



Badanie jak zmienia się opór elektryczny przewodu wykonanego z metalu w zależności od temperatury

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



Badanie jak zmienia się opór elektryczny przewodu wykonanego z metalu w zależności od temperatury

Czy to nie ciekawe?

Czy opór elektryczny konkretnego przewodnika jest zawsze taki sam? Okazuje się, że nie. Zależy on od temperatury. W praktyce, własność ta może nam przeszkadzać, gdy tracimy kontrolę nad parametrami układu elektrycznego lub pomagać, gdy chcemy wykorzystać ten efekt do elektronicznego pomiaru temperatury. Zapraszamy do zapoznania się ze szczegółami zjawiska i jego wyjaśnieniem.

Twoje cele

- Dowiesz się, jak zmienia się opór elektryczny metalowego przewodnika w zależności od jego temperatury,
- Poznasz charakter tej zależności, dzięki symulacji doświadczenia fizycznego,
- Przeanalizujesz mikroskopowy mechanizm przepływu prądu przez przewodnik pod kątem wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska,
- Zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązania zadań rachunkowych i problemowych.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Czy i jak opór metalowego przewodnika zależy do jego temperatury? Poszukując odpowiedzi na to pytanie możemy postąpić dwojako: wykonać doświadczenie lub wydedukować odpowiedź, wychodząc z mikroskopowego opisu przewodnictwa elektrycznego metalu.

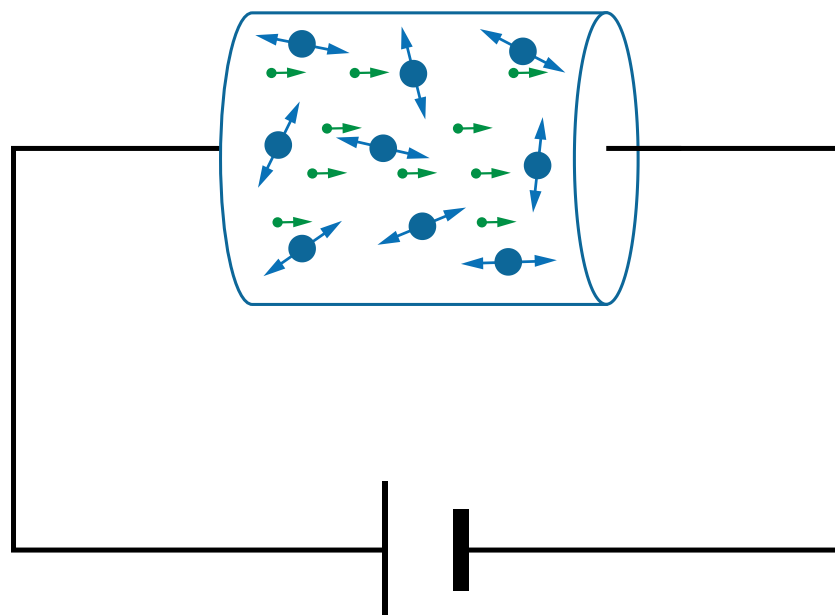
Z przykładem odpowiedniego eksperymentu można zapoznać się w symulacji interaktywnej w tym e-materiale „*Zbadaj, jak zmienia się opór elektryczny przewodnika wykonanego z metalu w zależności od jego temperatury*”.

W tej części przeprowadzimy rozważanie teoretyczne. Na wstępie zaznaczymy, że zajmiemy się nie oporem przewodnika, lecz jego **oporem właściwym (rezystywnością)**, gdyż to ta wielkość fizyczna opisuje właściwości materiału przewodzącego, bez względu na to, jaki jest kształt elementu, który z niego wykonano. Wielkości tej poświęcony jest e-materiał „*Jak definiuje się opór właściwy materiału i jaka jest jego jednostka?*”.

Przewodnik składa się z jonów 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. Ruch elektronów jest chaotyczny, ale jeśli do końców przewodnika przyłożymy napięcie elektryczne powodujące, że działa na nie stała siła, zaobserwujemy dryfowanie elektronów w kierunku zgodnym z tą siłą. Na tym właśnie polega przepływ prądu przez przewodniki.

Atomy sieci krystalicznej metalu nie są nieruchome, lecz wykonują nieuporządkowane ruchy drgające wokół swojego położenia równowagi. Jak wiadomo z praw termodynamiki, energia tych drgań jest proporcjonalna do temperatury ciała.

