

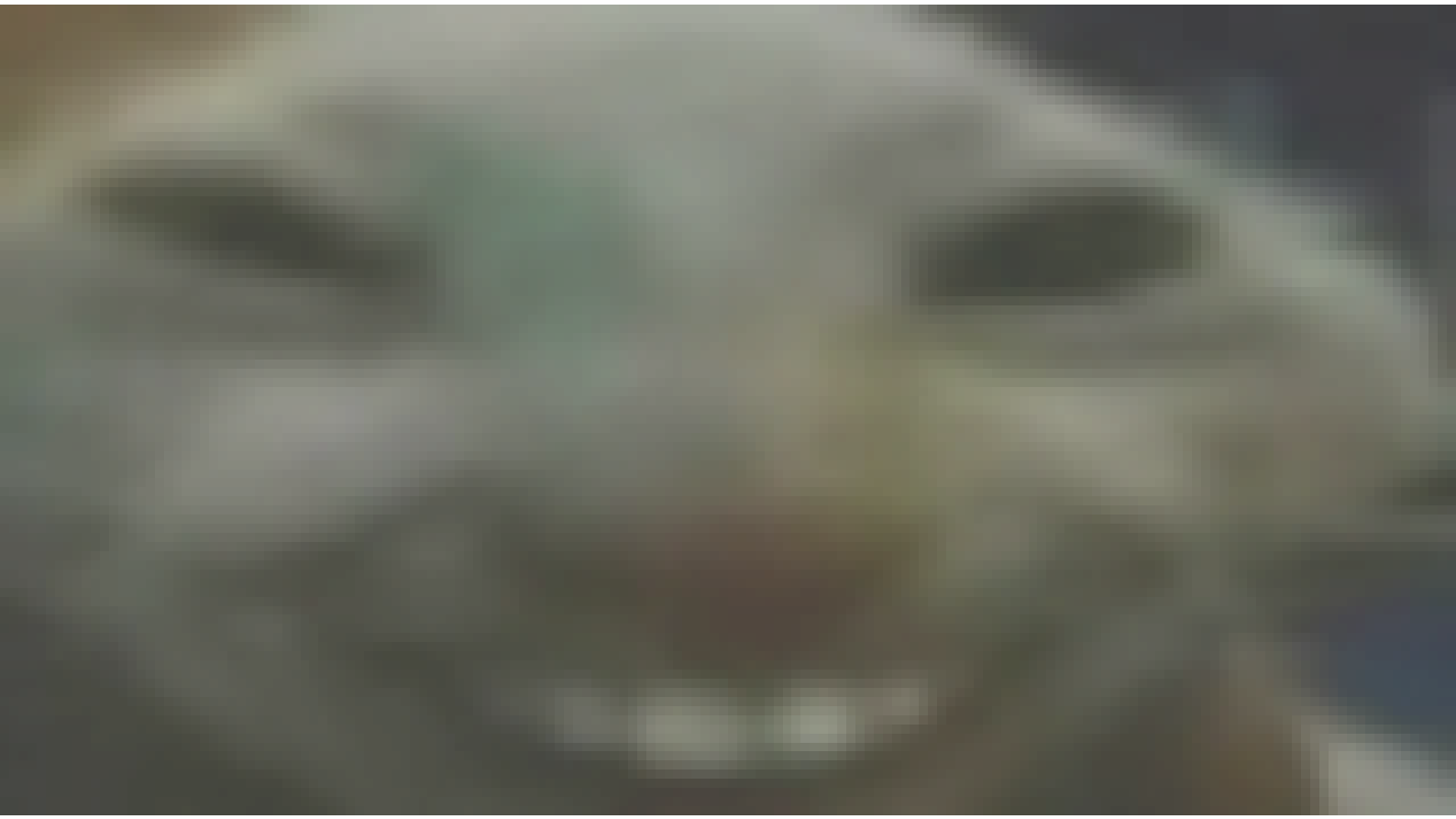
DLA ABSOLWENTÓW SZKÓŁ PODSTAWOWYCH

# Odkryć fizykę 2

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

**Zakres podstawowy**

nowa era



Marcin Braun
Weronika Śliwa

# Odkryć fizykę

Podręcznik
dla liceum ogólnokształcącego i technikum

2

**Zakres podstawowy**

nowa era Twoje mocne strony

# Odkryć fizykę

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania fizyki, na podstawie opinii rzeczoznawców: **dr Antoniny Nowety, prof. dr. hab. Aleksandra Filipa Żarneckiego i dr hab. Elżbiety Wierzbickiej-Piotrowskiej.**

Zakres kształcenia: podstawowy
Etap edukacyjny: III
Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)
**Rok dopuszczenia: 2020**

**Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1001/2/2020**

Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania fizyki w liceum ogólnokształcącym i technikum do zakresu podstawowego. Odkryć fizykę* autorstwa Marcina Brauna i Weroniki Śliwy.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na **www.legalnakultura.pl**

© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2020
ISBN 978-83-267-3971-2

**Konsultacje merytoryczne:** Michał Matraszek
**Opracowanie redakcyjne i redakcja merytoryczna:** Dorota Brzozowiec-Dek
**Współpraca redakcyjna:** Miłosz Budzyński, dr Agnieszka Grzelińska, Dorota Okulewicz
**Redakcja językowa:** Dorota Rzeszewska
**Korekta językowa:** Joanna Sawicka
**Fotoedycja:** Katarzyna Iwan-Malawska
**Nadzór artystyczny:** Kaia Pichler
**Opieka graficzna:** Ewa Kaletyn
**Projekt graficzny:** Klaudia Jarocka
**Projekt okładki:** Maciej Galiński, wykorzystano elementy autorstwa Wojtka Urbanka
**Opracowanie graficzne:** Klaudia Jarocka, Agnieszka Skopińska
**Ilustratorzy:** Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Marta Długokęcka, Andrzej Dukata, Natalia Helman, Joanna Ptak, Ewa Sowulewska
**Realizacja projektu graficznego:** Adam Poczciwek

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl, tel. 801 88 10 10

Druk i oprawa: Walstead Central Europe

# Spis treści

O czym jest podręcznik . . . . . 4

## 4. Elektrostatyka

1. Ładunki elektryczne. . . . . 6
2. Zasada zachowania ładunku . . . . . 12
3. Prawo Coulomba. . . . . 18
4. Pole elektryczne . . . . . 25
5. Klatka Faradaya. . . . . 31
6. Kondensator . . . . . 37

**Powtórzenie** . . . . . 44
**Zadania powtórzeniowe** . . . . . 47
**Projekt.** Burze małe i duże . . . . . 50
**Analiza tekstu.** Ciekawa nauka wokół nas . . 51

## 5. Prąd elektryczny

7. Obwody elektryczne. . . . . 54
8. Napięcie i natężenie prądu . . . . . 62
9. Pomiar napięcia i natężenia . . . . . 68
10. Połączenia szeregowe i równoległe . . . . . 75
11. Pierwsze prawo Kirchhoffa . . . . . 82
12. Prawo Ohma . . . . . 87
13. Opór elektryczny . . . . . 92
14. Opór a temperatura . . . . . 98
15. Energia elektryczna i moc prądu elektrycznego. . . . . 103

**Powtórzenie** . . . . . 109
**Zadania powtórzeniowe** . . . . . 112
**Projekt.** Jak działają baterie . . . . . 116
**Analiza tekstu.** Energia na czarną godzinę . . . . . 117

## 6. Elektryczność i magnetyzm

16. Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna. . . . . 120
17. Bezpieczeństwo sieci elektrycznej . . . . . 127
18. Pole magnetyczne . . . . . 134

**Temat dodatkowy.** Magnetyzm i materia . . 141

19. Linie pola magnetycznego . . . . . 145
20. Siła w polu magnetycznym. . . . . 153
21. Indukcja elektromagnetyczna . . . . . 160
22. Transformator. . . . . 165
23. Dioda . . . . . 170

**Temat dodatkowy.** Budujemy lepszy prostownik . . . . . 175

24. Tranzystor . . . . . 178

**Powtórzenie** . . . . . 182
**Zadania powtórzeniowe** . . . . . 185
**Projekt.** Ziemskie pole magnetyczne. . . . . 189
**Analiza tekstu.** Szósty zmysł? Magnetyczny! . . . . . 190

## Zbiór zadań

Elektrostatyka . . . . . 194
Prąd elektryczny . . . . . 197
Elektryczność i magnetyzm . . . . . 201

**Tabele** . . . . . 206
**Indeks** . . . . . 208
**Spis dodatków matematycznych** . . . . . 209
**Spis doświadczeń obowiązkowych** . . . . . 209
**Spis adresów umieszczonych pod kodami QR** . . . . . 209
**Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań** . . . . . 210

---

## Klasa 1

Wprowadzenie
1. Przyczyny i opis ruchu prostoliniowego
2. Ruch po okręgu i grawitacja
3. Praca, moc, energia

## Klasa 3

7. Termodynamika
8. Drgania
9. Fale i optyka
10. Fizyka atomowa
11. Fizyka jądrowa. Gwiazdy i Wszechświat

# O czym jest podręcznik

W podręczniku *Odkryć fizykę 2* znajdziesz ważne i ciekawe informacje dotyczące elektryczności i magnetyzmu. Dzięki tym wiadomościom zrozumiesz wiele zjawisk z otaczającego cię świata.




# Czemu służą poszczególne elementy podręcznika

**Cele lekcji**

Przed każdym tematem dowiesz się, o czym będziesz się uczyć.

**To najważniejsze**

Podsumowanie tematu podpowie ci, które treści są w nim najważniejsze.

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

Dzięki czytelnym wyróżnieniom łatwo odnajdziesz **wzory, definicje i ważne informacje**.

Napięcie zależy tylko od wyboru punktów...

**Uwagi** i **komentarze** ułatwią ci zrozumienie informacji zawartych w tekście głównym i w przykładach.

D

Treści spoza podstawy programowej.

**Dodatek matematyczny**

Dodatki matematyczne pomogą ci opanować lub przypomnieć sobie niezbędne umiejętności i wiadomości z matematyki.

**Doświadczenie**

**Doświadczenie obowiązkowe**

Czytelnie opisane i zilustrowane doświadczenia ułatwią ci przeprowadzanie i analizowanie eksperymentów. Doświadczenia obowiązkowe zostały wyraźnie oznaczone.

**Przykład**

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

**Pytania i zadania**

Wykonanie poleceń i zadań zamieszczonych na końcu lekcji pozwoli ci utrwalić zdobytą wiedzę i umiejętności.

**A to ciekawe**

**Z historii**

Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym dowiesz się interesujących faktów związanych z lekcją.

**Powtórzenie**

Na tych stronach znajdziesz najważniejsze wiadomości z danego rozdziału.

**ZADANIA POWTÓRZENIOWE**

Dzięki tym zadaniom sprawdzisz stopień opanowania umiejętności i wiadomości z danego rozdziału.



# 4 Elektrostatyka

Jak to się dzieje, że człowiek może siedzieć bezpiecznie w metalowej klatce, w którą biją pioruny?



# 1. Ładunki elektryczne

**Cele lekcji**

- Przypomnisz sobie, kiedy naelektryzowane ciała się odpychają, a kiedy przyciągają.
- Powtórzysz wiadomości na temat ładunku elektrycznego.
- Dowiesz się, jaki ładunek mają cząstki, z których składa się atom, i jak przemieszczają się elektrony w czasie elektryzowania ciał.

## Co przed nami

Przez całą drugą klasę będziemy omawiać zjawiska elektryczne i magnetyczne. Pomoże ci to zrozumieć procesy zachodzące w otaczającym nas świecie, działanie urządzeń elektrycznych i elektronicznych, z którymi masz do czynienia na co dzień, a nawet niektóre aspekty funkcjonowania twojego własnego organizmu.

Zaczniemy od najprostszych zjawisk związanych z oddziaływaniem ładunków elektrycznych i elektryzowaniem ciał. Dział fizyki zajmujący się tymi zagadnieniami nazywamy **elektrostatyką**, co oznacza dosłownie „elektryczność w spoczynku". Wprawdzie elektrostatyka zajmuje się także zjawiskami, w których ładunki przepływają z jednych ciał na inne, jednak nie bada zjawisk związanych z tym przepływem, a jedynie jego przyczyny i skutki oraz stan przed ruchem ładunków i po nim.

## Oddziaływanie ciał naelektryzowanych

Zjawisko elektryzowania ciał znasz oczywiście z lekcji w szkole podstawowej, przede wszystkim jednak – z życia codziennego. Elektryzowanie często bywa uciążliwe: włosy przyczepiają się do grzebienia, kurz do plastikowych przedmiotów, np. do paneli podłogowych, a dwie warstwy folii trudno od siebie oddzielić. Wkrótce poznasz także praktyczne zastosowania tego zjawiska.

Na co dzień obserwujemy przede wszystkim przyciąganie elektrostatyczne, które będziemy w skrócie nazywać przyciąganiem elektrycznym. Wykonamy teraz prosty eksperyment, który pozwoli stwierdzić, że naelektryzowane ciała mogą się także odpychać.

## Doświadczenie 1.

### Badanie oddziaływania ciał naelektryzowanych

**Uwaga.** W trakcie doświadczenia nie dotykaj bez potrzeby kawałków taśmy od strony z klejem i trzymaj taśmę za sam koniec. Rolki z taśmą dotykaj tylko z boku.

1. Przygotuj rolkę szerokiej taśmy klejącej i nożyczki.
2. Odetnij kawałek taśmy długości ok. 30 cm i zawieś za jeden koniec tak, aby zwisał swobodnie np. ze statywu lub brzegu stołu.
3. Zbliżaj powoli rolkę taśmy do wiszącego kawałka taśmy. Obserwuj oddziaływanie między paskiem taśmy a rolką. Jak się ono zmienia w zależności od tego, w jakiej odległości od siebie znajdują się pasek taśmy i rolka?
4. Odetnij drugi kawałek taśmy tej samej długości co pierwszy i przyklej jednym końcem do palca tak, aby zwisał luźno.
5. Zbliż do siebie kawałki taśmy stroną nieposmarowaną klejem i obserwuj, jak wzajemnie na siebie oddziałują.
6. Opisz swoje obserwacje. Skorzystaj przy tym z wiadomości ze szkoły podstawowej.



W doświadczeniu możemy łatwo zaobserwować, że dwa paski taśmy się odpychają, a pasek i rolka – przyciągają. Oddziaływanie jest silniejsze, gdy ciała znajdują się bliżej. Tą zależnością od odległości zajmiemy się dokładniej w lekcji 3.
Teraz przypomnimy, od czego zależy rodzaj oddziaływania, czyli kiedy mamy do czynienia z przyciąganiem, a kiedy – z odpychaniem.

## Wskazówki praktyczne (elektrostatyka)

W doświadczeniach z elektrostatyki spotykamy się z bardzo wysokimi napięciami. Nie są one niebezpieczne dla człowieka, ponieważ jednocześnie mamy do czynienia z bardzo małym ładunkiem, czyli z małą energią.

W wielu doświadczeniach problemem jest pochłanianie wody z powietrza przez papier lub bawełnianą nić, co powoduje, że przewodzą one prąd. Choć to przewodnictwo jest bardzo słabe, jednak zauważalne przy niewielkich ładunkach, z którymi mamy do czynienia w elektrostatyce. Dlatego lepiej zastosować się do kilku wskazówek.

1. Przyrządy do doświadczeń warto ostrożnie wysuszyć suszarką do włosów.
2. Zamiast nici bawełnianych najlepiej stosować materiały nieabsorbujące wody, takie jak plastikowa wstążka (używana do wiązania bukietów i pakowania prezentów), żyłka wędkarska, rozcięta gumka recepturka.
3. Także ciało ludzkie jest dobrym przewodnikiem, dlatego aby nie rozładować przyrządów, nie należy dotykać ich metalowych części.



## Analiza zjawiska elektryzowania ciał

Dlaczego w jednym przypadku mamy do czynienia z przyciąganiem, a w innym – z odpychaniem?
Aby to wyjaśnić, przypomnijmy, że wielkość fizyczną, która określa, jak bardzo ciało jest naelektryzowane, nazywamy **ładunkiem elektrycznym**, w skrócie: ładunkiem. Tak więc:

- naelektryzowane ciało ma ładunek różny od zera,
- nienaelektryzowane ciało ma całkowity ładunek równy zeru.

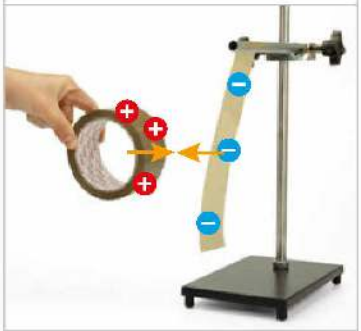
Rodzaj oddziaływania – przyciąganie lub odpychanie – zależy od znaku ładunków.

> Istnieją **dwa rodzaje ładunków** elektrycznych: dodatni i ujemny. Jeśli dwa ciała mają ładunki o tym samym znaku – **odpychają się**, a jeśli ładunki o przeciwnym znaku – **przyciągają się.**

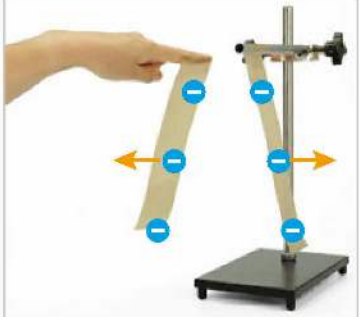
Można sprawdzić doświadczalnie (patrz s. 11), że rolka była naelektryzowana dodatnio, a oderwany od niej pasek – ujemnie, czyli ciała miały ładunek o różnych znakach, dlatego się przyciągały (zdjęcie A). Oba paski taśmy były naelektryzowane ujemnie, więc znaki były jednakowe, dlatego te ciała się odpychały (zdjęcie B).
Dwie rolki (obie naelektryzowane dodatnio) także się odpychają, choć ze względu na ich stosunkowo dużą masę może to być trudniejsze do zaobserwowania.

### Oddziaływanie ładunków

**A.** Ciała naelektryzowane ładunkami o przeciwnych znakach – przyciąganie

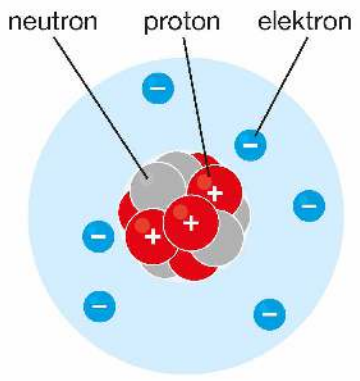


**B.** Ciała naelektryzowane ładunkami o takich samych znakach – odpychanie



## Dlaczego ciała się elektryzują

Aby zrozumieć zjawisko elektryzowania ciał, musimy odwołać się do budowy materii w najmniejszej skali.
Jak wiesz, przedmioty wokół nas są zbudowane z atomów. Atom składa się z **jądra** i **elektronów**. W jądrze znajdują się **protony**, mające ładunek dodatni, oraz elektrycznie obojętne **neutrony** (jedynie jądro izotopu wodoru ${}_1^1\mathrm{H}$ jest pozbawione neutronów). Jądro jako całość ma więc ładunek dodatni. Natomiast **elektrony** mają ładunek ujemny.




▲ Budowa atomu

> Protony, znajdujące się w jądrze, mają ładunek **dodatni**, a elektrony mają ładunek **ujemny**.

Właśnie przyciąganie elektryczne między jądrem a elektronami powoduje, że elektrony są związane ze swoim atomem.

Jądro atomu jest ok. 100 000 razy mniejsze niż cały atom, ale skupia ok. 99,97% jego masy.

### A to ciekawe

Niektóre kwiaty są naelektryzowane ujemnie, a zapylające je owady – dodatnio. Ładunki kwiatu i owada są zbyt małe, aby siła elektryczna mogła je do siebie przyciągnąć, jednak wystarczają, aby pyłek przyczepił się do ciała owada. W 2013 r. odkryto, że trzmiele mają zmysł wyczuwania ładunku elektrycznego. Owady siadały na sztucznych kwiatach, które wabiły je wyłącznie ujemnym ładunkiem.



W znanym ci ze szkoły podstawowej klasycznym modelu atomu przyjmowano, że elektrony krążą wokół jądra jak planety wokół Słońca. Opis zgodny ze współczesną wiedzą jest całkowicie odmienny, ale jednocześnie zbyt skomplikowany, aby wyjaśnić go w szkole średniej. Do tego zagadnienia wrócimy w trzeciej klasie.

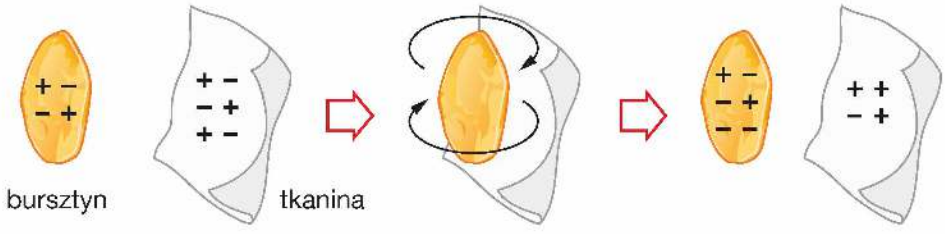
Ładunek protonu ma taką samą wartość bezwzględną jak ładunek elektronu, ale przeciwny znak. Ponieważ protonów jest w atomie tyle samo co elektronów, cały atom jest **obojętny elektrycznie**, tzn. ma całkowity ładunek równy zeru.

Ciało zbudowane z obojętnych elektrycznie atomów również jest obojętne elektrycznie. Gdy jednak zetkniemy dwa różne ciała, a następnie je rozdzielimy, zwykle niewielka część elektronów z jednego z tych ciał przemieści się na drugie.
Od atomu mogą się oderwać elektrony położone najdalej od jądra, czyli elektrony walencyjne, znane ci z lekcji chemii.

Silniejszy efekt uzyskujemy **przez potarcie ciał** (np. potarcie balonika albo bursztynu kawałkiem tkaniny) albo ich lekkie sklejenie i oderwanie (jak to ma miejsce w przypadku taśmy klejącej). W rezultacie:

- w jednym z ciał jest więcej elektronów niż protonów, czyli ma ono nadmiar elektronów i w związku z tym – ładunek ujemny (ciało jest naelektryzowane ujemnie),
- w drugim ciele jest mniej elektronów niż protonów, czyli ma ono niedomiar elektronów i w związku z tym – ładunek dodatni (ciało jest naelektryzowane dodatnio).

Jednak nawet w bardzo silnie naelektryzowanych ciałach ten nadmiar lub niedobór obejmuje tylko znikomą część elektronów (np. jeden na milion miliardów).




▲ Gdy pocieramy bursztyn tkaniną, część elektronów przechodzi z tkaniny na bursztyn. Bursztyn elektryzuje się ujemnie, a tkanina – dodatnio

# Czy czarne elektryzuje się lepiej?

Już w starożytności zauważono, że bursztyn potarty suknem przyciąga kawałki nici i kurz. Właśnie od greckiego słowa *elektron*, oznaczającego bursztyn, pochodzi nazwa zjawisk elektrycznych. Jednak pierwszy opis systematycznych badań nad nimi pochodzi z 1600 r. Istnienie dwóch różnych „rodzajów elektryczności", czyli – jak mówimy dzisiaj – ładunków o przeciwnych znakach, odkrył dopiero w 1733 r. francuski naukowiec Charles François Du Fay (czyt. szarl fransua dife).

**Charles Du Fay**



Charles François Du Fay (1698–1739) – służył w wojsku jako oficer, a później zarządzał królewskim ogrodem botanicznym. Badania prowadził więc jedynie w wolnym czasie. Zajmował się nie tylko fizyką, lecz także geometrią, astronomią, chemią, a nawet budową pomp strażackich.

Dlaczego odkrycie dwóch rodzajów ładunków elektrycznych zajęło aż 133 lata?

Dziś uczysz się fizyki w szkole i wykonujesz doświadczenia zaplanowane przez nas i twojego nauczyciela tak, aby doprowadziły cię do znanej już wiedzy. Uczeni badający nowe zjawiska nie mogą jednak przewidzieć, które doświadczenie da interesujące wyniki. Podążają różnymi błędnymi tropami, zanim trafią na właściwy.

Na przykład Du Fay sprawdzał, czy siła, którą naelektryzowane ciało przyciąga kawałki wstążki, zależy od koloru tych wstążek. Początkowo nawet sądził, że udało mu się uchwycić taką zależność: wstążka czarna miała być przyciągana najsilniej, nieco słabiej – biała, a kolejne wstążki coraz słabiej według kolejności barw w tęczy – od fioletowej do czerwonej. Co prawda, dalsze eksperymenty zmusiły badacza do odrzucenia tego poglądu, jednak nie poszły one na marne: właśnie dzięki nim uczony odkrył dwa rodzaje elektryczności.



## To najważniejsze

- Istnieją **dwa rodzaje ładunków elektrycznych**: ładunki dodatnie i ujemne. Jeśli dwa ciała mają ładunki o tym samym znaku – odpychają się, a jeśli znaki ładunków są przeciwne – przyciągają się.
- Atom składa się z jądra, w którym są **protony** i **neutrony**, oraz z **elektronów** otaczających jądro.
- Elektrony mają ładunek ujemny, a protony dodatni i równy co do wartości bezwzględnej ładunkowi elektronu. Dlatego cały atom, w którym jest tyle samo protonów co elektronów, jest **obojętny elektrycznie** (ma całkowity ładunek równy zeru).

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

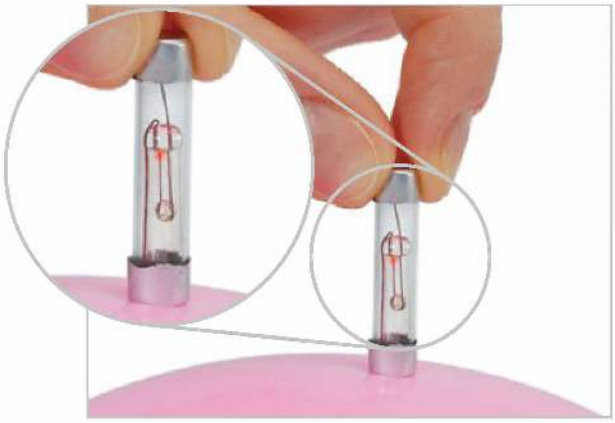


1. Balonik potarty tkaniną elektryzuje się ujemnie. Określ, jaki znak ma ładunek naelektryzowanego szkła, skoro przyciąga ono balonik.
2. Balonik ma ładunek ujemny, a naelektryzowana plastikowa rura od odkurzacza – dodatni. Ustal, czy rura przyciąga czy odpycha balonik. Czy siła działająca na rurę jest większa, mniejsza czy taka sama jak siła działająca na balonik?
3. Pewne ciało zawierało dokładnie $10^{24}$ protonów i tyle samo elektronów. Następnie zostało naelektryzowane dodatnio. Dobierz z ramki właściwe uzupełnienia zdania. Zapisz w zeszycie całe zdanie.
   Ciało naelektryzowane dodatnio zawiera **I/ II/ III** protonów i **I/ II/ III** elektronów.

   **I.** trochę więcej niż $10^{24}$ **II.** trochę mniej niż $10^{24}$ **III.** nadal dokładnie $10^{24}$
4. Dowiedz się i krótko opisz, jak działa głośnik elektrostatyczny (ang. *electrostatic loudspeaker*). Zapisz, z jakich źródeł korzystasz.

### Doświadczenie domowe

**Badanie znaku ładunku**



1. Kup tani próbnik napięcia. Ten przyrząd wygląda jak śrubokręt, ale gdy jego końcem dotykamy przewodu pod napięciem, znajdująca się w rączce lampka neonowa świeci.
2. Rozmontuj próbnik i wyjmij z niego lampkę neonową (patrz zdjęcie).
3. Chwyć lampkę za jedną z metalowych końcówek i przesuń wzdłuż naelektryzowanego ciała, np. balonika (jak na zdjęciu).
4. Uważnie obserwuj neonówkę. Znajdują się w niej dwa druciki – elektrody. Gaz wewnątrz lampki świeci tylko wokół tej elektrody, przez którą wpływają elektrony. To znaczy, że:
   - jeśli ciało jest naelektryzowane ujemnie, gaz świeci przy elektrodzie podłączonej do końcówki, którą dotykasz badanego ciała,
   - jeśli ciało jest naelektryzowane dodatnio, gaz świeci przy elektrodzie podłączonej do końcówki, którą trzymasz palcami.
5. Zbadaj w ten sposób znak kilku naelektryzowanych ciał, m.in. kawałka szerokiej taśmy klejącej oderwanego od rolki oraz samej rolki po oderwaniu tego kawałka.



# 2. Zasada zachowania ładunku

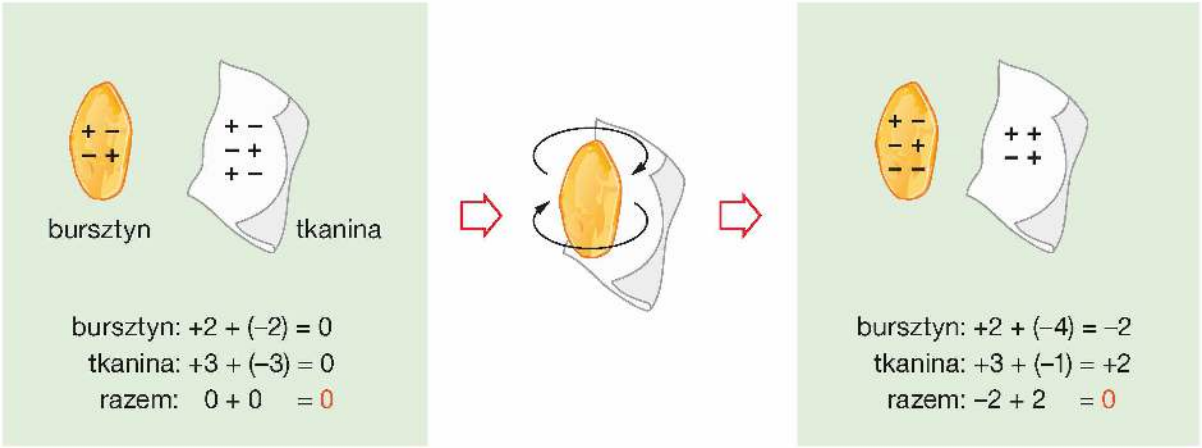
**Cele lekcji**

- Zapoznasz się z jednostką ładunku elektrycznego.
- Poznasz zasadę zachowania ładunku elektrycznego i nauczysz się wykorzystywać ją do obliczania ładunku naelektryzowanych ciał.

Wśród praw fizyki szczególnie ważną rolę odgrywają zasady zachowania, do których należy znana ci już zasada zachowania energii. Zasady zachowania mówią o tym, że pewne wielkości fizyczne się nie zmieniają. Do takich wielkości należy także ładunek elektryczny.

## Całkowity ładunek układu ciał

W zjawiskach związanych z elektryzowaniem ciał naładowane cząstki – protony i elektrony – nie powstają ani nie znikają. Dlatego całkowity ładunek ciał także się nie zmienia. Spójrzmy jeszcze raz na schemat elektryzowania bursztynu z poprzedniej lekcji, ale tym razem obliczmy całkowity ładunek bursztynu oraz tkaniny przed elektryzowaniem i po naelektryzowaniu.



Jak widzimy, całkowity ładunek nie uległ zmianie, choć część elektronów przepłynęła z tkaniny na bursztyn. Bursztyn naelektryzował się ujemnie, a tkanina – dodatnio.

**Zasada zachowania ładunku**: całkowity ładunek izolowanego układu ciał jest stały.

Przy obliczaniu całkowitego ładunku należy uwzględnić, czy ładunki składowe są dodatnie, czy ujemne. W zjawiskach, którymi teraz się zajmujemy, zasada zachowania ładunku jest dość oczywista: wynika po prostu z faktu, że ogólna liczba protonów i elektronów w układzie się nie zmienia.
Okazuje się, że zasada zachowania ładunku jest spełniona także w reakcjach jądrowych, w których przemianom mogą ulegać jądra i cząstki wchodzące w ich skład.

## Jednostki ładunku

Gdy mówimy o zjawiskach dotyczących pojedynczych atomów, najwygodniej za jednostkę przyjąć **ładunek elementarny** $e$, czyli wartość bezwzględną ładunku pojedynczego elektronu. Elektron ma więc ładunek $-e$.
Ładunek zgromadzony w dowolnym ciele jest wielokrotnością ładunku elementarnego, bo przecież podczas elektryzowania nie może przepłynąć tylko część elektronu. Do wyrażenia ładunku dowolnego ciała w jednostkach $e$ wystarczą więc liczby całkowite. Są to jednak liczby tak wielkie, że posługiwanie się nimi jest niewygodne. Dlatego w zjawiskach makroskopowych wygodniejszą jednostką jest jednostka układu SI – **kulomb**.

Jednostką ładunku elektrycznego w układzie SI jest kulomb (C). Jeden kulomb to wartość bezwzględna ładunku ok. $6{,}24 \cdot 10^{18}$ elektronów.

W takim razie ładunek elementarny jest równy w przybliżeniu:

$$e = \frac{1\,\mathrm{C}}{6{,}24 \cdot 10^{18}} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$

**Przykład**

### Obliczanie ładunku naelektryzowanych ciał

Balonik potarty kawałkiem tkaniny zyskał ładunek $-4$ nC, czyli $-4 \cdot 10^{-9}$ C. Następnie po baloniku przesunięto stalową kulkę i połowa nadmiarowych elektronów z balonika odpłynęła na tę kulkę. Jakie ładunki miały balonik, kulka i tkanina po wykonaniu tych czynności? Początkowo wszystkie te ciała były obojętne elektrycznie.

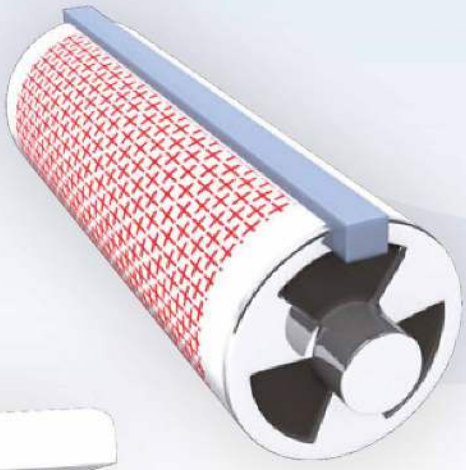
**Rozwiązanie:** Korzystamy z zasady zachowania ładunku. Skoro balonik zyskał ładunek $-4$ nC, to tkanina zyskała ładunek $+4$ nC. Ten ładunek nie zmieniał się już do końca opisanej sytuacji. Natomiast ładunek balonika podzielił się po połowie między balonik i kulkę, więc każde z nich miało na końcu ładunek $-2$ nC.

**Odpowiedź:** Tkanina ma ładunek $+4$ nC, a kulka i balonik po $-2$ nC.

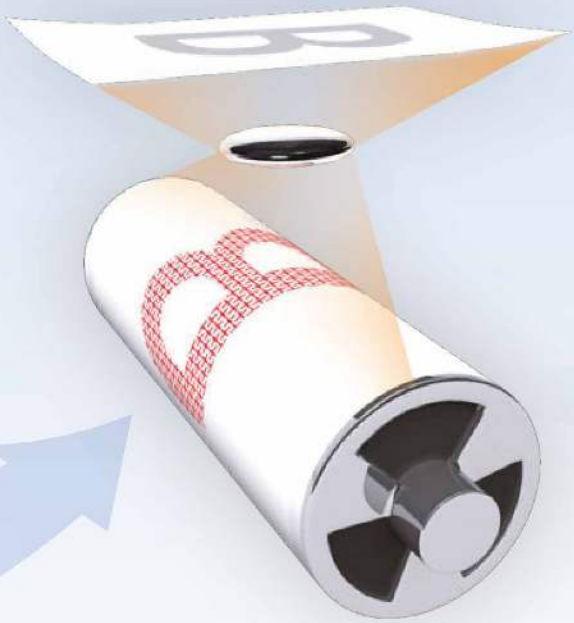
# Kserograf i drukarka laserowa

Kserograf działa dzięki oddziaływaniom elektrycznym między bębnem, tonerem i papierem. Kluczowe znaczenie ma pokrycie metalowego bębna substancją, która w ciemności jest izolatorem, a po oświetleniu staje się przewodnikiem. Na tej samej zasadzie działa drukarka laserowa. Różnica polega na tym, że w kserografie bęben jest oświetlany światłem odbitym od powielanej kartki, a w drukarce – światłem lasera sterowanego przez komputer. Część nowoczesnych kopiarek nie ma układu optycznego, ale stanowi skaner, komputer i drukarkę w jednej obudowie.

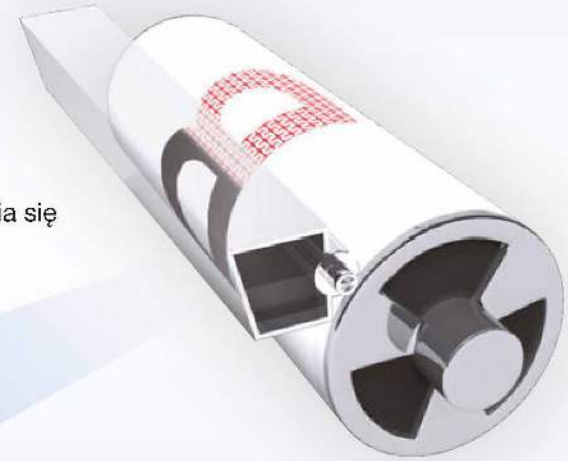
1 Metalowy pasek podłączony do wysokiego napięcia powoduje dodatnie elektryzowanie obracającego się pod nim bębna.



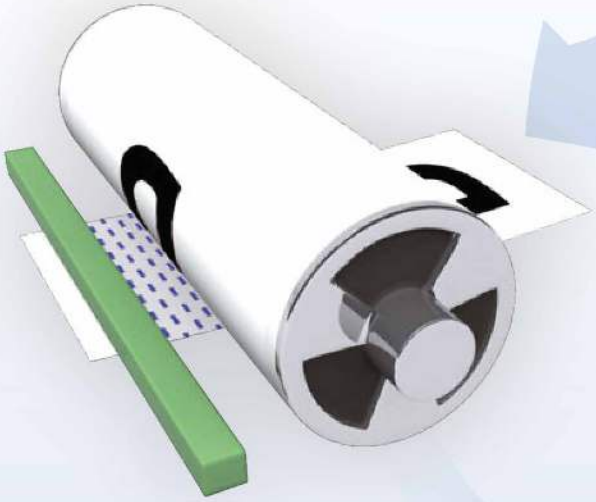




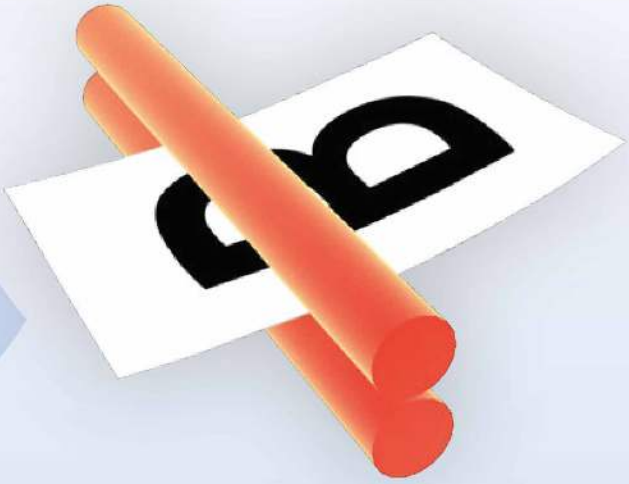
**2** Na bębnie za pomocą układu optycznego tworzony jest obraz kopiowanej kartki – w oświetlonych miejscach (odpowiadających białej powierzchni kartki) substancja pokrywająca bęben staje się przewodnikiem i bęben traci ładunek. W pozostałych miejscach bęben pozostaje naelektryzowany.



**3** Do naelektryzowanych miejsc bębna przyczepia się proszek – toner.



**4** Bęben dotyka naelektryzowanego ujemnie papieru. Toner przechodzi z bębna na papier.



**5** Gorące wałki powodują wygrzewanie toneru. W ten sposób utrwalają obraz na papierze. Dlatego wyjęta z kserografu kartka jest gorąca.

# Dodatek matematyczny

## Obliczenia w notacji wykładniczej

W elektrostatyce często spotykamy liczby bardzo małe (jak ładunek elementarny) i bardzo duże (jak liczba elektronów o łącznym ładunku –1 C). Przy ich zapisywaniu trzeba korzystać z notacji wykładniczej. Przypomnijmy na przykładach zasady zapisu liczb w tej notacji:

$$6{,}24 \cdot 10^{18} = 6{,}24 \cdot 1\underbrace{\,000\,000\,000\,000\,000\,000}_{18\text{ zer}} = 6\,\underbrace{240\,000\,000\,000\,000\,000}_{18\text{ cyfr}}$$

$$1{,}6 \cdot 10^{-19} = 1{,}6 \cdot 0{,}0000000000000000001 = 0{,}00000000000000000016$$

19. miejsce po przecinku

Przy wykonywaniu działań na liczbach zapisanych w notacji wykładniczej stosujemy znane z lekcji matematyki **prawa działań na potęgach**.

$$10^a \cdot 10^b = 10^{a+b} \qquad \frac{10^a}{10^b} = 10^{a-b} \qquad (10^a)^b = 10^{a \cdot b} \qquad 10^{-a} = \frac{1}{10^a}$$

Oto przykłady:

$$(5{,}3 \cdot 10^5)^2 = 5{,}3^2 \cdot (10^5)^2 = 28{,}09 \cdot 10^{5 \cdot 2} = 28{,}09 \cdot 10^{10} = 2{,}809 \cdot 10 \cdot 10^{10} = 2{,}809 \cdot 10^{11}$$

$$\frac{2{,}7 \cdot 10^8}{6 \cdot 10^6} = \frac{2{,}7}{6} \cdot \frac{10^8}{10^6} = 0{,}45 \cdot 10^{8-6} = 0{,}45 \cdot 10^2 = 0{,}45 \cdot 100 = 45$$

$$9 \cdot 10^9 \cdot (1{,}5 \cdot 10^{-9})^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 1{,}5^2 \cdot (10^{-9})^2 = 9 \cdot 10^9 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-9 \cdot 2} = 9 \cdot 10^9 \cdot 2{,}25 \cdot 10^{-18} =$$
$$= 9 \cdot 2{,}25 \cdot 10^9 \cdot 10^{-18} = 20{,}25 \cdot 10^{9-18} = 20{,}25 \cdot 10^{-9} = 2{,}025 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 2{,}025 \cdot 10^{-8}$$

Przy pewnej wprawie nie trzeba zapisywać tak wielu przekształceń – znaczną część z nich można wykonać w pamięci.

### To najważniejsze

- **Zasada zachowania ładunku**: całkowity ładunek izolowanego układu ciał jest stały.
- Jednostką ładunku w układzie SI jest **kulomb** (1 C), czyli wartość bezwzględna ładunku $6{,}24 \cdot 10^{18}$ elektronów. Znacznie mniejsza jednostka to **ładunek elementarny** (wartość bezwzględna ładunku jednego elektronu), oznaczany symbolem *e*.

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** W czasie odrywania paska taśmy klejącej od rolki na pasek przepłynęły elektrony o łącznym ładunku –3 nC. Jaki ładunek zyskała rolka? Zakładamy, że przed oderwaniem paska rolka była elektrycznie obojętna.

**2.** Rura od odkurzacza potarta skarpetką zyskała ładunek –2,5 nC. Kiedy Wojtek przesunął po rurze palcem, elektrony o łącznym ładunku –0,5 nC przepłynęły z rury na jego ciało. Jaki ładunek ma teraz rura? Jaki ładunek

ma skarpetka, jeśli po potarciu rury leżała na suchym plastikowym pudełku i nikt jej nie dotykał?

**3.** W czasie elektryzowania na baloniku znalazło się o 5 miliardów więcej elektronów niż protonów. Jaki ładunek uzyskał balonik? Określ jego znak i wartość w kulombach.

**Wskazówka.** Warto wykonywać obliczenia w notacji wykładniczej (patrz dodatek matematyczny na s. 16).

**5.** Znajdź wiadomości o malowaniu elektrostatycznym. Opisz w kilku zdaniach, na czym polega, jakie są jego zalety i wady. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz.

**Uwaga.** Zdjęcie na początku tej lekcji przedstawia właśnie malowanie elektrostatyczne.

**4.** Zapoznaj się z infografiką „Kserograf i drukarka laserowa" na s. 14–15. Ustaw zdania I–VI w odpowiedniej kolejności, aby opisywały poszczególne etapy działania kserografu.

I. Bęben zostaje oświetlony światłem odbitym od kopiowanej kartki.

II. Do tych miejsc bębna, które pozostały naelektryzowane, przyczepia się toner.

III. Metalowy wałek zwany bębnem zostaje naelektryzowany.

IV. Substancja pokrywająca bęben zmienia swoje właściwości elektryczne i w oświetlonych miejscach traci ładunek.

V. Na papierze toner zostaje utrwalony za pomocą wysokiej temperatury.

VI. Toner przechodzi z bębna na naelektryzowany papier.

## Doświadczenie domowe

### Budowa elektroskopu



**1.** Przygotuj półlitrową butelkę PET po napoju, gwóźdź, kawałek grubego stalowego lub miedzianego drutu, folię aluminiową i nożyczki.

**2.** W butelce, mniej więcej w połowie wysokości, zrób gwoździem dwa otwory, a następnie przełóż przez nie drut wygięty w haczyk (jak na zdjęciu).

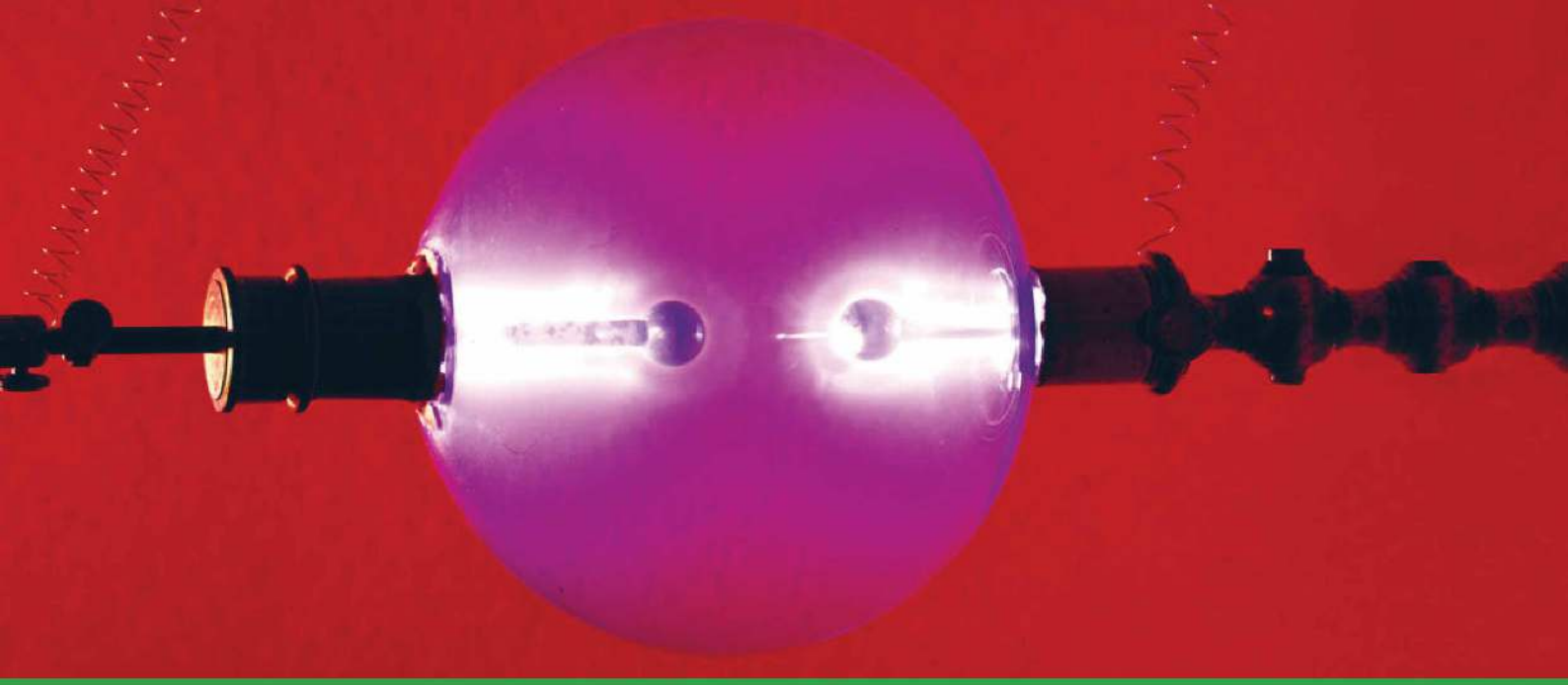
**3.** Wytnij dwa jednakowe paski z folii aluminiowej, przebij je i załóż na drut tak, aby przylegały do siebie.

**4.** Z dodatkowych kawałków folii aluminiowej uformuj kulki i załóż je na końce drutu.

**5.** Elektroskop jest gotowy. Zbadaj, jak się zachowuje, gdy:

- jednej z kulek dotkniesz naelektryzowanym balonikiem,
- jednej z kulek dotkniesz naelektryzowanym balonikiem, a następnie palcem,
- jednej z kulek dotkniesz naelektryzowanym balonikiem, a następnie dotkniesz palcem drugiej kulki,
- do jednej z kulek zbliżysz naelektrozowany balonik, a następnie go oddalisz,
- do jednej z kulek zbliżysz naelektrozowany balonik, dotkniesz drugiej kulki palcem, a następnie oddalisz balonik.

Wyjaśnij, dlaczego zachodzą zaobserwowane zjawiska.



# 3. Prawo Coulomba

**Cele lekcji**

- Nauczysz się obliczać wartość siły elektrycznej.
- Poznasz podobieństwa i różnice między siłą elektryczną a siłą grawitacji.
- Dowiesz się, dlaczego naelektryzowane ciało może przyciągać ciała obojętne elektrycznie.

## Od czego zależy siła elektryczna

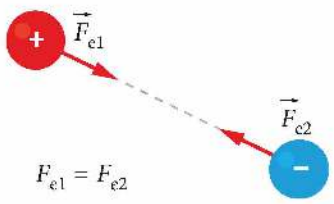
Dwa naelektryzowane ciała przyciągają się lub odpychają siłą zwaną **siłą elektryczną** (albo: **elektrostatyczną**). Od czego zależy jej wartość? Na pewno od tego, jak silnie naelektryzowane są te ciała, czyli **od ładunku elektrycznego** każdego z nich. Drugim czynnikiem jest **odległość**. Łatwo zauważyć, że gdy ciała znajdują się dalej od siebie, oddziałują słabiej. W przeciwnym wypadku naelektryzowany grzebień przyciągałby kurz nie tylko z najbliższego otoczenia, ale nawet z drugiego pokoju. Dokładne pomiary pozwalają stwierdzić, że siła elektryczna maleje wraz z kwadratem odległości, czyli np. gdy odległość zwiększymy 3 razy, to siła zmniejszy się $3^2 = 9$ razy.

> Siła oddziaływania elektrycznego między dwoma ciałami jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi.

Opisaną zależność nazywamy **prawem Coulomba** (czyt. kulomba) i możemy ją zapisać za pomocą wzoru:

$$F_e = k\frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

gdzie: $k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\mathrm{Nm^2}}{\mathrm{C^2}}$ – stała zwana stałą elektryczną, $q_1$, $q_2$ – ładunki ciał, $r$ – odległość między ciałami.




▲ Siły oddziaływania między dwoma ciałami mają tę samą wartość, ale przeciwny zwrot

**Uwaga.** Pionowe kreski we wzorze opisującym prawo Coulomba oznaczają wartość bezwzględną (np. $|5| = 5$, $|-5| = 5$, $|0| = 0$). Ładunek może przecież być ujemny, a nie chcemy brać pod uwagę jego znaku.

Podobnie jak w przypadku siły grawitacji wzór ten daje dokładny wynik, gdy:

- ciała są niewielkie w stosunku do dzielącej je odległości

albo

- gdy każde z ciał ma kształt kuli lub sfery, a ładunek jest równomiernie rozłożony na jego powierzchni.

W przeciwnym wypadku wynik jest tylko przybliżony, ponieważ odległości pomiędzy poszczególnymi punktami ciał są różne.

## Prawo Coulomba a prawo powszechnego ciążenia

Wzór na siłę elektryczną przypomina znany ci z zeszłego roku wzór na siłę grawitacji.

Siła elektryczna: $F_e = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$

Siła grawitacyjna: $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

stałe

wielkości, od których zależy zdolność ciał do oddziaływania

Rzeczywiście, między tymi siłami występują **podobieństwa**:

- każda z tych sił działa na odległość, także w próżni,
- każda z tych sił jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości ciał.

Nie zapominajmy jednak o **różnicach**:

- są dwa rodzaje ładunków: dodatni i ujemny, ale tylko jeden rodzaj masy – dlatego ciała mogą się przyciągać i odpychać elektrycznie, natomiast grawitacyjnie zawsze się przyciągają,
- oddziaływanie elektryczne występuje tylko między naelektyzowanymi ciałami, a siła grawitacji działa między dowolnymi dwoma ciałami.

### A to ciekawe

Czy kulomb to duży ładunek? Przez spiralę żelazka w ciągu sekundy przepływają elektrony o łącznym ładunku –10 C. Jednak w zjawiskach związanych z elektryzowaniem ciał mamy do czynienia z bardzo małymi ułamkami kulomba. Gdyby udało się nam naelektryzować jedno ciało do ładunku +1 C, a drugie do –1 C, to z odległości 1 m przyciągałyby się siłą $9 \cdot 10^9$ N (9 miliardów niutonów). Taki właśnie jest sens liczby $9 \cdot 10^9$ w stałej elektrycznej $k$.
Aby lepiej wyobrazić sobie taką siłę, powiedzmy, że wystarczyłaby ona do podniesienia nad powierzchnię wody i utrzymania w powietrzu dziewięciu lotniskowców typu Nimitz (patrz zdjęcie obok).



**Przykład 1**

## Obliczanie siły elektrycznej

Dwa niewielkie ciała znajdują się w odległości 20 cm od siebie. Ładunek jednego z nich wynosi +1 nC, a ładunek drugiego jest równy –2 nC. Czy te ciała przyciągają się czy odpychają? Jaka jest wartość siły ich wzajemnego oddziaływania?

**Dane:**

$r = 20\ \text{cm} = 0{,}2\ \text{m}$

$q_1 = 1\ \text{nC} = 10^{-9}\ \text{C}$

$q_2 = -2\ \text{nC} = -2 \cdot 10^{-9}\ \text{C}$

**Szukane:**

$F_e = ?$

Zapisz ładunki w notacji wykładniczej. Pamiętaj, że 1 nC (nanokulomb) to miliardowa część kulomba, czyli $10^{-9}$ C.

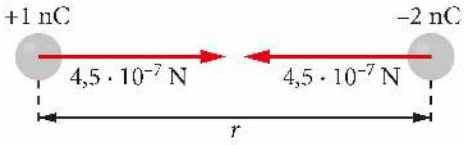
**Rozwiązanie:** Ciała mają ładunki o przeciwnych znakach, więc się przyciągają. Wartość siły obliczymy z prawa Coulomba

$$F_e = k\frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

$$F_e = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{|10^{-9}\text{C} \cdot (-2 \cdot 10^{-9}\text{C})|}{(0{,}2\ \text{m})^2} = 4{,}5 \cdot 10^{-7}\text{N}$$

Zwróć uwagę, że zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona taką wartość ma zarówno siła, którą pierwsze ciało działa na drugie, jak i siła, którą drugie ciało działa na pierwsze.




**Odpowiedź:** Ciała przyciągają się siłą o wartości $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ N.

Następny przykład pozwala nam się zorientować, jak niewielka część elektronów przemieszcza się między ciałami w zjawisku elektryzowania.

**D Przykład 2**

## Obliczanie siły elektrycznej na podstawie liczby elektronów

W stalowej kulce o masie 10 g jest $2{,}8 \cdot 10^{24}$ protonów i tyle samo elektronów. Wyobraźmy sobie, że z jednej takiej kulki przeniesiono na drugą co milionowy elektron. Oblicz siłę, jaką przyciągałyby się kulki z odległości 2 m.

**Dane:**

$m = 10\ \text{g}$

$n = 2{,}8 \cdot 10^{24}$

$r = 2\ \text{m}$

**Szukane:**

$F_e = ?$

**Rozwiązanie:** Liczba przeniesionych elektronów to jedna milionowa z $2{,}8 \cdot 10^{24}$, czyli

$$n = \frac{2{,}8 \cdot 10^{24}}{10^6} = 2{,}8 \cdot 10^{18}$$

Ponieważ jeden elektron ma ładunek $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C, więc wszystkie przeniesione elektrony łącznie mają ładunek:

$$q = ne = 2{,}8 \cdot 10^{18} \cdot (-1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{C}) = -4{,}48 \cdot 10^{-1}\ \text{C} = -0{,}448\ \text{C}$$

Pierwsza kulka traci elektrony, więc będzie mała ładunek +0,448 C, a druga je zyskuje, więc będzie miała ładunek −0,448 C.

Zgodnie z prawem Coulomba:

$$F_e = k\frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$F_e = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{|0{,}448\ \text{C} \cdot (-0{,}448\ \text{C})|}{(2\ \text{m})^2} \approx 4{,}52 \cdot 10^8\ \text{N}$$

**Odpowiedź:** Siła miałaby wartość $4{,}52 \cdot 10^8$ N.

**Uwaga.** Taka siła jest równa ciężarowi ciała o masie ok. $4{,}5 \cdot 10^7$ kg, czyli 45 000 t. Za pomocą takiej siły moglibyśmy utrzymać w powietrzu cztery wieże Eiffla. Oczywiście nigdy nie obserwujemy sił elektrycznych o takich wartościach, więc widocznie w czasie elektryzowania przepływa znacznie mniej elektronów niż jeden na milion.

## Przyciąganie ciał nienaelektryzowanych

Mówiliśmy wielokrotnie, że ciała elektrycznie obojętne nie oddziałują elektrycznie. Wykonamy teraz doświadczenie, które będzie punktem wyjścia do dokładniejszego zastanowienia się nad tym stwierdzeniem.

### Doświadczenie 2.

**Oddziaływanie ciała naelektryzowanego i ciał nienaelektryzowanych**

1. Przygotuj: balonik, wełniany szalik albo sweter oraz suche ścinki papieru i folii aluminiowej.
2. Nadmuchaj balonik i potrzyj go swetrem.
3. Zbliż balonik najpierw do ścinków folii aluminiowej, a później do papieru. Co obserwujesz?

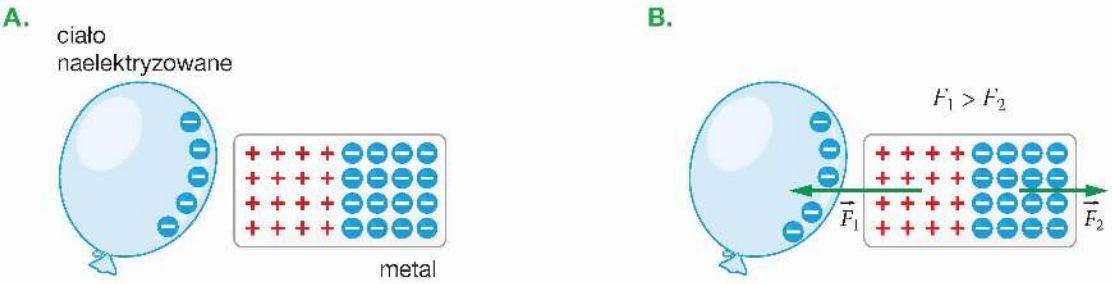


Papierki i ścinki folii nie są naelektryzowane, inaczej przyciągałyby się lub odpychały, jeszcze zanim zbliżymy balonik. W takim razie dlaczego balonik oddziałuje na nie elektrycznie?

Przypomnijmy sobie, że wszystkie otaczające nas ciała, również te elektrycznie obojętne, zawierają ładunki – w każdym z nich są protony i elektrony. Ciało jest elektrycznie obojętne wtedy, gdy ładunek dodatni równoważy się z ujemnym. Co zatem zachodzi w takim ciele, gdy zbliżamy do niego naelektryzowany balonik?

## Przewodniki a elektryzowanie

Aluminium, jak wszystkie metale, jest **przewodnikiem elektrycznym**, co oznacza, że elektrony mogą się w nim swobodnie poruszać. Dlatego gdy do elektrycznie obojętnego skrawka folii aluminiowej zbliżamy naelektryzowany ujemnie balonik, elektrony przemieszczają się na przeciwległy koniec skrawka. Choć cały skrawek nadal jest obojętny elektrycznie, to od strony balonika zyskuje ładunek dodatni, a od przeciwnej strony – ujemny.




▲ **A.** zbliżenie naelektryzowanego ciała do kawałka folii aluminiowej powoduje gromadzenie się elektronów po jednej stronie
**B.** siła odpychająca koniec folii, na którym zgromadził się ładunek ujemny, jest za słaba, aby zrównoważyć przyciąganie końca folii, na którym zgromadził się ładunek dodatni

Balonik jednocześnie przyciąga koniec skrawka o ładunku dodatnim i odpycha koniec o ładunku ujemnym. Ponieważ jednak koniec o ładunku dodatnim znajduje się bliżej balonika, siła jest większa niż w przypadku dalszego końca. Przyciąganie przeważa zatem nad odpychaniem.

> Gdy do przewodnika zbliżamy naelektryzowane ciało, elektrony w przewodniku przemieszczają się i na jednym jego końcu gromadzi się ładunek dodatni, a na drugim ujemny. To powoduje powstawanie wypadkowej siły przyciągania między naelektryzowanym ciałem a przewodnikiem.

Opisane zjawisko jest możliwe, ponieważ aluminium jest przewodnikiem elektrycznym, więc część jego elektronów może swobodnie przemieszczać się po całym pasku wykonanym z tego metalu.

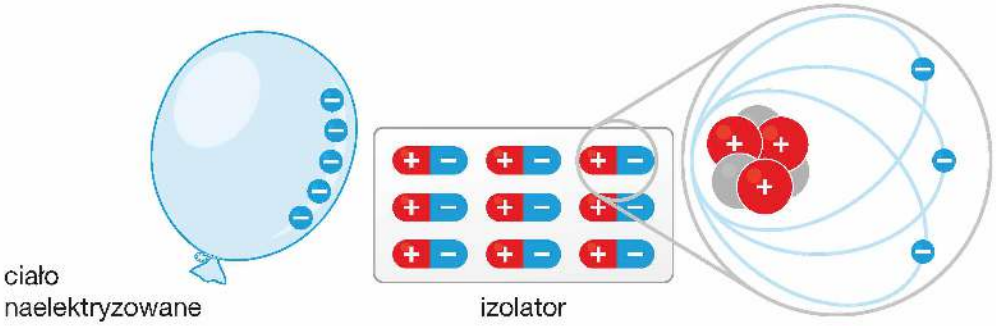
### A to ciekawe

Siły przyciągania elektrycznego znalazły zastosowanie w **elektrofiltrach**, gdzie służą do usuwania pyłu (drobnych cząstek stałych) z dymów przemysłowych. Gdy dym przechodzi przez siatkę o ładunku dodatnim, drobiny pyłu zyskują ładunek dodatni. Następne są przyciągane przez siatkę o ładunku ujemnym. Obecnie dostępne są także niewielkie elektrofiltry do domowych pieców węglowych, pozwalające chronić środowisko przed smogiem.



## Izolatory a elektryzowanie

Nieco inaczej jest w przypadku skrawków papieru, który jest **izolatorem**, co oznacza, że jego elektrony nie mogą oderwać się od swoich atomów. Jednak one także reagują na siłę odpychającą od balonika i przemieszczają się na przeciwną stronę atomu. Teraz każdy atom ma bliżej balonika jądro, obdarzone ładunkiem dodatnim, a dalej od balonika – elektrony, obdarzone ładunkiem ujemnym (patrz rys. poniżej).




▲ Każdy z atomów ma dodatni ładunek zgromadzony od strony balonika i ujemny – od strony przeciwnej. Dlatego balonik silniej przyciąga atomy izolatora niż je odpycha

Skoro wypadkowa siła elektryczna działająca na każdy z atomów jest skierowana w stronę balonika, to siła wypadkowa działająca na cały balonik również musi być skierowana w jego stronę.

## Czy skrawki też przyciągają balonik

W doświadczeniach obserwowaliśmy, że balonik przyciągał skrawki siłą elektryczną. A czy skrawki także działały siłą na balonik? Oczywiście, tak przecież wynika z trzeciej zasady dynamiki. Tej siły nie obserwujemy tylko dlatego, że balonik ma znacznie większą masę od skrawków, a poza tym trzymamy go w dłoni.
Podobnie jest z siłą grawitacji: Ziemia przyciąga upuszczone jabłko, czym powoduje jego ruch przyspieszony, ale jabłko – choć przyciąga Ziemię taką samą siłą – nie powoduje jej zauważalnego ruchu, gdyż masa Ziemi jest na to zbyt duża.

### To najważniejsze

- **Prawo Coulomba**: Siła oddziaływania elektrycznego między dwoma ciałami jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi.
- **Wartość siły elektrycznej** $F_e$ działającej między niewielkimi ciałami obliczamy ze wzoru:

$$F_e = k\frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

gdzie: $k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ – stała zwana stałą elektryczną, $q_1$, $q_2$ – ładunki ciał, $r$ – odległość między ciałami.

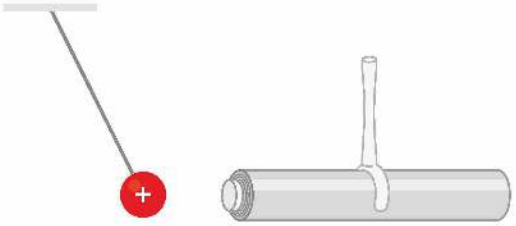
- Nawet jeśli ciało jest obojętne elektrycznie, to pod wpływem sił elektrycznych ładunki mogą się w nim rozmieścić nierównomiernie. Dzięki temu ciało naładowane elektrycznie może przyciągać ciało elektrycznie obojętne (np. naelektryzowany balonik przyciąga drobne papierki czy folię aluminiową).

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dwie małe metalowe kulki są naładowane dodatnio. Z odległości 10 cm odpychają się siłą 90 μN. Oblicz ich siłę oddziaływania z odległości:
   **a)** 20 cm,
   **b)** 5 cm.
2. Dwie niewielkie metalowe kulki znajdują się 5 cm jedna od drugiej i odpychają się siłą elektryczną 18 μN. Oblicz, w jakiej odległości od siebie będą się odpychać siłą 2 μN.
3. Jedna z metalowych kulek ma ładunek +2 nC, a druga –3 nC. Odległość między kulkami wynosi 2 m. Oblicz, jaką siłą pierwsza kulka działa na drugą i jaką siłą druga kulka działa na pierwszą. Określ także, czy są to siły przyciągania czy odpychania.
4. Dodatnio naelektryzowaną pałeczkę szklaną zbliżono do kawałka folii aluminiowej. Narysuj tę sytuację w zeszycie i zaznacz na swoim rysunku, w którą stronę przemieściły się elektrony i który koniec kawałka folii zyskał ładunek ujemny, a który dodatni.
5. Uczniowie chcieli zademonstrować odpychanie elektryczne między dwoma ciałami. W tym celu naelektryzowali dodatnio małą metalową kulkę zawieszoną na nitce oraz rolkę folii aluminiowej z doczepionym plastikowym uchwytem. Okazało się jednak, że wynik doświadczenia był inny od przewidywanego, ponieważ rolka przyciągała kulkę zamiast ją odpychać.
   **a)** Przerysuj schemat układu doświadczalnego do zeszytu.

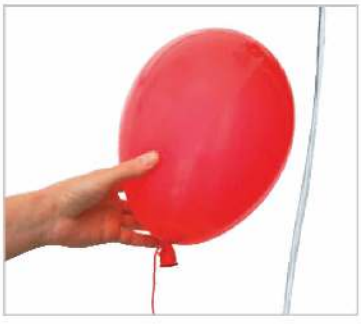



   **b)** Zaznacz na rolce folii znaki ładunków (+ i –) tak, aby całkowity ładunek rolki był dodatni, ale rolka przyciągała kulkę.
6. Naelektryzowany ujemnie balonik przyciąga ciało A, a odpycha ciało B. Co możemy powiedzieć o ładunku ciała A? Co możemy powiedzieć o ładunku ciała B?

## Doświadczenie domowe

### Czy siła elektryczna działa na wodę

1. Odkręć lekko kran, aby woda leciała słabym strumieniem.
2. Do strumienia wody zbliż naelektryzowany przedmiot, np. potarty balonik albo kawałek szerokiej taśmy klejącej świeżo oderwany od rolki.
3. Co obserwujesz? Czy na wodę działa siła elektryczna?





# 4. Pole elektryczne

**Cele lekcji**

- Dowiesz się, co to jest pole elektryczne i nauczysz się opisywać je za pomocą linii pola.
- Zaobserwujesz doświadczalnie linie pola elektrycznego w kilku różnych przypadkach.
- Zobaczysz, jak wyglądają linie jednorodnego pola elektrycznego.

## Pojęcie pola elektrycznego

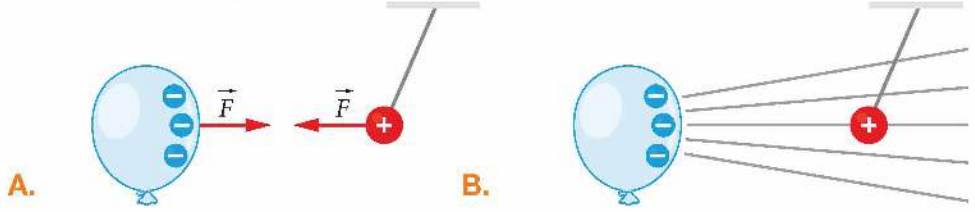
Być może zdarzyło ci się zaobserwować, jak skaczą po stole rozsypane drobne kawałki styropianu lub jak włosy stają dęba, gdy zdejmie się czapkę. Wiemy, że w takich sytuacjach na styropian lub włosy działa siła, nawet jeśli nie potrafimy wskazać naelektryzowanego ciała, które jest jej źródłem.

Jeśli w jakimś fragmencie przestrzeni na ładunki działa siła elektryczna, to mówimy, że jest tam **pole elektryczne**.

O polu możemy mówić niezależnie od tego, czy wiemy, gdzie jest jego źródło.

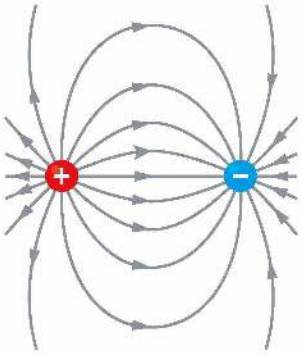
### Dwa spojrzenia na oddziaływanie elektryczne

Balonik naelektryzowany ujemnie przyciąga naładowaną dodatnio metalową kulkę, zawieszoną na nitce. To zjawisko można opisać na dwa równoważne sposoby.
**A.** Balonik działa siłą bezpośrednio na kulkę (rys. A).
**B.** Balonik jako ciało naelektryzowane wytwarza pole elektryczne. W tym polu na kulkę działa siła elektryczna (rys. B).



## Linie pola elektrycznego

Pole elektryczne można przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**. Na ilustracji obok widzisz takie linie dla pola wytwarzanego przez dwa ładunki przeciwnych znaków (wartości bezwzględne ładunków są takie same).

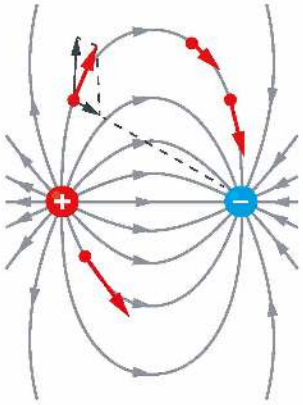


▲ Linie pola elektrycznego wokół dwóch ładunków o różnych znakach i równych wartościach

> Jeśli gdziekolwiek w polu elektrycznym umieścimy ciało o niewielkim ładunku dodatnim, działająca na nie siła elektryczna będzie działała stycznie do linii pola i w stronę, którą wskazują strzałki na liniach.

Dlaczego ładunek tego ciała ma być niewielki? Chodzi o to, żeby nie zmieniał w sposób zauważalny pola elektrycznego, które rozważamy.

Na ilustracji obok widzisz linie pola wraz z kilkoma ciałami o ładunku dodatnim i wektorami działających na nie sił. W przypadku jednego z nich pokazaliśmy również, że siła elektrostatyczna działająca na ciało jest wypadkową sił pochodzących od obu źródeł.



▲ Wektory sił elektrycznych działających na niewielki ładunek dodatni są styczne do linii pola i równe sile wypadkowej sił pochodzących od obu źródeł

Co jeszcze można odczytać z linii pola? Otóż rysujemy je tak, aby **silniejsze pole** oznaczać **gęstszymi liniami**. W przykładzie na rysunku jest tak w pobliżu linii prostej łączącej ładunki. Ponieważ w tym miejscu siła odpychająca od ładunku dodatniego i siła przyciągająca do ładunku ujemnego działają w tę samą stronę (w prawo), więc ich wartości się dodają. Z kolei dalej od ładunków linie są rzadsze, a zatem pole – słabsze. Pokrywa się to z wnioskami płynącymi z prawa Coulomba, zgodnie z którym siła oddziaływania elektrycznego maleje wraz z odległością od źródła.

Warto pamiętać, że strzałki na liniach pola wskazują **zwrot siły działającej na ładunek dodatni**. Na ładunek ujemny siła działa w przeciwną stronę.

### A to ciekawe

Kiedy człowiek jest mocno naelektryzowany, jego włosy sterczą w różne strony, w przybliżeniu zgodnie z liniami pola elektrycznego. Możesz to zobaczyć na zdjęciu obok. Taki efekt może czasem wystąpić, jeśli zanosi się na burzę i pod wpływem ładunku elektrycznego chmur ładuje się również powierzchnia ziemi oraz stojące na niej osoby. W takim wypadku najwyższy czas poszukać bezpiecznego schronienia. Brak opisanego efektu nie świadczy natomiast o tym, że burzy nie będzie!



## Źródła wysokiego napięcia

W niektórych doświadczeniach z elektrostatyki nie wystarczą nam ładunki powstające przy elektryzowaniu balonika albo taśmy klejącej. Będziemy potrzebowali maszyny elektrostatycznej albo generatora Van de Graaffa (zdjęcia A i B).



**A.** Maszyna elektrostatyczna



**B.** Generator Van de Graaffa

Jeśli w szkole nie ma ani maszyny elektrostatycznej, ani generatora Van de Graaffa, można użyć rakietki na komary (zdjęcie C). Jest to przyrząd podobny do rakiety tenisowej, ale zamiast jednej siatki nylonowej ma dwie lub trzy metalowe. Napięcie występuje między dwiema siatkami (w przypadku rakietki z trzema siatkami – między siatką wewnętrzną a każdą z zewnętrznych). Może ono wynosić od kilkuset do nawet kilku tysięcy woltów. Owad, który dostanie się między siatki i zamknie sobą obwód, zostanie porażony prądem.



**C.** Rakietka na komary



**D.** Podłączenie przewodów

Jeśli chcemy użyć jako źródła napięcia rakietki z dwiema siatkami, to możemy podłączyć do nich przewody za pomocą krokodylków. Jeżeli są trzy siatki, to możemy podłączyć jeden przewód krokodylkiem do zewnętrznej siatki, a drugi włożyć między oczka zewnętrznej siatki i dotknąć nim wewnętrznej siatki włączonej rakietki. Trzeba to zrobić z zachowaniem ostrożności, aby nie spowodować zwarcia. Najbezpieczniej będzie usunąć izolację z końcówki przewodu na bardzo krótkim odcinku – krótszym niż odległość między zewnętrzną i wewnętrzną siatką (zdjęcie D).

### Ważne wskazówki:

- Pamiętaj, że opisane urządzenia wytwarzają wysokie napięcie.
- Nie wolno dotykać żadnych metalowych elementów układu doświadczalnego, gdy urządzenie jest włączone.
- Nawet po wyłączeniu urządzenie należy rozładować, zwierając siatki lub bieguny śrubokrętem z plastikową rączką.
- Zawsze przestrzegaj zaleceń nauczyciela!

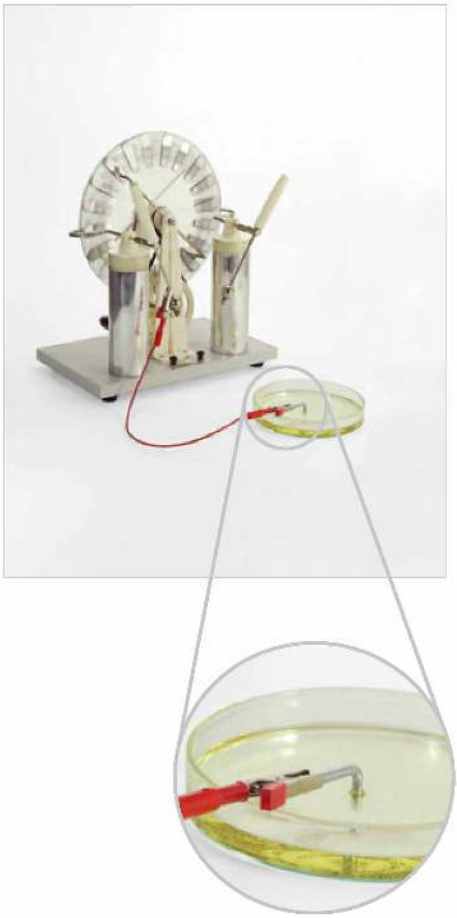
## Jak zobaczyć linie pola

Same linie pola są oczywiście niewidzialne, ale w dość prosty sposób możemy zobaczyć skrawki wstążki układające się wzdłuż tych linii i obrazujące ich przebieg.

### Doświadczenie obowiązkowe

**Badanie kształtu linii pola elektrycznego**

**Uwaga.** Doświadczenie do wykonania tylko pod ścisłym nadzorem nauczyciela.



1. Przygotuj naczynie – najlepiej szalkę Petriego (ew. biały talerz z porcelany), maszynę elektrostatyczną (lub rakietkę na komary), dwie metalowe płytki (mogą być wykonane ze złożonej kilka razy folii aluminiowej), dwa metalowe haczyki zgięte pod kątem prostym (ew. gwoździe), olej spożywczy oraz skrawki drobno pociętej plastikowej wstążki do pakowania prezentów. Jeśli używasz rakietki na komary, zamiast oleju spożywczego użyj oliwki dla niemowląt (która jest nieco mniej lepka), a zamiast skrawków wstążki – drobno zmielonego pieprzu.
2. Nalej do naczynia olej i wysyp na jego powierzchnię skrawki wstążki.
3. Umieść haczyk pionowo jednym końcem pośrodku szalki Petriego i podłącz do maszyny. Włącz maszynę. Narysuj schematycznie, jak układają się skrawki wstążki na powierzchni oleju.
4. Przygotuj drugi haczyk. Umieść haczyki w pewnej odległości od siebie tak, aby każdy był jednym końcem pionowo ustawiony w naczyniu. Oba haczyki podłącz do tego samego bieguna maszyny. Włącz maszynę. Zilustruj schematycznie układ skrawków wstążki.
5. Ponownie wykonaj czynności opisane w punkcie 4., lecz tym razem podłącz haczyki do przeciwnych biegunów maszyny.
6. Zamiast haczyków podłącz do maszyny metalowe płytki. Umieść je w naczyniu równolegle do siebie i włącz maszynę. Co zaobserwowałeś? Sporządź schematyczny rysunek.
7. Przeanalizuj przyczyny zachowania się skrawków wstążki na powierzchni oleju.

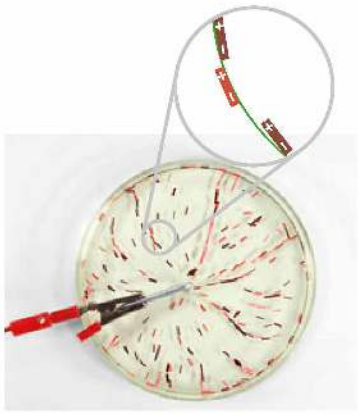
## Analiza doświadczenia

Dlaczego skrawki wstążki układają się wzdłuż linii pola? Zjawisko to można wyjaśnić analogicznie do przyciągania skrawków papieru przez naelektryzowany balonik (patrz „Izolatory a elektryzowanie" na s. 23).

