




Badanie zależności oporu od wymiarów przewodnika

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Symulacja interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Badanie zależności oporu od wymiarów przewodnika

Czy to nie ciekawe?

Opór przewodnika zależy od różnych parametrów, którymi nie zawsze interesujemy się, używając gotowych elementów z właściwościami podanymi przez producenta. Okazuje się jednak, że niektóre zależności łatwo zrozumieć, a rozszyfrowanie ich może być tak fascynujące, jak rozwiązywanie zagadek i rebusów. Proponujemy Ci odkrywanie tych zależności przez symulację i dedukcję. Oba sposoby mogą być ciekawe, więc zapraszamy.

Twoje cele

- zbadasz zależność oporu od wymiarów przewodnika,
- poznasz mikroskopowy mechanizm występowania oporu elektrycznego przewodnika,
- zrozumiesz relacje, jakie łączą opór przewodnika z jego długością i polem przekroju,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów pojęciowych, rachunkowych, a nawet techniczno-ekonomicznych.

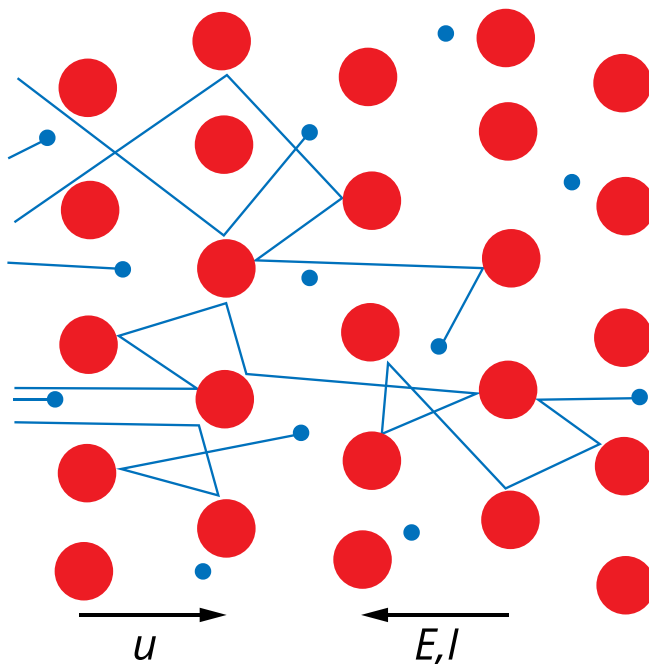
Przeczytaj

Warto przeczytać

Czy można przewidzieć, jaka jest zależność **oporu elektrycznego** przewodnika od jego wymiarów? Spróbujmy.

Fakt, że przewodnik posiada **opór elektryczny** (zwany także **rezystancją**) wynika z mikroskopowego mechanizmu przepływu prądu elektrycznego. Przewodnik składa się z atomów ułożonych w **sieć krystaliczną** oraz elektronów, pochodzących z ostatnich powłok elektronowych, nie związanych z konkretnym atomem. Elektrony te, nazywane są swobodnymi, gdyż mogą się swobodnie poruszać w całej objętości przewodnika.

Gdy do końców przewodnika przyłożymy napięcie, wewnątrz powstaje pole elektryczne, działające siłami elektrostatycznymi na elektrony swobodne. Wskutek działania tych sił, elektrony zyskują dodatkową energię kinetyczną, ale tracą ją podczas zderzeń z atomami **sieci krystalicznej** (Rys. 1.). Zderzenia te są właśnie przyczyną tego, że przewodnik posiada **opór elektryczny**.



Rys. 1. Zderzenia elektronów z jonami sieci krystalicznej.

Opór przewodnika można obrazowo określić, jako jego reakcję na pojawiające się na końcach napięcie elektryczne. Jeśli przy określonej wartości napięcia przez przewodnik płynie prąd o dużym natężeniu, mówimy, że przewodnik ma mały opór. Mała wartość natężenia prądu oznaczałaby, że przewodnik „stawia duży opór” prądowi elektrycznemu.

