

Nowość  
EDYCJA 2024

# NOWE Odkryć fizykę

2 PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM  
ZAKRES PODSTAWOWY

ZMIANY  
W PODSTAWACH  
2024



podręcznik w pełni  
dostosowany



nowa  
era

# NOWE

# Odkryć fizykę

**2** PODRĘCZNIK • LICEUM • TECHNIKUM

---

ZAKRES PODSTAWOWY

MARCIN BRAUN  
WERONIKA ŚLIWA

# NOWE 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 Marty Koplejewskiej, dr inż. Pauliny Sawickiej-Chudy, dr Izabeli Kraśnickiej.**

Zakres kształcenia: podstawowy

Etap edukacyjny: III

Typ szkoły: ponadpodstawowa (liceum ogólnokształcące i technikum)

**Rok dopuszczenia: 2025**

**Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 1224/2/2025**

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

Podręcznik został opracowany z uwzględnieniem zmian w zasadach polskiej ortografii, uchwalonych przez Radę Języka Polskiego w 2024 r. i obowiązujących od 1.01.2026 r.

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.

Szanujemy cudzą własność i prawo. Więcej na [www.legalnakultura.pl](http://www.legalnakultura.pl)

Wykorzystywanie treści niniejszego Utworu, w jakiegokolwiek formie lub w jakimkolwiek procesie, do celów eksploracji tekstu i danych, uczenia maszynowego, rozwoju i/lub szkolenia i/lub wzbogacania sztucznej inteligencji jakiegokolwiek rodzaju jest surowo zabronione.



© Copyright by Nowa Era Sp. z o.o. 2025  
ISBN 978-83-267-5269-8

**Opracowanie redakcyjne i redakcja merytoryczna:** Dorota Brzozowiec-Dek.

**Współpraca redakcyjna:** Miłosz Budzyński, Ewa Rux. **Konsultacje merytoryczne:** Michał Matraszek.

**Redakcja językowa:** Dorota Rzeszewska. **Korekta językowa:** Aleksandra Hofman. **Fotoedycja:** Katarzyna Iwan-Malawska. **Nadzór artystyczny:** Ewa Kaletyn. **Opieka graficzna:** Marcin Oleksak, Maciej Galiński. **Projekt graficzny:** Klaudia Jarocka. **Projekt okładki:** Maciej Galiński. **Opracowanie graficzne:** Zuzanna Sri. **Ilustratorzy:** Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Miłosz Budzyński, Marta Długokęcka, Andrzej Dukata, Paulina Jarmusik, Krzysztof Mrawiński, Laura Maziewska, Krzysztof Mrawiński, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Paulina Podolska, Joanna Ptak, Marcin Ptak, Ewa Sowulewska. **Infografiki:** Laura Maziewska, Marek Nawrocki, Marcin Oleksak, Marcin Ptak, Zuzanna Sri, Emilia Węgiel. **Realizacja projektu graficznego:** Adam Poczoiwiek.

Nowa Era Sp. z o.o.

Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa

[www.nowaera.pl](http://www.nowaera.pl), e-mail: [nowaera@nowaera.pl](mailto:nowaera@nowaera.pl), Centrum Kontaktu tel. 58 721 48 00

Druk i oprawa: Quad/Graphics Europe Sp. z o.o.

## Spis treści

### ▶ 4. Elektrostatyka

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. Ładunki elektryczne. . . . .                    | 6  |
| 2. Zasada zachowania ładunku . . . . .             | 12 |
| 3. Prawo Coulomba. . . . .                         | 18 |
| 4. Pole elektryczne . . . . .                      | 23 |
| 5. Wyładowania atmosferyczne. . . . .              | 29 |
| 6. Kondensator . . . . .                           | 34 |
| <b>Powtórzenie</b> . . . . .                       | 39 |
| <b>Zadania powtórzeniowe</b> . . . . .             | 42 |
| <b>Projekt.</b> Elektrofiltry . . . . .            | 46 |
| <b>Analiza tekstu.</b> Ciekawa nauka wokół nas . . | 47 |

### ▶ 5. Prąd elektryczny

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 7. Obwody elektryczne . . . . .                            | 50  |
| 8. Napięcie i natężenie prądu . . . . .                    | 58  |
| 9. Pomiar napięcia i natężenia . . . . .                   | 66  |
| 10. Energia elektryczna i moc prądu . . . . .              | 73  |
| 11. Połączenia szeregowo i równoległe . . . .              | 78  |
| 12. Pierwsze prawo Kirchhoffa . . . . .                    | 84  |
| 13. Prawo Ohma . . . . .                                   | 89  |
| 14. Opór elektryczny . . . . .                             | 92  |
| 15. <b>F</b> Opór a temperatura . . . . .                  | 98  |
| <b>Powtórzenie</b> . . . . .                               | 105 |
| <b>Zadania powtórzeniowe</b> . . . . .                     | 108 |
| <b>Projekt.</b> Jak działają baterie . . . . .             | 112 |
| <b>Analiza tekstu.</b> Energia na czarną godzinę . . . . . | 113 |

### ▶ 6. Elektryczność i magnetyzm

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| 16. Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna . . . . .     | 116 |
| 17. Bezpieczeństwo sieci elektrycznej . . . .               | 123 |
| 18. Pole magnetyczne. . . . .                               | 133 |
| 19. Linie pola magnetycznego. . . . .                       | 140 |
| 20. Siła w polu magnetycznym . . . . .                      | 149 |
| 21. Indukcja elektromagnetyczna . . . . .                   | 155 |
| 22. <b>F</b> Transformator . . . . .                        | 161 |
| 23. Dioda. . . . .                                          | 166 |
| <b>Powtórzenie</b> . . . . .                                | 172 |
| <b>Zadania powtórzeniowe</b> . . . . .                      | 175 |
| <b>Projekt.</b> Ziemskie pole magnetyczne. . . . .          | 179 |
| <b>Analiza tekstu.</b> Szósty zmysł? Magnetyczny! . . . . . | 180 |

### ▶ Zbiór zadań

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| Elektrostatyka . . . . .            | 184 |
| Prąd elektryczny . . . . .          | 189 |
| Elektryczność i magnetyzm . . . . . | 198 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| <b>Dodatki matematyczne</b> . . . . . | 208 |
|---------------------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>Tabele</b> . . . . . | 214 |
|-------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| <b>Indeks</b> . . . . . | 217 |
|-------------------------|-----|

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań</b> . . . . . | 218 |
|------------------------------------------------------------|-----|

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| <b>Literatura polecana</b> . . . . . | 224 |
|--------------------------------------|-----|

### Klasa 1

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

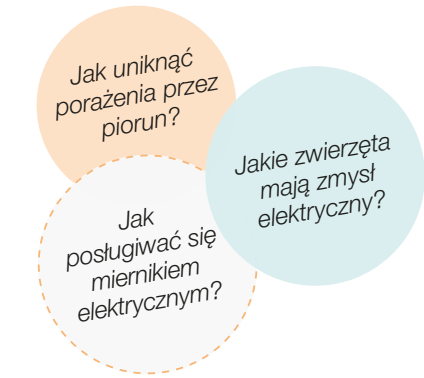
### Klasa 3

7. Termodynamika
8. Drgania i fale
9. Optyka i fale
10. Atomy i promieniowanie
11. Reakcje jądrowe na Ziemi i w kosmosie



# O czym jest podręcznik

W podręczniku *NOWE 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.

$P = UI$ 

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

50 Hz czytamy „50 herców”.

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

**A to ciekawe**

**Z historii**

Dzięki ciekawostkom i infografikom historycznym poznasz interesujące fakty związane z lekcją.

**Przypomnij sobie**

Ten element pomoże ci powtórzyć treści znane ci ze szkoły podstawowej i klasy 1.

**Dodatki matematyczne**

Dodatki matematyczne na końcu podręcznika pomogą ci opanować lub przypomnieć sobie umiejętności i wiadomości niezbędne do rozwiązywania zadań.

**Doświadczenie**

**Doświadczenie obowiązkowe**

Czytelnie opisane i zilustrowane doświadczenia ułatwią ci ich przeprowadzanie i analizowanie. Doświadczenia obowiązkowe są wyróżnione.

**Powtórzenie**

Tu znajdziesz najważniejsze wiadomości z działu.

**ZADANIA POWTÓRZENIOWE**

Dzięki nim sprawdzisz stopień opanowania umiejętności i wiadomości z działu.

Rozwiązania zadań zapisz w zeszyte.

**Pytania i zadania**

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

**Przykład**

Przykłady umożliwią ci prześledzenie toku rozumowania podczas rozwiązywania zadań.

**P1**

Zadanie analogiczne do przykładu 1.

**i**

Zadanie wykorzystujące informacje z infografiki.

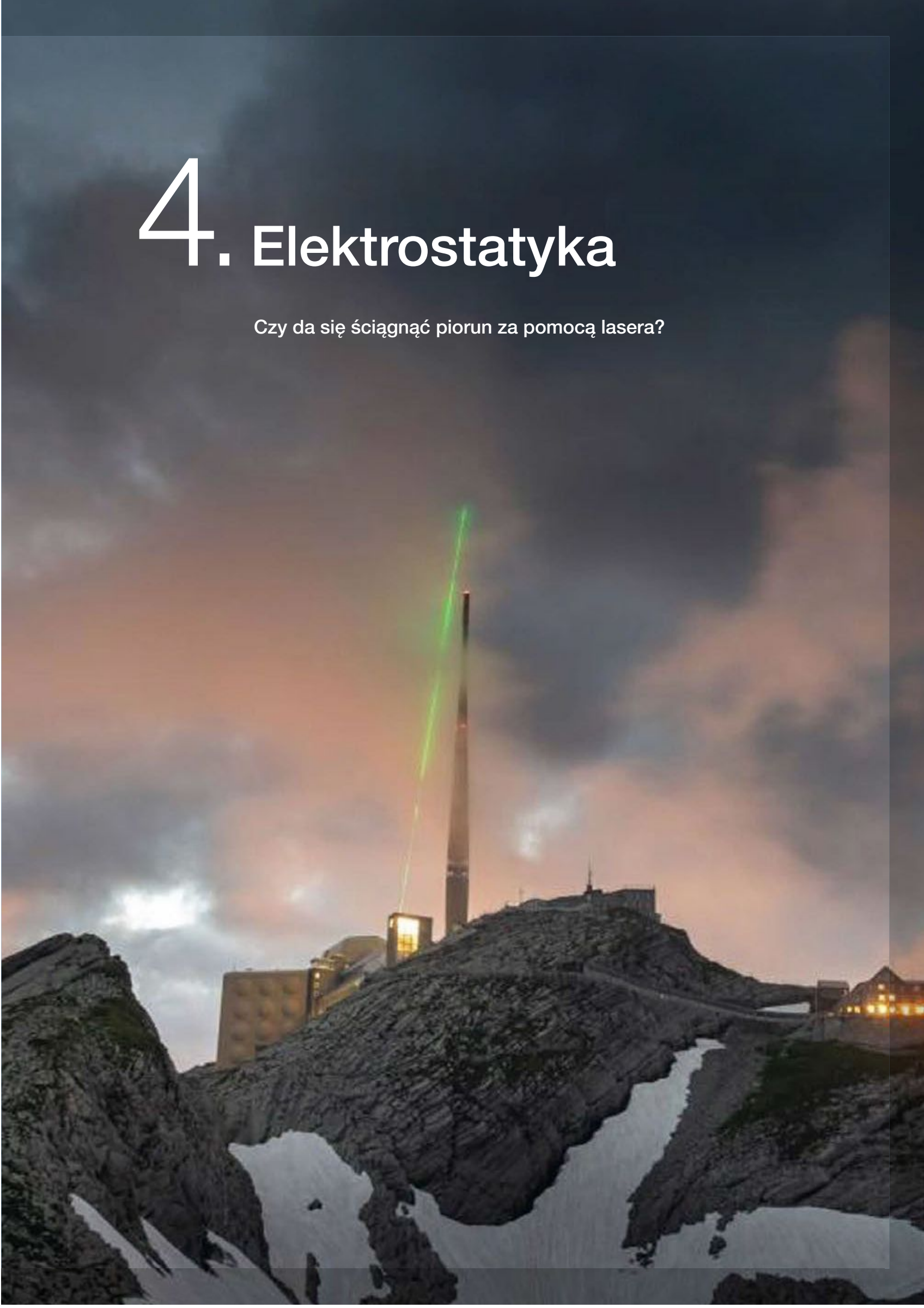
Do poszukiwania danych lub filmowania przebiegu doświadczenia potrzebny będzie telefon, a do opracowania wyników pomiarów – komputer.

**F** **Naukowcy niepewność pomiaru wyznaczają...**

Treści do decyzji nauczyciela.

# 4. Elektrostatyka

Czy da się ściągnąć piorun za pomocą lasera?





# 1 Ładunki elektryczne



*Czy pszczoły wykorzystują elektryczność?*

## 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

W drugiej klasie zajmiemy się zjawiskami elektrycznymi i magnetycznymi zachodzącymi w przyrodzie i urządzeniach technicznych. Dzięki temu:

- ▶ zrozumiesz wiele zjawisk zachodzących w otaczającym cię świecie,
- ▶ poznasz zasady działania urządzeń elektrycznych i elektronicznych,
- ▶ nauczysz się budować proste obwody elektryczne.

Zacniemy od najprostszych zjawisk związanych z oddziaływaniem ładunków elektrycznych i elektryzowaniem ciał. Dział fizyki zajmujący się tymi zagadnieniami nazywamy **elektrostatyką**.

## Oddziaływanie ciał naelektryzowanych

Zjawisko elektryzowania ciał znasz 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 jednak zobaczysz, że elektryzowanie może stać się pożyteczne.

Wykonamy prosty eksperyment, który pozwoli stwierdzić, że naelektryzowane ciała mogą się nie tylko przyciągać, lecz 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.



Podczas wykonywania doświadczenia możemy łatwo zaobserwować, że:

- ▶ dwa paski taśmy się odpychają, a pasek i rolka – przyciągają,
- ▶ oddziaływanie jest silniejsze, gdy ciała znajdują się bliżej siebie.

Przypomnijmy, od czego zależy rodzaj oddziaływania, czyli kiedy mamy do czynienia z przyciąganiem, a kiedy – z odpychaniem.

## Wskazówki praktyczne (elektrostatyka)

W wielu doświadczeniach problemem jest pochłanianie wody z powietrza przez papier lub bawełnianą nić, co powoduje, że przewodzą one prąd. Choć jest to przewodnictwo 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.





## ■ Dwa rodzaje ładunków

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. W dwóch częściach eksperymentu sytuacja była więc różna:

- ▶ rolka i pasek taśmy miały ładunki o różnych znakach, dlatego się przyciągały (zdjęcie A),
- ▶ dwa paski taśmy miały ładunek o jednakowym znaku (ujemnym), dlatego 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.

## ■ Ładunki w atomie

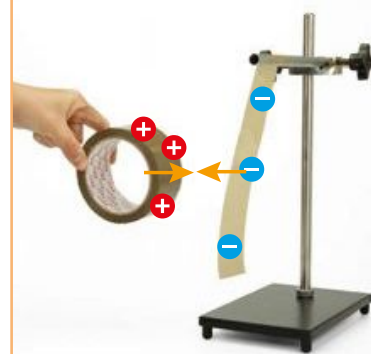
Skąd jednak biorą się ładunki elektryczne w elektryzowanych ciałach? Aby to zrozumieć, musimy odwołać się do budowy materii w najmniejszej skali.

Atom ma w swoim wnętrzu **jądro atomowe**, złożone z **protonów**, obdarzonych ładunkiem dodatnim, a w większości jąder – także z **neutronów**, obojętnych elektrycznie. Jądro jako całość ma zatem ładunek dodatni. Na zewnątrz jądra poruszają się **elektrony**, obdarzone ładunkiem ujemnym.

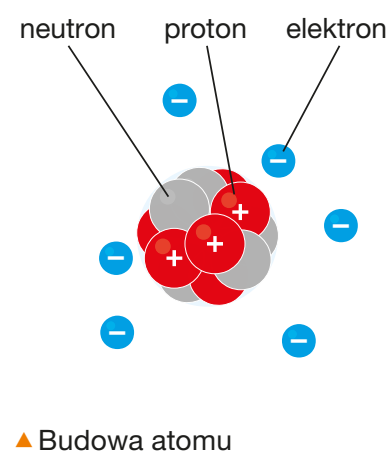
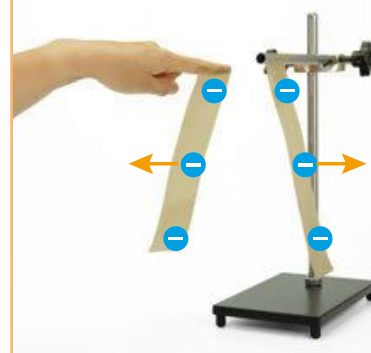
Protony, znajdujące się w jądrze, mają ładunek **dodatni**, a elektrony mają ładunek **ujemny**. Neutrony są obojętne elektrycznie.

## Oddziaływanie ładunków

A. Ciała naelektryzowane ładunkami o przeciwnych znakach – przyciąganie

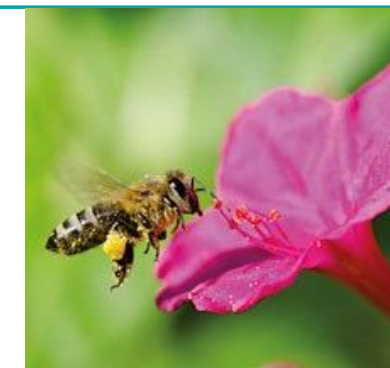


B. Ciała naelektryzowane ładunkami o takich samych znakach – odpychanie



## 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.



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

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

## ■ Dlaczego ciała się elektryzują

Ciało zbudowane z obojętnych elektrycznie atomów również jest obojętne elektrycznie. Gdy jednak zetkniemy dwa różne ciała, a następnie je rozdzielimy, zwykle **nie-wielka część elektronów z jednego z tych ciał przemieści się na drugie**.

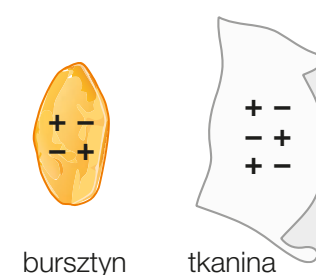
W rezultacie:

- ▶ 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).

Silniejszy efekt uzyskujemy **przez potarcie ciał** albo ich lekkie sklejenie i rozerwanie. Jednak nawet w bardzo silnie naelektryzowanych ciałach ten nadmiar lub niedobór obejmuje tylko znikomą część elektronów (np. jeden na milion miliardów). Zwróćmy uwagę, że przy elektryzowaniu ciał przepływają **tylko elektrony** (patrz ramka poniżej). Natomiast protony i neutrony pozostają na swoich miejscach w jądrach atomowych.

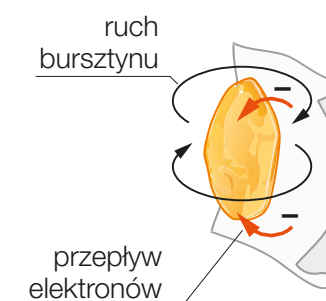
## Elektryzowanie i elektrony

### 1. Przed elektryzowaniem



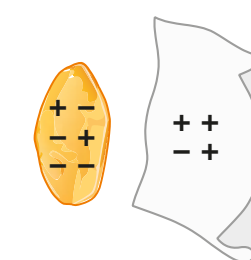
Bursztyn jest obojętny elektrycznie. Tkanina jest obojętna elektrycznie.

### 2. W trakcie



Niektóre elektrony podczas pocierania bursztynu tkaniną przepływają z tkaniny na bursztyn.

### 3. Po elektryzowaniu



Bursztyn zostaje naelektryzowany ujemnie. Tkanina zostaje naelektryzowana dodatnio.



## F 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 uczoney Charles François Du Fay (czyt. szarl fransua dife).

Dlaczego odkrycie dwóch rodzajów ładunków elektrycznych zajęło aż 133 lata?

Dzisiaj uczysz się fizyki w szkole i wykonujesz doświadczenia zaplanowane przez nas i twojego nauczyciela tak, aby doprowadziły cię do znanej już wiedzy. Naukowcy 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 pozostałe 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 uczoney odkrył dwa rodzaje elektryczności.

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.

### 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 dodatnio naładowanego jądra oraz ujemnie naładowanych elektronów.
- ▶ Cały atom jest **obojętny elektrycznie** (ma całkowity ładunek równy zeru).
- ▶ **Elektryzowanie** ciał polega na przepływie części elektronów z jednego ciała na drugie.

### Pytania i zadania

### ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



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 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. Czy w wyniku elektryzowania masa ciała się zmienia? Jeśli tak, to czy maleje, czy rośnie?
4. **F i** Początkowo Charles Du Fay zaobserwował, że naelektryzowane ciało przyciąga z różną siłą wstążki o różnych kolorach. Jednak dalsze eksperymenty pozwoliły mu dojść do wniosku, że barwy wstążek nie są przyczyną zachowania wstążek. Z czego zatem mogły wynikać zaobserwowane różnice sił przyciągania? Wymyśl kilka możliwości.
5. **i** 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 ręczce lampka neonowa świeci.
2. Rozmontuj próbnik i wyjmij z niego lampkę neonową (patrz zdjęcie).
3. Chwyć lampkę za jedną z metalowych końcówek i przesunij 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



Jak działa drukarka laserowa?

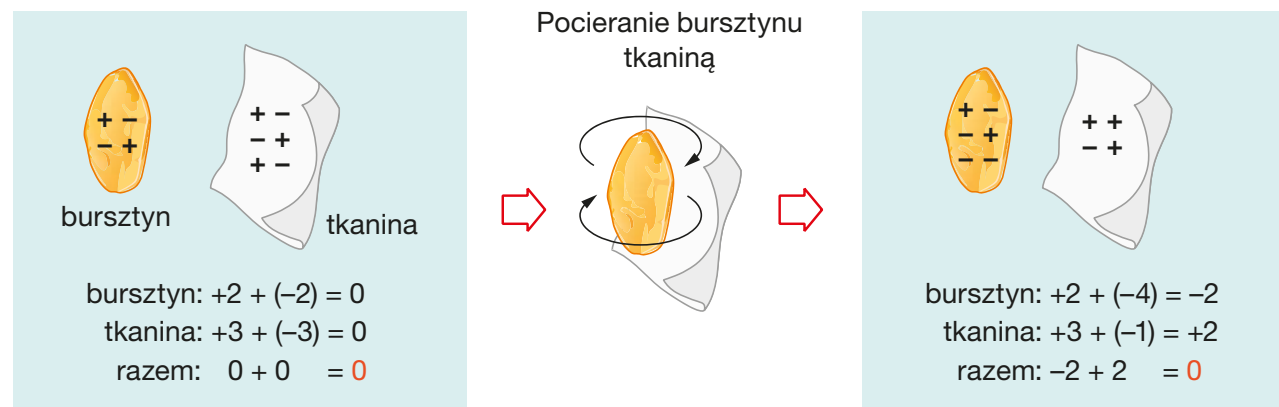
### Cele lekcji:

- 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 nich należy także ładunek elektryczny).

### Całkowity ładunek układu ciał

Spójrzmy jeszcze raz na schemat elektryzowania bursztynu z poprzedniej lekcji (patrz ramka na s. 9), ale tym razem obliczmy całkowity ładunek bursztynu oraz tkaniny przed elektryzowaniem i po naelektryzowaniu. Uwzględniamy przy tym znak ładunku (dodatni albo ujemny).



Jak widzimy, całkowity ładunek nie uległ zmianie: był równy 0 zarówno przed naelektryzowaniem, jak i po nim. Okazuje się, że jest to ogólna zasada.

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

W przypadku elektryzowania ciał ta zasada jest dość oczywista: wynika po prostu z faktu, że ogólna liczba protonów i elektronów w układzie się nie zmienia.

### 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 danym ciele jest wielokrotnością ładunku elementarnego, bo 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.

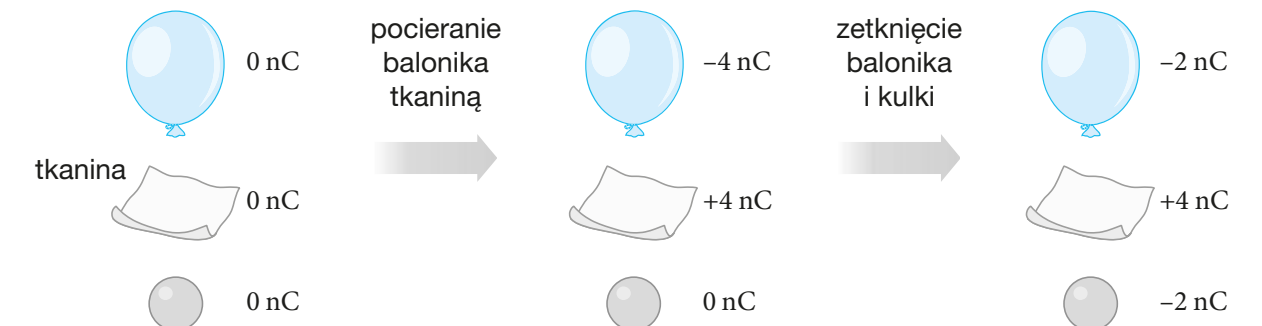
Zatem ładunek elementarny jest równy w przybliżeniu:  $e = \frac{1 \text{ C}}{6,24 \cdot 10^{18}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

### Przykład 1

#### Obliczanie ładunku naelektryzowanych ciał

Balonik potarty kawałkiem tkaniny zyskał ładunek  $-4 \text{ nC}$ . 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:



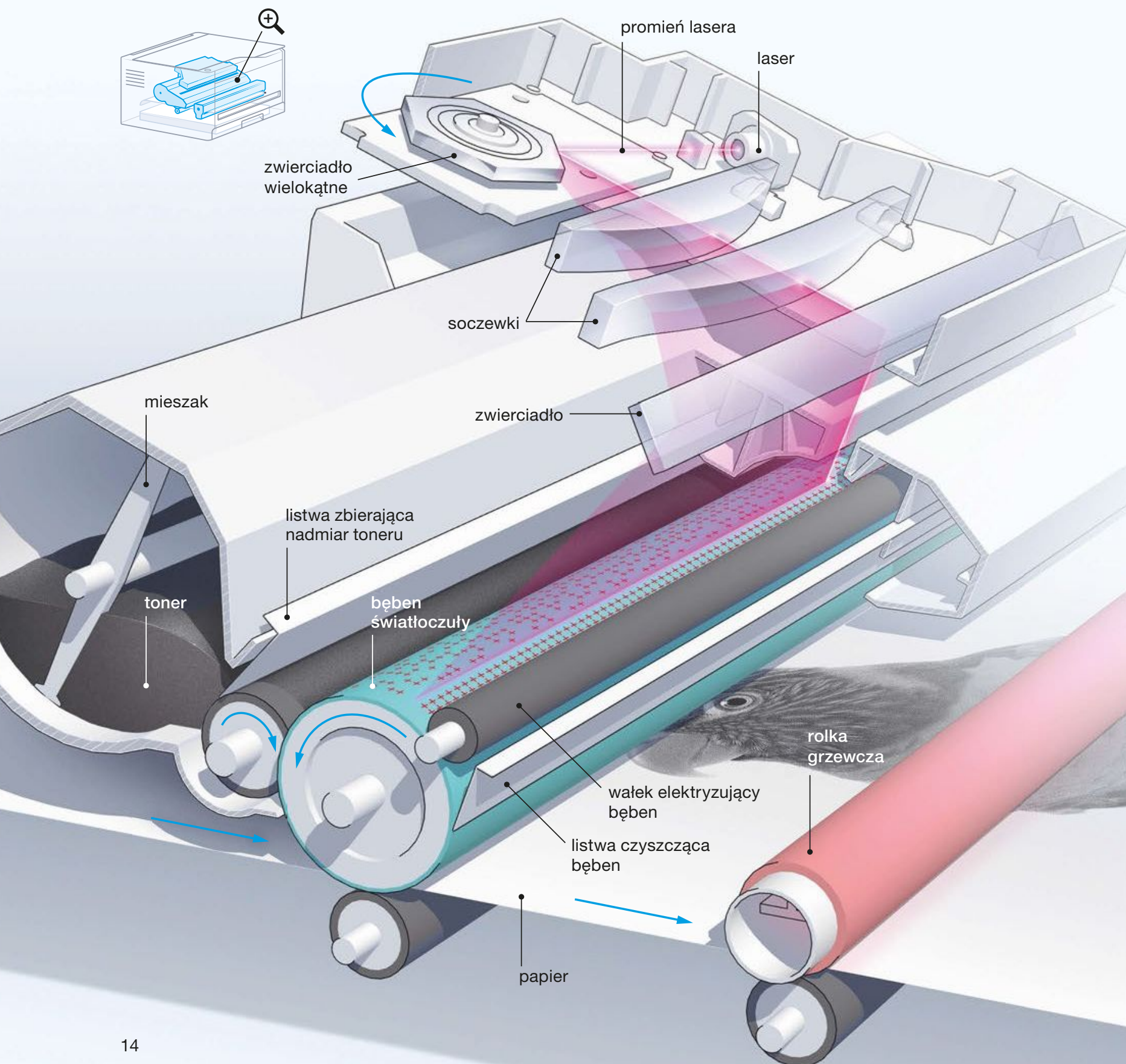
Korzystamy z zasady zachowania ładunku. Skoro balonik zyskał ładunek  $-4 \text{ nC}$ , to tkanina zyskała ładunek  $+4 \text{ nC}$ . Jej ładunek nie zmieniał się już do końca opisywanej sytuacji. Natomiast ładunek balonika podzielił się po połowie między balonik i kulkę, więc każde z nich miało na końcu ładunek  $-2 \text{ nC}$ .

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

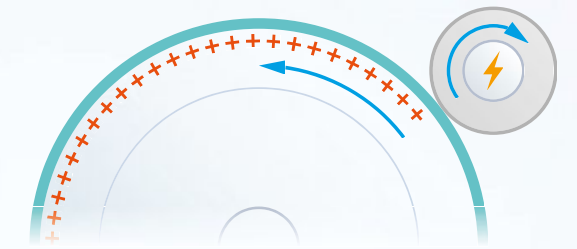


# DRUKARKA LASEROWA I KSEROKOPIARKA

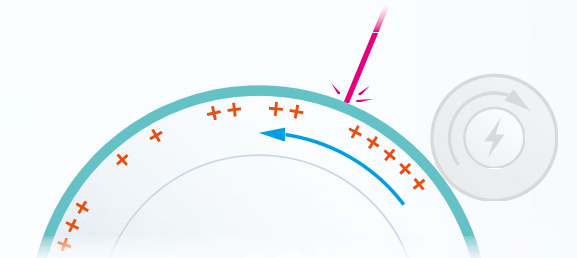
Drukarka laserowa działa dzięki oddziaływaniom elektrycznym między bębnem, tonerem i papierem. Kluczowe znaczenie ma pokrycie metalowego bębna substancją, która w ciemności jest izolatorem, a po oświetleniu staje się przewodnikiem. W starych typach kserografów bęben oświetlany był światłem odbitym od kopowanego oryginału, dlatego przy każdej kopii trzeba go było ponownie oświetlać. Współczesna kopiarka stanowi skaner, komputer i drukarkę w jednej obudowie.



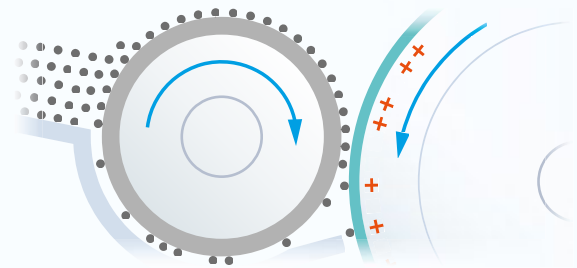
**1** Metalowy wałek podłączony do wysokiego napięcia powoduje dodatnie elektryzowanie obracającego się pod nim bębna.



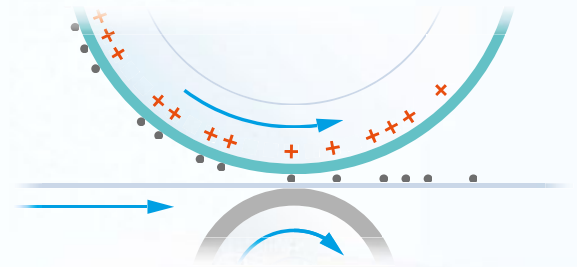
**2** Na bębnie tworzony jest obraz kopiowanej kartki – w miejscach oświetlonych przez laser (odpowiadających białej powierzchni kartki) substancja pokrywająca bęben staje się przewodnikiem i bęben traci ładunek. W pozostałych miejscach bęben pozostaje naelektryzowany.



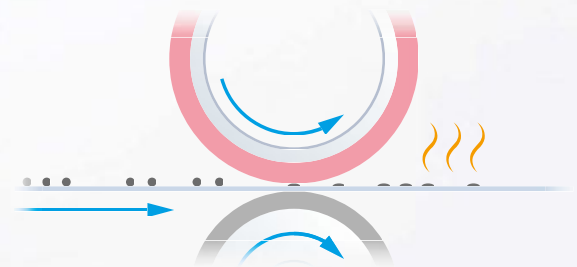
**3** Do naelektryzowanych miejsc bębna przyczepia się proszek – toner.



**4** Toner przechodzi z bębna na papier.



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



Kolorowa drukarka nakłada osobno toner o różnych barwach podstawowych (cyjan, magenta, żółty, czarny). Z ich zmieszania w różnych proporcjach powstają wszystkie odcienie.





### A to ciekawe

Okazuje się, że zasada zachowania ładunku jest spełniona także w reakcjach jądrowych, w których przemianom mogą ulegać jądra atomowe i cząstki wchodzące w ich skład. W jednej z takich reakcji neutron zmienia się w proton i elektron. Dzieje się tak m.in. z radioaktywnym jodem, wykorzystywanym w leczeniu tarczycy.



### Przykład 2

#### ■ Obliczanie ładunku określonej liczby elektronów

Grzebień był obojętny elektrycznie, jednak później podczas czesania włosów zgromadziło się na nim dodatkowe 5 mld elektronów. Jaki jest ładunek naelektryzowanego grzebienia? Wynik podaj w nanokulombach.

#### Rozwiązanie:

Pojedynczy elektron ma ładunek  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ .

Zatem 5 mld, czyli  $5 \cdot 10^9$ , elektronów ma ładunek:

$$Q = 5 \cdot 10^9 \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) = -5 \cdot 1,6 \cdot 10^9 \cdot 10^{-19} \text{ C} = -8 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

Sprawdzamy w tablicach, że przedrostek *nano* oznacza jedną miliardową ( $10^{-9}$ ), i przeliczamy:

$$Q = -8 \cdot 10^{-10} \text{ C} = -0,8 \cdot 10^{-9} \text{ C} = -0,8 \text{ nC}$$

$$8 \cdot 10^{-10} = 8 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-9} = 8 \cdot \frac{1}{10} \cdot 10^{-9}$$

**Odpowiedź:** Ładunek naelektryzowanego grzebienia wynosi  $-0,8 \text{ nC}$ .

### 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 ZESZCIE



1. **P1** Rolka taśmy klejącej była elektrycznie obojętna. Oderwano od niej pasek taśmy. Po oderwaniu miał on ładunek  $-3 \text{ nC}$ .
  - a) Czy elektrony przepłynęły z rolki na pasek, czy z paska na rolkę?
  - b) Jaki był ładunek rolki po oderwaniu paska? Określ jego znak i wartość.
2. **P2** Kiedy naelektryzowano szklaną pałeczkę, miała o 20 miliardów mniej elektronów niż protonów. Jaki ładunek uzyskała szklana pałeczka? Określ jego znak i wartość w kulombach.
 

**Wskazówka.** Wykonaj obliczenia w notacji wykładniczej (patrz → **Dodatek matematyczny 3**, s. 209).

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



4. Czy naelektryzowane ciało może mieć ładunek o podanej wartości? Uzasadnij swoją odpowiedź.
 

|                                    |                                    |
|------------------------------------|------------------------------------|
| a) $-3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | c) $-4,0 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
| b) $+3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ | d) $+4,0 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ |
5. Metalową kulkę o ładunku  $4 \text{ nC}$  zetknięto z drugą identyczną, ale

nienaelektryzowaną kulką. Ile elektronów przepłynie z drugiej kulki na pierwszą?

6. **i** Zapoznaj się z infografiką „Drukarka laserowa i kserokopiarka” na s. 14–15. Ustaw zdania I–VI w odpowiedniej kolejności, aby opisywały poszczególne etapy działania drukarki.

- I. Bęben zostaje oświetlony światłem lasera.
- II. Do tych miejsc bębna, które pozostały naelektryzowane, przyczepia się toner.
- III. Metalowy wałek zwany bębniem 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 nabij 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 naelektryzowany balonik, a następnie go oddalisz,
    - ▶ do jednej z kulek zbliżysz naelektryzowany balonik, dotkniesz drugiej kulki palcem, a następnie oddalisz balonik.
- Wyjaśnij, dlaczego zachodzą zaobserwowane zjawiska.





### 3 Prawo Coulomba



Czy włosy są naelektryzowane? Jeśli tak, to czemu nie oddziaływały między sobą, zanim zbliżono baloniki? Jeśli nie, to czemu teraz oddziałują z balonikami?

#### 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**).

Dotychczasowe doświadczenia przekonują nas, że jej wartość zależy od:

- ▶ **ładunku ciała** – bardziej naelektryzowane ciała przyciągają się silniej,
- ▶ **odległości między ciałami** – ciała znajdujące się dalej od siebie przyciągają się słabiej.

- 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 ładunku każdego z tych ciał i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między nimi.

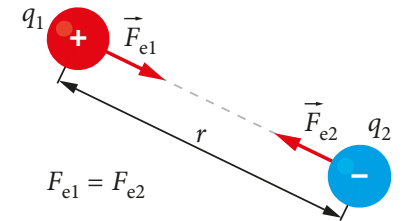
Opisaną zależność nazywamy **prawem Coulomba** (czyt. kulomba) i możemy ją zapisać za pomocą wzoru:

symbol wartości bezwzględnej  $\rightarrow$  ładunki oddziałujących ciał

stała elektryczna  $k \approx 9 \text{ mld } \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$   $\rightarrow$  odległość między ciałami

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

Na rysunku obok zilustrowano wielkości opisane we wzorze powyżej. Zauważ, że siły oddziaływania między dwoma ciałami o ładunkach  $q_1$  i  $q_2$  mają tę samą wartość, ale przeciwny zwrot.



#### ■ 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 grawitacji:  $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$

stałe  $\rightarrow$  wielkości, od których zależy zdolność ciał do oddziaływania

Zwróćmy uwagę na podobieństwa i różnice między tymi siłami.



## F Przykład

## ■ 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:

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

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

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

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

## Szukane:

$$F_e = ?$$

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

## Rozwiązanie:

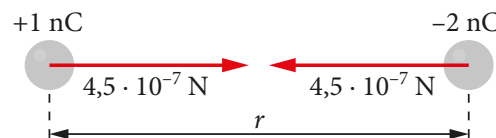
Ciała mają ładunki o przeciwnych znakach, więc się przyciągają. Wartość siły wzajemnego oddziaływania obliczymy z prawa Coulomba:

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

Dodatek mat. 10 → s. 213

Po podstawieniu danych liczbowych otrzymujemy:

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



Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki 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  $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ .

## ■ Przyciąganie ciał nienaelektryzowanych

Mówiliśmy, że ciała elektrycznie obojętne nie oddziałują elektrycznie. Zbadajmy tę sprawę dokładniej.

## 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. Zbliz balonik najpierw do ścinków folii aluminiowej, a później do papieru. Co obserwujesz?

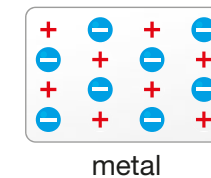


Papierki i ścinki folii nie są naelektryzowane, inaczej przyciągałyby się lub odpychały, jeszcze zanim zbliżymy balonik. W takim razie dlaczego balonik oddziałuje na nie elektrycznie? Omawiamy to w ramce na następnej stronie.

## Przyciąganie ciał nienaelektryzowanych i izolatorów

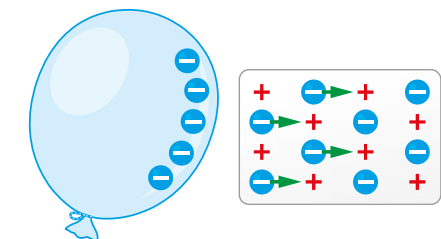
Wszystkie otaczające nas ciała, również te **elektrycznie obojętne**, zawierają ładunki – w każdym z nich są protony i elektrony. W obojętnym elektrycznie pasku folii aluminiowej jest tyle samo elektronów, ile protonów. Zobacz, co się dzieje z elektromi, kiedy do paska zbliżymy naelektryzowany ujemnie balonik.

## Krok 1.



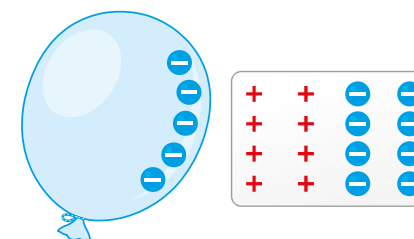
Ładunki dodatnie i ujemne w nienaelektryzowanym metalu są rozłożone równomiernie.

## Krok 2.



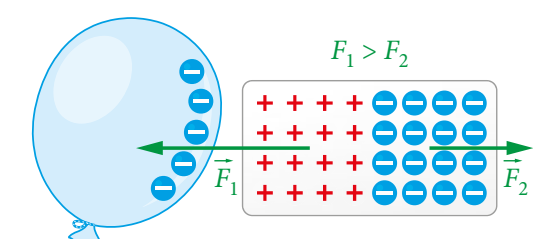
Naelektryzowany balonik odpycha elektrony i powoduje, że część z nich przepływa na dalszy koniec paska folii.

## Krok 3.



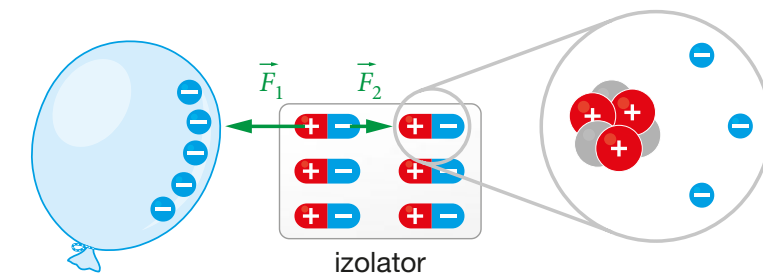
Od strony balonika pasek jest teraz naładowany dodatnio, a od przeciwnej strony – ujemnie.

## Krok 4.



Ładunki dodatnie są bliżej balonika niż ujemne, więc balonik przyciąga je większą siłą. Przyciąganie przeważa i pasek przykleja się do balonika.

W przypadku papieru zjawisko przebiega nieco inaczej, choć ostateczny efekt jest ten sam. Papier jest **izolatorem**, więc elektrony nie mogą się po nim swobodnie poruszać. Mogą jednak przesunąć się dalej od balonika w ramach swoich atomów.



Balonik przyciąga teraz jądro każdego atomu w papierku siłą  $\vec{F}_1$ , większą niż siłą  $\vec{F}_2$ , którą odpycha jego elektrony. Przeważa więc przyciąganie. A skoro balonik przyciąga każdy atom z osobna, to przyciąga także cały papierek.



## 4 Pole elektryczne

## To najważniejsze

- **Prawo Coulomba:** Siła oddziaływania elektrycznego  $F_e$  między dwoma ciałami jest wprost proporcjonalna do każdego z ładunków  $q_1$  i  $q_2$  i odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości  $r$  między nimi:

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

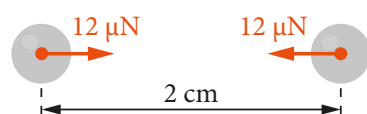
- Nawet jeśli ciało jest obojętne elektrycznie, to pod wpływem sił elektrycznych ładunki mogą się w nim przesunąć i rozmieścić nierównomiernie. Dzięki temu ciało naładowane elektrycznie może przyciągać ciało elektrycznie obojętne (np. naelektryzowany balonik przyciąga drobne papierki czy folię aluminiową).

## Pytania i zadania

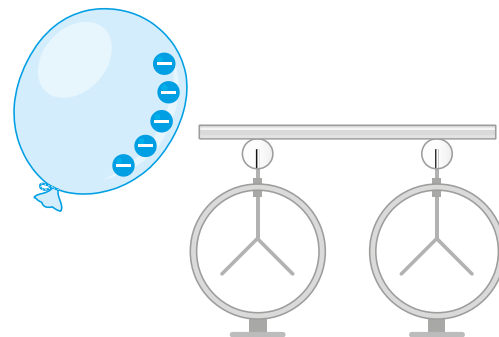
## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. **P** **F** Jedna z metalowych kulek ma ładunek  $+2 \text{ nC}$ , a druga  $-3 \text{ nC}$ . Odległość między kulkami wynosi  $2 \text{ m}$ . 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.
2. **F** Dwie naelektryzowane kulki oddalone od siebie o  $2 \text{ cm}$  przyciągały się siłą  $12 \mu\text{N}$  (mikroniutonów). Odległość między nimi zwiększono do  $6 \text{ cm}$ . Wykonaj odpowiednie obliczenia i odpowiedz na kolejne pytania.
3. 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.
4. Stalowy pręt podłączono do dwóch elektroskopów, tak jak na rysunku. Do jednego końca zbliżono naładowany ujemnie balonik. Listki obu elektroskopów się odchyliły, co oznacza, że zyskały ładunek elektryczny. Jaki był znak tego ładunku? Czy był jednakowy dla obu elektroskopów?



- a) Ile razy zwiększyła się odległość między tymi kulkami?
- b) Czy siła elektryczna działająca między kulkami zwiększyła się, czy zmniejszyła? Ile razy?
- c) Jaka była wartość tej siły po zmianie odległości między ładunkami?



## 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 tkaniną balonik albo kawałek szerokiej taśmy klejącej świeżo oderwany od rolki.
3. Co obserwujesz? Czy na wodę działa siła elektryczna?



*Dlaczego gdy zbiera się na burzę, włosy potrafią nam stanąć dęba na głowie?*

## 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.

## Linie pola elektrycznego

Pole elektryczne można przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**. To pojęcie wyjaśnimy na przykładzie linii pola wytwarzanego przez dwa ładunki o przeciwnych znakach, ale jednakowej wartości bezwzględnej (rys. C na następnej stronie). Co oznaczają te linie? Jeśli w dowolnym miejscu umieścimy niewielki ładunek dodatni, to będzie działała na niego siła elektryczna styczna do linii pola (rys. D). Ten niewielki ładunek musi być na tyle mały, aby nie zmieniać pola elektrycznego.

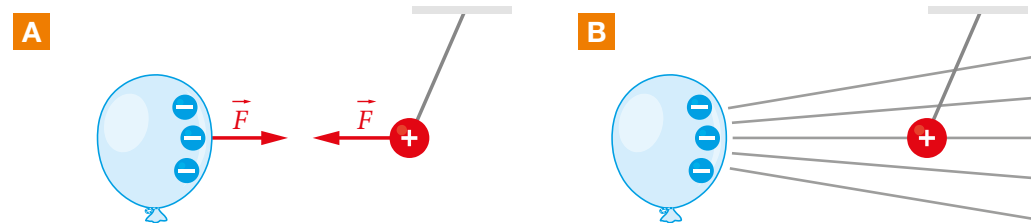


## Dwa spojrzenia na oddziaływanie elektryczne

Balonik naelektryzowany ujemnie przyciąga naładowaną dodatnio metalową kulkę zawieszoną na nitce. To zjawisko można opisać na dwa równoważne sposoby.

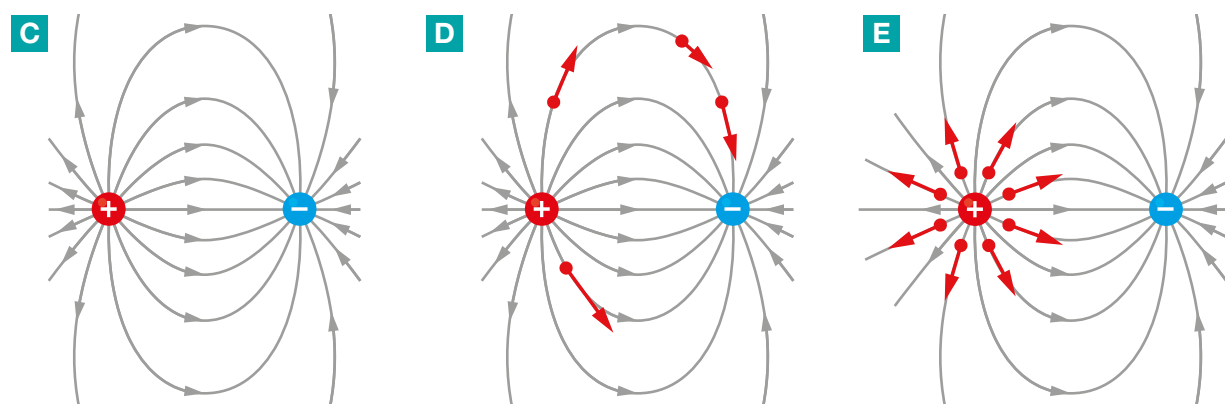
**A.** Balonik działa siłą bezpośrednią na kulkę (rys. A).

**B.** Balonik jako ciało naelektryzowane wytwarza pole elektryczne. W tym polu na kulkę działa siła elektryczna (rys. B).



Kilka przykładów sił elektrycznych działających na niewielki ładunek dodatni pokazano na rys. D poniżej.

Strzałki na liniach pola pokazują **zwrot siły elektrycznej** działającej na ładunek dodatni. Jeśli ładunek jest ujemny, siła działa w przeciwną stronę.



▲ Linie pola i siły elektryczne wokół dwóch ładunków o różnych znakach

## Początek i koniec linii pola

Zauważ, że linie pola wychodzą z ładunków dodatnich (patrz rys. C–E powyżej). To nic dziwnego – ładunek dodatni odpycha każdy inny ładunek dodatni, który umieścimy w pobliżu, a strzałki na liniach pola pokazują właśnie, że będzie on odpychany (rys. E). Analogicznie **koniec linii pola** stanowią ładunki ujemne.

### 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 na poprzedniej stronie. 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 przypadku najwyższy czas poszukać bezpiecznego schronienia. Natomiast brak opisanego efektu nie świadczy 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).



▲ Maszyna elektrostatyczna



▲ Generator Van de Graaffa

Jeśli w szkole nie ma maszyny elektrostatycznej ani generatora Van de Graaffa, można użyć rakiety na komary (zdjęcie C). Jest to przyrząd podobny do rakietki tenisowej, ale zamiast jednej nylonowej siatki ma dwie lub trzy metalowe. Napięcie występuje między dwiema siatkami (w przypadku rakiety 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.



▲ Rakieta na komary



▲ Podłączenie przewodów

Jeśli chcemy użyć jako źródła napięcia rakiety 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 rakiety. Trzeba to zrobić z zachowaniem ostrożności, aby nie spowodować zwarcia. Najlepiej 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 urządzenia należy rozładować, zwierając siatki lub bieguny śrubokrętem z plastikową rączką.
- ▶ Zawsze przestrzegaj zaleceń nauczyciela!



## Jak zobaczyć linie pola

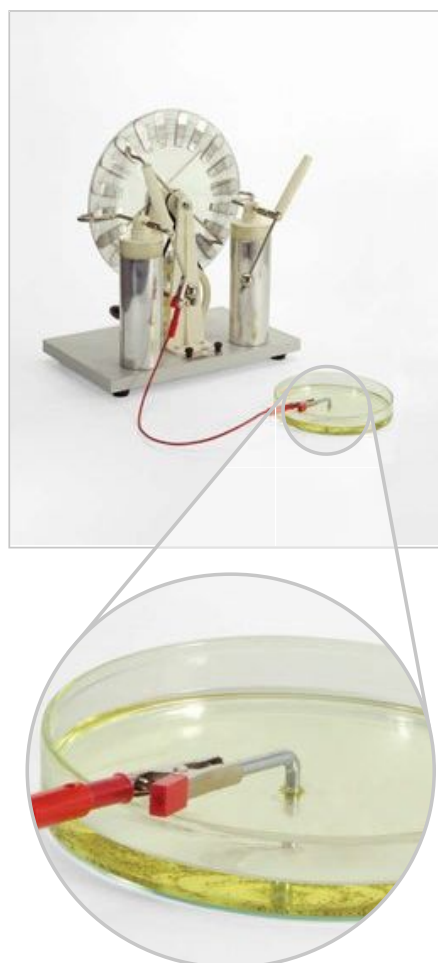
Same linie pola są oczywiście niewidzialne, ale w dość prosty sposób możemy zobaczyć, jak skrawki wstążki układają się wzdłuż tych linii i obrazują ich przebieg.

### Doświadczenie obowiązkowe

#### Badanie kształtu linii pola elektrycznego

**Uwaga.** Doświadczenie do wykonania tylko pod ścisłym nadzorem nauczyciela. Pamiętaj, że elementy maszyny elektrostatycznej mogą być pod napięciem nawet wtedy, gdy jej nie napędzasz.

1. Przygotuj naczynie – najlepiej szalkę Petriego, maszynę elektrostatyczną, dwie metalowe płytki (mogą być wykonane ze złożonej kilka razy folii aluminiowej), dwa metalowe haczyki zgięte pod kątem prostym, olej spożywczy oraz skrawki drobno pociętej plastikowej wstążki do pakowania prezentów.
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 – każdy 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 obserwujesz? Sporządź schematyczny rysunek.
7. Przeanalizuj przyczyny zachowania się skrawków wstążki na powierzchni oleju.

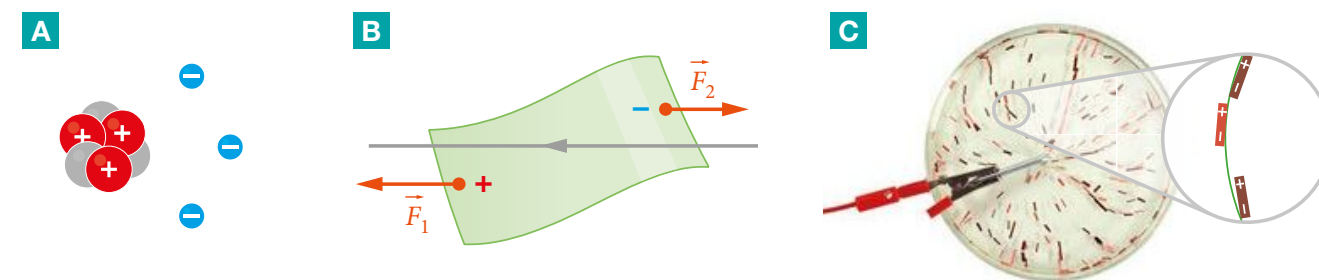


#### Uwagi do doświadczenia:

1. Zamiast szalki Petriego możesz użyć białego talerza z porcelany.
2. Zamiast maszyny elektrostatycznej możesz użyć rakiety na komary. Wtedy jednak zamiast oliwy użyj oliwki dla niemowląt (która jest nieco mniej lepka), a zamiast skrawków wstążki – drobno zmielonego pieprzu.
3. Haczyki możesz wykonać także z gwoździ lub dużych stalowych spinaczy biurowych.

## Analiza doświadczenia

Dlaczego skrawki wstążki układają się wzdłuż linii pola (patrz zdjęcie C na następnej stronie)? Zjawisko to można wyjaśnić analogicznie do przyciągania skrawków papieru przez naelektryzowany balonik (patrz → **Przyciąganie ciał nienaelektryzowanych**, s. 21).



▲ Siły elektryczne: **A** przesuwały elektrony w atomach, **B** obracały kawałki wstążki i **C** ustawiały je wzdłuż linii pola

Otóż:

- Pod wpływem pola elektrycznego elektrony w atomach, z których jest zbudowana wstążka, przesuwały się na jedną stronę (rys. A). Wobec tego każdy atom na jednym końcu staje się naładowany ujemnie, a na drugim – dodatnio.
- Wstążka złożona z takich atomów także ma na jednym końcu ładunek dodatni, a na drugim ujemny (rys. B). W polu elektrycznym na każdy z końców działa siła, oznaczona na rysunkach kolorem czerwonym, skierowana w przeciwną stronę.
- Te siły obracają skrawki i ustawiają go wzdłuż linii pola, oznaczonych na rysunkach kolorem szarym.

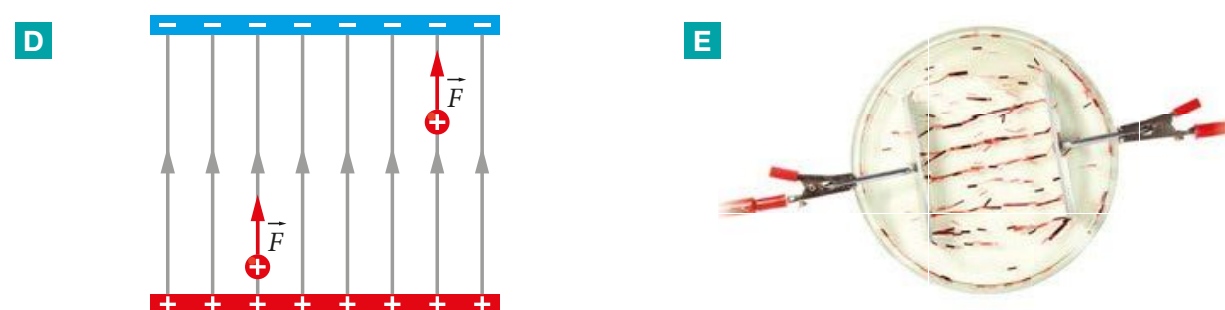
Możesz się zastanawiać, dlaczego skrawki nie przyczepią się po prostu do naelektryzowanego pręta, jak to się dzieje w powietrzu. Otóż siła elektryczna nie jest wystarczająco duża, aby przezwyciężyć opór oleju.

## 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 wtedy także wartość siły jest wszędzie taka sama (rys. D).

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 (zdjęcie E poniżej).



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

▲ Skrawki wstążki układają się wzdłuż linii pola elektrycznego – równolegle do siebie



## 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.
- ▶ Linie pola można badać doświadczalnie poprzez obserwację drobnych ciał (np. strzępeków 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

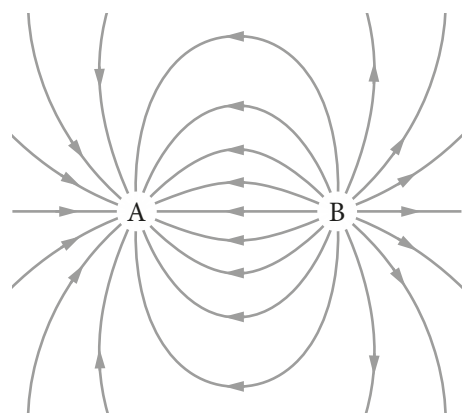
## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



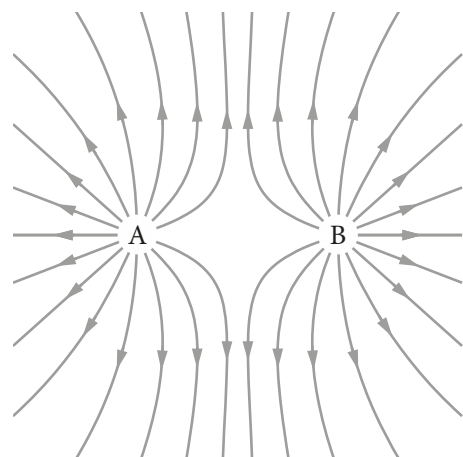
1. Określ znaki ładunków oznaczonych literami A i B.

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

A.



B.



2. Dlaczego w naszych doświadczeniach używaliśmy oleju, a nie wody? Wy-mień co najmniej dwa powody.

3. Spójrz na fotografię przedstawiającą badanie linii pola elektrycznego. Czy ładunki prętów mają jednakowe czy przeciwne znaki?



4. Elektron i proton umieszczono w jednorodnym polu elektrycznym z dala od siebie (na tyle daleko, że można pominąć ich wzajemne przyciąganie). Nie działają na nie żadne inne siły oprócz siły elektrycznej. Pod jej wpływem cząstki zaczęły się poruszać.

a) Czy elektron porusza się ze stałym przyspieszeniem, czy też jego przyspieszenie rośnie albo maleje?

b) Czy proton i elektron poruszają się z takim samym przyspieszeniem? A jeśli nie, to która cząstka ma większe przyspieszenie?

c) Czy proton i elektron poruszają się w tę samą stronę, czy w przeciwne strony?

## 5 Wyładowania atmosferyczne



W czasie burzy nie należy wystawać ponad poziom otoczenia. Dlaczego więc bezpieczniej jest kucać niż leżeć?

## Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak powstają wyładowania atmosferyczne (pioruny).
- Nauczysz się chronić przed skutkami uderzenia pioruna.

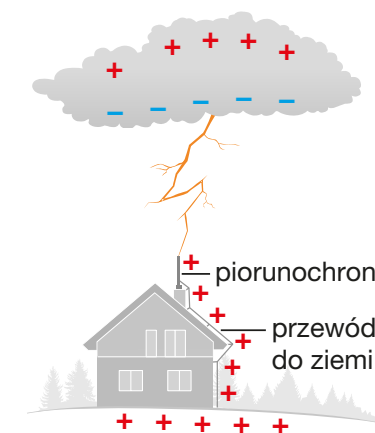
## Jak powstaje piorun

Wiesz na pewno, że **piorun** to wyładowanie elektryczne, czyli przepływ ładunków elektrycznych przez powietrze. Te ładunki to elektrony oraz jony dodatnie (czyli atomy i cząsteczki pozbawione elektronów). W powietrzu przez cały czas znajduje się trochę jonów i elektronów, ale w silnym polu elektrycznym w czasie burzy jest ich znacznie więcej. Zapoznaj się z diagramem na następnej stronie, aby dokładniej zrozumieć mechanizm powstawania pioruna.

Uderzeniu pioruna towarzyszy dźwięk (grzmot) oraz światło (błyskawica). Skąd się one biorą?

- ▶ Powietrze, przez które przepływa duży ładunek, rozgrzewa się nagle, a przez to – gwałtownie rozszerza, jak podczas wybuchu.

- ▶ Do niektórych spośród powstających w czasie wyładowania jonów przyłączają się z powrotem elektrony. Nadmiaru energii pozbywają się one właśnie w postaci światła.



▲ Piorunochron jest połączony z ziemią grubym przewodem, przez który ładunki odpływają do ziemi



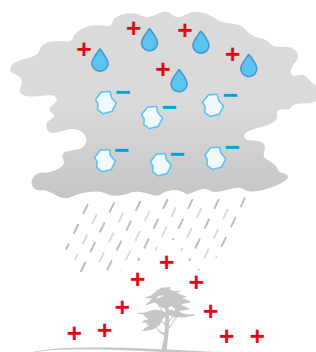
## Powstawanie pioruna

### 1. Elektryzowanie wody i lodu



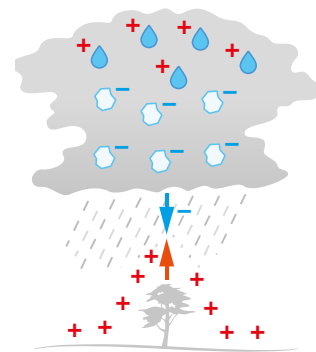
W chmurze znajdują się kropelki wody i bryłki lodu. Zwykle kiedy się zderzają, kropelki elektryzują się dodatnio, a bryłki lodu – ujemnie.

### 2. Elektryzowanie powierzchni ziemi



Ponieważ bryłki lodu gromadzą się niżej, dół chmury jest naładowany ujemnie. To powoduje, że powierzchnia ziemi ładuje się dodatnio (elektrony są odpychane w głąb ziemi).

### 3. Ruch ładunków



Zawarte w powietrzu jony i elektrony rozpędzają się, zderzają z cząsteczkami powietrza i odrywają od nich elektrony. Powstałe jony i elektrony także się poruszają i zderzają z kolejnymi cząsteczkami powietrza.

## Ochrona przed burzą

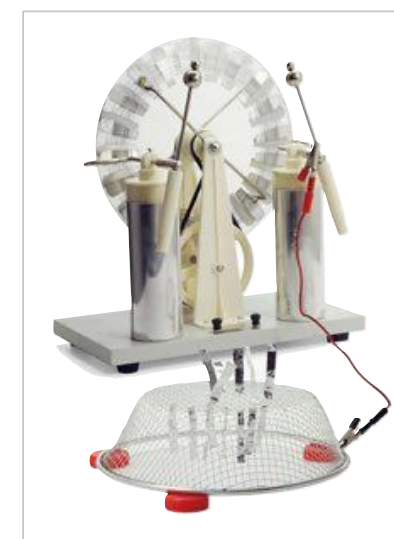
Najlepszą ochronę przed piorunami zapewnia **piorunochron** – metalowy pręt na dachu budynku połączony grubym przewodem z ziemią. Piorun zawsze wybiera drogę o najmniejszym oporze elektrycznym, więc uderza w piorunochron, a ładunek spływa przewodem do ziemi. Mniej znany jest inny sposób ochrony przed skutkami burzy. Zbadamy go w doświadczeniu – nie z prawdziwymi piorunami, ale z bezpieczniejszym źródłem napięcia.

Metalowy pręt można zastąpić promieniem silnego światła laserowego, które powoduje jonizację niektórych cząsteczek powietrza na swojej drodze.

### Doświadczenie 3.

#### Klatka Faradaya

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., jednak tym razem podłącz siatkę do drugiej elektrody maszyny.



## Ochrona przed burzą – to warto wiedzieć

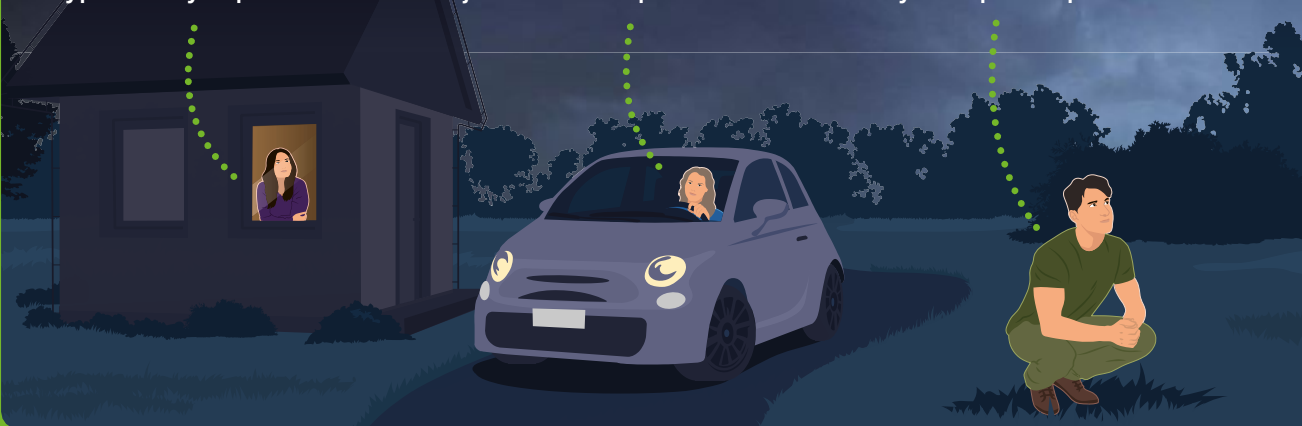
Uderzenie pioruna może być śmiertelnie niebezpieczne. Mimo że bezpośrednie trafienie przeżywa ok. 75-80% porażonych osób, to takie zdarzenie niesie ze sobą poważne skutki zdrowotne. Dlatego dobrze wiedzieć, jak się przed nim chronić.

### ✓ Bezpieczne zachowania podczas burzy ✓

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

Pozostań w samochodzie zaparkowanym na poboczu, jeśli nie ma w pobliżu drzew.

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



### ✗ Tego nigdy nie rób podczas burzy ✗

Nie chroń się pod drzewami oraz słupami, ponieważ wysokie obiekty ściągają pioruny.

Nie wchodź do wody. Jako świetny przewodnik prześle ona prąd elektryczny z bardzo daleka.

Nie kładź się na ziemi – płynący po jej powierzchni prąd może przepłynąć przez twoje ciało.

Nie wychodź nigdy w góry, gdy zanosi się na burzę. Jeśli pogoda popsuje się w czasie wycieczki, zawróć w dolinę.



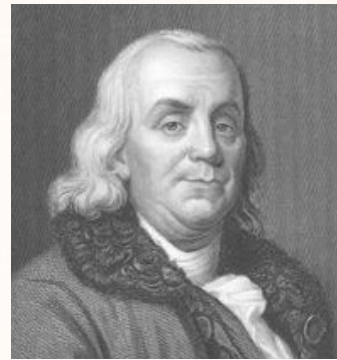


## F WYRWAŁ NIEBU PIORUN, A BERŁO TYRANOM

Benjamin 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 zjawisk takich samych 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 – jeśli już dojdzie do wyładowania – skierować ładunek 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 Bugusławskiego *Henryk VI na łowach* z 1792 r. czytamy: „Ale schowaj waćpan ten pałasz, jego ostry koniec mógłby, jak konduktor [piorunochron] na wieżę [wieżę], ściągnąć na głowę waćpana pioruny”.

## ■ Klatka Faradaya

W doświadczeniu mogliśmy stwierdzić, że paski wewnątrz siatki nie poruszyły się na skutek jej naelektryzowania. To znaczy, że wszystkie dostarczone ładunki zgromadziły się na zewnętrznej powierzchni przewodnika.

W podobny sposób schronienie się w metalowej skrzyni pozwala ochronić się przed wyładowaniem elektrycznym: ładunki elektryczne nie dostaną się do jej wnętrza. Nawet 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**.

### To najważniejsze

- ▶ Piorun powstaje na skutek elektryzowania się kropli wody i kryształków lodu zawartych w chmurze burzowej.
- ▶ 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 ZESZCIE



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.

3. Popularny, ale fałszywy pogląd mówi, że używanie telefonu komórkowego podczas burzy jest niebezpieczne. Znajdź strony internetowe wyjaśniające, skąd taki pogląd mógł się wziąć, dlaczego jest fałszywy i z jakiego powodu to właśnie brak telefonu komórkowego podczas burzy może być niebezpieczny.

Postaraj się, aby były to wiarygodne strony, np. instytucji naukowych albo zajmujących się ochroną zdrowia.







W jaki sposób zasilany baterią defibrylator (AED) może w ułamku sekundy wyzwoić impuls elektryczny o dużej mocy?

## Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak jest zbudowany i jak działa kondensator.
- Poznasz niektóre zastosowania kondensatorów w urządzeniach elektronicznych.

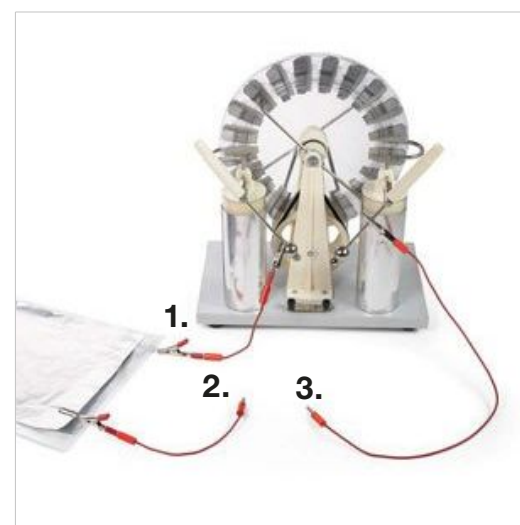
## Budujemy kondensator

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 rakiетkę na komary. Do łączenia przewodów najłatwiej zastosować krokodyłki (patrz s. 53), 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 krokodyłki były oddalone od siebie o co najmniej 1 cm.