Pod wpływem sił elektrycznych elektrony w atomach, z których jest zbudowana wstążka, przesuwają się, na ile to możliwe, na jedną stronę jej skrawka. Wobec tego na jednym końcu staje się on naładowany ujemnie, a na drugim – dodatnio.

Siły elektryczne ustawiają taką wstążkę wzdłuż linii pola.

Możesz się zastanawiać, dlaczego skrawki nie przyczepią się po prostu do naelektryzowanego pręta, jak to się dzieje w powietrzu. Otóż siła elektryczna nie jest wystarczająco duża, aby przezwyciężyć opór oleju.



▲ Siły elektryczne powodują układanie się kawałków wstążki wzdłuż linii pola

## Pole jednorodne

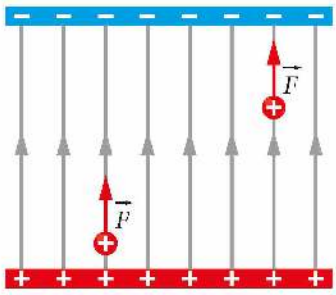
Możesz modyfikować opisane doświadczenie, np. zwiększyć liczbę prętów i płytek, i uzyskać setki różnych układów linii pola. Jeden z nich jest szczególnie prosty: linie są ułożone równolegle. Oznacza to, że kierunek i zwrot siły działającej na naładowane ciało są jednakowe w każdym punkcie. Okazuje się, że wówczas także wartość siły jest wszędzie taka sama.

Jeśli siła działająca w polu elektrycznym na naładowane ciało jest w każdym punkcie taka sama co do wartości, kierunku i zwrotu, to takie pole nazywamy **polem jednorodnym**.

Z polem jednorodnym mieliśmy do czynienia w punkcie 6. doświadczenia, gdy do oleju włożyliśmy przeciwnie naładowane płytki.



▲ Skrawki wstążki układają się wzdłuż linii pola elektrycznego




▲ W każdym punkcie pola jednorodnego na naładowane ciało działa taka sama siła

## D Pole centralne

Inny układ linii pola elektrycznego jest charakterystyczny dla **pola centralnego**, czyli pola wytwarzanego przez pojedynczy ładunek lub niewielkie naelektryzowane ciało. W doświadczeniu pole takie uzyskaliśmy na początku, w punkcie 3., gdy do oleju włożyliśmy jeden haczyk.



▲ Linie pola centralnego. Zwrot linii pola zależy do ładunku wytwarzającego pole

## To najważniejsze

- Jeśli w jakimś fragmencie przestrzeni na ładunki działa siła elektryczna, to mówimy, że jest tam **pole elektryczne**.
- Pole elektryczne możemy przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**. Siła elektryczna działająca w danym punkcie na ładunek jest styczna do linii pola w tym punkcie. Silniejsze pole ilustrujemy za pomocą gęściej ułożonych linii.
- Linie pola można badać doświadczalnie poprzez obserwację drobnych ciał (np. strzępków wstążki pływających w oleju), układających się wzdłuż tych linii.
- **W polu jednorodnym** siła działająca na ładunek jest taka sama w każdym punkcie.

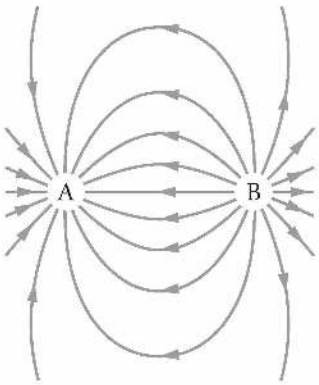
## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

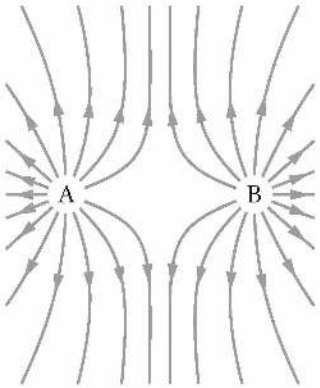
**1.** Określ znaki ładunków oznaczonych literami A i B.

**Wskazówka.** Zwróć uwagę na strzałki na liniach pola.

**A.**




**B.**



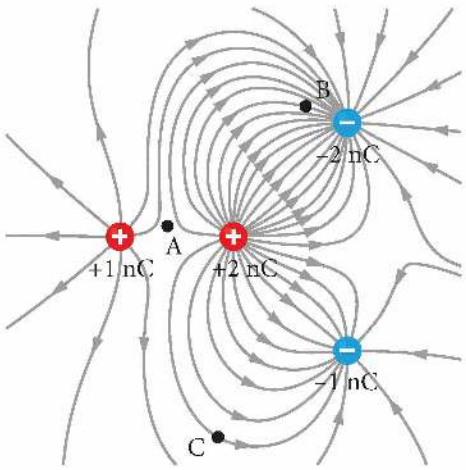

**2.** Naszkicuj linie pola jednorodnego. Zwróć uwagę na zwrot linii (tzn. na strzałki).

**3.** Dlaczego w naszych doświadczeniach używaliśmy oleju, a nie wody? Wymień dwa powody.

**4.** Rysunek przedstawia skomplikowany układ linii pola tworzonego przez cztery ładunki o różnych wartościach i znakach.

**a)** Określ, czy na mały ładunek umieszczony w punkcie A działa siła o wartości większej czy mniejszej niż w punkcie B.

**b)** Opisz kierunek i zwrot siły działającej na mały ładunek dodatni w punkcie C. Czy kierunek albo zwrot się zmienią, jeśli zamiast ładunku dodatniego umieścimy tam ładunek ujemny?





# 5. Klatka Faradaya

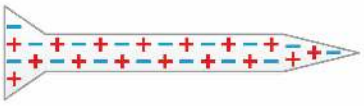
**Cele lekcji**

- Zbadasz, w jaki sposób w naelektryzowanym przewodniku są rozmieszczone ładunki.
- Zrozumiesz, dlaczego w samochodzie lub w pociągu można się ukryć przed burzą, i dowiesz się, jak zachować się w czasie burzy.

## Rozkład ładunków w przewodniku

Wiesz już, że elektrony w przewodniku elektrycznym mogą się przemieszczać. Gdy **obojętny elektrycznie** przewodnik nie znajduje się w polu elektrycznym, elektrony są w nim **rozmieszczone równomiernie** (patrz rys.). Elektrony nie będą samoistnie skupiać się w jednym końcu gwoździa, skoro się odpychają.

A co się dzieje, gdy przewodnik ma ładunek elektryczny? Aby to sprawdzić, wykonamy doświadczenie.



▲ W nienaładowanym przewodniku, np. gwoździu, ładunki rozmieszczone są równomiernie

### Doświadczenie 3.

**Badanie rozkładu ładunków w przewodniku**

1. Przygotuj metalową siatkę w kształcie półkuli (możesz wykorzystać np. koszyk do smażenia frytek), folię aluminiową, nożyczki i maszynę elektrostatyczną.
2. Wytnij kilkanaście pasków folii aluminiowej o długości ok. 6–8 cm i przymocuj po kilka z nich po obu stronach siatki.
3. Ustaw siatkę na izolowanej podstawie.
4. Podłącz siatkę do jednej z elektrod maszyny elektrostatycznej i włącz urządzenie. Porównaj zachowanie pasków wewnątrz i na zewnątrz siatki.
5. Powtórz czynności opisane w punkcie 4., ale tym razem podłącz siatkę do drugiej elektrody maszyny.

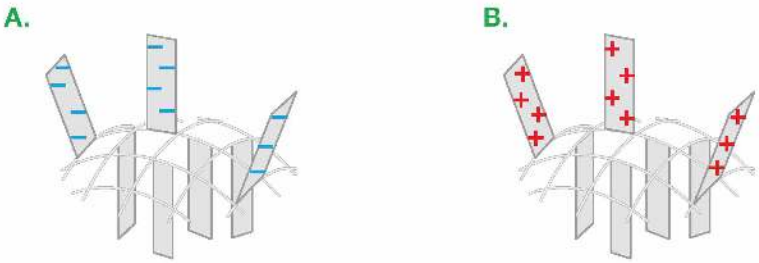


## Analiza doświadczenia

Wyjaśnijmy najpierw przypadek, gdy siatka zyskała ładunek ujemny, a więc miała nadmiar elektronów. Paski na zewnątrz siatki odchylały się od niej i od siebie nawzajem, z czego wynika, że miały ładunek tego samego znaku co siatka, czyli ujemny (patrz rys. A). To nic dziwnego: zarówno siatka, jak i paski są metalowe, więc część elektronów przepłynęła z siatki na paski.

Zaskakująca jest natomiast druga część obserwacji: paski wewnątrz siatki nie poruszyły się na skutek jej naelektryzowania. To znaczy, że od wewnętrznej strony siatka się nie naelektryzowała. Wszystkie dodatkowe elektrony znalazły się na jej zewnętrznej powierzchni.

Dlaczego tak się stało? Elektrony mają ładunek jednakowego znaku, więc się odpychają i dążą do tego, aby znaleźć się jak najdalej od siebie.




▲ Ładunki na metalowej siatce w przypadku: **A.** nadmiaru ładunków ujemnych, **B.** nadmiaru ładunków dodatnich

Gdy siatka jest naładowana dodatnio, końcowy efekt jest analogiczny: naładowana, ale tym razem dodatnio, jest tylko jej zewnętrzna powierzchnia. Oznacza to, że tylko na powierzchni brakuje elektronów, a wewnątrz jest ich tyle samo co protonów (rys. B). Najwyraźniej w czasie elektryzowania elektrony odpływały tylko z zewnętrznej powierzchni przewodnika, przez co zyskała ona ładunek dodatni.

> Nadmiarowe ładunki elektryczne (bez względu na znak) powodują elektryzowanie tylko zewnętrznej powierzchni przewodnika.

## Klatka Faradaya

Teraz już wiemy, dlaczego człowiek na zdjęciu ze s. 5 może bezpiecznie siedzieć w klatce mimo uderzających w nią wyładowań elektrycznych. Klatka musi być zbudowana z przewodnika, a wtedy ładunki „sztucznych piorunów" spływają po zewnętrznej stronie prętów.

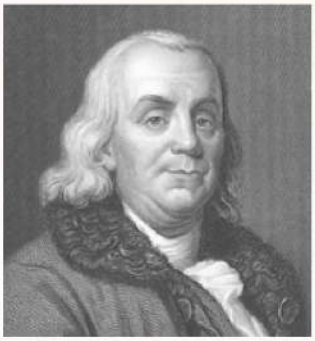
Podobnie jest z naturalnymi wyładowaniami atmosferycznymi, czyli prawdziwymi piorunami. Samochód lub pociąg, mimo że mają okna, są całkiem dobrymi schronieniami na czas burzy. Należy się jedynie upewnić, że w pobliżu nie ma drzew, które mogłyby się przewrócić na pojazd.

> Metalowy pojemnik lub siatkę chroniące przed wyładowaniami elektrycznymi nazywamy **klatką Faradaya**.

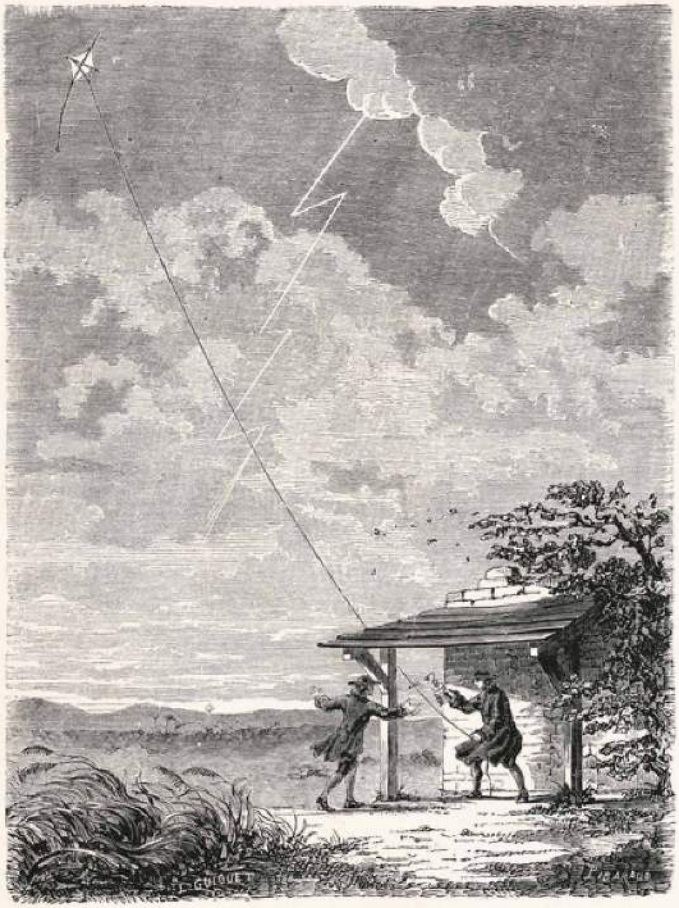
# Wyrwał niebu piorun, a berło tyranom

Franklin był jednym z ojców założycieli USA, współautorem Deklaracji Niepodległości i orędownikiem zniesienia niewolnictwa. Naukowe i polityczne zasługi Franklina podsumowano sentencją wyrytą na jego popiersiu: *Eripuit coelo fulmen sceptrumque tyrannis* (łac. wyrwał niebu piorun, a berło tyranom).

**Benjamin Franklin**



Benjamin Franklin (1706–1790) wynalazł nie tylko piorunochron, lecz także okulary dwuogniskowe, a nawet... fotel bujany. Odkryta przez niego zasada zachowania ładunku obaliła wcześniejszą tezę, że przy elektryzowaniu ciał powstają nowe ładunki.



◂ Franklin za pomocą latawca pobierał ładunki elektryczne z atmosfery, aby zbadać, czy mogą one posłużyć do wywołania takich samych zjawisk jak w przypadku elektryzowania ciał.

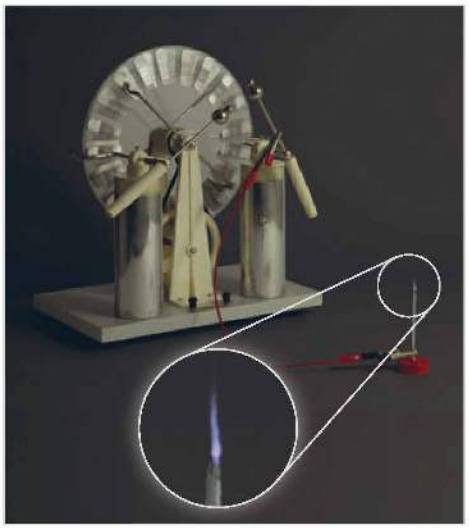
Po wynalezieniu maszyn elektrostatycznych, które wytwarzały iskry podobne do błyskawic, uczeni postawili hipotezę o elektrycznej naturze piorunów. W połowie XVIII w. potwierdziły ją badania amerykańskiego uczonego Benjamina Franklina, m.in. doświadczenie z latawcem (patrz rys.).

Franklin przypuszczał, że za pomocą metalowego ostrza połączonego z ziemią można pozbawić ładunku chmurę burzową, podobnie jak on w swoich eksperymentach pozbawiał ładunku naelektryzowaną metalową kulę. Albo przynajmniej skierować ładunek z chmury do ziemi. W ten sposób w 1752 r. wynalazł piorunochron. Dziś wiemy, że działa on zgodnie z tym drugim mechanizmem.

W Polsce piorunochrony zaczęto instalować ok. 1780 r. Nawiązania do pożytecznego wynalazku Franklina znajdujemy nawet w literaturze. W sztuce Wojciecha Bogusławskiego *Henryk VI na łowach* z 1792 r. czytamy: „Ale schowaj waćpan ten pałasz, jego ostry koniec mógłby, jak konduktor [piorunochron] na wieżą, ściągnąć na głowę waćpana pioruny".

## D Działanie metalowego ostrza

Przyjrzymy się teraz ciekawemu zjawisku, które zachodzi, gdy przewodnik ma ostrze. Przykładem takiego przewodnika może być ostry gwóźdź lub nóż.



### Doświadczenie 4.

**Pole elektryczne wokół metalowego ostrza**

**Uwaga.** Doświadczenie trzeba wykonywać w zaciemnionym pomieszczeniu.

1. Przygotuj maszynę elektrostatyczną, ostry gwóźdź i przewód.
2. Podłącz za pomocą przewodu gwóźdź do jednego z biegunów maszyny elektrostatycznej.
3. Wyłącz światło i włącz maszynę. Co obserwujesz?

Okazuje się, że w pobliżu ostrza powietrze świeci. Dlaczego tak się dzieje? Otóż pole elektryczne jest tam szczególnie silne – tak silne, że powoduje oderwanie części elektronów od niektórych atomów wchodzących w skład cząsteczek powietrza. Ponieważ atom lub cząsteczka z niedoborem elektronów to **jon**, więc opisane zjawisko nazywamy **jonizacją powietrza**. Zjonizowane powietrze ma ciekawą właściwość – może przewodzić prąd elektryczny, ponieważ pojawiają się w nim ładunki dodatnie i ujemne, które są zdolne do przemieszczania. Gdy elektrony wracają na swoje miejsce w atomach, emitują energię w postaci światła.

## Ochrona przed burzą – to warto wiedzieć

Uderzenie pioruna może być śmiertelnie niebezpieczne. Mimo że bezpośrednie trafienie przeżywa ok. 75-80% porażonych osób, to takie zdarzenie niesie ze sobą bardzo poważne skutki zdrowotne. Dlatego dobrze wiedzieć, jak się przed nim chronić.

Najlepiej pozostań w domu. Każdy budynek powinien być wyposażony w piorunochron.



Samochód (jeśli nie ma w pobliżu drzew) i pociąg to bezpieczne schronienia.



Na otwartej przestrzeni najlepiej kucnij, aby nie wystawać wysoko ponad poziom terenu.



## D Działanie piorunochronu

Właściwości metalowego ostrza wykorzystujemy w praktyce do budowy **piorunochronów**. Są to po prostu zaostrzone metalowe pręty ustawione ostrzem w górę i połączone grubym przewodem z ziemią. Piorun zawsze wybiera drogę o najmniejszym oporze elektrycznym, więc uderza w piorunochron, a ładunek spływa przewodem do ziemi.

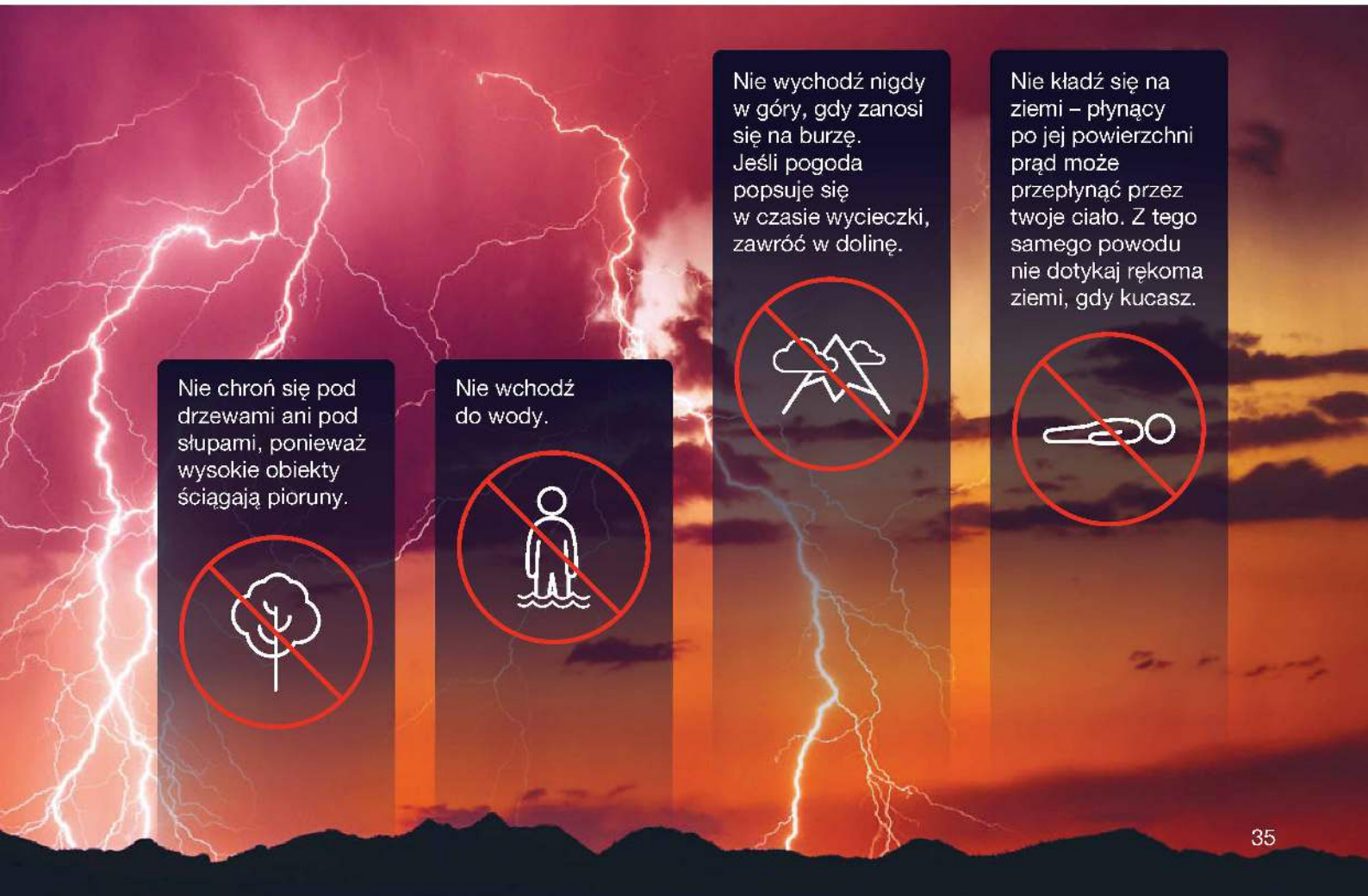
Gruby przewód ma mały opór, więc prąd spływa po nim bez przeszkód i wydziela niewiele energii w postaci ciepła. Dzięki temu nie uszkadza budynku.

Ale po co w piorunochronie ostrze? Otóż chmura burzowa ma od dołu ładunek ujemny (patrz rys.). Odpycha on elektrony znajdujące się w ziemi, więc pod chmurą powierzchnia ziemi uzyskuje ładunek dodatni. Właśnie ta różnica ładunków jest przyczyną powstawania iskry elektrycznej – pioruna.

Wraz z ziemią ładunek dodatni zyskują piorunochrony. W pobliżu ich ostrzy powietrze staje się zjonizowane i przewodzi prąd. Stanowi więc jakby przedłużenie piorunochronu i zwiększa jego zasięg (pomaga ściągać do niego pioruny).




▲ Powietrze zjonizowane dzięki zaostrzonemu końcowi piorunochronu działa jak jego niewidzialne przedłużenie



## To najważniejsze

- Nadmiarowe ładunki elektryczne (bez względu na znak) powodują elektryzowanie tylko zewnętrznej powierzchni przewodnika.
- W czasie burzy najlepiej schronić się w domu z piorunochronem, ewentualnie w samochodzie lub w pociągu. Na otwartej przestrzeni najlepiej kucnąć i nie dotykać ziemi rękoma. Nie wolno wchodzić do wody ani chronić się pod drzewami i słupami.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Do zdań A–D dobierz dokończenia I–III. Zapisz w zeszycie utworzone zdania.

**Uwaga.** Jedno dokończenie pasuje do dwóch początków zdań.

**A.** Karoseria samochodu stanowi klatkę Faradaya, ...

**B.** Drzewo chroni przed deszczem, ...

**C.** Jeśli w czasie burzy kładziesz się na ziemi, ...

**D.** Jeśli w czasie burzy znajdujesz się w wodzie, ...

**I.** ... ale jest bardzo niebezpiecznym miejscem w czasie burzy.
**II.** ... możesz zostać porażony przez piorun, nawet jeśli nie trafi on bezpośrednio w ciebie.
**III.** ... dlatego jest bezpiecznym schronieniem podczas burzy.

**2.** Czy w czasie burzy lepiej iść czy biec? Uzasadnij odpowiedź.

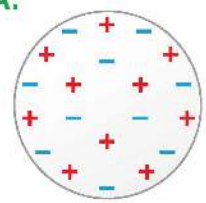
**Wskazówka.** Przypomnij sobie, dlaczego w czasie burzy niebezpiecznie jest leżeć na ziemi.

**3.** Na rysunku A przedstawiono rozkład ładunków w obojętnej elektrycznie metalowej kulce.

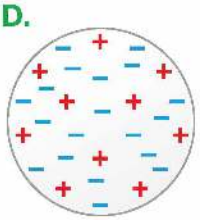
**a)** Podłączamy tę kulkę do maszyny elektrostatycznej i ładujemy ujemnie. Wskaż, który z rysunków B–F poprawnie przedstawia rozkład ładunków w naelektryzowanej kulce. Wyjaśnij, dlaczego pozostałe rysunki nie ilustrują tej sytuacji.

**b)** Podłączamy kulkę z rysunku A do maszyny elektrostatycznej i ładujemy dodatnio. Wskaż, który z rysunków B–F poprawnie przedstawia rozkład ładunków w naelektryzowanej kulce. Wyjaśnij, dlaczego pozostałe rysunki nie ilustrują tej sytuacji.

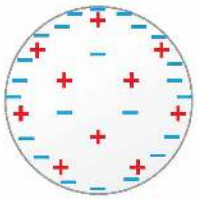
**A.**



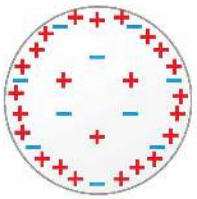
**D.**



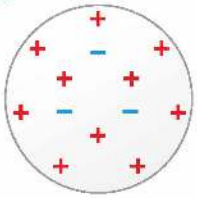
**B.**



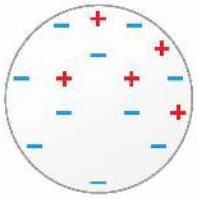
**E.**



**C.**



**F.**



**4.** Dowiedz się, co to są ognie św. Elma, i opisz w kilku zdaniach, jak powstaje to zjawisko. Zapisz, z jakich źródeł informacji korzystałeś.

**5.** Dowiedz się, czy w budynku, w którym mieszkasz, jest piorunochron. Jeśli tak, sprawdź, jak wygląda i w jaki sposób jest zamontowany.



# 6. Kondensator

**Cele lekcji**

- Dowiesz się, jak jest zbudowany i jak działa kondensator.
- Przypomnisz sobie pojęcie napięcia elektrycznego.
- Poznasz niektóre zastosowania kondensatorów w urządzeniach elektronicznych.

## Budujemy kondensator

Kondensator jest prostym elementem elektronicznym, używanym do przechowywania energii elektrycznej. Zbudujemy go teraz z powszechnie dostępnych materiałów.

### Doświadczenie obowiązkowe

**Przekaz energii podczas rozładowania kondensatora**




1. Przygotuj 5 plastikowych koszulek do segregatora formatu A4, folię aluminiową, nożyczki, dwa stalowe spinacze biurowe, 3 przewody w izolacji, maszynę elektrostatyczną lub rakietkę na komary. Do łączenia przewodów najłatwiej zastosować krokodylki (patrz s. 57), ale można je zastąpić spinaczami biurowymi.
2. Z folii aluminiowej wytnij dwa prostokątne arkusze nieco mniejsze niż plastikowa koszulka i do każdego z nich przypnij spinacz. Do każdego spinacza podłącz przewód.
3. Jeden arkusz folii połóż na stole. Złóż koszulki razem i przykryj nimi pierwszy arkusz, a drugi arkusz połóż na koszulkach. Zadbaj, aby arkusze nie stykały się ze sobą i aby krokodylki były oddalone od siebie o co najmniej 1 cm.
4. Wolny koniec jednego z przewodów przypiętych do spinaczy połącz z biegunem maszyny elektrostatycznej (przewód nr 1 na zdjęciu). Do drugiego bieguna maszyny elektrostatycznej podłącz trzeci przewód. Kondensator jest gotowy – teraz zbadamy, jak działa.
5. **Trzymając za izolację**, zetknij wolne końce przewodów nr 2 i 3 i włącz na chwilę maszynę. Wyłącz ją i rozłącz końce przewodów nr 2 i 3.
6. Teraz zbliż wolny koniec przewodu nr 2 do jednego z końców przewodu nr 1. **Nie przestrasz się efektu!**

W naszym doświadczeniu mieliśmy okazję zobaczyć i usłyszeć przeskok iskry elektrycznej. Zauważ, że maszyna elektrostatyczna była wówczas odłączona od kondensatora. Skąd więc wzięła się energia potrzebna do wytworzenia iskry? Została ona zmagazynowana w kondensatorze.

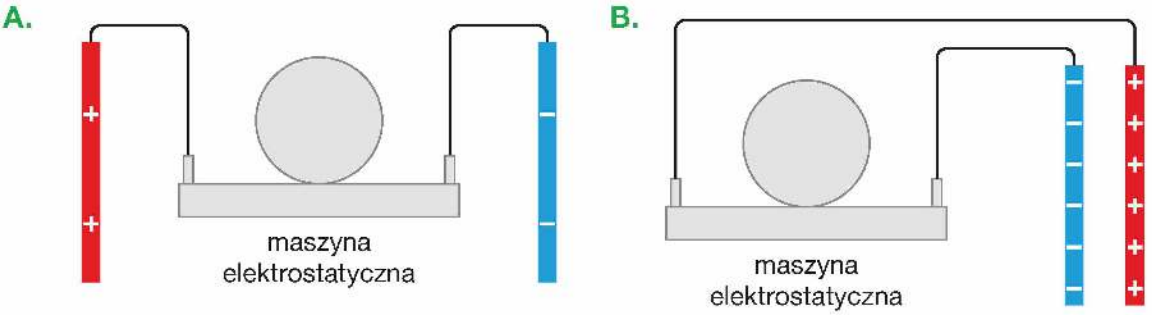
> Kondensator pozwala **zmagazynować energię elektryczną**.

O praktycznych zastosowaniach kondensatorów powiemy w dalszej części tej lekcji.

## Jak działa kondensator

Gdybyśmy do biegunów maszyny elektrostatycznej podłączyli dwa kawałki metalu (rys. A), np. arkusze folii aluminiowej, to po włączeniu maszyny zyskałyby one pewien ładunek: dodatni w przypadku jednego arkusza i ujemny – w przypadku drugiego. Nie byłby to jednak duży ładunek. Już po chwili dalsze kręcenie korbką maszyny nic by nie zmieniało:

- **nadmiar elektronów** na arkuszu naelektryzowanym ujemnie skutecznie blokowałby dopływ kolejnych elektronów,
- **niedobór elektronów** na arkuszu naelektryzowanym dodatnio uniemożliwiałby wypływ kolejnych elektronów.




▲ **A.** Arkusze folii podłączone do maszyny elektrostatycznej zyskują niewielki ładunek.
**B.** Dwa arkusze folii ustawione równolegle tworzą kondensator

Sytuacja zmienia się, gdy kawałki folii ułożymy równolegle tuż obok siebie (rys. B) i rozdzielimy jedynie cienką warstwą izolatora (izolatorem może być powietrze). Tak umieszczone arkusze folii nazywamy **okładkami** kondensatora.

Gdy przeciwnie naładowane arkusze są umieszczone blisko siebie, na ujemną okładkę może przepłynąć znacznie więcej elektronów niż w sytuacji, gdy arkusze znajdują się daleko od siebie. Co prawda kolejne elektrony są odpychane przez te, które już się tam znalazły, ale za to są przyciągane przez dodatnią okładkę. Analogicznie jest w przypadku dodatniej okładki.

Kiedy odłączamy maszynę elektrostatyczną, okładki pozostają naładowane. Gdy następnie zbliżamy przewody łączące okładki, nadmiarowe elektrony przepływają z okładki ujemnej na dodatnią.

A skąd bierze się iskra? Tuż przed połączeniem przewodów, gdy ich końce są blisko siebie, elektrony przeskakują pomiędzy nimi przez powietrze i wybijają elektrony z jego cząsteczek. Gdy wybite elektrony wracają na swoje miejsca w atomach, emitują nadmiar energii w postaci światła.

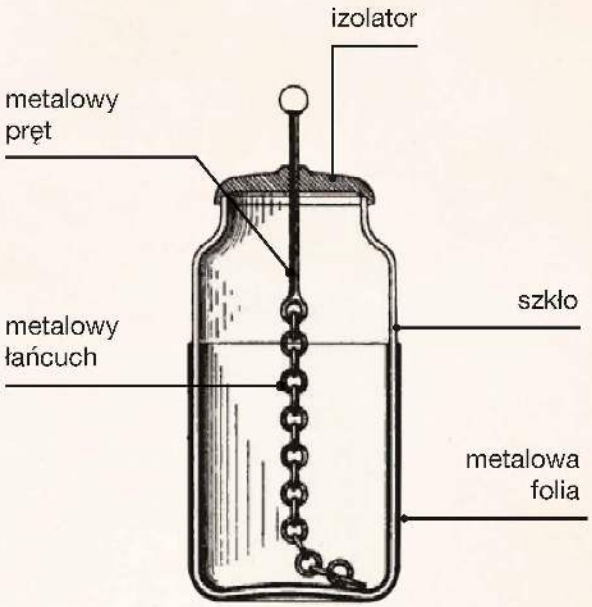
# Butelka i skaczący mnisi

Pierwszy kondensator wynalazł w 1745 r. w Kamieniu Pomorskim niemiecki prawnik Ewald von Kleist. Jego przyrząd miał postać szklanego naczynia pokrytego od zewnątrz i od wewnątrz metalowymi okładkami. Niedługo później podobny zbudowali uczeni z Lejdy w Holandii, a ponieważ oni pierwsi zgłosili odkrycie paryskiej Akademii Nauk, urządzenie nazwano butelką lejdejską.

W XVIII w. uważano, że elektryczność jest płynem (**fluidem**) i napełnia butelkę lejdejską jak ciecz. Mimo błędnego założenia wynalazek umożliwił uczonym prowadzenie badań z użyciem większych ładunków.

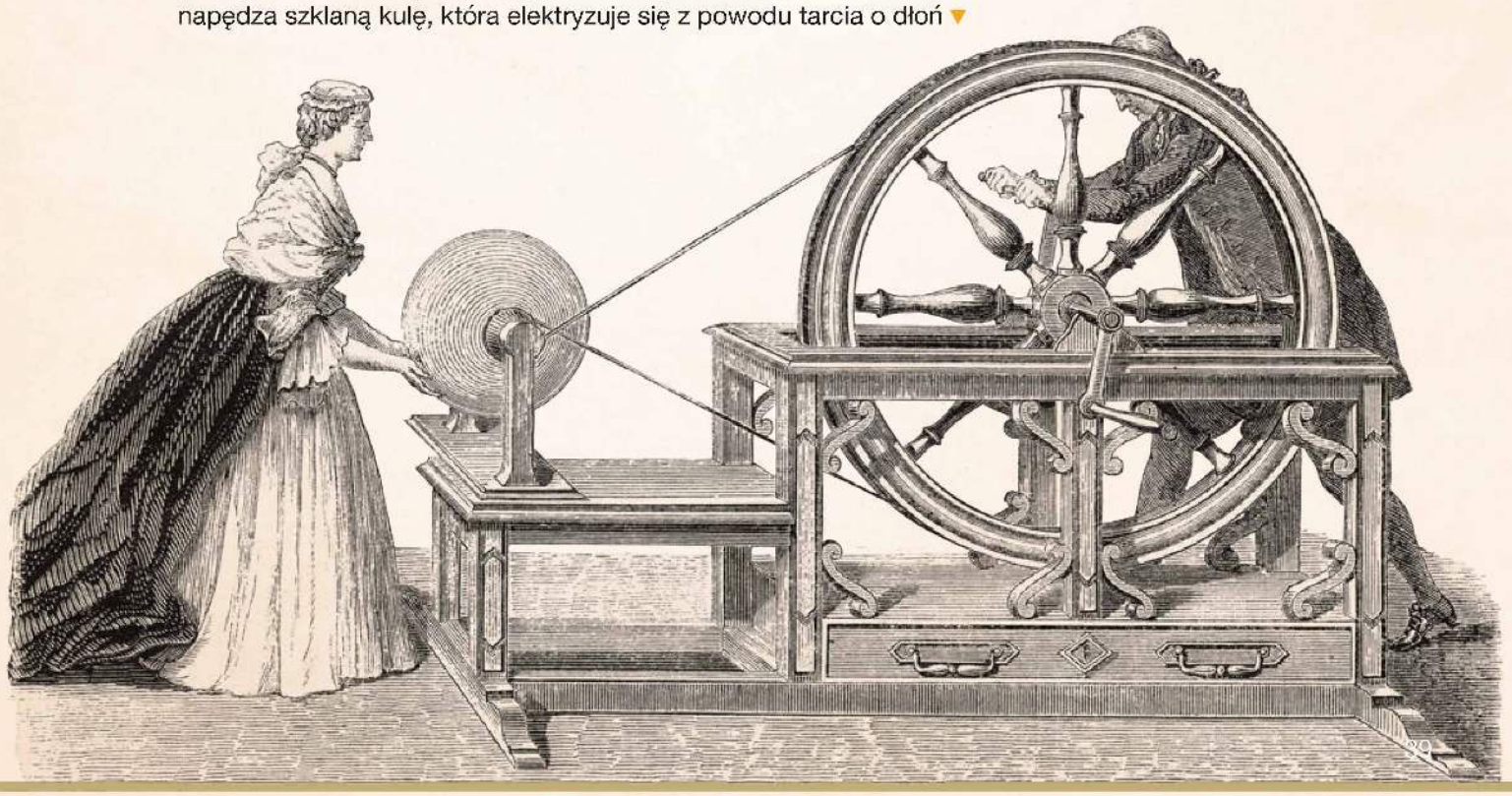
To pozwoliło im np. ocenić, że elektryczność rozchodzi się w przewodzie „szybciej, niż możemy zmierzyć". A trzeba pamiętać, że eksperymentowanie wymagało wtedy poświęceń – z powodu braku przyrządów mierniczych wielkość ładunku oceniano na podstawie wstrząsu elektrycznego, jaki wywołał u człowieka.

Odkrycia przedstawiano szerokiej publiczności. Do najbardziej utalentowanych popularyzatorów nowej nauki o elektryczności należał Jean-Antoine Nollet (czyt. żan ant**uan** nol**e**). W jednym z doświadczeń ustawił on w podkowę kilkuset mnichów trzymających się za ręce. Gdy do tak utworzonego obwodu podłączył naładowaną butelkę lejdejską, wszyscy zakonnicy w tym samym momencie podskoczyli.




▲ Rycina przedstawiająca butelkę lejdejską

Maszyna elektrostatyczna na rycinie z książki Nolleta. Wielkie koło napędza szklaną kulę, która elektryzuje się z powodu tarcia o dłoń ▼



## Napięcie elektryczne

Pojęcie napięcia elektrycznego jest ci znane ze szkoły podstawowej i z życia codziennego. Na pewno rozumiesz je intuicyjnie i np. nie podłączysz lampki rowerowej do napięcia 230 V w domowej sieci elektrycznej. Ale czy wiesz, co właściwie oznacza stwierdzenie: „Napięcie baterii wynosi 1,5 V"?
Aby to wyjaśnić, przyjrzyjmy się schematowi.

### Przenoszenie ładunku a przenoszenie piłki

Napięciu elektrycznemu odpowiada różnica energii potencjalnej elektronu. Analogicznie: wysokości, na której znajduje się ciało, odpowiada różnica energii potencjalnej grawitacji.




Wynika z niego, że na okładce ujemnej elektron ma wyższą energię elektryczną niż na dodatniej, podobnie jak piłka ma większą energię potencjalną grawitacji na stole niż na podłodze. W tej sytuacji mówimy, że między okładkami kondensatora jest napięcie.

Jeśli ciało o pewnym ładunku elektrycznym ma inną energię elektryczną w punkcie A niż w punkcie B, to mówimy, że między tymi punktami występuje **napięcie elektryczne**.

Miarą napięcia $U$ jest różnica energii $\Delta E$ w przeliczeniu na jednostkę ładunku.

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

Oto cztery zdania, które mówią dokładnie to samo, tylko innymi słowami:

- Przeniesienie 1 C ładunku z punktu A do punktu B wymaga wykonania pracy 5 J.
- Gdy ładunek 1 C wraca z punktu B do punktu A, może wykonać pracę 5 J.
- Ładunek 1 C ma w punkcie B energię elektryczną o 5 J wyższą niż w punkcie A.
- Pomiędzy punktami A i B jest napięcie 5 $\frac{\text{J}}{\text{C}}$, czyli 5 V.

Jednostką napięcia jest **wolt**: 1 V = 1 $\frac{\text{J}}{\text{C}}$.

Napięcie 12 V oznacza więc, że przemieszczający się między dwoma punktami ładunek 1 C może wykonać pracę 12 J, ładunek 2 C – pracę 24 J, ładunek 3 C – pracę 36 J itd.

## Plus i minus

Wiemy już, że ciało posiadające **nadmiar** elektronów jest naładowane **ujemnie**. Teraz rozumiemy też, że elektron ma **wyższą energię** na **ujemnej** okładce kondensatora. Oba te stwierdzenia są dość zaskakujące, bo przecież znak + kojarzy się z większą ilością, a nie z mniejszą. Wynikają one jedynie z umowy, że znak ładunku elektronu jest ujemny, a protonu – dodatni.

Dlaczego jednak przyjęto tak niewygodną umowę? Po prostu została ona wprowadzona, jeszcze zanim poznano naturę zjawisk elektrycznych. Jej zmiana oznaczałaby nie tylko poprawienie wszystkich podręczników, lecz także i przede wszystkim – dostosowanie do niej oznaczeń na wszystkich bateriach na świecie oraz na zasilanych z baterii urządzeniach, akumulatorach samochodowych, woltomierzach itd. Wobec ich powszechności nie jest to możliwe.

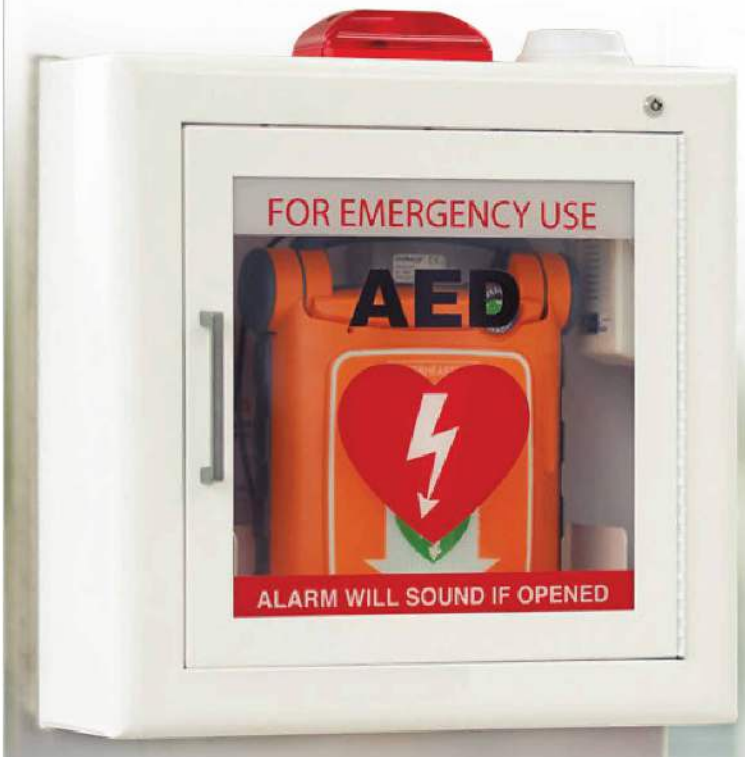
## Zastosowania kondensatorów

Już wiesz, że kondensator służy do przechowywania energii elektrycznej. Energia ta jest nieporównanie mniejsza niż w przypadku akumulatora lub baterii.

### Defibrylator (AED) może uratować życie

W przypadku niektórych zaburzeń rytmu serca, zagrażających życiu pacjenta, stosujemy defibrylator.

To urządzenie przepuszcza przez serce prąd elektryczny o dużym natężeniu i powoduje przerwanie arytmii skutkującej zatrzymaniem krążenia. Zasadniczym elementem defibrylatora jest kondensator, pozwalający nie tylko zmagazynować potrzebną energię (równą 360 J), lecz także wyzwolić ją w krótkim czasie.



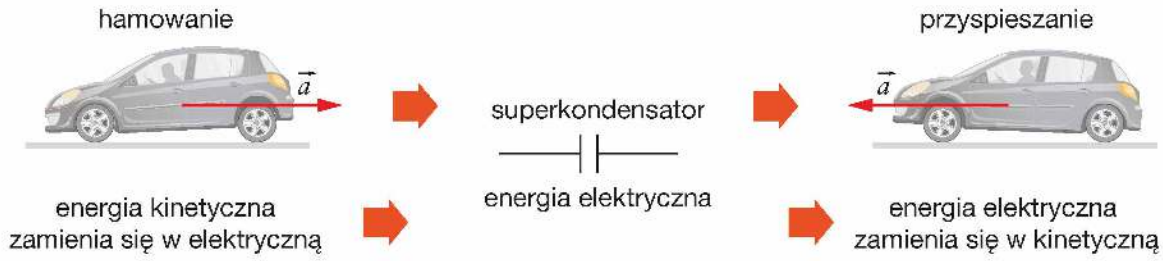

Nowoczesny defibrylator zautomatyzowany sam udziela instrukcji użytkownikowi, a nawet wykonuje badanie pracy serca pacjenta (EKG) i decyduje, czy zaaplikowanie wstrząsu jest wskazane. Może więc go użyć każda osoba udzielająca pomocy poszkodowanemu, nie tylko lekarz czy ratownik medyczny. Ciebie także to dotyczy. Jeśli znajdziesz nieprzytomną osobę, która nie oddycha, a w pobliżu jest defibrylator AED, nie wahaj się – możesz uratować komuś życie!

W doświadczeniu ze s. 37 zgromadzona w kondensatorze energia pozwoliła tylko na jednokrotny przeskok iskry. Nie moglibyśmy jej kosztem zasilać np. żarówki. Jednak kondensator ma nad akumulatorem pewną przewagę: w ułamku sekundy mamy dostęp do całej zmagazynowanej energii. Tak więc kondensator mimo małej energii pozwala osiągnąć dużą moc.

Dlatego właśnie kondensatory stosuje się **w lampach błyskowych**. Ładowanie kondensatora z baterii trwa kilka czy kilkanaście sekund, a następnie w ciągu ułamka sekundy cała energia jest uwalniana w postaci błysku bardzo jasnego światła. W podobny sposób wykorzystujemy kondensatory **do zasilania defibrylatora** (patrz ramka „Defibrylator (AED) może uratować życie" na s. 41). Kondensator może także służyć **do wyrównywania niepotrzebnych skoków napięcia**.

## Superkondensatory

Przewagą samochodów hybrydowych i elektrycznych nad spalinowymi jest możliwość gromadzenia energii traconej podczas hamowania. Energia ta, przechowana w akumulatorze, służy następnie do ponownego rozpędzania pojazdu.




Jednak akumulatory w takich samochodach mają poważną wadę: po kilku latach wymagają wymiany, co jest niewiele tańsze od zakupu używanego samochodu spalinowego. W dodatku produkcja nowych akumulatorów i utylizacja starych stanowi obciążenie dla środowiska.

Z kolei zwykły kondensator nie pozwala zgromadzić energii wystarczającej do napędzania samochodu. Jednak w ostatnich latach akumulatory coraz częściej są zastępowane **superkondensatorami**. Pozwalają one gromadzić energię wielokrotnie większą niż zwykły kondensator, a są dużo trwalsze od akumulatorów.

Superkondensatory wykorzystujemy także w niewielkich urządzeniach, takich jak wkrętarki czy lampy. Dzięki szybkiemu ładowaniu możemy uniknąć przerw w pracy.

### To najważniejsze

- **Kondensator** to urządzenie do gromadzenia energii elektrycznej.
- Najprostszy kondensator składa się z dwóch metalowych okładek rozdzielonych izolatorem, na których gromadzą się ładunki przeciwnych znaków.
- W kondensatorze mieści się niewiele energii w porównaniu z baterią, ale można wykorzystać całą tę energię w krótkim czasie, aby uzyskać dużą moc.
- Superkondensatory zaczynają zastępować akumulatory w pojazdach oraz w innych urządzeniach elektrycznych.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



**1.** Przypomnij sobie doświadczenie ze s. 37. W chwili włączenia maszyny elektrostatycznej kondensator ulega samorzutnemu sprasowaniu – aluminiowe okładki przywierają do rozdzielającego je plastiku. Wyjaśnij to zjawisko.

**2.** Zapoznaj się z tekstem o defibrylatorze zamieszczonym na s. 41.

**a)** Wyjaśnij, w jakim celu w defibrylatorze stosujemy kondensator.

**b)** Dowiedz się, czy i gdzie w twojej miejscowości znajdują się publicznie dostępne defibrylatory AED.

**c)** Obejrzyj film szkoleniowy na temat użycia defibrylatora AED dostępny pod kodem QR.



**d)** Zapisz, jakie informacje podano w filmie, a nie było ich w podręczniku.

**e)** Wyjaśnij na podstawie wiedzy z tej lekcji, dlaczego w czasie defibrylacji nikt nie powinien dotykać pacjenta.

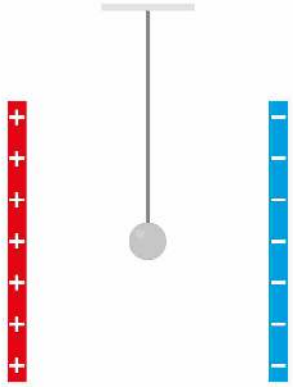
**3.** Napięcie między biegunami akumulatora samochodowego wynosi 12 V. Ile energii elektrycznej dostarczy akumulator, gdy przez zasilane nim urządzenie przepłynie ładunek 2 C?

**4.** Napięcie między biegunami pewnej maszyny elektrostatycznej wynosi 5000 V. Oblicz, o ile zmieni się energia elektryczna jednego elektronu, gdy przeniesiemy go z kulki o ładunku dodatnim na kulkę o ładunku ujemnym. Czy energia ta wzrośnie czy zmaleje?

**5.** Gdy pewien kondensator naładujemy tak, że napięcie między jego okładkami wyniesie 1000 V, wtedy ładunek na jednej okładce będzie równy +4 μC, a na drugiej −4 μC. Oblicz, jaka energia wyzwoli się w czasie rozładowania kondensatora.

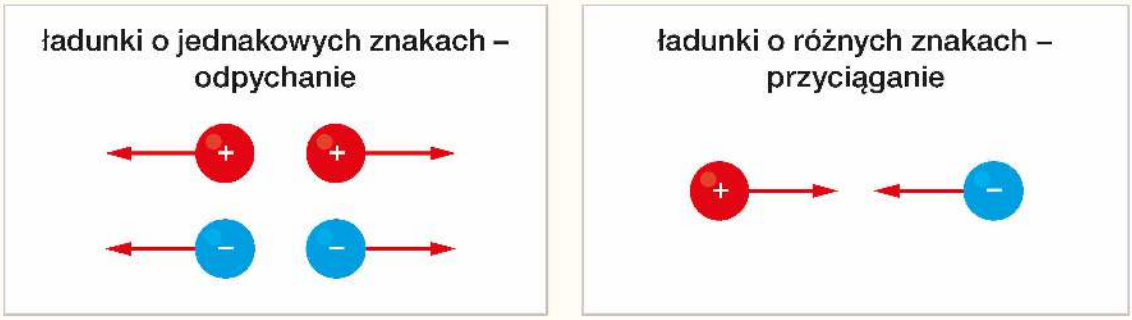
**Uwaga.** W miarę rozładowywania się kondensatora maleje napięcie między jego okładkami od podanej wartości 1000 V do zera. W obliczeniach możesz więc przyjąć średnie napięcie równe 500 V.

**6.** Co się stanie, gdy po naładowaniu kondensatora umieścimy między jego okładkami małą metalową kulkę zawieszoną na nieprzewodzącej nici (patrz rys.), a następnie nieco odchylimy ją w stronę jednej z okładek?

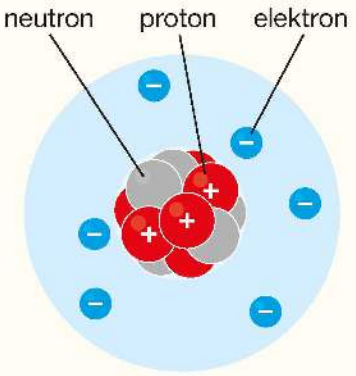


# Powtórzenie Elektrostatyka

- Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych: **ładunki dodatnie** i **ładunki ujemne**.




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



▲ Budowa atomu

- Proton ma ładunek o wartości bezwzględnej takiej samej jak elektron, ale o przeciwnym znaku. Liczba protonów w atomie jest taka sama jak liczba elektronów, dlatego atom jest **elektrycznie obojętny**.

- **Ładunek elementarny** jest to ładunek równy co do wartości bezwzględnej ładunkowi protonu lub elektronu:

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

- Jednostką ładunku elektrycznego jest **kulomb**:

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

- **Elektryzowanie** ciał polega na przemieszczaniu się niektórych elektronów z jednego ciała na drugie.

- **Zasada zachowania ładunku**: Całkowity ładunek elektryczny izolowanego układu ciał nie ulega zmianie.

  **Uwaga.** Gdy obliczamy ładunek całkowity, uwzględniamy znaki ładunków + i −.

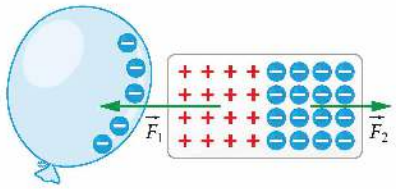
- **Prawo Coulomba**: Wartość siły elektrycznej jest wprost proporcjonalna do iloczynu ładunków oddziałujących ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi. Wartość siły elektrycznej obliczamy ze wzoru:

$$F_e = k\frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$$

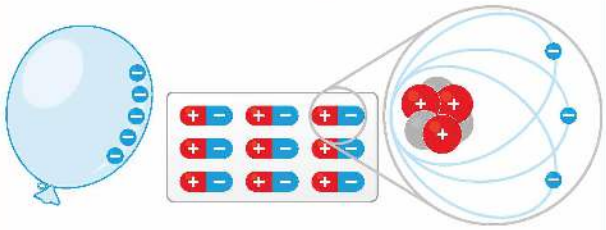
gdzie: $k \approx 9 \cdot 10^9\ \frac{\mathrm{N \cdot m^2}}{\mathrm{C^2}}$ – stała zwana stałą elektryczną, $q_1$, $q_2$ – ładunki ciał, $r$ – odległość między ciałami.

## Dlaczego ciało naelektryzowane przyciąga nienaelektryzowany

### przewodnik




### izolator



## W czasie burzy

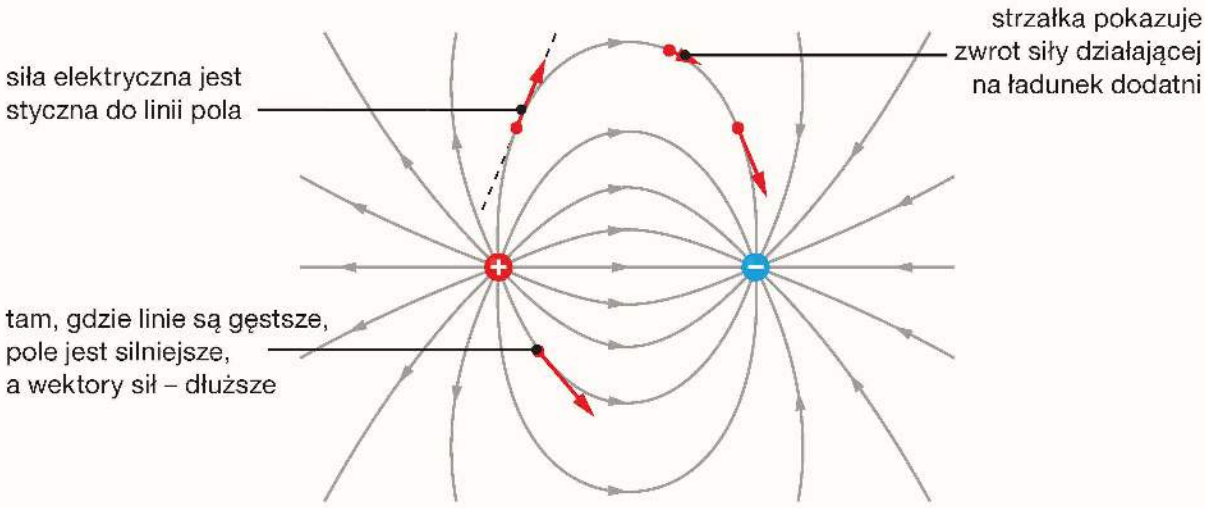
### Warto

- wejść do budynku z piorunochronem
- wsiąść do samochodu (jeśli nie stoi on pod drzewem) lub do pociągu
- kucnąć

### Nie wolno

- ~~chronić się pod drzewami i słupami~~
- ~~kłaść się na ziemi~~
- ~~wchodzić do wody~~

- Jeśli w jakimś fragmencie przestrzeni na ładunek elektryczny działa siła elektryczna, to mówimy, że jest tam **pole elektryczne**.
- Pole elektryczne można przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**. Na rysunku pokazano, co można odczytać z linii pola:



- Linie pola można badać doświadczalnie np. za pomocą strzępków plastikowej wstążki pływających w oleju.

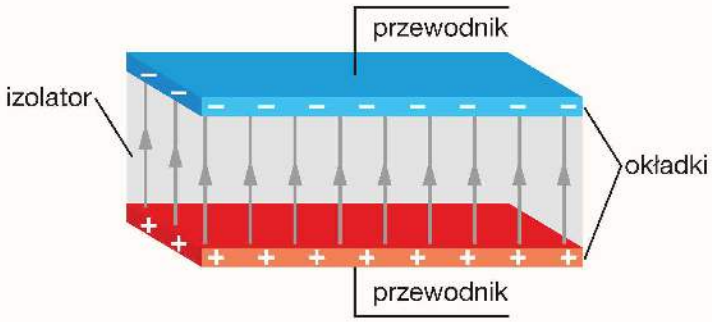




- W naelektryzowanym przewodniku ładunki gromadzą się na zewnętrznej powierzchni. Dzięki temu wewnątrz metalowego pudełka lub klatki nie występuje pole elektryczne. Takie pudełko lub klatka to tzw. **klatka Faradaya**.

- **Kondensator** składa się z dwóch równoległych metalowych płytek. Gdy ładujemy kondensator, płytki zyskują ładunki o przeciwnych znakach.

  - Kondensator służy do gromadzenia energii elektrycznej. Zgromadzona w kondensatorze energia jest niewielka, jednak można ją odzyskać w krótkim czasie. Pole elektryczne wewnątrz kondensatora płaskiego jest polem jednorodnym.




- Między punktami występuje napięcie elektryczne, jeżeli naładowane ciało ma w tych punktach różną energię elektryczną.

- Miarą napięcia $U$ jest różnica energii w przeliczeniu na jednostkę ładunku.

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

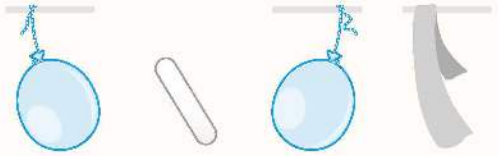
- Napięcie mierzymy w **woltach**: $1\ \mathrm{V} = 1\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}}$.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

**Informacja do zadań 1. i 2.**
Rura od odkurzacza wykonana z PVC (polichlorku winylu) elektryzuje się ujemnie, gdy potrzemy ją wełnianym szalikiem. Balonik potarty szalikiem również elektryzuje się ujemnie.

**1.** Wełnianym szalikiem pocieramy najpierw rurę od odkurzacza, a następnie balonik. Wówczas:

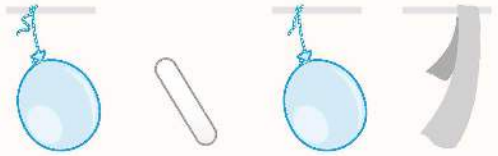
**A.** rura przyciąga balonik, a szalik go odpycha.



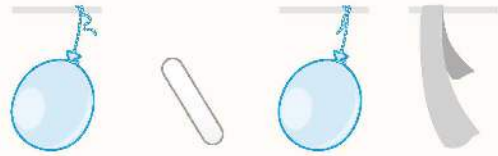
**B.** rura odpycha balonik, a szalik go przyciąga.



**C.** zarówno rura, jak i szalik przyciągają balonik.



**D.** zarówno rura, jak i szalik odpychają balonik.



**2.** Gdy pocieramy balonik szalikiem:

**A.** niektóre elektrony przepływają z szalika na balonik.

**B.** niektóre elektrony przepływają z balonika na szalik.

**C.** niektóre protony przepływają z szalika na balonik.

**D.** niektóre protony przepływają z balonika na szalik.

**3.** Uporządkuj miejsca I–IV od najbezpieczniejszego do najmniej bezpiecznego schronienia na wypadek burzy.

**I.** ławka pod drzewem

**II.** samochód na parkingu bez drzew

**III.** namiot

**IV.** najbliższy sklep

**4.** Jeśli burza zaskoczy cię na otwartej przestrzeni, najlepiej:

**A.** stać prosto.

**B.** położyć się na ziemi.

**C.** kucnąć i nie dotykać ziemi rękoma.

**5.** Kondensator służy do:

**A.** wytwarzania wysokiego napięcia.

**B.** sprawdzania, czy ciało jest naelektryzowane.

**C.** skraplania pary wodnej w suszarce do prania.

**D.** gromadzenia energii elektrycznej.

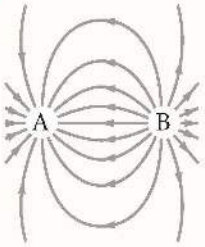
## ZADANIA POWTÓRZENIOWE To powinieneś umieć

**1.** Atom jest obojętny elektrycznie, gdyż:
**A.** jest w nim tyle samo protonów co elektronów.
**B.** jego składniki nie mają ładunku elektrycznego.
**C.** zawiera neutrony.

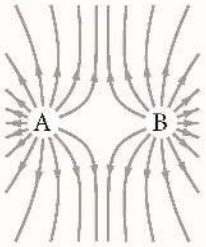
**2.** Dwie małe metalowe kulki umieszczone w odległości 20 cm od siebie odpychają się siłą 6 μN. Gdy zbliżymy je na odległość 10 cm, będą się odpychać siłą:
**A.** 1,5 μN. **C.** 12 μN.
**B.** 3 μN. **D.** 24 μN.

**3.** Który z rysunków przedstawia linie pola tworzonego przez dwa ładunki o różnych znakach, a który – przez dwa ładunki o jednakowych znakach?

**I.**




**II.**




**4.** W którym miejscu elektron ma większą energię: na ujemnym biegunie baterii czy na dodatnim? A może w obu miejscach energia jest taka sama? Odpowiedź uzasadnij.

**5.** Gdy między biegunami baterii przedstawionej na zdjęciu przepłynie ładunek 2 C, zostanie wykonana praca:




**A.** 2 J.
**B.** 9 J.
**C.** 18 J.
**D.** 4,5 J.

**6.** Wybierz uzupełnienia zdania spośród A i B oraz spośród C i D. Zapisz w zeszycie całe uzupełnione zdanie.

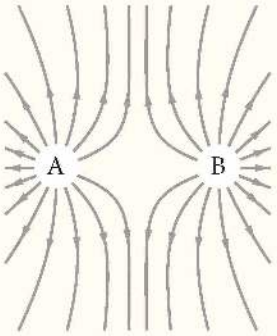
Kondensator pozwala zgromadzić **A/ B** energię niż akumulator, ale za to tę energię można odzyskać w **C/ D** czasie.
**A.** mniejszą
**B.** większą
**C.** krótszym
**D.** dłuższym

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

**1.** Dwa ciała o ładunku +2 nC każde znajdują się w odległości 2 m od siebie. Określ, czy ciała się przyciągają, czy odpychają. Oblicz, jaka jest wartość siły elektrycznej działającej między tymi dwoma ciałami.

**2.** Dwie identyczne stalowe kulki zostały naelektryzowane: jedna dodatnio, a druga ujemnie. Masa której kulki się zwiększyła, a której – zmniejszyła? Dlaczego takich zmian nie obserwowaliśmy w czasie naszych doświadczeń?

**3.** Na podstawie linii pola określ znak ładunków oznaczonych literami.




**4.** Pomiędzy okładkami kondensatora jest napięcie 200 V. Jaka energia jest potrzebna, aby z okładki dodatniej przenieść na ujemną jeszcze miliard elektronów? Zakładamy, że na skutek przeniesienia tak niewielkiego ładunku napięcie między okładkami kondensatora się nie zmienia.

**5.** Narysuj linie pola elektrycznego między okładkami kondensatora. Jak się nazywa takie pole?

**6.** Metalowa kula została naelektryzowana ujemnie. Który z rysunków prawidłowo przedstawia rozkład dodatkowych elektronów? Na rysunkach widzimy przekrój kuli.

**A.**



**B.**



**C.**



## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

**1.** Ładunek –1 C ma łącznie ok.:

**A.** sześć miliardów elektronów.

**B.** sześć milionów miliardów elektronów.

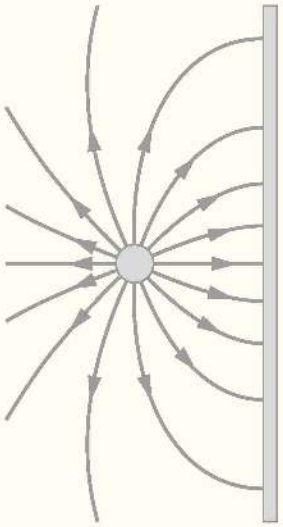
**C.** sześć miliardów miliardów elektronów.

**D.** sześć bilionów miliardów elektronów.

**2.** Stalowa kulka o masie 100 g została naelektryzowana i uzyskała ładunek –3 nC. Oblicz, o ile zmieniła się masa kulki. Jaka to część początkowej masy? Masa elektronu wynosi ok. $9 \cdot 10^{-31}$ kg.

**3.** Oblicz, z jakiej odległości ładunki +20 nC i –20 nC przyciągają się siłą 0,05 N.

**4.** Rysunek przedstawia linie pola tworzonego przez naładowane elektrycznie przedmioty: metalową płytkę i metalowy pręt. Czy znaki ładunków, którymi są obdarzone, są jednakowe czy przeciwne? Jakie to znaki?



## Projekt Burze małe i duże

**Cel projektu:** Nauczysz się wykonywać zdjęcia błyskawic i dowiesz się więcej o wyładowaniach elektrycznych.

**Wprowadzenie:**

Błyskawice to wspaniały temat dla ambitnych fotografów. W wykonanie zdjęcia trzeba wprawdzie włożyć sporo wysiłku i jeszcze więcej cierpliwości, ale efekt może zachwycać.

Niestety, wyładowanie trwa zbyt krótko, aby zdążyć wcisnąć przycisk aparatu. Jedyne rozwiązanie to robić kolejne zdjęcia nieba i czekać, aż przypadkiem trafimy na błyskawicę. Szanse są tym większe, im dłuższy wybierzemy czas naświetlania. Musimy więc mieć możliwość ręcznego ustawienia długiego czasu i odpowiedniej przysłony.

1. Wykonaj zdjęcia kilku błyskawic. Może uda ci się zrobić zdjęcia wyładowań nie tylko między chmurami a ziemią, lecz także pomiędzy chmurami. Dowiedz się, jak powstają jedne i drugie.
2. Wykonaj zdjęcia iskier elektrycznych wytwarzanych sztucznie, np. z rakietki na komary albo maszyny elektrostatycznej. Porównaj zdjęcia błyskawic i zdjęcia tych iskier. Spróbuj wyjaśnić podobieństwa i różnice.
3. Możecie urządzić w szkole wystawę najciekawszych zdjęć.

**Wskazówki i zasady BHP**

- Zdjęcia wykonuj z bezpiecznego miejsca, np. z wnętrza budynku wyposażonego w piorunochron. Pamiętaj o zasadach bezpieczeństwa w czasie burzy! W żadnych wypadku – mimo pięknego widoku – nie wychodź na dach czy wzniesienie.
- Nigdy nie eksperymentuj z iskrami z sieci elektrycznej!
- Burzy prawie zawsze towarzyszy deszcz – uważaj, aby nie zamoczyć aparatu.
- Potrzebny jest statyw – nikt nie utrzyma aparatu zupełnie bez ruchu przez pół sekundy albo dłużej.
- Wciskanie spustu migawki powoduje poruszenie aparatu, warto więc korzystać z samowyzwalacza.



## Analiza tekstu

### Ciekawa nauka wokół nas



Setki zainteresowanych przychodzą na festiwale nauki, pikniki naukowe i inne podobne imprezy, aby obejrzeć i wykonać doświadczenia, posłuchać wykładów i dowiedzieć się czegoś ciekawego z różnych dziedzin wiedzy. Centra nauki – np. warszawskie Centrum Nauki Kopernik czy łódzkie Centrum Nauki i Techniki EC1 – są pełne zwiedzających. Widać, że zagadnienia naukowe interesują wiele osób. Jak jeszcze można rozwijać te zainteresowania?

### Zajrzyj do czasopism

Wiele praw fizyki omawianych w szkole średniej znano już sto, dwieście, a nawet trzysta lat temu. Czemu nie mówimy o falach grawitacyjnych, czarnych dziurach, komputerach kwantowych? Dlaczego nie uczymy się o innych nowych odkryciach i wynalazkach? Cóż, aby naprawdę dobrze je zrozumieć, najpierw musisz gruntownie poznać fizykę klasyczną. Jednak już teraz możesz czytać czasopisma popularnonaukowe, w których znajdziesz doniesienia o nowych odkryciach zarówno z fizyki, jak i z innych dziedzin. Oto przykładowe tytuły takich periodyków:

#### „Wiedza i Życie"

Pismo poświęcone różnym dziedzinom wiedzy, ale głównie naukom ścisłym i przyrodniczym. Poziom trudności w sam raz dla ucznia szkoły średniej.

**Więcej:** http://www.wiz.pl/

#### „Świat Nauki"

Polska edycja pisma „Scientific American". Nieco trudniejsza niż „Wiedza i Życie".

**Więcej:** http://www.swiatnauki.pl/

### Internet – tak, bzdury – nie

Także w internecie można znaleźć mnóstwo ciekawych wiadomości. Niestety, jeszcze łatwiej natknąć się na materiały bezwartościowe czy wręcz na fałszywe informacje. Aby pomóc ci w wyborze, poniżej polecamy dziesięć wybranych kanałów popularnonaukowych w serwisie YouTube.

Część z nich wymaga znajomości angielskiego, ale język używany w tych filmach nie jest trudny. Jeśli masz problem z rozumieniem ze słuchu, możesz włączyć angielskie napisy – łatwiej przyswoić informację, gdy jednocześnie ją słyszysz i czytasz. Napisy pozwalają też korzystać ze słownika. Pojęcia naukowe można tłumaczyć również za pomocą Wikipedii: włączamy odpowiedni artykuł po angielsku, a następnie przełączamy język na polski.
Do niektórych filmów są polskie napisy, ale na ogół tłumaczone automatycznie, a więc nie zawsze poprawnie.



- emce kwadrat
- Nauka. To lubię
- SciFun
- Uwaga! Naukowy Bełkot



- Veritasium
- minutephysics
- Scientium
- Kurzgesagt – In a Nutshell
- SciShow

Nieco inny charakter ma kanał CrashCourse. Poszczególne filmy na nim układają się w dłuższe kursy. Każdy kurs to jedna playlista, więc nie ma problemu ze znalezieniem kolejnego odcinka.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dowiedz się, gdzie najbliżej twojej miejscowości znajduje się centrum nauki.
2. Dowiedz się, kiedy w twojej miejscowości albo w pobliżu odbędzie się festiwal nauki lub podobna impreza.
3. Zajrzyj na stronę każdego z czasopism opisanych w tekście i przeczytaj spis treści aktualnego numeru. Wypisz dwa tytuły, które cię zainteresowały.
4. Przetłumacz angielskie słowo *voltage* na język polski w sposób opisany w artykule.
5. Obejrzyj jeden z filmów z dziedziny fizyki na którymś z wymienionych w tekście kanałów. Zapisz nazwę kanału, tytuł filmu i kilka zdań na temat tego, czego się z niego dowiedziałeś.



# 5 Prąd elektryczny

Strętwa, zwana węgorzem elektrycznym, wytwarza napięcie 600 V, takie samo jak w sieci tramwajowej w Polsce. Czy wobec tego ryba mogłaby zasilać tramwaj?



# 7. Obwody elektryczne

**Cele lekcji:**

- Przypomnisz sobie pojęcie prądu elektrycznego i podstawowe wiadomości na temat obwodów elektrycznych.
- Nauczysz się budować proste obwody elektryczne.

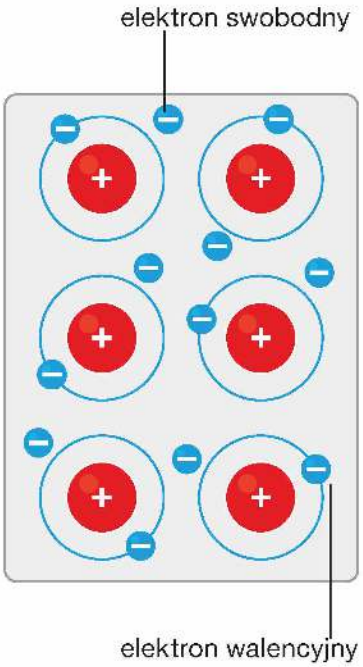
## Prąd elektryczny

W poprzednim rozdziale badaliśmy oddziaływania ładunków elektrycznych. Zajmowaliśmy się zjawiskami, w których ładunki albo się nie przemieszczały, albo ich ruch był krótkotrwały, a do tego interesowały nas jedynie stan początkowy i stan końcowy takiego przepływu.

W tym rozdziale, a częściowo także w następnym, będziemy zajmować się uporządkowanym przepływem ładunków, zwanym **prądem elektrycznym**.

Przypomnijmy, że w metalach taki przepływ ładunków oznacza przepływ **elektronów swobodnych**, czyli elektronów, które nie są związane na stałe z atomami, ale przemieszczają się swobodnie po całym metalu.

Prąd może płynąć także przez wodne roztwory substancji ulegających dysocjacji, tzn. rozpadających się na **jony**. Na przykład cząsteczki chlorku sodu NaCl (soli kuchennej) rozpadają się na ujemne jony chloru i dodatnie jony sodu. Podobnie jest w przypadku gazów – przepływ prądu jest możliwy, gdy niektóre atomy lub cząsteczki zmienią się w **jony**, tzn. stracą lub zyskają elektrony, które w gazach też mogą się przemieszczać swobodnie. Mówimy wtedy, że gaz uległ **jonizacji**.

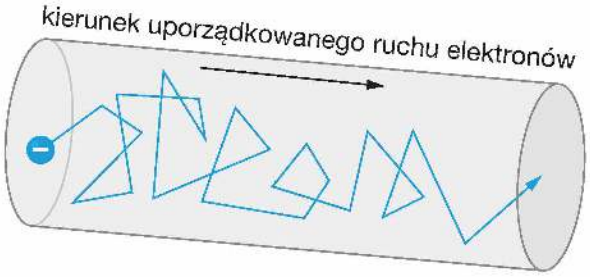



▲ W metalach część elektronów może się swobodnie przemieszczać

**Prąd elektryczny** to uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych. W metalach jest to przepływ elektronów, w roztworach – jonów, a w gazach – jonów i elektronów.

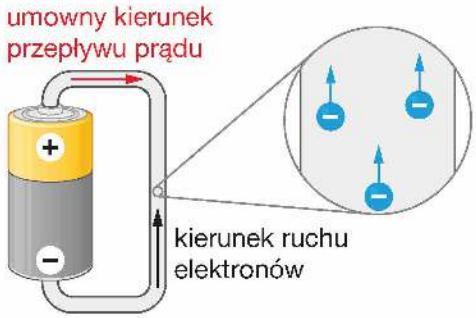
Zwróć uwagę na słowo „uporządkowany". Niezależnie od przepływu prądu elektrony swobodne w metalu poruszają się chaotycznie w różne strony (patrz rys. A), ale tego ruchu nie uważamy za przepływ prądu.

A.




▲ Uporządkowany ruch elektronów w przewodzie nakłada się na znacznie szybszy ruch chaotyczny

B.




▲ Umowny kierunek prądu a rzeczywisty kierunek uporządkowanego ruchu elektronów

Kiedy nie znano jeszcze natury prądu elektrycznego w metalach, przyjęto umownie, że prąd płynie od dodatniego bieguna baterii do ujemnego. Później okazało się, że prąd elektryczny to przepływ ujemnie naładowanych elektronów od bieguna ujemnego do dodatniego (patrz rys. B), ale stara umowa pozostała.

Przyjmujemy umownie, że prąd płynie od dodatniego do ujemnego bieguna baterii, choć kierunek ruchu elektronów w przewodniku jest przeciwny.

## Obwód elektryczny

Aby płynął prąd, musimy zbudować obwód złożony przynajmniej z jednego **źródła napięcia**, np. baterii, oraz przynajmniej jednego **odbiornika energii elektrycznej**, np. żarówki. Taki prosty obwód przedstawia zdjęcie przy doświadczeniu. Gdy do żarówki podłączamy baterię, w przewodach i włóknie żarówki pojawia się **pole elektryczne**, w którym na swobodne elektrony działa siła powodująca ich ruch.

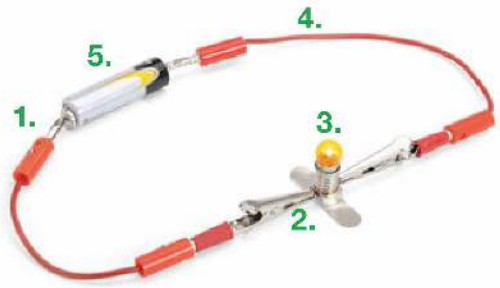
### Doświadczenie 5.

**Budowa najprostszego obwodu**

1. Przygotuj baterię AA, żarówkę dostosowaną do napięcia 1,2 V albo 2,4 V oraz przewody.
2. Zbuduj obwód przedstawiony na zdjęciu. Możesz skorzystać z wiadomości w ramce „Wskazówki praktyczne (prąd elektryczny)" na s. 57.
3. Sprawdź, co się stanie, jeśli przewód podłączony do bieguna dodatniego odłączysz od baterii. A co się stanie, jeśli odłączysz przewód podłączony do bieguna ujemnego?



Słowo „obwód" sugeruje, że prąd płynie w kółko. Tak się rzeczywiście dzieje – patrz opis do zdjęcia poniżej. Otwarcie obwodu w dowolnym miejscu powoduje, że prąd nie może płynąć.

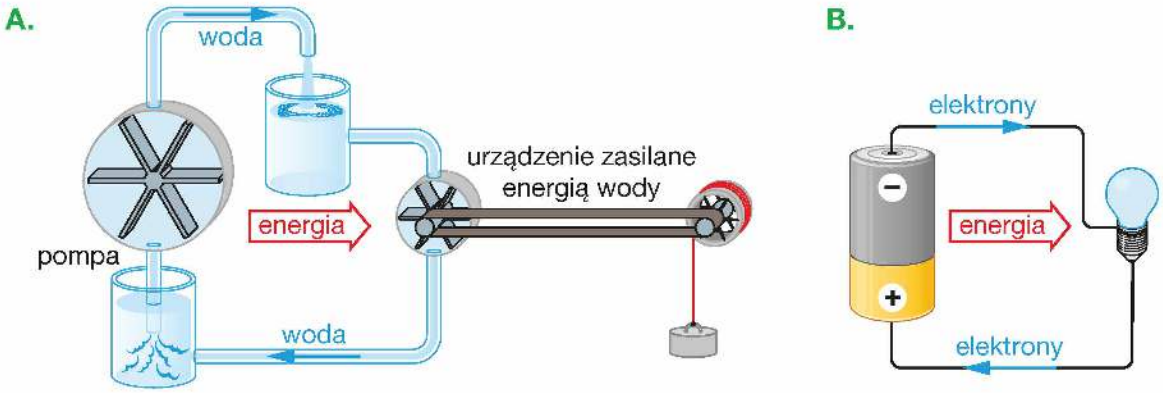



**Elektrony:**

1. wypływają z ujemnego bieguna baterii,
2. dopływają przewodem do żarówki,
3. przepływają przez włókno żarówki i rozgrzewają je tak, że zaczyna świecić,
4. dopływają przewodem do dodatniego bieguna baterii,
5. wewnątrz baterii są przenoszone do ujemnego bieguna i od nowa rozpoczynają swoją drogę.