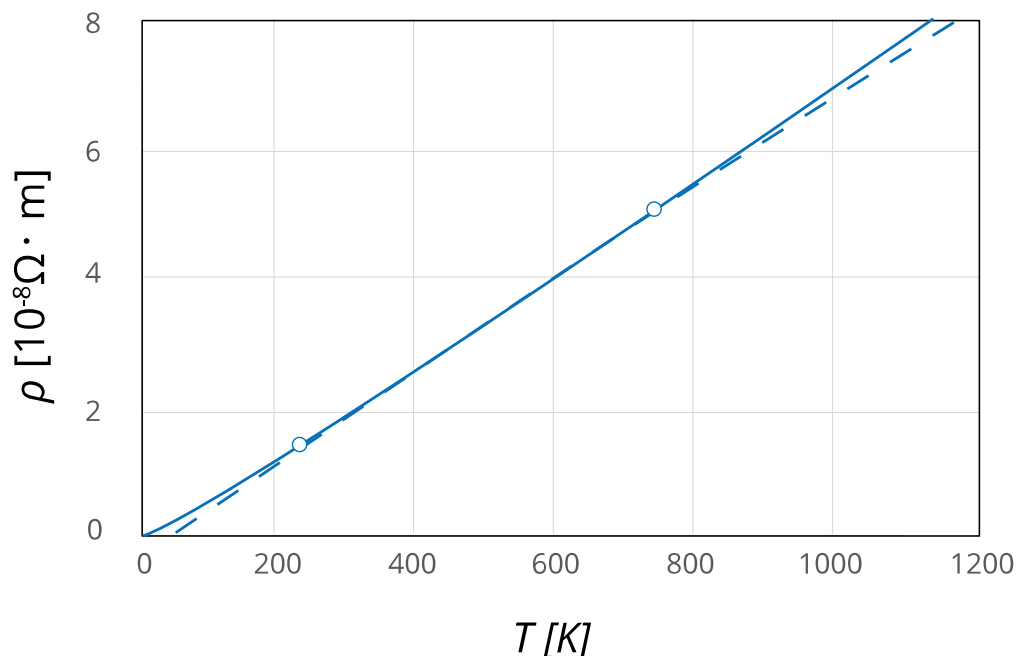
Podczas przepływu prądu elektrycznego, dryfujące elektrony zderzają się z atomami sieci krystalicznej tracąc swoją energię (Rys. 1.). Zjawisko to jest odpowiedzialne za występowanie oporu elektrycznego metalu. Im większa temperatura przewodnika, tym większa amplituda drgań atomów sieci krystalicznej, co oznacza, że zderzeń elektronów jest więcej, a więc opór elektryczny wzrasta.



Rys. 1. Symboliczne przedstawienie jonów sieci krystalicznej metalu, drgających wokół swoich położeń równowagi oraz (oznaczonych kolorem zielonym) elektronów dryfujących pod wpływem przyłożonego do końców przewodnika napięcia elektrycznego.

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

Okazuje się, że względny wzrost oporu właściwego metali jest proporcjonalny do wzrostu temperatury w szerokim zakresie, od ok. 250 K do ok. 750 K (wykres tej zależności dla miedzi przedstawiono na Rys. 2.).



Rys. 2. Zależność oporu właściwego miedzi od temperatury. Źródło: Blinowski, Trylski; Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie; PWN 1973

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

Jeżeli przez ρ_0 oznaczmy opór właściwy w temperaturze T_0 , a przez ρ opór właściwy w temperaturze T , możemy zapisać poprzednie zdanie w postaci wzoru:

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \alpha \Delta T \quad (1)$$

Współczynnik proporcjonalności α nazywany jest **temperaturowym współczynnikiem rezystancji** (oporu) przewodnika i wyrażany w jednostkach [1/K]. Jego wartość dla wybranych metali zestawiono w tabeli 1.

Material	α [K ⁻¹]
Żelazo	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Wolfram	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Glin (aluminium)	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Miedź	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Srebro	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Platyna	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Manganin	$3 \cdot 10^{-5}$
Konstantan	$2 \cdot 10^{-5}$

Tabela 1. Wartości temperaturowego współczynnika rezystancji dla wybranych materiałów. Manganin i konstantan to stopy metali używane jako materiały o oporze w bardzo małym stopniu zależnym od temperatury.

