



## Badanie zależności oporu od temperatury dla półprzewodników

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Wirtualne laboratorium WL-I](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



## Badanie zależności oporu od temperatury dla półprzewodników

### Czy to nie ciekawe?

Dla metali, typowych materiałów stosowanych do przewodzenia prądu, właściwy jest wzrost oporu elektrycznego wraz ze wzrostem temperatury. Dla półprzewodników samoistnych - bez domieszek, wzrost temperatury powoduje spadek oporu. Z czego wynikają te różnice? Jak się bada zależność oporu od temperatury? Tego dowiesz się z tego e- materiału.



Fot. a. **Taśma ledowa**. Diody półprzewodnikowe są powszechnie kojarzone z dwoma zastosowaniami: jako źródła światła (np. diody LED) i jako elementy układów odpowiedzialne za „prostowanie” prądu. Diody powodują, że prąd w obwodzie płynie tylko w jedną stronę. Nie są to jednak jedyne możliwości ich zastosowania. O innych zastosowaniach diód półprzewodnikowych możesz przeczytać w e-materiale pt. "Do czego służy dioda półprzewodnikowa?".

## Twoje cele

- dowiesz się, jakie czynniki wpływają na opór elektryczny materiałów,
- poznasz metodę badania zależności oporu materiałów od temperatury,
- zrozumiesz, dlaczego i jak temperatura wpływa na opór elektryczny półprzewodników,
- zdobytą wiedzę zastosujesz do rozwiązywania zadań,
- przeprowadzisz doświadczenie w wirtualnym laboratorium, w którym zbadasz zależność oporu półprzewodników od temperatury,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz wyniki wykonanych pomiarów.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

**Opór elektryczny**  $R$  jednorodnego przewodnika o stałym przekroju jest proporcjonalny do jego długości  $l$  i odwrotnie proporcjonalny do powierzchni przekroju poprzecznego  $S$ :

$$R \propto \frac{l}{S}.$$

Współczynnik proporcjonalności, który należałoby w powyższym wyrażeniu dopisać, by wyrażenie to przedstawić w postaci równania, zależy od materiału z jakiego wykonany jest przewodnik. Współczynnik ten nosi nazwę **oporu elektrycznego właściwego** i jest cechą charakterystyczną materiału, która określa jego zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego.

### Ważne!

Dla przewodników mających kształt pręta (np. walca) o długości  $l$  i powierzchni przekroju  $S$ , **opór elektryczny właściwy**  $\rho$  definiuje się wzorem:

$$\rho = \frac{RS}{l},$$

gdzie  $R$  jest rezystancją przewodnika. Zauważmy, że jednostką oporu właściwego jest  $1 \Omega \cdot \text{m}$  (om razy metr). Zauważmy też, że opór właściwy można rozumieć jako opór elektryczny przewodnika jednorodnego o długości 1 m i przekroju poprzecznym  $1 \text{ m}^2$ . Im mniejszy opór elektryczny właściwy materiału, tym lepiej przewodzi on prąd elektryczny.

Opór elektryczny właściwy związany jest z właściwościami mikroskopowymi materiału poprzez koncentrację nośników  $n$  i ich ruchliwość  $\mu$ .

**Koncentrację nośników** oznacza się literą  $n$ . Jest to ilość nośników ładunku elektrycznego (np. elektronów) w jednostce objętości materiału.

**Ruchliwość nośników** oznacza się literą  $\mu$ . Opisuje ona wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na średnią prędkość [dryfu nośników](#) i wyraża się wzorem:

$$\mu = \frac{u}{E},$$

gdzie  $u$  – średnia prędkość dryfu nośników,  $E$  – wartość natężenia zewnętrznego pola elektrycznego.

### Ważne!

Związek między oporem elektrycznym właściwym a ruchliwością i koncentracją nośników wyraża wzór:

$$\rho = \frac{1}{ne\mu}.$$

gdzie  $e$  jest ładunkiem elektronu.

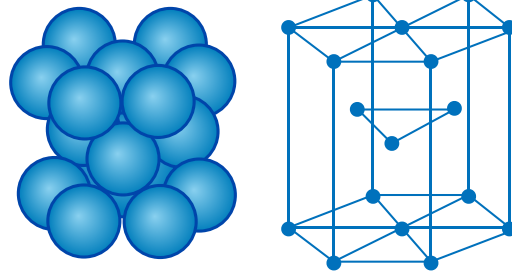
Poniższa tabela (Tab. 1.) przedstawia podsumowanie różnic między metalami i półprzewodnikami.

Tab. 1. Różnice i podobieństwa między metalami i półprzewodnikami.

