenie, które przekonuje o ścisłym związku elektryczności z magnetyzmem.

Doświadczenie

1. Połóż kompas na stole.
2. Połącz bieguny baterii R20 za pomocą magnesów, przewodów i krokodylków grubym miedzianym przewodem (patrz zdjęcie). Kawałek tego przewodu weź w dłonie (ostrożnie, może się on rozgrzewać) i ustaw go tuż nad kompasem, zgodnie z kierunkiem ustawienia igły.

Uwaga. Obwód elektryczny zamykamy tylko na kilka sekund, aby nie rozładować baterii.

3. Igła odchyli się od pierwotnego kierunku.
4. Sprawdź, co się zmieni, gdy zmienisz kierunek przepływu prądu.
5. Sprawdź, co się dzieje z igłą, gdy przewód jest do niej ustawiony prostopadle lub pod innym kątem.



W doświadczeniu zaobserwowaliśmy, że przewód, w którym płynie prąd, oddziałuje na igłę magnetyczną. Zachowuje się on więc nieco podobnie do magnesu. Sugeruje to, że można zbudować magnes zasilany prądem elektrycznym – **elektromagnes**.

Z historii

Doświadczenie opisane obok jest powtórzeniem eksperymentu, który wykonał w 1820 r. Hans Christian Oersted [czyt. ersted]. Na trop związku elektryczności z magnetyzmem naprowadziła go obserwacja, że w czasie burzy igła magnetyczna umieszczona w pobliżu piorunochronu zaczyna się poruszać.



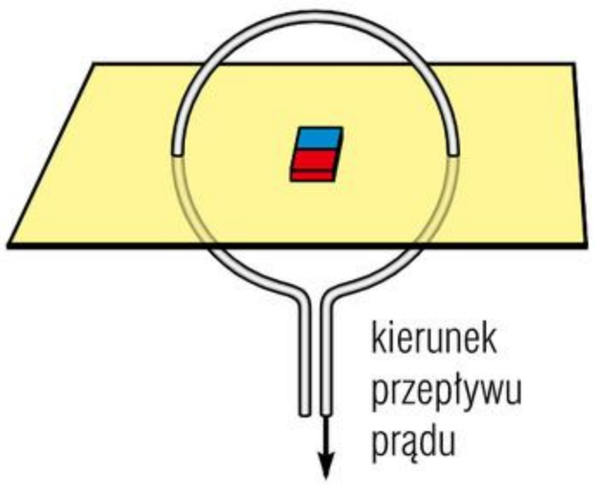
Hans Christian Oersted.

Elektromagnes

Doświadczenie



1. Cienki izolowany przewód nawiń na gwóźdź, tworząc 40 zwojów. W ten sposób otrzymasz elektromagnes.
2. Podłącz końce przewodu do baterii R20.
3. Przekonaj się, że elektromagnes przyciąga żelazne gwoździki.
4. Za pomocą igły magnetycznej zbadaj, gdzie jest jego biegun północny, a gdzie – południowy.
5. Sprawdź, co się stanie z biegunami elektromagnesu, gdy bieguny baterii podłączysz odwrotnie.



Najprostszy elektromagnes.

Najprostszy elektromagnes stanowi pojedyncza pętla przewodu, w której płynie prąd. Oddziałuje ona na inne magnesy tak jak mały magnes w jej środku (patrz rysunek). Taki elektromagnes jest jednak bardzo słaby. Aby go wzmocnić:

- zwijamy przewód tak, aby utworzył wiele pętli,
- do środka zwoju wkładamy **rdzeń** – kawałek żelaza, który sam się magnesuje.

Elektromagnes składa się z kawałka żelaza (rdzenia) otoczonego wieloma zwojami przewodu, w którym płynie prąd.

Ciekawostka

Magnesy sztabkowe działają „za darmo” – nie trzeba im dostarczać energii. Okazuje się, że elektromagnes mógłby działać „za darmo”, gdyby nie opór elektryczny. Ten fakt wykorzystujemy w bardzo silnych magnesach, w których prąd płynie nie w zwykłym drucie, ale w nadprzewodniku – substancji, która ma zerowy opór elektryczny. W zamkniętej pętli z nadprzewodnika prąd może krążyć latami, bez zasilania. Potężne magnesy z nadprzewodników stosuje się m.in. w badaniach medycznych. Choć taki magnes nie wymaga zasilania do podtrzymania przepływu prądu, energię zużywamy na jego chłodzenie, gdyż nadprzewodniki mają zerowy opór tylko w bardzo niskich temperaturach.



Każdy magnes jest „elektromagnesem”

Znasz już dwa rodzaje magnesów: „zwykłe” magnesy, zwane magnesami trwałymi, i elektromagnesy. Okazuje się, że również magnesy trwałe są w pewnym sensie elektromagnesami – swoje właściwości zawdzięczają ruchowi elektronów wewnątrz atomów. Możemy więc wysnuć ogólny wniosek.

Siły magnetyczne to siły działające między poruszającymi się ładunkami elektrycznymi.

Elektryczność i magnetyzm są więc zjawiskami blisko związanymi. O ile jednak ładunki działają na siebie siłami elektrycznymi zawsze, o tyle siły magnetyczne obserwujemy tylko podczas ruchu ładunków elektrycznych.

Ciekawostka

Czy wiesz, co przedstawia ilustracja na s. 93? To twardy dysk komputera po zdjęciu obudowy. Sam dysk to okrągła płytka, natomiast umieszczona na wysięgniku głowica pozwala namagnesować poszczególne domeny magnetyczne. Każda domena może być namagnesowana w jedną lub drugą stronę, pozwala więc zapisać tylko 1 bit informacji. Podczas odczytywania danych z dysku głowica sprawdza stan namagnesowania odpowiednich domen. Na dysku o pojemności 100 GB (gigabajtów) mieści się ponad 100 miliardów bajtów, czyli 800 miliardów bitów informacji. Pokazuje to, jak małe są domeny magnetyczne – na takim dysku musi ich być co najmniej 800 miliardów. Pomyślmy, jak precyzyjnym urządzeniem jest twardy dysk, skoro w ułamku sekundy pozwala obrócić dysk i przesunąć głowicę w odpowiednie miejsce z tak dużą precyzją.



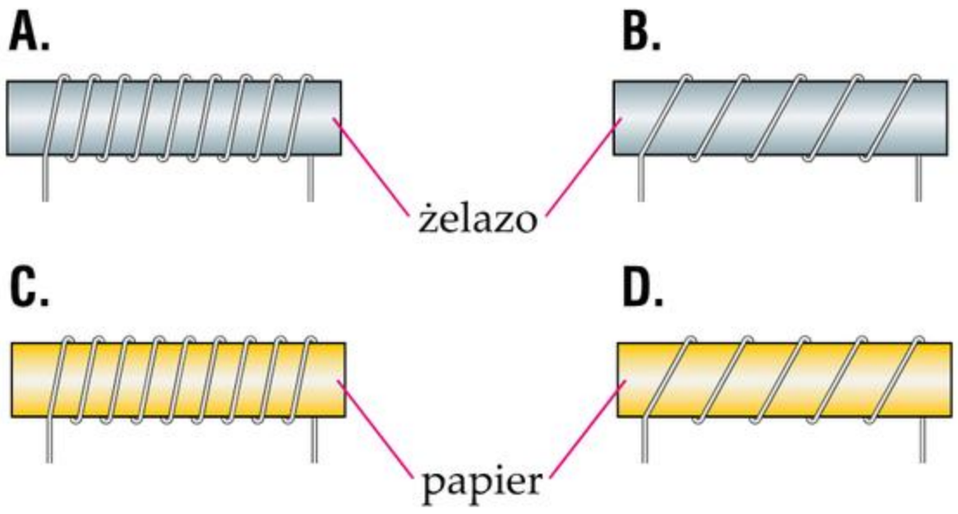
Podsumowanie

- Siły magnetyczne działają między poruszającymi się ładunkami elektrycznymi.
- Przewodnik w kształcie pętli, w którym płynie prąd, ma właściwości podobne do właściwości magnesu sztabkowego. Aby zwiększyć siłę magnetyczną, na żelazny rdzeń nawijamy wiele pętli. W ten sposób otrzymujemy elektromagnes.
- Również magnesy trwałe, np. namagnesowane żelazo, zawdzięczają swoje właściwości ruchowi ładunków elektrycznych – elektronów.
- Możliwość trwałego namagnesowania materiałów za pomocą elektromagnesu wykorzystuje się do zapisu informacji na twardych dyskach komputerów.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

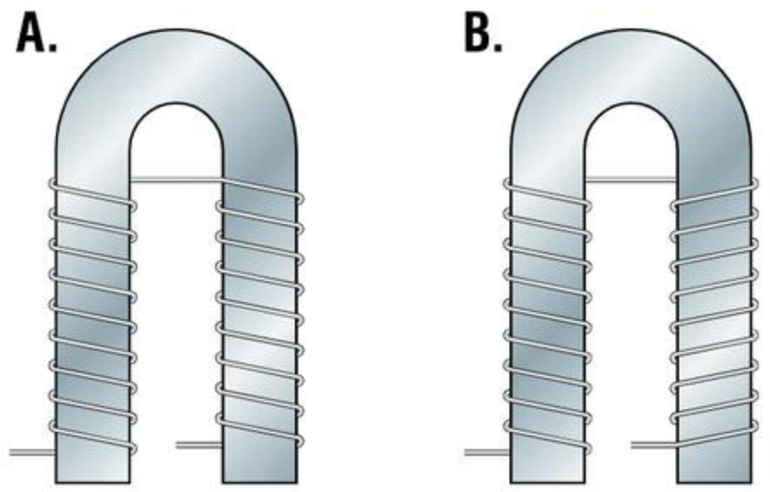
1. Oceń, który elektromagnes jest najmocniejszy, a który – najsłabszy. Przez wszystkie płynie prąd o takim samym natężeniu. Odpowiedź zapisz w zeszycie wraz z uzasadnieniem.



2. Oceń, czy elektromagnes działałby mocniej czy słabiej, gdyby do jego budowy zamiast żelaznego gwoździa użyć pręta miedzianego tej samej wielkości (lepiej przewodzącego prąd).

3. Czasami w pobliżu miejsca, w które uderzył piorun, metalowe przedmioty stają się magnesami. Wyjaśnij dlaczego.

4. Zamierzamy zbudować elektromagnes w kształcie podkowy. Na którym rysunku przedstawiono poprawnie nawinięte przewody? Odpowiedź zapisz w zeszycie wraz z uzasadnieniem.



Doświadczenie

Jak silny jest elektromagnes

Sprawdź, jaką siłą może działać elektromagnes wykonany w doświadczeniu opisanym na s. 94.

1. Mały, lekki kubeczek, np. po jogurcie, zawieś na dużym spinaczu biurowym (jak na zdjęciu).
2. Włącz elektromagnes, a przekonasz się, że dotykając spinacza łebkiem gwoździa, możesz podnieść spinacz razem z kubeczkiem.
3. Wkładaj do kubeczka drobne monety i sprawdź, przy jak dużym obciążeniu elektromagnes przestaje utrzymywać kubeczek z monetami.
4. Sprawdź, jak zmieni się działanie elektromagnesu, jeśli zamiast do jednej baterii podłączysz go do dwóch (połączonych równolegle, co zapewni większe natężenie prądu).
5. Sprawdź, jak zmieni się działanie elektromagnesu, gdy zmienisz liczbę zwojów.
6. Wymień kilka przykładowych zastosowań elektromagnesów.



17 Silnik elektryczny

Silniki elektryczne stosujemy w wielu różnych urządzeniach – od miniaturowych silniczków sterujących pracą twardego dysku w komputerze do potężnych maszyn napędzających lokomotywy. Warto więc znać zasadę działania takiego silnika. Zaczniemy od doświadczenia pokazującego, jak energia elektryczna może się zmieniać w energię mechaniczną.

Doświadczenie

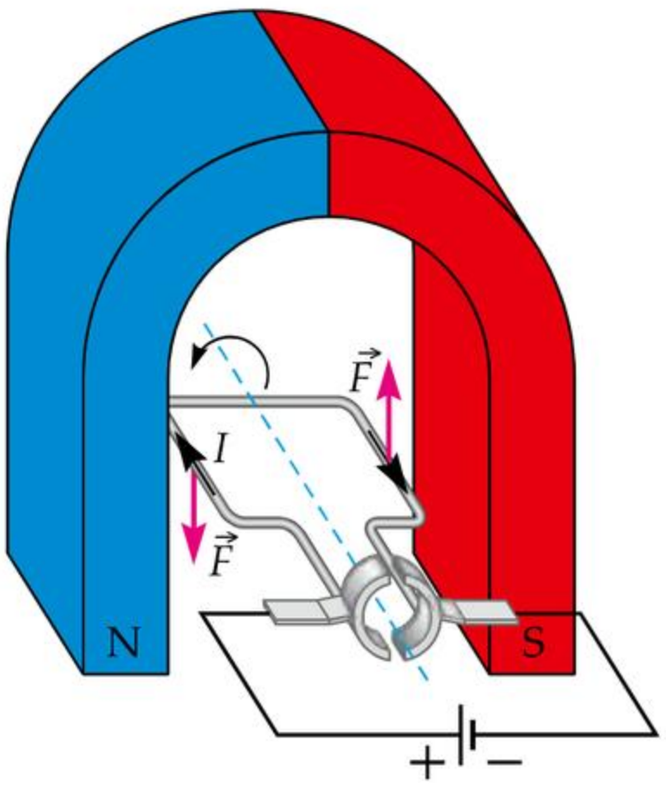
1. Dwa długie gwoździe przyklej taśmą klejącą do blatu stołu, tak aby wystawały poza niego.
2. Za pomocą przewodów połącz gwoździe z biegunami ogniwa R20.
3. Weź kilkanaście centymetrów grubego drutu miedzianego (może być wiele cienkich drutów wyciągniętych z kabla i zwiniętych razem) i wykonaj z nich ramkę.
4. Zaczep ją na gwoździach tak, aby mogła się swobodnie kołysać.
Uwaga. Drut się rozgrzewa!
5. Zbliż od dołu magnes (najlepiej neodymowy). Co się dzieje z ramką?
6. Odwróć magnes drugim biegunem w górę. Co się zmieniło?
Co się zmieni, gdy odwrotnie podłączysz przewody do baterii?



Na poprzedniej lekcji przekonaliście się, że poruszające się elektrony działają pewną siłą na magnes. Można się spodziewać, że jest także odwrotnie: magnes powinien działać pewną siłą magnetyczną na poruszające się ładunki. Taką siłę obserwowaliśmy w doświadczeniu.

Siła magnetyczna, która działa na poruszające się w przewodzie elektrony, może powodować ruch tego przewodu.

Ta siła ma ogromne znaczenie praktyczne, pozwala bowiem zbudować **silnik elektryczny**.



Schemat budowy silnika.

Zasada działania silnika elektrycznego

Na rysunku widzisz ramkę, której końcówki dotykają płytek metalowych podłączonych do źródła napięcia. Przez ramkę płynie prąd. Na każdy z jej odcinków działa siła magnetyczna.
Niezależnie od położenia ramki, siły te powodują obrót ramki w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara. Wyjątkiem jest ustawienie pionowe. W takim ustawieniu końcówki na chwilę ześlizgują się z płytek, ale przez to położenie rozpędzona ramka przechodzi dzięki bezwładności. Gdy tylko obróci się trochę bardziej, końcówki znowu trafiają na styki i na ramkę działa siła magnetyczna. Rysunek przedstawia tylko zasadę działania silnika. W prawdziwym silniku „ramek" – zwojów drutu – jest wiele. Co więcej, są one ustawione pod różnymi kątami, dzięki czemu silnik pracuje równomiernie. Jeśli nawet na jedną ramkę nie działa siła magnetyczna, działa ona na pozostałe ramki. W dużych silnikach poruszających maszyny zamiast magnesów trwałych stosuje się elektromagnesy.

Podsumowanie

- Magnes działa siłą magnetyczną na przewodnik, w którym płynie prąd.
- Siła, która działa na poruszające się w przewodzie elektrony, powoduje ruch tego przewodu. Na tym opiera się działanie silnika elektrycznego.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Określ, jaka przemiana energii zachodzi w silniku elektrycznym, tzn. jaka forma energii jest zużywana, a jaka powstaje. Jakie przemiany energii zachodzą w innych znanych ci urządzeniach elektrycznych?

2. Na podstawie wyników doświadczenia z początku lekcji wyjaśnij, co się stanie, gdy zamienimy bieguny baterii zasilającej silnik elektryczny.

3. Wymień pięć urządzeń, w których znajduje się silnik elektryczny.

4. Na rysunku niżej przedstawiono symbol silnika elektrycznego. Narysuj w zeszycie schemat obwodu, w którym silnik jest podłączony do baterii:
a) równolegle z żarówką,
b) szeregowo z żarówką.



W którym wypadku żarówka świeci jaśniej?

5. Wyjaśnij, czy silnik suszarki do włosów, zasilany z sieci domowej, zbudowany jest tak jak silnik opisywany na lekcji. A wiatraczek nadmuchu powietrza w samochodzie zasilany z akumulatora?

Doświadczenie

Budujemy silnik

1. Przygotuj drut nawojowy (patrz uwaga 7., s. 265). Nawiń go około 20 razy na ogniwie R20 (inne oznaczenie: D, najgrubsze dostępne w sprzedaży). Końcówki zagnij w przeciwne strony i zawiń tak, aby przewód się nie rozwijał. W ten sposób otrzymasz wielokrotnie nawiniętą ramkę z drutu.
2. Jedną z końcówek ramki oczyść z izolacji. Następnie ustaw ramkę pionowo i oczyść z izolacji drugą końcówkę, ale **tylko od góry**.
3. Oprzyj końcówki ramki na ściankach słoika i sprawdź, czy ramka jest równo wyważona. Popchnięta, powinna kręcić się przez chwilę. Jeśli się nie kręci – wyważ ją, odpowiednio wyginając przewód.
4. Ogniwo umocuj poziomo (np. plasteliną), aby się nie toczyło. Od góry przyczep do niego silny magnes. Przymocuj go taśmą klejącą, aby się nie poruszał.
5. Do biegunów ogniwa przymocuj taśmą klejącą duże stalowe agrafki (zapięciem w dół). Kółka na górnych końcówkach agrafek powinny się znaleźć na tym samym poziomie.
6. Włóż końcówki ramki do górnych końcówek agrafek. Ramka zacznie się kręcić.
7. Od góry zbliż do ramki drugi magnes. Opisz zmiany ruchu ramki. Jak zależą one od ustawienia drugiego magnesu?









Powtórzenie

1. Opór elektryczny to wielkość opisująca, na ile utrudniony jest przepływ prądu przez przewodnik. Obliczamy go ze wzoru $R = \frac{U}{I}$. Jednostką oporu jest om $\left(1\ \Omega = 1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}\right)$. Aby doświadczalnie wyznaczyć opór przewodnika, mierzymy napięcie między jego końcami oraz natężenie płynącego przez niego prądu. Istnieją też omomierze – mierniki od razu mierzące opór.

2. Zgodnie z prawem Ohma, opór przewodnika w stałej temperaturze jest stały, co oznacza, że natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest proporcjonalne do napięcia między jego końcami.

3. Bezpieczniki chronią domową sieć elektryczną przed przepływem prądu o zbyt dużym natężeniu. Jeśli urządzenie ma wtyczkę z uziemieniem, należy ją włączać tylko do gniazdka z uziemieniem. Porażenie prądem z sieci domowej może być groźne dla życia, zwłaszcza wtedy, gdy ciało człowieka jest wilgotne lub połączone z ziemią dobrym przewodnikiem (np. na skutek dotykania metalowej rury).

4. Magnes ma dwa bieguny. Jednakowe bieguny odpychają się, a różne – przyciągają. Biegunów nie można oddzielić. Ziemia także jest magnesem i dlatego działa na igłę magnetyczną w kompasie.

5. W żelazie i niektórych innych metalach znajdują się domeny magnetyczne, czyli namagnesowane obszary. Gdy żelazo zbliżymy do magnesu, odpowiednie domeny ustawiają się tak, że kawałek żelaza sam staje się magnesem. Dlatego magnes przyciąga nie tylko inne magnesy, lecz także żelazo.

6. Przewodnik, w którym płynie prąd, oddziałuje z magnesami.

7. Przewodnik w kształcie pętli, w którym płynie prąd, ma właściwości podobne do magnesu sztabkowego. Aby zwiększyć siłę magnetyczną, nawijamy wiele pętli na żelazny rdzeń. W ten sposób otrzymujemy elektromagnes. Oddziałuje on na inne elektromagnesy i magnesy.

8. Silnik elektryczny działa dzięki sile magnetycznej działającej na przewodnik, w którym płynie prąd.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To musisz umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Gdy opornik podłączyliśmy do napięcia 2 V, płynął przez niego prąd o natężeniu 20 mA. Oblicz natężenie prądu, jeśli ten sam opornik podłączymy do napięcia 6 V.

A. 10 mA
B. 40 mA
C. 60 mA
D. 120 mA

2. Czy kąpiąc się w wannie, można suszyć włosy suszarką?

A. Tak, wówczas po wyjściu z kąpieli włosy będą od razu suche.
B. Tak, ale trzeba uważać, żeby się z powrotem nie zamoczyły.
C. Nie, grozi to porażeniem prądem, ponieważ mokra skóra ma mały opór elektryczny.
D. Nie, grozi to porażeniem prądem, ponieważ mokra skóra ma duży opór elektryczny.

3. Wskaż sytuację, w której bezpiecznik na pewno się **nie wyłączy**.

A. Przewody wystające z zepsutego gniazdka stykają się.
B. Włączamy jednocześnie zbyt wiele urządzeń elektrycznych.
C. Nierozsądne dziecko wkłada do dwóch otworów gniazdka elektrycznego dwa końce tego samego przewodu.
D. Silnik włączonej suszarki przepala się i przestaje przewodzić prąd.

4. Północny biegun magnesu przyciąga

A. tylko północny biegun innego magnesu.
B. tylko południowy biegun innego magnesu.
C. tylko żelazo.
D. żelazo i południowy biegun innego magnesu.

5. Do pierwszego kompasu zbliżamy z boku magnes, do drugiego – nienamagnesowany kawałek żelaza. Co się stanie?

A. Żaden z kompasów nie będzie już poprawnie wskazywał północy.
B. Pierwszy kompas na ogół nie będzie już poprawnie wskazywał północy.
C. Oba kompasy będą poprawnie wskazywać północ.
D. Tylko pierwszy kompas będzie wskazywać północ.

6. Adam nawinął kilkadziesiąt zwojów drutu na ołówek, a Ewa nawinęła tyle samo zwojów na długopis w stalowej obudowie. Określ, kto zbudował elektromagnes.

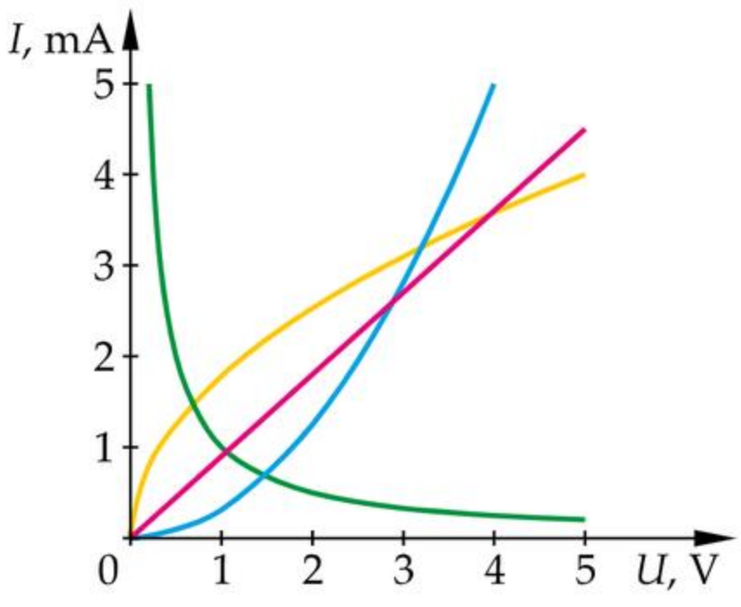
A. Tylko Adam.
B. Tylko Ewa.
C. Oboje, ale Adam zbudował lepszy.
D. Oboje, ale Ewa zbudowała lepszy.

7. Wskaż urządzenie wykorzystujące związek elektryczności z magnetyzmem.

A. Silnik elektryczny.
B. Kompas.
C. Latarka elektryczna.
D. Długopis.

8. Wykres przedstawiający zależność natężenia prądu płynącego przez przewodnik o stałym oporze od przyłożonego napięcia zaznaczono kolorem

A. czerwonym.
B. zielonym.
C. niebieskim.
D. żółtym.



Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

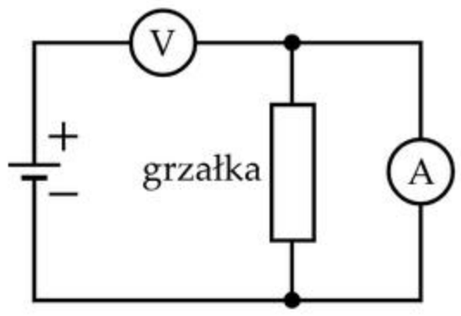
Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–5. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

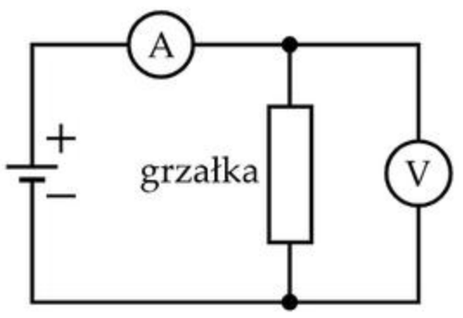
1. Ewa chce zmierzyć opór grzałki elektrycznej. Powinna w tym celu zbudować obwód

A. I. **B.** II. **C.** I lub II.

I



II

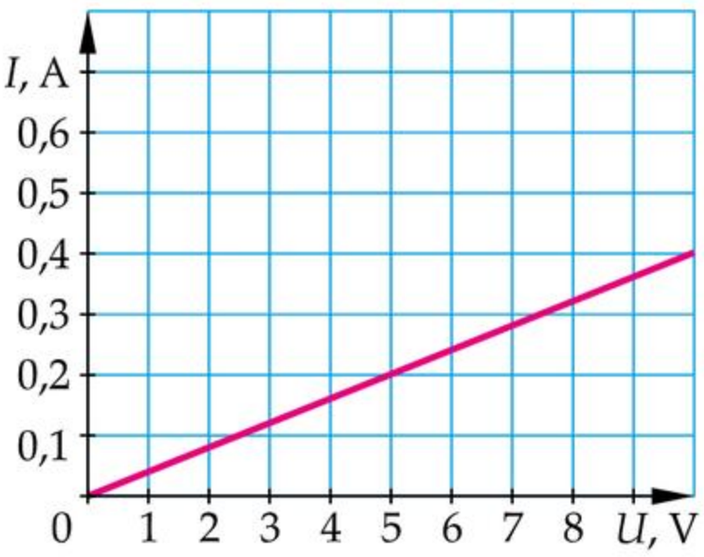


2. Przez opornik podłączony do napięcia 6 V płynie prąd 0,06 A. Opornik ma opór

A. 0,01 Ω. **C.** 0,36 Ω.
B. 100 Ω. **D.** 36 Ω.

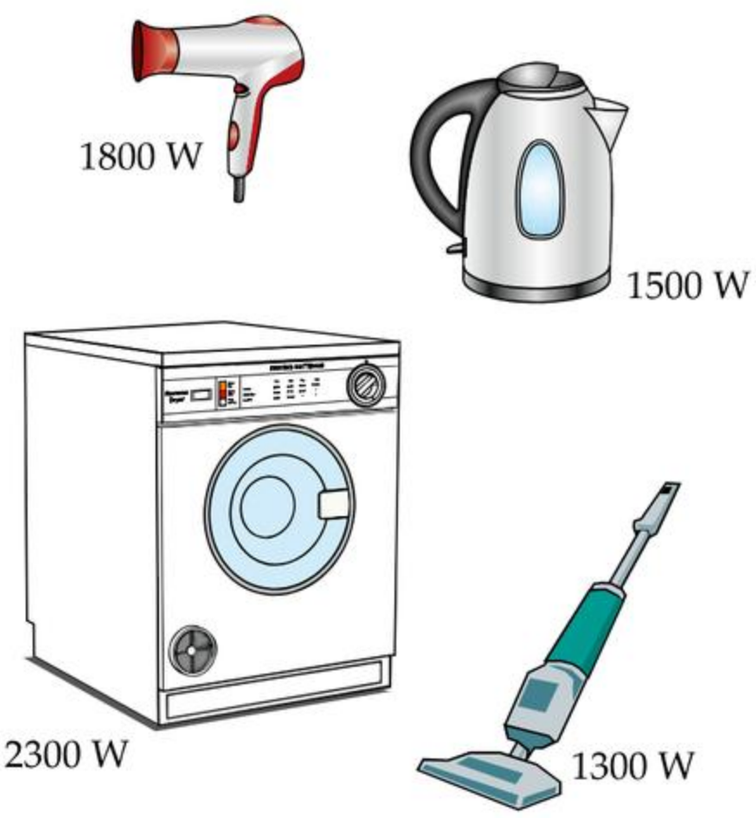
3. Wykres przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez opornik od przyłożonego napięcia. Opór elektryczny opornika wynosi

A. 0,4 Ω. **C.** 0,25 Ω.
B. 40 Ω. **D.** 25 Ω.



4. Bezpiecznik w sieci domowej wyłączy się, gdy w obwodzie popłynie prąd o natężeniu wyższym niż 16 A. Do sieci można włączyć jednocześnie

A. pralkę i czajnik.
B. pralkę i odkurzacz.
C. pralkę, czajnik i odkurzacz.
D. suszarkę, czajnik i odkurzacz.



5. Wskaż, jak zachowuje się igła kompasu, gdy okręt przekracza równik.

A. Odwraca się o 180°.
B. Odwraca się na wschód, jeśli okręt płynie na północ, a na zachód, jeśli płynie na południe.
C. Odwraca się na zachód, jeśli okręt płynie na północ, a na wschód, jeśli płynie na południe.
D. Nie zmienia kierunku.

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

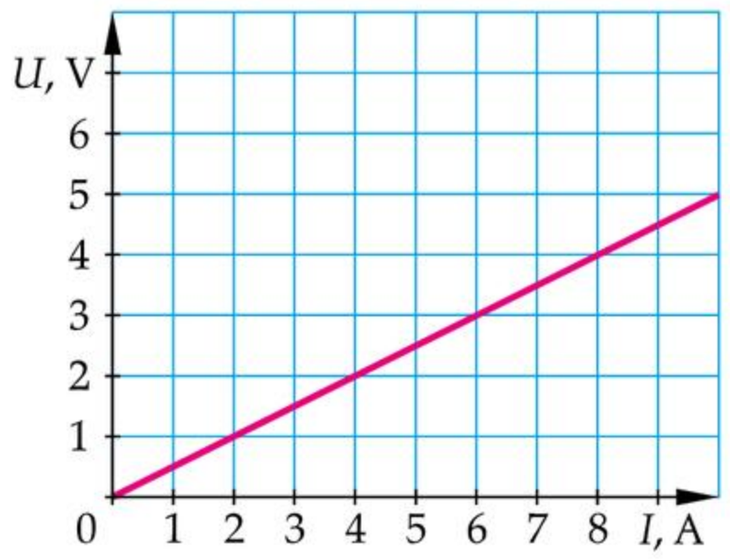
To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–3. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Kompas działa
- **A.** najlepiej na drewnianym żaglowcu.
- **B.** najlepiej na statku zbudowanym ze stali.
- **C.** najlepiej na okręcie podwodnym.
- **D.** równie dobrze na wszystkich wymienionych jednostkach.

2. Południowy biegun magnetyczny Ziemi znajduje się na terytorium Kanady. Wobec tego kompas używany w Polsce
- **A.** wskazuje dokładnie geograficzną północ.
- **B.** wskazuje kierunek nieco odchylony na zachód od geograficznej północy.
- **C.** wskazuje kierunek nieco odchylony na wschód od geograficznej północy.
- **D.** nie wskazuje dokładnie północy, ale na podstawie podanych informacji nie można stwierdzić, w którą stronę się odchyla.

3. Wykres przedstawia wyniki pomiaru napięcia między końcówkami opornika i natężenia płynącego przez niego prądu. Oblicz opór opornika.



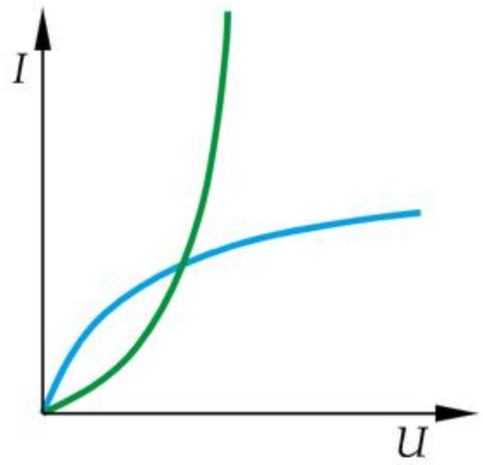
A. 0,5 Ω **B.** 500 Ω **C.** 2 Ω **D.** 0,002 Ω

Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Świetnie, jeśli to umiesz

1. Wskaż wykres zależności natężenia prądu płynącego przez żarówkę od przyłożonego napięcia. Dlaczego nie jest to linia prosta?

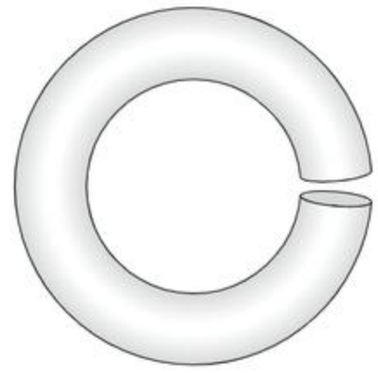


Wskazówka. Jak zmienia się temperatura żarówki, gdy wzrasta natężenie płynącego prądu? Jak zmienia się wówczas jej opór?

2. Wózek elektryczny o masie 500 kg (wraz z pasażerami i ładunkiem) zasilany jest napięciem 36 V, a przez jego silnik płynie prąd o natężeniu 50 A. Oblicz czas, w jakim wózek rozpędzi się do prędkości 18 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$. Pomiń straty energii.

3. Spośród dwu identycznych sztabek żelaza jedna jest magnesem. Wyjaśnij, jak sprawdzić, która jest namagnesowana. Nie możesz używać żadnych przedmiotów ani źródeł sił magnetycznych (również Ziemi).

4. Pewien żelazny pierścień jest bardzo słabym magnesem, ale gdyby go rozciąć w dowolnym miejscu (jak na rysunku), okaże się, że w miejscu rozcięcia pojawią się bieguny magnetyczne.



- **a)** Narysuj, jak ułożone są domeny magnetyczne wewnątrz tego pierścienia.
- **b)** Co zrobić, aby uzyskać takie samo namagnesowanie żelaznego pierścienia, mając do dyspozycji baterię i przewód?

Analiza tekstu

WĘDRUJĄCE BIEGUNY

Wyznaczanie kierunku ku północy za pomocą igły magnetycznej wydaje się nam oczywiste. Ziemia jest przecież wielkim magnesem, którego bieguny magnetyczne znajdują się w pobliżu jej osi obrotu – biegunów geograficznych.

W nazewnictwo obu biegunów magnetycznych wkradła się jednak pewna niejednoznaczność: z fizycznego punktu widzenia w pobliżu północnego bieguna geograficznego znajduje się południowy biegun magnetyczny (i dlatego wskazuje go północna igła kompasu). Aby jednak oszczędzić zamieszania terminologicznego, przyjęło się dość naturalne określanie bieguna wskazującego północ biegunem północnym. (…)

Skalne magnesy

Obserwowane na powierzchni Ziemi pole magnetyczne wygląda bardzo podobnie do pola zwykłego magnesu sztabkowego umieszczonego wewnątrz Ziemi i nachylonego do jej osi obrotu pod kątem około 11 stopni tak, że północny biegun magnetyczny znajduje się w północnej Kanadzie. Ale czy bieguny magnetyczne zawsze znajdowały się blisko biegunów geograficznych? Jak ustalić kierunek pola magnetycznego sprzed milionów lat? (…) Sporo danych można otrzymać, badając próbki zawierającej związki żelaza lawy oceanicznej. Utrzymuje się w niej pozostałość magnetyczna, powstała podczas zastygania lawy w niegdysiejszym polu magnetycznym Ziemi. Proces zapisywania pola trwa nieustannie w grzbietach oceanicznych, w których górne warstwy skorupy Ziemi stopniowo, w tempie 1–2 cm rocznie, rozsuwają się, a powstałe luki zapełnia wypływająca spod dna morskiego magma. Unoszące się w zastygającej lawie cząsteczki magnetytu i innych minerałów magnetycznych ustawiają się podobnie jak igła magnesu, wzdłuż linii aktualnego pola magnetycznego. Śledząc kierunek pola uwięzionego w próbkach (i biorąc poprawki na obrót skał, wywołany powolnymi ruchami płyt tektonicznych Ziemi), można ustalić kierunek pola magnetycznego sprzed wielu milionów lat. Tę metodę ogranicza tylko fakt, że najstarsze podmorskie próbki mają nie więcej niż 160 mln lat. Aby badać dawniejsze pole, trzeba śledzić namagnesowanie próbek w zawierających minerały magnetyczne lądowych skałach osadowych i wulkanicznych. Bardzo ciekawe dane z ostatnich tysięcy lat można uzyskać dzięki pradawnym garncarzom i pomiarom pozostałości magnetycznej w próbkach wypalanej w dawnych Chinach ceramiki i cegieł, a nawet pola uwięzionego w polepie dawnych pieców garncarskich.

Inne planety, inne zorze...

Jednym z najpiękniejszych widoków w biegunowych okolicach Ziemi są zorze polarne, powstające wskutek oddziaływania cząstek wiatru słonecznego z jej polem magnetycznym i atmosferą.



Najczęściej pojawiają się one tylko w pobliżu ziemskich biegunów magnetycznych, ale w czasie wyjątkowej aktywności Słońca możemy je obserwować również w Polsce, a raz na kilka stuleci nawet w okolicach ziemskiego równika. Podobne zorze pojawiają się również na innych, obdarzonych polem magnetycznym planetach. Obserwuje się je na Jowiszu, Saturnie, Uranie i Neptunie, a nawet na niektórych księżycach: jowiszowej Io i Ganimedesie. (…)

Niestabilne pole

Dzięki dotychczasowym pomiarom wiemy już, że w przeszłości bieguny magnetyczne zamieniały się miejscami wielokrotnie. Tylko w ciągu ostatnich 20 mln lat podobnych odwróceń zdarzyło się około 60. Średni okres pomiędzy kolejnymi przeskokami pola wynosi około 250 tys. lat, ale odbywają się one wyjątkowo chaotycznie – niekiedy co dziesiątki tysięcy, a czasami co dziesiątki milionów lat. (…) Skąd jednak bierze się samo pole? Jeszcze kilkaset lat temu tajemnicze zdolności kompasów wyjaśniano istnieniem położonej na północy Ziemi góry magnetycznej, która przyciągała ich igły. Później pojawiła się koncepcja Ziemi jako olbrzymiego żelaznego magnesu, podobnego do zwykłych magnesów sztabkowych. Dziś wiemy, że pole magnetyczne naszej planety jest wytwarzane niemal wyłącznie przez płynące w niej prądy elektryczne. Główna część pola powstaje w gorącym wnętrzu Ziemi, w którym prądy tworzą się podczas ruchu przewodzącej materii (…).

Gdzie jest dziś biegun?!

Poszukiwanie biegunów magnetycznych Ziemi nie jest wcale łatwe, nawet jeśli wiemy, czego szukać. Czy chodzi nam o miejsca, w których powierzchnię Ziemi przecina oś pola wytwarzanego w jądrze Ziemi? A może chodzi nam o miejsce, wskazywane przez kompasy, w którym ich igła ustawia się pionowo ku ziemi? Jeśli wybierzemy tę drugą, praktyczniejszą opcję, prócz pola „jądrowego" musimy uwzględnić wkład pochodzący od płynących ponad Ziemią prądów elektrycznych. Jak się okazuje, biegun magnetyczny jest wyjątkowo niestały. Sytuacja w poddawanej wpływowi promieniowania słonecznego jonosferze i magnetosferze Ziemi zmienia się tak szybko, że każdego dnia jego pozycja może się zmieniać nawet o 80 km. A jeśli pominiemy te chaotyczne drgania? Wówczas okaże się, że północny biegun magnetyczny porusza się, i to stosunkowo szybko, bo z prędkością 40 km rocznie, na północny wschód. W ciągu XX wieku przesunął się o 1100 km. Jeszcze w roku 2005 widziano go w pobliżu kanadyjskiej wyspy Ellesmere, największej z Wysp Królowej Elżbiety, ale niespokojny punkt stanowczo zmierza w stronę Syberii. Gdyby tempo jego ruchu się nie zmniejszyło, dotarłby tam w ciągu najbliższych 50 lat. Prawdopodobnie jednak wkrótce biegun zwolni, a być może również zakręci lub nawet zawróci.

Weronika Śliwa, „Wiedza i Życie", nr 6/2006.

Pytania do tekstu

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Gdzie znajduje się obecnie biegun magnetyczny Ziemi pokazywany przez północną igłę kompasu?

A. W pobliżu południowego bieguna geograficznego Ziemi.
B. W pobliżu północnego bieguna geograficznego Ziemi.
C. W płaszczyźnie równikowej Ziemi.

2. Uszereguj metody badania pola magnetycznego Ziemi od tej, która pozwala na badanie pola magnetycznego istniejącego najdawniej, do metody umożliwiającej badanie niedawnych zmian pola.

I. Badania wyrobów z wypalanej gliny.
II. Badanie skał powstałych na dnie zbiorników wodnych.
III. Badanie skał z głębi oceanów.

3. Najważniejsze źródło pola magnetycznego Ziemi to

A. jądro Ziemi. **B.** atmosfera Ziemi. **C.** ziemskie skały.

4. Zorze polarne obserwuje się również na
A. Neptunie, Wenus i Plutonie.
B. Uranie, Księżycu i Io.
C. Jowiszu, Saturnie i Ganimedesie.

5. Jak często zamieniają się miejscami ziemskie bieguny magnetyczne?
A. Co kilkaset lat.
B. Co kilka milionów lat.
C. Nigdy się nie zamieniają.
D. W nieprzewidywalnych odstępach czasu.

6. Zorza polarna powstaje wtedy, gdy
A. nadchodzi burza.
B. pole magnetyczne Ziemi zderza się z atmosferą.
C. w ziemską atmosferę uderzają naładowane cząstki wysyłane przez Słońce.

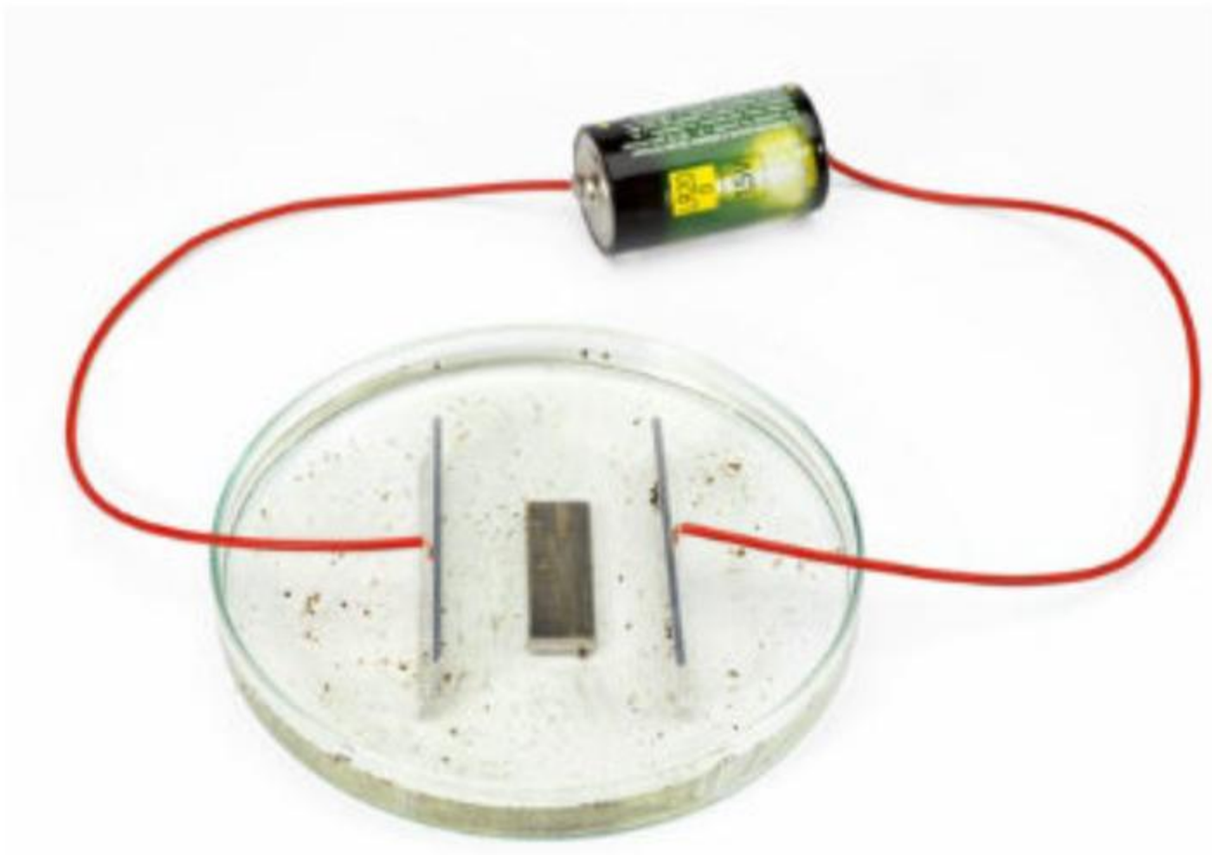
Praca badawcza

Cichy napęd łodzi podwodnej

Okręt podwodny może zdradzić nieprzyjacielowi swoje położenie dźwiękiem wydawanym przez śrubę napędową. Aby temu zapobiec, należałoby zastosować silnik, który porusza wodę, ale nie zawiera ruchomych części. Jest to możliwe, a model takiego silnika jesteś w stanie zbudować samodzielnie.

1. Przygotuj miskę lub pudełko, np. po margarynie. Na jej dnie połóż magnes biegunem do góry. Jeśli magnes nie jest pokryty plastikiem ani farbą nieprzewodzącą prądu, oklej go dokładnie taśmą klejącą.
2. Do naczynia nalej mocno osolonej wody, tak aby nad magnesem utworzyła kilkumilimetrową warstwę.
3. Przygotuj dwie elektrody, np. z pasków złożonej kilkakrotnie folii aluminiowej. Zanurz je w wodzie z dwóch stron magnesu i przymocuj do dna albo brzegów miski.
4. Posyp wodę pieprzem lub innymi drobnymi ziarenkami, dzięki którym będzie łatwiej obserwować ruch wody.
5. Podłącz do elektrod bieguny baterii 1,5 V.

Między płytkami płynie prąd elektryczny, czyli przemieszczają się jony. Jak wiesz, na poruszające się ładunki może działać siła magnetyczna. To właśnie ta siła powoduje ruch wody.



6. Sprawdź, jak na kierunek ruchu wpływa zmiana biegunów baterii lub magnesu.
7. Wyjaśnij, w jakim celu soliliśmy wodę. Spróbuj się dowiedzieć, co to za bąbelki powstają na elektrodach.

Fale na morzu, dźwięk, fale radiowe, światło słoneczne, promieniowanie nadfioletowe powodujące opalanie skóry – czy wiesz, co łączy te zjawiska?

Drgania i fale



Z tego rozdziału dowiesz się,
na czym polegają zjawiska falowe.



18 Ruch drgający

W klasie siódmej badaliśmy ruch takich ciał, jak samochód czy spadający kamień, które poruszały się z jednego punktu do drugiego. Teraz zajmiemy się badaniem ciał, które poruszają się wielokrotnie tam i z powrotem, jak kołysząca się huśtawka albo wahadło zegara.



Wahadło w ruchu.



Wahadło w położeniu równowagi.

Doświadczenie

Uwaga. To doświadczenie należy wykonać w grupach liczących od 4 do 6 osób.

1. Niech każda z osób w grupie samodzielnie wykona wahadło, wieszając niewielkie jabłko na długiej nitce. Wahadło można zamocować na statywie, framudze drzwi lub innym nieruchomym przedmiocie.

Uwaga. Wahadła mają mieć różną długość.

2. Odchyl wahadło od pionu o niewielki kąt, puść je i obserwuj jego ruch.

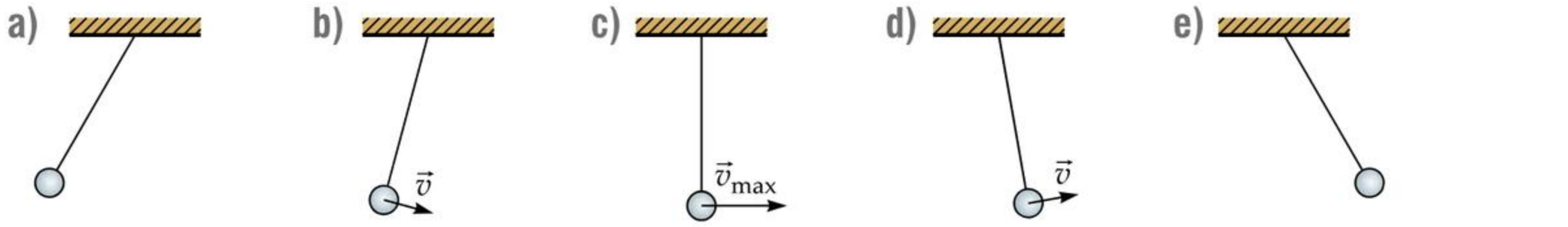
3. Zmierz czas przejścia wahadła z jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem. Jeśli zmierzysz czas 30 takich wahnięć i podzielisz go przez 30, to otrzymany wynik będzie bardziej dokładny.

4. Porównajcie wyniki dla wahadeł różnej długości.

Położenie i prędkość w ruchu wahadła

Dopóki wahadło wisi pionowo, nie działa na nie żadna siła, która spowodowałaby jego ruch. O wahadle ustawionym pionowo mówimy, że znajduje się w **położeniu równowagi** (patrz zdjęcie obok).

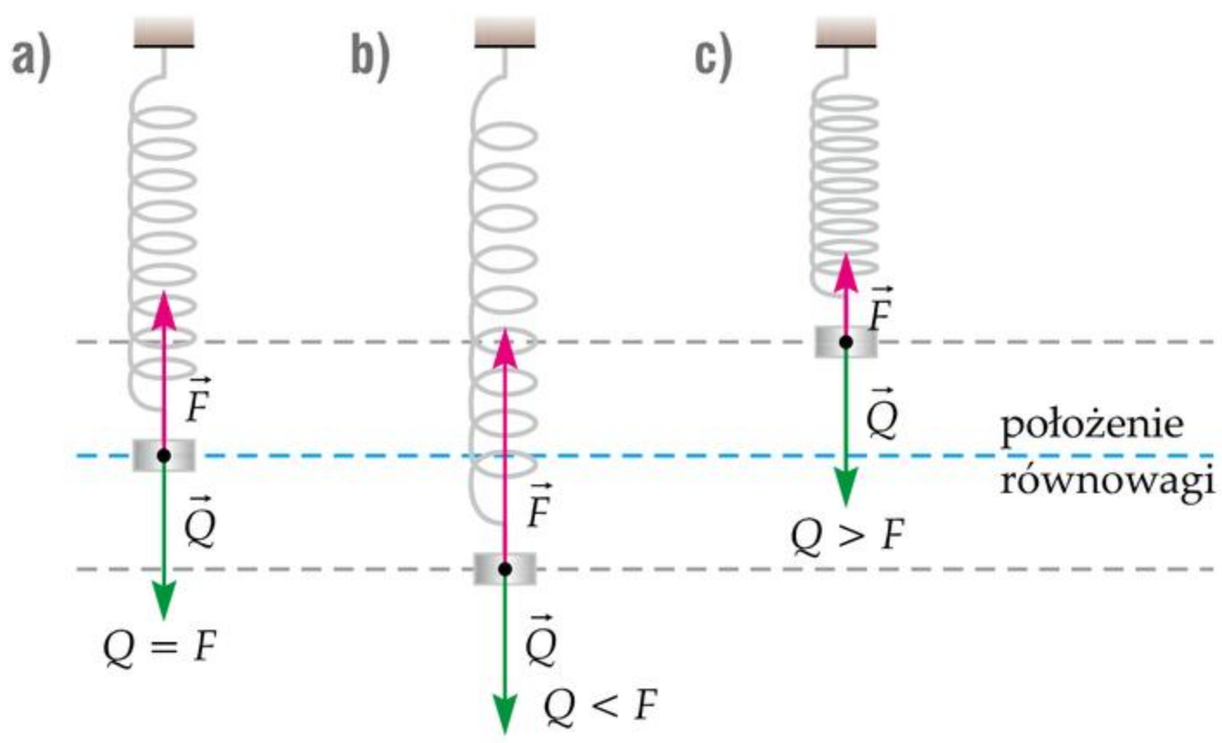
Gdy wychylimy wahadło z położenia równowagi, np. w lewo, pojawia się siła, która ściąga je z powrotem do tego położenia.



Wahadło wychylone i puszczone (rys. a) zaczyna się poruszać w prawo. Jego prędkość się zwiększa (rys. b).
Po chwili wahadło przechodzi przez położenie równowagi (rys. c), w którym jego prędkość jest maksymalna. Nie zatrzymuje się w nim jednak, ale mija je i porusza się dalej z powodu swojej bezwładności. Na wahadło działa wówczas siła, która powoduje zmniejszanie się jego prędkości. Wahadło porusza się coraz wolniej (rys. d). W pewnym momencie zatrzymuje się (rys. e). Następnie zaczyna się poruszać w lewo, mija położenie równowagi i wraca do maksymalnego wychylenia, od którego zaczął się ruch (rys. a). Potem cały cykl się powtarza.

Drgania ciężarka na sprężynie

A oto inny przykład ciała poruszającego się tam i z powrotem. Jest nim ciężarek zawieszony na sprężynie. Podobnie jak w przypadku wahadła pomijamy opory ruchu.



Gdy ciężarek wisi, nie wykonując drgań, znajduje się w położeniu równowagi (rys. a). W tym położeniu siła sprężystości $\vec{F}$, którą sprężyna ciągnie ciężarek do góry, równoważy siłę ciężkości $\vec{Q}$.
Gdy ciężarek znajduje się niżej, sprężyna jest rozciągnięta bardziej niż w położeniu równowagi, dlatego działa na ciężarek większą siłą. Ponieważ siła ciężkości działająca na ciężarek jest zawsze taka sama, wypadkowa tych sił działa w górę (rys. b).
Jeśli ciężarek znajduje się powyżej położenia równowagi, to siła sprężystości, jest mniejsza niż siła ciężkości (rys. c). Wypadkowa jest skierowana w dół.
Zauważ, że w obu przypadkach siła wypadkowa działająca na ciężarek jest skierowana w stronę położenia równowagi.

Na ciężarek zawieszony na sprężynie, wychylony z położenia równowagi (w dowolną stronę), działa siła wypadkowa skierowana w stronę położenia równowagi.

Gdy wychylimy ciężarek z położenia równowagi i puścimy, ta siła spowoduje jego powrót do położenia równowagi. Jednak w tym położeniu ciężarek się nie zatrzyma – będzie się już poruszał z pewną prędkością, więc z powodu swojej bezwładności wychyli się w drugą stronę. Następnie będzie się poruszał coraz wolniej, aż się zatrzyma (w położeniu maksymalnego wychylenia prędkość chwilowa równa jest zero). Następnie znowu zacznie poruszać się w stronę położenia równowagi.

Uwaga. Dla uproszczenia omawiamy sytuację, w której drgania ciężarka są niewielkie, więc sprężyna zawsze ciągnie ciężarek w górę. Aby podnieść ciężarek bardzo wysoko, musielibyśmy zgnieść sprężynę, a wówczas pchałaby ona ciężarek w dół.

Ruch drgający



Tłok silnika spalinowego porusza się ruchem drgającym.

Ruch wahadła i ruch ciężarka na sprężynie mają pewne wspólne cechy. W każdym z nich ciało porusza się od jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem, a następnie cały cykl wielokrotnie się powtarza.
Gdybyśmy chcieli nakręcić film o ruchu wahadła, wystarczyłoby sfilmować jego ruch od jednego skrajnego położenia do drugiego. Taki film, puszczany na przemian od początku i od końca, dałby złudzenie długotrwałego ruchu wahadła.

Jeśli ciało porusza się od jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem, po czym cały cykl się powtarza, to taki ruch nazywamy ruchem drgającym.

Wahadło i ciężarek na sprężynie poruszają się ruchem drgającym. Mówimy też, że wykonują **drgania**. Inne przykłady drgań to kołysanie się boi na wodzie, ruch tłoka w silniku spalinowym czy ruch struny gitary.



Drgająca struna gitary.

Okres i częstotliwość w ruchu drgającym

W doświadczeniu na początku lekcji badaliśmy, jak długo trwa ruch wahadła tam i z powrotem. Ten czas ma swoją nazwę.

W ruchu drgającym czas przejścia od jednego skrajnego położenia do drugiego i z powrotem nazywamy okresem drgań. Oznaczamy go *T*.

Jednostką okresu drgań jest sekunda (s).
Jeśli okres drgań pewnego wahadła wynosi $\frac{1}{5}$ s, to w sekundzie mieści się 5 cykli, a więc takie wahadło w ciągu 1 s wykonuje 5 pełnych drgań. Kiedy interesuje nas liczba drgań przypadających na 1 s, mówimy o **częstotliwości**.

Częstotliwość określa liczbę cykli drgań w ciągu sekundy, czyli liczbę okresów mieszczących się w sekundzie.

Liczbowo częstotliwość jest równa odwrotności okresu wyrażonego w sekundach.

$$\text{częstotliwość} = \frac{1}{\text{okres}} \qquad f = \frac{1}{T}$$

Jednostką częstotliwości jest **herc**, oznaczany Hz, od nazwiska Heinricha Hertza (czyt. hajnricha herca).
Jeżeli wahadło w ciągu 1 s wykonuje 5 pełnych drgań, to mówimy, że jego częstotliwość wynosi 5 herców (5 Hz).

1 Hz = $\frac{1}{\text{s}}$, a więc 1 Hz to jeden okres na sekundę.

Często słyszymy, że stacje radiowe nadają na określonych częstotliwościach, np. 99 MHz (megaherców). Ta liczba oznacza aż 99 mln drgań w ciągu sekundy.

Ćwiczenie. Zapisz w zeszycie i uzupełnij zdanie, korzystając z wyników doświadczenia przedstawionego na początku lekcji:
„Im dłuższe wahadło, tym ..... okres jego drgań i tym ..... częstotliwość".

Amplituda

Kolejną, trzecią już ważną wielkością opisującą ruch drgający jest **amplituda**.

Amplituda drgań to wielkość maksymalnego wychylenia z położenia równowagi.

Wahadło mocniej wychylone od pionu ma większą amplitudę drgań, choć może mieć taki sam okres i taką samą częstotliwość jak wahadło mniej wychylone.
W doświadczeniu na początku lekcji amplituda wahadła wynosiła od kilku do kilkunastu centymetrów.

Podsumowanie

- Drgania polegają na powtarzaniu się zjawiska (np. ruchu wahadła tam i z powrotem).
- Czas trwania 1 cyklu tego powtarzającego się zjawiska nazywamy okresem drgań. Jednostką okresu drgań jest sekunda.
- Odwrotność okresu wyrażonego w sekundach (czyli liczbę okresów na sekundę) nazywamy częstotliwością drgań. Częstotliwość mierzymy w hercach.
- Amplituda drgań to maksymalne wychylenie z położenia równowagi.

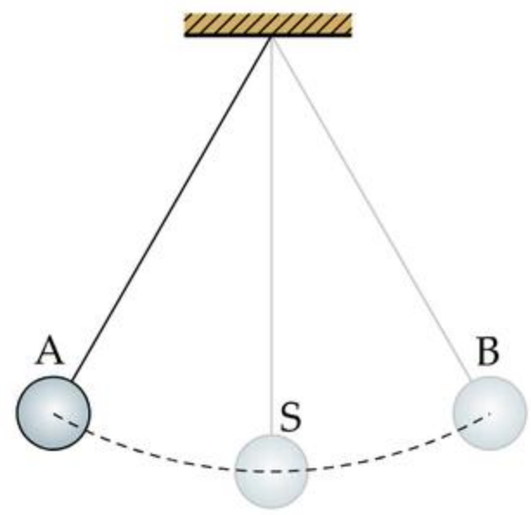
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wymień kilka sytuacji z życia codziennego, w których mamy do czynienia z drganiami.

2. Oblicz okres i częstotliwość drgań w następujących sytuacjach:
a) pszczoła macha skrzydłami 180 razy na sekundę;
b) latarnia morska wysyła 5 błysków w ciągu minuty;
c) serce człowieka bije 70 razy na minutę;
d) tłok w cylindrze silnika samochodu porusza się w górę i w dół 3000 razy na minutę.

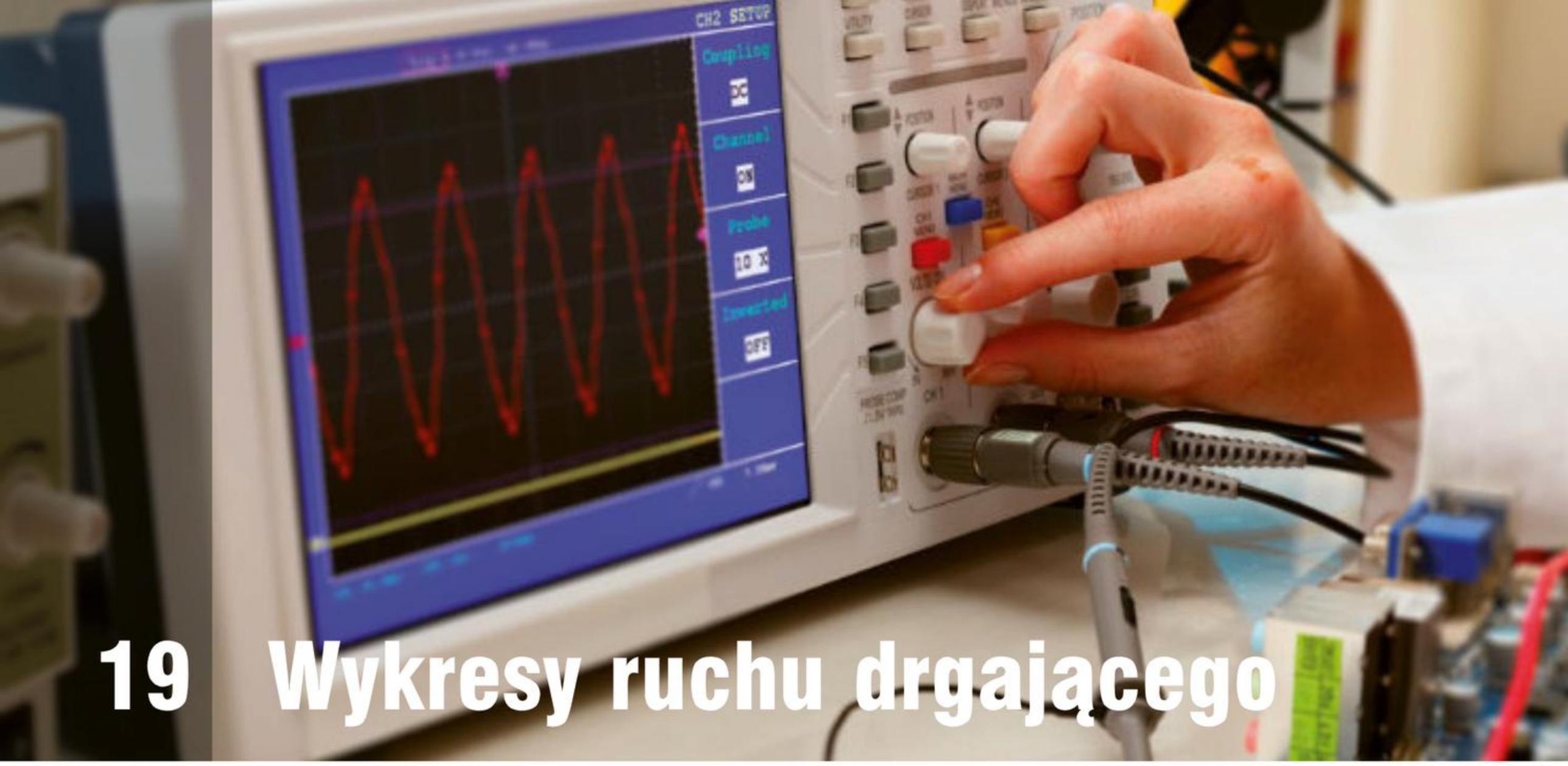
3. Skrajne położenia wahadła oznaczmy A i B, a położenie równowagi – S. Okres wahadła wynosi 0,8 s.
a) Oblicz czas trwania ruchu wahadła z punktu A do punktu B.
b) Oblicz czas trwania ruchu wahadła z punktu A do punktu S.
c) Oblicz częstotliwość drgań wahadła.
d) Ile razy w ciągu minuty wahadło znajdzie się w punkcie B, a ile razy – w punkcie S? Załóż, że ruch zaczyna się od położenia A.



Doświadczenie

Wyznaczanie okresu i częstotliwości drgań

Wyznacz okres i częstotliwość drgań:
a) wahadła,
b) ciężarka zawieszonego na sprężynie.
Samodzielnie zaplanuj przebieg doświadczenia tak, aby niepewność pomiarowa była jak najmniejsza.
Naszkicuj w zeszycie układ doświadczalny; czytelnie zapisz wyniki pomiarów i obliczenia.

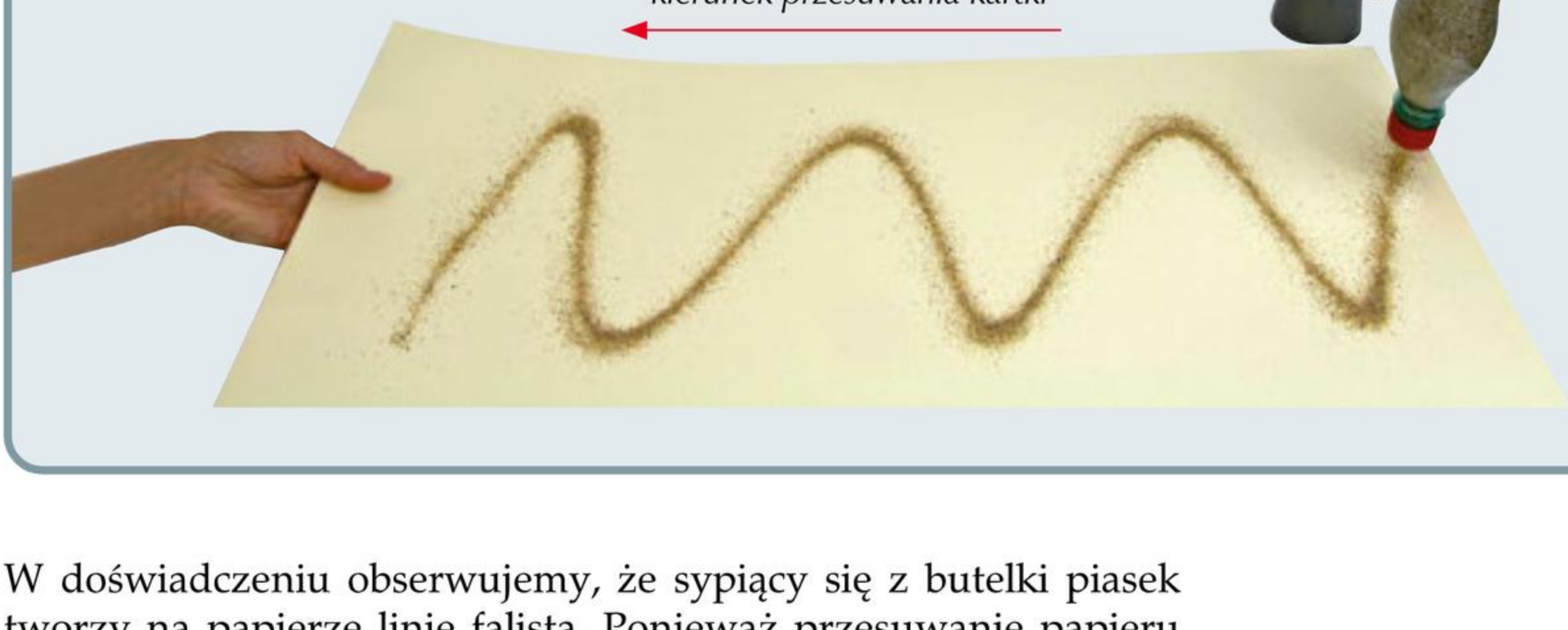


19 Wykresy ruchu drgającego

Doświadczenie

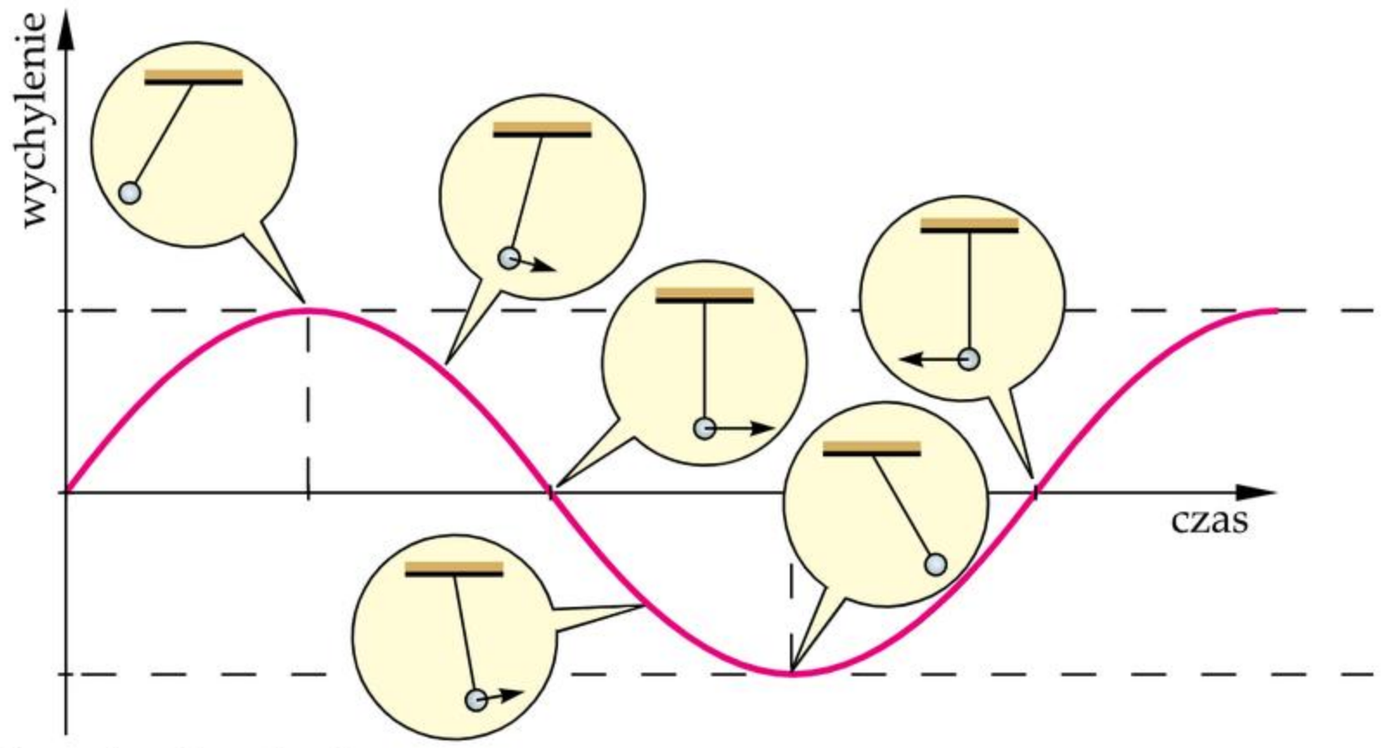
1. W nakrętce butelki po wodzie mineralnej zrób gwoździem niewielki otwór.
2. Napełnij butelkę suchym piaskiem i sprawdź, czy otwór jest dostatecznie duży, aby piasek mógł się swobodnie wysypywać.
3. Zawieś butelkę na sznurku do góry dnem, tak aby mogła się kołysać. Pod spodem ułóż duży arkusz papieru.
4. Butelka na sznurku pełni funkcję wahadła. Wpraw ją w ruch.
5. Powoli przesuwaj papier prostopadle do płaszczyzny ruchu wahadła, ze stałą prędkością.
6. Naszkicuj w zeszycie ślad tworzony na papierze przez sypiący się piasek.





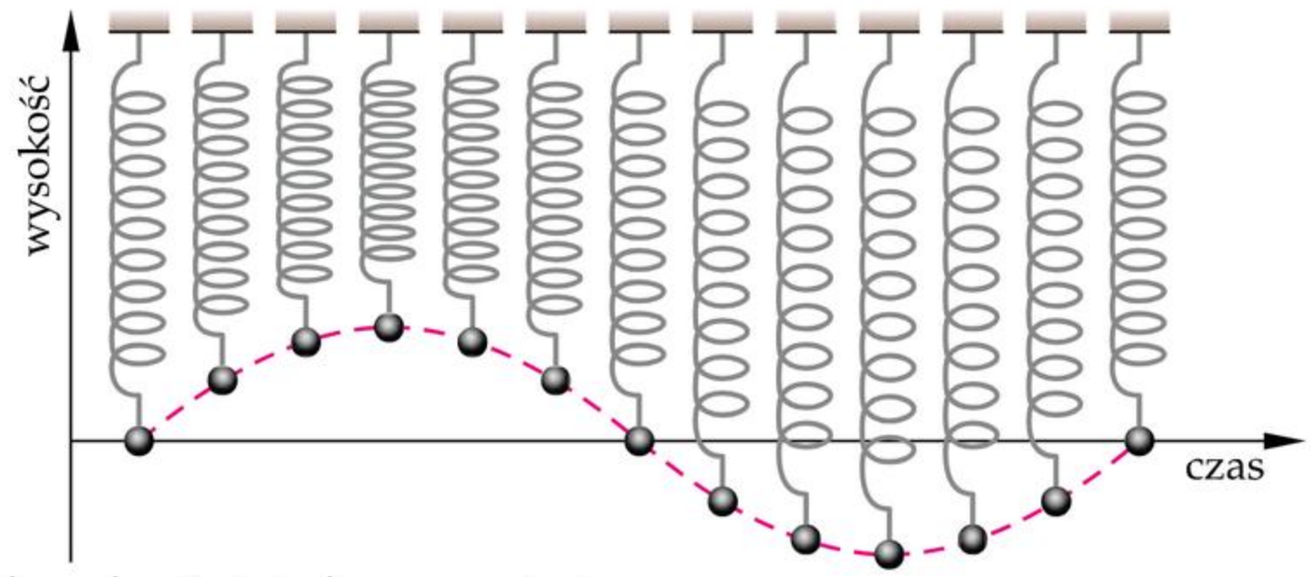
W doświadczeniu obserwujemy, że sypiący się z butelki piasek tworzy na papierze linię falistą. Ponieważ przesuwanie papieru odpowiada upływowi czasu, możemy powiedzieć, że otrzymaliśmy wykres zależności położenia x wahadła od czasu t. Jeśli jednak chcemy, aby był to prawdziwy wykres, musimy dorysować układ współrzędnych.
Umawiamy się, że wychylenie w lewo oznaczamy jako dodatnie, a w prawo – jako ujemne.

Otrzymujemy charakterystyczną linię – **sinusoidę**.



Wykres drgań wahadła.

Taki sam kształt ma wykres drgań ciężarka na sprężynie (patrz rysunek poniżej). Przedstawia on zależność wysokości, na której znajduje się ciężarek, od czasu.
Przyjmujemy umownie, że wysokość zerowa odpowiada poziomowi położenia równowagi.

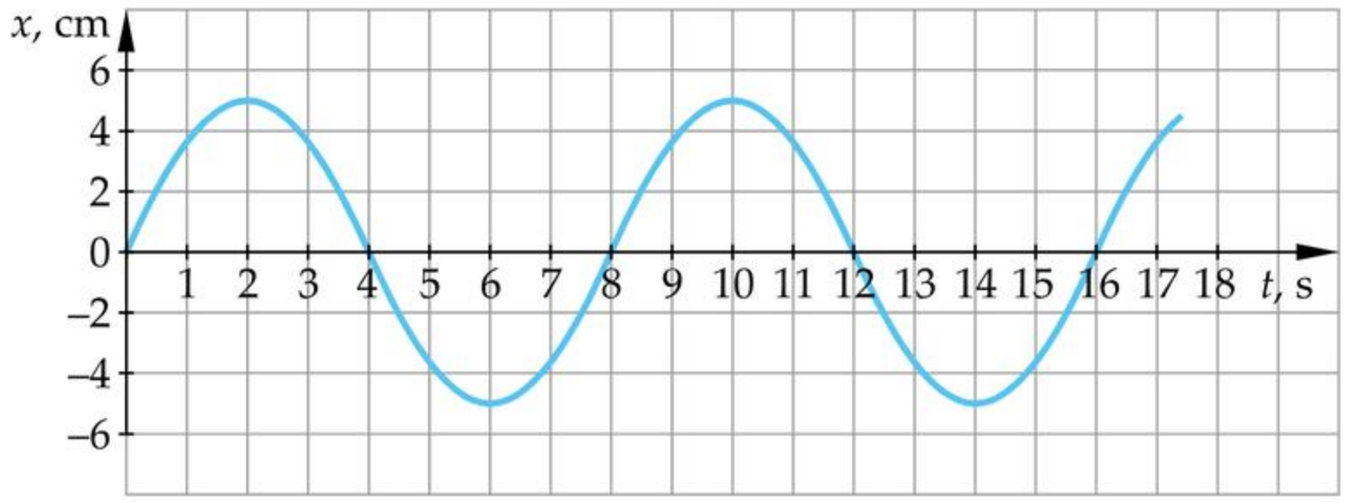


Wykres drgań ciężarka na sprężynie.



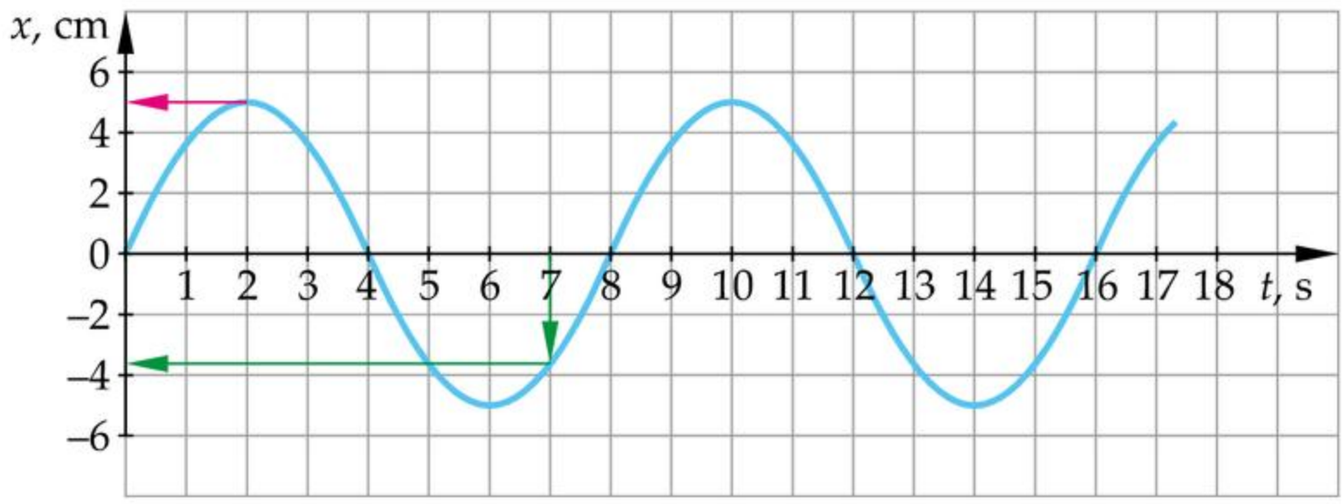
Zegar wahadłowy.

Przykład. Poniższy wykres ilustruje zależność położenia x od czasu t dla ruchu wahadła zegara takiego jak na zdjęciu obok. Wychylenie w lewo oznaczono na nim jako dodatnie, a w prawo – jako ujemne.



Odczytaj z tego wykresu:
a) gdzie znajdowało się wahadło w chwili $t = 7$ s;
b) kiedy wychylenie wahadła było maksymalne (w dowolną stronę); podaj wszystkie odpowiedzi z przedstawionego na wykresie przedziału czasu;
c) jaka była amplituda drgań wahadła;
d) jaki był okres drgań i jaka była ich częstotliwość.

Ad **a)** Z wykresu odczytujemy położenie wahadła w chwili $t = 7$ s. Wynosi ono $x \approx -3{,}5$ cm, czyli wahadło było wychylone o około 3,5 cm w prawo. Sposób odczytywania przedstawiają zielone strzałki na wykresie.



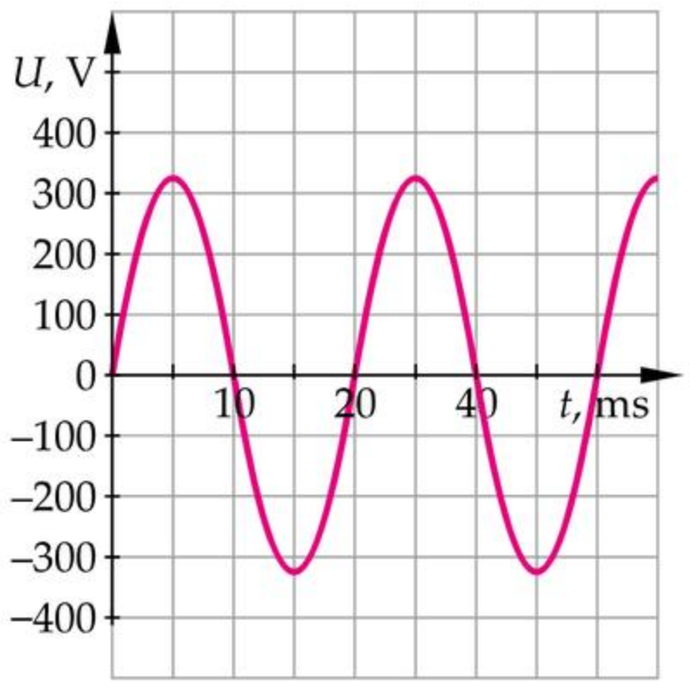
Ad **b)** Wychylenie było maksymalne dla $t = 2$ s, $t = 6$ s, $t = 10$ s, $t = 14$ s. (Dla $t = 2$ s i $t = 10$ s było to wychylenie w lewo, a w pozostałych przypadkach – w prawo).
Ad **c)** Amplituda drgań wahadła wynosiła 5 cm. Sposób odczytywania przedstawia czerwona strzałka na wykresie powyżej.
Ad **d)** Maksymalne wychylenie w lewo wahadło osiągnęło w chwili $t = 2$ s, a potem w chwili $t = 10$ s. Między tymi momentami upłynął czas 10 s – 2 s = 8 s. Okres drgań wahadła wynosi więc $T = 8$ s. Oznacza to, że częstotliwość drgań wynosi $f = \frac{1}{8}\text{Hz} = 0{,}125$ Hz.

Drgania nie tylko mechaniczne

Ruch wahadła, ciężarka zawieszonego na sprężynie czy boi na wodzie to przykłady **drgań mechanicznych** polegających na ruchu ciała. Ale pojęcie drgań można rozumieć szerzej. Na przykład „drga", czyli zmienia się cyklicznie, napięcie w sieci elektrycznej (patrz wykres obok). Jeden cykl zmian napięcia trwa $\frac{1}{50}$ s. Okres napięcia sieciowego wynosi więc:

$$T = \frac{1}{50}\,\text{s} = 0{,}02\,\text{s} = 20\,\text{ms}$$

W sekundzie mieści się 50 okresów, więc częstotliwość wynosi 50 Hz. Amplituda zaś, czyli maksymalne „wychylenie" od zera, wynosi 325 V.
Wyobraź sobie, że napięcie przemienne podłączamy do woltomierza, którego wskazówka może bardzo szybko reagować na zmiany napięcia. Wskazówka będzie drgała tak samo jak porusza się nić wahadła. Zauważ, że wykres drgań napięcia w sieci elektrycznej wygląda podobnie jak wykres drgań wahadła na nitce. Wkrótce przekonasz się, że dźwięk to drgania powietrza i że można go opisać w podobny sposób. Różne rodzaje drgań mają wiele cech wspólnych.



Zmiany napięcia w domowej sieci elektrycznej.

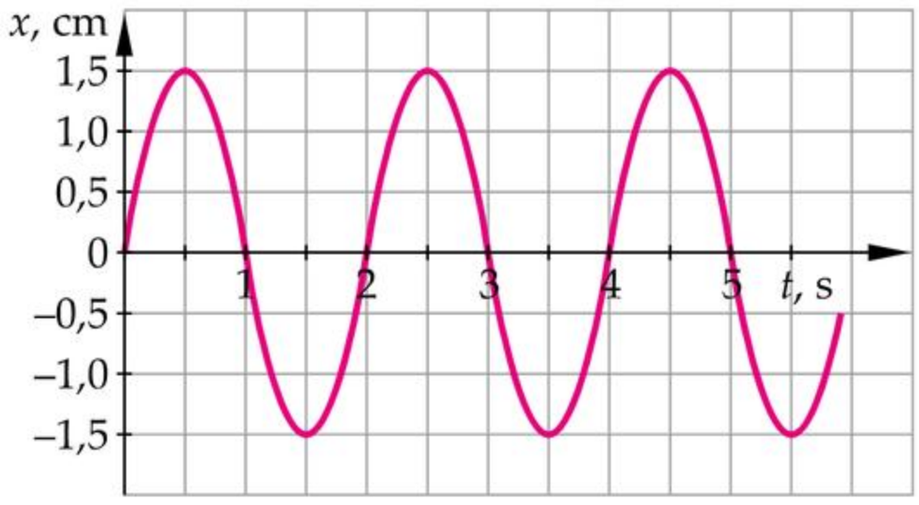
Podsumowanie

- Wykresem ruchu drgającego jest sinusoida. Z wykresu możemy odczytać wielkości charakteryzujące drgania – okres i amplitudę.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Rysunek do zadań 1.–4. przedstawia wykres zależności położenia wahadła od czasu. Wychylenie w lewo oznaczono jako dodatnie, a w prawo – jako ujemne.



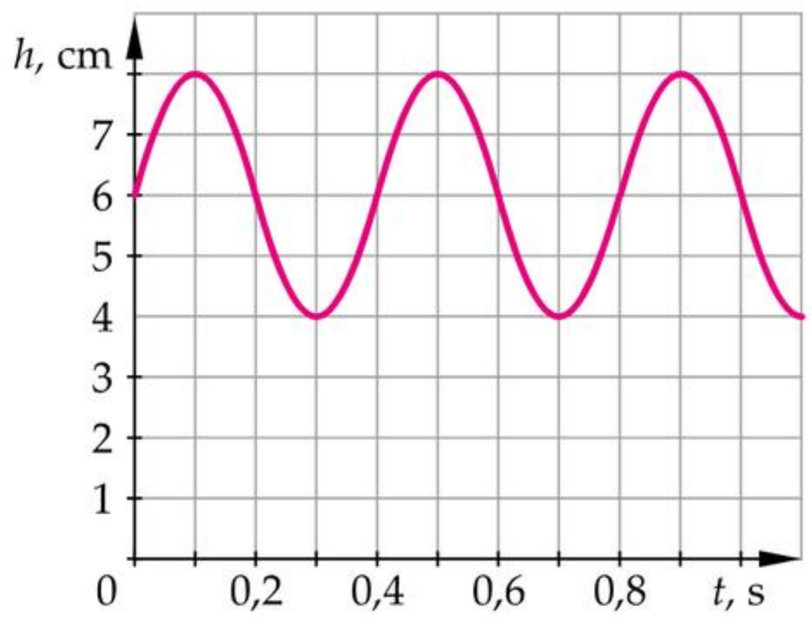
1. Podaj przykładową wartość czasu t, dla którego wahadło:
a) poruszało się w lewo, a jego prędkość rosła;
b) poruszało się w lewo, a jego prędkość malała;
c) poruszało się w prawo, a jego prędkość rosła;
d) poruszało się w prawo, a jego prędkość malała;
e) miało prędkość zero.

2. Odczytaj z wykresu i zapisz w zeszycie wszystkie chwile (z zakresu zaznaczonego na wykresie), kiedy wahadło znajdowało się:
a) najwyżej,
b) najniżej,
c) w położeniu równowagi.

3. Podaj okres i amplitudę drgań wahadła.

4. Oblicz częstotliwość drgań wahadła.

5. Wykres przedstawia zależność wysokości, na której znajduje się ciężarek drgający na sprężynie, od czasu. Podaj okres, częstotliwość i amplitudę drgań.



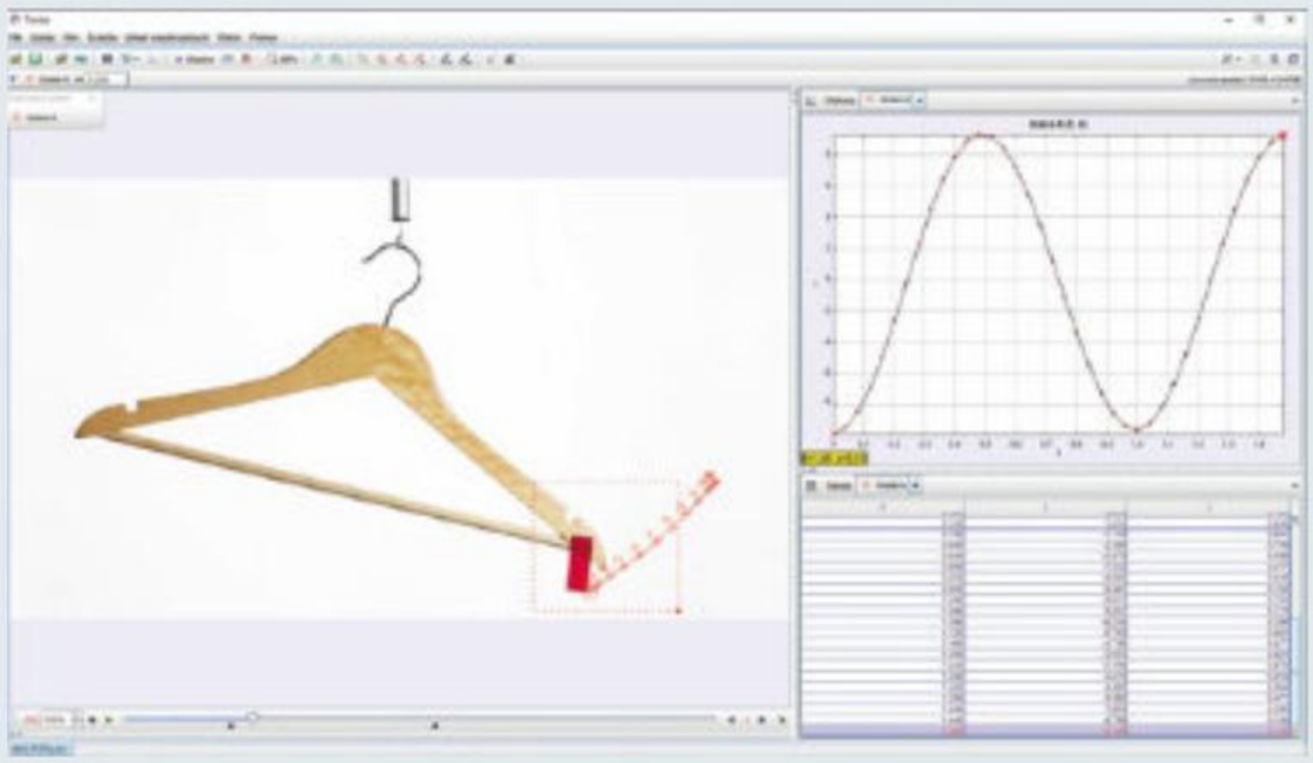
Doświadczenie

Wykres ruchu drgającego na podstawie filmu

1. Za pomocą kamery w telefonie sfilmuj ruch drgający dowolnego ciała.
2. Skopiuj film na dysk komputera i otwórz go w programie Tracker.

Uwaga. Program jest darmowy, można go znaleźć na stronie http://physlets.org/tracker/. Używaliśmy go w klasie 7. Jeśli nie pamiętasz, jak się go obsługuje, skorzystaj z zakładki Pomoc w menu programu.

3. Za pomocą programu sporządź wykres ruchu wybranego punktu ciała. Czy wykres przypomina sinusoidę? Jakie są okres, amplituda i częstotliwość tego ruchu?



Na ilustracji widzisz efekt naszego doświadczenia. Badaliśmy ruch wahającego się wieszaka. Na jednym z ramion zawiesiliśmy karteczkę samoprzylepną, ponieważ Tracker łatwiej znajduje tak wyróżniający się element.



20 Przemiany energii w ruchu drgającym

Na poprzednich lekcjach opisywaliśmy ruch drgający. Zastanówmy się, z jakimi przemianami energii mamy do czynienia w tym ruchu. Załóżmy, że odbywa się on bez oporów.

Energia w ruchu wahadła

Poruszające się wahadło zmienia wysokość, na której się znajduje. Jak wiesz z klasy siódmej, z położeniem ciała na określonej wysokości związana jest energia potencjalna grawitacji. Im wyżej ciało się znajduje, tym większą ma energię potencjalną.
Energię potencjalną grawitacji określamy zawsze względem wybranego poziomu. W przypadku wahadła najwygodniej przyjąć, że tym poziomem jest położenie równowagi (czyli najniższe). W położeniu równowagi energia potencjalna grawitacji wahadła jest równa zero.