4. Wolny koniec jednego z przewodów przypiętych do krokodyłków 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!**

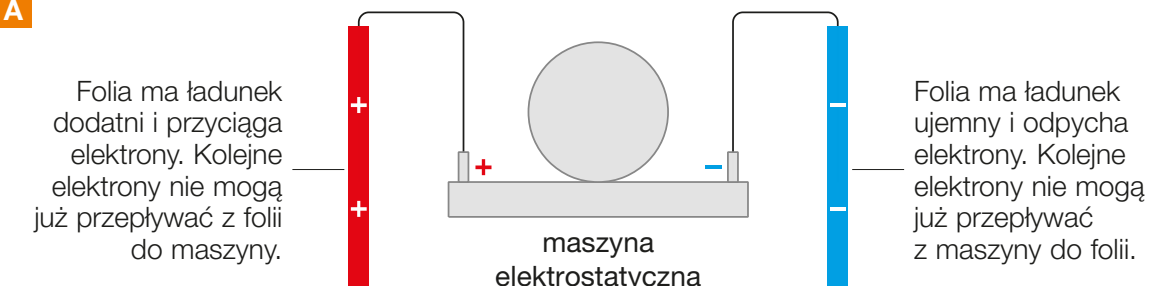
W naszym doświadczeniu mieliśmy okazję zobaczyć i usłyszeć przeskoc iskry elektrycznej. Zauważ, że maszyna elektrostatyczna była wtedy odłączona od kondensatora. Skąd więc wzięła się energia potrzebna do wytworzenia iskry? Została ona zmagazynowana w kondensatorze.

Kondensator pozwala **magazynować energię elektryczną**.

## Jak działa kondensator

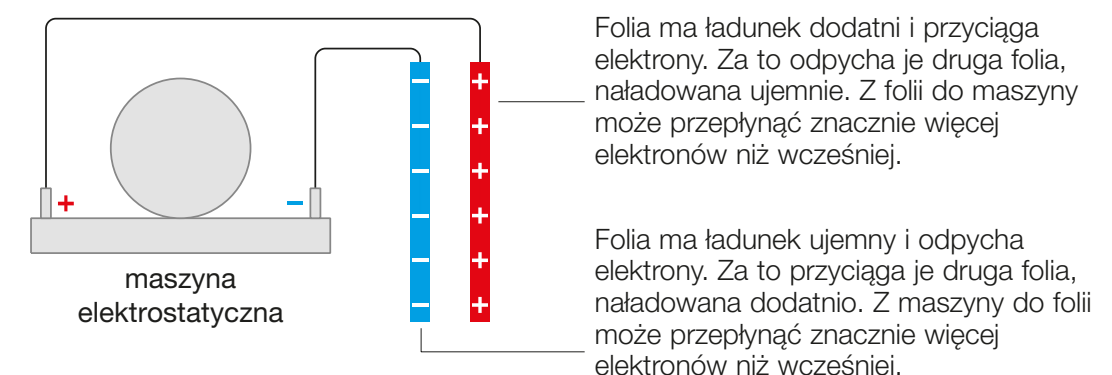
Wyobraź sobie, że do maszyny elektrostatycznej podłączamy dwa arkusze folii umieszczone z dala od siebie. Po włączeniu maszyny naładują się one, ale w niewielkim stopniu (rys. A).

A



Inaczej się stanie, gdy folie umieścimy blisko siebie. Wtedy oddziaływanie między ładunkami na foliach pozwoli zmieścić na nich większy ładunek (rys. B).

B

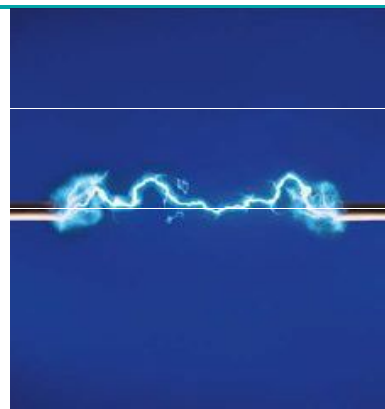


Po odłączeniu maszyny elektrostatycznej folie pozostaną naładowane. Gdy ponownie połączymy przewody, nadmiarowe elektrony przepłyną z folii naładowanej ujemnie na naładowaną dodatnio. Gdy kondensator jest mocno naładowany, nie trzeba nawet łączyć przewodów – wystarczy je zbliżyć, aby przeskoczyła iskra.



### A to ciekawe

Skąd bierze się iskra przy rozładowaniu kondensatora? 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. Mechanizm powstawania iskry jest więc taki sam jak w przypadku naturalnych wyładowań elektrycznych, czyli piorunów.



### Zastosowania kondensatorów

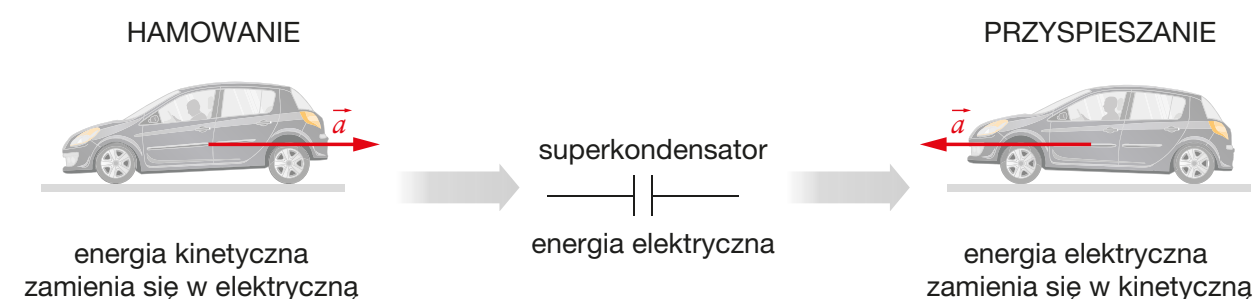
Już wiesz, że kondensator służy do przechowywania energii elektrycznej. Energia ta jest nieporównanie mniejsza niż w przypadku akumulatora lub baterii.

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.

- ▶ 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 → **Defibrylator (AED) może uratować życie**, s. 38.
- ▶ Kondensator może także służyć **do wyrównywania niepotrzebnych skoków napięcia** – ładuje się, gdy napięcie jest wysokie, a rozładowuje, gdy jest ono niskie.

### 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.



▲ Przemiany energii w samochodzie z superkondensatorem

W ostatnich latach oprócz akumulatorów w pojazdach elektrycznych stosuje się **superkondensatory**. 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.

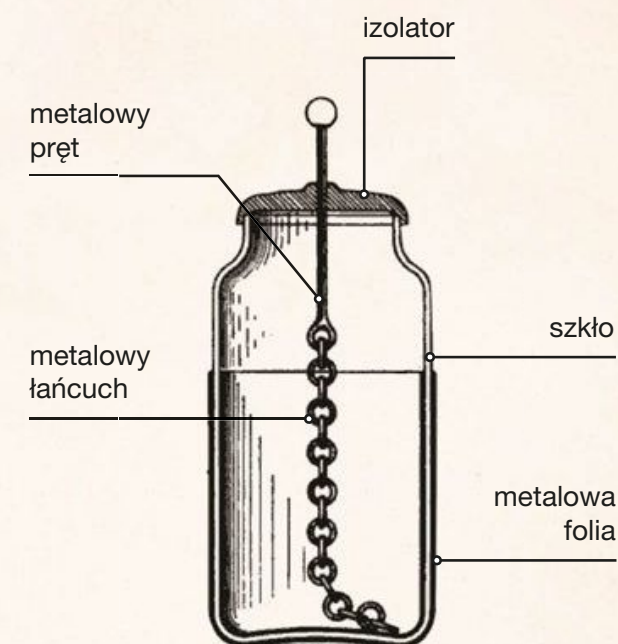
### F BUTELKA I SKACZĄCY MNISI

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 blaszkami. 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.

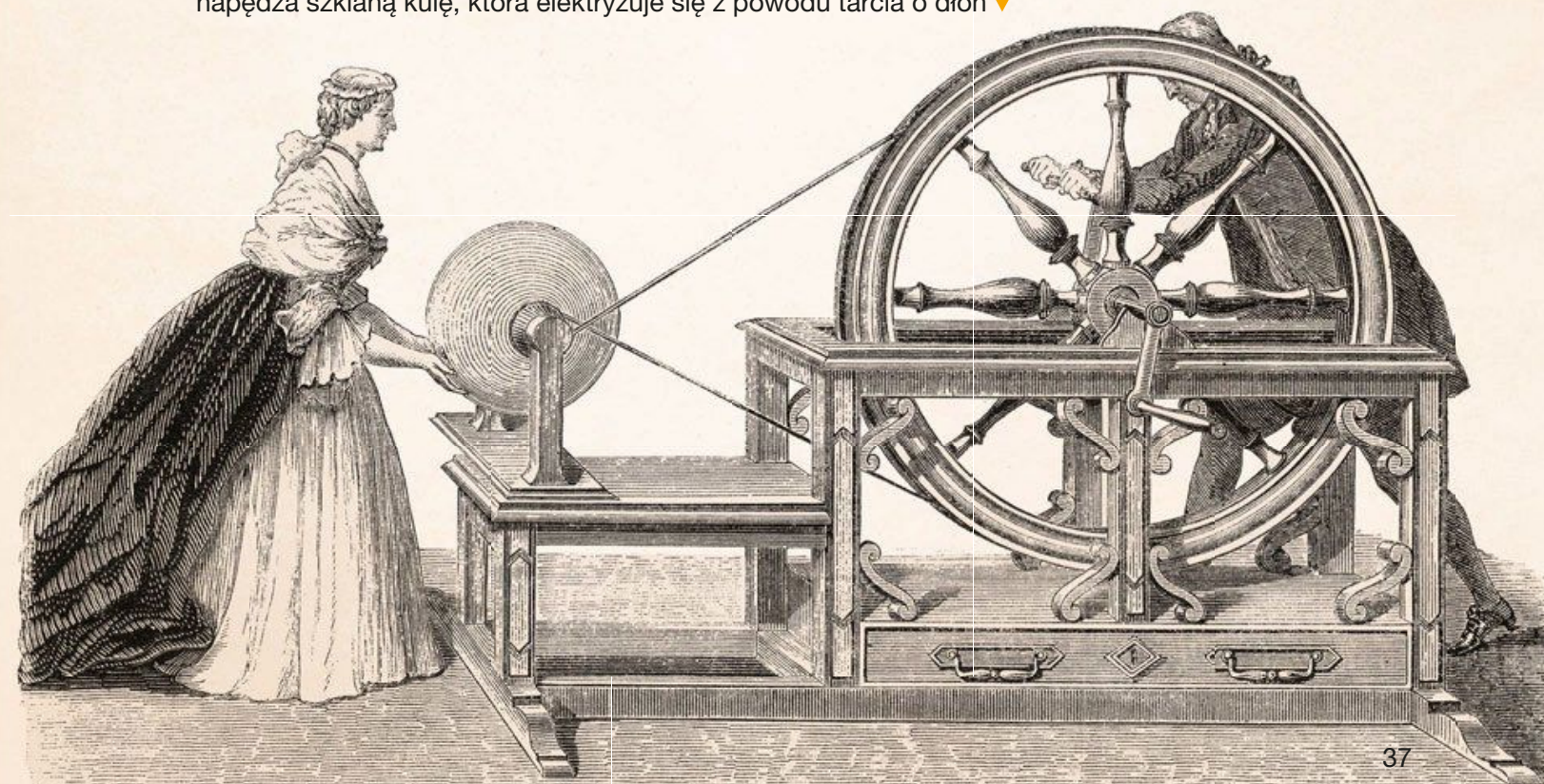
To pozwoliło im np. ocenić, że elektryczność rozchodzi się w przewodzie „szybciej, niż możemy zmierzyć”. A trzeba pamiętać, że eksperymentowanie wymagało wtedy poświęceń – z powodu braku przyrządów mierzonych wielkość ładunku oceniano na podstawie wstrząsu elektrycznego, jaki wywołał u człowieka.

Odkrycia przedstawiano szerokiej publiczności. Do najbardziej utalentowanych popularyzatorów nowej nauki o elektryczności należał Jean-Antoine Nollet (czyt. żan antuan nole). W jednym z doświadczeń ustawił on w podkowie 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 ▼





## Defibrylator (AED) może uratować życie

W przypadku niektórych zaburzeń rytmu serca, zagrażających życiu pacjenta, stosujemy defibrylator (AED, czyli *automated external defibrillator* – automatyczny defibrylator zewnętrzny). To urządzenie przepuszcza przez serce prąd elektryczny i powoduje przerwanie arytmii skutkującej zatrzymaniem krążenia. Zasadniczym elementem defibrylatora jest kondensator, pozwalający zmagazynować potrzebną energię i wyzwolić ją w krótkim czasie.



Nowoczesny defibrylator zautomatyzowany sam udziela instrukcji użytkownikowi, a nawet wykonuje badanie EKG i decyduje, czy zaaplikowanie wstrząsu jest wskazane. Może go więc użyć każda osoba, 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!

### To najważniejsze

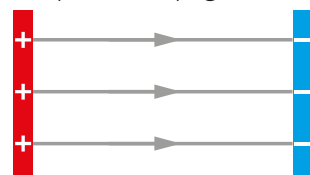
- ▶ **Kondensator** to urządzenie do gromadzenia energii elektrycznej.
- ▶ Najprostszy kondensator składa się z dwóch metalowych okładek rozdzielonych izolatorem, na których gromadzą się ładunki przeciwnych znaków.
- ▶ W kondensatorze mieści się niewiele energii w porównaniu z baterią, ale można wykorzystać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

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



1. Przypomnij sobie doświadczenie ze s. 34. W chwili włączenia maszyny elektrostatycznej kondensator ulega samorzutnemu sprasowaniu – aluminiowe okładki przywierają do rozdzielającego je plastiku. Wyjaśnij to zjawisko.
2. Rysunek przedstawia linie pola elektrycznego między okładkami kondensatora. Przypomnij, jak nazywa się takie pole i jakie są jego właściwości.



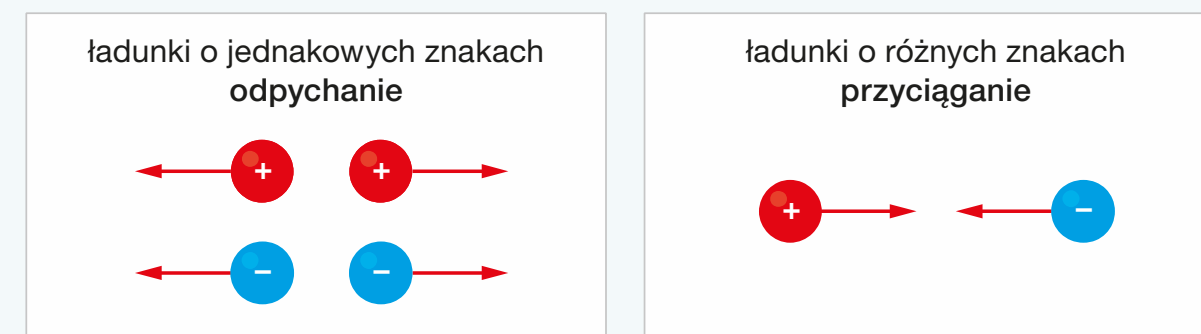
3. Zapoznaj się z tekstem o defibrylatorze zamieszczonym powyżej.
  - a) Wyjaśnij, w jakim celu w defibrylatorze stosujemy kondensator.
  - b) Dowiedz się, czy i gdzie w twojej miejscowości znajdują się publicznie dostępne defibrylatory AED.
  - c) Znajdź i obejrzyj przykładowy film szkoleniowy na temat użycia defibrylatora AED.

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

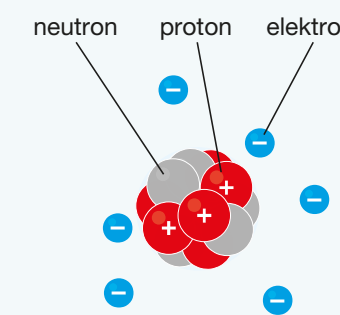
### POWTÓRZENIE

### Elektrostatyka

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



- **Atom** jest zbudowany z **jądra** i znajdujących się wokół niego **elektronów**. Jądro tworzą **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 wartości bezwzględnej ładunku elektronu:

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

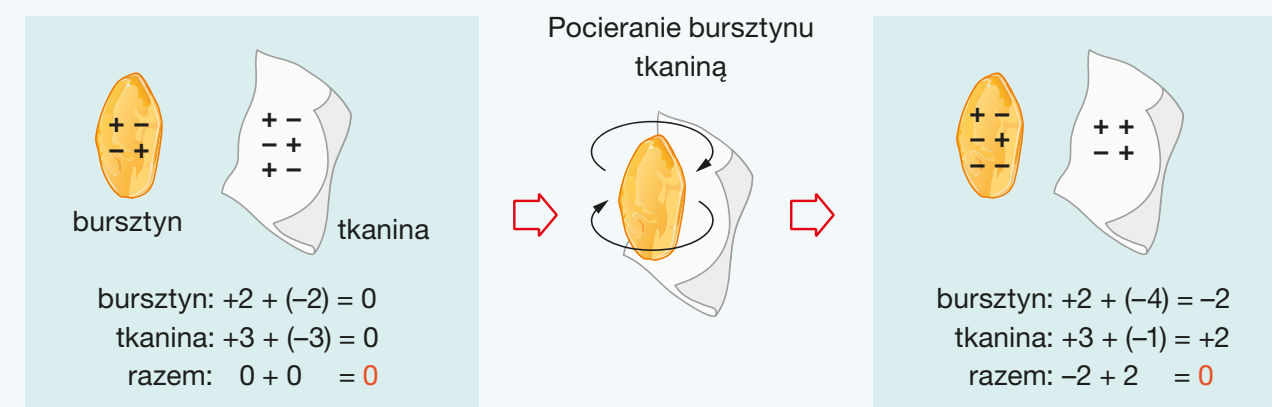
- Jednostką ładunku elektrycznego w układzie SI jest **kulomb**:

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

- **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 -.





- F Prawo Coulomba:** Wartość siły elektrycznej jest wprost proporcjonalna do każdego z 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:  $k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$  – stała zwana stałą elektryczną,  $q_1, q_2$  – ładunki ciał,  $r$  – odległość między ciałami.

► Analiza wzoru z prawa Coulomba:

$k = 9 \text{ mld } \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ , czyli ciała o ładunku 1 C z odległości 1 m przyciągają się siłą 9 mld N.

Im większy każdy z ładunków, tym większa wartość siły.

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

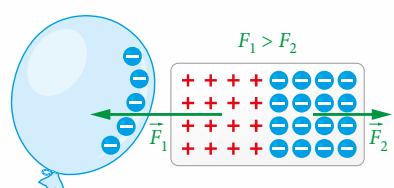
Wartość bezwzględna, ponieważ ładunki mogą być ujemne, a wartość siły jest dodatnia.

Im większa odległość, tym mniejsza wartość siły.

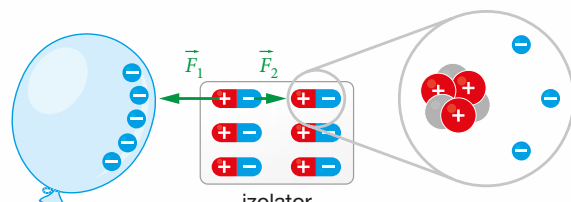
Zwiększenie odległości tylko 10 razy powoduje zmniejszenie siły aż 100 razy (ponieważ  $10^2 = 100$ ).

### Dlaczego ciało naelektryzowane przyciąga nienaelektryzowany

#### przewodnik



#### izolator



### W czasie burzy

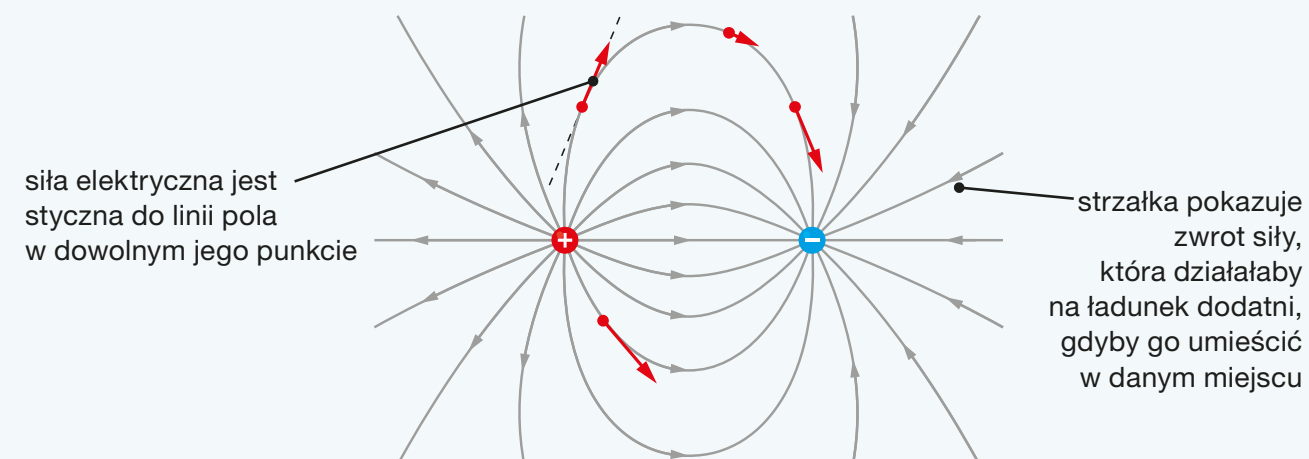
#### Należy

- ✓ 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.

#### A



▲ Linie pola wytworzonego przez pojedynczy ładunek

#### B

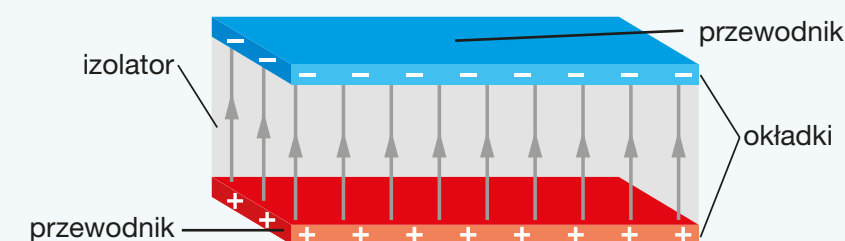


▲ Linie pola jednorodnego pomiędzy dwiema przeciwnie naładowanymi płytkami

- Linie pola zaczynają się w ładunkach dodatnich i kończą w ujemnych.

- **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 **pojem jednorodnym**.





## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To musisz umieć

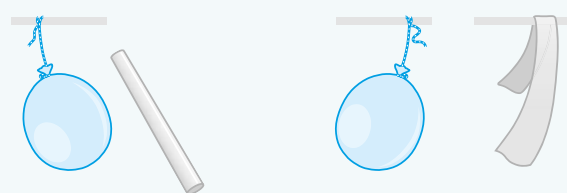


## Informacja do zadań 1. i 2.

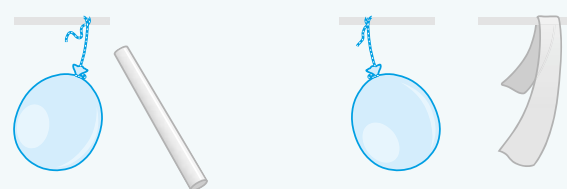
Rura od odkurzacza wykonana z PVC (polichloru winylu) elektryzuje się ujemnie, gdy potrzemy ją wełnianym szalikiem. Balonik potarty szalikiem również elektryzuje się ujemnie.

1. Jeżeli wełnianym szalikiem pocieramy najpierw rurę od odkurzacza, a następnie balonik, to:

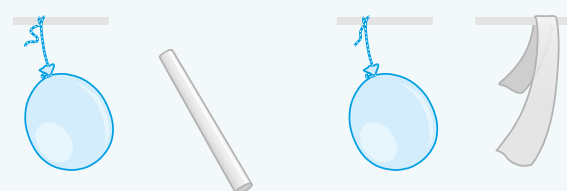
A. rura przyciąga balonik, a szalik go odpycha.



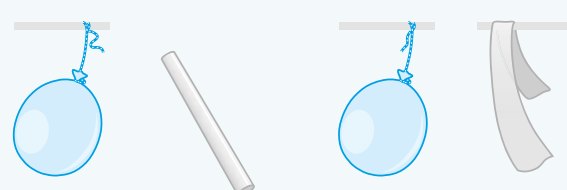
B. rura odpycha balonik, a szalik go przyciąga.



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. Naelektryzowany kawałek bursztynu zbliżamy do nienaelektryzowanej wstążki. Wtedy:

A. bursztyn przyciąga wstążkę, ale wstążka nie przyciąga bursztynu.

B. wstążka przyciąga bursztyn, ale bursztyn nie przyciąga wstążki.

C. ani wstążka nie przyciąga bursztynu, ani bursztyn – wstążki.

D. wstążka przyciąga bursztyn, a bursztyn – wstążkę.

6. Kondensator służy do:

A. wytwarzania wysokiego napięcia.

B. sprawdzania, czy ciało jest naelektryzowane.

C. wytwarzania ładunków elektrycznych.

D. gromadzenia energii elektrycznej.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To należy umieć



1. Atom jest obojętny elektrycznie, gdyż:

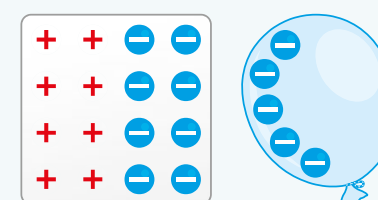
A. jest w nim tyle samo protonów co elektronów.

B. jego składniki nie mają ładunku elektrycznego.

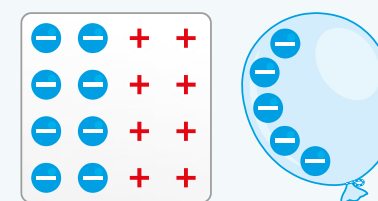
C. zawiera neutrony.

2. Do sześciennego ciała wykonanego z izolatora zbliżono ujemnie naładowany balonik. Który z rysunków poprawnie przedstawia rozkład ładunków w tym ciele?

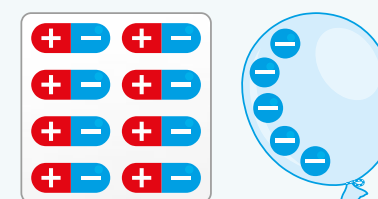
A.



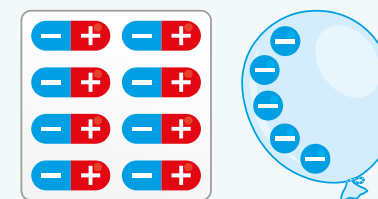
B.



C.

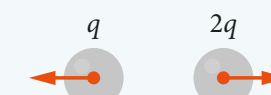


D.



3. Na każdym z rysunków przedstawiono oddziaływanie ciał, które mają ładunki o takim samym znaku, ale różnych wartościach. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono siły oddziaływania tych ciał?

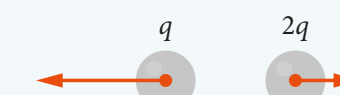
A.



B.



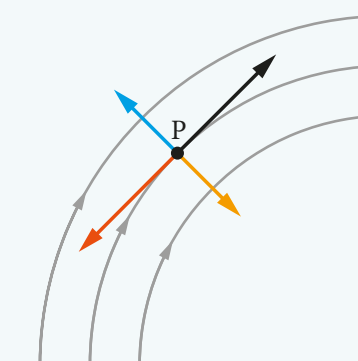
C.



4. Linie pola elektrycznego w pewnym obszarze zaznaczono na szaro. Określ, która strzałka oznacza kierunek i zwrot siły elektrycznej działającej na umieszczony w punkcie P:

a) proton,

b) elektron.



5. (F) Dwie małe metalowe kulki umieszczone w odległości 20 cm od siebie odpychają się siłą  $6 \mu\text{N}$ . Gdy zbliżymy je na odległość 10 cm, będą się odpychać siłą:

A.  $1,5 \mu\text{N}$ .

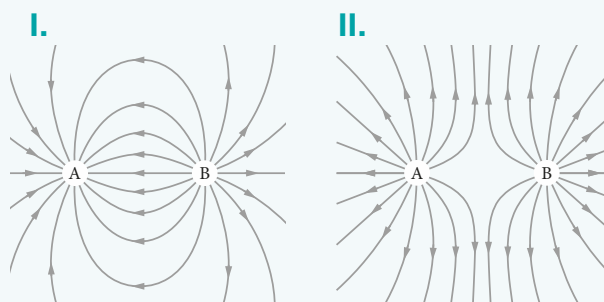
B.  $3 \mu\text{N}$ .

C.  $12 \mu\text{N}$ .

D.  $24 \mu\text{N}$ .



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



7. 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.

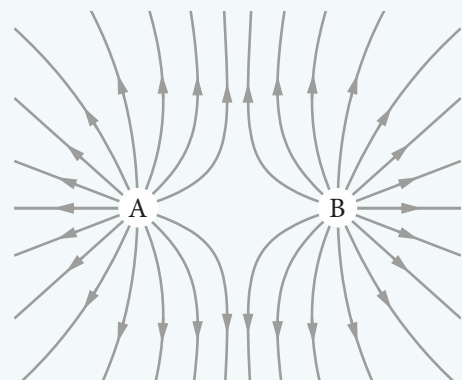
- A. mniejszą                      C. krótszym  
B. większą                      D. dłuższym

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

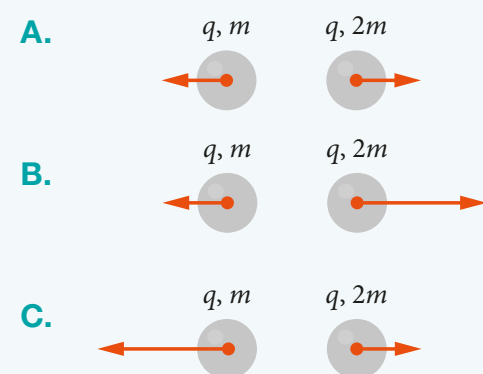
## To warto umieć



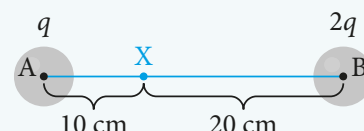
1. Na podstawie linii pola określ znak ładunków oznaczonych literami.



2. Na każdym z rysunków przedstawiono oddziaływanie ciał o jednakowym ładunku  $q$ , ale różnych masach. Na którym rysunku poprawnie przedstawiono przyspieszenie uzyskane przez ciała pod wpływem ich wzajemnego oddziaływania?



3. (F) Na dwóch końcach odcinka o długości 30 cm umieszczono naładowane dodatnio ciała (patrz rys.). W punkcie X umieszczono ładunek ujemny. Czy silniej będzie go przyciągał ładunek na ciele A czy ładunek na ciele B? A może te siły będą miały równą wartość?



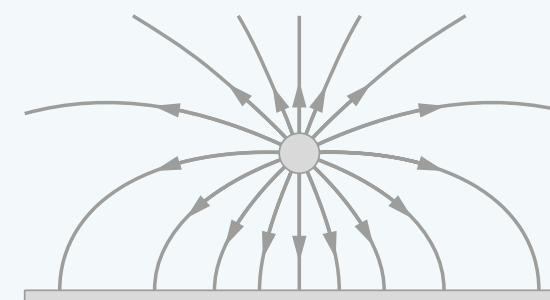
4. Narysuj linie pola elektrycznego między okładkami kondensatora. Jak się nazywa takie pole?
5. (F) Dwa ciała o ładunku  $+2 \text{ nC}$  każde znajdują się w odległości 2 m od siebie. Określ, czy ciała się przyciągają, czy odpychają. Oblicz, jaka jest wartość siły elektrycznej działającej między tymi dwoma ciałami.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

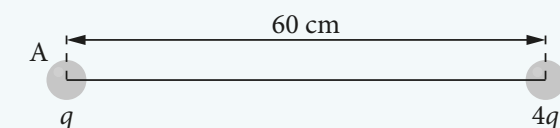
## Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!



1. Ładunek  $-1 \text{ C}$  ma łącznie około:  
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  $-3 \text{ nC}$ . Oblicz, o ile zmieniła się masa kulki. Jaka to część początkowej masy? Masa elektronu wynosi ok.  $9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .
3. 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?



4. Na końcach odcinka AB o długości 60 cm umieszczono ładunki. Oba ładunki są dodatnie, ale ładunek na końcu B ma cztery razy większą wartość. W jakim miejscu na tym odcinku umieścić ładunek ujemny, aby wypadkowa działających na niego sił przyciągania elektrycznego była równa zero?



5. (F) Przeczytaj wierszyk. O jakim uczonym i jego fałszywym odkryciu jest w nim mowa?

*Nie dochodzi do prawdy,  
kto wprzód nie zbłądzi:  
Pewien Francuz uczony  
pochopnie osądził,  
Że dla sił elektrycznych  
ma barwa znaczenie.  
Pracę swoją powtórzył –  
i pręsto złudzenie.*





**Cel projektu:** Dowiesz się, czym jest smog i jak działają elektrofiltry. Zbudujesz działający model elektrofiltra.

#### Zadania i polecenia:

1. Dym składa się z gazów i pyłów. Wyszukaj w dostępnych ci źródłach odpowiedzi na poniższe pytania. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz.
  - ▶ Czym różnią się te składniki?
  - ▶ Czy za powstawanie smogu odpowiedzialne są gazy czy pyły?
  - ▶ Co oznaczają skróty PM10, PM2,5 podawane w informacjach o smogu?
  - ▶ Gdzie i kiedy najczęściej występuje smog w Polsce?
  - ▶ Jak walczyć ze smogiem? Zaproponuj rozwiązanie, które wydaje ci się najskuteczniejsze.
2. Jak działa komin? Dlaczego wciąga dym i płomień?  
(Odpowiedź „ponieważ na wyższej wysokości ciśnienie jest niższe” jest niepełna – przecież jeśli ustawimy pionowo długą rurkę, nie zacznie ona zasysać powietrza z dołu).
3. Jak jest zbudowany i na jakiej zasadzie działa elektrofiltr? Czy chroni przed gazami czy pyłami zawartymi w dymie?



#### Doświadczenie Model elektrofiltra

1. Zaprojektuj i zbuduj działający model komin z elektrofiltrem zasilanym prądem z rakiety na komary (patrz s. 25).
2. Zastosuj go do dymu z kadzidelka.
3. Sprawdź, że ponad szczytem filtra dym jest widoczny przy wyłączonym napięciu, ale znika przy włączonym. Wyjaśnij, dlaczego tak jest.

#### Uwagi:

- ▶ **Zachowaj ostrożność** – nie eksperymentuj z ogniem przy przedmiotach łatwopalnych, nie spalaj substancji wytwarzających trujący dym (np. tworzyw sztucznych, gumy, papierosów), uważaj także na wysokie napięcie z rakiety.
- ▶ Możesz poszukać projektów filtra w internecie, ale potraktuj je tylko jako inspirację. Pomyśl, w jaki sposób można zrobić filtr prostszy lub wydajniejszy.

## Analiza tekstu

### Ciekawa nauka wokół nas

Setki zainteresowanych przychodzą na festiwale nauki, pikniki naukowe czy inne podobne imprezy, aby obejrzeć i wykonać doświadczenia, posłuchać wykładów oraz 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

**W**iele praw fizyki omawianych w szkole średniej znano już sto, dwieście, a nawet trzysta lat temu. Cemu 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.

#### ▶ „Świat Nauki”

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

#### ▶ „Urania – Postępy Astronomii”

Magazyn, w którym znajduje się sporo informacji dla miłośników astronomii, wiadomości o obserwacjach nieba i kosmicznych nowin, a także kalendarz astronomiczny.

Są w nim też dłuższe artykuły popularnonaukowe.

### ■ Internet – tak, bzdury – nie

**T**akże 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 przykładowych 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

-  ▶ Astronarium
-  ▶ Veritasium
- ▶ minutephysics
- ▶ Scintium
- ▶ 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.

### ■ Podcasty

Podcasty mają tę przewagę nad filmami, że przez słuchawki można ich słuchać w komunikacji miejskiej, a nawet w czasie biegania. Niektóre tego typu cykliczne nagrania można znaleźć w serwisach YouTube (zwykle towarzyszy im obraz wideo, ale można go pominąć) czy Spotify.

- ▶ Nauka XXI wieku – głównie nauki ścisłe i przyrodnicze.
- ▶ Astrofaza – nie tylko o astronomii.
- ▶ Radio Naukowe – internetowa rozgłośnia zajmująca się popularyzacją nauki.
- ▶ Fizyka bez zamulania – zarówno historia, jak i najnowsze odkrycia.
- ▶ Audycje na temat historii techniki w Radiu dla Ciebie.

# 5. Prąd elektryczny

Dlaczego trolejbus musi być zasilany z dwóch przewodów, a tramwajowi wystarczy jeden przewód?

## Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Dowiedz się, gdzie najbliższej twojej miejscowości znajduje się centrum nauki.
2. Dowiedz się, kiedy w twojej miejscowości albo w jej 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 kanałów wymienionych w tekście albo posłuchaj jednego z podcastów. Zapisz nazwę kanału, tytuł filmu i kilka zdań na temat tego, co cię w nim zainteresowało.





# 7 Obwody elektryczne



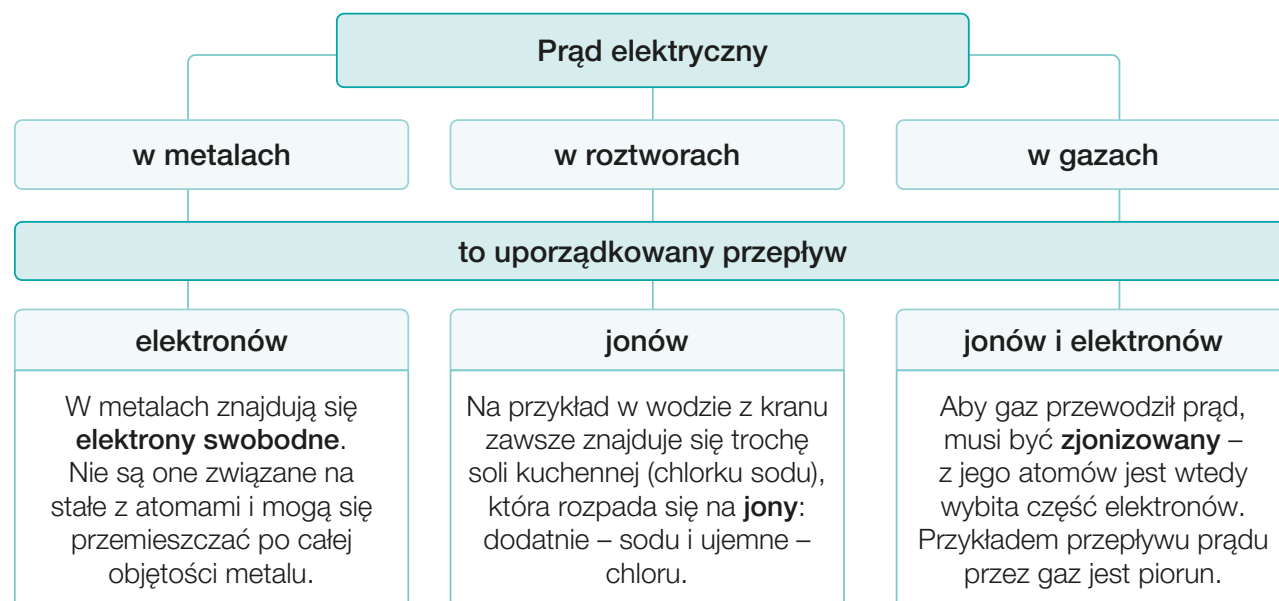
Uporządkowany ruch elektronów w przewodzie odbywa się z prędkością ślimaka. Dlaczego więc światło zapala się natychmiast, gdy przyśniemy włącznik?

## Cele lekcji:

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

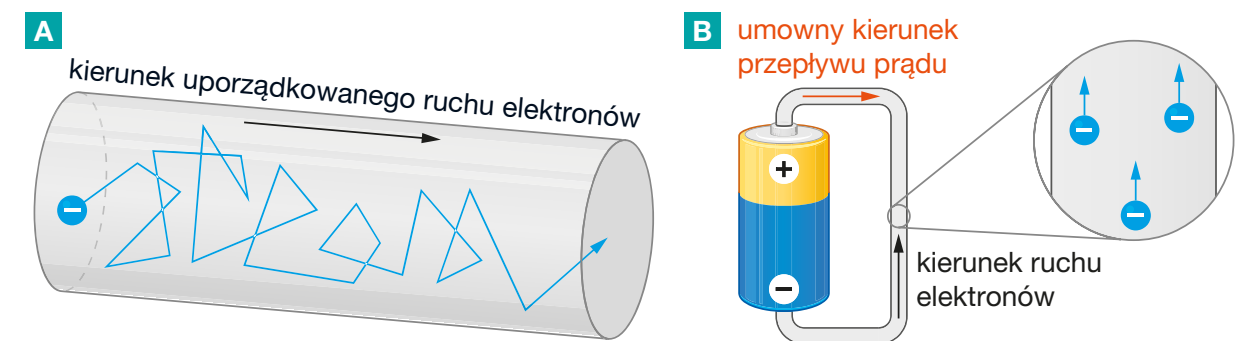
## ■ Prąd elektryczny

Urządzeń, w których płynie prąd elektryczny, używamy stale. Jak wiesz ze szkoły podstawowej, prąd elektryczny to uporządkowany ruch cząstek naładowanych elektrycznie. Najczęściej mamy do czynienia z prądem płynącym w metalach, który polega na przepływie elektronów. Nie jest to jednak jedyna możliwość. Przeanalizuj diagram.



## ■ Ruch uporządkowany a ruch chaotyczny

Zwróć uwagę na słowo „uporządkowany” w definicji prądu elektrycznego. Nawet wtedy, gdy przez metal płynie prąd, elektrony swobodne poruszają się w nim chaotycznie, ale niezależnie od tego wszystkie powoli płyną w jedną stronę (patrz rys. A) – ten wspólny ruch nazywamy **przepływem prądu**.



▲ **A** Uporządkowany ruch elektronów w przewodzie nakłada się na znacznie szybszy ruch chaotyczny; **B** Umowny kierunek prądu a rzeczywisty kierunek uporządkowanego ruchu elektronów

## ■ W którą stronę płynie prąd

Kiedy nie znano jeszcze natury prądu elektrycznego, przyjęto umownie, że prąd płynie od dodatniego bieguna baterii do ujemnego. Później okazało się, że w metalach prąd elektryczny to przepływ ujemnie naładowanych elektronów od bieguna ujemnego do dodatniego (patrz rys. B), ale umowa pozostała. Z kolei w roztworach jony dodatnie i ujemne przemieszczają się w przeciwne strony, tak jak elektrony i dodatnie jony w gazach.

## ■ 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 przedstawiono na zdjęciu poniżej.

### Doświadczenie 4.

#### 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. 53.
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?



### Uwaga do doświadczeń z prądem elektrycznym

Kiedy budujesz obwody elektryczne, zwróć uwagę na to, czy bieguny baterii nie są połączone bezpośrednio ze sobą. Gdy się tak dzieje, prąd płynie przez przewód łączący bieguny, omijając resztę obwodu. Bateria szybko się rozładowuje, natomiast przewody – mocno rozgrzewają. To zjawisko nazywamy **zwarcie**.



## Prąd w obwodzie

Gdy do żarówki podłączamy baterię, w przewodach i we włóknie żarówki pojawia się pole elektryczne, w którym na elektrony działa siła powodująca ich ruch.

Słowo „obwód” sugeruje, że prąd płynie w kółko. Tak się rzeczywiście dzieje – patrz ilustracja poniżej. Otwarcie obwodu w dowolnym miejscu powoduje, że prąd elektryczny nie może płynąć.

Dlatego do zasilania każdego urządzenia są potrzebne dwa przewody. W przypadku tramwajów i pociągów elektrycznych może się wydawać, że przewód jest jeden, jednak drugi stanowią szyny.

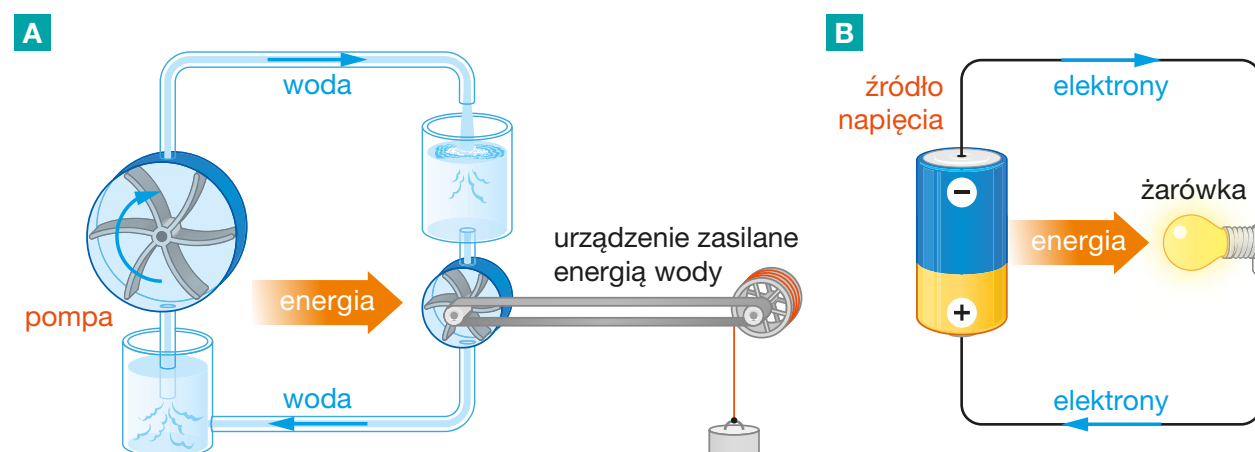
### Obieg elektronów w obwodzie



## 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.

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



▲ Porównanie prądu elektrycznego B do przepływu wody A

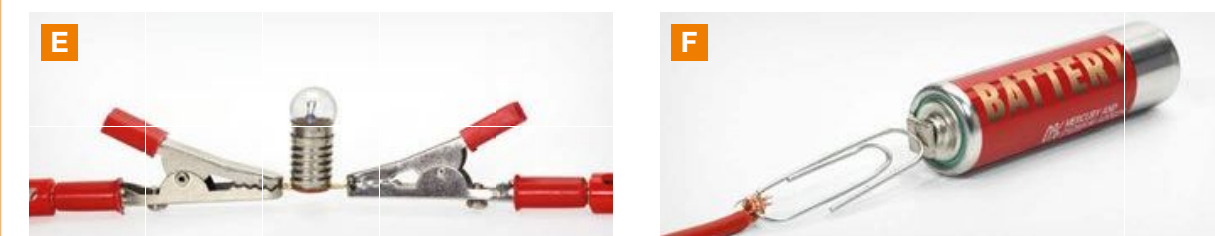
### Wskazówki praktyczne (prąd elektryczny)

1. Aby przeprowadzić doświadczenia z prądem, warto mieć:

- ▶ 2 m przewodu miedzianego jednożyłowego w izolacji,
- ▶ 10 cm grubego przewodu miedzianego (ponad 4 mm<sup>2</sup> przekroju poprzecznego) w izolacji lub bez niej albo kilka cieńszych zwiniętych razem przewodów,
- ▶ 2 żarówki 1,2 V albo 2,4 V, żarówkę 4,8 V, 2 oprawki do małych żarówek (E10),
- ▶ 5 baterii AA („dużych paluszków”), 1 baterię AAA („mały paluszek”), 1 baterię D,
- ▶ 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 A. W podobny sposób można zeszkrobać emalię z końcówek przewodów emaliowanych (zdjęcie B).



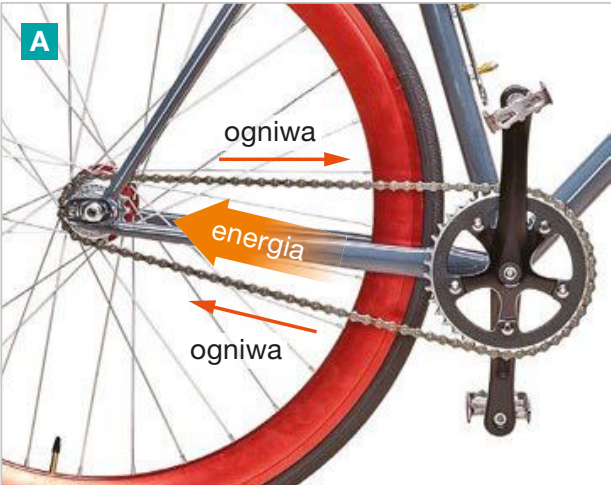
3. Elementy układów doświadczalnych można łączyć za pomocą spinaczy biurowych (zdjęcie C), a przewody można ze sobą skręcać (zdjęcie D).

4. Jeśli chcesz sobie ułatwić pracę, możesz zaopatrzyć się w krokodyłki do łączenia elementów (zdjęcie E). Za pomocą małych magnesów neodymowych można łączyć krokodyłki lub spinacze przymocowane do przewodów z biegunami baterii (zdjęcie F).

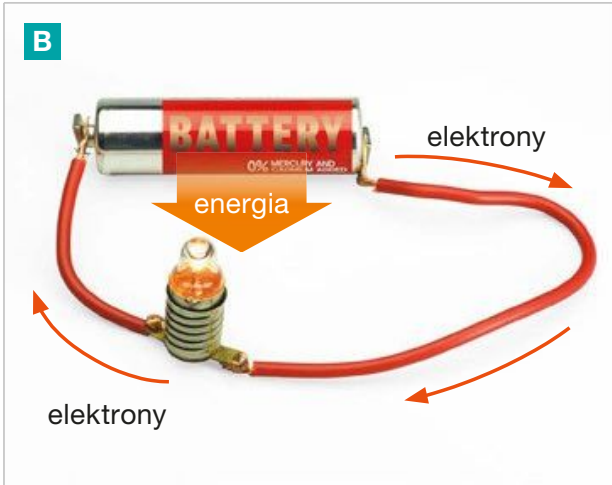


■ Prąd elektryczny a łańcuch rowerowy

Ruch elektronów w przewodniku można także porównać do ruchu ogni 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 ogni.
- ▶ 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. Pamiętaj, że schematy przedstawiają połączenia między elementami, a nie ich rozmieszczenie w rzeczywistym obwodzie. Przewody na schemacie są proste, choć w rzeczywistości mogą być poplątane.

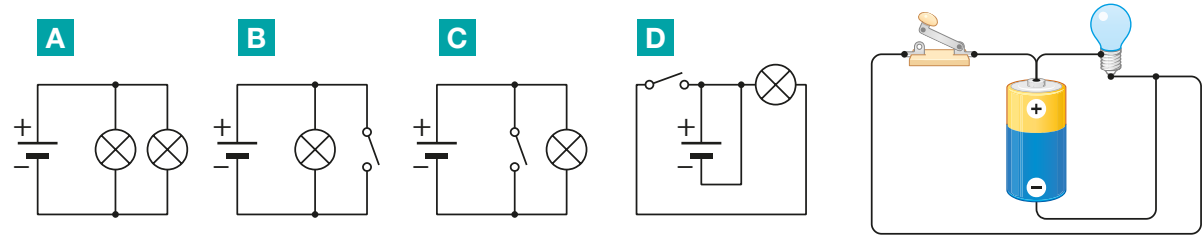
Tabela 1

| Przewód | Połączenie przewodów | Źródło prądu | Żarówka | Opornik | Wyłącznik | Konden-sator |
|---------|----------------------|--------------|---------|---------|-----------|--------------|
|         |                      |              |         |         |           |              |

Przykład

■ Analiza schematów elektrycznych

Które ze schematów przedstawiają obwód widoczny na rysunku?



Rozwiązanie:

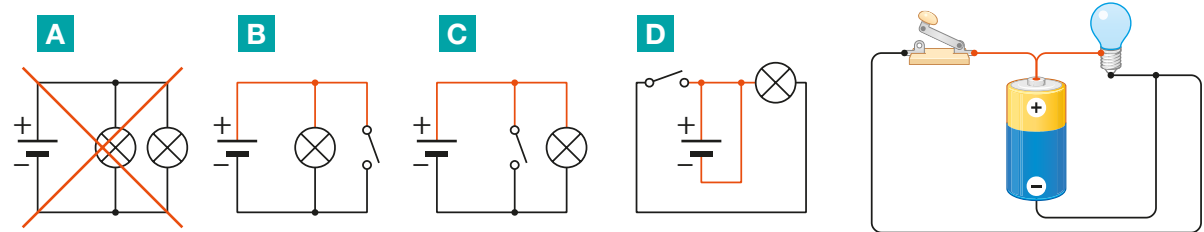
Sprawdzamy, z jakich elementów składa się obwód na rysunku

Są to: bateria, żarówka i wyłącznik. Wobec tego odpowiedź A na pewno nie jest poprawna, ponieważ na tym schemacie żarówki są dwie, a za to nie ma wyłącznika. Obwody B–D składają się z właściwych elementów, ale to nie znaczy, że wszystkie pasują – ważny jest sposób połączenia tych elementów.

Sprawdzamy, jak są połączone elementy obwodu

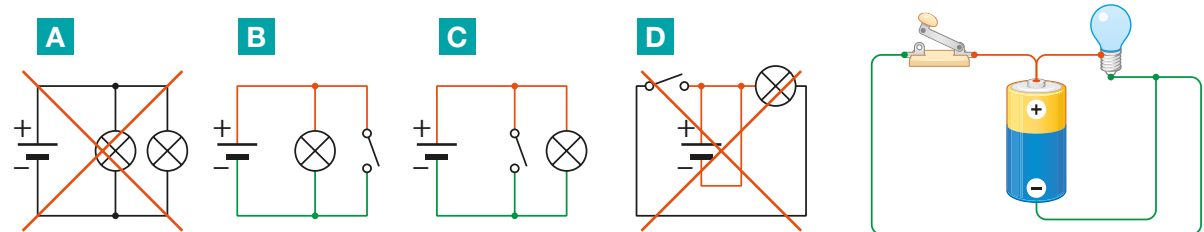
Analizujemy połączenia w obwodzie na rysunku i sprawdzamy, czy tak samo jest na schematach.

1. Na rysunku dodatni biegun baterii jest połączony z wyłącznikiem i żarówką.



Tak samo jest na schematach B i C. Natomiast w obwodzie D dodatni biegun jest dodatkowo połączony z ujemnym. A więc schemat D nie pasuje.

2. Na rysunku druga końcówka żarówki (niepodłączona do dodatniego bieguna baterii) i druga końcówka wyłącznika są podłączone do ujemnego bieguna baterii. Tak samo jest w obu schematach, których nie wyeliminowaliśmy wcześniej.



3. Czy zostały jeszcze jakieś przewody, których przebiegu nie analizowaliśmy? Nie zostały (na rysunkach wszystkie zostały pokolorowane).

**Odpowiedź:** Obwód widoczny na rysunku przedstawiają schematy B i C.



Uwagi dotyczące analizy schematów elektrycznych:

- 1. Warto korzystać z przedstawionego w przykładzie sposobu kolorowania przewodów. Jeśli nie masz kredek ani flamastrów, możesz rysować wężyki lub używać oznaczeń literowych. Pamiętaj tylko, aby nie rysować po książce, a jedynie w zeszycie.
- 2. Schemat przedstawia połączenie elementów, a nie ich rozmieszczenie w przestrzeni. Schemat D nie odpowiada obwodowi z rysunku, choć przełącznik znajduje się na nim po lewej, a żarówka – po prawej stronie baterii.

To najważniejsze

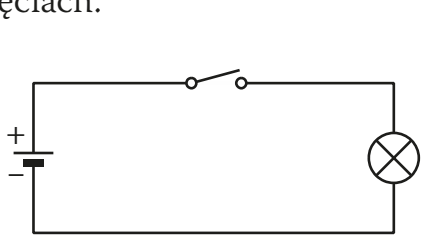
- ▶ **Prąd elektryczny to** uporządkowany przepływ ładunków elektrycznych. W metalach są nimi swobodne elektrony, w roztworach – jony, a w gazach – jony i elektrony.
- ▶ Przyjmujemy umownie, że prąd płynie **od dodatniego do ujemnego bieguna baterii**, choć kierunek ruchu elektronów w przewodniku jest 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. **P** Na którym ze zdjęć spośród A–C przedstawiono obwód ten sam co na schemacie? Narysuj w zeszycie schematy obwodów przedstawionych na pozostałych zdjęciach.



A.



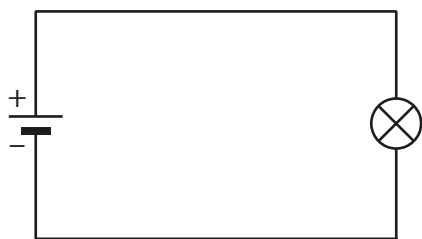
B.



C.



- 2. Przerysuj do zeszytu schemat obwodu zamieszczony poniżej i wykonaj polecenia:



- a) Czerwonymi strzałkami zaznacz na schemacie umowny kierunek przepływu prądu i podpisz je: „prąd”.
- b) Zielonymi strzałkami zaznacz kierunek przepływu elektronów i podpisz je: „elektrony”.
- c) Narysuj innym kolorem strzałkę przedstawiającą, jak w obwodzie przepływa energia, i podpisz ją: „energia”.

- 3. Przepisz zdania do zeszytu. Wpisz w puste miejsca odpowiednie wyrażenia wybrane z ramki. Jednego z wyrażeń użyj dwukrotnie.

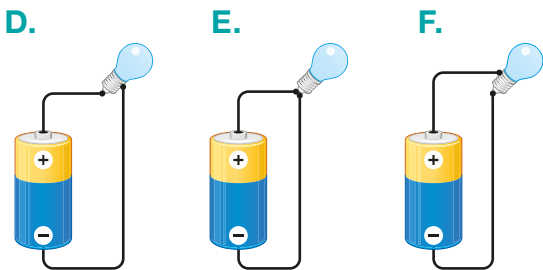
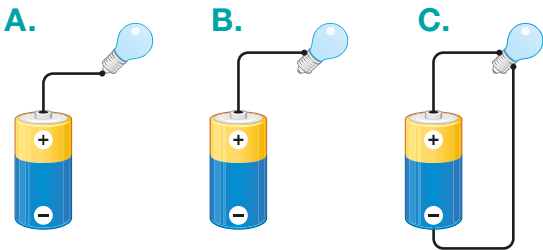
Prąd elektryczny w metalach to przepływ . Elektrony płyną z ujemnego bieguna , przez przewody, do , a stamtąd z powrotem przewodami do bieguna . Mimo to umownie mówimy, że płynie z bieguna dodatniego do ujemnego.

dodatniego • elektronów • odbiornika  
energii elektrycznej • prąd • źródła  
napięcia

- 4. Jak podłączyć przewody do małej żarówki, aby świeciła? Jeśli nie wiesz,

sprawdź to. Wśród odpowiedzi A–F są dwie poprawne – wskaż je.

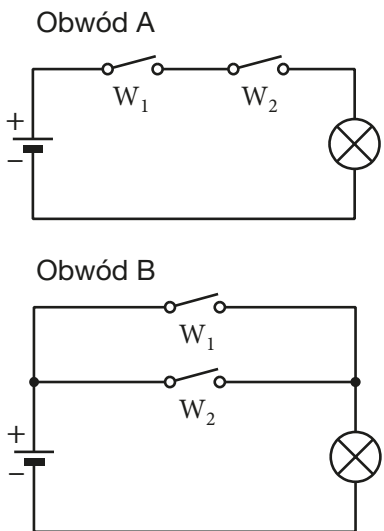
Następnie przerysuj jeden z poprawnych rysunków do zeszytu i dorysuj strzałki przedstawiające, jak prąd płynie przez przewody, przez żarówkę i przez baterię.



Doświadczenie domowe

Kiedy żarówka zaświeci?

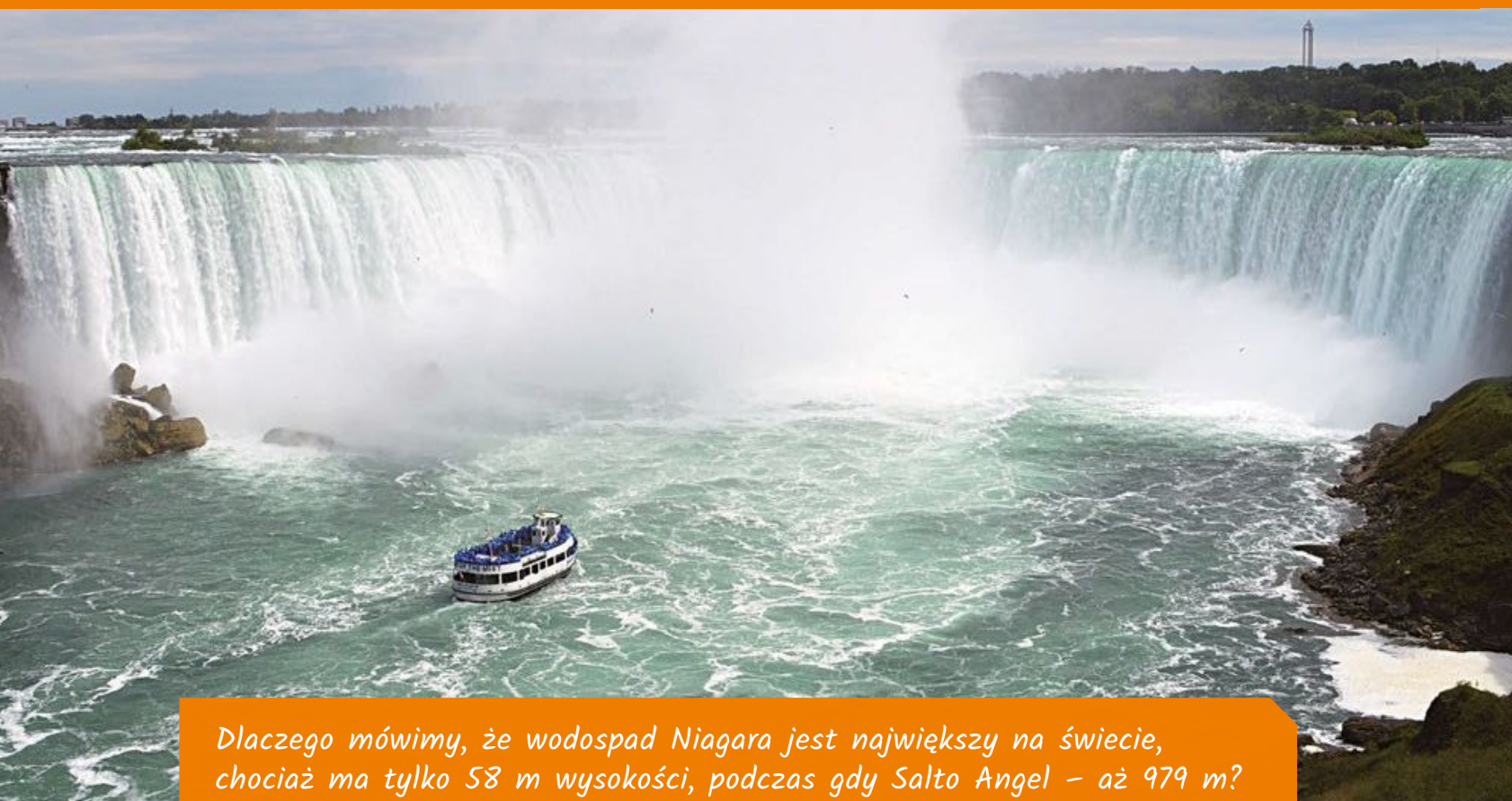
- 1. Przeanalizuj schematy obwodów A i B, zamieszczone obok.
- 2. Przerysuj do zeszytu tabelę według wzoru.
- 3. Spróbuj przewidzieć, przy jakich położeniach wyłączników żarówka będzie świecić. Swoje przypuszczenia zapisz w tabeli.
- 4. Zbuduj obwody. Pamiętaj, aby żarówka była przystosowana do napięcia 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.



| Położenie wyłącznika |                | Obwód A<br>Czy żarówka świeci? |            | Obwód B<br>Czy żarówka świeci? |            |
|----------------------|----------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| W <sub>1</sub>       | W <sub>2</sub> | przypuszczenia                 | obserwacje | przypuszczenia                 | obserwacje |
| otwarty              | otwarty        |                                |            |                                |            |
| otwarty              | zamknięty      |                                |            |                                |            |
| zamknięty            | otwarty        |                                |            |                                |            |
| zamknięty            | zamknięty      |                                |            |                                |            |



## 8 | Napięcie i natężenie prądu



*Dlaczego mówimy, że wodospad Niagara jest największy na świecie, chociaż ma tylko 58 m wysokości, podczas gdy Salto Angel – aż 979 m?*

**Cele lekcji:**

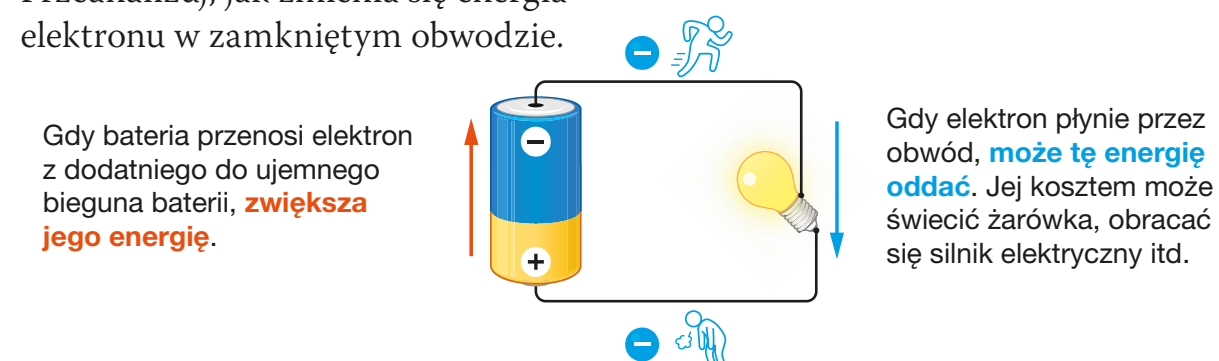
- Przypomnisz sobie pojęcia napięcia i natężenia prądu elektrycznego.
- Zrozumiesz lepiej działanie obwodów elektrycznych dzięki porównaniu prądu elektrycznego do przepływu wody.
- Nauczysz się rozwiązywać proste zadania związane z napięciem elektrycznym i natężeniem prądu.

## ■ Napięcie elektryczne

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.

## Zmiana energii elektronu

Przeanalizuj, jak zmienia się energia elektronu w zamkniętym obwodzie.



Napięcie określa, ile energii oddają elektrony w obwodzie (w przeliczeniu na 1 C ładunku).

Bierzemy pod uwagę energię w przeliczeniu na 1 C, ponieważ dla pojedynczego elektronu ta energia jest bardzo mała i obliczenia byłyby niewygodne.

Napięcie 1,5 V oznacza, że:

- ▶ przepływający przez obwód ładunek 1 C dostarcza 1,5 J energii,
- ▶ ładunek 2 C dostarcza 3 J energii,
- ▶ ładunek 3 C dostarcza 4,5 J itd.

Na podstawie powyższych rozważań zauważamy, że napięcie można obliczyć ze wzoru:

Diagram illustrating the relationship between voltage ( $U$ ), energy ( $E$ ), and charge ( $q$ ):

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

Curved arrows indicate the relationships:

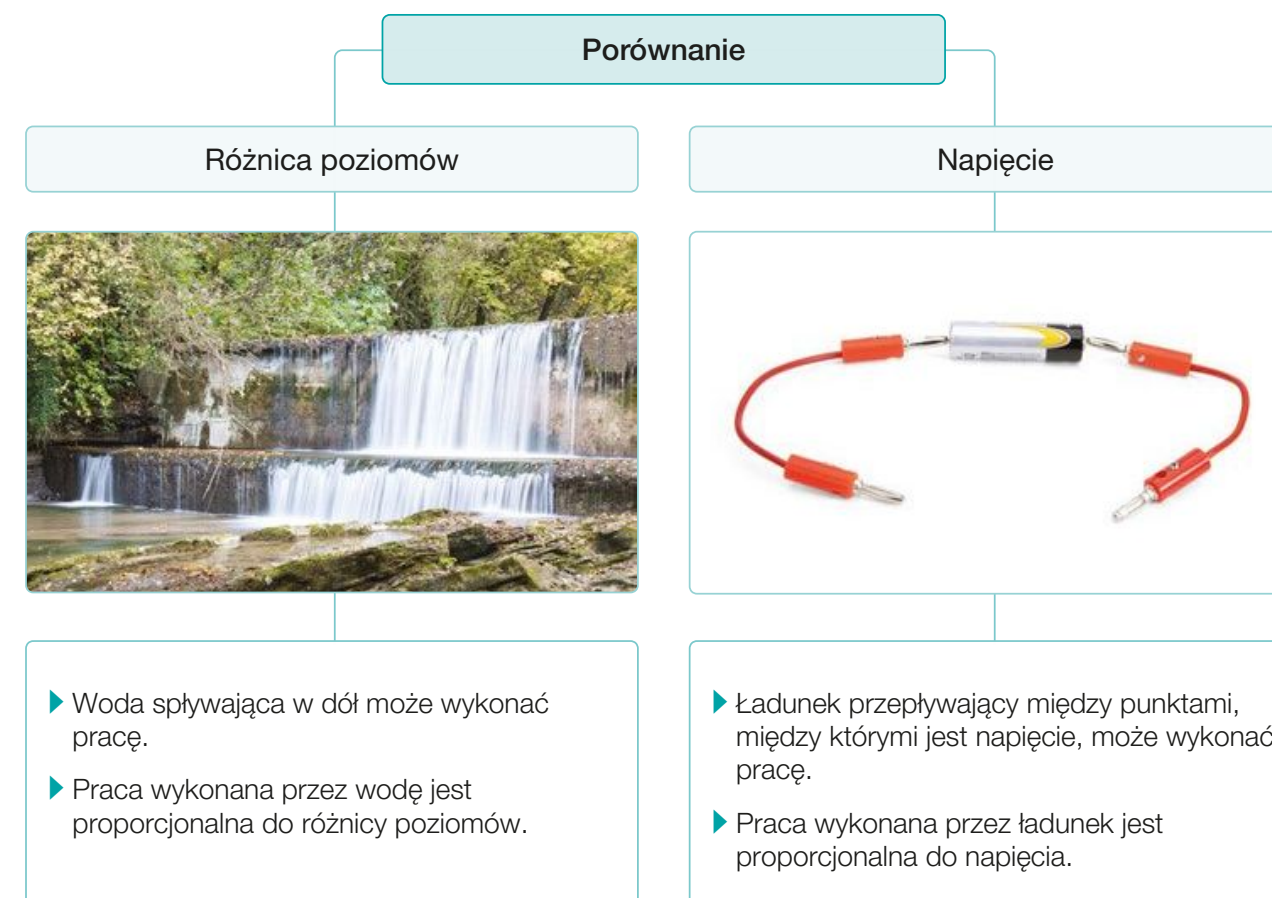
- From  $U$  to  $E$ : napięcie (voltage)
- From  $U$  to  $q$ : ładunek (charge)
- From  $E$  to  $q$ : energia (energy)

**Uwaga.** Jeśli przepływający ładunek zamienimy na 2 razy większy, to przenoszona energia też będzie 2 razy większa, czyli iloraz  $\frac{E}{q}$  pozostanie bez zmian. Dlatego napięcie nie zależy od przepływającego ładunku.

