Piotr Nieżurawski
Iwona Szczepańska

To nasz świat

Fizyka 8

Podręcznik dla klasy ósmej szkoły podstawowej

gdańskie
wydawnictwo
oświatowe

Projekt graficzny: *Jarosław Zakrzewski*
Redakcja: *Maria Hoffmann, Kamila Woronicz*
Konsultacja merytoryczna: *Małgorzata Dzięcielska, Elżbieta Koziróg*
Korekta: *Anna Maria Sarmiento*
Grafika komputerowa: *Leszek Jakubowski, Jarosław Zakrzewski*
Ilustracje: *Bartłomiej Brosz*
Fotoedycja: *Joanna Głębocka, Jakub Swerpel*
Skład (TEX): *Joanna Szyller*

Książka jest zgodna z programem *To nasz świat. Fizyka* i obowiązującą podstawą programową.

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników szkolnych przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki na poziomie klasy VIII szkoły podstawowej, na podstawie recenzji rzeczoznawców: mgr Izabeli Okrzesik-Frąckowiak, dr. Stanisława Jakubowicza i mgr. Klemensa Stróżyńskiego. Numer dopuszczenia: 1161/2/2024

Autorką lekcji dodatkowych jest Elżbieta Koziróg.

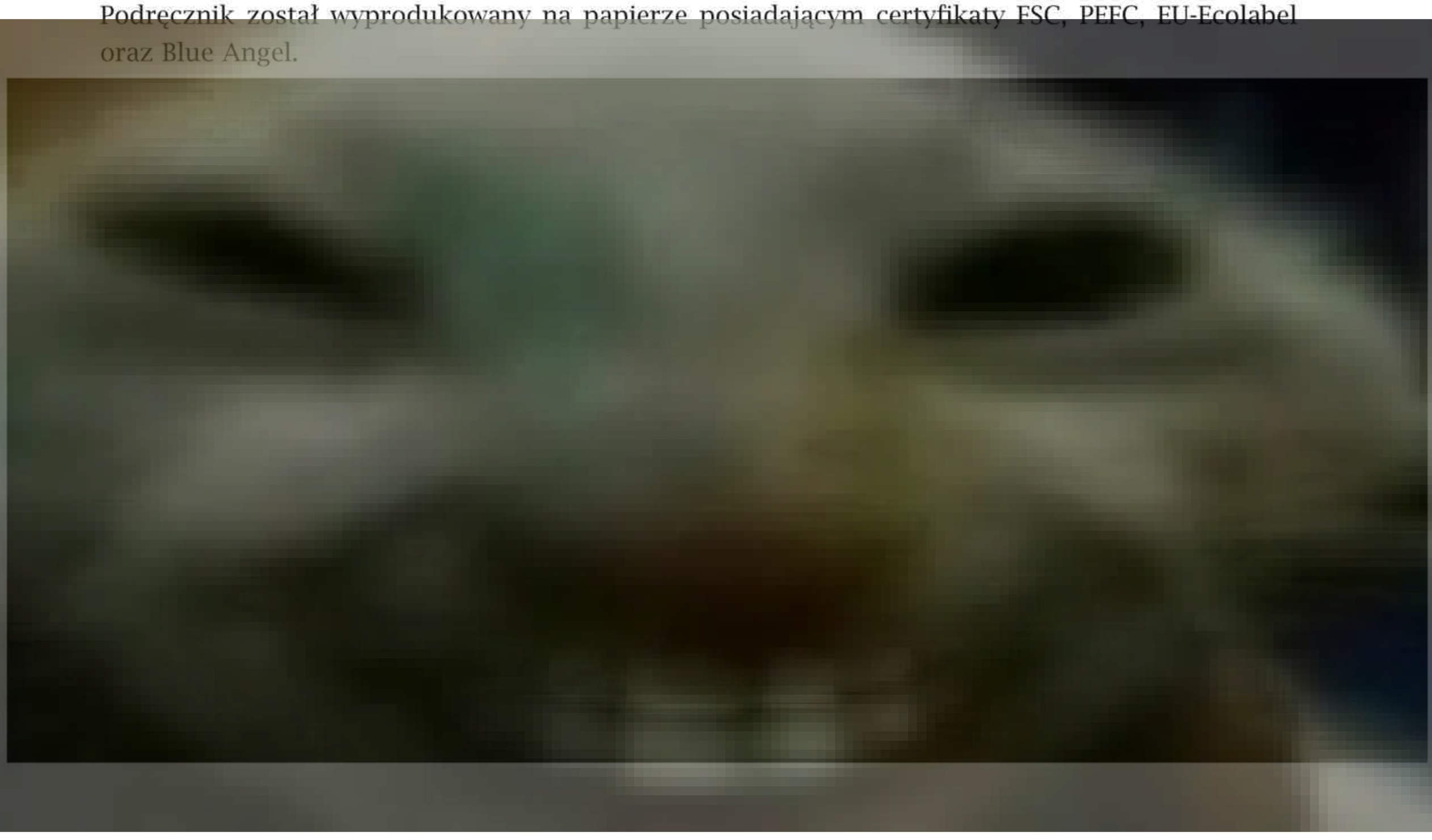
ISBN 978-83-8118-648-3

© Copyright by Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe

Wydawca: Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe, 80-309 Gdańsk, al. Grunwaldzka 413

Gdańsk 2024. Wydanie pierwsze
Druk i oprawa: Interak, Czarnków

Podręcznik został wyprodukowany na papierze posiadającym certyfikaty FSC, PEFC, EU-Ecolabel oraz Blue Angel.



Spis treści

Wstęp — Fizyka na wakacjach 5

Zjawiska cieplne

1. Temperatura 10
2. Energia wewnętrzna 15
3. Przewodnictwo cieplne i konwekcja 21
4. Ciepło właściwe 27
5. Wyznaczanie ciepła właściwego 32
6. Zmiany stanów skupienia 37

Powtórzenie 44

Elektryczność

7. Elektryzowanie 52
8. Ładunek elementarny 57
9. Przewodniki i izolatory 63
10. Indukcja elektrostatyczna 70
11. Prąd elektryczny — natężenie 77
12. Praca prądu i napięcie elektryczne 83
13. Opór elektryczny 89

Lekcja dodatkowa. Obwody elektryczne 95

14. Praca i moc prądu 100

Powtórzenie 108

Magnetyzm

15. Magnesy 116
16. Magnes i prąd elektryczny 122
17. Elektromagnesy 127
18. Silniki elektryczne 132

Lekcja dodatkowa. Indukcja elektromagnetyczna 136

Powtórzenie 140

Trzeci Festiwal Fizyki 147

Drgania i fale

19. Drgania 156
20. Drgania — przemiany energii 162
Lekcja dodatkowa. Zjawisko rezonansu 169
21. Fale mechaniczne 173
22. Dźwięk 179
Powtórzenie 186

Optyka

23. Fale elektromagnetyczne 192
24. Światło i cień 198
25. Odbicie i rozproszenie światła 203
26. Zwierciadła płaskie 207
27. Zwierciadła sferyczne wklęsłe 212
28. Zwierciadła sferyczne wypukłe 219
29. Załamanie światła 225
30. Soczewki wypukłe 231
31. Soczewki wklęsłe i wady wzroku 238
Lekcja dodatkowa. Układy optyczne 244
32. Rozszczepienie światła 249
Powtórzenie 254

Czwarty Festiwal Fizyki 261

Zakończenie — Co jeszcze przed tobą... 271

Tabele fizyczne 275

Skorowidz 277

Odpowiedzi 279

W podręczniku przyjęto następujące oznaczenia:

Znak oznacza zadanie nietypowe (niekoniecznie trudne).

Znak oznacza zadanie o charakterze doświadczalnym.

Treści usunięte z podstawy programowej w 2024 r.

Fizyka na wakacjach

W pierwszą sobotę po wakacjach Weritka i Hasto odwiedzają przyjaciół, rodzeństwo Dubi i Frago.
— Obejrzycie zdjęcia z naszej wyprawy polską Amazonką? — proponuje Frago.
— Chętnie, a co to za Amazonka? — zaciekawia się Hasto.
— Tak jest nazywana Biebrza. Trzy dni pływaliśmy po niej tratwą. Popatrzcie! — Frago pokazuje kilka zdjęć.
— Ale super! Ciekawa sprawa, bo my też mieliśmy przygodę z tratwą, tylko mniejszą — mówi Hasto. — Wasza to olbrzym. Jaką miała masę?
— Właściciel tratwy powiedział, że razem z nami prawie półtorej tony. Nie zgadniecie, skąd to wiedział! — odpowiada Dubi.
— No skąd? Ważył tratwę i was przed wejściem na pokład? — docieka Hasto.
— Nie — śmieje się Dubi. — Pokład był ledwie zanurzony w wodzie. A pod nim było przymocowanych 80 pustych dwudziestolitrowych butli i stąd to wykombinował.
— No, tak. 80 zanurzonych dwudziestolitrowych butli wypierałoby 1600 litrów wody, czyli 1600 kilogramów… — Weritka szybko liczy w pamięci.
— A wy mieliście wędrować po lasach. Tam natrafiliście na tratwę? — nie dowierza Frago.
— Z leśnej wycieczki nic nie wyszło. Rodzice musieli wracać do pracy, a nas wysłali do wujka nad jezioro Kisajno. To koło Giżycka — wyjaśnia Weritka.

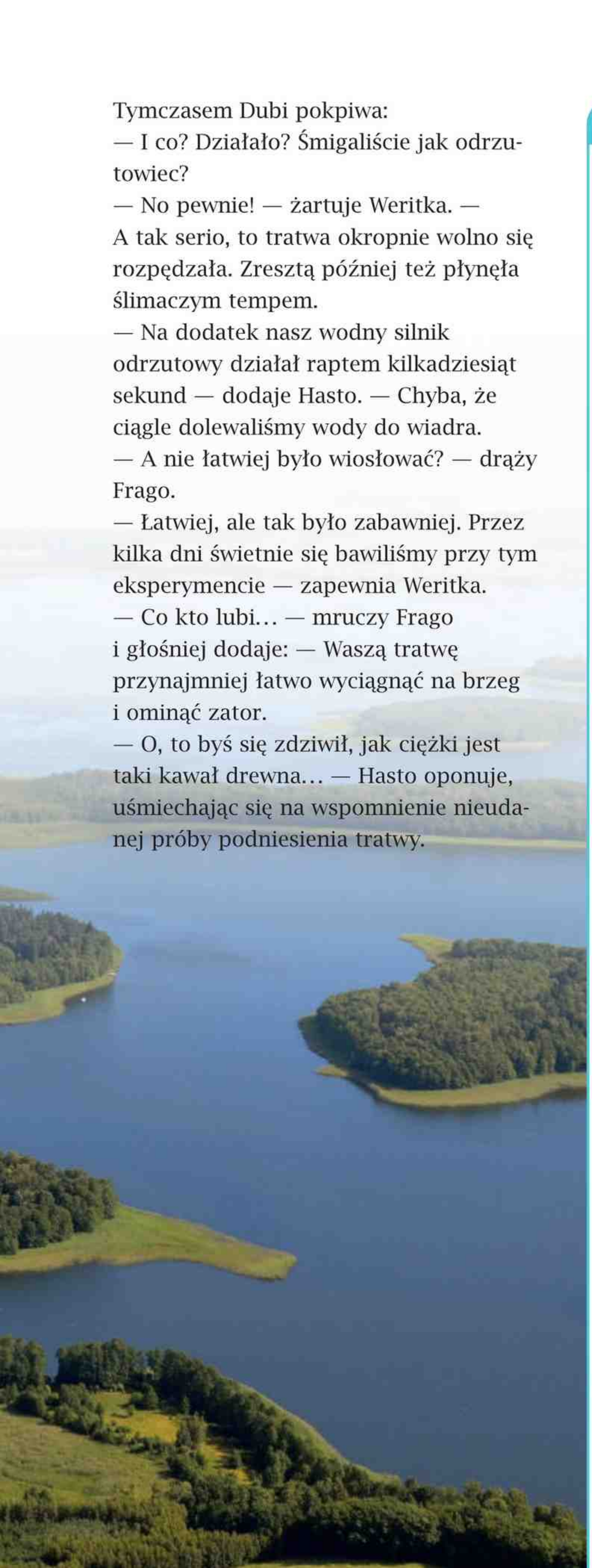




— Wujek ma stolarnię. Razem z nim zbudowaliśmy niedużą tratwę — dodaje Hasto.
— Niedużą, czyli jaką? — dopytuje Dubi.
— Miała tylko dwa metry na półtora — odpowiada Hasto, biorąc ołówek i kartkę.
— Hasto chciał z niej zrobić łódź odrzutową, więc ustawiliśmy wiadro ogrodowe, z którego woda wylewała się wężem… — Weritka objaśnia schemat rysowany przez Hasto.
— To chyba niemożliwe, żeby taka mała tratwa utrzymała was oboje — powątpiewa Dubi. — Jaka była grubość tych belek? Pewnie woda zalewała pokład.
— Belki miały 20 centymetrów. I zdziwisz się, ale nawet gdy na tratwie byłem ja,

Weritka i czterdziestolitrowe wiadro pełne wody, to jeszcze z 6 centymetrów wystawało nad wodę. Mierzyłem linijką! — zapewnia Hasto.
— No dobra, ale jak to działało? Gdzie tu silnik odrzutowy? — dopytuje Frago.
— Zobacz. Skoro woda wylatuje z tratwy do tyłu, to tratwa musi na nią działać siłą w tamtą stronę. Ta wylatująca woda musi działać na tratwę siłą w przeciwną stronę, czyli w przód — tłumaczy Hasto.
— Nie rozumiem — mówi Frago.
— Skoro woda wypływa w kierunku poziomym, bo wylatuje przez wąż, to znaczy, że na tę porcję wody musi działać pozioma siła, wypychająca ją z węża — tłumaczy powoli Hasto. — Na wodę poziomą siłą mogą działać tylko wąż lub wiadro, a to część tratwy. Skoro część tratwy działa na porcję wody siłą, to woda działa na tratwę siłą przeciwnie zwróconą. I mamy zjawisko odrzutu.

Tymczasem Dubi pokpiwa:
— I co? Działało? Śmigaliście jak odrzutowiec?
— No pewnie! — żartuje Weritka. — A tak serio, to tratwa okropnie wolno się rozpędzała. Zresztą później też płynęła ślimaczym tempem.
— Na dodatek nasz wodny silnik odrzutowy działał raptem kilkadziesiąt sekund — dodaje Hasto. — Chyba, że ciągle dolewaliśmy wody do wiadra.
— A nie łatwiej było wiosłować? — drąży Frago.
— Łatwiej, ale tak było zabawniej. Przez kilka dni świetnie się bawiliśmy przy tym eksperymencie — zapewnia Weritka.
— Co kto lubi… — mruczy Frago i głośniej dodaje: — Waszą tratwę przynajmniej łatwo wyciągnąć na brzeg i ominąć zator.
— O, to byś się zdziwił, jak ciężki jest taki kawał drewna… — Hasto oponuje, uśmiechając się na wspomnienie nieudanej próby podniesienia tratwy.



Czas na zadania!

i $g = 10\ \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 10\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$
Przyjmij gęstość wody $1\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{l}} = 1000\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$.

Zadanie 1. *Tonowa tratwa*

Na wodzie unosi się nieruchoma tratwa o masie 1000 kg.

a) Jakie siły działają na tratwę i jak są zwrócone? Jaka jest wartość siły wypadkowej działającej na tratwę?

b) Oblicz ciężar tratwy.

c) Jaka jest wartość siły wyporu działającej na tratwę?

i $F_g = m \cdot g$

Zadanie 2. *Sosnowa tratwa*

Tratwa Hasto i Weritki była wykonana z drewna o gęstości $400\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ i miała kształt prostopadłościanu o wymiarach $2\ \mathrm{m} \times 1{,}5\ \mathrm{m} \times 20\ \mathrm{cm}$.

a) Oblicz objętość, masę i ciężar tratwy.

b) Oblicz wartość siły wyporu działającej na tratwę przy pełnym zanurzeniu.

i $m = V \cdot d,\ F_w = V_w \cdot d \cdot g$

Zadanie 3. *Zanurzenie*

Na tratwę opisaną w zadaniu 2. weszli Weritka o masie 60 kg i Hasto o masie 75 kg. Na pokładzie umieścili także wiadro z wodą o łącznej masie 45 kg. Tratwa była nieruchoma oraz obciążona równomiernie — jej pokład był poziomy.

a) Oblicz masę tratwy z załogą i ładunkiem.

b) Oblicz masę wody wypartej przez tratwę, gdy jej zanurzenie to 14 cm, a 6 cm wystaje nad wodę.

c) Jaka jest wartość siły wypadkowej działającej na tratwę?

Zadanie 4. *Ciśnienie hydrostatyczne*

Gdy Hasto otwierał wylot węża odpływowego, lustro wody w wiadrze znajdowało się 60 cm nad otworem odpływowym.

a) Oblicz ciśnienie hydrostatyczne przy otworze odpływowym.

b) Oblicz siłę parcia działającą na porcję wody w wężu, wiedząc, że pole powierzchni otworu odpływowego jest równe $4\,\text{cm}^2$. Pomiń wpływ ciśnienia atmosferycznego.

i $F = p \cdot S$, $p_h = d \cdot g \cdot h$

Zadanie 5. *Odrzut*

Hasto siedział w nieruchomej, unoszącej się na wodzie lekkiej łódce. Wyrzucił z niej poziomo kamień o masie 2 kg. W czasie rzutu działał na kamień poziomą siłą o wartości 20 N. Masa łączna łódki i Hasto była równa 100 kg.

a) Oblicz przyśpieszenie kamienia podczas rzutu.

b) Jaką wartość miała pozioma siła, którą kamień działał na Hasto?

c) Załóż, że tylko kamień działał siłą na Hasto i łódkę, i oblicz przyśpieszenie łódki z Hasto podczas rzutu.

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

Zadanie 6. *Ruch*

Tratwa bez załogi na początku spoczywała. Od chwili, gdy Hasto otworzył wylot wody, tratwa przez 20 s poruszała się z przyśpieszeniem 0,01 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Z prędkością, którą w tym czasie osiągnęła, poruszała się przez następne 15 s.

a) Oblicz prędkość tratwy po początkowych 20 s.

b) Oblicz drogę przebytą przez tratwę w ciągu ostatnich 15 s.

i Stałe a: $\Delta v = a \cdot t$, stałe v: $s = v \cdot t$

Zadanie 7. *Dolewanie*

Hasto i Weritka, płynąc tratwą, uzupełniali wodę w wiadrze, czerpiąc ją rondlami z jeziora. W ciągu każdych 3 s podnosili razem 2 l wody na wysokość 60 cm.

a) Oblicz wzrost energii potencjalnej grawitacji 2 l wody podniesionych o 60 cm.

b) Oblicz moc, z jaką załoga dolewała wody.

c) Oblicz pracę sił, jakimi załoga działała na wodę, dolewając ją ze stałą mocą przez 2 minuty.

d) Na jakie formy energii zamieniała się energia potencjalna grawitacji wody podczas jej wypływania z węża?

i $E_{pg} = m \cdot g \cdot h$, $P = \frac{W}{t}$



Jak myślisz?

- Co można zmienić w odrzutowej tratwie Hasto i Weritki, by płynęła szybciej?
- Czym się różni łódź od tratwy?
- Czym jest wypełniona kamizelka ratunkowa?
- Kiedy w trakcie wakacji łatwo jest dostrzec fizykę?



Fizyka na wesoło...

— Co to jest eksperyment?

— Gdy chcemy coś zrobić i to nie wychodzi, mówimy, że to był tylko taki eksperyment.

1 Zjawiska cieplne



W jaki sposób lotniarz może się wzbić z wysokości 400 m n.p.m. na wysokość 4000 m n.p.m.?

Lotniarz wykorzystuje wznoszące prądy powietrzne zwane kominami termicznymi. Powstają one, gdy nagrzane od podłoża powietrze wznosi się w chłodniejszej atmosferze dzięki sile wyporu. Po znalezieniu komina termicznego lotniarz krąży w nim i wzlatuje razem z ciepłym powietrzem.

1 Temperatura



Oto Słońce wyrzucające ponad miliard ton materii z prędkością kilkuset $\frac{km}{s}$. Jaka jest temperatura wewnątrz Słońca, a jaka na jego powierzchni? Skąd znamy te temperatury?

Cel lekcji

Zapoznasz się z pojęciem temperatury i jej różnymi skalami. Dowiesz się, co to znaczy, że ciała są w stanie równowagi termicznej.

Czym jest temperatura?

Herbata o temperaturze 90°C parzy usta, ale możemy ją szybko pić, gdy jej temperatura spadnie do 40°C. Temperatura jest bardzo istotną cechą ciała, ale czym właściwie jest?

Jak wiesz, wszystkie ciała są zbudowane z cząsteczek, które nieustannie przemieszczają się lub drgają. Im wyższa temperatura ciała, tym szybsze są te ruchy, czyli cząsteczki mają większą energię kinetyczną. Nie wszystkie cząsteczki danego ciała poruszają się z tą samą prędkością. Dlatego zamiast mówić o energii kinetycznej każdej cząsteczki z osobna, lepiej posługiwać się średnią energią kinetyczną.



Wysoka temperatura – duża średnia energia kinetyczna cząsteczek.



Niska temperatura – mała średnia energia kinetyczna cząsteczek.

Temperatura ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek tego ciała.

Średnia energia kinetyczna cząsteczek to całkowita energia kinetyczna chaotycznego ruchu cząsteczek podzielona przez ich liczbę. Jeżeli całkowita energia kinetyczna cząsteczek wody w łyżce to $2 \cdot 10^3$ J i tych cząsteczek jest $2 \cdot 10^{23}$, to na każdą cząsteczkę przypada średnio $\frac{2 \cdot 10^3 \text{ J}}{2 \cdot 10^{23}} = \frac{1}{10^{20}} \text{ J} = 10^{-20} \text{ J}$ energii.

Im wyższa temperatura, tym wyższa energia kinetyczna cząsteczek. Jednak trzeba podkreślić, że temperatura nie jest miarą całkowitej energii kinetycznej cząsteczek. W 10 litrach wody jest 10 razy więcej cząsteczek niż w 1 litrze. Dlatego całkowita energia kinetyczna wszystkich cząsteczek 10 litrów wrzącej wody jest 10 razy większa niż 1 litra takiej wody, mimo że mają taką samą temperaturę.



Im wyższa temperatura, tym większa średnia energia kinetyczna cząsteczek.

PRZYKŁAD 1. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Im wyższa jest temperatura ciała, tym większą średnią energię kinetyczną mają cząsteczki tego ciała.

② Im wyższa jest temperatura ciała, tym szybciej poruszają się cząsteczki tego ciała.

③ Średnia energia kinetyczna cząsteczek w 1 l wody o temperaturze 20°C jest mniejsza niż średnia energia kinetyczna cząsteczek w 100 l wody o tej samej temperaturze.

④ Porcja helu, w której średnia prędkość atomów to 1000 $\frac{m}{s}$, ma wyższą temperaturę niż porcja helu, w której średnia prędkość atomów to 1300 $\frac{m}{s}$.

Odp. ① i ②.

ĆWICZENIE 1. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Wszystkie cząsteczki w porcji herbaty o temperaturze 37°C poruszają się z takimi samymi prędkościami.

② Cząsteczki wrzącej wody poruszają się szybciej niż cząsteczki zimnej wody.

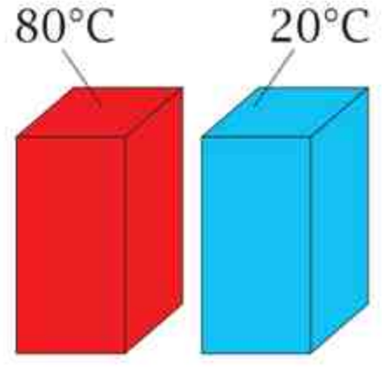
③ Im niższa temperatura ciała, tym wolniej poruszają się cząsteczki tego ciała.

④ Średnia energia kinetyczna cząsteczek w 1 l mleka o temperaturze 60°C jest mniejsza niż średnia energia kinetyczna cząsteczek w 0,2 l mleka o temperaturze 80°C.

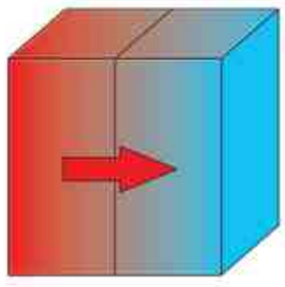
Różne i równe temperatury

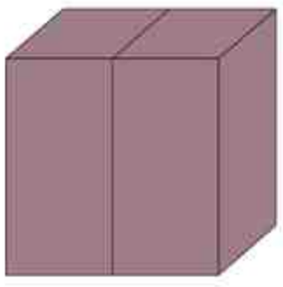
Gdy zimną łyżkę włożysz do gorącej herbaty, to temperatura łyżki zacznie rosnąć, a temperatura herbaty maleć. Będzie się tak działo do chwili, gdy temperatury herbaty i łyżki będą takie same.

Wzrost temperatury łyżki wynika z tego, że cząsteczki herbaty przy zderzeniach z cząsteczkami łyżki przekazują im energię. Następuje **przekaz energii w postaci ciepła**. Wymiana ciepła ustanie, gdy średnie energie kinetyczne cząsteczek w łyżce i wodzie będą takie same, czyli nastąpi wyrównanie temperatur.



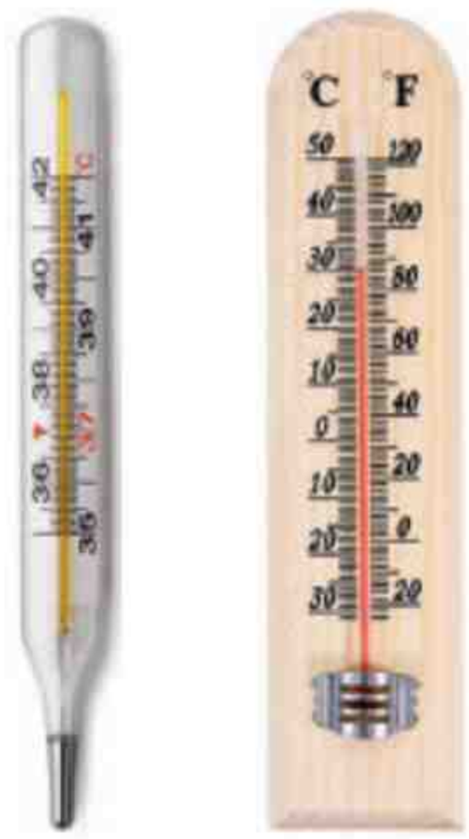
Ciała mają różne temperatury.


Przekaz energii w postaci ciepła, gdy ciała się dotykają.


Brak przekazu energii w postaci ciepła, czyli równowaga termiczna.

Gdy zetkniemy dwa ciała o różnych temperaturach, to ciało o wyższej temperaturze będzie przekazywało **energię w postaci ciepła** ciału o niższej temperaturze.

Gdy zetkniemy dwa ciała o takich samych temperaturach, to między ciałami nie będzie przekazywana energia w postaci ciepła. Ciała o takich samych temperaturach są w stanie **równowagi termicznej**.



Do pomiaru temperatury używamy termometru.

Jak mierzymy temperaturę?

Temperaturę mierzymy za pomocą termometrów. W popularnych termometrach cieczowych ciecz, rozgrzewając się, powiększa swoją objętość. Słupek cieczy podnosi się proporcjonalnie do wzrostu temperatury.

W większości krajów, także w Polsce, do opisu temperatury używa się **skali Celsjusza** (jednostka °C). Na tej skali 0 stopni odpowiada temperaturze topnienia lodu, a 100 stopni — temperaturze wrzenia wody pod ciśnieniem 1013 hPa. W fizyce używana jest również **skala Kelvina**, zwana też skalą bezwzględną. Jej zero odpowiada bezruchowi cząsteczek, czyli sytuacji, gdy cząsteczki mają najmniejszą możliwą energię kinetyczną, równą 0 J. Mniej ruszać się już nie mogą, więc nie występują w tej skali niższe temperatury. Podstawową jednostką temperatury w układzie SI jest właśnie **kelwin (K)**. Temperatura 0 K jest równa temperaturze −273,15°C. Po zaokrągleniu:

$$0\ \mathrm{K} \approx -273^\circ\mathrm{C}$$

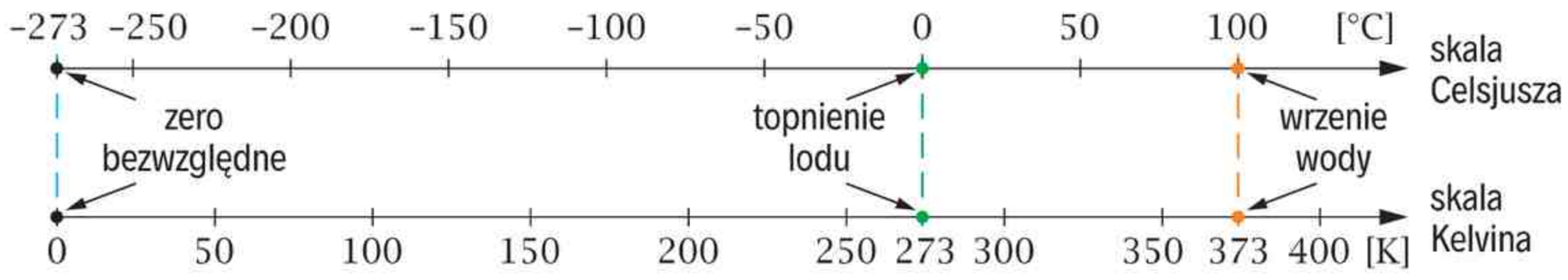
Zmiana temperatury o jeden stopień Celsjusza jest równa zmianie o jeden kelwin. Aby przeliczyć stopnie Celsjusza na kelwiny, należy do stopni Celsjusza dodać 273. Otrzymany wynik jest liczbą kelwinów, np.:

$$-20^\circ\mathrm{C} = (-20 + 273)\ \mathrm{K} = 253\ \mathrm{K}$$

$$20^\circ\mathrm{C} = (20 + 273)\ \mathrm{K} = 293\ \mathrm{K}$$

Warto **wiedzieć**

W skali Kelvina nie używa się określenia stopień. Zamiast tego mówi się po prostu kelwin, np. temperatura topnienia lodu to 273 kelwiny (a nie stopni Kelvina).



PRZYKŁAD 2. Wyraź:

a) temperaturę 0°C w skali Kelvina,

b) temperaturę 100 K w skali Celsjusza,

c) wzrost temperatury o 20°C w kelwinach.



Rozwiązanie: a) $0°C = (0 + 273)\,K = 273\,K$

b) $100\,K = (100 - 273)°C = -173°C$

c) wzrost o 20°C = wzrost o 20 K

ĆWICZENIE 2. Wyraź:

a) temperaturę 100°C w skali Kelvina,

b) temperaturę −270°C w skali Kelvina,

c) temperaturę 273 K w skali Celsjusza,

d) temperaturę 4 K w skali Celsjusza,

e) spadek temperatury o 80 K w stopniach Celsjusza.

Jeszcze inną skalą temperatury jest **skala Fahrenheita** (czyt. farenhajta; jednostka °F), używana m.in. w Stanach Zjednoczonych. Punktami odniesienia tej skali są: temperatura topnienia lodu wynosząca 32°F oraz temperatura wrzenia wody wynosząca 212°F. Przykładowe równości:

$32°F = 0°C$ $68°F = 20°C$ $212°F = 100°C$

zmiana o 1,8°F = zmiana o 1°C

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Temperatura i energia*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) *Im wyższa jest temperatura ciała, tym* ***mniejszą/większą*** *średnią energię kinetyczną mają cząsteczki tego ciała.*

b) *Jeśli obniżymy temperaturę ciała, to średnia prędkość chaotycznego ruchu jego cząsteczek* ***zmniejszy się/zwiększy się.***

Zadanie 2. *Od stopni Celsjusza do kelwinów*

Wyraź w skali Kelvina temperatury:

a) 1600°C (piec hutniczy),

b) 328°C (topnienie ołowiu),

c) 1064°C (topnienie złota),

d) −219°C (topnienie tlenu).

Zadanie 3. *Od kelwinów do stopni Celsjusza*

Wyraź w skali Celsjusza temperatury:

a) 2100 K (płomień palnika Bunsena),

b) 316 K (ciało kaczki),

c) 3700 K (topnienie wolframu),

d) 77 K (wrzenie ciekłego azotu).

Zadanie 4. *Piekarnik*

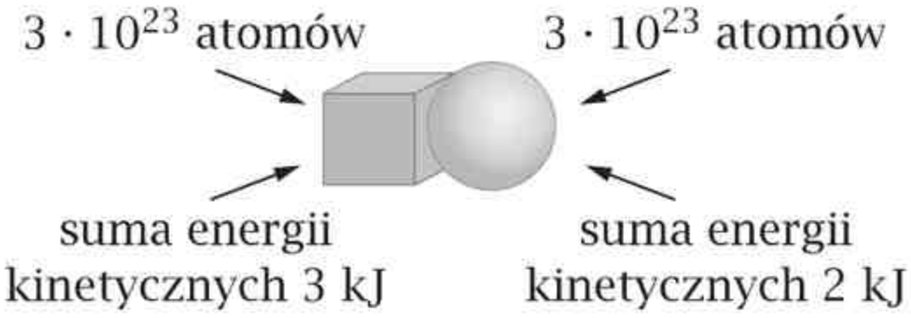
Uzupełnij tekst.

Temperatura blachy włożonej do gorącego piekarnika będzie rosnąć aż do momentu, gdy ... blachy i piekarnika będą takie same, czyli blacha i piekarnik znajdą się w stanie ... . Ciała o tej samej temperaturze nie przekazują sobie ... .

Zadanie 5. ***Średnia energia kinetyczna***

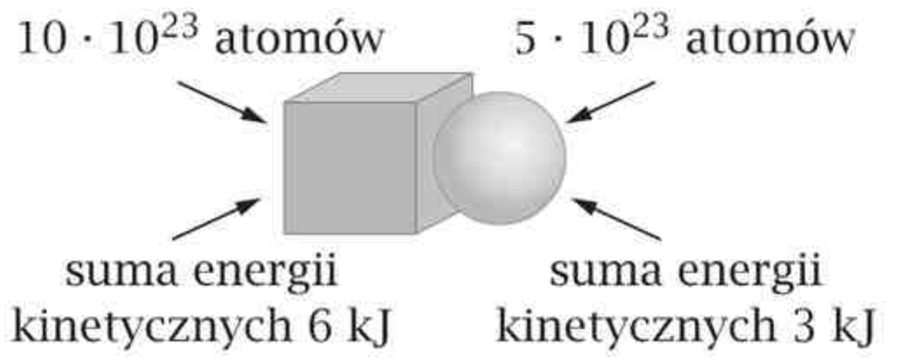
Wybierz poprawne uzupełnienia zdań, wiedząc, że ciała są wykonane ze stali.

a)



Temperatura kulki jest ***większa/mniejsza*** *niż temperatura sześcianu. Przekaz ciepła następuje* ***od kulki do sześcianu/od sześcianu do kulki.***

b)



Kulka i sześcian mają ***różne/równe*** *temperatury. Od kulki do sześcianu* ***następuje/nie następuje*** *przekaz ciepła.*

Zadanie 6. ***Temperatura i wysokość***

Z głośników dobiega komunikat:

— Szanowni Państwo! Lecimy na wysokości 7000 m nad ziemią. Temperatura powietrza w Poznaniu, nad którym właśnie się znajdujemy, to 25°C.

— Ciekawe, jaka jest temperatura powietrza, przez które lecimy — zagaduje Hasto.

— Pamiętam z geografii, że w suchym powietrzu, do wysokości 10 km, temperatura spada o około 1°C na każde 100 m wysokości — odpowiada Weritka.

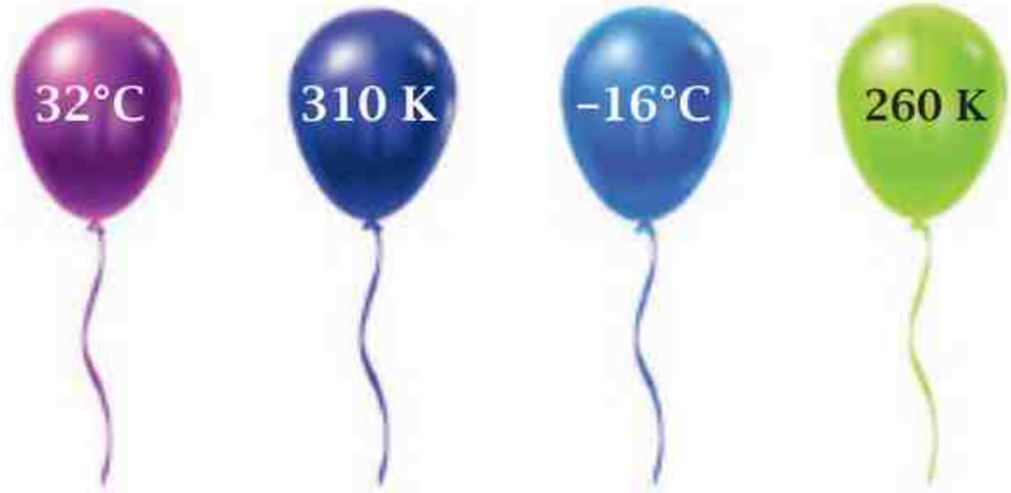
— O, to może na zewnątrz jest zero bezwzględne!? — zastanawia się Hasto.

a) Oblicz temperaturę powietrza na wysokości, na której znajduje się samolot. Czy ta temperatura jest równa 0 K?

b) W którą stronę następuje przekazywanie energii w postaci ciepła między samolotem i otaczającym go powietrzem?

Zadanie 7. ***Hel***

Cztery balony napełniono helem. Wskaż, w którym balonie średnia prędkość chaotycznego ruchu atomów jest największa, a w którym — najmniejsza.





Jak myślisz?

- Czy istnieje maksymalna temperatura, której nie można przekroczyć?
- Czy substancje zawsze zwiększają swoją objętość wraz ze wzrostem temperatury?
- Czy można zapalić papier, tylko go ogrzewając, bez zbliżania go do płomienia?



Fizyka na wesoło...

— Jadę na urlop do Afryki! — chwali się facet w pracy.

— Co będziesz tam robić? Przecież tam jest z 50 stopni w cieniu! — pyta sceptyczny kolega.

— A czy ja muszę siedzieć w cieniu?!

2 Energia wewnętrzna



Czym są widoczne na zdjęciu iskry? Jak iskry są wytwarzane podczas szlifowania? A jak przez „zimne" ognie?

Energia wewnętrzna pod mikroskopem

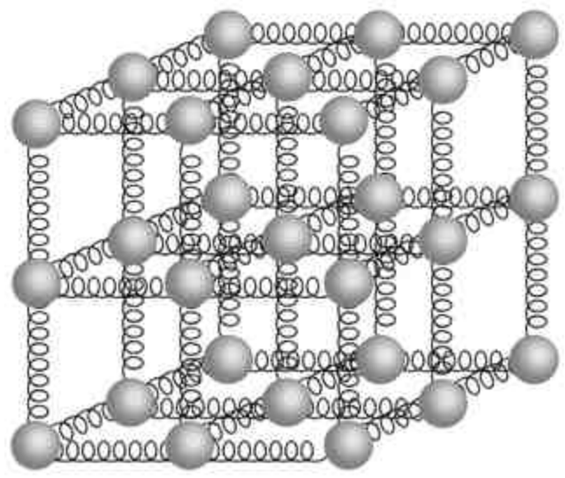
Cel lekcji
Poznasz sposoby zmiany energii wewnętrznej.

Iskrą „zimnych" ogni o temperaturze 1500°C nie rozgrzejemy dłoni tak jak kubkiem o temperaturze zaledwie 50°C. W kubku jest „ukryte" bowiem więcej energii niż w iskrze. Ta ukryta energia to **energia wewnętrzna**.

Jak wiesz, chaotycznie poruszające się cząsteczki posiadają **energię kinetyczną** — to pierwszy składnik energii wewnętrznej. Nieważne, czy cząsteczki przemieszczają się na duże odległości jak w gazie, czy tylko drgają jak w ciele stałym. Skoro się poruszają, to mają energię kinetyczną. Cząsteczki oddziałują ze sobą elektrycznie. Mogą być bliżej lub dalej od siebie, silniej lub słabiej na siebie działać. Mają więc **energię potencjalną** związaną z tym oddziaływaniem.

Energia wewnętrzna ciała (oznaczenie E_w) to suma energii kinetycznych jego cząsteczek oraz energii potencjalnych oddziaływań między tymi cząsteczkami.

Można to przedstawić za pomocą modelu, w którym cząsteczki ciała są symbolizowane przez kulki, a oddziaływania między cząsteczkami — przez sprężyny pomiędzy kulkami.



Model budowy ciała stałego. Energie kinetyczne cząsteczek reprezentowane są przez energie kinetyczne drgających kulek, a energie potencjalne oddziaływania między cząsteczkami – przez energie potencjalne sprężystości sprężyn.

Jak można zwiększyć energię wewnętrzną ciała?

Gdy zmarzniesz, możesz się ogrzać, przytulając się do pieca lub grzejnika oraz pijąc ciepłą herbatę. Jeśli nie ma w pobliżu źródła ciepła, rozgrzejesz się, robiąc przysiady lub truchtając. Przyjrzyjmy się tym dwóm sposobom rozgrzewania.

Doświadczenie Dwa sposoby ocieplania

① Przygotuj dwie metalowe łyżki oraz zeszyt. Łyżki i zeszyt powinny mieć temperaturę otoczenia.

② Dotknij każdą łyżką policzka. Co odczuwasz po dotknięciu łyżką policzka?

③ Pierwszą łyżkę przyłóż wypukłą stroną do skóry na nadgarstku, pod rękawem, i potrzymaj tak 20 s. Dotknij łyżką policzka.

④ Drugą łyżkę przyłóż wypukłą stroną do kartki zeszytu i energicznie przesuwaj ją w tę i z powrotem przez 10 s, dociskając do kartki. Dotknij łyżką policzka.

⑤ Jak zmieniła się temperatura łyżek?

Warto **wiedzieć**

Z zasady zachowania energii wynika, że gdy ciało A przekazało ciepło Q ciału B, to energia wewnętrzna ciała A zmniejszyła się, a ciała B — zwiększyła się o tę samą wartość (o Q).

W doświadczeniu, w obu przypadkach, energia wewnętrzna łyżki wzrosła, bo wyraźnie wzrosła jej temperatura. Jednak doszło do tego na dwa różne sposoby.

Gdy trzymasz zimną łyżkę przy ciepłym nadgarstku, nie wykonujesz pracy, bo nie przesuwasz żadnego ciała. Cieplejszy nadgarstek przekazuje energię w postaci ciepła chłodniejszej łyżce. Dzięki temu energia wewnętrzna łyżki się zwiększa.

Ciepło (Q) to ilość energii wewnętrznej przekazanej ciału bez wykonywania pracy.



Gdy dotykasz łyżką zeszytu, nie następuje przepływ energii w postaci ciepła, bo oba te ciała mają taką samą temperaturę (równą temperaturze otoczenia) — są w równowadze termicznej. Jednak po wielokrotnym przesunięciu łyżki po kartce energia wewnętrzna łyżki wzrasta. Skąd pochodzi ta energia? Dostarczasz ją, wykonując pracę (przesuwasz łyżkę). A dokładniej, podczas przesuwania łyżki po kartce działasz siłą przeciwko sile tarcia. To ta siła wykonuje pracę, która przekształca się w energię wewnętrzną łyżki i zeszytu.

Zmiana energii wewnętrznej

Energię wewnętrzną ciała można zmienić poprzez wykonanie pracy lub poprzez przekazanie energii w postaci ciepła. Ten fakt można zapisać za pomocą równania wyrażającego zasadę zachowania energii:

$$\text{zmiana } E_w = Q + W$$

- zmiana energii wewnętrznej [J]
- Q: przekazane ciepło [J]
- W: wykonana praca [J]

Gdy układ pobiera energię w postaci ciepła ($Q > 0$), to energia wewnętrzna układu wzrasta. Gdy układ oddaje ciepło ($Q < 0$), to energia wewnętrzna układu się zmniejsza. Podobnie praca może być wykonywana nad układem ($W > 0$) lub układ może wykonywać pracę ($W < 0$). Przyjmujemy, że poza uwzględnionym w równaniu ciepłem i pracą układ nie wymienia energii z otoczeniem.

Warto **wiedzieć**

Dział fizyki zajmujący się czynnikami, które wpływają na zmiany energii wewnętrznej, nazywamy **termodynamiką**. Taka postać zasady zachowania energii (jak obok), jest nazywana **pierwszą zasadą termodynamiki**.

PRZYKŁAD 1. Silnik parowy pobrał 5 kJ ciepła oraz wykonał 2 kJ pracy. Oblicz zmianę energii wewnętrznej silnika.

Dane:
$Q = 5$ kJ — ciepło pobrane przez silnik
$W = -2$ kJ — praca wykonana przez silnik

Szukane:
zmiana $E_w = ?$

Rozwiązanie: zmiana $E_w = Q + W$ zmiana $E_w = 5\text{ kJ} - 2\text{ kJ} = 3\text{ kJ}$

Odp. Energia wewnętrzna silnika wzrosła o 3 kJ.

ĆWICZENIE 1. Hasto przekazał 100 J ciepła puszce napoju i wykonał 50 J pracy, pocierając puszkę dłońmi. Oblicz zmianę energii wewnętrznej tej puszki.

Energia wewnętrzna a temperatura

Czy stalowe kowadło o masie 20 kg i stalowy gwóźdź o masie 5 g mają taką samą energię wewnętrzną, jeśli mają taką samą temperaturę? Nie. W kowadle jest 4000 razy więcej cząsteczek, a więc suma energii kinetycznych i potencjalnych cząsteczek jest 4000 razy większa niż w gwoździu.



Temperatury zapałki i ogniska są takie same, więc średnie energie kinetyczne cząsteczek rozgrzanych drewien też są takie same. Ich energie wewnętrzne są jednak różne.



Do tej pory rozważaliśmy zwiększenie energii wewnętrznej ciała poprzez zwiększenie jego temperatury. Jednak można to zrobić także bez zmiany temperatury np. podczas powolnego topienia lodu, czyli zmiany jego stanu skupienia.

Mimo dostarczania ciepła zarówno lód, jak i powstająca z niego woda (ciecz) mają cały czas temperaturę 0°C. Zatem energia kinetyczna cząsteczek nie wzrasta. Dostarczana energia jest magazynowana w formie energii potencjalnej oddziaływania między cząsteczkami wody. Energia wewnętrzna mieszaniny rośnie, choć jej temperatura się nie zmienia. Energia wewnętrzna kostki lodu była więc mniejsza niż energia wewnętrzna powstałej porcji wody. Dlatego mówimy, że energia wewnętrzna zależy od temperatury ciała oraz jego stanu skupienia. Więcej o stanach skupienia dowiesz się w lekcji 6.



Kostka lodu i woda mają taką samą temperaturę, ale ich energie wewnętrzne są różne.

Energia wewnętrzna ciała jest związana z jego **temperaturą** oraz **stanem skupienia**.

PRZYKŁAD 2. W beczkowozie znajdują się 2 tony wody, a w butelce 1 litr wody. Obie porcje wody mają taką samą temperaturę.

a) Oblicz, ile razy więcej cząsteczek wody jest w beczkowozie niż w butelce.

b) Ile razy większa jest suma energii kinetycznych cząsteczek wody w beczkowozie niż w butelce?

c) Jakiej informacji brakuje, żeby wyznaczyć energię wewnętrzną porcji wody?

Rozwiązania:

a) Litr wody ma masę 1 kg, a 2 tony mają masę 2000 razy większą. Stąd w beczkowozie jest 2000 razy więcej cząsteczek wody niż w butelce.

b) Obie porcje mają taką samą temperaturę, czyli takie same średnie energie kinetyczne przypadają na jedną cząsteczkę. W beczkowozie jest 2000 razy więcej cząsteczek, więc suma energii kinetycznych cząsteczek jest 2000 razy większa.

c) Należy znać sumę energii potencjalnych oddziaływań między cząsteczkami wody oraz sumę energii kinetycznych cząsteczek porcji wody.

ĆWICZENIE 2. Żelazny odważnik o masie 10 kg oraz żelazny guzik o masie 10 g mają taką samą temperaturę.

a) Ile razy większa jest suma energii kinetycznych atomów żelaza w odważniku od takiej sumy dla atomów w guziku?

b) Jeśli zwiększymy temperaturę obu ciał o 10°C, to czy energia wewnętrzna odważnika wzrośnie o tyle samo, co energia wewnętrzna guzika?

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Ciepło i praca*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Energię wewnętrzną ciała można zwiększyć poprzez przekazanie mu ciepła lub wykonanie nad ciałem pracy.

② Jednostką ciepła jest niuton.

③ Opony gwałtownie hamującego samochodu mogą zacząć się palić, ponieważ zimniejsza od opon jezdnia przekazuje im ciepło.

④ Gdy ciało tylko oddaje ciepło i nie jest nad nim wykonywana praca, to energia wewnętrzna ciała się zmniejsza.

Zadanie 2. *Silnik spalinowy*

Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

W silniku spalinowym podczas spalania paliwa, czyli reakcji paliwa z tlenem, jest wyzwalana energia ***chemiczna / jądrowa****. Powoduje to* ***zwiększenie / zmniejszenie*** *energii wewnętrznej gazu w cylindrze silnika. Gdy gaz nie jest już ogrzewany, napiera na tłok i przesuwa go, wykonując pracę. Wtedy energia wewnętrzna gazu* ***wzrasta / maleje****.*

Zadanie 3. *Szlifowanie*

Szlifując metal, wykonano nad nim pracę 12 000 J. Szlifowany materiał był chłodzony za pomocą cieczy i oddał 9800 J ciepła. Oblicz zmianę energii wewnętrznej metalu. Czy energia ta wzrosła czy zmalała? Przyjmij, że metal wymieniał ciepło jedynie z chłodzącą go cieczą.

Zadanie 4. *Egzosfera*

Na wysokości 600 km nad powierzchnią Ziemi temperatura występującego tam gazu bywa wyższa niż 700°C. Dlaczego gaz ten nie oparzyłby astronauty w cienkim skafandrze podczas spaceru kosmicznego?

Zadanie 5. *Energia a temperatura*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Energia wewnętrzna jest równa temperaturze.

② Energia wewnętrzna ciała zależy od jego temperatury i stanu skupienia.

③ Energia wewnętrzna mieszaniny lodu i wody może rosnąć, mimo że jej temperatura jest cały czas równa 0°C.

④ Zmiany energii wewnętrznej ciała nie zależą od zmian energii potencjalnych oddziaływań między cząsteczkami w tym ciele.

Zadanie 6. *Wiertło*



Podczas wiercenia w drewnie wykonano 3 kJ pracy. Tylko 25% tej pracy spowodowało wzrost energii wewnętrznej wiertła. Wiertło oddało otoczeniu 150 J ciepła.

a) Wskaż, na co mogła zostać zużyta reszta wykonanej pracy.

b) Porównaj temperaturę otoczenia i wiertła podczas przekazu ciepła.

c) Oblicz zmianę energii wewnętrznej wiertła.

Zadanie 7. *Przesuwanie skrzyni*

Hasto przepchnął skrzynię 40 m po poziomej podłodze, działając siłą 300 N zgodnie z kierunkiem ruchu. Tylko 30% tej pracy spowodowało wzrost energii wewnętrznej skrzyni. Przyjmij, że skrzynia nie wymieniała ciepła z otoczeniem.

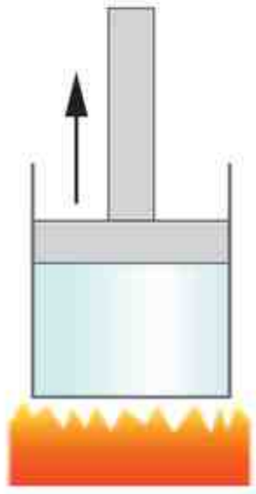
a) Oblicz pracę siły, którą działał Hasto.

b) Oblicz zmianę energii wewnętrznej skrzyni.

c) Na co mogła zostać zużyta reszta wykonanej pracy?

i $W = F \cdot s$

Zadanie 8. *Kocioł i tłok*



Pojemnik z powietrzem był zamknięty ruchomym tłokiem o polu powierzchni 0,1 m^2. Ogrzewane powietrze cały czas miało ciśnienie 1200 hPa i spowodowało przesunięcie tłoka o 20 cm w górę. W tym czasie temperatura powietrza wzrosła o 3 K i pobrało ono 8,7 kJ ciepła.

a) Oblicz wartość siły parcia (nacisku), którą powietrze działało na tłok.

b) Oblicz pracę tej siły.

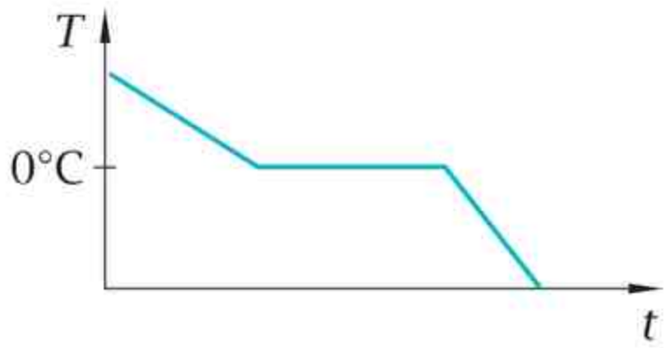
c) Oblicz zmianę energii wewnętrznej powietrza.

d) Czy średnia energia kinetyczna cząsteczek powietrza zmniejszyła się? Odpowiedź uzasadnij.

i $p = \frac{F}{S}$

Zadanie 9. *Zamarzanie*

Do zamrażarki, w której panowała temperatura −20°C wstawiono pojemnik z wodą. Na wykresie przedstawiono zmianę temperatury wody w pojemniku.



a) Jaką temperaturę osiągnie powstały lód, gdy między nim a otoczeniem ustanie przekaz ciepła?

b) Na którym etapie doświadczenia średnia energia kinetyczna cząsteczek wody się nie zmieniała?

c) Jak wyjaśnić fakt, że woda oddawała ciepło, mimo że nie zmniejszała się energia kinetyczna chaotycznego ruchu jej cząsteczek?



Jak myślisz?

- Czy można odebrać ciału całą energię chaotycznego ruchu jego cząsteczek?
- Czy istnieje silnik, który całe dostarczone ciepło zamienia w pracę?
- Na jakie sposoby można przekazywać ciepło?
- Jak najlepiej zabezpieczyć się przed wyziębieniem w zimie?



Fizyka na wesoło...

Wędkarz siedzi nad przeręblem, ale ryba nie bierze. Drugi, który zjawia się po chwili, zarzuca wędkę i co i rusz wyciąga rybę. Pierwszy wędkarz nie wytrzymuje:

— To irytujące. Marznę tu już dwie godziny i nic! A ty po kilku minutach masz tyle ryb. Jak ty to robisz!?

— Łołai muo y łełe.

— Słucham?

— Łołai muo y łełe!

— Cooo?!

W końcu drugi wędkarz wyciąga coś z ust, pokazuje to i krzyczy:

— Robaki muszą być ciepłe!!!

3 Przewodnictwo cieplne i konwekcja



Dlaczego taki pas chmur powstaje w pobliżu równika? Dlaczego jest nazywany równikowym pasem ciszy?

Jak wyjąć gorącą blachę z piekarnika?

Cel lekcji

Poznasz zjawiska przewodnictwa cieplnego i konwekcji.

Gdy zetkniemy ze sobą dwa ciała, to ciało o wyższej temperaturze przekaże ciepło ciału o niższej temperaturze. Zjawisko to nazywamy **przewodnictwem cieplnym**.

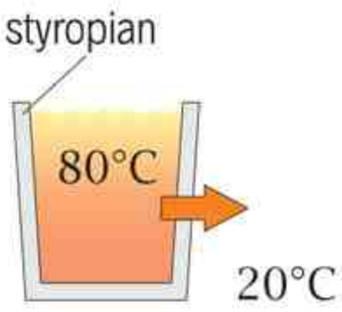
> **Przewodnictwo cieplne** to przekaz ciepła między stykającymi się ze sobą ciałami.

Gdy chwycimy coś gorącego, to właśnie ta przekazana energia może spowodować poparzenie. A jednak potrafimy chwycić blachę o temperaturze 200°C i wyjąć ją z piekarnika. Wystarczy użyć łapki kuchennej. Czy to oznacza, że łapka kuchenna nie nagrzewa się? Oczywiście, że się nagrzewa, tylko powoli. Zbadajmy szybkość przekazu ciepła.

Doświadczenie **Przewodnictwo cieplne kubków**

① Przygotuj trzy kubki o podobnej grubości ścianek: styropianowy, szklany i metalowy. Do każdego wlej taką samą porcję gorącej (ale nie wrzącej) wody.

② Co 5 sekund dotykaj zewnętrznej powierzchni każdego kubka. Ścianka którego kubka rozgrzewa się najszybciej, a którego najwolniej?



Styropian jest słabym przewodnikiem ciepła.



Szkło jest lepszym przewodnikiem ciepła niż styropian. Ciepły napój w szklanym kubku szybciej ostygnie.

Najwolniej nagrzewa się kubek styropianowy. Mówimy, że styropian bardzo słabo przewodzi ciepło. Dlatego jest wykorzystywany do ocieplania budynków, czyli zmniejszania przepływu ciepła między wnętrzem budynku a otoczeniem. Szklany kubek nagrzewa się znacznie szybciej — szkło jest lepszym **przewodnikiem ciepła** niż styropian. Metal jest natomiast lepszym przewodnikiem niż szkło.

Szybkość przekazu ciepła przez płytę styropianu jest około 30 razy mniejsza niż przez szklaną szybę o takich samych wymiarach. Styropian jest dobrym **izolatorem ciepła**.

Czy metal jest zimny, a styropian ciepły?

Co odczuwamy, gdy dotykamy przedmiotów o różnym przewodnictwie cieplnym? Wykonajmy doświadczenie.

Doświadczenie Dotyk i ciepło



① Przygotuj spore kawałki styropianu, drewna i metalu. Ciała te powinny mieć temperaturę pokojową.

② Dotknij dłonią każdego z tych ciał. Które z nich odczuwasz jako zimne, a które — jako ciepłe?

Pomimo tej samej temperatury ciał wrażenia podczas ich dotykania były różne. Metal wydawał się zimny, styropian — ciepły.



Metal – dobry przewodnik ciepła. Ciepło jest szybko przekazywane dalej. Przepływ ciepła z palca jest duży – odczuwamy chłód.



Styropian – słaby przewodnik ciepła. Ciepło jest wolno przekazywane dalej. Przepływ ciepła z palca jest znikomy – odczuwamy ciepło.

Początkowa różnica temperatur między dłonią a każdym z przedmiotów była taka sama. Jednak wrażenie zależy nie od temperatury, a od szybkości przepływu ciepła między dłonią a przedmiotem. A to zależy od tego, jak dobrze przedmiot przewodzi ciepło. W metalu (bardzo dobrym przewodniku ciepła) ciepło rozchodzi się szybko. Dobre przewodniki szybko odprowadzają ciepło z dłoni, dlatego dotykając ich odczuwamy zimno.

Cienka warstwa styropianu nagrzewa się szybko do temperatury bliskiej temperaturze dłoni, bo ciepło powoli rozchodzi się w styropianie (około 1000 razy wolniej niż w stali). Skoro dotykany fragment styropianu ma temperaturę zbliżoną do temperatury dłoni, to przepływ ciepła między dłonią a styropianem jest niewielki. Stąd wrażenie, że dotykany przedmiot jest ciepły. Przewodnictwo cieplne materiałów można łatwo porównać, dotykając ich.



PRZYKŁAD 1. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Domy ociepla się styropianem, ponieważ jest on dobrym przewodnikiem ciepła.
② Złoto jest dobrym przewodnikiem ciepła.
③ Izolacja cieplna budynków ma za zadanie ograniczenie przepływu ciepła między wnętrzem budynku a jego otoczeniem.
④ Kołdra ogranicza utratę ciepła przykrytej nią osoby.

Odp. ②, ③, ④.

ĆWICZENIE 1. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Przekaz ciepła między stykającymi się ciałami następuje, gdy mają ***takie same/różne*** *temperatury. Jeśli w mieszkaniu jest 20°C, a na zewnątrz jest −10°C, to przez ścianę ciepło jest przekazywane* ***z zewnątrz do mieszkania/z mieszkania na zewnątrz.*** *Przepływ ciepła można znacznie ograniczyć, okładając ściany* ***styropianem/betonem,*** *ponieważ materiał ten jest dobrym* ***izolatorem/przewodnikiem*** *ciepła.*

Dlaczego ciepłe powietrze unosi się w górę?

Dlaczego płomień zwraca się zawsze w górę? Płomień jest unoszącą się w powietrzu porcją gorącego gazu, na którą działa siła ciężkości oraz siła wyporu. Jeśli wartość siły wyporu jest większa od ciężaru tej porcji, to rusza ona w górę. Zjawisko takie występuje w płynach (gazach oraz cieczach) i nazywamy je **konwekcją**.

Konwekcja to przekaz ciepła związany z ruchem porcji płynu o różnych temperaturach.

W większości przypadków ogrzanie porcji płynu skutkuje zwiększeniem jej objętości, czyli wzrostem wartości siły wyporu działającej na tę porcję. Dlatego unosi się ona do góry. Sprawdźmy eksperymentalnie, jak zjawisko konwekcji zachodzi w cieczy.



Ciepłe powietrze w balonie ma mniejszą gęstość niż powietrze poza nim, dlatego wznosi się do góry. Podobnie porcja ciepłego powietrza, bez balonu, umieszczona w zimnym powietrzu również zacznie się wznosić.

Doświadczenie **Mleczny jęzor, czyli konwekcja**

① Przygotuj: przeźroczyste, szklane naczynie (średnica podstawy minimum 8 cm), świeczkę, zapałki, dwa identyczne słoiki, słomkę, wodę i zimne mleko.

② Do naczynia nalej wody do wysokości około 8 cm. Naczynie postaw na słoikach.



③ Za pomocą słomki umieść na dnie naczynia z wodą zimne mleko. Rób to na tyle wolno, by mleko utworzyło warstwę przy dnie naczynia.

④ Zapal świeczkę i postaw ją pod naczyniem, blisko jego brzegu. Między naczyniem a płomieniem powinien być odstęp.

⑤ Przez kilka minut obserwuj mleko. Gdy wznoszący się jęzor mleka będzie wyraźnie widoczny, przesuń świeczkę w inne miejsce pod dnem naczynia.



Małe porcje powietrza uwięzione w kurtce tworzą dobrą izolację cieplną.

Ogrzana woda (z mlekiem) wypływa w górę i rozpływa się na powierzchni dzięki konwekcji. Za to w miejsce przy dnie naczynia napływa chłodna woda. Jest ona ogrzewana płomieniem, wznosi się w górę i cykl się powtarza.

Dzięki konwekcji przekaz ciepła w płynach jest znacznie szybszy od przekazu ciepła wyłącznie poprzez przewodnictwo cieplne. Jest to korzystne, gdy chcemy zagrzać wodę. Ale bywa niekorzystne, gdy utrata ciepła jest niepożądana. Powietrze jest bardzo dobrym **izolatorem cieplnym**. Można to wykorzystać, o ile ograniczy się konwekcję powietrza. Należy uwięzić je w małych porcjach, np. w pierzu lub styropianie. Puchowe kurtki i styropian mają w sobie bardzo dużo powietrza podzielonego na małe porcje.

PRZYKŁAD 2. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① W zjawisku konwekcji ważną rolę odgrywa siła wyporu.
② Woda o mniejszej gęstości porusza się w górę w wodzie o większej gęstości.
③ Konwekcja spowalnia przekazywanie ciepła w wodzie podgrzewanej na kuchence.
④ Pionowe wznoszenie się dymu z komina to przejaw konwekcji.

Odp. ①, ②, ④.

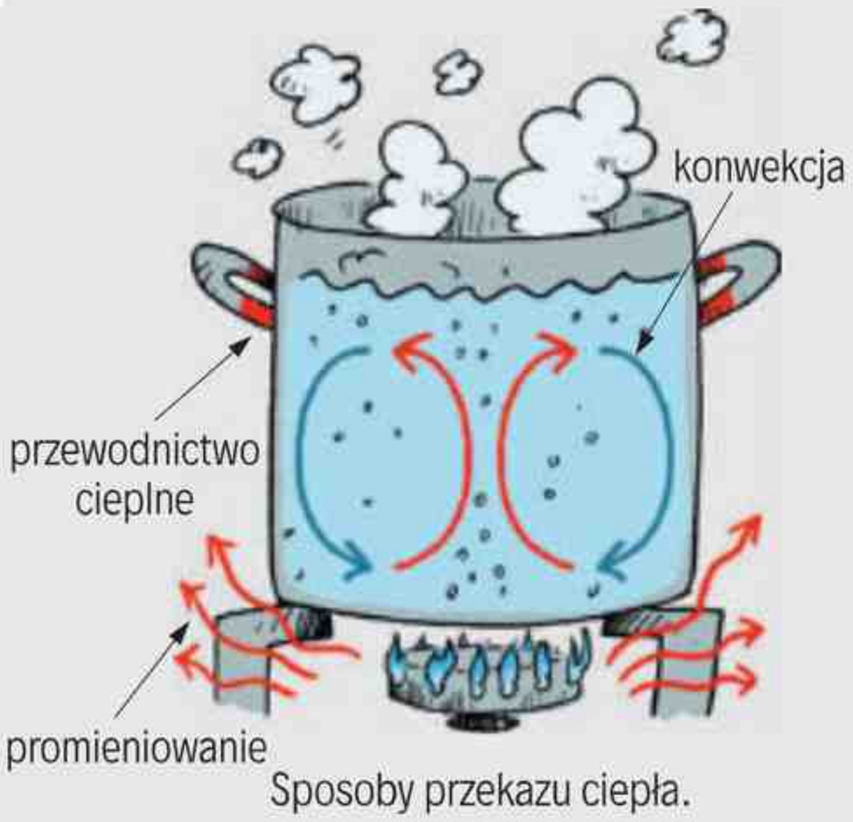
ĆWICZENIE 2. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Porcja powietrza ogrzana przy kaloryferze ***zwiększa / zmniejsza*** *swoją objętość. Ciężar tej porcji nie zmienia się, ale wartość działającej na porcję siły wyporu* ***zwiększa się / zmniejsza się****. Ogrzana porcja powietrza będzie się więc poruszać w* ***dół / górę****.*

Dowiedz się więcej **o przekazywaniu ciepła**

Gdy trzymasz dłoń obok żarówki (z włóknem żarowym) lub obok płomienia palnika, czujesz ciepło. Nie dotykasz ich, więc nie zachodzi zjawisko przewodnictwa cieplnego. Nie jest to też konwekcja, bo ciepłe powietrze wzlatuje w górę, a nie leci w bok. W tej sytuacji ciepło przekazywane jest poprzez **promieniowanie** (w tym przez światło widzialne).

Ty też przekazujesz otoczeniu ciepło w postaci energii promieniowania.



Sposoby przekazu ciepła.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Przewodniki ciepła*

Uporządkuj w kolejności od najgorszego do najlepszego przewodnika ciepła.

stal • plastik • kołdra puchowa • szkło

Zadanie 2. *Dobry przewodnik*

Który z dwóch materiałów jest lepszym przewodnikiem ciepła? Postaw hipotezę, a następnie sprawdź ją doświadczalnie.

a) papier (kilkadziesiąt kartek) i szkło

b) kamień i korek (np. tablica korkowa)

c) wełna (kłębek) i piasek

Zadanie 3. *Kiedy konwekcja?*

W których z opisanych sytuacji zachodzi konwekcja?

① Kamień ogrzewa się w dłoni.

② Ciepłe powietrze z komina przemieszcza się do góry.

③ Nóż rozgrzewa się podczas ostrzenia go osełką.

④ Gałka lodów unoszących się w kubku z kawą ochładza ją, powodując ruch cieczy w kubku.

Zadanie 4. *Uwaga, gorące!*

Wyjaśnij, dlaczego ludzie częściej parzą się w usta, gdy piją gorący napój z kubków styropianowych niż z kubków szklanych.

Zadanie 5. *Właściwy materiał*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) *Aby coś szybko ogrzać na kuchence gazowej, należy użyć garnka, którego dno jest wykonane z dobrego/ze złego przewodnika ciepła.*

b) *Aby potrawa nie wystygła, należy umieścić ją w pojemniku wykonanym z dobrego/ze złego przewodnika ciepła, np. ze styropianu/z aluminium.*

c) *Owinięcie kołdrą garnka z gorącą kaszą spowoduje, że będzie stygła wolniej/szybciej.*

d) *Styropian umieszczany w ścianach lodówki zmniejsza/zwiększa przepływ ciepła z otoczenia do wnętrza lodówki.*

e) *W domu z dobrą izolacją cieplną utrzymanie temperatury 20°C w zimie wymaga zużycia mniejszej/większej ilości energii niż w domu bez izolacji.*



Zadanie 6. ***Ciepło i dach***

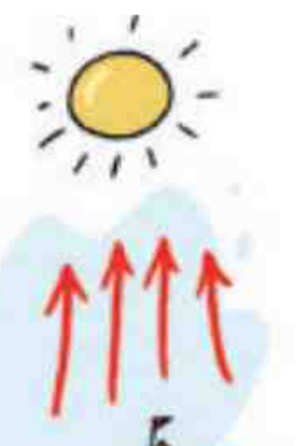
Na rysunku przedstawiono dwa domy. W obu panuje taka sama temperatura.

a) Wskaż dom z lepszą izolacją termiczną dachu. Uzasadnij odpowiedź.

b) Zaproponuj materiał, którym warto obłożyć dach od spodu.

Zadanie 7. ***Bryza***

Na rysunku przedstawiono mechanizm powstawania bryzy dziennej, czyli wiatru wiejącego znad morza w kierunku lądu.





W dzień ląd nagrzewa się szybciej niż woda. Od lądu nagrzewa się powietrze, które jest unoszone w górę. W jego miejsce napływa chłodniejsze powietrze znad wody. Po zachodzie słońca ląd wychładza się szybciej niż woda. Gdy to ląd ma niższą temperaturę niż woda, powstaje bryza nocna. Naszkicuj ruch powietrza nad morzem i nad lądem w trakcie bryzy nocnej.

Zadanie 8. ***Konwekcja wody i 4°C***

Hasto czyta książkę o rybach.

— Ryby mają łatwiejsze życie dzięki temu, że woda ma największą gęstość w temperaturze 4°C. Woda o tej temperaturze zawsze opada na dno zbiornika i w zimie jest tam nieco cieplej — Hasto zagaduje Weritkę.

— Czyli w lecie od dna do powierzchni będzie coraz cieplej, a w zimie coraz zimniej — mówi Weritka.

— No, tak. Poniżej 4°C z wodą jest inaczej niż z innymi cieczami. W zimie na powierzchni może być już 0°C i woda zacznie zamarzać, trochę niżej pod powierzchnią będzie 1°C, jeszcze niżej 2°C, aż do dna, gdzie będą 4°C.

a) Określ, jak będzie się poruszać porcja wody o temperaturze 4°C w otaczającej ją wodzie o temperaturze 15°C.

b) Określ, jak będzie się poruszać porcja wody o temperaturze 4°C w otaczającej ją wodzie o temperaturze 2°C.

c) Hasto postawił hipotezę: *Na dnie zbiorników wodnych temperatura wody to zawsze 4°C*. Uzasadnij, że jest ona nieprawdziwa.



Jak myślisz?

- Dlaczego zimny wiatr chłodzi bardziej niż stojące powietrze o takiej samej temperaturze?
- Jak powstaje wiatr?
- Czy przy konwekcji zachodzi też przewodnictwo cieplne?
- Dlaczego płyty tektoniczne, czyli fragmenty skorupy ziemskiej, się poruszają?

4 Ciepło właściwe



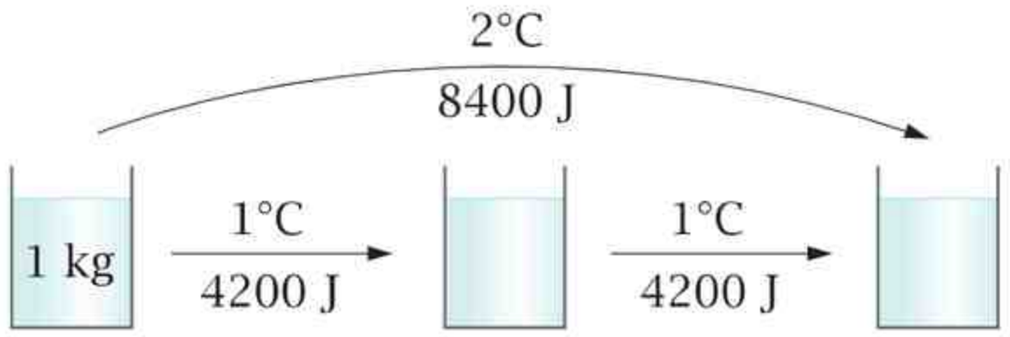
O ile obniżyłaby się temperatura oceanów, gdyby pobrano z nich tyle ciepła, ile nasza cywilizacja zużywa energii przez rok?

Czy warto gotować litr wody na szklankę herbaty?

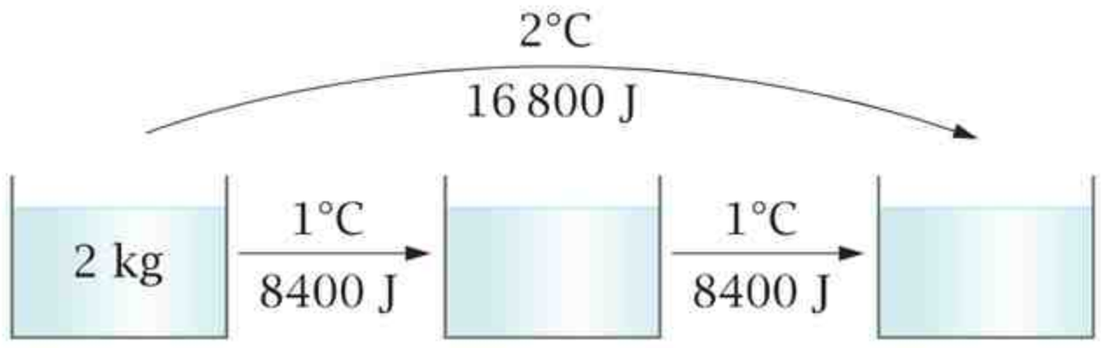
Cel lekcji
Dowiesz się, czym jest ciepło właściwe, i nauczysz się nim posługiwać.

Szklanka wody zagotuje się w czajniku szybciej, niż cały litr wody. Podgrzanie dwóch litrów wody do temperatury 80°C wymaga mniej energii w postaci ciepła, niż podgrzanie ich do 100°C.

Gdy wodzie o masie 1 kg zostanie dostarczone 4200 J ciepła, to jej temperatura wzrośnie o 1°C. Ogrzanie tej samej ilości wody o 2°C wymaga dostarczenia jej 8400 J ciepła. Z kolei do ogrzania 2 kg wody o 2°C potrzeba 16 800 J (zob. rysunek).



Dostarczenie 4200 J ciepła 1 kg wody powoduje wzrost temperatury o 1°C.



Dostarczenie 8400 J ciepła 2 kg wody powoduje wzrost temperatury o 1°C.

Okazuje się, że dla różnych substancji ilość tego ciepła jest inna. Aby podnieść o 1°C temperaturę kilogramowej sztabki złota, potrzeba tylko 130 J ciepła, czyli dużo mniej niż w wypadku wody. Wielkość charakteryzującą ilość energii potrzebnej do ogrzania 1 kg ciała o 1°C nazywamy **ciepłem właściwym**. Jednostką ciepła właściwego jest $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, czyli *dżul na kilogram, na stopień Celsjusza.*

Ciepło właściwe (c) to wielkość opisująca ilość energii potrzebnej do ogrzania 1 kg substancji o 1°C. Jednostką ciepła właściwego jest $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

Znając masę ciała, można sprawdzić, o ile stopni podniesie się jego temperatura po dostarczeniu danej ilości ciepła.

ciepło właściwe ciała $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}\right]$ → $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ ← ciepło dostarczone ciału [J]

masa ciała [kg] ↑ ↑ zmiana temperatury ciała [°C]

Wartości ciepła właściwego danych substancji podano dla temperatury 20°C, pod ciśnieniem 1000 hPa.

Substancja	Ciepło właściwe $\left[\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}\right]$
ołów, złoto	130
piasek, beton	800
powietrze (gaz)	1000
styropian, polistyren, cukier	1200
papier, drewno dębu	1500
woda	4200
hel (gaz)	5200
wodór (gaz)	14 000

W tabeli obok podano ciepła właściwe wybranych substancji. Informacje dotyczące innych substancji znajdziesz na końcu podręcznika (str. 275).



Podgrzanie o 1°C sztabki złota o masie 1 kg wymaga innej ilości ciepła niż podgrzanie 1 kg drewna.

PRZYKŁAD 1. Metalowy blok o masie 10 kg pobrał 76 kJ ciepła. Temperatura bloku wzrosła o 20°C.

a) Oblicz ciepło właściwe bloku.

b) Czy blok mógł być wykonany w całości ze złota? Odpowiedź uzasadnij.

Dane:

$Q = 76\,000$ J — pobrane ciepło

$m = 10$ kg — masa

$\Delta T = 20°\text{C}$ — wzrost temperatury

Szukane:

$c = ?$ — ciepło właściwe

Rozwiązanie:

a) $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ $\quad c = \frac{76\,000\ \text{J}}{10\ \text{kg} \cdot 20°\text{C}} = 380\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$

b) Nie. Ciepło właściwe złota jest równe 130 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Ciepło właściwe bloku jest prawie 3 razy większe, więc nie jest on wykonany w całości ze złota.

ĆWICZENIE 1. Porcji cieczy o masie 40 kg dostarczono 400 kJ ciepła. Temperatura tej porcji wzrosła o 5°C.

a) Oblicz ciepło właściwe tej cieczy.

b) Czy cieczą tą była woda? Odpowiedź uzasadnij.

Przekształcając wcześniejszy wzór, można obliczyć inne wielkości.

- Ilość ciepła potrzebnego, by temperatura ciała o masie m i cieple właściwym c wzrosła o ΔT:

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

i Dla dociekliwych

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad | \cdot (m \cdot \Delta T)$$
$$c \cdot (m \cdot \Delta T) = Q$$
$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$$

- Zmiana temperatury ciała o masie m i cieple właściwym c, gdy ciało pobrało ciepło Q:

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

i Dla dociekliwych

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

Ciepło właściwe i zmiana temperatury

Wzrost temperatury o jeden stopień Celsjusza jest równy wzrostowi temperatury o jeden kelwin. Wobec tego ciepło właściwe wyrażone w $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ możemy zapisać bez zmiany wartości liczbowej w jednostkach $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$.

PRZYKŁAD 2. O ile zwiększy się temperatura 2 kg ołowiu o cieple właściwym $130\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, gdy porcja ta pobierze 2600 J ciepła? Wynik wyraź w kelwinach.

Dane:

$Q = 2600$ J — pobrane ciepło

$m = 2$ kg — masa

$c = 130\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ — ciepło właściwe

Szukane:

$\Delta T = ?$ — wzrost temperatury

Rozwiązanie:

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

$$\Delta T = \frac{2600\ \text{J}}{130\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot 2\ \text{kg}} = \frac{2600}{130 \cdot 2}\ \frac{\text{J}}{\frac{\text{J}}{°\text{C}}} = 10\ \frac{\text{J} \cdot °\text{C}}{\text{J}} = 10°\text{C}$$

Otrzymana wartość liczbowa zmiany temperatury będzie taka sama w stopniach Celsjusza i w kelwinach.

Odp. Temperatura ołowiu zwiększy się o 10 K.

ĆWICZENIE 2. O ile zwiększy się temperatura cegły o masie 4 kg i cieple właściwym $850\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, gdy cegła ta pobierze 6800 J ciepła? Wynik wyraź w kelwinach.

Czas na zadania!

i W zadaniach przyjmij, że ciepło właściwe wody to 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Zadanie 1. *Piasek*

Aby podnieść o 1°C temperaturę 1 kg piasku, potrzeba 800 J ciepła. Oblicz, ile ciepła potrzeba, by podnieść temperaturę:

a) 1 kg piasku o 2°C,

b) 2 kg piasku o 1°C,

c) 10 kg piasku o 10°C,

d) 1000 g piasku o 1 K,

e) tony piasku o 10 K.

Zadanie 2. *Ciepło*

W tabeli opisano różne ciała — ich ciepła właściwe (c) oraz wzrost temperatury (ΔT). Oblicz ciepło pobrane przez te ciała, jeżeli każde ma masę 10 kg.

Substancja	Ciepło właściwe	ΔT
pleksi	1400 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	1°C
korek	1800 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	5°C
wolfram	130 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	1 K
stal nierdzewna	500 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	4 K
bazalt	900 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	20°C

Zadanie 3. *Stygnące gazy*

Oblicz ciepło oddane przez porcję gazu o masie 5 kg, jeśli ciepło właściwe gazu to:

a) 1000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ (powietrze), a jego temperatura spadła o 1°C,

b) 1000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, a jego temperatura spadła o 7°C,

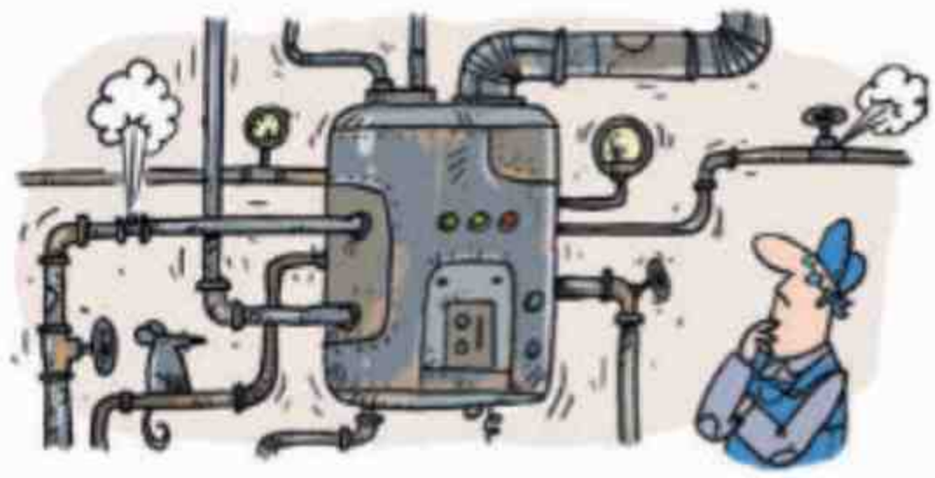
c) 5200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ (hel), a jego temperatura spadła o 10°C,

d) 14 000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ (wodór), a jego temperatura spadła od 400 K do 300 K.

Zadanie 4. *Bojler*

Dane w tabeli opisują stan wody w pewnym bojlerze. Uzupełnij tabelę, wiedząc że gęstość wody to 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

	①	②	③	④
Masa wody	?	?	150 kg	170 kg
Objętość wody	200 l	?	?	?
Wzrost temperatury	od 10°C do 60°C	o 1°C	o 4°C	?
Dostarczone ciepło	?	210 kJ	?	3570 kJ



Zadanie 5. *Ciepło właściwe*

W tabeli podano wzrost temperatury różnych substancji oraz ilość dostarczonego im ciepła. Każda porcja miała masę 10 kg. Oblicz ciepło właściwe tych substancji.

	Dostarczone ciepło	Wzrost temperatury
A.	10 kJ	o 1°C
B.	60 kJ	o 3°C
C.	60 kJ	o 5 K
D.	50 kJ	od 16°C do 26°C
E.	1 MJ	od 300 K do 320 K

Zadanie 6. *Woda kontra piasek*

Oblicz, ile razy więcej ciepła musi pobrać tona wody niż tona piasku, by temperatura każdej z tych porcji wzrosła o 10°C. Ciepło właściwe piasku to 800 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Zadanie 7. *Ciepło oddane*

Hasto próbuje rozwiązać zadanie.

— Pytają się o ciepło oddane przez kilogram wody, gdy jej temperatura spada o 1°C. Ale wcześniej nic nie było o spadku temperatury i oddawaniu ciepła — narzeka, kartkując podręcznik.

— Masz rację. Jest tylko o pobieraniu ciepła i wzroście temperatury — przytakuje Weritka. — Ale może działa to tak samo w obie strony?

— Czyli kilogram wody oddawałby 4200 J przy spadku temperatury o 1°C? Czy można to jakoś uzasadnić?

— Spróbujmy. Załóżmy, że najpierw dostarczamy kilogramowi wody 4200 J ciepła i temperatura wody wzrasta o 1°C. Jeśli następnie przy spadku temperatury o 1°C kilogram wody oddałby mniej niż 4200 J, to znikłaby część energii.

— A jeszcze lepiej byłoby, gdyby podczas ochłodzenia o 1°C kilogram wody oddał więcej ciepła, niż pobrał podczas ogrzewania. Mielibyśmy nadwyżkę energii! Znowu byłem na tropie perpetuum mobile…

a) Wskaż, jaka zasada fizyki byłaby łamana, gdyby w opisanym procesie — ogrzaniu, a następnie ochłodzeniu porcji substancji, czyli doprowadzeniu jej do początkowego stanu — znikała część energii lub pojawiała się nadwyżka energii.

b) Oblicz, ile ciepła oddało 10 kg wody, jeśli jej temperatura spadła o 5°C.

Zadanie 8. *Klimaty*

Dowiedz się, jak obecność wody i lądu wpływa na klimat.

a) Oblicz zmianę temperatury 1 kg wody, jeśli oddała ona 33 600 J ciepła.

b) Oblicz zmianę temperatury 1 kg piasku, jeśli oddał on 33 600 J ciepła. Przyjmij, że ciepło właściwe piasku to $800\ \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{°C}}$.

c) Na podstawie powyższych wyników zaproponuj wyjaśnienie tego, że w klimacie kontynentalnym (wewnątrz kontynentu, z dala od zbiorników wodnych) zimy są bardziej mroźne niż w klimacie morskim.



Jak myślisz?

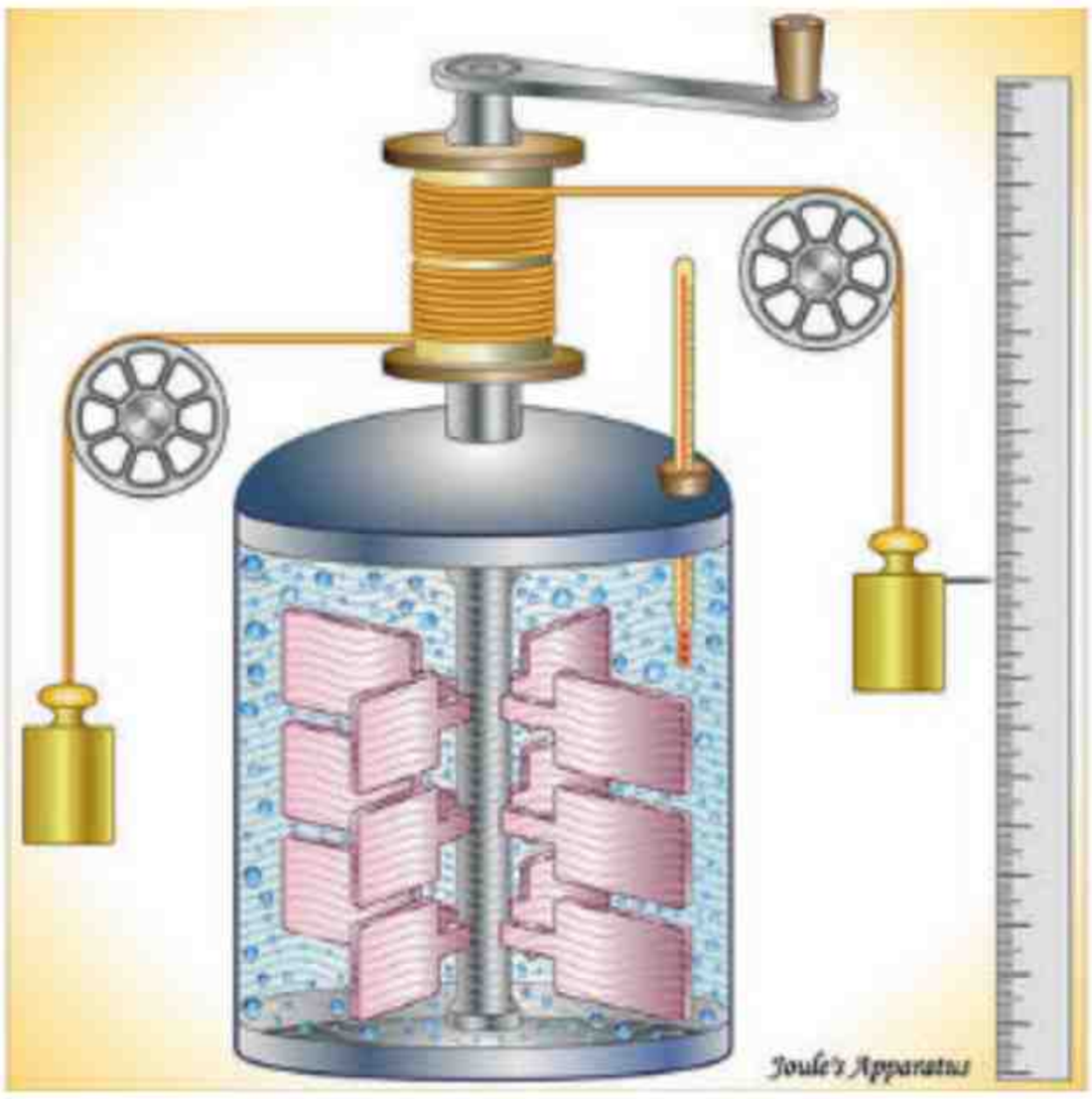
- Czy ciepło właściwe słonej wody jest takie samo jak czystej wody?
- Czy ciepło właściwe piasku i wody wpływa na powstawanie bryzy?
- Jak zmierzyć ciepło właściwe wody w warunkach domowych?

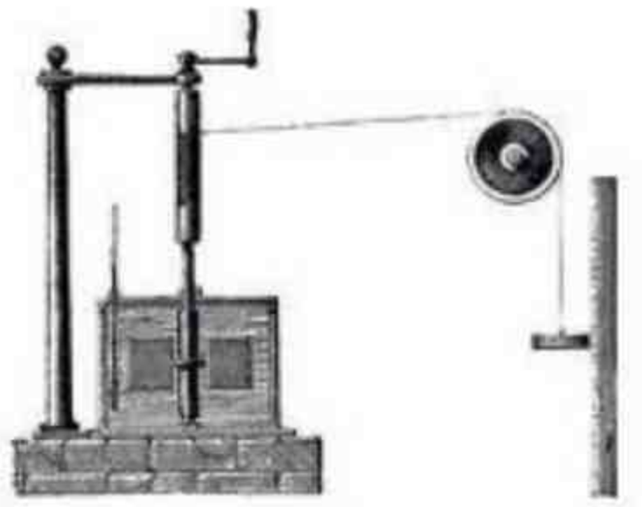


Fizyka na wesoło…

W ekskluzywnej restauracji zdenerwowany gość woła do kelnera:
— Proszę pana, ta zupa jest zimna!
— Niemożliwe… — dziwi się kelner. — Przed chwilą wymieszałem ją pół na pół z gorącą wodą…

5 Wyznaczanie ciepła właściwego





W XIX w. James P. Joule (czyt. dżejms dżul) wykazał równoważność pracy i ciepła za pomocą mieszadła, którego schemat pokazano obok. Jak w tym doświadczeniu wyznaczyć pracę włożoną w mieszanie cieczy? Dlaczego ciecz ogrzewa się podczas mieszania?

Cel lekcji

Nauczysz się wyznaczać ciepło właściwe substancji.

Jak doświadczalnie wyznaczyć ciepło właściwe?

Do tej pory posługiwaliśmy się wartościami ciepła właściwego, które zmierzył ktoś inny. Jeśli w kilku niezależnych eksperymentach uzyskano podobne wyniki, to możemy przyjąć, że są one bliskie prawdzie. Ale nie musimy. Możemy samodzielnie wyznaczyć ciepło właściwe, na przykład wody, wykonując doświadczenie. Z poprzedniej lekcji wiesz, że ciepło właściwe można wyznaczyć ze wzoru:

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

gdzie Q to dostarczone ciepło, m — masa, a ΔT — zmiana temperatury. Łatwo zmierzyć masę wody m oraz zmianę jej temperatury ΔT. Ale jak wyznaczyć dostarczone ciepło Q? Do ogrzania wody wykorzystamy czajnik elektryczny. Dla uproszczenia przyjmiemy, że czajnik całą pobraną energię elektryczną przekazuje wodzie w postaci ciepła. Aby wyznaczyć energię elektryczną pobraną przez czajnik, skorzystamy ze związku między energią zużytą przez czajnik, a jego mocą i czasem pracy.

i Moc to szybkość przekazywania energii: $P = \frac{E}{t}$, gdzie E — przekazana energia [J], t — czas [s]. Jeżeli czajnik elektryczny ma moc 2200 W, oznacza to, że w czasie 1 s pobiera 2200 J energii.

Doświadczenie Wyznaczanie ciepła właściwego

① Przygotuj: czajnik elektryczny, stoper, wagę, termometr (co najmniej do 40°C). Przerysuj tabelę do zeszytu.

② Wykonaj pomiary i obliczenia według poniższego planu. Zapisz wyniki w tabeli.

③ Z tabliczki na czajniku odczytaj jego moc.

④ Nalej do czajnika 1 kg wody o temperaturze pokojowej.

⑤ Włącz czajnik i stoper. Mierz temperaturę wody. Gdy osiągnie 40°C, zatrzymaj stoper i odczytaj czas ogrzewania. Wyłącz czajnik.

⑥ Wyznacz ciepło właściwe wody.

Wielkość	Jednostka	Wartość
P, moc czajnika	W	
m, masa wody	kg	
T_1, temperatura początkowa wody	°C	
t, czas ogrzewania wody (do 40°C)	s	
$\Delta T = 40°C - T_1$, wzrost temperatury wody	°C	
$Q = P \cdot t$, zużyta energia ≈ ciepło dostarczone wodzie	J	
$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$, ciepło właściwe wody	$\frac{J}{kg \cdot °C}$	

Dzięki precyzyjnym pomiarom można wyznaczyć wartość ciepła właściwego wody, jako 4200 $\frac{J}{kg \cdot °C}$ (po zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących). Prawdopodobnie jednak otrzymaliście inny wynik, różniący się nawet o 30%. Jakie są przyczyny takiej różnicy?

Masa wody być może różni się nieco od 1 kg. Wyniki pomiaru termometrem też są obarczone niepewnością pomiarową. W niewielkim stopniu na wynik wpływa także niepewność pomiaru czasu. Ale to wszystko nie może być przyczyną tak dużej różnicy wyniku.

Źródłem tak dużego błędu może być wyznaczona ilość ciepła przekazanego wodzie. Przyczyn tej niepewności jest kilka. Grzałka czajnika ogrzewa nie tylko wodę, ale również obudowę czajnika i otoczenie. Dodatkowo czajnik może pracować z inną mocą, niż ta zapisana na jego tabliczce.

i Dla dociekliwych

Spróbuj doświadczalnie sprawdzić następującą hipotezę: *Słona woda ma mniejsze ciepło właściwe niż czysta woda.*



Każdy pomiar jest obarczony niepewnością.

PRZYKŁAD 1. Czajnik pobierał energię elektryczną z mocą 1500 W przez 200 s. W czajniku znajdowała się woda o masie 2 kg i cieple właściwym 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Temperatura wody wzrosła o 30°C.

a) Oblicz, ile energii elektrycznej pobrał czajnik.

b) Oblicz, ile ciepła czajnik przekazał wodzie.

c) Oblicz, jaki procent energii pobranej przez czajnik został przekazany wodzie.

Dane:

$P = 1500\ \text{W}$ — moc

$t = 200\ \text{s}$ — czas pracy czajnika

$m = 2\ \text{kg}$ — masa wody

$c = 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ — ciepło właściwe wody

$\Delta T = 30°\text{C}$ — zmiana temperatury

Szukane:

$E_e = ?$ — pobrana energia elektryczna

$Q = ?$ — ciepło przekazane wodzie

$\frac{Q}{E_e} \cdot 100\%$ — procent energii przekazanej wodzie przez czajnik

Rozwiązanie:

a) $E_e = P \cdot t \qquad E_e = 1500\ \text{W} \cdot 200\ \text{s} = 300\,000\ \text{J} = 300\ \text{kJ}$

Odp. Czajnik pobrał 300 kJ energii elektrycznej.

b) $Q = c \cdot m \cdot \Delta T \qquad Q = 4200\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot 2\ \text{kg} \cdot 30°\text{C} = 252\,000\ \text{J} = 252\ \text{kJ}$

Odp. Czajnik przekazał wodzie 252 kJ ciepła.

c) $\frac{Q}{E_e} \cdot 100\% = \frac{252\ \text{kJ}}{300\ \text{kJ}} \cdot 100\% = 0{,}84 \cdot 100\% = 84\%$

Odp. Czajnik przekazał wodzie 84% pobranej energii.

ĆWICZENIE 1. Frytkownica pobierała energię elektryczną z mocą 2000 W przez 4 minuty. We frytkownicy znajdowała się porcja oleju o masie 3 kg i cieple właściwym 2000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Temperatura oleju wzrosła o 60°C.

a) Oblicz, ile energii elektrycznej pobrała frytkownica.

b) Oblicz, ile ciepła frytkownica przekazała porcji oleju.

c) Oblicz, jaki procent energii pobranej przez frytkownicę został przekazany olejowi.

Zależność temperatury od dostarczonego ciepła

Aby podnieść o 1°C temperaturę kilograma oleju słonecznikowego o cieple właściwym 2000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, tej porcji oleju należy dostarczyć 2000 J ciepła:

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

$$Q = 2000\ \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}} \cdot 1\ \text{kg} \cdot 1°\text{C} = 2000\ \text{J} = 2\ \text{kJ}$$

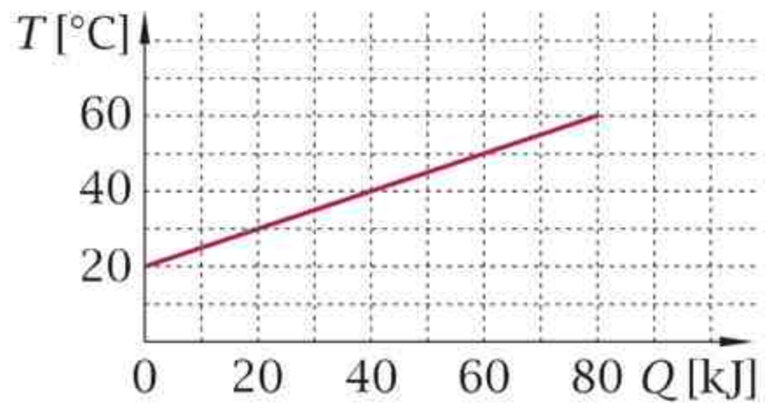
Wzrost temperatury zależy od ilości dostarczonego ciepła. Po dostarczeniu 4000 J temperatura oleju wzrośnie o 2°C, a po dostarczeniu 6000 J — o 3°C itd. Tę zależność można przedstawić za pomocą tabeli lub wykresu.

PRZYKŁAD 2. Porcja oleju o masie 1 kg i cieple właściwym 2000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ miała początkowo temperaturę 20°C. Porcję ogrzano do 60°C. Uzupełnij tabelę i narysuj wykres zależności temperatury porcji oleju od dostarczonego ciepła.

Temperatura porcji oleju, T [°C]	20	21	25	30	40	50	60
Ciepło dostarczone porcji oleju, Q [kJ]	0	2	?	20	?	?	?

Rozwiązanie:

T [°C]	20	21	25	30	40	50	60
Q [kJ]	0	2	**10**	20	**40**	**60**	**80**



i Przykładowo, skoro podniesienie temperatury o 1°C wymaga 2 kJ ciepła (co wynika z tabeli w treści zadania), to zmiana od 20°C do 25°C wymaga 5 · 2 kJ = 10 kJ.

ĆWICZENIE 2. Porcja powietrza o masie 1 kg i cieple właściwym 1000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ miała początkowo temperaturę 10°C. Porcję ogrzano do 50°C. Uzupełnij tabelę i narysuj wykres zależności temperatury porcji powietrza od dostarczonego ciepła.

Temperatura porcji powietrza, T [°C]	10	11	15	20	30	40	50
Ciepło dostarczone porcji powietrza, Q [kJ]	0	?	5	?	?	30	?

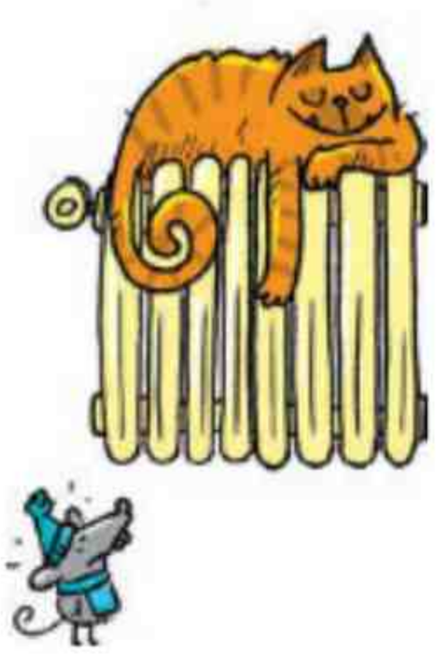
Czas na zadania!

i Możesz skorzystać z tabeli z wartościami ciepła właściwego różnych substancji (str. 275).

Zadanie 1. ***Ogrzewanie z mocą***

Oblicz ciepło właściwe porcji substancji o masie 5 kg, jeśli jej temperatura wzrosła o 20 K po przekazaniu jej ciepła z mocą:

a) 260 W przez 50 s,
b) 750 W przez 1 min,
c) 4 kW przez 20 s,
d) 8 kW przez 0,5 min,
e) 300 W przez 0,5 h.



i Przyjmij, że porcja substancji nie oddawała ciepła otoczeniu.

Zadanie 2. ***Ogrzewacz do mleka***

Ogrzewacz do mleka pobierał energię elektryczną z mocą 500 W przez 25 s. W ogrzewaczu znajdowało się mleko o masie 50 dag, którego ciepło właściwe wynosi 4000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. W tym czasie temperatura mleka wzrosła o 5°C.

a) Ile energii elektrycznej pobrał ogrzewacz do mleka?
b) Ile ciepła ogrzewacz przekazał mleku?
c) Ile energii zużyto na ogrzanie ogrzewacza i otoczenia?
d) Co można zmienić w budowie ogrzewacza, by oddawał on mniej energii otoczeniu?

Zadanie 3. ***Czas na herbatę***

W czajniku znajdowała się woda o masie 1 kg i początkowej temperaturze 20°C. Po włączeniu czajnik przekazywał wodzie ciepło z mocą 2800 W. Po jakim czasie woda osiągnie temperaturę 100°C?

Zadanie 4. ***Basen***

Basen o wymiarach 50 m × 25 m × 2 m wypełniono po brzegi wodą o gęstości 1000 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ i temperaturze 22°C. Oblicz moc, z jaką trzeba przekazywać wodzie ciepło, by w czasie 10 godzin temperatura wody osiągnęła 25°C. Przyjmij, że woda nie oddaje ciepła.

Zadanie 5. ***Rozgrzewka***

Weritka i Hasto trzęsą się z zimna, czekając na autobus. Hasto mówi:

— Dobrze byłoby się rozgrzać...

— Ciekawe, o ile byśmy się ogrzali, gdybyśmy weszli na 10 piętro, czyli na około 30 m — zastanawia się Weritka.

— Spróbujmy to oszacować. Przyjmijmy, że 30% wyzwolonej w organizmie energii chemicznej zużyłby człowiek na zwiększenie energii potencjalnej grawitacji. A reszta byłaby zamieniona na ciepło...

— To jeszcze potrzebujemy ciepła właściwego człowieka.

— Znalazłem, to około 3500 $\frac{J}{kg \cdot °C}$.

— Załóżmy, że człowiek ma masę 60 kg, nie traci ciepła, i mamy wynik!



a) Oblicz wzrost energii potencjalnej grawitacji człowieka.

b) Oblicz, ile energii chemicznej zostało wyzwolone w organizmie człowieka.

c) Ile ciepła zostało dostarczone organizmowi człowieka?

d) Oblicz wzrost temperatury człowieka.

Zadanie 6. ***Pomiary temperatury i ciepła***

Porcję substancji o masie 1 kg i temperaturze 5°C ogrzewano do 30°C. W tabeli zapisano część z wykonanych pomiarów.

T [°C]	5	6	10	15	20	25	30
Q [J]	0	?	?	1300	?	?	?

a) Na podstawie dwóch wyników w tabeli oblicz ciepło właściwe substancji.

b) Uzupełnij tabelę.

c) Narysuj wykres zależności temperatury substancji od dostarczonego ciepła.

Zadanie 7. ***Dwie substancje***

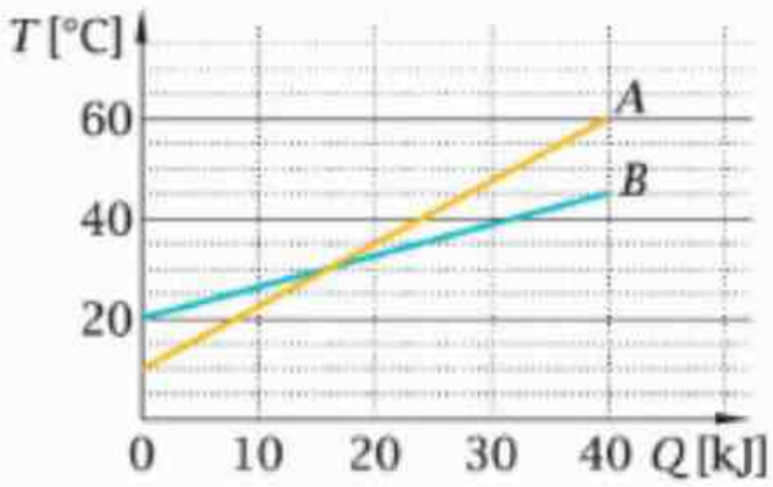
Na wykresach przedstawiono zależności temperatury T od dostarczonego ciepła Q dla porcji dwóch substancji A i B. Każda z porcji miała masę 1 kg.

a) Jakie były temperatury początkowe porcji?

b) O ile stopni wzrosły temperatury tych porcji po dostarczeniu 40 kJ ciepła?

c) Oblicz ciepła właściwe substancji A i B.

d) Jak nachylenie wykresu jest powiązane z ciepłem właściwym substancji?

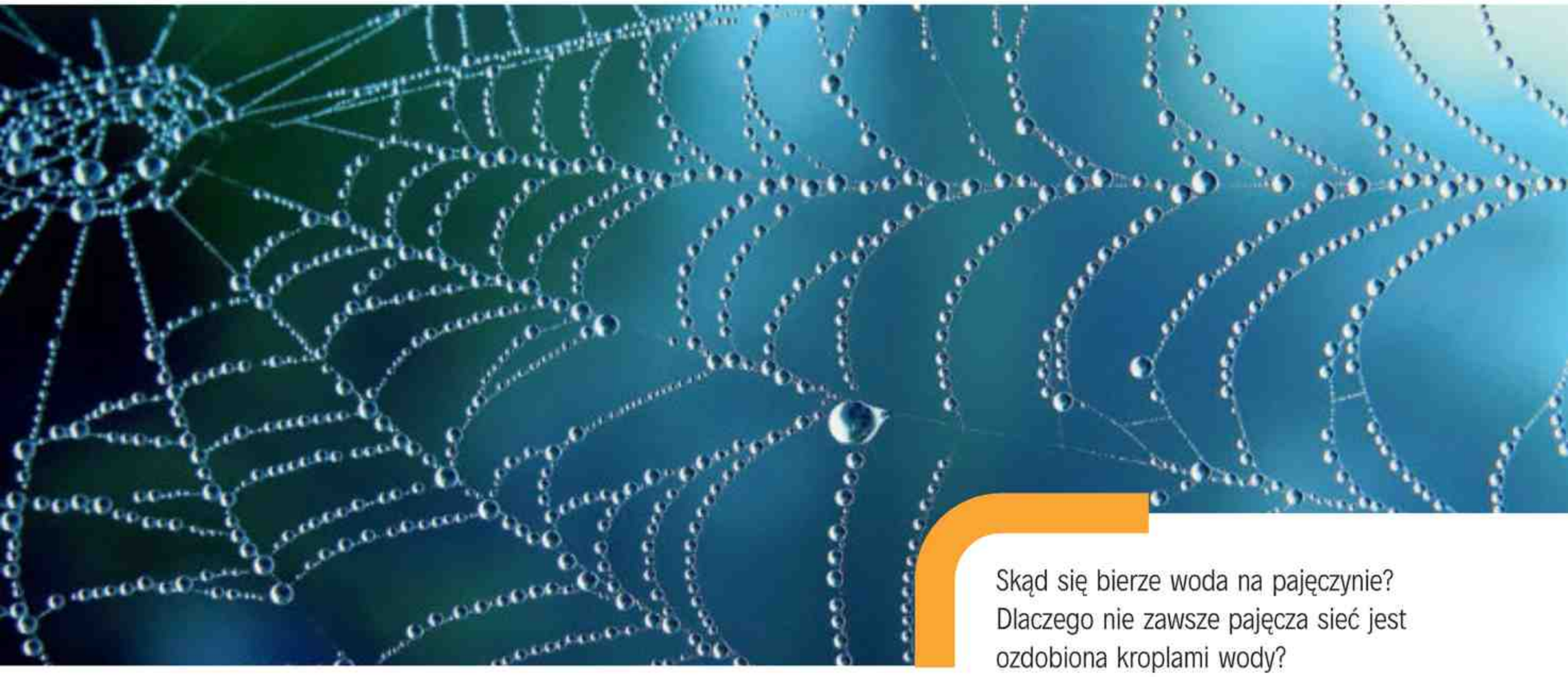




Jak myślisz?

- Czy ciepło właściwe substancji zależy od jej temperatury?
- Dlaczego wodór ma większe ciepło właściwe niż hel?
- Dlaczego temperatura wrzącej wody nie rośnie, mimo dostarczania ciepła?

6 Zmiany stanów skupienia



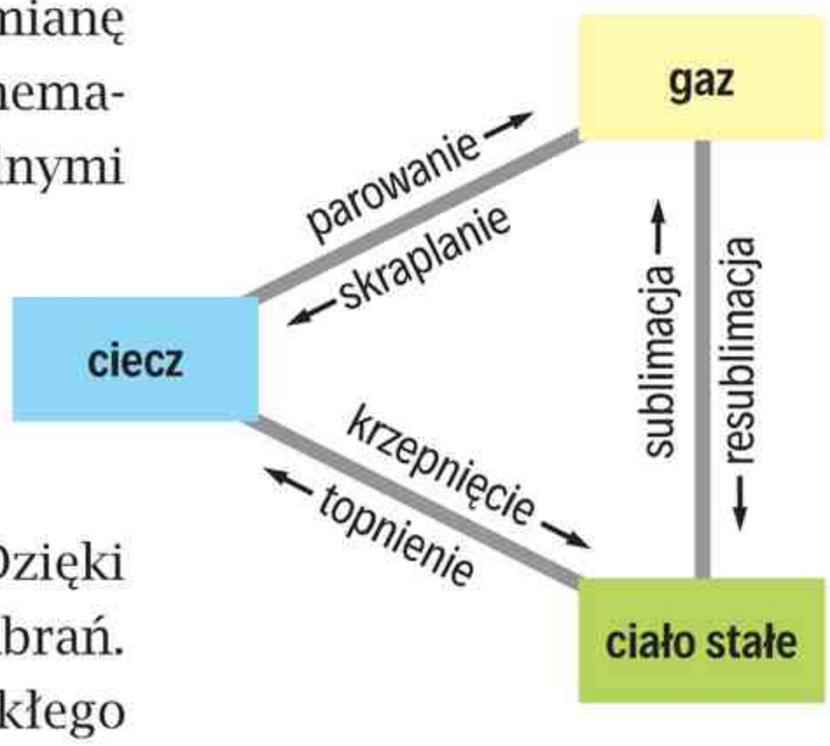
Skąd się bierze woda na pajęczynie? Dlaczego nie zawsze pajęcza sieć jest ozdobiona kroplami wody?

Stany skupienia

Wiesz już, że ciała znajdujące się dookoła ciebie występują w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. Na co dzień obserwujesz zmiany tych stanów, np. przemianę wody z kałuży w parę wodną, czyli parowanie. Na schemacie obok znajdziesz nazwy przejść między poszczególnymi stanami skupienia. O każdym z tych procesów dowiesz się więcej podczas tej lekcji.

Cel lekcji

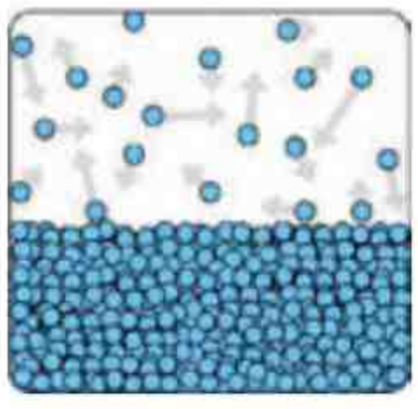
Zapoznasz się ze zmianami stanów skupienia.



Parowanie, czyli od cieczy do gazu

Parowanie to zjawisko zamiany cieczy w gaz. Dzięki parowaniu woda „znika” z kałuży i z mokrych ubrań. Woda w tych przypadkach przechodzi ze stanu ciekłego w gazowy, czyli zamienia się w parę wodną.

Cząsteczki cieczy są w ciągłym chaotycznym ruchu. Czasami przy powierzchni cieczy znajdzie się cząsteczka o energii kinetycznej na tyle dużej, że może oddzielić się od powierzchni cieczy, czyli pokonać siły spójności. Cząsteczka taka oddala się od pozostałych cząsteczek cieczy i staje się właśnie cząsteczką gazu. Zauważ, że „uciekają” cząsteczki o największej energii kinetycznej, więc temperatura parującej i niepodgrzewanej cieczy spada.



Cząsteczki cieczy o największej energii kinetycznej „uciekają”, czyli parują.



We wrzącej wodzie cząsteczki oddzielają się od siebie w cieczy, nie tylko na jej powierzchni.

Gwałtowne parowanie, czyli wrzenie

Cieczy można dostarczyć tyle energii, by nie tylko na powierzchni, ale również w głębi cieczy cząsteczki mogły oddzielać się od siebie i tworzyć porcje gazu (pęcherzyki). Taki stan nazywamy wrzeniem.

Wrzenie to gwałtowne parowanie cieczy w całej jej objętości.

Doświadczenie Parowanie, wrzenie i skraplanie

① Przygotuj: garnek ze szklaną przykrywką, kuchenkę, termometr o zakresie do co najmniej 105°C, wodę.

② Do garnka stojącego na kuchence wlej litr wody o temperaturze około 80°C (np. z czajnika). W wodzie zanurz końcówkę termometru. Przykryj garnek częściowo uchyloną przykrywką. Włącz kuchenkę.

③ Obserwuj wskazania termometru, wodę w garnku i powierzchnię przykrywki.

④ Gdy woda zacznie wrzeć, czyli będą się w niej pojawiać liczne i duże pęcherze, sprawdź, czy temperatura wody nadal się zwiększa.

i Ważne jest obserwowanie zmian temperatury, a nie samej jej wartości. Ze względu na niepewność pomiaru obserwowana graniczna temperatura może się różnić od 100°C.

Warto **wiedzieć**

Czysta woda przy ciśnieniu atmosferycznym 1013 hPa wrze w temperaturze 100°C.

Podczas doświadczenia temperatura wrzącej wody nie wzrasta, mimo dalszego ogrzewania. Dostarczane ciepło (czyli energia) powoduje zmianę stanu skupienia, zamiast wzrostu temperatury. Aby nastąpiła zamiana cieczy w gaz, cząsteczki muszą oddalić się od siebie. A to jest związane ze wzrostem energii potencjalnej ich oddziaływania.

Gdy ciecz wrze, jej temperatura nie wzrasta.

Temperatury wrzenia niektórych cieczy.

Ciecz	Temperatura wrzenia [°C]	Ciśnienie [hPa]
azot	−196	1013
alkohol etylowy	78	
ołów	1760	
woda	100	
woda	91	740 (Rysy)
woda	70	310 (Mount Everest)

Tę charakterystyczną temperaturę nazywamy **temperaturą wrzenia**. Zależy ona od samej substancji (od sił międzycząsteczkowych) oraz od ciśnienia zewnętrznego. Im mniejsze ciśnienie, tym niższa temperatura wrzenia.

Skraplanie, czyli od gazu do cieczy

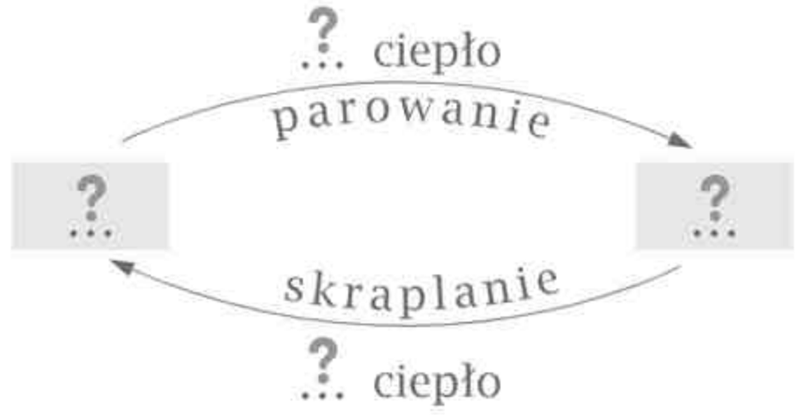
Skraplanie to zjawisko zamiany gazu w ciecz. Aby odparować porcję cieczy, należy dostarczyć jej pewną ilość ciepła. Zgodnie z zasadą zachowania energii powstały w ten sposób gaz podczas skraplania odda taką samą ilość ciepła.



Gdy para skrapla się na pokrywce, to oddaje jej ciepło.

PRZYKŁAD 1. Uzupełnij schemat, wybierając właściwe wyrazy z ramki.

pobiera • oddaje • ciecz • gaz



Rozwiązanie:

Lewy blok: ciecz. Prawy blok: gaz.

Nad górną strzałką: pobiera. Pod dolną strzałką: oddaje.

ĆWICZENIE 1. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

W trakcie wrzenia temperatura cieczy ***wzrasta / spada / nie zmienia się****, a ciepło pobierane przez ciecz zwiększa energię* ***kinetyczną / potencjalną*** *cząsteczek. Wysoko w górach temperatura wrzenia cieczy jest* ***wyższa / niższa*** *niż na poziomie morza.*

Topnienie, czyli od ciała stałego do cieczy

Topnienie to zamiana ciała stałego w ciecz. Przyjrzyjmy się temperaturom topniejącego lodu i stojącej obok wody.

Doświadczenie Topnienie lodu a ogrzewanie wody

① Przygotuj: dwie szklanki, dwa termometry o zakresie co najmniej od −5°C do 20°C, 6 kostek lodu, klamerki, 50 ml wody o temperaturze około 5°C (z lodówki). Doświadczenie wykonuj w temperaturze pokojowej.



② Do pierwszej szklanki włóż kostki lodu i umieść termometr tak, by mierzył temperaturę topniejącego lodu i powstającej wody, ale nie dotykał dna ani ścianek szklanki. Gdy temperatura będzie równa około 0°C, przejdź do kolejnego etapu.

③ Do drugiej szklanki wlej chłodną wodę i umieść termometr tak, by mierzył jej temperaturę.

④ Sprawdzaj co około 3 minuty temperaturę mieszaniny wody i topniejącego lodu oraz temperaturę samej wody. Obserwacje prowadź przez 9 minut.

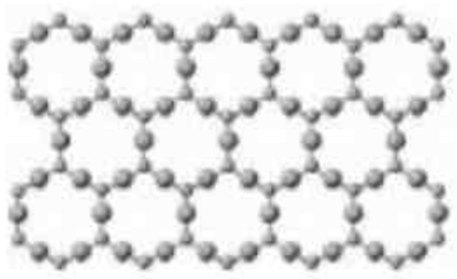
⑤ W której szklance temperatura wyraźnie wzrastała, a w której się nie zmieniała?

Temperatura wolno ogrzewanej porcji topniejącego lodu i powstającej wody wynosi 0°C. W drugiej szklance temperatura wody ciągle wzrasta. Czym różnią się te przypadki?

W pierwszej szklance zmienia się stan skupienia. Podczas topnienia temperatura nie wzrasta mimo pobierania ciepła. Skoro temperatura nie wzrasta, to nie wzrasta też energia kinetyczna cząsteczek. Słabną za to wiązania między cząsteczkami — na to jest wykorzystana dostarczona energia. Całe dostarczane ciepło zamienia się w energię potencjalną oddziaływania między cząsteczkami podczas przejścia ciała stałego w ciecz. W drugiej szklance znajduje się tylko ciecz, a dostarczane ciepło powoduje wyraźny wzrost energii kinetycznej cząsteczek.

Temperatury topnienia niektórych ciał stałych.

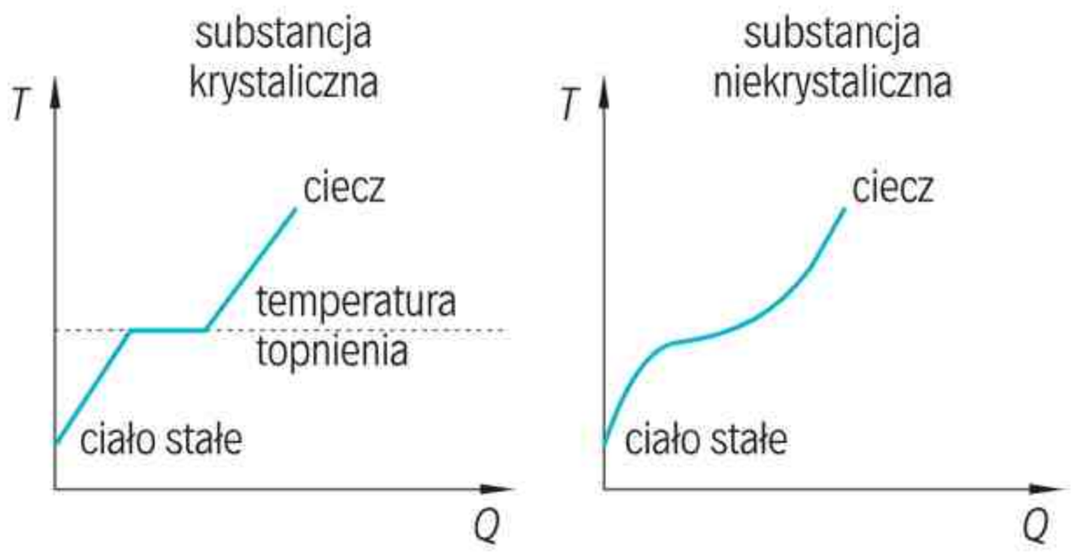
Ciało stałe	Temperatura topnienia [°C]	Ciśnienie [hPa]
azot	−210	1013
alkohol etylowy	−114	
ołów	327	
lód (H_2O)	0	
lód (H_2O)	−4	500 000



Struktura krystaliczna.



Struktura bezpostaciowa.



Zależność temperatury T porcji substancji od dostarczonego ciepła Q.

Stałą temperaturę, w której zachodzi topnienie, nazywamy **temperaturą topnienia**. Zależy ona głównie od samej substancji (od sił międzycząsteczkowych). Zależność od ciśnienia zewnętrznego jest w tym przypadku znacznie słabsza niż w przypadku temperatury wrzenia.

Okazuje się, że temperaturę topnienia można wyznaczyć tylko dla substancji **krystalicznych**, czyli takich, których cząsteczki (atomy) są ustawione regularnie, w powtarzający się sposób. Przykłady substancji krystalicznych to lód, sól kuchenna, skały, większość metali.

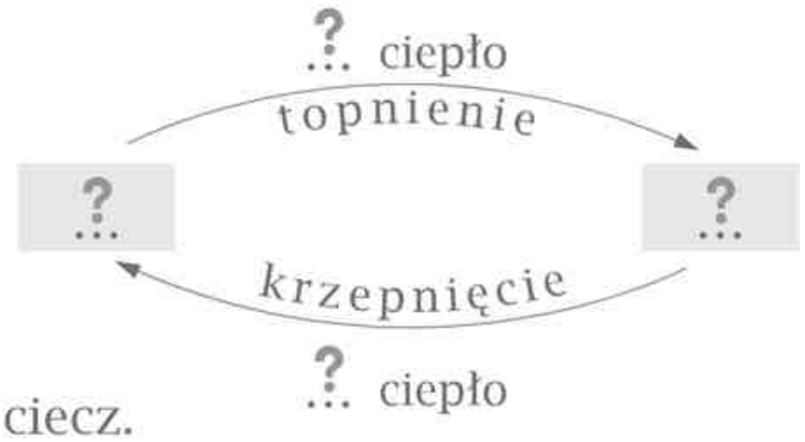
Ciała **niekrystaliczne** (zwane bezpostaciowymi) są zbudowane z regularnie powtarzających się fragmentów i podczas ogrzewania najpierw tylko miękną, a nie zamieniają się w ciecz. Podczas tego procesu cały czas wzrasta ich temperatura. Substancje niekrystaliczne to m.in. szkło, guma, bursztyn, plastik, parafina, ser żółty i masło.

Krzepnięcie, czyli od cieczy do ciała stałego

Krzepnięcie to proces odwrotny do topnienia — zamiana cieczy w ciało stałe. Ciecz oddaje ciepło. Temperatura krzepnięcia i topnienia danej substancji są równe.

PRZYKŁAD 2. Uzupełnij schemat, wybierając właściwe wyrazy z ramki.

pobiera • oddaje • ciecz • ciało stałe



Rozwiązanie: Lewy blok: ciało stałe. Prawy blok: ciecz. Nad górną strzałką: pobiera. Pod dolną strzałką: oddaje.

ĆWICZENIE 2. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Temperatura powoli ogrzewanego, topniejącego lodu ***wzrasta / spada / nie zmienia się.*** *Lód podczas topnienia* ***oddaje / pobiera*** *ciepło. Temperatura topnienia lodu jest* ***mniejsza niż / większa niż / taka sama jak*** *temperatura krzepnięcia wody.*

Sublimacja i resublimacja

Sublimacja to przejście ciała stałego bezpośrednio w gaz, z pominięciem stanu ciekłego. W normalnych warunkach sublimują na przykład suchy lód (zestalony dwutlenek węgla) i naftalen (używany w środkach na mole). Sublimację zwykłego lodu (H_2O) pod zmniejszonym ciśnieniem stosuje się w produkcji żywności liofilizowanej (suszonej po zamrożeniu). Sublimująca substancja pobiera ciepło.

Resublimacja jest procesem odwrotnym do sublimacji — to zamiana gazu bezpośrednio w ciało stałe, np. para wodna zamienia się w szron (kryształki lodu). Resublimacja występuje także podczas tworzenia się płatków śniegu: najpierw w procesie krzepnięcia powstaje kryształek lodu, a następnie resublimują na nim (dołączają do niego) cząsteczki pary wodnej.

Warto **wiedzieć**

Temperatura sublimującego suchego lodu wynosi −79°C, mimo że pobiera on ciepło.



Szron na szybie.

Dowiedz się więcej **o zmianie stanu skupienia cieczy**

Bardzo czystą ciecz można schłodzić poniżej temperatury krzepnięcia, nie powodując zmiany stanu skupienia. Jest to niestabilny stan zwany **przechłodzeniem**. Wrzucenie do przechłodzonej cieczy ziarnka piasku (zarodka krystalizacji), a nawet uderzenie naczynia, powoduje gwałtowne krzepnięcie.

Ciecz **przegrzana** jest ogrzana do temperatury wyższej niż temperatura wrzenia. Ten stan również jest niestabilny. Przegrzana ciecz może nagle zacząć wrzeć, rozpryskując się. Aby uniknąć tego niebezpieczeństwa, wystarczy w czystej cieczy umieścić zarodki (np. ziarnko pieprzu lub okruch porcelany), na których proces wrzenia będzie mógł się łatwo rozpocząć.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Chłodzenie po wynurzeniu*

Hasto zmierzył temperaturę denaturatu znajdującego się w butelce. Była równa temperaturze otoczenia. Gdy wynurzył termometr, wskazywana przez niego temperatura zaczęła gwałtownie spadać.

a) Jaka zmiana stanu skupienia denaturatu znajdującego się na końcówce termometru zaszła po jego wynurzeniu?

b) Dlaczego temperatura końcówki termometru spadała?

c) W jakich codziennych sytuacjach doświadczamy podobnego zjawiska podczas parowania wody?

Zadanie 2. *Wrzenie*

We wrzącej podgrzewanej wodzie pojawiają się pęcherze poruszające się w górę.

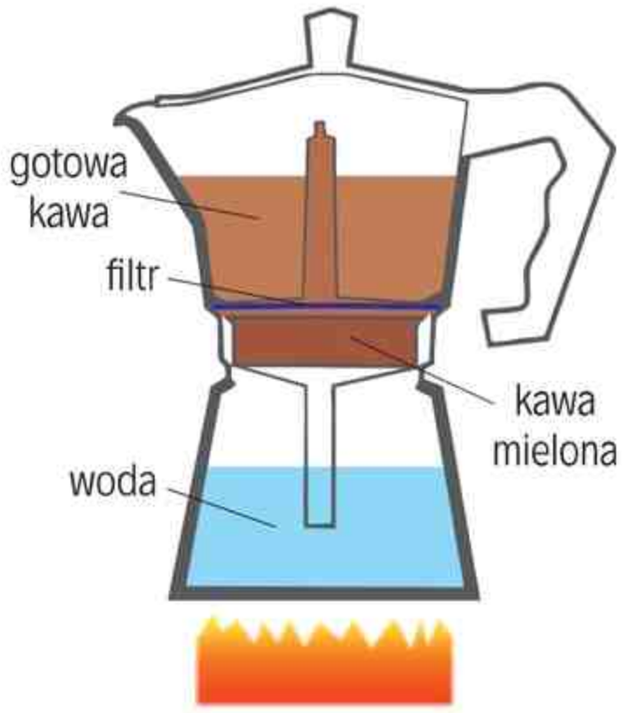
a) Jaka zmiana stanu skupienia zachodzi podczas powstawania pęcherza?

b) Co znajduje się w pęcherzu?

c) Dlaczego pęcherz porusza się w górę?

Zadanie 3. *Kawiarka*

Na rysunku przedstawiono przekrój przez kawiarkę. Gdy woda w dolnym zbiorniku wrze, płynie pionową rurką w górę.



a) Jaka zmiana stanu skupienia zachodzi w dolnym zbiorniku podczas wrzenia?

b) Co naciska na powierzchnię wody w dolnym zbiorniku i powoduje jej ruch rurką w górę?

Zadanie 4. *Mokra szyba*

Na szybie po zewnętrznej stronie pojawiły się krople wody, mimo że nikt nie polał szyby wodą, ani nie padał deszcz. Temperatura na zewnątrz to 30°C.

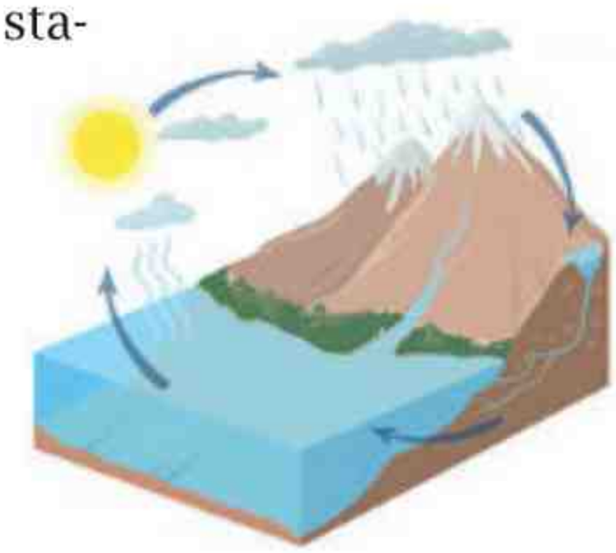
a) Skąd się wzięła woda na zewnętrznej powierzchni szyby? Jaka zmiana stanu skupienia zaszła?

b) Które ciało podczas tej przemiany oddało, a które pobrało ciepło?

c) Czy temperatura szyby była wyższa czy niższa od temperatury powietrza na zewnątrz?

Zadanie 5. *Woda w przyrodzie*

Uzupełnij opis właściwymi nazwami zmian stanów skupienia.



Obieg wody w przyrodzie.

Na powierzchni morza zachodzi ?... Z unoszącej się pary wodnej powstają kropelki wody w procesie ?... Część kropelek zamarza, czyli zachodzi ?... Do kryształka lodu mogą dołączać cząsteczki pary wodnej, tworząc płatek śniegu. Następuje wówczas ?..., czyli bezpośrednia zamiana gazu w ciało stałe. Leżący w górach śnieg może zamieniać się w ciecz — zachodzi ?... Przy niskim ciśnieniu i silnym wietrze śnieg może przechodzić bezpośrednio w stan gazowy, zachodzi ?...

Zadanie 6. *Podgrzewanie i odparowywanie*

Kilogram wody o temperaturze 0°C i cieple właściwym 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$ podgrzano do temperatury 100°C. Następnie całą porcję wody odparowano — zamieniono w parę wodną o temperaturze 100°C. Na etapie odparowania zużyto 2300 kJ energii.

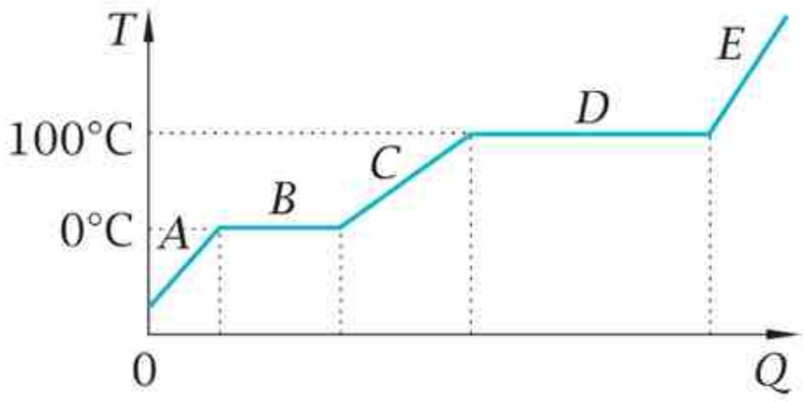
a) Ile ciepła musiała pobrać woda podczas podgrzewania o 100°C? Przyjmij, że na tym etapie energia nie była zużywana do odparowywania wody.

b) Oblicz, ile razy ciepło potrzebne do odparowania porcji wody o temperaturze 100°C jest większe od ciepła potrzebnego do ogrzania tej porcji od 0°C do 100°C. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

c) Ile ciepła należy odebrać od uzyskanej pary wodnej, by ją skroplić? Odpowiedź uzasadnij.

Zadanie 7. *Historia ogrzewania*

Na schematycznym wykresie przedstawiono zależność temperatury T porcji wody (na początku w postaci lodu) od pobranego przez tę porcję ciepła Q.



a) Wskaż fragmenty wykresu opisujące topnienie oraz opisujące wrzenie.

b) Jaki stan skupienia ma porcja na etapie A, a jaki — na etapie E?

c) Woda paruje w każdej temperaturze, ale gwałtowne parowanie zachodzi dopiero w temperaturze wrzenia. Wskaż etap, na którym porcja jest głównie cieczą.

Zadanie 8. *Zjawisko Leidenfrosta*

— Zapomniałem, że wstawiłem na kuchence pustą patelnię! Chciałem ją schłodzić, wlałem kilka kropli wody i… one żyją! — woła Hasto.

— Rzeczywiście, kropelki krążą po patelni — przytakuje zaciekawiona Weritka.

— Przecież patelnia ma z 200°C. Woda powinna od razu odparować.

— A jednak powoli się zmniejszają…

— To podejrzane, że tak powoli. Na dodatek tak łatwo się przemieszczają, wcale nie przylegają do patelni. Jak poduszkowce.

a) Czy ciepło rozchodzi się natychmiastowo w całym ciele?

b) Gdzie najszybciej wzrośnie temperatura kropli?

c) Jaka zmiana stanu skupienia następuje w miejscu, w którym kropla dotyka gorącej patelni?

d) Uzasadnij, że kropla wolniej pobiera ciepło, gdy między nią a patelnią jest cienka warstwa pary, niż gdyby leżała bezpośrednio na patelni. Powołaj się na różnicę przewodnictwa cieplnego między cieczami a gazami.





Jak myślisz?

- Od czego zależy szybkość parowania?
- Jaka jest temperatura krzepnięcia, a jaka temperatura wrzenia słonej wody?
- Jaką temperaturę ma sublimujący suchy lód?
- Czy można przechłodzić gaz?

CZĘŚĆ 1. *Zestawienie wiadomości*

Temperatura ciała jest miarą średniej energii kinetycznej cząsteczek tego ciała.

1

2

Stykające się ciała o różnych temperaturach przekazują sobie energię w postaci **ciepła**. Ciało o temperaturze wyższej przekazuje energię ciału o temperaturze niższej. Przepływ ciepła ustaje po osiągnięciu przez ciała **równowagi termicznej**, czyli po wyrównaniu się ich temperatur.



5

Ciepło (Q) to ilość energii wewnętrznej przekazanej ciału bez wykonywania pracy.

