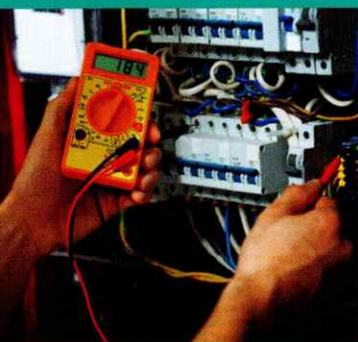




PRĄD ELEKTRYCZNY

- Prąd elektryczny jako nośnik energii
- Obwody elektryczne
- Instalacja elektryczna w domu





9. Obwód prądu elektrycznego

- Prąd elektryczny
- Źródła napięcia elektrycznego
- Natężenie prądu

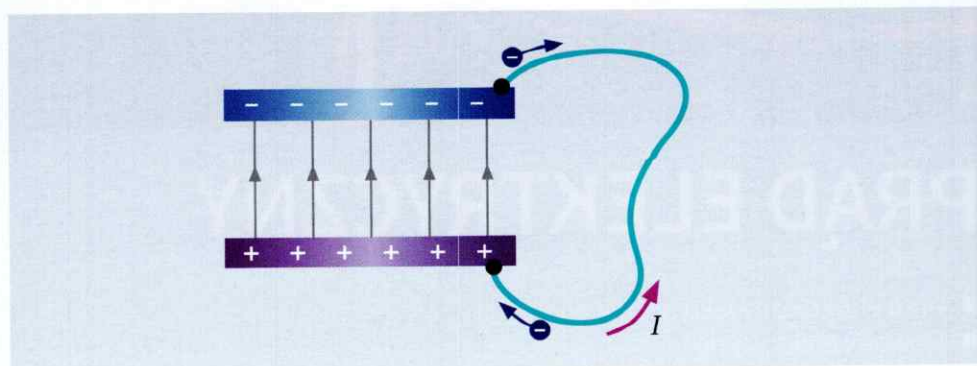
Przypomnij sobie wiadomości o ruchu cząstek naładowanych w polu elektrycznym.

Trudno wyobrazić sobie współczesny świat bez energii elektrycznej. Nawet krótkotrwałe przerwy w jej dostawie są dla nas uciążliwe. Nośnikiem tej energii jest prąd elektryczny i to właśnie za pośrednictwem prądu trafia ona do wszystkich odbiorców.

Prąd elektryczny

Gdy łączymy przewodem okładki naładowanego kondensatora, to ładunki w przewodzie przepływają, co powoduje rozładowanie kondensatora (ryc. 9.1). Mówimy, że w przewodzie płynie prąd elektryczny.

Prąd elektryczny to uporządkowany przepływ cząstek naładowanych.



Ryc. 9.1. Prąd płynący w przewodzie rozładowuje kondensator

Umownie przyjmuje się, że **kierunek prądu to kierunek przepływu ładunku dodatniego** (na rycinie 9.1 oznaczony strzałką z literą I). W rzeczywistości to elektrony przepłynęły z górnej okładki kondensatora do dolnej. W metalach prąd elektryczny tworzą elektrony, które poruszają się w przeciwną stronę niż umowny kierunek prądu; w cieczach prąd tworzą jony, a w gazach – jony i elektrony.

Źródła napięcia elektrycznego

W wyniku rozładowania kondensatora uzyskuje się zwykle krótkotrwały przepływ prądu, jednak do celów użytkowych potrzebujemy prądu płynącego przez dowolnie długi czas. Żeby taki prąd uzyskać, elementy przewodzące należy połączyć w obwód zamknięty i wytworzyć w nim pole elektryczne wymuszające ruch ładunków. Zapewniają to **źródła napięcia**. Są to elementy obwodu podtrzymujące pole elektryczne w obwodzie. Mogą to być np. ogniwa galwaniczne (czyli powszechnie stosowane baterie), wykorzystujące reakcje chemiczne, w których wyniku część energii wiązań międzycząsteczkowych przekształca się w energię elektryczną. Coraz powszechniejsze stają się też ogniwa fotowoltaiczne, czerpiące energię ze światła słonecznego.

Podstawową cechą ogniwa jest napięcie (czyli różnica potencjałów elektrycznych) między dwoma zaciskami. Wyższy potencjał jest na zacisku oznaczonym znakiem „+”. Jeżeli włączymy źródło napięcia do obwodu elektrycznego (ryc. 9.2), to będzie ono ciągle podtrzymywało pole elektryczne przesuwające ładunki wzdłuż obwodu.

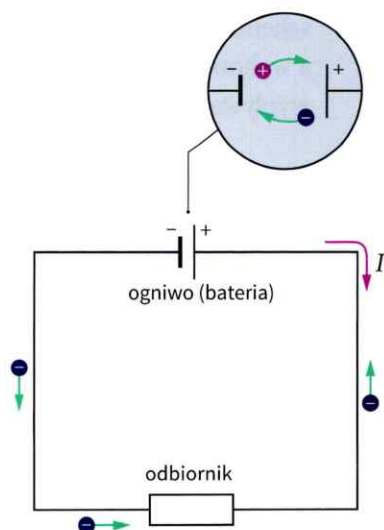
W obwód elektryczny powinien być włączony co najmniej jeden odbiornik prądu, czyli urządzenie przekształcające energię elektryczną w inny rodzaj energii. Przykładem odbiornika może być żarówka, która przekształca energię elektryczną w świetlną, albo opornik przekształcający energię elektryczną w ciepło.

W obwodzie prąd płynie od potencjału wyższego (+) do niższego (-). Natomiast wewnątrz samego ogniwa następuje transport ładunków wbrew siłom elektrycznym: ładunków dodatnich w stronę dodatniego zacisku baterii, a ładunków ujemnych – w stronę ujemnego (ryc. 9.3). Zapewniają to procesy chemiczne zachodzące wewnątrz ogniwa – podtrzymują one istnienie pola elektrycznego i prądu. Dzięki temu ładunki mogą płynąć wzdłuż całego obwodu, łącznie z wnetrzem ogniwa.

Przepływ prądu elektrycznego w obwodzie i ogniwie można przyrównać do obiegu wody w instalacji hydraulicznej. Przeanalizujemy rycinę 9.4. Dzięki sile grawitacji woda płynie z miejsc położonych wyżej do miejsc położonych niżej,

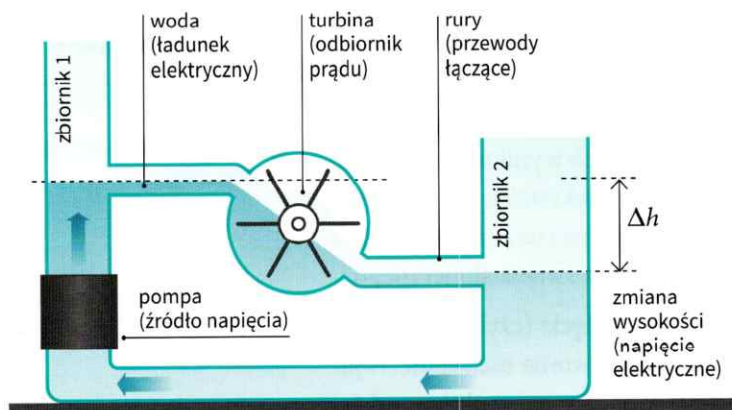


Ryc. 9.2. Schemat prostego obwodu elektrycznego



Ryc. 9.3. Ogniwo wymusza przepływ ładunków w obwodzie

aż do wyrównania poziomów. Żeby zapewnić ciągły przepływ wody, trzeba podłączyć pompę, która będzie transportować wodę ze zbiornika o niższym poziomie do tego o poziomie wyższym. W tym modelu wodnym różnica wysokości między poziomami wody odgrywa rolę napięcia elektrycznego, woda – ładunku elektrycznego, a siła grawitacji – siły elektrycznej. Zbiornik 1 odpowiada dodatniemu zaciskowi źródła napięcia, a zbiornik 2 – zaciskowi ujemnemu.

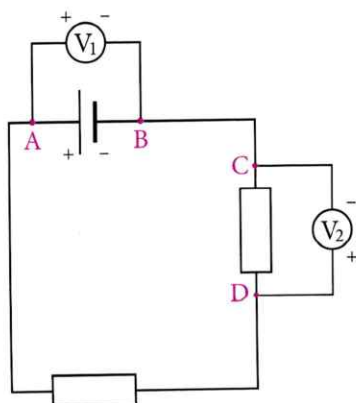


Ryc. 9.4. Obieg wody w instalacji hydraulicznej. Elementy tej instalacji odpowiadają elementom obwodu elektrycznego (podane w nawiasach)

Pompa wykonuje pracę, a w turbinie, czyli odbiorniku energii, płynąca woda oddaje uzyskaną w pompie energię. Podobnie jest w obwodzie elektrycznym: źródło napięcia wykonuje pracę i zwiększa energię ładunków, a w odbiorniku energia ładunków jest przekształcana w inną użyteczną dla nas postać.

Do pomiaru napięcia elektrycznego służy **woltomierz** (ryc. 9.5). Włączamy go do obwodu w punktach, między którymi chcemy zmierzyć napięcie. Na przykład woltomierz V_1 ze schematu 9.5a mierzy napięcie na zaciskach źródła napięcia (między punktami A i B), a woltomierz V_2 – między punktami, w których prąd wpływa do odbiornika i z niego wypływa (między punktami C i D).

a)



b)



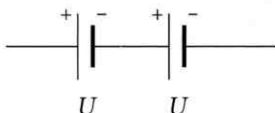
c)



Ryc. 9.5. a) Schemat włączenia woltomierzy do obwodu, b) woltomierz analogowy, c) woltomierz cyfrowy

Łączenie ogniw

Ogniwa można łączyć ze sobą w szereg, jak pokazano na rycinie 9.6. Przyjmijmy, że ogniwa są jednakowe. Biegun dodatni (+) jednego ogniwa należy połączyć z biegunem ujemnym (-) kolejnego. Tak połączone ogniwa działają zgodnie, czyli spowodują przepływ prądu w tę samą stronę (na ryc. 9.6 w lewo).



Ryc. 9.6. Szeregowe łączenie ogniw

Jakie jest napięcie między „+” lewego ogniwa a „-” prawego? Napięcie na jednym ogniwie oznaczmy jako U . Podczas przesuwania ładunku każde z ogniw wykonuje pracę:

$$W = Uq$$

O taką wartość wzrasta energia przenoszonego ładunku. Wobec tego przyrost energii elektrycznej ładunku q , który przepłynie przez oba ogniwa, jest dwa razy większy i wynosi $2Uq$. Po połączeniu szeregowym n takich ogniw uzyskamy zatem napięcie nU .

Jednym z najtańszych w produkcji ogniw jest ogniwo Leclanchégo wytwarzające napięcie 1,5 V. To właśnie z takich ogniw zbudowane są popularne baterie (ryc. 9.7) i dlatego mają one napięcie będące wielokrotnością 1,5 V. Na przykład z trzech takich ogniw połączonych szeregowo otrzymamy baterię o napięciu 4,5 V. Z tego też powodu nazw ogniwo i bateria w języku potocznym używa się zamiennie.

Na stronie 332 znajduje się scenariusz doświadczenia 2., w którym badamy napięcie na układzie baterii połączonych szeregowo.

Ryc. 9.7. Baterie mogą składać się z wielu ogniw



WIEDZIEĆ WIĘCEJ

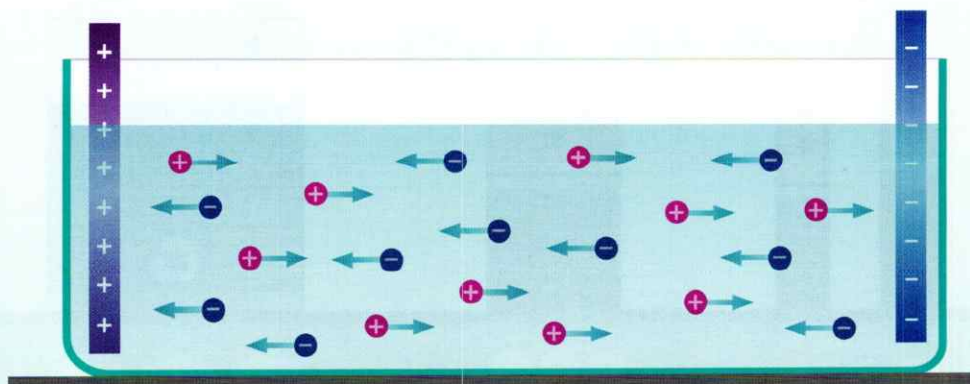
Malapterurus electricus

Sum elektryczny (*Malapterurus electricus*) to ryba wytwarzająca pole elektryczne dzięki komórkom nazywanym elektrocytami. Pojedynczy elektrocyt wytwarza pole o napięciu ułamka wolta. W ciele ryby są jednak tysiące tych komórek połączonych w szeregi, więc całkowite napięcie sięga 300–400 V. Dzięki temu sum elektryczny może porazić nawet duże stworzenie (choć nie zanotowano żadnego przypadku śmiertelnego porażenia człowieka). Skutki porażenia zależą od przekazanej energii, ta zaś zależy od iloczynu napięcia i przepływającego ładunku. Przy małych ładunkach nawet duże napięcie może być niegroźne.