W położeniu równowagi energia potencjalna grawitacji wahadła jest równa zero, a przy maksymalnym wychyleniu osiąga wartość największą.

Zmianom ulega również prędkość wahadła, a tym samym jego energia kinetyczna. Wahadło porusza się najszybciej, gdy przechodzi przez położenie równowagi (patrz rysunek na s. 109). Im dalej od tego położenia, tym mniejsza jest jego prędkość. Przy maksymalnym wychyleniu prędkość chwilowa jest równa zero.

Przy maksymalnym wychyleniu energia kinetyczna wahadła jest równa zero, a w położeniu równowagi osiąga wartość największą.

Ponieważ pomijamy straty energii wynikające z oporów ruchu, w czasie drgań wahadła łączna energia mechaniczna (suma energii potencjalnej i kinetycznej) jest stała.

Ćwiczenie. Energia mechaniczna wahadła jest stała. Jak nazywa się zasada, która pozwala to stwierdzić?

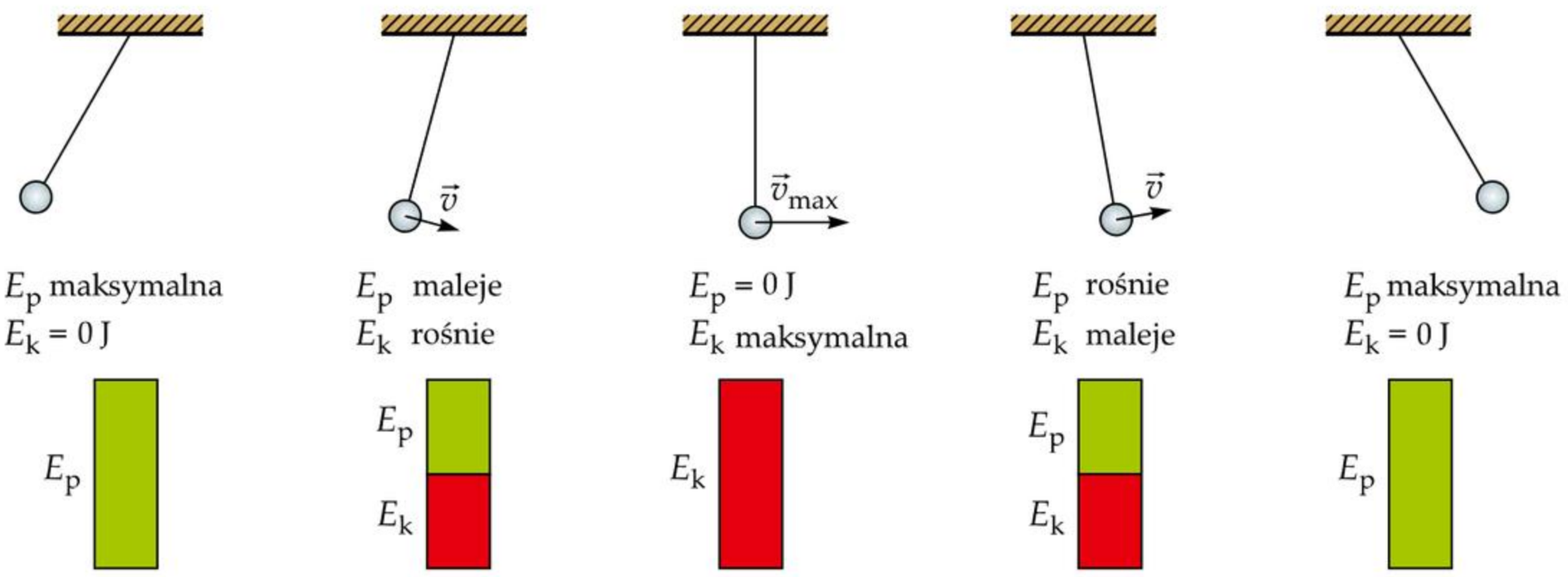
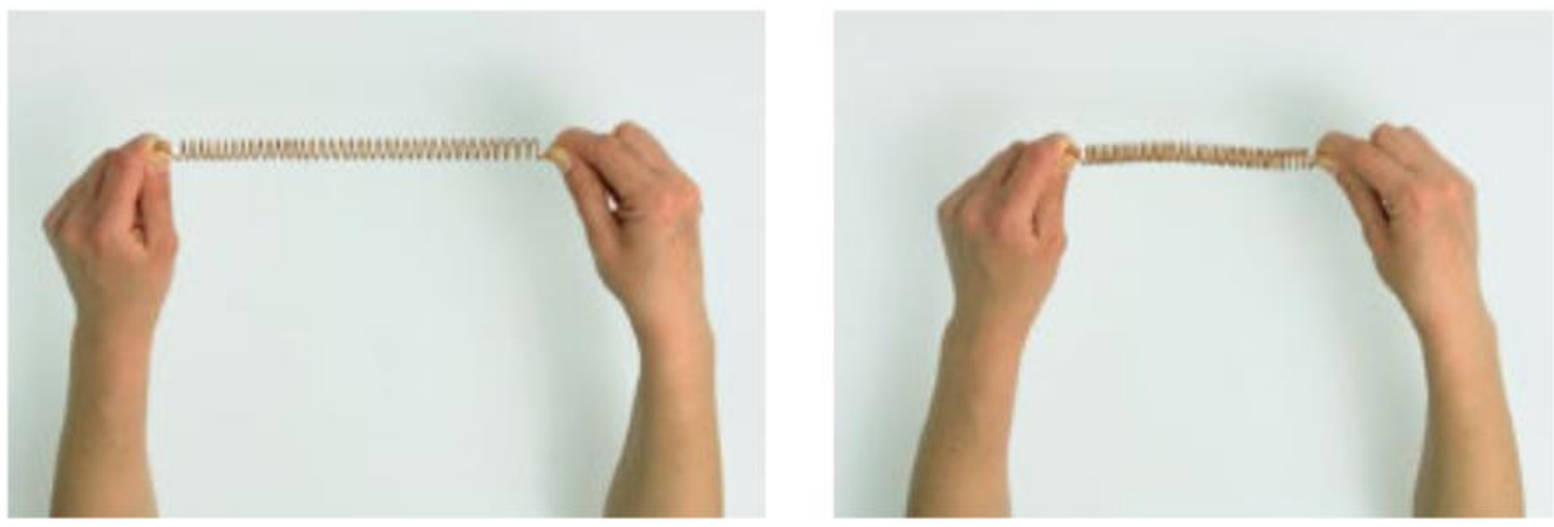


Diagram przedstawia przemiany energii kinetycznej E_k i energii potencjalnej E_p w ruchu wahadła.

Gdy wahadło porusza się w górę, jego energia kinetyczna zmienia się w energię potencjalną.
Gdy wahadło porusza się w dół, jego energia potencjalna zmienia się w energię kinetyczną.
Całkowita energia mechaniczna nie ulega zmianie.

Energia potencjalna sprężystości

Aby opisać przemiany energii w ruchu ciężarka na sprężynie, przypomnijmy formę energii, o której tylko wspominaliśmy w klasie siódmej.



Jeśli chcemy ścisnąć lub rozciągnąć sprężynę (patrz zdjęcia), musimy wykonać pewną pracę. W ten sposób zwiększamy energię sprężyny.

Rozciągnięta lub ściśnięta sprężyna zyskuje energię potencjalną sprężystości.

Kosztem tej energii sprężyna może potem wykonać pracę, wracając do początkowej długości. Im bardziej odkształcimy – ściśniemy lub rozciągniemy – sprężynę, tym większą pracę wykonamy, a zatem sprężyna zmagazynuje większą energię.

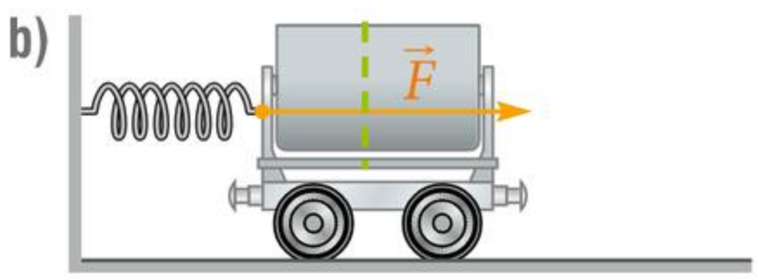
Przemiany w ruchu ciała na sprężynie

Rozważmy teraz inny przypadek. Ciało, np. wagonik, może się poruszać bez tarcia po poziomym torze. Wagonik jest zamocowany na sprężynie, która kurczy się lub rozciąga, gdy on się porusza.

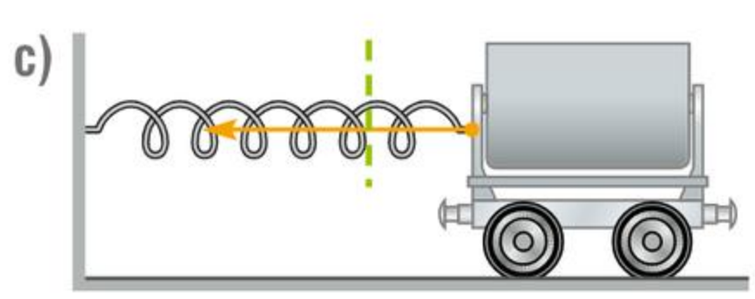
Miejsce, w którym sprężyna ma swoją zwykłą długość (patrz rys. a), jest **położeniem równowagi**. Oznacza to, że wagonik może w nim spoczywać, bo sprężyna nie działa na niego żadną siłą.



Jeśli jednak wychylimy wagonik, ściskając sprężynę, zaczyna na niego działać siła sprężystości w kierunku położenia równowagi (patrz rys. b).

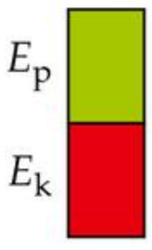
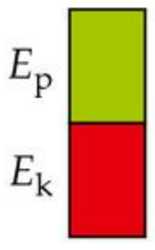


Siła ta zanika, gdy wagonik znajdzie się w tym położeniu, ale ze względu na swoją bezwładność wagonik porusza się dalej. Sprężyna jest coraz bardziej napięta i ciągnie go teraz w przeciwną stronę (patrz rys. c).



W końcu wagonik się zatrzymuje, wraca do położenia równowagi, mija je z powodu swojej bezwładności i wraca do położenia b.
Jeśli nie byłoby oporów ruchu, ten ruch drgający trwałby w nieskończoność. W rzeczywistości, ze względu na straty energii, amplituda będzie malała, aż wagonik się zatrzyma.
Jakie przemiany energii zachodzą w tym ruchu? Gdy ciało zbliża się do położenia równowagi, rozpędza się, a więc jego energia kinetyczna rośnie. Za to zmniejsza się energia potencjalna sprężystości, bo sprężyna jest coraz mniej rozciągnięta (albo coraz mniej ściśnięta). Gdy ciało oddala się od położenia równowagi, zmiany zachodzą w przeciwnym kierunku (patrz rysunek poniżej).



E_p maksymalna $E_k = 0$ J	E_p maleje E_k rośnie	$E_p = 0$ J E_k maksymalna	E_p rośnie E_k maleje	E_p maksymalna $E_k = 0$ J
				

Nasze rozważania możemy więc podsumować następująco:

Gdy ciało drgające na sprężynie zbliża się do położenia równowagi, energia potencjalna sprężystości zamienia się w energię kinetyczną.

Gdy ciało to oddala się od położenia równowagi, jego energia kinetyczna zamienia się w energię potencjalną sprężystości.

Oczywiście – jak we wszystkich zjawiskach fizycznych – całkowita energia pozostaje bez zmian.

Ciekawostka

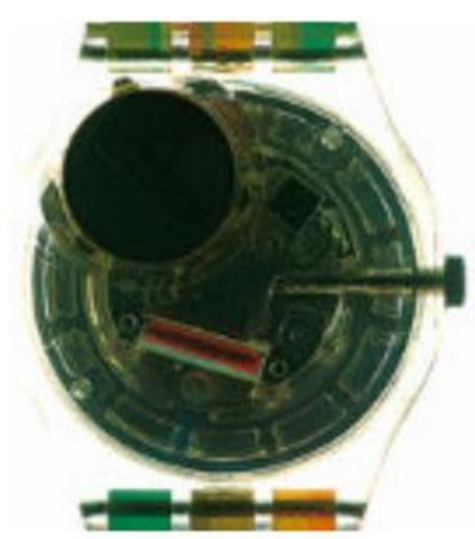
Działanie każdego zegara polega na zliczaniu kolejnych okresów drgań. Można więc powiedzieć, że każdy zegar ma jakieś „wahadło". Stanowi ono serce zegara – odmierza jednakowe odstępy czasu. Pozostałe elementy zegara służą do:

- zliczania kolejnych drgań (mechanizm albo układ elektroniczny);
- przedstawiania wyniku w czytelnej postaci (wskazówki, wyświetlacz, dzwon wybijający godziny);
- dostarczania energii do urządzenia (sprężyna, bateria, ciężarki w zegarze z kukułką).

Pamiętasz może, że Galileusz jako zegara używał własnego tętna. Także w tym przypadku pomiar czasu polegał na zliczaniu okresów powtarzania się zjawiska.



W zegarku mechanicznym „wahadłem" jest balans – kółko obracające się na sprężynie tam i z powrotem.



W zegarku elektronicznym „wahadło" jest ukryte – jego funkcję pełni drgający kryształek kwarcu.



„Wahadło" zegara atomowego to pewne powtarzające się zjawiska w atomach cezu (nie ma tam poruszającego się ciała).

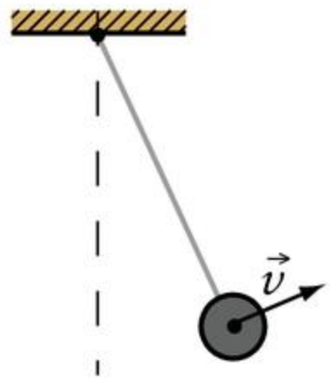
Podsumowanie

- W ruchu wahadła mamy do czynienia z przemianami energii potencjalnej grawitacji i energii kinetycznej.
- Gdy wahadło porusza się w górę, jego energia kinetyczna zmienia się w energię potencjalną grawitacji. Gdy wahadło porusza się w dół, jego energia potencjalna grawitacji zmienia się w energię kinetyczną.
- Energia potencjalna sprężystości jest tym większa, im bardziej ściśnięta lub rozciągnięta jest sprężyna, tzn. im bardziej jej długość odbiega od długości bez obciążenia.
- Gdy ciało drgające na sprężynie zbliża się do położenia równowagi, energia potencjalna sprężystości zamienia się w energię kinetyczną. Gdy to ciało oddala się od położenia równowagi, przemiana energii zachodzi w drugą stronę.

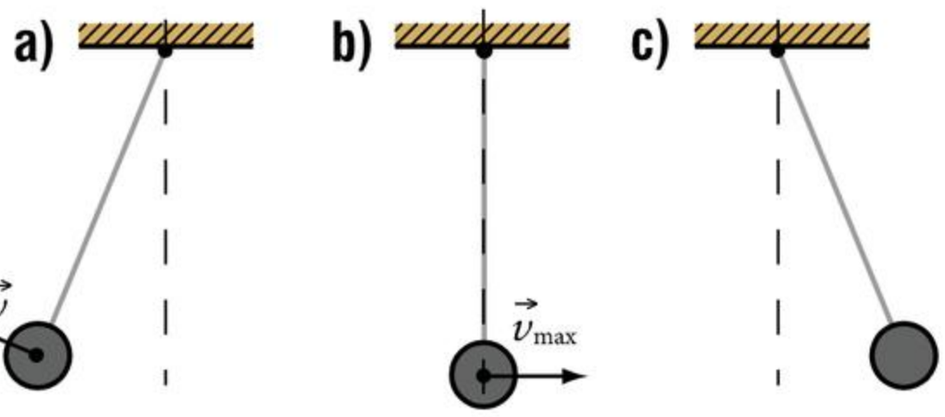
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Oceń, czy w sytuacji przedstawionej na rysunku energia potencjalna wahadła zwiększa się czy zmniejsza. A energia kinetyczna? Jaka przemiana energii zachodzi w tej sytuacji?

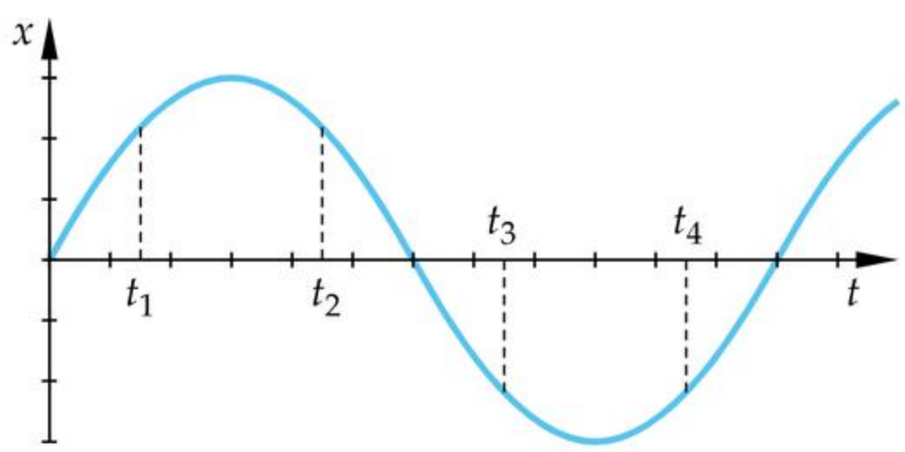


2. Ilustracje przedstawiają wybrane chwile w ruchu wahadła. Zaznaczono na nich wektory prędkości (jeśli wektora nie narysowano, to znaczy, że prędkość chwilowa jest równa zero). Dobierz do opisów właściwe rysunki. Do jednego rysunku może pasować kilka opisów.



I. Wahadło znajduje się w maksymalnym wychyleniu.
II. Wahadło przechodzi przez położenie równowagi.
III. Wahadło oddala się od położenia równowagi.
IV. Energia potencjalna wahadła jest maksymalna.
V. Energia potencjalna wahadła jest minimalna.

3. Wykres ilustruje zależność wychylenia wahadła od czasu. Wskaż, w których spośród zaznaczonych chwil t_1, t_2, t_3, t_4 energia potencjalna zmieniała się w kinetyczną, a w których – kinetyczna w potencjalną.



4. Wagonik porusza się bez tarcia w poziomie, wprawiany w ruch drgający przez sprężynę. Odpowiedz na pytania.
a) W jakim położeniu jego energia kinetyczna jest maksymalna, a w jakim – minimalna?
b) W jakim położeniu energia potencjalna sprężystości jest maksymalna, a w jakim – minimalna?

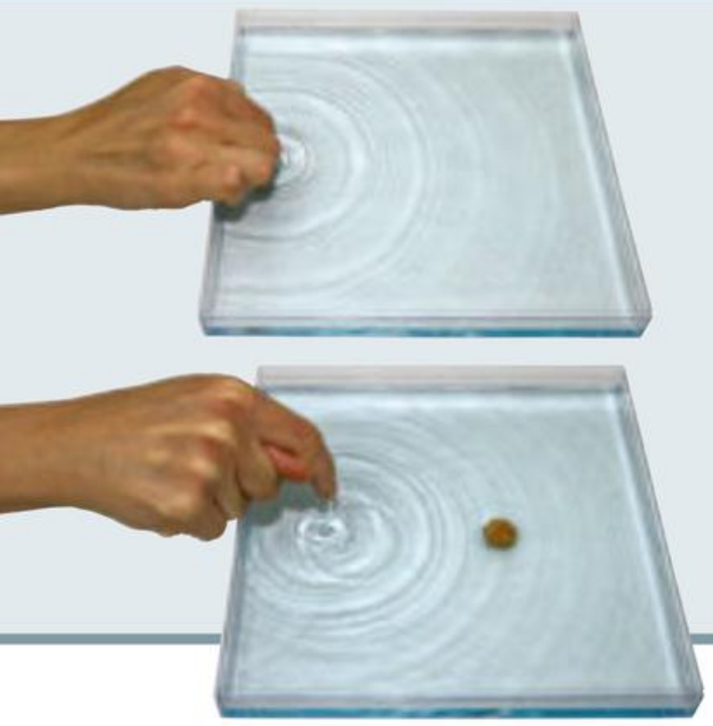
5. Załóżmy, że wagonik z zadania 4. ma masę 0,2 kg, a przez położenie równowagi przechodzi z prędkością $2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
a) Oblicz jego energię kinetyczną w położeniu równowagi.
b) Oblicz energię potencjalną sprężystości, która jest zmagazynowana w sprężynie w chwili największego rozciągnięcia.
c) Oblicz pracę, jaką wykonuje samochodzik, rozciągając sprężynę od położenia równowagi do maksymalnego rozciągnięcia.
d) Oblicz pracę, jaką wykonuje sprężyna, rozpędzając samochodzik od zera do maksymalnej prędkości.



21 Fale

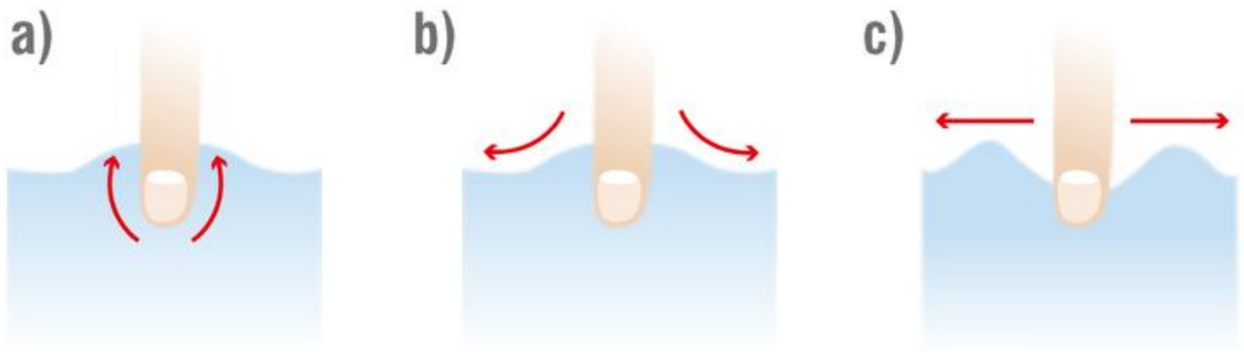
Słowo „fala” kojarzy ci się z pewnością z falami na wodzie. Od takich fal zaczniemy nasze rozważania. Na kolejnych lekcjach przekonasz się, że dźwięk i światło to także przykłady fal.

Doświadczenie



1. Do głębokiego naczynia (np. talerza lub garnka o białym dnie) nalej wody. Postaw naczynie pod lampą świecącą z góry.
2. Przekonaj się, że uderzając lekko w powierzchnię wody, wytwarzasz fale, których cień możesz obserwować na dnie naczynia.
3. Obserwuj, jak fale odbijają się od brzegów naczynia.
4. Połóż na powierzchni wody okruszek korka lub styropianu. Obserwuj, jak się zachowuje, gdy przez miejsce, w którym się znajduje, przechodzi fala.

Rozchodzenie się fal na powierzchni wody obserwujemy na co dzień. Doświadczenie opisane wyżej pozwala zrozumieć, na czym to zjawisko polega.

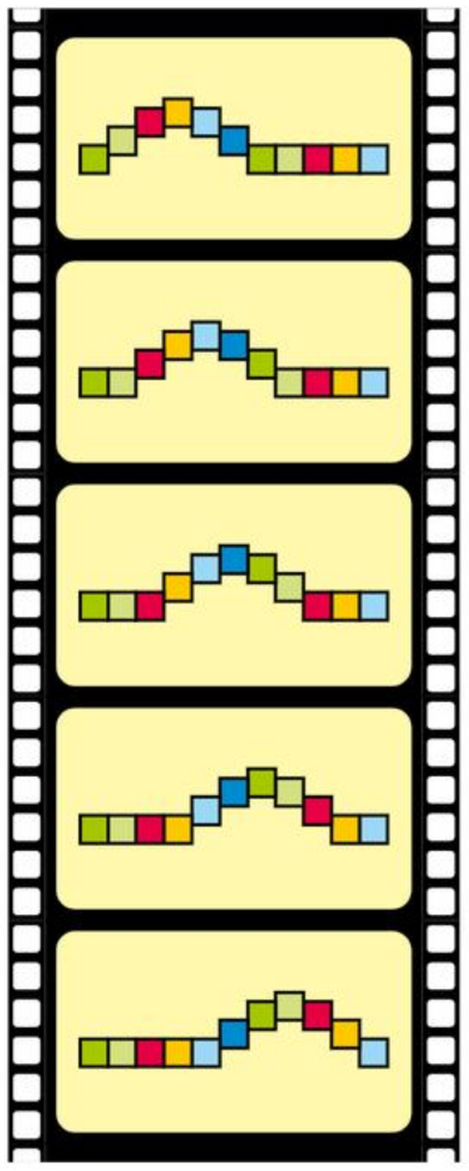


Gdy zanurzasz palec w wodzie, zajmuje on miejsce, w którym wcześniej znajdowała się pewna ilość wody. Ta woda zostaje odsunięta na bok (rys. a), a wokół palca tworzy się „górka” wody. Pod wpływem siły ciężkości woda spływa z tej „górki” (rys. b).

Jednak ten ruch nie kończy się wyrównaniem poziomów, gdyż woda ma pewną bezwładność. „Górka" wody powstaje tuż obok palca, ale woda spływa z niej jeszcze dalej. W ten sposób górka, zwana **grzbietem fali**, przemieszcza się po powierzchni wody.

Ruch fali a ruch cząsteczek

W doświadczeniu zaobserwowałeś, że woda nie podąża za falą, ale porusza się ruchem drgającym. Woda drga głównie w górę i w dół, a jeśli porusza się także w poziomie, to jest to ruch drgający (tam i z powrotem), a nie ruch „razem z falą".
Schemat rozchodzenia się fali został przedstawiony na „filmie" obok. Każdy z kolorowych kwadratów, na które została podzielona powierzchnia wody, porusza się tylko w górę i w dół, ale fala porusza się od lewej do prawej.



Fala biegnie w prawą stronę, choć każdy z kwadratów porusza się tylko w górę i w dół.

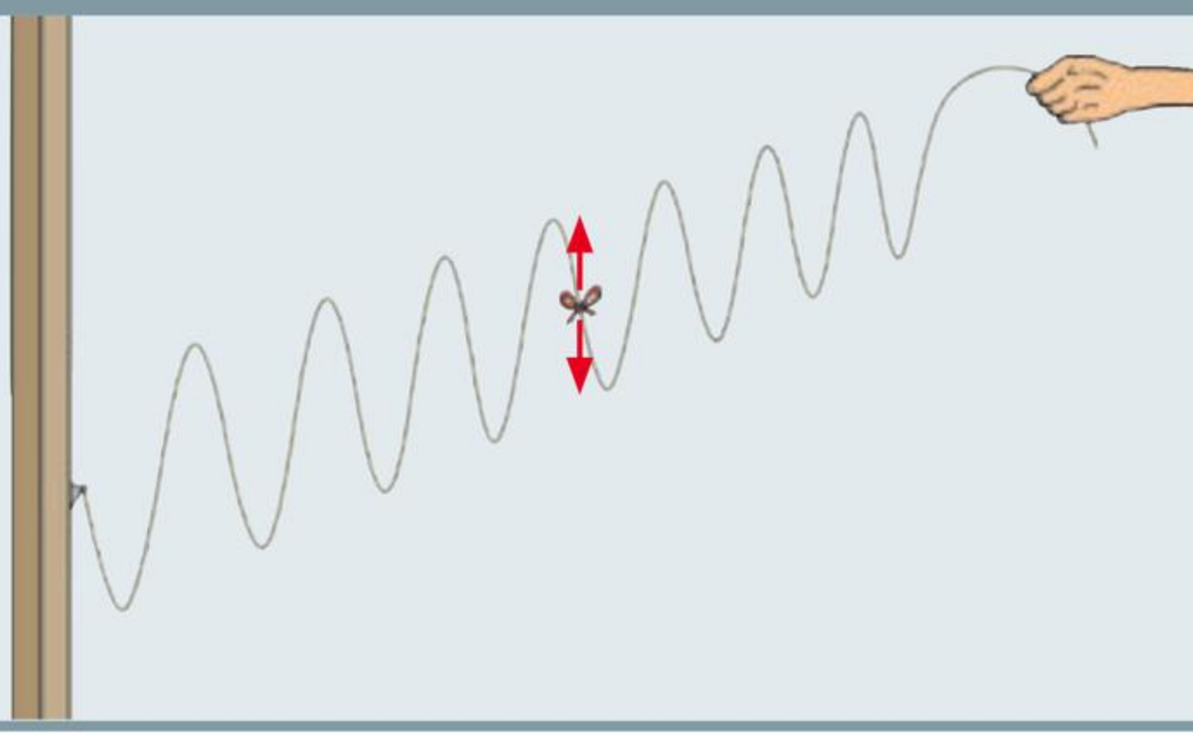
Fale mogą się rozchodzić na duże odległości, choć falująca woda drga tylko wokół pewnego położenia.

Tylko tuż przy morskim brzegu woda porusza się głównie w poziomie. Być może właśnie na podstawie obserwacji prowadzonych z plaży niektórzy obserwatorzy dochodzą do błędnych wniosków dotyczących fal.

Fala na sznurze

Doświadczenie

1. Przywiąż do słupka lub do stołu jeden koniec sznura. Pośrodku sznura przywiąż kokardkę.
2. Chwyć drugi koniec sznura, napnij sznur, a następnie poruszaj dłonią w górę i w dół.
3. Machając wolnym końcem sznura, możesz wytworzyć na sznurze falę.



Jak powstaje i jak się przenosi fala obserwowana w doświadczeniu? Sznur można umownie podzielić na krótkie odcinki. Pociągasz jeden z nich. Ten odcinek pociąga za sobą następny, a ten następny itd. W ten sposób coraz dalsze odcinki sznura naśladują ruch twojej ręki. Ponieważ jednak rozpędzenie kawałka sznura wymaga czasu – ma on przecież bezwładność – fala nie przenosi się na sznurze natychmiast, ale z niewielką prędkością.
Fala porusza się wzdłuż sznura, jednak kokardka porusza się w górę i w dół, ciągle pozostając pośrodku sznura.

Ciekawostka

Fale sejsmiczne, czyli rozchodzenie się drgań skorupy ziemskiej, obserwujemy jako trzęsienia ziemi. Te fale niosą olbrzymią energię – nawet 10^{17} J. Nic dziwnego, że trzęsienia ziemi mogą mieć katastrofalne skutki.



Skutki trzęsienia ziemi.

Fale a drgania

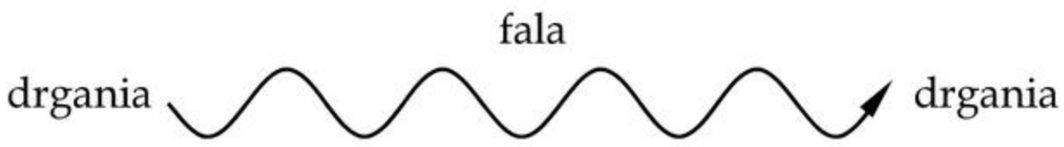
Doświadczenia wykonywane na tej lekcji pozwalają zauważyć związek między falą a drganiami. Źródłem fali są zawsze drgające ciała, np. palec uderzający w powierzchnię wody, ręka poruszająca końcem sznura.

Fale to rozchodzenie się drgań pewnego ośrodka (np. powierzchni wody, sznurka).

Fala może też spowodować drgania innych ciał (korka na wodzie, kokardki). Z drganiami, jak z każdym ruchem, związana jest pewna energia.

Wszystkie fale przenoszą energię.

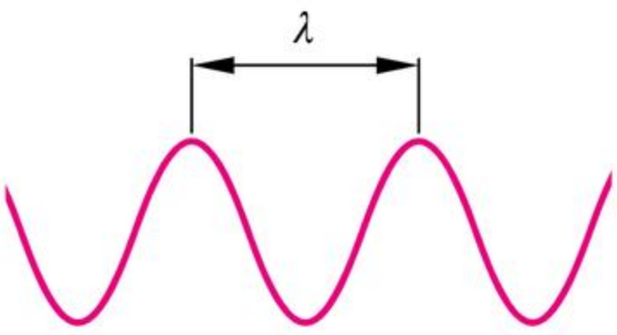
Podsumowaniem powyższych rozważań jest schemat.



Wraz z falą jest przenoszona energia – od źródła fali do ciała, które wprawia ona w ruch.

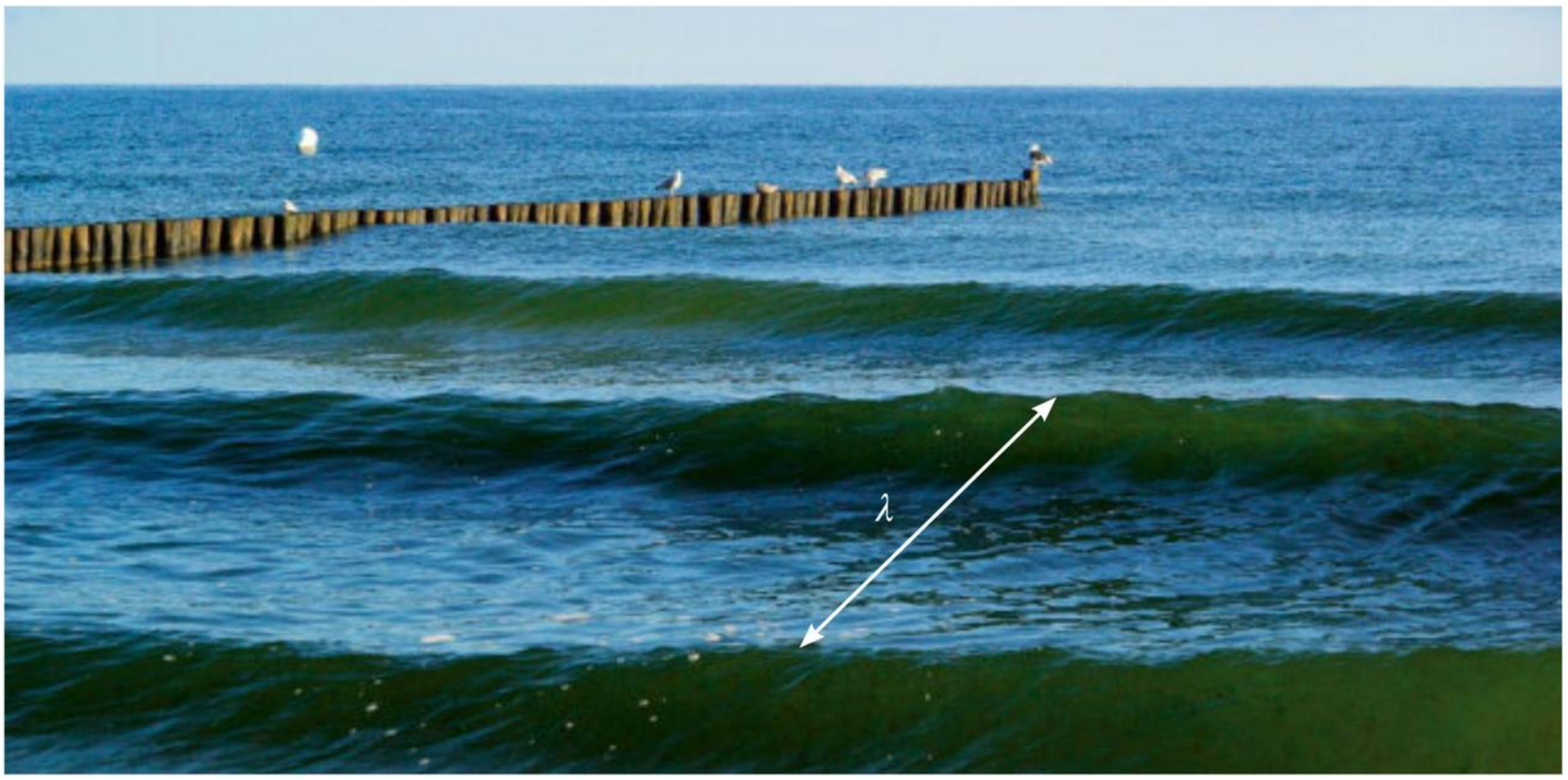
Długość fali

Na schematycznym rysunku obok przedstawiono falę widzianą z boku. Zaznaczona odległość to **długość fali**.



Długość fali to odległość między jej sąsiednimi grzbietami (dolinami).

Długość fali oznaczamy małą grecką literą λ (lambda) i wyrażamy, jak każdą długość, w metrach.



Częstotliwość, okres i amplituda fali

Wiesz już, co to jest długość fali. Wprowadzimy teraz inne wielkości charakteryzujące falę.

Załóżmy, że w doświadczeniu z falą na sznurze (s. 123) poruszasz ręką 2 razy na sekundę. Okres drgań ręki wynosi więc $\frac{1}{2}$ s, a częstotliwość 2 Hz. Gdy wzdłuż sznura rozchodzi się fala, każde miejsce na sznurze (np. oznaczone kokardką) także drga z okresem $\frac{1}{2}$ s i częstotliwością 2 Hz. Możemy więc powiedzieć, że **okres fali** wynosi $\frac{1}{2}$ s, a **częstotliwość fali** to 2 Hz.

Również amplituda drgań sznura w różnych punktach jest taka sama (pomijamy opory ruchu). Nazywamy ją **amplitudą fali**.

Częstotliwością fali nazywamy częstotliwość drgań cząsteczek ośrodka. Analogicznie określamy okres i amplitudę fali.

W czasie równym jednemu okresowi T fala przebywa drogę równą długości fali λ. Wiedząc to, możemy obliczyć prędkość fali. Korzystamy ze wzoru: $v = \frac{s}{t}$, pamiętając, że w czasie $t = T$ fala przebywa drogę $s = \lambda$.

Prędkość fali możemy obliczyć, dzieląc jej długość przez jej okres.

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

Przykład. Poruszając końcem sznura z częstotliwością 2 Hz, wytworzono na sznurze falę rozchodzącą się z prędkością $0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Oblicz długość tej fali.

Dane:
$f = 2$ Hz
$v = 0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Szukane:
$\lambda = ?$ – długość fali

Częstotliwość fali wynosi $f = 2$ Hz. Oznacza to, że na 1 s przypadają 2 okresy drgań. Wobec tego okres fali wynosi:

$$T = \frac{1}{2}\text{s}$$

Prędkość fali wynosi:

$$v = 0{,}2\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Oznacza to, że w ciągu 1 s fala przebywa 0,2 m. W ciągu $\frac{1}{2}$ s fala przebywa zatem drogę:

$$s = \frac{1}{2} \cdot 0{,}2\ \text{m} = 0{,}1\ \text{m} = 10\ \text{cm}$$

Ta droga równa jest długości fali.

Odpowiedź: Długość fali wynosi 10 cm.

Ciekawostka

Afrykańskie żaby platany dzięki falom na wodzie orientują się, że do wody wpadł owad, który może stanowić pożywienie. Naukowcy postanowili wytresować żaby i dawali im pożywienie tylko przy falach o określonej częstotliwości. Po kilku dniach nauki płazy zaczęły ignorować pozostałe fale. Odróżniały nawet częstotliwość 18 Hz od 20 Hz.



Afrykańska żaba platana.

Podsumowanie

- Fala to rozchodzenie się drgań. Okresem, częstotliwością i amplitudą fali nazywamy odpowiednio okres, częstotliwość i amplitudę tych drgań.
- Ruch fali trzeba odróżniać od ruchu cząsteczek. Cząsteczki poruszają się ruchem drgającym (tam i z powrotem), a fala rozchodzi się na duże odległości.
- Długość fali to odległość między jej sąsiednimi grzbietami („górkami").
- W czasie równym okresowi T fala przebywa drogę równą swojej długości λ. Pozwala to obliczyć jej prędkość: $v = \frac{\lambda}{T}$.
- Wszystkie fale przenoszą energię.

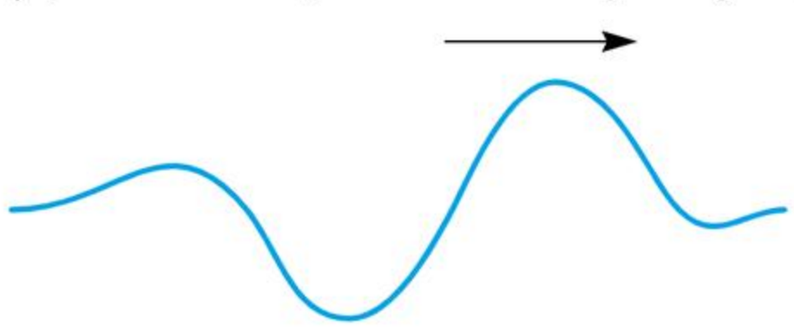
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Na rysunku (w skali 1:10) przedstawiono falę na wodzie. Określ jej długość i amplitudę.



2. Na wodzie fala rozchodzi się zgodnie ze wskazaniem strzałki. Przerysuj ilustrację do zeszytu i narysuj małe strzałki przedstawiające ruch cząsteczek wody w górę i w dół.



3. Zboże na polu faluje pod wpływem wiatru. Żaden kłos nie odrywa się od łodygi i nie przesuwa się na drugi koniec pola. Oceń, czy poprawne jest stwierdzenie, że fala porusza się przez całą długość pola.

4. Uderzając w powierzchnię głębokiej wody 20 razy na minutę, wytwarzamy falę o długości 14 m. Oblicz prędkość, z jaką rozchodzi się ta fala. Jaka jest jej częstotliwość?

5. Aby wyjaśnić różnicę między ruchem fali a ruchem falujących cząsteczek, fizycy używają porównania: „Plotka rozchodzi się szybko po całym mieście, nawet jeżeli każda plotkarka kontaktuje się tylko z sąsiadkami". Wyjaśnij dokładniej, na czym polega podobieństwo tych sytuacji.

6. Przeczytaj ciekawostkę w ramce. Wiedząc, że fala wywołana przez tupiącego nartnika rozchodzi się z prędkością 35 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$, oblicz jej długość. Narysuj w zeszycie linię przedstawiającą tę falę w skali 10:1. Przyjmij amplitudę fali równą 1 mm.

O nartniku, małym owadzie, który potrafi chodzić po wodzie, wspominaliśmy w siódmej klasie. Samiec nartnika może nie tylko chodzić, ale i tupać, i to z określoną częstotliwością: 90 Hz. W ten sposób przywołuje samice, które odróżniają fale o tej częstotliwości od innych, wywoływanych np. przez spadające do wody liście.





22 Dźwięk

Na poprzedniej lekcji zajmowaliśmy się falami, które można zobaczyć gołym okiem. Okazuje się, że również dźwięk to fala. Nie można jej zobaczyć, ale można ją usłyszeć.

Doświadczenie

1. Przyłóż kawałek folii aluminiowej do ust (zasłoń nim usta).
2. Powiedz „uuuuuuu". Zwróć uwagę na to, jak drga folia.
3. Odłóż folię i przyłóż dłoń do krtani.
4. Powiedz „uuuu". Zwróć uwagę na drgania krtani.

Dźwięk to fala, czyli rozchodzenie się drgań cząsteczek powietrza (lub innego ośrodka).

Każde poruszające się ciało porusza przed sobą powietrze, powodując jego zagęszczenie. Z tyłu za ciałem pozostaje puste miejsce, które oczywiście natychmiast jest zajmowane przez znajdujące się w pobliżu cząsteczki powietrza. Powoduje to rozrzedzenie powietrza za ciałem.



Poruszające się ciało wywołuje ruch powietrza.

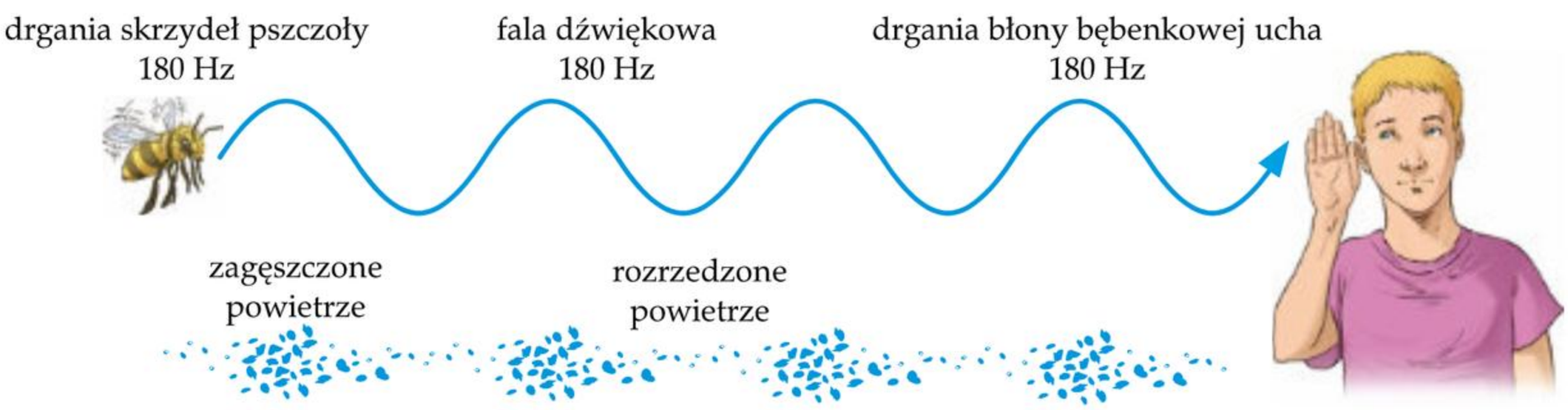
Gdy ciało drga (porusza się raz w jedną, raz w drugą stronę), powietrze wokół niego na przemian zagęszcza się i rozrzedza. Zagęszczone powietrze rozpręża się, co powoduje zagęszczenie sąsiedniej „porcji" powietrza. W ten oto sposób zagęszczenia

i rozrzedzenia powietrza rozchodzą się na duże odległości. Tak powstaje fala dźwiękowa, czyli dźwięk.

Źródłem fali dźwiękowej jest drgające ciało, np. struna fortepianu, membrana głośnika, struna głosowa człowieka.

Gdy fala dźwiękowa dociera do ucha, poruszające się cząsteczki wprawiają w ruch jego membranę (błonę bębenkową) i uruchamiają mechanizm zamieniający drgania na impulsy elektryczne kierowane do mózgu.

Warto przypomnieć schemat z poprzedniej lekcji, uzupełniając go nowymi elementami.



Jak zobaczyć dźwięk

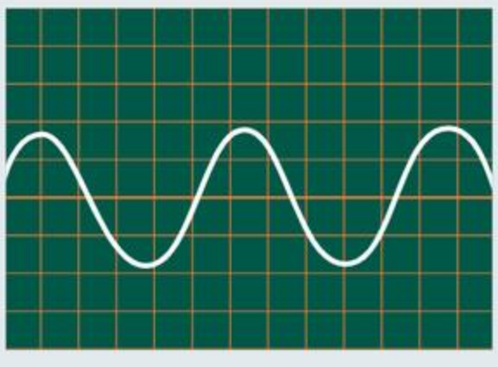
Dźwięk możemy zilustrować na wykresie, przedstawiając zmiany stopnia zagęszczenia powietrza w czasie.

W praktyce, aby uzyskać wykres dźwięku, możemy podłączyć mikrofon do przyrządu zwanego oscyloskopem lub do komputera z odpowiednim oprogramowaniem. Mikrofon przetwarza drgania powietrza na zmienne napięcie elektryczne, a wówczas na ekranie możemy obserwować wykres dźwięku.

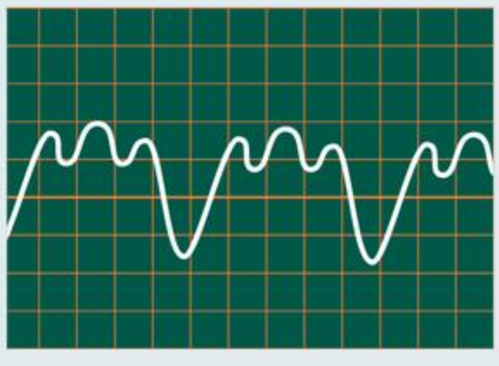
Dźwięki muzyczne są bardziej regularne niż hałas (patrz rysunki u dołu strony). Teraz możesz to nie tylko usłyszeć, ale i zobaczyć.

Doświadczenie

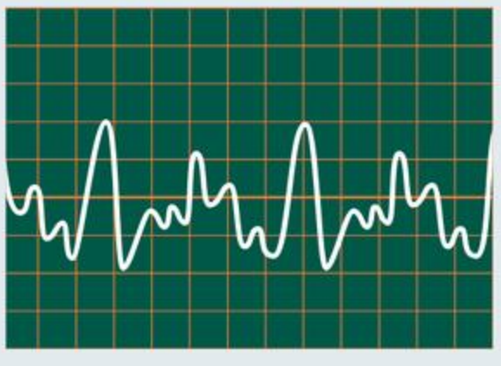
Zainstaluj na komputerze program pozwalający oglądać wykresy dźwięku. Takie programy (także bezpłatne) można znaleźć w internecie (np. Oscilloscope 2.51). Obejrzyj wykresy różnego rodzaju dźwięków: głosu ludzkiego, fletu, gitary, kamertonu (patrz zdjęcie na s. 129), szelestu, huku itp. Porównaj otrzymane wykresy z ilustracjami poniżej.



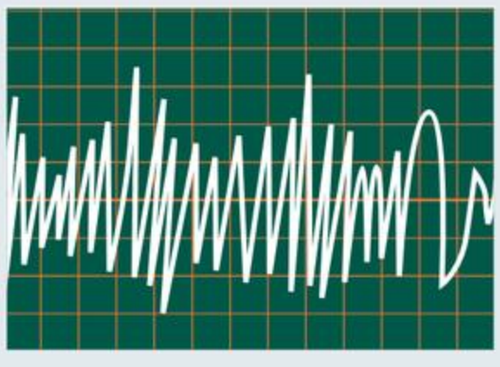
Dźwięk kamertonu.



Dźwięk fletu.



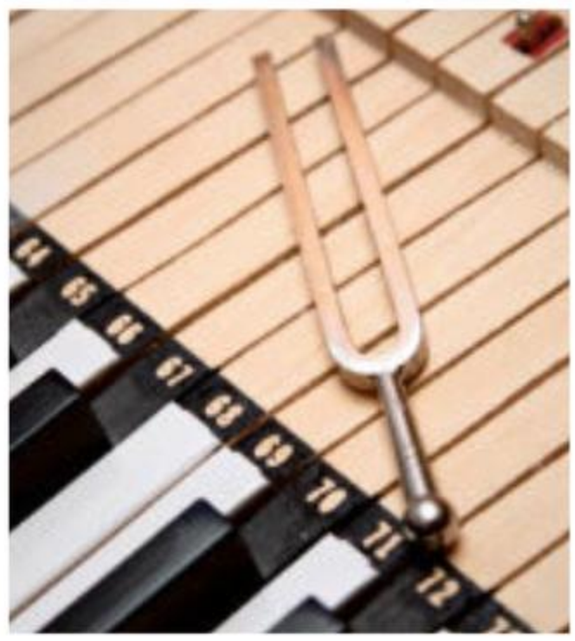
Dźwięk głoski „a".



Hałas.

Rozchodzenie się dźwięku a ruch powietrza

Jak pamiętasz, fala na wodzie może rozchodzić się na duże odległości, choć woda drga tylko wokół pewnego położenia. Rozchodzenie się fali na wodzie **nie polega** na przemieszczaniu jakiejś porcji wody na jej powierzchni.
Podobnie jest z dźwiękiem.



Kamerton służy do strojenia instrumentów muzycznych.

Dźwięk może rozchodzić się na duże odległości, choć powietrze tylko drga.

Warto jeszcze raz podkreślić, że rozchodzenie się dźwięku nie polega na przenoszeniu się powietrza np. od fortepianu do słuchacza. Jest to wyraźniej widoczne w przypadku dźwięku rozchodzącego się w stalowej szynie. Dźwięk przenosi się z jednego jej końca do drugiego bardzo szybko, ale przecież nie przemieszcza się wraz z nim żaden kawałek szyny!
Także w pierwszym doświadczeniu powietrze praktycznie nie wydostawało się z ust zasłoniętych folią, ale dźwięk było słychać. Powietrze drgające za zasłoniętymi ustami wprawiało w drgania folię, która następnie powodowała drgania powietrza na zewnątrz.

Prędkość dźwięku

W powietrzu dźwięk rozchodzi się z prędkością około 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, w wodzie – około 1500 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a w stali – około 6000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Prędkość rozchodzenia się dźwięku zależy od ośrodka, w którym się on rozchodzi.

Prędkości dźwięku w powietrzu nie należy mylić z dwiema innymi prędkościami:

- prędkością wiatru (uporządkowanego ruchu dużej ilości powietrza), która jest znacznie mniejsza, nawet w czasie huraganu nie przekracza 40 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$;
- prędkością chaotycznego ruchu cząsteczek powietrza (związanego z temperaturą), która jest większa – w temperaturze pokojowej wynosi około 500 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Podsumowanie

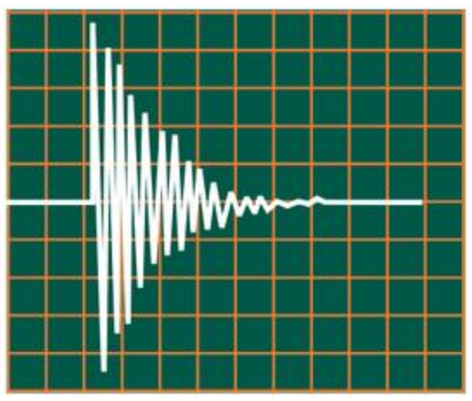
- Dźwięk jest falą, podobnie jak fale na wodzie czy na sznurze.
- Dźwięk wywoływany jest przez drgające ciało, które wprawia w drgania cząsteczki powietrza (albo innego ośrodka, w którym dźwięk się rozchodzi). Powietrze w pobliżu źródła dźwięku przekazuje drgania dalej z taką samą częstotliwością.
- Dźwięk może się rozchodzić na duże odległości, choć powietrze tylko drga. Rozchodzenie się dźwięku nie polega więc na przemieszczaniu się powietrza od źródła do słuchacza.
- Prędkość rozchodzenia się dźwięku zależy od ośrodka, w którym się on rozchodzi.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

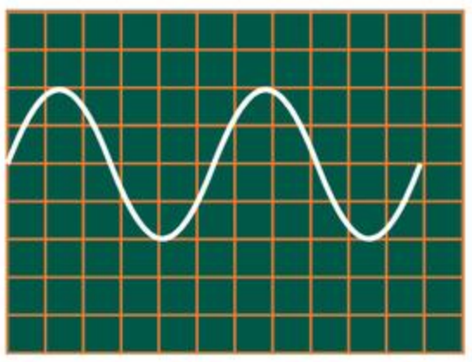
1. Dopasuj wykresy dźwięków na ekranie oscyloskopu do opisów.

A.



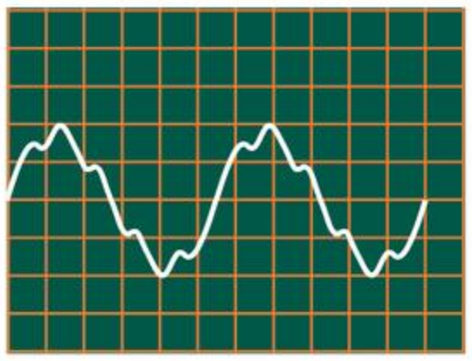
I. dźwięk skrzypiec

B.



II. klaśnięcie w dłonie

C.



III. dźwięk kamertonu

2. Wyjaśnij, czy dźwięk może się rozchodzić w próżni.

3. Wyjaśnij, jak to możliwe, że w zamkniętym pokoju słyszymy dźwięki z zewnątrz, choć drgające powietrze nie mogło się do pokoju przedostać.

4. Oblicz czas, w jakim dźwięk przebędzie odległość 1 km:
a) w powietrzu, **b)** w wodzie, **c)** w stali.

5. Oblicz drogę, jaką przebędzie dźwięk w ciągu 5 s:
a) w powietrzu, **b)** w wodzie, **c)** w stali.

6. Uzasadnij skuteczność metody opisanej w ramce.
Prędkość światła jest około 1 000 000 razy większa od prędkości dźwięku.

Aby zorientować się, w jakiej odległości od nas uderzył piorun, możemy zmierzyć czas między błyskawicą a grzmotem. Gdy ten czas wyrażony w sekundach podzielimy przez 3, otrzymamy przybliżoną odległość (w kilometrach).

Doświadczenie

Telefon bez drutu (ale z nitką)

1. Przygotuj dwa kubeczki po jogurcie.
2. W dnie każdego z nich zrób szpilką otwór.
3. Weź nitkę długości kilku metrów i każdy z jej końców przewlecz przez otwór do wnętrza jednego z kubeczków. Na końcu nitki przywiąż zapałkę.
4. Poproś o pomoc drugą osobę. Każde z was powinno chwycić jeden kubeczek za brzeg, tak aby sznurek był napięty.
5. Gdy jedno z was zbliży swój kubeczek do ucha, a drugie zacznie mówić do swojego kubeczka, urządzenie będzie przenosić dźwięk.
6. Opisz sposób przenoszenia się drgań w tym „telefonie". Dlaczego nitka musi być napięta?





23 Wysokość dźwięku

Doświadczenie

Ponownie skorzystajmy z komputera i programu do tworzenia wykresów dźwięku.
1. Porównaj wykresy otrzymane, gdy mówisz „uuuu...” raz cicho, a raz głośno.
2. Porównaj wykresy otrzymane, gdy mówisz raz niskim, a raz wysokim głosem.

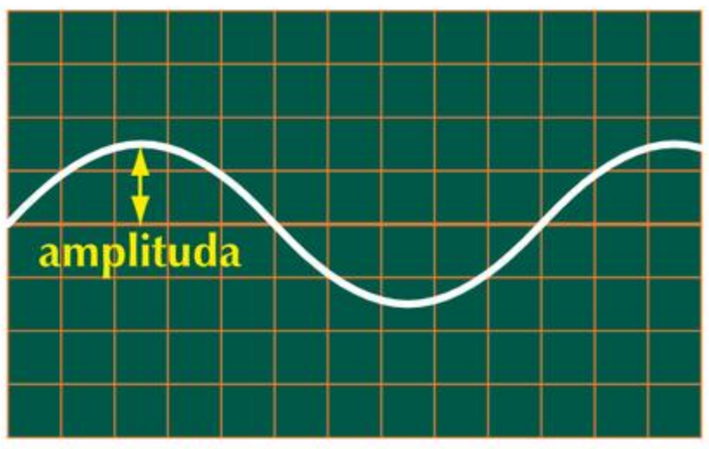
Dźwięki, z którymi mamy do czynienia na co dzień, możemy porównywać pod względem głośności i wysokości. Na ogół oceniamy je za pomocą zmysłu słuchu. Zbadajmy, jakim wielkościom fizycznym odpowiadają te odczucia.
Gdy mówisz głośniej, z wykresu można odczytać, że większa jest amplituda fal dźwiękowych. Fala o większej amplitudzie niesie też większą energię.

Głośniejszy dźwięk to fala o większej amplitudzie.

Dla dźwięku wyższego wykres jest bardziej zagęszczony. Oznacza to, że w jednostce czasu mieści się więcej drgań: okres jest krótszy, a częstotliwość – wyższa.

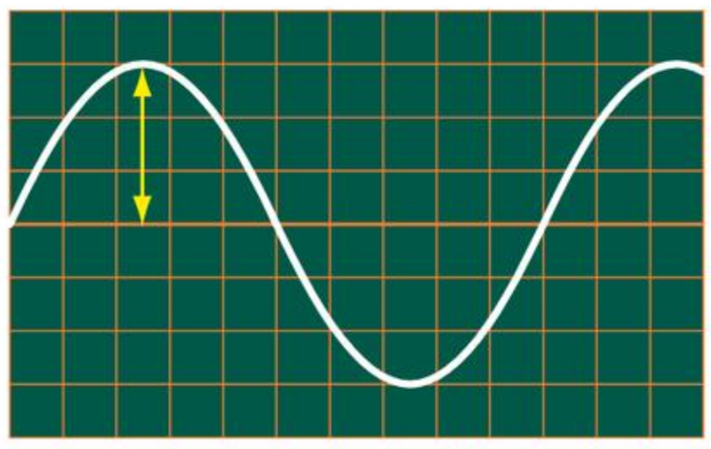
Wyższy dźwięk to fala o wyższej częstotliwości.

a)



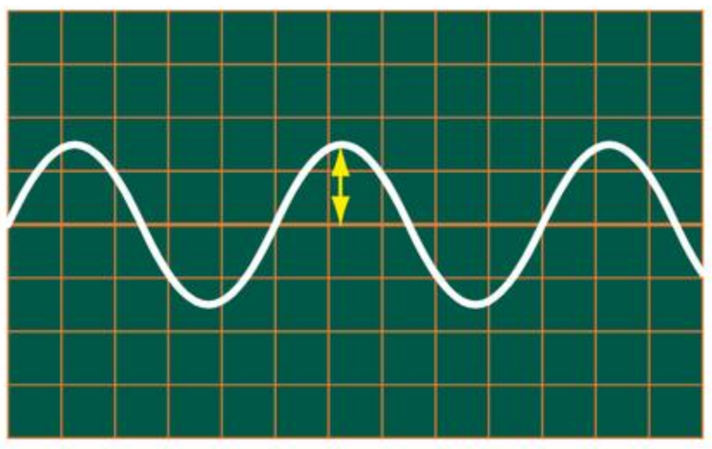
Wykres pewnego dźwięku na ekranie oscyloskopu.

b)



Wykres dźwięku głośniejszego niż w przykładzie a.

c)

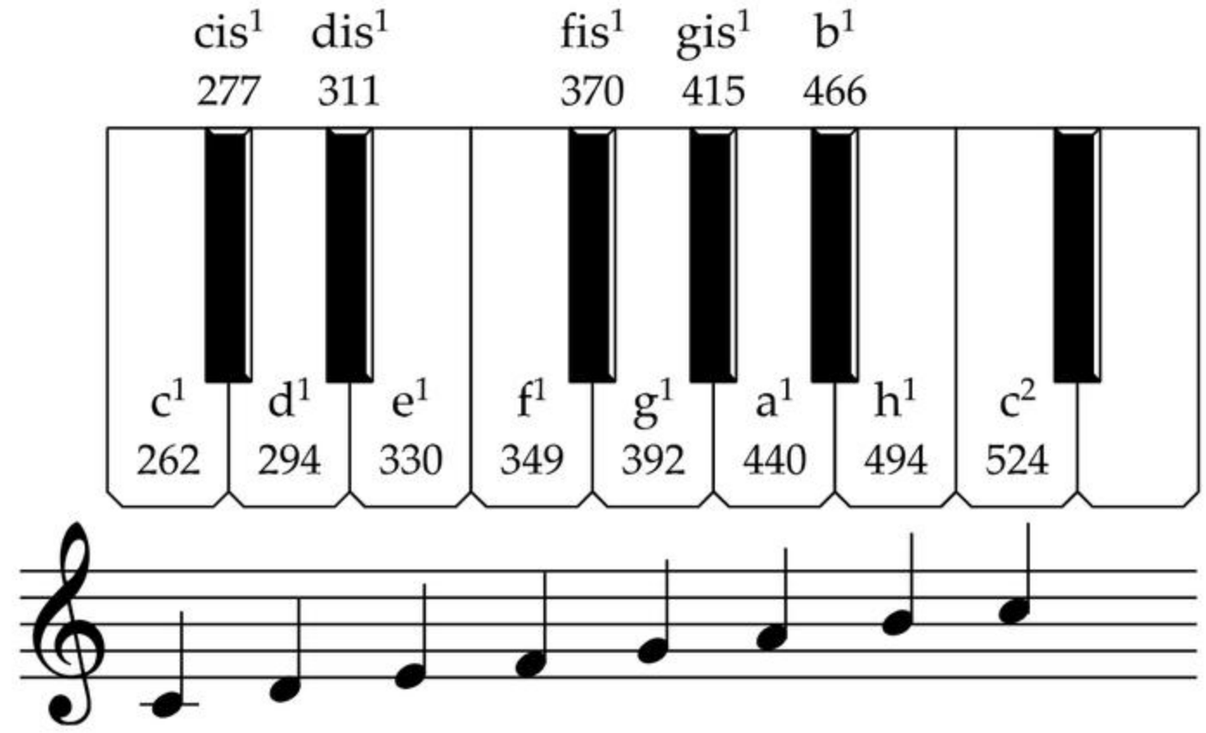


Wykres dźwięku wyższego niż w przykładzie a.

Ciekawostka

Dźwięk a^1 grany na skrzypcach i na fortepianie ma tę samą częstotliwość 440 Hz. Na czym więc polega różnica między nimi? Przecież każdy odróżni dźwięk tych instrumentów! Otóż dźwięk instrumentów składa się nie tylko z fali o podstawowej częstotliwości (440 Hz w wypadku dźwięku a^1), ale także z dodatkowych fal o innych częstotliwościach. Barwa dźwięku instrumentu zależy właśnie od tych „dodatków".

Rysunek przedstawia częstotliwość (w hercach) dźwięków oktawy razkreślnej, czyli tej, w której najczęściej śpiewamy.



Przykład. Jaka jest długość fali dźwiękowej tonu c^1?

Dźwięk ten ma częstotliwość $f = 262$ Hz.

Oznacza to, że jego okres wynosi $T = \frac{1}{262}\,\mathrm{s} \approx 0{,}0038$ s.

Dźwięk rozchodzi się z prędkością $v = 340\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$, więc w czasie $T = 0{,}038$ s przebiegnie drogę:

$$s = 340\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 0{,}038\ \mathrm{s} \approx 1{,}3\ \mathrm{m}$$

Ponieważ fala w czasie równym swojemu okresowi przebywa drogę równą swojej długości, więc obliczona wielkość to szukana długość fali dźwiękowej.

$$\lambda = 1{,}3\ \mathrm{m}$$

Odpowiedź: Długość fali tonu c^1 wynosi 1,3 m.

Ultradźwięki i infradźwięki

Zdrowy człowiek słyszy dźwięki o częstotliwości od około 20 Hz do około 16 kHz.

Ciekawostka

Wiele zwierząt słyszy znacznie wyższe dźwięki niż człowiek. Nietoperz słyszy dźwięki około 100 000 Hz (100 kHz), delfin – około 200 000 Hz (200 kHz). Słonie porozumiewają się za pomocą infradźwięków. Zaletą infradźwięków jest to, że łatwo rozchodzą się na duże odległości.

Dźwięki zbyt niskie, aby człowiek mógł je usłyszeć, nazywamy infradźwiękami, a zbyt wysokie – ultradźwiękami.

Zdolność słyszenia dźwięków zależy także od wieku. Dzieci zwykle słyszą wyższe dźwięki niż dorośli.

Echolokacja

Jeśli ciemną nocą znajdziesz się na otwartym polu i zechcesz się zorientować, jak daleko jest do lasu, możesz krzyknąć głośno i poczekać, po jakim czasie usłyszysz echo. Zorientujesz się także w przybliżeniu, z której strony znajduje się ściana lasu.

Orientację w przestrzeni za pomocą fal dźwiękowych nazywamy echolokacją.



Nietoperz po udanym polowaniu.

Okazuje się (wyjaśnimy to dokładniej na s. 149), że do precyzyjnej echolokacji najlepiej nadają się ultradźwięki.

Echolokację wykorzystują nietoperze, aby po ciemku latać i polować na owady. Dźwięk odbity od przeszkody lub od owada jest rejestrowany przez wielkie uszy zwierzęcia i pozwala mu łatwo zlokalizować ofiarę.

Mniej znany jest fakt, że echolokację stosują niektóre ryjówki.

W wodzie podobną metodą posługują się wieloryby i morświny, szukając ryb, a także... ludzie. Ludzie jednak muszą używać specjalnego urządzenia – sonaru. Stosuje się go do badania głębokości morza, wykrywania podwodnych skał, ławic ryb, a także okrętów podwodnych.

Ultradźwięki pozwalają także „prześwietlić" ciało człowieka i obejrzeć jego narządy wewnętrzne lub dziecko rozwijające się w łonie matki. Ultrasonografia (USG) to podstawowe badanie wykonywane przy diagnozowaniu wielu chorób, a także w ciąży.



Wieloryb wykorzystuje echolokację do poszukiwania ryb.



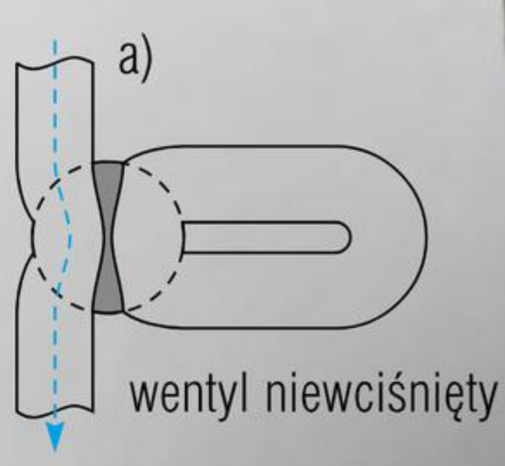
Obraz z badania USG.

Instrumenty muzyczne

Instrumenty muzyczne różnią się mechanizmem wytwarzania dźwięku.
Źródłem dźwięku zawsze jest drgające ciało.



Fortepian to instrument strunowy.
Jego struny uderzane są przez młoteczki uruchamiane za pomocą klawiszy.





We flecie drga tylko słup powietrza od ustnika do otwartego otworu.

W trąbce drga słup powietrza wprawiony w ruch drgający przez wargi trębacza. Choć słup powietrza jest „zwinięty w kłębek”, drga tak jak prosty słup o tej samej długości, np. we flecie.
Wentyle pozwalają regulować tę długość, puszczając powietrze krótszą (rys. a) lub dłuższą drogą (rys. b).

Dociskając strunę na progu, zmieniamy jej długość, a tym samym częstotliwość drgań.

Szarpiąc strunę, wprawiamy ją w drgania. Struna wprowadza w drgania pudło rezonansowe.

Pudło rezonansowe przejmuje drgania strun i wprawia powietrze w ruch. O brzmieniu gitary decydują kształt i budowa pudła, drewno, z jakiego zostało wykonane, a nawet klej i lakier.



Membrana bębna – w odróżnieniu od struny czy słupa powietrza – jest dwuwymiarowa, a jej drgania są tak skomplikowane, że nie możemy przypisać im określonej częstotliwości. W zapisie nutowym dla bębna podajemy tylko rytm.

Podsumowanie

- Falę dźwiękową o wyższej częstotliwości słyszymy jako wyższy dźwięk. Falę o większej amplitudzie słyszymy jako dźwięk głośniejszy.
- Ucho ludzkie odbiera dźwięki o częstotliwości od około 20 Hz do około 16 kHz. Dźwięki poniżej tego zakresu nazywamy infradźwiękami, a powyżej – ultradźwiękami.
- Echolokacja to określanie położenia obiektów za pomocą fal dźwiękowych. Do tego celu najodpowiedniejsze są ultradźwięki.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

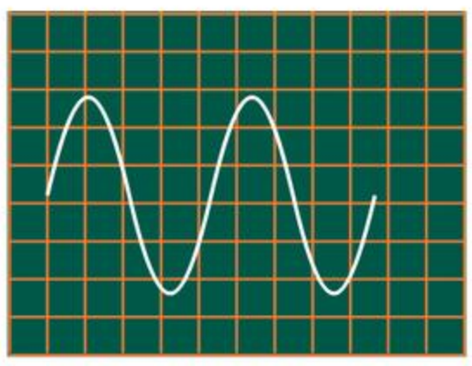
1. Podaj częstotliwość kolejnych dźwięków zapisanej melodii.



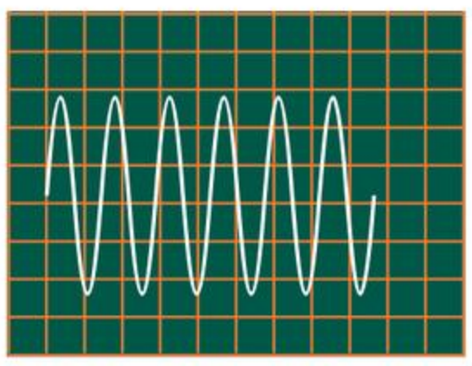
Czy wiesz, co to za melodia? Oblicz długość fali dla trzech różnych dźwięków.

2. Wskaż wykres, który przedstawia najwyższy dźwięk, oraz ten, który przedstawia dźwięk najgłośniejszy.

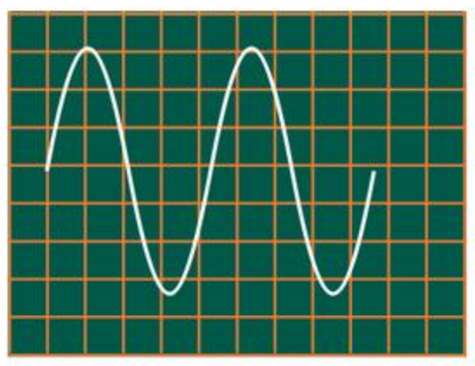
A.



B.



C.



3. Różne zwierzęta posługują się echolokacją, zarówno w powietrzu, jak i w wodzie.

a) Polujący nietoperz wytwarza fale dźwiękowe o długości 7 mm. Oblicz częstotliwość tego dźwięku.

b) Oblicz częstotliwość dźwięku wytwarzanego przez delfina, jeśli długość fali niosącej ten dźwięk w wodzie wynosi 1 cm.



4. Częstotliwość machania skrzydłami przez owada możemy ocenić, słuchając jego bzyczenia.

a) Gdy pszczoła wybiera się po nektar, macha skrzydłami 180 razy na sekundę. Gdy wraca do ula – aż 340 razy na sekundę. Kiedy jej bzyczenie jest wyższym dźwiękiem?

b) Wskaż, który z owadów macha skrzydłami z większą częstotliwością: komar czy trzmiel. Uzasadnij odpowiedź.

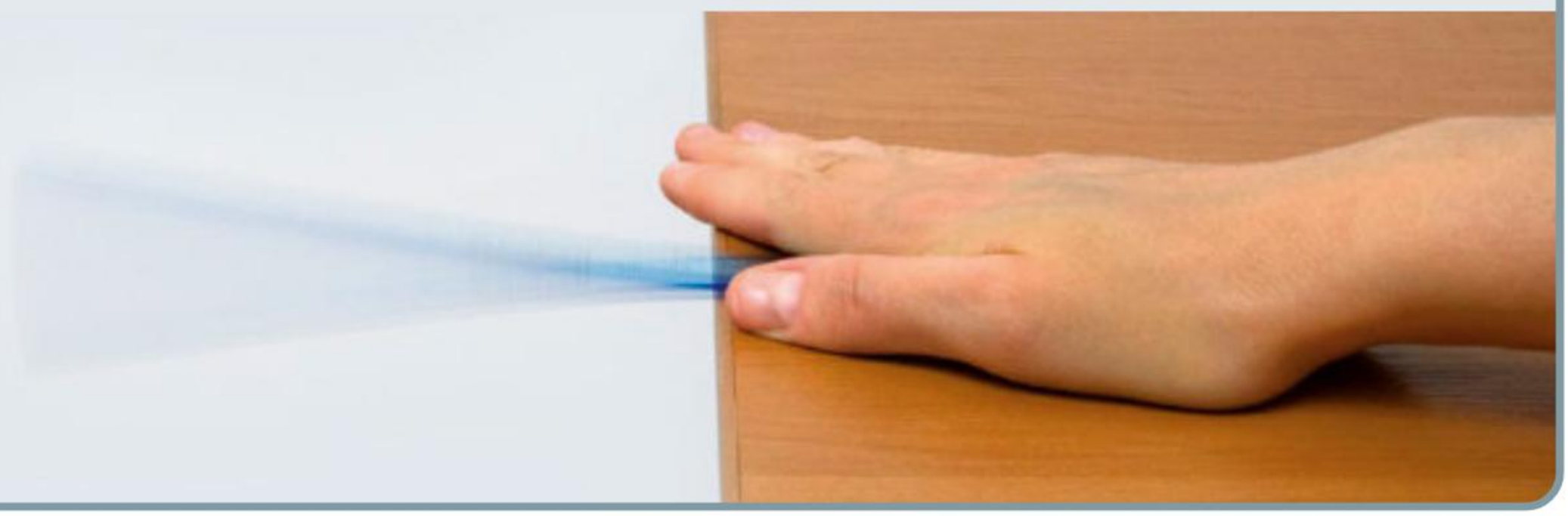
5. Kolejne dźwięki pewnej melodii mają częstotliwość: 392 Hz, 330 Hz, 330 Hz, 349 Hz, 294 Hz, 294 Hz, 262 Hz, 330 Hz, 392 Hz.
Zapisz symbole muzyczne (np. c^1) tych dźwięków. Czy wiesz, co to za melodia?

6. Gdy fala dźwiękowa przechodzi z powietrza do wody, jej częstotliwość się nie zmienia. Wyjaśnij, jak zmienia się długość fali: maleje czy rośnie. Odpowiedź zapisz w zeszycie.

Doświadczenie

Wytwarzanie dźwięku

1. Przygotuj dowolny instrument muzyczny oraz komputer z programem do rysowania wykresów dźwięku. Jeśli nie masz instrumentu, użyj linijki (patrz zdjęcie).
2. Wytwarzaj za pomocą instrumentu dźwięki o różnych częstotliwościach. Obserwuj ich wykresy.



Doświadczenie

Struna gitarowa

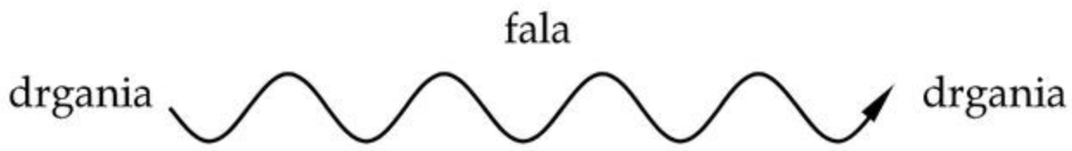
1. Sprawdź, jak wysokość dźwięku gitary zależy od długości struny. Aby skrócić strunę, naciśnij ją przy progu (patrz zdjęcie; struna powinna mocno opierać się o próg).
2. Dźwięki różniące się o oktawę różnią się częstotliwością dokładnie 2 razy. Aby z jednej struny gitary uzyskać dźwięki różniące się o oktawę (12 półtonów), trzeba nacisnąć strunę na 12. progu.
3. Sprawdź, jak brzmią te dźwięki.
4. Zmierz centymetrem, ile razy krótsza jest drgająca część struny naciśniętej na 12. progu od drgającej części swobodnej struny.





24 Fale elektromagnetyczne

Omawialiśmy już fale na wodzie, na sznurze oraz fale dźwiękowe. W każdym z tych przypadków fala powstawała dzięki drganiom jakiegoś ciała (palca, dłoni, strun głosowych) i rozchodziła się dzięki drganiom cząsteczek ośrodka (wody, sznura, powietrza). Takie fale mogą wywołać ruch innych ciał (np. łódki na wodzie, błony bębenkowej w uchu). Zależność między drganiami a falą ilustrowaliśmy za pomocą diagramu.



Ten sam diagram odnosi się do **fali elektromagnetycznej**. Taką falę wywołują drgania ładunków elektrycznych.

Drgania ładunków elektrycznych powodują powstawanie fali elektromagnetycznej. Taka fala może się rozchodzić także w próżni.

To duża różnica w stosunku do dźwięku, który nie może się rozchodzić w próżni.

Z historii



James Maxwell.

Czasami fizycy wyjaśniają zjawiska znane od dawna. Na przykład pioruny biły już miliony lat, zanim Benjamin Franklin wyjaśnił, na czym polega to zjawisko. Inaczej było z falami radiowymi. Początkowo nikt nie wiedział o ich istnieniu. W 1865 r. James Maxwell [czyt. dżejms maksłel] sformułował teorię podsumowującą znane fakty dotyczące elektryczności i magnetyzmu. Na jej podstawie wywnioskował, że fale elektromagnetyczne powinny istnieć. Dopiero wtedy inni uczeni spróbowali wytworzyć je w laboratorium. Dokonał tego Heinrich Hertz [czyt. hajnrich herc] w 1886 r. Po kolejnych 10 latach Guglielmo Marconi [czyt. gulielmo markoni] zbudował radio przekazujące sygnały alfabetem Morse'a. Później okazało się, że istnieją także naturalne fale radiowe, wytwarzane m.in. przez Słońce i inne gwiazdy.

Fale radiowe

Rysunek przedstawia ogólną zasadę działania radia, telewizji i telefonów komórkowych.



W antenie nadawczej płynie prąd przemienny. Oznacza to, że elektrony poruszają się ruchem drgającym. Ponieważ elektrony mają ładunek elektryczny, ich drgania powodują powstanie fali elektromagnetycznej, zwanej w tym przypadku falą radiową. Fala ta wywołuje drgania elektronów w antenie odbiorczej, czyli powstanie w antenie prądu przemiennego.

Jeśli zmienimy częstotliwość lub amplitudę prądu przemiennego w antenie nadawczej, to samo stanie się w antenie odbiorczej. W ten sposób możemy wykorzystywać fale elektromagnetyczne do przenoszenia informacji: dźwięku lub obrazu.

Obecnie najczęściej stosujemy fale ultrakrótkie (UKF) o częstotliwości około 100 MHz, gdyż pozwalają one nadawać dźwięk o najlepszej jakości. W jednym miejscu można zwykle odbierać wiele stacji radiowych i telewizyjnych. Każda z nich nadaje jednak fale o innej częstotliwości. Odbiornik radiowy jest tak skonstruowany, aby możliwy był wybór jednej częstotliwości. Służy do tego pokrętło lub przycisk „strojenie".

Mikrofale

Najkrótsze z fal radiowych to mikrofale. Używamy ich w telewizji i telefonach komórkowych. Innym ich zastosowaniem jest radar – urządzenie echolokacyjne, które wykorzystuje mikrofale zamiast fal dźwiękowych.

Na co dzień mikrofale wykorzystujemy także w kuchence mikrofalowej. Kuchenka wysyła mikrofale o dużej energii. Gdy umieszczona w niej potrawa pochłania te fale, wzrasta jej energia wewnętrzna, a więc i temperatura.

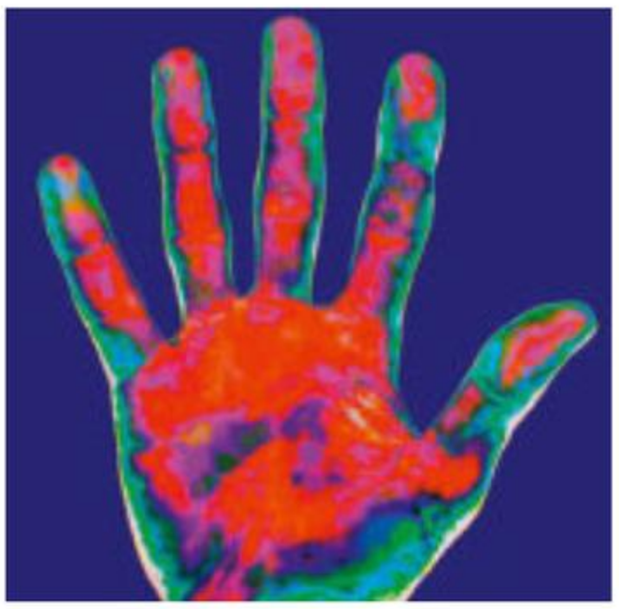


Radar.

Światło

Do fal elektromagnetycznych należy także „zwykłe" światło. Nazywamy je światłem widzialnym lub promieniowaniem widzialnym (każdą falę elektromagnetyczną można nazwać „promieniowaniem", słowo to nie jest zastrzeżone tylko dla fal szkodliwych dla zdrowia).

Fale świetlne mają miliony razy większą częstotliwość (i miliony razy mniejszą długość fali) niż fale radiowe. Różnym barwom światła odpowiadają różne częstotliwości fali. Światło białe to mieszanina fal o różnych barwach. O własnościach światła powiemy więcej w następnym rozdziale.



Dłoń w podczerwieni. Barwa czerwona oznacza cieplejsze miejsca.

Podczerwień

W klasie siódmej mówiliśmy o promieniowaniu cieplnym, które odczuwasz, zbliżając rękę do gorącego żelazka. To podczerwień – fale o nieco mniejszej częstotliwości niż światło widzialne. Podczerwieni nie widzimy gołym okiem. Kamera termowizyjna pozwala zobaczyć podczerwień emitowaną np. przez dłoń (patrz zdjęcie).

Promieniowanie ultrafioletowe (nadfioletowe)

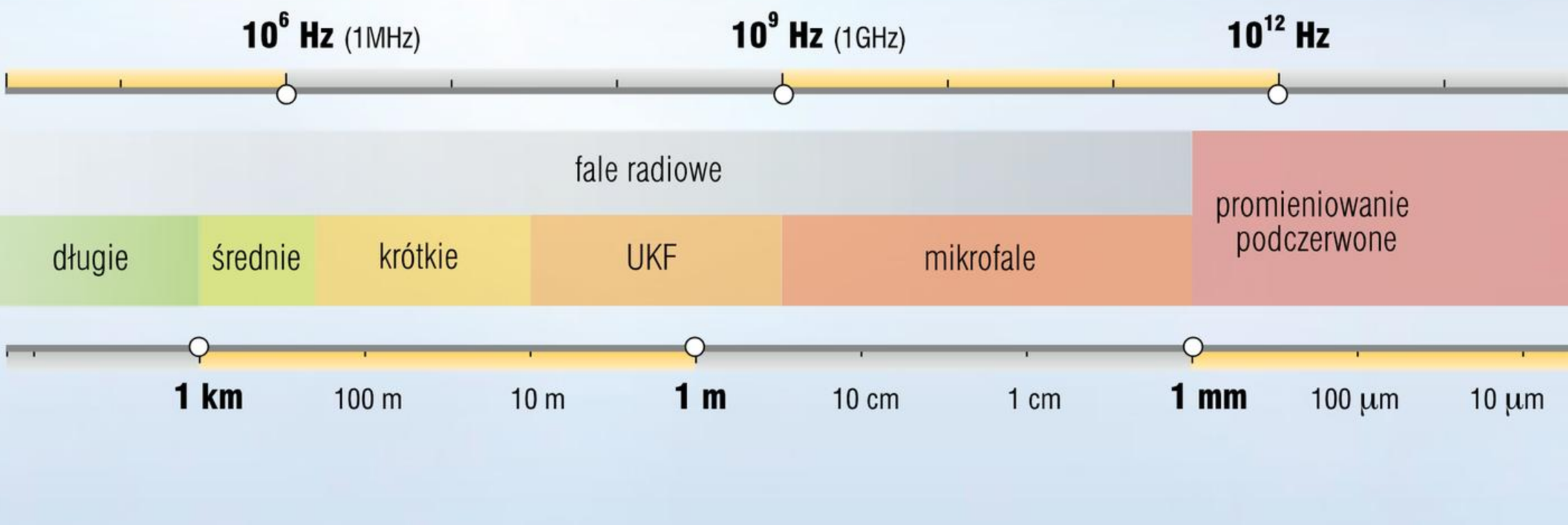
Tego rodzaju fal nie można zobaczyć. Powodują one opalanie skóry. Pamiętaj, że zbyt długie opalanie może się skończyć bolesnymi poparzeniami, a nawet chorobą nowotworową skóry!
Nadfiolet przenika częściowo przez chmury, ale nie przenika przez zwykłe szkło.

Ciekawostka

Granica między światłem widzialnym a innymi rodzajami fal elektromagnetycznych wynika z budowy oka ludzkiego, a nie z właściwości samych fal. Dla zwierząt zakres widzialny jest inny. Na przykład niektóre ptaki widzą nadfiolet, a niektóre węże wyczuwają podczerwień. Nie widzą jej jednak oczami, lecz wykrywają ją za pomocą odrębnych narządów.

Widmo fal elektromagnetycznych

Fale radiowe, światło czy promieniowanie rentgenowskie mają podobną naturę. Różnią się tylko częstotliwością i długością fali. Z tych różnic wynikają różnice w ich właściwościach.



Promieniowanie rentgenowskie (promieniowanie X)

Te fale są niewidzialne, ale można je zarejestrować za pomocą aparatu fotograficznego. Ponieważ bardzo słabo przenikają przez kości, a łatwiej – przez tkanki miękkie, używa się ich w medycynie m.in. do prześwietleń. W dużych ilościach są niebezpieczne dla zdrowia.



Pierwsze zdjęcie rentgenowskie wykonane w 1895 r.

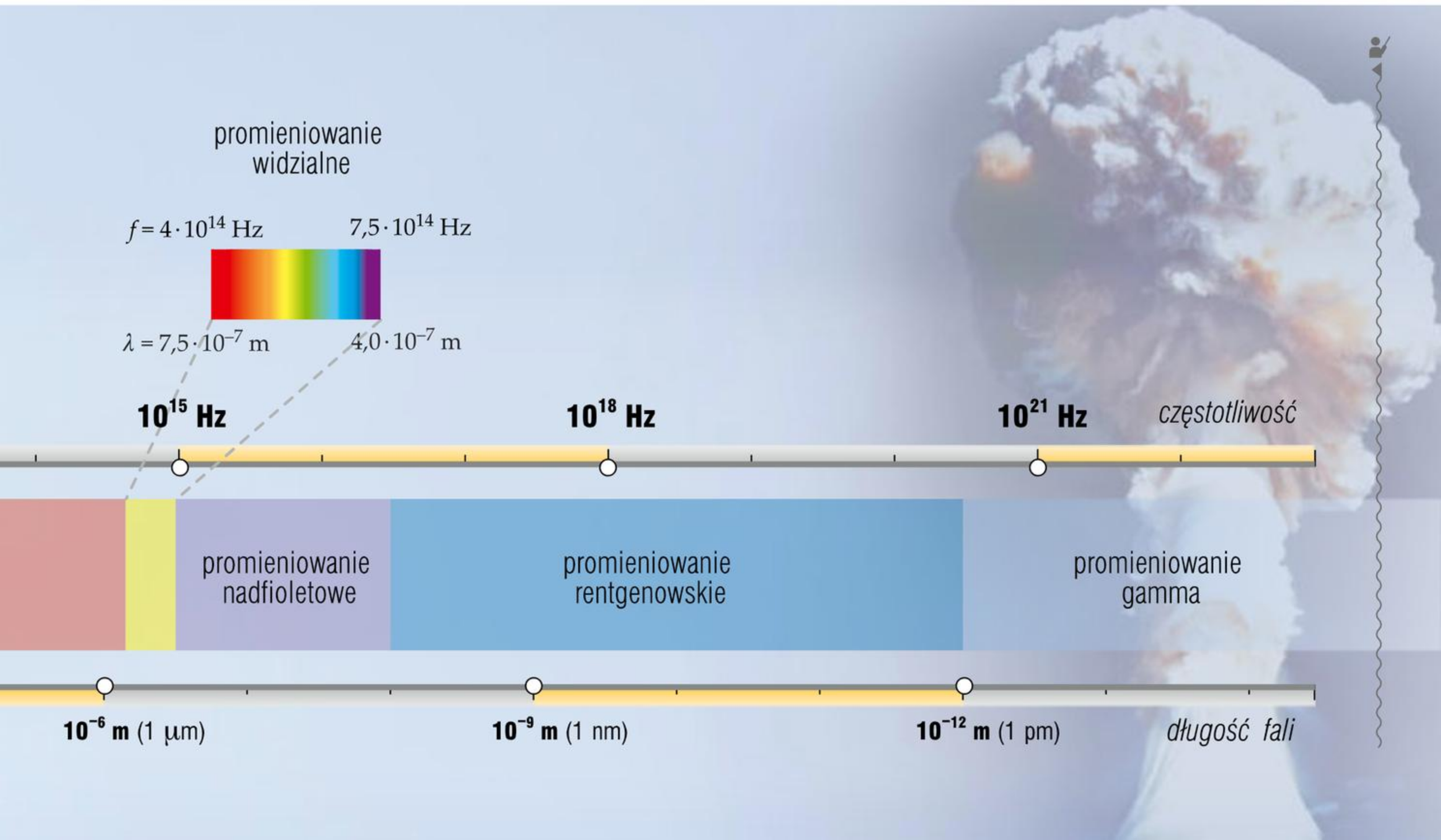
Promieniowanie gamma

To promieniowanie, najkrótsze spośród fal elektromagnetycznych, powstaje w reakcjach jądrowych. Jest bardzo niebezpieczne dla zdrowia. Bardzo trudno się przed nim uchronić – przenika nawet przez metal i beton.
Na szczęście na co dzień nie mamy z nim do czynienia w ilości, która mogłaby być szkodliwa.

Prędkość fal elektromagnetycznych

Fale elektromagnetyczne rozchodzą się z ogromną prędkością. W próżni wynosi ona (niezależnie od częstotliwości) około $300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$. W powietrzu jest minimalnie mniejsza.
Prędkość fal elektromagnetycznych w próżni nazywamy krótko **prędkością światła** i oznaczamy symbolem c. Jest to największa prędkość, z jaką można przesyłać informacje. Żadne ciało nie może przekroczyć, a nawet osiągnąć tej prędkości.

Prędkość światła w próżni $c \approx 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ to największa możliwa prędkość przesyłania informacji.



Podsumowanie

- Fale radiowe, mikrofale, podczerwień, światło widzialne, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie i promieniowanie gamma – wszystko to są fale elektromagnetyczne. Różnią się one częstotliwością i długością fali.
- Wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z jednakową prędkością (około 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$), a w powietrzu minimalnie wolniej.
- Prędkość światła w próżni to największa możliwa prędkość przesyłania informacji.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wyjaśnij, czy astronauci na Księżycu mogą się porozumiewać za pomocą głosu. Czy mogą porozumiewać się przez radio? Odpowiedź uzasadnij.

2. Wyjaśnij, czy można się opalić, gdy niebo jest zachmurzone. Czy można się opalić w domu? Odpowiedź uzasadnij.

3. Na podstawie ilustracji na s. 140–141 ustal, do jakiego rodzaju fal elektromagnetycznych należą fale o długości:
a) 100 m, **b)** 5 cm, **c)** 0,6 μm.