6

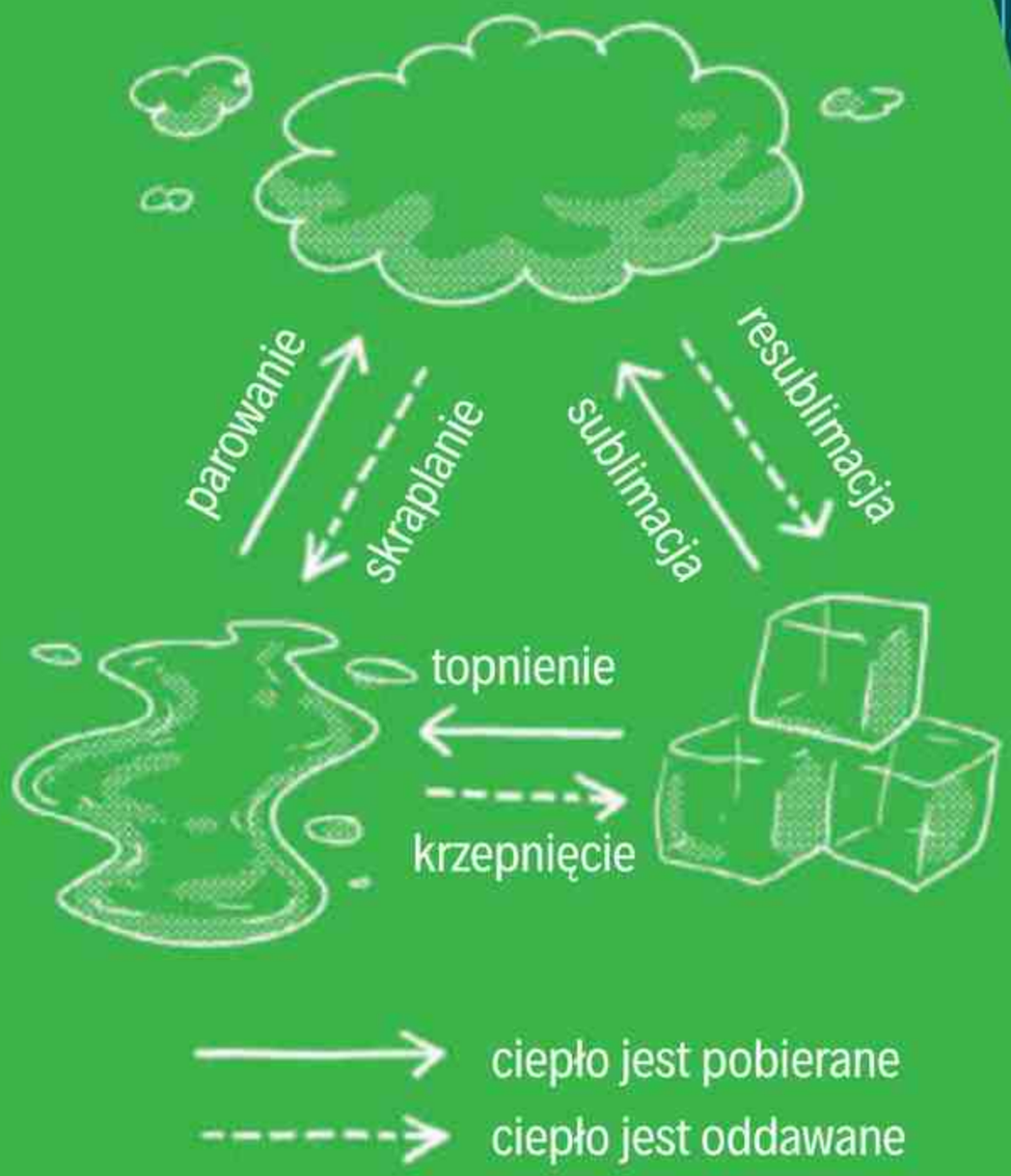
przekazanie ciału energii w postaci ciepła

wykonanie nad ciałem pracy

zmiana $E_w = Q + W$

9

Zmiany stanów skupienia



10

Wrzenie to gwałtowne parowanie cieczy w całej jej objętości. Podczas wrzenia substancja pobiera ciepło, ale jej temperatura nie zmienia się. **Temperatura wrzenia** cieczy zależy od rodzaju substancji oraz od ciśnienia zewnętrznego.

Podstawową jednostką temperatury w układzie SI jest **kelwin** [K]. Najniższą możliwą (teoretycznie) temperaturą jest **0 K ≈ –273°C**.

3

Energia wewnętrzna ciała (E_w) to suma energii kinetycznych jego cząsteczek oraz energii potencjalnych oddziaływań między tymi cząsteczkami.

4

Ciepło właściwe (c) informuje o ilości energii potrzebnej do ogrzania 1 kg substancji o 1°C: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$, gdzie Q to ciepło dostarczone ciału [J], m – masa ciała [kg], ΔT – zmiana temperatury ciała [°C]. Różne substancje mogą mieć różne ciepła właściwe. Jednostka ciepła właściwego to $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{°C}}$.

8

Sposoby przekazu ciepła:
- **przewodnictwo cieplne** (ciała się stykają)
- **konwekcja** (ruch porcji płynu o różnych temperaturach)
- **promieniowanie*** (przekaz poprzez promieniowanie elektromagnetyczne)

7

Podczas topnienia, wrzenia i sublimacji dostarczenie energii w postaci ciepła nie powoduje wzrostu temperatury substancji.

12

Dla ciał o budowie krystalicznej topnienie zachodzi w stałej temperaturze zwanej **temperaturą topnienia**. Temperatura topnienia zależy głównie od rodzaju substancji. Podczas topnienia substancja krystaliczna pobiera ciepło, ale jej temperatura nie zmienia się. **Temperatura krzepnięcia** jest równa temperaturze topnienia danej substancji. Podczas krzepnięcia substancja oddaje ciepło, ale jej temperatura nie zmienia się.

11

CZĘŚĆ 2. *Sprawdź, czy wiesz*

1. Jak zmienia się temperatura ciała, gdy maleje średnia energia kinetyczna jego cząsteczek?

2. Jaki jest kierunek przekazywania ciepła między ciałami o różnych temperaturach?

3. Wyjaśnij, co to znaczy, że ciała są w równowadze termicznej.

4. Podaj wartość temperatury zera bezwzględnego (0 K) w stopniach Celsjusza.

5. Co to jest energia wewnętrzna ciała?

6. W jaki sposób można zmienić (zmniejszyć lub zwiększyć) energię wewnętrzną ciała? Zapisz odpowiedni wzór.

7. Wymień sposoby przekazywania ciepła.

8. Wyjaśnij, dlaczego dotykany metal o temperaturze 20°C wydaje się chłodny, a styropian o tej samej temperaturze — nie.

9. Przedstaw przykłady sytuacji, w których konwekcja jest pożyteczna.

10. Jaką rolę pełni powietrze „uwięzione" w kurtce puchowej?

11. Podaj przykłady trzech substancji, które są dobrymi przewodnikami ciepła.

12. Wymień trzy substancje, które są izolatorami cieplnymi.

13. Wyjaśnij, w jaki sposób ciepło jest przekazywane w próżni.

14. Wyjaśnij, co to znaczy, że ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

15. Omów sposób wyznaczania ciepła właściwego wody za pomocą czajnika o znanej mocy, stopera, wagi i termometru.

16. Omów procesy: topnienia i krzepnięcia, parowania i skraplania, sublimacji i resublimacji. Podczas których z tych procesów substancje oddają ciepło, a podczas których — pobierają?

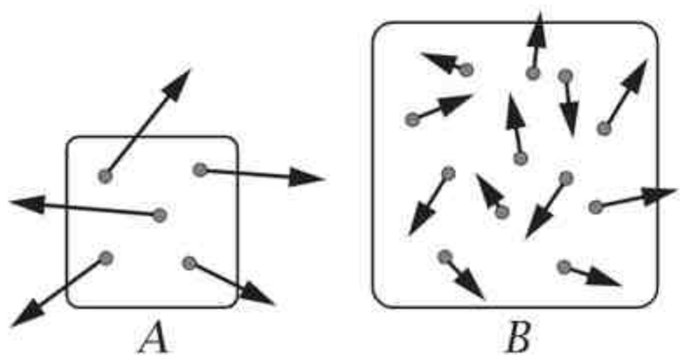
17. Wskaż różnicę w topnieniu ciał krystalicznych i ciał bezpostaciowych.

18. Wymień procesy, w których temperatura ciała nie wzrasta, pomimo że pobiera ono ciepło.

19. Który „składnik" energii wewnętrznej ciała ulega zmianie podczas zmiany stanu skupienia?

CZĘŚĆ 3A. *Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka*

Zadanie 1. Na schematach przedstawiono zbiorniki zawierające ten sam rodzaj gazu. Strzałki to wektory prędkości chaotycznego ruchu cząsteczek. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.



Wyższą temperaturę ma gaz…

A.	*w zbiorniku A,*	*ponieważ*	**1.**	*jest w nim więcej cząsteczek.*
B.	*w zbiorniku B,*		**2.**	*średnia energia kinetyczna znajdujących się w nim cząsteczek jest większa.*

Zadanie 2. Temperatura wrzenia wody przy ciśnieniu 1013 hPa wynosi:

A. 100 K **B.** 273 K **C.** 173 K **D.** 373 K

Zadanie 3. Uzupełnij zdania.

a) *Energia wewnętrzna ciała jest sumą energii … jego cząsteczek oraz energii … oddziaływań między tymi cząsteczkami.*

b) *Energię wewnętrzną ciała można zmienić poprzez dostarczenie temu ciału … lub wykonanie nad nim ….*

c) *Zachodzi równość:* zmiana E_w = … + ….

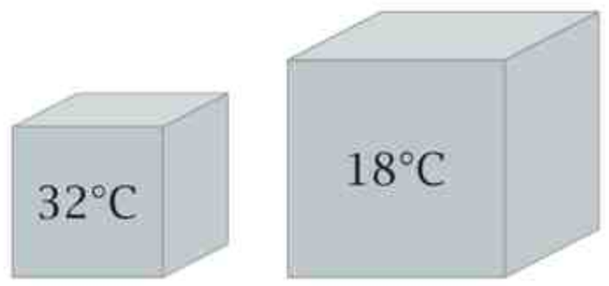
Zadanie 4. Temperatura wody w szklance wynosi 57°C, a w basenie 22°C. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Cząsteczki wody w basenie mają ***większą/mniejszą*** *średnią energię kinetyczną niż cząsteczki wody w szklance. Całkowita energia wewnętrzna wody w szklance jest* ***większa/mniejsza*** *niż energia wewnętrzna wody w basenie.*

Zadanie 5. Jednostką ciepła jest:

A. kelwin **B.** dżul **C.** wat **D.** niuton

Zadanie 6. Na rysunku podano początkowe temperatury sześcianów wykonanych z aluminium. Uzupełnij zdania. Przyjmij, że sześciany nie wymieniają ciepła z otoczeniem.



Po zetknięciu sześcianów przepływ ciepła nastąpi od sześcianu o ***większej masie/wyższej temperaturze*** *do sześcianu o* ***niższej temperaturze/mniejszej masie.*** *Przepływ ciepła ustanie po wyrównaniu się* ***energii wewnętrznych/temperatur*** *sześcianów.*

Zadanie 7. Wskaż, w których sytuacjach energia wewnętrzna ciał zmienia się głównie w wyniku przekazywania ciepła (Q), a w których — w wyniku wykonania pracy (W).

① Podczas wiercenia otworu w ścianie wiertło rozgrzało się.
② Temperatura masła włożonego do lodówki obniżyła się.
③ Meteoroid, który wpadł w atmosferę ziemską, rozgrzał się i uległ spaleniu.
④ W upalny dzień obniżono temperaturę jezdni, polewając ją wodą.
⑤ Buty ogrzały się od kaloryfera, na którym je postawiono.

Zadanie 8. Określ, czy podana substancja jest dobrym czy złym przewodnikiem ciepła.

① styropian ② powietrze ③ miedź ④ wata ⑤ stal

Zadanie 9. Wskaż zjawiska, w których zachodzi konwekcja.

① Nagrzewanie się uchwytu pustego, metalowego garnka od jego rozgrzanej ścianki.
② Powstawanie bryzy morskiej.
③ Ogrzewanie się ostrza miecza uderzonego młotem.
④ Palenie się pochodni.
⑤ Podgrzewanie wody w czajniku elektrycznym.

Zadanie 10. Ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Wynika z tego, że:

A. do ogrzania 2 kg wody o 5°C potrzeba 420 J energii,

B. do ogrzania 0,5 kg wody o 2°C potrzeba 2100 J energii,

C. do ogrzania 1 g wody o 1°C potrzeba 4200 J energii,

D. do ogrzania 10 g wody o 10 K potrzeba 420 J energii.

Zadanie 11. Podczas sprężania gazu wykonano pracę 800 J. Jeśli w tym procesie gaz nie pobierał ani nie oddawał ciepła, to jego energia wewnętrzna:

A. nie zmieniła się,

B. wzrosła o 800 J,

C. zmalała o 800 J,

D. nie wiadomo, czy wzrosła, czy zmalała, ponieważ nie podano temperatury gazu.

Zadanie 12. Ile ciepła trzeba dostarczyć, aby zwiększyć o 3°C temperaturę porcji powietrza o masie 42 kg? Ciepło właściwe powietrza to 1000 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Wynik wyraź w kJ.

Zadanie 13. Każdej z trzech kulek — żelaznej, ołowianej i miedzianej — dostarczono taką samą ilość ciepła. Jeżeli masy tych kulek są jednakowe, to najbardziej wzrośnie temperatura:

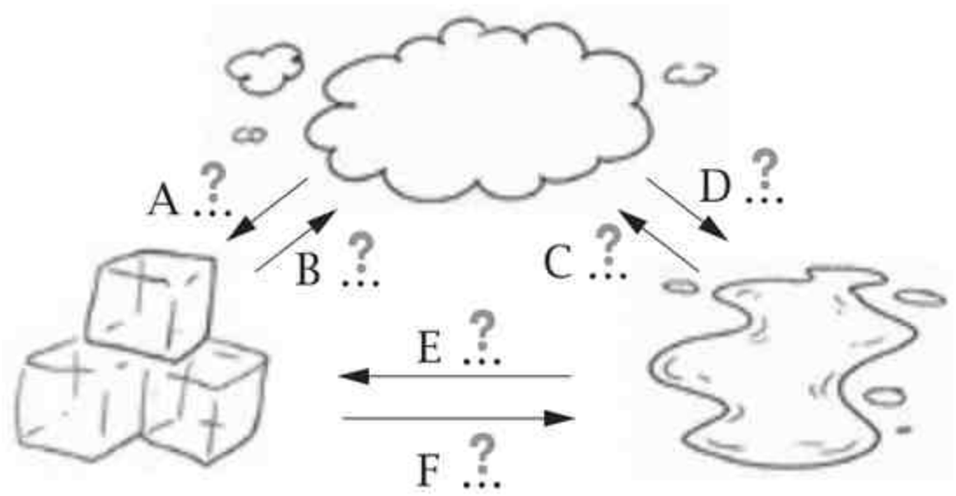
A. kulki żelaznej,
B. kulki ołowianej,
C. kulki miedzianej,
D. przyrosty temperatury będą jednakowe.

i Skorzystaj z tabeli ciepła właściwego substancji na str. 275.

Zadanie 14.

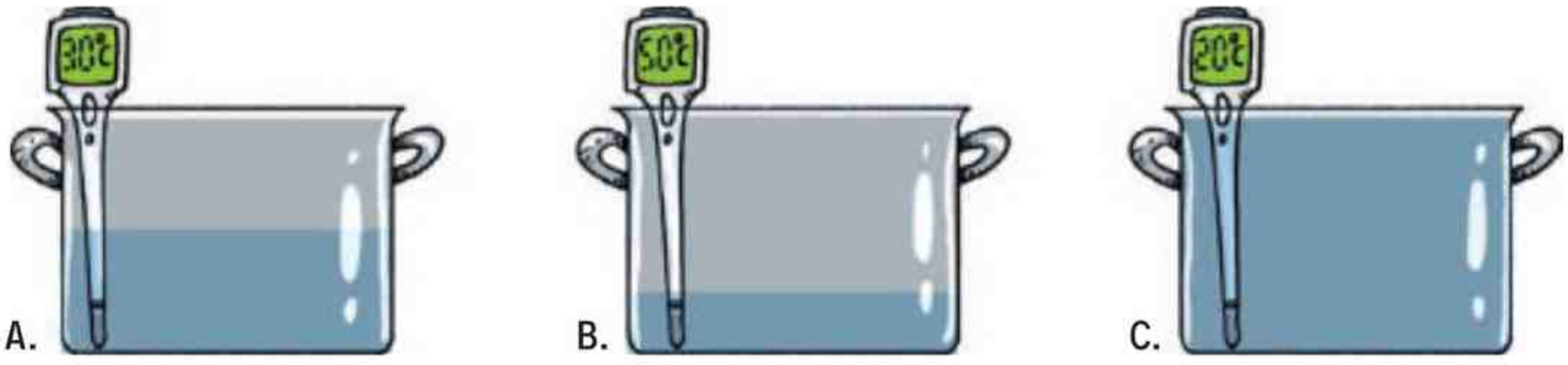
a) Uzupełnij schemat nazwami zmian stanów skupienia.

b) W których z tych procesów substancja pobiera ciepło, a w których — oddaje?



CZĘŚĆ 3B. *Sprawdź, czy potrafisz. Trening*

Zadanie 1. Wskaż naczynie, w którym średnia energia kinetyczna cząsteczek wody jest największa.



Zadanie 2. Oceń, czy na przedstawionym schemacie występuje przepływ ciepła między ciałami. Jeżeli tak, określ kierunek tego przepływu.

① 

② 

③ 

④ 

Zadanie 3. W nocy 16 marca w Gdańsku zanotowano temperaturę −3°C, a w dzień 8°C. Różnica temperatur między dniem i nocą wynosiła wtedy:

A. 11 K **B.** 284 K **C.** 262 K **D.** 278 K

Zadanie 4. Do filiżanki z gorącą kawą o temperaturze 82°C włożono stalową łyżeczkę o temperaturze 23°C. Uzupełnij zdania. Pomiń wymianę ciepła z otoczeniem.

a) *Początkowo średnia energia kinetyczna cząsteczek* ?... *była mniejsza od średniej energii kinetycznej cząsteczek* ?...

b) *Pomiędzy kawą i łyżeczką nastąpił przepływ ciepła. Kawa* ?... *ciepło, a łyżeczka* ?...

c) *W wyniku przepływu ciepła energia wewnętrzna łyżeczki* ?..., *a kawy* ?...

d) *Przepływ ciepła zakończył się po wyrównaniu* ?... *kawy i łyżeczki.*

Zadanie 5. W wiadrach znajduje się woda lub lód. Dla każdego rysunku znajdź pasujący opis. Niektóre opisy mogą zostać użyte kilka razy, a niektóre wcale.

Ⅰ 

Ⅱ 

Ⅲ 

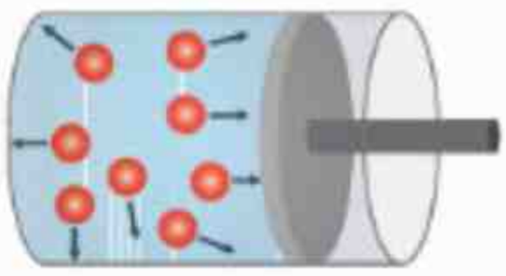
① Energia wewnętrzna substancji w obu wiadrach jest taka sama.

② Energia wewnętrzna substancji w lewym wiadrze jest większa niż w prawym wiadrze.

③ Energia wewnętrzna substancji w lewym wiadrze jest mniejsza niż w prawym.

④ Średnia energia kinetyczna cząsteczek substancji w prawym wiadrze jest większa niż w lewym.

Zadanie 6. Naczynie z gazem jest zamknięte ruchomym tłokiem (zob. rysunek). Na skutek podgrzewania gaz pobrał 1200 J ciepła, a tłok przesunął się w prawo o 24 cm. Energia wewnętrzna gazu się nie zmieniła. Określ, jaką pracę wykonał gaz, rozprężając się.



Zadanie 7. Działanie hamulców samochodowych polega na tym, że tarcie klocków hamulcowych o tarcze zmniejsza prędkość samochodu. Podczas hamowania na poziomym odcinku drogi energia kinetyczna samochodu zmalała z 480 kJ do 110 kJ. Oblicz, o jaką maksymalną wartość mogła wzrosnąć energia wewnętrzna tarcz i klocków hamulcowych.

Zadanie 8. Stalowa patelnia o masie 1,2 kg podczas ogrzewania na kuchence pobrała 48 kJ energii. Oblicz, o ile stopni wzrosła temperatura patelni. Przyjmij, że ciepło właściwe stali wynosi 500 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

Zadanie 9. Ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, a piasku 800 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

a) Ile ciepła należy dostarczyć, aby temperatura 100 kg wody wzrosła z 18°C do 21°C?

b) O ile stopni wzrośnie temperatura 100 kg piasku, jeśli pobierze on taką samą ilość ciepła jak woda w podpunkcie a)? Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 10. Do czajnika o mocy 2,2 kW wlano 1,2 litra wody o temperaturze 10°C. Ciepło właściwe wody wynosi 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$. Oblicz, po ilu minutach od włączenia czajnika woda zacznie wrzeć. Przyjmij, że czajnik nie wymienia ciepła z otoczeniem. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 11. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

a) *Podczas topnienia* ***energia kinetyczna/energia potencjalna*** *cząsteczek wody rośnie.*

b) *Temperatura krzepnięcia wody jest* ***niższa niż/taka sama jak*** *temperatura topnienia lodu.*

c) *Szron powstaje w wyniku* ***sublimacji/resublimacji.***

Zadanie 12. Kilogram wody o temperaturze 100°C ochłodzono do temperatury 0°C, a następnie zamieniono w lód o temperaturze 0°C. Podczas krzepnięcia woda oddała do otoczenia 334 kJ ciepła. Ciepło właściwe wody to 4200 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$.

a) Ile ciepła oddała woda podczas ochładzania od 100°C do 0°C?

b) Porównaj otrzymany wynik z wartością ciepła oddanego podczas krzepnięcia i oceń, czy ilość ciepła oddanego przez stygnącą wodę wystarczy do stopienia 2 kg lodu o temperaturze 0°C.

Zadanie 13. Na wykresie pokazano przebieg procesu ogrzewania sztabek złota i srebra o masie 1 kg każda. Ogrzewanie sztabek doprowadziło do ich całkowitego stopienia.

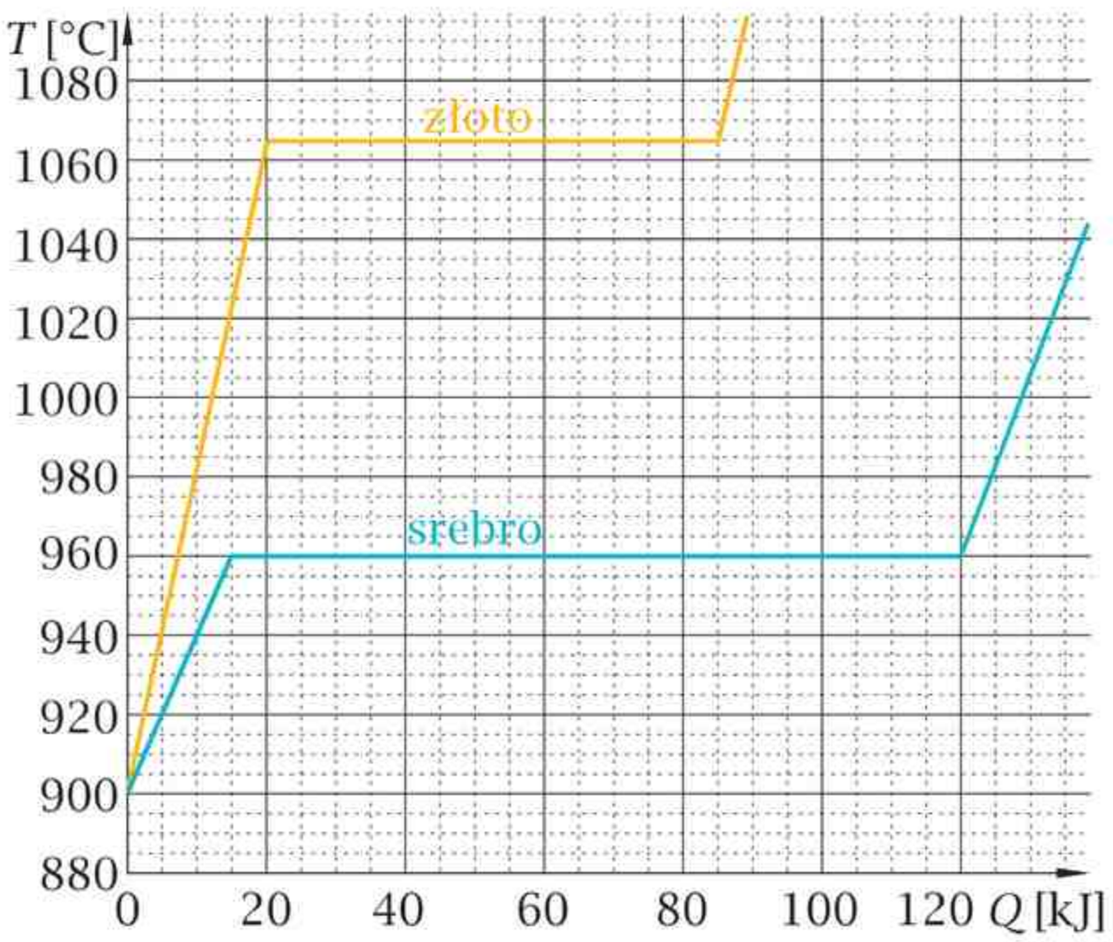
a) Ile wynosi temperatura topnienia złota, a ile — srebra? Wyniki podaj z dokładnością do 5°C.

b) Ile ciepła pobrała każda sztabka podczas ogrzewania od temperatury 900°C do temperatury topnienia?

c) Oceń, bez wykonywania obliczeń, który z metali ma mniejsze ciepło właściwe.

d) Oblicz przybliżoną wartość ciepła właściwego każdego z metali z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

e) Ile ciepła pobrała podczas topnienia każda ze sztabek?



2 Elektryczność



Jak powstają świecące wstęgi w kuli plazmowej?

W gazie wypełniającym kulę są obecne swobodne elektrony. Po włączeniu kuli środkowa elektroda na przemian przyciąga je i odpycha. Zderzając się z atomami gazu, wybijają one kolejne elektrony. Gdy w danym miejscu zjawisko jest intensywne, powstaje wstęga. Co w niej świeci? To elektron, ponownie łącząc się z atomem, pozbywa się nadmiaru energii w postaci światła.

7 Elektryzowanie



Co zachodzi w chmurach, że powstaje piorun? Czym on jest? Czy błyskawica może powstać między chmurami?

Cel lekcji

Zapoznasz się ze zjawiskiem elektryzowania przez potarcie oraz z oddziaływaniem naelektryzowanych ciał.

Co iskrzy w swetrze?

Suche długie włosy podczas czesania plastikowym grzebieniem mogą się do niego „przykleić". Gdy w suchym powietrzu ściągniesz przez głowę wełniany sweter, usłyszysz kilka trzasków. Jeśli jest ciemno, zaobserwujesz błyski, czyli **iskry elektryczne**. Powstają one, gdy ładunki elektryczne przepływają przez powietrze. Skąd się wzięły te ładunki i jakie oddziaływanie powoduje ich przepływ?

Doświadczenie Oddziaływanie naelektryzowanych ciał

① Przygotuj dwie lekkie, wykonane z cienkiego plastiku torebki.

② Jedną z torebek pognieć dłońmi, by usunąć z niej ewentualny ładunek. Następnie przyłóż ją rozpłaszczoną do szyby okiennej i puść. Powinna opaść.

③ Tę samą torebkę po rozpłaszczeniu potrzyj kilka razy o szybę. Odsuń rękę. Torebka powinna przylegać do szyby.

④ Delikatnie „odklej" torebkę od szyby. Powoli oddalaj ją i przysuwaj do miejsca, do którego przylegała. Torebka będzie przyciągana do szyby.

⑤ Potrzyj dwiema rozpłaszczonymi torebkami o szybę, każdą w innym miejscu szyby. Trzymając za końce torebek, zbliżaj je powoli do siebie potartymi powierzchniami. Kiedy odchylają się najbardziej?

Potarcie torebki o szybę zmienia sposób, w jaki torebka i szyba oddziałują na siebie. Torebka jest przyciągana do szyby i może do niej przylegać ponad godzinę, zanim spadnie. Natomiast dwie potarte o szybę torebki odpychają się tym bardziej, im są bliżej siebie. Za takie zachowanie odpowiedzialne jest **oddziaływanie elektryczne**, którego źródłem jest ładunek elektryczny. Spowodowanie, żeby ciało miało nadmiar ładunków elektrycznych nazywamy **elektryzowaniem**. Torebka w doświadczeniu była elektryzowana **przez potarcie**.

Ciało może być:

- naelektryzowane ujemnie — ma ładunek ujemny (–),
- naelektryzowane dodatnio — ma ładunek dodatni (+),
- nienaelektryzowane — ma ładunek elektryczny równy zero (0).

Na początku doświadczenia torebka i szyba były nienaelektryzowane i nie oddziaływały ze sobą. Po pocieraniu torebka miała ładunek ujemny, a szyba — dodatni. Powodowało to ich silne przyciąganie. Natomiast dwie ujemnie naelektryzowane torebki odpychały się.

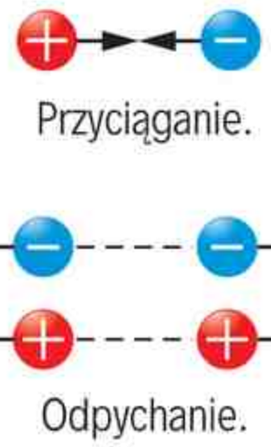
- Dwa ładunki o przeciwnych znakach (+ i –), czyli **różnoimienne**, przyciągają się.
- Dwa ładunki o takich samych znakach (+ i +, – i –), czyli **jednoimienne**, odpychają się.



Naelektryzowany balon i skrawki papieru lgną do siebie.

Warto **wiedzieć**

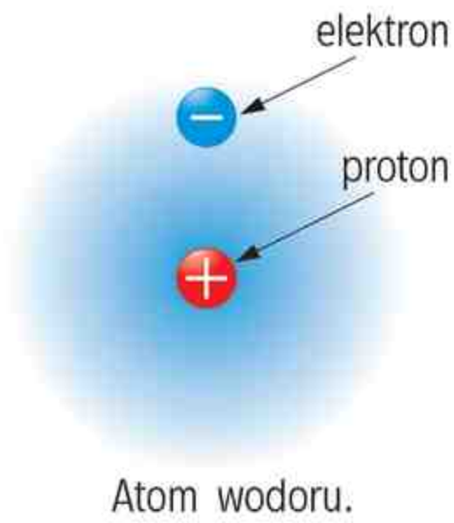
Określenia: *ciało nienaelektryzowane*, *ciało nienaładowane*, *ciało o ładunku zero*, *ciało obojętne elektrycznie* są stosowane zamiennie.

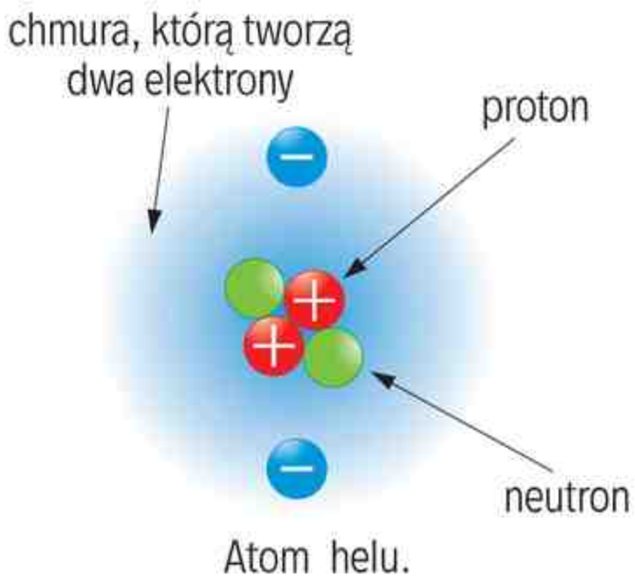


Skąd ten ładunek?

Materia jest zbudowana z atomów, a atom — z jądra atomowego o ładunku dodatnim oraz otaczających jądro elektronów o ładunku ujemnym. Elektrony dzięki oddziaływaniu elektrycznemu są przyciągane przez jądro atomowe. Jądro atomowe zawiera neutrony o ładunku 0 oraz protony o ładunku dodatnim. Ładunek elektronu będziemy symbolizować znakiem minus: (–), a ładunek protonu znakiem plus: (+).

Każdy atom w zwykłym stanie jest **obojętny elektrycznie**, czyli ma ładunek 0 — zawiera tyle samo elektronów, co protonów. W jaki sposób na plastikowej torebce pocieranej o szkło pojawia się ładunek ujemny, skoro i torebka, i szkło są zbudowane z atomów o zerowym ładunku?







Nienaelektryzowana torebka i szyba.

Początkowo torebka i szyba są obojętne elektrycznie. Torebka foliowa składa się z innych atomów niż szyba. Są one też inaczej ułożone. Po zetknięciu ciał część elektronów z szyby chętnie przyłącza się do torebki foliowej. Podczas pocierania folia styka się z większą powierzchnią szyby, niż gdyby oba ciała zostały tylko ze sobą zetknięte. Dzięki pocieraniu więcej elektronów przemieszcza się na torebkę. Po rozłączeniu ciał otrzymamy torebkę z nadmiarem elektronów, czyli naelektryzowaną ujemnie. Szyba oddała część swoich elektronów, więc będzie naelektryzowana dodatnio.



Elektrony (–) z szyby przemieszczają się na torebkę.

W elektryzowaniu przez potarcie najważniejsze jest stykanie się ciał — pocieranie zwiększa powierzchnie, którymi ciała się stykają.

Elektryzowanie ciała to sprawienie, by jego ładunek był różny od zera.

Podczas **elektryzowania przez potarcie** następuje pocieranie powierzchni ciał wykonanych z różnych substancji. Elektrony przemieszczają się z jednego ciała (to ciało staje się dodatnio naelektryzowane) na drugie (to ciało staje się ujemnie naelektryzowane).



Ujemnie naelektryzowana torebka i dodatnio naelektryzowana szyba.

Naelektryzowane ciała oddziałują ze sobą tym silniej, im bardziej są naelektryzowane oraz im są bliżej siebie.

PRZYKŁAD 1. Suche włosy naelektryzowały się dodatnio, gdy były czesane plastikowym grzebieniem.

a) Jak został naelektryzowany grzebień?

b) Z którego ciała na które przemieściły się elektrony?

c) Czy włosy i grzebień się odpychają?



Odp. a) Grzebień został naelektryzowany ujemnie.
b) Elektrony przemieściły się z włosów na grzebień.
c) Nie, te ciała się przyciągają.

ĆWICZENIE 1. Balon na skutek pocierania wełnianym szalikiem został naelektryzowany ujemnie.

a) Jak został naelektryzowany szalik?

b) Z którego ciała na które przemieściły się elektrony?

c) Czy balon i szalik się odpychają?

Co się elektryzuje przez potarcie?

Niektóre materiały wykazują większą skłonność do elektryzowania się dodatnio, a inne — ujemnie. Z danych dwóch substancji dodatnio naelektryzuje się ta, która na poniższym rysunku jest bliżej znaku +. Im bardziej przedmioty na rysunku są od siebie oddalone, tym bardziej się naelektryzują przez potarcie.

Warto **wiedzieć**

Zestawienie materiałów pod względem ich skłonności do elektryzowania nazywamy **szeregiem tryboelektrycznym**.



Czas na zadania!

i O ile nie napisano inaczej, przyjmij, że początkowo ciała są nienaelektryzowane.

Zadanie 1. *Jednoimienne i różnoimienne*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Dwa ***jednoimienne/różnoimienne*** *ładunki przyciągają się.*
Po potarciu wełną balonu ładunek na wełnie i ładunek na balonie są ***jednoimienne/różnoimienne****.*
Podczas elektryzowania przez potarcie z jednego ciała na drugie przemieszczają się ***elektrony/jądra atomowe****.*

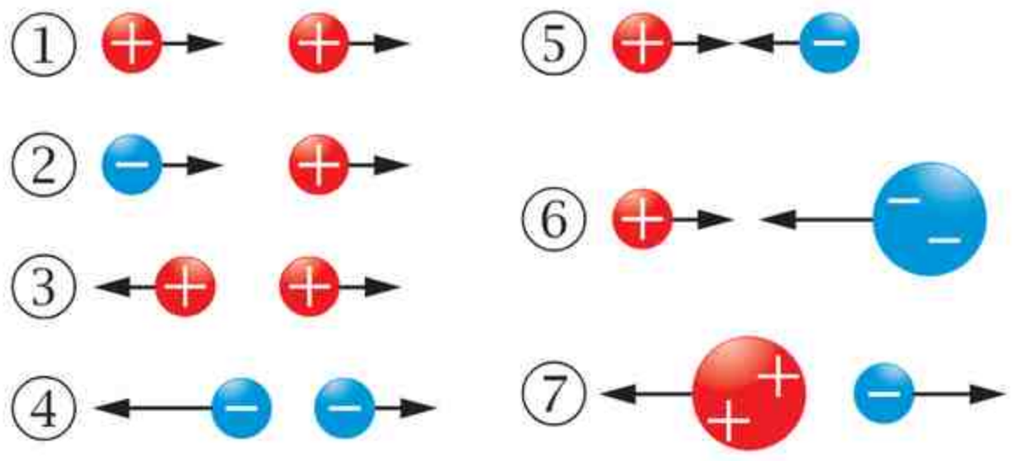
Zadanie 2. *Przyciąganie czy odpychanie*

Weritka potarła papierem szybę, a Hasto — wełną plastikową miskę. Każde z ciał zostało naelektryzowane. Posłuż się rysunkiem powyżej (szeregiem tryboelektrycznym) i odpowiedz na pytania.

a) Czy elektrony przemieściły się z papieru na szybę?
b) Czy papier i wełna przyciągały się?
c) Czy szyba przyciągała wełnę?

Zadanie 3. *Siły*

W których przypadkach właściwie narysowano siły działające na ładunki? Pamiętaj o III zasadzie dynamiki. Jeżeli rysunek nie jest właściwy, uzasadnij dlaczego.



Zadanie 4. *Bursztyn i wełna*

Gdy pocieramy bursztyn wełną, elektrony przemieszczają się z wełny na bursztyn.

a) Jak zostaną naładowane te ciała?
b) Naszkicuj kawałki wełny oraz bursztynu i zaznacz odpowiednie ładunki na ich powierzchniach.
c) Czy wełna i bursztyn się odpychają?

i Bursztyn to po grecku *elektron*. Nazwa *elektryczność* pochodzi od doświadczeń z elektryzowanym przez potarcie bursztynem.

Zadanie 5. *Balon o balon*

— Weritko! Czy pocieranie dwóch identycznych materiałów spowoduje ich naelektryzowanie? — Hasto jest podekscytowany.
— Musi być jakaś różnica między materiałami, bo inaczej nie ma powodu, by elektrony przemieszczały się z jednego na drugi — odpowiada Weritka. — A co?
— Dokonałem przełomu naukowego! Popatrz, pocieram dwa balony i one się potem przyciągają. Podważyłem fizykę!
— Byłoby fantastycznie, ale pomyślmy najpierw o wytłumaczeniu tego zjawiska.

Zaproponuj dwa wyjaśnienia tego efektu. Może pomogą ci w tym następujące pytania:

- Czy każdy balon jest taki sam?
- O co trzeba zadbać wcześniej, by wnioskować o elektryzowaniu się ciał w trakcie doświadczenia?

Zadanie 6. *Taśma samoprzylepna*

Podczas szybkiego odwijania taśmy klejącej elektryzują się odwijany fragment i rolka. Elektrony chętniej przemieszczają się do jednego z ciał. Jednak i taśma odwinięta, i taśma na rolce to ta sama taśma. Jak wytłumaczyć obserwowany efekt?

Zadanie 7. *Elektryczność a grawitacja*

Porównaj oddziaływanie elektryczne i grawitacyjne. Odpowiedz na pytania.

a) Czy oba oddziaływania mogą powodować przyciąganie i odpychanie?

b) Co oprócz odległości między ciałami wpływa na siłę oddziaływania ciał w przypadku grawitacji, a co w przypadku oddziaływania elektrycznego?

Zadanie 8. *Elektryczność kontra grawitacja*

Weritka naelektryzowała ujemnie pasek folii i utrzymywała go w powietrzu dzięki oddziaływaniu elektrycznemu (zob. rys.).

a) Jak była naelektryzowana rurka?

b) Przyjmij, że pasek folii o masie 1 mg nie poruszał się. Oblicz wartość siły, którą rurka działała na pasek.



Zadanie 9. *Atomy i elektryczność*

a) Czy dwa elektrony się przyciągają?

b) Czy elektron i jądro atomowe się przyciągają?

c) Co by się stało z jabłkiem, gdybyśmy zabrali mu wszystkie elektrony?



Jak myślisz?

- Czy naelektryzowanie ciała zmienia jego masę?
- Ile elektronów przemieszcza się podczas elektryzowania?
- Czy cząstki inne niż elektrony mogą przenosić ładunek elektryczny?
- Czy są inne sposoby elektryzowania ciał niż przez pocieranie?



Fizyka na wesoło...

— Chcesz usłyszeć najnowsze, elektryzujące wieści?
— Nie, bo włosy mi się przestaną układać.

8 Ładunek elementarny



Dlaczego naelektryzowane włosy tak sterczą? W jaki sposób dotarł na nie ładunek elektryczny? Jakiego urządzenia dotyka eksperymentatorka?

Elektryzowanie przez dotyk

Szurając kapciami po dywanie, możesz się naelektryzować na tyle mocno, by po zbliżeniu dłoni do klamki przemieścił się między nimi ładunek, czyli przeskoczyła iskra. Najczęściej jednak przekazywanie ładunku odbywa się bez widocznych efektów. Wystarczy naelektryzowaną dłonią dotknąć na przykład drewnianego stołu, by go naładować. Zjawisko to nazywamy **elektryzowaniem przez dotyk**.

Cel lekcji

Dowiesz się, czym jest elektryzowanie przez dotyk, oraz poznasz pojęcie ładunku elementarnego.

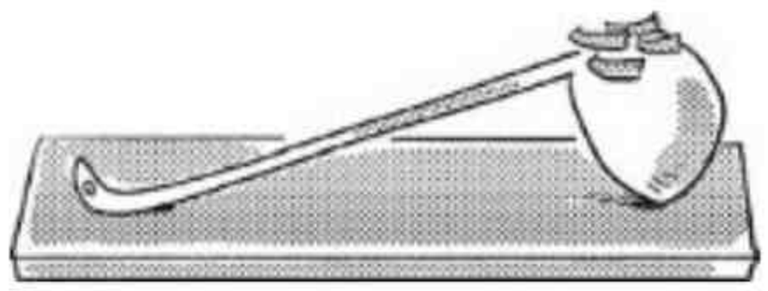
Elektryzowanie przez dotyk zachodzi, gdy nienaelektryzowane ciało *A* dotyka naelektryzowanego ciała *B*.

- Jeśli ciało *B* było naelektryzowane ujemnie, to część elektronów przemieści się na ciało *A*. W rezultacie oba będą naelektryzowane ujemnie.
- Jeśli ciało *B* było naelektryzowane dodatnio, to „zabierze" część elektronów ciału *A*. W rezultacie oba będą naelektryzowane dodatnio.

Przyjrzyjmy się elektryzowaniu przez dotyk oraz elektryzowaniu przez potarcie (poznanemu na poprzedniej lekcji).

Doświadczenie **Elektryzowanie przez potarcie i przez dotyk**

① Przygotuj: folię aluminiową, plastikową deskę, metalową chochlę i torebkę foliową.



② Połóż chochlę na desce.

③ Na wierzchu odwróconej miseczki chochli umieść kilka ścinków folii aluminiowej.

④ Naelektryzuj torebkę, pocierając nią na przykład o bok drewnianej szafy.

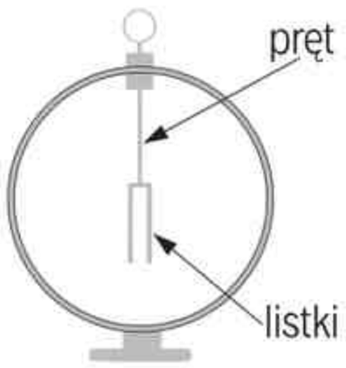
i Zamiast torebki możesz naelektryzować linijkę, pocierając nią włosy.

⑤ Dotknij naelektryzowaną torebką rączki chochli i obserwuj zachowanie ścinków.

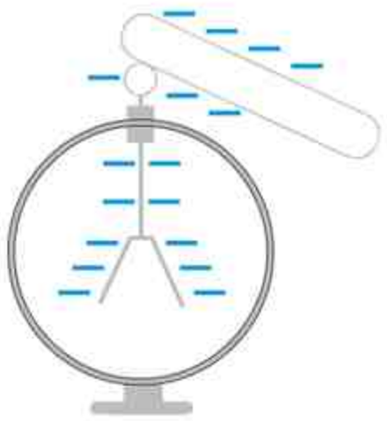
Dlaczego ścinki aluminium poleciały w górę? Torebkę naładowano ujemnie przez potarcie, miała nadmiar elektronów. Podczas zetknięcia z chochlą część elektronów z torebki przemieściła się na chochlę, która została naelektryzowana ujemnie przez dotyk. Elektrony łatwo przemieszczają się w metalu, a ponieważ się odpychają, to dotarły do wszystkich zakątków chochli, aż na ścinki folii. Wtedy ujemnie naładowane ścinki były odpychane przez ujemnie naładowaną chochlę i wzleciały.

Elektroskop

Odpychanie się jednoimiennych ładunków jest wykorzystywane w elektroskopie — urządzeniu do wykrywania ładunków elektrycznych.



Nienaładowany elektroskop listkowy.



Elektroskop listkowy naładowany ujemnie.

Elektroskop listkowy składa się z pionowego, metalowego pręta, do którego dolnego końca są przymocowane metalowe ruchome listki. Gdy elektroskop nie jest naelektryzowany, listki zwisają. Po dotknięciu górnego końca elektroskopu naładowaną ujemnie pałką część elektronów z pałki przemieści się na pręt, a z pręta na listki. Oba listki elektryzują się ujemnie — będą się odpychać i rozchylać. Podobnie dzieje się, gdy elektroskop naładujemy dodatnio.

Naładowany elektroskop wskaźnikowy.



Elektroskop wykonany samodzielnie.



W elektroskopie wskaźnikowym do pionowego, metalowego pręta jest przymocowana obrotowa wskazówka, która wychyla się tym bardziej, im więcej ładunku znajduje się na niej i na pręcie.

Ładunek elementarny

Okazuje się, że każdy elektron we Wszechświecie ma taki sam ładunek elektryczny.

$$\text{ładunek elektronu} = -1{,}602176634 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \approx -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

Symbol C to **kulomb** — jednostka ładunku w układzie SI. Pochodzi od nazwiska Charles'a Coulomba (czyt. szarla kulomba), który w XVIII wieku badał oddziaływanie ładunków elektrycznych.

Proton ma ładunek przeciwny do ładunku elektronu.

$$\text{ładunek protonu} = 1{,}602176634 \cdot 10^{-19}\ \text{C} \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$$

Oznacza to, że każda para elektron–proton ma całkowity ładunek równy 0 C.

$$\underset{\text{elektronu}}{\text{ładunek}} + \underset{\text{protonu}}{\text{ładunek}} = -1{,}602176634 \cdot 10^{-19}\ \text{C} + 1{,}602176634 \cdot 10^{-19}\ \text{C} = 0\ \text{C}$$

Ładunek protonu lub wartość bezwzględną ładunku elektronu nazwano ładunkiem elementarnym.

Ładunek elementarny (e) to najmniejsza porcja ładunku, którą można przekazać ciału.

e = ładunek protonu = |ładunek elektronu| $\approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

ℹ Będziemy używać przybliżonej wartości ładunku elementarnego $e \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Obserwowane w przyrodzie ładunki zawsze są wielokrotnościami ładunku elementarnego. Można naładować ciało tysiącem elektronów, ale nie tysiącem i połową elektronu. Przyjrzyjmy się ładunkowi atomów oraz jonów, czyli atomów z nadmiarem lub niedoborem elektronów.

PRZYKŁAD 1. Atom chloru Cl ma 17 protonów w jądrze atomowym oraz 17 elektronów. Jon chloru Cl^- ma również 17 protonów, ale 18 elektronów (jeden nadmiarowy).

a) Oblicz całkowity ładunek atomu chloru Cl.

b) Oblicz całkowity ładunek jonu chloru Cl^-.

Odp. a) Całkowity ładunek atomu jest równy 0 C.

b) Ładunek jonu Cl^- jest równy ładunkowi jednego nadmiarowego elektronu, czyli $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C.

Zwróć uwagę na ujemną wartość ładunku jonu Cl^-. Jeżeli jon miałby nadmiarowe protony, to jego ładunek byłby dodatni.

ĆWICZENIE 1. Oblicz ładunek:

a) atomu potasu K, który ma 19 protonów i 19 elektronów,

b) jonu sodu Na^+, który ma 11 protonów i 10 elektronów,

c) jonu siarki S^{2+}, który ma 16 protonów i 14 elektronów.

Ładunek ciała (q) to zawsze wielokrotność ładunku elementarnego e.

$$q = n \cdot e$$

ładunek ciała [C] — q; liczba całkowita — n; ładunek elementarny [C] — e

Zasada zachowania ładunku

Gdy pocieramy folią o kawałek drewna, to folia ładuje się ujemnie, a drewno dodatnio. Elektrony z drewna przemieszczają się na folię. Jeśli folia i drewno były na początku nienaelektryzowane, to suma ich ładunków była równa zero. Po potarciu folia może mieć na przykład ładunek $-1000e$, wtedy drewno ma ładunek $+1000e$, a suma ładunków folii i drewna jest równa: $-1000e + 1000e = 0$, czyli nadal wynosi zero. W żadnym doświadczeniu fizykom nie udało się dotąd uzyskać ładunku elektrycznego „znikąd".

Zasada zachowania ładunku elektrycznego

W izolowanym układzie całkowity ładunek elektryczny się nie zmienia.

PRZYKŁAD 2. Ujemnie naładowaną pałeczką dotknięto nienaładowanego elektroskopu, na który przemieściło się 10^9 elektronów.

a) Oblicz ładunek na elektroskopie i wyraź go w kulombach.

b) Czy całkowity ładunek układu pałeczka–elektroskop zmienił się po ich zetknięciu?

Dane:

$n = 10^9$ — liczba elektronów na elektroskopie po dotknięciu

Szukane:

$q = ?$ — ładunek na elektroskopie

a) **Rozwiązanie:** $q = n \cdot e$

$$q = 10^9 \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}) = -1{,}6 \cdot 10^{9-19}\ \text{C} = -1{,}6 \cdot 10^{-10}\ \text{C}$$

Odp. Ładunek na elektroskopie to $-1{,}6 \cdot 10^{-10}$ C.

b) **Odp.** Zgodnie z zasadą zachowania ładunku całkowity ładunek w układzie pałeczka–elektroskop się nie zmienił.

ĆWICZENIE 2. Na ujemnie naładowanej folii znajdowało się $8 \cdot 10^9$ nadmiarowych elektronów. Na stole leżał nienaelektryzowany balon. Gdy dotknięto folią balonu, przemieściło się na niego $3 \cdot 10^9$ elektronów.

a) Ile nadmiarowych elektronów pozostało na folii?

b) Oblicz ładunek na balonie po zetknięciu z folią i wyraź go w kulombach.

c) Oblicz całkowity ładunek układu folia–balon po ich zetknięciu.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Przekazywanie ładunku*

Na stole znajdowały się trzy początkowo nienaelektryzowane ciała: szklanka, jedwabna chustka i elektroskop. Szklankę naładowano dodatnio przez potarcie chustką. Następnie chustką naelektryzowano przez dotyk elektroskop.



a) Czy ładunek zgromadzony na elektroskopie jest dodatni, czy ujemny?

b) Opisz, z którego ciała na które przemieszczały się elektrony podczas każdego elektryzowania.

Zadanie 2. *Elektryzowanie przez zabieranie*

Dodatnio naładowaną szklaną rurką dotknięto metalowego pręta początkowo nienaelektryzowanego elektroskopu.

a) Czy elektrony przemieszczą się z pręta na rurkę?

b) Jak zostanie naładowany elektroskop — dodatnio czy ujemnie?

c) Czy sam fakt, że listki naelektryzowanego elektroskopu się rozchylają, pozwala rozstrzygnąć, czy jest on naelektryzowany dodatnio, czy ujemnie?

Zadanie 3. *Elektroskopy*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Im bardziej jest naelektryzowany elektroskop, tym bardziej wskazówka odchyla się od pionowego pręta.

② Listki elektroskopu rozchylają się jedynie wtedy, gdy są naelektryzowane ujemnie.

③ Jeśli zabierzemy z nienaelektryzowanego elektroskopu część elektronów, to naelektryzujemy go dodatnio.

④ Aby naelektryzować elektroskop dodatnio, musimy dostarczyć do niego protony.

⑤ Po dotknięciu nienaładowaną pałką naładowanego ujemnie elektroskopu, pałka naelektryzuje się dodatnio.

Zadanie 4. *Węgiel*

W jądrze atomu węgla zawsze znajduje się 6 protonów.

a) Jaki jest ładunek atomu węgla, w którym jest 6 elektronów?

b) Jaki jest ładunek jonu węgla, w którym są tylko 4 elektrony?

Wyniki wyraź w kulombach.

Zadanie 5. *Elektrony i kulomb*

Oblicz, ile elektronów trzeba zebrać, by ich łączny ładunek był równy $-1{,}6$ C.

Zadanie 6. *Bomba kulombowska*

Weritka odrywa oczy od książki:

— Piszą, że kulomb jest wygodną jednostką do opisu prądu elektrycznego i ładunków gromadzonych w kondensatorach. Ale 1 C to bardzo duży ładunek. I nie da się go uzyskać, elektryzując ciało przez potarcie lub dotyk.

— Co!? Czemu się nie da? Wystarczy odpowiednio wiele razy powtarzać elektryzowanie i już! — odpowiada Hasto.

— Podobno dwa ładunki, każdy równy 1 C, działałyby na siebie gigantyczną siłą. Kula o ładunku 1 C działałaby siłą 9 000 000 000 N na oddaloną o 1 m drugą kulę też o ładunku 1 C. A im bliżej byłyby siebie, tym silniej by na siebie działały.

— To świetny przepis na bombę! Spróbuję tak naładować miskę, żeby ją rozerwało.

a) Jaką wartość miałaby siła, którą druga kula działałaby na pierwszą?

b) Przyjmij, że masa każdej z kul to 100 kg. Z jakim przyśpieszeniem poruszałyby się na początku, gdyby oddziaływały na siebie tylko elektrycznie?

c) Dlaczego Hasto nie zdoła zgromadzić ładunku 1 C na misce?

Zadanie 7. *Rozsypane jabłko*

Jeden kulomb to około $6 \cdot 10^{18}$ elektronów. W jabłku jest ich znacznie więcej. Dlaczego nie rozpada się ono na skutek odpychania między elektronami?

Zadanie 8. *Miska i elektrony*

Hasto zgromadził na plastikowej misce, elektryzując ją przez pocieranie swetrem, 20 miliardów nadmiarowych elektronów.

a) Wyraź ładunek miski w kulombach.

b) Jak się zmieniał ładunek swetra podczas pocierania miski?

Zadanie 9. *Fifty–fifty*

Metalową kulkę naładowano dodatnio, zabierając z niej $4 \cdot 10^9$ elektronów. Drugą identyczną kulkę naładowano ujemnie — znalazło się na niej $6 \cdot 10^9$ nadmiarowych elektronów. Kulki zetknięto i wtedy na każdej znalazła się połowa całkowitego ładunku. Następnie kulki rozsunięto.

a) Czy w układzie obu kulek jest niedobór, czy nadmiar elektronów?

b) Oblicz całkowity ładunek układu obu kulek i wyraź go w kulombach.

c) Oblicz ładunek na każdej z kulek po ich zetknięciu.



Jak myślisz?

- Jak duży ładunek jest przenoszony podczas uderzenia pioruna?
- Co to jest kondensator i dlaczego można w nim gromadzić duże ładunki?
- Dlaczego listki elektroskopu rozchylają się już przy zbliżaniu do niego naładowanego ciała, jeszcze przed dotknięciem pręta?



Fizyka na wesoło...

— Jak to się stało, że kubek został naelektryzowany?
— Przepłynęły na niego plusy.
— Ale przecież on ma ładunek ujemny.
— Widocznie były to plusy ujemne.

9 Przewodniki i izolatory



Z jakich substancji są wykonane elementy, przez które przepływają ładunki do i z tramwaju? Jak są mocowane linie trakcyjne do budynków lub słupów?

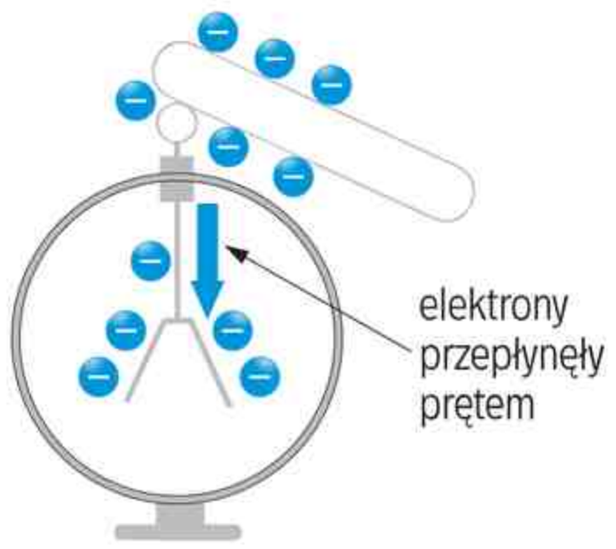
Ładunki w ciałach

W metalu ładunki elektryczne przemieszczają się łatwo. Dlatego właśnie w elektroskopie pręt i listki są metalowe. Gdy dotykamy górnego końca elektroskopu ujemnie naładowaną pałeczką, ładunki rozpływają się po pręcie i po listkach, które się rozchylają. Gdyby pręt został wykonany z plastiku, elektroskop nie działałby. Przez plastikowy pręt ładunki nie przepłynęłyby, więc nie dotarłyby do listków. Elektroskop nie działałby również wtedy, gdyby pręt był metalowy, a listki plastikowe. Chociaż ładunek rozpłynąłby się po pręcie, to nie wpłynąłby na plastikowe listki.

To, czy w danym ciele ładunki elektryczne przemieszczają się łatwo, można badać za pomocą dwóch elektroskopów. Jeden z nich powinien być naładowany — listki rozchylone, a drugi nienaładowany — listki nierozchylone. Gdy połączymy te elektroskopy metalowym drutem, to listki w drugim z elektroskopów się rozchylą — dopłynie do nich ładunek z pierwszego elektroskopu. Jednocześnie listki w pierwszym elektroskopie trochę opadną. Oznacza to, że przez metalowy drut przepłynęły ładunki elektryczne z pierwszego elektroskopu do drugiego. Zatem w tym drucie ładunki przemieściły się łatwo.

Cel lekcji

Nauczysz się odróżniać przewodniki elektryczne od izolatorów.

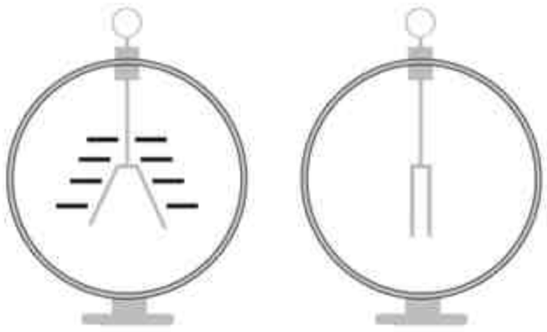


Elektrony rozpływają się po metalowym pręcie i metalowych listkach.

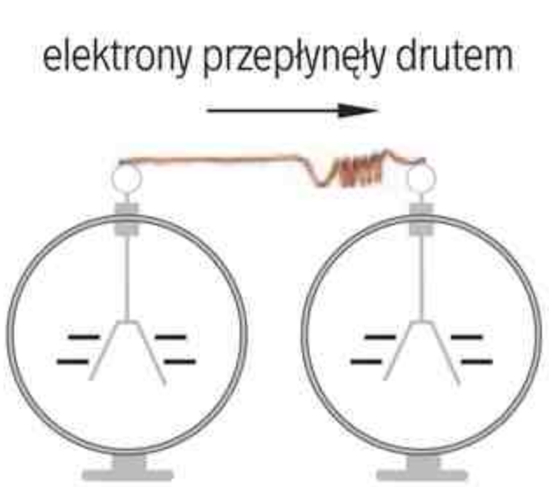
Warto **wiedzieć**

Gdy z ciała odpłyną elektrony, możemy powiedzieć, że z ciała odpłynął ładunek ujemny lub — równoważnie — że dopłynął do niego ładunek dodatni.

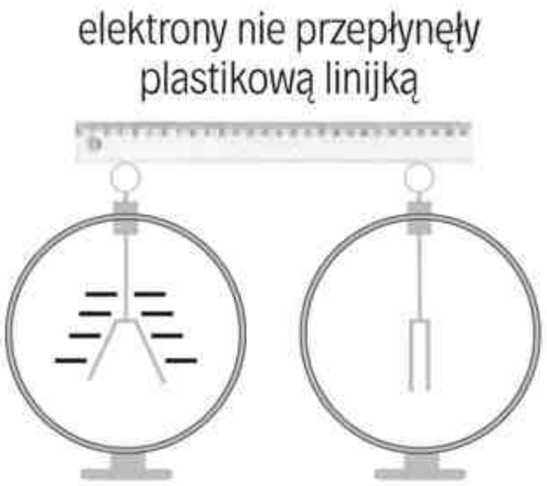
Jeśli do łączenia elektroskopów zamiast drutu użylibyśmy plastikowej linijki, to listki w drugim z elektroskopów pozostałyby nierozchylone. Ładunkom elektrycznym bardzo trudno jest przemieszczać się w plastiku.



Lewy elektroskop jest naładowany ujemnie. Prawy elektroskop jest nienaładowany.



Po połączeniu elektroskopów drutem ładunki elektryczne przepływają na nienaładowany elektroskop, którego listki się rozchylają.



Po połączeniu elektroskopów plastikową linijką ładunki elektryczne nie przepływają. Elektroskopy pozostają w takim stanie, w jakim były.

Co jest przewodnikiem, a co izolatorem?

Ze względu na to, jak łatwo w ciałach mogą się przemieszczać ładunki elektryczne, ciała te dzielimy na **przewodniki** oraz **izolatory**.

Przewodnik elektryczny to ciało, w którym ładunki elektryczne mogą się łatwo przemieszczać.

Izolator elektryczny to ciało, w którym ładunki elektryczne nie mogą się łatwo przemieszczać.

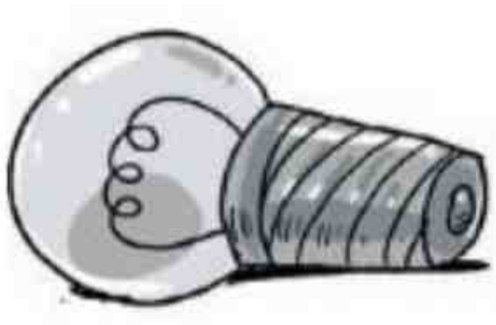
Warto **wiedzieć**

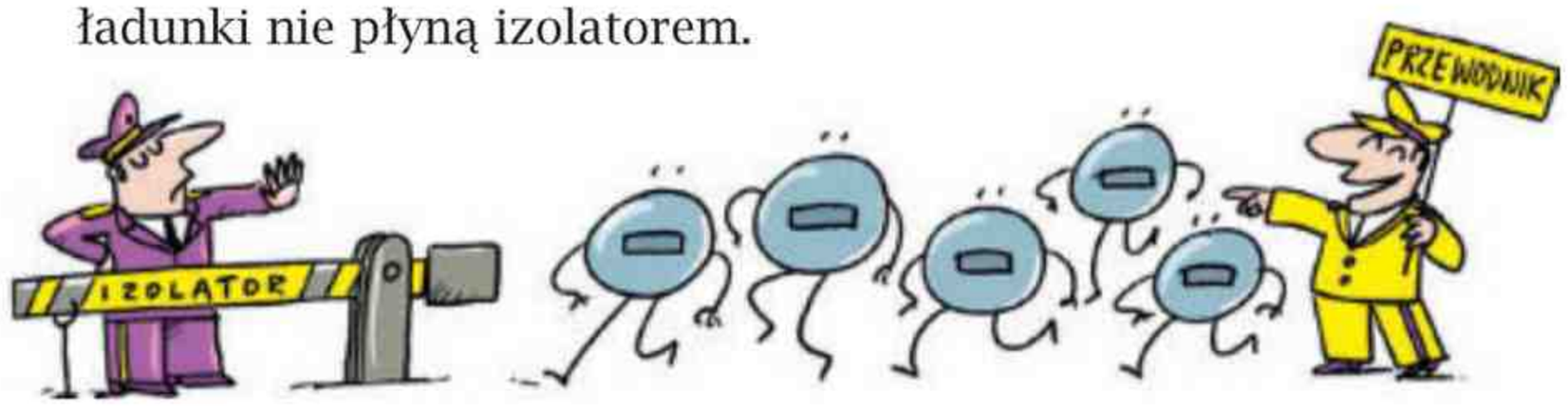
Zarówno przewodniki, jak i izolatory można naelektryzować. Różnica polega głównie na tym, że zgromadzone w przewodniku ładunki rozpłyną się po jego powierzchni, a w izolatorze — nie.



Bieguny baterii są oznaczane znakami + i −. Jeżeli bieguny są połączone materiałem, który jest przewodnikiem, to płynie przez niego prąd.

Przewodniki od izolatorów można odróżnić za pomocą opisanego wyżej doświadczenia z dwoma elektroskopami. Jednak prościej sprawdzić to za pomocą baterii i żarówki. Żarówka świeci, jeśli przepływa przez nią ładunek elektryczny. W latarce przepływ ładunku następuje od jednego bieguna baterii, przez żarówkę, do drugiego bieguna baterii. Jeśli między biegun baterii a żarówkę wstawimy przewodnik, to ładunki przepływają przez niego i przez żarówkę, która wtedy świeci. Jeśli jednak między biegun a żarówkę wstawimy izolator, to żarówka nie świeci — ładunki nie płyną izolatorem.





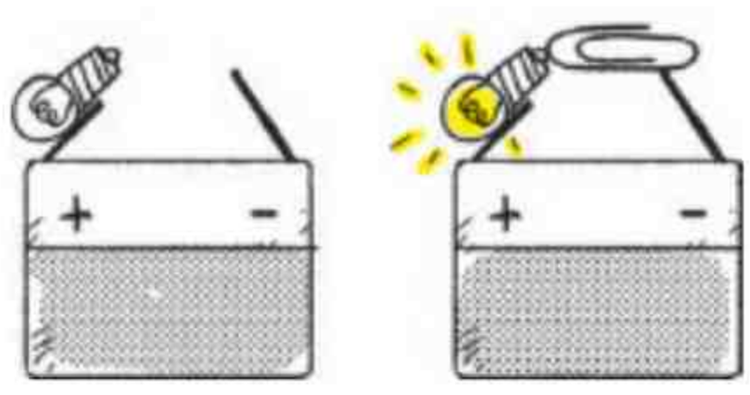
Doświadczenie **Odróżnianie przewodników od izolatorów**

① Przygotuj: „płaską” baterię (4,5 V, symbol 3R12), małą żarówkę (np. 2,2 V), taśmę klejącą oraz materiały do testowania: spinacz biurowy, klucz, monetę, folię aluminiową, pasek papieru, plastelinę, torebkę foliową, wykałaczkę, plastikowy długopis, wełnę itp.

② Do krótkiej blaszki baterii przyklej taśmą żarówkę. Gwint żarówki powinien przylegać bezpośrednio do blaszki.

③ Sprawdź, czy ta prosta latarka działa. W tym celu dotknij wystającego kontaktu żarówki długą blaszką baterii. Żarówka powinna się świecić. Odegnij długą blaszkę.

④ Łącz wystający kontakt żarówki z długą blaszką baterii, używając różnych materiałów. Obserwuj, kiedy żarówka się świeci.

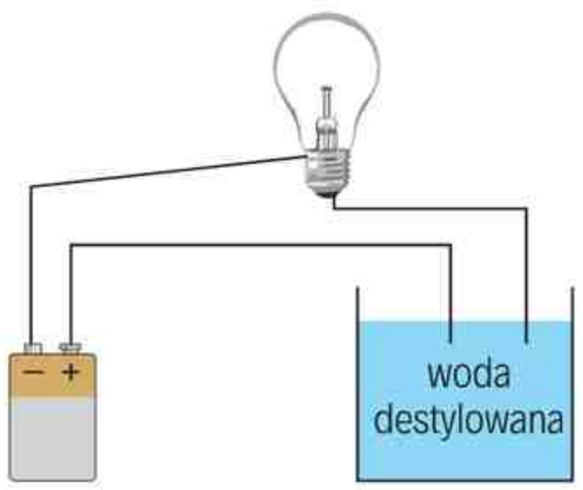


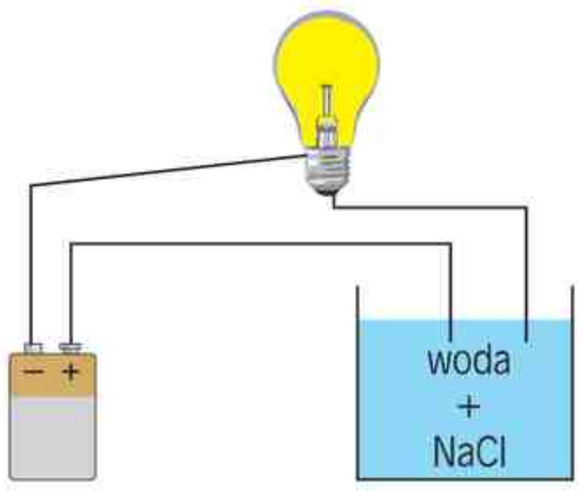
Okazuje się, że przewodnikami są wszystkie metale. Wynika to z tego, że w metalach część elektronów może się swobodnie przemieszczać. Nazywamy je **elektronami swobodnymi**. W plastiku, suchym drewnie i papierze elektrony są silnie związane z atomami i nie mogą łatwo „wędrować”.

Woda i powietrze – przewodniki czy izolatory?

Czysta chemicznie woda jest dobrym izolatorem elektrycznym. Znajduje się w niej niewiele swobodnych ładunków — jonów, czyli atomów z nadmiarowym lub brakującym elektronem. Jednak wystarczy do czystej wody dodać trochę soli kuchennej, by stała się przewodnikiem. Po dodaniu soli do wody pojawia się w niej dużo jonów. Człowiek w znacznej części składa się z wody zawierającej wiele jonów. **Ciało człowieka jest** więc **przewodnikiem**.

Gdyby powietrze było przewodnikiem, to trudno byłoby naelektryzować cokolwiek — wszystko by się szybko zobojętniało, czyli stawało się ciałem o ładunku 0. Ale w powietrzu też są jony, choć zwykle jest ich niewiele. Jeśli naelektryzujesz elektroskop, to po pewnym czasie jego listki opadną. Oznacza to, że pomiędzy elektroskopem a powietrzem przepływają ładunki elektryczne. W widowiskowy sposób powietrze przewodzi ładunki podczas wyładowań atmosferycznych. **W normalnych warunkach powietrze** — szczególnie suche — **jest izolatorem**.





Czysta chemicznie woda (czyli woda destylowana) jest izolatorem – nie przewodzi prądu. Woda z odrobiną soli kuchennej jest przewodnikiem.



Przykłady przewodników i izolatorów

W poniższej tabeli przedstawiono przykłady przewodników i izolatorów elektrycznych (zakładamy, że wszystkie substancje mają temperaturę pokojową).

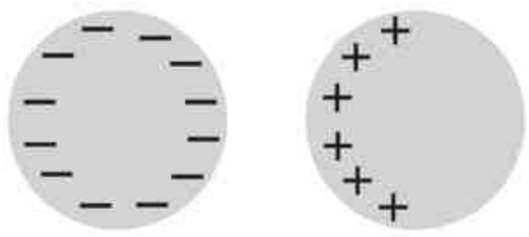
Przewodniki	Izolatory
wszystkie metale i ich stopy (najlepsze: srebro, miedź, złoto, aluminium)	plastik
grafit	suche powietrze
roztwór wodny soli (woda morska)	suche drewno, papier
ciało człowieka	guma
	ceramika, szkło
	woda destylowana
	beton

Ponieważ ładunki w naelektryzowanym przewodniku łatwo się przemieszczają, to nadmiarowe ładunki (które są zawsze jednoimienne) starają się odsunąć od siebie jak najdalej. Na przykład, w naelektryzowanej ujemnie metalowej kuli nadmiarowe elektrony rozpłyną się równomiernie po jej powierzchni.

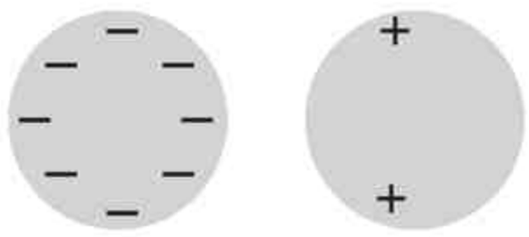
Inaczej zachowają się ładunki w izolatorze. Jeśli naelektryzujesz ujemnie fragment torebki foliowej, to nadmiarowe elektrony pozostaną tylko na tym fragmencie, nie rozpłyną się po całej torebce.

PRZYKŁAD 1. Naelektryzowano dwie kule. Na rysunkach poniżej przedstawiono je najpierw przed zetknięciem, a następnie po tym jak jedna dotknęła drugiej i kule rozsunięto. W przypadku każdej kuli określ, czy jest ona przewodnikiem, czy izolatorem elektrycznym.

przed zetknięciem:



po zetknięciu:

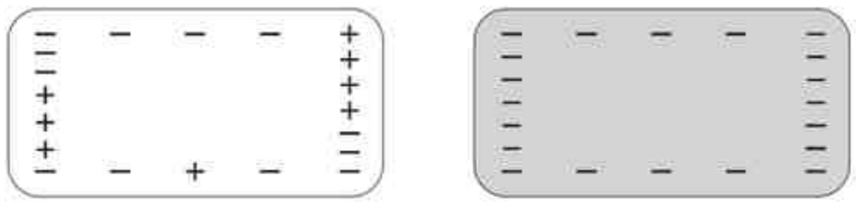


Rozwiązanie: Prawa kula jest izolatorem. Widać to przed zetknięciem i po nim. Ładunki nie przemieszczają się w niej tak, by być jak najdalej od siebie.

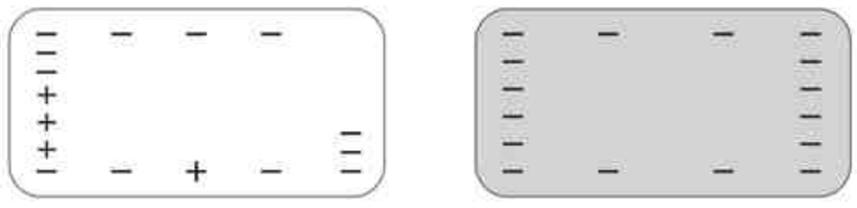
Lewa kula jest przewodnikiem. Po zetknięciu z prawą kulą ładunki przemieściły się tak, by być jak najdalej od siebie.

ĆWICZENIE 1. Na poniższych rysunkach przedstawiono dwa klocki — przed zetknięciem oraz po ich zetknięciu najbliższymi ściankami i odsunięciu od siebie. W przypadku każdego klocka określ, czy jest on przewodnikiem, czy izolatorem elektrycznym.

przed zetknięciem:



po zetknięciu:



Dowiedz się więcej **o półprzewodnikach i nadprzewodnikach**

Półprzewodniki to substancje, które przewodzą ładunki słabiej niż przewodniki, ale lepiej niż izolatory. Są z nich tworzone elementy takie jak tranzystory, w których można sterować przepływem ładunków. Dzięki temu kod programu jest „tłumaczony" na przepływ ładunków w półprzewodnikach, z których składają się m.in. procesor i pamięć. Przykładem półprzewodnika jest kryształ krzemu. To od niego pochodzi nazwa regionu w Kalifornii, w którym mają siedziby największe firmy związane z przemysłem elektronicznym — Dolina Krzemowa.

W przewodnikach ładunki mogą się łatwo przemieszczać, ale jednak napotykają na opór i tracą część swojej energii. Wady tej nie mają **nadprzewodniki** — substancje, w których ładunki poruszają się bez żadnych strat energii. Daje to duże oszczędności energii elektrycznej. Niestety większość znanych nadprzewodników wymaga bardzo niskiej temperatury, bliskiej 0 K.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Zachowanie ładunków*

Na rysunkach przedstawiono dwa ciała — najpierw przed zetknięciem, a następnie po tym, jak jedno dotknęło drugiego i ciała odsunięto daleko od siebie. Dla każdego z ciał określ, czy jest ono przewodnikiem, czy izolatorem.

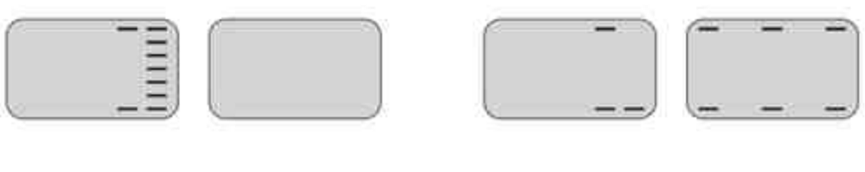
a) przed zetknięciem: po zetknięciu:



b) przed zetknięciem: po zetknięciu:



c) przed zetknięciem: po zetknięciu:



d) przed zetknięciem: po zetknięciu:



e) przed zetknięciem: po zetknięciu:

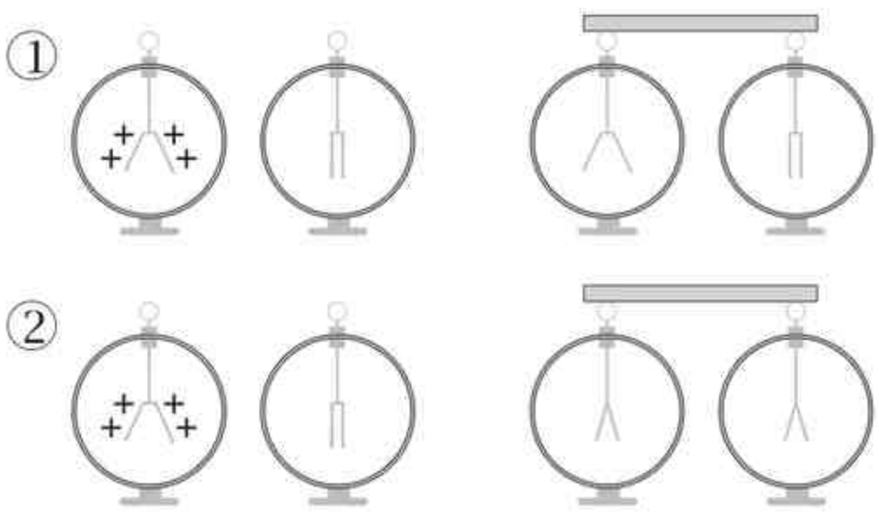


Zadanie 2. *Między nami elektroskopami*

Na każdym rysunku pokazano dwa elektroskopy — najpierw przed połączeniem, a następnie po ich połączeniu poziomą rurką.

a) Określ, czy rurka jest przewodnikiem, czy izolatorem elektrycznym.

b) Określ, jakie ładunki znajdują się na elektroskopach po ich połączeniu.



Zadanie 3. *Przewód elektryczny*

Przyjrzyj się materiałom, z których jest wykonany przewód elektryczny.



a) Określ, gdzie w takim przewodzie znajduje się przewodnik, a gdzie izolator elektryczny.

b) Zaproponuj uzasadnienie takiej budowy przewodu.

Zadanie 4. *Mięknące szkło*

Weritka ogląda pokaz.

— Patrz, pokazują, że szkło może być przewodnikiem — mówi, podając Hasto tablet.

— Jak to? Przecież szkło jest izolatorem. Sam sprawdzałem. Między biegun baterii a żarówkę wstawiałem szklaną kulkę i żarówka się nie świeciła.

— Na filmie między żarówką a biegunem akumulatora jest szklana rurka.

— No właśnie, i żarówka nie świeci!

— Poczekaj chwilę. Teraz podgrzewają palnikiem szklaną rurkę. Widać, że powoli zaczyna mięknąć.

— O, rzeczywiście, żarówka się zaświeciła!

a) Co musi pojawić się w szkle na skutek ogrzewania, skoro mięknące szkło staje się przewodnikiem?

b) Czy szkło jest zatem izolatorem, czy przewodnikiem?

Zadanie 5. *Przewodniki*

Spośród substancji wymienionych poniżej wskaż te, które są przewodnikami w temperaturze pokojowej.

papier • miedź • beton • szkło • żelazo
aluminium • woda destylowana
woda morska • ciało człowieka
suche drewno • plastik • styropian
suche powietrze • stal • wełna



Zadanie 6. *Linie wysokiego napięcia*

Słupy podtrzymujące linie wysokiego napięcia są metalowe. Linie, w których płynie prąd także są metalowe. Jak wiesz, metal to przewodnik.

a) Czy przez słupy także przepływa prąd?

b) Przyjrzyj się zdjęciu i odpowiedz, w jaki sposób przewody z prądem są połączone ze słupem i dlaczego?

Zadanie 7. *Kombinerki elektryka*

Wyjaśnij, dlaczego elektryk powinien używać kombinerek (szczypiec), których rączki pokryte są plastikiem lub gumą.



Zadanie 8. *Iskra*

Znacznie bardziej czuć iskrę, gdy przeskakuje pomiędzy ręką a metalem niż pomiędzy ręką a plastikiem. Wyjaśnij to, posługując się niżej opisanym modelem.

Na rysunku przedstawiono kule: metalową i plastikową. Obie kule są naładowane takim samym, ujemnym ładunkiem. Każdą z kul dotykamy tylko w jednym miejscu takim samym, nienaelektryzowanym sześciennym przewodnikiem. Z której kuli przepłynie więcej ładunku na sześcienny przewodnik?

Zadanie 9. ***Bezpieczna kąpiel***

Woda destylowana jest izolatorem. Dlaczego używanie urządzeń elektrycznych podczas kąpieli w wannie grozi śmiercią?

Zadanie 10. ***Piorunochron***

Zadaniem piorunochronu jest odprowadzenie ładunku przemieszczającego się podczas wyładowania atmosferycznego do ziemi. Dzięki temu ładunek nie przepływa przez inne elementy budynku — przepływ taki grozi pożarem, zniszczeniem i porażeniem.

a) Czy piorunochron powinien być wykonany z przewodnika, czy z izolatora?

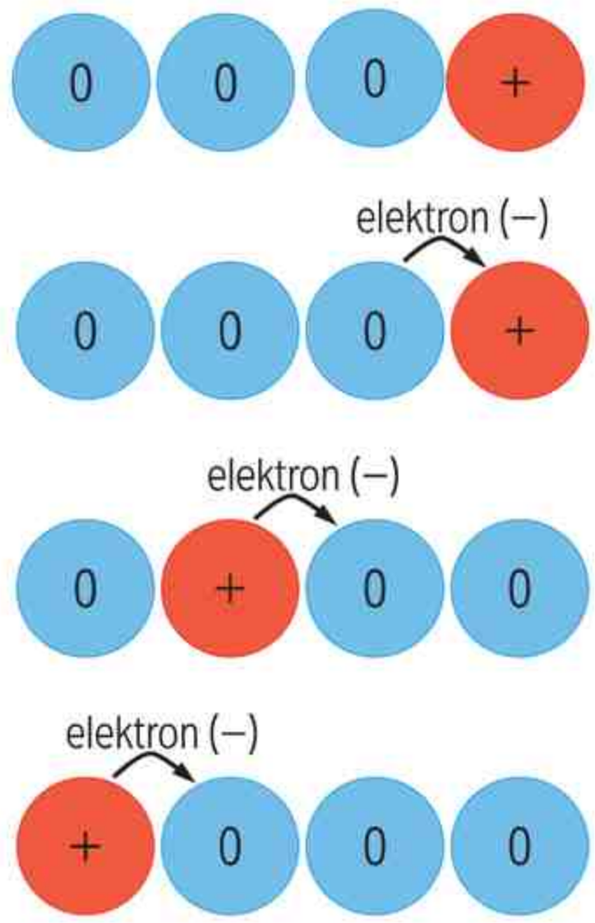
b) Piorun najczęściej uderza w najwyższy punkt budynku. Naszkicuj piorunochron, który chroni budynek przed skutkami burzy.

Zadanie 11. ***Różne zobojętnianie***

Aby pozbyć się nadmiarowego ładunku z naelektryzowanej folii aluminiowej, wystarczy dotknąć ją wilgotnymi rękami w jednym miejscu. Sprawienie, by naelektryzowana torebka plastikowa była obojętna elektrycznie, jest trudniejsze — trzeba dotykać jej w wielu miejscach. Dlaczego występuje opisana różnica?

Zadanie 12. ***W lewo czy w prawo?***

Na rysunkach przedstawiono uproszczony model atomów ustawionych jeden za drugim. Jądra atomów nie przemieszczają się. Trzy atomy zawierają tyle samo elektronów co protonów (oznaczone 0). W czwartym atomie jest niedobór jednego elektronu (oznaczony +). Na kolejnych rysunkach pokazano, jak przemieszczały się elektrony.



— Widać, że ładunek ujemny płynie w prawo — stwierdza Hasto, patrząc na schemat.

— A ja widzę, że ładunek dodatni przemieszcza się w lewo — mówi Weritka.

Wyjaśnij, dlaczego oboje mają rację.



Jak myślisz?

- Dlaczego sód (Na) jest przewodnikiem, a kryształ chlorku sodu (NaCl) jest izolatorem?
- Czy podgrzewanie metalu sprawia, że lepiej przewodzi ładunki?
- Jak ładunki przemieszczają się w metalowej puszce, gdy zbliżamy do niej naelektryzowane ciało?



Fizyka na wesoło...

— Kto najlepiej się nadaje, by oprowadzać zwiedzających po elektrowni?

— Zły przewodnik.

10 Indukcja elektrostatyczna



Jak jest naładowana chmura burzowa? A jak ziemia pod nią? Dlaczego osobie stojącej pod chmurą burzową unoszą się włosy? Jak chronić się przed uderzeniem pioruna?

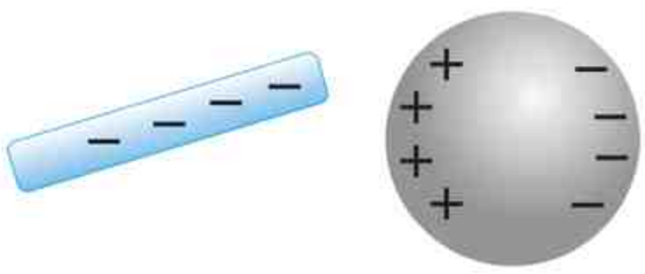
Cel lekcji

Poznasz zjawisko elektryzowania przez indukcję elektrostatyczną.

Bezdotykowe przemieszczanie ładunku

Do tej pory zajmowaliśmy się przemieszczaniem ładunków elektrycznych, gdy ciała się dotykały. Można jednak wpływać na ładunki w ciele bez jego dotykania. Na przykład zbliżając naelektryzowaną ujemnie plastikową rurkę do metalowej nienaelektryzowanej kuli. Elektrony w kuli będą odpychane od rurki i uciekną na drugą stronę kuli. Kula będzie naelektryzowana w następujący sposób:

- dodatnio blisko rurki — skąd odpłynęły elektrony,
- ujemnie po przeciwnej stronie niż rurka — tu napłynęły nadmiarowe elektrony.



Zbliżanie naelektryzowanej ujemnie plastikowej rurki do metalowej nienaelektryzowanej kuli.

Takie zachowanie ładunków nazywamy **indukcją elektrostatyczną**.

Zewnętrzny ładunek zbliżony do ciała powoduje przesunięcie ładunków elektrycznych w tym ciele. Zjawisko to nazywamy **indukcją elektrostatyczną**.

Określenie dokładnego położenia ładunków w ciele podlegającym indukcji elektrostatycznej jest trudne. Zawsze jednak elektrony będą odpychane, jeżeli zewnętrznym ładunkiem będzie **(–)**, a przyciągane — jeżeli będzie to **(+)**.

Warto **wiedzieć**

Elektrostatyka to dział fizyki zajmujący się oddziaływaniem ładunków elektrycznych z pominięciem wpływu ich ruchu na oddziaływanie.

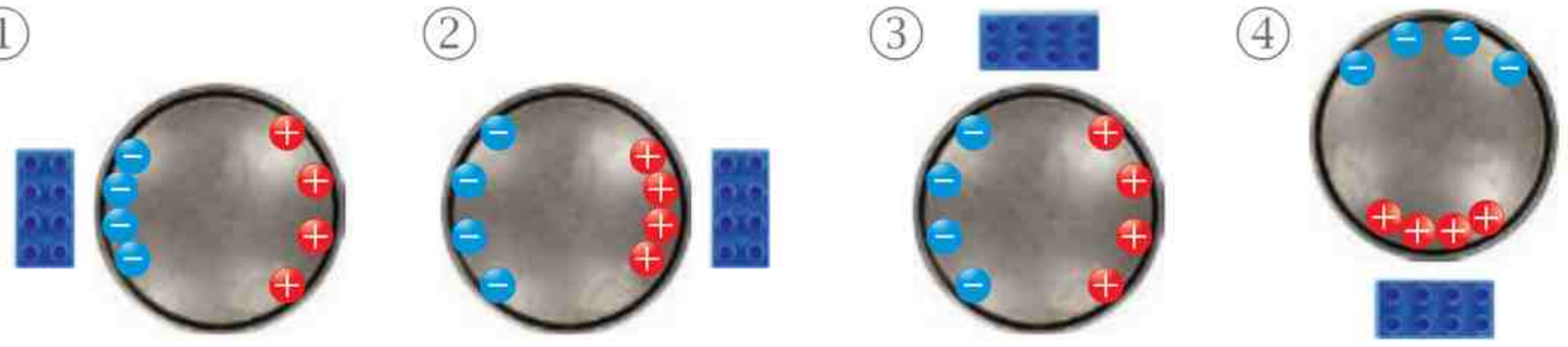
PRZYKŁAD 1. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Na skutek zbliżenia dodatnio naelektryzowanej linijki do metalowej kuli, część ***elektronów/protonów*** *w nienaelektryzowanej kuli* ***przemieściła się w stronę/oddaliła się od*** *linijki.*



Odp. *elektronów; przemieściła się w stronę*

ĆWICZENIE 1. Do nienaelektryzowanego, metalowego talerza zbliżono naelektryzowany ujemnie klocek. Które z poniższych rysunków pasują do opisanej sytuacji?



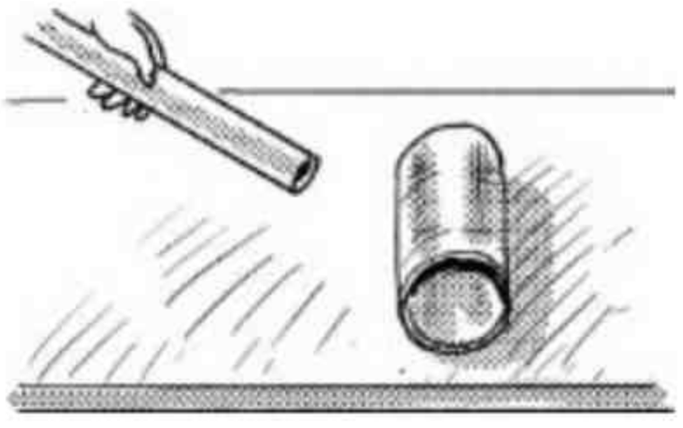
Indukcja elektrostatyczna a ruch ciała

Czy ruch ładunków wewnątrz ciała na skutek indukcji elektrostatycznej może mieć wpływ na ruch tego ciała?

Doświadczenie **Podążająca puszka**

① Przygotuj: pustą, metalową puszkę po napoju, plastikową rurkę i wełniany szalik. Doświadczenie wykonuj na gładkim poziomym blacie.

② Na blacie połóż puszkę. Zbliż do puszki na odległość około 3 cm nienaelektryzowaną rurkę. Czy puszka rusza w stronę rurki?



③ Naelektryzuj rurkę przez potarcie wełną. Zbliżaj rurkę do puszki, raz z jednej, raz z drugiej strony (bez dotykania). Jak zachowuje się puszka?

i Rurkę możesz zastąpić balonem lub torebką foliową.

Gdy zbliżyliśmy do puszki nienaelektryzowaną rurkę, to puszka nadal spoczywała. Jednak naelektryzowana rurka wyraźnie przyciągała puszkę. Jak to możliwe, skoro całkowity ładunek elektryczny puszki jest równy zero? Czyżbyśmy odkryli nowe prawo: ładunek zero (puszka) jest przyciągany do ładunku ujemnego (rurka)? Nie! Puszka podąża za rurką dlatego, że wypadkowa sił działających na puszkę jest zwrócona w stronę rurki.



Siła przyciągania $\vec{F}_p$ puszki do rurki ma większą wartość niż siła odpychania $\vec{F}_o$.

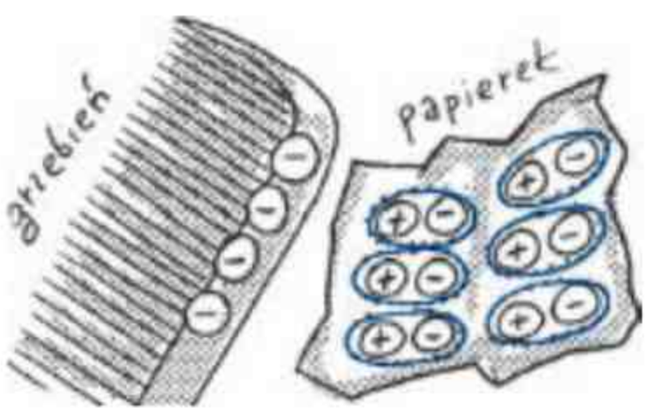
Elektrony, czyli ładunki ujemne, odpłynęły na przeciwny skraj puszki. Blisko rurki znajdują się więc ładunki dodatnie — atomy z brakującymi elektronami. Dodatnio naładowana część puszki jest przyciągana do ujemnie naładowanej rurki siłą $\vec{F}_p$. Jednocześnie ujemnie naładowana część puszki jest odpychana od ujemnie naładowanej rurki siłą $\vec{F}_o$. Jednak odpychanie to jest słabsze niż przyciąganie $F_o < F_p$. Jest tak, ponieważ dodatnio naładowana część puszki jest bliżej rurki niż część ujemnie naładowana — im większa odległość między ładunkami, tym mniejsza wartość siły ich oddziaływania elektrycznego.



Naelektryzowany balon przyciąga skrawki papieru, który jest izolatorem.

Indukcja elektrostatyczna w izolatorach

Indukcja elektrostatyczna zachodzi nie tylko w przewodnikach, ale również w izolatorach. Na przykład skrawki papieru (izolator) są przyciągane do naelektryzowanego balonu. Jak to możliwe, skoro w izolatorze elektrony nie mogą się swobodnie przemieszczać? Okazuje się, że zbliżenie zewnętrznego ładunku powoduje takie zachowanie cząsteczek, jakie pokazano na rysunku obok. Każda cząsteczka papieru, do którego zbliżono naelektryzowany grzebień, jest z jednej strony bardziej ujemna, a z drugiej — bardziej dodatnia. Jeden kraniec papieru jest więc naelektryzowany dodatnio, a drugi — ujemnie.



Ujemnie naelektryzowany grzebień spowodował, że elektrony w każdej cząsteczce papierka oddaliły się od niego.

Dodatkowo żaden izolator nie jest idealny — w każdym występują ładunki, które mogą się przemieścić, choć ich liczba jest znacznie mniejsza niż w przewodnikach.

Dowiedz się więcej o elektryzowaniu i wodzie

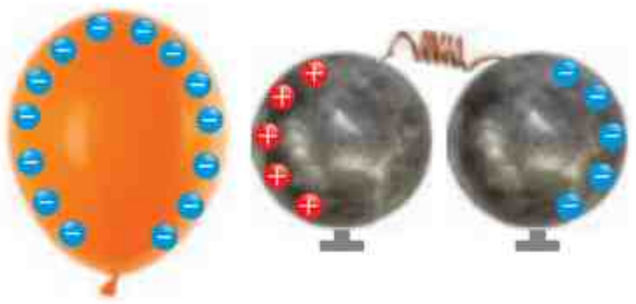
Naelektryzowany balon odchyla niewielki strumień cieknącej wody. Efekt ten najczęściej jest wyjaśniany w następujący sposób: cząsteczki wody są **polarne**, czyli mają jeden koniec dodatni, a drugi ujemny, i w pobliżu balonu ustawiają się tak, że woda jest przyciągana (analogicznie do przykładu z grzebieniem). Jest to jednak wyjaśnienie błędne.



Dokładniejsze doświadczenia pokazują, że efekt wynika głównie z tego, iż w strumieniu wody są jony. Choć jest ich niewiele, to ich wpływ jest silniejszy niż polarność wody. Ten przykład pokazuje, że trudno jest bez precyzyjnych doświadczeń wskazać istotne czynniki w obserwowanym zjawisku.

Uziemienie

Połączmy dwie nienaelektryzowane stalowe kule miedzianym przewodem, a następnie zbliżmy do lewej kuli ujemnie naładowany balon. Lewa kula naelektryzuje się dodatnio, a prawa — ujemnie (odpychane przez balon elektrony przepłyną przewodem). Gdy odsuniemy balon, elektrony przepłyną z powrotem i obie kule będą nienaelektryzowane.



Kule połączone przewodem.

Ponownie zbliżmy naelektryzowany balon do lewej kuli (kule są połączone miedzianym przewodem). Nie zmieniając położenia balonu, usuńmy miedziany przewód (dotykając go tylko izolatorem, nie ręką!). Teraz — nawet po odsunięciu balonu — obie kule są naelektryzowane.



Kule rozłączone, po odsunięciu balonu.

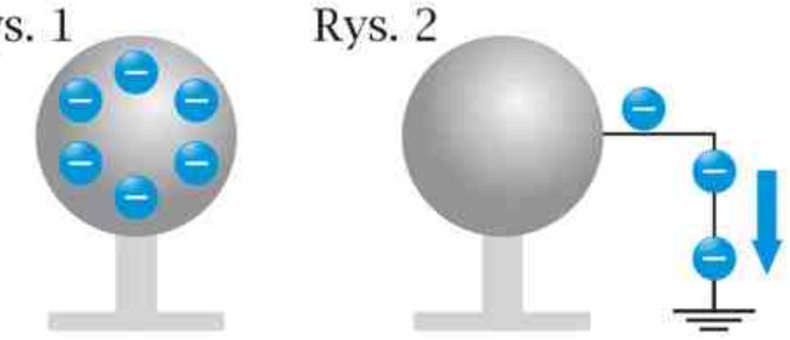
Rolę drugiej (prawej) kuli, czyli ciała do którego odpływają (lub z którego dopływają) ładunki, może pełnić Ziemia. Wystarczy podłączyć do naelektryzowanego ciała metalowy przewód, którego drugi koniec jest zakopany w ziemi. Taki przewód to **uziemienie**. Ziemia jest na tyle duża, że może do niej odpłynąć lub z niej dopłynąć dowolny ładunek.



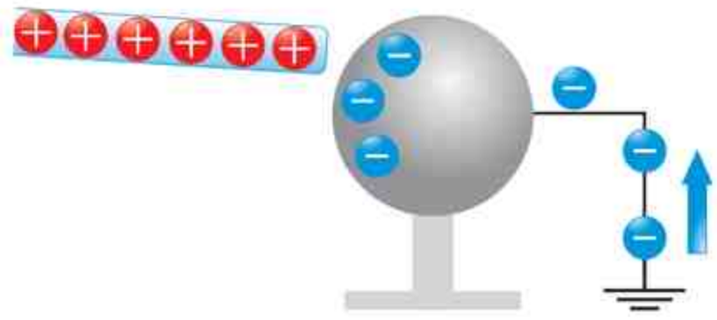
Symbol uziemienia.

Uziemienie jest często wykorzystywane do zobojętnienia naelektryzowanych ciał. Na przykład z naelektryzowanej ujemnie metalowej kuli, po jej podłączeniu do uziemienia, odpływają nadmiarowe elektrony i ładunek kuli staje się równy zero. Jeśli do takiej kuli zbliżymy dodatnio naelektryzowaną rurkę, to przez uziemienie dopłyną elektrony.

Rys. 1 Rys. 2



Nadmiarowe elektrony z kuli (Rys. 1) odpływają po jej uziemieniu (Rys. 2).



Elektrony napływają uziemieniem.

PRZYKŁAD 2. Do nienaelektryzowanej, metalowej kuli zbliżono naładowaną ujemnie pałkę (Rys. 1). Następnie kulę uziemiono (Rys. 2). Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Rys. 1

Rys. 2

Przed uziemieniem całkowity ładunek kuli był ***dodatni / ujemny / równy zero****. Po uziemieniu całkowity ładunek kuli był* ***dodatni / ujemny / równy zero****. Gdy kulę uziemiono, wtedy elektrony przemieściły się* ***z ziemi do kuli / z kuli do ziemi****.*

Odp. *równy zero; dodatni; z kuli do ziemi.*

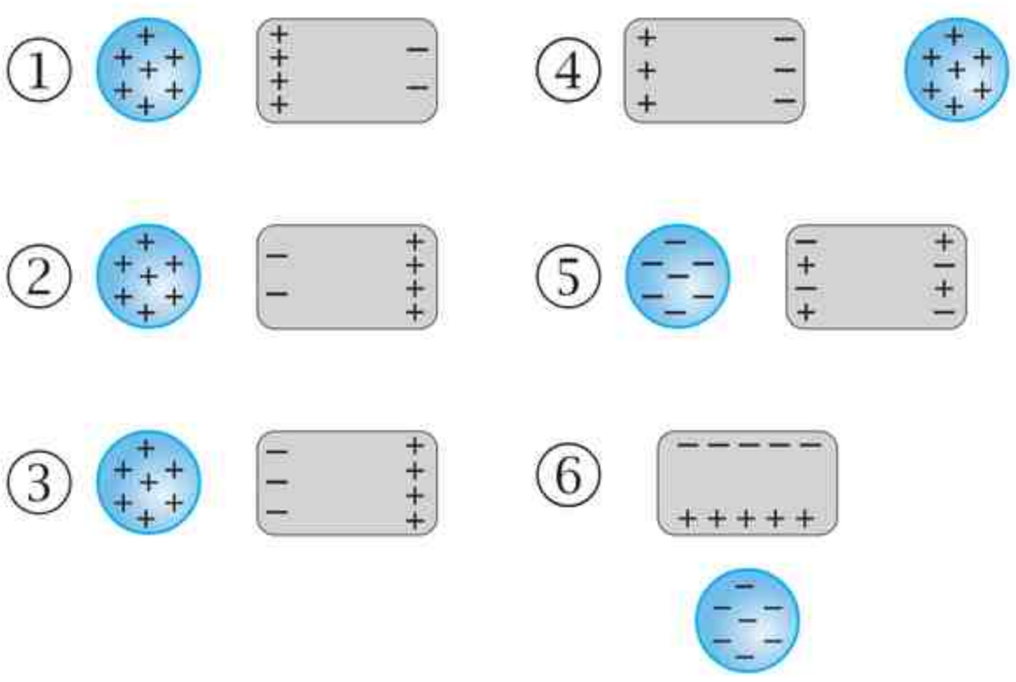
ĆWICZENIE 2. Do uziemionej metalowej kuli zbliżono ujemnie naładowaną torebkę foliową. Następnie odłączono uziemienie. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Gdy do kuli zbliżono torebkę, wtedy elektrony ***przemieściły się z ziemi do kuli/przemieściły się z kuli do ziemi/w ogóle nie przepłynęły uziemieniem.*** *Całkowity ładunek kuli po odłączeniu uziemienia był* ***dodatni/ujemny/równy zero.***

Czas na zadania!

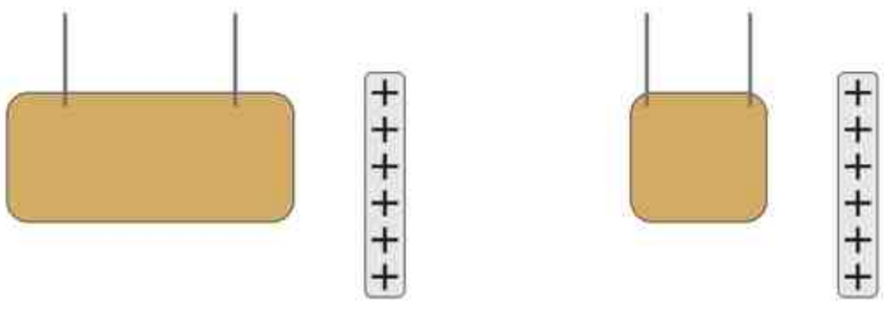
Zadanie 1. *Ładunki na blaszce*

Do prostokątnej, nienaelektryzowanej, metalowej blaszki zbliżono naelektryzowaną plastikową kulkę. Które rysunki poprawnie pokazują rozdzielone ładunki na blaszce?



Zadanie 2. *Przyciąganie blaszki*

Miedziane blaszki wiszą na nieprzewodzących niciach i mają takie same wysokość i grubość. Jedna jest jednak znacznie dłuższa od drugiej. Do każdej z blaszek przysunięto naładowaną plastikową rurkę na taką samą odległość.



Na którą blaszkę rurka będzie działać siłą o większej wartości?

Zadanie 3. *W którą stronę?*

Weritka powtarza doświadczenie z rozpędzaniem nienaelektryzowanej puszki za pomocą naelektryzowanej plastikowej rurki (zob. str. 71).

— To niesamowite, jak szybko ładunki ustawiają się na ściance puszki tak, żeby była przyciągana do rurki. Nawet gdy bardzo szybko zmienię stronę, z której zbliżam rurkę, to puszka natychmiast jest w tę stronę przyciągana. Nigdy nie jest odpychana. — Weritka gwałtownie przekłada rurkę z lewej strony na prawą.

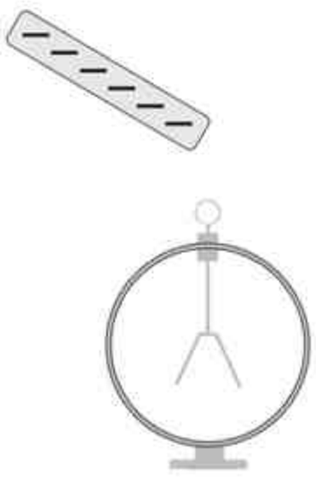
— Jeśli chcesz, żeby puszka była odpychana, to wystarczy, że użyjesz szklanej rurki — sugeruje Hasto. — Plastikowa rurka naelektryzowała się ujemnie, a szklana potarta papierem naelektryzuje się dodatnio.

— Myślisz, że zmiana znaku ładunku na rurce zmieni zachowanie puszki? — zastanawia się Weritka.

a) Jak rozdzielą się ładunki na puszce, gdy zbliżymy do niej dodatnio naelektryzowaną rurkę?

b) Czy puszka będzie odpychana od dodatnio naładowanej rurki?

c) Co zrobić z puszką, by była odpychana od ujemnie naładowanej rurki?



Zadanie 4. *Elektroskop*

Listki elektroskopu rozchylają się po zbliżeniu do niego naelektryzowanej pałki. Dlaczego listki się rozchylają, mimo że całkowity ładunek na elektroskopie jest równy zero?

Zadanie 5. *Uziemienie listków elektroskopu*

Weritka wykonała doświadczenie składające się z następujących etapów:

① Do nienaelektryzowanego elektroskopu zbliżyła ujemnie naładowany plastikowy flamaster. Listki elektroskopu się rozchyliły.

② Następnie, cały czas trzymając flamaster w pobliżu elektroskopu, uziemiła listki i te opadły.

③ Listki nadal zwisały pionowo, gdy Weritka odłączyła uziemienie.

④ Listki ponownie się rozchyliły, gdy oddaliła flamaster od elektroskopu.

a) Określ, czy całkowity ładunek na elektroskopie po odłączeniu uziemienia listków (punkty ③ i ④) był dodatni, ujemny, czy równy zero.

b) Wyjaśnij, dlaczego listki elektroskopu rozchyliły się dopiero po oddaleniu flamastra (punkt ④).

Zadanie 6. *Skrawki folii aluminiowej*

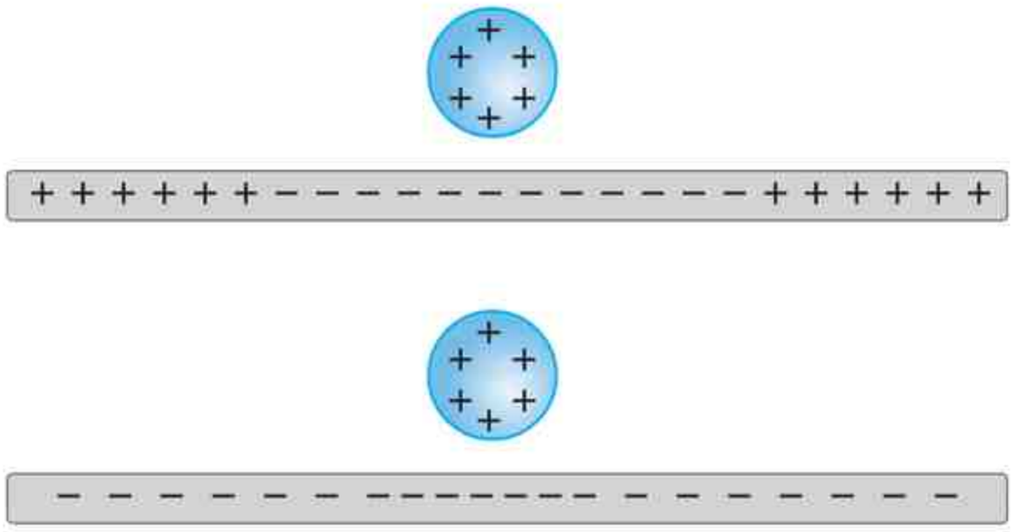
Naelektryzowaną plastikową rurką można przyciągać skrawki folii aluminiowej. Skrawki takie po dotknięciu rurki często od niej odskakują — wyraźnie są od niej odpychane. Wyjaśnij, dlaczego skrawek folii aluminiowej:

a) jest przyciągany do zbliżonej rurki,

b) po dotknięciu rurki odskakuje od niej.

Zadanie 7. *Uziemiona czy nie?*

Do dwóch nienaelektryzowanych metalowych płytek zbliżono naelektryzowaną dodatnio plastikową kulkę. Na rysunkach przedstawiono położenie ładunków, które się wtedy pojawiły w płytkach. Wskaż, która z płytek była uziemiona, a która nieuziemiona. Odpowiedź uzasadnij.



Zadanie 8. *Chmura burzowa*

Grawitacja i ruchy powietrza powodują w chmurze burzowej ruch kropelek wody i kryształków lodu. Gdy przemieszczają się one względem siebie i stykają, elektryzują się przez potarcie, dotyk i indukcję elektrostatyczną. Środek i dół chmury elektryzuje się ujemnie, a górna warstwa chmury — dodatnio.

a) Czy w tej chmurze nadmiarowe elektrony (na kropelkach lub kryształkach) są transportowane głównie w górę, czy w dół?

b) Jak naelektryzowany jest fragment ziemi znajdujący się pod chmurą?



Zadanie 9. ***Uparta puszka***

Weritka i Hasto eksperymentują.

— Czegoś nie rozumiem. Przecież jednoimienne ładunki powinny się odpychać. — Hasto odwraca się od swojego eksperymentu i zagaduje Weritkę.

— Tak jest. A co, wychodzi ci inaczej? — Weritka patrzy na puszkę, która toczy się po blacie przed Hasto.

— Naelektryzowałem ujemnie puszkę, zbliżam do niej ujemnie naładowaną rurkę i puszka jednak jest do rurki przyciągana!

— Spróbujmy uprościć układ. Ujemnie naelektryzowana rurka przyciąga nienaelektryzowaną puszkę. Czyli już na starcie jest przyciąganie wynikające z indukcji elektrostatycznej — stwierdza Weritka.

— Jasne! Nawet jeśli naelektryzuję trochę ujemnie puszkę, na przykład jednym elektronem, to i tak przyciąganie wynikające z rozdzielenia ładunków na puszce będzie silniejsze.

— Z tego wynika, że musisz naelektryzować ją bardziej.

a) Dlaczego naelektryzowanie puszki niewielkim ładunkiem ujemnym nie powoduje jej odpychania od ujemnie naładowanej rurki?

b) Czy opisane doświadczenie przeczy temu, że jednoimienne ładunki się odpychają?

c) Jak zmieniłoby się zachowanie puszki, gdyby Hasto ją uziemił zamiast elektryzować ujemnie?



Jak myślisz?

- Czy indukcja elektrostatyczna jest wykorzystywana w urządzeniach?
- Dlaczego niektóre ekrany dotykowe nie reagują na dotyk w rękawiczkach?
- Czy tylko elektrony mogą się przemieszczać na skutek indukcji elektrostatycznej?
- Dlaczego wiele urządzeń jest uziemionych?
- Jak szybko przemieszczają się elektrony po ściance puszki w doświadczeniu omówionym na tej lekcji?

Fizyka na wesoło...

Weritka i Hasto obserwują przez teleskop nocne niebo.

— Jak myślisz, czy jeszcze gdzieś poza Ziemią jest zaawansowana cywilizacja? — zastanawia się Weritka.

— Nie. Bez elektryczności taka cywilizacja nie może powstać — zdecydowanie odpowiada Hasto.

— Ale dlaczego nie mogliby używać elektryczności?

— Jak? Musieliby najpierw dociągnąć do nas bardzo długi kabel, by cokolwiek uziemić.

11 Prąd elektryczny — natężenie



Jak duży może być prąd dostarczany przez akumulator? Ile elektronów wtedy przepływa? W jaki sposób ten prąd powstaje?

Co to jest prąd elektryczny?

W skonstruowanej z baterii i żarówki latarce żarówka świeci, gdy jej gwintu dotyka jedna z blaszek baterii, a wystającego kontaktu — druga z blaszek. Schemat takiego obwodu elektrycznego przedstawiono obok.

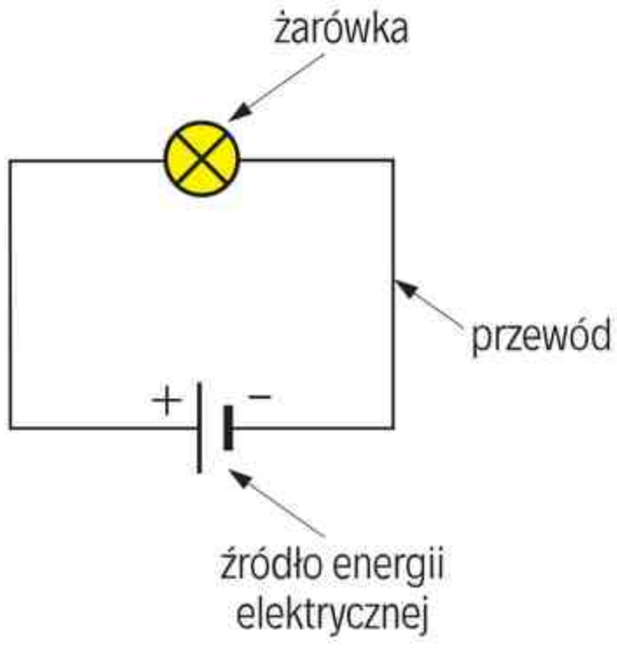
Znak ⊗ to żarówka, a znak $\overset{+}{\dashv\vdash}\overset{-}{}$ to źródło energii elektrycznej — u nas bateria. Innym przykładem źródła energii może być akumulator. Linie łączące żarówkę ze źródłem to przewody — w naszej latarce ich rolę pełnią blaszki baterii.

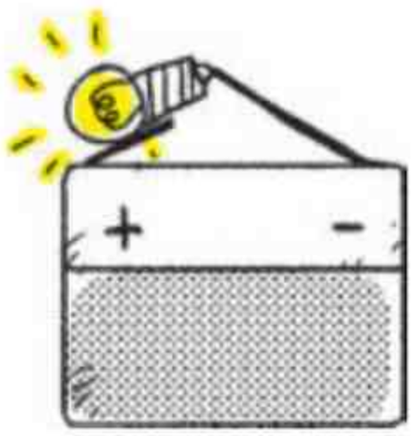
Żarówka świeci, gdy każda z blaszek baterii dotyka innego kontaktu żarówki. Wtedy przez żarówkę przepływają elektrony, które przemieszczają się przez obwód od bieguna ujemnego (–) do bieguna dodatniego (+). Mówimy, że taki obwód jest **zamknięty** i płynie w nim **prąd elektryczny**. W przewodzie niepodłączonym do źródła prądu elektrony także się poruszają, ale chaotycznie. Gdy końce przewodu zostaną podłączone do źródła, wtedy biegun (–) odpycha elektrony, a biegun (+) je przyciąga i ruch elektronów staje się uporządkowany. Taki ruch nazywamy prądem.

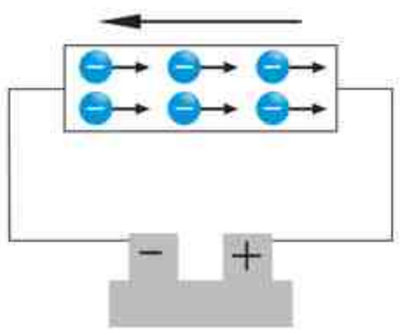
Prąd elektryczny to uporządkowany ruch ładunków.

Cel lekcji

Poznasz pojęcia: prąd elektryczny oraz jego natężenie.







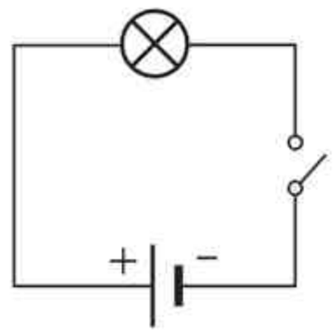
Przyjmujemy, że prąd płynie od (+) do (−).

Przyjęto, że prąd płynie tak, jakby płynęły ładunki dodatnie. Chociaż w rzeczywistości elektrony (ładunek ujemny) przemieszczają się od bieguna (−) do bieguna (+), mówimy, że prąd płynie w stronę przeciwną, czyli od bieguna (+) do bieguna (−).

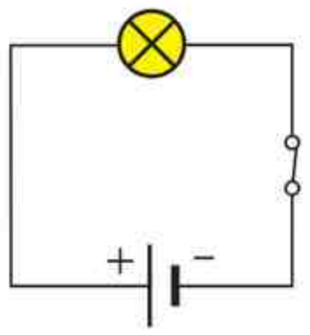
Żarówka przestaje świecić, gdy powstanie przerwa w obwodzie. Wtedy przez żarówkę nie przepływają elektrony — prąd elektryczny nie płynie. Przerwanie obwodu to inaczej jego **otwarcie**. Obwód można otworzyć, odłączając przewód lub używając wyłącznika.



Otwarty wyłącznik.



Obwód otwarty.
Przez żarówkę nie przepływa prąd.

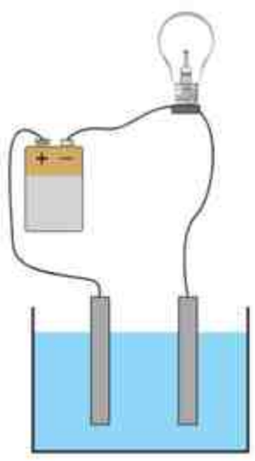


Obwód zamknięty.

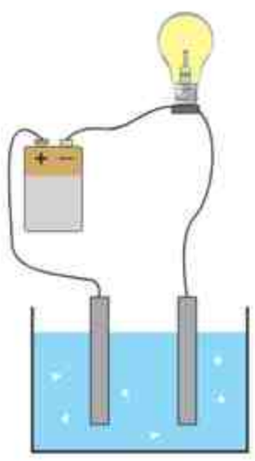
Prąd elektryczny w ciele stałym, cieczy i gazie

Prąd elektryczny może powstać na skutek przemieszczania się dowolnych ładunków elektrycznych. W przypadku latarki przez obwód płyną elektrony. Ale na przykład przez słoną wodę, gdy zanurzymy w niej bieguny baterii, przepływają jony.

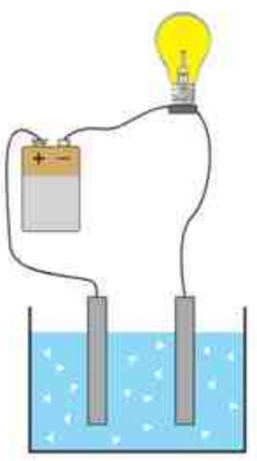
Czysta woda zawiera mało jonów — ich przepływ nie wystarczy, by zaświeciła się żarówka. Sytuacja się zmieni, gdy rozpuścimy w wodzie sól (NaCl). Cząsteczka NaCl rozdziela się wtedy na jon dodatni Na^+ oraz jon ujemny Cl^-. W roztworze soli pojawia się dużo jonów (Na^+, Cl^-, H^+, OH^-). Do przewodu podłączonego do bieguna (−) baterii płyną jony dodatnie. Do przewodu podłączonego do bieguna (+) baterii płyną jony ujemne. Opisując ten proces jako ruch tylko ładunku dodatniego, możemy powiedzieć: *ładunek dodatni płynie przez roztwór soli od bieguna (+) do bieguna (−).*



Czysta woda.



Woda z odrobiną soli.

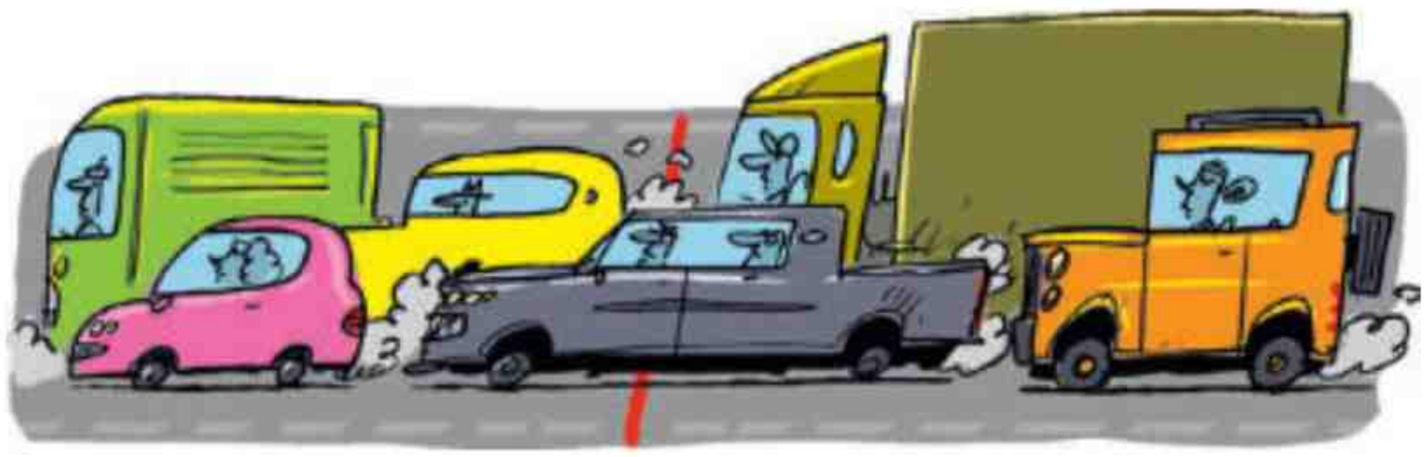


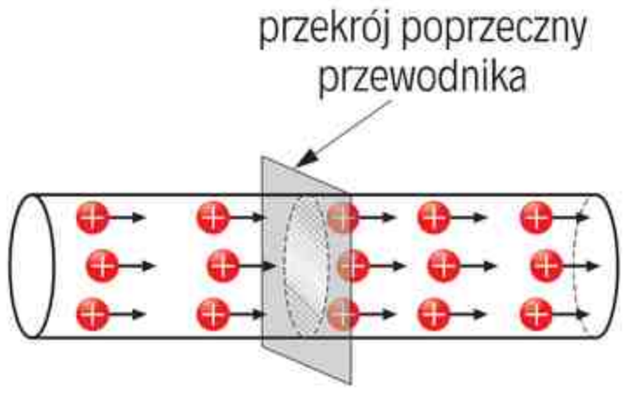
Słona woda.

Prąd może przepływać również przez gaz, ale tylko wtedy, gdy są w nim swobodne ładunki. Podczas wyładowań atmosferycznych prąd elektryczny tworzą przemieszczające się w powietrzu elektrony i jony. Podobnie jest w świetlówkach.

Jak duży jest prąd elektryczny?

Informacja, że na autostradzie jest duże natężenie ruchu drogowego, oznacza, iż przejeżdża nią wiele pojazdów. Jak zmierzyć takie natężenie? Można liczyć, ile pojazdów przejeżdża w czasie sekundy przez linię namalowaną w poprzek jezdni, np. 5 pojazdów na sekundę.





Przekrój poprzeczny przewodnika to wyobrażona przez nas płaszczyzna, która przecina przewodnik. Przyjmujemy, że prąd płynie w stronę, w którą płynęłyby ładunki dodatnie.

Podobnie do opisu prądu elektrycznego używamy **natężenia prądu**, oznaczenie I. Wielkość ta jest równa ładunkowi, który przepływa przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie 1 sekundy. Wiedząc, jak duży ładunek q przepłynął przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie t, można obliczyć natężenie prądu.

natężenie prądu [A] $\longrightarrow I = \frac{q}{t}$ ← ładunek [C], ← czas [s]

Jednostką natężenia prądu jest **amper**, symbol **A**.

Gdy ładunek 1 C przepływa w czasie 1 s przez przekrój poprzeczny przewodnika, to natężenie tego prądu wynosi 1 A, a więc: $1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$.

Warto **wiedzieć**

Dla naszych rozważań nieistotny jest znak ładunku przepływającego przez przekrój poprzeczny przewodnika. Dlatego podczas obliczania natężenia prądu będziemy używać wartości bezwzględnej ładunku oraz wartości bezwzględnej natężenia prądu.

PRZYKŁAD 1. Przez przekrój poprzeczny włókna żarówki w latarce przepłynął ładunek 2,1 C w czasie 3 s. Oblicz natężenie tego prądu.

Dane:
$q = 2{,}1$ C — ładunek
$t = 3$ s — czas przepływu ładunku

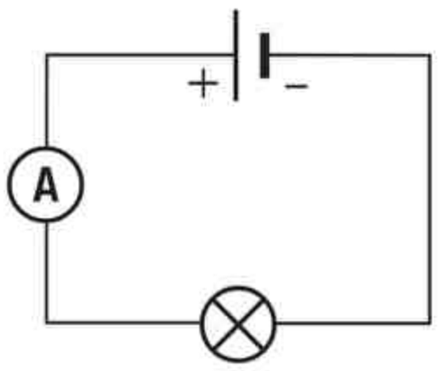
Szukane:
$I = ?$ — natężenie prądu

Rozwiązanie: $I = \frac{q}{t}$ $\qquad I = \frac{2{,}1\ \text{C}}{3\ \text{s}} = 0{,}7\ \frac{\text{C}}{\text{s}} = 0{,}7\ \text{A}$

Odp. Natężenie tego prądu jest równe 0,7 A.

ĆWICZENIE 1. Przez przekrój poprzeczny przewodu przepłynął ładunek 40 C w czasie 0,1 s. Oblicz natężenie tego prądu.

Jak zmierzyć natężenie prądu?



Sposób połączenia amperomierza. Taki sposób łączenia nazywamy **szeregowym**, czyli jeden za drugim, jak w szeregu.

Urządzeniem służącym do pomiaru natężenia prądu jest **amperomierz**, symbol (A). Mierząc natężenie prądu przepływającego przez żarówkę, amperomierz należy połączyć **szeregowo**, czyli tak, by przepływał przez niego ładunek, który przepływa przez żarówkę (zob. schemat obok).

Amperomierz łączymy z urządzeniem szeregowo, czyli w taki sposób, aby cały prąd przepływający przez urządzenie przypływał też przez amperomierz (przed lub za urządzeniem).



Miernik uniwersalny to urządzenie, z którego będziemy korzystać podczas kilku najbliższych lekcji. Ma ono kilka funkcji. Służy m.in. do mierzenia natężenia prądu. Podpinając odpowiednio przewody, można nim mierzyć także napięcie lub opór (o których usłyszysz podczas kolejnych lekcji). Regulując parametry miernika, można zmieniać czułość urządzenia tak, żeby było w stanie zmierzyć np. bardzo małe natężenie prądu.

Doświadczenie Pomiar natężenia prądu

① Przygotuj: „płaską” baterię (4,5 V, 3R12), małą żarówkę (np. 2,2 V), taśmę klejącą oraz miernik uniwersalny z przewodami.

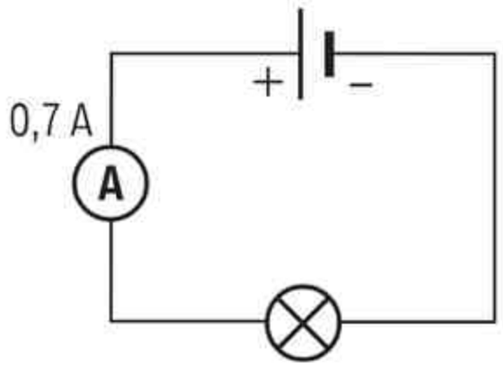
② Do krótkiej blaszki baterii przyklej taśmą żarówkę. Gwint żarówki powinien przylegać bezpośrednio do blaszki. Dotknij wystającego kontaktu żarówki długą blaszką baterii. Żarówka powinna się świecić. Odegnij długą blaszkę.

③ Czarny przewód podłącz do gniazda COM miernika. Czerwony przewód podłącz do gniazda 10 A. Przestaw pokrętło miernika na 10 A.

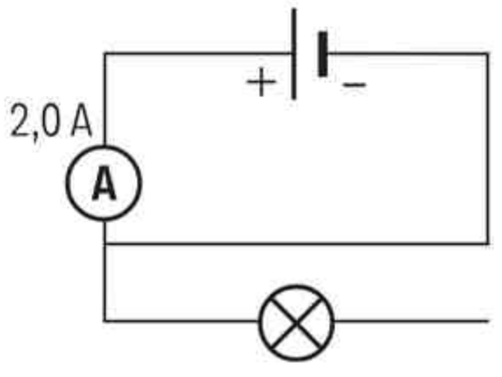
④ Czarną sondą dotknij blaszki (–), czerwoną — kontaktu żarówki (powinna się zaświecić). Odczytaj natężenie prądu przepływającego przez żarówkę i miernik.

⑤ Czarną sondą dotknij blaszki (–), czerwoną — blaszki (+). Żarówka nie świeci. Odczytaj natężenie prądu przepływającego przez miernik.

W naszym doświadczeniu (etap ④), gdy prąd przepływał przez żarówkę i miernik, natężenie prądu wynosiło około 0,7 A. Natomiast, gdy połączyliśmy sondami miernika bieguny baterii z pominięciem żarówki (etap ⑤), to natężenie prądu wynosiło około 2,0 A. Na kolejnych lekcjach dowiesz się, z czego wynika ta różnica.



Prąd przepływa przez żarówkę i amperomierz.



Prąd przepływa tylko przez amperomierz.

Czas na zadania!

i 1 mA = 0,001 A, 1 µA = 0,000 001 A

Zadanie 1. *Natężenie prądu*

Oblicz natężenie prądu, jeśli przez przekrój poprzeczny przewodnika przepłynął ładunek q w czasie t.

	A.	B.	C.	D.
q [C]	100	10	0,75	0,01
t [s]	100	1000	3	0,1

Zadanie 2. *Miliampery*

Oblicz natężenie prądu, jeśli przez przekrój poprzeczny przewodnika przepłynął ładunek q w czasie t. Wynik wyraź w mA.

a) $q = 10$ C, $t = 100$ s **c)** $q = 7{,}2$ C, $t = 1$ h

b) $q = 36$ C, $t = 1$ min **d)** $q = 0{,}02$ C, $t = 10$ s

Zadanie 3. *Ładunek*

Oblicz ładunek, który przepłynął przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie t, jeśli natężenie prądu było równe I.

a) $t = 1$ s, $I = 10$ A **c)** $t = 4$ ms, $I = 1000$ A

b) $t = 50$ s, $I = 2$ A **d)** $t = 1$ min, $I = 0{,}01$ A

Zadanie 4. *Obwód*

Narysuj obwód składający się z żarówki, wyłącznika, baterii, amperomierza oraz przewodów. Amperomierz umieść tak, by po zamknięciu obwodu mierzył natężenie prądu płynącego przez żarówkę.

Zadanie 5. *Czas*

Oblicz czas, w którym ładunek q przepłynął przez przekrój poprzeczny przewodnika, jeśli natężenie prądu było równe I.

	A.	B.	C.	D.
q	1 C	10 C	12 C	1 mC
I	1 A	0,1 A	30 mA	1 µA

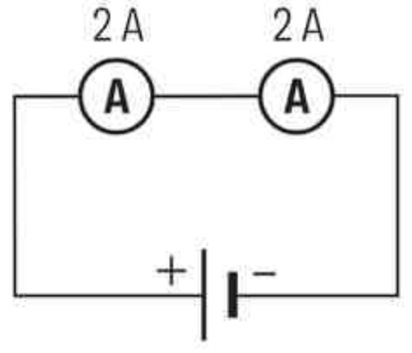
Zadanie 6. *Ile elektronów?*

Przez żarówkę w latarce płynie prąd o natężeniu 0,8 A. Oblicz, ile elektronów przepływa w czasie 1 s przez przekrój poprzeczny włókna tej żarówki.

i $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Zadanie 7. *Tak samo niezależnie od miejsca*

Mierząc natężenie prądu w nierozgałęziającym się przewodzie, uzyskamy zawsze ten sam wynik, np. 2 A. Nie zależy to od miejsca, w którym umieścimy amperomierz.



Można ten fakt opisać tak: tyle samo ładunku elektrycznego, który wpływa do przewodu z jednego końca, musi wypłynąć z drugiego końca. Na jaką zasadę trzeba się powołać, by wytłumaczyć te obserwacje?

Zadanie 8. *„Paluszek" kontra piorun*

— Natężenie prądu w piorunie to przeważnie około 30 kA. Między chmurą a ziemią przepływa wtedy około 15 C. — Weritka opowiada Hasto o obejrzanym popularnonaukowym filmie.

— Pfiii! To te pioruny są słabe — odpowiada Hasto. — Ja rozładowywałem przez pięć dni i nocy baterię paluszek. Połączyłem jej bieguny złączonymi szeregowo grafitem z ołówka i amperomierzem. Amperomierz średnio pokazywał 20 mA. Gdy to policzyłem na kalkulatorze, to wyszło znacznie więcej niż 15 C!

— To ciekawe. Może moc pioruna nie zależy tak bardzo od ładunku, tylko od czegoś innego…

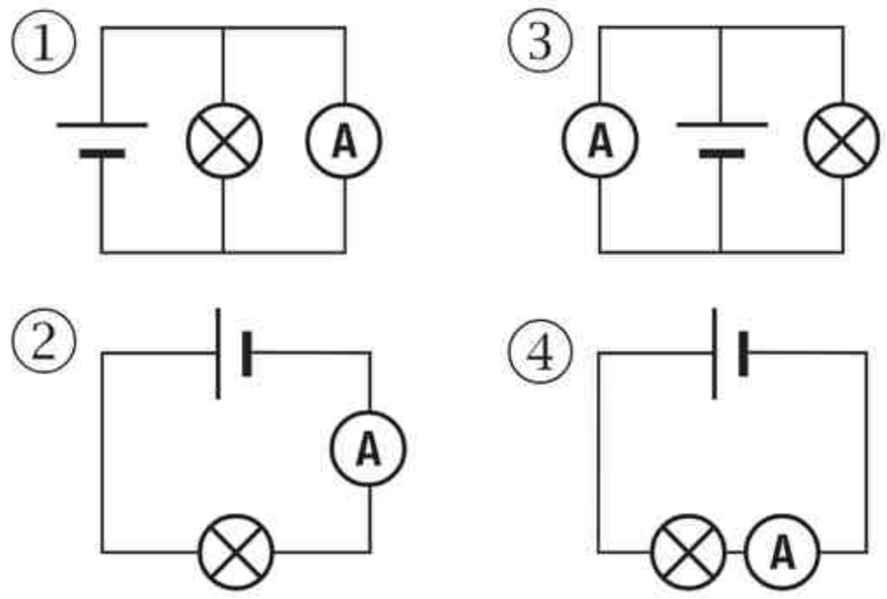
a) Ile czasu trwa wyładowanie, o którym opowiedziała Weritka?

b) Ile ładunku przepłynęło przez amperomierz w doświadczeniu Hasto?

c) Które z wymienionych wielkości mogą mieć związek z tym, że wyładowanie pioruna jest znacznie bardziej spektakularne od rozładowania baterii?

Zadanie 9. *Podłączanie amperomierza*

W których przypadkach podłączono amperomierz tak, by mierzył natężenie prądu przepływającego przez żarówkę?



Zadanie 10. *Prąd w smartfonie*

Producenci baterii podają ich pojemności w amperogodzinach, Ah (1 Ah = 1 A · 1 h). Bateria w smartfonie ma pojemność około 4 Ah. Jest to ładunek, który z baterii może przepłynąć między jej biegunami, zanim bateria się rozładuje.

a) Wyraź 4 Ah w kulombach. Skorzystaj z równości: 1 h = 3600 s, 1 A · 1 s = 1 C.

b) Oblicz średnie natężenie prądu dostarczanego przez baterię o pojemności 4 Ah, jeśli rozładowała się ona po 40 h.



Jak myślisz?

- Dlaczego żarówka podłączona poprawnie do obu biegunów baterii przestaje świecić, gdy dodatkowo połączymy bieguny drucikiem?
- Jak szybko po pstryknięciu włącznika lampa na drugim końcu sali gimnastycznej zaczyna świecić?
- Jakie natężenie prądu przepływającego przez człowieka jest dla niego bezpieczne?



Fizyka na wesoło…

— Co według was było największym wynalazkiem? — pyta nauczyciel.
— Żarówka! — odpowiada jeden z uczniów.
— A dlaczego tak uważasz?
— Bez żarówek trzeba by używać świec, żeby nocą trafić do komputera!

12 Praca prądu i napięcie elektryczne



Na zdjęciu widać lampę rentgenowską. Aby w takiej lampie wytworzyć promieniowanie rentgenowskie, elektrony są przyśpieszane w próżni napięciem 30 kV. Jakiej energii kinetycznej elektronu to odpowiada? Czy elektrony w żarówce też osiągają takie energie?

Dlaczego w obwodzie płynie prąd?

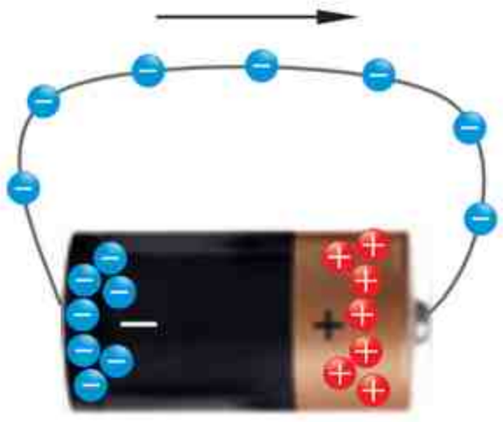
Cel lekcji

Poznasz pojęcia pracy prądu oraz napięcia elektrycznego.