Sum elektryczny żyje w Nilu i w jeziorze Czad (Afryka).

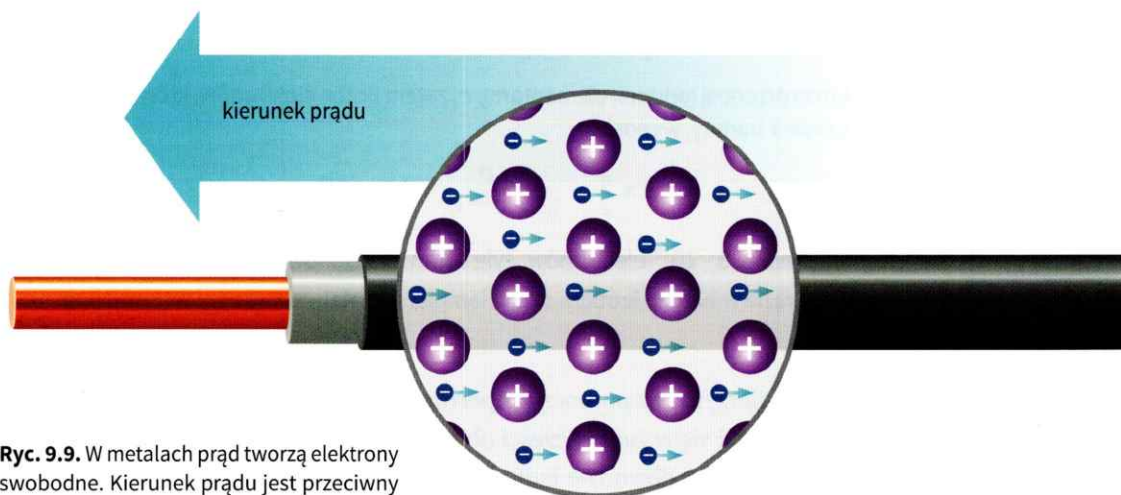
Natężenie prądu

Gdy przyłożymy napięcie elektryczne do cieczy z jonami (np. do wody z kranu), prąd będą tworzyć zarówno jony dodatnie, jak i ujemne (ryc. 9.8). Jony dodatnie są unoszone zgodnie ze zwrotem linii pola elektrycznego. Taki jest – umowny – kierunek prądu. Jony ujemne również współtworzą ten prąd, chociaż płyną w przeciwną stronę.



Ryc. 9.8. Prąd w cieczach tworzą jony ujemne i dodatnie

W metalach prąd tworzą elektrony swobodne, czyli elektrony, które oderwały się od macierzystych atomów. Same atomy (a raczej pozbawione części elektronów jony dodatnie) nieustannie drgają, ale się nie przemieszczają (ryc. 9.9).



Ryc. 9.9. W metalach prąd tworzą elektrony swobodne. Kierunek prądu jest przeciwny do kierunku ruchu elektronów

Elektrony są bezustannie przyspieszane przez pole elektryczne, ale również oddziałują z dodatnimi jonami tworzącymi strukturę metalu i oddają im część uzyskanej energii kinetycznej. W efekcie elektrony są unoszone przez pole elektryczne z prędkością kilku milimetrów na sekundę. Nie oznacza to jednak, że po włączeniu zasilania trzeba długo czekać, by elektrony dopłynęły np. do żarówki. Przyłożone pole elektryczne rozchodzi się praktycznie natychmiast (z prędkością światła). Wobec tego w każdej części obwodu obecne tam elektrony swobodne od razu zaczynają płynąć.

Wielkością charakteryzującą prąd elektryczny jest jego natężenie.

Natężenie prądu elektrycznego I to stosunek ładunku q przepływającego przez dowolny przekrój poprzeczny przewodnika do czasu t tego przepływu.

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

(1)

Jednostką natężenia prądu jest amper:

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

Prąd ma natężenie 1 A, jeśli w ciągu sekundy przez wybrany przekrój poprzeczny przewodnika przepływa ładunek 1 C.

Przykład 1.

Przez świecącą lampkę płynie prąd o natężeniu 0,04 A. Obliczmy, ile elektronów wpływa do lampki w ciągu 1 minuty.

Ładunek wpływający do lampki w ciągu danego czasu można obliczyć z przekształconego wzoru (1).

$$q = I \cdot t = 0,04 \text{ A} \cdot 60 \text{ s} = 2,4 \text{ C}$$

Jeden elektron przenosi ładunek elementarny e , zatem liczba elektronów, które wpływają do lampki w czasie 1 minuty, wynosi:

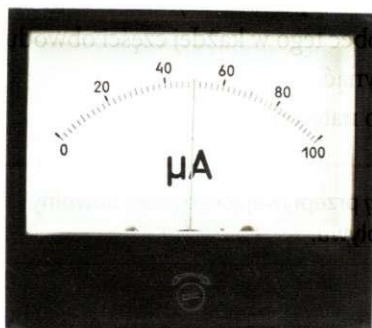
$$n = \frac{q}{e} = \frac{2,4 \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 1,5 \cdot 10^{19}$$

Do lampki wpływa $1,5 \cdot 10^{19}$ elektronów. Tyle samo elektronów musi z niej wypływać, gdyż w przeciwnym razie w bardzo krótkim czasie lampka zostałaby silnie naelektryzowana.

Natężenie prądu mierzymy za pomocą **amperomierza**.

Ładunek nie gromadzi się w żadnej części obwodu elektrycznego, a z zasady zachowania ładunku wynika, że w obwodzie ładunku ani nie przybywa, ani nie ubywa. Wobec tego **natężenie prądu jest takie samo w każdym miejscu obwodu bez rozgałęzień**. Jeśli chcemy zmierzyć natężenie prądu w takim właśnie obwodzie, możemy umieścić amperomierz w dowolnym miejscu obwodu (ryc. 9.10c).

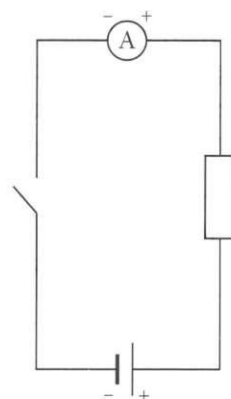
a)



b)



c)



Ryc. 9.10. a) Amperomierz analogowy, b) amperomierz cyfrowy, c) schemat włączenia amperomierza do obwodu

Natężenie prądu elektrycznego można porównać do natężenia przepływu wody, czyli do objętości wody przepływającej przez dowolny przekrój poprzeczny rury w ciągu sekundy. W naszym modelu wodnym (ryc. 9.4) przez każdy przekrój poprzeczny rury przepływa w ciągu sekundy tyle samo wody, bo jest ona nieściśliwa i nigdzie po drodze nie ginie.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Prąd elektryczny** to uporządkowany przepływ cząstek naładowanych.
- ▶ **Źródło napięcia** to element obwodu, którego zadaniem jest wytworzenie pola elektrycznego wewnątrz obwodu.
- ▶ **Natężenie prądu elektrycznego** to stosunek ładunku elektrycznego przepływającego przez przekrój poprzeczny przewodnika do czasu jego przepływu:

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

PYTANIA I ZADANIA

1. Czy przewodnik z prądem jest naelektryzowany? Jeśli tak, to dodatnio czy ujemnie?
2. Ile baterii AA (tzw. paluszków) o napięciu 1,5 V trzeba połączyć, by zadziałał pilot wymagający napięcia 4,5 V? Narysuj schemat połączonych baterii.
3. Patryk postanowił zasilac zbudowany przez siebie obwód dwiema jednakowymi bateriami, połączonymi jak na rysunku. Czy w obwodzie popłynie prąd? Uzasadnij odpowiedź.



4. Natężenie prądu płynącego przez żarówkę wynosi 0,3 A. Jak długo trzeba czekać, żeby przepłynął przez nią ładunek 1 C?
5. Na ilustracji przedstawiono wskazania amperomierza (wyrażone w amperach) po podłączeniu do obwodu elektrycznego. Oszacuj liczbę elektronów przepływających w ciągu sekundy przez ten amperomierz.





10. Opór elektryczny

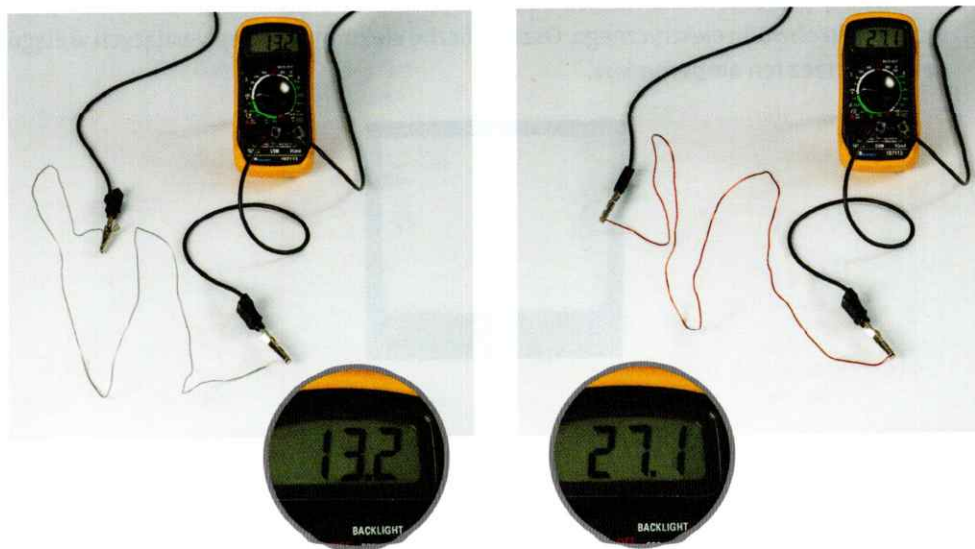
- Opór elektryczny
- Prawo Ohma
- Zależność oporu od temperatury

Przypomnij sobie, co to jest napięcie elektryczne i natężenie prądu.

W niektórych materiałach ładunki elektryczne mogą płynąć prawie swobodnie, a w innych ich ruch jest mniej lub bardziej utrudniony przez oddziaływanie z atomami. Aby porównać ciała pod względem zdolności przewodzenia prądu, wprowadzamy pojęcie oporu elektrycznego.

Opór elektryczny

Wielkością charakteryzującą związek między napięciem przyłożonym do przewodu a natężeniem prądu płynącego w tym przewodzie jest opór elektryczny. Opór elektryczny danego ciała zależy od jego wymiarów i rodzaju materiału, z którego jest zbudowane. Gdy podłączymy do tego samego źródła napięcia przewody elektryczne o jednakowych rozmiarach, lecz wykonane z różnych substancji (ryc. 10.1), to płynący przez nie prąd będzie miał różne natężenie. Im większy jest opór przewodu, tym mniejsze będzie natężenie prądu.



