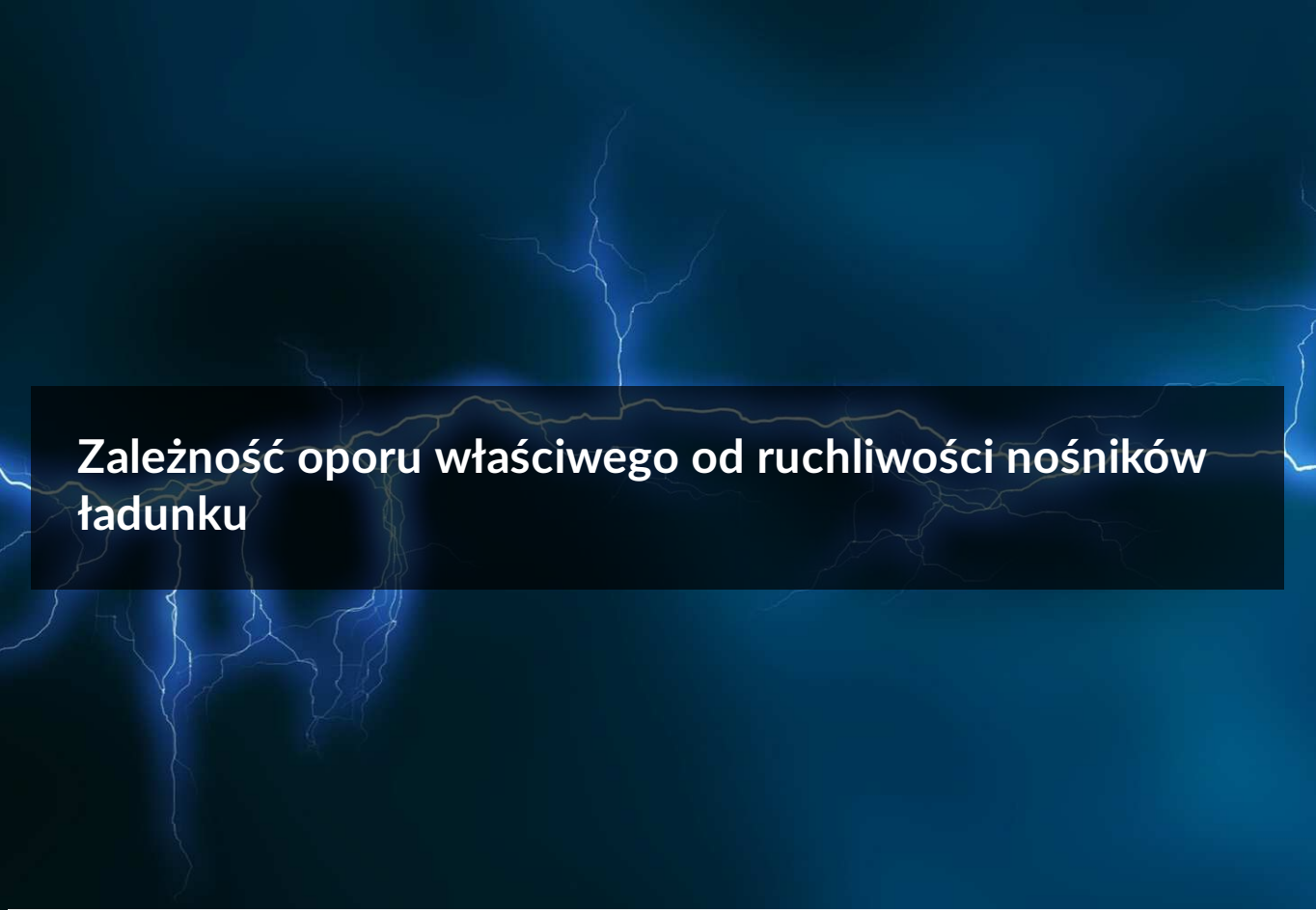




Zależność oporu właściwego od ruchliwości nośników ładunku

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Zależność oporu właściwego od ruchliwości nośników ładunku

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

Czy to nie ciekawe ?

Wielkości fizyczne, które możemy dosyć łatwo wyznaczyć doświadczalnie, wynikają z budowy wewnętrznej materiałów. Z tego e-materiału dowiesz się, jakie właściwości mikroskopowe, i w jaki sposób, decydują o oporze elektrycznym materiałów.