Jednostką napięcia jest **wolt**:

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

W modelu wodnym obwodu elektrycznego (patrz diagram poniżej) napięciu odpowiada różnica poziomów. To porównanie ma fizyczne uzasadnienie. Przyjrzyj się ramkom poniżej.





## Przykład 1

## ■ Obliczanie energii elektrycznej na podstawie napięcia

Przez radio samochodowe zasilane z akumulatora napięciem 12 V przepłynął ładunek 15 C. Jaką energię dostarczył radiu akumulator?

Dane:

$$U = 12 \text{ V}$$

$$q = 15 \text{ C}$$

Szukane:

$$E = ?$$

Rozwiązanie:

Korzystamy ze wzoru na napięcie:

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

Interesuje nas energia, dlatego przekształcamy go do postaci:

$$E = Uq$$

Podstawiamy dane liczbowe i otrzymujemy:

$$E = 12 \text{ V} \cdot 15 \text{ C} = 180 \text{ V} \cdot \text{C} = 180 \frac{\text{J}}{\text{C}} \cdot \text{C} = 180 \text{ J}$$

**Odpowiedź:** Akumulator dostarczył 180 J energii.

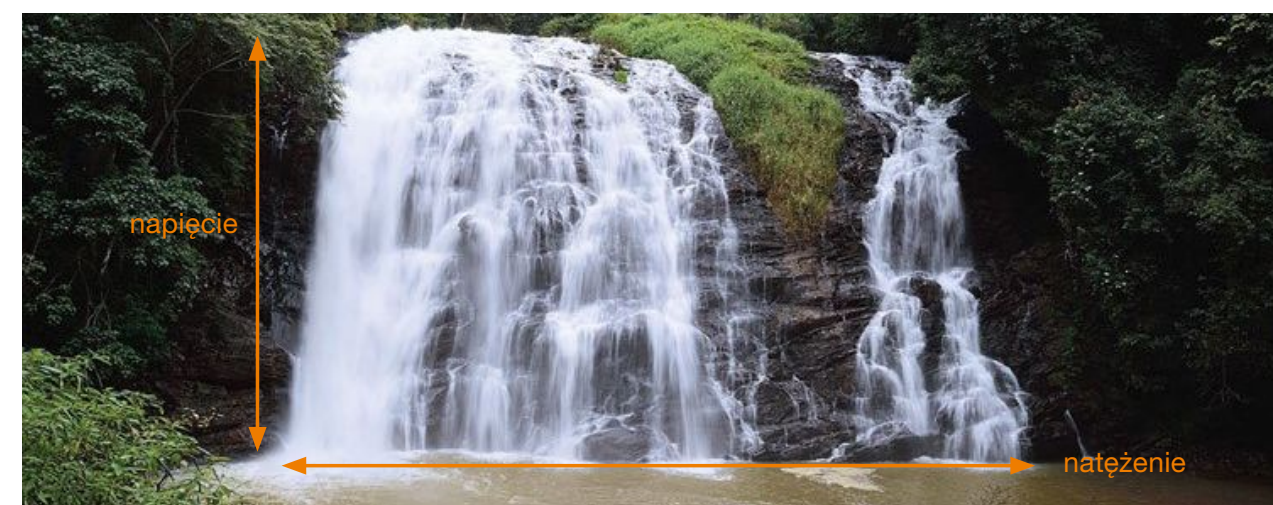
**Uwaga.** Zapis algebraiczny odpowiada następującemu rozumowaniu. Napięcie 12 V oznacza, że na każdy 1 C ładunku przypada energia 12 J. Skoro kulombów jest 15, to energia jest 15 razy większa niż 12 J, a więc wynosi 180 J.



Dodatek mat. 6 → s. 211

## ■ Natężenie prądu elektrycznego

Wiemy już, że wysokość, z jakiej 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.



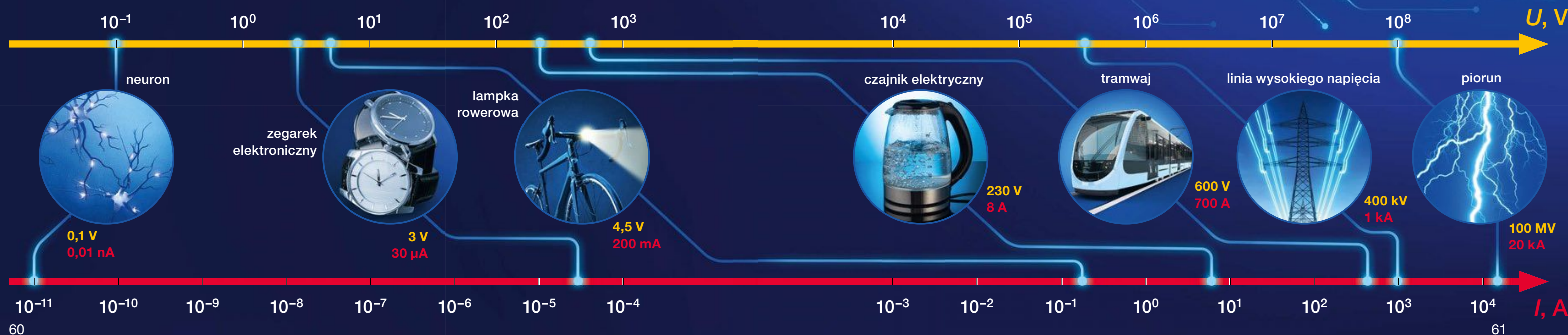
▲ Odpowiedniki napięcia elektrycznego i natężenia w wodnym modelu prądu

Natężenie prądu elektrycznego określa, jaki ładunek przepływa przez określony punkt obwodu w ciągu 1 s.

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  $4 \frac{\text{C}}{\text{s}}$ , czyli 4 A (ampery).

## Napięcie i natężenie

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





Jak wspomnieliśmy na poprzedniej stronie, jednostką natężenia prądu elektrycznego jest **amper**:

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

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

natężenie prądu

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

ładunek

czas przepływu tego ładunku

W naszym przykładzie 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 2

Ładunek, który przepłynął przez obwód

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

**Dane:**  
 $t = 90\text{ min}$   
 $I = 0,3\text{ A}$

**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:

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

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

Uwaga.

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.



Dodatek mat. 6 → s. 211

$A \cdot s = \frac{C}{s} \cdot s = C$

Napięcie i natężenie – porównanie

Przeanalizuj diagram na następnej stronie, aby lepiej zrozumieć różnice między napięciem a natężeniem prądu elektrycznego.

| Napięcie elektryczne                                                              | Natężenie prądu                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Określone między dwoma punktami                                                   | Określone dla wybranego jednego punktu                        |
| Wskazuje, ile energii wydzieli się podczas przepływu ładunku między tymi punktami | Wskazuje, jaki ładunek przepływa przez ten jeden punkt        |
| Sposób obliczania:<br>$U = \frac{E}{q}$                                           | Sposób obliczania:<br>$I = \frac{q}{t}$                       |
| Jednostka: wolt<br>$1\text{ V} = 1\frac{\text{J}}{\text{C}}$                      | Jednostka: amper<br>$1\text{ A} = 1\frac{\text{C}}{\text{s}}$ |



▲ Czasami mówi się skrótowo o „napięciu w jakimś punkcie”, oznacza to jednak napięcie między tym punktem a ziemią



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

Pojemność baterii

Gdy kupujemy akumulator samochodowy, powerbank albo baterię do laptopa, interesuje nas **pojemność** tego źródła napięcia, czyli ładunek, jaki 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:

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



▲ Powerbank to po prostu bateria – jest zbudowana tak jak bateria telefonu, ale ma większą pojemność



## Zmysł elektryczny

Oprócz zmysłów działających podobnie jak u człowieka, czyli wzroku, słuchu, smaku, węchu i dotyku, niektóre ryby dodatkowo posługują się zmysłem elektrycznym.



### Mruk nilowy

inaczej gymnarchus nilowy, to jedna z ryb, które wytwarzają w wodzie słaby prąd elektryczny i odczuwają jego zaburzenia wywołane obecnością innych zwierząt i obiektów. Dzięki temu może sprawnie poruszać się w mętnej wodzie. Zmysł elektryczny zatem służy mu do elektrolokacji i ma dla niego takie znaczenie jak echolokacja dla nietoperzy.



### Nożowiec zielonkawy

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, które wabią się śpiewem.

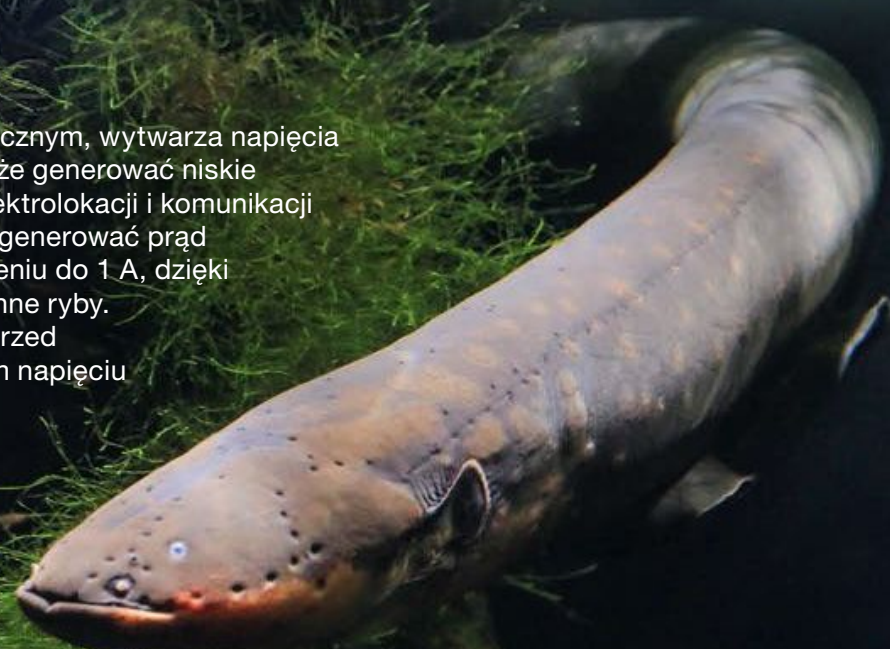


### Rekinek psi

potrafi wykryć prąd wytwarzany przez układ nerwowy innych ryb. To pozwala mu 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.

### Strętwa

zwana potocznie węgorzem elektrycznym, wytwarza napięcia i prądy o różnych parametrach. Może generować niskie napięcia, rzędu 10 V, służące do elektrolokacji i komunikacji z innymi osobnikami. Potrafi też wygenerować prąd o napięciu rzędu 500-600 V i natężeniu do 1 A, dzięki czemu może ogłuszać lub zabijać inne ryby. W ten sposób poluje lub broni się przed drapieżnikami. Prądy o tak wysokim napięciu i dużym natężeniu wytwarza dzięki komórkom działającym jak baterie elektryczne. Strętwa ma ich nawet milion.



### 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 określony punkt obwodu. 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 przepływającej przez określone miejsce w jednostce czasu (mierzona np. w litrach na sekundę).
- ▶ **Amperogodzina** i **miliamperogodzina** to jednostki ładunku używane do określania pojemności baterii:  $1 \text{ Ah} = 1000 \text{ mAh}$ ,  $1 \text{ Ah} = 1 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ C}$ .

### Pytania i zadania

### ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTCIE

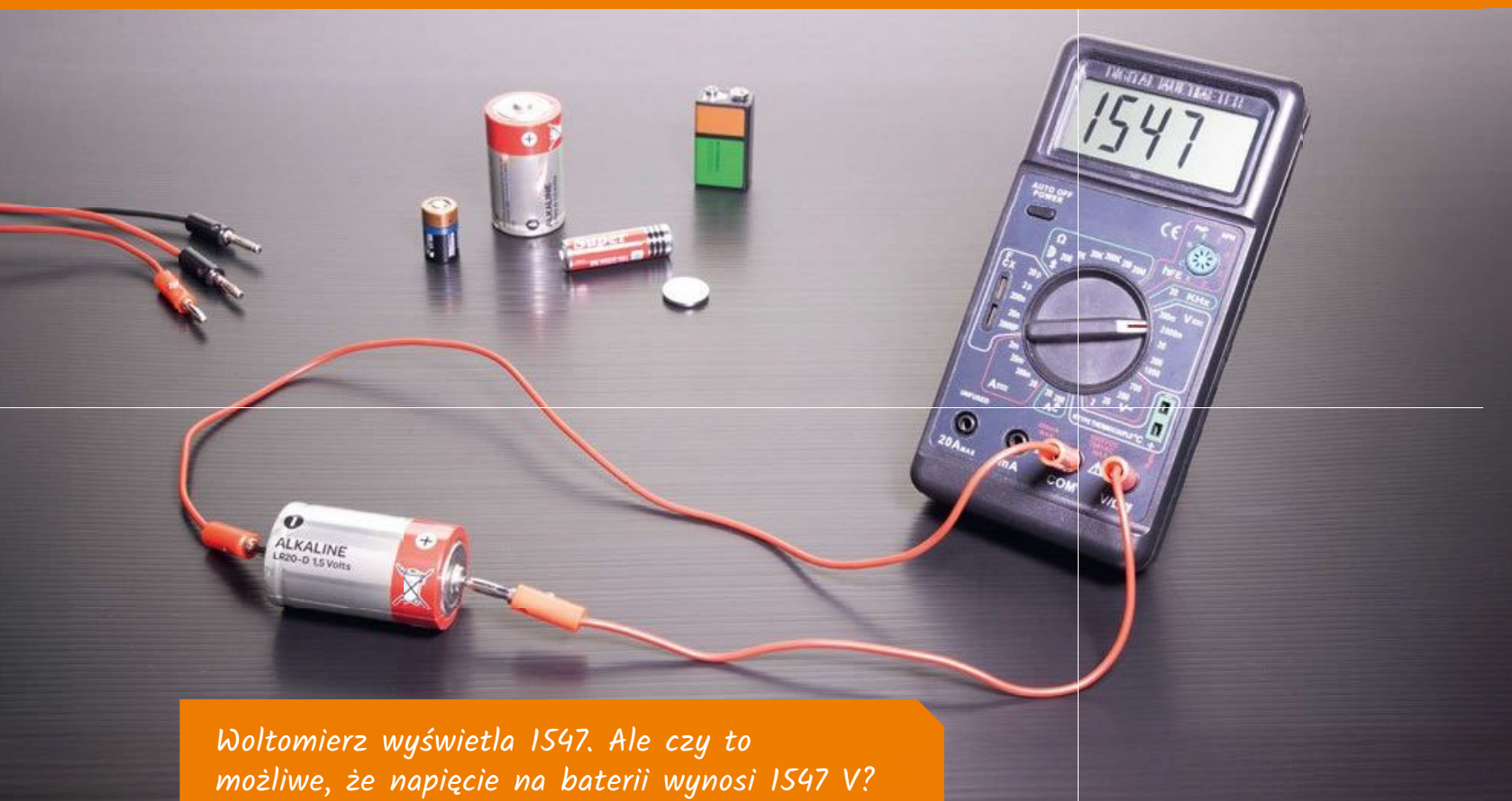


1. Przepisz zdania do zeszytu. Wpisz w puste miejsca wyrażenia *napięcie elektryczne* i *natężenie prądu*.  
 ///// określa, jaką energię możemy uzyskać podczas przepływu 1 kulomba ładunku, a ///// mówi, ile kulombów ładunku przepływa w ciągu sekundy. Gdybyśmy porównali prąd elektryczny z przepływem wody, moglibyśmy stwierdzić, że górski potok ma wysokie /////, ale małe /////, natomiast szeroka, nizinna rzeka – duże /////, ale niskie /////.
2. **P1** Przez żarówkę zasilaną napięciem 3 V przepłynął ładunek 20 C. Jaką energię bateria dostarczyła do żarówki?
3. **P2** Przez żarówkę samochodową płynie prąd o natężeniu 2 A. Jaki ładunek przepłynie przez ten reflektor w ciągu 15 minut?
4. **i** Oblicz na podstawie infografiki:
  - a) Jakim napięciem jest zasilany tramwaj, a jakim – zegarek elektroniczny? Która z tych wielkości jest większa i ile razy?
  - b) Jakie jest natężenie prądu zasilającego tramwaj, a jakie – prądu zasilającego zegarek elektroniczny? Która z tych wielkości jest większa i ile razy?
5. Jak długo można czerpać prąd o natężeniu 200 mA z powerbanku o pojemności 10 000 mAh?





## 9 Pomiar napięcia i natężenia



Woltomierz wyświetla 1547. Ale czy to możliwe, że napięcie na baterii wynosi 1547 V?

### Cele lekcji:

- Dowiesz się, jak mierzyć napięcie i natężenie prądu elektrycznego.
- Nauczysz się posługiwać miernikiem uniwersalnym.
- Dowiesz się, jaki zakres wybrać na mierniku uniwersalnym i jaka jest niepewność pomiaru.

### Przyrządy pomiarowe

Do pomiaru napięcia służy **woltomierz**, a do pomiaru natężenia – **amperomierz**. Symbole tych przyrządów zostały umieszczone na dole strony.

Najczęściej jednak używamy **miernika uniwersalnego**, czyli przyrządu, który może spełniać funkcję zarówno woltomierza, jak i amperomierza, a często też pozwala mierzyć inne wielkości (np. opór elektryczny).

W ramce na następnej stronie pokazujemy, jak ustawić pokrętkę miernika i jak podłączyć do niego przewody, aby móc korzystać z poszczególnych funkcji.

Modele mierników różnią się między sobą w niewielkim stopniu. Najtańsze można kupić w supermarkecie budowlanym.



▲ Symbole: **A** amperomierza, **B** woltomierza. **C** Mierniki uniwersalne

### Miernik uniwersalny

Pokrętkę pozwala przełączać się pomiędzy funkcjami miernika, a także wybierać zakres pomiaru.

#### Woltomierz

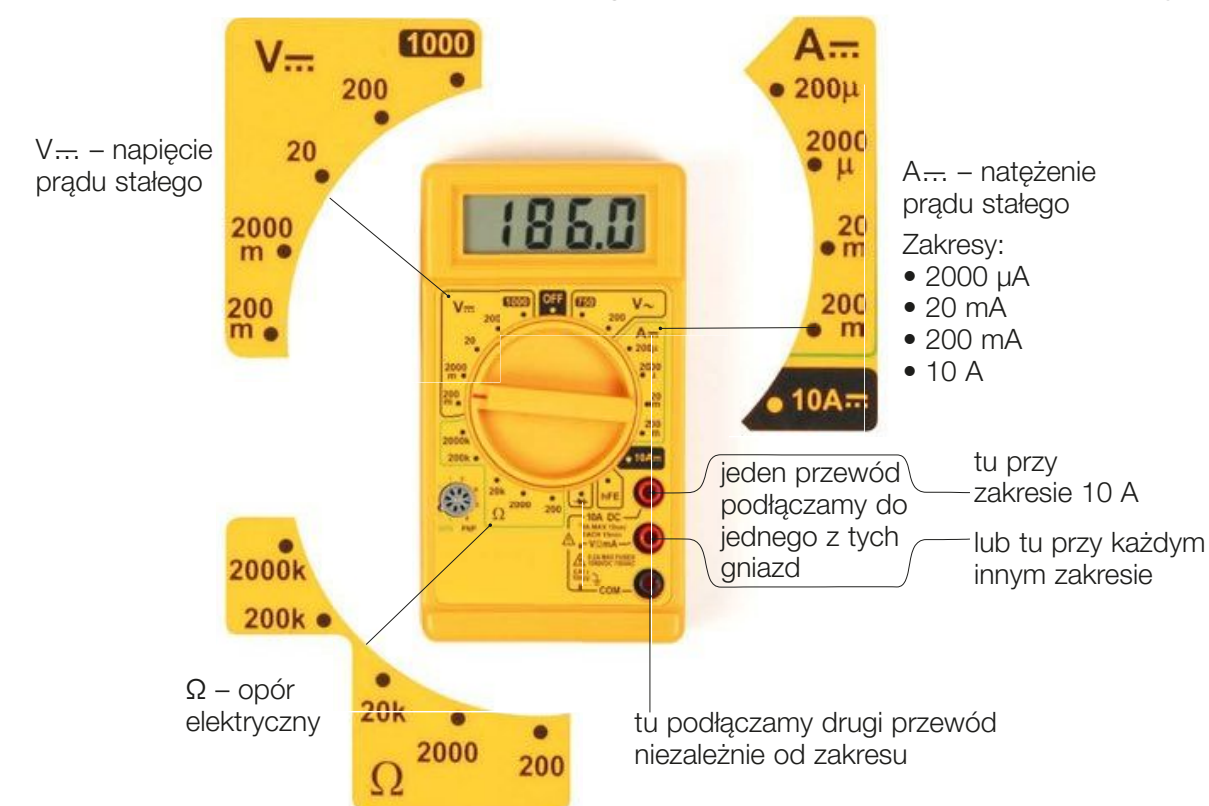
**V $\overline{\text{—}}$**  albo DCV (*direct current voltage*) → napięcie prądu stałego

**V $\sim$**  albo ACV (*alternate current voltage*) → napięcie prądu przemiennego

#### Amperomierz

**A $\overline{\text{—}}$**  albo DCA (*direct current amperage*) → natężenie prądu stałego

**A $\sim$**  albo ACA (*alternate current amperage*) → natężenie prądu przemiennego



**Uwaga.** O pomiarze oporu elektrycznego powiemy później.

### Zakres pomiaru i przedrostki

W opisie zakresu zwykle pomija się jednostkę. Na przykład gdy wybieramy pomiar napięcia: „20” oznacza 20 V, a „200 m” oznacza 200 mV. Przy włączonym zakresie „200 m” napięcie wyświetla się w miliwoltach, a nie w woltach. Miernik na zdjęciu wskazuje napięcie stałe 186 mV (a nie 186 V).

### Jaki zakres wybrać

Jeśli mniej więcej się 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, a nie 200 V czy 2 V. Jeśli nie wiemy, jakiego rzędu napięcia mierzymy, zaczynamy od największego zakresu, a potem w miarę możliwości przełączamy na niższy.



Wybieramy zakres pomiaru

Miernik uniwersalny ma kilka zakresów do pomiaru napięcia i kilka do pomiaru natężenia. Wybieranie zakresu pokażemy na przykładzie pomiaru natężenia prądu. Zauważ, że miernik wygląda nieco inaczej niż na poprzedniej stronie, jednak opisane tutaj zasady są jednakowe dla wszystkich podobnych przyrządów.



Krok 1.

Kiedy mierzymy natężenie, ale nie wiemy, ile wynosi, ustawiamy pokrętkę największy zakres (20 A).

Wyświetlone na wyświetlaczu zero nie oznacza, że prąd wcale nie płynie, ale że natężenie jest za małe na wybrany zakres.



Krok 2.

Przełączamy pokrętkę 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.



Krok 3.

Przy zakresie 20 mA otrzymujemy wynik 7,63 mA.

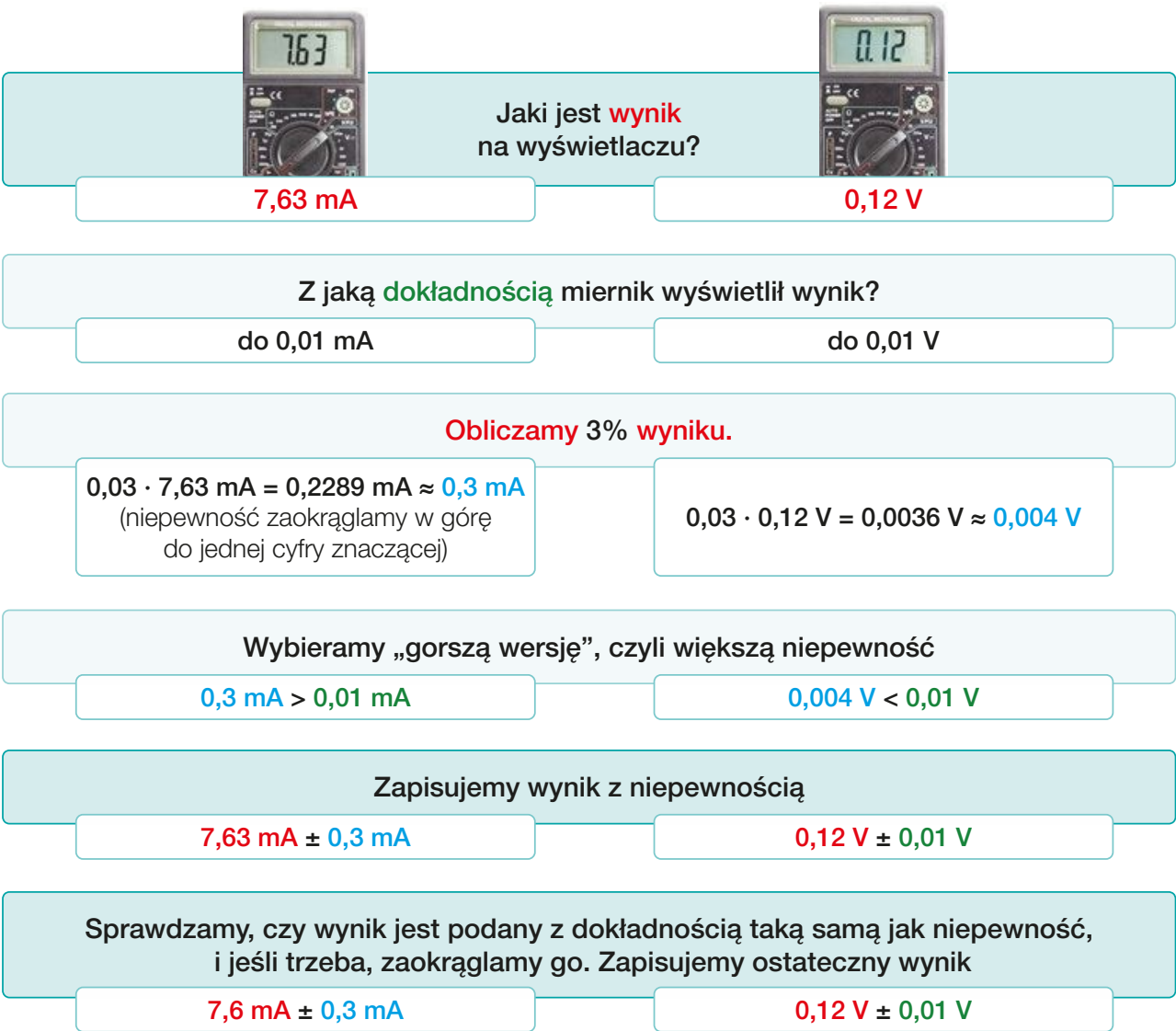
Nie przełączamy już na dokładniejszy zakres (2 mA), bo mierzone natężenie jest od niego większe i moglibyśmy uszkodzić przyrząd.

Miernik uniwersalny – niepewność pomiaru

Wiesz już z pierwszej klasy, że wyniku pomiaru nie należy podawać z dokładnością większą, niż pozwala na to jego niepewność. Niestety, mierniki tego na ogół nie uwzględniają (mówimy o prostych, tanich miernikach).

Na przykład wynik 7,63 mA na poniższym zdjęciu nie oznacza, że pomiar został wykonany z dokładnością do 0,01 mA (czyli do ok. 0,1%). W rzeczywistości niepewność jest znacznie większa – na ogół wynosi 3% wyniku pomiaru, a może być jeszcze większa, jeśli przyrząd wyświetla niewiele cyfr.

Prześledźmy na dwóch przykładach, jak ją wyznaczyć. Pamiętaj, że niepewność pomiaru zaokrąglamy zawsze w górę.



Podsumujmy sposób opisany na diagramie.

Aby określić niepewność pomiaru, przyjmujemy następujące **uproszczone reguły**:

- wybieramy taki zakres pomiarowy, aby wynik został wyświetlony z jak największą dokładnością,
- przyjmujemy, że **niepewność pomiaru wynosi 3%** zmierzonej wielkości,
- jeśli jednak **wynik został wyświetlony z mniejszą dokładnością niż 3%**, przyjmujemy tę mniejszą dokładność.



## Pomiar napięcia baterii

Wykorzystamy teraz poznane wiadomości w praktyce.

### Doświadczenie 5.

#### 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 ani omomierza, gdy chcemy zmierzyć napięcie – może to spowodować przepływ bardzo dużego prądu i uszkodzenie miernika.

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

$$0,03 \cdot 1,437 \text{ V} = 0,04311 \text{ V} \approx 0,05 \text{ V}$$

Wynik pomiaru po zaokrągleniu można więc zapisać w postaci:

$$U = 1,44 \text{ V} \pm 0,05 \text{ V}$$

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

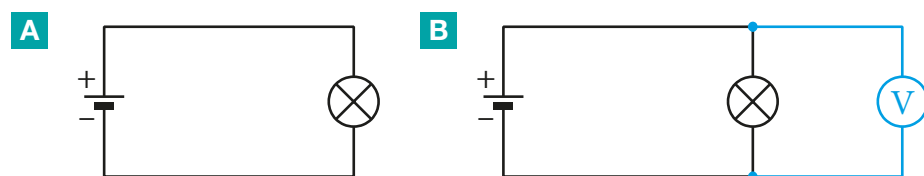
## Pomiar napięcia między punktami w obwodzie

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.

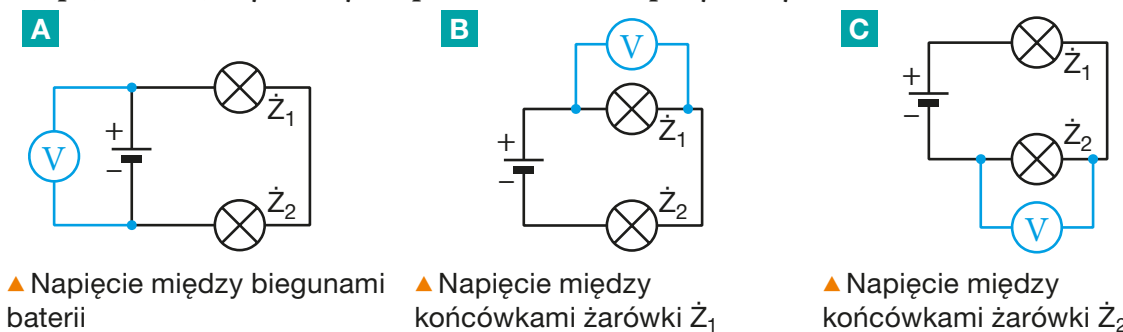
Na schemacie poniżej przewody prowadzące do woltomierza narysowaliśmy innym kolorem, aby pokazać, że po ich usunięciu pozostaje cały, działający obwód.



▲ Podłączanie woltomierza do obwodu

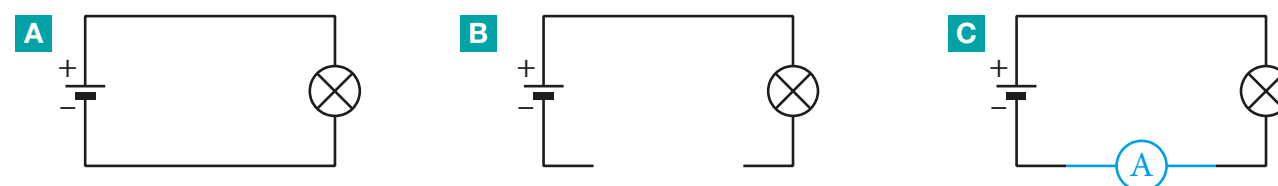
## Pomiar napięcia w bardziej skomplikowanym obwodzie

W bardziej skomplikowanym obwodzie można zmierzyć różne napięcia, czyli napięcia między różnymi punktami. Oto przykłady.



## Pomiar natężenia prądu

Natężenie prądu powinniśmy mierzyć 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 zanim podłączysz amperomierz, obwód nie jest zamknięty, więc prąd nie płynie (rys. B).

Gdy jednak do wolnych końców przewodu podłączymy amperomierz, prąd popłynie zarówno przez żarówkę, jak i przez miernik (rys. C).

Aby żarówka znowu świeciła po zakończeniu pomiaru, musimy ponownie złączyć rozłączone przewody.



▲ Pomiar natężenia prądu

## Podłączenie krokodyłków do przewodów

Dobrze ✓



Źle ✗



Pamiętaj, aby krokodyłki podłączać do przewodników pozbawionych izolacji, np. do biegunów baterii lub nieizolowanych końcówek przewodów.



## To najważniejsze

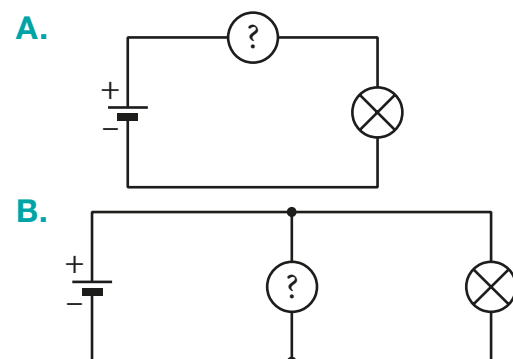
- ▶ Aby zmierzyć **napięcie między dwoma punktami** obwodu, podłączamy końcówki przewodów woltomierza do interesujących nas punktów.
- ▶ Abyśmy mogli wykonać pomiar natężenia, musimy rozłączyć obwód i w tym miejscu wpiąć amperomierz.
- ▶ **Miernik uniwersalny** to przyrząd, który może być używany zarówno jako woltomierz, jak i amperomierz, a także mierzyć opór elektryczny i spełniać inne funkcje.
- ▶ Gdy nie wiemy, jakiego wyniku pomiaru się spodziewać, najpierw ustawiamy największy zakres pomiaru, a potem ewentualnie go zmniejszamy.
- ▶ Przyjmujemy szacunkowo, że niepewność pomiaru prostym miernikiem cyfrowym wynosi 3% wyniku pomiaru, chyba że z liczby wyświetlanych cyfr wynika większa niepewność.

## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE

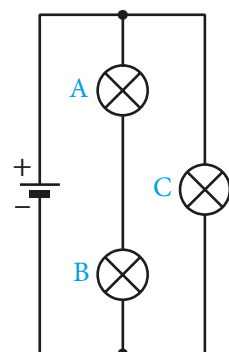


1. Na schemacie oznaczenia mierników zastąpiono znakami zapytania. Na którym ze schematów powinien znaleźć się woltomierz, a na którym amperomierz? Uzasadnij odpowiedź.



2. Przerysuj ołówkiem do zeszytu schemat zamieszczony w kolumnie obok. 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. Odczytaj wskazania miernika.



## Doświadczenie domowe

## 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?
4. Wyjaśnij, dlaczego gdy przekręcamy kluczyk i włączamy rozrusznik samochodu, światła pojazdu przygasają.



## 10 Energia elektryczna i moc prądu



Dwie żarówki mają tę samą moc, ale jedna jest zasilana napięciem 12 V, a druga 230 V. Którą z nich trzeba podłączyć do zasilania grubszym przewodem?

## Cele lekcji:

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

## Zastosowania energii elektrycznej

Większość używanych przez nas urządzeń jest zasilana energią elektryczną. Nic dziwnego: jest to forma najłatwiejsza do przesyłania i do zamiany w inne formy energii. Dlatego umiejętność wykonywania obliczeń związanych z energią elektryczną przyda ci się nie tylko na lekcjach fizyki, lecz także w życiu codziennym.

## Przypomnij sobie...

MOC

**Moc** to wielkość opisująca, jak szybko jest wykonywana praca w czasie albo ogólnie – **jak szybko jest przetwarzana energia**.

Na przykład, jeśli silnik elektryczny w czasie 1 s przetwarza 100 J energii elektrycznej na energię mechaniczną, to mówimy, że jego moc wynosi  $100 \frac{\text{J}}{\text{s}}$  (dżuli na sekundę), czyli 100 W (watów), ponieważ dżul na sekundę to wat. Jak obliczać moc? Jeśli w czasie 5 s lampa pobrała energię 30 J, to na 1 s przypada 6 J, a więc moc wynosi 6 W.

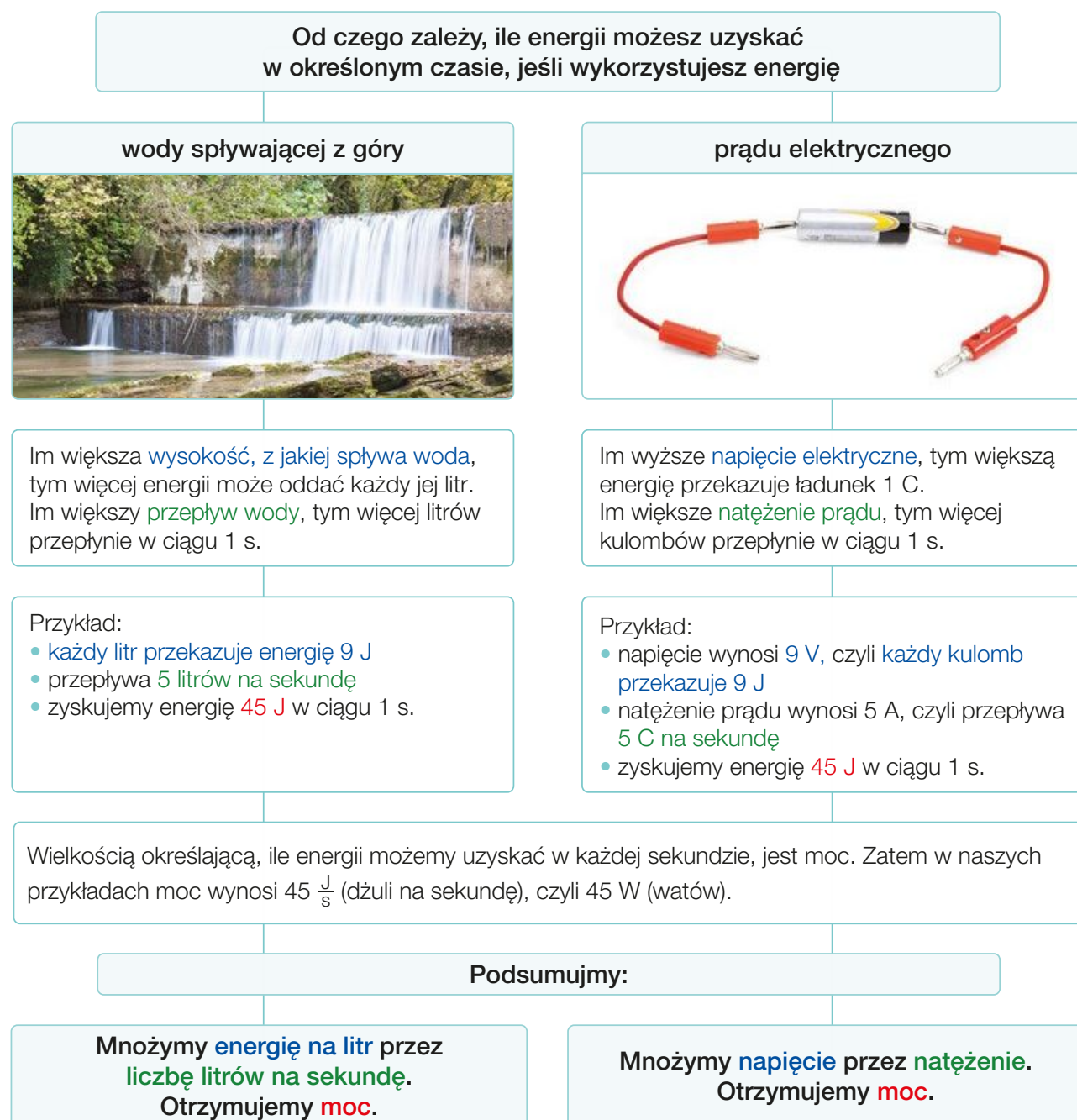
Widzimy stąd, że **moc** możemy obliczyć, dzieląc **energię** przez **czas**:

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



## ■ Od czego zależy moc prądu elektrycznego

Aby to stwierdzić, wróćmy najpierw do porównania prądu elektrycznego z przepływem wody (patrz s. 61).



## ■ Wzór na moc prądu

Sposób obliczania mocy opisany w powyższym diagramie pozwala wyznaczyć wzór na moc prądu. Podsumujmy wszystko, co już wiemy:

- ▶ Napięcie to energia przypadająca na jednostkę ładunku:  $U = \frac{E}{q}$ .
- ▶ Natężenie prądu to ładunek przypadający na jednostkę czasu:  $I = \frac{q}{t}$ .
- ▶ Moc to energia przypadająca na jednostkę czasu:  $P = \frac{E}{t}$ .

Wobec tego:

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

Otrzymaliśmy ważny i jednocześnie prosty wzór na moc prądu elektrycznego:

$$\text{moc} \rightarrow P = UI \left( \begin{array}{l} \text{napięcie} \\ \text{natężenie} \end{array} \right)$$

Jak wiesz z klasy pierwszej, jednostką mocy jest **wat** (W).

Wykażmy, że z naszego wzoru rzeczywiście otrzymujemy tę jednostkę:

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

### Przykład 1

#### ■ 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 (a więc i moc) odpowiada zaleceniom producenta?

**Dane:**

$$U = 9 \text{ V}$$

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

**Szukane:**

$$I = ?$$

#### Rozwiązanie:

Ze wzoru  $P = UI$  wyznaczamy natężenie – po przekształceniu wzoru mamy:

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

Po podstawieniu wartości liczbowych otrzymujemy:

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

**Dodatek mat. 6** → s. 211

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

## ■ Jak obliczyć energię elektryczną

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**:

$$\text{energia} \rightarrow E = UI t \left( \begin{array}{l} \text{napięcie} \\ \text{natężenie} \\ \text{czas} \end{array} \right)$$

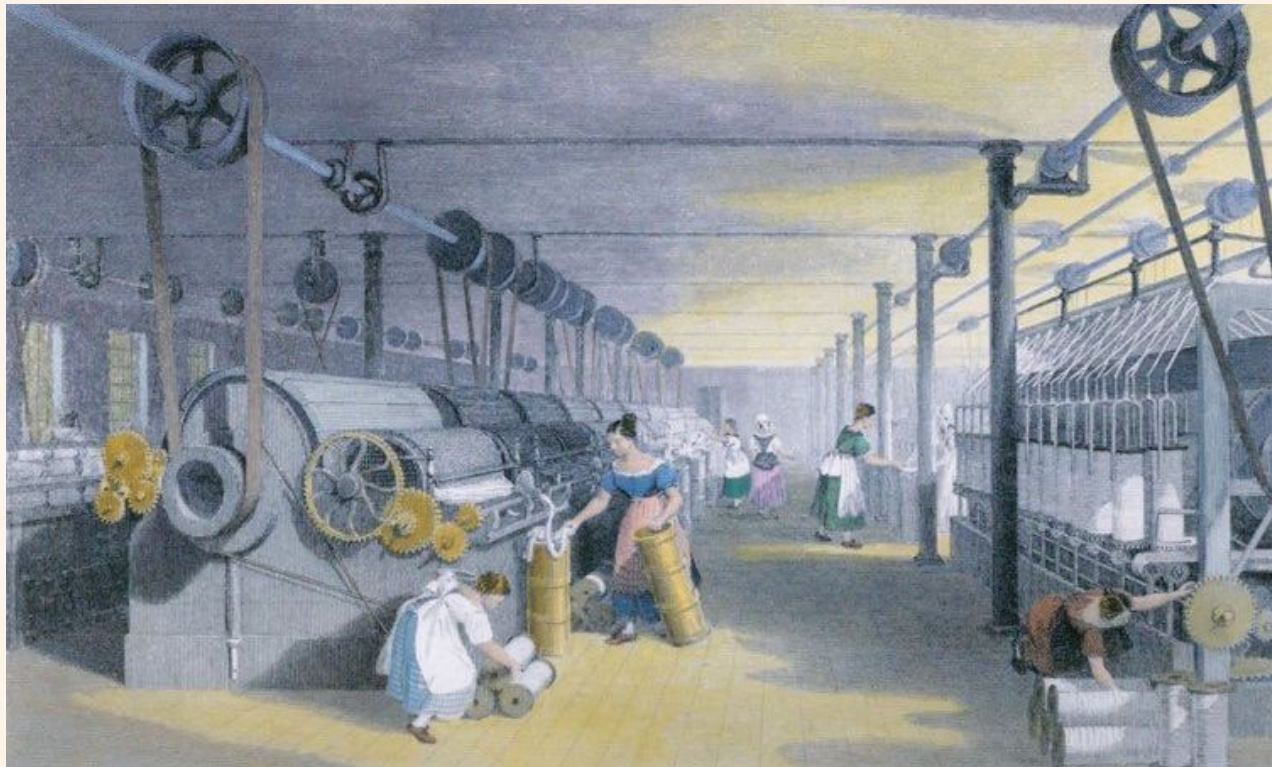
Sprawdźmy jednostki:

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



## F 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 zasilala 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

### Przykład 2

#### ■ Obliczanie energii elektrycznej

Laptop jest zasilany prądem o natężeniu 1,75 A pod napięciem 20 V. Jaką energię zużyje w czasie 15 minut pracy?

**Dane:**

$$I = 1,75 \text{ A}$$

$$U = 20 \text{ V}$$

$$t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$$

**Szukane:**

$$E = ?$$

**Rozwiązanie:**

Energię zużytą przez laptop możemy obliczyć ze wzoru:

$$E = UIt$$

Wystarczy podstawić do niego dane:

$$E = 20 \text{ V} \cdot 1,75 \text{ A} \cdot 900 \text{ s} = 31\,500 \text{ J}$$

**Odpowiedź:** Laptop zużyje energię 31 500 J.



Czas wyrażamy w sekundach.

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

### To najważniejsze

- ▶ **Moc** pobieraną przez urządzenie elektryczne obliczamy, mnożąc napięcie  $U$  przez natężenie prądu  $I$ , co zapisujemy  $P = UI$ . 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. **P1** Jakie jest natężenie prądu zasilającego czajnik elektryczny o mocy 1800 W podłączony do sieci domowej o napięciu 230 V?
2. **P2** Dioda świecąca w latarce jest zasilana napięciem 1,5 V. Po jej podłączeniu do baterii płynie przez nią prąd o natężeniu 300 mA. Oblicz, jaką energię pobiera ta dioda z baterii w czasie 10 minut.
3. Silnik wózka elektrycznego pracuje pod napięciem 48 V. W czasie 10 minut wykonał pracę 864 000 J. Oblicz natężenie prądu płynącego przez silnik.

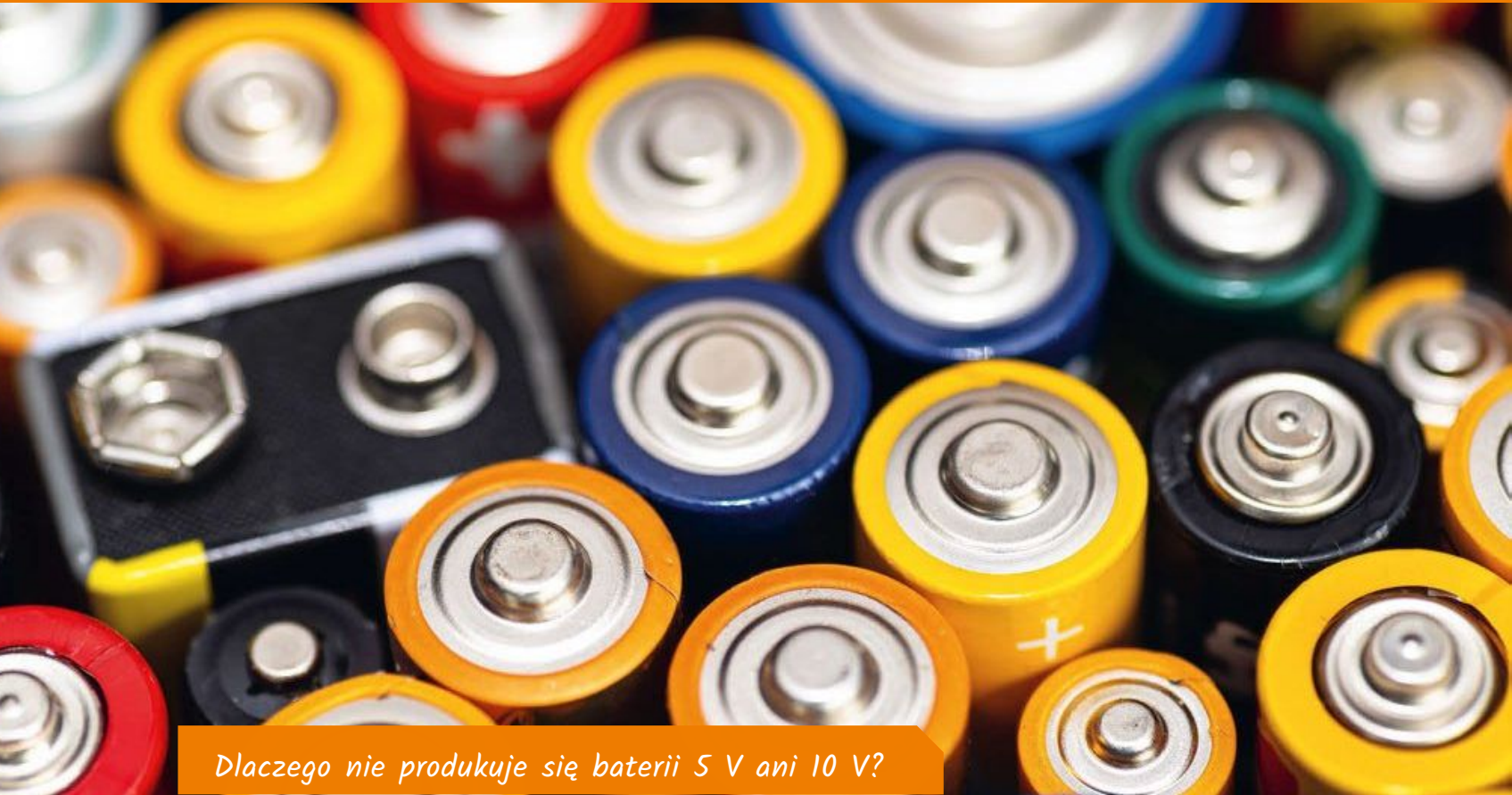
4. Wybierz poprawne uzupełnienia tekstu i zapisz go w zeszycie.

Grubszy przewód pozwala na przepływ prądu o większym natężeniu. Rozważmy dwie żarówki o jednakowej mocy 10 W:

- żarówka A jest zasilana napięciem 230 V z sieci domowej,
  - żarówka B – napięciem 12 V z instalacji oświetlenia sufitowego.
- Wtedy przez żarówkę A płynie prąd o *większym/ mniejszym* natężeniu. Dlatego żarówkę A należy podłączyć za pomocą *grubszego/ cieńszego* przewodu.



# 11 Połączenia szeregowe i równoległe



Dlaczego nie produkuje się baterii 5 V ani 10 V?

**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.

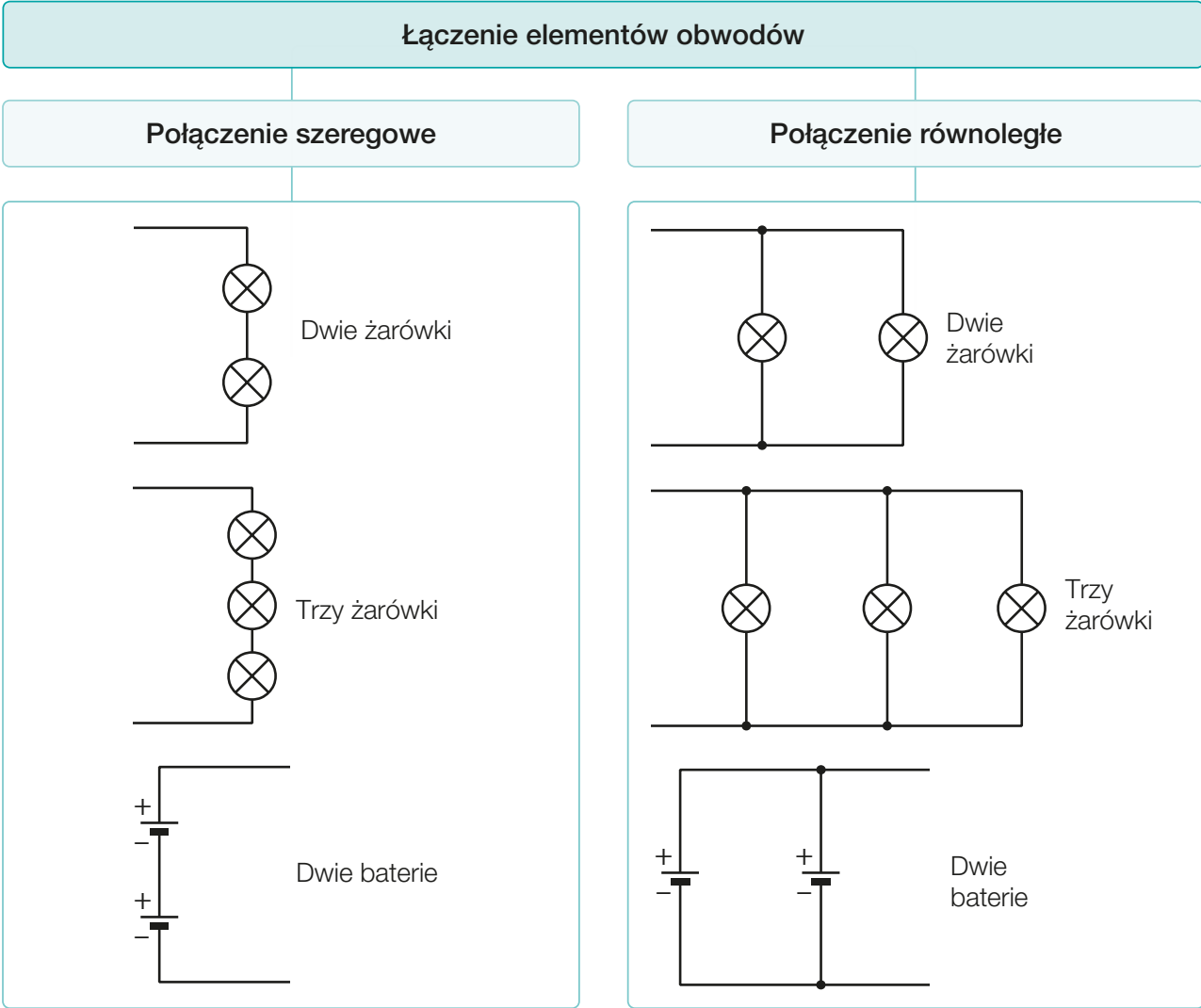
**Jak połączyć żarówki**

Jeśli dwie żarówki mamy podłączyć do jednej baterii, to możemy je ze sobą połączyć na dwa sposoby: szeregowo lub równoległe (patrz diagram na następnej stronie). Zwróć uwagę na to, jaka jest podstawowa różnica między tymi sposobami łączenia.

| Połączenie                                            |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| szeregowe                                             | równoległe                                                                           |
| Każdy elektron płynie przez każdą z żarówek po kolei. | Część elektronów płynie <b>przez jedną żarówkę</b> , a reszta – <b>przez drugą</b> . |
| Odpowiednikiem jest wodospad złożony z kilku progów.  | Odpowiednikiem jest rzeka rozdzielająca się na kilka odnóg.                          |

Również większą liczbę żarówek, baterii albo innych elementów możemy łączyć szeregowo lub równoległe. Przy dużej liczbie elementów możliwe są bardziej skomplikowane

połączenia, jednak te dwa podstawowe rodzaje wystarczą, abyśmy mogli zbadać najważniejsze prawa rządzące przepływem prądu.

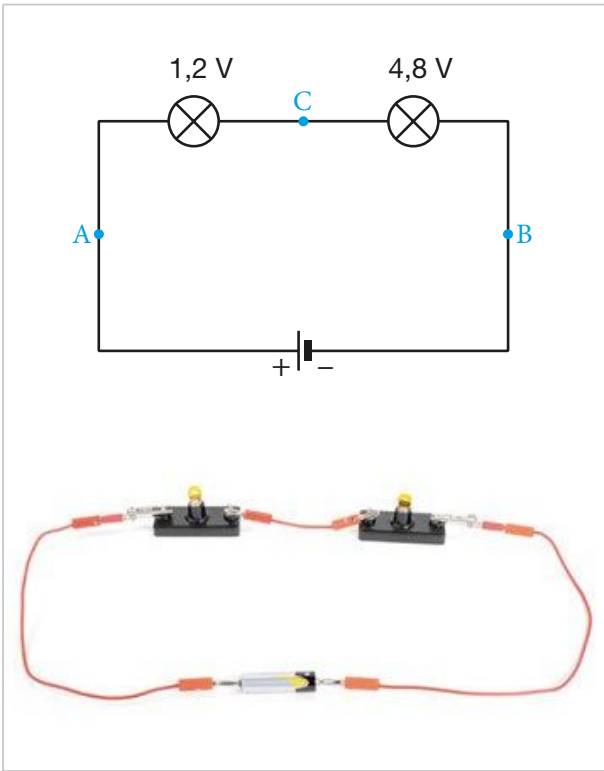


**Doświadczenie 6.**

**Pomiar natężenia przy połączeniu szeregowym**

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. 71). Zapisz wyniki wraz z niepewnością pomiaru.
4. Porównaj wyniki. Co zauważasz?

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





## Wnioski z doświadczenia

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy następujące wyniki ( $I_A$  to 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.

Tak więc wyniki powinniśmy zapisać w postaci:

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

Teraz widzimy, że z dokładnością do niepewności pomiarowych są one sobie równe.

Z analizy doświadczenia możemy wyciągnąć wniosek:

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

Ten fakt wynika z zasady zachowania ładunku. Elektrony nie mają dokąd odpłynąć ani skąd dopłynąć. Łatwo też zrozumiemy nasz wynik, gdy przypomnimy sobie o porównaniu prądu z przepływem wody (s. 52) i z łańcuchem rowerowym (s. 54).

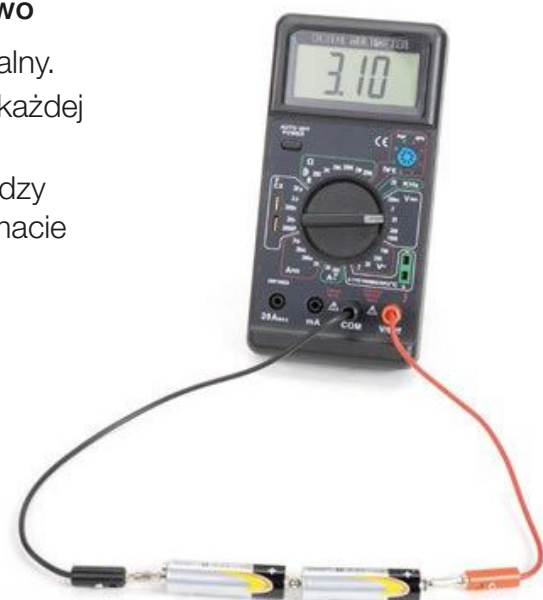
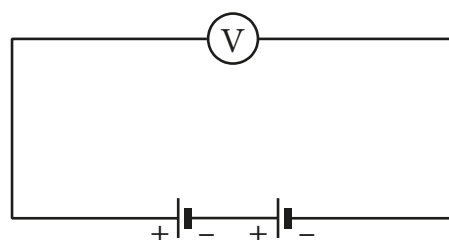
## Napięcie baterii połączonych szeregowo

Zbadamy teraz, jakie napięcie ma układ baterii połączonych szeregowo.

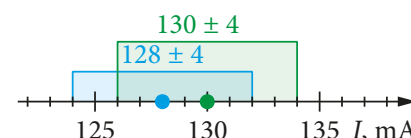
### Doświadczenie obowiązkowe

#### 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 poniżej).
4. Porównaj wyniki pomiarów. Weź pod uwagę niepewności pomiarów. Co zauważasz?



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



▲ Wyniki z dokładnością do 4 mA są sobie równe

Zasada zachowania ładunku → s. 13

## Wnioski z doświadczenia obowiązkowego

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy następujące wyniki:

- ▶ dla pierwszej baterii 1550 mV,
- ▶ dla drugiej baterii 1394 mV,
- ▶ dla połączonych baterii 2950 mV.

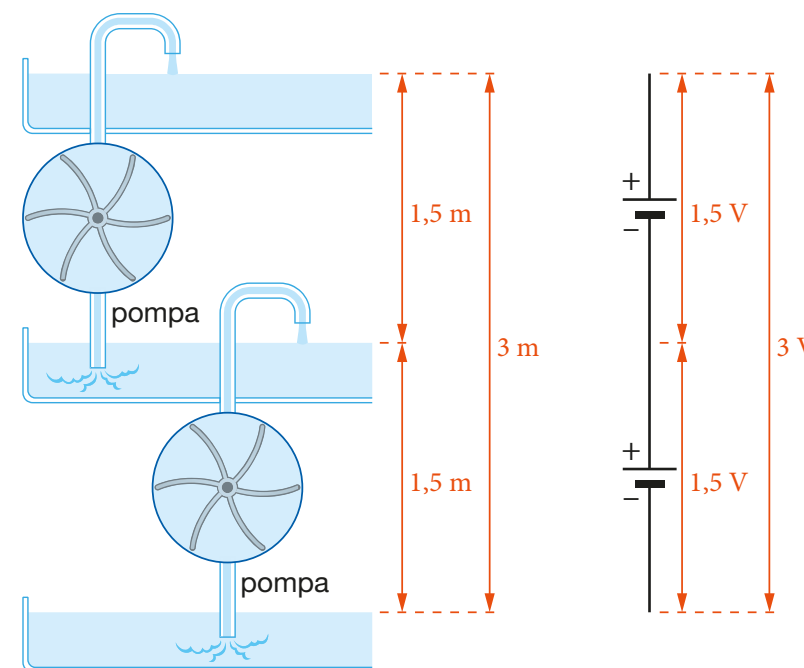
Suma napięć na bateriach różni się od napięcia połączonych baterii o mniej więcej 0,2%, a więc możemy powiedzieć, że w granicach niepewności pomiarowej są one sobie równe.

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

Jeśli 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, wtedy ostatecznie uzyska on energię 3 J. Wynika to z zasady zachowania energii.

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

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



## Połączenia szeregowe a budowa baterii

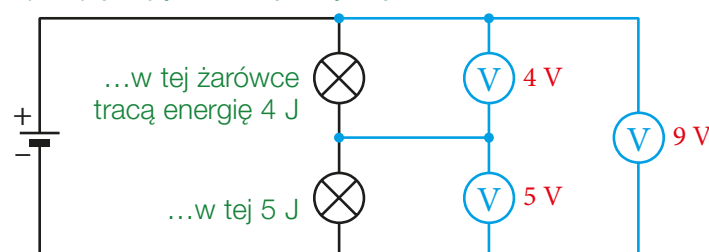
Pojedyncze źródło napięcia działające kosztem energii chemicznej nazywamy ogniwo. Ogniwo jest na przykład każda bateria 1,5 V. Natomiast baterie o wyższym napięciu budujemy z ogniw połączonych szeregowo (patrz rys.). Właśnie dlatego napięcie baterii alkalicznej (jednorazowej) jest zawsze wielokrotnością 1,5 V.



## Szeregowe łączenie odbiorników

Również w przypadku szeregowego łączenia odbiorników energii elektrycznej możemy sumować ich napięcia. Przykładowo na poniższym schemacie żarówki są połączone szeregowo. Obok symboli woltomierzy znajdują się ich wskazania.

Gdy przez obwód przepływają elektrony o łącznym ładunku 1 C, to...

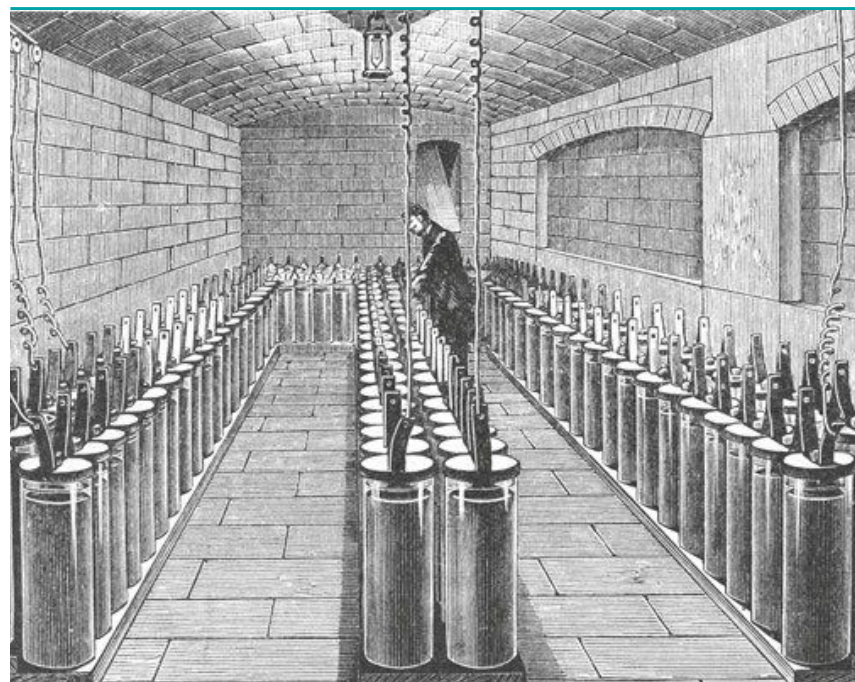


...więc w sumie traci energię 9 J.

▲ Przykład pokazujący, dlaczego sumujemy napięcia na odbiornikach połączonych szeregowo

## 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 szeregowo źródeł napięcia lub odbiorników energii elektrycznej, a także zjawiska cieplne i przemiany jądrowe. Znajdowanie ogólnych zasad, czyli praw podstawowych, to jedno z najważniejszych zadań fizyki.



### 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 po kilkanaście.

### 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.
- ▶ Przy połączeniu **równoległym** dwóch elementów część elektronów płynie przez jeden z nich, a część – przez drugi.

### Pytania i zadania

ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE

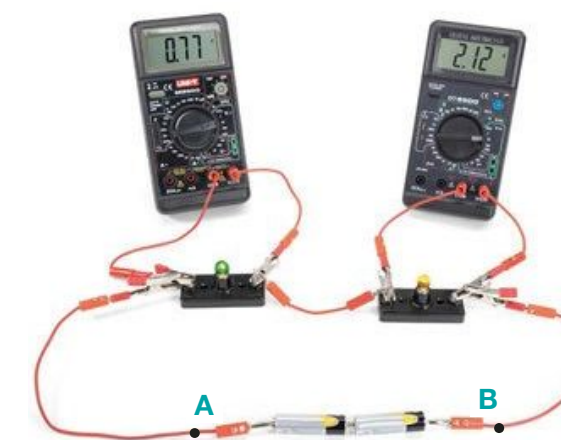


1. W motocyklu akumulator wytwarza napięcie 6 V. Składa się on z połączonych szeregowo ogniw o napięciu 2 V. Ile takich ogniw zawiera akumulator?



2. Wszystkie urządzenia w domowej sieci elektrycznej są dostosowane do napięcia 230 V. Takie jest też napięcie między przewodami w sieci domowej. W jaki sposób domowe urządzenia są ze sobą połączone: szeregowo czy równoległe? Jakie ma to znaczenie?

3. Jakie jest napięcie pomiędzy punktami A i B?

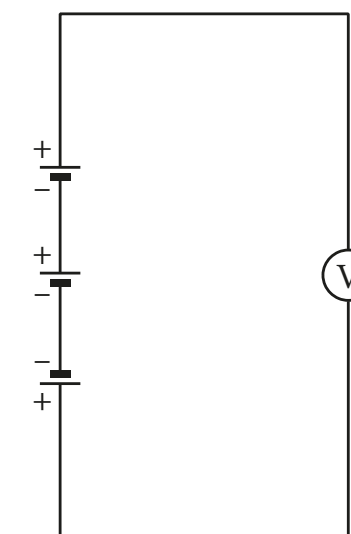


4. Spójrz jeszcze raz na rysunki do doświadczenia domowego w lekcji 7. (s. 57). Na którym z nich wyłączniki są połączone równoległe, a na którym szeregowo?

### 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.





# 12 Pierwsze prawo Kirchhoffa



*Dlaczego w Toruniu Wisła jest znacznie szersza niż w Krakowie? I co to ma wspólnego z prądem elektrycznym?*

## 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 podłączamy do baterii, między końcówkami każdej z nich jest takie samo napięcie. A co można powiedzieć o natężeniach prądu?

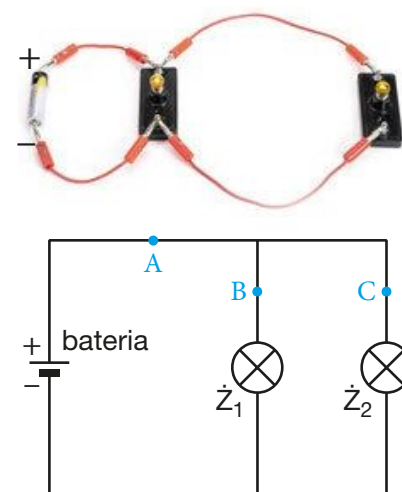
### Doświadczenie obowiązkowe

#### 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  $\text{Ż}_1$  oznaczono żarówkę dostosowaną do napięcia 1,2 V). Zmierz natężenie prądu w punktach obwodu oznaczonych na schemacie literami A–C (patrz „Uwagi do doświadczenia”). Zapisz wyniki wraz z niepewnością pomiaru.
3. Porównaj wyniki pomiarów. Co zauważasz?

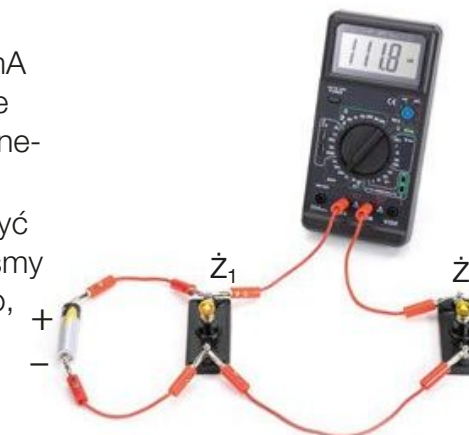
#### Uwagi do doświadczenia:

1. Nie szkodzi, że żarówki są podłączone do napięcia innego 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. 68).

3. Aby wykonać pomiary, obwód musi dać się rozłączyć w punktach A–C. O podłączaniu amperomierza pisaliśmy na s. 71. Na zdjęciu obok przedstawiono przykładowo, jak włączyć amperomierz i zmierzyć natężenie prądu w punkcie C.



## Wnioski z doświadczenia

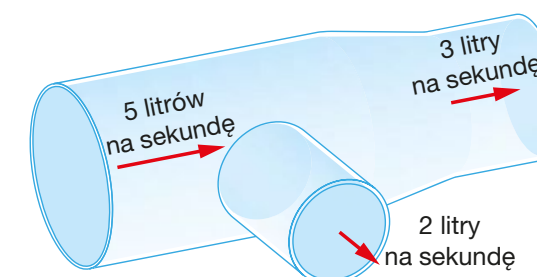
W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy wyniki, które zapisaliśmy w tabeli:

| Pomiar w punkcie | A                                         | B                                         | C                                         |
|------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Wynik pomiaru    | $I_A = 0,35 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$ | $I_B = 0,21 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$ | $I_C = 0,15 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$ |

Jak widzisz, w granicach niepewności pomiarowej  $I_A = I_B + I_C$ .

