



Education and Culture

Socrates



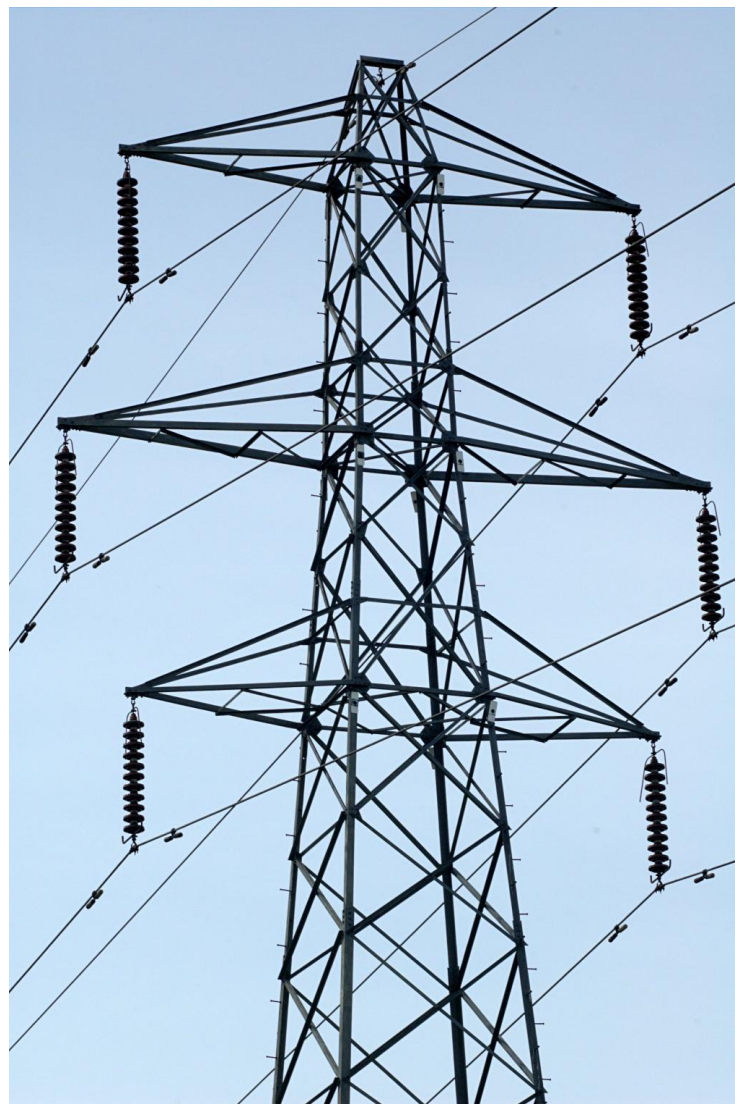
IT for US

Information Technology for Understanding Science

Socrates Comenius programme
Action 2.1 - Training of School Education Staff
119001-CP-1-2004-1-PL-COMENIUS-C21

ELEKTRYCZNOŚĆ POJĘCIA I OBWODY

Trudno sobie wyobrazić współczesne życie bez elektryczności jako źródła energii do oświetlenia, ogrzewania, komunikacji i zasilania wielu różnych maszyn. Postęp w rozumieniu natury elektryczności i właściwości materiałów przewodzących napędza rozwój przemysłu elektronicznego i wynalezienie licznych urządzeń elektrycznych. Rozumienie podstawowych pojęć elektrycznych może ułatwić bezpieczne i wydajne stosowanie urządzeń elektrycznych w życiu codziennym.



© 2007 IT for US – Projekt jest finansowany przy wsparciu Komisji Europejskiej, nr grantu 119001-CP-1-2004-1-PL-COMENIUS-C21. Materiały są odzwierciedleniem poglądów autorów, Komisja nie jest odpowiedzialna za wykorzystanie informacji w nich zawartych.

PORADNIK NAUCZYCIELSKI

I. Wstęp

1. Krótkie wprowadzenie do modułu

Tematem tego modułu są własności prostych obwodów elektrycznych. Do zrozumienia tego zagadnienia niezbędne są podstawowe pojęcia dotyczące elektryczności: ładunek, natężenie prądu, energia, napięcie, opór i moc. Ćwiczenia wykorzystują TI by stymulować rozważania o wykorzystaniu tych pojęć do wyjaśnienia działania elementów obwodów elektrycznych i samych obwodów. Są trzy rodzaje ćwiczeń:

- 1. Pomiary wspomagane komputerowo:** cztery ćwiczenia laboratoryjne
 - Badanie zależności między napięciem a natężeniem prądu na oporniku węglowym
 - Badanie własności oporników połączonych szeregowo lub równolegle
 - Badanie zależności między napięciem a natężeniem prądu dla żarówki
 - Badanie zależności między napięciem a natężeniem prądu dla diody
- 2. Symulacje:** wizualne pomoce ułatwiające zrozumienie pojęć natężenia prądu i napięcia oraz interpretację eksperymentów naboru danych w prostych obwodach:
 - Przedstawienie prądów płynących w obwodach szeregowych i równoległych
 - Badanie spadków napięć w układach szeregowych
 - Przedstawienie pojęcia napięcia jako miary zmiany energii w obwodzie
 - Badanie oporników połączonych szeregowo i równolegle
 - Badanie strat mocy w obwodzie
- 3. Modelowanie:** Modele mają na celu pokazanie zależności między napięciem a natężeniem prądu płynącego przez żarówkę, policzenie oporów zastępczych dla trzech oporników połączonych równolegle i oszacowanie napięcia przyłożonego do obwodu przy zmianie oporu obciążenia (oporu zewnętrznego).

2. Podstawy teoretyczne

PODSTAWOWE POJĘCIA ELEKTRYCZNOŚCI

Podstawą wszystkich zjawisk elektrycznych jest istnienie *ładunku elektrycznego*. Bardzo trudno jest zdefiniować ładunek elektryczny; nie widzimy go, ale dostrzegamy skutki jego istnienia. Najlepiej jest myśleć o nim jako o pewnej *własności materii* nie zaś jak o substancji, cząsteczce lub płynie. Odkryto jedynie dwa rodzaje ładunków elektrycznych i nazwano je ładunkami dodatnimi

i ujemnymi. Uważa się, że cała materia jest zbudowana z cząsteczek obdarzonych ładunkiem (protonów i elektronów w atomach), a siły działające między nimi utrzymują w całości atomy i materię. Zwykle ładunki dodatnie i ujemne występują w jednakowej ilości, przez co ich obecność jest niedostrzegalna. Jedynie gdy naładowane cząsteczki poruszają się lub jeden z typów ładunków jest liczniejszy można łatwo zaobserwować skutki ich istnienia. Przewaga jednego typu ładunków prowadzi do zjawisk *elektrostatycznych*. Efektem ruchu ładunków jest *przepływ prądu elektrycznego*.

Jednostką *ładunku* elektrycznego jest KULOMB, który odpowiada ładunkowi 6.25×10^{18} elektronów.

Natężenie prądu mierzymy jako szybkość przepływu ładunków przez element obwodu. Jednostką natężenia prądu jest AMPER (oznaczany jako A), a 1A odpowiada przepływowi ładunku 1 kulomba na sekundę.

Do tego by ładunek przepłynął przez element obwodu potrzebna jest *energia elektryczna*. Gdy ładunek przechodzi przez element obwodu, część jego energii elektrycznej jest przekształcana w inny rodzaj energii (np. ciepło, światło, dźwięk, ruch). Zmianę energii ładunku o wartości 1 kulomba podczas przejścia przez element obwodu nazywamy *różnicą potencjału* lub „*napięciem*” na tym elemencie. Jednostką napięcia jest WOLT (V), a napięcie 1V spowoduje zmianę 1 dżula energii przez ładunek 1 kulomba.

Z definicji napięcia wynika, że całkowita energia przekształcona na elemencie obwodu zależy zarówno od przyłożonego napięcia, jak i od wartości przepływającego ładunku. Jeśli napięcie jest równe U, to energia wydzielana podczas przepływu ładunku Q jest równa QU (w dżulach). A skoro natężenie prądu to ilość ładunku przepływającego w jednostce czasu, to możemy stwierdzić, że energia przekształcona w jednostce czasu jest równa IU (jednostka: dżul na sekundę, czyli wat). Szybkość przekształcania energii to moc (P) rozproszona na elemencie obwodu. Możemy więc powiedzieć, że $P = IU$. Gdy znamy moc traconą na elemencie, możemy policzyć całkowitą energię przekształconą na elemencie mnożąc *moc przez czas*.