Twoje cele

- dowiesz się, co to jest ruchliwość nośników,
- zrozumiesz związek między budową wewnętrzną materiału a właściwościami makroskopowymi,
- zastosujesz wzór wiążący opór elektryczny właściwy z ruchliwością i koncentracją nośników,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz symulację interaktywną ilustrującą wpływ temperatury na opór elektryczny metali.

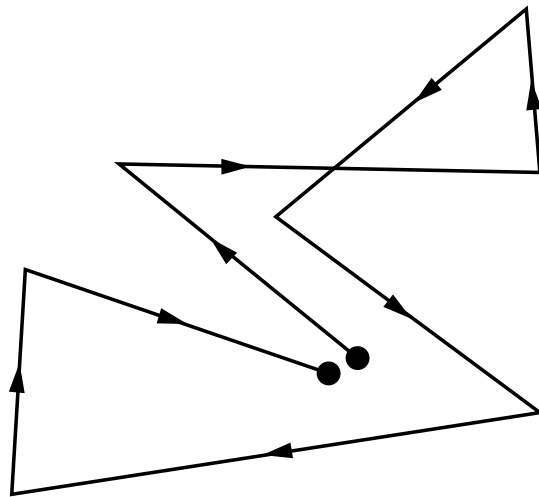
Przeczytaj

Warto przeczytać

Ruchliwość nośników jest wielkością opisującą wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na średnią prędkość dryfu nośników prądu. Oznacza się ją literą μ i wyraża wzorem:

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

gdzie u - to średnia prędkość dryfu nośników prądu, a E - **natężenie zewnętrznego pola elektrycznego**. Dryfem nośników prądu nazywa się ich uporządkowany ruch pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Bez zewnętrznego pola elektrycznego nośniki wykonują chaotyczne ruchy termiczne zderzając się z jonami sieci krystalicznej – Rys.1.



Rys. 1. Chaotyczne ruchy termiczne elektronu.

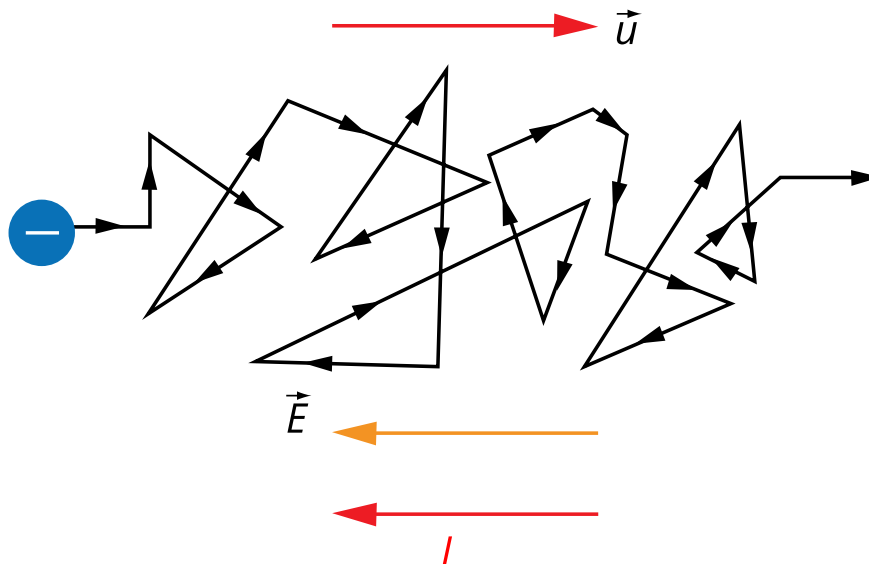
Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego o **natężeniu** $\vec{E}$ elektrony doznają przyspieszenia o wartości:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

gdzie $\vec{F} = e\vec{E}$ to siła, z jaką pole elektryczne działa na elektron, a e to ładunek elektronu.

Ruch przyspieszony elektronu trwa dosyć krótko do chwili zderzenia się z jonem sieci, w wyniku którego elektrony tracą praktycznie całą prędkość uzyskaną od zewnętrznego pola. Następnie są ponownie przyspieszane przez to pole elektryczne, po czym ponownie zderzają się z jonami sieci. Sytuację tę przedstawia Rys.2.