Ryc. 10.1. Pod wpływem tego samego napięcia przez różne przewody płynie prąd o różnym natężeniu

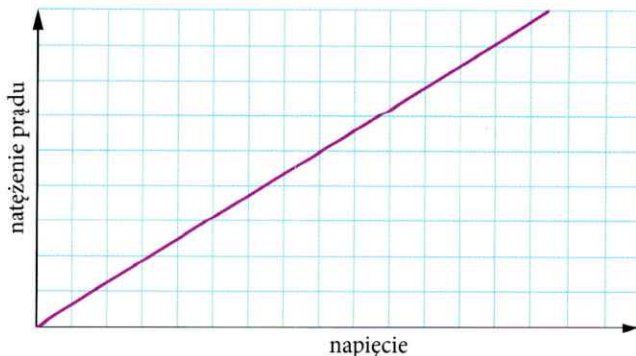
Przewody w obwodach elektrycznych wykonane są z metali. W metalach pod wpływem pola elektrycznego przemieszczają się elektrony swobodne. Elektrony podczas ruchu oddziałują z dodatnimi jonami, które w ciałach stałych tworzą gęstą strukturę. Oddziaływania te możemy potraktować jako przeszkody w ruchu elektronów wzdłuż linii pola elektrycznego wewnątrz przewodnika. Im dłuższy jest przewodnik, tym przeszkód w ruchu elektronów jest więcej, zatem opór przewodnika jest większy. Z kolei im większy jest przekrój poprzeczny przewodnika, tym więcej elektronów przez niego przepływa – czyli jego opór jest mniejszy. Podobnie jest z przepływem wody w rzekach: głęboka i szeroka rzeka niesie więcej wody niż płytka i wąska.

Prawo Ohma

W pierwszej połowie XIX wieku niemiecki fizyk Georg Simon Ohm badał zależność natężenia prądu elektrycznego płynącego przez różne przewodniki od przyłożonego napięcia. Okazało się, że w przypadku, gdy prąd elektryczny nie powodował żadnych zmian w danym przewodniku (np. zmian temperatury), natężenie prądu było wprost proporcjonalne do napięcia (ryc. 10.2). Dziś to odkrycie nazywamy prawem Ohma.

Prawo Ohma

Natężenie prądu w przewodniku jest wprost proporcjonalne do napięcia przyłożonego między jego końcami.



Ryc. 10.2. Zależność natężenia prądu w obwodzie od napięcia zasilającego

Zależność przedstawioną na wykresie (ryc. 10.2) można zapisać za pomocą równania:

$$I = \frac{1}{R} \cdot U$$

gdzie:

I – natężenie prądu przepływającego przez opornik,

U – napięcie między końcami opornika,

R – opór elektryczny.

Opór elektryczny możemy zatem określić jako iloraz napięcia i natężenia prądu będącego skutkiem tego napięcia:

$$R = \frac{U}{I} \quad (1)$$

Jednostką oporu elektrycznego jest om (Ω):

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

Ciało ma opór 1Ω , gdy pod wpływem napięcia 1 V przepływa przez nie prąd o natężeniu 1 A .

Prawo Ohma nie jest uniwersalnym prawem przyrody. Obowiązuje ono tylko dla niektórych materiałów, wykonanych np. z metali lub ich stopów. Takie elementy obwodu nazywamy **opornikami**. Nawet oporniki spełniają prawa Ohma tylko wówczas, gdy ich temperatura znacząco się nie zmienia.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Budowa oporników

Aby uzyskać opornik, wystarczy zwinąć długi drut wykonany z tzw. stopu oporowego (stop metali). Im większa będzie długość drutu, tym większy będzie opór opornika. Istnieją również oporniki ceramiczne. Oporniki te wykonuje się przez napylenie cienkiej warstwy metalu na ceramiczny walec. Na końcach walca przymocowuje się przewody łączące opornik z resztą obwodu, a całość pokrywa się lakierem ochronnym z odpowiednimi oznaczeniami.

opornik wykonany z drutu nawiniętego na walec



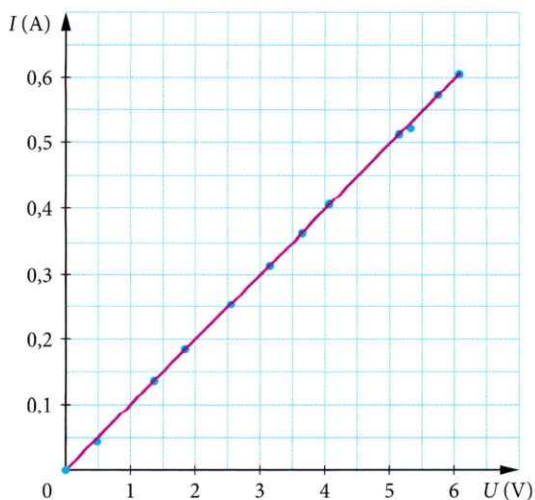
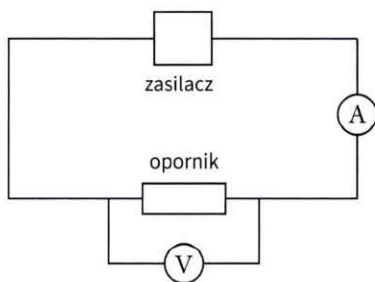
opornik ceramiczny



Ze względu na zdolność przewodzenia prądu substancje można podzielić na: przewodniki, półprzewodniki oraz izolatory. Opór elektryczny półprzewodników (np. krzem, german) w temperaturze pokojowej jest miliony razy większy od oporu przewodników (np. miedź, aluminium) o tych samych wymiarach geometrycznych. Wynika to z budowy wewnętrznej półprzewodników – liczba elektronów swobodnych jest w nich znacznie mniejsza niż w metalach. Jeszcze większym oporem charakteryzują się izolatory, w których praktycznie nie ma swobodnych elektronów.

Przykład 1.

Uczniowie zbudowali obwód zgodny ze schematem przedstawionym na rycinie. Zasilacz umożliwił ustawienie dowolnego napięcia. Uczniowie zmierzili natężenie prądu przepływającego przez opornik dla różnych napięć między jego końcami. Wyniki pomiarów przedstawili na wykresie.



Na podstawie wykresu wyznaczmy opór opornika użytego w doświadczeniu.

Z wykresu odczytujemy, że przy napięciu $U = 4,5 \text{ V}$ przez opornik przepływał prąd o natężeniu $I \approx 0,45 \text{ A}$. Podstawiamy te dane do wzoru (1):

$$R = \frac{U}{I} \approx \frac{4,5 \text{ V}}{0,45 \text{ A}} = 10 \, \Omega$$

Użyty opornik miał opór ok. $10 \, \Omega$.

Napięcie w obwodzie prądu

Odbiornik jest połączony ze źródłem napięcia za pomocą przewodów. Zwykle przyjmujemy, że napięcie na odbiorniku jest równe napięciu źródła, ponieważ przewody mają bardzo mały opór w porównaniu z odbiornikiem.

Na rycinie 10.3 zaznaczono napięcia na końcach każdego elementu obwodu, również na końcach przewodów. Praca wykonana przez pole elektryczne podczas przemieszczania ładunku q w całym obwodzie jest sumą prac wykonanych w każdej jego części:

$$Uq = U_1q + U_0q + U_2q$$

Po podzieleniu obu stron równania przez q otrzymujemy:

$$U = U_1 + U_0 + U_2 \quad (2)$$

Napięcie na przewodach można zgodnie z prawem Ohma wyrazić wzorami:

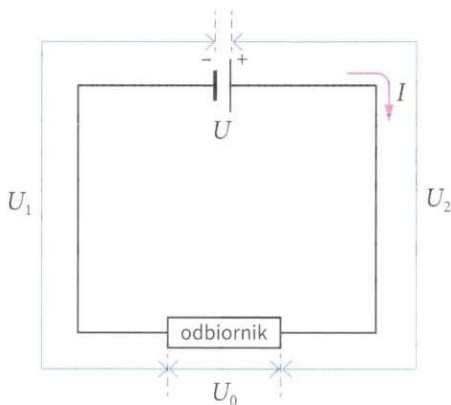
$$U_1 = R_1I \quad \text{oraz} \quad U_2 = R_2I$$

Opór przewodów jest bardzo mały, zatem napięcie na nich również jest bardzo małe. Wobec tego we wzorze (2) można je pominąć. Na przykład przez grzałkę czajnika elektrycznego pod wpływem napięcia 230 V płynie prąd o natężeniu 6 A, przewody łączące ten czajnik z gniazdkiem mają opór $0,03 \, \Omega$, a więc napięcie na przewodach wynosi zaledwie 0,18 V.

Pamiętajmy jednak, że opór przewodów zależy od ich długości. Gdy przewody łączące źródło napięcia z odbiornikiem są bardzo długie, to napięcie na tych przewodach jest już znaczące.

Zależność oporu od temperatury

Jednym ze skutków przepływu prądu jest nagrzewanie się elementów przewodzących, a to może powodować zmianę ich oporu elektrycznego. Zmiany te są różne dla różnych materiałów. W przypadku oporników, wykonanych najczęściej z tzw. stopów oporowych, zmiana oporu jest niewielka, dlatego natężenie prądu jest wprost proporcjonalne do napięcia w szerokim zakresie napięć, do których są podłączane.



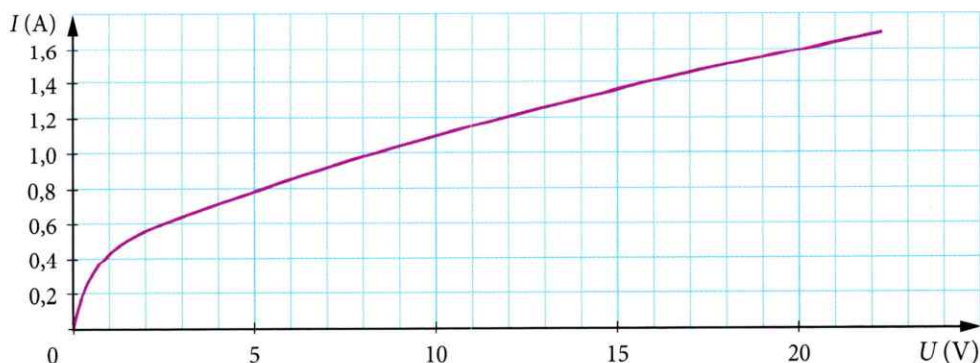
Ryc. 10.3. Gdy napięcie na przewodach zasilających jest bardzo małe, to napięcie na odbiorniku jest równe napięciu źródła



Ryc. 10.4. W wyniku przepływu prądu drucik żarówki rozgrzewa się do wysokiej temperatury

Gdyby w doświadczeniu opisanym w przykładzie 1. w miejsce opornika wstawić tradycyjną żarówkę z żarzącym się drucikiem wolframowym (ryc. 10.4), wykres zależności natężenia prądu od napięcia wyglądałby inaczej (ryc. 10.5).

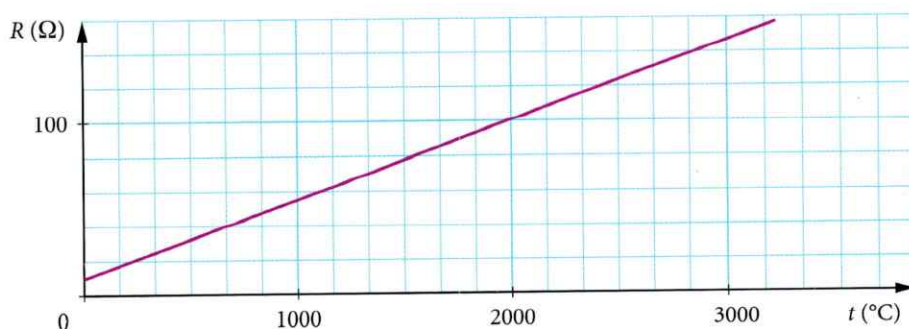
W tym przypadku punkty pomiarowe nie układają się wzdłuż linii prostej. W miarę wzrostu napięcia drucik zaczyna się żarzyć i staje się coraz jaśniejszy. Istnieje bezpośredni związek między jasnością i barwą świecenia drucika a jego temperaturą. Im wyższa jest temperatura drucika, tym jaśniej on świeci. Z wykresu na rycinie 10.5 wynika, że zwiększaniu napięcia towarzyszą coraz mniejsze wzrosty natężenia prądu, zatem w tym przypadku prawo Ohma nie obowiązuje. Możemy jednak nadal stosować wzór (1). Wynika z niego, że opór drucika żarówki rośnie wraz z jego temperaturą.



Ryc. 10.5. Zależność natężenia prądu płynącego przez drucik żarówki od napięcia

Opór elektryczny metali rośnie wraz ze wzrostem temperatury. W wyższej temperaturze drgania atomów (a w zasadzie jonów) są silniejsze, co utrudnia ruch elektronów swobodnych, czyli powoduje wzrost oporu elektrycznego.