Zależność tę można zapisać w postaci prawa Ohma:

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

gdzie:

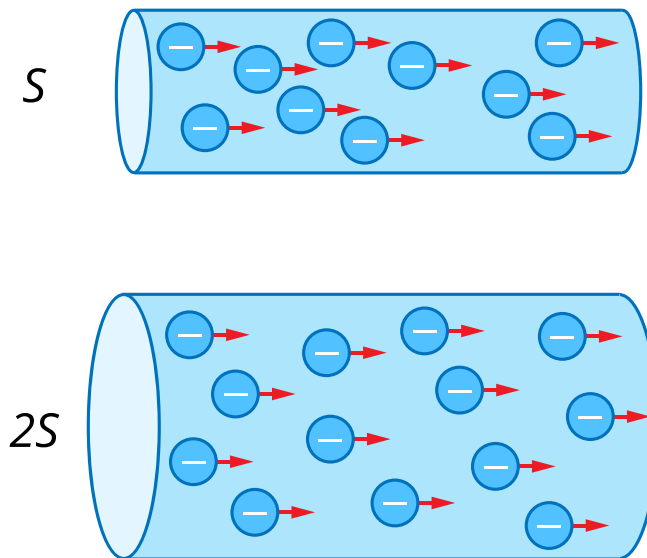
R oznacza **opór elektryczny** przewodnika, U jest napięciem przyłożonym do jego końców, zaś I reprezentuje natężenie prądu, który płynie przez przewodnik.

Jednostką **oporu elektrycznego** jest om, którego symbolem jest Ω .

W dalszej części wygodniej będzie nam korzystać z zależności przekształconej:

$$R = \frac{U}{I}. \quad (2)$$

Rozważmy przewodnik w kształcie długiego pręta, mającego kształt walca. Przykładamy do jego końców napięcie U , co spowoduje przepływ prądu o natężeniu I . Pamiętając o mikroskopowym mechanizmie przepływu prądu wyobraźmy sobie, jak zmieni się liczba przepływających przez przewodnik elektronów, gdy pole jego przekroju poprzecznego powiększymy dwukrotnie. Pomoże nam w tym Rys. 2.



Rys. 2. Wpływ dwukrotnego zwiększenia pola przekroju poprzecznego przewodnika na natężenie prądu, przy zachowaniu przyłożonego napięcia.

Średnia gęstość elektronów, czyli ich liczba na jednostkę objętości, jest własnością materiału, z którego wykonano przewodnik. Po dwukrotnym zwiększeniu jego pola przekroju, na elektrony nadal działa taka sama siła pochodząca od pola elektrycznego, wynikająca z przyłożonego napięcia U , ale w jednostce czasu może przez niego przepłynąć dwa razy więcej elektronów. Tak, jak przez dwa razy szersze drzwi przejdzie dwa razy więcej osób lub przez rurę o dwa razy większym przekroju przepłynie dwa razy więcej wody. Jeśli pole przekroju poprzecznego zwiększymy n razy, prąd także zwiększy się n razy. Możemy więc napisać, że przy stałej wartości U :

$$I \sim S. \quad (3)$$

Wykorzystując wzór (2) stwierdzamy zatem, że:

$$R \sim \frac{1}{S}. \quad (4)$$

A teraz wyobraźmy sobie ten sam przewodnik, którego długość zwiększymy dwukrotnie, zachowując wyjściową liczbę poruszających się elektronów (czyli natężenie prądu).

Poruszając się wzdłuż przewodnika, elektrony cały czas tracą energię potencjalną związaną z istnieniem w przewodniku pola elektrycznego. Jak wspominaliśmy, zamienia się ona w energię kinetyczną, traconą następnie wskutek zderzeń z atomami [sieci krystalicznej](#). Podwójna długość przewodnika oznacza podwójny spadek energii każdego elektronu w jego wędrówce z jednego końca przewodnika na drugi. Wynika z tego, że spadek napięcia na końcach przewodnika jest proporcjonalny do długości przewodnika, przy stałej wartości natężenia prądu I :

$$U \sim l. \quad (5)$$

Wykorzystując wzór (2) stwierdzamy, że:

$$R \sim l. \quad (6)$$

Zestawiając wydedukowane zależności, opisane wzorami (4) i (6) otrzymujemy:

$$R \sim \frac{l}{S}. \quad (7)$$

Przewidzieliśmy więc na drodze dedukcji, w oparciu o znajomość mikroskopowego mechanizmu przepływu prądu, jak [opór elektryczny](#) przewodnika zależy od jego długości i pola przekroju poprzecznego.