PRZEWODNIKI I ELEMENTY OBWODU

Przydatnymi elementami obwodu są przewodniki, które umożliwiają przepływ prądu. Do opisu tego, jak łatwo dany element przewodzi prąd używamy pojęcia *oporu*. Dokładniej mówiąc wartość oporu określa jak słaby jest przewodnik, nie zaś jak dobrze przewodzi. Tak więc opór można uważać za miarę sprzeciwu wobec przepływu prądu. Większy opór oznacza, że przewodnik gorzej przewodzi. Opór mierzymy jako stosunek napięcia do natężenia prądu. Zapis symboliczny: $R = U/I$ (jednostka: om).

Generalnie napięcie „ciągnie” prąd przez przewodnik. Przyłożenie większego napięcia powoduje wzrost natężenia prądu. Jeśli natężenie prądu zmienia się proporcjonalnie do zmian napięcia, mówimy, że dany element spełnia prawo Ohma. Dzięki temu stosunek U/I jest wielkością stałą, tak więc opornik spełniający prawo Ohma ma stały opór. Spełnienie prawa Ohma jest uwarunkowane stałością temperatury i innych warunków fizycznych, co jest problemem dla przewodów, które się rozgrzewają i żarówek, w których żarniki

stają się bardzo gorące. Mówiąc wprost, przewody, które się rozgrzewają nie spełniają prawa Ohma.

Przewodniki zawdzięczają swoje przewodnictwo mobilności nośników ładunków. W przypadku większości metali za przepływ prądu odpowiada ruchliwość pewnej części ich elektronów („swobodne” elektrony). Łatwość, z jaką elektrony mogą płynąć przez metalowy przewód zależy od stanu drgań atomów w przewodzie. Gdy rośnie temperatura przewodu, zwiększa się amplituda drgań atomów, co utrudnia przepływ elektronów. Tak więc opór przewodu rośnie wraz ze wzrostem temperatury. Najbardziej znanym przykładem jest żarówka wolframowa z żarnikiem. Przy temperaturach osiąganych podczas pracy ma ona o wiele większy opór niż gdy jest zimna. Tak więc w dowolnym eksperymencie wykorzystującym żarówkę, ich opór zmienia się w zależności od natężenia przepływającego prądu i wynikającej z niego temperatury żarnika. To może utrudniać eksperymenty mające na celu badanie prawa Ohma, gdzie potrzebne są oporniki, których opór nie zmienia się pod wpływem przyłożonego napięcia lub przepływu prądu. Rozwiązaniem jest wykorzystywanie oporników węglowych, które mają bardzo niski współczynnik temperaturowy oporu, czyli ich opór praktycznie nie zmienia się pod wpływem temperatury. Choć prawo Ohma jest spełnione przez większość przewodzących substancji, jest też wiele przykładów materiałów przewodzących, w przypadku których natężenie prądu nie zmienia się proporcjonalnie do przyłożonego napięcia; na przykład gazy w fluoryzujących rurkach do wyładowań elektrycznych, roztwory jonowe, półprzewodniki w tranzystorach, układach scalonych, diodach zwykłych i LED.

OBWODY ELEKTRYCZNE

Aby prąd zaczął płynąć niezbędne jest istnienie pełnego obwodu z substancji przewodzących, ciągłej ścieżki, wzdłuż której mogą poruszać się swobodnie ładunki. Obwód może być zbudowany z elementów połączonych szeregowo lub równoległe, ale jeden z tych elementów musi być źródłem energii elektrycznej. Najczęściej jest to ogniwo chemiczne, ale są też inne przykłady jak dynamo i ogniwa słoneczne. Do zrozumienia własności obwodów niezbędne są wszystkie podstawowe pojęcia: ładunek, prąd, napięcie, energia, opór i moc. Zadaniem tego modułu jest dostarczenie ćwiczeń, które ułatwią zrozumienie tych pojęć.

3. Wymagana wiedza wstępna

- eksperymenty z wykorzystaniem baterii, żarówek i przełączników
- ciągłość obwodów
- prąd jako przepływ ładunków elektrycznych
- symbole wykorzystywane na schematach obwodów
- wykorzystanie amperomierza do mierzenia natężenia prądu
- połączenia szeregowo i równoległe

4. Wprowadzane lub rozwijane pojęcia

- napięcie, siła elektromotoryczna, potencjał, różnica potencjałów
- równoległe podłączanie woltomierza
- energia, moc
- opór wewnętrzny ogniwa
- współczynnik temperaturowy oporu

5. Inne użyteczne informacje

Modele obwodów elektrycznych – Dodatek 1 zaczerpnięty z:

http://www.practicalphysics.org/go/Guidance_25.html?topic_id=8&guidance_id=1

William Beaty "Misconceptions spread from K-6 textbooks"

<http://amasci.com/miscon/elect.html>

II. Podejście dydaktyczne

1. Kontekst pedagogiczny

Zawarte tu ćwiczenia dotyczą podstawowych pojęć elektryczności, które są podstawą zrozumienia szerokiej gamy zjawisk elektrycznych. Urządzenia elektryczne są bardzo rozpowszechnione w życiu codziennym, więc w wielu przypadkach możemy odwołać się do podstawowych zasad, by zrozumieć ich działanie. Na przykład:

- Elektryczność w domu dostarcza licznych przykładów przekształcania energii elektrycznej w światło, ciepło, dźwięk lub ruch.
- Choć na zewnątrz widzimy tylko jeden przewód do podłączenia urządzeń elektrycznych do sieci, do działania urządzenia konieczny jest zamknięty obwód.
- Przełączniki i bezpieczniki muszą być połączone z urządzeniem szeregowo.
- Oświetlenie i inne urządzenia elektryczne są włączane do sieci równolegle.
- Żarówki o różnej mocy mają różne opory.

2. Trudności ucznia

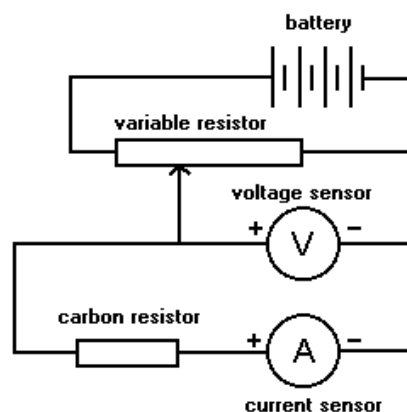
- Mylą ładunek z prądem
- Nie utożsamiają przepływu elektronów z „normalnym prądem”
- Nie rozumieją, że napięcie jest miarą energii przekształconej podczas przepływu ładunku 1 kulomba
- Język fizyczny: natężenie prądu płynącego przez element obwodu, napięcie na elemencie
- Opisanie związku między dwoma zmiennymi na podstawie wykresu

3. Ewaluacja wykorzystania TI

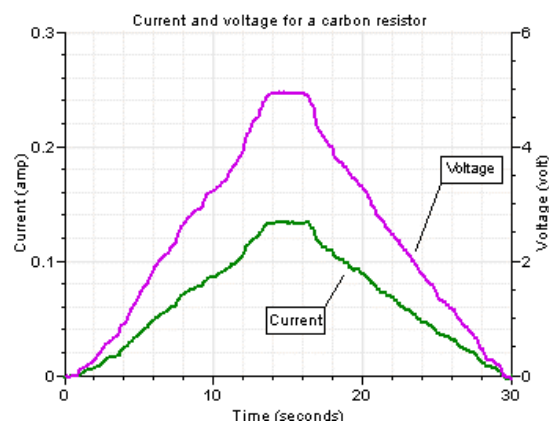
W tym rozdziale rozważymy kilka praktycznych wskazówek jak najefektywniej wykorzystać TI i omówimy cechy TI, które mają największy wpływ na proces uczenia.

POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO

Pomiary napięcia i natężenia prądu są jednymi z najprostszych doświadczeń wspomaganych komputerowo i wymagają stosunkowo tanich czujników. Oczywiście jest wiele tradycyjnych ćwiczeń praktycznych, które uczniowie mogą łatwo wykonać za pomocą baterii, żarówek i oporników, więc jakie są zalety czujników i urządzeń do naboru danych? Jeśli wystarczy kilka pojedynczych pomiarów, trudno jest



uzasadnić wykorzystanie specjalnego sprzętu. Jednak w sytuacjach, gdy niezbędny jest ciągły lub bardzo gęsty pomiar zautomatyzowanie naboru danych jest bardzo przydatne. Tak właśnie jest, gdy badamy charakterystykę prądowo-napięciową danego elementu i możemy otrzymać wykres w czasie rzeczywistym, podczas wykonywania pomiarów. Natychmiastowe wyświetlenie wykresu pozwala od razu skierować uwagę uczniów na tendencje, zmiany i porównania.