## Prąd elektryczny a przepływ wody

Aby łatwiej zrozumieć przepływ prądu, można przyrównać go do przepływu wody. Odpowiednikiem źródła napięcia jest pompa tłocząca wodę na wyższy poziom (patrz rys. A). Z kolei odbiornikiem energii jest urządzenie napędzane energią wody.

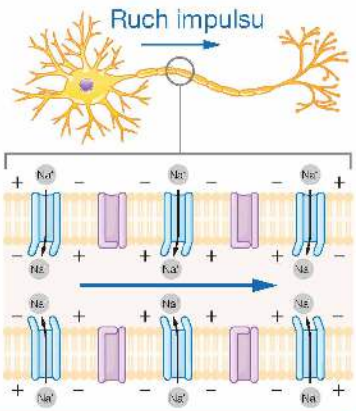



▲ Porównanie prądu elektrycznego do przepływu wody

Ten prosty model pozwala nie tylko lepiej wyobrazić sobie przepływ prądu w obwodzie, lecz także zrozumieć wiele bardziej szczegółowych zagadnień, np. **różnicę między przepływem elektronów**, które poruszają się w kółko, tak jak woda w narysowanym urządzeniu, **a przepływem energii**, który następuje od baterii do żarówki albo od pompy do silnika wodnego.

### A to ciekawe

Mówi się, że w układzie nerwowym człowieka i innych zwierząt płynie prąd elektryczny, a akson (długa część komórki nerwowej) odgrywa rolę przewodu. Nie jest to do końca prawda. Przesyłanie impulsu nerwowego rzeczywiście polega na przepływie ładunków elektrycznych (jonów), trudno jednak porównać akson do przewodu elektrycznego, bo jony poruszają się w nim w poprzek – przez ścianki aksonu na zewnątrz lub do wewnątrz. Wzdłuż aksonu przesuwa się jedynie obszar braku równowagi między jonami dodatnimi i ujemnymi. Ruch tego obszaru to impuls nerwowy.

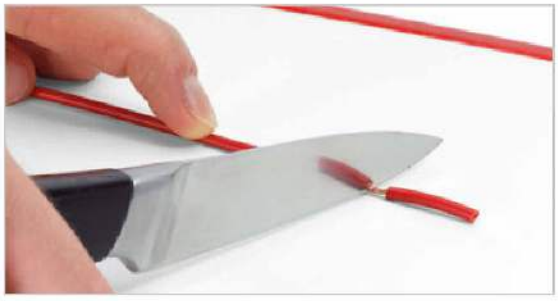


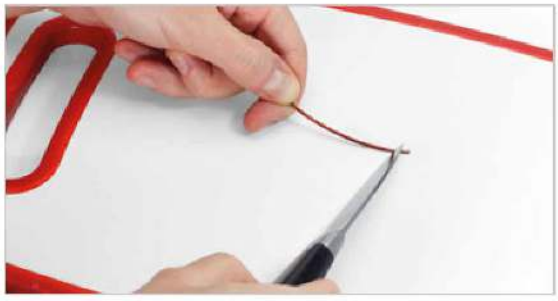
## Wskazówki praktyczne (prąd elektryczny)

**1.** Aby przeprowadzić doświadczenia opisane w tym rozdziale, warto zaopatrzyć się w:

- 2 m przewodu miedzianego jednożyłowego w izolacji,
- 10 cm grubego przewodu miedzianego (ponad 4 $mm^2$ przekroju poprzecznego) w izolacji lub bez niej – jeśli go nie zdobędziesz, możesz zwinąć razem kilka cieńszych przewodów,
- żarówkę 1,2 V albo 2,4 V, żarówki 4,8 V i 9 V, 2 oprawki do małych żarówek,
- 5 baterii AA („dużych paluszków"), 1 baterię AAA („mały paluszek"),
- miernik uniwersalny (najprostszy model) – w niektórych doświadczeniach wygodniej używać dwóch sztuk, wtedy jednak lepiej pracować wspólnie w większych grupach,
- małe magnesy neodymowe (do 1 cm średnicy) – można je kupić w sklepie z częściami elektronicznymi lub przez internet,
- ołówek B8 lub B9,
- stalowe spinacze biurowe.

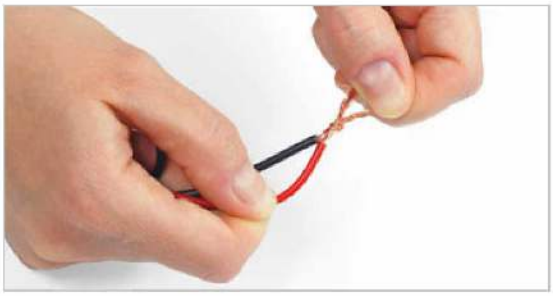
**2.** Z przewodu w izolacji odetnij 6 kawałków po 20 cm. Z końcówek zdejmij izolację metodą przedstawioną na zdjęciu po lewej. W podobny sposób można zeskrobać emalię z końcówek przewodów emaliowanych (zdjęcie po prawej).





**3.** Elementy układów doświadczalnych można łączyć za pomocą spinaczy biurowych, a przewody można ze sobą skręcać (patrz zdjęcia).





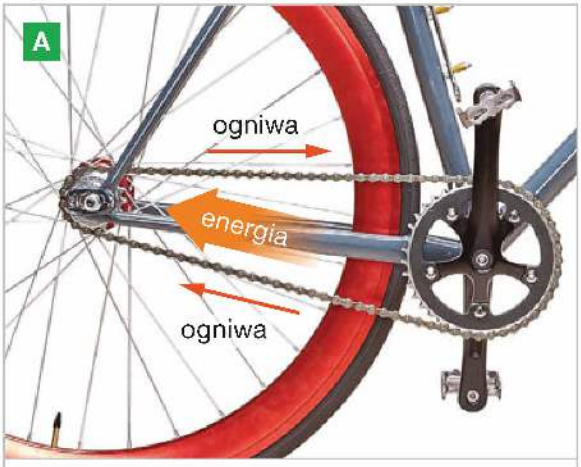
**4.** Jeśli chcesz sobie ułatwić pracę, możesz zaopatrzyć się w krokodylki do łączenia elementów. Za pomocą małych magnesów neodymowych można łączyć krokodylki lub spinacze przymocowane do przewodów z biegunami baterii.



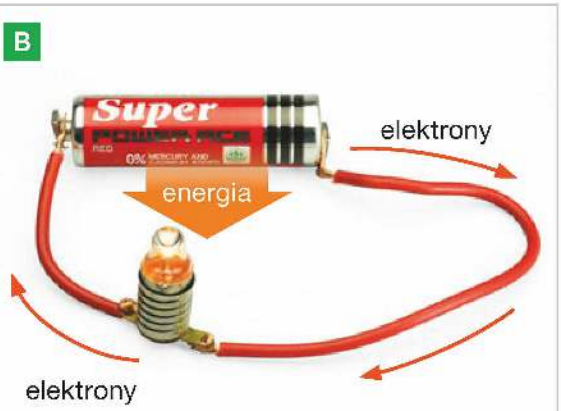


## Prąd elektryczny a łańcuch rowerowy

A oto inny model pozwalający sobie wyobrazić przepływ prądu (zdjęcie B). Ruch elektronów w przewodniku można porównać do ruchu ogniw łańcucha roweru (zdjęcie A). Ten prosty model pozwala na wiele ważnych obserwacji:



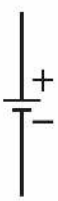

- Cały łańcuch zaczyna się poruszać praktycznie jednocześnie, gdy tylko naciśniemy pedały.
- Prędkość rozchodzenia się naprężeń w łańcuchu jest znacznie większa niż prędkość ruchu jego ogniw.
- Ogniwa łańcucha poruszają się w kółko, ale energia przepływa od pedałów do tylnego koła roweru.




- Prąd zaczyna płynąć praktycznie jednocześnie w całym obwodzie, gdy tylko połączymy przewody.
- Prędkość rozchodzenia się pola elektrycznego w przewodach jest miliardy razy większa niż prędkość uporządkowanego ruchu elektronów.
- Prąd płynie w kółko, ale energia przepływa z baterii do żarówki.

## Schematy elektryczne

Zarówno rysowanie, jak i analizowanie rzeczywistego wyglądu obwodów elektrycznych oraz jego poszczególnych elementów byłoby niewygodne. Dlatego zastąpiono je powszechnie zrozumiałymi symbolami. Zebraliśmy je w tabeli. Stopniowo będziesz poznawał więcej elementów występujących w obwodach i wówczas przedstawimy także ich symbole.

| Przewód | Połączenie przewodów | Ogniwo lub bateria | Żarówka | Opornik | Wyłącznik | Kondensator |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |

# Pożytek z pomyłek i przypadków

W 1780 r. profesor anatomii Luigi Galvani (czyt. luidżi galwani) wykonywał sekcję żaby. Gdy dotknął jej końcem skalpela, nastąpił skurcz mięśni płaza. Ponieważ w tym samym momencie ze stojącej obok maszyny elektrostatycznej wyskoczyła iskra, naukowiec uznał, że przyczyną zjawiska jest impuls elektryczny z maszyny. Okazało się jednak, że maszyna nie jest potrzebna i Galvani zmienił zdanie: ogłosił, że przyczyną skurczu mięśni jest „elektryczność zwierzęca", powstająca w tkankach nawet po śmierci.

Inny włoski uczony – Alessandro Volta (czyt. wolta) – doszedł do wniosku, że mięśnie żaby pozwoliły jedynie zaobserwować skutki przepływu prądu. Postawił hipotezę, że napięcie elektryczne powstaje na skutek kontaktu metalu z ciałem przewodzącym prąd. Zgodnie z tym założeniem w 1800 r. zbudował pierwszą baterię elektryczną, złożoną z płytek cynkowych i srebrnych, przełożonych wilgotnymi tekturkami. Dzisiejsze baterie działają na tej samej zasadzie – są tylko udoskonalone technicznie, aby uzyskiwać większą energię.

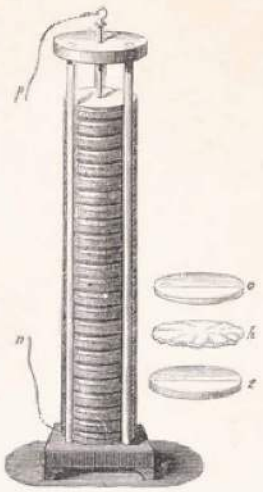


Fig. 255. Pile à colonne construite par Volta en 1800.

▲ Stos Volty – pierwsza bateria elektryczna



Pomyśl, że gdyby Galvani nie kroił żaby akurat w pobliżu maszyny elektrostatycznej, a następnie nie wyciągnął pochopnych wniosków, zapewne nie skojarzyłby kurczących się mięśni z elektrycznością. Wówczas zamiar obalenia błędnej teorii o istnieniu elektryczności zwierzęcej nie pomógłby Volcie w budowie baterii elektrycznej.

◀ Galvani sprawdzał także, czy przyczyną skurczy mięśni żaby może być elektryczność zgromadzona w atmosferze

## Luigi Galvani



(1737–1798) – włoski fizyk i lekarz. Swojego największego odkrycia dokonał przypadkiem. Do końca życia wierzył w istnienie „elektryczności zwierzęcej" i prowadził nad nią systematyczne badania. Choć się mylił, jego hipotezy przyczyniły się do rozwoju zarówno fizyki, jak i biologii.

## Alessandro Volta



(1745–1827) – włoski fizyk i konstruktor. Już jako dziecko przejawiał zainteresowanie elektrycznością. Prowadzony przez niego spór naukowy z Galvanim nie przekształcił się w osobistą wrogość. Przeciwnie, to Volta zaproponował pojęcie „galwanizm" na określenie zjawisk elektrochemicznych.

## Ogniwo a bateria

Dawniej pojedyncze źródło napięcia działające kosztem energii chemicznej nazywano tradycyjnie **ogniwem**. Natomiast słowo „**bateria**" było zarezerwowane tylko dla większej liczby połączonych ogniw. Na przykład „paluszek" to pojedyncze ogniwo, a bateria 9 V składa się z sześciu ogniw (patrz zdjęcie).

Obecnie jednak utarło się, że również pojedyncze ogniwa nazywa się bateriami. W sklepie wzbudzimy zdziwienie, jeśli zapytamy o „ogniwa AA" zamiast o „baterie AA". My także będziemy stosować ogólną nazwę „bateria" na chemiczne źródło napięcia, niezależnie od jego wewnętrznej budowy.




▲ Bateria 9 V składa się z sześciu połączonych ogniw

### To najważniejsze

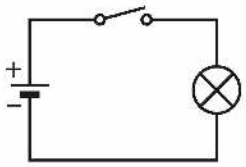
- **Prąd elektryczny** to uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych. W metalach są nimi swobodne elektrony, w roztworach – jony, a w gazach – jony i elektrony.
- Przyjmujemy umownie, że prąd płynie **od dodatniego do ujemnego bieguna** baterii, choć kierunek ruchu elektronów w przewodniku jest przeciwny.
- Długotrwały przepływ prądu elektrycznego jest możliwy tylko w **zamkniętym obwodzie**.
- Aby przedstawić graficznie obwód elektryczny, używamy symboli.

### Pytania i zadania

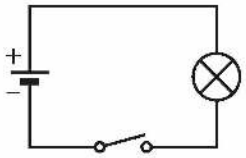
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Zapisz w zeszycie, które ze zdjęć odpowiada któremu schematowi.

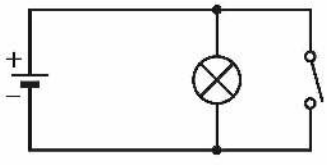
**I.**



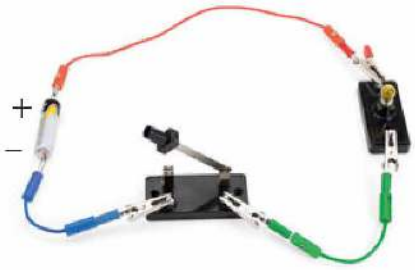

**II.**



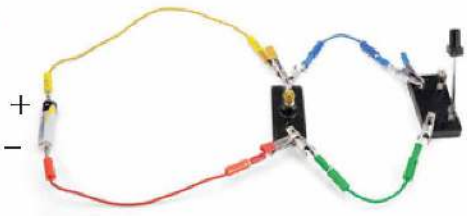

**III.**



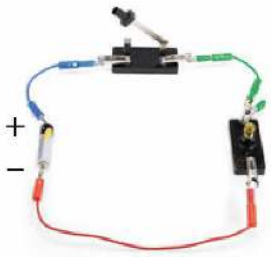

**A.**




**B.**



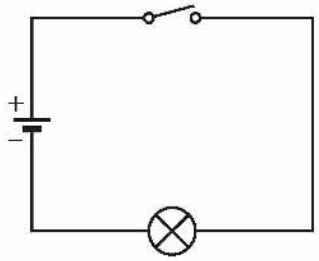

**C.**



**2.** Przerysuj do zeszytu schemat obwodu i zaznacz:

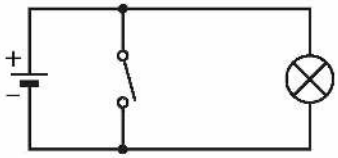
**a)** czerwonymi strzałkami umowny kierunek przepływu prądu (strzałki te podpisz „prąd"),

**b)** zielonymi strzałkami kierunek przepływu elektronów (strzałki te podpisz „elektrony").



**3.** Elementy obwodu można rozmieścić na schemacie w różny sposób, ale jeśli nie zmieniają się ich połączenia, to nawet inaczej wyglądający rysunek wciąż przedstawia ten sam obwód.

**a)** Który ze schematów z zadania 1. przedstawia ten sam obwód co schemat poniżej?



**b)** Narysuj w inny sposób schematy pozostałych dwóch obwodów z zadania 1.

## Doświadczenie domowe

### Kiedy żarówka zaświeci

**1.** Przeanalizuj schematy obwodów A i B, zamieszczone obok.

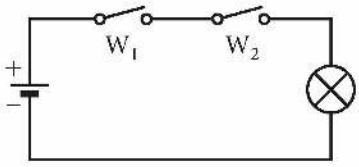
**2.** Przerysuj do zeszytu tabelę według wzoru.

**3.** Spróbuj przewidzieć, przy jakich położeniach wyłączników żarówka będzie świecić. Swoje przypuszczenia zapisz w tabeli.

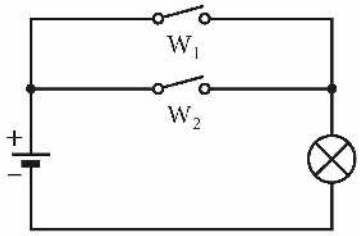
**4.** Zbuduj obwody. Pamiętaj, aby żarówka była przystosowana do napięcia zbliżonego do napięcia baterii.

**5.** Sprawdź, przy jakich położeniach wyłączników żarówka świeci. Swoje obserwacje zapisz w tabeli. Czy twoje przypuszczenia się potwierdziły? Jeśli nie, poszukaj błędu w swoim rozumowaniu.

Obwód A




Obwód B




| Położenie wyłącznika | | Obwód A Czy żarówka świeci? | | Obwód B Czy żarówka świeci? | |
|---|---|---|---|---|---|
| $W_1$ | $W_2$ | przypuszczenia | obserwacje | przypuszczenia | obserwacje |
| otwarty | otwarty | | | | |
| otwarty | zamknięty | | | | |
| zamknięty | otwarty | | | | |
| zamknięty | zamknięty | | | | |



# 8. Napięcie i natężenie prądu

**Cele lekcji:**

- Przypomnisz sobie pojęcia: *napięcie elektryczne* i *natężenie prądu elektrycznego*.
- Zrozumiesz lepiej działanie obwodów elektrycznych dzięki porównaniu prądu elektrycznego do przepływu wody.
- Nauczysz się rozwiązywać proste zadania związane z napięciem elektrycznym i natężeniem prądu.

## Napięcie elektryczne

Wiesz już z poprzedniego rozdziału, poświęconego elektrostatyce, że napięcie elektryczne między dwoma punktami opisuje pracę, którą może wykonać ładunek 1 C przepływający między tymi punktami. Innymi słowy, napięcie wyraża energię elektryczną, która może przekształcić się w inne rodzaje energii, gdy pomiędzy punktami przepłynie ładunek 1 C. Dlatego też **napięcie elektryczne** obliczamy ze wzoru:

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

gdzie: $U$ – napięcie elektryczne, $E$ – energia, $q$ – ładunek elektryczny.

Jednostką napięcia jest **wolt**: $1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}$.

W modelu wodnym obwodu elektrycznego (patrz s. 56) tej wielkości odpowiada różnica poziomów. To porównanie ma fizyczne uzasadnienie – patrz ramki na następnej stronie.

Napięcie zależy tylko od wyboru punktów, a nie od ładunku elektrycznego, jaki przepłynie między tymi punktami.

Gdy przepływający ładunek zamienimy na 2 razy większy, to przenoszona energia też będzie 2 razy większa, czyli iloraz $\frac{E}{q}$ pozostanie bez zmian.

**A.** Różnica poziomów



- Woda spływająca w dół może wykonać pracę.
- Praca wykonana przez wodę jest proporcjonalna do różnicy poziomów.

**B.** Napięcie



- Ładunek przepływający między punktami, między którymi jest napięcie, może wykonać pracę.
- Praca wykonana przez ładunek jest proporcjonalna do napięcia.

## Natężenie prądu elektrycznego

Wiemy już, że wysokość, z której spływa woda, jest w modelu wodnym odpowiednikiem napięcia elektrycznego. Z kolei ilość wody przepływającej w danym miejscu w ciągu 1 sekundy jest odpowiednikiem natężenia prądu elektrycznego.




▲ Odpowiedniki napięcia elektrycznego i natężenia w wodnym modelu prądu

Natężenie prądu elektrycznego *I* to wielkość informująca, jaki ładunek przepływa w ciągu 1 s przez przekrój poprzeczny przewodu w określonym miejscu w obwodzie.

Z tej definicji wynika sposób obliczania natężenia prądu. Jeśli np. w ciągu 5 s przez dany punkt obwodu przepłynął ładunek 20 C, to na 1 s przypadają 4 C ładunku:

$$20\ \text{C} : 5 = 4\ \text{C}$$

Mówimy wtedy, że natężenie prądu wynosi 4 $\frac{\text{C}}{\text{s}}$. Jednostkę $\frac{\text{C}}{\text{s}}$ nazywamy **amperem**: 1 A = 1 $\frac{\text{C}}{\text{s}}$. Tak więc w opisanym przypadku natężenie prądu wynosi 4 A.

Ogólniej, **natężenie prądu elektrycznego** obliczamy ze wzoru:

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

gdzie: $I$ – natężenie prądu, $q$ – ładunek, $t$ – czas przepływu tego ładunku.
W opisanym wyżej przypadku ze wzoru otrzymamy tę samą wartość co poprzednio:

$$I = \frac{20\,\text{C}}{5\,\text{s}} = 4\,\frac{\text{C}}{\text{s}} = 4\,\text{A}$$

**Przykład**

### Obliczanie ładunku, który przepłynął przez obwód



Przez cały czas trwającej 90 min wycieczki rowerowej Jeremi miał włączoną lampkę roweru. Oblicz ładunek, który przepłynął przez lampkę, jeśli natężenie prądu wynosiło 0,3 A.

**Dane:**

$t = 90$ min

$I = 0{,}3$ A

**Szukane:**

$q = ?$

**Rozwiązanie:** Czas musimy przeliczyć na sekundy: $t = 90\text{ min} = 90 \cdot 60\text{ s} = 5400\text{ s}$.

Wzór $I = \frac{q}{t}$ możemy przekształcić do postaci:

$$q = It$$

a zatem po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy:

$$q = 0{,}3\text{ A} \cdot 5400\text{ s} = 1620\text{ C}$$

Do tego samego wniosku dojdziemy dzięki następującemu rozumowaniu:

Natężenie 0,3 A oznacza, że w czasie 1 s przez lampkę przepływa ładunek 0,3 C. W czasie 5400 s przepłynie ładunek 5400 razy większy niż w czasie 1 s.

**Odpowiedź:** W czasie wycieczki przez żarówkę przepłynął ładunek 1620 C.

## Bateria a kondensator

Z powyższego przykładu wynika, że w baterii ładunki dodatni i ujemny nie są rozdzielone, tak jak to ma miejsce w kondensatorze. Gdyby były rozdzielone i w dwóch częściach baterii zgromadziły się ładunki np. +1 C i –1 C, to oddziaływałyby one ze sobą siłą zdolną nie tylko zmiażdżyć baterię, lecz także podnieść do góry wielki okręt (patrz „A to ciekawe" na s. 19).
Bateria dostarcza jedynie **energii** potrzebnej do ruchu elektronów, które już znajdują się w przewodach, lampce i samej baterii. W czasie, gdy lampka rowerowa Jeremiego była włączona, przez przewody przepłynęły więc wielokrotnie te same elektrony.
Podobnie mówimy, że serce człowieka w spoczynku przepompowuje 300 litrów krwi na godzinę. Nie jest to sprzeczne z faktem, że człowiek ma jej tylko 5 litrów, bo te same krwinki przebywają układ krwionośny wiele razy w ciągu godziny.

Jak już wiesz, wodnym odpowiednikiem baterii jest pompa, a przecież pompa tłoczy tylko wodę z jednego naczynia do drugiego, a sama nie jest wielkim zbiornikiem.

## Napięcie – między punktami, natężenie – w punkcie

Z samej definicji napięcia wynika, że można je określić tylko **między dwoma punktami obwodu**. Mowa przecież o energii związanej z przepływem ładunku między dwoma punktami. Czasami mówi się skrótowo o „napięciu w jakimś punkcie", oznacza to jednak napięcie między tym punktem a ziemią (patrz rys. niżej).




▲ Gdy mówimy, że przewód jest pod napięciem, chodzi o to, że napięcie jest między przewodem a ziemią



▲ Natężenie prądu można porównać do liczby samochodów przejeżdżających w danym czasie pod bramownicą na autostradzie

Inaczej jest w przypadku natężenia prądu. Określamy je **dla konkretnego miejsca w obwodzie**. Natężenie odpowiada ładunkowi elektronów przepływających w ciągu sekundy przez przekrój poprzeczny przewodu w tym miejscu. Odpowiednikiem natężenia jest liczba samochodów przejeżdżających w określonym czasie pod bramownicą na autostradzie (patrz zdjęcie), a nie liczba wszystkich samochodów znajdujących się na tej drodze, czy też samochodów poruszających się między dwoma wybranymi punktami.

### A to ciekawe

Niektóre ryby, np. gymnarchus nilowy, wytwarzają w wodzie słaby prąd elektryczny i odczuwają jego zaburzenia wywołane obecnością innych zwierząt i obiektów. Dzięki temu mogą sprawnie poruszać się w mętnej wodzie. Zmysł elektryczny ma więc dla nich takie znaczenie jak echolokacja dla nietoperzy.

Nożowiec zielony jest przykładem gatunku, którego osobniki porozumiewają się za pomocą sygnałów elektrycznych. Tę umiejętność wykorzystują m.in. w okresie godowym do łączenia się w pary, podobnie jak ptaki wabiące się śpiewem.

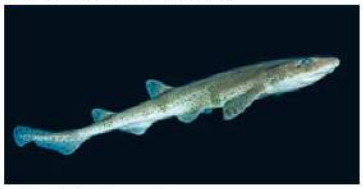
Rekinek psi potrafi wykryć prąd wytwarzany przez układ nerwowy innych ryb. Dzięki temu może znaleźć i zjeść flądrę, która ukryła się w mule. Badacze udowodnili, że posługuje się przy tym właśnie zmysłem elektrycznym: w laboratorium wytwarzali sygnały elektryczne naśladujące prąd w ciele flądry.



▲ Gymnarchus nilowy



▲ Nożowiec zielony



▲ Rekinek psi

## Pojemność baterii

Gdy kupujemy akumulator samochodowy, powerbank albo baterię do laptopa, interesuje nas **pojemność** tego źródła napięcia, czyli ładunek, który dane źródło może „przepompować" przez obwód, zanim się rozładuje. Tak rozumianą pojemność powinno podawać się w kulombach, ale tradycyjnie przyjęła się inna jednostka – **amperogodzina** (Ah).

Jedna amperogodzina oznacza ładunek, jaki przepływa przez obwód w czasie 1 h, gdy natężenie prądu wynosi 1 A. Ponieważ godzina ma 60 · 60 = 3600 sekund, przeliczenie amperogodziny na kulomby (czyli „amperosekundy") nie jest trudne:

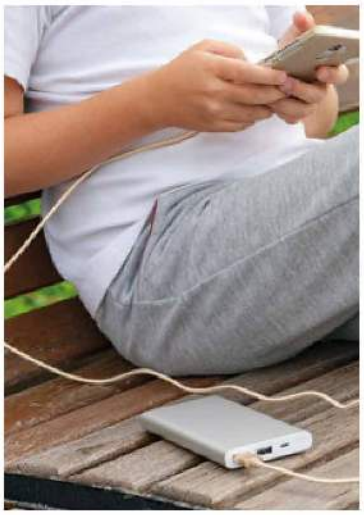
$$1\ \text{Ah} = 1\ \text{A} \cdot 1\ \text{h} = 1\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 3600\ \text{A} \cdot \text{s} = 3600\ \text{C}$$

W przypadku mniejszych urządzeń przyjęło się używać mniejszej jednostki, **miliamperogodziny**:

$$1\ \text{mAh} = 0{,}001\ \text{Ah} = 3{,}6\ \text{C}$$

Ta jednostka bywa używana nawet wówczas, gdy łatwiej byłoby użyć po prostu amperogodziny. Jednak reklama: „Powerbank o pojemności 8000 mAh", brzmi lepiej niż: „Powerbank o pojemności 8 Ah".

Jeśli chcemy obliczyć, jaka energia jest zgromadzona w baterii, musimy znać zarówno jej pojemność, jak i napięcie.



▲ Powerbank stanowi rozwiązanie, gdy przez dłuższy czas musimy korzystać z urządzeń elektrycznych w miejscu, gdzie nie ma dostępu do sieci elektrycznej

## D Pojemność kondensatora

W fizyce wykorzystuje się także inną wielkość, zwaną **pojemnością**, która służy do opisu kondensatora. Wiesz, że każda bateria ma określone napięcie. Natomiast kondensator można naładować w mniejszym lub większym stopniu i w ten sposób uzyskać niższe lub wyższe napięcie między jego okładkami. Zgromadzony w kondensatorze ładunek zależy od tego napięcia.

Dlatego przez pojemność kondensatora rozumiemy nie sam ładunek, ale ładunek w stosunku do napięcia. Jednostką pojemności kondensatora jest więc nie kulomb, ale kulomb na wolt, zwany też faradem (F).

Jednostka ta jest bardzo duża i za wyjątkiem tzw. superkondensatorów większość stosowanych kondensatorów ma pojemność w przedziale od pikofaradów ($1\ \text{pF} = 10^{-12}\ \text{F}$) do milifaradów ($1\ \text{mF} = 10^{-3}\ \text{F}$). Nie będziemy się jednak zajmować tą wielkością na lekcjach fizyki w zakresie podstawowym.




▲ Kondensatory o różnej pojemności

## To najważniejsze

- **Napięcie elektryczne *U*** między dwoma punktami opisuje, jaka ilość energii elektrycznej może przekształcić się w inne rodzaje energii, gdy pomiędzy tymi punktami przepłynie ładunek 1 C. Jednostką napięcia elektrycznego jest **wolt**: $1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}$.
- **Natężenie prądu elektrycznego** $I$ to wielkość opisująca ładunek przepływający w ciągu 1 s przez przekrój poprzeczny przewodu w określonym miejscu w obwodzie. Jednostką natężenia prądu jest **amper**: $1\ \text{A} = 1\ \frac{\text{C}}{\text{s}}$.
- Gdy prąd elektryczny porównujemy do przepływu wody, napięciu odpowiada różnica poziomów, a natężeniu prądu – ilość wody przepływająca przez określone miejsce w jednostce czasu (mierzona np. w litrach na sekundę).
- **Amperogodzina i miliamperogodzina** to jednostki ładunku używane do określania pojemności baterii: $1\ \text{Ah} = 1000\ \text{mAh} = 1\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 3600\ \text{C}$.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Przepisz zdania do zeszytu. Wpisz w puste miejsca wyrażenia *napięcie elektryczne* i *natężenie prądu*.

////////// określa, jaką energię możemy uzyskać podczas przepływu 1 kulomba ładunku, a ////////// mówi, ile kulombów ładunku przepływa w ciągu sekundy. Gdybyśmy porównali prąd elektryczny z przepływem wody, moglibyśmy stwierdzić, że górski potok ma wysokie //////////, ale małe //////////, natomiast szeroka, nizinna rzeka – duże //////////, ale niskie //////////.

**2.** Przez żarówkę zasilaną napięciem 3 V przepłynął ładunek 20 C. Jaką energię dostarczyła bateria do żarówki?

**3.** Oblicz, jaka energia zostanie zużyta przez żarówkę w reflektorze samochodowym w czasie godzinnej jazdy, jeśli natężenie prądu wynosi 2 A, a napięcie 12 V.

**4.** Powerbank ma pojemność 10 000 mAh.

**a)** Przelicz pojemność powerbanku na kulomby.

**b)** Jak długo można z tego powerbanku czerpać prąd o natężeniu 200 mA?





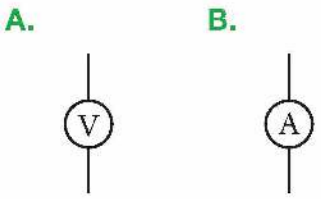

# 9. Pomiar napięcia i natężenia

**Cele lekcji:**

- Dowiesz się, jak mierzyć napięcie i natężenie prądu elektrycznego.
- Nauczysz się posługiwać miernikiem uniwersalnym.

## Przyrządy pomiarowe

Do pomiaru napięcia służy **woltomierz**, a do pomiaru natężenia – **amperomierz**. Symbole tych przyrządów zostały umieszczone obok.
Najczęściej jednak używamy **miernika uniwersalnego**, czyli przyrządu, który może spełniać zarówno funkcję woltomierza, jak i amperomierza, a często też pozwala mierzyć inne wielkości (np. opór elektryczny).




▲ Symbole: **A.** woltomierza, **B.** amperomierza

### Miernik uniwersalny

Do przełączania pomiędzy poszczególnymi funkcjami miernika uniwersalnego, a także do wyboru zakresu pomiarowego zwykle służy duże pokrętło.

Poszczególne modele różnią się między sobą w niewielkim stopniu. Najtańsze mierniki można kupić w supermarkecie budowlanym.



## Jaki zakres wybrać

Jeśli się mniej więcej orientujemy, jaki będzie wynik pomiaru, to wiemy też, jaki zakres wybrać. Gdy na przykład chcemy sprawdzić, czy napięcie między biegunami baterii 9 V odpowiada tej nominalnej wartości, wybierzemy zakres 20 V.

- Gdybyśmy wybrali zbyt duży zakres, np. 1000 V, pomiar także by się udał, ale wynik byłby podany z mniejszą dokładnością, np. 9 V zamiast 9,24 V.
- Ale gdybyśmy z kolei ustawili pokrętło na zbyt małą wartość, np. 2 V, skończyłoby się to w najlepszym razie komunikatem o przekroczeniu zakresu pomiaru, a w najgorszym – uszkodzeniem miernika.
- A co zrobić, gdy nie wiemy nawet w przybliżeniu, jaki wynik dostaniemy? Zaczynamy od największego zakresu, a potem w miarę możliwości przełączamy na niższy (patrz ramka).




▲ Gdy wybrany zakres pozwala mierzyć dużo wyższe napięcie niż rzeczywiście mierzymy, dokładność wyniku pomiaru jest mniejsza

### Wybieramy zakres pomiaru

Zarówno przy pomiarze napięcia, jak i natężenia w mierniku uniwersalnym mamy do wyboru kilka zakresów. Wybieranie zakresu pokażemy na przykładzie pomiaru natężenia prądu.

**A.**




- Kiedy mierzymy natężenie, ale nie wiemy, ile wynosi, to wybieramy największy zakres (20 A).
- Wyświetlone zero nie oznacza, że prąd wcale nie płynie, ale że natężenie jest za małe na wybrany zakres.

**B.**




- Przełączamy na 200 mA. Zauważ, że przewody trzeba podłączyć do innych gniazd.
- Wyświetla się wynik 7,6, co oznacza 7,6 mA.
- To mniej niż kolejny zakres (20 mA), więc możemy wykonać pomiar dokładniej.

**C.**




- Przy zakresie 20 mA otrzymujemy wynik 7,63 mA.
- Nie przełączamy już na dokładniejszy zakres (2 mA), bo mierzone natężenie jest od niego większe i moglibyśmy uszkodzić przyrząd.

## Niepewność pomiaru miernikiem uniwersalnym

Na poprzedniej stronie mówiliśmy o woltomierzu, który podał wynik 9,24 V. Jednak to nie znaczy, że pomiar został wykonany z dokładnością do 0,01 V (czyli z niepewnością względną ok. 0,1%). W rzeczywistości niepewność pomiaru jest wielokrotnie większa – wynosi od 1% do kilku procent.

Dokładne zasady obliczania niepewności pomiaru miernikami cyfrowymi są dość skomplikowane. Podamy tu reguły, które umożliwiają szacowanie niepewności pomiaru prostym, tanim miernikiem. Na znacznie dokładniejsze pomiary pozwalają przyrządy laboratoryjne, a ich niepewność jest zawsze opisana w instrukcji obsługi.

**Przyjmiemy następujące uproszczone reguły:**

- wybieramy taki zakres pomiarowy, aby wynik został wyświetlony z jak największą dokładnością,
- przyjmujemy, że niepewność względna pomiaru wynosi 3%.

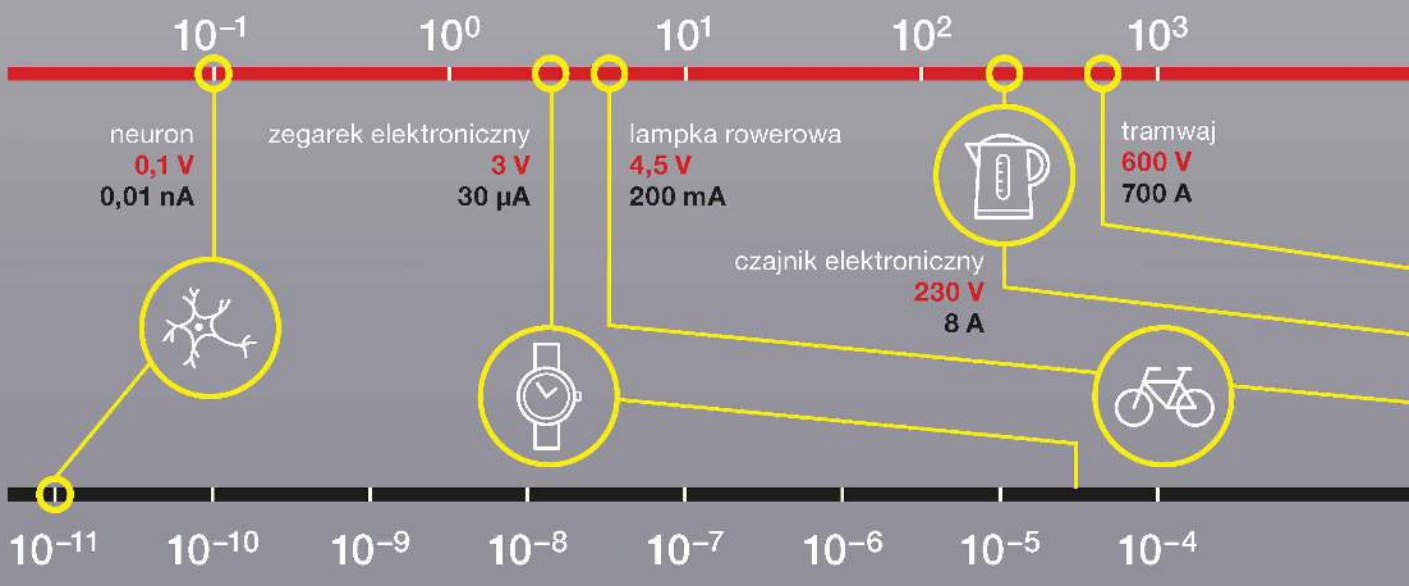
Zatem wynik 9,24 V jest obarczony niepewnością $0{,}03 \cdot 9{,}24\ \text{V} = 0{,}2772\ \text{V}$. Zarówno wynik pomiaru, jak i niepewność zaokrąglamy i podajemy końcowe wartości:

$$U = 9{,}2\ \text{V} \pm 0{,}3\ \text{V}$$

Pamiętajmy jednak, że nigdy nie podajemy niepewności dokładniej, niż wynika to z podziałki przyrządu, którą w przypadku urządzeń cyfrowych zastępuje liczba wyświetlonych cyfr. Jeśli więc amperomierz wyświetli wynik 0,12 A, to co prawda 3% tej wielkości stanowi tylko 0,0036 A, ale przyjmujemy niepewność 0,01 A, bo z taką dokładnością, do dwóch cyfr po przecinku, został wyświetlony wynik.

## Napięcie i natężenie

Czy jeden wolt to dużo? A jeden amper? Przyjrzyjmy się przykładowym wartościom napięcia i natężenia prądu w przyrodzie i technice.



## Pomiar napięcia baterii

Wykorzystamy teraz poznane wiadomości w praktyce.



### Doświadczenie 6.

**Pomiar napięcia różnych baterii**

1. Przygotuj baterie AA, AAA, D oraz miernik uniwersalny.
2. Zmierz napięcie między biegunami każdego z tych źródeł napięcia.
3. Zapisz wyniki pomiarów wraz z niepewnościami pomiarowymi.
4. Porównaj wyniki. Co zauważasz?

**Uwaga.** Pamiętaj, aby wybrać właściwy zakres pomiaru. Szczególnie ważne jest, aby nie włączyć miernika jako amperomierza, gdy chcemy zmierzyć napięcie – może to spowodować przepływ bardzo dużego prądu i uszkodzenie miernika.

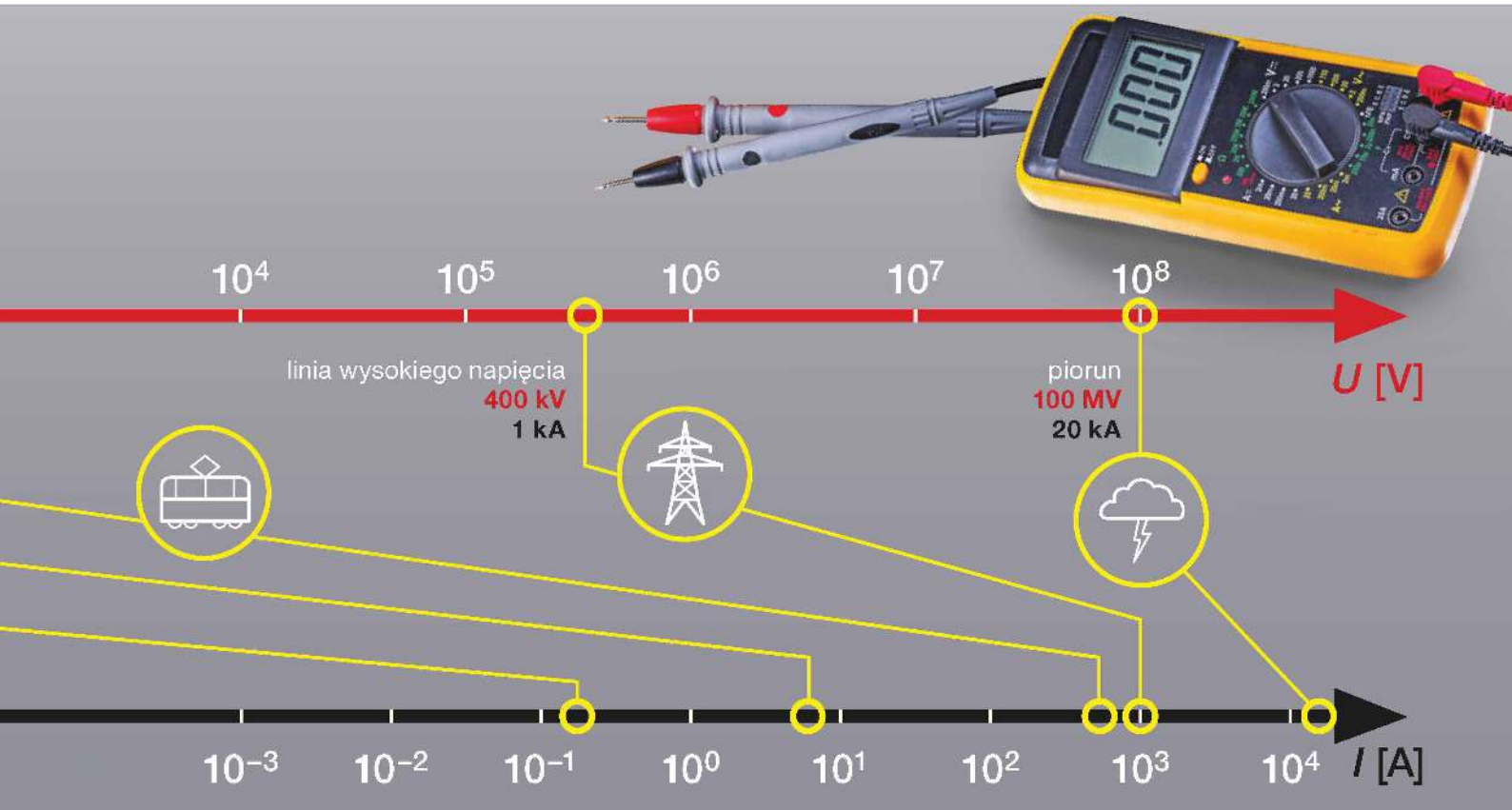
Na zdjęciu przedstawiono przykład takiego pomiaru. Jego wynik to 1,437 V. Pamiętajmy jednak o niepewności pomiarowej, którą przyjęliśmy na poziomie 3%, co w tym przypadku oznacza:

$$0{,}03 \cdot 1{,}437\ \text{V} = 0{,}04311\ \text{V} \approx 0{,}04\ \text{V}$$

Wynik pomiaru po zaokrągleniu można więc zapisać w postaci:

$$U = 1{,}44\ \text{V} \pm 0{,}04\ \text{V}$$

Jak widzisz, napięcie między biegunami baterii nie jest dokładnie równe wartości podanej na obudowie. Zmniejsza się ono także w miarę wyczerpywania się baterii.

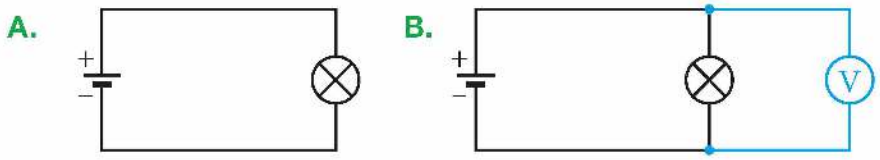


## Pomiar napięcia między punktami w obwodzie

Do tej pory mierzyliśmy napięcie między biegunami baterii, do której nic nie było podłączone. A jak zmierzyć napięcie między określonymi punktami w obwodzie, w którym płynie prąd?
Okazuje się, że jest to bardzo proste. W obwodzie nie trzeba nic zmieniać.

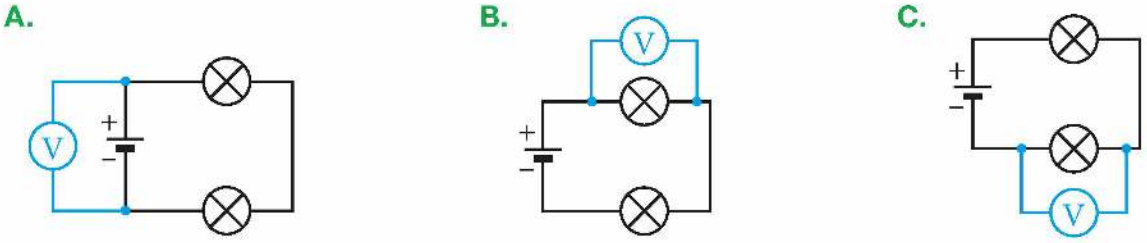
> Aby zmierzyć napięcie pomiędzy dwoma punktami obwodu, podłączamy końcówki przewodów miernika do interesujących nas punktów.

Należy pamiętać, że miernik podłączamy do przewodników pozbawionych izolacji, np. do biegunów baterii czy nieizolowanych końcówek przewodów.
Na schemacie poniżej przewody prowadzące do woltomierza narysowaliśmy innym kolorem, aby pokazać, że po ich usunięciu pozostaje cały, działający obwód.




▲ Podłączanie woltomierza do obwodu

Obwód przedstawiony powyżej jest bardzo prosty. Między końcówkami żarówki napięcie jest takie samo jak między biegunami baterii, nie ma więc wątpliwości, gdzie podłączyć końcówki miernika. Na kolejnych ilustracjach widzisz nieco bardziej skomplikowany obwód, w którym można zmierzyć trzy różne napięcia: między biegunami baterii (rys. A), między końcówkami pierwszej żarówki (rys. B) lub między końcówkami drugiej żarówki (rys. C).
Wykorzystamy naszą nową umiejętność podczas doświadczenia, które pozwoli na interesującą obserwację.




▲ W bardziej skomplikowanym obwodzie można mierzyć różne napięcia

### Doświadczenie 7.

**Porównanie napięcia na baterii nieobciążonej i obciążonej**

1. Przygotuj baterię 1,5 V, żarówkę 1,2 V i miernik uniwersalny.
2. Zmierz napięcie między biegunami baterii w dwóch przypadkach: gdy jest do niej podłączona żarówka 1,2 V i gdy nic nie jest podłączone.
3. Czy wskazanie woltomierza się zmieniło? Jeśli tak, to wzrosło czy zmalało?

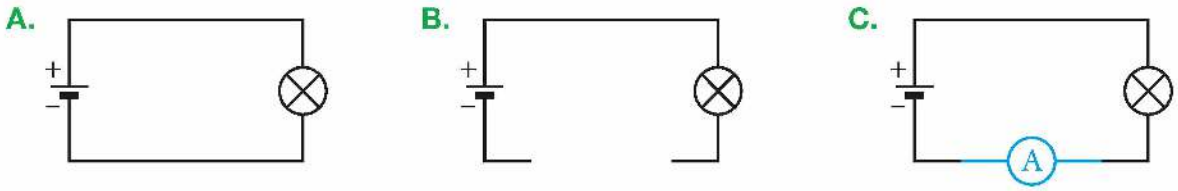


Napięcie między biegunami baterii się zmniejsza, gdy podłączymy do niej żarówkę. Z podobnym zjawiskiem mamy do czynienia podczas uruchamiania samochodu. Gdy przekręcamy kluczyk, co powoduje włączenie rozrusznika, spada napięcie między biegunami akumulatora. Możemy to zauważyć nawet bez woltomierza, ponieważ przygasają światła pojazdu i wyłącza się radio.

Im większe natężenie prądu płynącego przez odbiornik energii elektrycznej, tym bardziej zmniejsza się napięcie baterii.

## Pomiar natężenia prądu

Natężenie prądu powinniśmy zmierzyć w jednym określonym punkcie obwodu, a przecież miernik ma dwie końcówki. Gdzie je podłączyć?




▲ Podłączanie amperomierza do obwodu

W interesującym nas miejscu należy **rozłączyć** obwód, aby włączyć amperomierz. Na schemacie powyżej widzisz, że gdyby po prostu odłączyć amperomierz, obwód nie byłby zamknięty i prąd by nie płynął (rys. B).
Gdy jednak do wolnych końców przewodu podłączymy amperomierz, prąd płynie zarówno przez żarówkę, jak i przez miernik (rys. C).
Aby żarówka znowu świeciła, po zakończeniu pomiaru musimy ponownie złączyć rozłączone przewody.



▲ Pomiar natężenia prądu

### To najważniejsze

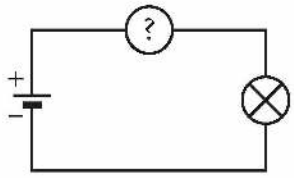
- Aby zmierzyć **napięcie między dwoma punktami obwodu**, podłączamy końcówki przewodów woltomierza do interesujących nas punktów.
- Abyśmy mogli wykonać pomiar natężenia, należy rozłączyć obwód i w tym miejscu wpiąć amperomierz.
- **Miernik uniwersalny** to przyrząd, który może pełnić zarówno funkcję woltomierza, jak i amperomierza.
- Gdy nie wiemy, jakiego wyniku pomiaru się spodziewać, najpierw ustawiamy największy zakres pomiaru, a potem ewentualnie go zmniejszamy.
- Przyjmujemy szacunkowo, że niepewność względna pomiaru prostym miernikiem cyfrowym wynosi 3%.

## Pytania i zadania

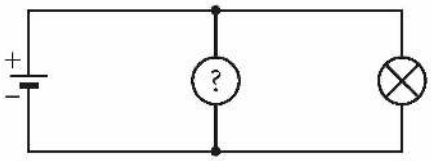
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Na schemacie oznaczenia mierników zastąpiono znakami zapytania. Na którym ze schematów powinien znaleźć się woltomierz, a na którym amperomierz? Uzasadnij odpowiedź.

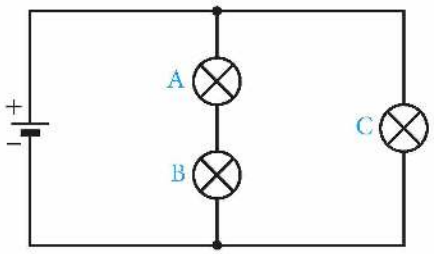
**A.**




**B.**




**2.** Przerysuj ołówkiem do zeszytu następujący schemat.




Dorysuj do niego: woltomierz pozwalający zmierzyć napięcie między końcówkami żarówki A oraz amperomierz pozwalający zmierzyć natężenie prądu płynącego przez żarówkę C. Jak sądzisz, dlaczego napisaliśmy, aby schemat wykonać ołówkiem?

**3.** Używamy miernika przedstawionego na zdjęciu obok. Który zakres pomiarowy należy wybrać w opisanych sytuacjach?

**a)** Chcemy sprawdzić, czy prądnica samochodu jest sprawna. Powinna wytwarzać napięcie ok. 14 V.

**b)** Chcemy sprawdzić, czy zasilacz do laptopa jest sprawny. Według instrukcji powinien dawać napięcie 21 V.

**c)** Mierzymy napięcie między biegunami baterii AA.




**4.** Zapisz wynik pomiaru natężenia wraz z niepewnością pomiarową (bezwzględną). Pamiętaj, aby zaokrąglić wynik odpowiednio do obliczonej niepewności. Wynik i niepewność pomiaru podaj w amperach.

**a)** 423 odczytany przy zakresie 800 mA

**b)** 23,1 odczytany przy zakresie 50 mA

**c)** 1875 odczytany przy zakresie 2000 µA

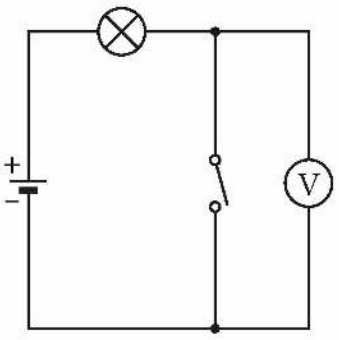
## Doświadczenie domowe

### Jakie będzie napięcie?

**1.** Przygotuj baterię AA, miernik uniwersalny, żarówkę 1,2 V lub 2,2 V, włącznik i przewody.

**2.** Przeanalizuj schemat obwodu. Spróbuj przewidzieć, co wskaże woltomierz, gdy wyłącznik będzie otwarty, a co – gdy będzie zamknięty. Zapisz swoje odpowiedzi wraz z uzasadnieniem.

**3.** Zbuduj obwód zgodnie ze schematem i sprawdź, czy twoje przypuszczenia się sprawdziły. Jeśli nie – zastanów się, na czym polegał twój błąd.





# 10. Połączenia szeregowe i równoległe

**Cele lekcji:**

- Poznasz sposoby łączenia elementów obwodów elektrycznych.
- Dowiesz się, jak połączyć baterie, aby uzyskać wyższe napięcie.
- Zrozumiesz zależność między zasadą zachowania energii a zjawiskami zachodzącymi w obwodach elektrycznych.

## Połączenia szeregowe i równoległe

Na górze strony widzisz wodospad złożony z kilku progów – jest to odpowiednik połączenia szeregowego, bo woda płynie przez progi po kolei. A jak wyglądałby wodny odpowiednik połączenia równoległego?

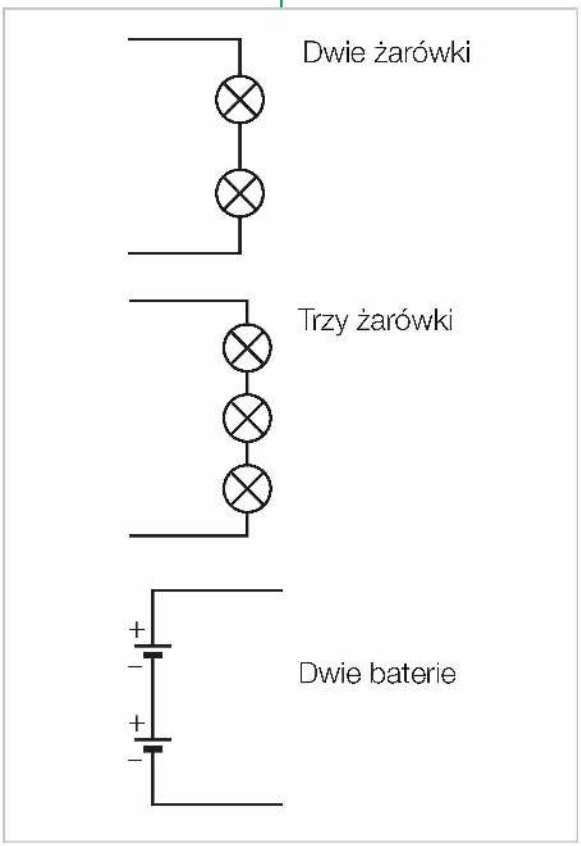
Jeśli dwie żarówki mamy podłączyć do jednej baterii, możemy połączyć je na dwa sposoby: szeregowo lub równolegle. Te sposoby są przedstawione na schemacie w ramce na kolejnej stronie. Podobnie jest w sytuacji, gdy żarówek jest więcej albo gdy chcemy połączyć wiele baterii.
Przy dużej liczbie elementów są możliwe także bardziej skomplikowane połączenia, jednak te dwa podstawowe rodzaje wystarczą nam, aby zbadać najważniejsze prawa rządzące przepływem prądu. Również w praktyce najczęściej wykorzystujemy te dwa rodzaje połączeń.
Na przykład urządzenia w domowej sieci elektrycznej są połączone równolegle.
Zwróćmy uwagę na podstawową **różnicę** między tymi sposobami łączenia.

> Gdy elementy są połączone równolegle, część elektronów przepływa przez jeden z nich, a pozostałe elektrony – przez drugi. Przy połączeniu szeregowym wszystkie elektrony przepływają przez każdy z elementów po kolei.

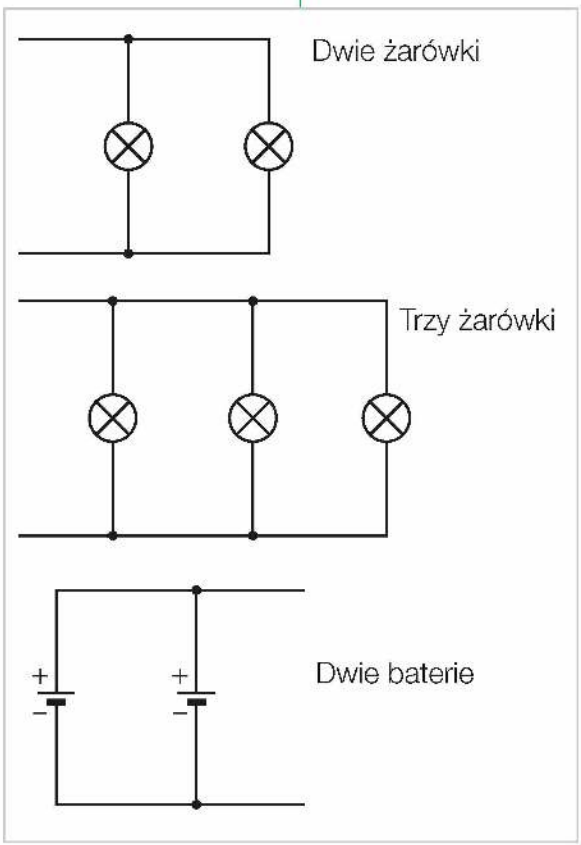
Ta prosta obserwacja przyda nam się podczas badania właściwości obwodów. Będziemy korzystać także z podstawowych praw fizyki – zasady zachowania energii oraz (na następnej lekcji) zasady zachowania ładunku.

## Łączenie elementów obwodów

### Połączenie szeregowe




### Połączenie równoległe



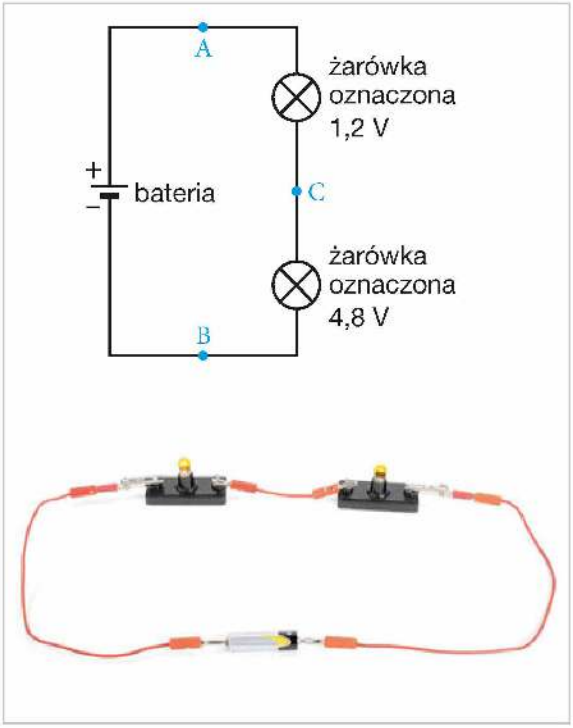

## Natężenie prądu przy połączeniu szeregowym

### Doświadczenie 8.

**Pomiar natężenia w różnych punktach obwodu**

1. Przygotuj baterię AA, dwie żarówki: jedną dostosowaną do napięcia 4,8 V, a drugą do napięcia 1,2 V, amperomierz i przewody.
2. Zbuduj obwód zgodnie ze schematem.
3. Zmierz natężenie prądu w punktach A, B i C obwodu, oznaczonych na schemacie (sposób pomiaru natężenia przedstawiamy na s. 73). Zapisz wyniki wraz z niepewnością pomiaru.
4. Porównaj wyniki. Co zauważasz?

**Uwaga.** Żarówki są podłączone do napięcia niższego niż wymagane, więc mogą nie świecić, bo płynący przez nie prąd ma zbyt małe natężenie. Nie przeszkodzi nam to jednak w tym doświadczeniu.



## Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy następujące wyniki ($I_A$ oznacza natężenie prądu płynącego przez punkt A itd.):

$$I_A = 128{,}1\ \text{mA} \quad I_B = 128{,}2\ \text{mA} \quad I_C = 130{,}7\ \text{mA}$$

Wydaje się, że te wielkości nie są dokładnie równe, ale jeszcze nie wzięliśmy pod uwagę niepewności pomiaru. Wynosi ona 3% wyniku pomiaru, czyli ok. 4 mA.

$$128{,}1\ \text{mA} \cdot 0{,}03 \approx 3{,}8\ \text{mA} \quad 128{,}2 \cdot 0{,}03 \approx 3{,}8\ \text{mA} \quad 130{,}7 \cdot 0{,}03 \approx 3{,}9\ \text{mA}$$

Tak więc wyniki powinniśmy zapisać w postaci:

$$I_A = 128\ \text{mA} \pm 4\ \text{mA} \quad I_B = 128\ \text{mA} \pm 4\ \text{mA} \quad I_C = 130\ \text{mA} \pm 4\ \text{mA}$$

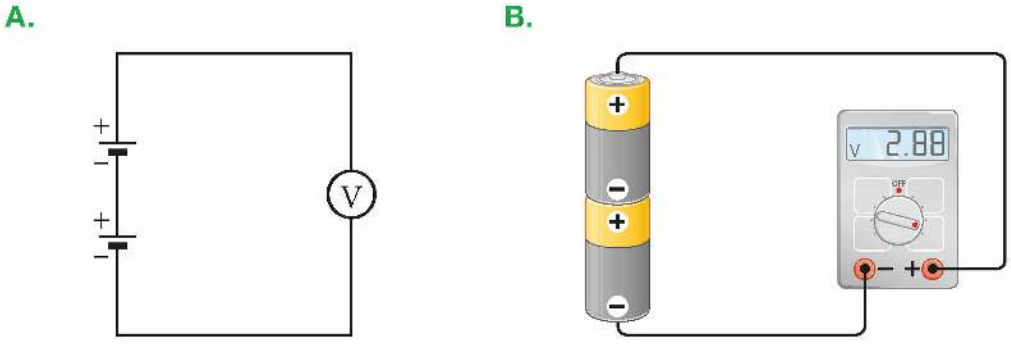
Teraz widzimy, że z dokładnością do niepewności są one sobie równe.
Z analizy doświadczenia możemy wyciągnąć wniosek:

> Przy połączeniu szeregowym natężenie prądu **jest takie samo** w każdym punkcie obwodu.

Wynika on z zasady zachowania ładunku. Elektrony nie mają dokąd odpłynąć ani skąd dopłynąć. Łatwo także zrozumieć nasz wynik, gdy przypomnimy sobie o porównaniu prądu z przepływem wody (s. 56) i z łańcuchem rowerowym (s. 58).

## Napięcie baterii połączonych szeregowo

Zbadamy teraz, jakie napięcie ma układ baterii połączonych szeregowo.




▲ Baterie połączone szeregowo i podłączone do woltomierza

### Doświadczenie obowiązkowe

**Pomiar napięcia baterii połączonych szeregowo**

1. Przygotuj dwie baterie AA oraz miernik uniwersalny.
2. Zmierz napięcie elektryczne między biegunami każdej baterii z osobna.
3. Połącz baterie szeregowo i zmierz napięcie między wolnymi biegunami (jak na zdjęciu obok i schemacie powyżej).
4. Porównaj wyniki pomiarów. Weź pod uwagę niepewności pomiarów. Co zauważasz?



## Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu otrzymaliśmy następujące wyniki:

- Dla pierwszej baterii odczytaliśmy z woltomierza ustawionego na zakres 2000 mV wskazanie 1550. To oznacza 1550 mV, czyli 1,55 V. Niepewność wynosiła 3% tej wielkości, czyli:

$$0{,}03 \cdot 1{,}55\ \text{V} = 0{,}0465\ \text{V}$$

  Po zaokrągleniu: $U_1 = 1{,}55\ \text{V} \pm 0{,}05\ \text{V}$

- Dla drugiej baterii wynik wynosił 1394 mV, czyli po uwzględnieniu niepewności i zaokrągleniu:

$$U_2 = 1{,}39\ \text{V} \pm 0{,}04\ \text{V}$$

- Napięcie połączonych baterii musieliśmy już mierzyć na wyższym zakresie, był to zakres 20 V. Uzyskaliśmy wynik:

$$U = 2{,}95\ \text{V} \pm 0{,}09\ \text{V}$$

Zauważamy, że suma napięć na pojedynczych bateriach była równa w przybliżeniu napięciu na połączonych szeregowo bateriach:

$$1{,}55\ \text{V} + 1{,}39\ \text{V} = 2{,}94\ \text{V}$$

Wynik nie jest dokładnie równy 2,95 V, więc sprawdzamy, czy ta niedokładność mieści się w granicach niepewności pomiaru:

- Napięcie pierwszej baterii wynosiło co najmniej 1,5 V, a co najwyżej 1,6 V.
- Napięcie drugiej baterii wynosiło co najmniej 1,35 V, a co najwyżej 1,43 V.
- Ich suma mieści się więc pomiędzy wartościami:

$$1{,}5\ \text{V} + 1{,}35\ \text{V} = 2{,}85\ \text{V} \quad \text{a} \quad 1{,}6\ \text{V} + 1{,}43\ \text{V} = 3{,}03\ \text{V}$$

Natomiast napięcie na połączonych bateriach mieści się między 2,86 V a 3,04 V. Te zakresy częściowo się pokrywają (patrz rysunek poniżej), więc w granicach niepewności pomiarowej suma napięć poszczególnych baterii jest równa napięciu na połączonych bateriach.




▲ Aby sprawdzić, czy napięcia zgadzają się z dokładnością do niepewności pomiaru, możemy skorzystać z osi liczbowej

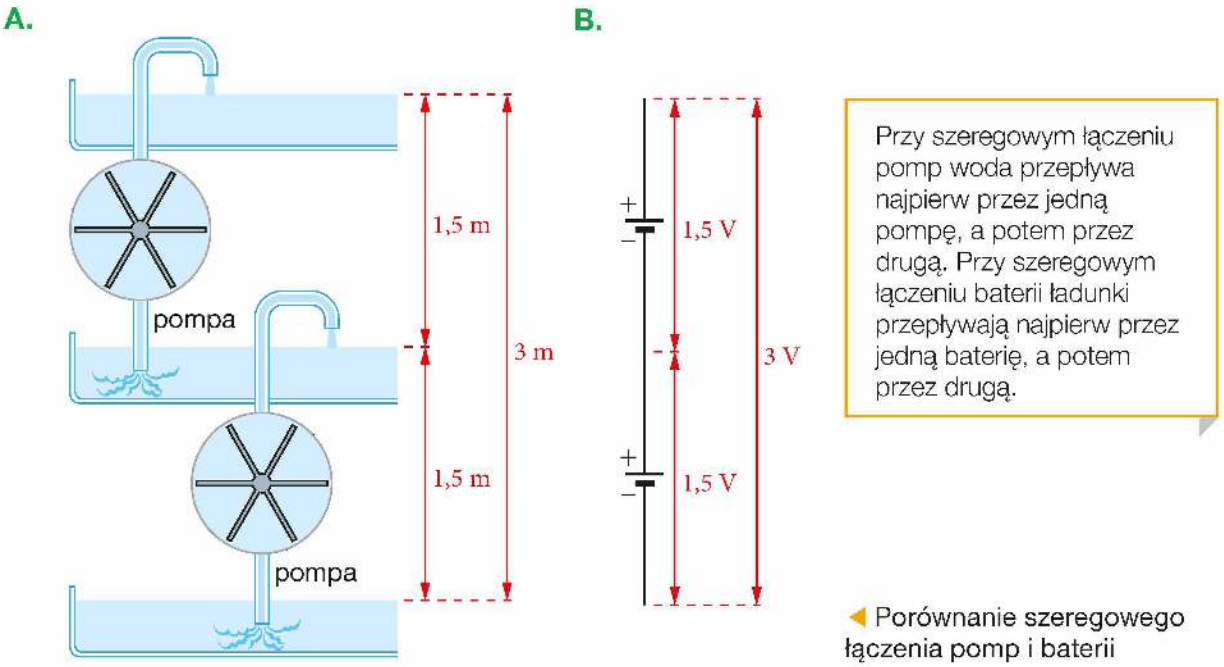
Tak więc w granicach niepewności pomiaru napięcia na bateriach się sumują.

> Napięcie wytwarzane przez dwie baterie połączone szeregowo jest równe sumie napięć poszczególnych baterii.

Wyjaśnimy teraz, dlaczego tak się dzieje.

## Zasada zachowania energii a łączenie szeregowe baterii

Aby wyjaśnić wyniki doświadczenia, możemy ponownie odwołać się do porównania prądu elektrycznego z przepływem wody. Pompy – odpowiednik baterii – także możemy połączyć szeregowo (patrz rys.).




Przy szeregowym łączeniu pomp woda przepływa najpierw przez jedną pompę, a potem przez drugą. Przy szeregowym łączeniu baterii ładunki przepływają najpierw przez jedną baterię, a potem przez drugą.

◀ Porównanie szeregowego łączenia pomp i baterii

Gdy każda z dwóch pomp przenosi wodę do naczynia znajdującego się o 1,5 m wyżej, to dwie pompy połączone szeregowo przeniosą wodę o 3 m wyżej. Podobnie, gdy każda z dwóch baterii (o napięciu 1,5 V) dostarczy ładunkowi 1 C energię 1,5 J, to ładunek ten uzyska ostatecznie energię 3 J. Wynika to z zasady zachowania energii.

Zgodnie z zasadą zachowania energii przy **szeregowym łączeniu** baterii ich **napięcia się sumują**:

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

Ten fakt wykorzystujemy w budowie baterii. Pojedyncze ogniwa pozwalają otrzymać napięcie ok. 1,5 V, dlatego bateria 3 V (np. do zegarka) jest zbudowana z dwóch takich ogniw, a bateria 9 V – z sześciu.
Akumulator samochodowy o napięciu 12 V jest zbudowany z sześciu ogniw po 2 V.

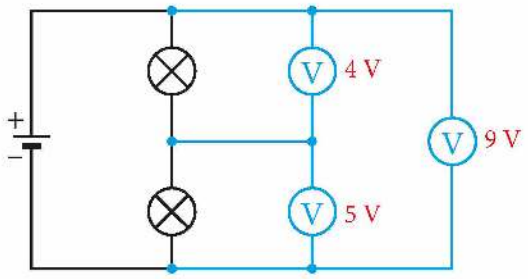
### A to ciekawe

Na początku XIX w., wkrótce po wynalezieniu baterii, budowano ogromne baterie złożone nawet z 2000 ogniw. Dzięki łączeniu szeregowemu pozwalały one uzyskiwać wysokie napięcie.
Od czasu wynalezienia prądnicy baterie o wysokim napięciu nie są już potrzebne. Ogniwa łączy się szeregowo tylko po kilka, najwyżej kilkanaście – np. w ciężarówkach akumulator o napięciu 24 V składa się z 12 ogniw po 2 V.



## Szeregowe łączenie odbiorników

Również w przypadku szeregowego łączenia odbiorników energii elektrycznej możemy sumować ich napięcia. Przykład przedstawia ilustracja poniżej, na której żarówki są połączone szeregowo. Obok symboli woltomierzy podano ich wskazania.




▲ Przykład pomiaru napięcia przy szeregowym łączeniu żarówek

Powyższe sumowanie się napięć także można uzasadnić na podstawie zasady zachowania energii. Przypomnijmy, że:

- napięcie 4 V oznacza, że przy przepływie ładunku 1 C przemianie ulegają 4 J energii,
- napięcie 5 V oznacza, że przy przepływie ładunku 1 C przemianie ulega 5 J energii.

W sumie więc przy przepływie ładunku 1 C przez obie żarówki przemianie ulega 9 J energii. A to oznacza, że całkowite napięcie wynosi $9\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{C}} = 9\,\mathrm{V}$.

## Zasada zachowania energii – prawo podstawowe

O zasadzie zachowania energii mówiliśmy już w pierwszej klasie. Ta sama zasada pozwala nam opisać zjawiska tak różne, jak rozpędzanie się spadającego ciała i łączenie szeregowe źródeł napięcia lub odbiorników energii elektrycznej, a także zjawiska cieplne i przemiany jądrowe.

### To najważniejsze

- Przy połączeniu **szeregowym** dwóch elementów obwodu wszystkie elektrony płyną po kolei przez oba te elementy.
- Przy takim połączeniu **prąd płynący przez oba elementy ma takie samo natężenie**.
- Przy **szeregowym łączeniu baterii** lub odbiorników energii elektrycznej **napięcia sumujemy**. Wynika to z zasady zachowania energii.

### Pytania i zadania

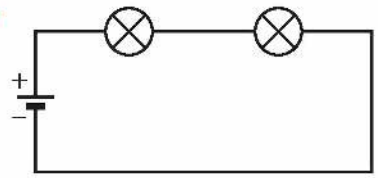
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** W motocyklu akumulator wytwarza napięcie 6 V. Składa się on z połączonych szeregowo ogniw o napięciu 2 V. Ile takich ogniw zawiera akumulator?

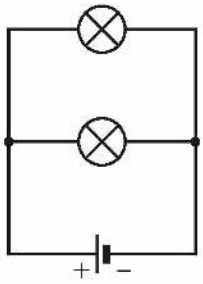


**2.** W jaki sposób połączono żarówki na rysunkach A, B i C?

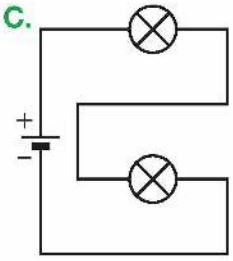
**A.**



**B.**



**C.**



**3.** Jakie jest napięcie pomiędzy biegunami baterii?




## Doświadczenie domowe

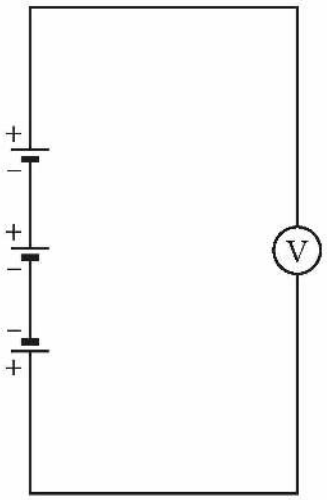
### Bateria włączona „pod prąd"

**1.** Przygotuj trzy baterie AA, miernik uniwersalny oraz przewody.

**2.** Przeanalizuj schemat. Jak sądzisz, co wskaże woltomierz przy przedstawionym tam układzie baterii? Zapisz swoją odpowiedź wraz z uzasadnieniem.

Zauważ, że podobny układ możemy uzyskać przypadkowo, gdy jedną z trzech baterii zasilających urządzenie włożymy w przeciwną stronę.

**3.** Połącz baterie i woltomierz zgodnie ze schematem i sprawdź, czy twoje przypuszczenia się sprawdziły. Jeśli nie – zastanów się, na czym polegał twój błąd.





# 11. Pierwsze prawo Kirchhoffa

**Cele lekcji:**

- Odkryjesz pierwsze prawo Kirchhoffa.
- Zrozumiesz zależność między zasadą zachowania ładunku a zjawiskami zachodzącymi w obwodach elektrycznych.

## Równoległe łączenie odbiorników

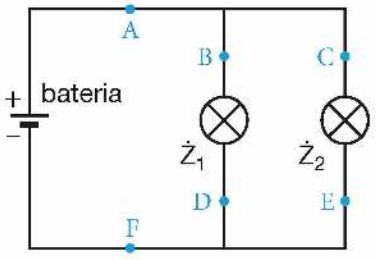
Gdy połączone równolegle żarówki podłączymy do baterii, między końcówkami każdej z nich jest takie samo napięcie. A co można powiedzieć o natężeniach prądu?

### Doświadczenie obowiązkowe

**Pierwsze prawo Kirchhoffa**

1. Przygotuj baterię AA oraz dwie żarówki: jedną dostosowaną do napięcia 1,2 V, a drugą – do napięcia 4,8 V, a także amperomierz i przewody.
2. Zbuduj obwód zgodnie ze schematem (symbolem $Ż_1$ oznaczono żarówkę dostosowaną do napięcia 1,2 V). Zmierz natężenie prądu w punktach obwodu oznaczonych na schemacie literami A–F (patrz „Uwagi do doświadczenia"). Zapisz wyniki wraz z niepewnością pomiaru.
3. Porównaj wyniki pomiarów. Co zauważasz?



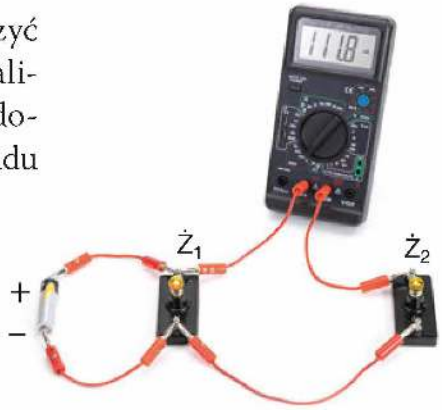




**Uwagi do doświadczenia:**

**1.** Nie szkodzi, że żarówki są podłączone do innego napięcia niż nominalne (podane przez producenta). Żarówka 1,2 V będzie świecić trochę jaśniej niż powinna, a żarówka 4,8 V znacznie słabiej niż powinna lub wcale, ale nie wpłynie to na przebieg doświadczenia.

**2.** W wielu miernikach następnym zakresem po 200 mA (który jest dla nas za mały) jest 10 A. Przy tym zakresie zwykle jeden z przewodów trzeba podłączyć do osobnego gniazdka (patrz s. 69).

**3.** Aby wykonać pomiary, obwód musi dać się rozłączyć w punktach A–F. O podłączaniu amperomierza pisaliśmy na s. 73. Na zdjęciu obok przedstawiono przykładowo, jak włączyć amperomierz i zmierzyć natężenie prądu w punkcie C.