	<b>Metale</b>	<b>Półprzewodniki</b>
<b>Wiązania chemiczne</b>	<b>Wiązanie metaliczne</b> - za utrzymanie atomów odpowiada chmura swobodnych elektronów, słabo wiążące sąsiednie atomy	<b>Kowalencyjne</b> ukierunkowane – silnie wiążące sąsiednie atomy

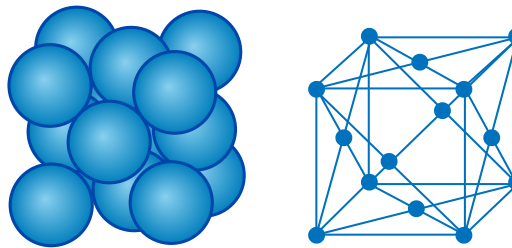
## Metale

## Półprzewodniki



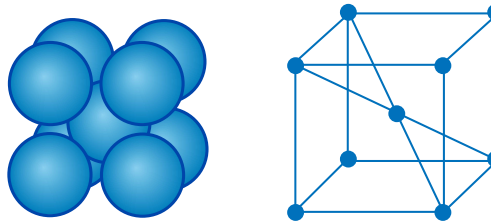
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki,  
licencja: CC BY 4.0.

### heksagonalna



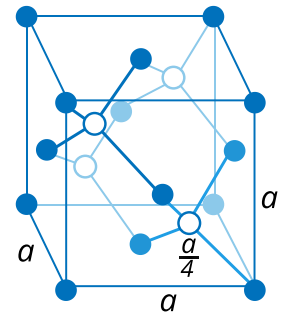
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki,  
licencja: CC BY 4.0.

### regularna ściennie centrowana



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

### regularna przestrzennie centrowana



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

### struktura diamentu

**Typowa  
struktura  
krystaliczna**

	<b>Metale</b>	<b>Półprzewodniki</b>
<b>Nośniki prądu</b>	elektrony	elektrony i dziury
<b>Koncentracja nośników</b>	$\sim 10^{28} \text{ m}^{-3}$ słabo zależy od temperatury	$10^{12}$ do $10^{16} \text{ m}^{-3}$ w półprzewodnikach samoistnych silnie zależy od temperatury
<b>Ruchliwość nośników</b>	$\sim 10^{-3} \text{ m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$	0,05 – 8 $\text{m}^2/\text{V} \cdot \text{s}$
<b>Typowa energetyczna przerwa wzbroniona</b>	Nie występuje	0,1- 3 eV
<b>Opór elektryczny właściwy</b>	$10^{-6} - 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	1 - $10^4 \Omega \cdot \text{m}$
<b>Wpływ temperatury na opór elektryczny</b>	Ze wzrostem temperatury opór rośnie	Ze wzrostem temperatury opór maleje
<b>Wpływ domieszek</b>	Dodatkowe atomy zaburzają strukturę krystaliczną, co powoduje zmniejszenie ruchliwości elektronów swobodnych i zwiększenie oporu elektrycznego	Domieszki wprowadzają dodatkowe nośniki prądu powodując zmniejszenie oporu elektrycznego
<b>Zastosowania</b>	Materiały konstrukcyjne, przewodzenie, obwody elektryczne, elementy przewodzące prąd elektryczny	Przetwarzanie sygnałów elektrycznych

	<b>Metale</b>	<b>Półprzewodniki</b>
<b>Właściwości mechaniczne</b>	Kowalne i ciągliwe, podlegają obróbce plastycznej	Twarde i kruche

W metalach koncentracja nośników, którymi są elektrony, praktycznie nie zależy od temperatury. Inaczej jest z ruchliwością, która maleje z temperaturą, ponieważ szybciej poruszające się elektrony częściej zderzają się z atomami [sieci krystalicznej](#) metalu. W wyniku takich zderzeń elektrony tracą energię uzyskiwaną od zewnętrznego pola elektrycznego. Skutkiem tego jest wzrost oporu metali z temperaturą. W dużym zakresie temperatur przyrost oporu metali jest wprost proporcjonalny do przyrostu temperatury.

**W półprzewodnikach występują dwa rodzaje nośników prądu: elektrony – nośniki ładunku ujemnego i dziury (czyli wolne miejsca po elektronach), które są nośnikami ładunku dodatniego.** Koncentracja tych nośników zależy od temperatury, a także od domieszek, które wprowadza się do półprzewodnika właśnie w celu zmiany koncentracji jego nośników.

W półprzewodnikach, podobnie jak w metalach, **wzrost temperatury** powoduje wzrost energii drgań atomów [sieci krystalicznej](#). Zwiększa to istotnie prawdopodobieństwo uzyskania przez [elektrony walencyjne energii](#) z zakresu [pasma przewodnictwa](#). Więcej o pasmowej teorii przewodnictwa możesz przeczytać w e-materiale „Jak zbudowane są metale?”. Przejściu elektronu walencyjnego do pasma przewodnictwa towarzyszy powstanie dziury w pasmie walencyjnym – jednocześnie powstaje para nośników prądu mających przeciwny znak. Dlatego w półprzewodnikach samoistnych koncentracja nośników obu rodzajów jest jednakowa. Wpływ temperatury na koncentrację nośników w półprzewodnikach samoistnych przedstawia poniższa tabela (Tab. 2.).