Do pierwszego ćwiczenia polecamy opornik węglowy. Ma on bardzo niski współczynnik temperaturowy oporu, dzięki czemu jego opór jest stały w standardowym zakresie napięć i natężeń prądu uzyskiwanych w trakcie pracy z baterijkami. Pierwsze ćwiczenie pokazuje wyniki pomiarów napięcia i natężenia prądu wykreślane w funkcji czasu. Zmiany na pierwszym wykresie są natychmiast odzwierciedlane na drugim. Ukazana jest więc proporcjonalność między tymi wielkościami; odczyt wartości na wykresie ujawnia, że jeśli *napięcie* wzrosło dwukrotnie, *natężenie prądu* także wzrosło dwukrotnie. To bardzo ważne wprowadzenie do zależności na standardowym wykresie napięcia w funkcji natężenia prądu. Ten ostatni wykres, będący linią prostą ma łatwo rozpoznawalny kształt, ale zaproponowane tutaj ćwiczenia analityczne pomogą uzmysłwić uczniom, że przedstawia on zależność proporcjonalną.

Możemy powiedzieć, że opornik węglowy spełnia prawo Ohma. Skoro tak jest, to opór jest stały niezależnie od napięcia i natężenia prądu. Oprogramowanie do pomiarów wspomaganym komputerowo umożliwia łatwe sprawdzenie tego faktu przez obliczenie oporu i wykreślenie go w funkcji napięcia. Przykłady elementów nie spełniających prawa Ohma, takich jak żarówka lub dioda mogą zostać łatwo przebadane w tym samym obwodzie, bez zmiany ustawień eksperymentalnych. Ponownie tworzenie wykresu w czasie rzeczywistym pozwala na porównywanie wyników uzyskanych w krótkich odstępach czasu. W przypadku żarówki wyniki mogą być porównane z ćwiczeniem z modelowania 3a, które identyfikuje zachowanie układu jako zmianę oporu włókna żarówki, wynikającą ze zmiany temperatury.

SYMULACJE

Przedstawione tu symulacje najlepiej sprawdzą się jako pokazy prezentowane przez nauczyciela, będące punktem wyjścia do klasowej dyskusji na temat związanych z nimi pojęć. Wykorzystanie symulacji musi być dobrze przeprowadzone i zintegrowane z dyskusją, by rozwinąć logiczne myślenie. Przypadkowe uruchamianie różnych elementów programu raczej nie wspomogą rozważań o delikatnych pojęciach, o których uczniowie często mają błędne wyobrażenia, więc uporządkowane podejście ma tu kluczowe znaczenie.

Symulacje do tego modułu zostały wybrane tak, by pokazać jak tego typu programy mogą wzbudzać dyskusje prowadzące do zrozumienia abstrakcyjnych pojęć. Są one wizualizacją wewnętrznej pracy obwodów, która normalnie jest niewidoczna. Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu symboli i analogii, które

wymagają dokładnej interpretacji i wskazówek w formie logicznego wyводу nauczyciela. Wszystkie przykłady mogą i powinny być zaproponowane jako praktyczne ćwiczenia laboratoryjne, ale symulacje są mniej czasochłonne. Pozwalają na bardzo szybkie wprowadzanie modyfikacji oraz łatwe i dokładne porównywanie pomiarów. Dzięki różnym wizualizacjom, takim jak ruch ładunków, mierniki analogowe i słupki energii, symulacje bardzo ułatwiają zrozumienie.

Obwód – prąd

Ta symulacja pokazuje różnicę pomiędzy *ładunkiem elektrycznym* a *natężeniem prądu*. Ładunek (mierzony w kulombach) jest własnością cząsteczek, które są we wszystkich częściach obwodu („swobodne elektrony”), a natężenie prądu (mierzone w amperach) jest przedstawione jako ruch naładowanych cząsteczek, które zaczynają płynąć w przewodach i żarówkach. Wzrost przyłożonego *napięcia* powoduje zwiększenie szybkości przepływu ładunków i ten efekt możemy obserwować w formie animacji na ekranie. W kontekście tego układu napięcie może być rozumiane jako „siła napędowa” wywołująca przepływ ładunków (prąd) w przewodach. Pojęcie napięcia jako miary zmian energii w obwodzie nie jest istotne na tym etapie, w prostych obwodach, takich jak przedstawiony tutaj, do wyjaśnienia zachowania prądu i żarówek wystarczy model przyczyny (*napięcie*) i skutku (*prąd*). Jasność żarówek można wykorzystać jako nieformalny wskaźnik *prądu* (kiedy wszystkie żarówki mają podobne opory). Kolejne symulacje z tej serii rozważają zależność jasności żarówki od rozproszonej na niej mocy.

Wirtualne mierniki pozwalają na natychmiastowe obserwacje wielkości *natężenia prądu*; równe przyrosty *natężenia prądu* są obserwowane gdy *napięcie* wzrasta w równych krokach. Należy zauważyć, że to nie jest zachowanie typowe dla żarówki. Żarówki z włóknem wolframowym nie mogą być rozważane jako elementy spełniające prawo Ohma, ponieważ ich *opór* rośnie wraz z *temperaturą*. Ta i kolejne symulacje nie uwzględniają tego efektu, by dostarczyć prostych wyników i ułatwić rozpoznawanie wyników typu prostej proporcji. Jednak ćwiczenie 3b jawnie wymaga uwzględnienia temperatury żarnika.

Wirtualne mierniki pozwalają także na łatwe porównywanie natężeń prądu w różnych częściach obwodu i podczas zmiany ilości żarówek. Gdy dwie żarówki są połączone szeregowo, zmniejszenie natężenia prądu toruje drogę ku zrozumieniu istoty oporu; prądowi jest „trudniej” przepłynąć przez szereg dwóch żarówek. Jednak gdy żarówki są połączone równolegle, prądy w obu gałęziach mogą być traktowane jako niezależne. Można także obserwować rozgałęzianie się i łączenie prądów na łącznikach w kształcie litery T, w taki sposób, by na każdym łączniku spełniona była zasada o sumowaniu się natężeń prądów.

Uwaga: Animowane wizualizacje nie powinny być traktowane zbyt dosłownie. Tak jak w przypadku wielu modeli i symulacji, grafika jest tu symboliczna i ma ułatwiać rozważanie pewnych tematów, opisanych powyżej. Na przykład symulacja nie ma pokazać prawdziwej liczby naładowanych cząsteczek ani ich prędkości połączonej z przepływem prądu w prawdziwych przewodach. W rzeczywistości gęstość swobodnych elektronów jest ogromna (zwykle około 10^{18} elektronów na każdy milimetr przewodu), a prędkość ich przepływu jest zwykle bardzo mała (zwykle 1mm/s).

Obwód – napięcie

Ta symulacja ma skłonić do rozważań nad rolą napięcia w obwodzie. Napięcie podawane przez baterię rozdziela się na oporniku i żarówce. Względny opór tych elementów określa w jakim stosunku dzielone jest napięcie. Widać, że gdy zmienia się opór, zmienia się nie tylko natężenie prądu płynącego przez żarówkę, ale także napięcie na niej. Należy podkreślić, że jasność żarówki zależy od natężenia i od napięcia.

Dyskusja musi rozwijać wyobrażenia o energii elektrycznej w obwodzie: ładunek (mierzony w kulombach) gromadzi energię przechodząc przez baterię i dostarcza ją do elementów obwodu przechodząc przez nie w obwodzie zewnętrznym.

Napięcie = energia dostarczona lub oddana na jednostkę ładunku

Natężenie = szybkość przepływu ładunków przez element obwodu

Należy zwrócić uwagę na poprawny język fizyki: *prąd* płynie przez element obwodu, ale *napięcie* mierzymy na elemencie. Wynika stąd, że amperomierz musi być włączony do obwodu szeregowo, a woltomierz równolegle.

Obwód – potencjał

Ta symulacja może bardzo ułatwić zrozumienie pojęcia napięcia, ale niezbędne jest dobre prowadzenie dyskusji z uczniami.

Słowa napięcie używamy do opisanego dwóch różnych pojęć:

- SEM (siła elektromotoryczna) jest energią potencjalną elektryczną uzyskaną przez ładunek o wartości 1 kulomba podczas przejścia przez ogniwo. Jest to miara energii dostarczonej do obwodu,
- różnica potencjałów to elektryczna energia potencjalna przekształcona na ciepło (i światło), gdy przez element obwodu przepływa ładunek o wartości 1 kulomba.

