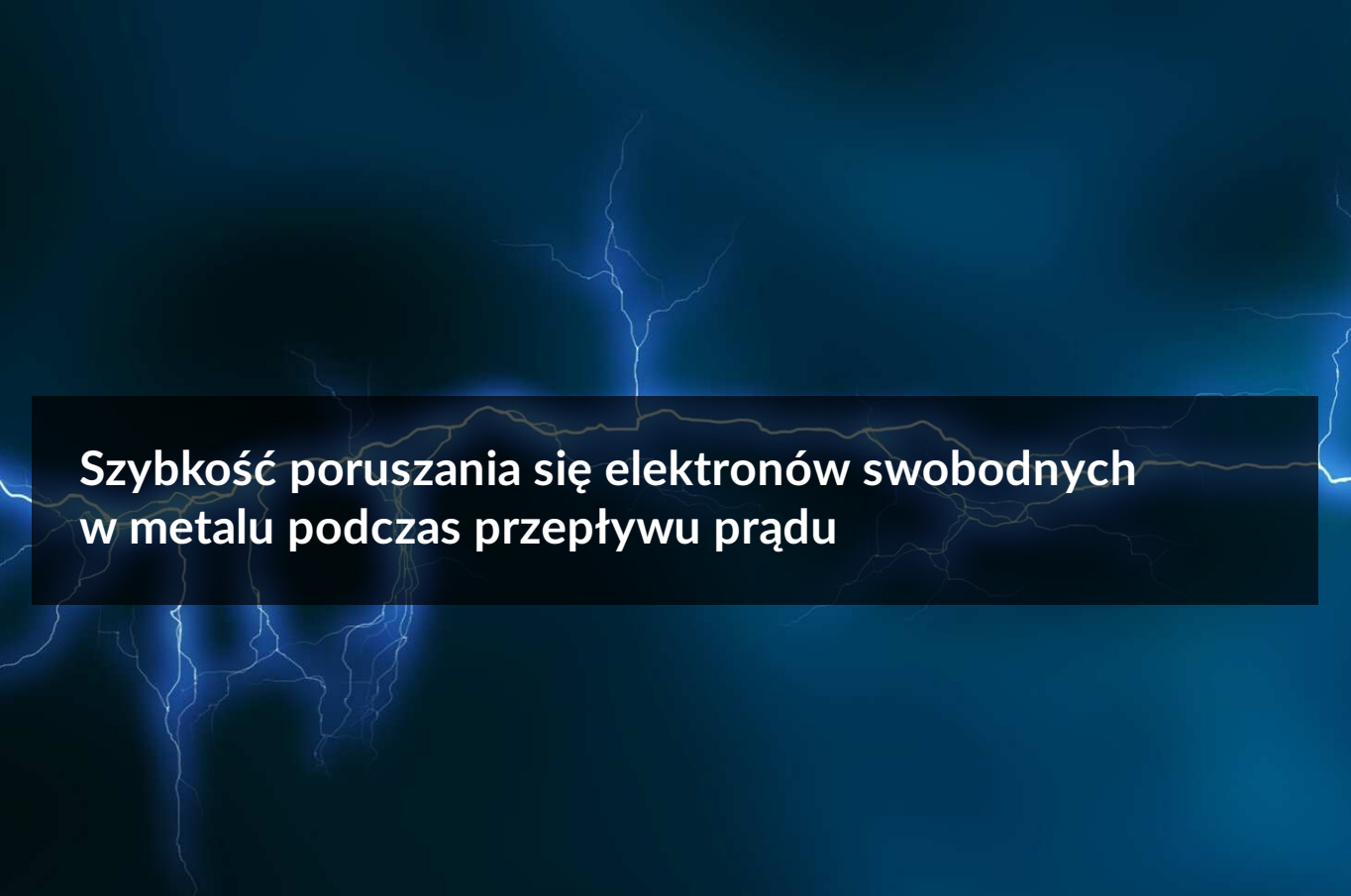




Szybkość poruszania się elektronów swobodnych w metalu podczas przepływu prądu

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Szybkość poruszania się elektronów swobodnych w metalu podczas przepływu prądu

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

Czy to nie ciekawe?

Elektrony swobodne, odpowiedzialne w metalach za przewodzenie prądu, niezależnie od przyłożonego napięcia, wykonują chaotyczne ruchy termiczne z prędkościami rzędu 10^6 m/s. Przyłożenie do przewodnika napięcia zewnętrznego do tych ruchów dodaje dodatkowy ruch o niewielkiej średniej prędkości, ale uporządkowany. Ten o małej prędkości, ale obejmujący wszystkie swobodne elektrony i uporządkowany ruch elektronów jest prądem elektrycznym.