4. Jacek słucha koncertu w Filharmonii Bałtyckiej w Gdańsku, siedząc w ostatnim rzędzie. Placek siedzi w Zakopanem i słucha tego samego koncertu przez radio stojące tuż obok jego głowy. Oceń, który z nich pierwszy słyszy dźwięki muzyki. Odpowiedź uzasadnij.

5. Wyjaśnij, dlaczego dwie różne rozgłośnie radiowe w tym samym mieście nie mogą nadawać na tej samej częstotliwości.

6. Odległość między Ziemią a Księżycem wynosi 380 000 km. Oblicz czas, w jakim tę odległość pokona:
a) światło,
b) promieniowanie rentgenowskie,
c) fala radiowa o częstotliwości 100 MHz.

7. Program pewnej rozgłośni radiowej nadawany jest na falach o długości 1500 m. Oblicz częstotliwość tych fal.

8. Sprawdź, na jakiej częstotliwości nadaje twoja ulubiona stacja radiowa. Oblicz długość fali, na której nadaje.

Doświadczenie

Zapakowany telefon

1. Owiń starannie telefon komórkowy folią aluminiową i zadzwoń pod jego numer z innego telefonu.
2. Wypróbuj inne rodzaje osłony. Kiedy telefon traci zasięg?






25 Energia fal elektromagnetycznych

Wiesz już z klasy siódmej, że jednym ze sposobów przekazywania ciepła, oprócz przewodnictwa cieplnego i konwekcji, jest promieniowanie. Gdy w słoneczny dzień osłonisz się parasolem, odczujesz chłód, chociaż temperatura powietrza nie może zmniejszyć się tak nagle. Parasol chroni cię właśnie przed energią dostarczaną wprost ze Słońca przez promieniowanie.
Wrócimy do tego zagadnienia, ponieważ „promieniowanie cieplne" to również fale elektromagnetyczne.

Co to jest „promieniowanie cieplne"

Czasami termin „promieniowanie cieplne" jest stosowany jako nazwa podczerwieni. Nie jest to jednak określenie precyzyjne, ponieważ każda fala elektromagnetyczna niesie pewną energię i jeśli zostanie pochłonięta przez ciało, zwiększy jego energię wewnętrzną, a więc i temperaturę. Poparzyć można się także światłem widzialnym czy nadfioletem.
W życiu codziennym często spotykamy się z przenoszeniem energii w postaci ciepła właśnie przez promieniowanie podczerwone. Jednak tę samą funkcję mogą pełnić fale o innych długościach.



Grzejnik elektryczny.

Temperatura ciała a promieniowanie

Bardzo rozgrzany kawałek metalu świeci na czerwono. Mówimy, że jest rozgrzany do czerwoności. Czy chłodny metal nie świeci?

Każde ciało wysyła promieniowanie cieplne, które jest falą elektromagnetyczną. Im wyższa temperatura ciała, tym większa częstotliwość wysyłanych fal.

Zimny metal, ciało człowieka, nawet kawałek lodu z Antarktydy wysyłają promieniowanie cieplne, będące falami elektromagnetycznymi. Jednak tylko promieniowanie ciał o wysokiej

temperaturze ma tak wysoką częstotliwość, że jest widoczne dla ludzkiego oka, czyli należy do światła widzialnego. W przypadku ciał nieco zimniejszych, jak gorące żelazko, promieniowanie to wyczuwamy dlatego, że wywołuje wrażenie ciepła. Należy ono do podczerwieni i nie widzimy go gołym okiem. Możemy je wykryć za pomocą kamery termowizyjnej (patrz s. 140).
Promieniowania cieplnego chłodnych ciał nie wyczuwamy zmysłami, co jednak nie znaczy, że ono nie istnieje.

Pochłanianie promieniowania a barwa ciała



Doświadczenie

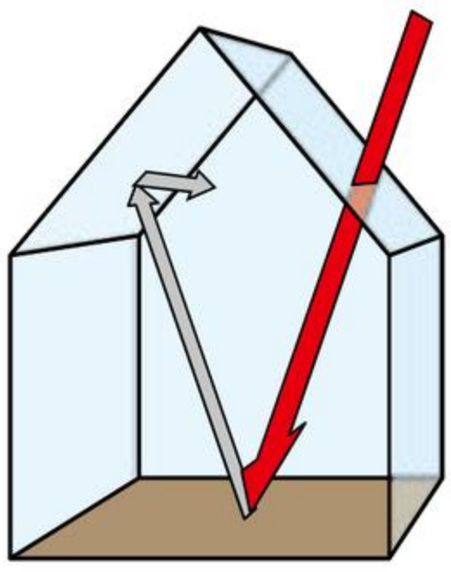
1. Przygotuj dwa kawałki papieru: czarny i biały (różniące się tylko kolorem). Zbliż je na jednakową odległość do włączonej żarówki o jak największej mocy i przytrzymaj przez minutę.

2. Połóż oba kawałki papieru na stole i dotknij ich.
Który mocniej się rozgrzał?

Czarna powierzchnia najlepiej pochłania promieniowanie, a więc ogrzewa się najbardziej kosztem jego energii. Natomiast biała (lub srebrzysta) powierzchnia pochłania mniejszą część promieniowania i nie ogrzewa się tak bardzo.

Ciała ciemne pochłaniają więcej promieniowania niż ciała jasne, dlatego bardziej się rozgrzewają.

Efekt cieplarniany



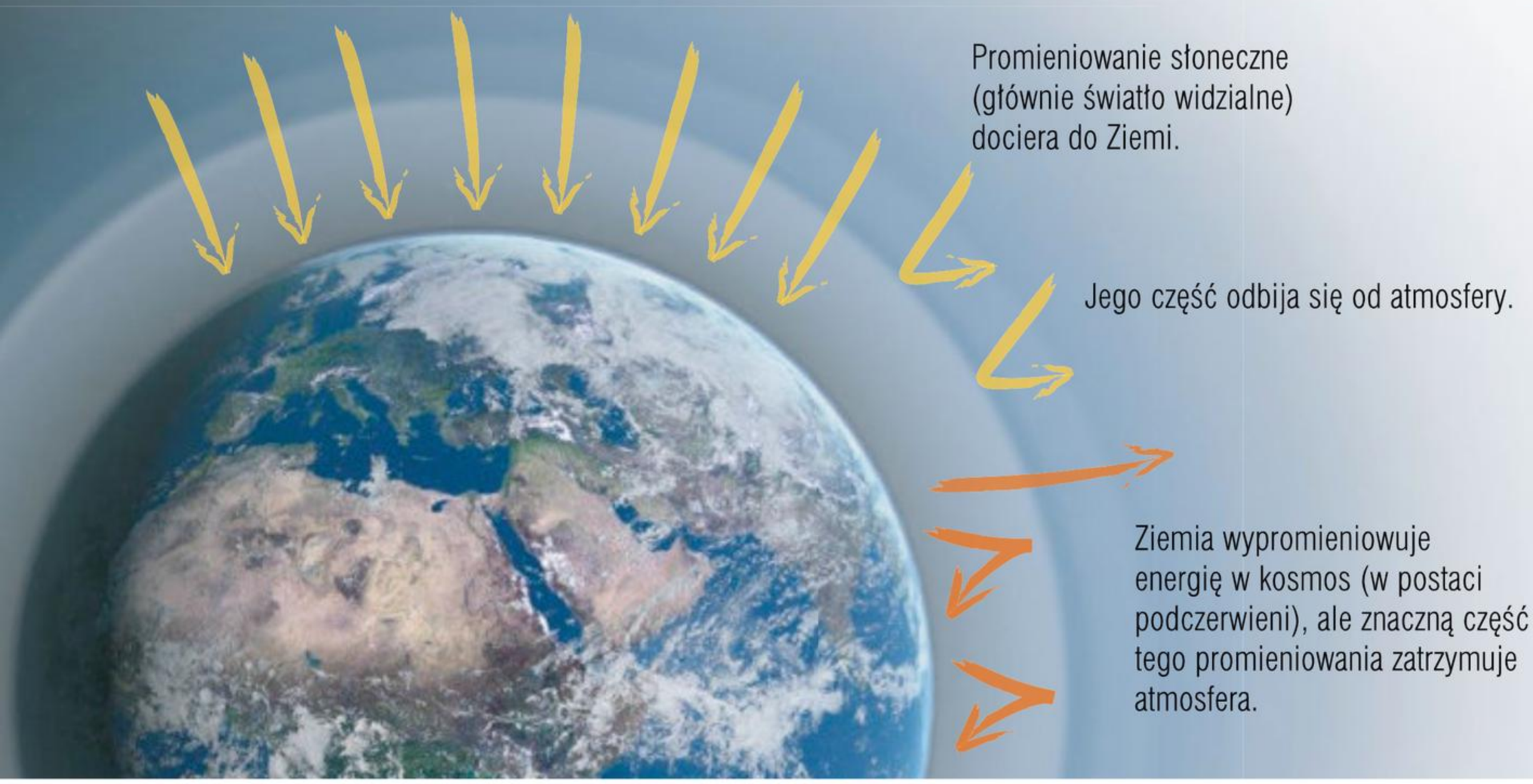
Szyba zatrzymuje w szklarni promieniowanie cieplne gleby.

Dlaczego w szklarni może być cieplej niż na zewnątrz? Szyba szklarni przepuszcza promieniowanie podczerwone i światło widzialne wysyłane przez Słońce. Gleba i rośliny również wysyłają promieniowanie cieplne, ale o niższej częstotliwości, bo mają znacznie niższą temperaturę niż Słońce. Takiego promieniowania szyba nie przepuszcza i nie może ono opuścić szklarni.
W podobny sposób działa atmosfera Ziemi, a zwłaszcza zawarte w niej gazy cieplarniane: metan, dwutlenek węgla i para wodna. Atmosfera przepuszcza promieniowanie słoneczne do wnętrza, ale nie wypuszcza całego promieniowania cieplnego wysyłanego przez powierzchnię naszej planety. To zjawisko nazywamy **efektem cieplarnianym**.

Atmosfera Ziemi, podobnie jak szyba szklarni, przepuszcza promieniowanie słoneczne, ale nie wypuszcza na zewnątrz całego promieniowania cieplnego Ziemi.

Efekt cieplarniany

W ostatnich latach w ciągu każdej doby do Ziemi dociera około 10^{19} J (10 mld mld J) energii więcej, niż Ziemia wypromieniowuje w kosmos. Dlatego temperatura planety stopniowo się podnosi.



Efekt cieplarniany jest korzystny dla człowieka. Gdyby nie on, Ziemia traciłaby energię, wypromieniowując ją w przestrzeń kosmiczną. Na naszej planecie nadal trwałaby epoka lodowcowa. Ale co za dużo, to niezdrowo. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zwiększyła się zawartość dwutlenku węgla (CO_2) w ziemskiej atmosferze, co powoduje wzmocnienie efektu cieplarnianego. Właśnie efekt cieplarniany jest główną przyczyną powolnego wzrostu średniej temperatury na naszej planecie (globalnego ocieplenia klimatu).

Podsumowanie

- Każde ciało pochłania i wysyła promieniowanie cieplne, które jest falą elektromagnetyczną. Im wyższa temperatura ciała, tym większa częstotliwość wysyłanych fal.
- Ciała ciemne pochłaniają więcej promieniowania niż ciała jasne, dlatego bardziej się rozgrzewają.
- Część promieniowania cieplnego „uciekającego" ze szklarni odbijana jest przez szyby, pozostaje wewnątrz i pomaga utrzymać wysoką temperaturę. Podobny efekt powoduje ocieplanie klimatu Ziemi – „szybą" są gazy w atmosferze.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. W wysokich górach, gdzie śnieg utrzymuje się długo, niektórzy narciarze jeżdżą wiosną w koszulkach z krótkim rękawem. Wyjaśnij, dlaczego śnieg nie topnieje, skoro jest tak ciepło, a jeśli jednak jest zimno, dlaczego narciarze nie marzną.

2. Wyjaśnij, dlaczego nie mierzy się temperatury „w słońcu", ale „w cieniu".

3. Wyjaśnij, czy w upalne dni lepiej nosić jasne czy ciemne ubrania. Odpowiedź uzasadnij.

4. W mroźny, ale słoneczny dzień wnętrze pokoju może się silnie rozgrzać, nawet jeśli wyłączymy kaloryfery. Wyjaśnij, jak to jest możliwe. Czy energia przepływa z powietrza na dworze do wnętrza pokoju, choć temperatura w pokoju jest wyższa?

5. Typowe mundury strażackie są ciemne. Jednak w szczególnie niebezpiecznych sytuacjach – jak wynoszenie poszkodowanych z płonącego budynku – strażacy używają jasnych, srebrzystych kombinezonów. Wyjaśnij dlaczego.



6. Która gwiazda ma wyższą temperaturę: świecąca na czerwono czy na niebiesko? Odpowiedź uzasadnij.

Doświadczenia

Zimna, a grzeje!

1. Włącz żarówkę, która wcześniej przez dłuższy czas nie świeciła.
2. Dotknij jej ręką i upewnij się, że jeszcze nie zdążyła się rozgrzać.
3. Przekonaj się, że mimo to ogrzewa zbliżoną do niej rękę.
Wyjaśnij to zjawisko.

Pochłanianie podczerwieni

1. Przygotuj dwa kawałki papieru: czarny i biały (różniące się tylko kolorem). Połóż je poziomo obok siebie, a kilka centymetrów nad nimi trzymaj rozgrzane żelazko.
2. Po minucie odłóż żelazko i dotknij obu kawałków papieru. Który mocniej się rozgrzał?

Uwaga. W żadnym wypadku nie dotykaj gorącej części włączonego żelazka.

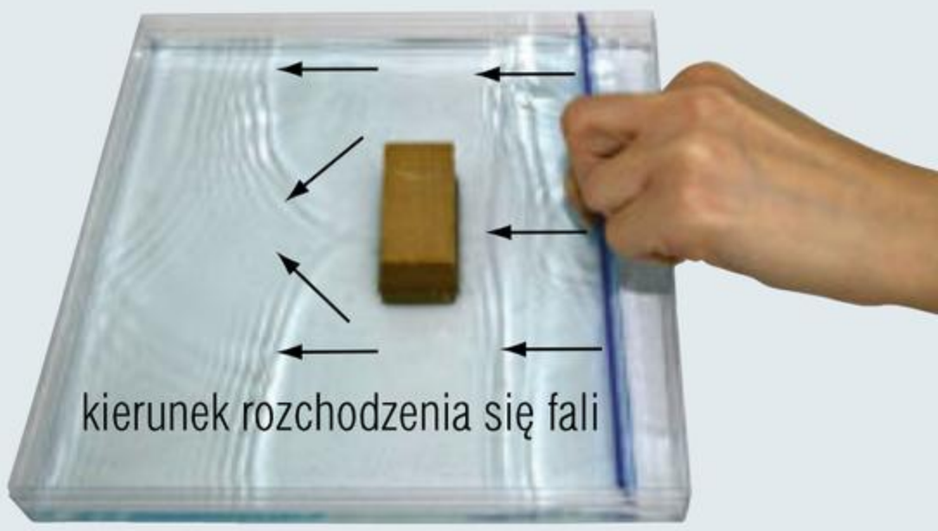


D Dyfrakcja i interferencja fal

Ugięcie fali

Doświadczenie

1. Przygotuj duże przezroczyste naczynie z wodą, długą linijkę i drewniany klocek.
2. Włóż drewniany klocek do naczynia z wodą.
3. Wywołaj w naczyniu falę, uderzając w powierzchnię wody linijką ustawioną poziomo.
4. Oszacuj długość powstałej fali.
Zobacz, jak fala „omija" zanurzony klocek.



Gdy fala na wodzie napotka przeszkodę, może zmienić kierunek rozchodzenia się. Mówimy, że się **ugina**.

Doświadczenie

1. W zaciemnionym pokoju włącz tylko jedną żarówkę.
2. Zademonstruj, jak powstają ostre cienie dłoni na ścianie.



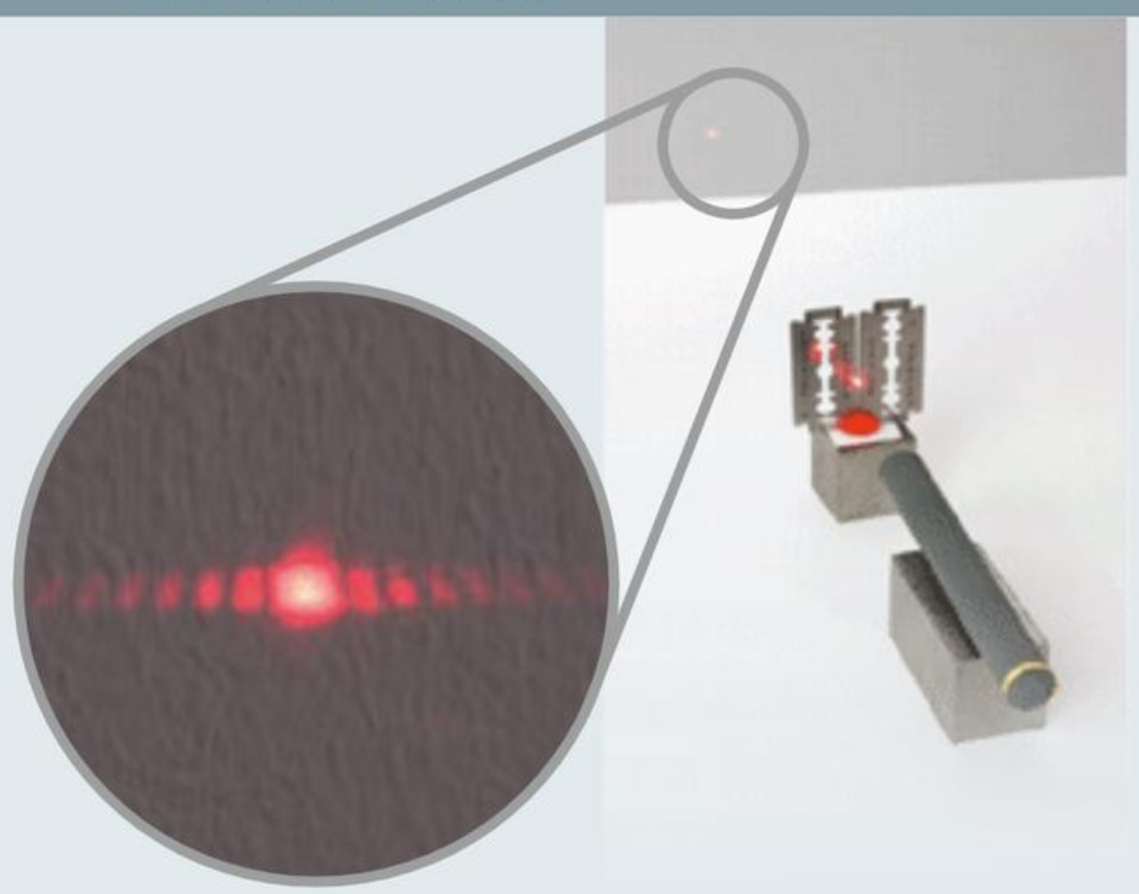
Światło w drugim doświadczeniu nie uginało się i nie omijało ręki, ale poruszało się po liniach prostych. Skoro światło także jest falą, dlaczego zachowuje się inaczej niż fala na wodzie?

Fala ugina się na przeszkodzie, której wielkość jest porównywalna z długością tej fali.

Fale na wodzie mają długość podobną do wielkości klocka, dlatego obserwujemy ich ugięcie. Światło widzialne zaś to fala o długości około 100 000 razy mniejszej. Aby zaobserwować ugięcie światła, należy przepuścić je przez przeszkodę o wymiarach zbliżonych do długości fali świetlnej. Takie doświadczenie można łatwo wykonać samodzielnie.

Dyfrakcja światła

Doświadczenie



Uwaga. Doświadczenie należy wykonać w zaciemnionym pokoju. Laserem posługuj się ostrożnie. Nie wolno świecić nim w oczy – może to spowodować utratę wzroku!

1. Przygotuj dwie żyletki i za pomocą plasteliny ustaw je pionowo na stole. Pomiędzy żyletkami powinna być minimalnej szerokości szczelina.
2. Poświeć laserem (może to być wskaźnik laserowy) na szczelinę tak, aby po przejściu przez nią światło padało na ścianę. Odległość lasera od szczeliny powinna wynosić kilka centymetrów, a od ściany – około 0,5 m.
3. Obserwuj, co widać na ścianie za żyletkami.

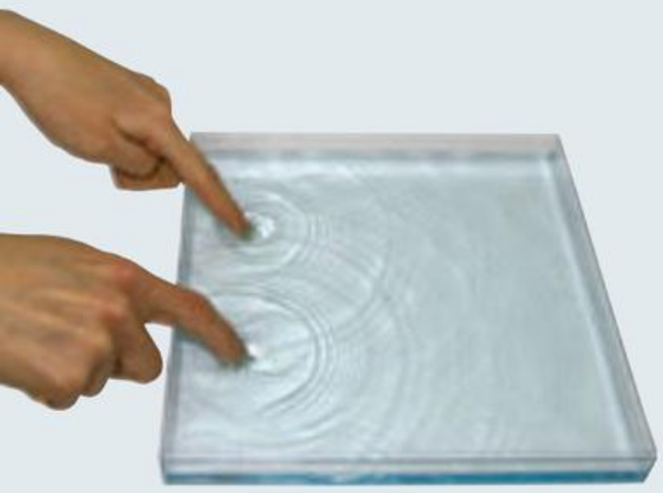
Jak widzisz, poza środkowym prążkiem, na który światło pada bezpośrednio z lasera, można zaobserwować kolejne jasne prążki. Jeśli te miejsca są oświetlone, to znaczy, że światło musiało do nich dotrzeć, uginając się na brzegach szczeliny.

Ugięcie fali na przeszkodzie nazywamy dyfrakcją.

Aby wyjaśnić, dlaczego przy dyfrakcji powstają paski, a nie jednolite oświetlenie, odwołamy się ponownie do przykładu fal na wodzie.

Doświadczenie

1. Nalej wody do naczynia i uderzaj palcami o jej powierzchnię w dwóch miejscach.
2. Obserwuj fale na wodzie.



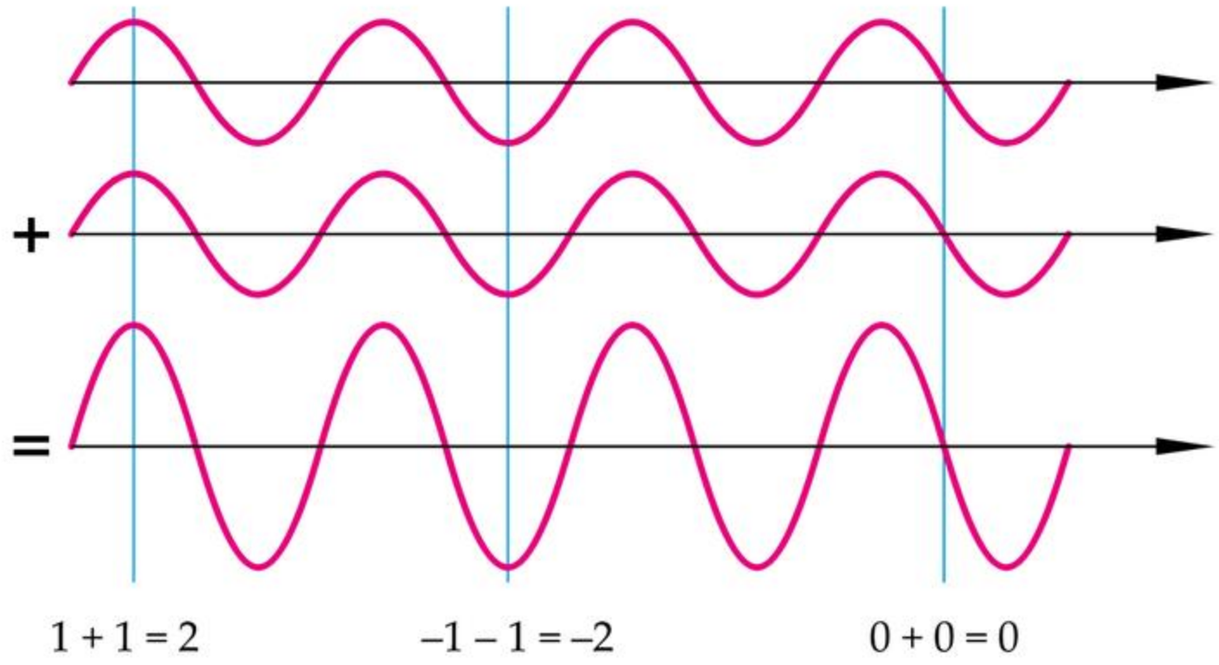
Interferencja fal

Interferencja fal to nakładanie się dwóch fal.

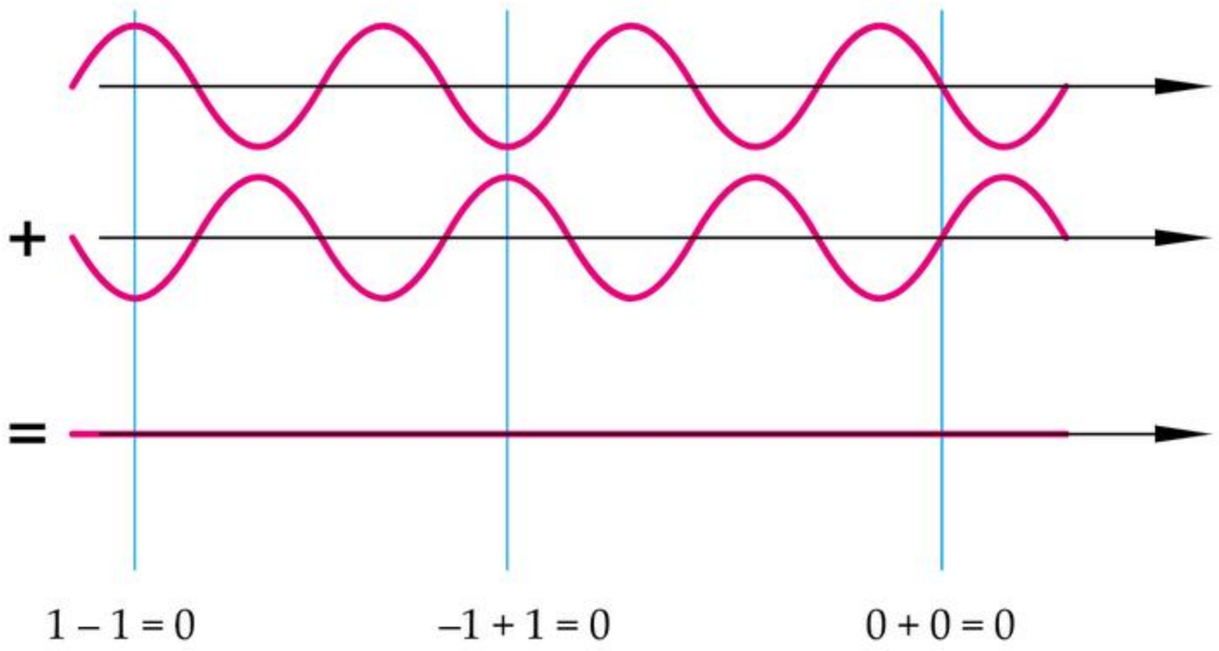
Interferencja fal na wodzie powoduje powstawanie układu miejsc, w których woda mocno faluje, i miejsc, w których jej powierzchnia jest spokojna.
Podobnie interferencja światła powoduje powstawanie jasnych i ciemnych prążków. Skąd biorą się dwie fale, skoro używaliśmy jednego źródła światła i jednej szczeliny? Otóż pochodzą one z dwóch brzegów szczeliny.

Zjawiska dyfrakcji i interferencji są charakterystyczne dla wszystkich fal. Dowodzą one, że światło jest falą.

Jeśli do jakiegoś miejsca dochodzą fale świetlne od obu brzegów, przy czym obie mają jednocześnie „górkę" lub „dołek", to te fale sumują się tworząc jedną wzmocnioną falę. Przedstawia to schematyczny rysunek.



Jeśli natomiast jedna fala ma „górkę" wtedy, gdy druga ma „dołek", to fale redukują się – w sumie dają zero, czyli brak fali.



Zauważ, że zjawisko interferencji może zachodzić tylko wtedy, gdy fale mają jednakową częstotliwość i amplitudę.
Fale dźwiękowe, skoro są falami, również ulegają interferencji (patrz doświadczenie na końcu lekcji).

Ćwiczenie.
Ile razy większa była długość fali na wodzie w twoim doświadczeniu od długości najdłuższych fal światła widzialnego?

Jeszcze o echolokacji

Odległość od wielkiej góry lub ściany lasu można wyznaczyć, krzycząc i mierząc czas oczekiwania na echo. Kierunek, z którego nadejdzie echo, pozwoli nam także stwierdzić, gdzie znajduje się szukany obiekt.
W ten sposób nie można jednak wykryć obiektów bardzo małych. Fala dźwiękowa ma długość kilku metrów lub centymetrów i ulega dyfrakcji na przedmiotach o rozmiarach zbliżonych do tej długości fali. Jak sobie z tym poradzić? Można zastosować fale dźwiękowe o mniejszej długości, a więc większej częstotliwości – ultradźwięki. Tak właśnie postępują nietoperze, delfiny, lekarze, marynarze i inni użytkownicy echolokacji.


Delfiny stosują ultradźwięki do porozumiewania się.

Do orientacji w przestrzeni można także wykorzystywać fale elektromagnetyczne. Muszą to jednak być fale bardzo krótkie, krótsze od zwykłych fal radiowych – mikrofale. Takie fale wysyła radar (zobacz fotografię radaru na s. 139) – urządzenie służące m.in. do wykrywania obiektów w nocy i we mgle.
Użycie radaru niezwykle zwiększyło bezpieczeństwo żeglugi i lotnictwa. Dzisiaj załoga Titanica dużo wcześniej dowiedziałaby się o górze lodowej i mogłaby w porę zmienić kurs statku.

Podsumowanie

- Fala ugina się na przeszkodzie, której wielkość jest porównywalna z długością tej fali.
- Ugięcie fali (zmianę kierunku rozchodzenia się fali) nazywamy dyfrakcją.
- Dyfrakcja uniemożliwia wykorzystywanie do echolokacji zbyt długich fal.
- Dwie fale mogą się nakładać (sumować w jednych miejscach, a redukować w innych). Nazywamy to interferencją fal.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. W trzech doświadczeniach staramy się zaobserwować dyfrakcję fali elektromagnetycznej o długości λ na różnych przeszkodach. Oceń, w którym przypadku zjawisko ujawni się najwyraźniej. Odpowiedź uzasadnij.
a) $\lambda = 1$ m; samochód
b) $\lambda = 1$ cm; lokomotywa
c) $\lambda = 1$ m; okręt

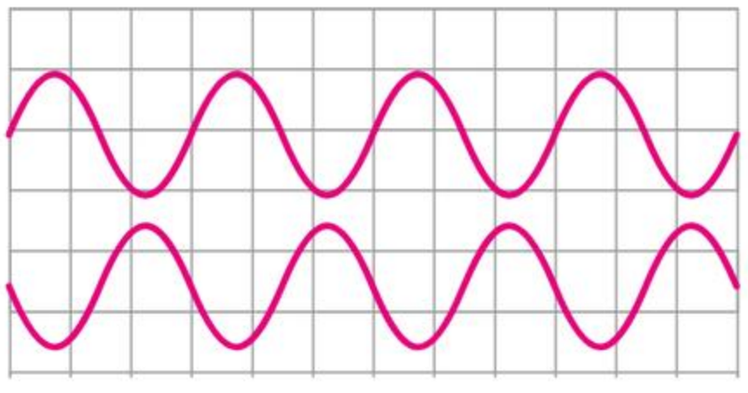
2. Radar wysyła fale o częstotliwości 10 GHz. Oblicz, jaka jest długość takiej fali. Czy może ona posłużyć do wykrycia:
a) okrętu,
b) samochodzika zabawki,
c) łebka odciętego od szpilki?

3. Oceń i uzasadnij, w których przypadkach najłatwiej zaobserwować dyfrakcję światła:
a) na czubku wąsa kota,
b) na całym kocie,
c) na ostrzu szpilki,
d) na łebku szpilki.

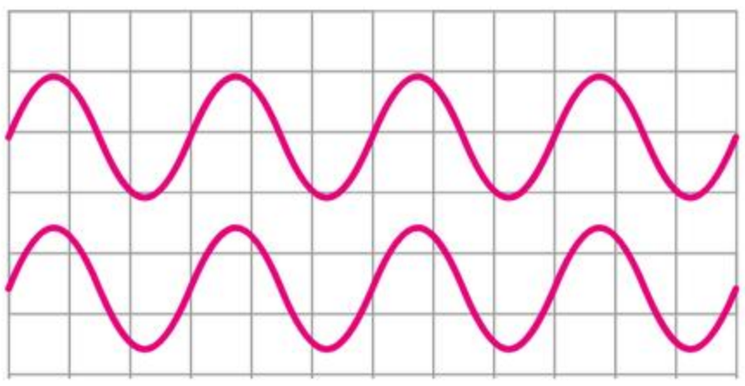
4. Dwóch śpiewaków śpiewa unisono (czyli głosem jednakowej wysokości). Określ, czy na sali koncertowej są miejsca, w których z powodu interferencji dźwięku panuje cisza. Wyjaśnij dlaczego.

5. Do pewnego miejsca w przestrzeni docierają jednakowe dźwięki z dwóch źródeł. Określ, czy te dźwięki się wzmacniają czy osłabiają.

a)

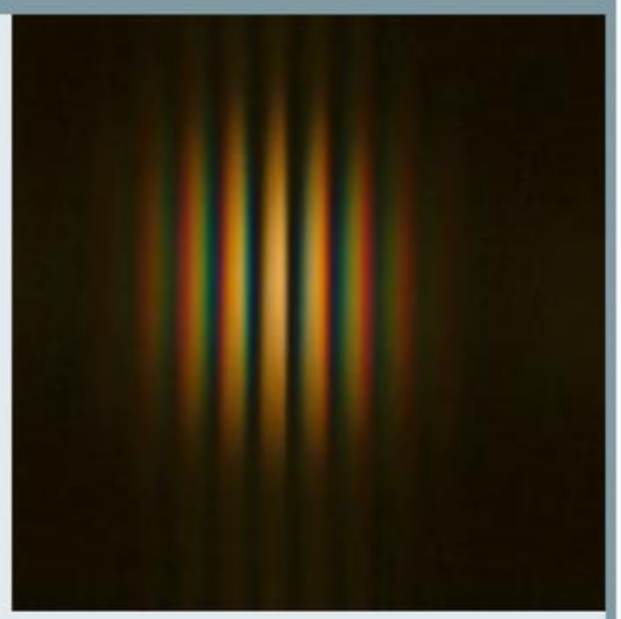


b)



Doświadczenia

Dyfrakcja na kartce papieru



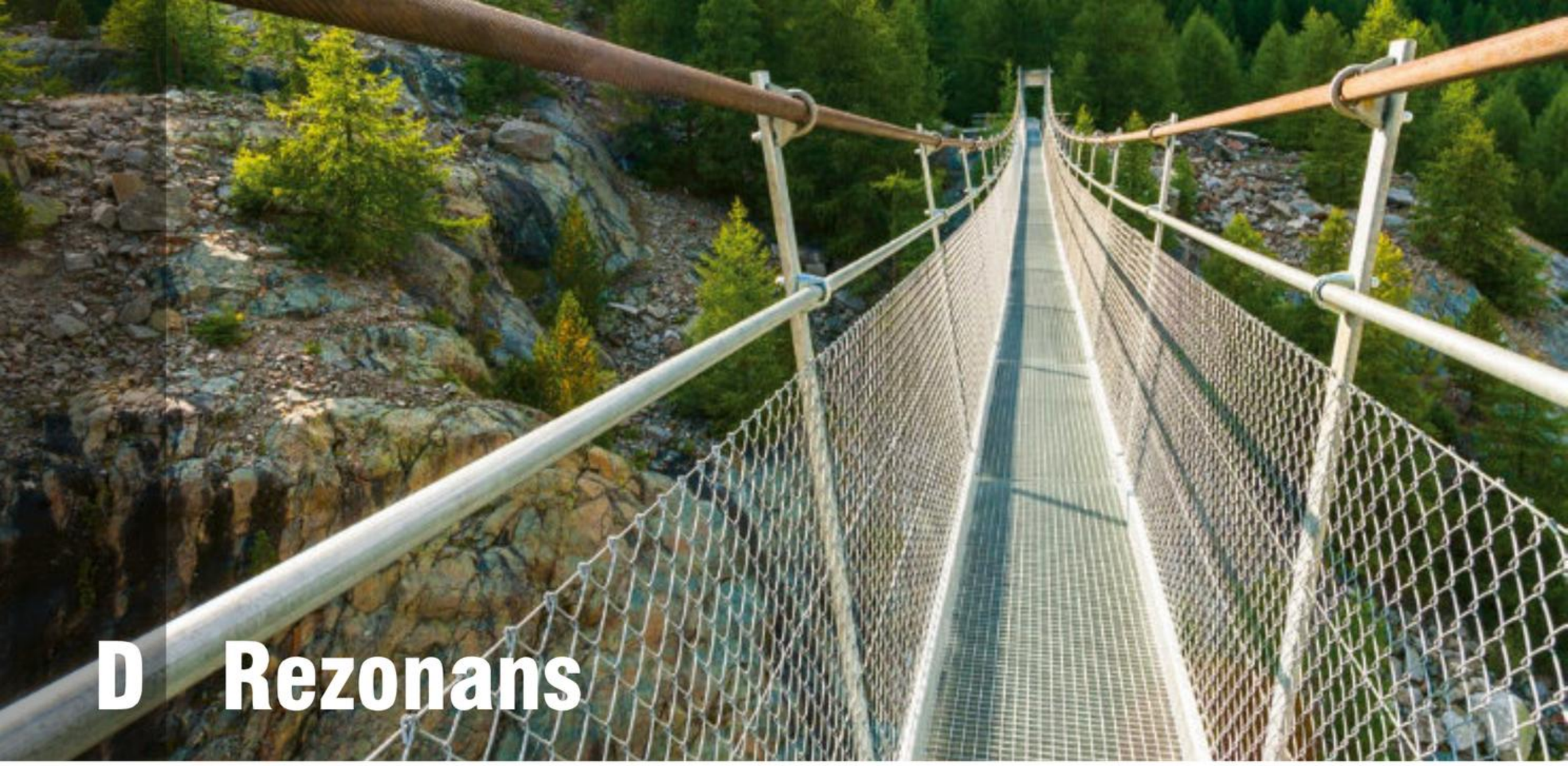
1. Przygotuj kartkę papieru i natnij ją nożyczkami z jednej strony.
2. Popatrz jednym okiem przez nacięcie na świecącą żarówkę.
W pokoju nie powinno być innych źródeł światła.

Zobaczysz prążki świadczące o dyfrakcji i interferencji światła. Prążki mogą być barwne (tęczowe). Podobny rezultat uzyskasz, patrząc na żarówkę przez napiętą tkaninę, np. rozłożony parasol.

Interferencja dźwięku

1. Pobierz z internetu plik dźwiękowy zawierający czysty ton o częstotliwości kilku tysięcy herców. Możesz w tym celu wpisać w wyszukiwarce internetowej „mp3 pure tone”.
2. Rozsuń głośniki komputera na jak największą odległość i włącz odtwarzanie dźwięku.
3. Zasłoń dłonią jedno ucho, a następnie powoli przesuwaj głowę wzdłuż linii łączącej głośniki. Znajdziesz miejsca, w których dźwięk jest bardzo głośny, i miejsca, w których jest bardzo cichy.
4. Spróbuj tak dobrać odległość między głośnikami, aby efekt był jak najsilniejszy.
5. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.





D Rezonans



Regularne pchnięcia wzmacniają ruch huśtawki.

Drgania własne i rezonans

Puszczone swobodnie wahadło wykonuje drgania o pewnej częstotliwości. Nazywamy je **drganiami własnymi**. Trzymając wahadło w ręce, możemy je wprawić w drgania o innej częstotliwości. Najłatwiej jednak wprawić je w drgania o takiej samej częstotliwości jak częstotliwość drgań własnych. Wystarczy delikatnie popychać je rytmicznie w tę stronę, w którą wahadło się porusza, aby wzmocnić jego ruch. Właśnie w ten sposób najłatwiej rozkołysać huśtawkę.

Gdy częstotliwość drgań pobudzających wahadło jest równa częstotliwości jego drgań własnych, drgania się wzmacniają. To zjawisko nazywamy rezonansem.

Doświadczenie

1. Między statywami (albo nogami stołu) rozepnij poziomo sznurek. Powinien być mocno napięty.
2. Powieś na nim cztery wahadła (każde na osobnym sznurku): dwa długości 10 cm, dwa długości 20 cm. Rozkołysz jedno wahadło. Czy pozostałe wahadła zaczynają się poruszać? Które?



Poruszające się wahadło powoduje drgania poziomego sznurka, który przekazuje energię innym wahadłom. Jednak nie wszystkie wahadła zaczynają się wyraźnie poruszać, ale tylko te o jednakowej długości, ponieważ mają one tę samą częstotliwość drgań własnych.

Rezonans mechaniczny wokół nas

W przyrodzie i technice rezonans występuje w wielu sytuacjach. Zjawisko to nie ogranicza się do wahadeł, ale dotyczy różnych ciał, które można wprawić w drgania.

Czasami w autobusie stojącym na przystanku zaczynają drgać szyby w oknach. Wpadają one w rezonans. Gdy kierowca dodaje gazu i silnik zaczyna pracować szybciej, zjawisko ustaje.

Rezonans ma wielkie znaczenie także dla działania instrumentów muzycznych. Choć w skrzypcach, gitarze czy fortepianie grają struny, to nie słyszelibyśmy ich dźwięku, gdyby nie pudło rezonansowe. Musi być ono tak wykonane, aby wpadało w rezonans nie tylko przy jednej częstotliwości, bo przecież na instrumencie gramy nie tylko jedną nutę. Pudło wraz z wypełniającym je powietrzem ma wiele różnych częstotliwości drgań własnych. Przy niektórych rezonans jest nieco silniejszy, przy innych słabszy, co ma wpływ na barwę dźwięku instrumentu.

Jeszcze większe jest znaczenie rezonansu w grze na flecie. Wdmuchiwane przez ustnik powietrze zaczyna drgać z najróżniejszymi częstotliwościami jednocześnie. Taki dźwięk odbieramy jako szum. Jednak spośród tych częstotliwości tylko niektóre są równe częstotliwości drgań własnych słupa powietrza we flecie. Tylko te częstotliwości są wzmacniane i dlatego właśnie flet wydaje czysty dźwięk, a nie szum.



Wydając dźwięk o odpowiedniej wysokości, można doprowadzić do rezonansu ścianek kieliszka. Pod wpływem swoich silnych drgań naczynie może nawet pęknąć.

Rezonans i fale elektromagnetyczne

Nie tylko drgania czy fale mechaniczne, ale i fale elektromagnetyczne mogą powodować rezonans. Na tej właśnie zasadzie działa strojenie radia czy telewizora. Tylko fala o odpowiedniej częstotliwości powoduje powstawanie prądu o odpowiednio dużym natężeniu w specjalnym obwodzie elektrycznym, gdyż obwód ten wpada w rezonans.

Podsumowanie

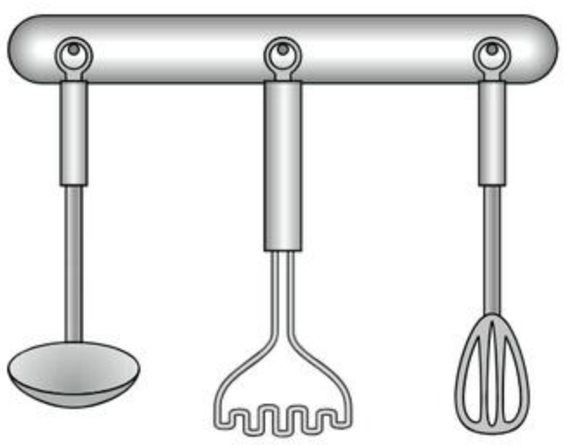
- Gdy pobudzamy jakieś ciało do drgań, najsilniejszy efekt uzyskamy, stosując drgania o takiej samej częstotliwości, jaką mają drgania własne tego ciała. To zjawisko nazywamy rezonansem.
- Rezonans występuje zarówno przy drganiach mechanicznych, jak i elektrycznych.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Zapoznaj się z informacją przy zdjęciu na poprzedniej stronie. Częstotliwość drgań własnych pewnego kieliszka wynosi 440 Hz. Jaki dźwięk należy zagrać na trąbce, aby rozbić ten kieliszek? Narysuj w zeszycie pięciolinię i zaznacz ten dźwięk.

2. Przy każdym z przyborów kuchennych podano okres jego drgań własnych. Który z nich wpada w rezonans, gdy wieszak drga z częstotliwością 0,8 Hz?



2 s 1,25 s 1 s

3. Łódka na spokojnej wodzie kołysze się z częstotliwością 0,75 Hz. Która z fal najłatwiej może spowodować wywrócenie łódki?

A. Fala o długości 1,5 m i prędkości 1,5 $\frac{m}{s}$.
B. Fala o długości 2,8 m i prędkości 2,1 $\frac{m}{s}$.
C. Fala o długości 4,3 m i prędkości 2,6 $\frac{m}{s}$.
D. Fala o długości 5,4 m i prędkości 2,7 $\frac{m}{s}$.

4. Gdy oddział wojska przechodzi przez most, żołnierze idą krokiem dowolnym (nie maszerują „noga w nogę"). Wyjaśnij dlaczego.

5. Przeczytaj informację w ramce i odpowiedz na pytania.
a) Przy jakiej długości fal elektromagnetycznych wykrywacz żuka wpada w rezonans?
b) Czy taka fala należy do mikrofal, podczerwieni, światła widzialnego czy nadfioletu?

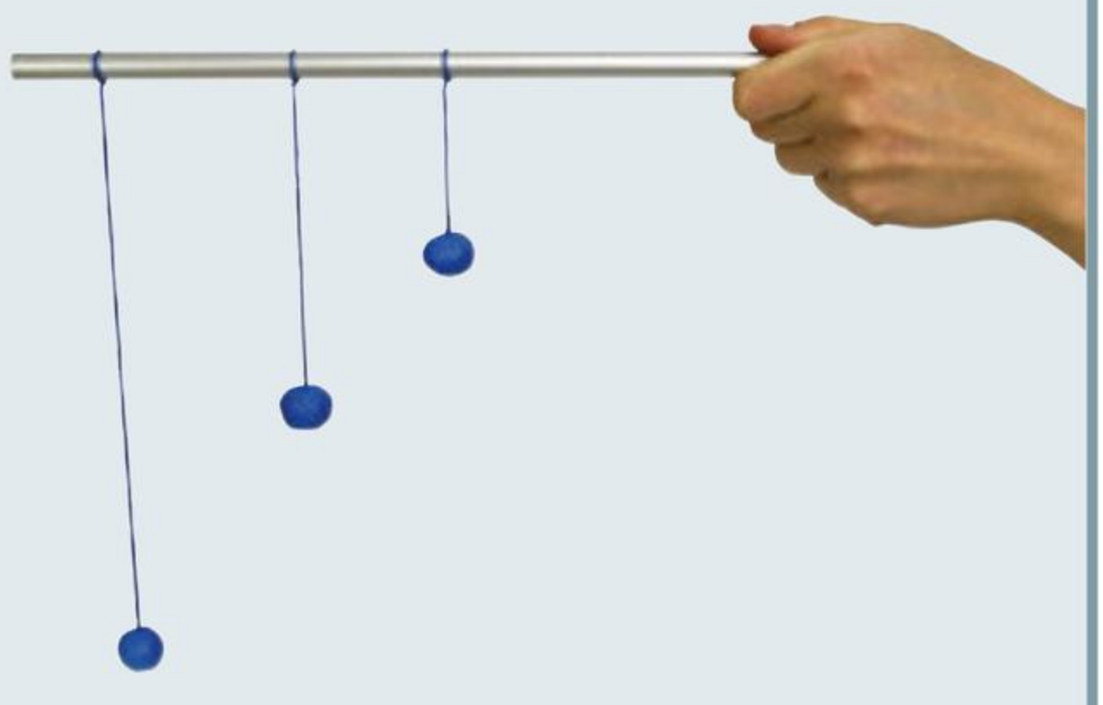
Żuki z rodzaju ciemników tak bardzo lubią przypalone drewno, że z daleka ściągają do płonących lasów. Okazuje się, że mają one specjalne czujniki fal elektromagnetycznych wysyłanych przez płomień. Wykrywacz ten działa jak sprężynka o częstotliwości drgań 10^{14} Hz, która wpada w rezonans, gdy znajdzie się w polu elektromagnetycznym o takiej częstotliwości.



Doświadczenie

„Sztuczka magiczna"

1. Na długim patyku zawieś trzy wahadełka o różnej długości (np. kulki plastelinowe zawieszone na nitkach).
2. Chwyć patyk ręką i poruszaj nim tak, aby wprawić w drgania tylko jedno z wahadeł (wybrane przez siebie).
Po kilku próbach dojdziesz do takiej wprawy, że zupełnie niewidocznymi dla innych ruchami będziesz mógł rozkołysać wskazane wahadło. Możesz to pokazywać jako „sztuczkę magiczną".
3. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.





Powtórzenie

Uwaga. Gwiazdka oznacza, że zagadnienie lub zadanie dotyczy tematu dodatkowego. Nie ma ona związku ze stopniem trudności.

1. Drgania polegają na powtarzaniu się zjawiska. Czas trwania tego zjawiska (np. czas ruchu wahadła od jednego skrajnego wychylenia do drugiego i z powrotem) nazywamy okresem drgań (T). Liczbę okresów przypadającą na 1 sekundę nazywamy częstotliwością (f). Częstotliwość jest liczbowo równa odwrotności okresu $\left(f = \frac{1}{T}\right)$. Jednostką częstotliwości jest herc $\left(1\ \text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}\right)$. Maksymalne wychylenie z położenia równowagi nazywamy amplitudą drgań.

2. Fala to rozchodzenie się drgań. Okres, częstotliwość i amplituda fali są równe odpowiednio okresowi, częstotliwości i amplitudzie tych drgań.

3. W czasie równym swojemu okresowi fala przebywa drogę równą swojej długości (λ), odległości między sąsiednimi grzbietami. Dlatego prędkość fali można obliczyć ze wzoru: $v = \frac{\lambda}{T}$.

4. Dźwięk jest falą. Dźwięk wyższy to fala o wyższej częstotliwości. Dźwięk głośniejszy to fala o większej amplitudzie. Człowiek słyszy dźwięki o częstotliwościach od około 20 Hz do około 16 kHz. Dźwięki zbyt niskie dla ucha ludzkiego to infradźwięki, a zbyt wysokie to ultradźwięki. Ultradźwięki wykorzystujemy do echolokacji.

5. Do fal elektromagnetycznych należą fale radiowe, mikrofale, podczerwień, światło (widzialne), promieniowanie nadfioletowe, rentgenowskie i gamma. Te fale mogą się rozchodzić także w próżni. Ich prędkość w próżni wynosi około 300 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$.

6. Każde ciało wysyła fale elektromagnetyczne zwane promieniowaniem cieplnym. Im wyższa temperatura, tym wyższa częstotliwość tego promieniowania. Ciało ciemne łatwiej pochłania promieniowanie cieplne niż ciało jasne.

7*. Zjawiska dyfrakcji (ugięcia na przeszkodzie) i interferencji (nakładania się fal) są charakterystyczne dla wszystkich rodzajów fal.

8*. Zjawisko rezonansu (wzmacniania drgań) zachodzi wtedy, gdy częstotliwość drgań pobudzających np. wahadło jest taka sama jak częstotliwość drgań własnych wahadła.

Test 1.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

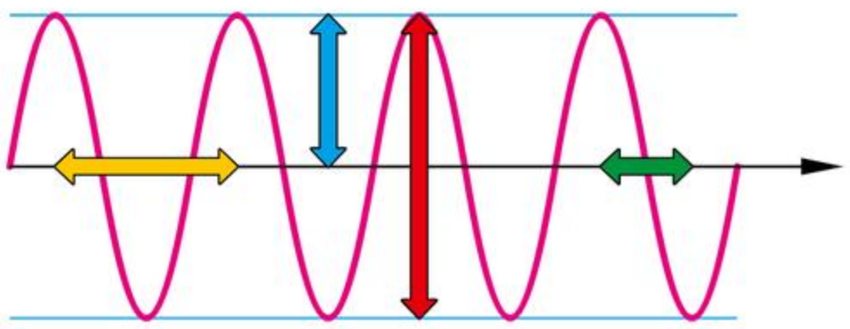
To musisz umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–10. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Ruchem drgającym **nie porusza się**
- **A.** wahadło odchylone od pionu i puszczone.
- **B.** szarpnięta i puszczona struna gitary.
- **C.** zacumowana boja.
- **D.** samochód na górskiej drodze.

2*. Huśtawka puszczona swobodnie kołysze się 20 razy na minutę. Najłatwiej ją rozkołysać, gdy popychamy ją
- **A.** co 20 s.
- **B.** co $\frac{1}{3}$ s.
- **C.** co 3 s.
- **D.** co $\frac{1}{20}$ s.

Rysunek do zadań 3.–4.



3. Długość fali zaznaczono na rysunku strzałką
- **A.** niebieską.
- **B.** czerwoną.
- **C.** zieloną.
- **D.** żółtą.

4. Amplitudę fali zaznaczono na rysunku strzałką
- **A.** niebieską.
- **B.** czerwoną.
- **C.** zieloną.
- **D.** żółtą.

5. Osoba znajdująca się 3 km od dzwonu słyszy jego dźwięk z opóźnieniem około
- **A.** 0,9 s.
- **B.** 1 s.
- **C.** 9 s.
- **D.** 12 s

6. Wysokość dźwięku rośnie wraz ze wzrostem jego
- **A.** częstotliwości.
- **B.** amplitudy.
- **C.** długości fali.
- **D.** okresu.

7. Do fal elektromagnetycznych należą m.in.:
- **A.** podczerwień, fale radiowe, dźwięk.
- **B.** światło, dźwięk, promieniowanie rentgenowskie.
- **C.** fale na wodzie wywołane przez łódkę z silnikiem elektrycznym.
- **D.** światło, mikrofale, promieniowanie gamma.

8. Fale elektromagnetyczne przebywają w próżni odległość 30 mln km w ciągu
- **A.** 1 s.
- **B.** 10 s.
- **C.** 100 s.
- **D.** 1000 s.

9. Statek kosmiczny znajduje się w pewnej chwili w takiej odległości od Ziemi, jaką światło przebywa w ciągu godziny. Wówczas
- **A.** informacje do załogi statku można przesłać w czasie krótszym niż 1 h za pośrednictwem fal radiowych.
- **B.** informacje do załogi statku można przesłać w czasie krótszym niż 1 h za pośrednictwem fal dźwiękowych.
- **C.** informacje do załogi statku można przesłać w czasie krótszym niż 1 h, ale nie mogą do tego służyć fale.
- **D.** nie da się przesłać informacji do załogi statku w czasie krótszym niż 1 h.

10. Opalanie skóry powodują fale
- **A.** podczerwone.
- **B.** widzialne.
- **C.** nadfioletowe.
- **D.** rentgenowskie.

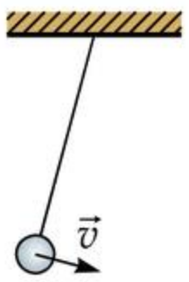
Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Dobrze, jeśli to umiesz

Uwaga. W zadaniach 1.–9. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

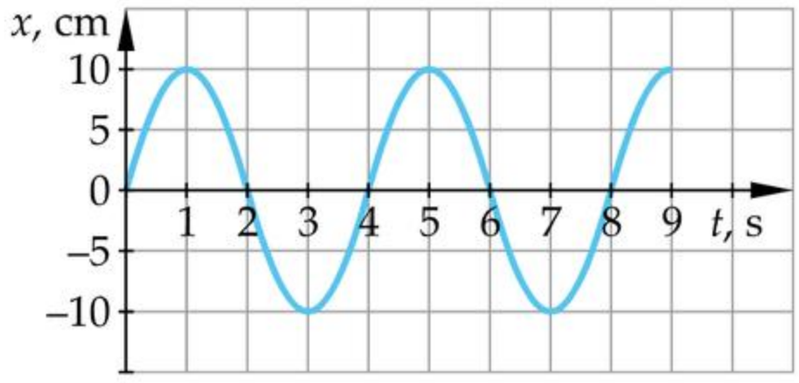
1. Wskaż poprawne dokończenie zdania.



W sytuacji przedstawionej na rysunku

A. energia potencjalna wahadła maleje, a kinetyczna – rośnie.
B. energia kinetyczna wahadła maleje, a potencjalna – rośnie.
C. rośnie zarówno energia potencjalna, jak i kinetyczna wahadła.
D. maleje zarówno energia potencjalna, jak i kinetyczna wahadła.

2. Wykres ilustruje ruch ciężarka zawieszonego na sprężynie.



Okres drgań ciężarka wynosi

A. 2 s.
B. 4 s.
C. 10 s.
D. 20 s.

3. Jedno uderzenie serca wiewiórki trwa 0,2 s. Jej serce bije więc z częstotliwością

A. 0,2 s.
B. 0,2 Hz.
C. 50 Hz.
D. 5 Hz.

4. Oblicz długość fali o częstotliwości 100 Hz i prędkości 300 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

A. 3 m
B. 33 cm
C. 30 000 m
D. 400 m

5. Drgania powietrza o częstotliwości 2000 Hz są dla człowieka

A. niesłyszalnymi infradźwiękami.
B. niesłyszalnymi ultradźwiękami.
C. dźwiękami odbieranymi jako niskie.
D. dźwiękami odbieranymi jako wysokie.

6. Wskaż zdanie prawdziwe.

A. Aby usłyszeć dźwięk fortepianu, musimy poczekać, aż cząsteczki powietrza wprawione w ruch przez struny dotrą do naszych uszu.
B. Dźwięk nie może rozchodzić się w ciałach stałych, ponieważ ich cząsteczki nie mogą się przemieszczać swobodnie, tak jak przemieszczają się cząsteczki powietrza.
C. Dźwięk nie może rozchodzić się w próżni, nie ma tam bowiem ośrodka, który przenosiłby drgania.
D. Światło nie może rozchodzić się w próżni, nie ma tam bowiem ośrodka, który przenosiłby drgania.

7. Światło widzialne różni się od fal radiowych tym, że

A. fale radiowe są falami elektromagnetycznymi, a światło – nie.
B. światło jest falą elektromagnetyczną, a fale radiowe – nie.
C. światło ma większą częstotliwość.
D. światło ma mniejszą częstotliwość.

8. Wskaż wśród wymienionych fal te, które mają największą długość.

A. Mikrofale.
B. Promieniowanie nadfioletowe.
C. Promieniowanie rentgenowskie.
D. Światło widzialne.

9. Wskaż kolor ciała, które w największym stopniu pochłania światło.

A. Biały.
B. Czarny.
C. Zielony.
D. Różowy.

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Jeśli czerwony punkt porusza się w górę, to fala porusza się

A. w lewo.
B. w prawo.
C. w dół.
D. w górę.



2. Jeśli w powietrzu rozchodzą się dwie słyszalne fale dźwiękowe o różnej długości, jako wyższy dźwięk odbieramy falę

A. dłuższą.
B. krótszą.
C. o większej amplitudzie, niezależnie od długości.
D. o mniejszej amplitudzie, niezależnie od długości.

3. Najniższy ton fortepianu ma częstotliwość 27,5 Hz. Fala dźwiękowa o tej częstotliwości ma w powietrzu długość około

A. 12 m.
B. 8 cm.
C. 9 m.
D. 9 km.

4. Metalowy pręt drga, przy czym ruch z jednego skrajnego położenia do drugiego trwa 0,01 ms. Te drgania

A. powodują powstawanie w powietrzu infradźwięków.
B. powodują powstawanie w powietrzu dźwięków słyszalnych dla człowieka.
C. powodują powstawanie w powietrzu ultradźwięków.
D. nie powodują rozchodzenia się w powietrzu żadnej fali.

5. W czasie burzy najpierw obserwujemy błyskawicę, a potem słyszymy grzmot. Dzieje się tak dlatego, że

A. światło dociera do nas natychmiast, a dźwięk – po pewnym czasie.
B. prędkość światła jest większa od prędkości dźwięku.
C. oko szybciej przekazuje sygnał do mózgu niż ucho.
D. błyskawica jest zjawiskiem, które zachodzi wcześniej niż grzmot.

6. Wskaż zestaw, w którym fale uszeregowano według rosnącej częstotliwości.

A. gamma, rentgenowskie, widzialne, radiowe
B. radiowe, od rozgrzanego żelazka, widzialne, powodujące opalanie
C. radiowe, do prześwietleń, od rozgrzanego żelazka
D. radiowe, mikrofale, powodujące opalanie, od rozgrzanego żelazka

7*. Zjawisko dyfrakcji zachodzi

A. tylko w przypadku fal na wodzie.
B. tylko w przypadku światła i fal na wodzie.
C. tylko w przypadku światła i dźwięku.
D. w przypadku wszystkich rodzajów fal.

Test 4.

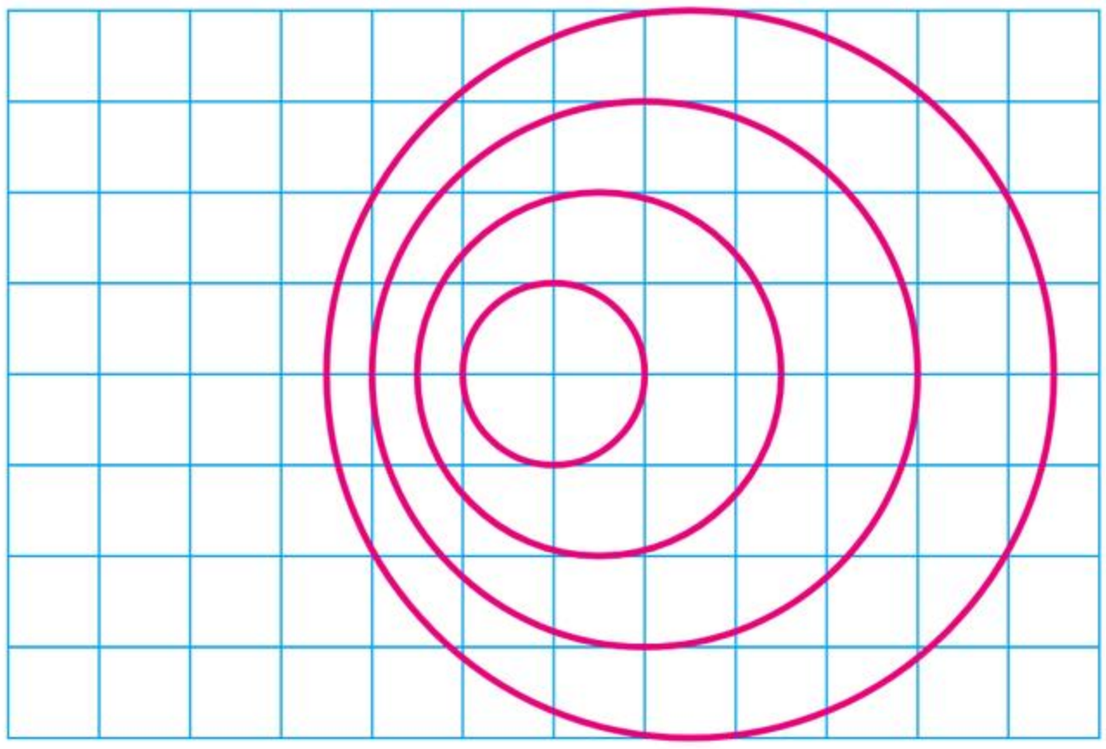
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Świetnie, jeśli to umiesz

1. Kuba płynie delfinem i uderza ramionami o wodę co 2 s.
Rysunek przedstawia fale powstałe na wodzie po czterech takich uderzeniach. Jedna kratka odpowiada odległości 1 m. Odpowiedz na pytania.

a) Jak szybko i w którą stronę porusza się Kuba?

b) Jak szybko rozchodzi się fala?



2*. Nietoperze owocożerne wykorzystują do echolokacji dźwięki słyszalne dla człowieka, a nietoperze owadożerne korzystają z ultradźwięków.

a) Wyjaśnij przyczynę tej różnicy.

b) Kiedy obserwujemy nietoperze owocożerne, możemy zauważyć, że lecąc, wysyłają stosunkowo niski dźwięk. Jednak gdy wykryją obecność pożywienia, „przyglądają się" mu, wysyłając dźwięk wyższy. Wyjaśnij, dlaczego wyższy dźwięk pozwala lepiej „przyjrzeć się" owocom.

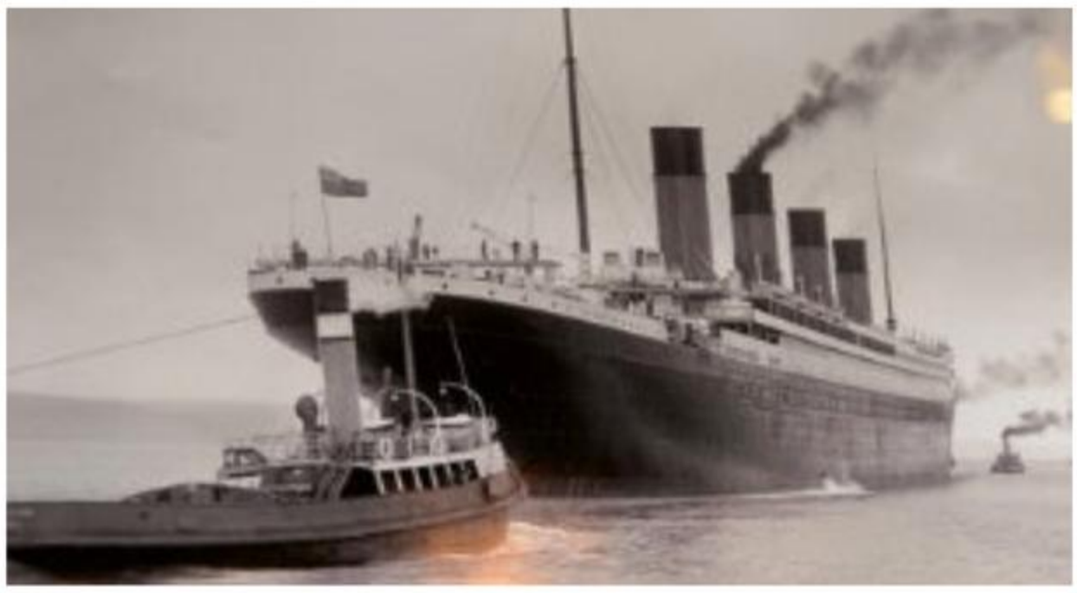
Analiza tekstu

MOWA OCEANU

W powieści SF[1] „Odwet oceanu" Frank Schätzing[2] opowiada o obcych, którzy zagrażają ludzkości z głębin oceanów. Jedynym skutecznym sposobem nawiązania z nimi kontaktu okazuje się wysłanie informacji za pomocą fali akustycznej. Takie fale naprawdę przenoszą w morzach mnóstwo informacji.

Szwajcarski fizyk, Jean-Daniel Colladon, uwielbiał ciekawe eksperymenty. Podobnie zresztą jak jego kolega, matematyk Charles-François Sturm. Pewnego dnia 1826 r. panowie wypłynęli w osobnych łodziach na Jezioro Genewskie i oddalili się od siebie o 10 mil. Nurtował ich pewien problem: czy dźwięk w wodzie rozchodzi się tak szybko jak w powietrzu? Wynik pomiarów mocno ich zaskoczył. Dźwięk w wodzie biegł prawie pięć razy szybciej! (…)

Katastrofa „Titanica" w 1912 r. zdopingowała konstruktorów do próby opracowania systemu ostrzegającego przed różnymi podwodnymi przeszkodami. Na najbardziej praktyczny pomysł wpadł Kanadyjczyk Reginald Fessenden. Zbudował elektroakustyczny oscylator, wysyłający sygnał o częstotliwości 1 kHz i odbierający odbite echo. Próby były obiecujące – za pomocą systemu można było „usłyszeć" górę lodową z odległości około 2 mil. Kiedy dwa lata później wybuchła wojna światowa, brytyjska Navy zastosowała oscylator do wykrywania łodzi podwodnych. Interpretacja akustycznego echa wysyłanego przez echolokatory była piekielnie trudna, m.in. dlatego, że wciąż nie za bardzo rozumiano, jak rozchodzi się dźwięk w oceanie.



RMS Titanic – statek, który zatonął w 1912 r. po zderzeniu z górą lodową.

Zdawano sobie jednak sprawę z doniosłości wynalazku – szczególnie przydatnego np. w poznawaniu konfiguracji dna morskiego. Echo wysłanego w głębiny sygnału dawało w najgłębszych obszarach pomiar w 8 s – wobec 2 godz. potrzebnych na uzyskanie wyniku sondą ciężarkową. (…)

Cały czas szukano sposobów na uporanie się z problemami, jakie sprawiały sygnały echa – to słabnące, czasami zanikające zupełnie, to przybierające na sile. Do lepszego zrozumienia, co się dzieje z dźwiękiem pod wodą, przyczynił się tuż przed II wojną światową inny wynalazek – batytermograf. To proste urządzenie dawało ciągły zapis temperatury (jednego z głównych parametrów, od którego zależy prędkość dźwięku w wodzie) z głębokością. Struktura wód okazała się niezwykle zmienna i niejednorodna. W takim medium fala dźwiękowa nie tylko ulega odbiciu, ale również ugięciu. To oznaczało, że są w oceanie miejsca, które omija – tzw. strefy cienia. Ale są też przestrzenie, w których niczym w dźwiękowej tubie, fala potrafi wędrować bardzo daleko. (…) Zauważono też, że rozprzestrzenianie się fal akustycznych w morzu zależy od ich długości – dłuższe docierają znacznie dalej. W 1946 r. zdetonowano ładu-



Do najbardziej niezwykłych głosów należą głosy ssaków, zwłaszcza pieśni humbaków. Są różnorodne, co więcej – charakterystyczne dla określonej populacji: inne dla pacyficznej, inne dla żyjącej w Atlantyku.

nek wybuchowy w pobliżu wysp Bahama. Sygnał odebrały czujniki rozlokowane ponad 3000 km od wysp. (…)
(…) [N]iezwykłe były wyniki podsłuchiwania głosów morskich zwierząt (…). Christopher Clark, neurobiolog z Cornell University, wyłowił odgłosy stada waleni oddalonego o około 2000 km. I wtedy zrodził się pomysł – skoro można zlokalizować położenie odległego stada, dlaczego nie użyć tej metody do śledzenia tras wędrówek morskich ssaków. Znaleziono miejsca żerowania, intymnych spotkań. Ale najbardziej intrygujące było odkrycie, że wieloryby używają swego sonaru nie tylko do komunikacji między sobą. Skanują sygnałem dno oceanu, aby później móc wędrować na podstawie zapisanej w pamięci mapy. I czynią tak od milionów lat. (…)

Sławomir Swerpel,
„Wiedza i Życie", nr 8/2015.

---

[1] Science fiction – przypis redakcji.
[2] czyt. szec-ing – przypis redakcji.

Pytania do tekstu

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Jak szybko rozchodzi się dźwięk w wodzie?
A. Szybciej niż w powietrzu.
B. Wolniej niż w powietrzu.
C. To zależy od wysokości dźwięku – wysoki dźwięk rozchodzi się w wodzie szybciej niż w powietrzu, niski – wolniej niż w powietrzu.
D. To zależy od wysokości dźwięku – wysoki dźwięk rozchodzi się w wodzie wolniej niż w powietrzu, niski – szybciej niż w powietrzu.

2. Echolokacja polega na
A. wysyłaniu i odbieraniu fal radiowych.
B. wysyłaniu i odbieraniu fal akustycznych.
C. obserwacji przez peryskop.
D. sondowaniu dna za pomocą specjalnych ciężarków.

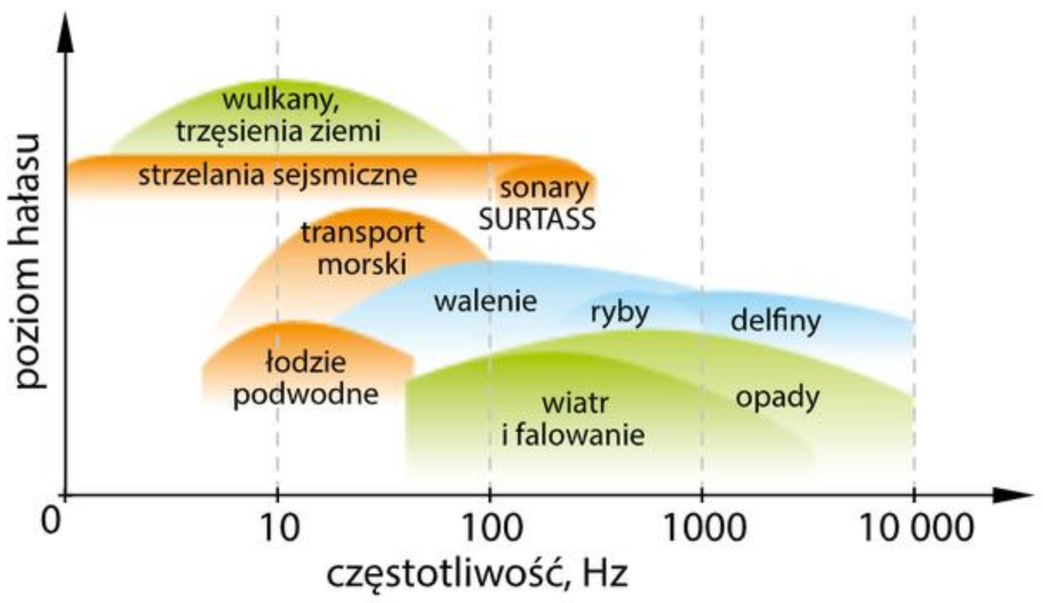
3. Na podstawie artykułu można ustalić, że prędkość dźwięku w wodzie zależy od
A. jej temperatury.
B. jej głębokości.
C. wysokości dźwięku.
D. natężenia dźwięku.

4. Oceń, czy zasięg fal akustycznych w oceanach zależy od ich długości.
A. Tak – dłuższe przenoszą się dalej.
B. Tak – krótsze przenoszą się dalej.
C. Nie.

5. Najdalsze organizmy wodne, które usłyszano w oceanie, znajdowały się w odległości
A. kilkudziesięciu metrów.
B. około kilometra.
C. kilkudziesięciu kilometrów.
D. kilku tysięcy kilometrów.

6. Wieloryby podczas wędrówek korzystają z
A. mapy gwiazd.
B. położenia słońca na niebie.
C. mapy dna morskiego stworzonej za pomocą echolokacji.

7. Na podstawie ilustracji obok można stwierdzić, że najwięcej hałasu o częstotliwości 5 tys. Hz wytwarzają w oceanie
A. trzęsienia ziemi.
B. łodzie podwodne.
C. delfiny.
D. sonary.



Praca badawcza

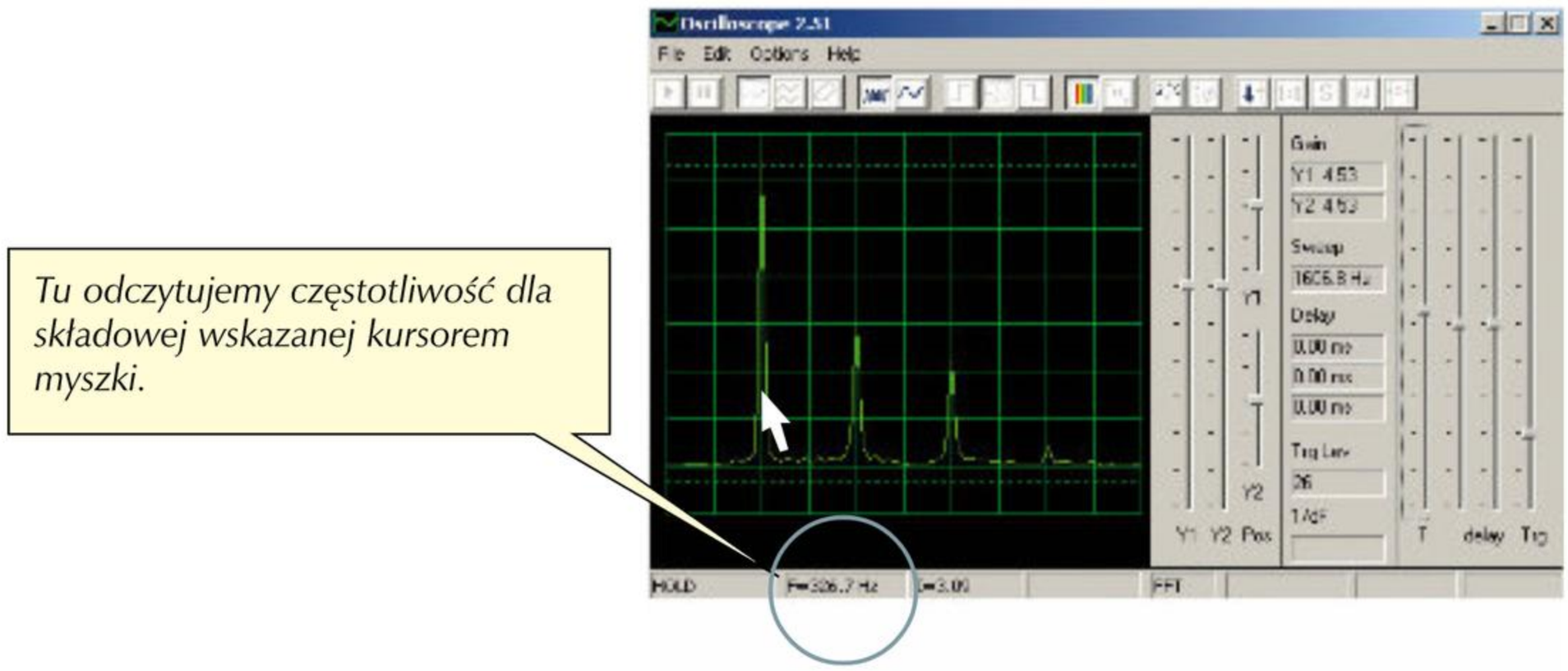
Analiza widma dźwięku

Do wykonania tej pracy potrzebne będą gitara oraz komputer z oprogramowaniem do rysowania wykresów dźwięku. Może to być np. bezpłatny program Oscilloscope, który znajdziesz w internecie.

Do tej pory dzięki temu programowi uzyskiwaliśmy wykres dźwięku, tzn. wykres zależności ciśnienia akustycznego od czasu. Teraz skorzystamy z innej funkcji – analizy widma. W programie Oscilloscope włącza się ją za pomocą klawisza z tęczą. W tęczy światło rozłożone jest na różne barwy, czyli różne częstotliwości, podobnie ten program rozkłada dźwięk na poszczególne częstotliwości (mówimy o poszczególnych „składowych" dźwięku).

Oś pozioma to oś częstotliwości. Na osi pionowej odczytujemy głośność składowej o tej częstotliwości.

Na ilustracji widzisz widmo dźwięku struny e^1 gitary. Jest to najcieńsza struna, dająca najwyższy dźwięk. Widzimy, że w tym dźwięku najsilniejszy jest ton o częstotliwości około 330 Hz. Oprócz tego obecne są tony 660 Hz i 990 Hz oraz – bardzo słaby – 1320 Hz.



1. Jaka jest zależność między częstotliwościami tych tonów?

2. Jakim dźwiękom muzycznym odpowiadają częstotliwości 330 Hz, 660 Hz i 990 Hz? Zaznacz je na pięciolinii.

Skorzystaj z rysunku na s. 132. Przedstawiono na nim częstotliwości tylko dla jednej oktawy, ale dźwięk o oktawę wyższy ma dwa razy większą częstotliwość.

3. Zbadaj widmo dźwięku wybranej struny gitary. Jak zachowują się poszczególne składowe, gdy struna przestaje drgać? Czy ich głośność zmniejsza się proporcjonalnie, czy też ich proporcje się zmieniają?

4. Wyjaśnij powstawanie składowych o różnych częstotliwościach. Skorzystaj z wybranych przez siebie źródeł.

5. Zbadaj widmo dźwięku innych instrumentów muzycznych. Porównaj je z widmem dźwięku gitary.

6. Dowiedz się, jaka jest zależność między stosunkiem częstotliwości dwóch dźwięków a ich współbrzmieniem. Spróbuj to zbadać doświadczalnie. Możesz się posłużyć wybranymi źródłami informacji (książki, internet).

W kropli wody widzimy pomniejszony obraz rosnących za nią kwiatów.
W dodatku do góry nogami! Dlaczego?

Optyka

Z tego rozdziału dowiesz się,
jak to się dzieje, że widzimy.
Zrozumiesz także zjawiska związane
z rozchodzeniem się światła oraz zasadę
działania soczewek i zwierciadeł.



26 Światło i cień

Doświadczenie

1. Do wysokiej szklanki nalej wody, a następnie dodaj małą kroplę mleka i wymieszaj.
2. Przygotuj wskaźnik laserowy. Postępuj z nim ostrożnie – nawet tak małym laserem nie wolno świecić w oczy. Grozi to utratą wzroku!
3. Zaświeć z góry laserem na powierzchnię wody. Obserwuj bieg światła, patrząc na szklankę z boku. Co widzisz?

W poprzednim rozdziale podręcznika mówiliśmy, że światło jest falą elektromagnetyczną. Ma ono naturę podobną do fal radiowych, ale znacznie większą częstotliwość (czyli znacznie mniejszą długość fali). Człowiek widzi fale o długości od około 380 nm do około 780 nm. Fale o różnych długościach odbieramy jako różne barwy. Zagadnienie to omówimy dokładniej w temacie 37.
Wiesz już, że światło ulega dyfrakcji i interferencji. Powiedzieliśmy również, że z powodu małej długości fali (poniżej 0,001 mm) rzadko możemy zaobserwować dyfrakcję światła, czyli jego ugięcie na przeszkodzie.
Obserwując większość zjawisk, możemy przyjąć następujące założenie:

Światło rozchodzi się po liniach prostych.

Takie założenie przyjmiemy w tym rozdziale. Powiemy tutaj dokładniej o zjawiskach związanych ze światłem: cieniu, powstawaniu obrazu w lustrze, działaniu soczewek i oka. Zacznijmy od wprowadzenia niezbędnych pojęć.

Źródło światła

Znasz wiele ciał, które wysyłają światło: Słońce i inne gwiazdy, płomień świecy, włókno żarówki, gaz w świetlówce itp. Nazywamy je **źródłami światła**. Najczęściej są nimi ciała o wysokiej temperaturze.

Ciało wysyłające światło nazywamy źródłem światła.

Ekran kinowy, Księżyc, śnieg mogą być bardzo jasne, nie są jednak źródłami światła, ponieważ jedynie odbijają światło wysyłane przez inne ciała.

Ciekawostka

Najbardziej znanymi zwierzętami wytwarzającymi światło są świetliki, czyli robaczki świętojańskie. Znacznie więcej zwierząt mających taką umiejętność żyje w morzach. W ciemnych głębinach stanowią one jedyne źródło światła. Zdolność świecenia mają także niektóre bakterie i grzyby. We wszystkich tych organizmach światło powstaje w wyniku odpowiednich reakcji chemicznych, a nie na skutek wysokiej temperatury. Narządy świetlne niektórych zwierząt, np. krewetek, są wyposażone w soczewki i lustra odbijające światło.



Robaczek świętojański.



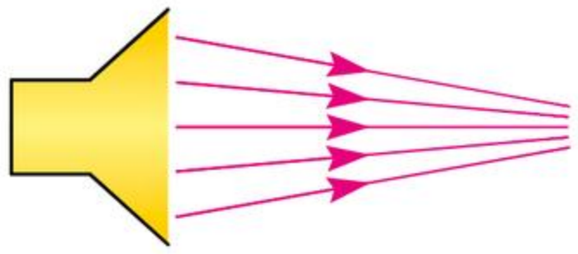
Świecąca krewetka.

Wiązka i promień światła

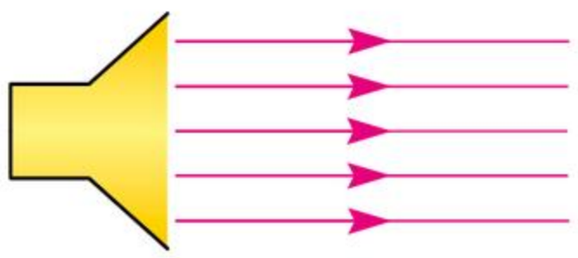
Rozchodzenie się światła ze źródła nie zawsze odbywa się w taki sam sposób. Porównajmy nieosłoniętą żarówkę z reflektorem samochodowym. Zarówka wysyła światło niemal we wszystkie strony. Natomiast reflektor zbudowany jest tak, aby świecił tylko do przodu.

Mówimy, że reflektor wysyła **wiązkę światła**. Różne rodzaje wiązek światła przedstawiono na rysunkach obok.

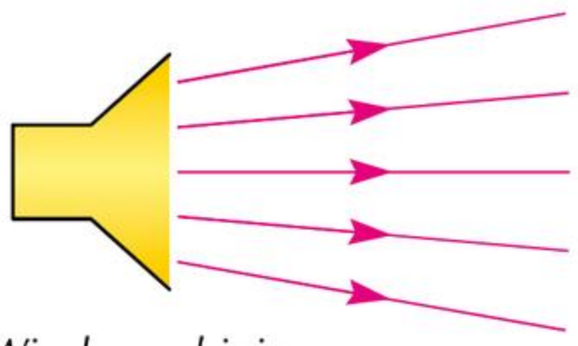
W optyce – nauce o świetle – do opisu rozchodzenia się światła wprowadzamy pojęcie **promienia światła**.



Wiązka zbieżna.



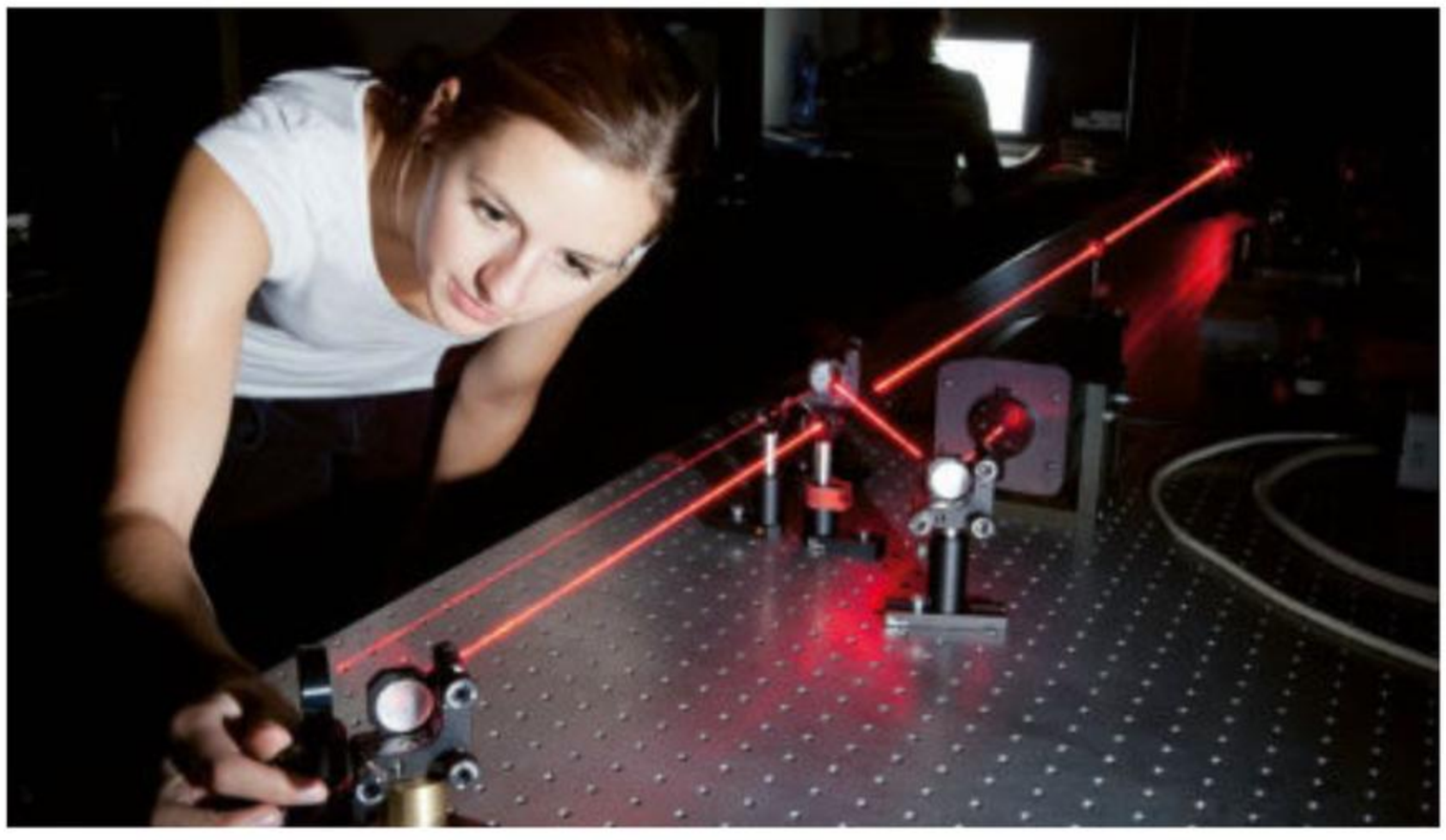
Wiązka równoległa.



Wiązka rozbieżna.

Promieniem światła nazywamy bardzo wąską równoległą wiązkę światła.

Już wkrótce przekonasz się, że to pojęcie jest bardzo przydatne przy wyjaśnianiu różnych zjawisk związanych ze światłem.



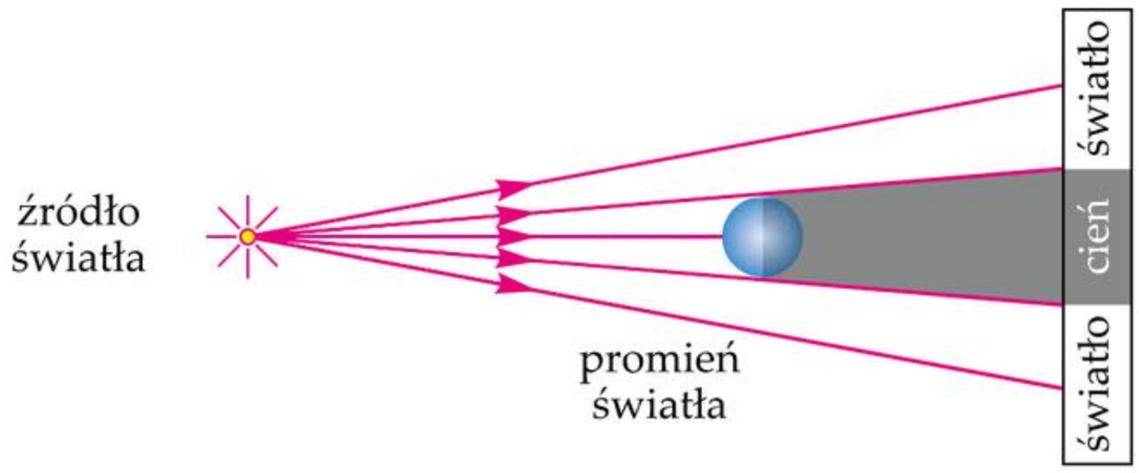
Laser jest źródłem światła wytwarzającym cienką, równoległą wiązkę.

Powstawanie cienia i półcienia

Doświadczenie

1. W ciemnym pokoju włącz lampkę z jedną żarówką.
2. Między lampką a ścianą umieść jakiś przedmiot lub swoją dłoń.
3. Zbliżaj przedmiot (lub dłoń) do lampki i oddalaj od niej.
4. Obserwuj, jak powstaje cień na ścianie, kiedy jest większy, a kiedy – mniejszy. Użyj kilku przedmiotów o różnych rozmiarach.



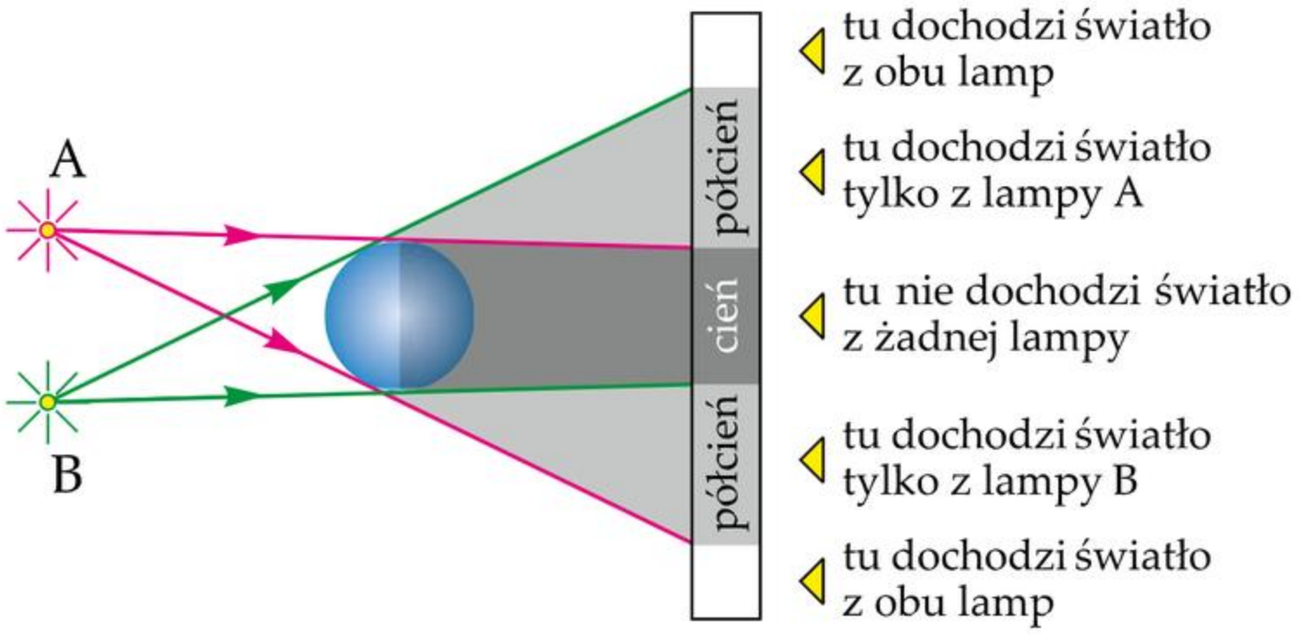


Powstawanie cienia łatwo zrozumieć, gdy pamiętamy, że światło rozchodzi się po liniach prostych. Z tego powodu nie może ominąć przeszkody, np. przedmiotu czy twojej dłoni. Fragment ściany zasłonięty przez przedmiot był ciemny, ponieważ nie docierało do niego światło. Na schematycznym rysunku powyżej przedstawiliśmy niektóre promienie światła.