Ta symulacja rozróżnia te dwa pojęcia umożliwiając zmianę SEM ogniwa i pomiar różnicy potencjałów na elementach obwodu. Przedstawiając energię elektryczną w postaci pionowych słupków można powołać się na analogię między elektryczną energią potencjalną i grawitacyjną energią potencjalną. W tej reprezentacji punkt położony niżej na wzniesieniu ma mniejszą energię potencjalną niż punkt położony wyżej, a zbocze reprezentuje „różnicę potencjałów”. Skoro piłka stacza się szybciej z bardziej stromego zbocza, tak samo natężenie prądu jest większe przy wyższej różnicy potencjałów. W tej symulacji „elektryczne wzgórze” jest przedstawione w postaci niebieskiej linii, a różnicy potencjałów odpowiada niebieska strzałka skierowana w dół. Podczas rozważań nad zaproponowaną analogią mogą pojawić się bliźniacze pojęcia napięcia (różnicy potencjałów) jako przyczyny wywołującej przepływ prądu i jako miary zmian energii. Symulacja umożliwia wizualizację tych pojęć i wykorzystanie analogii grawitacyjnej ułatwiającej ich zrozumienie.

W tej reprezentacji nie wprost przekazana jest bardzo ważna zasada: zasada zachowania energii. Energia elektryczna dostarczona do obwodu, gdy ładunki przechodzą przez ogniwo jest całkowicie kompensowana przez energie tracone przez ładunki podczas przechodzenia przez elementy obwodu. Innymi słowy suma różnic potencjałów na elementach obwodu jest równa sile elektromotorycznej ogniwa.

Inną ważną zasadą, która powinna wypłynąć z dyskusji jest ta, że szybkość strat energii przez żarówkę nie zależy po prostu od natężenia prądu. Jest jasne, że przez żarówki połączone szeregowo płynie taki sam prąd, więc różnice w energiach zależą także od napięcia (różnicy potencjałów) na nich.

Obwód – opór

Największą zaletą tej symulacji jest eliminacja licznych pomiarów i obliczeń, które są zwykle konieczne podczas wykonywania eksperymentów. Program pokazuje metodę obliczeniową i widać wyraźnie, że opór jest niezależny od napięcia. Skoro napięcie i natężenie prądu rosną w tym samym tempie (przy założeniu, że opornik spełnia prawo Ohma) opór jest stałą w sensie matematycznym.

Różne kombinacje oporników mogą być wybierane stosunkowo łatwo, co pozwala na dużą oszczędność czasu, zapewnia dokładność i umożliwia szybkie porównania. Dobrą taktyką dla nauczyciela jest proszenie uczniów by zgadli, jakie będzie natężenie prądu lub opór zanim symulacja zostanie uruchomiona. Uczniowie często są zaskoczeni, że równoległe połączenie oporników daje mniejszy opór niż suma poszczególnych połączonych oporów. Wizualizacja w tej symulacji pokazuje w jasny sposób, że dodatkowy opornik jest w rzeczywistości dodatkową przewodzącą ścieżką, którą może popłynąć prąd, więc w porównaniu do pojedynczego opornika, przez układ równoległy może popłynąć prąd o większym natężeniu. Choć te elementy układu zwykle określa się jako „oporniki” warto jest podkreślić, że pełnią one rolę przewodników.

Obwód – moc

Ta symulacja pomaga badać związek między napięciem, natężeniem prądu a mocą w prostym obwodzie. Wirtualne mierniki i wykresy pozwalają na natychmiastowe porównywanie zmian. Jeśli napięcie rośnie równymi krokami, to na mierniku natężenia prądu widać, że rośnie ono jednakowymi krokami, ale miernik mocy pokazuje coraz większe kroki. Wyświetlenie wartości pozwala uczniom zauważyć, że wzrosty są liniowe dla natężenia prądu i napięcia, ale kwadratowe dla mocy i napięcia. W porównaniu z prawdziwym eksperymentem pojawienie się prostych wartości umożliwia badanie stosunków jako prostej proporcji.

Poprzednia symulacja „Obwód – potencjał” ustaliła związek między jasnością żarówki a napięciem i natężeniem prądu. Skoro model do symulacji „Obwód – moc” oblicza moc elektryczną jako wynik działania napięcia i natężenia prądu, ta symulacja podkreśla fakt, że jasność żarówki zależy od szybkości przekształcania energii i emisji jej w postaci światła.

MODELOWANIE

Ćwiczenia z modelowania mają dać uczniom wgląd w fizyczne i matematyczne podstawy obliczeń wykorzystywanych przez dany model. Celem modelowania jest praca nad dostosowaniem modelu tak, żeby dawał wyniki jak najbardziej zbliżone do wyników uzyskanych w prawdziwych eksperymentach. Wyniki z dwóch pierwszych modeli mogą być bezpośrednio porównane z wynikami pomiarów wspomaganymi komputerowo.

Model – żarówka

Model opiera się na dwóch głównych założeniach:

1. Opór włókna żarówki wzrasta, gdy włókno się rozgrzewa.
2. Temperatura włókna żarówki zależy od równowagi pomiędzy energią cieplną uzyskaną z przemiany energii elektrycznej i ciepła utraconego przez wypromieniowanie do otoczenia

Pierwszy efekt opisany jest wzorem, który wyznacza zmianę oporu ΔR jako efekt zmiany temperatury ΔT :

$$\Delta R = a * \Delta T$$

gdzie a jest temperaturowym współczynnikiem oporu dla opornika.

Wzór na obliczenie zmiany temperatury jest bardziej złożony. Składa się z dwóch części: pierwsza ($c * I * U * \Delta t$) odnosi się do wytwarzania ciepła w żarówce, a druga ($b * (T - 20) * \Delta t$) do ciepła oddanego do otoczenia

$$\Delta T = c * I * U * \Delta t - b * (T - 20) * \Delta t,$$

gdzie c jest stałą pozwalającą obliczyć przyrost temperatury spowodowany mocą (IU) dostarczaną żarówce, b jest stałą pozwalającą obliczyć spadek temperatury spowodowany odpływem ciepła do otoczenia. Temperatura otoczenia jest ustalona na 20 stopni, więc zakładamy, że energia zmienia się proporcjonalnie do różnicy temperatur włókna żarówki i otoczenia. Jest to pewne uproszczenie, zaniebujące prawem promieniowania Stefana-Boltzmana.

Gdy powoli zwiększamy napięcie, natężenie prądu rośnie nieliniowo. Im wyższe jest natężenie prądu tym wolniej też rośnie (z powodu wzrostu oporu ze wzrostem temperatury). Zmniejszanie napięcia daje podobną krzywą, ale położoną niżej na wykresie. Podobny efekt można uzyskać w doświadczeniu laboratoryjnym.

Model – oporniki

Ten model wykorzystuje podstawowe zasady opisujące proste obwody elektryczne. Przy połączeniu równoległym napięcie na każdej gałęzi jest takie samo, a prądy z poszczególnych gałęzi sumują się. Dzięki temu metoda obliczania oporu zastępczego jest jasna dla uczniów, ale wyniki zawsze są zaskakujące: więcej oporników połączonych równolegle, a mniejszy opór! Ten model jest rozwinięciem modelu wykorzystanego w symulacji do ćwiczenia 2d.

Model – ogniwo

Ten model uwzględnia opór wewnętrzny ogniwa – czynnik, który był całkowicie pomijany w poprzednich symulacjach i modelach. Model wprowadza rozróżnienie między energią dostarczaną do obwodu przez jednostkowy ładunek (SEM, siła elektromotoryczna ogniwa) i napięciem U mierzonym na zaciskach baterii. Różnica między tymi wielkościami odzwierciedla energię przenoszoną przez ładunek 1 kulomba i rozproszoną w postaci ciepła na oporze wewnętrznym ogniwa:

Czyli:

$$U = E - u$$

Natężenie prądu w obwodzie jest liczone z uwzględnieniem całkowitego oporu obwodu:

$$I = E / (R_u + R + r),$$

gdzie R_u i R są oporami w zewnętrznym obwodzie, r jest oporem wewnętrznym ogniwa.

Energia na jednostkę ładunku (u), rozproszona na oporze wewnętrznym ogniwa może być policzona jak:

$$u = I * r$$

Wynika stąd, że „napięcie tracone” na oporze wewnętrznym wzrasta wraz z natężeniem prądu płynącego przez ogniwo i oporem wewnętrznym ogniwa. Nowa bateria ma mały opór wewnętrzny, ale podczas pracy jej opór wewnętrzny rośnie w wyniku zachodzących w baterii przemian chemicznych. Tak więc starsza, bardziej zużyta bateria, traci więcej napięcia na swoich zaciskach. Model pozwala na obserwowanie efektu starzenia się baterii poprzez zwiększanie jej oporu wewnętrznego.