Rys. 2. Dryf elektronu pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego.

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

Efekt ten powoduje dodanie do ruchów termicznych dodatkowego, ukierunkowanego ruchu, który można opisać średnią prędkością nazywaną prędkością dryfu $\vec{u}$. Jest ona zwrócona przeciwnie do natężenia zewnętrznego pola (elektron ma ładunek ujemny). W związku z tym ruchem w przewodniku zaczyna płynąć prąd elektryczny.

Wielkością charakteryzującą prąd elektryczny jest natężenie prądu I definiowane wzorem:

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

Natężenie prądu I jest związane ze średnią prędkością dryfu u zależnością:

$$I = neSu,$$

gdzie n to koncentracja nośników, e - ładunek elektronu, S - pole przekroju poprzecznego przewodnika, u średnia prędkość dryfu elektronów. Z wyprowadzeniem tej zależności możesz się zapoznać w e-materiale: „Szybkość poruszania się elektronów swobodnych w metalu podczas przepływu prądu”.

Koncentracją nośników n nazywa się ilość nośników prądu w jednostce objętości.

W metalach nośnikami prądu są swobodne elektrony, a ich koncentrację możemy opisać wzorem:

$$n = Wd \frac{N_A}{M},$$

gdzie d to **gęstość metalu**, M - **masa molowa**, W - **wartościowość** atomów, a N_A - to liczba Avogadra.

Z wyprowadzeniem tej zależności możesz się zapoznać w cytowanym wyżej e-materiale.

Korzystając z podstawowych praw opisujących przepływ prądu: prawa Ohma, definicji oporu elektrycznego właściwego i zależności między natężeniem prądu a prędkością dryfu nośników, możemy wyprowadzić związek między makroskopową cechą materiału – oporem elektrycznym właściwym, a właściwościami mikroskopowymi – koncentracją nośników i ich ruchliwością.

Z prawa Ohma wynika, że związek między napięciem U przyłożonym do przewodnika, a natężeniem prądu I płynącym przez przewodnik o oporze R , jest następujący:

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

gdzie U jest napięciem elektrycznym powiązaniem z natężeniem pola elektrycznego następującym wzorem:

$$U = E \cdot l,$$

gdzie E to wartość natężenia pola elektrycznego, a l – długość przewodnika.

Opór właściwy przewodnika ρ definiuje wzór:

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

gdzie R to opór elektryczny przewodnika, S – pole przekroju poprzecznego przewodnika, a l – jego długość.

Podstawiając opór elektryczny $R = \frac{\rho l}{S}$ do prawa Ohma otrzymamy:

$$I = \frac{US}{\rho l}.$$

Podstawiając natężenie prądu $I = neSu$ oraz napięcie elektryczne $U = El$, otrzymamy:

$$neSu = \frac{ElS}{\rho l},$$

$$\rho = \frac{E}{neu}.$$

Ponieważ $\frac{u}{E} = \mu$, po przekształceniu otrzymamy

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

Otrzymana zależność pokazuje, że zdolność do przewodzenia prądu zależy od dwóch czynników – koncentracji nośników i ich ruchliwości. Koncentracja nośników zależy od rodzaju materiału. W metalach jest rzędu 10^{22}cm^{-3} , w półprzewodnikach samoistnych w temperaturze pokojowej ilość nośników, w zależności od materiału wynosi od 10^6 do 10^{10} w jednym centymetrze sześciennym, w domieszkowanych od 10^{12} aż do 10^{20} w jednym centymetrze sześciennym w silnie domieszkowanych. Natomiast ruchliwość nośników jest zależna od średniego odstępów czasu między zderzeniami nośników z atomami sieci

krystalicznej. Na czas ten wpływa wiele czynników, w szczególności budowa wewnętrzna materiału i temperatura.