Cień to obszar, do którego nie dochodzi światło.

Pokazaliśmy powstawanie cienia w przypadku jednego źródła światła. Zobacz teraz, jak zmienia się sytuacja, gdy są dwa źródła światła (patrz zdjęcie i rysunek poniżej). Poza obszarem w pełni oświetlonym i obszarem całkowicie zacienionym jest jeszcze obszar, do którego światło dochodzi tylko z jednego źródła. Nazywamy go **półcieniem**.

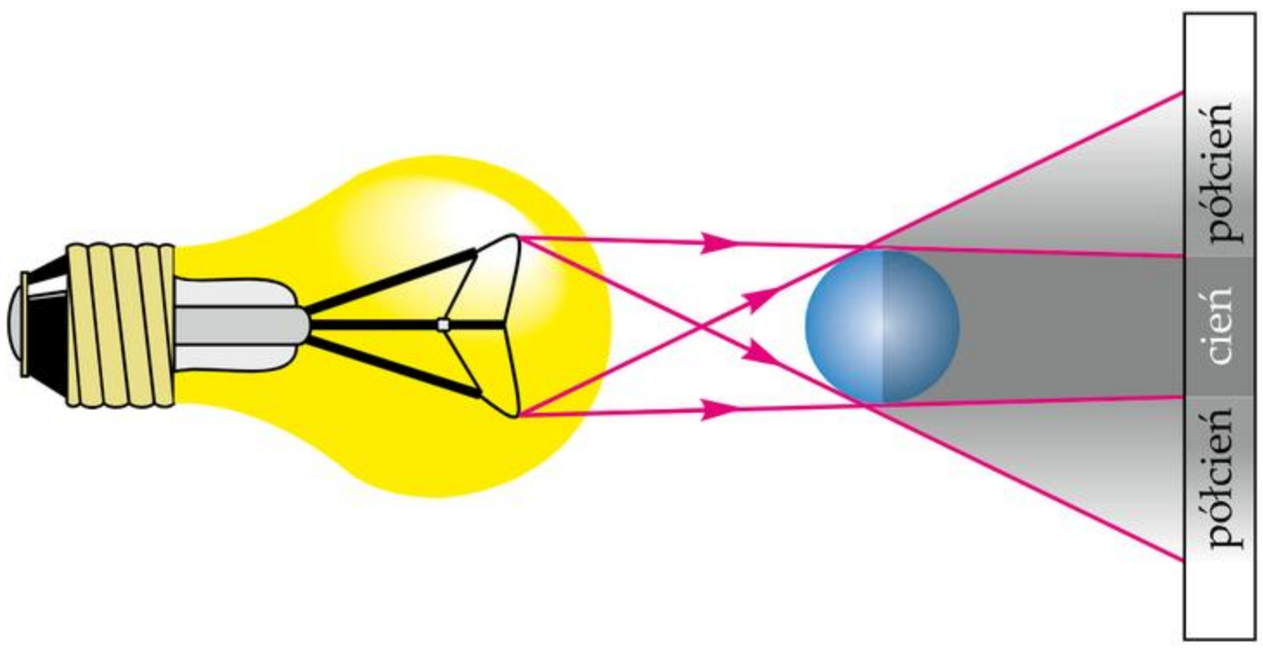




Półcień przy jednej żarówce

Dotychczas zakładaliśmy, że światło żarówki pochodzi z jednego punktu, czyli że żarówka jest **punktowym źródłem światła**. Dlatego kiedy włączona była jedna żarówka, obserwowaliśmy tylko cień, a do obserwacji półcienia potrzebne były dwa źródła światła.

W rzeczywistości jednak w żarówce świeci włókno, które może mieć nawet kilka centymetrów długości. Można je sobie wyobrazić jako wiele punktowych źródeł światła ułożonych obok siebie. Dlatego mimo że żarówka jest tylko jedna, obserwujemy półcień – fragment oświetlony tylko przez niektóre części włókna.



W tym przypadku półcień to płynne przejście od całkowitego cienia do obszaru całkowicie oświetlonego. Mówimy „półcień", choć w niektórych miejscach jest to „10% cienia", a w innych – „90% cienia".

Ciekawostka

Światła mijania samochodu muszą być odpowiednio ustawione. Wiązka światła ma oświetlać drogę, ale nie może oślepiać kierowców jadących z przeciwka. Na zdjęciu widzisz ustawianie świateł w stacji kontroli pojazdów.



Podsumowanie

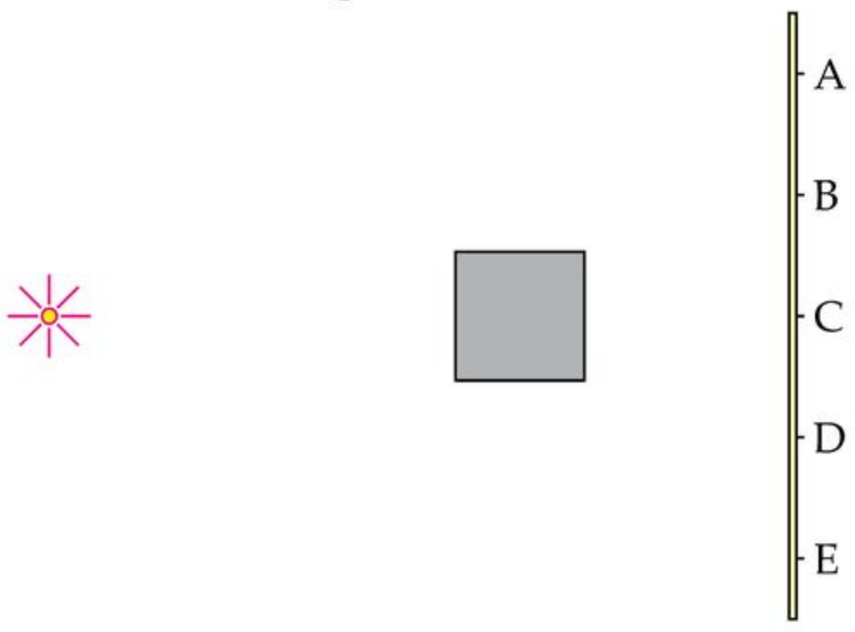
- Światło rozchodzi się po liniach prostych.
- Źródło światła to ciało świecące własnym światłem.
- Wiązka światła może być zbieżna, równoległa lub rozbieżna.
- Bardzo wąską równoległą wiązkę światła nazywamy promieniem światła.
- Ponieważ światło nie może ominąć przeszkody, tworzy się za nią cień.
- Jeśli źródeł światła jest wiele, możemy obserwować półcień. Powstaje on tam, gdzie światło dociera tylko z niektórych źródeł.
- Półcień powstaje także wtedy, gdy źródło światła ma większe rozmiary.

Pytania i zadania

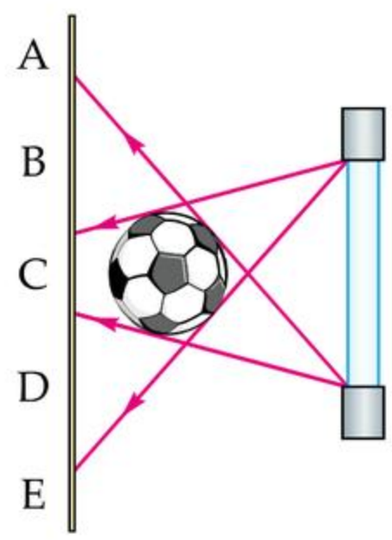
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wskaż wśród wymienionych ciał te, które są źródłami światła.
A. świetlówka
B. robaczek świętojański
C. światełko odblaskowe
D. ekran telewizora
E. ekran kinowy

2. Sześcienne pudełko oświetlone punktowym źródłem światła rzuca cień na ścianę. Przyłóż odpowiednio linijkę i odczytaj, którymi literami oznaczono granicę cienia i obszaru oświetlonego.



3. Piłka oświetlona przez świetlówkę rzuca cień na ścianę. Odczytaj, którymi literami oznaczono cień, półcień i obszar oświetlony.



4. Narysuj w zeszycie świetlówkę (podobnie jak na rysunku wyżej), piłkę oraz ścianę w takim położeniu, aby piłka nie rzucała na ścianę pełnego cienia, lecz jedynie półcień. Zaznacz obszar półcienia.

Doświadczenie

Jeden przedmiot – różne cienie

1. Weź filiżankę i obejrzyj ją z różnych stron. Narysuj, jak może wyglądać jej cień przy różnych ustawieniach.
2. W zaciemnionym pokoju włącz lampkę z jedną żarówką.
3. Obserwuj cienie filiżanki na ścianie. Czy twoje przypuszczenia się potwierdziły?

27 Widzimy dzięki światłu

Źródła światła widzimy, bo wysyłane przez nie światło dociera do naszych oczu. W jaki jednak sposób widzimy inne ciała? W tym przypadku oczy rejestrują **światło odbite**.



Strzałki pokazują bieg światła od słońca do piasku obok kobiety, od piasku do książki, od książki do oczu.

Widzimy dlatego, że do naszych oczu dociera światło odbite od różnych ciał.

Na przykład kiedy czytasz ten podręcznik, światło lampy lub słońca odbija się od kartki i wpada do twoich oczu. Z oczu informacja o tym świetle przekazywana jest do mózgu. Dokładniej o działaniu oka powiemy w temacie 33.

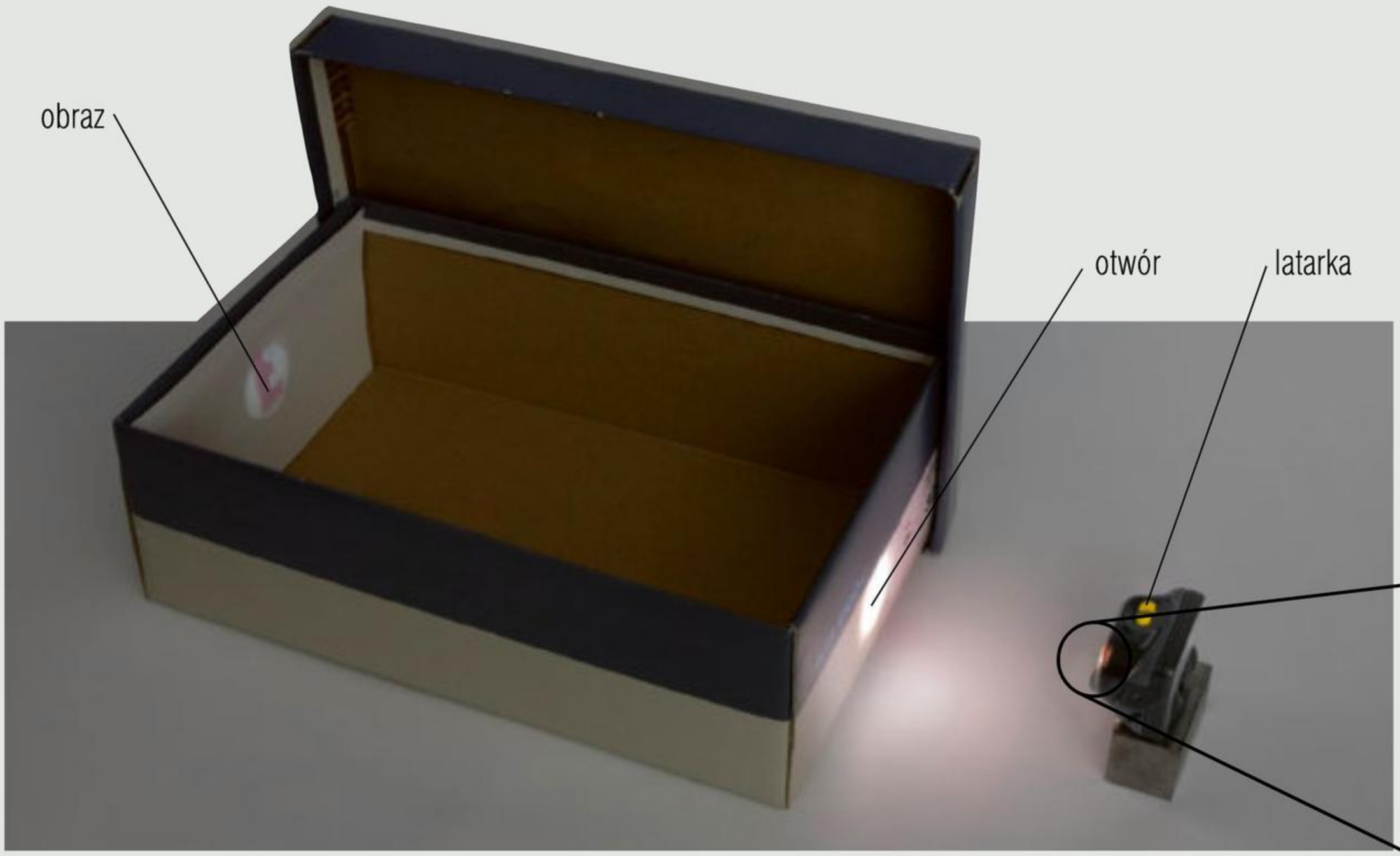
Doświadczenie

1. W ciemnym pokoju włącz tylko lampkę oświetlającą część stołu.
2. W zacienionej części stołu połóż książkę.
3. Sprawdź, czy używając białej kartki lub dłoni jako lusterka, możesz tak oświetlić książkę, aby była lepiej widoczna.

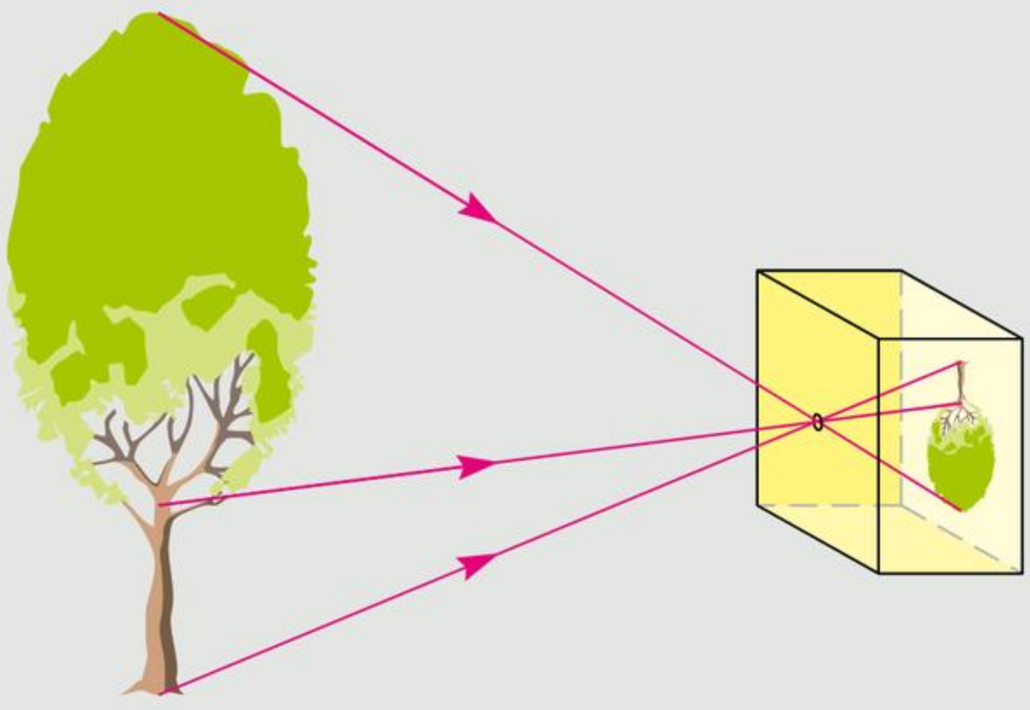


Kamera obskura

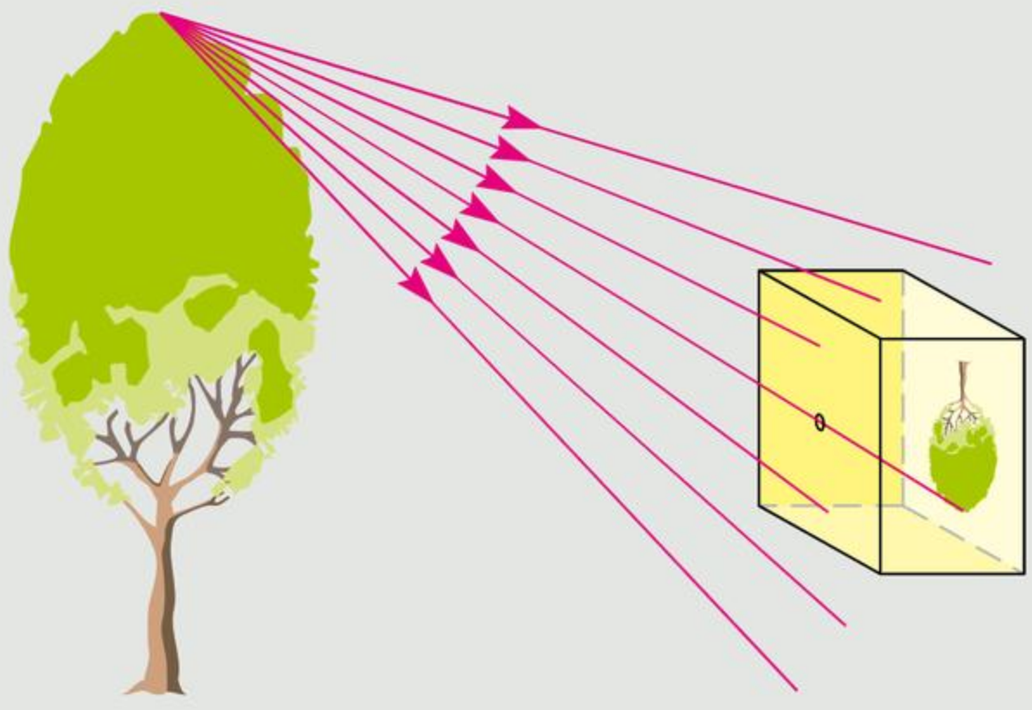
Kamera obskura (po łacinie *camera obscura*, czyli ciemny pokój) to pudełko z małym otworem.
Na ścianie wewnątrz pudełka, naprzeciwko otworu, powstaje obraz przedmiotu znajdującego się poza kamerą.



Zwróć uwagę, że obraz litery F jest odwrócony.

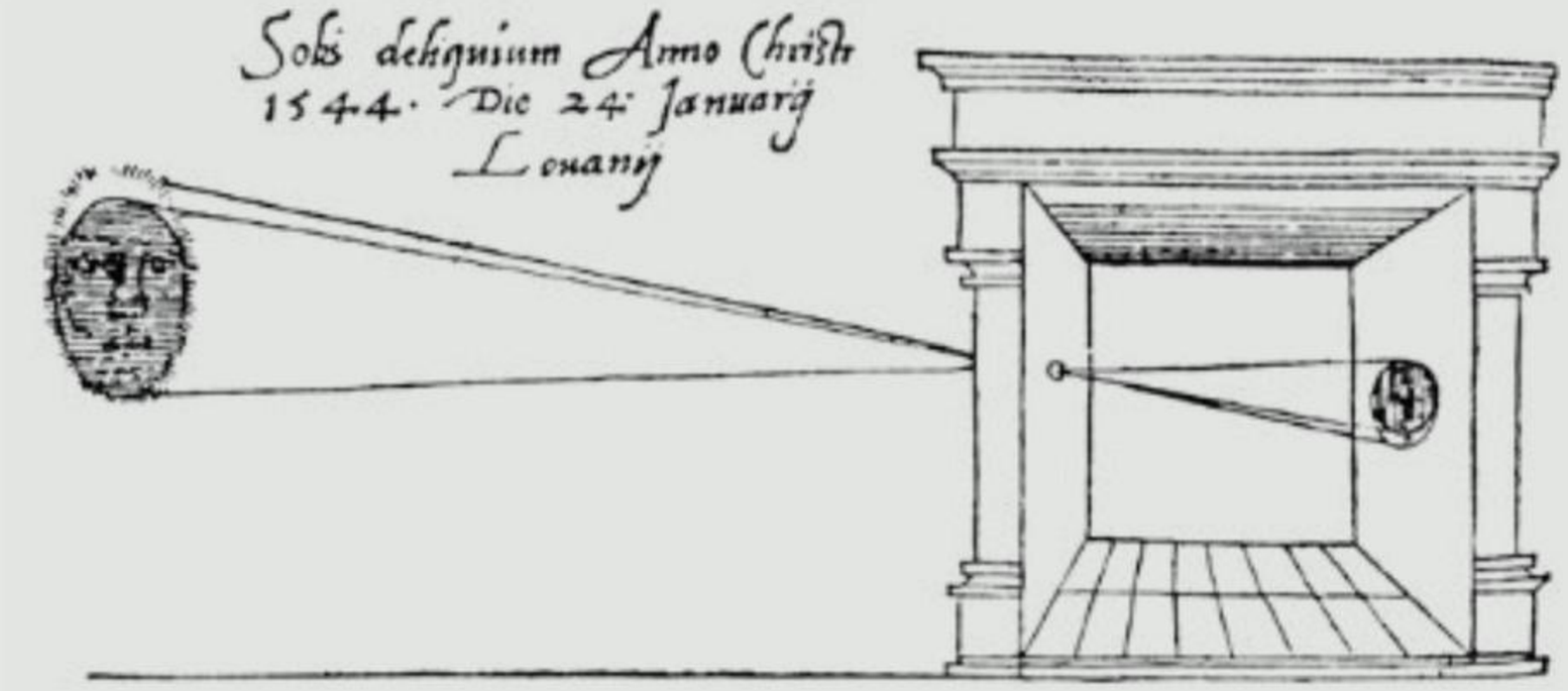


Promień światła odbity od przedmiotu, np. wierzchołka drzewa, przechodzi przez otwór pudełka i trafia na ekran. W tym miejscu ekran jest oświetlony światłem w kolorze przedmiotu, od którego się odbiło (np. zielonego, jeśli światło odbiło się od liści). Tam, gdzie nie pada światło, ekran pozostaje ciemny. Na rysunku widzisz kilka promieni światła odbitych od różnych części drzewa i padających w odpowiednie miejsce na ekranie.



Skąd promień „wie”, że ma się skierować do otworu kamery? Z wierzchołka drzewa różne promienie światła kierują się w różne strony. Te, które nie padają na otwór kamery, po prostu nas nie interesują, bo nie biorą udziału w tworzeniu obrazu.

Choć optyki uczysz się pod koniec szkoły podstawowej, nie oznacza to, że była ona ostatnim odkrytym działem fizyki. Wręcz przeciwnie, o rozchodzeniu się światła, jego odbijaniu się od luster, działaniu soczewek wiedziano już w starożytności. Kamera obskura to wynalazek średniowiecznego arabskiego uczonego Alhazena. Przez wiele lat służyła artystom jako pomoc w wykonywaniu rysunków.





Doświadczenie

Duża kamera obskura

1. W słoneczny dzień zasłoń dokładnie wszystkie okna w pokoju (np. czarnym papierem albo folią aluminiową). Okno nie powinno wychodzić na tę stronę świata, z której świeci Słońce.
2. W papierze zasłaniającym jedno z okien wytnij otwór o średnicy około 1 cm.
3. W ten sposób znalazłeś się w wielkiej kamerze obskurze. Ustaw naprzeciwko dziurki biały arkusz papieru i obserwuj obraz. Jeśli ściana naprzeciwko otworu jest jasna, obraz może być widoczny bezpośrednio na ścianie. Zwróć uwagę, co się z nim dzieje, gdy oddalasz kartkę od dziurki. Zanotuj w zeszycie wnioski z doświadczenia.

Doświadczenie

Ciemną nocą spójrz w okno, nie gasząc światła. Co widzisz?

Ciała przezroczyste

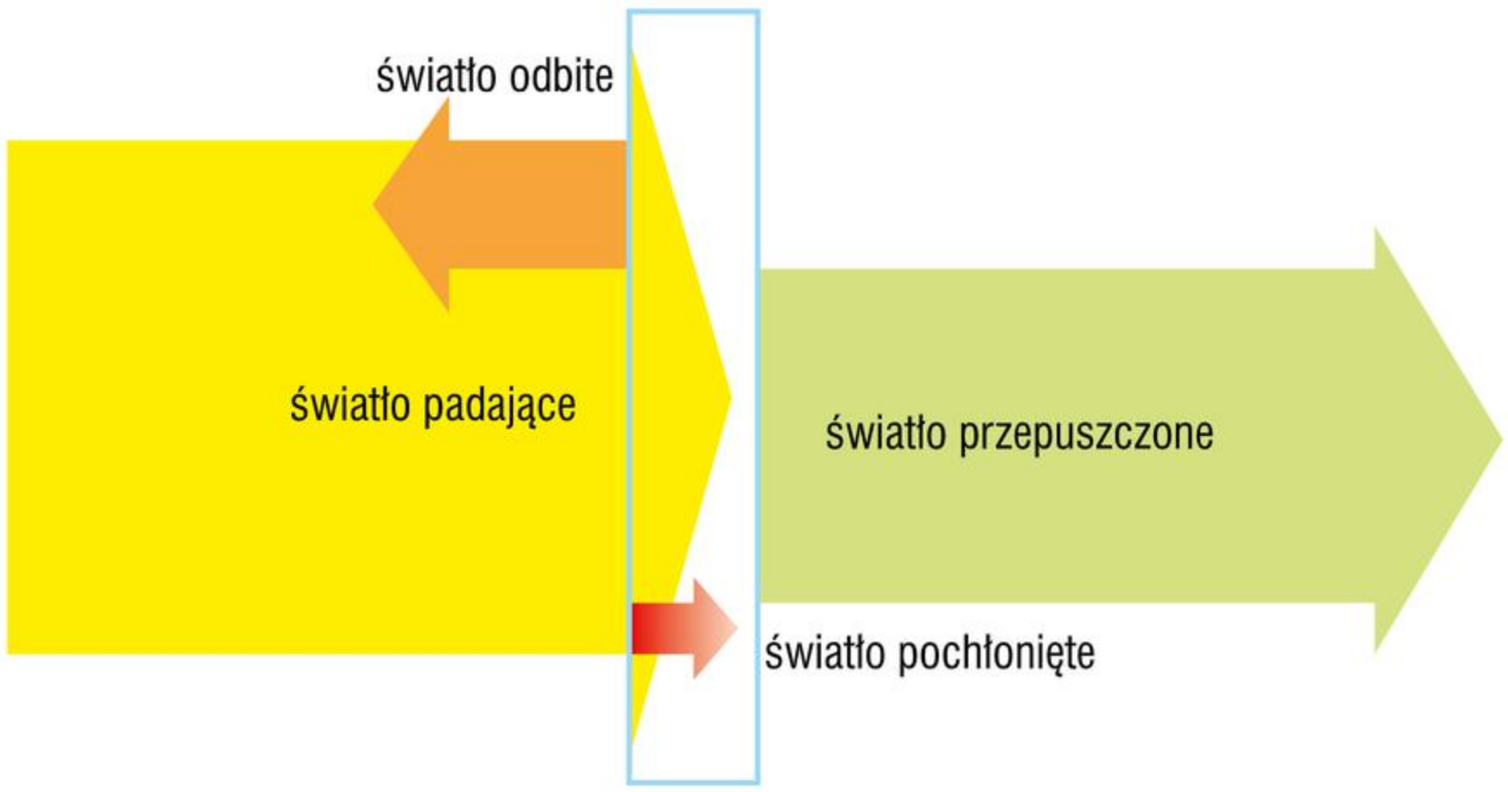
Na co dzień spotykamy różne ciała przezroczyste. Są nimi szyby, cienkie woreczki foliowe, woda itd.

Ciało przezroczyste przepuszcza światło.

Ciało idealnie przezroczyste byłoby niewidzialne. W rzeczywistości ciała są przezroczyste tylko do pewnego stopnia: część światła przepuszczają, część odbijają, a część pochłaniają.



Ciemną nocą szyba okienna działa jak ciemne lustro.



Nawet czysta szyba odbija część światła, o czym można się przekonać, przeglądając się w niej, gdy za oknem jest ciemno.
Część światła jest też przez nią pochłaniana. Możesz to zauważyć, gdy patrzysz na grubą warstwę szkła lub kilka złożonych szklanych płyt (u szklarza). Szkło jest wówczas zielonkawe i wyraźnie mniej przezroczyste.
Niektóre ciała przezroczyste, np. kolorowe szkło, mają określoną barwę. Powiemy o tym więcej w temacie 37.

Ciała nieprzezroczyste

Ciała nieprzezroczyste (np. metale, drewno, glina) część światła pochłaniają, a część odbijają. Im jaśniejsze ciało, tym więcej światła odbija się od jego powierzchni.

Ciało czarne pochłania prawie całe światło, które na nie pada, a ciało białe – prawie całe światło odbija.

Ciekawostka



Znaczenie światła dla roślin nie ogranicza się do fotosyntezy. Czy domyślasz się, skąd chryzantemy „wiedzą", że zbliża się dzień Wszystkich Świętych i „trzeba zakwitnąć"? I to niezależnie od tego, czy jesień jest zimna czy ciepła.
Otóż kwiaty te reagują na zmianę długości nocy: zakwitają, gdy noc stanie się odpowiednio długa.

Podsumowanie

- Widzimy dlatego, że do naszych oczu dociera światło odbite od różnych ciał.
- Wszystkie ciała odbijają część padającego na nie światła, a część pochłaniają. Ciała przezroczyste część światła przepuszczają.
- Ciała jasne odbijają więcej światła niż ciała ciemne.
- Ciało czarne pochłania prawie całe światło, które na nie pada, a ciało białe – prawie całe światło odbija.
- Kamera obskura to pudełko z małym otworem. Światło wpadające przez ten otwór tworzy na tylnej ścianie kamery obraz przedmiotów znajdujących się przed nią.

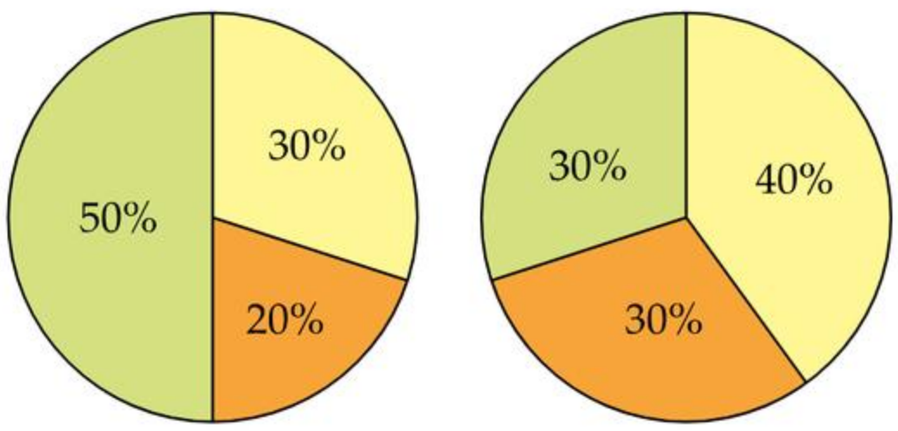
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Opisz krótko, jak światło wędruje do oczu osoby czytającej książkę.



2. Na diagramach przedstawiono, co się dzieje ze światłem padającym na okna jednakowych pokoi I i II, w których nie ma żadnych źródeł światła.

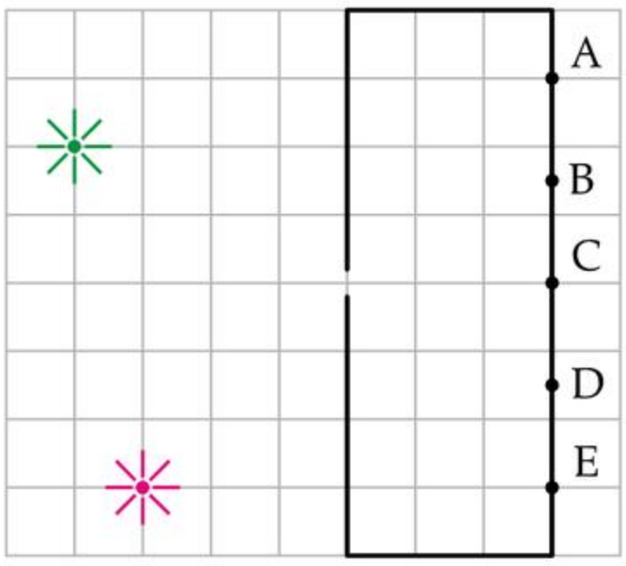


a) Określ, które okno wygląda na jaśniejsze z zewnątrz budynku.
b) W którym pokoju jest jaśniej?

3. Odpowiedz na pytania:
a) Dlaczego sufity maluje się zwykle na biało?
b) Dlaczego fotograf czasami kieruje silną lampę błyskową nie na fotografowany obiekt, ale na sufit?

4. Dlaczego, gdy chmury zakryją słońce, nie robi się zupełnie ciemno, tak jak w nocy?

5. W kamerze obskurze powstał obraz dwóch kolorowych lampek. Wskaż literę oznaczającą punkt, w którym znajduje się obraz lampki:
a) zielonej, **b)** czerwonej.



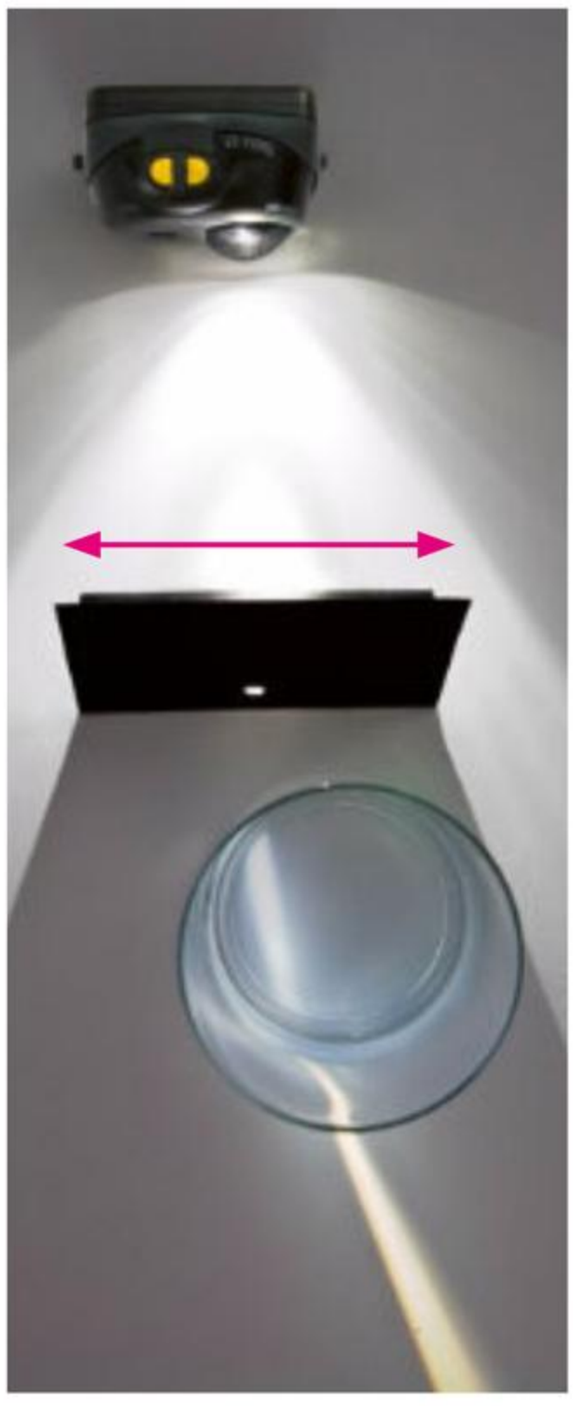
6. Opisz, jak zmienia się wielkość obrazu w kamerze obskurze, gdy:
a) oddalamy ekran od otworka,
b) oddalamy kamerę od przedmiotu.

7. Czasami już po zapadnięciu zmroku widzimy samolot oświetlany przez zachodzące słońce. Jak to możliwe? Sporządź w zeszycie rysunek wyjaśniający to zjawisko.

28 Załamanie światła

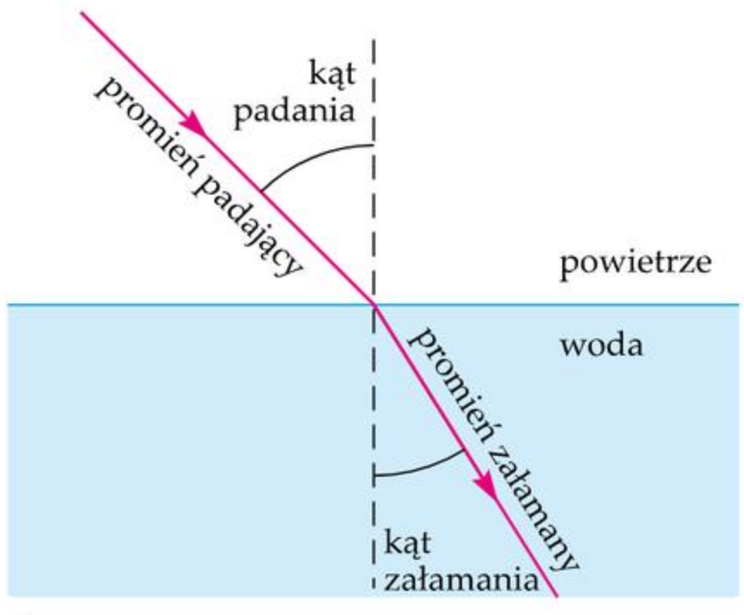
Doświadczenie ⚠

1. Weź szklankę o pionowych ściankach. Nalej do niej wody, dodaj kilka kropli mleka i wymieszaj.
2. Połóż latarkę obok szklanki, a między latarką i szklanką umieść kartonik z niewielkim otworem.
3. Poświeć na otworek w kartonie. Zamiast latarki i kartonika z otworkiem możesz użyć wskaźnika laserowego. Postępuj z nim ostrożnie – nawet tak małym laserem nie wolno świecić w oczy. Światło laserowe może spowodować odklejenie się siatkówki oka.
4. Powoli przesuwaj kartonik w kierunku, który wskazuje strzałka zaznaczona na zdjęciu poniżej. Patrząc z góry na szklankę, obserwuj promień światła w wodzie.

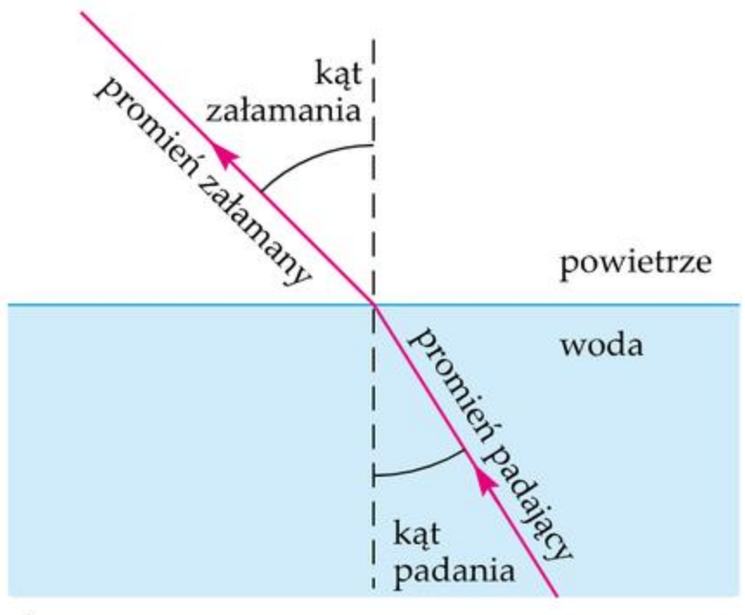


Prawo załamania

W różnych ośrodkach światło rozchodzi się z różną prędkością (patrz tabela 4, s. 263). Na przykład w wodzie prędkość światła jest mniejsza niż w powietrzu. Z powodu tej różnicy promień światła, przechodząc z powietrza do wody, **załamuje się**, tzn. zmienia kierunek. **Kąt załamania**, czyli kąt między promieniem załamanym a linią prostopadłą do powierzchni wody, jest mniejszy od kąta padania. Gdy światło przechodzi z wody do powietrza, kąt załamania jest większy od kąta padania – czyli jest odwrotnie.



Światło przechodzi z powietrza do wody.

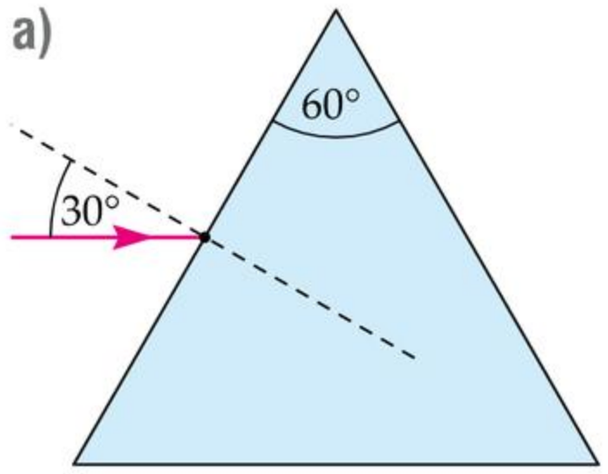


Światło przechodzi z wody do powietrza.

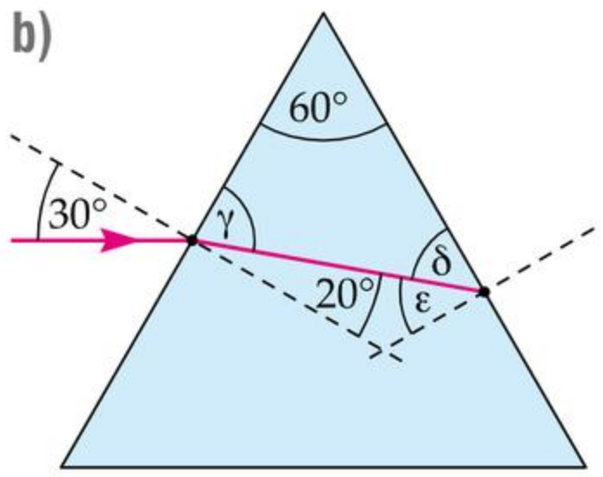
Gdy światło przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z mniejszą prędkością, to kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.

Gdy przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z większą prędkością, kąt załamania jest większy od kąta padania.

Przykład. Ze szkła wycięto graniastosłup, którego podstawą jest trójkąt. Poziomy promień światła pada na jego ściankę pod kątem 30° (rys. a). Narysuj dalszy bieg tego promienia.



Korzystamy z wykresu na stronie 261 podręcznika. Odczytujemy, że kątowi padania 30° odpowiada kąt załamania około 20°. Używając kątomierza, rysujemy dalszy ciąg promienia, aż do drugiej ścianki graniastosłupa (rys. b).
Musimy teraz obliczyć kąt padania ε.



Obliczamy:

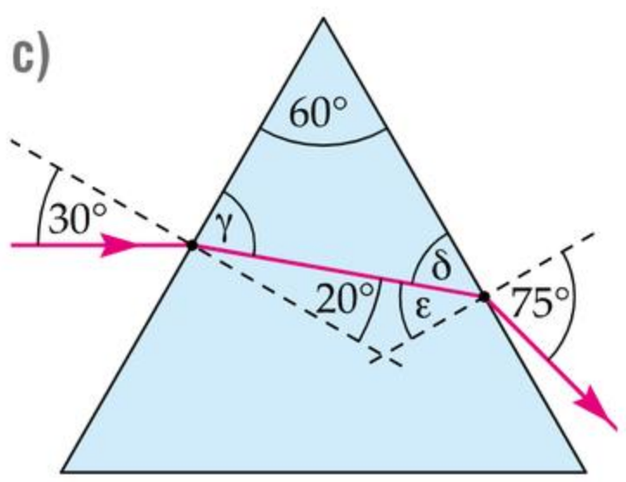
$$\gamma = 90° - 20° = 70°$$

Korzystamy z tego, że suma kątów w trójkącie wynosi 180°, stąd: $\delta + \gamma + 60° = 180°$, czyli:

$$\delta = 180° - (70° + 60°) = 50°$$

$$\varepsilon = 90° - 50° = 40°$$

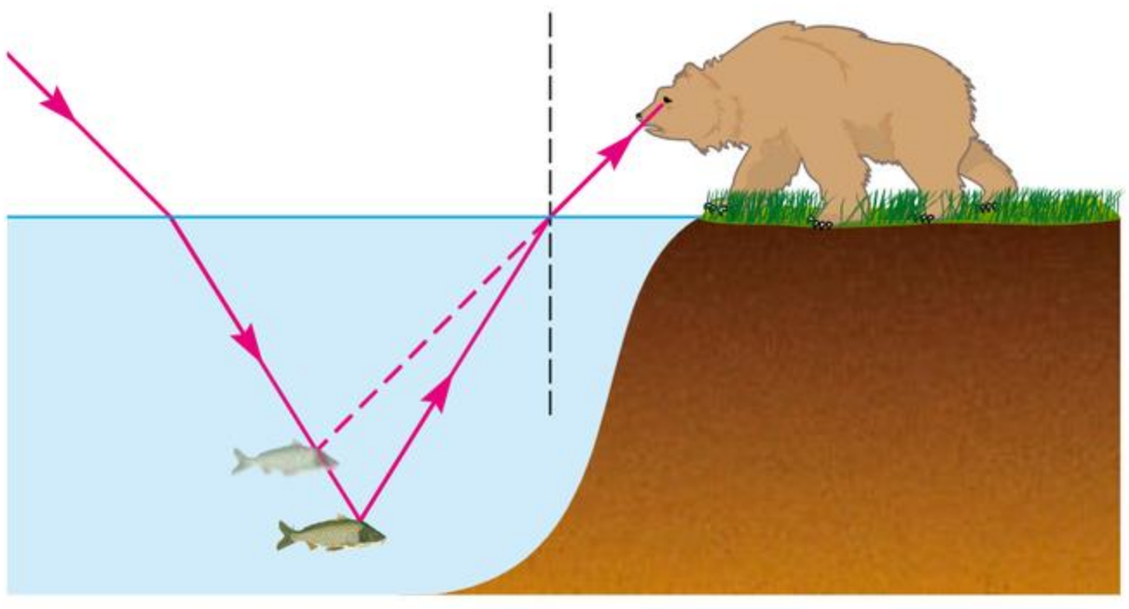
Następnie promień przechodzi ze szkła do powietrza, ulegając przy tym załamaniu. Kąt padania jest równy 40°. Z wykresu odczytujemy, że kąt załamania wynosi w tym przypadku 75°. Używając kątomierza, rysujemy ten promień (rys. c).

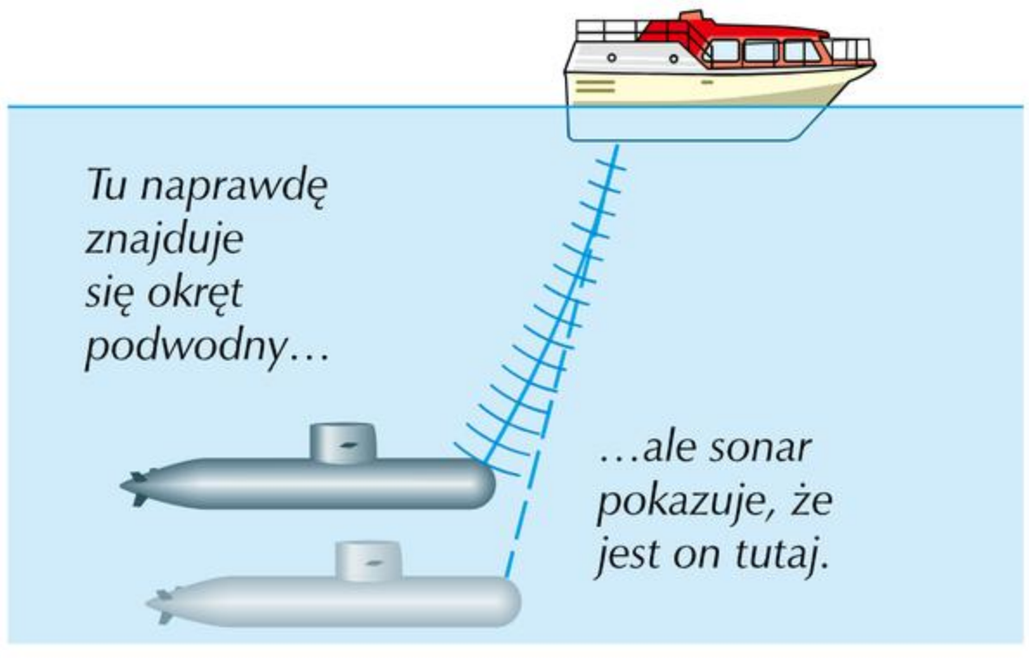


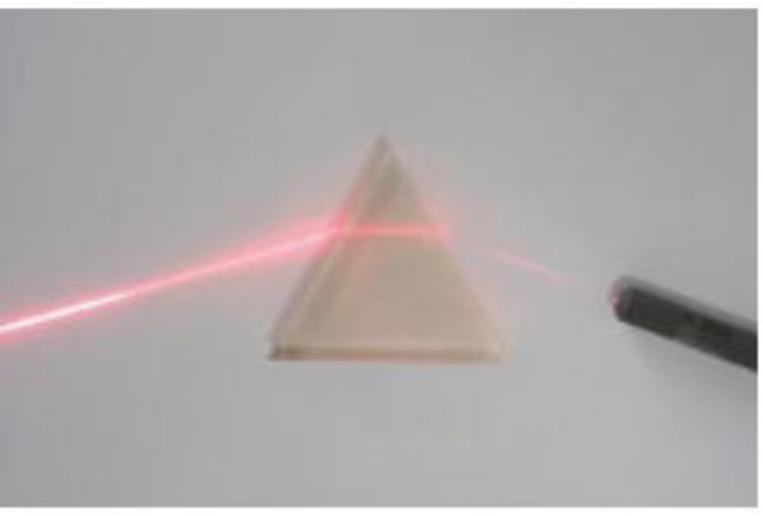
Odpowiedź: Rozwiązanie problemu z treści przykładu przedstawiono na rysunku c).

Ciekawostka

Z powodu załamania światła obiekt w wodzie widzimy zwykle w innym miejscu, niż znajduje się on w rzeczywistości. Podobne zjawisko zachodzi w przypadku fal dźwiękowych. Prędkość dźwięku jest inna w głębszych warstwach wody niż w płytkich (z powodu różnicy temperatury i zasolenia) i dźwięk załamuje się na granicy tych warstw.





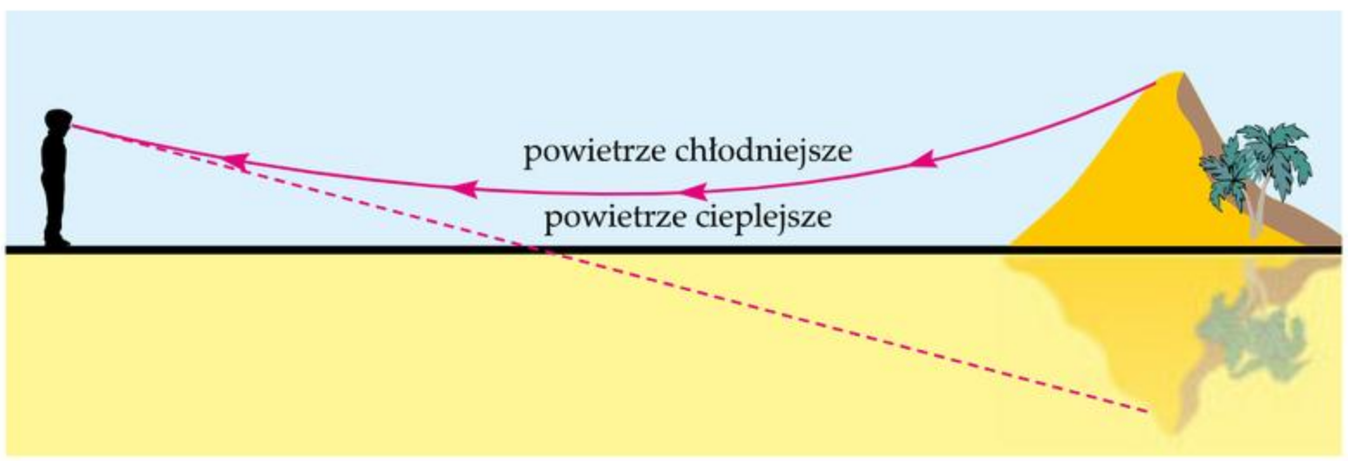


Pryzmat

Wycięty ze szkła graniastosłup, którego podstawą jest trójkąt, nazywamy **pryzmatem**. Na zdjęciu (obok) widzisz, jak światło biegnie przez pryzmat, załamując się zarówno przy przejściu z powietrza do szkła, jak i ze szkła do powietrza.
Pryzmat przyda nam się do przybliżonego wyjaśnienia działania soczewki (temat 29.) i do rozszczepienia światła (temat 37.). Warto więc zapamiętać, jak działa.

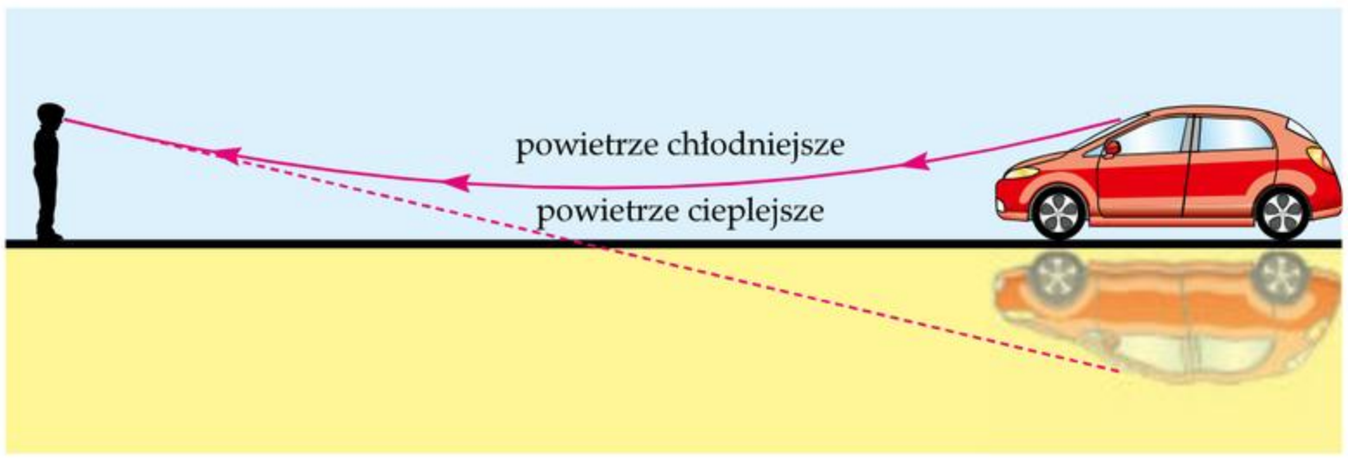
Ciekawostka

Czy wiesz, na czym polega zjawisko fatamorgany? Powietrze rozgrzane od piasku pustyni jest rozrzedzone, więc światło porusza się w nim nieco szybciej niż w powietrzu chłodniejszym.





Dlatego promień światła biegnący ukośnie w dół załamuje się, przechodząc do coraz bardziej rozrzedzonych warstw powietrza. W końcu zmienia kierunek tak bardzo, że do oczu obserwatora dociera od dołu. Ponieważ – jak zwykle – człowiekowi wydaje się, że przedmiot jest tam, skąd dochodzi światło, widzi np. obraz odległej wydmy „odbity" w gorącym powietrzu. Obraz taki wygląda jak odbicie w wodzie i podróżnik sądzi, że widzi jezioro.





Takie samo zjawisko można obserwować również w Polsce. Podobną funkcję jak pustynia może spełniać rozgrzana szosa. Pewnie zdarzało ci się widzieć „kałuże" na asfalcie, które znikały, gdy się do nich dojechało.

Podsumowanie

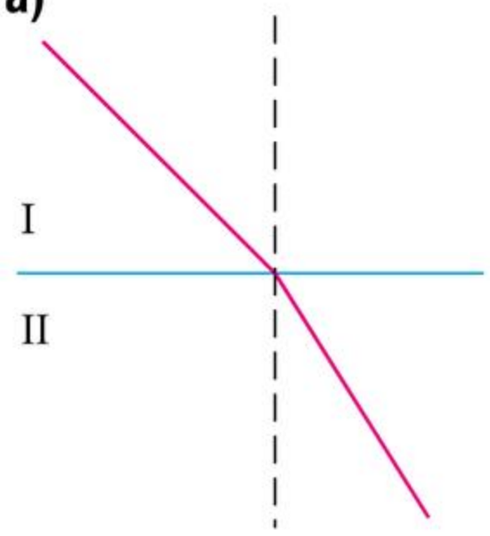
- Promień świetlny, przechodząc do ośrodka, w którym światło rozchodzi się z mniejszą prędkością (np. z powietrza do wody), załamuje się, a kąt załamania jest mniejszy od kąta padania.
- Jeśli promień przechodzi do ośrodka, w którym światło rozchodzi się z większą prędkością, kąt załamania jest większy od kąta padania.

Pytania i zadania

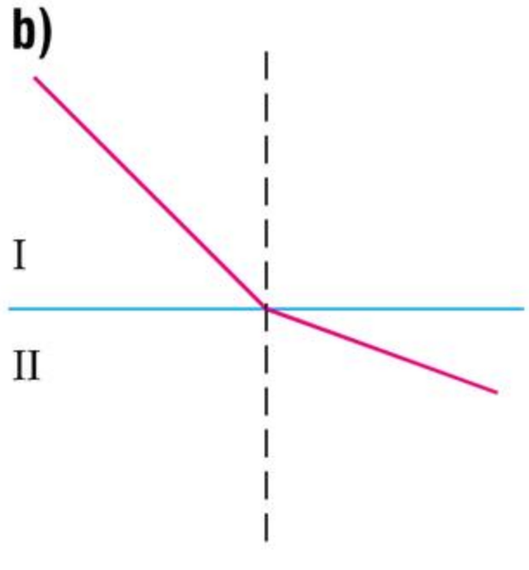
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Światło przechodzi z powietrza do lodu. Który z ośrodków oznaczono I, a który – II?

a)



b)



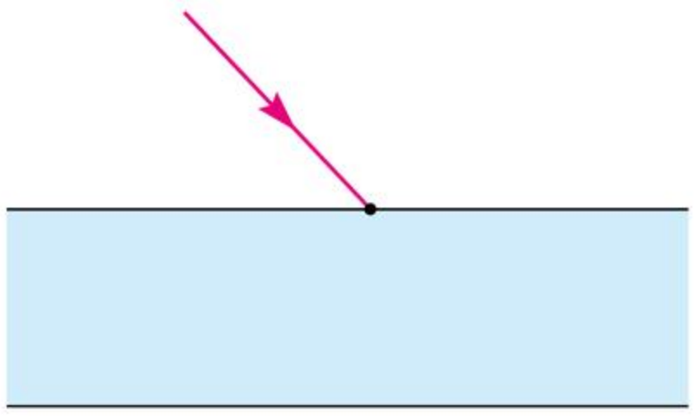
2. Nie całe światło padające na powierzchnię wody się załamuje. Część odbija się od powierzchni wody. Podaj przykład sytuacji, w której możemy to zaobserwować.

3. Wykres na stronie 261 przedstawia zależność kąta załamania od kąta padania, gdy światło przechodzi z powietrza do szkła. Narysuj w zeszycie za pomocą kątomierza promień przechodzący z powietrza do szkła i promień załamany, jeśli kąt padania wynosi:
a) 20°, **b)** 40°, **c)** 60°.

4. Narysuj w zeszycie promień światła przechodzący z wody do szkła tak, aby kąt padania wynosił 15°. Następnie narysuj promień załamany. Skorzystaj z wykresu na stronie 261.

5. Gdy na szybę samochodową spadną krople deszczu, przestaje być przezroczysta i kierowca musi włączyć wycieraczki. Jednak przez szybę akwarium doskonale widać pływające ryby, choć przecież cała szyba jest pokryta wodą. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

6. Promień światła pada na grubą szybę pod kątem 45°. Przerysuj ilustrację do zeszytu i narysuj dalszy bieg tego promienia. Pamiętaj, że przechodzi on przez granicę ośrodków dwa razy: z powietrza do szkła i ze szkła do powietrza.



Doświadczenia

Złamana łyżeczka

1. Do szklanki nalej wody, następnie włóż do niej łyżeczkę.
2. Popatrz na szklankę z boku. Łyżeczka wydaje się złamana. Czy wiesz dlaczego?



Pojawiająca się moneta

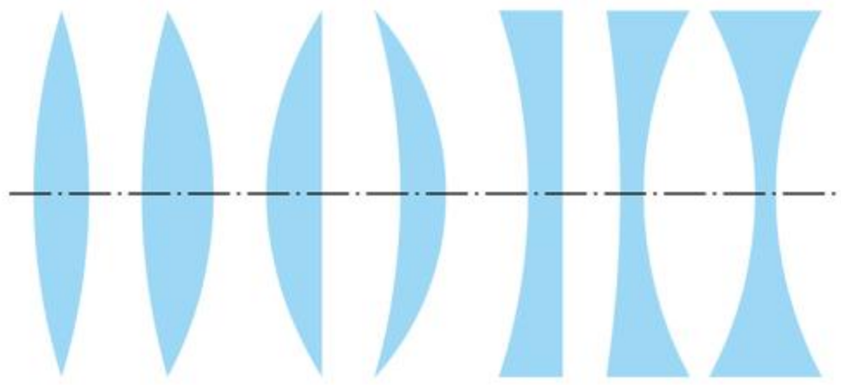
1. Na dnie pustego, nieprzezroczystego kubka połóż monetę.
2. Postaw kubek na stole.
3. Odsuwaj się od stołu, aż przestaniesz widzieć monetę w kubku.
4. Nie poruszaj głową. Poproś drugą osobę o nalanie wody do kubka. W pewnym momencie moneta znów stanie się widoczna. Wyjaśnij zaobserwowane zjawisko.



29 Soczewki



Na zdjęciach widzisz soczewki o różnych kształtach. Kilka rodzajów soczewek przedstawiono także na poniższym rysunku. Przerywana linia to **oś optyczna** soczewki.



Za pomocą soczewek o różnych kształtach można niemal dowolnie zmieniać bieg wiązki światła.

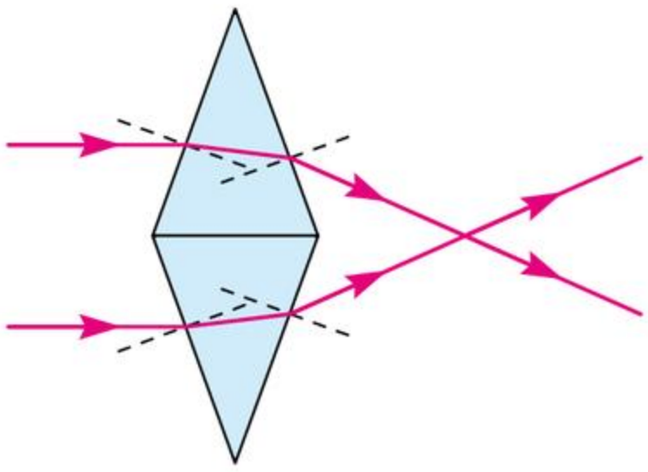




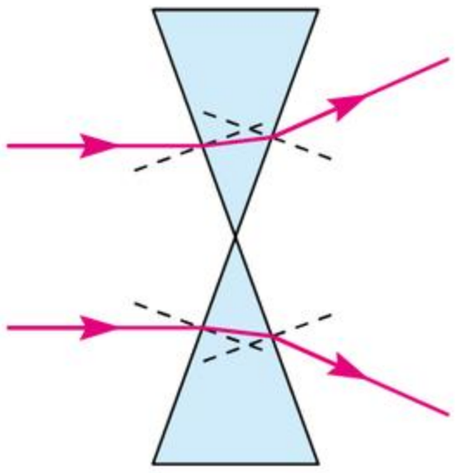
Zastosowania soczewek.

Model soczewki

Uproszczony model soczewki można utworzyć z dwóch szklanych pryzmatów. Przypomnijmy sobie z przykładu na stronie 175, jak światło biegnie przez pryzmat. Pozwoli nam to zrozumieć, w jaki sposób światło przechodzi przez soczewkę.



Soczewka wypukła – skupiająca.



Soczewka wklęsła – rozpraszająca.

Soczewka wypukła skupia wiązkę światła (zamienia wiązkę równoległą na zbieżną), a wklęsła – rozprasza (zamienia wiązkę równoległą na rozbieżną).

Doświadczenie

Uwaga. Doświadczenie do wykonania w szkole pod nadzorem nauczyciela. W żadnym wypadku nie wolno patrzeć bezpośrednio na słońce, ponieważ może to spowodować nieodwracalne uszkodzenie wzroku. Patrzenie na słońce przez soczewkę może spowodować utratę wzroku w ułamku sekundy.

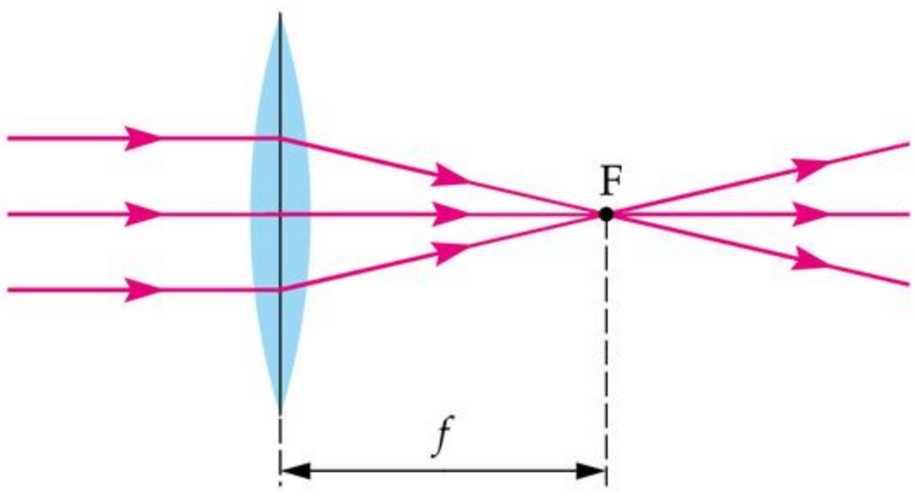
1. W słoneczny dzień w czasie doświadczenia papier może się zapalić, więc przygotuj naczynie z wodą, do którego będzie można bezpiecznie wrzucić płonącą kartkę.

2. Weź soczewkę skupiającą (np. szkło powiększające), ustaw ją prostopadle do promieni słonecznych.

3. Podsuń pod nią kawałek czarnego papieru i umieść go w takiej odległości od soczewki, aby plamka światła na kartce była jak najmniejsza.



Wyobraź sobie promienie światła padające na soczewkę skupiającą równoległe do jej osi optycznej. Po przejściu przez soczewkę promienie te tworzą wiązkę zbieżną i wszystkie przecinają się w jednym punkcie. Dalej za tym punktem wiązka jest już rozbieżna.



F – ognisko (punkt), f – ogniskowa (odległość)

Punkt, w którym przecinają się promienie skupione przez soczewkę, nazywamy jej ogniskiem.

Odległość ogniska od soczewki nazywamy jej ogniskową i oznaczamy literą f.

Soczewka wypukła ma dwa ogniska z dwóch stron. Leżą one na osi optycznej, w tej samej odległości od środka soczewki. Zauważ, że promień przechodzący przez środek soczewki nie ulega załamaniu.

Uwaga. Promień światła przechodzący przez soczewkę załamuje się dwukrotnie: kiedy przechodzi z powietrza do szkła i gdy przechodzi ze szkła do powietrza.
Dla uproszczenia będziemy jednak rysować go tak, jakby załamywał się raz – wewnątrz soczewki.

Zdolność skupiająca

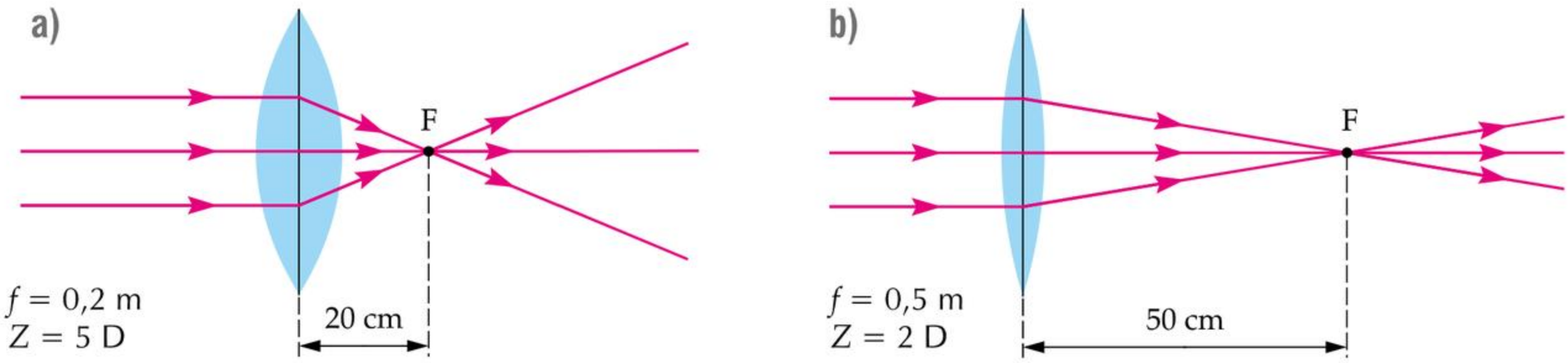
Soczewka, która ma mniejszą ogniskową, silniej skupia światło. Mówimy, że ma większą **zdolność skupiającą**.

Zdolnością skupiającą nazywamy odwrotność ogniskowej.

$$\text{zdolność skupiająca} = \frac{1}{\text{ogniskowa}} \qquad Z = \frac{1}{f}$$

Jednostką zdolności skupiającej jest $\frac{1}{\text{m}}$. Tę jednostkę nazywamy **dioptrią**: $1\ \text{D} = \frac{1}{\text{m}}$.

Powierzchnia soczewki na rysunku a) jest mocniej zakrzywiona niż soczewki na rysunku b). Soczewka a) ma więc mniejszą ogniskową, a zatem większą zdolność skupiającą (5 D) niż soczewka b) (2 D).



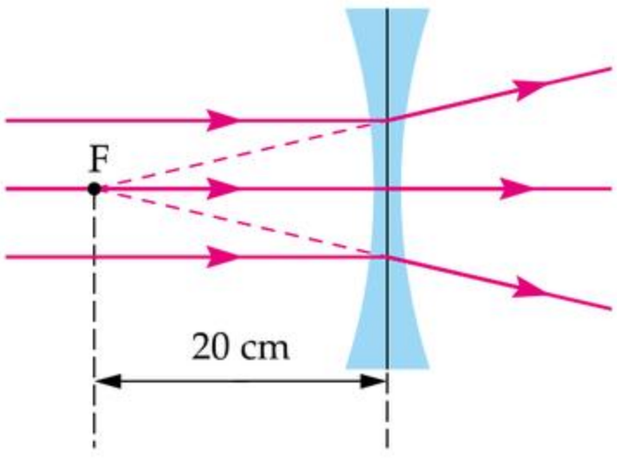
Przykład. Soczewka ma ogniskową $f = 25$ cm. Oblicz jej zdolność skupiającą.

$$f = 25\ \text{cm} = 0{,}25\ \text{m}$$

$$Z = \frac{1}{0{,}25\ \text{m}} = \frac{1}{\frac{1}{4}\text{m}} = 4\ \text{D}$$

Odpowiedź: Zdolność skupiająca soczewki wynosi 4 D.

Ogniskowa i zdolność skupiająca soczewki rozpraszającej



Wiązka światła równoległa do osi optycznej soczewki rozpraszającej po przejściu przez tę soczewkę nie skupia się w żadnym punkcie. Za to biegnie ona tak, jakby wychodziła z pewnego punktu. Punkt ten nazywamy **ogniskiem pozornym**. Jego odległość od środka soczewki nazywamy ogniskową. Jednak aby zaznaczyć, że mamy do czynienia z ogniskiem pozornym, zapisujemy ją ze znakiem minus. Ujemna jest także zdolność skupiająca soczewki rozpraszającej.

Podsumowanie

- Soczewka wypukła skupia światło, a wklęsła je rozprasza.
- Gdy promienie padające na soczewkę skupiającą równoległe do jej osi optycznej przejdą przez soczewkę, spotykają się w punkcie zwanym ogniskiem. Jego odległość od środka soczewki nazywamy ogniskową.
- Zdolność skupiająca soczewki to odwrotność ogniskowej. Jej jednostką jest dioptria: $1\ \mathrm{D} = \frac{1}{\mathrm{m}}$.
- Promienie padające na soczewkę rozpraszającą równoległe do jej osi optycznej po przejściu przez soczewkę biegną tak, jakby wychodziły z jednego punktu, zwanego ogniskiem pozornym.
- Ogniskową soczewki rozpraszającej i jej zdolność skupiającą zapisujemy ze znakiem minus.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Która z przedstawionych obok soczewek skupia światło, a która je rozprasza? Przerysuj soczewki do zeszytu i naszkicuj, jak światło biegnie przez każdą z nich.

a)

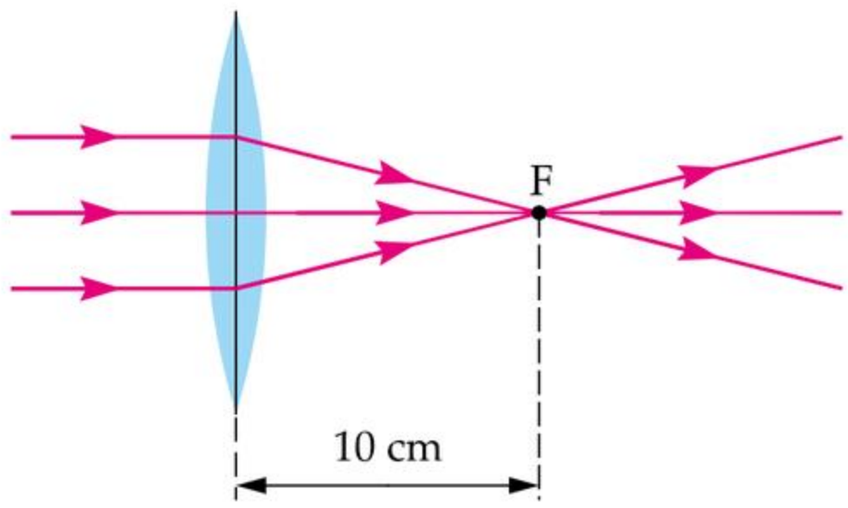


b)

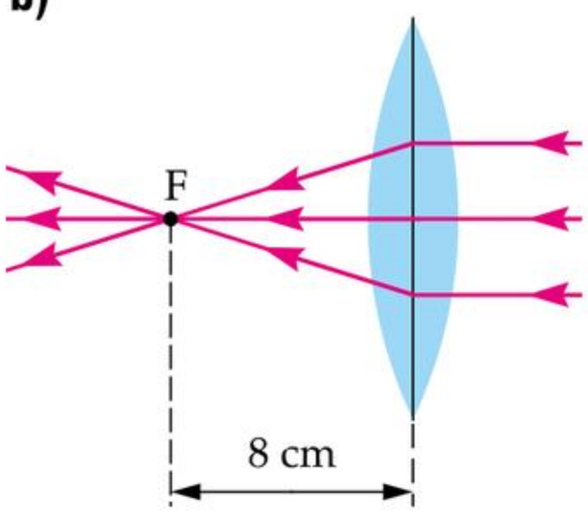


2. Odczytaj z rysunków ogniskową każdej soczewki, a następnie oblicz w zeszycie zdolności skupiające soczewek. Pamiętaj o znakach plus i minus.

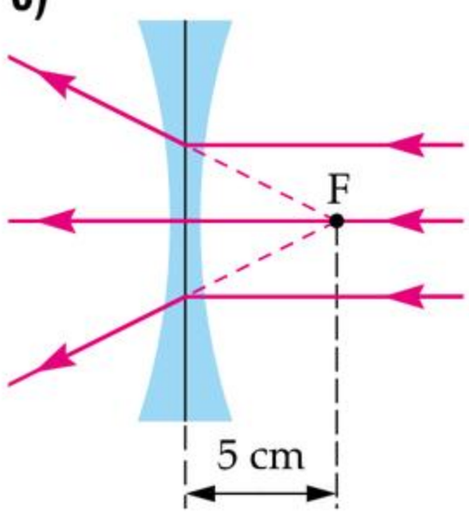
a)



b)

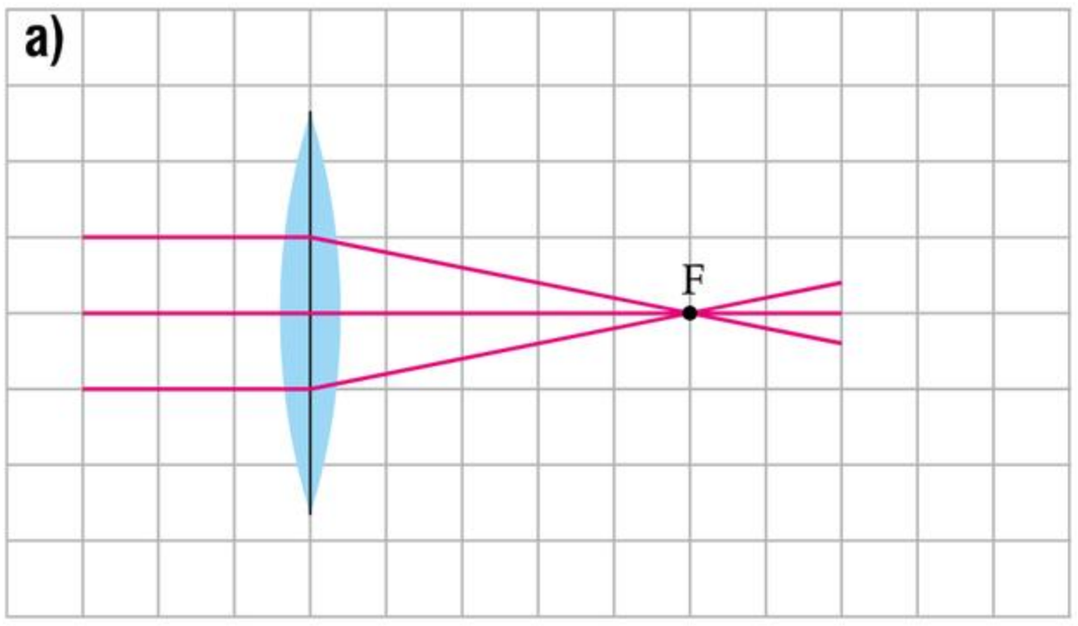


c)

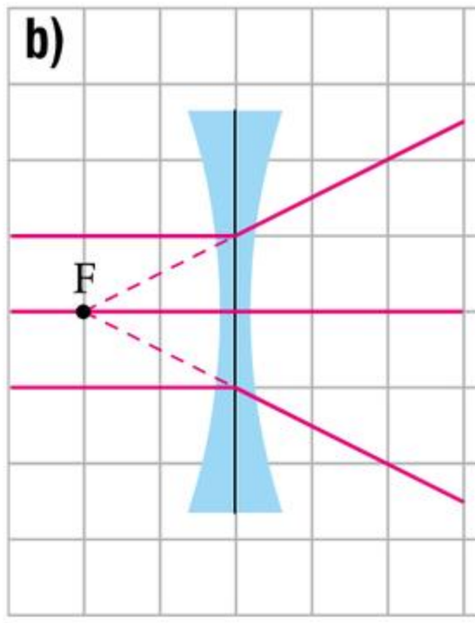


3. Rysunki wykonano w skali 1:1. Oblicz zdolność skupiającą każdej z soczewek.

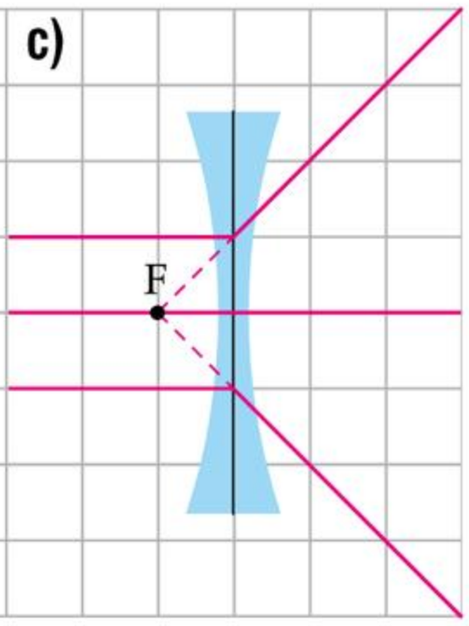
a)



b)



c)



4. Oblicz ogniskową soczewki o podanej zdolności skupiającej. Określ, czy jest to soczewka skupiająca czy rozpraszająca.

a) 4 D **b)** –0,2 D **c)** –3 D



30 Obrazy tworzone przez soczewkę skupiającą

Obrazy tworzone przez soczewkę skupiającą mogą być różne, w zależności od miejsca, w którym znajduje się oglądany przedmiot.

Przedmiot daleko od soczewki

Doświadczenie

1. Ustaw soczewkę skupiającą (np. szkło powiększające) równolegle do okna.
2. Za soczewką (tzn. po przeciwnej stronie niż okno) ustaw białą kartkę.
3. Zbliżaj kartkę do soczewki i oddalaj od niej, aż znajdziesz odległość, w której na kartce pojawi się ostry obraz widoku zza okna. Będzie on odwrócony do góry nogami. W podobny sposób możesz uzyskać na ekranie (kartce papieru) obraz jasnego przedmiotu znajdującego się w pokoju, np. świeczki.



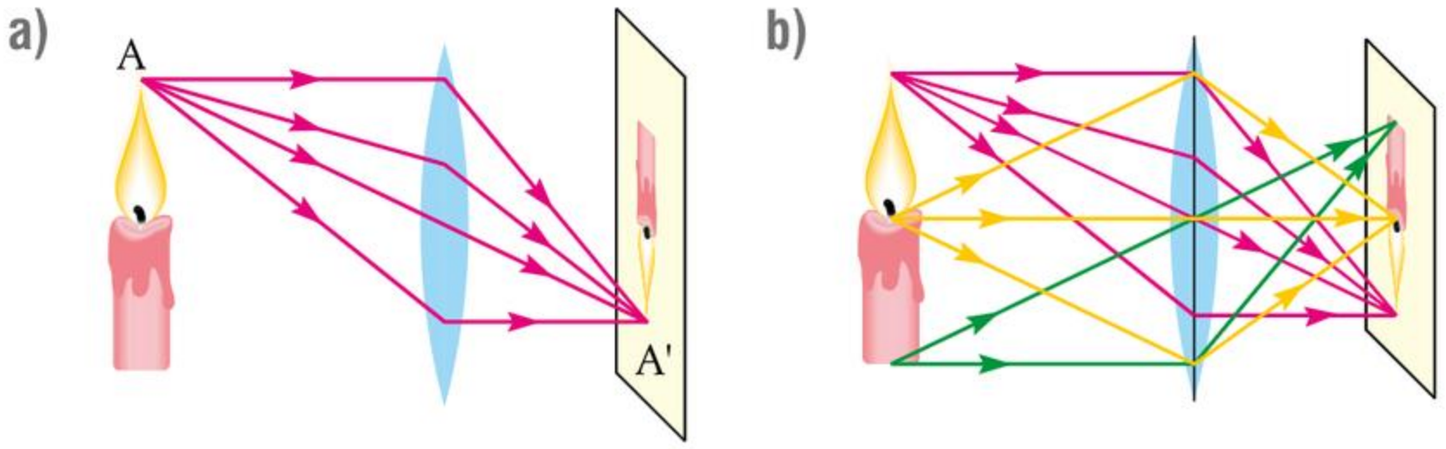
W doświadczeniu zaobserwowaliśmy, że soczewka tworzy na ekranie odwrócony obraz odległego przedmiotu. Obraz, który tworzy się na ekranie, nazywamy **obrazem rzeczywistym**.

Gdy odległość przedmiotu od soczewki jest większa niż jej ogniskowa, soczewka tworzy odwrócony, rzeczywisty obraz tego przedmiotu.

Obraz powstaje po przeciwnej stronie soczewki niż ta, po której znajduje się przedmiot. Miejsce, w którym tworzy się obraz, zależy od ogniskowej soczewki i położenia przedmiotu.

Jak powstaje ten obraz? Wszystkie promienie wychodzące z jednego punktu przedmiotu (np. wierzchołka płomienia), które padają na soczewkę, po przejściu przez nią tak zmieniają kierunek, że przecinają się w jednym punkcie (rys. a). Jeśli umieścimy tam ekran, wszystkie te promienie oświetlą jeden z jego punktów.

Obraz punktu A tworzy się w punkcie A′, w którym przecinają się promienie dochodzące z punktu A.



Dzieje się tak z promieniami wychodzącymi z każdego punktu przedmiotu (rys. b), dlatego na ekranie powstaje obraz całego przedmiotu. Jak znaleźć miejsce, w którym powstaje obraz? O tym powiemy w następnym temacie.

Obraz bez ekranu

Doświadczenie ⚠

Przeprowadź doświadczenie podobne do wykonanego na początku lekcji, ale bez użycia ekranu. Trzymając soczewkę w wyciągniętej ręce, popatrz za okno i na przedmioty znajdujące się w pomieszczeniu.



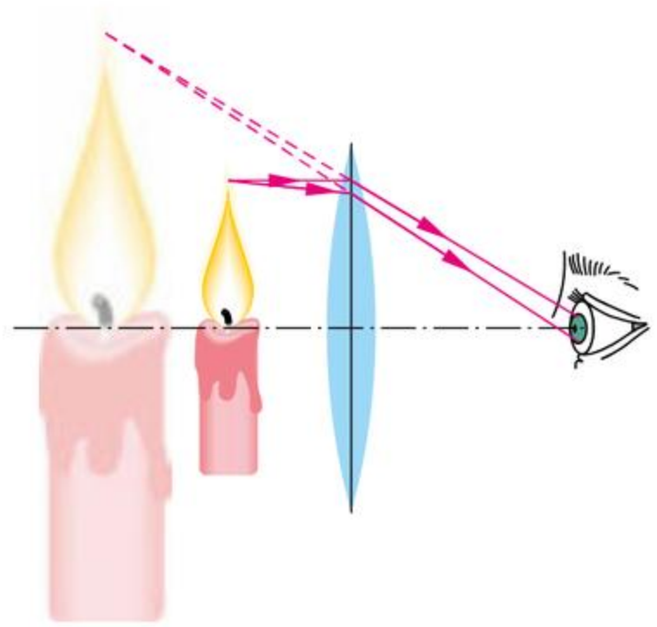
Obraz, który tworzyłby się na ekranie, powstaje także bez jego użycia. Również taki „zawieszony w powietrzu" obraz rzeczywisty można zobaczyć.

Przedmiot blisko soczewki – lupa

Doświadczenie ⚠

1. Zbliż soczewkę do świeczki (lub innego przedmiotu) na kilka centymetrów.
2. Sprawdź, czy teraz obraz świeczki można zobaczyć na ekranie.
3. A czy można go zobaczyć bezpośrednio za pomocą oka? Czym się różni obraz świeczki w tym doświadczeniu od obrazów otrzymywanych w poprzednich doświadczeniach?





Gdy przedmiot znajduje się blisko soczewki, nie możemy uzyskać jego obrazu na ekranie. Gdy jednak spojrzymy na przedmiot przez soczewkę, wychodzące z niego promienie światła załamują się i trafiają do oka tak, jakby pochodziły od większego przedmiotu znajdującego się dalej niż ten prawdziwy. Mówimy, że soczewka tworzy **obraz pozorny** przedmiotu. Obraz nie jest odwrócony do góry nogami. Mówimy, że otrzymaliśmy **obraz prosty**.

Gdy odległość przedmiotu od soczewki jest mniejsza niż jej ogniskowa, soczewka działa jak lupa (szkło powiększające): pozwala zobaczyć powiększony, prosty i pozorny obraz przedmiotu.

Obraz rzeczywisty i obraz pozorny

Podkreślmy różnicę między obrazem rzeczywistym a pozornym. Obraz rzeczywisty powstaje w miejscu, w którym rzeczywiście spotykają się promienie światła. Dlatego możemy go zobaczyć na ekranie. Natomiast obraz pozorny powstaje w miejscu, z którego tylko się wydaje, że promienie wychodzą. Mózg człowieka jest przyzwyczajony do tego, że światło biegnie po liniach prostych, i szuka obrazu na ich przedłużeniu. Ale oczywiście kiedy czytamy gazetę przez lupę, nie otrzymamy żadnego obrazu na ekranie ustawionym za gazetą.

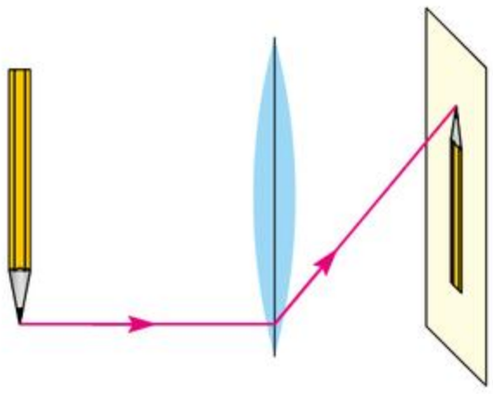
Podsumowanie

- Soczewka skupiająca tworzy odwrócony obraz odległych przedmiotów. Możemy go zobaczyć na ekranie lub gołym okiem, czyli jest to obraz rzeczywisty.
- Wiele promieni światła wychodzących w różne strony z jednego punktu przedmiotu po przejściu przez soczewkę zmienia kierunek i spotyka się w jednym punkcie. Tam właśnie powstaje obraz tego punktu.
- Soczewka skupiająca pozwala zobaczyć gołym okiem obraz powiększony i prosty bliskiego przedmiotu – działa wówczas jak lupa, czyli szkło powiększające. Tego obrazu nie da się jednak zobaczyć na ekranie, czyli jest to obraz pozorny.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

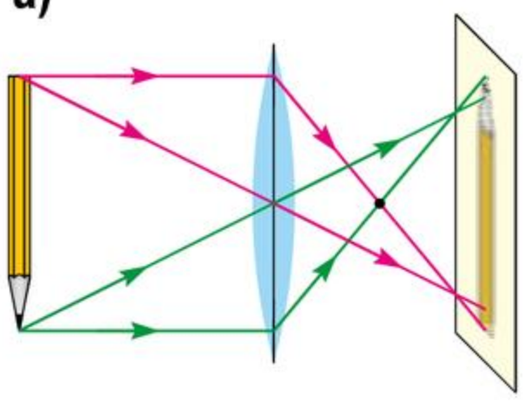
1. Przerysuj do zeszytu ilustrację zamieszczoną obok i dorysuj bieg kilku innych promieni z grafitu ołówka do obrazu.



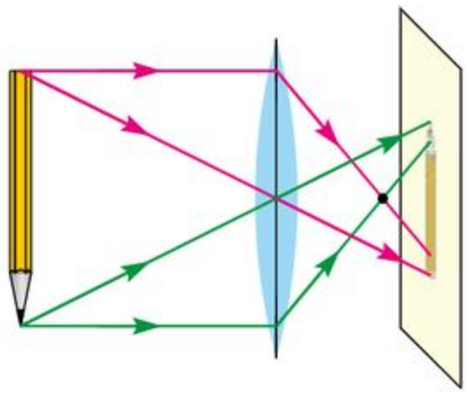
Wskazówka. Promienie światła od grafitu ołówka padają na wszystkie punkty soczewki, ale po załamaniu każdy z nich trafia w to samo miejsce na ekranie.

2. Oceń, czy ekran należy przybliżyć czy oddalić od soczewki, aby otrzymać ostry obraz ołówka.

a)



b)

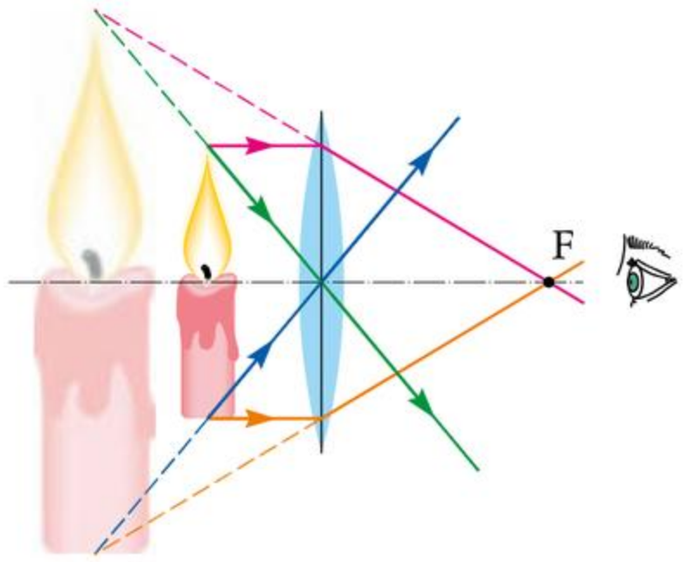


3. Porównaj rysunki A i B. Napisz w zeszycie, kiedy powiększenie lupy jest większe – czy wtedy, gdy ma ona większą czy mniejszą ogniskową.