Podłączona do baterii żarówka świeci i rozgrzewa się. To przepływające przez żarówkę elektrony powodują jej grzanie i świecenie. Oznacza to, że żarówka oddaje otoczeniu energię. Sama „dostaje" ją od przepływających przez nią elektronów. Zgodnie z zasadą zachowania energii musi być coś, co przekazuje energię elektronom. Tym źródłem energii elektrycznej jest bateria. Ale w jaki sposób to robi?

Bateria zapewnia istnienie sił, które działają na ładunki. Bieguny baterii połączone przewodem „wpychają" biegunem ujemnym elektrony do przewodu, a z drugiego końca przewodu elektrony są odbierane biegunem dodatnim. Na elektrony wzdłuż przewodu działa siła zwrócona w stronę bieguna dodatniego — są do niego przyciągane, a jednocześnie odpychane od bieguna ujemnego. Elektrony się przemieszczają, więc siła ta wykonuje **pracę**.

Można powiedzieć, że źródło (bateria) przekazuje energię lub wykonuje pracę, aby przez obwód płynął prąd. Można także powiedzieć, że prąd przekazuje energię odbiornikowi (żarówce) albo że prąd wykonuje pracę, by odbiornik działał (świeciła żarówka).



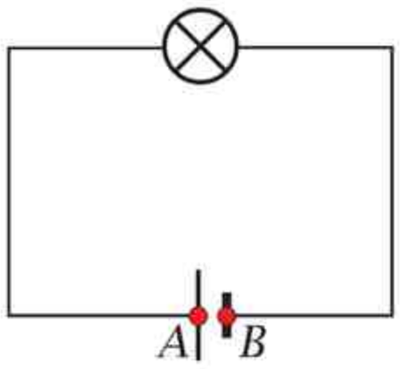
Na każdy elektron wzdłuż przewodu działa siła zwrócona od bieguna ujemnego do dodatniego.

Warto **wiedzieć**

Wewnątrz baterii elektrony będą „wracać" z bieguna dodatniego do ujemnego, by na zewnątrz baterii mogły ponownie przepłynąć od bieguna ujemnego, przez żarówkę, do dodatniego.

Praca prądu elektrycznego w obwodzie jest równa energii, którą prąd przekazuje odbiornikom. Praca ta jest równa energii, którą źródło energii elektrycznej zużyło na wytworzenie tego prądu.

Napięcie elektryczne



Warto **wiedzieć**

Źródłem napięcia mogą być np. baterie, akumulatory, solary, dynamo rowerowe.

Im dłużej żarówka świeci, tym więcej ładunku elektrycznego przez nią przepływa. Przyjmijmy, że pewne źródło energii wykonuje 1 J pracy, by w obwodzie między punktami A i B przepłynął ładunek 1 C. Jeśli to samo źródło wykona dwa razy więcej pracy (2 J), to przez obwód przepłynie dwa razy większy ładunek (2 C). Iloraz pracy W i przemieszczonego ładunku q jest więc stały:

$$\frac{W}{q} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{C}} = \frac{2\ \text{J}}{2\ \text{C}} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

Iloraz ten nazywamy **napięciem elektrycznym**. Napięcie elektryczne można obliczyć między dowolnymi dwoma punktami obwodu, nie tylko między biegunami źródła.

energia przekazana lub oddana [J] → E; praca prądu (lub praca źródła prądu) [J] → W

napięcie [V] → $U = \frac{E}{q} = \frac{W}{q}$ ← ładunek [C]

Jednostką napięcia jest **wolt**, symbol **V**.

Między dwoma punktami obwodu jest napięcie 1 V, gdy siła elektryczna wykonuje pracę 1 J przy przemieszczaniu między tymi punktami ładunku 1 C, a więc: $1\ \text{V} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{C}}$.

PRZYKŁAD 1. W czasie, gdy bateria wykonała pracę 9 J, przez przekrój poprzeczny żarnika żarówki podłączonej do tej baterii przepłynął ładunek 2 C. Oblicz napięcie elektryczne między biegunami baterii.

Dane:

$W = 9\ \text{J}$ — praca baterii

$q = 2\ \text{C}$ — ładunek

Szukane:

$U = ?$ — napięcie elektryczne

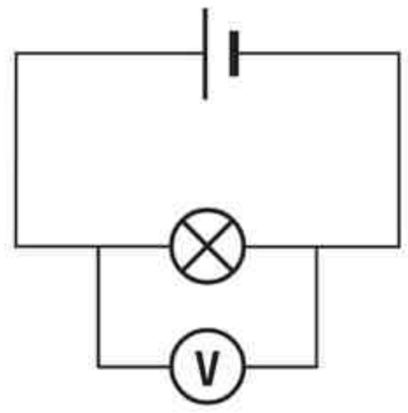
Rozwiązanie: $U = \frac{W}{q}$ $\quad U = \frac{9\ \text{J}}{2\ \text{C}} = 4{,}5\ \frac{\text{J}}{\text{C}} = 4{,}5\ \text{V}$

Odp. Napięcie elektryczne między biegunami baterii jest równe 4,5 V.

ĆWICZENIE 1. W czasie, gdy akumulator wykonał pracę 1100 J, przez przekrój poprzeczny przewodu rozruchowego podłączonego do biegunów akumulatora przepłynął ładunek 100 C. Oblicz napięcie elektryczne między biegunami akumulatora.

Jak zmierzyć napięcie elektryczne?

Napięcie elektryczne mierzymy **woltomierzem**. Jego symbol to (V). Ponieważ napięcie jest związane z ilością pracy wykonywanej przez prąd między dwoma punktami, to woltomierz podłączamy **równolegle** do danego fragmentu obwodu, czyli wpinamy końcówki woltomierza w miejsca, między którymi chcemy zmierzyć napięcie (zob. schemat).



Sposób połączenia woltomierza z obwodem.

Aby zmierzyć napięcie między dwoma punktami w obwodzie, **woltomierz** podłączamy równolegle do fragmentu obwodu, czyli bez rozłączania obwodu dołączamy do tych punktów końcówki woltomierza.

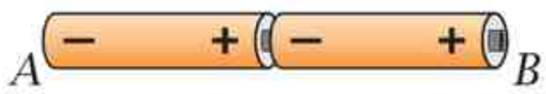
Doświadczenie Pomiar napięcia elektrycznego

① Przygotuj: miernik uniwersalny z przewodami, dwie baterie „paluszki” (1,5 V), „płaską” baterię (4,5 V), dwie żarówki (ok. 2 V) w obudowach oraz kilka przewodów.

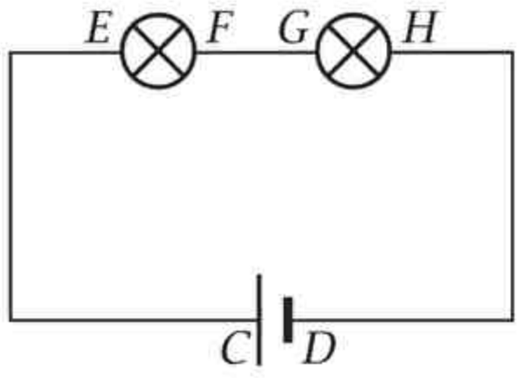
② Czarny przewód podłącz do gniazda COM miernika. Czerwony przewód podłącz do gniazda V. Przestaw pokrętło miernika na 20 V (po V powinna być pozioma kreska, a nie falka).

③ Czarną sondą dotknij bieguna (–) „paluszka”, a czerwoną — bieguna (+). Odczytaj z miernika napięcie między biegunami. Powtórz czynności z drugim „paluszkiem”.

④ Połącz „paluszki” szeregowo (zob. rysunek). Zmierz napięcie między skrajnymi biegunami (*A* i *B*).



⑤ Połącz dwie żarówki szeregowo i podłącz je do „płaskiej” baterii zgodnie ze schematem obok.

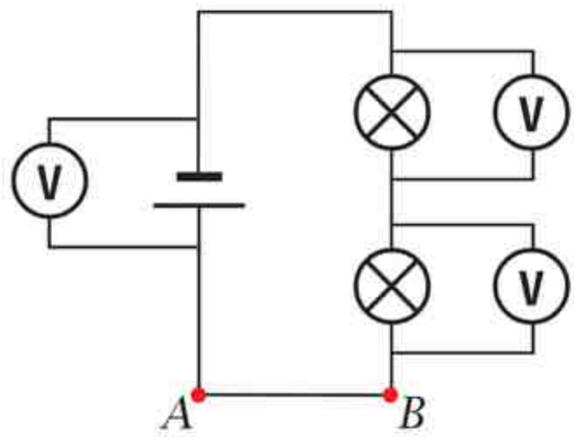


⑥ Zmierz napięcie między biegunami baterii w obwodzie (punkty *C* i *D*).

⑦ Zmierz napięcie między kontaktami tylko jednej żarówki (*E* i *F*). Zrób to samo w przypadku drugiej żarówki (*G* i *H*).

⑧ Zmierz napięcie na samym przewodzie, między punktami *C* i *E*.

i Istotna jest wartość bezwzględna uzyskanego pomiaru napięcia.



Prąd wykonuje pracę, praktycznie tylko przepływając przez żarówki, a straty energii w samych przewodach są bliskie 0 J.

Zauważ, że napięcia szeregowo połączonych baterii dodają się — ładunek 1 C uzyskuje porcję energii od każdego źródła. Jest to zgodne z zasadą zachowania energii. Podobnie jest w przedstawionym obok obwodzie:

praca prądu w 1. źródle światła + praca prądu w 2. źródle światła = energia dostarczona przez baterię

Dzieląc obie strony tego równania przez q, otrzymamy:

napięcie na 1. źródle światła + napięcie na 2. źródle światła = napięcie baterii

W przedstawionym obok obwodzie napięcie między różnymi punktami przewodu (np. A i B) jest pomijalnie małe w porównaniu z napięciami na baterii i żarówkach.

Dowiedz się więcej **o ogniwie galwanicznym**



W XVIII wieku Luigi Galvani (czyt. luidżi galwani) zauważył, że mięsień żabiego udka kurczy się, gdy dotknąć go w jednym miejscu blaszką miedzianą, w drugim — blaszką cynkową, a następnie blaszki połączyć. Alessandro Volta (czyt. alesandro wolta) skonstruował źródło energii elektrycznej, w którym żabie udka zastąpił roztworem soli. Na cześć tych badaczy źródło energii elektrycznej składające się z dwóch metali rozdzielonych elektrolitem (substancją przewodzącą prąd) nazywane jest **ogniwem galwanicznym** lub **ogniwem Volty**.

Czas na zadania!

ℹ Jeżeli nie napisano inaczej, pomiń straty w przewodach łączących elementy.

Zadanie 1. ***Napięcie***

Oblicz napięcie baterii między jej biegunami, jeśli przez przekrój poprzeczny łączącego je przewodu przepłynął ładunek q, a bateria wykonała pracę W.

a) $q = 20$ C, $W = 180$ J

b) $q = 0{,}01$ C, $W = 0{,}12$ J

c) $q = 1000$ C, $W = 4{,}5$ kJ

d) $q = 5$ kC, $W = 15$ kJ

e) $q = 4$ mC, $W = 6$ mJ

Zadanie 2. ***Praca prądu***

Oblicz pracę prądu przepływającego przez żarówkę, jeśli przez przekrój poprzeczny jej żarnika przepłynął ładunek q, a napięcie między kontaktami żarówki wynosiło U.

a) $q = 5$ C, $U = 3$ V

b) $q = 0{,}2$ C, $U = 1{,}5$ V

c) $q = 3$ kC, $U = 12$ V

d) $q = 400$ mC, $U = 10$ V

e) $q = 180$ C, $U = 4{,}5$ V

f) $q = 1{,}2$ kC, $U = 24$ V

Zadanie 3. *Ładunek*

Oblicz, ile ładunku przepłynęło przez przekrój poprzeczny przewodnika łączącego bieguny baterii, jeśli napięcie między tymi biegunami było równe U, a bateria wykonała pracę W.

a) $U = 3$ V, $W = 15$ J

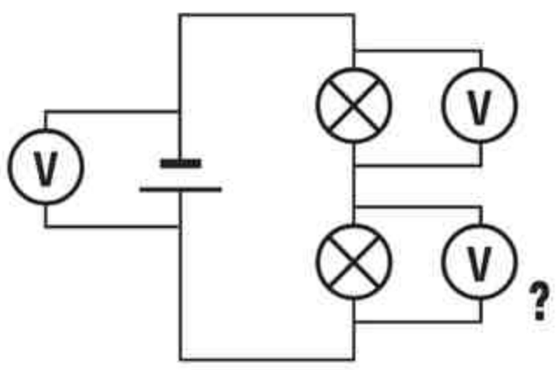
b) $U = 4{,}5$ V, $W = 900$ J

c) $U = 1{,}5$ V, $W = 3$ mJ

d) $U = 12$ V, $W = 24$ kJ

Zadanie 4. *Energia i napięcie*

Przez pewien czas w obwodzie przedstawionym na poniższym schemacie płynął prąd. Następnie obwód rozłączono.

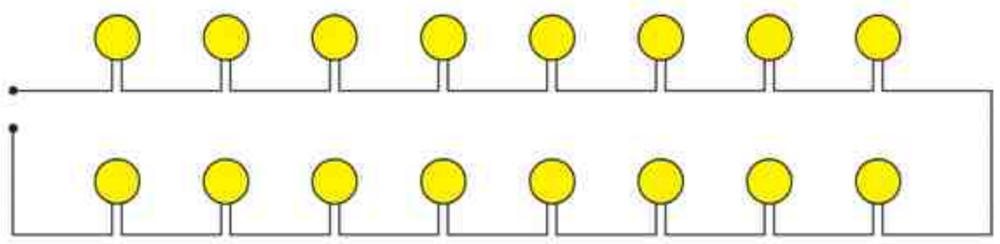


a) Oblicz energię oddaną do otoczenia przez dolną żarówkę, jeśli wiadomo, że górna oddała 440 J, a bateria wykonała pracę 900 J.

b) Oblicz napięcie między kontaktami dolnej żarówki.

Zadanie 5. *Łańcuch LED*

W przedstawionym łańcuchu wszystkie diody są identyczne. Łańcuch jest zasilany źródłem energii o napięciu 32 V.

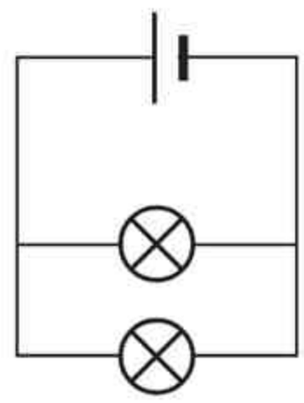


a) Oblicz napięcie między kontaktami jednej diody.

b) Przez obwód przez 100 s płynął prąd o natężeniu 20 mA. Oblicz ładunek, który przepłynął przez przekrój poprzeczny przewodu oraz energię, którą diody przekazały otoczeniu.

Zadanie 6. *Takie samo napięcie*

Hasto połączył dwie identyczne żarówki równolegle i zasilił je baterią. Utworzony przez niego obwód elektryczny pokazano na poniższym schemacie.



— Dziwne… W tym obwodzie napięcie na każdej żarówce to 4 V, i na baterii też 4 V. A przecież suma napięć na żarówkach miała być równa napięciu na baterii — zastanawia się Hasto.

— Jeśli dobrze zmierzyłeś napięcia, to może tutaj tak musi być? — Weritka przypatruje się obwodowi. — Wyobraź sobie, że bateria wysyła ładunek równy 2 C.

— Tutaj on się podzieli… i przez każdą żarówkę przepłynie tylko 1 C. To inaczej, niż w obwodzie, który analizowaliśmy na stronie 86 podręcznika.

a) Czym się różni skonstruowany przez Hasto obwód od obwodu ze strony 86?

b) Ile pracy wykona bateria podczas przepływu 2 C między jej biegunami, a ile energii przekaże otoczeniu każda z żarówek, jeśli przepłynie przez nią 1 C? Czy jest to zgodne z zasadą zachowania energii?

c) Czy propozycja podziału ładunku na żarówki jest zgodna z zasadą zachowania ładunku?

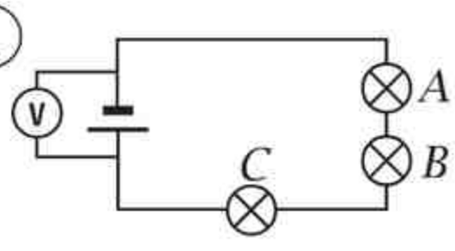
Zadanie 7. *Grzałka*

Grzałkę podłączono do akumulatora. Przez grzałkę płynął prąd o natężeniu 5 A przez 20 s. Grzałka przekazała 1200 J ciepła otoczeniu. Oblicz napięcie między biegunami akumulatora.

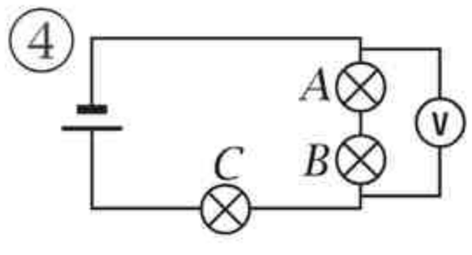
Zadanie 8. *Podłączanie woltomierza*

W których przypadkach podłączono woltomierz tak, by mierzył napięcie elektryczne tylko między kontaktami żarówki *A*?

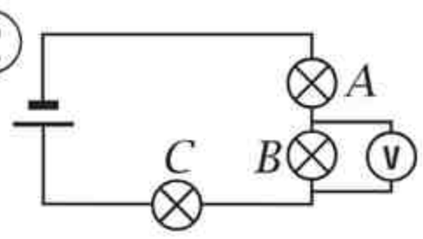
①



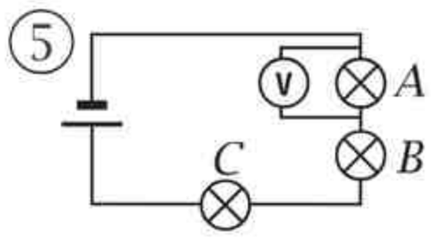
④



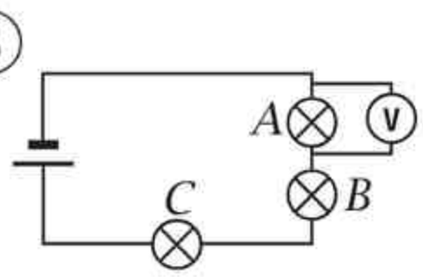
②



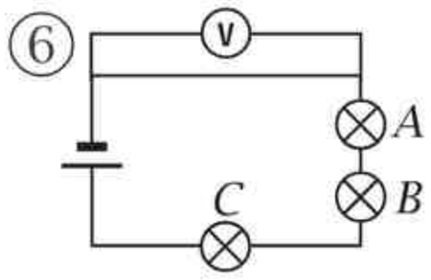
⑤



③



⑥



Zadanie 9. *Pomiary napięcia*

Narysuj obwód składający się z dwóch połączonych szeregowo (jedna za drugą) żarówek, wyłącznika, baterii oraz przewodów. Podłącz do obwodu dwa woltomierze tak, by po zamknięciu obwodu:

- jeden mierzył napięcie na baterii,
- drugi mierzył napięcie tylko na jednej żarówce.

Zadanie 10. *Energia protonu w LHC*

W akceleratorze LHC proton osiąga taką energię kinetyczną, jakby został przyśpieszony napięciem $6{,}5 \cdot 10^{12}$ V.

a) Oblicz tę energię. Wyraź ją w dżulach.

b) Porównaj wynik otrzymany w podpunkcie a) z energią kinetyczną kilograma cukru poruszającego się z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadanie 11. *Metody badań*

Pomiar to zmierzenie wielkości fizycznej. Obserwacja to przyglądanie się zjawisku bez wpływania na jego przebieg. Doświadczenie to celowe wpływanie na zjawisko i analizowanie skutków tego wpływu. W trakcie obserwacji i doświadczeń mogą być wykonywane pomiary. Wskaż, które z poniższych zdań opisują obserwację, doświadczenie lub pomiar.

① Hasto zauważył, że piorun zapalił drzewo.

② Weritka zmierzyła woltomierzem napięcie baterii.

③ Hasto sprawdzał, czy któraś z baterii spowoduje przepalenie żarówki.

④ Weritka sprawdzała, czy zwiększanie napięcia powoduje zmianę natężenia.



Jak myślisz?

- Jakie jest napięcie między chmurą burzową a ziemią?
- W jaki sposób powstaje energia elektryczna w baterii?
- Dlaczego żarnik żarówki świeci, a przewodnik doprowadzający prąd do żarówki nie?



Fizyka na wesoło...

Na lekcji.

— Powiesz nam, co to jest napięcie?

— Proszę bardzo. To, co jest na mojej pięcie, to skarpeta.

13 Opór elektryczny



Na zdjęciu widać oporniki. Gdzie i po co są stosowane? Z czego są wykonane? Zauważ, że nie wszystkie oporniki mają takie same kolorowe paski. Co one oznaczają?

Czy natężenie prądu jest związane z napięciem?

Cel lekcji
Dowiesz się, czym jest opór elektryczny i jak go wyznaczyć.

Drewno słabo przewodzi prąd, aluminium — dobrze, a miedź — jeszcze lepiej. Okazuje się, że mierząc natężenie prądu wywołanego napięciem przyłożonym do ciała, można określić, jak dobrym jest ono przewodnikiem.

Wyobraź sobie stok, po którym zjeżdżają narciarze. Im większe jego nachylenie (napięcie), tym więcej narciarzy (ładunku) w czasie 1 s przejedzie przez linię wyznaczoną w poprzek stoku (przekrój poprzeczny przewodnika). Liczba narciarzy przekraczających tę linię w czasie 1 s odpowiada natężeniu prądu. Jeśli na stok wyjdą niedźwiedzie, to narciarze zwolnią, a im więcej niedźwiedzi, tym mniejsze natężenie narciarzy.



Im trudniej elektronowi poruszać się w przewodniku, tym większy jest **opór** przewodnika. Opór to stosunek napięcia do natężenia prądu płynącego przez przewodnik.

opór [Ω] → $R = \frac{U}{I}$ ← napięcie [V], natężenie [A]

Opór wyrażany jest w **omach**, symbol **Ω**.

Jeśli po przyłożeniu do kontaktów przewodnika napięcia 1 V przez przewodnik płynie prąd o natężeniu 1 A, to opór tego przewodnika jest równy 1 Ω, a więc: $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$. Przy ustalonym napięciu mniejszy opór ma ten przewodnik, przez który płynie prąd o większym natężeniu.

PRZYKŁAD 1. Przez grzałkę płynie prąd o natężeniu 3 A, gdy między jej kontaktami jest napięcie 24 V. Oblicz opór grzałki.

Dane:
$U = 24\ \text{V}$ — napięcie
$I = 3\ \text{A}$ — natężenie prądu

Szukane:
$R = ?$ — opór grzałki

Rozwiązanie: $R = \frac{U}{I}$ $\quad R = \frac{24\ \text{V}}{3\ \text{A}} = 8\ \frac{\text{V}}{\text{A}} = 8\ \Omega$

Odp. Opór grzałki jest równy 8 Ω.

ĆWICZENIE 1. Przez żarówkę płynie prąd o natężeniu 0,7 A, gdy między jej kontaktami jest napięcie 4,2 V. Oblicz opór żarówki.

Doświadczalne wyznaczanie oporu

Opór odbiornika można wyznaczyć, mierząc napięcie między jego kontaktami i natężenie płynącego przez niego prądu.

Doświadczenie Wyznaczanie oporu elektrycznego

① Przygotuj: żarówkę (ok. 3 V), diodę świecącą (do 3 V), dwie baterie 1,5 V, taśmę klejącą, dwa przewody, miernik uniwersalny.

② Podłącz żarówkę do szeregowo połączonych baterii tak, aby żarówka świeciła.

③ Zmierz napięcie między biegunami baterii (ustaw miernik na pomiar napięcia: V–).

④ Zmierz natężenie prądu przepływającego przez żarówkę. W tym celu musisz najpierw rozłączyć obwód i włączyć w niego szeregowo miernik — między kontakt żarówki i biegun baterii (ustaw miernik na pomiar natężenia: 10 A–).

⑤ Powtórz etapy ②–④ z diodą zamiast żarówki.

i Dioda przewodzi prąd tylko w jedną stronę — podłącz ją tak, by świeciła. Aby zmierzyć natężenie prądu płynącego przez diodę, należy włożyć czerwony przewód w gniazdo „mA" i zmienić ustawienie pokrętła na pomiar w mA.

⑥ Przerysuj tabelę do zeszytu. Powyższe pomiary (wartości bezwzględne) zapisz w tabeli i oblicz opór żarówki oraz opór diody.

	Napięcie U [V]	Natężenie I [A]	Opór $R = \frac{U}{I}$ [Ω]
żarówka			
dioda			

Przykładowe wyniki pomiarów mogą być następujące:

	Napięcie U [V]	Natężenie I [A]	Opór $R = \frac{U}{I}$ [Ω]
żarówka	2,4	0,25	9,6
dioda	2,8	0,01	280

Wynika z nich, że opór żarówki jest znacznie mniejszy niż opór diody.

Czy opór jest stały?

Opór żarówki rośnie wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia. Dlaczego? Prąd powoduje rozgrzanie żarnika żarówki. Wskutek wzrostu temperatury zwiększają się drgania atomów żarnika. Im bardziej atomy się poruszają, tym bardziej przeszkadzają elektronom. Podobnie jak trudniej zjeżdżać po stoku, po którym chaotycznie biegają niedźwiedzie.



Przy niewielkich zmianach temperatury wiele przewodników ma w przybliżeniu stały opór. Na przykład opór drutu wolframowego (wykonany jest z niego żarnik żarówki) wzrośnie jedynie o 0,2%, a miedzianego — o 0,4%, jeśli ich temperatura wzrośnie o 1°C. W praktycznych zastosowaniach takie zmiany można pominąć. To, że opór przewodnika zależy od jego temperatury, jest wykorzystywane do jej pomiaru w termometrze oporowym.

Gdy opór przewodnika jest stały, to wzrost napięcia między jego końcami powoduje proporcjonalny wzrost natężenia przepływającego przez przewodnik prądu: $I = \frac{U}{R}$. Tę prawidłowość w XIX wieku zauważył Georg Simon Ohm (czyt. om), na którego cześć jednostka oporu nosi nazwę *om*.

Prawo Ohma

Natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami tego przewodnika.

Prawo to zachodzi dla przewodników wykonanych z metalu, gdy nie zmienia się ich temperatura (lub zmienia się nieznacznie). Oznacza to, że opór takiego przewodnika jest stały. Prawo Ohma nie jest spełnione, gdy zmiany temperatury są duże.

Warto **wiedzieć**

Przy wzroście temperatury od 25°C do 2500°C opór drutu wolframowego wzrasta 16 razy! Opór drutu miedzianego przy wzroście temperatury od 25°C do 125°C wzrasta o 40%.

Opornik

W obwodach elektrycznych często występuje element zwany **opornikiem**. Jego symbol to —▭—. Głównym zadaniem opornika jest mieć opór, najlepiej zawsze o tej samej wartości. Do czego służy opornik? Po wstawieniu go w obwód, możemy zmienić natężenie przepływającego prądu i napięcie na odbiornikach w obwodzie.

Dowiedz się więcej **o oporze mierników**



Idealny miernik nie wpływa na mierzoną wielkość. Amperomierz nie powinien zmieniać natężenia przepływającego przez niego prądu, a woltomierz — napięcia. Oznacza to, że amperomierz powinien mieć zerowy opór. Wtedy na „trasie" prądu opór obwodu się nie zmienia i płynie przez niego taki prąd, jakby nie było amperomierza.

Woltomierz powinien mieć nieskończenie duży opór, by cały prąd płynął przez odbiornik — tak jakby nie było woltomierza. W miernikach uniwersalnych minimalny opór amperomierza to około 10 mΩ, a maksymalny opór woltomierza to około 200 MΩ.

Czas na zadania!

i W zadaniach przyjmij, że przez woltomierz nie płynie prąd, a opór amperomierza jest równy zeru.

Zadanie 1. ***Opór***

Oblicz opór odbiornika energii elektrycznej, gdy między jego kontaktami jest napięcie U, a przez przewód zasilający płynie prąd o natężeniu I.

a) $U = 10$ V, $I = 1$ A
b) $U = 4{,}5$ V, $I = 1{,}5$ A
c) $U = 3$ V, $I = 0{,}1$ A
d) $U = 4$ V, $I = 1$ mA
e) $U = 0{,}5$ V, $I = 10$ A
f) $U = 24$ V, $I = 1$ µA
g) $U = 1$ kV, $I = 5$ A
h) $U = 1$ mV, $I = 2$ mA

Zadanie 2. ***Napięcie***

Oblicz napięcie między kontaktami odbiornika energii elektrycznej, gdy przez przewód zasilający płynie prąd o natężeniu I, a opór odbiornika jest równy R.

a) $I = 5$ A, $R = 4\ \Omega$
b) $I = 0{,}15$ A, $R = 200\ \Omega$
c) $I = 0{,}01$ A, $R = 5$ kΩ

Zadanie 3. ***Natężenie***

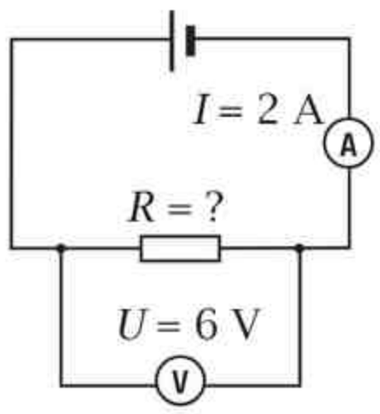
Oblicz natężenie prądu płynącego przez przewód zasilający odbiornik energii, gdy napięcie między jego kontaktami wynosi U, a opór odbiornika jest równy R.

a) $U = 9$ V, $R = 3\ \Omega$
b) $U = 3$ V, $R = 3$ kΩ
c) $U = 4{,}5$ V, $R = 0{,}1\ \Omega$

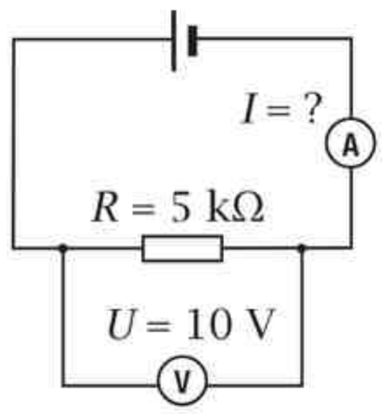
Zadanie 4. *Obwody*

Podaj brakujące wartości napięcia, natężenia i oporu oznaczone znakami zapytania na poniższych schematach.

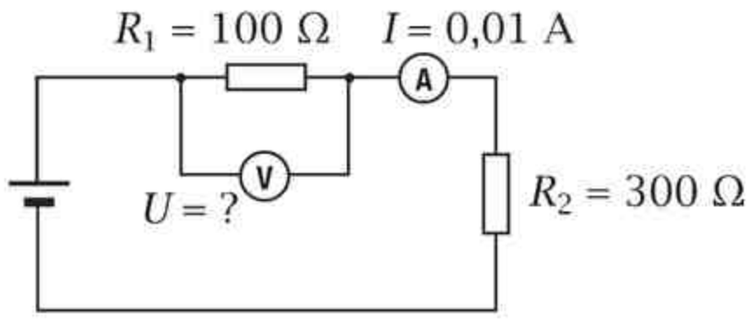
a)



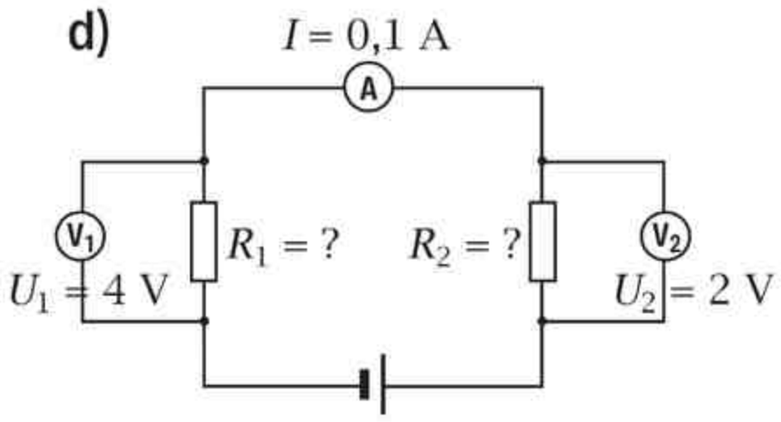
b)



c)



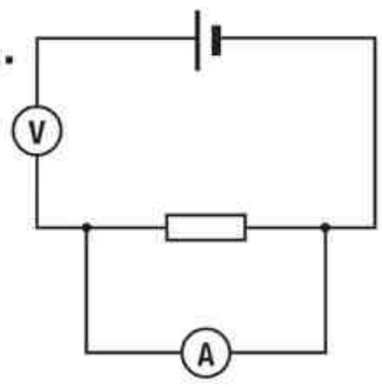
d)



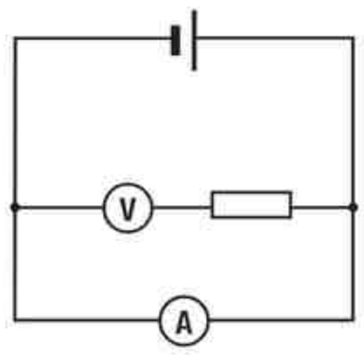
Zadanie 5. *Pomiar oporu*

Spośród poniższych schematów wybierz obwód, w którym tak podłączono woltomierz i amperomierz, że można obliczyć opór opornika, używając tylko mierzonych przez te mierniki wartości.

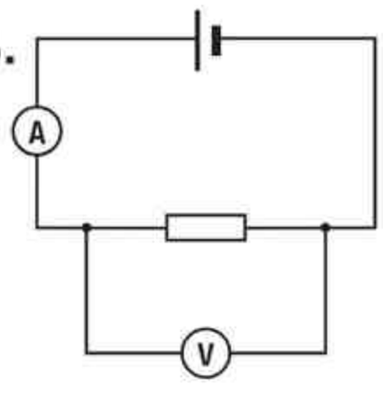
A.



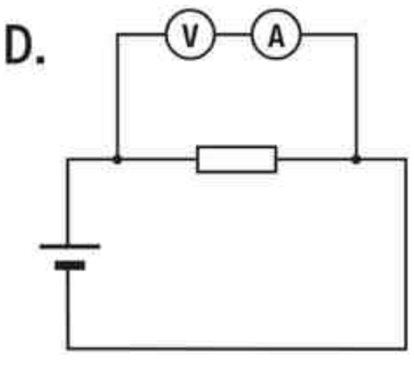
C.



B.



D.



Zadanie 6. *Opornik i żarówka*

Narysuj obwód składający się z żarówki, opornika, baterii, amperomierza, woltomierza oraz przewodów. Obwód powinien spełniać następujące warunki:

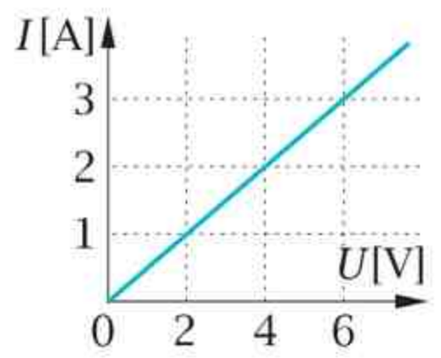
- prąd płynie przez żarówkę i opornik,
- ze wskazań amperomierza i woltomierza można obliczyć opór opornika.

Zadanie 7. *Ładunek*

Oblicz, ile ładunku przepłynęło w czasie 5 s przez przekrój poprzeczny przewodnika o oporze 100 Ω, jeśli napięcie między końcami przewodnika było równe 9 V.

Zadanie 8. *Zależność I od U*

Do zasilacza podłączono opornik. Mierzono napięcie U między kontaktami opornika oraz natężenie I prądu przepływającego przez opornik. Zależność przedstawiono na wykresie.

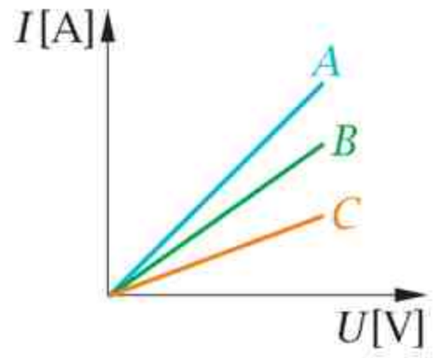


a) Oblicz opór opornika przy dwóch różnych napięciach.

b) Jaki jest kształt wykresu zależności natężenia prądu od napięcia, gdy opór elementu jest stały (nie zmienia się)?

Zadanie 9. *Opór a nachylenie*

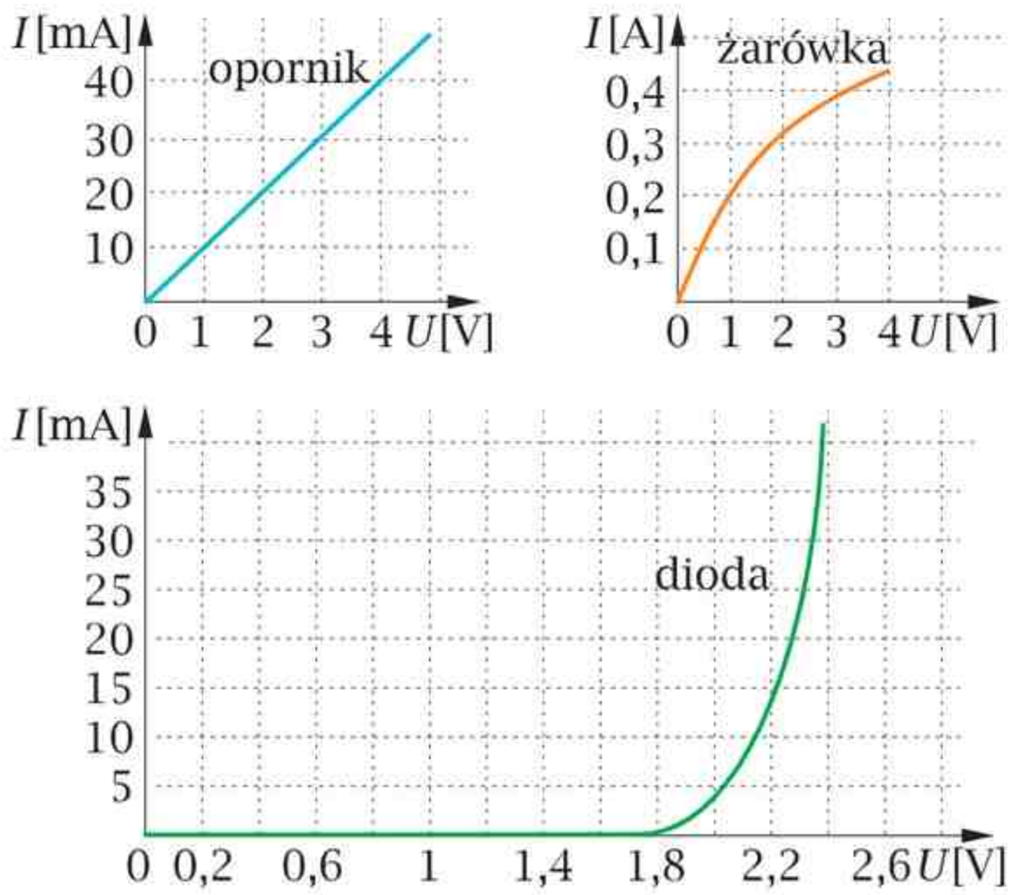
Na poniższych wykresach przedstawiono zależność natężenia prądu przepływającego przez oporniki A, B i C w zależności od napięcia na kontaktach danego odbiornika.



Wskaż, który opornik ma największy opór, a który najmniejszy.

Zadanie 10. *Opornik, żarówka i dioda*

Na wykresach przedstawiono zależność natężenia prądu przepływającego przez opornik, żarówkę i diodę w zależności od napięcia na kontaktach odbiornika.



a) Uzupełnij zdania nazwami odbiorników. Uzasadnij swój wybór, podając opór dla dwóch wartości napięcia. Zwróć uwagę na jednostki natężenia.

Opór ?... jest stały. Opór ?... rośnie ze wzrastającym napięciem. Opór ?... maleje ze wzrastającym napięciem.

b) Czy opór diody przy napięciu w zakresie od 0 V do 1,6 V jest bardzo duży, czy mały?

Zadanie 11. *Omomierz*

Hasto eksperymentuje z miernikiem.

— Patrz, jeśli nastawię pokrętło na omy oraz włożę czerwony przewód w otwór, gdzie też jest om, to mogę mierzyć opór.

— Ciekawe. — Weritka patrzy na miernik. — Ale jak to możliwe? Przecież miernik musi mierzyć natężenie i napięcie, by przeliczyć to na opór, więc potrzebujemy jakiegoś źródła zasilania, żeby powstał choć minimalny prąd i napięcie…

— Tę część rozgryzłem. Miernik jest na baterie, więc źródło mamy. A nawet nie wolno podłączać mierzonego elementu do dodatkowego zasilania.

— No tak! To, co jest w środku miernika w tym trybie, można już sobie wyobrazić.

a) Miernik w trybie pomiaru oporu — wykorzystując własne zasilanie — utrzymuje napięcie 1 V między sondami oraz mierzy wewnętrznym amperomierzem przepływający przewodami prąd. Natężenie prądu to 0,01 A. Oblicz, jaką wartość miernik wyświetli jako opór w Ω.

b) Dlaczego odbiornik, którego opór mierzymy miernikiem-omomierzem, nie powinien być podłączony do dodatkowego źródła energii elektrycznej?



Jak myślisz?

- Dlaczego przy połączeniu szeregowym żarówki i diody świeci się tylko dioda? Dlaczego napięcie na żarówce jest wtedy bardzo małe?
- Jaki jest opór elektryczny ludzkiego ciała?
- Jaki materiał ma najmniejszy opór?
- Ile ciepła przekazuje otoczeniu opornik?



Fizyka na wesoło…

Wizualizacja wzoru $I = \frac{U}{R}$.



Lekcja dodatkowa. Obwody elektryczne



Jak przepływa prąd przez łańcuch lampek? Czy urządzenia, z których korzystamy w domu, też są podłączone w ten sposób?

Kilka odbiorników

Większość urządzeń domowych ma więcej niż jeden odbiornik energii elektrycznej. Nawet zwykły czajnik elektryczny poza grzałką często ma również lampkę, która świeci, gdy urządzenie jest włączone. Sprawdźmy, co się dzieje w obwodzie z kilkoma odbiornikami.

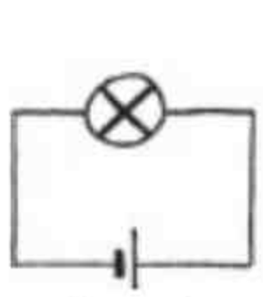
Cel lekcji

Dowiesz się, jak zmienia się napięcie i natężenie prądu w obwodach elektrycznych połączonych równolegle i szeregowo.

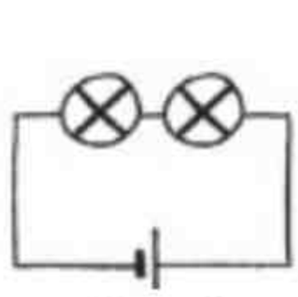
Doświadczenie Dwie żarówki

① Przygotuj: dwie identyczne żarówki (ok. 3 V), przewody i baterię 4,5 V.

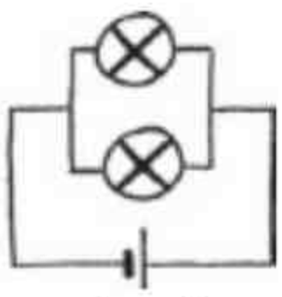
② Zbuduj obwód elektryczny według Rys. 1. Zwróć uwagę na jasność świecenia żarówki.



Rys. 1



Rys. 2

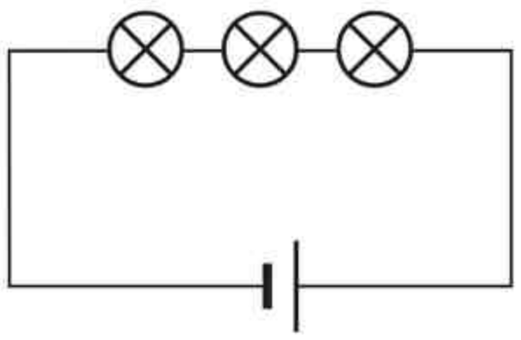


Rys. 3

③ Zbuduj obwód elektryczny, dodając drugą żarówkę zgodnie z Rys. 2. Czy żarówki świecą tak samo jasno, jak na etapie ② doświadczenia? Dlaczego?

④ Zbuduj obwód elektryczny, dodając drugą żarówkę zgodnie z Rys. 3. Czy żarówki świecą tak samo jasno, jak na etapie ② doświadczenia? Dlaczego?

Nie na wszystkich etapach doświadczenia żarówki świeciły tak samo jasno. Aby to wyjaśnić, zastanówmy się, w jaki sposób prąd przepływa przez takie obwody.



Trzy żarówki połączone szeregowo.

Łączenie szeregowe

Jeżeli żarówki (lub inne urządzenia elektryczne) są połączone jedna za drugą, w linii przypominającej łańcuszek, mówimy, że są połączone szeregowo. W ten sposób można łączyć dowolną liczbę żarówek.

Posłużymy się pewną analogią. Niech każda z żarówek będzie bramką do płatnej autostrady, źródło napięcia — bankomatem, przewody — drogą, a prąd — samochodem.

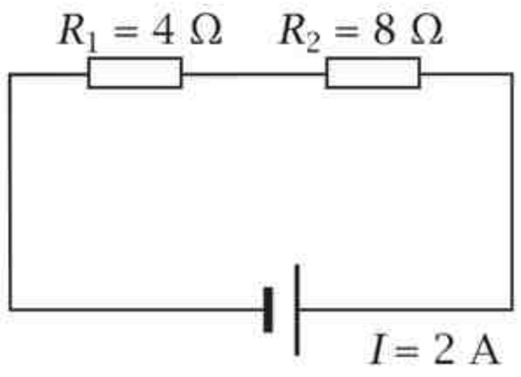


Przed wyruszeniem w podróż bierzemy gotówkę z bankomatu. Podobnie prąd elektryczny (poruszające się ładunki) potrzebuje napięcia, aby płynąć w obwodzie. Po pewnym czasie podróży napotykamy pierwszą bramkę. Aby przejechać, należy zapłacić. Podobnie ładunki, płynąc przez żarówkę, oddają część energii — na żarówce jest spadek napięcia. Napotykamy na kolejną bramkę, oddajemy następną część gotówki. Podobnie prąd, płynąc przez drugą żarówkę, przekazuje część energii — to kolejny spadek napięcia. Dopiero po przebyciu całego obwodu wracamy do źródła (bankomatu), skąd ponownie czerpiemy energię (gotówkę).

Żarówki połączone szeregowo świecą słabiej, bo napięcie dostarczane przez źródło musi zostać rozdzielone pomiędzy wszystkie urządzenia. Czy każde urządzenie „dostanie" go tyle samo? To zależy od oporu urządzeń. Jeśli opory są takie same, wówczas napięcie jest rozdzielane równomiernie. Jeśli któreś urządzenie ma większy opór, wówczas napięcie między kontaktami tego urządzenia jest większe.

W **łączeniu szeregowym** natężenie prądu przepływającego przez każde urządzenie jest takie samo, a napięcie dzieli się na wszystkie urządzenia.

PRZYKŁAD 1. Dwa oporniki połączono w taki sposób, jak pokazano na schemacie obok.



a) Określ, jakie jest natężenie prądu przepływającego przez opornik 1, a jakie — przez opornik 2.

b) Określ, na którym oporniku jest większe napięcie.

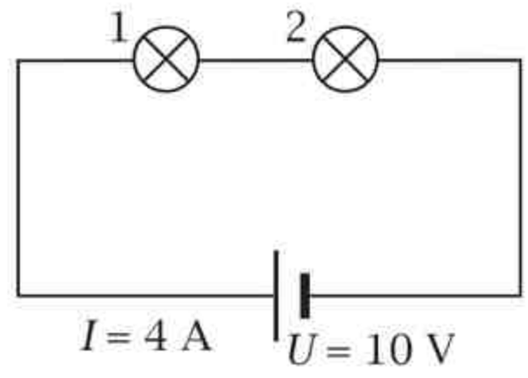
Odp. a) Przez oba oporniki przepływa prąd o natężeniu 2A.

b) Na oporniku 2, ponieważ ma on większy opór.

ĆWICZENIE 1. Zbudowano obwód elektryczny z dwiema identycznymi żarówkami taki, jak na schemacie obok.

a) Określ, przez którą żarówkę przepływa prąd o większym natężeniu.

b) Określ, na której żarówce jest większe napięcie.

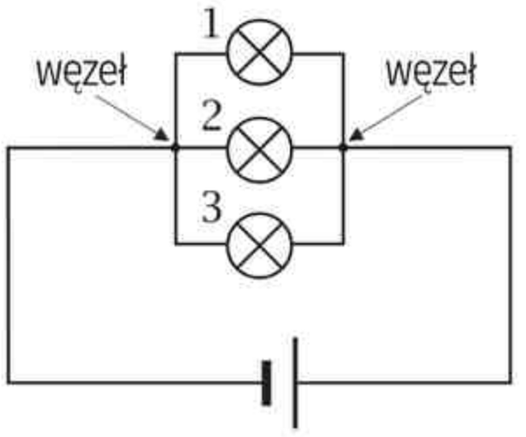


Łączenie równoległe

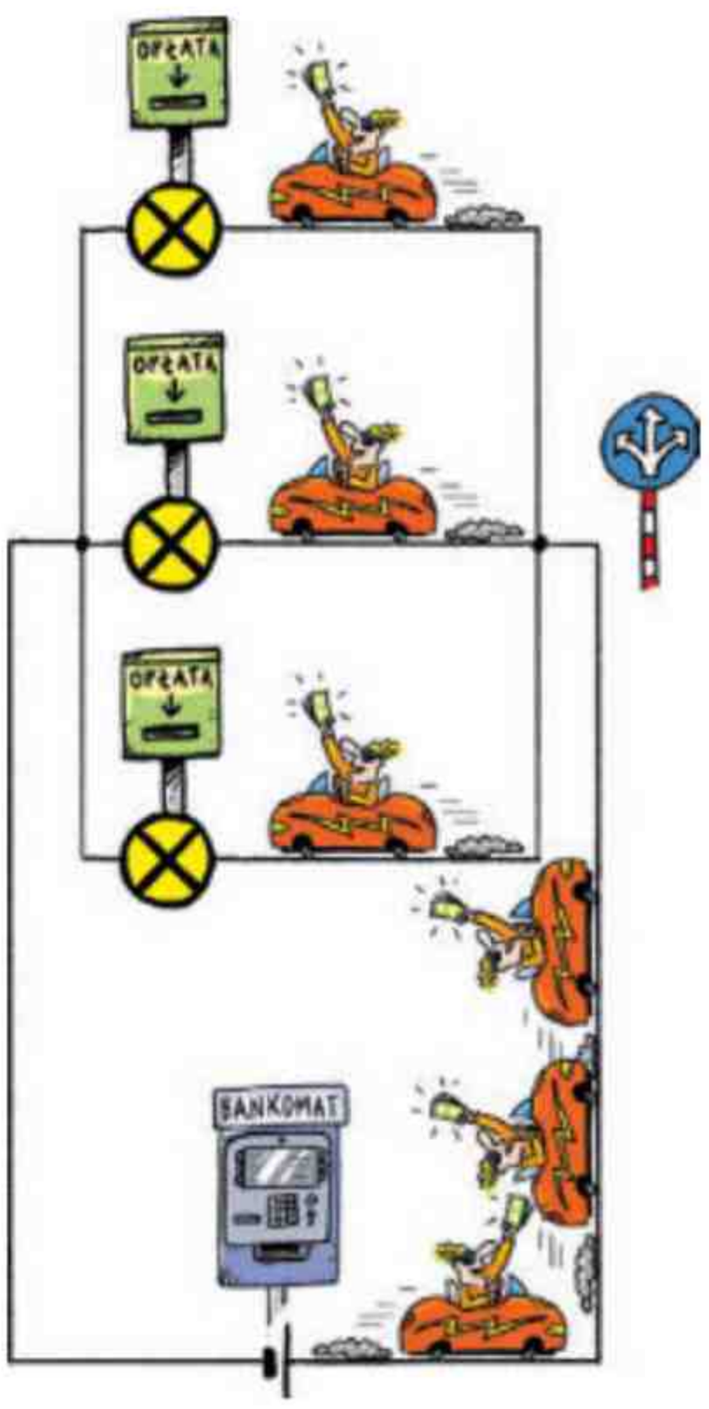
Połączenie żarówek, jak na schemacie obok nazywamy równoległym. Aby wyjaśnić, co się dzieje w takim układzie, znowu posłużymy się analogią o samochodach.

Samochody (poruszające się ładunki) jadą z bankomatu (źródła) i docierają do rozwidlenia dróg (węzła). Część samochodów pojedzie w stronę autostrady 1, część w stronę autostrady 2, a reszta w stronę autostrady 3. Zatem w **węźle** prąd się rozdziela. Każdy samochód na bramce oddaje całą dostępną kwotę na przejazd autostradą. Podobnie ładunki płynące przez żarówkę 1 przekazują całą energię (napięcie źródła razy ładunek), tak samo ładunki płynące przez żarówkę 2 itd. Gdy wszystkie samochody dotrą do kolejnego rozwidlenia, dalej poruszają się wspólnie.

Trzy żarówki w łączeniu równoległym świecą tak samo jasno, jak gdyby w układzie była tylko jedna żarówka. Jest tak dlatego, że spadek napięcia na każdej żarówce jest równy napięciu źródła. Dołączenie w taki sposób kolejnych żarówek nie zmienia natężenia prądu płynącego przez pozostałe żarówki, ale rośnie natężenie prądu w przewodzie doprowadzającym go do węzła.



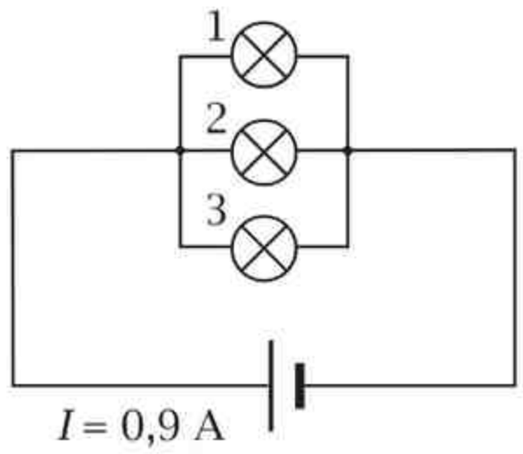
Trzy żarówki połączone równolegle.



W **łączeniu równoległym** prąd rozdziela się na węzłach, a na każdym z urządzeń jest takie samo napięcie (równe napięciu źródła). Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.

Przez którą żarówkę przepływa prąd o największym natężeniu? To ponownie zależy od oporu. Prąd o największym natężeniu przepłynie przez urządzenie o najmniejszym oporze, a prąd o najmniejszym natężeniu — tam, gdzie opór jest największy.

PRZYKŁAD 2. Trzy identyczne żarówki połączono równolegle, jak pokazano na schemacie obok.



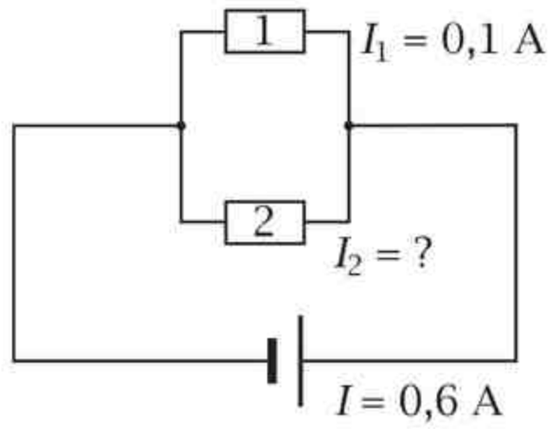
a) Określ, na której żarówce napięcie jest największe.

b) Określ, jakie będzie natężenie prądu przepływającego przez każdą żarówkę.

Odp. a) Na każdej żarówce jest takie samo napięcie, ponieważ są połączone równolegle.

b) Natężenie prądu rozdzieli się na węźle po równo, czyli przez każdą żarówkę przepłynie prąd o natężeniu 0,3 A.

ĆWICZENIE 2. Dwa różne oporniki połączono równolegle, jak pokazano na schemacie obok.



a) Oblicz, jakie jest natężenie prądu płynącego przez opornik 2.

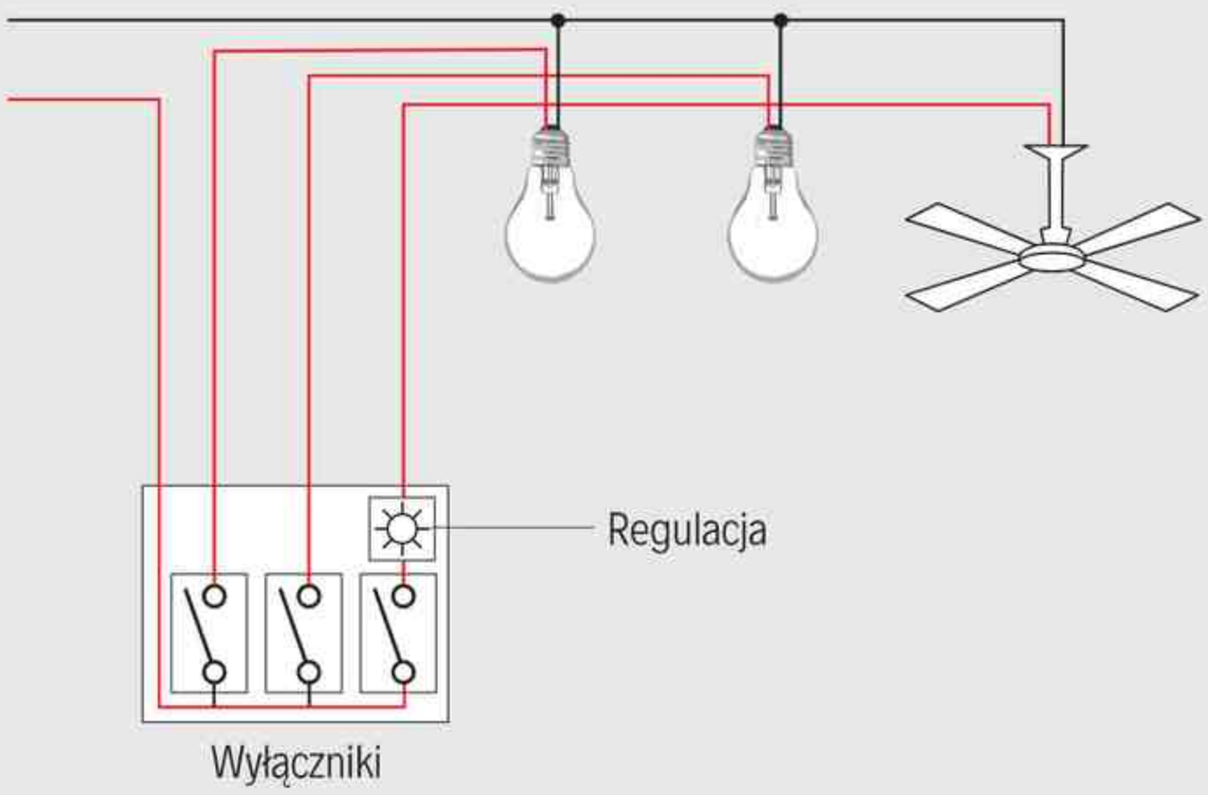
b) Określ, który opornik ma większy opór. Odpowiedź uzasadnij.

Dowiedz się więcej **o domowej sieci elektrycznej**

Urządzenia elektryczne w naszych domach są połączone równolegle. To umożliwia korzystanie z dowolnego urządzenia w wybranym czasie. Nie trzeba włączać wszystkich urządzeń, żeby zamknąć obwód, jak miałoby to miejsce przy łączeniu szeregowym. Ważne jest również to, że gdy jedno z urządzeń się zepsuje, nadal można korzystać z pozostałych (obwód nie jest przerywany).

Prąd, do którego podłączamy urządzenia elektryczne, to tzw. prąd przemienny.

W elektrycznej sieci domowej jest wiele zabezpieczeń, np. **bezpieczniki** (potocznie „korki"), które wyłączają obwód, gdy natężenie prądu jest zbyt duże. Ponadto w większości gniazdek elektrycznych stosuje się **uziemienie**.



Czas na zadania!

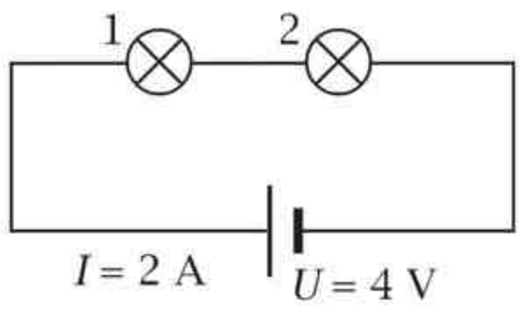
Zadanie 1. *Obwody elektryczne*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

W łączeniu ***równoległym/szeregowym*** *przez każde urządzenie przepływa prąd o takim samym natężeniu. W łączeniu* ***równoległym/szeregowym*** *na każdym urządzeniu występuje takie samo napięcie.*

Zadanie 2. *Łączenie szeregowe*

Dwie identyczne żarówki połączono w taki sposób, jak pokazano na schemacie. Wskaż zdania opisujące ten obwód.



① Natężenie prądu płynącego przez żarówkę 1 wynosi 1 A.

② Napięcie prądu na żarówce 2 to 2 V.

③ Każda żarówka świeci tak samo jasno.

Zadanie 3. *Oporniki i bateria*

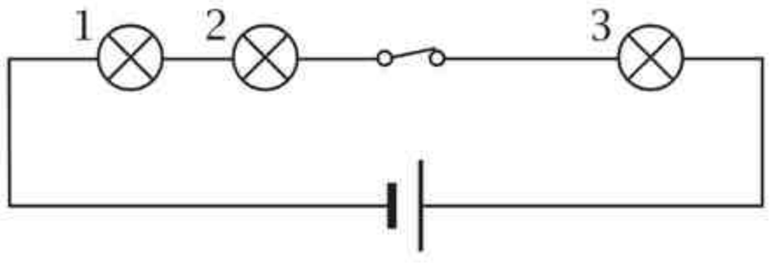
Narysuj obwód składający się z czterech połączonych równolegle oporników oraz baterii. Posłuż się poznanymi symbolami.

Zadanie 4. *Cztery żarówki*

Narysuj wszystkie możliwe sposoby połączenia czterech identycznych żarówek.

Zadanie 5. *Otwarty obwód*

Przez które żarówki będzie przepływać prąd, gdy otworzymy wyłącznik w poniższym obwodzie?



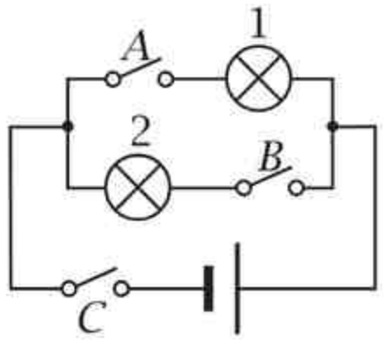
Zadanie 6. *Seria wyłączników*

W obwodzie zamontowano trzy wyłączniki (zob. rysunek). Wskaż, przez które żarówki będzie przepływać prąd, gdy otwarty będzie tylko:

a) wyłącznik A,

b) wyłącznik B,

c) wyłącznik C.

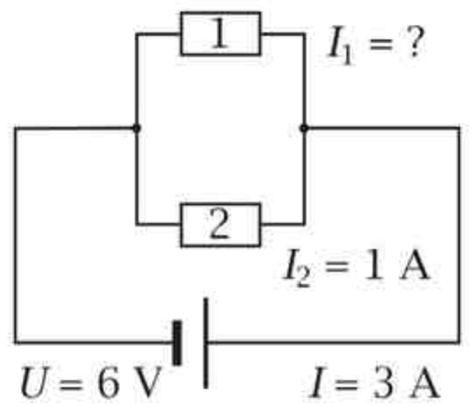


Zadanie 7. *Lampki choinkowe*

Lampki choinkowe czasami przestają świecić. Najczęściej wystarczy wymienić jedną przepaloną żarówkę, aby cały łańcuch zaczął znów działać. Wyjaśnij, dlaczego wystarczy wymiana jednej żarówki.

Zadanie 8. *Łączenie równoległe*

Przyjrzyj się obwodowi elektrycznemu przedstawionemu obok.



a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez opornik 1.

b) Określ, na którym oporniku jest większe napięcie.

c) Wskaż, który opornik ma mniejszy opór. Odpowiedź uzasadnij.



Jak myślisz?

- Jakie są inne niż bateria źródła energii elektrycznej?
- W którym obwodzie elektrycznym — o łączeniu szeregowym czy równoległym — opór jest mniejszy?

14 Praca i moc prądu



Na zdjęciu pokazano elektrownię jądrową w Finlandii. Jaka forma energii jest zamieniana na energię elektryczną? Co to znaczy, że elektrownia produkuje $3 \cdot 10^6$ kWh energii w ciągu godziny?

Cel lekcji

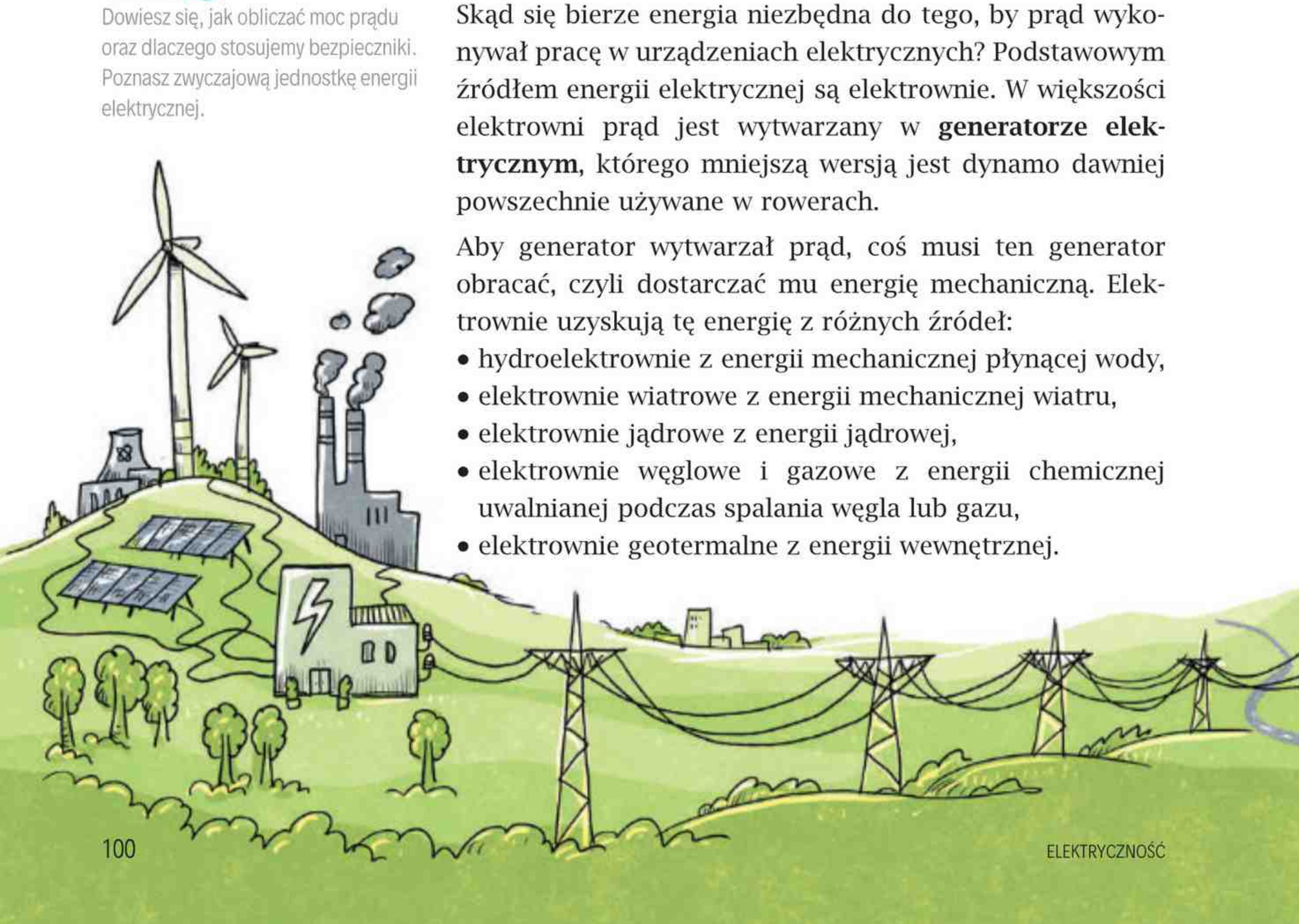
Dowiesz się, jak obliczać moc prądu oraz dlaczego stosujemy bezpieczniki. Poznasz zwyczajową jednostkę energii elektrycznej.

Źródła energii elektrycznej

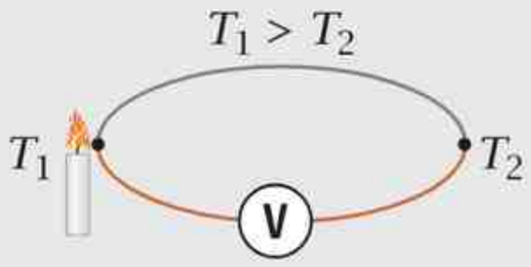
Skąd się bierze energia niezbędna do tego, by prąd wykonywał pracę w urządzeniach elektrycznych? Podstawowym źródłem energii elektrycznej są elektrownie. W większości elektrowni prąd jest wytwarzany w **generatorze elektrycznym**, którego mniejszą wersją jest dynamo dawniej powszechnie używane w rowerach.

Aby generator wytwarzał prąd, coś musi ten generator obracać, czyli dostarczać mu energię mechaniczną. Elektrownie uzyskują tę energię z różnych źródeł:

- hydroelektrownie z energii mechanicznej płynącej wody,
- elektrownie wiatrowe z energii mechanicznej wiatru,
- elektrownie jądrowe z energii jądrowej,
- elektrownie węglowe i gazowe z energii chemicznej uwalnianej podczas spalania węgla lub gazu,
- elektrownie geotermalne z energii wewnętrznej.



Dowiedz się więcej **o termoogniwach**



Termoogniwa zamieniają energię wewnętrzną bezpośrednio na energię elektryczną. Składają się z dwóch różnych przewodników. Gdy ich złącza znajdują się w różnych temperaturach, wtedy przez przewodniki płynie prąd. Termoogniwa są wykorzystywane jako źródła energii elektrycznej m.in. w sondach kosmicznych Voyager (czyt. wojadżer) i New Horizons (czyt. niu horajzons) oraz łaziku Curiosity (czyt. kjurioziti).

Wyjątkowym rodzajem elektrowni są **farmy fotowoltaiczne**. Pobierana przez nie energia promieniowania słonecznego jest przekształcana bezpośrednio w energię elektryczną — bez użycia generatorów elektrycznych (prądnic) niezbędnych w elektrowniach innych typów.

Na co dzień wykorzystujemy również mniejsze, bardziej poręczne źródła energii elektrycznej — **ogniwa galwaniczne**, z których składają się baterie i akumulatory. W tych źródłach wyzwalana w trakcie reakcji energia chemiczna jest zamieniana na energię elektryczną.

Energia dostarczana przez sieć elektryczną odgrywa dużą rolę w naszym życiu. Przerwy w dostawach energii elektrycznej mogą spowodować nie tylko zmniejszenie naszego komfortu, ale także znacznie poważniejsze skutki. Część z nich przedstawiono na ilustracji.

W trakcie krótkotrwałych przerw w dostawach energii elektrycznej część urządzeń może być awaryjnie zasilana przez akumulatory. W przypadku dłuższych przerw są stosowane generatory elektryczne napędzane silnikami spalinowymi, tzw. **spalinowe agregaty prądotwórcze**.





Żarzący się żarnik żarówki.

W co się zamienia praca prądu w odbiornikach?

Dzięki energii dostarczanej przez źródło prąd może wykonać pracę w odbiorniku, do którego dociera. Praca ta jest przekształcana w różne formy energii. W silniku elektrycznym zostaje zamieniona na energię mechaniczną (obraca się wirnik silnika) i wewnętrzną (silnik się rozgrzewa). Praca prądu przepływającego przez opornik lub grzałkę jest zamieniana w energię wewnętrzną, a przepływającego przez żarówkę — w energię promieniowania i wewnętrzną. W urządzeniach takich jak lodówki, pralki, komputery i telefony energia elektryczna jest zamieniana na różne formy energii, zawsze jednak część jest przekształcana w energię wewnętrzną (cieplną).

Bezpieczne korzystanie z energii elektrycznej

Podczas korzystania z urządzeń elektrycznych przestrzegaj poniższych zasad.

1. Używaj tylko suchych urządzeń elektrycznych, z dala od wody.
2. Miej suche ręce (sucha skóra ma duży opór).
3. Nie dotykaj jednocześnie innych metalowych przedmiotów (np. kaloryferów, rur).
4. Stój na suchej podłodze, najlepiej w obuwiu.
5. Przed wymianą żarówki w lampie wyłącz główny wyłącznik prądu.
6. Nie dotykaj przewodów, które nie są otoczone izolacją.
7. Nie używaj urządzeń, które się iskrzą lub dymią.

Ponieważ codziennie wykorzystujemy pracę prądu elektrycznego, warto pamiętać o tym, że niesiona przez niego energia może zagrażać zdrowiu i życiu. Przepływający przez nasze ciało prąd elektryczny jest w stanie zaburzyć funkcjonowanie organizmu (np. pracę serca i układu nerwowego), a nawet zniszczyć organy wewnętrzne. Dlatego przy korzystaniu z urządzeń elektrycznych należy zadbać, by nie przepłynął przez nas prąd o dużym natężeniu. Obok znajdziesz zasady, których należy przestrzegać podczas korzystania z urządzeń elektrycznych.



Bezpiecznik topikowy 10 A spowoduje przerwanie obwodu, gdy natężenie prądu będzie większe niż 10 A. Widoczny na zdjęciu żółty bezpiecznik jest sprawny, a zielony – przepalony (drucik między dwoma metalowymi blaszkami jest przerwany).

Zamiana energii elektrycznej na wewnętrzną przewodu może doprowadzić do jego przegrzania i zniszczenia. Na przykład wbijając w ścianę gwóźdź, można trafić w przewód elektryczny, przebić jego izolację i spowodować zwarcie. Gwóźdź ma niewielki opór, więc przez niego oraz przez przewody popłynie prąd o dużym natężeniu. Praca prądu zamieni się na energię wewnętrzną przewodów, które mogą się stopić, a nawet spowodować pożar. Aby się przed tym chronić, najłatwiej wstawić w obwód **bezpiecznik przeciążeniowy**. Jest to urządzenie, które przerywa obwód, gdy natężenie prądu przekroczy graniczną wartość.

Praca i moc prądu

Wiesz, że pracę W prądu elektrycznego można obliczyć ze wzoru:

$$W = U \cdot q$$

gdzie U — napięcie między dwoma miejscami przewodnika, q — ładunek przepływający przez przekrój poprzeczny.

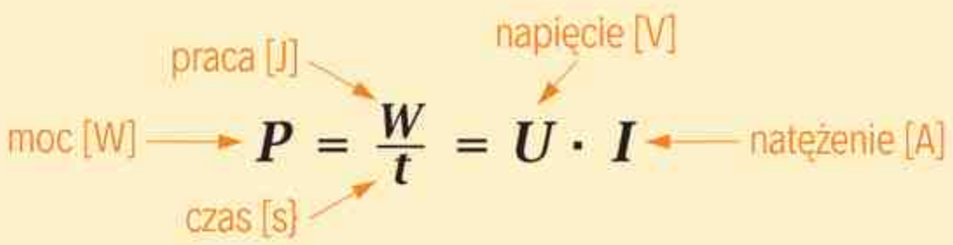
Ładunek q jest iloczynem natężenia I oraz czasu t, przez który płynie prąd:

$$q = I \cdot t$$

Stąd otrzymujemy kolejny wzór na pracę prądu, a jednocześnie energię E przekazaną odbiornikowi:

$$E = W = U \cdot q = U \cdot \underbrace{I \cdot t}_{q}$$

Moc to tempo wykonywania pracy, więc możemy obliczyć moc źródła lub odbiornika energii elektrycznej z zależności:



i Dla dociekliwych

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

$W = U \cdot I \cdot t$

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

PRZYKŁAD 1. Napięcie między kontaktami żarówki jest równe 3 V, a natężenie prądu przez nią przepływającego wynosi 0,7 A. Oblicz moc żarówki oraz energię oddaną przez żarówkę do otoczenia w ciągu 2 minut.

Dane:

$U = 3$ V — napięcie

$I = 0{,}7$ A — natężenie prądu

$t = 2$ min $= 120$ s — czas działania żarówki

Szukane:

$P = ?$ — moc żarówki

$E = ?$ — oddana energia

Rozwiązanie: $P = U \cdot I$ $\quad P = 3\text{ V} \cdot 0{,}7\text{ A} = 2{,}1\text{ V} \cdot \text{A} = 2{,}1\ \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot \frac{\text{C}}{\text{s}} = 2{,}1\ \frac{\text{J}}{\text{s}} = 2{,}1\text{ W}$

$P = \frac{W}{t} = \frac{E}{t}$, stąd $E = P \cdot t$ $\quad E = 2{,}1\text{ W} \cdot 120\text{ s} = 252\text{ J}$

i Skorzystaliśmy z równości: $\text{V} = \frac{\text{J}}{\text{C}}$, $\text{A} = \frac{\text{C}}{\text{s}}$ oraz $\text{W} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$.

Odp. Moc żarówki jest równa 2,1 W. Żarówka przekazała otoczeniu 252 J energii.

ĆWICZENIE 1. Napięcie między kontaktami opornika jest równe 5 V, a natężenie przepływającego przez niego prądu to 0,02 A.

a) Oblicz moc, z jaką opornik przekazuje ciepło otoczeniu.

b) Oblicz ciepło przekazane otoczeniu przez opornik w czasie godziny.

Co to jest kWh?

i 1 h = 3600 s
1 kW = 1000 W
1 kJ = 1000 J
1 MJ = 1000 kJ

Zwyczajowo używaną jednostką energii jest **kilowatogodzina**, skrót kWh. Kilowatogodzina to ilość energii, jaką pobiera urządzenie o mocy 1 kilowata w czasie 1 godziny. Skoro to jednostka energii, to wyraźmy ją w dżulach.

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

Kilowatogodzina jest jednostką wykorzystywaną przez dostawców energii elektrycznej, cieplnej, chemicznej (gaz). Na rachunku za energię elektryczną możesz znaleźć kolumnę „Zużycie [kWh]". W roku 2022 koszt 1 kWh wynosił około 60 groszy.

Prognoza na okres od 01.07.2022 do 31.08.2022

	Zużycie [kWh]	Netto [zł]	Stawka VAT [%]	Podatek VAT [zł]	Brutto [zł]
1. Sprzedaż energii elektrycznej	254	118,01	23	27,14	145,15
2. Dystrybucja energii elektrycznej	254	75,18	23	17,29	92,47
3. Zielona Energia		11,36	23	2,62	13,98
4. Razem		**204,55**		**47,05**	**251,60**

Gdy znamy moc, z jaką pracuje urządzenie, oraz czas jego działania, to możemy oszacować koszty energii.

PRZYKŁAD 2. Grzejnik zużywał energię elektryczną z mocą 100 W przez 20 h.

a) Oblicz energię zużytą przez grzejnik. Wynik wyraź w kWh.

b) Oblicz koszt zużytej przez grzejnik energii przy stawce 0,6 zł za 1 kWh.

c) Wynik z podpunktu a) wyraź w MJ.

Dane:

$P = 100$ W — moc grzejnika

$t = 20$ h — czas działania grzejnika

0,6 zł za 1 kWh — stawka za energię

Szukane:

$E = ?$ — zużyta energia

koszt energii = ?

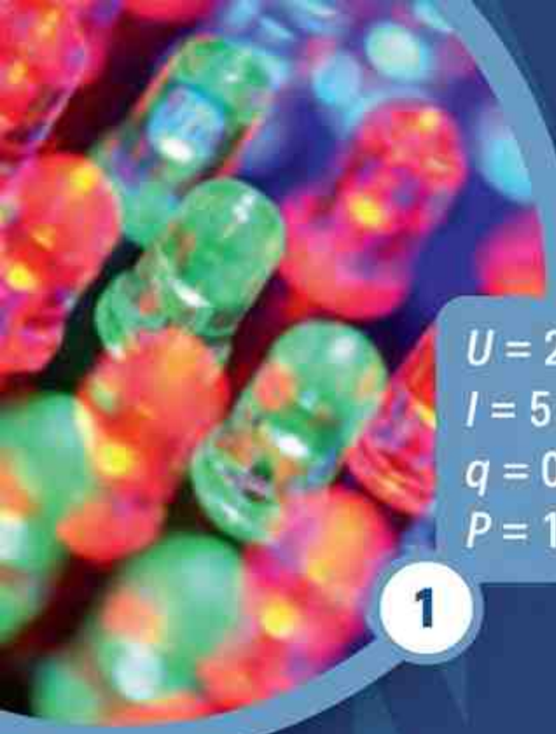
Rozwiązanie: a) $P = \frac{E}{t}$, stąd $E = P \cdot t$

$$E = 100\ \text{W} \cdot 20\ \text{h} = 2000\ \text{Wh} = 2\ \text{kWh}$$

b) koszt energii $= 2\ \cancel{\text{kWh}} \cdot 0{,}6\ \frac{\text{zł}}{\cancel{\text{kWh}}} = 1{,}2\ \text{zł}$

c) $E = 2\ \text{kWh} = 2 \cdot 1000\ \text{W} \cdot 1\ \text{h} = 2 \cdot 1000\ \text{W} \cdot 3600\ \text{s} = 7\,200\,000\ \text{J} = 7{,}2\ \text{MJ}$

ĆWICZENIE 2. Silnik pracował z mocą 1 kW przez 10 h. Oblicz pracę wykonaną przez silnik. Wynik wyraź w kWh oraz w MJ.



1

$U = 2\ \text{V}$
$I = 5\ \text{mA}$
$q = 0{,}3\ \text{C}$
$P = 10\ \text{mW}$



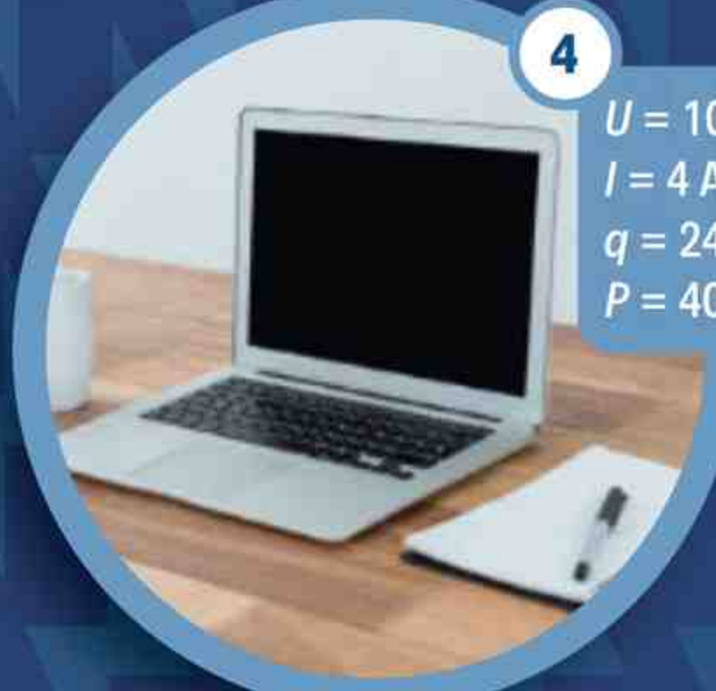
2

$U = 4\ \text{V}$
$I = 0{,}5\ \text{A}$
$q = 30\ \text{C}$
$P = 2\ \text{W}$



3

$U = 6\ \text{V}$
$I = 0{,}5\ \text{A}$
$q = 30\ \text{C}$
$P = 3\ \text{W}$



4

$U = 10\ \text{V}$
$I = 4\ \text{A}$
$q = 240\ \text{C}$
$P = 40\ \text{W}$



5

$U = 230\ \text{V}$
$I = 44\ \text{mA}$
$q = 2{,}6\ \text{C}$
$P = 10\ \text{W}$



6

$U = 230\ \text{V}$
$I = 260\ \text{mA}$
$q = 16\ \text{C}$
$P = 60\ \text{W}$



8

$U = 230\ \text{V}$
$I = 2\ \text{A}$
$q = 120\ \text{C}$
$P = 460\ \text{W}$



7

$U = 230\ \text{V}$
$I = 1{,}5\ \text{A}$
$q = 90\ \text{C}$
$P = 350\ \text{W}$



9

$U = 230\ \text{V}$
$I = 3{,}5\ \text{A}$
$q = 210\ \text{C}$
$P = 800\ \text{W}$



10

$U = 230\ \text{V}$
$I = 9{,}6\ \text{A}$
$q = 580\ \text{C}$
$P = 2200\ \text{W}$



11

$U = 230\ \text{V}$
$I = 10\ \text{A}$
$q = 600\ \text{C}$
$P = 2300\ \text{W}$



12

$U = 400\ \text{V}$
$I = 50\ \text{A}$
$q = 3000\ \text{C}$
$P = 20\ \text{kW}$

U – napięcie
I – natężenie prądu
q – ładunek przepływający przez 60 s
P – moc odbiornika

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Źródła i odbiorniki*

Wymień przykład:

a) źródła energii elektrycznej wykorzystującego energię chemiczną,

b) źródła energii elektrycznej wykorzystującego energię mechaniczną wody,

c) źródła energii elektrycznej wykorzystującego energię jądrową,

d) źródła energii elektrycznej wykorzystującego energię mechaniczną powietrza,

e) źródła energii elektrycznej wykorzystującego energię promieniowania,

f) odbiornika zmieniającego energię elektryczną na energię promieniowania,

g) odbiornika zmieniającego energię elektryczną na energię mechaniczną,

h) odbiornika zmieniającego energię elektryczną głównie na energię wewnętrzną.

Zadanie 2. *Bezpiecznik*

Bezpiecznik topikowy stopił się, gdy przez 30 s płynął przez niego prąd o natężeniu 15 A. Napięcie między kontaktami bezpiecznika było równe 230 V.

a) Oblicz moc wydzielaną na bezpieczniku przed jego stopieniem.

b) Oblicz ciepło, które było potrzebne, by stopić bezpiecznik.

Zadanie 3. *Energia w kWh*

Oblicz energię oddaną do otoczenia przez grzałkę elektryczną, gdy przekazywała ona ciepło z mocą:

a) 1 kW przez 2 h,

b) 500 W przez 10 h,

c) 2 kW przez 30 min,

d) 600 W przez 10 min.

Wyniki wyraź w kWh.

Zadanie 4. *Czas i moc*

Oblicz czas potrzebny silnikowi na wykonanie pracy W z mocą P.

a) $W = 1000$ J, $P = 50$ W

b) $W = 1000$ J, $P = 2000$ W

c) $W = 20$ kWh, $P = 2$ kW

d) $W = 20$ kWh, $P = 100$ W

e) $W = 0{,}5$ kWh, $P = 10$ W

f) $W = 0{,}5$ kWh, $P = 1000$ W

Zadanie 5. *Od kWh do MJ*

Wyraź podane wartości energii w MJ.

a) 10 kWh

b) 5 kWh

c) 20 kWh

d) 0,1 kWh

e) 0,2 kWh

f) 0,5 kWh

i 1 kWh = 3,6 MJ

Zadanie 6. *Od MJ do kWh*

Wyraź podane wartości energii w kWh.

a) 36 MJ

b) 7,2 MJ

c) 18 MJ

d) 27 MJ

e) 0,8 MJ

f) 720 MJ

i 1 MJ = $\frac{1}{3{,}6}$ kWh

Zadanie 7. *Czajnik*

Czajnik elektryczny musi przekazać 360 kJ energii litrowi wody z kranu, by woda się zagotowała.



a) Wyraź 360 kJ w kWh.

b) Oblicz czas potrzebny na zagotowanie litra wody, jeśli czajnik przekazuje wodzie energię z mocą 2 kW. Wynik wyraź w minutach.

Zadanie 8. *Prąd i człowiek*



— Jak ratować osobę porażoną prądem? — zastanawia się Weritka, przechodząc obok stacji transformatorowej, na której znajdują się ostrzeżenia i znak przedstawiający błyskawicę.

— Chyba przede wszystkim trzeba odciągnąć ją od przewodów? — sugeruje Hasto.

— Wtedy sam zostaniesz porażony!

— No tak… Mam już lepsze pomysły, co robić najpierw. Jednak zastanawia mnie, jakie natężenie jest bezpieczne.

— Podobno człowiek potrafi poczuć prąd o natężeniu 1 mA przepływający przez jego ciało. A prąd 10 mA jest już niebezpieczny. Może spowodować skurcz mięśnia, którego sam nie rozprostujesz.

— Podstępne! Nie można wówczas puścić przewodu, który trzymamy ręką…

a) Jakich przedmiotów należy użyć, by odciągnąć porażoną osobę od źródła prądu lub oddalić od niej przewody elektryczne?

b) Co należy zrobić w pierwszej kolejności, gdy ktoś w domu został porażony prądem, a my znamy domową instalację elektryczną?

c) Jaką wartość ma opór ramienia człowieka, między którego końcami napięcie wynosi 25 V (jest to bezpieczna wartość), a natężenie przepływającego przez ramię prądu jest równe 10 mA?

d) Ile wynosi moc prądu przepływającego przez człowieka w sytuacji opisanej w podpunkcie c)?

Zadanie 9. *Przerwa*

W zimie ma nastąpić przerwa w dostawie energii elektrycznej trwająca 5 dni.

a) Jak można się przygotować na taką sytuację, by zapewnić sobie w miejscu zamieszkania ciepło, wodę, pożywienie, oświetlenie i możliwość odbierania wiadomości radiowych?

b) Co zrobić, by bez specjalistycznego sprzętu znaleźć miejsce, w którym doszło do przerwania linii energetycznych?



Jak myślisz?

- Czy można samodzielnie zmierzyć moc czajnika elektrycznego?
- Czym się różni prąd w sieci energetycznej od prądu z baterii?
- Co to jest defibrylator i jak on działa?
- Dlaczego w dynamie (prądnicy) znajdują się magnesy?
- Co jest źródłem ciepła dla odległych od Słońca termoogniw w sondach kosmicznych?



Fizyka na wesoło…

Uczennica w trakcie lekcji języka polskiego:

— Proszę pani! Lampka przy oknie się pali!

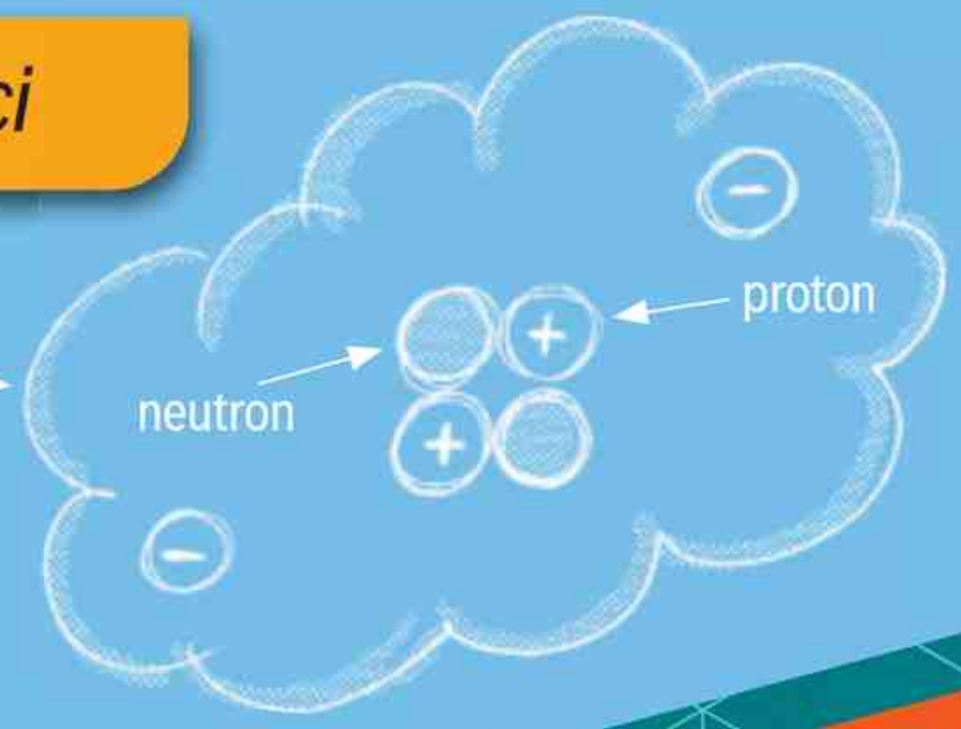
— Lampka się nie pali, tylko świeci — odpowiada nauczycielka.

Po minucie uczennica znowu przerywa:

— Proszę pani! Proszę pani! Teraz też firanka się świeci!

CZĘŚĆ 1. *Zestawienie wiadomości*

Budowa atomu



Proton ma ładunek przeciwny do elektronu.
Atom w zwykłym stanie zawiera tyle samo elektronów co protonów (jest obojętny elektrycznie).
Jon ma niedobór lub nadmiar elektronów.

1

Ciała mogą być naelektryzowane ujemnie, dodatnio lub nienaelektryzowane.
Dwa ładunki **różnoimienne** przyciągają się, a **jednoimienne** – odpychają. Do wykrywania ładunków elektrycznych służy **elektroskop**.
W izolowanym układzie całkowity ładunek elektryczny się nie zmienia.



3

4

Elektryzowanie

przez potarcie

- Pocieranie dwóch ciał nienaelektryzowanych. Elektrony przemieszczają się z jednego ciała na drugie.
- Ciała elektryzują się ładunkami o przeciwnych znakach.

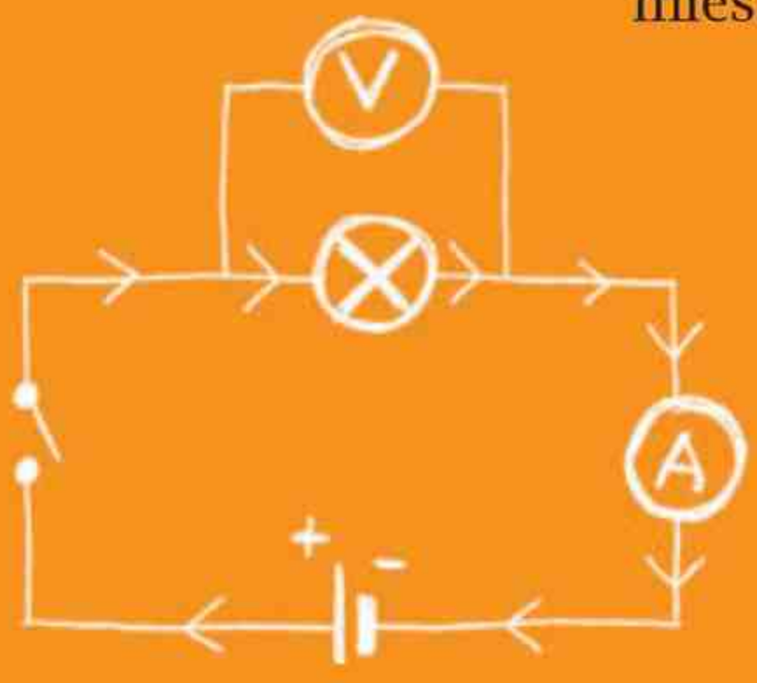
przez dotyk

- Zetknięcie naelektryzowanego ciała *A* z nienaelektryzowanym ciałem *B*.
- Jeśli ciało *A* było naelektryzowane ujemnie, to w rezultacie oba będą naelektryzowane ujemnie. Jeśli ciało *A* było naelektryzowane dodatnio, to oba będą naelektryzowane dodatnio.
- Ładunek ciała *A* maleje.

7

Prąd elektryczny

to uporządkowany ruch ładunków elektrycznych. Przyjęto, że prąd płynie tak, jakby płynęły ładunki dodatnie, od bieguna (+) do bieguna (–), czyli w stronę przeciwną niż przemieszczają się elektrony.





8

Natężenie prądu (I)

obliczamy ze wzoru: $I = \frac{q}{t}$, gdzie q to ładunek przepływający przez przekrój poprzeczny przewodnika w czasie t.
Jednostka natężenia to **amper**: $1\,A = \frac{1\,C}{1\,s}$.

2

Ładunek elementarny (e) to najmniejsza porcja ładunku, którą można przekazać ciału.

e = ładunek protonu = |ładunek elektronu| $\approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Ładunek każdego ciała (q) to wielokrotność ładunku elementarnego. Jednostką ładunku jest **kulomb** [C].

5

Zewnętrzny ładunek zbliżony do ciała powoduje przesunięcie ładunków elektrycznych w tym ciele. Zjawisko to nazywamy **indukcją elektrostatyczną**.



6

W **przewodniku** (np. wszystkie metale) ładunki elektryczne mogą się łatwo przemieszczać, a w **izolatorze** (np. suche powietrze, guma) nie mogą.

9

Napięcie elektryczne (U) między dwoma punktami obwodu opisuje wzór: $U = \frac{W}{q}$, gdzie W to praca wykonana przez siły elektryczne przy przemieszczaniu ładunku q między tymi punktami. Jednostka napięcia to **wolt**: $1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}$.

10

Opór elektryczny (R) liczymy ze wzoru: $R = \frac{U}{I}$, gdzie U – napięcie między końcami przewodnika, I – natężenie prądu płynącego przez przewodnik. Jednostka oporu to **om**: $1\Omega = \frac{1\text{V}}{1\text{A}}$.

Prawo Ohma mówi, że natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami tego przewodnika.

11

Moc źródła prądu lub odbiornika energii elektrycznej obliczamy ze wzoru: $P = \frac{W}{t} = U \cdot I$, gdzie W – praca wykonana przez siły elektryczne, U – napięcie, I – natężenie. Jednostka mocy to **wat** [W].

Pracę (W) oraz energię prądu można wyrazić w **kilowatogodzinach**, $W = P \cdot t$, 1 kWh = 3,6 MJ.

CZĘŚĆ 2. *Sprawdź, czy wiesz*

1. Wyjaśnij, na czym polega elektryzowanie ciał przez pocieranie, a na czym — przez dotyk.

2. Omów oddziaływanie ciał naelektryzowanych. Rozważ różne przypadki.

3. Wyjaśnij, czym różnią się przewodniki od izolatorów elektrycznych. Podaj przykłady.

4. Wyjaśnij, na czym polega indukcja elektrostatyczna.

5. Opisz budowę i działanie elektroskopu.

6. Wyjaśnij, co to jest ładunek elementarny. W jakich jednostkach podajemy wartość ładunku?

7. Wyjaśnij, na czym polega przepływ prądu w przewodnikach.

8. Podaj i objaśnij wzór definiujący natężenie prądu. Jaka jest jednostka natężenia?

9. Podaj i objaśnij wzór definiujący napięcie elektryczne. Jaka jest jednostka napięcia?

10. W jaki sposób można obliczyć pracę i moc prądu elektrycznego? Podaj odpowiednie wzory.

11. W jaki sposób energię wyrażoną w kilowatogodzinach można wyrazić w dżulach i odwrotnie?

12. Wymień przykłady źródeł prądu. Jakie przemiany energii w nich zachodzą?

13. Wymień przykłady odbiorników prądu. Jakie przemiany energii w nich zachodzą?

14. Czym jest opór elektryczny? Podaj i objaśnij odpowiedni wzór. Jaka jest jednostka oporu?

15. Wyjaśnij, jaką rolę pełnią izolacja elektryczna oraz bezpieczniki w domowej sieci elektrycznej.

16. Wymień zasady bezpiecznego korzystania z urządzeń elektrycznych.

17. Omów skutki przerwania dostaw energii elektrycznej.

CZĘŚĆ 3A. *Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka*

Zadanie 1. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

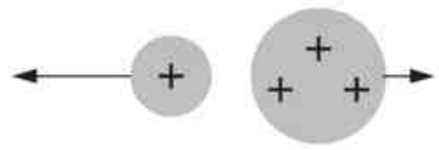
Całkowity ładunek atomu w normalnym stanie jest ***dodatni/ujemny/zerowy****. W jądrze atomowym znajdują się* ***protony/elektrony*** *o ładunku* ***dodatnim/ujemnym/zerowym*** *oraz* ***obojętne/dodatnie*** *neutrony. Podczas elektryzowania przez pocieranie* ***elektrony/protony*** *przechodzą z jednego ciała na drugie.*

Zadanie 2. Wskaż schemat, na którym poprawnie przedstawiono oddziaływanie dwóch naelektryzowanych ciał, wiedząc, że ładunek dużej kuli jest trzy razy większy od ładunku małej kuli.

A.



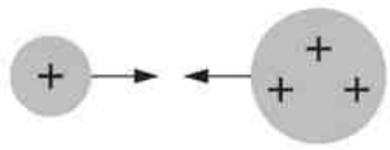
B.



C.



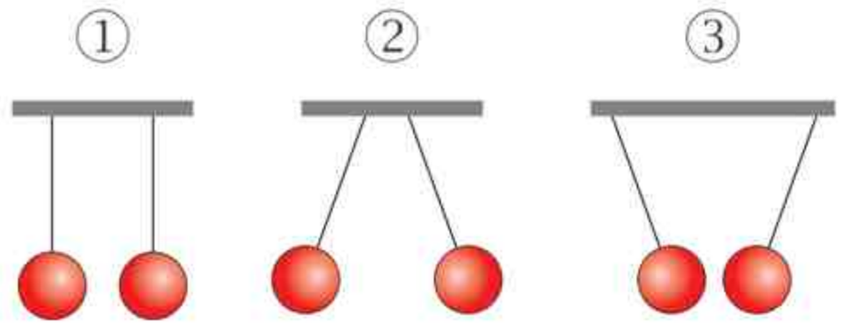
D.



Zadanie 3. Szklany słoik pocierany kawałkiem papieru naelektryzował się dodatnio. Wskaż właściwe uzupełnienia zdania.

Ładunki ***dodatnie/ujemne*** *przeszły* ***z papieru na szkło/ze szkła na papier****.*

Zadanie 4. Przyjrzyj się położeniu kulek na rysunkach.



Na którym rysunku przedstawiono:

a) kulki naładowane jednoimiennie,

b) kulki naładowane różnoimiennie,

c) kulki elektrycznie obojętne?

Zadanie 5. Podczas elektryzowania przez pocieranie ze szklanej pałeczki na jedwabną chustkę przemieściło się $5 \cdot 10^9$ elektronów. Oblicz, jaki ładunek uzyskała chusta, a jaki pałeczka. Wyniki podaj w kulombach.

Zadanie 6. Jeżeli do nienaładowanego elektroskopu zbliżymy (ale nie dotkniemy go) ujemnie naelektryzowaną rurkę, to:

A. kula elektroskopu naelektryzuje się ujemnie, a dolna część pręta i listki dodatnio,

B. kula elektroskopu naelektryzuje się dodatnio, a dolna część pręta i listki ujemnie,

C. kula, pręt i listki naelektryzują się ujemnie,

D. kula, pręt i listki naelektryzują się dodatnio.

Zadanie 7. Uzupełnij tekst.

W jądrze atomu tlenu znajduje się 8 protonów. Obojętny elektrycznie atom tlenu ma ?... elektronów. Jeśli taki atom przyłączy dwa elektrony, to stanie się jonem ?....

Zadanie 8. Oblicz, ile nadmiarowych elektronów ma metalowa kula, której ładunek wynosi $-1{,}6\ \mu C$.

i $1\ \mu C = 10^{-6}\ C$

Zadanie 9. Dwie identyczne metalowe kule połączono nienaelektryzowaną szklaną rurką. Przed połączeniem każda z kul była naelektryzowana ładunkiem o takiej samej wartości, ale przeciwnym znaku. Po połączeniu:

A. ładunek każdej z kul będzie wynosił zero,

B. każda kula będzie naładowana dodatnio,

C. każda kula będzie naładowana ujemnie,

D. ładunek kul się nie zmieni.

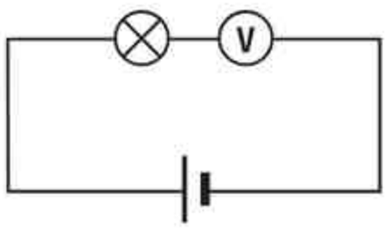
Zadanie 10. Które z podanych w ramce substancji to przewodniki, a które — izolatory?

woda destylowana • miedź • srebro • stal • aluminium • papier • złoto • grafit
porcelana • suche powietrze • szkło • guma • suche drewno • ciało ludzkie

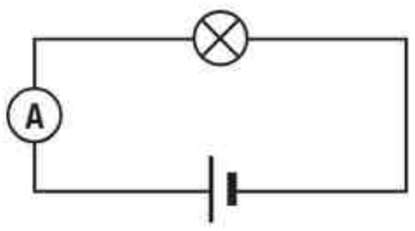
Zadanie 11. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Aby zmierzyć natężenie prądu płynącego przez żarówkę, należy zbudować obwód elektryczny zgodny ze schematem A/B/C/D. *Aby zmierzyć napięcie przyłożone do żarówki, należy zbudować obwód elektryczny zgodny ze schematem* A/B/C/D.

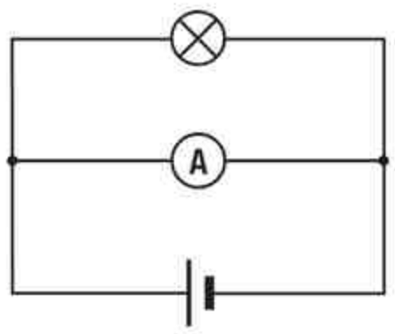
A.



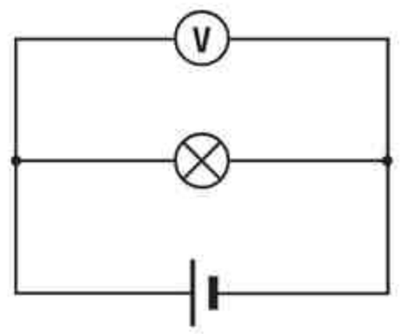
B.



C.



D.



Zadanie 12. W czasie 60 s przez poprzeczny przekrój przewodnika przepłynął ładunek 1,8 C. Na podstawie tych informacji można obliczyć:

A. opór przewodnika,
B. pracę, którą wykonało źródło,
C. natężenie prądu,
D. napięcie.

Zadanie 13. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Po przyłożeniu napięcia 9 V przez opornik popłynął prąd o natężeniu 0,3 A. Jeżeli do tego opornika przyłożymy napięcie 1,5 V, to opór ***nie zmieni się/zmaleje/wzrośnie****, a natężenie prądu* ***nie zmieni się/zmaleje/wzrośnie****.*

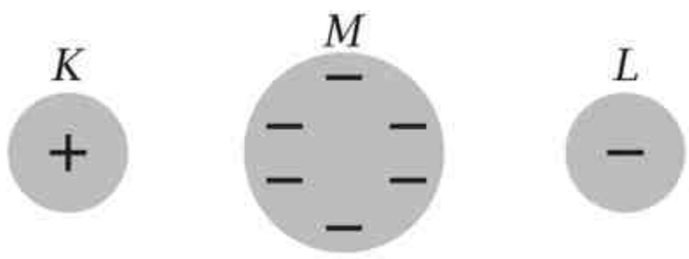
i Przyjmij, że przewodnik spełnia prawo Ohma.

Zadanie 14. Tradycyjna żarówka o mocy 60 W jest zasilana napięciem 230 V.

a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez tę żarówkę. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.
b) Oblicz ilość energii pobranej przez żarówkę w czasie 10 minut. Wynik wyraź w kJ.

CZĘŚĆ 3B. *Sprawdź, czy potrafisz. Trening*

Zadanie 1. Kule K i L są naelektryzowane ładunkami o tych samych wartościach, ale przeciwnych znakach i umieszczone symetrycznie względem naładowanej ujemnie kuli M. Ładunek zgromadzony na kuli M jest sześć razy większy od ładunku na kuli L. Siła, z jaką kula M oddziałuje na kulę K, różni się od siły, z jaką kula L oddziałuje na kulę M:



A. zwrotem i punktem przyłożenia,
B. wartością i punktem przyłożenia,
C. zwrotem, wartością i punktem przyłożenia,
D. kierunkiem i punktem przyłożenia.

Zadanie 2. Podczas elektryzowania przez pocieranie szklana pałeczka utraciła $6 \cdot 10^9$ elektronów. Tak naelektryzowaną pałeczką dotknięto nienaelektryzowanego elektroskopu, przez co uzyskał on ładunek dodatni o wartości $1{,}6 \cdot 10^{-10}$ C. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

Po zetknięciu pałeczki z elektroskopem ładunek pałeczki…

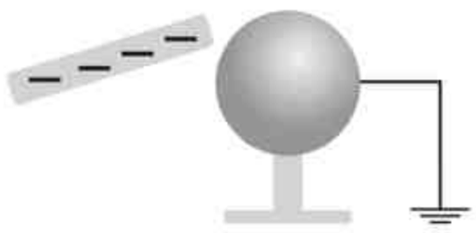
A.	*zmalał,*	*ponieważ*	**1.**	*elektrony przemieściły się z elektroskopu na pałeczkę.*
B.	*wzrósł,*		**2.**	*elektrony przemieściły się z pałeczki na elektroskop.*

Zadanie 3. Jedną metalową kulę naelektryzowano ładunkiem dodatnim o wartości 0,72 µC, drugą identyczną kulę — ładunkiem ujemnym −0,64 µC. Kule zetknięto i wtedy na każdej znalazła się połowa całkowitego ładunku.

a) Oblicz ładunek każdej z kul po ich zetknięciu.

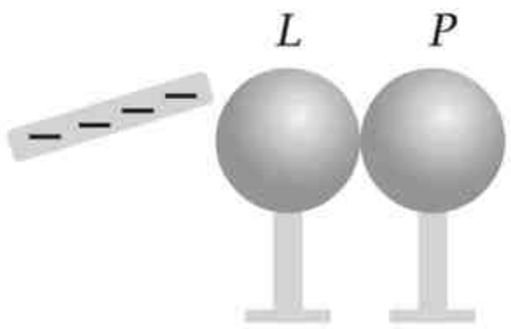
b) Oblicz, jaki ładunek przepłynął między kulami. Ile elektronów przepłynęło?

Zadanie 4. Metalową kulę umieszczono na podstawce z izolatora i uziemiono. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

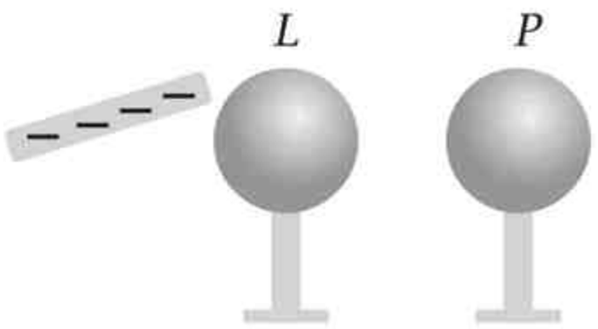


Po zbliżeniu naelektryzowanej ujemnie plastikowej rurki do kuli (bez zetknięcia), elektrony ***odpłyną z kuli do ziemi/dopłyną z ziemi do kuli.*** *Po odłączeniu uziemienia — ale bez odsuwania rurki — na kuli będzie ładunek* ***zerowy/dodatni/ujemny.*** *Jeśli w dalszej kolejności odsuniemy naelektryzowaną rurkę, to ładunek kuli* ***ulegnie zmianie/nie zmieni się.***

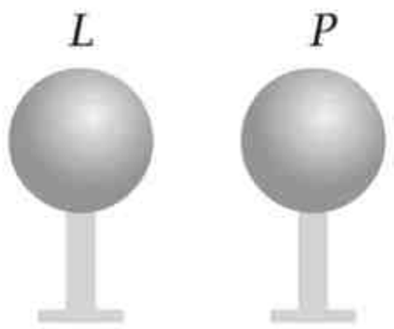
Zadanie 5. Do dwóch stykających się ze sobą, nienaelektryzowanych, metalowych kul L i P zbliżono (bez dotykania) naładowaną ujemnie pałeczkę (Rys. 1). Następnie kulę P oddalono (Rys. 2), a na końcu odsunięto pałeczkę (Rys. 3).



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Po rozsunięciu kul (Rys. 3) kule były naelektryzowane jednoimiennie.

② Po rozsunięciu kul (Rys. 3) kula P była naładowana dodatnio.

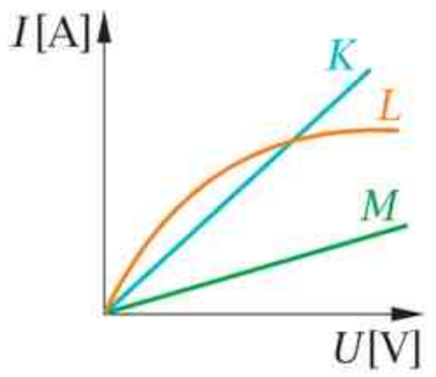
③ Po rozsunięciu kul (Rys. 3) kula L była naładowana dodatnio, a kula P — ujemnie.

④ Po rozsunięciu kul (Rys. 3) wartość bezwzględna ładunku kuli L była większa niż wartość bezwzględna ładunku kuli P.

⑤ W opisanym doświadczeniu zaszło zjawisko indukcji elektrostatycznej.

Zadanie 6. Narysuj schemat obwodu składającego się z żarówki, wyłącznika, baterii, amperomierza, woltomierza i przewodów. Po zamknięciu obwodu amperomierz powinien mierzyć natężenie prądu płynącego przez świecącą żarówkę, a woltomierz — napięcie na niej.

Zadanie 7. Na wykresach przedstawiono zależność natężenia prądu od przyłożonego napięcia dla trzech odbiorników: *K*, *L* i *M*. Na podstawie wykresów wskaż właściwe uzupełnienia zdań.



Większy opór ma odbiornik ***K*** */* ***M****. Prawa Ohma nie spełnia* ***odbiornik L / żaden odbiornik****.*

Zadanie 8. Pewna żarówka halogenowa ma moc 10 W, gdy jest zasilana napięciem 12 V. Przyjmij, że opór tej żarówki jest stały, niezależny od przyłożonego napięcia. Jeśli do takiej żarówki przyłożymy napięcie 6 V, to moc żarówki wyniesie:

A. 10 W **B.** 5 W **C.** 2,5 W **D.** 0 W

Zadanie 9. Podczas prasowania przez 12 minut żelazko pobrało 0,42 kWh energii. Oblicz moc żelazka.

Zadanie 10. Czajnik elektryczny o mocy 1800 W jest zasilany napięciem 230 V.

a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez grzałkę czajnika.

b) Oblicz opór grzałki czajnika.

c) Oblicz, jaki ładunek przepływa przez pracujący czajnik w ciągu 60 s.

Wyniki podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 11. Żarówka LED o mocy 6,5 W dostarcza tyle samo światła, co żarówka tradycyjna o mocy 80 W. Oblicz, ile w ciągu roku można zaoszczędzić, zastępując żarówkę tradycyjną żarówką LED. Przyjmij, że koszt energii jest równy 0,80 zł za 1 kWh oraz, że żarówka świeci średnio przez trzy godziny dziennie. Wynik podaj z dokładnością do 3 cyfr znaczących.



3 Magnetyzm



Czy kompas zawsze wskazuje kierunek północny?

Biegun północny igły magnetycznej w kompasie ustawia się w kierunku magnetycznego bieguna południowego Ziemi. Znajduje się on blisko jej północnego bieguna geograficznego, ale się z nim nie pokrywa. Im bliżej bieguna magnetycznego, tym igła coraz bardziej wskazuje środek Ziemi. Dodatkowo bieguny magnetyczne naszej planety przemieszczają się o kilkadziesiąt kilometrów rocznie.

15 Magnesy



Na zdjęciu widać powierzchnię pewnej cieczy po zbliżeniu do niej magnesu. Dlaczego na jej powierzchni powstają wzory? Czy takie ciecze mają jakieś zastosowanie?

Cel lekcji

Zapoznasz się z oddziaływaniem magnesów i ich wpływem na materiały magnetyczne.

Oddziaływanie magnetyczne

Pewnie nieraz bawiliście się magnesami. Ich zachowanie wynika z jednego z najciekawszych oddziaływań — magnetycznego. Korzystamy z niego na przykład wówczas, gdy mocujemy przedmioty na lodówce lub używamy kompasu. Oddziaływanie to wykorzystuje się w urządzeniach do rezonansu magnetycznego (MRI), głośnikach, silnikach elektrycznych i w twardych dyskach. Przypatrzmy się mu bliżej.

Doświadczenie Oddziaływanie magnetyczne

① Przygotuj: dwa podłużne magnesy, spinacze biurowe, szpilki, cztery kulki stalowe, kawałek folii aluminiowej, monety, plastikowy płaski talerz, kawałek drewna.

② Sprawdź, które przedmioty są przyciągane przez magnes.

③ Kładź spinacze, szpilki i kulki na talerzu. Do spodu talerza zbliż magnes i przesuwaj nim zawartość talerza.

④ Zbliżaj do siebie magnesy. Obserwuj ich zachowanie.

⑤ Doczepiaj pojedynczo kulki do dolnego końca trzymanego pionowo magnesu. Użyj spinaczy i monet zamiast kulek.

⑥ Do obu końców magnesu zbliż ostrzami dwie szpilki (Rys. 1). Teraz zetknij je ostrzami tak, by jedna zwisała (Rys. 2).

Rys. 1



Rys. 2

Drewno, plastik, ceramika, a nawet aluminium i miedź nie są przyciągane przez magnes. Natomiast na stalową kulkę magnes działa nawet, jeśli między nimi jest inne ciało (talerz). Oddziaływanie magnetyczne, podobnie jak elektryczne, może powodować przyciąganie lub odpychanie ciał. W przypadku dwóch magnesów zachowanie to zależy od ich ustawienia. Mówimy, że magnes ma **bieguny**.



Igła magnetyczna to magnes zamocowany tak, by mógł się obracać. Koniec igły, który wskazuje kierunek północny, to biegun N igły. Igła to główny element kompasu.

Bieguny magnesu

Przyjrzyjmy się oddziaływaniu między prostopadłościennymi magnesami, takie magnesy nazywamy sztabkowymi.

Doświadczenie Bieguny

① Przygotuj dwa magnesy sztabkowe i kompas.

② Zbliżaj do siebie magnesy. Obserwuj, jak są ustawione, gdy się przyciągają, a jak — gdy się odpychają.

③ Połóż na blacie jeden magnes. Zbliżaj do jego biegunów kompas. Zwróć uwagę, który biegun igły kompasu ustawia się w stronę którego bieguna magnesu.

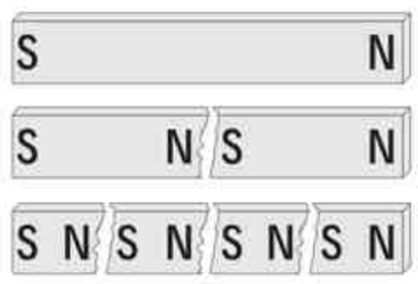
Każdy magnes ma dwa bieguny: północny — **N** i południowy — **S** (od angielskich słów: *north*, czyt. norf, *south*, czyt. sauf). Magnesy przyciągają się, gdy zbliżamy je do siebie różnymi biegunami (N i S), a odpychają — gdy zbliżamy do siebie te same bieguny (N i N, S i S).

Każdy magnes ma dwa **bieguny**. Jednakowe bieguny magnesów odpychają się, a różne — przyciągają.

Bieguny magnetyczne występują zawsze w parach — zawsze jest N i S. Gdybyśmy nawet przełamali magnes na pół, każdy z kawałków będzie miał oba bieguny: N i S.

Warto **wiedzieć**

Niektóre magnesy mają kolorowane bieguny. Nie ma jednej reguły określającej, jaki kolor oznacza biegun N, a jaki S. Dlatego należy sprawdzać bieguny np. kompasem.

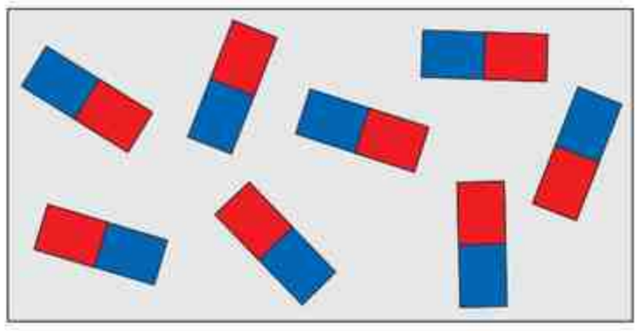


Materiały magnetyczne

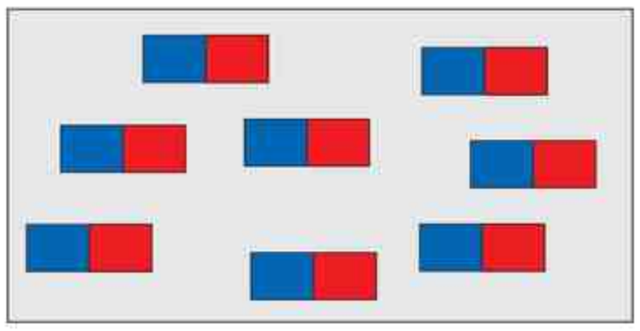
Dwa spinacze biurowe lub gwoździe przeważnie ani się nie przyciągają, ani nie odpychają. Jednak ciała te są przyciągane przez magnes — w jego obecności same stają się magnesami i pojawiają się w nich bieguny magnetyczne. Ciała te są najczęściej wykonane ze stopów żelaza — dlatego zwane są **ferromagnetykami** (od łacińskiego słowa *ferrum* — żelazo). Niektóre z nich po odsunięciu od magnesu przestają się zachowywać jak magnes — szybko



Każda z części przełamanego magnesu ma dwa bieguny magnetyczne.



Przed namagnesowaniem domeny magnetyczne w ferromagnetykach skierowane są w różne strony.



Po namagnesowaniu domeny magnetyczne są uporządkowane.

się rozmagnesowują. Inne pozostają namagnesowane — dwie szpilki z pierwszego doświadczenia po zetknięciu przyciągały się. Dzięki zjawisku magnesowania można zamienić miejscami bieguny igły magnetycznej albo ją naprawić, jeśli się rozmagnesowała.

Magnetyczne właściwości ferromagnetyków wynikają z ich specyficznej budowy wewnętrznej. Znajdują się w nich **domeny magnetyczne**, czyli namagnesowane obszary zachowujące się jak malutkie magnesy. Magnesując szpilkę w doświadczeniu, sprawiliśmy, że znajdujące się w niej skierowane w różne strony domeny magnetyczne się uporządkowały. Większość metali nie jest ferromagnetykami. Złoto, srebro, miedź, ołów nie są ferromagnetykami i bardzo słabo oddziałują z magnesem.

PRZYKŁAD 1. Ustal, jaki biegun oznaczono żółtym, a jaki fioletowym kółkiem, jeśli przedstawione na rysunku magnesy:

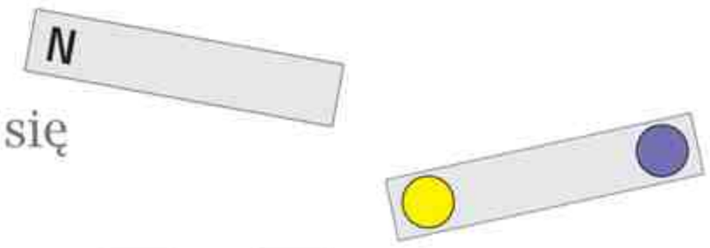
a) przyciągają się



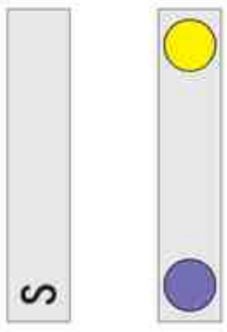
b) przyciągają się



c) odpychają się



d) odpychają się



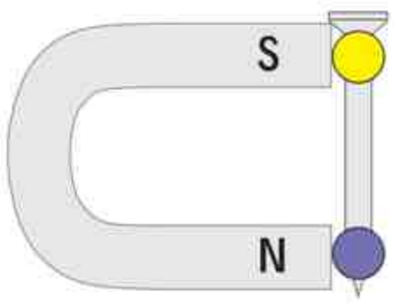
Odp. a) N — żółtym, S — fioletowym, b) N — żółtym, S — fioletowym, c) S — żółtym, N — fioletowym, d) N — żółtym, S — fioletowym.

ĆWICZENIE 1. Do magnesu zbliżono żelazny gwóźdź i został on przyciągnięty przez magnes — gwóźdź sam stawał się wówczas magnesem. Jaki biegun gwoździa oznaczono żółtym, a jaki fioletowym kółkiem w sytuacji przedstawionej na rysunku?

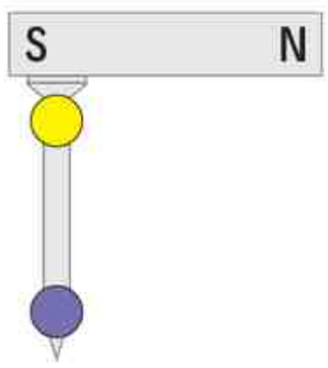
a)



b)



c)



Igła magnetyczna w pobliżu magnesu

Ponieważ każdy magnes ma dwa bieguny, to oddziaływanie dwóch magnesów, np. sztabkowego oraz igły magnetycznej, jest dosyć skomplikowane. Oddziałują ze sobą przecież aż cztery bieguny. Zbadajmy to.

Doświadczenie — Zachowanie igły magnetycznej w obecności magnesu

① Przygotuj: kartkę, magnes sztabkowy o długości co najmniej 7 cm, trzy małe igły magnetyczne.

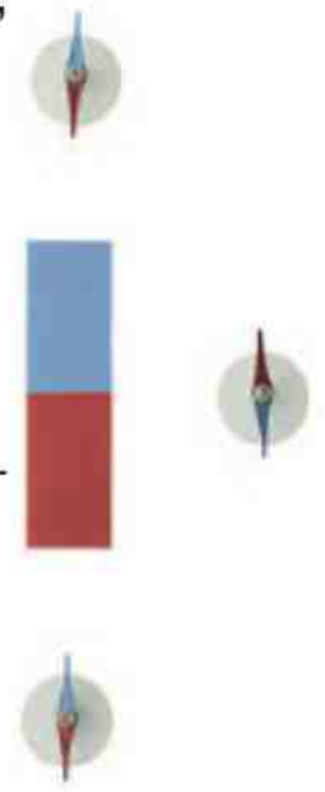
② Połóż kartkę na poziomym blacie, a na niej duży magnes.

③ W odległości 3 cm od jednego z biegunów umieść pierwszą igłę, a w odległości 3 cm od drugiego — drugą. Trzecią igłę umieść z boku magnesu w odległości około 4 cm.

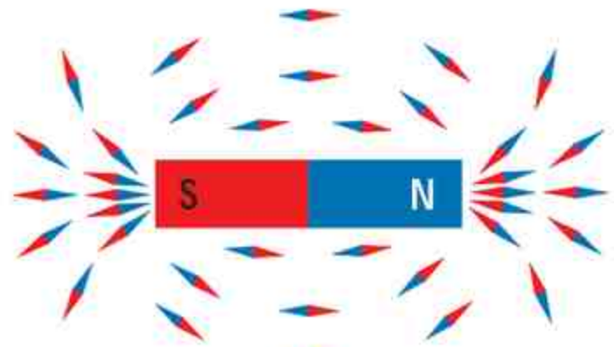
④ Na kartce, w miejscu każdej z igieł, narysuj linię zgodnie z kierunkiem ustawienia się igły.

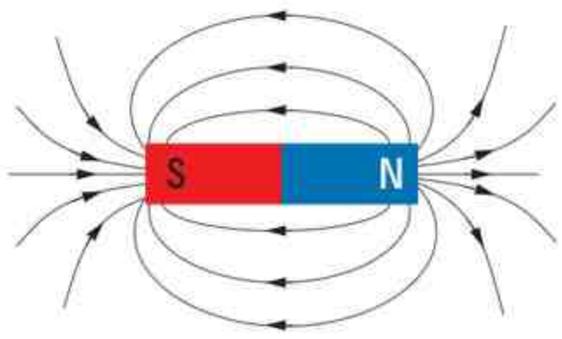
⑤ Przemieszczaj igły po kartce tak, by nie były za blisko siebie. Po każdej zmianie położenia zaznacz kierunki igieł.

i Zamiast igieł magnetycznych możesz użyć kompasów.

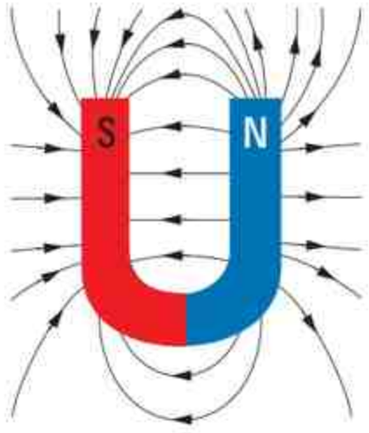


Dokładniejsza analiza eksperymentu pozwala wykreślić na kartce wokół magnesu tak zwane **linie pola magnetycznego**. Igła magnetyczna ustawia się wzdłuż takiej linii, a jej biegun N zwrócony jest tak, jak wskazuje strzałka na linii.

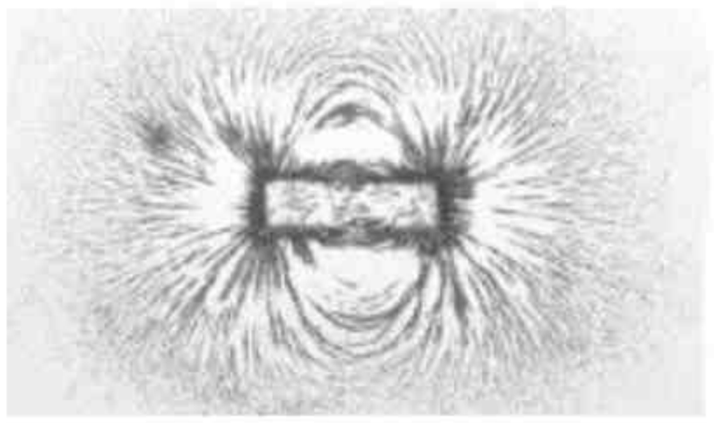




Linie pola magnetycznego wokół magnesu sztabkowego.



Linie pola magnetycznego wokół magnesu podkowiastego.

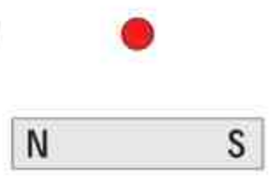


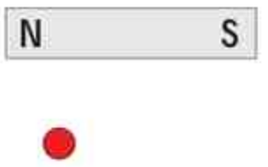
Małe igły magnetyczne lub opiłki żelaza rozsypane w okolicy magnesu ustawiają się wzdłuż linii pola magnetycznego.

PRZYKŁAD 2. Igła magnetyczna stojąca na blacie znajdowała się w położeniu przedstawionym na rysunku obok (widok z góry). Jak ustawi się igła umieszczona obok magnesu w sposób pokazany na rysunku (oś igły zaznaczono kropką)?



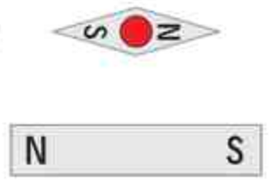
a) 

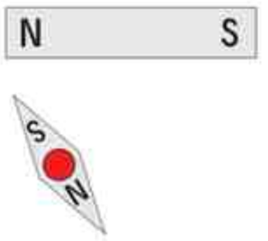
b) 

c) 

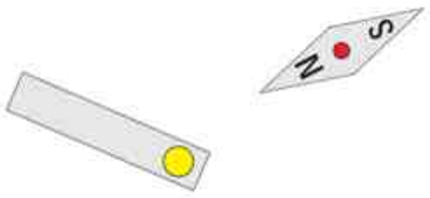
Rozwiązanie:

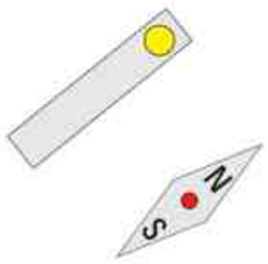
a) 

b) 

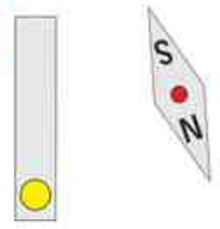
c) 

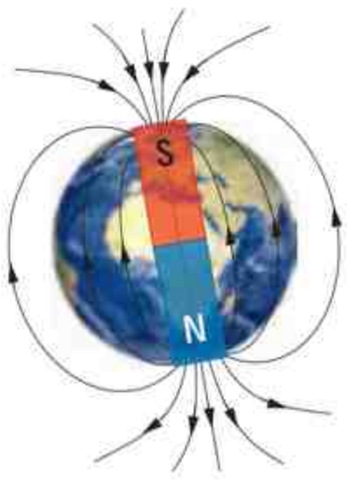
ĆWICZENIE 2. Przy igle magnetycznej stojącej na blacie położono magnes. Igła ustawiła się tak, jak pokazano na rysunku (widok z góry). Jaki biegun ma magnes w miejscu oznaczonym kółkiem?

a) 

b) 

c) 

d) 



Linie pola magnetycznego Ziemi układają się tak, jak wokół magnesu sztabkowego, którego biegun S jest w pobliżu północnego bieguna geograficznego.

Bieguny Ziemi

Kompas na Ziemi zachowuje się podobnie jak igła magnetyczna w pobliżu magnesu. Okazuje się, że bieguny magnetyczne Ziemi znajdują się w pobliżu jej biegunów geograficznych. Na rysunku zaznaczono linie pola magnetycznego Ziemi. Zauważ, że w pobliżu północnego bieguna geograficznego znajduje się południowy biegun magnetyczny — to w jego stronę zwraca się biegun N kompasu. Jednak im bliżej biegunów, tym trudniej orientować się w kierunkach za pomocą kompasu — igła coraz bardziej wskazuje środek Ziemi.

Czas na zadania!

i Jeżeli nie napisano inaczej, pomiń wpływ pola magnetycznego Ziemi na zachowanie igły w pobliżu magnesu.

Zadanie 1. ***Oddziaływanie magnetyczne***

Wskaż zdania prawdziwe.

① Magnes może przyciągnąć żelazną kulkę z odległości 1 cm.

② Magnes silnie przyciąga aluminiową folię.

③ Oddziaływanie magnetyczne przenika przez kartkę.

④ Dwa magnesy zawsze się przyciągają, bez względu na to, jak je do siebie zbliżamy.

⑤ Po przełamaniu magnesu na pół jedna jego cześć ma tylko biegun N, a druga tylko biegun S.

Zadanie 2. ***Przyciąganie czy odpychanie***

Określ, czy w sytuacji na rysunku magnesy przyciągają się czy odpychają.

a) 

b) 

c) 

d) 

Zadanie 3. ***Bieguny***

Określ, jaki biegun znajduje się w miejscu oznaczonym kółkiem, jeśli w sytuacji przedstawionej na rysunku magnesy:

a) przyciągają się



b) przyciągają się



c) odpychają się



d) odpychają się



Zadanie 4. *Magnetyczne patenty*

Wskaż, w których sytuacjach przydatne będzie użycie magnesu.

① Zawieszanie obrazków na drzwiach lodówki.
② Zbieranie skrawków papieru.
③ Oddzielanie żelaznych elementów od innych odpadów.
④ Podnoszenie srebrnego pierścionka.
⑤ Podnoszenie stalowych rur.
⑥ Zapobieganie samoczynnemu otwieraniu się stalowych drzwiczek szafki.

Zadanie 5. *Ustawienie igły magnetycznej*

Przerysuj schemat do zeszytu i naszkicuj ustawienie igły magnetycznej po umieszczeniu jej na blacie, na którym leży magnes. Oś igły umieszczamy kolejno w punktach *A*, *B*, *C* i *D*. Zaznacz biegun N igły.



Zadanie 6. *Ziemskie pole magnetyczne*

a) Jaki kierunek geograficzny wskazuje w przybliżeniu biegun N kompasu na półkuli północnej, a jaki — na półkuli południowej?

b) Jaki biegun magnetyczny Ziemi znajduje się w pobliżu północnego bieguna geograficznego?

Zadanie 7. *Łańcuszek kulek*

Hasto utworzył łańcuszek z magnesów i czterech kulek (zob. rysunek).



— Popatrz! — zwraca się do Weritki. — Kulki ładnie się ze sobą trzymają.
— A jeśli zabierzesz magnes z jednej strony? — pyta Weritka.
— Też potrafią się trzymać razem, jeśli pozostały magnes jest silny. Ale najciekawsze jest to, co się dzieje, gdy odwrócę teraz zabrany magnes i zetknę go z końcową kulką.

Utwórz podobny łańcuszek ze stalowych kulek oraz magnesów po obu stronach. Poproś kogoś, by trzymał jedną skrajną kulkę. Wówczas ty odwróć dotykający ją magnes. Wyjaśnij zaobserwowany efekt.

Zadanie 8. *Siła magnetyczna*

Metalowa kulka o masie 40 g spoczywała na stole. Gdy do kulki zbliżono od góry magnes na odległość 2 cm, kulka podskoczyła i przywarła do magnesu. Co wiadomo o wartości siły, którą magnes działał na kulkę w chwili, gdy kulka odrywała się od blatu?