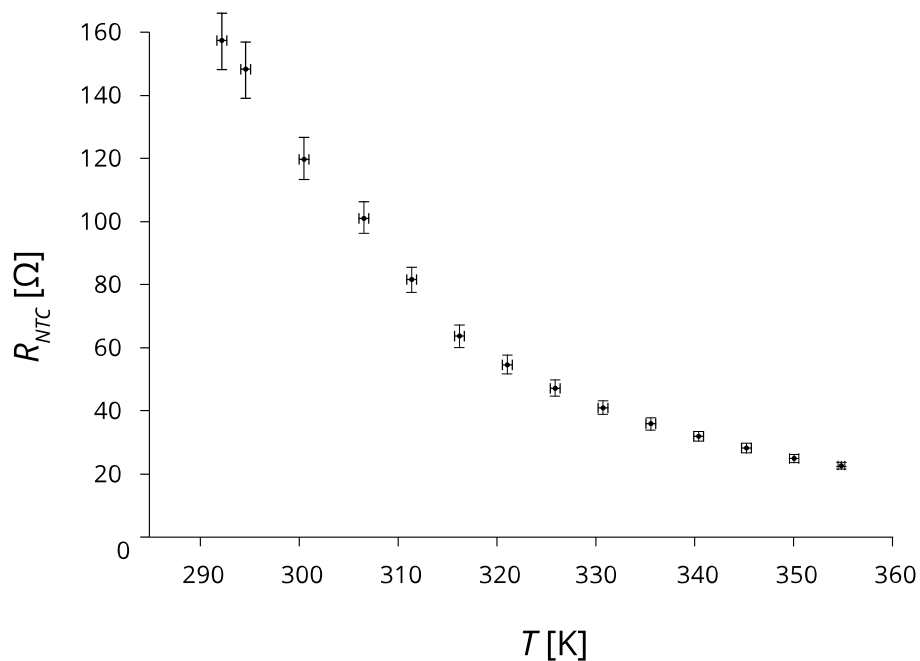
Tab. 2. Koncentracja nośników samoistnych w półprzewodnikach w różnych temperaturach (Si - krzem, Ge - german , GaAs - arsenek galu).

T [K]	n [m <sup>-3</sup> ]		
	Si	Ge	GaAs
200	6,1·10 <sup>10</sup>	5,5·10 <sup>16</sup>	10 <sup>6</sup>

T [K]	n [m <sup>-3</sup> ]		
	Si	Ge	GaAs
300	1,5·10 <sup>16</sup>	2,4·10 <sup>19</sup>	10 <sup>13</sup>
500	9,2·10 <sup>19</sup>	7,7·10 <sup>21</sup>	6,1·10 <sup>17</sup>
700	1,0·10 <sup>22</sup>	2,7·10 <sup>23</sup>	1,7·10 <sup>20</sup>

Z przedstawionych danych widać, że wzrost temperatury o kilkaset kelwinów powoduje silny – o kilka rzędów wielkości – wzrost koncentracji nośników prądu.

Drugim czynnikiem, w znacznie jednak mniejszym stopniu wpływającym na opór elektryczny właściwy, jest ruchliwość nośników, która zależy przede wszystkim od czasu między zderzeniami dryfujących nośników z drgającymi atomami sieci krystalicznej. Podobnie jak w metalach, nośniki tracą energię w wyniku zderzeń z drgającymi atomami sieci krystalicznej, co powoduje spadek ruchliwości z temperaturą. Ponieważ jednak **koncentracja nośników rośnie zdecydowanie silniej z temperaturą niż maleje ruchliwość**, opór elektryczny właściwy półprzewodników maleje ze wzrostem temperatury, praktycznie w całym zakresie temperatur. Przykładowy wykres zależności oporu od temperatury dla elementu półprzewodnikowego pokazano na Rys. 1.



Rys. 1. Wykres zależności oporu elektrycznego od temperatury dla elementu półprzewodnikowego – termistora typu NTC. Termistory wykorzystuje się jako czujniki temperatury.

Z przedstawionego wykresu wynika, że przy wzroście temperatury od  $290\text{ K} = 17^\circ\text{C}$  do  $350\text{ K} = 77^\circ\text{C}$  opór elektryczny badanego elementu półprzewodnikowego maleje od około  $160\ \Omega$  do około  $20\ \Omega$ . Oznacza to, że wzrost temperatury o  $60^\circ\text{C}$  powoduje aż ośmiokrotny spadek oporu.

**Aby wyznaczyć zależność oporu półprzewodnika od temperatury potrzebny jest:**

- miernik oporu elektrycznego, czyli omomierz, choć może to też być multimetr z możliwością pomiaru oporu elektrycznego,
- termostat z termometrem,
- przewody łączące,
- próbki półprzewodników.

Omomierz ma własne źródło napięcia i w swoim działaniu wykorzystuje prawo Ohma. Zazwyczaj przy ustalonym napięciu mierzy on natężenie prądu płynącego przez badany element.