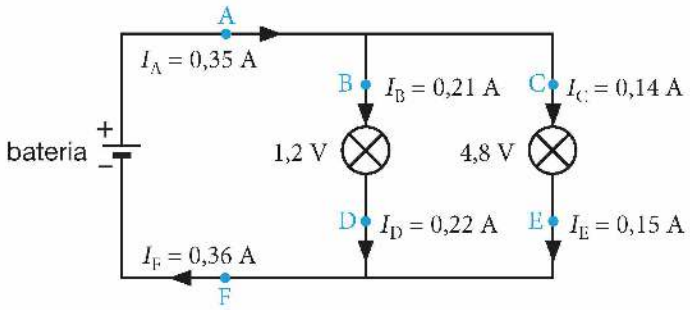



## Analiza wyników doświadczenia

Oznaczmy natężenie prądu w punktach A, B itd. przez $I_A$, $I_B$ itd.
W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy wyniki, które zapisaliśmy w tabeli:

| Oznaczenie natężenia | $I_A$ | $I_B$ | $I_C$ | $I_D$ | $I_E$ | $I_F$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wartość natężenia | 0,35 A | 0,21 A | 0,14 A | 0,22 A | 0,15 A | 0,36 A |

Zgodnie z przyjętą umową niepewność pomiaru wynosiła 3%, czyli w zależności od wyniku pomiaru od 0,004 A do 0,01 A. Jednak sam przyrząd wyświetlał tylko dwie cyfry po przecinku, czyli podawał wynik z dokładnością do 0,01 A. Ponieważ nigdy nie możemy podawać niepewności mniejszej niż dokładność przyrządu, musimy przyjąć, że niepewność była w każdym pomiarze równa 0,01 A.
Przedstawmy wyniki pomiarów na schemacie:




Część zależności między tymi wynikami można było przewidzieć już na podstawie doświadczenia ze s. 76:

$$I_B = I_D \qquad I_C = I_E \qquad I_A = I_F$$

Co prawda amperomierz wskazał $I_B = 0{,}21$ A oraz $I_D = 0{,}22$ A, ale niepewność pomiaru wynosiła 0,01 A, więc wielkości te są zgodne **z dokładnością do niepewności pomiaru**. Podobnie było w pozostałych przypadkach.
To nic dziwnego, że natężenie prądu po obu stronach danej żarówki jest takie samo i nie ma znaczenia, w którym miejscu je mierzymy. Podobnie jest z natężeniem prądu płynącego przez baterię – jest identyczne bez względu na to, czy mierzymy je od strony bieguna dodatniego czy ujemnego.
Nowością jest porównanie natężeń w punkcie A oraz w punktach B i C. Jak widzimy:

$$I_A = I_B + I_C$$

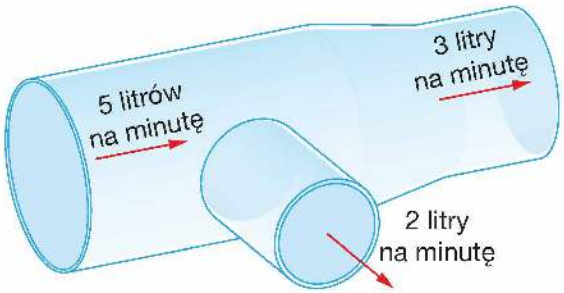
Analogicznie (z dokładnością do niepewności pomiarowej):

$$I_F = I_D + I_E$$

Z analizy doświadczenia możemy więc wyciągnąć ważny wniosek.

Gdy przy połączeniu równoległym prąd rozdziela się z jednego do dwóch przewodów, natężenie prądu przed podziałem jest równe sumie natężeń po podziale.

Analogicznie jest, gdy prąd z dwóch przewodów łączy się w jeden. Tę prawidłowość łatwo zrozumieć, kiedy pamiętamy o **zasadzie zachowania ładunku**. Spośród wypływających z baterii elektronów część płynie przez jedną żarówkę, część przez drugą, ale żaden elektron nie znika ani nie pojawia się nowy. Również model wodny pokazuje oczywistą interpretację tej zależności.

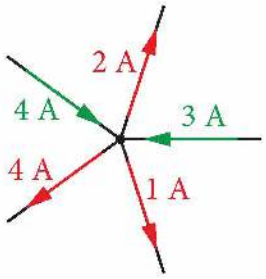



◀ Rozgałęzienie rury – wodny odpowiednik rozgałęzienia przewodów elektrycznych

## Pierwsze prawo Kirchhoffa

Wynik naszego doświadczenia ze s. 82 jest szczególnym przypadkiem ogólniejszego prawa fizyki zwanego **pierwszym prawem Kirchhoffa**:

Gdy połączymy kilka przewodów, suma natężeń prądów wpływających do węzła (połączenia przewodów) jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających.




◀ Przykład bardziej skomplikowanego węzła. Suma natężeń prądów wpływających jest taka sama jak suma natężeń prądów wypływających. W tym przypadku:
4 A + 3 A = 2 A + 1 A + 4 A

W doświadczeniu badaliśmy proste przypadki: rozgałęzienie jednego przewodu na dwa oraz połączenie dwóch przewodów w jeden. Pierwsze prawo Kirchhoffa obowiązuje jednak także w bardziej skomplikowanych przypadkach (np. takich jak na rysunku powyżej).
Uzasadnienie przypadku ogólnego jest takie samo jak przy rozgałęzieniu: do węzła w jednostce czasu wpływa tyle samo elektronów, ile z niego wypływa.

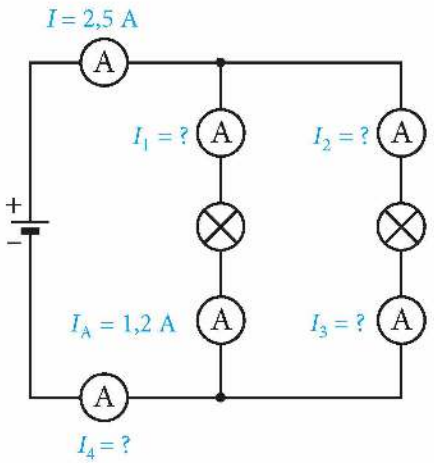
Pierwsze prawo Kirchhoffa wynika z zasady zachowania ładunku elektrycznego.

Na koniec przypomnijmy, że równolegle możemy łączyć nie tylko odbiorniki energii, lecz także baterie. Właściwości takiego połączenia zbadasz w doświadczeniu domowym.

**Przykład**

## Zastosowanie pierwszego prawa Kirchhoffa

Na schemacie zapisano niektóre wskazania amperomierzy. Oblicz natężenia, jakie powinny wskazywać pozostałe przyrządy.




**Dane:**

$I = 2{,}5$ A

$I_A = 1{,}2$ A

**Szukane:**

$I_1 = ?$ $I_2 = ?$ $I_3 = ?$ $I_4 = ?$

**Rozwiązanie:** Z analizy schematu wynika, że $I_1 = I_A = 1{,}2$ A. Takie jest natężenie prądu płynącego przez lewą żarówkę i nie zależy ono od tego, z której strony żarówki włączymy amperomierz.

Płynący z baterii prąd o natężeniu $I = 2{,}5$ A rozdziela się na dwie części, z których jedna ma $I_A = 1{,}2$ A, a więc druga zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa:

$$I_2 = 2{,}5\text{ A} - 1{,}2\text{ A} = 1{,}3\text{ A}$$

Prąd o takim samym natężeniu płynie przez amperomierz $I_3$:

$$I_3 = I_2 = 1{,}3\text{ A}$$

Wreszcie $I_4 = I = 2{,}5$ A to prąd płynący przez baterię.

**Odpowiedź:** Wartości natężeń prądu w miejscach oznaczonych na schemacie wynoszą: $I_1 = 1{,}2$ A, $I_2 = I_3 = 1{,}3$ A, $I_4 = 2{,}5$ A.

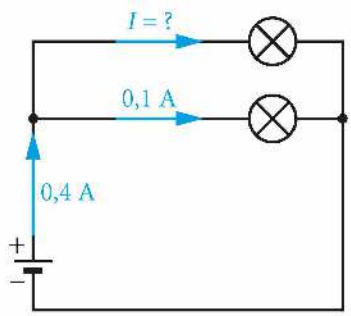
**To najważniejsze**

- **Pierwsze prawo Kirchhoffa** brzmi: Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.
- Powyższe prawo wynika z **zasady zachowania ładunku**.
- Stosujemy je m.in. do odbiorników prądu (np. żarówek) połączonych równolegle.

**Pytania i zadania**

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Przeanalizuj poniższy schemat i oblicz natężenie prądu $I$.

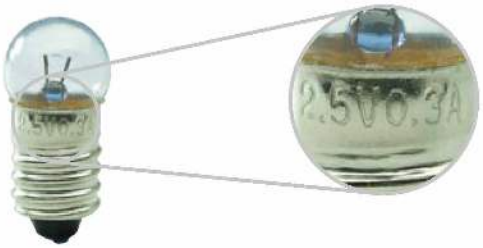



**2.** W samochodzie jest wyłączony silnik (a więc także prądnica ładująca akumulator), ale są włączone światła: przednie mijania, tylne pozycyjne oraz tylnej tablicy rejestracyjnej (dwie żarówki). Przez każdą z dwóch żarówek z przodu samochodu płynie prąd o natężeniu 2 A, a przez każdą z czterech żarówek z tyłu – prąd o natężeniu 0,5 A.

**a)** Oblicz natężenie prądu płynącego przez akumulator.

**b)** Oblicz, po jakim czasie akumulator się rozładuje, jeśli jego pojemność wynosi 48 Ah.

**3.** Na ilustracji widzisz informację podaną przez producenta na obudowie żarówki. Trzy takie żarówki łączymy szeregowo i podłączamy do baterii.



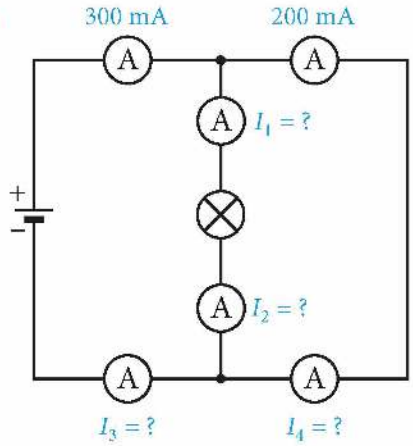

**a)** Narysuj schemat powstałego obwodu.

**b)** Jakie napięcie powinna mieć bateria? Które z napięć baterii dostępnych w handlu: 1,5 V, 4,5 V czy 9 V jest najodpowiedniejsze?

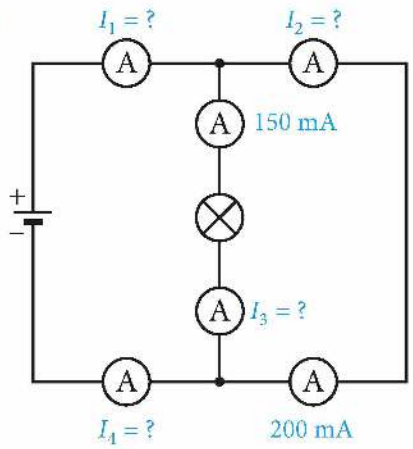
Ile baterii 1,5 V połączonych szeregowo potrzeba, aby zasilić 6 takich żarówek?

**4.** Na schematach obwodów podano wskazania niektórych amperomierzy. Jakie powinny być wskazania pozostałych amperomierzy?

**A.**




**B.**




## Doświadczenie domowe

### Połączenie równoległe baterii

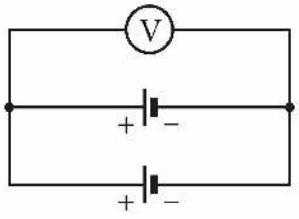
Również baterie można połączyć równolegle, tak jak to przedstawiono niżej na schemacie i na zdjęciu obok.

**1.** Przygotuj dwie nowe baterie AA, woltomierz i przewody.

**2.** Zmierz napięcie każdej z baterii za pomocą woltomierza. Przeanalizuj obwód przedstawiony na ilustracji. Spróbuj przewidzieć, co wskaże woltomierz. Możesz sobie pomóc rysunkiem jego wodnego odpowiednika.

**3.** Zbuduj układ zgodnie ze schematem. Czy pomiar napięcia jest zgodny z twoimi przewidywaniami?

**4.** Zastanów się, jakie zastosowanie może mieć równoległe połączenie baterii.









# 12. Prawo Ohma

**Cele lekcji:**

- Zbadasz doświadczalnie zależność między natężeniem prądu a napięciem elektrycznym.
- Nauczysz się opracowywać wyniki pomiarów przez dopasowanie prostej do punktów w układzie współrzędnych.

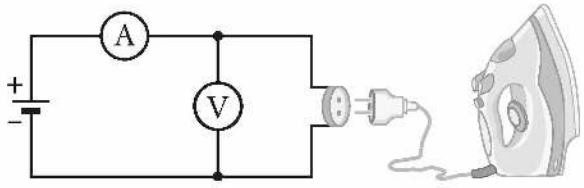
## Natężenie a napięcie

O napięciu elektrycznym i natężeniu prądu mówiliśmy do tej pory oddzielnie. Teraz zbadamy zależność między tymi dwiema wielkościami.

### Doświadczenie 9.

**Badanie zależności między napięciem a natężeniem**

1. Przygotuj pięć jednakowych baterii (np. AA), miernik (a w miarę możliwości dwa) oraz żelazko.
2. Zbuduj układ zgodnie ze schematem. Jeśli masz tylko jeden miernik, włącz go najpierw jako woltomierz, a gdy już zmierzysz nim napięcie – jako amperomierz.
3. Zastąp baterię dwiema bateriami połączonymi szeregowo, wykonaj pomiary, następnie użyj trzech, czterech i pięciu baterii połączonych szeregowo.





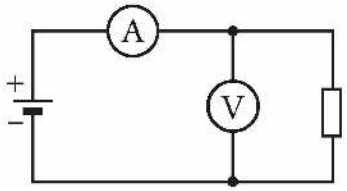

4. Wyniki pomiarów zapisuj w tabeli według wzoru:

| Liczba baterii | Napięcie [V] | Natężenie [A] |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |

5. Narysuj układ współrzędnych, w którym natężenie będzie na osi pionowej, a napięcie na poziomej.
6. Zaznacz w układzie współrzędnych punkty ($U$, $I$) odpowiadające wynikom twoich pomiarów. Uwzględnij ich niepewności (w sposób opisany w analizie wyników doświadczenia na s. 89).
7. Sprawdź, czy przez punkty zaznaczone w układzie współrzędnych (z uwzględnieniem niepewności pomiarowych) da się poprowadzić prostą.

## Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy wyniki pomiarów podane w tabeli 1.
Po uwzględnieniu niepewności pomiaru i zaokrągleniu możemy zapisać tabelę w nowej postaci (patrz tabela 2).




▲ Obwód wykorzystywany w doświadczeniu. Na schematach odbiorniki energii elektrycznej, np. żelazko, zaznacza się prostokątem (patrz symbole na s. 58)

Tabela 1

| Liczba baterii | $U$ [V] | $I$ [A] |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1,42 | 0,0572 |
| 2 | 2,88 | 0,1165 |
| 3 | 4,23 | 0,1713 |
| 4 | 5,91 | 0,24 |
| 5 | 7,33 | 0,29 |

Tabela 2

| Liczba baterii | $U$ [V] | $I$ [A] |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1,42 ± 0,04 | 0,057 ± 0,002 |
| 2 | 2,88 ± 0,08 | 0,117 ± 0,003 |
| 3 | 4,2 ± 0,1 | 0,171 ± 0,005 |
| 4 | 5,9 ± 0,2 | 0,24 ± 0,01 |
| 5 | 7,3 ± 0,2 | 0,29 ± 0,01 |

Niepewność szacowaliśmy na 3% wartości pomiaru. W dwóch ostatnich pomiarach natężenia musieliśmy włączyć zakres 10 A, więc wynik podawaliśmy z dokładnością do dwóch cyfr po przecinku.
Chcemy teraz zaznaczyć punkty opowiadające tym wynikom w układzie współrzędnych. Aby zrobić to dokładniej, rysujemy go na papierze milimetrowym. Wybieramy takie jednostki na osiach, aby zmieściły się zmierzone wielkości, ale też aby nie pozostawało zbyt dużo wolnego miejsca.

Na wykresie do każdego punktu o współrzędnych ($U$, $I$) dorysowujemy prostokąt, którego poziomy bok przedstawia niepewność napięcia, a pionowy – natężenia.

Przeanalizuj poszczególne etapy dopasowania prostej do wykresu (patrz ramka na następnej stronie). Weź pod uwagę, że oprócz samego punktu narysowaliśmy prostokąt przedstawiający niepewności pomiarowe i że zaznaczony punkt znalazł się

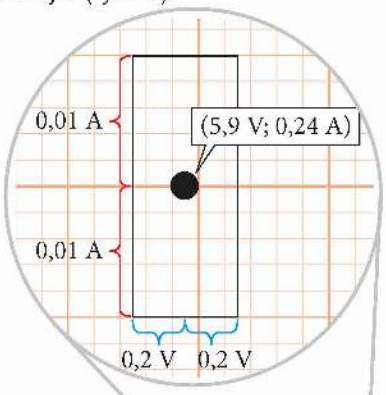
w środku tego prostokąta. Zauważ, że po zaznaczeniu niepewności pomiarowych $\Delta U$ i $\Delta I$ otrzymujemy prostokąt o wymiarach $2\Delta U \times 2\Delta I$.
Na pierwszy rzut oka widzimy, że punkty układają się na jednej prostej, przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Aby być tego pewnym, możemy przyłożyć przezroczystą linijkę tak, aby przechodziła przez prostokąty jak najbliżej ich środków. Teraz prostą można również narysować.

## Dopasowanie prostej do wykresu

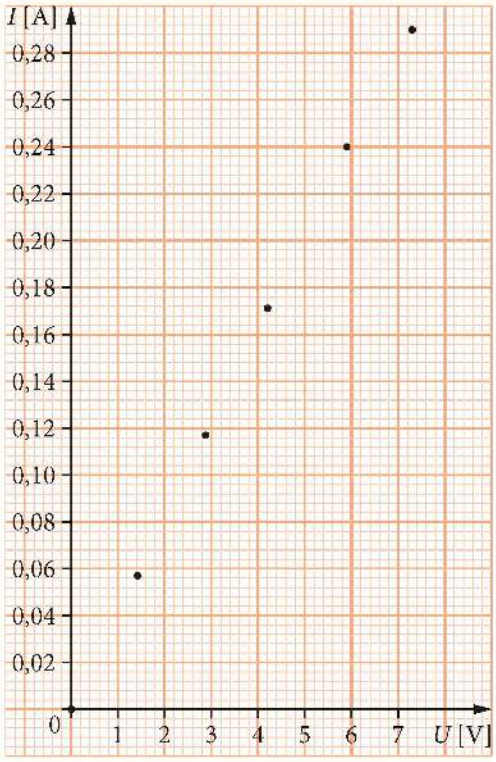
**1.** Zaznacz w układzie współrzędnych punkty pomiarowe (rys.1).

**2.** Zaznacz na wykresie niepewności pomiarowe za pomocą prostokątów (rys. 2).

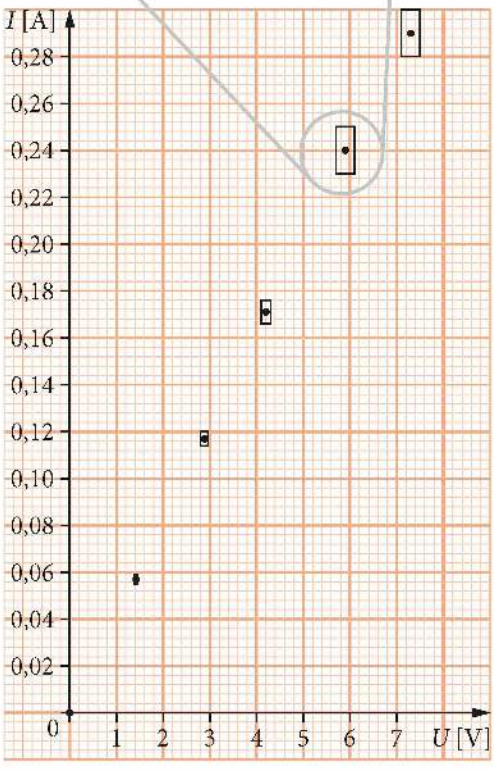
**3.** Przyłóż przezroczystą linijkę tak, aby przechodziła przez prostokąty jak najbliżej punktów pomiarowych oraz przez początek układu współrzędnych. Poprowadź prostą wzdłuż linijki (rys. 3).



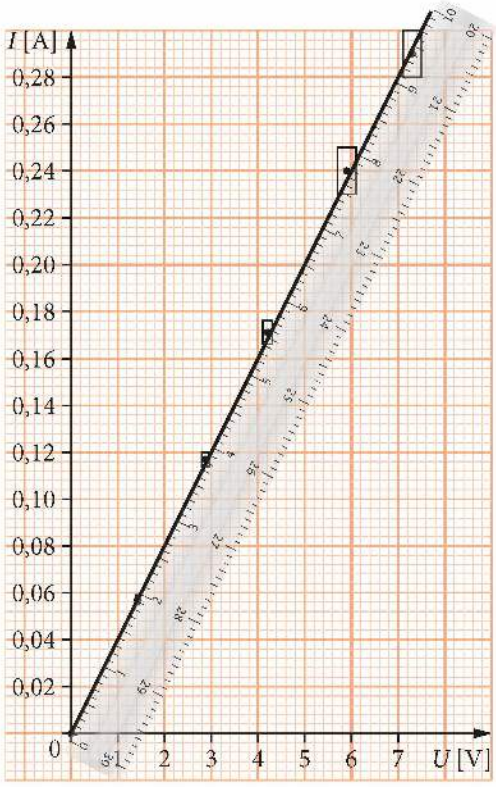

**1.**




**2.**




**3.**

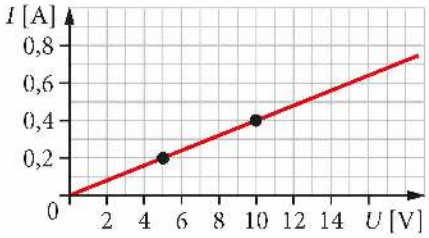


## Prawo Ohma

Skoro wykresem zależności natężenia prądu od napięcia jest linia prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych, to znaczy, że wielkości te są wprost proporcjonalne. Innymi słowy, gdy zwiększymy napięcie, natężenie prądu zwiększy się **tyle samo razy** co napięcie. Tę zależność nazywamy prawem Ohma (czyt. oma).

**Prawo Ohma:** Natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami przewodnika.

**Uwaga.** Prawo Ohma obowiązuje tylko w pewnych warunkach – tylko dla przewodników elektrycznych i tylko w stałej temperaturze. Powiemy o tym więcej w lekcji 14.

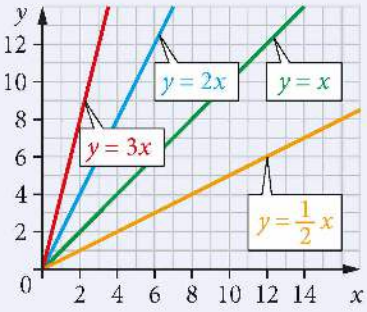



▲ Natężenie jest proporcjonalne do napięcia, np. dla 10 V jest dwa razy większe niż dla 5 V

# Dodatek matematyczny

## Proporcjonalność prosta na wykresie

Z lekcji matematyki znasz funkcję liniową, czyli funkcję postaci $y = ax + b$. Szczególnym jej przypadkiem jest funkcja $y = ax$. W fizyce zwykle mamy do czynienia z wielkościami nieujemnymi, będziemy więc zakładać, że zarówno współczynnik $a$, jak i zmienne $x$ i $y$ są nieujemne (czyli większe od zera albo równe zeru).
W tej sytuacji funkcja $y = ax$ opisuje **proporcjonalność prostą**. Gdy zwiększa się $x$, wtedy $y$ zwiększa się **tyle samo razy**. Na przykład dla funkcji $y = 2x$ mamy:




▲ Przykłady wykresów proporcjonalności prostej $y = ax$

| | | | |
|---|---|---|---|
| $x$ | 5 | 10 | 30 |
| $y = 2x$ | 10 | 20 | 60 |

(· 2, · 3 nad tabelą; · 2, · 3 pod tabelą)

Jak widzisz, każdy wykres zależności wprost proporcjonalnej to prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych. I odwrotnie: jeśli wykresem zależności między wielkościami jest prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych, to te wielkości są wprost proporcjonalne.
Ten fakt wykorzystujemy, gdy sprawdzamy doświadczalnie, czy dwie wielkości są wprost proporcjonalne.
Zaznaczamy w układzie współrzędnych punkty odpowiadające pomiarom (z uwzględnieniem niepewności) i sprawdzamy, czy można przez nie poprowadzić prostą przechodzącą przez początek układu współrzędnych.

## To najważniejsze

- **Prawo Ohma:** Natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami przewodnika.
- **Wykresem** zależności natężenia prądu od napięcia elektrycznego ***I*(*U*)** jest **linia prosta.**
- Jednym ze sposobów opracowania danych pomiarowych jest zaznaczenie w układzie współrzędnych punktów, których współrzędne odpowiadają wynikom pomiarów, zaznaczenie ich niepewności pomiarowych, a następnie poprowadzenie przez nie możliwie najlepiej dopasowanej prostej.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Zapisz w zeszycie zdania dotyczące prawa Ohma wraz ze sformułowanymi przez siebie zakończeniami.

**a)** Prawo Ohma mówi, że natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest ////.

**b)** Jeżeli ten sam przewodnik podłączymy do trzy razy wyższego napięcia, to ////.

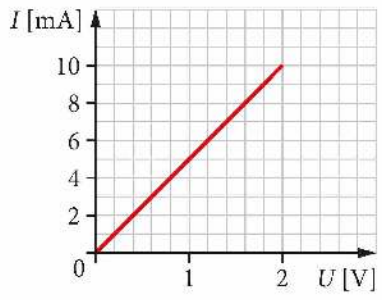
**c)** Jeśli chcemy, żeby przez przewodnik popłynął prąd o dwa razy mniejszym natężeniu, to ////.

**d)** Prawo Ohma obowiązuje tylko ////.

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

**a)** Odczytaj z wykresu, jakie jest natężenie prądu, gdy ten przewodnik podłączymy do napięcia 1 V.

**b)** Jakie będzie natężenie prądu, jeśli przewodnik podłączymy do napięcia 3 V?

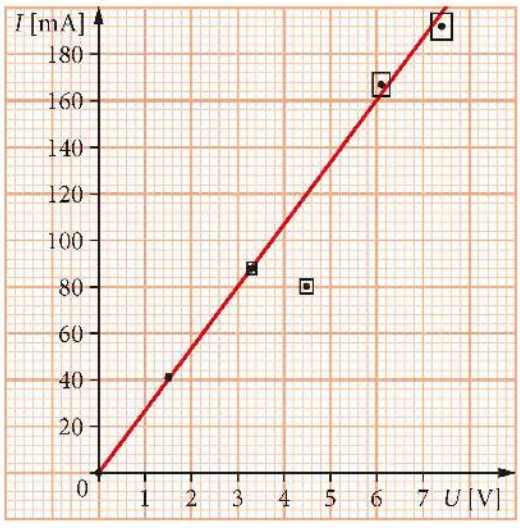


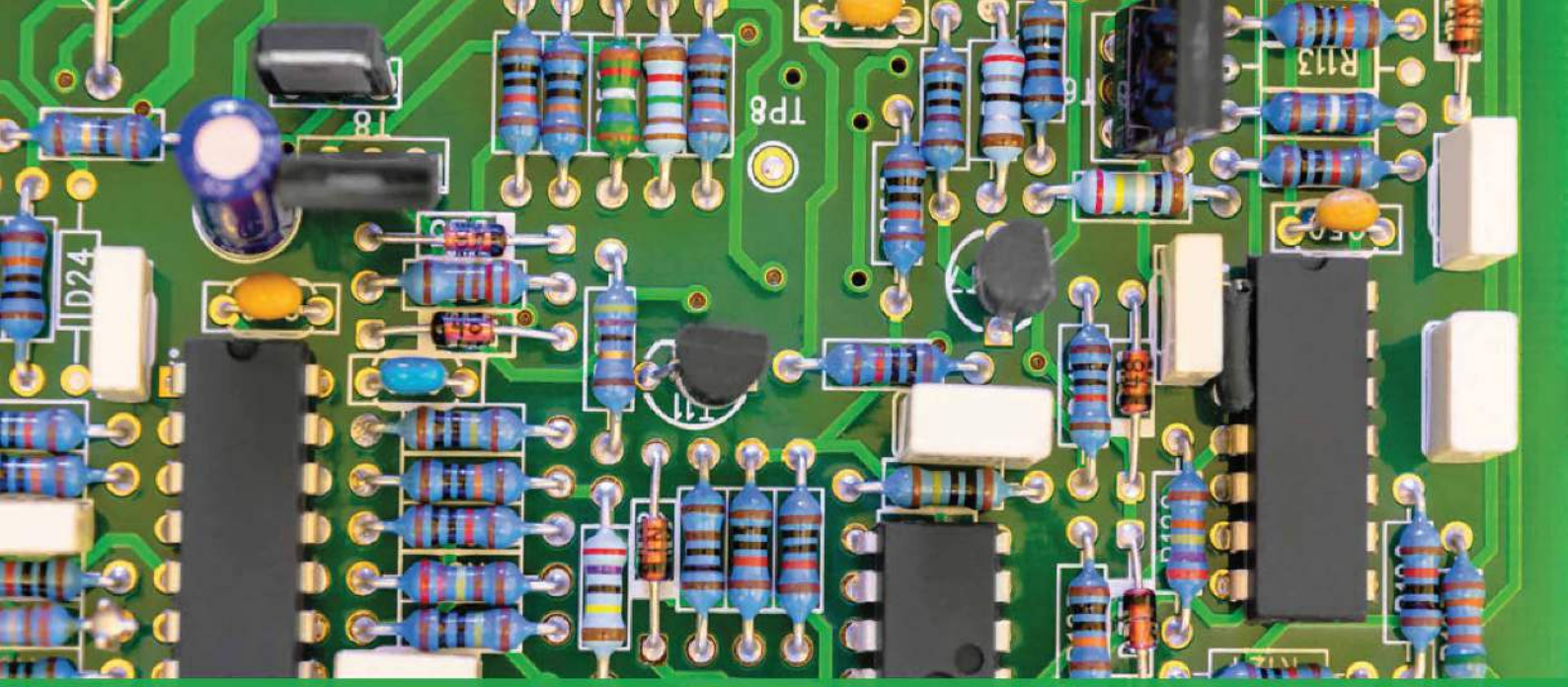

**3.** Po podłączeniu grzałki do źródła prądu o napięciu 2 V popłynął przez nią prąd o natężeniu 20 mA.

**a)** Jakie będzie natężenie prądu, gdy tę samą grzałkę podłączymy do napięcia 6 V?

**b)** Do jakiego napięcia należy podłączyć tę grzałkę, aby popłynął przez nią prąd o natężeniu 5 mA?

**4.** Uczniowie badali zależność natężenia prądu płynącego przez grzałkę elektryczną od przyłożonego napięcia. W układzie współrzędnych zaznaczyli kilka punktów odpowiadających wynikom pomiarów i podejrzewają, że jeden pomiar został wykonany błędnie. Postanowili więc go powtórzyć. O którym pomiarze mowa?






# 13. Opór elektryczny

**Cele lekcji:**

- Przypomnisz sobie pojęcie oporu elektrycznego.
- Odświeżysz wiadomości na temat tego, w jaki sposób można obliczać opór elektryczny oraz jaka jest jego jednostka.
- Poznasz omomierz – przyrząd do bezpośredniego pomiaru oporu elektrycznego.

## Skąd się bierze opór elektryczny

Elektron poruszający się w metalowym przewodzie traci energię na zderzenia z jonami metalu. W przewodzie podłączonym do źródła napięcia istnieje jednak pole elektryczne, które sprawia, że elektron się nie zatrzymuje, tylko dalej rozpędza. Sytuacja jest więc podobna jak w czasie ruchu żaglówki, która płynie pomimo oporu wody, ponieważ odzyskuje utraconą energię dzięki sile wiatru.
A co się dzieje z energią utraconą przez elektron? Na skutek zderzeń jony zaczynają drgać szybciej, co oznacza, że przewód zaczyna się ogrzewać.

## Opór elektryczny jako wielkość fizyczna

Opór to wielkość fizyczna pozwalająca liczbowo określić, jak dobrze lub źle dany element obwodu przewodzi prąd elektryczny. Jak wiesz, aby przez przewodnik popłynął prąd o określonym natężeniu, należy podłączyć ten przewodnik do źródła napięcia. Natężenie będzie tym większe, im wyższe jest napięcie.
Jeśli na przykład do wywołania w danym przewodzie przepływu prądu o natężeniu 1 A potrzebne jest napięcie 5 V, to do uzyskania natężenia 2 A potrzebne będzie napięcie 10 V itd., ponieważ natężenie jest wprost proporcjonalne do napięcia. W opisanej sytuacji **na każdy amper** przypada 5 V. Możemy więc powiedzieć, że opór elektryczny przewodu wynosi 5 woltów na amper ($5\ \frac{V}{A}$).

**Opór elektryczny** $R$ to wielkość charakteryzująca zdolność elementu obwodu do przewodzenia prądu. Im większy opór, tym gorzej ciało przewodzi prąd.

Zapiszmy wzór, z którego obliczymy **opór elektryczny**:

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

gdzie: $R$ – opór przewodnika, $U$ – przyłożone napięcie, $I$ – natężenie płynącego prądu. Jednostką oporu jest **om**, oznaczany wielką grecką literą omega Ω:

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

Zgodnie z powyższym wzorem element elektryczny, np. przewód, ma opór 1 Ω, jeśli po podłączeniu go do napięcia 1 V popłynie prąd o natężeniu 1 A. Nazwa jednostki oporu pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Georga Ohma (czyt. oma).
W sytuacji, w której obowiązuje prawo Ohma, opór przewodnika **nie zależy** ani od napięcia, ani od natężenia prądu. Jeśli napięcie $U$ zwiększymy np. 3 razy, to natężenie $I$ zwiększy się tyle samo razy, więc wartość ułamka $\frac{U}{I}$ pozostanie bez zmian.
Opór zależy natomiast od materiału, z którego wykonano przewodnik (np. miedź przewodzi prąd lepiej niż żelazo) oraz od jego wymiarów. Łatwo jednak przewidzieć, że:

- dłuższy przewodnik ma większy opór,
- grubszy przewodnik ma mniejszy opór.

## Obliczanie oporu na podstawie wykresu

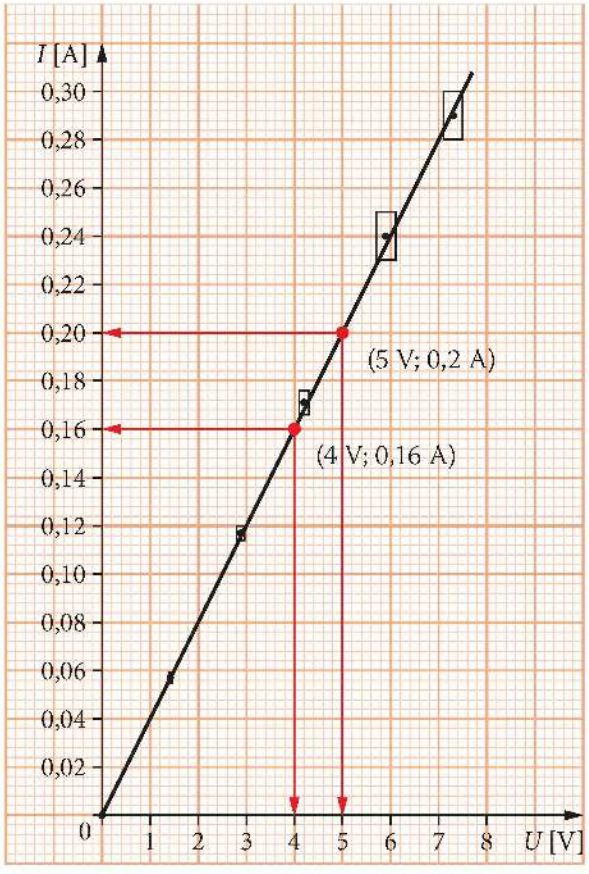
Opór przewodnika można wyznaczyć na podstawie wykresu zależności natężenia od napięcia. Wystarczy wybrać dowolny punkt na wykresie, odczytać odpowiadające mu napięcie i natężenie, a następnie wykonać obliczenia.

Oto przykład takich obliczeń dla wykresu z doświadczenia 9. ze s. 87. Na przykład dla $U$ = 4 V mamy $I$ = 0,16 A, a więc spirala żelazka miała opór:

$$R = \frac{4\ \mathrm{V}}{0{,}16\ \mathrm{A}} = 25\ \Omega$$

Wynik będzie taki sam, jeśli weźmiemy pod uwagę inny punkt z wykresu, np. napięcie 5 V i natężenie 0,2 A:

$$R = \frac{5\ \mathrm{V}}{0{,}2\ \mathrm{A}} = 25\ \Omega$$



## Oporniki

Opornik to bardzo prosty element elektroniczny. Jest to kawałek przewodnika o znanym oporze zakończony drucikami i umieszczony w obudowie z izolatora.
Oporniki są zwykle pomalowane w kolorowe paski, ale nie dla ozdoby: w tych kolorach zakodowano opór elementu, a także informację, o ile rzeczywisty opór może się różnić od podanego (patrz tabela na s. 207).
Istnieją także oporniki o regulowanym oporze, zwane **potencjometrami** (patrz doświadczenie domowe na s. 97). Są one wykorzystywane m.in. do regulacji głośności w sprzęcie audio-wideo.



▲ W kolorowych paskach zakodowano opór oporników (tabela na s. 208)

## Przykłady obliczeń

Obliczenia związane z pojęciem oporu spotykamy nie tylko w szkolnych ćwiczeniach. Mają one zasadnicze znaczenie przy budowie urządzeń elektronicznych.



▲ Symbol opornika

**Przykład 1**

### Obliczanie natężenia prądu płynącego przez opornik

Opornik 470 Ω podłączamy do baterii 9 V. Oblicz natężenie prądu, który popłynie przez opornik. Przyjmij, że po podłączeniu opornika napięcie między biegunami baterii nadal jest równe 9 V.

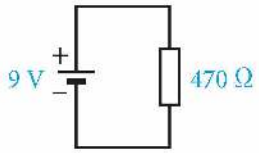
**Dane:**

$U = 9\ \text{V}$

$R = 470\ \Omega$

**Szukane:**

$I = ?$




**Rozwiązanie:** Nasz obwód jest bardzo prosty – przedstawia go powyższy schemat.

Aby obliczyć natężenie prądu, przekształcamy wzór $R = \frac{U}{I}$ do postaci:

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

Do otrzymanego wzoru podstawiamy dane liczbowe:

$$I = \frac{9\ \text{V}}{470\ \Omega} \approx 0{,}019\ \text{A} = 19\ \text{mA}$$

Rachunek jednostek przedstawiono poniżej:

$$\left[\frac{\text{V}}{\Omega} = \frac{\text{V}}{\frac{\text{V}}{\text{A}}} = \text{V} : \frac{\text{V}}{\text{A}} = \cancel{\text{V}} \cdot \frac{\text{A}}{\cancel{\text{V}}} = \text{A}\right]$$

**Odpowiedź:** Natężenie prądu wyniesie ok. 19 mA.

**Przykład 2**

## Obliczanie oporu w obwodzie szeregowym

Ania ma baterię 9 V oraz żarówkę dostosowaną do napięcia 4,8 V i natężenia 0,25 A. Żarówka się przepali, jeśli zostanie podłączona bezpośrednio do baterii, dlatego Ania zamierza połączyć ją szeregowo z opornikiem. Jakiego opornika powinna użyć? Przyjmij, że po podłączeniu opornika i żarówki napięcie między biegunami baterii nadal jest równe 9 V.

**Dane:**

$U_{\text{baterii}} = 9\ \text{V}$

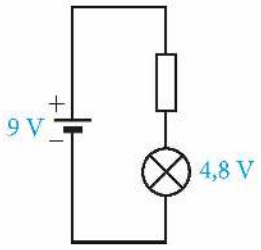
$U_{\text{żarówki}} = 4{,}8\ \text{V}$

$I = 0{,}25\ \text{A}$

**Szukane:**

$R = ?$

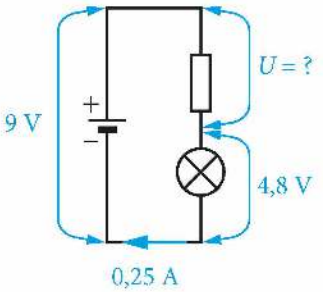
**Rozwiązanie:** Zacznijmy od wykonania schematu. Obwód Ani ma się składać z baterii oraz żarówki połączonej szeregowo z opornikiem.




Wiemy, że gdy dwa odbiorniki energii elektrycznej połączymy szeregowo, napięcia na nich się sumują. Skoro napięcie między końcówkami żarówki ma wynosić 4,8 V, to napięcie między końcówkami opornika powinno wynosić:

$$U = 9\ \text{V} - 4{,}8\ \text{V} = 4{,}2\ \text{V}$$

Wiemy, że przez żarówkę ma płynąć prąd o natężeniu $I = 0{,}25$ A. W obwodzie nie ma żadnego rozgałęzienia, więc przez opornik będzie płynął prąd o tym samym natężeniu.




Teraz możemy już obliczyć szukany opór:

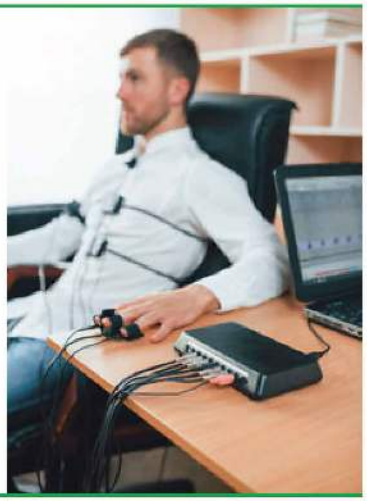
$$R = \frac{U}{I}$$

$$R = \frac{4{,}2\ \text{V}}{0{,}25\ \text{A}} = 16{,}8\ \frac{\text{V}}{\text{A}} = 16{,}8\ \Omega$$

**Odpowiedź:** Żarówkę należy połączyć szeregowo z opornikiem o oporze 16,8 Ω.

**Uwaga.** Nie byłoby możliwe produkowanie oporników o wszystkich możliwych wartościach oporu, należy więc wybrać spośród dostępnych w handlu taki, który najbardziej pasuje. W tym wypadku można wybrać między 16 Ω a 18 Ω. Ten pierwszy spowoduje, że natężenie prądu płynącego przez żarówkę będzie trochę za duże, co skróci jej żywotność, ale nie powinno spowodować szybkiego uszkodzenia. Z kolei jeśli wybierzemy opór nieco większy, niż wynika to z obliczeń, żarówka będzie świecić trochę słabiej, ale wystarczy na dłużej (również bateria będzie się wolniej rozładowywać).

## A to ciekawe



Gdy człowiek przeżywa lęk, zdenerwowanie lub inne silne emocje, zmienia się opór elektryczny jego skóry. Ten fakt wykorzystujemy w wariografie, urządzeniu zwanym potocznie „wykrywaczem kłamstw", choć bardziej adekwatna byłaby nazwa „wykrywacz emocji".
Policja czasami korzysta z wariografu, aby sprawdzić, czy podejrzany reaguje emocjonalnie np. na zdjęcie miejsca zbrodni.
Jednak rezultaty takiego badania nie zawsze są wiarygodne, dlatego w Polsce i wielu innych krajach nie mogą stanowić dowodu w sądzie.

## Omomierz

Poznamy jeszcze jedną funkcję miernika uniwersalnego: może on służyć jako **omomierz**, czyli przyrząd do bezpośredniego pomiaru oporu elektrycznego. Aby włączyć tę funkcję, ustawiamy pokrętło na jeden z zakresów oznaczonych symbolem oma: Ω.
Omomierz przydaje się nie tylko w doświadczeniach z fizyki, lecz także w życiu codziennym. Zwykle nie wykorzystujemy w pełni jego możliwości, nie interesuje nas bowiem dokładna wartość oporu, ale tylko to, czy jest duży czy mały. Na przykład jeśli chcesz sprawdzić, czy żarówka samochodowa jest sprawna, nie musisz instalować jej w reflektorze. Wystarczy, że zmierzysz jej opór za pomocą omomierza. Powinien on wynosić kilka omów. Jeśli na wyświetlaczu pokazuje się wartość wiele tysięcy lub nieskończoność (co oznacza: więcej niż zakres pomiaru), to znaczy, że włókno jest przepalone.
Podobnie można sprawdzać, czy nie pękły przewody wewnątrz silnika elektrycznego np. w odkurzaczu albo w suszarce do włosów.



▲ Miernik uniwersalny włączony jako omomierz. Jako opornik został podłączony potencjometr

## To najważniejsze

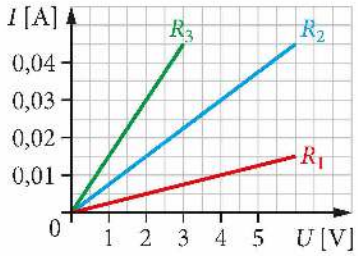
- Elektrony poruszające się w przewodniku zderzają się z jonami i oddają im część swojej energii. Ten fakt jest przyczyną występowania oporu elektrycznego.
- **Opór elektryczny** to wielkość fizyczna pozwalająca liczbowo określić, jak dobrze lub źle dany element obwodu przewodzi prąd.
- Opór obliczamy ze wzoru: $R = \frac{U}{I}$, gdzie $U$ – napięcie, $I$ – natężenie prądu.
- Jednostką oporu elektrycznego jest **om**: $1\ \Omega = 1\ \frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$.
- **Omomierz** to przyrząd do pomiaru oporu elektrycznego. Funkcję omomierza może spełniać miernik uniwersalny. W życiu codziennym używamy omomierza do sprawdzenia, czy przewód nie został przerwany albo czy żarówka nie jest przepalona.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**Uwaga.** We wszystkich zadaniach pomiń spadek napięcia baterii wynikający z podłączenia opornika.

1. Opornik 220 Ω podłączamy do baterii AA o napięciu 1,5 V. Oblicz natężenie prądu płynącego przez opornik.
2. Oblicz, jaki opornik podłączyć do baterii 9 V, aby popłynął przez niego prąd 10 mA.
3. Żarówka jest dostosowana do napięcia 1,2 V i natężenia 150 mA. Podłączamy ją do akumulatora samochodowego o napięciu 12 V. Jaki opornik zastosować, aby żarówka się nie przepaliła, ale pracowała zgodnie z zaleceniami producenta?
4. Przez opornik 1100 Ω płynie prąd o natężeniu 50 mA. Jakie jest napięcie pomiędzy końcówkami opornika?
5. W jednym układzie współrzędnych narysowano kilka wykresów. Każdy z nich przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez opornik od przyłożonego napięcia.

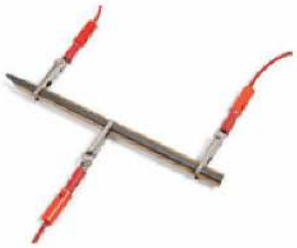



**a)** Spróbuj odpowiedzieć bez wykonywania obliczeń, który z oporników ma największy opór.

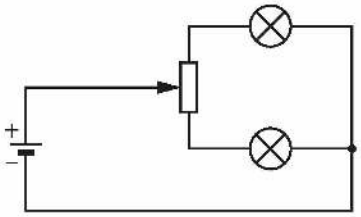
**b)** Oblicz opór każdego z oporników. Sprawdź, czy twoje przypuszczenia się potwierdziły.

## Doświadczenie domowe

### Budowa potencjometru



1. Przygotuj gruby ołówek stolarski, ostry nóż, trzy krokodylki, przewody, baterię AA i dwie żarówki 1,2 V lub 2,2 V (albo baterię o wyższym napięciu i dwie żarówki dostosowane do pracy pod napięciem zbliżonym do napięcia baterii).
2. Rozetnij ołówek wzdłuż tak, aby grafit lekko z niego wystawał na całej długości.
3. Przyczep przewody do krokodylków.
4. Załóż krokodylki na ołówek: dwa na końcach i jeden pośrodku, w taki sposób, aby dotykały grafitu.
5. Tak oto zbudowałeś potencjometr – przesuwając środkowy krokodylek po rysiku, możesz regulować opór między końcówkami (krokodylkami).
6. Zbuduj układ według podanego schematu. Sprawdź, jak zmienia się jasność żarówek, gdy poruszasz suwakiem potencjometru.








# 14. Opór a temperatura

**Cele lekcji:**

- Zbadasz, jak opór substancji zależy od temperatury.
- Poznasz nową grupę substancji: półprzewodniki.

## Czy żarówka spełnia prawo Ohma

Powtórzymy teraz doświadczenie ze s. 87, ale zamiast żelazka wykorzystamy żarówkę.

### Doświadczenie 10.

**Sprawdzanie prawa Ohma dla żarówki**

1. Przygotuj żarówkę dostosowaną do napięcia 4,8 V, cztery baterie 1,5 V, miernik uniwersalny (wygodniej użyć dwóch) oraz przewody.
2. Podłącz żarówkę do baterii. Zmierz napięcie między końcówkami żarówki oraz natężenie płynącego przez nią prądu.
3. Zastąp baterię dwiema, a potem trzema i czterema bateriami połączonymi szeregowo i powtórz pomiary.
4. Czy natężenie prądu płynącego przez żarówkę jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia?



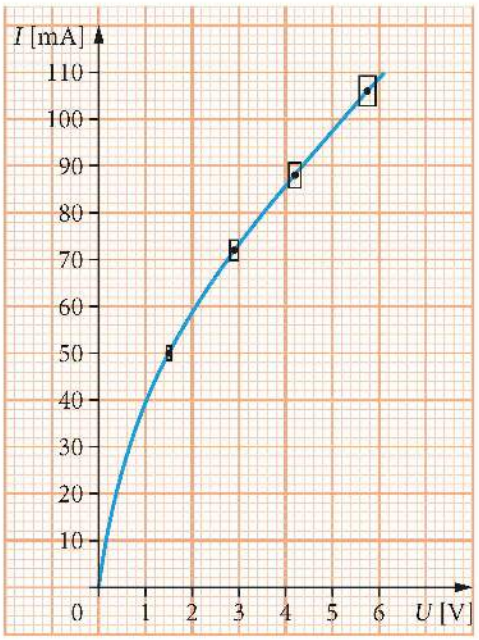
## Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu otrzymaliśmy następujące wyniki:

| Liczba baterii | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Napięcie $U$ [V] | 0 | 1,53 | 2,90 | 4,21 | 5,75 |
| Natężenie $I$ [mA] | 0 | 49,7 | 72,2 | 87,9 | 106 |

Wyniki doświadczenia przedstawiliśmy na wykresie na s. 99. Jak widać, punkty pomiarowe **nie układają się** na jednej prostej przechodzącej przez początek układu

współrzędnych. Tak więc natężenie prądu płynącego przez żarówkę **nie jest proporcjonalne** do napięcia.
Do tego samego wniosku możemy dojść po przeanalizowaniu danych z tabeli. Na przykład, gdy porównamy dane dla jednej baterii i dla czterech baterii, stwierdzimy, że napięcie wzrosło ok. 4 razy, a natężenie – ok. 2 razy. Tak duża różnica nie może wynikać tylko z niepewności pomiaru: natężenie prądu płynącego przez żarówkę nie jest proporcjonalne do napięcia.




> Żarówka nie spełnia prawa Ohma.

Na te same wyniki można popatrzeć jako na zmianę oporu żarówki. Po podłączeniu jednej baterii opór włókna wynosił: $R_1 = \frac{1{,}53\ \text{V}}{0{,}0497\ \text{A}} \approx 31\ \Omega$.
Natomiast po podłączeniu czterech baterii był on równy: $R_2 = \frac{5{,}75\ \text{V}}{0{,}106\ \text{A}} \approx 54\ \Omega$.
Dzieje się tak dlatego, że podczas przepływu prądu włókno żarówki się rozgrzewa. Taka jest zresztą jego rola: dzięki wysokiej temperaturze włókno świeci. Tymczasem opór przewodnika zależy od jego temperatury.

> Opór metalu wzrasta wraz z jego temperaturą. Dlatego prawo Ohma jest spełnione tylko w stałej temperaturze.

To zjawisko łatwo wyjaśnić, gdy przypomnimy sobie ze szkoły podstawowej, że wyższa temperatura oznacza szybszy ruch cząsteczek, atomów lub jonów, z których jest zbudowane ciało. Także elektrony swobodne poruszają się wtedy szybciej. Jak wiesz, opór elektryczny wynika ze strat ich energii podczas zderzeń z jonami metalu. Gdy elektrony poruszają się szybciej, do zderzeń dochodzi częściej, więc szybciej następuje utrata energii. W rezultacie – większy jest opór.
A dlaczego takie zjawisko nie występowało w naszym doświadczeniu ze s. 87?
Energia dostarczana przez kilka baterii jest zbyt mała, aby spowodować zauważalne zmiany temperatury spirali żelazka – zwłaszcza że jest ono zbudowane tak, aby ciepło przepływało ze spirali do dużej stalowej stopy. Dlatego także zmiana oporu spirali była niezauważalna.

## A to ciekawe

Zależność oporu od temperatury wykorzystujemy w praktyce. Opornik, którego opór zmienia się wraz z temperaturą otoczenia w ściśle określony sposób, nazywamy termistorem (nazwa ta pochodzi od słowa „rezystor" – innej nazwy opornika). Termistory służą m.in. do pomiaru temperatury płynu w chłodnicy samochodu, utrzymania stałej temperatury topionego tworzywa w drukarce 3D (patrz zdjęcie) czy odcięcia dopływu prądu do odkurzacza, który się przegrzewa.



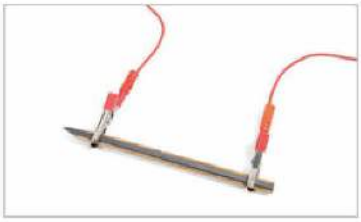
## Półprzewodniki

Wykonamy jeszcze raz doświadczenie opisane na s. 98, ale tym razem zamiast żarówki użyjemy grafitu z ołówka. Musi to być ołówek bardzo miękki, bo w twardszych grafit jest zmieszany z glinką, przez co nie ma interesujących nas właściwości.

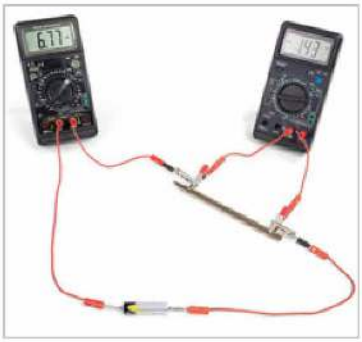
### Doświadczenie 11.

**Sprawdzanie prawa Ohma dla grafitu**

1. Przygotuj bardzo miękki ołówek (B8 albo B9), cztery baterie AA, miernik uniwersalny (wygodniej użyć dwóch), przewody, krokodylki oraz nożyk do tapet.
2. Za pomocą nożyka **ostrożnie** usuń drewno z jednej strony ołówka tak, aby grafit lekko wystawał z niego na całej długości (patrz zdjęcie). Podłącz krokodylki do grafitu.



3. Podobnie jak w doświadczeniu na s. 98 zmierz napięcie i natężenie prądu płynącego przez grafit podłączony do jednej baterii, a następnie do dwóch, trzech i czterech baterii połączonych szeregowo.



   **Uwaga.** Prąd płynący przez obwód ma duże natężenie i wszystkie elementy mogą się rozgrzewać. Zamykaj obwód tylko na kilka sekund potrzebne do odczytania wskazań mierników. Uważaj, aby się nie poparzyć.
4. Oblicz opór grafitu w każdym z przypadków. Czy ten opór rośnie czy maleje wraz ze wzrostem temperatury grafitu?

Z doświadczenia wynika, że opór grafitu zależy od jego temperatury, ale zależność ta jest odwrotna niż w przypadku włókna żarówki: opór grafitu **maleje** wraz z temperaturą. Z czego wynika ta różnica? Do tej pory mówiliśmy o dwóch rodzajach substancji: przewodnikach i izolatorach. Okazuje się, że istnieją także substancje o pośrednich własnościach: **półprzewodniki**. Do nich właśnie zaliczamy grafit. Porównanie tych trzech rodzajów materiałów zawiera tabela poniżej.

| Przewodnik | Izolator | Półprzewodnik |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Niektóre elektrony mogą się swobodnie poruszać. | Wszystkie elektrony są na stałe związane z atomami. | Niektóre elektrony mogą się oderwać od atomów i zostać elektronami swobodnymi np. pod wpływem światła, temperatury itd. |
| Prąd może płynąć. | Prąd nie może płynąć. | Prąd może płynąć, ale tylko w określonych warunkach. |
| Używamy ich do produkcji przewodów. | Używamy ich do izolowania przewodów. | Używamy ich do budowy urządzeń elektronicznych. |
| Opór jest niewielki, ale rośnie ze wzrostem temperatury. | Opór jest bardzo duży. | Opór jest większy niż w przewodnikach, ale wraz ze wzrostem temperatury maleje do pewnej granicy. |

## Dlaczego opór półprzewodników maleje z temperaturą

W miarę rozgrzewania półprzewodnika coraz więcej elektronów odrywa się od atomów i staje się elektronami swobodnymi, co ułatwia przewodzenie prądu. Ten efekt przeważa nad zwiększaniem się oporu wynikającym z szybszego ruchu elektronów. Dlatego opór półprzewodnika maleje, gdy rośnie temperatura – odwrotnie niż ma to miejsce dla przewodników (patrz wykresy poniżej).
Dopiero w bardzo wysokiej temperaturze, gdy wszystkie dostępne elektrony staną się już elektronami swobodnymi, opór zaczyna rosnąć. Ten wzrost jest jednak bardzo niewielki.

Opór przewodnika rośnie z temperaturą. Opór półprzewodnika maleje z temperaturą do pewnej granicy.




▲ Porównanie zależności oporu od temperatury

## Zastosowanie półprzewodników

Półprzewodniki mają wiele zastosowań, także niezwiązanych z zależnością oporu od temperatury. Wykorzystuje się je m.in. w bateriach słonecznych.
Czy pamiętasz infografikę „Kserograf i drukarka laserowa" na s. 14–15?
Substancja pokrywająca bęben kserografu, która pod wpływem światła staje się przewodnikiem, a w ciemności jest izolatorem, to właśnie przykład półprzewodnika. Również bardziej skomplikowane elementy elektroniczne, o których powiemy w następnym rozdziale: diody i tranzystory, wykonujemy z półprzewodników.

### A to ciekawe

Od ponad 100 lat znamy substancje, których opór w odpowiednio niskiej temperaturze maleje aż do zera. Nazywamy je nadprzewodnikami.
Prąd wzbudzony w zamkniętej pętli z nadprzewodnika może płynąć nawet wiele lat bez zasilania – raz rozpędzonych elektronów nic nie hamuje.
To zjawisko wykorzystujemy w praktyce m.in. w potężnych elektromagnesach stanowiących część aparatury do badania medycznego zwanego magnetycznym rezonansem jądrowym (NMR).



## To najważniejsze

- W wyższej temperaturze elektrony swobodne poruszają się szybciej, więc częściej zderzają się z jonami. Dlatego **opór przewodnika rośnie z temperaturą**.
- W półprzewodnikach wzrost temperatury powoduje, że więcej elektronów odrywa się od atomów i staje się elektronami swobodnymi. Dlatego **opór półprzewodnika maleje z temperaturą** (do pewnej granicy).

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



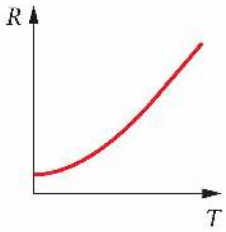
**1.** Na żarówce producent podał informacje: 4,8 V / 0,3 A. Gdy podłączymy żarówkę do omomierza, wskazuje on opór 2,5 Ω.

**a)** Oblicz opór włókna żarówki na podstawie informacji od producenta i porównaj z podanym wynikiem pomiaru za pomocą omomierza.

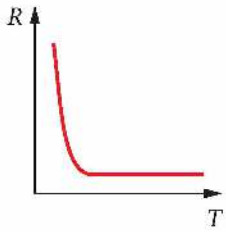
**b)** Wyjaśnij, z czego wynika różnica.

**2.** Który z wykresów przedstawiających zależność oporu od temperatury dotyczy przewodnika, a który – półprzewodnika?

**A.**



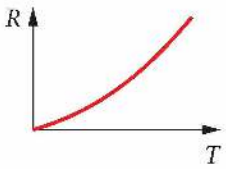

**B.**



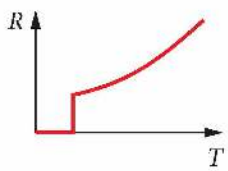

**3.** Wyobraź sobie, że masz dostać się na drugą stronę placu, po którym chodzi dużo osób. Czy ryzyko zderzenia z inną osobą jest większe, gdy idziesz czy gdy biegniesz? Wyjaśnij analogię między tym pytaniem a tematem lekcji.

**4.** Zapoznaj się z informacjami w ramce „A to ciekawe" na s. 101. Który z wykresów przedstawia zależność oporu $R$ nadprzewodnika od temperatury $T$? Uzasadnij odpowiedź.

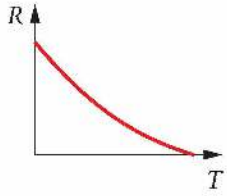
**A.**



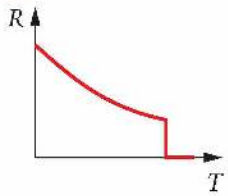

**C.**



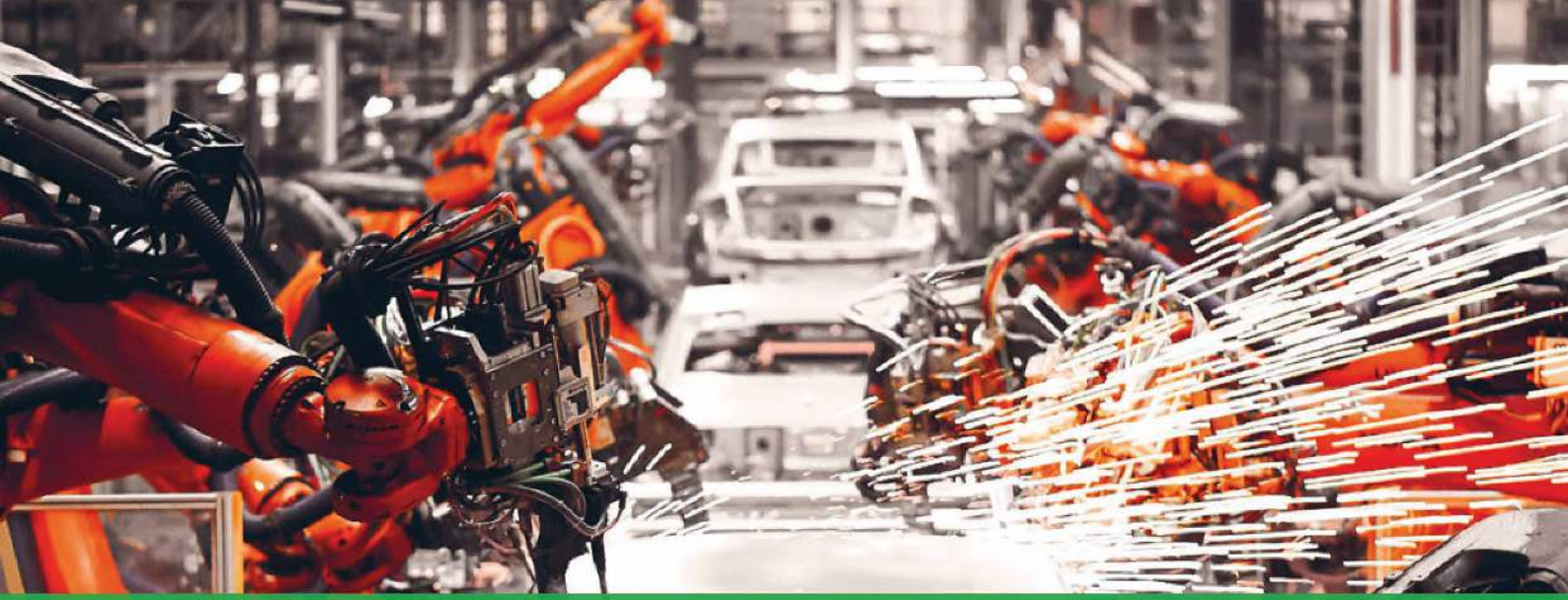

**B.**




**D.**




**5.** Podczas wykonywania doświadczenia 11. czasami można zauważyć, że amperomierz najpierw wskazuje mniejsze natężenie prądu, a dopiero po chwili jego wskazanie rośnie i stabilizuje się na określonej wartości. Wyjaśnij to zjawisko.



# 15. Energia elektryczna i moc prądu elektrycznego

**Cele lekcji:**

- Dowiesz się, jak obliczać energię zużywaną przez urządzenia elektryczne.
- Nauczysz się obliczać moc urządzeń elektrycznych.

## Zastosowania energii elektrycznej

Do napędzania większości pojazdów, ogrzewania pomieszczeń i przygotowywania posiłków na ogół używamy energii chemicznej paliw, czyli benzyny, węgla, gazu. Jednak do niemal wszystkich innych celów wykorzystujemy energię elektryczną. Jest to forma najłatwiejsza do przesyłania i do zamiany w inne formy energii.

Trudniejsze okazuje się jej magazynowanie. Akumulatory doskonale nadają się do zasilania niewielkich urządzeń, takich jak telefon, laptop, czy nawet do robotów sprzątających, ale w przypadku samochodów elektrycznych stanowią problem techniczny ze względu na niewielką trwałość, niską pojemność i wysoką cenę.

## Od czego zależy moc prądu elektrycznego

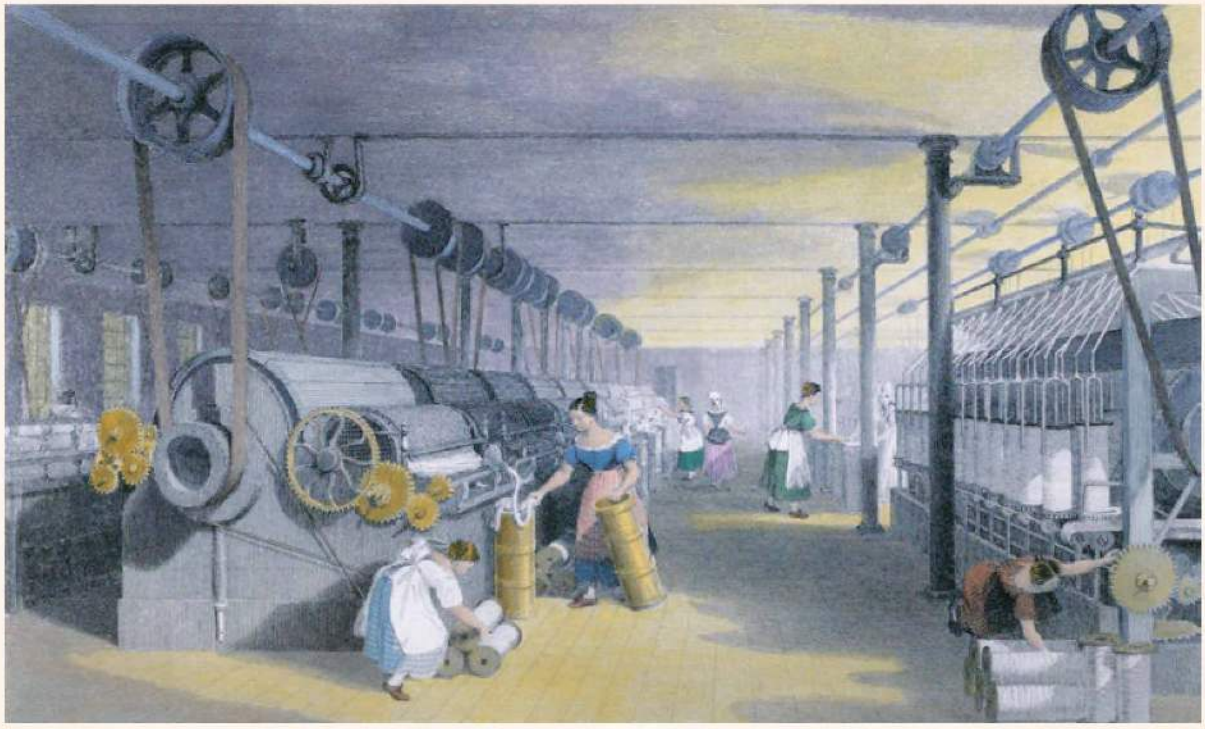
Wróćmy teraz do porównania prądu elektrycznego z przepływem wody. Wyobraź sobie, że chcesz wykorzystać energię płynącej wody do napędzania maszyn. Od czego zależy, ile energii możesz uzyskać w określonym czasie: od ilości wody przepływającej w tym czasie czy od wysokości, z której woda spływa?

Odpowiedź jest prosta: od jednego i drugiego. Im większa wysokość, tym większą energię może oddać każdy litr wody, a im większy przepływ, tym więcej litrów wody przepłynie w ciągu sekundy.

Podobnie jest z prądem elektrycznym. Energia elektryczna dostarczana w ciągu sekundy przez prąd elektryczny zależy **zarówno od napięcia, jak i od natężenia prądu**. Napięcie wskazuje, jaką energię możemy uzyskać przy przepływie ładunku jednego kulomba, a natężenie – ile kulombów przepłynie w ciągu sekundy.

# Energia najłatwiejsza do przesyłania

Od czasów prehistorycznych aż do XVII w. wszystkie przedmioty wytwarzano ręcznie. Pierwszymi mechanizmami zastosowanymi w produkcji masowej były maszyny do przędzenia nici i tkania z nich materiałów. Początkowo napędzano je kołem wodnym, wkrótce jednak powstały maszyny parowe, które pozwoliły na produkcję także z dala od rzek.



▲ Angielska przędzalnia ok. 1835 r.

Problem doprowadzenia energii z jednego silnika do nawet setek urządzeń w całym zakładzie rozwiązywano za pomocą wałów pod sufitem hali produkcyjnej i pasów transmisyjnych, napędzających każdą z maszyn osobno (patrz ilustracja powyżej). Taka metoda oznaczała jednak nie tylko duże straty energii, lecz także niebezpieczeństwo dla robotników. Zaczepienie się włosów, ubrania czy palców o ruchome części kończyło się tragedią.

Dopiero budowa silników elektrycznych i prądnic pozwoliła wyeliminować mechaniczny przekaz energii. Teraz maszyna parowa napędzała prądnicę, a ta zasilała elektryczne silniki maszyn. Dziś energia do fabryk i naszych domów jest dostarczana z elektrowni odległej o wiele kilometrów. Wirujące wały mechanicznie przekazujące energię z maszyn parowych można spotkać już tylko w fantastyce naukowej z nurtu steampunku.





▲ Gdy elektrowóz zasilamy prądem z elektrowni węglowej, ostatecznie korzystamy z energii węgla, podobnie jak w przypadku parowozu. Straty energii w elektrowni są jednak dużo mniejsze niż w parowozie, a przy tym pociąg nie musi wozić ze sobą zapasu paliwa

Przypomnijmy, że wielkość określająca energię dostarczaną w ciągu sekundy to moc, którą wyrażamy w watach. Zatem nasze rozważania dotyczące energii elektrycznej dostarczanej w ciągu sekundy można przedstawić za pomocą pojęcia mocy.

**Moc dostarczana przez prąd elektryczny** jest proporcjonalna zarówno do napięcia, jak i do natężenia prądu.

Zanim wyprowadzimy ogólny wzór, rozważmy prosty przykład.

**Przykład 1**

## Obliczanie mocy



Przez włókno żarówki samochodowej pracującej pod napięciem 12 V przepływa prąd o natężeniu 2 A. Jaka jest moc tej żarówki?

**Dane:**

$U = 12\ \text{V}$

$I = 2\ \text{A}$

**Szukane:**

$P = ?$

**Rozwiązanie:** Napięcie 12 V oznacza, że na 1 C ładunku przepływającego przez włókno przypada energia 12 J.

Natężenie 2 A oznacza, że w ciągu 1 s przez włókno przepływa ładunek 2 C.

Gdy połączymy te informacje, zobaczymy, że w ciągu 1 s żarówka pobiera energię 24 J, co oznacza moc 24 W.

**Odpowiedź:** Moc żarówki wynosi 24 W.

**Uwaga.** Obliczona moc informuje, jak szybko żarówka pobiera energię z akumulatora. Takie właśnie znaczenie ma moc podana na bańce żarówki. W światło zamienia się jednak tylko część pobranej energii, reszta powoduje rozgrzanie reflektora i otoczenia.

## Wzór na moc prądu

Sposób obliczeń opisany w przykładzie 1. posłuży nam do wyprowadzenia wzoru na moc prądu. Wiemy już, że napięcie to energia w przeliczeniu na jednostkę ładunku: $U = \frac{E}{q}$. Natężenie to ładunek w przeliczeniu na jednostkę czasu: $I = \frac{q}{t}$. Wobec tego:

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

gdzie $P$ to moc. Otrzymaliśmy więc ważny i jednocześnie prosty wzór na obliczanie **mocy prądu elektrycznego**:

$$P = UI$$

Sprawdźmy, że zgadzają się w nim jednostki:

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

**Przykład 2**

## Korzystanie ze wzoru na moc

Na bańce żarówki napisano: 9 V / 1,8 W. Jakie jest natężenie prądu płynącego przez włókno tej żarówki, gdy napięcie i moc odpowiadają zaleceniom producenta?

**Dane:**

$U = 9\ \text{V}$

$P = 1{,}8\ \text{W}$

**Szukane:**

$I = ?$

**Rozwiązanie:** Ze wzoru $P = UI$ wyznaczamy natężenie – po przekształceniu wzoru otrzymujemy:

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

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy:

$$I = \frac{1{,}8\ \text{W}}{9\ \text{V}} = 0{,}2\ \text{A}$$

**Odpowiedź:** Przez włókno żarówki płynie prąd o natężeniu 0,2 A, czyli 200 mA.

## Obliczanie energii elektrycznej

Co zrobić, gdy chcemy obliczyć energię elektryczną pobraną przez urządzenie? Jeśli na przykład moc wynosi 5 W, to znaczy, że w czasie 1 s urządzenie pobiera energię 5 J, w czasie 2 s – energię 10 J itd. Ogólnie: trzeba pomnożyć moc przez czas. Do tego samego wniosku dojdziemy, gdy przekształcimy wzór:

$$P = \frac{E}{t}, \text{ więc } E = Pt$$

Dlatego po podstawieniu do powyższej zależności $P = UI$ otrzymamy wzór na **energię pobraną przez urządzenie**:

$$E = UIt$$

Sprawdźmy jednostki:

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

**Przykład 3**

## Obliczanie energii elektrycznej

Jaką energię pobrał reflektor motocykla, przez który w ciągu godziny płynął prąd o natężeniu 4 A? Jaką energię wyemitował w postaci światła, jeśli straty energii wynosiły 93%? Napięcie instalacji elektrycznej w motocyklu wynosi 6 V.

**Dane:**

$U = 6\ \text{V}$

$I = 4\ \text{A}$

$t = 1\ \text{h} = 3600\ \text{s}$

**Szukane:**

$E = ?$



**Rozwiązanie:** Energię pobraną przez reflektor można obliczyć ze wzoru:

$$E = UIt$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$E = 6\ \text{V} \cdot 4\ \text{A} \cdot 3600\ \text{s} = 86\,400\ \text{J}$$

Skoro straty energii wynoszą 93% (tak jest w przypadku tradycyjnych żarówek), to na energię światła przypada pozostałe 7%, czyli:

$$E_{ś} = 0{,}07 \cdot 86\,400\ \text{J} = 6048\ \text{J}$$

**Odpowiedź:** Reflektor pobrał energię 86,4 kJ, z której ok. 6 kJ wyemitował w postaci światła.

**Przykład 4**

## Obliczanie natężenia prądu

Samochód elektryczny o masie 1200 kg rozpędził się od zera do 90 $\frac{\text{km}}{\text{h}}$ w czasie 10 s. Połowa energii elektrycznej zużytej przez jego silnik zmieniła się w energię kinetyczną pojazdu, a druga połowa na skutek oporów ruchu zmieniła się w energię wewnętrzną samochodu i otoczenia. Silnik samochodu jest podłączony do akumulatora o napięciu 350 V. Jakie było natężenie prądu płynącego przez silnik? Zakładamy, że było ono stałe.

**Dane:**

$m = 1200\ \text{kg}$

$v = 90\ \frac{\text{km}}{\text{h}}$

$U = 350\ \text{V}$

**Szukane:**

$I = ?$

**Rozwiązanie:** Najpierw wyrażamy prędkość w jednostkach układu SI:

$$v = 90\ \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{90\,000\ \text{m}}{3600\ \text{s}} = 25\ \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Teraz możemy obliczyć energię kinetyczną, jaką uzyskał samochód:

$$E_{\text{k}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 1200\ \text{kg} \cdot (25\ \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 = 375\,000\ \text{J}$$

Silnik zużył dwa razy większą energię:

$$E_{\text{c}} = 2 \cdot E_{\text{k}} = 750\,000\ \text{J}$$

W takim razie pracował on z mocą:

$$P = \frac{750\,000\ \text{J}}{10\ \text{s}} = 75\,000\ \text{W}$$

Aby obliczyć natężenie prądu, przekształcamy wzór $P = UI$ do postaci $I = \frac{P}{U}$. Po podstawieniu danych mamy:

$$I = \frac{75\,000\ \text{W}}{350\ \text{V}} \approx 214\ \text{A}$$

**Odpowiedź:** Przez silnik płynął prąd o natężeniu ok. 214 A.

## To najważniejsze

- **Moc** pobieraną przez urządzenie elektryczne obliczamy, mnożąc napięcie $U$ przez natężenie prądu $I$: $P = UI$. Jednostką mocy jest **wat**.
- Aby obliczyć **energię elektryczną**, trzeba pomnożyć moc przez czas: $E = Pt = UIt$.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Przewód elektryczny jest dopuszczony do użytku dla prądu o natężeniu poniżej 2 A. Oblicz maksymalną moc urządzenia, które można zasilać za pomocą tego przewodu:

**a)** w sieci domowej pod napięciem 230 V,

**b)** w instalacji samochodowej pod napięciem 12 V.

**Uwaga.** Dla każdego przewodu jest określone dopuszczalne natężenie prądu. Po jego przekroczeniu przewód rozgrzewa się zbyt mocno, co może się skończyć zapaleniem izolacji i pożarem.



**2.** Jakie jest natężenie prądu zasilającego czajnik elektryczny o mocy 1800 W podłączony do sieci domowej o napięciu 230 V?

**3.** Bateria w laptopie Adama ma pojemność 6000 mAh i napięcie 20 V. Jaka energia jest zgromadzona w tej baterii?

**4.** Wybierz poprawne uzupełnienie tekstu i zapisz tekst w zeszycie.

Grubszy przewód pozwala na przepływ prądu o większym natężeniu. Gdy dwie żarówki mają taką samą moc 50 W, ale żarówka A jest zasilana napięciem 230 V z sieci domowej, a żarówka B napięciem 12 V z instalacji oświetlenia sufitowego, to przez żarówkę A płynie prąd o *większym/ mniejszym* natężeniu. Dlatego żarówkę A należy podłączyć za pomocą *grubszego/ cieńszego* przewodu.

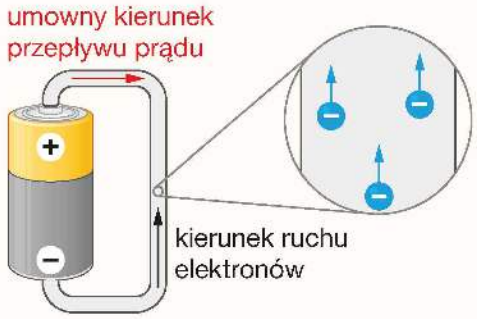
**5.** Silnik elektrycznej wciągarki jest zasilany napięciem 12 V i pobiera prąd o natężeniu 10 A. Oblicz, ile czasu zajmie mu wciągnięcie 50-kilogramowego worka cementu na wysokość 10 metrów?

**Uwaga.** Przypomnijmy, że gdy ciało o masie $m$ podnosimy na wysokość $h$, to jego energia potencjalna rośnie o $E_p = mgh$, gdzie $g \approx 10 \frac{m}{s^2}$ jest przyspieszeniem ziemskim.