Rycina 10.6 przedstawia zależność oporu wolframowego drucika żarówki od temperatury. Z wykresu wynika, że w temperaturze 0°C opór drucika wynosi około $10\ \Omega$, a podczas świecenia, gdy jego temperatura sięga około 2500°C , jest ponad 10 razy większy.



Ryc. 10.6. Zależność oporu drucika wolframowego żarówki od temperatury

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Nadprzewodniki

Na początku XX wieku odkryto, że niektóre przewodniki – np. rtęć, ołów, cyna – po schłodzeniu do temperatury kilku kelwinów osiągają tzw. stan nadprzewodnictwa. Wzbudzony w nich prąd nie zanika nawet po odłączeniu źródła napięcia, gdyż ich opór jest równy zeru. W latach pięćdziesiątych XX wieku przeprowadzono eksperyment, w którym sprawdzano, co się stanie z natężeniem prądu elektrycznego w pętli wykonanej z nadprzewodnika. Eksperyment trwał ponad dwa lata. W tym czasie prąd o natężeniu kilkuset amperów pozostawał stały, czyli nie następowały straty energii elektrycznej. Eksperyment przerwano ze względu na wysokie koszty utrzymywania nadprzewodnika w bardzo niskiej temperaturze.

Ciągle trwają prace nad odkryciem materiału, który wykazywałby właściwości nadprzewodzące w temperaturze około 20°C , czyli w warunkach, z którymi najczęściej mamy do czynienia. W marcu 2019 roku otrzymano materiał, który staje się nadprzewodnikiem w temperaturze $280\ \text{K}$ (7°C), jednak uzyskanie tego stanu wymaga skrajnie wysokich ciśnień. Droga do wykorzystania nadprzewodników w urządzeniach wokół nas jest jeszcze daleka.

Opór elektryczny półprzewodników również zależy od temperatury, ale w inny sposób niż opór metali. W półprzewodnikach w temperaturach bliskich $0\ \text{K}$ praktycznie nie ma swobodnych elektronów, gdyż wszystkie związane są z atomami, choć niektóre bardzo słabo. Wraz ze wzrostem temperatury niektóre elektrony uzyskują energię umożliwiającą oderwanie się od atomów. Liczba tych elektronów swobodnych jest zdecydowanie mniejsza niż w przewodnikach. Im wyższa jest temperatura półprzewodnika, tym więcej elektronów może oderwać się od atomów. Im więcej jest elektronów swobodnych, tym większe jest natężenie prądu pod wpływem tego samego napięcia. Oznacza to, że **wraz ze wzrostem temperatury opór półprzewodników maleje**.

PODSUMOWANIE

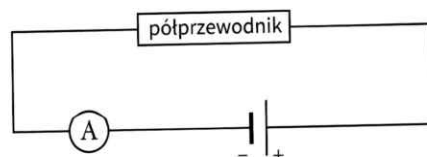
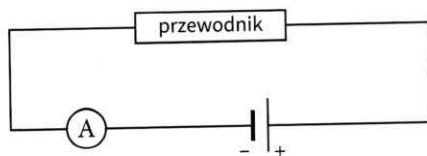
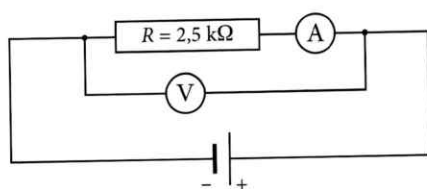
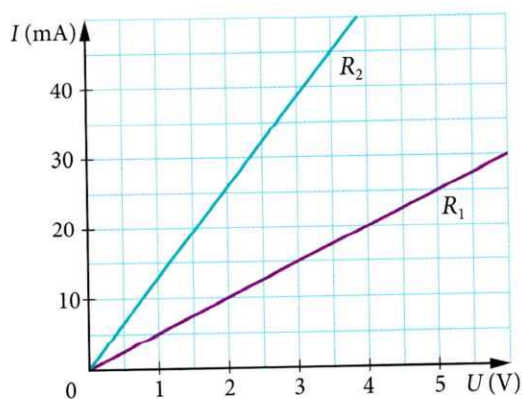
- **Prawo Ohma:** natężenie prądu w przewodniku jest wprost proporcjonalne do przyłożonego do niego napięcia elektrycznego:

$$I = \frac{1}{R} \cdot U$$

- Im większy jest **opór elektryczny** ciała, tym mniejsze jest natężenie prądu płynącego przy danym napięciu elektrycznym.
- **Opór przewodników** rośnie wraz ze wzrostem ich temperatury.
- **Opór półprzewodników** maleje wraz ze wzrostem ich temperatury.

PYTANIA I ZADANIA

1. Do baterii, na której zaciskach jest napięcie 4,5 V, podłączono opornik o oporze 2 kΩ. Oblicz natężenie prądu przepływającego przez ten opornik.
2. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez dwa oporniki od przyłożonego do nich napięcia. Który z oporników ma większy opór i ile razy większy?
3. Przez pewien opornik pod wpływem napięcia 12 V płynie prąd o natężeniu 23 mA. Co się stanie z oporem tego opornika, gdy napięcie na jego końcach zmaleje do 6 V? Uzasadnij odpowiedź.
4. Amperomierz włączony do obwodu, który przedstawiono na schemacie obok, wskazywał natężenie prądu $I = 18$ mA. Oblicz napięcie, jakie wskazywał woltomierz.
5. Dwa elementy oporowe wykonano z różnych materiałów. Jeden z nich to przewodnik, a drugi to półprzewodnik. Oba elementy podłączono do takiego samego źródła napięcia, jak pokazano na schematach. Początkowo amperomierze wskazywały jednakowe natężenie prądu. Następnie oba przewody ogrzano o 200°C. Który z amperomierzy będzie wskazywał większe natężenie? Uzasadnij odpowiedź.





11. Prąd jako nośnik energii elektrycznej

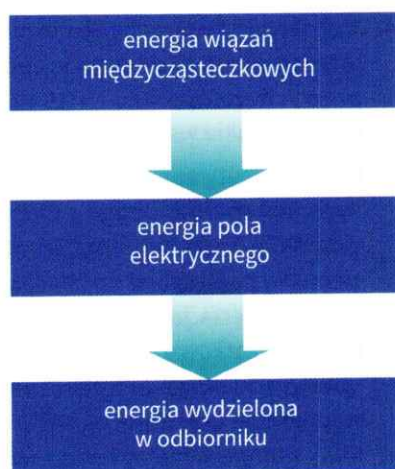
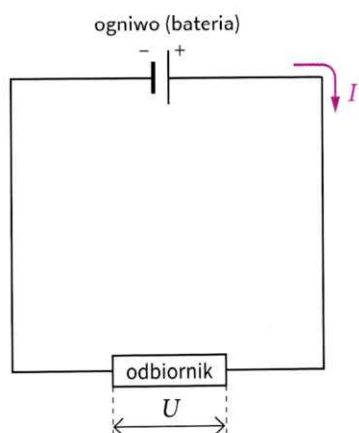
- Prąd jako nośnik energii elektrycznej
- Moc prądu elektrycznego

Przypomnij sobie, jak oblicza się pracę wykonaną podczas przemieszczania ładunku w polu elektrycznym oraz jak definiuje się moc.

Jednym z fundamentalnych praw przyrody jest zasada zachowania energii. Omawialiśmy ją wielokrotnie przy okazji różnych zjawisk obserwowanych w życiu codziennym. Tym razem zastosujemy ją do opisu zjawisk zachodzących podczas przepływu prądu w obwodach elektrycznych.

Prąd jako nośnik energii elektrycznej

Za pomocą prądu możemy przekształcać energię elektryczną w postać dla nas użyteczną (ryc. 11.1). Źródło napięcia wytwarza w obwodzie pole elektryczne, które swoją energię przekazuje ładunkom tworzącym prąd. Wobec tego prąd jest nośnikiem energii elektrycznej i dzięki niemu zostaje ona zamieniona w odbiornikach na inne formy energii. W grzałkach elektrycznych jest to ciepło, w silnikach elektrycznych – energia ruchu obrotowego, a podczas ładowania akumulatorów – energia wiązań chemicznych. Energię, która wydziela się w odbiorniku wskutek przepływu prądu, nazywa się pracą prądu elektrycznego.



Ryc. 11.1. Przemiany energii w obwodzie elektrycznym zasilanym ogniwem

Energia wydzielona w odbiorniku prądu jest równa pracy wykonanej przez pole elektryczne podczas przemieszczania ładunku (rozdział 5):

$$E = U \cdot q$$

Ładunek, który przepłynął przez odbiornik, to zgodnie z definicją natężenia prądu:

$$q = I \cdot t$$

Wobec tego energia wydzielona w odbiorniku prądu wynosi:

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

(1)

Przykład 1.

Oszacujmy czas potrzebny do zagotowania 1,5 litra wody w czajniku elektrycznym podłączonym do napięcia 230 V. Przez grzałkę czajnika przepływa prąd o natężeniu 6,8 A. Temperatura początkowa wody jest równa 20°C.

Zakładamy, że energia elektryczna zamienia się w ciepło, które w całości jest zużywane na ogrzanie wody, zatem:

$$E = Q$$

$$U \cdot I \cdot \tau = c_w \cdot m \cdot \Delta t$$

Symbolem τ oznaczyliśmy czas pracy czajnika.

Ciepło właściwe wody jest równe $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$, przyrost jej temperatury jest równy 80°C.

Przekształcamy wzór, by obliczyć czas ogrzewania wody:

$$\tau = \frac{c_w \cdot m \cdot \Delta t}{U \cdot I} = \frac{4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,5 \text{ kg} \cdot 80^\circ\text{C}}{230 \text{ V} \cdot 6,8 \text{ A}} \approx 322 \text{ s} = 5 \text{ min } 22 \text{ s}$$

Podczas ogrzewania woda oddaje energię do otoczenia. Z tego powodu należy się spodziewać, że w rzeczywistości czas zagotowania wody w opisanych warunkach będzie nieco dłuższy od obliczonego.

Moc prądu

Moc to szybkość przekazywania energii. Prąd przenosi energię ze źródła napięcia do odbiornika, zatem moc prądu elektrycznego to szybkość przekazu energii elektrycznej. Z kolei moc urządzenia elektrycznego (odbiornika) podłączonego do źródła napięcia jest równa mocy prądu, który przez nie przepływa.

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

Gdy podstawimy do tego wzoru zależność (1), uzyskamy wzór na moc prądu:

$$P = U \cdot I$$

(2)

Moc prądu elektrycznego jest równa iloczynowi przyłożonego napięcia elektrycznego oraz natężenia prądu.

Podstawową jednostką mocy jest wat (W).

Ze wzoru (2) nie należy wyciągać wniosku, że moc prądu jest wprost proporcjonalna do przyłożonego napięcia. Natężenie prądu również zależy od napięcia, zatem zależność mocy od napięcia jest bardziej skomplikowana.

Liczniki energii elektrycznej pokazują energię przekazaną przez prąd, wyrażoną w kilowatogodzinach (ryc. 11.2). Jedna kilowatogodzina (1 kWh) to energia wydzielona w odbiorniku o mocy jednego kilowata (1 kW) w ciągu 1 godziny. Oznacza to, że:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Jak widać, 1 kWh to prawie 4 mln J. Koszt takiej energii w Polsce w 2020 roku dla odbiorców indywidualnych wynosił ok. 60 groszy. Jedna kilowatogodzina to energia, która wystarczy np. do wniesienia plecaka o masie ok. 40 kg na Mount Everest lub do zagotowania ok. 10 litrów wody o temperaturze początkowej 20°C.



Ryc. 11.2. Domowy licznik energii elektrycznej

Przykład 2.

Piekarnik elektryczny ma moc 2500 W. Napięcie w domowej sieci elektrycznej jest równe 230 V. Obliczmy natężenie prądu przepływającego przez grzałkę piekarnika podczas ogrzewania.

Przekształcamy wzór (2) do postaci:

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

Po podstawieniu danych do wzoru otrzymujemy:

$$I = \frac{2500 \text{ W}}{230 \text{ V}} \approx 11 \text{ A}$$

Podczas pracy piekarnika elektrycznego przepływa przez niego prąd o natężeniu około 11 A.