4. Podejście dydaktyczne

Trzy omówione grupy ćwiczeń umożliwiają różne, lecz wzajemnie uzupełniające się sposoby wglądu w przedstawione zagadnienia naukowe. Aby te ćwiczenia skutecznie ułatwiały nauczanie i proces uczenia się warto, aby nauczyciele uwzględnili dwa rodzaje umiejętności:

- **Umiejętności informatyczne**, czyli manipulację sprzętem komputerowym i znajomość możliwości programu,
- **Umiejętności metodyczne**, które związane są z takim wykorzystywaniem narzędzi TI w trakcie lekcji, aby uzyskać korzyści dydaktyczne. Głównym celem jest rozbudzenie dociekliwości i budowanie skojarzeń ze zdobytą wcześniej wiedzą.

Te umiejętności są ważne, by dobrze przygotować uczniów do ćwiczeń, a arkusze ćwiczeń zamieszczone poniżej zawierają listę umiejętności niezbędnych do wykonania danego ćwiczenia.

Nauczyciel powinien też posiadać *umiejętności pedagogiczne*, które zwiększają skuteczność ćwiczeń:

1. Definiowanie w jasny sposób celów nauczania do każdego ćwiczenia.
2. Zrozumienie wartości TI i wykorzystywanie jej pełnego potencjału w zaplanowany sposób.
3. Prowadzenie ćwiczenia tak, by wykorzystanie TI było raczej „właściwe” niż przypadkowe.
4. Łączenie wiedzy z poszczególnych ćwiczeń tak, by uczniowie zrozumieli temat.

Rozwinięcie ostatniej z nich jest głównym celem projektu IT for US, a ćwiczenia przedstawione poniżej zostały specjalnie wybrane, by pokazać jak można uzyskać to połączenie. Różne typy ćwiczeń dobrano tak, by były komplementarne zarówno między sobą jak i z innymi ćwiczeniami wykonywanymi z dala od komputera. Nauczyciele zwykle mają swoją ulubioną kolejność nauczania, uwzględniającą pokazy, wyjaśnienia, eksperymenty klasowe, ale poniższa tabela proponuje sekwencję przedstawiającą logiczny rozwój pojęć. Kolumna po prawej stronie pokazuje, jakie ćwiczenia z tego modułu można wybrać, by ułatwić nauczanie.

Kolejność nauczania	Ćwiczenia IT for US
*Doświadczenia z przewodnikami i izolatorami *Doświadczenia z bateriami, żarówkami i przełącznikami Wprowadzenie pojęcia ładunku i prądu Napięcie jako „siła napędowa” wywołująca przepływ prądu Pojęcie energii elektrycznej Napięcie jako energia na jednostkę ładunku *Pomiary napięcia na elementach połączonych szeregowo *Pomiary mocy elektrycznej	Symulacja: 2a. Prądy w obwodzie Symulacja: 2b. Napięcie przy połączeniu szeregowym Symulacja: 2c. Energia elektryczna w obwodzie Symulacja: 2e. Moc elektryczna
*Badanie związku między natężeniem prądu a napięciem dla elementów obwodu Definicja pojęcia oporu *Doświadczenia z opornikami połączonymi szeregowo i równoległe	Pomiary wspomagane komputerowo: 1a,1c. Badanie zależności I(U) dla opornika, żarówki, diody 1b. Oporniki szeregowo i równoległe Symulacja: 2d. Obliczanie oporu Model: 3b. Obliczanie oporu
*Doświadczenie z żarówką – obserwacja wpływu temperatury na opór *Doświadczenia ze zwojami rozgrzanego przewodu	Pomiary wspomagane komputerowo: 1c. Charakterystyka żarówki Model: 3a. Opór żarówki
*Doświadczenie badające opór wewnętrzny baterii	Model: 3c. Opór wewnętrzny baterii i „strata” napięcia

Nie opisano doświadczeń wykonywanych bez komputera (*), ponieważ są one dobrze omówione w tradycyjnych programach nauczania i w podręcznikach.

Porównanie obserwacji i wyników każdego ćwiczenia stanowi najważniejszy element procesu integracji wiedzy. Na przykład:

- porównanie wykresów uzyskanych w eksperymentach wspomaganym komputerowo; różne oporniki i różne kombinacje oporników dają różne

nachylenia linii prostej; oporniki węglowe, żarówki i diody dają różne kształty wykresów,

- porównanie symulacji i eksperymentów wspomaganym komputerowo połączone wyniki doświadczeń i ich teoretyczne wyjaśnienie.

Wykres jest podstawą porównań i interpretacji, a umiejętności związane z analizą wykresów są wykorzystywane w wielu ćwiczeniach IT for US.

Ważny wpływ na udaną integrację ćwiczeń ma organizacja zajęć. Uwzględniając fakt, że zrozumienie elektryczności wymaga jasnego myślenia o kilku wzajemnie powiązanych pojęciach, nauczyciel musi zapewnić umiejętne kierowanie zespołem uczniów podczas wykonywania ćwiczeń. Większość nauczycieli zrobi to wykorzystując pokazy dydaktyczne połączone z dyskusją klasową. Są jednak możliwości do dalszej pracy indywidualnej lub w parach (utrwalenie, rozszerzenie, powtórzenie). Dobrze jest nadać tym ćwiczeniom pewną strukturę wykorzystując sugestie zawarte w arkuszach ćwiczeń. Ważne jest, by zarówno podczas planowania jak i nauczania, mieć jasno zdefiniowane cele nauczania dla każdego ćwiczenia. Ułatwia to poniższa tabela wskazując potencjalne korzyści edukacyjne.

Ćwiczenie	Potencjalne korzyści dydaktyczne, „wartość TI”
Pomiary wspomagane komputerowo 1. Wykresy natężenia od napięcia 2. Oporniki szeregowo i równoległe	Wykres natężenia prądu w funkcji napięcia rysowany podczas eksperymentu. Natychmiast można obserwować zmiany. Narzędzia do analizy wykresów umożliwiają szczegółowe badanie danych.
Symulacje	Animowana grafika jest wizualizacją abstrakcyjnych pojęć związanych z teorią elektryczności. <ul style="list-style-type: none"> – Prąd jako przepływ ładunków – Zasada zachowania natężenia prądu – Potencjał elektryczny jako energia elektryczna na jednostkę ładunku. – Napięcie (SEM i różnica potencjału) jako energia przenoszona przez jednostkowy ładunek. – Zachowanie energii w obwodzie.
Modelowanie 1. Żarówka 2. Oporniki połączone szeregowo 3. Opór wewnętrzny baterii.	Modele pokazują jak odpowiednie zasady fizyki mogą być wyrażone w prosty sposób przy użyciu wzorów matematycznych. Modele generują dane, które mogą być porównane z wynikami prawdziwych eksperymentów (wspomaganych komputerowo). Można badać wpływ zmiany takich parametrów jak temperatura otoczenia, masa substancji, pojemność cieplna. Model 1 umożliwia badanie zmiany oporu przy zmianie temperatury. Model 2 może zostać rozszerzony do dowolnej liczby oporników o dowolnym oporze. Model 3 umożliwia symulację efektu starzenia się ogniwa.