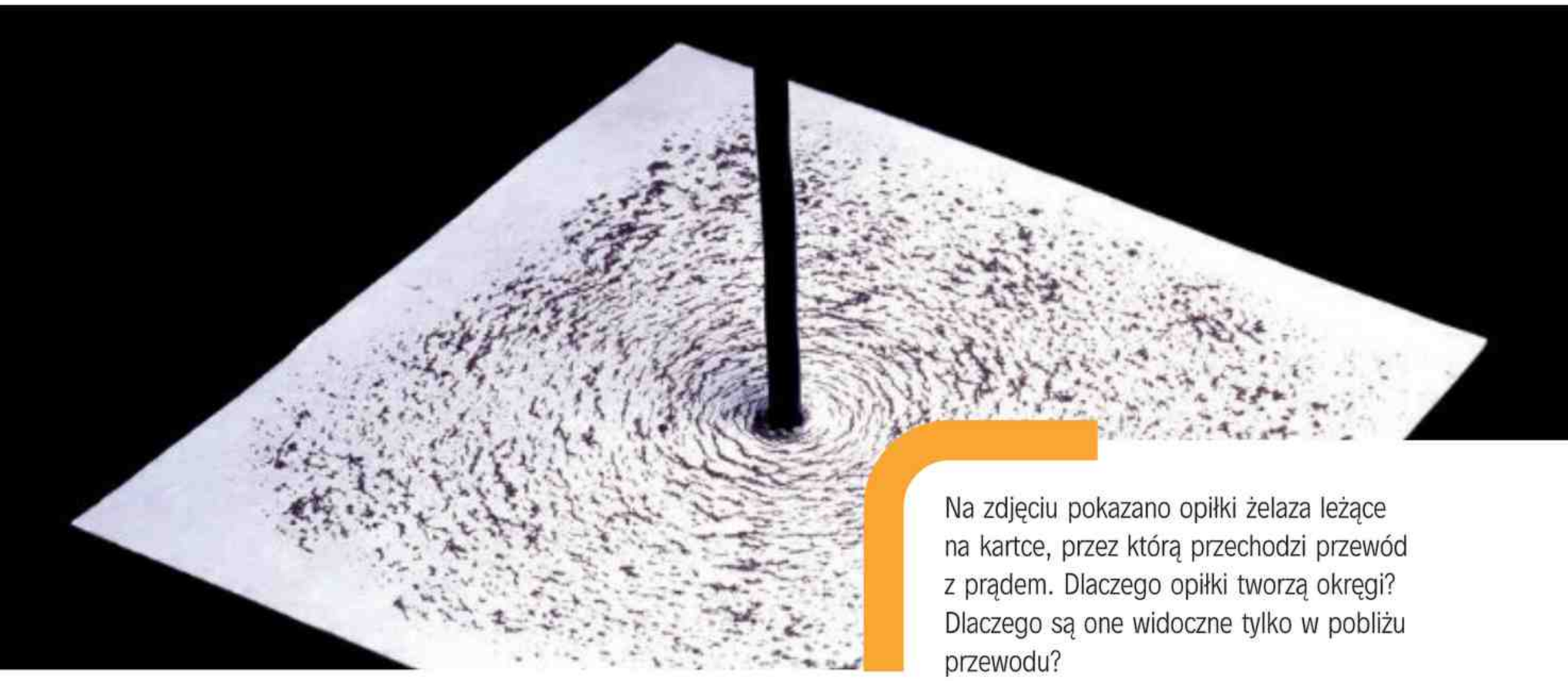




Jak myślisz?

- Czy można tak ustawić magnesy, by jeden z nich lewitował?
- Co wskazuje kompas umieszczony na północnym biegunie geograficznym Ziemi?
- Czy bieguny magnetyczne Ziemi mogą się zamienić miejscami?
- Czy magnes oddziałuje z ładunkami elektrycznymi?

16 Magnes i prąd elektryczny



Na zdjęciu pokazano opiłki żelaza leżące na kartce, przez którą przechodzi przewód z prądem. Dlaczego opiłki tworzą okręgi? Dlaczego są one widoczne tylko w pobliżu przewodu?

Cel lekcji

Dowiesz się, jak zachowuje się igła magnetyczna przy przewodniku z prądem.

Oddziaływanie prądu elektrycznego na magnes

Dotąd zajmowaliśmy się osobno oddziaływaniami elektrycznymi oraz oddziaływaniami magnetycznymi. Okazuje się, że są one ze sobą powiązane. W XIX wieku **Hans Christian Ørsted** (czyt. ersted) pokazał, że prąd elektryczny oddziałuje na magnes. W swoim doświadczeniu Ørsted umieścił przewód z prądem nad igłą magnetyczną. Wykonajcie podobny eksperyment.

i W doświadczeniach proponujemy używać baterii 4,5 V („płaskiej") lub 1,5 V (R20).

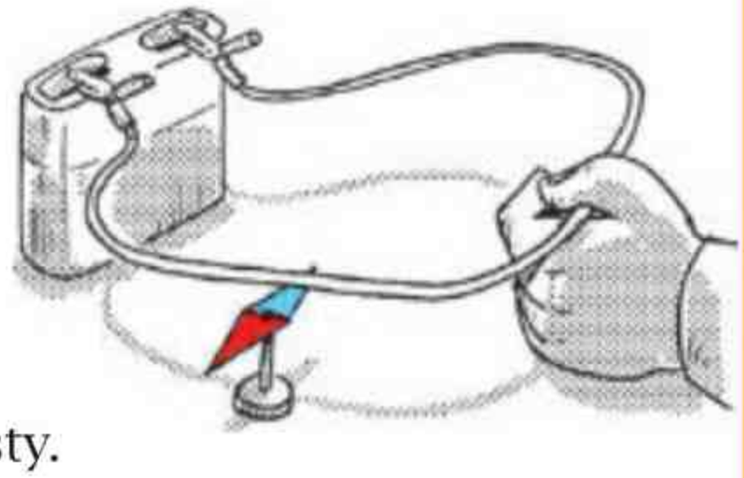
Doświadczenie **Wpływ prądu na igłę magnetyczną**

① Przygotuj: baterię, przewód, igłę magnetyczną.

② Postaw na poziomym blacie igłę magnetyczną.

③ Jeden koniec przewodu połącz z biegunem (+) baterii.

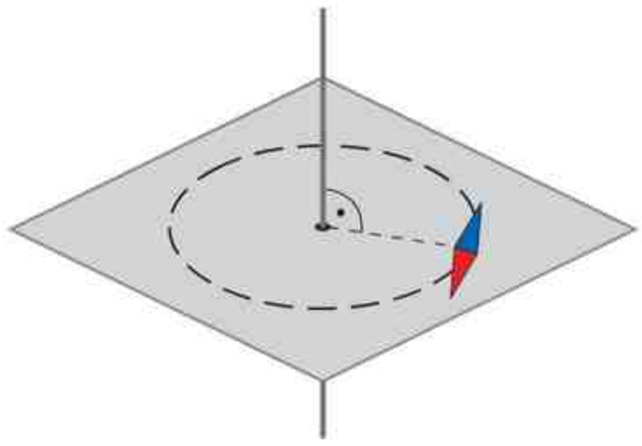
④ Przewód umieść wzdłuż igły, nad nią.
Fragment przewodu w pobliżu igły powinien być prosty.



⑤ Drugim końcem przewodu dotknij bieguna (–) baterii. Zamknij obwód na 3 sekundy. Obserwuj ustawienie igły.

⑥ Zmień podłączenie przewodu do baterii tak, by prąd płynął w przeciwną stronę. Jak teraz ustawia się igła?

Jak ustawia się igła przy przewodniku z prądem?



Ustawienie igły magnetycznej w pobliżu przewodnika z prądem.

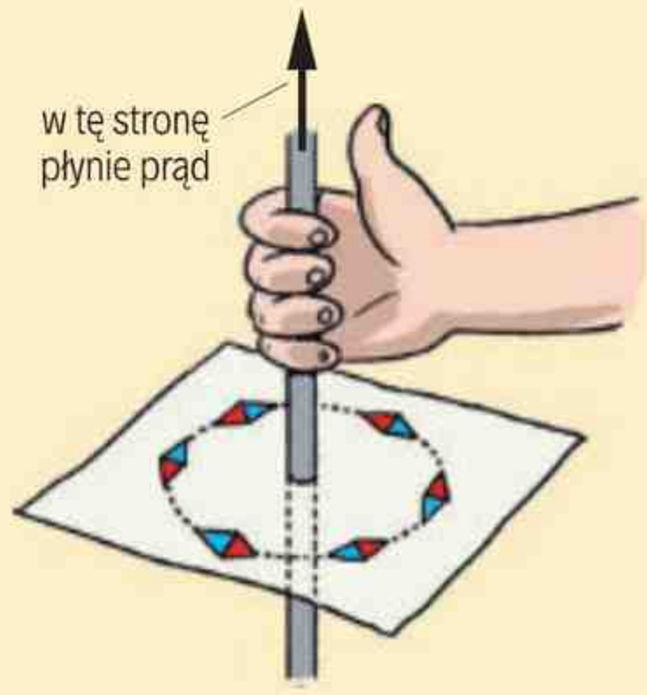
Oddziaływanie przewodu z prądem na igłę magnetyczną można zbadać, stawiając igłę na stoliku, przez który przechodzi pionowy przewód. Igła ustawi się tak, jak na rysunku obok, czyli prostopadle do odcinka łączącego przewód ze środkiem igły. Wygląda to tak, jakby igła chciała się ustawić wzdłuż fragmentu okręgu, przez którego środek przechodzi przewód.

Eksperymenty prowadzą także do wniosku, że prąd tym silniej oddziałuje na igłę, im większe ma natężenie i im bliżej przewodu znajduje się igła.

Jak przewidzieć zwrot igły, czyli wskazać, w którą stronę zwróci się jej biegun N? Przypatrzmy się rysunkowi przedstawiającemu pionowo umieszczony przewód, dookoła którego stoją igły magnetyczne (zob. rysunek obok). Prąd płynie w górę. Okazuje się, że zwrot igieł łatwo można określić dzięki **regule prawej ręki**. Wystarczy objąć prawą ręką przewód tak, by kciuk był zwrócony w tę samą stronę co prąd. Pozostałe palce wskażą zwrot biegunów N igieł magnetycznych.

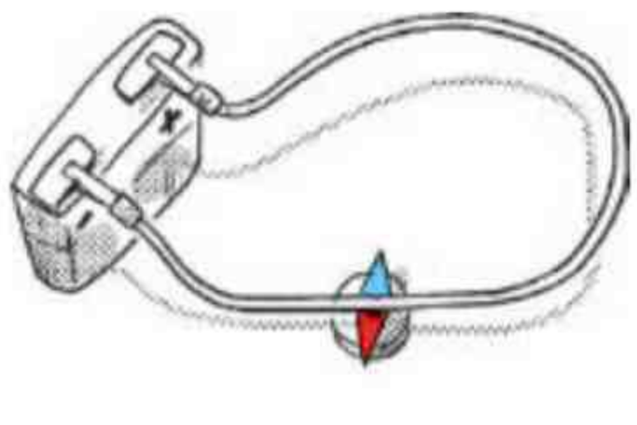
Reguła prawej ręki

(biegun N igły magnetycznej zaznaczono kolorem czerwonym)



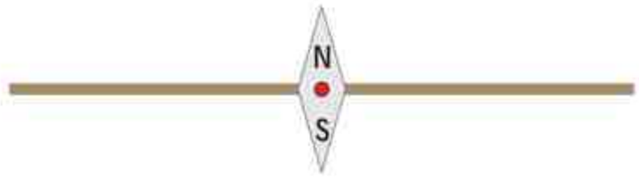
i W zadaniach, o ile nie jest napisane inaczej, pomijamy wpływ pola magnetycznego Ziemi na zachowanie igły w pobliżu przewodów z prądem.

PRZYKŁAD 1. Przepływający przez przewód prąd spowodował odchylenie igły magnetycznej znajdującej się pod przewodem (zob. rysunek). Jakiego koloru jest biegun N igły? Odpowiedź uzasadnij.

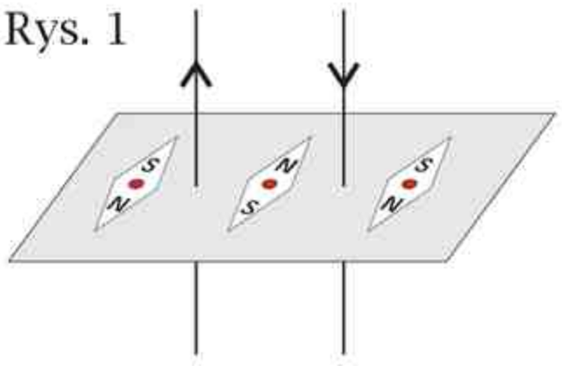


Odp. Biegun N igły oznaczono na rysunku kolorem czerwonym. Prąd nad igłą płynie w lewo, od (+) do (−).
Jeśli zwrócimy kciuk prawej ręki w lewo i obejmiemy przewód, to pod przewodem (tam gdzie jest igła) palce wskażą zwrot zgodny ze zwrotem czerwonego bieguna, czyli N.

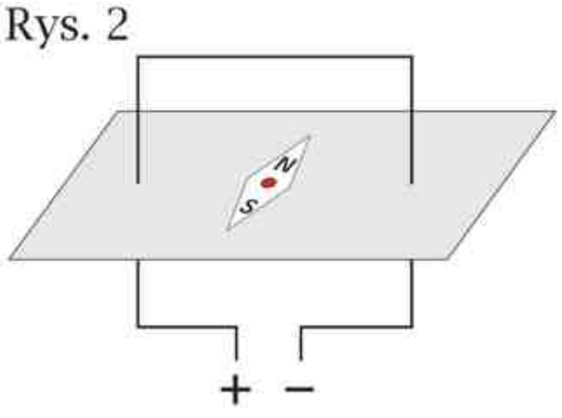
ĆWICZENIE 1. Gdy przez przewód popłynął prąd, igła magnetyczna znajdująca się nad przewodem odchyliła się tak jak na rysunku. Czy prąd płynął w lewo, czy w prawo?



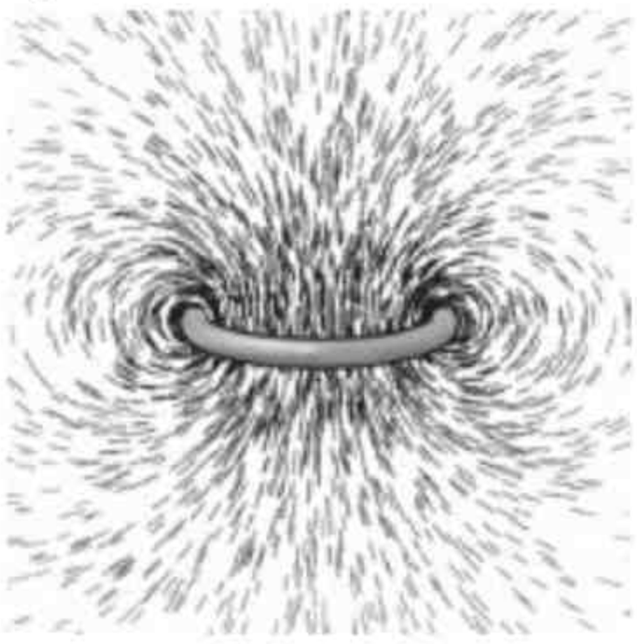
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Utworzone przez opiłki żelaza linie w okolicy pętli przypominają te, które powstają wokół magnesu sztabkowego. Elektryczność i magnetyzm mają wiele wspólnego.

Kilka przewodów i pętla

Reguła prawej ręki oraz to, że oddziaływanie przewodu z prądem słabnie wraz z odległością, pozwalają na wyjaśnienie zachowania igły umieszczonej w pobliżu kilku przewodów.

W pokazanych na Rys. 1 pionowych przewodach płynie prąd o takim samym natężeniu, ale w przeciwne strony. Środkowa igła magnetyczna (umieszczona między przewodami) ustawia się zgodnie z regułą prawej ręki zastosowaną do każdego z przewodów, lewa igła — zgodnie z regułą prawej ręki dla bliższego, lewego przewodu. Prawy przewód „chciałby" co prawda obrócić lewą igłę przeciwnie, ale jego oddziaływanie jest za słabe.

Jak ustawi się igła w środku widocznego na Rys. 2, wygiętego w kwadrat obwodu, w którym prąd płynie zgodnie z ruchem wskazówek zegara? Oddziaływanie z prądem w każdym fragmencie przewodu powoduje zwrot bieguna N igły za płaszczyznę rysunku.

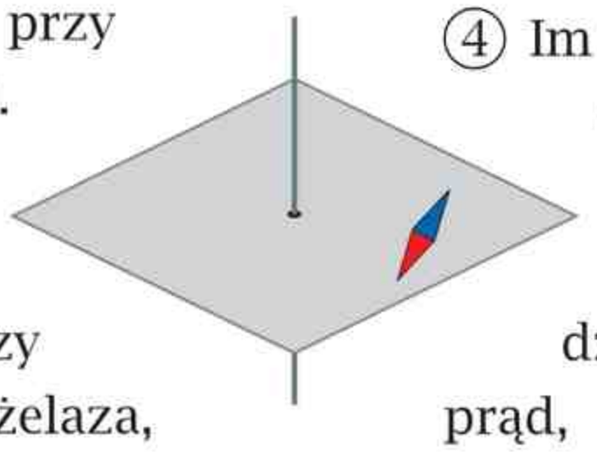
Jeśli posypiemy żelaznymi opiłkami stolik, przez który przechodzi kołowa pętla z prądem, to ułożą się one w linie pola magnetycznego (Rys. 3). Jak ustawi się igła magnetyczna w środku takiej pętli? Jeśli widoczną na rysunku częścią pętli prąd płynie w prawo (kciuk), to biegun N igły (palce) zwróci się w górę.

Czas na zadania!

i W zadaniach symbol ● oznacza przekrój prostego przewodu prostopadłego do płaszczyzny rysunku.

Zadanie 1. *Magnes i przewód*

Igłę magnetyczną umieszczono przy przewodzie tak, jak na rysunku. Wskaż zdania prawdziwe.



① Niezależnie od tego, czy w przewodzie płynie prąd, czy nie, przewód musi być z żelaza, aby oddziaływał magnetycznie na igłę.

② Jeśli przez przewód płynie prąd, to igła ustawia się prostopadle do linii przewód–igła.

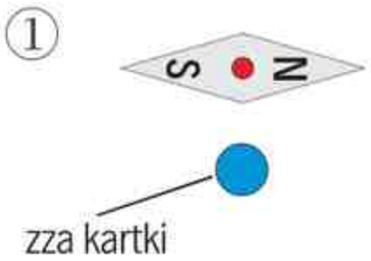
③ Zwrot igły nie zależy od tego, w którą stronę płynie prąd w przewodzie.

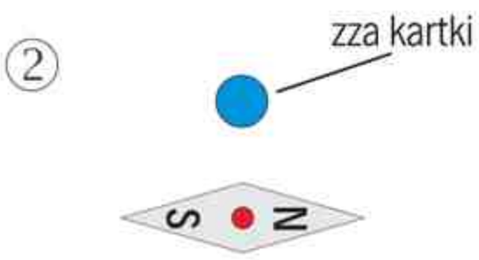
④ Im większe natężenie prądu płynącego przez przewód, tym silniej oddziałuje on na igłę.

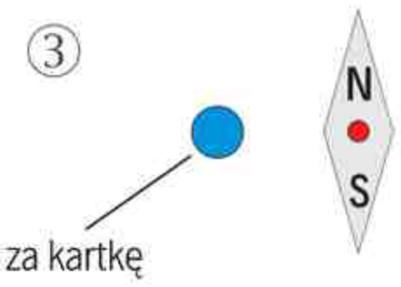
⑤ Jeśli przewód jest miedziany i nie płynie przez niego prąd, to igła ustawia się zawsze w kierunku tego przewodu.

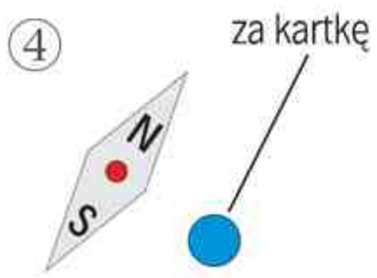
Zadanie 2. *Przewód przez kartkę*

Wskaż rysunki, na których poprawnie pokazano ustawienie igły magnetycznej obok przewodu, w którym płynie prąd w opisany sposób.

① 

② 

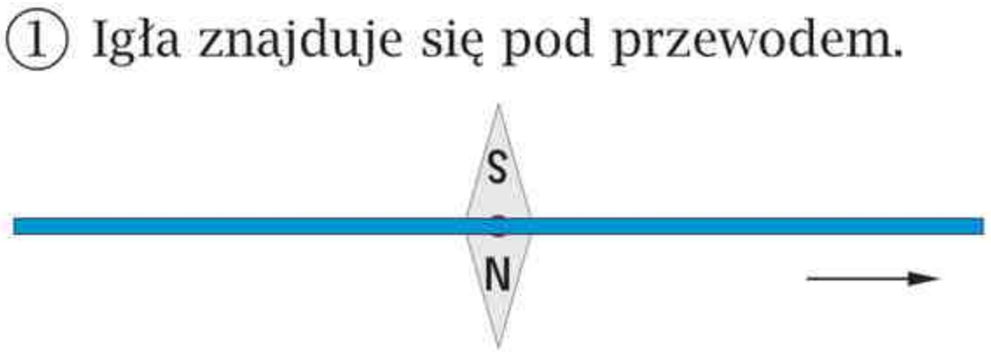
③ 

④ 

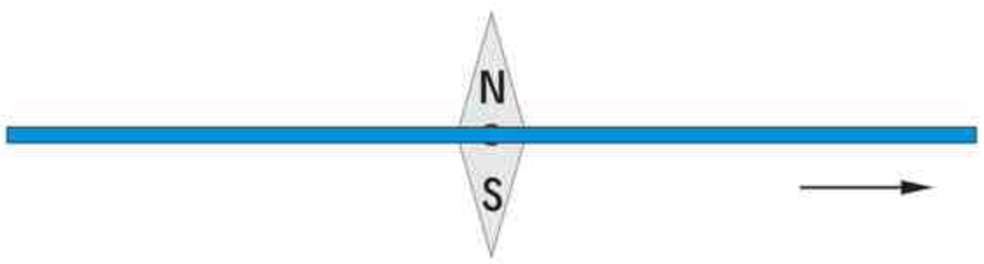
Zadanie 3. *Pod i nad*

Wskaż rysunki, na których poprawnie pokazano ustawienie igły magnetycznej, gdy przez przewód równoległy do płaszczyzny rysunku płynie prąd w stronę zaznaczoną strzałką.

① Igła znajduje się pod przewodem.



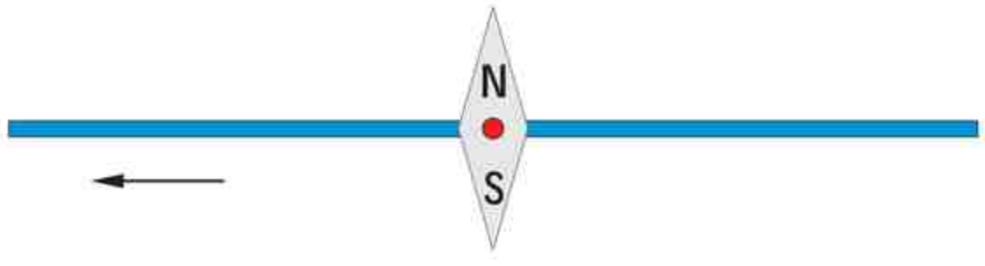
② Igła znajduje się pod przewodem.



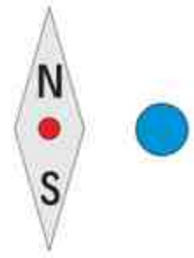
③ Igła znajduje się nad przewodem.



④ Igła znajduje się nad przewodem.



Zadanie 4. *Bez zmian*



Rysunek pokazuje ustawienie igły magnetycznej obok przewodu, którym nie płynął prąd. Kiedy przez przewód popłynął prąd, igła nawet nie drgnęła.

a) Zaproponuj co najmniej dwie przyczyny tego, że igła nie poruszyła się.

b) Jak powinien płynąć prąd, aby prawidłowo działająca igła zachowała się w opisany sposób?

Zadanie 5. *Bliskie i przeciwne prądy*

Nad dwoma równoległymi miedzianymi drutami, które znajdują się bardzo blisko siebie, umieszczono igłę magnetyczną. Jeśli tylko w jednym z przewodów płynie prąd, to igła obraca się o 90°. Dlaczego igła magnetyczna nie reaguje, gdy prąd o takim samym natężeniu w jednym przewodzie płynie w prawo, a w drugim — w lewo?

Zadanie 6. *Między dwoma przewodami*

Na rysunku przedstawiono ustawienie igły magnetycznej znajdującej się między dwoma prostymi, aluminiowymi przewodami, przez które nie płynie prąd.



Jak ustawi się igła magnetyczna, gdy prąd popłynie:

a) tylko w przewodzie *A* zza kartki,

b) tylko w przewodzie *B* za kartkę,

c) o takim samym natężeniu w przewodzie *A* zza kartki, w *B* — za kartkę,

d) z natężeniem 4 A w przewodzie *A* za kartkę oraz z natężeniem 2 A w przewodzie *B* zza kartki?

Zadanie 7. *Obok dwóch przewodów*

Na rysunku przedstawiono ustawienie igły magnetycznej znajdującej się obok dwóch, odległych od siebie, prostych, aluminiowych przewodów, przez które nie płynął prąd.

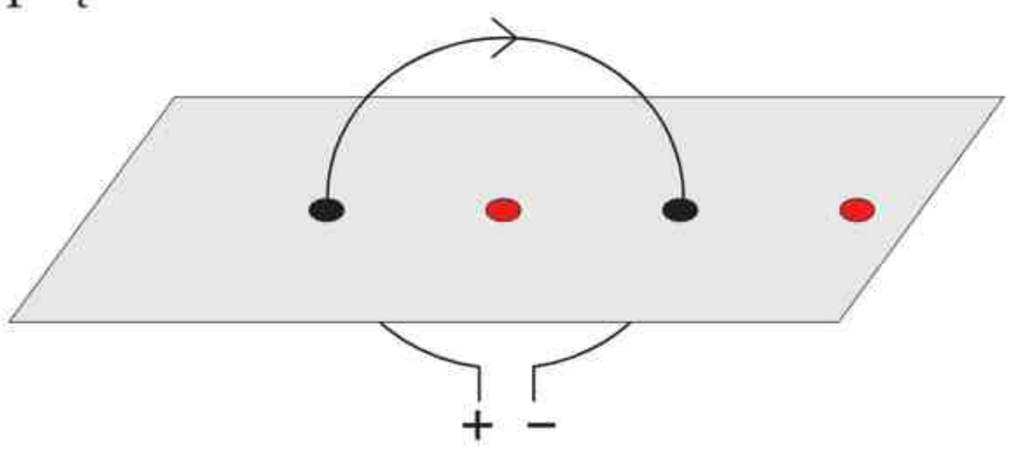
a) Przerysuj schemat do zeszytu i naszkicuj, jak się ustawi igła, gdy prąd o takim samym natężeniu popłynie w przewodzie *A* — zza kartki, a w przewodzie *B* — za kartkę.

b) Wyjaśnij, dlaczego igła w podpunkcie a) ustawi się się w taki sposób.



Zadanie 8. *Igły i pętla*

Przerysuj poniższy schemat do zeszytu i naszkicuj, jak będą ustawione dwie igły, których osie na rysunku zaznaczono czerwonymi kropkami. Igły znajdują się na stoliku, przez który przechodzi przewód w kształcie kołowej pętli. Pętlą płynie prąd.



Zadanie 9. *Ziemia i przewód*

Weritka bawi się kompasem.

— Zastanawiam się, jak porównać oddziaływanie magnetyczne Ziemi na igłę kompasu z oddziaływaniem na nią przewodu z prądem — mówi do Hasto.

— Przewód działa silniej. Jeśli najpierw igła ustawi się zgodnie z polem magnetycznym Ziemi, a do przewodu znajdującego się przy biegunie S igły podłączę akumulator, to ona obraca się o 90 stopni. Tak, jakby nie było ziemskiego pola magnetycznego — opowiada Hasto.

— A co by było, gdybyśmy powoli zmniejszali natężenie prądu? — pyta Weritka.

— Spróbujmy. Tylko jak je regulować?

Rysunek przedstawia igłę widzianą z góry, która ustawiła się zgodnie z ziemskim polem magnetycznym, oraz przekrój prostego przewodu.



a) Jak ustawiłaby się igła, gdyby działał na nią tylko prąd płynący przewodem?

b) Jak ustawi się igła, gdy jej oddziaływanie z polem magnetycznym Ziemi będzie tak samo silne jak oddziaływanie z prądem w przewodzie?

c) Jak można regulować natężenie prądu płynącego przez przewód, jeśli mamy do dyspozycji akumulator 12 V, przewody oraz różne oporniki?



Jak myślisz?

- Jak zbudować prosty miernik natężenia prądu z drutu i igły magnetycznej?
- Skoro przewód z prądem działa na magnes, to czy magnes działa na ten przewód?
- Gdzie są bieguny magnetyczne przy przewodzie z prądem?



Fizyka na wesoło...

Bateria patrzy na przełamany magnes i mówi do żarówki:
— A ten znowu rozmnożył się przez podział!

17 Elektromagnesy



Dzięki jakiemu oddziaływaniu dźwig podnosi żelazne pręty, choć dotyka ich jedynie z góry? Dlaczego w chwytakach dźwigu płynie prąd elektryczny?

Magnes na życzenie

Magnes trwały działa cały czas i to bez zasilania. Aby odsunąć przylegający do niego gwóźdź, trzeba na gwóźdź zadziałać siłą. Czasem wygodnie byłoby móc „wyłączyć" magnes, tak żeby gwóźdź spadł, bez konieczności „odrywania" go od magnesu. Można skonstruować takie urządzenie, wykorzystując fakt, że prąd elektryczny oddziałuje magnetycznie.

Zbadajmy, jak igła magnetyczna zachowuje się w pobliżu kołowej pętli z prądem.

Cel lekcji

Poznasz budowę elektromagnesu i zasadę jego działania.

Warto **wiedzieć**

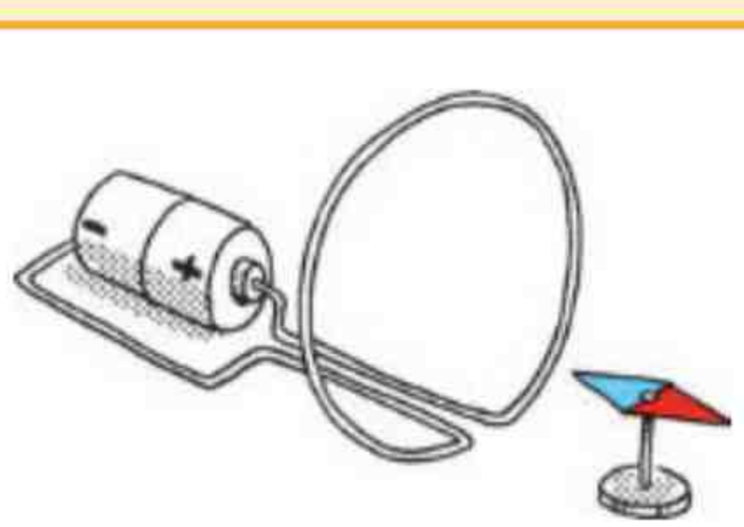
Magnes trwały ma trwałe własności magnetyczne. Namagnesowana szpilka nie jest magnesem trwałym, bo łatwo można zmienić jej bieguny za pomocą magnesu.

Doświadczenie Pętla z prądem

① Przygotuj: igłę magnetyczną, baterię, przewód.

② Z fragmentu przewodu wykonaj pętlę. Podłącz końce przewodu do baterii.

③ Zbliżaj igłę magnetyczną do środka pętli raz z jednej, raz z drugiej strony. Obserwuj, jak ustawia się igła.

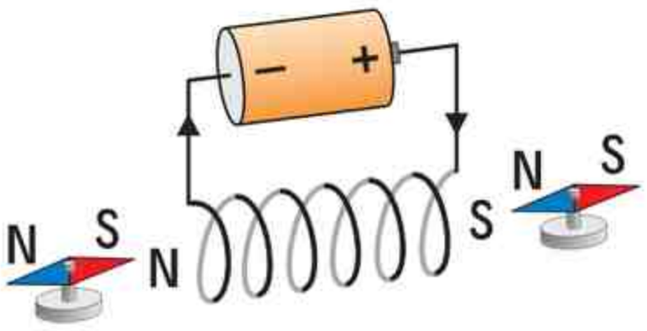


④ Zmień podłączenie przewodu do baterii tak, by prąd popłynął w przeciwną stronę. Ponownie zbadaj zachowanie igły zbliżanej do środka pętli.

Można zauważyć, że pętla z przewodu, przez który płynie prąd, zachowuje się „z zewnątrz" jak magnes, ma dwa bieguny. Aby zwiększyć siłę, z jaką pętla z prądem działa na magnes, można zwiększyć natężenie prądu. Ale nie jest to jedyny sposób.

Zwojnica

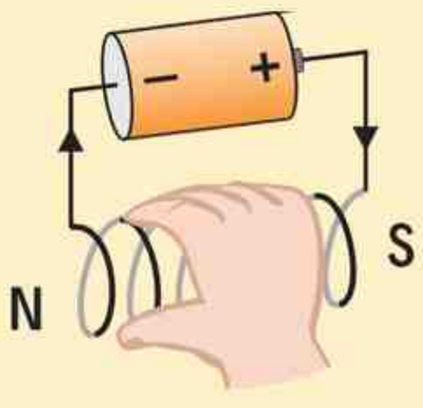
Ustawione blisko siebie dwie pętle z prądem oddziałują na znajdujący się blisko magnes silniej niż pojedyncza pętla. Zamiast zestawiać oddzielne pętle, z których każdą osobno trzeba podłączyć do źródła energii elektrycznej, można z jednego przewodu zrobić wiele pętli. Tak ukształtowany przewód, przypominający sprężynę, nazywamy **zwojnicą**.



Bieguny magnetyczne zwojnicy można określić, używając igły magnetycznej.

Patrząc na zachowanie igły przy zwojnicy, można określić jej bieguny magnetyczne. Ustawienie igły w pobliżu zwojnicy można także przewidzieć, posługując się regułą prawej ręki. Jeśli kciuk będzie zwrócony tak, jak płynie prąd w danym zwoju, to zagięte cztery palce obejmujące przewód tego zwoju wskażą zwrot igły.

Bieguny pętli i zwojnicy można też wyznaczyć, wykorzystując regułę prawej ręki w inny sposób, zamieniając role kciuka i palców.



Reguła prawej ręki dla zwojnicy (i pętli)

Jeśli obejmiesz zwojnicę prawą ręką tak, by palce były zwrócone zgodnie z płynącym w zwojach prądem, to kciuk wskaże biegun N zwojnicy.

Elektromagnes

Zwojnica jest najważniejszą częścią **elektromagnesu**, czyli „magnesu na żądanie".

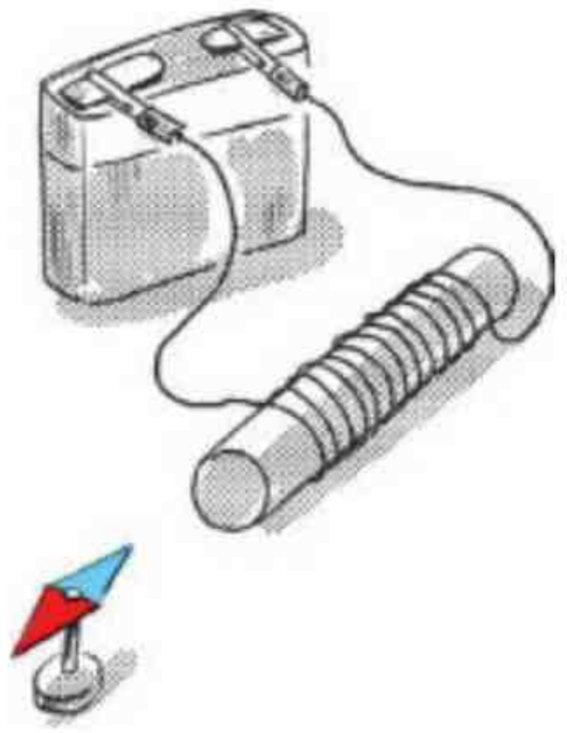
Elektromagnes to urządzenie, które zachowuje się jak magnes, gdy przepływa przez nie prąd. Elektromagnes może być zbudowany z samej zwojnicy, ale zwykle wewnątrz zwojnicy znajduje się metalowy rdzeń (na przykład z żelaza), który łatwo namagnesować. Sprawdźmy, co zmienia użycie rdzenia.

Doświadczenie — Znaczenie rdzenia w elektromagnesie

① Przygotuj: igłę magnetyczną, baterię 4,5 V, elektromagnes z wyjmowanym rdzeniem, przewody.

i Elektromagnes można wykonać samemu, nawijając na duży gwóźdź izolowany drut.

② Poczekaj, aż igła ustawi się zgodnie z ziemskim polem magnetycznym. Prostopadle do niej, w odległości około 8 cm połóż elektromagnes, ale nie podłączaj go do baterii. Obserwuj zachowanie igły.



③ Wyjmij rdzeń i podłącz zwojnicę do baterii. Igła powinna pozostać prawie nieruchoma. Jeśli obraca się o więcej niż 10°, odsuń od niej trochę zwojnicę.

④ Włóż rdzeń w zwojnicę i podłącz ją do baterii. Obserwuj zachowanie igły.

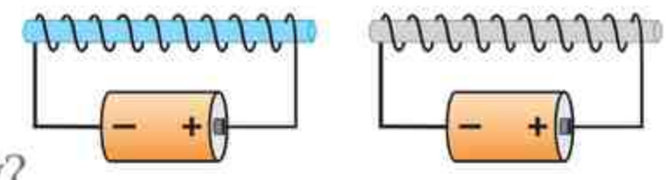
Dzięki polu magnetycznemu wytwarzanemu wewnątrz zwojnicy, rdzeń magnesuje się i staje się magnesem o biegunach zwróconych tak samo jak sama zwojnica. Zwojnica z rdzeniem może oddziaływać magnetycznie kilka tysięcy razy silniej niż ta sama zwojnica bez rdzenia.

Elektromagnes to urządzenie, które zachowuje się jak magnes, gdy przepływa przez nie prąd. Zbudowany jest ze zwojnicy, w której zwykle znajduje się rdzeń wykonany z łatwo magnesującego się metalu, oraz ze źródła zasilania.

Warto **wiedzieć**

Inna nazwa zwojnicy to **cewka**. Czasem elektromagnesem nazywa się dopiero zwojnicę z rdzeniem.

PRZYKŁAD 1. W zwojnicach elektromagnesów przedstawionych na rysunku płynie prąd.

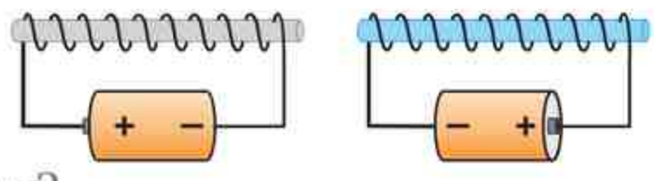


a) Jakimi biegunami są do siebie zbliżone elektromagnesy?

b) Czy elektromagnesy się przyciągają, czy odpychają?

Odp. a) Zgodnie z regułą prawej dłoni dla zwojnicy bieguny elektromagnesów ustawione są tak: [N S] [N S], czyli zbliżone są do siebie biegunami S i N.
b) Elektromagnesy się przyciągają.

ĆWICZENIE 1. W zwojnicach elektromagnesów przedstawionych na rysunku płynie prąd.



a) Jakimi biegunami są do siebie zbliżone elektromagnesy?

b) Czy elektromagnesy się przyciągają, czy odpychają?

Zastosowania ***elektromagnesów***

Elektromagnesy wykorzystuje się do podnoszenia ciężarów (w fabrykach, portach, na złomowiskach), w silnikach i miernikach elektrycznych, w zamkach drzwi i furtek (otwieranie domofonem), w głośnikach, przy lewitacji magnetycznej (kolej magnetyczna), a także do usuwania metalowych odłamków z ciała.





Elektromagnesy wykonane z nadprzewodników (przewodników o zerowym oporze) służą do wytwarzania bardzo silnych pól magnetycznych. Wykorzystuje się je w badaniach naukowych, na przykład w akceleratorach cząstek, a w medycynie – przy obrazowaniu metodą rezonansu magnetycznego.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Elektromagnes*

Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

Ważną częścią elektromagnesu jest ***igła magnetyczna / zwojnica.***

Elektromagnes jest zasilany przez źródło energii ***elektrycznej / wewnętrznej.***

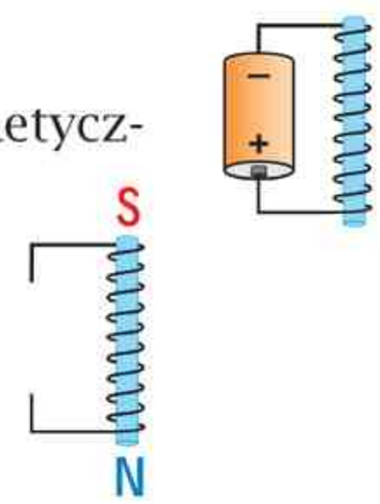
Rdzeń w elektromagnesie ***wzmacnia / osłabia*** *jego oddziaływanie.*

Przy zmianie strony, w którą płynie prąd w zwojnicy elektromagnesu, jego bieguny ***zamieniają / nie zamieniają*** *się miejscami.*

Zadanie 2. *Zwojnica*

a) Wyznacz bieguny magnetyczne zwojnicy.

b) Jak podłączono baterię do zwojnicy?



Zadanie 3. *Prąd i magnetyzm*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Im większe natężenie prądu płynącego przez zwojnicę, tym słabiej oddziałuje ona magnetycznie.

② Dwa działające elektromagnesy mogą się jedynie przyciągać, niezależnie od ich ustawienia.

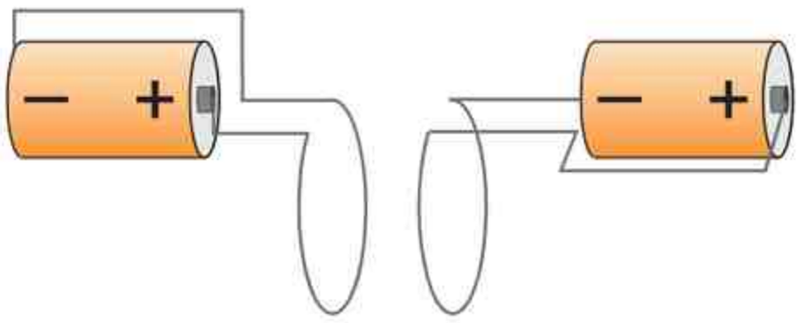
③ Jeśli kciuk prawej ręki ustawimy zgodnie z prądem płynącym w przewodzie, to znajdująca się blisko igła magnetyczna ustawi się zgodnie z palcami obejmującymi przewód.

④ Rdzeń elektromagnesu najczęściej jest wykonany z materiału, który nie oddziałuje magnetycznie.

⑤ Pętla z prądem ma dwa bieguny magnetyczne, N i S.

Zadanie 4. ***Dwie pętle***

Czy dwie pętle z miedzianego przewodu, którymi płynie prąd (zob. rysunek), przyciągają się, czy odpychają? Odpowiedź uzasadnij.



Zadanie 5. ***Łapacz szpilek***

Weritka skonstruowała z gwoździa i przewodu elektromagnes. Przed podłączeniem go do baterii nie przyciągał ani nie odpychał szpilki. Po podłączeniu elektromagnesu szpilka namagnesowała się i przywarła do gwoździa (zob. rysunek). Określ, gdzie znajdują się bieguny N i S w szpilce i w gwoździu.



Zadanie 6. ***Projekt zabawki***

W projektowanej zabawce należy tak podłączyć do osobnych baterii trzy elektromagnesy, by środkowy elektromagnes był odpychany przez dolny oraz przyciągany przez górny. Zaproponuj dwa rozwiązania spełniające wymogi projektu.



Zadanie 7. ***Geodynamo***

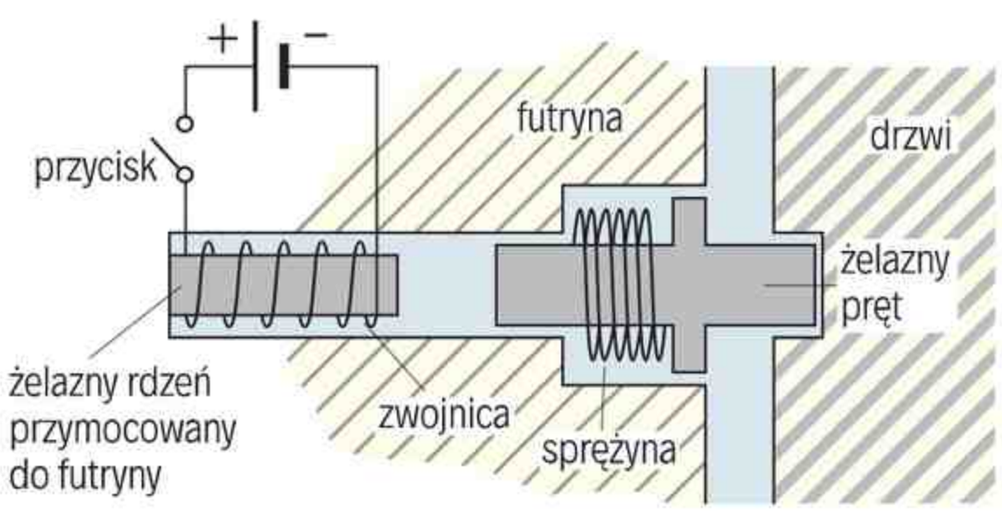
Pole magnetyczne Ziemi powstaje prawdopodobnie dzięki temu, że w jej wnętrzu płyną prądy elektryczne. Przyjmij, że we wnętrzu Ziemi wzdłuż równika płynie prąd elektryczny w jednej pętli. Czy płynie on ze wschodu na zachód, czy w przeciwną stronę?

Zadanie 8. ***Magnetyczny dźwig***

Operator dźwigu z chwytakiem elektromagnesem musi podnieść duży magnes, ale chwytak jest od niego odpychany. Operator może zmienić natężenie lub stronę, w którą płynie prąd w zwojnicy elektromagnesu. Co powinien zrobić, by elektromagnes przyciągnął leżący magnes?

Zadanie 9. ***Elektromagnetyczny zamek***

— Zaprojektowałem taki zamek — Hasto pokazuje Weritce schemat.



— Fajny. Otwiera się, gdy włączasz elektromagnes? — dopytuje Weritka.

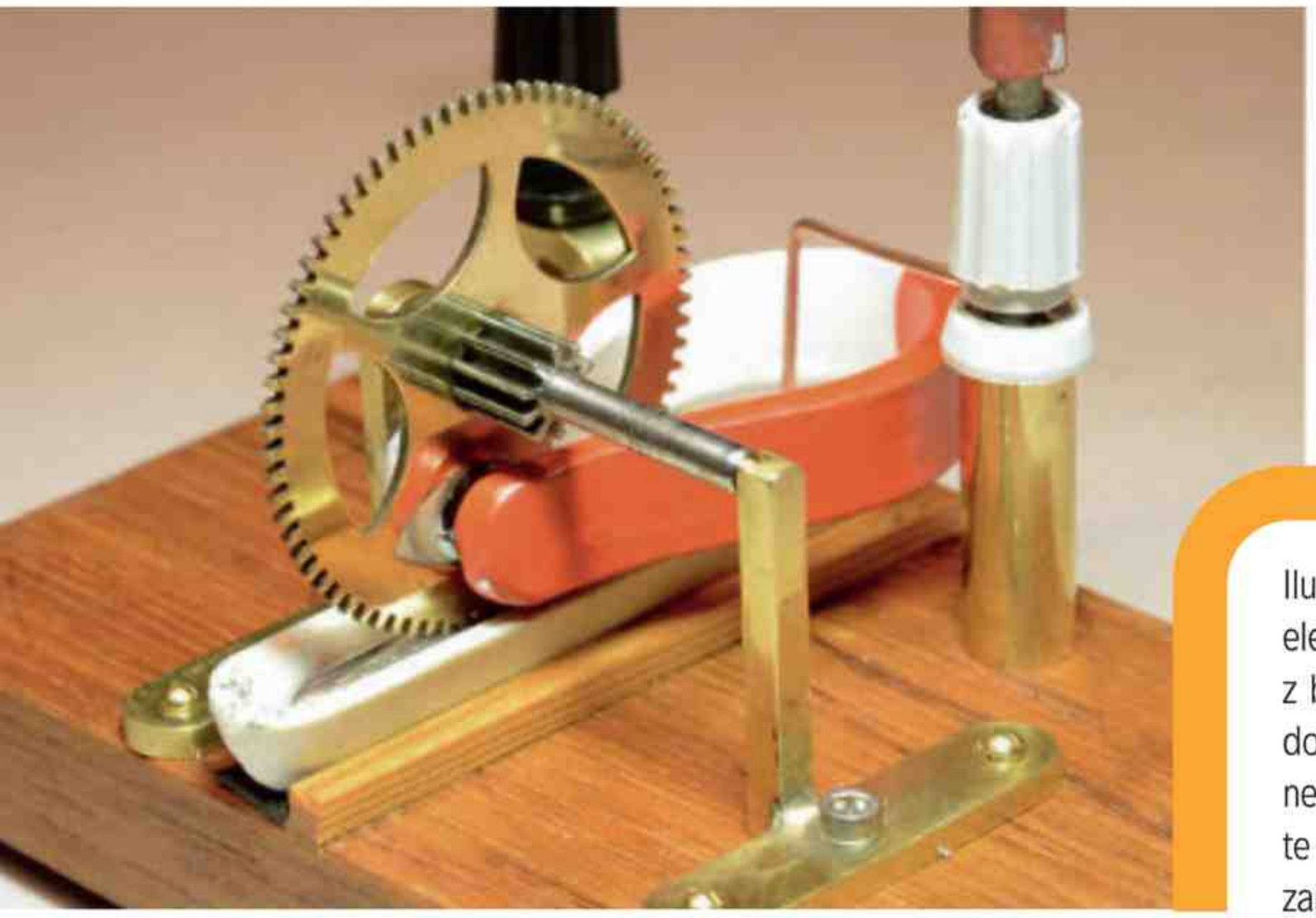
— Tak. Chcę ten zamek wstawić w drzwi. Zastanawiam się, czy nie ma jakichś wad.

Dlaczego naciśnięcie przycisku pozwala otworzyć drzwi? Jakie są wady tego zamka?



- Dlaczego rdzeń w elektromagnesie magnesuje się tak, że jego bieguny są tak samo ustawione jak bieguny zwojnicy?
- Dlaczego wyjaśnia się magnetyzm Ziemi za pomocą prądów, a nie trwałego, dużego magnesu?
- Dlaczego elektromagnesy znajdują się w silnikach elektrycznych?

18 Silniki elektryczne





Ilustracje przedstawiają proste silniki elektryczne. Ten powyżej składa się jedynie z baterii, miedzianego drutu i śruby, do której łepka doczepiono magnes neodymowy. Dzięki jakiemu oddziaływaniu te silniki pracują? Jak się zachowują po zamianie miejscami biegunów magnesu?

Cel lekcji

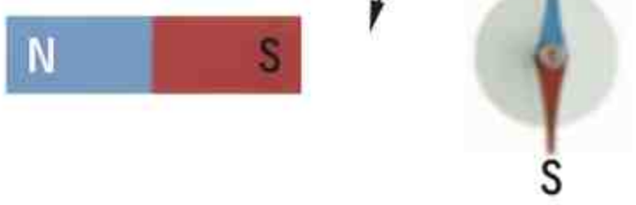
Poznasz podstawy działania silników elektrycznych.

Co to jest silnik elektryczny?

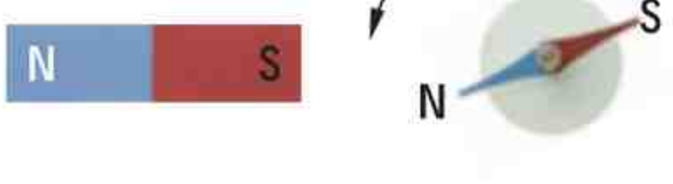
Silnikiem elektrycznym nazywamy urządzenie, które zamienia energię elektryczną na mechaniczną — najczęściej w postaci obrotów. Obroty te są wywoływane oddziaływaniem magnetycznym między częściami silnika.

Silnik elektryczny to urządzenie, które zamienia energię elektryczną na energię mechaniczną dzięki oddziaływaniu magnetycznemu.

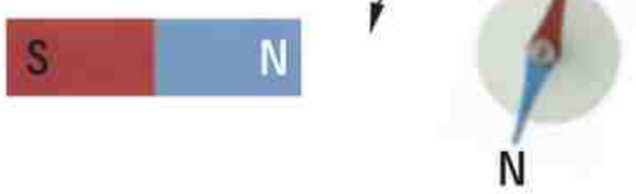
Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3



Zapoznamy się z podstawowymi zasadami działania silnika elektrycznego. Modelem obracającej się części silnika — wirnika — będzie igła magnetyczna. Jak sprawić, by dzięki oddziaływaniu magnetycznemu igła cały czas się obracała? Jeśli do igły zbliżymy magnes tak jak na Rys. 1, to igła obróci się biegunem N w stronę magnesu. Z rozpędu minie biegun magnesu i wykona kilka wahnięć, zanim wytraci swoją energię kinetyczną i się zatrzyma.

Gdy w położeniu takim jak na Rys. 2 szybko odwrócimy magnes (zamienimy miejscami bieguny), to igła będzie kontynuować obrót — na Rys. 3 dwa bieguny N odpychają się, a biegun N magnesu i biegun S igły się przyciągają.

Odpowiednio zmieniając bieguny magnesu, można podtrzymywać obracanie się igły. Trzeba jednak wykonywać pracę mechaniczną — obracać magnes. Zastąpienie magnesu elektromagnesem znacznie ułatwia zamianę biegunów miejscami. Wystarczy podłączyć go odwrotnie do źródła prądu. Sprawdźmy to doświadczalnie.



Wirnik silnika odkurzacza z dwunastoma elektromagnesami.

Doświadczenie **Wirnik**

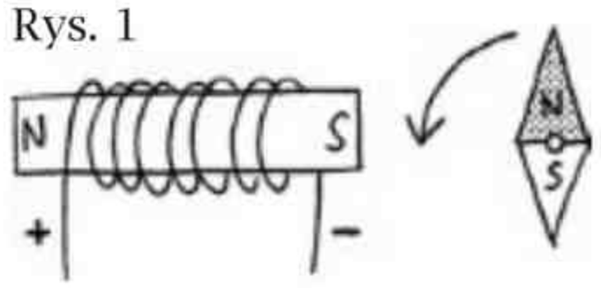
① Przygotuj: igłę magnetyczną, baterię, elektromagnes, przewody.

② Ustaw na stole igłę, prostopadle do niej połóż elektromagnes podłączony do baterii tak jak na Rys. 1.

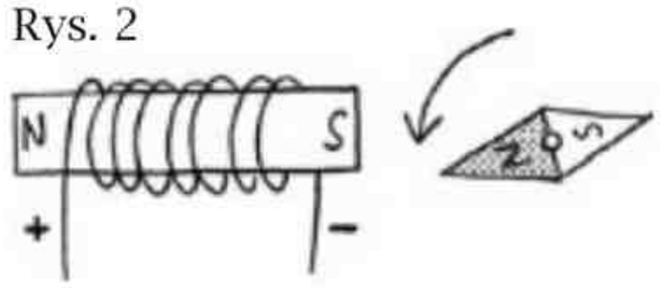
③ Gdy igła znajdzie się w pozycji jak na Rys. 2, szybko zamień podłączenie przewodów do baterii tak, by prąd popłynął w przeciwną stronę.

④ Zmieniaj kilkukrotnie kierunek płynącego prądu tak, by igła obracała się stale w jedną stronę.

Rys. 1



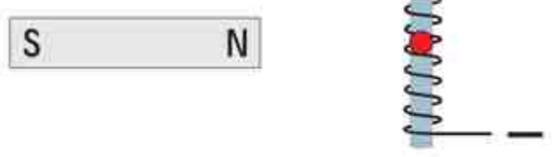
Rys. 2



Zmieniając podłączenie baterii, zmienialiśmy bieguny elektromagnesu. Igła kontynuowała obrót. Rytmiczne zmiany strony, w którą płynie prąd przez zwojnicę elektromagnesu, może zapewnić odpowiedni zasilacz.

Silniki mogą mieć też inną konstrukcję — ruchomym elementem może być elektromagnes, a umieszczony obok niego magnes może być nieruchomy.

PRZYKŁAD 1. Rysunek przedstawia nieruchomy magnes i umieszczony obok elektromagnes, który może obracać się wokół osi zaznaczonej czerwoną kropką. Elektromagnes jest podłączony do baterii.

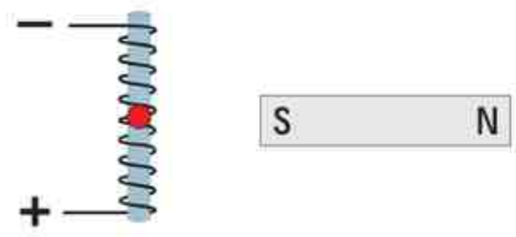


a) Jaki biegun magnetyczny znajduje się przy górnym końcu elektromagnesu?

b) W którą stronę zacznie się obracać elektromagnes?

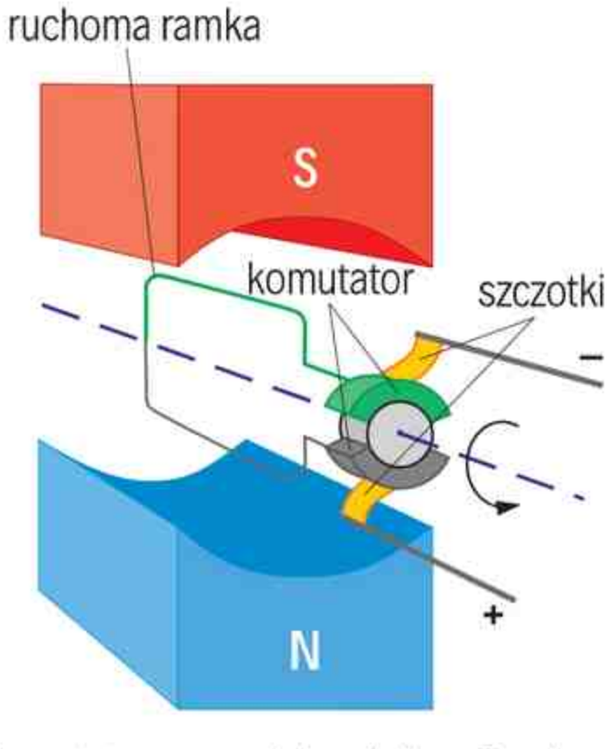
Odp. a) Biegun N. b) Zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

ĆWICZENIE 1. Magnes jest nieruchomy, a elektromagnes może obracać się wokół osi zaznaczonej czerwoną kropką.



a) Jaki biegun magnetyczny znajduje się przy górnym końcu elektromagnesu?

b) Czy elektromagnes zacznie się obracać zgodnie z ruchem wskazówek zegara?



Komutator w modelu silnika. Ramka (zwój) z prądem ciągle obraca się przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Zasilanie silników elektrycznych

W silnikach elektrycznych zwykle jest co najmniej kilka magnesów i elektromagnesów (lub tylko elektromagnesów). Dzięki temu silnik pracuje płynniej. Jak zasilać elektromagnesy, by miały odpowiednio zwrócone bieguny? Niektóre silniki są przystosowane do prądu sieciowego, który regularnie zmienia stronę, w którą płynie (tzw. prąd przemienny). Inne mają układy zapewniające odpowiednie zmiany prądu. W silnikach zasilanych z baterii popularnym rozwiązaniem jest tzw. **komutator**. Doprowadza on prąd do elektromagnesu tak, by po obrocie wirnika o pewien kąt kontakty elektromagnesu zamieniły się miejscami. Prąd w ramce płynie wtedy w przeciwną stronę, powodując dalszy obrót silnika.

Dowiedz się więcej o innych rodzajach silników

W przypadku kolei magnetycznej, dzięki oddziaływaniu magnetycznemu pociąg się po pierwsze — unosi, po drugie — przemieszcza. W torowisku ułożone są rzędy magnesów (lub elektromagnesów). Sterując zasilaniem elektromagnesów wbudowanych w pojazd, można przyśpieszać i hamować (zob. zadanie 7).

Są też silniki, w których nie następuje żadna zmiana biegunów magnetycznych. Przykładami takich silników są te z ilustracji na początku lekcji. Nazywa się je silnikami homopolarnymi lub jednobiegunowymi.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Silnik elektryczny*

Wskaż zdania prawdziwe.

① Silnik elektryczny służy do zamiany energii elektrycznej na wewnętrzną.

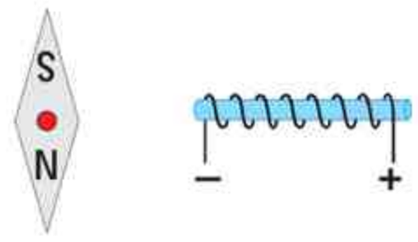
② Podstawą działania silnika elektrycznego jest oddziaływanie magnetyczne.

③ W silnikach elektrycznych zawsze obraca się tylko elektromagnes, a zwykły magnes jest nieruchomy.

④ Dobry silnik elektryczny może wykonać więcej pracy niż pobrał energii.

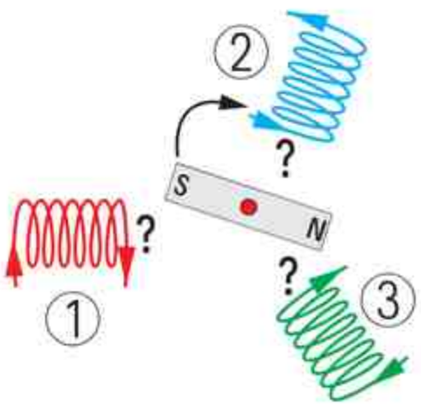
⑤ Niektóre silniki elektryczne nie zawierają magnesów trwałych.

Zadanie 2. *Wirnik*



Igła magnetyczna początkowo spoczywała. Określ, jak zacznie się obracać, gdy elektromagnes podłączymy do biegunów baterii zgodnie z rysunkiem.

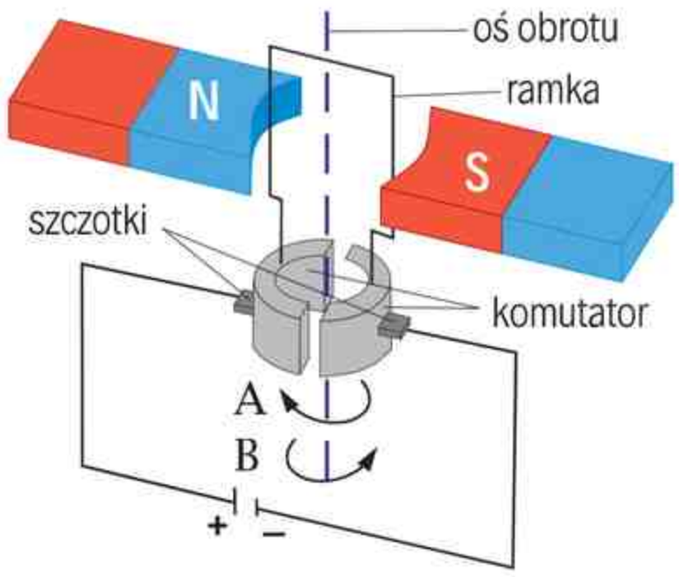
Zadanie 3. *Trzy zwojnice*



Jakimi biegunami powinny być zwrócone zwojnice do magnesu, by jak najszybciej zaczął on wirować zgodnie ze strzałką?

Zadanie 4. *Silnik o jednym zwoju*

Na rysunku przedstawiono silnik zasilany z baterii. Obracającą się częścią jest ramka z miedzianego drutu.



a) Zgodnie z którą strzałką — A czy B będzie się obracać ramka? Dlaczego?

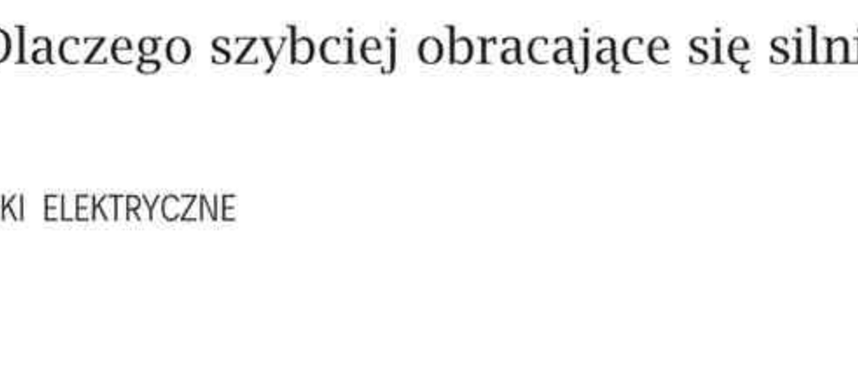
b) Jakie będzie natężenie prądu w obwodzie, gdy ramka obróci się o 90°?

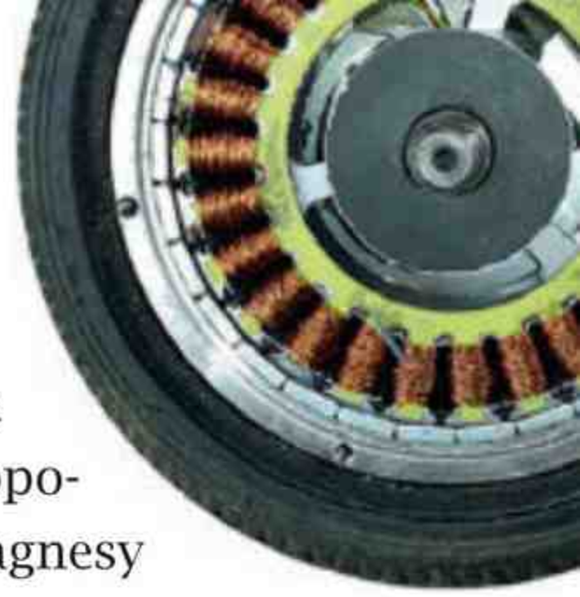
c) Określ, gdzie będzie biegun N ramki po jej obrocie o 180°.

i Gdy szczotki trafiają w przerwę między półpierścieniami komutatora, prąd nie płynie.

Zadanie 5. *Trzy magnesy i elektromagnes*

Elektromagnes może się obracać wokół osi zaznaczonej czerwoną kropką. Jaki biegun magnetyczny powinien być przy prawym końcu elektromagnesu, a jaki przy lewym, by elektromagnes zaczął się jak najszybciej obracać z tego położenia przeciwnie do ruchu wskazówek zegara?

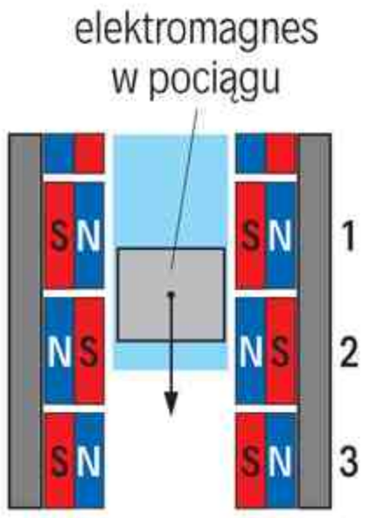




Zadanie 6. *Koło hulajnogi*

W kole hulajnogi elektrycznej do obręczy, na której jest zamocowana opona, są przytwierdzone magnesy neodymowe. Gdy opona toczy się po ziemi, wewnętrzny pierścień elektromagnesów nie obraca się, ale obraca się obręcz z magnesami. Czy korzystne byłoby takie ułożenie magnesów neodymowych, aby wszystkie były zwrócone do środka koła biegunami N? Odpowiedź uzasadnij.

Zadanie 7. *Silnik liniowy*



Na rysunku przedstawiono torowisko kolei magnetycznej oraz jeden z elektromagnesów pociągu. Torowisko składa się z nieruchomych magnesów trwałych.

a) Jak powinny być ustawione bieguny elektromagnesu, by siła, jaką działa na niego torowisko, była zwrócona tak, jak na rysunku?

b) Co powinno nastąpić, gdy elektromagnes będzie mijał sekcję 2. magnesów, by nadal poruszał się w dół rysunku?

Zadanie 8. *Samochód elektryczny*

Silnik samochodu elektrycznego pracuje z mocą 190 kW i wykonuje 6000 obrotów na minutę.

a) Jaką pracę wykona silnik w 10 s?

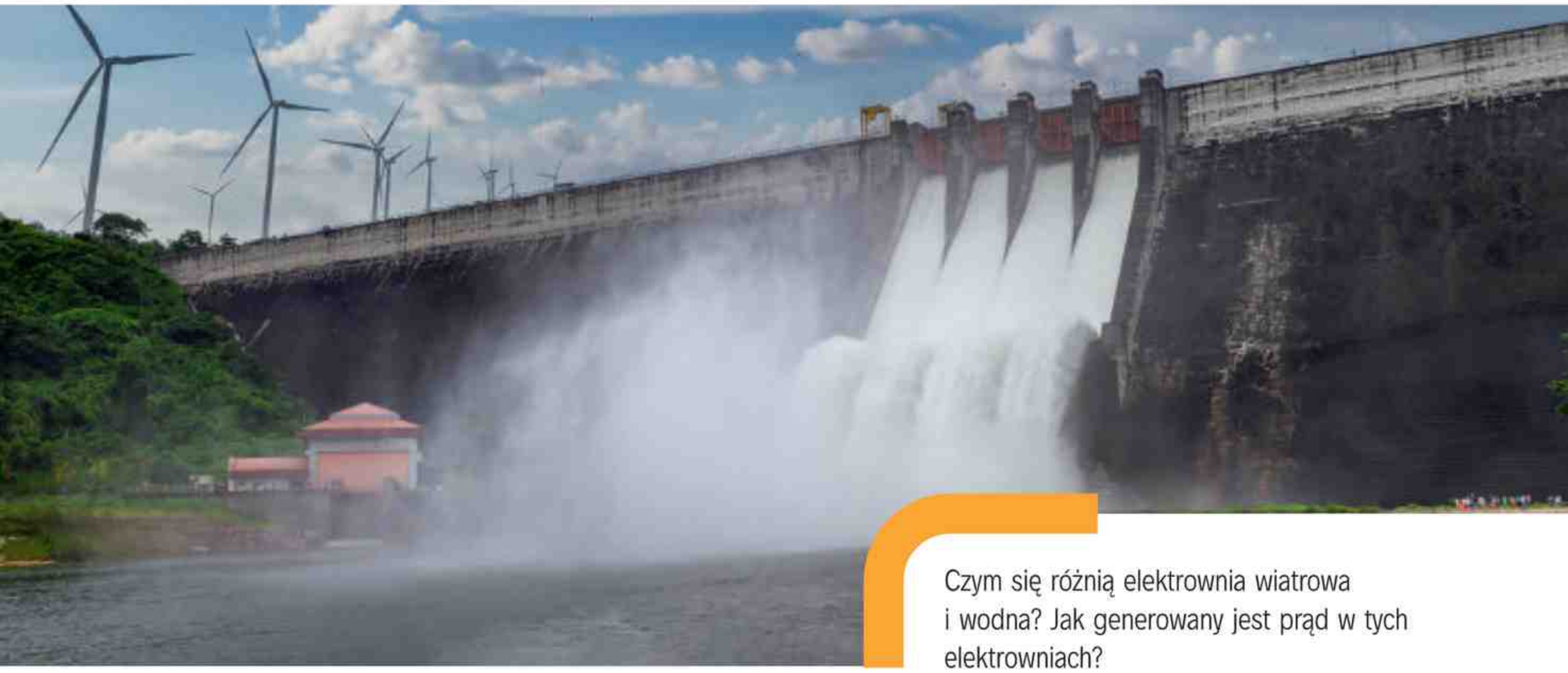
b) Ile obrotów silnik wykonuje w czasie 1 s?



Jak myślisz?

- Co to jest silnik krokowy?
- W którą stronę jest zwrócona siła, którą magnes działa na prosty przewód z prądem?
- Co się stanie, jeśli będziemy kręcić wirnikiem silnika niepodłączonego do prądu?
- Dlaczego szybciej obracające się silniki wydają wyższy dźwięk?

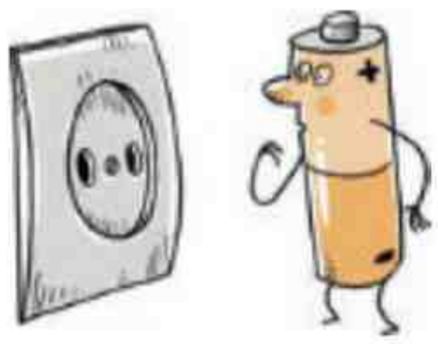
Lekcja dodatkowa. Indukcja elektromagnetyczna



Czym się różnią elektrownia wiatrowa i wodna? Jak generowany jest prąd w tych elektrowniach?

Cel lekcji

Dowiesz się, jak wytwarzać prąd za pomocą magnesu.



Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

Przenośne radia, latarki, zabawki zwykle pobierają energię z baterii. Urządzenia domowe najczęściej podłączamy do gniazdka sieciowego. Czy prąd z gniazdka różni się czymś od tego z baterii? I skąd bierze się ten prąd? Wiesz już, że wokół przewodu z prądem wytwarza się pole magnetyczne. Sprawdźmy, czy zachodzi zjawisko odwrotne, czy pole magnetyczne może wytworzyć prąd elektryczny.

Doświadczenie **Zwojnica w polu magnetycznym**

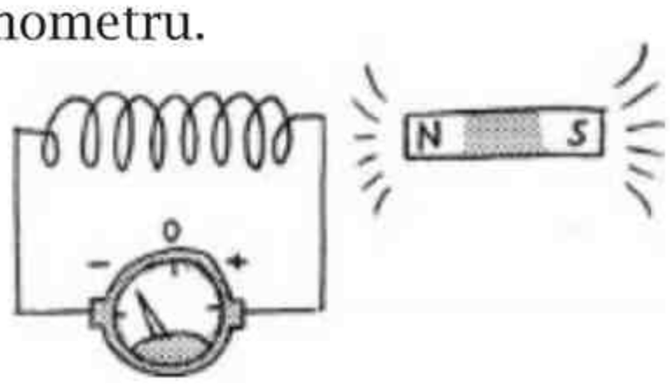
① Przygotuj: silny magnes, zwojnicę i galwanometr.

i Galwanometr to czuły amperomierz służący do mierzenia niewielkich natężeń prądu elektrycznego. Dodatkowo pokazuje on stronę, w którą płynie prąd.

② Za pomocą przewodów podłącz zwojnicę do galwanometru.

③ Połóż magnes w okolicy zwojnicy.
Czy wskazówka galwanometru się wychyla?

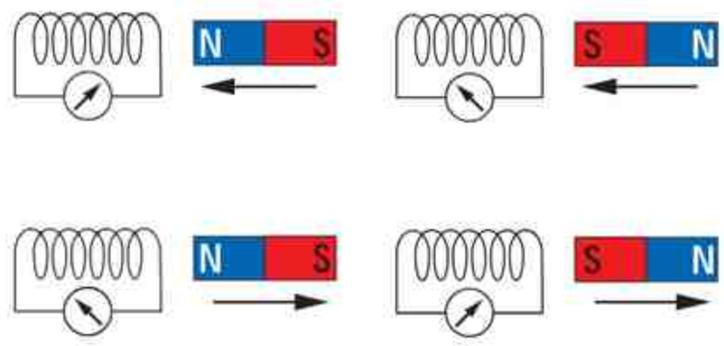
④ Wsuń magnes do wnętrza zwojnicy.
Co obserwujesz?



⑤ Wysuń magnes ze zwojnicy. Czy nastąpiła jakaś zmiana?

⑥ Odwróć bieguny magnesu i powtórz doświadczenie.

W doświadczeniu w zwojnicy wytwarzał się prąd elektryczny, gdy magnes był do niej zbliżany lub oddalany. Natężenie prądu stopniowo rosło, potem malało. Strona, w którą płynął prąd również ulegała zmianie — przy wsuwaniu magnesu do zwojnicy wskazówka galwanometru wychylała się w jedną stronę, przy wysuwaniu — w drugą. Podobne zmiany zachodziły po odwróceniu biegunów magnesu.



Zbliżanie i oddalanie magnesu wytwarza prąd elektryczny w zwojnicy.

Taki sam efekt uzyskamy, jeśli zamiast magnesem będziemy poruszać zwojnicą. Zjawisko takiego „powstawania" prądu nazywa się indukcją elektromagnetyczną.

> Zmieniające się pole magnetyczne powoduje wytworzenie w zwojnicy prądu elektrycznego. Zjawisko to nazywamy **indukcją elektromagnetyczną**.

Prądnica prądu przemiennego

W doświadczeniu dało się zauważyć, że gdy magnes i zwojnica są nieruchome, prąd nie powstaje. Jeśli ciągle poruszalibyśmy magnesem lub zwojnicą, cały czas indukowalibyśmy prąd.

Przyjrzyj się poniższym ilustracjom. Na Rys. 1 obok nieruchomej zwojnicy znajduje się magnes, który można wprawić w ruch. Na Rys. 2 między biegunami nieruchomych magnesów umieszczono obracającą się zwojnicę. Pokazane urządzenia to **prądnice**.

Warto **wiedzieć**

W silniku elektrycznym energia elektryczna zamieniona zostaje w mechaniczną, zaś **prądnica** przekształca energię mechaniczną w elektryczną.

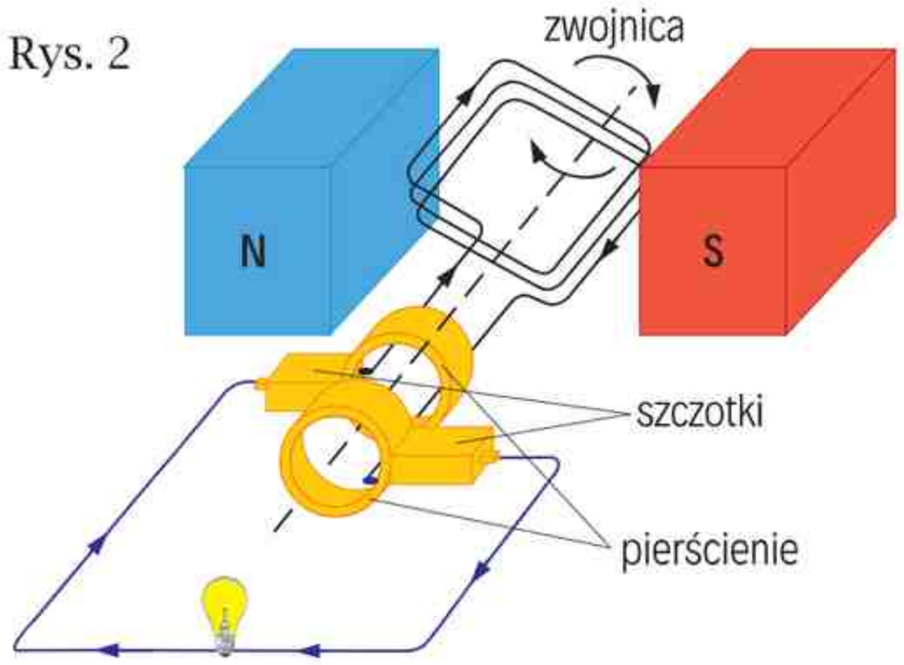


Dynamo służące do zasilania oświetlenia w rowerze to przykład prądnicy. Obracające się koło rowerowe wprawia w ruch magnes, co indukuje prąd, który zasila żarówkę.

Rys. 1

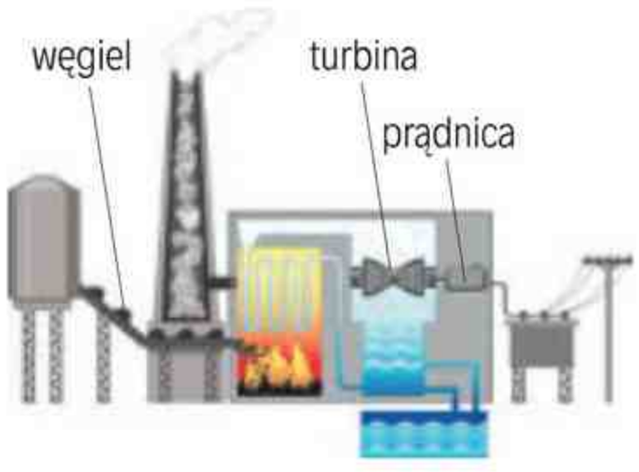


Rys. 2

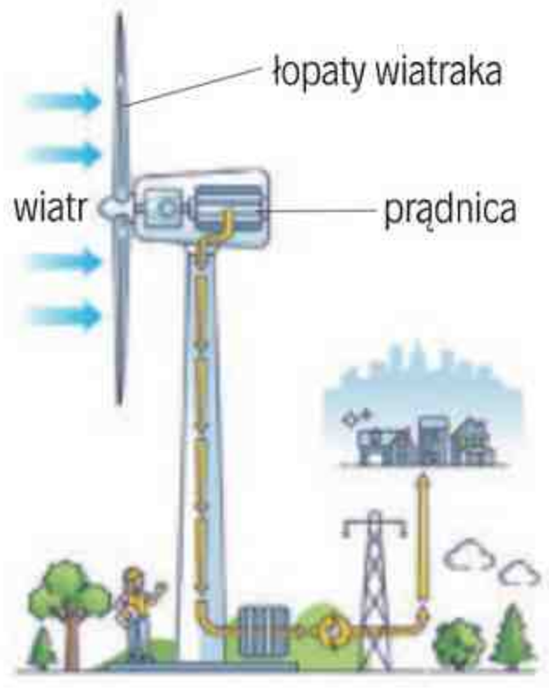


Oznaczone na rysunku szczotki i pierścienie mają za zadanie zapewnić stałe połączenie zwojnicy z żarówką, bez tego przewody szybko uległyby skręceniu. Jeden z końców zwojnicy przyczepiony jest na stałe do jednego pierścienia, drugi do drugiego. Pierścienie ślizgają się po szczotkach.

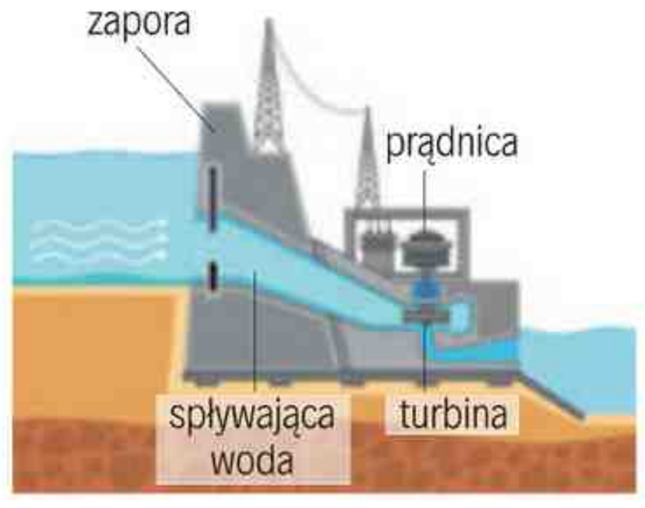
Do wprawiania w ruch magnesu (lub zwojnicy) potrzebna jest siła napędowa. Można do tego wykorzystać płynącą wodę, wiatr lub parę wodną.



Spalany węgiel ogrzewa wodę w rurach. Zamienia się ona w parę wodną, która napędza turbinę prądnicy (generatora).

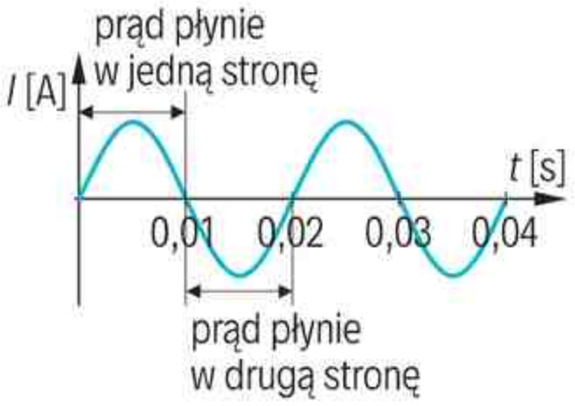


Wiejący wiatr popycha łopaty wiatraka, które wprawiają w ruch turbinę prądnicy.



W elektrowni wodnej woda, płynąc w dół, napędza turbinę generatora.

Prądnica prądu przemiennego wykorzystuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej, aby zamienić energię mechaniczną w energię elektryczną.



Zmiany natężenia prądu elektrycznego w domowej sieci elektrycznej.

Prąd wytwarzany przez prądnice różni się od tego, który płynie z baterii. W przypadku baterii natężenie prądu nie zmienia się, dlatego mówimy, że jest to **prąd stały**. Natężenie prądu indukowanego w prądnicy zmienia się w sposób pokazany na wykresie. Taki prąd nazywamy **przemiennym**. W Polsce zmiana strony, w którą płynie prąd sieciowy, następuje co 0,01 s.



Dowiedz się więcej **o przesyle energii**

Energia z elektrowni nie trafia bezpośrednio przez linie wysokiego napięcia do naszych domów. Po drodze jest wykorzystywanych szereg urządzeń zwanych transformatorami.

Transformatory używane są do zwiększenia napięcia w liniach najwyższych napięć (nawet do 400 kV) w celu zminimalizowania strat energii przy przesyle. A następnie — w kolejnych stacjach transformatorowych — do zmniejszenia napięcia u odbiorców energii elektrycznej (np. do 230 V).

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Co się zgadza?*

Wskaż stwierdzenie prawdziwe.

A. Prąd z baterii i z gniazdka sieciowego to prąd stały.

B. Powstawanie prądu w zwojnicy z wykorzystaniem zmieniającego się pola magnetycznego nazywamy zjawiskiem indukcji elektromagnetycznej.

C. W prądnicy energia elektryczna jest zamieniana w energię mechaniczną.

Zadanie 2. *Cewka i magnes*

Gdy magnes odsuwano od zwojnicy, wskazówka galwanometru wychyliła się w prawo. Określ, w którą stronę wychyli się wskazówka, gdy:

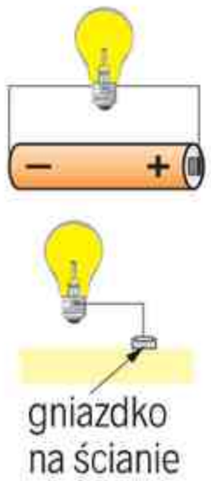
a) magnes będzie zbliżany do zwojnicy,

b) zmienimy bieguny magnesu i będziemy go odsuwać od zwojnicy,

c) zmienimy bieguny magnesu i będziemy go zbliżać do zwojnicy.

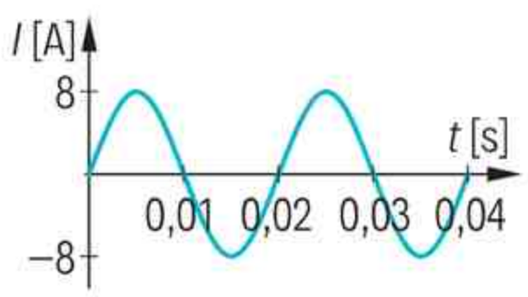
Zadanie 3. *Dwa prądy*

Czym się różni prąd płynący przez żarówki w obwodach pokazanych na rysunkach?



Zadanie 4. *Prąd przemienny*

Przez przewód urządzenia podłączony do gniazdka płynie prąd przemienny. Wykres przedstawia zmiany natężenia prądu w czasie.



a) Podaj maksymalną wartość natężenia.

b) Ile trwa jeden cykl zmian natężenia?

c) Ile cykli zmian natężenia prądu zachodzi w czasie 1 s?

Zadanie 5. *Elektrownie*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Elektrownie wiatrowe produkują prąd stały.

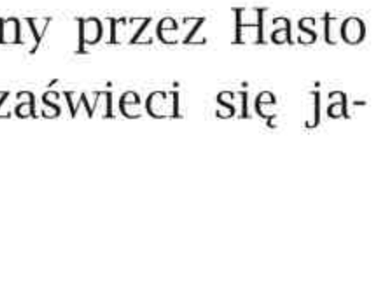
② W elektrowni węglowej uzyskana po ogrzaniu wody para wodna napędza turbiny.

③ W elektrowni wodnej energia potencjalna spływającej z góry wody zamieniana jest w prądnicy w energię elektryczną.

④ Wszystkie elektrownie wykorzystują zjawisko indukcji elektrostatycznej do produkcji prądu.

Zadanie 6. *Duże czy małe natężenie prądu*

Schemat przedstawia prądnicę napędzaną płynącą wodą.



— Czy żarówka zaświeci jaśniej, gdy zwiększymy strumień wody? — pyta Hasto.
— A może nawińmy więcej zwojów i podłączmy do żarówki — sugeruje Weritka.

Czy sposób zaproponowany przez Hasto spowoduje, że żarówka zaświeci się jaśniej? A sposób Weritki?



Jak myślisz?

- Czy energia elektryczna jest wytwarzana w elektrowni?
- Czy ogniwa fotowoltaiczne wykorzystują zjawisko indukcji elektromagnetycznej?
- Czy można prąd przemienny zamienić w stały?

CZĘŚĆ 1. *Zestawienie wiadomości*

1

Magnes ma dwa **bieguny**: północny – **N** i południowy – **S**. Jednakowe bieguny magnesów się odpychają, a różne – przyciągają.

2

Ferromagnetyki to substancje, które są silnie przyciągane przez magnesy, w obecności magnesu pojawiają się w nich bieguny magnetyczne. Właściwości ferromagnetyczne wykazują m.in. **stopy żelaza**.

4

Bieguny magnetyczne Ziemi znajdują się w pobliżu biegunów geograficznych. W okolicy geograficznego bieguna północnego znajduje się magnetyczny biegun południowy – w jego stronę zwraca się biegun N kompasu.



północny biegun geograficzny Ziemi

5

Przewodnik z prądem elektrycznym oddziałuje na magnes. Oddziaływanie to jest tym silniejsze, im większe natężenie ma prąd i im bliżej przewodu znajduje się magnes.

7

Elektromagnes to urządzenie, które zachowuje się jak magnes, gdy przepływa przez nie prąd. Elektromagnes zbudowany jest ze **zwojnicy**, w której znajduje się **rdzeń** wykonany z łatwo magnesującego się metalu (ferromagnetyka), oraz **źródła zasilania**.

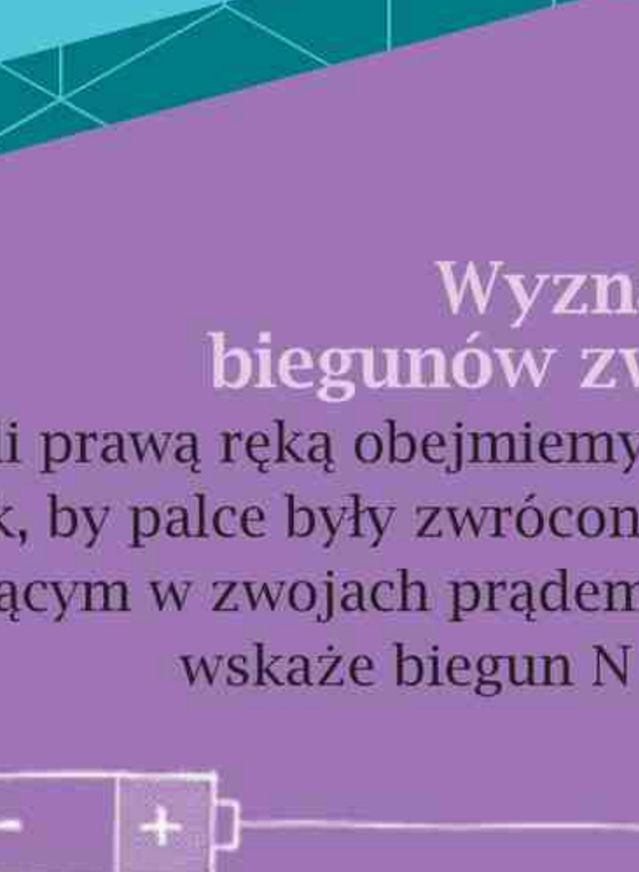
Igła magnetyczna, czyli magnes zamocowany tak, by mógł się obracać, jest głównym elementem kompasu. Magnes umieszczony w pobliżu igły magnetycznej powoduje zmianę jej ustawienia.

3

6

Zachowanie igły magnetycznej w pobliżu przewodnika

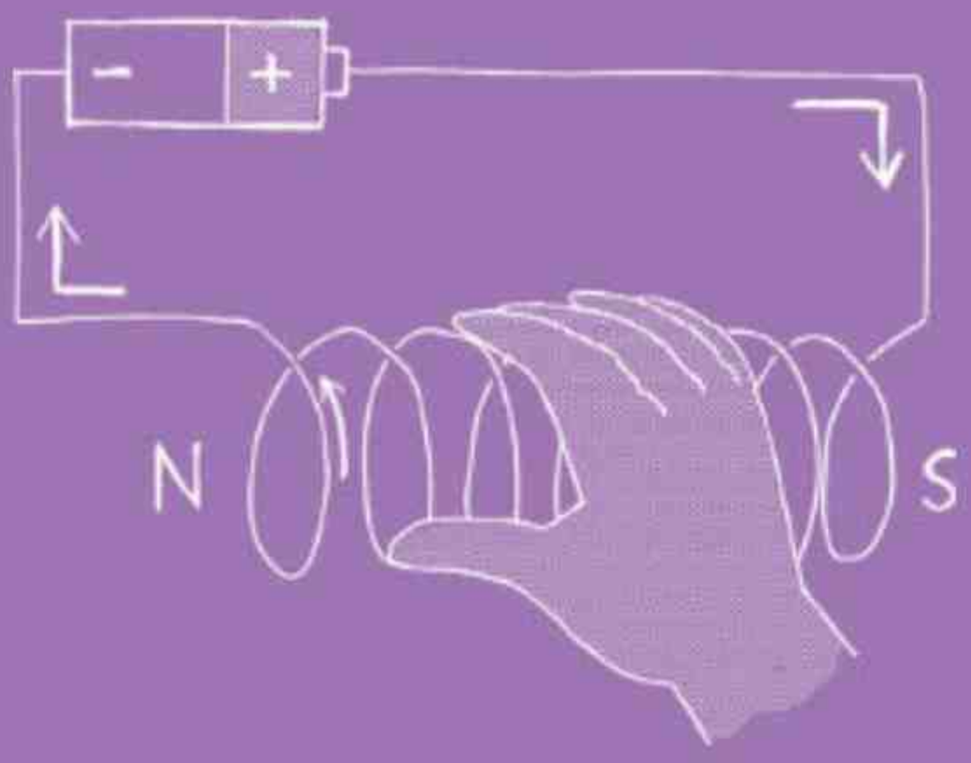
Gdy prawą ręką obejmiemy przewód tak, by kciuk był zwrócony w tę samą stronę, w którą płynie prąd, pozostałe zgięte palce wskażą zwrot bieguna N igły magnetycznej.



8

Wyznaczanie biegunów zwojnicy

Jeżeli prawą ręką obejmiemy zwojnicę tak, by palce były zwrócone zgodnie z płynącym w zwojach prądem, to kciuk wskaże biegun N zwojnicy.



9

Silnik elektryczny

to urządzenie, które zamienia energię elektryczną w energię mechaniczną dzięki **oddziaływaniu magnetycznemu**.

CZĘŚĆ 2. *Sprawdź, czy wiesz*

1. Podaj nazwy biegunów magnesów i omów oddziaływania zachodzące między nimi.

2. Co to jest igła magnetyczna? Opisz zachowanie igły w pobliżu magnesu trwałego.

3. Omów zasadę działania kompasu. Określ położenie biegunów magnetycznych Ziemi.

4. Wyjaśnij, dlaczego żelazo oraz jego stopy są przyciągane przez magnesy.

5. Omów zachowanie się igły magnetycznej w pobliżu prostego przewodu z prądem.

6. Wyjaśnij, co to jest elektromagnes. Omów jego budowę.

7. Wyjaśnij, w jaki sposób można wyznaczyć położenie biegunów elektromagnesu.

8. Podaj przykłady zastosowań magnesów i elektromagnesów.

9. Co to jest silnik elektryczny? Jakie przemiany energii w nim zachodzą?

10. Przedstaw zasadę działania silnika elektrycznego na przykładzie igły magnetycznej umieszczonej obok elektromagnesu.

CZĘŚĆ 3A. *Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka*

Zadanie 1. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Każdy magnes ma dwa bieguny.
② Magnes przyciąga stalową szpilkę tylko wtedy, gdy jej dotyka.
③ Jeśli podzielimy magnes na bardzo małe kawałki, to otrzymamy oddzielne bieguny magnetyczne.
④ Magnes przyciąga przedmioty wykonane z dowolnego metalu.
⑤ Niektóre przedmioty można trwale namagnesować.
⑥ Północny biegun igły magnetycznej zwraca się w kierunku południowego bieguna magnetycznego Ziemi.

Zadanie 2. Wskaż, w której sytuacji wystąpi oddziaływanie magnetyczne.

A. Do naelektryzowanego balonika zbliżono magnes.
B. Obok magnesu umieszczono złoty pierścionek.
C. Kawałek miedzianego przewodu położono obok elektromagnesu.
D. Opiłki żelaza rozsypano wokół przewodnika z prądem.

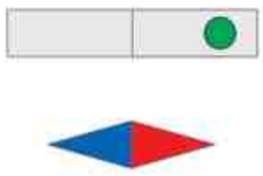
Zadanie 3. Rysunek przedstawia dwa magnesy umieszczone blisko siebie. Wskaż stwierdzenie prawdziwe.

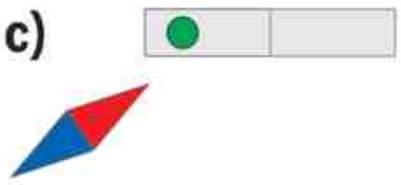


A. Magnesy przyciągają się, działając na siebie siłami o takiej samej wartości.
B. Magnesy przyciągają się, przy czym większy magnes działa na mniejszy siłą o większej wartości niż mniejszy magnes na większy.
C. Magnesy odpychają się, działając na siebie siłami o takiej samej wartości.
D. Magnesy odpychają się, przy czym większy magnes działa na mniejszy siłą o większej wartości niż mniejszy magnes na większy.

Zadanie 4. Na rysunku przedstawiono ustawienie igły magnetycznej umieszczonej w pobliżu magnesu. Biegun północny igły magnetycznej pomalowano na kolor niebieski. Określ, jaki biegun oznaczono kropką.

a) 

b) 

c) 

Zadanie 5. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

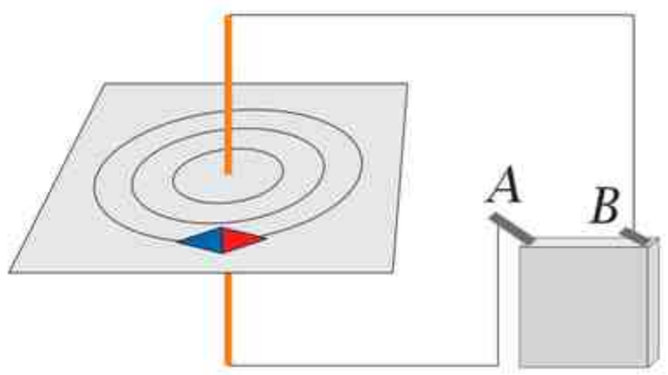
Po umieszczeniu miedzianego przewodnika z prądem nad igłą magnetyczną, równolegle do niej, igła…

A.	*nie zmieni swojego położenia,*	*ponieważ*	**1.**	*miedź nie oddziałuje z magnesami.*
B.	*ustawi się prostopadle do przewodnika,*		**2.**	*prąd elektryczny oddziałuje na magnesy.*

Zadanie 6. Wskaż zestaw doświadczalny, który pozwala na zbadanie właściwości magnetycznych przewodników z prądem.

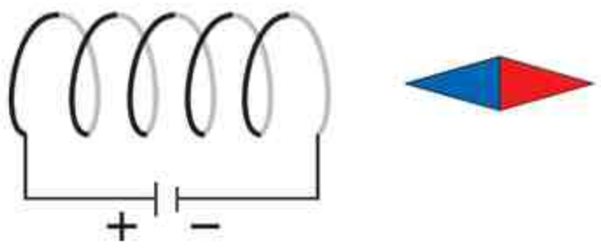
A. miedziany przewód, opiłki żelaza, kompas
B. miedziany przewód, bateria, elektroskop
C. miedziany przewód, bateria, amperomierz
D. miedziany przewód, bateria, kompas

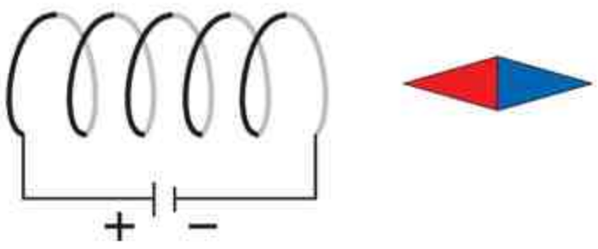
Zadanie 7. Igła magnetyczna umieszczona obok miedzianego przewodnika z prądem ustawiła się tak, jak pokazano na rysunku. Biegun północny igły magnetycznej oznaczono kolorem niebieskim. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

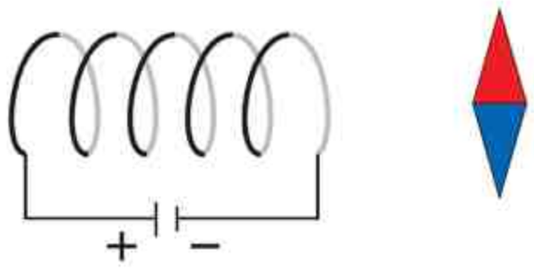


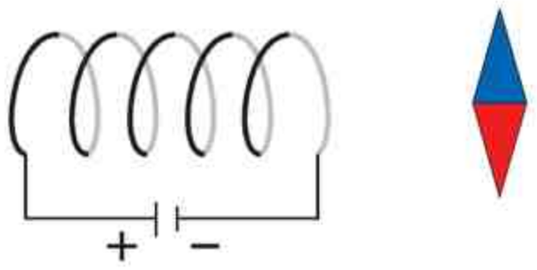
W pionowym przewodzie zaznaczonym na rysunku na pomarańczowo prąd płynie w ***górę/dół****. Dodatni biegun baterii znajduje się w punkcie* ***A/B****.*

Zadanie 8. W pobliżu zwojnicy z prądem umieszczono igłę magnetyczną. Wskaż rysunek, na którym poprawnie przedstawiono ustawienie igły magnetycznej. Biegun północny igły magnetycznej zaznaczono kolorem niebieskim.

A. 

B. 

C. 

D. 

Zadanie 9. Wybierz z ramki zestaw niezbędnych przedmiotów, z których można zbudować możliwie najsilniejszy elektromagnes.

• magnes sztabkowy • aluminiowy przewód • pręt miedziany • stalowy gwóźdź • bateria • igła magnetyczna • szklana pałeczka • plastikowa rurka

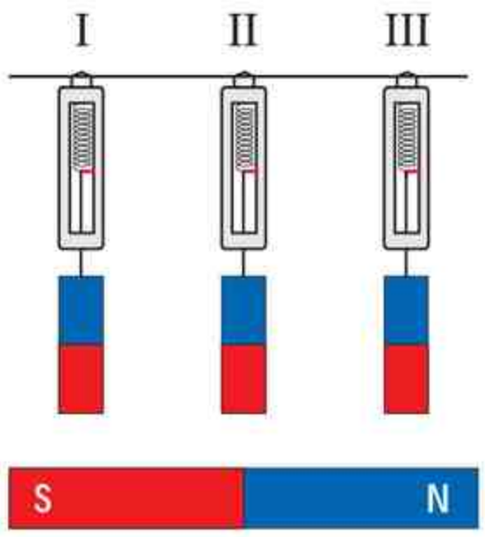
Zadanie 10. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Silnik elektryczny to urządzenie, którego zadaniem jest zamiana energii ***elektrycznej/wewnętrznej*** *w energię* ***wewnętrzną/mechaniczną*** *dzięki oddziaływaniu* ***grawitacyjnemu/magnetycznemu.***



CZĘŚĆ 3B. *Sprawdź, czy potrafisz. Trening*

Zadanie 1. Trzy jednakowe magnesy zawieszono na siłomierzach, a następnie umieszczono pod nimi długi, poziomy magnes. Wskaż zdanie poprawnie opisujące wskazania siłomierzy. Przyjmij, że bieguny N magnesów oznaczono kolorem niebieskim.



i Uwaga! Na rysunkach pokazano wskazania siłomierzy przed umieszczeniem pod nimi magnesu.

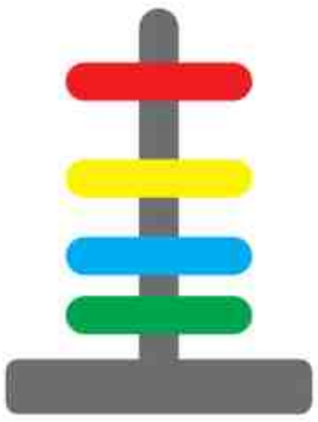
A. Wskazania wszystkich siłomierzy wzrosną.

B. Wskazania wszystkich siłomierzy zmaleją.

C. Największą wartość wskaże siłomierz I, a najmniejszą siłomierz III.

D. Najmniejszą wartość wskaże siłomierz I, a największą siłomierz III.

Zadanie 2. Cztery różniące się jedynie kolorem magnesy w kształcie pierścieni nałożono na pręt wykonany z tworzywa. Magnesy lewitowały nieruchomo tak, jak pokazano na ilustracji. Wskaż zdania poprawnie opisujące przedstawione zjawisko. Pomiń tarcie magnesów o pręt.



① Zielony magnes unosi się nad podstawką, ponieważ jest przyciągany przez niebieski magnes.

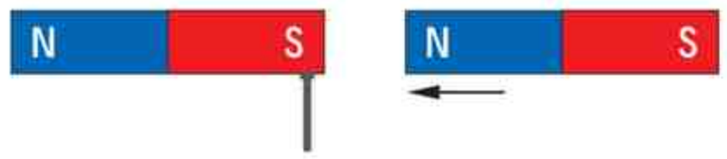
② Żółty magnes silniej oddziałuje z niebieskim magnesem niż z czerwonym.

③ Oddziaływanie niebieskiego magnesu na żółty jest silniejsze niż oddziaływanie żółtego magnesu na niebieski.

④ Wypadkowa siła działająca na każdy z widocznych czterech magnesów jest równa zeru.

⑤ W podstawce znajduje się magnes.

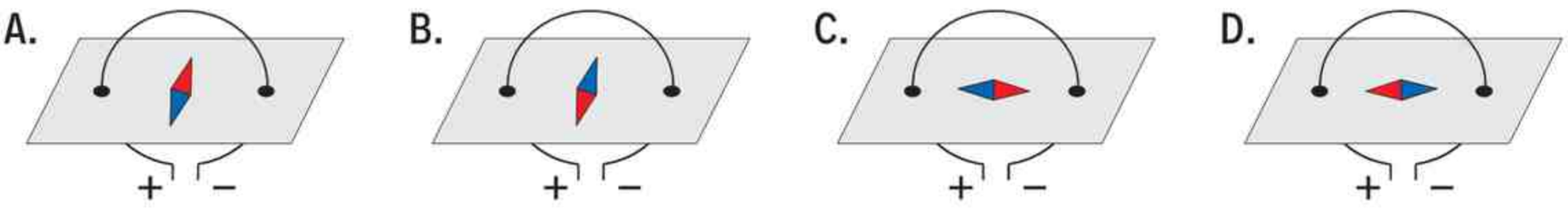
Zadanie 3. Do magnesu sztabkowego, przy jego biegunie S, zbliżono gwóźdź, który przywarł do magnesu i zwisał tak jak na rysunku. Następnie powoli dołączono do bieguna S pierwszego magnesu drugi magnes zwrócony biegunem N. Wtedy gwóźdź odpadł od bieguna S pierwszego magnesu.



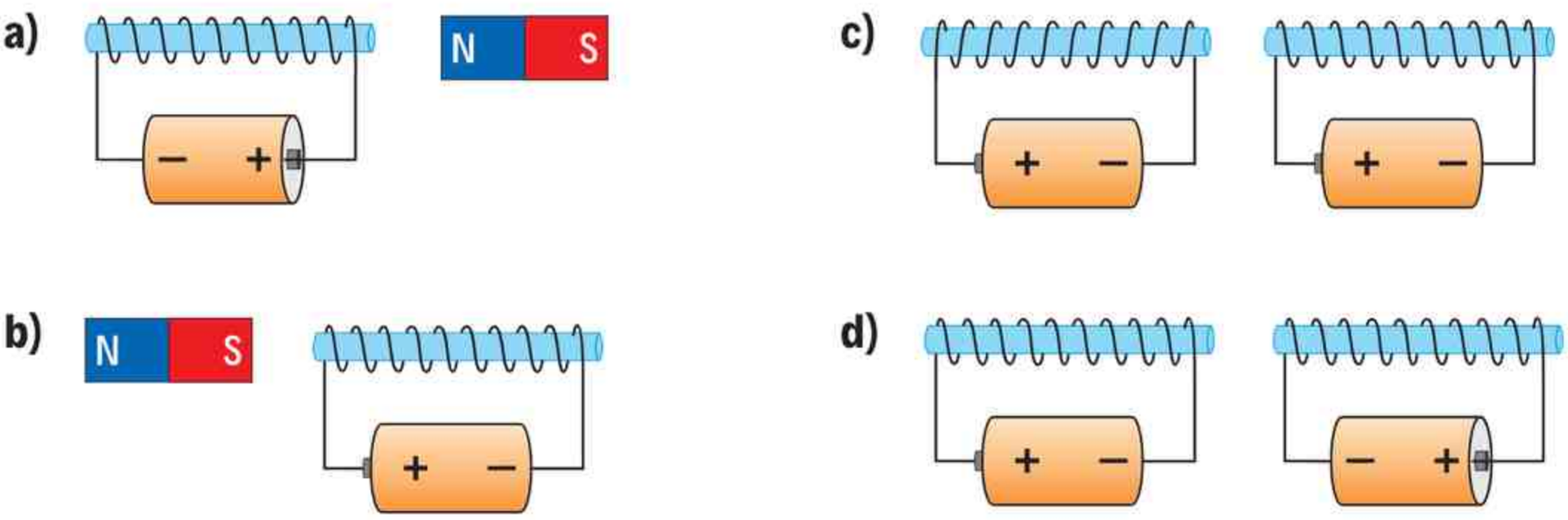
a) Wyjaśnij, dlaczego gwóźdź odpadł od magnesu.

b) Czy gwóźdź odpadłby, gdyby do bieguna S pierwszego magnesu zbliżono drugi magnes zwrócony biegunem S?

Zadanie 4. Pętlę wykonaną z przewodnika połączono z biegunami baterii. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono ustawienie igły magnetycznej umieszczonej w środku pętli? Biegun N igły oznaczono kolorem niebieskim.



Zadanie 5. Określ, czy w przedstawionej na rysunku sytuacji zachodzi przyciąganie, czy odpychanie.



Zadanie 6. Obok elektromagnesu umieszczono igłę magnetyczną tak, jak pokazano na rysunku. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Jeżeli do elektromagnesu podłączymy baterię w taki sposób, że jej biegun dodatni przyłożymy do punktu A, to igła magnetyczna zacznie się obracać ***zgodnie z ruchem/przeciwnie do ruchu*** *wskazówek zegara.*

Po obrocie o kąt o mierze nieco większej niż 90° igła będzie kontynuowała swój ruch, jeśli strona, w którą płynie prąd w elektromagnesie, ***zmieni się na przeciwną/nie ulegnie zmianie****.*

Zadanie 7. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Gdy zwiększymy natężenie prądu w zwojnicy, siła oddziaływania zwojnicy na magnes wzrośnie.

② Jeśli zmniejszymy odległość magnesu od zwojnicy, to siła, jaką zwojnica działa na magnes, zmaleje.

③ Umieszczenie stalowego rdzenia we wnętrzu zwojnicy zwiększa jej siłę oddziaływania magnetycznego.

Zadanie 8. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

Nieruchomy magnes umieszczony w pobliżu miedzianego przewodnika z prądem…

A.	*nie może wprawić tego przewodnika w ruch,*	*ponieważ*	**1.**	*magnesy nie oddziałują na miedź.*
B.	*może wprawić ten przewodnik w ruch,*		**2.**	*magnesy oddziałują na przewodniki z prądem.*



Trzeci Festiwal Fizyki

Czas na eksperymentalne podsumowanie zjawisk cieplnych, elektryczności i magnetyzmu. Proponujemy, abyście dwie lekcje poświęcili na planowanie i przygotowania, a kolejne dwie lekcje na prezentację doświadczeń. Warto uwiecznić wasze wystąpienia na zdjęciach i filmach, a potem pokazać je bliskim.

Doświadczenia:

1. Chłodnik etylowy
2. Żarłoczne gasidło
3. Malowanie ciepłem
4. Niezdobyta twierdza
5. Odwrócone bukiety
6. Niszczycielski strumień
7. Soczysta elektryczność
8. Wirowanie na baterii

1 Chłodnik etylowy

DOŚWIADCZENIE



termometr



szklanka z wodą



alkohol etylowy



chusteczki higieniczne

- Woda i alkohol powinny mieć temperaturę pokojową. Zmierzcie temperaturę powietrza.
- Zanurzcie i przytrzymajcie końcówkę termometru w wodzie.
- Wyjmijcie termometr z wody, obserwujcie jego wskazanie.
- Pomachajcie końcówką termometru w powietrzu i obserwujcie wskazania termometru.
- Wykonajcie analogiczne pomiary z alkoholem zamiast wody.
- Osoba z widowni niech odchyli do tyłu dłonie i nie ogląda się. Na jedną jej dłoń połóżcie chusteczkę zwilżoną wodą, a na drugą – alkoholem. Zadaniem tej osoby jest zgadnąć, na której dłoni ma chusteczkę z alkoholem.



Jaka jest temperatura początkowa powietrza, wody i alkoholu? Co się dzieje ze wskazaniem termometru po wyjęciu go z cieczy? Dlaczego? Czy ten efekt jest wykorzystywany w przyrodzie? Dlaczego machanie mokrym termometrem wpływa na wskazanie termometru? Czy można za pomocą samego zmysłu dotyku stwierdzić, która z chusteczek jest nasączona wodą, a która alkoholem?

2 Żarłoczne gasidło

DOŚWIADCZENIE



2 głębokie talerze



suszarka do włosów



2 szklanki



świeczka



zapałki lub zapalniczka



- Do obu talerzy wlejcie wody do wysokości 1 cm.
- Ogrzejcie suszarką wnętrze szklanki i wstawcie ją dnem do góry do wody w pierwszym talerzu. Obserwujcie poziom wody w szklance.
- Na dnie drugiego talerza postawcie świeczkę i ją zapalcie. Przykryjcie świeczkę szklanką. Obserwujcie płomień, ścianki szklanki i poziom wody w szklance.

Jaka jest przyczyna podnoszenia się poziomu wody w szklance? Dlaczego świeczka gaśnie? Co pojawia się na ściankach szklanki, w której zgasła świeczka?

3 Malowanie ciepłem

DOŚWIADCZENIE



szklane naczynie



3 słoiki



świeczki



nadmanganian potasu



farbki



- Naczynie postawcie na słoikach i nalejcie do niego wody, prawie do pełna.
- Gdy woda się uspokoi, wrzućcie do naczynia w różnych miejscach kilka tabletek nadmanganianu potasu i przełamanych pastylek farbek.
- Zapalcie pierwszą świeczkę i podgrzewajcie dno naczynia pod kawałkiem jednego z barwników.
- Zapalcie kolejne świeczki i obserwujcie powstające przestrzenne obrazy.

Dlaczego po wrzuceniu barwników woda się porusza? Jak podgrzewanie wpływa na ruch wody? Czy jest widoczne krążenie wody? Gdzie takie zjawisko występuje w przyrodzie?

4 Niezdobyta twierdza

DOŚWIADCZENIE



czajnik elektryczny



kuchenka elektryczna



garnek



metalowy kubek



drewniane patyczki do szaszłyków



taśma klejąca

Uwaga. Przy wykonywaniu tego doświadczenia należy zachować szczególną ostrożność.



- Do dna metalowego kubka przyklejcie taśmą, równolegle do siebie i w równych odstępach, cztery drewniane patyczki tak, by kubek stał na nich stabilnie.
- Garnek umieśćcie na kuchence. Kubek wstawcie do garnka.
- Zagotujcie wodę w czajniku i nalejcie jej najpierw do kubka (do pełna), a następnie do garnka (do połowy wysokości kubka). Włączcie kuchenkę.
- Obserwujcie zachowanie wody w garnku i w kubku.

Czym się różni zachowanie wody w naczyniach? Kiedy następuje przepływ ciepła między ciałami? Czy dosypanie soli do wody w garnku coś zmieni? Uwaga: Należy zachować ostrożność podczas dosypywania soli – woda może przez chwilę gwałtowniej wrzeć! Co by się zmieniło, gdyby kubek stał bezpośrednio na dnie garnka?

5 Odwrócone bukiety

DOŚWIADCZENIE



balony



plastikowe słomki do napojów



wełniany szalik



igła i nitka



2 plastikowe wieszaki



szklana laska



papier





- Nadmuchajcie balony, zawiążcie ich końce, przymocujcie do każdego nitkę o długości około 1 m. Na końcach nitek zróbcie pętelki. Balony zawieście na haku odwróconego wieszaka.
- Naelektryzujcie każdy balon, pocierając go wełnianym szalikiem. Obserwujcie zachowanie balonów.
- Za pomocą igły przewleczcie nić przez koniec każdej słomki, umocujcie ją węzełkiem. Nici powinny mieć długość około 15 cm. Na drugim końcu każdej nitki zawiążcie pętelkę.
- Słomki naelektryzujcie, pocierając je szalikiem, i zawieście na haku odwróconego drugiego wieszaka. Obserwujcie zachowanie słomek.
- Naelektryzujcie szklaną laskę, pocierając ją papierem. Zbliżajcie z dołu i z boku laskę do balonów i słomek, obserwujcie ich zachowanie.

Jak elektryzują się balony i słomki? Jak wyjaśnić ich zachowanie? Jakie siły na nie działają? Po jakim czasie balony przestają być naelektryzowane? Jak została naelektryzowana szklana laska?

6 Niszczycielski strumień

DOŚWIADCZENIE



2 baterie 4,5V



folia aluminiowa



nożyczki



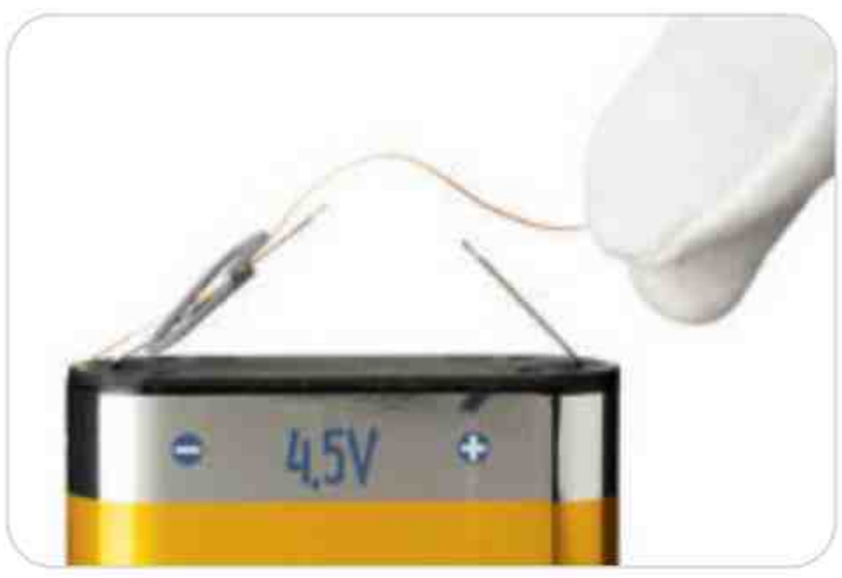
przewód



spinacz

Uwaga. Przy wykonywaniu tego doświadczenia należy zachować szczególną ostrożność. Eksperyment warto przeprowadzać w zimowych rękawiczkach bawełnianych, bo niektóre elementy mogą się rozgrzewać.





- Potnijcie folię aluminiową na wąskie paski (o szerokości do 0,25 cm). Wybierzcie najwęższy i przyłóżcie do biegunów jednej z baterii tak, by przez pasek popłynął prąd. Cały pokaz powinien odbywać się w zaciemnionym miejscu. Przyłóżcie pojedynczo kilka kolejnych pasków i je obserwujcie. Zmieniajcie baterie – każda powinna chwilę „odpocząć".
- Z przewodu składającego się z cienkich drucików ściągnijcie izolację i odłączcie jeden drucik o długości około 10 cm. Jeden koniec drucika przymocujcie do bieguna baterii spinaczem. Drugi biegun baterii odegnijcie w górę.
- Trzymając drugi koniec drucika, dotknijcie nim drugiego bieguna baterii w taki sposób, by prąd nie płynął przez miejsce, za które trzymacie drucik. Najpierw prąd powinien płynąć przez długi fragment drucika. Następnie przesuwajcie drucik tak, by stykał się on cały czas z drugim biegunem baterii, a długość drucika między biegunami zmniejszała się. Obserwujcie cały czas drucik.

Czy każdy pasek aluminium zachowuje się tak samo po podłączeniu do baterii?
Co czuć pod palcami, gdy do biegunów baterii przyciskasz pasek aluminium?
Dlaczego paski aluminium muszą być wąskie, by coś ciekawego się działo?
Dlaczego długi drucik zachowuje się inaczej niż krótki?

7 Soczysta elektryczność

DOŚWIADCZENIE



5 ogórków



gwoździe miedziane



gwoździe ocynkowane



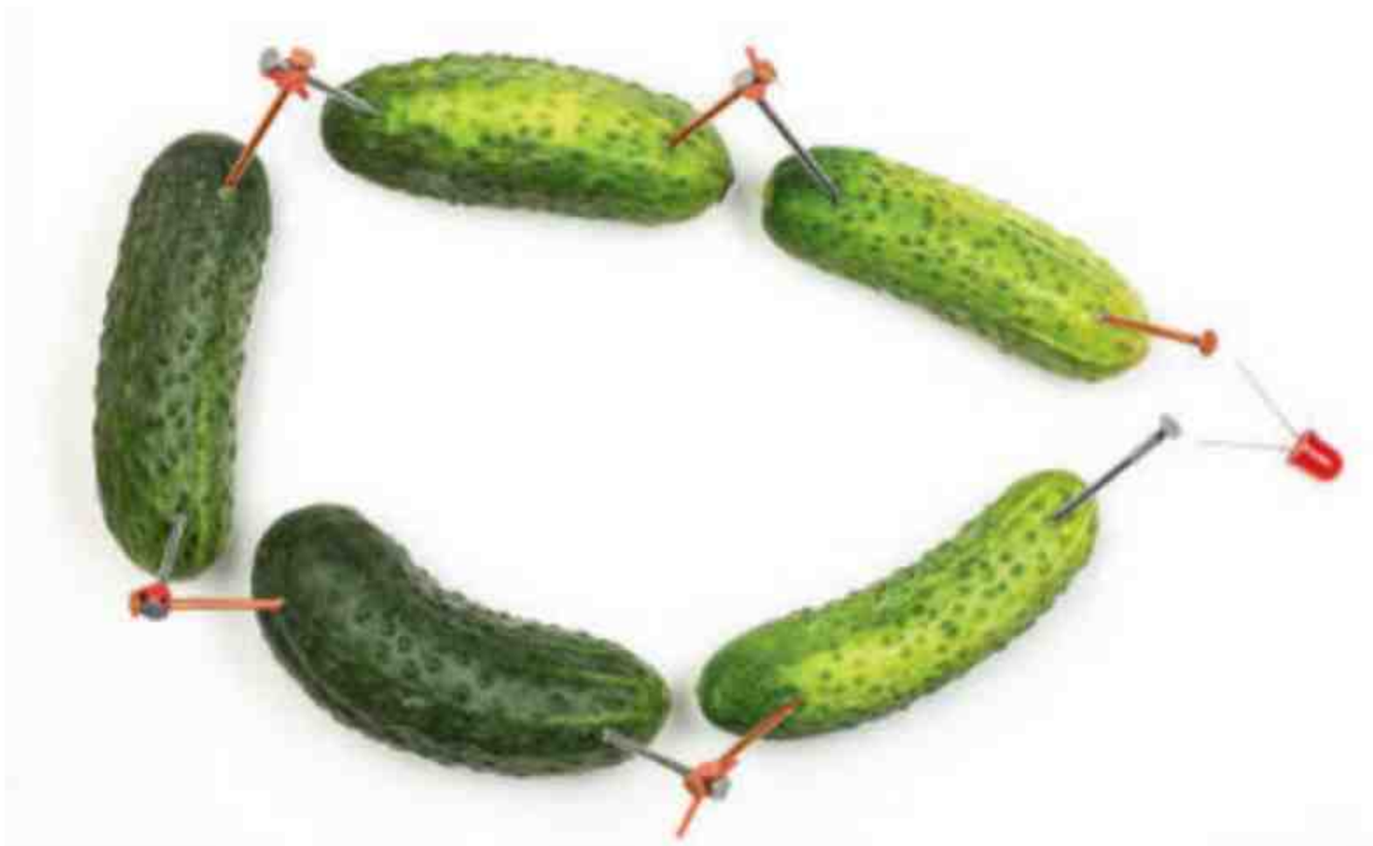
gumki recepturki



dioda świecąca (LED 2V)

Uwaga. Zamiast ogórków możecie użyć cytryn lub jabłek. Zamiast gwoździ możecie użyć przewodów, drutów, blaszek – ważne, byście mieli kawałki różnych metali, każdego rodzaju 5 sztuk.

- W każdy ogórek z jednej strony wbijcie do połowy gwóźdź miedziany, a z drugiej strony – gwóźdź ocynkowany.
- Połączcie gumką gwóźdź miedziany z pierwszego ogórka z gwoździem ocynkowanym z drugiego ogórka – gwoździe muszą się stykać. Następnie gwóźdź miedziany z drugiego ogórka połączcie gumką z gwoździem ocynkowanym z trzeciego ogórka, itd.
- Do niepołączonej pary gwoździ przyczepcie diodę świecącą: jedną nóżką do gwoździa ocynkowanego z pierwszego ogórka, a drugą nóżką do gwoździa miedzianego z piątego ogórka.
- Po chwili podłączcie diodę odwrotnie.



Ile co najmniej ogórków musi być połączonych, by dioda się zaświeciła?
Czy to źródło energii elektrycznej może zaświecić małą żarówkę? Gdzie jest biegun (+), a gdzie (–)? Jak długo świeci się podłączona dioda?

8 Wirowanie na baterii

DOŚWIADCZENIE



bateria AA lub D (LR20)



2 magnesy neodymowe



drut miedziany

Uwaga. Zamiast drutu miedzianego można użyć innego, na przykład aluminiowego. Ważne jest, by nie był on przyciągany przez magnes.





- Ostrożnie połączcie ze sobą dwa magnesy w jeden walec (uwaga na palce!). Magnesy przyłóżcie do bieguna (+) baterii. Postawcie baterię pionowo na stole, na magnesach, czyli biegunem (+) do dołu.
- Uformujcie z drutu ramkę taką, jak na pierwszej fotografii. Z miejsca styku drucika z baterią i z magnesem zdrapcie nożykiem ewentualną izolację.
- Załóżcie ramkę na baterię. Dolną część drutu wygnijcie tak, by „ramiona" lekko dociskały się nawzajem do magnesu.
- Obserwujcie zachowanie drutu.

Dlaczego drut nie powinien być przyciągany przez magnes? Czy jeden magnes wystarczy, by silnik działał? Co się zmieni, gdy odwrócimy magnesy (zamienimy miejscami ich bieguny)? Co się zmieni, gdy odwrócimy baterię tak, by jej biegun (–) był przy magnesie?

4 Drgania i fale



Dlaczego na drgających płytkach powstają takie wzory?

Ziarenka piasku początkowo były równomiernie rozsypane na całych płytkach. Gdy płytka drga, drobinki są podbijane w górę. Przemieszczają się na boki, gromadząc się w miejscach, które nie drgają. Powstające wzory, zwane figurami Chladniego, zależą od tego, jak płytka jest wprawiana w drgania, jak jest podparta, jaki ma kształt i z jakiego materiału ją wykonano.

19 Drgania



W jakiej formie jest magazynowana energia w zegarku mechanicznym? Co w nim odmierza czas?

Cel lekcji
Nauczysz się wyznaczać amplitudę, okres i częstotliwość drgań.

Ruch drgający

Wychylona i puszczona huśtawka waha się, czyli porusza się tam i z powrotem. Podobnie zachowuje się wahadło zegara. Jeśli dociśniesz jeden koniec linijki do blatu, a drugi wysuniesz poza blat i trącisz palcem, to wprawisz ten koniec linijki w drgania. Drgać będzie też ciężarek zawieszony na sprężynie, gdy go pociągniesz w dół i puścisz, albo szarpnięta struna gitary. We wszystkich tych zjawiskach występuje ruch drgający.



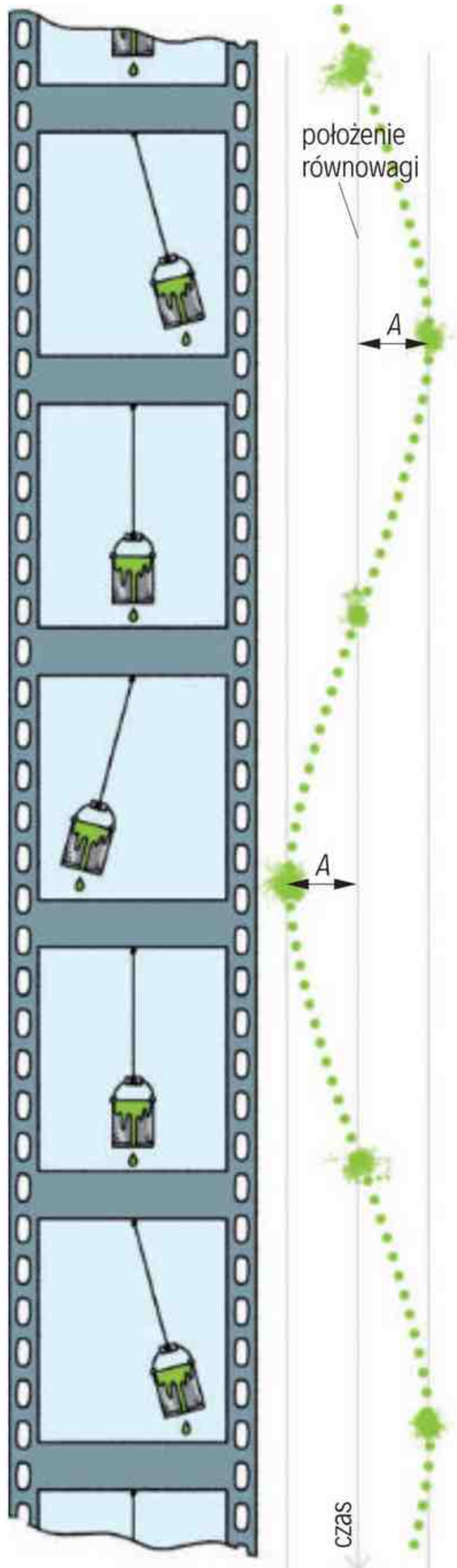


Przykłady ruchu drgającego.

Ruch drgający to ruch, w którym ciało przemieszcza się po tym samym torze tam i z powrotem.

Przypatrzmy się ruchowi drgającemu na przykładzie wahadła zbudowanego z ciężarka zawieszonego na sznurku. Po wprawieniu takiego wahadła w ruch, po pewnym czasie jego wahania zanikną — będzie ono zwisać pionowo. Ciężarek znajdzie się wówczas w **położeniu równowagi**. Ciało zatrzymane w tym położeniu po wypuszczeniu z dłoni pozostaje nieruchome. Działająca na nie siła wypadkowa ma wartość 0 N.

Gdy wychylisz i puścisz ciężarek, będzie on drgać — poruszać się tam i z powrotem, przechodząc przez położenie równowagi. Z powodu oporów ruchu w końcu zatrzyma się w położeniu równowagi. Im bardziej odchylisz wahadło, tym mocniej będzie się ono wychylać na boki. Maksymalne odchylenie drgającego ciała opisuje **amplituda**.

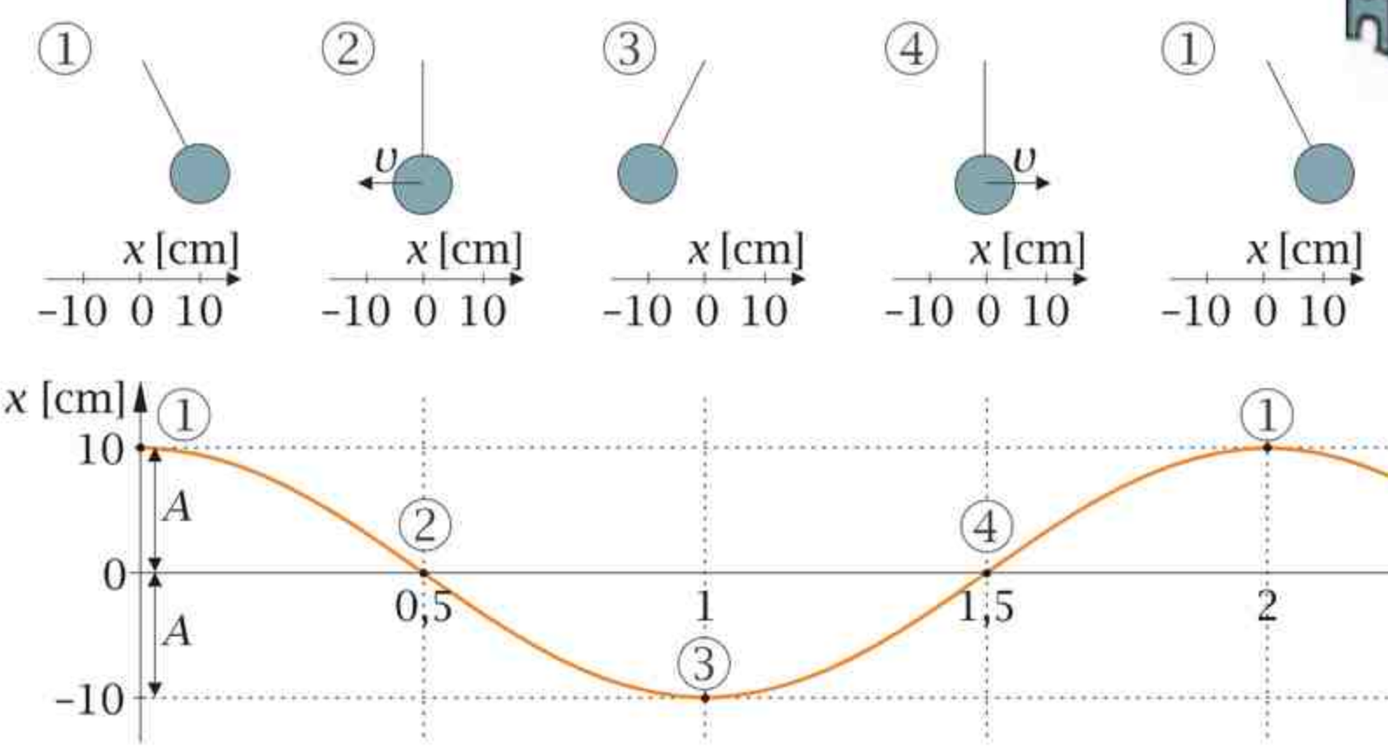


Amplituda (*A*) to maksymalne wychylenie z położenia równowagi.

Gdy odchylisz ciężarek tak, by jego środek znajdował się w odległości 10 cm od pionu, a opory ruchu będą niewielkie, to przez pewien czas puszczony ciężarek będzie się odchylać maksymalnie o 10 cm, raz w lewo, raz w prawo. Amplituda tego ruchu to $A = 10$ cm.

Wykres ruchu drgającego

Gdybyśmy nagrali ruch takiego wahadła, moglibyśmy zatrzymywać film i notować, w którą stronę i o ile odchylało się wahadło w danej chwili. Takie dane pozwalają przedstawić ruch wahadła na wykresie (zob. rysunek poniżej). Na poziomej osi układu współrzędnych oznaczmy czas t, a na pionowej odchylenie x wahadła. Przyjmujemy, że na osi x wartość 0 cm oznacza położenie równowagi. Odchylenie w prawo to wartości dodatnie, a odchylenie w lewo — wartości ujemne. Zaznaczając punkty odpowiadające położeniu wahadła w kolejnych chwilach czasu, otrzymamy wykres — falistą linię. Z takiego wykresu zależności położenia od czasu można łatwo odczytać amplitudę.

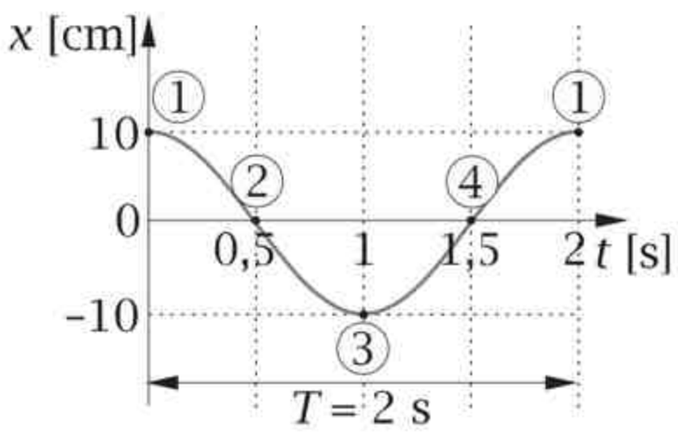


i Rozpatrujemy tylko takie drgania, w których maksymalne wychylenie w jedną stronę jest równe maksymalnemu wychyleniu w drugą stronę.

Cykl i okres

Drgające ciało porusza się ciągle tam i z powrotem, zatem można wyróżnić najkrótszy, powtarzający się etap ruchu, czyli **cykl** — jedno pełne drganie. Cyklem jest np. sekwencja ①, ②, ③, ④, ① z wcześniejszego wykresu, czyli zdarzenia:

wahadło jest maksymalnie po prawej ① ⇒ wahadło przelatuje w lewo przez położenie równowagi ② ⇒ wahadło jest maksymalnie po lewej ③ ⇒ wahadło przelatuje w prawo przez położenie równowagi ④ ⇒ wahadło jest maksymalnie po prawej ①



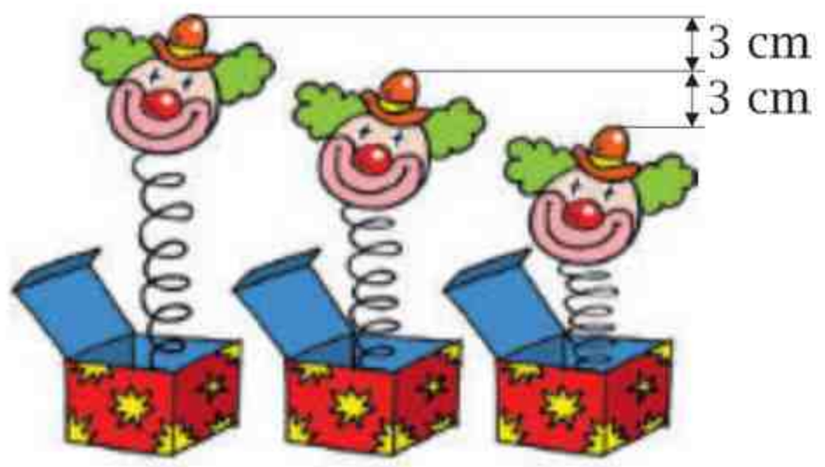
W jednym cyklu wahadło przechodzi dwa razy przez położenie równowagi, ale są to różne sytuacje — raz porusza się w lewo, a raz w prawo. Z wykresu można odczytać, że przechodzi ono przez położenie równowagi w chwili 0,5 s i w chwili 1,5 s, a cały cykl trwa 2 sekundy. Czas trwania cyklu nazywamy **okresem** i oznaczamy literą T.