WIEDZIEĆ WIĘCEJ**Ładowanie samochodu elektrycznego**

Tradycyjne samochody osobowe tankujemy do pełna nie dłużej niż 2–3 minuty, natomiast ładowanie samochodów elektrycznych z wykorzystaniem opcji szybkiego ładowania trwa ok. godziny. Z czego wynika tak długi czas ładowania tych samochodów i czy nie można go skrócić?

Akumulatory samochodów elektrycznych gromadzą ok. 60 kWh energii. Moc stacji szybkiego ładowania wynosi ok. 50 kW, więc w ciągu godziny akumulatory ładowane są do 80% pojemności. Podczas ładowania akumulatory podłączone są do napięcia 480 V, zatem prąd płynący w obwodzie stacja ładowania–akumulator wynosi:



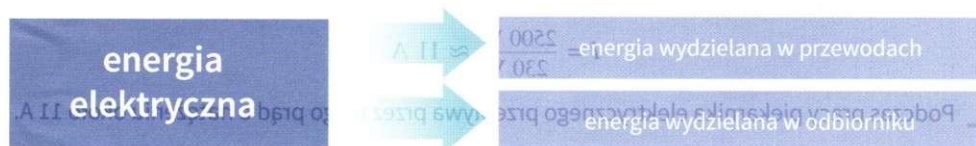
$$I = \frac{P}{U} = \frac{50\,000 \text{ W}}{480 \text{ V}} \approx 100 \text{ A}$$

Aby ograniczyć straty energii w przewodach, należy stosować przewody o małym oporze – i dlatego przewody łączące samochód z ładowarką mają prawie centymetr średnicy.

Czy można skrócić czas ładowania do kilku minut? Gdybyśmy chcieli naładować akumulator samochodu elektrycznego np. w 5 minut, to przy tym samym napięciu zasilającym natężenie prądu musiałyby wynosić aż 1200 A. Przewody łączące ładowarkę z samochodem dostosowane do takich prądów musiałyby mieć średnicę około 3 cm i ważyłyby kilkadziesiąt kilogramów!

Straty energii elektrycznej

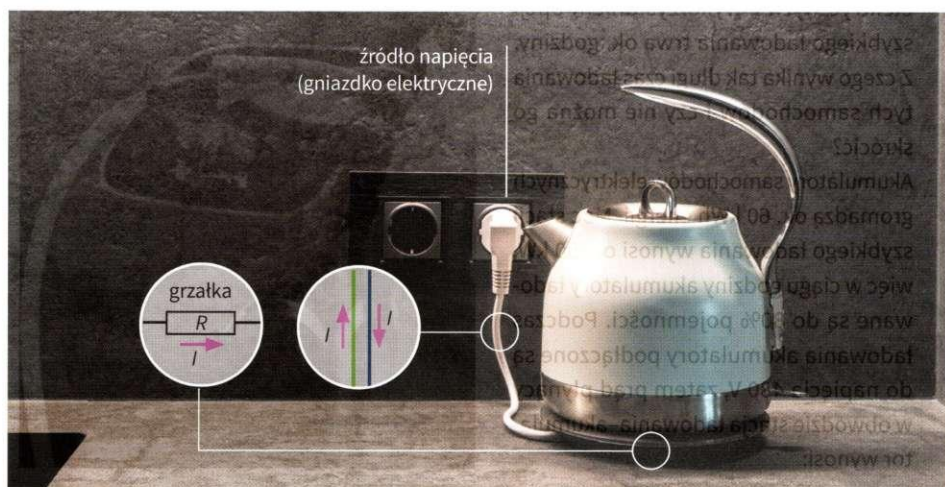
Podczas przesyłania energii za pomocą prądu elektrycznego część tej energii wydzielana się w przewodach łączących odbiornik energii ze źródłem napięcia (ryc. 11.3). Energię wydzieloną w przewodach należy traktować jako straty energii. Straty są tym większe, im większe jest natężenie prądu płynącego przez przewód oraz im większy jest opór elektryczny przewodów.



Ryc. 11.3. Część energii elektrycznej wydzielana się w odbiorniku energii, a część w przewodach zasilających

Przykład 3.

Przez czajnik podłączony do sieci przepływa prąd o natężeniu 5,2 A. Napięcie na przewodach zasilających jest równe 1 V, a napięcie na grzałce czajnika wynosi 229 V. Porównajmy moc wydzieloną na grzałce oraz na przewodach łączących czajnik ze źródłem napięcia.



Przez grzałkę czajnika oraz przewody zasilające płynie ten sam prąd. Moc prądu obliczamy ze wzoru:

$$P = U \cdot I$$

Jeśli znamy napięcie i natężenie prądu, możemy obliczyć moc wydzieloną na grzałce oraz moc wydzieloną na przewodach łączących:

$$P_g = U_g \cdot I = 229 \text{ V} \cdot 5,2 \text{ A} \approx 1191 \text{ W}$$

$$P_p = U_p \cdot I = 1 \text{ V} \cdot 5,2 \text{ A} \approx 5 \text{ W}$$

Moc wydzielona na grzałce jest około 240 razy większa od mocy wydzielonej na przewodach, zatem nic dziwnego, że gdy grzałka staje się bardzo gorąca, przewody pozostają zimne.

Moc prądu elektrycznego zależy od iloczynu napięcia i natężenia prądu. Im większa jest moc urządzenia podłączonego do danego napięcia (w przypadku domowej sieci elektrycznej to 230 V), tym większe jest natężenie prądu płynącego przez to urządzenie. Jeśli chcemy ograniczać opór przewodów, to musimy zwiększać ich średnice. Urządzenia elektryczne o dużej mocy są podłączane za pomocą przewodów o większych średnicach niż urządzenia o niewielkiej mocy.

PODSUMOWANIE

- ▶ Energia przekazana w czasie t przez prąd elektryczny o natężeniu I płynący pod wpływem napięcia U wyraża się wzorem:

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

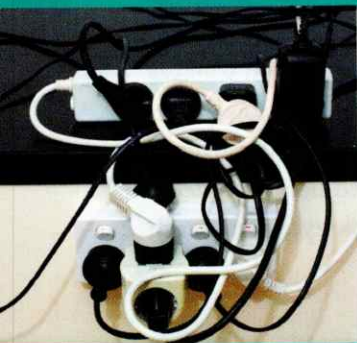
- ▶ **Moc prądu elektrycznego** jest równa iloczynowi napięcia elektrycznego U oraz natężenia prądu I :

$$P = U \cdot I$$

PYTANIA I ZADANIA

1. W USA napięcie w domowej sieci elektrycznej jest dwa razy mniejsze niż w Europie. Czy natężenie prądu płynącego przez czajnik o mocy 800 W podłączony do gniazdka w Nowym Jorku jest takie samo jak natężenie prądu płynącego przez czajnik o tej samej mocy (ale dostosowany do napięcia w Polsce) podłączony w Krakowie? Uzasadnij odpowiedź.
2. Opisz przemianę energii prowadzącą do naładowania akumulatora zasilającego ogrodową lampę solarną (fot.).
3. Oszacuj moc czajnika elektrycznego, w którym w czasie 5 minut można zagotować 0,8 litra wody. Przyjmij, że podgrzewanie wody rozpoczyna się od temperatury pokojowej. Ciepło właściwe wody jest równe $4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$.
4. Do gniazdka domowej sieci elektrycznej podłączono pralkę. Moc pralki podczas ogrzewania wody jest 50 razy większa od jej mocy podczas wirowania. Kiedy przez pralkę płynie prąd o większym natężeniu: podczas ogrzewania wody czy podczas wirowania? Uzasadnij odpowiedź.
5. Monika używa komputera, którego średnia moc jest równa 60 W. Dzienny czas pracy tego komputera to około 8 godzin. Oszacuj miesięczny koszt energii elektrycznej pobieranej przez ten komputer.





12. Obwody elektryczne rozgałęzione

- I prawo Kirchhoffa
- Połączenie równoległe odbiorników

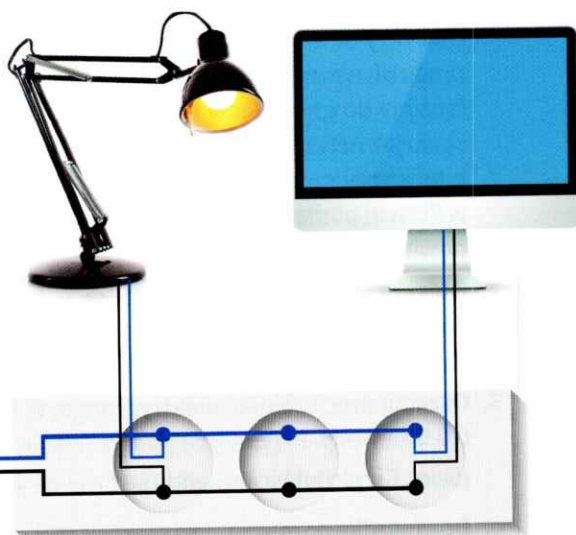
Przypomnij sobie zasadę zachowania ładunku oraz definicję natężenia prądu.

Podstawowymi elementami obwodu elektrycznego są źródło napięcia i odbiornik prądu. Do jednego źródła możemy jednak podłączyć wiele odbiorników. Tak postępujemy choćby wówczas, gdy do jednego gniazda elektrycznego podłączamy listwę zasilającą, a do niej kilka urządzeń. Z kolei w instalacji elektrycznej samochodu jeden akumulator zasilą wszystkie urządzenia elektryczne. To przykłady bardziej złożonych obwodów elektrycznych.

Obwody rozgałęzione

Gdy do gniazdek listwy zasilającej podłączymy np. komputer i lampkę, utworzymy tzw. obwód rozgałęziony (ryc. 12.1). Prąd dopływający do listwy rozdziela się i płynie przez dwie osobne części obwodu, podobnie jak woda w rzece, która opływa wyspę z dwóch stron. W tym przypadku część ładunków płynie przez komputer, a część przez lampkę. Takie połączenie odbiorników nazywamy **równoległym**.

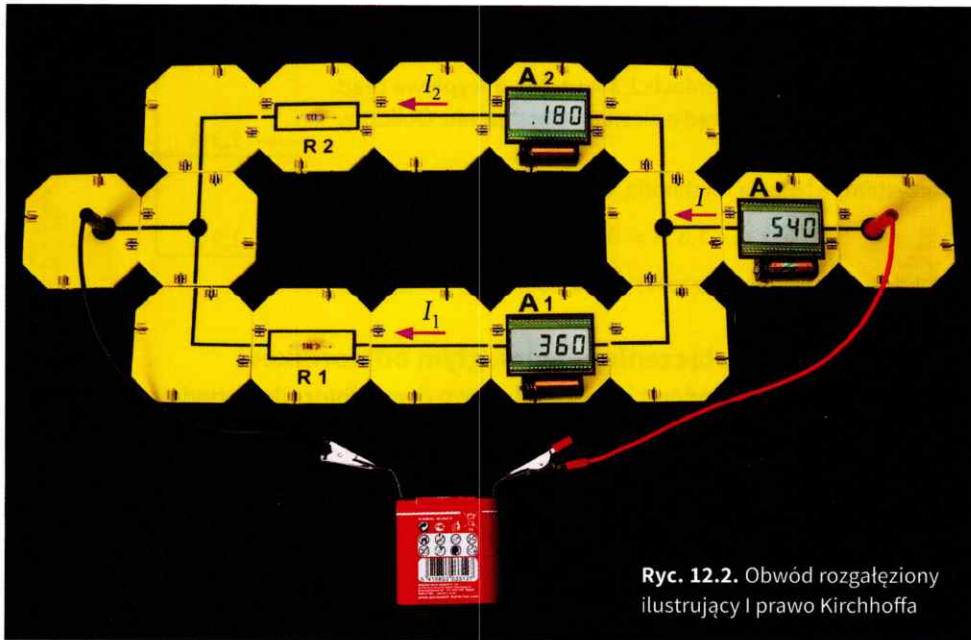
← do sieci



Ryc. 12.1. Schemat obwodu, w którym komputer i lampka podłączone są do wspólnej listwy zasilającej

I prawo Kirchhoffa

Na rycinie 12.2 przedstawiono zdjęcie obwodu, w którym amperomierze wskazują natężenie prądu płynącego w poszczególnych gałęziach obwodu. Miejsce, w którym prąd dzieli się lub łączy, nazywamy **węzłem**. W przedstawionym obwodzie są zatem dwa węzły.