5. Zestaw środków dydaktycznych do ćwiczeń uczniowskich

Wykaz plików źródłowych, niezbędnych do wykonania ćwiczeń

OPROGRAMOWANIE INSIGHT

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Pomiary wspomagane komputerowo (ćwicz.1a i 1b)	<i>Insight-pomiary</i>	Plik ustawień: 'carbon resistor set-up' <i>Otwarcie tego pliku spowoduje, że program jest przygotowany do wykonywania eksperymentu.</i> Wyniki pomiarów: 'carbon resistor data' <i>Zawiera przykładowe wyniki pomiarów.</i>
2. Symulacje	<i>Simulation Insight</i>	'circuit - current' 'circuit - voltage' 'circuit - potential' 'circuit - resistance' 'circuit - power'
3. Modelowanie	<i>Simulation Insight</i>	'model - bulb' 'model - resistors' 'model - battery'

OPROGRAMOWANIE COACH 5 PL

Rodzaj ćwiczenia	Nazwa programu	Dostępne pliki
1. Pomiary wspomagane komputerowo (ćwicz.1a i 1b)	<i>Coach 5 PL</i>	Projekt: <i>Laboratorium: Pomiary z CoachLab2</i> Ćwiczenie: <i>Pomiary w czasie (przykładowe wyniki: Charakterystyka żaróweczki (w czasie), Histereza żaróweczki)</i>

WYPOSAŻENIE I MATERIAŁY DO ĆWICZENIA 1 (POMIARY WSPOMAGANE KOMPUTEROWO):

- Komputer i oprogramowanie – *patrz tabela powyżej*
- Interfejs pomiarowy np. CoachLab II/II+ lub LogIT
- Czujnik napięcia i natężenia prądu (np. dla interfejsu Coach Lab II/II+ wybierz czujnik natężenia prądu (0221i) i woltomierz uniwersalny (-10, 10 V)
- 2 identyczne oporniki (np. 10 ohm)
- Opornik suwakowy (np.20 ohm)
- Termistor

- Dioda świecąca (LED)
- Bateria
- Przewody łączące, krokodylki

III. ĆWICZENIA UCZNIOWSKIE

ĆWICZENIE 1A. BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY NATĘŻENIEM PRĄDU A NAPIĘCIEM DLA OPORNIKA

Cele nauczania:

- Otrzymanie wykresów napięcia i natężenia od czasu dla opornika w czasie zmiany napięcia na oporniku
- Interpretacja wykresów - znalezienie zależności między napięciem a natężeniem
- Przekształcanie wykresów pozwalające obliczyć opór opornika i wydzielaną moc

Zastosowana TI:
pomiary wspomagane komputerowo
Poziom nauczania:
14 – 17 lat
Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Przyłączanie czujników i interfejsu
- Wybór mierzonych wielkości
- Rejestracja wyników pomiaru
- Analiza wykresów za pomocą narzędzi dostępnych w programie

Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

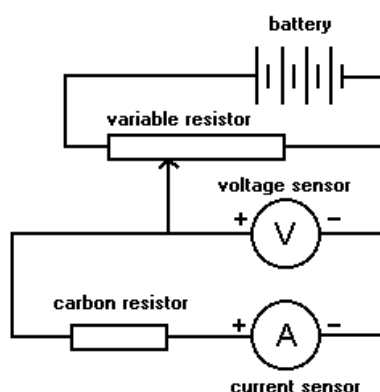
- Odczyt wartości/nachylenia
- Zmiana wielkości na osiach wykresu
- Obliczenie wielkości pochodnych na podstawie danych pomiarowych
- Ocena jakości pomiaru

Materiały:

- Interfejs pomiarowy
- Czujniki napięcia i natężenia
- Opornik (np. 10 ohm)
- Opornik suwakowy (np. 20 ohm)
- Bateria
- Przewody łączące

Przebieg ćwiczenia:

1. Podłącz oba końce opornika suwakowego do baterii.
2. Połącz suwak na oporniku suwakowym z badanym opornikiem i zamknij obwód dołączając czujniki zgodnie ze schematem.
3. Ustaw pomiar tak, aby rejestrować prąd i napięcie przez około 60 sekund. Ustaw wykresy do wyświetlania wartości natężenia i napięcia od czasu. Rozpocznij rejestrację wyników pomiaru.



4. Powoli przesuwaj suwak na oporniku tak, aby napięcie rosło od 0 do maksymalnej wartości, a następnie malało do 0.
5. Obserwuj wykresy pokazujące zmiany napięcia i natężenia w czasie.

Analiza wyników:

1. Przegląd wyników

Po wykonaniu doświadczenia można odtworzyć przebieg pomiaru używając kursorów i wykresów słupkowych. Włącz opcję *Analiza/Odczyty* i ciągnij powoli kursor wzdłuż osi X. Zauważ, że słupki rosną i maleją podobnie do zmian mierzonych wielkości. W szczególności uczniowie powinni zauważyć, że wzrostom i spadkom napięcia odpowiadają wzrosty i spadki natężenia prądu.

2. Odczyt wyników z wykresu

Zapisz wartości natężenia dla napięć 1.0, 2.0 i 3 V i szukaj związku między tymi wartościami.

3. Zmiana osi wykresu

Zmień osie wykresu, aby otrzymać wykres natężenia od napięcia. Liniowy kształt wykresu jest ważnym wskaźnikiem związku między wielkościami. Odczytaj wartości, aby potwierdzić że są to takie same wyniki, jak odczytane w pkt.2.

4. Obliczanie oporu

Wykorzystaj wartości odczytane w pkt. 2 do obliczenia *oporu* opornika ze wzoru:

$$R = V / I$$

Możesz wykorzystać tabelę do obliczenia oporu na podstawie całego zestawu danych. Wykresy zależności oporu od napięcia lub oporu od czasu pokazują, czy opór zmienia się w czasie doświadczenia czy jest stały.

5. Obliczenie wydzielanej mocy

Utwórz następny zestaw danych według zależności $P = I * V$. Narysuj wykres mocy od napięcia i porównaj jego kształt z wykresem natężenia od napięcia.

Odczytaj wartości mocy przy napięciu 1.0, 2.0 i 3.0 wolty. Szukaj związku między wielkościami i porównaj to z wynikiem otrzymanym w pkt. 2 i 3.

Dalsza praca:

- Przedyskutuj, na ile wyniki pomiarów potwierdzają, że opornik spełnia prawo Ohma.
- Powtórz doświadczenie z opornikami o innych oporach i porównaj wyniki.
- Ta sama metoda może być stosowana dla różnych elementów takich jak żarówki do latarek, diody, diody świecące (LED) i termistory (Patrz Ćwiczenie 1 c).

ĆWICZENIE 1B. SZEREGOWE I RÓWNOLEGŁE ŁĄCZENIE OPORNIKÓW

Cele nauczania:

- Otrzymanie wykresów natężenia od napięcia dla pojedynczego opornika, dwóch oporników połączonych szeregowo i równoległe
- Wyznaczenie oporu wypadkowego dla oporników połączonych szeregowo i równoległe na podstawie wykresów
- Przewidywanie stopnia nachylenia (gradientu) wykresu przed odczytem

Zastosowana TI:
pomiary wspomagane komputerowo
Poziom nauczania:
14 – 17 lat
Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Przyłączanie czujników i interfejsu
- Wybór mierzonych wielkości
- Rejestracja wyników pomiaru
- Stosowanie narzędzi do odczytu wyników z wykresu

Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

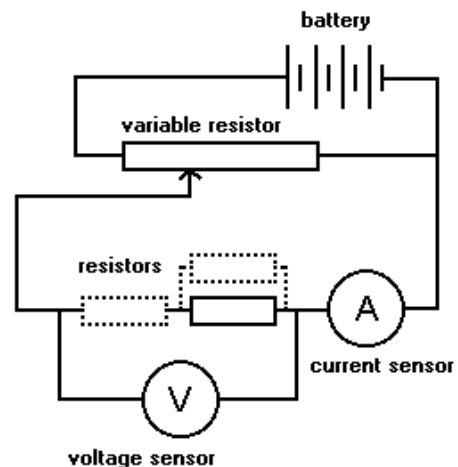
- Analiza wyników przy pomocy wykresów
- Odczyt wartości/nachylenia
- Ocena jakości pomiaru

Materiały:

- Interfejs pomiarowy
- Czujniki napięcia i natężenia (jak w ćwic. 1a)
- Dwa identyczne oporniki (np. 10 ohm)
- Opornik suwakowy (np. 20 ohm)
- Bateria
- Przewody łączące

Przebieg ćwiczenia:

1. Podłącz oba końce opornika suwakowego do baterii.
2. Połącz suwak na oporniku suwakowym z badanym opornikiem i zamknij obwód dołączając czujniki zgodnie ze schematem.
3. Ustaw pomiar tak, aby rejestrować prąd i napięcie przez około 60 sekund. Ustaw wykresy do wyświetlania wartości natężenia i napięcia od czasu. Rozpocznij rejestrację wyników pomiaru.
4. Powoli przesuwaj suwak na oporniku tak, aby napięcie rośnie od 0 do maksymalnej wartości, a następnie maleje do 0.
5. Obserwuj wykres i zastanów się, jak wartość oporu wpływa na stopień nachylenia wykresu.
6. Dołącz szeregowo drugi opornik i powtórz pomiar. Porównaj stopień nachylenia nowego wykresu z poprzednim.
7. Powtórz pomiar przy równoległym połączeniu drugiego opornika.



Analiza wyników:

1. Odczyt wyników z wykresu

Dla każdego wykresu zapisz wartości natężenia prądu dla napięć 1.0, 2.0 i 3 V i szukaj związku między wartościami.