Współczynnik proporcjonalności we wzorze (7) zależy od własności materiału, z którego wykonano przewodnik, nosi nazwę [oporu właściwego](#) lub [rezystywności](#) i oznacza grecką literą ρ :

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Oporowi właściwemu jest poświęcony materiał pt. *Jak definiuje się opór właściwy materiału i jaka jest jego jednostka?*

Słowniczek

opór elektryczny (rezystancja)

(*ang.: resistance*) współczynnik proporcjonalności określający relację pomiędzy napięciem przyłożonym na końcach elementu a natężeniem przepływającego przez niego prądu, dla obwodów prądu stałego.

opór właściwy

(*ang.: specific resistance*) właściwość materiału opisująca przewodzenie prądu elektrycznego, wyrażana w jednostkach om·metr ($\Omega\cdot\text{m}$).

sieć krystaliczna

(*ang.: crystal lattice*) ułożenie atomów lub cząsteczek w ciele stałym, charakteryzujące się uporządkowaniem oraz symetrią. W metalach sieć tworzą jony dodatnie atomów.

Symulacja interaktywna

Badanie zależności oporu od wymiarów przewodnika

Zamieszczona symulacja umożliwi badanie oporu elektrycznego R przewodnika w kształcie walca, przez który płynie prąd. Zmieniając wymiary przewodnika, to znaczy jego długość l i pole przekroju poprzecznego S , możesz obserwować, jak zmienia się jego opór. Ustalenie charakteru zależności $R(l, S)$ ułatwia wykres, na którym, na osi poziomej (tj. odciętych) można dobrać różne wielkości fizyczne.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Polecenie 1

Poniższe stwierdzenia dotyczą przewodnika wykonanego z konkretnego materiału. W puste miejsca należy wstawić jedno ze stwierdzeń, do wyboru.

Opór przewodnika R jest jego długości l .

Opór przewodnika R jest jego pola przekroju poprzecznego S .

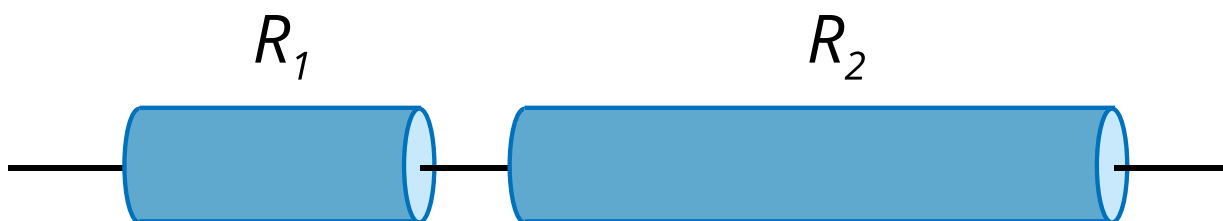
Polecenie 2

Oszacuj wartość oporu właściwego ρ materiału, z którego jest wykonany opornik w symulacji interaktywnej, a następnie, korzystając z tablic fizycznych (lub z informacji zamieszczonych w Internecie) sprawdź, jaki materiał ma podobną wartość tego parametru.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Opornik o długości 3 m i oporze elektrycznym równym 30Ω przecięto na dwie części od długości 1 m i 2 m oraz połączono przewodnikami, których opór można zaniedbać, w układ szeregowy, jak na rysunku. Jaki jest opór oporników R_1 i R_2 ?

$$R_1 = \text{[input box]} \Omega$$

$$R_2 = \text{[input box]} \Omega$$

Ćwiczenie 2



Uczeń rozplótł opornik zbudowany z dwóch splecionych żył i zmierzył, że dwa powstałe w ten sposób oporniki mają opór 10Ω każdy. Jaki był opór elektryczny wyjściowego, splecionego opornika?

$$\text{Odpowiedź: [input box]} \Omega$$

Ćwiczenie 3



Wyraż jednostkę oporu elektrycznego w jednostkach podstawowych układu SI.

$$\Omega = \boxed{} \cdot \boxed{}^2 / (\boxed{}^2 \cdot \boxed{}^3)$$

A kg s V m

Ćwiczenie 4



Współczynnik proporcjonalności ρ w równaniu $R = \frac{l}{S}$ nosi nazwę oporu właściwego (rezystancji właściwej). Wyznacz jednostkę tej wielkości fizycznej.