Badany element z dołączonym omomierzem umieszczamy w termostacie, który pozwala na podgrzewanie próbki i utrzymanie stałej, określonej temperatury (Rys. 2.).



Rys. 2. Zestaw do pomiaru zależności oporu od temperatury. Badana próbka jest umieszczona we wnęce pomiarowej - W. Pozostałe oznaczenia wykorzystane na rysunku to: O - omomierz, T - termometr, P - pokrętko regulacji temperatury, K - włącznik aparatury.

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

Zwiększając temperaturę dokonujemy pomiaru oporu omomierzem. Na podstawie wyników możemy sporządzić wykres ilustrujący zależność oporu od temperatury.

Należy pamiętać, aby przy zwiększaniu temperatury przed dokonaniem pomiaru oporu odczekać chwilę, aby próbka mogła wyrównać temperaturę w całej objętości.

## Słowniczek

### **dryf elektronów**

(ang.: *electron drift*) – przemieszczanie się elektronów w sposób uporządkowany pod wpływem zewnętrznego czynnika wymuszającego – np. pola elektrycznego (Encyklopedia szkolna fizyka, wyd. Zielona Sowa 2006).

### **energetyczna przerwa wzbroniona**

(ang.: *energy gap*) odległość energetyczna między pasmem walencyjnym i pasmem przewodnictwa, która określa minimalną energię, jaką muszą uzyskać elektrony związane z atomem, aby stały się elektronami swobodnymi.

### **konduktywność (przewodnictwo elektryczne właściwe)**

(ang.: *conductivity*) odwrotność rezystywności, wielkość charakteryzująca przewodnictwo elektryczne materiału.

### **opór właściwy (rezystywność)**

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

### **opór elektryczny (rezystancja)**

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

### **pasmo przewodnictwa**

(*ang.: conduction band*) pasmo energetyczne określające zakres energii elektronów, przy której mogą się one przemieszczać w całej objętości ciała.

### **pasmo walencyjne**

(*ang.: valence band*) (pasmo podstawowe) – zakres energii, jaką mają elektrony walencyjne związane z jądrem atomu.

### **sieć krystaliczna**

(*ang.: crystal lattice*) ułożenie atomów lub cząsteczek w ciele stałym charakteryzujące się uporządkowaniem oraz symetrią.

# Wirtualne laboratorium WL-I

---

## Badanie zależności oporu od temperatury dla wybranych półprzewodników

Przeprowadź dwuczęściowy eksperyment w wirtualnym laboratorium. Wykonaj ćwiczenia i polecenia związane z wyposażeniem laboratorium, przeprowadzeniem pomiarów i podsumowaniem ich wyników.

## Doświadczenie 1

### Badanie zależności oporu od temperatury dla półprzewodnika samoistnego

#### Problem badawczy

---

Jak zależy opór elektryczny półprzewodnika samoistnego od jego temperatury?

#### Hipoteza

---

Postaw swoją hipotezę badawczą – wybierz jedną z możliwości przedstawionych poniżej.