Ryc. 12.2. Obwód rozgałęziony ilustrujący I prawo Kirchhoffa

Na zdjęciu widzimy, że wskazania amperomierza A są sumą wskazań amperomierzy A_1 oraz A_2 . Wynik ten jest zgodny z zasadą zachowania ładunku elektrycznego, gdyż suma ładunków dopływających do węzła obwodu jest równa sumie ładunków wypływających z niego w tym samym czasie (scenariusz doświadczenia 3, s. 334).

Z zasady zachowania ładunku dla rozgałęzień obwodów wynika I prawo Kirchhoffa.

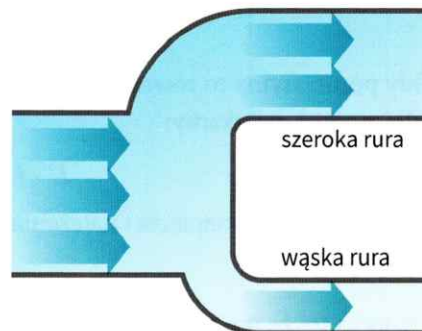
I prawo Kirchhoffa

Suma natężeń prądów wpływających do węzła obwodu jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających.

Dla obwodu z ryciny 12.2 zapiszemy:

$$I = I_1 + I_2$$

Rozgałęzienie obwodu elektrycznego można przyrównać do sytuacji, w której woda płynąca początkowo w jednej rurze rozdziela się i wpływa do dwóch rur (ryc. 12.3). Wówczas tyle wody wypływa z rozgałęzienia rur, ile do niego wpływa.



Ryc. 12.3. Wodociągowa analogia rozgałęzienia obwodu

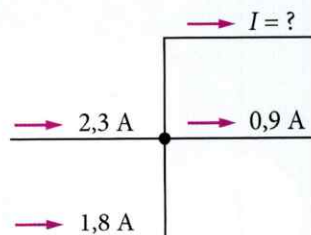
Przykład 1.

Do węzła obwodu, w którym łączą się cztery przewody, dopływają prądy o natężeniach 2,3 A i 1,8 A, a wypływa prąd o natężeniu 0,9 A oraz prąd o nieznanym natężeniu. Obliczmy to natężenie.

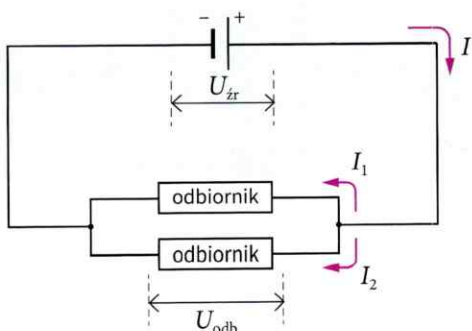
Korzystamy z I prawa Kirchhoffa. W tym przypadku:

$$2,3 \text{ A} + 1,8 \text{ A} = 0,9 \text{ A} + I$$

Wobec tego szukane natężenie prądu jest równe $I = 3,2 \text{ A}$.

**Napięcie i moc w połączeniu równoległym odbiorników**

Na rycinie 12.4 przedstawiono obwód, w którym dwa odbiorniki są podłączone równolegle do jednego źródła napięcia.



Ryc. 12.4. Dwa odbiorniki podłączone równolegle do jednego źródła napięcia

Napięcie na obu odbiornikach jest takie samo i równe napięciu źródła (pomijamy napięcie na przewodach łączących). W związku z tym przez każdy z odbiorników płynie prąd o natężeniu takim, jak gdyby odbiornik był samodzielnie podłączony do źródła. To cecha łączenia równoległego. Dzięki temu każdy odbiornik działa, niezależnie od tego, ile jeszcze różnych urządzeń połączonych jest równolegle. Wyłączenie jednego z nich nie ma wpływu na pracę pozostałych.

Natężenie prądu I w przewodzie łączącym odbiorniki ze źródłem napięcia jest sumą natężeń prądów w obu odbiornikach (I prawo Kirchhoffa):

$$I = I_1 + I_2$$

Gdy pomnożymy to równanie stronami przez U (napięcie jest takie samo na każdym odbiorniku), uzyskamy:

$$U \cdot I = U \cdot I_1 + U \cdot I_2$$

Ponieważ iloczyn napięcia i natężenia to moc prądu, można zapisać, że:

$$P = P_1 + P_2$$

Oznacza to, że moc czerpana ze źródła napięcia jest równa sumie mocy odbieranych przez poszczególne odbiorniki. Ten sam wniosek można też wyciągnąć bezpośrednio z zasady zachowania energii.

Przykład 2.

Latarka wyposażona w trzy jednakowe diody LED ma dwa tryby pracy: można włączyć jedną diodę albo wszystkie diody równocześnie (są one połączone równolegle). Diody mają moc 0,4 W każda, a napięcie baterii latarki wynosi 3 V. Obliczmy natężenie prądu płynącego w obwodzie w jednym i drugim trybie pracy.

Diody w latarce można włączać niezależnie, gdyż są połączone równolegle. Napięcie na każdej z nich wynosi zatem 3 V. Moc jednej diody to:

$$P_1 = UI_1$$

stąd natężenie prądu przepływającego przez jedną diodę wynosi:

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{0,4 \text{ W}}{3 \text{ V}} \approx 0,13 \text{ A}$$

Gdy świecą trzy diody równocześnie, natężenie prądu płynącego w obwodzie jest trzykrotnie większe:

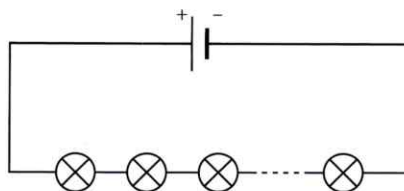
$$I_3 = 3 \cdot I_1 \approx 3 \cdot 0,13 \text{ A} \approx 0,4 \text{ A}$$

Ten sam wynik otrzymamy, gdy podzielimy sumę mocy trzech diod przez napięcie:

$$I_3 = \frac{P_3}{U} = \frac{1,2 \text{ W}}{3 \text{ V}} = 0,4 \text{ A}$$

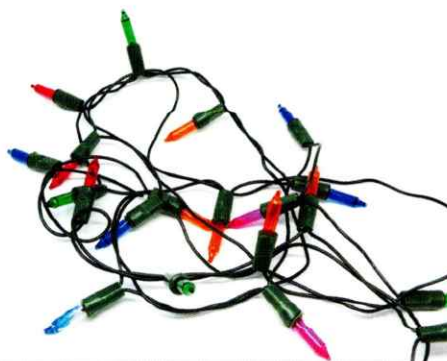
**WIEDZIEĆ WIĘCEJ****Połączenie szeregowe**

Odbiorniki energii elektrycznej można łączyć w inny sposób niż tylko równolegle. Przykładem są niektóre rodzaje lampek choinkowych, gdzie poszczególne żarówki połączone są jedna za drugą, więc w obwodzie nie ma rozgałęzień (ryc.). Takie połączenie nazywamy szeregowym.



Schemat układu szeregowego połączenia lampek choinkowych

Każda z żarówek takiego kompletu jest przeznaczona do pracy pod napięciem kilku woltów, natomiast cały zestaw jest podłączony do napięcia 230 V. W połączeniu szeregowym napięcie zasilania dzieli się po równo na poszczególne żarówki, jeżeli są one jednakowe. Jeśli żarówek jest np. 230, to napięcie na każdej z nich jest równe 1 V.

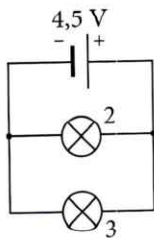
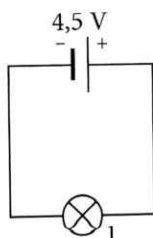
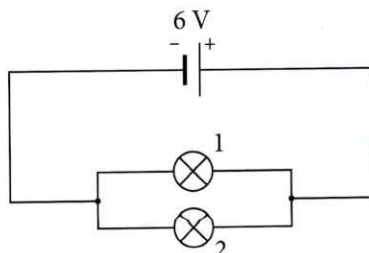
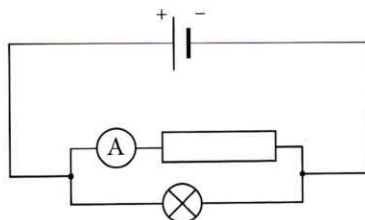


PODSUMOWANIE

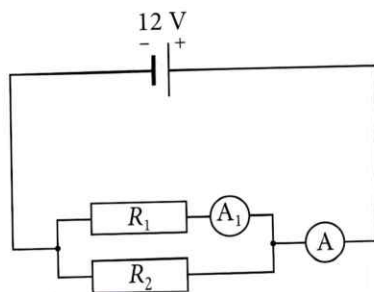
- ▶ **I prawo Kirchhoffa:** suma natężeń prądów wpływających do węzła obwodu jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających.
- ▶ Napięcie elektryczne na wszystkich odbiornikach połączonych równolegle jest takie samo.
- ▶ Moc czerpana ze źródła napięcia jest równa sumie mocy odbieranych przez poszczególne odbiorniki.

PYTANIA I ZADANIA

1. Czy amperomierz włączony do obwodu tak jak na schemacie obok pokaże natężenie prądu wypływającego ze źródła napięcia? Uzasadnij odpowiedź.
2. Natężenie prądu dopływającego do układu trzech identycznych oporników połączonych równolegle jest równe 1,28 A. Jakie będzie natężenie prądu płynącego przez każdy z nich?
3. Dwie żarówki podłączono równolegle do baterii 6 V. Żarówka 1 ma moc 1,25 W, a żarówka 2 ma moc 2,5 W. Przez którą z tych żarówek będzie płynął prąd o większym natężeniu? Uzasadnij odpowiedź przez wykonanie odpowiednich obliczeń.
4. Justyna podłączyła trzy identyczne żarówki do takich samych baterii w sposób przedstawiony na schematach. Czy wszystkie będą świecić jednakowo? Uzasadnij odpowiedź.



5. W obwodzie przedstawionym na schemacie amperomierz A wskazał 120 mA, natomiast amperomierz A_1 wskazał 80 mA. Napięcie źródła było równe 12 V. Oblicz opór każdego z oporników.



13. Domowa sieć elektryczna

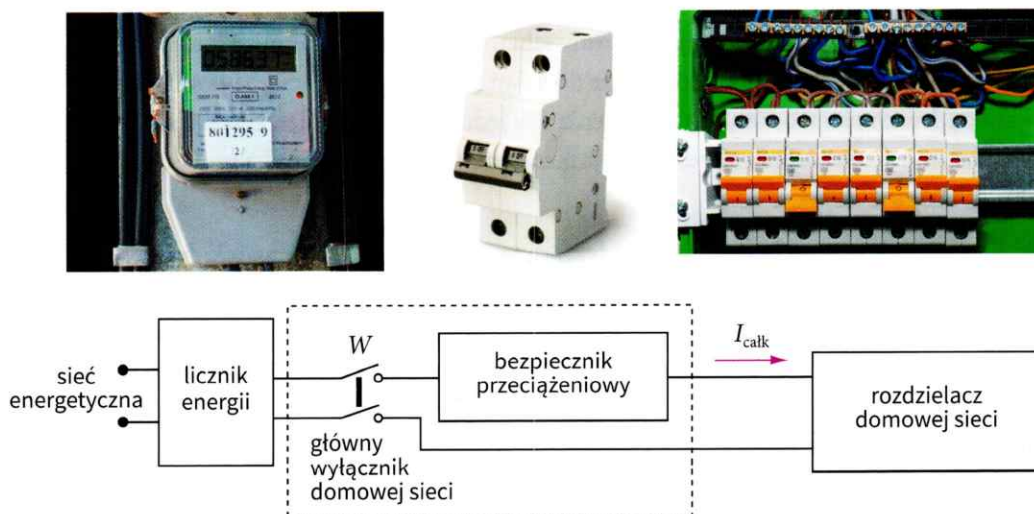
- Instalacja elektryczna w domu
- Bezpieczeństwo korzystania z energii elektrycznej
- Porażenie prądem elektrycznym

Przypomnij sobie, na czym polega połączenie równoległe odbiorników oraz od czego zależy moc prądu.