Okres (T) to czas trwania jednego pełnego drgania.

okres drgań [s] → $T = \frac{t}{n}$ ← czas [s], liczba cykli

W dalszej części pomijamy opory ruchu — drgania są cały czas takie same, nie wygasają.

PRZYKŁAD 1. Drgający na sprężynie klaun przemieszczał się o 3 cm powyżej położenia równowagi oraz o 3 cm poniżej. W czasie 4 sekund wykonał 20 cykli.



a) Ile wynosiła amplituda tego ruchu?

b) Oblicz okres drgań klauna.

a) **Odp.** Amplituda wynosiła 3 cm.

b) **Dane:**

$t = 4$ s — czas ruchu

$n = 20$ — liczba cykli

Szukane:

$T = ?$ — okres

Rozwiązanie: $T = \frac{t}{n}$ $\quad T = \frac{4\text{ s}}{20} = 0{,}2\text{ s}$

Odp. Okres jest równy 0,2 s.

ĆWICZENIE 1. Drgający na sprężynie ciężarek przemieszczał się w pionie w górę i w dół. Odległość między jego skrajnymi położeniami była równa 8 cm. W czasie 7 sekund wykonał 14 cykli. Oblicz amplitudę i okres drgań ciężarka.

Częstotliwość

Zamiast pytać o czas trwania jednego cyklu, można zapytać, ile jest cykli w czasie jednej sekundy. Jeśli wahadło w czasie $t = 10$ s wykonało $n = 20$ cykli, to na jedną sekundę przypadają $\frac{20}{10} = 2$ cykle. Liczbę cykli w czasie jednej sekundy określa **częstotliwość**, którą oznaczamy literą f od angielskiego słowa *frequency* (czyt. frikłensi).

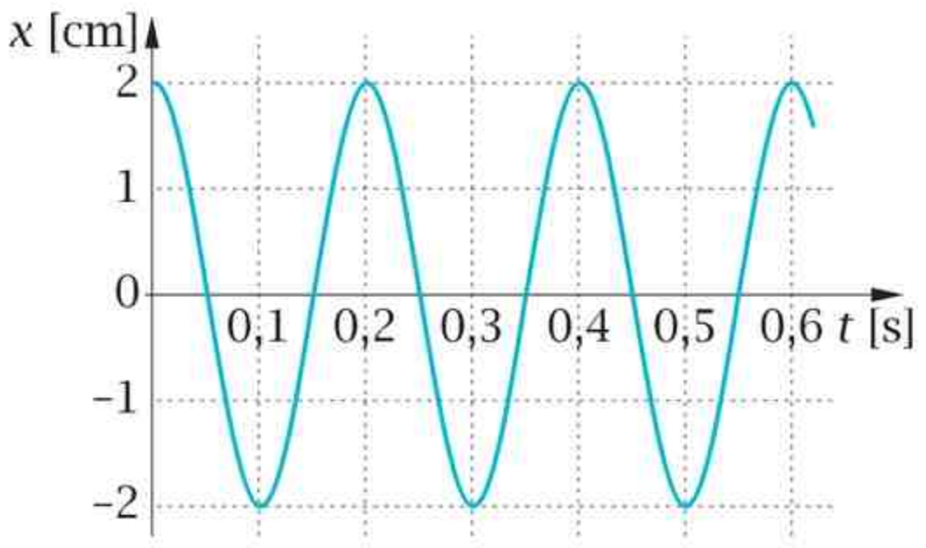
Częstotliwość (f) to liczba cykli na jednostkę czasu.

częstotliwość [Hz] → $f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$ ← 1 cykl / okres [s]

n: liczba cykli; t: czas [s]

Jednostką częstotliwości jest **herc**, **Hz**: $1\ \text{Hz} = 1\ \frac{1}{\text{s}}$. Ciało drgające z częstotliwością 1 Hz wykonuje 1 cykl w czasie 1 s, a z częstotliwością 100 Hz wykonuje 100 cykli w 1 s.

PRZYKŁAD 2. Wykres przedstawia zależność położenia drgającego końca linijki od czasu. Dodatnie wartości x oznaczają odchylenie w pionie powyżej położenia równowagi, a ujemne — poniżej.



a) Ile wynosi amplituda tego ruchu?

b) Jaki jest okres drgań linijki?

c) Oblicz częstotliwość drgań linijki.

a) **Odp.** Amplituda wynosi 2 cm.

b) **Odp.** Jeden cykl trwa 0,2 s (np. od 0 s do 0,2 s), więc okres jest równy 0,2 s.

c) **Szukane:** $f = ?$ — częstotliwość drgań

Rozwiązanie: I sposób:

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

II sposób: Od 0 s do 0,6 s są 3 cykle.

$f = \frac{n}{t}$ $\quad f = \frac{3}{0{,}6\ \text{s}} = \frac{3}{\frac{6}{10}}\ \frac{1}{\text{s}} = 5\ \frac{1}{\text{s}} = 5\ \text{Hz}$

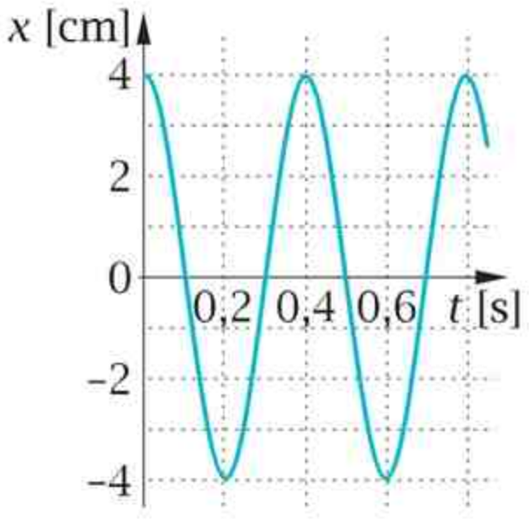
Odp. Częstotliwość drgań jest równa 5 Hz.

ĆWICZENIE 2. Wykres przedstawia zależność położenia wagonika drgającego na sprężynie od czasu. Dodatnie wartości x oznaczają odchylenie w prawo od położenia równowagi, a ujemne — w lewo.

a) Ustal amplitudę i okres tego ruchu.

b) Oblicz częstotliwość drgań wagonika.





Test hipotezy o wahadle

Przyjrzyjmy się bliżej zależności częstotliwości drgań wahadła od jego długości. Sprawdźmy następującą hipotezę:

Wahadło 4 razy dłuższe ma 2 razy dłuższy okres drgań i 2 razy mniejszą częstotliwość drgań.

Doświadczenie **Okresy i częstotliwości ruchu wahadeł**

① Przygotujcie: dwa podobne ciężarki (np. jabłka), dwa sznurki o długościach około 40 cm i 120 cm, miejsce do zamocowania wahadeł, stoper.

② Zbudujcie dwa wahadła: jedno o długości 25 cm (liczonej od punktu zawieszenia do środka jabłka), a drugie o długości 100 cm.

③ Podzielcie się na dwie grupy: jedna niech zmierzy czas 10 cykli krótszego wahadła, a druga — dłuższego. Wahadła odchylcie początkowo o 20° od pionu.

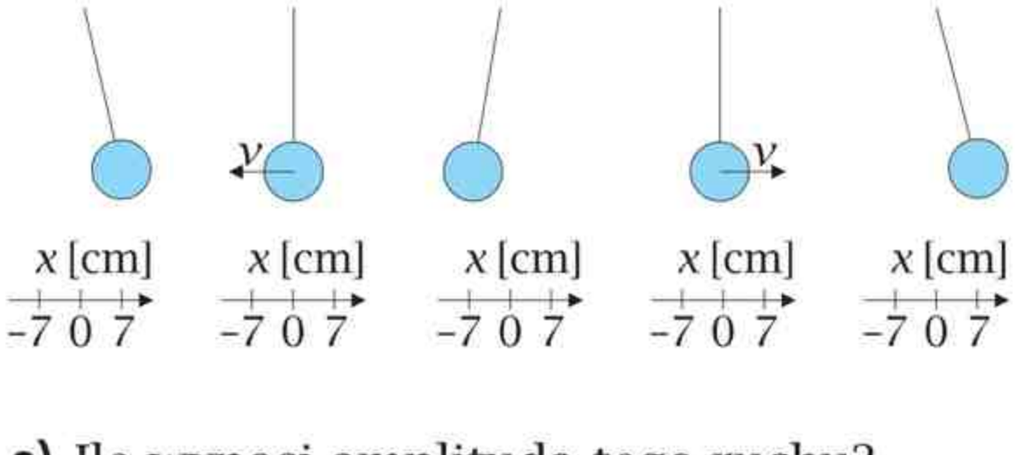
④ Dla każdego wahadła wyznaczcie okres i częstotliwość drgań z dokładnością do jednej cyfry znaczącej. Czy otrzymane wyniki potwierdzają hipotezę?

Postawiona hipoteza jest prawdziwa. Jednak wyniki uzyskane w doświadczeniu mogą nie do końca ją potwierdzać. Zastanów się, dlaczego.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Wahadło*

Na rysunkach pokazano kolejne położenia wahadła w chwilach, w których wahadło było w położeniu równowagi albo było maksymalnie wychylone.



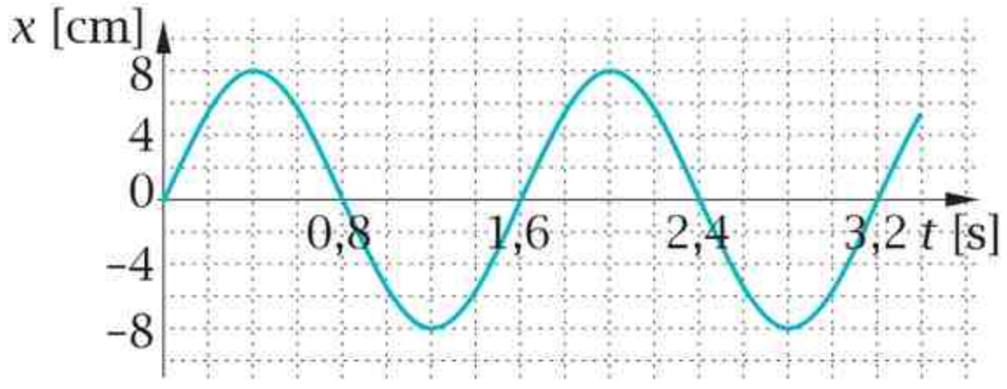
a) Ile wynosi amplituda tego ruchu?

b) Co ile czasu wahadło przechodzi przez położenie równowagi?

c) Jaki jest okres drgań tego ruchu?

Zadanie 2. *Boja*

Na wykresie przedstawiono zależność położenia boi drgającej na wodzie od czasu. Dodatnie wartości x oznaczają odchylenie boi powyżej położenia równowagi, a ujemne — poniżej.



a) W których chwilach boja była maksymalnie odchylona w górę?

b) Ile wynosi amplituda tego ruchu?

c) Ile wynosi okres tego ruchu?

Zadanie 3. *Liczba cykli i okres drgań*

Uzupełnij tabelę.

Ciało	Czas t	Liczba cykli n w czasie t	Okres drgań T
1.	30 s	15	?
2.	10 s	?	0,1 s
3.	2 s	1000	?
4.	1 min	?	5 s
5.	1 h	1440	?

Zadanie 4. *Zero nierówne zeru*

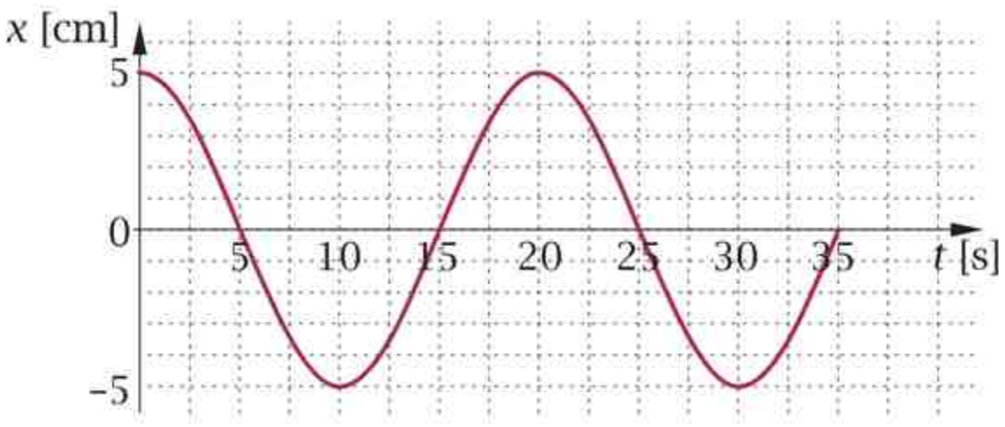
Hasto podsuwa Weritce wykres ruchu drgającego ciężarka (zob. poniżej) i pyta:

— Jaki według ciebie jest okres drgań tego ruchu?

— Widać, że 20 sekund — odpowiada Weritka. — To czas między dwiema identycznymi sytuacjami.

— A właśnie, że 10 sekund, bo w chwili 5 sekund i w chwili 15 sekund sytuacja jest taka sama, x jest równe 0 cm!

— Zastanów się. Tylko wartość x jest taka sama, czyli położenie ciężarka. Sytuacja jest jednak inna…



a) Czym się różni ruch ciężarka w chwili $t = 5$ s od ruchu w chwili $t = 15$ s?

b) W której chwili ruch ciężarka jest taki sam, jak w chwili $t = 5$ s?

Zadanie 5. *Liczba cykli i częstotliwość*

Uzupełnij tabelę.

Ciało	Czas t	Liczba cykli n w czasie t	Częstotliwość f
1.	1 s	1000	?
2.	0,1 s	300	?
3.	10 s	?	0,2 Hz
4.	1 min	?	100 Hz
5.	1 ms	50	?

Zadanie 6. *Okres drgań i częstotliwość*

Uzupełnij tabelę.

Ciało	Okres T	Częstotliwość drgań f
1.	0,1 s	?
2.	?	0,05 Hz
3.	2 ms	?

Zadanie 7. *Pszczoła*

Pszczoła macha skrzydłami 12 000 razy na minutę (tzn. wykonuje 12 000 cykli).

a) Oblicz okres ruchu skrzydeł. Wynik podaj w milisekundach (ms).

b) Oblicz częstotliwość ruchu skrzydeł.

Zadanie 8. *O drganiach*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Im bardziej drgające ciało wychyla się z położenia równowagi, tym ***większa/mniejsza*** *jest amplituda tego ruchu.*

Im więcej cykli wykona ciało w czasie sekundy, tym ***dłuższy/krótszy*** *jest okres drgań oraz* ***większa/mniejsza*** *częstotliwość.*

Im dłuższy okres ruchu, tym ***większa/mniejsza*** *jego częstotliwość.*



Jak myślisz?

- Czym różniłby się ruch wahadła na Księżycu od jego ruchu na Ziemi?
- Jaki jest okres wahadła (tzw. balansu) w mechanicznym stoperze?
- Z jaką częstotliwością drga gitarowa struna?
- Jaką energię ma układ złożony z drgającej sprężyny i ciężarka?

20 Drgania – przemiany energii



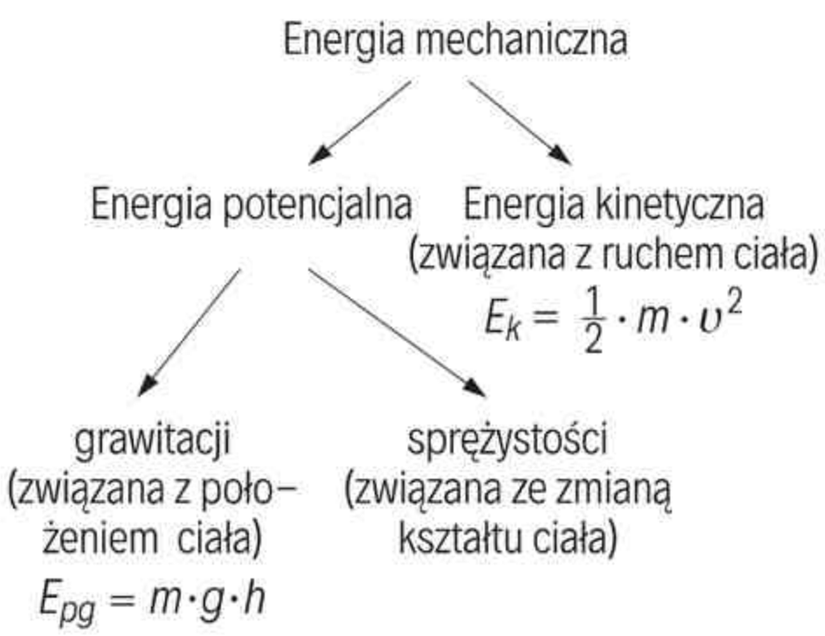
Kiedy huśtawka porusza się najwolniej, a kiedy najszybciej? Kiedy należy ruszyć, jeśli chcielibyśmy przejść pod bujającą się huśtawką?

Cel lekcji
Nauczysz się opisywać przemiany energii w ruchu drgającym.

Drgania i energia

Prędkość bujającej się huśtawki wahadłowej zmienia się. W skrajnych położeniach, gdy huśtawka zawraca, jej prędkość jest równa $0\ \frac{m}{s}$. Zatem jej energia kinetyczna w tych chwilach to 0 J. Następnie huśtawka rozpędza się. Jej prędkość i energia kinetyczna rosną. Kosztem jakiej energii to się dzieje?

Podobnie jest z ciężarkiem drgającym na sprężynie. W momencie, gdy ciężarek zawraca, jego prędkość i energia kinetyczna są zerowe. Następnie ciężarek przyśpiesza. Skąd czerpie na to energię? Przypatrzmy się temu dokładniej.



Siła i energia sprężystości

Na ciężarek drgający na sprężynie działa siła sprężystości. Siła ta ma tym większą wartość, im bardziej rozciągnięta lub ściśnięta jest sprężyna. Aby rozciągnąć lub ścisnąć sprężynę, trzeba wykonać pracę. Zostaje ona zmagazynowana w postaci energii potencjalnej sprężystości sprężyny. Odkształcona sprężyna potrafi oddać tę energię, wykonując pracę, na przykład przesuwając ciężarek. Jedynie nienapięta sprężyna nie może wykonać pracy.



Ściśnięta lub rozciągnięta sprężyna magazynuje energię.

Im bardziej rozciągnięta lub ściśnięta sprężyna, tym większa jej **energia potencjalna sprężystości** E_{ps}. Dla nienapiętej sprężyny $E_{ps} = 0$ J.

Warto **wiedzieć**

Sprężynę można zniszczyć, za bardzo ją rozciągając. Rozważamy jedynie takie odkształcenia, które nie niszczą sprężyny.

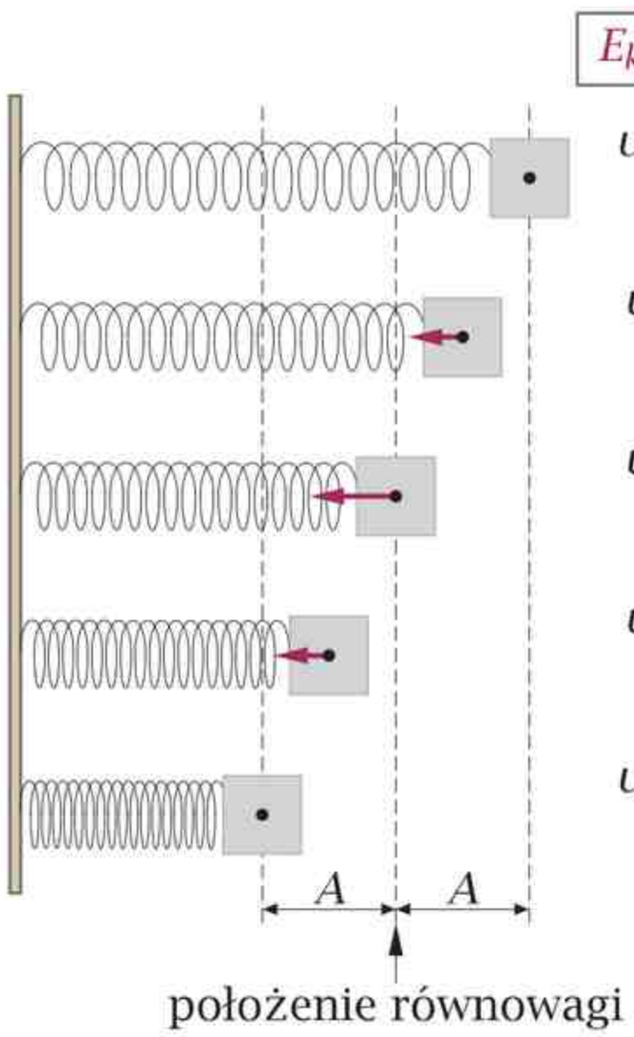
Przemiany energii – ciężarek na sprężynie

Przyjrzyjmy się przemianom energii w ruchu drgającego ciężarka przymocowanego do poziomej sprężyny. Ciężarek porusza się w poziomie, więc energia potencjalna grawitacji jest stała, dla ułatwienia przyjmijmy, że $E_{pg} = 0$ J. Zmienia się natomiast energia kinetyczna ciężarka E_k oraz energia potencjalna sprężystości sprężyny E_{ps}. Jeśli pominiemy opory ruchu, wtedy energia mechaniczna E układu ciężarek – sprężyna jest zachowana.

Chociaż wartości E_k i E_{ps} ciągle się zmieniają, ich suma w każdej chwili jest taka sama, $E_k + E_{ps} = E$.

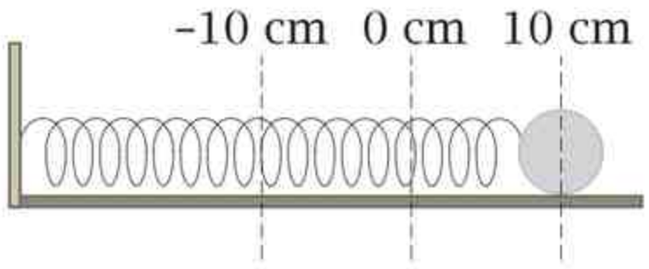
Gdy ciężarek zawraca, przez chwilę jego prędkość i energia kinetyczna są zerowe. Wtedy sprężyna jest maksymalnie rozciągnięta lub ściśnięta — energia potencjalna sprężystości jest największa.

Natomiast w chwili przechodzenia ciężarka przez położenie równowagi sprężyna jest nienapięta, więc $E_{ps} = 0$ J. Wtedy energia kinetyczna osiąga wartość maksymalną, ciężarek porusza się najszybciej. W drodze z położenia równowagi do maksymalnego wychylenia ciężarek zawsze zwalnia, więc maleje jego E_k, a rośnie E_{ps} sprężyny.



i Pomijamy masę samej sprężyny, dzięki czemu nie musimy uwzględniać jej energii kinetycznej.

PRZYKŁAD 1. Lewy koniec poziomej sprężyny jest przymocowany do ściany, a prawy — do metalowej kuli o masie 2 kg. Kulę odsunięto w prawo o 10 cm od położenia równowagi, zatrzymano i puszczono. Zaczęła ona wykonywać drgania lewo-prawo. Gdy przechodziła przez położenie równowagi, miała prędkość 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. Pomiń opory ruchu.



a) Jaka była amplituda ruchu kuli?

b) Oblicz energię kinetyczną kuli, gdy przechodziła przez położenie równowagi.

c) W jakim położeniu układ miał największą energię potencjalną sprężystości, a w jakim — największą energię kinetyczną?

d) Ile wynosiła energia potencjalna sprężystości, gdy kulę puszczano?

Dane:

$m = 2$ kg — masa kuli

10 cm — przesunięcie z położenia równowagi

$v = 1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ — prędkość kuli, gdy przechodziła przez położenie równowagi

a) **Odp.** Amplituda była równa 10 cm.

b) **Szukane:**

$E_k = ?$ — energia kinetyczna kuli, gdy przechodziła przez położenie równowagi

Rozwiązanie:

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

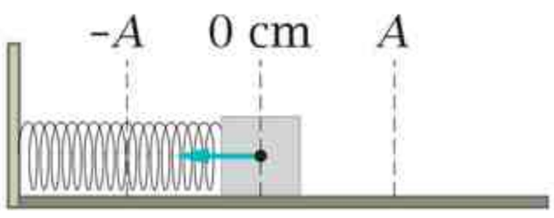
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 2\ \text{kg} \cdot \left(1\ \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 1\ \text{kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1\ \text{J}$$

Odp. Kula przechodząca przez położenie równowagi miała energię kinetyczną 1 J.

c) **Odp.** Układ miał największą energię potencjalną sprężystości, gdy kula była w skrajnych położeniach: o 10 cm w lewo lub o 10 cm w prawo od położenia równowagi, a największą energię kinetyczną — gdy kula przechodziła przez położenie równowagi.

d) **Odp.** Gdy kulę puszczano, E_{ps} była równa 1 J (z zasady zachowania energii mechanicznej).

ĆWICZENIE 1. Lewy koniec poziomej sprężyny przymocowano do ściany, a prawy — do kostki o masie 1 kg. Kostkę pchnięto w kierunku ściany i wyruszyła ona z położenia równowagi z prędkością 4 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, po czym wykonywała drgania lewo-prawo. Pomiń opory ruchu.



a) Kiedy sprężyna działała na kostkę siłą o minimalnej wartości?

b) Oblicz energię kinetyczną kostki, gdy przechodziła przez położenie równowagi.

c) Ile wynosiła prędkość kostki w chwili, gdy zawracała?

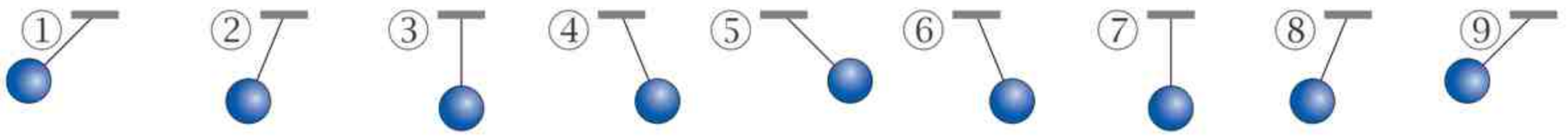
d) Ile wynosiła energia potencjalna sprężystości, gdy kostka zawracała?

Przemiany energii – wahadło

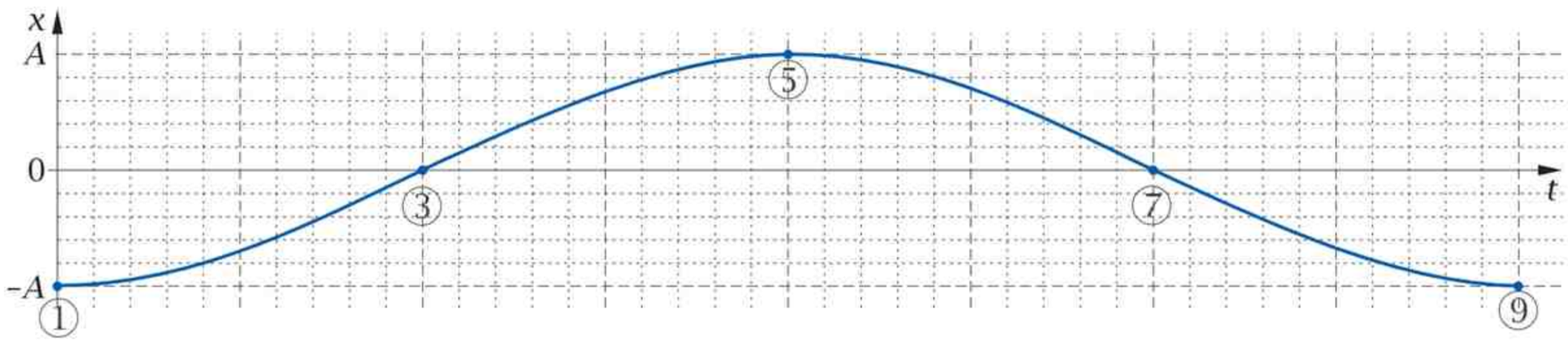
Energia mechaniczna drgającego wahadła to suma energii kinetycznej i energii potencjalnej grawitacji ciężarka. W skrajnych położeniach wahadło na moment zatrzymuje się — jego prędkość i energia kinetyczna są zerowe, a energia potencjalna grawitacji E_{pg} jest maksymalna. Gdy wahadło przechodzi przez położenie równowagi, jego energia potencjalna grawitacji jest najmniejsza. Przyjmijmy, że w tym położeniu $E_{pg} = 0$ J. Jednocześnie wahadło ma wtedy maksymalne prędkość i energię kinetyczną.

Warto **wiedzieć**

W rzeczywistości nie da się wyeliminować oporów ruchu. To przez siły oporu energia mechaniczna wahadła maleje wraz z upływem czasu.



$\upsilon = 0\ \frac{m}{s}$	$\upsilon \nearrow$	υ = maks.	$\upsilon \searrow$	$\upsilon = 0\ \frac{m}{s}$	$\upsilon \nearrow$	υ = maks.	$\upsilon \searrow$	$\upsilon = 0\ \frac{m}{s}$
$E_k = 0$ J	$E_k \nearrow$	E_k = maks.	$E_k \searrow$	$E_k = 0$ J	$E_k \nearrow$	E_k = maks.	$E_k \searrow$	$E_k = 0$ J
E_{pg} = maks.	$E_{pg} \searrow$	$E_{pg} = 0$ J	$E_{pg} \nearrow$	E_{pg} = maks.	$E_{pg} \searrow$	$E_{pg} = 0$ J	$E_{pg} \nearrow$	E_{pg} = maks.



PRZYKŁAD 2. Kulę o masie 2 kg zawieszono na długiej, nierozciągliwej i bardzo lekkiej lince przymocowanej do sufitu. Kulę wychylono z położenia równowagi tak, że podniosła się na wysokość 10 cm. Linka cały czas była napięta. Po puszczeniu kula wykonywała ruch wahadłowy. Pomiń opory ruchu.

a) Oblicz energię potencjalną grawitacji kuli w maksymalnym wychyleniu.

b) Ile wynosiła energia mechaniczna kuli podczas ruchu?

c) Wyznacz energię kinetyczną kuli, gdy przechodziła przez położenie równowagi.

Dane:

$m = 2$ kg — masa kuli

$h = 10$ cm $= 0{,}1$ m — zmiana wysokości kuli

a) **Szukane:**

$E_{pg} = ?$ — energia potencjalna grawitacji kuli w maksymalnym wychyleniu

Rozwiązanie: $E_{pg} = m \cdot g \cdot h$ $\qquad E_{pg} = 2\ \cancel{\text{kg}} \cdot 10\ \frac{\text{N}}{\cancel{\text{kg}}} \cdot 0{,}1\ \text{m} = 2\ \text{N} \cdot \text{m} = 2\ \text{J}$

Odp. W maksymalnym wychyleniu E_{pg} kuli była równa 2 J.

b) **Odp.** Energia mechaniczna kuli to 2 J (w maksymalnym wychyleniu $E_k = 0$).

c) **Odp.** Gdy kula przechodziła przez położenie równowagi, miała $E_k = 2$ J ($E_{pg} = 0$).

ĆWICZENIE 2. Kulę o masie 4 kg zawieszono na długiej, nierozciągliwej i bardzo lekkiej lince przymocowanej do sufitu. Kulę uderzono i wyruszyła ona z położenia równowagi z prędkością 1 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, po czym wahała się. Linka była cały czas napięta. Pomiń opory ruchu.

a) Oblicz energię kinetyczną kuli przechodzącej przez położenie równowagi.

b) Ile wynosiła prędkość kuli w momencie, gdy zawracała?

c) Ile wynosiła energia mechaniczna kuli?

d) Ile wynosiła energia potencjalna grawitacji kuli w maksymalnym wychyleniu?

Czas na zadania!

Zadanie 1. ***Energia potencjalna sprężystości***

Wskaż zdania prawdziwe.

① Im bardziej rozciągamy sprężynę (nie niszcząc jej), tym większą ma ona energię potencjalną sprężystości.

② Rozciągając sprężynę, wykonujemy pracę.

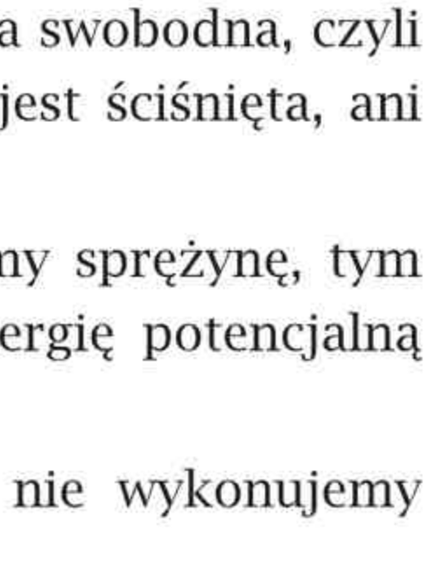
③ Największą energię potencjalną sprężystości ma sprężyna swobodna, czyli taka, która ani nie jest ściśnięta, ani rozciągnięta.

④ Im bardziej ściśniemy sprężynę, tym większą ma ona energię potencjalną sprężystości.

⑤ Ściskając sprężynę, nie wykonujemy pracy.

Zadanie 2. ***Ciężarek na sprężynie***

Ciężarek przymocowany do sprężyny wykonywał poziome drgania. Na rysunkach pokazano kolejne chwile ruchu ciężarka, w których był on albo w położeniu równowagi, albo maksymalnie wychylony. Ustal, w których położeniach:



a) prędkość ciężarka była równa zero,

b) energia kinetyczna ciężarka była równa zero, a w których — największa,

c) energia potencjalna sprężystości sprężyny była największa.

Zadanie 3. ***O drganiach na sprężynie***

Ciężarek przymocowany do sprężyny wykonuje drgania wzdłuż linii prostej w górę i w dół. Pomiń opory ruchu oraz siły ciężkości. Wskaż zdania prawdziwe.



① Energia potencjalna sprężystości sprężyny jest największa, gdy ciężarek przechodzi przez położenie równowagi.

② Sprężyna działa na ciężarek siłą o największej wartości, gdy znajduje się on w skrajnych położeniach.

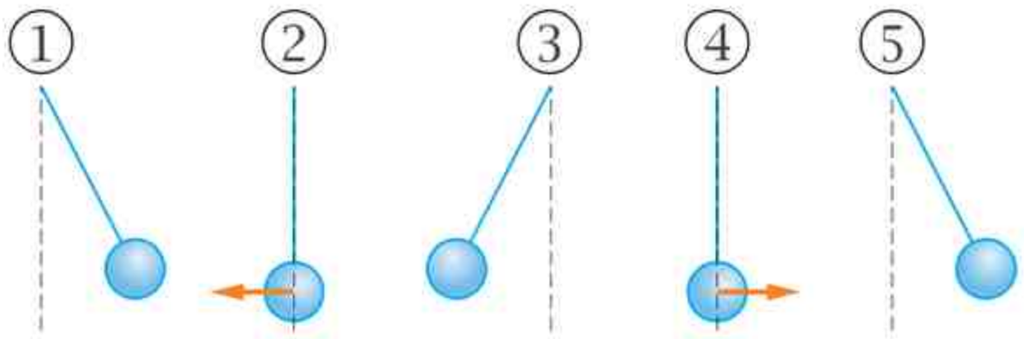
③ Gdy ciężarek znajduje się w skrajnych położeniach, ma prędkość zerową.

④ Gdy ciężarek oddala się od położenia równowagi, to energia potencjalna sprężystości sprężyny wzrasta.

⑤ Ciężarek porusza się z najmniejszą prędkością, gdy przechodzi przez położenie równowagi.

Zadanie 4. *Wahadło*

Na rysunkach pokazano kolejne położenia wahadła w chwilach, gdy było w równowadze lub maksymalnie wychylone.



Ustal, w których położeniach:

a) prędkość ciężarka była równa zero,

b) energia kinetyczna ciężarka była najmniejsza, a w których — największa,

c) energia potencjalna grawitacji ciężarka była największa.

Zadanie 5. *O drganiach wahadła*

Wahadło pod wpływem siły ciężkości wykonuje drgania. Pomiń opory ruchu. Wskaż zdania prawdziwe.

① Energia potencjalna grawitacji ciężarka jest najmniejsza, gdy przechodzi on przez położenie równowagi.

② Energia potencjalna grawitacji ciężarka jest największa, gdy znajduje się on w skrajnych położeniach.

③ Gdy ciężarek oddala się od położenia równowagi, to jego energia potencjalna grawitacji maleje.

④ Gdy ciężarek znajduje się w skrajnych położeniach, jego energia kinetyczna jest równa zero.

⑤ Ciężarek porusza się z największą prędkością, gdy przechodzi przez położenie równowagi.

Zadanie 6. *Okres drgań i pół okresu*

Kula przymocowana do poziomej sprężyny wykonuje drgania lewo-prawo. Okres tych drgań to 4 s. Pomiń opory ruchu. Ustal, co ile czasu:

a) kula znajduje się w prawym skrajnym położeniu,

b) kula przechodzi przez położenie równowagi,

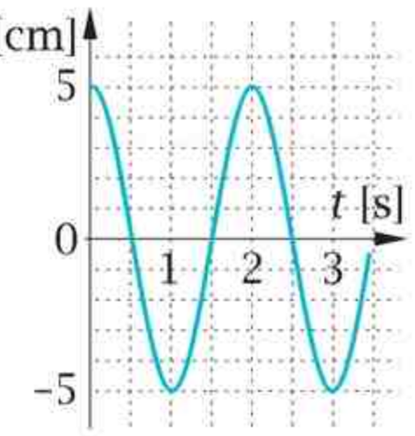
c) prędkość kuli jest równa zero,

d) energia kinetyczna kuli osiąga wartość maksymalną,

e) energia potencjalna sprężystości sprężyny osiąga wartość maksymalną.

Zadanie 7. *Naciągnięcie i puszczenie*

Wykres przedstawia zależność położenia drgającego na sprężynie ciężarka od czasu. Położenie ciężarka mierzono w poziomie. Dodatnie wartości x oznaczają odchylenie w prawo z położenia równowagi, a ujemne — w lewo.



a) Ile wynosiła energia kinetyczna ciężarka w chwilach $t = 0{,}0$ s oraz $t = 1{,}0$ s?

b) W których chwilach energia potencjalna sprężystości sprężyny była równa zero?

c) Czy energia kinetyczna ciężarka od chwili $t = 2{,}0$ s do chwili $t = 2{,}5$ s rosła, czy malała?

Zadanie 8. *Ruch wahadła*

Kulę o masie 8 kg zawieszono na długiej, nierozciągliwej i bardzo lekkiej lince przymocowanej do sufitu. Kulę wychylono z położenia równowagi tak, że podniosła się na wysokość h. Linka cały czas była napięta. Po puszczeniu kula wykonywała ruch wahadłowy, a w najniższym położeniu miała prędkość $6\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$. Pomiń opory ruchu.

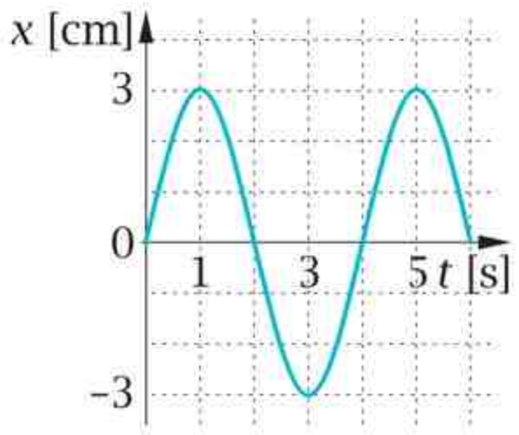
a) Oblicz energię kinetyczną kuli w najniższym położeniu.

b) Ile wynosiła energia potencjalna grawitacji kuli w jej najwyższym położeniu?

c) Oblicz wysokość h.

Zadanie 9. *Pstryczek na rozpęd*

Na wykresie przedstawiono zależność położenia od czasu dla drgającego na sprężynie ciężarka. Położenie ciężarka mierzono w poziomie. Dodatnie wartości oznaczają odchylenie w prawo z położenia równowagi, a ujemne — w lewo.



a) Ile wynosiła energia kinetyczna ciężarka w chwilach $t = 3$ s oraz $t = 5$ s?

b) W których chwilach energia potencjalna sprężystości sprężyny była równa zero?

c) Czy energia kinetyczna ciężarka od chwili $t = 0$ s do chwili $t = 1$ s rosła, czy malała?

Zadanie 10. *Butelka na sprężynie*

Hasto zawiesił butelkę z wodą na pionowej sprężynie. Zauważył, że gdy butelka zwisała nieruchomo, przed wprawieniem jej w drgania, sprężyna była rozciągnięta.



a) Jakie siły działały na butelkę z wodą w położeniu równowagi?

b) Czy energia potencjalna sprężystości sprężyny była równa zero, gdy butelka znajdowała się w położeniu równowagi?

c) Wymień wszystkie formy energii mechanicznej, których wartość będzie się zmieniać, gdy butelka będzie drgać w pionie.



Jak myślisz?

- Kiedy przyśpieszenie drgającego na sprężynie ciężarka jest największe, a kiedy — najmniejsze?
- Jak energia potencjalna sprężystości zależy od wychylenia sprężyny?
- Na jakie formy energii zamieniana jest energia mechaniczna wahadła i ciężarka na sprężynie?
- Czym różni się skok na bungee od drgania ciężarka na sprężynie?
- W jaki sposób rozchodzą się drgania skorupy ziemskiej?



Fizyka na wesoło...

Do zegarmistrza wchodzi klient i mówi:
— Proszę naprawić to wahadło.
— A co się stało? — pyta zegarmistrz.
— Przestało się wahać.
— A gdzie zegar?
— W domu, zegar jest w porządku. Tylko wahadło nie działa.

Lekcja dodatkowa. Zjawisko rezonansu





Co mają wspólnego bujające się na huśtawce dziecko i grające radio?

Jak się huśtać najmocniej?

Obserwując małe dzieci na huśtawkach, często widzimy, że początkowo mają one problem z huśtaniem się coraz wyżej i wyżej. Jednak dość szybko opanowują właściwą technikę i już nie potrzebują do bujania pomocy rodzica.

Aby huśtawka wychylała się coraz mocniej, trzeba działać na nią **siłą wymuszającą**. Zbadaj, jak należy działać taką siłą, by amplituda drgań huśtawki była coraz większa.

Cel lekcji

Dowiesz się, czym jest zjawisko rezonansu.

Doświadczenie Wahadło

① Przygotuj sznurek o długości 0,5 m i ciężarek o masie 50 g.

② Zawieś ciężarek na sznurku.

③ Trzymaj w ręce sznurek ze zwisającym ciężarkiem. Wprawwahadło w drgania, poruszając dłonią nieznacznie na boki. Częstotliwość ruchów dłoni dopasuj tak, by wahadło regularnie i jak najmocniej się wahało.



④ Spróbuj poruszać dłonią z dużą częstotliwością, a następnie — z mniejszą. Czy również teraz amplituda drgań jest duża?

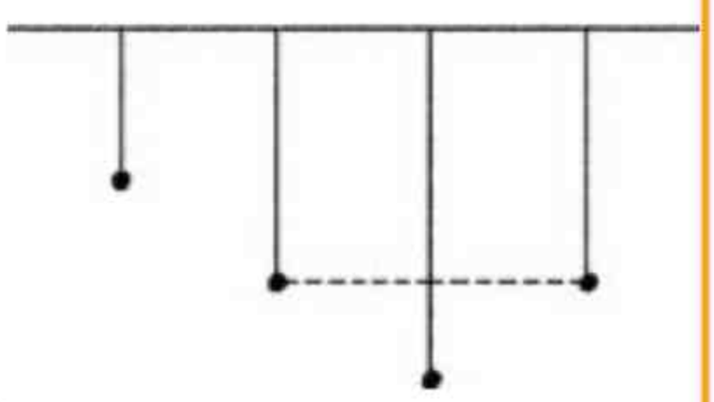
⑤ Skróć sznurek i powtórz doświadczenie. Czy w tym wypadku częstotliwość ruchów dłoni musiała wzrosnąć czy zmaleć, aby ciężarek mocno się wychylał?

Okazuje się, że tylko przy określonej częstotliwości ruchów dłoni udaje się uzyskać drgania o dużej amplitudzie. Zbadajmy to zjawisko dokładniej.

Doświadczenie **Cztery wahadła**

① Przygotuj sznurek o długości 3 m i cztery takie same ciężarki.

② Odetnij 1 m sznurka i przywiąż do niego cztery sznurki o długościach odpowiednio: 30 cm, 50 cm, 70 cm i 50 cm.



i Możesz wybrać inne długości sznurków. Ważne, aby dwa były tej samej długości, jeden krótszy i jeden dłuższy.

③ Na luźnym końcu każdego sznurka zaczep ciężarek. Pamiętaj, aby długości drugiego i czwartego wahadła były takie same.

④ Poproś dwie osoby, aby poziomo trzymały naprężony sznurek.

⑤ Stań na wprost sznurka z wahadłami. Delikatnie wychyl najkrótsze wahadło w swoją stronę. Przez chwilę obserwuj pozostałe wahadła.

⑥ Powtórz doświadczenie z każdym wahadłem. Czy zauważasz jakąś prawidłowość?

Gdy wprawiamy w ruch wahadło najkrótsze lub najdłuższe, pozostałe jedynie lekko drgają, praktycznie się nie wychylając. Tylko, gdy poruszymy jedno z wahadeł o tej samej długości, po krótkim czasie zaczyna drgać drugie.

Rezonans mechaniczny

Gdy układ (np. wahadło) wytrącimy z położenia równowagi i nie działamy potem na niego, wtedy drga on z częstotliwością zwaną częstotliwością własną aż do zaniku drgań. Zależy ona od wielu czynników, na przykład rozmiarów (zob. doświadczenie ze str. 160), materiałów itd. Gdy częstotliwość wymuszająca (ruchów dłonią, drgań innego wahadła itp.) jest taka sama jak częstotliwość własna układu, możemy go pobudzić do drgań o dużej amplitudzie. To zjawisko nosi nazwę **rezonansu mechanicznego**.

Rezonans mechaniczny to zjawisko wzrostu amplitudy drgań ciała. Występuje ono, gdy częstotliwość drgań wymuszających jest równa częstotliwości własnej ciała.

Rezonans mechaniczny jest zjawiskiem występującym powszechnie w otaczającym nas świecie. W niektórych sytuacjach jego skutki są pożądane, w innych — katastrofalne.



Gdy chcemy się mocno rozbujać, powinniśmy dostosować częstotliwość wykonywanych ruchów do częstotliwości własnej huśtawki.



Jeśli, niosąc filiżankę pełną herbaty, stawiasz kroki z częstotliwością równą częstotliwości drgań herbaty, to może się ona rozlewać (rośnie wychylenie cieczy w filiżance).



Trzęsienia ziemi niejednokrotnie mają częstotliwości takie same jak częstotliwości własne budynków, prowadząc do ich zniszczenia (rośnie amplituda drgań budynku).

Dowiedz się więcej **o rezonansie**

Ludzie często wykorzystują **rezonans akustyczny** (odmiana mechanicznego) oraz **rezonans elektromagnetyczny**. Także w tych wypadkach układ pobudzany jest z częstotliwością własną. Jedyną różnicą jest to, że do wzbudzania drgań o dużej amplitudzie wykorzystuje się odpowiednio: fale dźwiękowe lub fale elektromagnetyczne (będziemy o nich mówić na kolejnych lekcjach).



Przykładem zastosowania rezonansu elektromagnetycznego jest działanie kuchenki mikrofalowej. Jej głównym elementem jest magnetron, w którym dzięki zjawisku rezonansu są wytwarzane mikrofale. Częstotliwości mikrofal (2,4–2,5 GHz) wynikają m.in. z kształtu metalowych wnęk rezonansowych magnetronu. Mikrofale wprawiają w drgania cząsteczki (np. wody) zawarte w potrawie. W ten sposób ogrzewane jest jedzenie.

Inny przykład to radio. Kiedy chcemy słuchać ulubionej stacji, musimy dostroić odbiornik radiowy do wybranej częstotliwości, aby usłyszeć sygnał ze stacji nadawczej. Jeśli ta częstotliwość będzie niewłaściwa, zjawisko rezonansu elektromagnetycznego będzie ograniczone, a my usłyszymy szumy.





Rezonans akustyczny wykorzystuje się w instrumentach muzycznych. Dźwięki w gitarze, skrzypcach i fortepianie są wytwarzane przez drgające struny. Dzięki odpowiednio skonstruowanym pudłom rezonansowym dźwięki te są wzmacniane, czyli stają się głośniejsze.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Rezonans mechaniczny*

Wskaż właściwe uzupełnienie zdania.

a) *Rezonans mechaniczny występuje, gdy częstotliwość drgań wymuszających jest **mniejsza od/równa/większa od** częstotliwości własnej ciała.*

b) *Na skutek rezonansu amplituda drgań **rośnie/maleje**.*

Zadanie 2. *Maszerujący żołnierze*

Zanim kolumna żołnierzy wejdzie na most, dowódca wydaje komendę, by każdy z nich szedł własnym tempem. Wyjaśnij, dlaczego żołnierze nie powinni iść krokiem marszowym przez most.

Zadanie 3. *Kieliszek*

Wyjaśnij, czy za pomocą dźwięku można doprowadzić do zbicia kieliszka.

Zadanie 4. *Potęga rezonansu*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Częstotliwość drgań pudła rezonansowego gitary jest tak dobrana, aby zwiększyć głośność tej gitary.

② Mikrofale w mikrofalówce powstają dzięki rezonansowi akustycznemu.

③ W działaniu radia jest wykorzystywany rezonans elektromagnetyczny.

④ Jeśli chcemy wysoko bujać się na huśtawce, musimy podnosić i uginać nogi jak najszybciej.

Zadanie 5. *Kamertony*



Kamerton to przyrząd służący do strojenia instrumentów muzycznych. Najczęściej jest on nastrojony na stałe na dźwięk a^1 o częstotliwości 440 Hz. Aby usłyszeć ten dźwięk, trzeba młoteczkiem uderzyć w widełki kamertonu.

a) Oblicz okres drgań kamertonu z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

b) Wyjaśnij, co się stanie, gdy w pobliżu drgającego kamertonu ustawimy drugi, taki sam przyrząd.

Zadanie 6. *Nieskończona amplituda*

Hasto i Weritka zastanawiają się nad zjawiskiem rezonansu.

— Skoro rezonans polega na wzrastaniu amplitudy drgań jakiegoś układu, to znaczy, że może ona osiągnąć nawet nieskończoność — mówi Hasto.

— Na to wygląda. Tylko trzeba dopasować do siebie częstotliwość drgań.

— Zgadza się… tylko ja nigdy czegoś takiego nie widziałem. Może o czymś zapominamy?

Wyjaśnij, dlaczego w warunkach rzeczywistych nie jest możliwe, aby maksymalna amplituda drgań ciała wzrastała do dowolnie dużej wielkości.



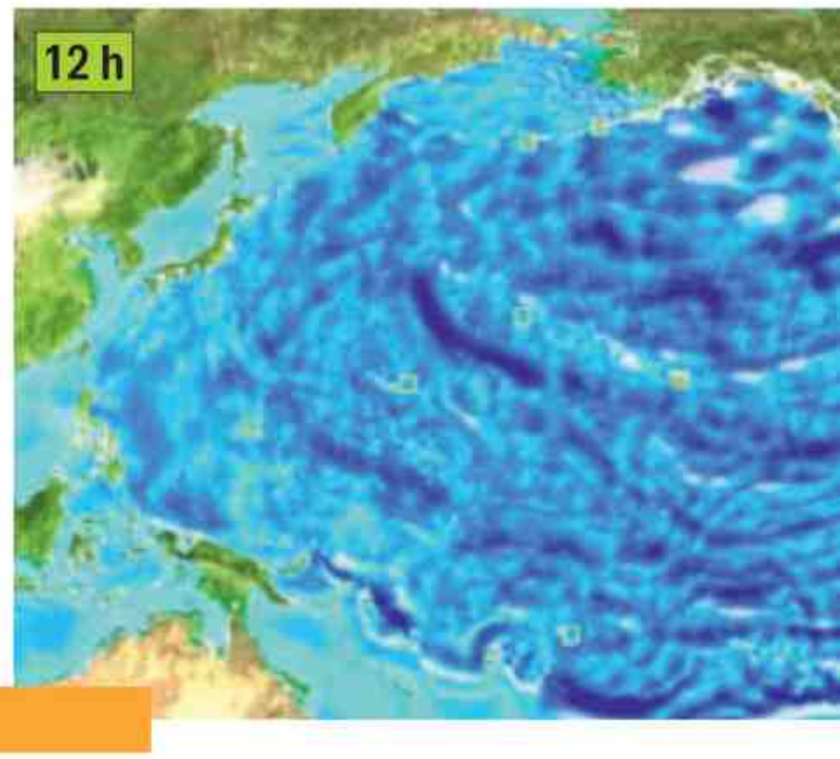
Jak myślisz?

- Jak można zminimalizować ryzyko zawalenia się budynku podczas trzęsienia ziemi?
- Czy tylko częstotliwość drgań skorupy ziemskiej ma znaczenie w przypadku zniszczeń podczas trzęsień ziemi?
- Czy badanie medyczne nazywane rezonansem magnetycznym ma coś wspólnego ze zjawiskiem omawianym na tej lekcji?

21 Fale mechaniczne







Ilustracje pokazują dynamikę rozchodzenia się fal tsunami powstałych w wyniku trzęsienia ziemi. Jak wyzwolona energia rozchodzi się po lądzie, jak w głębokiej wodzie, a jak w płytkiej wodzie?

Drgania i energia

Gdy dotykasz palcem powierzchni wody, rozchodzi się po niej zaburzenie w postaci kręgów. Machając jednym końcem sznura, sprawiasz, że drgania rozchodzą się po całej jego długości. Jeśli uderzysz pięścią w blat przy jego jednym końcu, to przy drugim końcu blatu możesz wyczuć dłonią lekkie drgania. Każde z tych zjawisk to przykład **fali mechanicznej** — rozchodzących się drgań cząsteczek ośrodka (wody, sznura, blatu).

Fala mechaniczna to rozchodzące się drgania cząsteczek (zaburzenie) ośrodka.

Cel lekcji

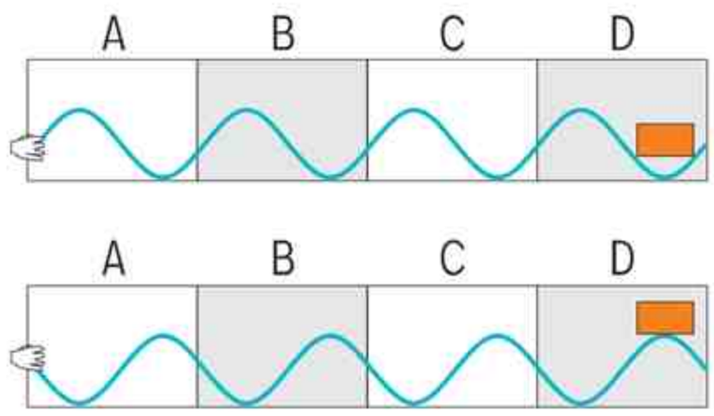
Dowiesz się, jak rozchodzą się fale mechaniczne.



Fala mechaniczna na wodzie.

Fala na sznurze

W przypadku wprawianego w ruch sznura drgają jego fragmenty — każdy wokół położenia równowagi. Poruszany ręką koniec działa na kolejne fragmenty, w rezultacie cały sznur faluje. Drgający drugi koniec sznura (fragment D na rysunku obok) może przesunąć stojące przy nim pudełko. Czym różni się taki przekaz energii na odległość od przesunięcia pudełka rzuconą w niego piłką?



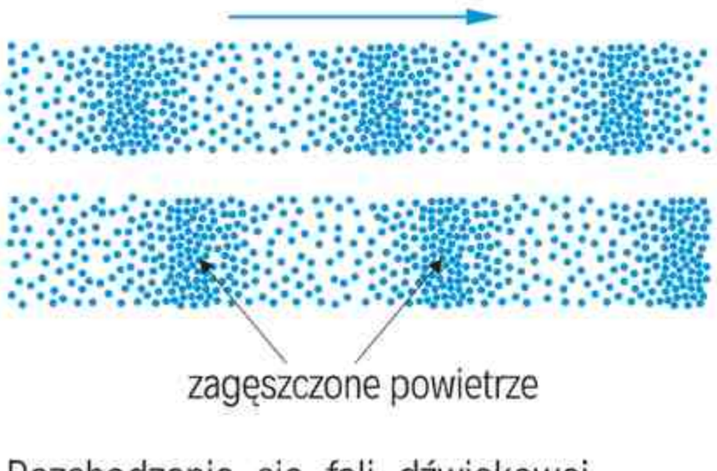


Fala wzdłuż sprężyny

Gdy na przemian popychamy i pociągamy koniec leżącej sprężyny, rozchodzi się w niej zaburzenie w postaci zgęszczenia zwojów. Fragment, który jest w danej chwili ściśnięty, rozpręża się, ściskając kolejny fragment, ten wpływa na dalszy itd. Drugi koniec sprężyny może przewrócić kręgiel, czyli przekazać energię, choć nie przemieszcza się materia wzdłuż sprężyny, a jedynie samo drganie.

Fala dźwiękowa

Również dźwięk, który dociera do naszych uszu, jest falą mechaniczną. Prześledźmy narodziny i wędrówkę dźwięku na przykładzie. Drgająca struna (np. napięta żyłka) napiera na porcję powietrza, ściskając ją. Ciśnienie w tej porcji powietrza jest wtedy przez chwilę większe od ciśnienia w otaczającym strunę powietrzu. Porcja ta zaczyna się więc rozszerzać (jej ciśnienie spada), ściskając sąsiednią porcję (tu ciśnienie rośnie). Cząsteczki pierwszej porcji w końcu przestają się „rozpychać" (najmniejsze ciśnienie) — porcja ta będzie teraz ponownie ściskana. Schematycznie przedstawiają to rysunki obok.



Rozchodzenie się fali dźwiękowej w powietrzu jest rozchodzeniem się zaburzeń ciśnienia i jednocześnie zaburzeń gęstości powietrza.

Fala dźwiękowa dociera do naszych uszu i wprawia w drgania błonę bębenkową. Na odległość zostaje przekazana energia. Cząsteczki powietrza się nie przemieściły od struny do ucha — dotarły do niego tylko drgania cząsteczek.

Przekaz energii

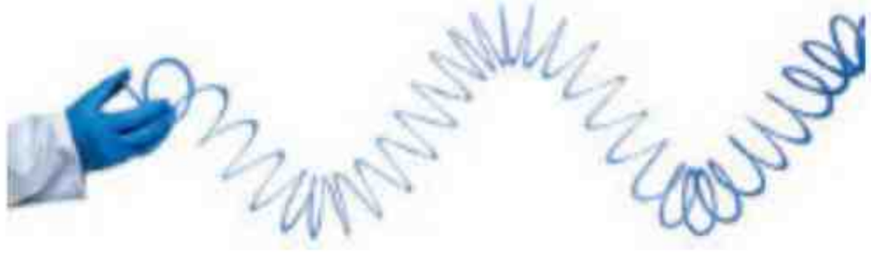
Każda fala mechaniczna może przekazać energię bez bezpośredniego przekazu materii.

Fala mechaniczna **przekazuje energię bez przenoszenia materii** — cząsteczki ośrodka tylko drgają wokół swoich położeń równowagi.

W przypadku rozmowy przekaz energii na odległość pozwala na wygodną komunikację. Jednak w przypadku trzęsienia ziemi przekaz energii poprzez drgania skorupy ziemskiej i fale na wodzie może być bardzo groźny. Szybkie określanie amplitudy takich fal i znajomość prędkości ich rozchodzenia się pozwalają tworzyć systemy ostrzegania o nadchodzącym zagrożeniu.

Opis fali mechanicznej

W zależności od tego, czy drganie cząsteczek zachodzi poprzecznie (prostopadle) do kierunku rozchodzenia się fali, czy wzdłuż tego kierunku, wyróżniamy **fale mechaniczne poprzeczne** i **podłużne**.



Fala poprzeczna w sprężynie.



Fala podłużna w sprężynie.

Każdą z fal mechanicznych można opisać, podając jej: amplitudę, okres lub częstotliwość, długość i prędkość.

Amplituda, okres i częstotliwość

Aby określić amplitudę (A), okres (T) oraz częstotliwość fali (f), należy wyznaczyć te wielkości dla drgań dowolnie wybranej cząsteczki ośrodka, w którym rozchodzi się fala.

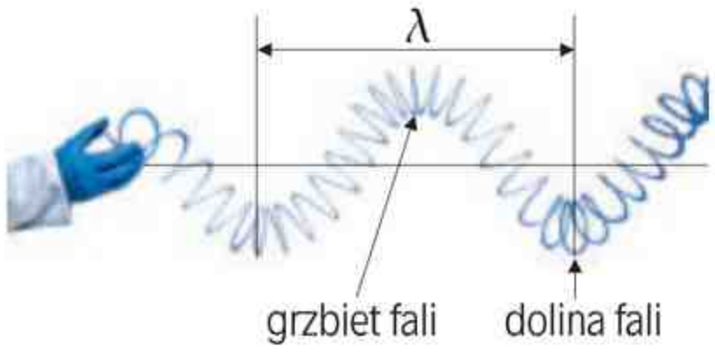
Dowiedz się więcej **o amplitudzie fali**

Amplitudę fali można wyrazić za pomocą innych wielkości niż odległość od położenia równowagi. W przypadku fali podłużnej w sprężynie można wyznaczyć maksymalną zmianę liczby zwojów sprężyny na jednostkę długości, np. 5 zwojów na 10 cm. Dla fali dźwiękowej amplitudę można określić np. maksymalnym odchyleniem ciśnienia (lub gęstości) powietrza od ciśnienia atmosferycznego, np. 20 Pa.

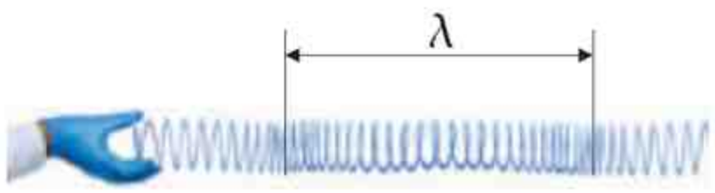
Długość fali

Długość fali poprzecznej to odległość między dwoma sąsiednimi grzbietami (lub dolinami) fali w danej chwili. Długość fali podłużnej w sprężynie to odległość między dwoma maksymalnymi zagęszczeniami (lub rozrzedzeniami). Dla fali dźwiękowej jest to odległość między miejscami o maksymalnym (lub minimalnym) ciśnieniu powietrza.

Długość fali oznaczamy grecką literą λ (lambda).



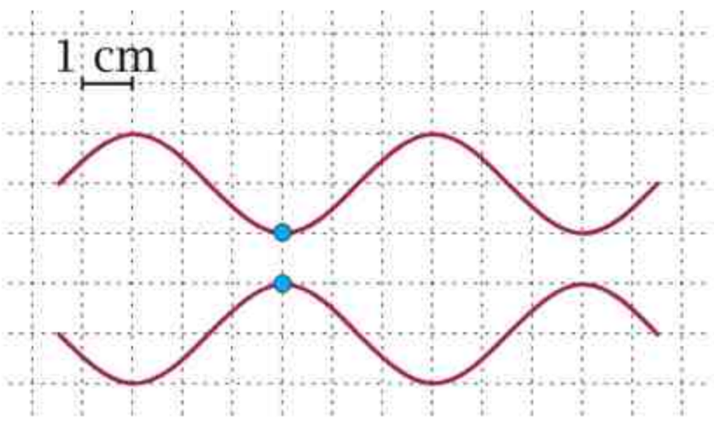
Długość fali poprzecznej.



Długość fali podłużnej.

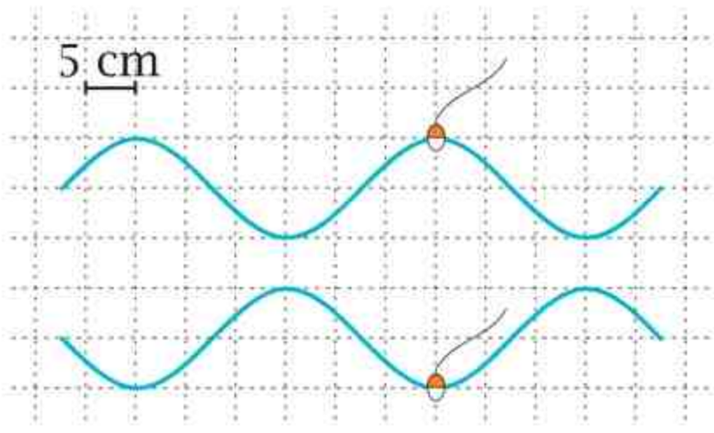
Długość fali (λ) to odległość między najbliższymi miejscami, w których drgania są zgodne (np. między grzbietami fali w sprężynie, między obszarami największego ciśnienia dla fali dźwiękowej).

PRZYKŁAD 1. Na rysunkach przedstawiono falę na sznurze. Od chwili, gdy supeł (zaznaczony kropką) był najniżej, do chwili, gdy był najwyżej, upływało 0,6 s. Opisz tę falę, określając jej amplitudę, długość i okres.



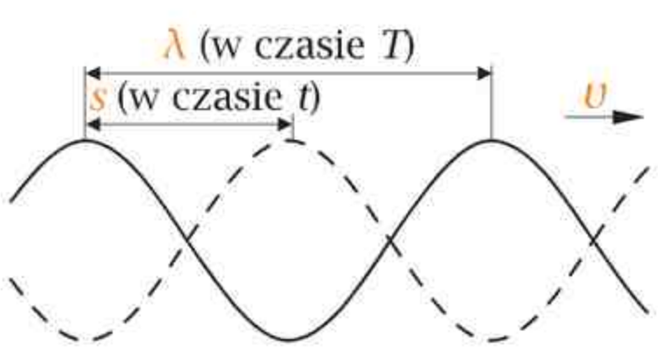
Odp. Amplituda fali jest równa 1 cm (amplituda drgań supła), długość to 6 cm (odległość między grzbietami), a okres jest równy $2 \cdot 0{,}6\ \text{s} = 1{,}2\ \text{s}$ (okres drgań supła).

ĆWICZENIE 1. Na rysunkach przedstawiono falę na wodzie i unoszący się spławik. Od chwili, gdy spławik był najwyżej, do chwili, gdy był najniżej, upływało 0,2 s. Opisz tę falę, określając jej amplitudę, długość i okres.



Prędkość fali

Prędkość fali opisuje, jak szybko fala się przemieszcza. Jeśli w czasie t grzbiet fali pokonuje drogę s, to prędkość fali jest równa $v = \frac{s}{t}$. W czasie równym okresowi fali T, jej grzbiet przebędzie drogę równą długości fali λ.



droga [m] — długość fali [m]

prędkość fali $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$ → $v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$ ← częstotliwość [Hz]

czas [s] — okres [s]

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

PRZYKŁAD 2. Na gumowym wężu wytworzono falę o okresie 0,3 s i długości 1,5 m. Oblicz prędkość tej fali.

Dane:

$T = 0{,}3\ \text{s}$ — okres fali

$\lambda = 1{,}5\ \text{m}$ — długość fali

Szukane:

$v = ?$ — prędkość fali

Rozwiązanie: $v = \frac{\lambda}{T}$ $\qquad v = \frac{1{,}5\ \text{m}}{0{,}3\ \text{s}} = 5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Odp. Prędkość tej fali jest równa $5\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

ĆWICZENIE 2. W stalową szynę uderzono młotkiem. Powstała w niej fala o okresie 0,002 s i długości 12 m. Oblicz prędkość tej fali.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Cielenie się lodowca*

Wioślarz płynący w nocy kajakiem niedaleko lodowca nie widział, że w pewnej chwili od ściany lodowca oderwał się i wpadł do wody jego duży fragment. Dzięki jakim falom mechanicznym, które dotarły do wioślarza, dowiedział się o tym zdarzeniu, zwanym cieleniem się lodowca?

Zadanie 2. *Fale mechaniczne*

Wskaż zdania prawdziwe.

① Fala mechaniczna nie może przekazywać energii na odległość.

② Gdy fala rozchodzi się wzdłuż sznura, jego fragmenty wykonują drgania.

③ Długość fali jest równa jej okresowi.

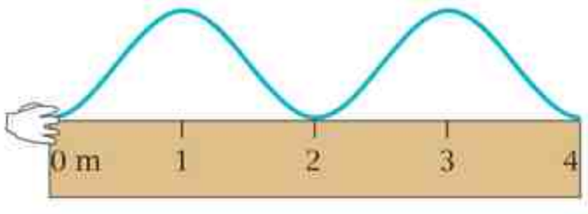
④ Abyśmy usłyszeli dźwięk wytwarzany przez głośnik, musi od niego do nas dotrzeć porcja powietrza.

⑤ Fala dźwiękowa w powietrzu to rozchodzące się zaburzenia ciśnienia powietrza.

⑥ Fala o okresie 2 s rozchodząca się z prędkością 3 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ma długość 6 m.

Zadanie 3. *Prędkość fali*

Na rysunku przedstawiono falę na długim sznurze. Dłoń poruszała się w górę i w dół. Od najniższego położenia dłoni do najwyższego upływały 0,2 s.



a) Ile wynosił okres fali?

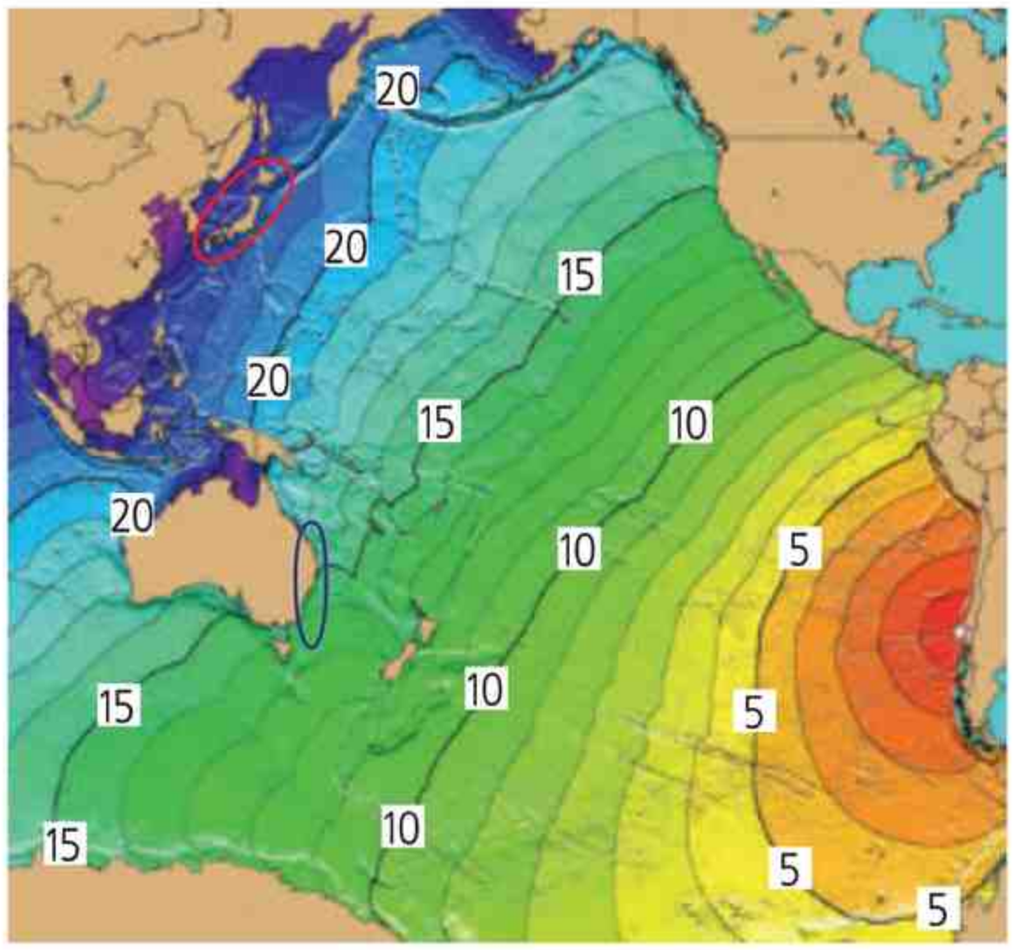
b) Oblicz częstotliwość fali.

c) Ile wynosiła długość fali?

d) Oblicz prędkość fali.

Zadanie 4. *Prędkość tsunami*

Rysunek przedstawia rozchodzenie się fali tsunami powstałej na skutek trzęsienia ziemi przy wybrzeżu Chile (Ameryka Południowa) w 1960 r. Trzęsienie to jest uznawane za najsilniejszy wstrząs tektoniczny w historii pomiarów.



Podane liczby określają czas w godzinach od trzęsienia ziemi do przybycia fali do danej linii. Linie zaznaczono co godzinę.

a) Ile czasu fala tsunami przemieszczała się od miejsca powstania do wybrzeża Australii (granatowa pętla na rysunku), a ile — do wybrzeża Japonii (czerwona pętla na rysunku)?

b) Wymień inne, poza falami wodnymi, fale mechaniczne powstające podczas trzęsienia ziemi.

c) Przyjmij, że fala tsunami poruszała się jednostajnie od wybrzeża Chile do wybrzeża Australii i pokonała 11 000 km. Oblicz prędkość tej fali. Wynik wyraź w $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ i $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

i Fale poruszają się szybciej w głębokiej wodzie, a wolniej w płytkiej.

Zadanie 5. *Meksykańska fala*

Publiczność na stadionie utworzyła falę: kolejne kolumny osób na trybunach podnosiły się, a następnie siadały, jedna tuż po drugiej. To „zaburzenie" widowni miało długość fali 9 m i poruszało się z prędkością 6 kolumn na sekundę. Przyjmij, że odległość między środkami sąsiednich kolumn to 60 cm.

a) Wyraź prędkość fali w $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

b) Oblicz okres fali.

Zadanie 6. *Długość fali*

Oblicz długość fali o prędkości v i okresie T, gdy:

a) $v = 10\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $T = 2\ \text{s}$,

b) $v = 6000\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $T = 2\ \text{ms}$,

c) $v = 1500\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$, $T = 50\ \mu\text{s}$.

Zadanie 7. *Fala dźwiękowa*

Oblicz długość fali dźwiękowej o częstotliwości f, rozchodzącej się w podanym ośrodku z prędkością v, gdy:

a) $f = 500\ \text{Hz}$, $v = 350\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (powietrze, 30°C)

b) $f = 200\ \text{Hz}$, $v = 320\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (powietrze, −20°C)

c) $f = 500\ \text{Hz}$, $v = 1500\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (woda, 30°C)

d) $f = 200\ \text{Hz}$, $v = 1400\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ (woda, 0°C)

Zadanie 8. *Fala dźwiękowa a higiena*

Hasto rozciąga przed sobą sznurek i trąca go kciukiem.

— Słyszysz, jak gram na sznurku? — zaczepia Weritkę.

— Tak, ale słabo.

— Mimo wszystko to super! Sznurek potrafi tak kopnąć cząsteczki powietrza, że dolatują do uszu.

— Na szczęście to tak nie działa! Na błonę bębenkową naciskają cząsteczki powietrza, ale nie te, które są przy sznurku.

— OK, ale dlaczego: na szczęście?

— Bo rozmowa byłaby wtedy bardzo niehigieniczna.

a) Jak drgający sznurek wpływa na otaczające go powietrze?

b) Dlaczego zwiększenie ciśnienia powietrza przez sznurek w jednym miejscu powoduje rozchodzenie się zaburzenia ciśnienia w otoczeniu?

c) Jak ciśnienie wiąże się z siłą parcia?

d) Dlaczego zmiana ciśnienia tylko z jednej strony błony bębenkowej powoduje jej ruch? Z której zasady dynamiki to wynika?



Jak myślisz?

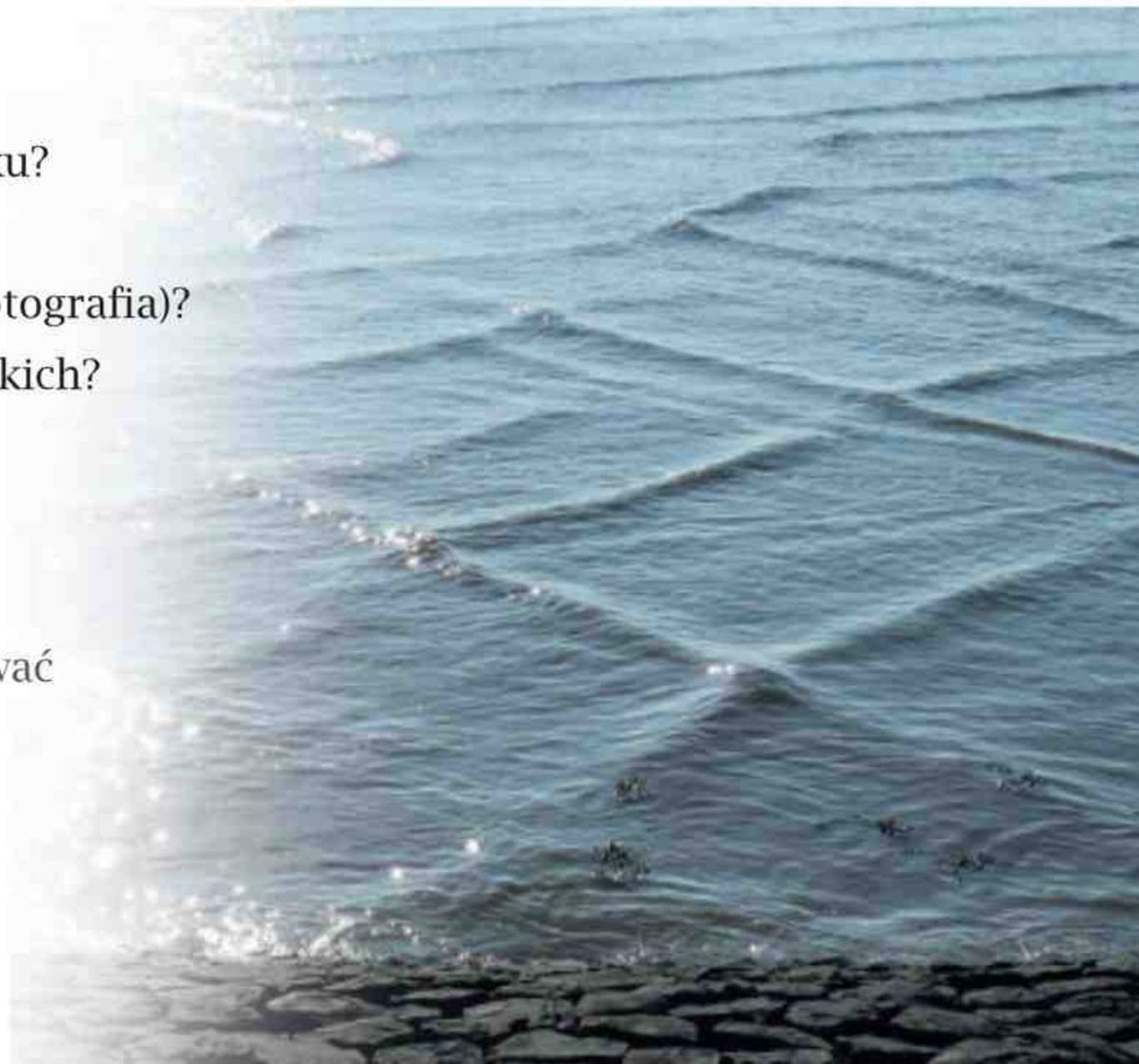
- Czy doszło kiedyś do tsunami na Bałtyku?
- Co to jest sejsmograf?
- Jak powstają „kwadratowe" fale (zob. fotografia)?
- Czym różnią się dźwięki wysokie od niskich?



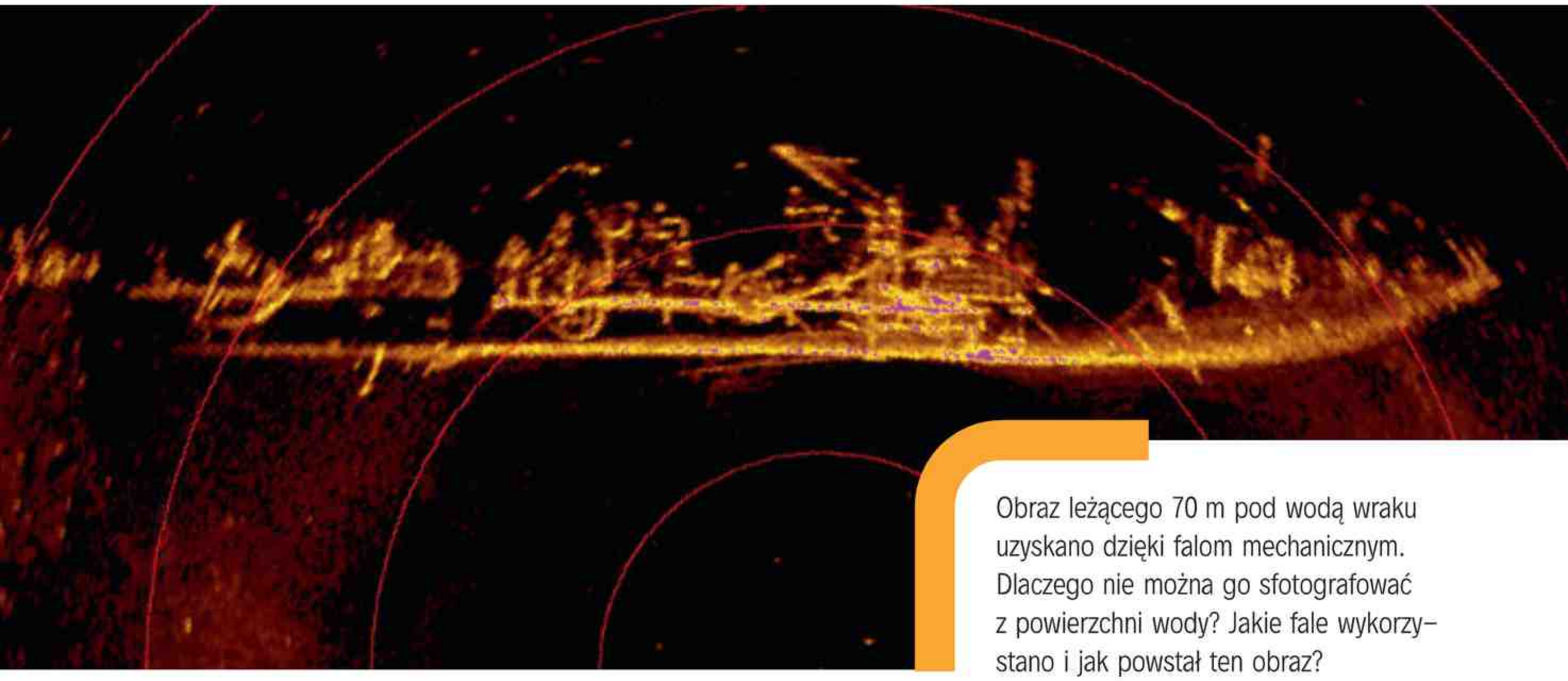
Fizyka na wesoło...

— Gdzie najlepiej przebywać podczas trzęsienia ziemi?

— Gdzieś indziej!



22 Dźwięk



Obraz leżącego 70 m pod wodą wraku uzyskano dzięki falom mechanicznym. Dlaczego nie można go sfotografować z powierzchni wody? Jakie fale wykorzystano i jak powstał ten obraz?

Czym jest dźwięk?

Dźwięk to fala akustyczna, czyli fala mechaniczna, mogąca wywołać wrażenie słuchowe. Taka fala rozchodzi się w powietrzu, wodzie, a nawet stalowej szynie, ale nie rozchodzi się w próżni (tam nie ma cząsteczek, które mogłyby przekazać drgania). Dźwięki służą nam do komunikacji, orientowania się w otoczeniu, odpowiednią ich sekwencję uznajemy za muzykę. Dźwięki mogą być wysokie lub niskie, ciche lub głośne.

Cel lekcji

Dowiesz się, jak na odbiór dźwięku wpływają amplituda i częstotliwość fal dźwiękowych oraz czym są infradźwięki i ultradźwięki.

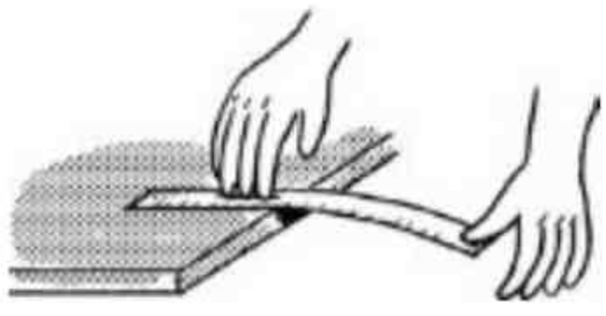
Wysokość dźwięku

Zbadaj, od czego zależy wysokość dźwięku.

Doświadczenie **Drgająca linijka**

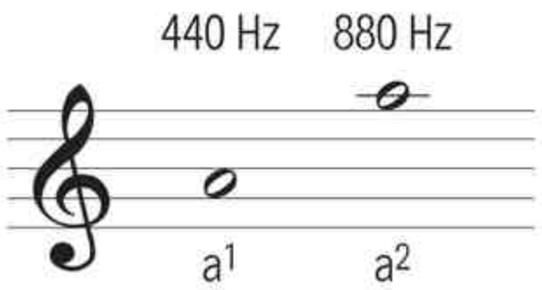
① Przygotuj długą plastikową linijkę.

② Wysuń większą część linijki poza krawędź stołu, dociskaj do blatu część leżącą na nim. Wystający koniec linijki trącaj palcem.



③ Powtórz tę czynność kilkukrotnie, skracając wystającą część linijki. Obserwuj, jak zmienia się częstotliwość drgań końca linijki i wysokość powstającego dźwięku.

Im więcej linijki wystaje za blat, tym mniejsza jest częstotliwość jej drgań (wolniej porusza się jej koniec), i tym niższy dźwięk słychać. Drgające ciało wytwarza falę dźwiękową o tej samej częstotliwości, jak częstotliwość jego drgań. Fala dociera do ucha i wprawia błonę bębenkową w drgania o tej samej częstotliwości. Im większa częstotliwość, tym wyższy dźwięk odbieramy.



Dźwięk a^2 jest wyższy od dźwięku a^1.

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

Głośność dźwięku

Jeśli bardziej odchylisz linijkę, wprawiając ją w drgania, tym głośniejszy dźwięk uzyskasz. Im większa amplituda drgającego ciała, tym większa amplituda wytwarzanej przez to ciało fali dźwiękowej i tym głośniejszy dźwięk.

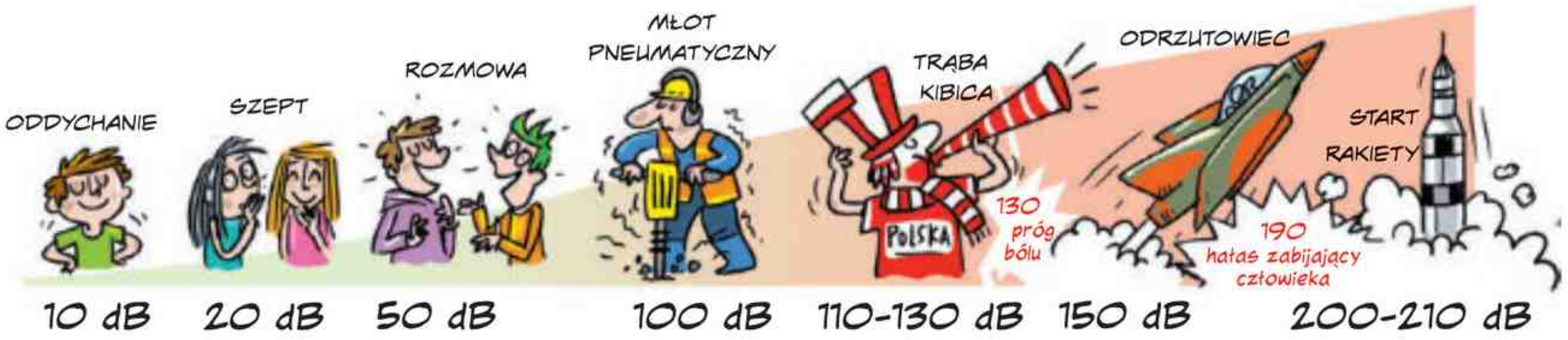
Głośność dźwięku zależy od amplitudy fali dźwiękowej. Im większa amplituda fali, tym dźwięk jest głośniejszy.

Im bardziej odchylasz linijkę, tym większą pracę wykonujesz (energia linijki wzrasta), a dzięki temu linijka może przekazać więcej energii fali dźwiękowej. Wrażenie słuchowe zależy od tego, jak dużo energii fala dostarcza w jednostce czasu.

Głośność dźwięku zależy od energii fali dźwiękowej. Im więcej energii w jednostce czasu (mocy) fala przekazuje uszom, tym dźwięk jest głośniejszy.

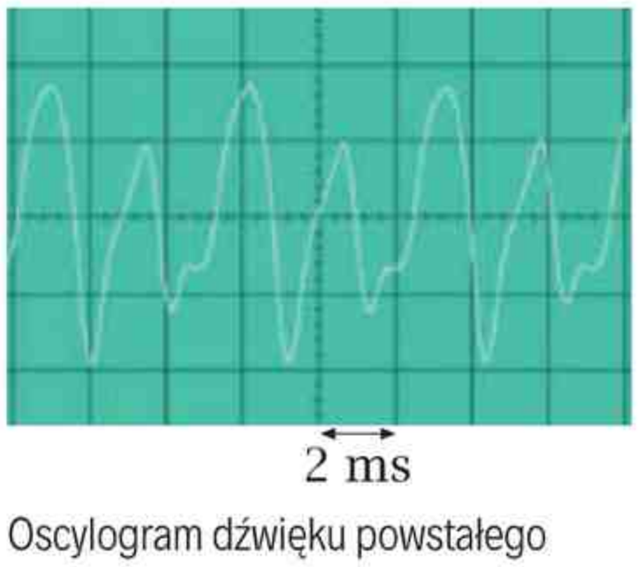
Zbyt głośne dźwięki mogą spowodować uszkodzenie słuchu. Im dalej jesteś od źródła hałasu i im krócej narażasz na niego swoje uszy, tym dłużej będziesz dobrze słyszeć.

Do opisu głośności stosuje się jednostkę **decybel (dB).**



Oscylogram dźwięku

Dźwięku nie można zobaczyć, ale przebieg zmian ciśnienia fali dźwiękowej w czasie można przedstawić na **oscylogramie**. Obok przedstawiono oscylogram dźwięku powstałego na gitarze. Na poziomej osi zaznaczono czas. Im wyżej znajduje się fragment wykresu, tym większe było w danej chwili ciśnienie fali dźwiękowej w miejscu pomiaru.



Oscylogram dźwięku powstałego na gitarze.

Oscylogram dźwięku gitary ma skomplikowany kształt. Jednak można wskazać powtarzający się jego fragment, a więc wyznaczyć okres fali. W tym przypadku jest on równy około 5 ms, a więc dźwięk ma częstotliwość około 200 Hz. Obserwując oscylogramy, zbadajmy związek częstotliwości z wysokością dźwięku oraz amplitudy z głośnością.

Doświadczenie **Instrumenty i oscylogramy**

① Przygotuj: komputer lub smartfon z aplikacją do tworzenia oscylogramów dźwięku, kilka instrumentów muzycznych (np. flet prosty, gitarę).

② Uruchom aplikację. Wydobądź dowolny dźwięk z pierwszego instrumentu.

③ Obserwuj oscylogram. Zanotuj amplitudę oraz okres dźwięku.

④ Wytwórz ten sam dźwięk głośniej. Sprawdź, czy wzrosła amplituda.

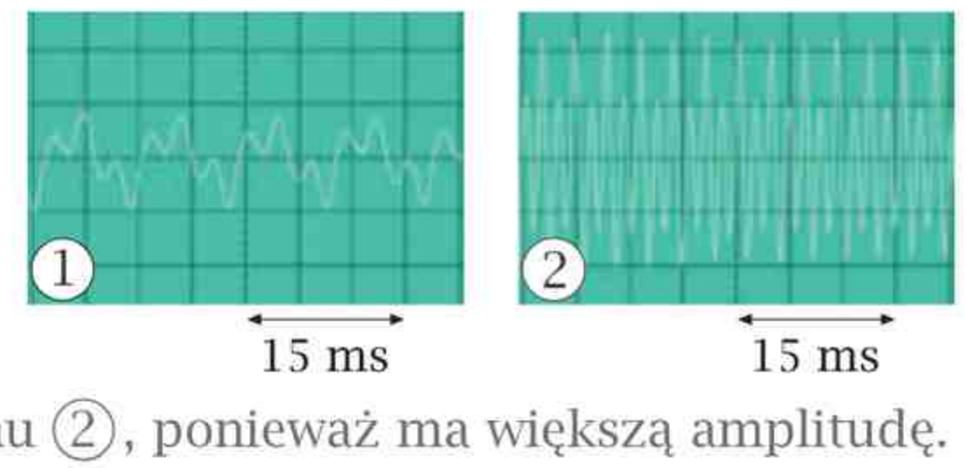
⑤ Wydaj z instrumentu wyższy dźwięk. Czy zmniejszył się okres (wzrosła częstotliwość) dźwięku?

⑥ Powtórz punkty ③–⑤ z innym instrumentem.

PRZYKŁAD 1. Na oscylogramach pokazano dźwięki gitary. Który jest:

a) głośniejszy, **b)** niższy?

Odpowiedzi uzasadnij.



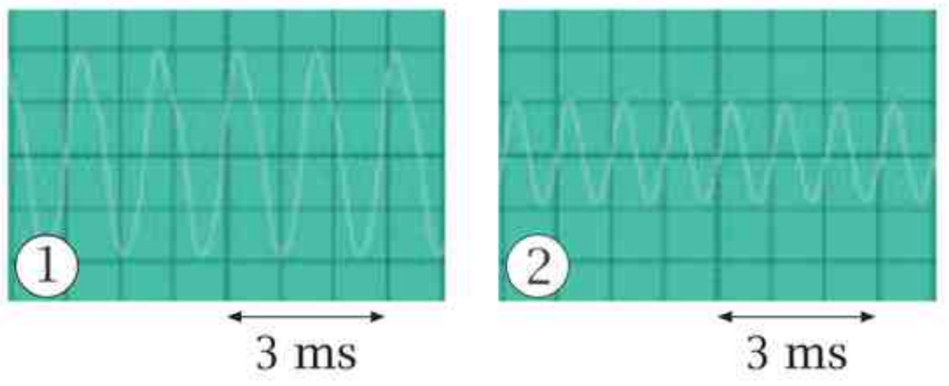
a) **Odp.** Głośniejszy jest dźwięk z oscylogramu ②, ponieważ ma większą amplitudę.

b) **Odp.** Niższy jest dźwięk z oscylogramu ①, ponieważ ma mniejszą częstotliwość.

ĆWICZENIE 1. Na oscylogramach pokazano dźwięki fletu. Który jest:

a) głośniejszy, **b)** wyższy?

Odpowiedzi uzasadnij.

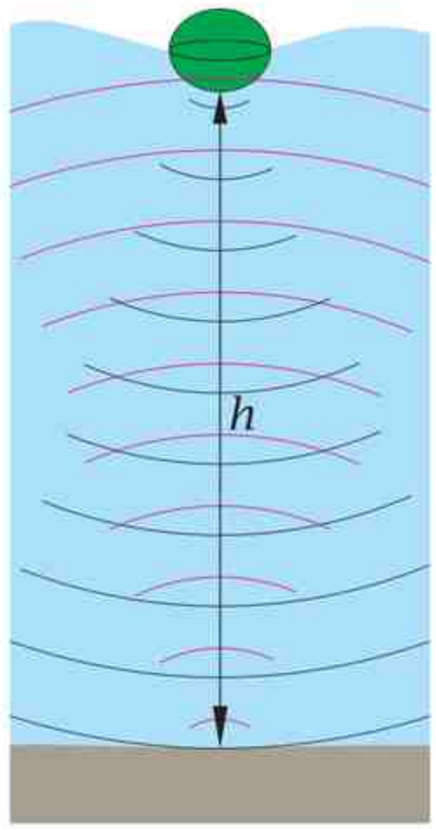


Ultradźwięki, dźwięki słyszalne i infradźwięki

Zmysł słuchu człowieka jest w stanie rejestrować dźwięki o częstotliwościach **od około 20 Hz do około 20 kHz**. Dźwięki o częstotliwościach mniejszych niż około 20 Hz są nazywane **infradźwiękami** (od łacińskiego słowa *infra* — poniżej). Dźwięki o częstotliwościach większych niż rejestrowane przez człowieka nazywamy **ultradźwiękami** (od łacińskiego słowa *ultra* — za, poza).

Człowiek nauczył się wykorzystywać nawet te fale dźwiękowe, które nie są rejestrowane przez jego zmysł słuchu.

PRZYKŁAD 2. Rysunek przedstawia kołyszącą się na wodzie boję, która wysyła fale ultradźwiękowe. Fale te odbijają się od dna. Część sygnału powraca do boi. Czas od wysłania sygnału do jego powrotu do boi to 4 ms. Wyznacz odległość boi od dna. Prędkość dźwięku w wodzie to 1500 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.



Dane:

$t = 4\ \text{ms} = 0{,}004\ \text{s}$ — czas od wysłania sygnału do jego powrotu

$v = 1500\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$ — prędkość dźwięku w wodzie

Szukane:

$h = ?$ — odległość boi od dna

Rozwiązanie:

$s = v \cdot t$ — droga przebyta przez falę (tam i z powrotem)

$s = 1500\ \frac{\text{m}}{\cancel{\text{s}}} \cdot 0{,}004\ \cancel{\text{s}} = 6\ \text{m}$

$h = \frac{s}{2}$, stąd $h = \frac{6\ \text{m}}{2} = 3\ \text{m}$

Odp. Odległość boi od dna wynosi 3 m.

ĆWICZENIE 2. Dalmierz wysyła fale ultradźwiękowe w kierunku budynku. Czas od wysłania sygnału do odebrania powracającego echa to 0,03 s. Wyznacz odległość dalmierza od budynku. Przyjmij, że prędkość dźwięku w powietrzu jest równa 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Dowiedz się więcej **o echolokacji**

Aby nietoperz mógł za pomocą echolokacji zmierzyć swoją odległość od muchy, musi wysłać w jej kierunku falę, której część odbije się od muchy i wróci do nietoperza. Fala tylko wtedy może się odbić od muchy, gdy długość fali jest podobna lub mniejsza od rozmiarów muchy. Jeśli prędkość dźwięku w powietrzu jest równa 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, a nietoperz chce zauważyć owada o długości 4 mm (0,004 m), to musi wysłać falę o częstotliwości równej co najmniej 85 kHz.

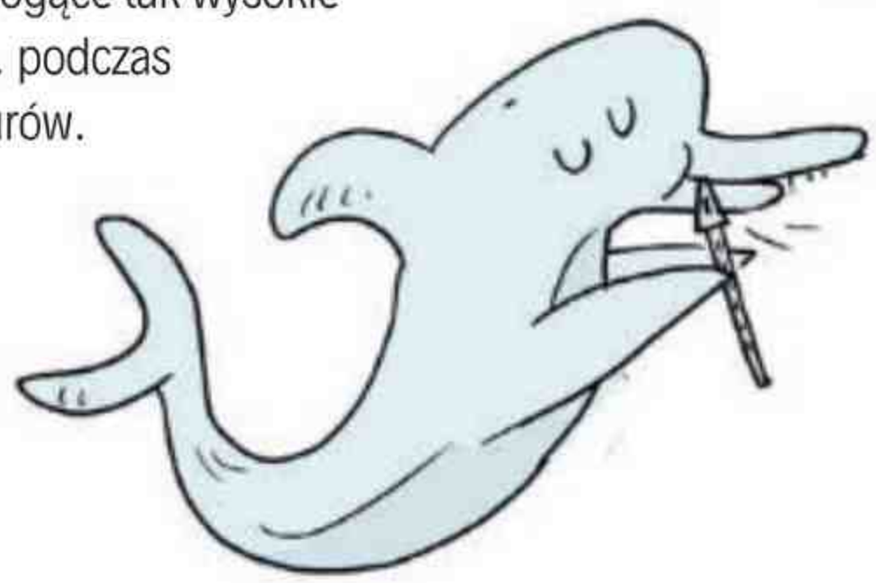
częstotliwość

ultradźwięki

Ultradźwięki są wykorzystywane do wyznaczania odległości od ciał. Używa się do tego takich urządzeń, jak: dalmierz ultradźwiękowy, sonar, ultrasonograf (USG). Odległość wyznacza się na podstawie czasu, który mija od momentu wysłania fali dźwiękowej do jej powrotu po odbiciu się od przeszkody. Powtórzony dźwięk spowodowany odbiciem się fali dźwiękowej to echo, stąd nazwa metody — echolokacja. W naturze posługują się nią nietoperze i delfiny. Wiele zwierząt słyszy ultradźwięki. Gwizdki mogące tak wysokie dźwięki wytwarzać wykorzystuje się np. podczas tresury psów czy do odstraszania szczurów.







20 kHz

dźwięki słyszalne



Dźwięki słyszalne to takie, które jest w stanie rejestrować zmysł słuchu człowieka. Granice słyszalności zależą od głośności i czasu trwania dźwięku oraz stanu zdrowia i cech danej osoby. Niektórzy słyszą dźwięki o częstotliwości od 16 Hz do 25 kHz. Inni nie słyszą już powyżej 12 kHz. Dzieci słyszą piski, których nie usłyszą osoby starsze. Większość dorosłych nie odbiera dźwięków o częstotliwości powyżej 16 kHz. Na szczęście do rozmowy wystarczają częstotliwości od 300 Hz do 3 kHz.

20 Hz



infradźwięki

Infradźwięki powstają w trakcie trzęsień ziemi, sztormów, cyklonów i wybuchów bomb jądrowych. Dźwięki te zwykle negatywnie wpływają na nasze samopoczucie. Mogą być wręcz niebezpieczne dla ludzi — są wykorzystywane w broni akustycznej w celu obezwładnienia przeciwnika. Mimo to bywają wykorzystywane w muzyce (organy, głośniki niskotonowe) i są odczuwalne jako drżenie otoczenia i naszego ciała. Słonie i wieloryby wykorzystują infradźwięki do komunikacji.

0 Hz

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Jej Wysokość Częstotliwość*

Muzyk zagrał na kontrabasie dźwięki o następujących częstotliwościach:

98 Hz 196 Hz 55 Hz
392 Hz 100 Hz

Zapisz te częstotliwości w kolejności od najniższego do najwyższego dźwięku.

Zadanie 2. *Prędkość i głośność*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① W przestrzeni kosmicznej dźwięk rozchodzi się szybciej niż w powietrzu.
② Prędkość dźwięku w powietrzu jest mniejsza niż w wodzie.
③ Jeżeli dźwięki emitowane przez dwa źródła mają tę samą częstotliwość, to odbieramy je jako tak samo głośne.
④ Dźwięk o częstotliwości 90 Hz jest wyższy od dźwięku o częstotliwości 0,1 kHz.
⑤ Im większa moc, z jaką źródło wytwarza dźwięk, tym jest on głośniejszy.
⑥ Dźwięk o danej częstotliwości jest tym głośniejszy, im mniejsza jest amplituda fal dźwiękowych.
⑦ Fala akustyczna to przykład fali mechanicznej.

Zadanie 3. *Oktawa*

Dźwięki różnią się o oktawę, gdy częstotliwość dźwięku wyższego jest dwa razy większa od częstotliwości niższego. Muzyk zagrał na organach dźwięk fis^2, którego częstotliwość to 740 Hz. Oblicz częstotliwość dźwięku:

a) wyższego o oktawę,
b) niższego o oktawę,
c) niższego o cztery oktawy.

Zadanie 4. *Podział dźwięków*

Wśród dźwięków o częstotliwościach podanych w ramce wskaż:

a) dźwięki słyszalne przez człowieka,
b) infradźwięki,
c) ultradźwięki.

90 kHz 0,1 Hz 12 MHz 259 Hz
60 Hz 5 Hz

Zadanie 5. *Głośność i amplituda*

Muzyk wielokrotnie uderzał strunę E gitary elektrycznej. Za każdym razem częstotliwość dźwięku emitowanego przez głośnik była równa 82,4 Hz. Amplitudy fal dźwiękowych przy kolejnych uderzeniach były równe:

18 Pa 0,1 Pa 3 Pa 0,05 Pa

Zapisz te amplitudy w kolejności od najcichszego do najgłośniejszego dźwięku.

Zadanie 6. *Moc źródła*

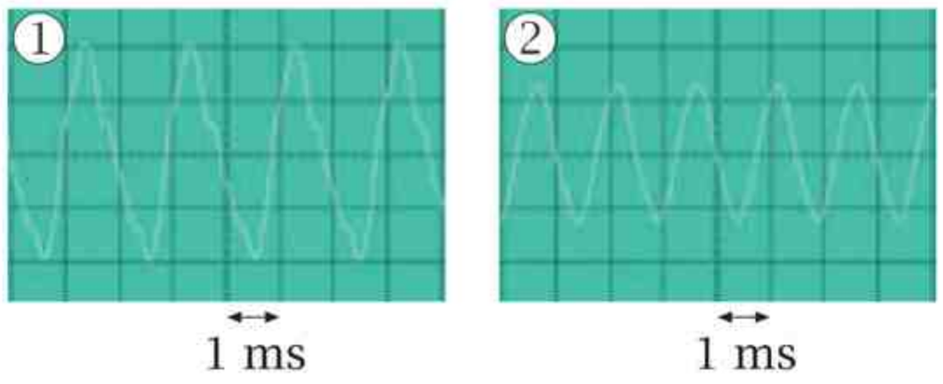
W tabeli podano, z jaką mocą różne źródła wytwarzały dźwięk ciągły o tej samej częstotliwości. Głośność dźwięku była mierzona w tej samej odległości od każdego źródła.

klarnet	0,05 W
fortepian	0,1 W
organy	10 W
syrena alarmowa	1000 W

a) Które źródło przekazało otaczającemu je powietrzu najwięcej energii w 20 s?
b) Które źródło wytwarzało najgłośniejszy dźwięk?
c) Które źródło wytwarzało falę dźwiękową o najmniejszej amplitudzie?

Zadanie 7. *Flet altowy*

Na poniższych oscylogramach pokazano dźwięki wytworzone przez flet prosty altowy.



a) Który z przedstawionych dźwięków jest głośniejszy, a który — wyższy? Uzasadnij odpowiedź.

b) Oblicz okres i częstotliwość każdego z tych dźwięków.

Zadanie 8. *Wyciszanie przez zabieranie*

— Widziałem eksperyment, w którym telefon umieszczono w komorze próżniowej — relacjonuje Hasto. — Kiedy w komorze było powietrze, na zewnątrz było słychać dzwoniący telefon. Kiedy wypompowano powietrze, nie było go słychać.

— Może się zepsuł? — podejrzewa Weritka.

— Nie, po migającym ekranie było widać, że dzwoni. A po wpuszczeniu powietrza do komory znowu było go słychać.

Zaproponuj wyjaśnienie opisanego efektu.

Zadanie 9. *USG*

Głowica ultrasonografu wytwarza w ciele pacjenta falę dźwiękową o częstotliwości 10 MHz. Prędkość fali jest równa 1540 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Oblicz okres fali i wyraź go w mikrosekundach.

b) Oblicz długość fali i wyraź ją w mikrometrach.

Zadanie 10. *Sonar*

Ichtiolog (naukowiec zajmujący się rybami) zamierza kupić sonar do obserwacji ryb o rozmiarach co najmniej 5 cm. Dowiedział się, że długość fali dźwiękowej wysyłanej przez taki sonar powinna być nie większa niż 5 cm. W opisie sonarów podane są jednak tylko częstotliwości wysyłanych przez nie fal. Przyjmij, że prędkość dźwięku w wodzie to 1500 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

a) Oblicz częstotliwość fali dźwiękowej, którą powinien wysyłać sonar, by długość tej fali w wodzie była równa 5 cm. Czy dźwięk o takiej częstotliwości należy do infradźwięków?

b) Jak daleko od sonaru znajduje się ryba, jeśli od wysłania fali do jej powrotu po odbiciu się od ryby upłynęło 20 ms?



Jak myślisz?

- Jak szybko zanika dźwięk wraz ze wzrostem odległości od źródła?
- Jak decybel jest związany z amplitudą zmian ciśnienia?
- Czy człowiek może posługiwać się echolokacją, nie używając żadnych urządzeń?
- Czy istnieją fale inne niż mechaniczne?



Fizyka na wesoło...

Skrzypek nie przygotował się do próby i ciągle się myli. W końcu przerywa grę i woła do dyrygenta:

— Orkiestra gra tak głośno, że sam siebie nie słyszę!

— To ma pan więcej szczęścia niż ja… — odpowiada dyrygent.

CZĘŚĆ 1. *Zestawienie wiadomości*

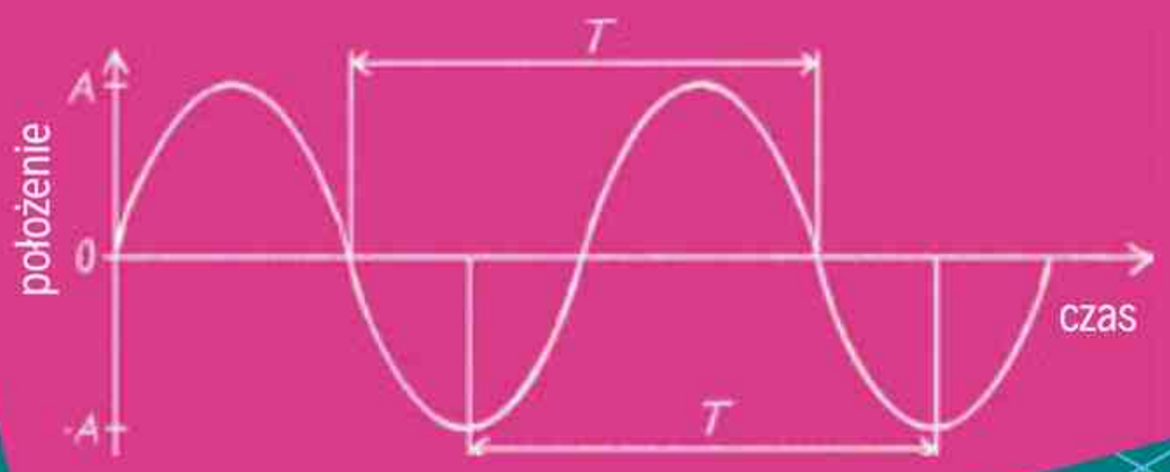
1

Ruch drgający
to ruch, w którym ciało przemieszcza się po tym samym torze tam i z powrotem wokół **położenia równowagi**.

2

Ruch drgający opisują:

- **Amplituda** (A) – maksymalne wychylenie z położenia równowagi. Jednostka: **metr** [**m**].
- **Okres** (T) – czas trwania jednego cyklu, $T = \frac{t}{n}$, gdzie t oznacza czas, w którym ciało wykonało n drgań. Jednostka: **sekunda** [**s**].
- **Częstotliwość** (f) – liczba cykli na jednostkę czasu, $f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$, gdzie n to liczba cykli wykonanych w czasie t, T – okres drgań. Jednostka: **herc** [**Hz**].



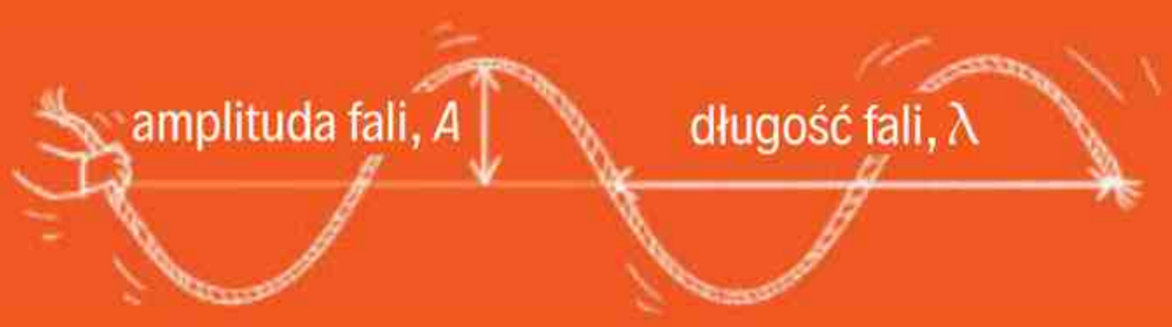
3

Fala mechaniczna
to rozchodzące się drgania cząsteczek ośrodka. **Przekazuje ona energię** bez przenoszenia materii. Cząsteczki ośrodka tylko drgają wokół swoich położeń równowagi. Przykładem fali mechanicznej jest **dźwięk**.

4

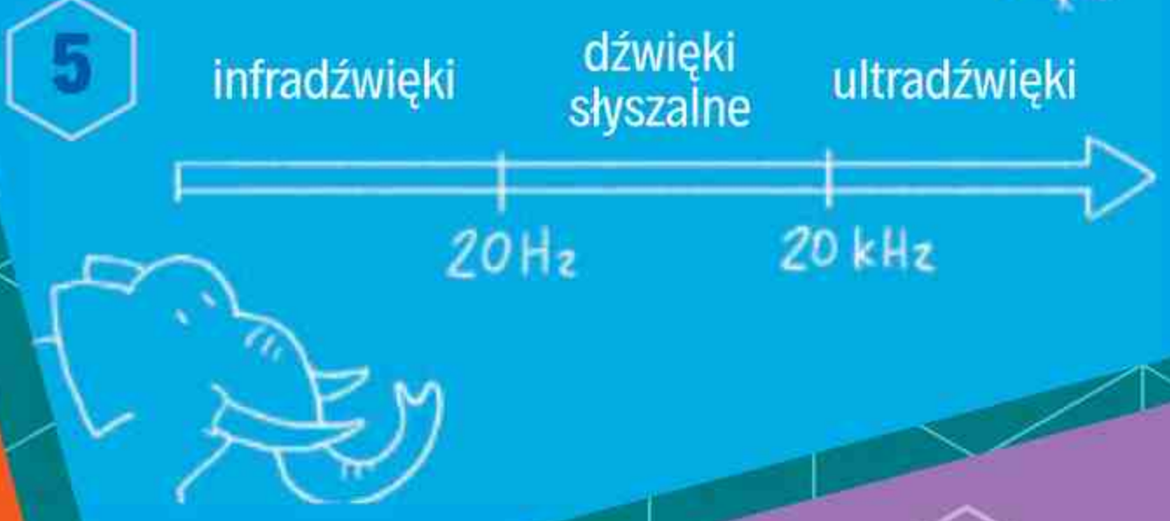
Falę opisują amplituda (A), okres (T), częstotliwość (f) oraz:

- **Długość fali** (λ) – odległość między najbliższymi miejscami, w których drgania są zgodne. Jednostka: metr (m).
- **Prędkość fali** (v) – określa, jak szybko fala się przemieszcza, $v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$, gdzie s to odległość przebyta w czasie t, λ – długość fali, T – okres, f – częstotliwość.



5

Fale dźwiękowe



6

- **Wysokość dźwięku**
  Im większa częstotliwość fali dźwiękowej, tym wyższy dźwięk.
- **Głośność dźwięku**
  Im większa amplituda fali dźwiękowej, tym więcej energii fala przekazuje uszom i tym głośniejszy jest dźwięk.

CZĘŚĆ 2. *Sprawdź, czy wiesz*

1. Podaj przykłady ruchu drgającego.

2. Wyjaśnij, co to jest położenie równowagi oraz amplituda drgań.

3. Wyjaśnij, co to jest okres i częstotliwość drgań. Jaki jest związek między nimi?

4. Jakie rodzaje energii ma ciężarek drgający w poziomie na sprężynie? Od czego zależą wartości tych energii?

5. Omów przemiany energii zachodzące podczas poziomych drgań ciężarka na sprężynie.

6. Omów przemiany energii zachodzące podczas drgań wahadła (ciężarka na nici).

7. Wyjaśnij, w jaki sposób można wyznaczyć okres i częstotliwość w ruchu drgającym.

8. Wyjaśnij, na wybranym przykładzie, proces powstawania i rozchodzenia się fal mechanicznych.

9. Określ, co to jest amplituda, okres, częstotliwość, długość oraz prędkość fali.

10. Wyjaśnij, jak obliczyć prędkość fali, znając jej długość i częstotliwość.

11. Wyjaśnij, jak obliczyć długość fali, znając jej prędkość i okres.

12. Podaj przykłady źródeł dźwięku.

13. Przedstaw mechanizm powstawania i rozchodzenia się fal dźwiękowych w powietrzu.

14. Określ, od czego zależy wysokość dźwięku.

15. Opisz związek między głośnością dźwięku a energią i amplitudą fali.

16. Wyjaśnij różnice między dźwiękami słyszalnymi, infradźwiękami i ultradźwiękami.

17. Podaj przykłady źródeł infradźwięków oraz ultradźwięków.

18. Przedstaw przykładowe zastosowania infradźwięków oraz ultradźwięków.

CZĘŚĆ 3A. *Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka*

i Przyjmij, że fale na powierzchni wody są falami poprzecznymi, a prędkość dźwięku w powietrzu wynosi 340 $\frac{m}{s}$. Pomiń opory ruchu.

Zadanie 1. Ciężarek zawieszony na sprężynie przebywa odległość od najniższego do najwyższego położenia w czasie 0,6 s. Okres drgań ciężarka jest równy:

A. 0,3 s **B.** 0,6 s **C.** 1,2 s **D.** 2,4 s

Zadanie 2. Podczas drgań ciężarka zawieszonego na sprężynie długość sprężyny zmienia się od 16 cm do 21 cm. Amplituda drgań jest równa:

A. 2,5 cm **B.** 5 cm **C.** 10 cm **D.** 18,5 cm

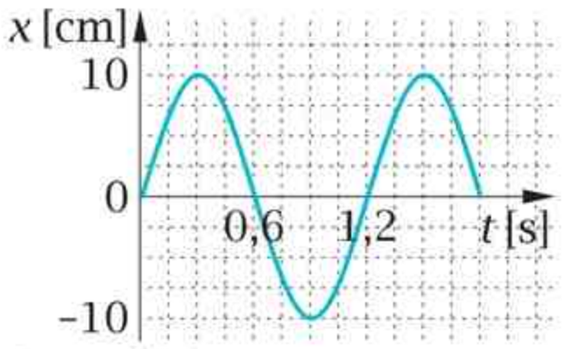
Zadanie 3. Okres drgań wahadła wynosi 1,5 s. W czasie 2 minut wahadło to wykona:

A. 150 drgań **B.** 80 drgań **C.** 60 drgań **D.** 30 drgań

Zadanie 4. Okres drgań wahadła to 0,5 s. Wahadło to wykona 60 drgań w czasie:

A. 0,3 minuty **B.** 0,5 minuty **C.** 1,2 minuty **D.** 2 minut

Zadanie 5. Na wykresie przedstawiono zależność wychylenia drgającego ciężarka zawieszonego na sznurku od czasu. Dodatnie wartości oznaczają odchylenie w prawo, a ujemne — w lewo. Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.



a) *Na wykresie pokazano* ***1 drganie/1,5 drgania/3 drgania.***

b) *Okres drgań wahadła wynosi* ***0,6 s/1,2 s/1,8 s, a amplituda 10 cm/20 cm.***

c) *W czasie 1,8 s wahadło maksymalnie wychyliło się w lewo* ***1 raz/2 razy.***

d) *W chwili t = 0,3 s prędkość wahadła była* ***największa/równa zero.***

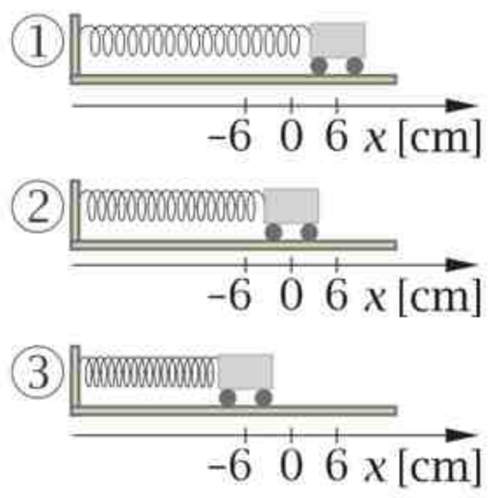
Zadanie 6. Po rozciągnięciu i puszczeniu sprężyny przymocowany do niej wózek zaczął wykonywać drgania o amplitudzie 6 cm. Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

W położeniu ① siła sprężystości ma wartość ***największą/najmniejszą.***

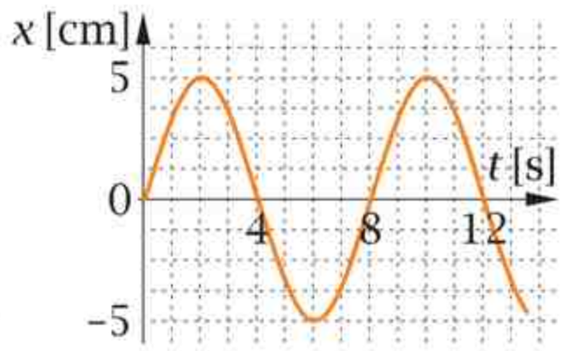
Siła sprężystości jest równa zero w położeniu ①/②/③.

Podczas ruchu z położenia ① do położenia ② prędkość wózka ***rośnie/maleje.***

Podczas ruchu z położenia ② do położenia ③ rośnie ***energia kinetyczna/energia potencjalna sprężystości.***



Zadanie 7. Na wykresie przedstawiono zależność położenia pewnego układu drgającego od czasu. Wskaż zdanie prawdziwe.



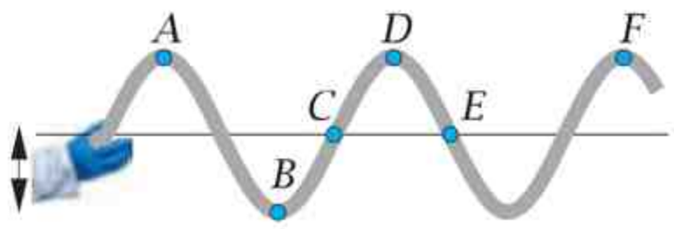
A. Od chwili $t = 4$ s do chwili $t = 6$ s energia potencjalna rosła.

B. Od chwili $t = 8$ s do chwili $t = 10$ s energia kinetyczna rosła.

C. Od chwili $t = 4$ s do chwili $t = 6$ s energia potencjalna malała.

D. W chwili $t = 8$ s energia kinetyczna wynosiła zero.

Zadanie 8. Na sprężynie została wytworzona fala poprzeczna. Długość tej fali to odległość między punktami:



A. A i F **B.** C i E **C.** D i E **D.** D i F

Zadanie 9. Kulka zawieszona na sprężynie, drgając z częstotliwością 4 Hz, uderza o powierzchnię wody. Z jaką prędkością rozchodzi się wytworzona fala, jeśli odległość między jej sąsiednimi grzbietami jest równa 6 cm?

A. $1{,}5\ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ **B.** $24\ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ **C.** $0{,}67\ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$ **D.** $6\ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

Zadanie 10. Jeżeli fala dźwiękowa rozchodząca się w powietrzu ma długość 34 cm, to jej częstotliwość jest równa:

A. 10 Hz **B.** 100 Hz **C.** 10 kHz **D.** 1 kHz

Zadanie 11. Wysokość dźwięku zależy od:

A. prędkości jego rozchodzenia się,
B. amplitudy drgań jego źródła,
C. energii rozchodzącej się fali,
D. częstotliwości drgań jego źródła.

Zadanie 12. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Infradźwięki mają częstotliwość większą od 20 Hz.
② Infradźwięki powstają podczas sztormów i trzęsień ziemi.
③ Ultradźwięki mają częstotliwość większą od 20 kHz.
④ Słonie komunikują się za pomocą ultradźwięków.
⑤ Ultradźwięki wykorzystuje się w diagnostyce medycznej.
⑥ Nietoperze wykorzystują ultradźwięki do echolokacji.

CZĘŚĆ 3B. *Sprawdź, czy potrafisz. Trening*

Zadanie 1. W czasie 1 minuty dziecko wykonało 15 pełnych wahnięć na huśtawce.

a) Oblicz okres tego ruchu.

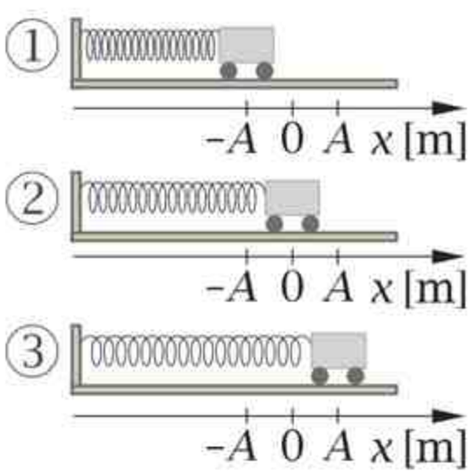
b) Ile wynosiła częstotliwość drgań?

Zadanie 2. Wahadło drga z częstotliwością 1,5 Hz. Oblicz, ile drgań wykona to wahadło w czasie 1 minuty.

Zadanie 3. Częstotliwość drgań ciężarka na sprężynie jest równa 0,8 Hz. Oblicz, w jakim czasie ten układ wykona 50 drgań.

Zadanie 4. Odległość między najniższym i najwyższym położeniem boi drgającej na wodzie była równa 35 cm. Wybierz poprawne uzupełnienia zdania.

Amplituda fali rozchodzącej się w wodzie wynosiła ***35 cm / 17,5 cm****, ponieważ amplitudę można określić jako odległość pomiędzy położeniem najwyższym a położeniem* ***najniższym / równowagi.***



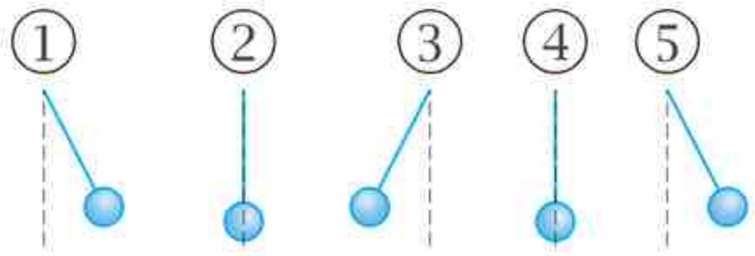
Zadanie 5. Po ściśnięciu i puszczeniu sprężyny przymocowany do niej wózek zaczął wykonywać drgania. Okres tych drgań to 3 s.

a) W którym położeniu energia potencjalna sprężystości była równa zero?

b) Kiedy układ miał największą energię potencjalną sprężystości, a kiedy — największą energię kinetyczną?

c) Co ile czasu energia potencjalna sprężystości osiągała wartość maksymalną?

Zadanie 6. Po odchyleniu i puszczeniu ciężarek zawieszony na sznurku zaczął wykonywać drgania. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.



Podczas ruchu wahadła z położenia ② do położenia ③ rośnie…

A.	*energia kinetyczna,*	*ponieważ*	**1.**	*ciężarek wznosi się coraz wyżej.*
B.	*energia potencjalna grawitacji,*		**2.**	*rośnie prędkość ciężarka.*

Zadanie 7. Piłka plażowa unosi się na powierzchni wody w jeziorze. Od chwili, gdy piłka jest w najwyższym położeniu, do chwili, gdy jest najniżej, mijają 2 s. Oblicz długość fal na jeziorze, wiedząc, że rozchodzą się one z prędkością 1,25 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

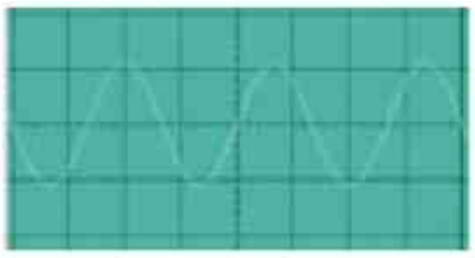
Zadanie 8. Oblicz, w jakim czasie dźwięk przebędzie w powietrzu odległość 1 km. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

Zadanie 9. Przeanalizuj oscylogramy czterech dźwięków. Jednostki na wszystkich oscylogramach są takie same. Uzupełnij zdania.

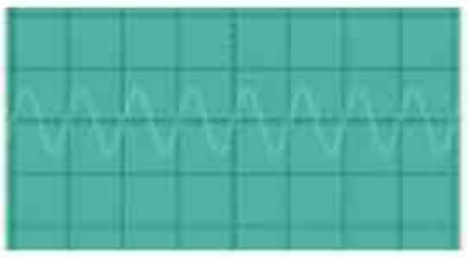
A.



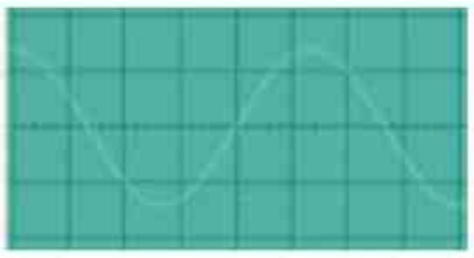
B.



C.



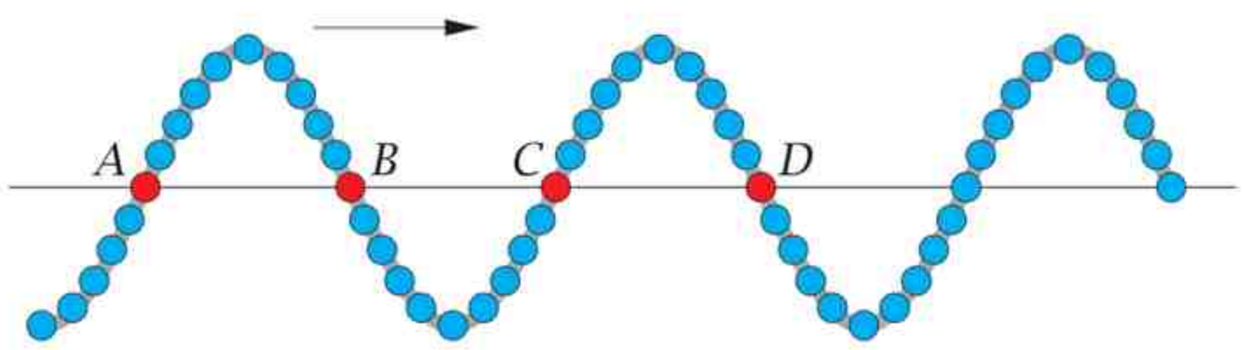
D.



a) *Dźwięk najwyższy przedstawia oscylogram …, a najniższy — ….*

b) *Najcichszy dźwięk przedstawia oscylogram …, a najgłośniejszy — ….*

Zadanie 10. Rysunek przedstawia falę wytworzoną na sznurze. Strzałka wskazuje kierunek rozchodzenia się fali. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



Każdy punkt sznura wykonuje drgania w ***pionie/poziomie.***
W pokazanej chwili punkt A porusza się w ***lewo/prawo/górę/dół.***
Punkt C porusza się w identyczny sposób jak punkt ***A/B/D.***

Zadanie 11. Wskaż poprawne dokończenie zdania oraz jego uzasadnienie.

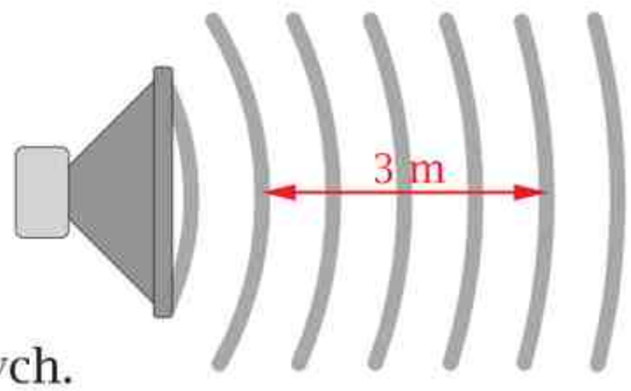
Cząsteczki ośrodka, w którym rozchodzi się fala, …

A.	*wykonują drgania oraz przemieszczają się wraz z falą,*	*ponieważ*	**1.**	*fala nie przenosi energii tylko materię.*
B.	*wykonują drgania, ale nie przemieszczają się wraz z falą,*		**2.**	*fala przenosi energię, ale nie przenosi materii.*

Zadanie 12. Rysunek przedstawia falę dźwiękową wytworzoną przez drgającą membranę głośnika. Ciemne miejsca oznaczają powietrze zagęszczone, a jasne — rozrzedzone. Korzystając z rysunku, oblicz:

a) długość fali,

b) częstotliwość fali z dokładnością do trzech cyfr znaczących.



5 Optyka



Dlaczego prosty fragment słomki wygląda na powyginany?

Przedmiot widzimy dzięki światłu docierającemu od niego do naszych oczu. Światło zmienia kierunek na granicy między wodą i szkłem oraz między szkłem i powietrzem. Z tego powodu z niektórych części słomki światło przybywa do nas z innego kierunku niż ten, gdzie rzeczywiście się te części znajdują.

23 Fale elektromagnetyczne



W filmach science fiction podczas scen walk w kosmosie często słychać wybuchy i widać promienie broni laserowej. Czy takie zjawiska są możliwe? Czy jest to zgodne z prawami fizyki?

Cel lekcji

Poznasz różne rodzaje fal elektromagnetycznych i dowiesz się, jakie mają zastosowania. Nauczysz się wskazywać cechy wspólne i różnice pomiędzy rozchodzeniem się fal mechanicznych i elektromagnetycznych.

Czym się zajmuje optyka?

Na najbliższych lekcjach zajmiemy się światłem. Dowiesz się między innymi, co „kryje się” po drugiej stronie lustra, dlaczego łyżeczka częściowo zanurzona w wodzie wygląda, jakby była złamana, a także, czy prawdą jest, że po ciemku „wszystkie koty są czarne”. Dział fizyki zajmujący się badaniem własności światła to **optyka**. Nazwa ta pochodzi od greckiego słowa *optikos* (*wzrokowy* lub *widzialny*). Dzięki optyce skonstruowano okulary, aparat fotograficzny, teleskop czy światłowód. Narzędzia, których dostarcza optyka, pozwalają badać otaczający świat: począwszy od bardzo małych obiektów — na przykład cząsteczek i atomów, a skończywszy na budowie Wszechświata.



Dowiedz się więcej o historii optyki

Pierwsze próby zbadania własności światła podjęli już starożytni Grecy. Euklides zastosował geometrię do opisu rozchodzenia się promieni świetlnych, Heron z Aleksandrii zaproponował wyjaśnienie prawa odbicia światła, a Ptolemeusz stworzył traktat w pięciu księgach dotyczący ogólnej teorii optyki.

Właściwości fal elektromagnetycznych

Doświadczenia prowadzone przez fizyków wykazały, że światło jest falą. Fale świetlne to przykład **fal elektromagnetycznych**, ich natura jest związana za zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi. Mają one zupełnie inne właściwości niż fale mechaniczne.

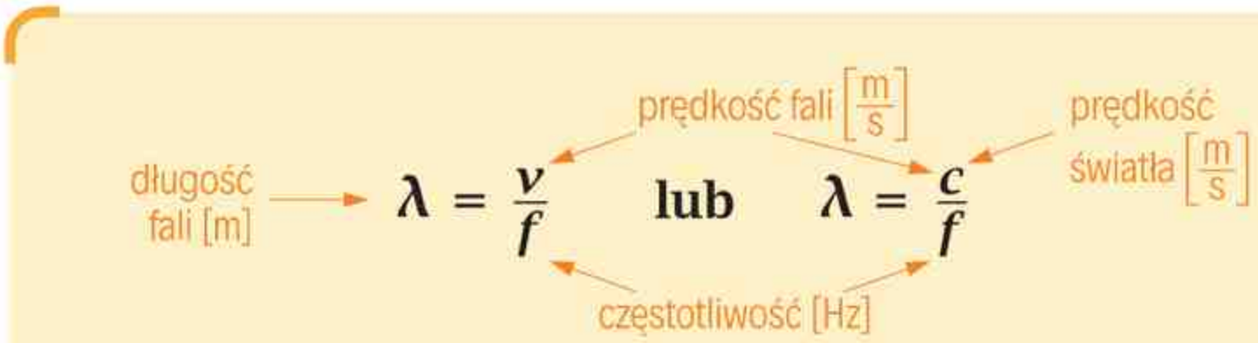
Światło jest falą elektromagnetyczną. W próżni wszystkie fale elektromagnetyczne rozchodzą się z prędkością około

$$300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}} = 300\,000\,000\ \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3 \cdot 10^8\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Fale elektromagnetyczne	Fale mechaniczne (np. dźwiękowe)
Wytwarzane przez drgające ładunki elektryczne.	Wytwarzane przez takie ciała jak np. drgające struny.
Rozchodzą się w próżni.	**Nie** rozchodzą się w próżni.
W powietrzu rozchodzą się z prędkością ok. 300 000 000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.	Prędkość rozchodzenia się fal w powietrzu zależy od ich rodzaju, np. fale dźwiękowe rozchodzą się z prędkością ok. 340 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.
Mogą się rozchodzić w gazie (np. światło i dźwięk w powietrzu), cieczy (np. w wodzie), ciele stałym (np. w szkle). Przenoszą energię.	

Prędkość fal elektromagnetycznych w próżni nazywana jest **prędkością światła** i oznaczana literą c. Jest to największa możliwa prędkość przesyłania informacji. Nic nie może poruszać się szybciej niż światło w próżni.

Do opisu fal elektromagnetycznych, tak jak fal mechanicznych, stosujemy pojęcia długości fali λ i częstotliwości f.



Warto **wiedzieć**

Fale o większej częstotliwości mają mniejszą długość i na odwrót — fale o mniejszej częstotliwości są dłuższe.

PRZYKŁAD 1. Oblicz długość fali elektromagnetycznej o częstotliwości 1 MHz emitowanej w próżni.