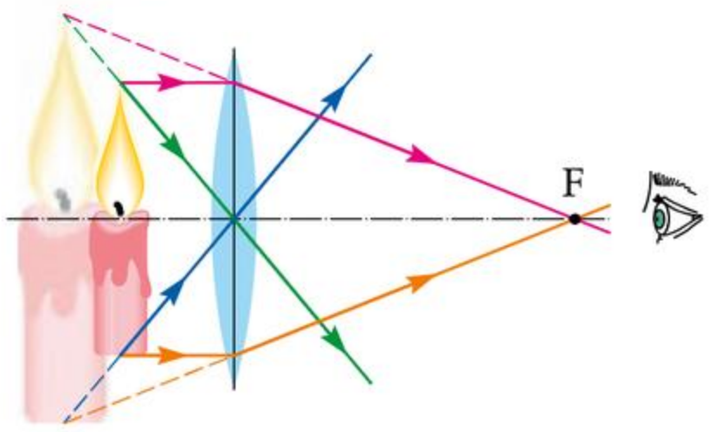
4. Soczewkę o zdolności skupiającej Z zbliżono na odległość x od przedmiotu. Określ, jaki obraz (odwrócony czy prosty, rzeczywisty czy pozorny) utworzy soczewka.
a) $Z = 2$ D, $x = 10$ cm
b) $Z = 3$ D, $x = 50$ cm
c) $Z = 10$ D, $x = 5$ cm

Wskazówka. Najpierw oblicz ogniskową i sprawdź, czy przedmiot znajduje się bliżej czy dalej od soczewki niż jej ognisko.

A.



B.



Doświadczenia

Kropla jako soczewka

Spróbuj obejrzeć jakiś odległy przedmiot przez kroplę wody zwisającą z kroplomierza. Zanotuj swoje spostrzeżenia.

Kropla pełni funkcję soczewki. Podobne zjawisko możesz zaobserwować w przyrodzie.

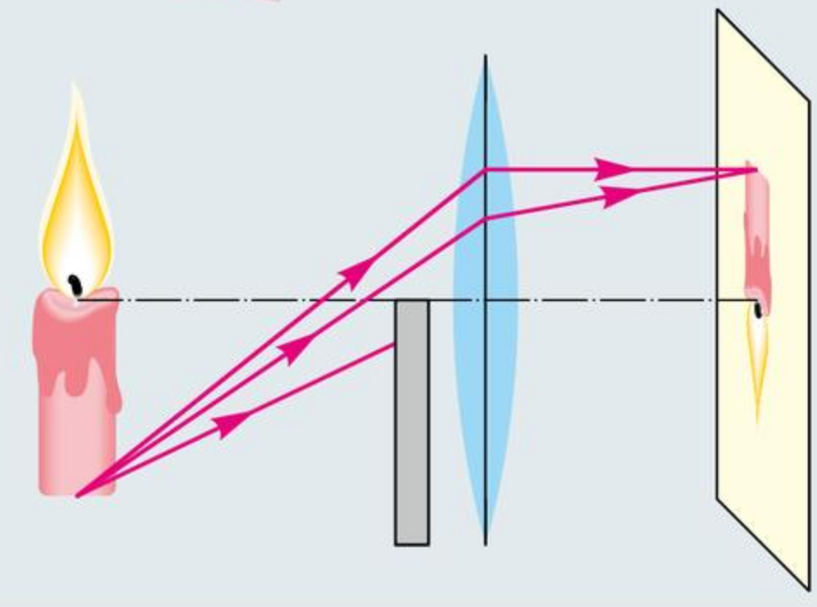


Pół soczewki – cały obraz

1. Powtórz doświadczenie z początku lekcji – uzyskaj na ekranie obraz odległego przedmiotu. Wygodnie jest umocować na stałe soczewkę i ekran (a przynajmniej jedno z nich).
2. Zasłaniaj stopniowo soczewkę kartką papieru. Co się dzieje z obrazem?

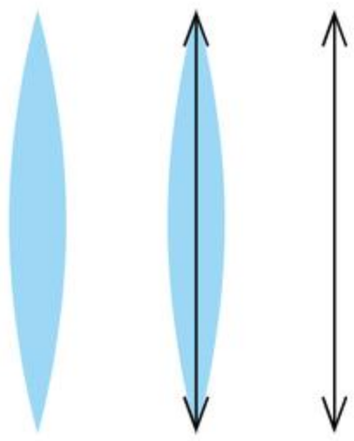






Promienie padające na dany punkt obrazu pochodzą z całej powierzchni soczewki. Gdy odsłonięta pozostaje tylko część soczewki, tych promieni jest mniej (dlatego obraz jest ciemniejszy), ale żadna część obrazu nie znika.

31 Konstruowanie obrazów tworzonych przez soczewkę skupiającą



Zamiast szkicować kształt soczewki skupiającej, możesz narysować strzałkę z dwoma grotami.

Wiesz już, że z powodu kształtu soczewki skupiającej wszystkie promienie wychodzące z określonego punktu przedmiotu po przejściu przez nią przecinają się w jednym miejscu. Tam właśnie tworzy się obraz tego punktu.

Co to jest konstruowanie obrazu

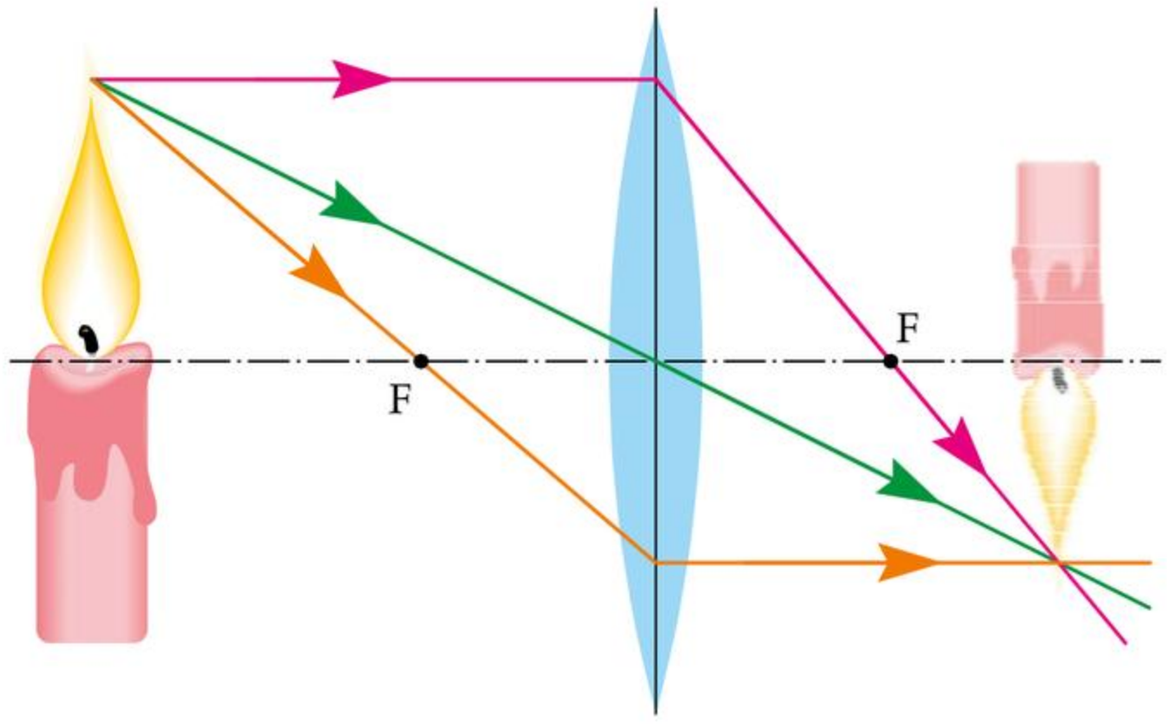
Aby znaleźć obraz punktu, nie musimy oczywiście śledzić biegu wszystkich promieni. Wystarczą dwa, aby znaleźć ich punkt przecięcia. Pozostałe promienie również przez niego przechodzą. Warto wybrać dwa charakterystyczne promienie, np. przechodzący przez środek soczewki oraz przechodzący przez jej ognisko lub równoległy do osi optycznej soczewki (prostej łączącej ogniska). Te promienie można narysować, korzystając z zasad przedstawionych na rysunku poniżej.

Zauważ, że zachowanie promienia padającego na soczewkę równoległego do jej osi optycznej nie jest dla nas zaskoczeniem. Mówiliśmy już przecież, że ognisko to właśnie punkt, w którym przecinają się wszystkie takie promienie.

Promień równoległy do osi optycznej po przejściu przez soczewkę przechodzi przez ognisko.

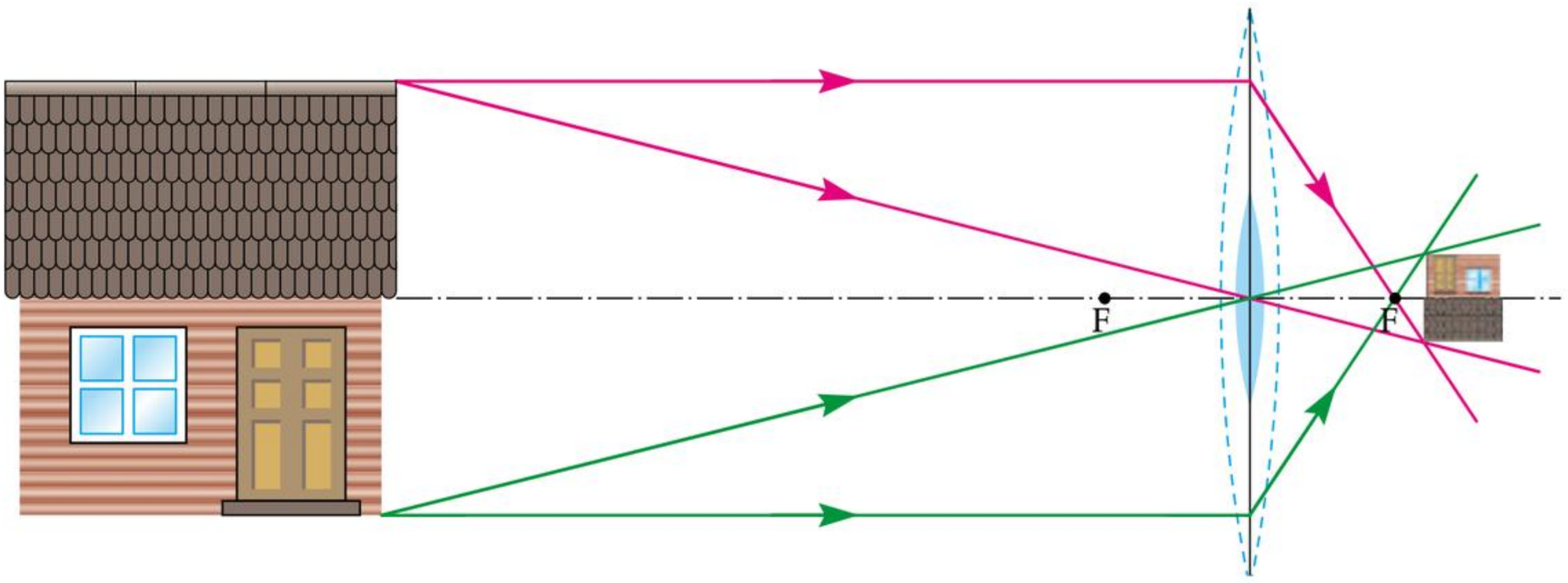
Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku.

Promień przechodzący przez ognisko po przejściu przez soczewkę jest równoległy do osi optycznej.



Jeśli soczewka jest mała

Obraz przedmiotu zależy od jego odległości od soczewki i od ogniskowej tej soczewki, ale nie od jej wielkości. Mała soczewka tworzy taki sam obraz domu, jaki tworzyłaby ogromna soczewka, większa od tego domu. Dlatego na rysunkach możemy prowadzić promienie także poza rzeczywistą soczewką.

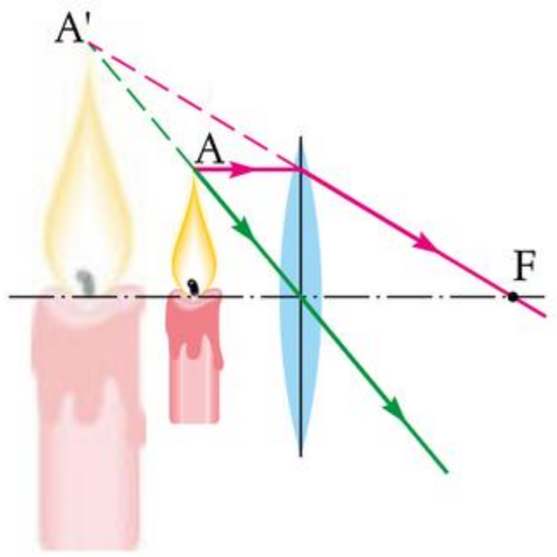


Obraz tworzony przez lupę

W podobny sposób konstruujemy obraz tworzony przez lupę (czyli obraz przedmiotu znajdującego się bliżej soczewki niż jej ognisko).

Jednak w tym przypadku promienie wychodzące z jednego punktu wcale nie przecinają się po przejściu przez soczewkę, nie możemy więc szukać ich punktu przecięcia.

Promienie rozchodzą się tak, jakby wychodziły z jednego punktu (A′ na rysunku). Pamiętamy, że nasz mózg, przyzwyczajony do prostoliniowego biegu światła, traktuje je, jakby rzeczywiście wychodziły z punktu A′. Dlatego punkt A′ to obraz pozorny punktu A. Wyznaczamy go, znajdując punkt przecięcia przedłużeń promieni (na rysunku te przedłużenia zaznaczono liniami przerywanymi). Otrzymujemy w ten sposób powiększony **obraz pozorny**.



Promień równoległy do osi optycznej po przejściu przez soczewkę przechodzi przez ogniskо.

Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku.

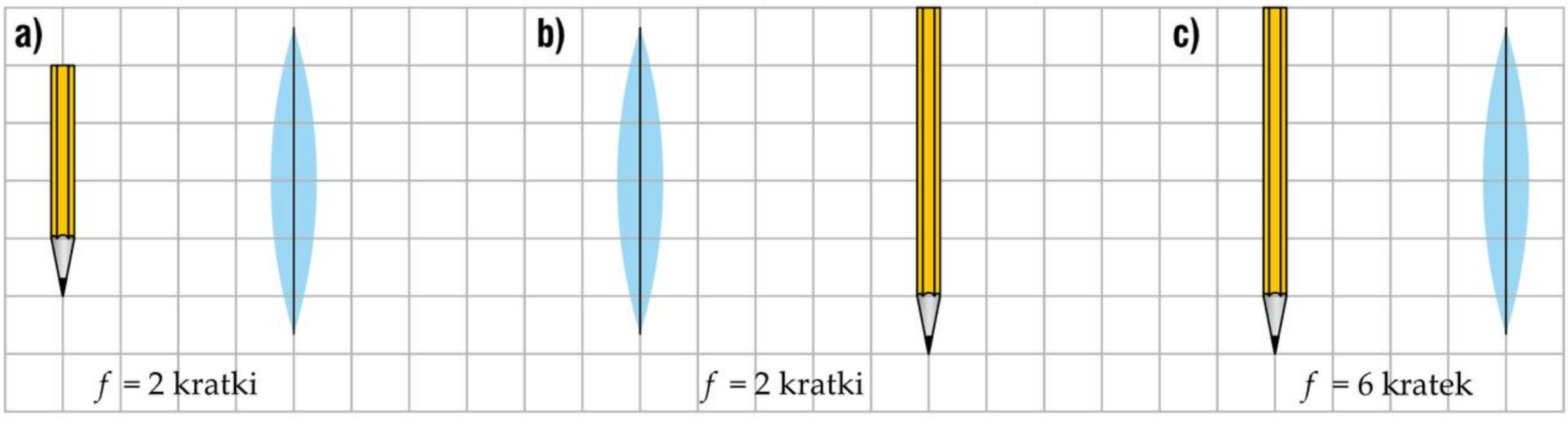
Podsumowanie

- Promienie wychodzące z jednego punktu przedmiotu w różnych kierunkach po przejściu przez soczewkę przecinają się w jednym punkcie. Dlatego wystarczy znaleźć miejsce przecięcia dowolnych dwóch promieni, aby znaleźć obraz.
- Promień równoległy do osi optycznej po przejściu przez soczewkę załamuje się tak, że przechodzi przez ognisko. I odwrotnie: promień przechodzący przez ognisko po przejściu przez soczewkę biegnie równolegle do osi optycznej soczewki.
- Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku.
- Obrazu pozornego szukamy w punkcie przecięcia przedłużeń promieni.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Przerysuj ilustrację do zeszytu i skonstruuj obraz ołówka.



2. Jabłko o średnicy 20 cm znajduje się w odległości 30 cm od soczewki o ogniskowej 10 cm. Wykonaj w zeszycie rysunek w odpowiedniej skali, znajdź obraz i określ jego odległość od soczewki. Czy soczewka powiększa czy pomniejsza przedmiot? Ile razy?

3. Jedna z liter, którymi zapisano tytuł w gazecie, ma wysokość 5 cm. Oglądamy ją przez lupę o ogniskowej 20 cm umieszczoną w odległości 10 cm od gazety. Wykonaj w zeszycie odpowiedni rysunek i odczytaj z niego, jaką wielkość ma obraz tej litery.

4. Odczytaj z rysunku ogniskową i oblicz zdolność skupiającą soczewki. Skala rysunku: 1 kratka odpowiada 10 cm.

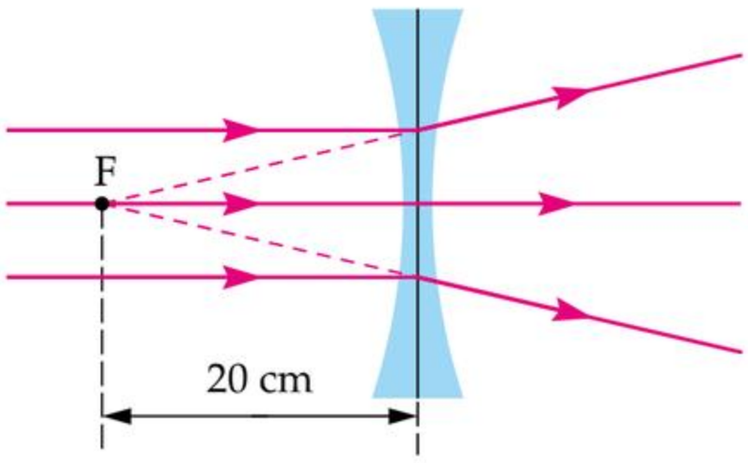
5. Na rysunku a) przedstawiono tworzenie obrazu ołówka przez soczewkę. Czy obraz ołówka zniknie, jeśli zamalujemy czarnym flamastrem niektóre punkty soczewki (jak na rys. b)? Czy zniknie obraz grafitu ołówka?

6. Przedmiot znajduje się w odległości $2f$ od soczewki skupiającej o ogniskowej f. W jakiej odległości od soczewki znajduje się jego obraz? Czy jest on większy czy mniejszy od przedmiotu? A może jest naturalnej wielkości? Odpowiedzi uzasadnij, wykonując w zeszycie odpowiedni rysunek.

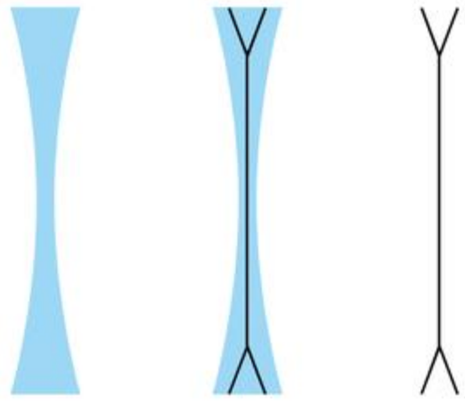


32 Obrazy tworzone przez soczewkę rozpraszającą

Przypomnijmy podstawowe wiadomości o soczewkach rozpraszających. Na ilustracji poniżej widzisz równoległą wiązkę światła padającą na taką soczewkę. Po przejściu przez nią wiązka nie jest już równoległa, ale rozbieżna. Jej promienie nigdzie się nie przecinają, ale ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie F, nazywanym **ogniskiem pozornym**. Wiązka wychodząca z soczewki wygląda tak, jakby wychodziła z ogniska F.



Przejście równoległej wiązki światła przez soczewkę rozpraszającą.
F – *ognisko pozorne;* $f = -20$ *cm;* $Z = -5$ D

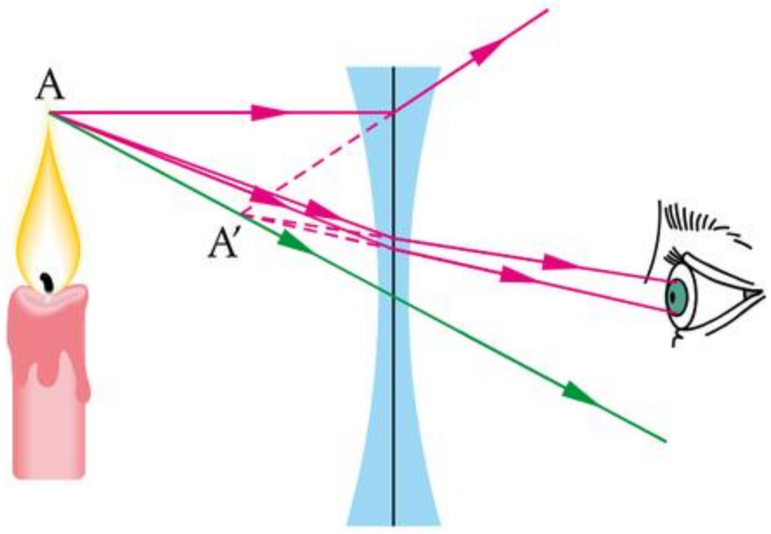


Zamiast szkicować kształt soczewki rozpraszającej, możesz narysować strzałkę z grotami do wewnątrz.

Odległość ogniska od soczewki nazywamy ogniskową i oznaczamy literą *f*, podobnie jak w przypadku soczewek skupiających. Aby jednak zaznaczyć, że jest to ognisko pozorne, ogniskową zapisujemy ze znakiem minus. Również zdolność skupiająca soczewki jest ujemna.

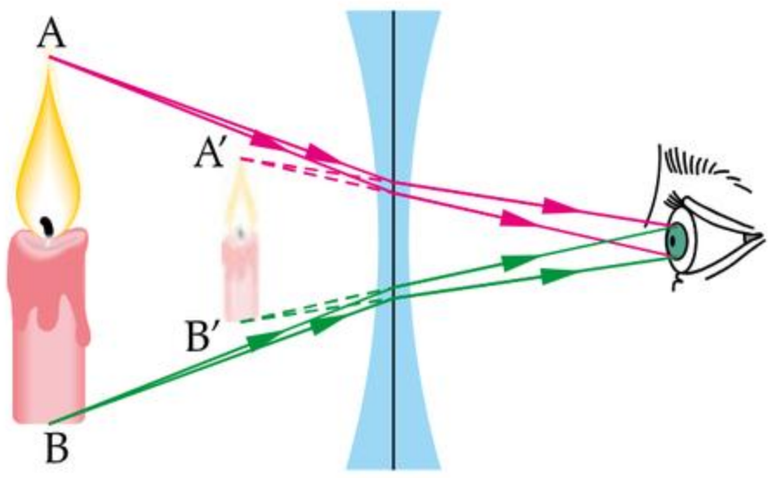
Doświadczenie

1. Popatrz na jakiś przedmiot przez soczewkę rozpraszającą (może to być np. soczewka okularów krótkowidza albo wizjer aparatu fotograficznego).
2. Opisz widziany przez siebie obraz, używając pojęć poznanych na ostatnich lekcjach (obraz prosty albo odwrócony, obraz powiększony, pomniejszony lub naturalnej wielkości).
3. Weź kartkę papieru i sprawdź, czy możesz na niej uzyskać obraz oglądanego przedmiotu. Czy soczewka rozpraszająca tworzy obraz rzeczywisty czy pozorny?
4. Powtórz opisane czynności dla różnych przedmiotów, bliższych i dalszych. Czy właściwości obrazu zależą od odległości przedmiotu od soczewki? Jeśli tak – jak można opisać tę zależność?



Na ilustracji widzisz świeczkę i promienie wychodzące z jednego jej punktu (punkt A). Padają one na soczewkę rozpraszającą i załamują się. Po przejściu przez soczewkę nigdzie się nie przecinają. Nie ma więc punktu, w którym można by postawić ekran i obserwować na nim obraz. Soczewka rozpraszająca nie tworzy zatem obrazu rzeczywistego.

Jednak po przejściu przez soczewkę te promienie rozchodzą się tak, jakby wychodziły z jednego punktu A′. Gdy wpadają do oka, wydaje się, że wychodzą z punktu A′. Dlatego w punkcie A′ tworzy się obraz pozorny punktu A.



Podobnie dzieje się z promieniami wychodzącymi z innych punktów przedmiotu. Widzimy więc obraz pozorny.

Zauważ, że mechanizm powstawania tego obrazu jest bardzo podobny do mechanizmu działania lupy (s. 183). Różnica polega na tym, że lupa tworzy obraz powiększony, a soczewka rozpraszająca – pomniejszony.

Soczewka rozpraszająca tworzy prosty, pomniejszony i pozorny obraz przedmiotu.

Są to stałe cechy obrazu, niezależne od odległości przedmiotu od soczewki.

Konstruowanie obrazu

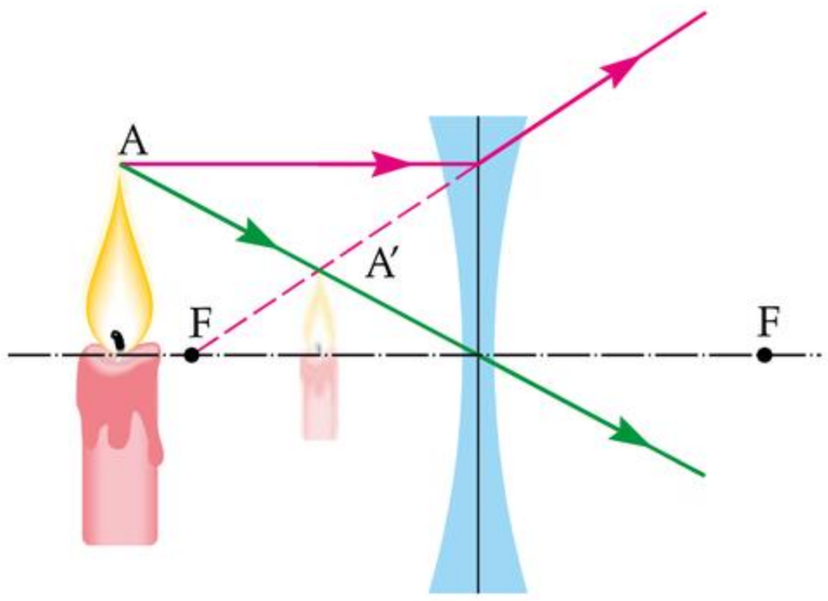
Metoda konstruowania obrazu jest bardzo podobna jak w przypadku lupy. Należy narysować bieg dwóch promieni światła wychodzących z danego punktu przedmiotu (punkt A). Na przecięciu ich przedłużeń (w punkcie A′) znajdujemy obraz pozorny punktu A.

Pamiętaj, że choć do konstrukcji wybraliśmy tylko dwa charakterystyczne promienie, to przedłużenia wszystkich promieni wychodzących z punktu A przechodzą przez ten sam punkt A′.

Aby skonstruować obraz przedmiotu, musimy skonstruować po kolei obrazy jego charakterystycznych punktów (np. końców ołówka).

Promień równoległy do osi optycznej soczewki po przejściu przez soczewkę biegnie tak, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne.

Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku (a więc pokrywa się z własnym przedłużeniem).



Podsumowanie

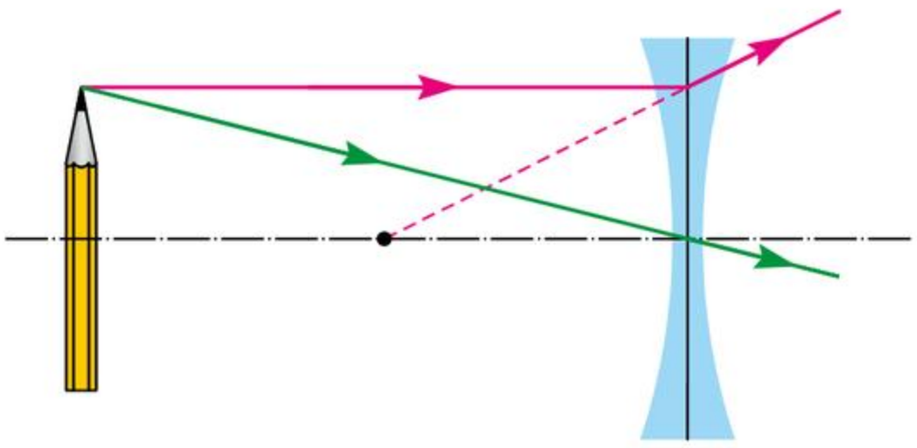
- Soczewka rozpraszająca tworzy prosty, pomniejszony, pozorny obraz przedmiotu.
- Promienie wychodzące z punktu A po przejściu przez soczewkę rozpraszającą załamują się tak, że ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie A′. W tym punkcie znajduje się obraz punktu A. Aby znaleźć ten obraz, wystarczy narysować przedłużenia dwóch takich promieni.
- Promień równoległy do osi optycznej soczewki rozpraszającej po przejściu przez soczewkę biegnie tak, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne.
- Promień przechodzący przez środek soczewki rozpraszającej nie zmienia kierunku.

Pytania i zadania

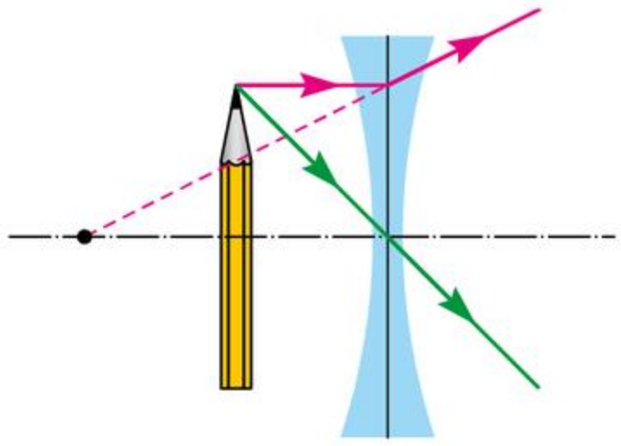
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Porównaj rysunki A i B. Odpowiedz, kiedy soczewka bardziej pomniejsza obraz – gdy przedmiot znajduje się bliżej czy dalej od soczewki.

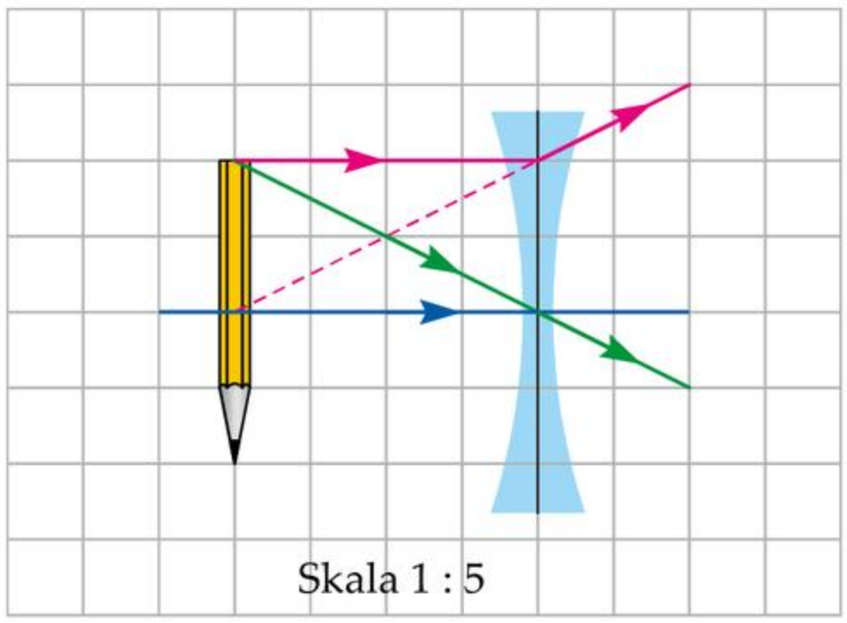
A.



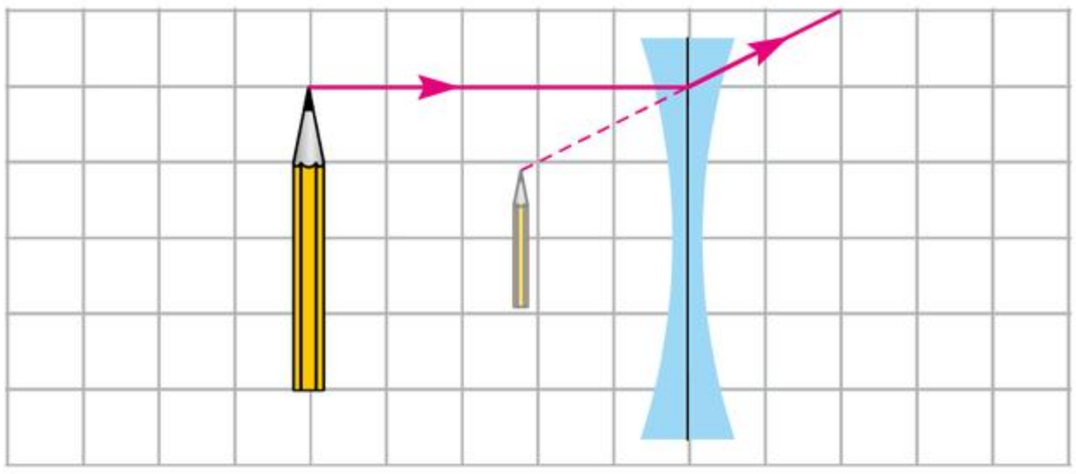
B.



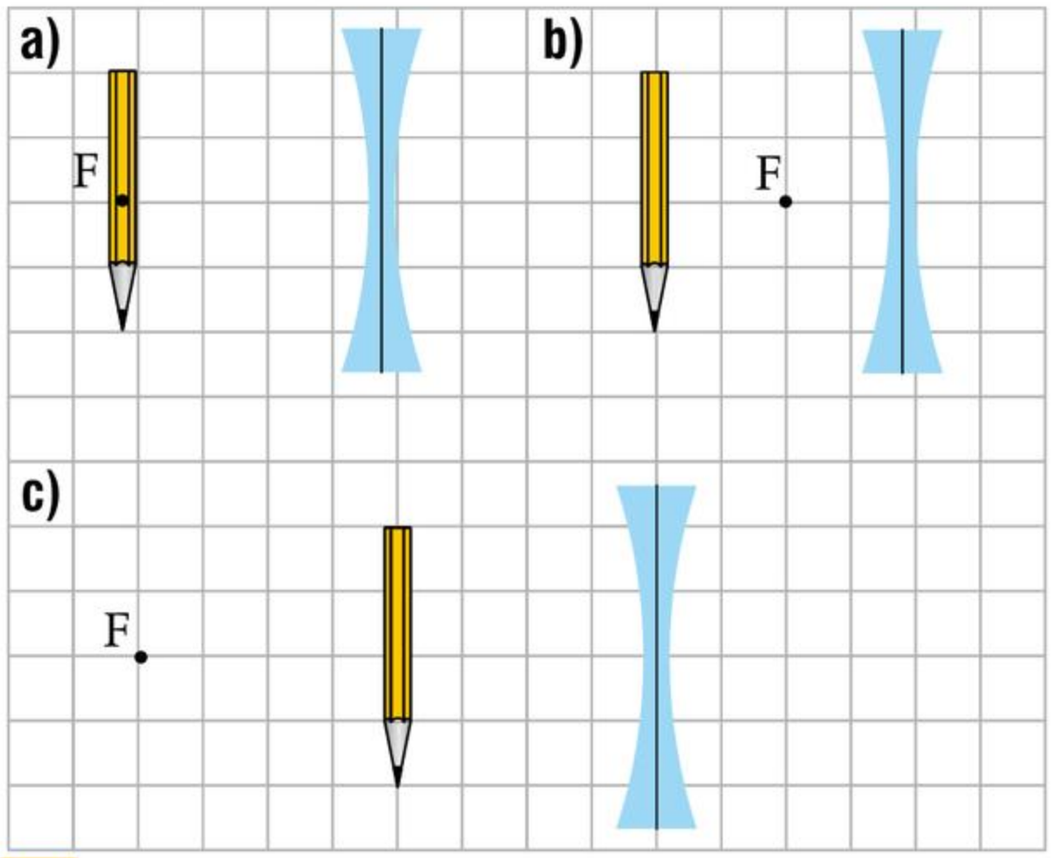
2. Odczytaj z ilustracji ogniskową i oblicz w zeszycie zdolność skupiającą soczewki. Pamiętaj, że w przypadku soczewki rozpraszającej te wielkości wyrażamy liczbami ujemnymi.



3. Przerysuj ilustrację do zeszytu i dorysuj bieg kilku innych promieni z grafitu ołówka. Pamiętaj, że przedłużenia wszystkich tych promieni przecinają się w jego obrazie pozornym.



4. Przerysuj ilustrację do zeszytu i skonstruuj obraz pozorny ołówka.

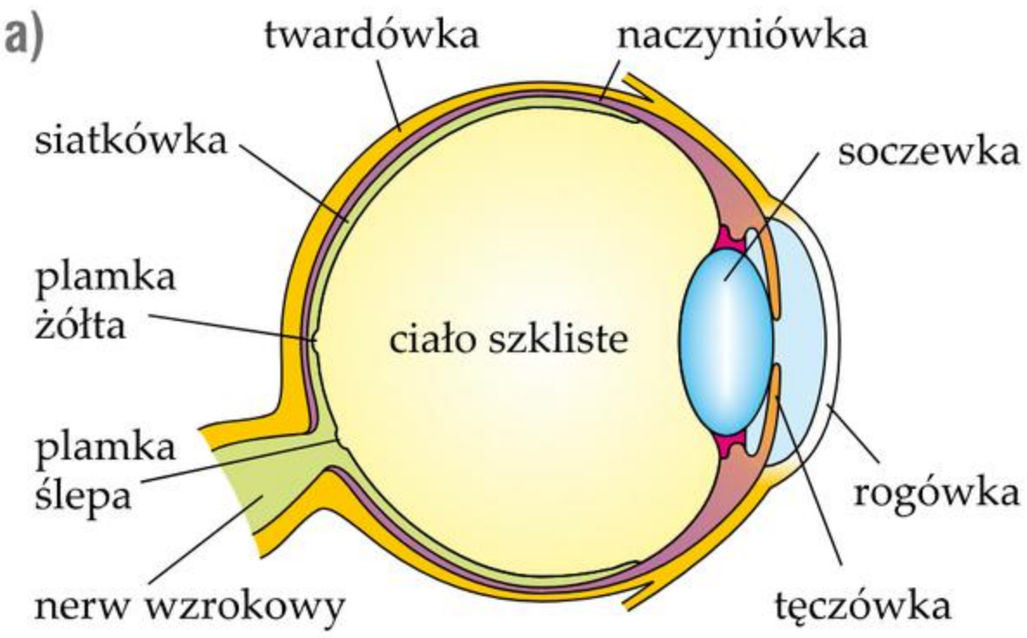


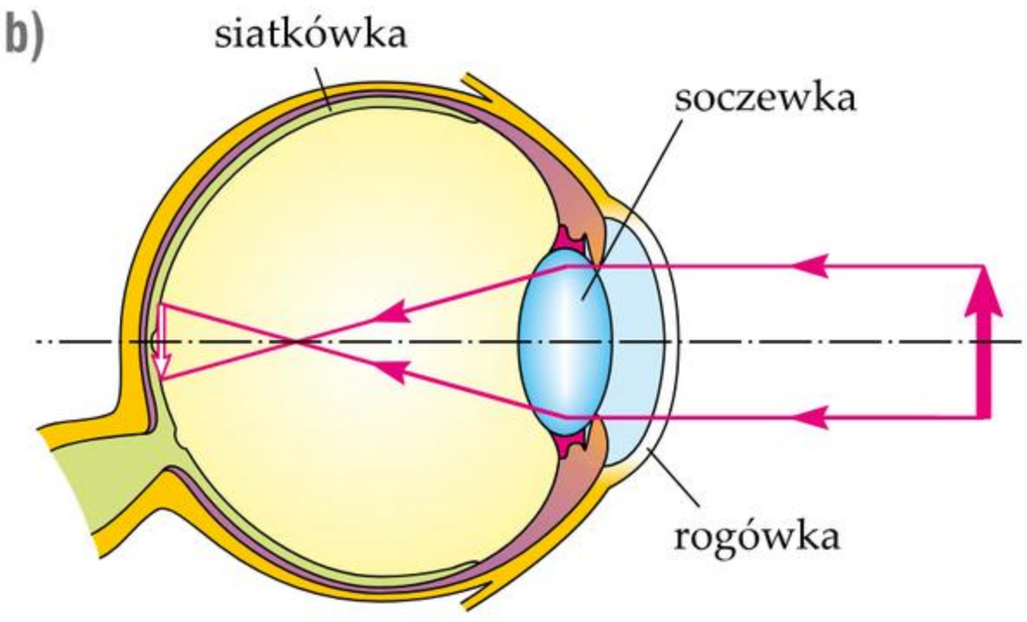
5. Gwóźdź o długości 4 cm znajduje się w odległości 6 cm od soczewki o ogniskowej $f = -2$ cm. W jakiej odległości od soczewki tworzy się obraz gwoździa? Jaka jest długość obrazu? Znajdź odpowiedzi na te pytania, konstruując w zeszycie obraz (najwygodniej na papierze w kratkę).



33 Oko i aparat fotograficzny

Wiesz już, w jaki sposób po przejściu światła przez soczewkę skupiającą powstaje obraz. Okazuje się, że w ten sam sposób działa oko. Budowę tego narządu widzisz na ilustracji a), a powstawanie obrazu na siatkówce – na rysunku b).





Soczewka oka tworzy na siatkówce obraz oglądanych przedmiotów.

Funkcję soczewki pełni nie tylko część oka zwana soczewką, lecz także rogówka. Obie biorą udział w tworzeniu obrazu. Siatkówka złożona jest z żywych komórek czułych na światło, które zamieniają światło na sygnał elektryczny. Informacja o padającym świetle przekazywana jest do mózgu.

Widzenie przedmiotów bliższych i dalszych

Kiedy przedmioty znajdują się w różnej odległości od soczewki, tworzy ona ich obrazy w różnych odległościach. Jednak aby obraz był ostry, powinien powstawać na siatkówce niezależnie od tego, czy patrzymy na dalszy czy bliższy przedmiot.

Soczewka oka może zmieniać swoją ogniskową.

Jeśli patrzymy na bliższy przedmiot, ogniskowa oka zmniejsza się, czyli zwiększa się jego zdolność skupiająca. Jeśli patrzymy na przedmiot dalszy, ogniskowa się zwiększa. Dzieje się tak dlatego, że przy soczewce znajdują się mięśnie, które wpływają na jej kształt i mogą zwiększać lub zmniejszać jej ogniskową.

Widzenie w silnym i słabym świetle

W księżycową noc nieźle widzimy przedmioty nawet bez sztucznego światła. W bardzo słoneczny dzień te same przedmioty są nawet kilkaset tysięcy razy mocniej oświetlone, a jednak możemy na nie patrzeć.
Aby przystosować oko do tak zróżnicowanych warunków, działają w nim dwa mechanizmy. Po pierwsze, wykorzystujemy źrenicę i tęczówkę.

Źrenica to otwór, przez który światło wpada do oka, a tęczówka reguluje średnicę tego otworu.

W słoneczny dzień źrenica zwęża się (powiększa się tęczówka) i nie wpuszcza do oka zbyt wiele światła. Źrenica bardzo szybko dostosowuje się do nowych warunków.
Drugi mechanizm opiera się na reakcjach chemicznych zachodzących w komórkach siatkówki. Zachodzą one dość powoli, dlatego dopiero po kilku minutach od wejścia do ciemnego pokoju zaczynamy lepiej widzieć.



Pod wpływem silnego światła źrenice stają się mniejsze i do oka wpada mniej światła.

Obraz odwrócony

Na siatkówce oka tworzy się odwrócony obraz widzianych przedmiotów. Nie oznacza to naturalnie, że widzimy świat do góry nogami. Sygnał pochodzący od komórek z dolnej części siatkówki mózg odczytuje jako informację o tym, co jest wyżej, i na odwrót.



Ciekawostka

Komórki siatkówki nie pochłaniają całego padającego na nie światła. Część przechodzi dalej i jest pochłaniana przez inne tkanki, a więc „marnuje się". U kota pod komórkami siatkówki znajduje się „lustro" zbudowane z komórek odbijających światło. Odbite od tego zwierciadła światło jeszcze raz przechodzi przez siatkówkę, dodatkowo ją pobudzając, dzięki czemu kot wyraźniej widzi przy słabym świetle. Za sprawą tego zwierciadła kocie oczy świecą.

Jak zwierzęta tworzą ostry obraz

Ewolucja oka przebiegała niezależnie u różnych grup zwierząt, dlatego też powstały różne sposoby tworzenia ostrego obrazu. Niektóre z nich naśladujemy w technice.

Gdy soczewka ma dużą zdolność skupiającą, tworzy obrazy dalszych i bliższych przedmiotów niemal w tej samej odległości. Tak zbudowane są oczy królika, a także najprostsze aparaty fotograficzne, np. w telefonach.





Soczewka foki tworzy ostry obraz, gdy oko znajduje się pod wodą. Gdy zwierzę się wynurza, działa inny mechanizm – źrenica staje się tak mała, że działa jak kamera obskura, która zawsze tworzy ostry obraz.





Soczewka wielu ptaków i ssaków zmienia swój kształt, a więc i ogniskową. Dlatego może tworzyć obrazy dalszych i bliższych przedmiotów w tej samej odległości – na siatkówce.

Płazy potrafią przesuwać siatkówkę względem soczewki, podobnie jak to się dzieje w aparacie fotograficznym. Poruszając gałką oczną, żaba pomaga sobie także wepchnąć żywe ofiary w głąb przełyku.

Wady wzroku

Podczas obserwacji bliskich przedmiotów soczewka oka przyjmuje taki kształt, aby mieć małą ogniskową, a więc dużą zdolność skupiającą. Dochodzi ona prawie do 80 D.
Jeśli u jakiejś osoby soczewka nie jest w stanie uzyskać tak dużej zdolności skupiającej, ta osoba nie widzi wyraźnie bliskich przedmiotów – jest **dalekowidzem**. Aby mogła je dobrze widzieć, musi nosić okulary z soczewkami skupiającymi, które wspomagają pracę oka (rys. a, b).

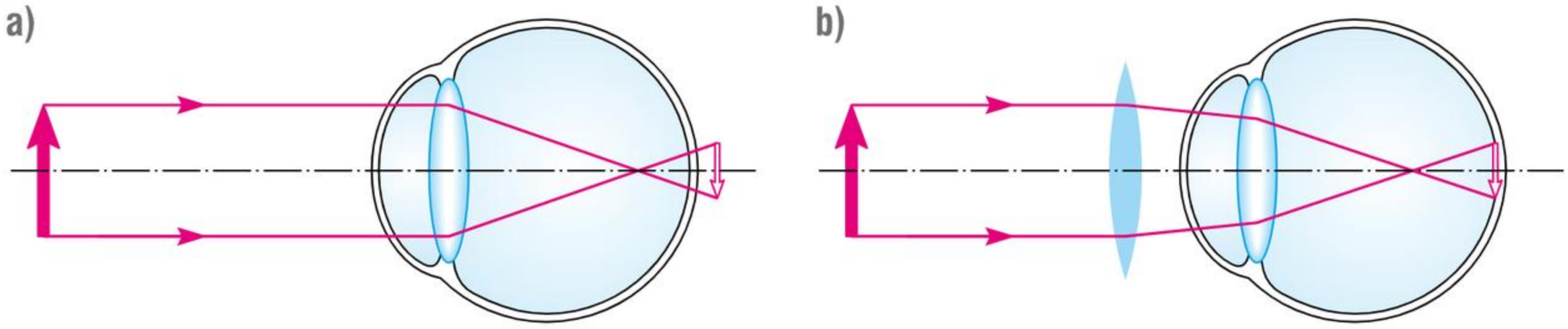
Ciekawostka

Wiele starszych osób musi używać dwóch rodzajów okularów: do czytania – z soczewkami skupiającymi – i do patrzenia w dal – z soczewkami rozpraszającymi. Dzieje się tak dlatego, że z wiekiem słabnie zdolność do zmiany kształtu soczewki oka.

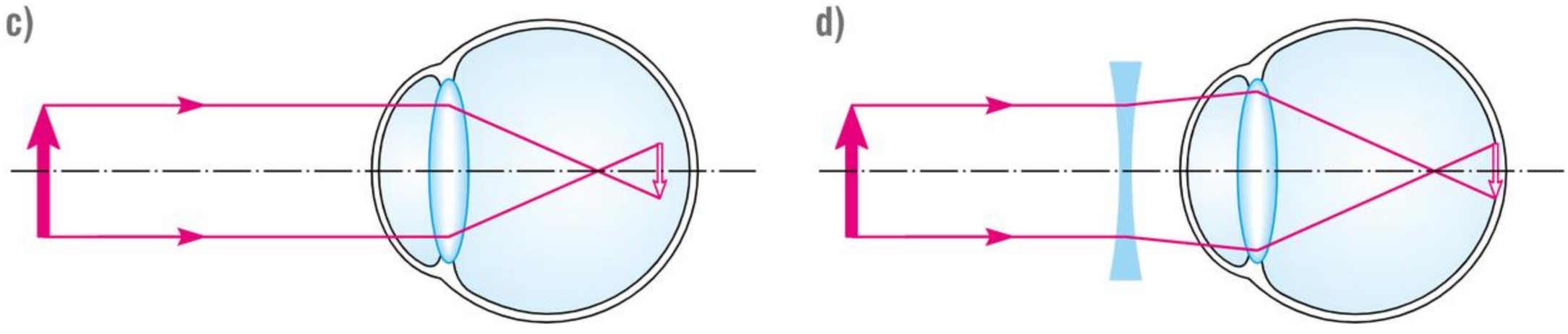
Do korygowania wzroku dalekowidza stosujemy soczewki skupiające.

Czasem soczewka oka nie osiąga dostatecznie małej zdolności skupiającej potrzebnej do oglądania przedmiotów znajdujących się daleko. Osoba z taką wadą wzroku widzi dobrze tylko to, co jest blisko – jest **krótkowidzem**. Krótkowidze noszą okulary z soczewkami rozpraszającymi (rys. c, d).

Do korygowania wzroku krótkowidza stosujemy soczewki rozpraszające.



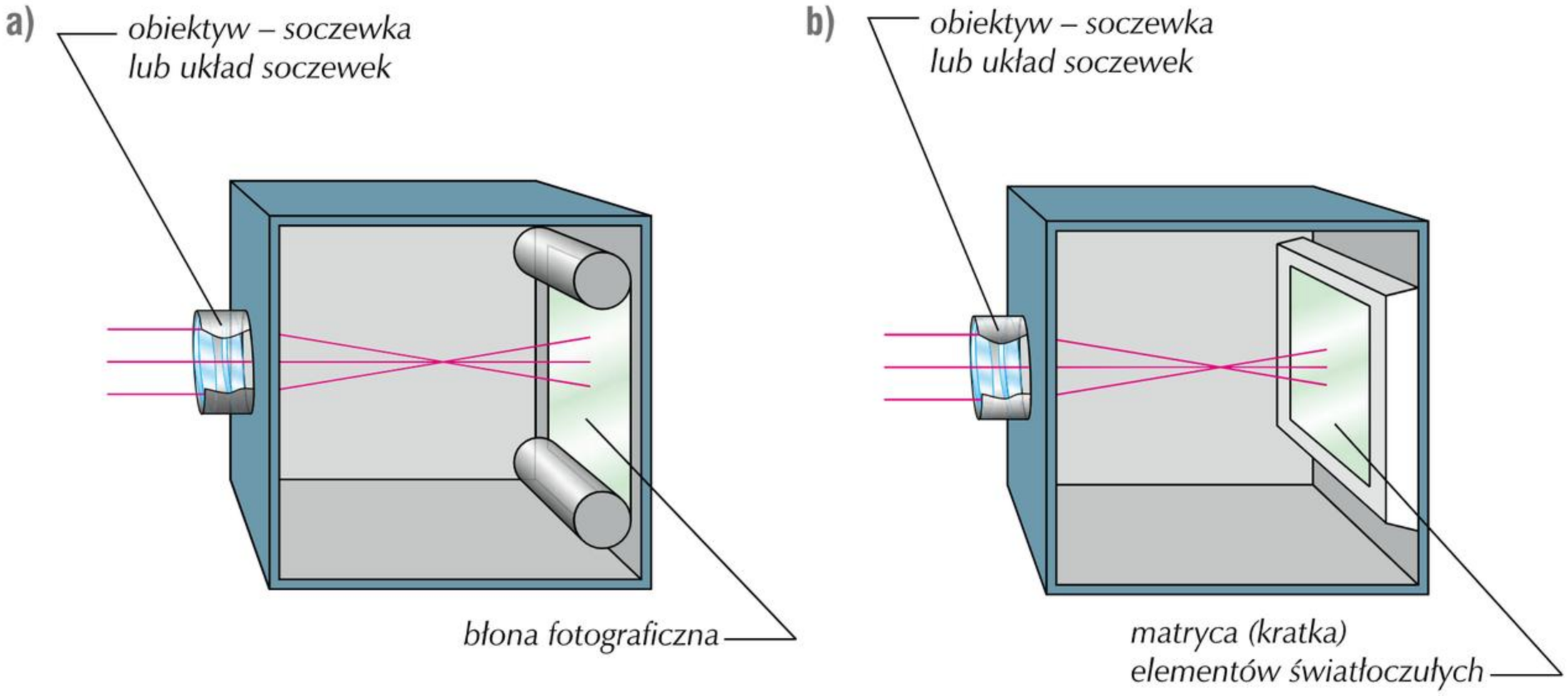
W oku dalekowidza obraz powstaje za siatkówką – rys. a).
Zastosowanie soczewki skupiającej sprawia, że obraz powstaje na siatkówce – rys. b).



W oku krótkowidza obraz powstaje przed siatkówką – rys. c).
Zastosowanie soczewki rozpraszającej sprawia, że obraz powstaje na siatkówce – rys. d).

Budowa aparatu fotograficznego

Aparat fotograficzny działa na podobnej zasadzie jak ludzkie oko. Soczewka w obiektywie tworzy obraz przedmiotów, na które skierowany jest obiektyw.



Obraz ten tworzy się na kliszy filmowej (rys. a) albo – w przypadku aparatu cyfrowego – na matrycy elementów elektronicznych czułych na światło (rys. b).

W odróżnieniu od oka soczewka w aparacie nie zmienia swojej ogniskowej, ale można zmieniać jej odległość od kliszy lub matrycy. Na tym polega regulacja ostrości.

Rolę tęczówki pełni w aparacie przysłona. Za jej pomocą reguluje się ilość światła docierającego do elementu światłoczułego. Przysłona jest ustawiana ręcznie lub automatycznie.

W najprostszych aparatach (np. w telefonach komórkowych) nie można regulować ostrości ani przysłony.

Podsumowanie

- Rogówka i soczewka oka łącznie działają jak soczewka skupiająca i tworzą na siatkówce obraz oglądanych przedmiotów. Komórki siatkówki przesyłają informację o obrazie do mózgu.
- Soczewka oka może zmieniać kształt, a więc i ogniskową. Dzięki temu możemy widzieć wyraźnie zarówno przedmioty znajdujące się blisko, jak i daleko.
- Dalekowidz to osoba, u której soczewka oka nie jest w stanie uzyskać dużej zdolności skupiającej potrzebnej do oglądania przedmiotów znajdujących się blisko. Do skorygowania takiej wady wzroku używa się soczewek skupiających.
- Krótkowidz to osoba, u której soczewka oka nie jest w stanie uzyskać małej zdolności skupiającej, potrzebnej do oglądania przedmiotów znajdujących się daleko. Do skorygowania takiej wady wzroku używa się soczewek rozpraszających.
- Źrenica to otwór, przez który światło wpada do oka. Zwężając i rozszerzając go za pomocą tęczówki, regulujemy ilość wpadającego światła.
- Aparat fotograficzny działa podobnie jak oko, ale kształt soczewki aparatu się nie zmienia. Zmieniamy natomiast odległość soczewki od kliszy lub elementów światłoczułych.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wyjaśnij, w jaki sposób oko przystosowane jest do widzenia przedmiotów znajdujących się bliżej i dalej. Jak uzyskujemy ten efekt w aparacie fotograficznym?

2. Wyjaśnij, w jaki sposób oko przystosowuje się do widzenia zarówno w silnym, jak i w słabym świetle. Który z elementów aparatu fotograficznego pełni analogiczną funkcję?

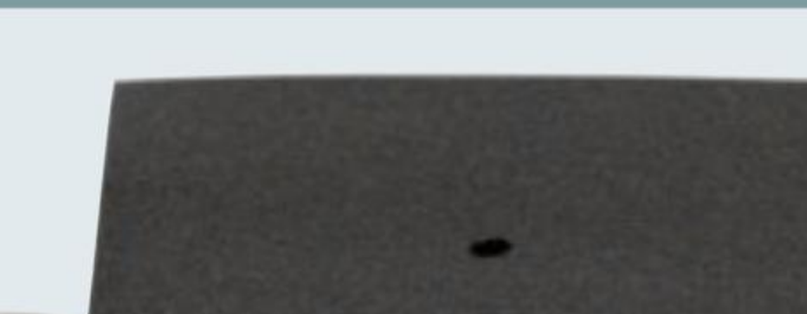
3. Tomek podniósł wzrok znad książki i popatrzył przez okno. Określ, czy ogniskowa soczewek jego oczu zmniejszyła się czy zwiększyła.

4. Czy za pomocą okularów krótkowidza można rozpalić ogień? A za pomocą okularów dalekowidza? Uzasadnij odpowiedzi.

5. Wskaż, które z okularów przeznaczone są dla krótkowidza, a które – dla dalekowidza.



+2D



−2D

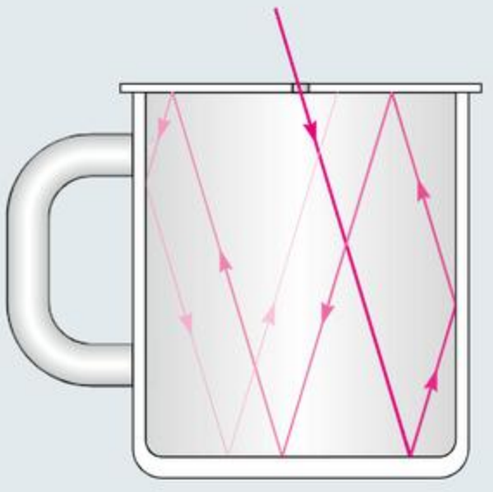
6. Przeczytaj ciekawostkę ze strony 193. Czy kocie oczy można nazwać źródłem światła? Czy świecą one także w całkowitej ciemności? Uzasadnij odpowiedzi.

Doświadczenie

Dlaczego źrenica jest czarna?

1. Weź kawałek czarnego papieru i zrób w nim otwór o średnicy kilku milimetrów (nie musi być idealnie okrągły).
2. Połóż papier na białym porcelanowym kubku.
3. Choć papier jest czarny, na jego tle otwór jest jeszcze czarniejszy, mimo że pod nim znajduje się białe dno kubka. Wyjaśnij to zjawisko. Pomoże ci rysunek.

Źrenica oka nie jest obszarem pokrytym czarnym barwnikiem. Jest to tylko otwór prowadzący do wnętrza oka. Jest on czarny, ponieważ – podobnie jak w doświadczeniu – światło wpada przez niego do wnętrza, ale już stamtąd nie wraca. Siatkówka, która znajduje się na dnie oka, także nie jest czarna, ale czerwona, gdyż jest tam wiele naczyń krwionośnych. Dlatego na zdjęciach wykonanych z lampą błyskową oczy bywają czerwone. Dowiedz się, w jaki sposób można wyeliminować efekt czerwonych oczu.



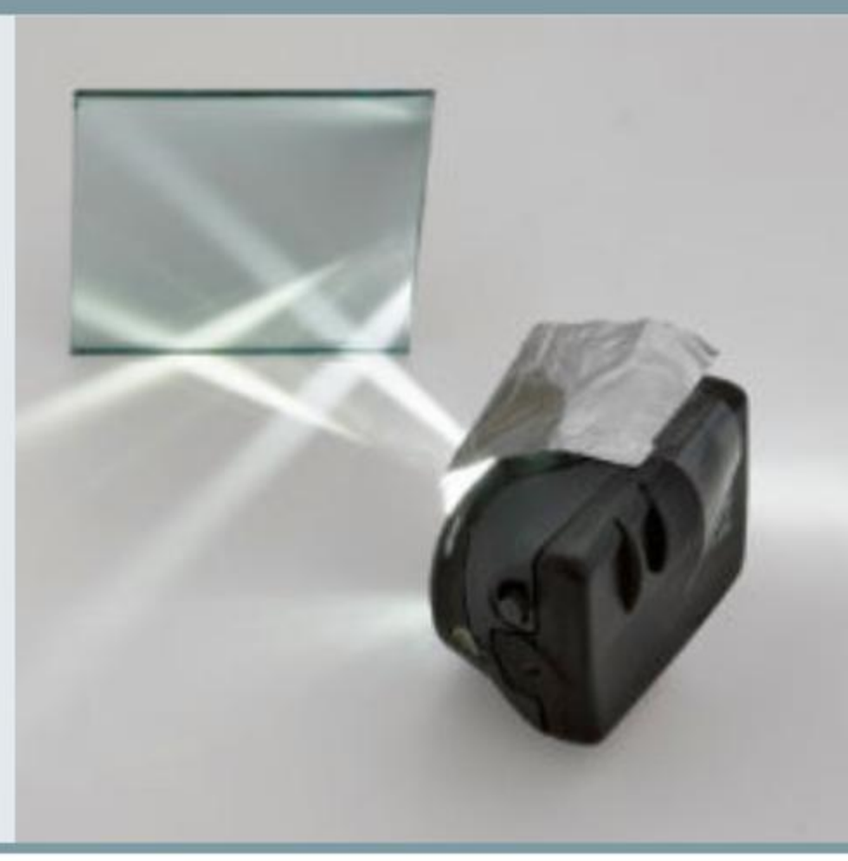
34 Zwierciadła płaskie

Z codziennych obserwacji wiesz, że światło odbija się od lustra. Lustro to najczęściej szklana płyta pokryta z jednej strony błyszczącym metalem. W fizyce lustro nazywamy zwierciadłem. Istnieją różne rodzaje zwierciadeł: płaskie, wklęsłe i wypukłe. Najpierw omówimy **zwierciadła płaskie**.

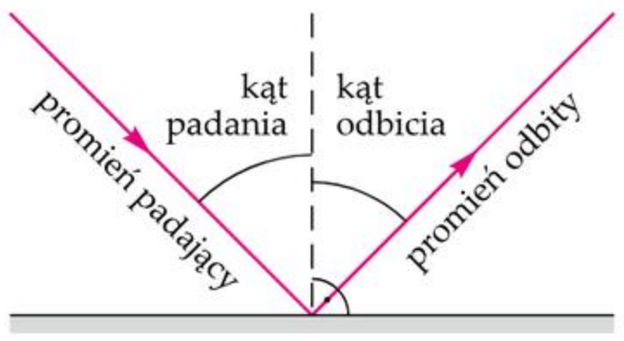
Prawo odbicia

Doświadczenie

1. Załóż na latarkę folię aluminiową tak, aby całkowicie zasłonić drogę światła. Postaraj się nie pognieść folii. Wykonaj w niej żyletką kilka podłużnych, równoległych nacięć.
2. Na stole połóż białą kartkę papieru.
3. Umocuj włączoną latarkę poziomo tuż nad kartką (jak na zdjęciu). Na kartce zobaczysz promienie światła.
4. Przystaw ukośnie lusterko i zobacz teraz, jak odbijają się promienie.
5. Zaznacz na kartce, jak ustawione jest lusterko, oraz odrysuj promienie padające i odbijające się od niego. Co zauważasz na powstałym rysunku?



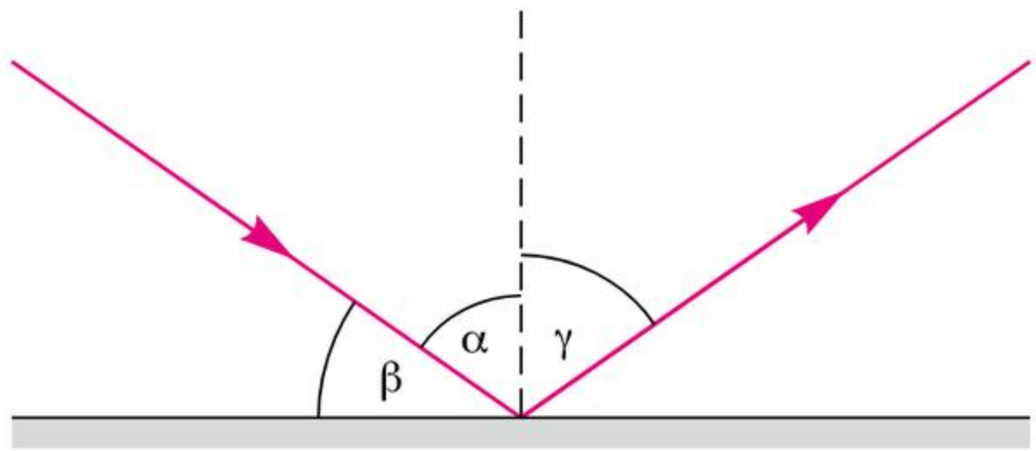
Do opisu odbicia światła od zwierciadła posłużą nam dwa kąty:
• kąt między promieniem padającym na zwierciadło a prostą prostopadłą do zwierciadła, zwany **kątem padania**;
• kąt między promieniem odbitym od zwierciadła a prostą prostopadłą do zwierciadła, zwany **kątem odbicia**.



Prawo odbicia:
Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba kąty leżą w tej samej płaszczyźnie.

Przykład. Kąt padania promienia świetlnego na zwierciadło jest o 20° większy niż kąt między promieniem padającym a zwierciadłem. Oblicz kąt odbicia.

Najpierw wykonujemy rysunek, na którym zaznaczamy kąty:
α – kąt padania,
β – kąt między promieniem padającym a zwierciadłem,
γ – kąt odbicia.



Skorzystamy z podstawowych wiadomości z geometrii. Wiemy, że:

$$\alpha = \beta + 20° \quad \text{i} \quad \alpha + \beta = 90°$$

czyli:

$$(\beta + 20°) + \beta = 90°$$

Rozwiązujemy to równanie i otrzymujemy $\beta = 35°$, a stąd $\alpha = 55°$. Pamiętamy, że kąt odbicia jest równy kątowi padania, więc również wynosi 55°.

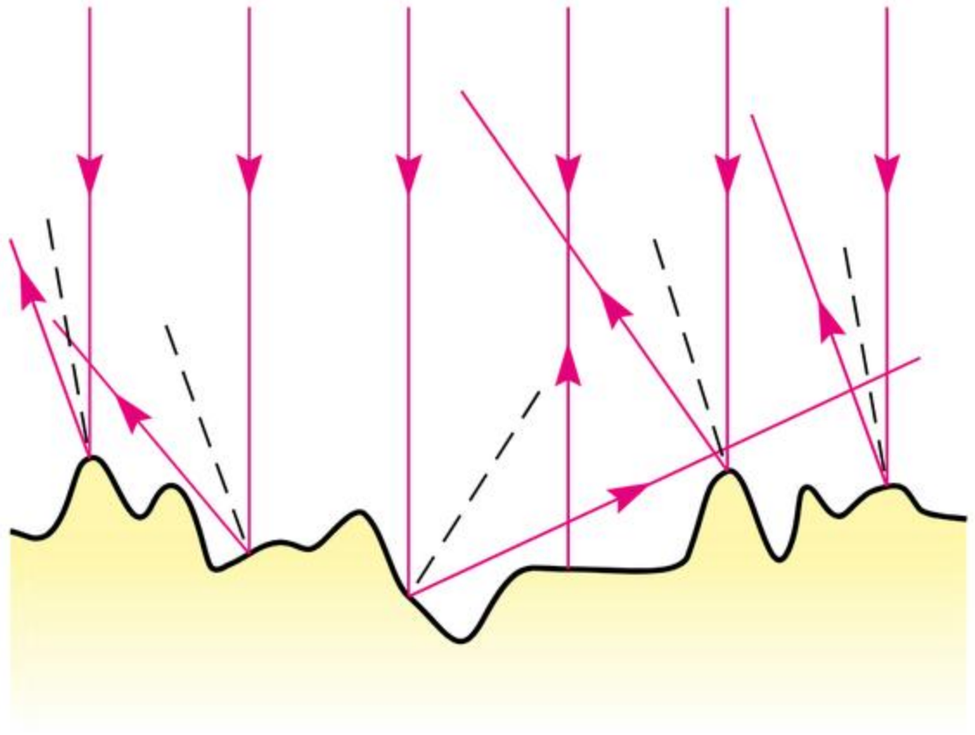
Odpowiedź: Kąt odbicia wynosi 55°.

Odbicie od zwierciadła i od kartki

Biała kartka papieru odbija światło podobnie jak zwierciadło. Dlaczego więc w kartce nie można się przejrzeć?
Powierzchnia kartki nie jest tak gładka jak powierzchnia zwierciadła. Promienie światła odbijają się od niej jak od bardzo wielu zwierciadeł ustawionych w różne strony.
Mówimy, że kartka **rozprasza** światło. Po odbiciu od niej promienie światła nie są już równoległe.



Powierzchnia kartki książki w powiększeniu.



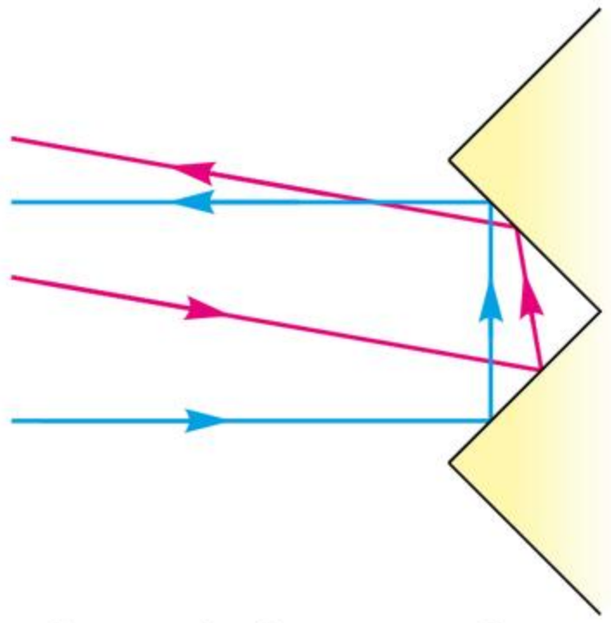
Rozpraszanie równoległej wiązki światła na powierzchni kartki.

Odblaski

Lustro odbija światło pod jednym określonym kątem, biała kartka rozprasza je we wszystkich kierunkach. Natomiast światełko odblaskowe zawsze odbija promień światła w tę stronę, z której padł on na światełko.

Gdy jedziesz rowerem, światło reflektora odbija się od światełek oraz innych elementów odblaskowych. Wraca ono w kierunku, z którego zostało wysłane, to znaczy w stronę samochodu. Dzięki temu kierowca może w porę zobaczyć rowerzystę.

Pamiętaj więc o odblaskach, a także o włączaniu świateł w rowerze. Nawet jeśli o zmroku wystarczająco dobrze widzisz drogę oświetloną latarniami, nie znaczy to, że kierowcy widzą cię równie dobrze. Samochód jedzie znacznie szybciej od roweru, kierowca musi więc widzieć innych uczestników ruchu z dużo większej odległości.



Schemat działania światełka odblaskowego.

Obraz w zwierciadle

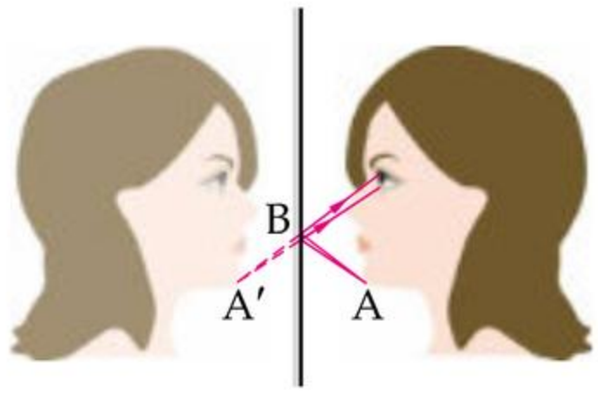
Gdy przeglądasz się w lustrze, widzisz swoje odbicie – jak gdyby drugą taką samą osobę stojącą po drugiej stronie lustra.

Złudzenie jest tak silne, że małe dzieci próbują nawiązać kontakt z „kolegą" w lustrze, a nawet dorośli mogą mieć czasem wątpliwości, czy widzą przedmiot czy jego odbicie.

W jaki sposób powstaje ten obraz? Rozważmy przykład przedstawiony na rysunku obok. Promień światła odbitego od podbródka (A) pada na lustro w punkcie B, odbija się i trafia do oka. Mózg jest przyzwyczajony, że światło rozchodzi się po liniach prostych i „szuka" obrazu wzdłuż promienia wpadającego do oka, czyli w punkcie A′ po drugiej stronie lustra. W podobny sposób tworzą się wszystkie pozostałe punkty obrazu. Obraz w zwierciadle płaskim jest obrazem pozornym. Widzimy go, patrząc w lustro, ale nie możemy go otrzymać na ekranie.

Doświadczenie

Przejrzyj się w lustrze.
Jakie cechy ma obraz,
który obserwujesz?

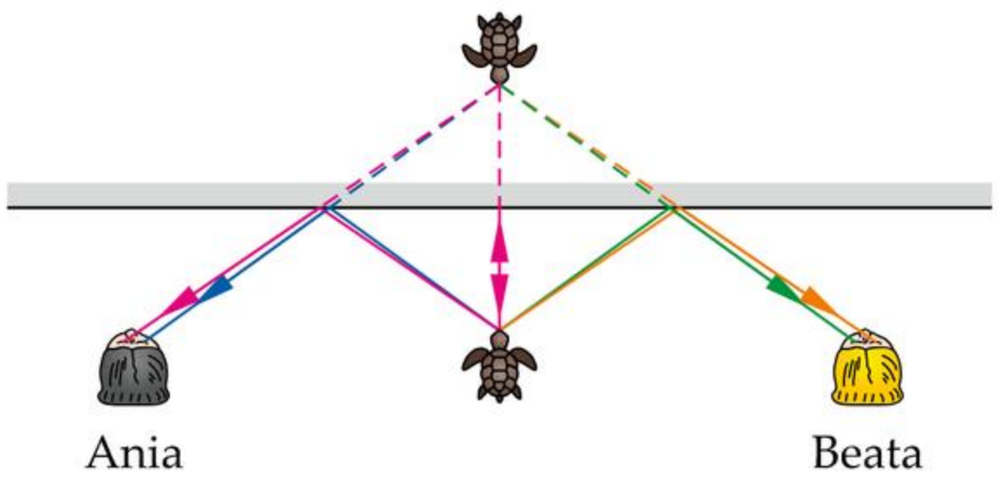


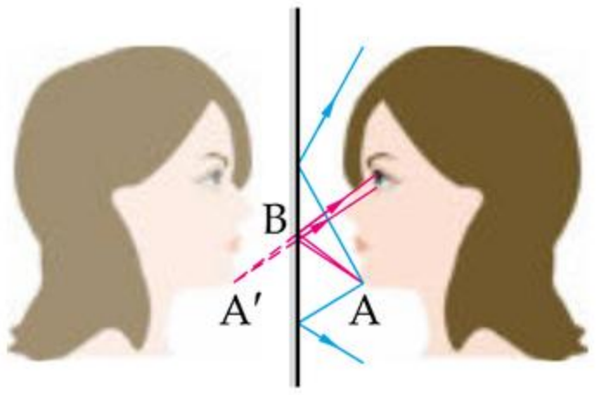
Obraz w zwierciadle płaskim jest tej samej wielkości co przedmiot i znajduje się w takiej samej odległości od zwierciadła.

Obraz pozorny w zwierciadle płaskim jest tej samej wielkości co przedmiot i znajduje się w takiej samej odległości od zwierciadła co przedmiot naprzeciwko niego.

Podkreślmy, że położenie obrazu w zwierciadle nie zależy od tego, gdzie stoi obserwator.

Na ilustracji widzimy z góry, jak Ania i Beata patrzą na obraz żółwia w lustrze. Obie widzą go w tym samym miejscu, naprzeciwko zwierzęcia. Tam też swoje odbicie widzi żółw.





Czy światło jest sprytne

Być może nasunęło ci się pytanie, dlaczego promień światła odbity od przedmiotu (np. od punktu A na rysunku obok) trafia akurat w takie miejsce zwierciadła, aby po odbiciu dotrzeć do oka. Czyżby był tak sprytny i umiał odnaleźć właściwą drogę? Oczywiście nie, światło wychodzące z punktu A odbija się także w innych kierunkach (niebieskie promienie na rysunku). Nie mają one jednak wpływu na widzenie obrazu (nie wpadają do oka), dlatego nie będziemy się nimi zajmować.

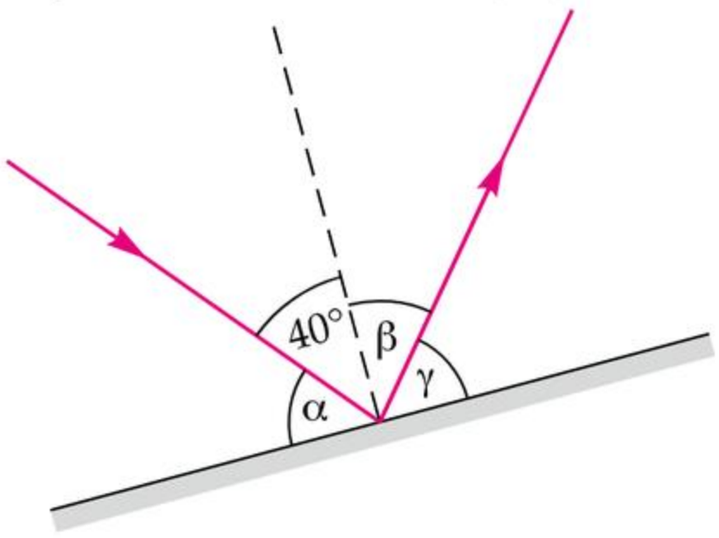
Podsumowanie

- Prawo odbicia: światło odbija się pod takim samym kątem, pod jakim pada na daną powierzchnię. Oba kąty leżą w tej samej płaszczyźnie.
- Kąty padania i odbicia mierzymy względem prostej prostopadłej do zwierciadła.
- Od powierzchni kartki światło odbija się tak samo jak od wielu zwierciadeł ustawionych pod różnymi kątami. Nazywamy to rozpraszaniem światła.
- Gdy widzimy promienie światła odbite od zwierciadła, wydaje nam się, że pochodzą z punktów za zwierciadłem. Dlatego w zwierciadłach widzimy obrazy pozorne przedmiotów.
- Obraz pozorny w zwierciadle płaskim jest tej samej wielkości co przedmiot i znajduje się w takiej samej odległości od zwierciadła co przedmiot naprzeciwko niego.

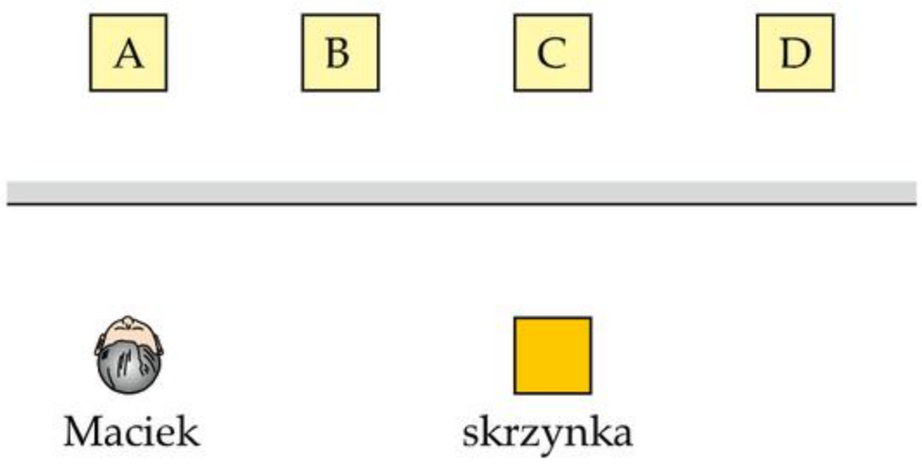
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Oblicz w zeszycie miary kątów oznaczonych na rysunku literami α, β, γ.



2. Maciek ogląda w lustrze obraz skrzynki. Rysunek przedstawia tę sytuację widzianą z góry. Wskaż, w którym miejscu chłopiec widzi obraz skrzynki.



3. Wyjaśnij, dlaczego pokój z dużym lustrem wydaje się większy.

4. Rysiek pokazuje kolegom w lustrze kartkę przedstawioną poniżej i mówi: „Zobaczcie, mam niezwykłe lustro: czerwone napisy zamienia na ich lustrzane odbicia, a niebieskie pozostawia bez zmian". Wyjaśnij, na czym polega sztuczka Ryśka. Możesz samodzielnie sprawdzić, jak wygląda ta ilustracja w lustrze.



5. Wyznacz kąty na podstawie podanych informacji.
a) Promień pada na zwierciadło pod kątem 20° do jego powierzchni. Oblicz kąt padania.
b) Kąt padania wynosi 15°. Oblicz kąt między promieniem padającym a promieniem odbitym.
c) Promień odbity od zwierciadła tworzy z promieniem padającym kąt 60°. Oblicz kąt padania.

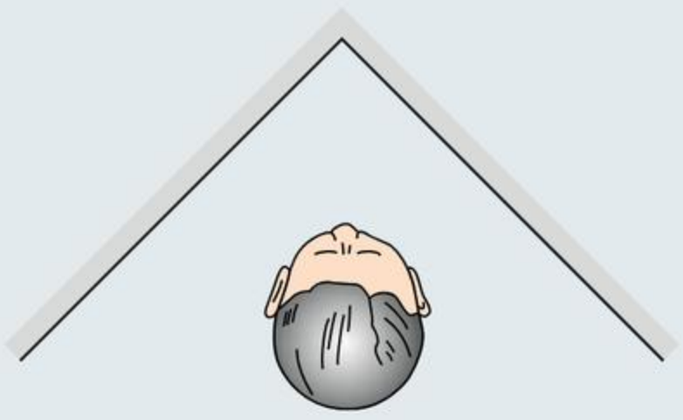
6. Słońce wznosi się na wysokości 20° nad horyzontem. Pod jakim kątem do poziomu należy ustawić zwierciadło, aby promienie odbijały się od niego pod kątem 40°?

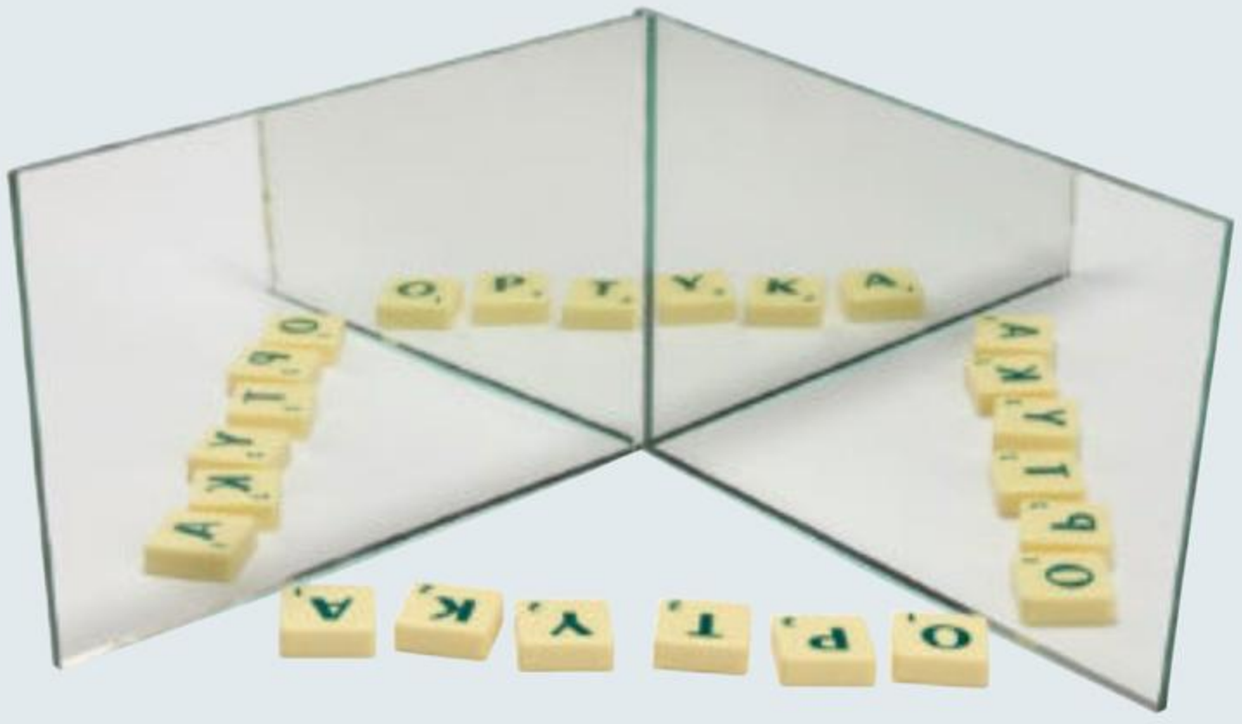
7. Tomek ma 190 cm wzrostu. Ustal, jaką co najmniej wysokość musi mieć lustro, aby Tomek mógł się w nim cały przejrzeć. Wyznacz wysokość (nad podłogą), na jakiej należy je powiesić, jeśli wiadomo, że oczy Tomka znajdują się 180 cm nad podłogą?

Doświadczenie

„Nielustrzane" lustro

1. Zestaw dwa lusterka pod kątem prostym (możesz przyłożyć małe lusterko do dużego lustra).
2. Popatrz na lustra tak, jak pokazano na rysunkach (widok z góry).
3. Dlaczego taki układ luster nie zamienia prawej strony z lewą? Zwróć uwagę na napis!
4. Przedstaw na rysunku w zeszycie zasadę działania tego układu luster.







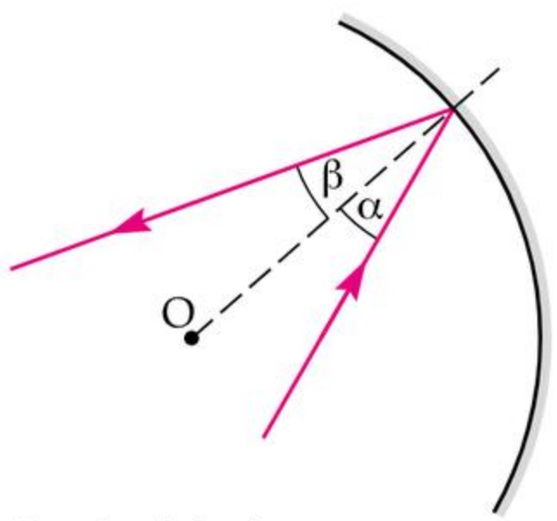
35 Zwierciadła wklęsłe

Poprzedni temat poświęciliśmy zwierciadłom płaskim. Teraz powiemy o **zwierciadle wklęsłym**. Stanowi ono wycinek sfery (powierzchni kuli), na który patrzymy od wewnątrz.

Doświadczenie

Uwaga. Doświadczenie do wykonania tylko w szkole pod nadzorem nauczyciela. W żadnym wypadku nie należy patrzeć bezpośrednio na słońce ani tym bardziej na jego odbicie w lustrze. Grozi to utratą wzroku!

1. Przeczytaj ramkę „Z historii" na następnej stronie.
2. W słoneczny dzień ustaw zwierciadło wklęsłe naprzeciwko słońca. Przygotuj miskę z wodą. Odsuń daleko firankę i inne ciała łatwopalne.
3. Przed zwierciadłem trzymaj w ręku czarny pasek papieru. Dopasuj odległość paska od zwierciadła tak, aby światło odbite padało na jak najmniejszy jego obszar.
4. Gdy pasek zacznie się palić, zgaś go, zanurzając w wodzie.



O – *środek sfery*
α – *kąt padania*
β – *kąt odbicia*

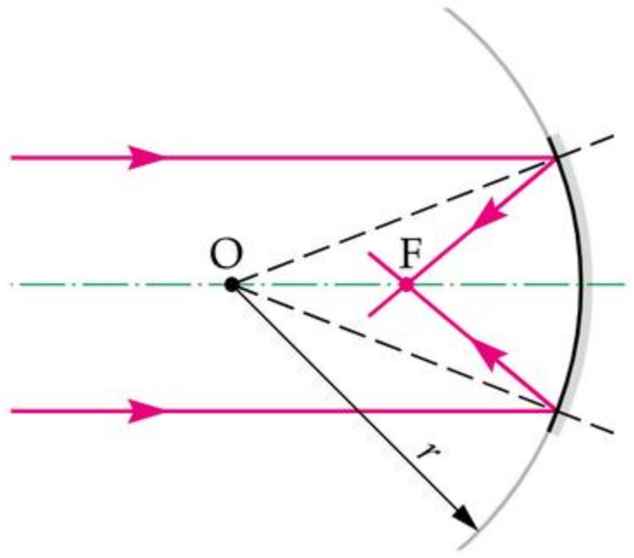
W przypadku zwierciadła wklęsłego także obowiązuje prawo odbicia: kąt odbicia = kąt padania. Musimy jednak określić, jak mierzymy te kąty.

Kąt padania to kąt między promieniem światła a promieniem sfery, której częścią jest zwierciadło. Podobnie określamy kąt odbicia.

Ognisko zwierciadła

Zwierciadło wklęsłe nie przypomina soczewki ani wyglądem, ani zasadą działania. Działa ono dzięki zjawisku odbicia, podczas gdy soczewka – dzięki załamaniu światła. Ciekawe jest zatem, że efekty działania zwierciadła wklęsłego i soczewki wypukłej są bardzo podobne.

Na rysynku obok przedstawiono równoległą wiązkę światła padającą na zwierciadło równolegle do osi optycznej (zaznaczonej kolorem zielonym). Po odbiciu wiązka ta zmienia się w wiązkę zbieżną. Wszystkie należące do niej promienie przecinają się w jednym punkcie zwanym **ogniskiem** zwierciadła. Później promienie „mijają się" i tworzą wiązkę rozbieżną.



O – *środek sfery, której częścią jest zwierciadło*
F – *ognisko zwierciadła*
prosta OF – *oś optyczna zwierciadła*

Gdy na zwierciadło wklęsłe pada wąska wiązka światła równoległa do jego osi optycznej, to po odbiciu od zwierciadła promienie przecinają się w jego ognisku.

Odległość ogniska od zwierciadła nazywamy jego ogniskową i oznaczamy *f*.

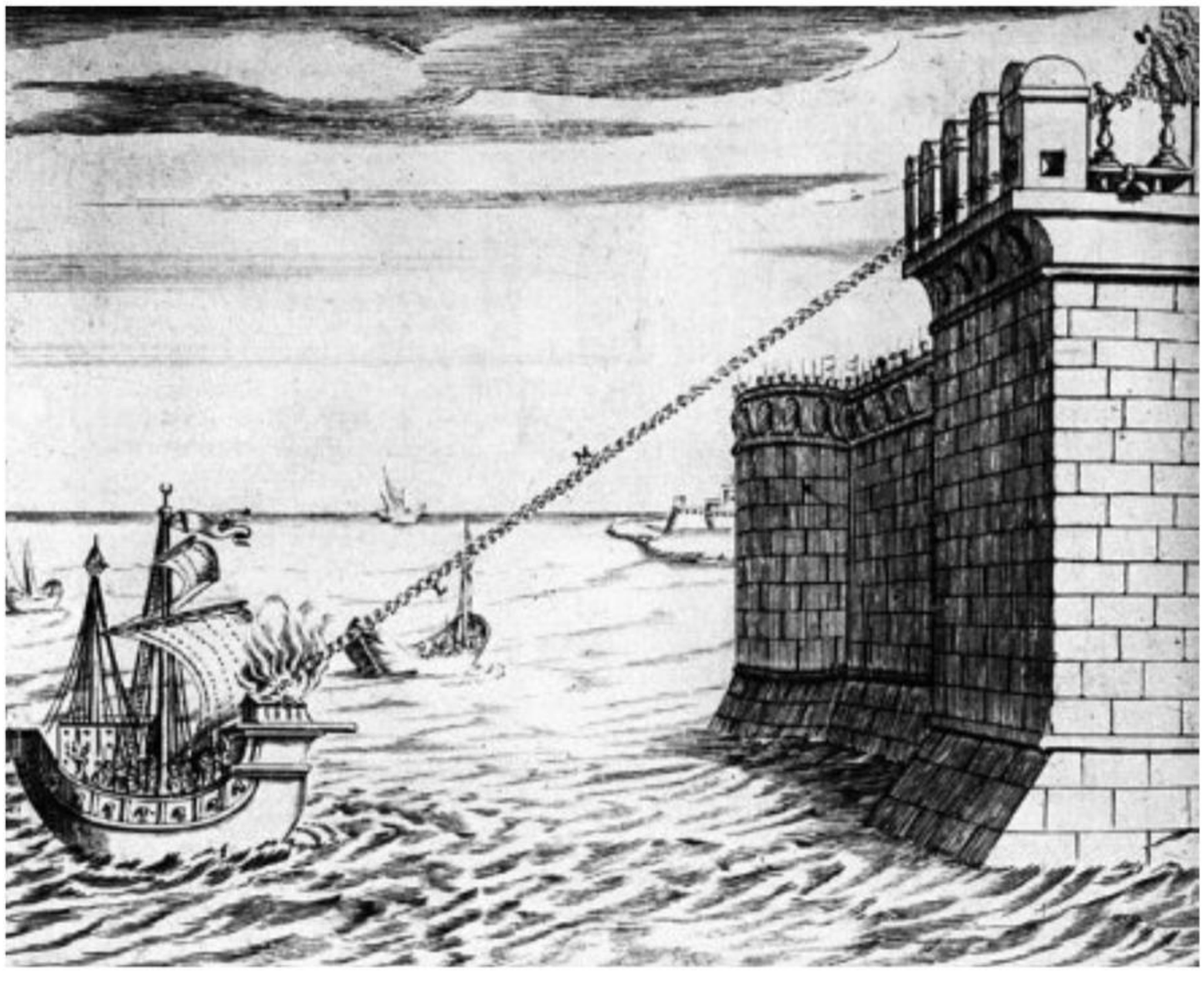
Obrazy w zwierciadle wklęsłym

Aby się przekonać, jakie obrazy powstają w zwierciadle wklęsłym, wykonaj doświadczenie.