Dziś w każdym domu znajduje się instalacja elektryczna. Na co dzień dostrzegamy tylko niewielkie jej fragmenty, takie jak gniazda, wyłączniki światła, a czasem kostkę elektryczną, do której podłącza się żyrandol. Mamy też dostęp do bezpieczników – elementów instalacji bardzo ważnych ze względu na bezpieczeństwo jej użytkowania.

Domowa sieć elektryczna

Energia elektryczna dostarczana do naszych domów pochodzi z elektrowni i jest przesyłana przez sieci energetyczne. Możemy zatem przyjąć, że bezpośrednim źródłem napięcia zasilającego domową instalację elektryczną jest tzw. **przyłącze**, czyli miejsce, w którym sieć energetyczna łączy się z instalacją w domu. Tuż za przyłączem znajdują się: licznik wykorzystanej energii elektrycznej, główny wyłącznik napięcia oraz główny bezpiecznik sieci (ryc. 13.1). Cały prąd elektryczny w naszych mieszkaniach przepływa przez te urządzenia.



Ryc. 13.1. Elementy przyłączy domowej sieci elektrycznej

Główny bezpiecznik sieci jest tzw. **bezpiecznikiem przeciążeniowym**. Bezpiecznik tego typu odcina zasilanie, gdy natężenie prądu przekracza wartość bezpieczną dla całego obwodu. W zależności od instalacji może to być 25 A lub 40 A. Bezpieczniki przeciążeniowe są zintegrowane z głównym wyłącznikiem domowej sieci, stanowią jedno urządzenie.

Domowa sieć elektryczna najczęściej składa się z kilku niezależnych obwodów, odpowiedzialnych za zasilanie różnych urządzeń domowych. Każdy z nich zabezpieczony jest osobnym bezpiecznikiem, odcinającym prąd przy mniejszym natężeniu niż główny bezpiecznik.

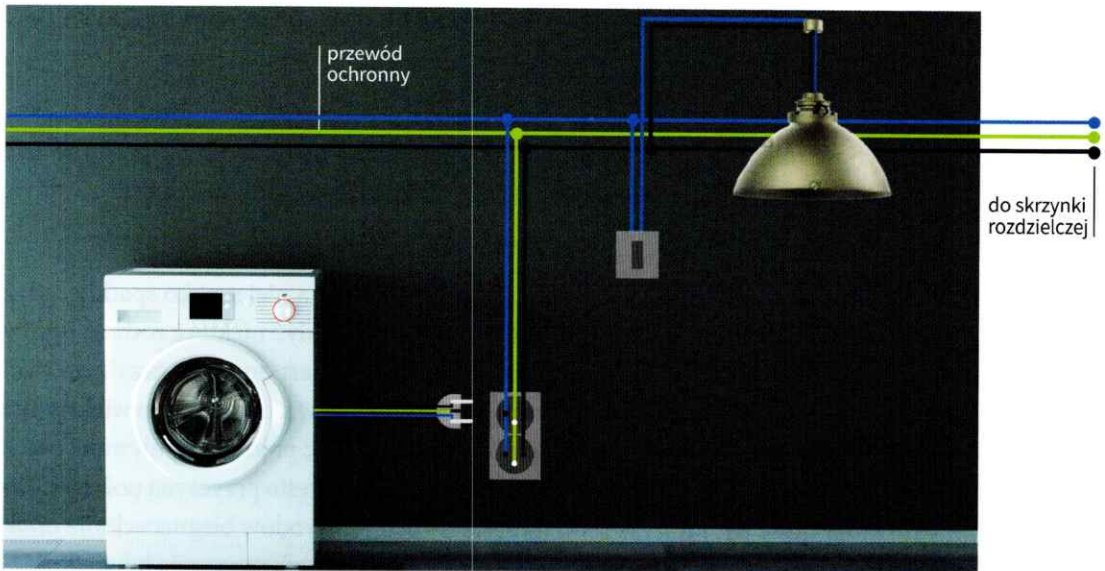
Wszystkie urządzenia elektryczne w naszych domach dostosowane są do napięcia 230 V, dlatego są podłączone do przyłącza równolegle. Dzięki temu na każdym odbiorniku jest takie samo napięcie (230 V), a dodatkowo każde z tych urządzeń może pracować niezależnie od pozostałych.

W domowej sieci elektrycznej odbiorniki energii są podłączone do przyłącza równolegle.

Urządzenia elektryczne są podłączone do sieci dwoma przewodami, tak by powstał obwód zamknięty. W instalacji elektrycznej znajduje się także przewód ochronny, najczęściej zielono-żółty. Jest on połączony z bolcem wystającym z gniazdek elektrycznych i stanowi uziemienie urządzeń elektrycznych, które tego wymagają. Jego zadaniem jest odprowadzanie prądów, które mogą pojawić się na skutek uszkodzenia danego odbiornika energii elektrycznej. Każda pralka, zmywarka czy lodówka jest podłączona do sieci elektrycznej za pomocą wtyczki z trzema złączami: dwoma w postaci bolców oraz jednego w postaci otworu służącego do połączenia z wystającym z gniazdka bolcem.

Na rycinie 13.2 przedstawiono uproszczony schemat fragmentu domowej instalacji elektrycznej. Lampy na stałe przymocowane do ścian i sufitów najczęściej są podłączane za pomocą dwóch przewodów, bez uziemienia. Na jednym z nich umieszczany jest wyłącznik. Natomiast urządzenia takie, jak czajnik, ekspres do kawy czy pralka podłączamy do gniazdka elektrycznego.

W Europie istnieje wiele typów gniazdek oraz wtyczek do tych gniazdek. Jeśli wyjeżdżamy za granicę i zabieramy ze sobą jakieś urządzenie elektryczne, należy zaopatrzyć się w odpowiednią przejściówkę, umożliwiającą podłączenie urządzenia do miejscowej sieci. Gdy udajemy się poza nasz kontynent, możemy spotkać nie tylko inny typ gniazdek, ale również inne napięcie w sieci. Warto w takim przypadku sprawdzić, czy nasze urządzenie elektryczne będzie prawidłowo pracować po podłączeniu do sieci.



Ryc. 13.2. Schematyczne podłączenie dwóch przykładowych domowych urządzeń elektrycznych

Przykład 1.

Obliczmy, jaka może być maksymalna moc urządzeń elektrycznych włączonych równocześnie do części instalacji domowej zabezpieczonej bezpiecznikiem 16 A.

Napięcie w sieci wynosi 230 V, a całkowity prąd w obwodzie (i płynący przez bezpiecznik) nie może mieć natężenia większego od 16 A. Maksymalna moc urządzeń elektrycznych włączonych równocześnie do instalacji elektrycznej wynosi zatem:

$$P = UI = 230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3680 \text{ W}$$

Nie jest to dużo, bo np. moc pralki podczas podgrzewania wody to około 2500 W, a podobną moc ma również piekarnik elektryczny.

Bezpieczeństwo korzystania z energii elektrycznej

Napięcie w domowej sieci elektrycznej jest na tyle duże, że w połączeniu z dużym natężeniem prądu może stanowić śmiertelne zagrożenie. Na szczęście wystarczy przestrzegać kilku podstawowych zasad bezpieczeństwa, aby bez obaw korzystać z energii elektrycznej. Do projektowania oraz wykonania sieci elektrycznej należy zatrudniać osoby o odpowiednich kwalifikacjach. Również ewentualne naprawy powinny być wykonywane przez fachowców.

Uszkodzona instalacja elektryczna może być przyczyną tzw. **zwarcia**. O zwarcu mówimy wówczas, gdy zaciski źródła napięcia są połączone wyłącznie przewodem, bez odbiornika (ryc. 13.3).



Ryc. 13.3. Obwód bez odbiornika prądu

Gdy zamkniemy obwód przedstawiony na rycinie 13.3, pojawi się prąd. Zgodnie z prawem Ohma:

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

Ponieważ opór metalowego drutu (przewodu) jest bardzo mały, natężenie prądu będzie bardzo duże. Moc wydzielana w obwodzie również będzie bardzo duża, gdyż:

$$P = U \cdot I$$

Gdy doprowadzimy do zwarcia zacisków baterii, napięcie na niej szybko spadnie, gdyż bateria się rozładuje (nie powinniśmy jednak tego robić, gdyż niektóre rodzaje ogniów mogą się wówczas zapalić). Jednak gdy źródłem napięcia jest domowe przyłącze sieci elektrycznej, sytuacja jest znacznie poważniejsza. Napięcie w sieci jest dużo większe niż w baterii i jest utrzymywane na stałym poziomie. Duża moc prądu utrzymywana przez dłuższy czas powoduje silne rozgrzanie przewodów, co jest często przyczyną pożarów. Do zwarcia może dojść np. podczas zetknięcia się dwóch przewodów biegnących tuż obok siebie w jednym kablu. Wystarczy uszkodzenie izolacji wskutek przetarcia lub nadtopienia. Jedną z funkcji bezpieczników montowanych w obwodach jest odcięcie zasilania w przypadku wystąpienia zwarcia i dlatego są one tak ważnymi elementami instalacji elektrycznej w domach.

Przewody domowej sieci elektrycznej są najczęściej ukryte w ścianach budynków, dlatego podczas wykonywania drobnych napraw domowych należy uważać, aby ich nie uszkodzić. Należy chronić urządzenia elektryczne od zalania wodą, która jest przewodnikiem (dlatego nie wolno używać suszarek elektrycznych podczas kąpieli!). Poza tym nie należy używać urządzeń elektrycznych, które są w złym stanie technicznym. **I przede wszystkim w żadnym przypadku nie wolno dotykać przewodów elektrycznych pozbawionych izolacji!**



Ryc. 13.4. Domowe urządzenia elektryczne powinny być utrzymywane w dobrym stanie technicznym

WIEDZIEĆ WIĘCEJ

Podłączenie tramwajów i trolejbusów do zasilania

Każdy odbiornik elektryczny wymaga zasilania dwoma przewodami – jednym prąd wpływa, drugim wypływa. Nie inaczej jest w przypadku tramwajów czy trolejbusów, które są zasilane napięciem stałym 600 V. W przypadku tramwajów jest to napięcie między przewodami wiszącymi nad torowiskiem a torami. Z przewodu zasilającego prąd wpływa przez pantograf do układu elektrycznego tramwaju, a wypływa przez metalowe koła do szyn. Szyny podłączone są do rozdzielni, z której wypływa prąd do przewodów sieci trakcyjnej. W ten sposób obwód sieci zasilania tramwajów jest zamknięty. Z kolei sieć zasilania trolejbusów składa się z dwóch przewodów, między którymi jest napięcie 600 V.

Czy można bez obaw stanąć na szynach tramwajowych? Oczywiście tak. Szyny tramwajowe są uziemione, więc napięcie między szyną a ziemią wynosi 0 V. Gdy staniami jedną nogą na szynie, a drugą na ziemi, prąd nie będzie płynął przez nasze ciało.

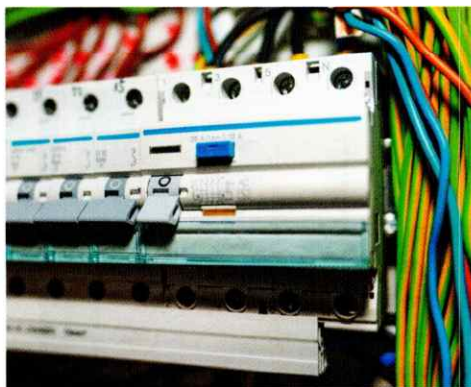


Porażenie prądem elektrycznym

Wiele tkanek ciała człowieka dobrze przewodzi prąd elektryczny. Nasza aktywność sterowana jest wewnętrznymi elektrycznymi impulsami nerwowymi, dlatego prąd elektryczny płynący w naszym ciele, a spowodowany czynnikiem zewnętrznym, nie jest dla nas obojętny. Zwykle nie zauważamy przepływu przez nasze ciało prądów o natężeniu poniżej 1 mA, ale każde większe natężenie odbieramy raczej jako nieprzyjemne czy nawet bolesne doznania (szczypanie, niekontrolowane skurcze mięśni). Prąd o natężeniu powyżej 20 mA płynący przez całe ciało przez kilkanaście sekund może być niebezpieczny dla zdrowia, a powyżej 70 mA – nawet dla życia. Prąd o natężeniu większym niż kilka amperów, płynący np. tylko w obrębie dłoni, może powodować oparzenia, a nawet martwicę tkanek.