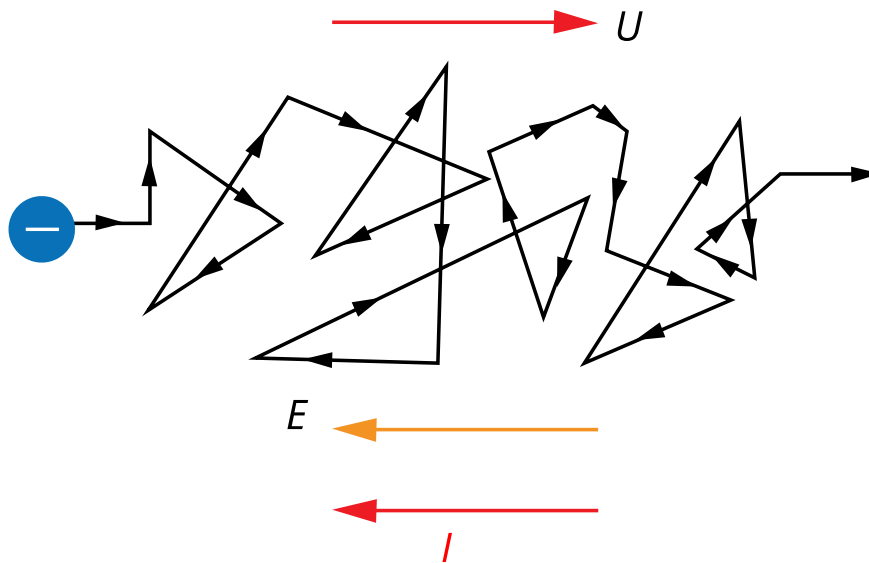
Twoje cele

- poznasz związek między natężeniem prądu a prędkością dryfu elektronów swobodnych w metalach,
- przeanalizujesz wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na ruch elektronów swobodnych,
- zrozumiesz, jak zewnętrzne pole wpływa na ruch elektronów w metalach,
- zastosujesz poznaną zależność do rozwiązywania problemów.

Przeczytaj

Warto przeczytać

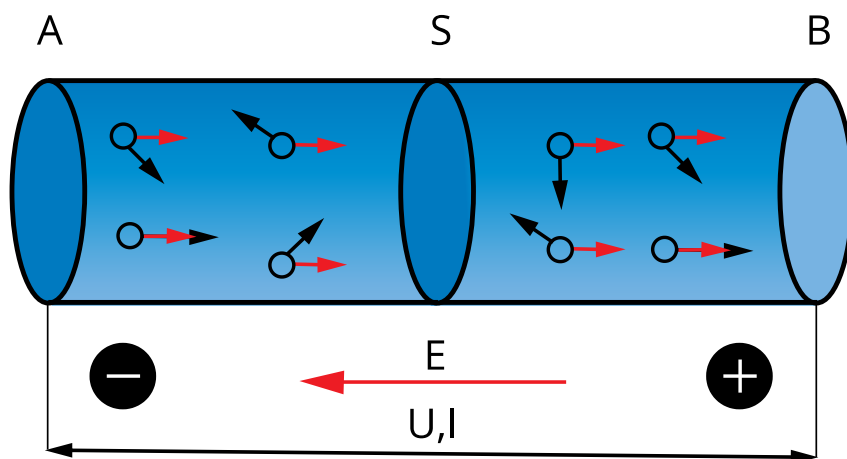
Elektrony swobodne w metalach wykonują chaotyczne ruchy termiczne i zderzają się z jonami sieci, co powoduje zmianę kierunku ich ruchu. Przyłożenie zewnętrznego pola elektrycznego dodaje do ruchów termicznych uporządkowany ruch elektronów – czyli przepływ prądu elektrycznego. Zderzenia z jonami sieci powodują praktycznie stratę całej energii uzyskiwanej od zewnętrznego pola elektrycznego. Przejawem rozpraszania tej energii jest [opór elektryczny](#) przewodnika.



Rys. 1. Ruch elektronów w metalu w obecności zewnętrznego pola elektrycznego

Ten zmienny ruch elektronów, wynikający z działania zewnętrznego pola elektrycznego i ze zderzeń z jonami sieci można opisać pewną średnią prędkością nazywaną prędkością [dryfu](#) u . Prędkość tę można powiązać z wartością natężenia prądu I i właściwościami przewodnika.