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

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

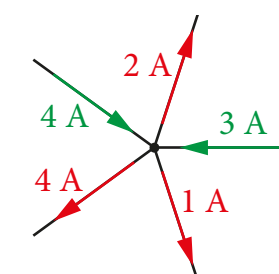


◀ Rozgałęzienie rury – wodny odpowiednik rozgałęzienia przewodów elektrycznych

## Pierwsze prawo Kirchhoffa

Wynik naszego doświadczenia 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:  
 $4 \text{ A} + 3 \text{ A} = 2 \text{ A} + 1 \text{ A} + 4 \text{ A}$



W doświadczeniu badaliśmy tylko rozgałęzienie jednego przewodu na dwa. Pierwsze prawo Kirchhoffa obowiązuje jednak także w bardziej skomplikowanych sytuacjach (np. takich jak na rysunku na dole s. 85). Dzieje się tak, ponieważ 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 także baterie możemy łączyć równolegle (patrz doświadczenie domowe s. 88).

### Przykład

#### Zastosowanie pierwszego prawa Kirchhoffa

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

**Dane:**

$$I = 2,5 \text{ A}$$

$$I_A = 1,2 \text{ A}$$

**Szukane:**

$$I_1 = ? \quad I_2 = ? \quad I_3 = ? \quad I_4 = ?$$

#### Rozwiązanie:

##### Prąd płynący przez lewą żarówkę

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

##### Rozgałęzienie obwodu

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

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

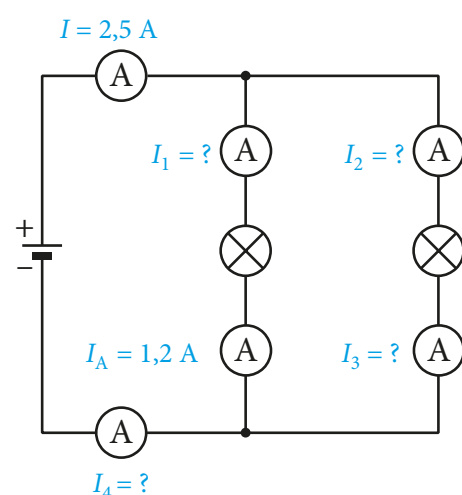
Prąd o takim samym natężeniu płynie przez amperomierz  $I_3$ :

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

##### Prąd płynący przez baterię

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

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

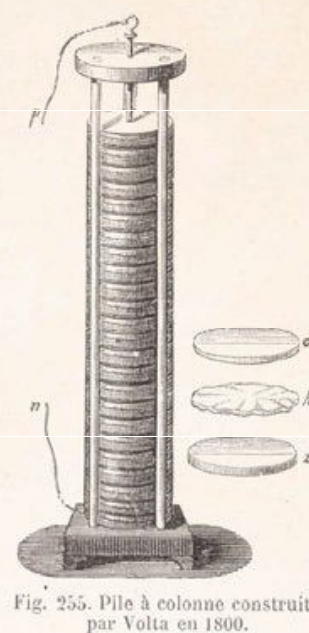


Pomiędzy amperomierzami mierzącymi natężenia  $I_1$  oraz  $I_A$  nie ma rozgałęzienia, zatem natężenie prądu się nie zmienia.

## F POŻYTEK Z POMYŁEK I PRZYPADKÓW

W 1780 r. profesor anatomii Luigi Galvani (czyt. luidzi 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.



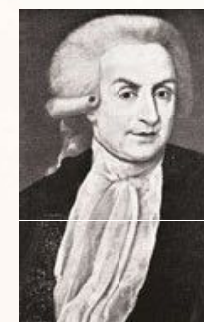
▲ Stos Volty – pierwsza bateria elektryczna



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 skurczu mięśni żaby może być elektryczność zgromadzona w atmosferze

### Luigi Galvani



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



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.



## To najważniejsze

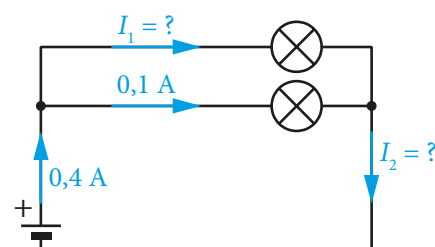
- ▶ **Pierwsze prawo Kirchhoffa** brzmi: Suma natężeń prądów wpływających do węzła jest równa sumie natężeń prądów wypływających z tego węzła.
- ▶ Powyższe prawo wynika z **zasady zachowania ładunku**.
- ▶ Stosujemy je m.in. do odbiorników prądu (np. żarówek) połączonych równolegle.

## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE

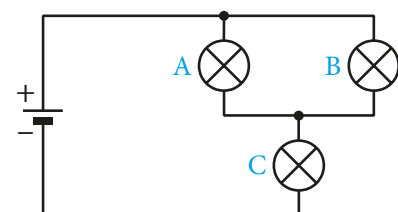


1. **P** Przeanalizuj schemat i oblicz natężenia prądu  $I_1$  oraz  $I_2$ .



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. Wszystkie światła są połączone równolegle i podłączone do akumulatora.

- a) Oblicz natężenie prądu płynącego przez akumulator.
- b) Oblicz, po jakim czasie akumulator się rozładuje, jeśli jego pojemność wynosi 48 Ah.
3. 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?



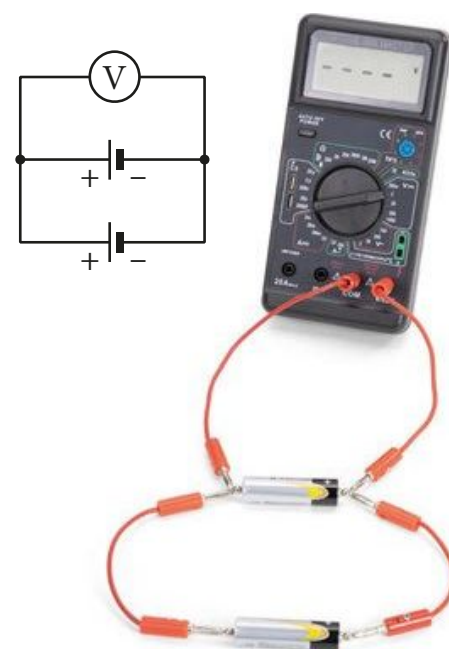
**Wskazówka.** Im większe natężenie prądu płynącego przez żarówkę, tym jaśniej świeci żarówka.

## Doświadczenie domowe

## Połączenie równoległe baterii

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

1. Przygotuj dwie 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 wodnego odpowiednika obwodu.
3. Zbuduj układ zgodnie ze schematem. Czy wynik pomiaru napięcia jest zgodny z twoimi przewidywaniami?
4. Zastanów się, jakie zastosowanie może mieć równoległe połączenie baterii.



## 13 Prawo Ohma



*Wiesz już, co to są napięcie i natężenie prądu. Jaki jest między nimi związek?*

## Cele lekcji:

- Zbadasz doświadczalnie zależność między natężeniem prądu a napięciem elektrycznym.
- Nauczysz się przedstawiać wyniki pomiarów za pomocą wykresu.

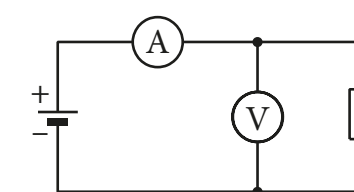
## ■ Natężenie prądu a napięcie elektryczne

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

## Doświadczenie 7.

## Badanie zależności między napięciem a natężeniem

1. Przygotuj pięć jednakowych baterii (np. AA), dwa mierniki oraz żelazko.
2. Zbuduj układ zgodnie ze schematem (żelazko traktujemy jako opornik – patrz symbole na s. 54).
3. Jeśli masz tylko jeden miernik, włącz go najpierw jako woltomierz, a gdy już zmierzysz nim napięcie – jako amperomierz.







4. Zastąp baterię dwiema bateriami połączonymi szeregowo, wykonaj pomiary. Następnie użyj trzech, czterech i pięciu baterii połączonych szeregowo.
5. Wyniki pomiarów zapisuj w tabeli według wzoru:

| Liczba baterii | U, V | I, A |
|----------------|------|------|
| 1              |      |      |
| 2              |      |      |

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   |

Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu uzyskaliśmy wyniki pomiarów podane w tabeli 1 obok.

Porównajmy teraz napięcie i natężenie dla 2, 3, 4 i 5 baterii z sytuacją, gdy bateria była tylko jedna (patrz tabela 2.). Różnica między 2,03 a 2,04, a nawet między 5,17 a 5,07, jest mniejsza niż niepewność pomiaru miernikiem uniwersalnym.

Możemy więc stwierdzić, że natężenie prądu płynącego przez grzałkę żelazka było tyle razy większe, ile razy większe było napięcie, jakie do niej podłączyliśmy.

Tabela 2

|                             |    |                                               |            |                          |            |
|-----------------------------|----|-----------------------------------------------|------------|--------------------------|------------|
| Gdy liczba baterii wynosiła | 2, | napięcie było większe niż przy jednej baterii | 2,03 razy, | a natężenie było większe | 2,04 razy. |
|                             | 3, |                                               | 2,98 razy, |                          | 2,99 razy. |
|                             | 4, |                                               | 4,17 razy, |                          | 4,2 razy.  |
|                             | 5, |                                               | 5,17 razy, |                          | 5,07 razy. |

Prawo Ohma

Gdy jedna wielkość rośnie tyle samo razy, ile druga, wtedy mówimy, że są wprost proporcjonalne.

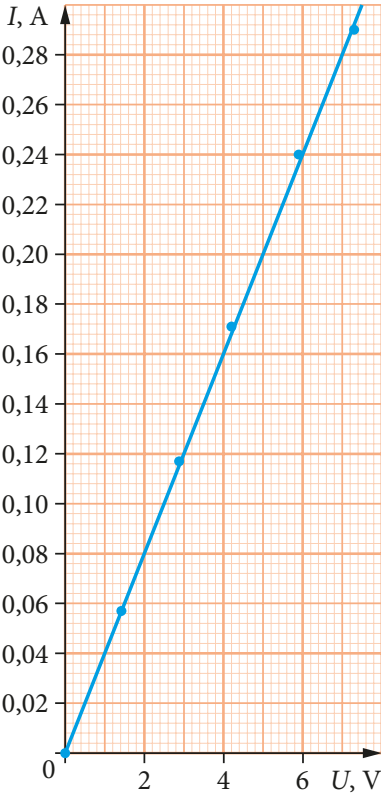
Wynik naszego doświadczenia można więc opisać w następujący sposób:

Natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami przewodnika.

Jest to **prawo Ohma** (czyt. oma), nazwane tak od nazwiska jego odkrywcy – Georga Ohma.

**Uwaga.** Prawo Ohma obowiązuje tylko w pewnych warunkach – tylko dla przewodników elektrycznych i tylko w stałej temperaturze. Powiemy o tym więcej w lekcji 15.

Wykresem proporcjonalności prostej jest zawsze linia prosta przechodząca przez początek układu współrzędnych. Jest tak również w przypadku prawa Ohma (patrz wykres obok).



▲ Zależność  $I(U)$  dla danych z naszego doświadczenia

To najważniejsze

- ▶ **Prawo Ohma:** Natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest wprost proporcjonalne do napięcia między końcami przewodnika.
- ▶ Prawo Ohma obowiązuje **tylko** dla przewodników w stałej temperaturze.
- ▶ Wykresem zależności natężenia prądu od napięcia elektrycznego  $I(U)$  jest linia prosta.

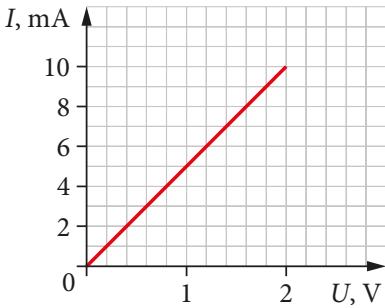
Pytania i zadania

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  $\propto U$ .
- b) Jeżeli ten sam przewodnik podłączymy do trzy razy wyższego napięcia, to  $\propto$ .
- c) Jeśli chcemy, żeby przez przewodnik popłynął prąd o dwa razy mniejszym natężeniu, to  $\propto$ .
- d) Prawo Ohma obowiązuje tylko  $\propto$ .
2. Kółka ze znakami zapytania oznaczają mierniki. Określ, który z nich jest woltomierzem, a który – amperomierzem.

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

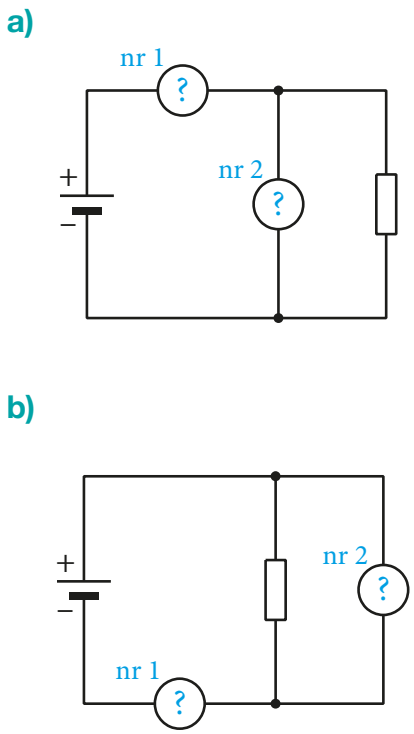


- a) Odczytaj z wykresu, jakie jest natężenie prądu, gdy ten przewodnik podłączymy do napięcia 1 V.
- b) Jakie będzie natężenie prądu, jeśli przewodnik podłączymy do napięcia 3 V?

4. Gdy pewien przewodnik podłączono do napięcia 50 V, płynął przez niego prąd o natężeniu 200 mA. Narysuj wykres przedstawiający zależność natężenia prądu płynącego przez ten przewodnik od podłączonego napięcia.

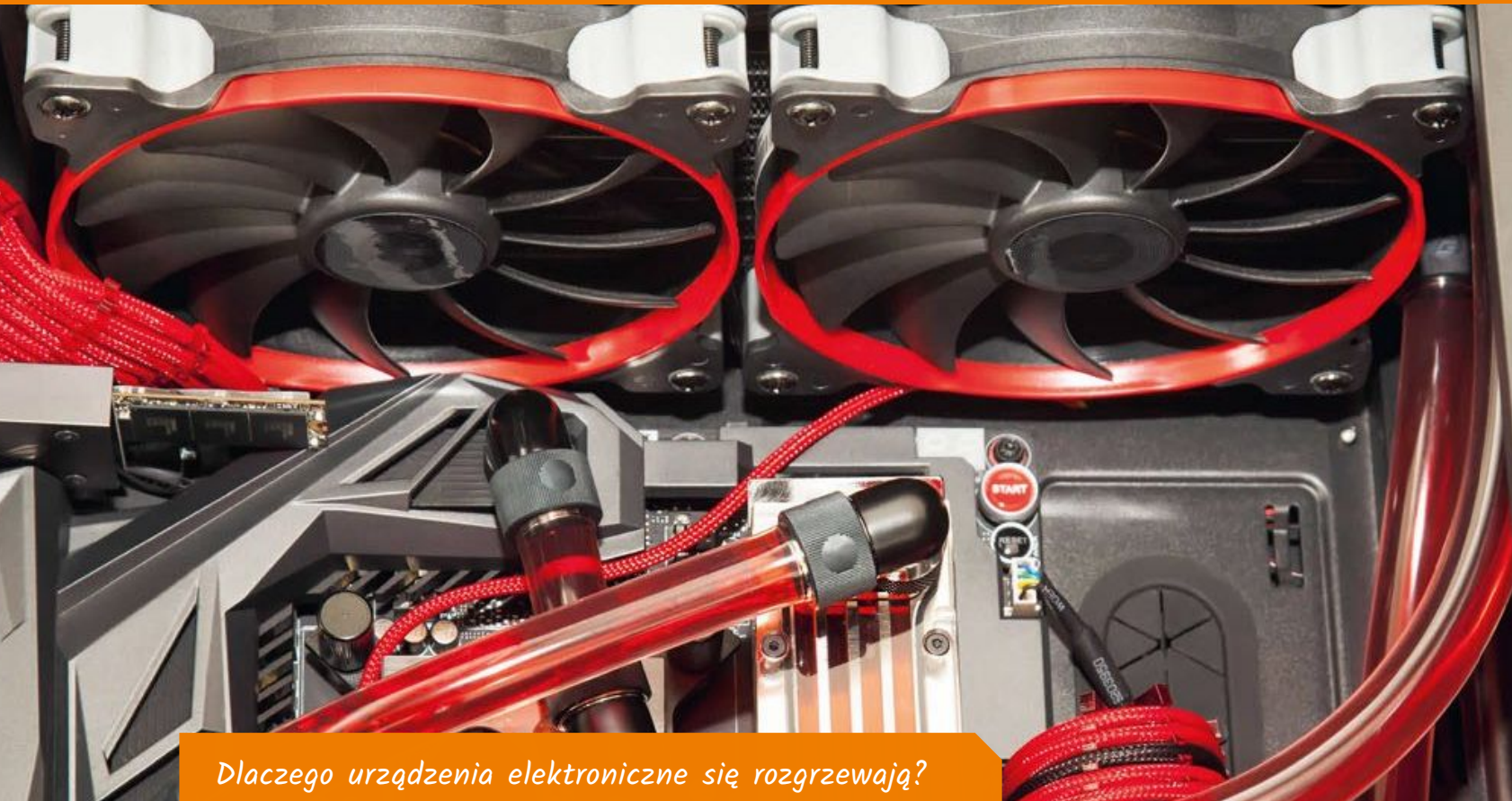
5. Po podłączeniu grzałki do źródła prądu o napięciu 2 V popłynął przez nią prąd o natężeniu 20 mA.

- 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?





# 14 Opór elektryczny



Dlaczego urządzenia elektroniczne się rozgrzewają?

## Cele lekcji:

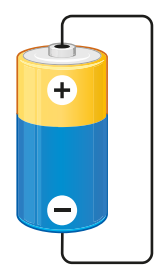
- Odświeżysz wiadomości na temat oporu elektrycznego i sposobu jego obliczania.
- Poznasz omomierz – przyrząd do bezpośredniego pomiaru oporu elektrycznego.

## ■ Skąd się bierze opór elektryczny

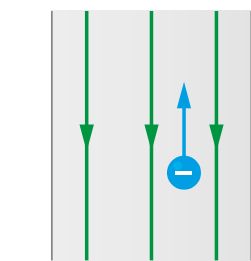
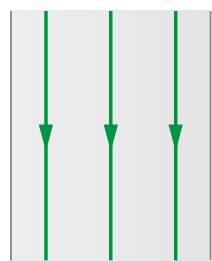
Elektron poruszający się w metalowym przewodzie traci energię na zderzenia z jonami metalu. Jednak w przewodzie podłączonym do źródła napięcia pole elektryczne sprawia, że elektron się nie zatrzymuje, tylko znowu rozpędza. A co się dzieje z energią utraconą przez elektron? Na skutek zderzeń jony zaczynają drgać szybciej, co oznacza, że przewód się rozgrzewa. To zjawisko przedstawiono na diagramie poniżej.

### Dlaczego przewód się rozgrzewa

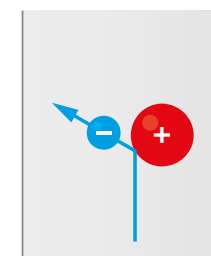
Zobacz, jak energia elektryczna zmienia się w energię wewnętrzną (termiczną).



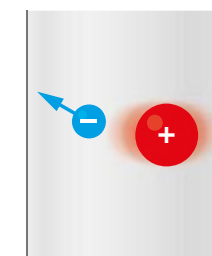
Bateria wytwarza **pole elektryczne** w przewodzie.



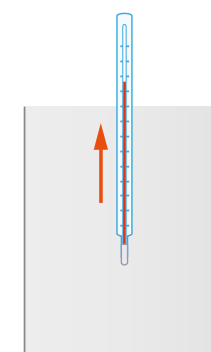
W **polu elektrycznym** elektron się rozpędza.



Rozpędzony **elektron** zderza się z **jonem** i oddaje mu część energii.



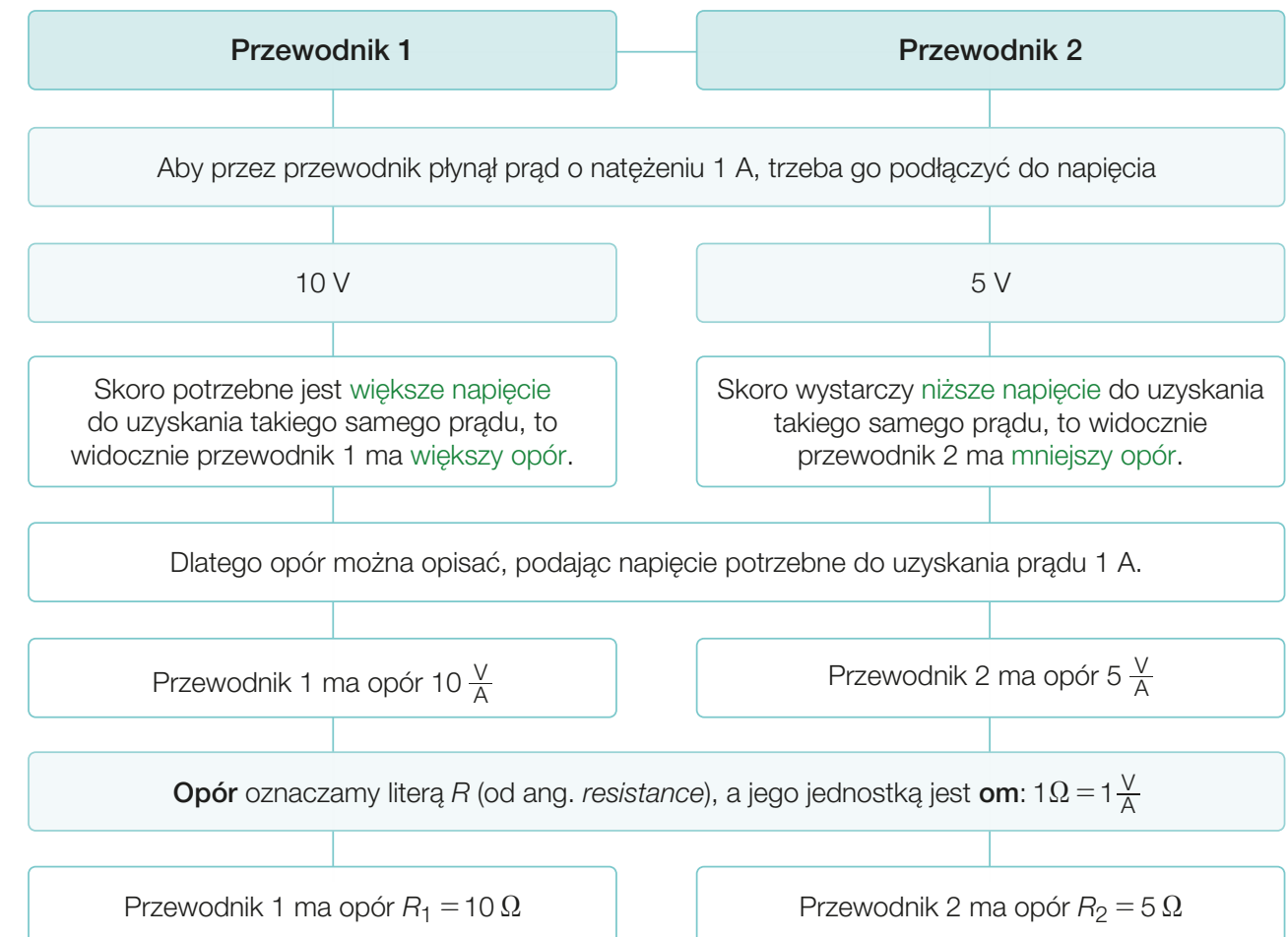
Dzięki zyskanej energii **jon** drga coraz szybciej. **Elektron** od nowa rozpędza się w polu elektrycznym.



Coraz szybsze drgania **jonów** oznaczają wzrost temperatury przewodu.

## ■ Opór elektryczny jako wielkość fizyczna

Niektóre przewodniki przewodzą prąd lepiej, czyli mają mniejszy opór, a inne gorzej, czyli mają większy opór. Opór elektryczny można wyrazić liczbowo. Aby wyjaśnić, jak to zrobić, zacznijmy od analizy przykładu.



Aby obliczyć **opór elektryczny**, dzielimy napięcie przez natężenie:

$$\text{opór} \rightarrow R = \frac{U}{I} \leftarrow \begin{matrix} \text{napięcie} \\ \text{natężenie} \end{matrix}$$

Na przykład gdy napięcie 12 V powoduje przepływ prądu o natężeniu 4 A, wtedy na każdy amper przypada napięcie 3 V, czyli opór wynosi  $3 \frac{\text{V}}{\text{A}} = 3 \Omega$  (patrz diagram).



## ■ Od czego nie zależy opór elektryczny, a od czego zależy

W sytuacji, w której obowiązuje prawo Ohma, opór przewodnika **nie zależy** ani od napięcia, ani od natężenia prądu. Jeśli napięcie  $U$  zwiększymy na przykład 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 przewidzieć, że:

- ▶ dłuższy przewodnik ma większy opór, podobnie jak bardziej męczy nas przejście dłuższej drogi,
- ▶ grubszy przewodnik ma mniejszy opór, podobnie jak wygodniej idzie się szerszą drogą.

### Obliczanie oporu na podstawie wykresu

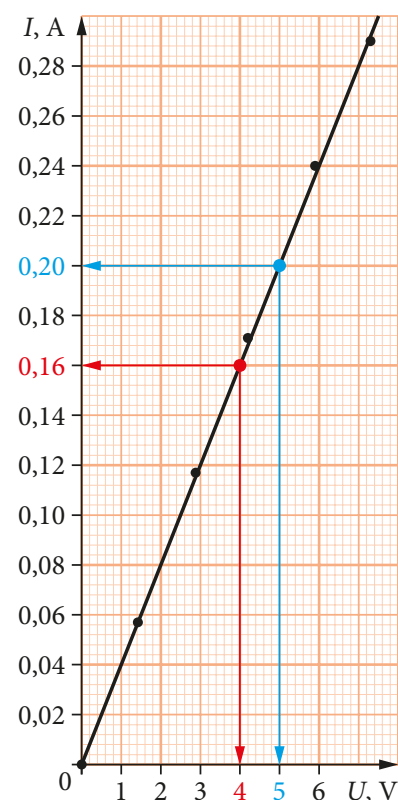
Opór przewodnika można wyznaczyć na podstawie wykresu zależności natężenia od napięcia. Wystarczy wybrać dowolny punkt na wykresie, odczytać odpowiadające mu napięcie i natężenie, a następnie wykonać obliczenia.

Oto przykład takich obliczeń dla wykresu ze s. 90. Widzimy, że dla napięcia  $U = 4 \text{ V}$  mamy natężenie  $I = 0,16 \text{ A}$ , a więc opór wynosi:

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

Wynik będzie taki sam, jeśli weźmiemy pod uwagę inny punkt z wykresu, np. napięcie  $5 \text{ V}$  i odpowiadające mu natężenie  $0,2 \text{ A}$ :

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



### A to ciekawe

Gdy człowiek przeżywa lęk, zdenerwowanie lub inne silne emocje, zmienia się opór elektryczny jego skóry. Ten fakt wykorzystuje się 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 na przykład na zdjęcie miejsca zbrodni.

Jednak wyniki takiego badania nie zawsze są wiarygodne, dlatego w Polsce i wielu innych krajach nie mogą stanowić dowodu w sądzie.



## ■ Oporniki

Opornik to bardzo prosty element elektroniczny. Jest to kawałek przewodnika o znanym oporze zakończony drucikami i umieszczony w obudowie z izolatora.

Oporniki mają zwykle namalowane kolorowe paski, ale nie dla ozdoby: w tych kolorach koduje się opór elementu (patrz → **Tabela 3**, s. 215).

Istnieją także oporniki o regulowanym oporze, zwane potencjometrami (patrz → **Doświadczenie domowe**, s. 97). Są one wykorzystywane m.in. do regulacji głośności w sprzęcie audio-wideo.



▲ Kolorowe paski na opornikach nie są przypadkowe – informują o ich oporach



▲ Symbol opornika

### Przykład

#### ■ Obliczanie oporu w obwodzie szeregowym

Ania ma baterię  $9 \text{ V}$  oraz żarówkę dostosowaną do napięcia  $4,8 \text{ V}$  i natężenia  $0,25 \text{ A}$ . 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  $9 \text{ V}$ .

**Dane:**

$$\begin{aligned} U_{\text{baterii}} &= 9 \text{ V} \\ U_{\text{żarówki}} &= 4,8 \text{ V} \\ I &= 0,25 \text{ A} \end{aligned}$$

**Szukane:**

$$R = ?$$

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

**Rozwiązanie:**

**Rysujemy schemat**

Obwód Ani ma się składać z baterii oraz żarówki połączonej szeregowo z opornikiem.

**Obliczamy napięcie między końcówkami opornika**

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

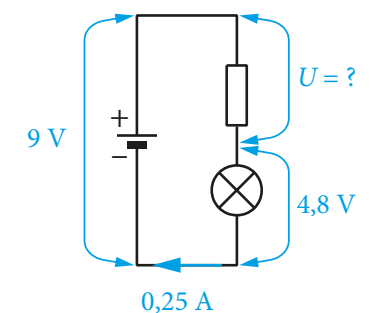
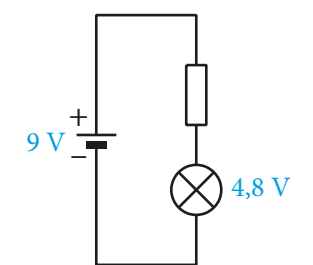
$$U = 9 \text{ V} - 4,8 \text{ V} = 4,2 \text{ V}$$

Wiemy, że przez żarówkę ma płynąć prąd o natężeniu  $I = 0,25 \text{ A}$ . W obwodzie nie ma żadnego rozgałęzienia, więc przez opornik będzie płynął prąd o takim 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  $16,8 \Omega$ .





## Omomierz

Poznamy teraz 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  $\Omega$ .

Omomierz przydaje się nie tylko w doświadczeniach z fizyki, lecz także w życiu codziennym. Zwykle nie wykorzystujemy w pełni jego możliwości, ponieważ interesuje nas nie tyle dokładna wartość oporu, ile fakt, czy jest on duży czy mały. Na przykład:

- ▶ Jeśli chcesz sprawdzić, czy żarówka samochodowa jest sprawna, nie musisz instalować jej w reflektorze. Wystarczy, że za pomocą omomierza zmierzysz jej opór. Powinien on wynosić kilka omów. Jeśli jest znacznie większy, 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  
→ s. 67



▲ Sprawdzanie żarówki za pomocą omomierza

### 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**:  $1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$ .
- ▶ 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 ZESZCIE



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

1. Opornik  $220 \Omega$  podłączamy do baterii AA o napięciu  $1,5 \text{ V}$ . Oblicz natężenie prądu płynącego przez opornik.
2. Oblicz, jaki opornik podłączyć do baterii  $9 \text{ V}$ , aby popłynął przez niego prąd  $10 \text{ mA}$ .
3. Przez opornik  $1100 \Omega$  płynie prąd o natężeniu  $50 \text{ mA}$ . Jakie jest napięcie pomiędzy końcówkami opornika?

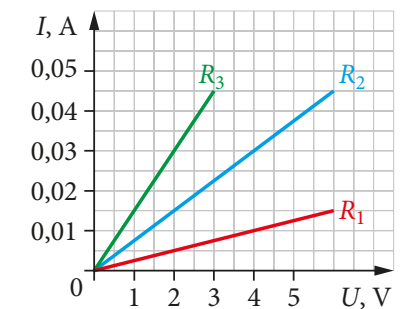
4. **P** Tymon chce podłączyć dzwonek elektryczny przystosowany do napięcia  $4,5 \text{ V}$  i natężenia  $200 \text{ mA}$  do akumulatora motocyklowego o napięciu  $6 \text{ V}$ . Jaki opornik powinien połączyć szeregowo z dzwonkiem?



5. Nie byłoby możliwe produkowanie oporników o wszystkich możliwych wartościach oporu, dlatego spośród dostępnych w handlu należy wybrać taki, który pasuje najbardziej. W przykładzie obliczyliśmy, że potrzebujemy opornika  $16,8 \Omega$ . W tym przypadku można wybrać albo  $16 \Omega$ , albo  $18 \Omega$ . Opisz, w jaki

sposób wybór jednego z nich wpłynie na jasność świecenia żarówki i na czas rozładowania baterii.

6. W jednym układzie współrzędnych narysowano kilka wykresów. Każdy z nich przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez opornik od przyłożonego napięcia.

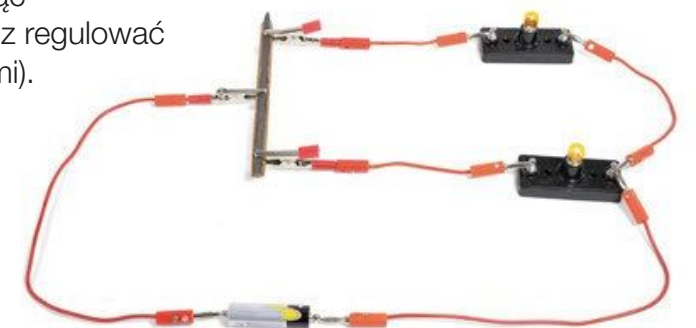
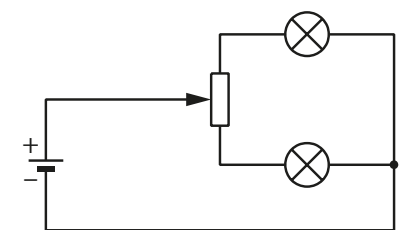
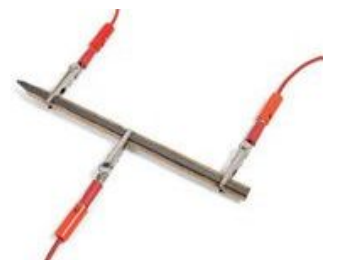


- a) Spróbuj odpowiedzieć bez wykonywania obliczeń, który z oporników ma największy opór.
- b) Oblicz opór każdego z oporników. Sprawdź, czy twoje przypuszczenia się potwierdziły.

### Doświadczenie domowe

#### Budowa potencjometru

1. Przygotuj gruby ołówek stolarski, ostry nóż, trzy krokodylki, przewody, baterię AA i dwie żarówki  $1,2 \text{ V}$  lub  $2,2 \text{ V}$  (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. Potencjometr jest gotowy – przesuwając środkowy krokodylek po rysiku, możesz regulować opór między końcówkami (krokodylkami).
6. Zbuduj układ według podanego schematu.
7. Sprawdź, jak zmienia się jasność żarówek, gdy poruszasz środkowym krokodylkiem.







Czy gdyby zatrzymać wiatraczek suszarki, przez jego grzałki płynąłby prąd o natężeniu większym czy mniejszym?

#### Cele lekcji:

- Zbadasz, jak opór substancji zależy od temperatury.
- Poznasz nową grupę substancji: półprzewodniki.
- Poznasz podstawowe zastosowania półprzewodników.
- Dowiesz się, w jakich warunkach opór substancji może być równy zeru.

### ■ Czy żarówka spełnia prawo Ohma

Powtórzymy teraz doświadczenie ze s. 89, ale zamiast żelazka wykorzystamy żarówkę. Jak sądzisz, czy znowu stwierdzimy proporcjonalność natężenia do napięcia?

#### Doświadczenie 8.

##### Sprawdzanie prawa Ohma dla żarówki

1. Przygotuj żarówkę dostosowaną do napięcia 4,8 V, cztery baterie AA, dwa mierniki 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?
5. Przeanalizuj otrzymane wyniki i zapisz wniosek.



Tabela 1

| 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  |

### ■ Analiza wyników doświadczenia

W naszym doświadczeniu otrzymaliśmy wyniki zebrane w tabeli 1.

Porównajmy teraz, ile razy wzrosło napięcie, a ile razy – natężenie w porównaniu do sytuacji z jedną baterią. Wyniki tego porównania zebraliśmy w tabeli 2. Porównaj ją z tabelą o takim samym numerze na s. 90.

Tabela 2

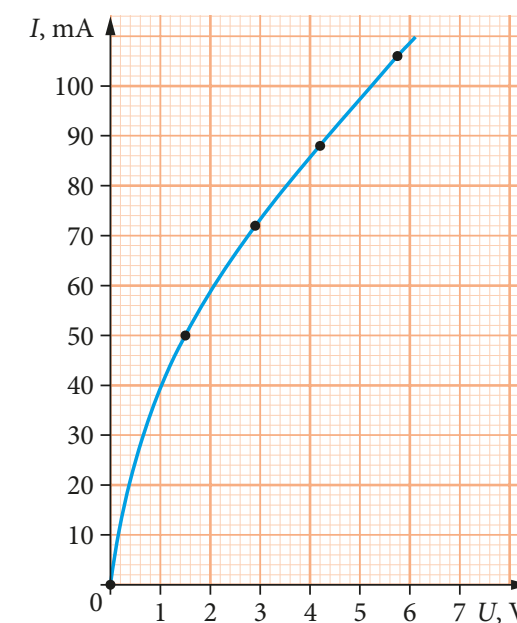
| Gdy liczba baterii wynosiła | 2, | 3, | 4, | napięcie było większe niż przy jednej baterii | 1,9 razy,<br>2,75 razy,<br>3,76 razy, | a natężenie większe tylko | 1,45 razy.<br>1,77 razy.<br>2,13 razy. |
|-----------------------------|----|----|----|-----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|
|-----------------------------|----|----|----|-----------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|

Jak widzisz, natężenie rosło wolniej niż napięcie, czyli zwiększało się mniej razy. Tych różnic nie możemy wyjaśnić niepewnością pomiaru. Na przykład liczba 1,77 jest aż o 35% mniejsza niż liczba 2,75.

Możemy więc wyciągnąć wniosek:

Żarówka nie spełnia prawa Ohma.

Widać to także na wykresie przedstawiającym zależność natężenia od napięcia (patrz rys. obok). Nie jest on linią prostą, ale krzywą, której nachylenie się zmniejsza.



▲ Zależność  $I(U)$  dla danych z naszego doświadczenia

Korzystamy ze wzoru  $R = \frac{U}{I}$ .

### ■ Zmiany oporu żarówki

Na te same dane możemy popatrzeć w inny sposób. Obliczmy opór żarówki dla każdego z naszych pomiarów.

W tabeli 1. dodajmy jeszcze jeden wiersz:

Tabela 3

| 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  |
| Opór żarówki $R$ , $\Omega$ | – | 30,8 | 40,2 | 47,9 | 54,2 |



Z tabeli 3 na poprzedniej stronie wynika, że opór rośnie. Dzieje się tak dlatego, że podczas przepływu prądu włókno żarówki się rozgrzewa. Taka jest zresztą jego rola: dzięki wysokiej temperaturze włókno świeci.

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

Zastanówmy się teraz, dlaczego tak się dzieje.

■ Przyczyna zmian oporu

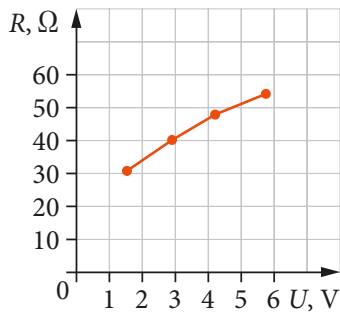
To zjawisko łatwo wyjaśnić, gdy przypomnimy sobie ze szkoły podstawowej, że wyższa temperatura oznacza szybszy ruch cząsteczek, atomów lub jonów, z których jest zbudowane ciało. Także elektrony swobodne poruszają się wtedy szybciej. Jak wiesz, opór elektryczny wynika ze strat ich energii podczas zderzeń z jonami metalu. Gdy elektrony poruszają się szybciej, do zderzeń dochodzi częściej, więc szybciej następuje utrata energii. W rezultacie – opór jest większy.

■ Czy grafit spełnia prawo Ohma?

Wykonamy jeszcze raz doświadczenie opisane na s. 98, jednak tym razem zamiast żarówki użyjemy grafitu z ołówka.

Doświadczenie 9.  
Sprawdzenie prawa Ohma dla grafitu

- 1. Przygotuj **bardzo miękki** ołówek (B8 albo B9), cztery baterie AA, dwa mierniki, przewody, krokodylki oraz nożyk do tapet.
- 2. Za pomocą nożyka **ostrożnie** usuń drewno z jednej strony ołówka tak, aby grafit lekko wystawał na całej jego 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, aby odczytać wskazania 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?



▲ Zależność oporu żarówki od napięcia, do którego została podłączona, w doświadczeniu 8.



Z doświadczenia wynika, że opór grafitu zależy od jego temperatury, ale ta zależność jest odwrotna niż w przypadku włókna żarówki: opór grafitu maleje wraz z temperaturą. Z czego wynika różnica?

■ Półprzewodniki

Do tej pory mówiliśmy o dwóch rodzajach substancji: przewodnikach i izolatorach. Okazuje się, że istnieją także substancje o pośrednich właściwościach: półprzewodniki. Do nich zaliczamy między innymi, krzem, german (patrz zdjęcie poniżej) i grafit. Porównanie tych trzech rodzajów materiałów zawiera tabela 4 poniżej. Przeanalizuj ją.

Tabela 4

| Przewodniki                                              | Izolatory                                           | Półprzewodniki                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                          |                                                     |                                                                                                                                 |
| 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 na przykład 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.                               |

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).

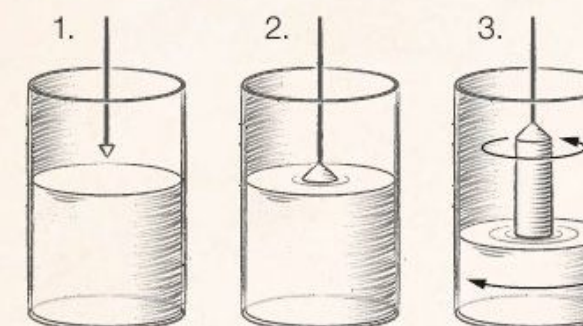




## F PRZYPADEK TRZEBA UMIEĆ WYKORZYSTAĆ

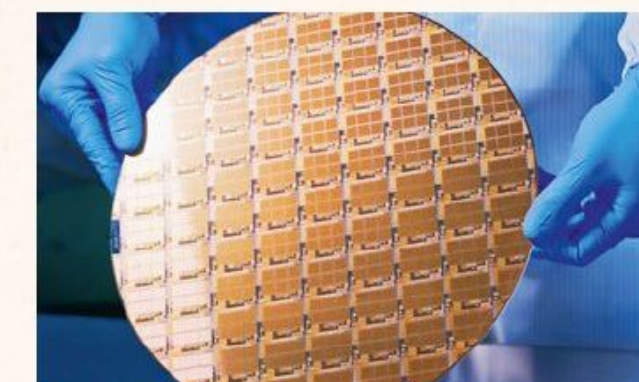
Jak otrzymujemy kryształy krzemu tak doskonałe, że można z nich wytwarzać układy scalone do produkcji komputerów czy telefonów?

Najczęściej stosowanym sposobem jest **metoda Czochralskiego** (patrz rysunek).



1. W naczyniu z roztopionym krzemem umieszcza się cienki pręt z przymocowanym na końcu małym fragmentem kryształu.
2. Przy precyzyjnie ustalonej temperaturze na kryształku osadzają się kolejne atomy krzemu.
3. Powoli obraca się i wyciąga kryształ z naczynia.

W ten sposób można uzyskać ważący ponad 100 kg wałek krzemu o średnicy 30 cm i czystości 99,9999999, co oznacza, że jest w nim jeden obcy atom na miliard atomów krzemu. Taki wałek jest cięty na warstwy o grubości poniżej 1 mm – tzw. wafle krzemowe. Są one poddawane dalszym skomplikowanym procesom, w których wyniku uzyskuje się mikroprocesory i układy scalone.



Czochralski odkrył tę metodę przypadkiem, kiedy w roztargnieniu włożył stalówkę pióra do kociołka z roztopioną cyną zamiast do kałamarza. Gdy podniósł pióro, za stalówką ciągnęła się nitka zastygłego metalu.

Był to przypadek. Gdyby jednak Czochralski od dawna nie zajmował się chemią i fizyką metali, pewnie wyrzuciłby zepsute pióro i zapomniał o całej sprawie, zamiast zacząć dokładne badania.

### Jan Czochralski



Zdjęcie z wystawy „Jan Czochralski – działalność na niwie nauki”

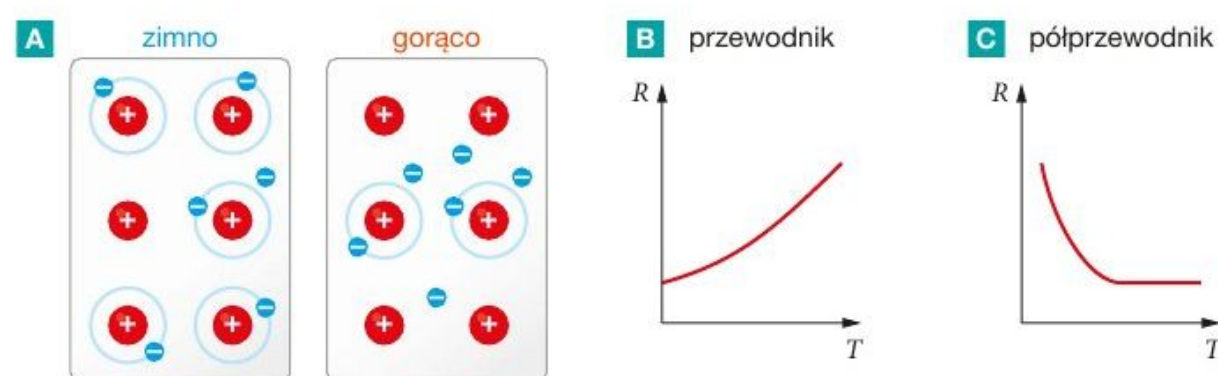
Jan Czochralski (1885–1953) – karierę wynalazcy rozpoczął w Niemczech i Szwajcarii. Na osobiste zaproszenie Prezydenta RP przeniósł się do Polski i objął nową katedrę na Politechnice Warszawskiej. Wykonywał głównie zlecenia dla wojska. W czasie okupacji pozorował pracę dla Niemców, jednak w rzeczywistości był agentem Armii Krajowej. Po wojnie mylnie uważano go za kolaboranta. Dopiero w 2011 r. odnaleziono dokumenty pozwalające na jego rehabilitację.

## ■ Dlaczego opór półprzewodników maleje z temperaturą

W miarę rozgrzewania półprzewodnika coraz więcej elektronów odrywa się od atomów i staje się elektronami swobodnymi (rys. A), 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 B i C 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 półprzewodnika maleje z temperaturą do pewnej granicy.



▲ A Jony i elektrony w półprzewodniku. Porównanie zależności oporu od temperatury dla przewodników B i półprzewodników C

## ■ Zastosowanie półprzewodników

Półprzewodniki mają wiele zastosowań, także niezwiązanych z zależnością oporu od temperatury. Wykorzystuje się je m.in. w bateriach słonecznych, a także do produkcji elementów, z których składa się komputery, telefony i inne urządzenia elektroniczne. Jednym z najważniejszych półprzewodników wykorzystywanych w elektronice jest krzem.

Dlatego o dzisiejszych czasach mówi się czasem „epoka krzemu”, a biologowie mówią już nie tylko o tradycyjnych metodach *in vivo* (w żywym organizmie) oraz *in vitro* (w szkle, czyli w laboratorium), ale też *in silico* (w krzemie, czyli za pomocą komputera).

Krzem to pierwiastek bardzo pospolity na Ziemi – zawiera go nawet zwykły piasek. Jednak otrzymywanie idealnych kryształów krzemu, potrzebnych do budowy układów elektronicznych, jest trudne (patrz infografika na następnej stronie).

### To najważniejsze

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

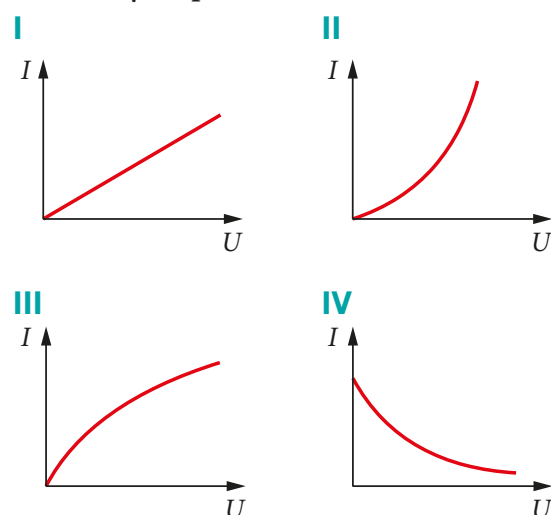


## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Na wykresach I–IV przedstawiono zależność natężenia prądu od przyłożonego napięcia dla kilku ciał przewodzących prąd.



Dopasuj podpisy A–D do rysunków.

- A. żarówka  
B. przewodnik w stałej temperaturze  
C. półprzewodnik  
D. to nie jest możliwe

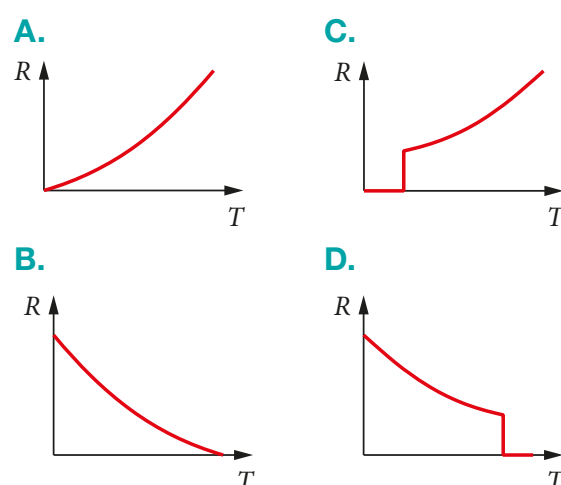
2. Tabela przedstawia wyniki pomiarów napięcia przyłożonego do próbki pewnej substancji oraz natężenia prądu płynącego pod wpływem tego napięcia.

- a) Oblicz opór elektryczny dla każdego z pomiarów.  
b) Czy opór jest stały?

- c) Czy próbkę wykonano z przewodnika czy z półprzewodnika?

| $U, V$ | $I, A$ |
|--------|--------|
| 3,48   | 0,93   |
| 6,01   | 1,75   |
| 11,5   | 4,36   |

3. 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.



4. Gdyby zatrzymać silnik suszarki, natężenie prądu płynącego przez grzałkę by się zmniejszyło. Mimo to grzałka mogłaby się spalić. Wyjaśnij, dlaczego natężenie prądu byłoby mniejsze i dlaczego mimo to grzałka mogłaby zostać przepalona.

## Doświadczenie domowe

## Dwa opory jednej żarówki

- Przygotuj żarówkę dostosowaną do napięcia 4,8 V oraz omomierz.
- Odczytaj z żarówki napięcie i natężenie, do którego jest dostosowana (wskazuje je strzałka na zdjęciu).
- Na podstawie tych danych oblicz opór żarówki.
- Zmierz opór żarówki za pomocą omomierza.
- Wyjaśnij, z czego wynika różnica między oporem obliczonym a zmierzonym.

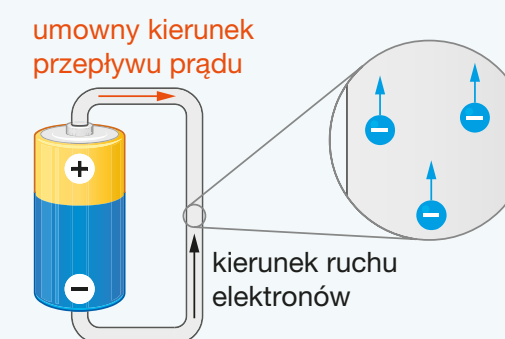


## POWTÓRZENIE

## 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. 54 i 214).

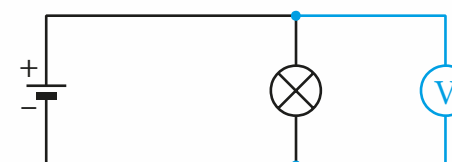
## Napięcie elektryczne a natężenie prądu

## Napięcie

- ▶ określone pomiędzy dwoma punktami  
▶ określa energię elektryczną, jaka może ulec przemianie, gdy pomiędzy tymi punktami przepłynie ładunek 1 C:

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

- ▶ jednostką jest **wolt**:  $1 V = 1 \frac{J}{C}$   
▶ aby zmierzyć napięcie, podłączamy końcówki woltomierza do danych dwóch punktów



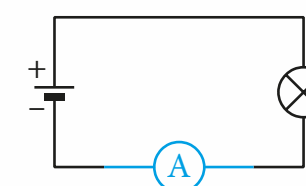
**Woltomierz** podłączamy do obwodu równolegle.

## Natężenie

- ▶ określone w jednym punkcie obwodu  
▶ określa ładunek przepływający przez ten punkt obwodu w czasie 1 s:

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

- ▶ jednostką jest **amper**:  $1 A = 1 \frac{C}{s}$   
▶ aby zmierzyć natężenie, rozłączamy obwód w danym miejscu i włączamy w tym miejscu amperomierz



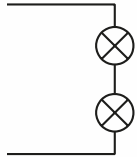
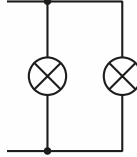
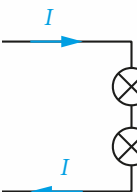
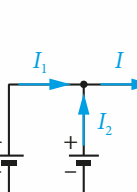
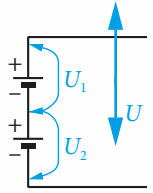
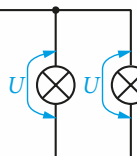
**Amperomierz** podłączamy do obwodu szeregowo.



■ **Miernik uniwersalny** może pracować jako woltomierz, amperomierz albo omomierz. Funkcję i zakres pomiaru wybieramy za pomocą pokrętła.

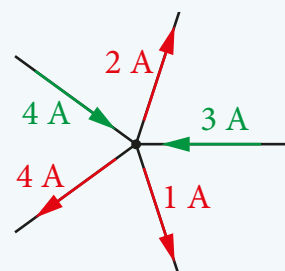
- ▶ Jeśli nie wiesz, jaki zakres pomiaru wybrać, zacznij od największego, a następnie zmieniaj na coraz mniejszy.
- ▶ Niepewność pomiaru prostym miernikiem cyfrowym szacujemy na 3% przy najmniejszym zakresie dla mierzonej wielkości.
- ▶ Omomierz pozwala m.in. sprawdzić, czy przewód (np. włókno żarówki albo uzwojenie silnika) nie jest uszkodzony.

### ■ Połączenia elektryczne

| Szeregowe                                                                                                                                                                                       | Równoległe                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>▶ Elektronów płyną po kolei przez każdy z elementów.</p>                                                    | <p>▶ Część elektronów płynie przez jeden element, a pozostałe – przez drugi.</p>                                     |
| <p>▶ Przez wszystkie elementy płynie prąd o takim samym natężeniu.</p> <p><math>I = \text{const}</math></p>   | <p>▶ Natężenia prądu sumujemy.</p> <p><math>I = I_1 + I_2</math></p> <p>To wynika z zasady zachowania ładunku.</p>  |
| <p>▶ Napięcia sumujemy.</p> <p><math>U = U_1 + U_2</math></p> <p>To wynika z zasady zachowania energii.</p>  | <p>▶ Napięcie na każdym elemencie jest takie samo.</p> <p><math>U = \text{const}</math></p>                        |

■ **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.

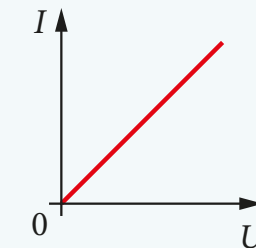


◀ Przykład bardziej skomplikowanego węzła. Suma natężeń prądów wpływających jest taka sama jak suma natężeń prądów wypływających. W tym przypadku:  
 $4\text{ A} + 3\text{ A} = 2\text{ A} + 1\text{ A} + 4\text{ A}$

■ **Opór elektryczny** obliczamy ze wzoru:

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

- ▶ Jednostka oporu: **om**,  $1\ \Omega = 1\ \frac{\text{V}}{\text{A}}$ .

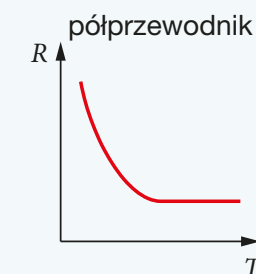
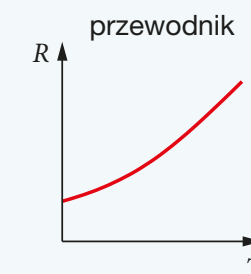


■ **Prawo Ohma:** natężenie prądu płynącego przez przewodnik jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia. Innymi słowy, opór danego przewodnika jest wielkością stałą.

$$R = \text{const}$$

- ▶ 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**:

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

▶ Obliczanie **mocy** prądu elektrycznego:

$$P = UI$$

(moc = napięcie · natężenie)

▶ Jednostką mocy jest **wat**:

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



## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To musisz umieć



1. 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

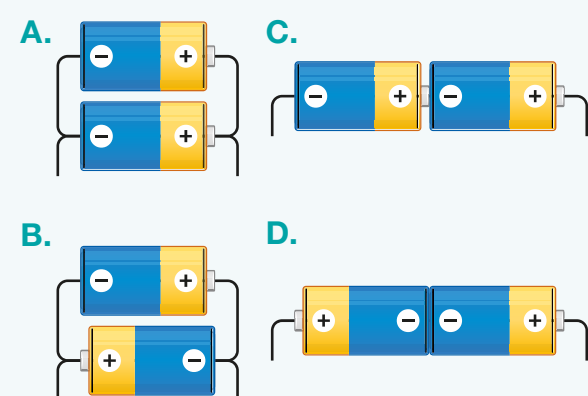
2. Przez małą żarówkę płynie prąd o natężeniu 0,25 A. Jaki ładunek przepływnie przez nią w czasie 10 s?

A. 0,025 C                      C. 4 C  
B. 2,5 C                         D. 40 C

3. Napięcie między końcówkami żarówki wynosi 6 V. Ile energii z baterii pobiera żarówka w czasie, gdy przepływa przez nią ładunek 2 C?

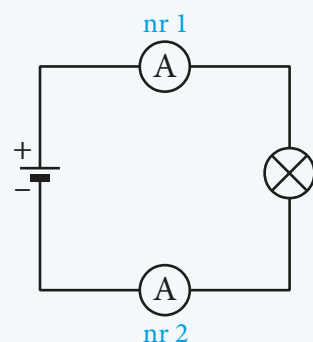
A. 3 J                              C. 8 J  
B. 4 J                              D. 12 J

4. Każda z baterii ma napięcie 1,5 V.



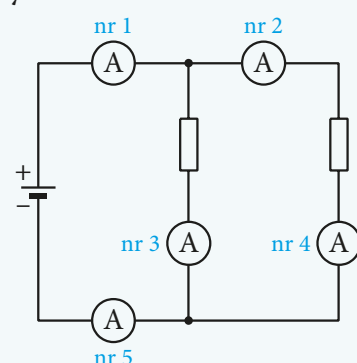
- a) Która z ilustracji przedstawia takie połączenie baterii, aby uzyskiwane napięcie wynosiło 3 V?  
b) Na której ilustracji napięcie pomiędzy wolnymi końcami przewodów wynosi 1,5 V?  
c) Które połączenie baterii spowoduje ich szybkie rozładowanie?

5. 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

6. Amperomierz nr 3 wskazuje 210 mA, a amperomierz nr 2 wskazuje 110 mA. Podaj wskazania pozostałych amperomierzy.



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

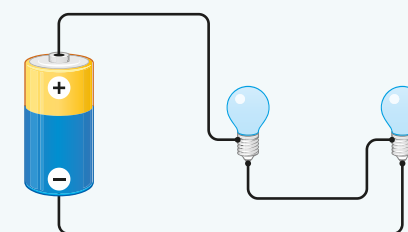
## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To należy umieć

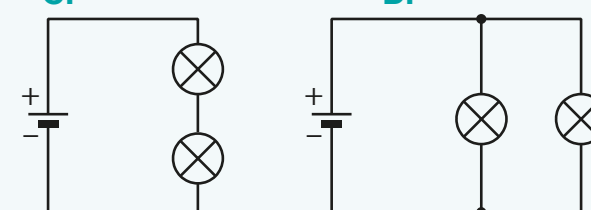


1. Dobierz właściwe uzupełnienia zdań A lub B oraz C lub D.

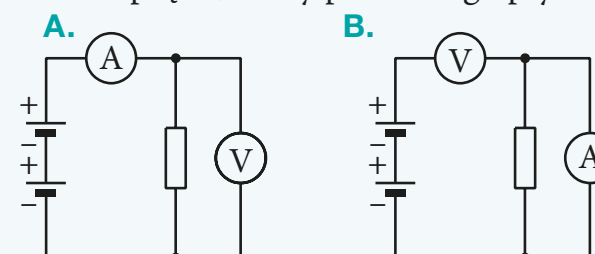
Żarówki na rysunku są połączone A/ B. Takie połączenie przedstawiono także na schemacie C/ D.



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?



3. 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.

## Zdjęcie do zadań 4.–6.



4. Jaką wielkość można zmierzyć miernikiem przy takim ustawieniu pokrętki, jak pokazano na rysunku?

A. napięcie stałe  
B. napięcie przemienne  
C. natężenie prądu stałego  
D. natężenie prądu przemiennego

5. Czy przewody są podłączone odpowiednio do wybranego zakresu? Uzasadnij odpowiedź.

6. Odczytaj wskazanie miernika i zapisz je bez przedrostków.

7. Opornik 1500  $\Omega$  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

8. Jakie jest natężenie prądu płynącego przez spiralę grzejną czajnika o mocy 2100 W zasilanego z sieci domowej 230 V?

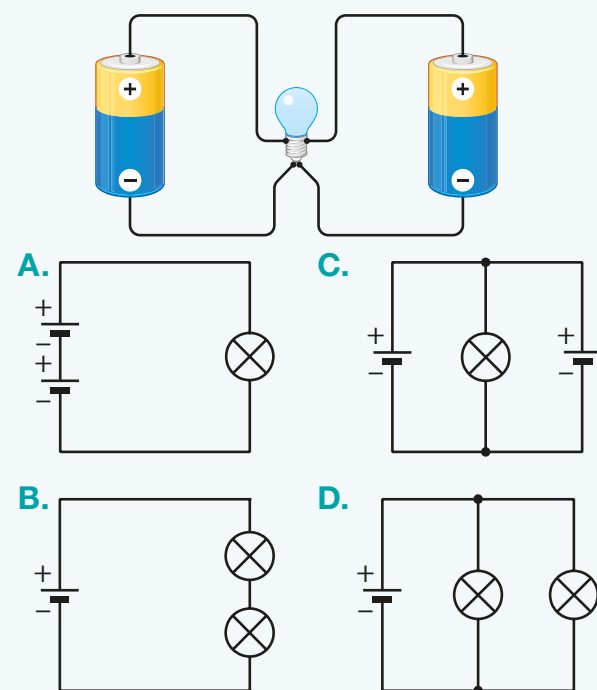


## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To warto umieć



1. Na którym schemacie przedstawiono ten sam obwód co na rysunku?



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 zasiląć 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. Wskazanie miernika ze zdjęcia na poprzedniej stronie zapisz razem z niepewnością pomiarową.

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

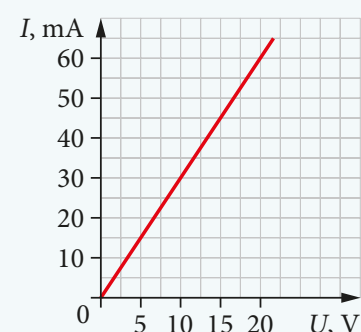
jest wyłączony. Czy będzie musiał odłączyć akumulator, aby dokonać pomiarów?



- A. Nie.  
B. Tak, ale tylko do pomiaru natężenia.  
C. Tak, ale tylko do pomiaru napięcia.  
D. Tak, do obu pomiarów.

## Wykres do zadań 6.–8.

Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez pewne ciało od przyłożonego napięcia.



6. (F) Z kształtu wykresu wynika, że badane ciało to:

- A. przewodnik w stałej temperaturze.  
B. przewodnik rozgrzewający się na skutek przepływu prądu.  
C. półprzewodnik rozgrzewający się na skutek przepływu prądu.  
D. nadprzewodnik.

7. Oblicz opór elektryczny badanego ciała.

8. Oblicz, jaka moc się wydzielala, gdy do ciała podłączono napięcie 10 V.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## Dasz sobie z tym radę? – Świetnie



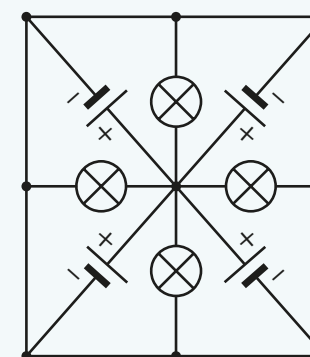
1. (F) Żarówka świateł pozycyjnych samochodu jest dostosowana do napięcia 12 V. Przy takim napięciu płynie przez nią prąd o natężeniu 0,4 A. Jakie będzie natężenie prądu, jeśli podłączymy ją do akumulatora motocykla, czyli do napięcia 6 V? Uwzględnij zmianę oporu ze wzrostem temperatury.

- A. równe 0,2 A  
B. mniejsze niż 0,2 A  
C. większe niż 0,2 A

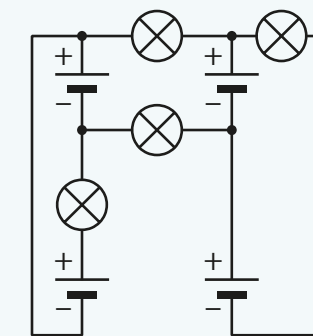
2. Jaka energia jest zgromadzona w powerbanku o pojemności 8000 mAh pod napięciem 5 V?

3. Wśród pięciu rysunków są dwie pary schematów przedstawiających ten sam obwód. Wskaż je.

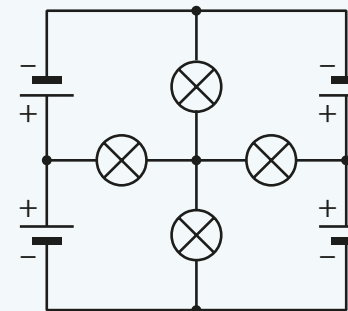
A.



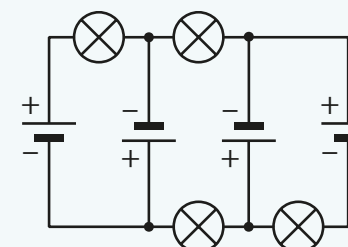
B.



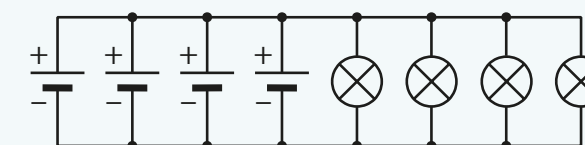
C.



D.



E.





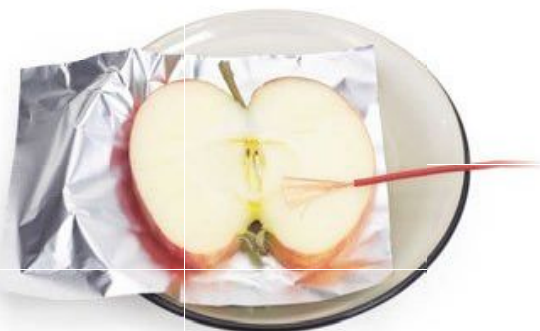
## Projekt Jak działają baterie

**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. 87. Poszukaj więcej informacji na temat doświadczeń Galvaniego i Volty.

A



2. Zbuduj ogniwo elektryczne.

W tym celu:

- ▶ Na talerzyku połóż folię aluminiową, a na niej – plasterk jabłka grubości ok. 0,5 cm.
- ▶ 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).

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. Sprawdź, jak długo będzie działał twój kalkulator, zanim bateria się wyczerpie.

B



## Analiza tekstu

### 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 wprowadzone 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 ogniwnem) zamianę energii chemicznej, zmagazynowanej w elektrolitach,

w energię elektryczną. Takie baterie mogłyby mieć olbrzymie rozmiary, a tym samym naprawdę wielką pojemność [...]

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 [...]



▲ Ogromne zestawy baterii litowo-jonowych to jeden z pomysłów na zapewnienie stabilności dostaw energii również w nagłych wypadkach, np. po klęskach żywiołowych

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  
(skrótowa wersja artykułu  
opublikowanego w czasopiśmie  
„Wiedza i Życie” 2017, nr 10)

# 6. Elektryczność i magnetyzm

Dlaczego zorzę polarną najczęściej możemy obserwować w pobliżu biegunów?

## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Wyjaśnij swoimi słowami znaczenie wyrazów z ramki. Jeśli ich nie znasz, możesz skorzystać na przykład z dostępnego online Wielkiego słownika języka polskiego (opracowanego przez Polską Akademię Nauk).

elektrolit • kawerna • 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 go wymagają?
3. Porównaj energię zgromadzoną w akumulatorze samochodowym (48 Ah przy napięciu 12 V) z energią, jaka 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 właściwości nawet po 200 tys. naładowań. Na ile lat by wystarczyła, gdyby ładować ją raz dziennie?
5. W drugiej części tekstu mowa o trzech pierwiastkach, z których wykonuje się nanowłókna. 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.



# 16 Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna



Dlaczego na gniazdku nie ma symboli + i - jak na baterii?  
Czy to wszystko jedno, w którą stronę włączamy wtyczkę?

## Cele lekcji:

- Poznasz wielkości opisujące prąd przemienny w sieci domowej.
- 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.

## Napięcie przemienne

Okazuje się, że inaczej jest w przypadku prądnicy rowerowej, zwanej też dynamem.

### Doświadczenie 10.

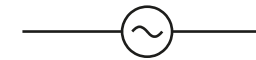
#### Badanie napięcia przemiennego

1. Przygotuj dynamo rowerowe, woltomierz i przewody.
2. Jeśli dynamo jest zamontowane na rowerze, postaw rower do góry kołami i napędzaj dynamo, kręcąc kołem. Jeśli nie jest na rowerze, na kółko dynamy nawij metr grubej nici. Obracaj tym kółkiem, ciągnąc za nić.
3. Do końcówek dynamy podłącz woltomierz ustawiony na najczulszy zakres **napięcia stałego**.
4. Obracaj powoli kółkiem dynamy – jeden obrót powinien trwać 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, a raz minus. Oznacza to, że bieguny źródła napięcia się zamieniają.

Mówimy, że dynamo wytwarza **napięcie przemienne**. Natomiast bieguny baterii się nie zmieniają – mówimy, że bateria wytwarza **napięcie stałe**.



▲ Symbol źródła napięcia przemiennego

► Minus na wyświetlaczu woltomierza oznacza zmianę biegunów źródła napięcia

W większości mierników pomija się znak + przed liczbą, podobnie jak w zapisie matematycznym.