# Powtórzenie Prąd elektryczny

■ **Prąd elektryczny** to uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych. W metalach jest to przepływ swobodnych **elektronów**, w roztworach wodnych – **jonów**, a w gazach jonów i elektronów.

- Prąd płynie tylko w zamkniętym obwodzie, np. od baterii do żarówki, a potem od żarówki do drugiego bieguna baterii.
- Przyjmujemy umownie, że **prąd płynie od dodatniego do ujemnego bieguna baterii**, choć kierunek ruchu elektronów w przewodniku jest przeciwny.




■ Obwód elektryczny możemy przedstawić na schemacie za pomocą symboli elektrycznych (patrz tabela na s. 58 i 206).

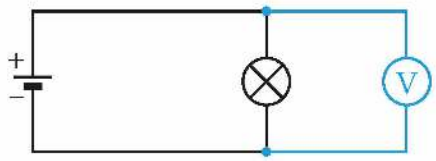
■ **Napięcie elektryczne a natężenie prądu**

### Napięcie

- określone pomiędzy dwoma punktami
- określa energię elektryczną, która może ulec przemianie, gdy pomiędzy tymi punktami przepłynie ładunek 1 C:

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

- jednostką jest **wolt**: $1\ \text{V} = 1\ \frac{\text{J}}{\text{C}}$
- aby je zmierzyć, podłączamy końcówki woltomierza do danych dwóch punktów



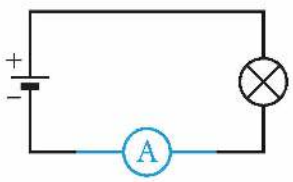

**Woltomierz** podłączamy do obwodu **równolegle**.

### Natężenie

- określone w jednym punkcie obwodu
- określa ładunek przepływający przez przekrój poprzeczny przewodu w czasie 1 s:

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

- jednostką jest **amper**: $1\ \text{A} = 1\ \frac{\text{C}}{\text{s}}$
- aby je zmierzyć, rozłączamy obwód w danym miejscu i włączamy w tym miejscu amperomierz

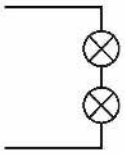
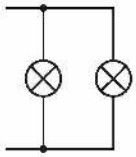
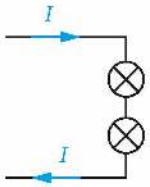
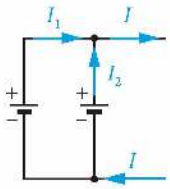
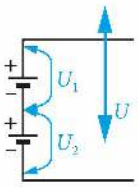
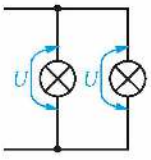



**Amperomierz** podłączamy do obwodu **szeregowo**.

■ **Miernik uniwersalny** może pracować jako woltomierz, amperomierz albo omomierz. Funkcję i zakres pomiaru wybieramy za pomocą pokrętła.

- Jeśli nie wiesz, jaki zakres pomiaru wybrać, zacznij od największego, a następnie zmieniaj na coraz mniejszy.
- Niepewność pomiaru prostym miernikiem cyfrowym szacujemy na 3% przy najmniejszym zakresie dla mierzonej wielkości.
- Omomierz pozwala m.in. sprawdzić, czy przewód (np. włókno żarówki albo uzwojenie silnika) nie jest pęknięty.

■ **Połączenia elektryczne**

| Szeregowe | Równoległe |
|---|---|
| Elektrony płyną po kolei przez każdy z elementów.  | Część elektronów płynie przez jeden element, a pozostałe przez drugi.  |
| Przez wszystkie elementy płynie prąd o takim samym natężeniu. $I = \text{const}$  | Natężenia prądu sumujemy. $I = I_1 + I_2$ To wynika z zasady zachowania ładunku.  |
| Napięcia sumujemy. $U = U_1 + U_2$ To wynika z zasady zachowania energii.  | Napięcie na każdym elemencie jest takie samo. $U = \text{const}$  |

■ **Pierwsze prawo Kirchhoffa:** Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.

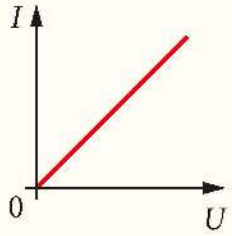
- To prawo wynika z zasady zachowania ładunku.
- Pierwsze prawo Kirchhoffa stosujemy m.in. przy połączeniu równoległym.

■ **Opór elektryczny** obliczamy ze wzoru:

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

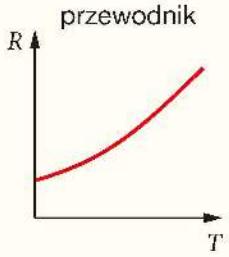
▸ Jednostka oporu: **om**, $1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$.

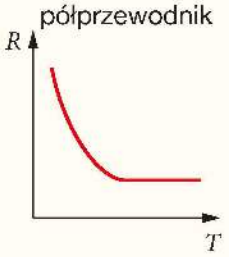
■ **Prawo Ohma**: natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia. Innymi słowy, opór danego przewodnika jest wielkością stałą.




$$R = \text{const}$$

▸ Prawo Ohma obowiązuje **tylko w stałej temperaturze**. Żarówka **nie spełnia** prawa Ohma. Podczas rozgrzewania się przewodnika jego opór rośnie. W przypadku półprzewodników podczas rozgrzewania opór maleje do pewnej granicy.




■ **Energia elektryczna i moc prądu elektrycznego**

**Obliczanie energii elektrycznej:**

$$E = UIt$$

(energia = napięcie · natężenie · czas)

▸ Jednostką energii jest **dżul**:

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

**Obliczanie mocy prądu elektrycznego:**

$$P = UI$$

(moc = napięcie · natężenie)

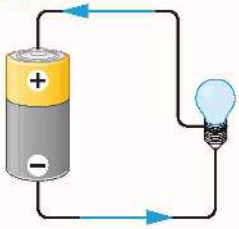
▸ Jednostką mocy jest **wat**:

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

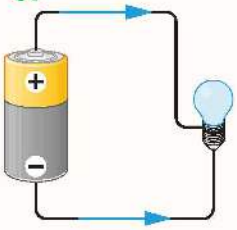
## ZADANIA POWTÓRZENIOWE To trzeba umieć

**1.** Na każdym z rysunków przedstawiono świecącą żarówkę podłączoną do baterii. Na którym z nich niebieskie strzałki prawidłowo przedstawiają przepływ **elektronów** w przewodach?

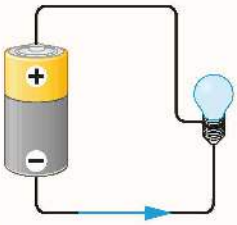
**A.**



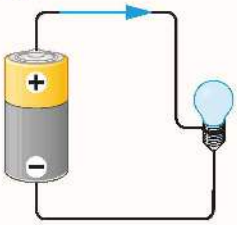
**C.**



**B.**



**D.**



**2.** Przepływ prądu elektrycznego porównujemy czasem do przepływu wody. Jakiej wielkości odpowiada wysokość, z której spływa woda?

**A.** napięcie elektryczne

**B.** natężenie prądu

**C.** opór elektryczny

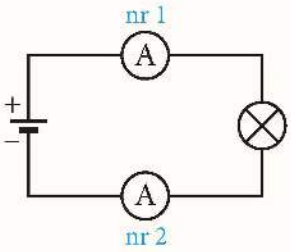
**D.** moc prądu

**3.** Przez małą żarówkę płynie prąd o natężeniu 0,25 A. Jaki ładunek przepłynie przez nią w czasie 10 s?

**A.** 0,025 C **C.** 4 C

**B.** 2,5 C **D.** 40 C

**4.** Przyjrzyj się schematowi. Amperomierz nr 1 wskazuje natężenie prądu 250 mA. Jakie natężenie wskaże amperomierz nr 2?



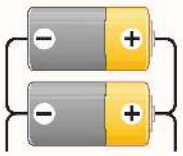

**A.** mniejsze niż 250 mA

**B.** równe 250 mA (w granicach dokładności pomiaru)

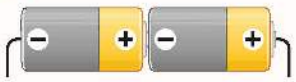
**C.** większe niż 250 mA

**5.** Jak połączyć dwie baterie AA o napięciu 1,5 V każda, aby otrzymać źródło napięcia 3 V?

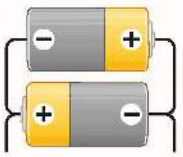
**A.**



**C.**



**B.**



**D.**



**6.** Gdy opornik podłączono do jednej baterii, popłynął przez niego prąd o natężeniu 24 mA. Jakie będzie natężenie prądu, gdy podłączymy go do trzech takich samych baterii połączonych szeregowo?

**A.** 8 mA

**B.** 72 mA

**C.** Natężenie nie zależy od liczby baterii.

**D.** Nie można odpowiedzieć na to pytanie, bo nie podano napięcia baterii.

**7.** Jaką moc ma żarówka, jeśli pod napięciem 12 V płynie przez nią prąd o natężeniu 4 A?

**A.** 0,33 W **C.** 16 W

**B.** 3 W **D.** 48 W

**8.** Żarówka samochodowa ma moc 20 W. Jaką energię elektryczną pobiera w ciągu 2 minut?

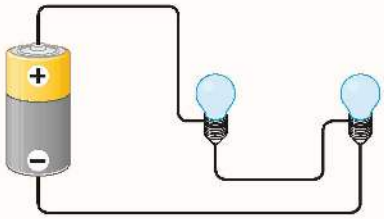
**A.** 10 J **C.** 2400 J

**B.** 40 J **D.** 4000 J

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To powinieneś umieć

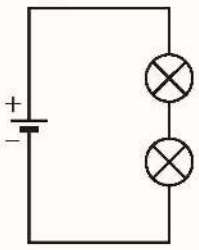
**1.** Dobierz właściwe uzupełnienia zdań A lub B oraz C lub D.

Żarówki na rysunku są połączone **A**/ **B**. Takie połączenie przedstawiono także na schemacie **C**/ **D**.

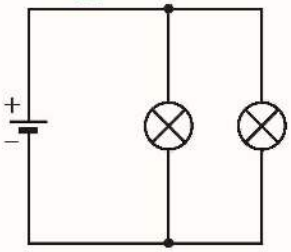


**A.** równolegle **B.** szeregowo

**C.**

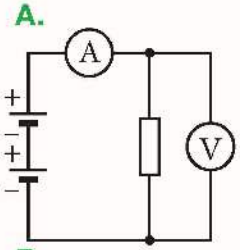


**D.**

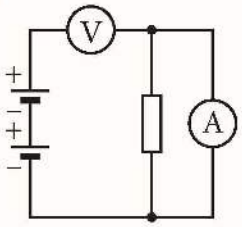


**2.** Na którym schemacie poprawnie przedstawiono, jak należy podłączyć mierniki, aby zmierzyć napięcie między końcówkami opornika oraz natężenie prądu, który przez niego płynie?

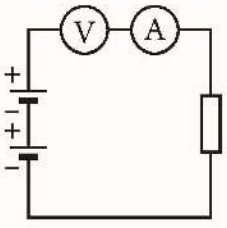
**A.**



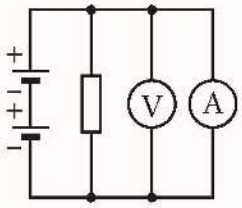
**C.**



**B.**



**D.**



**3.** Opornik 1500 Ω podłączyliśmy do napięcia 9 V. Jakie jest natężenie prądu, który popłynie przez ten opornik?

**A.** 135 mA **C.** 13,5 mA

**B.** 60 mA **D.** 6 mA

**Zdjęcie do zadań 4. i 5.**




**4.** Na jaki zakres pomiarowy jest ustawiony miernik na zdjęciu?

**A.** woltomierz do 20 V

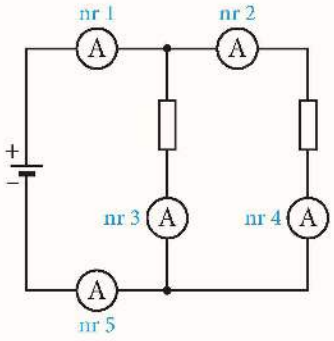
**B.** woltomierz do 20 mV

**C.** amperomierz do 20 A

**D.** amperomierz do 20 mA

**5.** Czy przewody są podłączone odpowiednio do wybranego zakresu? Uzasadnij odpowiedź.

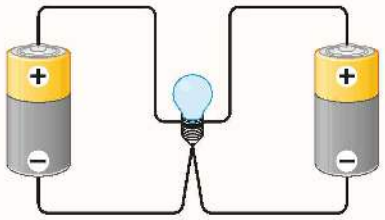
**6.** Amperomierz nr 3 wskazuje 210 mA, a amperomierz nr 2 wskazuje 110 mA. Podaj wskazania pozostałych amperomierzy.



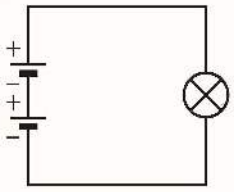

**7.** Jakie jest natężenie prądu płynącego przez spiralę grzejną czajnika o mocy 2100 W zasilanego z sieci domowej 230 V?

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE To warto umieć

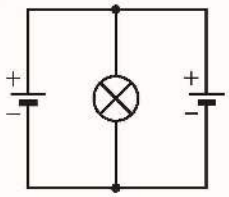
**1.** Na którym schemacie przedstawiono ten sam obwód co na rysunku?



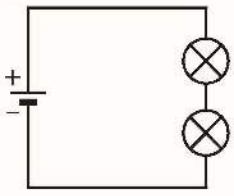
**A.**



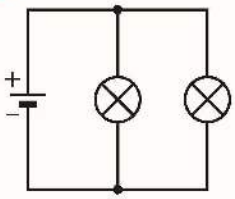
**C.**



**B.**



**D.**



**2.** Żarówka samochodowa ma moc 20 W i jest zasilana napięciem 12 V. Jaki ładunek przepłynie przez nią w czasie 2 h? Jak długo można zasilać dwie takie żarówki z akumulatora o pojemności 48 Ah?

**3.** Cyfrowy miernik uniwersalny włączony jako woltomierz o zakresie 2000 mV wyświetlił wynik 1453. Zapisz ten wynik w woltach wraz z niepewnością pomiaru. Pamiętaj o odpowiednim zaokrągleniu.

**4.** Jaka energia jest zmagazynowana w powerbanku o pojemności 8000 mAh pod napięciem 5 V?

**5.** Właściciel samochodu oddał auto do warsztatu elektrycznego z powodu często rozładowującego się nowego akumulatora. Elektryk chce zmierzyć napięcie pomiędzy końcówkami akumulatora oraz natężenie prądu, który wypływa z akumulatora, gdy silnik jest wyłączony. Czy będzie musiał odłączyć akumulator, aby dokonać pomiarów?

**A.** Nie.

**B.** Tak, ale tylko do pomiaru natężenia.

**C.** Tak, ale tylko do pomiaru napięcia.

**D.** Tak, do obu pomiarów.



**6.** Żarówka świateł pozycyjnych samochodu jest dostosowana do napięcia 12 V. Przy takim napięciu płynie przez nią prąd o natężeniu 0,4 A. Jakie będzie natężenie prądu, jeśli podłączymy ją do akumulatora motocykla, czyli do napięcia 6 V?

**A.** równe 0,2 A

**B.** mniejsze niż 0,2 A

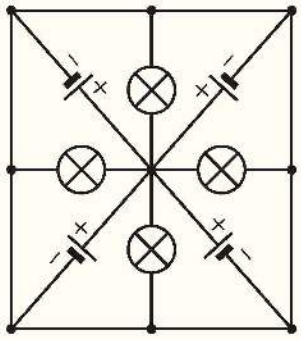
**C.** większe niż 0,2 A

**Wskazówka.** Jak zmienia się opór włókna żarówki, gdy się ono rozgrzewa?

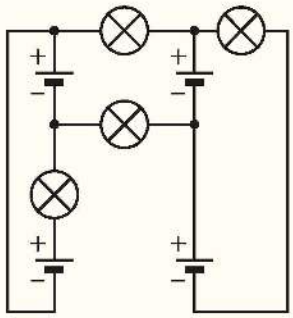
## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

**1.** Wśród pięciu rysunków są dwie pary schematów przedstawiających ten sam obwód. Wskaż je.

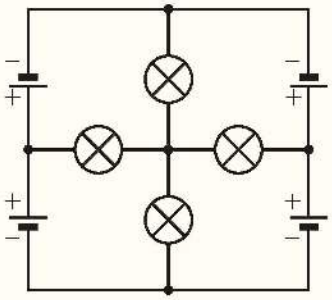
**A.**



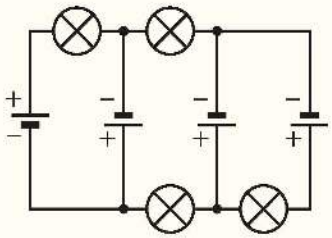
**B.**



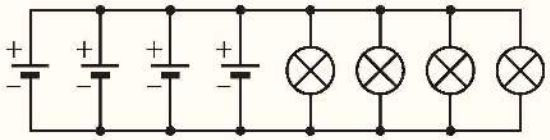
**C.**



**D.**

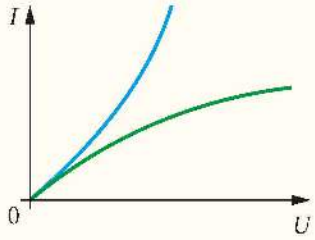


**E.**



**2.** Miernik przedstawiony na zdjęciu na s. 113 przełączyliśmy na zakres 200 mA. Po zmierzeniu natężenia prądu pojawił się wynik 1,3. Który zakres wybrać, aby zmierzyć to natężenie jak najdokładniej?

**3.** Oba poniższe wykresy przedstawiają zależność natężenia prądu od napięcia. Który z nich wykonano dla włókna żarówki, a który – dla grafitu miękkiego ołówka?



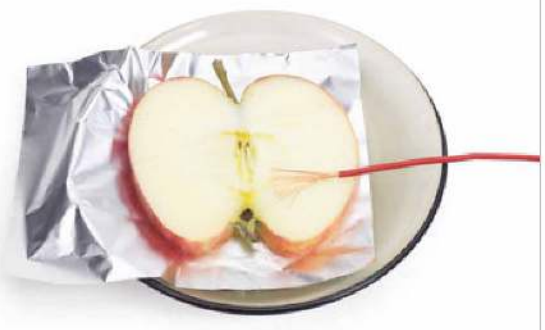
# Projekt Jak działają baterie

**Cel projektu:** Dowiesz się więcej na temat baterii i ogniw elektrycznych. Zbudujesz i zbadasz ogniwo galwaniczne.

### Zadania i polecenia

1. Przeczytaj ramkę „Z historii" na s. 59. Poszukaj więcej informacji na temat doświadczeń Galvaniego i Volty.
2. Zbuduj ogniwo elektryczne. W tym celu:
   - Na talerzyku połóż folię aluminiową, a na niej – plasterek jabłka grubości ok. 0,5 cm obrany ze skórki.
   - Do górnej strony plasterka przyłóż kawałek miedzianego przewodu bez izolacji. Możesz go przycisnąć przedmiotem nieprzewodzącym prądu.
   - Ogniwo jest gotowe. Jednym biegunem jest przewód miedziany, a drugim – folia aluminiowa (zdjęcie A).
3. Zbadaj swoje ogniwo:
   - Który biegun jest dodatni, a który ujemny?
   - Jakie napięcie wytwarza ogniwo?
   - Czy szybko się rozładowuje?
4. Zbadaj, czy ogniwo działa, jeśli elektrody (kawałki metalu dotykające jabłka) wykonamy z innych metali niż aluminium i miedź, np. aluminium i żelazo, żelazo i miedź. Czy obie elektrody mogą być wykonane z tego samego metalu? A może nadają się do tego celu substancje niebędące metalami?
5. Przygotuj tani kalkulator zasilany baterią AAA lub AA. Wyjmij z niego baterię. Do styków, których zwykle dotykają bieguny baterii, podłącz przewody. Jeśli kalkulator ma dodatkowo baterię słoneczną, zasłoń ją. Sprawdź, czy przewody są dobrze podłączone (czy kalkulator zadziała, gdy połączysz wolne końce przewodów z baterią).

**A.**



**B.**



6. Prawdopodobnie twoje ogniwo nie wystarczy do zasilenia kalkulatora. Zbuduj więc ich kilka i połącz je szeregowo w baterię. W naszym doświadczeniu wystarczyły trzy ogniwa (zdjęcie B), ale u ciebie może być inaczej. Jak długo będzie działał twój kalkulator, zanim bateria się wyczerpie.

# Energia na czarną godzinę

Baterie – duże i małe, konstruowane na dziesiątki sposobów – będą przebojem technologicznym (i ekonomicznym) najbliższych dekad. Ziemia zmieni się w wielki magazyn prądu.

## Akumulator dla Berlina

Baterie litowo-jonowe (lub, jak kto woli, akumulatory) zdominowały dziś świat. Są lekkie, wygodne i można je łatwo łączyć w duże zestawy, tworząc magazyny energii wystarczającej do zasilania małego miasta albo stabilizującej pracę dużej elektrowni wiatrowej. Z powodu tych zalet stały się powszechne, a w konsekwencji – tanie w produkcji. Ale naukowcy pracują też nad innymi technologiami. Jedną z nich są baterie (akumulatory) przepływowe [...]

Zasada działania baterii przepływowej jest w sumie dość prosta. Niemal wszystko zawiera się tu w słowie „przepływ", od którego wzięła ona nazwę. Wyobraźmy sobie dwa zbiorniki z cieczą umieszczone obok siebie, ale zarazem odizolowane. Dopóki owe ciecze (elektrolity) są nieruchome, nic się nie dzieje. Lecz kiedy zostaną wprawione w ruch, ich przepływ generuje prąd. Dzieje się tak, choć każda z cieczy porusza się we własnym zbiorniku. Tajemnica tkwi w oddzielającej je półprzepuszczalnej membranie, która nie pozwala na wymieszanie się obu cieczy, ale zarazem umożliwia (do spółki ze specjalnym ogniwem) zamianę energii chemicznej, zmagazynowanej w elektrolitach, w energię elektryczną. Takie baterie mogłyby mieć olbrzymie rozmiary, a tym samym naprawdę wielką pojemność [...]



▲ Ogromne zestawy baterii litowo-jonowych to jeden z pomysłów na zapewnienie stabilności dostaw energii również w nagłych wypadkach np. po klęskach żywiołowych

Bateria przepływowa wytrzymuje znacznie większą liczbę pełnych cykli ładowania i rozładowywania (ponad 10 tys.), a więc może służyć nawet przez 20 lat bez znaczącego obniżenia sprawności [...] Poza tym pojemność baterii przepływowej można łatwo zwiększyć dzięki wymianie zbiorników z elektrolitem na większe [...]

Pomysł Niemców polega na wykorzystaniu dwóch kawern do zbudowania akumulatora przepływowego o mocy ponad 120 MW i pojemności 700 MWh. Miałby on zwiększyć bezpieczeństwo energetyczne Berlina. W razie awarii sieci energetycznej obejmującej całe trzymilionowe miasto (co raczej mało prawdopodobne) podziemny akumulator wystarczyłby do zasilania mniej więcej przez godzinę [...]

## Baterie z bakterii albo zwinięte w rulon

Akurat niestandardowych pomysłów na magazynowanie energii nie brakuje. Niektóre z nich to kompletna futurologia, co nie znaczy, że nie prowadzi się nad nimi badań. Weźmy np. baterię, której właściwie nigdy nie trzeba będzie wymieniać, ponieważ po 200 tys. rozładowań będzie tak sprawna, jakby była nowa. Namiastkę takiego ogniwa stworzyli naukowcy z University of California w Irvine. Wykorzystali do tego celu nanowłókna wykonane ze złota. Badania nad bateriami z nanowłókien różnych pierwiastków (krzemu, germanu) oraz tlenków metali przejściowych zaczęto prowadzić, aby zwiększyć powierzchnię jednej z elektrod. Jak wiadomo, im większa powierzchnia elektrody, tym większa pojemność baterii [...]

Tymczasem naukowcy szukają kolejnych, jeszcze bardziej niestandardowych dróg. Ostatnio bawią się materiałami pozwalającymi na tworzenie baterii elastycznych i cienkich jak kartka papieru [...] Trwają też próby budowania baterii ładowanych falami radiowymi, ultradźwiękami i zwykłymi dźwiękami, rosą, a nawet... moczem. W tym ostatnim przypadku zastosowano mikrobiologiczne ogniwo paliwowe, czyli bakterie, które – w uproszczeniu mówiąc – konsumują mocz, a przy okazji wytwarzają prąd [...] I kto powiedział, że technika i natura nie mogą żyć ze sobą w zgodzie?

Andrzej Hołdys
(skrócona wersja artykułu opublikowanego w czasopiśmie „Wiedza i Życie" 2017, nr 10)

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Wyjaśnij swoimi słowami znaczenie użytych w tekście wyrazów:
*elektrolit*, *namiastka*, *nanowłókno*, *elektroda*

2. W pierwszym akapicie napisano, że zestaw baterii litowo-jonowych wystarcza do stabilizowania pracy elektrowni wiatrowej. Co to dokładnie znaczy? Dlaczego elektrownia wiatrowa wymaga stabilizowania? Jakie inne elektrownie także wymagają stabilizowania?

3. Porównaj energię zgromadzoną w akumulatorze samochodowym (48 Ah przy napięciu 12 V) z energią, która ma być zgromadzona w akumulatorze dla Berlina. Ile razy większa jest ta druga wielkość?

4. W tekście jest mowa o baterii, która nie traci swoich własności nawet po 200 tys. naładowań. Na ile lat by wystarczyła, gdyby ładować ją raz dziennie?

5. W drugiej części tekstu mowa o nanowłóknach wykonanych z trzech pierwiastków. Wymień te pierwiastki. Dowiedz się, które z nich są przewodnikami, a które półprzewodnikami.

6. Następujące słowa zostały użyte w tekście w nietypowym znaczeniu: *futurologia*, *bawić się*. Wyjaśnij, jakie znaczenia nadano im na potrzeby tekstu.



# 6 Elektryczność i magnetyzm

Dlaczego zorzę polarną najczęściej możemy obserwować w pobliżu biegunów?



# 16. Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna

**Cele lekcji:**

- Poznasz wielkości opisujące prąd przemienny w sieci domowej.
- Dowiesz się, jak jest zbudowana domowa sieć elektryczna.
- Nauczysz się wykorzystywać do obliczeń dane z tabliczek znamionowych urządzeń.

Na poprzednich lekcjach zajmowaliśmy się przepływem **prądu stałego**. Płynie on m.in. w obwodach zasilanych przez baterie. W takich obwodach napięcie ma praktycznie stałą wartość. Stały jest również kierunek przepływu prądu: od dodatniego do ujemnego bieguna baterii. Czy może być inaczej? O tym dowiesz się z tego rozdziału.

## Napięcie przemienne

Zanim przejdziemy do omawiania sieci domowej, zbadamy źródło znacznie niższego napięcia przemiennego: dynamo, czyli prądnicę rowerową.



▲ Symbol źródła napięcia przemiennego

### Doświadczenie 12.

**Badanie napięcia przemiennego**

1. Przygotuj dynamo rowerowe, woltomierz i przewody.
2. Jeśli dynamo jest zamontowane na rowerze, postaw rower do góry kołami, aby można było wygodnie napędzać dynamo, kręcąc kołem roweru. Jeśli nie jest zamontowane, wtedy na kółko dynama, które podczas jazdy dotyka koła rowerowego, nawiń metr grubej nici. W ten sposób możesz obracać tym kółkiem, ciągnąc za nić.
3. Do końcówek dynama podłącz woltomierz ustawiony na najczulszy zakres **napięcia stałego**.
4. Obracaj powoli kółkiem dynama – jeden obrót powinien przypadać na ok. 2 s.
5. Obserwuj wskazania woltomierza. Co zauważasz?



Łatwo zauważyć, że wskazania woltomierza zmieniają się mimo równomiernego obrotu prądnicy. Co ważne, zmienia się nie tylko wartość liczbowa napięcia, lecz także jego znak. Raz jest to plus (który w większości mierników, podobnie jak w zapisie matematycznym, pomijamy), a raz minus. Oznacza to, że bieguny źródła napięcia się zamieniają.
Mówimy, że dynamo wytwarza **napięcie przemienne**. Natomiast bieguny baterii nie zmieniają się – mówimy, że bateria wytwarza **napięcie stałe**.




▶ Minus na wyświetlaczu woltomierza oznacza zamianę biegunów źródła napięcia

## Wskazówki praktyczne (elektryczność i magnetyzm)

**1.** Do doświadczeń z tego rozdziału będą potrzebne dwa magnesy z oznaczonymi biegunami. Jak samodzielnie rozpoznać, który biegun magnesu jest północny, a który południowy – patrz s. 138. Oprócz tego będzie potrzebny co najmniej jeden większy magnes neodymowy (2–4 cm średnicy).

**2.** Nadal będziemy używać przyrządów (mierników i przewodów) wykorzystywanych do doświadczeń z poprzedniego rozdziału.

**3.** Potrzebne będą także:

- bateria D (R20),
- kompas albo igła magnetyczna na podstawce,
- bezpiecznik 200 mA, dowolna dioda zwykła (nieświecąca) i dowolna dioda świecąca, tranzystor BC-107 – te elementy znajdziesz w sklepie z częściami elektronicznymi,
- dynamo do roweru (w czasie prowadzenia doświadczenia może być przymocowane do roweru) – jeśli dynamo ma tylko jedno wyprowadzenie, to za drugie służy jego obudowa – patrz zdjęcie A (zaznaczono podłączenie przewodu do obudowy),
- wkład do ołówka automatycznego HB lub B z dowolnym numerem,
- stalowe spinacze biurowe, taśma klejąca, nitka, dwa długie gwoździe.

A.



B.



▲ **A.** Dynamo z jednym wyprowadzeniem. **B.** Dynamo z dwoma wyprowadzeniami

**Uwaga.** Z magnesami neodymowymi należy postępować ostrożnie. Mogą one boleśnie ścisnąć palce, a czasem nawet doprowadzić do poważniejszych obrażeń. Puszczone swobodnie, przyciągają się z dużej odległości i uderzają w siebie tak silnie, że czasem pękają, a ich odłamki odskakują z dużą prędkością.

## Napięcie przemienne w sieci domowej

Również w domowej sieci elektrycznej występuje napięcie przemienne. Właśnie dlatego na gniazdkach elektrycznych nie ma oznaczeń + i – jak na baterii.

W domowej sieci elektrycznej jest napięcie przemienne.

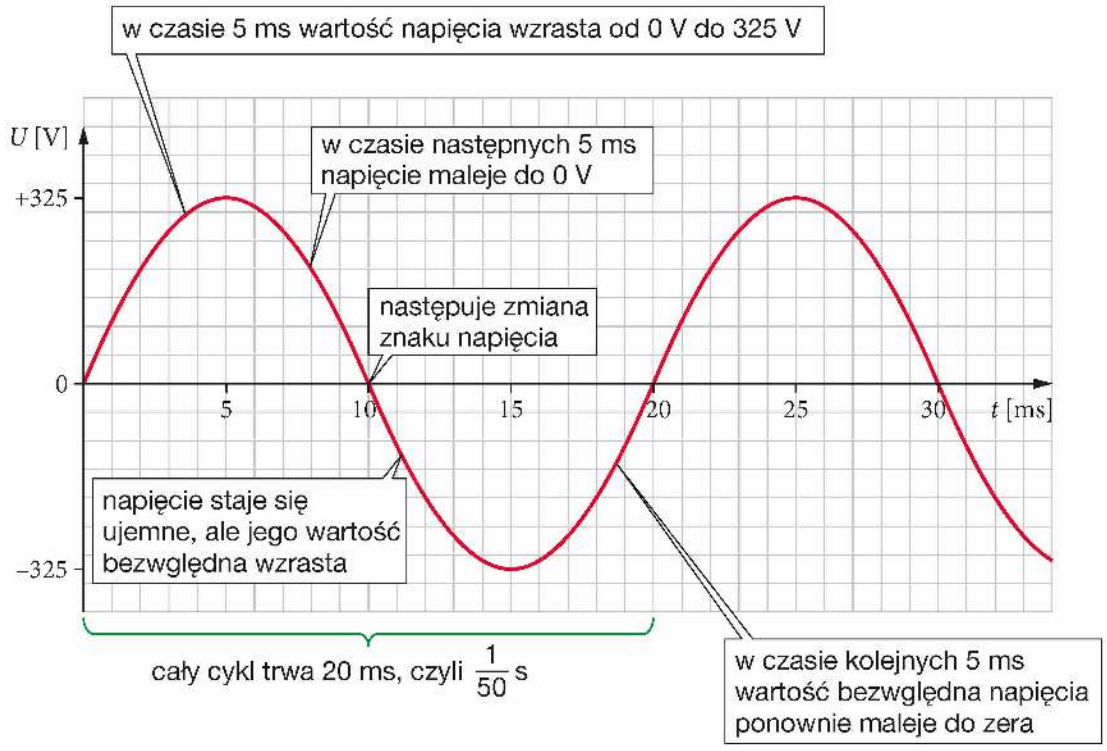
To znaczy, że okresowo zmieniają się zarówno jego wartość, jak i biegunowość. Te zmiany przedstawiono na wykresie. Ma on kształt **sinusoidy**, czyli taki, jak wykres funkcji trygonometrycznej sinus.



▲ Tę wtyczkę można włożyć do gniazdka w dowolną stronę. Nie ma to znaczenia, ponieważ napięcie w sieci jest przemienne

### Analiza wykresu napięcia przemiennego

Zmiany napięcia w sieci elektrycznej możemy prześledzić na wykresie.




Cały cykl zmian napięcia przemiennego w domowej sieci elektrycznej trwa $\frac{1}{50}$ s, czyli powtarza się 50 razy na sekundę. Mówimy, że **częstotliwość** napięcia w sieci elektrycznej wynosi 50 Hz. Zauważ, że pojęcia częstotliwości używamy podobnie jak w ruchu po okręgu.
Stosunkowo wysoka częstotliwość napięcia elektrycznego w sieci domowej powoduje, że nie byłoby możliwe wykonanie z nim doświadczenia podobnego do opisanego na początku lekcji.

50 Hz czytamy „50 herców”

Częstotliwość określa, ile razy w ciągu sekundy powtarza się cykl zmian napięcia.

Nawet jeśli mielibyśmy woltomierz, który nadąża z wyświetlaniem tak szybkich zmian napięcia, to nie bylibyśmy w stanie ich zaobserwować.

## Prąd przemienny

Gdy do napięcia przemiennego podłączymy odbiornik energii, np. żarówkę, popłynie przez niego **prąd przemienny**, którego natężenie i kierunek przepływu się zmieniają. Okazuje się, że prąd przemienny ma wiele ważnych zalet. Należy do nich możliwość łatwej zmiany napięcia za pomocą transformatora (powiemy o tym w lekcji 22.).



▲ Żarówkę dostosowaną do napięcia przemiennego o wartości skutecznej 12 V można równie dobrze podłączyć do napięcia stałego 12 V z akumulatora samochodu

## Napięcie i natężenie skuteczne

Skoro jednak napięcie w gniazdku się zmienia, to jaki sens ma stwierdzenie, że wynosi ono 230 V? Otóż 230 V jest **napięciem skutecznym**. To znaczy, że gdybyśmy zbudowali baterię o stałym napięciu 230 V, podłączona do niej żarówka świeciłaby tak samo jasno jak podłączona do sieci domowej. Czajnik elektryczny podłączony do takiej wielkiej baterii zagotowałby wodę w takim samym czasie jak podłączony do sieci domowej.

Podobnie będzie w przypadku innych urządzeń, które można zasilać zarówno napięciem stałym, jak i przemiennym. Są jednak także odbiorniki energii przystosowane tylko do napięcia przemiennego lub tylko do napięcia stałego. Jeśli podłączymy takie urządzenie do niewłaściwego źródła, nie będzie działać, a może nawet ulec uszkodzeniu.

Napięcie skuteczne w sieci domowej może ulegać sporym wahaniom, nawet o 10% od nominalnej wartości 230 V.

Natężenie prądu w przewodach sieci domowej zmienia się w podobny sposób jak napięcie. Dlatego używamy także pojęcia **natężenia skutecznego**. Na przykład jeśli przez włókno żarówki płynie prąd przemienny o natężeniu skutecznym 1 A, to świeci ona tak samo jasno, jak gdyby płynął przez nią prąd stały o natężeniu 1 A.

Napięcia i natężenia skutecznego można używać do obliczania mocy – robiliśmy to już w lekcji 15., tylko nie używaliśmy nazwy „skuteczne". Można je wykorzystać także do obliczania oporu.



▲ Z miernika włączonego jako woltomierz napięcia przemiennego (AC) odczytujemy napięcie skuteczne

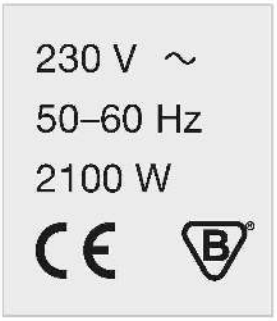
## Tabliczki znamionowe

Dane techniczne urządzeń podłączanych do domowej sieci elektrycznej można odczytywać z ich **tabliczek znamionowych** (patrz przykład na kolejnej stronie).

**Przykład 1**

## Wykorzystanie danych z tabliczki znamionowej

Oblicz natężenie prądu płynącego przez spiralę grzejną czajnika elektrycznego i opór spirali podczas pracy. Potrzebne dane odczytaj z tabliczki znamionowej urządzenia przedstawionej na rysunku.




**Rozwiązanie:** Przeanalizuj znaczenie poszczególnych informacji na tabliczce.




Do rozwiązania zadania potrzebne są dwie z informacji podanych na tabliczce znamionowej: napięcie skuteczne $U = 230$ V i moc $P = 2100$ W.

Na tej postawie obliczamy natężenie skuteczne:

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

$$I = \frac{2100\ \text{W}}{230\ \text{V}} \approx 9{,}1\ \text{A}$$

Gdy znamy napięcie i natężenie, możemy obliczyć opór spirali:

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

$$R = \frac{230\ \text{V}}{9{,}1\ \text{A}} \approx 25\ \Omega$$

**Odpowiedź:** Natężenie skuteczne wynosi 9,1 A, a opór gorącej spirali 25 Ω.

**Uwaga.** Jak pamiętasz, opór zimnej spirali jest mniejszy (patrz s. 99).

## Kilowatogodzina

Energię elektryczną możemy wyrażać w dżulach, tak jak każdą inną formę energii. Jednak w energetyce i przy opłatach za energię elektryczną zwykle używamy większej jednostki, którą jest **kilowatogodzina** (kWh). Jak może pamiętasz z pierwszej klasy, jest to energia pobrana przez urządzenie o mocy 1 kW (czyli 1000 W) w ciągu 1 godziny. Przeliczmy ją na dżule:

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

**Przykład 2**

## Obliczanie energii elektrycznej i opłat za jej zużycie

Zagotowanie litra wody w czajniku elektrycznym z przykładu 1. trwa 5 min. Janek trzy razy dziennie gotuje pełny czajnik wody, z której później wykorzystuje tylko połowę. Oblicz, ile Janek może zaoszczędzić w ciągu roku, jeśli będzie gotował tylko tyle wody, ile potrzebuje. Przyjmij opłatę 80 gr za 1 kWh.



**Rozwiązanie:** Najpierw obliczmy, ile czasu w ciągu roku jest włączony czajnik:

$$t = 365 \cdot 3 \cdot 5 \text{ min} = 5475 \text{ min}$$

Moc czajnika (odczytana z tabliczki znamionowej) wynosi $P = 2100$ W.

Aby obliczyć koszt energii, musimy wyrazić energię w kilowatogodzinach. Przeliczmy więc czas na godziny, a moc na kilowaty:

$$t = 5475 \text{ min} = 91{,}25 \text{ h}$$

$$P = 2100 \text{ W} = 2{,}1 \text{ kW}$$

Tak więc:

$$E = 2{,}1 \text{ kW} \cdot 91{,}25 \text{ h} = 191{,}625 \text{ kWh} \approx 192 \text{ kWh}$$

Opłata za tę energię wyniesie:

$$192 \cdot 0{,}8 \text{ zł} = 153{,}30 \text{ zł}$$

Janek może zaoszczędzić połowę tej kwoty, czyli ok. 77 zł.

**Odpowiedź:** Janek może zaoszczędzić ok. 77 zł.

## Sieć elektryczna – połączenie równoległe

Wszystkie urządzenia w sieci domowej (albo ich zasilacze) są dostosowane do napięcia 230 V. Aby to było możliwe, przewody dochodzące do mieszkania się rozgałęziają, a urządzenia są **połączone równolegle**.

Zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa natężenie prądu wpływającego do mieszkania to suma natężeń prądów płynących przez poszczególne urządzenia. Ponieważ napięcie zasilające każde z nich jest takie samo, więc łączna moc poszczególnych urządzeń jest równa sumie wszystkich mocy.

$$P = UI = U(I_1 + I_2 + I_3 + \ldots) = UI_1 + UI_2 + UI_3 + \ldots = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$$

Ta równość, zgodna z naszym codziennym doświadczeniem, uprości nam rachunki, gdy będziemy mówić o bezpiecznikach w sieci domowej.

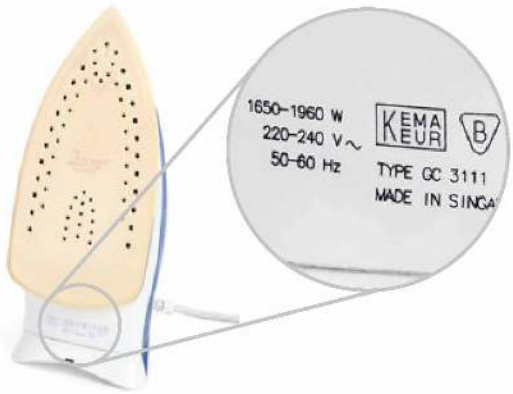
## To najważniejsze

- W sieci domowej w Polsce jest **napięcie przemienne** o **wartości skutecznej** 230 V. To znaczy, że żarówka podłączona do tego napięcia świeci tak samo jasno jak podłączona do napięcia stałego 230 V.
- **Kilowatogodzina** to jednostka energii: 1 kWh = 1 kW · 1 h = 3 600 000 J.
- Odbiorniki w sieci domowej są **połączone równolegle** i wszystkie pracują pod tym samym napięciem.
- Natężenie prądu wpływającego do sieci jest równe sumie natężeń prądów płynących przez wszystkie urządzenia. Co za tym idzie, **łączna moc pobierana z sieci** to suma mocy poszczególnych urządzeń.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**Informacja do zadań 1. i 2.**
Rysunek przedstawia tabliczkę znamionową żelazka.

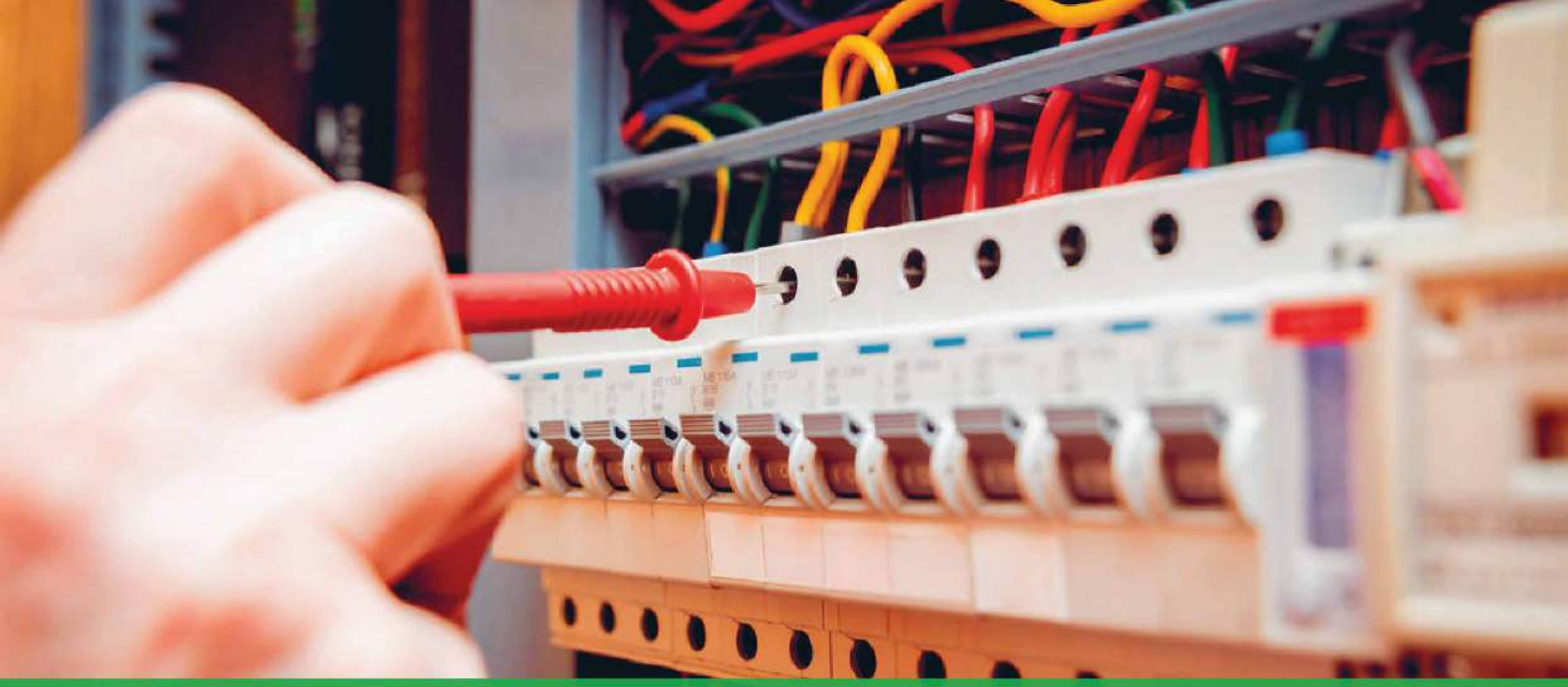



1. Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez żelazko. Do obliczeń wykorzystaj dolną wartość mocy urządzenia.

2. Oblicz, ile zapłacimy rocznie za energię potrzebną do użytkowania żelazka, jeśli codziennie włączamy je na 5 minut. Przyjmij cenę 80 gr za 1 kWh.

3. Bateria AA o napięciu 1,5 V ma pojemność ok. 3 Ah. Jej cena wynosi 2,70 zł. Oblicz, ile razy energia elektryczna z tej baterii jest droższa niż energia z sieci domowej, kosztująca 80 gr za 1 kWh.

4. Ile razy w ciągu sekundy zmienia się znak napięcia w gniazdku sieciowym? Uzasadnij swoją odpowiedź.
**Wskazówka.** Odpowiedź **nie** brzmi: „50 razy”.



# 17. Bezpieczeństwo sieci elektrycznej

**Cele lekcji**

- Poznasz zasadę działania urządzeń chroniących domową sieć elektryczną.
- Dowiesz się, co robić, aby nie powodować wyłączenia bezpieczników.
- Dowiesz się, jak unikać porażenia elektrycznego i jak pomóc osobie poszkodowanej w takim wypadku.

## Zwarcie

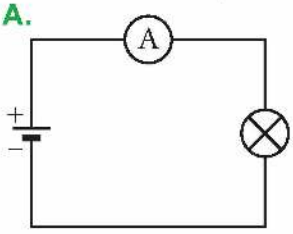
Jednym z zagrożeń funkcjonowania domowej sieci elektrycznej jest **zwarcie** instalacji. Powstaje ono, kiedy dwa przewody zasilające zostaną połączone ze sobą bezpośrednio, a nie przez urządzenie. Potocznie zwarcie nazywa się także „krótkim spięciem". Ze względów bezpieczeństwa zbadamy to zjawisko przy niższym napięciu i mniejszym natężeniu prądu elektrycznego.

### Doświadczenie 13.

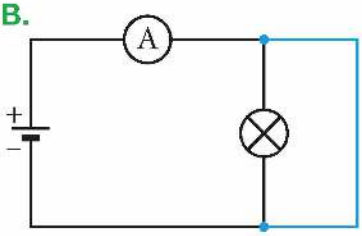
**Badanie zwarcia**

1. Przygotuj: żarówkę 1,2 V, baterię AA (paluszek), amperomierz oraz przewody.
2. Podłącz żarówkę do baterii (jak na schemacie A). Zapisz wskazanie amperomierza.

A.




B.







3. Włącz najwyższy zakres pomiaru natężenia prądu. Połącz dodatkowym przewodem końcówki żarówki (jak na schemacie B). Opisz, co się dzieje.
4. Usuń dodatkowy przewód. Co obserwujesz?

Gdy dołączyliśmy dodatkowy przewód, o oporze znacznie mniejszym niż opór żarówki, prąd popłynął przez ten przewód, omijając żarówkę. Ponieważ opór przewodu jest mały, znacznie wzrosło natężenie prądu płynącego przez baterię. Być może zaobserwowałeś rozgrzewanie się przewodów lub baterii.
Podobnie byłoby, gdyby na skutek awarii urządzenia elektrycznego zwarte zostały przewody sieci domowej. Jednak pod wyższym napięciem popłynąłby prąd o dużo większym natężeniu, a rozgrzewanie się przewodów mogłoby spowodować pożar.
Aby uchronić się przed taką sytuacją, stosujemy bezpieczniki.

## Bezpieczniki

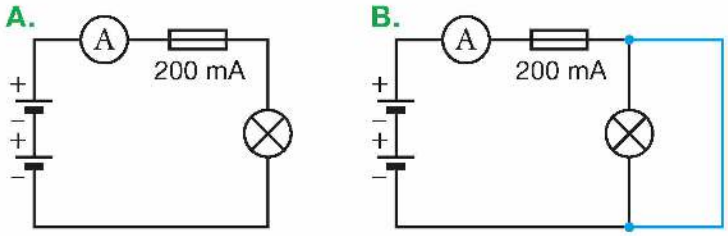
Najprostszy bezpiecznik to po prostu cienki drucik umieszczony w szklanej lub plastikowej obudowie. Takich bezpieczników używa się m.in. w samochodach i w niewielkich urządzenia elektrycznych. Zbadamy teraz jego właściwości.

### Doświadczenie 14.

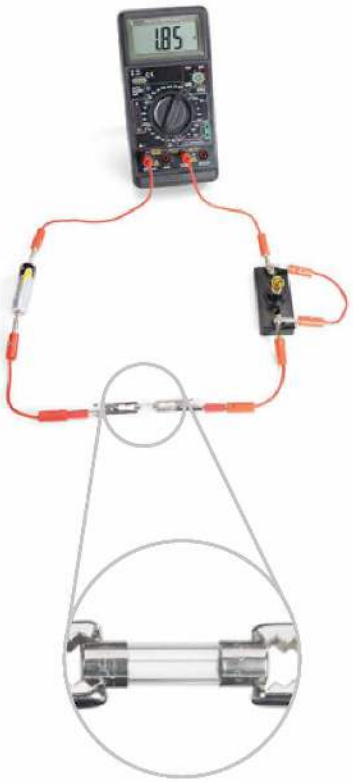
**Badanie działania bezpiecznika**

**Uwaga.** Doświadczenie wykonajcie w grupie 3–4 osób.

1. Przygotujcie: bezpiecznik 200 mA, żarówkę 2,2 V, baterię AA (paluszek), amperomierz oraz przewody.
2. Obejrzyjcie dokładnie bezpiecznik pod światło.
3. Zbudujcie układ zgodnie ze schematem A. Zapiszcie wskazanie amperomierza Następnie przełączcie go na najwyższy zakres.




4. Teraz niech jedna osoba obserwuje wskazania amperomierza, druga – wygląd bezpiecznika, a trzecia niech powie „już" i dołączy dodatkowy przewód, jak na schemacie B, aby spowodować zwarcie końcówek żarówki. Poczekajcie chwilę.
5. Ponownie obejrzyjcie bezpiecznik pod światło. Omówcie swoje obserwacje.




Gdy na skutek zwarcia rośnie natężenie prądu, drucik w bezpieczniku się rozgrzewa, aż w końcu przepala się i przestaje przewodzić prąd.



▲ Symbol bezpiecznika

**Bezpiecznik** to urządzenie rozłączające obwód, gdy natężenie prądu przekroczy dopuszczalną wartość.

Dzieje się tak nie tylko w przypadku zwarcia, ale zawsze, gdy natężenie prądu przekroczy ustaloną wartość.

## Bezpieczniki w sieci domowej

W sieci domowej jest wiele urządzeń o dużej mocy, zasilanych prądem o dużym natężeniu. Gdyby włączyć je wszystkie, natężenie prądu byłoby tak duże, że rozgrzane przewody mogłyby spowodować pożar. Dlatego w sieci domowej stosujemy bezpieczniki. Zwykle cała sieć domowa jest chroniona jednym dużym bezpiecznikiem, najczęściej o maksymalnym natężeniu prądu 25 A, a poszczególne jej części – kilkoma mniejszymi, po 10 A lub 16 A.

Dawniej używano bezpieczników z przepalającym się drucikiem. Jednak każda wymiana była niewygodna i kosztowna dla domowników. Dlatego wprowadzono **bezpieczniki automatyczne**. Są one wyposażone w elektromagnes, który wyłącza obwód po przekroczeniu określonego natężenia prądu. Bezpiecznik można potem z powrotem włączyć, oczywiście po usunięciu przyczyny jego zadziałania.

**Przykład**

### Działanie bezpiecznika w sieci domowej

Wszystkie gniazdka w kuchni są zabezpieczone jednym bezpiecznikiem 16 A. Wykonaj obliczenia potrzebne do odpowiedzi na pytanie, czy można w niej jednocześnie włączyć czajnik elektryczny o mocy 1,8 kW, opiekacz do grzanek o mocy 800 W i piekarnik o mocy 2,2 kW.

**Dane:**

$I_{max}$ = 16 A – dopuszczalne natężenie prądu
$U$ = 230 V – napięcie skuteczne w sieci domowej
$P_1$ = 1,8 kW – moc czajnika
$P_2$ = 800 W – moc opiekacza
$P_3$ = 2,2 kW – moc piekarnika

**Szukane:**

$I$ = ?

Właściwie szukamy odpowiedzi na pytanie: „czy można włączyć te urządzenia?", ale aby na nie odpowiedzieć, musimy obliczyć natężenie prądu.

**Rozwiązanie:** Możemy obliczyć natężenie prądu płynącego przez każdy z wymienionych odbiorników energii, a następnie dodać wyniki. Łatwiej będzie jednak potraktować wszystkie odbiorniki jako jedno wielkie urządzenie o łącznej mocy:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P = 1{,}8\ \text{kW} + 800\ \text{W} + 2{,}2\ \text{kW} = 1800\ \text{W} + 800\ \text{W} + 2200\ \text{W} = 4800\ \text{W}$$

Obliczmy natężenie prądu pobieranego przez takie urządzenie pod napięciem $U$ = 230 V. Ze wzoru na moc: $P = UI$ otrzymujemy po przekształceniu:

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

Podstawiamy dane:

$$I = \frac{4800\ \text{W}}{230\ \text{V}} \approx 20{,}9\ \text{A}$$

Jest to więcej niż dopuszczalne 16 A. Bezpiecznik odetnie dopływ prądu.

**Odpowiedź:** Nie można włączyć jednocześnie tych urządzeń.

**Uwaga.** Zanim bezpiecznik włączymy z powrotem, musimy wyłączyć jedno z urządzeń, aby zmniejszyć natężenie prądu czerpanego z sieci.

## Wyłączniki różnicowoprądowe

Bezpiecznik chroni sieć elektryczną przed przeciążeniem, ale nie zapobiega porażeniu elektrycznemu jej użytkownika. Jeśli ktoś dotknie przewodu pod napięciem, a jednocześnie dotyka rury wodociągowej lub w inny sposób jest połączony z ziemią, to przez jego ciało przepłynie prąd o natężeniu 2 A, skutek może być nawet śmiertelny. Bezpiecznik 10 A nie rozłączy w takim przypadku obwodu.
Dlatego też obecnie w sieciach elektrycznych oprócz bezpieczników stosuje się wyłączniki różnicowoprądowe.

**Wyłącznik różnicowoprądowy** odcina dopływ prądu, jeśli natężenie prądu wpływającego do domowej sieci elektrycznej przewodem fazowym jest inne niż natężenie prądu wypływającego z niej przewodem neutralnym.

Taka różnica natężeń oznacza, że prąd wypływa z obwodu – być może przez ciało użytkownika.
Wyłączniki różnicowoprądowe łączy się zwykle w jednej obudowie z bezpiecznikami (patrz ramka poniżej).

### Tablica bezpieczników w mieszkaniu

W nowych mieszkaniach wyłączniki różnicowoprądowe i bezpieczniki instaluje się zwykle na jednej tablicy, ale w starym budownictwie często nie ma tych wyłączników. Główny bezpiecznik pozwala także wyłączyć napięcie przed naprawami sieci lub w wypadku awarii.






▲ Wyłączniki różnicowoprądowe

## Przeciążenie gniazdka, wtyczki, przewodów

Wyobraź sobie, że do jednego gniazdka włączyliśmy przez rozgałęźnik kilka urządzeń o łącznej mocy 3000 W. Przez rozgałęźnik płynie prąd o natężeniu:

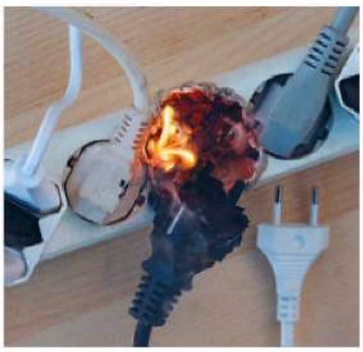
$$I = \frac{3000\ \text{W}}{230\ \text{V}} \approx 13\ \text{A}$$

Jeśli obwód jest chroniony bezpiecznikiem 16 A, to nie wyłączy się on w tym przypadku. Może się jednak okazać, że rozgałęźnik, wtyczka lub gniazdko nie są

przystosowane do prądu o tak dużym natężeniu. Przy dużym natężeniu wydziela się dużo ciepła, co może doprowadzić nawet do pożaru.

> Nie wolno włączać kilku urządzeń o dużej mocy do jednego gniazdka przez rozgałęźnik.

Dopuszczalne natężenie prądu dla rozgałęźnika powinno być napisane na samym urządzeniu lub jego opakowaniu. Najprościej jednak zapamiętać, że spośród urządzeń używanych w domu dużą moc mają te, które coś podgrzewają: piekarnik, pralka, zmywarka, toster, suszarka itd. lub chłodzą, np. lodówka. Każde z takich urządzeń należy włączać do osobnego gniazdka.



▲ Zbytnio obciążony rozgałęźnik

## „Faza", „zero" i uziemienie

Spośród dwóch przewodów w gniazdku tylko jeden jest pod napięciem względem ziemi – w technicznym żargonie mówimy o nim „faza". Drugi z nich to „zero", czyli przewód neutralny, o napięciu 0 V względem ziemi. Do większości gniazdek elektrycznych dochodzi jeszcze trzeci przewód, podłączony do stalowego bolca, który trafia do otworu we wtyczce. Tak więc urządzenie podłączone jest do sieci jeszcze jednym przewodem. Ten przewód to **uziemienie**, czyli połączenie z ziemią.
Do tego przewodu może być podłączona obudowa urządzenia, zwłaszcza jeśli jest wykonana z metalu. Może się bowiem zdarzyć, że na skutek uszkodzenia izolacji przewodu obudowa znajdzie się pod napięciem. Stanowiłoby to śmiertelne niebezpieczeństwo dla użytkowników, szczególnie w kuchni lub w łazience, gdzie łatwo dotknąć jednocześnie przewodów wodociągowych i lodówki lub pralki, w szczególności mokrymi rękoma.
Dzięki uziemieniu prąd z sieci odpływa do ziemi, a wyłączniki różnicowoprądowe albo bezpieczniki odcinają napięcie, zanim ktokolwiek zostanie porażony.

W angielskich opisach urządzeń:
*live* – przewód fazowy
*neutral* – przewód neutralny
*ground* albo *earth* – uziemienie




▲ Gniazdko ze stalowym bolcem

> Jeśli urządzenie jest wyposażone we wtyczkę z uziemieniem, to włączaj je tylko do gniazdka z uziemieniem.

Obecnie w zasadzie wszystkie gniazdka są wyposażone w uziemienie. W starszych budynkach zdarza się, że bolec uziemienia jest podłączony do „zera". Nie daje to pełnej ochrony, ale jest lepsze niż całkowity brak uziemienia.



▲ Uziemienie może być też podłączone do styków z boku wtyczki

# Porażenie elektryczne

Zawsze pamiętaj, że napięcie 230 V w sieci domowej jest bardzo niebezpieczne. Skutki porażenia prądem zależą przede wszystkim od dwóch czynników:

**1 Czy prąd przepłynął przez narządy wewnętrzne**

Przepływ prądu pomiędzy jedną ręką a drugą, przez serce, jest dużo groźniejszy niż pomiędzy palcami jednej dłoni.

**2 Czy ciało poszkodowanego było połączone z ziemią przewodnikiem o małym oporze**

Szczególnie niebezpiecznymi miejscami są łazienka i kuchnia, ze względu na wilgoć i obecność metalowych rur stanowiących doskonałe połączenie z ziemią. Nigdy nie korzystaj z suszarki ani innych urządzeń elektrycznych w czasie kąpieli. Przechowuj je tak, aby nie mogły wpaść do wody.

**! Co robić w razie porażenia elektrycznego?**

Zapamiętaj – nie będzie czasu na szukanie podręcznika!

**Zachowaj spokój, ale nie trać czasu**

Odłącz napięcie albo za pomocą izolatora odsuń poszkodowanego od źródła napięcia. Nie dotykaj rękoma poszkodowanego, dopóki ma on kontakt ze źródłem napięcia.



## To najważniejsze

- **Bezpiecznik** odcina zasilanie, gdy natężenie prądu przekroczy ustaloną wartość. Dzieje się tak w przypadku zwarcia, a także wtedy, gdy zbyt dużo odbiorników energii jest włączonych jednocześnie.
- **Wyłącznik różnicowoprądowy** odcina zasilanie, gdy natężenie prądu wpływającego do sieci domowej jest inne niż prądu wypływającego. Może to mieć miejsce wtedy, gdy część ładunku wypływa do ziemi przez uziemienie uszkodzonego urządzenia albo przez ciało człowieka.
- Urządzenia o dużej mocy (m.in. te wyposażone w grzałki) podłączaj do osobnych gniazdek – nigdy do jednego rozgałęźnika.
- Nigdy nie korzystaj z suszarki ani innych urządzeń elektrycznych w czasie kąpieli. Przechowuj je tak, aby nie mogły wpaść do wody.
- **Zasady postępowania w przypadku porażenia elektrycznego** – patrz schemat na s. 132.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Sprawdź, gdzie w twoim domu znajdują się bezpieczniki, a w szczególności główny bezpiecznik pozwalający odłączyć napięcie w całym domu. Dowiedz się, jak je wyłączać.

**2.** Do części sieci zabezpieczonej bezpiecznikiem 10 A włączamy telewizor o mocy 400 W oraz lokówkę, której tabliczkę znamionową przedstawiono na zdjęciu. Czy bezpiecznik odetnie zasilanie?




**3.** Uzupełnij tekst wyrażeniami z ramki. Zapisz w zeszycie cały tekst.

Gdy płonie urządzenie elektryczne, przede wszystkim należy ////. Ponieważ dotykanie wyłącznika na obudowie urządzenia grozi oparzeniem, najlepiej ////. Jeśli wtyczka nie jest dostępna albo sama także jest gorąca, trzeba ////. Pamiętaj też, że urządzeń elektrycznych nigdy nie należy ////.

• wyciągnąć wtyczkę • gasić wodą • odłączyć zasilanie • wyłączyć bezpieczniki

**4.** Ania uważa, że aby bezpiecznie wymienić żarówkę w lampie wiszącej na suficie, wystarczy wyłączyć lampę wyłącznikiem na ścianie. Beata mówi, że to nie wystarczy – trzeba wyłączyć bezpieczniki, aby odciąć zasilanie. Jak sądzisz, która z nich ma rację? Dlaczego?

**5.** Podaj zasady postępowania w przypadku porażenia elektrycznego.



# 18. Pole magnetyczne

**Cele lekcji**

- Przypomnisz sobie podstawowe wiadomości na temat oddziaływania magnesów.
- Poznasz pojęcie pola magnetycznego.
- Zaobserwujesz, jak pole magnetyczne jest wytwarzane przez prąd elektryczny.

## Oddziaływanie magnetyczne

Oddziaływania magnetyczne znasz z życia codziennego. Dzięki magnesom możemy wieszać przedmioty na lodówce albo tablicy magnetycznej, a także korzystać z kompasu. Dzięki namagnesowaniu śrubokręta wykręcona śruba nie spada na podłogę, ale trzyma się narzędzia. Być może wiesz także, że magnes jest ważnym elementem m.in. głośnika, mikrofonu, prądnicy i silnika elektrycznego.
Wykonajmy teraz proste doświadczenie, aby przypomnieć sobie podstawowe wiadomości na temat oddziaływania między dwoma magnesami oraz między magnesem a ciałami wykonanymi z różnych substancji.

### Doświadczenie 15.

**Badanie oddziaływań magnetycznych**

1. Przygotuj: dwa magnesy z oznaczonymi biegunami oraz kilka drobnych przedmiotów z różnych substancji: stali, aluminium, miedzi, papieru, gumy itd.
2. Ustaw magnesy jednakowymi biegunami naprzeciwko siebie. Jak oddziałują? Co się zmieni, gdy obrócimy jeden z nich o 180°? A gdy tak samo obrócimy także drugi magnes?
3. Sprawdź, które z przygotowanych przedmiotów przyciągają magnes. Co obserwujesz?



Jak widać na podstawie doświadczenia, magnes oddziałuje tylko na niektóre przedmioty – te wykonane z żelaza lub stali (choć istnieją gatunki stali niemagnetycznej).

Natomiast wzajemne oddziaływanie dwóch magnesów zależy od ich ustawienia.

Każdy magnes ma dwa bieguny, które nazywamy: **północny** i **południowy**. Jednakowe bieguny dwóch magnesów się **odpychają**, a różne – **przyciągają**.

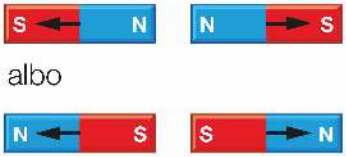
Bieguny magnesów oznaczamy literami N i S, tak samo jak kierunki geograficzne.

### Oddziaływanie magnesów

**A.** Różne bieguny się przyciągają




**B.** Jednakowe bieguny się odpychają







▲ Magnes neodymowy w kształcie pastylki ma bieguny na okrągłych powierzchniach

Takie nazwy i oznaczenia przyjęto dlatego, że magnes służący jako igła kompasu obraca się jednym końcem na północ, a drugim – na południe geograficzne.

Magnesy sztabkowe są też czasem pomalowane. W naszym podręczniku będziemy stosować kolor niebieski od strony bieguna północnego i czerwony od strony bieguna południowego, jednak można się spotkać z innymi oznaczeniami.

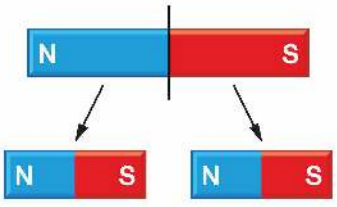
**Uwaga.** O tym, jak sprawdzić doświadczalnie, na którym końcu magnesu znajduje się biegun północny, a na którym biegun południowy, piszemy w dalszej części tej lekcji (s. 138).

## Oddziaływanie magnesów a oddziaływanie ładunków elektrycznych

Istnieją **podobieństwa** między oddziaływaniem ładunków elektrycznych a oddziaływaniem biegunów magnetycznych. Przede wszystkim reguła dotycząca oddziaływania biegunów magnetycznych brzmi podobnie jak w przypadku ładunków elektrycznych: „jednakowe się odpychają, różne się przyciągają".

Jest też jednak zasadnicza **różnica**: ładunki elektryczne mogą występować osobno, a biegunów magnetycznych nie można rozdzielić.

Gdybyśmy przecięli podłużny magnes w połowie, w miejscu przecięcia pojawiłyby się odpowiednie bieguny i mielibyśmy dwa magnesy, każdy z dwoma biegunami.




▲ Gdy przetniemy magnes, otrzymamy dwa magnesy, każdy z dwoma biegunami

## Oddziaływanie między magnesem a żelazem

Jak widzieliśmy w doświadczeniu, magnes przyciąga w zauważalny sposób bardzo niewiele substancji. Spośród nich w życiu codziennym najczęściej spotykamy żelazo i jego stopy, np. stal.
Mówiąc ściśle, magnes nie tyle przyciąga nienamagnesowane żelazo, ile powoduje jego namagnesowanie, a następnie je przyciąga (patrz zdjęcie obok). Proces magnesowania żelaza omawiamy dokładniej na s. 143.




▲ Stalowy spinacz przyczepiony do magnesu sam staje się magnesem i przyciąga kolejne spinacze

## Pole magnetyczne

W rozdziale 4. wprowadziliśmy pojęcie pola elektrycznego. Powiedzieliśmy, że ładunek elektryczny wytwarza pole elektryczne, w którym na każdy inny ładunek działa siła elektryczna.
Podobnie postąpimy w przypadku oddziaływań magnetycznych. Zamiast opisywać siły działające między magnesami, możemy powiedzieć, że magnes jest **źródłem pola** magnetycznego, w którym na każdy inny magnes działa siła magnetyczna.

> Jeśli w jakimś obszarze na magnes działa siła magnetyczna, to mówimy, że występuje tam **pole magnetyczne**.

Jak badać pole magnetyczne? Istnieją do tego celu specjalne urządzenia, zwane magnetometrami. Funkcję magnetometru może spełniać wiele telefonów komórkowych – możesz sprawdzić, czy twój będzie tak działał, gdy zainstalujesz w nim odpowiednią aplikację.
Jednak najprostszym przyrządem służącym do badania pola magnetycznego jest igła magnetyczna albo kompas.

## Igła magnetyczna

Najważniejszą częścią kompasu jest igła magnetyczna, czyli po prostu niewielki podłużny magnes zamocowany w taki sposób, aby mógł się obracać wokół osi (patrz zdjęcie obok).
Ponieważ także Ziemia jest magnesem, a jej bieguny magnetyczne są położone w pobliżu biegunów geograficznych (patrz rys. na s. 138), igła magnetyczna ustawia się w przybliżeniu w kierunku północ–południe.
Jednak igła magnetyczna jest po prostu magnesem i reaguje na każde pole magnetyczne, nie tylko to wytwarzane



▲ Igła magnetyczna kompasu obraca się wokół osi

# Magnetyzm i początki fizyki



Już starożytni odkryli zjawiska magnetyczne, jednak razem z poznanymi faktami powtarzano najdziwniejsze legendy. Na przykład o tym, że kompas traci swoje właściwości od zapachu czosnku, a magnes pod poduszką mężatki wyrzuci ją z łóżka, jeśli ta dopuści się zdrady. Aby odróżnić fakty od fantazji, potrzebne były systematyczne badania doświadczalne. Jednym z pierwszych, który je prowadził, był XVI-wieczny uczony William Gilbert. Do sprawdzenia, czy żelazo można namagnesować poprzez pocieranie diamentem, użył wielu prętów żelaznych i aż 75 tych klejnotów (co było o tyle łatwe, że nadzorował skarbiec królewski).

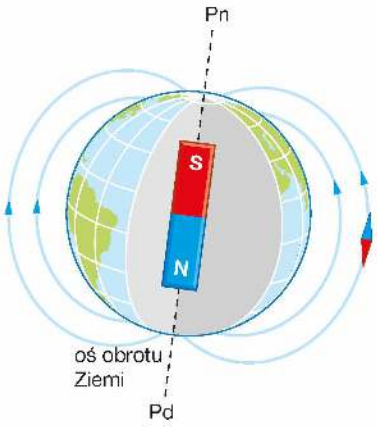
Z dzisiejszego punktu widzenia można powiedzieć, że największym odkryciem badaczy magnetyzmu był **sposób prowadzenia badań**: sceptyczne podejście do zasłyszanych informacji, wielokrotne powtarzanie doświadczeń, zapraszanie innych osób do wspólnych obserwacji.

Istotą nauki nie są bowiem poszczególne wiadomości, ale **metoda** dochodzenia do wiedzy, oparta na doświadczeniu i na podejrzliwym, wielokrotnym sprawdzaniu wszystkich twierdzeń. Dzięki tej metodzie choć mamy na świecie wiele państw, kultur, języków, religii czy poglądów na różne sprawy, to fizyka (podobnie jak chemia czy biologia) jest tylko jedna, wspólna dla całej ludzkości.

Gilbert zauważył samorzutne magnesowanie żelaza w czasie obróbki w kuźni. Zjawisko to zachodzi pod wpływem pola magnetycznego Ziemi. Ilustracja z dzieła Williama Gilberta *De Magnete* ▼



przez Ziemię. Dlatego będziemy ją wykorzystywać w doświadczeniach, np. do rozróżniania biegunów magnesu (patrz zdjęcie niżej) i do wykrywania pola magnetycznego. Przypomnijmy, że północny biegun magnesu to ten, który obraca się na północ. To oznacza, że Ziemia – traktowana jako magnes – ma w pobliżu północnego bieguna geograficznego południowy biegun magnetyczny (tak jak zaznaczono to na rys. na marginesie obok).




▲ Ziemia zachowuje się jak wielki magnes i oddziałuje z małym magnesem – igłą magnetyczną

Na rysunku powyżej niebieskimi liniami narysowano linie pola magnetycznego Ziemi – patrz lekcja 19., s. 145.




▲ Magnes przyciąga biegun północny igły magnetycznej, więc widocznie jest do niej zwrócony biegunem południowym

## Pole magnetyczne wytwarzane przez prąd elektryczny

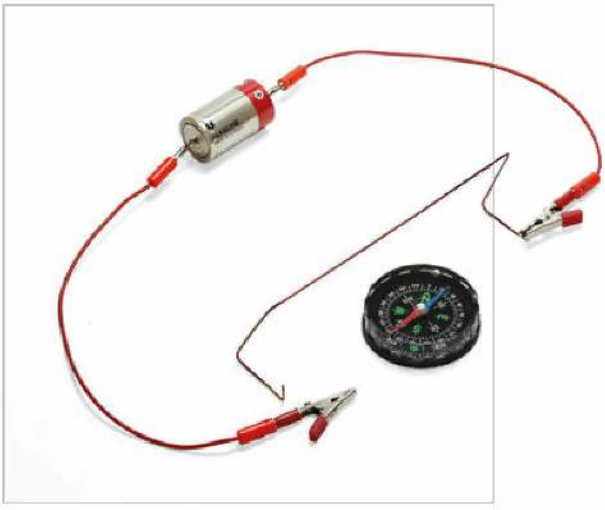
Przełomem w badaniach nad magnetyzmem było odkrycie, że źródłem pola magnetycznego jest nie tylko magnes, lecz także poruszający się ładunek elektryczny, czyli przepływ prądu elektrycznego.

### Doświadczenie 16.

**Oddziaływanie prądu na igłę magnetyczną**

1. Przygotuj kompas, baterię D (R20) oraz gruby, izolowany miedziany przewód.
2. Połóż kompas na stole.
3. Nad kompasem poprowadź miedziany przewód zgodnie z kierunkiem igły magnetycznej.
4. Podłącz końce miedzianego przewodu do biegunów baterii. Co obserwujesz?

**Uwaga.** Zamykaj obwód tylko na kilkanaście sekund. Nie dotykaj miejsc podłączenia przewodów do baterii – mogą się mocno nagrzewać.



To doświadczenie pokazuje, że przepływ prądu przez przewodnik ma wpływ na ustawienie igły magnetycznej. Wynika z tego pewien ważny wniosek.

**Źródłem** pola magnetycznego jest każdy poruszający się ładunek elektryczny.

W naszym doświadczeniu poruszającymi się ładunkami były elektrony przemieszczające się w przewodzie.
Na następnej lekcji dokładniej porównamy pole magnetyczne wytwarzane przez magnesy z polem magnetycznym wytwarzanym przez prąd elektryczny.

## To najważniejsze

- Każdy magnes ma dwa bieguny: **północny** i **południowy**. Jednakowe bieguny się **odpychają**, różne się **przyciągają**.
- Magnes przyciąga w zauważalny sposób tylko nieliczne substancje, z których najczęściej spotykamy żelazo i stal.
- **Igła magnetyczna** (np. w kompasie) to niewielki magnes ustawiony tak, aby mógł się obracać.
- Źródłem pola magnetycznego może być magnes, ale także prąd elektryczny, czyli uporządkowany przepływ elektronów w przewodniku, a ogólnie – dowolny poruszający się ładunek.
- W polu magnetycznym na każdy magnes działa **siła magnetyczna**.

## Pytania i zadania

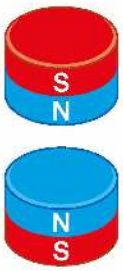
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Określ, czy magnesy przedstawione na rysunku poniżej przyciągają się czy odpychają.

a)




b)




**2.** Stalowy gwóźdź jest przyciągany przez magnes. Dzieje się tak dlatego, że pod wpływem pola magnetycznego magnesu gwóźdź sam stał się magnesem. Przerysuj rysunek do zeszytu i podpisz bieguny namagnesowanego gwoździa.




**3.** Opisz, jak najłatwiej wyznaczyć strony świata za pomocą magnesu sztabkowego, którego bieguny są podpisane.

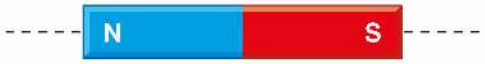
**4.** Jak sprawdzić bez amperomierza, czy przez przewód płynie prąd?

**5.** Odpowiedz na pytania.

**a)** Macocha kazała Kopciuszkowi oddzielić opiłki stalowe od aluminiowych. Jak najłatwiej można byłoby wykonać to zadanie?

**b)** Kapitan Jakub Hak określa kurs swojego statku za pomocą busoli. Na co powinien uważać?

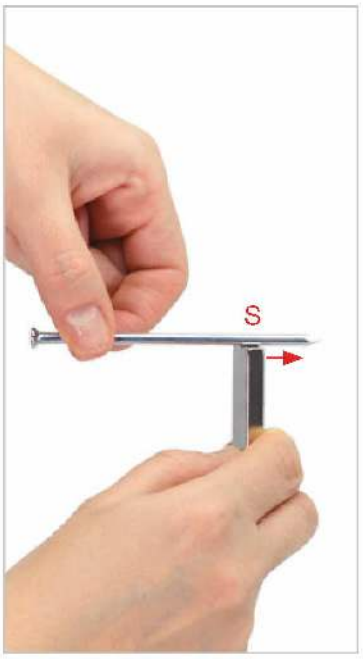
**6.** Magnes sztabkowy przecinamy wzdłuż, tak jak to przedstawiono na rysunku. Czy otrzymamy dwa magnesy? Jeśli tak, to jak będą położone ich bieguny?



## Doświadczenie domowe

### Magnesujemy gwóźdź i budujemy kompas

1. Przygotuj kompas lub igłę magnetyczną, duży stalowy gwóźdź, silny magnes (np. neodymowy), nitkę długości ok. 30 cm oraz odrobinę plasteliny.
2. Przesuń kilkadziesiąt razy południowym biegunem magnesu po gwoździu, za każdym razem wykonując ruch w tę samą stronę – od łebka do ostrza.
3. Sprawdź doświadczalnie, czy gwóźdź się namagnesował, a następnie zbadaj za pomocą igły magnetycznej, który z jego biegunów jest biegunem północnym, a który południowym.
4. Przywiąż jeden koniec nitki do gwoździa tak, aby gwóźdź wisiał pionowo, a następnie zabezpiecz plasteliną tak, aby pętelka z nici nie przesuwała się po gwoździu.
5. Sprawdź, czy gwóźdź wskazuje północ tak samo, jak igła magnetyczna.





TEMAT DODATKOWY

# Magnetyzm i materia

**Cele lekcji**

- Dowiesz się, dlaczego magnes silnie oddziałuje na niektóre substancje, a na inne – nie.
- Zaobserwujesz odpychanie grafitu przez magnes.
- Dowiesz się, dlaczego nie można uzyskać magnesu o jednym biegunie.