#### Ćwiczenie 1

#### Co będzie potrzebne

---

#### Ćwiczenie 2

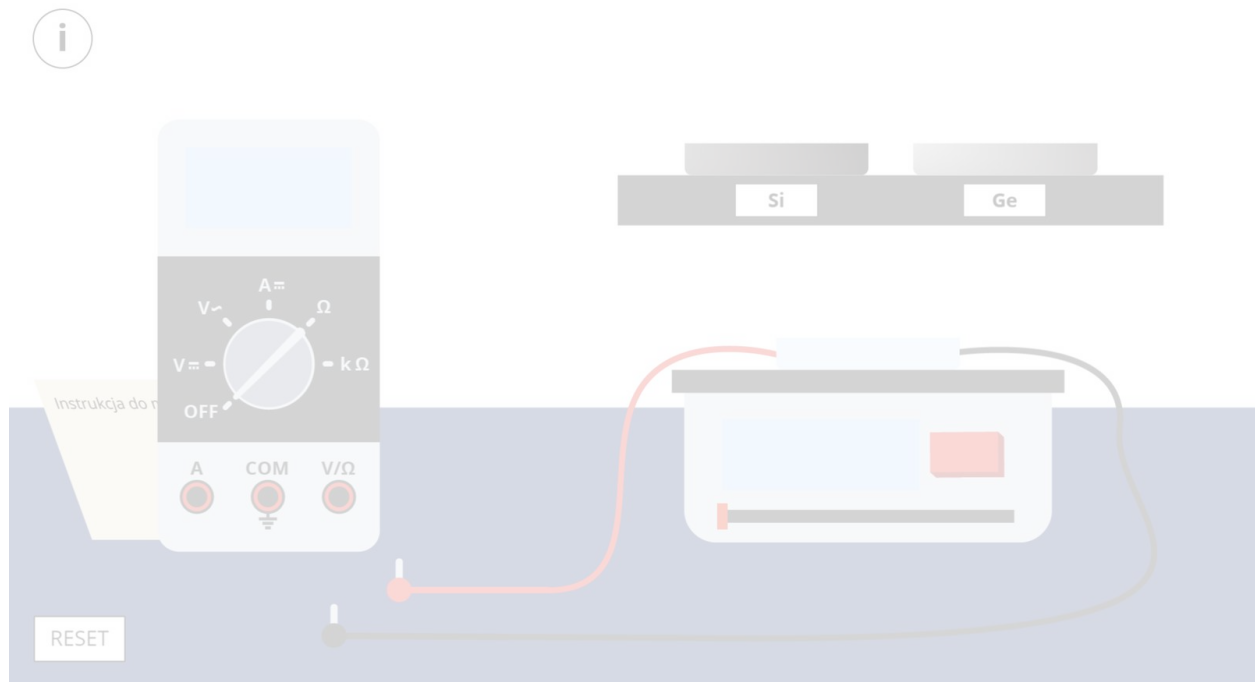
#### Instrukcja

---

Wybierz jeden z półprzewodników, który będziesz badać w doświadczeniu: krzem (Si) albo german (Ge).

Przeczytaj instrukcję zawartą w wirtualnym laboratorium i wykonaj eksperyment tak, jak w niej to zapisano (ale tylko dla jednego, wybranego przez Ciebie materiału). Tabelę do zapisu wyników znajdziesz pod laboratorium.

Pamiętaj, że procesy cieplne zachodzą powoli i po zmianie temperatury płyty trzeba odczekać, aż ustali się jej stabilna wartość.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DuLYfTdXI>

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

## Podsumowanie

Wykonaj wykres zależności  $R(T)$  zgodnie z wytycznymi zapisanymi w instrukcji do wirtualnego laboratorium.

### Ćwiczenie 3

Do formularza poniżej wpisz krótkie podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonego eksperymentu. Zawrzyj w nim co najmniej:

1. Opis charakteru uzyskanej zależności.
2. Informację, czy Twoja hipoteza badawcza potwierdziła się.
3. Wyjaśnienie, jakie zjawiska fizyczne są przyczyną takiego przebiegu zależności oporu od temperatury półprzewodnika, jaki uzyskaliśmy w doświadczeniu.

## Doświadczenie 2

### Precyzyjne zbadanie zależności oporu od temperatury dla dwóch półprzewodników samoistnych i porównanie badanych zależności

#### Problem badawczy

---

Czym różnią się zależności oporu od temperatury  $R(T)$  dla krzemu i germanu?

#### Hipoteza

---

Charakter obu zależności jest zbliżony, ale wartość oporu właściwego germanu jest dużo mniejsza niż krzemu.

#### Co będzie potrzebne

---

##### Ćwiczenie 4

Wykonując poprzednie doświadczenie można było zauważyć, że zmieniając nieznacznie położenie suwaka regulacyjnego płyty grzewczej osiąga się różne wartości oporu dla tej samej temperatury, gdy jest ona niska (szczególnie dla krzemu) oraz uzyskuje się szeroki zakresu temperatur (dla wysokich jej wartości), przy którym opór elektryczny jest taki sam (szczególnie dla germanu). Co należy zrobić, by zwiększyć precyzję pomiaru punktów zależności  $R(T)$  w tym doświadczeniu?

#### Instrukcja

---

Przygotuj się do wykonania doświadczenia, w którym precyzyjnie wyznaczysz zależność  $R(T)$  dla obu półprzewodników. Ponieważ nie dysponujesz ani dokładniejszym termometrem ani omomierzem, zastosuj drugą z sugerowanych wyżej metod.