Wzór (1) możemy zapisać także w postaci wygodnej do obliczeń funkcji:

$$\rho(T) = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2)$$

lub

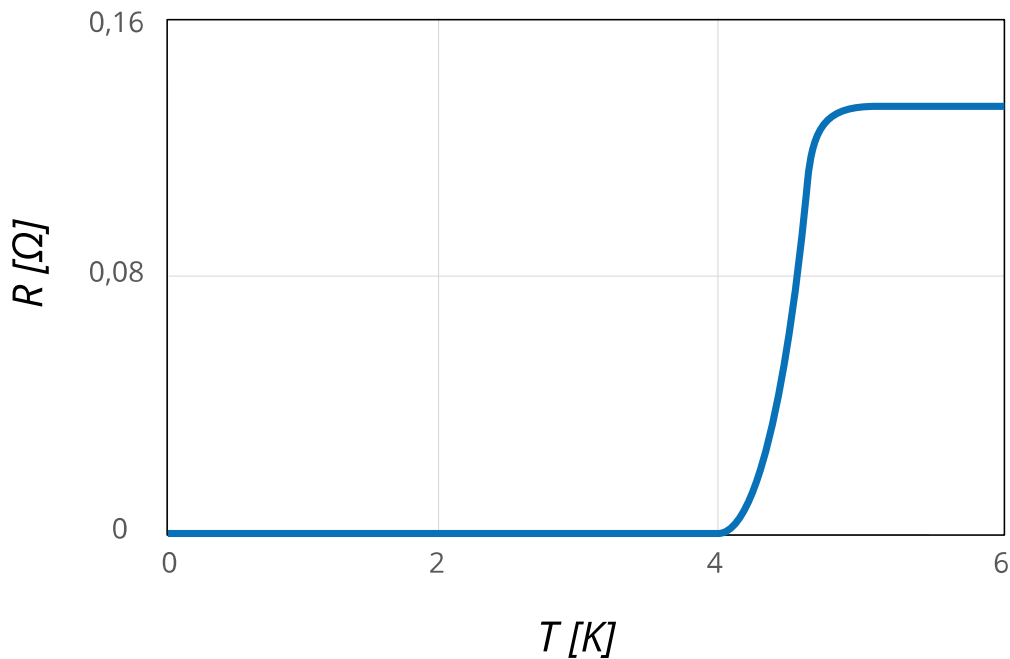
$$R(T) = R_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (3)$$

jeśli wykorzystamy zależność oporu przewodnika od jego wymiarów, omówioną w e-materiale „Jak definiuje się opór właściwy materiału i jaka jest jego jednostka?”. Zależność oporu przewodnika od jego wymiarów wyraża się wzorem:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (4)$$

w którym l oznacza długość przewodnika, a S - pole jego przekroju poprzecznego.

Dla wielu substancji w bardzo niskich temperaturach występuje zjawisko nadprzewodnictwa. To efekt kwantowy objawiający się oporem elektrycznym równym dokładnie zero omów. Przykładowo, zależność oporu rtęci od temperatury w takich warunkach przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Zależność oporu rtęci od temperatury w zakresie nadprzewodnictwa. Źródło: Blinowski, Trylski; Fizyka dla kandydatów na wyższe uczelnie; PWN 1973.

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

W technice stosuje się także materiały, których zależność oporu od temperatury jest inna niż opisana w tym materiale, na przykład: zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury, rośnie bardzo szybko lub zmienia się skokowo. Elementy skonstruowane z takich materiałów nazywane są **termistorami**.

Słowniczek

opór właściwy (rezystywność)

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

sieć krystaliczna

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

temperaturowy współczynnik rezystancji

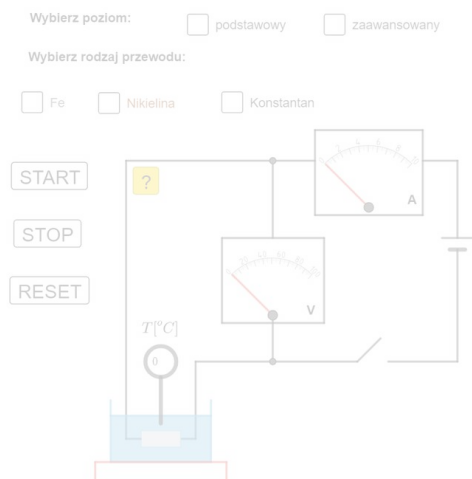
(*ang.: temperature coefficient of resistance*) względna zmiana rezystancji (oporu elektrycznego) danego materiału przy zmianie temperatury o 1 K.

termistor

(*ang.: thermistor*) opornik, którego opór elektryczny znacznie zmienia się w zależności od temperatury. W zależności od użytych materiałów, zmiana ta może być rosnąca, malejąca lub skokowa.

Symulacja interaktywna

Zbadaj, jak zmienia się opór elektryczny przewodu wykonanego z metalu w zależności od temperatury



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Dp7rfXlhb>

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

Masz możliwość symulacji pomiarów dla trzech metali (przewody mają tę samą długość i średnicę). Zapoznaj się z symulacją i wykonaj polecenia.