Doświadczenie

Przejrzyj się w wewnętrznej stronie wypolerowanej łyżki. Najpierw przystaw ją do jednego oka (drugie zamknij), aby przejrzeć się z bardzo bliska. Potem przejrzyj się z większej odległości. Jaka jest różnica między tymi odbiciami? Poeksperymentuj z różnymi zwierciadłami wklęsłymi i sprawdzaj, jak zmienia się odbicie przedmiotu w zależności od jego odległości od zwierciadła.

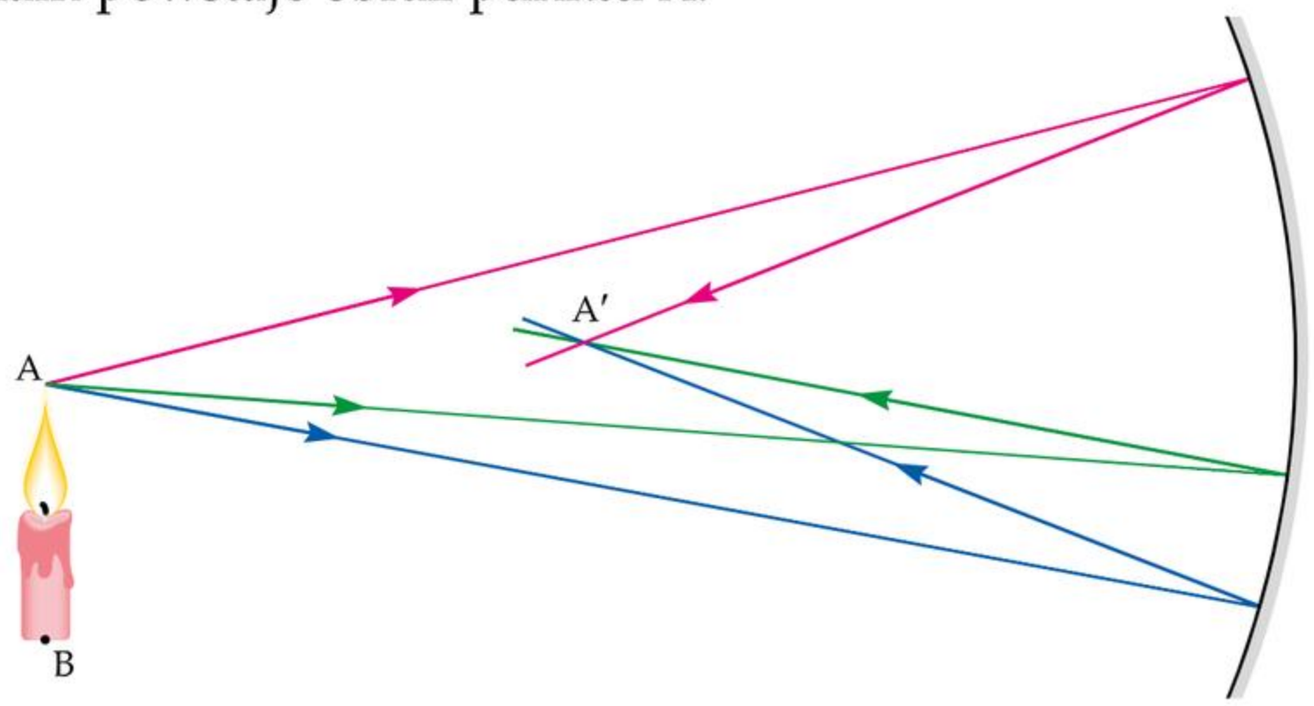
Z historii



Rycina przedstawiająca obronę Syrakuz wykonana przez Mariusa Bettinusa w 1642 roku.

Skupianie wielu promieni świetlnych w jednym miejscu za pomocą zwierciadła wklęsłego można wykorzystywać do rozpalania ognia (zob. doświadczenie na s. 204). W ten sposób – jak mówią przekazy historyczne – Archimedes zapalał okręty nieprzyjaciela podczas oblężenia jego miasta Syrakuz przez Rzymian. Tę opowieść uważano za nieprawdopodobną, ale w 1973 roku dwaj greccy uczeni: historyk i inżynier, powtórzyli wyczyn Archimedesa. Uznali oni, że choć w starożytności nie była możliwa produkcja dostatecznie wielkich luster, to przecież zamiast jednego wielkiego zwierciadła można wykorzystać wiele mniejszych – np. wypolerowanych tarcz żołnierzy. Za pomocą 70 takich tarcz w ciągu kilku sekund zapalono znajdującą się na wodzie drewnianą łódź.

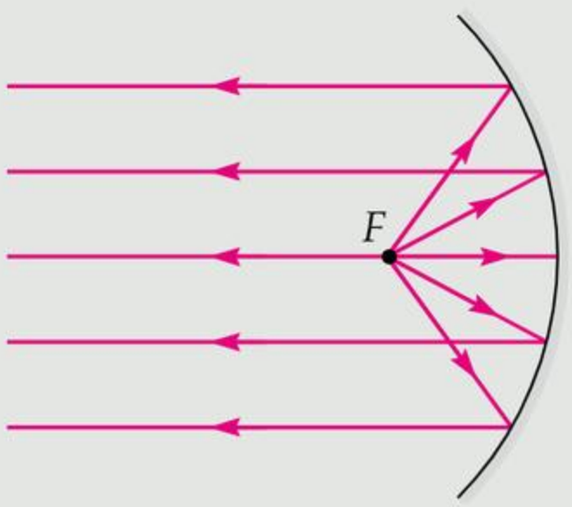
Zajmijmy się najpierw przypadkiem, gdy przedmiot znajduje się daleko od zwierciadła (dalej niż ognisko). Z danego punktu przedmiotu (np. z punktu A) wychodzą różne promienie światła. Po odbiciu od zwierciadła wszystkie one przecinają się w punkcie A′. Tam powstaje obraz punktu A.



Podobnie się dzieje z pozostałymi punktami przedmiotu. Gdybyśmy w miejscu, w którym tworzy się obraz, postawili ekran, zobaczylibyśmy na nim ten obraz. Takie doświadczenie przeprowadziliśmy już na początku lekcji – otrzymaliśmy wówczas obraz słońca. Jak pamiętasz z lekcji o soczewkach, obraz, który można oglądać na ekranie, nazywamy obrazem rzeczywistym.

Zastosowania zwierciadeł wklęsłych

Ze zwierciadłami wklęsłymi spotykamy się na co dzień. Skupiają one nie tylko światło, lecz także inne fale elektromagnetyczne, a nawet dźwięk.





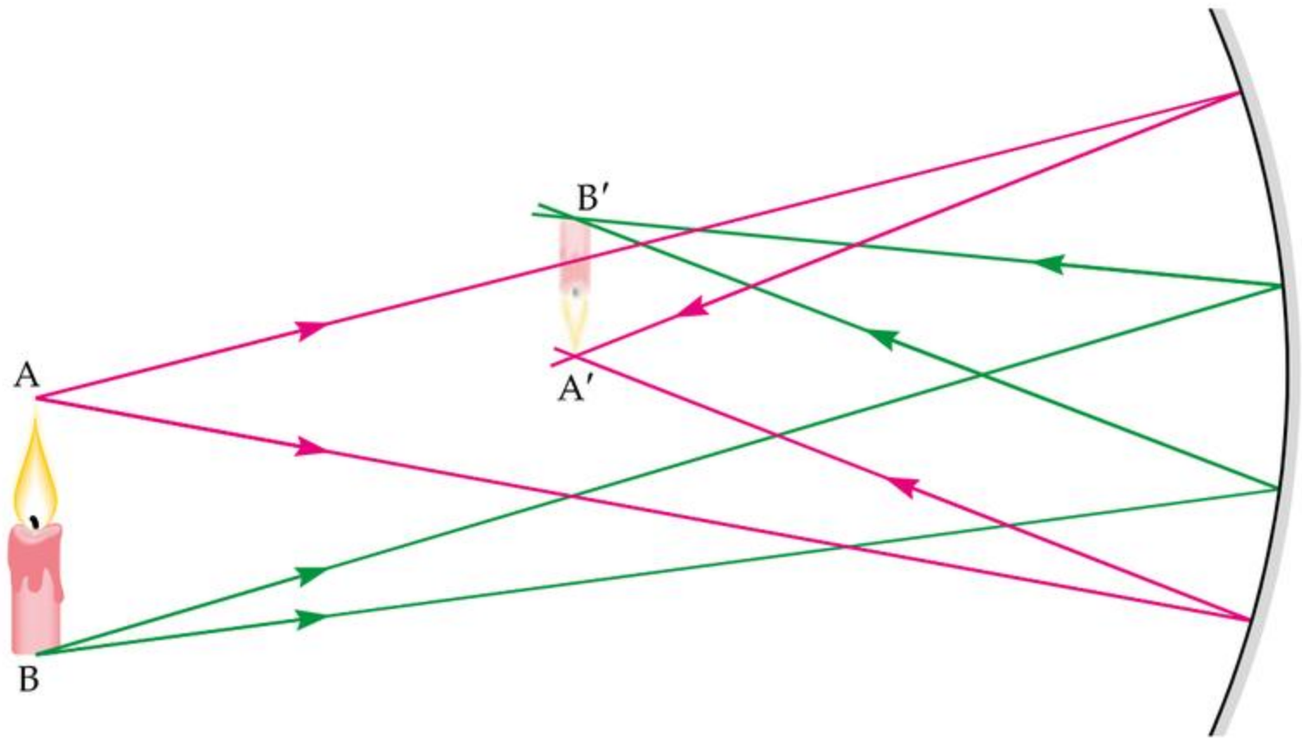
Jeśli w ognisku zwierciadła wklęsłego umieścimy źródło światła, odbite od zwierciadła promienie utworzą wiązkę równoległą. Dlatego zwierciadło to wykorzystujemy do budowy reflektorów.

Także podczerwień – promieniowanie cieplne rozgrzanej spirali – odbija się za pomocą zwierciadła, pełniącego funkcję podobną do reflektora.



Antena satelitarna skupia wiązkę fal radiowych biegnących z satelity. W jej ognisku znajduje się detektor tych fal. Na podobnej zasadzie działają anteny radioteleskopów.







Jak wynika z rysunku, a także z wykonanego właśnie doświadczenia, obraz odległego przedmiotu tworzony przez zwierciadło jest odwrócony.

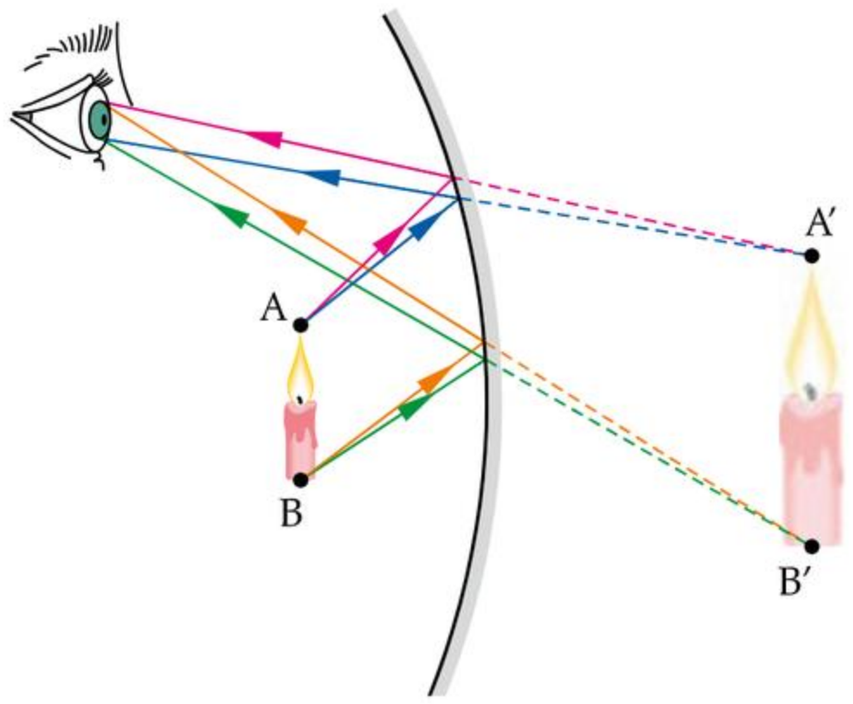
Gdy przedmiot znajduje się dalej od zwierciadła wklęsłego niż ognisko tego zwierciadła, to jego obraz jest rzeczywisty i odwrócony.

Rozważmy teraz sytuację, w której przedmiot znajduje się blisko zwierciadła, tzn. bliżej niż ognisko tego zwierciadła.

Muszla koncertowa jest zwierciadłem wklęsłym dla dźwięku. Dzięki niej energia dźwięku nie jest rozpraszana na wszystkie strony, ale kierowana do słuchaczy.



Jak pamiętasz z doświadczenia, w takim przypadku otrzymaliśmy obraz powiększony i prosty (a nie odwrócony do góry nogami). Powstawanie takiego obrazu przedstawiono na rysunku.



Promienie, które wychodzą z tego samego punktu przedmiotu, (np. punktu A) po odbiciu od zwierciadła są rozbieżne. Jednak ich kierunki są takie, jakby wszystkie wychodziły z punktu A′ za zwierciadłem.
Podobnie jak w przypadku zwierciadła płaskiego albo lupy wydaje nam się, że widzimy przedmiot w punkcie A′. Oczywiście gdyby za zwierciadłem ustawiono ekran, żaden obraz by na nim nie powstał, bo w rzeczywistości promienie światła tam nie dochodzą. Obraz jest więc pozorny.



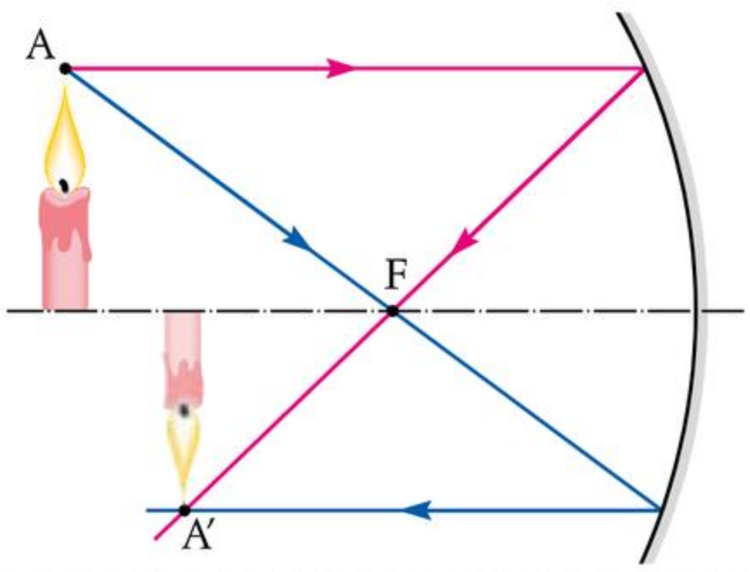
Gdy przedmiot znajduje się bliżej zwierciadła wklęsłego niż ognisko tego zwierciadła, powstaje obraz pozorny, powiększony i prosty.

Gdybyśmy w zdaniach na tej i na poprzedniej stronie wyróżnianych na niebiesko zamienili słowa „zwierciadło wklęsłe” na „soczewka skupiająca”, zdania nadal byłyby prawdziwe!

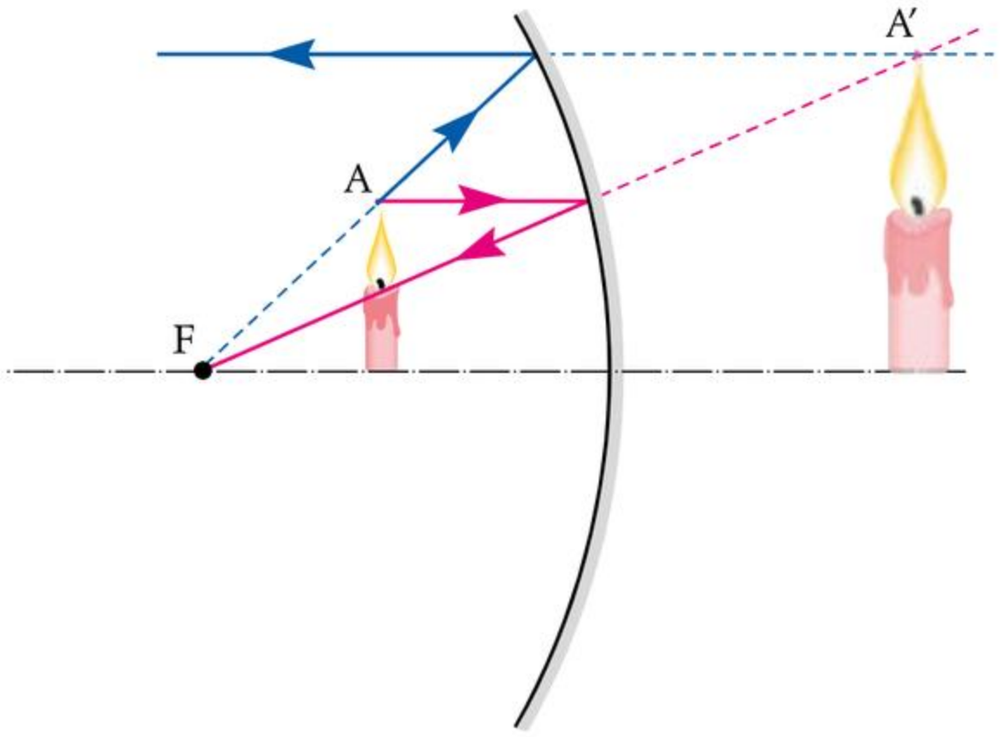
Konstruowanie obrazu

Ponieważ obraz tworzony przez zwierciadło wklęsłe powstaje podobnie jak w przypadku soczewki, również sposób jego konstruowania jest podobny. Obraz rzeczywisty punktu powstaje w miejscu, w którym przecinają się po odbiciu od zwierciadła wszystkie promienie pochodzące z tego punktu. Oczywiście do konstrukcji nie potrzeba wszystkich, wystarczą dwa.

Promień równoległy do osi optycznej – po odbiciu przechodzi przez ognisko.
Promień przechodzący przez ognisko – po odbiciu jest równoległy do osi optycznej.



Podobnie szukamy obrazu pozornego. Powstaje on w punkcie, z którego, jak się wydaje, wychodzą odbite promienie, czyli w punkcie przecięcia przedłużeń tych promieni.



Promień równoległy do osi optycznej – po odbiciu przechodzi przez ognisko.

Promień, którego przedłużenie przechodzi przez ognisko – po odbiciu jest równoległy do osi optycznej.

Podsumowanie

- Prawo odbicia obowiązuje także w przypadku zwierciadeł wklęsłych. Kąt padania i kąt odbicia mierzymy względem promienia sfery, której częścią jest zwierciadło.
- Gdy na zwierciadło wklęsłe pada wąska wiązka światła równoległa do jego osi optycznej, to po odbiciu od zwierciadła promienie przecinają się w jego ognisku.
- Gdy przedmiot znajduje się dalej od zwierciadła wklęsłego niż ognisko tego zwierciadła, jego obraz jest rzeczywisty i odwrócony.
- Gdy przedmiot znajduje się bliżej zwierciadła wklęsłego niż ognisko tego zwierciadła, powstaje obraz pozorny, powiększony i prosty.
- Obrazy tworzone przez zwierciadło wklęsłe są analogiczne do obrazów tworzonych przez soczewkę skupiającą.

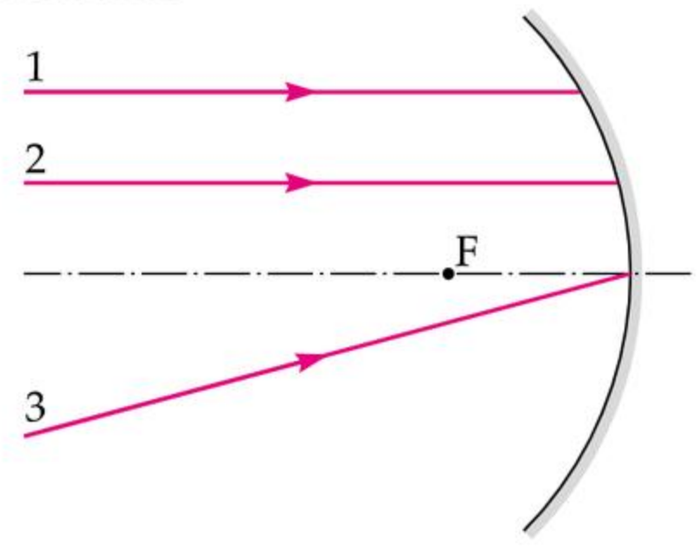
Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Narysuj w zeszycie łuk okręgu o promieniu 4 cm przedstawiający zwierciadło wklęsłe oraz trzy promienie światła padające na to zwierciadło pod różnymi kątami. Korzystając z prawa odbicia, dorysuj promienie odbite.

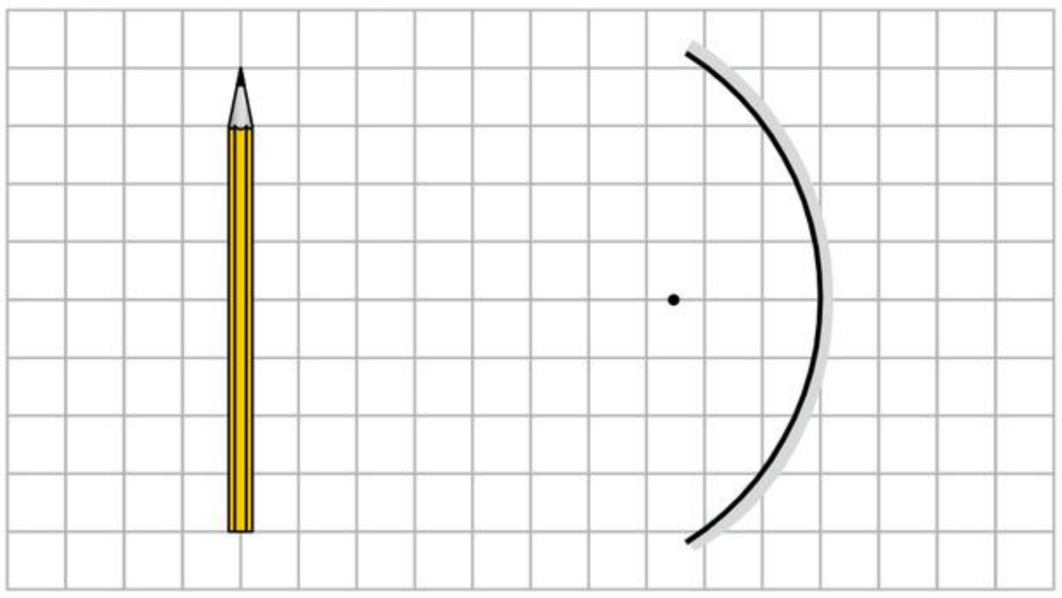
Uwaga. Aby narysować kąt równy danemu, nie musisz mieć kątomierza. Na lekcjach matematyki uczyliście się na pewno, jak to zrobić za pomocą cyrkla.

2. Wskaż, które z promieni zaznaczonych na rysunku po odbiciu przejdą przez ognisko zwierciadła.



3. Skonstruuj w zeszycie obraz przedmiotu znajdującego się w odległości $2f$ od zwierciadła wklęsłego o ogniskowej f. Co zauważasz?

4. Przerysuj ilustrację do zeszytu i skonstruuj obraz ołówka. Czy obraz jest pomniejszony czy powiększony? Ile razy?

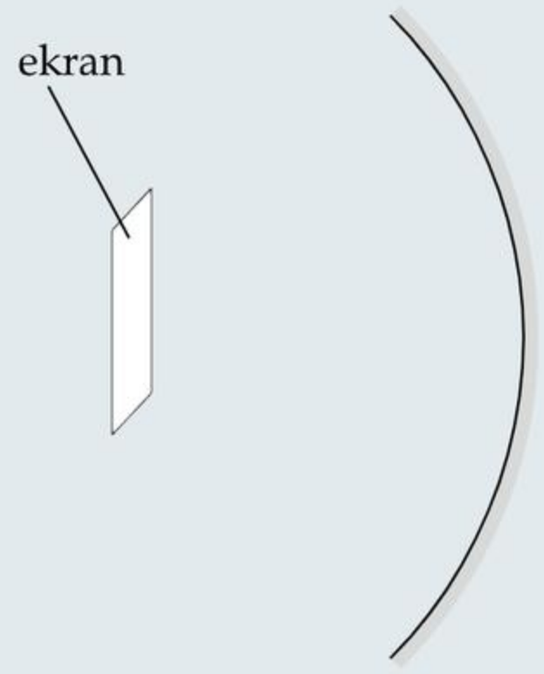


5. Rozważmy przypadek zwierciadła wklęsłego będącego fragmentem sfery o promieniu R. Mówiliśmy, że promienie **wąskiej** wiązki światła padającej wzdłuż osi optycznej po odbiciu przecinają się w jednym punkcie. Dla wiązki szerokiej w porównaniu z R nie jest to prawdą.
Korzystając z prawa odbicia, oblicz w zeszycie, w jakiej odległości od zwierciadła promień odbity przetnie oś optyczną, jeśli kąt padania wynosi:
a) 45°,
b) 30°.

Doświadczenia

Obraz rzeczywisty

1. Przygotuj zwierciadło wklęsłe (np. lusterko do makijażu) i ekran (np. białą kartkę). Wybierz dobrze oświetlony odległy obiekt, np. jasny budynek po drugiej stronie ulicy. Nie może to być jednak żadne źródło światła, a pod żadnym pozorem nie może to być słońce! Patrzenie na obraz słońca w zwierciadle może spowodować utratę wzroku!
2. Ustaw zwierciadło i ekran zgodnie ze schematem na rysunku.
3. Zbliżając i oddalając ekran od zwierciadła, znajdź miejsce, w którym tworzy się obraz odległego przedmiotu. W przypadku większości dostępnych w handlu lusterek nie będzie on ani zbyt jasny, ani wyraźny.
4. Przekonaj się, że obraz tego obiektu można obserwować także bez ekranu, patrząc na zwierciadło zza miejsca, w którym tworzy się obraz.



Wyznaczanie ogniskowej

Wyznacz opracowaną przez siebie metodą ogniskową zwierciadła wklęsłego (np. lusterka powiększającego do makijażu).

36 Zwierciadła wypukłe

Trzeci rodzaj zwierciadeł to zwierciadło wypukłe. Podobnie jak wklęsłe stanowi ono fragment powierzchni kuli, ale widzianej od zewnątrz.

Doświadczenie

1. Przygotuj zwierciadło wypukłe. Jeśli go nie masz, taką funkcję może spełniać wypukła powierzchnia błyszczącej łyżeczki. Przygotuj także wskaźnik laserowy (pamiętaj o zasadach bezpieczeństwa).
2. Ustaw łyżeczkę pionowo i poświeć na jej środek laserem. Obserwuj odbicie promienia na ścianie. Co się dzieje, gdy przesuwasz laser, nie zmieniając kierunku promieni?

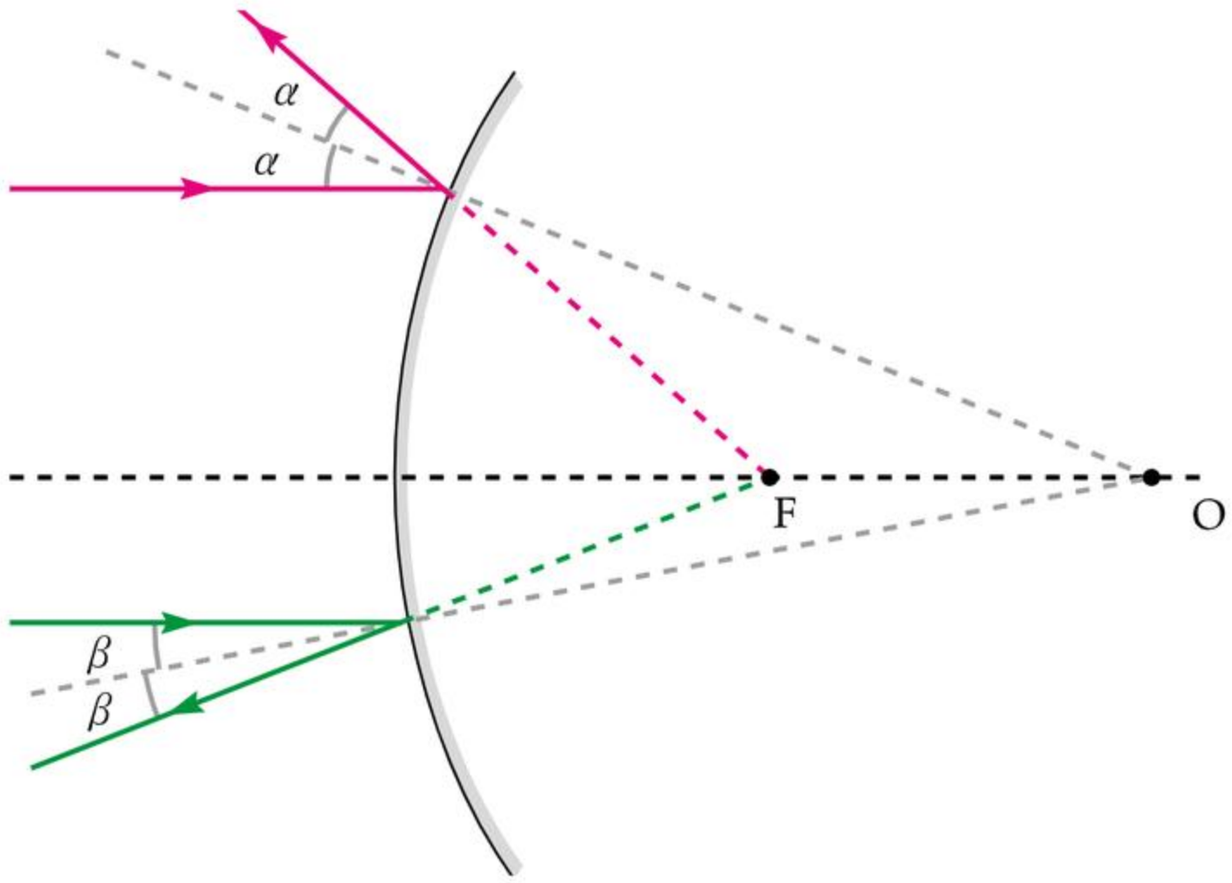


W doświadczeniu obserwowaliśmy, że promienie równoległe padające na zwierciadło wypukłe po odbiciu rozbiegają się w różnych kierunkach.

Zwierciadło wypukłe rozprasza światło, tzn. zmienia wiązkę równoległą na rozbieżną.

Także w wypadku tego zwierciadła spełnione jest prawo „kąt odbicia równy jest kątowi padania", ale każdy z tych kątów mierzymy między promieniem (padającym albo odbitym) a przedłużeniem promienia sfery, której częścią jest zwierciadło. Odbite promienie biegną w różne strony, a więc się nie przecinają. Jednak ich przedłużenia przecinają się w jednym punkcie, co oznacza, że odbite promienie biegną tak, jakby wychodziły z tego punktu. Podobnie jak w przypadku soczewki rozpraszającej ten punkt nazywamy **ogniskiem pozornym**.

Promienie wąskiej wiązki równoległej do osi optycznej zwierciadła wypukłego odbijają się tak, jakby wychodziły z ogniska pozornego.

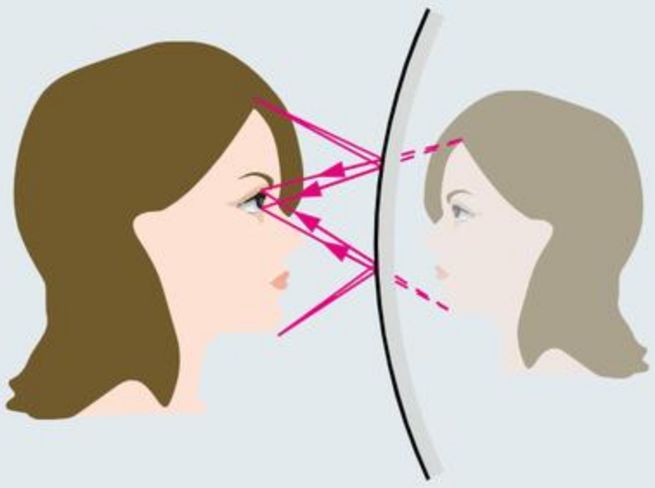


O – środek sfery, której częścią jest zwierciadło
F – ognisko pozorne zwierciadła
prosta OF – oś optyczna zwierciadła

Odległość od zwierciadła do ogniska nazywamy ogniskową, ale aby zaznaczyć, że ogniskowa jest pozorna, zapisujemy ją ze znakiem minus.

Obrazy tworzone przez zwierciadło wypukłe

Doświadczenie



1. Zaobserwuj i opisz, jak wygląda twoje odbicie w zwierciadle wypukłym, np. w wypukłej powierzchni błyszczącej łyżki.
2. Sprawdź za pomocą ekranu (np. białej kartki), czy jest to obraz rzeczywisty.
3. Sprawdź, czy cechy obrazu zależą od tego, jak daleko od niego się znajdujesz.



Doświadczenie przekonuje nas, że:

Zwierciadło wypukłe tworzy pozorny, pomniejszony i prosty obraz przedmiotu, niezależnie od jego odległości od zwierciadła.

Zwróć uwagę, że gdyby zamienić słowa „zwierciadło wypukłe" na „soczewka rozpraszająca", to zdanie także byłoby prawdziwe. Widzimy więc podobieństwo między zwierciadłem wypukłym (rozpraszającym światło) a soczewką rozpraszającą, podobnie jak między zwierciadłem wklęsłym (skupiającym światło) a soczewką skupiającą.

Zastosowania zwierciadeł wypukłych

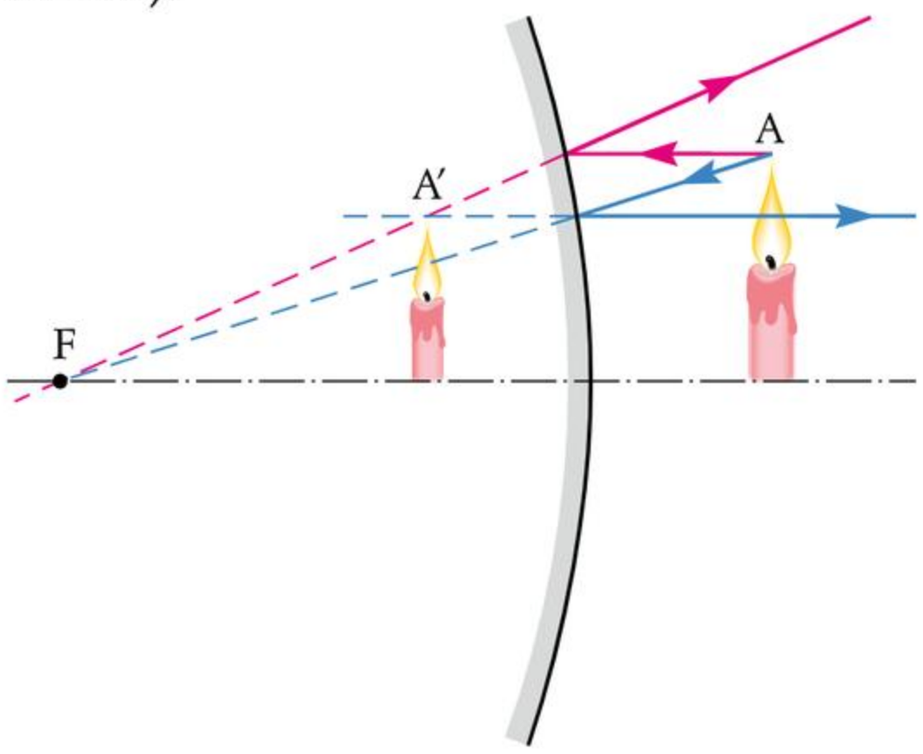
Zwierciadła te wykorzystujemy wtedy, gdy chcemy zobaczyć pomniejszony obraz jakiegoś przedmiotu. Ale po co pomniejszać obraz, skoro większy byłby lepiej widoczny? Otóż gdy obraz pomniejszymy, w polu widzenia zmieści się większy obszar. Dlatego lusterka samochodowe są zwierciadłami wypukłymi. Niestety pomniejszone samochody wyglądają tak, jakby znajdowały się dalej, niż są w rzeczywistości. Dlatego ocena prawdziwej odległości może sprawić kłopot niedoświadczonemu kierowcy.



Lusterko wypukłe w samochodzie pozwala widzieć większy obszar.

Konstruowanie obrazu

Podobnie jak we wszystkich omówionych wcześniej przypadkach, obraz tworzony przez zwierciadło wypukłe możemy skonstruować, śledząc bieg charakterystycznych promieni (patrz rysunek).



Promień równoległy do osi optycznej po odbiciu biegnie tak, jakby wychodził z ogniska (tzn. jego przedłużenie biegnie przez ognisko).

Promień padający w stronę ogniska po odbiciu biegnie równolegle do osi optycznej.

Ponieważ zwierciadło takie tworzy obraz pozorny, znajdujemy go w punkcie przecięcia przedłużeń promieni odbitych od zwierciadła. To miejsce, z którego – jak się wydaje – promienie wychodzą.

Podsumowanie

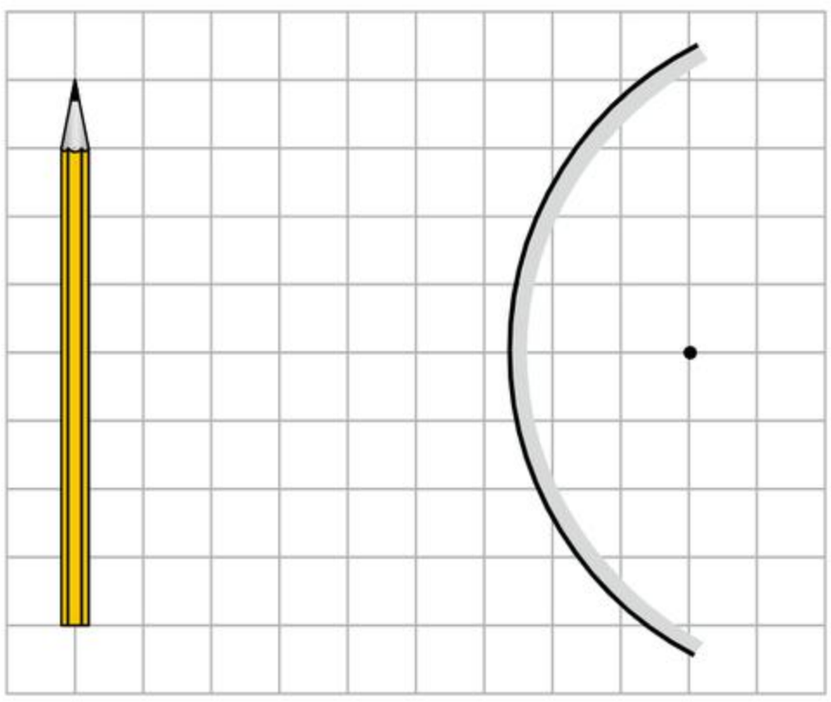
- Zwierciadło wypukłe rozprasza światło.
- Promienie wiązki równoległej do osi optycznej zwierciadła wypukłego odbijają się tak, jakby wychodziły z ogniska pozornego.
- Zwierciadło wypukłe tworzy pozorny, pomniejszony i prosty obraz przedmiotu, niezależnie od jego odległości od zwierciadła. Jest pod tym względem podobne do soczewki rozpraszającej.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Narysuj w zeszycie łuk o promieniu 4 cm – będzie to schematyczny rysunek zwierciadła wypukłego. Narysuj cztery różne promienie padające na to zwierciadło równoległe do osi optycznej tego zwierciadła. Korzystając z prawa odbicia, dorysuj promienie odbite.

2. Przerysuj ilustrację do zeszytu i skonstruuj obraz ołówka. Ile razy pomniejszony jest obraz?



3. Skonstruuj w zeszycie obraz przedmiotu znajdującego się w odległości 10 cm od zwierciadła o ogniskowej –5 cm.

4. Zdjęcie przedstawia lustro ustawione przy skrzyżowaniu ulic. Pomaga ono kierowcom obserwować ruch. Oceń, jakie zwierciadło najlepiej sprawdzi się w tej roli: wklęsłe, wypukłe czy płaskie. Uzasadnij odpowiedź.





D Luneta i mikroskop

Doświadczenie

1. Umocuj soczewkę skupiającą naprzeciwko okna (np. połóż okulary +1 D na pudełku stojącym na parapecie).
2. Stań w odległości większej od ogniskowej, tak aby w soczewce widzieć odwrócony obraz odległych przedmiotów za oknem.
3. Weź teraz drugą, mocniejszą soczewkę (np. okulary +3 D) i popatrz przez nią jak przez lupę na obraz tworzony przez pierwszą soczewkę.
4. Ustaw soczewki tak, aby obraz był jak największy. Zauważ, że jest on większy niż obraz widziany gołym okiem.



Układ doświadczalny.



Widziany obraz.

Luneta astronomiczna

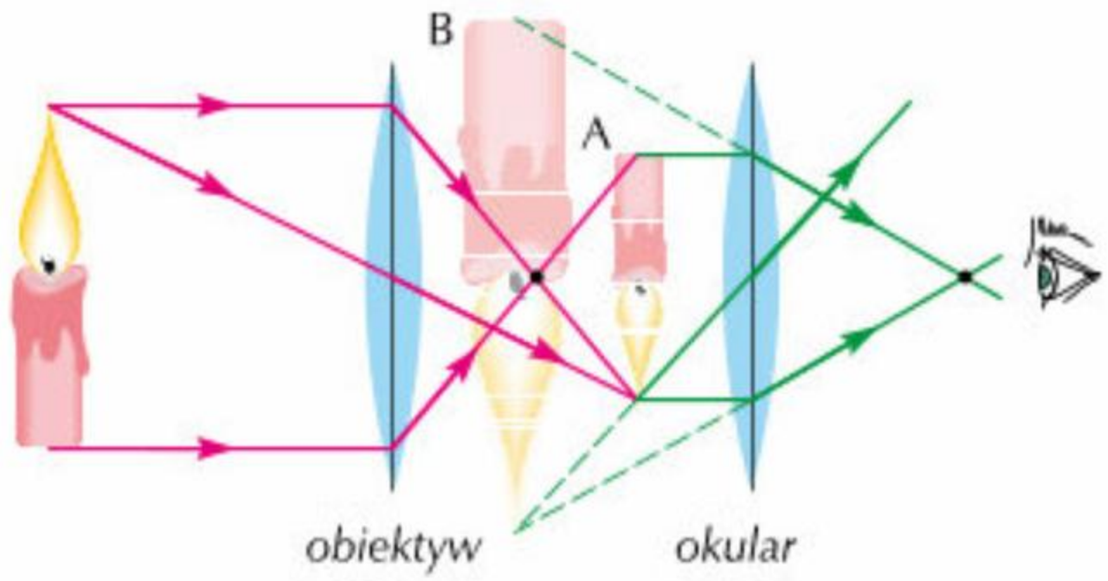
Gdy „zawieszony w powietrzu" obraz odległego obiektu tworzony przez jedną soczewkę obejrzysz przez drugą soczewkę użytą jako lupa, zobaczysz go w powiększeniu. W ten sposób zbudujesz prostą **lunetę astronomiczną**. Taka luneta daje obraz odwrócony. Nazwa tego przyrządu jest nieco myląca, ponieważ może on służyć również do oglądania przedmiotów na ziemi, choć oglądanie świata do góry nogami nie jest zbyt wygodne.

Luneta astronomiczna składa się z dwóch soczewek skupiających, z których mocniejsza służy jako lupa do oglądania obrazu tworzonego przez słabszą soczewkę.

Soczewkę tworzącą obraz nazywamy **obiektywem**, a soczewkę, przez którą ten obraz oglądamy – **okularem**.



Luneta astronomiczna powiększa nawet 1000 razy.



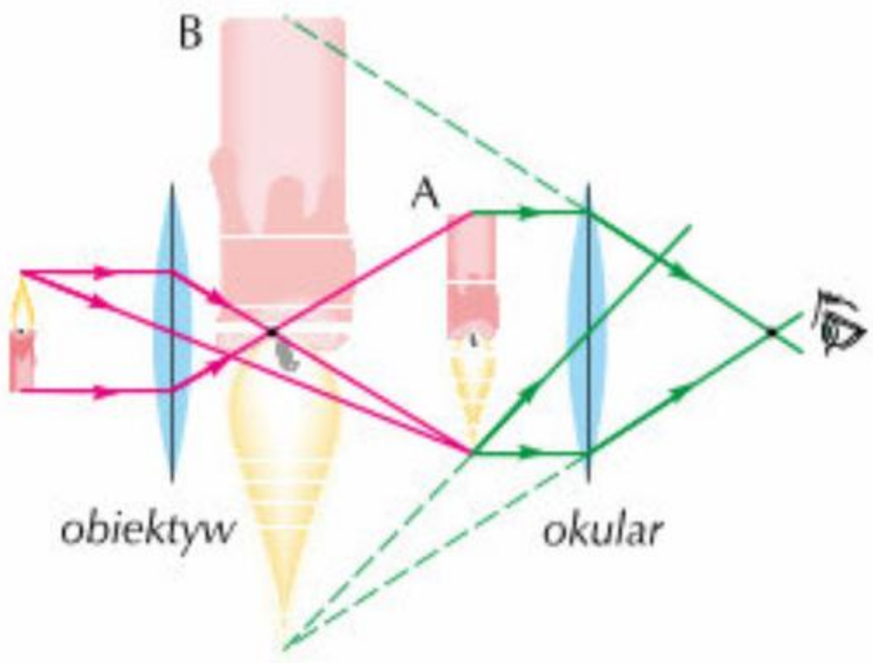
Pierwsza soczewka (obiektyw) tworzy w powietrzu pomniejszony obraz A świecy, który oglądamy przez drugą soczewkę (okular), użytą jako lupa (zob. s. 183). Widzimy powiększony obraz B małego obrazu A.

Mikroskop

Jak wiesz, mikroskop służy do oglądania bardzo małych obiektów, np. bakterii. Działa on podobnie jak luneta astronomiczna. Również on składa się z dwóch soczewek skupiających, z których pierwsza (obiektyw) tworzy obraz, który oglądamy za pomocą drugiej (okularu) jak przez lupę.



Mikroskopy umożliwiają oglądanie obiektów w powiększeniu od 5 do 1800 razy.



Różnica między mikroskopem a lunetą – wynikająca z ich zastosowań – polega na nieco innej roli pierwszej soczewki (obiektywu). W przypadku lunety obraz jest pomniejszony, ale za to znajduje się blisko – wielokrotnie bliżej niż oglądany obiekt. Dzięki temu można obejrzeć go przez lupę (drugą soczewkę). Przecież trudno byłoby oglądać przez lupę cały Księżyc!
W mikroskopie dwie soczewki umożliwiają zwielokrotnienie powiększenia. Bakteria oglądana przez samą lupę nadal byłaby zbyt mała, aby ją dostrzec.

W mikroskopie obiektyw tworzy powiększony i odwrócony obraz, który zostaje dodatkowo powiększony przez okular.

Podsumowanie

- Luneta astronomiczna składa się z dwóch soczewek skupiających. Pierwsza z nich (obiektyw) tworzy odwrócony i pomniejszony obraz oglądanego przedmiotu. Przez drugą (okular) oglądamy ten obraz w powiększeniu jak przez lupę.
- Mikroskop jest zbudowany podobnie do lunety, ale obie soczewki powiększają obraz. Obraz ten jest odwrócony.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. W pewnym momencie nocy księżyc na niebie wyglądał tak, jak pokazano na zdjęciu.
Naszkicuj w zeszycie, jak wyglądałby obserwowany przez lunetę astronomiczną.



2. Opisz, w czym luneta jest podobna do mikroskopu, a czym się od niego różni.

3. Pierwsza soczewka mikroskopu powiększa obraz 40 razy, a druga 8 razy. Oblicz, ile razy powiększony jest obraz widzany przez ten mikroskop.

4. Mikroskop powiększa obraz 2000 razy. Oblicz, jaką pozorną wielkość dla obserwatora ma oglądana przez ten mikroskop bakteria o długości 2 μm.

Doświadczenie

Luneta ziemska

1. Połóż na parapecie okulary +3 D (albo inną podobną soczewkę).
2. Popatrz na soczewkę okularów z odległości mniejszej niż ogniskowa. Zobaczysz obraz przedmiotów za oknem: powiększony, nieodwrócony, ale nieostry.
3. Popatrz na tę soczewkę jeszcze raz, ale przez drugą soczewkę – rozpraszającą.
Możesz użyć wizjera aparatu fotograficznego albo jednej z soczewek okularów dla krótkowidza (np. –2 D). Ustaw soczewki tak, aby widzieć ostry obraz.
Jest to inna luneta, zwana umownie lunetą ziemską.
Jest ona krótsza i nie odwraca obrazu.



Układ doświadczalny.

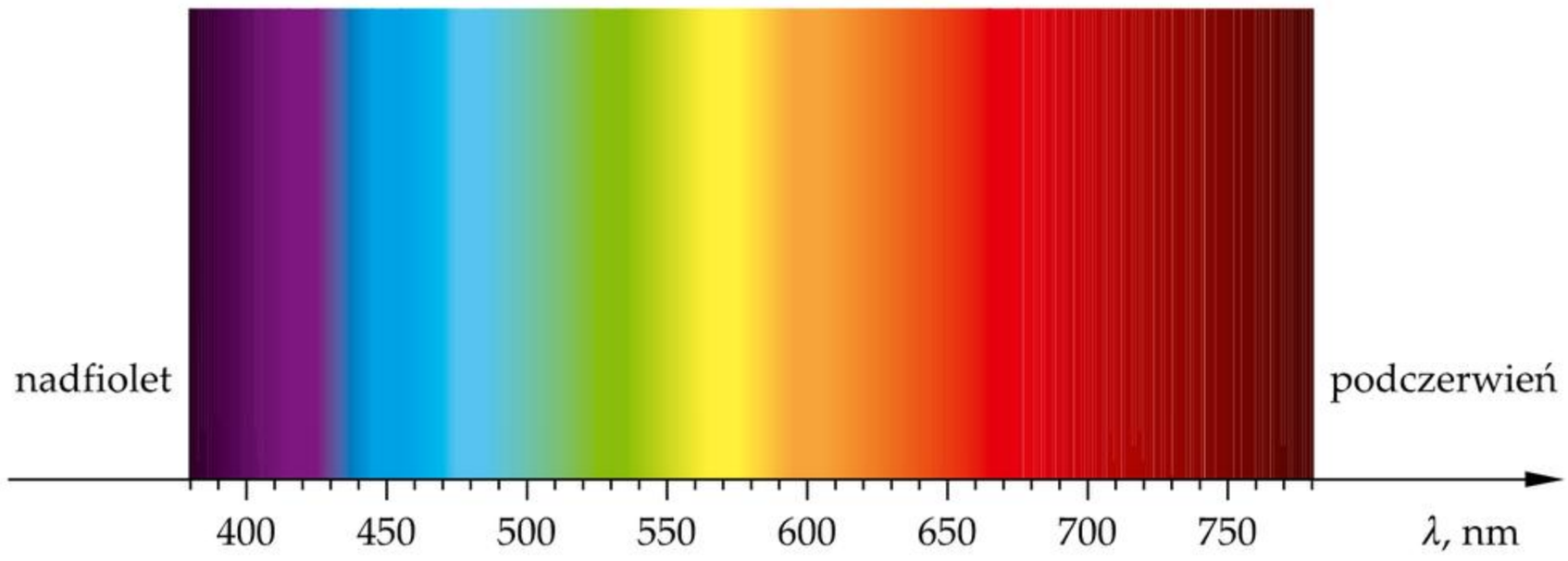


Widziany obraz.

37 Barwy

Barwy światła

Z działu trzeciego podręcznika wiesz już, że światło jest falą elektromagnetyczną. Różne długości fal (a więc i różne częstotliwości) światła odbieramy jako różne barwy.



Zakres długości fal światła widzialnego.

W praktyce rzadko mamy do czynienia ze światłem całkowicie jednobarwnym. Przykładem źródła takiego światła jest **laser**, wykorzystywany dziś niemal w każdym domu w odtwarzaczach CD, DVD i Blu-ray. Większość pozostałych źródeł światła, jak słońce, żarówki i świetlówki, emituje światło będące mieszaniną fal o różnych częstotliwościach.

Rozszczepienie światła

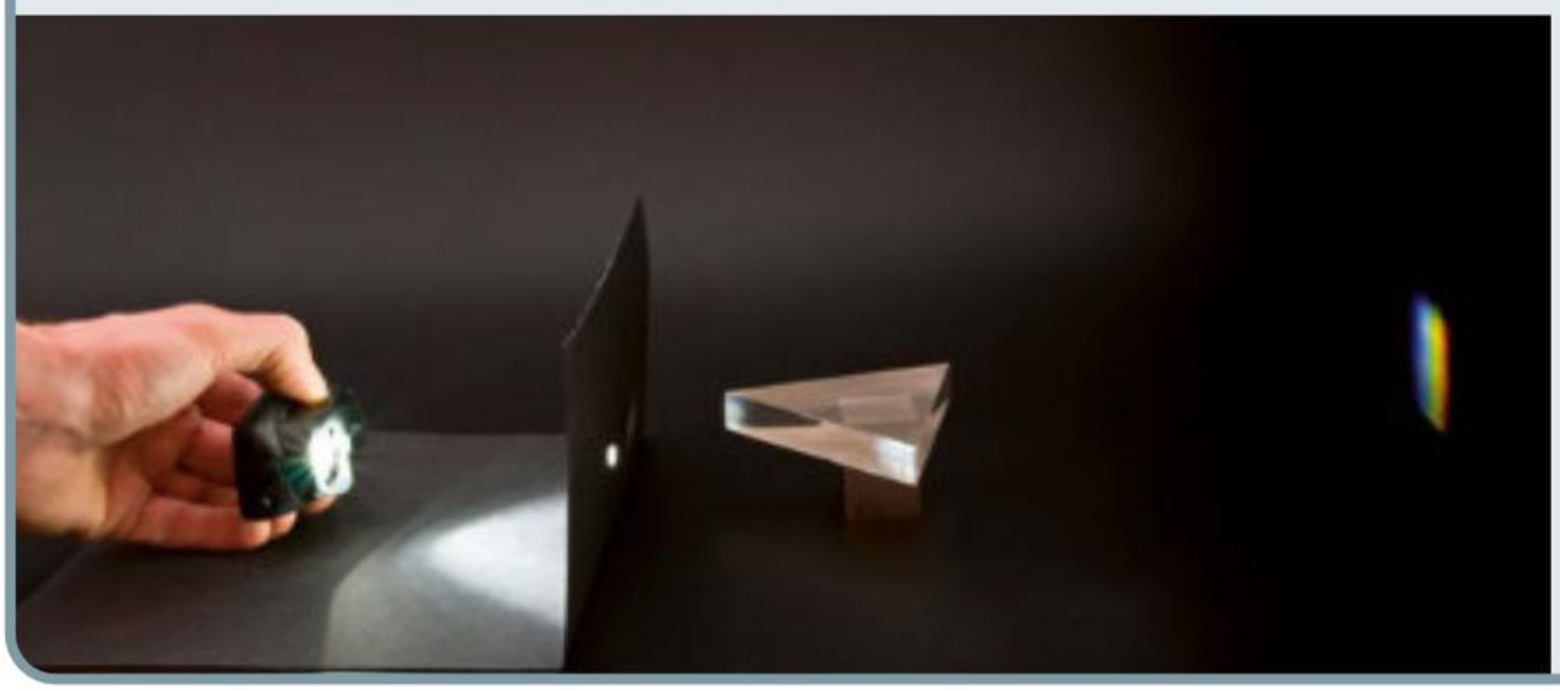
Jak widzisz, wśród barw światła na ilustracji powyżej nie występuje kolor biały. Światło białe składa się bowiem z fal o różnych długościach.

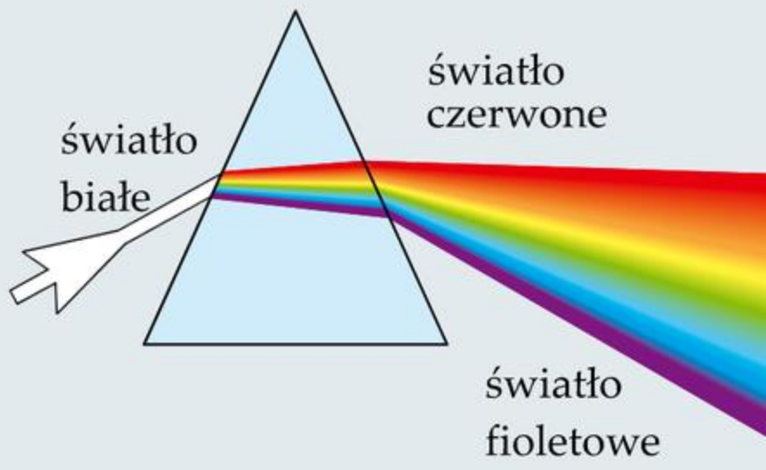
Światło białe jest mieszaniną fal o różnych długościach.

W temacie 28. (s. 175) badaliśmy, jak światło przechodzi przez pryzmat. Za pomocą pryzmatu możemy **rozszczepić** światło.

Doświadczenie

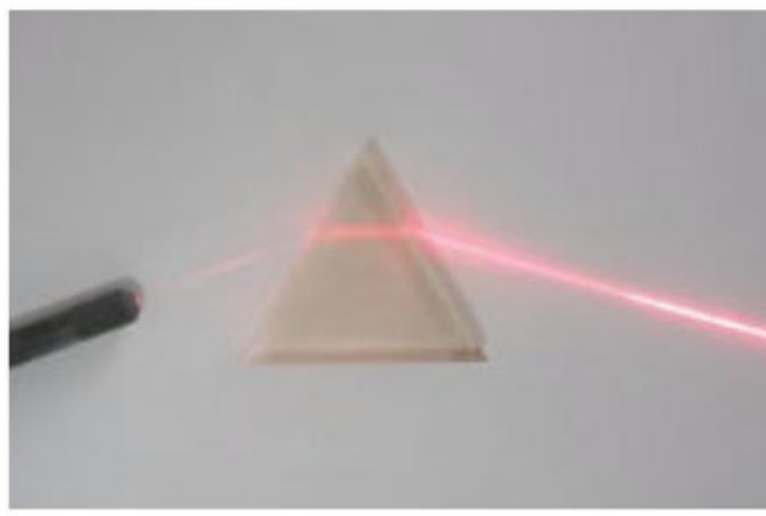
Poświeć na pryzmat białym światłem (np. z latarki). Użyj wąskiej wiązki światła. Możesz ją uzyskać, ustawiając w pewnej odległości od latarki kartonik z niewielkim otworkiem. Obserwuj obraz powstający na ekranie po drugiej stronie pryzmatu.





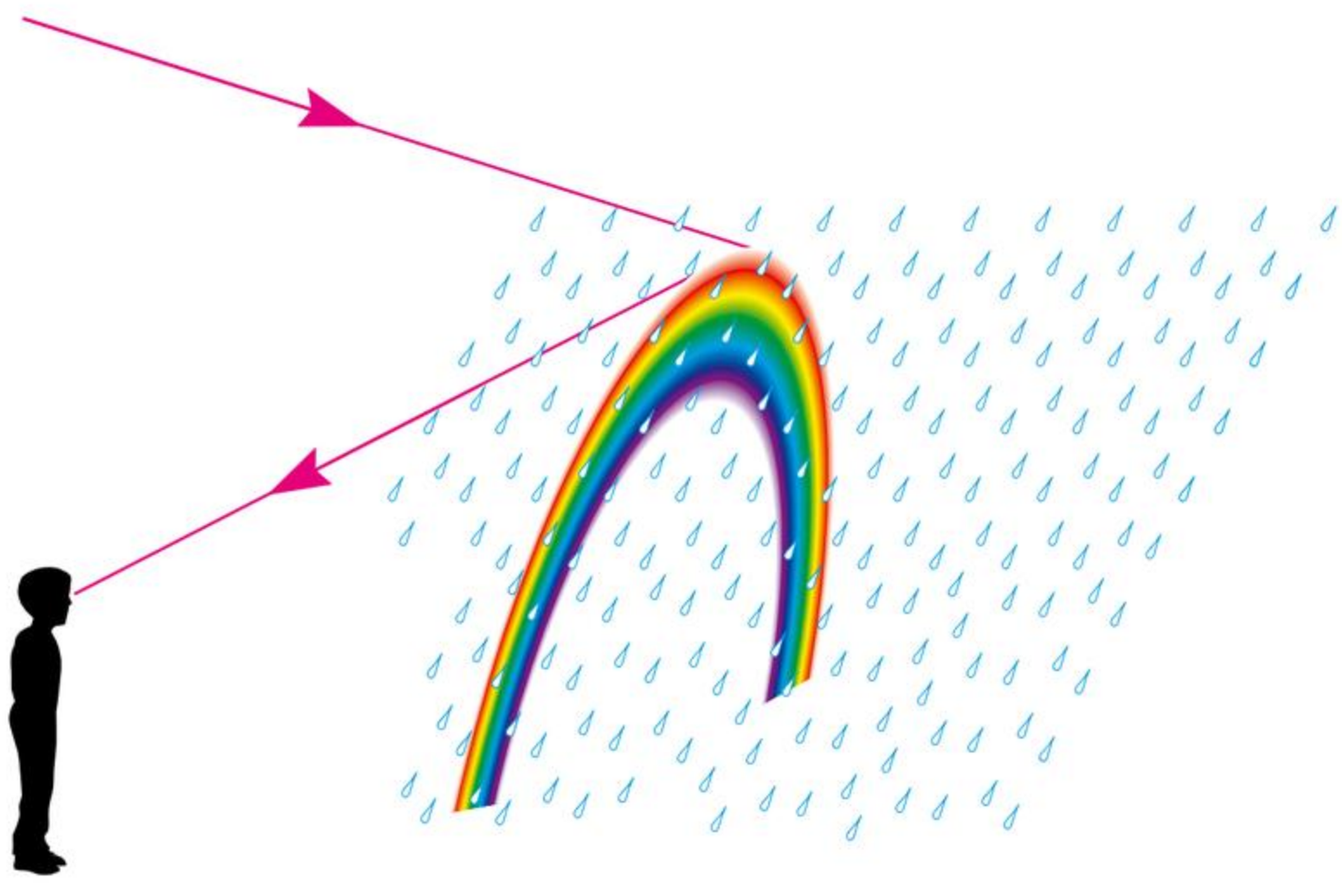
Jak wiesz, światło białe załamuje się przy przejściu do innego ośrodka. Okazuje się jednak, że kąt załamania jest różny dla różnych długości fal. Światło fioletowe załamuje się w pryzmacie mocniej niż światło czerwone.

Za pomocą pryzmatu możemy rozszczepić światło białe na jego poszczególne barwy składowe.



Światło lasera jest jednobarwne, dlatego nie ulega rozszczepieniu.

Z podobnym zjawiskiem mamy do czynienia w naturze – jest nim tęcza.



Tęcza powstaje dzięki rozszczepieniu światła słonecznego w kroplach wody znajdujących się w powietrzu.





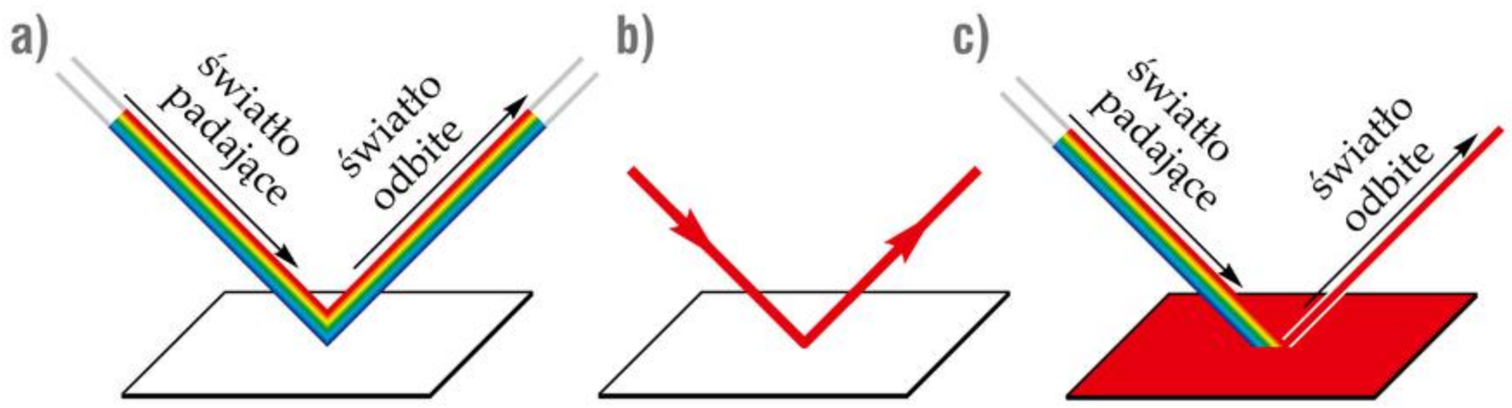
Barwa przedmiotu

Doświadczenie

1. Oświetl lampką białą kartkę. Jaki kolor ma kartka?
2. Następnie oświetl ją czerwonym światłem (np. z lampki osłoniętej czerwoną folią lub bibułą). Jaki kolor ma kartka tym razem?
3. Możesz lampkę zasłonić bibułą w innym kolorze i sprawdzić, jaki kolor ma kartka w takim oświetleniu.

Biała kartka oświetlona białym światłem odbija wszystkie barwy, z których składa się to światło, dlatego widzimy, że jest biała (rys. a). Jeśli oświetlimy ją światłem o innej barwie, np. czerwonej, kartka odbija to światło. Wydaje się więc, że jest czerwona (rys. b).

Ciało białe odbija wszystkie barwy wchodzące w skład światła białego.

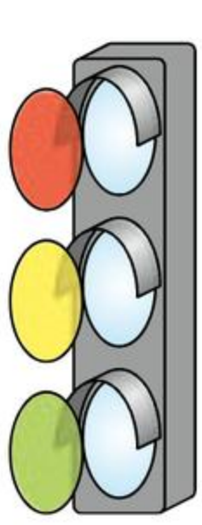




Jeżeli czerwoną kartkę papieru oświetlimy białym światłem, czyli mieszaniną wszystkich barw, odbije ona tylko jego czerwoną składową. Będzie wyglądała tak samo jak biała kartka oświetlona na czerwono (patrz fotografia i rys. c).

Ciało kolorowe (np. czerwone) odbija tylko światło określonej barwy (np. czerwonej), a pozostałe składowe światła pochłania.

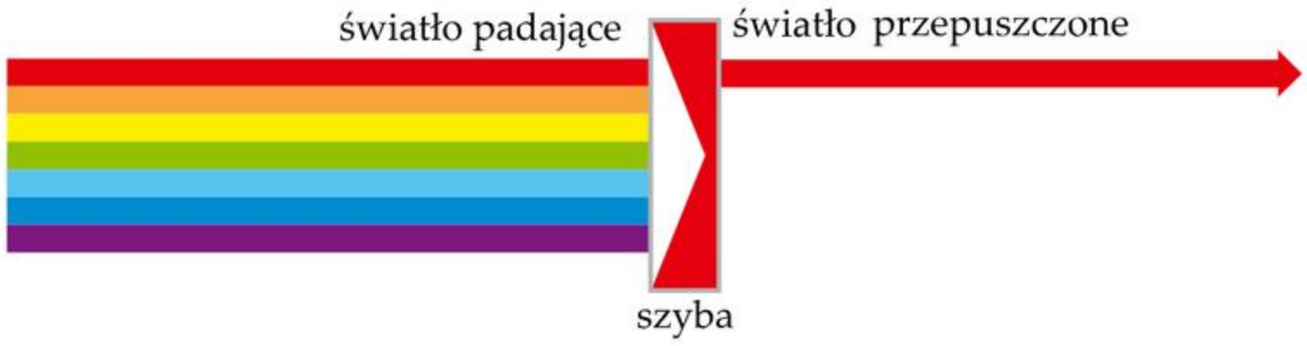
Jak już wiesz, ciało czarne pochłania całe padające na nie światło, a więc wszystkie barwy. Nie ma więc czegoś takiego jak „czarne światło". Czerń oznacza brak światła.



Żarówka sygnalizatora świetlnego emituje światło białe. Odpowiednią barwę światło to uzyskuje dzięki zastosowaniu kolorowych szybek.

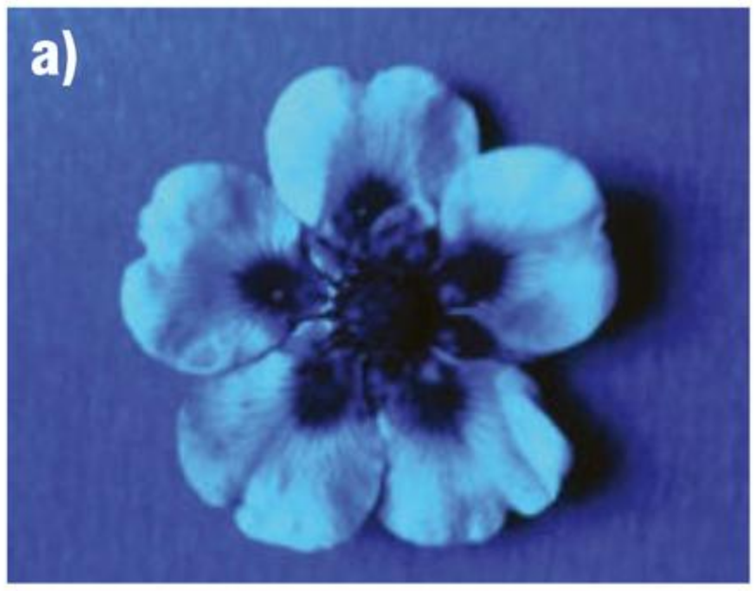
Barwa ciała przezroczystego

Niektóre ciała przezroczyste przepuszczają tylko światło o określonej barwie. Na przykład czerwona szyba przepuszcza wyłącznie światło czerwone.



Ciekawostka

Granica między światłem widzianym przez człowieka a podczerwienią albo nadfioletem wynika wyłącznie z budowy ludzkiego oka, a nie z właściwości samego światła. Niektóre ptaki (np. gołębie) i owady (np. pszczoły) widzą nadfiolet.
Na zdjęciu a) widzisz kwiat pięciornika tak, jak widzi go pszczoła. „Kolor nadfioletowy" został zastąpiony czernią. Dla człowieka pięciornik jest jednolicie żółty (zdjęcie b). Pomyśl, o ile łatwiej go zauważyć podczas poszukiwania nektaru, gdy widzi się nadfiolet.





Podsumowanie

- Światło białe jest mieszaniną świateł o różnych barwach (tzn. o różnych długościach fal). Za pomocą pryzmatu można je rozszczepić na poszczególne barwy składowe.
- Zjawisko rozszczepienia światła można zaobserwować, patrząc na tęczę. Funkcję pryzmatu pełnią w tym przypadku rozpylone w powietrzu krople wody.
- Światło lasera jest jednobarwne, dlatego nie rozszczepia się, przechodząc przez pryzmat.
- Ciało białe odbija wszystkie barwy światła. Ciało kolorowe (np. zielone), odbija tylko światło jednej barwy (zielonej), a pozostałe pochłania. Ciało czarne pochłania prawie całe padające na nie światło.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Wskazówka. Poniższe zadania rozwiąż, korzystając z rysunku ze strony 218, na którym podano długości fal składowych światła białego.

1. Podaj przybiżoną długość fali światła:
a) zielonego,
b) niebieskiego,
c) czerwonego.

2. Jaki kolor ma ciało, które pochłania:
a) wszystkie barwy oprócz żółtej,
b) wszystkie fale świetlne o długości poniżej 700 nm?

3. Pszczoły widzą światło o długości fali od 313 nm do 650 nm, dostrzegają więc nadfiolet. Nie widzą jednak niektórych barw, które są widoczne dla ludzi. Zapisz, jakie to barwy.

4. Edyta obudziła się rano w czerwonym namiocie i ze zdumieniem spostrzegła, że jej bluzka, wczoraj jeszcze zielona, jest całkiem czarna. Wyjaśnij, co się stało.



D Składanie barw

Doświadczenie

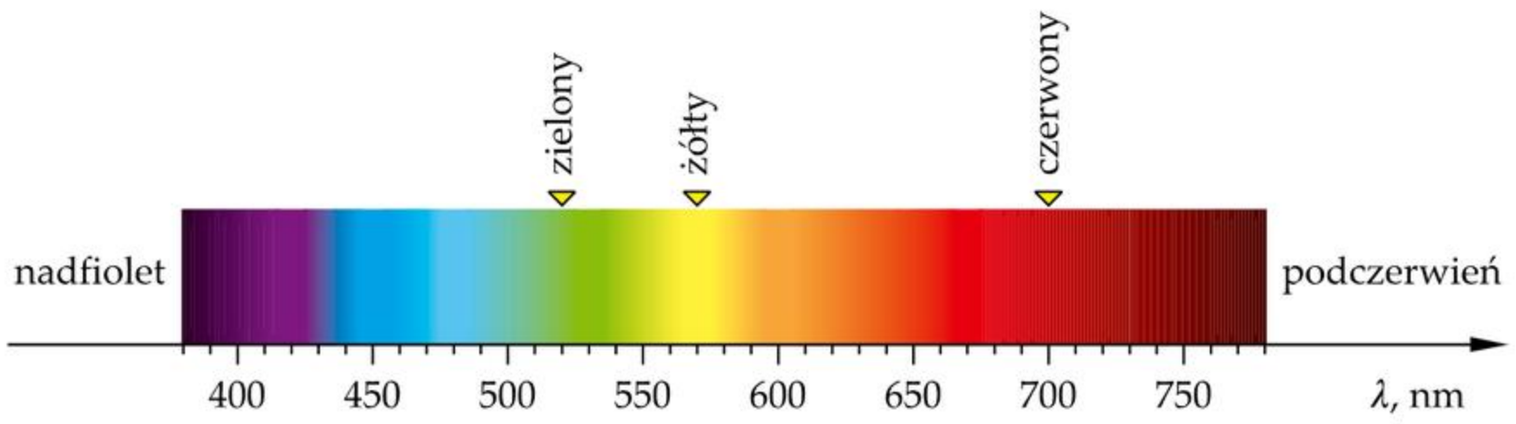
1. Weź dwie lampki. Zasłoń je kilkakrotnie złożoną kolorową bibułą: jedną z lampek bibułą czerwoną, a drugą – zieloną. Możesz użyć kolorowej folii.
2. Oświetl białą kartkę obiema lampkami równocześnie.
3. Jaki kolor widzisz w miejscu oświetlonym obiema lampkami?



W jaki sposób nasze oko rozróżnia barwy? W jaki sposób otrzymujemy kolorowy obraz na zdjęciach i w filmach? Aby to wyjaśnić, zacznijmy od doświadczenia.

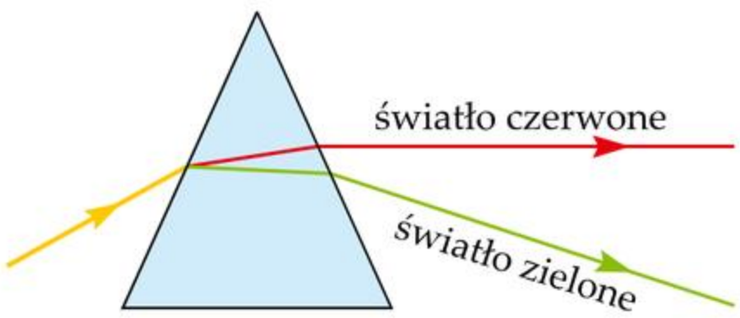
Składanie barw światła

Łącząc światło zielone z czerwonym, otrzymujemy żółte. Czy oznacza to, że fala o długości 520 nm dodana do fali o długości 700 nm daje falę o długości 570 nm?

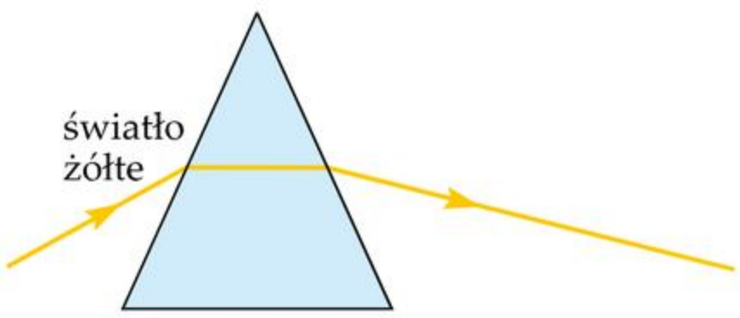


Oczywiście, że nie! Te dwie fale dają razem po prostu mieszaninę fal, którą oko widzi jako żółtą. Nie potrafi jednak rozróżnić, że w tej mieszaninie są barwy czerwona i zielona. Za pomocą pryzmatu można się przekonać, czy światło, które widzimy, powstało w wyniku zmieszania barwy zielonej z czerwoną, czy też jest faktycznie żółte. W pierwszym przypadku światło po przejściu przez pryzmat rozdzieli się na dwie barwy (rys. a), w drugim – pozostanie żółte (rys. b). W podobny sposób możemy dodać światło niebieskie do czerwonego lub zielonego. Przedstawia to rysunek c).

a)



b)



c)



Podstawowe barwy światła

Dodając trzy barwy: niebieską, czerwoną i zieloną w różnych proporcjach, tzn. wykorzystując mocniejsze lub słabsze źródła światła o poszczególnych barwach, możemy otrzymać rozmaite barwy i odcienie.

Czerwony, zielony i niebieski są podstawowymi barwami światła. Łącznie tworzą one światło odbierane przez ludzkie oko jako białe.

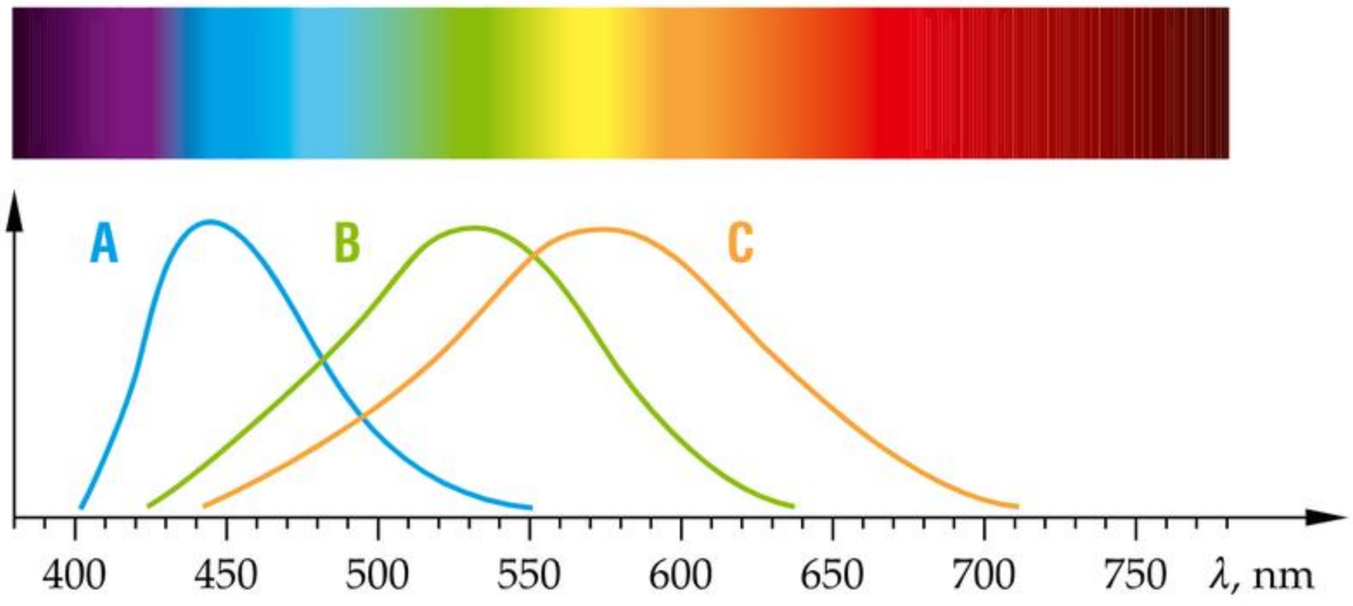
Tworzenie różnych barw ze światła czerwonego, zielonego i niebieskiego stosujemy m.in. w telewizji i monitorach komputerowych.

Ciekawostka

Poprawiając swoje zdjęcia w programie graficznym, możesz spotkać skrót RGB. Pochodzi on od pierwszych liter nazw podstawowych barw światła: *red*, *green*, *blue*.

Składanie barw a budowa oka

Wiesz już, że widzimy dzięki temu, że światło wpadające do oka pobudza komórki siatkówki. Okazuje się, że komórki te dzielą się na dwa rodzaje. Jeden z nich to pręciki, pozwalające na widzenie przy słabym świetle, ale niereagujące na barwę. Drugi to czopki, które występują w trzech odmianach czułych na światło o różnych barwach.

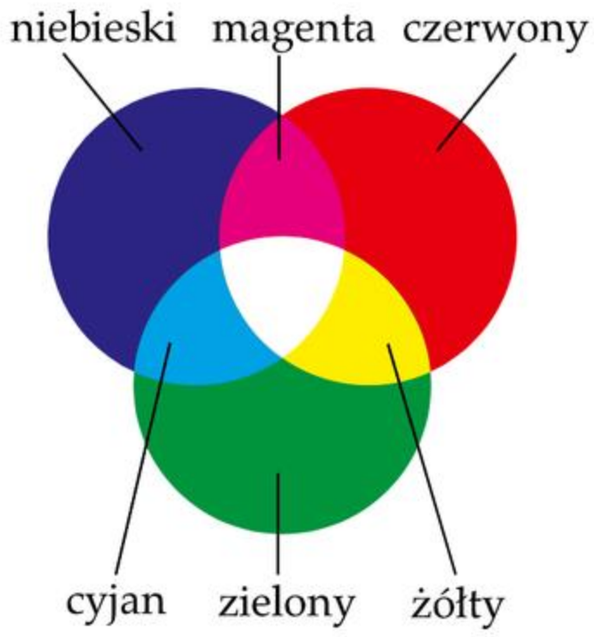


Wykres czułości trzech rodzajów czopków oka ludzkiego w zależności od długości fali światła padającego na siatkówkę.

Światło fioletowe pobudza tylko czopki A, czerwone – tylko C. Światło innych barw pobudza różne czopki w różnym stopniu. Na przykład światło żółte pobudza silnie czopki B i C. Światło zielone oddziałuje silnie na czopki B, a słabiej na czopki C.
Gdy do oka wpada światło zielone i czerwone, pobudzane są zarówno czopki B, jak i C. Oko przekazuje do mózgu dokładnie taki sam sygnał jak wówczas, gdy pobudzone jest światłem żółtym. Mózg nie jest więc w stanie rozróżnić tych dwóch sytuacji.

Ciekawostka

Ekran telewizora jest podzielony na niewidoczne gołym okiem punkty, z których każdy ma tylko jedną z barw podstawowych. Kolory sąsiednich punktów zlewają się, tworząc różne barwy i odcienie.



Składanie barw światła.

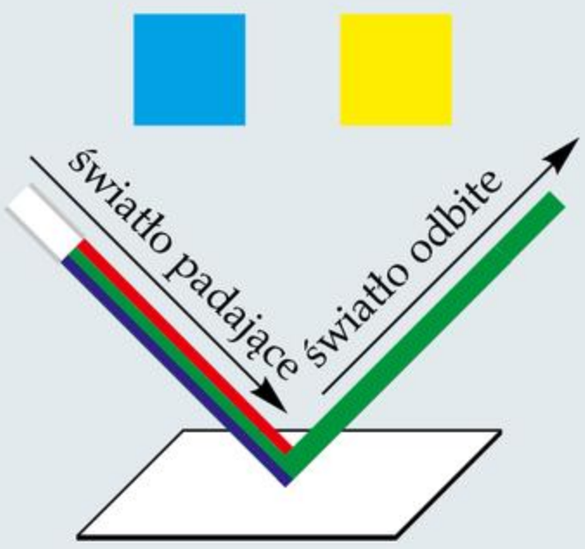
Nazwy niektórych barw

Przypomnijmy rysunek c) ze strony 222. Dwa z występujących na nim kolorów mają w języku polskim po kilka różnych nazw. Dlatego będziemy używali terminów pochodzenia angielskiego, które są jednoznaczne:

- z połączenia światła niebieskiego i zielonego otrzymujemy cyjan (ang. *cyan*),
- z połączenia światła niebieskiego i czerwonego otrzymujemy magentę (czyt. madżentę, ang. *magenta*).

Doświadczenie

Weź kredki: w kolorze cyjanu i żółtą (o barwach jak najbardziej zbliżonych do wzorów poniżej). Zamaluj starannie jedną kratkę w zeszycie najpierw jedną kredką, potem drugą. Jaki kolor powstał?



Mieszanie farb

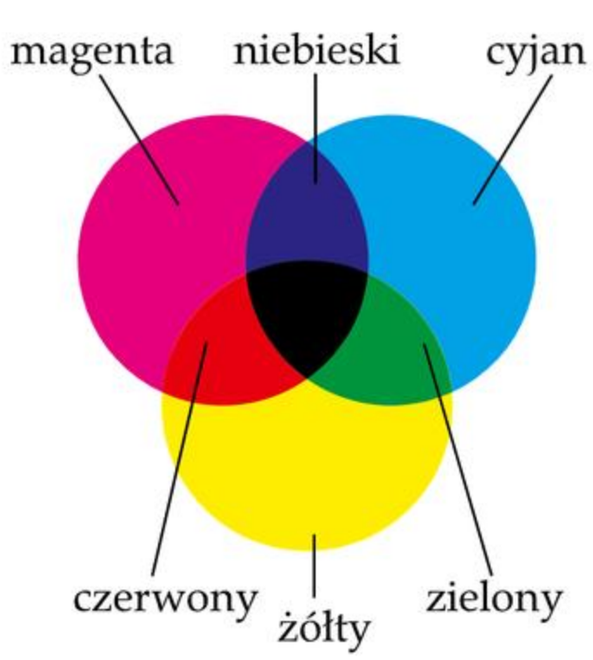
Aby wyjaśnić, na czym polega mieszanie farb, zastanówmy się najpierw, jaki kolor ma ciało, które pochłania wyłącznie światło czerwone. Jak wiesz, światło białe jest mieszaniną trzech podstawowych barw światła: czerwonej, zielonej i niebieskiej. Jeśli białe światło pada na interesujące nas ciało, czerwona składowa zostanie pochłonięta, a odbite zostaną zielona i niebieska. Ich mieszaninę widzimy jako cyjan. Ciało pochłaniające czerwień to zatem ciało w kolorze cyjanu. Farba lub kredka w tym kolorze pochłania czerwone światło. Analogicznie:

- ciało pochłaniające światło niebieskie ma kolor żółty (suma światła zielonego i czerwonego);
- ciało pochłaniające światło zielone ma odcień magenty (suma światła czerwonego i niebieskiego).

Kratkę w doświadczeniu pokolorowaliśmy zarówno kredką w kolorze cyjanu, jak i żółtą. Oświetlamy ją światłem białym, które możemy traktować jako sumę barw podstawowych. W tym wypadku:

- barwnik w kolorze cyjanu pochłania światło czerwone;
- żółty barwnik pochłania światło niebieskie;
- zostaje tylko światło zielone.

Podstawowe kolory farb



W analogiczny sposób możemy stwierdzić, że:

- dodając barwnik cyjan do magenty, otrzymujemy niebieski;
- dodając barwnik żółty do magenty, otrzymujemy czerwony.

To sumowanie kolorów przedstawiono na rysunku obok.

Podstawowymi kolorami farb są: żółty, cyjan i magenta. Mieszając je w odpowiednich proporcjach, możemy uzyskać każdą barwę.

W druku barwnym (zarówno przy produkcji książek, jak i w drukarkach komputerowych) wykorzystujemy właśnie mieszanie tych trzech podstawowych kolorów.

Ciekawostka

W drukarkach i programach graficznych możesz spotkać oznaczenia kolorów podstawowych: C – cyjan, M – magenta, Y – żółty (yellow). Kolor czarny można uzyskać jako sumę tych trzech barw. Byłoby to jednak nieopłacalne, bo zazwyczaj jest dużo czarnych napisów. Dlatego używa się czwartego, czarnego barwnika oznaczonego literą K (blacK). Od symboli tych barw pochodzi nazwa systemu druku barwnego: CMYK (Cyjan, Magenta, Yellow, blacK). Na przykład zdjęcie papug zostało wydrukowane z czterech barw. Każda z nich trafiła do maszyny nakładającej jeden kolor.



Podsumowanie

- Łącząc światło niebieskie, czerwone i zielone w odpowiednich proporcjach, można otrzymać światło o dowolnej barwie. W ten sposób uzyskuje się barwy np. w telewizji kolorowej i monitorach komputerowych.
- Mieszanie farb jest czymś innym niż składanie barw światła. Kolorami podstawowymi farb są cyjan, magenta i żółty. Z tych kolorów uzyskuje się barwy w druku i drukarkach komputerowych.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Określ, jaką barwę otrzymasz, łącząc światło:
a) zielone i czerwone,
b) niebieskie i czerwone,
c) niebieskie i zielone.

2. Określ, jaki kolor otrzymasz, mieszając farby o podanych barwach.
a) magenta i żółta
b) magenta i cyjan
c) cyjan i żółta

3. Pewne ciało odbija światło o dwóch długościach fal: 520 nm i 720 nm.
a) Określ barwy odpowiadające tym długościom fal.
b) Określ, jaki kolor ma to ciało, gdy pada na nie światło białe.
c) Określ, jaki kolor ma to ciało, gdy oświetlimy je czerwoną żarówką.

Wskazówka. Skorzystaj z ilustracji na s. 222.

4. Pewne ciało odbija światło z zakresu 480–740 nm. Określ, jaki kolor ma to ciało, gdy oświetlimy je światłem białym.

5. Monika mówi: „Czarny to brak koloru", a Natalia: „Czarny to suma wszystkich kolorów". Wyjaśnij, dlaczego obie mają rację.

6. Spójrz na reprodukcję obrazu francuskiego impresjonisty Paula Signaca (czyt. Pola S-ińjaka) „Port w Marsylii". Z bliska na obrazie widać różnobarwne plamki, którymi artysta pokrył płótno. Z daleka plamek nie widać, a ich kolory mieszają się. Wyjaśnij, czy na obrazie mamy do czynienia z mieszaniem barw światła czy kolorów farb.





Powtórzenie

1. Światło rozchodzi się po liniach prostych (jeśli nie napotyka przeszkód). Przedmioty niebędące źródłami światła widzimy dlatego, że do naszych oczu dociera światło odbite od tych przedmiotów.

2. Cień to obszar, do którego nie dochodzi światło. Półcień powstaje, gdy mamy kilka źródeł światła. Półcień to obszar, do którego światło dochodzi tylko z niektórych źródeł. Może on powstać także wtedy, gdy źródło światła ma duże rozmiary. Obejmuje wówczas obszar, do którego dociera światło tylko z części źródła światła.

3. Światło załamuje się (zmienia kierunek), gdy przechodzi do ośrodka, w którym rozchodzi się z inną prędkością. Załamanie światła stanowi podstawę działania pryzmatu i soczewek.

4. Soczewka wypukła (skupiająca) skupia światło, tzn. zmienia wiązkę równoległą do osi optycznej w zbieżną. Wszystkie promienie tej wiązki przecinają się w jednym punkcie, zwanym ogniskiem soczewki. Odległość ogniska od soczewki nazywamy ogniskową soczewki.

5. Soczewka skupiająca tworzy rzeczywisty, odwrócony obraz przedmiotu oddalonego od niej bardziej niż ognisko oraz obraz prosty i pozorny, gdy przedmiot znajduje się bliżej niż ognisko (soczewka działa wtedy jak szkło powiększające). Obrazy konstruuje się, śledząc bieg charakterystycznych promieni.

6. Soczewka wklęsła (rozpraszająca) rozprasza światło, tzn. zamienia wiązkę równoległą w rozbieżną. Zawsze tworzy ona prosty, pomniejszony i pozorny obraz przedmiotu.

7. Soczewka oka tworzy na siatkówce rzeczywisty, odwrócony obraz widzianych przedmiotów. Komórki siatkówki przekazują do mózgu sygnał o tym obrazie. U dalekowidzów obraz tworzy się za siatkówką, dlatego do korygowania ich wzroku stosuje się soczewki skupiające w okularach. U krótkowidzów obraz tworzy się przed siatkówką, dlatego stosuje się soczewki rozpraszające.