W przypadku kontaktu ze źródłem napięcia szczególnie niebezpieczny jest skurcz mięśni, uniemożliwiający porażonej osobie samodzielne oderwanie się od elementów będących pod napięciem. W takiej sytuacji przez całe ciało przez dłuższy czas może płynąć prąd o natężeniu niebezpiecznym dla życia. Efektem może być utrata przytomności lub zatrzymanie akcji serca. Dlatego **najważniejszą rzeczą w przypadku porażenia prądem jest szybkie odłączenie poszkodowanego od źródła napięcia.**

Aby zminimalizować ryzyko porażenia, w instalacjach elektrycznych w domach stosuje się automatyczne **bezpieczniki różnicowoprądowe** (ryc. 13.5), których zadaniem jest odcięcie zasilania, gdy w instalacji pojawią się nieprawidłowości w przepływie prądu.



Ryc. 13.5. Bezpieczniki różnicowoprądowe w domowej instalacji elektrycznej

Porównują one natężenie prądu wpływającego do obwodu elektrycznego z natężeniem prądu z tego obwodu wypływającego. Podczas normalnej pracy sieci natężenia te są jednakowe, ale w przypadku awarii lub kontaktu człowieka z przewodami część prądu wypływa z obwodu w innym miejscu. Gdy różnica natężeń prądów wpływającego i wypływającego jest większa niż 30 mA, bezpiecznik odłącza zasilanie. Bezpieczniki różnicowoprądowe montuje się oprócz bezpieczników przeciążeniowych.

PODSUMOWANIE

- ▶ **Domowa sieć elektryczna** jest obwodem odbiorników energii elektrycznej połączonych równolegle.
- ▶ **Bezpieczniki przeciążeniowe** odcinają zasilanie, gdy natężenie prądu przekracza wartość bezpieczną dla całego obwodu.
- ▶ **Bezpieczniki różnicowoprądowe** odcinają zasilanie, gdy nastąpi przepływ prądu poza sieć elektryczną.

PYTANIA I ZADANIA

1. Zosia zauważyła, że w czasie 3 godzin sobotniego poranka licznik pokazał wykorzystanie 9 kWh energii elektrycznej. Oblicz średnie natężenie prądu płynącego w tym czasie przez licznik w domu Zosi.
2. Jeden z obwodów domowej instalacji elektrycznej jest zabezpieczony bezpiecznikiem przeciążeniowym 10 A. Czy do tego obwodu można podłączyć piekarnik elektryczny o mocy 2800 W? Uzasadnij odpowiedź.
3. Wyjaśnij różnice w działaniu bezpieczników przeciążeniowych oraz różnicowoprądowych.
4. Naszkicuj schemat instalacji elektrycznej w łazience swojego mieszkania (patrz ryc. 13.2).
5. Listwa zasilająca do komputerów zabezpieczona jest bezpiecznikiem 10 A. Wiktor podłączył do niej komputer, którego pobór mocy wynosi 250 W, oraz monitor, którego moc wynosi 70 W. Wieczorem podłączył do listwy jeszcze lampę o mocy 60 W i w tym momencie bezpiecznik odłączył zasilanie. Czy z tego wynika, że w lampie jest zwarcie? Uzasadnij odpowiedź.

PRĄD ELEKTRYCZNY

NATĘŻENIE PRĄDU I OPÓR ELEKTRYCZNY

- ▶ **Prąd elektryczny** to uporządkowany przepływ cząstek naładowanych.
- ▶ **Źródło napięcia** to element obwodu, którego zadaniem jest wytworzenie pola elektrycznego wewnątrz obwodu.
- ▶ **Natężenie prądu** to stosunek ładunku elektrycznego przepływającego przez przekrój poprzeczny przewodnika do czasu jego przepływu:

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

Jednostką natężenia prądu jest amper: $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$.

- ▶ **Prawo Ohma:** natężenie prądu przepływającego przez opornik jest wprost proporcjonalne do przyłożonego do niego napięcia elektrycznego:

$$I = \frac{1}{R} \cdot U$$

R to opór elektryczny, którego jednostką jest om: $1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$.

- ▶ Im większy jest **opór elektryczny** ciała, tym mniejsze jest natężenie prądu płynącego przy danym napięciu elektrycznym.
- ▶ **Opór przewodników** rośnie wraz ze wzrostem ich temperatury.
- ▶ **Opór półprzewodników** maleje wraz ze wzrostem ich temperatury.

PRĄD JAKO NOŚNIK ENERGII

- ▶ Energia przekazana przez prąd elektryczny o natężeniu I płynący w czasie t pod wpływem napięcia U wyraża się wzorem:

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

- ▶ Moc prądu elektrycznego jest równa iloczynowi napięcia elektrycznego oraz natężenia prądu:

$$P = U \cdot I$$

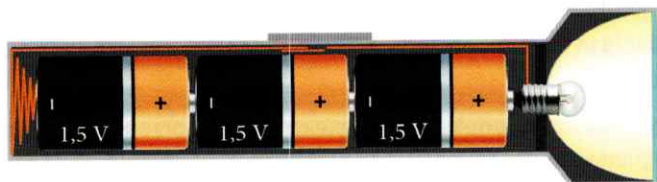
- ▶ Moc czerpana ze źródła napięcia jest równa sumie mocy odbieranych przez poszczególne odbiorniki energii elektrycznej.

OBWODY ROZGAŁĘŻONE

- ▶ **I prawo Kirchhoffa:** suma natężeń prądów wpływających do węzła obwodu jest równa sumie natężeń prądów z niego wypływających.
- ▶ **Domowa sieć elektryczna jest obwodem odbiorników połączonych równolegle.** Napięcie na wszystkich odbiornikach połączonych równolegle jest takie samo.
- ▶ **Bezpieczniki przeciążeniowe** odcinają zasilanie, gdy natężenie prądu przekracza wartość bezpieczną dla całego obwodu.
- ▶ **Bezpieczniki różnicowoprądowe** odcinają zasilanie, gdy nastąpi przepływ prądu poza sieć elektryczną.

PYTANIA I ZADANIA

1. Na schematycznym rysunku przedstawiono przekrój poprzeczny latarki starego typu.



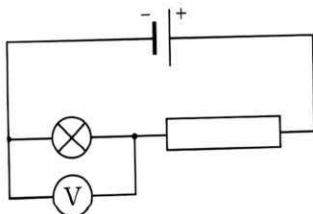
- a) Narysuj schemat obwodu elektrycznego w tej latarce.
b) Jakim napięciem była zasilana żarówka?
2. Oceń prawdziwość zdań. Wybierz P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub F, jeśli jest fałszywe.

1.	Gdy opór elektryczny przewodu będzie coraz mniejszy w wyniku skracania tego przewodu, to pod wpływem tego samego napięcia przez przewód będzie płynął prąd o coraz większym natężeniu.	P	F
2.	Jeśli opór elektryczny przewodów zasilających odbiornik jest mały w porównaniu z oporem odbiornika, to można założyć, że napięcie na odbiorniku jest równe napięciu źródła.	P	F
3.	Wraz ze wzrostem napięcia przyłożonego do opornika rośnie ładunek przepływający przez ten opornik w jednostce czasu.	P	F

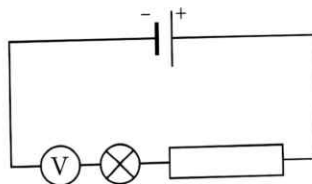
3. Patryk chciał zmierzyć za pomocą woltomierza napięcie na żarówce w pewnym obwodzie prądu.

Wybierz wszystkie poprawne schematy podłączenia woltomierza.

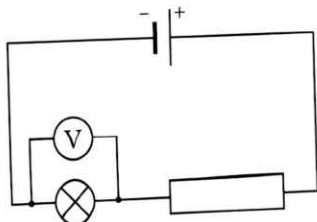
A.



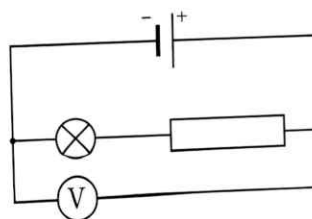
B.



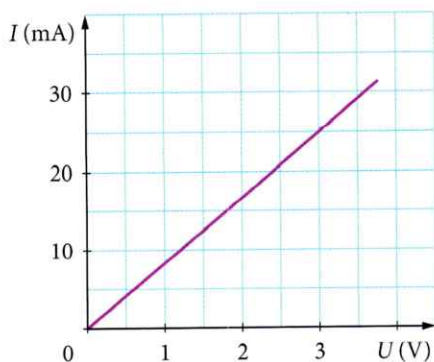
C.



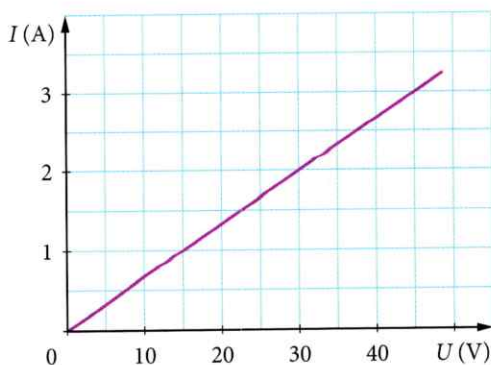
D.



4. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez opornik od przyłożonego do niego napięcia. Na podstawie wykresu wyznacz opór elektryczny opornika.



5. Czajnik elektryczny ma moc 1500 W, a moc piekarnika elektrycznego jest równa 2300 W. Oba urządzenia są przeznaczone do pracy pod napięciem 230 V. Które z tych urządzeń ma większy opór elektryczny? Ile razy większy?
6. Na wykresie przedstawiono zależność natężenia prądu płynącego przez grzałkę od przyłożonego napięcia.

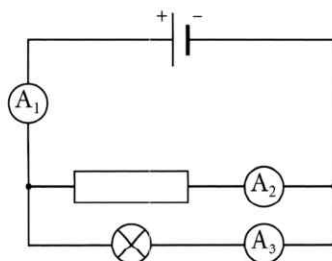


Wybierz właściwe dokończenie zdania spośród A–C oraz jego poprawne uzasadnienie spośród 1–3.

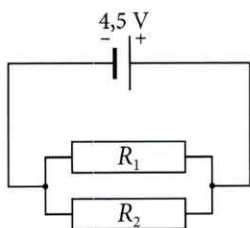
Gdy napięcie zasilające grzałkę wzrośnie dwukrotnie, to moc wydzielona na tej grzałce

A. również wzrośnie dwukrotnie, B. wzrośnie czterokrotnie, C. pozostanie stała,	ponieważ	1. wraz z dwukrotnym wzrostem napięcia natężenie prądu także wzrośnie dwukrotnie.
		2. moc grzałki jest jej cechą, niezależną od parametrów prądu.
		3. natężenie prądu się nie zmienia.

7. W obwodzie przedstawionym na schemacie amperomierz A_1 wskazał 230 mA, a amperomierz A_2 wskazał 170 mA. Jakie były wskazania amperomierza A_3 ?



8. Dwa oporniki podłączono do baterii o napięciu 4,5 V w sposób przedstawiony na schemacie. Oporniki te mają opory $R_1 = 150 \text{ k}\Omega$ oraz $R_2 = 230 \text{ k}\Omega$. Na którym z tych oporników wydzieli się większa moc? Ile razy większa?



9. W pokoju Julii odbiornikami energii elektrycznej są: komputer o mocy 150 W pracujący 8 godzin dziennie, oświetlenie o mocy 40 W pracujące 10 godzin dziennie oraz ładowarka o mocy 10 W pracująca 2 godziny dziennie. Cena 1 kWh energii elektrycznej jest równa 60 groszy. Oblicz miesięczny koszt energii elektrycznej zużywanej w tym pokoju. Zakładamy, że miesiąc ma 30 dni.
10. Fragment domowej sieci elektrycznej jest zabezpieczony bezpiecznikiem 10 A. W obwodzie tym włączone są: lampa o mocy 50 W, telewizor o mocy 200 W oraz czajnik o mocy 1500 W. Wykonaj odpowiednie obliczenia i sprawdź, czy do tego obwodu można jeszcze podłączyć żelazko o mocy 1200 W.