2. Porównanie wykresów

Zauważ, że każdy z tych trzech wykresów (dla pojedynczego opornika, dwóch oporników połączonych szeregowo, dwóch oporników połączonych równolegle) ma inny stopień nachylenia (gradient). Zgadnij, który wykres odpowiada najmniejszej wartości oporu.

3. Obliczanie oporu

Wykorzystaj wartości odczytane w pkt. 1 do obliczenia *oporu* opornika ze wzoru:

$$R = V / I$$

Wskaż przy jakim połączeniu oporników występuje największy opór, a kiedy najmniejszy.

ĆWICZENIE 1C. BADANIE ZALEŻNOŚCI MIĘDZY NATĘŻENIEM PRĄDU A NAPIĘCIEM DLA ŻARÓWKI

Cele nauczania:

- Otrzymanie wykresów zmian napięcia i natężenia prądu od czasu dla żaróweczki
- Interpretacja wykresów, znalezienie zależności między napięciem a natężeniem

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Przyłączanie czujników i interfejsu
- Wybór mierzonych wielkości
- Rejestracja wyników pomiaru
- Analiza wykresów za pomocą narzędzi dostępnych w programie

Umiejętności związane ze stosowaniem programu:

- Odczyt wartości/nachylenia
- Zmiana wielkości na osiach wykresu
- Ocena jakości pomiaru

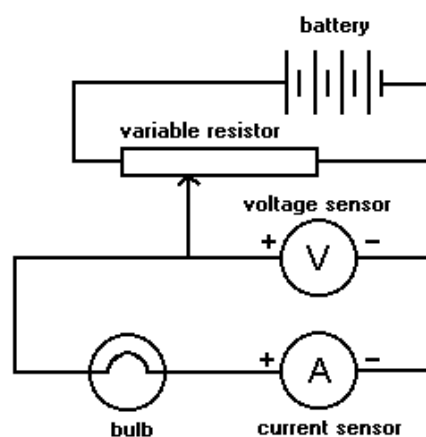
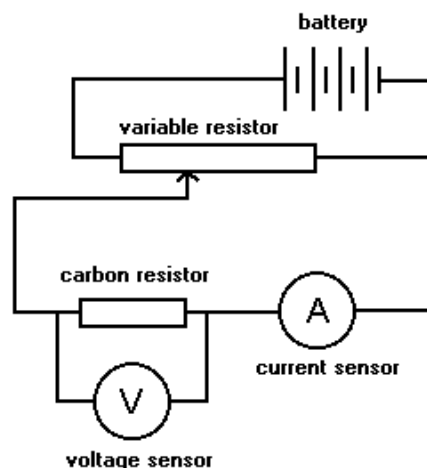
Materiały:

- Interfejs pomiarowy
- Czujniki napięcia i natężenia
- Żaróweczka (3,5 V)
- Opornik suwakowy (np. 20 ohm)
- Bateria
- Przewody łączące

Zastosowana TI:
pomiary wspomagane komputerowo
Poziom nauczania:
14 – 17 lat
Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

Przebieg ćwiczenia:

1. Przyłącz oba końce opornika suwakowego do baterii.
2. Przyłącz suwak na oporniku suwakowym do żarówki i zamknij obwód dołączając czujniki zgodnie ze schematem. (Zwróć uwagę na polaryzację przy przyłączaniu czujników).
3. Ustaw czas pomiaru tak, aby rejestrować natężenie prądu i napięcie przez około 60 sekund. Rozpocznij rejestrację wyników pomiaru.
4. Powoli przesuwaj suwak na oporniku tak, aby napięcie rosło od 0 do maksymalnej wartości, a następnie malało do 0.
5. Obserwuj wykresy pokazujące zmiany napięcia i natężenia w czasie.



Analiza wyników:

1. Przegląd wyników

Zauważ, że kształt otrzymanych wykresów jest inny niż dla opornika. Więcej informacji o różnicach możesz uzyskać odtwarzając przebieg pomiaru za pomocą kursorów i wykresów słupkowych. Włącz opcję *Analiza/Odczyty* i ciągnij powoli kursor wzdłuż osi X, obserwuj uważnie jak zmienia się wysokość słupków.

W szczególności uczniowie powinni zauważyć, że wzrostom i spadkom napięcia towarzyszą inne zmiany natężenia prądu (inaczej niż dla opornika). Jest to pierwsza przesłanka do stwierdzenia, że zależność jest nieliniowa; zmiany natężenia prądu wydają się być mniejsze niż odpowiadające im zmiany napięcia.

2. Odczyt wyników z wykresu

Zapisz wartości natężenia prądu dla napięć 1.0, 2.0 i 3 V i szukaj potwierdzenia nieliniowego związku między tymi wielkościami.

3. Zmiana osi wykresu

Zmień osie wykresu, aby otrzymać zależność natężenia prądu od napięcia.

Kształt wykresu potwierdza nieliniowy związek między tymi wielkościami. Poza tym przebieg wykresu jest trochę inny w czasie wzrostu napięcia niż spadku. Natężenie prądu było mniejsze w czasie zmniejszania napięcia. Można zasugerować uczniom, żeby pomyśleli o wpływie zmian temperatury włókna żarówki na jej opór.

4. Obliczenie oporu

Zastosuj dostępne narzędzia do obliczenia nowego zestawu danych - wartości oporu żarówki z zależności: $R = V / I$. Wykresy zależności oporu od napięcia lub oporu od czasu potwierdzają zmiany oporu w czasie trwania doświadczenia.

Dalsza praca:

- Sprawdź jak wpływa na kształt wykresu szybkość zmiany napięcia na żarówce. Wynik można wyjaśnić zmianami temperatury włókna żarówki, które wpływają na zmiany oporu.
- Powtórz doświadczenie termistorem i porównaj wyniki.
- Ta sama metoda pomiarów może być stosowana do badania zwykłej diody czy diody świecącej (LED). Należy pamiętać o dodatkowym oporniku zabezpieczającym, połączonym szeregowo z diodą.

ĆWICZENIE 2A. NATĘŻENIA PRĄDÓW PRZY RÓWNOLEGLYM I SZEREGOWYM POŁĄCZENIU OPORNIKÓW

Cele nauczania:

- Rozumienie, że przepływ prądu polega na przepływie ładunków
- Rozumienie, że z zasady zachowania ładunku elektrycznego wynika zachowanie natężeń prądów przy połączeniu szeregowym i równoległym
- Rozumienie, że natężenie prądu przepływającego przez oporniki połączone szeregowo jest stałe
- Rozumienie, że napięcie powoduje przepływ prądu elektrycznego

Zastosowana TI:
symulacja

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

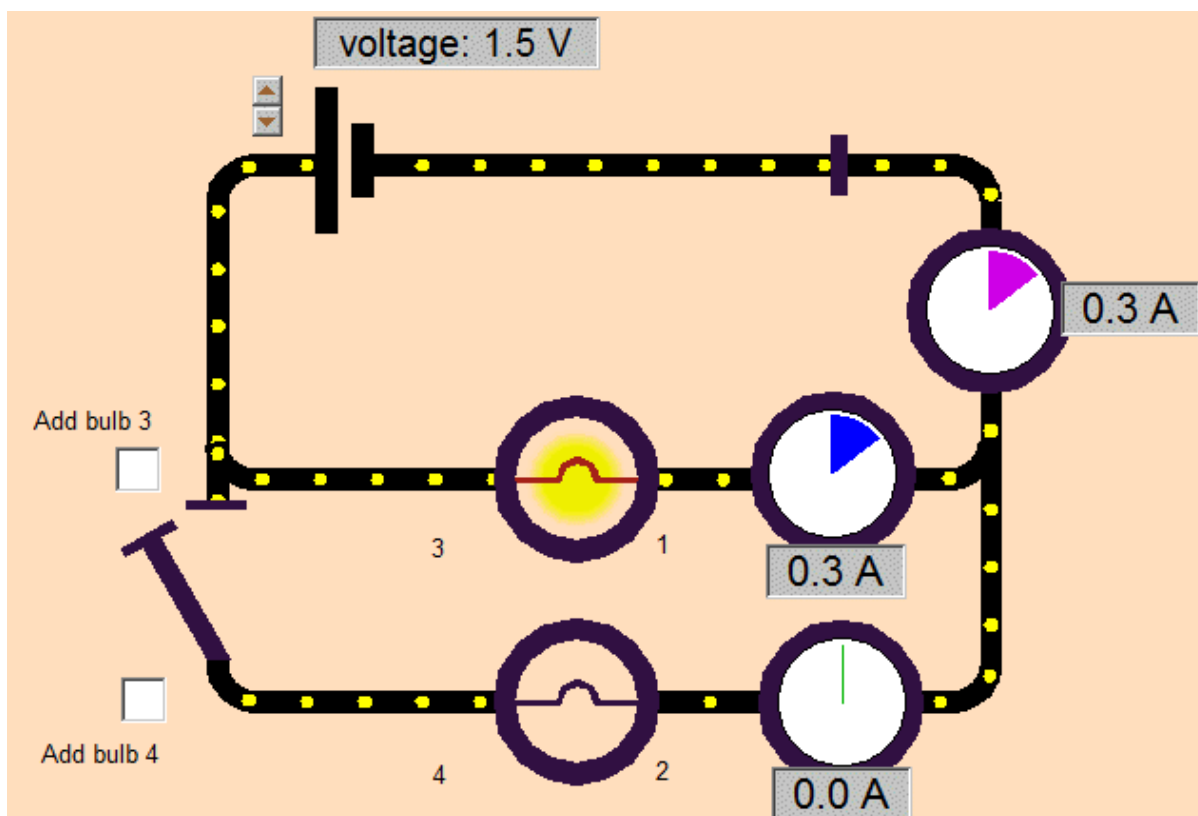
- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Opisywanie obserwacji i połączenie ich z wyjaśnieniem teoretycznym