Rozważmy fragment przewodnika o długości l , polu przekroju poprzecznego S , w którym płynie prąd o natężeniu I .



Rys. 2. Ruch elektronów w przewodniku. Strzałki czerwone obrazują średnią prędkość dryfu, czarne – średnią prędkość ruchów termicznych (proporcje między wartościami tych prędkości nie są zachowane)

Niech liczba elektronów swobodnych w jednostce objętości wynosi w danym przewodniku n . Wielkość tę nazywa się **koncentracją** nośników, jest ona cechą materiału. Całkowita wartość ładunku elektrycznego niesionego przez dryfujące elektrony na długości l przewodnika jest równa:

$$\Delta q = enlS, \quad (1)$$

gdzie e – ładunek elektryczny elektronu, n – **koncentracja** elektronów swobodnych, S – pole przekroju poprzecznego przewodnika lS – objętość fragmentu przewodnika o długości l .

Ładunek ten opuści fragment l (przepłynie przez przekrój B), po czasie Δt , który jest potrzebny na przebycie przez dryfujący elektron długości l . Czas ten obliczymy dzieląc długość l przez średnią prędkość **dryfu**. Stąd:

$$\Delta t = \frac{l}{u}. \quad (2)$$

Natężenie prądu I definiuje się jako stosunek przepływającego ładunku Δq przez przekrój poprzeczny przewodnika do czasu przepływu Δt :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (3)$$

Podstawiając do wzoru (3) wielkości Δq (1) i Δt (2) otrzymujemy poszukiwaną zależność między natężeniem prądu a prędkością **dryfu** nośników:

$$I = \frac{enlS}{t} = enSu. \quad (4)$$

Koncentrację nośników n można obliczyć znając gęstość d metalu, **masę molową** M i wartościowość atomów W .

Gęstość materii jest równa masie jednostki objętości tej materii i opisuje ją wzór

$$d = \frac{m}{V}. \quad (5)$$

Wartościowość atomów W określa, ile elektronów może uwolnić jeden atom.

Potrzebujemy jeszcze wyznaczyć liczbę atomów w jednostce objętości.

Ilość atomów w jednym molu substancji to **liczba Avogadra** $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Liczbę moli wyznaczymy dzieląc masę materii przez jej **masę molową**. Zatem dzieląc gęstość materii przez **masę molową** M otrzymamy liczbę moli w jednostce objętości, którą oznaczmy literą N_m .

Liczba moli w jednostce objętości:

$$N_m = \frac{d}{M}. \quad (6)$$

Liczba atomów w jednostce objętości N jest równa liczbie moli w jednostce objętości N_m pomnożonej przez **liczbę Avogadra** N_A :

$$N = N_m \cdot N_A \Leftrightarrow N = \frac{d}{M} \cdot N_A. \quad (7)$$

Zatem **koncentracja** nośników

$$n = WN \Leftrightarrow n = Wd \cdot \frac{N_A}{M}. \quad (8)$$

Przykładowe **koncentracje** nośników dla materiałów:

Material	Koncentracja nośników (m^{-3})
sód	$2,5 \cdot 10^{28}$
aluminium	$18 \cdot 10^{28}$
miedź	$8,5 \cdot 10^{28}$

Material	Koncentracja nośników (m^{-3})
srebro	$5,76 \cdot 10^{28}$
beryl	$24,7 \cdot 10^{28}$

Przykładowe zadanie: Oblicz prędkość **dryfu** elektronów w przewodniku miedzianym o polu przekroju 1 mm^2 , w którym płynie prąd o natężeniu 1 A mając ponad to dane: wartościowość miedzi $W = 1$, gęstość $d = 8960 \text{ kg/m}^3$, **masę molową** $M = 64 \text{ g/mol} = 0,064 \text{ kg/mol}$.

1. Obliczamy **koncentrację** nośników w miedzi $n = Wd \cdot \frac{N_A}{M}$, stąd

$$n = 1 \cdot 8960 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{mol}}}{0,064 \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = 8,43 \cdot 10^{28} / \text{m}^3$$

2. Obliczmy prędkość **dryfu** elektronów, podstawiając $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$

$$u = \frac{I}{neS} = \frac{1 \text{ A}}{8,43 \cdot 10^{28} \frac{1}{\text{m}^3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s} \cdot 10^{-6} \text{ m}^2} = 7,4 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Jak widać prędkość unoszenia (**dryfu**) elektronów jest zaskakująco mała, w szczególności w porównaniu z prędkością ruchów termicznych, która jest rzędu 10^6 m/s . Można ją porównać do prędkości ślimaka - znacznie mniejszej od prędkości żółwia, która wynosi około $0,2 \text{ m/s}$. Bardzo duża liczba dryfujących elektronów, rzędu 10^{22} w cm^3 , mimo niewielkiej prędkości, wywołuje wyraźne i różnorodne efekty związane z prądem elektrycznym.