Układ eksperymentalny składa się z badanego elementu zanurzonego w cieczy, źródła prądu, wyłącznika i cyfrowych przyrządów pomiarowych: amperomierza, woltomierza i czujnika temperatury. Naczynie stoi na grzałce. Badany element ma formę drutu nawiniętego na walec.

Symulacja interaktywna odzwierciedla doświadczenie laboratoryjne - badanie zależności oporu elektrycznego przewodu wykonanego z metalu od temperatury.

Polecenie 1

Polecenie 2

Konstantan to stop miedzi i niklu o bardzo dużym oporze właściwym. Jak myślisz, skąd się wzięła nazwa konstantan?

Polecenie 3

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Symulacja interaktywna pozwala zbadać zależność oporu elektrycznego od temperatury dla przewodów o tych samych wymiarach, wykonanych z trzech metali: żelaza, aluminium i miedzi. Zapoznaj się z symulacją i wykonaj ćwiczenia 1. i 2.

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

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2

Co sądzisz o podawaniu wyniku obliczeń oporu z dokładnością do liczb całkowitych?
Zaproponuj właściwe rozwiązanie.



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Żarówkę z włóknem wykonanym z wolframu podłączono do źródła napięcia. Ile razy zmniejszyło się natężenie prądu płynącego przez żarówkę podczas rozgrzewania się włókna od temperatury pokojowej do temperatury o 2000 K większej? Potrzebne dane odczytaj z Tabeli nr 1.

Materiał	α [K ⁻¹]
Żelazo	$6,5 \cdot 10^{-3}$
Wolfram	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Glin (aluminium)	$4,4 \cdot 10^{-3}$
Srebro	$4,1 \cdot 10^{-3}$
Miedź	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Platyna	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Manganin	$3 \cdot 10^{-5}$
Konstantan	$2 \cdot 10^{-5}$

Tabela nr 1. Wartości temperaturowego współczynnika rezystancji (α) dla wybranych materiałów.

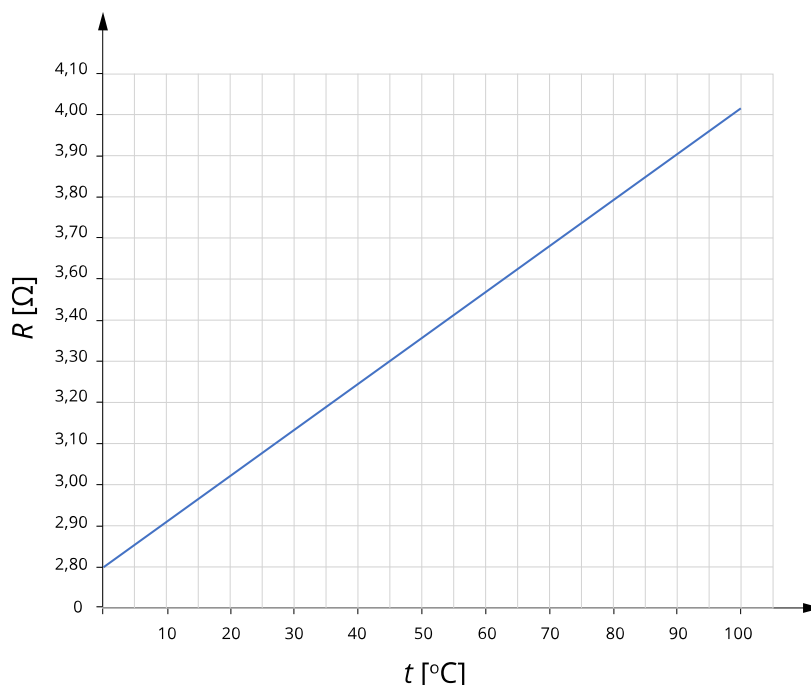
Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Na podstawie zamieszczonego wykresu wyznacz z dokładnością do dwóch cyfr znaczących temperaturowy współczynnik rezystancji materiału (α). Porównaj otrzymany wynik z wynikiem podanym w rozwiązaniu.



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

Ćwiczenie 8



Oblicz niepewność pomiarową wyznaczenia temperaturowego współczynnika rezystancji α materiału badanego w poprzednim zadaniu. Załóż, że zmierzony w temperaturze $t = (45,00 \pm 0,01)^\circ\text{C}$ opór wykonanego z tego materiału pręta jest równy $R = (3,3000 \pm 0,0001)\Omega$. Dla uproszczenia przyjmij, że w temperaturze $t_0 = 0^\circ\text{C}$ opór tego pręta jest znany i wynosi $R_0 = 2,8\Omega$.