$$[\rho] = \boxed{} \cdot \boxed{}$$

A s² Ω m s kg

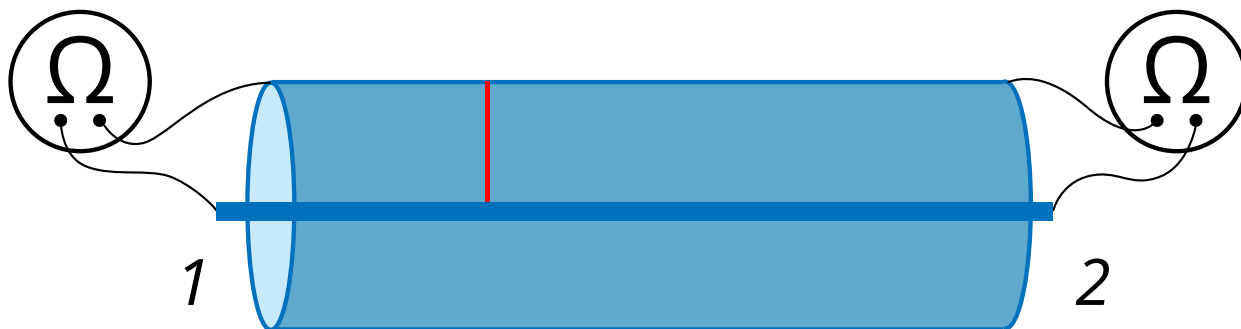
Ćwiczenie 5



Opór elektryczny przewodnika w kształcie długiego, cienkiego walca wyznaczono w oparciu o znaną wartość oporu właściwego materiału, z którego go wykonano, oraz pomiar długości i średnicy przekroju poprzecznego. Pomiary wykonano linijką z dokładnością do 1 mm. Który z tych pomiarów, Twoim zdaniem, w większym stopniu wpływa na niepewność pomiarową wyniku końcowego?

- oba pomiary wpłynęły na niepewność pomiarową wyniku w tym samym stopniu
- pomiar długości przewodnika
- w opisanym doświadczeniu opór przewodnika wyznaczono bezbłędnie.
- pomiar średnicy przekroju poprzecznego przewodnika

Ćwiczenie 6



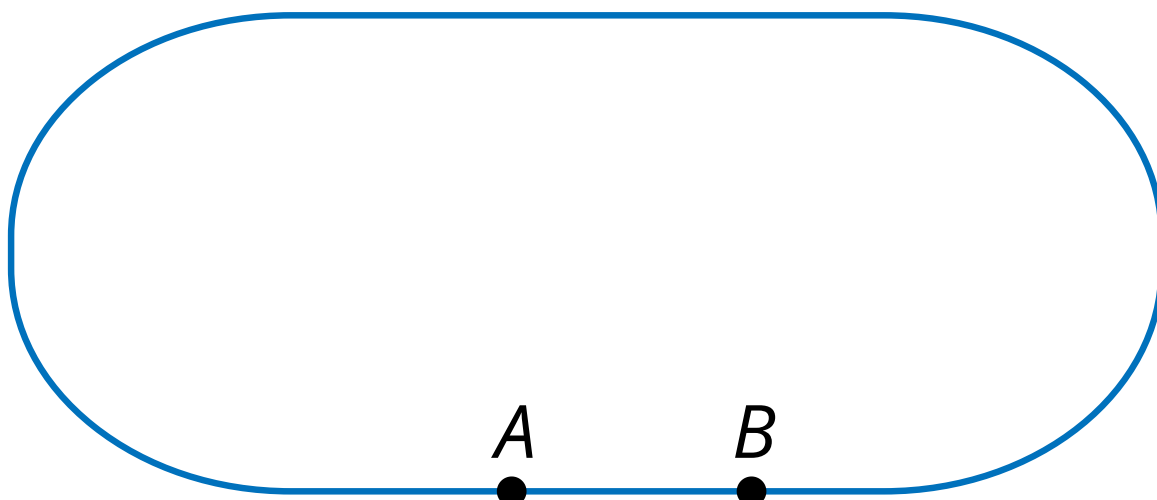
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Przewód koncentryczny zbudowany jest z wewnętrznej żyły otoczonej izolatorem, na którym znajduje się przewodząca osłona. Przewód ten uległ uszkodzeniu w nieznanym miejscu, to znaczy żyła i osłona zostały zwarte. Wykonano więc pomiary - na obu końcach podłączono omomierze i uzyskano wyniki: na pierwszym końcu $R_1 = 1/3 \Omega$, na drugim, $R_2 = 1 \Omega$. Długość przewodu wynosi $l = 12 m$. W jakiej odległości od końca nr 1 nastąpiło przebicie?