Dane:

$f = 1\ \text{MHz} = 10^6\ \text{Hz} = 1\,000\,000\ \text{Hz}$ — częstotliwość fali

$c = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ — prędkość fali

Szukane:

$\lambda = ?$ — długość fali

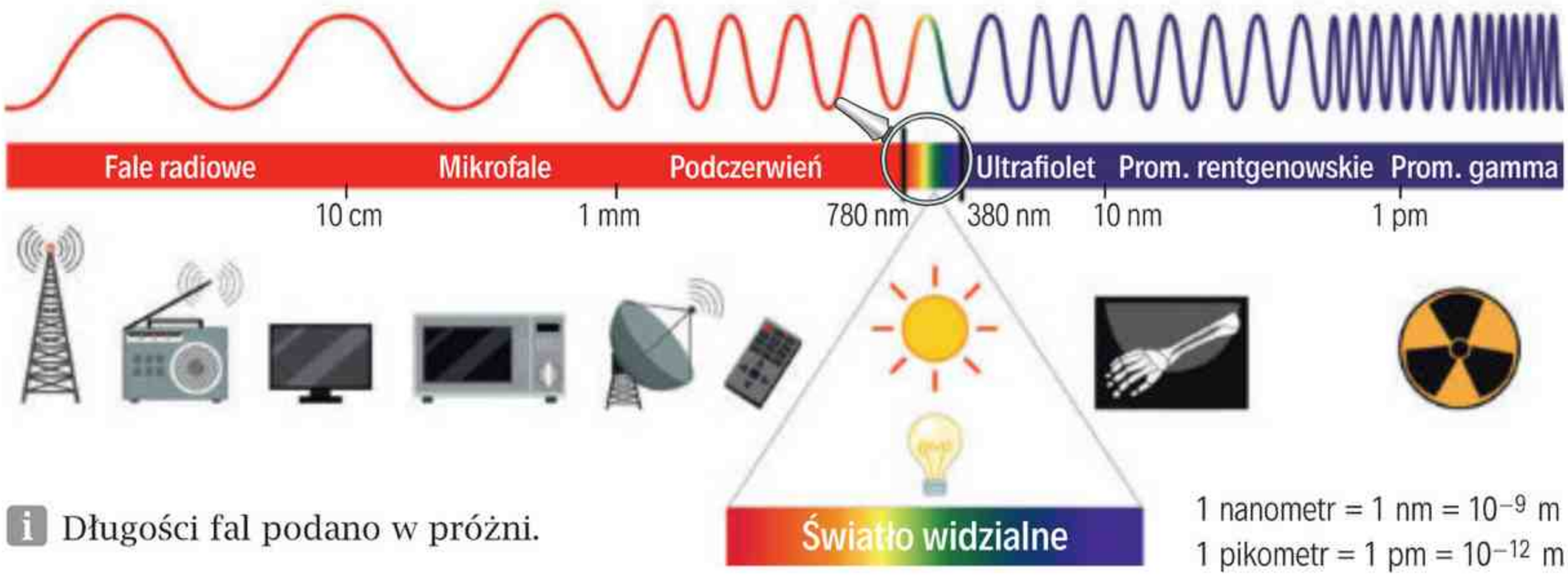
Rozwiązanie: $\lambda = \frac{c}{f}$ $\qquad \lambda = \frac{300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}}{1\,000\,000\ \text{Hz}} = \frac{300\,000\,000\ \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1\,000\,000\ \frac{1}{\text{s}}} = 300\ \text{m}$

Odp. Długość emitowanej fali wynosi 300 m.

ĆWICZENIE 1. Znajdujące się w próżni źródło fal elektromagnetycznych emituje falę o długości 0,3 m. Oblicz częstotliwość tej fali.

Rodzaje fal elektromagnetycznych

Niektóre właściwości fal elektromagnetycznych zależą od ich długości. Dlatego dokonano podziału tych fal na zakresy ze względu na ich długość w próżni (lub częstotliwość). Granice zakresów są umowne. Klasyfikację fal według długości lub częstotliwości nazywamy **widmem**.



ℹ Długości fal podano w próżni.

Na powyższym diagramie widzimy, że najdłuższymi falami elektromagnetycznymi są fale radiowe, a najkrótszymi promienie gamma. Światło widzialne stanowi niewielki fragment widma fal elektromagnetycznych.

Warto **wiedzieć**

Mikrofalówka wytwarza fale o długości około 12 cm (w powietrzu). Mikrofale bywają zaliczane do fal radiowych.

Fale elektromagnetyczne dzielą się na fale radiowe, mikrofale, podczerwień, światło widzialne, promieniowanie nadfioletowe (ultrafiolet), promieniowanie rentgenowskie oraz promieniowanie gamma.



Fale radiowe (powyżej 10 cm)

są stosowane w telekomunikacji, radiofonii i telewizji. Sztucznymi źródłami fal radiowych są anteny zasilane prądem, którego natężenie zmienia się z odpowiednią częstotliwością. Naturalnymi źródłami fal radiowych są gwiazdy i galaktyki.

Mikrofale (od 1 mm do 30 cm)

są stosowane w telefonii komórkowej, bezprzewodowych sieciach komputerowych, nawigacji oraz technice radarowej, a także w popularnych w domach kuchenkach mikrofalowych. Fale z tego zakresu są również wykorzystywane w obserwacjach radioastronomicznych.





Podczerwień (od 780 nm do 1 mm)

nazywaną też promieniowaniem cieplnym, emitują wszystkie ciała o temperaturze wyższej od 0 K. Im wyższa temperatura, tym większa częstotliwość wysyłanego promieniowania. Podczerwień jest wykorzystywana w diagnostyce medycznej, czujnikach ruchu oraz alarmach.



Światło widzialne (od 380 nm do 780 nm)

to taki zakres fal elektromagnetycznych, które człowiek odbiera zmysłem wzroku. Fale widzialne o największej długości mają barwę czerwoną, a fale najkrótsze – fioletową.

Ultrafiolet (od 10 nm do 380 nm)

powoduje opaleniznę oraz uczestniczy w wytwarzaniu w skórze witaminy D. Jego naturalnym źródłem jest Słońce. Sztucznymi źródłami nadfioletu są lampy kwarcowe, wykorzystywane np. do dezynfekcji narzędzi chirurgicznych czy badania autentyczności banknotów.





Promieniowanie rentgenowskie (od 1 pm do 10 nm)

znalazło szerokie zastosowanie na przykład w diagnostyce złamań kości. To promieniowanie jest szkodliwe dla organizmów żywych.

Promieniowanie gamma (poniżej 1 pm)

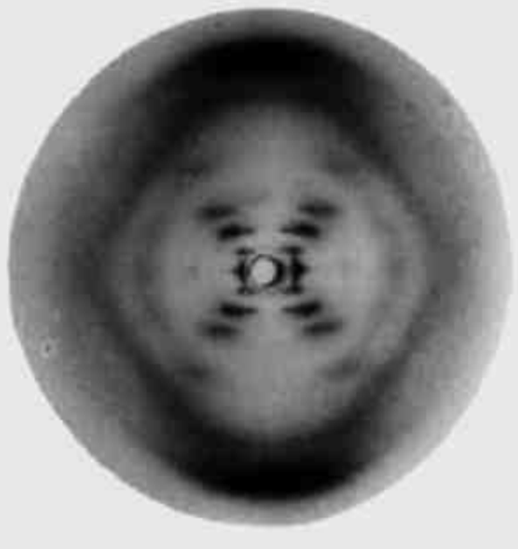
jest najbardziej przenikliwe. Stosuje się je do sterylizacji sprzętu medycznego oraz w radioterapii. Dla człowieka jest bardzo szkodliwe, jednak na co dzień nie mamy styczności z niebezpiecznymi natężeniami tego promieniowania.



Dowiedz się więcej **o promieniowaniu rentgenowskim**

Badania nad promieniowaniem rentgenowskim prowadziło w XIX wieku wielu uczonych jednocześnie. W 1895 roku Wilhelm Röntgen (czyt. rentgen) jako pierwszy opublikował wyniki swoich eksperymentów. Nazwał on odkryte przez siebie promieniowanie **promieniami X**. Nazwa ta obowiązuje do dziś w wielu krajach (ang. *X-ray*, czyt. eksrej). Za swoje odkrycie otrzymał w 1901 roku pierwszą w historii Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki. Nigdy nie opatentował swojego wynalazku, ponieważ uważał, że odkrycia naukowe należą do całej ludzkości. Pieniądze otrzymane w ramach Nagrody Nobla przekazał Uniwersytetowi w Würzburgu (czyt. wircburgu).

Odkrycie Röntgena miało ogromny wpływ na rozwój wielu dziedzin nauki. W 1952 roku brytyjska biofizyczka Rosalind Franklin wykonała zdjęcie rentgenowskie DNA, które pozwoliło na stworzenie znanego ci z lekcji biologii modelu podwójnej helisy DNA. Za odkrycie tego modelu w 1962 roku przyznano nagrodę Nobla trzem naukowcom. Niestety, Rosalind Franklin nie znalazła się w tym gronie, ponieważ już wtedy nie żyła.



Pierwsze zdjęcie DNA, znane jako zdjęcie 51.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Jaka to fala?*

Określ, jakiego rodzaju fal dotyczą poniższe opisy: mechanicznych, elektromagnetycznych czy obu.

① Rozchodzą się w powietrzu, ale nie rozchodzą się w próżni.
② Przenoszą energię.
③ Powstają w wyniku drgań elektronów.
④ Rozchodzą się i w powietrzu, i w próżni.

Zadanie 2. *Długość fali*

Oblicz długość fal elektromagnetycznych o podanych częstotliwościach (w próżni) i określ, do jakich zakresów należą.

a) $5 \cdot 10^{14}$ Hz
b) $3 \cdot 10^{12}$ Hz
c) $9 \cdot 10^{14}$ Hz

Zadanie 3. *Fale elektromagnetyczne*

Określ, jakim rodzajem fal elektromagnetycznych jest promieniowanie:

a) wykorzystywane w termowizji,
b) niezbędne do wytwarzania witaminy D w organizmie człowieka,
c) najbardziej przenikliwe ze wszystkich fal elektromagnetycznych,
d) stosowane w diagnostyce złamań kości,
e) wykorzystywane w telefonii komórkowej.

Zadanie 4. *Rok świetlny*

Rok świetlny jest równy odległości, jaką pokonuje światło w próżni w czasie, gdy na Ziemi mija jeden rok (365,25 dni). Oblicz, ile kilometrów ma rok świetlny. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Zadanie 5. *Częstotliwość fal*

Oblicz częstotliwość podanych fal z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

a) fala radiowa o długości 1 m

b) mikrofala o długości 7 cm

c) nadfiolet o długości 230 nm

Zadanie 6. *Światło słoneczne*

Oblicz, w jakim czasie światło słoneczne dociera do Ziemi. Przyjmij, że odległość Ziemi od Słońca wynosi 150 000 000 km.

Zadanie 7. *Burza*

W czasie burzy najpierw widzimy błyskawicę, a dopiero po chwili słyszymy grzmot. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

Zadanie 8. *Radar*

Nadajnik radaru emituje wiązkę promieniowania, które po odbiciu od samolotu odległego o 6 km wraca do odbiornika znajdującego się w tym samym miejscu co nadajnik. Jak długo biegnie sygnał od nadajnika do samolotu i z powrotem?

Zadanie 9. *Mgławica Krab*

Mgławica Krab powstała prawdopodobnie w wyniku wybuchu gwiazdy supernowej, który został zaobserwowany w 1504 roku. W którym roku wydarzył się ten wybuch, skoro odległość Mgławicy Krab od Ziemi to około 6300 lat świetlnych?

Zadanie 10. *Radioteleskop*

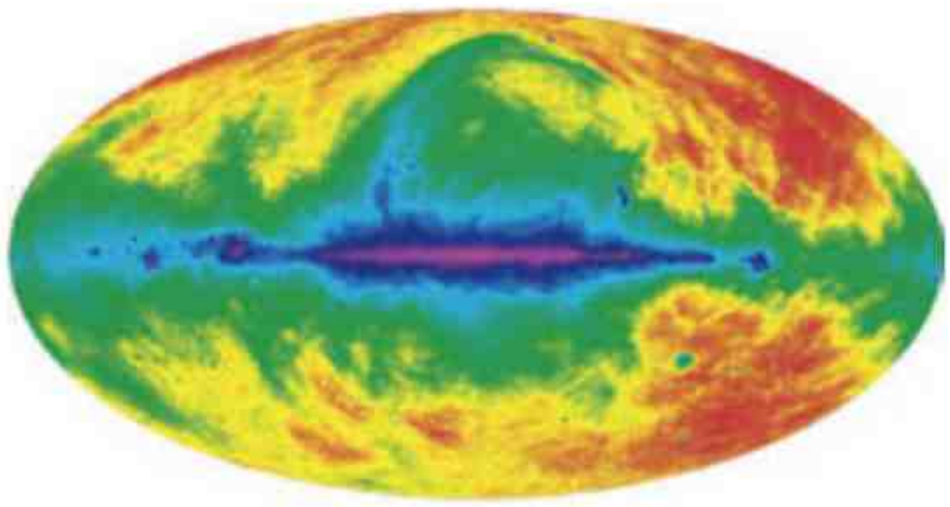
— Weritko! Tutaj jest napisane że największa antena radiowa na świecie ma średnicę 500 m! — krzyczy Hasto. — Takie radio musi odbierać programy radiowe ze wszystkich galaktyk we Wszechświecie!

— Nie sądzę, żeby to służyło zwykłemu słuchaniu radia… — powątpiewa Weritka.

Wspomniana antena znajduje się w radioteleskopie FAST w Chinach i służy rejestrowaniu fal radiowych emitowanych przez ciała niebieskie w kosmosie.

a) Zakres częstotliwości odbiornika FAST to 70 MHz do 3 GHz. Oblicz, jakie długości fal może odbierać ten radioteleskop.

b) Skoro fale radiowe są niewidoczne dla ludzkiego oka, to w jaki sposób powstają obrazy z radioteleskopów (zob. zdjęcie poniżej)? Jak interpretować kolory na tym obrazie?



Obraz Drogi Mlecznej uzyskany za pomocą radioteleskopu.



Jak myślisz?

- Jaka jest prędkość światła w szkle, a jaka — w wodzie?
- Tylko niewielki zakres fal elektromagnetycznych jest widoczny dla człowieka. Czy wszystkie zwierzęta widzą tak, jak ludzie?



Fizyka na wesoło…

Przychodzi Pierre Curie do Marii i mówi:

— Kochanie, ależ dziś promieniejesz!

— Jestem taka uradowana…

24 Światło i cień



Co jest przyczyną częściowego zaćmienia Słońca? Czy dla każdego obserwatora na Ziemi ma ono taki sam przebieg?

Cel lekcji

Nauczysz się wskazywać źródła światła. Dowiesz się, jak powstaje cień i półcień.

Źródła światła

Przedmioty dostrzegamy wtedy, gdy wysłane lub odbite przez nie światło dociera do naszych oczu. Najważniejszym źródłem światła dla Ziemi jest Słońce. Ogromne znaczenie ma również ogień. Pochodnie, lampki oliwne czy świece były źródłami światła już w starożytności. W 1853 roku polski farmaceuta Ignacy Łukasiewicz skonstruował pierwszą lampę naftową. Przełom w technice oświetleniowej nastąpił wraz z odkryciem elektryczności.

W nocy można zaobserwować gwiazdy, Księżyc i niektóre planety. Źródłami światła są tylko gwiazdy (np. Słońce i Syriusz), które świecą dzięki energii uwalnianej w reakcjach jądrowych zachodzących w ich wnętrzach. Księżyc i planety są widoczne dzięki temu, że odbijają światło słoneczne — nie są źródłami światła.

Zdolność emitowania światła posiadają również niektóre organizmy żywe, świetliki oraz niektóre gatunki grzybów i planktonu.



Źródłami światła nazywamy ciała, które wytwarzają światło (a nie tylko je odbijają).

Przykłady elektrycznych źródeł światła



tradycyjna żarówka

świetlówka kompaktowa

lampy diodowe

Prostoliniowe rozchodzenie się światła

Zbadajmy bieg światła w **ośrodku jednorodnym**, czyli takim, który w każdym miejscu ma identyczne właściwości. Przykładem takiego ośrodka jest powietrze w pokoju.

Doświadczenie Bieg światła w powietrzu

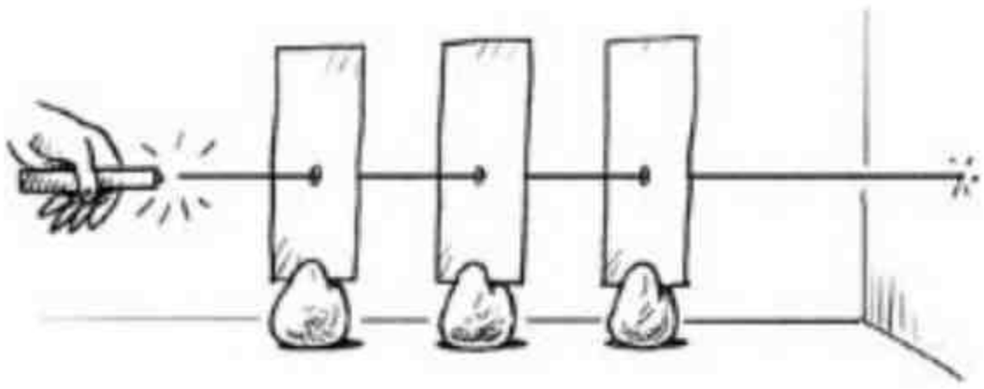
i Wszystkie doświadczenia z optyki najlepiej wykonywać w zaciemnionym pomieszczeniu.

① Przygotuj: wskaźnik laserowy, 3 kwadratowe kawałki tektury na podstawkach (możesz użyć plasteliny), długi patyczek do szaszłyków.

② Na środkach tekturek wykonaj niewielkie, okrągłe otwory o średnicy ok. 5 mm.

③ Rozmieść źródło światła i tekturki zgodnie z rysunkiem tak, aby światło lasera padało na jasną ścianę.

④ Sprawdź patyczkiem, czy otwory leżą wzdłuż jednej prostej.



Okazuje się, że patyczek z łatwością przechodzi jednocześnie przez wszystkie otwory. Oznacza to, że w badanej sytuacji światło rozchodzi się prostoliniowo.

We wszystkich ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się **prostoliniowo**.

Warto **wiedzieć**

Ośrodkiem niejednorodnym jest np. powietrze nad rozgrzaną jezdnią. Warstwy powietrza mają tam różną temperaturę i gęstość. W takim ośrodku światło nie rozchodzi się prostoliniowo. Może wystąpić zjawisko mirażu.

Powstawanie cienia i półcienia

Jeżeli na drodze światła znajduje się nieprzeźroczysty przedmiot, to do niektórych miejsc światło nie dociera. W ten sposób powstaje **cień**.

Doświadczenie Obszary, do których nie dociera światło

① Przygotuj dwie latarki oraz jabłko.

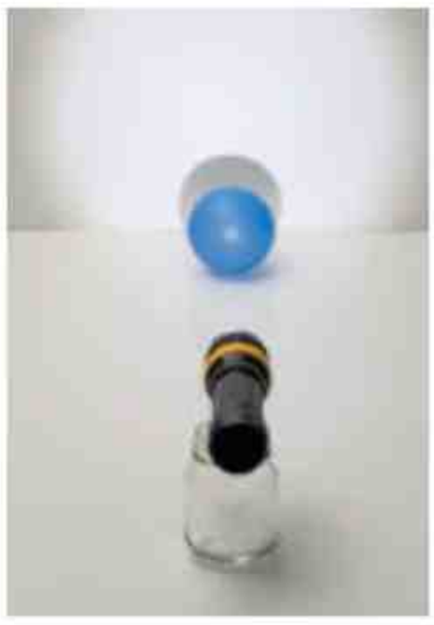
② Umieść latarkę około 1 m od jasnej ściany. Skieruj wiązkę światła na ścianę.

③ Trzymaj jabłko w pobliżu latarki i obserwuj otrzymany cień. Jaki jest rozmiar cienia?

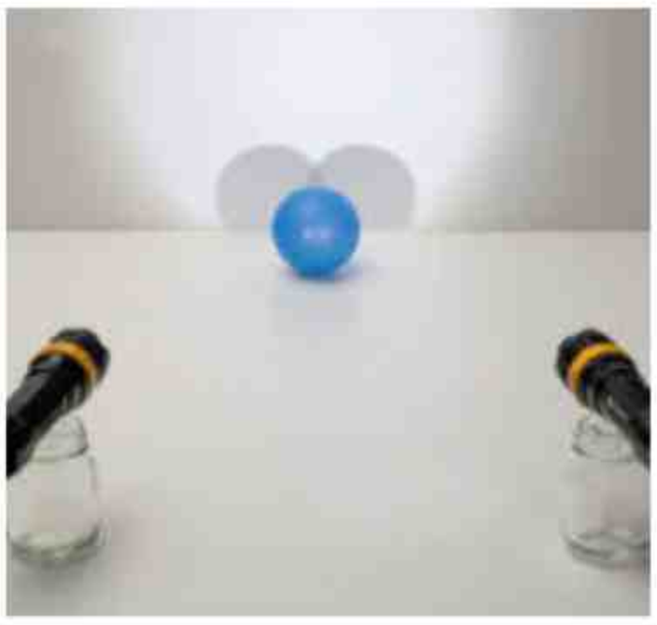
④ Przesuwaj jabłko w stronę ściany. Jak teraz wygląda cień? Co się zmienia?

⑤ Pozostaw jabłko tam, gdzie otrzymany cień jest ostry.

⑥ Oświetl jabłko za pomocą dwóch latarek umieszczonych w odległości około 10 cm od siebie i 1 m od ściany. Co teraz obserwujesz?

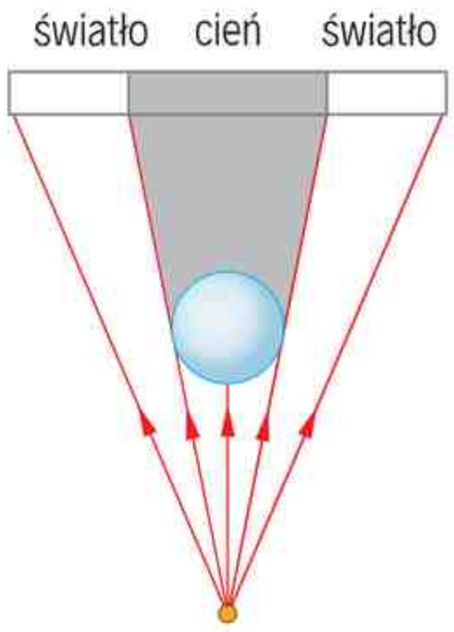


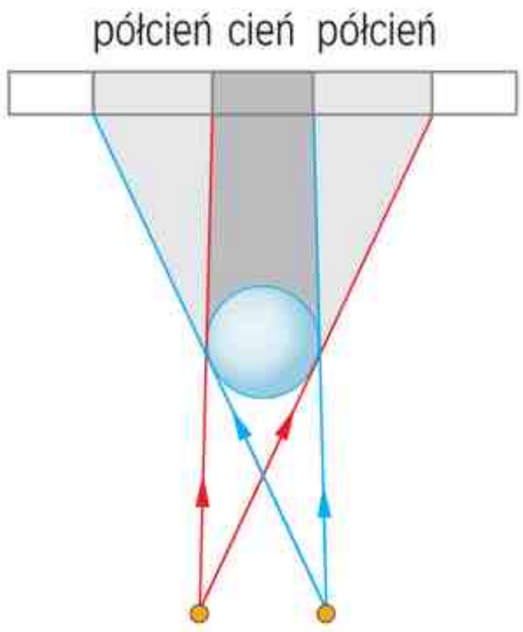
Cień.

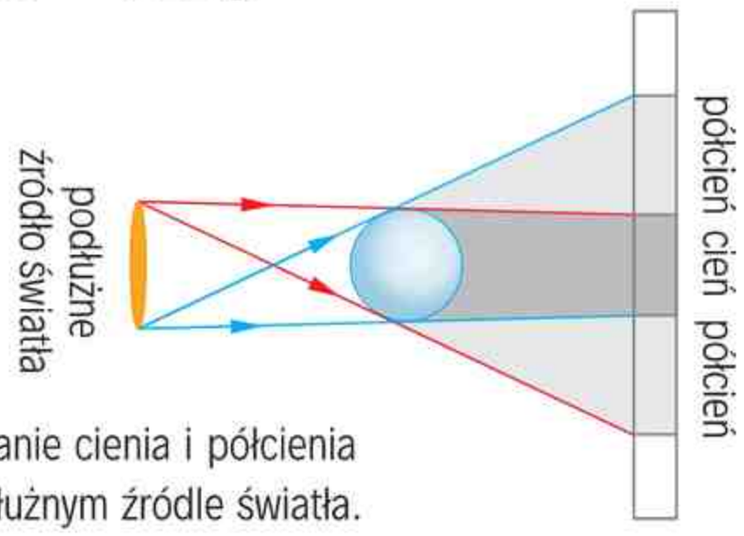


Cień oraz półcienie.

Zdjęcia pokazują przykładowy wynik doświadczenia. Jeśli umieścimy obiekt daleko od pojedynczego źródła światła, to na ścianie powstaje **cień**. Przy użyciu dwóch latarek otrzymujemy zarówno cień jak i **półcień**. Cień powstaje tam, gdzie nie dociera światło żadnej latarki. Do obszaru półcienia dociera światło tylko z jednego źródła. Poniżej pokazano schemat powstawania cienia i półcienia. Półcień jest tym mniejszy, im źródło światła jest dalej od ciała, a ściana — bliżej.





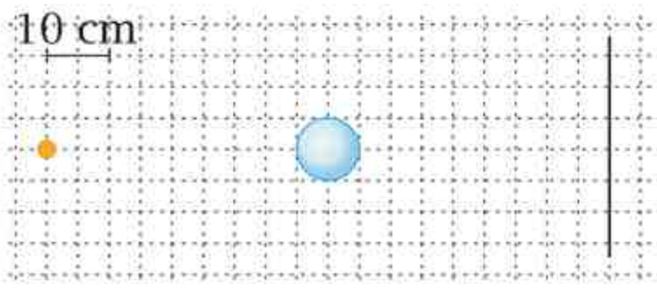


Powstawanie cienia i półcienia przy podłużnym źródle światła.

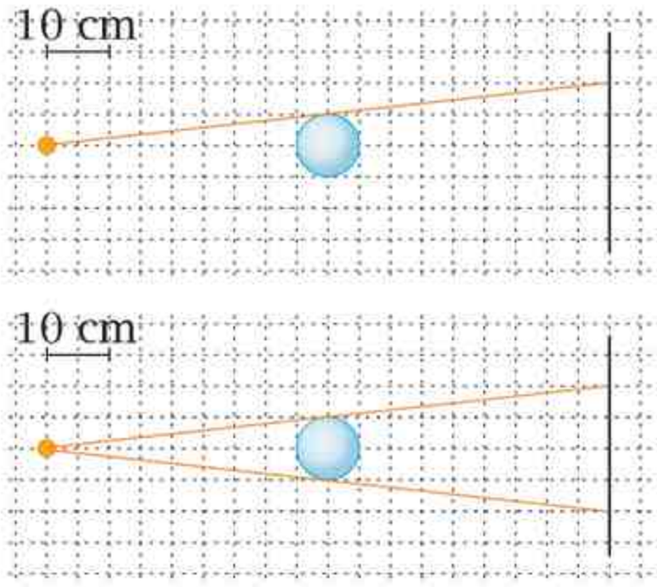
PRZYKŁAD 1. Małe źródło światła umieszczono w odległości 90 cm od ściany, a piłkę o średnicy 10 cm umieszczono w połowie odległości pomiędzy źródłem a ścianą. Wykonaj schemat powstawania cienia i określ jego kształt oraz wymiary.

Rozwiązanie:

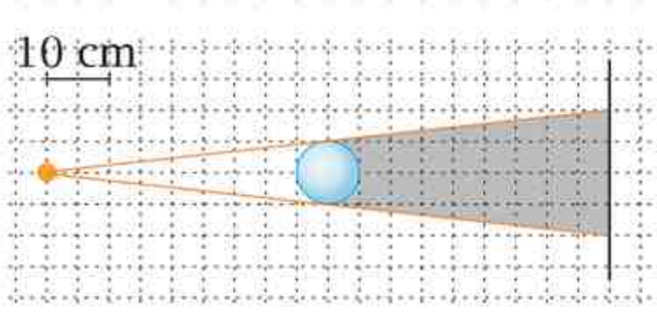
① Narysuj źródło światła, piłkę i ścianę.
Na rysunku przyjmij odpowiednią skalę.



② Narysuj promień wybiegający ze źródła światła, stykający się z piłką tylko w jednym punkcie.



③ Narysuj drugi promień.



④ Zamaluj obszar, do którego nie dociera światło. Określ kształt cienia i jego wymiary.

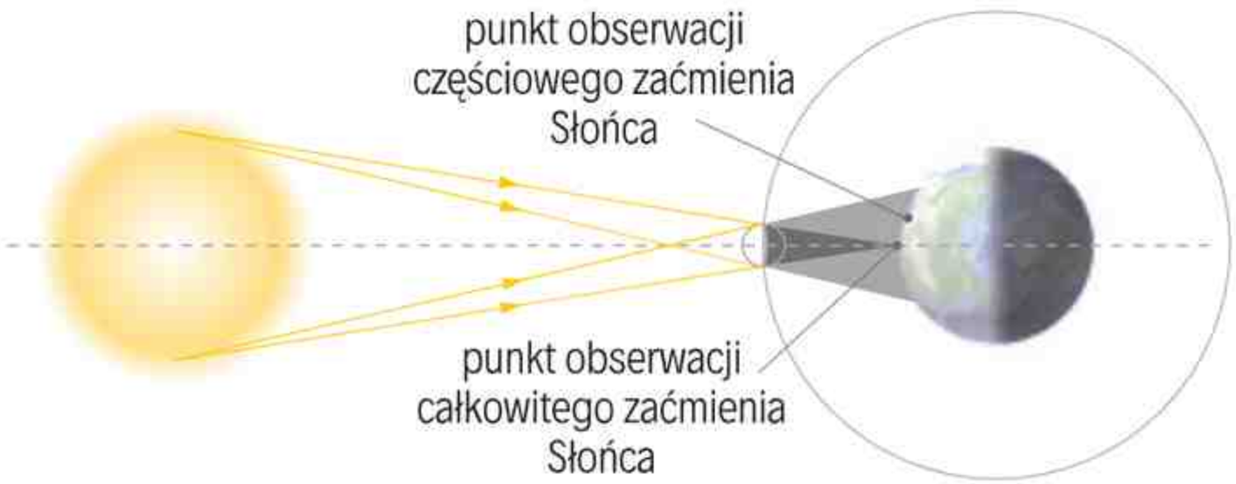
Odp. Cień ma kształt koła o średnicy około 20 cm.

ĆWICZENIE 1. Środek piłki o promieniu 5 cm znajduje się 30 cm od punktowego źródła światła oraz 60 cm od ściany. Wykonaj schemat powstawania cienia na ścianie. Określ długość promienia otrzymanego cienia.

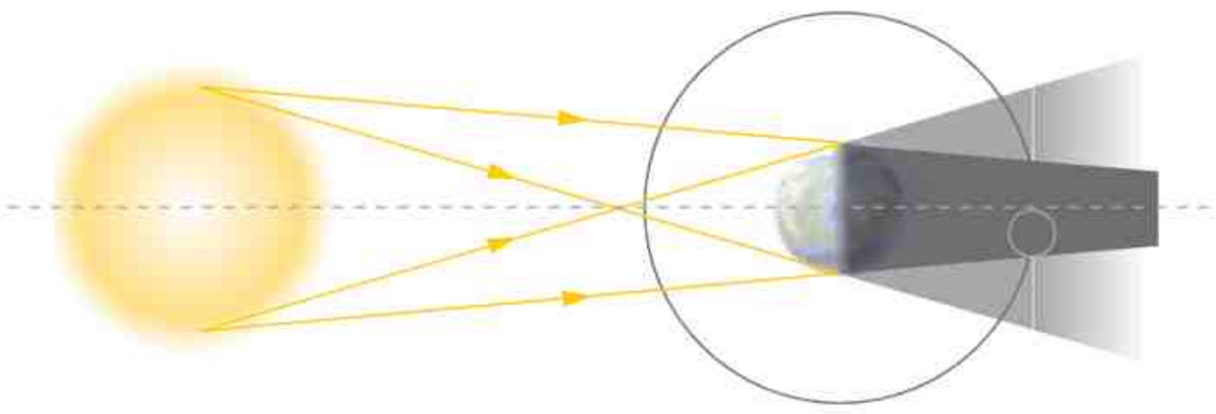
Zaćmienie Słońca i Księżyca

Ziemia i Księżyc są oświetlane światłem słonecznym. Każde z tych ciał rzuca cień.

Zaćmienie Słońca zachodzi wtedy, gdy Księżyc znajduje się między Ziemią a Słońcem. W obszarze cienia Księżyca można zaobserwować całkowite zaćmienie Słońca, a w obszarze półcienia — częściowe.



Do **zaćmienia Księżyca** dochodzi wtedy, gdy znajduje się on w cieniu rzucanym przez Ziemię.



Czas na zadania!

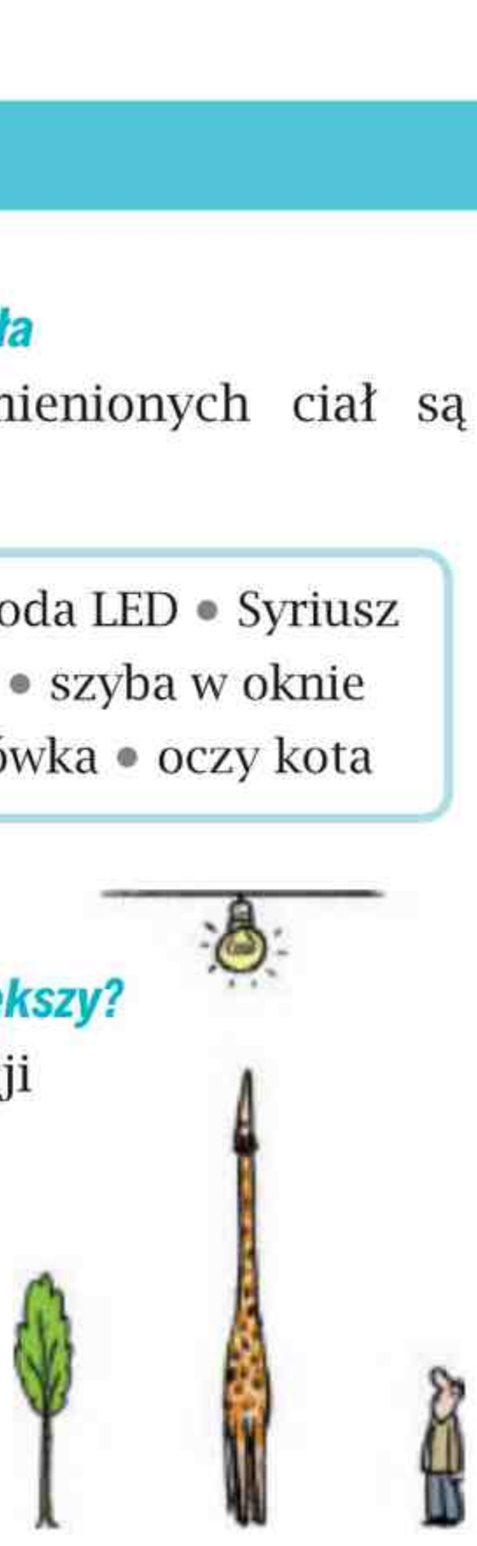
Zadanie 1. *Źródła światła*

Wskaż, które z wymienionych ciał są źródłami światła.

Księżyc • Wenus • dioda LED • Syriusz
opaska odblaskowa • szyba w oknie
błyskawica • świetlówka • oczy kota

Zadanie 2. *Który największy?*

Które z ciał w sytuacji przedstawionej na rysunku będzie rzucać najdłuższy cień, a które — najkrótszy?

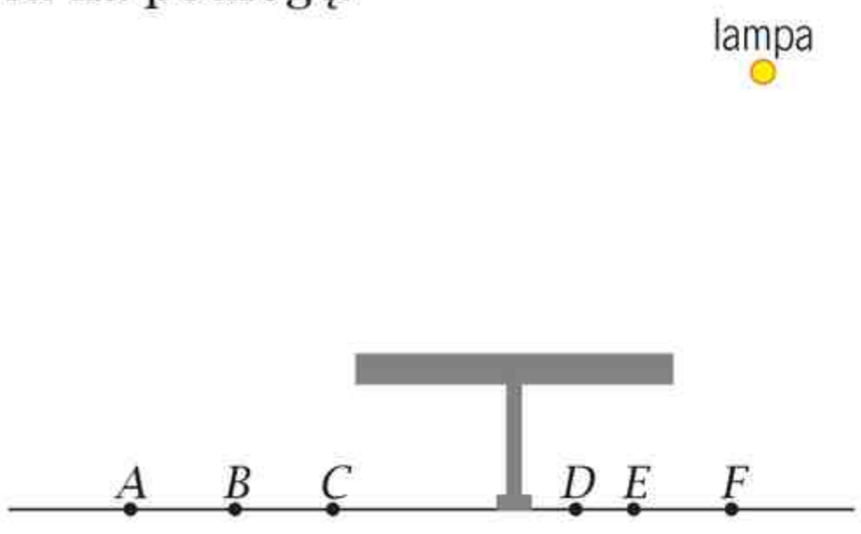


Zadanie 3. *Rano i w południe*

Wyjaśnij, dlaczego twój cień wieczorem jest długi, a w południe krótki. Wykonaj odpowiednie rysunki.

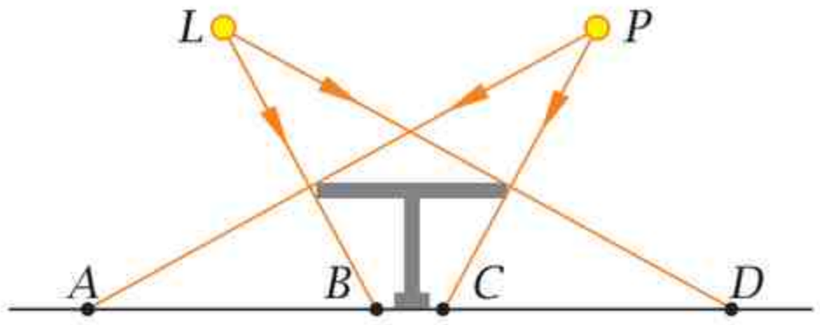
Zadanie 4. *Cień stołu*

Na stół pada światło lampy. Użyj linijki i sprawdź, które punkty wyznaczają granice obszaru cienia rzucanego przez blat stołu na podłogę.



Zadanie 5. *Cień i półcień*

Stół oświetlają dwie żarówki L i P.



Określ, gdzie względem zaznaczonych punktów znajdują się obszary podłogi:

a) oświetlony tylko przez żarówkę L,

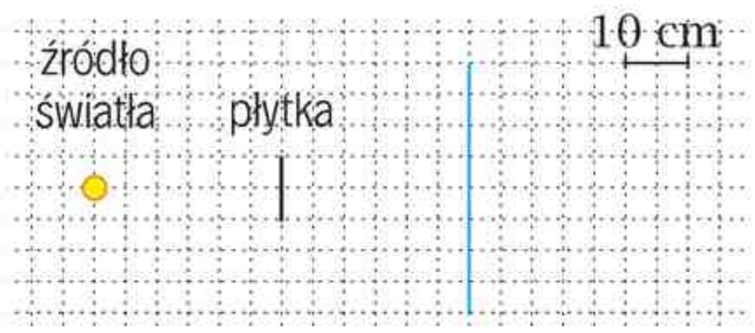
b) oświetlony tylko przez żarówkę P,

c) nieoświetlony przez żadną żarówkę,

d) oświetlony przez obie żarówki.

Zadanie 6. *Rozmiary cienia*

Niewielkie źródło światła znajdowało się w odległości 60 cm od ekranu. W połowie odległości między źródłem a ekranem, równolegle do ekranu, umieszczono nieprzeźroczystą, kwadratową płytkę o krawędzi 10 cm. Sposób ułożenia płytki pokazuje rysunek.



Następnie źródło światła przybliżono na odległość 45 cm od ekranu. Przerysuj rysunek do zeszytu i wykonaj schemat powstawania cienia rzucanego przez płytkę na ekran w obu przypadkach. Określ wymiary cienia w każdym z tych przypadków.

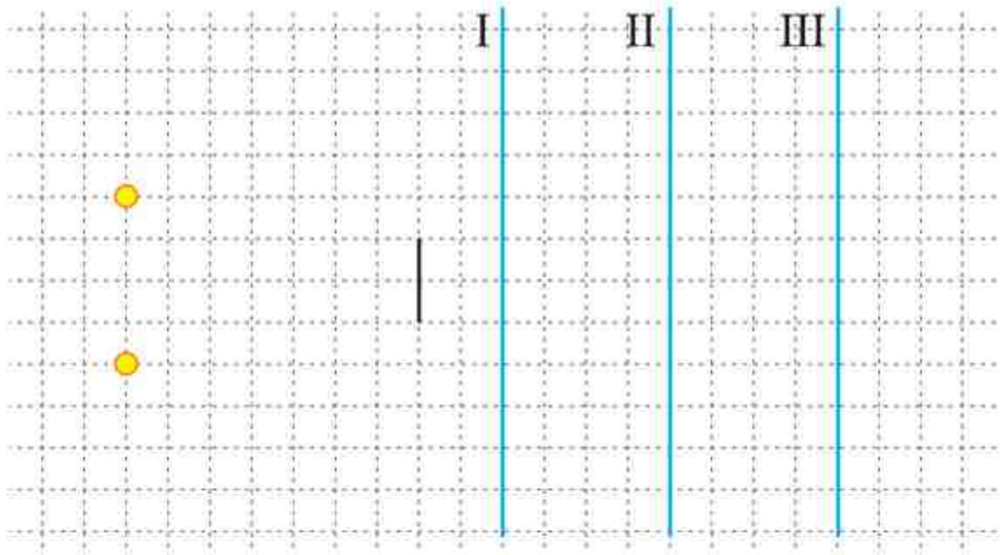


Fizyka na wesoło...

— Jesteś jedynie moim bladym odbiciem — mówi Słońce do Księżyca. — Nawet takie blade odbicie może cię zaćmić — odpowiada Księżyc.

Zadanie 7. *Trzy położenia ekranu*

Dwie małe żarówki oświetlają nieprzeźroczystą płytkę oraz ekran umieszczony w położeniu I. Zbadaj, jak zmienią się obszary cienia i półcienia po przesunięciu ekranu do położenia II, a następnie do położenia III. Wykonaj w zeszycie rysunki dla każdego położenia ekranu i zaznacz na nich obszary cienia i półcienia.



Zadanie 8. *Samolot*

Dlaczego samolot lecący nisko rzuca cień, a lecący wysoko — nie rzuca cienia?

Zadanie 9. *Gnomon*

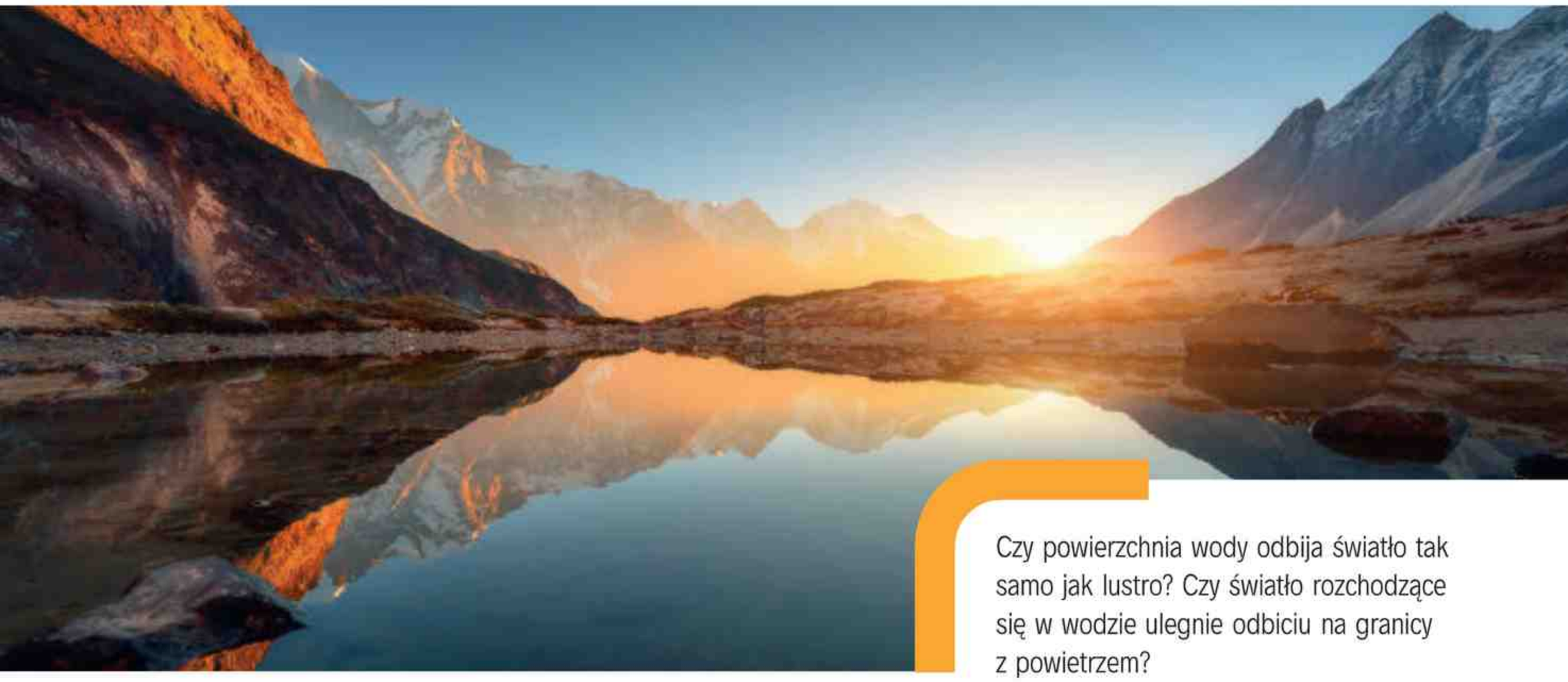
Dowiedz się, co to jest gnomon i do czego może być użyty.



Jak myślisz?

- Jakie zjawisko zaobserwuje astronauta na Księżycu w czasie, gdy na Ziemi występuje zaćmienie Słońca, a jakie — gdy występuje zaćmienie Księżyca?
- Dlaczego w pogodny dzień, w czystym powietrzu nie widać promieni słonecznych? Dlaczego obserwujemy je, gdy w powietrzu unoszą się drobiny kurzu lub dymu?

25 Odbicie i rozproszenie światła



Czy powierzchnia wody odbija światło tak samo jak lustro? Czy światło rozchodzące się w wodzie ulegnie odbiciu na granicy z powietrzem?

Co to jest zwierciadło?

Wiesz już, że ścianę, łyżkę czy cytrynę widzisz tylko dlatego, że odbijają światło. Jednak dzieje się to na różne sposoby. Metalowa łyżka jest błyszcząca i zobaczysz w niej swoje odbicie, a w cytrynie — nie. Gładkie powierzchnie odbijające światło tak, że jest widoczny obraz przedmiotów, nazywamy **zwierciadłami**. Zwierciadłem jest wypolerowany metal, tafla wody lub szkła. Zwierciadło może być płaskie, ale może też mieć kształt na przykład kuli lub walca. Zbadajmy odbicie światła od zwierciadła płaskiego.

Cel lekcji

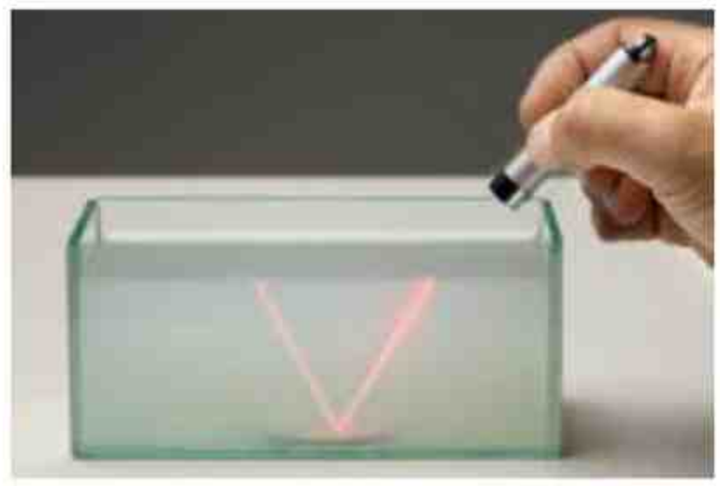
Nauczysz się opisywać zjawisko odbicia światła od powierzchni płaskiej. Poznasz prawo odbicia. Dowiesz się, na czym polega rozproszenie światła.

Doświadczenie Badanie odbicia światła

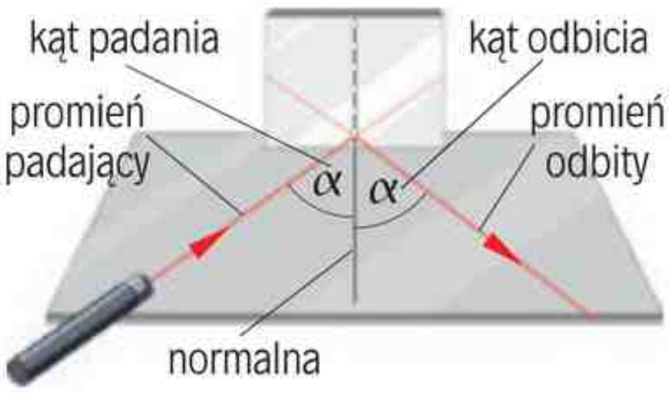
① Przygotuj: przeźroczyste naczynie w kształcie prostopadłościanu, lusterko, wskaźnik laserowy, wodę z dodatkiem odrobiny mleka.

② Na dnie naczynia ze zmętnioną mlekiem wodą umieść lusterko.

③ Skieruj promień światła laserowego na powierzchnię lusterka.



④ Zmieniaj kąt padania światła i obserwuj zachowanie promienia odbitego.



Odbicie światła od zwierciadła płaskiego.

Zjawisko odbicia pojedynczego promienia przedstawiono na schemacie obok. Prosta prostopadła do powierzchni zwierciadła to **normalna**. Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną to **kąt padania**. Kąt zawarty między promieniem odbitym a normalną — to **kąt odbicia**. Kąt padania i kąt odbicia mają zawsze takie same miary.

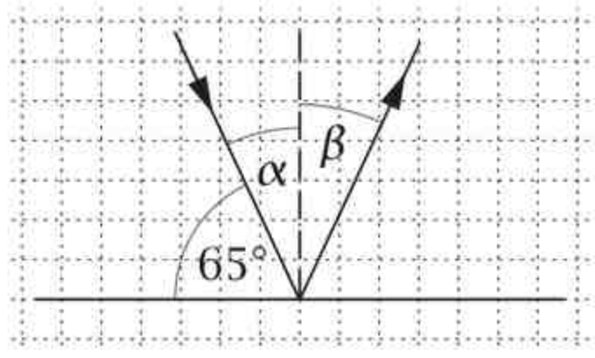
Prawo odbicia światła

Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promień padający, promień odbity oraz normalna wystawiona w punkcie padania leżą w tej samej płaszczyźnie.

PRZYKŁAD 1. Promień światła padający na zwierciadło płaskie tworzy z jego powierzchnią kąt 65°. Oblicz, ile wynoszą kąt padania i kąt odbicia tego promienia.

Rozwiązanie:

Wykonujemy rysunek pomocniczy, na którym zaznaczamy kąt padania α, kąt odbicia β oraz kąt 65°.

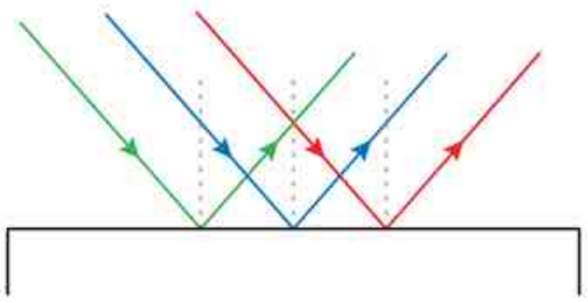


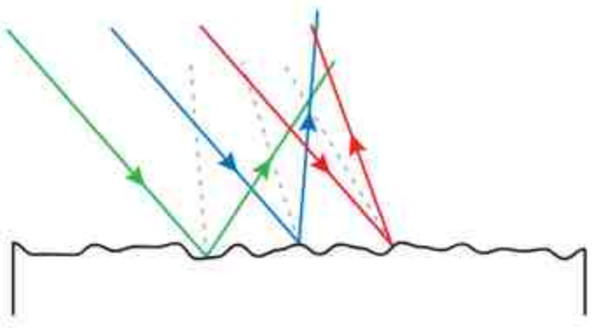
$\alpha = 90° - 65° = 25°$ $\beta = \alpha = 25°$

Odp. Kąt padania i kąt odbicia wynoszą 25°.

ĆWICZENIE 1. Promień światła odbity od zwierciadła płaskiego tworzy z jego powierzchnią kąt 37°. Oblicz, ile wynoszą kąt odbicia i kąt padania światła.

Rozproszenie światła a prawo odbicia


Promienie równoległe odbite od zwierciadła płaskiego.


Promienie równoległe odbite od powierzchni chropowatej.

Jeżeli na płaskie zwierciadło skierujemy kilka promieni równoległych, to promienie odbite również będą równoległe. Co się stanie, gdy taka sama wiązka światła zostanie skierowana na powierzchnię chropowatą, na przykład kartkę papieru albo ścianę? Czy zjawisko będzie przebiegało zgodnie z prawem odbicia?

Spójrz na schemat pokazujący odbicie światła od nierównej powierzchni. Widać na nim, że dla każdego promienia z osobna prawo odbicia jest spełnione. Jednak ze względu na różne kąty padania promienie odbite nie są równoległe. Mówimy, że światło uległo **rozproszeniu**.

Światło odbite od chropowatej powierzchni ulega **rozproszeniu**.

Światło ulega rozproszeniu nie tylko na skutek odbicia od nierównych powierzchni, ale również wtedy, gdy napotyka na swojej drodze różne drobiny, na przykład kropelki wody, kurzu, dymu czy pyłki roślin zawieszone w powietrzu. Tak samo dzieje się, gdy światło przechodzi przez lekko mętną wodę.



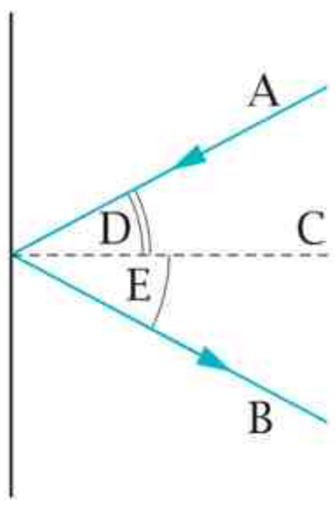
Rozproszenie światła słonecznego na kropelkach wody zawieszonych w powietrzu.

Błękitna barwa nieba w pogodny dzień, czerwony kolor zachodzącego Słońca, to również efekty rozpraszania światła na głównych składnikach powietrza – cząsteczkach azotu i tlenu.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Odbicie promienia*

Uzupełnij opis rysunku właściwymi określeniami. Zapisz je w zeszycie.



Zadanie 2. *Rozproszenie światła*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) *Światło padające na chropowatą powierzchnię odbija się* ***zgodnie/niezgodnie*** *z prawem odbicia.*

b) *Promienie równoległe odbite od* ***gładkiej/chropowatej*** *powierzchni ulegają rozproszeniu.*

c) *Promienie równoległe po odbiciu od płaskiego lustra* ***przestają być/pozostają*** *równoległe.*

Zadanie 3. *Miara kąta odbicia*

Ustal miarę kąta odbicia, jeżeli:

a) kąt padania ma miarę 24°,

b) kąt między promieniem padającym a normalną ma miarę 35°,

c) kąt między promieniem padającym a normalną ma miarę 89°,

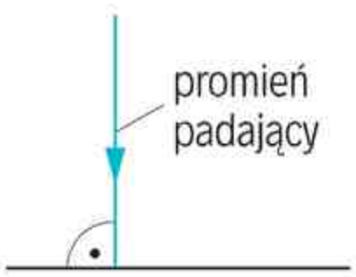
d) kąt między promieniem odbitym a zwierciadłem ma miarę 50°,

e) kąt między promieniem padającym a zwierciadłem ma miarę 4°,

f) kąt między promieniem padającym a promieniem odbitym ma miarę 36°.

Zadanie 4. *Na wprost*

Określ, ile wynoszą kąt padania i kąt odbicia w sytuacji przedstawionej na rysunku obok.

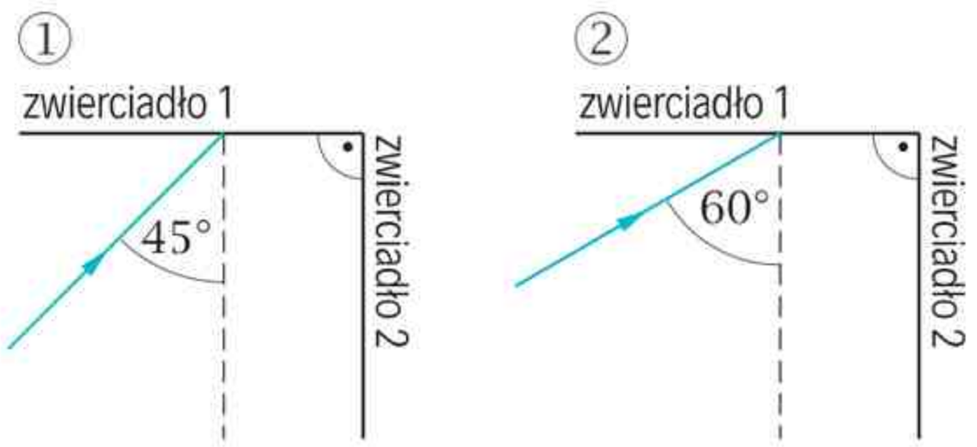


Zadanie 5. ***Pod kątem prostym***

Oblicz, ile powinien wynosić kąt padania światła na zwierciadło płaskie, aby promień odbity utworzył z promieniem padającym kąt prosty.

Zadanie 6. ***Dwa zwierciadła***

Na każdym z poniższych rysunków pokazano dwa zwierciadła ustawione pod kątem prostym. Na rysunku ① kąt padania światła wynosi 45°, a na rysunku ② — 60°.



Wykonaj w zeszycie odpowiednie rysunki i dla każdego przypadku oblicz:

a) kąt odbicia od zwierciadła 1,

b) kąt padania na zwierciadło 2,

c) kąt odbicia od zwierciadła 2,

d) kąt między promieniem padającym na zwierciadło 1 i promieniem odbitym od zwierciadła 2.

Zadanie 7. ***Zmiana kąta padania***

Kąt odbicia promienia świetlnego od zwierciadła płaskiego wynosi 53°. Oblicz, jaki kąt utworzy promień padający z promieniem odbitym, jeśli kąt padania promienia światła zmniejszy się o 15°.

Zadanie 8. ***Uwięziony promień***

Zaprojektuj układ luster, w którym odbijający się od nich promień światła mógłby poruszać się po trójkącie równobocznym.

Zadanie 9. ***Peryskop***

Peryskop to urządzenie wykorzystywane w okrętach podwodnych do obserwacji powierzchni morza. Na dwóch końcach długiej, pionowej rury znajdują się zwierciadła płaskie. Poziome promienie odbijają się najpierw od górnego zwierciadła, następnie biegną pionowo w dół i po kolejnym odbiciu docierają do oka obserwatora.



a) Pod jakim kątem względem poziomu należy ustawić zwierciadło 1 (górne)?

b) Jaki kąt utworzy promień odbity z promieniem padającym poziomo na zwierciadło 1 (górne)?

c) Pod jakim kątem względem poziomu jest ustawione zwierciadło 2 (dolne), skoro odbity od niego promienie biegną poziomo do oka obserwatora?



Jak myślisz?

- Dlaczego kawałek drewna po wypolerowaniu staje się błyszczący?
- Jaka jezdnia jest lepiej widoczna w nocy: sucha czy mokra? Dlaczego?
- Dlaczego w czasie dnia niebo widziane z Ziemi jest niebieskie, a widziane z Księżyca — czarne?
- Czy piłka odbija się od ściany zgodnie z prawem odbicia?

26 Zwierciadła płaskie



Labirynt luster to jedna z atrakcji w parkach rozrywki. Ile obrazów można otrzymać za pomocą dwóch luster? Od czego zależy liczba otrzymanych obrazów?

Co się dzieje po drugiej stronie zwierciadła?

Patrząc w lustro (zwierciadło płaskie), dostrzegasz po jego drugiej stronie swoje odbicie. Jeżeli przed zwierciadłem ustawisz niewielkie źródło światła, na przykład zapaloną świeczkę, to również zobaczysz jej odbicie. Zamiast zwierciadła do obserwacji odbicia światła można użyć zwykłej szyby. Część światła padającego na szybę przechodzi przez nią, a część ulega odbiciu. Dzięki temu można zobaczyć jednocześnie obraz świecy znajdującej się przed szybą oraz przedmioty umieszczone za nią.

Cel lekcji

Nauczysz się rysować obrazy powstające w zwierciadłach płaskich. Dowiesz się, jakie obrazy nazywamy pozornymi.

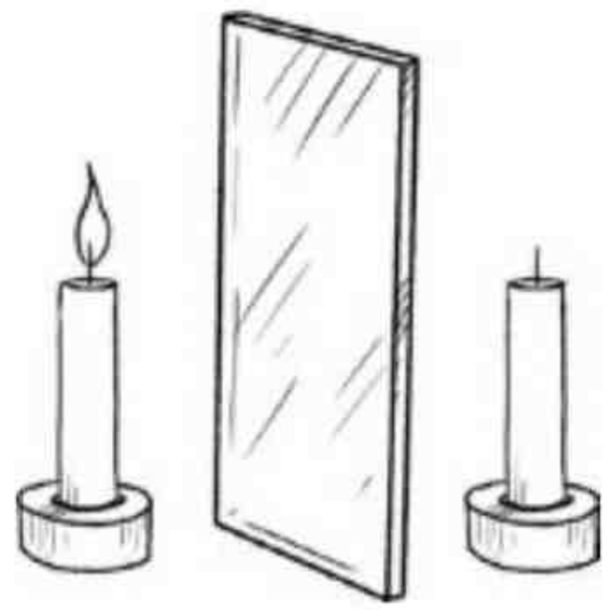
Doświadczenie Obraz płomienia świecy w zwierciadle płaskim

① Przygotuj: kawałek szyby, dwie jednakowe świeczki, zapałki.

② Ustaw świeczki po obu stronach szyby, w tej samej odległości od niej.

③ Zapal świeczkę stojącą przed szybą. Spójrz na szybę od strony zapalonej świeczki, co widzisz?

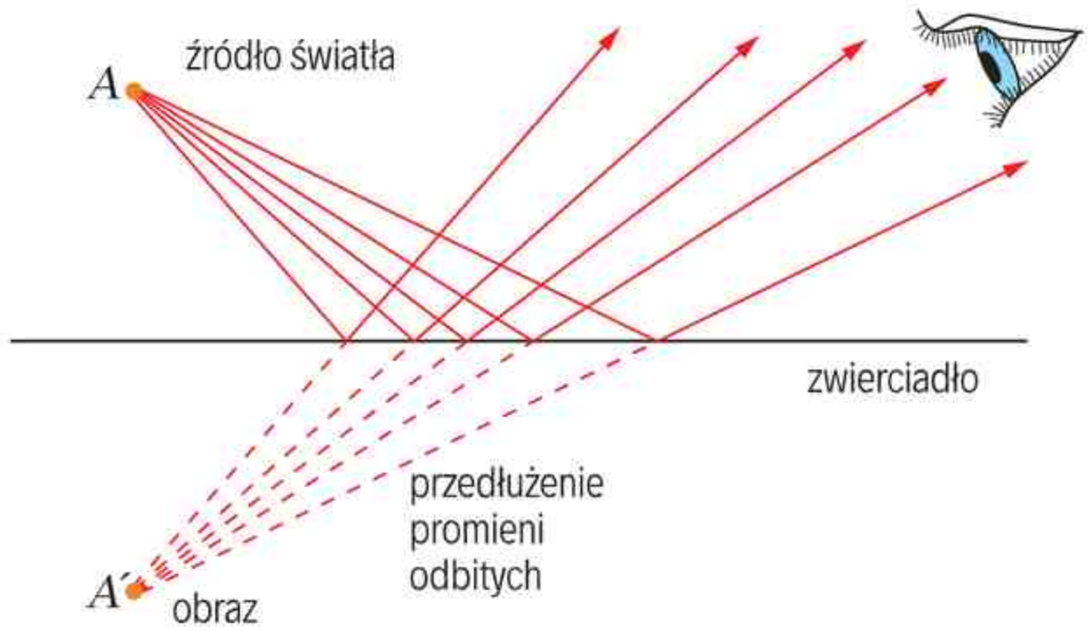
④ Zmieniaj odległość niezapalonej świeczki od szyby. Co obserwujesz?



Doświadczenie pokazuje, że odległość obrazu od zwierciadła (szyby) jest taka sama jak odległość przedmiotu od zwierciadła. Ponadto rozmiary obrazu i przedmiotu są również jednakowe. Warto zauważyć, że zwierciadło płaskie nie odwraca obrazu do góry nogami — mówimy, że otrzymany obraz jest **prosty**.

W zwierciadle płaskim odległość obrazu od zwierciadła jest taka sama jak odległość przedmiotu od tego zwierciadła. Otrzymany obraz jest **prosty**.

Jak powstaje obraz w zwierciadle płaskim?



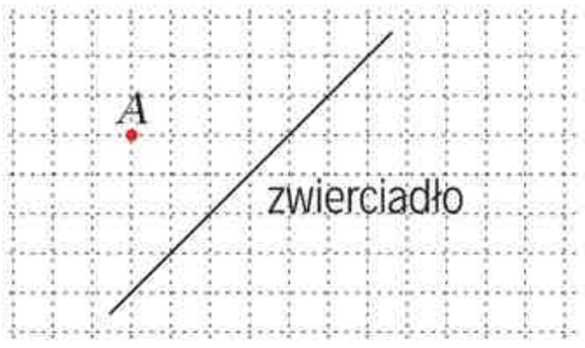
Oko rozpoznaje, że promienie wychodzą nie tylko z punktu *A*, ale także z punktu *A′* . *A′* to obraz pozorny punktu *A*.

Korzystając z prawa odbicia, można znaleźć obraz dowolnego przedmiotu powstający w zwierciadle. Zaczniemy od narysowania obrazu niewielkiego (punktowego) źródła światła *A*. W tym celu należy narysować co najmniej dwa promienie wysłane przez to źródło, a następnie odbite od zwierciadła (na schemacie są to linie ciągłe).

Promienie odbite nie przecinają się (tworzą wiązkę rozbieżną). Dlatego należy przedłużyć ich bieg na drugą stronę zwierciadła. Te przedłużenia przecinają się w punkcie *A′* — poszukiwanym obrazie punktu *A*. Jest to obraz **pozorny**, czyli powstały w wyniku przecięcia przedłużeń promieni, a nie samych promieni. Widzisz go dzięki temu, że mózg interpretuje docierające do twojego oka promienie odbite tak, jakby wychodziły z punktu *A′*, choć przecież nie wychodzą, to tylko pozory. Osoba znajdująca się po drugiej stronie zwierciadła nie zobaczy ani źródła światła, ani jego obrazu. Przedstawiony rysunek pokazuje, że odległość obrazu od zwierciadła jest taka sama jak odległość przedmiotu od zwierciadła.

Obraz pozorny powstaje w miejscu, gdzie przecinają się przedłużenia promieni odbitych. Obrazy utworzone przez zwierciadła płaskie są zawsze pozorne i znajdują się po drugiej stronie zwierciadła.

PRZYKŁAD 1. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj obraz przedmiotu (punktu A) w zwierciadle płaskim.



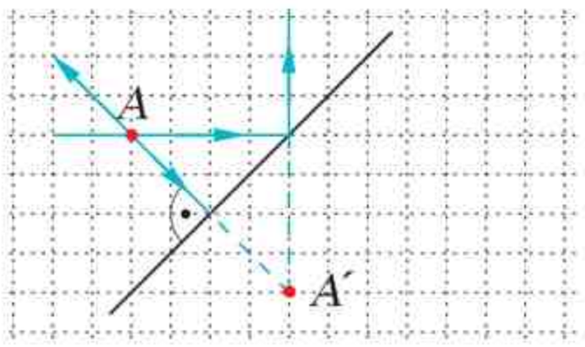
Rozwiązanie:

① Rysujemy dwa promienie wychodzące z punktu A, które padają na zwierciadło. Wygodnie jest, żeby jeden z tych promieni padał prostopadle do zwierciadła.

② Następnie rysujemy promienie odbite (kąty padania są równe kątom odbicia).

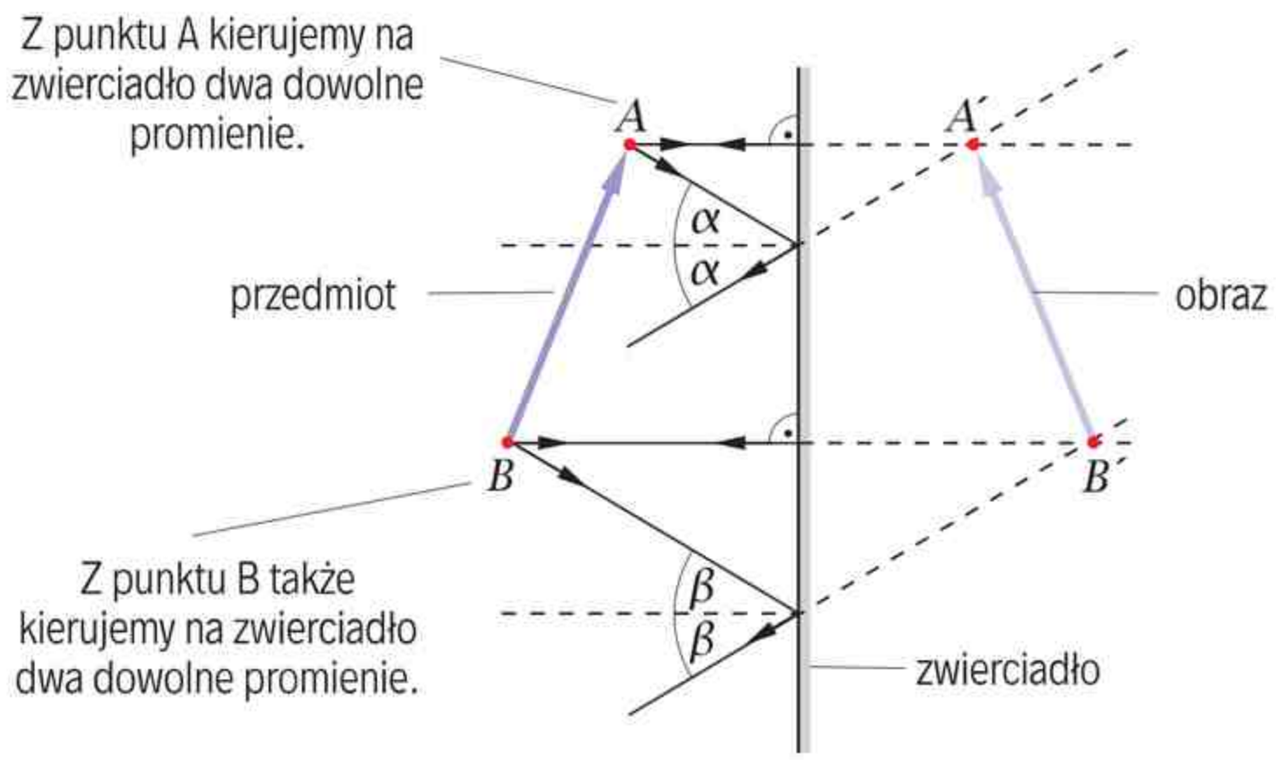
③ Rysujemy przedłużenia promieni odbitych.

④ Na przecięciu promieni odbitych zaznaczamy punkt, który jest obrazem. Na rysunku ten punkt oznaczono literą A'.



ĆWICZENIE 1. W odległości 5 cm od zwierciadła płaskiego znajduje się biedronka. Narysuj w zeszycie obraz biedronki otrzymany w zwierciadle. Biedronkę przedstaw jako punkt.

Konstrukcja obrazu bardziej złożonego przedmiotu wymaga narysowania obrazów kilku punktów tego przedmiotu. Poniżej przedstawiono konstrukcję obrazu strzałki. Widać, że obraz i przedmiot są tej samej wielkości, a ich odległości od zwierciadła są jednakowe. Obraz jest symetryczny do przedmiotu względem płaszczyzny zwierciadła.



Obraz powstający w zwierciadle płaskim ma takie same rozmiary jak przedmiot i jest do niego symetryczny względem płaszczyzny zwierciadła.

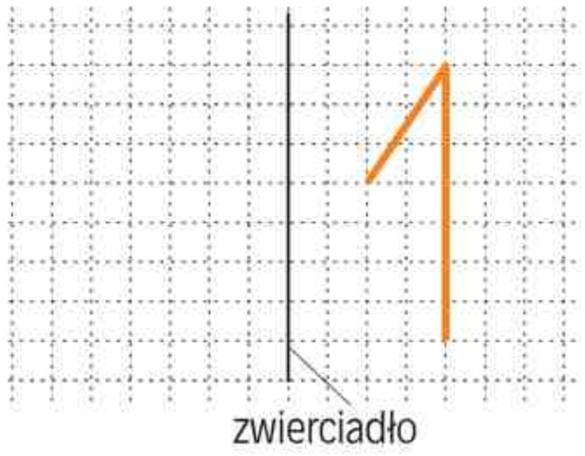


Im dalej jest Weritka, tym mniejsza się wydaje, choć w rzeczywistości jej rozmiar się nie zmienia.

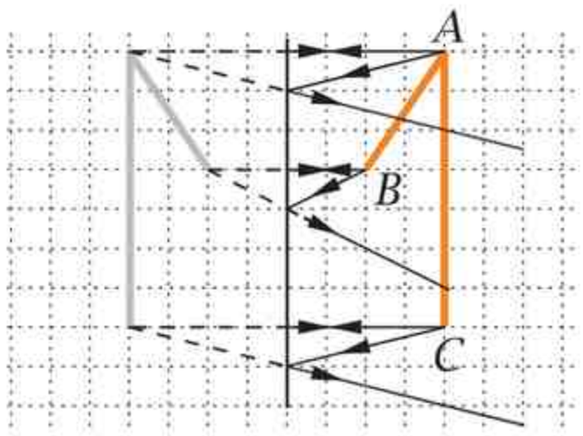


Obraz w lustrze jest oddalony, więc wydaje się pomniejszony.

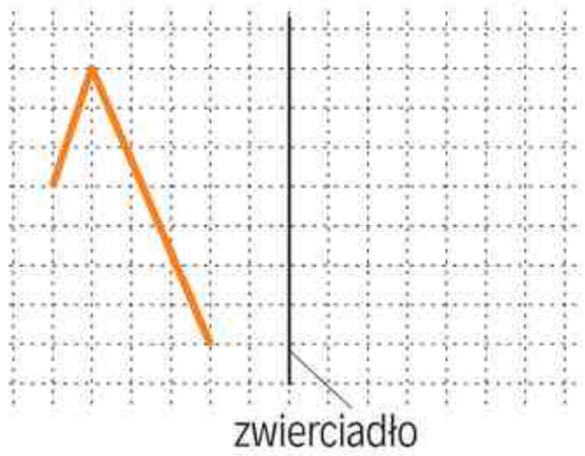
PRZYKŁAD 2. Przerysuj do zeszytu rysunek przedstawiony obok i wykonaj rysunek obrazu cyfry 1 w zwierciadle płaskim.



Rozwiązanie:
Rysujemy promienie wychodzące z punktu A. Znajdujemy przecięcie przedłużeń promieni odbitych — to obraz punktu A. Podobnie z punktami B i C.



ĆWICZENIE 2. Przerysuj do zeszytu rysunek przedstawiony obok i znajdź obraz pochylonej cyfry 1 w zwierciadle płaskim.



Zwierciadła płaskie to nie tylko domowe lustra. Można je również spotkać w wielu urządzeniach optycznych jako elementy zmieniające kierunek biegu światła, na przykład w peryskopach, w niektórych typach teleskopów, aparatach fotograficznych typu lustrzanki czy w laserach.

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Cechy obrazu*
Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.

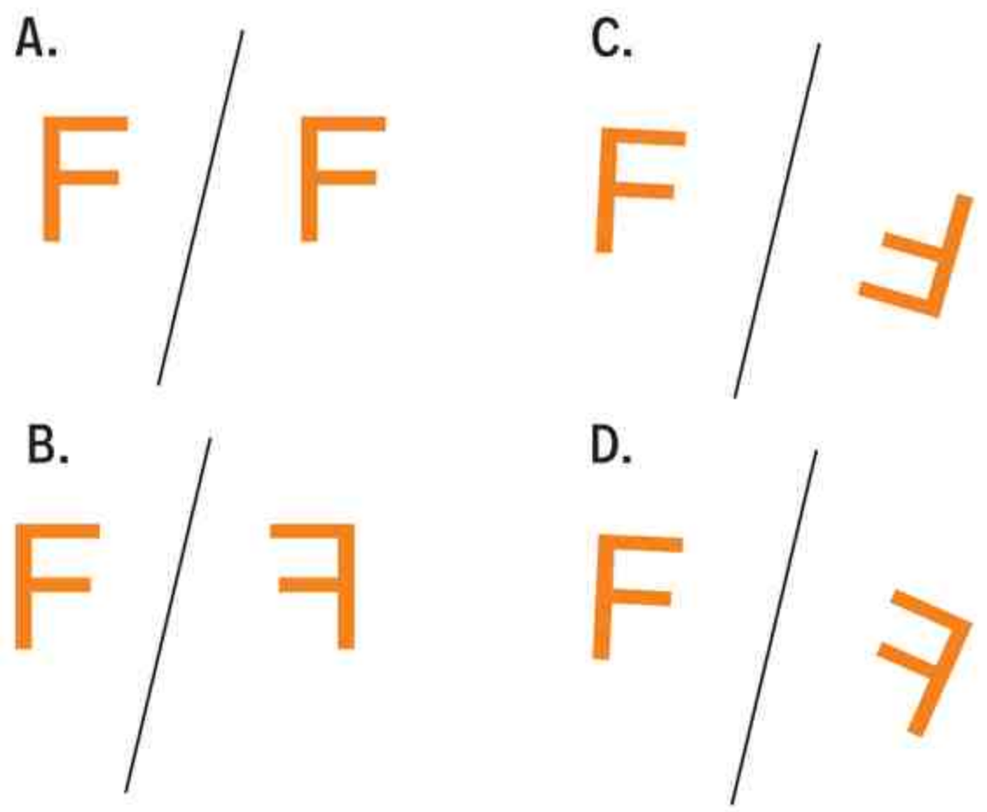
a) *Położenie obrazu uzyskanego w zwierciadle płaskim* ***zależy/nie zależy*** *od odległości przedmiotu od zwierciadła.*

b) *Obraz, który widzimy w zwierciadle płaskim, powstaje tam, gdzie przecinają się* ***promienie odbite/przedłużenia promieni odbitych****.*

c) *W zwierciadle płaskim powstaje obraz* ***odwrócony/prosty****.*

d) *Rozmiary obrazu uzyskanego w zwierciadle płaskim* ***zależą/nie zależą*** *od odległości przedmiotu od zwierciadła.*

Zadanie 2. *Przedmiot i obraz*
Wskaż rysunek przedstawiający obraz litery F otrzymany w zwierciadle płaskim.



Zadanie 3. ***Człowiek przed lustrem***

Człowiek o wzroście 170 cm stoi 1 m od lustra. Jaka jest odległość między człowiekiem i jego pozornym obrazem w lustrze? Jaką wysokość ma ten obraz?

Zadanie 4. ***Obraz okna***

Za plecami człowieka stojącego przed lustrem znajduje się okno. Odległość okna od lustra wynosi 3,5 m, a człowieka od lustra — 120 cm. W jakiej odległości od człowieka powstaje pozorny obraz okna?

Zadanie 5. ***Kot i zwierciadło***

Kot zbliża się do lustra, pokonując w czasie 1 sekundy odległość 0,6 m. Z jaką prędkością kot i jego obraz zbliżają się do siebie, jeśli kot porusza się prostopadle do powierzchni lustra?

Zadanie 6. ***Oddalający się robot***

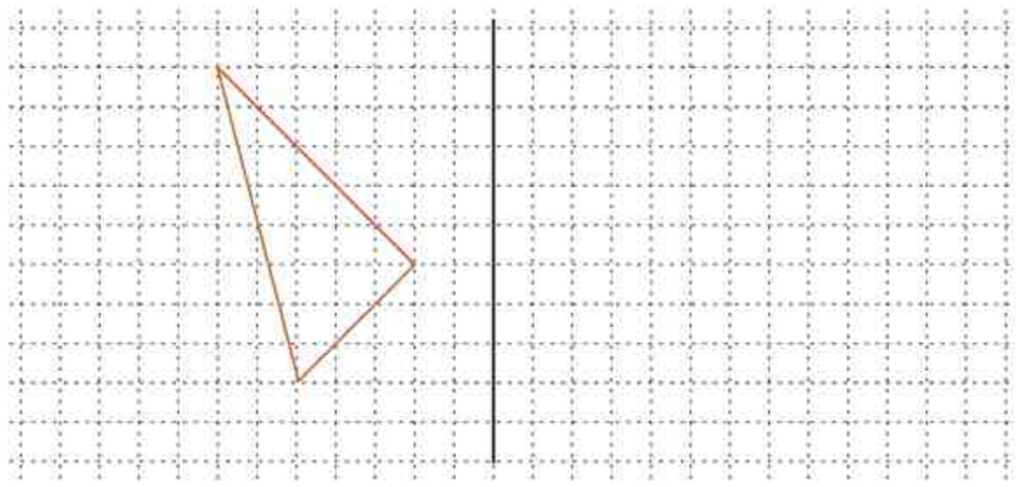
Robot sprzątający oddala się od lustra sięgającego podłogi z prędkością 25 $\frac{\text{cm}}{\text{s}}$ prostopadle do jego powierzchni. Oblicz odległość między środkiem robota i środkiem jego obrazu po 3 s ruchu, jeśli w chwili początkowej środek robota znajdował się w odległości 60 cm od zwierciadła.

Zadanie 7. ***Świeczka***

W odległości 40 cm od zwierciadła płaskiego umieszczono świeczkę o wysokości 20 cm. Narysuj w zeszycie obraz świeczki. Przyjmij, że 1 cm na rysunku odpowiada 10 cm w rzeczywistości.

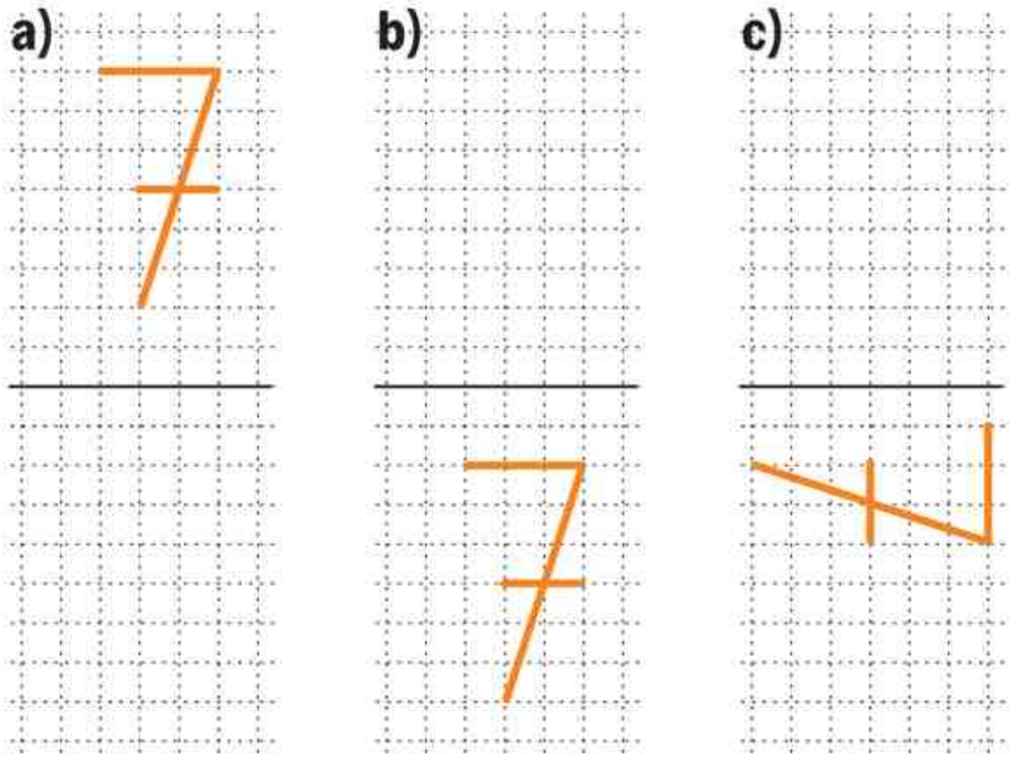
Zadanie 8. ***Trójkąt***

Przerysuj rysunek do zeszytu, a następnie narysuj obraz trójkąta w zwierciadle płaskim.



Zadanie 9. ***Cyfra siedem***

Przerysuj rysunki do zeszytu i narysuj obrazy cyfry 7 w zwierciadle płaskim.



Zadanie 10. ***Wysokość lustra***

Jaką najmniejszą wysokość musi mieć zwierciadło płaskie zawieszone pionowo, aby stojący przed nim człowiek o wzroście 180 cm mógł zobaczyć całą swoją postać? Na jakiej wysokości nad podłogą powinna znaleźć się dolna krawędź tego zwierciadła? Przyjmij, że oczy człowieka znajdują się 11 cm poniżej czubka głowy.



Jak myślisz?

- Dlaczego, patrząc na wklęsłą powierzchnię łyżki, widzisz swoje odbicie do góry nogami?
- Czy za pomocą zwierciadła można otrzymać obraz większy niż sam przedmiot?
- Jaką rolę spełniają zwierciadła ustawiane na niektórych skrzyżowaniach? Jaki obraz w nich powstaje?

27 Zwierciadła sferyczne wklęsłe



Na zdjęciu pokazano kuchenkę solarną. Za pomocą zwierciadła o takim kształcie oraz energii słońca można zagotować np. wodę. Gdzie należy ustawić garnek z wodą, żeby było to możliwe?

Cel lekcji

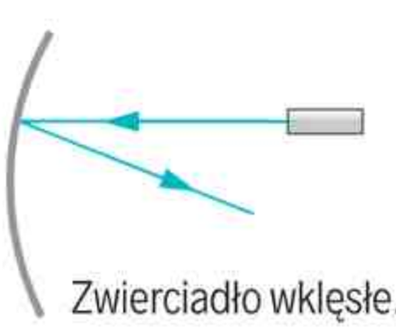
Dowiesz się, czym są zwierciadła sferyczne wklęsłe i wypukłe. Poznasz pojęcie ogniska i ogniskowej. Nauczysz się rysować obrazy wytwarzane przez zwierciadła sferyczne wklęsłe.

Co widać w krzywym zwierciadle?

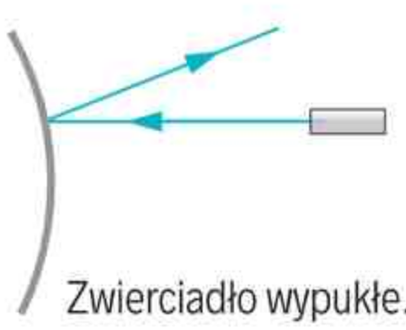
Wiesz już, jakie obrazy powstają w zwierciadłach płaskich. Jednak powierzchnie odbijające światło mogą być zakrzywione. Powstające wówczas obrazy są zniekształcone, a nawet odwrócone „do góry nogami". Spójrz na swoje odbicie w metalowej łyżce. Inny obraz powstaje na jej wypukłej stronie, a inny na wklęsłej. Dlaczego tak się dzieje? Czy możliwe jest otrzymanie jeszcze innych obrazów?







Zwierciadło wklęsłe.



Zwierciadło wypukłe.

Do zbadania tego zjawiska zamiast łyżki użyjemy **zwierciadeł sferycznych**, które są wycinkami powierzchni kuli (sfery), czasem nazywanych również zwierciadłami kulistymi. Światło może się odbijać zarówno od ich zewnętrznej, jak i wewnętrznej powierzchni. Jeżeli światło odbija się od powierzchni zewnętrznej, mamy do czynienia ze zwierciadłem sferycznym **wypukłym**. Przy odbiciu od powierzchni wewnętrznej mówimy o zwierciadle sferycznym **wklęsłym**.

Podczas tej lekcji skupimy się właśnie na zwierciadłach sferycznych wklęsłych.

Ognisko i ogniskowa zwierciadła

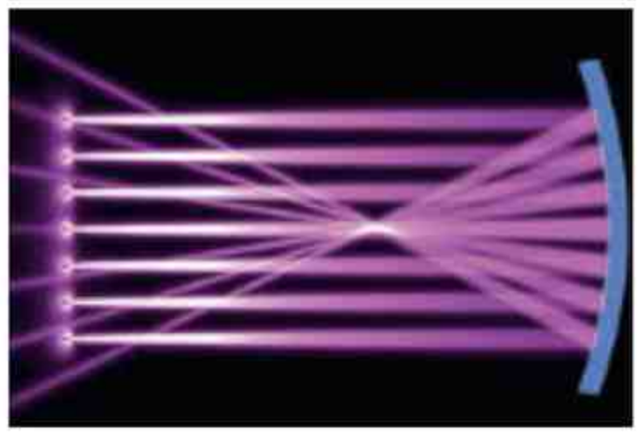
Zbadajmy, w jaki sposób wiązka promieni równoległych odbija się od zwierciadła sferycznego wklęsłego.

Doświadczenie **Odbicie światła od zwierciadła sferycznego wklęsłego**

① Przygotuj zwierciadło wklęsłe i źródło równoległych promieni.

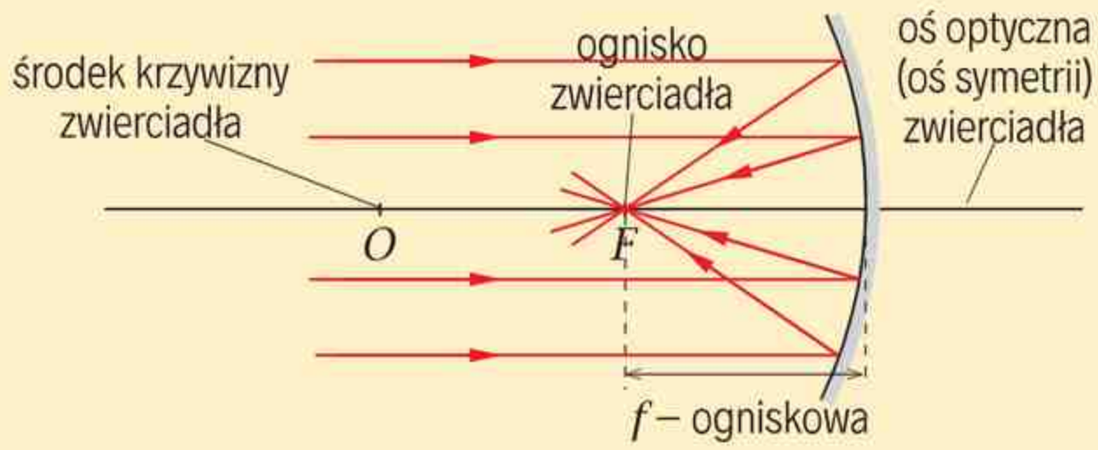
② Skieruj promienie na zwierciadło równolegle do jego osi symetrii, którą nazywamy osią optyczną zwierciadła.

③ Obserwuj bieg promieni.



Na zdjęciu pokazano przykładowy wynik doświadczenia. Promienie równoległe do osi po odbiciu od powierzchni zwierciadła sferycznego wklęsłego przecinają się w przybliżeniu w jednym punkcie. Nazywamy go **ogniskiem zwierciadła** i oznaczamy literą F. Odległość ogniska od środka czaszy zwierciadła to **ogniskowa**, oznaczana literą f. Znając promień krzywizny zwierciadła (promień sfery, której wycinkiem powierzchni jest zwierciadło), można sprawdzić, że ogniskowa jest równa połowie długości tego promienia.

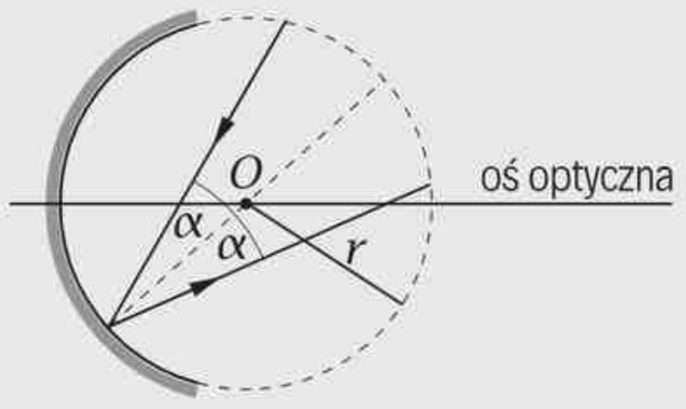
Zwierciadło sferyczne wklęsłe



Ogniskowa f jest równa połowie długości promienia r krzywizny zwierciadła: $f = \frac{r}{2}$.

Dowiedz się więcej **o promieniach odbitych od zwierciadła wklęsłego**

Promienie padające na każdą powierzchnię, również na zwierciadło sferyczne wklęsłe, odbijają się **zgodnie z prawem odbicia**. Normalna do powierzchni zwierciadła narysowana w miejscu padania światła przechodzi przez środek krzywizny zwierciadła sferycznego wklęsłego (punkt O).



Obrazy w zwierciadłach sferycznych wklęsłych

Wykonajmy doświadczenie ze zwierciadłem wklęsłym.

Doświadczenie Wytwarzanie obrazów w zwierciadłach sferycznych wklęsłych

① Przygotuj: zwierciadło sferyczne wklęsłe, świeczkę, zapałki i białą tekturę (to będzie ekran, na którym otrzymamy obrazy).

② Zapaloną świeczkę ustaw daleko od zwierciadła. Zobacz obraz powstały w zwierciadle. Przesuwając ekran w stronę zwierciadła, znajdź ostry obraz płomienia (zob. rysunek).

③ Przybliżaj teraz świeczkę do zwierciadła i obserwuj, co się dzieje z jej odbiciem. Przesuwając ekran, sprawdzaj też, jak się zmienia odległość obrazu od zwierciadła.



Doświadczenie pokazuje, że w zwierciadłach sferycznych wklęsłych można otrzymać zarówno obrazy proste, jak i odwrócone. Dodatkowo mogą one być powiększone, pomniejszone lub tej samej wielkości co przedmiot. Obrazy powiększone i proste, których nie udało się otrzymać na ekranie, są obrazami **pozornymi**. Z kolei wszystkie obrazy odwrócone można było uwidocznić na ekranie, gdyż są one obrazami **rzeczywistymi**. Rodzaj, wielkość i położenie obrazu zależą od odległości przedmiotu (świeczki) od zwierciadła. Oddalanie świeczki od zwierciadła powoduje, że jej rzeczywisty obraz staje się coraz mniejszy.

Warto **wiedzieć**

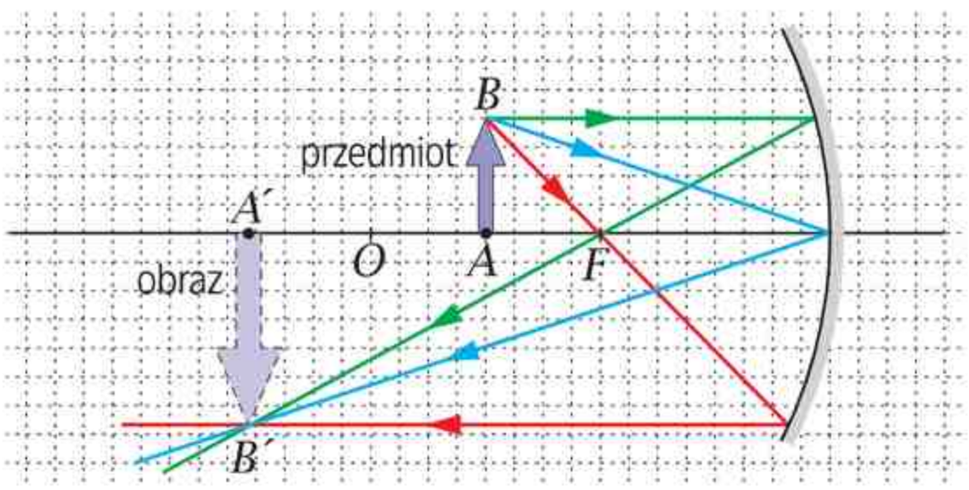
Opisując obrazy powstające w zwierciadłach, należy uwzględnić ich trzy cechy. Obrazy mogą być:
- pozorne lub rzeczywiste,
- proste lub odwrócone,
- pomniejszone, powiększone lub tego samego rozmiaru co przedmiot.

Konstrukcja obrazów

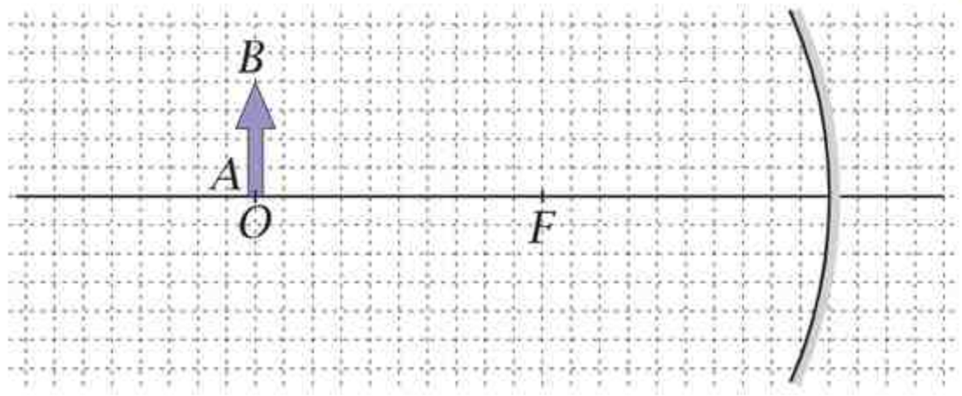
Zajmiemy się teraz rysowaniem obrazów powstających w zwierciadłach sferycznych wklęsłych.

Przedmiotem będzie strzałka AB. Początek strzałki — punkt A — znajduje się na osi zwierciadła między środkiem krzywizny i ogniskiem. W takiej sytuacji znalezienie obrazu strzałki sprowadza się do znalezienia obrazu punktu B. W tym celu należy narysować co najmniej dwa promienie wychodzące z tego punktu i padające na zwierciadło (na rysunku pokazano trzy takie promienie). Punkt przecięcia się promieni odbitych lub ich przedłużeń to obraz punktu B.

Obraz punktu B powstaje w miejscu, w którym przecinają się promienie odbite.



PRZYKŁAD 1. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj obraz strzałki umieszczonej w środku krzywizny zwierciadła. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.

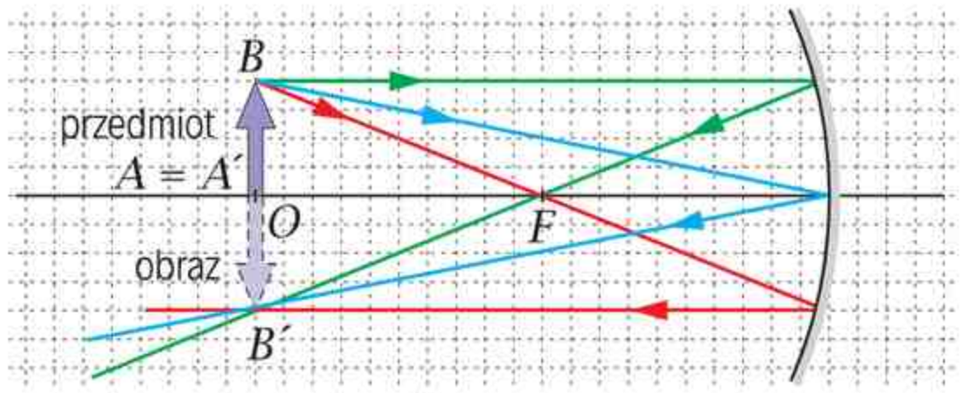


Rozwiązanie:

1. Rysujemy promienie wychodzące z punktu B oraz promienie odbite:
   Ⓘ promień biegnący równolegle do osi zwierciadła — po odbiciu przejdzie przez ognisko (kolor zielony),
   Ⓘⓘ promień przechodzący przez ognisko — po odbiciu biegnie równolegle do osi optycznej zwierciadła (kolor czerwony),
   Ⓘⓘⓘ promień padający na środek czaszy zwierciadła — odbija się symetrycznie względem osi zwierciadła (kolor niebieski).

2. Punkt przecięcia się promieni odbitych oznaczamy jako B'. Jest to obraz punktu B.

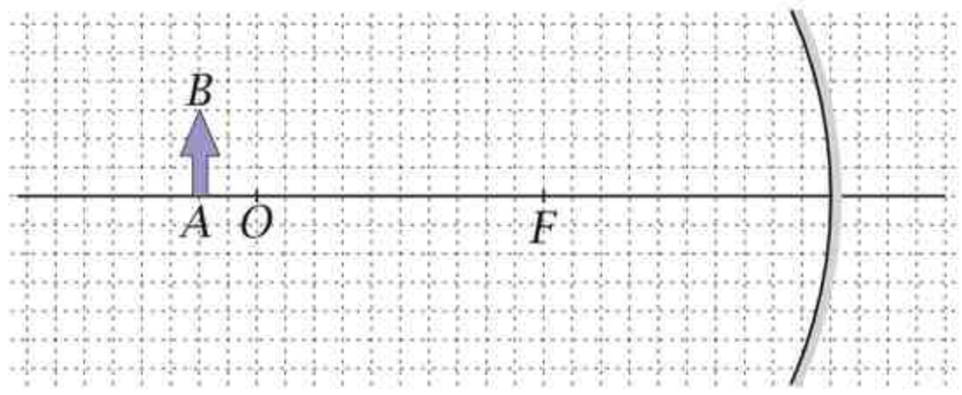
3. Rysujemy strzałkę $A'B'$, która jest obrazem strzałki AB. Porównujemy rozmiary obrazu z rozmiarami przedmiotu.



i W celu wykonania rysunku obrazu wystarczy narysować tylko dwa promienie.

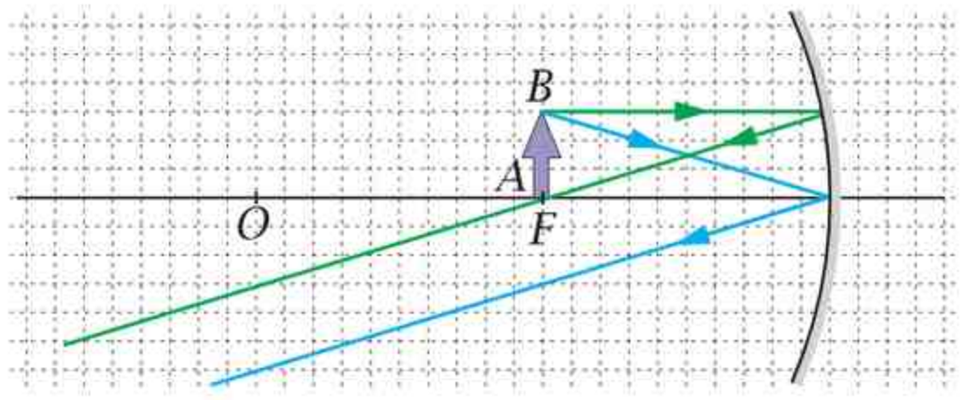
Odp. Otrzymany obraz jest rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot.

ĆWICZENIE 1. Przedmiot umieszczono w odległości większej niż promień krzywizny zwierciadła. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj obraz przedmiotu. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.



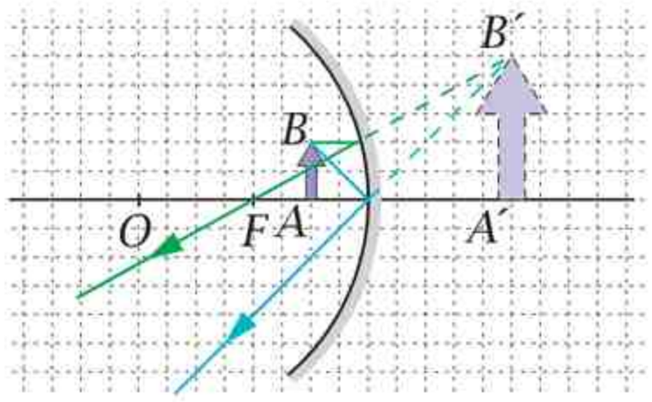
Zauważ, że jeśli odsuwamy przedmiot od zwierciadła, to jego obraz się zmniejsza. Można to było zaobserwować też w doświadczeniu na str. 214.

Gdy przedmiot znajduje się w ognisku zwierciadła, promienie odbite się nie przecinają, są równoległe (zob. rysunek obok). W takiej sytuacji obraz nie powstaje.



Promienie odbite są równoległe. Obraz nie powstaje.

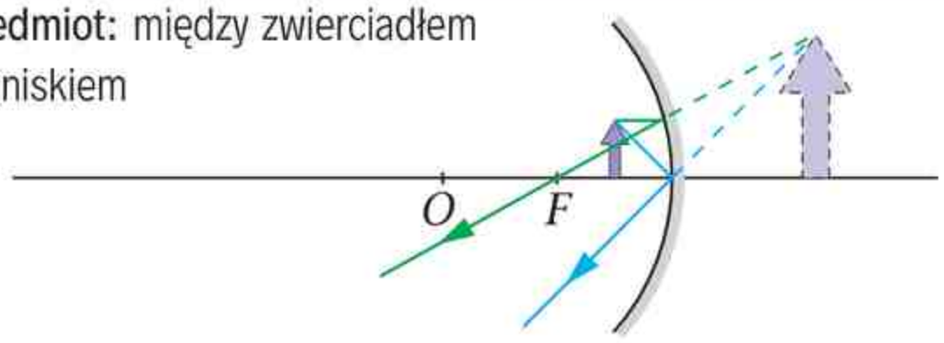
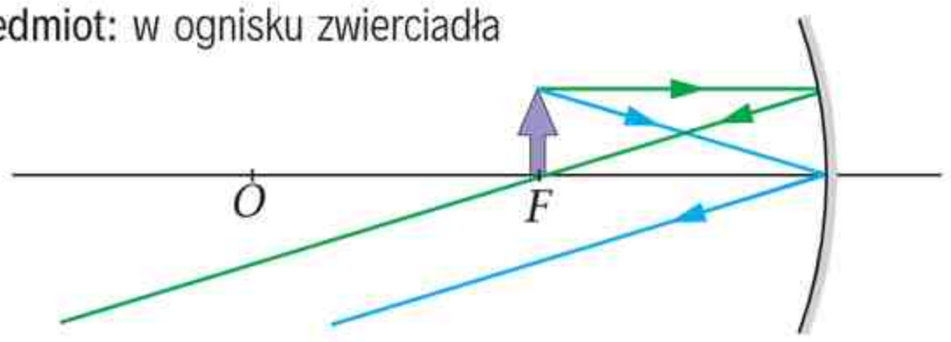
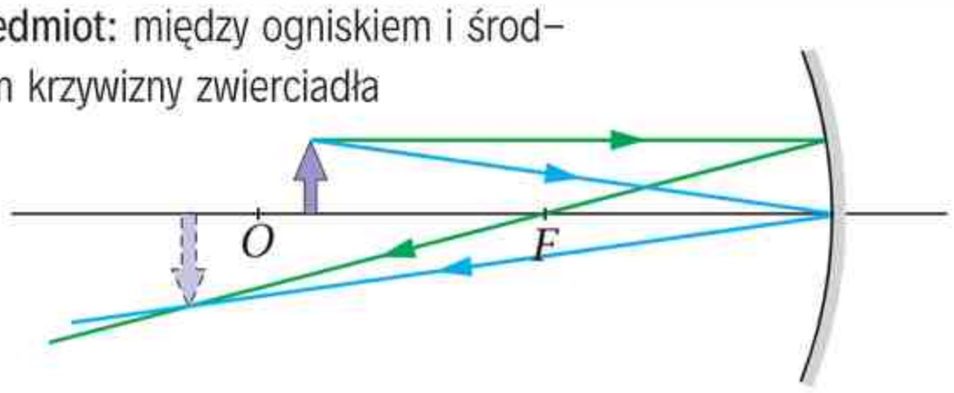
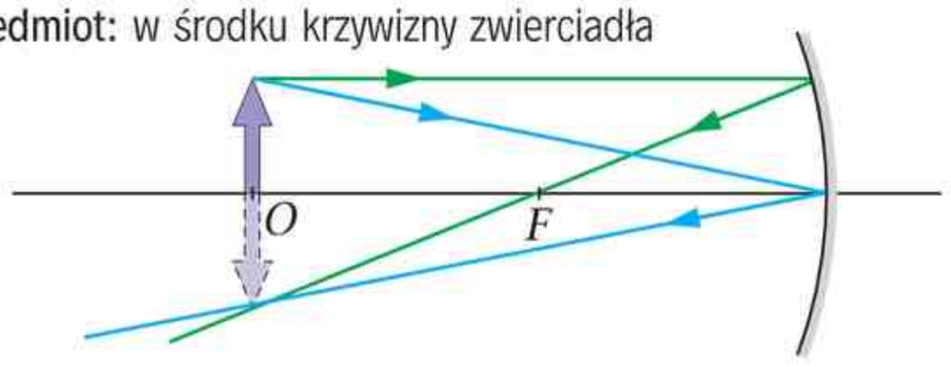
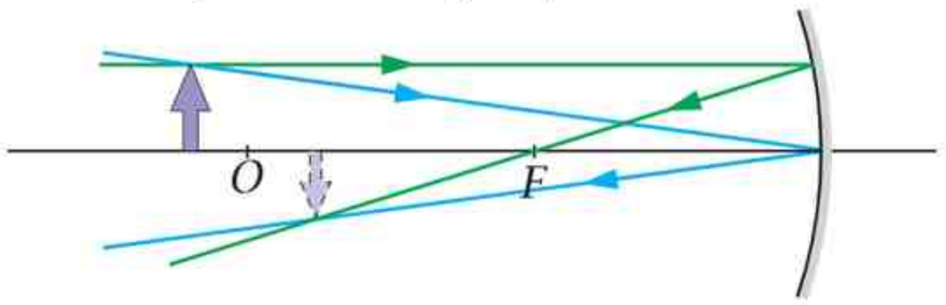
Jeśli przedmiot znajduje się w ognisku zwierciadła sferycznego wklęsłego, to obraz nie powstaje.



Obraz punktu B powstaje w miejscu, w którym przecinają się przedłużenia promieni odbitych.

Jeśli przedmiot umieścimy między ogniskiem a zwierciadłem, to promienie odbite utworzą wiązkę rozbieżną, nie przetną się, więc nie utworzą obrazu rzeczywistego. Obraz pozorny otrzymamy po drugiej stronie zwierciadła, w miejscu przecięcia się przedłużeń promieni odbitych. Obrazy pozorne zawsze są nieodwrócone (proste).

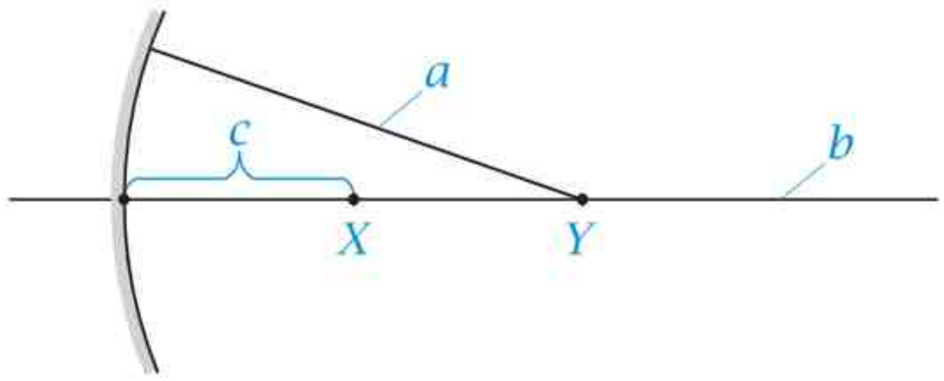
Obrazy rzeczywiste powstają po tej samej stronie zwierciadła, po której znajduje się przedmiot, a **obrazy pozorne** — po przeciwnej. Obrazy rzeczywiste są odwrócone, a pozorne — proste.

Położenie przedmiotu	Cechy obrazu
przedmiot: między zwierciadłem i ogniskiem 	**obraz:** • pozorny • prosty • powiększony **położenie obrazu:** za zwierciadłem
przedmiot: w ognisku zwierciadła 	**obraz:** brak obrazu
przedmiot: między ogniskiem i środkiem krzywizny zwierciadła 	**obraz:** • rzeczywisty • odwrócony • powiększony **położenie obrazu:** dalej niż środek krzywizny zwierciadła
przedmiot: w środku krzywizny zwierciadła 	**obraz:** • rzeczywisty • odwrócony • tej samej wielkości co przedmiot **położenie obrazu:** w środku krzywizny zwierciadła
przedmiot: dalej niż środek krzywizny zwierciadła 	**obraz:** • rzeczywisty • odwrócony • pomniejszony **położenie obrazu:** między ogniskiem a środkiem krzywizny zwierciadła

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Opis zwierciadła sferycznego*

Dopasuj litery do określeń wybranych z ramki.



środek krzywizny zwierciadła
ognisko
ogniskowa
promień krzywizny zwierciadła
oś optyczna zwierciadła

Zadanie 2. *Zwierciadła sferyczne*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) Zewnętrzna powierzchnia gładkiej, wypolerowanej kuli jest zwierciadłem sferycznym *wklęsłym / wypukłym*.

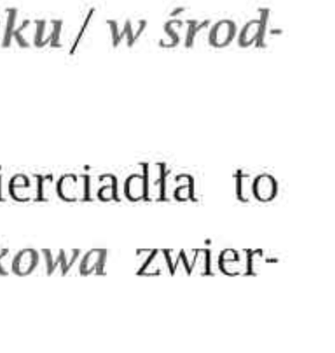
b) Promienie biegnące równolegle do osi zwierciadła sferycznego wklęsłego po odbiciu przecinają się w *ognisku / w środku krzywizny* zwierciadła.

c) Odległość ogniska od zwierciadła to *promień krzywizny / ogniskowa* zwierciadła.

d) Promień krzywizny zwierciadła wklęsłego o ogniskowej 20 cm jest równy *40 cm / 10 cm*.

Zadanie 3. *Bombka choinkowa*

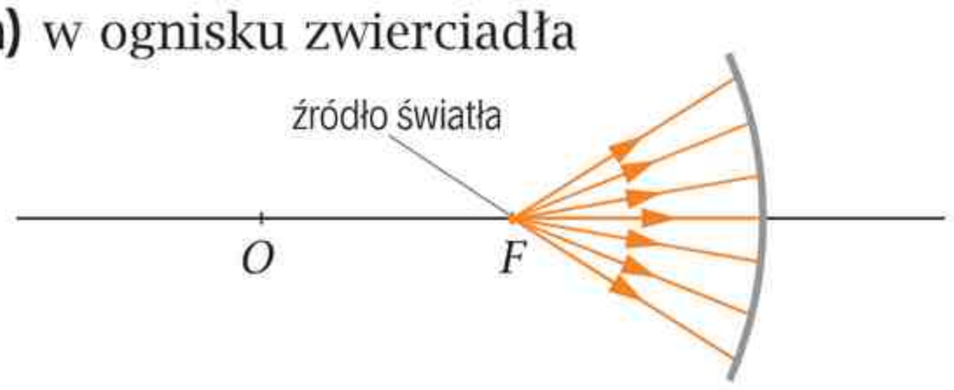
Błyszcząca bombka choinkowa miała kształt kuli o średnicy 12 cm. Oblicz ogniskową zwierciadła sferycznego wklęsłego otrzymanego z fragmentu rozbitej bombki.



Zadanie 4. *Punktowe źródło światła*

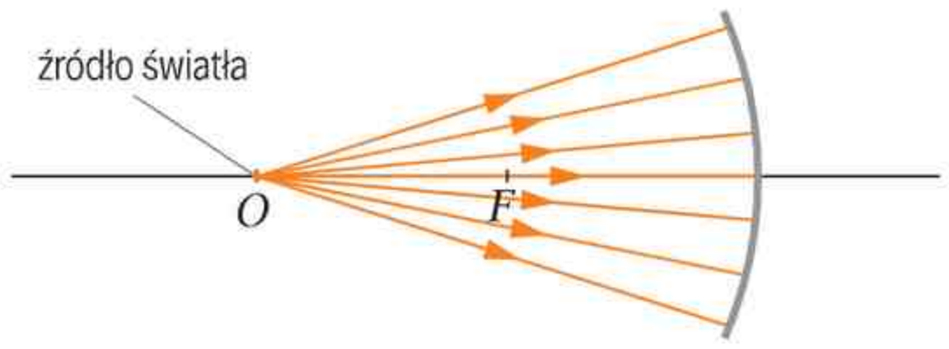
Wykonaj w zeszycie odpowiednie rysunki oraz przedstaw kierunek promieni świetlnych odbitych od zwierciadła sferycznego wklęsłego, jeśli niewielkie (punktowe) źródło światła zostanie umieszczone:

a) w ognisku zwierciadła



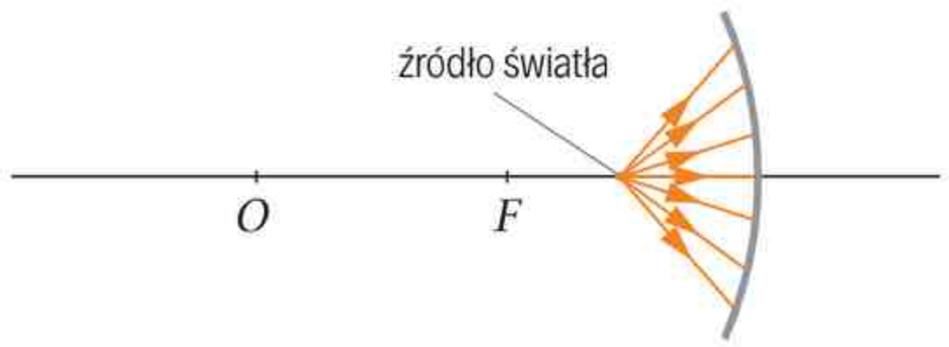
i Przypomnij sobie, które promienie po odbiciu przechodzą przez ognisko.

b) w środku krzywizny zwierciadła



i Jaki jest kąt padania promieni?

c) między zwierciadłem a ogniskiem

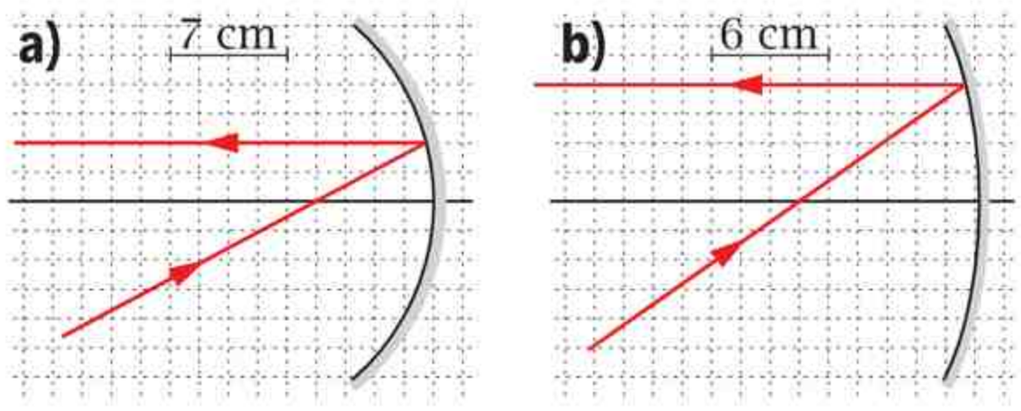


Zadanie 5. *Kot i zwierciadło*

Przed zwierciadłem sferycznym wklęsłym o ogniskowej 60 cm siedzi kot. Wysokość siedzącego kota wynosi 30 cm, a jego odległość od środka czaszy zwierciadła jest równa 100 cm. Określ, jakie cechy ma obraz otrzymany w zwierciadle. Wykonaj w zeszycie rysunek tego obrazu. Dla ułatwienia sylwetkę kota zastąp strzałką. Przyjmij, że jeden koniec strzałki znajduje się na osi optycznej zwierciadła, a 1 cm na rysunku odpowiada 20 cm w rzeczywistości.

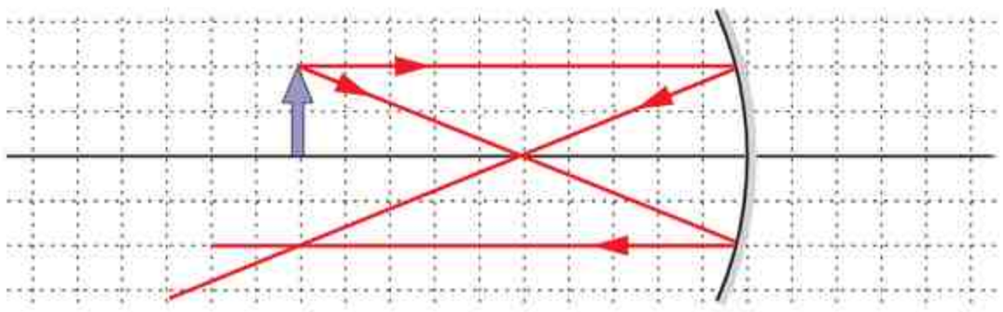
Zadanie 6. *Jaka jest ogniskowa?*

Wyznacz długość promieni krzywizny i ogniskowe zwierciadeł.



Zadanie 7. *Jak odbija się promień?*

Wskaż stwierdzenia prawdziwe w sytuacji przedstawionej na rysunku.



① Promienie odbite przecinają się w jednym punkcie, ognisku zwierciadła.

② Promień równoległy do osi zwierciadła po odbiciu przechodzi przez ognisko.

③ Aby narysować obraz przedmiotu, trzeba poprowadzić jeszcze jeden promień wychodzący z wierzchołka przedmiotu.

④ Powstały obraz przedmiotu będzie rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony.

⑤ Przedmiot znajduje się między środkiem krzywizny zwierciadła i ogniskiem.

Zadanie 8. *Zwierciadło stomatologiczne*

Do oceny stanu uzębienia stomatolodzy używają zwierciadeł sferycznych wklęsłych. Podczas badania ząb znajduje się między ogniskiem a zwierciadłem.

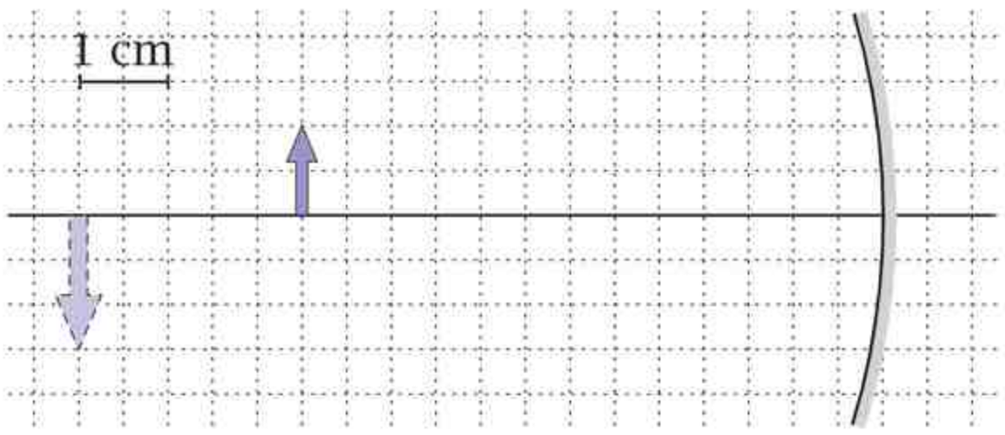


a) Określ, jakie cechy ma w tym wypadku obraz otrzymywany w zwierciadle.

b) Wykonaj w zeszycie schematyczny rysunek tego obrazu. Przyjmij, że ząb ma wysokość 1 cm i znajduje się w odległości 2 cm od zwierciadła o promieniu krzywizny 12 cm.

Zadanie 9. *Gdzie jest ognisko?*

Rysunek przedstawia przedmiot i jego obraz otrzymany w zwierciadle sferycznym wklęsłym. Przerysuj rysunek do zeszytu, a następnie wyznacz położenie ogniska i podaj wartość ogniskowej.





Jak myślisz?

- Czy długość ogniskowej zwierciadła sferycznego ulegnie zmianie, jeśli zwierciadło zanurzymy w wodzie?
- Gdzie powstaje obraz przedmiotu znajdującego się w bardzo dużej odległości od zwierciadła sferycznego wklęsłego? Jakie są rozmiary tego obrazu?
- Czy inne rodzaje promieniowania odbijają się w taki sam sposób jak światło?

28 Zwierciadła sferyczne wypukłe



Zdjęcie przedstawia fragment rzeźby znajdującej się przed Muzeum Guggenheima (czyt. gugenhajma) w Bilbao (Hiszpania). Jakie obrazy powstają w wypolerowanej kuli? Czy można otrzymać je na ekranie?

Ognisko zwierciadła sferycznego wypukłego

Wiesz już, że promienie świetlne równoległe do osi zwierciadła sferycznego wklęsłego po odbiciu przecinają się w jednym punkcie. Teraz zbadajmy zachowanie promieni odbitych od zwierciadła sferycznego wypukłego.

Cel lekcji

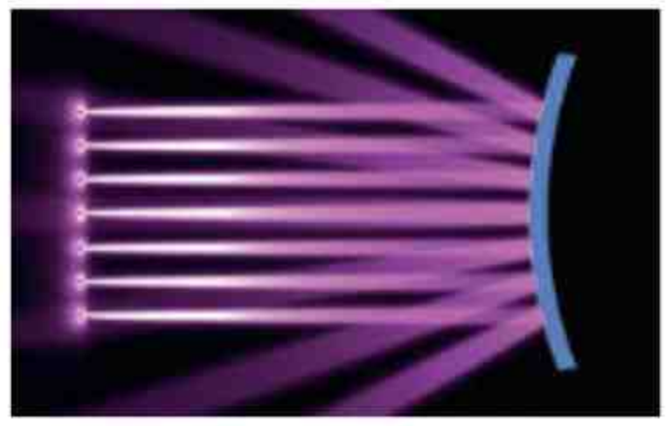
Nauczysz się rysować obrazy powstające w zwierciadłach sferycznych wypukłych. Dowiesz się, jakie są zastosowania zwierciadeł.

Doświadczenie **Odbicie światła od zwierciadła sferycznego wypukłego**

① Przygotuj zwierciadło wypukłe oraz źródło równoległych promieni.

② Skieruj promienie na zwierciadło równolegle do jego osi optycznej.

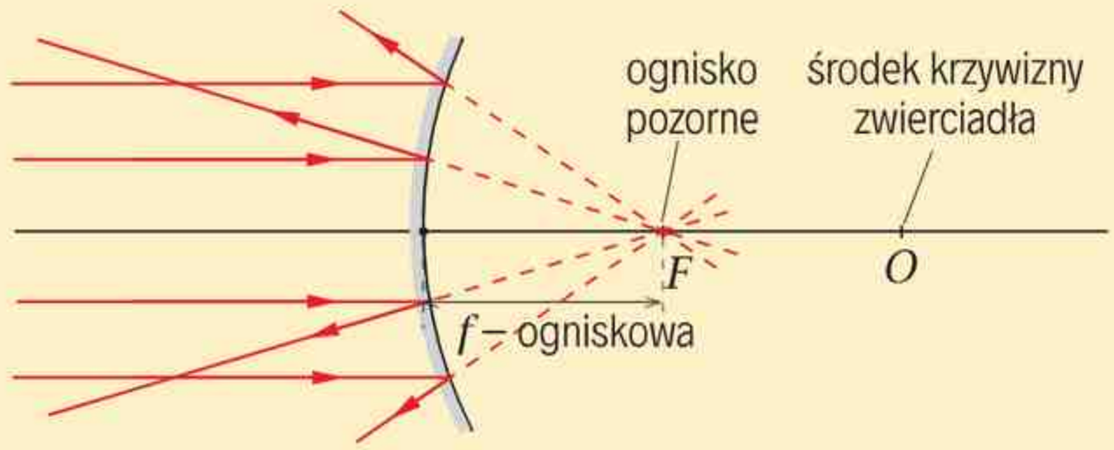
③ Obserwuj bieg promieni.



Promienie odbite utworzyły **wiązkę rozbieżną**. Wydaje się, że promienie odbite wybiegają z jednego punktu leżącego po drugiej stronie zwierciadła. Ten punkt nazywamy **ogniskiem pozornym** i oznaczamy literą ***F***. Odległość ogniska pozornego od środka czaszy zwierciadła to — podobnie jak w zwierciadle wklęsłym — ogniskowa, którą oznaczamy literą f.

Podobnie jak w wypadku zwierciadeł sferycznych wklęsłych zachodzi zależność: $f = \frac{r}{2}$, gdzie r to promień krzywizny zwierciadła.

Zwierciadło sferyczne wypukłe



PRZYKŁAD 1. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Gdy na zwierciadło sferyczne wypukłe zostanie skierowane światło lasera, to kąt jego odbicia będzie ***inny niż / taki sam jak*** *kąt padania. Wiązka promieni równoległych do osi zwierciadła po odbiciu utworzy wiązkę* ***zbieżną / rozbieżną****. Jeżeli promień krzywizny zwierciadła wynosi 10 cm, to jego ogniskowa to* ***20 cm / 5 cm****.*

Odp. *taki sam jak; rozbieżną; 5 cm.*

ĆWICZENIE 1. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Promienie równoległe do osi zwierciadła sferycznego wypukłego po odbiciu ***przetną się / nie przetną się****. Punkt, w którym przetną się* ***promienie odbite / przedłużenia promieni odbitych****, to* ***ognisko pozorne / środek krzywizny zwierciadła****.*

Obrazy w zwierciadłach sferycznych wypukłych

Zbadajmy obrazy powstające w zwierciadle wypukłym.

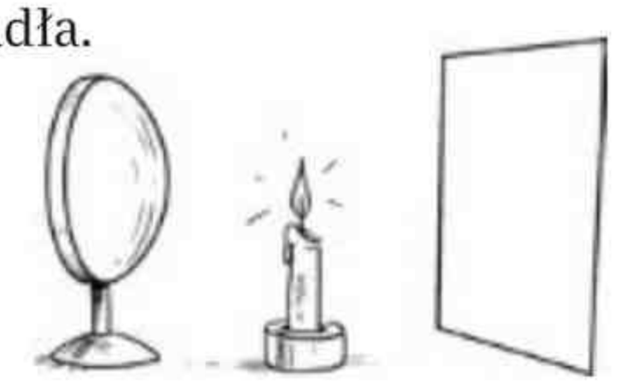
Doświadczenie **Wytwarzanie obrazów w zwierciadłach sferycznych wypukłych**

① Przygotuj: zwierciadło sferyczne wypukłe, świeczkę, zapałki i biały ekran.

② Umieść świeczkę w niewielkiej odległości od zwierciadła.

③ Zapal świeczkę i sprawdź, czy można otrzymać obraz na ekranie (zob. rysunek).

④ Oddalaj świeczkę od zwierciadła i obserwuj obraz w zwierciadle.

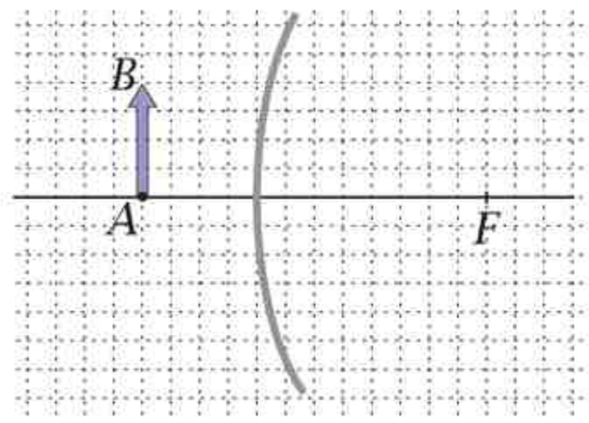


W zwierciadle sferycznym wypukłym zawsze powstają obrazy pozorne, proste, pomniejszone. Odległość przedmiotu od zwierciadła wpływa jedynie na wielkość obrazu. Jeśli oddalamy świeczkę od zwierciadła, to obraz maleje.

Konstrukcja obrazów

Zajmiemy się teraz rysowaniem obrazów powstających w zwierciadłach sferycznych wypukłych.

PRZYKŁAD 2. Przerysuj rysunek do zeszytu i narysuj obraz strzałki powstający w zwierciadle sferycznym wypukłym. Zapisz cechy obrazu.



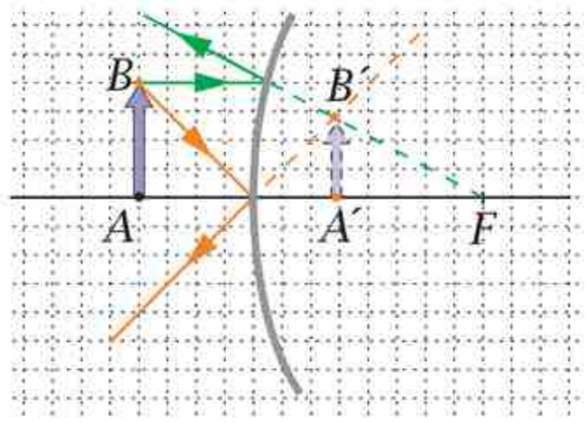
Rozwiązanie:

Obraz punktu A znajdzie się na osi zwierciadła.

Wystarczy znaleźć obraz punktu B. Tak jak w wypadku zwierciadeł wklęsłych rysujemy dwa promienie wybiegające z punktu B.

(I) Promień równoległy do osi zwierciadła po odbiciu biegnie w taki sposób, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne (kolor zielony).

(II) Promień padający na środek czaszy zwierciadła po odbiciu biegnie symetrycznie względem osi zwierciadła (kolor pomarańczowy).

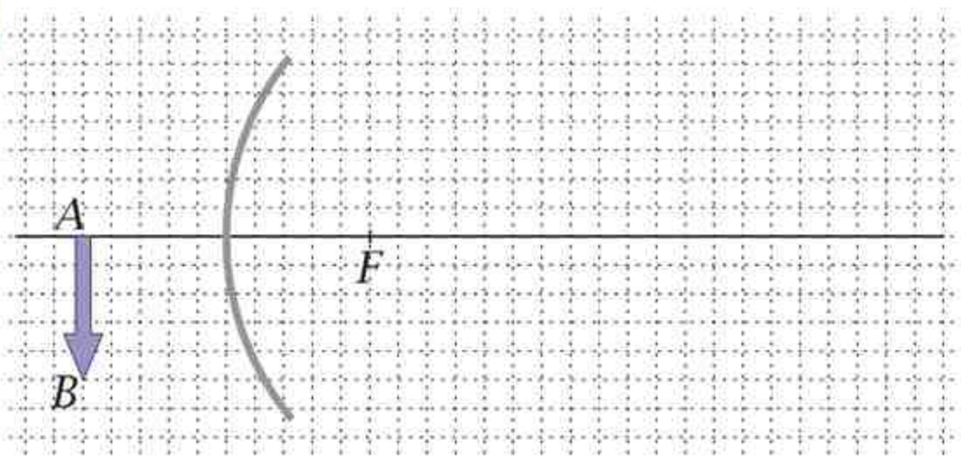


Punkt przecięcia się przedłużeń promieni odbitych (zaznaczonych liniami przerywanymi) — punkt B' — jest obrazem punktu B.

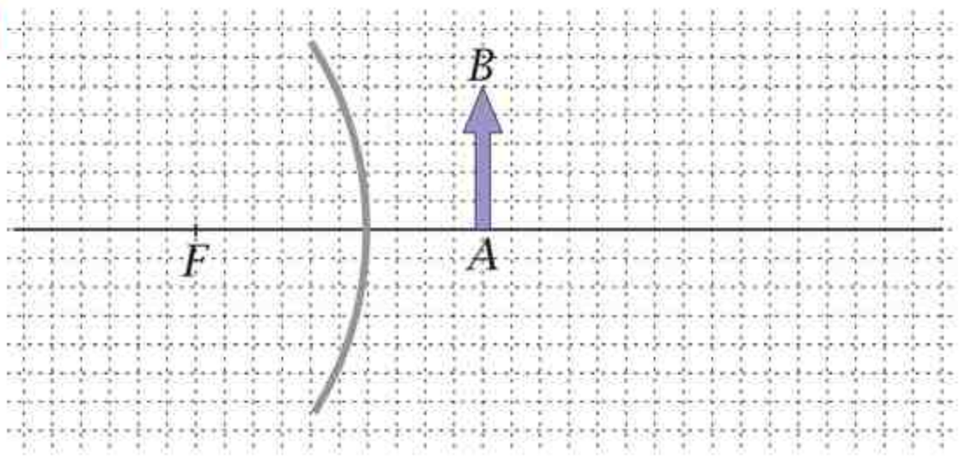
Odp. Otrzymany obraz jest pozorny (powstał po drugiej stronie zwierciadła), prosty i pomniejszony.

ĆWICZENIE 2. Przerysuj rysunki do zeszytu. Narysuj obrazy strzałek powstające w zwierciadłach sferycznych wypukłych oraz określ cechy obrazów.

a)



b)



W zwierciadłach sferycznych wypukłych zawsze powstają obrazy pozorne, proste, pomniejszone.

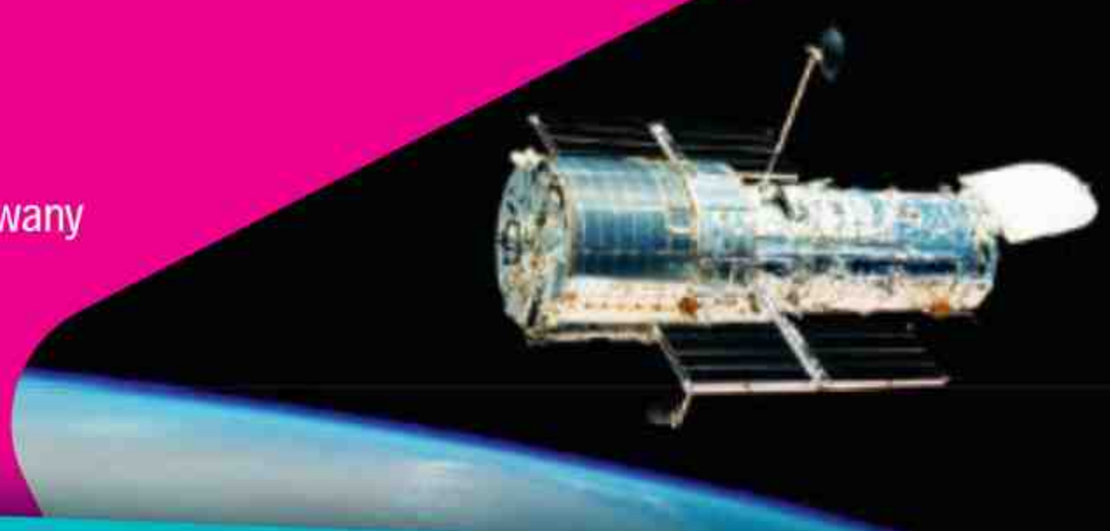


Kuchenka solarna

Energię słoneczną skupioną w ognisku **zwierciadła wklęsłego** można wykorzystać do podgrzewania potraw. Takie rozwiązanie jest popularne w Chinach, Indiach czy Nepalu, gdzie dostępność prądu jest ograniczona.