Ćwiczenie 9



Rozważając zmianę oporu metali w zależności od temperatury uwzględniliśmy jedynie fakt, że zmienia się ich opór właściwy. Jednak wraz ze wzrostem temperatury zwiększają się także wymiary przewodnika, a jego opór zależy przecież także od długości i pola przekroju poprzecznego. Jak myślisz, dlaczego drugi z tych efektów pominęliśmy? Swoje przemyślenia porównaj z odpowiedzią.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Sobiepan
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zależność oporu elektrycznego metali od temperatury
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>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</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>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>4) opisuje wpływ temperatury na opór metali i półprzewodników.</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. wyjaśni, jak zmienia się opór elektryczny metalowego przewodnika w zależności od jego temperatury, 2. zbada charakter tej zależności, dzięki przeprowadzeniu symulacji i doświadczenia fizycznego, 3. przeanalizuje mikroskopowy mechanizm przepływu prądu przez przewodnik pod kątem wyjaśnienia przyczyn tego zjawiska, 4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązania zadań rachunkowych i problemowych.
Strategie nauczania:	ISBE
Metody nauczania:	doświadczalna
Formy zajęć:	<ul style="list-style-type: none"> - praca w grupach, - praca w parach, - praca indywidualna.
Środki dydaktyczne:	Symulacja interaktywna, zestaw zadań, zestaw doświadczalny (uczniowie powinni dysponować cyfrowymi czujnikami pomiarowymi, by przeprowadzenie doświadczenia na lekcji było możliwe ze względów czasowych).
Materiały pomocnicze:	e-materiał: Badania, jak zmienia się opór elektryczny przewodu wykonanego z metalu w zależności od temperatury.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

- Zaciekawienie uczniów: wg części „Czy to nie ciekawe?” oraz zachęcenie do wykonania samodzielnie doświadczenia - zbadania, jak zmienia się opór elektryczny metalowego przewodnika przy zmianie temperatury.
- Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji.
- Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy: mikroskopowy mechanizm przepływu prądu w przewodnikach.
- Przykładowe pytania i przewidywane odpowiedzi uczniów:
 1. Jak są zbudowane metale? Metale złożone są z jonów tworzących sieć krystaliczną oraz swobodnych elektronów, które poruszają się chaotycznie między węzłami sieci.
 2. Na czym polega przepływ prądu przez metale? Po przyłożeniu napięcia między końcami przewodnika na elektrony działa stała siła - elektrony dryfują w kierunku zgodnym z tą siłą.

Faza realizacyjna:

Każdy z uczniów indywidualnie stawia hipotezę i zapisuje ją:

- Jak zmienia się opór metalowego przewodnika w zależności od temperatury (rośnie, maleje, nie zmienia się)?
- Jeżeli ta zmiana następuje, to jaki ma charakter (liniowy, kwadratowy, wykładniczy itp.)?

Uczniowie przystępują do doświadczalnego zweryfikowania swoich hipotez. Pracują w grupach budując układ doświadczalny (taki, jak w symulacji). Uczniowie dysponują programem do zbierania i analizowania danych z gotowym wykresem lub muszą go przygotować samodzielnie. Nauczyciel obserwuje pracę uczniów, doradza i zatwierdza, czy układ jest gotowy do włączenia.

Wykonanie doświadczenia polega na włączeniu grzałki i uruchomieniu programu pomiarowego. Uczniowie obserwują wykres i potwierdzają swoją hipotezę.

Pracując nadal w grupach, uczniowie uruchamiają symulację interaktywną, by przekonać się, jak badany efekt zależy od rodzaju substancji.

Uczniowie przystępują do wyciągania wniosków i odpowiedzi na pytania, dlaczego opór metalowego przewodnika rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Po zakończeniu dociekań weryfikują je czytając tekst e-materiału.

Dla utrwalenia zdobytej wiedzy uczniowie rozwiązują w parach zadania nr 2, 3, 5 z zestawu ćwiczeń.

Podczas lekcji nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje pracę uczniów i w razie potrzeby udziela wskazówek i informacji zwrotnej kształtującej.

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 umiejętności zdobyte w czasie lekcji przez rozwiązanie w domu zadań nr: 1, 4, 6, 7, 8.

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

Symulacja może zostać wykorzystana także przy przygotowaniu się uczniów do lekcji prowadzonej wg strategii odwróconej klasy lub przy omawianiu doświadczalnych metod badania praw fizyki i analizy niepewności pomiarowych.