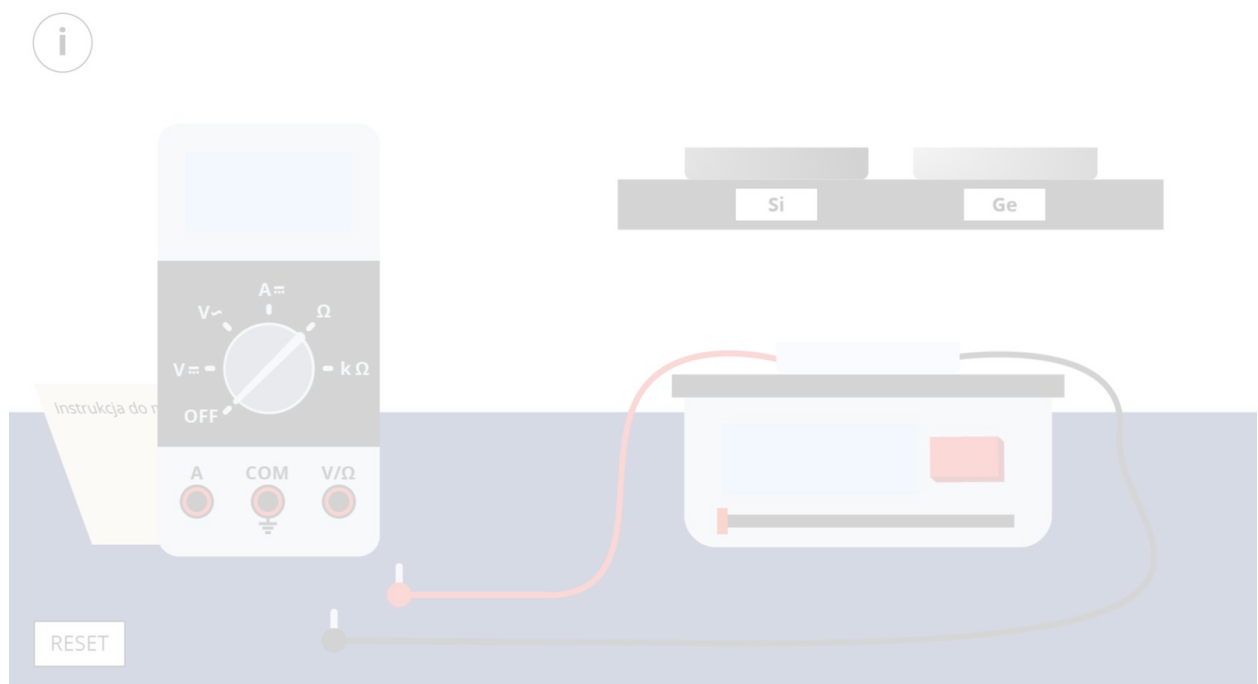
Przeanalizuj tabele przygotowane do zapisywania danych doświadczalnych. Po wykonaniu pomiarów sporządź wykresy zależności  $R(T)$ , oddzielnie dla obu półprzewodników. Nanieś słupki niepewności pomiarowych, których długość jest równa podwójnej niepewności standardowej  $u(T)$  oraz  $u(R)$ . Pamiętaj o zależności:

$$u(T) = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}}$$

gdzie niepewność graniczna  $\Delta T$  jest połową wyznaczonego doświadczalnie przedziału zmienności temperatury dla tego samego oporu lub najmniejszą podziałką skali termometru (w zależności od tego, która z tych wielkości jest większa).

Analogiczna procedura dotyczy  $u(R)$ .

Więcej informacji na temat sporządzania wykresów i zaznaczania na nich niepewności pomiarowych znajdziesz w e-materiale „Przedstawianie niepewności pomiarowych w formie graficznej”.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DuLYfTdXI>

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

## Podsumowanie




---

## Ćwiczenie 5

Do formularza poniżej wpisz krótkie podsumowanie i wnioski wynikające z przeprowadzonego eksperymentu. Zawrzyj w nim co najmniej:

1. Opis charakteru uzyskanych zależności oraz ich porównanie.
2. Informację, czy hipoteza badawcza potwierdziła się.
3. Przedyskutuj kwestię niepewności pomiarowych w tym doświadczeniu. Zastanów się, czy w świetle uzyskanych wyników trzeba zweryfikować przyjęte w pierwszym doświadczeniu założenia dotyczące wartości niepewności pomiarowych.

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

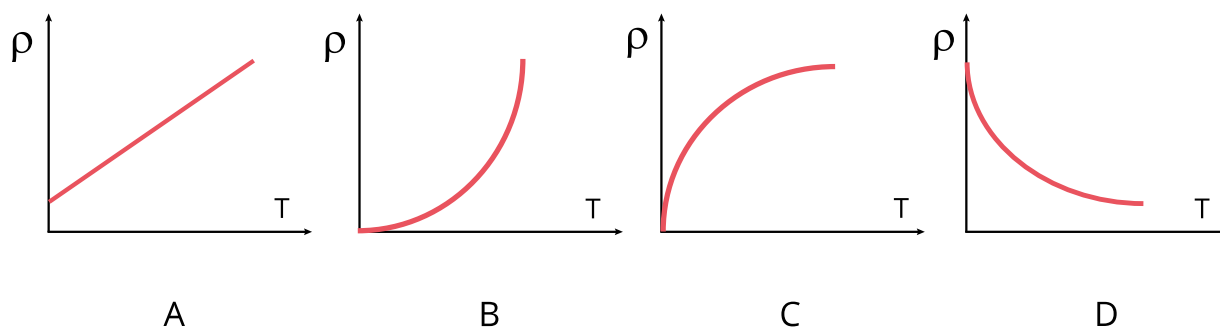
Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