Wzrost temperatury powoduje wzrost amplitudy drgań jonów sieci a także powstawanie defektów sieci krystalicznej. Zwiększa to prawdopodobieństwo zderzeń elektronów z atomami - skraca się odstęp czasu τ między zderzeniami, a w konsekwencji prowadzi to do zmniejszenia ruchliwości μ . Ponieważ koncentracja elektronów w metalach prawie nie zależy od temperatury, opór właściwy metali rośnie z temperaturą i w szerokim zakresie temperatur zależność ta jest prawie liniowa i da się opisać równaniem:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

gdzie ρ_0 to opór właściwy w temperaturze 0°C, α - współczynnik temperaturowy oporu zależny od materiału, t - temperatura w skali Celsjusza. W półprzewodnikach większy wpływ na opór elektryczny wywiera silnie rosnąca z temperaturą koncentracja nośników, co powoduje, że wzrost temperatury powoduje zmniejszenie oporu półprzewodników.

Słowniczek

gęstość materii

(ang. *matter density*) gęstość materii d wyraża wzór $d = \frac{m}{V}$, gdzie m - masa materii, V - jej objętość. Gęstość jest zatem równa masie jednostki objętości materii.

masa molowa

(ang. *molar mass*) masa jednego mola materii.

wartościowość

(ang. *valence*) cecha pierwiastków chemicznych oraz jonów określająca liczbę wiązań chemicznych, którymi dany pierwiastek lub jon może łączyć się z innymi.

W szczególności określa, ile elektronów może oddać lub przyjąć atom.

natężenie pola elektrycznego

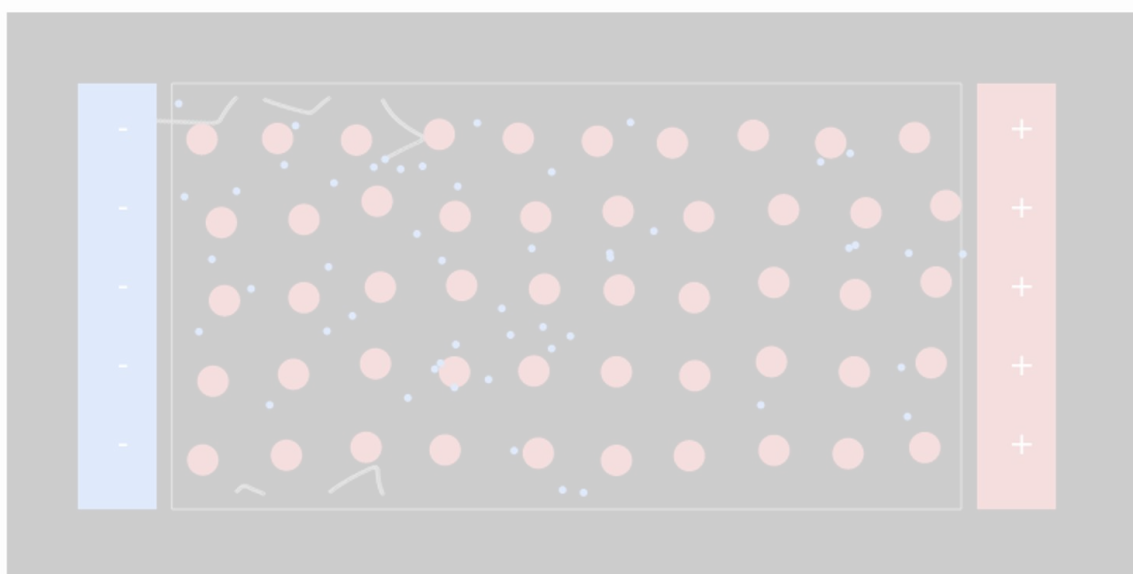
(ang. *electric field strength*) podstawowa wielkość opisująca pole elektryczne (i niekiedy samo jest nazywane krótko polem elektrycznym). Jest to wielkość wektorowa zdefiniowana w danym punkcie pola jako stosunek siły, z jaką pole działa na niewielki

ładunek dodatni umieszczony w tym punkcie do wartości tego ładunku: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$

Symulacja interaktywna

IV. Zależność oporu właściwego od ruchliwości nośników ładunku

Symulacja pokazuje jakościowo wpływ temperatury na ruchliwość elektronów w metalach, a przez to i na opór elektryczny.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/Dx0YeVUQI>

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

Polecenie 1

Przeanalizuj wpływ rozmiaru atomów na prędkość dryfu w symulacji.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wzrost temperatury metalu powoduje:

- ☐ wzrost lub zmniejszenie ruchliwości w zależności od rodzaju materiału
- ☐ nie wpływa na ruchliwości nośników
- ☐ wzrost ruchliwości nośników prądu
- ☐ zmniejszenie ruchliwości nośników prądu

Ćwiczenie 2



Gęstość sodu wynosi $968 \frac{kg}{m^3}$, masa molowa $23 \frac{g}{mol}$. Oblicz koncentrację nośników prądu w sodzie. Liczba Avogadra $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} mol^{-1}$. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

$$n = \{2,53\} \cdot 10^{28} m^{-3}$$

Ćwiczenie 3



Oblicz ruchliwość elektronów w miedzi. Koncentracja nośników w miedzi $n = 8,5 \cdot 10^{22} cm^{-3}$, a opór elektryczny właściwy $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8} \Omega m$. Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odpowiedź : $\cdot 10^{-3} \frac{m^2}{Vs}$

Ćwiczenie 4



W aluminium koncentracja elektronów swobodnych jest ponad dwukrotnie większa niż w miedzi. Co może być przyczyną mniejszego oporu elektrycznego właściwego miedzi?

Ćwiczenie 5



Dlaczego wzrost temperatury powoduje wzrost oporu elektrycznego metali?

Ćwiczenie 6



Jeżeli dwa przewody wykonane z różnych metali o jednakowych wymiarach mają jednakowy opór elektryczny, to:

- ☐ mają jednakową ruchliwość nośników.
- ☐ mają jednakowy iloraz koncentracji i ruchliwości nośników.
- ☐ mają jednakowy iloczyn koncentracji i ruchliwości nośników.
- ☐ mają jednakową koncentrację nośników.

Ćwiczenie 7



Jednostką ruchliwości nośników jest:

3 m kg A V 2 s

Ćwiczenie 8



Ruchliwość nośników prądu w półprzewodnikach jest większa niż w metalach. Dlaczego opór elektryczny właściwy półprzewodników jest większy od oporu właściwego metali?

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Zależność oporu właściwego od ruchliwości nośników ładunku
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r. • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.

Cele operacyjne:	Uczeń: 1. przeanalizuje budowę wewnętrzną metali i wielkości mogące wpływać na przewodzenie prądu, 2. obliczy koncentrację nośników, 3. dokona syntezy zależności opisujących prąd elektryczny i uzyska związek między wielkościami mikro i makro (koncentracja i ruchliwość nośników a opór elektryczny), 4. wymieni wielkości mikroskopowe (koncentracja nośników i ich ruchliwość), które kształtują mierzalne wielkości makroskopowe (opór elektryczny właściwy), 5. przeanalizuje symulację multimedialną.
Strategie nauczania	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe).
Metody nauczania	wykład problemowy, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca zespołowa
Środki dydaktyczne:	rzutnik multimedialny, zestaw ćwiczeń, symulacja interaktywna
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
W dyskusji wstępnej nauczyciel określa wiedzę wyjściową uczniów. Przykładowe pytania to: • Co to jest prąd elektryczny? • Co nazywamy natężeniem prądu elektrycznego? • Jaki ruch nazywa się dryfem nośników i jak jest związany z natężeniem prądu? • Co to jest opór elektryczny właściwy? Nauczyciel następnie definiuje pojęcie ruchliwości nośników i zadaje uczniom pytania, mające na celu przypomnienie wiadomości o ruchu nośników: • Jakie ruchy nośników nazywa się termicznymi? • Jak pole elektryczne wpływa na ruch nośników?	
Faza realizacyjna:	

Na podstawie modelu klasycznego uczniowie korzystając ze wskazówek nauczyciela wyprowadzają zależność między oporem właściwym a koncentracją nośników i ruchliwością.

Na podstawie symulacji multimedialnej uczniowie powinni zauważyć wpływ wzrostu temperatury na ruchliwość nośników a zatem i na opór właściwy.

Faza podsumowująca:

Rozwiązanie zadań 2 i 3 w celu zweryfikowania wiedzy zdobytej przez uczniów na lekcji.

Praca domowa:

Zadania: 1, 4, 5, 6, 7, 8 w celu utrwalenia wiedzy zdobytej na lekcji.

**Wskazówki metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

Może być wykorzystane przy omawianiu wpływu temperatury na opór elektryczny i przy powtarzaniu wiadomości.