## 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. 137. 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:
  - kompas albo igła magnetyczna na podstawie,
  - bezpiecznik 200 mA, dowolna dioda zwykła (nieświecąca) i dowolna dioda świecąca – 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 (pokazano podłączenie przewodu do obudowy),
  - stalowe spinacze biurowe, taśma klejąca, nitka, dwa długie gwoździe.

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. Puszczane 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.

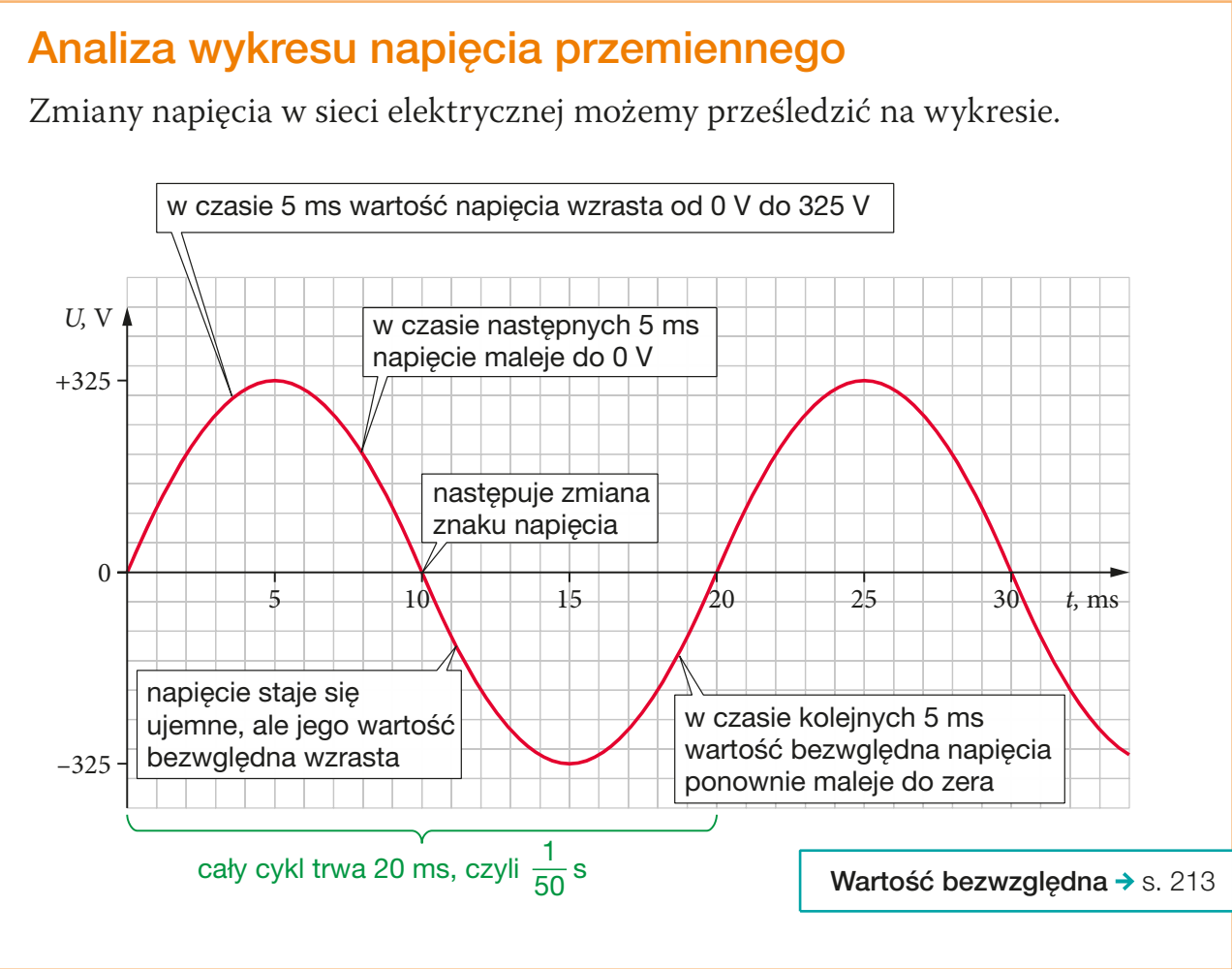
To znaczy, że okresowo zmieniają się zarówno jego wartość, jak i biegunowość. Te zmiany przedstawiono na wykresie poniżej. Ma on kształt **sinusoidy**, czyli taki jak wykres funkcji trygonometrycznej sinus. Słowo *sinusoida* warto zapamiętać także dlatego, że często używa się go przenośnie (mówimy np. „Życie człowieka to sinusoida – po dobrych chwilach przychodzą złe, a potem znowu wszystko się układa”).

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. Częstotliwość określa, ile razy w ciągu sekundy powtarza się cykl zmian napięcia.



▲ Tę wtyczkę można włożyć do gniazdka w dowolną stronę. Nie ma to znaczenia, ponieważ napięcie w sieci jest przemienne

50 Hz czytamy „50 herców”.



Stosunkowo wysoka częstotliwość napięcia elektrycznego w sieci domowej powoduje, że nie byłoby możliwe wyko-  
nanie z nim doświadczenia 10. ze s. 116 lub podobnego. Nawet jeśli mielibyśmy woltomierz, który nadąża z wy-  
świetlaniem tak szybkich zmian napięcia, to nie byłiby-  
śmy w stanie ich zaobserwować.

Zauważ, że pojęcia częstotliwości używamy podobnie jak w ruchu po okręgu.

Prąd przemienny

Gdy do napięcia przemiennego podłączymy odbiornik energii, np. żarówkę, popłynie przez niego **prąd przemienny**, którego natężenie i kierunek przepływu się zmieniają. Prąd przemienny oznaczamy skrótem AC – od ang. *alter-nate current*. Okazuje się, że prąd przemienny ma wiele ważnych zalet. Należy do nich możliwość łatwej zmiany napięcia za po-  
mocą 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 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.

**Uwaga.** Napięcie skuteczne w sieci domowej może się wahać, nawet o 10% od nominalnej wartości 230 V.

Natężenie skuteczne

Natężenie prądu w przewodach sieci domowej zmie-  
nia się w podobny sposób jak napięcie. Dlatego używamy także pojęcia **natężenia skutecznego**.

Na przykład jeśli przez włókno żarówki płynie prąd prze-  
mienny o natężeniu skutecznym 1 A, to świeci ona tak samo jasno, jak gdyby płynął przez nią prąd stały o na-  
tężeniu 1 A.



▲ Z miernika włączonego jako woltomierz napięcia przemiennego (ACV) odczytujemy napięcie skuteczne

Napięcie i natężenie skuteczne w obliczeniach

Napięcia i natężenia skutecznego można używać do obliczania mocy – robiliśmy to już w lekcji 10., tylko nie używaliśmy nazwy „skuteczne”. Można je wykorzystać także do obliczania oporu.



■ Tabliczki znamionowe

Dane techniczne urządzeń włączanych do domowej sieci elektrycznej można odczytywać z ich **tabliczek znamionowych**. Pomocna w tym będzie analiza przykładu 1.

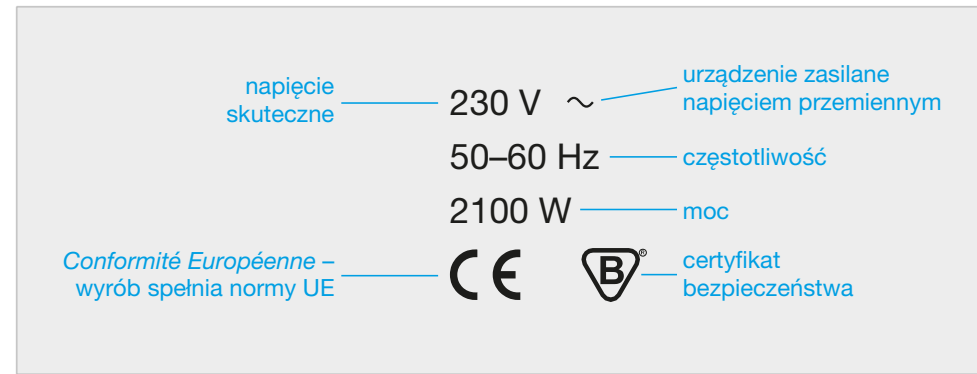
Przykład 1

■ Wykorzystanie danych z tabliczki znamionowej

Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez spiralę grzejną czajnika elektrycznego i opór spirali podczas pracy. Potrzebne dane odczytaj z tabliczki znamionowej urządzenia przedstawionej na rysunku.

Rozwiązanie:

Analiza informacji na tabliczce



Do rozwiązania zadania potrzebne są dwie z informacji podanych na tabliczce znamionowej: napięcie skuteczne  $U = 230\text{ V}$  i moc  $P = 2100\text{ W}$ .

Obliczanie natężenia skutecznego

Potrzebna jest nam zależność łącząca odczytane wielkości z szukanim natężeniem skutecznym. Ma ona postać taką samą, jak dla prądu stałego:

$$P = UI$$

Moc prądu → s. 75

Z tego wzoru wyznaczamy natężenie i podstawiamy wielkości liczbowe:

$$I = \frac{P}{U}$$
$$I = \frac{2100\text{ W}}{230\text{ V}} \approx 9,1\text{ A}$$

Obliczanie oporu

Gdy znamy napięcie i natężenie skuteczne, możemy obliczyć opór spirali. Wzór jest taki sam jak dla prądu stałego:

$$R = \frac{U}{I}$$
$$R = \frac{230\text{ V}}{9,1\text{ A}} \approx 25\ \Omega$$

Opór elektryczny → s. 93

**Odpowiedź:** Natężenie skuteczne wynosi 9,1 A, a opór gorącej spirali to 25  $\Omega$ .

**Uwaga.** Opór zimnej spirali jest mniejszy (patrz s. 100).

230 V ~  
50-60 Hz  
2100 W  
CE B

■ 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). 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

Aby upiec frytki, na 25 minut włączamy piekarnik elektryczny o mocy 2200 W. Oblicz energię zużytą w tym czasie przez piekarnik. Odpowiedź podaj w kilowatogodzinach. Ile zapłacimy za tę energię, jeśli 1 kWh kosztuje 1,20 zł?

Rozwiązanie:

Zamiana jednostek

Ponieważ odpowiedź mamy podać w kWh, najlepiej od razu zamienić jednostkę czasu na godziny i jednostkę mocy na kilowaty:

$$t = 25\text{ min} = \frac{25}{60}\text{ h} \approx 0,42\text{ h}$$

$$1\text{ h} = 60\text{ min}$$
$$1\text{ kW} = 1000\text{ W}$$

$$P = 2200\text{ W} = 2,2\text{ kW}$$

Obliczenie energii

Moc to energia na jednostkę czasu,  $P = \frac{E}{t}$ , a więc:

$$E = Pt$$

Dodatek mat. 6 → s. 211

Po podstawieniu danych otrzymujemy:

$$E = 2,2\text{ kW} \cdot 0,42\text{ h} \approx 0,92\text{ kWh}$$

Obliczenie kwoty do zapłaty

Za 0,92 kWh po 1,20 zł za 1 kWh zapłacimy:

$$0,92 \cdot 1,20\text{ zł} \approx 1,10\text{ zł}$$

**Odpowiedź:** Piekarnik zużyje energię 0,92 kWh, za którą zapłacimy 1,10 zł.

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.
- ▶ Gdy przez żarówkę płynie prąd przemienny o **natężeniu skutecznym** 1 A, to świeci ona tak samo jasno, jakby płynął przez nią prąd stały o takim samym natężeniu.
- ▶ **Kilowatogodzina** to jednostka energii:  $1\text{ kWh} = 1\text{ kW} \cdot 1\text{ h} = 3\,600\,000\text{ J}$ .

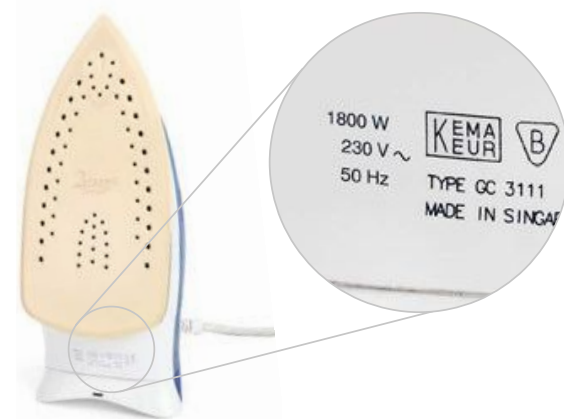


## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



- Przeanalizuj wykres na s. 118. Na jego podstawie oceń prawdziwość zdań. Uzasadnij swoje odpowiedzi.
  - Napięcie zmienia znak 100 razy w ciągu sekundy.
  - Przez połowę czasu napięcie jest ujemne, a przed drugą połowę – dodatnie.
  - Wartość bezwzględna napięcia przez połowę czasu jest większa niż jego wartość skuteczna, a przez drugą połowę – mniejsza.
  - Wartość skuteczna napięcia to połowa wartości maksymalnej.
- P1** Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez żelazko.
- P2** Oblicz, ile zapłacimy rocznie za energię potrzebną do użytkowania żelazka, jeśli codziennie włączamy je na 5 minut. Przyjmij cenę 1,20 zł za 1 kWh.
- W pewnym mieszkaniu urządzenia sieci domowej pobierają łącznie prąd o natężeniu 20 A. Ile czasu minie, zanim zostanie zużyta energia elektryczna za 50 zł? Przyjmij cenę energii 1,20 zł za 1 kWh.
- 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 1,20 zł za 1 kWh.

**Informacja do zadań 2. i 3.**

Na zdjęciu pokazano żelazko i jego tabliczkę znamionową.

## 17 Bezpieczeństwo sieci elektrycznej



Próbujemy włączyć bezpiecznik, ale on ponownie się wyłącza. Co zrobić?

**Cele lekcji:**

- F** Poznasz zasadę działania urządzeń chroniących domową sieć elektryczną.
- F** Dowiesz się, co robić, aby nie powodować wyłączenia bezpieczników.
- Dowiesz się, jak unikać porażenia elektrycznego i jak pomóc osobie poszkodowanej.

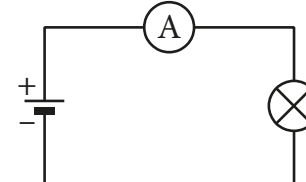
**F** **Zwarcie**

Kiedy dwa przewody zasilające zostaną połączone ze sobą bezpośrednio, a nie przez urządzenie, następuje **zwarcie**. Zbadamy teraz to zjawisko przy niskim napięciu.

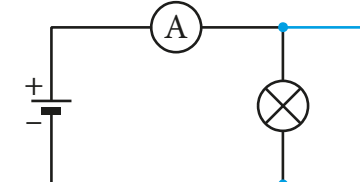
**Doświadczenie 11.****Badanie zwarcia**

- Przygotuj żarówkę 1,2 V, baterię AA (paluszek), amperomierz oraz przewody.
- Podłącz żarówkę do baterii (jak na schemacie A). Zapisz wskazanie amperomierza.

Schemat A



Schemat B



- Włącz najwyższy zakres pomiaru natężenia prądu.
- Połącz na chwilę dodatkowym przewodem końcówki żarówki (jak na schemacie B). Opisz, co się dzieje.
- Usuń dodatkowy przewód. Co obserwujesz?





Gdy dołączyliśmy dodatkowy przewód, o oporze dużo mniejszym niż opór żarówki:

- ▶ prąd popłynął przez ten przewód, omijając żarówkę,
- ▶ znacznie wzrosło natężenie prądu płynącego przez baterię,
- ▶ z powodu dużego natężenia prądu przewody i bateria mogły się nagrzewać.

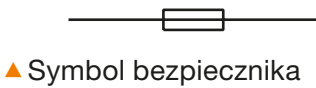
Podobnie byłoby, gdyby zwarte zostały przewody sieci domowej. Jednak pod wyższym napięciem popłynąłby prąd o dużo większym natężeniu, a **rozgrzewanie się przewodów mogłoby spowodować pożar.**

Aby uchronić się przed taką sytuacją, stosujemy bezpieczniki.

F ■ **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 urządzeniach elektrycznych. Zbadamy teraz jego właściwości.

Symbol bezpiecznika zamieszczono na rysunku obok.



▲ Symbol bezpiecznika

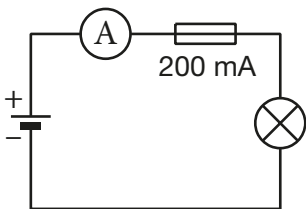
**Doświadczenie 12.**

**Badanie działania bezpiecznika**

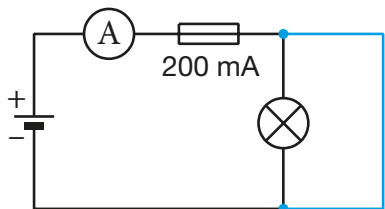
**Uwaga.** Doświadczenie wykonajcie w grupie 3–4 osób.

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.

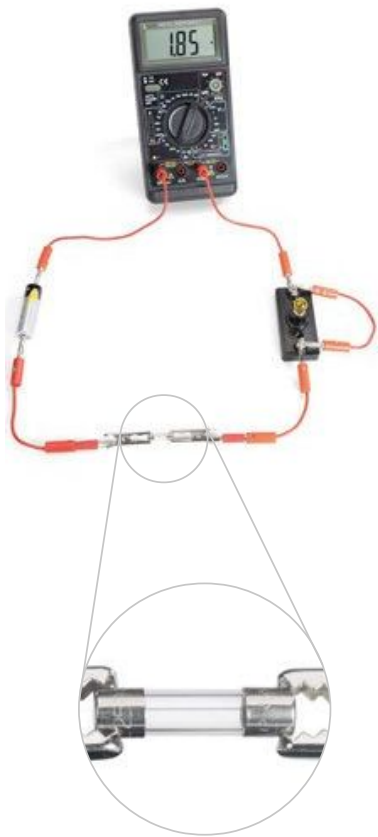
Schemat A



Schemat B



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 i przestaje przewodzić prąd.

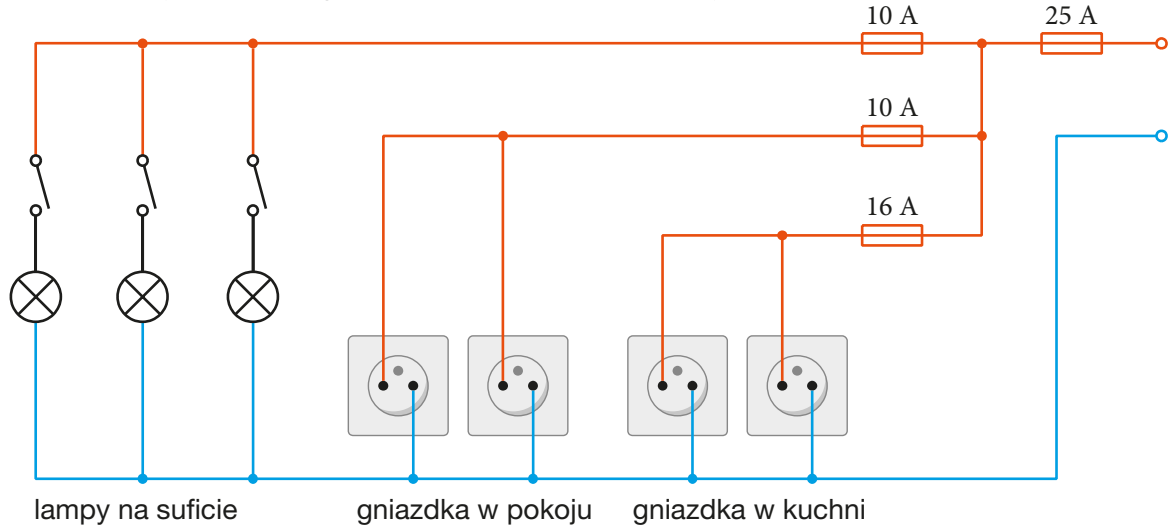
**Bezpiecznik** to urządzenie rozłączające obwód, gdy natężenie prądu przekroczy dopuszczalną wartość (nie tylko w przypadku zwarcia).

F ■ **Bezpieczniki w sieci domowej**

Obecnie w domowej sieci elektrycznej zamiast bezpieczników z drutem stosuje się **bezpieczniki automatyczne**. Gdy płynie przez nie prąd o zbyt dużym natężeniu, jedynie się wyłączają, ale nie przepalają. Po usunięciu przyczyny wyłączenia taki bezpiecznik można ponownie włączyć.

Spójrz na schemat poniżej. Przedstawia on sieć elektryczną w pewnym mieszkaniu. Znajdują się w nim:

- ▶ **główny bezpiecznik**, zwykle 25-amperowy, odcinający dopływ prądu do całego mieszkania,
- ▶ kilka mniejszych bezpieczników 10 A i 16 A, które ochraniają poszczególne części sieci domowej.



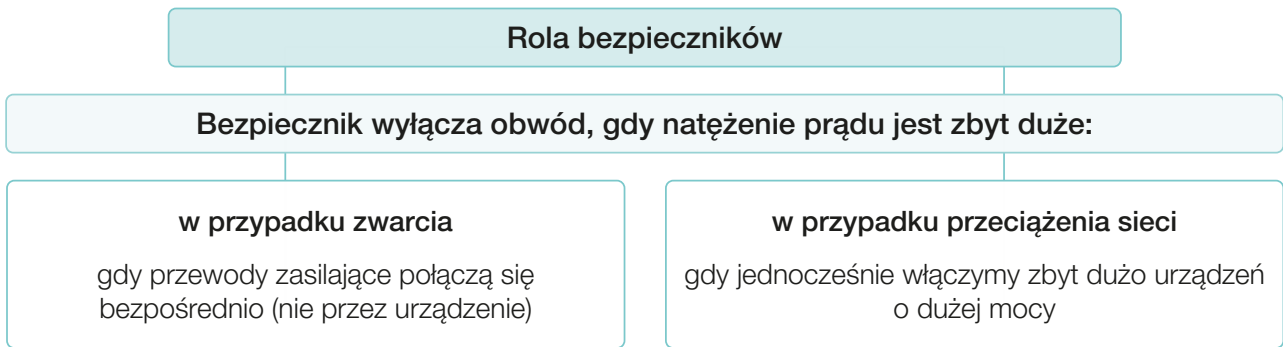
▲ Schemat domowej sieci elektrycznej

Natężenie, przy jakim bezpiecznik się wyłącza, jest napisane na jego obudowie.

F ■ **Przebieżenie sieci**

W sieci domowej wszystkie urządzenia (albo ich zasilacze) są dostosowane do napięcia 230 V. Aby to było możliwe, przewody dochodzące do mieszkania się rozgałęziają, a urządzenia są połączone równolegle (patrz schemat powyżej).

Zgodnie z pierwszym prawem Kirchhoffa natężenie prądu wpływającego do mieszkania to suma natężeń prądów płynących przez poszczególne urządzenia. A ponieważ w domu jest wiele urządzeń o dużej mocy, włączenie ich wszystkich jednocześnie mogłoby spowodować zbyt duże rozgrzanie się przewodów i doprowadzić do pożaru. Również przed tym zagrożeniem chronią bezpieczniki.





**F ■ Obliczenia dotyczące przeciążenia sieci**

Podsumujmy powyższe rozważania dotyczące napięcia i natężenia w domowej sieci elektrycznej. Wiemy, że:

- ▶ wszystkie urządzenia podłączane do sieci domowej pobierają napięcie 230 V,
- ▶ natężenie prądu wpływającego do sieci to suma natężeń prądu płynącego przez poszczególne urządzenia.

Wynika stąd, że łączna moc poszczególnych urządzeń jest równa sumie wszystkich ich mocy:

$$P = UI = U(I_1 + I_2 + I_3 + \dots) = UI_1 + UI_2 + UI_3 + \dots = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$

Ta równość, zgodna z naszym codziennym doświadczeniem, upraszcza rachunki dotyczące bezpieczników w sieci domowej.

**F Przykład**

**■ Działanie bezpiecznika w sieci domowej**

W kuchni wszystkie gniazdka są zabezpieczone jednym bezpiecznikiem 16 A. Czy można w niej włączyć jednocześnie czajnik elektryczny o mocy 1,8 kW, opiekacz do grzanek o mocy 800 W i piekarnik o mocy 2,2 kW? Uzasadnij swoją odpowiedź za pomocą odpowiednich obliczeń.

- Dane:**

  - $P_1 = 1,8 \text{ kW}$  – moc czajnika
  - $P_2 = 800 \text{ W}$  – moc opiekacza
  - $P_3 = 2,2 \text{ kW}$  – moc piekarnika
  - $I_{\text{max}} = 16 \text{ A}$  – dopuszczalne natężenie prądu
  - $U = 230 \text{ V}$  – napięcie skuteczne w sieci domowej
- Szukane:**

  - $I = ?$

Aby odpowiedzieć na pytanie, czy można włączyć te urządzenia, 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.

**Obliczanie łącznej mocy urządzeń**

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$
$$P = 1,8 \text{ kW} + 800 \text{ W} + 2,2 \text{ kW} = 1800 \text{ W} + 800 \text{ W} + 2200 \text{ W} = 4800 \text{ W}$$

**Obliczanie natężenia prądu**  
Takie urządzenie pod napięciem  $U = 230 \text{ V}$  pobiera prąd o natężeniu, które wyznaczamy ze wzoru na moc:  $P = UI$ . Po przekształceniu otrzymujemy:

Podstawiamy dane:

$$I = \frac{P}{U}$$
$$I = \frac{4800 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 20,9 \text{ A}$$

➡ **Porównanie z dopuszczalnym natężeniem**

Otrzymany wynik to więcej niż dopuszczalne 16 A. Bezpiecznik zatem odetnie dopływ prądu.

**Odpowiedź:** Nie można włączyć jednocześnie tych urządzeń.

**Uwaga.** Zanim bezpiecznik włączymy z powrotem, musimy wyłączyć część urządzeń, aby zmniejszyć natężenie prądu czerpanego z sieci.

**F ■ Wyłączniki różnicowoprądowe**

Bezpiecznik chroni sieć elektryczną przed przeciążeniem, ale nie zapobiega porażeniu elektrycznemu jej użytkownika. Jeśli ktoś jedną ręką dotknie przewodu pod napięciem, a drugą – kranu, wtedy przez jego ciało popłynie prąd o dużym natężeniu, np. 2 A, czego skutek może być nawet śmiertelny. W takim przypadku bezpiecznik 10 A nie rozłączy 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 jednym przewodem jest inne niż natężenie prądu wypływającego z niej drugim przewodem.

Taka różnica natężeń oznacza, że prąd odpływa z obwodu – być może przez ciało użytkownika (patrz ramka). Wyłączniki różnicowoprądowe działają bardzo szybko, w czasie mniejszym niż 0,1 s. Tak krótkotrwały przepływ prądu nie jest niebezpieczny, ponieważ nie wyzwala się w nim duża energia.

**F Jak działa wyłącznik różnicowoprądowy**

Jan chciał wyłączyć wtyczkę z gniazdka, ale wtyczka była uszkodzona. Niestety, drugą ręką trzymał kran. Gdyby nie natychmiastowe odłączenie napięcia, Jan mógłby zostać porażony, nawet śmiertelnie.

Z uszkodzonego przewodu przez ciało człowieka do ziemi płynie prąd o natężeniu 0,5 A.

Do sieci wpływa inny prąd, niż z niej wypływa.

Wyłącznik różnicowoprądowy odłącza napięcie.

Uszkodzona wtyczka



## Porażenie prądem elektrycznym

Pamiętaj, że napięcie 230 V w sieci domowej jest bardzo niebezpieczne. Warto znać zasady udzielania pierwszej pomocy, by umieć skutecznie zareagować w takiej sytuacji.

### Zadbaj o własne bezpieczeństwo

Jeśli nie możesz pomóc poszkodowanemu w bezpieczny dla siebie sposób – zadzwoń pod 112 i wezwij fachową pomoc.

**Nigdy nie dotykaj osoby porażonej prądem, zanim nie odsunie się jej od źródła napięcia.**

- Wyłącz bezpieczniki.
- Wyjmij z gniazdka wtyczkę urządzenia, które było przyczyną wypadku.
- **Za pomocą izolatora**, np. kija, oddziel poszkodowanego od źródła napięcia (odsuń kabel, przesunij poszkodowanego).
- Nie wchodź bezpośrednio do rozlanej wody – wejdź na skrzynię albo stół, włóż gumowe kalosze.



### Gdy miejsce zdarzenia jest bezpieczne

**Sprawdź, czy poszkodowany jest przytomny.** Delikatnie złap go za ramię i wyraźnie zapytaj: Czy mnie słyszysz?



### Jeśli poszkodowany jest przytomny

**Wezwij pogotowie ratunkowe (999 lub 112) i ułóż poszkodowanego w pozycji półsiedzącej.**

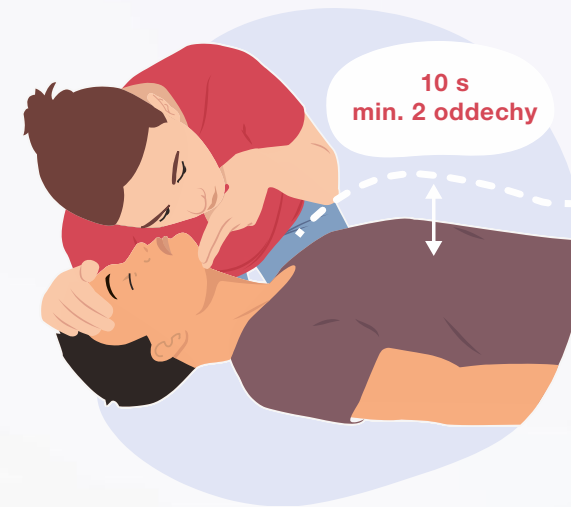
- Zapewnij mu ciepło – okryj go kocem lub kurtką.
- Pozostań z nim do czasu przyjazdu pogotowia, uspokajaj go, zadbaj, aby nie zasnął.



### Jeśli poszkodowany nie reaguje, jest nieprzytomny

**Sprawdź, czy oddycha.**

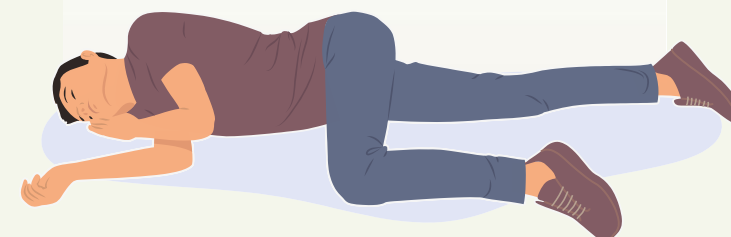
- Ułóż poszkodowanego na plecach.
- Jedną ręką przytrzymaj mu czoło, a palcami drugiej ręki złap za podbródek i odchyl jego głowę do tyłu tak, aby broda była zwrócona w górę.
- Zbliż ucho do nosa i ust poszkodowanego i obserwuj klatkę piersiową. Sprawdź, czy słyszysz i wyczuwasz oddech oraz czy widzisz ruch klatki piersiowej. W czasie 10 sekund poszkodowany powinien wykonać przynajmniej dwa oddechy.



### Jeśli poszkodowany jest nieprzytomny, ale oddycha

**Ułóż go w pozycji bezpiecznej i zadzwoń po pogotowie.**

- W miarę możliwości okryj go kocem lub kurtką.
- Pozostań z nim do czasu przyjazdu karetki.
- Regularnie oceniaj oddech poszkodowanego.



### Jeśli poszkodowany nie oddycha lub oddycha nieprawidłowo

**Wezwij pogotowie ratunkowe (999 lub 112).**

Jeśli ktoś jest w pobliżu, poproś go głośno o wezwanie karetki, np.: „Niech pan w czerwonej kurtce natychmiast wezwie pogotowie!”.

**Rozpocznij resuscytację krążeniowo-oddechową.**

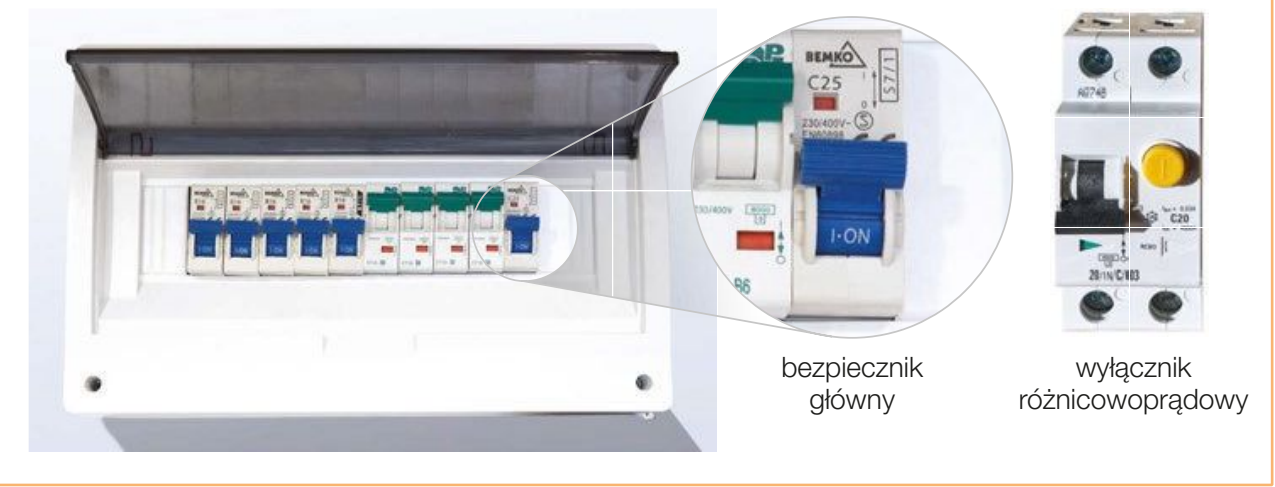
- Uklęknij obok poszkodowanego.
- Oprzyj podstawę zaplecionych dłoni pośrodku klatki piersiowej poszkodowanego. Pochyl się nad nim i wyprostuj ręce w łokciach.
- Uciskaj klatkę piersiową na 5–6 cm z częstotliwością 120 razy na minutę (dwóch na sekundę). **Konieczne wykonuj tę czynność do czasu przyjazdu pogotowia.**



Wyłączniki różnicowoprądowe łączy się zwykle w jednej obudowie z bezpiecznikami (patrz ramka poniżej).

F **Tablica bezpieczników**

W nowym budownictwie 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.



F **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., ewentualnie chłodzią, np. lodówka. Każde z takich urządzeń należy włączać do osobnego gniazdka.

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



▲ Zbyt obciążony rozgałęźnik zapala się

F **„Faza”, „zero” i uziemienie**

Spośród dwóch przewodów w gniazdku tylko jeden jest pod napięciem względem ziemi – w technicznym żargonie mówimy o nim „faza” (nazwa pochodzi od prądu trójfazowego, o którym tutaj nie mówimy).

Drugi przewód 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.

W angielskich opisach urządzeń:  
*live* – przewód fazowy,  
*neutral* – przewód neutralny,  
*ground* albo *earth* – uziemienie.

F **Rola uziemienia**

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.

Dzięki uziemieniu prąd z sieci odpływa do ziemi, a wyłączniki różnicowoprądowe albo bezpieczniki odcinają napięcie, zanim ktokolwiek zostanie porażony.



▲ Gniazdko ze stalowym bolcem

Jeśli urządzenie jest wyposażone we wtyczkę z uziemieniem, to włączaj je tylko do gniazdka, które ma uziemienie.



▲ Uziemienie może być też podłączone do styków z boku wtyczki

Obecnie niemal wszystkie gniazdko są wyposażone w uziemienie. W starszych budynkach zdarza się, że bolc uziemienia jest podłączony do „zera”. Nie daje to pełnej ochrony, ale jest lepsze niż całkowity brak uziemienia. Warto jednak doprowadzić uziemienie do gniazdek przy najbliższym większym remoncie.

**To najważniejsze**

- ▶ **Bezpiecznik** odcina zasilanie, gdy natężenie prądu przekroczy ustaloną wartość.
- ▶ **Wyłącznik różnicowoprądowy** odcina zasilanie, gdy natężenie prądu wpływającego do sieci domowej jest inne niż prądu wypływającego.
- ▶ 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. 128–129.



## F Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. Sprawdź, gdzie w twoim domu znajdują się bezpieczniki, a zwłaszcza główny, pozwalający odłączyć napięcie w całym domu. Dowiedz się, jak je wyłączać. Zapisz w kilku zdaniach swoje ustalenia.
2. **P** 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? Uzasadnij swoją odpowiedź za pomocą odpowiednich obliczeń.



3. Czy w sytuacji opisanej w przykładzie na s. 126 wystarczy wyłączyć jedno z urządzeń, aby można było ponownie włączyć bezpiecznik? Czy ma znaczenie, które to urządzenie?

4. Uzupełnij zdania 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



5. **i** Opisz, w jakiej sytuacji po porażeniu prądem elektrycznym należy:
  - a) prowadzić resuscytację,
  - b) położyć poszkodowanego w pozycji bezpiecznej,
  - c) obserwować, czy poszkodowany porusza klatką piersiową,
  - d) wezwać pogotowie ratunkowe,
  - e) ułożyć poszkodowanego w pozycji półleżącej.

## 18 Pole magnetyczne



*Dlaczego kompas wskazuje północ w przybliżeniu, a nie idealnie dokładnie?*

## 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 tego oddziaływania.

## Doświadczenie 13.

## 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 są przyciągane przez magnes. Co obserwujesz?





■ Jakie substancje przyciąga magnes

Jak wynika z doświadczenia, magnes oddziałuje tylko na niektóre przedmioty – te wykonane z żelaza lub stali, a także z kilku rzadziej spotykanych substancji. Natomiast magnes nie przyciąga w zauważalny sposób większości metali, np. aluminium i miedzi.

■ Bieguny magnesu

Wiesz już, że 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**.

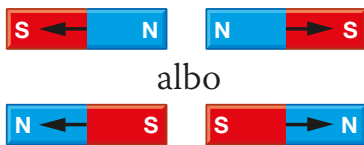
Bieguny magnesów oznaczamy literami N i S, tak samo jak kierunki geograficzne. Magnes służący jako igła kompasu obraca się biegunem północnym na północ, a biegunem południowym – na południe.

Oddziaływanie magnesów

A. Różne bieguny się przyciągają



B. Jednakowe bieguny się odpychają



Magnesy sztabkowe są czasem pomalowane. W naszym podręczniku będziemy stosować kolor niebieski od strony bieguna północnego i czerwony od strony bieguna południowego, jednak można się także spotkać z innymi oznaczeniami.

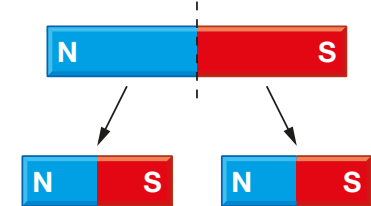
Porównanie oddziaływań elektrycznych i magnetycznych

Podobieństwa

Jednakowe ładunki lub bieguny się odpychają, przeciwne się przyciągają.

Różnice

Ładunki elektryczne można rozdzielić, a biegunów magnetycznych – nie można, nawet przecinając magnes (patrz rysunek obok).



▲ Gdy przetniemy magnes, otrzymamy dwa magnesy, każdy z dwoma biegunami



▲ Magnes neodymowy w kształcie pastylki ma bieguny na płaskich powierzchniach

Istnieją substancje, które magnes bardzo słabo przyciąga lub odpycha, jednak nie będziemy się teraz nimi zajmować.

F MAGNETYZM I POCZĄTKI FIZYKI

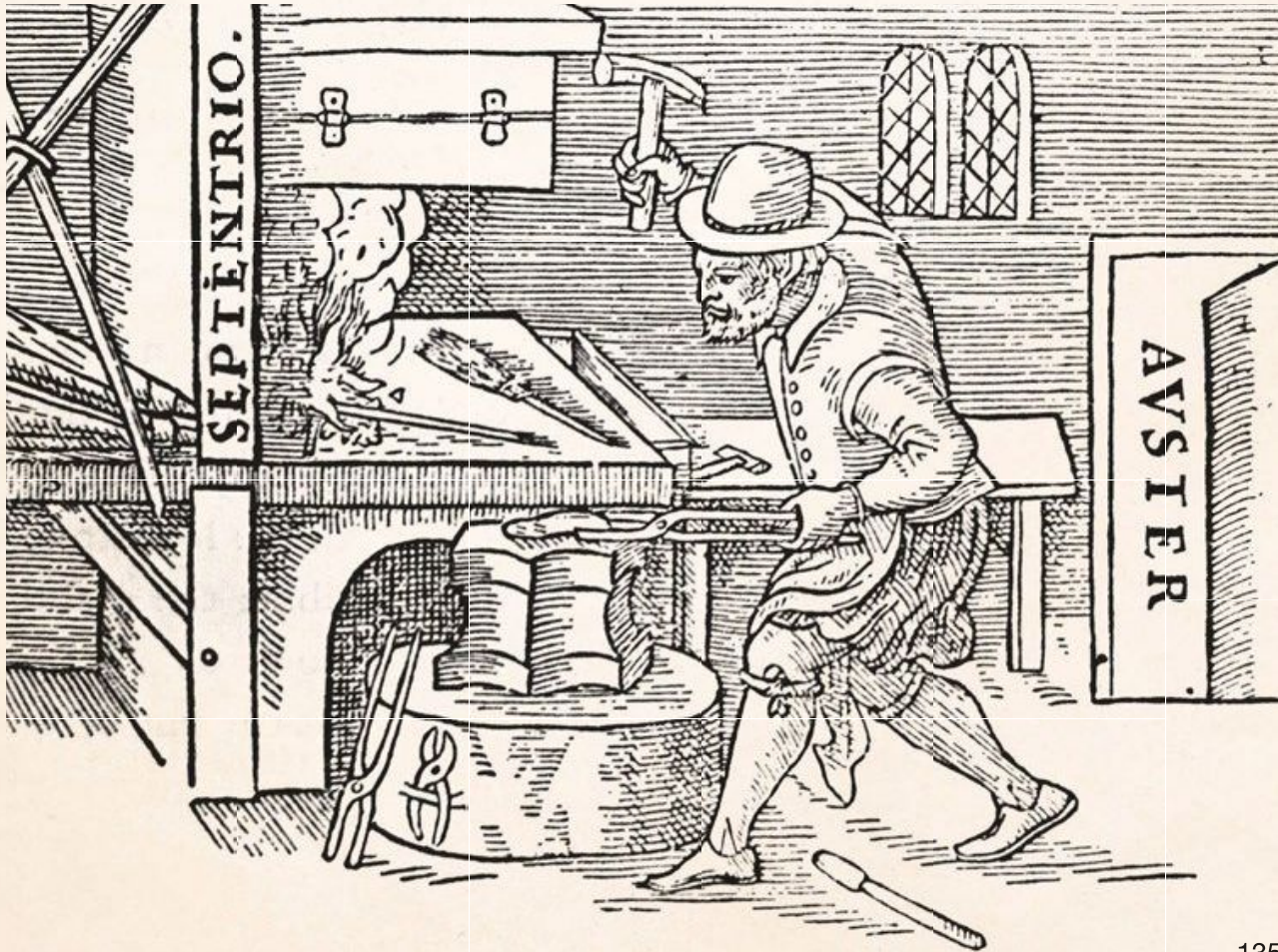
Już starożytni odkryli zjawiska magnetyczne, jednak razem z poznanymi faktami powtarzano najdziwniejsze legendy. Na przykład o tym, że kompas traci swoje właściwości od zapachu czosnku, a magnes pod poduszką mężatki wyrzuci ją z łóżka, jeśli ta dopuści się zdrady. Aby odróżnić fakty od fantazji, potrzebne były systematyczne badania doświadczalne. Jednym z pierwszych, który je prowadził, był XVI-wieczny uczonec 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* ▼





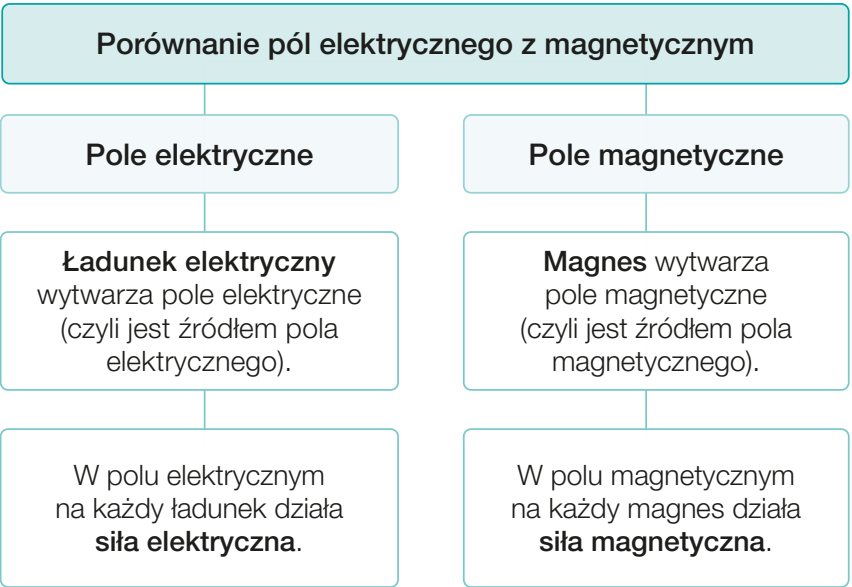
■ Oddziaływanie między magnesem a żelazem

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 ściślej, magnes nie tyle przyciąga nienamagnesowane żelazo, ile powoduje jego namagnesowanie, a następnie je przyciąga (patrz zdjęcie obok).

■ Pole magnetyczne

Podobnie jak w elektrostatyce, również w przypadku magnetyzmu możemy opisywać oddziaływania za pomocą pojęcia pola – w tym przypadku pola magnetycznego.

Jeśli w jakimś obszarze na magnes działa siła magnetyczna, to mówimy, że występuje tam **pole magnetyczne**.



Najprostszym przyrządem służącym do badania pola magnetycznego jest igła magnetyczna, na przykład stanowiąca część kompasu.

A to ciekawe

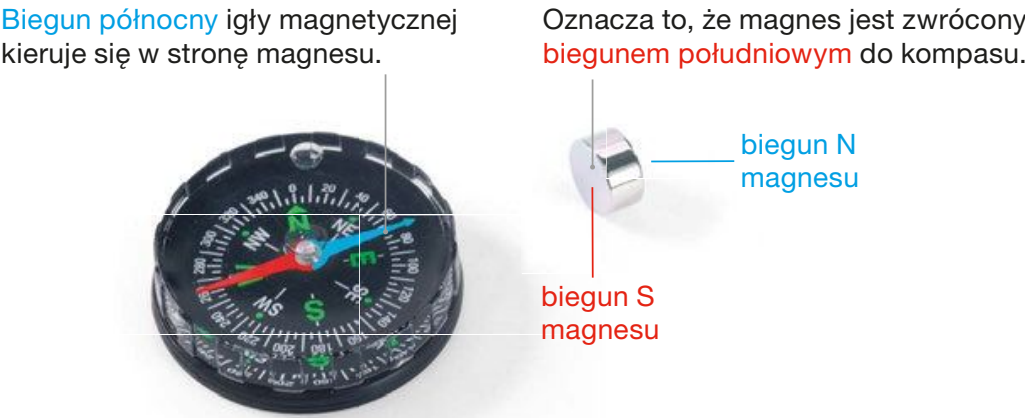
Pole magnetyczne może być mocniejsze lub słabsze, a wielkość, która to opisuje, nazywa się indukcją magnetyczną. Czujnik pozwalający na pomiar indukcji magnetycznej znajduje się w wielu telefonach komórkowych. Aby z niego skorzystać, trzeba zainstalować odpowiednią aplikację, np. Phyphox.



▲ Stalowy spinacz przyczepiony do magnesu sam staje się magnesem i przyciąga kolejne spinacze

Jak rozpoznać bieguny magnesu

Jeśli bieguny magnesu nie są podpisane, można je rozróżnić za pomocą kompasu.



▲ Magnes przyciągnął biegun północny igły magnetycznej, więc widocznie jest do niej zwrócony biegunem południowym

■ Igła magnetyczna

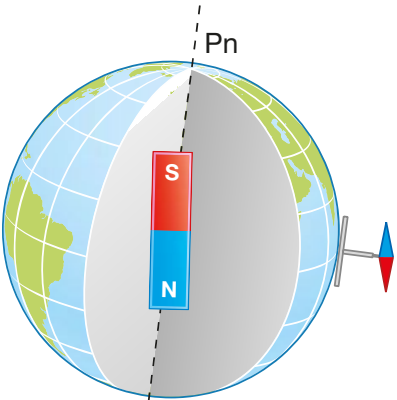
Najważniejszą częścią kompasu jest igła magnetyczna, czyli po prostu niewielki podłużny magnes zamocowany w taki sposób, aby mógł się obracać wokół osi (patrz zdjęcie obok). Ponieważ także Ziemia jest magnesem, a jej bieguny magnetyczne są położone w pobliżu biegunów geograficznych (patrz rys. na marginesie poniżej), igła magnetyczna ustawia się w przybliżeniu w kierunku północ-południe. Ponieważ igła magnetyczna jest magnesem, reaguje na każde pole magnetyczne, nie tylko to wytwarzane przez Ziemię. Dlatego będziemy ją wykorzystywać w doświadczeniach, np. do rozróżniania biegunów magnesu (patrz ramka powyżej) i do wykrywania pola magnetycznego.



▲ Igła magnetyczna kompasu obraca się wokół swojej osi

■ Bieguny magnetyczne Ziemi

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. obok). Różnica między północą magnetyczną (wskazywaną przez kompas) a północą geograficzną (wyznaczoną przez oś obrotu Ziemi i zaznaczoną na mapach) nie ma znaczenia podczas wycieczki po lesie. Jednak przy dalekich rejsach i lotach trzeba ją brać pod uwagę, ponieważ na trasie 1000 km pomyłka w azymucie o kilka stopni sprawi, że miniemy się z celem podróży o kilkadziesiąt kilometrów.



▲ Ziemia zachowuje się jak wielki magnes i oddziałuje z małym magnesem – igłą magnetyczną



## ■ Pole magnetyczne wytwarzane przez prąd elektryczny

Przełomem w badaniach nad magnetyzmem było odkrycie, że źródłem pola magnetycznego jest nie tylko magnes, lecz także przepływ prądu (patrz infografika s. 146).

### Doświadczenie 14.

#### Oddziaływanie prądu na igłę magnetyczną

1. Przygotuj kompas, baterię D oraz gruby izolowany przewód miedziany.
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? Co się zmienia, jeśli zamienisz bieguny baterii?

**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 może być 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, ponieważ w pobliżu magnesu gwóźdź sam staje się magnesem. Przerysuj rysunek do zeszytu i podpisz bieguny namagnesowanego gwoździa.
3. Jak sprawdzić bez amperomierza, czy przez przewód płynie prąd?
4. Żelazo jest przyciągane przez magnes. A czy magnes jest przyciągany przez żelazo? Z jakiego prawa fizyki to wynika?
5. **(F i)** W starożytności wierzano, że lew boi się koguta, ponieważ ten ptak wywołuje u niego chorobę oczu. Jednak w średniowieczu ktoś postanowił to sprawdzić i wpuścił koguta do klatki lwa. Ten eksperyment stał się końcem zarówno samego koguta, jak i bezkrytycznie powtarzanego poglądu. Jaki związek ma ta historia z tematem infografiki na s. 135?
6. Powiedzieliśmy, że magnes nie tyle przyciąga nienamagnesowane żelazo, ile powoduje jego namagnesowanie i przyciąga tak powstały magnes. Przypomnij z elektrostatyki i opisz podobnie zachodzące zjawisko.

### 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 pętka z nici nie przesuwiała się po gwoździu.
5. Sprawdź, czy gwóźdź wskazuje północ, tak samo jak igła magnetyczna.





## 19 Linie pola magnetycznego



*Jak działa głośnik?*

### Cele lekcji:

- Zbadasz linie pola magnetycznego wytwarzanego w różny sposób.
- Poznasz zastosowania zwojnicy (cewki) i elektromagnesu.

### Linie pola magnetycznego

Pole magnetyczne możemy przedstawić graficznie za pomocą **linii pola**.

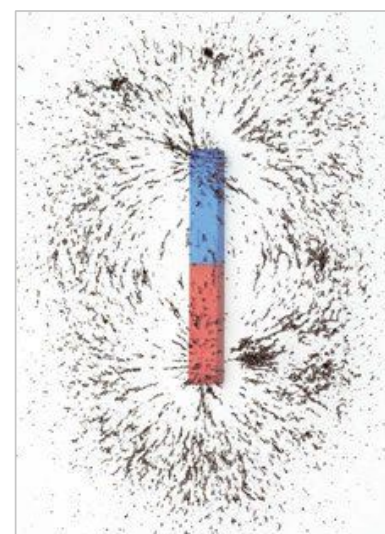
Igła magnetyczna w polu magnetycznym ustawia się stycznie do linii pola.

Podobnie zachowuje się niewielki podłużny kawałek żelaza. Najpierw magnesuje się pod wpływem pola magnetycznego, a następnie ustawia wzdłuż linii pola.

#### Doświadczenie obowiązkowe

##### Badanie kształtu linii pola magnetycznego

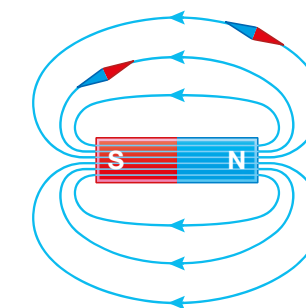
1. Przygotuj sztywną przezroczystą folię, np. sztywną koszulkę na dokumenty lub ewentualnie tekturkę, oraz magnes sztabkowy i stalowe lub żelazne opiłki.  
**Uwaga.** O opiłki możesz poprosić w punkcie dorabiania kluczy – można je tam zebrać magnesem. Doświadczenia z opiłkami wykonuj w okularach ochronnych. Zdejmij je dopiero po dokładnym umyciu rąk.
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. Naskicuj w zeszycie powstałe linie.



### Linie pola wytwarzanego przez magnes

W doświadczeniu mogliśmy zbadać linie pola magnetycznego tylko na zewnątrz magnesu. Okazuje się jednak, że pole występuje również w jego wnętrzu, a linie pola magnetycznego są krzywymi zamkniętymi, czyli 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.



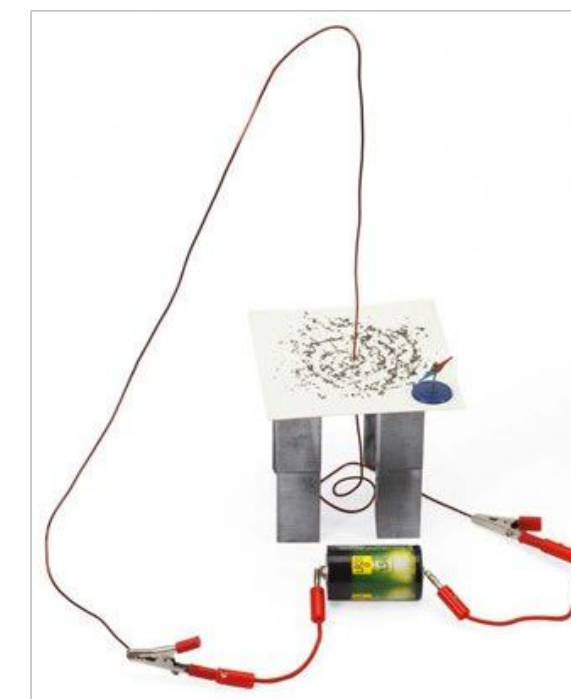
▲ Igła magnetyczna ustawia się stycznie do linii pola magnetycznego

#### Doświadczenie obowiązkowe

##### Linie pola magnetycznego wokół prostoliniowego przewodnika z prądem

1. Przygotuj kompas lub igłę magnetyczną, baterię D, 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.

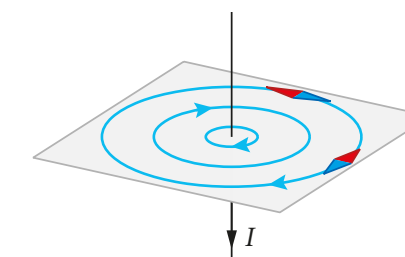


Tym razem możemy już bezpośrednio zobaczyć, że linie pola magnetycznego są krzywymi zamkniętymi. Ich zwrot zależy od kierunku przepływu prądu. Wokół pojedynczego przewodu linie pola magnetycznego są **współśrodkowymi okręgami**.

### Dlaczego linie pola są zamknięte

W obu badanych przypadkach linie pola były zamknięte. Okazuje się, że jest to reguła:

Linie pola magnetycznego są zawsze liniami zamkniętymi.



▲ Linie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem



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.

## ■ Pole magnetyczne zwojnicy

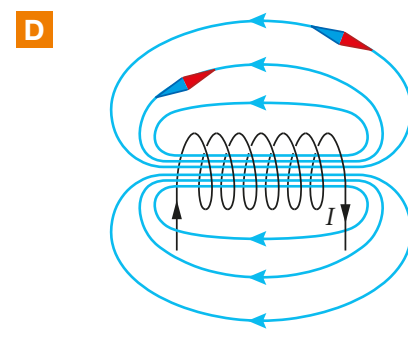
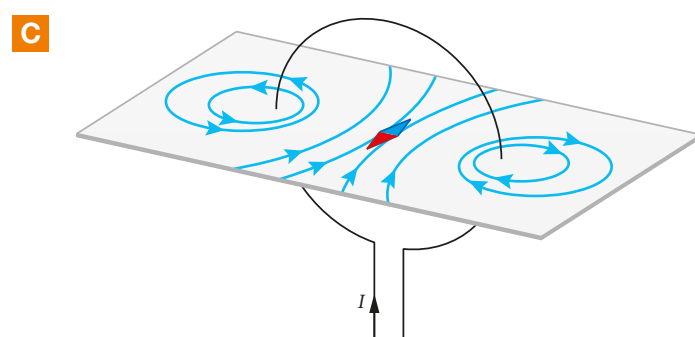
Pojedynczy przewodnik z prądem wytwarza słabe pole magnetyczne. Aby wzmocnić ten efekt, zwijamy go w wiele pętli – w ten sposób uzyskujemy **zwojnicę**, która wytwarza odpowiednio silniejsze pole magnetyczne.

W technice zwojnicę częściej nazywamy cewką.

### Doświadczenie obowiązkowe

#### Pole magnetyczne pętli lub zwojnicy z prądem

1. Przygotuj baterię D, gruby przewód długości ok. 50 cm, tekturkę i stalowe opilki.
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 opilki.
4. Podłącz końce przewodu do biegunów baterii.
5. Postukaj delikatnie w tekturkę, aby opilki 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.



▲ Linie pola magnetycznego wytwarzanego przez: **C** pętlę z prądem, **D** zwojnicę

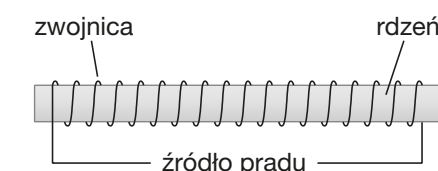
Linie pola na zewnątrz pętli lub zwojnicy przypominają linie pola wytwarzanego przez magnes sztabkowy. Ustawienie biegunów zależy od kierunku przepływu prądu.

## ■ 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 wtedy, gdy wewnątrz zwojownicy umieścimy kawałek stali – uzyskamy elektromagnes, czyli magnes zasilany prądem elektrycznym.

**Elektromagnes** to zwojnica nawinięta na kawałek stali zwany rdzeniem.

Pod wpływem pola magnetycznego zwojnicy rdzeń ulega namagnesowaniu i sam też wytwarza pole magnetyczne, które dodaje się do pola zwojownicy, a co więcej – jest od niego znacznie silniejsze. Zasadniczą zaletę elektromagnesu stanowi możliwość jego włączania i wyłączania, co w przypadku zwykłego magnesu nie wchodzi w grę.



◀ Budowa elektromagnesu

### Zastosowania zwojnic i elektromagnesów

Z elektromagnesami i zwojnicami mamy do czynienia na co dzień. Oto niektóre przykłady.



▲ Gdy w mieszkaniu wciskamy przycisk domofonu, elektromagnes otwiera drzwi. Włącza się on także wtedy, gdy układ elektroniczny rozpozna kod wpisany na klawiaturze przez mieszkańców wracających do domu



▲ Potężny elektromagnes podnosi złom żelazny. Magnes trwały nie może spełniać tej funkcji – gdyby nawet udało się wyprodukować odpowiednio mocny magnes, nie dałoby się go wyłączyć



▲ Zwojnica jest ważnym elementem głośnika (także stanowiącego część słuchawek). Dzięki jej oddziaływaniu z magnesem trwałym membrana porusza się i wprawia w ruch powietrze (więcej na s. 144–145)



▲ W urządzeniach medycznych do magnetycznego rezonansu jądrowego (NMR – *nuclear magnetic resonance*) wykorzystujemy ogromną zwojnicę, do której wsuwa się pacjenta. Pole magnetyczne jest tam bardzo silne, więc nie można wykonywać tego typu badań np. u osób z rozrusznikiem serca

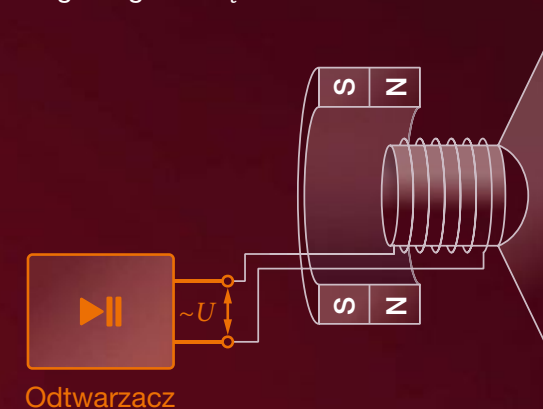


# JAK DZIAŁA GŁOŚNIK

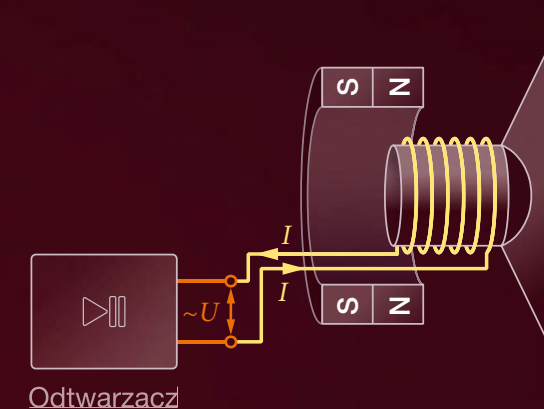
Podstawą działania większości głośników jest oddziaływanie magnetyczne między magnesem a zwojnicą. Poniżej jest przedstawiona budowa głośnika, a na stronie obok – zasada jego działania.



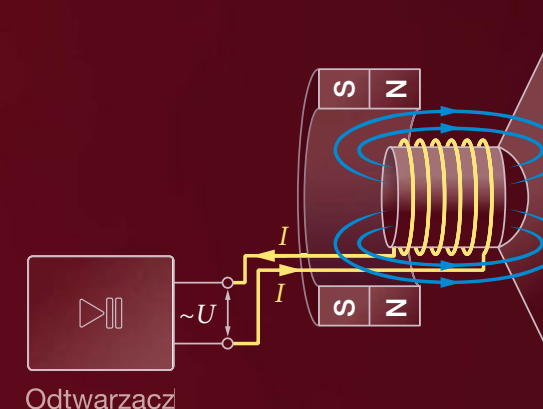
- 1 Odtwarzacz na podstawie zapisanego dźwięku wytwarza napięcie, które zmienia się tak jak częstotliwość i amplituda nagranych dźwięku.



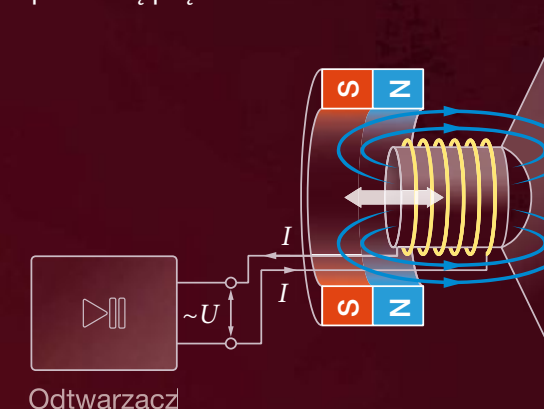
- 2 Zmieniające się napięcie doprowadzone do głośnika powoduje, że przez zwojnicę przepływa tak samo zmieniający się prąd.



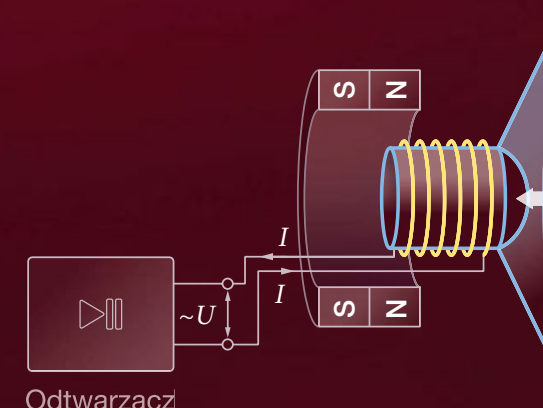
- 3 Zmienny prąd przepływający przez zwojnicę sprawia, że wytwarza ona pole magnetyczne, które zmienia się tak jak płynący prąd.



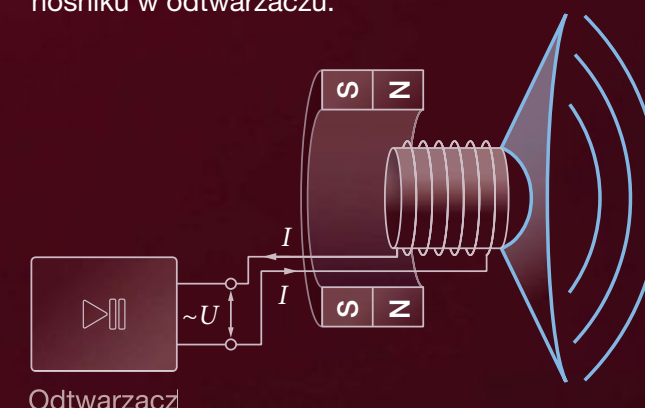
- 4 Skutkiem jest zmieniające się oddziaływanie z magnesem trwałym – zwojnica jest przyciągana i odpychana zgodnie ze zmianami przepływającego przez nią prądu.



- 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.





## F 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.

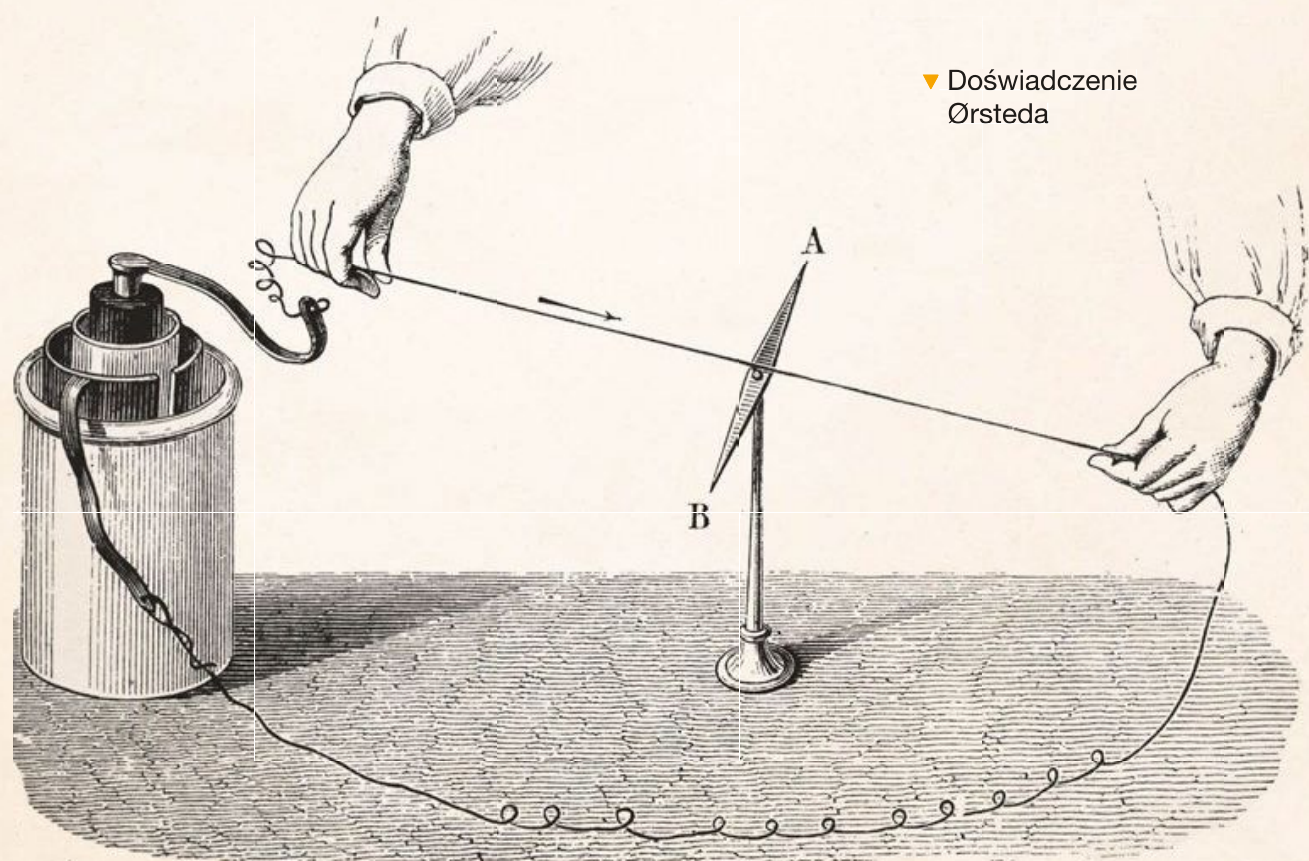
Rok 1820 określono mianem *annus mirabilis* – cudowny rok. Odkrycie Ørsteda odblokowało drogę do kolejnych odkryć w badaniach elektromagnetyzmu, zarówno tych dokonanych przez Ampère'a, jak i przez innych uczonych.

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



## To najważniejsze

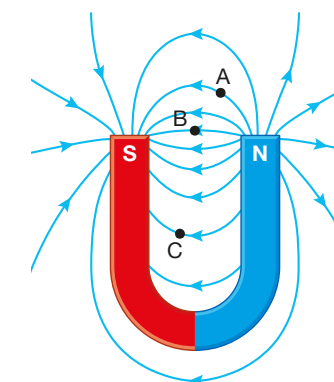
- ▶ **Pole magnetyczne** można przedstawić graficznie za pomocą linii pola. W każdym punkcie pola igła magnetyczna ustawia się do nich stycznie.
- ▶ **Linie pola magnetycznego** można badać za pomocą opiłków stalowych lub żelaznych. Linie pola są krzywymi zamkniętymi – w przypadku, gdy źródłem pola jest magnes, występują one również wewnątrz magnesu.
- ▶ Pętla lub zwojnica podłączona do prądu elektrycznego wytwarza pole magnetyczne podobne do pola magnesu.
- ▶ Zwojnica nawinięta na rdzeniu to **elektromagnes**.

## Pytania i zadania

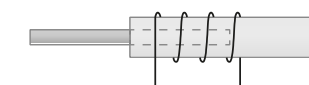
## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



1. 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.



**Wskazówka.** Zastanów się najpierw, jakie pole magnetyczne występuje wewnątrz zwojnicy i jak pod jego wpływem magnesuje się pręt.