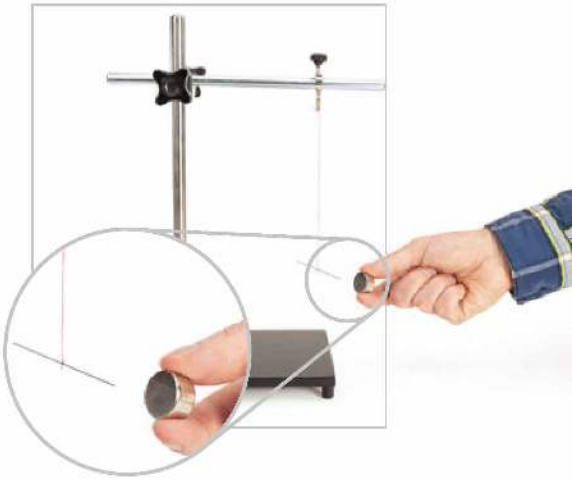
## Działanie magnesu na różne substancje

Wiesz już, że magnes przyciąga w zauważalny sposób tylko nieliczne substancje. Ponieważ najczęściej spotykaną z nich jest żelazo, nazywamy je **ferromagnetykami**, od łacińskiej nazwy żelaza: *ferrum*. W życiu codziennym czasami spotykamy jeszcze nikiel – z niego wykonana jest zewnętrzna powłoka magnesów neodymowych. Z pozostałymi ferromagnetykami mamy do czynienia znacznie rzadziej. Warto jednak wiedzieć, że magnes oddziałuje na większość substancji. Niektóre z nich przyciąga (np. aluminium), a niektóre odpycha (np. wodę albo bizmut – jego kryształ przedstawiamy w dużym powiększeniu na górze tej strony). To oddziaływanie jest jednak tak słabe, że nie zauważamy go w życiu codziennym. Mimo to nietrudno zaprojektować doświadczenie, w którym można takie oddziaływanie zaobserwować.

### Doświadczenie 17.

**Odpychanie grafitu przez magnes**

1. Przygotuj: silny magnes (np. neodymowy), grafit – wkład do ołówka automatycznego HB lub B oraz cienką nitkę długości ok. 60 cm.
2. Uważnie, aby nie złamać grafitu, przywiąż w połowie długości wkładu jeden koniec nitki. Drugi przywiąż do statywu lub innego elementu, pod którym taki układ mógłby swobodnie wisieć.
3. Jeśli grafit się obraca na nitce, zatrzymaj ten ruch.
4. Zbliż magnes do grafitu. Co obserwujesz?



### A to ciekawe

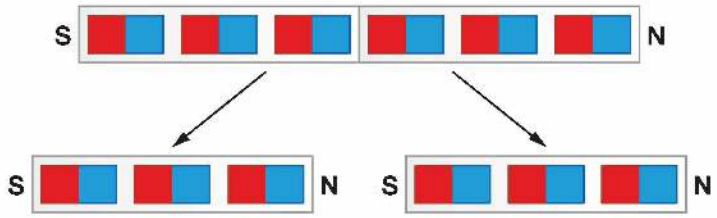
Magnes odpycha wodę, a więc również organizmy żywe, złożone głównie z tej cieczy. W 1997 r. fizyk Andre Geim (czyt. andre gajm) w ramach eksperymentu naukowego umieścił żywą żabę w polu magnetycznym tak silnym, że lewitowała, czyli unosiła się w powietrzu (nie było to dla niej szkodliwe). Nie udały się natomiast próby podobnych doświadczeń z chomikiem. W ramach rekompensaty dla zwierzaka Geim uwiecznił go pod nazwiskiem H.A.M.S. ter Tisha (*hamster* to po angielsku chomik) jako współautora artykułu naukowego. Geim jest jedynym uczonym, który zdobył zarówno prawdziwą nagrodę Nobla, jak i jej żartobliwy odpowiednik: nagrodę Ig Nobla (od ang. *ignoble* – niegodny). Tę pierwszą otrzymał za odkrycie grafenu – nowej formy węgla, natomiast drugą właśnie za lewitację żaby.



Doświadczenie wykazuje, że magnes oddziałuje na grafit. W podobny sposób można badać słabe przyciąganie przez magnes niektórych substancji – np. tworzyw sztucznych. Niestety, w przypadku przyciągania nie możemy być pewni, czy obserwowane oddziaływanie ma rzeczywiście charakter magnetyczny, a nie elektryczny.

## Domeny magnetyczne

Przyjrzyjmy się dokładniej budowie ferromagnetyków. Okazuje się, że są to substancje, w których już poszczególne atomy mają własności magnetyczne – swoje bieguny północne i południowe. Dlatego właśnie nie da się uzyskać pojedynczych biegunów magnetycznych przez przecinanie magnesu.




▲ Przecięcie magnesu nie prowadzi do uzyskania pojedynczych biegunów magnetycznych

Znajdujące się blisko siebie atomy ustawiają się w tym samym kierunku, a wytwarzane przez nie pole magnetyczne się sumuje.

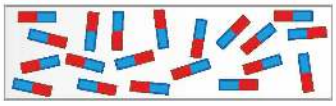
Taki obszar ferromagnetyku, w którym atomowe magnesy są ustawione w tę samą stronę, nazywamy **domeną magnetyczną**.

Zazwyczaj w kawałku ferromagnetyku jest wiele domen – każda ustawiona w innym, przypadkowym kierunku – a ich pola magnetyczne wzajemnie się znoszą. Po zbliżeniu zewnętrznego magnesu domeny zostają uporządkowane (ustawiają się w jedną stronę). W ten sposób kawałek żelaza staje się magnesem, ustawionym tak, aby między nim a magnesem zbliżonym z zewnątrz było przyciąganie (patrz opis w ramce na stronie obok).

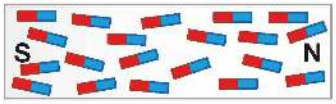
## Przyciąganie żelaza przez magnes

Mówi się potocznie, że magnes przyciąga nienamagnesowane żelazo. W rzeczywistości jednak magnes najpierw powoduje namagnesowanie żelaza, a dopiero potem je przyciąga. Dzieje się to jednak tak szybko, że nie obserwujemy opóźnienia.

1. W nienamagnesowanej sztabce żelaza domeny są ułożone bezładnie.



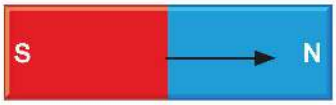
2. Do takiej sztabki zbliżamy magnes. Pod wpływem magnesu domeny się porządkują. Sztabka staje się magnesem.







3. Mamy więc dwa magnesy, które się przyciągają.





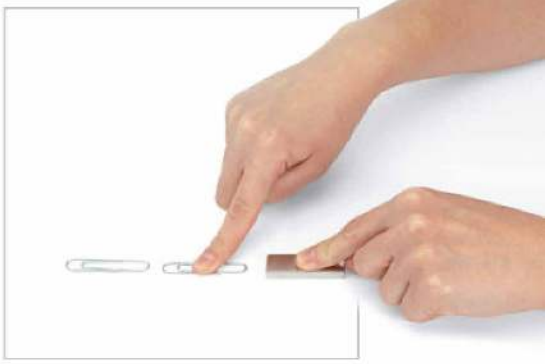


Żelazo w polu magnetycznym samo staje się magnesem, nawet jeśli nie ma bezpośredniego kontaktu ze źródłem tego pola. Ten fakt można łatwo sprawdzić doświadczalnie.

### Doświadczenie 18.

**Magnesowanie się żelaza w polu magnetycznym**

1. Przygotuj magnes i dwa stalowe spinacze.
2. Połóż spinacze na stole jeden za drugim i pozostaw między nimi ok. 2 mm odstępu.
3. Przyciśnij jeden ze spinaczy palcem do stołu.
4. Weź magnes i zbliżaj go powoli do przyciśniętego spinacza (z przeciwnej strony niż leży drugi spinacz – tak jak na zdjęciu). Obserwuj, co się dzieje.



Jak widzisz, aby namagnesować stal, nie trzeba jej nawet dotknąć magnesem – wystarczy magnes do niej zbliżyć.

### To najważniejsze

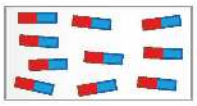
- Magnes oddziałuje na większość substancji: niektóre przyciąga, a niektóre odpycha. Jednak na ogół to oddziaływanie jest bardzo słabe.
- Substancje, które magnes silnie przyciąga, np. żelazo, stal, nikiel, nazywamy **ferromagnetykami**.
- Ferromagnetyk zawiera namagnesowane obszary zwane **domenami magnetycznymi**.
- **Domeny magnetyczne** są na ogół ułożone chaotycznie i wytwarzane przez nie pola magnetyczne się znoszą. W zewnętrznymi polu magnetycznym (np. w pobliżu magnesu) domeny porządkują się i ferromagnetyk staje się magnesem. Właśnie dlatego żelazo jest przyciągane przez magnes.

## Pytania i zadania

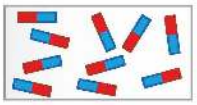
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Wskaż, który z rysunków przedstawia domeny w nienamagnesowanej sztabce żelaza, a który – w magnesie. W przypadku magnesu określ, z której strony znajduje się biegun północny, a z której południowy.

**A.**



**B.**



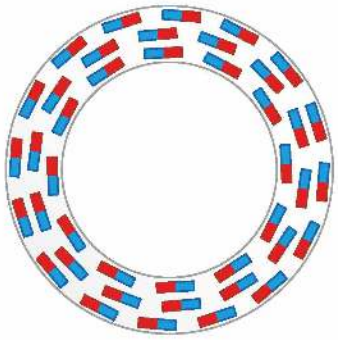
**2.** W niektórych doświadczeniach wykorzystujemy magnes w kształcie podkowy. Narysuj w zeszycie, jak ustawione są domeny magnetyczne w takim magnesie.



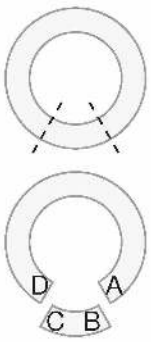

**3.** Na rysunku A (poniżej) przedstawiono ułożenie domen magnetycznych w stalowym pierścieniu. W tak namagnesowanym pierścieniu nie da się wskazać biegunów.

Wyobraź sobie, że przecinamy taki magnes na dwie części, tak jak przedstawiono na rysunku B (poniżej). Każda z tych dwóch części stanie się zwykłym magnesem, z dwoma biegunami. Określ, gdzie w każdej z tych części pojawi się biegun północny, a gdzie południowy.

**A.**



**B.**





# 19. Linie pola magnetycznego

**Cele lekcji**

- Zbadasz układ linii pola magnetycznego wytwarzanego przez magnesy i wytwarzanego przez prąd elektryczny.
- Poznasz zastosowania zwojnicy (cewki) i elektromagnesu.

## Linie pola magnetycznego

Podobnie jak w przypadku pola elektrycznego, także pole magnetyczne możemy przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**. Co oznaczają te linie?

Igła magnetyczna umieszczona w polu magnetycznym ustawia się stycznie do linii pola.

Okazuje się, że podobnie zachowuje się niewielki podłużny kawałek żelaza. Najpierw magnesuje się pod wpływem pola magnetycznego, a następnie ustawia się wzdłuż linii pola. Ten fakt wykorzystamy w doświadczeniu.

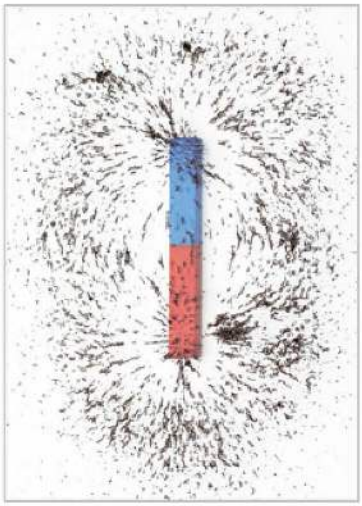
### Doświadczenie obowiązkowe

**Badanie kształtu linii pola magnetycznego**

1. Przygotuj kawałek sztywnej przezroczystej folii, np. sztywną koszulkę na dokumenty (lub ewentualnie tekturkę), oraz magnes sztabkowy i stalowe lub żelazne opiłki.

**Uwaga.** O opiłki możesz poprosić w punkcie dorabiania kluczy – można je tam zebrać magnesem. Uważaj, aby opiłki nie dostały się do oczu! Nie dotykaj oczu palcami, którymi dotykałeś opiłków!

2. Połóż magnes na stole. Tuż nad magnesem umieść folię lub tekturkę i rozsyp na niej opiłki.
3. Postukaj delikatnie w folię lub tekturkę i obserwuj, jak układają się opiłki. Naszkicuj w zeszycie powstałe linie.



# Cudowny rok 1820

Na samym początku XIX w. Alessandro Volta zbudował pierwsze baterie elektryczne. Wykorzystywano je do badań nad elektrycznością, m.in. do poszukiwania związku między elektrycznością i magnetyzmem. Przez długi czas naukowcy podążali błędnymi ścieżkami, które z dzisiejszego punktu widzenia wydają się wręcz absurdalne, np. próbowali badać pole magnetyczne baterii niepodłączonej do obwodu. Przełomu dokonał dopiero w 1820 r. duński fizyk Hans Christian Ørsted (czyt. erstet).

Opis jego eksperymentu (znanego ci ze s. 138) przeczytał francuski matematyk André-Marie Ampère (czyt. andre mari amper). Zafascynowany, w ciągu kilkunastu tygodni stworzył całą nową dziedzinę wiedzy – elektrodynamikę, która wyjaśniała zjawiska magnetyczne ruchem ładunków elektrycznych.

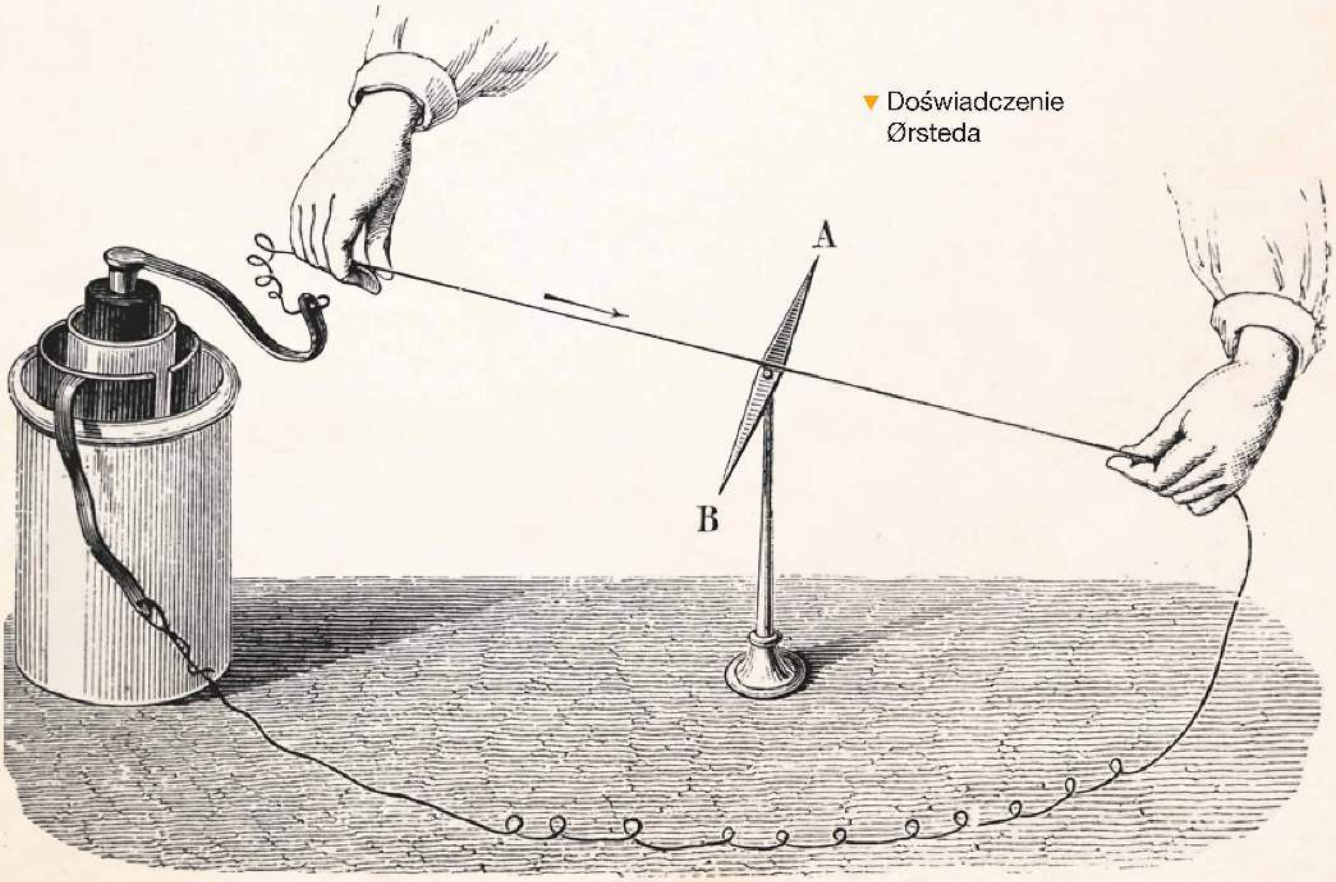
Ampère tak bardzo zainteresował się fizyką, że postanowił zbadać także pole magnetyczne wytwarzane przez prąd w zwojnicy i oddziaływania pomiędzy dwoma przewodnikami z prądem. On pierwszy wpadł też na pomysł budowy telegrafu.

Rok 1820 określono mianem *annus mirabilis* – cudowny rok. Odkrycie Ørsteda odblokowało drogę do kolejnych odkryć w badaniach elektromagnetyzmu, zarówno tych dokonanych przez Ampère'a, jak i przez innych uczonych.

**Hans Christian Ørsted**

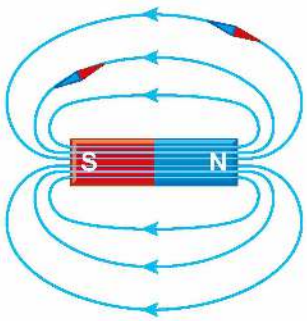


Hans Christian Ørsted (1777–1851) – duński fizyk i chemik. Na pomysł swojego eksperymentu wpadł w drodze do pracy na uczelni i zademonstrował go studentom w trakcie wykładu. Słuchacze nie mieli świadomości, że są świadkami ważnego momentu w historii nauki.




▼ Doświadczenie Ørsteda

W doświadczeniu mogliśmy zbadać linie pola magnetycznego tylko na zewnątrz magnesu. Okazuje się jednak, że pole występuje również w jego wnętrzu, a **linie pola są krzywymi zamkniętymi**, tzn. nie mają początku ani końca.
Na rysunku możemy zaznaczyć zwrot linii pola: umownie przyjmujemy, że na zewnątrz magnesu jest to zwrot od bieguna północnego do południowego.




▲ Pole magnetyczne występuje wewnątrz i na zewnątrz magnesu

## Linie pola wokół przewodnika z prądem

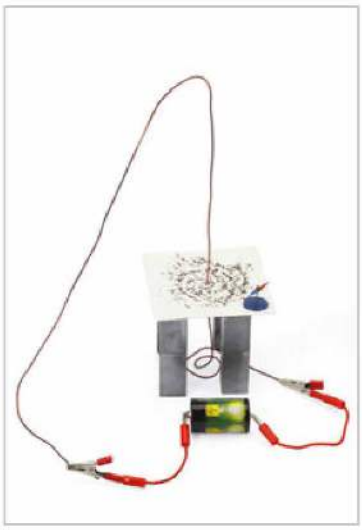
Wiemy, że także prąd elektryczny wytwarza pole magnetyczne. Linie tego pola zbadamy w podobny sposób jak w przypadku magnesu.

### Doświadczenie obowiązkowe

**Linie pola magnetycznego wokół prostoliniowego przewodnika z prądem**

1. Przygotuj kompas lub igłę magnetyczną, baterię D (R20), gruby przewód długości ok. 50 cm, tekturkę i stalowe opiłki.
2. W środku tekturki zrób gwoździem mały otwór i przełóż przez niego przewód.
3. Ustaw tekturkę w poziomie, np. na podpórkach z klocków, a przewód w pionie (patrz zdjęcie). Wysyp na tekturkę opiłki.
4. Podłącz końce przewodu do biegunów baterii.
5. Postukaj delikatnie w tekturkę, aby opiłki ułożyły się wzdłuż linii pola.

**Uwaga.** Zamykaj obwód tylko na kilkanaście sekund. Nie dotykaj miejsc, w których przewód styka się z biegunami baterii – mogą się mocno nagrzewać.



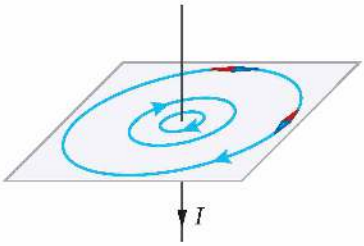
Tym razem możemy zobaczyć, że linie pola magnetycznego są krzywymi zamkniętymi (patrz zdjęcie przy doświadczeniu). Ich zwrot zależy od kierunku przepływu prądu.
Zwróć uwagę, że wokół pojedynczego przewodu linie pola magnetycznego są współśrodkowymi okręgami.



▲ Igła magnetyczna ustawia się stycznie do linii pola magnetycznego

> Linie pola magnetycznego są zawsze liniami zamkniętymi.

Wynika to z faktu, że nie istnieją pojedyncze bieguny magnetyczne. Inaczej jest w przypadku pola elektrycznego, w którym końcami lub początkami linii pola są ładunki.



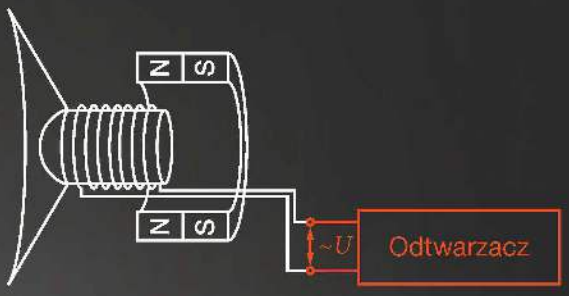

▲ Linie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem

# Jak działa głośnik

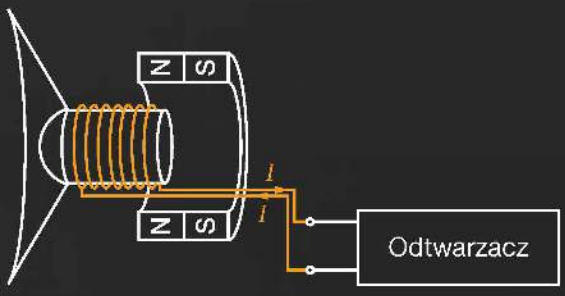
Podstawą działania większości głośników jest oddziaływanie magnetyczne między magnesem a zwojnicą.



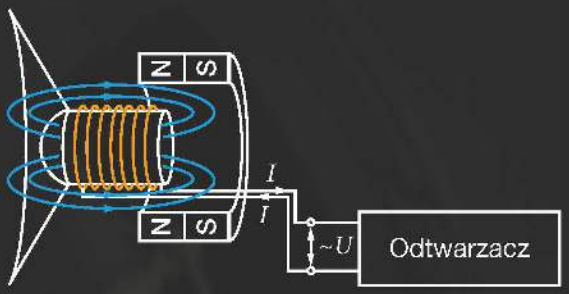
**1** Odtwarzacz na podstawie zapisanego dźwięku wytwarza napięcie, które zmienia się tak jak częstotliwość i amplituda nagranego dźwięku.



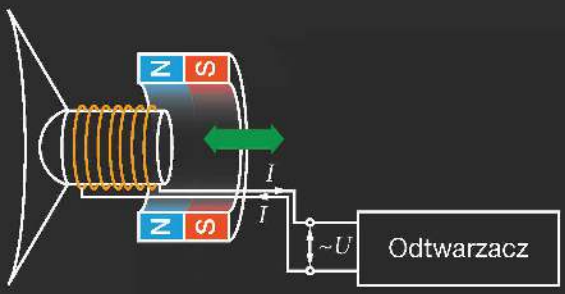

**2** Zmieniające się napięcie doprowadzone do głośnika powoduje, że przez zwojnicę przepływa tak samo zmieniający się prąd.



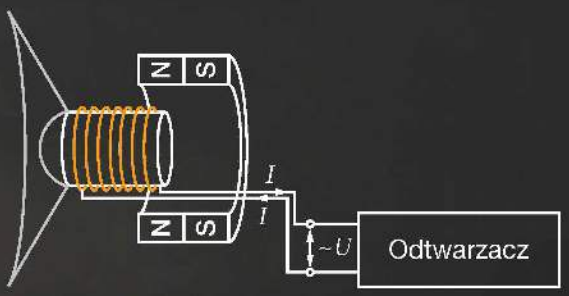

**3** Zmienny prąd przepływający przez zwojnicę sprawia, że wytwarza ona pole magnetyczne, które zmienia się tak jak płynący prąd.



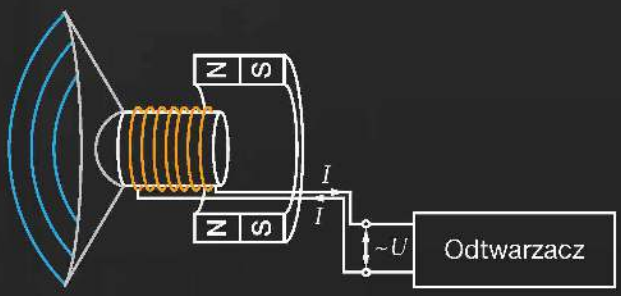

**4** Skutkiem jest zmieniające się oddziaływanie z magnesem trwałym – zwojnica jest przyciągana i odpychana zgodnie ze zmianami przepływającego przez nią prądu.




**5** Ponieważ zwojnica jest sztywno połączona z membraną, wprawia ją w drgania, których częstotliwość i amplituda odpowiadają ruchom zwojnicy.




**6** Membrana z kolei wprawia w drgania cząsteczki powietrza. Częstotliwość i amplituda ich drgań są takie, jakie było napięcie wytwarzane przez odtwarzacz – rozchodzi się dźwięk, którego brzmienie jest takie jak dźwięku zapisanego na nośniku w odtwarzaczu.



## Pole magnetyczne zwojnicy

Pojedynczy przewodnik z prądem wytwarza słabe pole magnetyczne. Aby wzmocnić ten efekt, zwijamy go w wiele pętli – w ten sposób uzyskujemy **zwojnicę**, która wytwarza odpowiednio silniejsze pole magnetyczne.

W technice zwojnicę częściej nazywamy cewką.

### Doświadczenie obowiązkowe

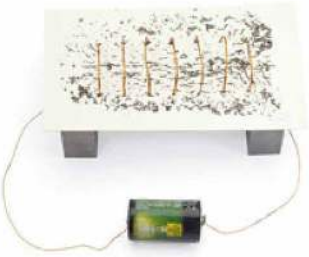
**Pole magnetyczne pętli lub zwojnicy**

1. Przygotuj baterię D (R20), gruby przewód długości ok. 50 cm, tekturkę i stalowe opiłki.
2. W tekturce zrób gwoździem małe otwory i przepleć przez nie przewód tak, aby tworzył pojedynczą pętlę (zdjęcie A).
3. Ustaw tekturkę w poziomie. Wysyp na nią opiłki.
4. Podłącz końce przewodu do biegunów baterii.
5. Postukaj delikatnie w tekturkę, aby opiłki ułożyły się wzdłuż linii pola.
6. Rozłącz obwód jak najszybciej.
7. Przepleć przez tekturkę przewód tak, aby utworzył kilka pętli (jak na zdjęciu B), a następnie powtórz czynności opisane w punktach 3–6.

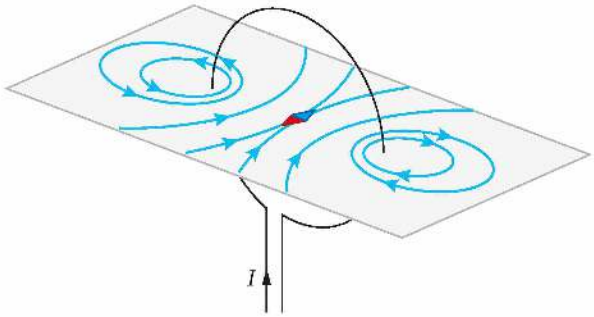
A.



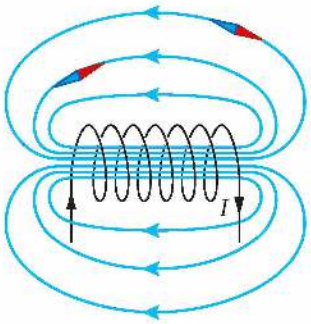
B.



A.




B.



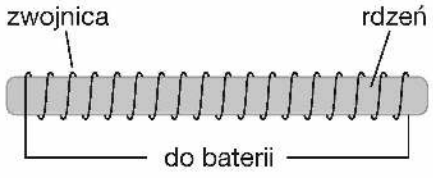

▲ Linie pola magnetycznego wytwarzanego przez: A. pętlę z prądem, B. zwojnicę

Linie pola na zewnątrz pętli lub zwojnicy przypominają linie pola wytwarzanego przez magnes sztabkowy. Ustawienie biegunów zależy od kierunku przepływu prądu.

## Elektromagnes

Zwojnica wytwarza pole magnetyczne podobne do pola magnesu sztabkowego. Aby je wzmocnić, można nawinąć więcej zwojów lub przepuścić prąd o większym natężeniu. Najlepszy efekt uzyskamy jednak, gdy wewnątrz zwojnicy umieścimy kawałek stali (lub innego ferromagnetyku) – uzyskamy wówczas elektromagnes, czyli magnes zasilany prądem elektrycznym.

**Elektromagnes** to zwojnica nawinięta na kawałek stali zwany rdzeniem.




◀ Budowa elektromagnesu

Pod wpływem pola magnetycznego zwojnicy rdzeń ulega namagnesowaniu i sam też wytwarza pole magnetyczne, które dodaje się do pola zwojnicy, a co więcej – jest od niego znacznie silniejsze. Zasadniczą zaletą elektromagnesu jest możliwość jego włączania i wyłączania, co w przypadku zwykłego magnesu nie wchodzi w grę.

## Zastosowania zwojnic i elektromagnesów

Z elektromagnesami i zwojnicami mamy do czynienia na co dzień. Gdy wciskamy przycisk domofonu, elektromagnes otwiera drzwi. Znacznie większy elektromagnes podnosi złom w hucie, jak pokazano na zdjęciu na s. 145. Mała zwojnica jest ważną częścią głośnika, a w badaniach medycznych metodą magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR) wykorzystujemy ogromną zwojnicę, wewnątrz której znajduje się pacjent (patrz „A to ciekawe" na s. 101).

### To najważniejsze

- **Pole magnetyczne** można przedstawić graficznie za pomocą linii pola. W każdym punkcie pola igła magnetyczna ustawia się stycznie do tych linii.
- **Linie pola magnetycznego** można badać za pomocą opiłków stalowych lub żelaznych. Linie pola są krzywymi zamkniętymi – w przypadku, gdy źródłem pola jest magnes, występują one również wewnątrz magnesu.
- Pętla lub zwojnica podłączone do prądu elektrycznego wytwarzają pole magnetyczne podobne do pola magnesu.
- Zwojnica nawinięta na rdzeniu to **elektromagnes**.

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Do początków zdań A–D dopasuj ich zakończenia I–IV. Zapisz w zeszycie całe powstałe zdania.

**A.** Zwojnica wytwarza pole magnetyczne...

**B.** Linie pola magnetycznego są zawsze...

**C.** Elektromagnes wytwarza pole silniejsze niż zwojnica, ...

**D.** Wszystkie zwoje zwojnicy są nawinięte w tę samą stronę, ...

**I.** ...aby wytwarzane pola się dodawały, a nie redukowały.
**II.** ...krzywymi zamkniętymi.
**III.** ...podobne do pola magnesu sztabkowego.
**IV.** ...ponieważ jego rdzeń jest silnie namagnesowany.

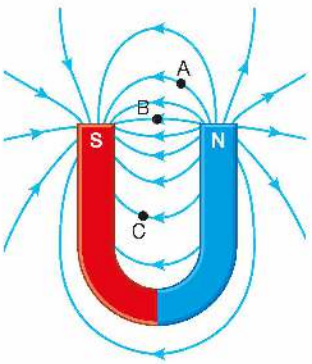
**2.** Spośród urządzeń podanych w ramce wypisz te, w których znajduje się:

**a)** elektromagnes,

**b)** zwojnica bez rdzenia.

głośnik • magnes sztabkowy • zamek elektryczny • urządzenie do badania NMR • kompas

**3.** Rysunek przedstawia linie pola magnetycznego wytwarzanego przez magnes w kształcie podkowy. Przerysuj go do zeszytu i dorysuj w punktach A, B i C odpowiednio ustawioną igłę magnetyczną.



**4.** Zapoznaj się z infografiką „Z historii" na s. 146 i wykonaj polecenia.

**a)** Nazwiska wszystkich trzech wymienionych w niej fizyków zostały uwiecznione w jednostkach wielkości fizycznych. Jedna z tych jednostek nie jest już obecnie używana, dwie pozostałe znasz. Co to za jednostki i jakie wielkości w nich wyrażamy?

**b)** Wyjaśnij, dlaczego odkrycie Ørsteda było przełomowe.

**c)** Przypomnij sobie i zapisz w zeszycie dla porównania, co działo się na ziemiach polskich w roku 1820 – przełomowym dla elektromagnetyzmu.

## Doświadczenie domowe

### Budowanie elektromagnesu

**1.** Przygotuj długi stalowy gwóźdź, baterię D (R20), drobne przedmioty stalowe (gwoździki, spinacze biurowe) oraz drut w izolacji emaliowej (patrz „Wskazówki praktyczne (prąd elektryczny)" na s. 57), ewentualnie cienki przewód w izolacji. Może się przydać także kompas albo magnes z podpisanymi biegunami.

**2.** Na gwóźdź (który będzie pełnił funkcję rdzenia) nawiń przewód kilkadziesiąt razy (jeśli masz cierpliwość – kilkaset razy). Zwoje nie muszą być nawinięte bardzo równo ani starannie. Muszą tylko wszystkie zostać nawinięte w tę samą stronę.

**3.** Podłącz końce przewodów do baterii i sprawdź, jak gwóźdź przyciąga stalowe przedmioty.

**Uwaga.** Przewody mogą się rozgrzewać, zwłaszcza w miejscu styku z biegunami baterii. Jeśli się tak dzieje, nie przyciskaj ich w tym miejscu gołymi rękami.

**4.** Jeśli masz kompas albo magnes z podpisanymi biegunami, sprawdź, gdzie namagnesowany gwóźdź ma biegun północny, a gdzie południowy. Sprawdź, czy bieguny się zmienią, jeśli prąd popłynie w drugą stronę.





# 20. Siła w polu magnetycznym

**Cele lekcji**

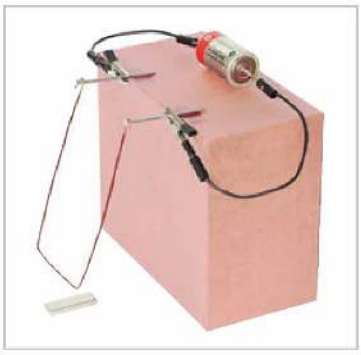
- Zaobserwujesz siłę działającą w polu magnetycznym na przewodnik z prądem.
- Dowiesz się, jak działa silnik elektryczny.
- Poznasz działanie siły na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym.
- Dowiesz się, jak pole magnetyczne Ziemi chroni nas przed wiatrem słonecznym i jak powstają zorze polarne.

## Siła magnetyczna

Wiemy już, że przewodnik z prądem oddziałuje na magnes (patrz doświadczenie 16. na s. 138). Jednak zgodnie z trzecią zasadą dynamiki wszystkie oddziaływania są wzajemne. Czy w takim razie również magnes oddziałuje na przewodnik z prądem? Tak rzeczywiście jest, trzeba tylko przygotować doświadczenie, w którym uda się zaobserwować skutki działania interesującej nas siły.

### Doświadczenie 19.

**Badanie siły działającej na przewodnik z prądem**



1. Przygotuj dwa długie gwoździe, baterię D (R20), mocny magnes (np. neodymowy), przewody, magnesy do łączenia przewodów, taśmę klejącą oraz gruby miedziany przewód. Jeśli nie masz takiego przewodu, możesz skręcić razem kilka cieńszych przewodów bez izolacji.
2. Przyklej gwoździe taśmą klejącą do blatu stołu tak, aby wystawały poza jego brzeg, i podłącz do nich przewody.
3. Wykonaj ramkę z drutu miedzianego i zaczep ją na gwoździach tak, aby mogła się swobodnie kołysać (jak na zdjęciu). Pod ramką połóż magnes jednym z biegunów do góry.
4. Podłącz przewody do baterii. Co dzieje się z ramką? Co się zmieni, gdy obrócimy magnes drugim biegunem w górę? A gdy odwrotnie podłączymy przewody baterii?

**Uwaga.** Ramka się rozgrzewa, zwłaszcza w miejscach, gdzie dotyka gwoździ. Nie zostawiaj obwodu włączonego na dłużej, niż to konieczne.

Jak widzieliśmy w doświadczeniu, ramka odchyliła się, gdy zaczął przez nią płynąć prąd. Ruch ten oznacza, że na przewodnik z prądem znajdujący się w polu magnetycznym działa siła magnetyczna. A ściślej, siła ta działa na płynące w przewodzie elektrony, tak jak dorysowaliśmy do zdjęcia z doświadczenia (rys. obok).

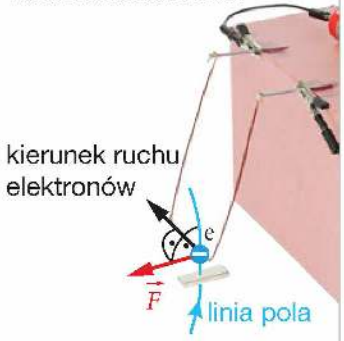
Zauważ, że ta siła jest prostopadła zarówno do linii pola magnetycznego, jak i do kierunku ruchu elektronów.

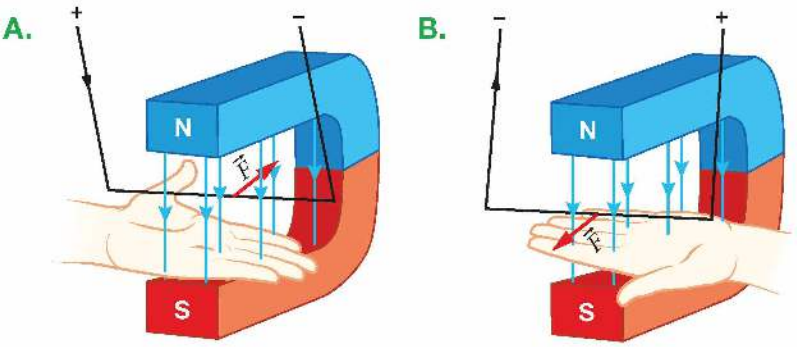
Aby wyznaczyć zwrot siły magnetycznej działającej na przewodnik, możemy posłużyć się **regułą lewej dłoni**. Ustawiamy lewą dłoń tak jak na rysunkach poniżej:

- wszystkie palce (oprócz kciuka) wskazują kierunek przepływu prądu (umowny, tzn. od bieguna dodatniego do ujemnego),
- linie pola magnetycznego wchodzą we wnętrze dłoni (czyli wnętrze dłoni jest zwrócone w stronę bieguna N),
- a odchylony kciuk pokazuje zwrot siły magnetycznej.

### Kierunek siły magnetycznej

Na rysunku pokazano, jaki jest kierunek wektora siły magnetycznej względem kierunku ruchu elektronów.



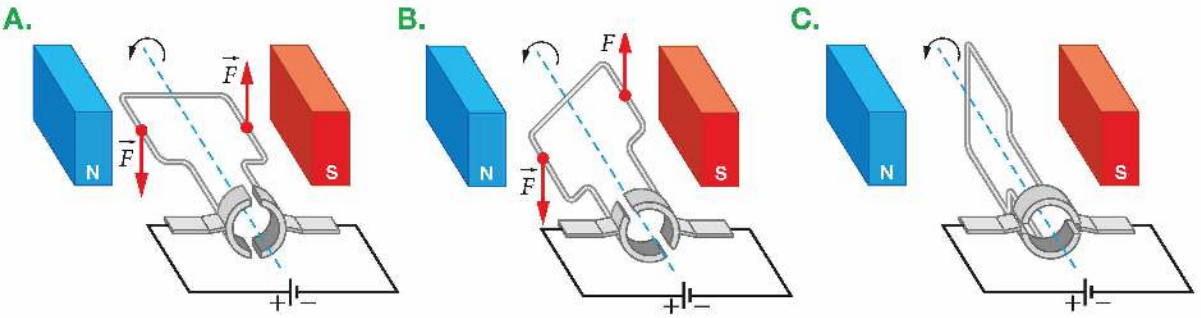




◀ Reguła lewej dłoni pozwala wyznaczyć kierunek działania siły magnetycznej, na rysunkach pokazano dwa przypadki

## Silnik elektryczny

W naszym doświadczeniu udało się nam wprawić ciało (ramkę z drutu) w ruch dzięki oddziaływaniu pola magnetycznego na poruszające się ładunki. Był to ruch niewielki i krótkotrwały. Nam jednak zależy na tym, aby ruch mógł trwać przez dłuższy czas i napędzał jakiś mechanizm, czyli aby zbudować silnik elektryczny. Zobaczmy, jak można to zrobić.

Na rysunkach poniżej widzisz pojedynczą ramkę z drutu umieszczoną w polu magnetycznym pomiędzy biegunami magnesów. Zwróć uwagę na to, jakie siły działają teraz na ramkę. Gdy przez ramkę płynie prąd, powodują one jej obrót.




▲ Pojedyncza ramka z prądem to najprostszy model silnika elektrycznego

Silnik elektryczny działa dzięki oddziaływaniu magnetycznemu między przewodnikiem z prądem a magnesem lub elektromagnesem.

Rzeczywisty silnik składa się z bardzo wielu ramek (zwojów przewodu) ustawionych pod różnymi kątami pośrednimi pomiędzy położeniami A i C, dlatego może mieć większą moc i sprawność. Unikamy też problemu zablokowania się ramki w położeniu C, w którym nie działa na nią siła – gdy jest wiele ramek ustawionych różnie względem linii pola magnetycznego, wszystkie nie znajdą się jednocześnie w położeniu C.

## Naładowana cząstka w polu magnetycznym

Siła działająca na przewodnik z prądem jest wypadkową sił działających na poszczególne elektrony poruszające się w tym przewodniku. Taka siła działa jednak nie tylko na elektrony, ale na każdą naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym.

Na naładowaną cząstkę, która porusza się w polu magnetycznym, działa **siła magnetyczna** powodująca zakrzywienie jej toru.

**Uwaga.** Wyjątkiem jest naładowana cząstka, która porusza się zgodnie z kierunkiem linii pola: siła magnetyczna na nią nie działa.
Możliwe tory ruchu cząstki naładowanej w polu magnetycznym pokazano na rysunkach 1–4 na stronach 156–157.

Naładowane cząstki to nie tylko elektrony i protony, lecz także jony, np. $Na^+$ i $Cl^-$.

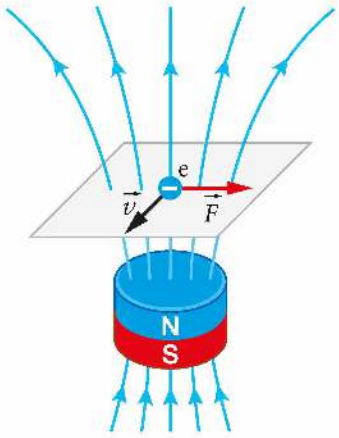
## Siła magnetyczna a siła elektryczna

W lekcji 18. mówiliśmy o różnicach między ładunkami elektrycznymi a biegunami magnetycznymi. Teraz wskażemy ważne różnice między polem magnetycznym a elektrycznym. Zacznijmy od siły.

- Siła magnetyczna działa tylko na naładowane cząstki, które się poruszają, i to tylko wtedy, gdy ruch nie przebiega wzdłuż linii pola magnetycznego.
- Siła elektryczna działa na wszystkie naładowane cząstki znajdujące się w polu elektrycznym, niezależnie od tego, czy i jak się poruszają.

Kolejna różnica dotyczy kierunku siły działającej na naładowane cząstki.

- Siła magnetyczna jest **prostopadła** do linii pola magnetycznego, a także do kierunku ruchu cząstki (patrz rys. obok).
- Siła elektryczna działa **wzdłuż** linii pola elektrycznego, a jej kierunek nie zależy od kierunku ewentualnego ruchu cząstki.

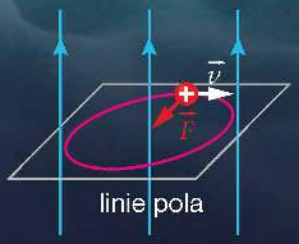



▲ Na elektron w polu magnetycznym działa siła magnetyczna, powodująca zakrzywienie jego toru

# Zorza polarna

Pole magnetyczne Ziemi kieruje cząstki wiatru słonecznego do obszarów podbiegunowych (rysunki 1–5). Cząstki te uderzają w cząsteczki powietrza i wybijają z nich elektrony. Elektrony zderzają się z kolejnymi cząsteczkami powietrza i oddają energię w postaci światła. W ten sposób powstaje jedno z najpiękniejszych naturalnych zjawisk – zorza polarna.

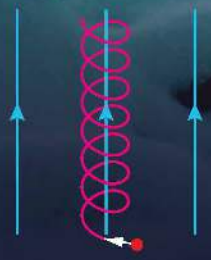




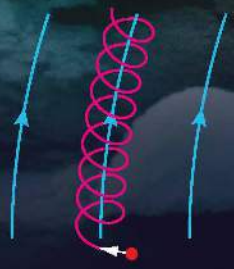

**1** Gdy cząstka porusza się prostopadle do linii pola, działa na nią siła prostopadła do wektora prędkości. Ta siła pełni funkcję siły dośrodkowej. Cząstka porusza się po okręgu w płaszczyźnie prostopadłej do linii pola.




**2** Gdy cząstka porusza się wzdłuż linii pola, nie działa na nią siła magnetyczna, a cząstka dalej porusza się po tej samej prostej.



**3** Gdy cząstka porusza się pod innym kątem, siła magnetyczna powoduje jej ruch po linii śrubowej. Ten ruch jest złożeniem ruchu po okręgu w płaszczyźnie prostopadłej do linii pola i ruchu jednostajnego po prostej wzdłuż linii pola.



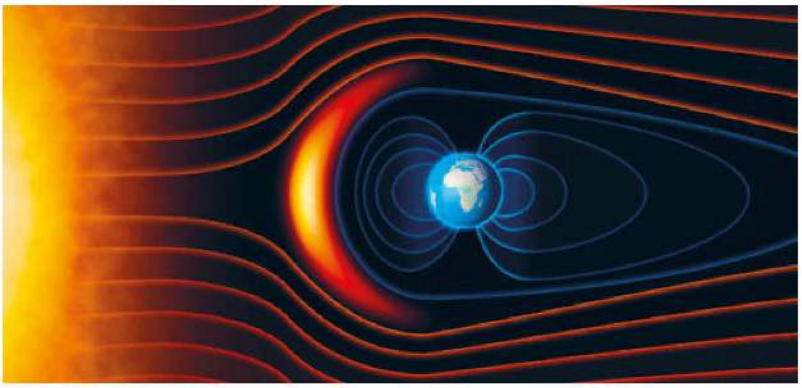
**4** Gdy linia pola powoli zmienia kierunek, wraz nią skręca linia śrubowa, po której porusza się naładowana cząstka.



**5** Tak właśnie dzieje się z cząstkami wiatru słonecznego w polu magnetycznym Ziemi.

## Pole magnetyczne Ziemi a wiatr słoneczny

Wiatr słoneczny to strumień naładowanych cząstek (m.in. protonów i elektronów) docierających do Ziemi ze Słońca. Astronomowie przypuszczają, że to właśnie wiatr słoneczny „wywiał" znaczną część atmosfery Marsa. Na szczęście Ziemia ma ochronę, której pozbawiony jest Mars: pole magnetyczne.
Już w odległości kilkudziesięciu tysięcy kilometrów od powierzchni Ziemi, a więc daleko poza ziemską atmosferą, pole magnetyczne naszej planety jest na tyle silne, że siła magnetyczna działająca na cząstki wiatru słonecznego powoduje zmianę toru ich ruchu.



◀ Pole magnetyczne chroni Ziemię przed wiatrem słonecznym

Większość tych cząstek po prostu omija Ziemię. Te z nich, którym uda się zbliżyć do naszej planety, są kierowane przez pole magnetyczne Ziemi w okolice biegunów (patrz infografika na s. 156–157). Dzięki tym cząstkom powstaje zorza polarna.

### To najważniejsze

- Na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym (ale nie wzdłuż linii pola) działa **siła magnetyczna**. Jest ona prostopadła do linii pola i do kierunku ruchu cząstki.
- Siła magnetyczna działa także na elektrony płynące w przewodzie znajdującym się w polu magnetycznym, a za ich pośrednictwem – na cały przewód. To zjawisko jest podstawą działania **silnika elektrycznego**.
- Siła działająca na naładowane cząstki wiatru słonecznego w polu magnetycznym Ziemi chroni nas przed nadmiernym działaniem tego zjawiska i powoduje powstawanie zorzy polarnej.

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Wskaż, na które z wymienionych ciał lub cząstek w polu magnetycznym działa siła magnetyczna.

**A.** przewodnik z prądem ułożony wzdłuż linii pola

**B.** przewodnik z prądem ułożony w poprzek linii pola

**C.** spoczywający elektron

**D.** elektron poruszający się prostopadle do linii pola

**E.** elektron poruszający się pod kątem 45° do linii pola

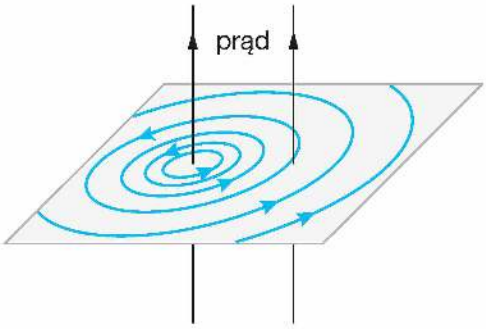
**F.** elektron poruszający się wzdłuż linii pola

**G.** stalowy gwoździk

**H.** igła magnetyczna

**2.** Bieguny magnetyczne Ziemi zmieniają swoje położenie. Zdarzało się już w historii naszej planety, że znajdowały się one z dala od biegunów geograficznych. Gdzie wówczas można było zaobserwować zorze polarne: w pobliżu biegunów magnetycznych czy geograficznych?

**3.** Rysunek przedstawia dwa przewody, przez które płynie prąd, oraz linie pola magnetycznego wytwarzanego przez jeden z tych przewodów. Linie narysowane są w jednej płaszczyźnie prostopadłej do przewodów, ale w każdej innej będą wyglądać tak samo.




Przeanalizuj ten rysunek i na jego podstawie odpowiedz, czy w tym polu magnetycznym na elektrony poruszające się w drugim przewodzie działa siła magnetyczna. Innymi słowy: czy dwa równoległe przewodniki, w których płynie prąd, oddziałują na siebie siłą magnetyczną?

**4.** Zapoznaj się z informacjami i filmem o tym, jak wiatr słoneczny pozbawił Marsa części atmosfery. Odpowiedz na pytania:

**a)** Czy w historii Marsa był okres, kiedy mogło tam istnieć życie?

**b)** Czy wiemy, że na Marsie istniało kiedyś życie?

**c)** Dlaczego Mars stracił swoje pole magnetyczne?

**d)** Dlaczego porównano działanie wiatru słonecznego do kradzieży drobnych z kasy?

## Doświadczenie domowe

### Najprostszy pojazd elektryczny

**1.** Przygotuj baterię AA (paluszek), dwa różnej wielkości magnesy neodymowe o średnicy większej niż średnica baterii oraz kawałek folii aluminiowej długości co najmniej 1 m.

**2.** Przyczep magnesy do biegunów baterii tak, aby magnesy były zwrócone swoimi jednakowymi biegunami do siebie. W tym położeniu magnesy się odpychają, ale kiedy już przyczepisz je do baterii, siła przyciągania między nimi a stalową obudową baterii przeważy siłę odpychania między magnesami.

**3.** Wyrównaj magnesy tak, aby oś każdego z nich pokrywała się z osią baterii.

**4.** Połóż tak otrzymany „pojazd" na folii aluminiowej, a zacznie jechać.

**5.** Co się zmieni, gdy zastosujesz magnesy o jednakowej średnicy?





Gdy kładziemy magnesy na folii aluminiowej, obwód się zamyka i zaczyna płynąć prąd. Elektrony płyną z ujemnego bieguna baterii przez magnes, folię i drugi magnes do dodatniego bieguna baterii. Ponieważ wewnątrz magnesu także jest pole magnetyczne, na elektrony płynące przez magnes działa siła magnetyczna.




# 21. Indukcja elektromagnetyczna

**Cele lekcji**

- Poznasz zjawisko indukcji elektromagnetycznej.
- Dowiesz się, jak działają prądnica i mikrofon.

## Zjawisko indukcji elektromagnetycznej

Z lekcji 18. wiesz, że prąd płynący w przewodzie wpływa na ustawienie igły magnetycznej, czyli że prąd elektryczny może wytwarzać pole magnetyczne. Czy jest także odwrotnie: czy za pomocą pola magnetycznego można wytworzyć prąd elektryczny?

### Doświadczenie obowiązkowe

**Indukcja elektromagnetyczna**

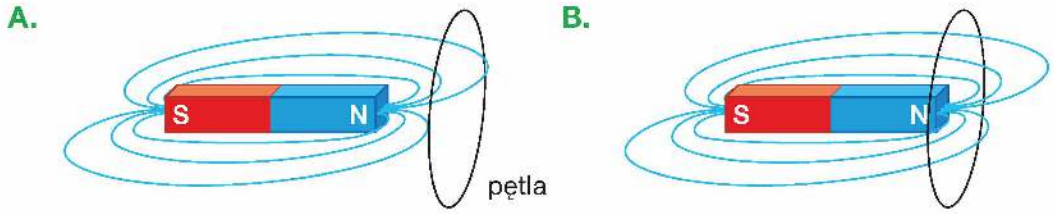
1. Przygotuj elektromagnes (np. taki jak w doświadczeniu domowym na s. 152), silny magnes (np. neodymowy) oraz woltomierz.
2. Do końcówek przewodu elektromagnesu podłącz woltomierz ustawiony na najczulszy zakres.
3. Zbliż magnes do łebka gwoździa będącego rdzeniem elektromagnesu i puść, aby magnes się przyczepił (patrz zdjęcie). Co wskazuje woltomierz?
4. Odczekaj chwilę. Jakie są wskazania woltomierza, gdy magnes jest przyczepiony do gwoździa?
5. Oderwij szybkim ruchem magnes od gwoździa. Co wskazuje woltomierz?



Gdy dołączamy magnes do gwoździa lub odłączamy od niego, gwóźdź zostaje namagnesowany lub traci swoje namagnesowanie. Wobec tego pole magnetyczne, w którym znajduje się zwojnica, rośnie lub maleje. W tych sytuacjach woltomierz wskazuje, że w zwojnicy powstaje napięcie.

Powstawanie napięcia w zwojnicy w trakcie zmian pola magnetycznego nazywamy **indukcją elektromagnetyczną**.

Zauważmy bardzo ważny fakt: indukcję elektromagnetyczną możemy zaobserwować tylko **w trakcie zmian** pola magnetycznego. Stałe pole, nawet najsilniejsze, nie wywoła tego zjawiska. To był właśnie powód, dla którego tak trudno było odkryć zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Badaczom przez dłuższy czas nie udawało się go zaobserwować, ponieważ chcieli wytworzyć prąd ze stałego pola magnetycznego. Indukcję odkrył dopiero w XIX w. Michael Faraday (czyt. majkel faradaj). Więcej na ten temat dowiesz się z filmu, który polecamy w zadaniu 5. na s. 164.




▲ W różnych położeniach pętli względem magnesu różna jest liczba linii pola przechodzących przez pętlę

Dokładny matematyczny opis zmiany pola, która wywołuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej, jest skomplikowany. Ogólnie możemy jednak powiedzieć, że indukcja zachodzi, gdy **zmienia się liczba linii pola przechodzących przez pętlę lub zwojnicę** (patrz rys. powyżej). Wyrażenie „linie pola przechodzące przez pętlę" oznacza linie przechodzące przez obszar ograniczony pętlą. Jeżeli wyobrazisz sobie, że pętla z drutu otacza papierowe kółko, to mowa o liniach pola przechodzących na wylot przez to kółko.
Zjawisko indukcji zachodzi już **przy przybliżaniu magnesu** do zwojnicy i **oddalaniu** od niego (albo zwojnicy do/od magnesu). Jednak w naszym doświadczeniu używaliśmy zwojnicy o niezbyt dużej liczbie zwojów, dlatego napięcie powstające przy powolnym przybliżaniu lub oddalaniu magnesu było niskie i trudno by je było zaobserwować.

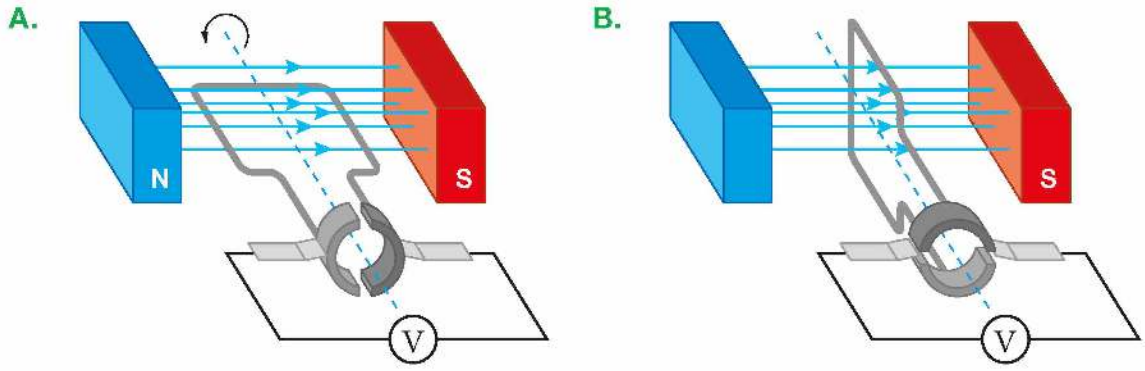
## Działanie prądnicy

Silnik elektryczny zamienia energię elektryczną na mechaniczną. Prądnica odwrotnie: zamienia energię mechaniczną na elektryczną. Okazuje się jednak, że mimo przeciwstawnej funkcji budowa prądnicy jest identyczna jak budowa silnika. Przypomnijmy więc schemat budowy silnika. Podobnie jak wcześniej (s. 154) dla uproszczenia rozważymy tylko jedną ramkę z uzwojenia tego silnika.

### A to ciekawe

Fakt, że prądnica jest zbudowana tak samo jak silnik, wykorzystujemy w praktyce w samochodach elektrycznych i hybrydowych oraz w tramwajach i lokomotywach elektrycznych. Gdy pojazd hamuje, jego silnik działa jako prądnica i ładuje akumulator lub oddaje energię do sieci elektrycznej.






▲ Gdy obracamy ramką, zmienia się liczba linii pola magnetycznego przez nią przechodzących

Gdy zamiast podłączyć silnik do źródła napięcia, zaczniemy obracać ramką, będzie się zmieniać liczba przechodzących przez nią linii pola magnetycznego. W położeniu przedstawionym na rysunku A przez ramkę nie przechodzi ani jedna linia pola. Podczas obrotu ramki liczba linii pola się zwiększa, aż osiągnie maksymalną wartość (rys. B). W trakcie dalszego obracania liczba linii znów będzie się zmniejszała, następnie zwiększała itd.

Zmiana liczby linii pola przechodzących przez ramkę oznacza, że zajdzie zjawisko indukcji elektromagnetycznej – na końcach przewodów pojawi się napięcie.

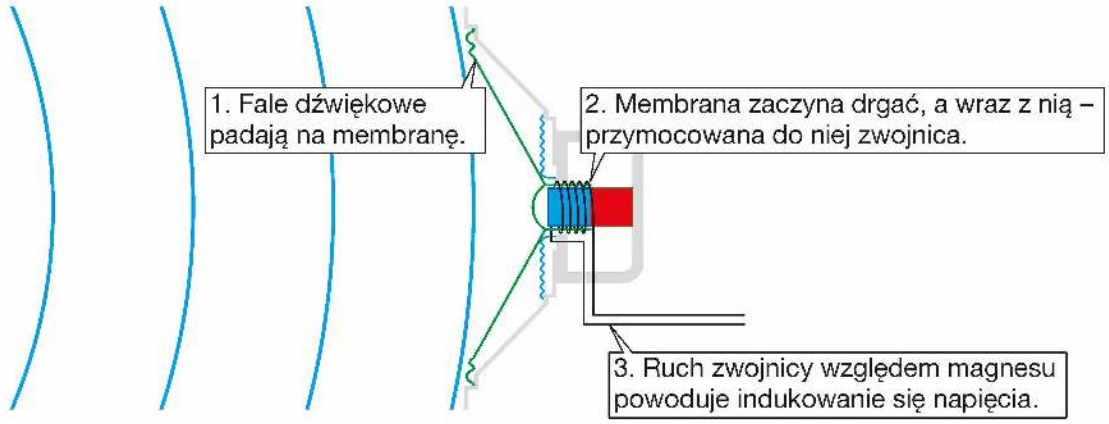
W prądnicy, podobnie jak w silniku, ramek jest znacznie więcej. Pozwala to uzyskać wyższe napięcie i wyższą sprawność urządzenia.

Odkrycie zjawiska indukcji elektromagnetycznej to wydarzenie o ogromnym znaczeniu praktycznym. Bez tego osiągnięcia nie zbudowano by prądnicy, a bez prądnicy nie byłoby możliwe zastosowanie energii elektrycznej na dużą skalę. Nie da się przecież zasilać miasta ani fabryki z baterii.

## Budowa mikrofonu

Prądnica i silnik elektryczny spełniają przeciwne funkcje mimo analogicznej budowy. Podobnie jest z mikrofonem i głośnikiem – ich budowa jest tak podobna, że głośnik może nawet pełnić funkcję mikrofonu (przekonasz się o tym po wykonaniu doświadczenia domowego ze s. 164).

Jak działa mikrofon? Gdy na jego membranę pada fala dźwiękowa, wprawia ją w drgania. Razem z membraną drga zwojnica, a ponieważ drga w polu magnetycznym, na jej końcach pojawia się napięcie, którego zmiany odpowiadają drganiom powietrza.



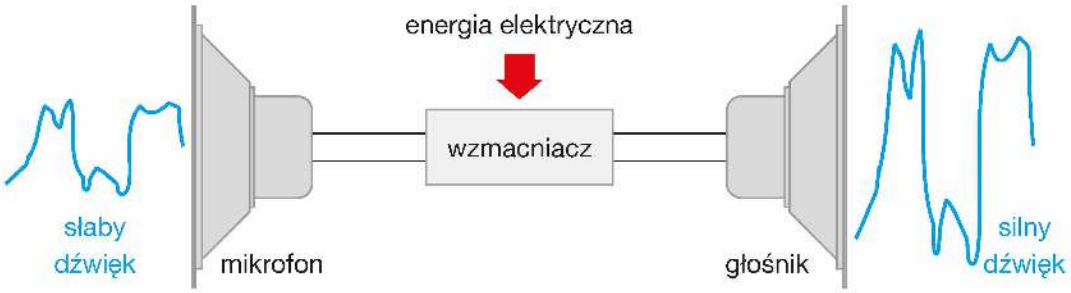

▲ Schemat działania mikrofonu

## A to ciekawe

Kuchenka indukcyjna – jak sama nazwa wskazuje – działa dzięki indukcji elektromagnetycznej. Pod płytą znajduje się zwojnica, która wytwarza zmienne pole magnetyczne. Prąd indukuje się w dnie garnka lub patelni i wytwarza w tym miejscu ciepło, podczas gdy sama płyta się nie grzeje. Kiedy zdejmujemy naczynie z kuchenki, prąd przestaje płynąć.



Napięcie indukujące się w zwojnicy mikrofonu jest niskie, dlatego zwykle wzmacnia się je za pomocą odpowiedniego układu elektronicznego, zwanego **wzmacniaczem**. Jednak nawet bez wzmacniacza można zasilać tym napięciem głośnik (patrz doświadczenie domowe na s. 164), choć powstały dźwięk będzie dość cichy.




▲ Dzięki wzmacniaczowi głośnik może wytwarzać dźwięk silniejszy niż rejestrowany przez mikrofon

## To najważniejsze

- Gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez ramkę z przewodnika, pomiędzy końcami ramki powstaje napięcie. To zjawisko nazywamy **indukcją elektromagnetyczną**.
- Na zasadzie indukcji elektromagnetycznej działają prądnice i mikrofony.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Do urządzeń A–E dopasuj zjawiska fizyczne I–III. Zapisz w zeszycie utworzone w ten sposób pary.

**Uwaga.** Niektóre zjawiska pojawią się więcej niż raz.

**A.** prądnica
**B.** silnik elektryczny
**C.** piecyk elektryczny
**D.** mikrofon
**E.** głośnik

**I.** działanie siły magnetycznej na przewodnik, w którym płynie prąd
**II.** indukcja elektromagnetyczna
**III.** wydzielanie się ciepła podczas przepływu prądu

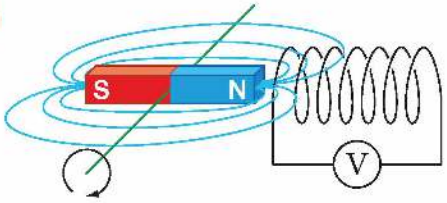
**2.** Zastanów się, czy można zbudować prądnicę, w której porusza się magnes, a uzwojenie pozostaje w spoczynku. Jeśli nie jest to możliwe, uzasadnij dlaczego. Jeśli jest możliwe, dowiedz się, czy takie rozwiązanie bywa stosowane w praktyce.

**3.** W czasie zjawiska indukcji elektromagnetycznej wytwarzamy energię elektryczną, ale magnes nie traci swoich właściwości, tzn. nie rozmagnesowuje się. Wytłumacz, jak to pogodzić z zasadą zachowania energii.

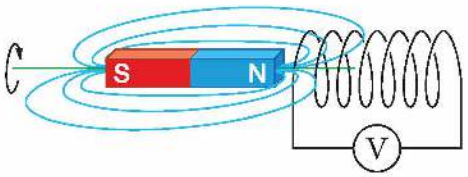
**4.** Czy obrót magnesu wokół zielonej osi wywoła indukcję elektromagnetyczną? Uzasadnij odpowiedź.

**Wskazówka.** Przypomnij sobie, jaki związek ma indukcja elektromagnetyczna z liniami pola.

**a)**




**b)**




**5.** Obejrzyj film *How Michael Faraday Changed the World with a Magnet* na kanale SciShow.

Zapisz w zeszycie w kilku zdaniach, czego się z niego dowiedziałeś.

## Doświadczenie domowe

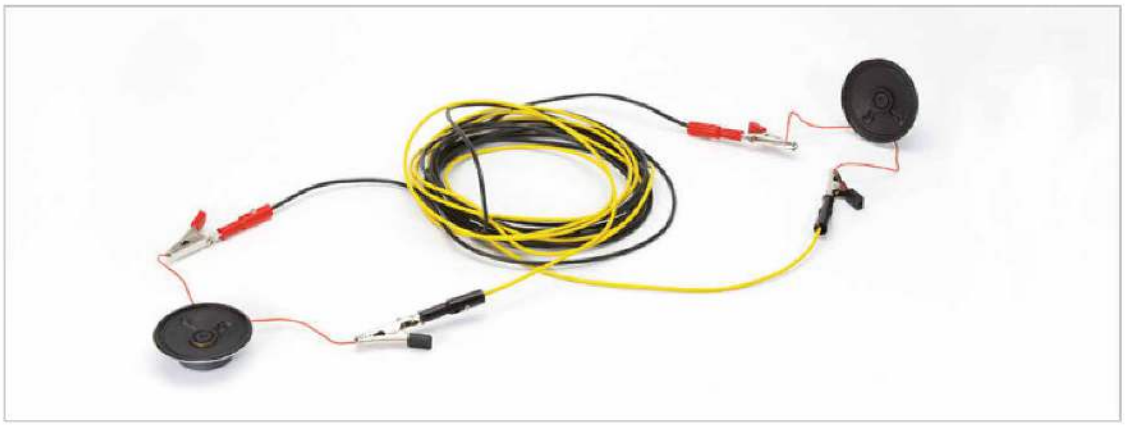
### Działanie mikrofonu i głośnika

**1.** Przygotuj baterię AA (paluszek), woltomierz, dwa kilkumetrowe przewody oraz dwa głośniki, najlepiej bez obudowy (albo takie, aby obudowa nie zasłaniała membrany). Będziesz też potrzebować pomocy drugiej osoby.

**2.** Podłącz jeden z głośników do baterii. Co słyszysz?

**3.** Podłącz jeden z głośników do woltomierza nastawionego na najmniejszy zakres i zapukaj w membranę. Co obserwujesz?

**4.** Połącz głośniki przewodami i umieść w jak największej odległości. Przyłóż ucho do jednego z głośników i poproś drugą osobę, aby mówiła do drugiego. Co słyszysz?





# 22. Transformator

**Cele lekcji**

- Zbadasz, czy za pomocą elektromagnesu także można wywołać zjawisko indukcji elektromagnetycznej.
- Zbudujesz prosty transformator i zbadasz, jak działa.
- Dowiesz się, do czego służą transformatory i linie wysokiego napięcia.

## Indukcja wywołana przez elektromagnes

Do tej pory zajmowaliśmy się indukcją elektromagnetyczną wywołaną przez ruch zwojnicy względem magnesu trwałego. Jednak to zjawisko zachodzi zawsze, gdy zwojnica znajduje się w zmiennym polu magnetycznym. Źródłem takiego pola nie musi być poruszający się magnes.

Jak inaczej uzyskać zmieniające się pole magnetyczne? Wiesz już, że źródłem pola magnetycznego jest także prąd elektryczny. Wystarczy, że jego natężenie będzie się zmieniać, czyli np. gdy przez przewód będzie płynął prąd przemienny. Takie zmieniające się pole magnetyczne możemy wytworzyć z wykorzystaniem elektromagnesu.

## Lampka – źródło bezpiecznego napięcia przemiennego

Lampka podobna do przedstawionej na zdjęciu obok ma w stopce transformator, obniżający napięcie z 230 V do 12 V. Przewodami zasilającymi są stalowe słupki podtrzymujące klosz i żarówkę. Zwykle nie są one izolowane, co jest jednak bezpieczne ze względu na niewielkie napięcie.



▲ Między metalowymi słupkami takiej lampki jest napięcie przemienne

## Doświadczenie obowiązkowe

### Elektromagnes i indukcja elektromagnetyczna



1. Potrzebne będą: lampka opisana na s. 165, stalowy pręt (np. pręt od statywu laboratoryjnego lub długi i gruby stalowy gwóźdź), miernik uniwersalny, zwojnica, przewód o długości ok. 1,5–2 m zakończony wtykami bananowymi i dwa przewody do połączenia lampki ze zwojnicą.
2. Włącz lampkę i zmierz napięcie między jej stalowymi słupkami. Pamiętaj, aby ustawić miernik na pomiar napięcia przemiennego (ACV lub V~). Zapisz wynik, wyłącz lampkę i odłącz miernik.
3. Nałóż zwojnicę na pręt i podłącz ją do słupków lampki tak, jak pokazano na zdjęciu.
4. Na drugą część pręta nawiń długi przewód (ok. 25 zwojów), a jego końcówki włóż do gniazd „com" i „V" miernika.
5. Włącz lampkę. Co obserwujesz? Jakie są wskazania miernika?
6. Nawiń jeszcze 10 zwojów przewodu na pręt i powtórz pomiar.

## Analiza doświadczenia

Wykorzystana przez nas w tym doświadczeniu zwojnica na stalowym rdzeniu to rodzaj elektromagnesu. Ponieważ napięcie między słupkami lampki jest przemienne, przez zwojnicę płynie prąd przemienny. Powoduje on powstawanie zmiennego pola magnetycznego w rdzeniu, a ono z kolei wywołuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej w nawiniętym przewodzie. Zamiast prostego rdzenia można zastosować

## Transformatory i przesyłanie energii

Transformator działa w taki sposób, że gdy napięcie się zwiększa, to natężenie prądu się zmniejsza. Zmniejszenie natężenia prądu pozwala zminimalizować straty energii podczas jej przesyłania. Dlatego właśnie przed przesłaniem energii elektrycznej na dużą odległość napięcie podnosi się aż do 400 000 V. Później ponownie stosuje się transformatory, aby obniżyć napięcie i dopasować je do potrzeb poszczególnych odbiorców.

Prądnica w elektrowni wytwarza napięcie 6300 V lub 10 500 V.

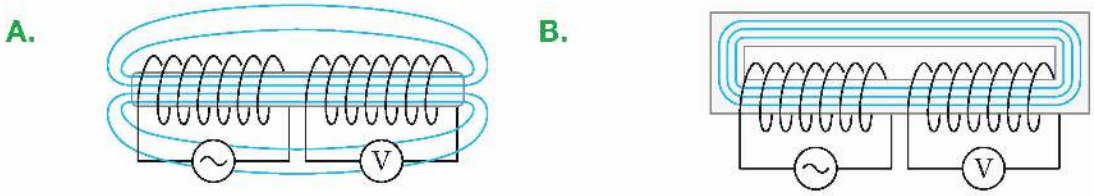


Stacja transformatorowa podwyższająca napięcie do 400 000 V.



Energia jest przesyłana liniami wysokiego napięcia 400 000 V.

zamkniętą ramkę (patrz rys. B). Dzięki niej linie pola wytworzonego przez zwojnicę podłączoną do źródła napięcia przemiennego nie „uciekają" z układu, ale wszystkie biegną przez drugą zwojnicę.
Tak zbudowane urządzenie nazywamy **transformatorem**.




▲ Przebieg linii pola w przypadku: A. zwojnic na prostym rdzeniu, B. zwojnic nawiniętych na zamknięty rdzeń

**Transformator** składa się z dwóch zwojnic nawiniętych na wspólny rdzeń.

Działanie transformatora można podsumować prostym schematem:

Prąd przemienny w pierwszej zwojnicy → Zmienne pole magnetyczne w rdzeniu → Prąd przemienny w drugiej zwojnicy

Po co nam urządzenie, które zamienia prąd przemienny na prąd przemienny? Aby odpowiedzieć na to pytanie, przypomnijmy sobie wynik doświadczenia z początku lekcji. Napięcie wskazywane przez woltomierz nie wynosiło 12 V, jak napięcie lampki, a w dodatku zależało od liczby zwojów drugiej zwojnicy. Oznacza to, że dzięki transformatorowi możemy uzyskiwać napięcie inne od wejściowego.



Transformatory w zasilaczach obniżają napięcie na dopasowane do potrzeb poszczególnych urządzeń.

Stacja transformatorowa obniża napięcie do 30 000 V lub 6000 V na potrzeby zakładów przemysłowych.

Energia jest przesyłana pod napięciem 30 000 lub 6000 V.

Transformatory osiedlowe obniżają napięcie do 230 V, m.in. na potrzeby domowej sieci elektrycznej.

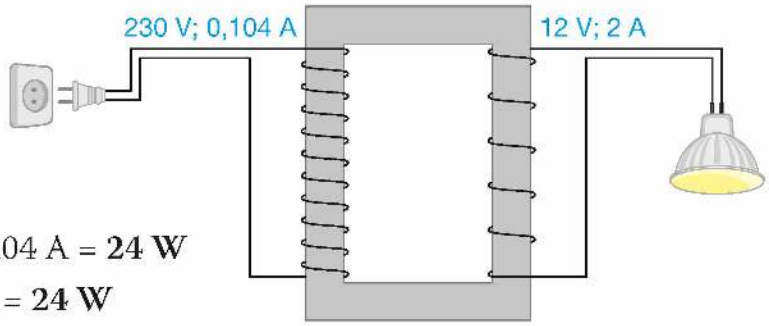
W naszym doświadczeniu woltomierz wskazywał mniej niż 12 V, ale można również otrzymać napięcie wyższe niż 12 V, gdyby w drugiej zwojnicy nawinąć więcej zwojów niż w pierwszej.

> Transformator może zarówno **obniżać**, jak i **podwyższać napięcie**.

Łatwość zmiany napięcia to jedna z ważnych zalet prądu przemiennego, które zdecydowały o jego powszechnym zastosowaniu.

## Transformator a zasada zachowania energii

Skoro transformator może podwyższać napięcie, to czy nie jest przykładem perpetuum mobile? Oczywiście nie. Gdy zwiększamy napięcie, odpowiednio zmniejsza się natężenie prądu. I na odwrót: obniżeniu napięcia towarzyszy zwiększenie natężenia. Przykładową sytuację przedstawiamy na rysunku.




$P_1 = 230\ \text{V} \cdot 0{,}104\ \text{A} = \mathbf{24\ W}$

$P_2 = 12\ \text{V} \cdot 2\ \text{A} = \mathbf{24\ W}$

▲ Transformator zasilający lampkę obniża napięcie z 230 V do 12 V, ale w obwodzie niskiego napięcia płynie prąd o wyższym natężeniu

Tak więc transformator nie pozwala uzyskać na wyjściu wyższej mocy niż na wejściu. Moc jest prawie taka sama: co prawda mamy do czynienia ze stratami energii z powodu nagrzewania się transformatora, ale w dobrym urządzeniu są one bardzo niewielkie.

## Przesyłanie energii elektrycznej

Prądnice w elektrowni wytwarzają napięcie kilku tysięcy woltów. Można z nich czerpać prąd o bardzo dużym natężeniu, jednak gdyby taką prądnicę połączyć przewodem z maszyną w fabryce odległej o kilkadziesiąt kilometrów, musielibyśmy użyć bardzo grubego przewodu, a przy tym duże natężenie prądu oznaczałoby duże straty energii. Dlatego energię elektryczną przesyłamy pod wysokim napięciem, co pozwala odpowiednio zmniejszyć natężenie prądu i ograniczyć straty energii.

### A to ciekawe

Jeśli staniesz pod linią wysokiego napięcia 400 000 V, usłyszysz charakterystyczny dźwięk. To wyładowania elektryczne – podobne do piorunów, ale oczywiście o znacznie mniejszej energii. Aby te wyładowania nie były zbyt duże, nie stosuje się napięć wyższych niż 400 000 V.



## To najważniejsze

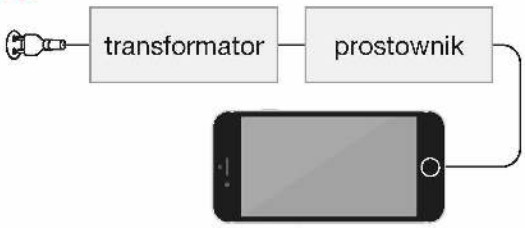
- **Transformator** składa się z dwóch zwojnic (cewek) nawiniętych na wspólny rdzeń.
- Prąd przemienny w jednej zwojnicy powoduje powstawanie zmiennego pola magnetycznego w rdzeniu, a ono z kolei skutkuje indukowaniem się prądu przemiennego w drugiej zwojnicy.
- Transformator służy do **zmiany napięcia prądu przemiennego**.
- Energię elektryczną przesyłamy na większe odległości pod wysokim napięciem, aby zmniejszyć straty energii.

## Pytania i zadania

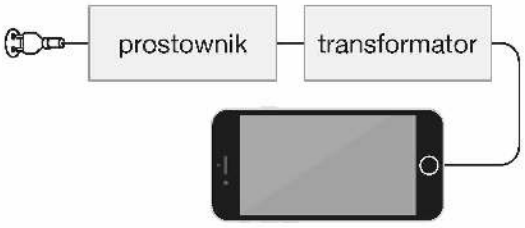
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** W sieci domowej występuje napięcie przemienne 230 V, a telefon komórkowy należy ładować prądem stałym o napięciu 5 V. Dlatego ładowarka składa się z dwóch zasadniczych elementów: transformatora, obniżającego napięcie, oraz prostownika, zamieniającego prąd przemienny na stały. W jakiej kolejności są ustawione te elementy: czy najpierw obniża się napięcie, a potem prostuje prąd o niskim napięciu (rys. A), czy też najpierw prostuje się prąd pod wysokim napięciem, a następnie je obniża (rys. B)? Uzasadnij odpowiedź.