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

Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6

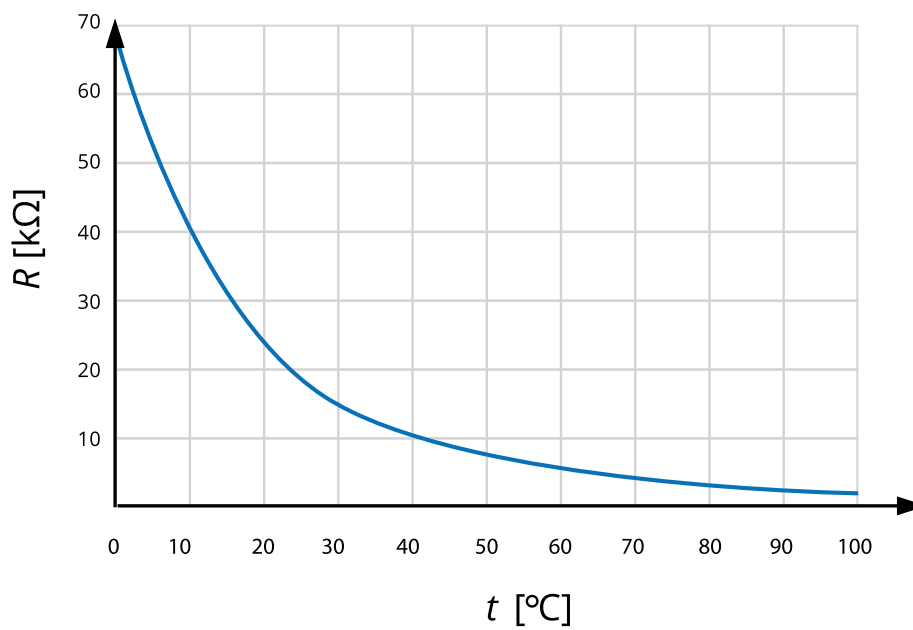


Ćwiczenie 7



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

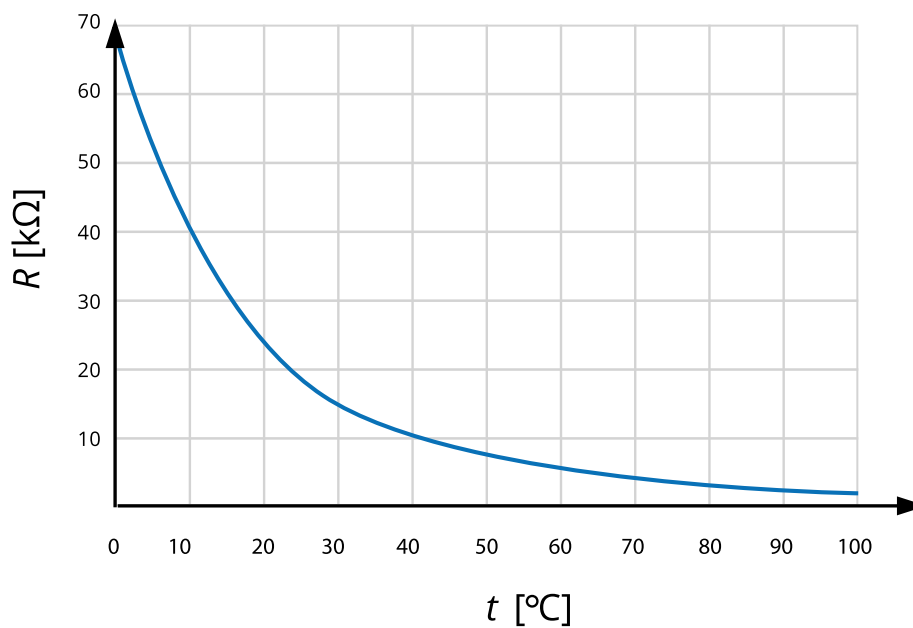
## Ćwiczenie 8



Rysunek do ćwiczenia 8: Zależność oporu od temperatury dla termistora.

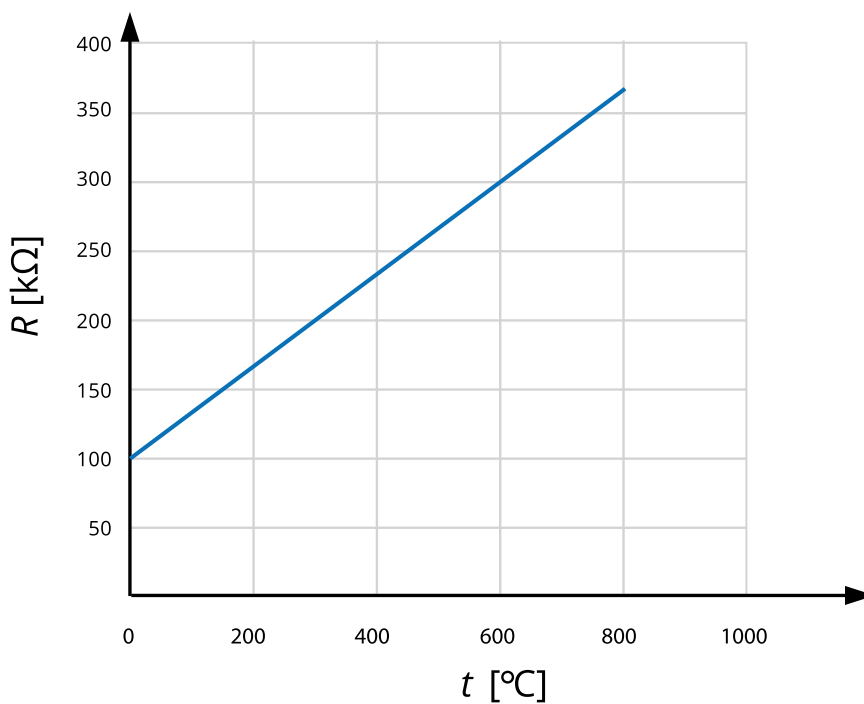
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Ćwiczenie 9



Rysunek 1. do ćwiczenia 9: Zależność oporu od temperatury dla termistora.