Słowniczek

Dryf elektronów

(ang. *drift of electrons*) przemieszczanie się elektronów w sposób uporządkowany pod wpływem zewnętrznego czynnika wymuszającego – np. pola elektrycznego.

Opór elektryczny właściwy

(ang. *resistivity*) miara zdolności materiału do stawiania oporu przepływającemu prądowi elektrycznemu, możemy opisać ją wzorem $\rho = \frac{RS}{l}$, gdzie ρ – opór elektryczny właściwy, R – opór elektryczny przewodnika, S – pole przekroju poprzecznego przewodnika, l – długość przewodnika.

Masa molowa

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

Koncentracja nośników n

(ang. *free electron density*) ilość nośników w jednostce objętości materiału.

Liczba Avogadra

(ang. *Avogadro number*) $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ – jest wielkością stałą informującą o liczbie cząsteczek lub atomów zawartych w jednym molu substancji.

Film samouczek

Szybkość poruszania się elektronów swobodnych w metalu podczas przepływu prądu

Na zamieszczonym filmie, na przykładzie prostego zadania, zostało pokazane, w jaki sposób można wyznaczyć prędkość przemieszczania się (tj. dryfu) elektronów w metalu w wyniku przepływu prądu. Obejrzyj film, a następnie wykonaj umieszczone poniżej polecenie.

Polecenie 1

Koncentracja nośników w srebrze wynosi $n_1 = 5,76 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ a w aluminium $n_2 = 18 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. Jaki musi być stosunek przekrojów drutu wykonanego ze srebra do drutu aluminiowego, aby przy tym samym natężeniu prądu prędkość dryfu elektronów była jednakowa?

Odp.: Stosunek przekrojów drutu srebrnego do drutu aluminiowego powinien wynosić

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



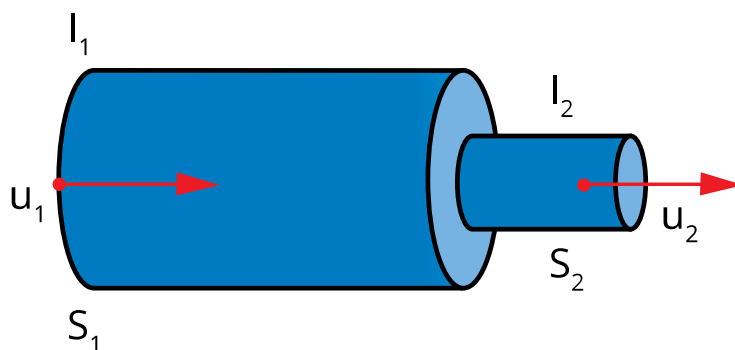
Jeżeli w przewodniku nie ma pola elektrycznego to elektrony swobodne:

- ☐ Poruszają się chaotycznie
- ☐ Nie poruszają się
- ☐ Poruszają się ruchem jednostajnym
- ☐ Poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym

Ćwiczenie 2



Rozważmy przypadek przepływu prądu przez przewodnik o zmiennym przekroju.



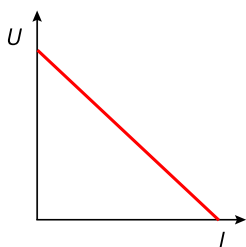
Porównując natężenia prądów I_1 , I_2 i prędkości dryfu elektronów u_1 , u_2 w przekrojach S_1 i S_2 możemy stwierdzić że:

I_1 I_2 oraz u_1 u_2

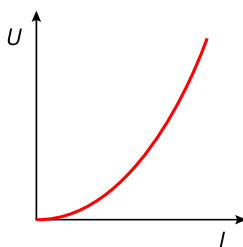
Ćwiczenie 3



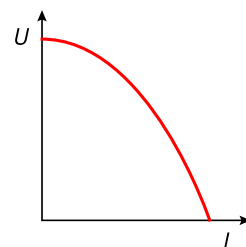
Zależność średniej prędkości dryfu elektronów od natężenia prądu przedstawia wykres:



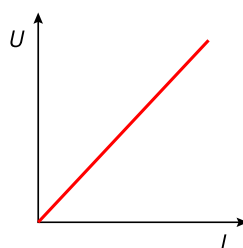
b)

☐

c)

☐

d)

☐

a)