**A.**




**B.**




**2.** Czy za pomocą transformatora można obniżać lub podwyższać napięcie stałe? Wyjaśnij swoją odpowiedź.

**3.** Elektryczna szczoteczka do zębów jest zasilana z małego akumulatora umieszczonego w jej obudowie. Akumulator się ładuje, gdy odkładamy szczoteczkę na specjalną podstawkę podłączaną do sieci.

**a)** Jak to możliwe, skoro zarówno szczoteczka, jak i podstawka mają plastikową (a więc nieprzewodzącą prądu) obudowę?



**b)** Jak myślisz, dlaczego nie wybrano prostszej metody, np. połączenia szczoteczki z podstawką za pomocą metalowych styków?

**4.** Obejrzyj film na temat indukcji elektromagnetycznej na kanale YouTube Veritasium.

**a)** Uzasadnij stwierdzenie, że pierwsze w historii fizyki doświadczenie z indukcją elektromagnetyczną polegało na budowie transformatora. Kto tego dokonał?

**b)** Wyjaśnij, dlaczego przedstawiona na początku filmu aluminiowa płyta unosi się w powietrzu.



# 23. Dioda

**Cele lekcji**

- Zbadasz, jak działa dioda.
- Uporządkujesz wiadomości o różnych źródłach światła.

## Działanie diody

Urządzenia elektryczne i elektroniczne wokół nas są zbudowane z kilku zasadniczych typów elementów. Niektóre z nich już znasz: opornik, kondensator, zwojnicę. Na najbliższych lekcjach poznasz jeszcze dwa ważne elementy układów elektronicznych: diodę i tranzystor. Słowo *dioda* kojarzy ci się z pewnością z małą lampką. O takich diodach również powiemy, zaczniemy jednak od diody, która nie świeci. Do czego w takim razie służy? Zbadamy to w doświadczeniu.



▲ Symbol diody

### Doświadczenie obowiązkowe

**Badanie diody**

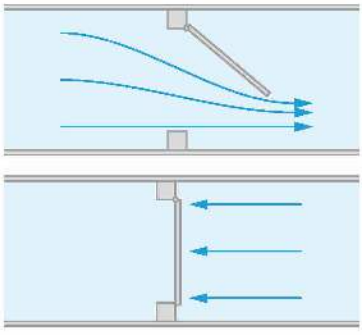
1. Przygotuj diodę, baterię 9 V i żarówkę 9 V.
2. Podłącz diodę i żarówkę szeregowo do baterii. Czy żarówka świeci?
3. Zamień miejscami końcówki diody. Czy coś się zmieniło?



Jak zaobserwowałeś w doświadczeniu:

> Dioda przewodzi prąd tylko w jedną stronę.

Powyżej przedstawiamy symbol diody używany na schematach. Strzałka wskazuje kierunek przepływu prądu. Gdy przepływ prądu porównamy z przepływem wody, odpowiednikiem diody jest zawór przepuszczający wodę tylko w jedną stronę (patrz rys. obok).



▲ Hydrauliczny model diody

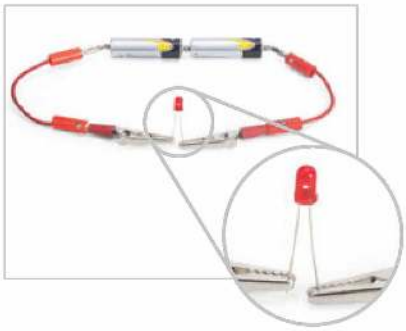
## Dioda świecąca (LED)

Zbadamy teraz działanie diody świecącej (LED od ang. *light-emitting diode* – dioda emitująca światło). Taka dioda wymaga zasilania napięciem ok. 3 V, dlatego wykorzystamy dwie 1,5-woltowe baterie połączone szeregowo.

### Doświadczenie obowiązkowe

**Badanie diody świecącej**

1. Przygotuj diodę świecącą (LED) i dwie baterie AA (paluszki) 1,5 V.
2. Połącz baterie szeregowo i podłącz do nich diodę.
3. Sprawdź, czy dioda świeci przy odwrotnym podłączeniu do biegunów. Co zauważasz?







▲ Zdjęcie i symbol diody LED. Zwróć uwagę na różnicę długości końcówek na zdjęciu. Prąd płynie tylko wtedy, gdy dłuższa końcówka jest podłączona do bieguna dodatniego

Diody świecące już od dawna były używane jako lampki wskazujące działanie urządzeń albo w wyświetlaczach większych zegarów elektronicznych. Obecnie, gdy spadł koszt ich produkcji, są wykorzystywane także jako źródło światła (patrz infografika s. 172). Co prawda nadal są droższe od żarówek, ale za to zużywają znacznie mniej energii, aby wytworzyć tyle samo światła.
W latarkach i lampkach rowerowych zasilanych z baterii spotykamy już tylko diody. Opłaca się dopłacić za diodę zamiast kupować żarówkę, aby potem rzadziej wymieniać baterie, które są dość kosztowne.

## Prostownik

Do czego służą diody, które nie świecą? Jednym z ich zastosowań jest zamiana prądu przemiennego na stały. Zauważ, że możliwość takiej zamiany jest potrzebna, ponieważ urządzenia elektroniczne, np. komputer czy telewizor, muszą być zasilanie napięciem stałym, a w sieci domowej występuje napięcie przemienne.

**Prostownik** to urządzenie, które zamienia napięcie przemienne na stałe.



▲ Dioda nieświecąca, mogąca służyć jako prostownik

### A to ciekawe

Najprostszą diodę można zbudować, rysując drutem powierzchnię ołowiu. Ponieważ dawniej z ołowiu wykonywano m.in. ołówki (o czym świadczy ich nazwa), żołnierze w czasie I wojny światowej budowali proste odbiorniki radiowe z wykorzystaniem tak wykonanych diod. Rolę anteny odgrywały druty zasieków, a zamiast głośnika używano słuchawek z telefonu polowego.



# Żarówki, świetlówki, diody

W nocy miasta są rozświetlone, dlatego wszystkim zależy, aby stosowane oświetlenie było jak najbardziej wydajne i oszczędne. Porównajmy różne rodzaje oświetlenia.

**Tradycyjna żarówka**

zawiera włókno wykonane z wolframu, które tak się rozgrzewa od przepływającego prądu, że zaczyna świecić. Nazwa „żarówka" pochodzi właśnie od żarzącego się włókna. Choć prawie cała energia elektryczna zmienia się w energię fal elektromagnetycznych, większość tych fal to niewidzialna dla nas podczerwień.



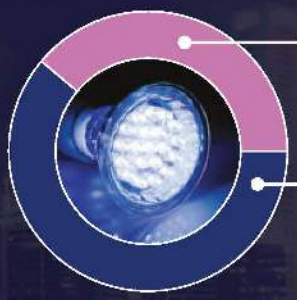

**Świetlówka kompaktowa**

bywa nazywana „żarówką energooszczędną", choć nic w niej się nie żarzy. W takiej świetlówce, podobnie jak w neonach reklamowych, promieniowanie powstaje podobnie do błyskawicy – na skutek wyładowania (iskry elektrycznej) w gazie.




**Dioda świecąca (LED)**

zawiera dwie złożone warstwy półprzewodnika. Gdy podłączymy napięcie, elektrony przeskakują z jednej warstwy do drugiej. Ponieważ w drugiej warstwie energia elektronu jest mniejsza niż w pierwszej, podczas przeskoku pozbywa się on nadmiaru energii, wypromieniowując ją w postaci światła.



### A to ciekawe

Urządzenie pełniące funkcję odwrotną do prostownika, czyli zamieniające napięcie stałe na przemienne, nazywamy falownikiem. Jego przykładem jest przetwornik podłączany w samochodzie do gniazdka zapalniczki i umożliwiający działanie urządzeń dostosowanych do zasilania z sieci domowej. Falowniki o znacznie większej mocy znajdują się w nowoczesnych tramwajach i lokomotywach elektrycznych. Te pojazdy są wyposażone w silniki zasilane napięciem przemiennym, gdyż takie silniki są bardziej wydajne. Jednak w sieci trakcyjnej w Polsce napięcie jest stałe, co niełatwo byłoby zmienić ze względu na starsze pojazdy dostosowane do takiego napięcia.



## Budujemy prostownik

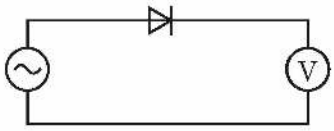
Najmniej skomplikowanym prostownikiem jest pojedyncza dioda. Jak już wiesz z doświadczenia obowiązkowego na s. 170, dioda przepuszcza prąd tylko w jedną stronę.

### Doświadczenie 20.

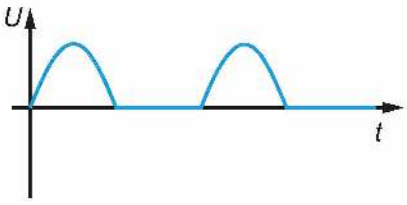
**Badanie działania diody jako prostownika**

1. Przygotuj dynamo rowerowe. Podobnie jak w doświadczeniu ze s. 120, ustaw rower kołami do góry, aby móc napędzać dynamo. Jeśli nie jest ono przymocowane do roweru, nawiń na kółko dynama ok. metra grubej nici.
2. Podłącz szeregowo do końcówek dynama woltomierz napięcia stałego i diodę (tak jak na schemacie). Możesz użyć diody świecącej zamiast zwykłej.
3. Zacznij obracać dynamem (dość szybko, ok. 2 obrotów na sekundę). Obserwuj wskazania woltomierza.






Woltomierz wskazywał tym razem albo jedynie napięcie dodatnie, albo jedynie ujemne. Z napięcia przemiennego otrzymaliśmy więc napięcie, którego znak się nie zmieniał. Byłoby jednak przesadą nazywanie go napięciem stałym, ponieważ nie tylko zmieniała się jego wartość, lecz także przez połowę czasu dioda blokowała przepływ prądu (w tym czasie woltomierz wskazywał zero). Budową lepszego prostownika zajmiemy się w następnej, dodatkowej lekcji.




▲ Napięcie na wyjściu układu z diodą

### To najważniejsze

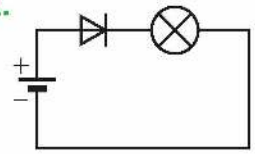
- **Dioda** to element elektroniczny przewodzący prąd tylko w jednym kierunku.
- Niektóre diody świecą podczas przepływu prądu. Nazywamy je **diodami świecącymi** (LED).
- Tradycyjna żarówka z rozgrzanym włóknem zamienia na energię światła tylko ok. 4% dostarczonej energii elektrycznej. Dla świetlówki energooszczędnej ten odsetek wynosi 25%, a dla LED aż 40%.

## Pytania i zadania

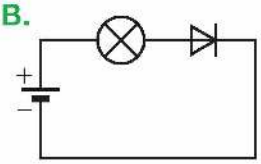
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** W których obwodach przedstawionych na rysunkach dioda przewodzi prąd?

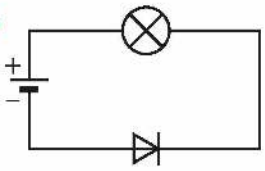
A.



B.

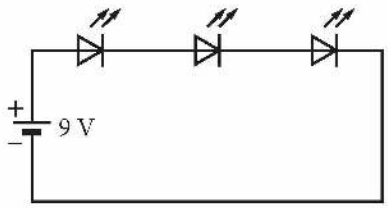


C.

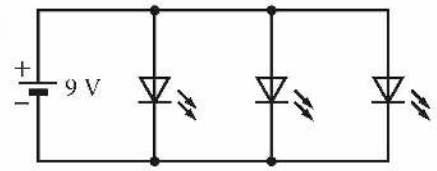


**2.** Diodę świecącą można zasilać napięciem 3 V, tak jak robiliśmy to w doświadczeniach. Napięcie może być nieco wyższe, ale już 9 V spowoduje jej uszkodzenie. Wskaż, na którym z rysunków (A czy B) prawidłowo przedstawiono podłączenie trzech diod świecących do baterii.

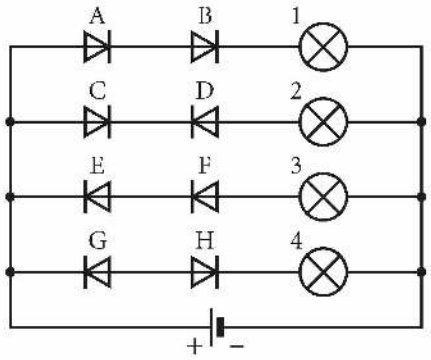
A.




B.




**3.** Przez które diody i przez które żarówki płynie prąd?




**4.** Żarówka diodowa o mocy 15 W kosztuje 20 zł i wytwarza tyle samo światła co tradycyjna żarówka o mocy 135 W i cenie 2 zł. Oblicz, po ilu dniach użytkowania zwróci się różnica ceny zakupu, jeśli 1 kWh energii kosztuje 80 gr. Załóż, że żarówka jest włączona przez 4 godziny w ciągu doby.

## Doświadczenie domowe

### Dioda świecąca i kondensator

**Uwaga.** W poprzednim rozdziale zbudowaliśmy kondensator z folii aluminiowej. Gromadził on bardzo niewielką energię mimo wysokiego napięcia pomiędzy okładkami. Teraz skorzystamy z fabrycznego kondensatora o znacznie większej pojemności, który pozwoli zasilać diodę świecącą.



**1.** Przygotuj dwie baterie AA (paluszki), diodę świecącą, kondensator o pojemności co najmniej 1000 μF (mikrofaradów) dostosowany do napięcia co najmniej 3 V i przewody.

**2.** Połącz baterie szeregowo, a następnie podłącz do nich na kilka sekund kondensator.

**Uwaga.** Kondensator ma końcówki oznaczone + i – (przynajmniej jedna z nich jest oznaczona jednym z tych znaków). Podłącz kondensator do baterii „plus do plusa, minus do minusa".

**3.** Odłącz kondensator od baterii i podłącz do niego diodę świecącą. Jak długo świeci dioda kosztem energii zawartej w kondensatorze?




TEMAT DODATKOWY

# Budujemy lepszy prostownik

**Cele lekcji**

- Dowiesz się, jak wykorzystać diody do budowy prostownika.
- Będziesz ćwiczyć czytanie trudniejszych schematów i budowanie bardziej skomplikowanych układów elektronicznych.

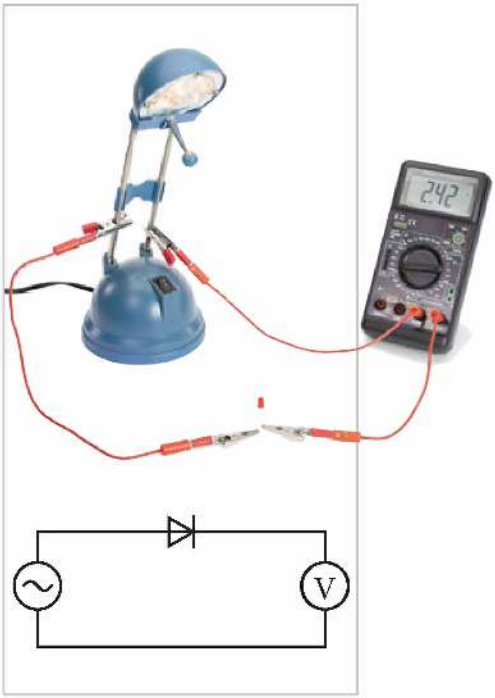
## Straty energii w prostowniku z jedną diodą

Na poprzedniej lekcji badaliśmy, jak pojedyncza dioda prostuje prąd. Teraz zajmiemy się tym zagadnieniem nieco dokładniej i zobaczymy, jakie wady ma taki prostownik. Jako źródło napięcia przemiennego wykorzystamy lampkę z transformatorem, znaną ci już z doświadczenia obowiązkowego na s. 166.

### Doświadczenie 21.

**Straty energii powodowane przez diodę**

1. Przygotuj opisaną powyżej lampkę, miernik, diodę i przewody.
2. Podłącz miernik do słupków lampki (użyj lampki, w której nie są one pokryte lakierem).
3. Włącz pomiar napięcia przemiennego (ACV albo ~V). Jakie jest wskazanie?
4. Włącz pomiar napięcia stałego (DCV albo –V). Jakie jest wskazanie?
5. Włącz teraz do obwodu diodę (patrz schemat i zdjęcie).
6. Jakie teraz jest wskazanie woltomierza, gdy włączymy go na zakres AC, a jakie – gdy na zakres DC?




Jak pamiętamy z poprzedniej lekcji, dioda pozwala zamienić napięcie przemienne na napięcie o stałym znaku, ale zmiennej wartości, a w dodatku całkiem zanikające

na połowę okresu (wykres na s. 173). Woltomierz rozpoznaje napięcie z prostownika jako stałe, ale pokazuje napięcie średnie, dwa razy mniejsze niż 12 V (a nawet jeszcze niższe, ponieważ dioda także powoduje pewien spadek napięcia).

## Mostek prostowniczy

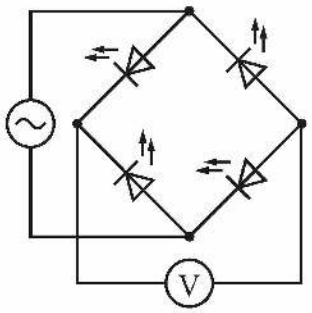
Zbudujemy teraz lepszy prostownik, zwany **mostkiem prostowniczym**, który wykorzystuje obie połówki napięcia przemiennego. Tym razem będą potrzebne aż cztery diody do budowy prostownika i piąta – jako zasilane z niego urządzenie.

### Doświadczenie 22.

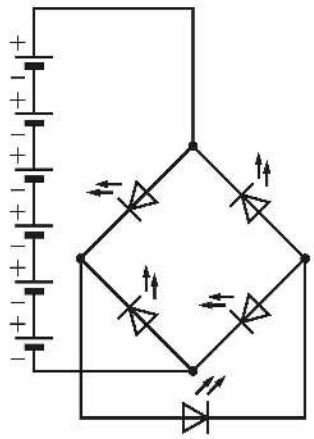
**Budowa mostka prostowniczego**

1. Przygotuj pięć diod świecących (najlepiej, aby jedna miała inny kolor od pozostałych, ale nie jest to konieczne), woltomierz, lampkę z poprzedniego doświadczenia, 6 baterii AA (paluszków) oraz przewody i magnesy do ich przyczepiania.
2. Zbuduj obwód według schematu A. Jeśli masz diodę innego koloru, to na razie jej nie używaj. Odczytaj wskazanie woltomierza (wybierz funkcję pomiaru napięcia stałego). Porównaj je z wynikiem analogicznego pomiaru w doświadczeniu 21.
3. Przerysuj do zeszytu schematy B i C – umieść rysunki obok siebie.
4. Zmodyfikuj obwód zbudowany według schematu A tak, aby otrzymać obwód przedstawiony na schemacie B.
5. Zaznacz na schemacie w zeszycie, które diody świecą i którymi przewodami płynie prąd. Narysuj przy przewodach strzałki wskazujące kierunek przepływu prądu.
6. Odwróć biegunowość baterii – otrzymasz obwód ze schematu C. Wykonaj polecenia z punktu 5. dla tego obwodu.
7. Spróbuj na podstawie swoich obserwacji wyjaśnić działanie prostownika.

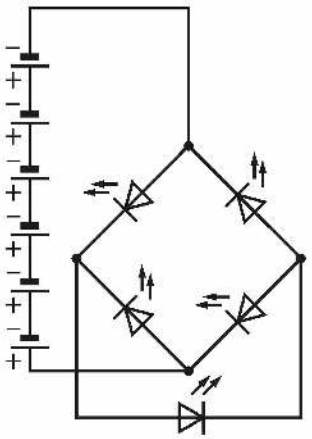
A.

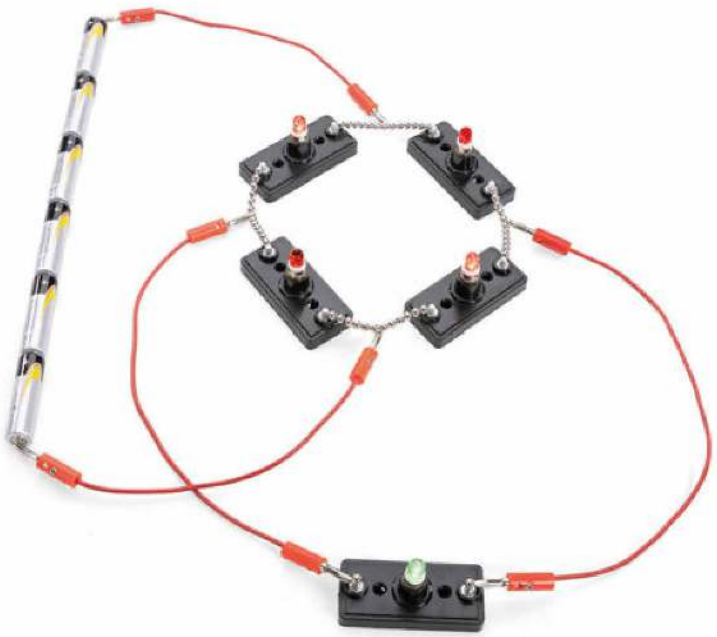



B.



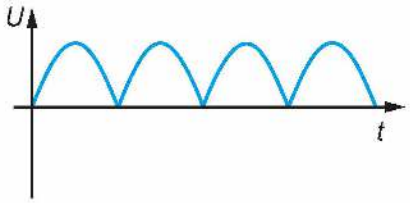
C.





Gdy podłączyliśmy napięcie przemienne do wejścia układu, napięcie stałe na wyjściu naszego prostownika wynosiło nieco mniej niż 12 V (ponieważ każda dioda powoduje spadek napięcia), ale było wyraźnie wyższe niż przy zastosowaniu pojedynczej diody zamiast czterech.

Druga część doświadczenia pokazuje nam, dlaczego opisany prostownik działa. Niezależnie od tego, gdzie na wejściu jest plus, a gdzie minus, dwie diody przewodzą prąd, a dwie blokują przepływ prądu. Przez urządzenie zasilane z prostownika prąd płynie ciągle w tę samą stronę. Ponieważ u nas zasilanym urządzeniem była dioda, łatwo zaobserwowaliśmy, że kierunek prądu się nie zmieniał – gdyby się zmieniał, prąd w ogóle przestawałby płynąć.




▲ Napięcie na wyjściu układu z mostkiem prostowniczym

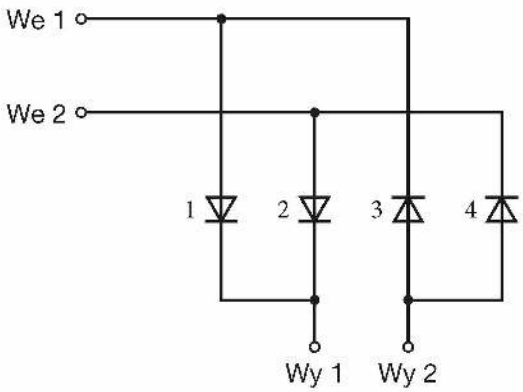
## To najważniejsze

- **Mostek prostowniczy** przetwarza napięcie przemienne na napięcie o zmiennej wartości, ale niezmiennym znaku (czyli niezmiennej biegunowości).
- Zaletą mostka w stosunku do pojedynczej diody jest występowanie napięcia na wyjściu przez cały czas, a nie jedynie przez jego połowę.

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Schemat mostka prostowniczego można narysować także w inny sposób, tak jak na rysunku. We 1 i We 2 to przewody do podłączenia wejściowego napięcia przemiennego, a Wy 1 i Wy 2 to przewody wyjścia.



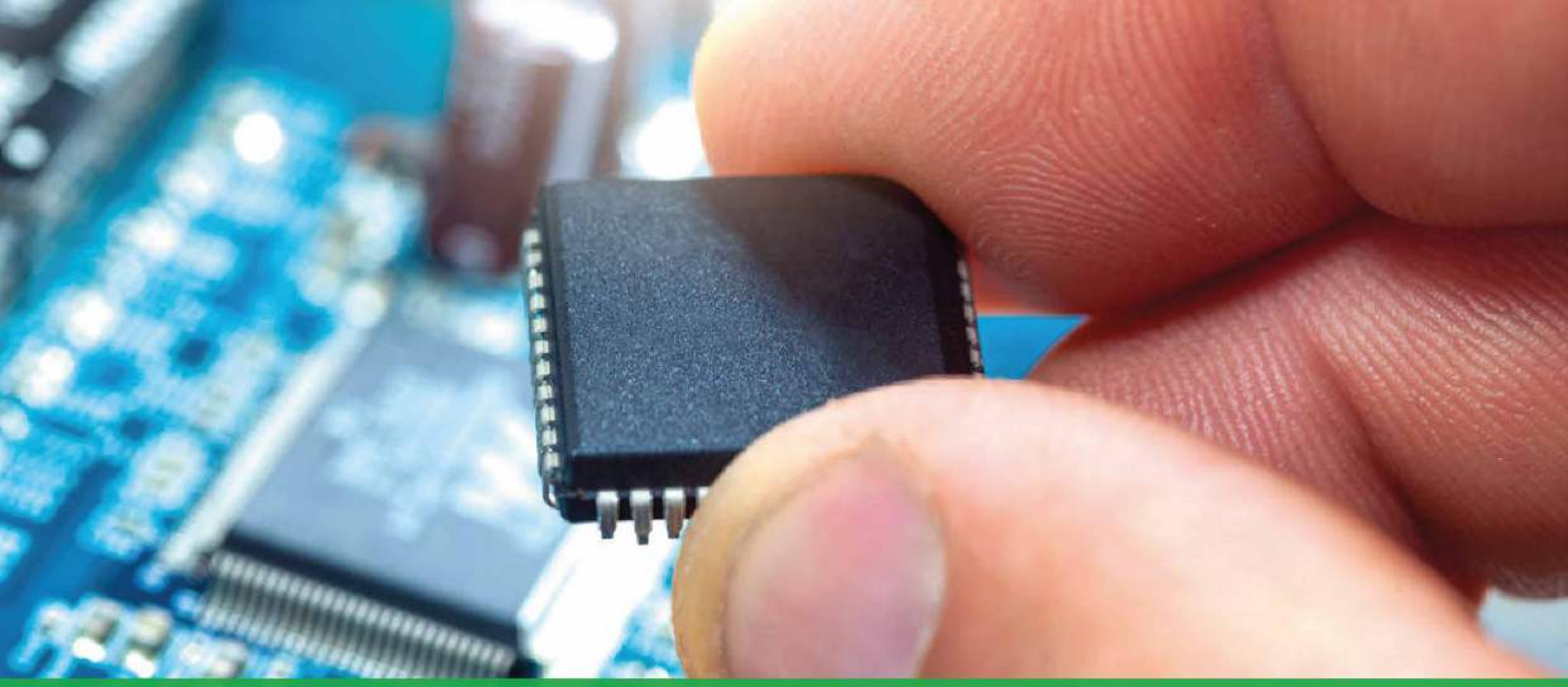

**a)** Wskaż, która z końcówek wyjścia to plus, a która – minus.

**b)** Określ, które diody przewodzą, gdy napięcie wejściowe ma plus na końcówce We 1, a do wyjścia podłączymy żarówkę.

**c)** Określ, które diody przewodzą, gdy napięcie wejściowe ma plus na końcówce We 2, a do wyjścia podłączymy żarówkę.

**2.** Wiele urządzeń zasilanych z baterii nie działa prawidłowo, gdy włożymy baterię niezgodnie z oznaczeniami biegunów. Czy pojedyncza dioda pozwoli na zasilanie takiego urządzenia niezależnie od tego, jak włoży się baterię? A mostek prostowniczy?

**3.** Pojedyncza dioda nieświecąca powoduje spadek napięcia o 0,6 V. Oblicz, jaki spadek napięcia powoduje mostek złożony z czterech takich diod.



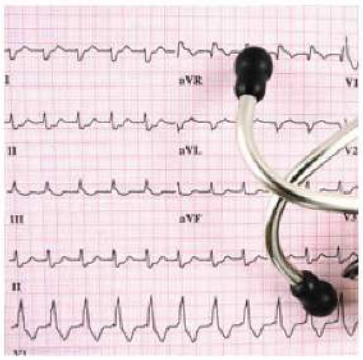
# 24. Tranzystor

**Cele lekcji**

- Dowiesz się, jaka jest zasada działania tranzystora.
- Poznasz zastosowania tranzystora.

## Wzmacnianie sygnału elektrycznego

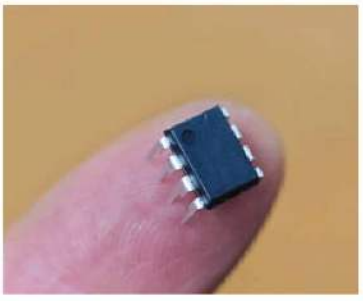
Słowo *wzmacniacz* kojarzy ci się z pewnością ze sprzętem audio. Takie urządzenie wzmacnia słaby sygnał elektryczny pochodzący np. z mikrofonu, aby zasilany nim głośnik wytwarzał dźwięk o dużym natężeniu. Jednak ze wzmacnianiem sygnału elektrycznego mamy do czynienia także w innych urządzeniach. Na przykład w aparacie do elektrokardiografii (EKG) trzeba wzmocnić bardzo słabe sygnały elektryczne wytwarzane przez organizm, aby mogły sterować pisakami rysującymi wykres (patrz zdjęcie obok).



▲ Wykres EKG, czyli elektrokardiogram

## Tranzystor – najprostszy wzmacniacz

Najprostszym wzmacniaczem jest element zwany **tranzystorem.** Jest on wykonany z półprzewodnika (zwykle krzemu). Tranzystory produkowane obecnie jako pojedyncze elementy mają rozmiary kilku milimetrów, a to i tak bardzo wiele w stosunku do tranzystorów zawartych w układach scalonych (patrz zdjęcie). Taki układ zawiera wiele milionów tranzystorów i innych elementów elektronicznych. Dzięki temu komputer może dzisiaj ważyć kilkadziesiąt gramów, a nie – jak pierwsze takie urządzenia – kilkadziesiąt ton.



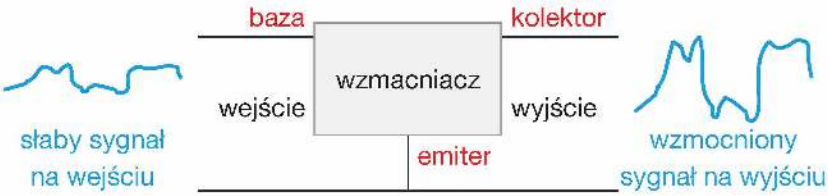
▲ Układ scalony

## Tranzystor

Tranzystor to najprostszy wzmacniacz sygnałów elektrycznych. Ogólny schemat działania dowolnego wzmacniacza można przestawić następująco:

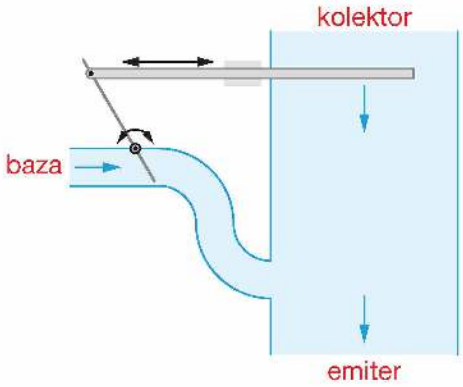



Tranzystor jest wzmacniaczem, który ma trzy końcówki: 1. baza – na wejściu, 2. kolektor – na wyjściu, 3. emiter – wspólna końcówka dla wejścia i wyjścia:

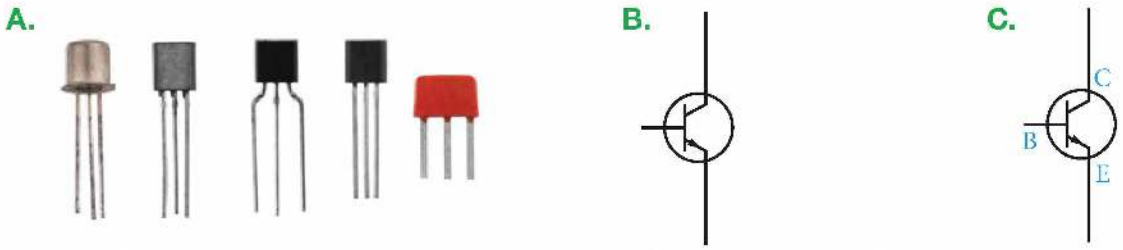



Małe zmiany natężenia słabego prądu elektrycznego płynącego z bazy do emitera powodują duże zmiany natężenia prądu płynącego z kolektora do emitera. Oznacza to, że dzięki tranzystorowi słaby sygnał jest w stanie sterować mocniejszym sygnałem, który łatwiej jest zarejestrować.

**Wodny model** tranzystora przedstawia się następująco: woda płynąca z bazy przez cienką rurkę popycha klapkę, która porusza zasuwką regulującą przepływ wody z kolektora.




Produkowane obecnie tranzystory mogą wyglądać różnie (patrz rys. A). Dodatkowo są różne rodzaje tranzystorów. My omówiliśmy tak zwany tranzystor bipolarny npn, i taki wykorzystamy w kolejnym doświadczeniu przy budowie prostego wzmacniacza.




▲ **A.** Przykładowe tranzystory, **B.** symbol tranzystora bipoplarnego npn, **C.** symbol z zaznaczonymi końcówkami

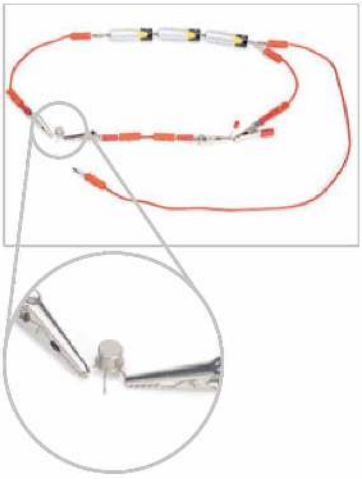
## Budujemy najprostszy wzmacniacz

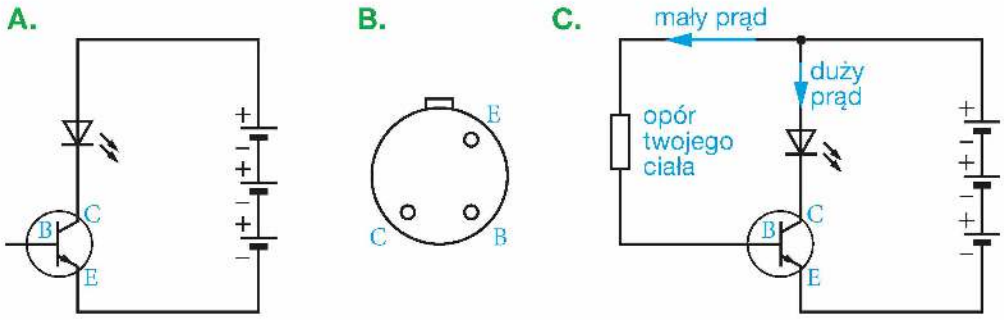
Profesjonalny wzmacniacz audio składa się z wielu tranzystorów, a także elementów pomocniczych, takich jak oporniki i kondensatory. Zaprojektowanie takiego urządzenia wymaga dużej wiedzy technicznej.
Jednak prosty układ, w którym widoczne jest wzmacniające działanie tranzystora, zbudować jest znacznie łatwiej.

### Doświadczenie 23.

**Tranzystor jako wzmacniacz**

1. Przygotuj tranzystor typu BC-107, diodę świecącą, trzy baterie AA (paluszki) i przewody.
2. Zbuduj układ przedstawiony na schemacie A. Pomoże ci w tym rysunek układu nóżek tranzystora (widok od spodu – rys. B).
   Przez obwód baza-emiter nie płynie prąd. Dlatego prąd nie płynie także przez obwód kolektor-emiter, a dioda nie świeci.
3. Dotknij jednym palcem bazy tranzystora, a drugim – dodatniego bieguna baterii. Co obserwujesz?






Prąd o bardzo małym natężeniu płynący przez twoje ciało nie wystarczyłby, aby dioda świeciła (sprawdź!), ale gdy płynie przez obwód baza-emiter, droga kolektor-emiter zostaje otwarta i może nią płynąć nawet prąd o dużym natężeniu, a dioda świeci.

## Tranzystor w urządzeniach cyfrowych

Większość otaczających nas urządzeń elektronicznych to urządzenia cyfrowe: komputery, telefony, odtwarzacze DVD i Blu-ray. Przypomnijmy, że w tych urządzeniach informacja, czyli tekst, obraz, dźwięk itd., jest zakodowana w postaci liczbowej – w systemie dwójkowym (binarnym), w którym są tylko dwie cyfry: 0 i 1.
Wszystkie filmy, zdjęcia, piosenki i listy na dysku naszego komputera to fizycznie po prostu uporządkowany zbiór kilku bilionów zer i jedynek, a dokładniej – kilka bilionów namagnesowanych lub nienamagnesowanych domen magnetycznych.
Przetwarzanie sygnału cyfrowego ma tę zaletę, że układ musi tylko odróżniać zero (brak napięcia) od jedynki (ustalonego napięcia, np. 5 V). W układach analogowych, w których napięcie zmienia się w sposób ciągły, trzeba odróżniać np. napięcie 5 V od 4,9 V. A takie niewielkie różnice mogą przecież wynikać choćby ze zmiany oporu jednego z elementów układu wraz z temperaturą.

W układach cyfrowych tranzystory znalazły zastosowanie, mimo że nie wykorzystujemy wtedy w pełni możliwości płynnej regulacji prądu kolektor-emiter przez prąd baza-emiter. Po prostu traktujemy tranzystor jak przełącznik: „prąd płynie – prąd nie płynie".

Z kilku tranzystorów możemy zbudować bramkę logiczną, czyli układ, w którym na wyjściu napięcie pojawia się tylko wtedy, gdy np.:

- na obu wejściach jest napięcie,
- co najmniej na jednym wejściu jest napięcie,
- na żadnym wejściu nie ma napięcia itd.

Z wielu bramek logicznych buduje się układy dodające i mnożące liczby zapisane w układzie dwójkowym. Ostatecznie z milionów lub miliardów tranzystorów powstaje cały komputer.

## To najważniejsze

- **Tranzystor** to element elektroniczny służący do wzmacniania sygnału elektrycznego.
- Prąd o słabym natężeniu, który płynie między bazą a emiterem, może włączać, wyłączać i regulować prąd o dużym natężeniu płynący między kolektorem a emiterem.
- Tranzystory pozwalają na budowę układów cyfrowych, wykonujących operacje na liczbach zapisanych za pomocą zer i jedynek (zero to brak napięcia, jedynka to ustalone napięcie, np. 5 V).

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

**1.** Dzisiejszy komputer zawiera nawet miliardy tranzystorów. Zanim wynaleziono tranzystor i rozpoczęto jego produkcję, podobną funkcję spełniała lampa elektronowa (patrz zdjęcie), ważąca kilkadziesiąt gramów. Oszacuj, ile ważyłby komputer zawierający 2 mld lamp elektronowych o masie 50 g każda.

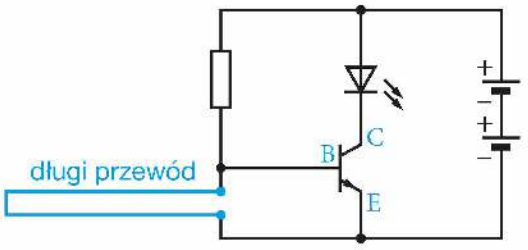


**2.** Połącz nazwy elementów elektronicznych A–D z ich funkcjami I–IV. Zapisz w zeszycie powstałe w ten sposób pary (pełne nazwy urządzeń i ich funkcje).

**A.** dioda
**B.** tranzystor
**C.** kondensator
**D.** transformator

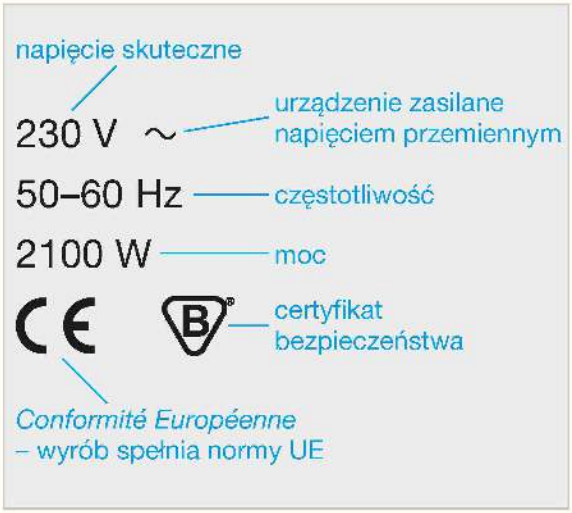
**I.** gromadzenie energii
**II.** wzmacnianie sygnału
**III.** podwyższanie i obniżanie napięcia przemiennego
**IV.** prostowanie prądu

**3.** Przeanalizuj schemat. Spróbuj przewidzieć, co się stanie, gdy przerwiemy długi przewód: dioda zacznie czy przestanie świecić? Zastanów się, jakie zastosowanie może mieć taki układ.



## Powtórzenie Elektryczność i magnetyzm

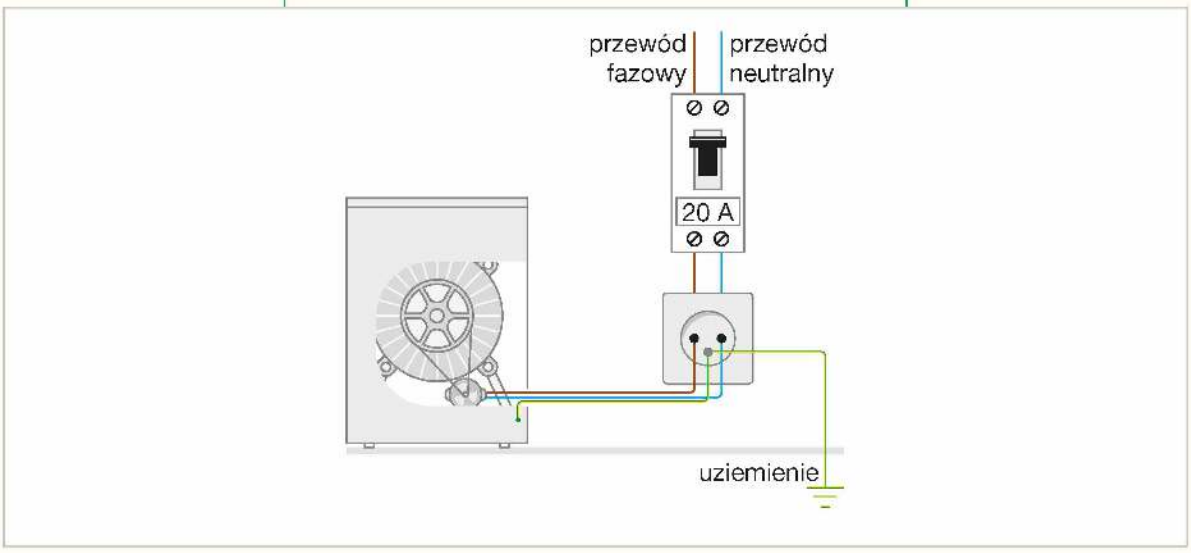
- W domowej sieci elektrycznej występuje **napięcie przemienne**.
  - **Napięcie skuteczne** wynosi 230 V, a częstotliwość jest równa 50 Hz (czyli na 1 s przypada 50 pełnych cykli zmian).
- Dane techniczne urządzeń z sieci domowej można odczytywać z tabliczek znamionowych na urządzeniach (patrz rys. obok).




### Zabezpieczenia sieci domowej

**Bezpiecznik** wyłącza obwód, gdy przekroczone zostanie określone natężenie prądu.

**Wyłącznik różnicowoprądowy** wyłącza obwód, gdy prąd wpływający nie jest równy wypływającemu (część prądu wypływa z obwodu do ziemi).




- Przewód uziemienia jest podłączany do metalowej obudowy urządzenia. Gdyby na skutek uszkodzenia izolacji przewodu obudowa znalazła się pod napięciem, prąd odpłynie do ziemi, a wyłączniki różnicowoprądowe odłączą zasilanie.
- Aby uniknąć porażenia elektrycznego, w przypadku awarii albo przy zmianie żarówki wyłączaj bezpieczniki.
  - Zasady postępowania w przypadku porażenia – patrz schemat na s. 132.

- Każdy magnes ma dwa bieguny: **północny** i **południowy**.

Różne bieguny się przyciągają




Jednakowe bieguny się odpychają




albo



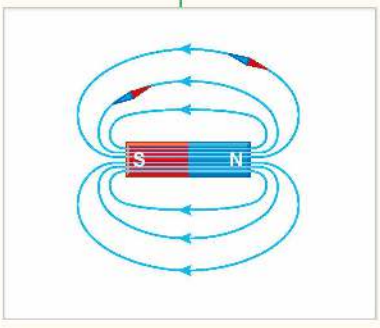
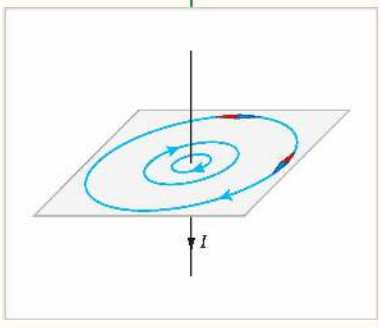
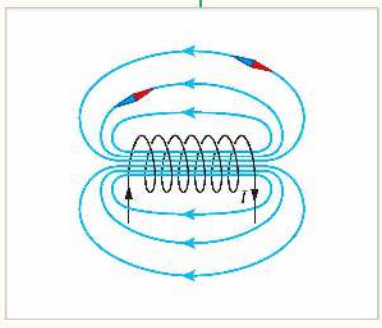

- Magnes przyciąga w zauważalny sposób tylko nieliczne substancje, z których najczęściej spotykamy żelazo i stal.

- **Źródła** pola magnetycznego to:
- W polu magnetycznym **siła** działa na:

} magnesy, prąd w przewodniku, każdy poruszający się ładunek elektryczny.

- Pole magnetyczne możemy graficznie przedstawić za pomocą **linii pola magnetycznego**. Umownie przyjmujemy, że na zewnątrz magnesu zwrot linii pola jest od bieguna północnego do południowego.
  - Im bardziej zagęszczone są linie pola magnetycznego, tym pole silniejsze.
  - Igła magnetyczna umieszczona w polu magnetycznym ustawia się stycznie do linii pola magnetycznego. Podobnie do igły zachowuje się opiłek stali lub żelaza, dlatego linie można badać doświadczalnie za pomocą takich opiłków.

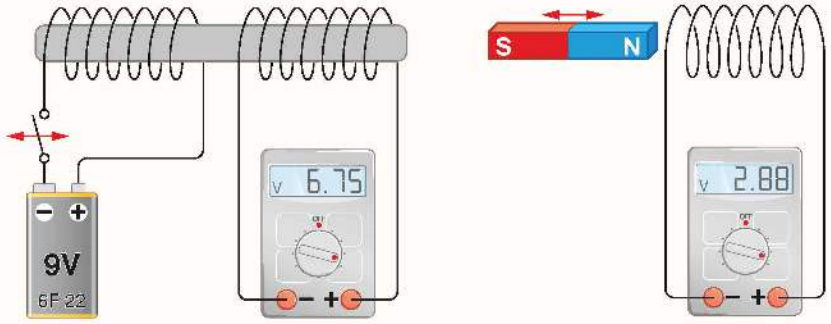
**Linie pola magnetycznego w zależności od źródła:**

| magnes | przewód z prądem | zwojnica |
|---|---|---|
|  |  |  |



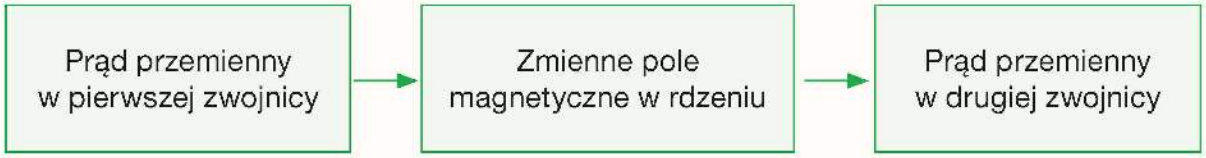
  - Linie pola są **zawsze krzywymi zamkniętymi**, choć w przypadku magnesu trudno to zbadać, ponieważ ich fragment znajduje się wewnątrz magnesu.
- Zwojnica nawinięta na stalowy rdzeń to **elektromagnes**. Rdzeń magnesuje się od pola magnetycznego wytwarzanego przez zwojnicę i sam wytwarza silne pole magnetyczne. Aby wzmocnić to pole, można nawinąć więcej zwojów albo przepuścić przez zwojnicę prąd o większym natężeniu.
- Na naładowane cząstki pochodzące ze Słońca (wiatr słoneczny) w ziemskim polu magnetycznym działa siła magnetyczna. Dzięki temu większość z nich omija Ziemię, a pozostałe są kierowane w okolice biegunów, gdzie wywołują zorzę polarną.

- **Indukcja elektromagnetyczna** to powstawanie napięcia elektrycznego w zwojnicy podczas **zmian** pola magnetycznego (np. ruchu magnesu względem zwojnicy, zmian natężenia prądu płynącego przez zwojnicę albo elektromagnes).



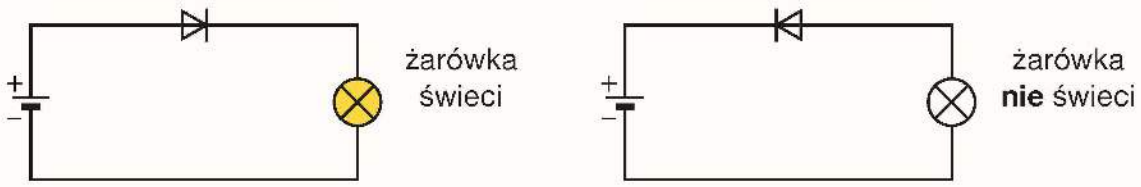

  - Dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej jest możliwe działanie transformatora i prądnicy, a także mikrofonu.

- **Transformator** to dwie zwojnice na wspólnym rdzeniu. Jego działanie przedstawia schemat:




  - Napięcie na wyjściu transformatora może być inne niż na wejściu, dlatego transformator wykorzystujemy **do podwyższania lub obniżania napięcia przemiennego**.
  - Energię elektryczną na większe odległości przesyłamy pod wysokim napięciem, aby zmniejszyć straty energii.

- **Dioda** przewodzi prąd tylko w jednym kierunku.




  - **Diody LED** dodatkowo emitują światło. Ze względu na wysoką sprawność (małe straty energii) są coraz powszechniej wykorzystywane jako źródła światła.

- **Tranzystor** to element pozwalający wzmocnić sygnał elektryczny. Słaby prąd płynący między bazą a emiterem steruje natężeniem silniejszego prądu między kolektorem a emiterem.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To trzeba umieć

**1.** Wskaż to z wymienionych źródeł napięcia, w którym występuje napięcie przemienne.

**A.** bateria AA

**B.** akumulator samochodowy

**C.** gniazdko w sieci domowej

**D.** wyjście ładowarki do telefonu

**2.** Która z podanych zasad nie jest prawdziwa?

**A.** Jeśli urządzenie ma wtyczkę z uziemieniem, włączaj je tylko do gniazdka z uziemieniem.

**B.** W każdym przypadku porażenia elektrycznego należy wzywać pogotowie ratunkowe.

**C.** Gdy bezpiecznik odetnie zasilanie, wyłącz z sieci część urządzeń, zanim włączysz go ponownie.

**D.** Urządzenia o dużej mocy podłączaj do osobnych gniazdek (bez rozgałęźnika).

**3.** Jeśli osoba porażona prądem elektrycznym jest nieprzytomna i nie oddycha, należy wezwać pogotowie ratunkowe oraz:

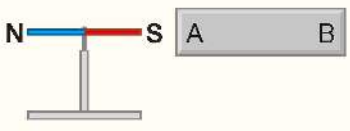
**A.** położyć ją na boku, kontrolować oddech i puls.

**B.** położyć ją na boku i czekać na przybycie ratowników.

**C.** rozpocząć resuscytację.

**D.** po prostu poczekać na przybycie karetki.

**4.** Rysunek przedstawia podłużny magnes, który zbliżyliśmy do igły magnetycznej. Jaki biegun magnesu jest oznaczony literą A?




**5.** Spośród przedmiotów wymienionych poniżej w ramce magnes w zauważalny sposób:

**A.** przyciąga wszystkie przedmioty.

**B.** nie przyciąga żadnego przedmiotu.

**C.** przyciąga stalowy gwóźdź i miedziany przewód, ale nie przyciąga korka.

**D.** przyciąga tylko stalowy gwóźdź.

stalowy gwóźdź • miedziany przewód • kawałek korka

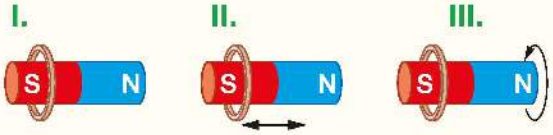
**6.** Na rysunkach przedstawiono magnes i miedziany pierścień. Wskaż wszystkie przypadki, w których w pierścieniu zacznie płynąć prąd indukcyjny.

**A.** I, II i III

**B.** II i III

**C.** tylko II

**D.** tylko III




**I.** Magnes i pierścień są nieruchome.

**II.** Magnes przesuwa się zgodnie ze strzałką.

**III.** Magnes obraca się zgodnie ze strzałką.

**7.** W którym z wymienionych urządzeń nie wykorzystujemy pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd elektryczny?

**A.** magnes na lodówkę

**B.** głośnik

**C.** aparat do magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR)

**D.** elektromagnes

**8.** W którym z urządzeń wykorzystujemy siłę magnetyczną działającą na przewodnik z prądem?

**A.** elektromagnes

**B.** silnik elektryczny

**C.** kompas

**D.** prądnica

**9.** Spośród urządzeń wymienionych w ramce wypisz te, w których wykorzystujemy zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

kuchenka indukcyjna • prądnica • mikrofon • transformator • elektromagnes

**10.** Trzy źródła światła: tradycyjna żarówka, świetlówka kompaktowa (żarówka energooszczędna) i lampa LED wytwarzają tyle samo światła. Które z nich zużywa najmniej energii elektrycznej, a które najwięcej?

**A.** najmniej – świetlówka, najwięcej – tradycyjna żarówka

**B.** najmniej – świetlówka, najwięcej – lampa LED

**C.** najmniej – lampa LED, najwięcej – świetlówka

**D.** najmniej – lampa LED, najwięcej – tradycyjna żarówka

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To powinieneś umieć

**Informacja do zadań 1. i 2.** Ilustracja przedstawia tabliczkę znamionową termowentylatora.

230 V ~
50 Hz
1200 W
CE

**1.** Na bezpieczniku sieci domowej napisano: „10 A". Do sieci jest włączony termowentylator. Oblicz, jaką łączną moc mogą mieć pozostałe urządzenia włączone do tej sieci, aby bezpiecznik nie odłączył napięcia.

**2.** Oblicz, ile zapłacimy za energię elektryczną potrzebną do ogrzewania przez tydzień mieszkania tym termowentylatorem, jeśli jest on włączony przez 4 godziny dziennie. Przyjmij cenę energii elektrycznej 80 gr za 1 kWh.

**3.** Wskaż właściwe dokończenie zdania. Źródłem pola magnetycznego może być:

**A.** tylko magnes.

**B.** tylko przewodnik z prądem.

**C.** magnes, przewodnik z prądem albo dowolny poruszający się ładunek elektryczny.

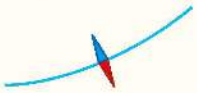
**D.** dowolny ładunek elektryczny, poruszający się albo nie.

**4.** Który z rysunków przedstawia możliwe ustawienie igły magnetycznej względem linii pola magnetycznego?

**A.**

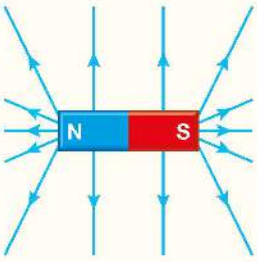


**B.**

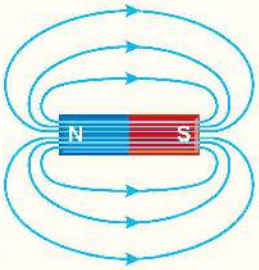


**5.** Wskaż rysunek, na którym prawidłowo przedstawiono linie pola magnetycznego tworzonego przez magnes.

**A.**




**B.**




**6.** Wskaż to z wymienionych ciał, na które w polu magnetycznym nie działa siła magnetyczna.

**A.** poruszający się elektron

**B.** spoczywający elektron

**C.** magnes

**D.** przewodnik z prądem

**7.** Dopasuj nazwy elementów elektronicznych z ramki do opisów. Nazwy mogą się powtarzać.

**A.** Składa się z dwóch cewek na wspólnym rdzeniu.

**B.** Przez ten element prąd może płynąć tylko w jedną stronę.

**C.** Służy do gromadzenia ładunku elektrycznego.

**D.** Służy do podwyższania i obniżania napięcia przemiennego.

**E.** Jest źródłem napięcia.

**F.** Jest głównym elementem prostowników.

**G.** Służy do wzmacniania sygnału elektrycznego.

bateria • dioda • kondensator • transformator • tranzystor

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE — To warto umieć

**1.** Wskaż zdanie fałszywe.

**A.** Napięcie w sieci domowej zmienia się od –230 V do 230 V.

**B.** Żarówka podłączona do napięcia stałego 230 V świeci tak samo jasno jak podłączona do sieci domowej.

**C.** Napięcie skuteczne w sieci domowej wynosi 230 V.

**D.** Częstotliwość zmian napięcia w sieci domowej wynosi 50 Hz.

**2.** Który z rysunków przedstawia ustawienie igły magnetycznej względem linii pola magnetycznego? Weź pod uwagę zwrot linii pola.

**A.** **B.** **C.** **D.**



**Wskazówka.** Wyobraź sobie, że na jednym z końców (którym?) narysowanej linii pola znajduje się biegun północny magnesu.

**3.** Gdyby Ziemia nie miała pola magnetycznego, to na naszej planecie:

**A.** nie byłoby żadnych magnesów.

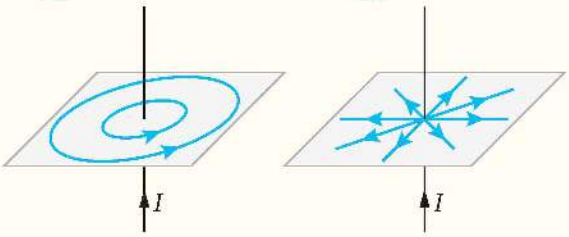
**B.** nie byłoby zórz polarnych, ale i tak pewnie nie miałby ich kto oglądać.

**C.** nie byłoby pór roku.

**D.** nie byłoby biegunów geograficznych.

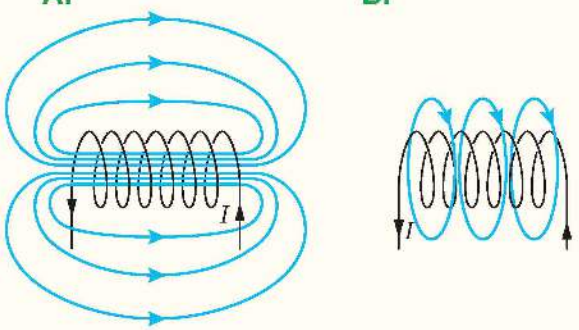
**4.** Wskaż rysunek, który prawidłowo przedstawia linie pola magnetycznego tworzonego przez przewodnik z prądem.

**A.** **B.**




**5.** Wskaż rysunek, który prawidłowo przedstawia linie pola magnetycznego wytworzonego przez zwojnicę z prądem.

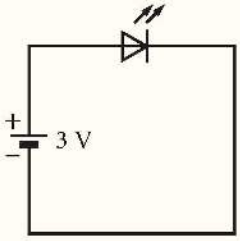
**A.** **B.**



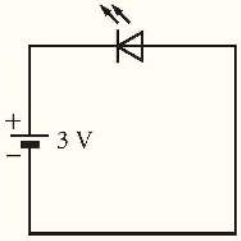
**6.** W którym z układów przedstawionych na rysunkach dioda świeci?

**A.** tylko w I
**B.** tylko w II
**C.** w obu
**D.** w żadnym

**I.**




**II.**




**7.** Dopasuj nazwy elementów z ramki do opisów. Każda nazwa wystąpi co najmniej dwa razy.

**A.** Wyłącza prąd, gdy jego natężenie przekroczy określoną wartość.

**B.** Wyłącza prąd, gdy natężenie prądu wypływającego z sieci jest inne niż natężenie prądu wpływającego do sieci.

**C.** Chroni przed nadmiernym rozgrzewaniem się przewodów.

**D.** Wyłącza prąd w przypadku zwarcia instalacji.

**E.** Wyłącza prąd, gdy użytkownik instalacji dotknie jednocześnie przewodu pod napięciem i przewodu połączonego z ziemią.

bezpiecznik • bezpiecznik różnicowo-prądowy

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

**1.** Bezpiecznik główny, ograniczający natężenie prądu dopływającego do całego mieszkania, wyłącza się przy natężeniu 25 A. Warto zauważyć, że ogranicza on także miesięczny rachunek za energię elektryczną. Oblicz, do jakiej kwoty. Przyjmij cenę 80 gr za 1 kWh.

**2.** Na tabliczce znamionowej czajnika elektrycznego napisano 1200 W – 1400 W. Jak sądzisz, z czego może wynikać tak duży rozrzut mocy?

**3.** Do baterii 9 V podłączono szeregowo bezpiecznik 200 mA i opornik 40 Ω.

**a)** Narysuj schemat opisanego obwodu.

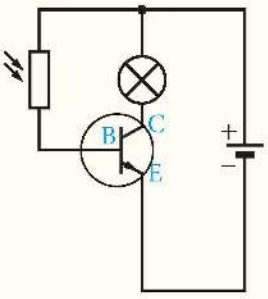
**b)** Oblicz, czy bezpiecznik się przepali.

**4.** Fotorezystor to opornik, którego opór się zmniejsza, gdy ten element elektroniczny zostanie oświetlony. Oto jego symbol:

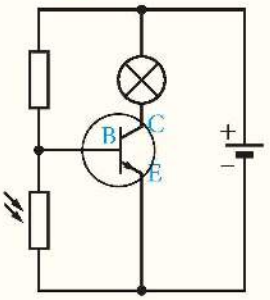


W każdym z poniższych obwodów wykorzystano fotorezystor oraz tranzystor do włączania lub wyłączania żarówki. W którym przypadku żarówka się włącza, gdy jest jasno, a w którym – gdy jest ciemno? Uzasadnij swoje odpowiedzi.

**A.**




**B.**



## Projekt Ziemskie pole magnetyczne

**Cel projektu:** Odkryjesz niektóre właściwości pola magnetycznego Ziemi i zdobędziesz informacje o przyczynach jego występowania.

**Zadania i polecenia**

1. Weź kompas i wyznacz strony świata w pomieszczeniu, w którym znajduje się pralka (ewentualnie lodówka).

2. Zbliż kompas do zachodniej lub wschodniej ścianki pralki (lub lodówki): raz w pobliżu jej górnego, a raz w pobliżu jej dolnego brzegu.





3. Sprawdź, czy tak samo jest namagnesowany duży stalowy garnek stojący od kilku dni w jednej pozycji (np. dnem do dołu).

4. Zbadaj w samodzielnie wymyślony sposób, jak długo trwa samorzutne przemagnesowanie garnka postawionego dnem do góry.

5. Dowiedz się, co to jest inklinacja magnetyczna. Za pomocą tego pojęcia wyjaśnij wyniki swojego doświadczenia.

6. Dowiedz się, co to jest kompas inklinacyjny. Zbuduj taki przyrząd.

7. Dowiedz się, skąd pochodzi pole magnetyczne Ziemi.

8. Przeczytaj tekst w ramce. Poszukaj więcej informacji na ten sam temat. Zapisz, z jakich źródeł je czerpiesz. Możliwe, że natrafisz na sprzeczne informacje. Zastanów się, które z nich są wiarygodne.

Co jakiś czas w historii Ziemi bieguny magnetyczne naszej planety zamieniały się miejscami. Nie zaobserwowano żadnej regularności w odstępach między tymi zdarzeniami, nie wiadomo więc, kiedy nastąpi kolejna zamiana biegunów. Nie stanie się to jednak z dnia na dzień – do tej pory każdy proces zamiany trwał co najmniej kilka tysięcy lat.

# Szósty zmysł? Magnetyczny!

Pole magnetyczne Ziemi wyczuwają konie, psy, karpie, żółwie, a nawet muszki owocówki. Jest więc szansa, by i ludzie je dostrzegali. O ile już go nie czują.



Przez prawie dekadę testowałem tysiące ludzi w różnych warunkach i absolutnie nie mam wątpliwości – mówił niedawno [dr Robin Baker] brytyjskiemu dziennikarzowi Edowi Yongowi. Baker miał na myśli testy, w których zasłaniał studentom oczy, a potem wywoził ich autobusem na odległość kilkunastu kilometrów. Na miejscu prosił, by wskazali kierunek powrotny. Poprawnej odpowiedzi udzielało więcej osób, niżby to wynikało z samego przypadku. A na dodatek ten odsetek spadał, gdy uczestnikom eksperymentu przyczepiano do głowy magnesy. Stąd wniosek, że ludzie mają zmysł magnetyczny, choć nie są go świadomi [...] Niestety, powtórka eksperymentu na kontynencie amerykańskim dała negatywne wyniki. Podobnie zresztą jak w innych częściach świata.

Tymczasem w świecie zwierząt zmysł magnetyczny, zwany też magnetorecepcją, jest raczej normą, a nie osobliwością, choć bardzo długo nie był przez naukowców dostrzegany. Od setek lat zastanawiano się bowiem, jak zwierzęta odnajdują kierunek w terenie. Młode jaskółki lecą do Afryki, mimo że nigdy wcześniej tam nie były. Motyle monarchy w trakcie wędrówek składają jaja i giną. Młode pokolenie po przepoczwarzeniu się z gąsienicy w postać dorosłą podejmuje przerwaną przez rodziców podróż i bezbłędnie kontynuuje ją we właściwym kierunku. Morskie żółwie karetta wracają na plażę, na której przyszły na świat, po wędrówkach oceanicznych liczących kilkanaście tysięcy kilometrów.

Do lat 60. XX wieku dominował jednak pogląd, że ptaki czerpią wskazówki co do orientacji podczas wędrówek wyłącznie z nieba: położenia Słońca i gwiazd. Tyle że, jak się okazało, potrafią one wybrać właściwy kierunek również w zamkniętym pomieszczeniu. Wolfgang Wiltschko, wówczas student na Uniwersytecie Goethego w Niemczech, postanowił sprawdzić, jak im się to udaje. Hipotezy były dwie: albo ptaki wykorzystują sygnały radiowe z gwiazd, albo pole magnetyczne Ziemi. Wiltschko stawiał na to pierwsze wyjaśnienie. By je udowodnić, zbudował stalową komorę, w której umieścił pospolite w Europie rudziki. Gdy zmieniał w niej pole magnetyczne, ptaki także zmieniały stronę, w którą się najczęściej kierowały. Tak odkrył, że rudziki orientują się w terenie nie dzięki falom radiowym z gwiazd, lecz dzięki zmysłowi magnetycznemu.

Wkrótce potem okazało się, że właściwie każdy zbadany gatunek ptaka wyczuwa pole magnetyczne. Tak samo robią motyle, muszki owocowe i żółwie karetta. Zmysł magnetyczny wykryto u pszczół, rekinów i ślimaków. Muszą go mieć lisy, bo zazwyczaj skaczą na myszy z północnego wschodu. Karpie spontanicznie ustawiają się w linii północ–południe, podobnie jak krowy, konie i jelenie oraz psy podczas załatwiania spraw fizjologicznych.



Ile jednak doniesienia o występowaniu magnetorecepcji u zwierząt pojawiały się coraz częściej, o tyle wciąż brakowało wytłumaczenia, jak miałaby działać. A bez wyjaśnienia tego mechanizmu nie było szans na odkrycie magnetorecepcji u ludzi.

Wreszcie w 1981 r. Kirschvink, który pomimo porażki poniesionej przy szukaniu zmysłu magnetycznego u ludzi nadal interesował się tym zagadnieniem, wpadł na pomysł, skąd się ono bierze. To miała być zasługa drobnych kryształków magnetytu, czyli minerału tlenków żelaza. Rzeczywiście ma on własności magnetyczne, a w dodatku znaleziono go w komórkach węchowych pstrąga tęczowego, w mózgach golców (ssaków z Afryki prowadzących podziemny tryb życia) oraz w dziobach gołębi. Wszędzie te kryształki były powiązane z komórkami nerwowymi. Pasowało to do hipotezy, że za ich pomocą zwierzęta czują, gdzie jest północ, a gdzie południe.

Jednak w 2012 r. zespół kierowany przez Davida Anthony'ego Keysa z Instytutu Patologii Molekularnej w Wiedniu ogłosił, że magnetyt w dziobie gołębia nie ma nic wspólnego z układem nerwowym. To tylko produkt komórek układu odpornościowego. Po tej publikacji na pierwszy plan wysunęła się hipoteza, że to nie żelazo, lecz grupa białek zwanych kryptochromami odpowiada za magnetorecepcję. Występują one w siatkówce oka wielu czułych na magnetyzm zwierząt [...] Wkrótce odkryto, że również ludzie mają kryptochromy [...] Część badaczy skrytykowała jednak tę koncepcję, wskazując, że w laboratorium kryptochrom wykrywa pole magnetyczne, pod warunkiem że jest ono 20 razy silniejsze niż na Ziemi. Jeśli to prawda, to białka te niewiele by pomagały zwierzętom w orientacji podczas wędrówek.

Igdy wydawało się, że naukowcy znaleźli się w ślepej uliczce, nadeszły wieści z Chin. Badacze kierowani przez Xie Cana z Uniwersytetu Pekińskiego ogłosili, że odkryli nowe białko, które wiąże się zarówno z żelazem, jak i z kryptochromem, przyjmując wydłużony kształt. W polu magnetycznym układa się on niczym igła kompasu. Xie Can nadał temu białku nazwę MagR. Jeszcze wprawdzie nie wykazał, jak taka cząsteczka zachowuje się w żywym organizmie, ale podobno jest temu bliski. Liczy też, że obecność rozmaitych wariantów

MagR może wyjaśnić różnice w poczuciu kierunku u poszczególnych osób. Jeśli mu się to uda, to z pewnością będzie też można poprawić funkcjonowanie zmysłu magnetycznego u ludzi.

Wojciech Mikołuszko
(skrócona wersja artykułu opublikowanego w „Gazecie Wyborczej" z 5 lipca 2016 r.)

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

1. Jaką hipotezę postawił w swoich badaniach Wolfgang Wiltschko? Czy udało mu się ją potwierdzić?
2. Wymień cztery gromady zwierząt, u których stwierdzono zmysł magnetyczny. Jeśli nie pamiętasz z biologii, co to jest gromada – sprawdź to w odpowiednim źródle.
3. Jakie kolejne hipotezy dotyczące zmysłu magnetycznego rozważali naukowcy?
4. Na jakim etapie są obecnie badania nad zmysłem magnetycznym u człowieka?
   - **A.** Naukowcy udowodnili, że mamy ten zmysł.
   - **B.** Naukowcy udowodnili, że nie mamy tego zmysłu.
   - **C.** Badania nad tym zagadnieniem są na zaawansowanym etapie, jednak nadal nie wiadomo na pewno, czy ludzie mają taki zmysł.
5. Poszukaj wiadomości na temat nowych badań związanych ze zmysłem magnetycznym (ang. *magnetoreception*) prowadzonych już po opublikowaniu artykułu, czyli po lipcu 2016 r.
6. Zaprojektuj własne doświadczenie badające zmysł magnetyczny u ludzi lub zwierząt.



# Zbiór zadań

Elektrostatyka
Prąd elektryczny
Elektryczność i magnetyzm

# Elektrostatyka

**1.** Jeśli potrzemy balonikiem włosy, a następnie balonik zabierzemy, to włosy się uniosą. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.

**2.** Adam postanowił przygotować dekorację na szkolną dyskotekę: balon ozdobiony papierowym konfetti. Jednak konfetti rozsypało się na podłogę, zanim chłopiec je nakleił. Zaproponuj, jak pozbierać te drobne skrawki papieru bez użycia szczotki.



**3.** Ola naelektryzowała szklaną pałeczkę dodatnio przez pocieranie jej kawałkiem materiału. Dokończ poniższe zdanie.

Podczas elektryzowania:

**A.** elektrony przepłynęły z materiału do pałeczki.

**B.** elektrony przepłynęły z pałeczki do materiału.

**C.** protony przepłynęły z materiału do pałeczki.

**D.** protony przepłynęły z pałeczki do materiału.

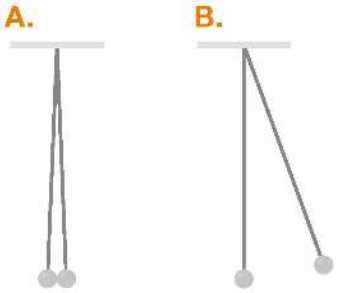
**4.** Pierwszy w historii elektroskop, nazwany versorium, został wykonany przez Williama Gilberta, osobistego lekarza królowej Elżbiety I. Dowiedz się, jak było zbudowane versorium i na jakiej zasadzie działało.

**5.** Elektrycznie obojętny bursztyn po potarciu szmatką zyskał 10 mld elektronów. Oblicz, jaki zgromadził ładunek. Wynik wyraź w kulombach.

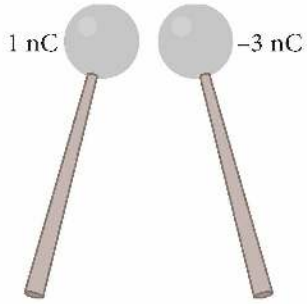


**6.** Metalową kulkę o ładunku 4 nC zetknięto z drugą identyczną, ale nienaelektryzowaną kulką. Ile elektronów przepłynie z drugiej kulki na pierwszą?

**7.** Dwie identyczne metalowe kulki zawieszono na nitkach, zaczepionych w jednym punkcie (rys. A). Następnie jedną z kulek odchylono (rys. B), na elektryzowano tak, że uzyskała ładunek −8 nC, i puszczono swobodnie. Narysuj w zeszycie położenie kulek, gdy obie się zatrzymają.




**8.** Rysunek przedstawia dwie jednakowe metalowe kulki, trzymane za pomocą uchwytów z izolatora. Przy kulkach podano ich początkowe ładunki. Oblicz ładunek każdej z kulek po ich zetknięciu.

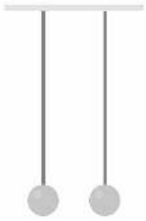


**9.** Typowy ładunek naelektryzowanego ciała wynosi od kilku do kilkunastu nanokulombów. Oblicz, ile elektronów składa się łącznie na ładunek –1 nC.

**10.** Mamy dwie jednakowe metalowe kulki, trzymane za pomocą uchwytów z izolatora. Jedna kulka ma ładunek +1 nC, a druga –3 nC. Jakie czynności należy wykonać, aby uzyskać na jednej z kulek podany ładunek? Kulki możemy stykać ze sobą albo dotykać je dłonią, czyli uziemiać (po uziemieniu ładunek staje się równy zeru).

**a)** –1,5 nC **b)** –0,5 nC

**11.** Dwie metalowe kulki wiszą na nieprzewodzących niciach na tyle blisko siebie, że ich przyciągnięcie się zawsze doprowadzi do zetknięcia.



Opisz, co się stanie z kulkami, jeśli mają one ładunki:

**a)** +1 nC i +1 nC,

**b)** –1 nC i –2 nC,

**c)** – 1 nC i + 3 nC,

**d)** –1 nC i +1 nC.

**12.** Mały balonik pocierany szmatką zyskał ładunek –5 nC. Oblicz wartość siły jego oddziaływania na szklaną kulkę o ładunku 4 nC, umieszczoną 40 cm od balonika. Określ kierunek i zwrot tej siły.

**13.** Dwa kawałki bursztynu naelektryzowano tak, że uzyskały ładunek –3nC każdy, a następnie umieszczono je w odległości 60 cm od siebie.

**a)** Oblicz wartość siły wzajemnego oddziaływania dwóch bursztynów.

**b)** Wyznacz odległość, na jaką należy oddalić od siebie kawałki bursztynu, aby siła działająca między nimi była czterokrotnie mniejsza.

**c)** Ustal, w jakiej odległości między bursztynami siła działająca między nimi będzie dziewięciokrotnie większa.

**★14.** Oblicz odległość między dwoma naelektryzowanymi dodatnio ciałami, jeżeli odpychają się one siłą o wartości 0,01 N, a ładunek każdego z nich jest równy 8 nC.

**★15.** Na wysokości 10 cm nad metalowym opiłkiem o masie 8 μg umieszczono kulkę o ładunku 3 nC. Jaki ładunek należy zgromadzić na opiłku, aby uniosła go siła wynikająca z wzajemnego oddziaływania opiłka i kulki? Pomiń zjawisko indukcji elektrostatycznej, jakie zachodzi w opiłku pod wpływem naelektryzowanej kulki.

**★16.** W stalowej kulce o masie 15 g jest ok. $4{,}2 \cdot 10^{24}$ elektronów i tyle samo protonów. Wyobraźmy sobie, że z jednej takiej kulki przeniesiono na drugą taką samą co miliardowy elektron, a następnie umieszczono kulki w odległości 30 cm od siebie. Określ wartość sił działających między nimi.

**17.** Przeanalizuj trzy poniższe rysunki. Na którym prawidłowo zaznaczono linie pola elektrycznego wytworzonego przez ładunek $Q$?

**I.** **II.** **III.**




**A.** na rysunku I

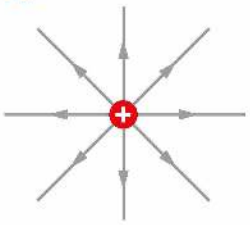
**B.** na rysunku II

**C.** na rysunku III

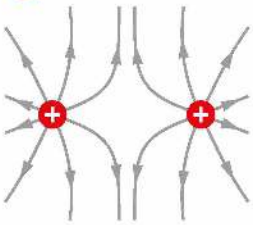
**D.** na żadnym z rysunków

**18.** Wskaż ten z poniższych rysunków A–D, na którym przedstawiono linie pola jednorodnego.

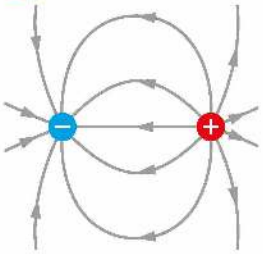
**A.**



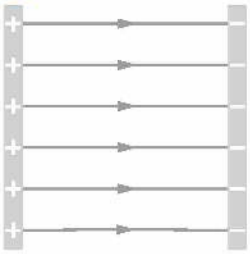
**C.**



**B.**

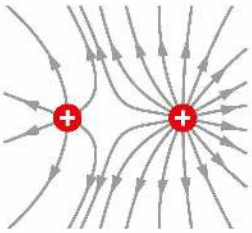


**D.**

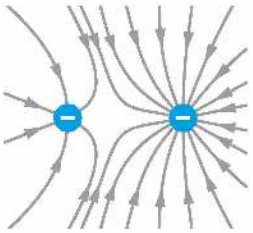


**★19.** Przeanalizuj rysunki I–IV i do każdego z nich dopasuj jedno zdanie spośród A–D. Zdania mogą się powtarzać.

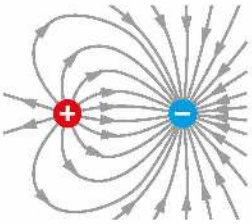
**I.**



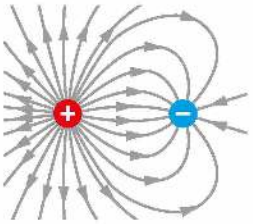
**III.**



**II.**



**IV.**



**A.** Wartość bezwzględna ładunku po lewej stronie jest większa niż wartość bezwzględna ładunku po prawej stronie.

**B.** Wartość bezwzględna ładunku po prawej stronie jest większa niż wartość bezwzględna ładunku po lewej stronie.

**C.** Oba ładunki po obu stronach rysunku mają taką samą wartość bezwzględną.

**D.** Na podstawie rysunku nie można stwierdzić, który ładunek ma większą wartość bezwzględną: po lewej czy po prawej stronie rysunku.