8. Zwierciadło odbija światło w ten sposób, że kąt odbicia jest równy kątowi padania. Oba te kąty leżą w jednej płaszczyźnie. Zwierciadło płaskie tworzy prosty, pozorny obraz naturalnej wielkości. Biała powierzchnia, np. papier, także odbija światło, ale ponieważ nie jest tak gładka jak zwierciadło, odbija je w różnych kierunkach i nie tworzy obrazu. Nazywamy to rozpraszaniem światła.

9. Zwierciadło wklęsłe tworzy powiększony, prosty, pozorny obraz przedmiotów znajdujących się bliżej niż ognisko i odwrócony, rzeczywisty obraz przedmiotów znajdujących się dalej niż ono.

10. Zwierciadło wypukłe tworzy pomniejszony, prosty, pozorny obraz przedmiotów niezależnie od ich odległości od ogniska.

11. Barwa światła odpowiada długości fali. Światło białe jest mieszaniną fal o różnych długościach (barwach) i można je rozłożyć na poszczególne barwy za pomocą pryzmatu.

Test 1.

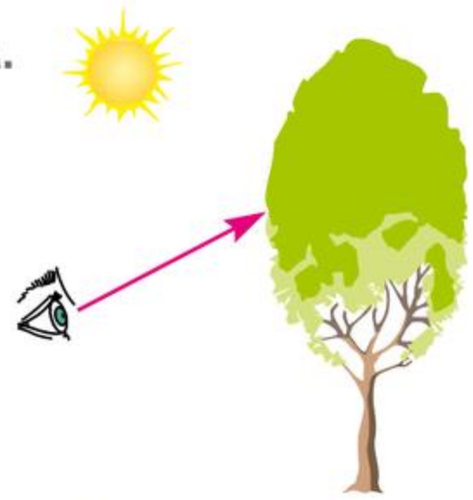
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To musisz umieć

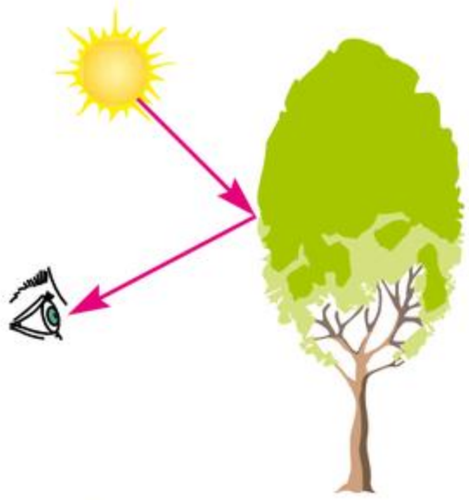
Uwaga. W zadaniach 1.–7. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Wskaż rysunek poprawnie przedstawiający bieg promieni światła w procesie widzenia.

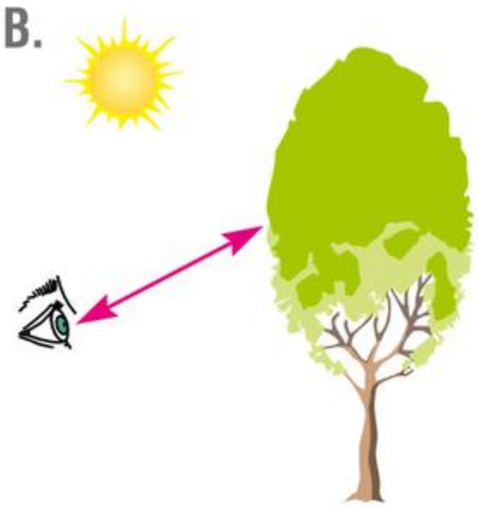
A.



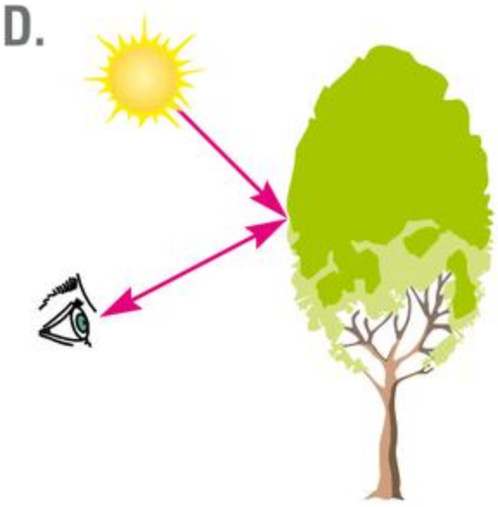
C.



B.



D.



2. Światło padające na czystą szybę
- **A.** przechodzi przez nią w całości.
- **B.** przechodzi przez nią w większości, a jego pozostała część się odbija.
- **C.** przechodzi przez nią w większości, a jego pozostała część zostaje pochłonięta.
- **D.** przechodzi przez nią w większości, ale część światła się odbija, a część zostaje pochłonięta.

3. Aby zapalić kawałek ciemnego papieru, można skupić światło słoneczne. Do tego celu
- **A.** może posłużyć dowolna z przedstawionych poniżej soczewek.
- **B.** może posłużyć wyłącznie soczewka I.
- **C.** może posłużyć wyłącznie soczewka II.
- **D.** nie może posłużyć żadna z przedstawionych soczewek.

I



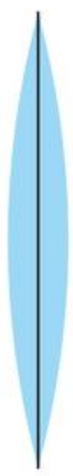
II

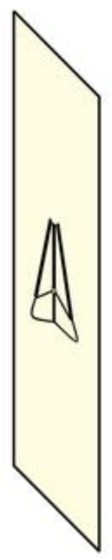


4. Jak szkło powiększające zadziała
- **A.** soczewka skupiająca umieszczona blisko oglądanego przedmiotu.
- **B.** soczewka rozpraszająca umieszczona blisko oglądanego przedmiotu.
- **C.** soczewka skupiająca umieszczona daleko od oglądanego przedmiotu.
- **D.** soczewka rozpraszająca umieszczona daleko od oglądanego przedmiotu.

5. Soczewka tworzy na ekranie odwrócony obraz włókna żarówki.







Gdy zabierzemy soczewkę, obraz
- **A.** zmniejszy się.
- **B.** powiększy się.
- **C.** nie będzie już odwrócony.
- **D.** zniknie.

6. Tęcza powstaje dzięki
- **A.** załamaniu w kropelkach deszczu światła o różnych barwach pod różnymi kątami.
- **B.** wybiórczemu pochłanianiu przez krople deszczu światła o różnych barwach.
- **C.** dyfrakcji światła białego na kropelkach deszczu.
- **D.** dyfrakcji światła białego na pyłkach unoszących się w powietrzu.

7. Ciało, które odbija światło niebieskie, a pochłania pozostałe barwy, ma kolor
- **A.** niebieski.
- **B.** biały.
- **C.** czarny.
- **D.** żółty.

Test 2.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Dobrze, jeśli to umiesz

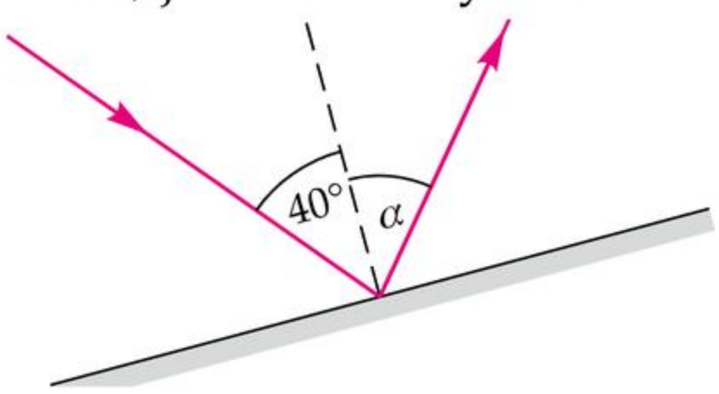
Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Jeśli przejrzysz się w wewnętrznej stronie wypolerowanego kociołka w kształcie półkuli, zobaczysz swój obraz

A. zawsze odwrócony.
B. zawsze prosty.
C. z bliska odwrócony, z daleka prosty.
D. z bliska prosty, z daleka odwrócony.

2. Na rysunku literą α zaznaczono kąt

A. padania; jest on równy 40°.
B. odbicia; jest on równy 40°.
C. padania; jest on równy 50°.
D. odbicia; jest on równy 50°.

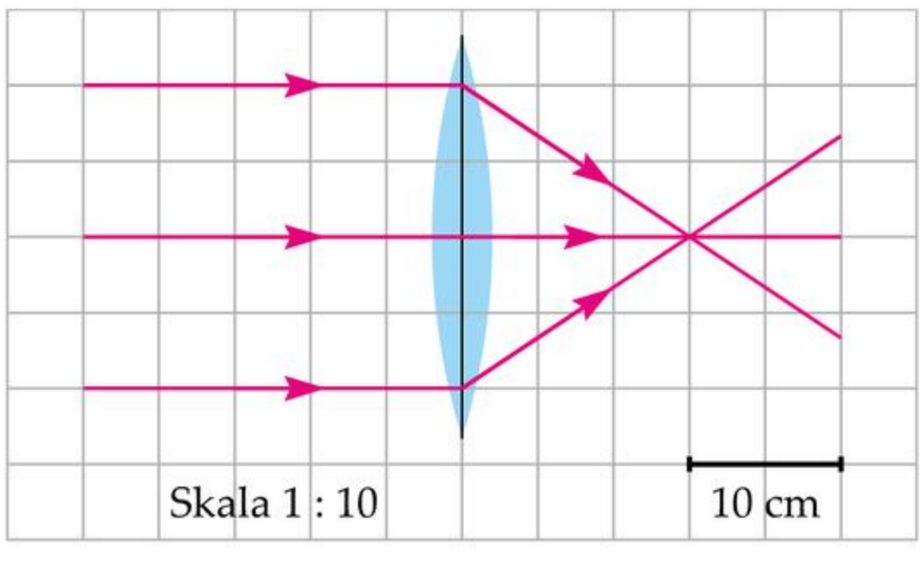


3. Poręcz wejścia do basenu wydaje się złamana w miejscu kontaktu z wodą. Złudzenie to jest wynikiem

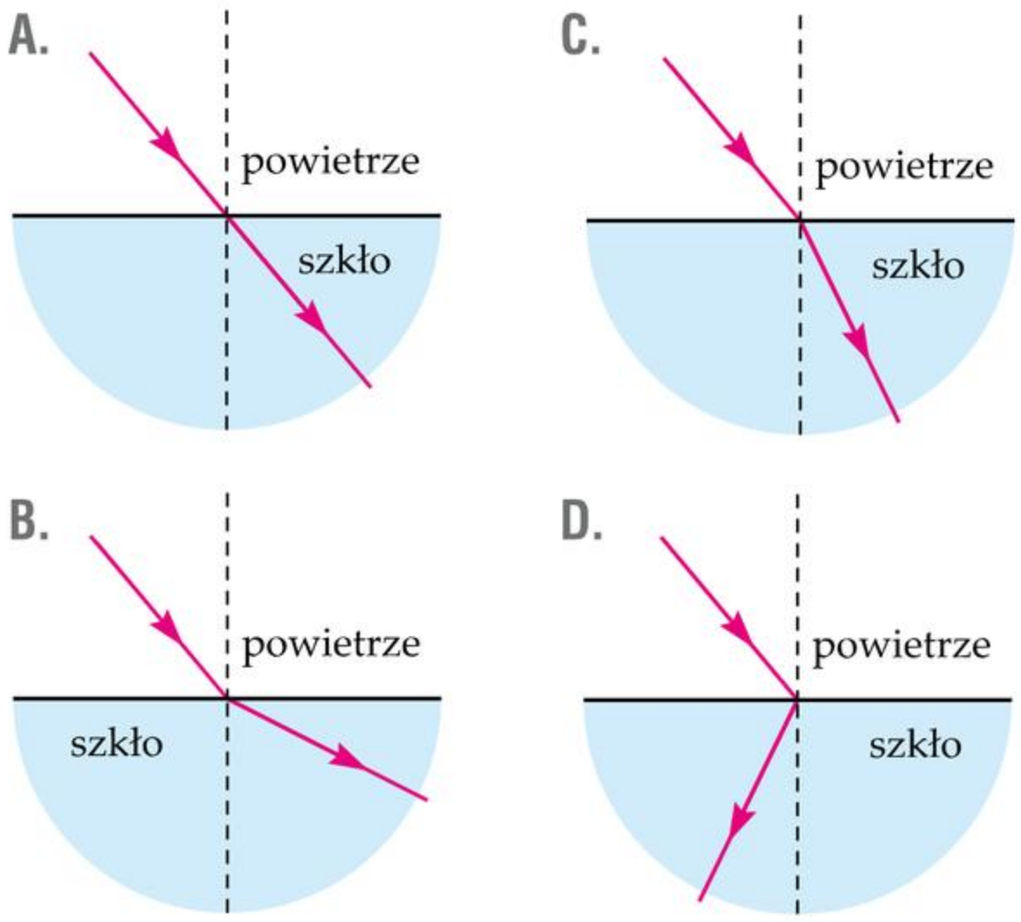
A. załamania się światła na granicy wody i powietrza.
B. odbicia światła od powierzchni wody.
C. interferencji światła odbitego od powierzchni wody i dna.
D. korozji metalu w wodzie.

4. Odczytaj z rysunku ogniskową soczewki i wskaż właściwą odpowiedź.

A. $f = 10$ cm
B. $f = 15$ cm
C. $f = 20$ cm
D. $f = 25$ cm



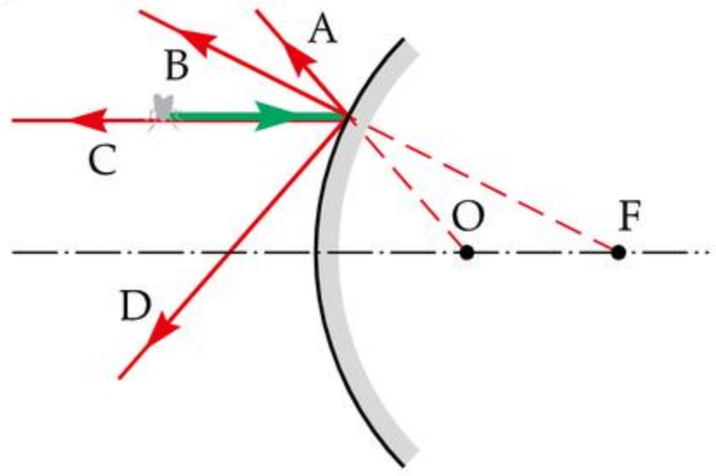
5. Przejście światła z powietrza do szkła poprawnie przedstawiono na rysunku



6. Zeszyt znajduje się w odległości 40 cm od soczewki o ogniskowej $f = 10$ cm. Określ, jaki obraz zeszytu tworzy soczewka.

A. Rzeczywisty i odwrócony.
B. Rzeczywisty i prosty.
C. Pozorny i odwrócony.
D. Pozorny i prosty.

7. Rysunek przedstawia zwierciadło wypukłe i muchę, która się w nim przegląda. Wskaż, która z czerwonych linii pokazuje bieg zielonego promienia po odbiciu od zwierciadła.



8. Ostry obraz w oku i w aparacie fotograficznym powstaje, ponieważ

A. w oku zmienia się ogniskowa soczewki, a w aparacie soczewka się przesuwa.
B. w oku soczewka jest przesuwana względem siatkówki, a w aparacie zmienia się ogniskowa soczewki.
C. w obu przypadkach zmienia się ogniskowa soczewki.
D. w obu przypadkach soczewka jest przesuwana.

Test 3.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

To warto umieć

Uwaga. W zadaniach 1.–8. wskaż jedną poprawną odpowiedź.

1. Wskaż rysunek, na którym poprawnie przedstawiono układ barw w tęczy.

A.



C.



B.



D.

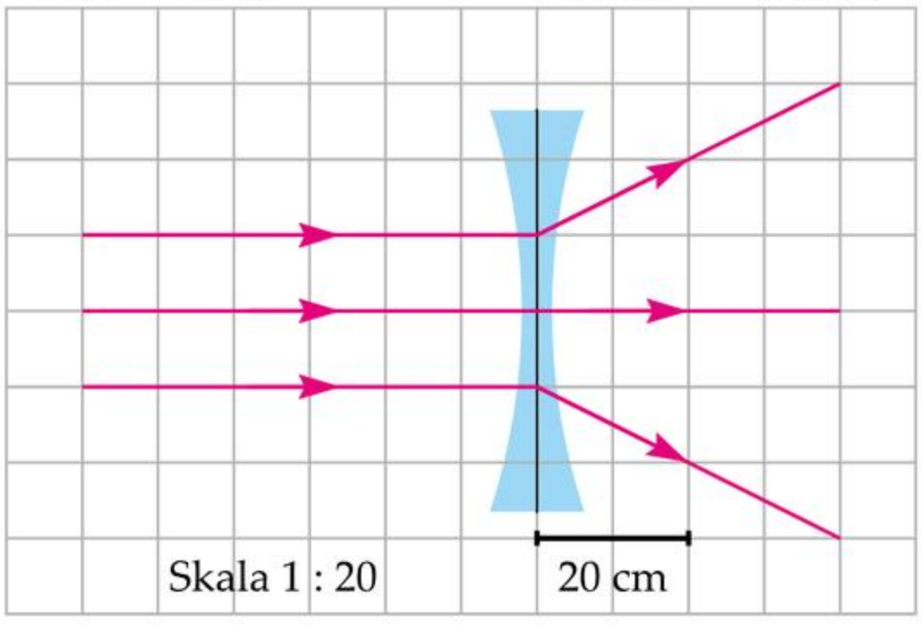


2. Kąt między promieniem padającym na zwierciadło a zwierciadłem jest dwa razy większy niż kąt padania. Oblicz kąt odbicia.

A. 15°
C. 60°
B. 30°
D. 75°

3. Odczytaj z rysunku ogniskową soczewki, a następnie oblicz jej zdolność skupiającą. Wskaż właściwą odpowiedź.

A. Z = 5 D
C. Z = −5 D
B. Z = 20 D
D. Z = −20 D



4. Okulary –2 D mają soczewki

A. skupiające o ogniskowej 0,5 m.
B. skupiające o ogniskowej 2 m.
C. rozpraszające o ogniskowej –0,5 m.
D. rozpraszające o ogniskowej –2 m.

5. Po przejściu światła przez soczewkę o zdolności skupiającej 4 D, ustawioną w odległości 30 cm od przedmiotu, powstanie obraz

A. pozorny, odwrócony.
B. pozorny, prosty.
C. rzeczywisty, odwrócony.
D. rzeczywisty, prosty.

6. Soczewki skupiające wykorzystuje się do korygowania wady wzroku

A. krótkowidzów.
B. dalekowidzów.
C. zarówno krótkowidzów, jak i dalekowidzów.
D. daltonistów.

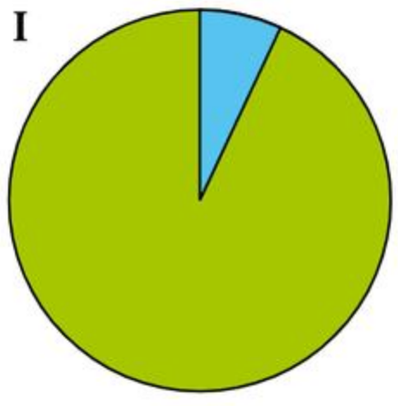
7. Pewne ciało pochłania fale świetlne o długości od 520 nm do 540 nm, a pozostałe odbija. Korzystając z rysunku na stronie 218, wskaż, jaki kolor ma to ciało.

A. Czerwony.
B. Zielony.
C. Magenta.
D. Cyjan.

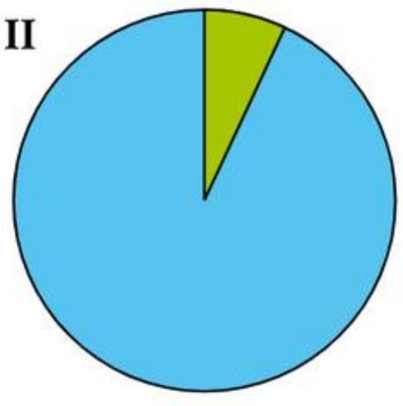
8. Na diagramach poniżej przedstawiono, jaka część światła zostaje pochłonięta przez ciała I i II (niebieska część diagramu), a jaka się odbija (zielona część). Wskaż poprawne stwierdzenie.

A. Ciało I jest ciemne, a II – jasne.
B. Ciało II jest ciemne, a I – jasne.
C. Oba ciała są ciemne.
D. Oba ciała są jasne.

I



II

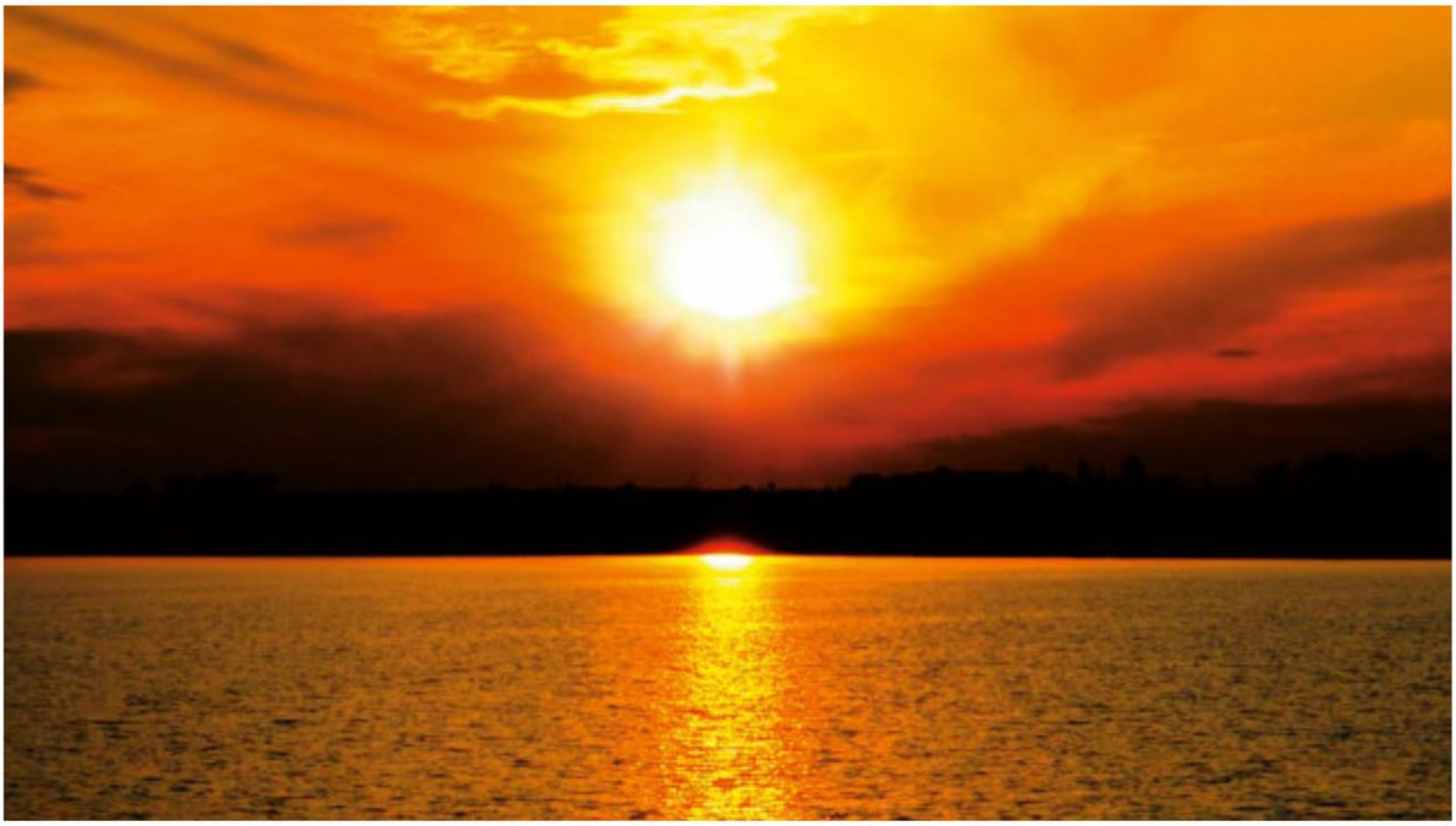


Test 4.

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

Świetnie, jeśli to umiesz

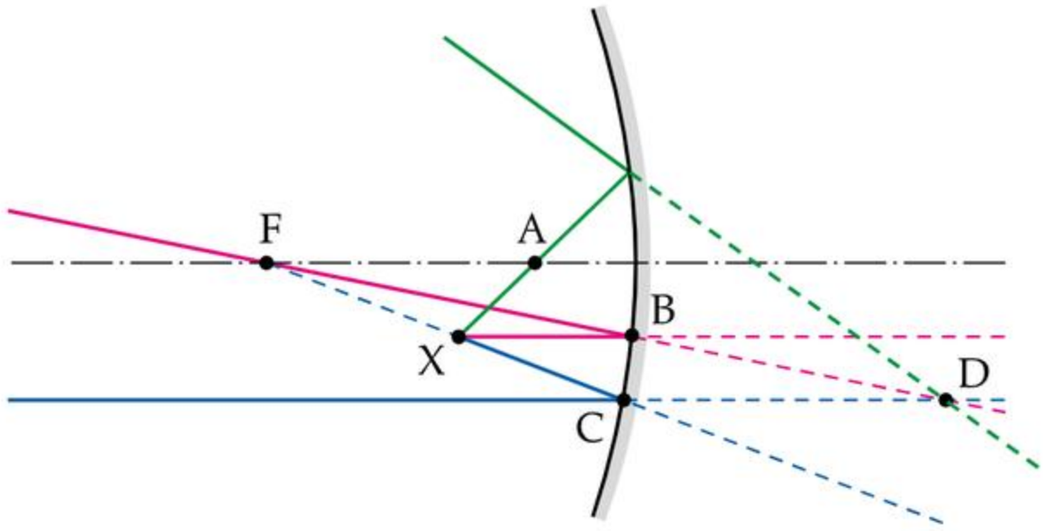
1. Wyjaśnij, dlaczego odbicie słońca w morzu przypomina długi prostokąt, a nie koło.
Wskazówka. Woda faluje.



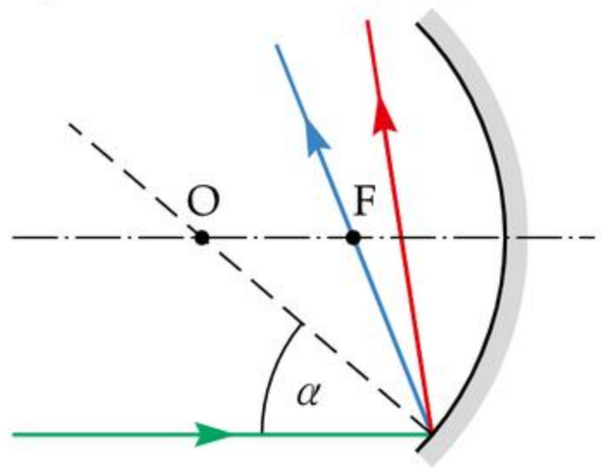
2. Tomek świeci wskaźnikiem laserowym na ścianę w pobliżu kąta pokoju. Światło odbija się od niej i pada na drugą ścianę. Tomek widzi dwie plamki i nie wie, która z nich powstała w wyniku bezpośredniego oświetlenia ściany, a która jest jej odbiciem. Jak może to sprawdzić, nie ruszając się z miejsca? Odpowiedź uzasadnij.

3. Wskaż punkt, w którym zwierciadło wklęsłe tworzy obraz punktu X.

A. A **B.** B **C.** C **D.** D



4. Na rysunku kolorem zielonym narysowano promień padający na zwierciadło wklęsłe równoległy do osi optycznej. Dwoje uczniów chciało narysować promień odbity. Jaś narysował go na niebiesko zgodnie z zasadą „promień równoległy do osi optycznej zwierciadła po odbiciu przechodzi przez ognisko". Małgosia narysowała go na czerwono zgodnie z zasadą „kąt odbicia jest równy kątowi padania". Jak widać, otrzymali różne wyniki. Wyjaśnij, z czego wynika ta różnica i który z wyników jest dokładniejszy.



HARRY POTTER I TAJEMNICE METAMATERIAŁÓW

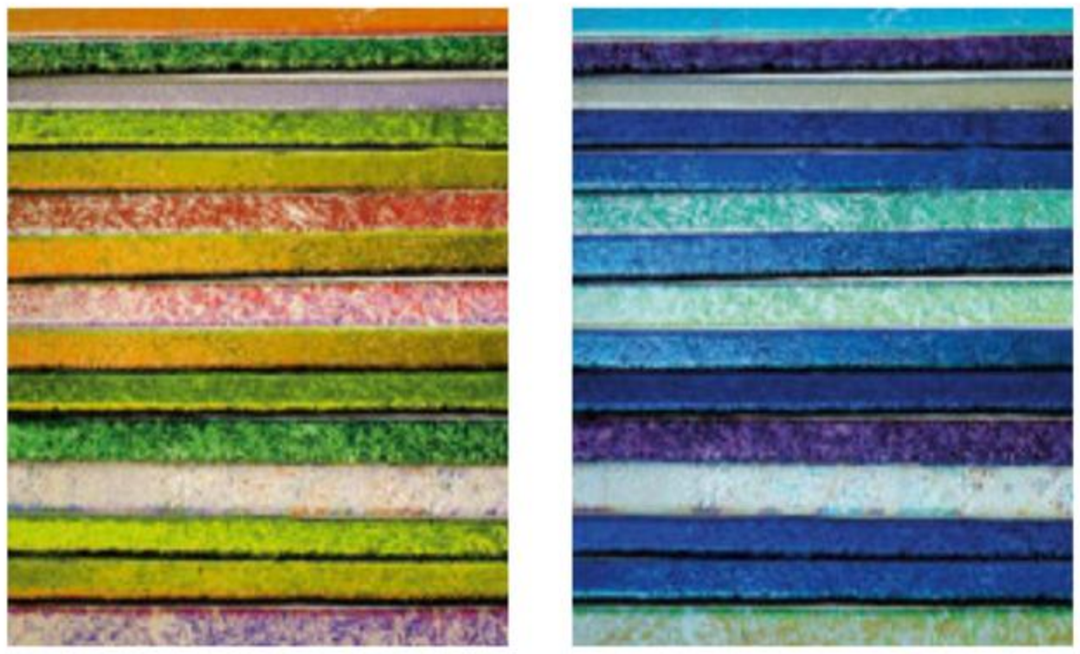
„Masz dość życia jako zwykły mugol? Zarzuć pelerynę niewidkę i poczuj się przez jeden dzień jak Harry Potter!" – czy tak w przyszłości producenci zabawek będą kusić najmłodszą klientelę? A może gadżet ten będzie dodawany jako prezent do kolorowych magazynów? To, co jeszcze niedawno było wytworem bujnej wyobraźni autorów książek science fiction, dziś jest niemalże na wyciągnięcie ręki.

Uwielbiany przez miliony czarodziej nie jest oczywiście jedyną postacią fikcyjną, która potrafi stać się niewidzialna. Motyw niewidzialności był często wykorzystywany w literaturze i filmie (…) [S]tworzenie różnego rodzaju maskujących osłon jest w zasięgu możliwości dzisiejszych naukowców. W tym celu używają oni metamateriałów, czyli materiałów, które naginają wszelkie prawa fizyki.

Od starożytnego kielicha po nowoczesne soczewki

Chociaż nazwa sama w sobie jest nowa, to pierwszy metamateriał powstał już w starożytności. Mowa o pochodzącym z IV w. kielichu Likurga. W zależności od tego, pod jakim kątem padają na niego promienie słoneczne, szklane naczynie mieni się różnymi kolorami. Przy podświetleniu z przodu kielich jest jasnozielony, ale kiedy źródło światła umieścimy w jego wnętrzu lub z tyłu, staje się czerwony. Zagadkę tę udało się rozwiązać dopiero w 1995 r. brytyjskim naukowcom, którzy przebadali pod mikroskopem ułamane fragmenty szkła. Okazało się, że starożytni artyści wytwarzali te kielichy, domieszkując zwykłe szkło cząsteczkami złota i srebra o średnicy 50 nm. W wyniku tego powstało tzw. szkło dichroiczne, w którym występuje gra dwóch kolorów. Materiał ten, przepuszczając dany kolor, odbija jego barwę dopełniającą. (…)

Do (…) metamateriałów możemy zaliczyć również pelerynkę niewidkę Harry'ego Pottera. Gdyby istniała, niewątpliwie wytwarzano by ją z nanocząsteczek[1]. Teoretycznie bowiem właśnie dzięki ścisłej kontroli rozmiaru, kształtu i rozmieszczenia różnego rodzaju nanoobiektów można sterować światłem w taki sposób, że obiega ono dany przedmiot, po czym wraca na poprzedni tor, wywołując wrażenie, że obiekt ten nie istnieje. Aby zrozumieć podstawy tego fenomenu, wystarczy przyśpieszony kurs optyki.



Szkło dichroiczne przepuszczające dany kolor i odbijające jego barwę dopełniającą.

Fizyka niewidzialności

Światło jest falą elektromagnetyczną i jak każda fala ulega załamaniu, tj. zmienia swój kierunek (i prędkość) podczas przechodzenia z jednego ośrodka do drugiego, np. z powietrza do wody i na odwrót. O tym, jak bardzo promień światła zostanie załamany, mówi nam współczynnik załamania. Dla wszystkich materiałów naturalnie występujących

[1] Cząstek materii wielkości do stu nanometrów (100 nm = $1 \cdot 10^{-7}$ m) – przypis redakcji.

w przyrodzie współczynnik ten jest zawsze dodatni. Jeżeli w miejscu, w którym na granicę ośrodków pada promień światła, poprowadzimy linię prostopadłą do tej granicy (tzw. normalną), to promień świetlny, przechodząc przez granicę ośrodka, zawsze ją przetnie. W swojej teoretycznej pracy z 1967 r. rosyjski fizyk Wiktor Wiesiełago rozważał, co by się stało, gdyby współczynnik ten był ujemny. Według naukowca fala nigdy nie przedarłaby się przez wspomnianą prostą, powodując, że promień wychodzący pozostawałby po tej samej stronie co promień wchodzący, a przy odpowiednio dobranych warunkach światło zaczęłoby opływać przedmiot, czyniąc go niewidzialnym. Ponieważ materiał o negatywnym współczynniku załamania nie istniał, nikt nie brał na poważnie wywodów fizyka. Taki materiał udało się stworzyć dopiero w 2001 r. W tym celu grupa naukowców z University of California wykorzystała fakt, że współczynnik załamania zależy od właściwości elektrycznych i magnetycznych materiału, które można wyrazić odpowiednio przez tzw. przenikalność elektryczną (ε) i magnetyczną (μ) ośrodka. Ujemną wartość współczynnika załamania otrzymuje się, gdy obie przenikalności przyjmują wartość mniejszą od zera. Aby uzyskać ujemną wartość parametru ε, wystarczy na płytkach z materiału izolacyjnego zamontować wiele cienkich metalowych drucików ułożonych w sześcienną kratownicę. Zmieniając średnicę drucików i odległości między nimi, można regulować długości fali, dla których struktura będzie miała ujemną przenikalność elektryczną.

Uzyskanie ujemnej wartości parametru μ jest bardziej skomplikowane. W tym przypadku konstrukcja składa się z dwóch przerwanych pierścieni, wykonanych z dobrego przewodnika (np. złota, srebra lub miedzi) i rozdzielonych warstwą izolatora. Taki układ nazywany jest rozszczepionym rezonatorem kołowym (SRR, ang. *split ring resonator*). (…) Naniesione na płytkę z materiału izolującego elementy SRR wraz z prostoliniowymi przewodami tworzą strukturę, która przy falach o odpowiedniej długości zachowuje się jak materiał z ujemnym współczynnikiem załamania, czyli jest metamateriałem. Żeby współczynnik załamania miał taką wartość, części składowe struktury muszą być małych rozmiarów w porównaniu z długością fali elektromagnetycznej, z którą mają oddziaływać. Dlatego w przypadku promieniowania mikrofalowego o długości fali kilku centymetrów wystarczy konstrukcja zbudowana z kilkumilimetrowych elementów. A w przypadku światła widzialnego, znajdującego się w zakresie 380–780 nm, należy zbudować strukturę w nanoskali.

Peleryna niewidka prosto z... drukarki

Nic więc dziwnego, że pierwsza peleryna niewidka, stworzona w 2006 r. przez naukowców z Duke University, działała właśnie w zakresie mikrofal. (...) Niestety, peleryna działa tylko w odniesieniu do jednej (wybranej) długości fali i przy odpowiednim kącie padania promieniowania, zapewniając niewidzialność jedynie w 2D.

[W] 2014 r. grup[a] naukowców z Illinois University (…) dzięki technice pozwalającej na drukowanie precyzyjnych nanoelementów stworzyła pierwszy metamateriał o negatywnym współczynniku załamania w całym zakresie światła widzialnego i niezależnym od kąta jego padania. Pod mikroskopem elektronowym materiał wygląda jak sieć rybacka z oczkami o średnicy 200 nm i składa się z naprzemiennie występujących nanowarstw srebra i izolatora (…). Wyjątkowy materiał ma jedynie 4 cm^2, a wydrukowanie go w większej skali jest kosztowne i trudne. Cieńszy niż ludzki włos, jest także bardzo kruchy – zwykły podmuch wiatru mógłby go uszkodzić. Naukowcy są jednak optymistami. Ciekawe, czy biorą również pod uwagę, że tak skonstruowana peleryna działa w obie strony: schowana pod nią osoba jest pogrążona w totalnych ciemnościach. (…)

Justyna Jońca, „Wiedza i Życie”, nr 4/2017.

Pytania do tekstu

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

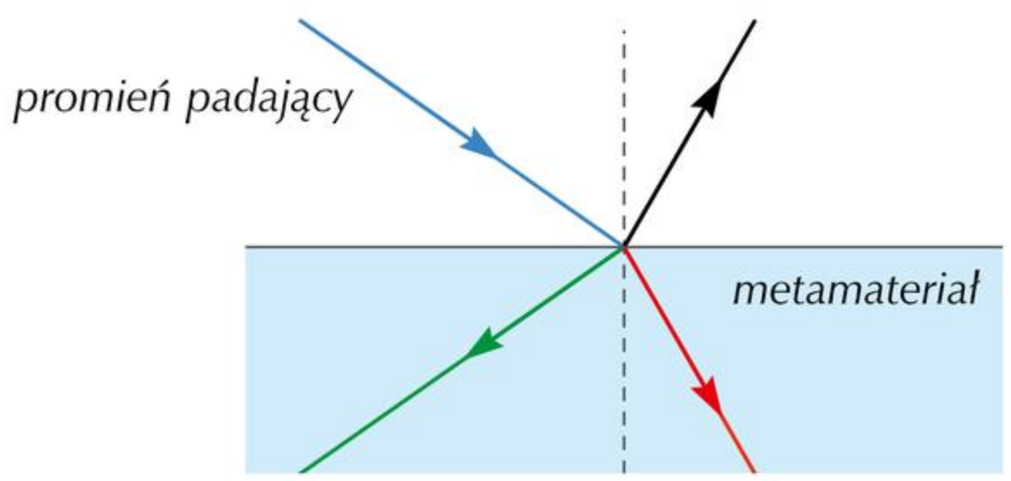
1. Kiedy ludzie stworzyli pierwsze nanomateriały?

A. Pod koniec XIX wieku.
B. Stworzyli je starożytni Grecy.
C. Pierwsze nanomateriały powstają dopiero dziś.
D. Jeszcze nie udało się ich stworzyć.

2. Pelerynę niewidkę łatwiej jest stworzyć dla

A. fal radiowych, trudniej dla mikrofal, a najtrudniej dla światła widzialnego.
B. światła widzialnego, trudniej dla fal radiowych, a najtrudniej dla mikrofal.
C. światła widzialnego, trudniej dla mikrofal, a najtrudniej dla fal radiowych.
D. mikrofal, trudniej dla światła widzialnego, a najtrudniej dla fal radiowych.

3. Zaznaczony na niebiesko promień światła napotyka powierzchnię metamateriału. Jego dalsza droga jest zaznaczona strzałką



A. zieloną. **B.** czarną. **C.** czerwoną.

4. Jak po założeniu peleryny niewidki widzi się otoczenie poza peleryną?

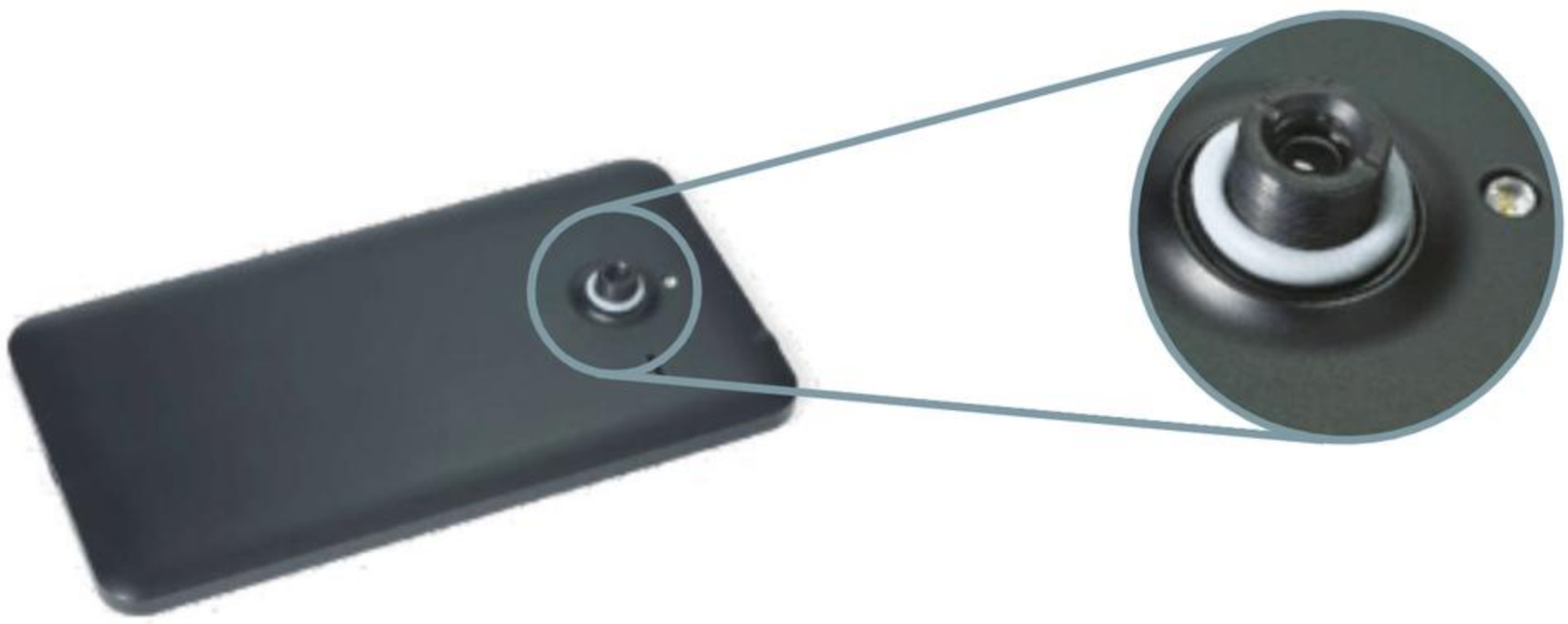
A. Normalnie.
B. Niczego się nie widzi.
C. Wszystko jest otoczone barwnym pierścieniem.

5. Gdyby stworzyć odpowiednik kielicha Likurga odbijający światło niebieskie, jaki kolor światła przepuszczałby kielich?

Praca badawcza

Budujemy własny mikroskop

1. Potrzebne będą: niewielka soczewka – łatwo wymontujesz ją ze wskaźnika laserowego (możesz użyć uszkodzonego), niewielka ilość mocującej masy plastycznej, telefon komórkowy.
2. Wymontuj soczewkę ze wskaźnika laserowego. Jeśli jest w nim bateria, wyjmij ją, a następnie rozkręć przyrząd od strony, z której pada promień, i wyjmij ostrożnie znajdującą się tam soczewkę.
3. Zmierz ogniskową soczewki – wymyśl, jak to zrobić.
4. Połóż soczewkę na obiektywie aparatu w telefonie znajdującym się po przeciwnej stronie względem ekranu. Przymocuj ją odrobiną masy plastycznej do obudowy telefonu. Uważaj, aby nie zakleić ani nie pobrudzić obiektywu aparatu ani soczewki.





Zdjęcie owada wykonaliśmy za pomocą mikroskopu zbudowanego zgodnie z przedstawioną instrukcją.

5. Mikroskop jest gotowy. Gdy włączysz aparat w telefonie, możesz obserwować na jego ekranie, a następnie fotografować drobne przedmioty umieszczone naprzeciwko soczewki.
6. Zbadaj, w jakiej odległości od soczewki umieścić przedmiot, aby obraz był ostry. Zastanów się, jak wykonywać zdjęcie, aby nie było poruszone.
7. Wykonaj kilka zdjęć tak przygotowanym mikroskopem. Możesz sfotografować np. kryształ soli, drobny organizm, minerał, detal przedmiotu. Jeśli ci się uda, spróbuj nakręcić krótki film.
8. Przypomnij sobie budowę mikroskopu (s. 216). Wskaż w zbudowanym przez siebie przyrządzie obiektyw i okular.
9. Od czego zależy powiększenie twojego mikroskopu? Ile może ono wynosić?

Deskę windsurfingową popycha wiatr. Dlaczego więc może ona płynąć w dowolnie wybranym kierunku, a nie tylko z wiatrem?

Fizyka i my

Z tego rozdziału dowiesz się o różnych zastosowaniach fizyki w codziennym życiu.



D Gotujemy obiad

Prawa fizyki obowiązują nas nie tylko w szkole, ale też – a nawet przede wszystkim – w codziennym życiu. By się o tym przekonać, wejdźmy na przykład do kuchni.

Gotujemy zupę

Czas na obiad. Zacznijmy od zupy. Aby ją przyrządzić, do zimnej lub wrzącej wody wrzucamy warzywa, mięso i przyprawy i wszystko gotujemy. Garnek można podgrzewać palnikiem gazowym. Możemy także skorzystać z energii elektrycznej. Prąd płynący przez spiralę grzejną podgrzewa ją, a za jej pośrednictwem – garnek z zupą.

Kuchenka indukcyjna

Pod płytą kuchenki indukcyjnej znajduje się silny elektromagnes zasilany prądem przemiennym. Oddziaływanie tego elektromagnesu na elektrony znajdujące się w metalowym dnie garnka powoduje ich ruch, czyli przepływ prądu. To zjawisko, zwane indukcją elektromagnetyczną, poznasz dokładniej w szkole ponadpodstawowej.
Prąd płynący w grubym dnie garnka powoduje jego podgrzewanie. Zaletą kuchenki indukcyjnej jest to, że nie trzeba rozgrzewać płyty, a wadą to, że można na niej używać tylko garnków z dnem wykonanym z odpowiedniego materiału.



W jakiej temperaturze wrze woda

Nasza zupa zaczęła się gotować, woda w garnku wrze. Jak wiesz, temperatura wrzącej wody się nie zmienia. Jeśli zwiększymy płomień lub moc grzałki, woda będzie szybciej zamieniać się w parę, ale jej temperatura nie przekroczy temperatury wrzenia.
A jaka to jest temperatura? To zależy, ale nie od rodzaju palnika, lecz od miejsca, w którym gotujemy wodę. Jeśli kuchnia znajduje

się na niewielkiej wysokości nad poziomem morza, gotująca się woda ma temperaturę 100°C. Jeśli jednak znajduje się w wysokich górach, temperatura wrzenia będzie niższa z powodu niższego ciśnienia atmosferycznego.

Temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia atmosferycznego, a tym samym – od wysokości nad poziomem morza.

Ma to duże znaczenie kulinarne. W niższej temperaturze mięso i warzywa dłużej się gotują, a co gorsza – gotowanie nie zabija wszystkich drobnoustrojów. Kłopotliwe jest także pieczenie ciast. Niższe ciśnienie powietrza sprawia, że rosną one szybciej.
Największe problemy z gotowaniem mają mieszkańcy tybetańskiego miasta Wenzhuan i peruwiańskiego La Rinconada. Obie te miejscowości znajdują się na wysokości ponad 5000 m n.p.m., co oznacza, że woda wrze tam w temperaturze zaledwie 84°C.
W Polsce najwyżej położoną miejscowością jest podhalańska wieś Ząb (1013 m n.p.m.) – woda wrze tam w temperaturze 96,8°C.

Drugie danie z szybkowaru

Udało się nam ugotować zupę, zajmijmy się więc drugim daniem. Może przygotujemy sztukę mięsa w sosie chrzanowym? Niestety, wołowinę często trzeba gotować bardzo, bardzo długo: zwykle co najmniej dwie godziny. Na szczęście zależność pomiędzy ciśnieniem a temperaturą wrzenia wody możemy wykorzystać tak, aby działała na naszą korzyść: użyjemy szybkowaru. Jest to szczelne naczynie, w którego wnętrzu można uzyskać ciśnienie mniej więcej dwukrotnie wyższe od atmosferycznego.

W szybkowarze panuje ciśnienie mniej więcej dwukrotnie wyższe od atmosferycznego, a woda wrze w temperaturze około 120°C. Dlatego szybkowaru nie wolno otwierać od razu po zakończeniu gotowania.

W wyższej temperaturze potrawy gotują się znacznie szybciej. Potrzebny czas możemy skrócić nawet o 70%. Szybsze gotowanie to nie tylko oszczędność naszego czasu, ale i energii. Jak się też łatwo domyślić, szybkowary są często wykorzystywane podczas wypraw wysokogórskich.

Warzywa z kuchenki mikrofalowej

Do mięsa warto podać warzywa. Może ugotujemy je w kuchence mikrofalowej? Sercem tej niedużej skrzynki jest magnetron – urządzenie wytwarzające promieniowanie mikrofalowe, czyli fale elektromagnetyczne o długości około 12 cm.
Wnikają one do wnętrza potrawy i wprawiają w drgania cząsteczki znajdującej się w niej wody, a także – w mniejszym stopniu – tłuszczów i cukrów. Drgania cząsteczek ogrzewają potrawę.

Z historii

Wady gotowania na dużych wysokościach dostrzegł już Karol Darwin, twórca teorii ewolucji. W trakcie młodzieńczej wyprawy na statku Beagle odwiedził on m.in. Andy. Tak wspomina kulinarne uroki tej wysokogórskiej wyprawy:
Z powodu zmniejszonego ciśnienia atmosferycznego w miejscu naszego noclegu woda wrze tam w temperaturze niższej niż w mniej wyniesionym terenie; przypadek odwrotny od tego obserwowanego w kociołku Papina [szybkowarze]. Dlatego ziemniaki, pomimo gotowania przez szereg godzin, były tak twarde jak na początku. Garnek został zostawiony na ogniu na całą noc, gotowany ponownie następnego ranka, a jednak ziemniaki się nie ugotowały. Dowiedziałem się o tym po podsłuchaniu dwóch towarzyszy starających się ustalić przyczynę; doszli oni do następującego prostego wniosku: przeklęty garnek (który był nowy) postanowił nie gotować ziemniaków. *(Charles Darwin's Voyage of the Beagle).*



Szybkowar.

Dużą zaletą kuchenki mikrofalowej jest szybkość podgrzewania potraw, trudno jednak uzyskać potrawy chrupkie. Dlatego w mikrofalówce powinno się tylko podgrzewać dania lub gotować takie, które najczęściej gotuje się w wodzie (warzywa, ryby).

Frytki – smażone czy pieczone?

Podwyższanie ciśnienia nie jest jedyną metodą podgrzewania potraw do temperatury wyższej niż 100°C. Niektóre dania piecze się w piekarniku, zwykle w temperaturze 200–250°C. Inne smaży się w tłuszczu. Temperatura wrzenia oleju to około 300°C, można więc bez trudu rozgrzać go do 180–190°C. Frytki można usmażyć albo upiec. Za każdym razem będą smakować inaczej niż ziemniaki gotowane we wrzącej wodzie!

Uwaga. Nie wolno próbować zamienić domowego szybkowaru w ciśnieniową frytkownicę. Nie jest on dostosowany do tak wysokich temperatur!

Jeśli za pomocą domowej frytkownicy zamierzamy przygotować danie podobne do oferowanych przez tzw. fast foody, nie liczmy na to, że uzyskamy identyczny efekt. Duże sieci do przygotowania niektórych potraw, np. smażonych kurczaków, wykorzystują frytkownice ciśnieniowe działające podobnie jak szybkowary.

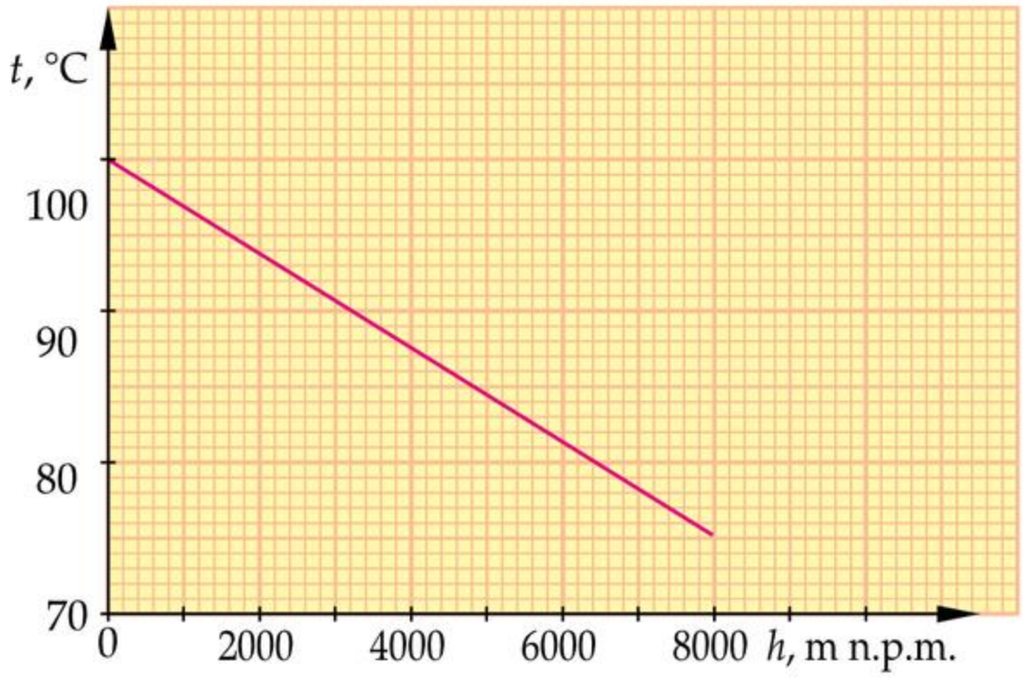
Podsumowanie

- Temperatura wrzenia wody zależy od ciśnienia atmosferycznego. W najwyżej położonych miejscowościach (powyżej 5000 m n.p.m.) woda wrze w temperaturze około 84°C.
- Ciśnienie w szybkowarze jest mniej więcej dwukrotnie wyższe od atmosferycznego, a woda wrze w nim w temperaturze około 120°C.
- Potrawę można podgrzać do temperatury wyższej niż 100°C, smażąc ją lub piekąc.
- Do szybkowaru nie można wlewać oleju.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Poszukaj informacji o najwyżej położonych miastach na poszczególnych kontynentach. Korzystając z wykresu, określ, jaka jest najniższa temperatura wrzenia na każdym z nich.



2. Wymień 2 zalety gotowania w szybkowarze.

3. W tekście lekcji napisaliśmy „Zaletą kuchenki indukcyjnej jest to, że nie trzeba rozgrzewać płyty". Wyjaśnij, dlaczego tę właściwość należy uznać za zaletę. Podaj przynajmniej dwa powody.

4. Sprawdź w książce kucharskiej, w jakiej temperaturze należy piec bezy, a w jakiej – ciasto francuskie. Zastanów się dlaczego.

5. Kiedy na rozgrzaną patelnię z tłuszczem dostanie się woda, tłuszcz zaczyna pryskać. Wyjaśnij dlaczego.



D Czas na deser

Obiad już gotowy? Jeśli tak – czas na deser! Może zrobimy lody? Choć można je kupić niemal w każdym sklepie spożywczym, spróbujmy stworzyć własny smak i przygotować je samodzielnie.
Jeszcze nasi dziadkowie kręcili lody w maszynkach, w których przeznaczoną do zamrożenia mieszaninę śmietanki, mleka, żółtek i dodatków smakowych zanurzano w większym naczyniu wypełnionym lodem. Zawartość naczynia z masą należało mieszać energicznie, by w tworzących się lodach nie powstały duże, niesmaczne kryształki lodu.
I jeszcze jedno: do lodu wypełniającego większe naczynie trzeba było dodać sporo soli. Jak zapewne pamiętasz z klasy siódmej, rozpuszczająca się w topniejącym lodzie sól obniża jego temperaturę, teoretycznie nawet do –20°C. W praktyce w domowej maszynce do lodów możemy uzyskać temperaturę około –9°C. Oczywiście kucharz musi uważać, żeby woda z solą nie przedostała się do naczynia z lodami, chyba że robi lody słone – np. pomidorowe lub serowe.

Lodówka

We współczesnych maszynkach lodów nie mieszamy ręcznie, służy do tego silnik elektryczny. Natomiast ochładzanie mieszaniny następuje dzięki wkładowi, który wcześniej trzeba ochłodzić w zamrażalniku lodówki.
Jak jednak działa lodówka?
W życiu codziennym znacznie łatwiej jest nam podgrzać substancję, niż ją ochłodzić. Istnieją jednak procesy, podczas których temperatura substancji się obniża. Część z nich opiera się na reakcjach chemicznych. Inne możemy wyjaśnić, posługując się prawami fizyki.
Na przykład gorący przedmiot łatwo ochłodzić, polewając go szybko parującą cieczą. Jej cząsteczki odbierają część energii przedmiotu, aby zmienić swój stan skupienia. Właśnie dlatego



Maszynka do lodów.

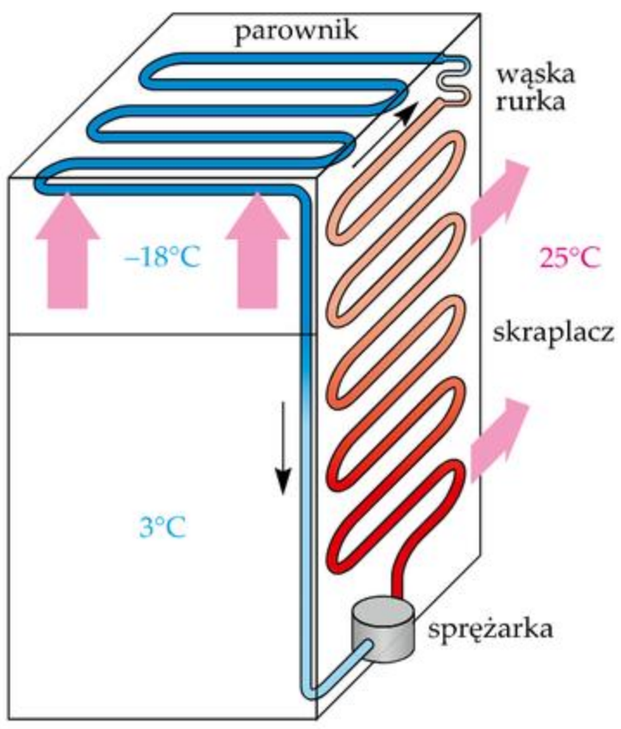
po wyjściu z wody marzniemy, dopóki się nie wytrzemy lub nie wyschniemy.

Doświadczenie

Naciskaj przez dłuższą chwilę przycisk dezodorantu lub innej substancji w aerozolu (uwaga – zrób to na świeżym powietrzu). Jak zmieni się temperatura pojemnika? Czy wiesz dlaczego?

Innym sposobem chłodzenia jest użycie szybko rozprężającego się gazu. Jak można zaobserwować w doświadczeniu z dezodorantem, podczas rozprężania temperatura gazu spada, ponieważ zwiększenie objętości gazu wymaga pewnej energii.
Inne procesy oziębiające to zjawiska zachodzące podczas przepływu prądu przez dwa różne przewodniki (niekiedy jeden z nich się wówczas ochładza, a drugi – ogrzewa) lub zmiany namagnesowania substancji. Wszystkie te mechanizmy chłodzenia są wykorzystywane w lodówkach różnego typu.

W lodówkach domowych najczęściej wykorzystuje się efekt obniżania temperatury na skutek parowania lub rozprężania gazu.



Schemat działania lodówki.

Cykl zamknięty

Oczywiście różnica między fizykiem eksperymentatorem pragnącym jednorazowo ochłodzić pewną substancję a zwykłym użytkownikiem lodówki jest taka, że ten drugi nie zamierza regularnie dostarczać lodówce nowych porcji substancji do rozprężenia lub odparowania.
Lodówka musi więc pracować w cyklu zamkniętym. Wtedy substancja, zwana czynnikiem roboczym, rozpręża się lub paruje, by następnie w innej części lodówki ponownie się sprężać lub skraplać, i rozpoczyna kolejne chłodzenie. Wnętrze lodówki jest nieustannie chłodzone wskutek rozprężania lub odparowywania czynnika roboczego. Inne jej części, znajdujące się na zewnątrz komory chłodniczej, są ogrzewane podczas sprężania lub skraplania tego czynnika. Gdy zbliżysz rękę do tylnej ściany lodówki, wyraźnie odczujesz ciepło. Cały cykl przebiega dzięki energii prądu elektrycznego dostarczanej lodówce.



Lody gotowe!

Możemy je od razu podać w pucharkach, ale można też zaserwować niezwykły deser o nazwie Gorąca Alaska. Na stole pojawią się wówczas gorące bezowe ciastka wypełnione zamrożonymi lodami. Podczas ich przygotowywania wykorzystamy izolujące właściwości powietrza. Mocno zmrożone lody przykrywamy słodką sztywno ubitą pianą z białka i wstawiamy do bardzo gorącego piekarnika. Powietrze zawarte w bezie izoluje lody i opóźnia ich

topnienie. Jeśli piekarnik będzie naprawdę gorący, beza upiecze się, zanim lody się roztopią.

Kuchnia molekularna

Przygotowanie takiego niezwykłego deseru jest i tak bardzo proste w porównaniu z kulinarnymi osiągnięciami mistrzów kuchni molekularnej – kucharzy świadomie wykorzystujących prawa fizyki i chemii oraz nowoczesne urządzenia do tworzenia potraw, których dawniej nie można by było przyrządzić. Pieką oni np. bezy w komorach próżniowych, gotują ryby w warunkach obniżonego ciśnienia, używają piekarników, których temperaturę można regulować z dokładnością do jednego stopnia, i spieniają lody ciekłym azotem o temperaturze około –200°C.
Podczas przyrządzania potraw często stosują przyrządy laboratoryjne. Dzięki superczułym termometrom, kontrolującym temperaturę ścinania białka i żółtka, mogą idealnie ugotować jajko na miękko. Kucharze molekularni lubią też wykorzystywać wyniki badań chemicznych. Mogą np. zrobić „kawior" z wywaru z marchewki lub szynki oraz związków chemicznych wypreparowanych z alg i roztworu chlorku wapnia. Pod wpływem tych substancji wywar zmienia się w przypominające kawior smakowite kulki. W menu molekularnym można też znaleźć nasycone dwutlenkiem węgla gazowane pomarańcze. Być może kiedyś część tych pomysłów trafi do domowych kuchni i przepisów?

Podsumowanie

- Substancje można schładzać na wiele sposobów, zarówno chemicznych, jak i fizycznych.
- W lodówkach domowych najczęściej wykorzystuje się efekty obniżania temperatury substancji na skutek parowania lub rozprężania gazu.
- W kuchni molekularnej za pomocą nowoczesnych urządzeń przyrządza się nietypowe potrawy, np. „kawior" z marchewki.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Jak myślisz, w jaką formę energii zamienia się energia prądu elektrycznego dopływającego do lodówki? Czy lodówka chłodzi czy ogrzewa pokój, w którym się znajduje?

2. Wymień przynajmniej dwie metody schładzania substancji.

3. Sprawdź w internecie, jaką najniższą temperaturę udało się uzyskać w warunkach laboratoryjnych.

4. Kiedy otworzysz po raz pierwszy butelkę napoju gazowanego, jej zewnętrzne ścianki mogą się pokryć kropelkami wody. Wyjaśnij dlaczego.

Doświadczenie

Spróbuj przyrządzić w domu Gorącą Alaskę. Pamiętaj o mocnym rozgrzaniu piekarnika i dokładnym zmrożeniu lodów.



D U lekarza

Po wizycie u lekarza okazało się, że swój organizm musisz poznać nieco dokładniej. W czym może pomóc fizyka?

Pulsoksymetr



Pulsoksymetr.

Na początek coś łatwego. Jeśli łatwo mdlejesz lub zdarzyło ci się trafić do szpitala po wypadku, niewykluczone, że na twoim palcu zacisnął się klips przypominający klamerkę do bielizny. To pulsoksymetr – urządzenie do nieinwazyjnego pomiaru nasycenia krwi tlenem. Mierzy ono poziom nasycenia tlenem hemoglobiny znajdującej się w czerwonych krwinkach. Urządzenie wysyła poprzez palec (niekiedy ucho) pacjenta wiązkę światła czerwonego i promieniowania podczerwonego. Gdy wiązka przejdzie przez palec, odpowiednie czujniki mierzą ilość światła czerwonego i podczerwieni. Nasycona tlenem hemoglobina jest jaskrawoczerwona, a pozbawiona tlenu – ciemnoczerwona lub nawet sina.

Mierząc ilość światła przechodzącego przez palec, można ustalić kolor hemoglobiny, a tym samym – zawartość tlenu we krwi.

Prześwietlenie



Maria Skłodowska-Curie w ambulansie rentgenowskim.

Jeśli uraz, z którym trafisz na badania, okaże się poważny, niezbędne może być prześwietlenie. Zasadę jego wykonania już znasz.

Z historii

Pierwsze zdjęcie rentgenowskie wykonał odkrywca promieniowania X, Wilhelm Roentgen. Na początku promieniowanie to stosowano do wielu najdziwniejszych celów, np. dopasowywania butów do stopy. Okazało się jednak, że częste prześwietlenia nie są obojętne dla zdrowia. Były one prawdopodobnie przyczyną śmierci Marii Skłodowskiej-Curie, która w czasie I wojny światowej organizowała polowe stacje rentgenograficzne. Stacje te obsłużyły ponad trzy miliony żołnierzy. Niestety, ciągłe przebywanie w strefie promieniowania X fatalnie wpłynęło na stan zdrowia uczonej; w 1934 r. zmarła ona na białaczkę.

Promieniowanie rentgenowskie jest pochłaniane przez poszczególne tkanki ciała w różnym stopniu.

Najwięcej promieniowania pochłaniają kości. Obraz powstały podczas prześwietlenia jest utrwalany na kliszy rentgenowskiej lub zapisywany w pamięci komputera. Jeśli chcemy obejrzeć tkanki, które w normalnych warunkach przepuszczają większość promieniowania, można zastosować kontrast – wypełnić je substancjami pochłaniającymi promieniowanie rentgenowskie. Jako substancje kontrastujące stosowane są często sole baru i związki jodu.

Tomografia

Jeśli zwykłe zdjęcie rentgenowskie nie wystarczy, można wykonać tomogram komputerowy. Tomograf to urządzenie, które obraca się wokół badanego fragmentu ciała i wykonuje wiele zdjęć rentgenowskich. Komputerowa analiza tych zdjęć umożliwia odtworzenie trójwymiarowego obrazu badanego obszaru.

Tomografia polega na wykonaniu wielu zdjęć rentgenowskich, na podstawie których tworzy się trójwymiarowy obraz narządów.

Tomografia jest więc badaniem znacznie dokładniejszym niż pojedyncze zdjęcie rentgenowskie, ale też powoduje napromieniowanie nawet 400 razy większą dawką. Promieniowanie rentgenowskie nie jest obojętne dla zdrowia, dlatego tomografię należy stosować tylko wtedy, gdy nie można zastosować metody mniej inwazyjnej.



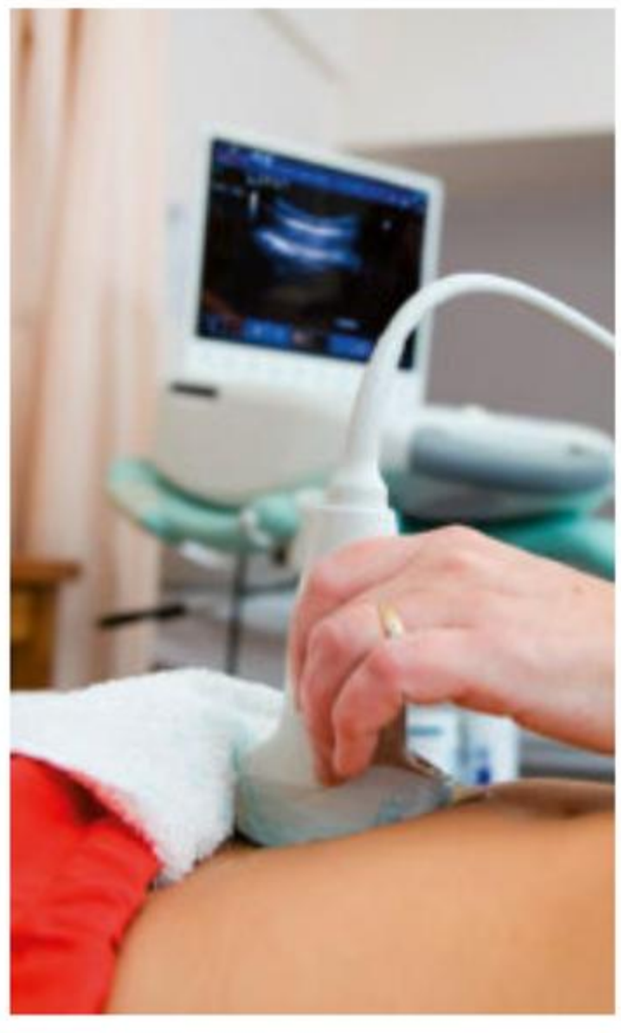
Obraz mózgu człowieka w tomografii komputerowej.

Ultrasonografia

Jednym z takich mniej inwazyjnych badań jest badanie ultrasonograficzne – USG. Podczas badania w ciało pacjenta wnikają fale ultradźwiękowe o długości ułamków milimetrów.

Głowica USG, którą lekarz przykłada do ciała pacjenta, wysyła fale ultradźwiękowe, a następnie rejestruje fale odbite wewnątrz ciała.

Fala przechodząca przez ciało pacjenta wprawia napotkane tkanki w drgania. Kiedy trafia na przeszkodę, np. granicę między różnymi strukturami anatomicznymi, jej część zostaje odbita i wraca do źródła. Aparat przetwarza uzyskane informacje na obraz. Im wyższa częstotliwość drgań wysyłanych przez głowicę, tym dokładniejszy obraz, jednak fale o wyższej częstotliwości słabiej wnikają do wnętrza ciała. Dlatego poszczególne obszary ciała bada się za pomocą różnych głowic, emitujących odmienne częstotliwości dźwięku.





Badanie dopplerowskie

Kiedy jesteś w szpitalu, często możesz usłyszeć przejeżdżającą na sygnale karetkę. Czy zauważyłeś, że ton tego sygnału jest wyższy, gdy samochód się zbliża, a niższy – gdy samochód się oddala? To zjawisko nazywamy **efektem Dopplera**. Porównując wysokość dźwięku wysyłanego przez zbliżające się lub oddalające ciało z wysokością dźwięku emitowanego przez ciało w bezruchu, można ustalić, z jaką prędkością względem nas się ono porusza.
Efekt Dopplera jest wykorzystywany w jednym z wariantów badania USG, w badaniu dopplerowskim. Fale ultradźwiękowe odbijające się od czerwonych krwinek, które zbliżają się do głowicy aparatu lub oddalają od niej, zmieniają wysokość dźwięku (częstotliwość). Tę zmianę rejestruje głowica aparatu USG, co umożliwia ustalenie sposobu przepływu krwi w naczyniach krwionośnych i sercu. Badanie jest na tyle bezpieczne, że wykorzystuje się je do oceny zdrowia dzieci przed narodzinami. Jak w przypadku każdego badania nie należy go jednak wykonywać bez wskazań lekarskich.

EKG i EEG

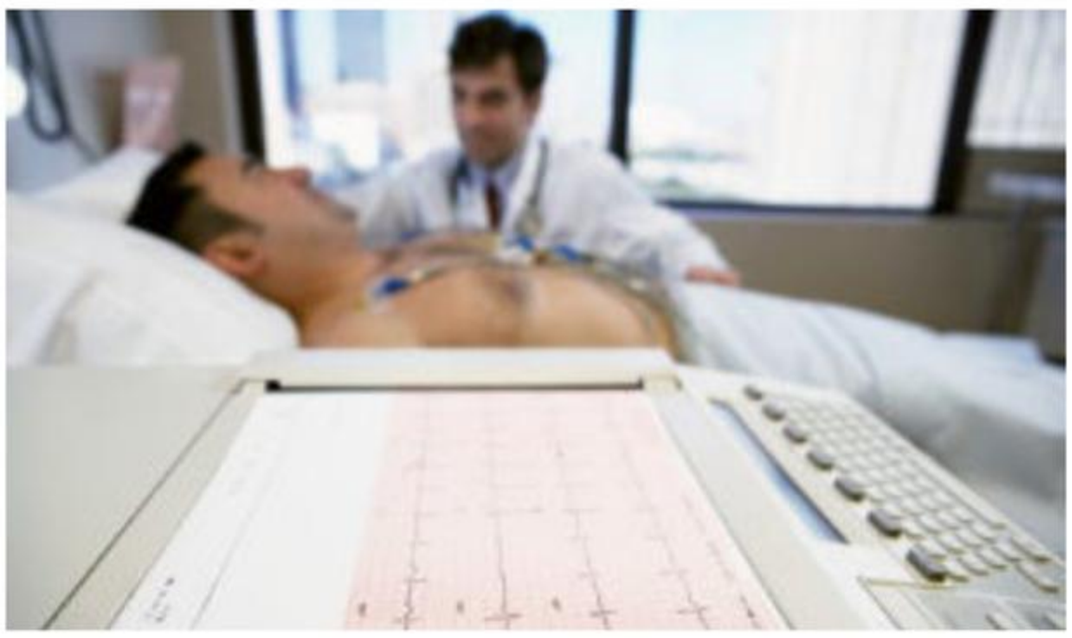
W organizmie człowieka stale płynie prąd elektryczny. Informacje z narządów zmysłów do mózgu i z mózgu do mięśni przesyłane są właśnie w postaci sygnałów elektrycznych. Te sygnały wykorzystujemy w badaniach EKG i EEG.

Za pomocą EKG (elektrokardiografu) kardiolodzy mierzą napięcie elektryczne wytwarzane przez mięsień sercowy.

Serce jest rodzajem maszyny elektrycznej. Znajdujące się w nim wyspecjalizowane komórki wysyłają sygnały elektryczne sterujące skurczaniem i rozkurczaniem poszczególnych fragmentów tego potężnego mięśnia. Badając aktywność elektryczną serca podczas badania EKG, można zdiagnozować zawał serca, przerost któregoś z przedsionków, a także zaburzenia rytmu pracy.

Elektroencefalograf (EEG) pozwala mierzyć napięcie elektryczne w mózgu.

Dzięki EEG możliwe są m.in. badanie padaczki i diagnostyka zaburzeń snu. Badania nad falami mózgowymi są już tak



Pacjent podczas badania EKG.

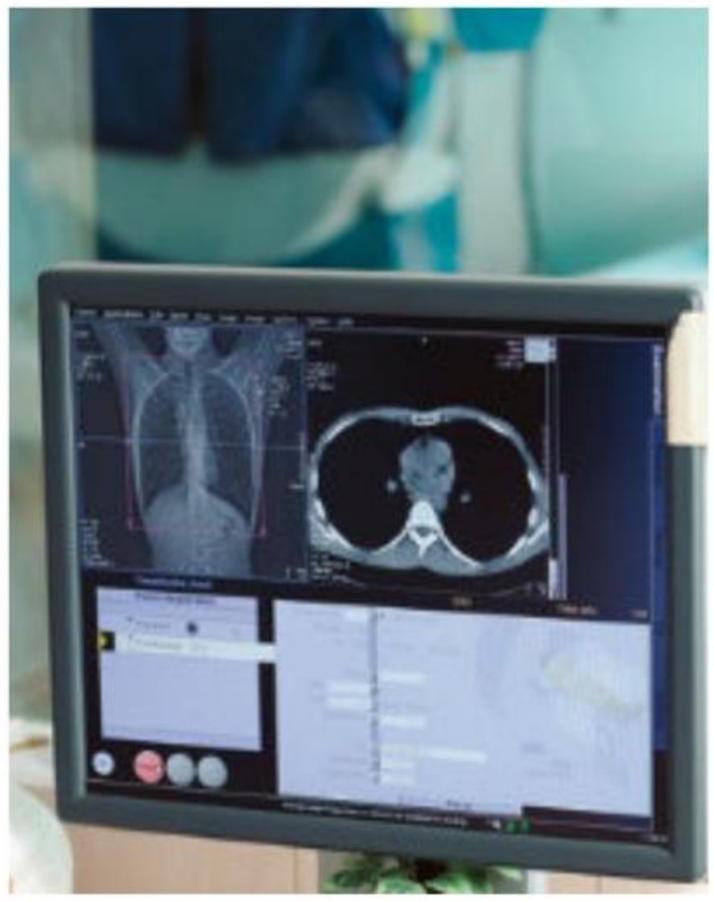


Pacjentka podczas badania EEG.

zaawansowane, że buduje się urządzenia pozwalające sterować maszyną, np. wózkiem inwalidzkim, za pomocą myśli.

Rezonans magnetyczny

Badań medycznych wykorzystujących prawa fizyki jest znacznie więcej. Na przykład rezonans magnetyczny wykonuje się za pomocą urządzenia, w którym, wykorzystując bardzo silne pole magnetyczne, mierzy się promieniowanie wysyłane przez jądra atomów wodoru z wody zawartej w organizmie. Za pomocą rezonansu można dokładnie obejrzeć mózg i narządy jamy brzusznej. Rezonans magnetyczny uważa się za stosunkowo nieszkodliwy dla człowieka; wykorzystuje się go nawet do badań dzieci przed narodzinami. Pole magnetyczne w maszynie do rezonansu jest nawet 60 tysięcy razy silniejsze od ziemskiego. Jest ono tak silne, że w pomieszczeniu, w którym pracuje maszyna wykonująca rezonans, nie mogą się znajdować obiekty żelazne czy stalowe – przyciągane przez magnes mogłyby się zamienić w śmiercionośne pociski.



Dzięki wszystkim opisanym w tym rozdziale urządzeniom możemy zajrzeć w głąb ludzkiego ciała, zdiagnozować choroby, a niektóre z nich nawet wyleczyć.

Budową i udoskonalaniem takich urządzeń zajmuje się fizyka medyczna. Może i ty będziesz ją kiedyś studiować?

Podsumowanie

- Do badania ludzkiego organizmu wykorzystuje się te same prawa fizyki, które rządzą światem przyrody nieożywionej.
- Promieniowanie rentgenowskie jest w różnym stopniu pochłaniane przez poszczególne tkanki. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie zdjęć rentgenowskich.
- Tomografia polega na wykonaniu wielu zdjęć rentgenowskich, na podstawie których tworzy się trójwymiarowy obraz narządów.
- Ultrasonograf (USG) „prześwietla" ciało człowieka za pomocą ultradźwięków.
- Za pomocą EKG (elektrokardiografu) kardiolodzy mierzą napięcie elektryczne wytwarzane przez mięsień sercowy.
- Badania często ratują zdrowie, a nawet życie. Z uwagi na skutki uboczne nie powinno się ich jednak wykonywać na wszelki wypadek, bez wyraźnych wskazań lekarskich.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wskaż, które badania spośród opisanych w tym temacie są nieszkodliwe dla człowieka, a których nie należy wykonywać zbyt często i bez wyraźnych wskazań lekarskich.

2. Wymień podobieństwa i różnice między tomografią komputerową i prześwietleniem.

3. Wyjaśnij, dlaczego porażenie prądem elektrycznym może spowodować zatrzymanie akcji serca.

4. Wskaż, w których spośród urządzeń opisanych w tym temacie wykorzystuje się własności różnego rodzaju fal. Jakie to fale?



D Sport

Zarówno ciało sportowca, jak i używane przez niego przedmioty i urządzenia – od piłki do samochodu Formuły 1 – podlegają prawom fizyki. Nie sposób w jednym krótkim tekście opisać wszystkich zjawisk fizycznych wiążących się z uprawianiem sportu. Postanowiliśmy więc odpowiedzieć na kilka często zadawanych pytań.

Dlaczego tak trudno biegać po piasku?

Wiesz dobrze, że aby utrzymać ciało w ruchu ze stałą prędkością, niepotrzebna jest żadna siła. Skoro nie potrzeba siły, nie trzeba także wykonywać żadnej pracy ani dostarczać energii.
Taki wniosek z lekcji fizyki może się wydawać sprzeczny z codziennym doświadczeniem. Przecież biegacz zużywa wiele energii nawet wtedy, gdy biegnie po płaskiej drodze ze stałą prędkością.
Jednak w rzeczywistości biegacz nie porusza się w płaszczyźnie poziomej, nawet jeśli droga jest płaska. Jego ciało przy każdym kroku na przemian podnosi się i opada. Aby je unieść, mięśnie biegacza muszą wykonać pracę.



Gdy ciało opada, część energii można zmagazynować, aby wykorzystać ją do podniesienia ciała podczas kolejnego kroku.

Jest to możliwe dzięki sprężystości więzadeł w ciele biegacza, a także sprężystości jego obuwia i podłoża. Dlatego tak dobrze biega się po tartanie, który jest sprężysty i pozwala zawodnikowi odbijać się od podłoża. Skrajnie odmienne warunki panują na plaży. Stopy zapadają się w piasku i cała energia pionowego ruchu biegacza jest „marnowana”.

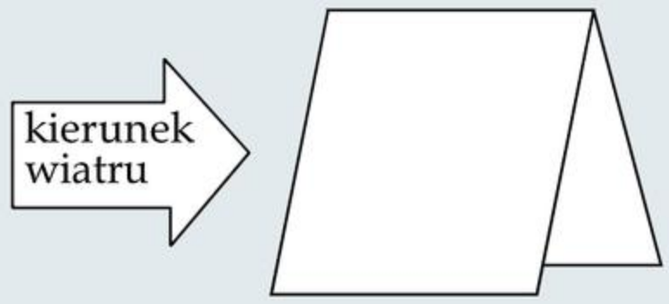
Dlaczego można podkręcić piłkę?



Na piłkę w powietrzu działa siła ciężkości skierowana w dół i siła oporu powietrza skierowana przeciwnie do kierunku ruchu. Żadna z nich nie może spowodować, że piłka w locie skręci w bok. Wiadomo jednak, że szybko obracająca się piłka może zmienić kierunek lotu. Jak to się dzieje? Wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie

1. Złóż kartkę „w namiocik" i dmuchnij do środka (jak na ilustracji).
2. Co zaobserwowałeś: połówki kartki rozchylają się, pozostają w spoczynku czy zbliżają się do siebie?



Wynik doświadczenia jest zaskakujący dla osób obserwujących je po raz pierwszy. Zamiast rozchylać się pod wpływem nacisku powietrza, połówki kartki zbliżają się do siebie.
W tym doświadczeniu ruch powietrza powoduje obniżenie ciśnienia. Podobnie jest, gdy podkręcamy piłkę. Popatrzmy na rysunek a) przedstawiający obracającą się w miejscu piłkę. Punkty po jej przeciwnych stronach poruszają się w przeciwne strony.
Co się dzieje, gdy piłka się porusza, lecąc nad boiskiem? Ponieważ ruch jest względny, możemy sobie wyobrazić, że piłka obraca się w miejscu, a porusza się powietrze. Taką sytuację przedstawiono na rysunku b). Powietrze opływające piłkę z lewej strony jest przez nią hamowane z powodu tarcia o powierzchnię piłki. Przeciwnie jest po prawej stronie – obracająca się piłka porywa ze sobą powietrze, przyspieszając jego ruch. Dlatego powietrze po jej prawej stronie porusza się szybciej niż po lewej stronie. A to oznacza, że z prawej strony ciśnienie powietrza jest niższe. Na piłkę działa zatem siła skierowana w prawo (rys. c). Ta siła powoduje, że piłka skręca.

a)



b)

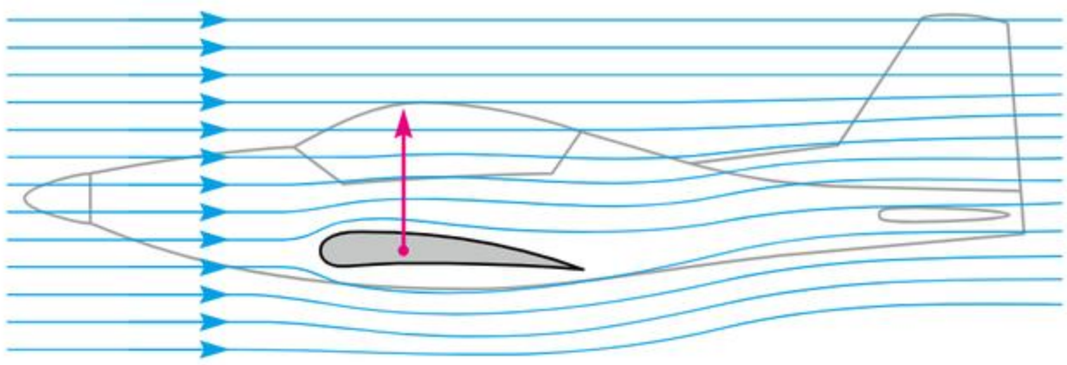


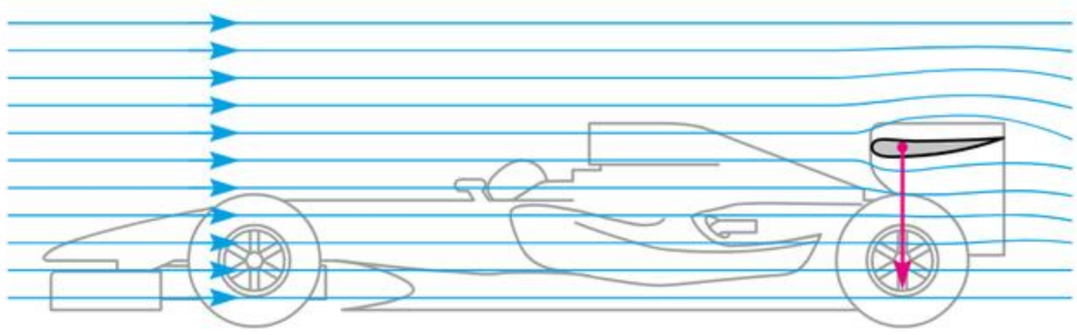
c)



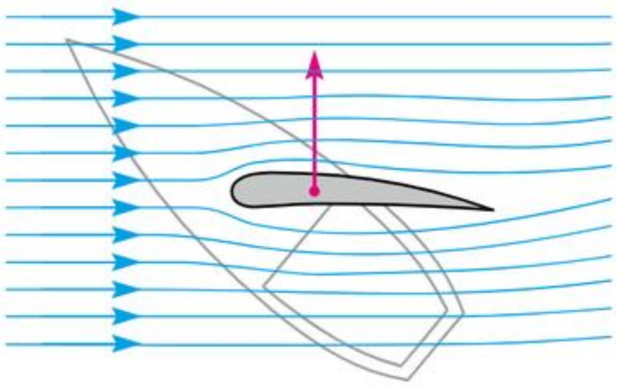
Po co samochodom wyścigowym „skrzydła"?

Najpierw przypomnijmy, do czego służą skrzydła w samolocie. Otóż gdy samolot leci, jego skrzydła zagarniają powietrze, odpychając je w dół pewną siłą. Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki powietrze działa na samolot taką samą siłą, ale skierowaną w górę. Ta siła równoważy ciężar samolotu, dlatego nie spada on na ziemię.









W samochodzie wyścigowym skrzydła zamocowane są w odwrotną stronę. Odpychają powietrze w górę, a powietrze odpycha samochód w dół, dociskając go do nawierzchni toru.
Jak wiesz, samochód rozpędza się i zmienia kierunek ruchu za sprawą siły tarcia opon o podłoże. W samochodzie wyścigowym siła ta musi być szczególnie duża. Ponieważ zaś tarcie jest tym większe, im większy jest nacisk opon na podłoże, opłaca się dociskać samochód do ziemi.

Dlaczego można żeglować pod wiatr?

Dlaczego żaglówka popychana przez wiatr może płynąć w dowolnie wybranym kierunku, a nie tylko z wiatrem? Wiemy przecież, że siła powoduje ruch ciała tylko w tym kierunku, w którym sama działa. Tymczasem żaglówki mogą płynąć nie tylko prostopadle do wiatru, ale nawet niemal całkowicie pod wiatr.
Spójrz na schematyczny rysunek jachtu (widok z góry). Co ci przypomina? Żagiel ma taki kształt jak skrzydło ustawione pionowo. Działa więc na niego siła, która ciągnie jacht jednocześnie do przodu i w bok. Ruch w bok hamowany jest przez opór wody, żaglówka płynie więc do przodu.

Podsumowanie

- Biegnąc, zużywamy energię na podnoszenie i opuszczanie ciała.
- Ruch powietrza może powodować obniżenie ciśnienia. To zjawisko pozwala wyjaśnić podkręcanie piłki.
- Skrzydła samolotu popychają powietrze w dół. Siła reakcji powietrza pcha samolot w górę. W przypadku samochodu wyścigowego jest na odwrót: skrzydła pchają powietrze w górę, a powietrze dociska samochód do drogi.
- Żagiel jachtu działa jak skrzydło ustawione pionowo.

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Dlaczego biegacze zwykle nie noszą długich włosów? Podaj dwa powody.

2. W biegach przez płotki nie ma punktów karnych za przewracanie płotków. Wyjaśnij, dlaczego mimo to biegacze starają się ich nie przewracać.

3. Zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki ruch ze stałą prędkością po linii prostej nie wymaga działania siły, a więc i zużywania energii. Wyjaśnij, dlaczego męczymy się, biegnąc.

4. Jacht może płynąć pod pewnym kątem (np. 30°) do kierunku wiatru, nie może jednak płynąć dokładnie pod wiatr. Ustal, co powinni zrobić żeglarze, aby dotrzeć do przystani, jeśli wiatr wieje dokładnie od jej strony.

5. Zamiast dociskać samochód wyścigowy do ziemi za pomocą „skrzydeł”, można by po prostu zwiększyć jego ciężar. Wyjaśnij, dlaczego nie stosuje się takiego rozwiązania.

D Słuchamy muzyki

W rozdziale „Drgania i fale” opisaliśmy, w jaki sposób powstaje dźwięk. Jego źródłem może być drgająca struna gitary lub fortepianu, membrana perkusji, struna głosowa itp. Jednak w dzisiejszych czasach częściej słuchamy muzyki płynącej z radia lub odtwarzacza niż na żywo. Do zapisywania i przesyłania dźwięku służą urządzenia elektroniczne, a więc musi istnieć sposób, aby zamieniać dźwięk na prąd elektryczny i odwrotnie.

Głośnik

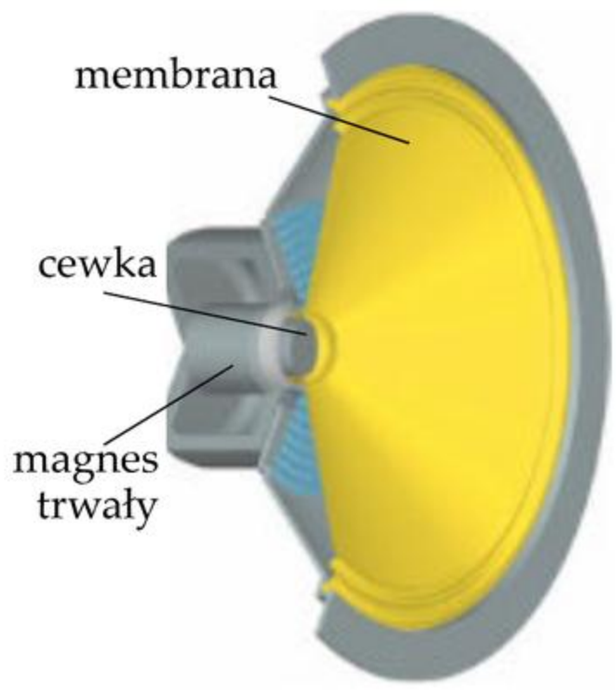
Doświadczenie

Weź głośnik (bez obudowy) i podłącz do jego końcówek ogniwo 1,5 V. Sprawdź, czy coś słychać:
a) w chwili podłączania głośnika,
b) wtedy, gdy głośnik jest już podłączony,
c) w chwili odłączania ogniwa od głośnika.

Wszystkie głośniki – od słuchawki mieszczącej się w uchu po ogromne kolumny ustawiane podczas wielkich koncertów – są podobnie zbudowane. Podstawowe elementy głośnika to cewka (przewodnik zwinięty w wiele pętli), magnes trwały i membrana.

Gdy do cewki głośnika podłączamy prąd, działa na nią siła magnetyczna. Ta siła powoduje ruch cewki, a wraz z nią – membrany głośnika.

Jeśli do cewki podłączymy napięcie zmienne, będzie się poruszała w rytmie zmian tego napięcia. Poruszająca się razem z nią membrana wprawi w ruch powietrze. W ten sposób w powietrzu zaczną się rozchodzić drgania – powstanie fala dźwiękowa.