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. Do zwojnicy częściowo wsunięto stalowy pręt (patrz rysunek w kolumnie obok). Co się z nim stanie po włączeniu prądu: zostanie wciągnięty do zwojnicy, wypchnięty z niej, czy też pozostanie na swoim miejscu?

4. Żelazo można namagnesować, a jednocześnie dobrze przewodzi ono prąd elektryczny. Która z tych właściwości ma znaczenie wtedy, gdy wykonujemy z niego rdzeń elektromagnesu?

5. **F i** 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****Budowa elektromagnesu**

1. Przygotuj długi stalowy gwóźdź, baterię D, drobne przedmioty stalowe (gwoźdźki, spinacze biurowe) oraz drut w izolacji emaliowej (patrz „Wskazówki praktyczne (prąd elektryczny)” na s. 53), 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 (a 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 tak się 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 zmieniają, jeśli prąd popłynie w drugą stronę.
5. W bardziej zaawansowanej wersji doświadczenia możesz też zbadać, jaki ciężar uniesie twój elektromagnes, i jak się to zmienia, gdy nawijamy coraz więcej zwojów drutu. Spróbuj przedstawić swoje dane na wykresie. Czy otrzymana zależność jest proporcjonalnością prostą?

**20 Siła w polu magnetycznym**

*Mars miał kiedyś atmosferę o gęstości zbliżonej do ziemskiej, ale dziś jest ona znacznie rzadsza. Co się z nią stało?*

**Cele lekcji:**

- Zaobserwujesz siłę działającą w polu magnetycznym na przewodnik z prądem.
- Dowiesz się, jak działa silnik elektryczny.
- Poznasz siłę działającą na naładowaną cząstkę poruszającą się w polu magnetycznym.

**Siła magnetyczna**

Skoro przewodnik z prądem oddziałuje na magnes, to również magnes oddziałuje na przewodnik z prądem. Zaobserwujemy to w doświadczeniu.

**Doświadczenie 15.****Badanie siły działającej na przewodnik z prądem**

1. Przygotuj dwa długie gwoździe, baterię D, mocny magnes, przewody i magnesy do ich łączenia, taśmę klejącą oraz gruby miedziany przewód (możesz też skrócić razem kilka cieńszych).
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 połącz 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. Włączaj napięcie tylko na kilka sekund.

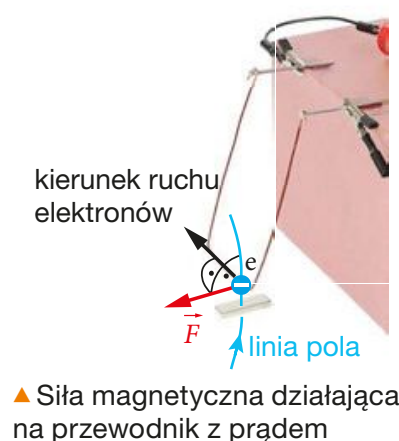




## Analiza doświadczenia

Jak widzieliśmy w doświadczeniu, ramka się odchyliła, gdy zaczął przez nią płynąć prąd. Ruch ten oznacza, że na przewodnik z prądem znajdujący się w polu magnetycznym działa siła magnetyczna. A ściślej, działa ona na płynące w przewodzie elektrony, tak jak dorysowaliśmy do zdjęcia z doświadczenia (rys. obok).

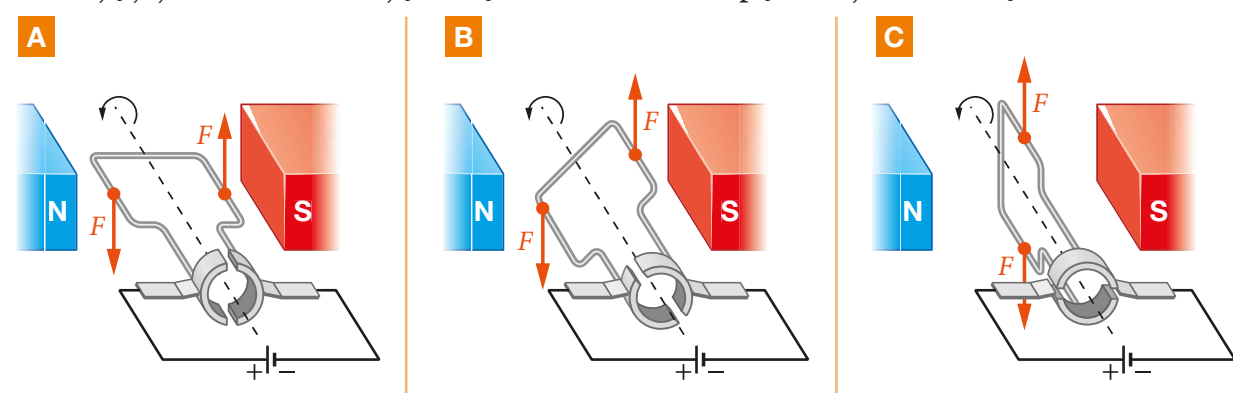
Zauważ, że ta siła jest prostopadła zarówno do linii pola magnetycznego, jak i do kierunku ruchu elektronów.



## Silnik elektryczny

Działanie siły magnetycznej na przewodnik z prądem jest podstawą działania silnika elektrycznego.

Najprostszy model takiego silnika to pojedyncza ramka z drutu umieszczona w polu magnetycznym. Gdy przez ramkę płynie prąd, działające na nią siły powodują jej obrót. Obracająca się ramka może napędzać jakieś urządzenie.



W prawdziwym silniku jest bardzo wiele ramek. Dzięki temu może mieć on większą moc i mniejsze straty energii. Nie zatrzymuje się także w położeniu C, ponieważ ramki są rozmieszczone pod różnymi kątami i w danym momencie tylko na jedną z nich działają siły, które nie powodują jej obrotu.

## Naładowana cząstka w polu magnetycznym

Siła magnetyczna działa nie tylko na elektrony w przewodniku, lecz także na naładowane cząstki poruszające się w próżni, w powietrzu lub w innej substancji.

Na naładowaną cząstkę, która porusza się w polu magnetycznym, działa **siła magnetyczna** powodująca zakrzywienie jej toru. Wyjątkiem jest cząstka poruszająca się wzdłuż linii pola – na nią siła magnetyczna nie działa.

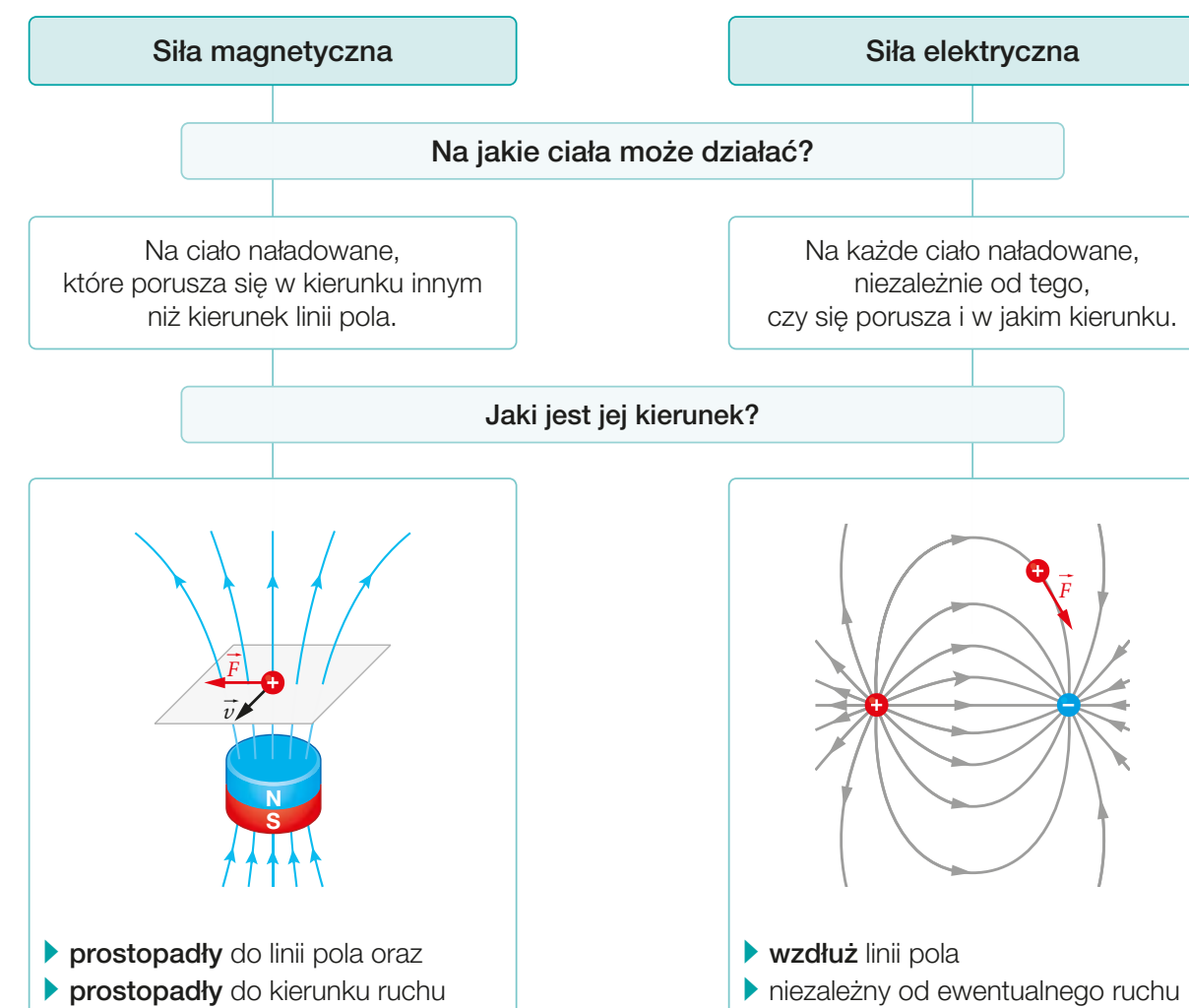
Siła magnetyczna nie może rozpędzać ani hamować poruszającej się cząstki, a jedynie zmieniać kierunek jej ruchu. Tę własność siły magnetycznej wykorzystuje się w praktyce do sterowania torem cząstek w akceleratorach – urządzeniach do badania cząstek elementarnych i jonów.

W najprostszym przypadku, gdy cząstka porusza się w płaszczyźnie, a linie pola są do tej płaszczyzny prostopadłe, siła magnetyczna działa jako siła dośrodkowa, czyli powoduje ruch cząstki po okręgu.

Bardziej skomplikowana jest sytuacja, gdy rozważamy ruch w przestrzeni trójwymiarowej. Możliwe tory ruchu cząstki naładowanej w polu magnetycznym pokazano na infografice (s. 152–153) na rysunkach 1–4.

## Siła magnetyczna a siła elektryczna

Na koniec porównamy dwa rodzaje sił działających na ładunki – siłę elektryczną i siłę magnetyczną. Temu zagadnieniu poświęciliśmy diagram poniżej.



### 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 w polu magnetycznym Ziemi na naładowane cząstki wiatru słonecznego chroni nas przed nim i powoduje powstawanie zorzy polarnej.



## F WIATR SŁONECZNY I ZORZA

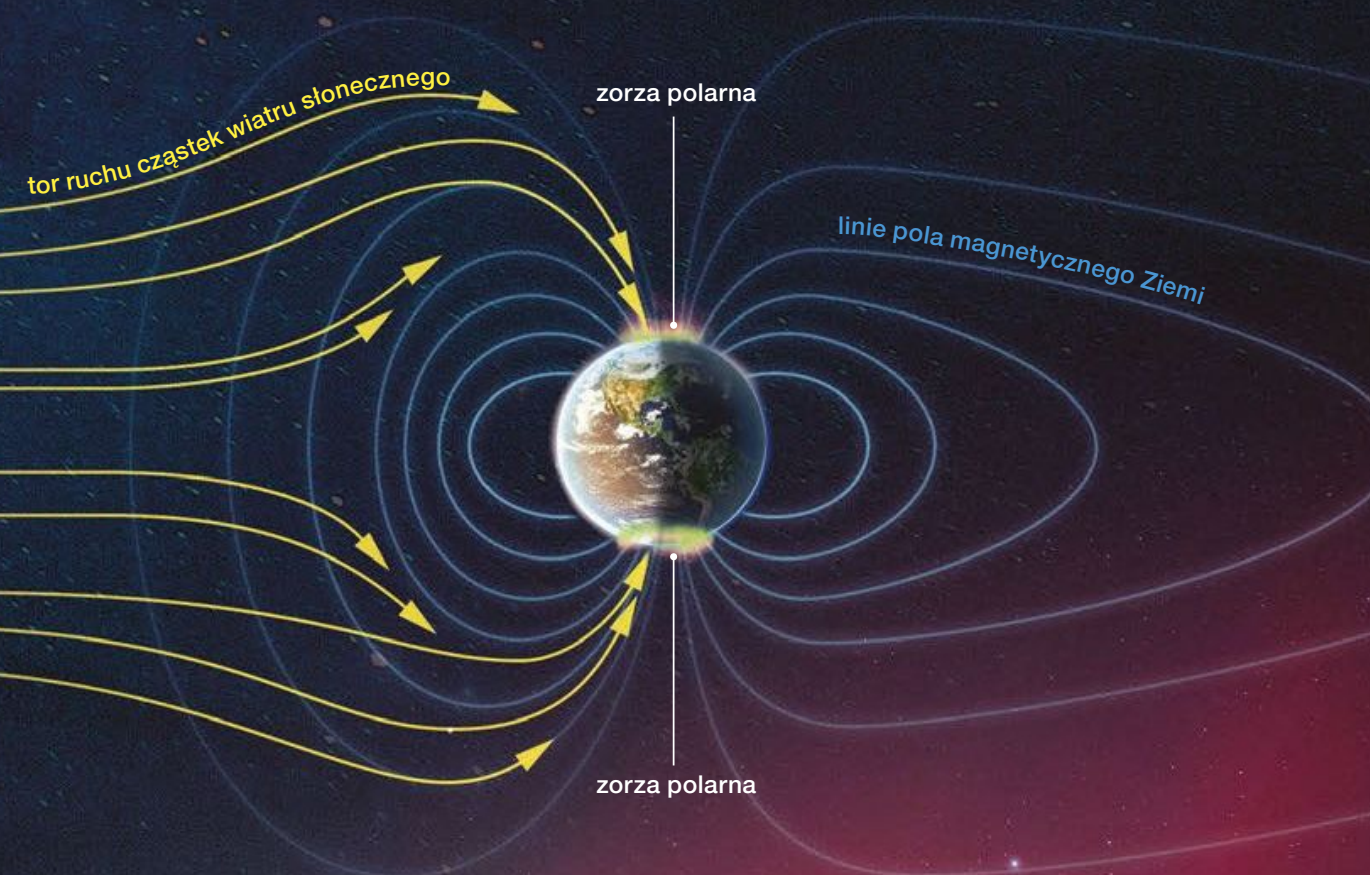
Wiatr słoneczny to strumień naładowanych cząstek (m.in. protonów i elektronów) emitowanych ze Słońca. Astronomowie przypuszczają, że to właśnie wiatr słoneczny „wywiał” znaczną część atmosfery Marsa. Na szczęście Ziemia ma ochronę, której pozbawiony jest Mars: pole magnetyczne.

■ Wiatr słoneczny unosi ze Słońca milion ton materii na sekundę.

■ Prędkość cząstek wiatru słonecznego to kilkaset kilometrów na sekundę, a czasem nawet ponad 1800 km/s.

■ Gęstość wiatru słonecznego w pobliżu Ziemi wynosi od 3 do 10 cząstek na  $\text{cm}^3$ .

Już kilkadziesiąt tysięcy kilometrów od Ziemi jej pole magnetyczne jest na tyle silne, że powoduje zmianę kierunku cząstek wiatru słonecznego. Większość cząstek omija Ziemię. Pozostałe są kierowane w okolice biegunów. Tam powodują powstawanie zorzy polarnej.



### Zachowanie cząstek w polu magnetycznym

- 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.
- Gdy cząstka porusza się wzdłuż linii pola, nie działa na nią siła magnetyczna, a cząstka dalej porusza się po tej samej prostej ze stałą prędkością.
- 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.
- Gdy linia pola powoli zmienia kierunek, wraz nią skręca linia śrubowa, po której porusza się naładowana cząstka. Tak właśnie dzieje się z cząstkami wiatru słonecznego w polu magnetycznym Ziemi.

### Jak powstaje zorza polarna?

Pole magnetyczne Ziemi kieruje cząstki wiatru słonecznego do obszarów podbiegunowych. Cząstki te uderzają w cząsteczki powietrza i wybijają z nich elektrony. Kiedy do tak powstałych jonów przyłączają się elektrony, nadmiar energii jest emitowany w postaci światła. W ten sposób powstaje jedno z najpiękniejszych naturalnych zjawisk – zorza polarna.



## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYCIE



- Wskaż, na które z wymienionych ciał lub cząstek w polu magnetycznym działa siła magnetyczna.
  - przewodnik z prądem ułożony wzdłuż linii pola
  - przewodnik z prądem ułożony w poprzek linii pola
  - spoczywający elektron
  - elektron poruszający się prostopadle do linii pola
  - elektron poruszający się pod kątem  $45^\circ$  do linii pola
  - elektron poruszający się wzdłuż linii pola
  - stalowy gwoździak
  - igła magnetyczna
- Przyjrzyj się schematowi silnika z jedną ramką na s. 150. Zaznaczono na nim tylko siły działające na dwa równoległe odcinki ramki.

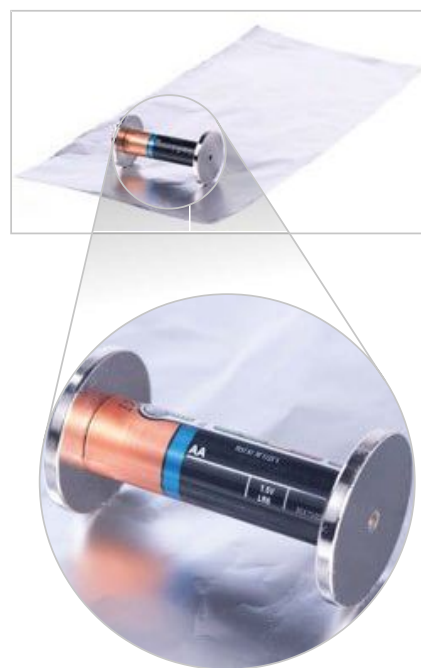
Odpowiedz na pytania osobno dla położenia ramki z rysunku A i z rysunku C. Uzasadnij swoje odpowiedzi.

- Czy na odcinek prostopadły działa siła magnetyczna?
  - Jeśli tak, to czy ta siła powoduje obrót ramki?
- Zapoznaj się z artykułem NASA *Mission Reveals Speed of Solar Wind Stripping Martian Atmosphere* na stronie NASA. Odpowiedz na pytania:
    - Czy w historii Marsa był okres, kiedy mogło tam istnieć życie?
    - Czy wiemy, że na Marsie istniało kiedyś życie?
    - Skąd wiemy, że na Marsie była kiedyś ciekła woda?
    - Dlaczego porównano działanie wiatru słonecznego do kradzieży drobnych z kasy?

## Doświadczenie domowe

## Najprostszy pojazd elektryczny

- Przygotuj baterię AA (paluszek), dwa jednakowe magnesy neodymowe o średnicy większej niż średnica baterii oraz kawałek folii aluminiowej długości co najmniej 1 m.
- 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 przeważa siłę odpychania między magnesami.
- Wyrównaj magnesy tak, aby oś każdego z nich pokrywała się z osią baterii.
- Połącz tak otrzymany „pojazd” na folii aluminiowej, a zacnie jechać.



Kiedy 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, więc na elektrony płynące przez magnes działa siła magnetyczna.



*Jak to możliwe, że telefon się ładuje, chociaż nie jest podłączony przewodami do ładowarki?*

## 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

- Przygotuj elektromagnes (np. taki jak w doświadczeniu domowym na s. 148), silny magnes (np. neodymowy) oraz woltomierz.
- Do końcówek przewodu elektromagnesu podłącz woltomierz ustawiony na najczulszy zakres.
- Zbliż magnes do łebka gwoździa będącego rdzeniem elektromagnesu i puść, aby magnes się przyczepił (patrz zdjęcie). Co wskazuje woltomierz?
- Odczekaj chwilę. Jakie są wskazania woltomierza, gdy magnes jest przyczepiony do gwoździa?
- Oderwij szybkim ruchem magnes od gwoździa. Co wskazuje woltomierz?





Gdy magnes dołączamy do gwoźdźa lub odłączamy od niego, gwoździez zostaje namagnesowany lub traci swoje namagnesowanie. Wobec tego pole magnetyczne, w którym znajduje się zwojnica, staje się mocniejsze lub słabsze. W tych sytuacjach woltomierz wskazuje, że w zwojnicy powstaje napięcie.

Powstawanie napięcia na skutek zmian pola magnetycznego nazywamy **indukcją elektromagnetyczną**.

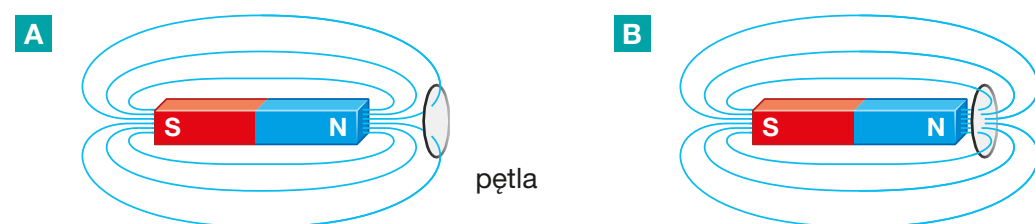
Zjawisko indukcji zachodzi już podczas **przybliżania** magnesu do zwojnicy, a także **oddalania** go od zwojnicy. Jednak w naszym doświadczeniu używaliśmy zwojnicy o niezbyt dużej liczbie zwojów, dlatego napięcie powstające przy powolnym przybliżeniu lub oddalaniu magnesu było zbyt niskie, aby można je było zmierzyć.

### ■ Pole magnetyczne musi się zmieniać

Zauważmy bardzo ważny fakt: indukcję elektromagnetyczną możemy zaobserwować tylko w **trakcie zmian** pola magnetycznego. Stałe pole, nawet najsilniejsze, nie wywołuje 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. Dopiero Michael Faraday w 1831 r. wpadł na pomysł, aby sprawdzić, co się stanie wtedy, gdy pole będzie się zmieniać (patrz film polecany w zad. 5. na s. 160).

### ■ Linie pola przechodzące przez zwojnicę

Aby wyjaśnić nieco dokładniej, kiedy zachodzi zjawisko indukcji, musimy się przyjrzeć liniom pola przechodzącym przez pętlę z prądem lub zwojnicę. Jeżeli wyobrazisz sobie, że pętla z drutu otacza papierowe kółko, to mowa o liniach pola przechodzących na wylot przez to kółko. Na przykład na rysunku B liczba takich linii jest większa niż na rysunku A, ponieważ magnes znalazł się bliżej zwojnicy.



▲ W różnych położeniach pętli względem magnesu różna jest liczba linii pola przechodzących przez pętlę (dwie linie na rys. A, sześć na rys. B)

Indukcja elektromagnetyczna zachodzi wtedy, gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez pętlę lub zwojnicę.

### ■ Działanie prądnicy

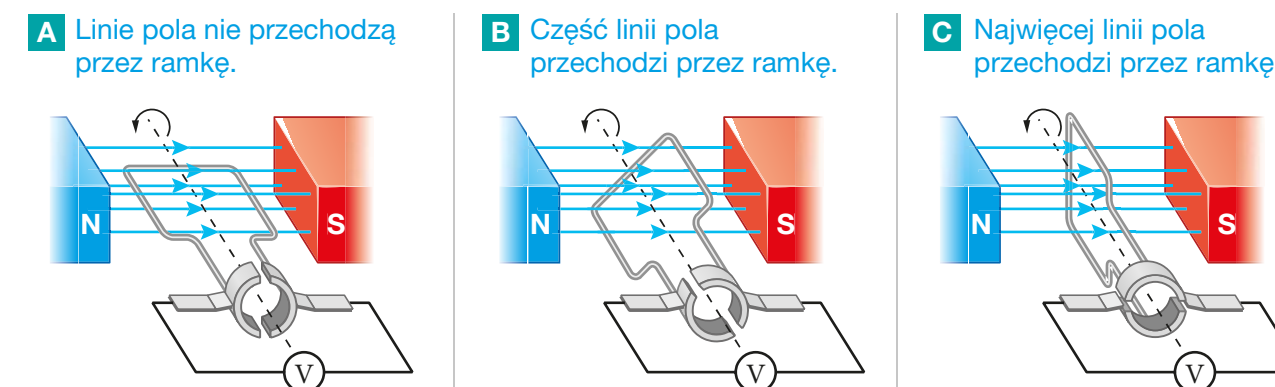
Silnik elektryczny zamienia energię elektryczną na mechaniczną. Prądnica odwrotnie: zamienia energię mechaniczną na elektryczną. Okazuje się jednak, że mimo przeciwstawnej funkcji budowa prądnicy jest identyczna jak budowa silnika.

### 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.



Przypomnijmy więc schemat budowy silnika. Podobnie jak wcześniej (s. 150) dla uproszczenia rozważymy tylko jedną ramkę z uzwojenia tego silnika. Zamiast źródła napięcia podłączamy teraz woltomierz. Ponieważ ramka nie zaczyna się sama obracać, sami ją obracamy. Dzięki indukcji elektromagnetycznej na jej końcach pojawia się napięcie.



▲ Pojedyncza ramka to najprostszy model silnika elektrycznego i prądnicy

Zasada działania prądnicy jest następująca:

- gdy obracamy ramką, zmienia się liczba przechodzących przez nią linii pola,
- wobec tego w ramce powstaje napięcie.

### ■ Znaczenie indukcji elektromagnetycznej

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 zasiląć miasta ani fabryki z baterii.
- ▶ Bez prądnicy nie mogą działać także samochody spalinowe, nie mówiąc o elektrycznych.
- ▶ Dziś otaczają nas także inne urządzenia wykorzystujące zjawisko indukcji, na przykład mikrofon, kuchenka indukcyjna czy bezprzewodowa ładowarka do telefonów (patrz infografika s. 158).

### To najważniejsze

- ▶ Gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez ramkę z przewodnika, pomiędzy jej końcami powstaje napięcie. To zjawisko nazywamy **indukcją elektromagnetyczną**.
- ▶ Na zasadzie indukcji elektromagnetycznej działają m.in. prądnice i mikrofony.



## Indukcja elektromagnetyczna wokół nas

Dzięki indukcji elektromagnetycznej możemy wytwarzać energię elektryczną na skalę znacznie większą niż w przypadku baterii. Oprócz tego najważniejszego zastosowania istnieje jednak wiele innych.

■ Proces wytwarzania ciepła w kuchence indukcyjnej można przedstawić w czterech krokach.

**4** Przepływ prądu przez stalowe dno naczynia powoduje jego rozgrzanie.

**3** Pole magnetyczne indukuje prąd w dnie garnka lub patelni.

**2** Zmienne pole magnetyczne.

**1** Prąd zmienny płynący przez zwojnicę umieszczoną pod płytą kucharki indukcyjnej wytwarza zmienne pole magnetyczne.

szkło ceramiczne

zwojnica



Bezprzewodowa ładowarka wytwarza zmienne pole magnetyczne, które powoduje indukowanie się w telefonie prądu ładującego baterię. Powstają już działające na tej samej zasadzie ładowarki do samochodów elektrycznych, są nawet odcinki dróg, na których można ładować pojazd w czasie jazdy.



Mikrofon dynamiczny zbudowany jest podobnie jak głośnik (s. 145), działa jednak inaczej. Pod wpływem fal dźwiękowych porusza się membrana, a wraz z nią – zwojnica. Ruch zwojnicy względem magnesu powoduje powstanie prądu indukcyjnego.



W psychiatrii i neurologii stosuje się stymulację mózgu impulsami elektrycznymi. Wytwarzanie w mózgu prądów indukcyjnych za pomocą zwojnicy zbliżanej do głowy wykorzystuje się m.in. w leczeniu migreny, depresji czy choroby Parkinsona.



## Pytania i zadania

## ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZCIE



1. Do urządzeń A–E dopasuj zjawiska fizyczne I–III. Zapisz w zeszycie utworzone w ten sposób pary.

**Uwaga.** Niektóre zjawiska pojawiają się więcej niż raz.

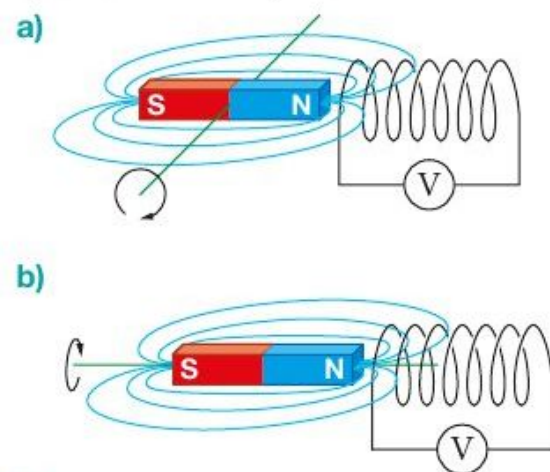
- A. prądnica                      D. mikrofon  
B. silnik elektryczny        E. głośnik  
C. piecyk elektryczny

- I. działanie siły magnetycznej na przewodnik, w którym płynie prąd  
II. indukcja elektromagnetyczna  
III. wydzielanie się ciepła podczas przepływu prądu

2. **i** Czy na kuchence indukcyjnej można gotować w kamionkowym garnku? Dlaczego?
3. Wiele samochodów hybrydowych nie można ładować z sieci elektrycznej. Cała energia potrzebna do jazdy pochodzi więc ze spalania paliwa. Dlaczego zatem palą one mniej niż zwykłe samochody spalinowe?

4. Czy obrót magnesu wokół zielonej osi (patrz rys.) wywoła indukcję elektromagnetyczną? Uzasadnij odpowiedź.

**Wskazówka.** Przypomnij sobie, jaki związek ma indukcja elektromagnetyczna z liniami pola.



5. **f** Obejrzyj film *How Michael Faraday Changed the World with a Magnet* na kanale SciShow serwisu YouTube.

Zapisz w zeszycie w kilku zdaniach, co cię w nim zainteresowało.

## Doświadczenie domowe

## Działanie mikrofonu i głośnika

- 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.
- Podłącz jeden z głośników do baterii. Co słyszysz?
- Podłącz jeden z głośników do woltomierza nastawionego na najmniejszy zakres i zapukaj w membranę. Co obserwujesz?
- 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?



## F 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.

## Inny sposób wywołania indukcji

Indukcję elektromagnetyczną można wywołać nie tylko przez poruszanie magnesem.

## Doświadczenie obowiązkowe

## Elektromagnes i indukcja elektromagnetyczna

- Potrzebne będą: lampka podobna do przedstawionej na zdjęciu, stalowy pręt (np. gruby gwóźdź), miernik uniwersalny, zwojnica, przewód o długości ok. 1,5–2 m i dwa przewody do połączenia lampki ze zwojnicą.
- Lampka posłuży jako źródło bezpiecznego napięcia przemennego. Między słupkami podtrzymującymi klosz powinno ono wynosić 12 V. Sprawdź za pomocą miernika, czy rzeczywiście tak jest.
- Nałóż zwojnicę na pręt i podłącz ją do słupków lampki tak, jak pokazano na zdjęciu.
- Na drugą część pręta nawij długi przewód (ok. 25 zwojów), a jego końcówki podłącz do miernika.
- Włącz lampkę. Co obserwujesz? Jakie są wskazania miernika?
- Nawij jeszcze 10 zwojów przewodu na pręt i powtórz pomiar.

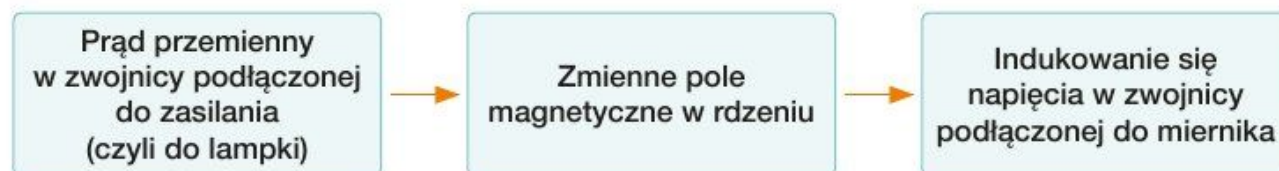




## Analiza doświadczenia

Wykorzystana przez nas w tym doświadczeniu zwojnica na stalowym rdzeniu to rodzaj elektromagnesu. Ponieważ napięcie między słupkami lampki jest przemienne, przez zwojnicę płynie prąd przemienne. Powoduje on powstawanie zmiennego pola magnetycznego w rdzeniu, a ono z kolei wywołuje zjawisko indukcji elektromagnetycznej w nawiniętym przewodzie.

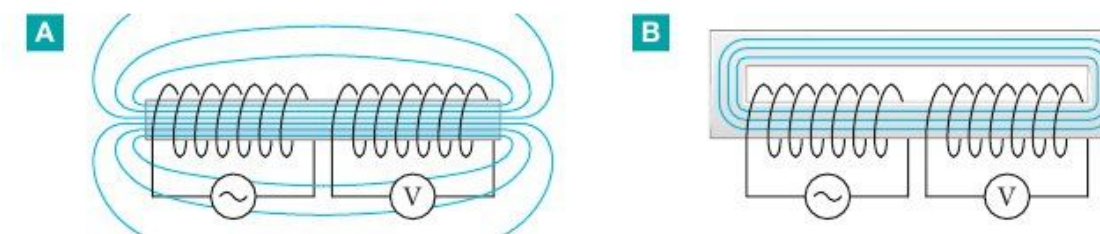
Te zjawiska możemy podsumować za pomocą diagramu.



## Budowa transformatora

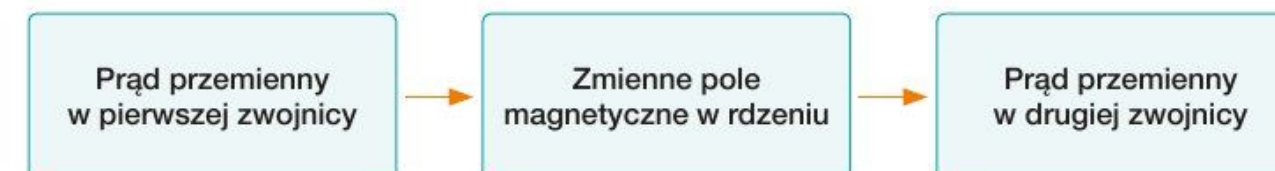
W naszym doświadczeniu wykorzystaliśmy dwie zwojnice na wspólnym rdzeniu – takie urządzenie nazywamy **transformatorem**. W praktyce zamiast prostego rdzenia stosujemy zamkniętą ramkę (patrz rys. B na następnej stronie). Dzięki niej linie pola wytworzonego przez zwojnicę podłączoną do źródła napięcia przemiennego „nie uciekają” z układu, ale wszystkie biegają przez drugą zwojnicę.

**Transformator** składa się z dwóch zwojnic nawiniętych na wspólny rdzeń.



▲ Przebieg linii pola w przypadku: **A** zwojnic na prostym rdzeniu, **B** zwojnic nawiniętych na zamknięty rdzeń

Działanie transformatora można podsumować prostym schematem:



## Zastosowania transformatora

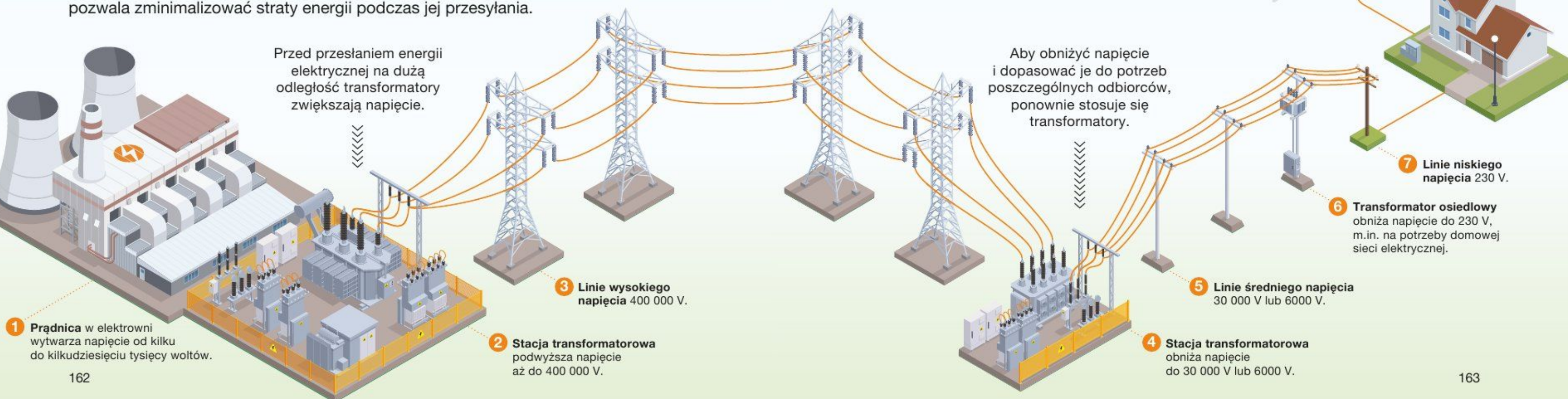
Po co nam urządzenie, które zamienia prąd przemienne na prąd przemienne? Aby odpowiedzieć na to pytanie, przypomnijmy sobie wynik doświadczenia z początku lekcji. Napięcie wskazywane przez woltomierz nie wynosiło 12 V, jak napięcie lampki, a w dodatku zależało od liczby zwojów drugiej zwojnicy. Oznacza to, że dzięki transformatorowi możemy uzyskiwać napięcie inne od wejściowego.

## Transformatory i przesyłanie energii

Transformator działa w taki sposób, że gdy napięcie się zwiększa, natężenie prądu się zmniejsza. Zmniejszenie natężenia prądu pozwala zminimalizować straty energii podczas jej przesyłania.

Przed przesłaniem energii elektrycznej na dużą odległość transformatory zwiększają napięcie.

Aby obniżyć napięcie i dopasować je do potrzeb poszczególnych odbiorców, ponownie stosuje się transformatory.





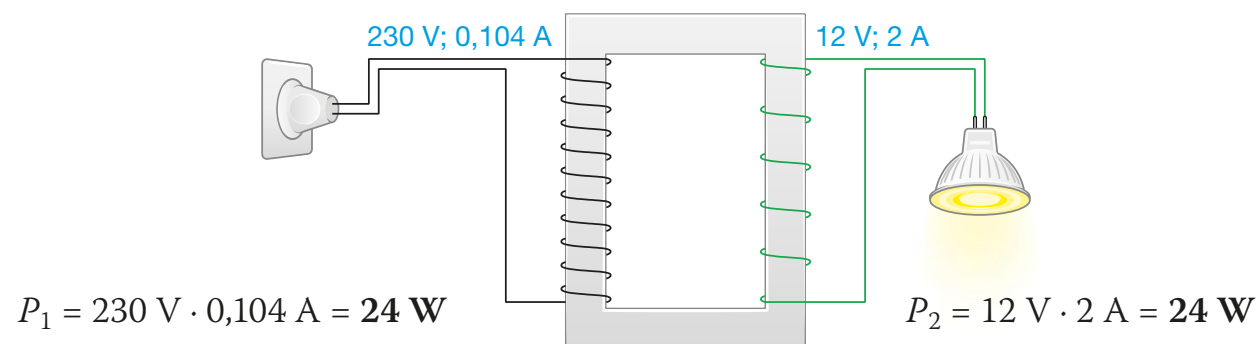
W naszym doświadczeniu woltomierz wskazywał mniej niż 12 V, ale można również otrzymać napięcie wyższe niż 12 V, gdyby w drugiej zwojnicy nawinąć więcej zwojów niż w pierwszej.

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 przypadkiem nie jest przykładem perpetuum mobile? Oczywiście, że nie. Gdy zwiększamy napięcie, odpowiednio zmniejsza się natężenie prądu. I na odwrót: obniżeniu napięcia towarzyszy zwiększenie natężenia. Przykładową sytuację przedstawiamy na rysunku.



▲ 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 od kilku do kilkudziesięciu 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 (patrz infografika s. 162–163).

#### 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 ZESZCIE

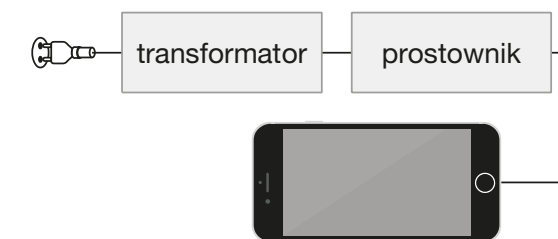


1. W sieci domowej występuje napięcie przemienne 230 V, a telefon komórkowy należy ładować prądem stałym o napięciu 5 V.

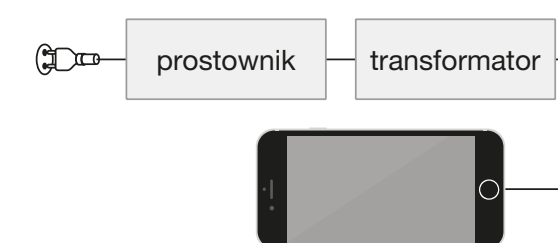
Dlatego ładowarka składa się z dwóch zasadniczych elementów: transformatora, obniżającego napięcie, oraz prostownika, zamieniającego prąd przemienny na stały.

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.

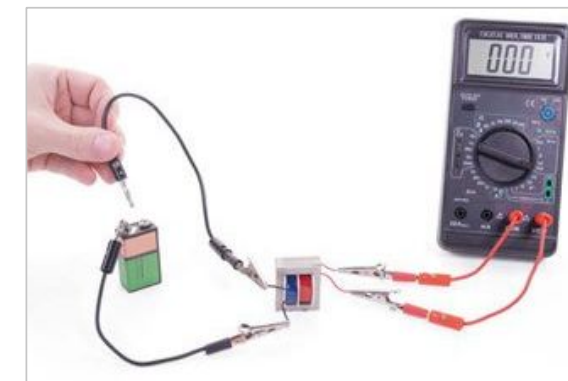


B.



2. Prąd stały także wytwarza pole magnetyczne. Dlaczego więc transformator nie może służyć do zmiany napięcia stałego?

3. Gdy do jednego z uzwojeń transformatora podłączymy woltomierz, a do drugiego – baterię, to przez chwilę miernik wskaże napięcie powstające w drugim uzwojeniu. Dlaczego tak się dzieje?



4. Laptop jest zasilany prądem o natężeniu 4 A pod napięciem 20 V. Jakie jest natężenie prądu, który zasilacz pobiera z sieci domowej? Pomiń straty energii.

5. Prądnica w elektrowni wytwarza prąd o natężeniu 1000 A i napięciu 10 500 V. Transformatory podnoszą napięcie do 400 000 V. Jak zmienia się natężenie prądu?





*Dlaczego lampki rowerowe są dziś znacznie jaśniejsze niż dawniej, a bateria i tak wystarcza na dłużej?*

#### Cele lekcji:

- Zbadasz, jak działa dioda.
- Uporządkujesz wiadomości o różnych źródłach światła.

#### Działanie diody

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.

#### Doświadczenie obowiązkowe

##### Badanie diody

1. Przygotuj diodę, baterię 9 V i żarówkę 4,8 V lub 6 V.
2. Podłącz diodę i żarówkę szeregowo do baterii. Czy żarówka świeci?
3. Zamień miejscami końcówki diody. Czy coś się zmieniło?

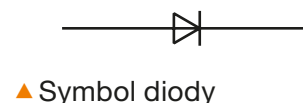


#### Analiza doświadczenia

Jak można było zaobserwować w doświadczeniu:

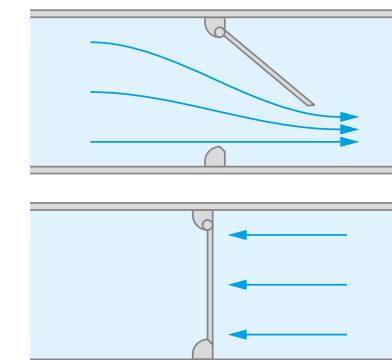
Dioda przewodzi prąd tylko w jedną stronę.

Obok przedstawiamy symbol diody używany na schematach. Strzałka wskazuje kierunek przepływu prądu.



▲ Symbol diody

Gdy przepływ prądu porównamy z przepływem wody, odpowiednikiem diody jest zawór przepuszczający wodę tylko w jedną stronę (patrz rys. obok).



▲ Hydrauliczny model diody



▲ Dioda nieświecąca, mogąca służyć jako prostownik

#### 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 telefon, muszą być zasilane napięciem stałym, a w sieci domowej występuje napięcie przemienne.

**Prostownik** to urządzenie, które zamienia napięcie przemienne na stałe.

Tak więc prostownik jest ważną częścią każdego zasilacza do komputera i każdej ładowarki do telefonu.

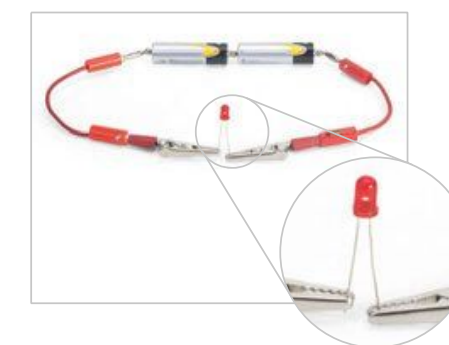
#### Dioda świecąca (LED)

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

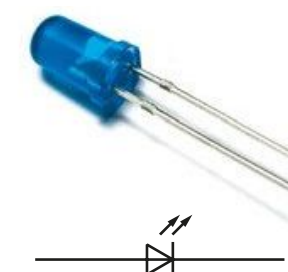
1. Przygotuj diodę świecąca (LED) i dwie baterie AA (paluszki) 1,5 V.
2. Połącz baterie szeregowo i podłącz do nich diodę.
3. Sprawdź, czy dioda świeci przy odwrotnym podłączeniu do biegunów. Co zauważasz?



Diody świeące już od dawna były używane jako lampki wskazujące działanie urządzeń. Obecnie, gdy spadł koszt ich produkcji, są wykorzystywane także jako źródło światła (patrz infografika s. 170). Co prawda są droższe od żarówek, ale za to zużywają znacznie mniej energii, aby wytworzyć tyle samo światła.

Ostatnim ważnym zastosowaniem tradycyjnych żarówek są światła samochodowe.

W latarkach i lampkach rowerowych zasilanych z baterii spotykamy już tylko diody. Dzięki ich wprowadzeniu rowery mogą mieć jasne światła zasilane z baterii. Koszt diody szybko się zwraca, ponieważ energia elektryczna z baterii jest nieporównanie droższa niż z sieci domowej.

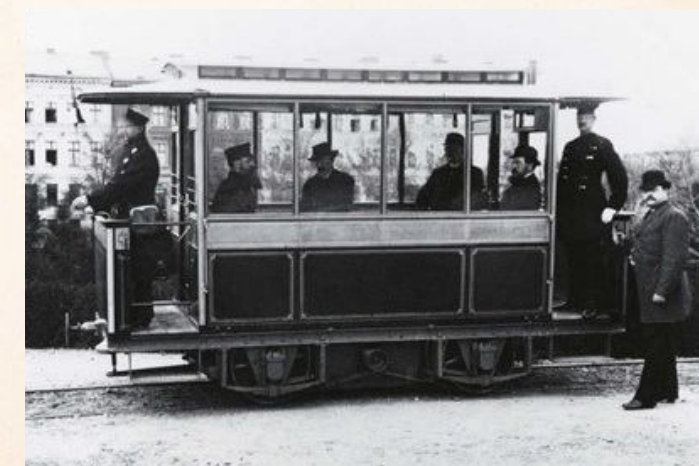
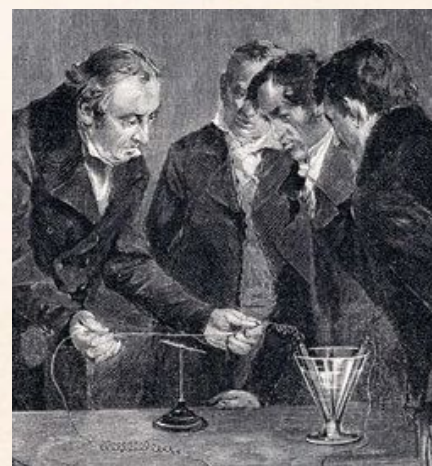
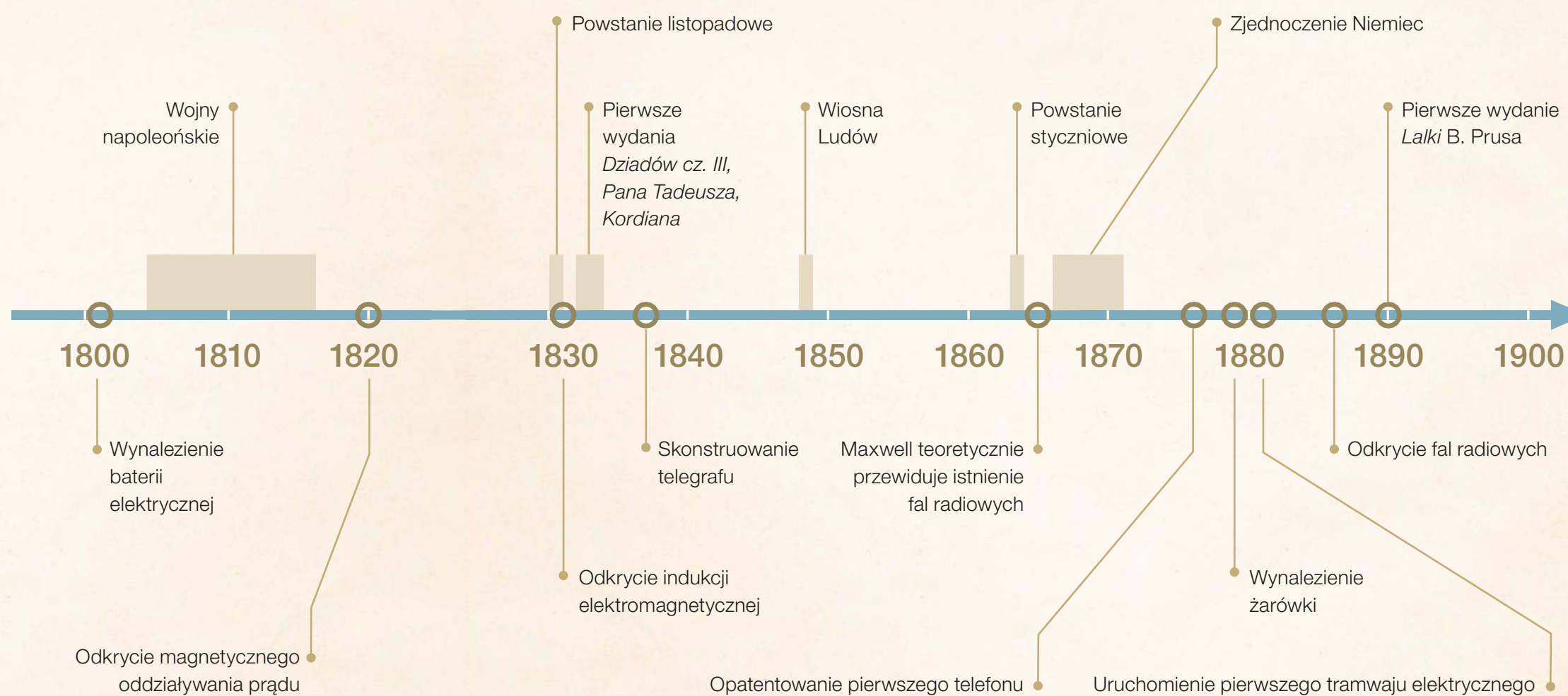


▲ Zdjęcie i symbol diody LED. Zwróć uwagę na różnicę długości końcówek na zdjęciu. Prąd płynie tylko wtedy, gdy dłuższa końcówka jest podłączona do bieguna dodatniego



## F WIEK ELEKTRYCZNOŚCI

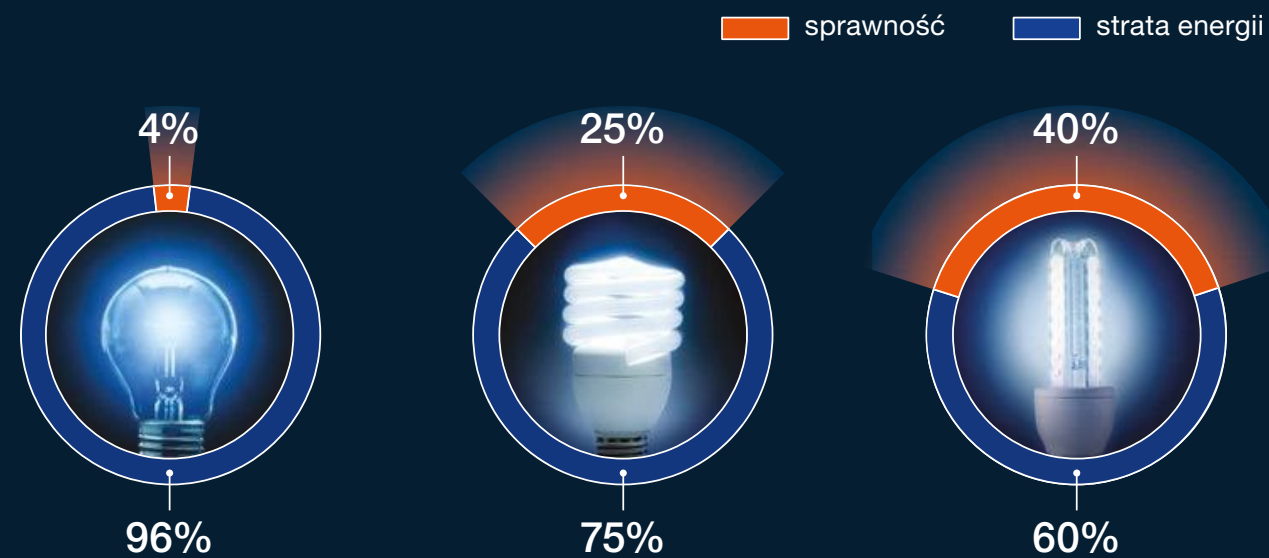
Większości odkryć i wynalazków omawianych w tej książce dokonano w XIX wieku zwanym „wiekiem pary i elektryczności”. Porównaj ich daty z datami wydarzeń znanych z lekcji historii. Obraz po lewej stronie łączy oba wątki: Alessandro Volta demonstruje swój wynalazek, baterię elektryczną, Napoleonowi Bonapartemu w 1801 r.





## Żarówki, świetlówki, diody

Oświetlenie zużywa dużo energii, dlatego wszystkim zależy, aby 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 (czyli 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 zamieniające napięcie stałe na przemienne nazywamy falownikiem. Jego przykładem jest przetwornik pozwalający korzystać w samochodzie z urządzeń dostosowanych do sieci domowej. Falowniki o znacznie większej mocy znajdują się w nowoczesnych tramwajach i lokomotywach elektrycznych. Te pojazdy są wyposażone w silniki zasilane napięciem przemennym, ponieważ takie silniki są wydajniejsze. W sieci trakcyjnej w Polsce napięcie jest stałe.



### To najważniejsze

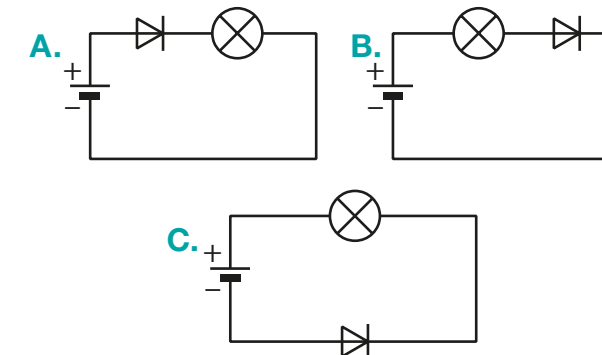
- ▶ **Dioda** to element elektroniczny przewodzący prąd tylko w jednym kierunku.
- ▶ Niektóre diody świecą podczas przepływu prądu. Nazywamy je **diodami świecącymi** (LED).
- ▶ Tradycyjna żarówka z rozgrzanym włóknem zamienia na energię światła tylko ok. 4% dostarczonej energii elektrycznej, świetlówka – 25%, a LED – 40%.

### Pytania i zadania

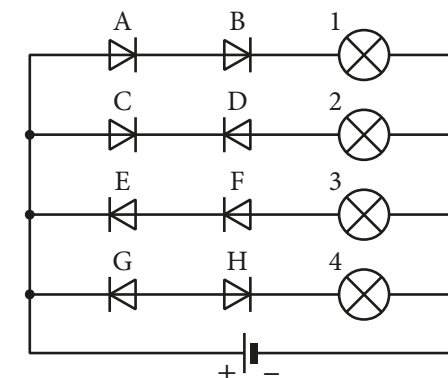
ROZWIĄZANIA I ODPOWIEDZI ZAPISZ W ZESZYTE



1. W których obwodach przedstawionych na rysunkach dioda przewodzi prąd?



2. Przez które diody i przez które żarówki płynie prąd?



3. **i** Świetlówkę kompaktową o mocy 20 W chcemy zastąpić żarówką LED, która będzie świeciła tak samo jasno. Jaką moc powinna mieć żarówka LED?

4. W starej lampce rowerowej świeciła żarówka zasilana prądem o natężeniu 500 mA. W lampce ledowej świecącej dwukrotnie jaśniej dioda jest zasilana prądem o natężeniu 100 mA.

Oszacuj, na jak długo wystarczy w każdej z tych lampek bateria o pojemności 1500 mAh.

5. Matylda chce zamienić stare żarówki o mocy 100 W na nowe, ledowe, dające tyle samo światła przy mocy 11 W. Oblicz, po ilu godzinach użytkowania zwróci się cena zakupu, jeśli 1 kWh energii kosztuje 1,20 zł, a żarówka ledowa kosztuje 20 zł.

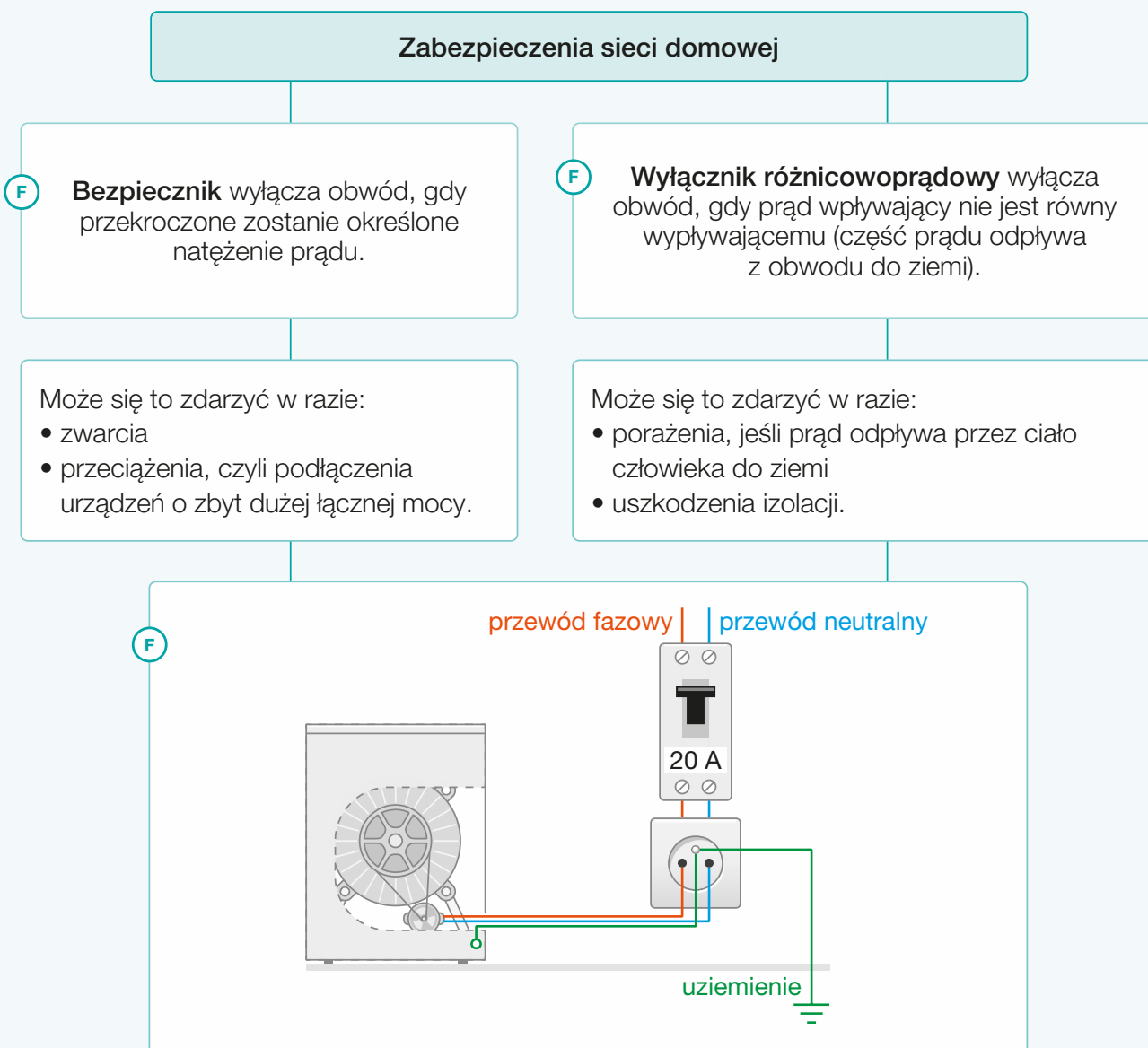


## POWTÓRZENIE Elektryczność i magnetyzm

- 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 tych urządzeniach (patrz rys. obok).



- Aby uniknąć porażenia elektrycznego, w przypadku awarii albo przy zmianie żarówki wyłączaj bezpieczniki.

► Zasady postępowania w przypadku porażenia – patrz schemat na s. 128–129.

- Każdy magnes ma dwa bieguny: **północny** i **południowy**.

- Magnes przyciąga w zauważalny sposób tylko nieliczne substancje, z których najczęściej spotykamy żelazo i stal.

Różne bieguny się przyciągają



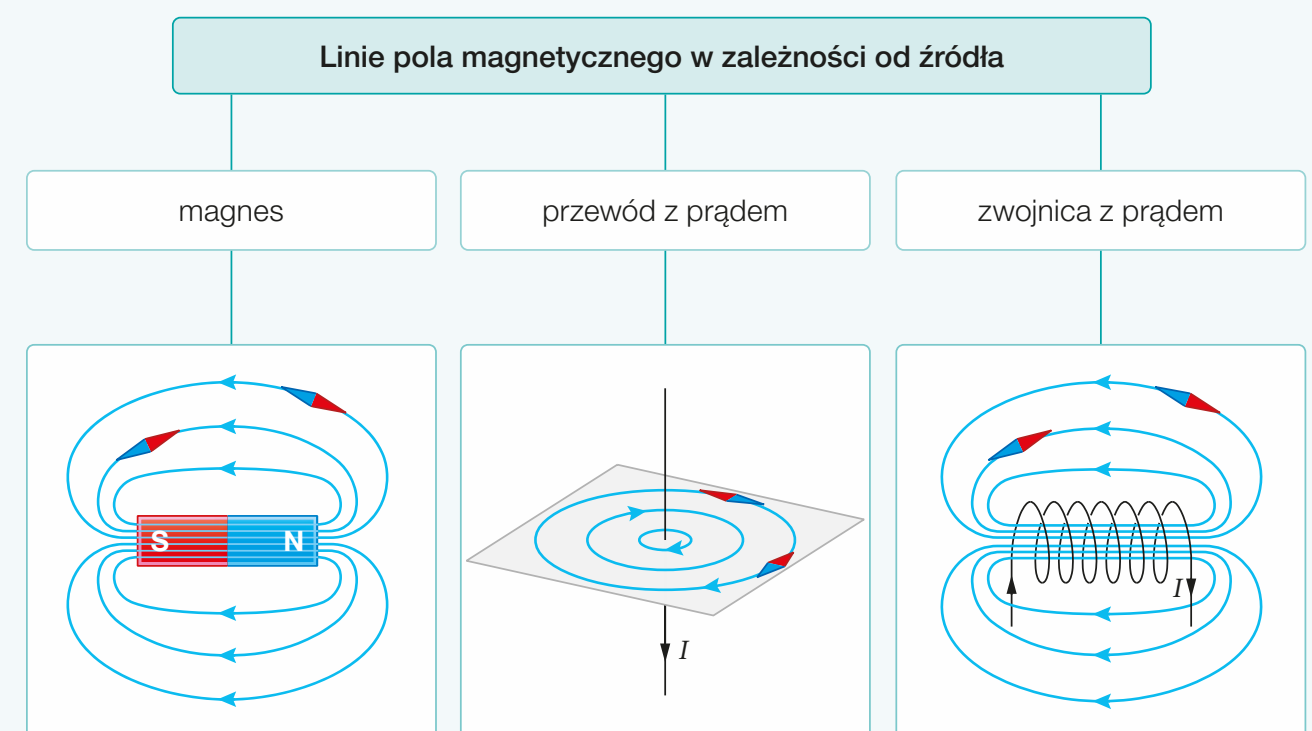
Jednakowe bieguny się odpychają



albo



- Źródła** pola magnetycznego to: } magnesy, prąd w przewodniku,
- W polu magnetycznym **siła** działa na: } 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.
- 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 są **zawsze krzywymi zamkniętymi**, choć w przypadku magnesu trudno to zbadać, ponieważ ich fragment znajduje się wewnątrz magnesu.

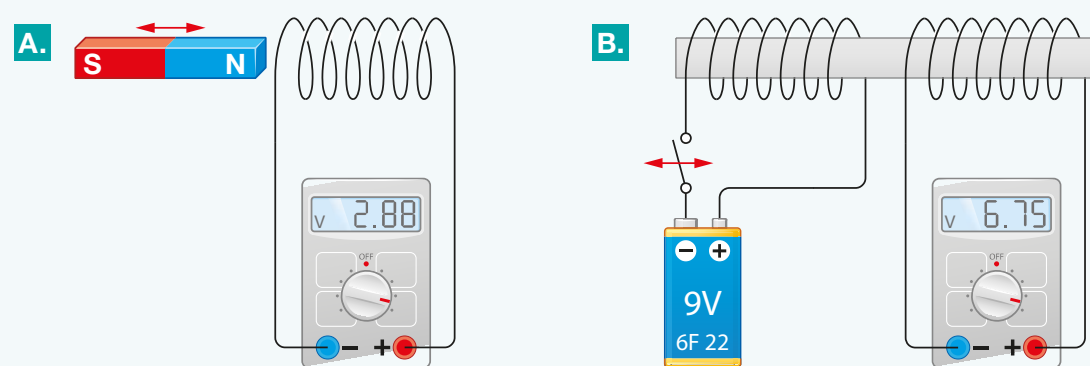




- Zwojnica nawinięta na stalowy rdzeń to **elektromagnes**. Rdzeń magnesuje się od pola magnetycznego wytwarzanego przez zwojnicę i sam wytwarza silne pole magnetyczne. Aby wzmocnić to pole, można nawinąć więcej zwojów albo przepuścić przez zwojnicę prąd o większym natężeniu.

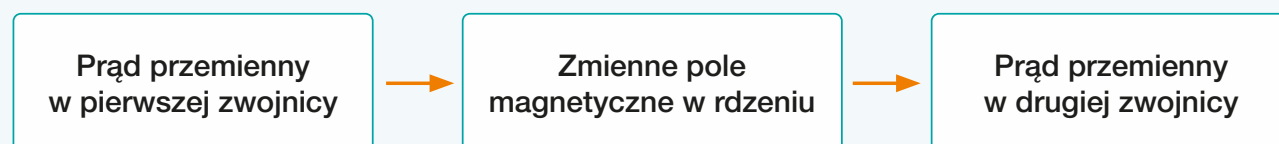
- (F) ■ Na naładowane cząstki pochodzące ze Słońca (wiatr słoneczny) w ziemskim polu magnetycznym działa siła magnetyczna. Dzięki temu większość z nich omija Ziemię, a pozostałe są kierowane w okolice biegunów, gdzie wywołują zorzę polarną.

- **Indukcja elektromagnetyczna** to powstawanie napięcia elektrycznego w zwojnicy podczas **zmian** pola magnetycznego, np. ruchu magnesu względem zwojnicy (rys. A), zmian natężenia prądu płynącego przez zwojnicę albo elektromagnes (rys. B).



- Dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej jest możliwe działanie transformatora i prądnicy, a także mikrofonu.

- (F) ■ **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 powszechnie wykorzystywane jako źródła światła.

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## To musisz 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

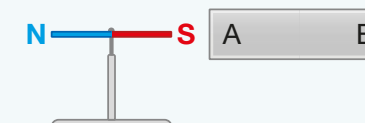
2. Która z zasad nie jest prawdziwa?

- 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 w pozycji bezpiecznej, kontrolować oddech i puls.
- B. położyć ją w pozycji bezpiecznej i czekać na przybycie ratowników.
- C. rozpocząć resuscytację.
- D. po prostu poczekać na karetę.

4. Na rysunku przedstawiono podłużny magnes, który zbliżyliśmy do igły magnetycznej. Jaki biegun magnesu jest oznaczony literą A?



5. Czy dwa magnesy przedstawione na rysunku przyciągają się, czy odpychają?



6. Spośród przedmiotów wymienionych poniżej magnes w zauważalny sposób:

- A. przyciąga wszystkie przedmioty.
- B. nie przyciąga żadnego przedmiotu.
- C. przyciąga gwóźdź i obrączkę, ale nie przyciąga korka.
- D. przyciąga tylko gwóźdź.



7. 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 należy umieć



1. 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

2. W którym z urządzeń wykorzystujemy siłę magnetyczną działającą na przewodnik z prądem?

A. elektromagnes C. kompas  
B. silnik elektryczny D. prądnica

3. Spośród urządzeń wymienionych w ramce wypisz te, w których wykorzystujemy zjawisko indukcji elektromagnetycznej.

kuchenka indukcyjna • prądnica  
• mikrofon • bateria  
• elektromagnes

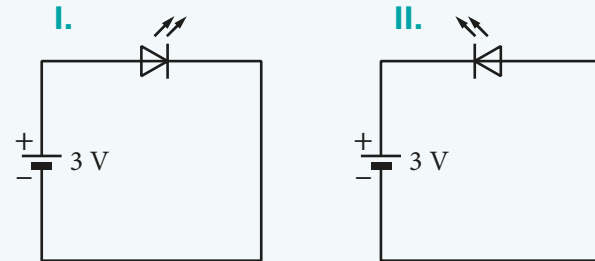
4. Dopasuj nazwy elementów elektronicznych z ramki do opisów. Nazwy mogą się powtarzać.