Teleskopy zwierciadlane

W słynnych teleskopach Hubble'a oraz Jamesa Webba są używane różnego typu zwierciadła. Teleskop zaprojektowany przez Izaaka Newtona (stosowany do dziś) składa się ze **zwierciadeł wklęsłego** oraz **płaskiego**.





Reflektory

Zwierciadła wklęsłe są wykorzystywane w reflektorach samochodowych do wytwarzania równoległej wiązki promieni. Źródło światła umieszcza się w ognisku zwierciadła. Dzięki temu nie oślepia się pojazdów jadących z naprzeciwka.

Lusterko stomatologiczne

Zwierciadła wklęsłe służą dentystom do powiększania obrazu, najczęściej o około 2,5 raza. Dodatkowo lusterko odbija promienie światła i oświetla obserwowany obszar w jamie ustnej.





Lusterka samochodowe

W lusterkach samochodowych wykorzystuje się **zwierciadła wypukłe**. Dzięki nim zwiększa się obszar widzenia wokół samochodu. Jednak pojazdy obserwowane w lusterku wydają się być dalej niż w rzeczywistości.

Lustra drogowe i sklepowe

Zwierciadła wypukłe są stawiane w miejscach, gdzie widoczność jest ograniczona. Podobne lustra montowane są w sklepach samoobsługowych. Dzięki nim ochrona może obserwować dużą powierzchnię sklepu.



Czas na zadania!

Zadanie 1. *Różne zwierciadła*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

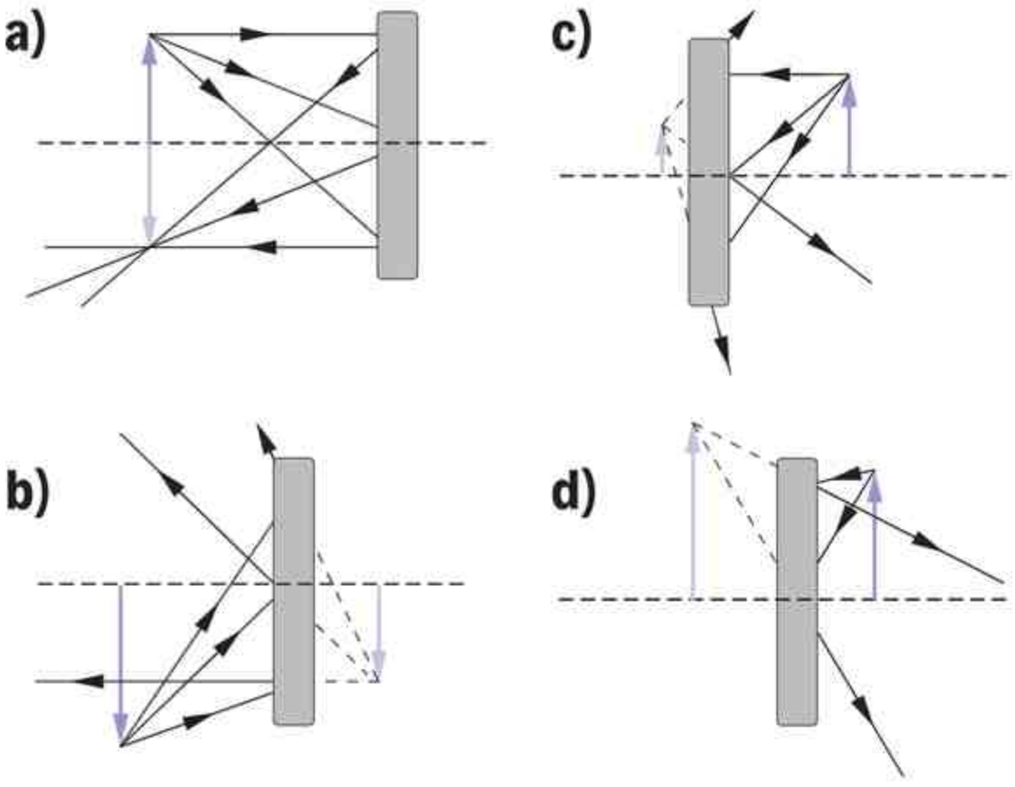
a) *Promienie biegnące równolegle do osi zwierciadła sferycznego wypukłego po odbiciu przecinają się w jednym punkcie / tworzą wiązkę rozbieżną.*

b) *Ognisko pozorne występuje w zwierciadłach sferycznych wklęsłych / wypukłych.*

c) *Obraz pozorny, pomniejszony można otrzymać tylko w zwierciadle wypukłym / tylko w zwierciadle wklęsłym / w każdym zwierciadle sferycznym.*

Zadanie 2. *Co to za zwierciadło?*

Na schematach przedstawiono promienie odbite od zwierciadeł, a czasami także przedłużenie promieni odbitych. Same zwierciadła zostały zasłonięte szarymi prostokątami. W każdej sytuacji określ, czy zasłonięte jest zwierciadło sferyczne wklęsłe czy wypukłe.



Zadanie 3. *Ogniskowa*

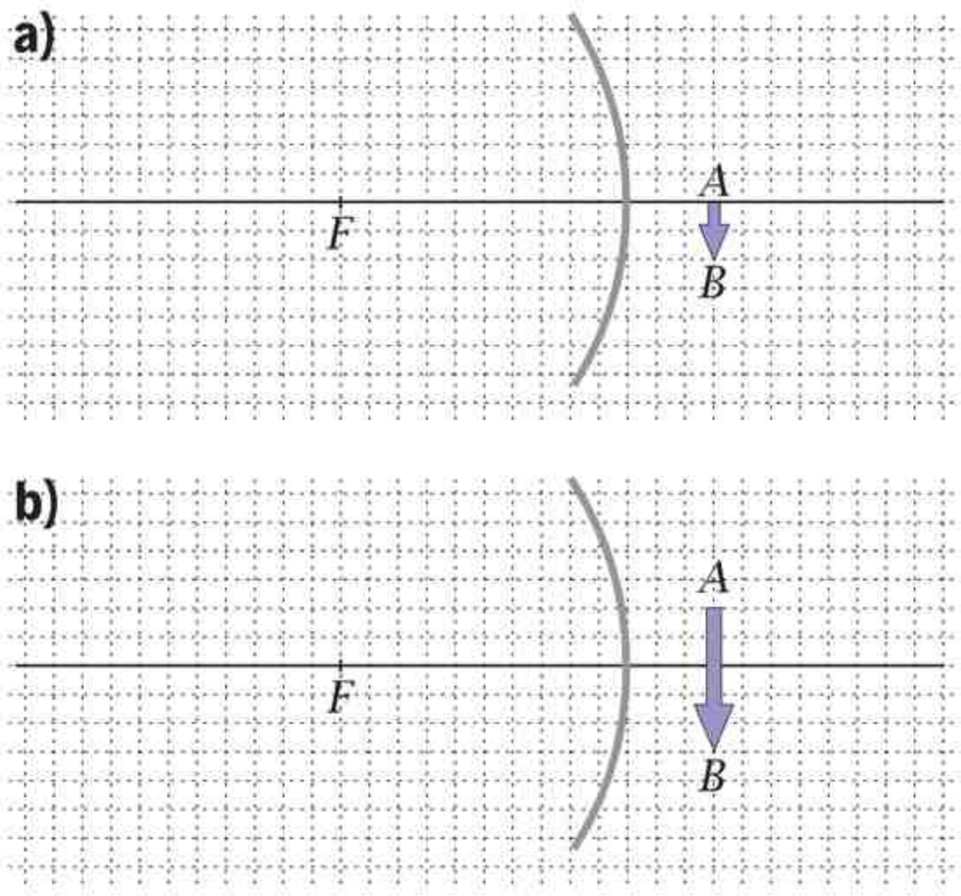
Promień krzywizny zwierciadła sferycznego wypukłego wynosi 1 m. W jakiej odległości od zwierciadła znajduje się ognisko pozorne? Czy znajduje się ono przed zwierciadłem, czy za nim?

Zadanie 4. *Weritka i zwierciadło*

Podczas pobytu w gabinecie luster Weritka zobaczyła w jednym ze zwierciadeł swój obraz pomniejszony i prosty. Przed jakim zwierciadłem sferycznym się zatrzymała?

Zadanie 5. *Obraz*

Przerysuj schematy do zeszytu. Narysuj obrazy przedmiotów oraz określ cechy tych obrazów.



Zadanie 6. *Obraz świeczki*

Przed zwierciadłem sferycznym wypukłym o promieniu krzywizny 100 cm stoi świeczka o wysokości 20 cm. Jej odległość od środka czaszy zwierciadła wynosi 30 cm. Narysuj obraz świeczki. Przyjmij, że 1 cm na rysunku odpowiada 10 cm w rzeczywistości.

Zadanie 7. *Reflektor*

Niewielkie źródło światła umieszczono na osi optycznej zwierciadła sferycznego wklęsłego w odległości 12 cm od niego. Okazało się, że promienie odbite utworzyły wiązkę równoległą. Jaki był promień krzywizny tego zwierciadła?

Zadanie 8. *Wklęsłe czy wypukłe?*

Określ, jakie zwierciadła są wykorzystywane w opisanych sytuacjach.

① Stomatolog bada stan uzębienia.

② Na wyjeździe z parkingu ustawiono zwierciadło.

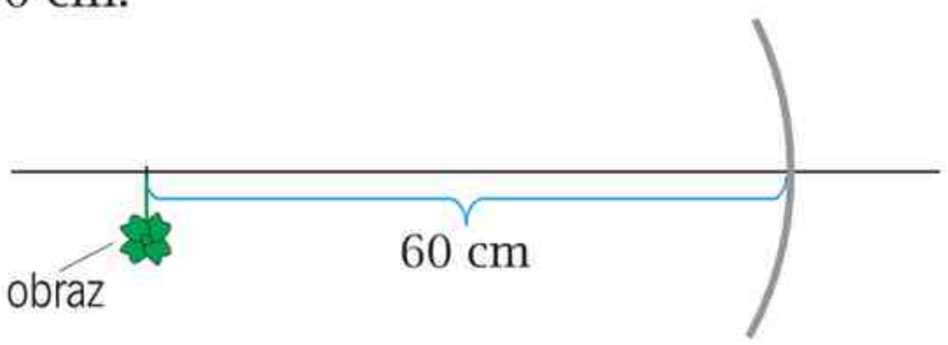
③ Harcerze rozpalili ognisko za pomocą zwierciadła.

④ Wiązka światła latarki składa się z równoległych promieni światła.

⑤ Zupa jest podgrzewana na kuchence solarnej.

Zadanie 9. *Gdzie jest przedmiot?*

W pewnej odległości od zwierciadła sferycznego wklęsłego o promieniu krzywizny 40 cm umieszczono przedmiot. Obraz tego przedmiotu powstał w odległości 60 cm od zwierciadła i miał wysokość 10 cm.



a) Oblicz długość ogniskowej zwierciadła.

b) Wykonaj w zeszycie rysunek przedstawiający opisaną sytuację. Przyjmij, że 1 cm na rysunku odpowiada 10 cm w rzeczywistości.

c) Zmierz na swoim rysunku odpowiednie długości i oblicz wysokość przedmiotu oraz jego odległość od zwierciadła.

Zadanie 10. *Kredka*

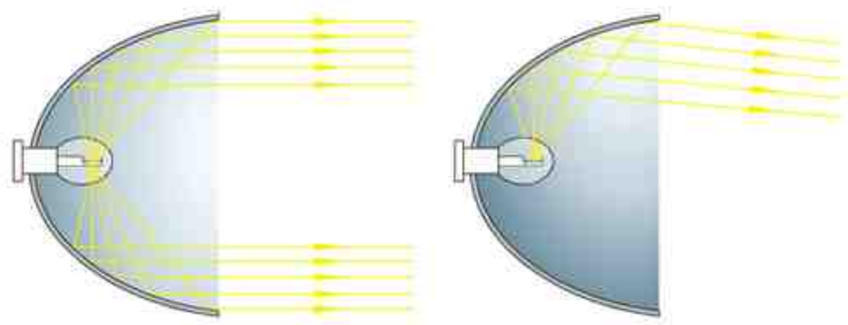
Kredkę o długości 15 cm umieszczono w odległości 60 cm od zwierciadła sferycznego wklęsłego o ogniskowej 25 cm.



Przerysuj rysunek do zeszytu i znajdź obraz kredki.

Zadanie 11. *Światła w samochodzie*

Każdy samochód jest wyposażony w światła mijania oraz tzw. światła długie, które lepiej oświetlają drogę, ale oślepiają kierowców jadących z naprzeciwka. Dlatego należy z nich korzystać tylko na pustej drodze. Oba typy świateł przez wiele lat pochodziły z jednej żarówki mającej dwa włókna, jedno odpowiedzialne za światła mijania, drugie — za długie.



a) Które z włókien żarówki znajduje się w ognisku reflektora — to od świateł mijania czy długich?

b) W jakim celu włókno świateł mijania jest od dołu przysłonięte?



Jak myślisz?

- W jakiej odległości od zwierciadła sferycznego wypukłego powstaje obraz bardzo odległego przedmiotu? Jakie są wówczas rozmiary obrazu?
- Czy całe światło padające na powierzchnię zwierciadła ulega odbiciu?
- Czy dzięki odbiciu można „uwięzić” światło na przykład w szkle?

29 Załamanie światła



Najdłuższy światłowód na świecie ma długość 39 000 km. We wnętrzu takiego światłowodu może się odbijać wiązka światła niosąca informację, np. wiadomość tekstową. Jak oszacować czas potrzebny wiązce na przebycie tego światłowodu? Od czego ten czas zależy?

Prędkość światła

Wiesz już, że światło rozchodzi się w próżni oraz w powietrzu. Może również się rozchodzić w innych przeźroczystych ośrodkach, na przykład w wodzie lub w szkle. Prędkość światła w próżni wynosi prawie $300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ i jest największą prędkością rozchodzenia się sygnałów w przyrodzie. W powietrzu światło osiąga niemal taką samą szybkość jak w próżni. W ośrodkach takich jak szkło lub woda prędkość światła jest mniejsza. Przybliżone wartości prędkości światła w kilku wybranych ośrodkach zamieszczono w tabeli obok.

Cel lekcji

Nauczysz się opisywać zjawisko załamania światła na granicy dwóch ośrodków.

Rodzaj ośrodka	Prędkość światła $\left[\frac{\text{km}}{\text{s}}\right]$
powietrze	300 000
woda	225 000
szkło	200 000

PRZYKŁAD 1.

Oblicz, ile razy prędkość światła w wodzie jest mniejsza od prędkości światła w powietrzu. Wynik zaokrąglij do dwóch cyfr znaczących.

Dane:

$v_p = 300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ — prędkość światła w powietrzu

$v_w = 225\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ — prędkość światła w wodzie

Szukane:

$\frac{v_p}{v_w} = ?$

Rozwiązanie:

$$\frac{v_p}{v_w} = \frac{300\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}}{225\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 1{,}333\ldots \approx 1{,}3$$

Odp. Prędkość światła w wodzie jest 1,3 razy mniejsza niż w powietrzu.

ĆWICZENIE 1. Oblicz, ile razy prędkość światła w szkle jest mniejsza od prędkości światła w powietrzu.

Kiedy światło ulega załamaniu?

Zbadajmy zachowanie światła, gdy przechodzi z powietrza do szkła oraz w drugą stronę — ze szkła do powietrza.

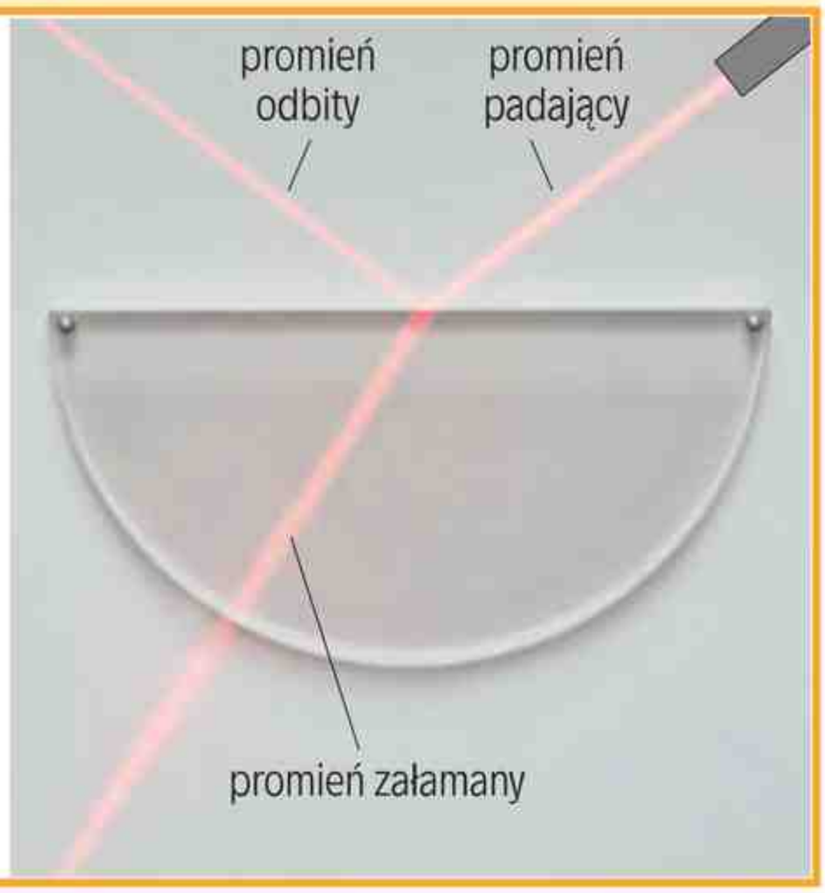
Doświadczenie **Załamanie światła na granicy ośrodków**

① Ze szkolnego zestawu do optyki wybierz szklany półkrążek i laser.

② Skieruj promień światła prostopadle do płaskiej części półkrążka i obserwuj zjawiska zachodzące na granicy powietrza i szkła.

③ Zmieniaj kąt padania światła i obserwuj zjawiska zachodzące na granicy powietrza i szkła.

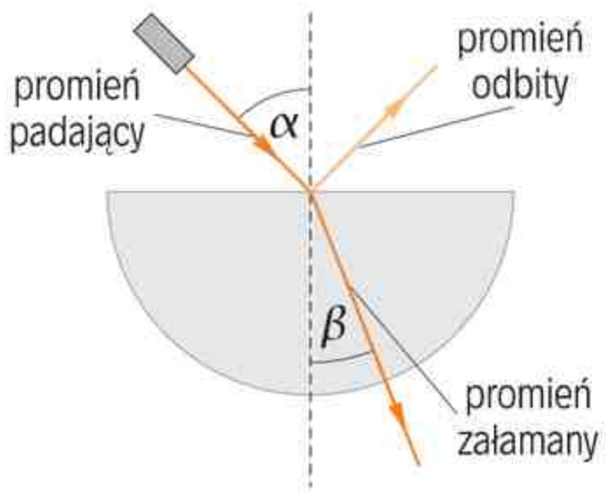
④ Powtórz wszystkie obserwacje, kierując światło w taki sposób, aby przechodziło ze szkła do powietrza na płaskiej części półkrążka.



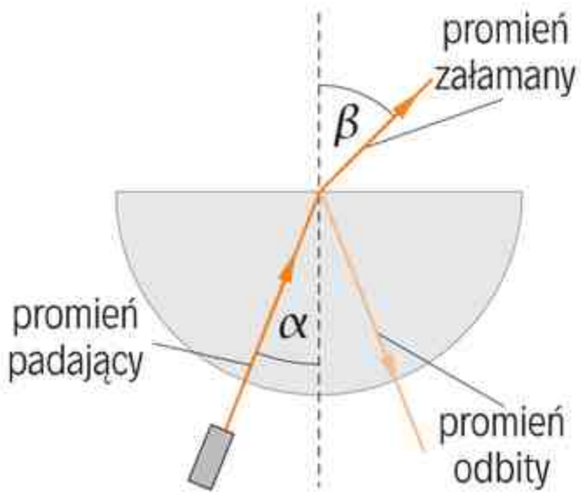
Widać, że część światła padającego na granicę ośrodków (płaska część krążka) ulega odbiciu, a część przechodzi do drugiego ośrodka. Promień biegnący w szkle ma inny kierunek niż promień padający. Mówimy, że światło ulega **załamaniu.** Gdy światło biegnie w drugą stronę, czyli przechodzi ze szkła do powietrza, to na granicy ośrodków również zachodzą oba zjawiska — odbicie i załamanie. Zmiana kierunku rozchodzenia się światła nie nastąpi tylko wtedy, gdy światło lasera skierujemy prostopadle do powierzchni szkła.

Zaznaczone obok na schematach linie przerywane, prostopadłe do granicy ośrodków to **normalne**. Kąt zawarty między promieniem padającym a normalną to **kąt padania** (na rys. kąt α), a kąt zawarty między promieniem załamanym a normalną to **kąt załamania** (na rys. kąt β).

Przyczyną załamania jest różna prędkość światła w różnych ośrodkach.



Przejście światła z powietrza do szkła.



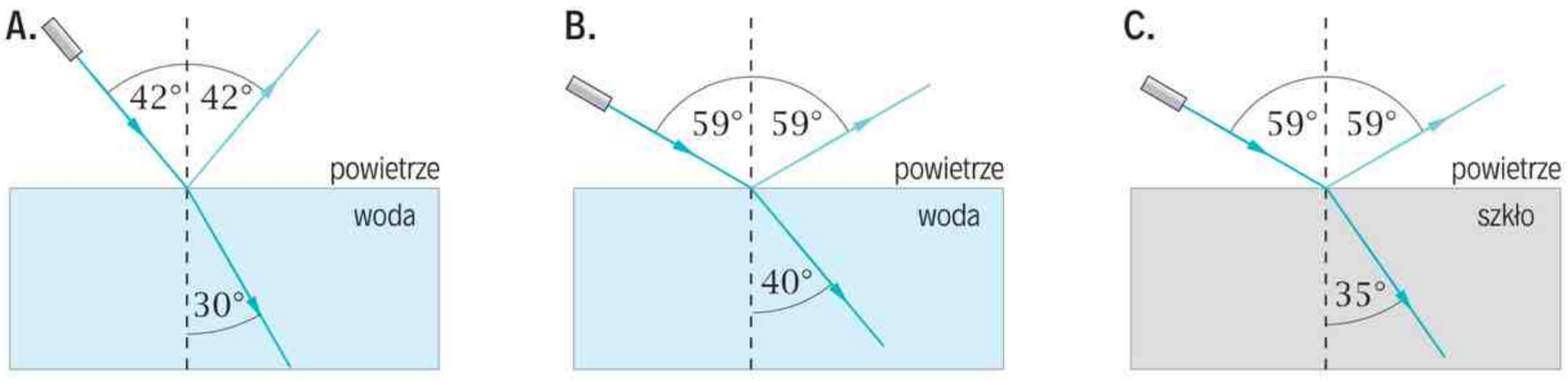
Przejście światła ze szkła do powietrza.

Załamanie światła polega na zmianie kierunku jego rozchodzenia się przy przejściu z jednego ośrodka przeźroczystego do drugiego.

Przyczyną zjawiska załamania światła jest zmiana jego prędkości podczas przechodzenia z jednego ośrodka do drugiego.

Od czego zależy kąt załamania?

Spójrz na poniższe schematy przedstawiające przejście światła z powietrza do wody lub szkła.



Przejście światła z ośrodka, w którym rozchodzi się ono szybciej, do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej.

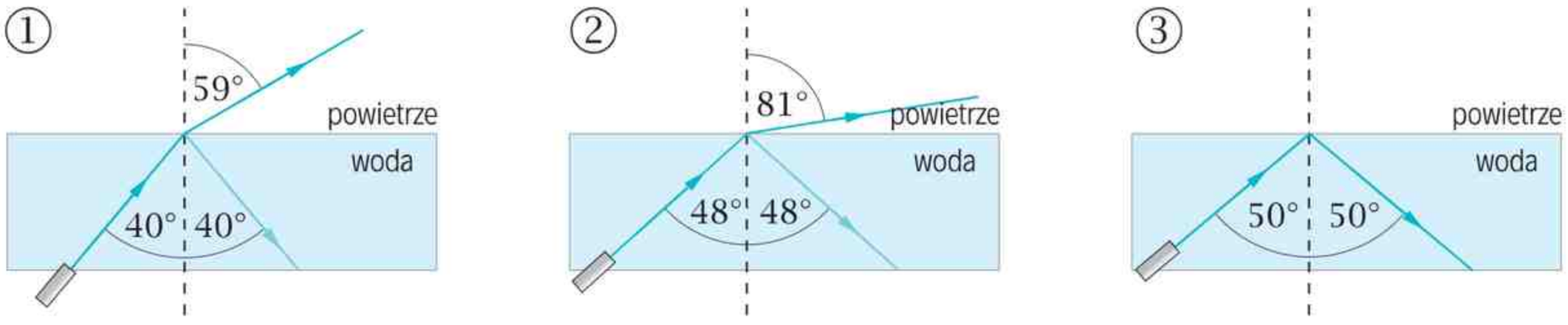
Gdy światło przechodzi z ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej, do ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej (np. z powietrza do wody lub z powietrza do szkła), to:

- następuje załamanie „do normalnej", czyli **kąt załamania jest mniejszy od kąta padania**,
- gdy zwiększa się kąt padania światła, to zwiększa się również kąt załamania (rys. A i B),
- im większa różnica prędkości rozchodzenia się światła w graniczących ze sobą ośrodkach, tym silniej załamuje się światło (rys. B i C).

Kolejne schematy przedstawiają przejście światła z wody do powietrza.

Warto **wiedzieć**

Prosta reguła dla załamania światła: *Mniejsza prędkość — mniejszy kąt, większa prędkość — większy kąt.*



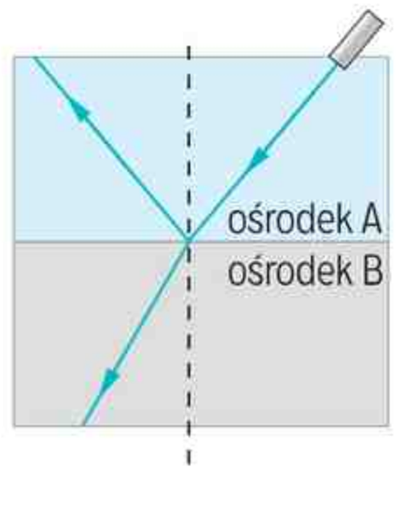
Przejście światła z ośrodka, w którym rozchodzi się ono wolniej, do ośrodka, w którym rozchodzi się szybciej.

Podczas przejścia światła z ośrodka, w którym rozchodzi się wolniej, do ośrodka w którym rozchodzi się szybciej:

- **kąt załamania jest większy od kąta padania** — światło załamuje się „od normalnej”,
- zwiększanie kąta padania powoduje wzrost kąta załamania — jego miara staje się coraz bliższa 90° (rys. ②), a promień załamany coraz słabszy. Jeśli kąt padania jest równy lub większy od tzw. kąta granicznego (dla wody około 49°), to światło nie przejdzie przez granicę ośrodków. Będzie zachodzić tylko zjawisko odbicia (rys. ③).

Kąt załamania zależy od kąta padania światła na granicę ośrodków oraz od prędkości rozchodzenia się światła w obu ośrodkach.

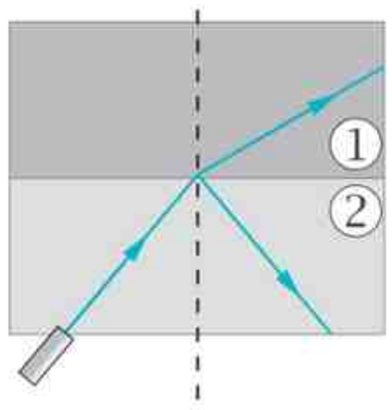
PRZYKŁAD 2. Schemat przedstawia załamanie światła na granicy dwóch nieznanych ośrodków A i B. Ustal, w którym ośrodku światło rozchodzi się z większą prędkością.



Rozwiązanie: Zauważamy, że kąt załamania jest mniejszy od kąta padania. Oznacza to, że w ośrodku B światło rozchodzi się z mniejszą prędkością niż w ośrodku A.

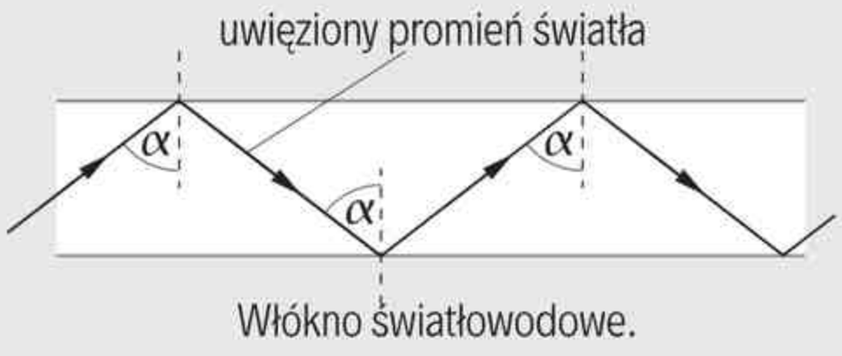
Odp. Światło rozchodzi się z większą prędkością w ośrodku A.

ĆWICZENIE 2. Schemat przedstawia załamanie światła na granicy dwóch ośrodków: jednym z nich jest woda, drugim — szkło. Skorzystaj z tabelki prędkości światła w różnych ośrodkach (str. 225) i ustal, który ośrodek to woda, a który — szkło.



Dowiedz się więcej **o światłowodzie**

Wiesz już, że jeśli kąt padania jest równy lub większy od kąta granicznego, światło nie przechodzi do drugiego ośrodka, lecz ulega całkowitemu wewnętrznemu odbiciu. Dzięki temu zjawisku można uwięzić promień światła na przykład w szklanym włóknie. Tak działają światłowody, które znalazły zastosowanie w telekomunikacji — szczególnie do przesyłania danych w sieci internetowej. Oprócz tego wykorzystywane są na przykład w medycynie, lotnictwie, przemyśle motoryzacyjnym, przemyśle spożywczym, kosmonautyce.

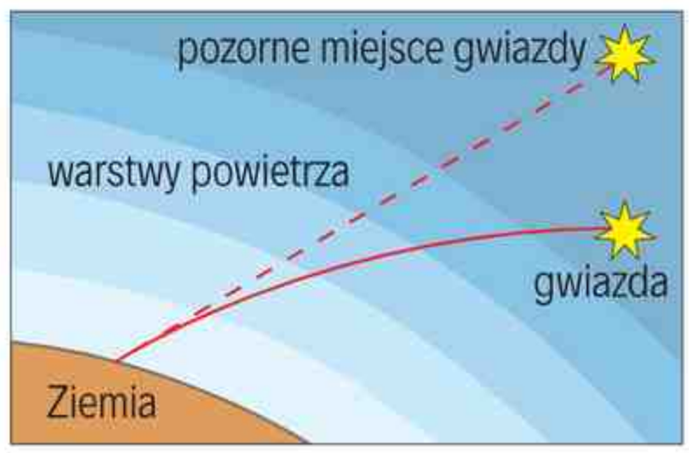


Włókno światłowodowe.

Zjawiska optyczne wynikające z załamania światła

Załamanie światła powoduje wiele interesujących efektów. Jednym z nich jest wrażenie, że zanurzona w wodzie łyżeczka jest większa, a na dodatek złamana. Gdy patrzymy na zbiornik z wodą, to wydaje się płytszy niż jest w rzeczywistości. Podobnie ryba widziana znad wody wydaje się płynąć na mniejszej głębokości.

Bardziej złożone zjawiska zachodzą podczas przechodzenia światła przez warstwy powietrza o różnej gęstości. W górnych warstwach atmosfery, gdzie powietrze jest rzadsze, światło rozchodzi się szybciej niż bliżej powierzchni Ziemi. Dlatego światło słoneczne, biegnąc przez atmosferę ziemską, załamuje się przy przejściu z warstw rzadszych do gęstszych. Na skutek tego kierunek rozchodzenia się światła w atmosferze ulega zakrzywieniu. W rezultacie zachodzące Słońce obserwujemy wyżej nad horyzontem, niż znajduje się w rzeczywistości. Dodatkowo ma ono spłaszczony kształt.



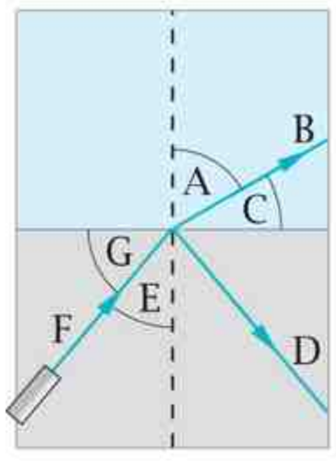
Fascynującymi zjawiskami związanymi z załamaniem światła w powietrzu o różnej gęstości są miraże. Jadąc samochodem w upalny dzień, możemy mieć wrażenie, że na szosie została rozlana woda. Ten rodzaj mirażu często dawał złudną nadzieję spragnionym wędrowcom na pustyni.

Czas na zadania!

Zadanie 1. ***Najważniejsze pojęcia***

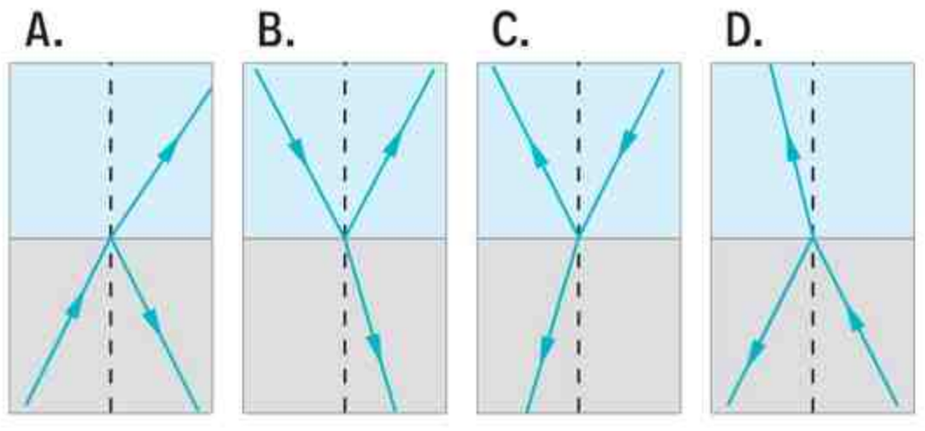
Na rysunku przedstawiono przejście światła z jednego ośrodka do drugiego. Do podanych pojęć dopasuj właściwe litery.

a) promień padający
b) promień załamany
c) promień odbity
d) kąt padania
e) kąt załamania



Zadanie 2. ***Różne prędkości***

Wskaż rysunek, na którym światło przechodzące z jednego ośrodka do drugiego zwiększyło swoją prędkość.

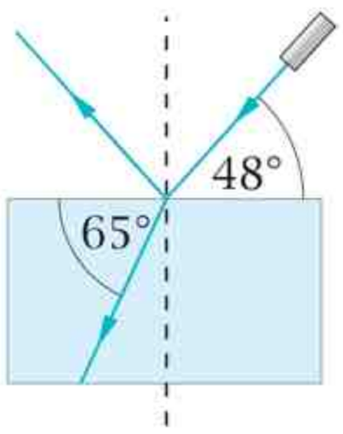


Zadanie 3. *Szkło flint*

Flint jest to rodzaj szkła wykorzystywanego do produkcji elementów optycznych, takich jak soczewki do obiektywów fotograficznych, teleskopów czy mikroskopów. Prędkość światła w tym szkle jest 1,9 razy mniejsza niż w powietrzu. Oblicz, z jaką prędkością rozchodzi się światło w tym szkle. Wynik podaj z dokładnością do 6 cyfr znaczących.

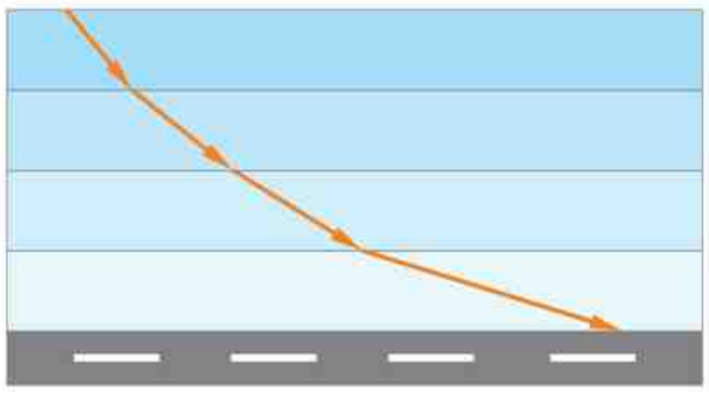
Zadanie 4. *Kąty*

Na rysunku przedstawiono przejście światła z powietrza do szkła. Ustal miary kąta padania, kąta odbicia i kąta załamania.



Zadanie 5. *Gorące powietrze*

Na rysunku pokazano przejście światła przez warstwy powietrza nad rozgrzaną jezdnią. Jak zmienia się prędkość światła na granicy kolejnych warstw powietrza? Czy gęstość powietrza rośnie, czy maleje?



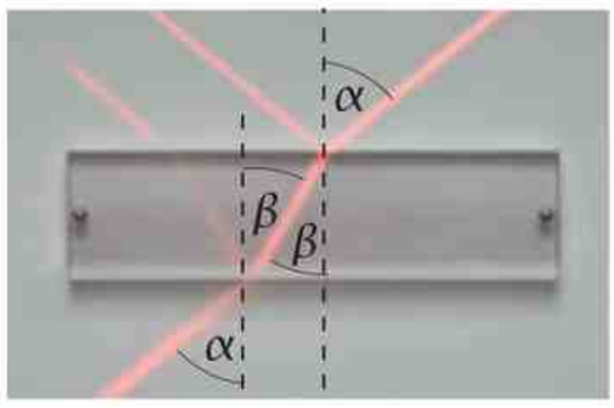
i Im większa gęstość powietrza, tym mniejsza w nim prędkość światła.

Zadanie 6. *Światłowód*

Oblicz, w jakim czasie światło biegnące w światłowodzie przebyłoby odległość równą długości równika. Przyjmij, że prędkość światła w światłowodzie wynosi $200\,000\ \frac{\text{km}}{\text{s}}$ i przebywa ono drogę 40 000 km.

Zadanie 7. *Płytka płasko-równoległa*

Na płaską, przeźroczystą płytkę pada ukośnie promień światła. Promień opuszczający płytkę jest przesunięty równolegle względem promienia padającego.



Określ, czy przesunięcie promienia się zwiększy, czy zmniejszy, gdy:

a) zwiększymy grubość płytki,

b) zmniejszymy kąt α padania światła na płytkę.

Zadanie 8. *Zero stopni*

Hasto skierował promień lasera na powierzchnię wody w taki sposób, że kąt padania światła wynosił 0°.

a) Czy po przejściu do wody zmienił się kierunek biegu światła?

b) Czy po przejściu do wody zmieniła się prędkość światła?



Jak myślisz?

- Dlaczego gwiazdy mrugają?
- Czy można zobaczyć Słońce znajdujące się pod linią horyzontu?
- Co widzi człowiek znajdujący się pod wodą, gdy patrzy w górę?
- Czy fale mechaniczne też się załamują?
- Czy światło czerwone załamuje się tak samo jak fioletowe?

30 Soczewki wypukłe



Lupa służy do obserwacji drobnych przedmiotów położonych blisko niej. Istnieją lupy, które powiększają obraz nawet 10 razy, ale są bardzo niewygodne w użyciu. Na czym polega ta niewygoda? Jakich rozmiarów powinna być lupa powiększająca obraz 100 razy?

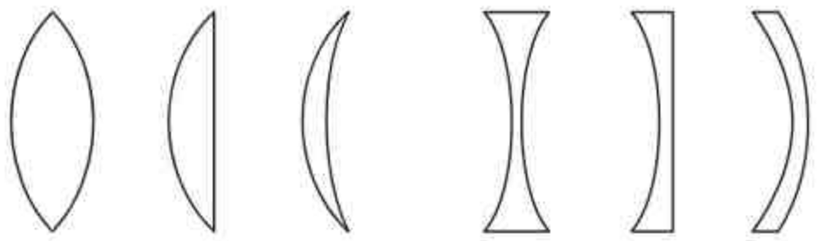
Rodzaje soczewek

Zjawisko załamania światła ma zastosowanie w soczewkach używanych np. w mikroskopach, lunetach. Soczewki mogą być wykonane ze szkła czy różnego rodzaju tworzyw sztucznych. Każda soczewka ograniczona jest dwiema powierzchniami. Ze względu na kształt soczewki dzielimy na wypukłe i wklęsłe.

Soczewki wypukłe można rozpoznać po tym, że w środkowej części są grubsze, a na brzegach — cieńsze. W soczewkach wklęsłych jest odwrotnie — część środkowa jest cieńsza, a brzegi grubsze.

Cel lekcji

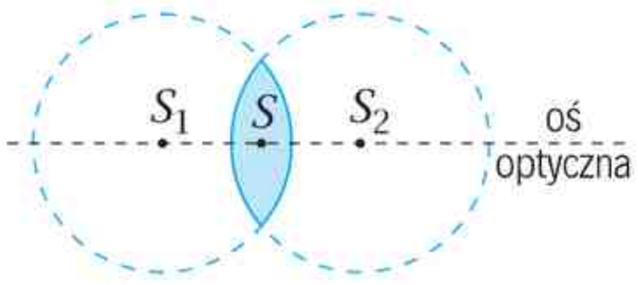
Dowiesz się, co to jest ognisko i ogniskowa soczewki skupiającej. Nauczysz się otrzymywać za pomocą soczewek skupiających ostre obrazy przedmiotów na ekranie oraz rysować te obrazy.



Soczewki wypukłe. Soczewki wklęsłe.

Soczewki wypukłe

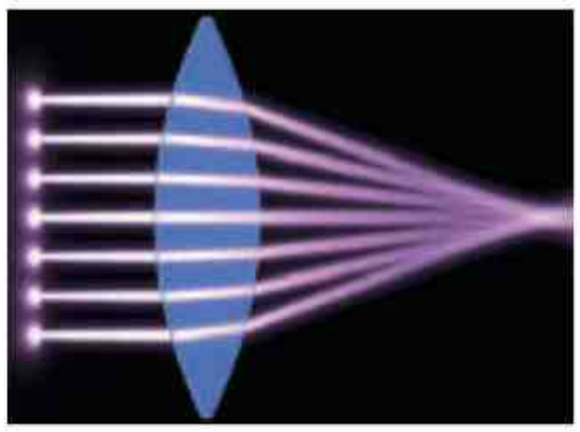
Zajmiemy się soczewką dwuwypukłą, ograniczoną z obu stron fragmentami powierzchni sferycznych (zob. rysunek obok). Punkty S_1 i S_2 są środkami tych sfer, a przechodząca przez nie prosta to **oś optyczna**. Na osi optycznej leży **środek soczewki** — punkt oznaczony literą S.



Soczewka dwuwypukła.

Zbadajmy zachowanie wiązki promieni równoległych przechodzących przez taką soczewkę.

Doświadczenie **Załamanie światła w soczewce wypukłej**



① Przygotuj soczewkę dwuwypukłą oraz źródło równoległych promieni.

② Skieruj promienie na soczewkę równolegle do jej osi optycznej. Obserwuj ich bieg.

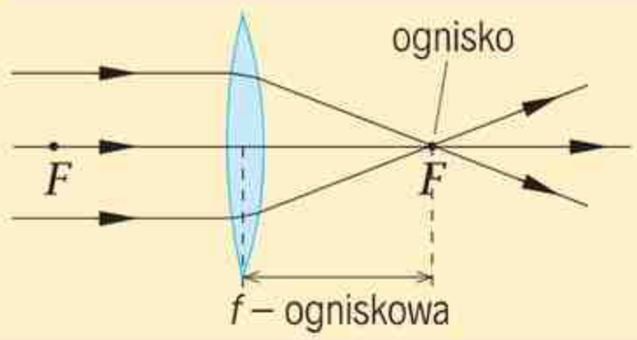
③ Oświetl soczewkę z drugiej strony i ponownie obserwuj bieg promieni.

④ Powtórz doświadczenie z innymi soczewkami wypukłymi.

Warto **wiedzieć**

Światło przechodzące przez soczewkę załamuje się dwukrotnie. Najpierw przechodząc z powietrza do szkła, a następnie ze szkła do powietrza.

Promienie początkowo równoległe do osi optycznej po przejściu przez soczewkę przecinają się w jednym punkcie, ognisku soczewki ***F***. Oświetlając soczewkę z przeciwnej strony, można zauważyć, że posiada ona drugie ognisko. Oba ogniska leżą w tej samej odległości od środka symetrycznej soczewki. Ta odległość to ogniskowa, ***f*** (analogicznie jak w przypadku zwierciadeł).

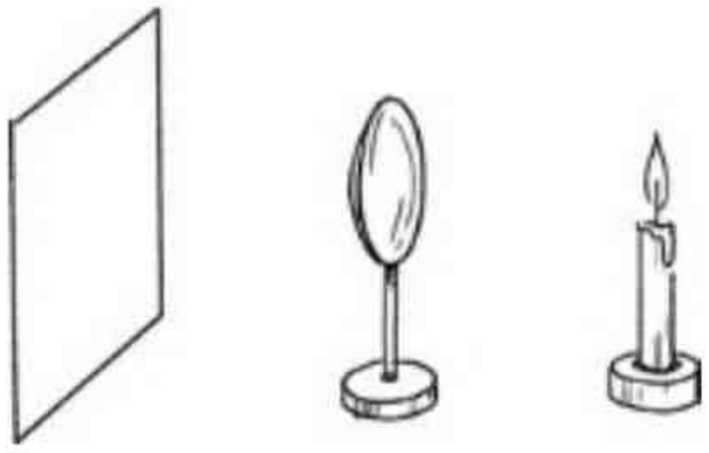


Jeśli wiązka światła równoległa do osi optycznej soczewki po przejściu przez nią przecina się w jednym punkcie, ognisku soczewki, to taką soczewkę nazywamy **skupiającą**.

Obrazy wytwarzane przez soczewki skupiające

Przykładem soczewki skupiającej jest lupa. Obraz otrzymany za jej pomocą jest **nieodwrócony (prosty) i powiększony**. A czy za pomocą soczewek skupiających można otrzymać inne obrazy?

Doświadczenie **Obrazy powstające przy użyciu soczewki skupiającej**



① Przygotuj: soczewkę skupiającą, świeczkę, zapałki i ekran.

② Ustaw soczewkę między świeczką i ekranem.

③ Odsuń świeczkę na dużą odległość od soczewki. Przesuń ekran w taki sposób, aby otrzymać wyraźny obraz płomienia.

④ Przybliżaj świeczkę do soczewki. Zmieniaj położenie ekranu aż do uzyskania ostrego obrazu płomienia.

⑤ Obserwuj cechy obrazów otrzymanych w różnych położeniach świeczki.

Soczewki skupiające, podobnie jak zwierciadła sferyczne wklęsłe, wytwarzają różne obrazy. Gdy świeca jest daleko od soczewki, to obraz widoczny na ekranie jest odwrócony i pomniejszony. Zbliżając świecę do soczewki, ekran należy odsuwać, a obraz staje się coraz większy. Po minięciu pewnego punktu otrzymanie obrazu na ekranie jest niemożliwe.

Soczewki wypukłe w powietrzu są soczewkami skupiającymi. W następnej lekcji przekonasz się, że soczewki wklęsłe w powietrzu nie są skupiające. W innym ośrodku (np. w oleju) może być inaczej.



Lupa to soczewka skupiająca dająca co najmniej trzykrotne powiększenie. Obserwowany przedmiot umieszcza się między ogniskiem a lupą tak, aby pozorny obraz był w odpowiedniej odległości od oka obserwatora.

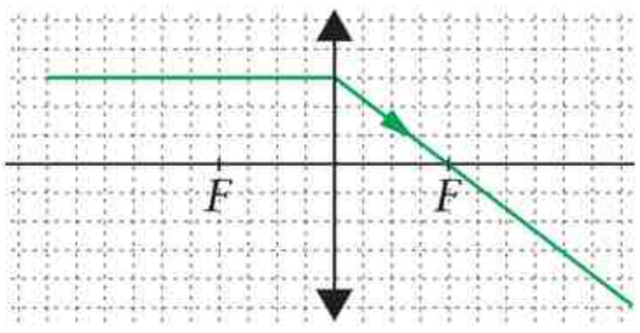
Konstrukcja obrazów

Zajmiemy się teraz rysowaniem obrazów wytwarzanych przez soczewki skupiające.

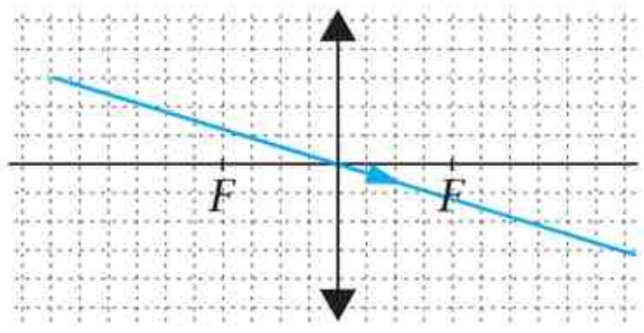
Soczewkę skupiającą będziemy przedstawiać jako strzałkę z dwoma grotami. Przeanalizujmy bieg trzech promieni przechodzących przez soczewkę.



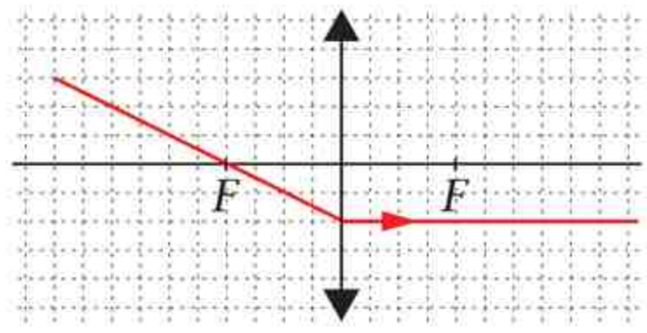
Symbol soczewki skupiającej.



1. Promień równoległy do osi optycznej soczewki po załamaniu przechodzi przez ognisko.



2. Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku.

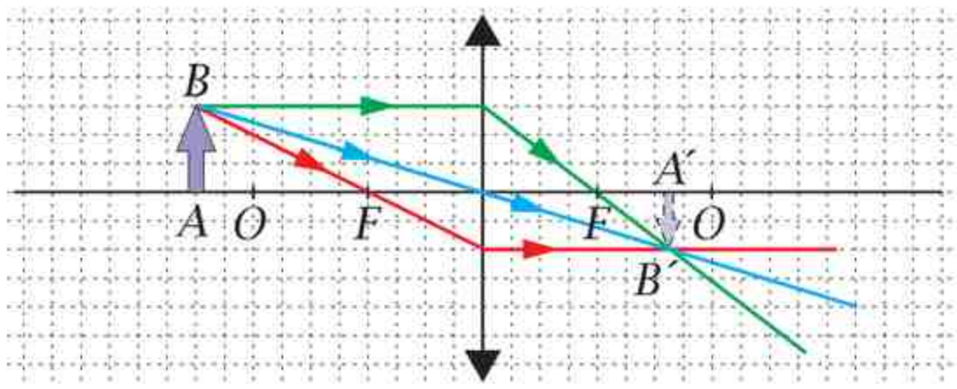


3. Promień przechodzący przez ognisko soczewki po załamaniu biegnie równolegle do osi optycznej.

Podczas rysowania obrazu powstającego w soczewkach stosuje się analogiczne zasady, jak przy rysowaniu obrazów powstających w zwierciadłach sferycznych. Należy narysować co najmniej dwa promienie wybiegające z punktu, którego obrazu szukamy, i przechodzące przez soczewkę. Miejsce przecięcia się promieni załamanych lub ich przedłużeń to poszukiwany obraz punktu.

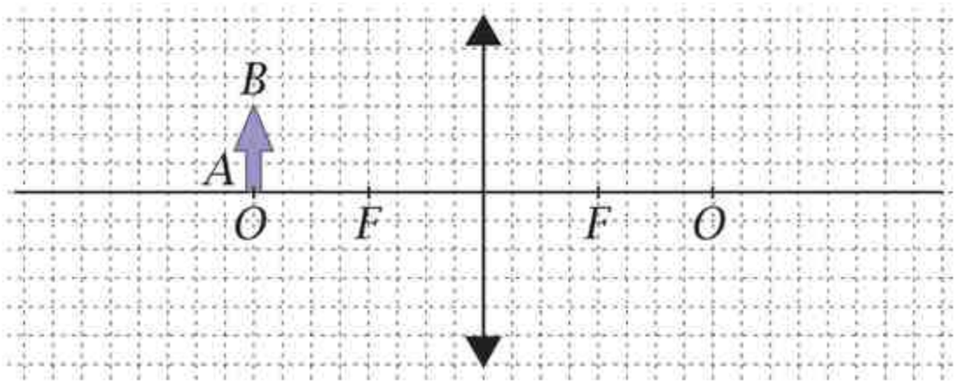
Zauważ, że obraz $A'B'$ strzałki AB wytworzony przez soczewkę skupiającą jest **rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony** (zob. rysunek obok).

Jednak, jak wiesz z wcześniejszego doświadczenia, w soczewce można otrzymać także inne obrazy. Ich cechy omówimy w przykładach na kolejnych stronach.



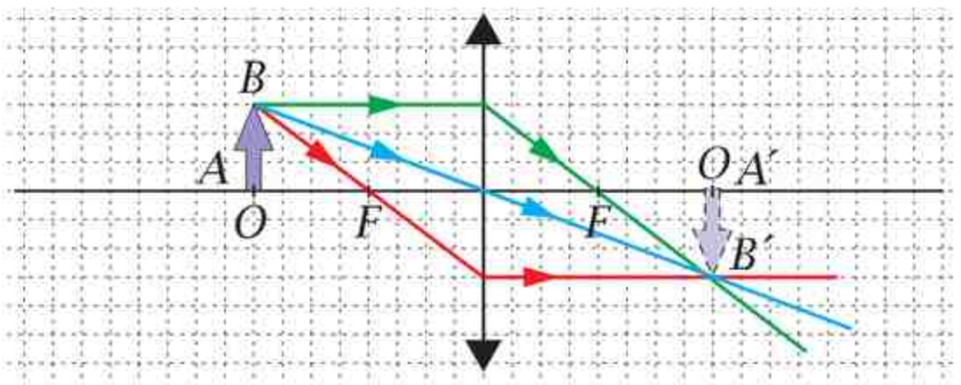
Punkty leżące w odległości $2f$ od soczewki oznaczono symbolem O. Przedmiot AB znajduje się dalej od soczewki niż punkt O.

PRZYKŁAD 1. Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj obraz strzałki otrzymany w soczewce skupiającej. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.



Rozwiązanie:

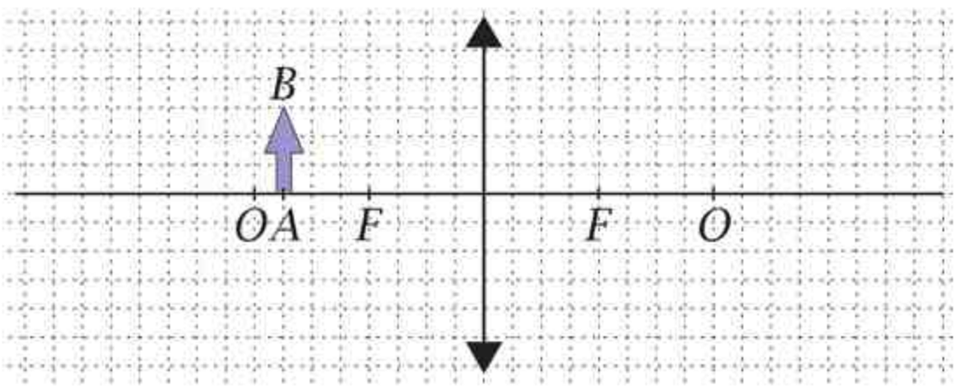
1. Rysujemy promienie wychodzące z punktu B:
   - (I) biegnący równolegle do osi soczewki (kolor zielony),
   - (II) przechodzący przez środek soczewki (kolor niebieski),
   - (III) przechodzący przez ognisko soczewki (kolor czerwony).
2. Punkt przecięcia się promieni załamanych oznaczamy jako B' (obraz punktu B).
3. Rysujemy strzałkę $A'B'$, która jest obrazem strzałki AB.



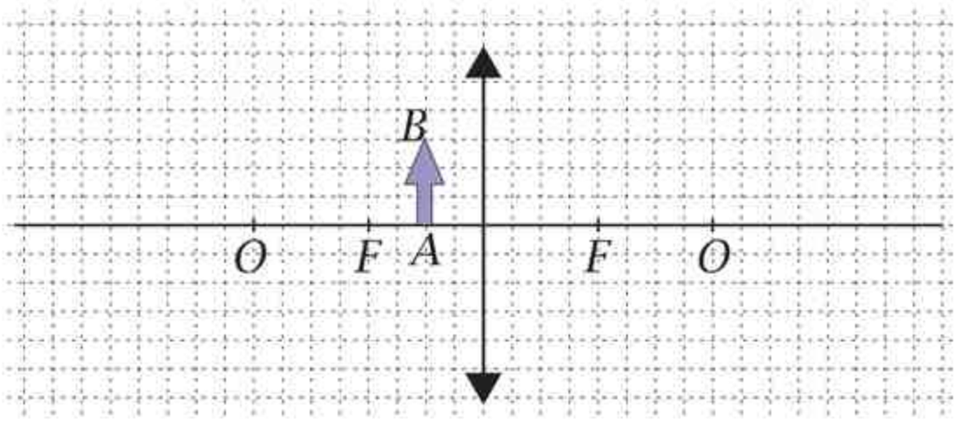
i W celu wykonania rysunku obrazu wystarczy narysować tylko dwa promienie.

Odp. Otrzymany obraz jest rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot.

ĆWICZENIE 1. Przerysuj schemat do zeszytu i wykonaj konstrukcję obrazu. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.

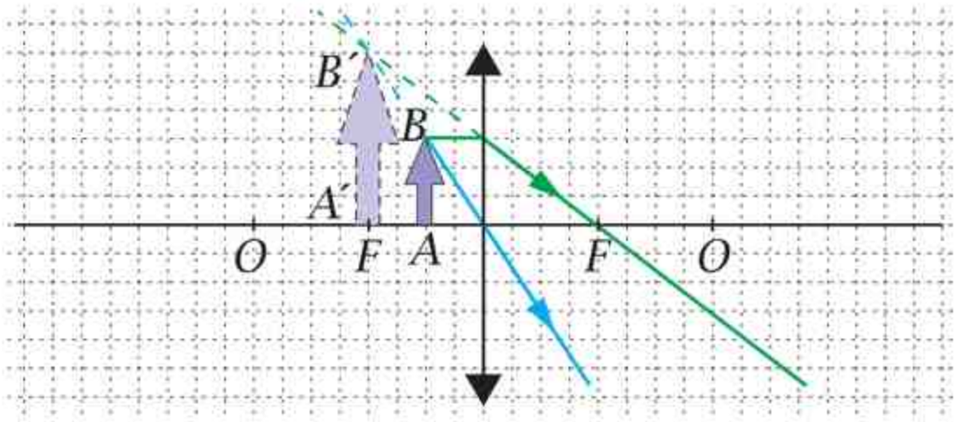


PRZYKŁAD 2. Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj obraz strzałki otrzymany w soczewce skupiającej. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.



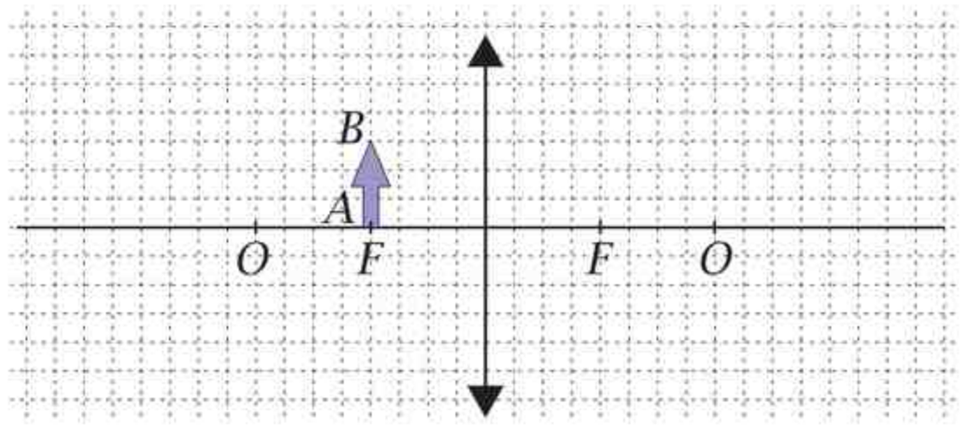
Rozwiązanie:

1. Rysujemy dwa promienie wychodzące z punktu B i przechodzące przez soczewkę.
2. Promienie załamane są rozbieżne. Rysujemy zatem przedłużenia promieni załamanych aż do ich przecięcia się.
3. Punkt przecięcia się przedłużeń promieni odbitych oznaczamy jako B'.
4. Rysujemy strzałkę $A'B'$, która jest obrazem strzałki AB.

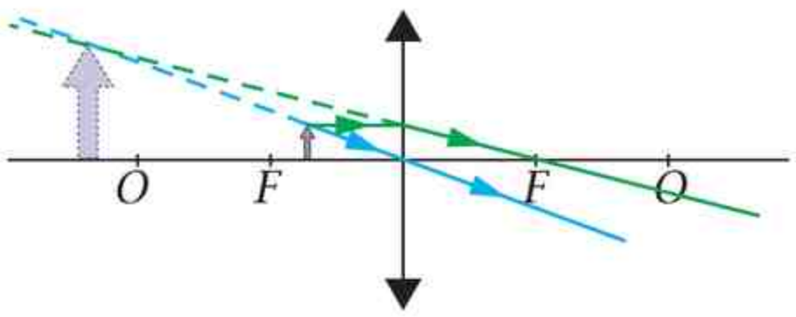
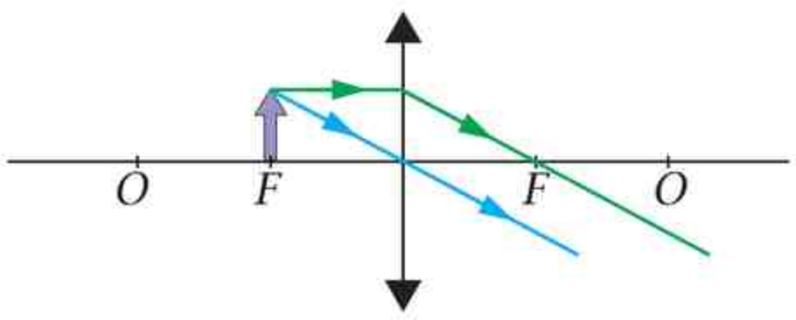
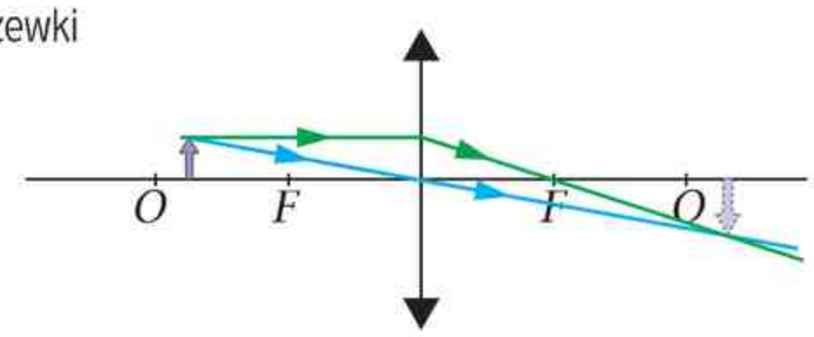
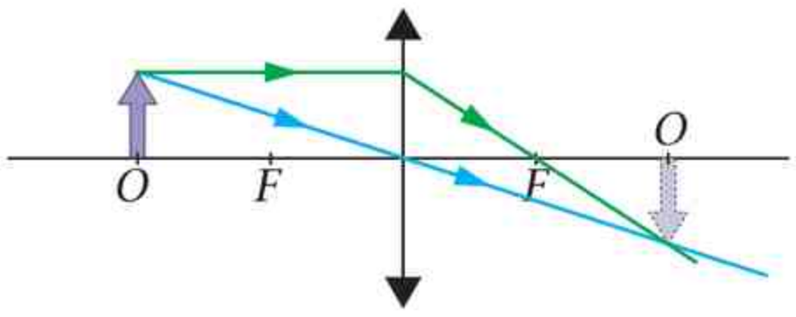
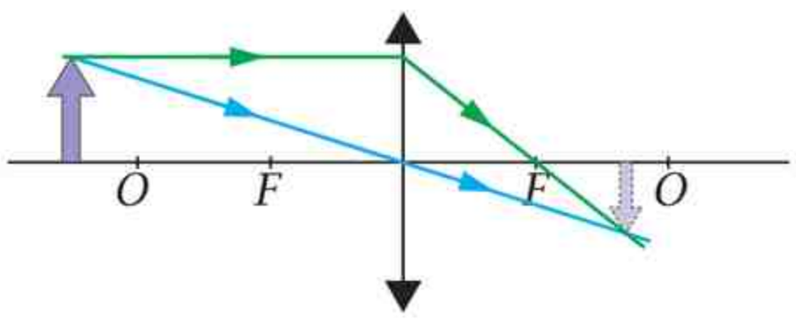


Odp. Otrzymany obraz jest pozorny, prosty, powiększony.

ĆWICZENIE 2. Przerysuj schemat do zeszytu i spróbuj narysować obraz strzałki otrzymany w soczewce skupiającej. Wyjaśnij uzyskany rezultat.



W tabeli poniżej zebrano informacje dotyczące obrazów wytwarzanych przez soczewki skupiające.

Położenie przedmiotu	Cechy obrazu
przedmiot: między soczewką i ogniskiem 	**obraz:** • pozorny (przecinają się przedłużenia promieni, obraz nie wyświetla sie na ekranie) • prosty • powiększony **położenie obrazu:** po tej samej stronie soczewki co przedmiot
przedmiot: w ognisku soczewki 	**obraz:** brak obrazu
przedmiot: między ogniskiem i punktem leżącym w odległości $2f$ od soczewki 	**obraz:** • rzeczywisty (przecinają się promienie, obraz nie wyświetla sie na ekranie) • odwrócony • powiększony **położenie obrazu:** po drugiej stronie soczewki, w odległości większej niż $2f$
przedmiot: w odległości $2f$ od soczewki 	**obraz:** • rzeczywisty • odwrócony • tej samej wielkości co przedmiot **położenie obrazu:** po drugiej stronie soczewki, w odległości równej $2f$
przedmiot: w odległości większej niż $2f$ od soczewki 	**obraz:** • rzeczywisty • odwrócony • pomniejszony **położenie obrazu:** między ogniskiem a punktem odległym o $2f$ od soczewki

Czas na zadania!

i Jeżeli nie napisano inaczej, przyjmij, że 1 cm na rysunku to 10 cm w rzeczywistości.

Zadanie 1. *Obraz świeczki*

Weritka i Hasto postanowili zbadać, jakie obrazy można otrzymać za pomocą soczewki skupiającej. W tym celu po jednej stronie soczewki o ogniskowej 50 cm ustawili zapaloną świeczkę, a po drugiej — kawałek tektury, który służył jako ekran. Podczas doświadczenia zmieniali położenie świeczki i ekranu. Określ, korzystając z tabeli na str. 235, jakie cechy miał otrzymany obraz, gdy odległość świeczki od soczewki wynosiła:

a) 120 cm **c)** 75 cm

b) 100 cm **d)** 32 cm

Czy w każdym wypadku udało się wyświetlić obraz na ekranie?

Zadanie 2. *Przedmiot i obraz*

Gdy w odległości 1,5 m od soczewki skupiającej umieszczono przedmiot, to otrzymano obraz rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot. W jakiej odległości od soczewki otrzymano ten obraz? Ile wynosiła ogniskowa soczewki?

Zadanie 3. *W ognisku*

W ognisku soczewki skupiającej o ogniskowej 40 cm umieszczono niewielkie (punktowe) źródło światła. Narysuj w zeszycie bieg promieni wybiegających ze źródła i przechodzących przez soczewkę.

Zadanie 4. *Promienie równolegle*

Po tym, jak soczewkę skupiającą oświetlono wiązką promieni równoległych do osi soczewki, na ekranie odległym o 33 cm od soczewki otrzymano jasny punkt. Ile wynosiła ogniskowa użytej soczewki?

Zadanie 5. *Konstrukcja obrazu*

Przed soczewką skupiającą o ogniskowej 20 cm umieszczano przedmiot o wysokości 15 cm kolejno w odległościach:

① 50 cm ② 40 cm ③ 30 cm ④ 20 cm ⑤ 10 cm

a) Narysuj obraz przedmiotu dla każdego jego położenia.

b) W każdym przypadku ustal wysokość otrzymanego obrazu oraz jego odległość od soczewki. Oblicz powiększenie czyli iloraz rozmiaru obrazu przez rozmiar przedmiotu.

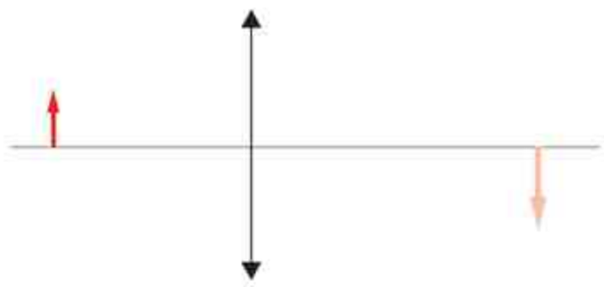
Zadanie 6. *Dwukrotne powiększenie*

Za pomocą soczewki skupiającej wyświetlono na ekranie dwukrotnie powiększony obraz pewnego przedmiotu. Odległość między ekranem a przedmiotem wynosiła 1,2 m. Narysuj schemat tego układu i wyznacz odległość przedmiotu od soczewki.

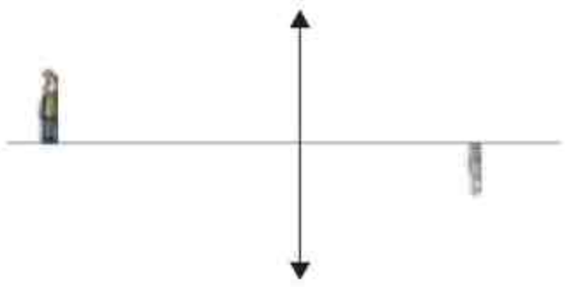
Zadanie 7. *Gdzie jest ognisko?*

Popatrz na rysunek. Czy przedmiot jest dalej od soczewki niż ognisko?

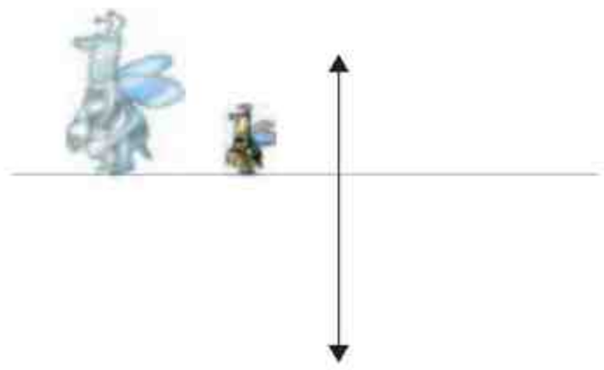
a)



b)

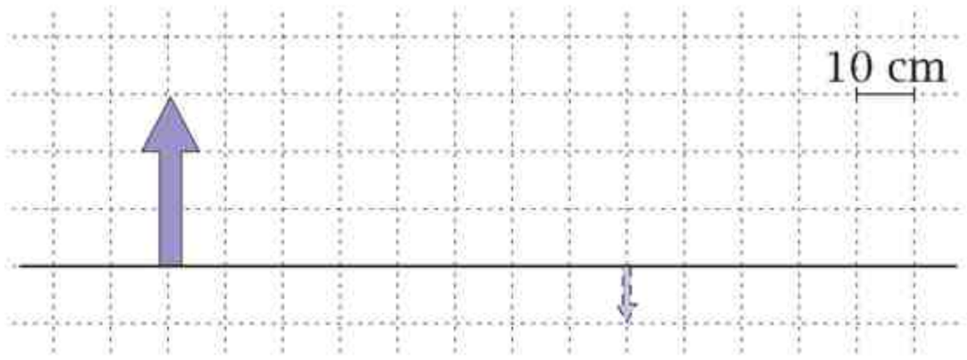


c)



Zadanie 8. *Gdzie jest soczewka?*

Na rysunku przedstawiono przedmiot i jego pomniejszony obraz otrzymany za pomocą soczewki skupiającej.



a) Przerysuj rysunek do zeszytu i znajdź położenie soczewki.

b) Wyznacz położenie ognisk soczewki. Zmierz linijką odległość ogniska od soczewki i oblicz ogniskową.

c) Oblicz odległość soczewki od przedmiotu.

Zadanie 9. *Soczewka z naczynia*

Na zdjęciu widać naczynia napełnione różnymi cieczami. Naczynia te załamują światło podobnie jak soczewki. Użyj różnych naczyń oraz cieczy i ustaw naczynia tak, aby obrazem pasiastego tła były linie biegnące w drugą stronę. Uzyskane efekty uwiecznij na fotografiach.



Zadanie 10. *Soczewka i zwierciadło*

Soczewka skupiająca i zwierciadło wklęsłe miały jednakowe ogniskowe, gdy znajdowały się w powietrzu. Czy po zanurzeniu w wodzie ich ogniskowe będą dłuższe, krótsze, czy takie same jak w powietrzu? Uzasadnij odpowiedź.

Zadanie 11. *Kształt czy wnętrze?*

Hasto rozpala ogień za pomocą lupy i dzieli się spostrzeżeniami:

— Te bardzo wybrzuszone soczewki mają małą ogniskową.

— Za to soczewki mało wybrzuszone mają dużą ogniskową — dodała Weritka.

— Czyli to tak, jak ze zwierciadłami, ogniskowa zależy od kształtu?

— Tak, ale raczej nie tylko od niego…

a) Dzięki jakiemu zjawisku promienie zmieniają kierunek w zwierciadle?

b) Dzięki jakiemu zjawisku promienie zmieniają kierunek w soczewce?

c) Która z dwóch soczewek skupiających o identycznym kształcie ma mniejszą ogniskową:
① wykonana ze szkła kron, w którym prędkość światła to 200 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$,
② wykonana ze szkła flint, w którym prędkość światła to 170 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$?

d) Czy płaska szyba ma ogniskową?



Jak myślisz?

- W jakich innych urządzeniach, poza lupami, wykorzystuje się soczewki wypukłe?
- Czy obraz planety oglądanej przez lunetę jest większy niż ta planeta?
- Gdzie stosuje się soczewki wykonane z cieczy lub gazu?
- Jakie są wady soczewek?
- Czy istnieje soczewka, za pomocą której można obejrzeć atom?

31 Soczewki wklęsłe i wady wzroku



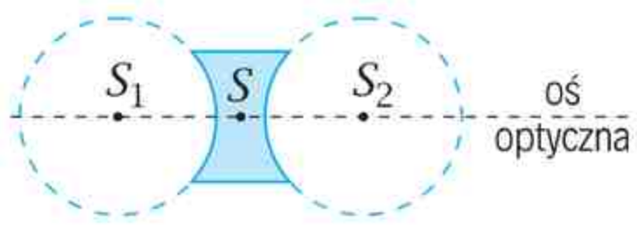
Światło w niektórych latarkach można regulować tak, żeby doświetlały najbliższą okolicę albo rzeczy znajdujące się w dalszej odległości. Czasami możliwa jest płynna zmiana pomiędzy wiązką rozbieżną a skupioną. Takie latarki posiadają tylko jedną żarówkę. Jak się odbywa ta zmiana światła?

Cel lekcji

Nauczysz się rysować obrazy wytwarzane przez soczewki rozpraszające. Dowiesz się, co to jest krótkowzroczność i dalekowzroczność.

Soczewki wklęsłe (rozpraszające)

Wiesz już, że soczewki dzielą się na wypukłe i wklęsłe oraz że soczewki wypukłe skupiają promienie światła, które przez nie przechodzą. Zajmiemy się teraz dokładniej soczewką dwuwklęsłą. Punkty S_1 i S_2 to środki sfer, których fragmentami jest ograniczona soczewka. S to środek soczewki.



Soczewka dwuwklęsła.



Symbol soczewki rozpraszającej.

Zbadajmy zachowanie wiązki promieni równoległych do osi optycznej po przejściu przez taką soczewkę.

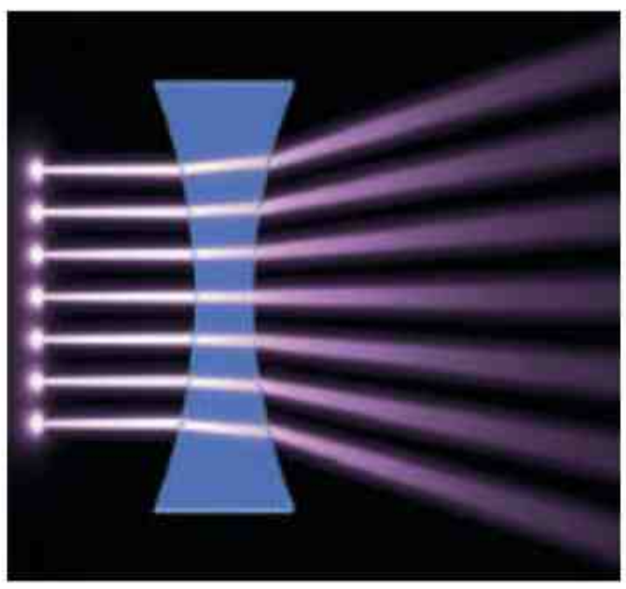
Doświadczenie Załamanie światła w soczewce wklęsłej

① Przygotuj soczewkę dwuwklęsłą oraz źródło równoległych promieni.

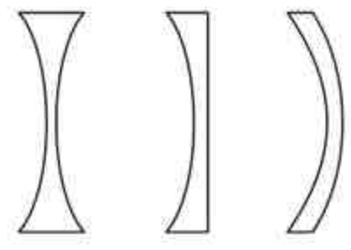
② Skieruj promienie na soczewkę równolegle do jej osi optycznej. Obserwuj ich bieg.

③ Oświetl soczewkę z drugiej strony i ponownie obserwuj bieg światła.

④ Powtórz doświadczenie z innymi soczewkami wklęsłymi.

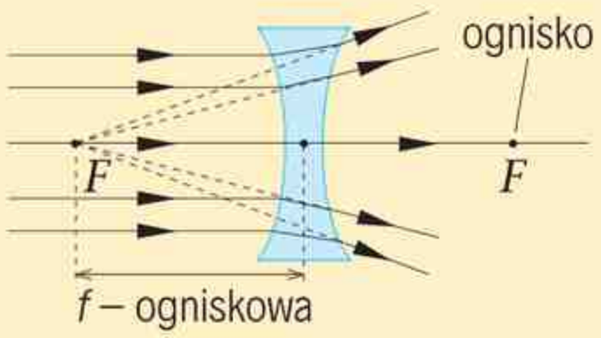


Okazuje się, że wiązka promieni równoległych po przejściu przez soczewkę wklęsłą staje się wiązką **rozbieżną**, soczewka ta jest **rozpraszająca**. Załamane promienie się nie przecinają. Natomiast przedłużenia promieni załamanych przecinają się w jednym punkcie — **ognisku pozornym**. Każda symetryczna soczewka ma dwa ogniska równo odległe od jej środka. Odległość ogniska od środka soczewki to ogniskowa. Ogniskowe soczewek rozpraszających wyrażane są za pomocą liczb ujemnych.



Soczewki wklęsłe, rozpraszające w powietrzu.

Promienie biegnące równolegle do osi optycznej po przejściu przez **soczewkę rozpraszającą** tworzą wiązkę rozbieżną. Przedłużenia promieni załamanych przecinają się w jednym punkcie — ognisku pozornym. Ogniskowa soczewki rozpraszającej jest liczbą ujemną.



Obrazy wytwarzane przez soczewki rozpraszające

Zbadajmy, jakie obrazy można otrzymać za pomocą soczewek rozpraszających.

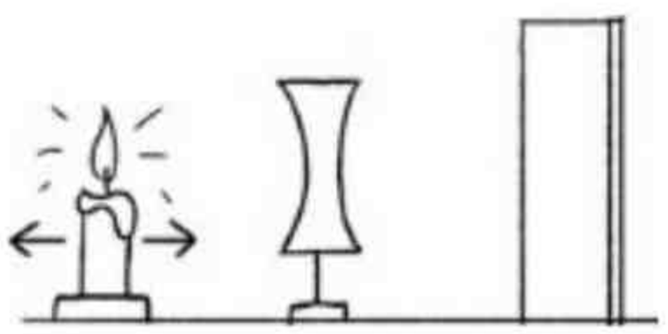
Doświadczenie **Obrazy powstające przy użyciu soczewki rozpraszającej**

① Przygotuj: soczewkę rozpraszającą, świeczkę, zapałki i ekran.

② Ustaw soczewkę między zapaloną świeczką i ekranem.

③ Odsuń świeczkę na dużą odległość od soczewki. Przesuwając ekran i świeczkę, sprawdź, czy można otrzymać obraz świeczki na ekranie.

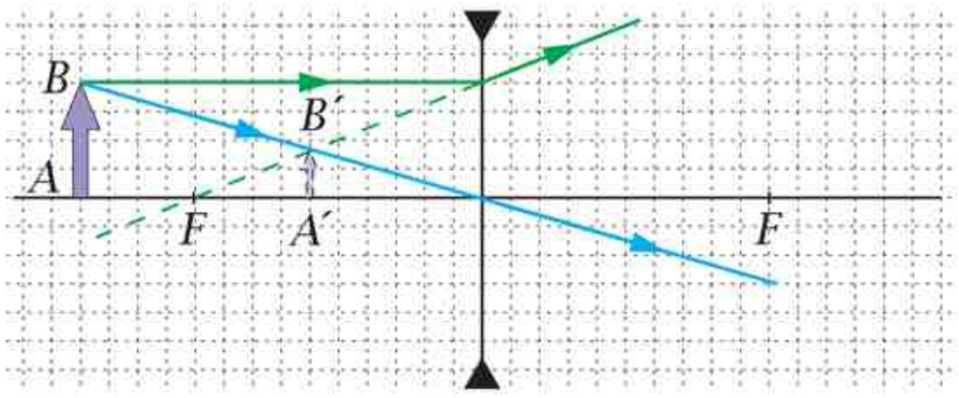
④ Spójrz przez soczewkę na świeczkę. Jakie cechy ma obraz widoczny w soczewce?



Za pomocą soczewek rozpraszających nie można wytworzyć obrazów na ekranie. Soczewki te wytwarzają obrazy **pozorne, proste, pomniejszone**.

Konstrukcja obrazów

Wyniki doświadczenia można sprawdzić, wykonując odpowiednie rysunki. Z poprzedniej lekcji wiemy, że aby znaleźć obraz punktu, należy narysować co najmniej dwa promienie wybiegające z punktu, którego obrazu szukamy, i przechodzące przez soczewkę.



Przeanalizujmy bieg dwóch wybranych promieni:

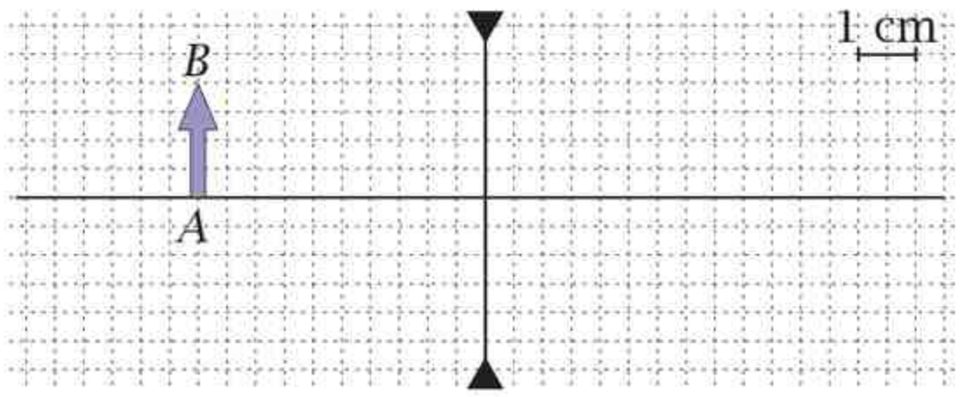
① Promień równoległy do osi optycznej załamuje się w taki sposób, że jego przedłużenie przechodzi przez ognisko pozorne (kolor zielony).

② Promień przechodzący przez środek soczewki nie zmienia kierunku (kolor niebieski).

Promień niebieski przecina się z przedłużeniem załamanego promienia zielonego w punkcie B' — obrazie punktu B. Otrzymany obraz jest pozorny, prosty, pomniejszony.

Sprawdźmy, jaki obraz powstanie, gdy przedmiot przybliżymy do soczewki.

PRZYKŁAD 1. Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj obraz strzałki otrzymany w soczewce rozpraszającej o ogniskowej −5 cm. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.



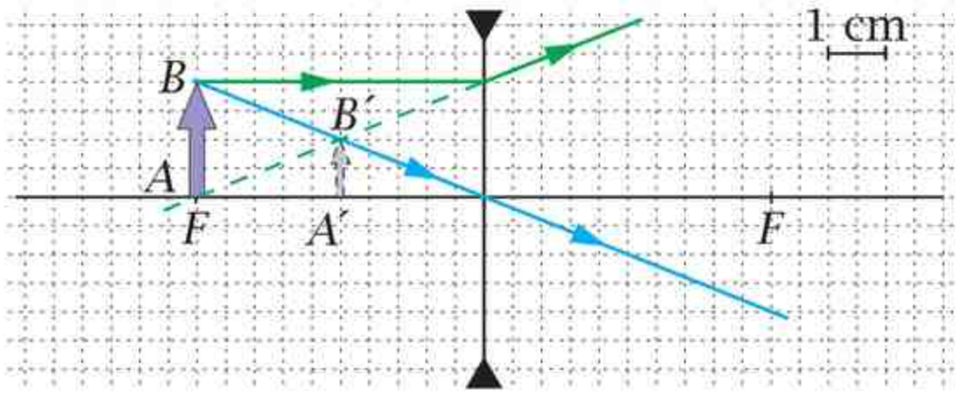
Rozwiązanie:

1. Zaznaczamy ogniska pozorne soczewki, F.

2. Rysujemy dwa promienie wychodzące z punktu B i przechodzące przez soczewkę: biegnący równolegle do osi optycznej i przechodzący przez środek soczewki.

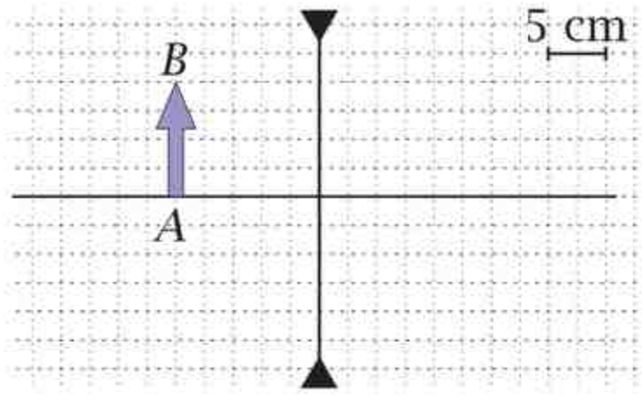
3. Promienie załamane są rozbieżne. Rysujemy przedłużenie górnego promienia aż do przecięcia się z dolnym (punkt B').

4. Rysujemy strzałkę $A'B'$, która jest obrazem strzałki AB. Porównujemy rozmiary obrazu z rozmiarami przedmiotu.



Odp. Otrzymany obraz jest pozorny, prosty, pomniejszony.

ĆWICZENIE 1. Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj obraz strzałki otrzymany w soczewce rozpraszającej o ogniskowej −15 cm. Zapisz cechy otrzymanego obrazu.

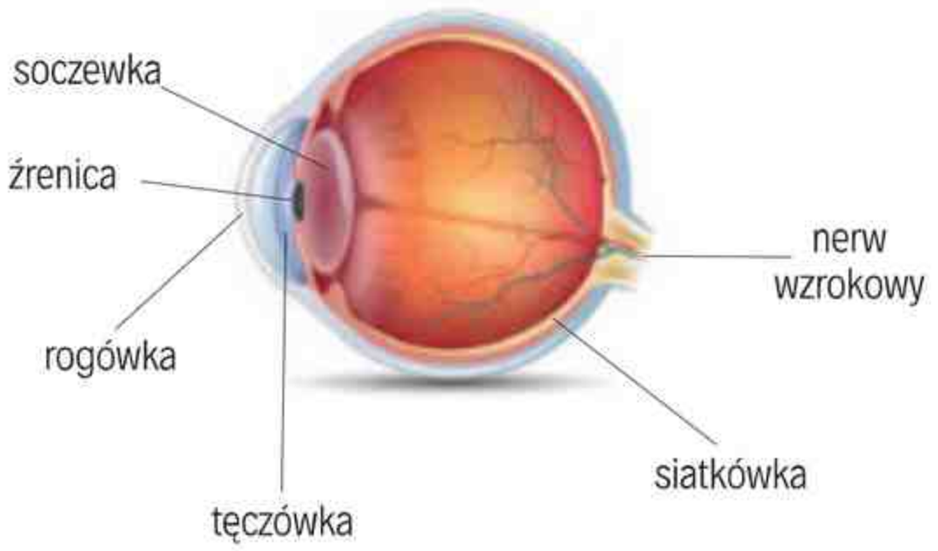


Wykonane rysunki pokazują, że w soczewce rozpraszającej, niezależnie od odległości przedmiotu od soczewki, zawsze powstają obrazy pozorne, proste, pomniejszone.

Budowa i działanie oka

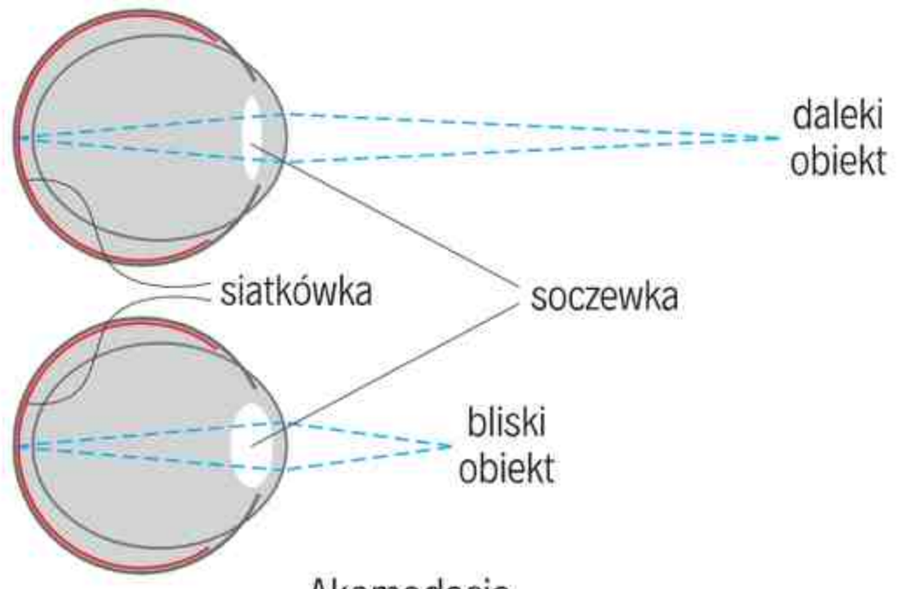
Oko człowieka jest niezwykłym układem optycznym, którego możliwości można znacznie poszerzyć, a wady skorygować, korzystając z różnych przyrządów optycznych. Najprostsze z nich — takie jak lupa czy okulary — składają się z pojedynczych soczewek. Bardziej złożone układy optyczne, zbudowane z wielu soczewek, mają zastosowania w aparatach fotograficznych, kamerach filmowych, mikroskopach i lunetach.

Jak działa oko? Najbardziej zewnętrzną, przednią warstwą oka jest przeźroczysta błona zwana **rogówką**. Za nią znajduje się **źrenica**, czyli otwór w **tęczówce**, który reguluje ilość światła dostającego się do wnętrza oka. Po przejściu przez źrenicę światło wpada do **soczewki**. Soczewka wytwarza na **siatkówce** rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony obraz oglądanego przedmiotu. Siatkówka pokryta jest komórkami światłoczułymi, które za pośrednictwem nerwu wzrokowego przesyłają obraz do mózgu.



Budowa oka.

Soczewka oka może zmieniać swój kształt. Podczas patrzenia na odległe obiekty soczewka ulega spłaszczeniu, a ogniskowa staje się dłuższa. Gdy oglądany przedmiot znajduje się blisko oka, soczewka uwypukla się, a jej ogniskowa się skraca. Zdolność oka do zmiany ogniskowej nosi nazwę **akomodacji**.

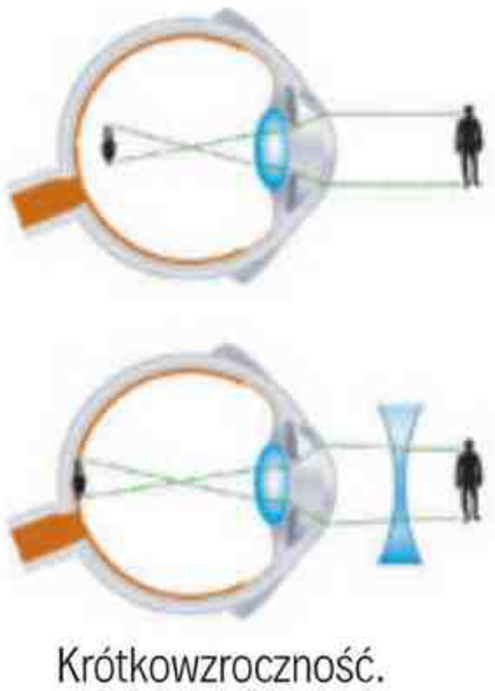


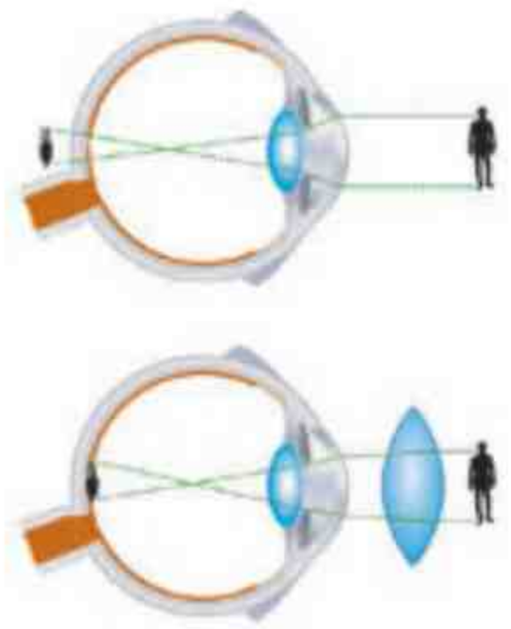
Akomodacja.

Wiele osób nosi okulary lub soczewki kontaktowe z powodu zaburzeń widzenia. Do najpowszechniejszych wad wzroku należą **krótkowzroczność** i **dalekowzroczność** (inaczej nadwzroczność).

Krótkowidz widzi niewyraźnie obiekty znajdujące się w oddali, natomiast nie ma problemów z ostrym widzeniem przedmiotów, które są blisko. Dzieje się tak dlatego, że soczewka oka zbyt silnie skupia światło i obraz zamiast na siatkówce, powstaje przed nią.

Krótkowzroczność koryguje się za pomocą soczewek rozpraszających. Jak wiesz, soczewki rozpraszające mają ujemną ogniskową, dlatego potocznie mówimy, że krótkowidz nosi „minusy".


Krótkowzroczność.



Dalekowzroczność.

Dalekowidz widzi oddalone przedmioty wyraźnie, natomiast te położone blisko są dla niego rozmazane. W tym przypadku rogówka i soczewka oka zbyt słabo skupiają światło, co powoduje, że obraz powstaje za siatkówką.

Dalekowzroczność koryguje się za pomocą soczewek skupiających. Mają one dodatnią ogniskową, dlatego potocznie mówimy, że dalekowidz nosi „plusy".

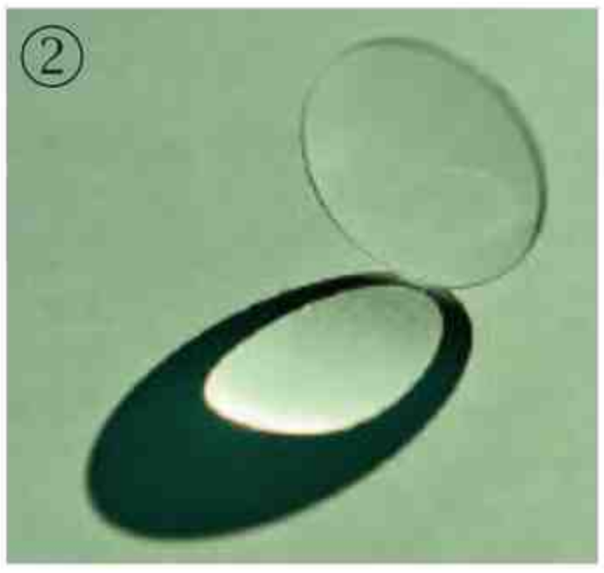
Krótkowzroczność koryguje się za pomocą soczewek rozpraszających („minusów"), a **dalekowzroczność** za pomocą soczewek skupiających („plusów").

Czas na zadania!

Zadanie 1. *Dwie soczewki*

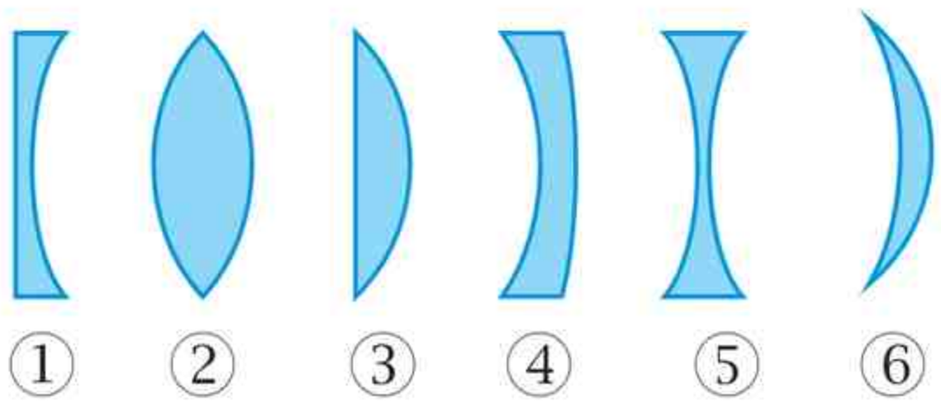
Która z soczewek pokazanych na zdjęciach jest soczewką skupiającą, a która rozpraszającą?





Zadanie 2. *Soczewki rozpraszające*

Wskaż, które z pokazanych na rysunku soczewek są wklęsłe, czyli są soczewkami rozpraszającymi w powietrzu.



Zadanie 3. *Różne obrazy*

Na podstawie podanych cech obrazu ustal, czy do jego otrzymania została użyta soczewka rozpraszająca czy skupiająca:

a) obraz rzeczywisty,

b) obraz pozorny, prosty, pomniejszony,

c) obraz pozorny, prosty, powiększony,

d) obraz rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony.

Zadanie 4. *Budowa oka*

Wskaż poprawne uzupełnienia zdań.

a) *Zewnętrzna, przeźroczysta warstwa oka to rogówka/tęczówka/soczewka.*

b) *Źrenica to otwór w rogówce/tęczówce/siatkówce.*

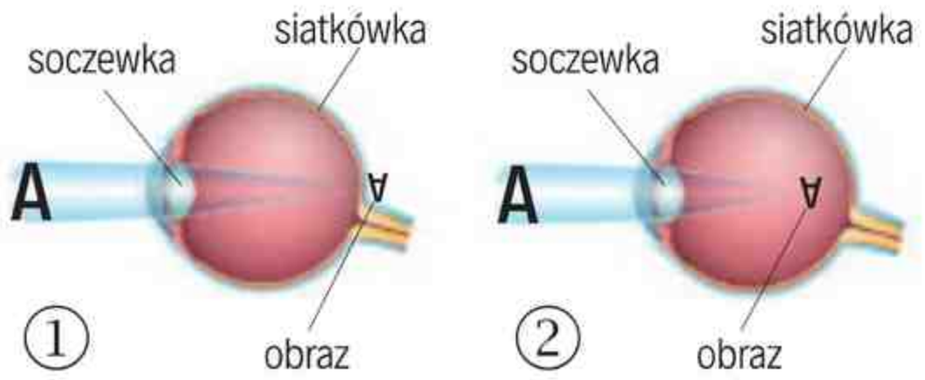
c) *Ilość światła dostającego się do wnętrza oka reguluje soczewka/źrenica/siatkówka.*

d) *Komórkami światłoczułymi pokryta jest rogówka/siatkówka/soczewka.*

e) *W oku znajduje się soczewka skupiająca/rozpraszająca.*

Zadanie 5. *Jaka wada?*

Który z poniższych schematów przedstawia oko krótkowidza, a który — oko dalekowidza?



Zadanie 6. *Okulary*

Wskaż poprawne uzupełnienia zdań.

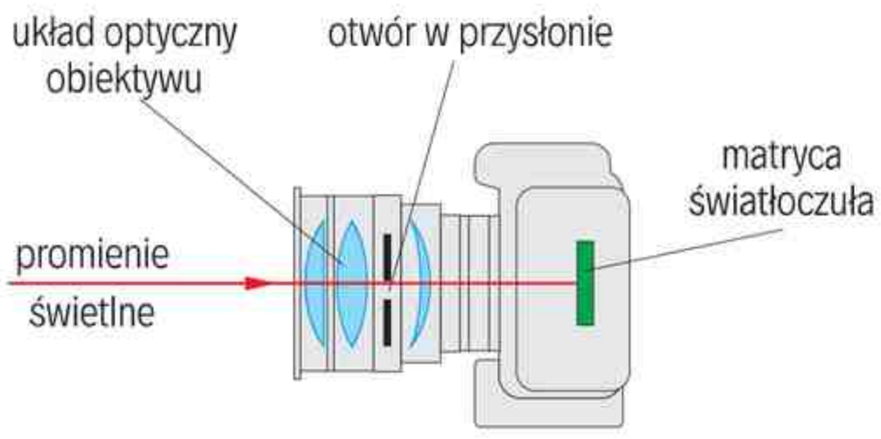
a) *Krótkowidz używa okularów z soczewkami skupiającymi/rozpraszającymi, ponieważ w oku krótkowidza obraz powstaje za/przed siatkówką.*

b) *Dalekowidz używa okularów z soczewkami wklęsłymi/wypukłymi, ponieważ u dalekowidza układ optyczny oka zbyt silnie/słabo skupia światło.*

Zadanie 7. *Aparat fotograficzny*

Aparat fotograficzny i oko działają na podobnej zasadzie. Przeanalizuj poniższy schemat i określ, które elementy aparatu pełnią analogiczne funkcje co:

a) siatkówka **b)** źrenica **c)** soczewka



Zadanie 8. *Kot w soczewce*

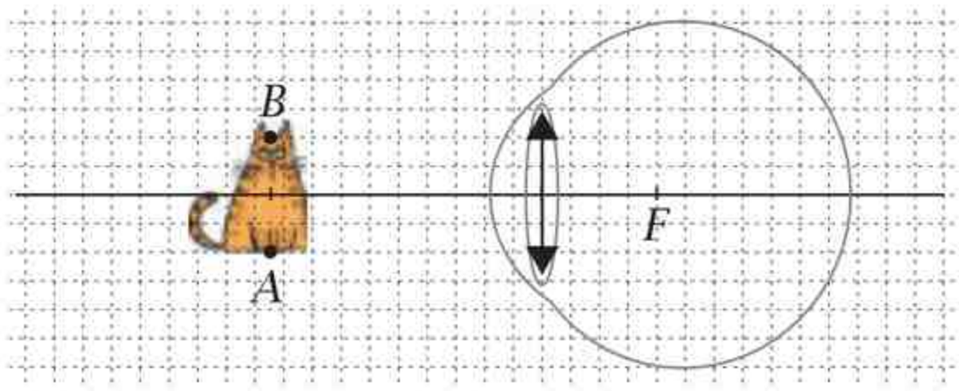
W odległości 100 cm od soczewki rozpraszającej siedzi kot. Ogniskowa tej soczewki wynosi −10 cm. Naszkicuj przedstawioną sytuację i wykonaj rysunek obrazu kota wytwarzany przez soczewkę. Przyjmij, że 1 cm na rysunku to 10 cm w rzeczywistości.

Zadanie 9. *Konstrukcja obrazu*

Wykonaj w zeszycie konstrukcję obrazu wytwarzanego przez soczewkę rozpraszającą. Umieść przedmiot 5 cm od soczewki, której ogniskowa to −10 cm. Jakie cechy ma otrzymany obraz?

Zadanie 10. *Niewyraźny obraz*

Przeprowadź w zeszycie konstrukcję powstawania obrazu kota. Układ optyczny oka zastąp zaznaczoną soczewką. Określ, jaką wadę ma oko na schemacie.



Zadanie 11. *Powietrze a woda*

— Gdy otwieram oczy pod wodą, to widzę przedmioty niewyraźnie — mówi Weritka. — Ja pływam w masce. Wtedy wszystko dobrze widać — odpowiada Hasto.

Powołaj się na zjawisko załamania światła i wyjaśnij, co zauważyła Weritka.



Jak myślisz?

- Obraz w zdrowym oku powstaje zawsze na siatkówce. Dlaczego więc widzimy świat trójwymiarowo?
- Dlaczego Księżyc widziany nisko nad horyzontem wydaje się być większy niż wtedy, gdy jest wysoko na niebie? Dlaczego zachodzące Słońce wydaje się być większe niż to widziane w samo południe?

Lekcja dodatkowa. Układy optyczne



Jak można obserwować mikroskopijne obiekty? A w jaki sposób – obiekty bardzo odległe od Ziemi? Czy za pomocą jednej soczewki można otrzymać takie powiększenie, żeby przyjrzeć się bakterii albo odległej gwieździe?

Cel lekcji

Nauczysz się konstruować obrazy powstające w przyrządach optycznych z układem dwóch soczewek.

Obraz przedmiotu po przejściu przez dwie soczewki

Za pomocą jednej soczewki nie uda się zaobserwować mikroskopijnych obiektów (np. wirusa) albo takich, które są bardzo daleko (np. gwiazdy). W takich sytuacjach należy posłużyć się układem kilku soczewek lub zwierciadeł. Zbadajmy, jak działają takie układy.

Doświadczenie Dwie soczewki wypukłe

① Przygotuj: świeczkę, zapałki, dwie soczewki wypukłe i ekran.

② Ustaw jedną soczewkę między zapaloną świeczką a ekranem.

③ Odsuń świeczkę na dużą odległość od soczewki. Ustaw ekran w taki sposób, aby otrzymać wyraźny obraz płomienia.

④ Bezpośrednio za pierwszą soczewką umieść drugą. Nie zmieniając położenia świeczki ani soczewek, sprawdź, gdzie należy przesunąć ekran, aby obraz płomienia był wyraźny.



⑤ Czy uzyskany obraz różni się od tego otrzymanego za pomocą jednej soczewki?

⑥ Zmieniaj odległość między soczewkami, a następnie szukaj takiego położenia ekranu, żeby obraz płomienia był wyraźny.

⑦ Czy zmiana ustawienia soczewek wpływa na uzyskany obraz?

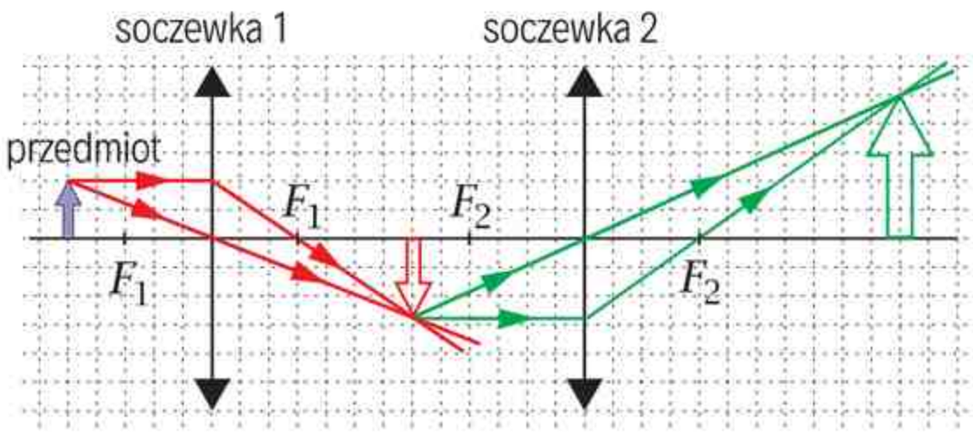
Obraz powstający po przejściu światła przez dwie soczewki zmienia się w zależności od ustawienia tych soczewek. Przeanalizujmy powstawanie takich obrazów.

① Rysujemy obraz przedmiotu powstający w soczewce 1 (czerwona strzałka).

② Obraz uzyskany przez soczewkę 1 jest jednocześnie „przedmiotem", którego obraz powstanie w soczewce 2.

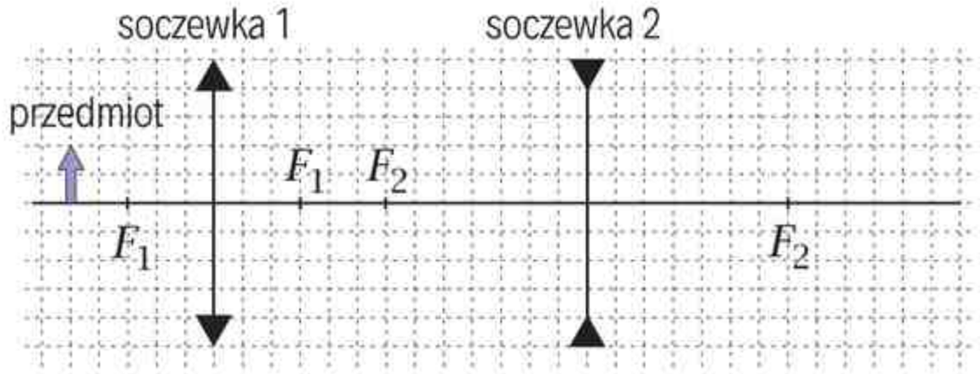
③ Rysujemy obraz przedmiotu (czerwonej strzałki) powstający w soczewce 2 (zielona strzałka).

④ Jest to końcowy obraz przedmiotu.



Uzyskany w układzie tych dwóch soczewek obraz jest powiększony, prosty i rzeczywisty (czyli można zobaczyć go na ekranie). Przy innych ustawieniach soczewek można uzyskać obrazy o innych cechach.

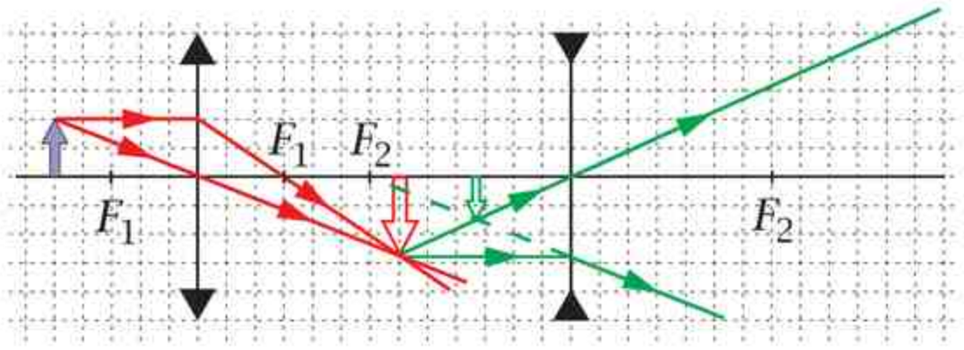
PRZYKŁAD 1. Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj obraz przedmiotu umieszczonego w układzie złożonym z soczewki wypukłej i wklęsłej. Określ cechy otrzymanego obrazu.



Rozwiązanie:

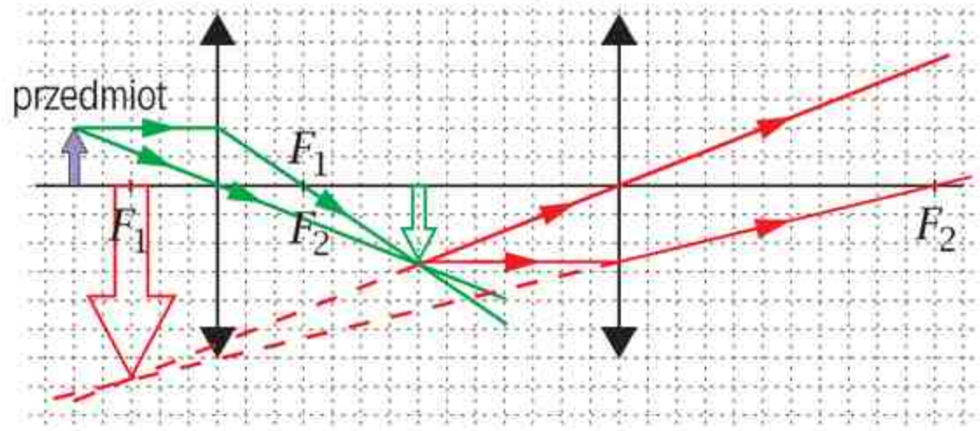
Ⓘ Rysujemy obraz przedmiotu powstający w soczewce 1 (kolor czerwony).

Ⓘⓘ Rysujemy obraz powstający w soczewce 2 (kolor zielony). Czerwoną strzałkę traktujemy w tym wypadku jak przedmiot.



Odp. Uzyskany obraz (zielona strzałka) jest pozorny, odwrócony i pomniejszony.

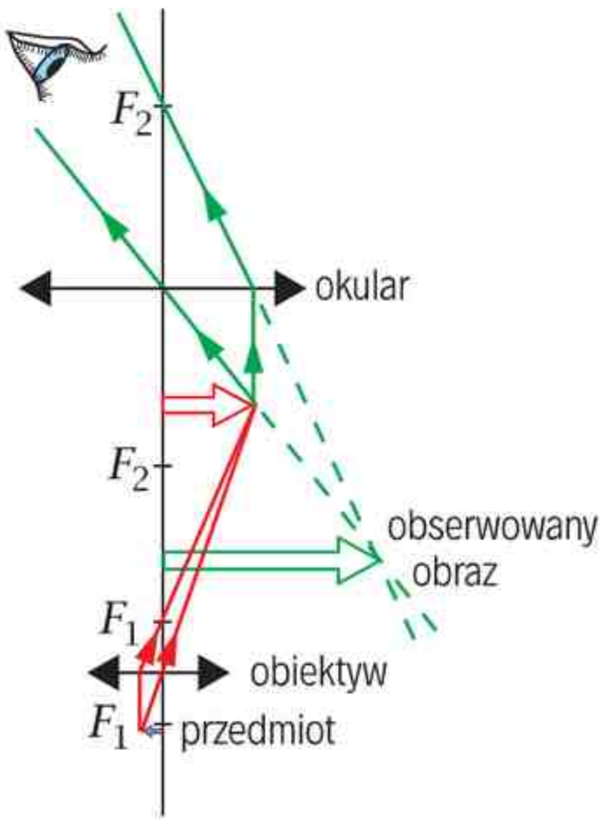
ĆWICZENIE 1. Obok przedstawiono konstrukcję obrazu przedmiotu w układzie dwóch soczewek. Wskaż właściwe uzupełnienia zdań.



Ten układ składa się z dwóch soczewek ***skupiających / rozpraszających*** *o* ***różnych / takich samych*** *ogniskowych. Obraz przedmiotu uzyskany w układzie tych dwóch soczewek jest oznaczony kolorem* ***czerwonym / zielonym****. Otrzymany obraz jest* ***rzeczywisty / pozorny****,* ***prosty / odwrócony*** *oraz* ***pomniejszony / powiększony****.*



Budowa mikroskopu optycznego.



Schemat działania mikroskopu.

Mikroskop

Mikroskop pozwala zajrzeć w mikroświat. Za jego twórców uważa się Holendrów — Hansa Janssena i jego syna Zachariasa, którzy w 1590 roku skonstruowali pierwszy mikroskop składający się z dwóch soczewek. Uzyskali niewielkie, bo tylko dziesięciokrotne powiększenie. Kilkadziesiąt lat później inny Holender Antoni van Leeuwenhoek (czyt. lejwenhuk) uzyskał powiększenie aż 270-krotne.

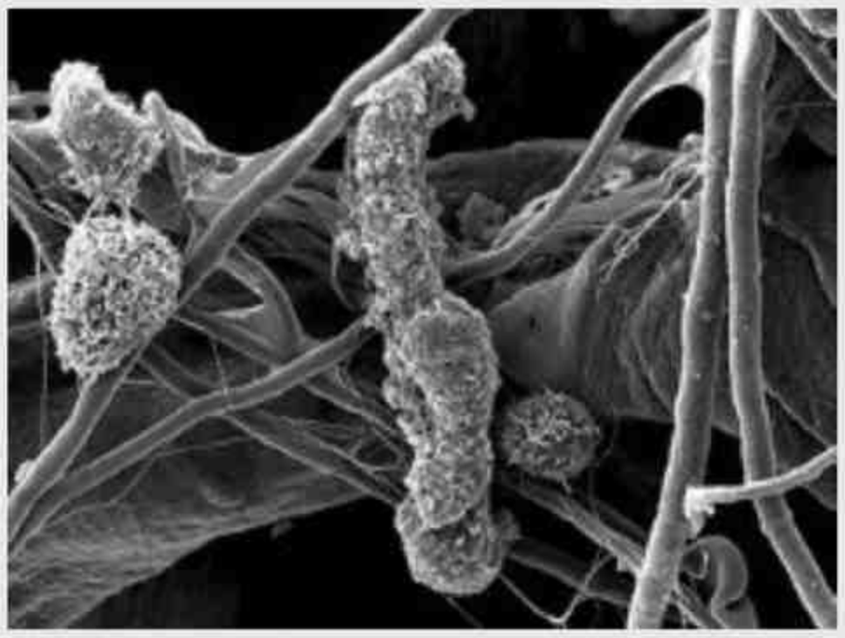
Mikroskop jest przyrządem optycznym, który w najprostszej wersji składa się z dwóch soczewek skupiających: **obiektywu** — soczewki umieszczonej tuż przy badanym preparacie (próbce) oraz **okularu** — soczewki, przez którą się patrzy.

Schemat działania mikroskopu pokazano na rysunku obok. Obiektyw jest soczewką o krótkiej ogniskowej. Ogniskowa okularu jest dłuższa. Obiektyw wytwarza obraz rzeczywisty, odwrócony, powiększony. Ten obraz staje się „przedmiotem" dla okularu. Odległość okularu od obiektywu musi być tak dobrana, aby „przedmiot" znalazł się bliżej okularu niż jego ognisko. W ten sposób okular działa jak lupa i wytwarza pozorny i powiększony obraz „przedmiotu" (którym jest obraz wytworzony przez obiektyw).

Mikroskop to urządzenie optyczne dające obraz powiększony i pozorny, który powstaje dzięki przejściu światła przez układ soczewek zwanych **obiektywem** i **okularem**.

Dowiedz się więcej o mikroskopie elektronowym

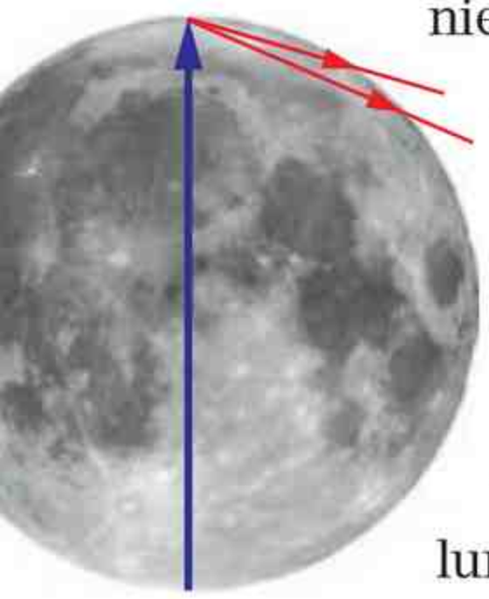
W mikroskopie optycznym preparat jest oświetlany światłem widzialnym. W **mikroskopie elektronowym** zamiast światła używa się strumienia pędzących elektronów. Obraz uzyskiwany w takim mikroskopie może być powiększony nawet kilka milionów razy, tzn. obserwacje mogą być wykonywane z dokładnością do pojedynczego atomu.



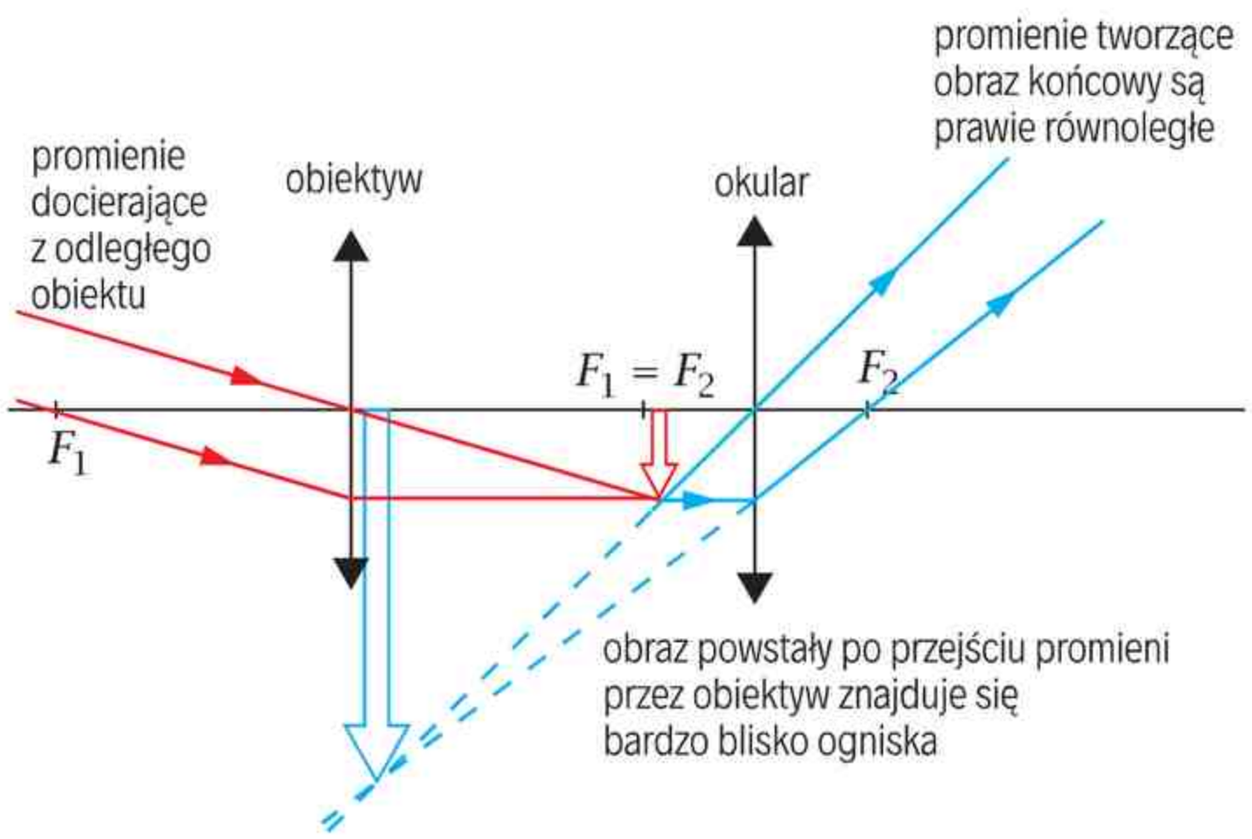
Obraz erytrocytów i naczyń krwionośnych uzyskany za pomocą mikroskopu elektronowego.

Luneta

Innym urządzeniem wykorzystującym układ soczewek jest luneta astronomiczna. Służy ona do obserwacji bardzo dużych i odległych obiektów (np. gwiazd czy planet). Galileusz był jednym z pierwszych, którzy obserwowali niebo za pomocą lunety. Zobaczył on cztery księżyce Jowisza, a także odkrył plamy na Słońcu czy góry na Księżycu.



Luneta działa podobnie do mikroskopu. Różnica polega na tym, że obiekt obserwowany za pomocą lunety jest w rzeczywistości olbrzymi, ale znajduje się bardzo daleko od obiektywu. Obraz powstały w obiektywie jest pomniejszony (w stosunku do samego obiektu) i znajduje się blisko okularu, który działa jak lupa i go powiększa.



Czas na zadania!

Zadanie 1. *Mikroskop*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Okular/obiektyw mikroskopu to soczewka znajdująca się w pobliżu oka obserwatora, a okular/obiektyw to soczewka znajdująca się w sąsiedztwie badanej próbki. Obie te soczewki są skupiające/rozpraszające. Obraz obserwowany w mikroskopie jest rzeczywisty/pozorny i powiększony/pomniejszony.

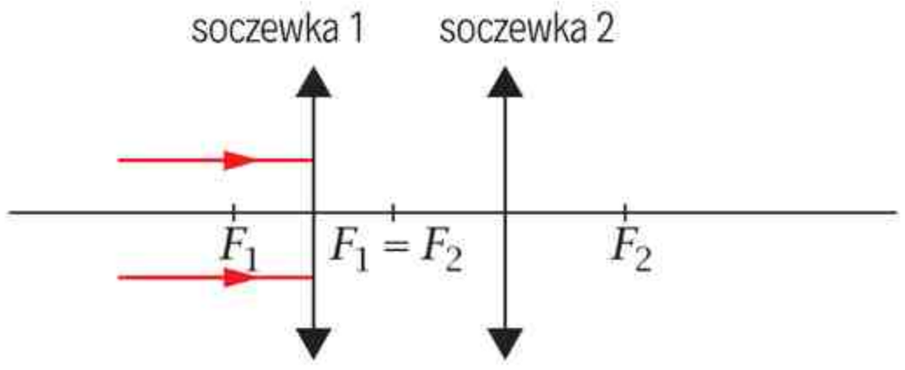
Zadanie 2. *Luneta*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

Ciała niebieskie obserwowane za pomocą lunety mają w rzeczywistości olbrzymie/mikroskopijne rozmiary. Jednak przez to, że znajdują się daleko od obserwatora, wydają się małe. Zadaniem obiektywu lunety jest uzyskać pomniejszony/powiększony obraz obiektu, a zadaniem okularu — go pomniejszyć/powiększyć. Obraz obserwowany przez lunetę jest rzeczywisty/pozorny.

Zadanie 3. *Bez zmian*

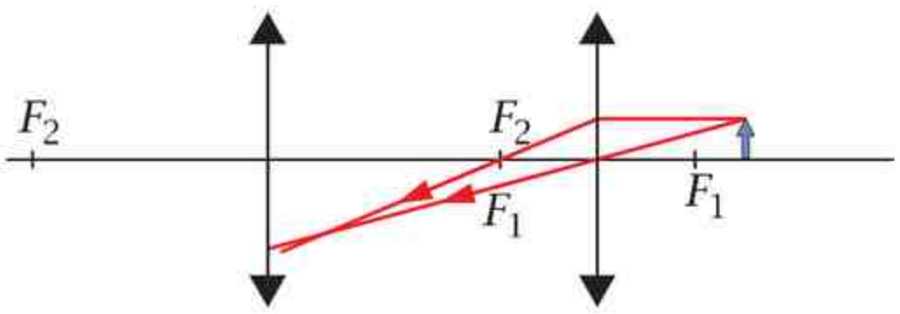
Przerysuj schemat do zeszytu i narysuj dalszy bieg obu równoległych promieni po przejściu przez soczewki.



Zauważ, że jedno z ognisk soczewki 1 jest w tym samym punkcie, co ognisko soczewki 2.

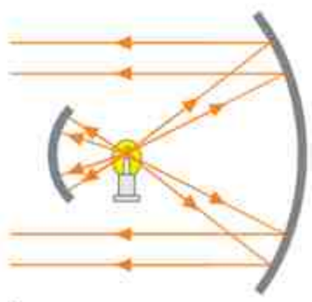
Zadanie 4. *Dwie soczewki*

Przerysuj schemat do zeszytu i dokończ konstrukcję obrazu przedmiotu.



Zadanie 5. *Odbijająca lampa*

Na schemacie przedstawiono budowę lampy, z której rozchodzi się równoległa wiązka światła. Światło odbija się od mniejszego zwierciadła, a następnie pada na duże zwierciadło.



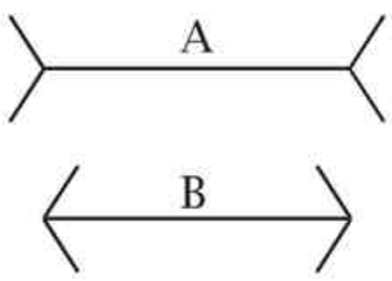
a) Wskaż, gdzie znajduje się ognisko dużego zwierciadła.

b) Jak sądzisz, do czego może być wykorzystywana taka lampa?

Zadanie 6. *Złudzenia optyczne*

Oczy tylko częściowo odpowiadają za widzenie. Mózg odgrywa równie istotną rolę, ale można go w różny sposób zmylić.

a) Która strzałka jest dłuższa: A czy B?

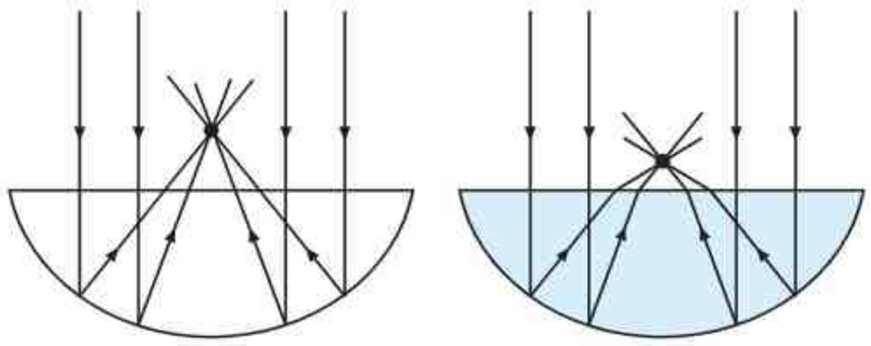


b) Czy żółte linie mają taką samą długość?



Zadanie 7. *Zwierciadło z wodą*

Hasto i Weritka obserwują bieg promieni odbijających się od zwierciadła sferycznego wklęsłego (Rys. 1).



Rys. 1 Rys. 2

— Promienie przecinają się w jednym punkcie — mówi Hasto.

— To jasne. W ognisku zwierciadła — wtóruje Weritka.

— Nalejmy do zwierciadła wody i zobaczmy, co się stanie — proponuje Hasto.

— Świetnie, to będzie wodna soczewka.

Wybierz właściwe uzupełnienia zdań.

Po nalaniu wody (Rys. 2) utworzył się układ optyczny składający się z ***soczewki i zwierciadła / dwóch soczewek****. Wodna soczewka jest* ***wklęsła / wypukła****. Promienie, oprócz odbicia się od dna zwierciadła, dodatkowo* ***odbijają / załamują*** *się w soczewce. Utworzona soczewka jest* ***rozpraszająca / skupiająca****, zatem promienie przecinają się teraz* ***bliżej / dalej*** *od zwierciadła niż w sytuacji bez wody.*



Jak myślisz?

- Jakie są ograniczenia w stosowaniu mikroskopów optycznych?
- Dlaczego teleskop Hubble'a nie znajduje się na Ziemi tylko na jej orbicie?
- Co to jest op-art?



Fizyka na wesoło...

Weritka i Hasto patrzą przez lunetę na Księżyc.

— Myślisz, że tam jest życie? — zastanawia się Weritka.

— Pewnie, przecież pali się światło — odpowiada Hasto.

32 Rozszczepienie światła



Czasami w górach można zaobserwować własny cień na chmurze. Bywa, że ten cień jest otoczony tęczową obwódką. Na czym polega to zjawisko optyczne? Skąd się bierze tęczowa obwódka?

Czy białe światło rzeczywiście jest białe?

Pryzmat.



Wiesz już, że światło, przechodząc z jednego ośrodka do drugiego, ulega załamaniu. Zbadajmy, jak zachowuje się światło przechodzące przez **pryzmat**, czyli graniastosłup o podstawie trójkąta wykonany np. ze szkła.

Cel lekcji

Dowiesz się, jaka jest różnica między światłem słonecznym, a światłem laserowym. Zbadasz rozszczepienie światła w pryzmacie.

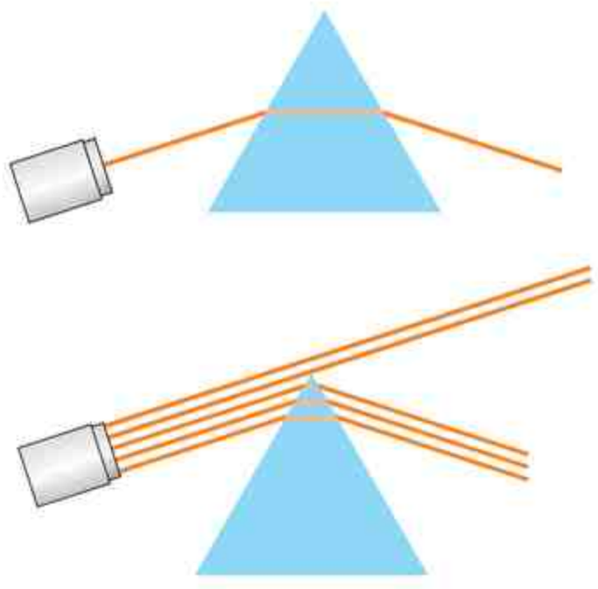
Doświadczenie Światło jednobarwne przechodzące przez pryzmat

① Przygotuj: białą kartkę, pryzmat oraz lasery z jedną i kilkoma wiązkami.

② Połóż pryzmat na kartce.

③ Skieruj promień lasera na boczną ścianę pryzmatu. Obserwuj bieg światła przechodzącego przez pryzmat dla różnych kątów padania.

④ Wykonaj te same czynności, kierując na pryzmat kilka równoległych promieni.



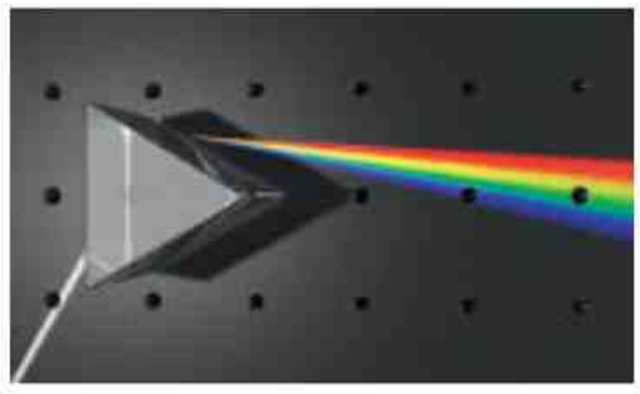
Światło załamuje się w pryzmacie dwukrotnie: przechodząc z powietrza do szkła, a następnie ze szkła do powietrza. Promienie laserowe po opuszczeniu pryzmatu zmieniły kierunek rozchodzenia się, ale nadal są równolegle.

Doświadczenie **Światło białe przechodzące przez pryzmat**

① Przygotuj: pryzmat, silną latarkę, karton z wyciętym otworem oraz białą kartkę.

② Połóż pryzmat na kartce.

③ Skieruj światło latarki przez otwór w kartonie na boczną ściankę pryzmatu. Co obserwujesz?

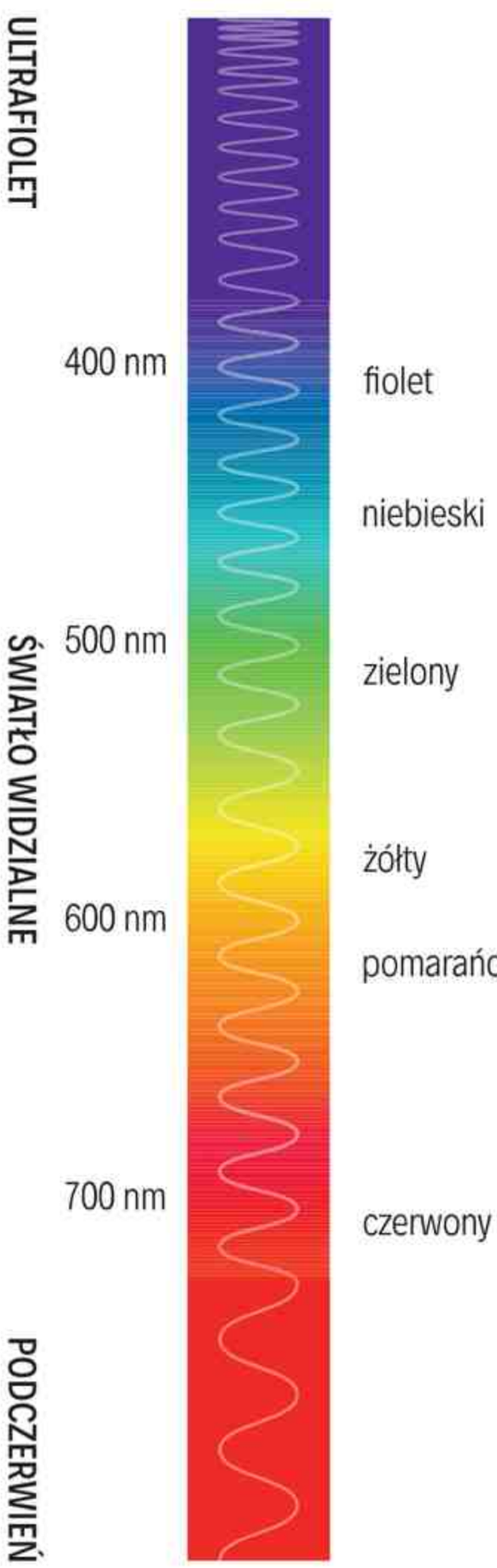


Światło emitowane przez Słońce i żarówkę to **światło białe**, które po przejściu przez pryzmat staje się rozbieżną wiązką promieni o barwach: czerwonej, pomarańczowej, żółtej, zielonej, niebieskiej, granatowej, fioletowej. Barwy przechodzą płynnie jedna w drugą. Obserwowane zjawisko nazywamy **rozszczepieniem** światła białego, a otrzymany na ekranie obraz to **widmo** światła białego.