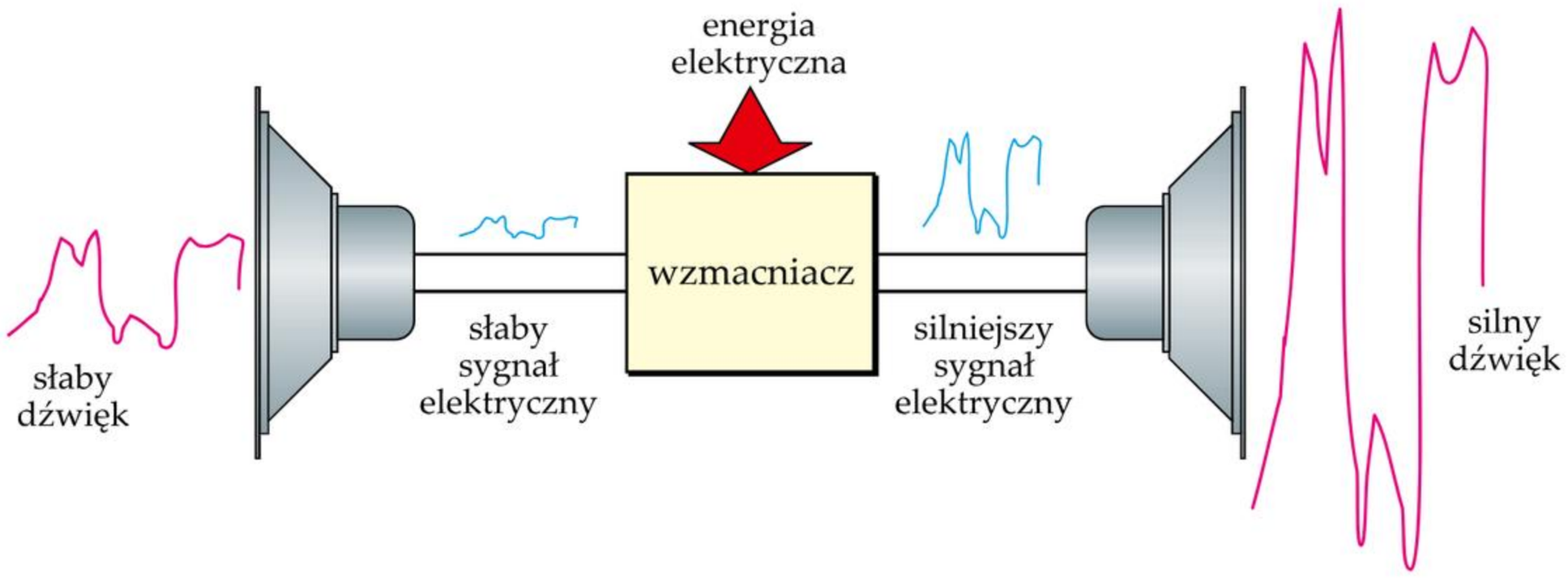


Mikrofon

Doświadczenie

1. Połącz dwa głośniki (bez obudowy) długimi przewodami i ustaw je w różnych pokojach.
2. Poproś kogoś, aby mówił (albo lepiej śpiewał) do jednego z głośników, a drugi przystaw do ucha. Czy coś słyszysz?
3. Zamieńcie się rolami.

Najprostszym mikrofonem jest... głośnik. Fala dźwiękowa padająca na jego membranę wprawia w drgania cewkę. Jeśli przewodnik porusza się względem magnesu, na jego końcach pojawia się napięcie. Mikrofony produkowane fabrycznie są zbudowane na tej samej zasadzie, a od głośników różnią się jedynie szczegółami technicznymi zapewniającymi większą czułość i wyższą jakość dźwięku.
Doświadczenie pokazało, że nawet słabe napięcie wytwarzane przez mikrofon może wystarczyć do zasilenia głośnika. Na ogół jednak chcemy, aby dźwięk z głośnika był mocniejszy. Wówczas stosujemy **wzmacniacz** – urządzenie wzmacniające sygnał elektryczny.



Zapis analogowy

Najprostszy sposób zapisu dźwięku wynaleziono już ponad sto lat temu, a stosuje się go czasem nawet dziś, np. w płytach analogowych („czarnych płytach", „winylach"). Dźwięk zapisany jest na nich w postaci rowka o zmiennej głębokości. Płyta kręci się, a w rowku znajduje się igła, która – z powodu zmian głębokości rowka – porusza się w górę i w dół.
W najstarszych adapterach (zwanych gramofonami) igła była połączona bezpośrednio z membraną, która wprawiała w ruch powietrze. Przy odtwarzaniu płyty można się było zatem obejść bez elektryczności. Jednak w nowocześniejszych adapterach, których używa się dzisiaj, drgania igły zamieniane są najpierw na sygnał elektryczny, a dopiero potem na drgania powietrza, czyli dźwięk. Nieco nowocześniejszym sposobem utrwalania dźwięku jest

nagrywanie go na taśmie magnetycznej. Zapis dźwięku następuje, kiedy taśma przesuwa się przy głowicy, będącej elektromagnesem, która jest podłączona przez wzmacniacz do mikrofonu. Na skutek działania elektromagnesu taśma ulega namagnesowaniu. Drgania powietrza zamieniane są w mikrofonie najpierw na zmiany napięcia, a następnie – na zmiany namagnesowania taśmy.
Gdy słuchamy muzyki z magnetofonu, taśma przesuwa się obok innej głowicy, która przekształca zmienne namagnesowanie na zmienne napięcie. To napięcie zasila głośnik.
Adapter i magnetofon mają wspólną cechę.

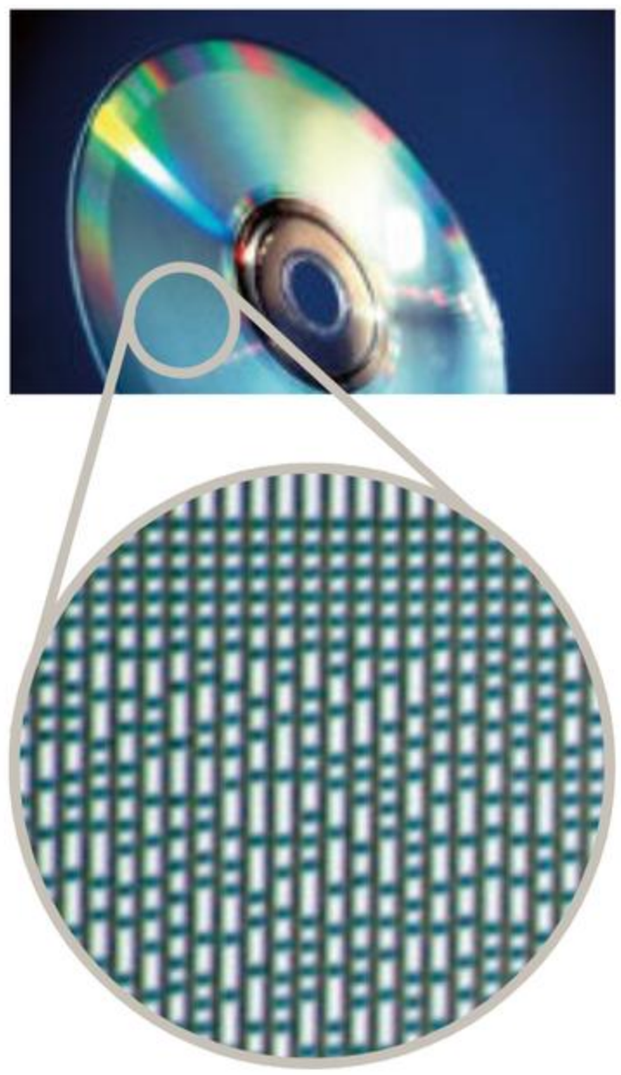


Adaptery i magnetofony zapisują dźwięk w postaci wielkości zmieniającej się w sposób ciągły (a nie skokowy). Taki rodzaj zapisu nazywamy zapisem analogowym.

Zarówno zmiany głębokości rowka na płycie, jak i zmiany stopnia namagnesowania taśmy naśladują drgania powietrza w czasie rozchodzenia się dźwięku. Jeśli te wielkości zobrazujemy na wykresach, wszystkie wykresy będą wyglądać podobnie.

Zapis cyfrowy

Zupełnie inny sposób zapisu dźwięku wykorzystujemy przy utrwalaniu dźwięku na płytach CD, DVD i Blu-ray, dysku komputera oraz odtwarzaczach plików komputerowych (takich jak mp3 i mp4). Dźwięk jest tam najpierw zamieniany na ciąg liczb, które zapisywane są w układzie dwójkowym (binarnym), czyli za pomocą cyfr 0 i 1. Dlatego ten zapis nazywamy **zapisem cyfrowym**.
Cyfrom 0 i 1 odpowiadają brak napięcia i określone napięcie (np. 5 V). Ta technika pozwala osiągać znacznie wyższą jakość dźwięku. W technice analogowej różne zakłócenia (np. zmiana oporu przewodnika pod wpływem temperatury) powodują szumy i trzaski oraz niższą jakość dźwięku. W technice cyfrowej zaś, jeśli nawet z powodu zakłóceń napięcie 5 V zmieni się na 4,7 V, to sygnał nadal będzie interpretowany jako cyfra 1.

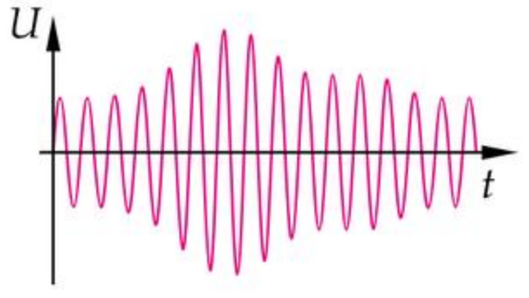


W zapisie cyfrowym dźwięk utrwalany jest w postaci opisu liczbowego. Taki zapis pozwala osiągać wyższą jakość dźwięku.

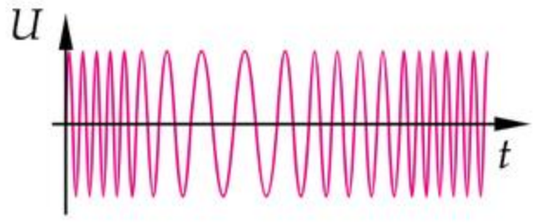
W urządzeniach cyfrowych napięcie zmienia się więc skokowo od 0 V do jednej wybranej wielkości (np. 5 V), a nie płynnie jak w urządzeniach analogowych.

Przesyłanie dźwięku

Najstarszym sposobem przesyłania dźwięku przez radio była modulacja amplitudowa (AM). W takim systemie drganiom powietrza odpowiada zmieniająca się amplituda fali radiowej.



Modulacja amplitudy (AM).



Modulacja częstotliwości (FM).

Obecnie częściej stosuje się modulację częstotliwości (FM) polegającą na zmianie częstotliwości fali radiowej.
Pamiętajmy, że częstotliwość fali radiowej jest większa (nawet tysiące razy) od częstotliwości dźwięku. Tych dwóch wielkości nie można mylić.
Coraz częściej dźwięk przesyła się przez radio w postaci cyfrowej. Tak się dzieje m.in. w telefonach komórkowych.

Podsumowanie

- Gdy do cewki głośnika podłączymy prąd, działa na nią siła magnetyczna. Ta siła powoduje ruch cewki i membrany głośnika. Membrana wprawia w ruch powietrze.
- Gdy drgania powietrza powodują drgania membrany mikrofonu, przymocowana do niej cewka zaczyna drgać względem umieszczonego obok magnesu. To z kolei sprawia, że pomiędzy końcówkami przewodu cewki powstaje napięcie.
- Adaptery i magnetofony zapisują dźwięk jako wielkość zmieniającą się w sposób ciągły (a nie skokowy). Taki zapis nazywamy analogowym.
- W technice cyfrowej dźwięk zapisywany jest w postaci opisu liczbowego. Taki zapis pozwala osiągać wyższą jakość dźwięku.
- W radiu drganiom powietrza odpowiadają zmiany amplitudy (AM) lub częstotliwości (FM) fali radiowej. Coraz częściej przesyłamy przez radio dźwięk w postaci cyfrowej (np. w telefonach komórkowych).

Pytania i zadania

Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. Wymień podobieństwa i różnice zachodzące między głośnikiem a silnikiem elektrycznym.

2. Wskaż, na których zdjęciach przedstawiono urządzenia analogowe, a na których – cyfrowe.

A.



C.



B.

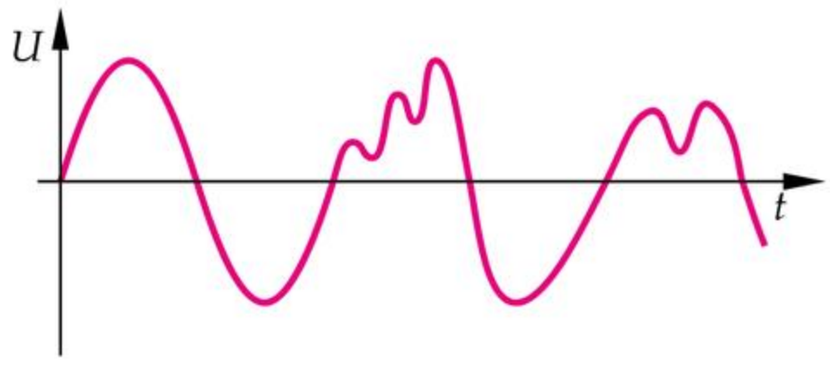


D.



3. Wskaż, który wykres opisuje zmiany napięcia w sygnale analogowym, a który – w sygnale cyfrowym.

A.



B.



4. Oceń, czy głośnik, w którym cewka byłaby zamocowana na stałe, a magnes przytwierdzono by do membrany, spełniałby swoją funkcję. Jeśli nie – wyjaśnij dlaczego, jeśli tak – wytłumacz, dlaczego takie rozwiązanie nie jest stosowane.



D Oglądamy film

Doświadczenie

Do wykonania tego doświadczenia potrzebny jest cyfrowy aparat fotograficzny (może być w telefonie komórkowym).

1. Umocuj aparat tak, aby w jego polu widzenia znalazł się samochodzik zabawka lub inny mały przedmiot.

Uwaga. Podczas doświadczenia aparat powinien stać przez cały czas w tym samym miejscu.

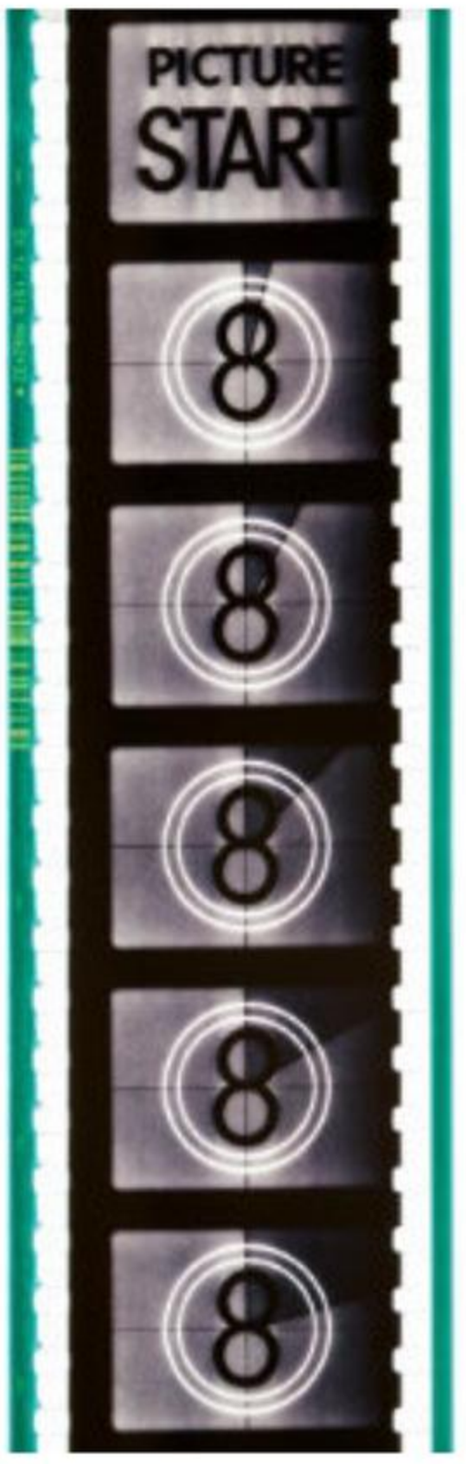
2. Zrób zdjęcie i przesuń samochodzik o 1 cm. Powtórz te czynności kilkanaście razy.

3. Przegraj zdjęcia do komputera i wyświetl szybko jedno po drugim. Co zauważasz?

Oglądanie filmu – w kinie, telewizji czy na ekranie komputera – możliwe jest tylko dzięki pewnej niedoskonałości ludzkiego wzroku.

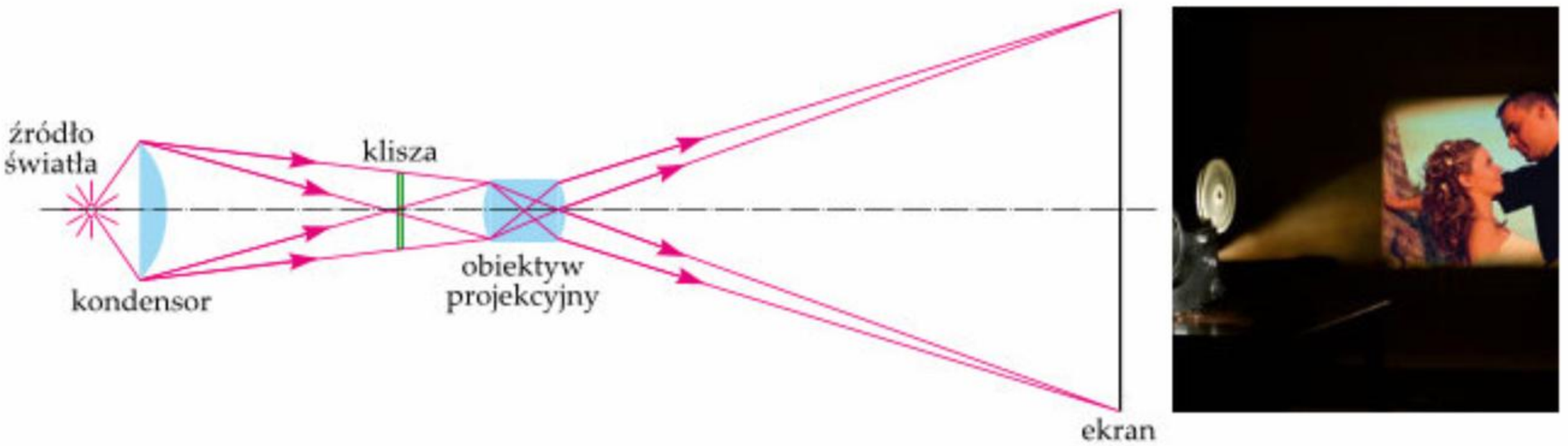
Gdy szybko wyświetlamy kolejne nieruchome obrazy, powstaje złudzenie ruchu.

Kiedy kręcimy film, wykonujemy bardzo szybko kolejne zdjęcia – ponad 20 na sekundę. Kiedy wyświetlamy je na ekranie w takim samym tempie, w jakim zostały zrobione, mózg widza nie nadąża za szybko zmieniającymi się obrazami i powstaje wrażenie ruchu.



Projektor kinowy

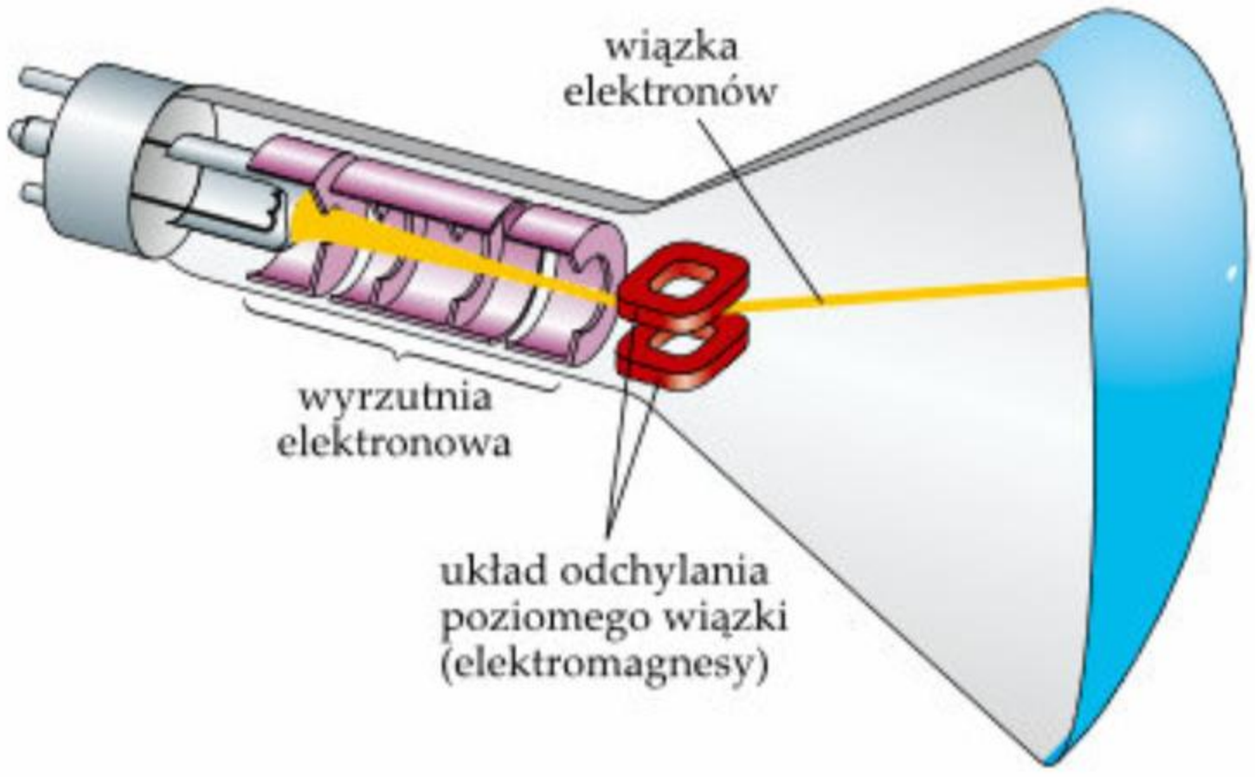
Tradycyjna metoda filmowa polega na wykonaniu kolejnych zdjęć na przezroczystej taśmie. W czasie odtwarzania przez tę taśmę przechodzi silne światło, które trafia na ekran, gdzie tworzy powiększony obraz zdjęcia. Zdjęcie jest wyświetlane przez



ułamek sekundy, po czym projektor zasłania źródło światła i przesuwa taśmę o jedno zdjęcie. Czynności te powtarzają się bardzo szybko, dzięki czemu widzimy ruchome obrazy. Zasłanianie źródła światła na czas przesuwania klatek filmu sprawia, że nie powstaje smuga rozmytego obrazu.

Kineskop (monitor CRT)

Na zupełnie innej zasadzie działają ekran telewizyjny i monitor komputerowy. Urządzenia z ekranem starszego typu są wyposażone w **kineskop**.





Z tyłu kineskopu znajduje się rozgrzana metalowa płytka. Wyższa temperatura oznacza szybszy ruch jonów i swobodnych elektronów. Dzięki swojej dużej energii niektóre elektrony mogą się wyrwać z płytki. Zostają wówczas od niej odepchnięte, ponieważ jest ona naładowana ujemnie. Te elektrony zostają wyrzucone na przednią szybę kineskopu. Jest ona pokryta specjalną substancją, która świeci przy uderzeniu elektronu.

Aby jednak na ekranie powstał obraz, a nie pojedyncza plamka, strumieniem elektronów trzeba kierować. Służą do tego elektromagnesy umieszczone wokół toru wiązki elektronów.

Ponieważ strumień elektronów nazywano kiedyś „promieniowaniem katodowym", monitory tego typu oznacza się czasem skrótem CRT – *catode ray tube*, czyli „rura promieni katodowych".

Ekran LCD



Dziś kineskopy spotykamy coraz rzadziej. Częściej mamy do czynienia z monitorami ciekłokrystalicznymi, które oznaczamy skrótem LCD (*liquid crystal display*). Ekrany LCD używane są we wszystkich komputerach przenośnych, w płaskich monitorach do komputerów stacjonarnych i w niektórych telewizorach. Z ciekłych kryształów zbudowane są także wyświetlacze kalkulatorów i zegarków cyfrowych.
W ekranach LCD wykorzystuje się zjawisko polaryzacji światła, które wyjaśniamy dokładniej na stronach 256–257.

Cyfrowy zapis obrazu

W komputerach, telewizji cyfrowej i coraz częściej w filmach stosujemy technikę cyfrową.

W zapisie cyfrowym obraz jest podzielony na bardzo wiele punktów zwanych pikselami.

Są one tak małe, że nie widzimy pojedynczych punktów i zlewają się nam w jeden obraz.
Kolor każdego piksela można opisać za pomocą odpowiednich liczb (zgodnie z przyjętą numeracją kolorów). Te liczby – zapisane w układzie dwójkowym, czyli za pomocą cyfr 0 i 1, stanowią dokładny opis całego obrazu. Taki opis możemy przechowywać i przesyłać tak samo jak zapisany cyfrowo dźwięk albo inne dane.

Trzy wymiary

Coraz więcej filmów można obejrzeć w wersji trójwymiarowej. Aby się dowiedzieć, jak to możliwe, musimy najpierw zrozumieć, na czym polega widzenie trójwymiarowe.

Doświadczenie

1. Stań, opuść ręce i zamknij jedno oko.
2. Spróbuj – szybko, bez zastanowienia – dotknąć palcem wybranego punktu (np. klamki regału, lampy).
3. Opuść rękę i ponownie spróbuj dotknąć tego samego punktu, ale tym razem patrząc obojgiem oczu.

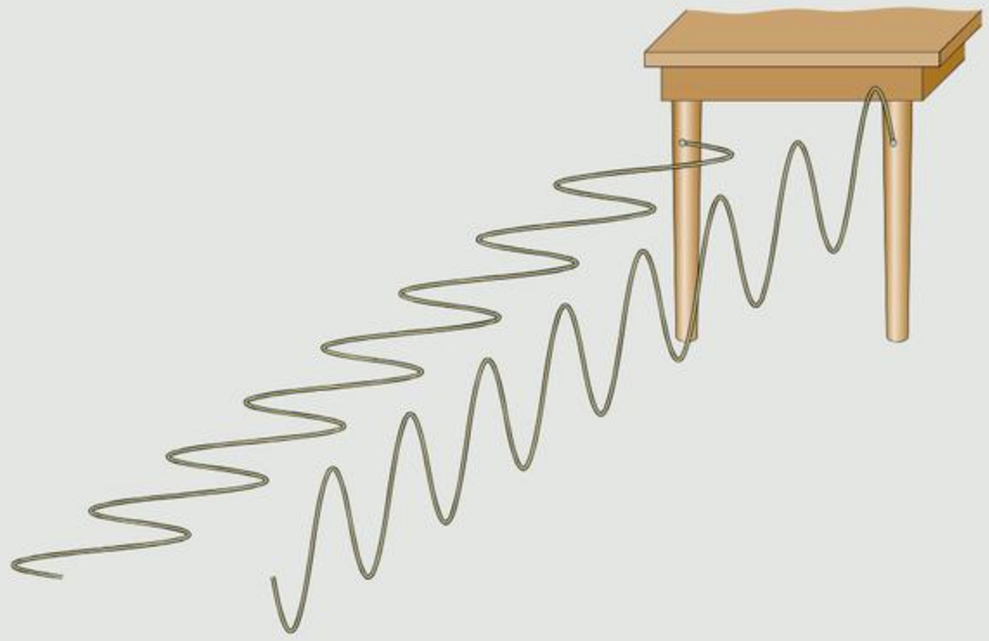
Jak wiesz z czwartego rozdziału tego podręcznika, na siatkówce oka powstaje obraz oglądanych przedmiotów. Jest to obraz płaski. Gdyby człowiek miał jedno oko, jego orientacja w przestrzeni byłaby utrudniona, czego dowiodło doświadczenie.

Porównanie obrazów z obojga oczu pozwala mózgowi odtworzyć obraz rzeczywistości. Obrazy te nieco się różnią, gdyż lewe oko znajduje się w innym miejscu niż prawe.

Polaryzacja światła

Pszczoły wykorzystują światło spolaryzowane do orientacji w przestrzeni.





Na rysunku przedstawiono sznury przymocowane do nóg stołu oraz fale rozchodzące się wzdłuż sznurów; drgania zachodzą prostopadle do nich. Kierunków prostopadłych do sznura jest jednak wiele, więc drgania mogą odbywać się różnie.
Światło to także fala, czyli rozchodzące się drgania. Ich kierunek to polaryzacja światła. Najczęściej mamy do czynienia ze światłem niespolaryzowanym, które jest mieszaniną fal o różnej polaryzacji.

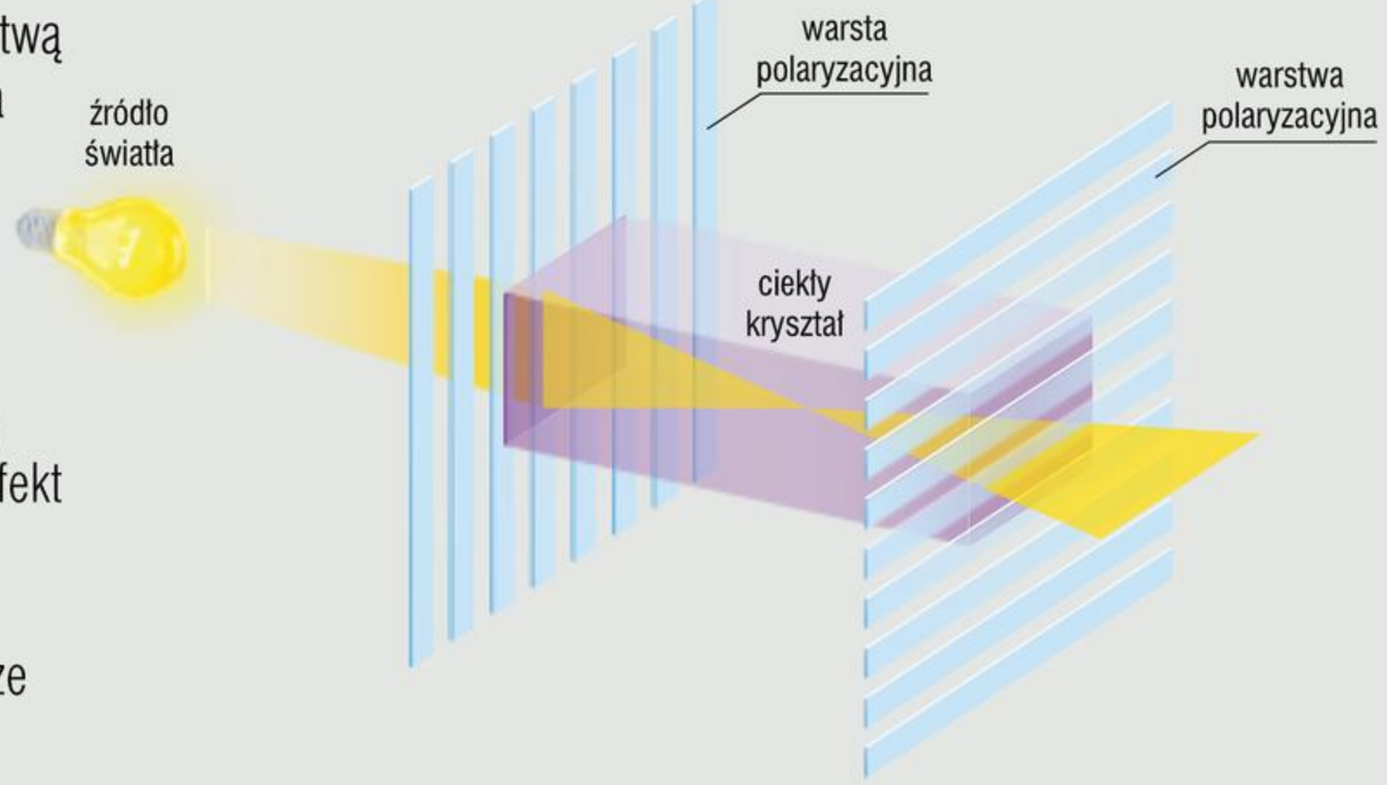
Polaryzator przepuszcza wyłącznie światło o określonej polaryzacji. Może ono potem przejść przez kolejny polaryzator, jeśli jest ustawiony w tę samą stronę. Jeśli ustawimy go prostopadle – światło zostanie pochłonięte.







W wyświetlacz LCD wbudowane są dwa skrzyżowane polaryzatory oddzielone warstwą ciekłych kryształów. Światło kierowane zza ekranu nie mogłoby przejść przez polaryzatory, gdyby nie znajdująca się między nimi warstwa ciekłych kryształów. To ich cząsteczki zmieniają kierunek polaryzacji światła. Po włączeniu napięcia cząsteczki kryształu zmieniają ułożenie i efekt zmiany polaryzacji znika – światło nie przechodzi, ekran jest ciemny.
Na tej samej zasadzie działają wyświetlacze telefonów, zegarków elektronicznych i kalkulatorów.





Na ekranie kina 3D wyświetlane są jednocześnie dwie wersje filmu – osobno dla lewego i prawego oka. Każda z nich wyświetlana jest za pomocą światła o innej polaryzacji. Każde ze szkieł okularów przepuszcza światło o takiej polaryzacji, która sprawia, że do oka trafia odpowiednia wersja filmu.



Światło odbite od wody czy śniegu jest spolaryzowane poziomo. Dlatego okulary polaryzacyjne (z polaryzatorem pionowym) pochłaniają je w tak dużym stopniu.

Aby nakręcić film trójwymiarowy, potrzebujemy dwóch kamer, rozstawionych w odległości zbliżonej do rozstawu oczu człowieka. Nie jest to nic specjalnie skomplikowanego – skoro wiemy, jak zbudować kamerę, to wiemy też, jak zbudować drugą. Problem polega na tym, jak wyświetlić inny film dla jednego oka, a inny – dla drugiego.

Stosowane są różne sposoby. Najprostszy nie wymaga specjalnego ekranu. Widz zakłada dwukolorowe okulary. Jedno oko jest zasłonięte szybką niebieską, a drugie – purpurową. Każda z nich przepuszcza tylko światło określonych barw, dzięki czemu do lewego oka dociera inny obraz niż do oka prawego.

Inny sposób polega na zastosowaniu okularów przepuszczających światło o określonej polaryzacji (zob. strony 256–257). Dwie wersje filmu – przeznaczone dla dwojga oczu – wyświetlane są za pomocą światła spolaryzowanego. Okulary przepuszczają do danego oka obraz przeznaczony wyłącznie dla niego.

Wreszcie ostatnia metoda to „Shutter glasses" (dosłownie „okulary migawkowe"), czyli okulary z przesłonami zasłaniającymi raz jedno, a raz drugie oko. W czasie, gdy odsłonięte jest lewe oko, wyświetlany jest obraz dla oka lewego, a gdy odsłonięte jest prawe – dla prawego. Obecnie funkcję przesłony spełnia warstwa ciekłych kryształów, którą znacznie łatwiej szybko zamykać i otwierać niż element mechaniczny.

Ciekawostka

U każdego widza trójwymiarowy obraz powstaje oddzielnie. Jeśli np. widzisz kamień przelatujący tuż obok twojego prawego ucha, odruchowo przechylasz głowę w lewo. Twój sąsiad z prawej strony także przechyla głowę w lewo. Gdyby kamień rzeczywiście znajdował się tam, gdzie ty go widzisz, sąsiad odchyliłby głowę w prawo!

Podsumowanie

- Gdy szybko wyświetlamy kolejne nieruchome obrazy, powstaje złudzenie ruchu.
- W monitorze ciekłokrystalicznym (LCD) oraz w wyświetlaczach kalkulatorów obraz powstaje dzięki zjawisku polaryzacji.
- W zapisie cyfrowym obraz jest podzielony na bardzo wiele punktów zwanych pikselami.
- Porównanie obrazów z obojga oczu pozwala mózgowi odtworzyć trójwymiarowy obraz rzeczywistości. Obrazy te nieco się różnią, gdyż lewe oko znajduje się w nieco innym miejscu niż prawe.

Pytania i zadania

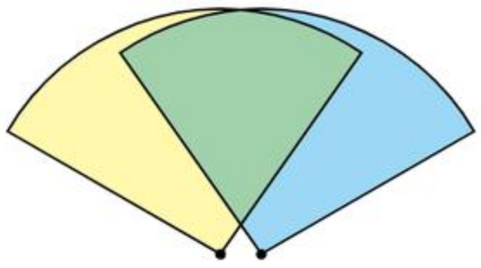
Odpowiedzi i rozwiązania zapisz w zeszycie

1. W ciągu 1 s filmu wyświetlane są 24 obrazy. Każdy z nich – wraz z przerwą między klatkami – zajmuje 19 mm długości taśmy. Oblicz długość taśmy z dwugodzinnym filmem.

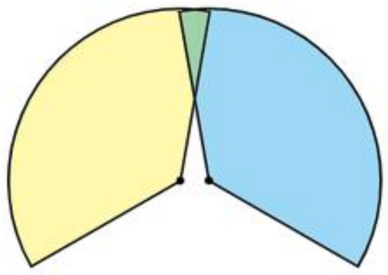
2. Dowiedz się, jaką rozdzielczość ma monitor twojego komputera (w domu lub szkolnej pracowni). Na ile pikseli podzielony jest obraz na tym monitorze?

3. Przeczytaj informację w ramce i odpowiedz na pytania.
a) Na którym z rysunków przedstawiono pola widzenia oczu drapieżnika, a na którym – roślinożercy?
b) Czy oczy człowieka są ustawione jak u drapieżnika czy jak u roślinożercy?

A.



B.



4. Wyjaśnij, w jaki sposób w filmie powstaje złudzenie ruchu.

5. Dowiedz się, co oznacza napis „100 Hz" na telewizorze.

6. Dowiedz się, jak działają gogle wirtualnej rzeczywistości. W jaki sposób uzyskuje się w nich elekt widzenia trójwymiarowego?

Drapieżnik musi precyzyjnie zaplanować swój atak. Często, jeśli nie uda mu się dopaść ofiary w czasie kilku pierwszych skoków, straci szansę na posiłek. Dlatego tak ważne dla tych zwierząt jest widzenie trójwymiarowe. Ich oczy są umieszczone z przodu głowy, co pozwala objąć obojgiem oczu jak największą część pola widzenia.
Inaczej jest z roślinożercami. Dla nich ważniejsze jest, aby już z daleka zauważyć drapieżnika. Ich oczy znajdują się zatem po bokach głowy. Pola widzenia obojga oczu pokrywają się w niewielkim stopniu, ale łączne pole widzenia jest większe niż u drapieżników.



Doświadczenia

Jakie to okulary

1. Kiedy będziesz w kinie na filmie trójwymiarowym, przed rozpoczęciem seansu popatrz na lampę najpierw przez jedno, a potem przez drugie szkło okularów.
2. Czy widzisz takie same barwy? Jeśli nie, przekonaj się, czy masz do czynienia z okularami polaryzacyjnymi (do tej części doświadczenia będziesz potrzebować dwóch par okularów).

Polaryzator z kalkulatora

1. Weź zepsuty lub niepotrzebny telefon komórkowy, kalkulator albo zegarek elektroniczny (w trakcie doświadczenia urządzenie zostanie uszkodzone).
2. Rozmontuj urządzenie tak, aby wyjąć wyświetlacz.
3. Ostrożnie zdejmij z wyświetlacza jego wierzchnią warstwę. Najczęściej jest to przezroczysta folia.
4. Przetnij folię na dwie części. Sprawdź, czy są to polaryzatory – jeśli tak jest, to po złożeniu i skrzyżowaniu nie będą przepuszczać światła.
5. Jeśli nie uzyskałeś polaryzatorów, zdejmij kolejną warstwę z wyświetlacza.
6. Zbadaj, jak przez polaryzator wygląda ekran LCD, błękitne niebo i inne świecące obiekty. Przepuść przez niego wiązkę światła ze wskaźnika laserowego. Jak zmienia się jasność obrazu podczas obracania polaryzatora?
7. Możesz poszukać w internecie opisów różnych doświadczeń z polaryzatorami (wpisz w wyszukiwarce „polaryzator doświadczenie" albo „polarizer experiment"). Opisz te, które udało ci się wykonać.

Praca badawcza

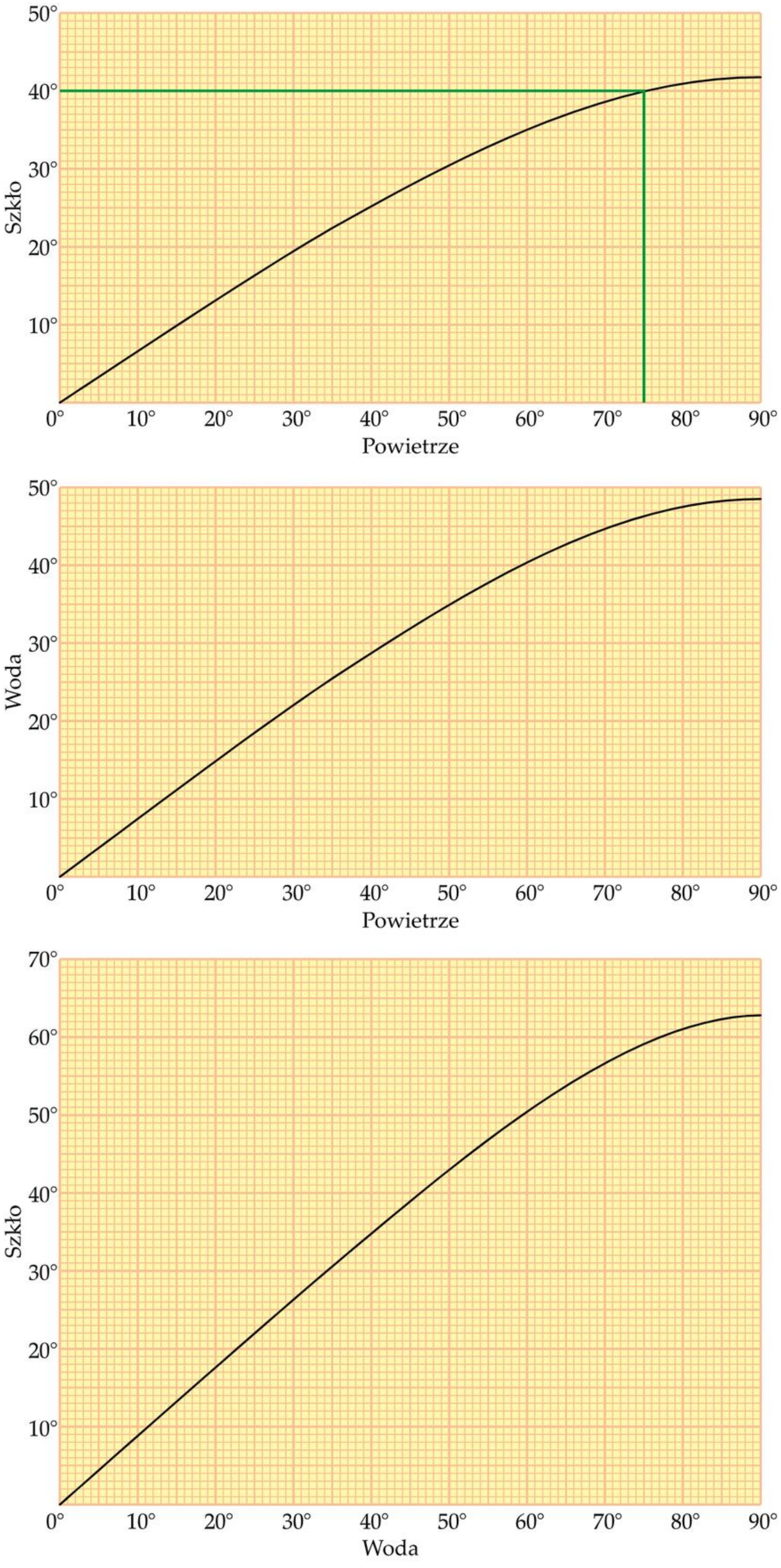
Głośnik



1. Przygotuj cienki drut nawojowy – miedziany przewód w izolacji emaliowej o średnicy 0,1–0,2 mm i długości kilkunastu metrów. Możesz go kupić w sklepie elektronicznym. Jeśli masz niepotrzebny zasilacz, np. ładowarkę od zepsutego lub zgubionego telefonu, możesz go rozmontować, wyjąć transformator i rozwinąć znajdujący się w nim drut.
2. Przygotuj niewielki magnes neodymowy w kształcie pastylki. Takie magnesy można kupić m.in. w sklepach papierniczych, służą bowiem do zawieszania kartek papieru na stalowych tablicach. Można je także zamówić przez internet, wtedy jednak zwykle trzeba znaleźć chętnych, aby wspólnie dokonać większego zakupu.
3. Przygotuj stary magnetofon lub radio. Jeśli urządzenie, którym dysponujesz, ma wyjście głośnikowe z zaciskami, będziesz mógł podłączyć do niego swój głośnik bezpośrednio. Jeśli nie – kup w sklepie elektronicznym odpowiednią wtyczkę.
4. Połóż koniec drutu na desce do krojenia i zeskrob z niego emalię (zob. s. 264). Podobnie oczyść drugi koniec przewodu.
5. Zwiń papier w rurkę o średnicy nieco większej od średnicy twojego magnesu i o długości kilku centymetrów. Ciasno (zwój przy zwoju) nawiń na nią drut, pozostawiając wolne odcinki po kilka centymetrów na końcach.
6. Weź dwa jednakowe kubeczki po serkach lub jogurtach. Muszą mieć taki kształt, aby jeden dał się włożyć w drugi.
7. Zdejmij ostrożnie z papierowej rurki nawinięty zwój drutu i przyklej go taśmą klejącą do dna kubeczka (po jego zewnętrznej stronie).
8. Do dna drugiego z kubeczków (od jego wewnętrznej strony) przyklej magnes. Włóż jeden kubeczek w drugi (patrz zdjęcie). Magnes powinien znaleźć się w środku zwojów.

Głośnik jest gotowy. Pokaż go teraz nauczycielowi albo zawodowemu elektronikowi, który oceni, czy został wykonany poprawnie.
Po sprawdzeniu możesz podłączyć głośnik do magnetofonu lub radia. Mimo dokładnego sprawdzenia nie podłączaj go do drogiego sprzętu.
Nie gwarantujemy wysokiej jakości, ale jeśli wszystko zrobisz starannie, będzie można słuchać muzyki. Nasz głośnik najgorzej przenosił dźwięki gitary, ale piosenki było słychać zupełnie nieźle. Spróbuj zbudować kilka głośników z różnej wielkości kubeczków, a także z innych materiałów.
W jaki sposób wykonać głośnik, który dobrze przenosi dźwięki wysokie, a w jaki – głośnik do basów?

Wykresy zależności kąta załamania od kąta padania dla wybranych substancji



Zielone linie przedstawiają sposób korzystania z wykresu.

- Gdy promień światła pada z powietrza do szkła pod kątem 75°, kąt załamania jest równy 40°.
- Gdy promień światła pada ze szkła do powietrza pod kątem 40°, kąt załamania jest równy 75°.

TABLICA 1. Wielkości fizyczne występujące w podręcznikach dla klas 7–8

Wielkość	Symbol	Definicja lub opis	Wzór	Jednostka	Symbol jednostki
Długość	l	Wielkość podstawowa		metr	m
Droga	s	Długość trasy, którą przebyło ciało		metr	m
Masa	m	Wielkość podstawowa		kilogram	kg
Czas	t	Wielkość podstawowa		sekunda	s
Siła	F	Jak silnie ciała na siebie oddziałują		niuton	$1\,\mathrm{N} = 1\,\mathrm{kg} \cdot \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
Siła ciężkości	Q	Siła, którą Ziemia przyciąga ciało	$Q = m \cdot g$	niuton	N
Prędkość	v	Jaką drogę przebędzie ciało w ciągu sekundy	$v = \frac{s}{t}$	metr na sekundę	$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$
Przyspieszenie	a	Jak szybko zmienia się prędkość ciała; o ile zmieni się prędkość ciała w ciągu sekundy	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	metr na sekundę kwadrat(1)	$\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
Praca	W		$W = F \cdot s$	dżul	$1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$
Energia	E	Miara zdolności do wykonania pracy		dżul	$1\,\mathrm{J} = 1\,\mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$
Moc	P	Praca wykonana w jednostce czasu	$P = \frac{W}{t}$	wat	$1\,\mathrm{W} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s}}$
Temperatura	t			stopień Celsjusza, kelwin	$^\circ\mathrm{C}, \mathrm{K}$
Ciepło właściwe	c	Energia potrzebna do podgrzania 1 kg danej substancji o 1°C	$c = \frac{E}{m \cdot \Delta t}$	dżul na kilogram i na stopień Celsjusza	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg} \cdot {}^\circ\mathrm{C}}$
Ciepło topnienia	c_t	Energia potrzebna do stopienia 1 kg danej substancji	$c_\mathrm{t} = \frac{E}{m}$	dżul na kilogram	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$
Ciepło parowania	c_p	Energia potrzebna do zmiany 1 kg cieczy w parę	$c_\mathrm{p} = \frac{E}{m}$	dżul na kilogram	$\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}$
Gęstość	d	Masa jednostki objętości (np. 1 m^3) danej substancji	$d = \frac{m}{V}$	kilogram na metr sześcienny	$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$
Ciśnienie	p	Siła nacisku na jednostkę powierzchni	$p = \frac{F}{S}$	paskal	$1\,\mathrm{Pa} = 1\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{m}^2}$
Ładunek elektryczny	q	Zdolność ciał do oddziaływania elektrycznego		kulomb(2)	C
Napięcie	U	Określa energię elektryczną, która może się zmienić w inne formy energii, gdy między dwoma punktami obwodu przepłynie ładunek 1 C	$U = \frac{E}{q}$	wolt	$1\,\mathrm{V} = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}$
Natężenie prądu	I	Ilość ładunku przepływającego w ciągu sekundy	$I = \frac{q}{t}$	amper(3)	$1\,\mathrm{A} = 1\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}$
Opór elektryczny	R	Stosunek napięcia między końcówkami przewodnika do płynącego przez niego prądu	$R = \frac{U}{I}$	om	$1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$
Okres drgań	T	Czas trwania pełnego cyklu drgań		sekunda	s
Częstotliwość	f	Liczba cykli przypadających na 1 s	$f = \frac{1}{T}$	herc	$1\,\mathrm{Hz} = \frac{1}{\mathrm{s}}$
Długość fali	λ	Odległość między sąsiednimi grzbietami fali		metr	m
Ogniskowa	f	Odległość ogniska od soczewki		metr	m
Zdolność skupiająca	Z	Jak silnie soczewka skupia światło, odwrotność ogniskowej	$Z = \frac{1}{f}$	dioptria	$1\,\mathrm{D} = \frac{1}{\mathrm{m}}$

TABLICA 2. Gęstość substancji[4]

	Substancja	Gęstość	
		$\frac{g}{cm^3}$ $\left(\frac{kg}{dm^3}\right)$	$\frac{kg}{m^3}$
Gazy	Dwutlenek węgla	0,0018	1,8
	Hel	0,00016	0,16
	Metan	0,00072	0,72
	Powietrze	0,0012	1,2
	Tlen	0,0013	1,3
	Wodór	0,00008	0,08
Ciecze	Aceton	0,79	790
	Benzyna (średnio)	0,72	720
	Gliceryna	1,3	1300
	Olej słonecznikowy	0,92	920
	Rtęć	14	14 000
	Woda	1	1000
	Woda słona (z oceanu – zasolenie 3,5%)	1,03	1030
Ciała stałe	Aluminium (glin)	2,7	2700
	Lit (najlżejszy metal)	0,53	530
	Lód	0,92	920
	Miedź	9	9000
	Ołów	11	11 000
	Srebro	11	11 000
	Stal (średnio)	7,8	7800
	Szkło (średnio)	2,4	2400
	Platyna	21	21 000
	Złoto	19	19 000
	Żelazo	7,9	7900

TABLICA 3. Prędkość dźwięku w temperaturze 20°C

Ośrodek	v, $\frac{m}{s}$
Powietrze	344
Woda	1482
Ołów	2100
Stal	ok. 6000
Diament	18 000

TABLICA 4. Prędkość światła w zależności od ośrodka

Ośrodek	Prędkość światła, $\frac{km}{s}$
Próżnia, powietrze	300 000
Woda	225 000
Szkło	200 000
Lód	230 000
Diament	124 000

TABLICA 5. Ciepło właściwe substancji – ciecze

Substancja	Ciepło właściwe, $\frac{J}{kg \cdot °C}$
Alkohol etylowy	2400
Kwas siarkowy	1400
Rtęć	140
Woda	4200

TABLICA 6. Ciepło właściwe substancji – ciała stałe

Substancja	Ciepło właściwe, $\frac{J}{kg \cdot °C}$	Substancja	Ciepło właściwe, $\frac{J}{kg \cdot °C}$
Cegła	850	Piasek	800
Lód	2100	Szkło	670
Ołów	130	Złoto	130
Miedź	380	Żelazo	450

---

(1) *Jest to skrót od jednostki* $\frac{\frac{m}{s}}{s}$.

(2) *Kulomb definiujemy jako* $1\ A \cdot s$.

(3) *W układzie SI podstawową jednostką jest amper, definiowany za pomocą sił działających między przewodnikami, w których płynie prąd.*

(4) *Wartości podano dla temperatury pokojowej i ciśnienia 1013 hPa. Źródło: Tablice fizyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995.*

TABLICA 7. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

Przedrostek		Znaczenie		Przykłady
G	giga	1 000 000 000	10^9	1 GW (gigawat) = 1 000 000 000 W
M	mega	1 000 000	10^6	1 MHz (megaherc) = 1 000 000 Hz
k	kilo	1000	10^3	1 kN (kiloniuton) = 1000 N
h	hekto	100	10^2	1 hl (hektolitr) = 100 l
da	deka	10	10^1	1 dag (dekagram) = 10 g
d	decy	$\frac{1}{10}$	10^{-1}	1 dm (decymetr) = $\frac{1}{10}$ m
c	centy	$\frac{1}{100}$	10^{-2}	1 cm (centymetr) = $\frac{1}{100}$ m
m	mili	$\frac{1}{1000}$	10^{-3}	1 mg (miligram) = $\frac{1}{1000}$ g
μ	mikro	$\frac{1}{1\,000\,000}$	10^{-6}	1 μm (mikrometr) = $\frac{1}{1\,000\,000}$ m
n	nano	$\frac{1}{1\,000\,000\,000}$	10^{-9}	1 nm (nanometr) = $\frac{1}{1\,000\,000\,000}$ m

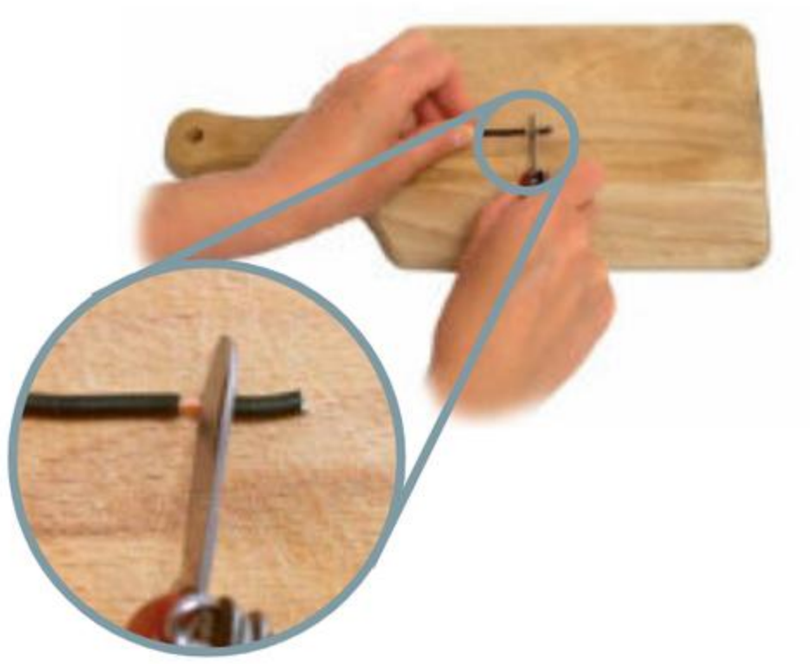
TABLICA 8. Temperatura topnienia i temperatura wrzenia oraz ciepło topnienia i ciepło parowania

Substancja	Temperatura topnienia, °C	Ciepło topnienia, $\frac{kJ}{kg}$	Temperatura wrzenia, °C	Ciepło parowania w temperaturze wrzenia, $\frac{kJ}{kg}$
Woda	0	330	100	2300
Alkohol etylowy	−115	110	78	960
Rtęć	−39	12	357	290
Ołów	328	25	1756	860
Żelazo	1538	270	2800	6300
Wolfram	3420	180	5700	5000

Praktyczne wskazówki dotyczące budowania obwodów elektrycznych

Nawet prosty obwód elektryczny wymaga połączenia wielu przewodów. W szkołach znajdują się gotowe, fabryczne zestawy oprawek do żarówek i ogniw, przełączników i przewodów, którymi można je wygodnie łączyć. Można sobie jednak poradzić bez takiego zestawu.

1. Przyda się kawałek izolowanego przewodu (około 2 m). Można go kupić w sklepie elektrycznym (poproś o miedziany przewód jednożyłowy). Potnij go na odcinki 15–20 cm i zdejmij izolację z ich końców (na długości około 1 cm), nacinając ją nożem na desce do krojenia (uważaj na palce!).



2. Do końców przewodów przyczep spinacze biurowe. Zakręć mocno przewody, wówczas będą się dobrze trzymać.

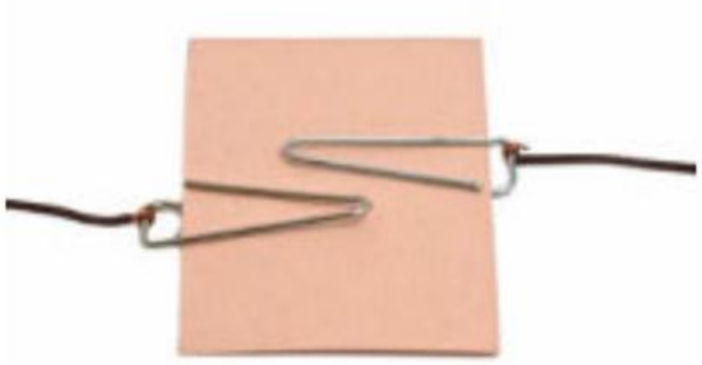
3. Spinacze łatwo przyczepić do biegunów baterii 9 V, końcówek mierników i do innych spinaczy. Do biegunów okrągłych ogniw najłatwiej je przyczepić za pomocą małych magnesów.



4. Do doświadczeń najlepiej używać standardowych żarówek 1,2 V/0,25 A (z gwintem). Aby podłączyć taką żarówkę, zdejmij izolację z jednego końca przewodu na długości 2 cm i okręć go wokół gwintu. Owiń gwint taśmą klejącą (przezroczystą) tak, aby wystawała tylko „stopka" żarówki. Zwiń odizolowaną część drugiego kawałka przewodu w kłębek i przyłóż do „stopki". Całą żarówkę mocno owiń taśmą klejącą. Do pozostałych końców przewodów przyczep spinacze. Możesz też kupić specjalne oprawki.

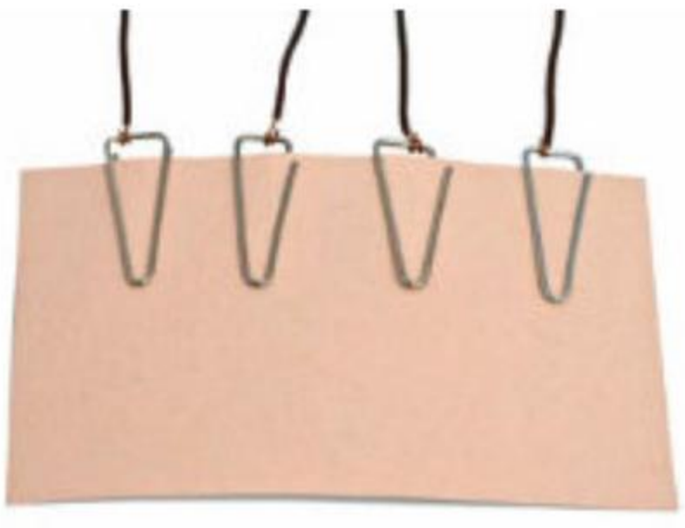


5. Wyłącznik sporządzisz, zakładając dwa spinacze (przyczepione do kabli) na kawałek sztywnego papieru. Przesuwając spinacze, możesz łączyć i rozłączać obwód.

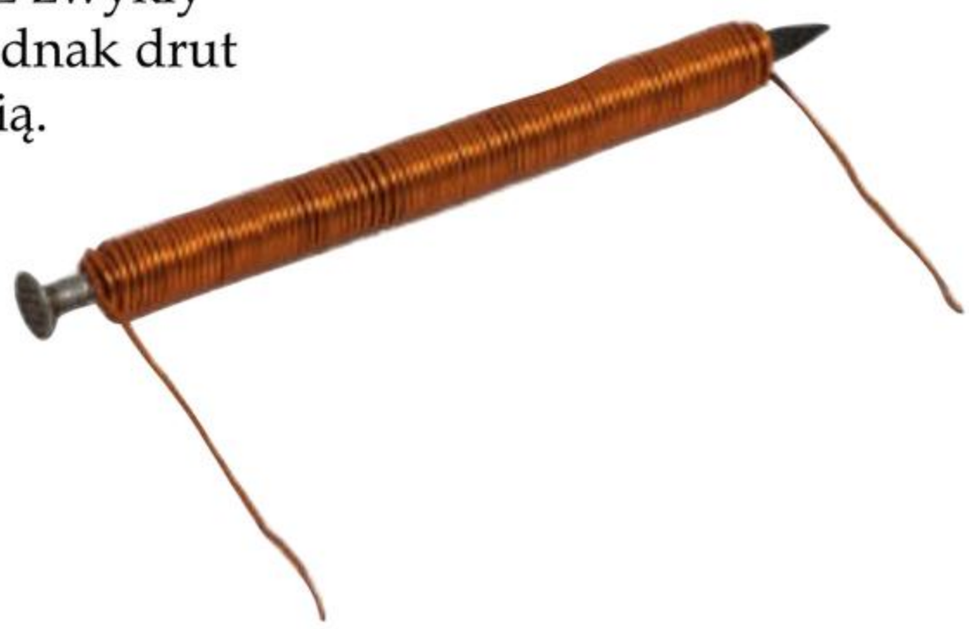




6. Jeśli przewodów w obwodzie jest dużo i zachodzi obawa, że mogą się niepotrzebnie stykać, część spinaczy można przyczepić do tekturki, np. do brzegu kartonowego pudełka.



7. Elektromagnes zbudujesz, nawijając na gwóźdź zwykły przewód w izolacji. Najodpowiedniejszy jest jednak drut nawojowy – miedziany przewód pokryty emalią. Warstwa emalii jest cienka i łatwo nawinąć nawet kilkaset zwojów. Emalię z końca przewodu można zeskrobać, ułożywszy uprzednio przewód na desce do krojenia.



Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

s. 24

Zadanie 5. Rurka ma ładunek +1,6 nC.

s. 43

Zadanie 5. 231 zł.

s. 48

Zadanie 5. a) 0,15 C; **b)** 2 C.
Zadanie 6. a) 24 h; **b)** ok. 0,3%.

s. 53

Zadanie 1. a) 5,04 W; **b)** 187,5 kW.
Zadanie 2. a) 1,75 A.
Zadanie 3. Drętwa.
Zadanie 4. a) 18 000 C; **b)** 1150 W; **c)** 4,14 MJ; **d)** ok. 60 gr.
Zadanie 5. Poniżej 50 μJ.
Uwaga. Energia będzie mniejsza niż 50 μJ, bo w miarę przepływu ładunku zmniejsza się napięcie.
Zadanie 6. Ok. 139 zł.

s. 62

Zadanie 3. a) 0,2 A; **b)** 4,5 V.
Zadanie 4. 4000 ogniw; 0,15 V.
Zadanie 5. 300 mA.

s. 75

Zadanie 2. b) 120 Ω; **c)** 600 Ω.
Zadanie 3. b) 500 μA.
Zadanie 4. a) 0,25 A; **b)** 1 A; **c)** 2,5 A.
Zadanie 5. a) 20 V; **b)** 94 V; **c)** 5 V.

s. 79

Zadanie 1. 470 Ω.
Zadanie 2. b) zielony ok. 67 Ω, czarny 100 Ω, niebieski 200 Ω, czerwony ok. 270 Ω.
Zadanie 4. b) zielony 60 Ω, czarny 50 Ω, niebieski 37,5 Ω, czerwony 12,5 Ω.

s. 84

Zadanie 5. Ok. 1,4 A.

s. 87

Zadanie 3. a) tak; **b)** nie.
Zadanie 5. Nie.

s. 92

Zadanie 5. b) Ok. 300 km.
c) Naszkicuj mapkę, zaznacz biegun magnetyczny, biegun geograficzny oraz południk przechodzący przez biegun magnetyczny i zastanów się, gdzie na mapce może się znaleźć szukany punkt.
d) A może jest takie miejsce, gdzie z każdej strony jest północ?

s. 96

Zadanie 2. Przypomnij sobie, jaką funkcję pełni rdzeń.

s. 112

Zadanie 2. b) ok. 0,08 Hz; **c)** ok. 1,2 Hz; **d)** 50 Hz.
Zadanie 3. c) 1,25 Hz;
d) 75 razy w punkcie B, a w punkcie S więcej razy – ile?

s. 116

Zadanie 4. $f = 0{,}5$ Hz.
Zadanie 5. $f = 2{,}5$ Hz.

s. 121

Zadanie 5. a) 0,4 J.

s. 126

Zadanie 4. Ok. 0,3 Hz, ok. 4,7 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
Zadanie 6. Ok. 4 mm.

s. 130

Zadanie 4. a) ok. 3 s; **b)** ok. 0,7 s; **c)** ok. 0,17 s.
Zadanie 5. a) 1,7 km; **b)** 7,4 km; **c)** 30 km.
Zadanie 6. Skorzystaj z wyniku Zadania 4a.

s. 136

Zadanie 1. „Wyszły w pole kurki trzy"; dla trzeciego dźwięku (g^1) $\lambda \approx 87$ cm.
Zadanie 3. a) ok. 50 kHz; **b)** 150 kHz.
Zadanie 5. „Wlazł kotek na płotek".

s. 142

Zadanie 6. ok. 1,3 s.
Zadanie 7. 200 kHz.

s. 150

Zadanie 2. $\lambda = 3$ cm.
Zadanie 4. Nie jest to możliwe – wyjaśnij dlaczego.

s. 154

Zadanie 2. Tłuczek do ziemniaków.
Zadanie 3. B.
Zadanie 5. a) 3 μm.

s. 177

Zadanie 3. Kąty załamania: **a)** 13°; **b)** 25°; **c)** 35°.
Zadanie 4. Kąt załamania: 13°.
Zadanie 6. Wiązka po przejściu przez szybę jest równoległa do padającej.

s. 181

Zadanie 2. a) $f = +0{,}1$ m; $Z = +10$ D;
b) $f = +0{,}08$ m; $Z = +12{,}5$ D;
c) $f = -0{,}05$ m; $Z = -20$ D.
Zadanie 3. a) $f = +0{,}025$ m; $Z = +40$ D;
b) $f = -0{,}01$ m; $Z = -100$ D;
c) $f = -0{,}05$ m; $Z = -200$ D.
Zadanie 4. a) 25 cm; skupiająca;
b) –5 m; rozpraszająca;
c) ok. –33 cm; rozpraszająca.

s. 188

Zadanie 2. Odległość obrazu od soczewki to 15 cm; soczewka pomniejsza 2 razy.
Zadanie 3. 10 cm.
Zadanie 4. a) $f = 30$ cm; $Z \approx +3{,}3$ D;
b) $f = 10$ cm; $Z = +10$ D.
Zadanie 6. Obraz powstaje w odległości $2f$. Ma taki sam rozmiar jak przedmiot.

s. 191

Zadanie 2. $f = -10$ cm; $Z = -10$ D.
Zadanie 5. Obraz ma długość 1 cm i powstaje 1,5 cm od soczewki.

s. 202–203

Zadanie 1. $\beta = 40°$; $\alpha = \gamma = 50°$.
Zadanie 5. a) 70°; **b)** 30°; **c)** 30°.
Zadanie 6. 30°.
Zadanie 7. Wysokość lustra: 95 cm; górna krawędź lustra na wysokości 185 cm.

s. 210

Zadanie 4. Obraz jest pomniejszony około 4 razy.
Zadanie 5. a) ok. 0,29 R; **b)** ok. 0,42 R.

s. 214

Zadanie 3. Obraz będzie trzykrotnie pomniejszony.

s. 217

Zadanie 3. 320 razy.
Zadanie 4. 4 mm.

s. 225

Zadanie 1. a) żółta; **b)** magenta; **c)** cyjan.
Zadanie 2. a) czerwony; **b)** niebieski;
c) zielony.
Zadanie 3. a) zielona i czerwona; **b)** żółty;
c) czerwony.
Zadanie 4. Żółty.
Zadanie 5. Monika mówi o mieszaniu światła, a Natalia – o mieszaniu farb.
Zadanie 6. Z mieszaniem barw światła.

s. 238

Zadanie 2. Szybkowar skraca czas gotowania i pozwala oszczędzić niezbędną do gotowania energię.
Zadanie 3. Nie trzeba tracić czasu na czekanie, aż kuchnia się rozgrzeje, od razu można gotować. Po zakończeniu gotowania nie można się kuchnią poparzyć.
Zadanie 4. Bezy 130°C; ciasto francuskie 200°C.
Zadanie 5. Temperatura tłuszczu jest wyższa niż 100°C. Woda, która się znajdzie na patelni, nagle zaczyna wrzeć. Ponieważ tłuszcz jest lżejszy od wody, wypływa na wierzch. Gwałtownie wydobywająca się z wody para powoduje rozpryskiwanie się kropelek gorącego tłuszczu.

s. 241

Zadanie 1. Zamienia się w energię wewnętrzną (grzeje się zewnętrzna część lodówki). Lodówka ogrzewa pomieszczenie.
Zadanie 2. Włożenie do zimnej substancji. Gwałtowne rozprężanie gazu.
Zadanie 3. 100 pikokelwinów (rok 2017).
Zadanie 4. Ścianki butelki chłodzą się od rozprężającego się w butelce gazu. Na ściankach skrapla się para wodna z powietrza.

s. 245

Zadanie 1. Szkodliwe: tomografia; nieszkodliwe: pulsykometria, USG, EKG, EEG, rezonans magnetyczny (z pewnymi wyjątkami).
Zadanie 2. Obie metody wykorzystują promieniowanie rentgenowskie. Tomografia umożliwia tworzenie obrazów trójwymiarowych, prześwietlenie – płaskich.
Zadanie 3. Układ nerwowy człowieka używa prądu elektrycznego do przekazywania sygnałów, także do pobudzania do pracy serca. Porażenie prądem zakłóca te sygnały.
Zadanie 4. Pulsykometria – światło widzialne i podczerwień; tomografia – promieniowanie rentgenowskie; USG, Doppler – fale dźwiękowe.

s. 248

Zadanie 1. Włosy mogą zwiększać opór powietrza i spowalniać biegacza. Utrudniają też chłodzenie głowy.
Zadanie 2. Każde przewrócenie płotka zmniejsza prędkość biegacza i wydłuża czas biegu. To wystarczająca kara.
Zadanie 3. W czasie biegu pokonujemy opory powietrza, działamy więc siłą. Poza tym bieg składa się z pojedynczych skoków w górę. Na ich wykonanie tracimy energię.
Zadanie 4. Żeglarze płyną zygzakiem.
Zadanie 5. Samochód miałby większą masę, a więc osiągałby mniejsze przyspieszenie.

s. 252

Zadanie 1. W głośniku i w silniku siła magnetyczna działająca na przewodnik z prądem powoduje ruch. W głośniku są to drgania, a w silniku obrót.
Zadanie 2. Analogowe: A, C; cyfrowe: B, D.
Zadanie 3. A. analogowy; **B.** cyfrowy.
Zadanie 4. Nie spełniałby. Masa magnesu jest znacznie większa od masy cewki. Drgania membrany byłyby tak słabe, że dźwięk byłby niesłyszalny. Nie można by też osiągnąć wysokich częstotliwości drgań.

s. 258–259

Zadanie 1. Ok. 3300 metrów.
Zadanie 3. a) A – drapieżnik; B – roślinożerca; **b)** jak u drapieżnika.
Zadanie 4. Wyświetlanie dużej liczby podobnych klatek powoduje, że mózg odbiera obraz jako płynny ruch między kolejnymi obrazami.
Zadanie 5. Obraz zmienia się 100 razy na sekundę.

A

adapter 250, 251
Alhazen 171
amper 46
amperomierz 54
amplituda drgań 111
— fali 125
aparat fotograficzny 197
atom 17

B

badanie dopplerowskie 244
barwa ciała kolorowego 220
— — przezroczystego 220
— przedmiotu 220
barwy podstawowe 223
— światła 136
bateria 29
bezpiecznik 86
biegun magnetyczny 90, 91
budowa oka 196, 223
bursztyn 27
burza 41, 42

C

camera obscura 170–171
CD 251
ciało białe 172
— czarne 172
— nieprzezroczyste 172
— przezroczyste 172
cień 166
ciepło 12
— właściwe 11
ciężar ciała 10
ciężarek na sprężynie 109, 114
ciśnienie 14
— atmosferyczne 14
— hydrostatyczne 14
CMYK 224
Coulomb Charles 21
cyfrowy zapis obrazu 251
cyjan 223
częstotliwość drgań 111
— fali 125

D

dalekowidz 196
dioptria 180
długość fali 124
domeny magnetyczne 89
drgania 110
— własne 152
droga 7
druga zasada dynamiki 9
DVD 251
dyfrakcja fal 148
dźwięk 127

E

echolokacja 133, 149
EEG 244
efekt cieplarniany 144, 145
efekt Dopplera 244
EKG 244
ekran LCD 254
elektromagnes 93, 94, 95
elektron 17
— swobodny 23
elektroskop 21
elektryzowanie ciał 16, 18
— — przez dotyk 21
— — — potarcie 16
energia 11, 12
— chemiczna 11
— elektryczna 49
— fal elektromagnetycznych 143
— kinetyczna 11
— potencjalna grawitacji 11
— — sprężystości 11, 118
— promieniowania 11
— wewnętrzna 11
— w ruchu wahadła 117

F

fala 122, 127
fale elektromagnetyczne 138
— radiowe 139
fatamorgana 176
film trójwymiarowy 255
Franklin Benjamin 41

G

Galvani Luigi 67
galwanizacja 38
generator Van de Graaffa 39
gęstość 13
Gilbert William 27
głośnik 249

H

herc 111
Hertz Heinrich 138

I

indukcja elektromagnetyczna 25
infradźwięki 132
instrumenty muzyczne 134
interferencja fal 148
izolator 22, 32

J

jądro atomowe 17
jon 35
jonizacja powietrza 39

K

kamera obskura 170–171
kąt odbicia 199, 204
— padania 174, 199, 204
— załamania 174
kelwin 12
kierunek prądu 31
kilowatogodzina 13
kineskop 254
kompas 89
konstruowanie obrazu soczewki rozpraszającej 190
— — — skupiającej 186
— — zwierciadła wklęsłego 208
— — — wypukłego 213
krótkowidz 196
kserograf 24
kuchenka indukcyjna 236
— mikrofalowa 237
kuchnia molekularna 240
kulomb 21

L

lampa LED 40
laser 165, 218, 219
linie wysokiego napięcia 47
lodówka 239
luneta astronomiczna 215
— ziemska 217
lupa 183

Ł

ładunek elektryczny 17, 20

M

magenta 223
magnes 88
— neodymowy 88
magnetofon 251
Marconi Guglielmo 138
maszyna elektrostatyczna 39
Maxwell James 138
miernik uniwersalny 56
mieszanie farb 223
mikrofale 139
mikroskop 216
moc 13
— prądu elektrycznego 49, 55
modulacja amplitudowa (AM) 251
— częstotliwości (FM) 252

N

nadfiolet 140
napięcie elektryczne 29, 44, 55
— przemienne 81
— skuteczne 82
natężenie 55
— prądu 44
— skuteczne 82
neutron 17
nietoperz 149
niuton 8

O

obiektyw 215
obraz odwrócony 193
— pozorny 184, 187
— prosty 184
— rzeczywisty 182, 184
obraz tworzony przez soczewkę rozpraszającą 189
— — — skupiającą 182
— w zwierciadle płaskim 201
— — wklęsłym 205
— — wypukłym 212
obwody elektryczne 29
odbicie światła 169
odblaski 201
Oersted Hans Christian 93
ognie św. Elma 43
ognisko pozorne soczewki 180, 189
— — zwierciadła 211
— soczewki 179
— zwierciadła 205
ogniskowa oka 192
— soczewki 179
— zwierciadła 205
ogniwo 29
Ohm Georg 73
oko 192
okres drgań 111
— fali 125
okular 215
okulary 196
om 73
opornik 73
opór elektryczny 72
— —, wyznaczanie 77
oś optyczna 178

P

paskal 14
pierwsza zasada dynamiki 9
piorun 41
piorunochron 41
podczerwień 140
podkręcanie piłki 247
podstawowe barwy światła 223
— kolory farb 224
polaryzacja światła 256–257
połączenie równoległe baterii 59
— — odbiorników 60
— szeregowe baterii 58
— — odbiorników 59
położenie równowagi 108, 110, 119
porażenie elektryczne 83
półcień 166, 167
praca 12
— prądu elektrycznego 49
prawo Archimedesa 13
— odbicia 119
— Ohma 72
— Pascala 14
— załamania 176
prąd elektryczny 28, 31
— w cieczach 35
— w gazach 39
prądnica 29
prędkość 7
— dźwięku 129
— fali 125
— średnia 7
— światła 141
projektor kinowy 253
promieniowanie cieplne 143
— gamma 141
— rentgenowskie (promieniowanie X) 141
— ultrafioletowe (nadfioletowe) 140
promień światła 165
proton 17
pryzmat 176, 219
przemiany energii w ruchu drgającym 117
prześwietlenie 242
przewodnik 22, 32
przyspieszenie 8, 9
pulsoksymetr 242
punktowe źródło światła 167

R

radar 149
rdzeń elektromagnesu 94
rezonans 152
— magnetyczny 94
Roentgen, Wilhelm 242
rozpraszanie światła 200
rozszczepienie światła 218
ruch drgający 108
— jednostajnie przyspieszony 8
— jednostajny 7

S

siatkówka oka 192
sieć elektryczna 81
— —, ochrona 85
silnik elektryczny 97
siła 8
— ciężkości 10
— elektryczna 18, 28
— magnetyczna 88, 95, 97
— wypadkowa 9
— wyporu 13
sinusoida 114
składanie barw 222
Skłodowska-Curie Maria 242
skrzydło 247, 248
soczewka oka 192
— wklęsła 178
— wypukła 178
spadek swobodny 10
stany skupienia 10
symbole elektryczne 32
Symmer Robert 18
szkło powiększające 184
szybkowar 237

Ś

światło 139, 164
— białe 218
świetlówka 39

T

tarcie 10
tęcza 219
tęczówka 193, 197
tomografia 243
trzecia zasada dynamiki 9
twardy dysk 95

U

ugięcie fali 147
ultradźwięki 132
ultrafiolet 140
ultrasonografia 243
USG 243, 244
uziemienie 83

V

Volta Alessandro 67

W

wady wzroku 196
wahadło 108, 109
wat 51
wiązka rozbieżna 165
— równoległa 165
— światła 165
— zbieżna 165
wolt 45
woltomierz 54
wykres drgań 113, 114
— dźwięku 128
— ruchu drgającego 113, 131
wyładowania atmosferyczne 40
wyłącznik różnicowoprądowy 87
wysokość dźwięku 131
wzmacniacz 250

Z

załamanie światła 174
zapis analogowy 250
— cyfrowy 251
zasada zachowania energii 11
— — ładunku 21
zasady dynamiki 9
zasilanie awaryjne 85
zdolność skupiająca 180
zwarcie 30
zwierciadła płaskie 199
— wklęsłe 204
— wypukłe 211

Ź

źrenica 193
źródło napięcia 29
— światła 164

Ż

żarówka 39
żeglarstwo 248

Zdjęcie na okładce: Getty Images/CORBIS/David Pu'u.

Zdjęcia: **Archiwum wydawnictwa** s. 225; **BE&W**: Alamy Stock Photo - agefotostock s. 59, Alvey & Towers Picture Library s. 7 (pociąg), blickwinkel s. 126, blickwinkel/Hecker s. 154 (żuk), BSIP SA s. 244 (badanie dopplerowskie nóg), Dorling Kindersley ltd s. 206 (promiennik ciepła), Jeff Gilbert s. 75, Jeff Rotman s. 165 (krewetka), Jochen Tack s. 27 (bursztyn), Phil Degginger s. 165 (robaczek świętojański), sciencephotos s. 39 (generator), Steven May s. 29 (tramwaj), BSIP RM/AJ PHOTO s. 244 (EEG), Heritageimages - Ann Ronan Pictures s. 41 (B. Franklin), English Heritage s. 207 (muszla koncertowa), Oxford Science Archive s. 93 (H.C. Oersted), s. 138 (J. Maxwell), ImageBroker RM/Jaime Abecasis s. 67 (A. Volta), PHOTONONSTOP SDP/Daniele Schneider s. 72 (osioł), Photos12.com s. 21, 67 (L. Galvani), Science Source - Charles D. Winters s. 35 (halit), Mark Burnett s. 16 (generator), MerlinTuttle.org s. 133 (nietoperz), Richard T. Nowitz s. 35 (węgorz elektryczny), Science Source s. 73 (G. Ohm), Universal Images Group/Universal History Archive/UIG s. 141 (zdjęcie rentgenowskie); **Depositphotos**: Albo73 s. 24 (kserokopiarka), Djemphoto s. 50 (mp3), mirusiek s. 51 (czajnik), Pakhnyushchy s. 185 (kropla wody), Sabphoto s. 169 (chłopiec czytający książkę), vencav s. 199 (zimowy krajobraz), Zoommer s. 47 (telefon); **East News**: Science Photo Library/CNU s. 221 (pięciornik żółty w nadfiolecie), UIG Art and History/Universal History Archive/Universal Images Group s. 205; **Forum:** IMAGE ASSET MANAGEMENT Ltd s. 242 (M. Skłodowska-Curie); **Getty Images**: Chip HIRES/Gamma-Rapho s. 124 (trzęsienie ziemi), Corbis/Fuse s. 244 (EKG), iStock/Getty Images Plus - brightstorm s. 213, greatpapa s. 50 (latarka), oorka s. 145, Tetra Images/Hill Street Studios s. 134-135 (chłopiec grający na trąbce), The Image Bank/Zia Soleil s. 107, Universal Images Group/Universal History Archive s. 42; **Indigo**: agefotostock - Marevision s. 37, SGM s. 141 (wybuch atomowy); **Panthermedia:** CHIRON s. 178 (obiektyw), Lebus s. 174 (woda w basenie), Peter Wienerroither s. 215 (teleskop), Stephan.Klapszus s. 251 (płyta CD); **Shutterstock:** aaltair s. 194-195 (sowa), Abhindia s. 172 (chryzantema), AEPhotographic s. 194 (foka), Aerodim s. 11 (grzejnik), Aertman s. 77 (układ scalony), ajt s. 58, Alaettin YILDIRIM s. 114, AlessandroZocc s. 195 (salamandra), Alexander Kolomietz s. 216 (luneta), alexandru UsPhoto s. 133 (USG), Alexey Boldin s. 194 (smartfon), Alin Brotea s. 164, alysta s. 252 (czytnik płyt CD), Amber McNamara s. 117, Amy Johansson s. 219 (tęcza), Andrei Nekrassov s. 54 (woltomierz), Andriano s. 186, Angela Royle s. 211 (zwierciadło wypukłe), Anita Colic s. 235, Anke van Wyk s. 132, Anna Stakanova s. 252 (radio), Anton Balazh s. 236 (garnki), Anton Gvozdikov s. 49 (grzejnik), Anton_Ivanov s. 160 (Titanic), Artesia Wells s. 176 (miraż na drodze), Artography s. 81, Asparuh s. 51 (telewizor LCD), Axtem s. 86 (wyłącznik różnicowoprądowy), Babyboom s. 9 (spadochroniarz), Barone Firenze s. 253 (oglądanie filmu), Bo Valentino s. 193 (oko), borzywoj s. 41 (piorunochron), Brandy McKnight s. 125, cameilia s. 194 (królik), camilla$$ s. 134 (dziewczynka grająca na flecie), Carlos E.Santa Maria s. 246 (biegnąca kobieta), ch123 s. 120 (zegar mechaniczny), Chepko Danil Vitalevich s. 93 (dysk komputera), s. 95, ChiccoDodiFC s. 13 (licznik energii), Claudio Divizia s. 252 (magnetofon), Claudiu Mihai Badea s. 82, Corepics VOF s. 143 (szklarnia), Criben s. 139, Crok Photography s. 246 (skuter wodny), Dabarti CGI s. 9 (ciężarówka), David Hyde s. 47 (pralka), David Tadevosian s. 245, Debbie Oetgen s. 195 (żaba), Denis Tabler s. 85 (bezpieczniki), dmitriyd s. 50 (dioda), Ed Berlen s. 169 (kobieta czytająca książkę na plaży), Ekaterina Naymushina s. 47 (lampa), Elnur s. 198 (okulary czerwone), Ethan Daniels s. 133 (humbak), FiledIMAGE s. 13 (balon), FloridaStock s. 189, Garsya s. 25 (burza), Gordana Sermek s. 97 (samochodziki elektryczne), Graham Bloomfield s. 136, Grin Maria s. 206 (antena satelitarna), Hugh Lansdown s. 131, Ihar Linnik s. 194 (łąka), ILYA GENKIN s. 138 (teleskop), Inessa.S s. 11 (ognisko), iodrakon s. 39 (iskra elektryczna), Iraidka s. 134 (fortepian), Isaak s. 34 (trolejbus), Jacek Chabraszewski s. 108 (hustawka), James BO Insogna s. 53, James Doss s. 140, Jaywarren79 s. 253 (taśma filmowa), Johann Helgason s. 104, Jostein Hauge s. 73 (oporniki), JPOX-studio s. 231, Judy Crawford s. 120 (zegar atomowy), Karen Grigoryan s. 172 (odbicie choinki w szybie), Katrina Brown s. 153 (chłopiec grający na trąbce), Katrina Leigh s. 134 (fortepian, mechanizm młoteczkowy), keko64 s. 74, kotya21 s. 221 (pięciornik żółty), krigo s. 20 (gniazdo bociana), Ksander s. 48, Kuznetsov Alexey s. 11 (samochód), l i g h t p o e t s. 165 (laser), Leonid Shcheglov s. 239 (produkcja lodów), Levent Konuk s. 242 (lekarze), LianeM s. 124 (fale morskie), Lighthunter s. 71, Lillian Tveit s. 13 (koparka), liveostockimages s. 195 (wyrak), loskutnikov s. 176 (fatamorgana na pustyni), Luckylmages s. 257 (widzowie w kinie), maggee s. 40 (lampa LED), Marcin-linfernum s. 163, marlee s. 83 (elektrownia), Mattia Terrando s. 39 (żarówka), Mayskyphoto s. 224, Michael Rahel s. 217 (Księżyc), michael sheehan s. 122 (fale morskie), MihaiDancaescu s. 195 (lemur), Mike Flippo s. 135 (bębenek), Mila Atkovska s. 222 (dyskoteka), Mile Atanasov s. 85 (zasilacz), Mny-Jhee s. 54 (układ scalony), muzsy s. 247, My Portfolio s. 173, Nejron Photo s. 167, Nerthuz s. 51 (tramwaj), New SIGHT Photography s. 14 (statek), nikkytok s. 60, Nola Rin s. 15, paintings s. 243 (obraz mózgu), paul prescott s. 44 (lampy w holu lotniska), Paul S. Wolf s. 140 (humbak), Petinov Sergey Mihilovich s. 206 (reflektor), Petrenko Andriy s. 63, 100, 155, 226, Petronilo G. Dangoy Jr. S. 88 (pociąg), Philip Lange s. 110 (silnik), s. 120 (zegar elektroniczny), Photohunter s. 193 (kot), photostar72 s. 249, Pixel 4 Images s. 254 (projektor filmowy), _plamens art. s. 129, Planner s. 50 (zegarek), Potapovpaladin s. 51 (świetlówka), Radoslaw Maciejewski s. 47 (lokomotywa), s. 51 (lokomotywa), Rafa Irusta s. 240, Ragnarock s. 252 (telefon komórkowy), Robert Kneschke s. 236 (gotowanie), Roger.083 s. 214, Rolaks s. 56, Rui Manuel Teles Gomes s. 90 (rudzik), samoshkin s. 237, Sara Robinson s. 216 (mikroskop), Sashkin s. 13 (korona), sasimoto s. 194 (kwiaty), Scenic Shutterbug s. 259, science photo s. 113 (oscyloskop), Serg64 s. 230, Sherri R. Camp s. 257 (gogle narciarskie), sil63 s. 47 (latarka), skaljac s. 14 (spychacz), sonya etchison s. 152 (hustawka), Stanislav Spurny s. 198 (okulary czarne), stephane106 s. 34 (kombinerki), Stephen Mcsweeny s. 243 (USG jamy brzusznej), Steve Photography s. 49 (wiatraki), Steven Coling s. 12 (gotująca się woda), StockPhotosArt s. 143 (grzejnik), Subbotina Anna s. 11 (herbata), Sven Hoppe s. 192, Svetlana Danilova s. 182 (szklana kula), Taiga s. 248, Tatiana Popova s. 195 (aparat fotograficzny), Tatiana Popova s. 45, Teerayut Somprasong_ s. 11 (zapora), Terrance Emerson s. 7 (samoloty), Tom Denham s. 256 (pszczoła), Tomasz Wozniak s. 152 (most), Tongra Jantaduang s. 110 (struny), Tono Balaguer s. 204, Tyler Olson s. 94 (tomografia), Valentin Valkov s. 239 (maszynka do lodów), valzan s. 11 (sprężyna), vesilvio s. 127, Victoria Shapiro s. 193 (źrenica), Ville heikkinen s. 10 (znak), Vinokurov Alexandr s. 86 (bezpiecznik samochodowy), Vlad61 s. 218, Vladimir Wrangel s. 62, VladKol s. 83 (gniazdo elektryczne), Vlas Telino studio s. 251 (płyta analogowa), wabeno s. 254 (telewizor kineskopowy), Wall to wall s. 153 (kieliszek), White Smoke s. 255, windmoon s. 9 (karateka), xavier gallego morell s. 135 (dziewczynka grająca na gitarze), Yauhen_ s. 10 (samochód); **Thinkstock/Getty Images:** iStockphoto - s. 242 (pulsoksymetr), Alesik s. 149, granata1111 s. 147 (fale na wodzie), Stocktrek Images s. 146 (strażacy); **Adam Brzoza** s. 89 (doświadczenie kompas i magnes); **Anna Budzyńska** s. 12 (dłoń); **Agnieszka Żak** s. 16 (doświadczenie), s. 17, 19, 20 (doświadczenie), s. 22, 24 (doświadczenie), s. 25 (doświadczenie), s. 26, 27 (doświadczenia), s. 29 (bateria), s. 30, 33, 36, 38, 40 (świetlówki, elektroskop), s. 43, 44 (wodospad), s. 55, 57, 70, 72 (doświadczenie), s. 76, 77 (doświadczenie), s. 80, 87, 88 (magnes neodymowy), s. 89 (kompas), s. 90 (doświadczenie), s. 92, 93 (doświadczenie), s. 94 (elektromagnes), s. 96, 97 (doświadczenie), s. 99, 106, 108 (doświadczenie), s. 113 (doświadczenie), s. 116, 118, 122 (doświadczenie), s. 130, 137, 142, 144, 146 (doświadczenie), s. 147 (doświadczenie), s. 148, 151, 152 (doświadczenie), s. 154 (doświadczenie), s. 166, 169 (doświadczenie), s. 170, 171, 174 (doświadczenie), s. 176 (pryzmat), s. 177, 178 (soczewki), s. 179, 182 (doświadczenie), s. 183, 185 (doświadczenie), s. 194 (camera obscura), s. 198 (doświadczenie), s. 199 (doświadczenie), s. 200, 203, 207 (odbicie w zwierciadle wklęsłym), s. 208, 211 (doświadczenie), s. 212, 215 (doświadczenie), s. 217 (doświadczenie), s. 219 (doświadczenie), s. 220, 222 (doświadczenie), s. 234 (mikroskop), s. 256 (polaryzator), s. 257 (polaryzator i obraz z laptopa), s. 260, 264, 265; **Marcin Braun** s. 234 (owad).

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania, mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępuje zgodnie z art. 27^1 ust. 1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

	Imię i nazwisko	Klasa	Rok szkolny	Podpis
1.	.....	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....	.....

To jest fizyka

nowa era | neon

Elektrostatyka i prąd elektryczny

Napięcie elektryczne	$U = \frac{E}{q}$	E – energia elektryczna q – ładunek elektryczny
Natężenie prądu elektrycznego	$I = \frac{q}{t}$	q – ładunek elektryczny t – czas, w którym ładunek q przepłynął
Praca prądu elektrycznego	$W = U \cdot q$ $W = U \cdot I \cdot t$	U – napięcie elektryczne q – ładunek elektryczny I – natężenie prądu elektrycznego t – czas przepływu prądu
Moc prądu elektrycznego	$P = U \cdot I$	U – napięcie elektryczne I – natężenie prądu elektrycznego
Szeregowe połączenie baterii	$U = U_1 + U_2 + \ldots$	$U_1, U_2, \ldots$ – napięcia elektryczne na bateriach

Elektryczność i magnetyzm

Opór elektryczny	$R = \frac{U}{I}$	U – napięcie elektryczne I – natężenie prądu elektrycznego

Drgania i fale

Częstotliwość w ruchu drgającym	$f = \frac{1}{T}$	T – okres w ruchu drgającym
Prędkość fali	$v = \frac{\lambda}{T}$	λ – długość fali T – okres w ruchu drgającym

Optyka

Zdolność skupiająca	$Z = \frac{1}{f}$	f – ogniskowa
Prawo odbicia	$\alpha = \beta$	α – kąt padania β – kąt odbicia

Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-4953-7
9 788326 749537