☐

Ćwiczenie 4



Dwukrotne zwiększenie napięcia na końcu przewodnika spowoduje:

☐ Czterokrotne zmniejszenie prędkości dryfu elektronów

☐ Dwukrotny wzrost prędkości dryfu elektronów

☐ Dwukrotne zmniejszenie prędkości dryfu elektronów

☐ Czterokrotny wzrost prędkości dryfu elektronów

Ćwiczenie 5



Dwa metale o tej samej wartościowości, abywały jednakową koncentrację nośników, muszą mieć:

☐ Ten sam opór elektryczny

☐ Ten sam stosunek masy molowej do gęstości

☐ Tę samą gęstość

☐ Tę samą masę molową

Ćwiczenie 6



Oblicz prędkość dryfu nośników w aluminium o długości 4 m, polu przekroju o średnicy 1 mm, w którym płynie prąd o natężeniu 2 A. Koncentracja nośników w aluminium wynosi $18 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. Wynik podaj z dokładnością do jednej cyfry znaczącej.

Odp: $u =$ $\cdot 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Ćwiczenie 7



Opór drutu opisuje zależność $R = \frac{\rho l}{S}$ (gdzie ρ – opór elektryczny właściwy, l – długość drutu, S – pole powierzchni przekroju poprzecznego). Opór właściwy srebra $1,59 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$, a aluminium - $2,82 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$. Koncentracje nośników w srebrze wynosi $n_1 = 5,76 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ a w aluminium $n_2 = 18 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$. Jeżeli do drutu srebrnego i aluminium o jednakowych wymiarach przyłożymy jednakowe napięcia, to w którym z nich nośniki uzyskają większą prędkość dryfu? Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

Odp.: Stosunek prędkości dryfu nośników w srebrze u_1 do prędkości nośników w aluminium u_2 wynosi

Ćwiczenie 8



Jakie musi być natężenie prądu w przewodniku miedzianym o przekroju 2 mm^2 , aby elektrony dryfowały z prędkością 1 mm/s ? Wynik podaj w zaokrągleniu do pełnych amperów.

Odp.: Natężenie prądu musi wynosić A

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Szybkość poruszania się elektronów swobodnych w metalu podczas przepływu prądu
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; VIII. Prąd elektryczny. Uczeń: 1) opisuje przewodnictwo w metalach, elektrolitach i gazach; wyjaśnia proces jonizacji w gazach, wskazuje rolę promieniowania, wysokiej temperatury i dużego natężenia pola elektrycznego
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • 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:	Uczeń: 1. przeanalizuje wpływ zewnętrznego pola elektrycznego na ruch elektronów w metalu. 2. zastosuje w obliczeniach i w analizie przypadków zależność między natężeniem prądu a prędkością ruchu nośników.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe)
Metody nauczania:	- wykład problemowy, - burza mózgów.
Formy zajęć:	- praca zespołowa, - praca w parach.
Środki dydaktyczne:	Rzutnik, symulacja komputerowa dostępna w internecie ilustrująca ruch elektronów. Zestaw ćwiczeń.
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel zadaje pytania: 1. Co to jest prąd elektryczny? 2. Dlaczego metale przewodzą prąd elektryczny? Oczekiwane odpowiedzi: 1. Uporządkowany przepływ nośników ładunków elektrycznych. 2. W metalach znajdują się swobodne elektrony.	
Faza realizacyjna:	

Nauczyciel zadaje pytania z ewentualnymi pytaniami naprowadzającymi:

1. Jak zachowują się elektrony swobodne, gdy nie ma w przewodniku zewnętrznego pola – odp.: chaotyczne ruchy termiczne.

2. Jak zewnętrzne pole wpływa na ruch tych elektronów: odp.: do prędkości termicznej dodaje się ruch przyspieszony a w wyniku zderzeń z jonami dodatkowa prędkość jest tracona i ustala się średnia prędkość dryfu.

Nauczyciel omawia model dryfu i przy udziale uczniów wyprowadza zależność prędkości dryfu od natężenia prądu.

Uczniowie pod kierunkiem nauczyciela rozwiązują przykładowe zadanie z części „Warto przeczytać”, w którym obliczają koncentrację nośników i prędkość dryfu nośników.

Faza podsumowująca:

Uczniowie w parach rozwiązują zadania 2, 4, 6 z zestawu ćwiczeń

Praca domowa:

Analiza filmu –samouczka oraz polecenie umieszczone pod filmem.

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

Może być wykorzystywany przy powtórzeniu wiadomości, a także przy realizacji tematu: Jak metale przewodzą prąd elektryczny?