A. Jest to kawałek przewodnika o znanym oporze.  
B. Przez ten element prąd może płynąć tylko w jedną stronę.  
C. Służy do przechowywania energii elektrycznej.  
D. Jest głównym elementem prostowników.  
E. Służy do zmniejszania natężenia płynącego prądu.  
F. Można go zbudować z dwóch płytek przewodnika i jednej płytki izolatora.

bateria • dioda • kondensator • opornik

5. W którym z układów przedstawionych na rysunkach dioda świeci?

A. tylko w I C. w obu  
B. tylko w II D. w żadnym



6. Dwa gniazdko elektryczne są podłączone do tego samego bezpiecznika 10 A. Do jednego z gniazdek podłączono suszarkę o mocy 1800 W, a do drugiego – lokówkę o mocy 800 W. Czy bezpiecznik wyłączy napięcie? A gdyby to był bezpiecznik 16 A?

7. (F) Transformator w osiedlowej stacji transformatorowej zmienia napięcie i natężenie prądu dostarczanego z elektrowni. Którą z tych wielkości zwiększa, a którą zmniejsza?



Informacja do zadań 8. i 9.

Ilustracja przedstawia tabliczkę znamionową termowentylatora.

230 V ~  
50 Hz  
1200 W  
CE

8. (F) 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.

9. 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 1,20 zł za 1 kWh.

10. 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 połączanego z ziemią.

bezpiecznik • wyłącznik różnicowoprądowy

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

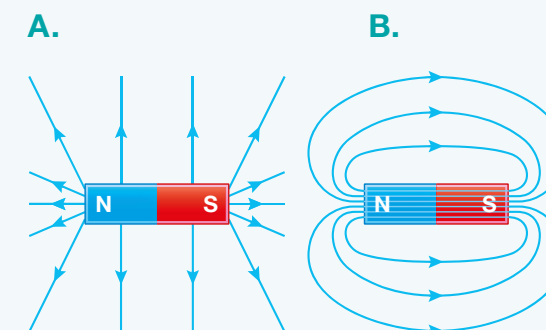
## To warto umieć



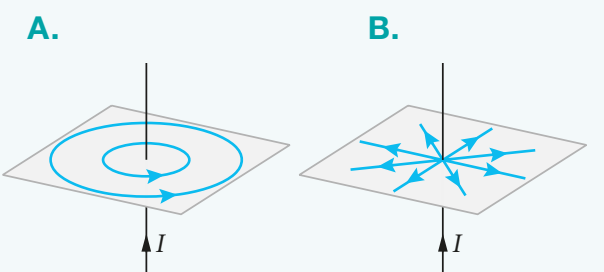
1. Który z rysunków przedstawia możliwe ustawienie igły magnetycznej względem linii pola magnetycznego?



2. Wskaż rysunek, na którym prawidłowo przedstawiono linie pola magnetycznego tworzonego przez magnes.

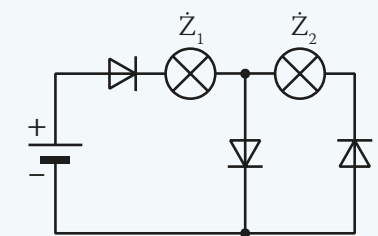


3. Wskaż rysunek, który prawidłowo przedstawia linie pola magnetycznego wokół przewodnika z prądem.

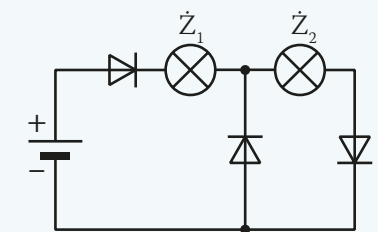


4. Czy żarówka  $\dot{Z}_1$  świeci? A żarówka  $\dot{Z}_2$ ?

a)



b)



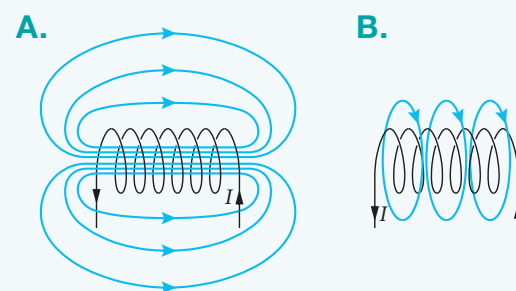


5. Pomiędzy biegunami dwóch magnesów umieszczono przewód, którym płynie prąd stały, tak jak przedstawiono na rysunku. Na przewodnik:

- A. nie będzie działać siła magnetyczna.  
 B. będzie działać siła magnetyczna skierowana wzdłuż przewodu.  
 C. będzie działać siła magnetyczna skierowana wzdłuż linii łączącej magnesy.  
 D. będzie działać siła magnetyczna skierowana prostopadle do kartki.



6. Wskaż rysunek, który prawidłowo przedstawia linie pola magnetycznego wytworzonego przez zwojnicę z prądem.



7. Transformator pobiera z sieci wysokiego napięcia prąd o natężeniu 100 A i zmienia wysokie napięcie 400 000 V na średnie napięcie 15 000 V. Jakie natężenie ma prąd na wyjściu transformatora?

## ZADANIA POWTÓRZENIOWE

## Dasz sobie z tym radę? – Świetnie



1. Który z rysunków przedstawia ustawienie igły magnetycznej względem linii pola magnetycznego? Weź pod uwagę zwrot linii pola.



**Wskazówka.** Wyobraź sobie, że na jednym z końców (którym?) narysowanej linii pola znajduje się biegun północny magnesu.

2. **F** 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 1,20 zł za 1 kWh.

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. Na rysunkach przedstawiono magnes i miedziany pierścień.



I. Magnes i pierścień są nieruchome.



II. Magnes przesuwa się zgodnie ze strzałką.



III. Magnes obraca się zgodnie ze strzałką.

Wskaż wszystkie przypadki, w których w pierścieniu zacznie płynąć prąd indukcyjny.

A. I, II i III

C. tylko II

B. II i III

D. tylko III

## 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. Zbliz kompas do zachodniej lub wschodniej ścianki pralki (lub lodówki): raz w pobliżu jej górnego, a raz w pobliżu jej dolnego brzegu (zdjęcia A i B).



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 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.



## Analiza tekstu

### 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

przepoczwaniu się z gąsienicy w postać dorosłą podejmuje przerwana 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 pszczoł, 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.

O ile jednak doniesienia o występowaniu magnetorecepcji u zwierząt pojawiały się coraz częściej, o tyle wciąż brakowało wytłumaczenia, jak miałyby 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

prąga tęczowego, w mózgach gołców (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 Keyasa 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.

Autor: Wojciech Mikołuszko

(skrótowa wersja artykułu opublikowanego w „Gazecie Wyborczej” z 5 lipca 2016 r.)

Link do pełnej wersji tego artykułu znajdziesz na końcu podręcznika – na dole s. 224.

### 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 były badania nad zmysłem magnetycznym u człowieka w chwili, gdy powstawał artykuł?
  - A. Naukowcy udowodnili, że mamy ten zmysł.
  - B. Naukowcy udowodnili, że nie mamy tego zmysłu.
  - C. Badania nad tym zagadnieniem były na zaawansowanym etapie, jednak nadal nie wiadano 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





## 4. Elektrostatyka



### Lekcja 1.

1. Adam postanowił przygotować dekorację na szkolną dyskotekę: balon ozdobiony papierowym konfetti. Jednak zanim zdążył je nakleić, konfetti rozsypało się na podłogę. Zaproponuj, jak pozbierać te drobne skrawki papieru bez użycia szczotki.



2. Ola naelektryzowała szklaną pałeczkę dodatnio przez pocieranie jej kawałkiem materiału. Dokończ zdanie.

Podczas elektryzowania:

- A.** elektrony przepłynęły z materiału na pałeczkę.  
**B.** elektrony przepłynęły z pałeczki do materiału.  
**C.** protony przepłynęły z materiału na pałeczkę.  
**D.** protony przepłynęły z pałeczki do materiału.
3. Pewne ciało zawierało dokładnie  $10^{24}$  protonów i tyle samo elektronów. Następnie zostało ono naelektryzowane dodatnio.
- Dobierz z ramki właściwe uzupełnienia zdania. Przepisz je do zeszytu.
- 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  $10^{24}$

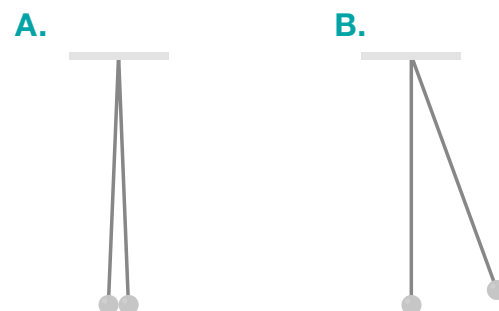
4. Metalowa kulka została naelektryzowana. Co się stanie, gdy dotkniemy jej palcem?
- A.** Straci cały swój ładunek.  
**B.** Straci swój ładunek, ale tylko częściowo.  
**C.** Pozostanie naelektryzowana tak samo jak wcześniej.
5. Szklana kulka została naelektryzowana. Co się stanie, gdy dotkniemy jej palcem?
- A.** Straci cały swój ładunek.  
**B.** Straci swój ładunek, ale tylko częściowo.  
**C.** Pozostanie naelektryzowana tak samo jak wcześniej.

### Lekcja 2.

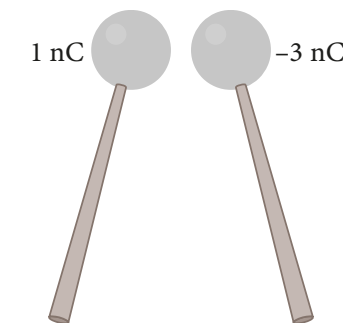
6. Elektrycznie obojętny bursztyn po potarciu szmatką zyskał 10 mld elektronów. Oblicz, jaki zgromadził ładunek. Wynik wyraż w kulombach.



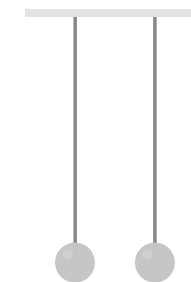
7. Dwie identyczne metalowe kulki zawieszono na nitkach, zaczepionych w jednym punkcie (rys. A). Następnie jedną z kulek odchyłono (rys. B), naelektryzowano tak, że uzyskała ładunek  $-8 \text{ nC}$ , i puszczono swobodnie. Narysuj w zeszycie położenie kulek, gdy obie się zatrzymają.



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  $-1 \text{ nC}$ .
10. Dwie jednakowe 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)**  $+1 \text{ nC}$  i  $+1 \text{ nC}$ ,  
**b)**  $-1 \text{ nC}$  i  $-2 \text{ nC}$ ,  
**c)**  $-1 \text{ nC}$  i  $+3 \text{ nC}$ ,  
**d)**  $-1 \text{ nC}$  i  $+1 \text{ nC}$ .

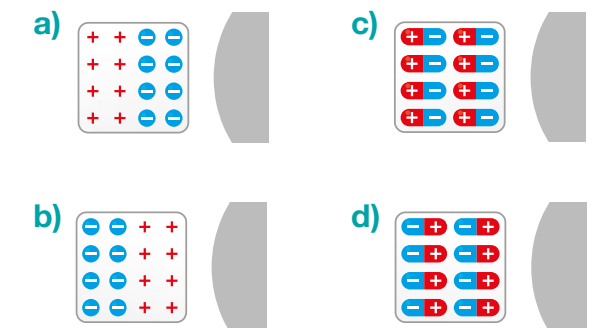
- ★11. Mamy dwie jednakowe metalowe kulki, trzymane za pomocą uchwytów z izolatora. Jedna kulka ma ładunek  $+1 \text{ nC}$ , a druga  $-3 \text{ nC}$ . Jakie czynności należy wykonać, aby uzyskać na jednej z kulek podany ładunek? Kulki możemy stykać ze sobą albo dotykać je

dłonią, czyli uziemiać (po uziemieniu ładunek staje się równy zeru).

- a)**  $-1,5 \text{ nC}$  **b)**  $-0,5 \text{ nC}$

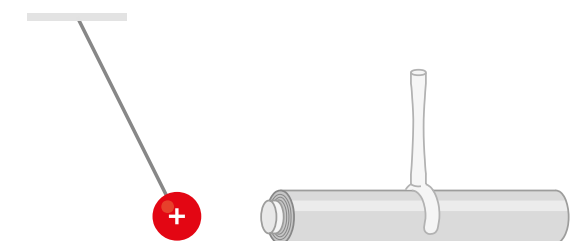
### Lekcja 3.

12. Rysunek przedstawia rozkład ładunków w klocku, do którego zbliżono naelektryzowaną kulkę. Jaki był znak ładunku kulki? Czy klocek wykonano z przewodnika czy z izolatora?



13. 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 doświadczenia do zeszytu.



- b)** Zaznacz na rolce folii znaki ładunków (+ i -) tak, aby całkowity ładunek rolki był dodatni, ale rolka przyciągała kulkę.



14. Naelektryzowany ujemnie balonik przyciąga ciało A, a odpycha ciało B. Co możemy powiedzieć o ładunku ciała A? Co możemy powiedzieć o ładunku ciała B?

15. Pierwszy w historii elektroskop, nazywany versorium, został wykonany przez Williama Gilberta, osobistego lekarza królowej Elżbiety I. Dowiedz się, jak było zbudowane versorium i na jakiej zasadzie działało.

16. (F) Mały balonik pocierany szmatką zyskał ładunek  $-5 \text{ nC}$ . Oblicz wartość siły jego oddziaływania na szklaną kulkę o ładunku  $4 \text{ nC}$  umieszczoną  $40 \text{ cm}$  od balonika. Czy jest to siła przyciągania czy odpychania?

17. (F) Dwa kawałki bursztynu naelektryzowano tak, że uzyskały ładunek  $-3 \text{ nC}$  każdy, a następnie umieszczono je w odległości  $60 \text{ cm}$  od siebie.

a) Oblicz wartość siły wzajemnego oddziaływania dwóch bursztynów.

b) Przy jakiej odległości między kawałkami bursztynu działająca siła będzie czterokrotnie mniejsza?

c) Ustal, w jakiej odległości między bursztynami siła działająca między nimi będzie dziewięciokrotnie większa.

★18. (F) Oblicz odległość między dwoma naelektryzowanymi dodatnio ciałami, jeżeli odpychają się one siłą o wartości  $0,01 \text{ N}$ , a ładunek każdego z nich jest równy  $8 \text{ nC}$ .

★19. (F) Na wysokości  $10 \text{ cm}$  nad metalowym opłikiem o masie  $8 \mu\text{g}$  umieszczono kulkę o ładunku  $3 \text{ nC}$ . Jaki ładunek należy zgromadzić na opłiku, aby uniosła go siła wynikająca z wzajemnego oddziaływania opłiku i kulki? Pomiń przemieszczanie się elektronów w opłiku pod wpływem naelektryzowanej kulki.

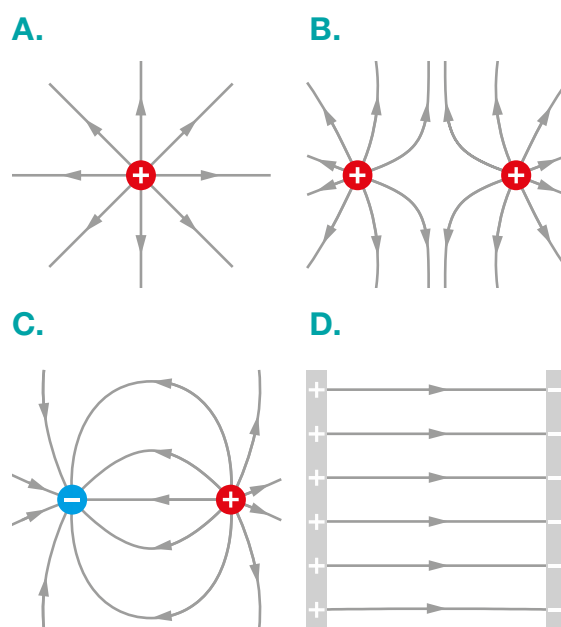
★20. (F) W stalowej kulce o masie  $15 \text{ g}$  jest ok.  $4,2 \cdot 10^{24}$  elektronów i tyle samo protonów. Wyobraźmy sobie, że z jednej takiej kulki przeniesiono na drugą taką samą co miliardowy elektron, a następnie umieszczono kulki w odległości  $30 \text{ cm}$  od siebie. Określ wartość sił działających między nimi.

#### Lekcja 4.

21. Przeanalizuj poniższe rysunki. Na którym prawidłowo zaznaczono linie pola elektrycznego wytworzonego przez ładunek  $Q$ ? A może na żadnym z nich?



22. Wskaż ten z poniższych rysunków A–D, na którym przedstawiono linie pola jednorodnego.



23. Naskicuj orientacyjny przebieg linii pola elektrycznego utworzonego przez dwie równoległe płytki naładowane odpowiednio ładunkami  $+Q$  i  $-Q$ . Zwróć uwagę na sytuację w pobliżu brzegów płytki.

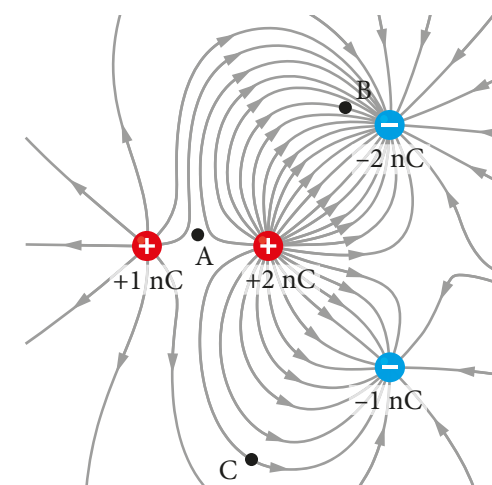
#### Informacja do zadań 24. i 25.

Na podstawie rysunku linii pola możemy nie tylko odczytać, w którą stronę działa siła elektryczna, lecz także orientacyjnie ocenić, czy jest ona duża, a więc – czy pole jest silne. Silniejszemu polu odpowiada większa gęstość linii.

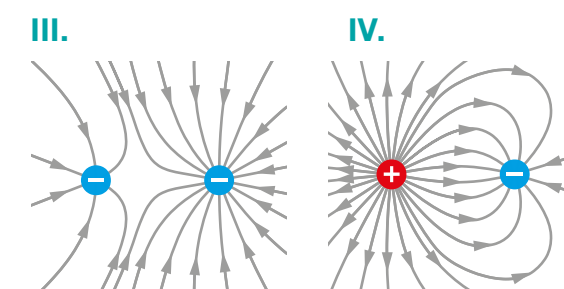
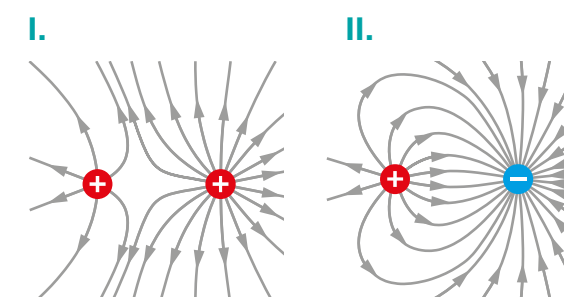
24. Rysunek przedstawia skomplikowany układ linii pola tworzonego przez cztery ładunki o różnych wartościach i znakach.

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

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



★25. Przeanalizuj rysunki I–IV i do każdego z nich dopasuj jedno zdanie spośród A–D. Zdania mogą się powtarzać.



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. 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.

#### Lekcja 5.

26. Oceń, czy opisany sposób zachowania się w czasie burzy jest bezpieczny czy niebezpieczny. Uzasadnij swoją odpowiedź.

a) Żeby nas wiatr nie przewrócił, trzymamy się mocno słupa energetycznego.

b) Kładziemy się na ziemi, żeby nie stanowić najwyższego punktu w okolicy.

c) Wchodzimy do budynku poczty i udajemy, że czytamy cennik.

d) Płyniemy kraulem na drugi brzeg jeziora, ponieważ tam będzie można schować się w domu.

e) Wspinamy się na Orlą Percć, korzystając z łańcuchów, aby ze szczytu góry poobserwować burzę.



27. Niedługo po wynalezieniu piorunochronu ktoś wpadł na pomysł, aby w to urządzenie zaopatrzyć nie tylko budynki, lecz także parasole dla osób, które w czasie burzy muszą przebywać na dworze. Jak sądzisz, czy to bezpieczny pomysł? Uzasadnij odpowiedź.



28. 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.



29. Poszukaj w książce lub w internecie porady ratownika lub lekarza na temat udzielania pierwszej pomocy poszkodowanemu porażonemu

przez piorun oraz opisz krótko, jak należy postąpić, gdy zauważymy taką osobę.

30. Dlaczego człowiek może bezpiecznie siedzieć w klatce, w którą biją pioruny? Opisz krótko mechanizm tego zjawiska.



31. 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?

#### Lekcja 6.

32. Oceń prawdziwość zdań.

- a) Kondensator służy do przechowywania ładunków elektrycznych.
- b) Defibrylator może obsługiwać nawet przypadkowy przechodzień.
- c) Kondensator składa się z trzech płytek: dwóch z izolatora i jednej z metalu pomiędzy nimi.
- d) Kondensator gromadzi zazwyczaj mały ładunek, ale pozwala go szybko odzyskać.
- e) Kondensator wykorzystujemy m.in. do zasilania lamp błyskowych o dużej mocy.
- f) Zaletą kondensatora jest to, że może przechować większą energię niż bateria.

33. Ada powiedziała, że w czasie burzy chmura i ziemia tworzą gigantyczny kondensator. Czy miała rację? Uzasadnij swoją odpowiedź.

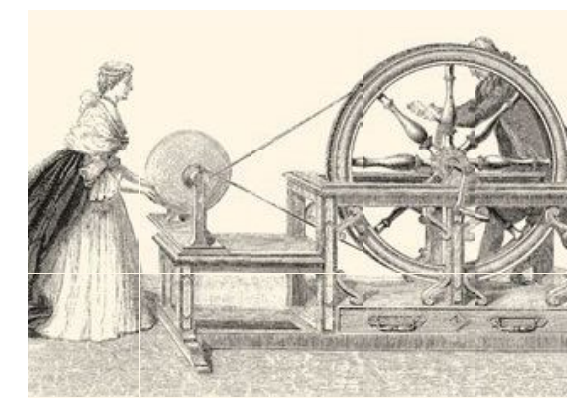
34. Zaproponuj, w jaki sposób można zastosować kondensator jako element pamięci komputera. Spróbuj się dowiedzieć, jakie zalety i jakie wady ma proponowane rozwiązanie.

35. **F i** Przeczytaj wiadomości z ramki „Z historii” na s. 37.

- a) Porównaj butelkę lejdejską i kondensator z doświadczenia na s. 34. Jakie elementy butelki lejdejskiej pełnią tę samą funkcję co arkusze folii aluminiowej, a jakie – tę samą funkcję co koszulki do segregatora?

- b) Spójrz na rysunek obok. Skoro kula elektryzuje się o dłoń, to dłoń

powinna zyskiwać ładunek o przeciwnym znaku. Dlaczego nie szkodzi to damie wykonującej eksperyment?



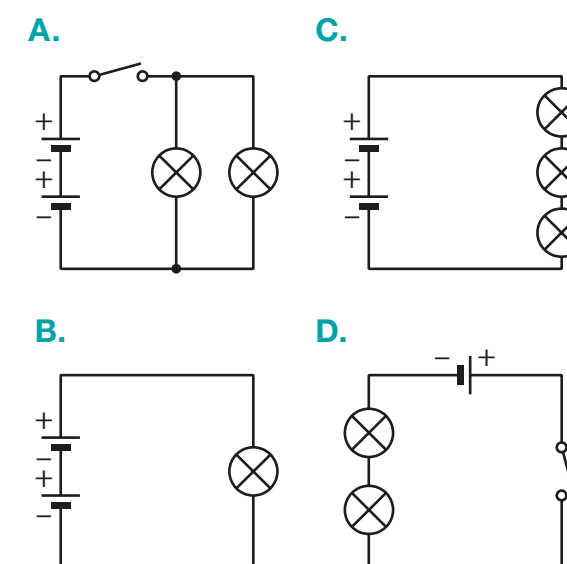
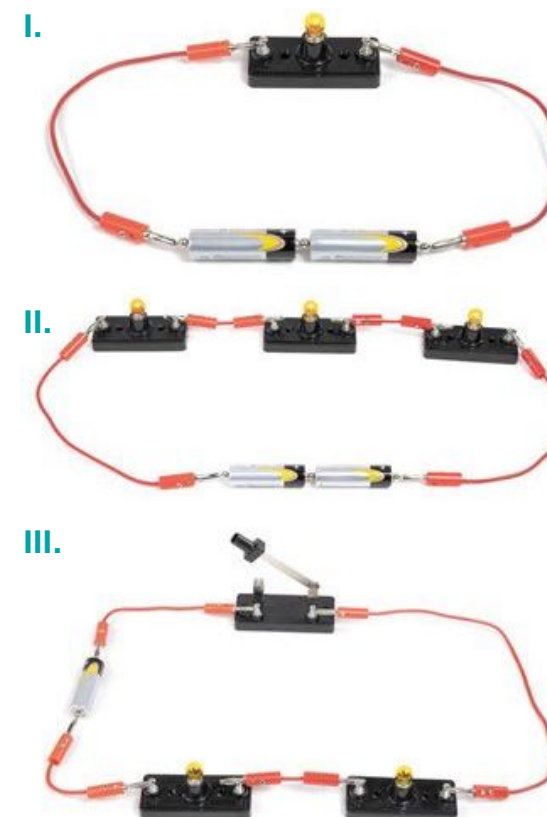
36. Znajdź w internecie aktualne informacje o urządzeniach, w których zastosowano superkondensatory. Czy zainstalowano je zamiast akumulatorów czy oprócz nich? Korzystaj z wiarygodnych źródeł i zapisz adresy wykorzystanych stron.

## 5. Prąd elektryczny



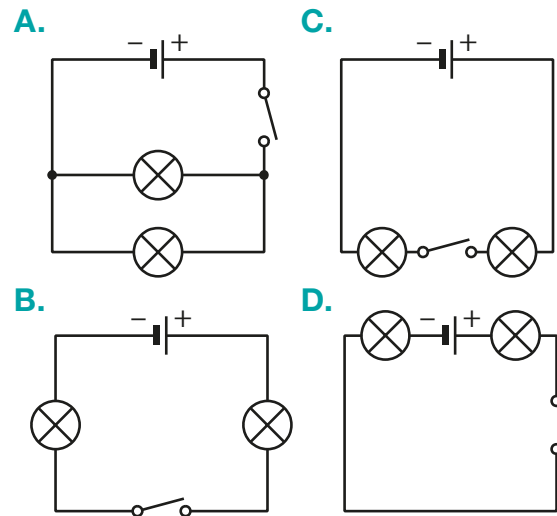
### Lekcja 7.

1. Dopasuj do każdego z rysunków I–IV odpowiedni schemat spośród A–D.





2. Trzy z poniższych obwodów są w rzeczywistości tym samym obwodem narysowanym w inny sposób. Wskaż je.



Przerysuj do zeszytu czwarty (niepasujący do reszty) schemat i narysuj jeszcze dwa schematy tego samego obwodu.

3. a) Narysuj schematy co najmniej trzech różnych obwodów zbudowanych z ogniwa, opornika, żarówki i wyłącznika.

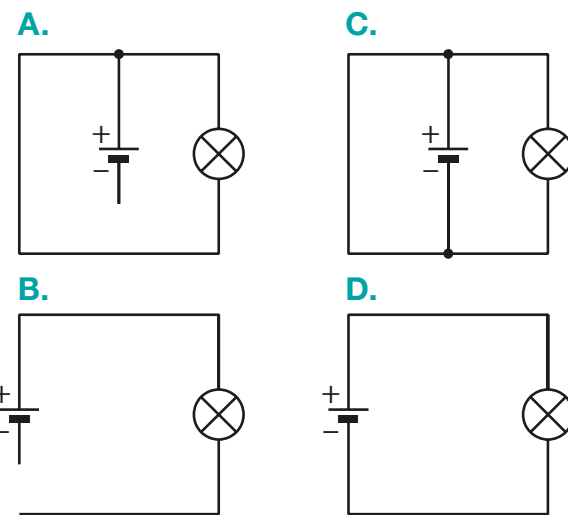
**Uwaga.** Obwody muszą się różnić połączeniami elementów, a nie rozmieszczeniem symboli na kartce. W przeciwnym wypadku będą to różne schematy tego samego obwodu.

b) Zaznacz kolorami w narysowanych obwodach, w którą stronę płynie prąd elektryczny, a w którą – przemieszczają się elektrony.

4. Naskicuj w zeszycie baterię 9 V i żarówkę (widoczne na zdjęciu poniżej). Dorysuj przewody tak, jak należy je podłączyć, aby żarówka świeciła. Dorysuj przy przewodach strzałki pokazujące, w którą stronę płynie prąd.



5. Spójrz na schematy i oceń, czy żarówka świeci. A czy bateria się rozładowuje?



### Lekcja 8.

6. Laptop jest zasilany napięciem 21 V.
- Jaką energię otrzymuje laptop z zasilacza, gdy przepływa przez niego ładunek 10 C?
  - Jaki ładunek musi przez niego przepłynąć, aby przekazana z zasilacza energia wynosiła 4200 J?
7. Rozrusznik samochodu jest zasilany prądem o natężeniu 100 A.
- Jaki ładunek pobierze z akumulatora, gdy jest włączony przez 5 s?
  - W częściowo rozładowanym akumulatorze pozostał ładunek 6000 C. Jak długo może pracować rozrusznik, zanim zużyje cały ten ładunek?
8. Akumulator starego samochodu ma pojemność 72 Ah. Kierowca po zaparkowaniu zapomniał wyłączyć światła. Pobierają one teraz z akumulatora prąd o natężeniu 5 A. Oblicz, po ilu godzinach akumulator się rozładowuje.
9. 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.

10. Pojemność pewnego powerbanku wynosi 20 000 mAh. Oblicz maksymalny ładunek, jaki może przepłynąć do rozładowanej baterii laptopa po podłączeniu powerbanku.

Odpowiedź podaj w kulombach.

11. Przez opiekacz do grzanek w czasie 2 minut przepłynął ładunek  $q$ . Natomiast przez czajnik elektryczny w czasie 6 minut przepłynął ładunek  $2q$ . Przez które z urządzeń płynął prąd o większym natężeniu? Uzasadnij odpowiedź.

- ★12. i) Znajdź potrzebne dane na infografice na s. 60–61 i oblicz:

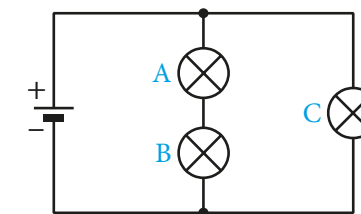
a) ile elektronów przepłynie przez lampkę rowerową w czasie dwugodzinnej wycieczki,

b) w jakim czasie przez obwód zegarka elektronicznego przepłynie bilion elektronów.

Ładunek elektronu wynosi  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  C.

### Lekcja 9.

13. 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.



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

a) Chcemy sprawdzić, czy prądnica samochodu jest sprawna. W tym celu mierzymy napięcie pomiędzy biegunami akumulatora przy włączonym

silniku. Powinno ono wynosić ok. 14 V.

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

c) Mierzmy napięcie między biegunami baterii AA.



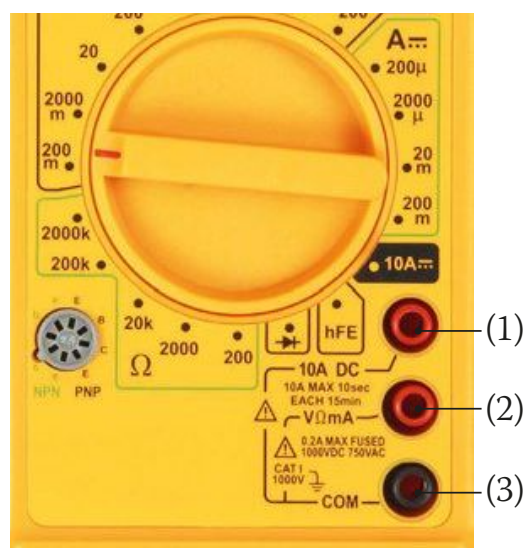
15. Czy miernik był włączony jako woltomierz czy jako amperomierz? Odczytaj jego wskazania.





16. Na zdjęciu widzisz fragment obudowy miernika z trzema gniazdami do włączenia przewodów. Przewody są jednak tylko dwa. Napisz, do których gniazd włączysz przewody przy zakresie pomiaru:

a) 200 mA, b) 2000 mV, c) 20 A.



17. Zapisz poniższe wyniki pomiarów natężenia prądu wraz z niepewnościami pomiarowymi. Pamiętaj, aby zaokrąglić wynik odpowiednio do obliczonej niepewności. Przelicz wynik i niepewność pomiaru na ampery.

a) 1523 odczytane przy zakresie 2000  $\mu$ A  
b) 550 odczytane przy zakresie 600 mA  
c) 8 odczytane przy zakresie 10 A

#### Lekcja 10.

18. Przez żarówkę reflektora samochodowego zasilaną napięciem 12 V płynie prąd o natężeniu 2 A.
- a) Jaka jest moc żarówki?  
b) Jaką energię zużyje żarówka w ciągu godziny?
19. Oblicz, ile energii elektrycznej pobrał telefon komórkowy, jeżeli ładowarka pracowała pod napięciem 5 V i ładowała go przez godzinę prądem o natężeniu 350 mA.

20. 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 domowej sieci elektrycznej 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.



21. Laptop jest zasilany napięciem 20 V z zasilacza o mocy 65 W. Oblicz natężenie prądu płynącego przez przewód zasilający laptop.

22. **i** Na podstawie infografiki ze stron 60–61 oblicz moc:

a) zegarka elektronicznego,  
b) lampki rowerowej,  
c) tramwaju.

- ★23. 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.

#### Lekcja 11.

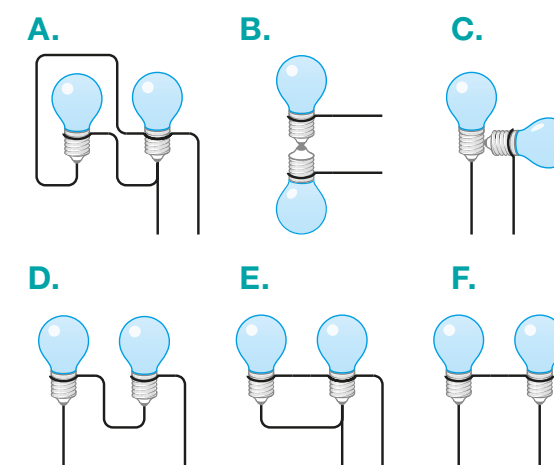
24. Narysuj w zeszyte schematy obwodów elektrycznych według poniższych opisów.

a) Dwie żarówki połączyliśmy równolegle i podłączyliśmy do jednej baterii.

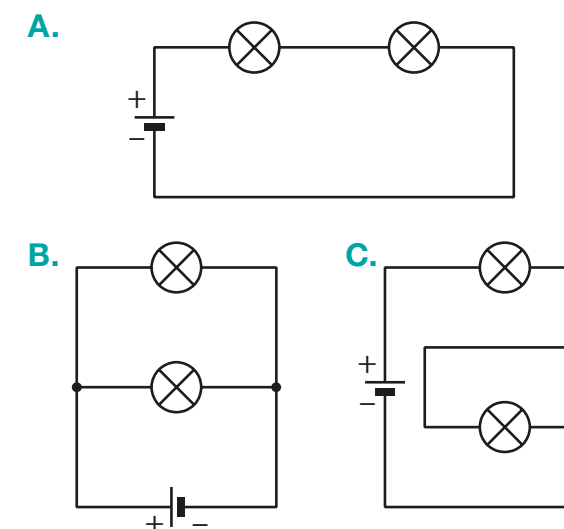
b) Dwie żarówki połączyliśmy szeregowo i podłączyliśmy do dwóch baterii połączonych równolegle.

c) Trzy żarówki podłączyliśmy równolegle do dwóch baterii połączonych szeregowo.

25. Jak połączono żarówki: szeregowo czy równolegle? A może jeszcze inaczej?



26. W jaki sposób (szeregowo czy równolegle) połączono żarówki na rysunkach A, B i C?



27. W USA napięcie w sieci wynosi 115 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?

28. Napięcie danego ogniwa zależy od substancji, jaka się w nim znajduje, np. dla typowej baterii AA, którą można ładować („akumulatorka”), wynosi 1,2 V. Ustal, ilu co najmniej takich ogniwa należy użyć do wkrętkarki zasilanej napięciem 12 V.

29. Bateria do zegarka elektronicznego składa się z dwóch ogniw połączonych szeregowo. Jej napięcie wynosi 3 V. Jaki jest napięcie pojedynczego ogniwa?



30. Trzy żarówki połączono ze sobą i podłączono do baterii. Żarówki świecą. Czy pozostałe będą świeciły, gdy jedna z nich się przepali? Rozważ dwa przypadki:

a) żarówki połączono równolegle,  
b) żarówki połączono szeregowo.

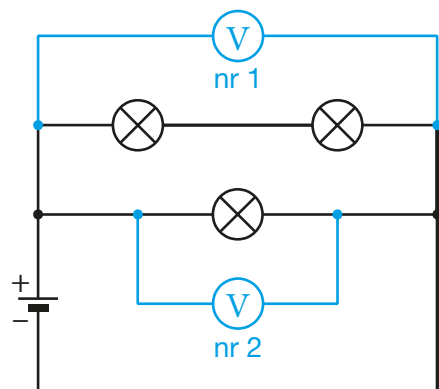
31. Na ilustracji widzisz informację podaną przez producenta na obudowie żarówki. Trzy takie żarówki łączymy szeregowo i podłączamy do baterii.



- a) Narysuj schemat tego 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?



32. Trzy identyczne żarówki, baterię i dwa woltomierze połączono tak, jak przedstawiono na schemacie.

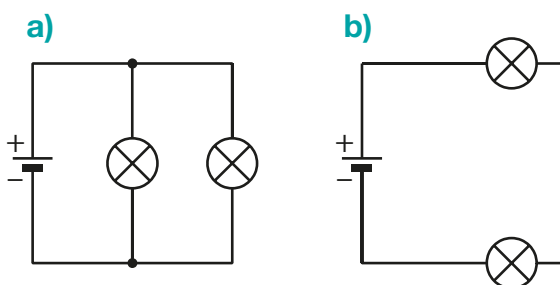


Jaka jest zależność między napięciami wskazywanymi przez woltomierze nr 1 i nr 2?

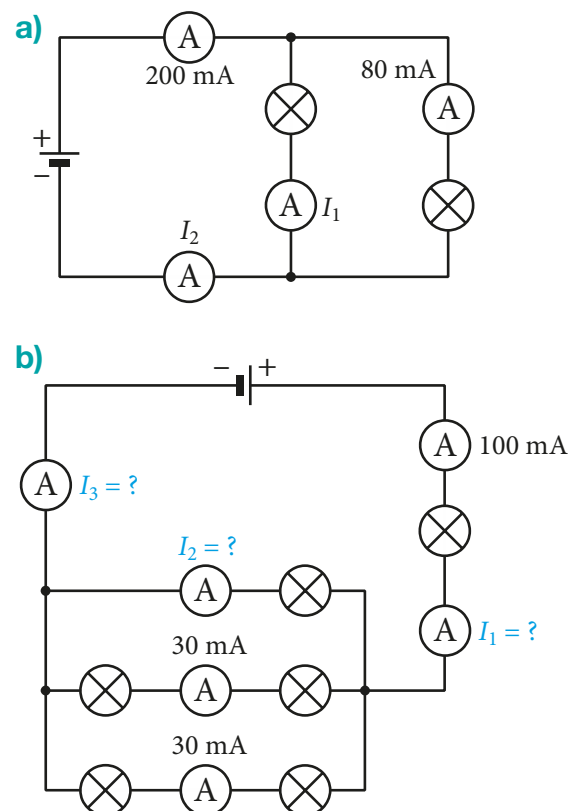
- A. Oba wskazują to samo napięcie.  
 B. Woltomierz nr 1 wskazuje dwa razy większe napięcie niż woltomierz nr 2.  
 C. Woltomierz nr 2 wskazuje dwa razy większe napięcie niż woltomierz nr 1.  
 33. Wybierz wszystkie stwierdzenia prawdziwe spośród podanych.  
 A. Amperomierz włączamy równolegle do mierzonego fragmentu obwodu.  
 B. Woltomierz włączamy równolegle do mierzonego fragmentu obwodu.  
 C. Amperomierz włączamy szeregowo do mierzonego fragmentu obwodu.  
 D. Woltomierz włączamy szeregowo do mierzonego fragmentu obwodu.

### Lekcja 12.

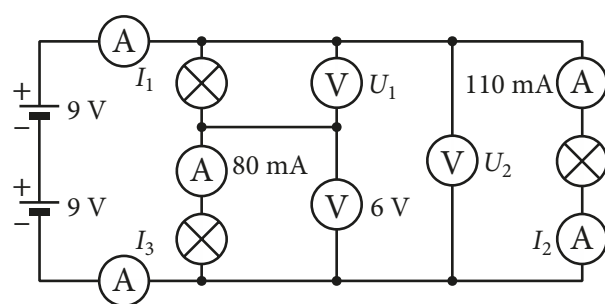
34. Przez każdą z żarówek płynie prąd o natężeniu 300 mA. Jak jest natężenie prądu wypływającego z baterii?



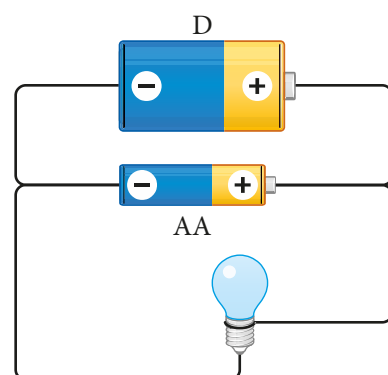
35. Przeanalizuj poniższy schemat i oblicz brakujące natężenia prądu mierzone przez poszczególne amperomierze.



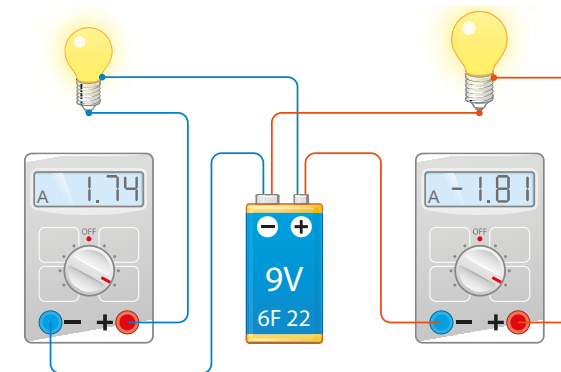
36. Przeanalizuj poniższy schemat. Oblicz brakujące napięcia i natężenia prądu.



37. Z baterii D wypływa prąd o natężeniu 200 mA, a z baterii AA prąd o natężeniu 50 mA. Jak jest natężenie prądu płynącego przez żarówkę?



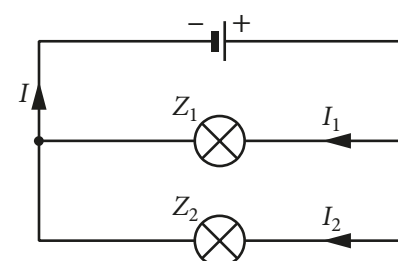
38. Do podwójnego gniazdka elektrycznego włączyliśmy toster i lampkę. Przez toster płynie prąd o natężeniu 6 A, a przez lampkę 200 mA. Jakie jest natężenie prądu płynącego przez przewody doprowadzające napięcie do gniazdka?  
 39. Na podstawie zdjęcia oblicz natężenie prądu wypływającego z baterii.



40. Narysuj takie połączenie sześciu baterii 1,5 V, aby uzyskać podane napięcie. Za każdym razem wykorzystaj wszystkie baterie.

- a) 1,5 V  
 b) 3 V  
 c) 4,5 V  
 d) 9 V

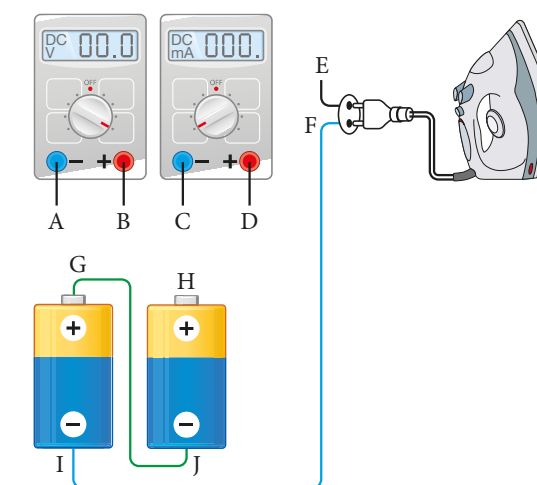
- ★41. W obwodzie, którego schemat pokazano poniżej, do baterii o napięciu  $U = 4,5 \text{ V}$  podłączono dwie różne żarówki oznaczone symbolami  $Z_1$  i  $Z_2$ . Przez baterię płynie prąd o natężeniu  $I = 600 \text{ mA}$ . W czasie  $t = 1 \text{ h}$  pierwsza żarówka wyemitowała w postaci ciepła i światła energię 3240 J. Oblicz, ile wynosi natężenie prądu  $I_2$  płynącego przez drugą żarówkę.



### Lekcja 13.

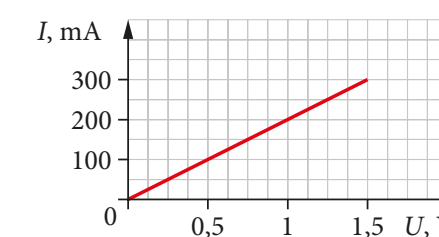
42. Chcemy zmierzyć napięcie pomiędzy końcami wtyczki do żelazka i natężenie prądu płynącego przez żelazko, gdy podłączymy do niego szeregowo dwie baterie. Na ilustracji brakuje jednak kilku przewodów. Zapisz, które z punktów obwodu powinny łączyć te przewody. Na przykład zielony przewód na ilustracji łączy punkty G i J.

Zadanie ma wiele rozwiązań. Wystarczy, jeśli podasz jedno z nich.



43. 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.  
 c) Oblicz, do jakiego napięcia należy podłączyć ten przewodnik, aby płynął przez niego prąd o natężeniu 0,5 A.





44. Tabela przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez pewien element elektroniczny od podłączonego do niego napięcia. Czy można powiedzieć, że w granicach niepewności pomiarowej natężenie jest proporcjonalne do napięcia? Niepewność każdego pomiaru wynosi 3% mierzonej wielkości.

**Uwaga.** Jak wiesz z lekcji, prawo Ohma obowiązuje tylko w niektórych przypadkach. W tym zadaniu skorzystaj z tabeli, ale nie z prawa Ohma, ponieważ nie wiesz, o jakim elemencie elektronicznym mowa i czy dla niego prawo Ohma jest spełnione.

a)

| $U, V$ | $I, mA$ |
|--------|---------|
| 1,45   | 721     |
| 2,98   | 1497    |
| 4,14   | 2134    |
| 6,02   | 2950    |

b)

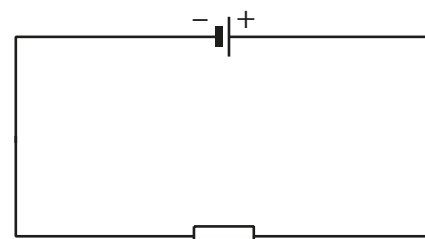
| $U, V$ | $I, mA$ |
|--------|---------|
| 1,45   | 287     |
| 2,98   | 714     |
| 4,14   | 1293    |
| 6,02   | 2097    |

c)

| $U, V$ | $I, mA$ |
|--------|---------|
| 1,45   | 472     |
| 2,98   | 714     |
| 4,14   | 920     |
| 6,02   | 1180    |

45. Dla każdej z serii pomiarów a), b), c) z poprzedniego zadania naskicuj wykres zależności  $I$  od  $U$ . Co zauważasz?

46. W obwodzie, którego schemat przedstawiono poniżej, płynie prąd o natężeniu  $I = 40 \text{ mA}$ . Napisz, ile będzie wynosić natężenie prądu w tym obwodzie, jeżeli do ogniwa podłączymy szeregowo drugie identyczne ogniwo.



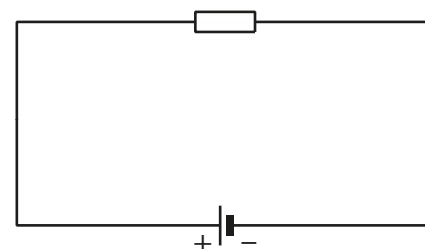
47. Przez opornik podłączony do baterii o napięciu  $4,5 \text{ V}$  płynie prąd o natężeniu  $15 \text{ mA}$ . Do jakiego napięcia trzeba podłączyć ten opornik, aby popłynął przez niego prąd o natężeniu  $20 \text{ mA}$ ?

#### Lekcja 14.

48. Opornik o oporze  $300 \Omega$  podłączono do baterii o napięciu  $4,5 \text{ V}$ . Oblicz, ile wynosi natężenie prądu płynącego przez opornik.

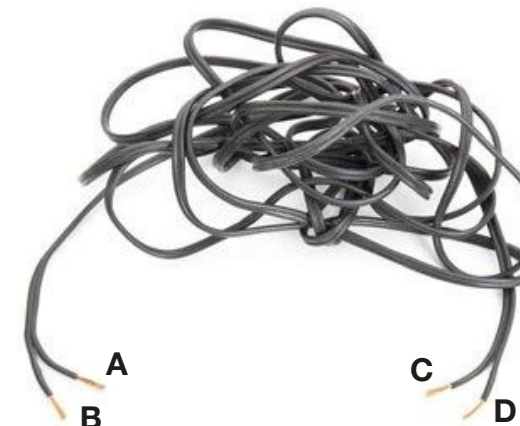
49. Przez opornik podłączony do baterii  $9 \text{ V}$  płynie prąd  $20 \text{ mA}$ . Oblicz opór elektryczny tego opornika.

50. W obwodzie przedstawionym na rysunku poniżej przez opornik o oporze  $200 \Omega$  płynie prąd o natężeniu  $45 \text{ mA}$ . Oblicz, ile wynosi napięcie baterii, do której podłączono opornik.



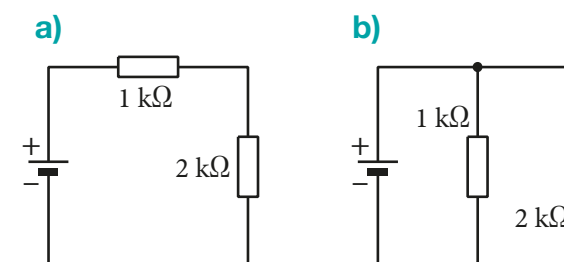
51. W dwużyłowym kablu elektrycznym znajdują się dwa przewody. Jak rozpoznać, która z końcówek: C czy D, jest drugim końcem tego samego przewodu co końcówka A? Zaproponuj dwie metody:

- a) z zastosowaniem omomierza,  
b) bez użycia omomierza – wymień, co w tym przypadku jest potrzebne.



52. Oblicz opór elektryczny, jaki powinien mieć opornik podłączony do baterii o napięciu  $12 \text{ V}$ , aby popłynął przez niego prąd  $20 \text{ mA}$ .

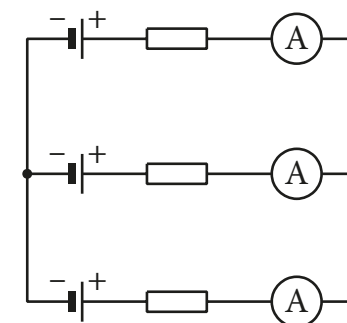
53. Przez który z oporników płynie prąd o większym natężeniu? A może jest ono jednakowe?



54. Spójrz na ilustrację do poprzedniego zadania. Na którym oporniku jest wyższe napięcie?

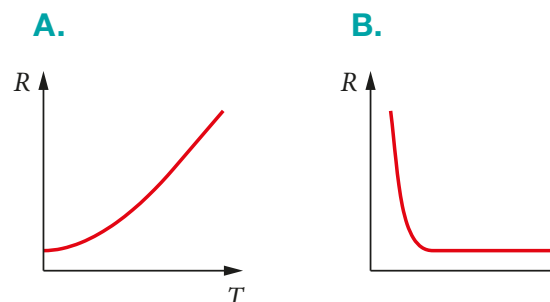
**Uwaga.** „Napięcie na oporniku” to napięcie pomiędzy jego końcówkami.

- ★55. Napięcie każdej z baterii wynosi  $1,5 \text{ V}$ , a opór każdego z oporników wynosi  $300 \Omega$ . Jakie natężenie prądu wskażą amperomierze?



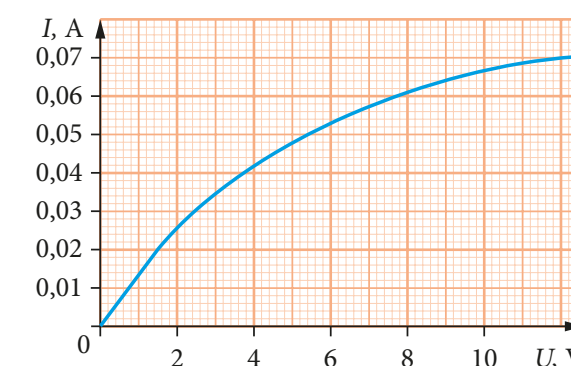
#### F Lekcja 15.

56. Który z poniższych wykresów zależności oporu od temperatury dotyczy przewodnika, a który – półprzewodnika?



57. Wykres przedstawia zależność natężenia prądu płynącego przez żarówkę od napięcia, do którego została podłączona. Oblicz opór żarówki w czasie, gdy płynie przez nią prąd o natężeniu:

a)  $0,02 \text{ A}$ , b)  $0,05 \text{ A}$ , c)  $0,07 \text{ A}$ .



58. Przeanalizuj wykres do poprzedniego zadania i uzasadnij, że gdy napięcie podłączone do żarówki nie przekracza  $1 \text{ V}$ , to spełnia ona prawo Ohma. Wyjaśnij, dlaczego tak jest. Jak sądzisz, czy przy takim napięciu żarówka świeci (choćby słabo)?

59. Rozważamy trzy rodzaje elementów elektronicznych: opornik, żarówkę i kawałek grafitu. Ile razy większa jest moc pobierana przez dany element podłączony do napięcia  $4 \text{ V}$  od mocy pobieranej przez ten sam element podłączony do napięcia  $2 \text{ V}$ ?

Dopasuj do każdego rodzaju elementu I–III prawidłową odpowiedź na



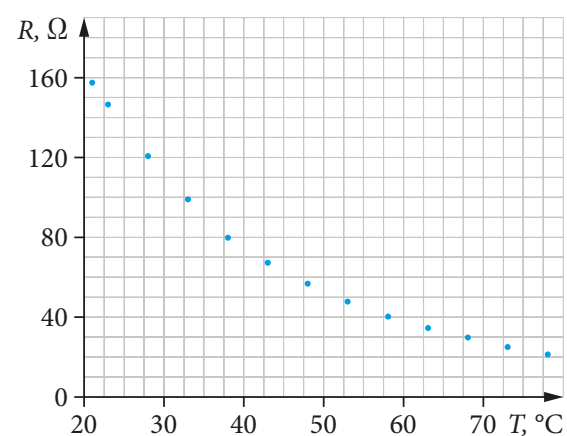
powyższe pytanie spośród podanych w ramce. Wyjaśnij, dlaczego odpowiedzi są różne.

**Wskazówka.** Pamiętaj, że moc urządzenia elektrycznego zależy od napięcia i natężenia. W zadaniu powiedziano o napięciu. Co można powiedzieć o natężeniu?

I. opornik II. żarówka III. grafit

2 razy • więcej niż 2 razy, ale mniej niż 4 razy • 4 razy • więcej niż 4 razy

- ★60. Na wykresie obok pokazano zależność oporu elektrycznego płytki półprzewodnika od temperatury.



Płytkę podłączono do baterii o napięciu 9 V. Jakie będzie przybliżone natężenie prądu płynącego przez obwód elektryczny w temperaturze:

- a) 20°C,  
b) 70°C?

## 6. Elektryczność i magnetyzm



### Lekcja 16.

- W których wypadkach mamy do czynienia z prądem stałym, a w których – z prądem przemiennym?
  - bateria AA (paluszek)
  - bateria w telefonie
  - domowa sieć elektryczna
  - linia energetyczna wysokiego napięcia
  - akumulator w samochodzie
- W sieci domowej płynie prąd przemienny, a kierunek ruchu elektronów w przewodzie zmienia się na przeciwny 100 razy na sekundę.
  - Oblicz, jaką drogę przebędzie elektron, zanim zmieni się kierunek przepływu prądu. Przyjmij, że średnia prędkość elektronów związana z przepływem prądu wynosi  $0,02 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$ .

**Uwaga.** Jak wiesz z lekcji 7, elektrony znacznie szybciej poruszają się

ruchem chaotycznym. Tym jednak nie zajmujemy się w tym zadaniu.

- Czy kiedy lampka świeci, elektrony przepływają z niej przewodem do gniazdka?
- 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.
  - Grzejnik olejowy o mocy 2000 W jest podłączony do gniazdka instalacji elektrycznej o napięciu 230 V.
    - Oblicz natężenie skuteczne prądu płynącego przez grzejnik oraz opór elektryczny jego elementów grzewczych podczas pracy.
    - 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 1,20 zł.

5. Ile energii zużyje w ciągu 15 minut kuchenka mikrofalowa o mocy 1000 W?



- A. 0,25 kWh  
B. 15 kWh  
C. 250 kWh  
D. 1500 kWh

- Najstarsza żarówka na świecie znajduje się w remizie strażackiej w amerykańskim miasteczku Livermore i działa nieprzerwanie od 1901 r.
  - Oblicz, jak dużą energię elektryczną zamieniła do dziś na światło i ciepło. Ponieważ moc żarówki zmalała z czasem z 60 W do 4 W, przyjmij, że jej średnia moc wynosiła 32 W.
  - Jedna kilowatogodzina kosztuje obecnie ok. 1,2 zł. Ile trzeba by było łącznie zapłacić za pracę żarówki z poprzedniego podpunktu według dzisiejszych cen?
- 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 1,20 zł.
- Zagotowanie litra wody w czajniku elektrycznym o mocy 2 kW trwa 5 min.

Janek trzy razy dziennie gotuje litr 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 1,2 zł za 1 kWh.



### Lekcja 17.

- Czy w opisanej sytuacji wyłącznik różnicowoprądowy odłączy zasilanie? A czy zrobi to bezpiecznik 10 A?
    - Do sieci włączyliśmy bojler o mocy 3000 W.
    - Przewód fazowy dotknął rury wodociągowej i przepłynął przez nią do ziemi prąd o natężeniu 15 A.
    - Przewód fazowy wpadł do kałuży rozlanej wody. Do ziemi przepłynął prąd o natężeniu 0,5 A.
    - Nieostrożny elektryk omyłkowo połączył przewód fazowy z neutralnym.
    - Nieostrożny elektryk omyłkowo połączył przewód fazowy z uziemieniem.
- Andrzej postanowił ogrzewać swój dom o powierzchni 200 m<sup>2</sup> wyłącznie grzejnikami elektrycznymi. Jego dom spełnia nowe normy energooszczędności, więc do ogrzania 1 m<sup>2</sup> powierzchni jest potrzebna moc 50 W.
  - Oblicz, jaką sumaryczną moc muszą mieć grzejniki, aby dom Andrzeja był ogrzany zgodnie z normami.



- b) **F** Ustal, czy można podłączyć wszystkie grzejniki jednocześnie, jeżeli w domowej instalacji elektrycznej jest zamontowany bezpiecznik 32 A.
11. **F** Oblicz maksymalną moc urządzeń, które można jednocześnie włączyć do obwodu zabezpieczonego bezpiecznikiem 20 A w instalacji samochodowej pod napięciem 12 V.
12. **F** Oblicz, ile możemy włączyć do obwodu zabezpieczonego bezpiecznikiem 10 A:
- laptopów o mocy 90 W,
  - tradycyjnych żarówek o mocy 100 W,
  - lampek LED o mocy 12 W,
  - suszarek o mocy 1200 W.
13. 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?
14. Napisz, jakie środki ostrożności należy zachować podczas użytkowania urządzeń elektrycznych, aby zapobiec sytuacji przedstawionej na zdjęciu.
- A co zrobić, gdy jednak dojdzie do takiego zdarzenia?



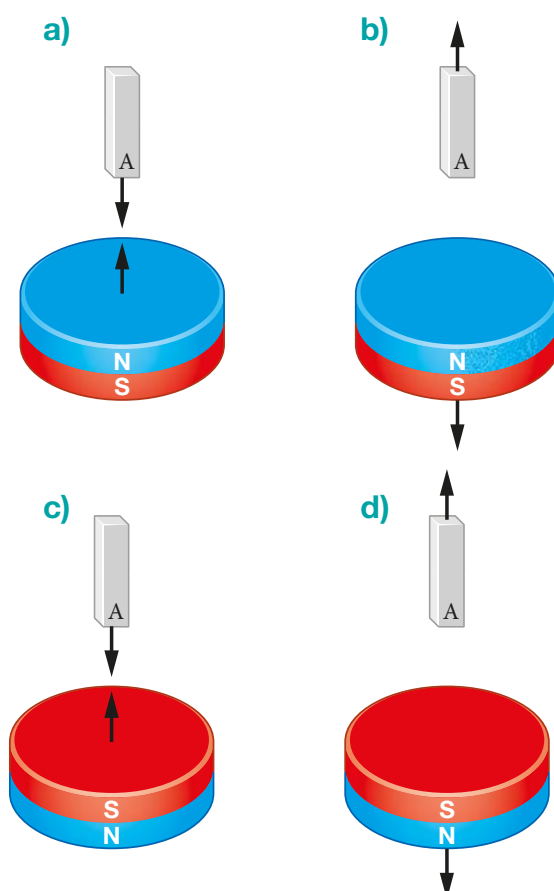
15. Dopasuj stan osoby porażonej prądem elektrycznym do właściwego sposobu postępowania.

- była przytomna przez cały czas, ale źle się czuje
- straciła przytomność, ale ją odżył
- jest nieprzytomna, ale oddycha i bije jej serce
- nie oddycha

- rozpocząć resuscytację i wezwać pogotowie
- wezwać karetkę i rozmawiać z poszkodowanym
- ułożyć w pozycji bocznej i wezwać pogotowie
- odwieźć na SOR

#### Lekcja 18.

16. Strzałki pokazują oddziaływanie magnesów: neodymowego w kształcie walca oraz sztabkowego. Który z biegunów magnesu sztabkowego oznaczono literą A?

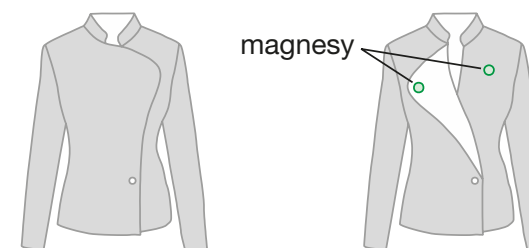


17. Wypisz z ramki substancje:

- które przyciąga magnes,
- które przyciągają magnes.

aluminium • cyna • drewno dębowe  
• miedź • papier • stal • żelazo

18. Magnes przyciąga sztabkę żelaza siłą 20 N. Wtedy ten kawałek żelaza:
- nie przyciąga magnesu.
  - przyciąga magnes siłą mniejszą niż 20 N.
  - przyciąga magnes siłą 20 N.
  - przyciąga magnes siłą większą niż 20 N.
19. Marynarka ma wszyte dwa niewielkie magnesy, dzięki którym można ją zapiąć (patrz rys.). Czy na rozpiętej marynarce widzimy dwa jednakowe czy dwa przeciwne bieguny magnesów?



20. Weź monetę 1 gr, 2 gr lub 5 gr wyprodukowaną przed 2014 r. oraz drugą monetę o tym samym nominale, ale nowszą. Sprawdź, czy oddziałują one z magnesem. Spróbuj się domyślić, z czego wynika zaobserwowana przez ciebie różnica, a następnie znajdź w odpowiednich źródłach informacje na ten temat.
21. Opisz, jak najłatwiej wyznaczyć strony świata za pomocą magnesu sztabkowego, którego bieguny są podpisane. A w jaki sposób rozpoznać bieguny magnesu sztabkowego, jeśli umiemy wskazać strony świata?
22. Gdy statek Sindbada Żeglarza przybliżył 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.

23. 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?

**Uwaga.** Przed rozwiązaniem zadań 24.–25. zapoznaj się z infografiką „Magnetyzm i początki fizyki” na s. 135.

24. **F** Spójrz na ilustrację z dzieła Williama Gilberta *De Magnete*. Umieszczone na niej słowa oznaczają strony świata. Jakie to strony świata? Jakie znaczenie dla namagnesowania kawałka żelaza ma jego położenie względem kierunków geograficznych?

25. **F** Oto kilka poglądów na magnetyzm w starożytności i we wczesnym średniowieczu. Które z nich są słuszne? Dlaczego?

- Magnes przyciąga żelazo.
- Czosnek likwiduje działanie magnesu.
- Magnes wyrzuca niewierną żonę z łóżka męża.
- Wypalony i sproszkowany magnes (wtedy używano magnetytu) to lekarstwo wzmacniające po krwotoku.

26. Dwie osoby zapytane, na czym polegają nauki przyrodnicze, odpowiedziały:
- Nauka to przede wszystkim zbiór sprawdzonych wiadomości.
  - Nauka to przede wszystkim sposób dochodzenia do wiedzy.

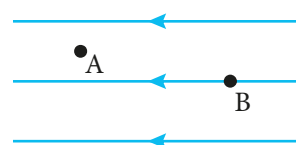
Która z tych odpowiedzi jest słuszniejsza? Dlaczego?



## Lekcja 19.

27. Przerysuj do zeszytu rysunek linii pola magnetycznego.

a) Ustal, jak igły magnetyczne ustawią się w punktach A i B. Narysuj je.

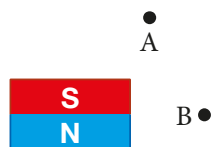


b) Wybierz właściwe uzupełnienie zdania.

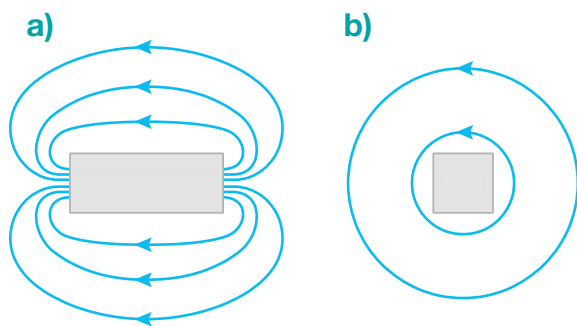
Linie pola takie, jak przedstawione na rysunku, powstają A/ B/ C zwojnicy, w której płynie prąd.

- A. wewnątrz  
B. przy brzegach  
C. na zewnątrz

28. 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.



29. Rysunki przedstawiają linie pola, ale jego źródło zostało zasłonięte. Jakie może to być źródło? Czy jest tylko jedna możliwość? Jeśli jest ich więcej, wymień wszystkie.



30. 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.

31. Z którego spośród materiałów wymienionych w ramce należy wykonać rdzeń elektromagnesu, a z którego – zwojnicę? Podaj wszystkie poprawne odpowiedzi. Uzasadnij swój wybór.

drewno • żelazo • miedź • papier  
• srebro

32. Do końca rdzenia włączonego elektromagnesu zbliżono magnes trwały. Elektromagnes i magnes się przyciągają.

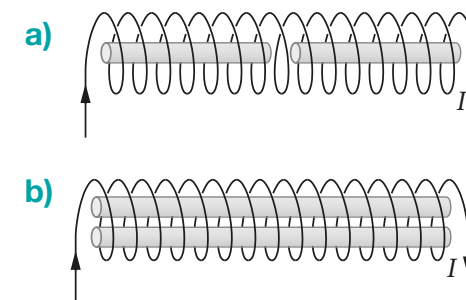
a) Co się stanie, gdy zamienimy bieguny baterii?

b) Czy sytuacja się zmieni, jeśli zastąpimy magnes trwały stalowym gwoździem?

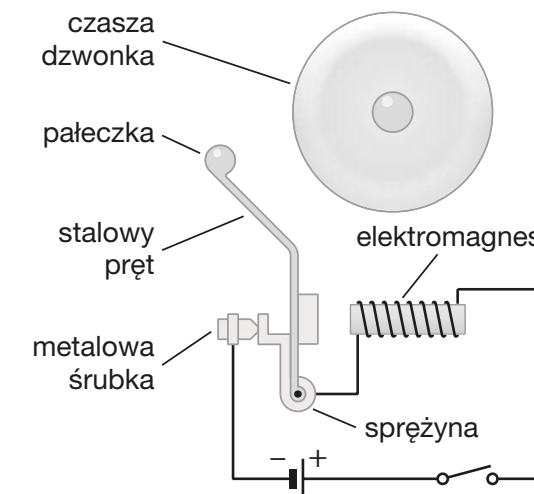
33. Sprężyna została swobodnie zawieszona na statywie. Jej końce podłączono do akumulatora. Ustal, czy długość sprężyny się zwiększy, zmniejszy czy pozostanie bez zmian.

**Wskazówka.** Zwojnica składa się z wielu pętli, z których każda wytwarza pole magnetyczne, tak jak mały magnesik. Czy takie magnesiki się przyciągają czy odpychają?

34. Do wewnątrz zwojnicy wkładamy dwa stalowe pręty. Po podłączeniu zwojnicy do prądu pręty magnesują się od jej pola magnetycznego. Czy będą się one przyciągać, czy odpychać? Rozważ ich dwa położenia pokazane na poniższych ilustracjach.



35. Nietrudno zbudować urządzenie, w którym po włączeniu prądu elektromagnes pociąga pałeczkę uderzającą w czaszę dzwonka. Jednak dzwonek elektryczny zbudowany jest tak, że po włączeniu prądu pałeczka uderza w czaszę wielokrotnie, aż do wyłączenia. Na podstawie schematu wyjaśnij, jak osiągnięto ten cel.



## Lekcja 20.

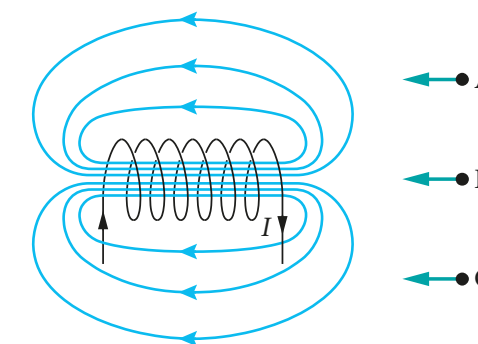
36. W przewodzie ułożonym wzdłuż równika ze wschodu na zachód płynie prąd stały. W polu magnetycznym Ziemi na przewód działa siła magnetyczna. Jaki jest jej kierunek?

A. na północ lub na południe

B. na wschód albo na zachód

C. w górę lub w dół

37. Do zwojnicy wytwarzającej pole magnetyczne zbliżają się trzy naładowane elektrycznie cząstki, tak jak przedstawiono na rysunku. Która z tych cząstek nie zmieni kierunku ruchu? A może żadna go nie zmieni?



38. **F** Akcelerator to urządzenie służące do przyspieszania cząstek, np. elektronów, protonów albo jonów. Największe akceleratory mają kształt pierścieni o średnicy wielu kilometrów. Do sterowania cząstkami i ich rozpędzania wykorzystuje się pole elektryczne i pole magnetyczne. Które z nich służy do rozpędzania cząstek, a które – do zakrzywiania toru ich ruchu?