**20.** Naszkicuj orientacyjny przebieg linii pola elektrycznego utworzonego przez dwie równoległe płytki naładowane odpowiednio ładunkami $+Q$ i $-Q$. Zwróć uwagę na sytuację w pobliżu brzegów płytki.

**21.** Naelektryzowaliśmy łyżkę, nóż i widelec. Wskaż, który z tych trzech sztućców najdłużej zachowa ładunek, gdy za pomocą uchwytu z izolatora położymy je na czystym, suchym porcelanowym talerzyku.

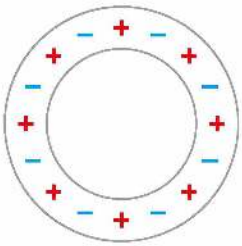


**22.** Mówiliśmy, że pociąg jest bezpiecznym schronieniem w czasie burzy. A samolot? Obejrzyj film *What Happens If A Plane Gets Struck By Lightning?* na kanale SciShow na YouTube i zapisz w kilku zdaniach, dlaczego uderzenie pioruna w samolot może być niebezpieczne, mimo że stanowi on klatkę Faradaya. Podaj, jakie zabezpieczenia przewidzieli konstruktorzy samolotów na taką okoliczność.



**23.** Zaproponuj, w jaki sposób można zastosować kondensator jako element pamięci komputera. Spróbuj się dowiedzieć, jakie zalety i jakie wady ma proponowane rozwiązanie.

**24.** Rysunek przedstawia rozkład ładunków w metalowej kuli wydrążonej w środku. Narysuj rozkład ładunków w tej kuli po naładowaniu jej ładunkiem ujemnym.



**25.** W powieści szpiegowskiej Vincenta Severskiego *Odwet* bohaterowie często odwiedzają siedzibę polskiego wywiadu, a w niej – pokój do ściśle tajnych rozmów, zwany „kryptą Faradaya". Jak sądzisz, z czego wynika taka nazwa?

**26.** Fizycy zajmujący się cząstkami elementarnymi używają niewielkiej jednostki energii – elektronowolta, gdzie 1 eV to energia, jaką zyskuje elektron rozpędzany przez napięcie 1 V. Oblicz, ile dżuli ma 1 eV.

**★27.** Kulka o masie 10 g naładowana ładunkiem 1 nC przemieszcza się między okładkami kondensatora. Napięcie między nimi wynosi 2000 V.

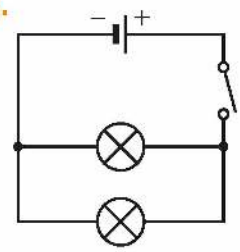
**a)** Oblicz, jaką energię zyska kulka.

**b)** Wyznacz wartość prędkości, do jakiej rozpędzi się kulka, jeśli początkowo spoczywała.

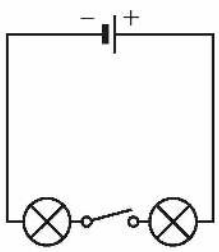
## Prąd elektryczny

**1.** Trzy z poniższych obwodów są w rzeczywistości tym samym obwodem narysowanym w inny sposób. Wskaż je.

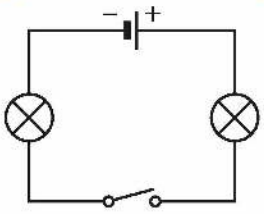
**A.**



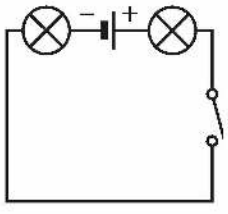
**C.**



**B.**



**D.**



**2. a)** Narysuj schematy co najmniej trzech różnych obwodów zbudowanych z ogniwa, opornika, żarówki i włącznika.

**Uwaga.** Obwody muszą się różnić połączeniami elementów, a nie rozmieszczeniem symboli na kartce. W przeciwnym wypadku będą to różne schematy tego samego obwodu.

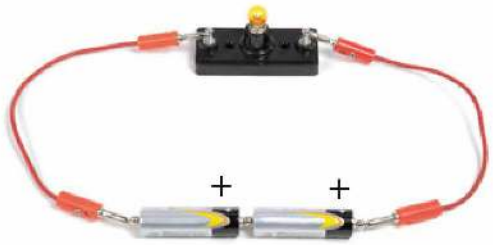
**b)** Zaznacz w narysowanych obwodach, w którą stronę płynie prąd elektryczny, a w którą stronę przemieszczają się elektrony.

**3.** Prąd płynący w przewodzie między ładowarką a telefonem komórkowym ma natężenie 890 mA. Oblicz ładunek, jaki przepłynie przez kabel ładowarki podczas ładowania telefonu przez godzinę.

**4.** Pojemność pewnego powerbanku wynosi 20 000 mAh. Oblicz maksymalny ładunek, jaki może przepłynąć do rozładowanej baterii laptopa po podłączeniu powerbanku.

**5.** Dopasuj do każdego z rysunków I–IV odpowiedni schemat spośród A–D.

**I.**



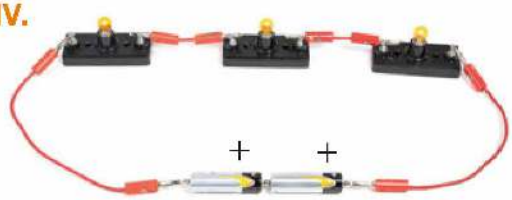
**II.**



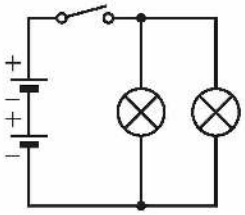
**III.**



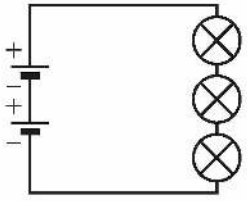
**IV.**



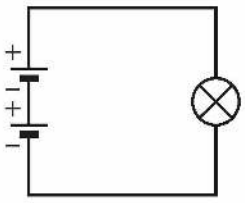
**A.**



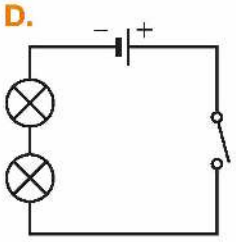
**C.**



**B.**

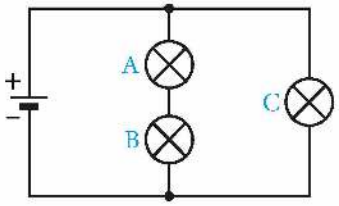


**D.**



**6.** Oblicz, ile energii elektrycznej pobrał telefon komórkowy, jeżeli ładowarka pracowała pod napięciem 5 V i ładowała go przez godzinę prądem o natężeniu 350 mA.

**7.** Przerysuj do zeszytu poniższy schemat elektryczny. Następnie dorysuj do niego: woltomierz, który mierzy napięcie między końcówkami żarówki B, oraz amperomierz, który mierzy natężenie prądu płynącego przez żarówkę A.




**8.** Zapisz poniższe wyniki pomiarów natężenia prądu wraz z niepewnościami pomiarowymi (bezwzględnymi). Pamiętaj, aby zaokrąglić wynik odpowiednio do obliczonej niepewności. Przelicz wynik i niepewność pomiaru na ampery. Przyjmij, że niepewność względna pomiaru wynosi 3%.

**a)** 1523 odczytane przy zakresie 2000 μA

**b)** 550 odczytane przy zakresie 600 mA

**c)** 8 odczytane przy zakresie 10 A

**9.** Wybierz wszystkie stwierdzenia prawdziwe spośród podanych.

**A.** Amperomierz zawsze włączamy równolegle do mierzonego fragmentu obwodu.

**B.** Woltomierz zawsze włączamy równolegle do mierzonego fragmentu obwodu.

**C.** Amperomierz zawsze włączamy szeregowo do mierzonego fragmentu obwodu.

**D.** Woltomierz zawsze włączamy szeregowo do mierzonego fragmentu obwodu.

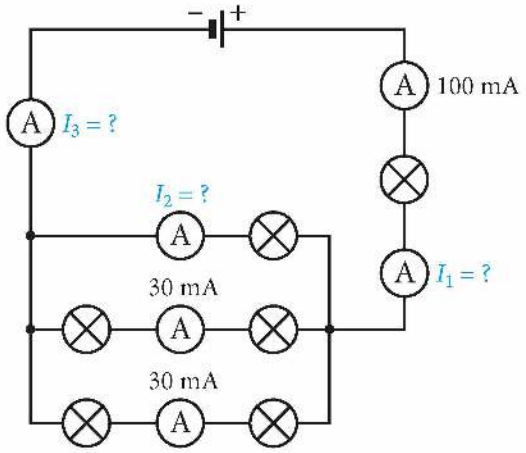
**10.** Narysuj w zeszycie schematy obwodów elektrycznych według poniższych opisów.

**a)** Dwie żarówki połączyliśmy równolegle i podłączyliśmy do jednej baterii.

**b)** Dwie żarówki połączyliśmy szeregowo i podłączyliśmy do dwóch baterii połączonych równolegle.

**c)** Trzy żarówki podłączyliśmy równolegle do dwóch baterii połączonych szeregowo.

**11.** Przeanalizuj poniższy schemat i oblicz brakujące natężenia prądu mierzone przez poszczególne amperomierze.

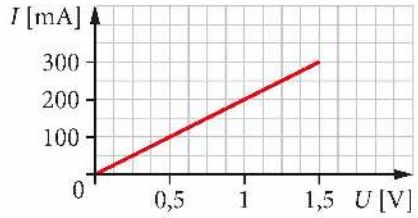



**12.** Napięcie danego ogniwa zależy od substancji, jaka się w nim znajduje, np. dla akumulatora NiMH wynosi 1,2 V. Ustal, ilu co najmniej takich ogniw należy użyć do wkrętarki zasilanej napięciem 12 V.

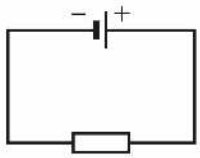
**13.** Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez przewodnik od przyłożonego napięcia.

**a)** Odczytaj z wykresu, ile jest równe natężenie prądu, gdy przewodnik podłączymy do napięcia 0,5 V.

**b)** Oblicz, ile jest równe natężenie prądu, jeśli przewodnik podłączymy do napięcia 2 V.




**14.** W obwodzie, którego schemat przedstawiono poniżej, płynie prąd o natężeniu $I = 40$ mA. Napisz, ile będzie wynosić natężenie prądu w tym obwodzie, jeżeli do ogniwa podłączymy szeregowo drugie identyczne ogniwo.

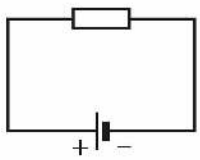


**15.** Przez opornik podłączony do baterii o napięciu 4,5 V płynie prąd o natężeniu 15 mA. Do jakiego napięcia trzeba podłączyć ten opornik, aby popłynął przez niego prąd o natężeniu 20 mA?

**16.** Opornik o oporze 300 Ω podłączono do baterii o napięciu 4,5 V. Oblicz, ile wynosi natężenie prądu płynącego przez opornik.

**17.** Przez opornik podłączony do baterii 9 V płynie prąd 20 mA. Oblicz opór elektryczny tego opornika.

**18.** W obwodzie przedstawionym na rysunku poniżej przez opornik o oporze 200 Ω płynie prąd o natężeniu 45 mA. Oblicz, ile wynosi napięcie baterii, do której podłączono opornik.

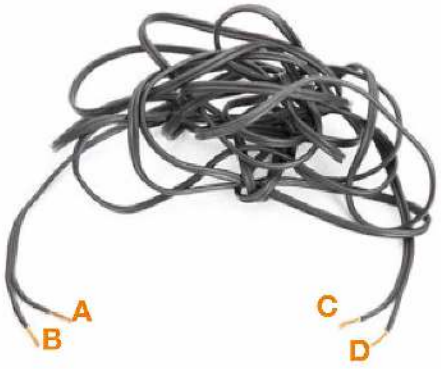


**19.** Oblicz opór elektryczny, jaki powinien mieć opornik podłączony do baterii o napięciu 12 V, aby popłynął przez niego prąd 20 mA.

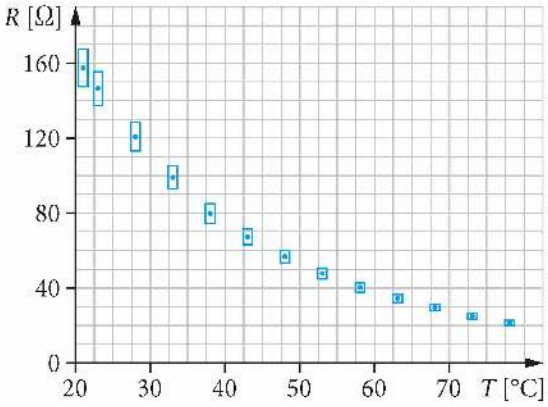
**20.** W dwużyłowym kablu elektrycznym znajdują się dwa przewody. Jak rozpoznać, która z końcówek: C czy D, jest drugim końcem tego samego przewodu co końcówka A? Zaproponuj dwie metody:

**a)** z zastosowaniem omomierza,

**b)** bez użycia omomierza – wymień, co w tym przypadku jest potrzebne.




**★21.** Na wykresie poniżej pokazano zależność oporu elektrycznego płytki półprzewodnika od temperatury.

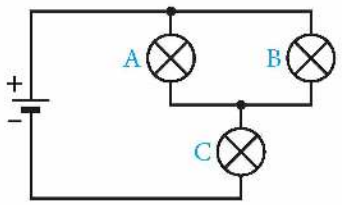



Płytkę podłączono do ogniwa o napięciu 9 V. Jakie będzie przybliżone natężenie prądu płynącego przez obwód elektryczny:

**a)** w temperaturze 20°C,

**b)** w temperaturze 70°C.

**22.** W obwodzie elektrycznym przedstawionym na schemacie wszystkie żarówki są identyczne. Czy wszystkie świecą tak samo jasno? Jeśli nie, to które świecą jaśniej, a które słabiej?




**Wskazówka.** Im większe natężenie prądu płynącego przez żarówkę, tym żarówka świeci jaśniej.

**★23.** Uczniowie mieli do dyspozycji dwie jednakowe baterie i trzy jednakowe oporniki. Do jednej baterii podłączyli opornik, a do drugiej – dwa oporniki połączone szeregowo. Narysuj schematy obu obwodów elektrycznych. Ustal, w którym obwodzie więcej energii elektrycznej zamieni się w energię wewnętrzną. Ile razy więcej? Pomiń spadek napięcia między biegunami baterii po podłączeniu oporników.

**★24.** Mamy dwie grzałki o mocy 300 W i 800 W. Ustal, której z nich należy użyć, aby zagotować wodę w półlitrowym kubku i zużyć przy tym mniej energii.

**25.** W USA napięcie w sieci wynosi 110 V, dlatego amerykańska żarówka podłączona do polskiej sieci domowej szybko się przepali. W jaki sposób można do polskiej sieci podłączyć dwie takie żarówki, aby działały przez dłuższy czas?

**26.** Rozważamy trzy rodzaje elementów elektronicznych: opornik, żarówkę i kawałek grafitu. Ile razy większa jest moc pobierana przez dany element podłączony do napięcia 4 V od mocy pobieranej przez ten sam element podłączony do napięcia 2 V?

Dopasuj do każdego rodzaju elementu I–III prawidłową odpowiedź na powyższe pytanie spośród A–D.

Wyjaśnij, dlaczego odpowiedzi są różne.

**Wskazówka.** Moc urządzenia elektrycznego zależy od napięcia i natężenia. W zadaniu powiedziano o napięciu. Co można powiedzieć o natężeniu?

**I.** opornik

**II.** żarówka

**III.** kawałek grafitu

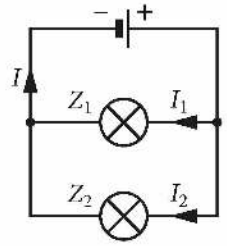
**A.** 2 razy

**B.** więcej niż 2 razy, ale mniej niż 4 razy

**C.** 4 razy

**D.** więcej niż 4 razy

**★27.** W obwodzie, którego schemat pokazano poniżej, do baterii o napięciu $U = 4{,}5$ V podłączono dwie różne żarówki oznaczone symbolami $Z_1$ i $Z_2$. Przez baterię płynie prąd o natężeniu $I = 600$ mA. W czasie $t = 1$ h pierwsza żarówka wyemitowała w postaci ciepła i światła energię 3240 J. Oblicz, ile wynosi natężenie prądu $I_2$ płynącego przez drugą żarówkę.




## Elektryczność i magnetyzm

**1.** Grzejnik olejowy o mocy 2000 W jest podłączony do gniazdka instalacji elektrycznej o napięciu 230 V.

**a)** Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez grzejnik oraz opór elektryczny jego elementów grzewczych podczas pracy.

**b)** Oblicz, ile zapłacimy rocznie za energię elektryczną potrzebną do użytkowania grzejnika, jeśli od listopada do marca pracuje on przez 5 godzin w ciągu doby. Przyjmij, że zużycie 1 kWh energii kosztuje 80 gr.

**2.** Bateria w pewnym smartfonie ma pojemność 4000 mAh. Napięcie baterii jest równe 5 V. Oblicz, ile będzie kosztować jej naładowanie, jeśli straty energii w ładowarce wynoszą 50%. Przyjmij, że zużycie 1 kWh energii kosztuje 80 gr.

**3.** Napięcie skuteczne i częstotliwość prądu w gniazdkach domowej instalacji elektrycznej są różne w różnych krajach na świecie. Poszukaj informacji na temat co najmniej trzech innych rozwiązań niż te stosowane w Polsce. Napisz, jakich krajów dotyczą.

**4.** Andrzej postanowił ogrzewać swój dom o powierzchni 200 $m^2$ wyłącznie grzejnikami elektrycznymi. Jego dom spełnia nowe normy energooszczędności, więc do ogrzania 1 $m^2$ powierzchni jest potrzebna moc 50 W.

**a)** Oblicz, jaką sumaryczną moc muszą mieć grzejniki, aby dom Andrzeja był ogrzany zgodnie z normami.

**b)** Ustal, czy można podłączyć wszystkie grzejniki jednocześnie, jeżeli w domowej instalacji elektrycznej jest zamontowany bezpiecznik 32 A.

**5.** Przeczytaj artykuł ze strony https://www.mp.pl/pacjent/pierwsza_pomoc/145695,razenie-piorunem-jak-zapobiegac-i-udzielic-pierwszej-pomocy i opisz krótko, jak należy postąpić, gdy zauważymy osobę porażoną przez piorun.

**6.** Napisz, jakie środki ostrożności należy zachować podczas użytkowania urządzeń elektrycznych, aby zapobiec sytuacji przedstawionej na zdjęciu.



**7.** Oblicz, ile możemy włączyć do obwodu zabezpieczonego bezpiecznikiem 10 A:

**a)** laptopów o mocy 90 W,

**b)** tradycyjnych żarówek o mocy 100 W,

**c)** lampek LED o mocy 12 W,

**d)** suszarek o mocy 1200 W.

**8.** Gdy statek Sindbada Żeglarza zbliżył się do Góry Magnetycznej, ta wyrwała ze statku wszystkie gwoździe i spowodowała jego zatonięcie. Sindbad w ostatniej chwili wbiegł do okrętowej kuchni i... Opisz, jak mógłby się uratować bohater tej historii.

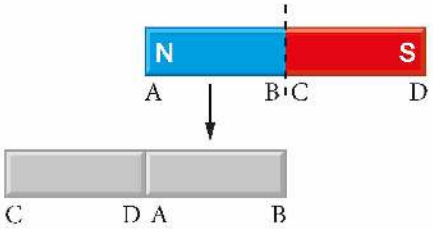
**9.** Magnes sztabkowy łamiemy na pół i łączymy jego połówki zgodnie z rysunkiem. Jakie właściwości będzie miała nowo powstała sztabka?

**A.** Utworzy się nowy magnes z biegunem północnym w punkcie C i południowym w punkcie B.

**B.** Powstanie wówczas nienamagnesowana sztabka.

**C.** Utworzy się magnes z biegunem północnym w punkcie B i południowym w punkcie C.

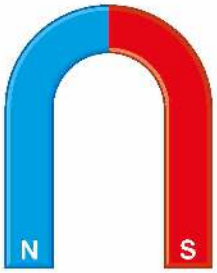
**D.** Powstanie silny magnes na środku sztabki, a jej końce nie będą namagnesowane.



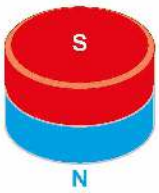

**10.** Ania dostała dwa identycznie wyglądające metalowe pręty – jeden z nich był namagnesowany, a drugi nie. Dziewczynie udało się bez użycia dodatkowych urządzeń rozpoznać, który z prętów jest magnesem. Jak to sprawdziła?

**11.** Wzdłuż igły kompasu przesuwamy naelektryzowany balonik. Co się stanie z igłą? Uzasadnij odpowiedź.

**12.** Magnes widoczny na rysunku przecięto na pół wzdłuż linii biegnącej na granicy kolorów niebieskiego i czerwonego. Wskaż, gdzie znajdą się bieguny nowo powstałych magnesów.




**13.** Narysuj domeny magnetyczne w magnesie przedstawionym na rysunku.




**14.** Pole magnetyczne Słońca możemy obserwować dzięki temu, że materia słoneczna składa się z bardzo rozgrzanego gazu, którego atomy są zjonizowane, a więc naładowane elektrycznie. Pole to ma bardzo skomplikowaną budowę: przyjmuje kształt charakterystycznych pętli. Na zdjęciu widoczna jest pętla koronalna – obłok gazu ukazujący przebieg linii pola magnetycznego Słońca. Narysuj schematycznie w zeszycie, w jaki sposób poruszają się jony materii słonecznej w tej pętli.



**Wskazówka.** Przypomnij sobie, jak poruszają się cząstki naładowane w polu magnetycznym Ziemi.

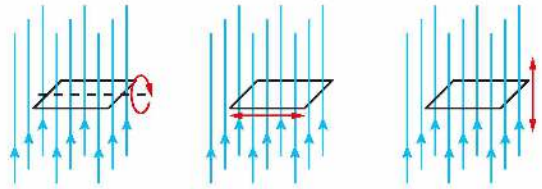
**15.** Sprężyna została swobodnie zawieszona na statywie. Jej końce podłączono do akumulatora. Ustal, czy długość sprężyny się zwiększy, zmniejszy czy pozostanie bez zmian.

**Wskazówka.** Zwojnica składa się z wielu pętli, z których każda wytwarza pole magnetyczne, tak jak mały magnesik. Czy takie magnesiki się przyciągają czy odpychają?

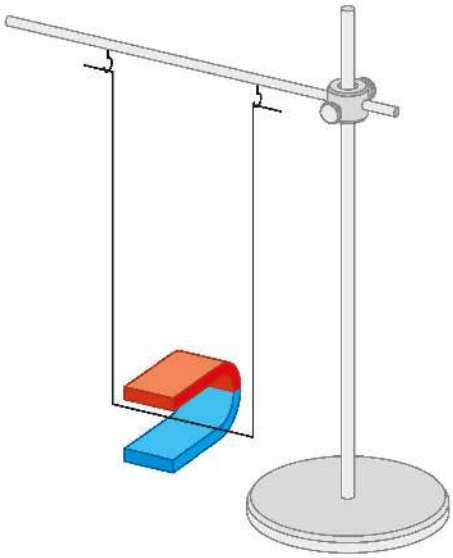
**★16.** Trwają prace nad elektrownią termojądrową, która miałaby czerpać energię z reakcji jądrowych zachodzących w zjonizowanym gazie o temperaturze kilku milionów stopni. Na przeszkodzie stoi brak odpowiedniego materiału, z którego moglibyśmy wykonać naczynie na taki gaz, aby natychmiast nie wyparowało. Badacze proponują uwięzić supergorącą materię w potężnym polu magnetycznym. Naszkicuj, jak mogłyby wyglądać linie pola magnetycznego w takiej magnetycznej pułapce.

**17.** Na rysunkach przedstawiono schematycznie ruchy metalowej ramki w jednorodnym polu magnetycznym. Wskaż, w którym przypadku zajdzie zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Uzasadnij odpowiedź.

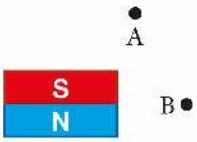
**A.** **B.** **C.**



**18.** Rysunek przedstawia pewne urządzenie. Na uchwycie wykonanym z izolatora jest swobodnie zawieszona metalowa ramka, której dolna część znajduje się między ramionami magnesu podkowiastego. Co się stanie, gdy do górnych ramion ramki podłączymy baterię?



**19.** Narysuj w zeszycie linie pola magnetycznego wytworzonego przez widoczny na rysunku magnes neodymowy. Ustal, jak w punktach A i B ustawią się igły magnetyczne. Narysuj je.




**20.** Wyobraź sobie nieizolowany metalowy przewód zgięty w kształt litery U, do którego podłączono miliamperomierz, tak jak pokazano na rysunku. Następnie przewód ten umieszczono w polu magnetycznym prostopadłym do płaszczyzny układu.

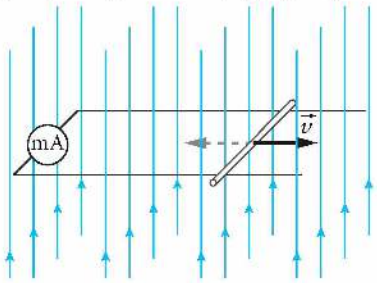
Co się stanie, gdy na obu końcach przewodu położymy metalowy pręt i będziemy go ciągnąć ze stałą prędkością wzdłuż przewodów? Wskaż poprawną odpowiedź.

**A.** Wskazanie miliamperomierza będzie równe zeru, ponieważ w obwodzie nie ma źródła napięcia (np. baterii).

**B.** Wskazanie miliamperomierza będzie tylko przez chwilę różne od zera.

**C.** Wskazanie miliamperomierza będzie różne od zera, ale tylko wówczas, jeśli będziemy od niego oddalali pręt.

**D.** Wskazanie miliamperomierza będzie różne od zera, zarówno podczas odsuwania pręta, jak i podczas jego przysuwania.



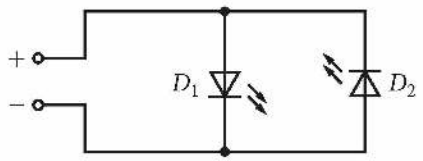

**21.** Przeczytaj informacje w ramce, a następnie wykonaj zadanie. Na wyjściu uzwojenia wtórnego transformatora pewnej spawarki pojawia się prąd o natężeniu 300 A pod napięciem 20 V. Oblicz natężenie prądu elektrycznego, który płynie przez przewód zasilający uzwojenie pierwotne transformatora spawarki podłączony do gniazdka domowej sieci elektrycznej o napięciu 230 V.

W spawarce elektrycznej wykorzystujemy łuk elektryczny. Jest to wyładowanie elektryczne podobne do iskry, którą obserwowaliśmy przy rozładowaniu kondensatora, ale trwające przez dłuższy czas. Dzięki bardzo wysokiej temperaturze łuku można częściowo stopić spawane elementy oraz łączący je metal. Do wytworzenia łuku elektrycznego jest potrzebny prąd o dużym natężeniu. Można go otrzymać z transformatora zasilanego napięciem sieciowym 230 V.

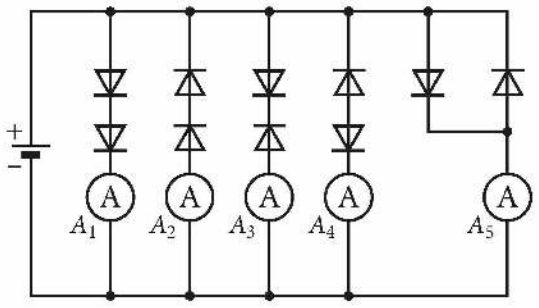


**22.** Gdy przez przewodnik o oporze $R$ płynie prąd o natężeniu $I$, szybkość wydzielania się ciepła można opisać wzorem $P = I^2R$. Wynika z niego, że straty energii spowodowane wydzielaniem się ciepła są proporcjonalne do kwadratu natężenia prądu. Wiadomo, że na duże odległości energię przesyła się pod napięciem 400 kV. Oblicz, ile razy większe byłyby straty energii, gdyby w sieci przesyłowej napięcie wynosiło 230 V.

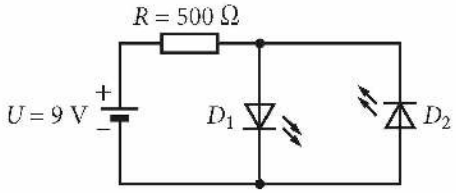
**23.** Na rysunku przedstawiono obwód służący do sprawdzania biegunowości źródła napięcia. Jeśli do końców przewodów oznaczonych znakami „+" i „–" podłączymy napięcie zgodnie z oznaczeniami (dodatni biegun źródła napięcia podłączamy do zacisku „+", ujemny – do zacisku „–"), to zaświeci się dioda zielona. W przeciwnym wypadku zaświeci się dioda czerwona. Ustal, którym symbolem: $D_1$ czy $D_2$, oznaczono diodę czerwoną, a którym – zieloną?




**24.** Ustal na podstawie schematu, które z amperomierzy oznaczonych symbolami $A_1$–$A_5$ wskażą przepływ prądu. Które wskazałyby przepływ prądu, gdyby zamienić miejscami bieguny baterii?



**25.** W obwodzie, którego schemat przedstawiono poniżej, wykorzystano dwie czerwone diody świecące, oznaczone symbolami $D_1$ i $D_2$. Spadek napięcia na diodzie, przez którą płynie prąd, wynosi 2,4 V. Oblicz natężenia prądu płynącego przez opornik i obie diody.

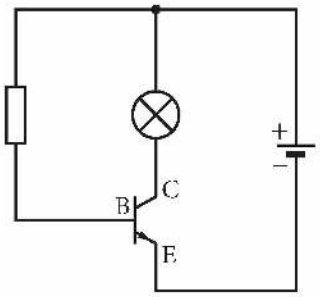



**26.** Diodę świecącą można podłączyć do napięcia 3 V.

**a)** W jaki sposób należy podłączyć trzy takie diody do baterii 9 V, aby świeciły? Podaj nazwę takiego połączenia (szeregowe lub równoległe) i narysuj odpowiedni schemat.

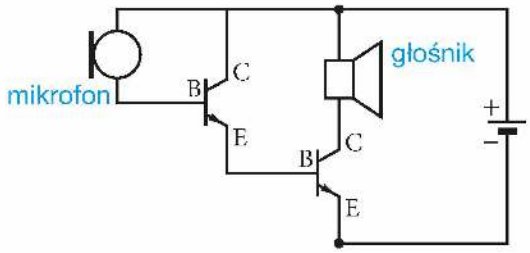
**b)** W jaki sposób należy podłączyć sześć takich diod do baterii 9 V, aby świeciły? Narysuj schemat.

**27.** Przeanalizuj poniższy schemat i ustal, przez który z elementów płynie prąd o większym natężeniu: przez opornik czy przez żarówkę.




**28.** Na rysunku widzisz uproszczony schemat wzmacniacza. Każdy z tranzystorów ma wzmocnienie równe 100 – to znaczy, że prąd wpływający do kolektora ma natężenie 100 razy większe niż prąd wpływający do bazy. Zastanów się, ile razy większe jest natężenie prądu płynącego przez głośnik od natężenia prądu dostarczanego przez mikrofon, czyli wzmocnienie całego układu.

**A.** 10 **B.** 100 **C.** 200 **D.** 10 000

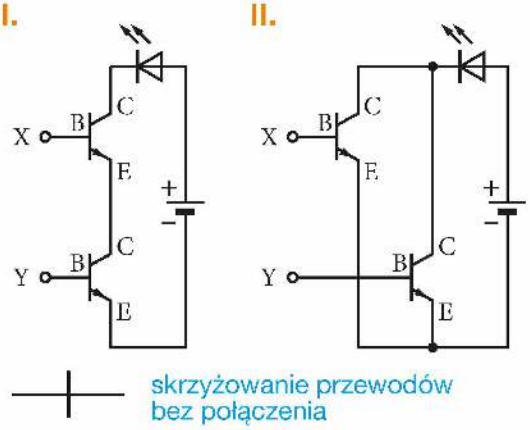



**29.** Dopasuj rysunki I i II do opisów A i B.

**A.** Aby dioda się świeciła, prąd musi wpływać do układu jednocześnie przez wejścia X i Y.

**B.** Aby dioda się świeciła, prąd musi wpływać do układu przez co najmniej jedno z wejść X lub Y.

**I.** **II.**




**30.** Przepisz zdania do zeszytu i wpisz w puste miejsca właściwe nazwy elementów elektronicznych.

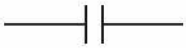
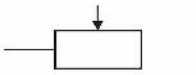
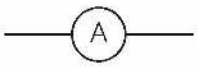
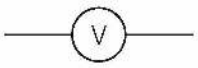
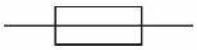
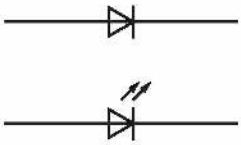
**a)** Podstawowym elementem wzmacniacza jest ////////////////.

**b)** Ładowarka do telefonu zawiera ////////////////, który obniża napięcie prądu, a także ////////////////, zamieniający prąd przemienny na stały.

**c)** Operacje w komputerze są wykonywane przez bramki logiczne, w których główną rolę odgrywają ////////////////.

**d)** Aby uchronić urządzenie przed przepływem prądu o zbyt dużym natężeniu, możemy zastosować ////////////////.

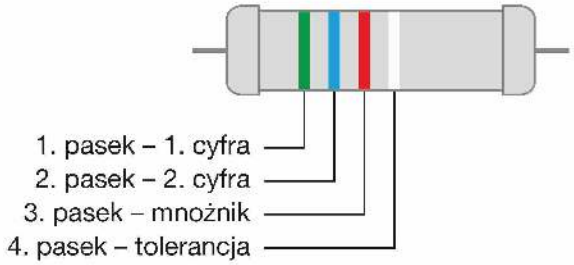
## TABELA 1. Elektryczne symbole graficzne

| Nazwa | Symbol | Nazwa | Symbol |
|---|---|---|---|
| przewód elektryczny |  | kondensator |  |
| źródło energii elektrycznej prądu stałego |  | źródło energii elektrycznej prądu przemiennego |  |
| wyłącznik (klucz) |  | opornik (rezystor) |  |
| żarówka |  | potencjometr |  |
| amperomierz |  | węzeł |  |
| woltomierz |  | bezpiecznik |  |
| dioda |  | tranzystor bipolarny npn |  |

## TABELA 2. Stałe fizyczne

| Stała fizyczna | Opis | Wartość |
|---|---|---|
| $e$ | ładunek elementarny | $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C |
| 1 C | kulomb | $6{,}24 \cdot 10^{18}\ e$ |
| k | stała elektryczna | $9 \cdot 10^{9}$ C |

## TABELA 3. Oznaczenia na opornikach z barwnym kodem paskowym




| Kolor | Wartość | | Mnożnik | Tolerancja ± [%] |
|---|---|---|---|---|
| | 1. pasek | 2. pasek | 3. pasek | 4. pasek |
| czarny | 0 | 0 | $10^0$ | – |
| brązowy | 1 | 1 | $10^1$ | 1 |
| czerwony | 2 | 2 | $10^2$ | 2 |
| pomarańczowy | 3 | 3 | $10^3$ | 15 |
| żółty | 4 | 4 | $10^4$ | – |
| zielony | 5 | 5 | $10^5$ | 0,5 |
| niebieski | 6 | 6 | $10^6$ | 1,25 |
| fioletowy | 7 | 7 | $10^7$ | 0,1 |
| szary | 8 | 8 | $10^8$ | – |
| biały | 9 | 9 | $10^9$ | – |
| złoty | – | – | $10^{-1}$ | 5 |
| srebrny | – | – | $10^{-2}$ | 10 |
| brak oznaczenia | – | – | – | 20 |

Przykład:  $47 \cdot 10^5\,\Omega = 4{,}7 \cdot 10^6\,\Omega = 4{,}7\,\mathrm{M}\Omega$

**Uwaga:**

- pierwsza cyfra oznacza pasek bliższy końca,
- między mnożnikiem a tolerancją jest najczęściej odstęp,
- liczba pasków waha się zazwyczaj między trzy a pięć:
  - jeśli są trzy paski, to wszystkie trzy oznaczają oporność, a tolerancja wynosi ±20%,
  - jeśli są cztery paski, to trzy pierwsze oznaczają oporność, a czwarty – tolerancję,
  - jeśli jest pięć pasków, to pierwsze trzy oznaczają cyfry, czwarty – mnożnik, a piąty – tolerancję.

# Indeks


**A**
amper 63
Ampère André-Marie 146
amperogodzina 66
amperomierz 68
atom 8

**B**
badanie znaku ładunku 11
bateria 60 64
bezpiecznik 128
biegun magnesu 135
burza 34 35
butelka lejdejska 39

**D**
defibrylator 41
dioda 170
– świecąca (LED) 171
domena magnetyczna 142
dopasowanie prostej 89
drukarka laserowa 14
Du Fay Charles François 10

**E**
elektrofiltr 22
elektromagnes 150
elektron 8
– swobodny 54
elektroskop 17
elektryzowanie ciał 9
emiter 179
energia elektryczna 103 106

**F**
Faraday Michael 161

**G**
Galvani Luigi 59
Gilbert William 137
głośnik 148

**I**
igła magnetyczna 136
indukcja
elektromagnetyczna 160

**J**
jonizacja 34

**K**
k (stała elektryczna) 18
kilowatogodzina 124
klatka Faradaya 33
Kleis Ewald von 39
kolektor 179
komórka nerwowa 56
kondensator 37 64
kserograf 14
kulomb 13

**L**
lampka neonowa 11
LED dioda 171
linie pola elektrycznego 27
– – magnetycznego 145

**Ł**
ładunek elektryczny 8 13
– elementarny 13
ładunki w przewodniku 32

**M**
magnes 134
metalowe ostrze 34
miernik uniwersalny 68
mikrofon 162
miliamperogodzina 66
moc prądu 103
mostek prostowniczy 176

**N**
nadprzewodnik 101
napięcie elektryczne 40
62 71
– przemienne 120
– skuteczne 123
natężenie prądu 63 73
– skuteczne 123
neonówka 11
neutron 8
niepewność pomiaru
miernikiem 70
Nollet Jean-Antoine 39

**O**
obwód elektryczny 55
ochrona przed piorunem
34 35
oddziaływanie elektryczne
8 18 21 22
ogniwo 60
Ohm Georg 93
om 93
opornik 94
opór elektryczny 92
– – a temperatura 98
Ørsted Hans Christian 146

**P**
pierwsze prawo
Kirchhoffa 82
piorunochron 34 35
pojemność 66
pole centralne 30
– elektryczne 25
– jednorodne 30
– magnetyczne 134
połączenie równoległe 75
– szeregowe 75 76 80
porażenie elektryczne 132
potencjometr 94 97
półprzewodnik 100
prawo Coulomba 18
– Ohma 90
prąd elektryczny 54
– przemienny 120 123
prądnica 161
proporcjonalność prosta 90
prostownik 171 175
proton 8

**R**
ryby elektryczne 65

**S**
silnik elektryczny 154
siła elektryczna 8 18 155
– magnetyczna 153 155
stała elektryczna 18
superkondensator 42

**Ś**
świetlówka 172

**T**
tabliczka znamionowa 123
transformator 166
tranzystor 178

**U**
uziemienie 131

**W**
wariograf 96
wat 105
wolt 40 62
woltomierz 68
wykrywacz kłamstw 96
wyłącznik
różnicowoprądowy 130
wzmacniacz 163 178

**V**
Volta Alessandro 59

**Z**
zasada zachowania
energii 79
– – ładunku 13 84
zmysł elektryczny 65
zwarcie 127
zwojnica 150

**Ź**
źródła światła 172

## Spis dodatków matematycznych

Obliczenia w notacji wykładniczej ..... 16
Proporcjonalność prosta na wykresie ..... 90

## Spis doświadczeń obowiązkowych

Badanie kształtu linii pola elektrycznego ..... 28
Przekaz energii podczas rozładowania kondensatora ..... 37
Pomiar napięcia baterii połączonych szeregowo ..... 77
Pierwsze prawo Kirchhoffa ..... 82
Badanie kształtu linii pola magnetycznego ..... 145
Linie pola magnetycznego wokół prostoliniowego przewodnika z prądem ..... 147
Pole magnetyczne pętli lub zwojnicy ..... 150
Indukcja elektromagnetyczna ..... 160
Elektromagnes i indukcja elektromagnetyczna ..... 165
Badanie diody ..... 170
Badanie diody świecącej ..... 171

## Spis adresów umieszczonych pod kodami QR

https://www.youtube.com/watch?v=IbE7-vdQTbM ..... 43
http://www.wiz.pl/ oraz http://www.swiatnauki.pl/ ..... 51
https://www.nasa.gov/press-release/nasa-mission-reveals-speed-of-solar-wind-stripping-martian-atmosphere ..... 159
https://www.youtube.com/watch?v=32_3Um3a65s ..... 164
https://www.youtube.com/watch?v=txmKr69jGBk 169
http://wyborcza.pl/1,145452,20348177,szosty-zmysl-magnetyczny.html ..... 192

# Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

## 4. Elektrostatyka

### 1. Ładunki elektryczne

Zadanie 2. **Wskazówka do drugiego pytania**. Przypomnij sobie zasady dynamiki.

### 2. Zasada zachowania ładunku

Zadanie 2. rura –2 nC, skarpetka +2,5 nC

Zadanie 3. wartość ładunku: $8 \cdot 10^{-10}$ C = 0,8 nC, ładunek jest ujemny. **Uwaga**. 1 miliard = $10^9$

### 3. Prawo Coulomba

Zadanie 1. a) 22,5 μN, b) 360 μN

**Wskazówka.** Nie musisz obliczać ładunków ciał (jest to zresztą niemożliwe), wystarczy, że skorzystasz z zależności siły od odległości.

Zadanie 2. 15 cm

**Wskazówka.** Nie musisz obliczać ładunków ciał (jest to zresztą niemożliwe), wystarczy, że skorzystasz z zależności siły od odległości.

Zadanie 3. Każda z kulek przyciąga drugą siłą $1{,}35 \cdot 10^{-8}$ N = 13,5 nN.

### 4. Pole elektryczne

Zadanie 4. a) **Wskazówka**. W otoczeniu jednego z tych punktów linie są ułożone gęściej.

### 5. Klatka Faradaya

Zadanie 1. A – III, B – I, C – II, D – II.

Zadanie 2. Lepiej bicc. Uzasadnij, dlaczego.

### 6. Kondensator

Zadanie 3. 24 J

Zadanie 4. Zwiększy się o $8 \cdot 10^{-16}$ J

Zadanie 5. 0,002 J = 2 mJ

## Zadania powtórzeniowe

### To trzeba umieć

1. B, 2. A, 3. IV-II-III-I, 4. C, 5. D

### To powinieneś umieć

1. A, 2. D, 3. różne znaki – I

4. Na ujemnym – gdy połączymy bieguny, elektron jest odpychany od bieguna ujemnego, a przyciągany do dodatniego, więc może między nimi przepłynąć nie tylko bez dostarczania energii, lecz nawet samemu wykonać pracę.

5. C

6. AC

### To warto umieć

1. Ciała się odpychają siłą $F = 9 \cdot 10^{-9}$ N = 9 nN.

2. Masa kulki naładowanej ujemnie się zwiększyła, ponieważ przybyło w niej elektronów. Masa kulki naładowanej dodatnio się zmniejszyła, ponieważ ubyło w niej elektronów. Zmiany są niezauważalne, ponieważ przepłynęła tylko nieznaczna część elektronów (a dodatkowo elektron jest znacznie lżejszy od cząstek tworzących jądro).

3. Oba ładunki są dodatnie.

4. $E = 3{,}2 \cdot 10^{-8}$ J = 32 nJ

5. pole jednorodne

6. B

### Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

1. C

2. ok. $1{,}7 \cdot 10^{-20}$ kg (znacznie mniej niż masa jednego wirusa), czyli $1{,}7 \cdot 10^{-19}$ masy początkowej

3. Ze wzoru $F_e = k\frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$ otrzymujemy $r = \sqrt{\frac{k|q_1 \cdot q_2|}{F_e}}$, stąd $r \approx 8$ mm.

4. płytka – ujemny, pręt – dodatni

## 5. Prąd elektryczny

### 7. Obwody elektryczne

Zadanie 1. **Wskazówka.** Najłatwiej znaleźć zdjęcie odpowiadające schematowi III, bo

najbardziej różni się on od pozostałych. Aby rozróżnić pozostałe zdjęcia, możesz opisać sobie słowami, przez jakie elementy kolejno przepływa prąd wypływający z baterii.

### 8. Napięcie i natężenie prądu

Zadanie 2. 60 J

Zadanie 3. 86 400 J

**Wskazówka.** Zwróć uwagę, że jedna z danych wielkości jest zapisana słownie. Jaka to wielkość?

Zadanie 4. a) 36 000 C, b) 50 h

### 9. Pomiar napięcia i natężenia

Zadanie 4. a) 0,423 A ± 0,013 A,
b) 0,023 A ± 0,001 A,
c) 0,00188 A ± 0,00006 A

### 10. Połączenia szeregowe i równoległe

Zadanie 2. **Wskazówka.** Ważne, czy prąd płynie najpierw przez jedną żarówkę, a potem przez drugą, czy też rozdziela się na dwie części. Ułożenie symboli na kartce nie ma znaczenia.

Zadanie 3. 2,89 V (po uwzględnieniu niepewności: 2,9 V ± 0,1 V)

### 11. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Zadanie 2. a) 6 A, b) 8 h

Zadanie 4. A. $I_1 = I_2 = 100$ mA, $I_3 = 300$ mA, $I_4 = 200$ mA,
B. $I_1 = I_4 = 350$ mA, $I_2 = 200$ mA, $I_3 = 150$ mA

### 12. Prawo Ohma

Zadanie 2. a) 5 mA, b) 15 mA

Zadanie 3. a) 60 mA, b) 0,5 V

Zadanie 4. pomiar dla 4,5 V

### 13. Opór elektryczny

Zadanie 1. 6,8 mA

Zadanie 2. 900 Ω

Zadanie 3. 72 Ω połączony szeregowo z żarówką

Zadanie 4. 55 V

Zadanie 5. $R_1 = 400\ \Omega$, $R_2 = 133\ \Omega$, $R_3 = 67\ \Omega$

### 14. Opór a temperatura

Zadanie 1. a) 16 Ω

Zadanie 4. C

### 15. Energia elektryczna i moc prądu elektrycznego

Zadanie 1. a) 460 W, b) 24 W

Zadanie 2. 7,8 A

Zadanie 3. 432 000 J = 432 kJ

## Zadania powtórzeniowe

### To trzeba umieć

1. A, 2. A, 3. B, 4. B, 5. C, 6. B, 7. D, 8. C

### To powinieneś umieć

1. BC, 2. A, 3. D, 4. A

5. Tak – trzecie gniazdo służy tylko do pomiaru natężenia prądu do 10 A.

6. nr 4: 110 mA, nr 1 i nr 5: 320 mA

7. ok. 9,1 A

### To warto umieć

1. C

2. 12 000 C, czyli $3\frac{1}{3}$ Ah; 14,4 h = 14 h 24 min

3. 1,45 V ± 0,04 V

4. 144 kJ = 0,04 kWh

5. B

6. C

### Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

2. 2000 µA (czyli DCA 2000 µ)

## Elektryczność i magnetyzm

### 16. Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna

Zadanie 1. ok. 7,2 A

Zadanie 2. ok. 40 zł

Zadanie 3. 750 razy

**Wskazówka.** Najpierw oblicz energię zmagazynowaną w baterii. Najwygodniejszą jednostką będzie watogodzina.

### 17. Bezpieczeństwo sieci elektrycznej

Zadanie 2. Nie.

Zadanie 3. odłączyć zasilanie / wyciągnąć wtyczkę / wyłączyć bezpieczniki / gasić wodą

Zadanie 4. Rację ma Beata. Może się zdarzyć, że wyłącznik zamontowano omyłkowo na przewodzie neutralnym zamiast na przewodzie fazowym. Po wyłączeniu lampa gaśnie, bo obwód jest otwarty, ale w oprawce żarówki ciągle jest napięcie. Jeśli jest ona uszkodzona albo osoba zmieniająca żarówkę niechcący włoży do oprawki palec, może zostać porażona.

### 18. Pole magnetyczne

Zadanie 4. Tak – zastanów się, w jaki sposób.

Zadanie 5. b) Aby nie zbliżać stalowego haka do busoli. Zastanów się dlaczego.

### Temat dodatkowy. Magnetyzm i materia

Zadanie 3. B, D – północny

### 19. Linie pola magnetycznego

Zadanie 1. A – III, B – II, C – IV, D – I

### 20. Siła w polu magnetycznym

Zadanie 3. Tak – zastanów się, czy się przyciągają, czy odpychają.

### 21. Indukcja elektromagnetyczna

Zadanie 3. Aby poruszać magnesem, pokonujemy siłę magnetyczną, a więc wykonujemy pracę.

### 22. Transformator

Zadanie 2. Nie można – wyjaśnij dlaczego.

Zadanie 3. b) **Wskazówka.** Szczoteczka jest zwykle wilgotna.

### 23. Dioda

Zadanie 2. **Wskazówka.** Właściwe jest połączenie szeregowe. Który to rysunek?

Zadanie 3. **Wskazówka.** Rozważ każdą z gałęzi obwodu (diody A i B oraz żarówka 1, diody C i D oraz żarówka 2 itd.)

Zadanie 4. Po 47 dniach. **Uwaga.** W rzeczywistości tradycyjna żarówka mogłaby się już wcześniej przepalić, natomiast dobra żarówka diodowa przetrwa znacznie dłużej.

### Temat dodatkowy. Budujemy lepszy prostownik

Zadanie 1. **Wskazówka.** Wyobraź sobie, że do wyjścia podłączamy jakieś urządzenie i prąd zaczyna płynąć. Ta końcówka wyjścia, z której prąd wypływa do tego urządzenia, to „plus".

Zadanie 3. 1,2 V. Wyjaśnij, dlaczego nie 2,4 V, skoro diody są cztery.

### 24. Tranzystor

Zadanie 1. 100 tys. ton

Zadanie 2. A – IV, B – II, C – I, D – III

Zadanie 3. Dioda zacznie świecić. Może to być sygnał np. zerwania przewodu zabezpieczającego chronione miejsce.

## Zadania powtórzeniowe

### To trzeba umieć

1. C, 2. B, 3. C, 4. północny, 5. D, 6. C, 7. A, 8. B

9. kuchenka indukcyjna, prądnica, mikrofon, transformator

10. D

### To powinieneś umieć

1. 1100 W

2. ok. 27 zł

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

7. A, D – transformator, B, F – dioda, C – kondensator, E – bateria, G – tranzystor

### To warto umieć

1. A, 2. B, 3. B, 4. A, 5. A, 6. A

7. A, C, D – bezpiecznik, B, E – wyłącznik różnicowoprądowy

### Dasz sobie z tym radę? Świetnie!

1. ok. 3300 zł

2. **Wskazówka.** Są co najmniej dwie przyczyny, jedna dotyczy samego czajnika, a druga sieci elektrycznej.

3. b) Przepali się.

4. **Wskazówka.** Na rysunku B przy małym oporze fotorezystora prąd płynie przez ten element zamiast przez obwód baza-emiter w tranzystorze.

## Zbiór zadań

### Elektrostatyka

**Uwaga.** W obliczeniach do zadań rachunkowych przyjęto przybliżoną wartość $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C. Jeśli korzystasz z dokładniejszej wartości ładunku elementarnego albo równości $1\text{ C} = 6{,}24 \cdot 10^{18}\, e$, to twój wynik może się nieznacznie różnić od podanego w odpowiedziach.

1. Jednoimienne ładunki zgromadzone na naelektryzowanych włosach się odpychają.

2. **Wskazówka.** Zwróć uwagę, że Adam ma do dyspozycji balonik.

3. B

4. **Uwaga.** Jeśli zainteresuje cię ten temat, możesz sięgnąć po książkę A.K. Wróblewskiego *Historia fizyki*.

5. $q = -10^{10} \cdot e = -1{,}6 \cdot 10^{-9}$ C

6. Przepłynęła połowa ładunku, czyli $n \approx 1{,}25 \cdot 10^{10}$ (12,5 mld elektronów)

7. **Wskazówka.** Najpierw kulki będą się przyciągać. Zastanów się, co nastąpi po ich zetknięciu.

8. $q_1 = q_2 = -1$ nC

9. $n = \frac{q}{|e|} \approx 6{,}25 \cdot 10^9$ (6,25 mld)

10. **Wskazówki.** Można na początku uziemić jedną z kulek. b) Spróbuj najpierw uzyskać ładunek –1 nC.

11. **Wskazówka.** Opisz także, co nastąpi po ewentualnym zetknięciu się kulek

12. $F = \frac{k|q_1 q_2|}{r^2} \approx 1{,}13 \cdot 10^{-6}$ N. Jest to siła przyciągająca, więc działa wzdłuż prostej łączącej ciała, w stronę balonika.

13. **Wskazówka.** W punktach b) i c) nie musisz wyznaczać odległości z prawa Coulomba, możesz skorzystać z zależności siły od odległości. a) $F = \frac{kq_1 q_2}{r^2} \approx 2{,}25 \cdot 10^{-7}$ N, b) $r$ = 1,2 m, c) $r$ = 20 cm

14. $r = \sqrt{\frac{kq^2}{F}} \approx 7{,}6$ mm

15. $q_2 > \frac{mgr^2}{kq_1} = 29$ nC

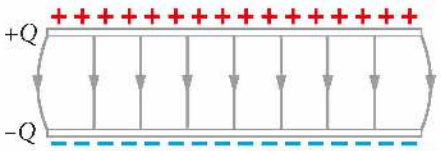
16. $F = \frac{kq^2}{r^2} \approx 45$ kN (ciężar ciała o masie ok. 4,5 t)

17. A

18. D

19. **Wskazówka.** Większą wartość bezwzględną ma ładunek, z którego na rysunku „wychodzi" (lub do którego „wchodzi") większa liczba linii pola. I – B, III – B, II – B, IV – A

20.

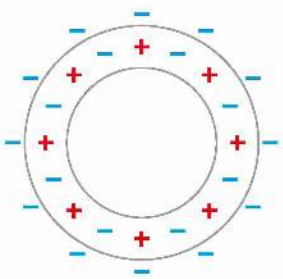



21. **Wskazówka.** Zadanie wymaga znajomości treści dodatkowych ze s. 34.

22. **Wskazówka.** Przypomnij sobie informacje o klatce Faradaya.

23. **Wskazówka.** Naładowanie kondensatora można traktować jako wartość 1, a jego rozładowanie – jako wartość 0.

24.



Dodatkowy ładunek ujemny zgromadzi się na powierzchni kuli. Pole elektryczne wewnątrz przewodnika oraz w wydrążeniu będzie miało zerowe natężenie.

26. $E = 1\ eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J

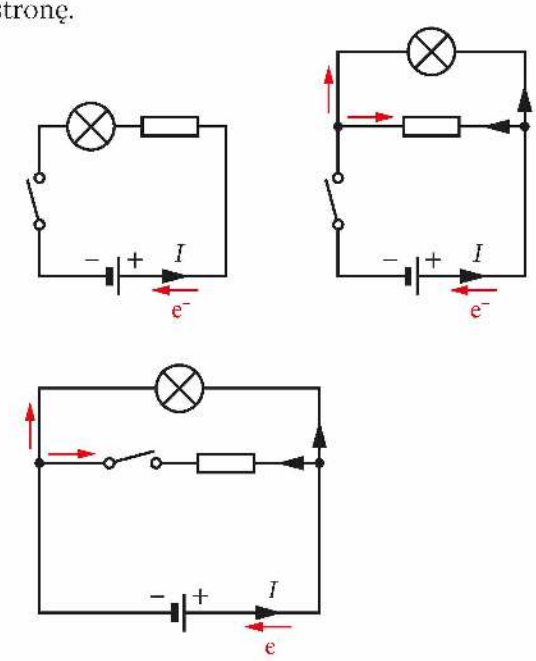
**Wskazówka.** Jeden dżul można też nazwać „kulombowoltem", ponieważ 1 J = 1 C · 1 V.

27. a) $E = Uq = 2 \cdot 10^{-6}$ J, b) $v = \sqrt{\frac{2E}{m}} = 2\ \frac{\text{cm}}{\text{s}}$

## Prąd elektryczny

1. **Wskazówka.** Tylko trzy obwody można opisać słownie: „Prąd z baterii płynie kolejno przez żarówkę, wyłącznik i drugą żarówkę". B, C, D

2. b) **Wskazówka.** Prąd płynie przez obwód od dodatniego bieguna baterii do bieguna ujemnego. Elektrony poruszają się w przeciwną stronę.




3. **Wskazówka.** Pamiętaj o zamianie jednostek: miliamperów na ampery i godzin na sekundy $q = It = 0{,}89$ A · 3600 s = 3204 C.

4. 20 000 mAh = 72 000 C

5. I – B, II – A, III – D, IV – C

6. $E = U\,q = U\,I\,t = 6300$ J

8. a) $I = 1{,}52 \cdot 10^{-3}$ A ± $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ A, b) $I = 0{,}55$ A ± 0,02 A, c) $I = 8$ A ± 1 A. **Uwaga.** W punkcie c) niepewność wynika z liczby wyświetlanych cyfr.

9. B, C

11. $I_1 = I_3 = 100$ mA, $I_2 = 40$ mA

12. Należy użyć 10 ogniw połączonych szeregowo. **Uwaga.** W zadaniu napisano „co najmniej", gdyż większa liczba ogniw może być potrzebna do uzyskania prądu o większym natężeniu lub wydłużenia pracy bez ładowania. Wówczas łączymy ogniwa szeregowo po 10, a następnie takie zestawy ogniw łączymy równolegle.

13. a) $I_a = 100$ mA, b) $I_b = 400$ mA

14.. Dwukrotnie wzrośnie napięcie przyłożone do opornika. Zgodnie z prawem Ohma również dwukrotnie zwiększy się natężenie płynącego prądu. Wyniesie ono: $I_k = 2\,I = 80$ mA

15. $\frac{20\text{ mA}}{15\text{ mA}} = \frac{4}{3}$, więc także napięcie musi być $\frac{4}{3}$ raza wyższe, czyli ma wynosić 6 V.

16. $I = \frac{U}{R} = 15$ mA

17. $R = \frac{U}{I} = 450\ \Omega$

18. $U = I\,R = 9$ V

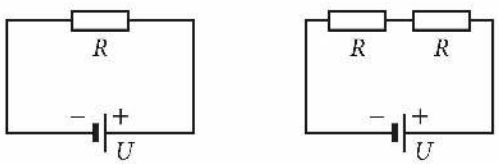
19. $R = \frac{U}{I} = 600\ \Omega$

20. **Wskazówki.** a) Opór przewodu wynosi kilka omów. b) Można użyć np. żarówki i baterii.

21. **Wskazówka.** Najpierw odczytaj opór. Da się to zrobić tylko w przybliżeniu, na podstawie najbliższych punktów, dlatego również obliczone natężenie prądu będzie przybliżone. a) $I \approx 55$ mA, b) $I \approx 350$ mA

22. **Wskazówka.** Przez żarówkę C płynie prąd o 2 razy większym natężeniu niż przez każdą z żarówek A i B.

23. **Wskazówka.** Oznacz napięcie baterii literą $U$, a opór opornika literą $R$. Zapisz w postaci wzoru, jakie jest napięcie między końcówkami każdego z oporników i jakie jest natężenie płynącego przez obwód prądu. Na tej podstawie możesz zapisać i porównać wzory na moc.



24. **Wskazówka.** Energia potrzebna do podgrzania wody jest w obu przypadkach taka sama, ale różne są straty energii. Zastanów się, dlaczego tak się dzieje.

25. Łączymy je szeregowo.

26. **Wskazówka.** Włókno żarówki i grafit rozgrzewają się po podłączeniu do napięcia. Opornik jest tak wykonany, aby rozgrzewał się w jak najmniejszym stopniu i ten efekt pomijamy. I – C, II – B, III – D

27. **Wskazówka.** Oblicz najpierw natężenie prądu płynącego przez pierwszą żarówkę. Odp. 400 mA

## Elektryczność i magnetyzm

1. a) $I_{sk} = \frac{P}{U_{sk}} \approx 8{,}7\ \text{A}$; $R = \frac{U_{sk}^2}{P} \approx 26{,}5\ \Omega$.

**Uwaga.** Jest to opór podczas pracy, opór zimnej spirali wyłączonego grzejnika jest mniejszy.

b) cena = 1510 kWh · 0,80 $\frac{\text{zł}}{\text{kWh}} \approx 1200$ zł

2. **Wskazówka.** Skoro straty energii wynoszą 50%, to energia zużyta przez ładowarkę jest 2 razy większa niż dostarczona do telefonu. cena = 0,04 kWh·80 $\frac{\text{gr}}{\text{kWh}} \approx 3$ gr

4. a) $P = 10$ kW, b) nie można

5. Przyczyną śmierci z powodu uderzenia przez piorun jest zatrzymanie krążenia. Dlatego należy jak najszybciej rozpocząć resuscytację krążeniowo-oddechową. Jeśli jednak poszkodowany znajduje się nadal w miejscu szczególnie narażonym na uderzenie pioruna, najpierw trzeba go stamtąd odciągnąć, aby nie narażać siebie i jego na powtórne uderzenie. Należy wezwać pogotowie ratunkowe.

6. Przede wszystkim nie włączać kilku urządzeń o dużej mocy do jednego rozgałęźnika (przedłużacza).

7. a) $n = 25$, b) $n = 23$, c) $n = 191$, d) $n = 1$

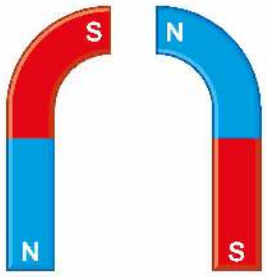
8. Chwycić się stalowego garnka i pozwolić, aby Góra Magnetyczna porwała go wraz z nim z pokładu tonącego statku.

9. A

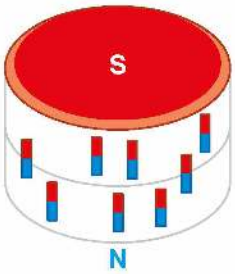
10. **Wskazówka.** Pole magnesu jest najsilniejsze w pobliżu biegunów.

11. Balonik będzie przyciągał igłę, jednak nie siłą magnetyczną, ale elektryczną.

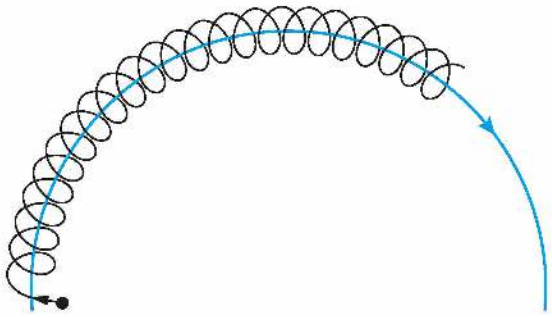
12. Dotychczasowe bieguny pozostaną na tych samych miejscach. W miejscu przecięcia pojawią się nowe.




13.



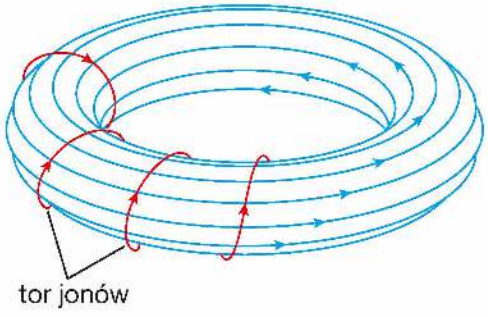

14.



Jony poruszają się po torze śrubowym wokół linii pola magnetycznego.

15. Sprężyna się skurczy.

16.

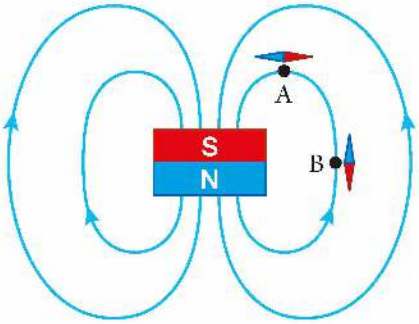


Linie pola magnetycznego powinny mieć kształt okręgów ułożonych w torus (powierzchnię obwarzanka). Cząstki niosące ładunek elektryczny poruszałyby się po torze śrubowym wokół tych linii.

17. **Wskazówka.** Obrót ramki wokół zaznaczonej osi powoduje, że zmienia się strumień pola magnetycznego przenikającego przez ramkę (liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez ramkę). A

18. Ramka się lekko wychyli – to, w którą stronę, zależy od podłączenia biegunów baterii.

19.




Linie pola magnetycznego „wychodzą" z bieguna północnego magnesu i „wchodzą" do bieguna południowego. Igły magnetyczne ustawiają się stycznie do linii pola magnetycznego.

20. D

21. $I \approx 26$ A

22. Ponad 3 mln razy $\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 \approx 3 \cdot 10^6$.

**Uwaga.** Nie liczymy zwiększania się oporu przewodów wraz z temperaturą.

23.

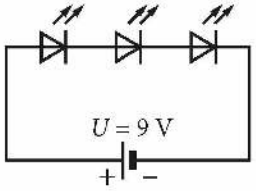



**Wskazówka.** Należy pamiętać, że prąd płynie od bieguna dodatniego do bieguna ujemnego. Diody są elementami, przez które prąd płynie tylko w jedną stronę (jak na rysunku powyżej). $D_1$ – zielona, $D_2$ – czerwona.

24. W sytuacji na rysunku przepływ prądu wskażą amperomierze $A_1$ i $A_5$, po zamianie biegunów – amperomierze $A_2$ i $A_5$.

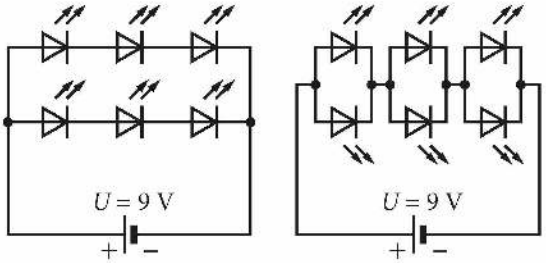
25. **Wskazówka.** W obwodzie są dwie diody, ale prąd płynie tylko przez jedną z nich, więc spadek napięcia wynosi 2,4 V. $I_R = \frac{U_R}{R} = 13{,}2$ mA

26. a) Diody należy podłączyć szeregowo. Spadek napięcia na każdej z nich będzie równy 3 V.




b)

Dwa rozwiązania:




27. Większy prąd płynie przez żarówkę.

28. **Wskazówka.** Wzmocnienia mnoży się przez siebie. D

29. A – I, B – II

30. a) tranzystor, b) transformator, prostownik, c) tranzystory, d) bezpiecznik

**Zdjęcie na okładce:** BE&W/Alamy Stock Photo/Simon Belcher.

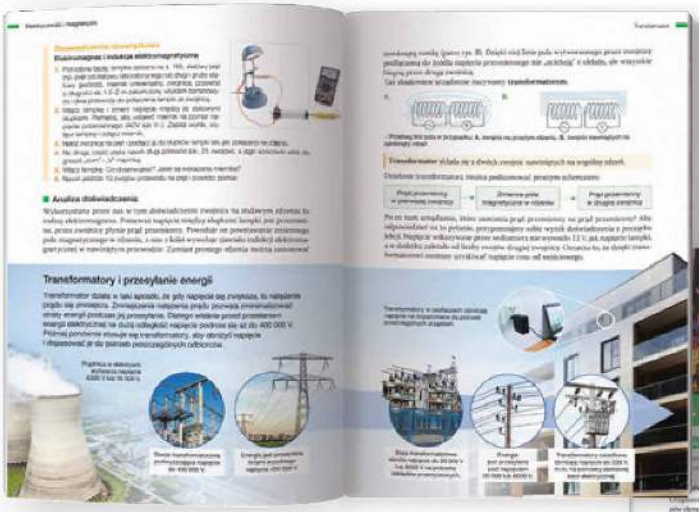
**Zdjęcia:** Archiwum Wydawnictwa s. 148-149 (budowa głośników), s. 169 (smartfon); BE&W: Alamy Stock Photo - Naeblys s. 158, SeaTops s. 65 (rekinek psi), Simon Belcher s. 193, Granger Collection s. 59 (Stos Volty, Luigi Galvani - portret), s. 137 (William Gilbert), Heritage Images - Ann Ronan Pictures s. 171 (żołnierze), Liszt Collection s. 59 (Alessandro Volta – portret), Oxford Science Archive s. 59 (Luigi Galvani - doświadczenie); Depositphotos: arogant s. 166 (stacja transformatorowa), chones s. 172 (żarówka), Kelpfish s. 68 (akumulator), leungchopan s. 172 (miasto), nirutdps s. 75; Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie: s. 28 (generator van de Graaffa); Forum: Maciej Jarzębiński? s. 51; Getty Images: 500Px Plus/Markus Kiili s. 119, Cultura/Photo_Concepts s. 101, E+/andresr. s. 120 (kobieta z tabletem), E+/brightstars s. 178 (EKG), E+/GCShutter s. 54, E+/georgeclerk s. 22, E+/goldhafen s. 123 (lampa), E+/MEDITERRANEAN s. 204, E+/schnuddel s. 6, E+/zhongguo s. 166 (elektrownia), EyeEm - Kan Taengnuanjan s. 25, Sebastian Leesch s. 122, Hulton Archive/NASA/Handout s. 202, iStock Unreleased - Sjo s. 161, tomch s. 48, Tramino s. 175 (autobus), iStock/Getty Images Plus - Avalon_Studio s. 178 (otwierająca - układ scalony), bernie_photo s. 98 (żarówka), brizmaker s. 163, Coldmoon_photo s. 141 (bizmut), Cristian Storto Fotografia s. 171 (dioda), Manish Gupta s. 82 (rzeka), mdesigner125 s. 34-35 (burza), metamorworks s. 160 (ładowanie telefonu), Olivier Le Moal s. 87 (potencjometr), ollo s. 65 (bramka na autostradzie), photoncatcher s. 196, pioneer111 s. 179, RomanBabakin s. 167 (osiedle), RuudMorijn s. 166 (słupy wysokiego napięcia), smartie12 s. 173 (przetwornik), Steve Lang s. 190, Stockcrafter s. 67, Tennessee Witney s. 191, Xebeche s. 58 (rower), xieyuliang s. 103, YavorKalev s. 92, **Дерябин Андрей Николаевич** s. 66 (ładowanie telefonu), Moment - by Frank Olsen, Norway s. 156-157, Ekkehard Streit Fotografie s. 178 (układ scalony), Tim Stocker Photography s. 104 (pociąg), Photos.com/Getty Images Plus s. 137 (kowal), Science Source/Getty Images Plus/Dante Fenolio s. 65 (nożowiec zielony), SSPL/Science & Society Picture Library s. 18, Stockbyte s. 145 (elektromagnes), Stocktrek Images s. 19, The Image Bank/Getty Images Plus/Maciej Frolow s. 99, ullstein bild s. 37 (defibrylacja), Universal Images Group - Jaime Abecasis Collection s. 146 (Hans Christian Oersted), Universal History Archive s. 10 (Charles Francois Du Fay - portret), Universal History Archive s. 146 (doświadczenie Oersteda); Indigo: Alamy Stock Photo - Artokoloro Quint Lox Limited s. 39 (doświadczenie Nolleta), Nigel Prosser s. 134 (kompas), Mary Evans Picture Library Ltd/® Pat Morris/ardea.com s. 65 (gymnarchus nilowy), Science Photo Library s. 5, 33 (doświadczenie Franklina), World History Archive/Image Asset Management s. 33 (Franklin); Shutterstock: addillum s. 169 (szczoteczka), Ahmet27 s. 168, Andrea Niotta s. 104 (elektrownia), Andy Geldman s. 94, Dzmitrock s. 123 (pomiar napięcia), Robin Lund s. 131 (płonący przedłużacz), BOKEH STOCK s. 131 (gniazdko), chonticha stocker s. 201, Chrispictures s. 170 (lampy), DAMRONG RATTANAPONG s. 167 (zasilacz), Denis Bolvak s. 66 (kondensatory), Everett Historical s. 104 (przędzalnia), Everyonephoto Studio s. 114, francesco de marco s. 63 (wodospad kaskadowy), GOLFX s. 167 (transformator osiedlowy), guteksk7 s. 153 (tankowanie), hsagencia s. 171 (prostownik), Indianstockimages s. 100 (przewody), Irondaru s. 79, jakit17 s. 165 (transformator), joker1991 s. 167 (słup wysokiego napięcia), kasarp studio s. 80 (akumulator), Lifestyle Travel Portrait s. 106, Markik s. 108, Matt Drinkall s. 31 (burza), Maxx-Studio s. 148-149 (głośniki), mihalec s. 71 (miernik uniwersalny), MISS KANITHAR AIUMLA-OR s. 167 (stacja transformatorowa), nikkytok s. 105, ntv s. 194 (bursztyn), petrmalinak s. 117, photographyfirm s. 64, Puppyy s. 63 (wodospad), Roman Zaiets s. 127 (sprawdzanie napięcia), shanshinyury s. 74, Skalich Artem s. 196, s. 133, Standret s. 96 (wariograf), Studio KIWI s. 131 (gniazdo z wtyczkami), SUFRI SARUDIN s. 172 (świetlówka), SURKED s. 41, thka s. 62, Thomas Skjaeveland s. 132, Tomas Jasinskis s. 172 (LED), Tomsickova Tatyana s. 26, valdezrl s. 50, Vladimir Wrangel s. 53, Vladislav Lyutov s. 100 (filiżanka), Yasni s. 12, Zurbagan s. 181; Thinkstock/Getty Images: iStockphoto/Nastco s. 9; Wikipedia: Wikimedia Commons - from William Henry Marchant 1914 Wireless Telegraphy: A handbook for the use of operators and students, Whittaker and Co., New York, p. 7, fig. 6 – s. 39 (butelka lejdejska), Wikimedia/Lijnis Nelemans (Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license (CC BY-SA 3.0) s. 142; Anna Budzyńska s. 58 (obwód elektryczny), s. 86 (żarówka), s. 153 (doświadczenie), s. 154, 160 (doświadczenie), s. 189; Miłosz Budzyński s. 7, 8, 11, 17, 21, 24, 27 (maszyna elektrostatyczna, rakieta), s. 28, 29, 31 (doświadczenie), s. 34 (doświadczenie), s. 37 (doświadczenie), s. 46, 55, 56, 57, 60, 63 (obwód elektryczny), s. 68 (miernik), s. 69, 71 (doświadczenie), s. 72, 73, 76, 77, 81 (doświadczenie), s. 82 (doświadczenie), s. 83, 86 (doświadczenie), s. 87 (doświadczenie), s. 96 (doświadczenie), s. 97, 98 (doświadczenie), s. 100 (doświadczenia, grafit), s. 116, 120 (doświadczenie), s. 121, 125, 126, 127 (doświadczenie), s. 128, 130 (tablica bezpieczników), s. 133, 134 (doświadczenie), s. 135, 136, 138, 140, 141 (doświadczenie), s. 143, 145 (doświadczenie), s. 147, 150, 152, 159, 164, 165 (lampka), s. 166 (doświadczenie), s. 170 (doświadczenie), s. 171 (doświadczenie), s. 173 (doświadczenie), s. 174, 175 (doświadczenie), s. 176, 180, 194 (balon), s. 198, 200.

**Rysunki:** Rafał Buczkowski s. 14–15, Marta Długokęcka s. 10, Natalia Helman s. 34–35 (ikony ), 70–71 (ikony), Joanna Ptak s. 44 (kulki ze strzałkami na górze), Ewa Sowulewska s. 9, 12, 18, 24, 35 (domek), 47, 56 (neuron), 65, 72 (trzy ilustracje na dole), 207; Ewa Sowulewska, Elżbieta Buczkowska s. 138, 157 (kula ziemska); Ewelina Baran, Joanna Ptak s. 154, 162 (silniki); pozostałe rysunki – Andrzej Dukata

nowa era Twoje mocne strony

# Odkryć fizykę

Podręcznik *Odkryć fizykę 2* do zakresu podstawowego zawiera przystępnie opracowane treści, dotyczące takich zagadnień, jak elektrostatyka, prąd elektryczny i magnetyzm. Naukę ułatwiają uczniom małe porcje wiedzy, przystępny język i wiele odniesień do życia codziennego. Przykłady, *Dodatki matematyczne*, *To najważniejsze* po każdej lekcji i blok powtórzeniowy po każdym dziale stanowią wsparcie w opanowaniu kolejnych zagadnień.

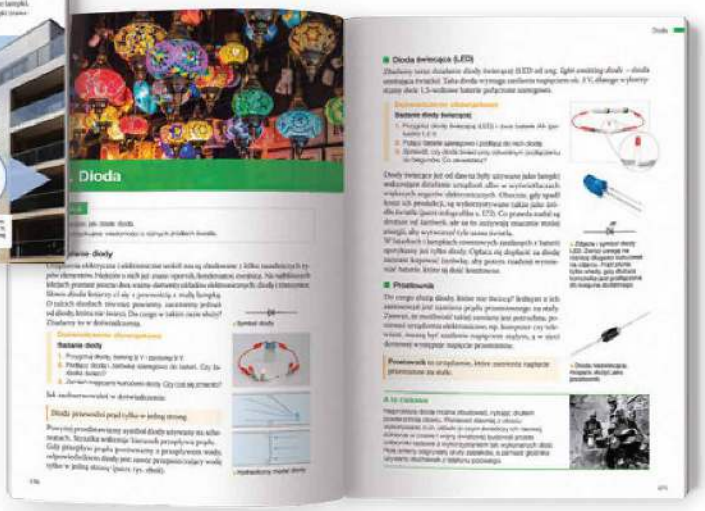



## Różnorodne formy przekazu

Zróżnicowane formy przekazywania treści, takie jak infografiki, diagramy i ilustracje z opisami, ułatwiają zrozumienie i zapamiętanie kluczowych informacji.

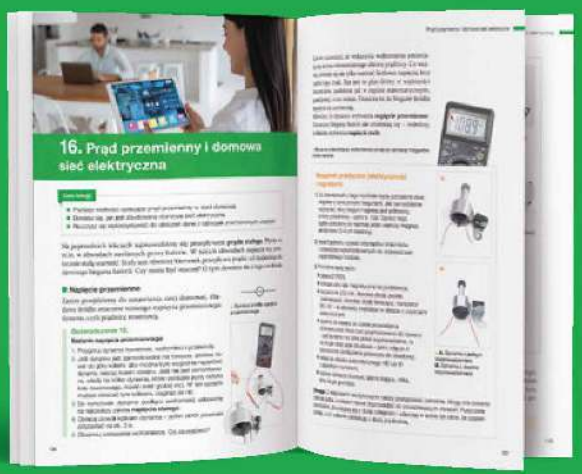
## Doświadczenia

Wszystkie doświadczenia, w tym obowiązkowe, są zilustrowane, rozpisane kroku po kroku, opatrzone wskazówkami i komentarzem, tak aby łatwiej było zrozumieć ich przebieg.




## Fizyka bliska uczniowi

W podręczniku *Odkryć fizykę 2* do zakresu podstawowego szczególny nacisk położono na zainteresowanie ucznia przedmiotem i ułatwienie mu opanowania wiadomości i umiejętności z kolejno omawianych tematów. Przystępny wykład wsparty ciekawymi ilustracjami zawiera liczne przykłady znane uczniom z życia. *A to ciekawe* oraz *Z historii* to elementy będące interesującym dopełnieniem treści omawianych w kolejnych tematach.




Nowa Era Sp. z o.o.
www.nowaera.pl nowaera@nowaera.pl
Centrum Kontaktu: 801 88 10 10, 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-3971-2