Odpowiedź: m

Ćwiczenie 7



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Na stadionie dwa punkty A i B, oddalone o 40 m połączono dwoma przewodami: jeden z nich biegnie po linii prostej a drugi, naokoło bieżni. Bieżnia ma całkowitą długość równą 400 m. Krótszy przewód ma średnicę równą 2 mm. Jaką średnicę powinien mieć dłuższy przewód, aby po podłączeniu źródła napięcia do punktów A i B przez obie gałęzie płynął prąd o jednakowym natężeniu?

Odpowiedź: mm

Ćwiczenie 8



Jakich przewodów należy używać, z ekonomicznego punktu widzenia, do przesyłania energii elektrycznej na duże odległości? Przemysł swoją opinię, a następnie porównaj z odpowiedzią.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Sobiepan
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Badanie zależności oporu przewodnika od jego wymiarów
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>8) rozpoznaje zależność rosnącą bądź malejącą na podstawie danych z tabeli lub na podstawie wykresu; rozpoznaje proporcjonalność prostą na podstawie wykresu;</p> <p>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji.</p> <p>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>3) analizuje zależność oporu od wymiarów przewodnika, posługuje się pojęciem oporu właściwego materiału i jego jednostką.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none">• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,• kompetencje cyfrowe,• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. zbada doświadczalnie zależność oporu od wymiarów przewodnika, wykorzystując cyfrowe metody pomiarowe. 2. pozna mikroskopowy mechanizm występowania oporu elektrycznego przewodnika. 3. zrozumie relacje, jakie łączą opór przewodnika z jego długością i polem przekroju. 4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązania problemów pojęciowych i rachunkowych.
Strategie nauczania:	Strategia eksperymentalno-obszewacyjna
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - poszukująca, - laboratoryjna.
Formy zajęć:	<ul style="list-style-type: none"> - praca w parach, - praca w grupach, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	Tablety do dyspozycji każdego ucznia, symulacja interaktywna, zestaw zadań, zestaw doświadczalny (oporniki o różnych długościach i polach przekroju, źródło napięcia, przewody połączeniowe), cyfrowe czujniki pomiarowe (woltomierz i amperomierz) z oprogramowaniem dydaktycznym pozwalającym na wyświetlanie wielkości przekształconych matematycznie (np. PASCO).
Materiały pomocnicze:	e-materiał: Badanie zależności oporu od wymiarów przewodnika.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<ul style="list-style-type: none"> - Zaciekawienie uczniów (wg „Czy to nie ciekawe” e-materiału). - Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji. - Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy: (opór elektryczny, jako współczynnik proporcjonalności pomiędzy natężeniem prądu a przyłożonym napięciem, źródła błędów i niepewności pomiarowych). 	
Faza realizacyjna:	

- Uczniowie pracują indywidualnie lub w parach nad symulacją interaktywną – badają, jakie zależności należy mierzyć, by zbadać pożądane relacje. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i odpowiedzi.
- Uczniowie otrzymują zestawy doświadczalne i zadanie, by zbadać zależność opornika od jego długości (połowa grup) i pola przekroju (druga połowa grup). W odróżnieniu od symulacji, uczniowie badają kilka różnych oporników, otrzymując wobec tego tylko kilka punktów pomiarowych. Ważne, by wybrali (lub wpisali odpowiednią operację matematyczną) właściwą wielkość na poziomej osi wykresu i włączyli tryb ręcznego, a nie automatycznego odczytu danych. Po zapisaniu danych powinni dopasować funkcje do otrzymanych wyników i wyciągnąć wnioski.
- Nauczyciel podsumowuje pracę grup prosząc o krótkie relacje, by wszyscy uczniowie poznali obie zależności.
- W celu sprawdzenia nabytej wiedzy, uczniowie rozwiązują w parach zadania nr: 1, 2, 3, 5, 8.

Faza podsumowująca:

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

Praca domowa:

Uczniowie utrwalają wiedzę i poszerzają rozumienie czytając tekst „Warto przeczytać” e-materiału oraz rozwiązując w domu zadania nr: 4, 6, 7.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące
różne
zastosowania
danego
multimedium:**

Symulacja może zostać użyta zarówno do przygotowania się uczniów do nadchodzącej lekcji jak i do podsumowania przerobionych tematów. Będzie również pomocna przy omawianiu sposobów prowadzenia doświadczeń oraz szacowania niepewności pomiarowych.