39. **F** Czasami, kiedy wiatr słoneczny jest szczególnie silny, zorzę polarną można zaobserwować nawet z części terytorium Polski. W jakim regionie jest to najczęściej możliwe?

A. na Pomorzu

B. na Roztoczu

C. w Tatrach

40. **F** Pole magnetyczne Słońca możemy obserwować dzięki temu, że materia słoneczna składa się z bardzo rozgrzanego gazu, którego atomy są zjonizowane, a więc naładowane elektrycznie. Linie tego pola mają 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.

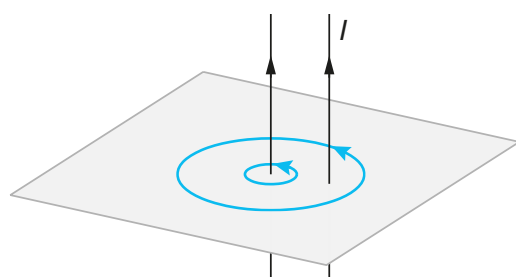


**Wskazówka:** Przypomnij sobie, jak poruszają się cząstki naładowane w polu magnetycznym Ziemi.

- ★41. Trwają prace nad elektrownią termojądrową, która miałaby czerpać energię z reakcji jądrowych zachodzących w zjonizowanej gazie o temperaturze kilku milionów stopni. Na przeszkodzie stoi brak odpowiedniego materiału do wykonania na ten gaz naczyń, które by natychmiast nie wyparowało.

Badacze proponują uwięzić supergorącą materię w potężnym polu magnetycznym. Naszkicuj, jak mogłyby wyglądać linie pola magnetycznego w takiej magnetycznej pułapce.

42. 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 przewody, w których płynie prąd, oddziałują na siebie siłą magnetyczną?

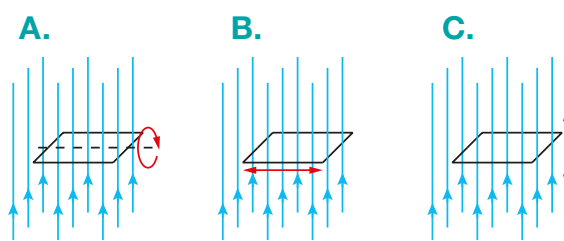
43. ⓕ Na Jowiszu także występują zorze polarne (patrz zdjęcie). Czy to znaczy, że Jowisz ma pole magnetyczne?



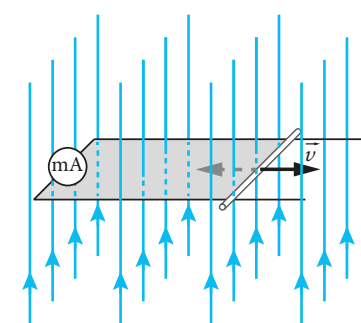
44. ⓕ Bieguny magnetyczne Ziemi zmieniają swoje położenie. Zdarzało się już w historii naszej planety, że znajdowały się one z dala od biegunów geograficznych. Gdzie wówczas można było zaobserwować zorze polarne: w pobliżu biegunów magnetycznych czy geograficznych?

#### Lekcja 21.

45. Na rysunkach przedstawiono schematycznie ruchy metalowej ramki w jednorodnym polu magnetycznym. Wskaż, w którym przypadku zajdzie zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Uzasadnij odpowiedź.



46. 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 zero, 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 wtedy, gdy będziemy od niego oddalali pręt.  
D. Wskazanie miliamperomierza będzie różne od zera, zarówno podczas odsuwania pręta, jak i podczas jego przysuwania.

47. Zastanów się, czy można zbudować prądnice, 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.

48. W czasie zjawiska indukcji elektromagnetycznej wytwarzamy energię elektryczną, ale magnes nie traci swoich

właściwości, czyli nie rozmagnesowuje się. Wytłumacz, jak to pogodzić z zasadą zachowania energii.

49. 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.



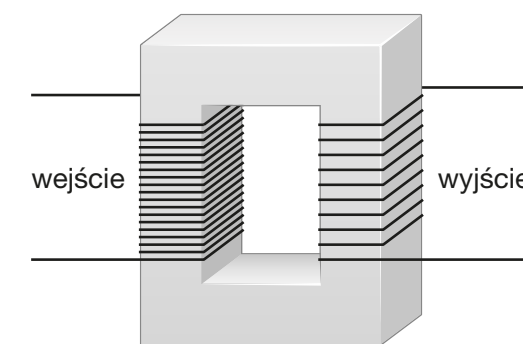
- a) Jak to możliwe, skoro zarówno szczoteczka, jak i podstawka mają plastikową (a więc nieprzewodzącą prądu) obudowę?  
b) Jak myślisz, dlaczego nie wybrano prostszej metody, np. połączenia szczoteczki z podstawką za pomocą metalowych styków?

50. Znajdź w wiarygodnych źródłach informacji odpowiedzi na pytania. Zapisz, z jakich źródeł korzystasz.

- a) Co to jest miernik cęgowy i jak on działa?  
b) Jakie wielkości pozwala mierzyć?  
c) Jaka jest jego przewaga nad zwykłym miernikiem uniwersalnym, używanym w naszych doświadczeniach?

#### ⓕ Lekcja 22.

51. Czy naszkicowany transformator podwyższa czy obniża napięcie?





**52.** Transformator pozwala podłączyć polską suszarkę o mocy 2100 W do amerykańskiej sieci elektrycznej 115 V. Oblicz natężenie prądu pobieranego przez suszarkę:

- a) z polskiej sieci elektrycznej bez transformatora,
- b) z amerykańskiej sieci elektrycznej przez transformator.

**53.** Przeczytaj informacje w ramce, a następnie rozwiąż 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 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.



**54.** Do transformatora dopływa prąd o natężeniu 20 A pod napięciem 6000 V. Transformator zamienia napięcie na 230 V. Jakie jest natężenie prądu opuszczającego transformator?

**55.** Gdy przez przewód o oporze  $R$  płynie prąd o natężeniu  $I$ , szybkość wydzielania się ciepła można opisać wzorem  $P = I^2 R$ . 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.

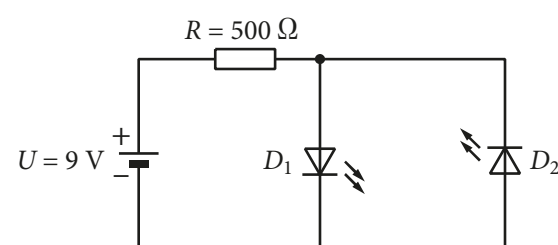
**56.** Obejrzyj film pt. *Levitating Barbecue* na temat indukcji elektromagnetycznej na kanale YouTube *Veritasium*.

a) Uzasadnij stwierdzenie, że pierwsze w historii fizyki doświadczenie z indukcją elektromagnetyczną polegało na budowie transformatora. Kto tego dokonał?

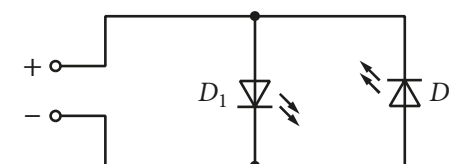
b) Wyjaśnij, dlaczego przedstawiona na początku filmu aluminiowa płyta unosi się w powietrzu.

#### Lekcja 23.

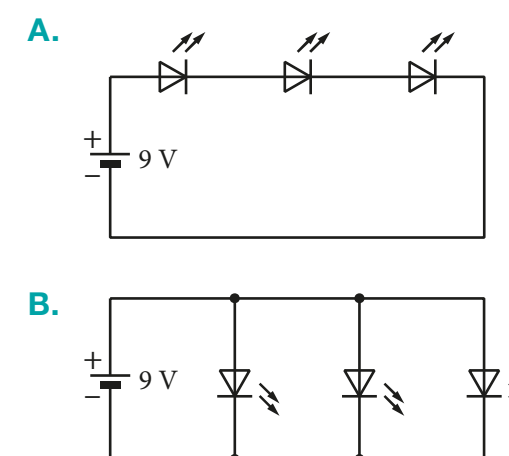
**57.** W obwodzie, którego schemat przedstawiono poniżej, wykorzystano dwie czerwone diody świecące, oznaczone symbolami  $D_1$  i  $D_2$ . Spadek napięcia na diodzie, przez którą płynie prąd, wynosi 2,4 V. Oblicz natężenia prądu płynącego przez opornik i obie diody.



**58.** 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 do zacisku „+”, natomiast ujemny podłączamy 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?



**59.** Diodę świecącą można zasilать 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.



**60.** Żarówka LED ma moc 8 W. Jaką moc ma świetlówka, a jaką tradycyjna żarówka, które wytwarzają tyle samo światła co ona?

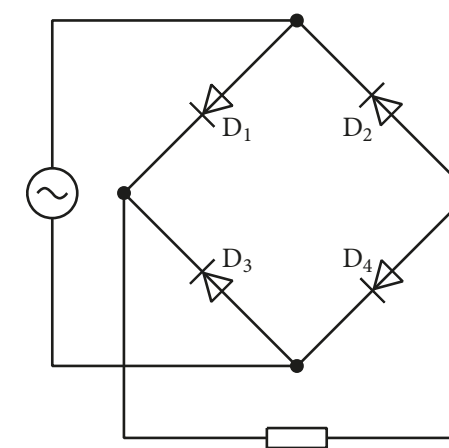
**61.** Cztery diody połączone w sposób przedstawiony na schemacie tworzą mostek prostowniczy – układ służący do prostowania prądu, czyli przetwarzania prądu przemiennego na stały. Niezależnie od biegunowości źródła napięcia prąd przez odbiornik energii płynie zawsze w tę samą stronę.

a) Czy prąd przez opornik płynie w prawo czy w lewo?

b) Przez które diody płynie prąd, gdy dodatni biegun źródła napięcia jest na górnej końcówce?

c) A przez które diody płynie, gdy dodatni biegun źródła jest na dolnej końcówce?

d) Dowiedz się, dlaczego użycie mostka prostowniczego jest lepszym rozwiązaniem do prostowania prądu niż użycie pojedynczej diody.







## 1 Zaokrąglanie

Jeśli pierwsza pomijana cyfra jest  
 mniejsza od 5 → to zaokrąglamy w dół  
 większa od 5 lub równa 5 → to zaokrąglamy w górę

## Przykład 1. Zaokrąglanie do dziesiątek

$2762 \approx 2760$  ← pierwsza pomijana cyfra  
 $2765 \approx 2770$  ← pierwsza pomijana cyfra

## Przykład 2. Zaokrąglanie do setek

$3807 \approx 3800$  ← pierwsza pomijana cyfra  
 $3875 \approx 3900$  ← pierwsza pomijana cyfra

## Przykład 3. Zaokrąglanie do części setnych

$2,653217 \approx 2,65$        $2,65728 \approx 2,66$

## Przykład 4. Zmiana kilku cyfr

Czasami przy zaokrąglaniu w górę trzeba zmienić więcej niż jedną cyfrę:

Zaokrąglanie do setek:

$9959 \approx 10\,000$

(nie ma cyfry większej niż 9)

Zaokrąglanie do części tysięcznych:

$0,5195 \approx 0,52$

(nie ma cyfry większej niż 9)

Tylko niepewności  
 pomiarowe zaokrąglamy  
 inaczej – zawsze w górę.

Pierwszą pomijaną cyfrę  
 i wszystkie następne  
 zamieniamy na zera.

## 2 Działania na potęgach

Dla  $a, b \in R$  i dla liczb całkowitych  $n$  i  $k$  zachodzą równości:

$$a^n \cdot a^k = a^{n+k} \quad \frac{a^n}{b^n} = \left(\frac{a}{b}\right)^n, \quad b \neq 0$$

$$\frac{a^n}{a^k} = a^{n-k}, \quad a \neq 0 \quad (a^n)^k = a^{n \cdot k} \quad a^n \cdot b^n = (a \cdot b)^n$$

## Przykład 1. Potęgi liczby dziesięć

$10^3 = 1000$     $10^0 = 1$     $10^8 = 100\,000\,000$   
 8 zer

$10^{-1} = 0,1$     $10^{-2} = 0,01$     $10^{-8} = 0,000\,000\,01$

8. miejsce po przecinku

## Przykład 2. Mnożenie potęg dziesiątki

$10^4 \cdot 10^3 = 10^{4+3} = 10^7$ , bo  $10\,000 \cdot 1000 = 10\,000\,000$

Ta sama zasada obowiązuje przy wykładnikach ujemnych:

$10^4 \cdot 10^{-3} = 10^{4+(-3)} = 10^1$

Jaki wykładnik – tyle zer.

Jaki wykładnik – tyle  
 miejsc po przecinku.

Dodajemy wykładniki  
 (lub liczbę zer).



## Przykład 3. Dzielienie potęg dziesiątki

$10^5 : 10^3 = 10^{5-3} = 10^2$ , bo  $100\,000 : 1000 = 100$

$10^5 : 10^{-3} = 10^{5-(-3)} = 10^{5+3} = 10^8$ ,

bo  $100\,000 : \frac{1}{1000} = 100\,000 \cdot 1000 = 100\,000\,000$

## Przykład 4. Kwadrat potęgi dziesiątki

$(10^3)^2 = 10^{3 \cdot 2} = 10^6$ , bo  $(10^3)^2 = 10^3 \cdot 10^3 = 10^{3+3}$

$(10^{-3})^2 = 10^{-3 \cdot 2} = 10^{-6}$ , bo  $\left(\frac{1}{10^3}\right)^2 = \frac{1}{(10^3)^2} = \frac{1}{10^6}$

Dodajemy wykładniki  
 (jeden z nich jest  
 ujemny).

Mnożymy wykładniki.

## 3 Notacja wykładnicza

Notacja wykładnicza liczby dodatniej to zapis w postaci:  $a \cdot 10^k$ , gdzie  $k$  jest liczbą całkowitą, natomiast liczba  $a$  spełnia warunek  $1 \leq a < 10$ .

Bardzo duże i bardzo małe liczby wygodnie jest zapisywać w notacji wykładniczej.

## Przykład 1. Zamiana notacji wykładniczej na zwykły zapis liczby

$5 \cdot 10^6 = 5 \cdot 1\,000\,000 = 5\,000\,000$

$2,3 \cdot 10^8 = 2,3 \cdot 100\,000\,000 = 230\,000\,000$   
 8 cyfr

$5 \cdot 10^{-9} = 5 \cdot 0,000\,000\,001 = 0,000\,000\,005$

$1,5 \cdot 10^{-6} = 1,5 \cdot 0,000\,001 = 0,000\,0015$

6. miejsce po przecinku

Za pierwszą cyfrą  
 (dwójką) jest jeszcze  
 8 cyfr, ale nie wszystkie  
 muszą być zerami.

Pierwsza niezerowa  
 cyfra stoi na 6. miejscu  
 po przecinku.

## Przykład 2. Mnożenie, dzielenie i potęgowanie w notacji wykładniczej

Możemy osobno wykonać działania na potęgach o podstawie 10 i na pozostałych liczbach:

$(2,1 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^2) = 6,3 \cdot 10^7$   
 $2,1 \cdot 3 = 6,3$        $10^5 \cdot 10^2 = 10^7$

$\frac{2,7 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^{-6}} = 0,9 \cdot 10^{4-(-6)} = 0,9 \cdot 10^{10}$

$2,7 : 3 = 0,9$

Wynik trzeba doprowadzić do postaci, w której obok potęgi dziesiątki stoi liczba między 1 a 10:

$0,9 \cdot 10^{10} = 9 \cdot 10^9$ , bo  $0,9 = 9 \cdot 0,1 = 9 \cdot 10^{-1}$  i  $9 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{10} = 9 \cdot 10^9$

Podobnie obliczamy:

$(1,2 \cdot 10^{-3})^2 = 1,2^2 \cdot (10^{-3})^2 = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3 \cdot 2} = 1,44 \cdot 10^{-6}$

$(4 \cdot 10^{-3})^2 = 16 \cdot 10^{-6} = 1,6 \cdot 10^{-5}$

$16 = 1,6 \cdot 10 = 1,6 \cdot 10^1$  i  $1,6 \cdot 10^1 \cdot 10^{-6} = 1,6 \cdot 10^{-5}$

Dodajemy wykładniki  
 dziesiątki.

Odejmujemy wykładniki  
 dziesiątki.





**Przykład 3. Dodawanie w notacji wykładniczej**

Zanim wykonamy te działania, musimy przekształcić liczby tak, aby miały ten sam wykładnik.

$$1,2 \cdot 10^5 + 2,3 \cdot 10^6 = 1,2 \cdot 10^5 + 23 \cdot 10^5 = 24,2 \cdot 10^5 = 2,42 \cdot 10^6$$

$2,3 \cdot 10^6 = 2,3 \cdot 10 \cdot 10^5$        $1,2 + 23$

**4 Jednostki i przedrostki****Przykład 1. Zamiana przedrostka na notację wykładniczą**

Aby przeliczyć 200 nm na metry, sprawdzamy w tablicach, jakiej części metra jest równy jeden nanometr:  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ .

Wobec tego:

$$200 \text{ nm} = 200 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \cdot 10^2 \cdot 10^{-9} \text{ m} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$200 = 2 \cdot 100 = 2 \cdot 10^2$        $10^2 \cdot 10^{-9} = 10^{2+(-9)} = 10^{-7}$

**Przykład 2. Zamiana notacji wykładniczej na przedrostek**

Aby wyrazić  $2,14 \cdot 10^{11} \text{ Hz}$  w terahercach (THz), najpierw sprawdzamy w tablicach, ilu hercom jest równy 1 teraherc:  $1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$ .

Trzeba więc zapisać liczbę  $2,14 \cdot 10^{11}$  tak, aby występowało w niej  $10^{12}$ :

$$2,14 \cdot 10^{11} = 0,214 \cdot 10 \cdot 10^{11} = 0,214 \cdot 10^{12}$$

iloczyn 11 dziesiątek, więc brakuje nam jednej do  $10^{12}$       tę potęgę musimy pomnożyć przez 10, więc liczbę 2,14 dzielimy przez 10  
 $2,14 = 0,214 \cdot 10$

Zatem  $2,14 \cdot 10^{11} \text{ Hz} = 0,214 \text{ THz}$ .

**5 Cyfry znaczące**

Wynik pomiaru odległości zapisano na kilka sposobów:

$$0,023 \text{ km} = 23 \text{ m} = 2300 \text{ cm} = 23\,000 \text{ mm}$$

Cyfry zaznaczone na niebiesko to **cyfry znaczące**. Występują one w każdym z powyższych zapisów, niezależnie od wybranego przedrostka. Są to więc **wszystkie cyfry z wyjątkiem zer na końcu i na początku liczby**.

Zauważ, że kiedy tę samą równość zapiszemy w notacji wykładniczej, dwójka i trójka pojawiają się jako **jedyne** cyfry przed potęgą dziesiątki:

$$2,3 \cdot 10^{-3} \text{ km} = 2,3 \cdot 10^1 \text{ m} = 2,3 \cdot 10^3 \text{ cm} = 2,3 \cdot 10^4 \text{ mm}$$

**Przykład. Zaokrąglanie do dwóch cyfr znaczących**

Zaokrąglaj poniższe liczby do dwóch cyfr znaczących.

a) 0,8715234

b) 6792,13

c) 0,005523

W każdym przypadku zapisujemy potrzebne zera i przecinki, a w miejscach, gdzie pojawiają się dwie cyfry znaczące, o których była mowa w poleceniu, zostawiamy kreseczki:

a) 0, \_ \_

b) \_ \_ 00

c) 0,00 \_ \_

Teraz widzimy, z jaką dokładnością trzeba zaokrąglić daną liczbę:

a) do części setnych

b) do setek

c) do czterech miejsc po przecinku

Zaokrąglamy i wpisujemy odpowiednie cyfry nad kreseczkami:

a) 0, 8 7

b) 6 8 0 0

c) 0,0 0 5 5

Przy pewnej wprawie możesz już oczywiście nie pisać kreseczek.

Jeśli nie pamiętasz, w jaki sposób zaokrąglamy liczby – patrz → **Dodatek matematyczny 1**, s. 208.

**6 Przekształcanie najprostszych wzorów**

Wiele wzorów fizycznych ma ogólną postać:

$$A = B \cdot C \quad \text{albo} \quad A = \frac{B}{C}$$

Można je przekształcać tak samo jak przy rozwiązywaniu równań, np. mnożyć i dzielić obie strony przez wielkości różne od zera.

**Przykład 1. Przekształcanie wzoru w postaci  $A = B \cdot C$** 

Wyznacz  $F$  ze wzoru  $W = F \cdot s$ .

$$W = F \cdot s \quad | : s \quad \text{dzielimy obie strony przez } s$$

$$\frac{W}{s} = F \quad \text{szukaną wielkość chcemy mieć po lewej stronie}$$

Zamieniamy stronami i otrzymujemy:

$$F = \frac{W}{s}$$

**Przykład 2. Przekształcanie wzoru w postaci  $A = \frac{B}{C}$** 

Wyznacz  $t$  ze wzoru  $v = \frac{s}{t}$ .

$$v = \frac{s}{t} \quad | \cdot t$$

$$vt = s \quad | : v$$

$$t = \frac{s}{v}$$

Wyznaczana wielkość musi być w liczniku, więc zabieramy ją z mianownika, dlatego mnożymy obie strony przez  $t$ .

Wzór ma postać wzoru z przykładu 1.



**Przykład 3. Sprytnie przekształcanie wzorów**

Prostym sposobem na przekształcanie wzorów jest wyobrażenie sobie konkretnych niewielkich liczb, które spełniają równanie:

wyznaczamy  $F$ 

$$W = F \cdot s$$

$$10 = 5 \cdot 2$$

$$5 = \frac{10}{2}$$

$$F = \frac{W}{s}$$

Ogólnie możemy zapisać:

wyznaczamy  $t$ 

$$v = \frac{s}{t}$$

$$2 = \frac{6}{3}$$

$$3 = \frac{6}{2}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

**7 Przekształcanie wzorów – przypadek ogólny**

Bardziej skomplikowane wzory przekształcamy tak samo jak równania matematyczne.

**Przykład 1. Przekształcanie wzoru**

Wyznacz  $v$  z zależności  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ .

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \quad | \cdot 2$$

$$mv^2 = 2mgh \quad | : m$$

$$v^2 = 2gh$$

Wielkości są nieujemne, więc możemy wyciągnąć pierwiastek z obu stron:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Nie trzeba każdego przekształcenia zapisywać osobno. W naszym przykładzie można zapisać  $| \cdot \frac{2}{m}$

Wielkość  $g$  to przyspieszenie ziemskie, a  $h$  to wysokość, więc obie są nieujemne.

**8 Proporcjonalność prosta**

Dwie wielkości są wprost proporcjonalne, jeśli **ze wzrostem jednej z nich druga rośnie tyle samo razy**.

Wykresem proporcjonalności prostej jest **linia prosta** przechodząca przez początek układu współrzędnych.

**Przykład. Proporcjonalność prosta**

Jeśli 1 kg sera kosztuje 30 zł, to 2 kg kosztują 60 zł, 3 kg kosztują 90 zł itd. Ile razy większa jest masa sera, tyle razy większa jest jego cena. Mówimy, że cena sera jest wprost proporcjonalna do jego masy.

**Uwaga.** Nie każda zależność rosnąca to proporcjonalność prosta. Na przykład im dłuższy bok kwadratu, tym większe jego pole, ale jeśli bok kwadratu wydłużymy 3 razy, to jego pole wzrośnie 9 razy.

**9 Proporcjonalność odwrotna**

Dwie wielkości są odwrotnie proporcjonalne, jeśli **ze wzrostem jednej z nich druga maleje tyle samo razy**.

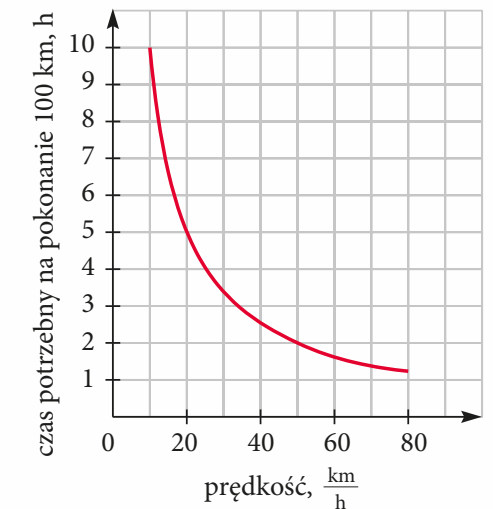
Wykresem proporcjonalności odwrotnej jest linia krzywa zwana hiperbolą.

**Przykład. Proporcjonalność odwrotna**

Dzielimy dwukilogramowy tort po równo między kilka osób. Ile razy więcej osób, tyle razy mniej dostanie każda z nich. Mówimy, że masa porcji tortu przypadającej na osobę jest odwrotnie proporcjonalna do liczby osób.

Przykład bardziej związany z fizyką to czas potrzebny na przebycie pewnej drogi, np. 100 km, w zależności od prędkości. Ile razy większa jest prędkość, tyle razy krótszy jest czas jazdy.

**Uwaga.** Nie każda zależność malejąca to proporcjonalność odwrotna. Na przykład im większa odległość planety od Słońca, tym mniejsza siła przyciągania między nimi. Jednak gdy odległość zwiększy się 3 razy, to siła zmniejszy się aż 9 razy.

**10 Wartość bezwzględna**

Gdy do oznaczania wielkości fizycznych używamy liczb dodatnich i ujemnych, czasami interesuje nas sama liczba, bez znaku. Na przykład na wartość siły oddziaływania elektrostatycznego ma wpływ to, jak duży jest ładunek, a nie jaki ma znak.

W takiej sytuacji używamy pojęcia **wartości bezwzględnej**. Oznaczamy ją pionowymi kreskami:

$|3| = 3$       wartość bezwzględna liczby 3 wynosi 3  
 $|-3| = 3$       wartość bezwzględna liczby -3 również wynosi 3  
 $|0| = 0$       wartość bezwzględna liczby 0 wynosi 0  
 $|-3,5| = |3,5| = 3,5$  itd.

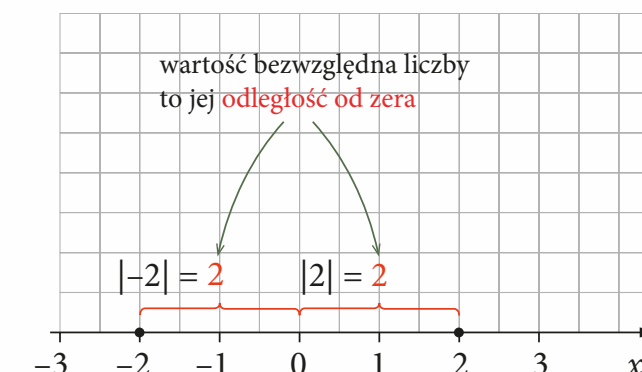




Tabela 1. Elektryczne symbole graficzne

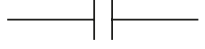
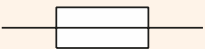
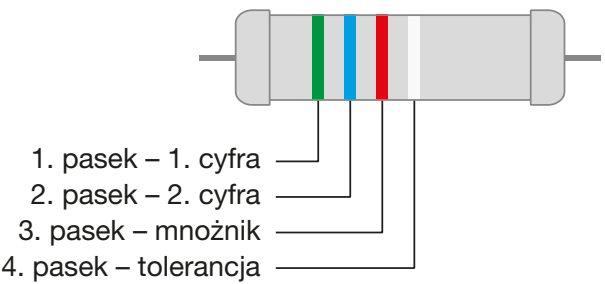
| Nazwa                                     | Symbol                                                                              | Nazwa                                          | Symbol                                                                                |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| przewód elektryczny                       |    | kondensator                                    |    |
| źródło energii elektrycznej prądu stałego |    | źródło energii elektrycznej prądu przemiennego |    |
| wyłącznik (klucz)                         |    | opornik (rezystor)                             |    |
| żarówka                                   |    | potencjometr                                   |    |
| amperomierz                               |   | węzeł                                          |   |
| woltomierz                                |  | bezpiecznik                                    |  |
| dioda                                     |  | dioda LED                                      |  |

Tabela 2. Wartości wybranych stałych i jednostek

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| Ładunek elementarny | $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$                |
| Kulomb              | $1 \text{ C} = 6,24 \cdot 10^{18} e$              |
| Stała elektryczna   | $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ |

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               |

**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 pierwsze dwie oznaczają cyfry znaczące, trzeci – mnożnik, a tolerancja wynosi ±20%,
  - jeśli są cztery paski, pierwsze dwie oznaczają cyfry znaczące, trzeci – mnożnik, a czwarty – tolerancję,
  - jeśli jest pięć pasków, to pierwsze trzy oznaczają cyfry znaczące, czwarty – mnożnik, a piąty – tolerancję.

Przykład:   $47 \cdot 10^5 \Omega = 4,7 \cdot 10^6 \Omega = 4,7 \text{ M}\Omega$  (tolerancja do 20%, bo nie ma 4. paska)



Tabela 4. Wielokrotności i podwielokrotności jednostek

| Przedrostek |       | Przelicznik                          | Przedrostek |       | Przelicznik                                  |
|-------------|-------|--------------------------------------|-------------|-------|----------------------------------------------|
| T           | tera  | 1 000 000 000 000 = 10 <sup>12</sup> | c           | centy | $\frac{1}{100} = 10^{-2}$                    |
| G           | giga  | 1 000 000 000 = 10 <sup>9</sup>      | m           | mili  | $\frac{1}{1\,000} = 10^{-3}$                 |
| M           | mega  | 1 000 000 = 10 <sup>6</sup>          | μ           | mikro | $\frac{1}{1\,000\,000} = 10^{-6}$            |
| k           | kilo  | 1 000 = 10 <sup>3</sup>              | n           | nano  | $\frac{1}{1\,000\,000\,000} = 10^{-9}$       |
| h           | hekto | 100 = 10 <sup>2</sup>                | p           | piko  | $\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000} = 10^{-12}$ |
| da          | deka  | 10 = 10 <sup>1</sup>                 |             |       |                                              |
| d           | decy  | $\frac{1}{10} = 10^{-1}$             |             |       |                                              |

Tabela 5. Wybrane wzory występujące w podręczniku

|                         |                                 |                                                                                                                                                                           |
|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>F</b> Prawo Coulomba | $F_e = k \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ | $k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$ – stała elektryczna,<br>$q_1, q_2$ – ładunki oddziałujących ciał,<br>$r$ – odległość między ciałami |
| Napięcie elektryczne    | $U = \frac{E}{q}$               | $U$ – napięcie, $E$ – energia elektryczna,<br>$q$ – ładunek przepływający w obwodzie                                                                                      |
| Natężenie prądu         | $I = \frac{q}{t}$               | $I$ – natężenie prądu, $q$ – ładunek przepływający w obwodzie, $t$ – czas przepływu ładunku                                                                               |
| Opór elektryczny        | $R = \frac{U}{I}$               | $R$ – opór przewodnika, $U$ – przyłożone napięcie,<br>$I$ – natężenie płynącego prądu                                                                                     |
| Energia elektryczna     | $E = UIt$                       | $E$ – energia, $U$ – napięcie, $I$ – natężenie prądu,<br>$t$ – czas przepływu prądu                                                                                       |
| Moc                     | $P = \frac{E}{t}$               | $P$ – moc, $E$ – energia, $t$ – czas                                                                                                                                      |
| Moc prądu               | $P = UI$                        | $P$ – moc, $U$ – napięcie, $I$ – natężenie                                                                                                                                |

Indeks

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>A</b><br>amper 62<br>Ampere, André-Marie 146<br>amperogodzina 63<br>amperomierz 66<br>atom 8                                                           | kserokopiarka 14<br>kuchenka indukcyjna 158<br>kulomb 13                                                                                                                                                                                                                    | porażenie elektryczne 128<br>potencjometr 95, 97<br>półprzewodnik 101<br>prawo Coulomba 19<br>– Ohma 90<br>prąd elektryczny 50<br>– przemienny 117<br>prądnica 156<br>proporcjonalność prosta 212<br>– odwrotna 213<br>prostownik 167<br>proton 8 |
| <b>B</b><br>badanie znaku ładunku 11<br>bateria 51, 82, 112<br>bezpiecznik 124<br>biegun magnesu 134<br>burza 29<br>butelka lejdejska 37                  | <b>L</b><br>lampa neonowa 11<br>LED (dioda świecąca) 167<br>linie pola elektrycznego 23<br>– – magnetycznego 140                                                                                                                                                            | <b>R</b><br>ryby elektryczne 64                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>C</b><br>cewka 142<br>Czochralski, Jan 103                                                                                                             | <b>Ł</b><br>ładunek elektryczny 8<br>– elementarny 13                                                                                                                                                                                                                       | <b>S</b><br>silnik elektryczny 150<br>siła elektryczna 8, 19, 151<br>– magnetyczna 133, 149, 151<br>stała elektryczna 19<br>superkondensator 36<br>symbole elektryczne 54                                                                         |
| <b>D</b><br>defibrylator 38<br>dioda 166<br>– świecąca (LED) 167<br>drukarka laserowa 14<br>Du Fay, Charles François 10                                   | <b>M</b><br>magnes 134<br>miernik uniwersalny 67<br>mikrofon 159<br>miliamperogodzina 63<br>moc prądu 75                                                                                                                                                                    | <b>Ś</b><br>światłowka 170                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>E</b><br>elektrofiltr 46<br>elektromagnes 142, 148<br>elektron 8<br>– swobodny 50<br>elektroskop 17<br>elektryzowanie ciał 9<br>energia elektryczna 75 | <b>N</b><br>nadprzewodnik 101<br>napięcie elektryczne 58<br>– przemienne 117<br>– skuteczne 119<br>natężenie prądu 61<br>– skuteczne 119<br>neonówka 11<br>neutron 8<br>niepewność pomiaru miernikiem 69<br>Nollet, Jean-Antoine 37                                         | <b>T</b><br>tabliczka znamionowa 120<br>transformator 161                                                                                                                                                                                         |
| <b>F</b><br>Faraday, Michael 33, 156<br>Franklin, Benjamin 32                                                                                             | <b>O</b><br>obwód elektryczny 51<br>ochrona przed piorunem 31<br>oddziaływanie elektryczne 8, 19<br>– magnetyczne 133<br>ogniwo 82, 112<br>Ohm, Georg 90<br>om 93<br>omomierz 96<br>opornik 95<br>opór elektryczny 93<br>– – a temperatura 98<br>Ørsted, Hans Christian 146 | <b>U</b><br>uziemiaenie 131                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>G</b><br>Galvani, Luigi 87, 112<br>Gilbert, William 135<br>głośnik 144                                                                                 | <b>P</b><br>pierwsze prawo Kirchhoffa 85<br>piorunochron 31<br>pojemność baterii 63<br>pole<br>– elektryczne 23<br>– jednorodne 27<br>– magnetyczne 136<br>połączenie równoległe 79, 125<br>– szeregowo 79                                                                  | <b>W</b><br>wariograf 94<br>wat 73, 75<br>wiatr słoneczny 152<br>wolt 59<br>woltomierz 66<br>wykrywacz kłamstw 94<br>wyłącznik różnicowoprądowy 127                                                                                               |
| <b>I</b><br>igła magnetyczna 137<br>indukcja elektromagnetyczna 155                                                                                       | <b>Ż</b><br>źródła światła 170                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>J</b><br>jonizacja 29, 50                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <b>K</b><br>$k$ (stała elektryczna) 19<br>kilowatogodzina 121<br>klatka Faradaya 33<br>Kleist, Ewald von 37<br>kompas 137, 139<br>kondensator 35          |                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                   |



Odpowiedzi i wskazówki do wybranych zadań

Elektrostatyka

1. Ładunki elektryczne

Zadanie 3. **Wskazówka.** Czy podczas elektryzowania jakieś cząstki przepływają z jednego ciała na drugie? Jeśli tak, to w którą stronę?

2. Zasada zachowania ładunku

Zadanie 2.  $+2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

Zadanie 4. **Wskazówka.** Oblicz, ile razy większy jest podany ładunek od ładunku elektronu.

Zadanie 5. **Wskazówka.** Jaki ładunek przepłynie na drugą kulkę? Odp. 12,5 mld.

3. Prawo Coulomba

Zadanie 1.  $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = 1,35 \cdot 10^{-8} \text{ N}$

Zadanie 2. c)  $1,33 \text{ }\mu\text{N}$

4. Pole elektryczne

Zadanie 4. **Wskazówka.** Przypomnij sobie drugą zasadę dynamiki.

6. Kondensator

Zadanie 1. **Wskazówka.** Jakie siły mogą działać między okładkami? Dlaczego?

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

- 1. B
- 2. A
- 3. IV, II, III, I
- 4. C
- 5. D
- 6. D

To należy umieć

- 1. A

- 2. D
- 3. A
- 4. a) czarna, b) czerwona
- 5. D
- 6. I przeciwne, II jednakowe
- 7. A, C

To warto umieć

- 1. dodatni
- 2. C
- 3. silniej – ładunek na ciele A
- 4. jednorodne
- 5. Odpychają się siłą 9 nC.

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

- 1. C
- 2.  $1,7 \cdot 10^{-20} \text{ kg}$ , co stanowi  $1,7 \cdot 10^{-19}$  początkowej masy (ok.  $\frac{1}{6 \text{ mld mld}}$ )
- 3. przeciwne – pręt dodatni
- 4. 20 cm od punktu A
- 5. Charles du Fay

Prąd elektryczny

7. Obwody elektryczne

Zadanie 1. **Wskazówka.** Zwróć uwagę na oznaczenia biegunów baterii (+ i –).

Zadanie 4. **Wskazówka.** Przypomnij sobie uwagę ze s. 51.

8. Napięcie i natężenie prądu

Zadanie 2.  $E = Uq = 60 \text{ J}$

Zadanie 3.  $q = It = 1800 \text{ C}$

Zadanie 4. a) tramwaj, napięcie 200 razy większe,  
b) tramwaj, natężenie ok. 23 mln razy większe

Zadanie 5.  $t = \frac{q}{I} = 50 \text{ h}$

9. Pomiar napięcia i natężenia

Zadanie 2. **Wskazówka.** Ołówek można łatwo zetrzeć.

10. Energia elektryczna i moc prądu

Zadanie 1.  $I = \frac{P}{U} \approx 7,8 \text{ A}$

Zadanie 2.  $E = UIt = 270 \text{ J}$

Zadanie 3.  $P = \frac{E}{t} = 1440 \text{ W};$

$I = \frac{P}{U} = 30 \text{ A}$

11. Połączenia szeregowe i równoległe

Zadanie 3. 2,89 V

12. Pierwsze prawo Kirchhoffa

Zadanie 1.  $I_1 = 0,3 \text{ A}, I_2 = 0,4 \text{ A}$

Zadanie 2.  $I = 6 \text{ A}, t = \frac{q}{I} = 8 \text{ h}$

(W rzeczywistości czas będzie nieco dłuższy, ponieważ w miarę rozładowywania akumulatora będzie maleć natężenie prądu).

13. Prawo Ohma

Zadanie 3. b) 15 mA

Zadanie 5. a)  $I = 3 \cdot 20 \text{ mA} = 60 \text{ mA},$

b)  $U = \frac{2 \text{ V}}{4} = 0,5 \text{ V}$

14. Opór elektryczny

Zadanie 1.  $I = \frac{U}{R} = 6,8 \text{ mA}$

Zadanie 2.  $R = \frac{U}{I} = 900 \text{ }\Omega$

Zadanie 3.  $U = I \cdot R = 55 \text{ V}$

Zadanie 4.  $R = \frac{U_{\text{op}}}{I} = 7,5 \text{ }\Omega$ , gdzie  $U_{\text{op}}$  jest napięciem na oporniku.

Zadanie 6. **Wskazówka.** Skorzystaj z punktów kratowych (tzn. leżących na skrzyżowaniu kretek).

$R_1 = 400 \text{ }\Omega, R_2 = 133 \text{ }\Omega, R_3 = 67 \text{ }\Omega$

15. Opór i temperatura

Zadanie 2. a)  $3,7 \text{ }\Omega, 3,4 \text{ }\Omega, 2,6 \text{ }\Omega$

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

- 1. A
- 2. B
- 3. D
- 4. a) C, b) A, c) B
- 5. B
- 6. nr 1: 320 mA, nr 4: 110 mA, nr 5: 320 mA
- 7. D
- 8. C

To należy umieć

- 1. B, C
- 2. A
- 3. B
- 4. C
- 5. Tak
- 6. 0,000123 A
- 7. D
- 8. 9,1 A

To warto umieć

- 1. C
- 2.  $q = It = 12 \text{ 000 C} = 3,33 \text{ Ah};$   
 $t = \frac{q}{2I} = 14 \text{ h } 24 \text{ min}$
- 3.  $U = 1,45 \text{ V} \pm 0,05 \text{ V}$
- 4.  $0,123 \text{ mA} \pm 0,004 \text{ mA}$
- 5. B
- 6. A
- 7.  $R = \frac{U}{I} = 333 \text{ }\Omega$
- 8.  $P = UI = 0,3 \text{ W}$

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

- 1. C
- 2. 144 kJ
- 3. A – E, B – D



Analiza artykułu

- 3. ok. 1,2 mln
- 4. 548

Elektryczność i magnetyzm

16. Prąd przemienny i domowa sieć elektryczna

- Zadanie 2.  $I = \frac{P}{U} = 7,8 \text{ A}$
- Zadanie 3. 65,70 zł
- Zadanie 4. ok. 9 h
- Zadanie 5. 500 razy

17. Bezpieczeństwo sieci elektrycznej

- Zadanie 2. Nie odetnie.
- Zadanie 3. Jest tylko jedno takie urządzenie, którego nie wystarczy wyłączyć. Które?

18. Pole magnetyczne

- Zadanie 2. **Wskazówka.** Jeśli zamiast gwoźdza byłby magnes, to jak musiałby być on ustawiony, aby oba magnesy się przyciągały?
- Zadanie 4. **Wskazówka.** Przypomnij sobie zasady dynamiki.

19. Linie pola magnetycznego

- Zadanie 1. **Wskazówka.** Jeśli nie pamiętasz, jak są ułożone bieguny igły magnetycznej względem zwrotu linii pola, wyobraź sobie, że biegun igły jest zwrócony do północnego bieguna magnesu. Jak ustawiona jest wtedy igła i jaki jest zwrot linii pola?

21. Indukcja elektromagnetyczna

- Zadanie 3. **Wskazówka.** Skoro nie ma innego źródła energii niż paliwo, to może mniejsze są straty energii?
- Zadanie 4. **Wskazówka.** Przypomnij sobie, jaki związek ma indukcja z liniami pola.

22. Transformator

- Zadanie 4. 0,35 A
- Zadanie 5. 26,25 A

23. Dioda

- Zadanie 3. 12,5 W
- Zadanie 4.  $t = \frac{q}{I}$ ; żarówka 3 h, LED 15 h
- Zadanie 5. 187 h

Zadania powtórzeniowe

To musisz umieć

- 1. C
- 2. B
- 3 C
- 4. północny
- 5. Przyciągają się.

- 6. D
- 7. D

To należy umieć

- 1. A
- 2. B
- 3. kuchenka indukcyjna, prądnica, mikrofon
- 4. A – opornik, B – dioda, C – bateria, kondensator, D – dioda, E – opornik, F – kondensator
- 5. A
- 6. 10 A wyłączy, 16 A nie wyłączy
- 7. Obniża napięcie, zwiększa natężenie prądu.
- 8. 1100 W
- 9. ok. 40 zł
- 10. bezpiecznik: A, C, D

To warto umieć

- 1. A
- 2. B
- 3. A
- 4. a) świeci tylko  $\tilde{Z}_1$ , b) świecą obie
- 5. D

- 6. A.
- 7. 2670 A

Dasz sobie z tym radę? – Świetnie!

- 1. B
- 2. ok. 5000 zł
- 3. Przepali się.
- 4. C

Zbiór zadań

4. Elektrostatyka

- 6.  $q = -ne = -1,6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
- 8.  $q_1 = q_2 = -1 \text{ nC}$
- 9.  $n = \frac{-1 \text{ nC}}{-e} = 6,25 \cdot 10^9 = 6,25 \text{ mld}$
- 16. Balonik i kulka będą przyciągać się siłą o wartości:  $F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ .
- 17. a)  $F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ ,  
b)  $r = 2 \cdot 60 \text{ cm} = 120 \text{ cm}$ ,  
c)  $r = \frac{60 \text{ cm}}{3} = 20 \text{ cm}$
- 18.  $r = \sqrt{\frac{kq^2}{F}} = 7,6 \text{ mm}$
- 19. Ładunek musi mieć znak ujemny i wartość:  $|q_2| > \frac{mgh^2}{kq_1} = 0,03 \text{ nC}$ .
- 20.  $F = \frac{kq^2}{r^2} = 45,2 \text{ kN}$
- 21. I.
- 22. D
- 25. **Wskazówka.** Wartości bezwzględne ładunków możemy porównywać, analizując gęstości linii pola.
- 26. Bezpieczny: c.

5. Prąd elektryczny

- 6. a)  $E = Uq = 210 \text{ J}$ , b)  $q = \frac{E}{U} = 200 \text{ C}$
- 7. a)  $Q = It = 500 \text{ C}$ , b)  $t = \frac{Q}{I} = 60 \text{ s}$
- 8.  $t = \frac{Q}{I} = 14,4 \text{ h}$
- 9.  $Q = It = 3204 \text{ C}$

- 10.  $Q = 20\,000 \text{ mAh} = 20 \text{ Ah} = 72\,000 \text{ C}$
- 11. Natężenie prądu płynącego przez opiekacz ( $I_o = \frac{q}{2 \text{ min}}$ ) było większe od natężenia prądu płynącego przez czajnik ( $I_{cz} = \frac{2q}{6 \text{ min}}$ ).
- 12. a)  $9 \cdot 10^{21}$ , b) 5 ms
- 15. a) amperomierz, 23,1  $\mu\text{A}$
- 17. a)  $I = (1520 \pm 50) \mu\text{A} = (0,00152 \pm 0,00005) \text{ A}$ ,  
b)  $I = (550 \pm 20) \text{ mA} = (0,55 \pm 0,02) \text{ A}$ ,  
c)  $I = (8 \pm 1) \text{ A}$
- 18. a)  $P = UI = 24 \text{ W}$ ,  
b)  $E = Pt = 86\,400 \text{ J} = 0,024 \text{ kWh}$
- 19.  $E = UIt = 6300 \text{ J}$
- 20. a)  $P_{\text{max}} = UI_{\text{max}} = 460 \text{ W}$ , b)  $P_{\text{max}} = 24 \text{ W}$
- 21.  $I = \frac{P}{U} = 3,25 \text{ A}$
- 22. a) 90  $\mu\text{W}$ , b) 0,9 W, c) 420 kW
- 23.  $t = \frac{mgh}{UI} = 42 \text{ s}$
- 25. **Wskazówka.** Przejdź palcem od jednego wolnego końca przewodu do drugiego. Czy mogłeś wybrać drogę? Czy mogłeś ominąć jedną z żarówek?
- 26. Szeregowo: A, C. Równolegle: B.
- 27. Należy połączyć dwie żarówki szeregowo.
- 28. Należy połączyć szeregowo  
 $n = \frac{12 \text{ V}}{1,2 \text{ V}} = 10$  ogniw.
- 30. a) Będą świeciły dwie pozostałe żarówki.  
b) Zgasną wszystkie żarówki.
- 32. **Wskazówka.** Oba woltomierze są podłączone bezpośrednio do biegunów baterii.
- 33. B, C
- 35. b)  $I_1 = I_3 = 100 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 40 \text{ mA}$
- 36.  $I_1 = I_3 = 190 \text{ mA}$ ;  $I_2 = 110 \text{ mA}$ ,  $U_1 = 12 \text{ V}$ ,  $U_2 = 18 \text{ V}$
- 37.  $I = 200 \text{ mA} + 50 \text{ mA} = 250 \text{ mA}$
- 38.  $I = 6,2 \text{ A}$
- 39. **Wskazówka.** Zastanów się najpierw, co oznacza minus na drugim mierniku.



41. 400 mA

43. b) **Wskazówka.** Natężenie prądu jest proporcjonalne do przyłożonego napięcia.  $I = 400 \text{ mA}$ , c)  $U = 2,5 \text{ V}$

46.  $I = 80 \text{ mA}$ 47.  $\frac{4,5 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = \frac{U}{20 \text{ mA}}$ , czyli:  $U = 6 \text{ V}$ 48.  $I = \frac{U}{R} = 0,015 \text{ A} = 15 \text{ mA}$ 49.  $R = \frac{U}{I} = 450 \Omega$ 50.  $U = IR = 9 \text{ V}$ 52.  $R = \frac{U}{I} = 600 \Omega$ 

53. a) Natężenia prądów są jednakowe.

b) Prąd płynący przez opornik o oporze  $1 \text{ k}\Omega$  ma 2 razy większe natężenie niż prąd płynący przez opornik o oporze  $2 \text{ k}\Omega$ .

54. a) Napięcie na oporniku o oporze  $2 \text{ k}\Omega$  jest 2 razy większe od napięcia na oporniku o oporze  $1 \text{ k}\Omega$ . b) Napięcia są jednakowe.

55. **Wskazówka.** Zastanów się najpierw, w którą stronę płynie prąd (a musi on płynąć w zamkniętym obwodzie czyli w kółko).

57. a)  $R = \frac{U}{I} = \frac{1,5 \text{ V}}{0,02 \text{ A}} = 75 \Omega$ ,b)  $R = \frac{5,4 \text{ V}}{0,05 \text{ A}} = 108 \Omega$ ,c)  $R = \frac{12,4 \text{ V}}{0,07 \text{ A}} = 177 \Omega$ 60. a)  $I = \frac{U}{R} = \frac{9 \text{ V}}{170 \Omega} = 53 \text{ mA}$ ,b)  $I = \frac{9 \text{ V}}{28 \Omega} = 320 \text{ mA}$ 

## 6. Elektryczność i magnetyzm

2. a)  $s = vt = 0,0002 \text{ mm} = 0,2 \mu\text{m}$ 4. a)  $I_{\text{sk}} = \frac{P}{U_{\text{sk}}} = 8,7 \text{ A}$ ;  $R = \frac{U_{\text{sk}}}{I_{\text{sk}}} = 26,5 \Omega$ ,

b) 1800 zł

5. A.

6. a)  $E = Pt = 35\,000 \text{ kWh}$ , b) cena: 42 000 zł

7. 5 gr

8. 110 zł

9. a) wyłącznik różnicowoprądowy nie, bezpiecznik tak

b) wyłącznik różnicowoprądowy tak, bezpiecznik tak

c) wyłącznik różnicowoprądowy tak, bezpiecznik nie

d) wyłącznik różnicowoprądowy nie, bezpiecznik tak

e) wyłącznik różnicowoprądowy tak, bezpiecznik tak

10. a)  $P = 50 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 200 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ W}$ ,

b) Nie można.

11.  $P_{\text{max}} = UI = 240 \text{ W}$ 

12. a) 25, b) 23,

c) 191, d) 1

15. A – IV, B – II, C – III, D – I

16. a) A – biegun południowy

17. **Wskazówka.** Pamiętaj o trzeciej zasadzie dynamiki.

18. **Wskazówka:** jak do zadania 17.

19. **Wskazówka.** Jeśli trudno ci to sobie wyobrazić, zrób model z papieru, a magnes na nim narysuj.

21. **Wskazówka.** Czym różni się kompas od samej igły magnetycznej?

23. **Wskazówka.** Weź magnes, sztabkę (albo gwóźdź) i poeksperymentuj.

25 d) **Wskazówka.** Jaką substancją chemiczną jest magnetyt?

30. A – III, B – II, C – IV, D – I

32. a) Przyciąganie zmieni się w odpychanie.

b) Elektromagnes i gwóźdź nadal będą się przyciągać.

33. Długość się zmniejszy. Zwoje sprężyny będą się przyciągać.

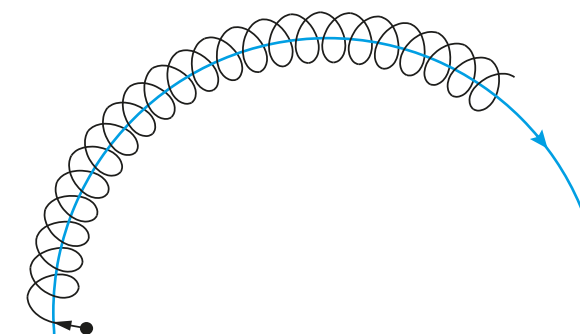
34. **Wskazówka.** Przeanalizuj położenia biegunów prętów. a) Będą się przyciągać. b) Będą się odpychać.

36. C

37. **Wskazówka.** Każda z cząstek dotrze do obszaru, w którym narysowane są linie pola. Jak będzie się poruszać względem tych linii?

39. **Wskazówka.** Spójrz na mapę.

40. Cząstki naładowane poruszają się w polu magnetycznym po linii śrubowej wokół linii pola magnetycznego.



45. A. Zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzących przez ramkę.

46. D

51. Obniża

52. a)  $I_P = \frac{P}{U_P} = \frac{2100 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 9,1 \text{ A}$ ,b)  $I_A = \frac{P}{U_A} = \frac{2100 \text{ W}}{115 \text{ V}} = 18,3 \text{ A}$ 53.  $I_P = \frac{U_w I_w}{U_P} = 26 \text{ A}$ 54.  $I_w = \frac{U_P I_P}{U_w} = \frac{6000 \text{ V} \cdot 20 \text{ A}}{230 \text{ V}} = 522 \text{ A}$ 

55. Natężenie prądu byłoby ok. 1740 razy większe, a straty energii – ok. 3 milionów razy większe.

57. Przez diodę  $D_2$  prąd nie płynie:  $I_{D_2} = 0$ . Natężenie prądu w oporniku i diodzie  $D_1$  jest równe:

$$I_R = I_{D_1} = \frac{U_R}{R} = \frac{9 \text{ V} - 2,4 \text{ V}}{500 \Omega} = 13,2 \text{ mA}.$$
58.  $D_1$  – zielona,  $D_2$  – czerwona

59. A

60. **Wskazówka.** Skorzystaj z infografiki na s. 170. Odp. świetlówka 12,8 W, żarówka 80 W.

61. a) w prawo, b) diody  $D_1$ ,  $D_4$



## Literatura polecana

#### Nietypowe zadania i doświadczenia

Juliusz Domański, Józefina Turło, *Nieobliczeniowe zadania z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1997.

Juliusz Domański, *Domowe zadania doświadczalne z fizyki*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999.

Jan Gaj, *Laboratorium fizyczne w domu*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1982.

#### Związki fizyki z innymi dziedzinami nauki i techniki

Mieczysław Drobner, *Instrumentoznawstwo i akustyka*, Polskie Wydawnictwo Muzyczne, Kraków 1997.

Alyn C. Duxbury, Alison B. Duxbury, Keith A. Sverdrup, *Oceany świata*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.

Krzysztof Ernst, *Einstein na huśtawce, czyli fizyka zabaw, gier i zabawek*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2003.

Krzysztof Ernst, *Fizyka sportu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.

Robert Greenler, *Tęcze, glorie i halo, czyli niezwykle zjawiska optyczne w atmosferze*, Prószyński i S-ka, Warszawa 1998.

Marcin Popkiewicz, Aleksandra Kradaś, Szymon Malinowski, *Nauka o klimacie*, Wydawnictwo Nieoczywiste i Post Factum, Warszawa – Katowice 2019.

Cathleen Shamieh, *Elektronika dla bystrzaków*, Septem, Gliwice 2020.

Knut Schmidt-Nielsen, *Dlaczego tak ważne są rozmiary zwierząt. Skalowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1994.

Knut Schmidt-Nielsen, *Fizjologia zwierząt*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.

Konrad Widelski, *Spotkanie z elektroniką*, Wydawnictwa Kominikacji i Łączności, Warszawa 2001.

#### Astronomia

Andrzej Branicki, *Na własne oczy. O samodzielnych obserwacjach nieba i Ziemi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.

Hannu Karttunen, Pekka Kröger, Heikki Oja i in., *Astronomia ogólna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

#### Historia fizyki

Andrzej Drzewiński, Jacek Wojtkiewicz, *Opowieści z historii fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Historia fizyki w Polsce*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2020.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Prawda i mity w fizyce*, Iskry, Warszawa 1987.

Andrzej Kajetan Wróblewski, *Uczeni w anegdocie*, Prószyński i S-ka,  Warszawa 1999.

#### Literatura popularnonaukowa

Brian Cox, Jeff Forshaw, *Dlaczego E = mc<sup>2</sup> (i dlaczego powinno nas to obchodzić)*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2013.

Brian Cox, Jeff Forshaw, *Kwantowy Wszechświat. Dlaczego zdarza się wszystko, co może się zdarzyć*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2014.

Andrzej Dragan, *Kwantechizm, czyli klatka na ludzi*, Fabuła Fraza, Warszawa 2019.

#### Pełny tekst artykułu ze s. 180–182 dostępny jest pod adresem:

https://wyborcza.pl/7,145452,20348177,szosty-zmysl-magnetyczny.html

Wydawnictwo Nowa Era oświadcza, że podjęło starania mające na celu dotarcie do właścicieli i dysponentów praw autorskich wszystkich zamieszczonych utworów. Wydawnictwo Nowa Era, przytaczając w celach dydaktycznych utwory lub fragmenty, postępuje zgodnie z art. 27<sup>1</sup> ust. 1 ustawy o prawie autorskim. Jednocześnie Nowa Era oświadcza, że jest jedynym podmiotem właściwym do kontaktu autorów tych utworów lub innych podmiotów uprawnionych w przypadkach, w których twórcy przysługuje prawo do wynagrodzenia.

**Zdjęcie na okładce:** Getty Images/Photodisc/Victor Albrow.

**Zdjęcia: Archiwum Wydawnictwa:** s. 165 (smartfon); **BE&W:** Alamy Stock Photo – Art Collection 3 s. 169 (zjednoczenie Niemiec), Artokoloro Quint Lox Limited s. 189 (doświadczenie Nolleta), BSIP SA s. 159 (stymulacja magnetyczna mózgu), Christian Horz s. 118, history\_docu\_photo s. 168 (odkrycie magnetycznego działania prądu), IanDagnall Computing s. 169 (opatentowanie pierwszego telefonu), INTERFOTO s. 169 (uruchomienie pierwszego tramwaju elektrycznego), Nature Photographers Ltd s. 64 (rekinek psi), Raw Group s. 92, Ruslan Lytvyn s. 49, sciencephotos s. 28, softpixel s. 36, World History Archive s. 82 (rycina 2000 ognii), Granger Collection s. 87 (Stos Volty, Luigi Galvani -portret), s. 135 (William Gilbert), Heritagelimages – Liszt Collection s. 87 (Alessandro Volta), Oxford Science Archive s. 87 (Luigi Galvani), Photo12 s. 188 (człowiek pod parasolem), Science Source/Rick Browne s. 64 (ryba nożownik); **East News:** Muzeum Wojska Polskiego s. 169 (Powstanie Listopadowe), TRUMPF/Martin Stollberg s. 5; **Fabryka Pomocy Naukowych w Nysie:** s. 25 (generator van de Graaffa); **Getty Images:** 500Px Plus/Markus Kiili s. 115, Cavan Images s. 63 (dziewczyna z telefonem), E+ – Evgenii Kovalev s. 60 (neuron), georgeclerk s. 46, MEDITERRANEAN s. 206, MichaelSvoboda s. 166 (rowerzysta), ollo s. 63 (bramka na autostradzie), Getty Images Plus/Photos.com s. 168 (Alessandro Volta demonstruje swój wynalazek), iStock Unreleased/Sjo s. 157, iStock/Getty Images Plus – Cristian Storto Fotografia s. 167 (dioda), Dacharlie s. 155 (ładowanie smartfonu), Damocean s. 64 (życie podwodne w tle), Davizro s. 170 (żarówka 2), Jonas Rönnbro s. 164, Kaan Sezer s. 133 (kompas), Kseniia Mnasina s. 64 (węgorz elektryczny), max-kegfire s. 143 (mężczyzna ze słuchawkami), photoncatcher s. 188 (samolot), solarseven s. 30–31 (pioruny), standret s. 94, StanRohrer s. 192 (miernik), StanRohrer s. 67, tatyana\_tomsickova s. 23, Xebeche s. 54 (łańcuch rowerowy), Moment – Elva Etienne s. 18, Enrique Diaz /7cero s. 24, Maria Swärd s. 84 (Toruń w nocy), Tim Stocker Photography s. 76 (pociąg), Photo 12 s. 146 (Hans Christian Oersted), Photodisc – Stocktrek s. 204 (wybuchy na Słońcu), Victor Albrow s. 183, Photos.com/Getty Images Plus s. 135 (kowal), Stocktrek Images s. 149 (łazik marsjański), ullstein bild s. 34 (defibrylacja), Universal Images Group/Universal History Archive s. 10 (**Charles François Du Fay**), 146 (doświadczenie Oersteda); **Indigo:** Science Photo Library – s. 32 (doświadczenie Franklina), ANTON Reeve s. 16, Peter Menzel s. 188 (klatka Faradaya), World History Archive/Image Asset Management s. 32 (Benjamin Franklin); **NASA Goddard:** s. 204 (Jowisz); **PAP:** DPA/Sebastian Gollnow s. 113; **Shutterstock:** addillum s. 205, ALLA ZELINSKA s. 50, Allahfoto s. 162 (elektrownia), Andrea Niotta s. 76 (elektrownia i węzeł kolejowy), ANDRII KHRIAKOV s. 119 (lampka), Andy Geldman s. 95, AndyPositive s. 130 (wylłączniki różnicowoprądowe), Anna Shkolnaya s. 60 (radio samochodowe), Anton Kozlovsky s. 97 (dzwonek), Anton Starikov s. 175 (gwóźdź), Aphelleon s. 152–153 (powierzchnia Słońca i Ziemia), Apolinariy s. 181, Arunsri Futemwong s. 101 (porcelana), aslysun s. 103 (płytka krzemowa), bazilpp s. 61 (czajnik elektryczny), Berkeley Meyer s. 6, Billion Photos s. 60 (zegarek), Boris Slavny s. 137 (kompas), Bruno Rodrigues B Silva s. 101 (grafit), chonticha stocker s. 200, Davide Mzz s. 64 (życie podwodne w tle), dvande s. 143 (elektromagnes), Everett Historical s. 76 (przędzalnia), Everyonephoto Studio s. 110, francesco de marco s. 59 (wodospad), s. 74 (wodospad), Golden Sikorka s. 162 (transformator), s. 163 (transformator, dom), HappyPictures s. 163 (słupy wysokiego napięcia), hasan as'ari s. 162 (stup wysokiego napięcia), s. 163 (stup wysokiego napięcia), Hodoimg s. 171, Hodoimg s. 199 (mikrofalówka), hsagencia s. 167 (dioda nieświecząca), Ingward s. 29, Jakapan Kammanern s. 152–153 (gwieździste niebo), kamui29 s. 170 (żarówka 1), Karen Kaspar s. 180 (gąsienica), Karramba Production s. 144, kasarp studio s. 83 (akumulator w motocyklu), Kichigin s. 64 (życie podwodne w tle), Kinek00 s. 78, Klagyvivik Viktor s. 9, Klara Vejvodova s. 58, Krasula s. 131 (gniazdo z bolcem), Lukasz Pawel Szczepanski s. 152 (wybuchy na Słońcu), Maksim Safaniuk s. 132 (czajnik), Mariana Serdynska s. 119 (odczytywanie napięcia w gniazdku), Markik s. 192 (palący się przewód elektryczny), Marko Aliaksandr s. 170 (żarówka 3), Melnikov Dmitry s. 199 (czajnik elektryczny), Mixa74 s. 175 (korek), Motionblur Studios s. 61 (tramwaj), Nancy J. Ondra s. 180 (motyl), nelikdulatov s. 190 (bateria), New Africa s. 143 (domofon), nikkimeel s. 116 (listwa), Nor Gal s. 140 (głośniki), ntv s. 184 (bursztyn), Paky Cassano s. 170 (Diabelski Młyn), Pedal to the Stock s. 66 (mierniki), Peoplelimages.com – Yuri A s. 33, peterschreiber.media s. 61 (linia wysokiego napięcia), PHATTARAWATOUM s. 17 (malowanie elektrostacyjne), photo2photo s. 175 (obraczka), Photographyfirm s. 62, Piotr Krzeslak s. 61 (piorun), Proxima Studio s. 12, Roka s. 193 (bateria do zegarka), Roman Arbuzov s. 65, Roman Zaiets s. 123 (tablica bezpieczników), Scharfsinn s. 159 (bezprzewodowa ładowarka – znak na drodze), scottshoots s. 89 (panel generatora elektrycznego), sergei kochetov s. 161 (linie wysokiego napięcia), Shivam Maini s. 61 (wodospad), Studio KIWI s. 131 (gniazdo z wtyczkami), Superlime s. 73, SURKED s. 38, TarikVision s. 163 (wtyczka), Tyler Olson s. 101 (rezonans NMR), Various–Everythings s. 77, VesnaArt s. 143 (NMR), Virojt Changyencham s. 159 (mikrofon), Vitte Yevhen s. 60 (rower), VladyslaV Travel photo s. 101 (przewód elektryczny), Voyagerix s. 98 (suszenie włosów), Xavier Lorenzo s. 47, Yevhen Prozhyrko s. 130 (pożar na listwie elektrycznej); **Anna Budzyńska:** s. 54 (obwód elektryczny), s. 149 (doświadczenie), s. 150, 155 (doświadczenie), s. 179, 193 (żaróweczka); **Miłosz Budzyński:** s. 7, 8, 11, 17 (doświadczenie), s. 20, 22, 25 (maszyna elektrostacyjna, rakieta na komary), s. 26, 27, 31 (doświadczenie), s. 34 (doświadczenie), s. 41, 51, 52, 53, 56, 59 (obwód elektryczny), s. 66 (pomiar napięcia), s. 68, 69, 70, 71, 72, 74 (obwód elektryczny), s. 79, 80, 82 (bateria), s. 83 (doświadczenie), s. 84 (doświadczenie), s. 85, 88, 89 (doświadczenie), s. 96, 97 (obwody), s. 98 (doświadczenie), s. 100, 104, 109, 112, 116 (doświadczenie), s. 117, 122, 123 (doświadczenie), s. 124, 130 (bezpiecznik główny), s. 132 (lokówka), s. 133 (doświadczenie), s. 134, 136, 137 (kompas i magnes neodymowy), s. 138, 139, 140 (doświadczenie), s. 141, 142, 148, 154, 160, 161 (doświadczenie), s. 165 (doświadczenie), s. 166 (doświadczenie), s. 167 (doświadczenie), s. 184 (balon), s. 189 (obwody), s. 190 (żaróweczka), s. 191, 197; **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. 37 (butelka lejdejska); Wikimedia Commons/Wiki-Harfus s. 64 (Gymnarchus nilowy); Wikimedia Commons/Ślawecki65 (https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:Stacja\_transformatorowa\_-\_MRw-bS\_2xMRwb-4.jpg) s. 176 (stacja transformatorowa); zdjęcie z wystawy „Jan Czochralski – działalność na niwie nauki” s. 103 (Jan Czochralski)

**Ilustracje: Ewelina Baran** – s. 150ś, 157; **Elżbieta Buczkowska** – s. 51–52 (bateria), 55 (bateria), 57–58 (bateria), 92 (bateria), 105 (bateria), 108-110 (bateria); **Miłosz Budzyński** – s. 146 (schemat głośnika); **Marta Długokęcka** – s. 30-31d; **Andrzej Dukata** – s. 20, 27d, 28, 35, 36, 41, 44gś, 45l, 51l, 51p (układ), 52l, 54d, 56, 57d, 66, 70, 71ś, 72, 79, 80d, 81-86, 88-90, 91p, 94-95, 97, 102, 105-109, 110l, 111, 117, 118, 120, 123-125, 139, 141, 142p, 143, 147l, 150g, 151l, 156, 160, 163g, 165-167, 171-174, 175l, 176-178, 184, 185l, 186-187, 189-191, 193ś (układ), 193d, 194l, 195-198, 200-207, 211, 213; **Natalia Helman** – s. 58 (ludzik zmęczony); **Paulina Jarmusik** – s. 90 (siatka); **Laura Maziewska** – s. 127 (pralka), 128-129, 145 (lifting, odtwarzacz), 214 (lifting); **Krzysztof Mrawiński** – s. 58 (ludzik w biegu), okładka; **Marek Nawrocki** – s. 152-153; **Marcin Oleksak** – s. 144 (przekrój), 158-159 (retusz); **Paulina Podolska** – s. 38; **Joanna Ptak** – s. 8, 13 (balon), 21, 22, 24, 27lg, 30g, 36 (auto), 39ś, 40, 42 (balon), 43l, 92-93, 102l (proton, elektron), 141g (magnes), 151p, 185p; **Marcin Ptak** – s. 13 (układ), 14-15, 22p (układ), 27śg, 42 (rurka), 43p, 44d, 45p, 51-52 (lifting), 55, 57g, 58, 80g, 81 (lifting), 91l, 92-93 (lifting), 100, 103, 104l, 110p, 127 (układ), 134, 137 (magnes), 139 (lifting), 142l, 147l (lifting), 147p, 150ś (lifting), 157 (lifting), 158-159 (patelnia), 164, 175p, 178śd (lifting), 194p, 195g (lifting), 200 (lifting), 205 (lifting); **wa Sowulewska** – s. 9, 12, 13 (kulka, tkanina), 19, 29, 39gd, 42, 63, 71g, 127 (postać), 137 (Ziemia), 185pd; **Zuzanna Sri** – s. 162-163d, 170,



## Za co polubisz podręcznik **NOWE Odkryć fizykę 2?**

### Powód 1



**Jest tu dokładnie tyle treści, ile trzeba, nie ma nadmiaru.** Ten podręcznik jest w pełni dostosowany, co oznacza, że wycięliśmy z niego to, co od roku 2024 nie jest już wymagane.

ZMIANY  
W PODSTAWACH  
**2024**

podręcznik w pełni  
dostosowany

### Powód 2



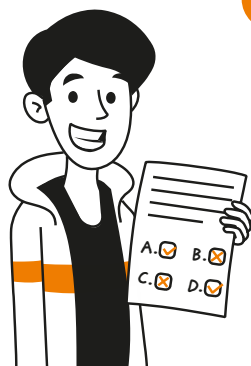
**Dużo przykładów rozwiązanych zdań.** Czy to przydatne? Tak. Łatwiej poradzisz sobie z samodzielnym rozwiązaniem podobnych zadań.

#### Przykład 2

■ Obliczanie energii elektrycznej  
Laptop jest zasilany prądem o natężeniu 1,75 A pod napięciem 20 V. Jaką energię zużyje w czasie 15 minut pracy?

|                                      |          |
|--------------------------------------|----------|
| Dane:                                | Szukane: |
| $I = 1,75 \text{ A}$                 | $E = ?$  |
| $U = 20 \text{ V}$                   |          |
| $t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$ |          |

### Powód 3



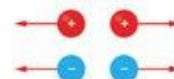
**Podsumowania po tematach i testy po każdym dziale.** Wiesz, czego się nauczyć na kartkówkę i sprawdzian. Łatwo możesz sobie przypomnieć i przećwiczyć to, co najważniejsze.

#### POWTÓRZENIE

#### Elektrostatyka

■ Istnieją dwa rodzaje ładunków elektrycznych

ładunki o jednakowych znakach  
odpychanie



Nowa Era Sp. z o.o.



www.nowaera.pl



nowaera@nowaera.pl



Centrum Kontaktu: 58 721 48 00

ISBN 978-83-267-5269-8



9 788326 752698