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



Rysunek 2. do ćwiczenia 9: Zależność oporu od temperatury dla opornika platynowego.

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

Zmianę oporu z temperaturą półprzewodników wykorzystuje się do pomiaru temperatury w termistorach. Na rysunku 1. przedstawiony wykres zależności oporu od

temperatury dla termistora NTC. Sprawdź, o ile stopni musi wzrosnąć temperatura termistora mającego temperaturę  $0^{\circ}\text{C}$ , aby jego opór zmalał dwukrotnie.

Rysunek 2. przedstawia wykres zależności oporu od temperatury dla opornika platynowego. Sprawdź, o ile stopni musi wzrosnąć temperatura tego opornika mającego temperaturę  $0^{\circ}\text{C}$ , aby jego opór wzrósł dwukrotnie. Który z omawianych elementów jest bardziej czuły na zmianę temperatury: termistor, czy opornik platynowy?

# Dla nauczyciela

---

## Scanriusz lekcji

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Jarosław Krakowski
<b>Przedmiot:</b>	fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Badanie zależności oporu od temperatury dla półprzewodników</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></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><b>Zakres podstawowy</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;</p> <p>11) przestrzega zasad bezpieczeństwa podczas wykonywania obserwacji, pomiarów i doświadczeń.</p> <p>VII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>2) rozróżnia metale i półprzewodniki: omawia zależność oporu od temperatury dla metali i półprzewodników.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p>

	<p>6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</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>12) przestrzega zasad bezpieczeństwa podczas wykonywania obserwacji, pomiarów i doświadczeń.</p> <p>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>4) opisuje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników.</p>
<b>Kształowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>
<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. wyjaśnia, jakie czynniki wpływają na opór elektryczny przewodników, a jakie na rezystywność półprzewodników,</li> <li>2. opisuje metodę badania zależności oporu materiałów od temperatury,</li> <li>3. przeprowadza doświadczenie w wirtualnym laboratorium, w którym bada zależność oporu półprzewodników od temperatury,</li> <li>4. analizuje i interpretuje wyniki pomiarów wykonanych w wirtualnym laboratorium.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	<p>IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)</p>
<b>Metody nauczania:</b>	<p>ćwiczenia laboratoryjne</p>
<b>Formy zajęć:</b>	<p>praca w grupach</p>

<b>Środki dydaktyczne:</b>	miernik uniwersalny lub omomierz, termostat, termometr, próbki półprzewodników, przewody łączące lub dostęp do wirtualnego laboratorium
<b>Materiały pomocnicze:</b>	e-materiały pt.: „Co to są półprzewodniki?”, „Jak definiuje się opór właściwy materiału i jaka jest jego jednostka?”, „Badanie jak zmienia się opór elektryczny przewodu wykonanego z metalu w zależności od temperatury”.
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel zadaje pytania: Co to jest opór elektryczny właściwy? Z czego wynika opór elektryczny materiałów? Oczekiwana odpowiedź – opór zależy od ilości nośników i od tego, jak często tracą one energię uzyskiwaną od zewnętrznego pola. Nauczyciel omawia metodę wyznaczenia zależności oporu elektrycznego od temperatury.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<p>Uczniowie dzielą się na grupy.  Nauczyciel przypomina zasady BHP w pracowni fizycznej.  Uczniowie budują układ do badania zależności oporu od temperatury, nauczyciel sprawdza poprawność połączeń elektrycznych.  Uczniowie wykonują pomiary zależności oporu od temperatury dla próbek krzemu i germanu. Następnie, na podstawie wykonanych pomiarów sporządzają wykresy zależności oporu od temperatury dla zbadanych próbek.</p>	
<b>Faza podsumowująca:</b>	
<p>Uczniowie formułują wniosek na temat zależności oporu od temperatury dla półprzewodników. Uczniowie rozwiązują zadania 5, 6, 7, 8.  Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.</p>	
<b>Praca domowa:</b>	
<p>Uczniowie utrwalają wiedzę i zdobyte umiejętności przez rozwiązanie w domu zadań: 1, 2, 3, 4, 9 z zestawu ćwiczeń.</p>	
<b>Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium</b>	Wirtualne Laboratorium może być wykorzystywane przy powtarzaniu wiadomości i na lekcjach, na których są omawiane zależności oporu od temperatury dla półprzewodników i metali.