Rozszczepienie światła polega na jego rozdzieleniu na składowe o różnych barwach.

Białe światło zawiera wszystkie długości fal widzialnych. Danej długości fali w próżni odpowiada pewna barwa. W próżni wszystkie fale świetlne, niezależnie od długości, rozchodzą się z taką samą prędkością. W innych ośrodkach, na przykład w szkle, fale dłuższe rozchodzą się szybciej, krótsze — wolniej. To powoduje, że światło o barwie fioletowej (najkrótsze fale) załamuje się najsilniej, a światło o barwie czerwonej (najdłuższe fale) — najsłabiej. W rezultacie fale o różnych długościach biegną oddzielnie.

Rozszczepienie światła w pryzmacie spowodowane jest tym, że w szkle światło o różnych barwach rozchodzi się z różnymi prędkościami.



Widmo światła białego. Długość fal w próżni.

Światło wysyłane przez laser zawiera tylko jedną długość fali. Jest to **światło monochromatyczne**, czyli jednobarwne. Światło lasera nie rozszczepia się w pryzmacie.

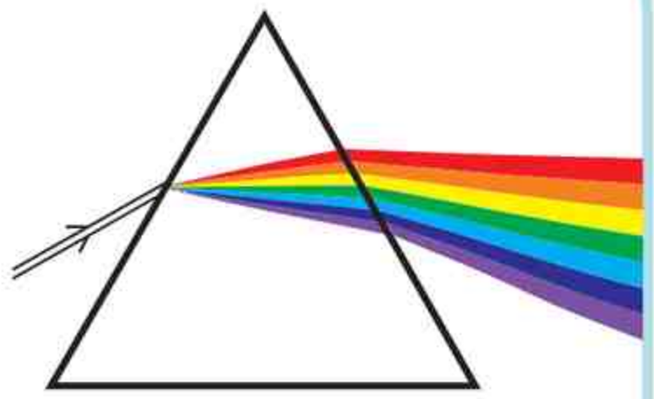
Laser jest źródłem światła **monochromatycznego**, czyli jednobarwnego.

PRZYKŁAD 1. Na schemacie przedstawiono rozszczepienie światła białego w pryzmacie. Ustal, która fala, żółta czy niebieska:

a) załamuje się silniej, przechodząc z powietrza do szkła,

b) rozchodzi się w szkle z mniejszą prędkością,

c) jest falą dłuższą.



Odp. a) Fala niebieska, b) fala niebieska, c) fala żółta.

ĆWICZENIE 1. Na podstawie powyższego schematu ustal, która fala, zielona czy pomarańczowa:

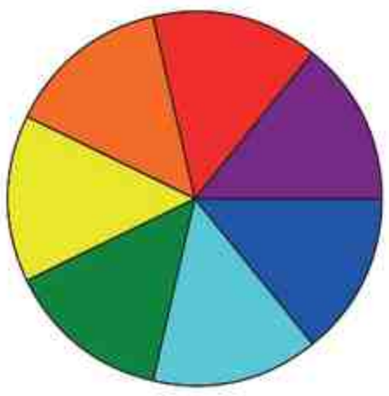
a) załamuje się słabiej, przechodząc ze szkła do powietrza,

b) rozchodzi się w szkle z większą prędkością,

c) jest falą krótszą.

Światło białe jako mieszanina barw

To, że światło białe jest mieszaniną różnych barw, można pokazać za pomocą tak zwanego krążka Newtona (koło pomalowane w sposób przedstawiony obok). Po wprawieniu krążka w ruch wirowy wszystkie barwy mieszają się, a krążek staje się biały.

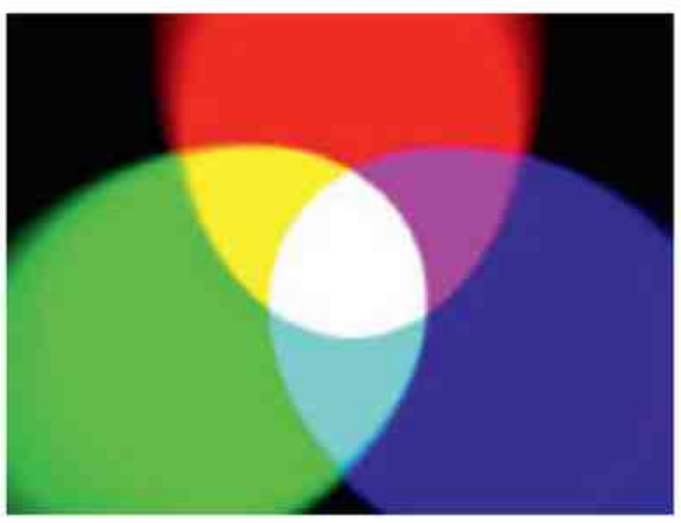


Krążek Newtona.



Wirujący krążek Newtona wydaje się mieć barwę zbliżoną do bieli.

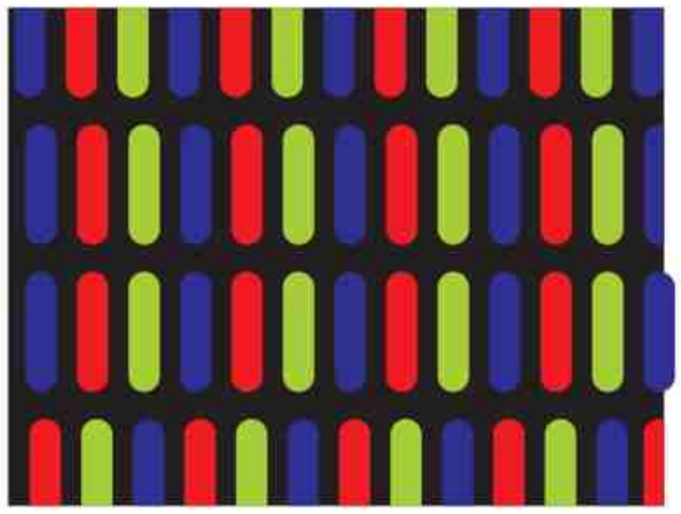
W urządzeniach takich jak telewizory, laptopy, smartfony czy projektory do wytwarzania barwnych obrazów wykorzystuje się system RGB. Skrót ten pochodzi od angielskich słów określających kolory: R — *red* (czerwony), G — *green* (zielony), B — *blue* (niebieski). Okazuje się, że łącząc w odpowiednich proporcjach światło o tych barwach, można otrzymać szeroką paletę kolorów występujących w naturze.



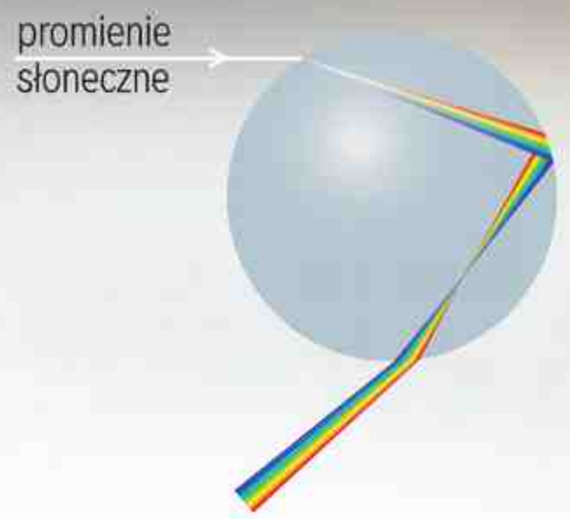
Mieszanie się światła w systemie RGB.



Widoczna na ekranie barwa żółta to efekt połączenia światła zielonego i czerwonego.



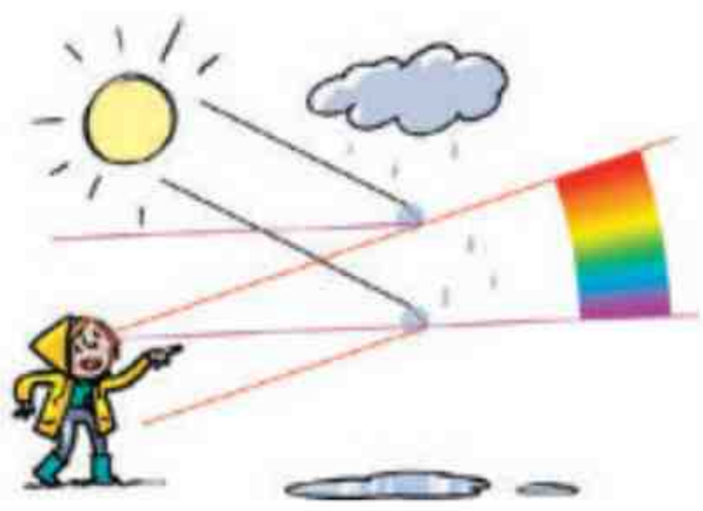
Powiększony schemat ekranu LCD z widocznymi pikselami.



Rozszczepienie światła w kropli wody.

Powstawanie tęczy

Często, gdy pada deszcz i jednocześnie nisko nad horyzontem świeci słońce, można zobaczyć tęczę. Światło padające na kroplę wody ulega najpierw załamaniu i rozszczepieniu, następnie odbija się we wnętrzu kropli, po czym ponownie załamuje się, opuszczając ją. Tęcza jest utworzona przez światło rozszczepione w wielu kroplach. Barwa czerwona pochodzi z kropel położonych wyżej, a fioletowa — nieco niżej. Każda osoba widzi swoją „własną" tęczę, ponieważ odbiera światło rozszczepione w innych kroplach.



Schemat powstawania tęczy widzianej przez obserwatora.

Dlaczego trawa jest zielona?

Większość otaczających nas ciał nie emituje światła. Widzimy je dlatego, że zostały oświetlone i odbiły (rozproszyły) część padającego na nie promieniowania. Gdy na trawę pada światło słoneczne, które jest światłem białym, to odbija ona najbardziej światło zielone, a pozostałe barwy silniej pochłania. Z kolei od dojrzałego pomidora najlepiej odbijają się fale odpowiadające czerwieni. Biała kartka odbija wszystkie barwy światła, natomiast czarne litery wszystkie pochłaniają.

PRZYKŁAD 2. Jaki kolor będzie miało zielone jabłko oświetlone światłem o barwie czerwonej? Odpowiedź uzasadnij.

Odp. Jabłko będzie czarne, ponieważ silnie pochłania światło inne niż zielone.

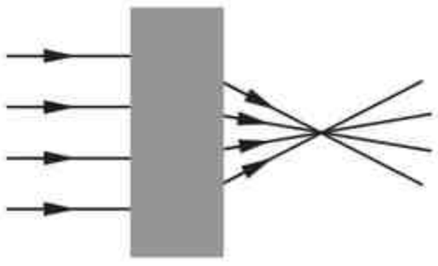
ĆWICZENIE 2. Jaki kolor będzie miała czarna obudowa laptopa, jeśli skierujemy na nią światło o barwie zielonej?

Czas na zadania!

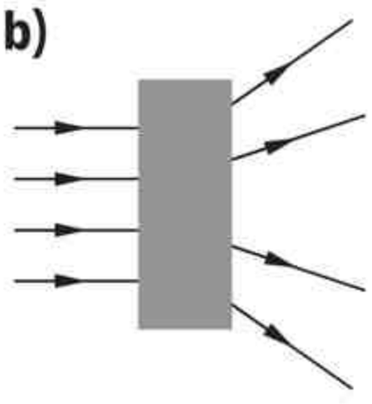
Zadanie 1. ***Co się tutaj kryje?***

Na rysunkach przedstawiono przejście równoległej wiązki światła przez przeźroczyste ciała o różnych kształtach. Określ, co ukrywa się pod szarym prostokątem.

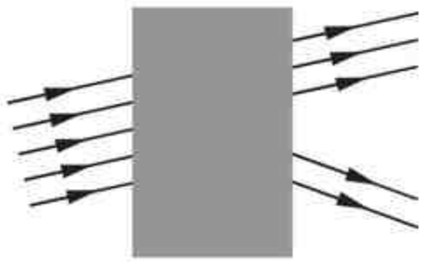
a)



b)



c)



Zadanie 2. *Pryzmat*

Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

a) *Światło lasera po przejściu przez pryzmat **ulega/nie ulega** rozszczepieniu, ponieważ składa się z **fali jednej długości/fal o różnych długościach**.*

b) *Podczas przechodzenia światła białego przez szklany pryzmat najsilniej odchylają się fale o barwie **czerwonej/fioletowej**, ponieważ ich prędkość w szkle jest **największa/najmniejsza**.*

Zadanie 3. *Widmo światła białego*

Uporządkuj fale o podanych barwach w kolejności od najkrótszej do najdłuższej.

① żółta ② niebieska ③ fioletowa
④ pomarańczowa ⑤ zielona
⑥ czerwona ⑦ granatowa

Zadanie 4. *Rozszczepienie światła*

Wskaż poprawne uzupełnienia zdań.

a) *W próżni prędkość światła czerwonego jest **taka sama/większa niż/mniejsza niż** prędkość światła zielonego.*

b) *W szkle światło fioletowe porusza się **szybciej/wolniej** niż światło żółte.*

c) *Na granicy powietrza i szkła najsilniej załamuje się światło o barwie **czerwonej/fioletowej**.*

Zadanie 5. *Kubek*

Dlaczego biały kubek po oświetleniu go światłem zielonym wydaje się zielony, a po oświetleniu go światłem białym jest biały?

Zadanie 6. *Fioletowa kartka*

Ustal, jaką barwę będzie miała kartka odbijająca tylko światło fioletowe, gdy zostanie oświetlona falą elektromagnetyczną o długości:

a) 770 nm **b)** 390 nm **c)** 650 nm

i Skorzystaj ze schematu na str. 250.

Zadanie 7. *Długość fali w wodzie*

Podczas załamania fali na granicy ośrodków zmienia się jej prędkość i długość, natomiast częstotliwość pozostaje taka sama. Światło żółte, którego długość fali w powietrzu wynosi 580 nm, rozchodzi się w szkle z prędkością 200 000 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$. Oblicz długość fali tego światła w szkle. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

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

Zadanie 8. *Diament*

Prędkość światła w diamencie jest 2,4 raza mniejsza niż w powietrzu. Oblicz długość fali światła żółtego w diamencie, wiedząc, że w powietrzu wynosi ona 580 nm. Wynik zaokrąglij do trzech cyfr znaczących.

Zadanie 9. *Farby*

Dlaczego po zmieszaniu farb w kolorze czerwonym, niebieskim i żółtym wcale nie otrzymamy koloru białego?

Zadanie 10. *Monochromatyczne latarki*

Którymi z tych latarek trzeba oświetlić ścianę, aby uzyskać barwę:

a) żółtą, **b)** błękitną, **c)** różową?





Jak myślisz?

- Dlaczego w lecie nosimy jasne ubrania?
- Dlaczego w ciemności wszystkie koty są czarne?
- Dlaczego mokre przedmioty wydają się ciemniejsze niż suche?
- Dlaczego czasami na niebie można zaobserwować dwie tęcze?

CZĘŚĆ 1. *Zestawienie wiadomości*

Fale elektromagnetyczne rozchodzą się w próżni z prędkością $c = 300\,000\,000\ \frac{m}{s}$. **Długość fali** ($\lambda$) zależy od jej częstotliwości (f) oraz prędkości (v lub c).

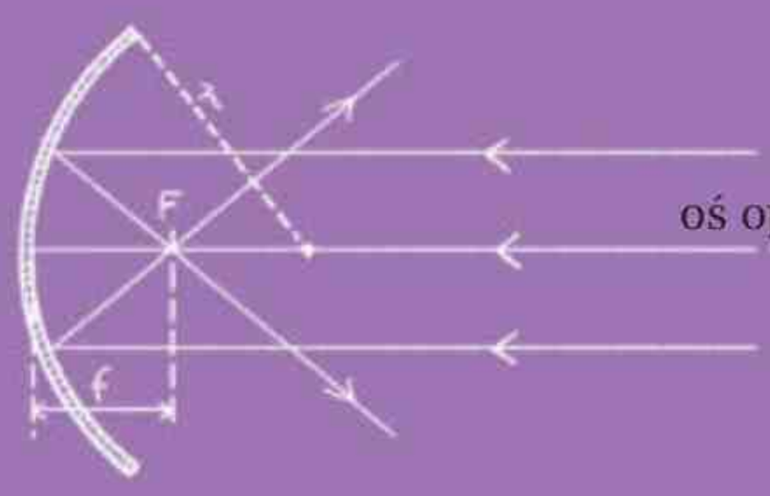
$$\lambda = \frac{v}{f} \text{ lub } \lambda = \frac{c}{f}$$

1

W zależności od długości fale elektromagnetyczne dzielą się na: fale radiowe, mikrofale, podczerwień, **światło widzialne**, ultrafiolet, promieniowanie rentgenowskie oraz promieniowanie gamma.

2

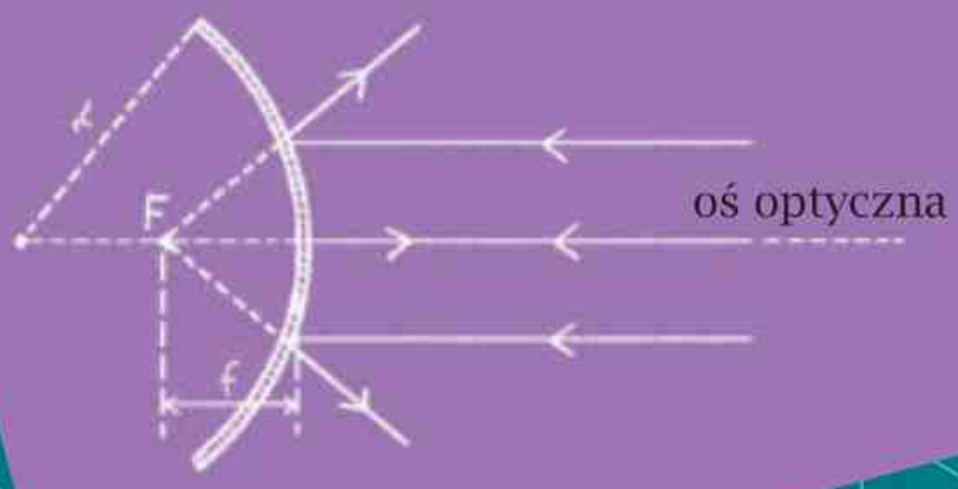
zwierciadło sferyczne wklęsłe



$$f = \frac{r}{2}$$

F – ogniskowa
f – ogniskowa
r – promień krzywizny

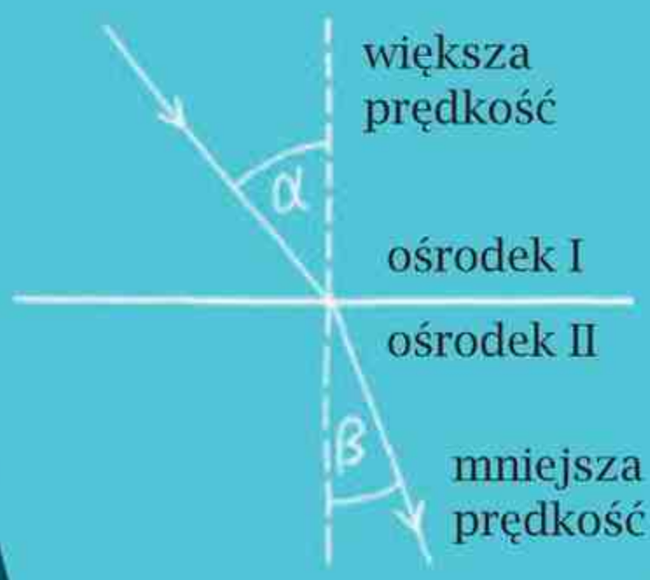
zwierciadło sferyczne wypukłe



5

6

Załamanie światła polega na zmianie kierunku jego rozchodzenia się przy przejściu z jednego ośrodka przeźroczystego do drugiego na skutek zmiany prędkości światła.



8

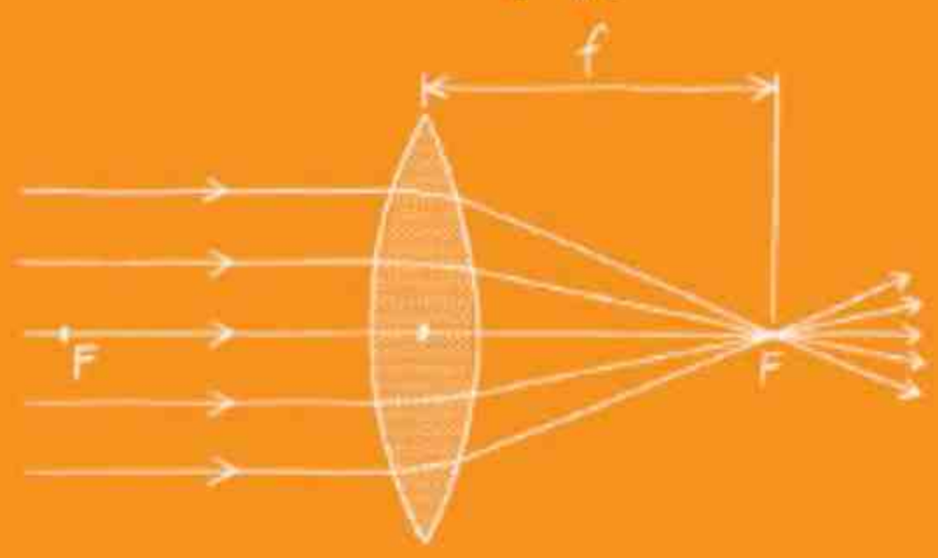
Konstrukcja obrazu punktu powstającego w dowolnym zwierciadle, w soczewce skupiającej lub rozpraszającej

- Narysuj dwa promienie wychodzące z tego punktu.
- Narysuj promienie odbite (zwierciadła) lub załamane (soczewki).
- Jeżeli promienie odbite lub załamane przecinają się, to jest to obraz szukanego punktu (**obraz rzeczywisty**). Jeżeli się nie przecinają, to narysuj przedłużenia promieni odbitych lub załamanych. Ich punkt przecięcia jest szukanym obrazem (**obraz pozorny**).

W ośrodkach jednorodnych światło rozchodzi się **prostoliniowo**.

3

soczewka skupiająca



soczewka rozpraszająca



Ogniskowa soczewki rozpraszającej jest liczbą ujemną.

7

4

Prawo odbicia światła

Kąt odbicia jest równy kątowi padania. Promień padający, promień odbity oraz normalna wystawiona w punkcie padania leżą w tej samej płaszczyźnie.

10

Światło białe składa się ze wszystkich długości fal widzialnych. **Rozszczepienie światła** polega na jego rozdzieleniu na składowe o różnych barwach.

9

W zdrowym oku obraz powstaje na siatkówce. U **krótkowidza** obraz powstaje przed siatkówką, co koryguje się soczewkami rozpraszającymi. U **dalekowidza** obraz powstaje za siatkówką, co koryguje się soczewkami skupiającymi.

CZĘŚĆ 2. *Sprawdź, czy wiesz*

1. Wymień cechy wspólne i różnice w rozchodzeniu się fal elektromagnetycznych i mechanicznych.

2. Wymień rodzaje fal elektromagnetycznych i przedstaw ich zastosowania.

3. Wyjaśnij, jak powstaje cień i półcień.

4. Omów zjawisko odbicia światła od różnych powierzchni:
- płaskiej,
- chropowatej.

5. Wyjaśnij, co to jest ognisko i ogniskowa zwierciadła sferycznego.

6. Wyjaśnij różnicę między obrazami rzeczywistymi i obrazami pozornymi otrzymywanymi w zwierciadłach i soczewkach.

7. Wykonaj konstrukcję przykładowego obrazu wytwarzanego przez zwierciadło płaskie. Podaj cechy tego obrazu.

8. Wykonaj przykładową konstrukcję obrazu wytwarzanego przez zwierciadło sferyczne wklęsłe. Podaj cechy otrzymanego obrazu.

9. Określ, w jakiej odległości od zwierciadła sferycznego wklęsłego należy umieścić przedmiot, aby otrzymać obraz pozorny.

10. Podaj cechy obrazów otrzymywanych w zwierciadłach sferycznych wypukłych.

11. Omów zjawisko zachodzące podczas przechodzenia światła z powietrza do wody oraz z wody do powietrza.

12. Przedstaw na rysunkach bieg promieni równoległych do osi optycznej, przechodzących przez soczewkę skupiającą i rozpraszającą. Wskaż ognisko soczewek.

13. Wykonaj przykładową konstrukcję obrazu wytwarzanego przez soczewkę skupiającą. Podaj cechy otrzymanego obrazu.

14. Określ, w jakiej odległości od soczewki skupiającej należy umieścić przedmiot, aby otrzymać obraz pozorny.

15. Podaj cechy obrazów otrzymywanych w soczewkach rozpraszających.

16. Podaj przykłady zastosowań zwierciadeł oraz soczewek.

17. Wyjaśnij, na czym polegają krótkowzroczność i dalekowzroczność. Opisz rolę soczewek w korygowaniu tych wad wzroku.

18. Wyjaśnij, dlaczego światło słoneczne ulega rozszczepieniu w pryzmacie, a światło laserowe nie.

CZĘŚĆ 3A. *Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka*

Zadanie 1. Wskaż stwierdzenia prawdziwe.

① Ultradźwięki rozchodzą się w próżni.
② Fale elektromagnetyczne to przykład fal mechanicznych.
③ Prędkość dźwięku w powietrzu jest znacznie mniejsza od prędkości światła.
④ Prędkość światła w próżni wynosi $300\,000\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$.
⑤ Podczerwień i mikrofale zaliczamy do fal elektromagnetycznych.

Zadanie 2. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

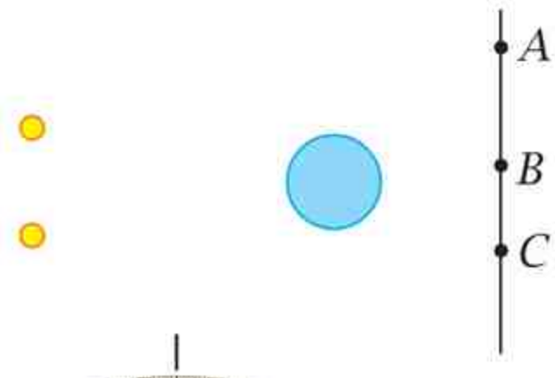
Najkrótszymi falami elektromagnetycznymi są promienie ***rentgenowskie/gamma****. Fale najdłuższe to* ***mikrofale/fale radiowe****. Najdłuższymi falami, które rejestruje ludzkie oko, jest światło o barwie* ***czerwonej/fioletowej****.*

Zadanie 3. Czerwone światło lasera ma długość fali 750 nm w próżni. Częstotliwość tej fali to:

A. $4 \cdot 10^8$ Hz **B.** $4 \cdot 10^{11}$ Hz **C.** $4 \cdot 10^{14}$ Hz **D.** $4 \cdot 10^{17}$ Hz

i $1\ \text{nm} = 10^{-9}\ \text{m}$

Zadanie 4. Na rysunku przedstawiono dwa niewielkie źródła światła oraz piłkę. Skorzystaj z linijki i uzupełnij zdania.



W cieniu piłki znajduje się punkt A/B/C, a w jej półcieniu punkt A/B/C. Przez dwa źródła światła jest oświetlony punkt A/B/C.

Zadanie 5. W sytuacji pokazanej na rysunku obok kąt odbicia wynosi:



A. 30° **B.** 60° **C.** 120° **D.** 150°

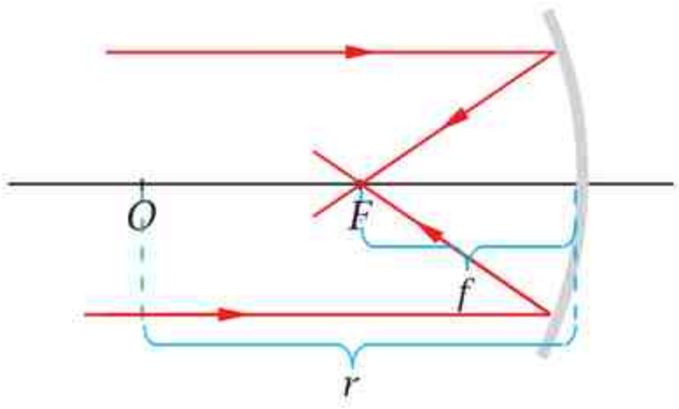
Zadanie 6. Wskaż zdania prawdziwe.

① Gdy promień światła pada na chropowatą powierzchnię, to kąt jego padania jest taki sam, jak kąt odbicia.

② W zwierciadle płaskim zawsze powstaje obraz rzeczywisty, odwrócony, tej samej wielkości co przedmiot.

③ Gdy do zwierciadła sferycznego wklęsłego będziemy zbliżać na przykład ołówek, to jego obraz zawsze będzie coraz większy.

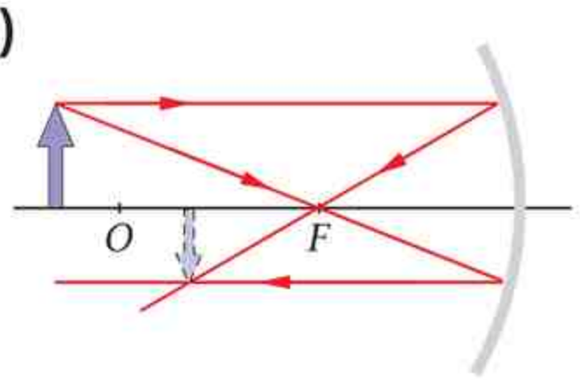
④ Obraz pozorny powstaje zawsze po drugiej stronie zwierciadła niż ta, po której znajduje się przedmiot.



Zadanie 7. Objaśnij symbole użyte na rysunku.

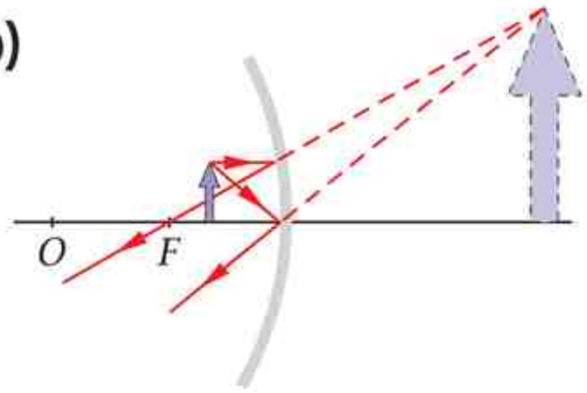
Zadanie 8. Podaj cechy obrazów otrzymanych w zwierciadłach.

a)



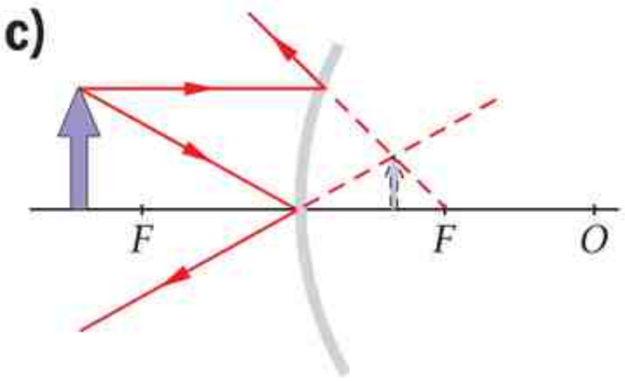
- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony*

b)



- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony*

c)



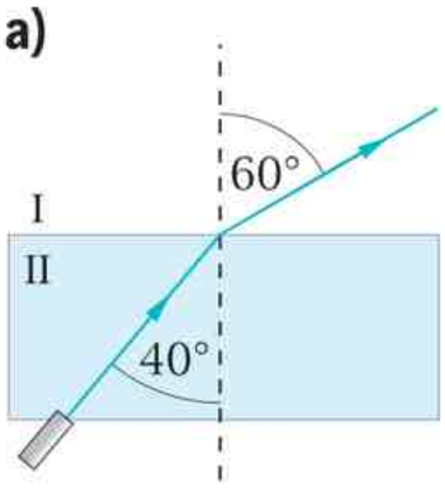
- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony*

Zadanie 9. Promień krzywizny zwierciadła sferycznego wklęsłego to 80 cm. Ogniskowa tego zwierciadła wynosi:

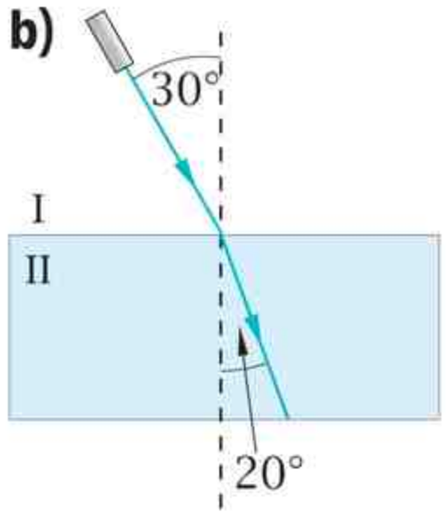
A. 160 cm **B.** 40 cm **C.** −160 cm **D.** −40 cm

Zadanie 10. Wskaż, w którym ośrodku światło rozchodzi się z większą prędkością.

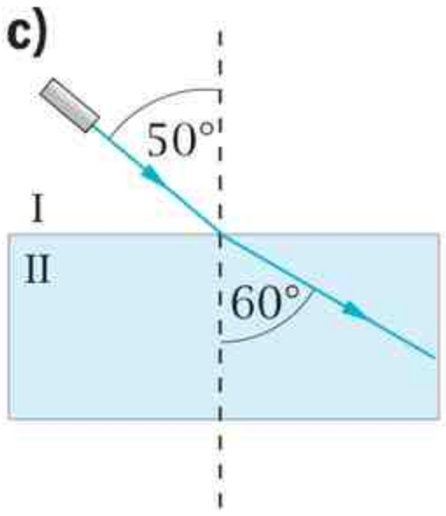
a)



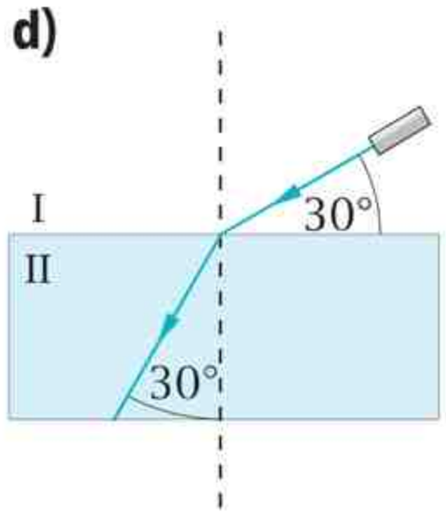
b)



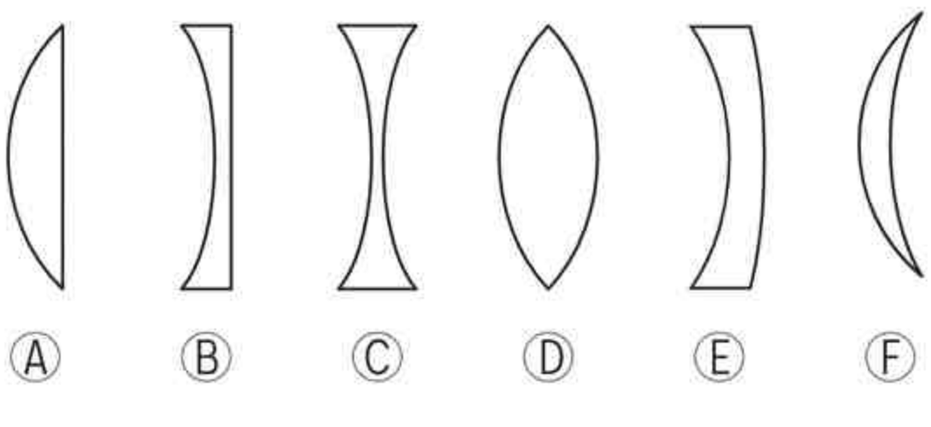
c)



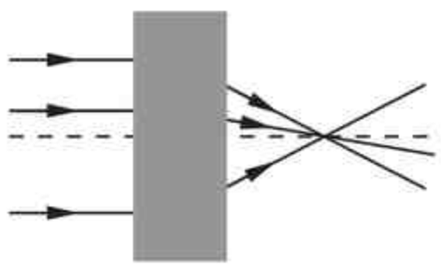
d)



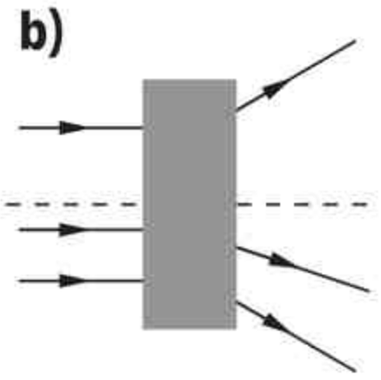
Zadanie 11. Wskaż wszystkie możliwe soczewki, które mogą być ukryte za szarymi prostokątami. Soczewki znajdują się w powietrzu.



a)

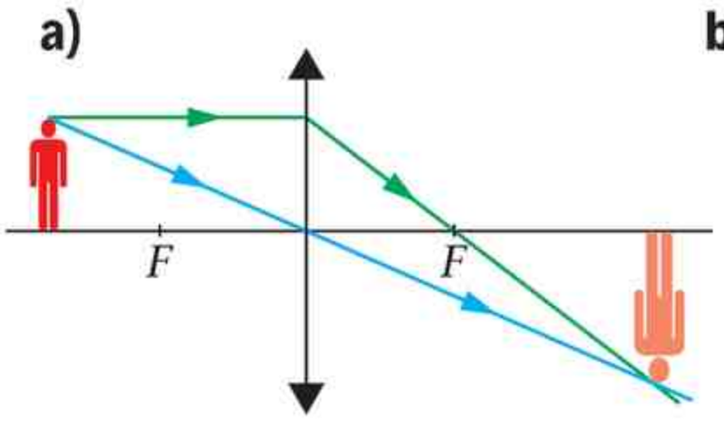


b)



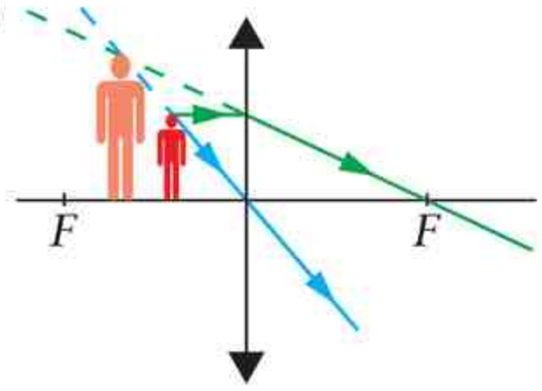
Zadanie 12. Podaj cechy obrazów otrzymanych w soczewkach.

a)



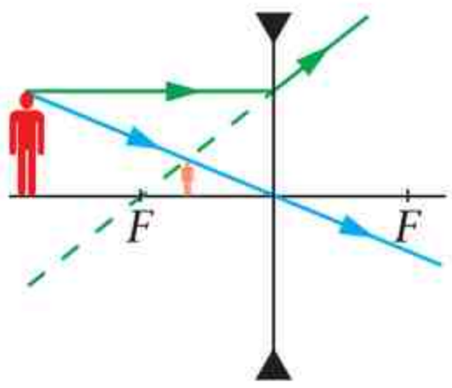
- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony / tego samego rozmiaru co przedmiot*

b)



- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony / tego samego rozmiaru co przedmiot*

c)



- *pozorny / rzeczywisty*
- *prosty / odwrócony*
- *pomniejszony / powiększony / tego samego rozmiaru co przedmiot*

Zadanie 13. Przyczyną rozszczepienia światła białego przy przejściu z powietrza do szkła jest:

A. różna prędkość rozchodzenia się w próżni fal świetlnych o różnej barwie,

B. różna prędkość rozchodzenia się w szkle fal świetlnych o różnej barwie,

C. większa prędkość rozchodzenia się światła w szkle niż w powietrzu.

CZĘŚĆ 3B. *Sprawdź, czy potrafisz. Trening*

Zadanie 1. Do podanych opisów (A–E) dopasuj rodzaje fal elektromagnetycznych (I–V).

A. Mają największą długość.
B. Są wytwarzane w lampach kwarcowych.
C. Są stosowane w diagnostyce złamań kości.
D. Są wykorzystywane w czujnikach ruchu.
E. Są najbardziej przenikliwe.

I. Promieniowanie nadfioletowe
II. Promieniowanie gamma
III. Fale radiowe
IV. Promieniowanie rentgenowskie
V. Podczerwień

Zadanie 2. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

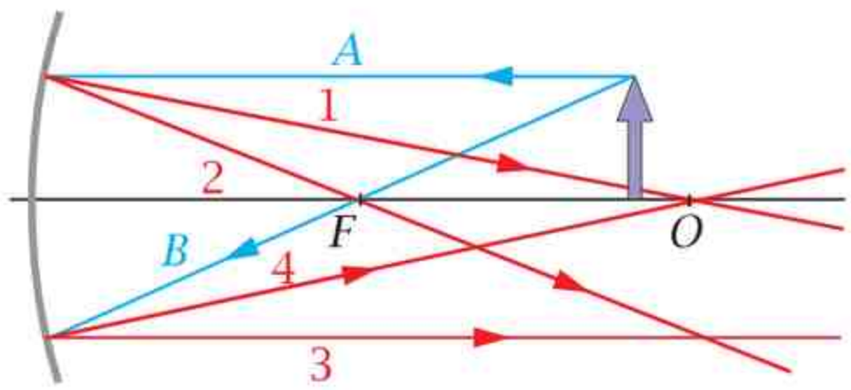
Na Ziemi częściowe zaćmienie Słońca obserwuje się w miejscach znajdujących się w ***cieniu/półcieniu*** *rzucanym przez* ***Słońce/Księżyc/Ziemię****. Podczas całkowitego zaćmienia Księżyca znajduje się on w* ***cieniu/półcieniu*** *rzucanym przez* ***Słońce/Księżyc/Ziemię****.*

Zadanie 3. W szklance z wodą umieszczono niezapaloną świecę. Poza szklanką postawiono drugą świecę i zapalono ją. W połowie odległości między świecami znajduje się szyba. Patrząc z odpowiedniej perspektywy, można otrzymać taki efekt, jak na zdjęciu obok. Wyjaśnij, dlaczego świeca w szklance wygląda, jakby była zapalona, choć wcale nie jest.



Zadanie 4. Na rysunku pokazano dwa promienie A i B (niebieskie linie) wychodzące z wierzchołka przedmiotu i padające na zwierciadło sferyczne wklęsłe.

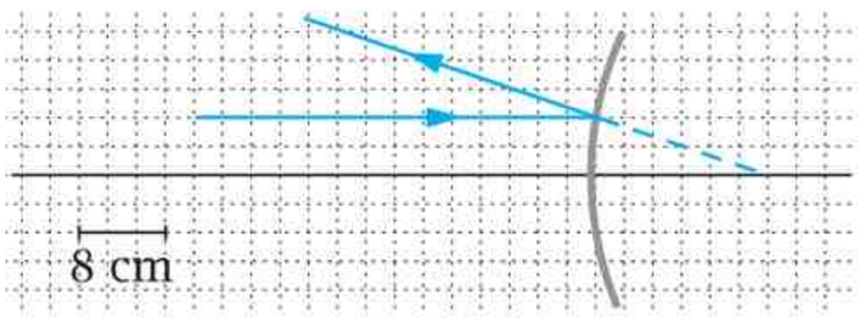
a) Która z linii (1 czy 2) przedstawia dalszy bieg promienia A po odbiciu od zwierciadła?
b) Która z linii (3 czy 4) przedstawia dalszy bieg promienia B po odbiciu od zwierciadła?
c) Podaj cechy otrzymanego obrazu.



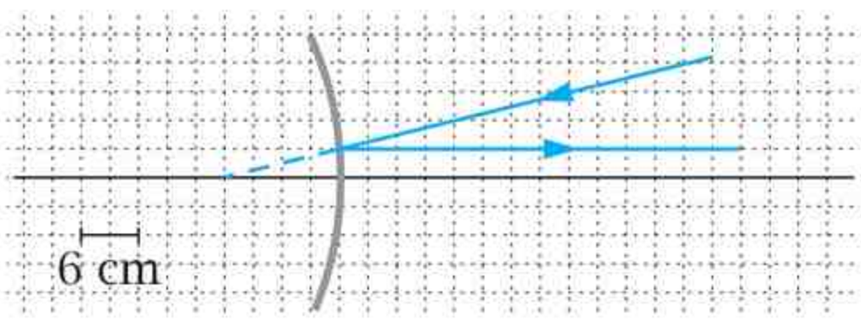
Zadanie 5. Przed zwierciadłem sferycznym wklęsłym o ogniskowej 4 cm umieszczono przedmiot. Wysokość przedmiotu wynosi 1 cm, a jego odległość od środka czaszy zwierciadła 6 cm. Narysuj w zeszycie obraz przedmiotu. Podaj cechy otrzymanego obrazu.

Zadanie 6. Wyznacz promienie krzywizny i ogniskowe poniższych zwierciadeł.

a)



b)

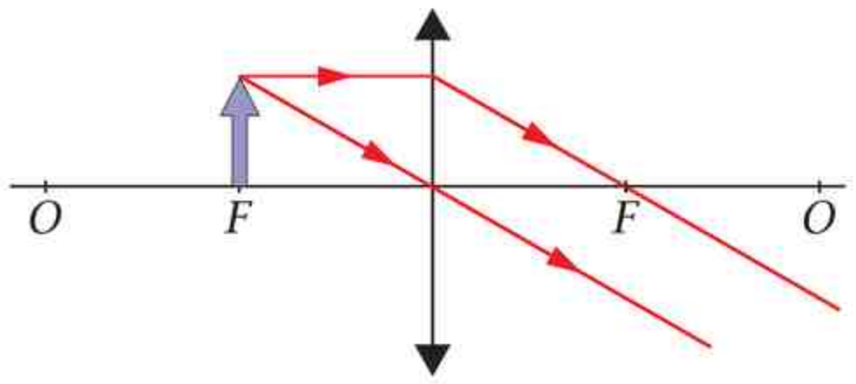


Zadanie 7. Światło o barwie fioletowej ma długość fali w powietrzu równą 400 nm. Jaka będzie długość tej fali po przejściu do wody, jeśli prędkość światła w wodzie jest około 1,3 razy mniejsza niż w powietrzu? Wiadomo, że częstotliwość fali nie zmienia się, gdy fala przechodzi z jednego ośrodka do drugiego.

Zadanie 8. Biegnące w powietrzu światło lasera pada na powierzchnię cieczy pod kątem 30°. Gdy tą cieczą jest olej, kąt załamania wynosi 19°, gdy kwas octowy — 21°, a gdy woda — 22°. W którym z wymienionych ośrodków prędkość światła jest najmniejsza?

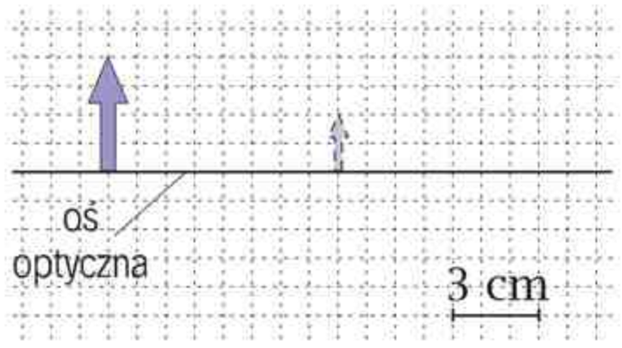
A. w kwasie octowym
B. w wodzie
C. w oleju
D. w powietrzu

Zadanie 9. Przedmiot umieszczono przed soczewką skupiającą w jej ognisku tak, jak pokazano na rysunku. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



Jeśli przedmiot oddalimy od soczewki, to powstanie obraz ***pozorny/rzeczywisty*** *i będzie on* ***odwrócony/prosty****. Gdy przedmiot znajdzie się w punkcie O, to obraz będzie miał wysokość* ***mniejszą/większą/taką samą*** *jak przedmiot.*

Zadanie 10. Na rysunku przedstawiono przedmiot i jego obraz otrzymany za pomocą soczewki rozpraszającej.



a) Która ze strzałek to przedmiot? Uzasadnij odpowiedź.
b) Podaj cechy otrzymanego obrazu.
c) W jakiej odległości od przedmiotu znajduje się soczewka i jaka jest jej ogniskowa?

Zadanie 11. Na zdjęciu widać obrazy wytworzone w soczewkach okularowych. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.



Soczewki okularów są ***skupiające/rozpraszające****, ponieważ obrazy w nich wytworzone są* ***proste/odwrócone*** *oraz* ***pomniejszone/powiększone****. Takim rodzajem soczewek koryguje się* ***krótkowzroczność/dalekowzroczność****. Przy tej wadzie wzroku obraz w oku powstaje* ***przed/za*** *siatkówką.*

Zadanie 12. Wybierz poprawne uzupełnienia zdań.

W pryzmacie można rozszczepić światło wysyłane przez ***żarówkę/laser****, ponieważ jest ono światłem* ***monochromatycznym/składającym się z fal o różnych długościach****. Promień światła czerwonego, przechodząc przez pryzmat, załamuje się* ***bardziej/mniej*** *niż tak samo padający na pryzmat promień światła fioletowego.*



Czwarty Festiwal Fizyki

Podsumujcie eksperymentalnie zagadnienia dotyczące drgań, fal i optyki. Może uda się wam powtórzyć i urozmaicić niektóre z festiwalowych doświadczeń w czasie wakacji? Spróbujcie przy okazji wyjaśnić obserwowane zjawiska waszym bliskim i znajomym. Najlepsza metoda, by nauczyć się fizyki, to wytłumaczyć ją komuś innemu!

Doświadczenia:

1. Powracająca dźwignia
2. Weź i oddaj
3. Balonowy trzmiel
4. Dźwięk w słoiku
5. Odwrócenie przez zwężenie
6. Odwrócenie przez odbicie
7. Pan tu nie siedział!
8. Tęcza z wody

1 Powracająca dźwignia

DOŚWIADCZENIE

listewka o długości około 50 cm

listewka o długości około 20 cm



2 tekturowe rolki po taśmie naprawczej



taśma klejąca

- Rolki przyklejcie do blatu taśmą klejącą tak, aby nie mogły się toczyć.
- Dłuższą listewkę połóżcie poziomo na rolce tak, by oba końce wystające poza rolkę były równej długości (zob. fotografia).
- W taki sam sposób połóżcie krótszą listewkę na drugiej rolce.
- Listewki wychylcie lekko z położenia równowagi, puśćcie i obserwujcie ich zachowanie.

Uwaga. Zamiast rolek można użyć identycznych okrągłych przedmiotów. Jeśli są za śliskie, należy okleić je papierem.



Dlaczego listewka po wychyleniu wraca do położenia równowagi? Jak zmienia się amplituda drgań? Jak zmieniają się formy energii w tym ruchu? Czy częstotliwość drgań obu listewek jest taka sama? Jak zmieni się częstotliwość drgań listewki, jeśli obciążymy jej końce plasteliną?

2 Weź i oddaj

DOŚWIADCZENIE



3 jabłka z ogonkami



sznurek



3 klamerki do zawieszania prania

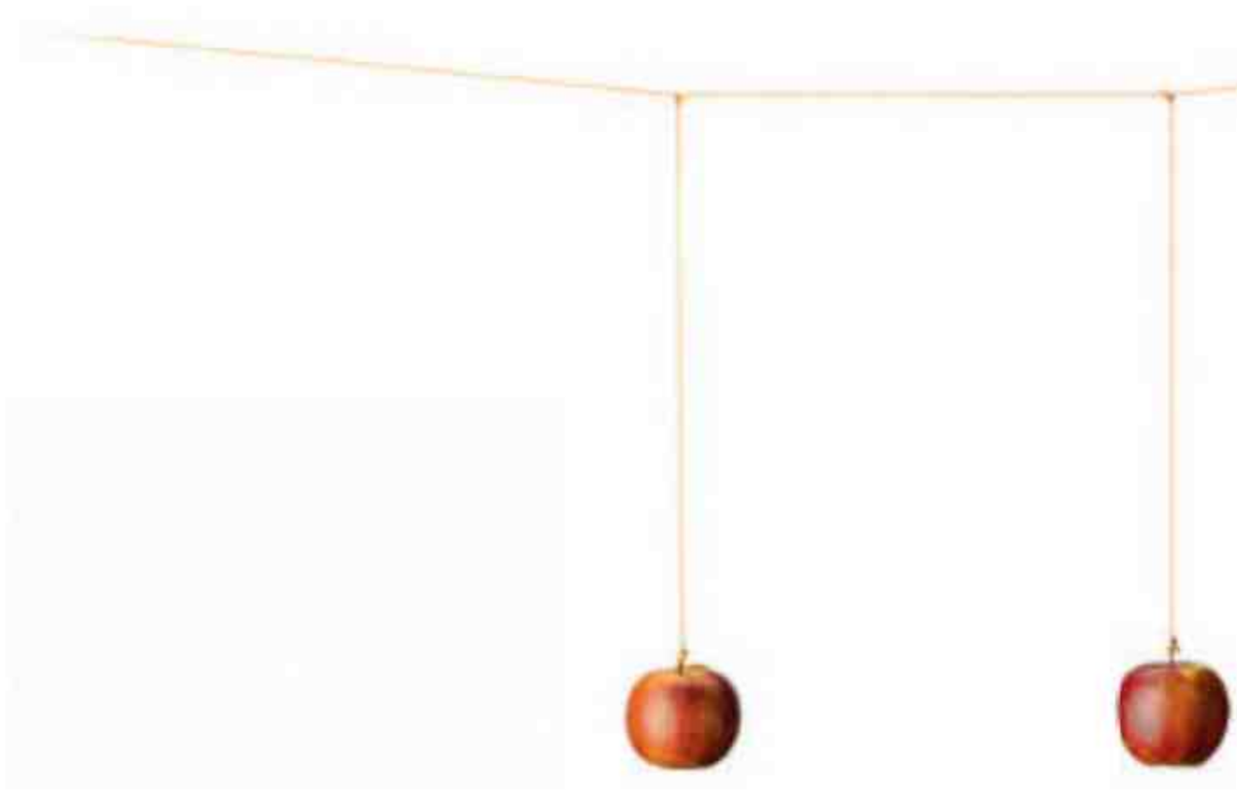


2 krzesła



taśma miernicza

- Do ogonka każdego jabłka przywiążcie sznurek długości około 70 cm.
- Krzesła ustawcie oparciami do siebie w odległości około 1 m i obciążcie.
- Między oparciami krzeseł rozciągnijcie sznurek i przywiążcie go.
- Do sznurka przymocujcie, w odległości około 30 cm od oparcia, sznurek z pierwszym jabłkiem – jego koniec owińcie kilka razy wokół sznurka rozciągniętego między krzesłami i, jeśli trzeba, zablokujcie klamerką.
- W ten sam sposób przymocujcie drugie jabłko w odległości około 30 cm od oparcia drugiego krzesła. Długości obu wahadeł powinny być takie same (zob. fotografia).
- Wychylcie i puśćcie jedno jabłko. Obserwujcie zachowanie obu jabłek.
- Urozmaićcie układ, dodając pośrodku trzecie jabłkowe wahadło o tej samej długości. Ponownie wychylcie i puśćcie tylko jedno jabłko – raz skrajne, a następnym razem środkowe. Obserwujcie zachowania jabłek.



Jak się zmieniają drgania wahadeł? Czy energia pojedynczego wahadła jest zachowana? W jaki sposób wahadła przekazują sobie energię? Jak zachowują się wahadła, jeśli mają różne długości?

3 Balonowy trzmiel

DOŚWIADCZENIE



2 balony



moneta 5 zł



moneta 5 gr

- Do pierwszego balonu włóżcie monetę 5 zł, nadmuchajcie balon i go zawiążcie.
- Nadmuchajcie i zawiążcie drugi balon po włożeniu do niego monety 5 gr. Oba balony powinny być zbliżonych rozmiarów.
- Każdym balonem poruszajcie tak, by znajdująca się w nim moneta zaczęła krążyć po wewnętrznej powierzchni balonu.
- Spróbujcie wprawić monety w ruch w poziomie, a następnie w pionie. Przyśpieszajcie i zwalniajcie ruch monet. Przysłuchujcie się powstającym dźwiękom.



Jak powstaje dźwięk w balonie z krążącą monetą? Jak zmienia się jego wysokość? Czy wysokość dźwięku zależy od wielkości użytej monety? A od wielkości nadmuchanego balonu?

4 Dźwięk w słoiku

DOŚWIADCZENIE



6 dużych jednakowych słoików



metalowa łyżka



drewniana łyżka



tabletka musująca



woda

- Do słoików wlejcie wodę, do pierwszego – prawie do pełna, do kolejnych – coraz mniej (zob. fotografia).
- Lekko uderzajcie w ścianki słoików łyżkami. Zwiększając lub zmniejszając poziom wody w słoikach, możecie je dostroić i zagrać prostą melodię.

- Dwa słoiki napełnijcie wodą do tej samej wysokości.
- Uderzając łyżką, sprawdźcie, czy wydają taki sam dźwięk.
- Do jednego z tych słoików wrzućcie tabletkę musującą.
- Porównajcie dźwięk wydawany przy uderzaniu słoika z tabletką i bez.



Jak wysokość dźwięku zależy od wysokości słupa wody w słoiku? Czy dźwięk istotnie zależy od tego, czy uderzacie w słoik metalową łyżką czy drewnianą? Czy dwa słoiki o różnej średnicy, ale wypełnione wodą do tej samej wysokości, wydają taki sam dźwięk? Jak wyjaśnić efekt obserwowany po wrzuceniu do wody tabletki musującej?

5 Odwrócenie przez zwężenie

DOŚWIADCZENIE


tekturowe pudełko


folia aluminiowa


igła

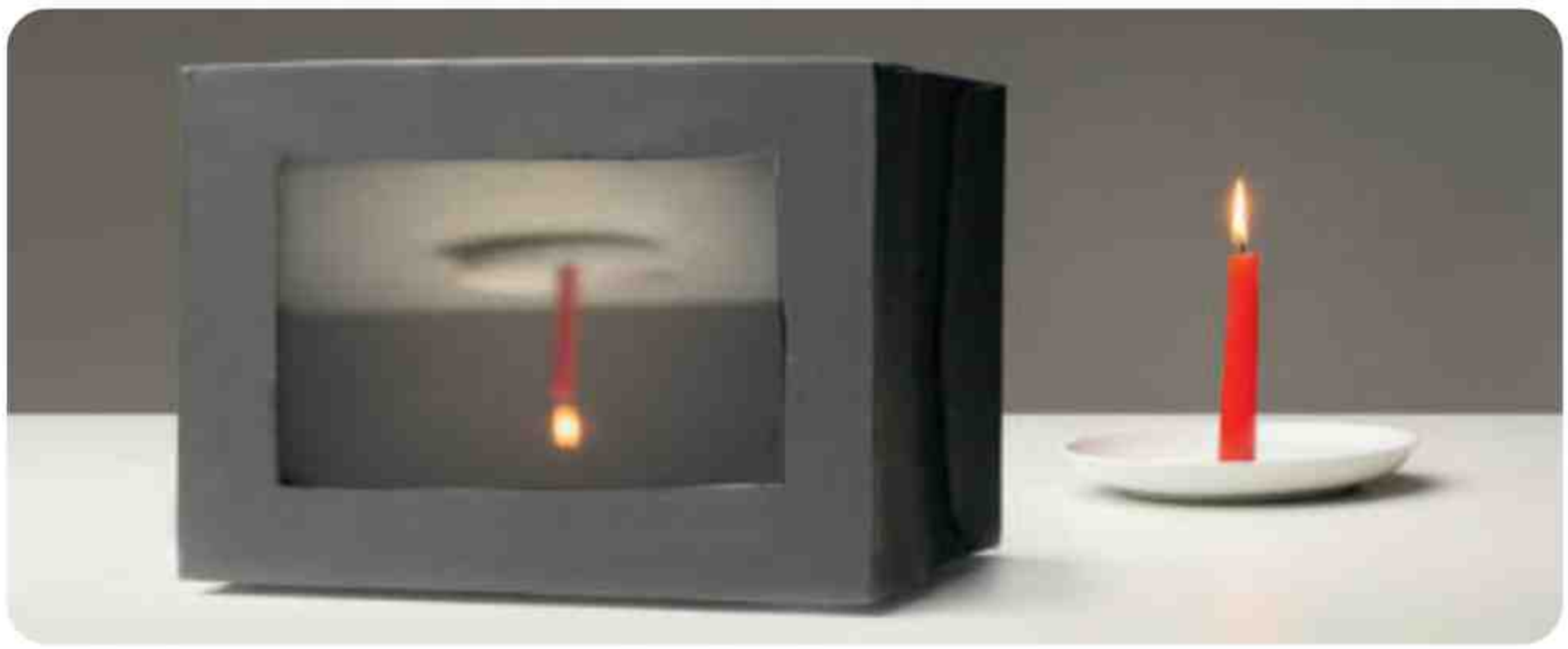

cienki papier śniadaniowy


nożyk


taśma klejąca


świeczka i inne źródła światła

- Pośrodku największej ściany pudełka wytnijcie kwadrat o wymiarach 4 cm x 4 cm. Zaklejcie go folią aluminiową, a igłą zróbcie w folii otwór.
- W przeciwległej ścianie pudełka wytnijcie prostokąt niewiele mniejszy niż arkusz cienkiego papieru. Ten duży otwór zaklejcie papierem.
- W zaciemnionym pomieszczeniu zapalcie świeczkę. W odległości około 20 cm od świeczki ustawcie pudełko zwrócone do niej otworem w folii aluminiowej. Obserwujcie obraz powstający na papierze.
- Oddalajcie i zbliżajcie pudełko do świeczki, przesuwajcie je na boki. Jeśli obraz na papierze jest za słabo widoczny, to zaciemnijcie jeszcze bardziej pomieszczenie.
- Ustawcie obok świeczki asymetrycznie dwa inne źródła światła i obserwujcie ich obraz. Przesuwajcie pudełko w lewo i w prawo, w górę i w dół.
- Następnie powróćcie do obserwacji tylko jednego źródła światła, ale w jej trakcie róbcie kolejne otwory w folii i obserwujcie obraz na papierze.



Jakiego rodzaju obraz obserwujecie na cienkim papierze? Czy obraz zależy od kształtu lub rozmiaru otworu w folii? Jak obraz zależy od odległości pudełka od źródła światła? Co się zmienia, gdy zwiększacie liczbę otworów? Czy na obrazie trzy źródła są ustawione tak jak w rzeczywistości?

6 Odwrócenie przez odbicie

DOŚWIADCZENIE



lustro kosmetyczne dwukrotnie powiększające



tekturowe opakowanie



woda

- Na tle małego okna w dość ciemnym pomieszczeniu umieśćcie kilka różnych przedmiotów tak, by lewa strona różniła się od prawej.
- W odległości około 2 m od okna ustawcie pionowo, ukośnie w stosunku do okna, tekturowe opakowanie, które będzie służyć za ekran.
- Jeszcze dalej od okna, w odległości około 50 cm od ekranu, umieśćcie lustro tak, by obraz okna pojawił się na ekranie. Przesuwajcie lustro tak, by obraz stał się ostry.
- Jedna z osób niech stanie przy oknie i powoli pomacha ręką na jego tle.





Jakie są cechy obrazu na ekranie? Jak przesunąć ekran po odsunięciu lustra, by obraz znowu był ostry? Czy można uzyskać taki obraz za pomocą płaskiego lustra? Jak poruszają się obrazy przedmiotów, gdy przechylacie lustro?

7 Pan tu nie siedział!

DOŚWIADCZENIE



szklanka



kartka



flamaster



woda

- Na kartce narysujcie dwie postacie siedzące naprzeciw siebie na krzesłach.
- Kartkę ustawcie pionowo na stole, opierając o coś.
- Przed kartką postawcie pustą szklankę tak, by było przez nią widać cały rysunek.
- Obserwując rysunek, przesuwajcie szklankę trochę w lewo i w prawo.
- Nalejcie do szklanki wody, cały czas obserwując przez szklankę rysunek.
- Przesuwajcie szklankę z wodą na boki.



Jak zmienia się obraz rysunku podczas nalewania wody? Jak przesuwa się obraz, gdy poruszacie na boki pustą szklanką, a jak – gdy szklanką z wodą? Co by było, gdyby zamiast wody użyć oleju? Co by było, gdyby użyć naczynia o większej średnicy?

8 Tęcza z wody

DOŚWIADCZENIE



płaskie lusterko



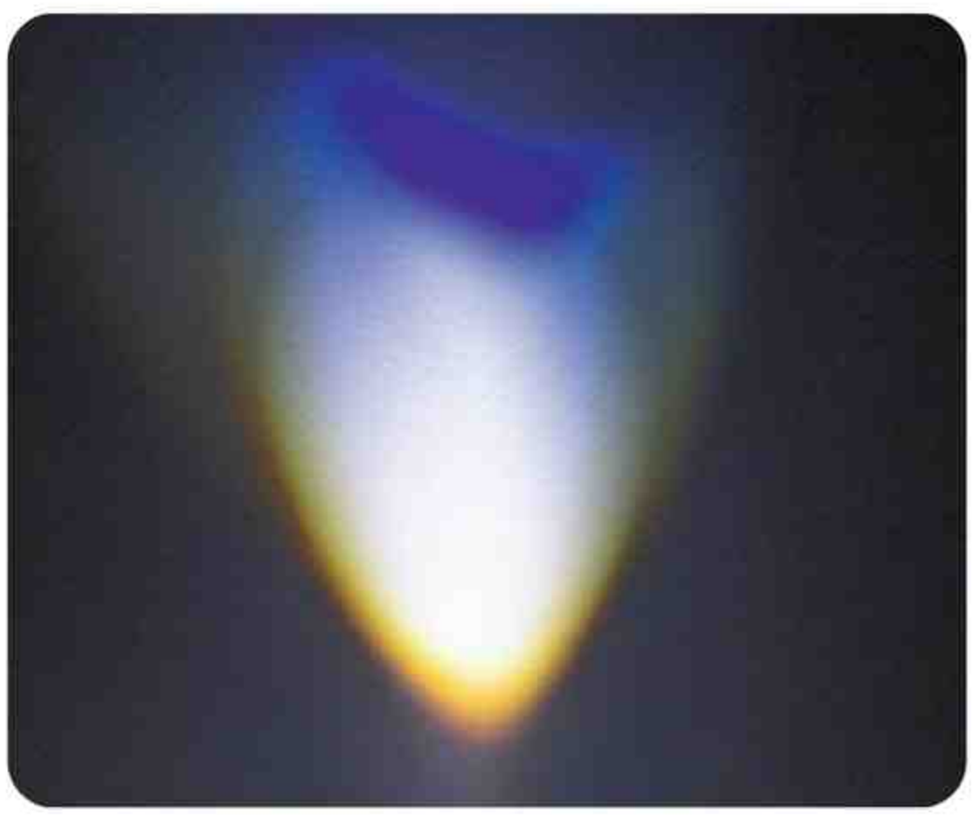
szklany pojemnik o głębokości około 5 cm



latarka

- Napełnijcie pojemnik wodą, prawie do pełna.
- Zanurzcie w wodzie lusterko i oprzyjcie je o krawędź pojemnika lub o jego ściankę. Powierzchnia lusterka powinna być ustawiona pod kątem (zob. fotografia).
- Zaciemnijcie pomieszczenie.
- Włączcie latarkę i skierujcie snop światła na zanurzoną część lusterka. Snop światła powinien być prawie poziomy i przechodzić tuż nad krawędzią pojemnika, która znajduje się naprzeciw lusterka.
- Obserwujcie odbicia na ścianie naprzeciw lusterka. Jeśli nie widać kolorów, zmieniajcie nieznacznie ustawienie latarki. Gdy to nie pomaga, zmieniajcie lekko nachylenie lusterka w wodzie, ale po każdej zmianie poczekajcie, aż woda się uspokoi.





Gdzie pada odbite światło, które nie przechodzi przez wodę? Jakiego koloru jest światło latarki? Jakie kolory widać w odbiciu światła od lusterka w wodzie? Czy efekt jest widoczny po zastąpieniu latarki lampką biurową?



Co jeszcze przed tobą...

Mamy nadzieję, że podczas nauki fizyki zaciekawiło cię badanie świata i zachodzących w nim procesów. Znasz już podstawowe zjawiska, pojęcia, wielkości i prawa fizyczne. Do zrozumienia wielu kolejnych zjawisk wystarczy ci zdobyta już wiedza i umiejętności. Ale nie zawsze tak będzie. Fizyka jest „grą" znacznie bardziej rozbudowaną. Na kolejnych stronach skrótowo przedstawiamy, czego z fizyki możesz się jeszcze dowiedzieć podczas dalszej edukacji.

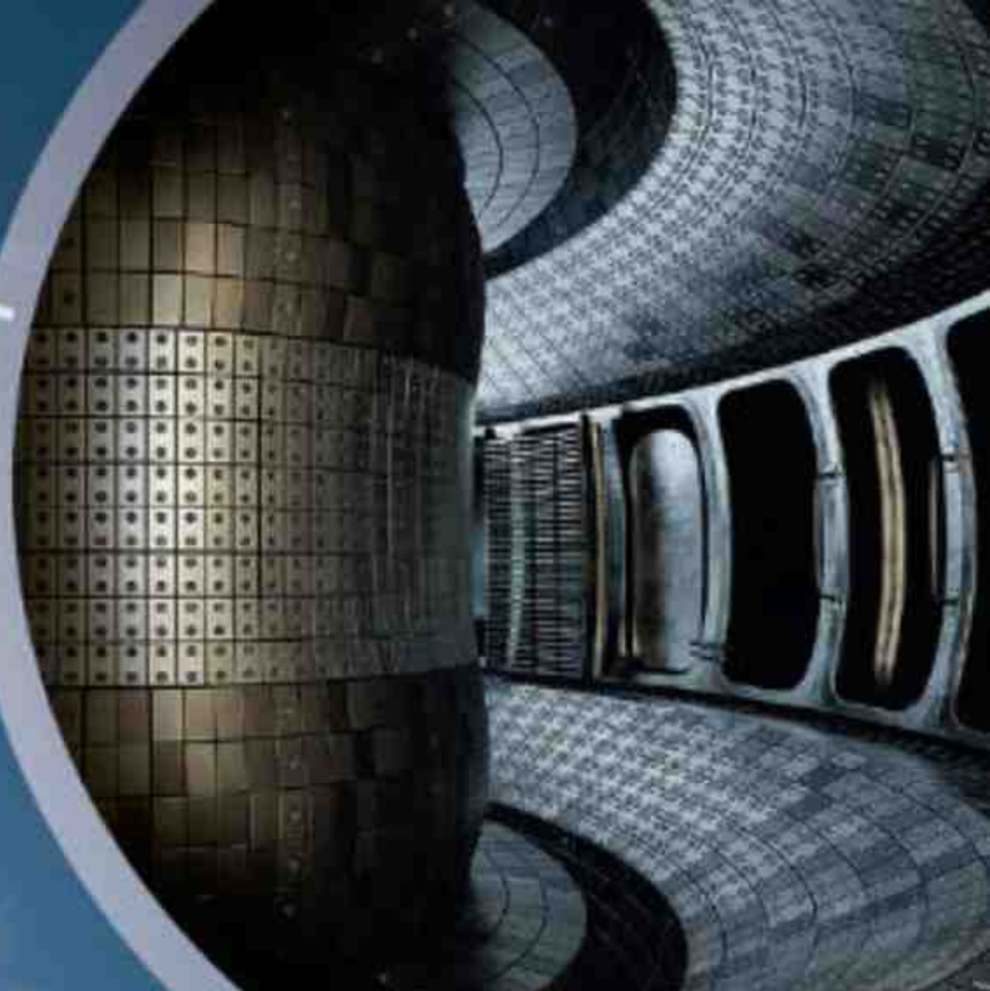
Fizyka zajmuje się badaniem wszystkiego, począwszy od tego co największe – powstanie Wszechświata, działanie gwiazd, ruchy planet, po najmniejsze – atomy, jądra atomowe i cząstki elementarne, takie jak elektrony. To, co jest niezmienne w fizyce, to użycie metody naukowej – wszystkie wyjaśnienia zjawisk są sprawdzane doświadczalnie. Dzięki temu zbliżamy się do coraz lepszego zrozumienia rzeczywistości.

Fizyka to przygoda, której celem jest zrozumienie świata. A zaczyna się ona od zaciekawienia i od najprostszych pytań: *Dlaczego tak się dzieje? Co się stanie, gdy coś zmienimy?* Życzymy, by zawsze towarzyszyła ci ciekawość świata i radość z odkrywania jego tajemnic!

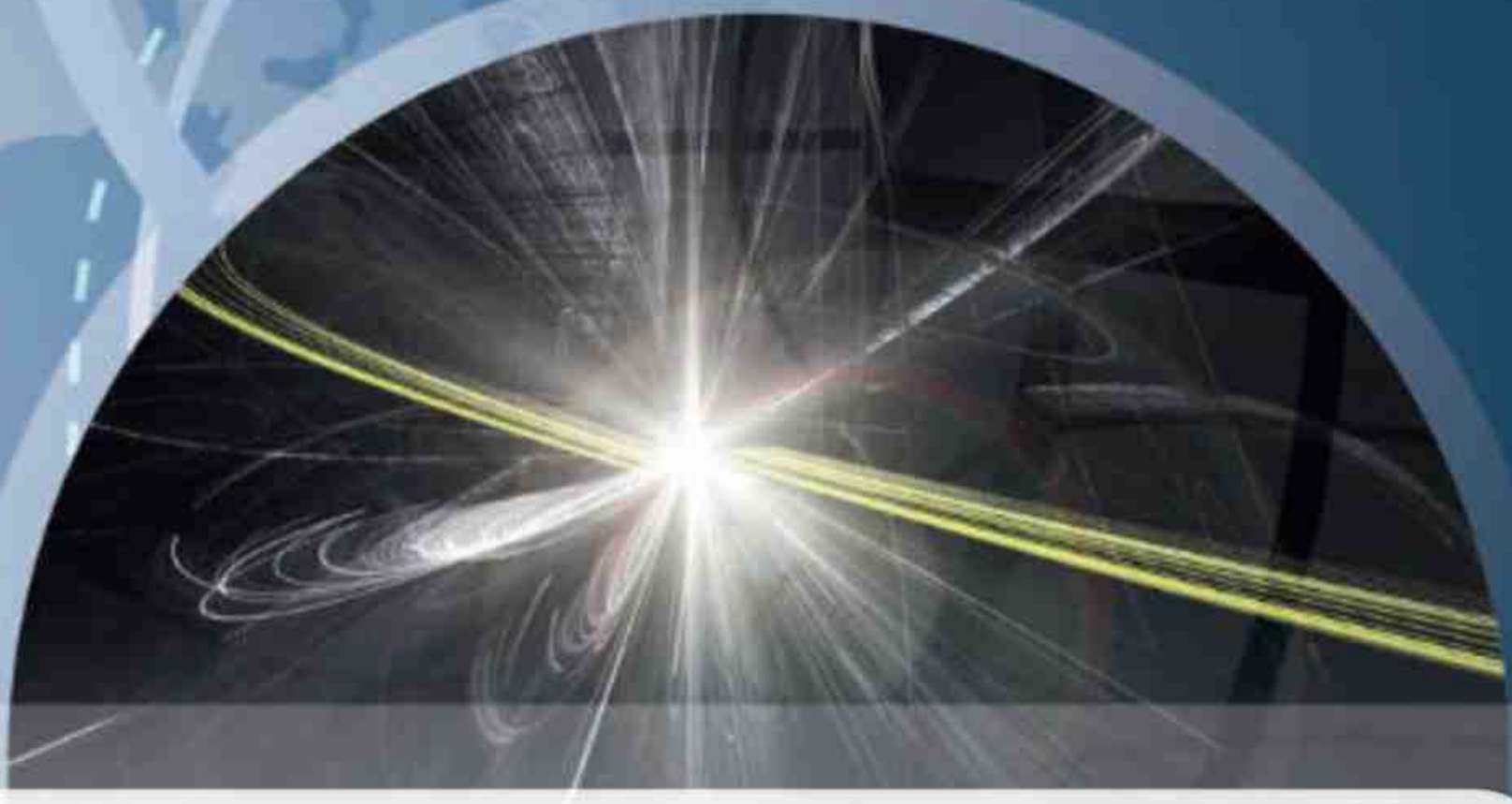


- Co powoduje, że ciało porusza się po okręgu?
- Dlaczego przyśpieszenie grawitacyjne na Ziemi to około 9,8 $\frac{m}{s^2}$, a na Księżycu – około 1,6 $\frac{m}{s^2}$?
- Jak jest zbudowany Układ Słoneczny i gdzie jest jego miejsce w Galaktyce?
- Czym jest zjawisko „ucieczki galaktyk” i w jaki sposób pozwala określić przybliżony wiek Wszechświata?
- Jak zachowują się ciała podczas zderzeń oraz w ruchu obrotowym?
- Jaka jest zależność między temperaturą, objętością i ciśnieniem gazu?
- Jak obliczyć wartość siły wzajemnego oddziaływania dwóch ładunków elektrycznych?
- Jaką funkcję ma dioda, a jaką tranzystor w obwodzie elektrycznym?
- Jak wyznaczyć siły działające na przewód z prądem w polu magnetycznym?
- W jaki sposób ziemskie pole magnetyczne osłania nas przed wiatrem słonecznym?
- Skąd się bierze zorza polarna?
- Jak wytwarzany jest prąd w generatorach elektrycznych?
- Do czego służy transformator?
- W jaki sposób zachowują się fale trafiające na przeszkodę (zjawisko dyfrakcji fal)?
- Jak się zmienia fala, gdy jej źródło się porusza (efekt Dopplera)?









- W jaki sposób działają radary policyjne oraz aparaty USG pozwalające mierzyć prędkość przepływu krwi?
- Jak zachowują się dwie nachodzące na siebie fale?
- Na czym polega zjawisko polaryzacji światła?
- Jak promieniuje ciało w zależności od jego temperatury?
- Czy światło składa się z cząstek?
- Czym zajmuje się fizyka kwantowa?
- Na czym polega zjawisko skwantowania?
- Skąd wiemy, z jakich pierwiastków składają się odległe gwiazdy?
- Czym zajmuje się fizyka jądrowa?
- Do czego archeolodzy wykorzystują wiedzę o rozpadzie promieniotwórczych jąder atomowych?
- Na czym polega zjawisko zamiany masy w energię?
- Na czym opiera się działanie elektrowni i bomb jądrowych?
- Skąd Słońce czerpie energię?
- Jak ewoluują gwiazdy?
- Czy energia może zamienić się w masę?

Czas na dyskusję!

Gdyby cała wiedza naukowa miała zginąć w kataklizmie i moglibyśmy zachować tylko jedno zdanie, to jakie zdanie zawierałoby najwięcej informacji przy użyciu najmniejszej liczby słów? Według mnie takie: ***Wszystko składa się z bezustannie się poruszających małych drobin, przyciągających się, gdy są trochę oddalane, oraz odpychających się, gdy są ściskane.*** *Dzięki tej informacji można już bardzo dużo zrozumieć, potrzeba tylko trochę wyobraźni i myślenia.*

R. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands, przekład własny,
The Feynman Lectures on Physics, vol. I, Reading, 2005.

Podyskutujcie, które z poznanych zjawisk można łatwo zrozumieć dzięki tej informacji.



Jak myślisz?

- Co najbardziej podobało ci się w nauce fizyki?
- Co z nauki fizyki przyda ci się, nawet jeśli nie będziesz zajmować się nią zawodowo?
- Czy w fizyce jest jeszcze coś do odkrycia?



Fizyka na wesoło...

Fizyk podczas przeprowadzania doświadczenia przed publicznością:
— Teraz widzicie, że nic nie widać. A dlaczego nic nie widać, to zaraz zobaczycie.



Ciepła właściwe niektórych substancji $\left[\frac{J}{kg \cdot °C}\right]$

ołów, złoto	130	olej słonecznikowy	1900
miedź	380	para wodna (110°C, gaz)	2000
żelazo	450	lód (−5°C)	2000
piasek, beton	800	benzyna	2100
bazalt	900	etanol	2400
powietrze (gaz)	1000	woda	4200
styropian, polistyren, cukier	1200	hel (gaz)	5200
papier, drewno dębu, guma	1500	wodór (gaz)	14 000

i Jeśli nie podano inaczej, wartość określono dla temperatury 20°C, pod ciśnieniem 1000 hPa.

Przedrostki

Nazwa	Skrót	Wartość	Przykład
tera-	T	$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	1 teraom = 1 000 000 000 000 omów
giga-	G	$1\,000\,000\,000 = 10^{9}$	1 gigawat = 1 000 000 000 watów
mega-	M	$1\,000\,000 = 10^{6}$	1 megadżul = 1 000 000 dżuli
kilo-	k	$1000 = 10^{3}$	1 kiloherc = 1000 herców
hekto-	h	$100 = 10^{2}$	1 hektolitr = 100 litrów
deka-	da	$10 = 10^{1}$	1 dekagram = 10 gramów
decy-	d	$0{,}1 = 10^{-1}$	1 decymetr = 0,1 metra
centy-	c	$0{,}01 = 10^{-2}$	1 centymetr = 0,01 metra
mili-	m	$0{,}001 = 10^{-3}$	1 miliamper = 0,001 ampera
mikro-	μ	$0{,}000001 = 10^{-6}$	1 mikrokulomb = 0,000001 kulomba
nano-	n	$0{,}000000001 = 10^{-9}$	1 nanometr = 0,000000001 metra
piko-	p	$0{,}000000000001 = 10^{-12}$	1 pikometr = 0,000000000001 metra

Podstawowe wzory

Wielkość	Jednostka	Wzór	Składowe wzoru
ZJAWISKA CIEPLNE			
Zmiana energii wewnętrznej	J, dżul	$\textbf{zmiana } E_w = Q + W$	Q — przekazane ciepło [J] W — wykonana praca [J]
Ciepło właściwe ciała	$\frac{J}{kg \cdot °C}$	$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$	Q — ciepło dostarczone ciału [J] m — masa ciała [kg] ΔT — zmiana temperatury ciała [°C]

Wielkość	Jednostka	Wzór	Składowe wzoru
ELEKTRYCZNOŚĆ			
Ładunek ciała	C, kulomb	$q = n \cdot e$	n — liczba całkowita e — ładunek elementarny [C]
Natężenie prądu	A, amper $1\ \text{A} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{s}}$	$I = \frac{q}{t}$	q — ładunek [C] t — czas [s]
Napięcie elektryczne	V, wolt $1\ \text{V} = \frac{1\ \text{J}}{1\ \text{C}}$	$U = \frac{E}{q} = \frac{W}{q}$	E — przekazana/oddana energia [J] W — praca prądu [J] q — ładunek [C]
Opór	Ω, om $1\ \Omega = \frac{1\ \text{V}}{1\ \text{A}}$	$R = \frac{U}{I}$	U — napięcie [V] I — natężenie [A]
Moc źródła prądu (odbiornika energii elektrycznej)	W, wat	$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$	W — praca prądu [J] t — czas [s] U — napięcie [V] I — natężenie prądu [A]
DRGANIA I FALE			
Okres drgań	s	$T = \frac{t}{n}$	t — czas [s] n — liczba cykli
Częstotliwość	Hz, herc $1\ \text{Hz} = 1\ \frac{1}{\text{s}}$	$f = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$	n — liczba cykli t — czas [s] T — okres [s]
Prędkość fali	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	$v = \frac{s}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$	s — droga [m] t — czas [s] λ — długość fali [m] T — okres [s] f — częstotliwość [Hz]
OPTYKA			
Długość fali	m	$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{f}$	v — prędkość fali $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$ c — prędkość światła $[\frac{\text{m}}{\text{s}}]$ f — częstotliwość [Hz]
Ogniskowa	m	$f = \frac{r}{2}$	r — promień krzywizny zwierciadła [m]

Przydatne wartości

- ładunek elementarny: $e \approx 1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}$
- prędkość światła w próżni: $c \approx 3 \cdot 10^{8}\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- $1\ \text{kWh} = 3\,600\,000\ \text{J} = 3\,600\ \text{kJ} = 3{,}6\ \text{MJ}$

Skorowidz

akomodacja 241
amper 79, 108
amperomierz 80, 92
amplituda 157, 175, 186
atom 53, 108

bezpiecznik przeciążeniowy 98, 102
biegun magnetyczny 115, 117, 120, 140
budowa oka 241

cień 199–200
ciepło 11–12, 16, 44
ciepło właściwe 27–29, 45
Coulomb Charles 59
cykl (drganie) 158
częstotliwość 159, 175, 186

dalekowzroczność 241–242
decybel 180
długość fali elektromagnetycznej 193, 254
długość fali mechanicznej 175, 186
domeny magnetyczne 118
dynamo 84, 100, 137
dźwięki słyszalne 182–183, 186

echolokacja 182–183
elektromagnes 128–130, 140
elektron 53, 59, 108
elektroskop 58, 63–64, 108
elektryzowanie 53–55, 57, 70, 108
energia potencjalna sprężystości 162–163
energia wewnętrzna 15–18, 45

fala dźwiękowa (dźwięk) 174, 179, 182–183, 186, 193
fala elektromagnetyczna 193–195, 254
fala mechaniczna 173, 175, 186, 193
fale radiowe 194
ferromagnetyki 117–118, 140
figury Chladniego 155

generator elektryczny 100
głośność dźwięku 180, 186

herc 159, 186

igła magnetyczna 117–119, 141
indukcja elektromagnetyczna 137–138
indukcja elektrostatyczna 70, 109
infradźwięki 182–183, 186
izolator cieplny 22, 24
izolator elektryczny 64–66, 109

jon 59, 65, 108

kąt odbicia 204, 255
kąt padania 204, 226, 255
kelwin 12, 45
kilowatogodzina 104, 109
komin termiczny 9
kompas 115, 117, 140
komutator 134
konwekcja 23, 45
krążek Newtona 251
krótkowzroczność 241–242
krzepnięcie 37, 40, 44–45
kuchenka solarna 212, 222
kula plazmowa 51
kulomb 59

ładunek elektryczny 53–54, 60, 108
ładunek elementarny 59, 109
łączenie równoległe 85, 97
łączenie szeregowe 80, 96
Łukasiewicz Ignacy 198

magnes 117, 119, 122, 140
Mgławica Krab 197
mikrofale 194
mikroskop 246
moc prądu 103, 109

nadprzewodniki 67
napięcie elektryczne 84, 109
natężenie prądu elektrycznego 79, 108
normalna 204

obraz pozorny 208, 254
obraz rzeczywisty 216, 254
obwód elektryczny 77–78

oddziaływanie elektryczne 53, 122
ognisko zwierciadła 213, 219
ogniskowa zwierciadła 213
ogniwo galwaniczne (ogniwo Volty) 86, 101
Ohm Georg Simon 91
okres 158, 175, 186
om 89–90, 109
opornik 91–92
opór elektryczny 89–91, 109
optyka 192
Ørsted Hans Christian 122
oscylogram dźwięku 181
ośrodek jednorodny 199

parowanie 37–38, 44
pierwsza zasada termodynamiki 17
piorunochron 69
podczerwień 194–195, 250
położenie równowagi 156, 186
półcień 200
półprzewodniki 67
praca prądu 83–84, 103, 109
prawo odbicia światła 204, 255
prawo Ohma 91, 109
prąd elektryczny 77–78, 98, 108, 138
prądnica 137–138
prędkość fali 176, 186, 193
prędkość światła 193, 225, 254
promieniowanie 25, 45
promieniowanie gamma 194–195
promieniowanie rentgenowskie 194–196
proton 53, 59, 108
pryzmat 249
przewodnictwo cieplne 21–23, 45
przewodnik elektryczny 64–66, 109

reguła prawej ręki 123, 128, 141
resublimacja 37, 41, 44
rezonans 170–171
rok świetlny 196
Röntgen Wilhelm 196
rozproszenie światła 204–205
rozszczepienie światła 250, 255
równowaga termiczna 11–12, 44
ruch drgający 156–157, 186

silnik elektryczny 132–134, 141
skala Celsjusza 12
skala Fahrenheita 13
skala Kelvina (bezwzględna) 12
skraplanie 37, 39, 44
soczewka 231–232, 238–239, 255
stany skupienia 37, 44
sublimacja 37, 41, 44
substancja krystaliczna 40, 45
substancja niekrystaliczna 40
system RGB 251
szereg tryboelektryczny 55

światło 193, 198
światło białe 250–251, 255
światło monochromatyczne 250
światło widzialne 194–195, 250
światłowód 228

temperatura 10, 44
termodynamika 17
termometr 12
termoogniwo 101
topnienie 37, 39–40, 44–45
transformator 138

ulradźwięki 182–183, 186
ultrafiolet 194–195, 250
uziemienie 73, 98

wolt 84, 109
woltomierz 85, 92
wrzenie 38, 44
wysokość dźwięku 180, 186

zaćmienie Księżyca 201
zaćmienie Słońca 201
załamanie światła 226–227, 254
zasada zachowania ładunku elektrycznego 60
zero bezwzględne 12
zwierciadło 203, 207–208, 215, 254
zwojnica (cewka) 128–129, 140

Odpowiedzi

Fizyka na wakacjach

Zadania: 1. a) Siła ciężkości — w dół, siła wyporu — w górę; 0 N, b) 10 000 N, c) 10 000 N. **2.** a) 0,6 m^3; 240 kg; 2400 N, b) 6000 N. **3.** a) 420 kg, b) 420 kg, c) 0 N. **4.** a) 6000 Pa, b) 2,4 N. **5.** a) 10 $\frac{m}{s^2}$, b) 20 N, c) 0,2 $\frac{m}{s^2}$. **6.** a) 0,2 $\frac{m}{s}$, b) 3 m. **7.** a) 12 J, b) 4 W, c) 480 J, d) energię kinetyczną wody, energię kinetyczną tratwy, energię wewnętrzną wody i otoczenia.

Lekcja 1. Temperatura

Ćwiczenia: 1. ②, ③ i ④. **2.** a) 373 K, b) 3 K, c) 0°C, d) −269°C, e) spadek o 80°C.

Zadania: 1. a) *większą*, b) *zmniejszy się*. **2.** a) 1873 K, b) 601 K, c) 1337 K, d) 54 K. **3.** a) 1827°C, b) 43°C, c) 3427°C, d) −196°C. **4.** *temperatury*; *równowagi termicznej*; *ciepła*. **5.** a) *mniejsza*; *od sześcianu do kulki*, b) *równe*; *nie następuje*. **6.** a) −45°C; nie, b) od samolotu do otaczającego go powietrza. **7.** Największa: 310 K; najmniejsza: −16°C.

Lekcja 2. Energia wewnętrzna

Ćwiczenia: 1. 150 J (zakładamy, że cała praca zwiększyła E_w puszki). **2.** a) 1000 razy, b) nie.

Zadania: 1. ① i ④. **2.** *chemiczna*; *zwiększenie*; *maleje*. **3.** 2200 J, wzrosła. **4.** Liczba cząsteczek gazu jest tam bardzo mała. Przekaz energii byłby znikomy. **5.** ② i ③. **6.** a) Na cięcie drewna (oddzielenie wiórów). b) Temperatura otoczenia była niższa niż temperatura wiertła. c) 600 J. **7.** a) 12 kJ, b) 3,6 kJ, c) na ogrzanie podłogi i powietrza, na zwiększenie energii kinetycznej skrzyni. **8.** a) 12 kN, b) 2400 J, c) 6300 J, d) Nie, ponieważ wzrosła temperatura. **9.** a) −20°C, b) gdy woda zamarzała, c) Zmniejszała się energia potencjalna oddziaływań między cząsteczkami.

Lekcja 3. Przewodnictwo cieplne i konwekcja

Ćwiczenia: 1. *różne*; *z mieszkania na zewnątrz*; *styropianem*; *izolatorem*. **2.** *zwiększa*; *zwiększa się*; *górę*.

Zadania: 1. Kołdra puchowa, plastik, szkło, stal. **2.** a) Szkło, b) kamień, c) piasek. **3.** ② i ④. **4.** Łapiąc za szklany kubek, od razu czuć, że napój jest gorący — są ostrzeżeni. Szkło znacznie lepiej przewodzi ciepło niż styropian. **5.** a) *z dobrego*, b) *ze złego*; *ze styropianu*, c) *wolniej*, d) *zmniejsza*, e) *mniejszej*. **6.** a) Dom ze śniegiem na dachu. Przewodnictwo cieplne przez ten dach jest na tyle małe, że śnieg się nie topi. b) Wełna mineralna (wata szklana), styropian. **7.** Ciepłe powietrze wznosi się pionowo nad morzem. Od lądu poziomo napływa chłodne powietrze. **8.** a) W dół, b) w dół, c) Jeśli zbiornik jest nieduży, to podczas upałów nawet na dnie temperatura wody wzrośnie powyżej 4°C, a podczas mrozów może zamarznąć do dna.

Lekcja 4. Ciepło właściwe

Ćwiczenia: 1. a) 2000 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, b) Nie. Ciepło właściwe tej cieczy jest ponad 2 razy mniejsze niż ciepło właściwe wody, więc nie mogła to być woda. **2.** O 2 K.

Zadania: 1. a) 1600 J, b) 1600 J, c) 80 kJ, d) 800 J, e) 8 MJ. **2.** 14 kJ, 90 kJ, 1300 J, 20 kJ, 180 kJ. **3.** a) 5 kJ, b) 35 kJ, c) 260 kJ, d) 7 MJ. **4.** ① 200 kg; 42 MJ, ② 50 kg; 50 l, ③ 150 l; 2520 kJ, ④ 170 l; o 5°C. **5.** 1000 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, 2000 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, 1200 $\frac{J}{kg \cdot K}$, 500 $\frac{J}{kg \cdot °C}$, 5000 $\frac{J}{kg \cdot K}$. **6.** 5,25 razy więcej. **7.** a) Zasada zachowania energii, b) 210 kJ. **8.** a) Spadek o 8°C, b) spadek o 42°C, c) Wewnątrz kontynentu znajduje się przeważnie piasek, gleba, skały, które mają ciepło właściwe znacznie mniejsze niż woda. Woda bardziej i dłużej ogrzewa powietrze.

Lekcja 5. Wyznaczanie ciepła właściwego

Ćwiczenia: 1. a) 480 kJ, b) 360 kJ, c) 75%. **2.** 1; 10; 20; 40.

Zadania: 1. a) 130 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, b) 450 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, c) 800 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, d) 2400 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$, e) 5400 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$. **2.** a) 12,5 kJ, b) 10 kJ, c) 2,5 kJ, d) poprawić jego izolację cieplną, np. uszczelnić, ścianki wykonać z materiału o małym przewodnictwie cieplnym. **3.** 120 s. **4.** 875 kW. **5.** a) 18 kJ, b) 60 kJ, c) 42 kJ, d) 0,2°C. **6.** a) 130 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, b) 130; 650; 1950; 2600; 3250. **7.** a) *A*: 10°C; *B*: 20°C, b) *A*: o 50°C; *B*: o 25°C, c) *A*: 800 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$; *B*: 1600 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, d) Im większe ciepło właściwe, tym mniej stromy jest wykres.

Lekcja 6. Zmiany stanów skupienia

Ćwiczenia: 1. *nie zmienia się*; *potencjalną*; *niższa*. **2.** *nie zmienia się*; *pobiera*; *taka sama jak*.

Zadania: 1. a) Parowanie, b) Podczas parowania cieczy „uciekają” z niej cząsteczki o największej energii kinetycznej. Oznacza to, że temperatura cieczy spada i ciecz wychładza końcówkę termometru. c) Gdy jesteśmy mokrzy, jest nam zimno. Pocimy się, by się chłodzić i nie przegrzać organizmu. **2.** a) Parowanie, b) para wodna (gaz), c) Działa na niego siła wyporu o większej wartości niż jego ciężar. Gęstość pary jest mniejsza niż gęstość wody. **3.** a) Parowanie, b) para wodna (ciśnienie gazu). **4.** a) Z powietrza, które zawiera parę wodną; skraplanie, b) Szyba pobrała, para wodna oddała. c) Niższa. **5.** *parowanie*; *skraplania*; *krzepnięcie*;*resublimacja*; *topnienie*; *sublimacja*. **6.** a) 420 kJ, b) 5,5 razy, c) 2300 kJ. Z zasady zachowania energii: skoro na odparowanie zużyto 2300 kJ, to należy odebrać tyle samo ciepła, by tę porcję skroplić. **7.** a) *B*; *D*, b) ciało stałe; gaz, c) *C*. **8.** a) Nie, b) na styku z patelnią, c) parowanie, d) Gaz (para wodna) znacznie słabiej przewodzi ciepło niż ciecz (woda). Dzięki mniejszemu przewodnictwu cieplnemu kropla na gazowej „poduszce” nagrzewa się wolniej.

Powtórzenie. Zjawiska cieplne

Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka: 1. A2. **2.** D. **3.** a) *kinetycznych*; *potencjalnych*, b) *ciepła*; *pracy*, c) *Q*; *W*. **4.** *mniejszą*, *mniejsza*. **5.** B. **6.** *wyższej temperaturze*; *niższej temperaturze*; *temperatur*. **7.** *Q*: ②, ④ i ⑤; *W*: ① i ③. **8.** Dobre przewodniki: ③ i ⑤; złe przewodniki: ①, ② i ④. **9.** ②, ④ i ⑤. **10.** D. **11.** B. **12.** 126 kJ. **13.** B. **14.** a) A — resublimacja; B — sublimacja; C — parowanie; D — skraplanie; E — krzepnięcie; F — topnienie, b) pobiera ciepło: parowanie, topnienie, sublimacja; oddaje ciepło: resublimacja, skraplanie, krzepnięcie.

Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening: 1. B. **2.** ①, ②, ③ — tak; ④ — nie. **3.** A. **4.** a) *łyżeczki*; *kawy*, b) *oddawała*; *pobierała*, c) *wzrosła*; *zmalała*, d) *temperatur / średnich energii kinetycznych cząsteczek*. **5.** I — ②, II — ②, III — ②. **6.** 1200 J. **7.** 370 kJ. **8.** O 80°C. **9.** a) 1,26 MJ, b) o 16°C. **10.** Po 3,4 minuty. **11.** a) *energia potencjalna*, b) *taka sama jak*, c) *resublimacji*. **12.** a) 420 kJ, b) nie wystarczy. **13.** a) Złoto: 1065°C; srebro: 960°C, b) złoto: 20 kJ; srebro: 15 kJ, c) złoto, d) złoto: 120 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$; srebro: 250 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot °\text{C}}$, e) złoto: 65 kJ; srebro: 105 kJ.

Lekcja 7. Elektryzowanie

Ćwiczenie: 1. a) Dodatnio, b) z szalika na balon, c) nie.

Zadania: 1. *różnoimienne*, *różnoimienne*, *elektrony*. **2.** a) Nie, b) tak, c) nie. **3.** ③ i ⑤. Niepoprawne: ①, ②, ④, ⑥ — niezgodne z III zasadą dynamiki; ⑦ — ładunki różnoimienne przyciągają się. **4.** a) Bursztyn ujemnie, wełna dodatnio, c) nie. **5.** Nawet niewielkie zmiany składu materiału mogą mieć znaczenie. Być może ciała początkowo były nienaelektryzowane. **6.** Strona taśmy z klejem jest odrywana od strony bez kleju. Ta różnica między substancjami jest wystarczająca, by zachodziło elektryzowanie. **7.** a) Nie, grawitacja to tylko przyciąganie,

b) Masa w przypadku grawitacji, ładunek elektryczny w przypadku oddziaływania elektrycznego. **8.** a) Ujemnie, b) około 0,00001 N. **9.** a) Nie, b) tak, c) Zostałyby same dodatnie jądra, które odpychałyby się od siebie, więc takie jabłko rozpadłoby się.

Lekcja 8. Ładunek elementarny

Ćwiczenia: 1. a) $0\,\mathrm{C}$, b) $1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$, c) $3{,}2 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$. **2.** a) $5 \cdot 10^{9}$, b) $-4{,}8 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{C}$, c) $-12{,}8 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{C}$.

Zadania: 1. a) Ujemny, b) ze szklanki na chustkę, z chustki na elektroskop. **2.** a) Tak (część się przemieści), b) dodatnio, c) nie. **3.** ① i ③. **4.** a) $0\,\mathrm{C}$, b) $3{,}2 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$. **5.** 10^{19}. **6.** a) $9 \cdot 10^{9}\,\mathrm{N}$, b) $9 \cdot 10^{7}\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$, c) Od pewnego momentu kolejne elektrony nie przyłączałyby się do miski — byłyby zbyt silnie odpychane od elektronów zgromadzonych w misce. **7.** Jabłko składa się z atomów, a ładunek elektryczny każdego atomu to zero. Odpychanie elektronu przez drugi elektron jest równoważone przez przyciąganie przez proton. **8.** a) $-32 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{C}$, b) Ładunek był dodatni i zwiększał się podczas pocierania. **9.** a) Nadmiar, b) $-3{,}2 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{C}$, c) $-1{,}6 \cdot 10^{-10}\,\mathrm{C}$.

Lekcja 9. Przewodniki i izolatory

Ćwiczenie: 1. Lewy klocek jest izolatorem, prawy klocek — przewodnikiem.

Zadania: 1. a) Izolator, izolator, b) izolator, izolator, c) izolator, przewodnik, d) przewodnik, izolator, e) przewodnik, przewodnik. **2.** a) Izolator: ①; przewodnik: ②, ③, ④, b) ① dodatni, 0; ② dodatni, dodatni; ③ 0, 0; ④ ujemny, ujemny. **3.** a) W środku przewodnik, na zewnątrz izolator, b) Bez izolacji na zewnątrz przewodnika ładunek płynąłby przez inne przewodniki, z którymi przewód się styka. Inny powód: przepływ ładunku elektrycznego przez ciało człowieka może zagrażać jego zdrowiu lub życiu. **4.** a) Swobodne ładunki, b) Szkło w stanie stałym jest izolatorem, a w stanie ciekłym — przewodnikiem. **5.** Miedź, żelazo, aluminium, woda morska, ciało człowieka, stal. **6.** a) Nie, b) Za pomocą izolatora, żeby prąd nie przepłynął do słupów. **7.** Plastik i guma to izolatory, więc zapobiegają przepływowi ładunków do ręki elektryka. **8.** Z metalowej kuli, bo na niej ładunki mogą łatwo się przemieszczać, więc więcej przepłynie do miejsca styku. **9.** Woda w wannie nie jest wodą czystą chemicznie, zawiera wiele swobodnych ładunków (jonów). **10.** a) Z przewodnika, b) Najwyższy element piorunochronu powinien być wyżej niż jakikolwiek element budynku, piorunochron powinien docierać pod powierzchnię ziemi. **11.** Aluminium jest przewodnikiem, więc po dotknięciu w jednym miejscu ładunek może do tego miejsca dopłynąć z całego ciała aluminiowego. Plastik jest izolatorem, jeśli zabierzemy nadmiarowy ładunek z jednego miejsca, to nie przepłynie do niego ładunek z innych miejsc. **12.** Elektrony mają ładunek ujemny i przemieszczają się w prawo, więc Hasto ma rację. Miejsce, gdzie znajduje się atom z niedoborem elektronu, czyli mający ładunek dodatni, przemieszcza się w lewo, więc Weritka też ma rację.

Lekcja 10. Indukcja elektrostatyczna

Ćwiczenia: 1. ② i ④. **2.** *przemieściły się z kuli do ziemi*; *dodatni.*

Zadania: 1. ④ i ⑥. **2.** Na dłuższą. **3.** a) Blisko rurki będą ładunki ujemne, a po przeciwnej stronie puszki — dodatnie, b) nie, będzie przyciągana, c) naładować ujemnie (sporym ładunkiem). **4.** Dzięki indukcji elektrostatycznej. W górnej części pręta gromadzą się ładunki przeciwne do tych na pałce. A na listkach — ładunki przeciwne do ładunków w górnej części pręta. Listki są naelektryzowane i się rozchylają. **5.** a) Dodatni, b) Dopiero wtedy elektrony z listków odpłynęły do dodatnio naładowanej kulki elektroskopu — wcześniej były odpychane przez flamaster. Listki wtedy naelektryzowały się dodatnio — pojawił się na nich niedobór elektronów. **6.** a) Na skutek indukcji elektrostatycznej, b) Skrawek elektryzuje się wtedy przez

dotyk tym samym ładunkiem co rurka. Często na tyle dużym, że jest odpychany. **7.** Pierwsza płytka — nieuziemiona, całkowity ładunek na niej to zero. Druga płytka — uziemiona, są na niej nadmiarowe ładunki ujemne, które dopłynęły uziemieniem. **8.** a) W dół, b) dodatnio. **9.** a) Przyciąganie wynikające z indukcji elektrostatycznej, rozdzielenia ładunków, jest silniejsze niż odpychanie, b) nie, c) Puszka szybciej przybliżałaby się do rurki — byłaby silniej do niej przyciągana, bo uziemieniem odpłynęłyby z niej elektrony odpychane przez rurkę.

Lekcja 11. Prąd elektryczny – natężenie

Ćwiczenie: 1. 400 A.

Zadania: 1. 1 A; 0,01 A; 0,25 A; 0,1 A. **2.** a) 100 mA, b) 600 mA, c) 2 mA, d) 2 mA. **3.** a) 10 C, b) 100 C, c) 4 C, d) 0,6 C. **5.** 1 s; 100 s; 400 s; 1000 s. **6.** $5 \cdot 10^{18}$. **7.** Na zasadę zachowania ładunku. **8.** a) 0,5 ms, b) 8640 C, c) natężenie prądu. **9.** ② i ④. **10.** a) 14 400 C, b) 0,1 A.

Lekcja 12. Praca prądu i napięcie elektryczne

Ćwiczenie: 1. 11 V.

Zadania: 1. a) 9 V, b) 12 V, c) 4,5 V, d) 3 V, e) 1,5 V. **2.** a) 15 J, b) 0,3 J, c) 36 kJ, d) 4 J, e) 810 J, f) 28,8 kJ. **3.** a) 5 C, b) 200 C, c) 2 mC, d) 2 kC. **4.** a) 460 J, b) 2,3 V. **5.** a) 2 V, b) 2 C; 64 J. **6.** a) Na str. 86 żarówki są połączone szeregowo. Hasto połączył je równolegle — wtedy każda z żarówek jest połączona bezpośrednio z baterią. b) 8 J; 4 J; tak, dwie żarówki oddadzą w sumie 8 J, c) tak, 2 C = 1 C + 1 C. **7.** 12 V. **8.** ③ i ⑤. **10.** a) $1{,}04 \cdot 10^{-6}$ J, b) Energia kinetyczna tego cukru to 0,5 J. Jest to energia znacznie większa niż energia rozpędzonego protonu (ponad 480 000 razy). **11.** ① obserwacja, ② pomiar, ③ doświadczenie, ④ doświadczenie i pomiar.

Lekcja 13. Opór elektryczny

Ćwiczenie: 1. 6 Ω.

Zadania: 1. a) 10 Ω, b) 3 Ω, c) 30 Ω, d) 4 kΩ, e) 0,05 Ω, f) 24 MΩ, g) 200 Ω, h) 0,5 Ω. **2.** a) 20 V, b) 30 V, c) 50 V. **3.** a) 3 A, b) 1 mA, c) 45 A. **4.** a) 3 Ω, b) 2 mA, c) 1 V, d) $R_1 = 40\ \Omega$, $R_2 = 20\ \Omega$. **5.** B. **7.** 0,45 C. **8.** a) 2 Ω, b) Wykres jest prostą przechodzącą przez punkt (0 V, 0 A). **9.** Największy opór: *C*, najmniejszy: *A*. **10.** a) *opornika*; *żarówki*; *diody*, b) bardzo duży. **11.** a) 100 Ω, b) Miernik przelicza natężenie prądu przy założeniu, że prąd jest wywołany tylko napięciem z miernika. Dodatkowe zasilanie odbiornika zmieniłoby natężenie prądu i napięcie również w mierniku.

Lekcja dodatkowa. Obwody elektryczne

Ćwiczenia: 1. a) Przez obie żarówki przepływa prąd o takim samym natężeniu. b) Na każdą żarówkę przypada takie samo napięcie. **2.** a) 0,5 A, b) opornik 1, płynie przez niego prąd o mniejszym natężeniu.

Zadania: 1. *szeregowym*; *równoległym*. **2.** ② i ③. **5.** Przez żadną żarówkę nie przepłynie prąd. **6.** a) 2, b) 1, c) przez żadną. **7.** Lampki choinkowe są połączone szeregowo. Zepsuta żarówka otwiera obwód elektryczny, wystarczy zatem zastąpić ją nową żarówką, która ponownie zamknie obwód. **8.** a) 2 A, b) Na obu opornikach jest takie samo napięcie, c) opornik 1.

Lekcja 14. Praca i moc prądu

Ćwiczenia: 1. a) 0,1 W, b) 360 J. **2.** 10 kWh = 36 MJ.

Zadania: 2. a) 3450 W, b) 103 500 J. **3.** a) 2 kWh, b) 5 kWh, c) 1 kWh, d) 0,1 kWh. **4.** a) 20 s, b) 0,5 s, c) 10 h, d) 200 h, e) 50 h, f) 0,5 h. **5.** a) 36 MJ, b) 18 MJ, c) 72 MJ, d) 0,36 MJ, e) 0,72 MJ, f) 1,8 MJ. **6.** a) 10 kWh, b) 2 kWh, c) 5 kWh, d) 7,5 kWh, e) $\frac{2}{9}$ kWh, f) 200 kWh. **7.** a) 0,1 kWh,

b) 3 min. **8.** a) Izolatorów elektrycznych (np. plastikowego lub suchego drewnianego kija), b) Wyłączyć główny wyłącznik prądu (bezpiecznik). c) 2500 Ω, d) 0,25 W. **9.** a) Kupić generator prądu z zapasem paliwa. Zgromadzić opał (drewno, węgiel), zapasy wody i pożywienia. Zakupić świece, baterie, naładować akumulatory. b) Obserwować, gdzie przestaje docierać energia elektryczna, sprawdzając działanie odbiorników prądu w okolicy (np. oświetlenia w budynkach, oświetlenia ulicznego, sygnalizacji świetlnej, dzwonków, domofonów).

Powtórzenie. Elektryczność

Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka: 1. *zerowy*; *protony*; *dodatnim*; *obojętne*; *elektrony*. **2.** A. **3.** *ujemne*; *ze szkła na papier*. **4.** a) ②, b) ③, c) ①. **5.** Chusta: $-8 \cdot 10^{-10}$ C; pałeczka: $8 \cdot 10^{-10}$ C. **6.** B. **7.** *8*; *ujemnym*. **8.** 10^{13}. **9.** D. **10.** Przewodniki: miedź, srebro, stal, aluminium, złoto, grafit, ciało ludzkie. Izolatory: woda destylowana, papier, porcelana, suche powietrze, szkło, guma, suche drewno. **11.** B, D. **12.** C. **13.** *nie zmieni się*; *zmaleje*. **14.** a) 0,26 A, b) 36 kJ.

Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening: 1. A. **2.** A1. **3.** a) 0,04 μC, b) −0,68 μC; $4{,}25 \cdot 10^{12}$. **4.** *odpłyną z kuli do ziemi*; *dodatni*; *nie zmieni się*. **5.** ③ i ⑤. **7.** *M*; *odbiornik L*. **8.** C. **9.** 2,1 kW. **10.** a) 7,8 A, b) 29 Ω, c) 470 C. **11.** 64,40 zł.

Lekcja 15. Magnesy

Ćwiczenia: 1. a) S — żółtym, N — fioletowym, b) N — żółtym, S — fioletowym, c) N — żółtym, S — fioletowym. **2.** a) S, b) S, c) N, d) S.

Zadania: 1. ① i ③. **2.** a) Przyciągają się, b) odpychają się, c) przyciągają się, d) odpychają się. **3.** a) N, b) S, c) S, d) N. **4.** ①, ③, ⑤ i ⑥. **6.** a) Na obu półkulach kierunek północny, b) południowy biegun magnetyczny. **7.** Łańcuszek przerwał się, ponieważ po odwróceniu magnesu bieguny dotykającej go kuli (lub najbliższych dwóch kulek) zamieniły się miejscami (nastąpiło tzw. przemagnesowanie lub przebiegunowanie). Taka kulka odpycha następną, z którą styka się biegunami jednoimiennymi. **8.** Była większa niż 0,4 N.

Lekcja 16. Magnes i prąd elektryczny

Ćwiczenie: 1. W lewo.

Zadania: 1. ② i ④. **2.** ② i ④. **3.** ② i ④. **4.** a) Np. za duże tarcie igły o jej oś lub igła jest rozmagnesowana. b) Za kartkę. **5.** Oddziaływania przewodów z prądem się znoszą (kasują). **6.** a) Biegunem N w górę, b) biegunem N w górę, c) biegunem N w górę, d) biegunem N w dół. **7.** b) Prąd z przewodu *B* jest bliżej, więc silniej oddziałuje na igłę. Powoduje obrót igły biegunem N w dół. Oddziaływanie prądu z przewodu *A* jest za słabe. **9.** a) Igła ustawiłaby się poziomo, b) pod kątem 45° do początkowego ustawienia, c) Największe natężenie uzyskamy, podłączając przewód do biegunów akumulatora bezpośrednio. Natężenie prądu można stopniowo zmniejszać, włączając w obwód oporniki o coraz większym oporze.

Lekcja 17. Elektromagnesy

Ćwiczenie: 1. a) Biegunami N i N, b) odpychają się.

Zadania: 1. *zwojnica*; *elektrycznej*; *wzmacnia*; *zamieniają*. **2.** a) N — na górze, S — na dole, b) biegun (+) na górze, biegun (−) na dole. **3.** ③ i ⑤. **4.** Przyciągają się, ponieważ zbliżone są do siebie biegunami różnoimiennymi. **5.** W gwoździu: N z lewej strony, S — z prawej; w szpilce: N — z lewej (przy gwoździu), S — z prawej. **6.** I sposób: biegun (+) górnej baterii na dole, drugiej na dole, trzeciej na górze; II sposób: biegun (+) górnej baterii na górze, drugiej na górze,

trzeciej na dole. **7.** Ze wschodu na zachód. **8.** Zmienić stronę, w którą płynie prąd w zwojnicy elektromagnesu. **9.** Kiedy naciska się przycisk, zaczyna działać elektromagnes, który przyciąga żelazny pręt. Wady: zamek wymaga zasilania; można otworzyć drzwi bez klucza; z futryny wystaje pręt — można o niego czymś zaczepić oraz trzeba wcisnąć przycisk, by zamknąć drzwi. Jeśli sprężyna nie jest przymocowana do futryny i pręta, to pręt może wypaść z futryny.

Lekcja 18. Silniki elektryczne

Ćwiczenie: 1. a) S, b) Nie, zacznie się obracać przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Zadania: 1. ② i ⑤. **2.** Zgodnie z ruchem wskazówek zegara. **3.** ① S, ② N, ③ S. **4.** a) *A*; biegun N ramki jest za ramką (dalej od czytelnika), b) 0 A, c) za ramką. **5.** Lewy N, prawy S. **6.** Nie, wtedy zmiany biegunów w elektromagnesach nie powodowałyby (znaczącego) obrotu koła (nie byłoby powodu, by elektromagnes przesunął obręcz w lewo, a nie w prawo — po obu stronach miałby te same bieguny magnesów). **7.** a) Po lewej N, po prawej S, b) zamiana biegunów elektromagnesu. **8.** a) 1900 kJ, b) 100 obrotów.

Lekcja dodatkowa. Indukcja elektromagnetyczna

Zadania: 1. B. **2.** a) W lewo, b) w lewo, c) w prawo. **3.** Prąd z baterii jest stały, tzn. płynie przez obwód od bieguna (+) baterii do (–). Prąd z gniazdka jest przemienny, zmienia się jego kierunek i natężenie. **4.** a) 8 A, b) 0,02 s, c) 50 cykli. **5.** ② i ③. **6.** Oba sposoby spowodują, że żarówka zaświeci jaśniej.

Powtórzenie. Magnetyzm

Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka: 1. ①, ⑤ i ⑥. **2.** D. **3.** A. **4.** a) S, b) N, c) N. **5.** B2. **6.** D. **7.** *dół*; *B*. **8.** A. **9.** *aluminiowy przewód*, *stalowy gwóźdź*, *bateria*. **10.** *elektrycznej*; *mechaniczną*; *magnetycznemu*.

Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening: 1. D. **2.** ②, ④ i ⑤. **3.** a) Gwóźdź namagnesował się — jego biegun N był na górze, przy biegunie S pierwszego magnesu (te bieguny przyciągają się). Po zbliżeniu drugiego magnesu jego biegun N odpychał biegun N gwoździa, więc gwóźdź był znacznie słabiej przyciągany przez magnesy (biegun S pierwszego magnesu jest trochę bliżej niż biegun N drugiego magnesu, więc gwóźdź jest nadal przyciągany). Wartość siły, z którą połączone magnesy przyciągały gwóźdź, była mniejsza niż jego ciężar, więc gwóźdź odpadł. b) Nie, oba bieguny S przyciągałyby biegun N gwoździa. **4.** B. **5.** a) Przyciąganie, b) odpychanie, c) odpychanie, d) odpychanie. **6.** *zgodnie z ruchem*; *zmieni się na przeciwną*. **7.** ① i ③. **8.** B2.

Lekcja 19. Drgania

Ćwiczenia: 1. 4 cm, 0,5 s. **2.** a) 4 cm; 0,4 s, b) 2,5 Hz.

Zadania: 1. a) 7 cm, b) co 0,6 s, c) 1,2 s. **2.** a) 0,4 s i 2,0 s, b) 8 cm, c) 1,6 s. **3.** 2 s, 100, 2 ms, 12, 2,5 s. **4.** a) W chwilach tych ciężarek porusza się w różne strony. b) W chwili $t = 25$ s. **5.** 1 kHz, 3 kHz, 2, 6000, 50 kHz. **6.** 10 Hz, 20 s, 500 Hz. **7.** a) 5 ms, b) 200 Hz. **8.** *większa*, *krótszy*, *większa*, *mniejsza*.

Lekcja 20. Drgania – przemiany energii

Ćwiczenia: 1. a) Gdy kostka przechodziła przez położenie równowagi. b) 8 J, c) 0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, d) 8 J. **2.** a) 2 J, b) 0 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, c) 2 J, d) 2 J.

Zadania: 1. ①, ② i ④. **2.** a) ①, ③ i ⑤, b) zero: ①, ③ i ⑤, największa: ② i ④, c) ①, ③ i ⑤. **3.** ②, ③ i ④. **4.** a) ①, ③ i ⑤, b) najmniejsza: ①, ③ i ⑤, największa: ② i ④, c) ①, ③ i ⑤. **5.** ①, ②, ④ i ⑤. **6.** a) Co 4 s, b) co 2 s, c) co 2 s, d) co 2 s, e) co 2 s.

7. a) 0 J, b) 0,5 s; 1,5 s; 2,5 s, c) rosła. **8.** a) 144 J, b) 144 J (względem położenia równowagi), c) 1,8 m. **9.** a) 0 J, b) 0 s; 2 s; 4 s; 6 s, c) malała. **10.** a) Siła ciężkości, siła sprężystości, b) Nie, sprężyna już była rozciągnięta. c) Energia kinetyczna, energia potencjalna grawitacji, energia potencjalna sprężystości.

Lekcja dodatkowa. Zjawisko rezonansu

Zadania: 1. a) *równa*, b) *rośnie*. **2.** Mogłoby to wywołać duże drgania mostu. **3.** Tak, jeśli częstotliwość dźwięku jest równa częstotliwości drgań własnych kieliszka, zacznie on drgać dzięki rezonansowi. Kieliszek jest ciałem stałym, duże wychylenia cząsteczek mogą doprowadzić do jego pęknięcia. **4.** ① i ③. **5.** a) 2,3 ms, b) Drganie, dzięki rezonansowi przez powietrze, zostanie przekazane drugiemu kamertonowi. **6.** Z powodu sił oporów ruchu.

Lekcja 21. Fale mechaniczne

Ćwiczenia: 1. $A = 5$ cm, $\lambda = 30$ cm, $T = 0{,}4$ s. **2.** 6000 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Zadania: 1. Dzięki falom dźwiękowym i falom na wodzie. **2.** ②, ⑤ i ⑥. **3.** a) 0,4 s, b) 2,5 Hz, c) 2 m, d) 5 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **4.** a) 15 h, 22 h, b) fale dźwiękowe, fale w skorupie Ziemi (sejsmiczne), c) 730 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$, 200 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **5.** a) 3,6 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$, b) 2,5 s. **6.** a) 20 m, b) 12 m, c) 0,075 m. **7.** a) 0,7 m, b) 1,6 m, c) 3 m, d) 7 m. **8.** a) Sznurek, napierając na porcję powietrza, zwiększa ciśnienie powietrza w tej porcji. Odsuwając się od porcji powietrza, sznurek pozwala na zwiększenie objętości porcji i zmniejszenie ciśnienia. b) Porcja o większym ciśnieniu napiera na sąsiednią porcję o mniejszym ciśnieniu. Ta na kolejne porcje itd. c) Wartość siły parcia to $F = p \cdot S$, gdzie p to ciśnienie, a S powierzchnia, na którą działa siła. d) Na błonę bębenkową działa wtedy niezerowa siła wypadkowa (z jednej strony siła parcia ma większą wartość, niż siła parcia z przeciwnej strony). Ruch błony wynika z II zasady dynamiki.

Lekcja 22. Dźwięk

Ćwiczenia: 1. a) ① — większa amplituda, b) ② — większa częstotliwość. **2.** 5,1 m.

Zadania: 1. 55 Hz, 98 Hz, 100 Hz, 196 Hz, 392 Hz. **2.** ②, ⑤ i ⑦. **3.** a) 1480 Hz, b) 370 Hz, c) 46,25 Hz. **4.** a) 259 Hz, 60 Hz, b) 0,1 Hz, 5 Hz, c) 90 kHz, 12 MHz. **5.** 0,05 Pa, 0,1 Pa, 3 Pa, 18 Pa. **6.** a) Syrena alarmowa, b) syrena alarmowa, c) klarnet. **7.** a) Głośniejszy: ①, bo ma większą amplitudę; wyższy: ②, bo ma większą częstotliwość, b) ① — około 2 ms oraz 500 Hz; ② — około 1,5 ms oraz 670 Hz. **8.** Fala dźwiękowa jest falą mechaniczną i rozchodzi się jedynie w materii (ośrodku materialnym). Nie rozchodzi się w próżni. **9.** a) 0,1 µs, b) 154 µm. **10.** a) 30 kHz; nie, c) 15 m.

Powtórzenie. Drgania i fale

Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka: 1. C. **2.** A. **3.** B. **4.** B. **5.** a) *1,5 drgania*, b) *1,2 s*; *10 cm*, c) *1 raz*, d) *równa zero*. **6.** *największą*; ②; *rośnie*; *energia potencjalna sprężystości*. **7.** A. **8.** D. **9.** B. **10.** D. **11.** D. **12.** ②, ③, ⑤ i ⑥.

Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening: 1. a) 4 s, b) 0,25 Hz. **2.** 90 drgań. **3.** 62,5 s. **4.** *17,5 cm*; *równowagi*. **5.** a) ②, b) największa E_{ps}: ① i ③; największa E_k: ②, c) co 1,5 s. **6.** B1. **7.** 5 m. **8.** 2,9 s. **9.** a) C; D, b) C; A. **10.** *pionie*; *dół*; *A*. **11.** B2. **12.** a) 0,75 m, b) 453 Hz.

Lekcja 23. Fale elektromagnetyczne

Ćwiczenie: 1. 10^9 Hz = 1 000 000 000 Hz.

Zadania: 1. ① Fale mechaniczne, ② fale mechaniczne i elektromagnetyczne, ③ fale elektromagnetyczne, ④ fale elektromagnetyczne. **2.** a) $6 \cdot 10^{-7}$ m, światło widzialne, b) 10^{-4} m,

podczerwień, c) $\frac{1}{3} \cdot 10^{-6}$ m, nadfiolet. **3.** a) Podczerwień, b) nadfiolet, c) promieniowanie gamma, d) promieniowanie rentgenowskie, e) mikrofale. **4.** $9{,}46 \cdot 10^{12}$ km. **5.** a) $3 \cdot 10^{8}$ Hz = = 300 MHz, b) $4{,}29 \cdot 10^{9}$ Hz = 4290 MHz, c) $1{,}30 \cdot 10^{15}$ Hz. **6.** 500 s. **7.** Dźwięk ma dużo mniejszą prędkość niż światło. **8.** $4 \cdot 10^{-5}$ s. **9.** W roku 4797 p.n.e. **10.** a) Od 0,1 m do około 4,29 m, b) W takich obrazach kolory są używane, aby reprezentować intensywność promieniowania lub długość zarejestrowanych fal i nie ma to związku z kolorami, które rejestruje ludzkie oko. Na zdjęciu kolory reprezentują intensywność promieniowania, od czerwieni (najmniejsza), poprzez zieleń, żółć i jasnoniebieski do ciemnoniebieskiego i fioletowego (największa).

Lekcja 24. Światło i cień

Ćwiczenie: 1. 15 cm.

Zadania: 1. Dioda LED, Syriusz, błyskawica, świetlówka. **2.** Najdłuższy — drzewo; najkrótszy — żyrafa. **3.** Długość cienia zależy od ustawienia Słońca. Wieczorem Słońce znajduje się nisko nad horyzontem, a w południe wysoko. **4.** *A* i *E*. **5.** a) *A* i *B*, b) *C* i *D*, c) *B* i *C*, d) na lewo od punktu *A* oraz na prawo od punktu *D*. **6.** Kwadrat o boku 20 cm w położeniu początkowym i 15 cm po oddaleniu źródła światła. **7.** Po przesunięciu ekranu do położenia II obszar cienia zmaleje, a obszar półcienia zwiększy się. W położeniu III występuje tylko półcień. **8.** Słońce oświetlające samolot można traktować jak podłużne źródło światła. Ponieważ samolot znajduje się daleko od tego źródła i jest mały, to pojawia się jedynie półcień i do tego bardzo rozproszony, dlatego nie da się go zaobserwować.

Lekcja 25. Odbicie i rozproszenie światła

Ćwiczenie: 1. Oba mają miarę 53°.

Zadania: 1. A — promień padający; B — promień odbity; C — normalna; D — kąt padania; E — kąt odbicia. **2.** a) *zgodnie*, b) *chropowatej*, c) *pozostają*. **3.** a) 24°, b) 35°, c) 89°, d) 40°, e) 86°, f) 18°. **4.** Oba mają miarę 0°. **5.** 45°. **6.** Rysunek ①: a) 45°, b) 45°, c) 45°, d) promienie są równoległe; rysunek ②: a) 60°, b) 30°, c) 30°, d) promienie są równoległe. **7.** 76°. **9.** a) 45° (stroną odbijającą w dół), b) 90°, c) 45° (stroną odbijającą w górę).

Lekcja 26. Zwierciadła płaskie

Zadania: 1. a) *zależy*, b) *przedłużenia promieni odbitych*, c) *prosty*, d) *nie zależą*. **2.** D. **3.** 2 m; 170 cm. **4.** 4,7 m. **5.** 1,2 $\frac{\text{m}}{\text{s}}$. **6.** 270 cm. **10.** 90 cm; 84,5 cm.

Lekcja 27. Zwierciadła sferyczne wklęsłe

Ćwiczenie: 1. Rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony.

Zadania: 1. *a* — promień krzywizny zwierciadła; *b* — oś optyczna zwierciadła; *c* — ogniskowa; *X* — środek krzywizny zwierciadła; *Y* — ognisko. **2.** a) *wypukłym*, b) *ognisku*, c) *ogniskowa*, d) *40 cm*. **3.** 3 cm. **5.** Rzeczywisty, odwrócony, powiększony. **6.** a) $f = 7$ cm; $r = 14$ cm, b) $f = 9$ cm; $r = 18$ cm. **7.** ②. **8.** a) Pozorny, prosty, powiększony. **9.** 4 cm.

Lekcja 28. Zwierciadła sferyczne wypukłe

Ćwiczenia: 1. *nie przetną się*; *przedłużenia promieni odbitych*; *ognisko pozorne*. **2.** a) Pozorny, prosty, pomniejszony, b) pozorny, prosty, pomniejszony.

Zadania: 1. a) *tworzą wiązkę rozbieżną*, b) *wypukłych*, c) *tylko w zwierciadle wypukłym*. **2.** a) Wklęsłe, b) wypukłe, c) wypukłe, d) wklęsłe. **3.** 50 cm; za zwierciadłem. **4.** Przed zwierciadłem sferycznym wypukłym. **5.** a) Pozorny, prosty, pomniejszony, b) pozorny, prosty,

pomniejszony. **7.** 24 cm. **8.** ① wklęsłe, ② wypukłe, ③ wklęsłe, ④ wklęsłe, ⑤ wklęsłe. **9.** a) 20 cm, c) 5 cm; 30 cm. **11.** a) Od świateł długich, b) Gdyby to włókno nie było od dołu przysłonięte, wtedy promienie odbite oślepiałyby nadjeżdżających z naprzeciwka kierowców.

Lekcja 29. Załamanie światła

Ćwiczenia: 1. 1,5 raza. **2.** ① — woda, ② — szkło.

Zadania: 1. a) F, b) B, c) D, d) E, e) A. **2.** A. **3.** 157 895 $\frac{\text{km}}{\text{s}}$. **4.** Kąt padania i kąt odbicia 42°; kąt załamania 25°. **5.** Im niżej tym światło porusza się coraz szybciej, gęstość powietrza jest coraz mniejsza. **6.** 0,2 s. **7.** a) Zwiększy się, b) zmniejszy się. **8.** a) Nie, b) tak.

Lekcja 30. Soczewki wypukłe

Ćwiczenia: 1. Rzeczywisty, odwrócony, powiększony. **2.** Obraz nie powstaje, ponieważ promienie załamane są równoległe.

Zadania: 1. a) Rzeczywisty, odwrócony, pomniejszony, b) rzeczywisty, odwrócony, rozmiar niezmieniony, c) rzeczywisty, odwrócony, powiększony, d) pozorny (czyli nie można go otrzymać na ekranie), prosty, powiększony. **2.** 1,5 m; 75 cm. **4.** 33 cm. **5.** b) ① 10 cm, około 33 cm, powiększenie $\frac{2}{3}$; ② 15 cm, 40 cm, powiększenie 1; ③ 30 cm, 60 cm, powiększenie 2; ④ — brak obrazu; ⑤ 30 cm, 20 cm, powiększenie 2. **6.** 40 cm. **7.** a) Dalej, b) dalej, c) bliżej. **8.** b) $f = 15$ cm, c) 60 cm. **10.** Ogniskowa soczewki wydłuży się (promienie będą się mniej załamywać), ogniskowa zwierciadła nie zmieni się (promienie będą się tak samo odbijać). **11.** a) Dzięki zjawisku odbicia, b) dzięki zjawisku załamania, c) ze szkła flint, d) nie.

Lekcja 31. Soczewki wklęsłe i wady wzroku

Ćwiczenie: 1. Pozorny, prosty, pomniejszony.

Zadania: 1. ① — rozpraszająca (promienie załamują się w soczewce na zewnątrz i wychodzą poza cień przez nią rzucany); ② — skupiająca. **2.** ①, ④ i ⑤. **3.** a) Skupiająca, b) rozpraszająca, c) skupiająca, d) skupiająca. **4.** a) *rogówka*, b) *tęczówce*, c) *źrenica*, d) *siatkówka*, e) *skupiająca*. **5.** ① oko dalekowidza, ② oko krótkowidza. **6.** a) *rozpraszającymi*; *przed*, b) *wypukłymi*; *słabo*. **7.** a) Matryca światłoczuła, b) otwór w przysłonie, c) układ optyczny obiektywu. **9.** Pozorny, prosty, pomniejszony. **10.** Krótkowzroczność. **11.** Światło, przechodząc z wody do soczewki oka, jest słabiej załamywane (niż przechodząc z powietrza do soczewki oka), przez co obraz powstaje za siatkówką i jest niewyraźny.

Lekcja dodatkowa. Układy optyczne

Ćwiczenie: 1. *skupiających*; *różnych*; *czerwonym*; *pozorny*; *odwrócony*; *powiększony*.

Zadania: 1. *Okular*; *obiektyw*; *skupiające*; *pozorny*; *powiększony*. **2.** *olbrzymie*; *pomniejszony*; *powiększyć*; *pozorny*. **5.** a) W miejscu przecięcia promieni, b) Np. w lampach samochodowych, żeby wytworzyć równoległą wiązkę promieni światła i nie oślepiać kierowców jadących z naprzeciwka. **6.** a) Strzałki mają taką samą długość. b) Obie żółte linie mają taką samą długość. **7.** *soczewki i zwierciadła*; *wypukła*; *załamują*; *skupiająca*; *bliżej*.

Lekcja 32. Rozszczepienie światła

Ćwiczenia: 1. a) Pomarańczowa, b) pomarańczowa, c) zielona. **2.** Czarny.

Zadania: 1. a) Soczewka skupiająca, b) soczewka rozpraszająca, c) pryzmat. **2.** a) *nie ulega*; *fali jednej długości*, b) *fioletowej*; *najmniejsza*. **3.** ③, ⑦, ②, ⑤, ①, ④, ⑥. **4.** a) *taka sama*, b) *wolniej*, c) *fioletowej*. **6.** a) Czarną, b) fioletową, c) czarną. **7.** 387 nm. **8.** 242 nm.

9. Farba czerwona pochłania wszystkie barwy oprócz czerwonej, niebieska — wszystkie oprócz niebieskiej, żółta — wszystkie oprócz żółtej. Mieszanina tych farb pochłania wszystkie składniki światła białego i powstaje kolor czarny. **10.** a) Czerwoną i zieloną, b) niebieską i zieloną, c) niebieską i czerwoną.

Powtórzenie. Optyka

Część 3A. Sprawdź, czy potrafisz. Rozgrzewka: 1. ③ i ⑤. **2.** *gamma*; *fale radiowe*; *czerwonej*. **3.** C. **4.** B; C; A. **5.** B. **6.** ① i ④. **7.** *O* — środek krzywizny zwierciadła; *r* — promień krzywizny; *F* — ognisko; *f* — ogniskowa. **8.** a) *rzeczywisty*; *odwrócony*; *pomniejszony*, b) *pozorny*; *prosty*; *powiększony*, c) *pozorny*; *prosty*; *pomniejszony*. **9.** B. **10.** a) W ośrodku I, b) w ośrodku I, c) w ośrodku II, d) w ośrodku I. **11.** a) Ⓐ; Ⓓ; Ⓕ, b) Ⓑ; Ⓒ; Ⓔ. **12.** a) *rzeczywisty*; *odwrócony*; *powiększony*, b) *pozorny*; *prosty*; *powiększony*, c) *pozorny*; *prosty*; *pomniejszony*. **13.** B.

Część 3B. Sprawdź, czy potrafisz. Trening: 1. A–III; B–I; C–IV; D–V; E–II. **2.** *półcieniu*; *Księżyc*; *cieniu*; *Ziemię*. **3.** Szyba częściowo przepuszcza światło, a częściowo odbija (tak jak zwierciadło). W szybie odbija się obraz płomienia. Jest to obraz pozorny i wydaje się, że znajduje się on w szklance. **4.** a) 2, b) 3, c) rzeczywisty, odwrócony, powiększony. **5.** Rzeczywisty, odwrócony, powiększony. **6.** a) $r = 32$ cm, $f = 16$ cm, b) $r = 24$ cm, $f = 12$ cm. **7.** $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Hz (w powietrzu i w wodzie); 308 nm. **8.** C. **9.** *rzeczywisty*; *odwrócony*; *taką samą*. **10.** a) Większa strzałka to przedmiot. Obrazy powstające w soczewkach rozpraszających są zawsze pomniejszone. b) pozorny; prosty; pomniejszony, c) Soczewka znajduje się 16 cm od przedmiotu. Ogniskowa to −16 cm. **11.** *rozpraszające*; *proste*; *pomniejszone*; *krótkowzroczność*; *przed*. **12.** *żarówkę*; *składającym się z fal o różnych długościach*; *mniej*.

Zdjęcia:
© Edward Ball, GNU GPLv3: s. 181, 185; ALAMY LIMITED / Agencja BE&W: s. 132; Agencja BE&W: s. 72; Alamy Stock Photo / Agencja BE&W: s. 32, 72, 122, 127, 156, 162; Andrez1 / Wikipedia / Domena Publiczna: s. 135; Archiwum GWO: s. 22; Department of Commerce / NOAA / Domena Publiczna: s. 177; East News: s. 53; East News / Andrzej Zbraniecki: s. 5; G. Haslam / MPIfR / DETLEV VAN RAVENSWAAY / Science Photo Library / East: s. 197; Geek3 / Wikipedia / Domena Publiczna: s. 124; Hannes Grobe / AWI / Wikipedia / Domena Publiczna: s. 105; Jakub Swerpel: s. 117, 119, 132, 133, 142, 148, 151, 152, 154, 156, 175, 200, 203, 212, 226, 230, 251, 259, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 269; KING'S COLLEGE LONDON ARCHIVES / Science Photo Library / East News: s. 196; Matemateca (IME/USP) / Rodrigo Tetsuo Argenton: s. 155; Mateusz Jęsiek: s. 237; NOAA's Pacific Marine Environmental Laboratory (PMEL) / Domena Publiczna: s. 173; Science Photo Library / East News: s. 21, 213, 232, 238; Shutterstock: s. 6, 9, 10, 12, 14, 15, 18, 19, 22, 23, 27, 28, 32, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 51, 52, 53, 63, 64, 68, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 80, 83, 89, 92, 95, 100, 102, 105, 107, 114, 115, 116, 117, 120, 130, 132, 135, 136, 137, 138, 144, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 162, 169, 171, 172, 173, 177, 178, 179, 181, 185, 191, 192, 194, 195, 196, 197, 198, 203, 205, 207, 212, 219, 222, 225, 229, 231, 233, 237, 238, 241, 242, 244, 246, 247, 249, 251, 252, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 271, 272, 273.

ISBN 978-83-8118-648-3

Podręcznik spełnia kryteria *Ustawy o systemie oświaty* i obowiązującej podstawy programowej. Został dopuszczony przez MEN do użytku szkolnego i wpisany do wykazu podręczników. **Numer dopuszczenia: 1161/2/2024**

www.gwo.pl