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

1. Otwórz plik 'Circuit -current'
2. Obejrzyj uważnie obwód w oknie symulacji. Składa się on z baterii, 2 żarówek, 2 wyłączników i 3 amperomierzy. 2 dodatkowe żarówki mogą być dołączone do obwodu przez zaznaczenie 'kwadracików' po lewej.
3. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
4. Zamknij wyłącznik obok baterii i ustaw napięcie zasilania. Obserwuj jak to wpływa na natężenie prądu płynącego przez żarówkę i jasność świecenia żarówki.
5. Połącz szeregowo 3-cią żarówkę z pierwszą. Obserwuj jak to wpływa na natężenie prądu płynącego przez obie żarówki i jasność świecenia. A jak wpływa zmiana napięcia?
6. Usuń żarówkę nr 3 i zamknij dolny wyłącznik tak, by prąd płynął przez dolną gałąź obwodu. Porównaj wskazania trzech amperomierzy. Porównaj jasność świecenia żarówek przy różnych wartościach napięcia.
7. Wykonaj doświadczenie z różnymi kombinacjami żarówek i różnymi napięciami, za każdym razem porównaj natężenia i jasność świecenia żarówek.



Dyskusja:

W oparciu o przeprowadzone obserwacje przedyskutuj poprawność następujących stwierdzeń:

- Wraz ze wzrostem napięcia zasilania rośnie natężenie prądu płynącego przez żarówkę.
- Jasność świecenia żarówki zależy od natężenia płynącego przez nią prądu.
- Przy ustalonym napięciu, gdy 2 żarówki są połączone szeregowo, natężenie prądu maleje.
- Natężenie prądu płynącego przez baterijkę jest równe sumie natężeń prądów płynących przez żarówki.

ĆWICZENIE 2B. PODZIAŁ NAPIĘCIA PRZY SZEREGOWYM POŁĄCZENIU OPORNİKÓW

Cele nauczania:

- Rozumienie, że przepływ prądu polega na przepływie ładunków
- Rozumienie, że z zasady zachowania ładunku elektrycznego wynika zachowanie natężeń prądów przy połączeniu szeregowym i równoległym
- Rozumienie, że natężenie prądu przepływającego przez oporniki połączone szeregowo jest stałe
- Rozumienie, że napięcie powoduje przepływ prądu elektrycznego

Zastosowana TI:
symulacja

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

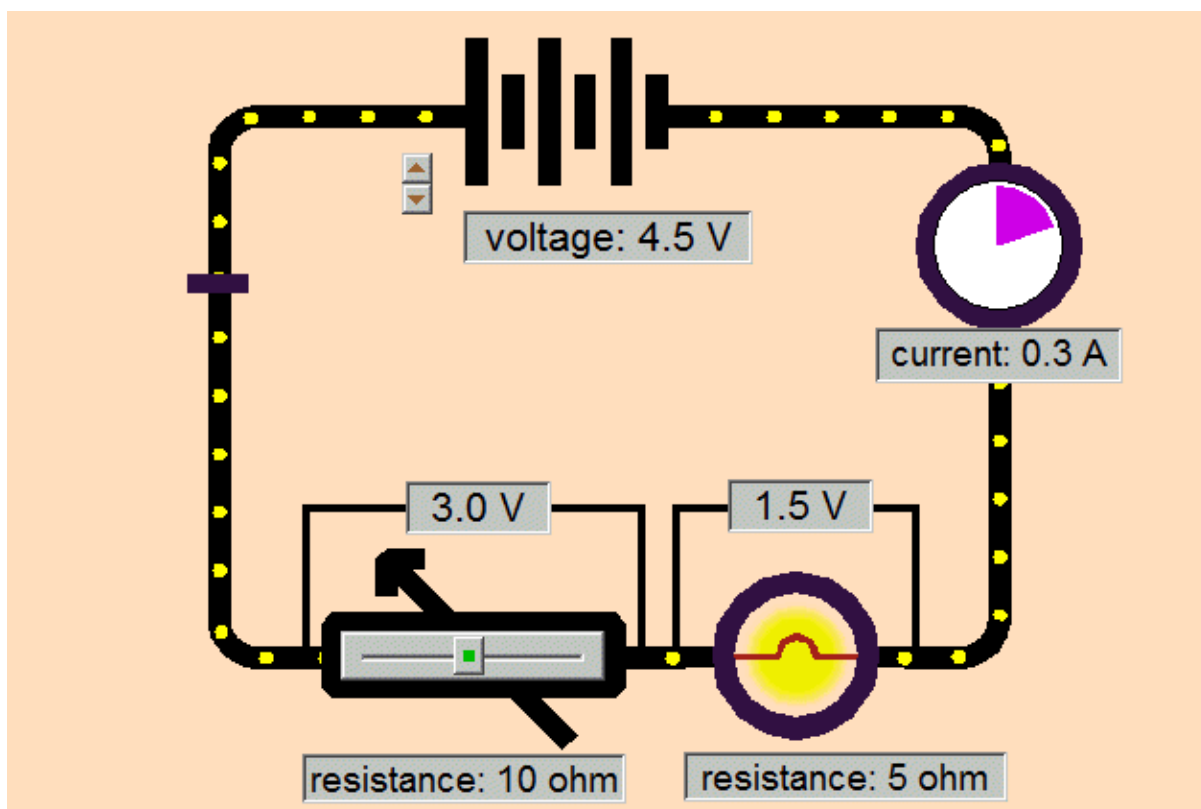
- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Opisywanie obserwacji i połączenie ich z wyjaśnieniem teoretycznym

Przebieg ćwiczenia:

1. Otwórz plik 'Circuit -voltage'
2. Obejrzyj uważnie obwód w oknie symulacji. Składa się on z baterii, opornika suwakowego, żarówki i amperomierza.
3. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
4. Zamknij wyłącznik obok baterii i ustaw napięcie zasilania. Obserwuj jak to wpływa na natężenie prądu płynącego przez żarówkę i jasność świecenia żarówki.
5. Zmieniaj wartość oporu i obserwuj jak to wpływa na natężenie prądu, jasność żarówki i napięcia na oporniku i żarówce.
6. Zastanów się jaki jest związek między napięciem a oporem.



Dyskusja:

W oparciu o przeprowadzone obserwacje przedyskutuj poprawność następujących stwierdzeń:

- Jasność świecenia żarówki zależy od natężenia płynącego przez nią prądu i napięcia na żarówce.
- Suma napięć na zaciskach opornika i żarówki jest równa napięciu zasilania (na zaciskach baterii).
- Napięcie dostarczone przez baterię dzieli się równo między opornik i żarówkę.

ĆWICZENIE 2C. NATĘŻENIE I NAPIĘCIE

Cele nauczania:

- Rozumienie, że przepływ prądu to przepływ ładunków
- Rozumienie, że napięcie jest przyczyną przepływu prądu i jest miarą zmian energii elektrycznej w czasie przepływu prądu w obwodzie
- Rozumienie, że bateria dostarcza energii elektrycznej przepływającym przez nią ładunkom i że inne elementy obwodu przekształcają energię elektryczną w inne formy energii
- Szybkość przemian energii w każdej żarówce zależy od napięcia na jej zaciskach i od natężenia płynącego przez nią prądu

Zastosowana TI:
symulacja

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

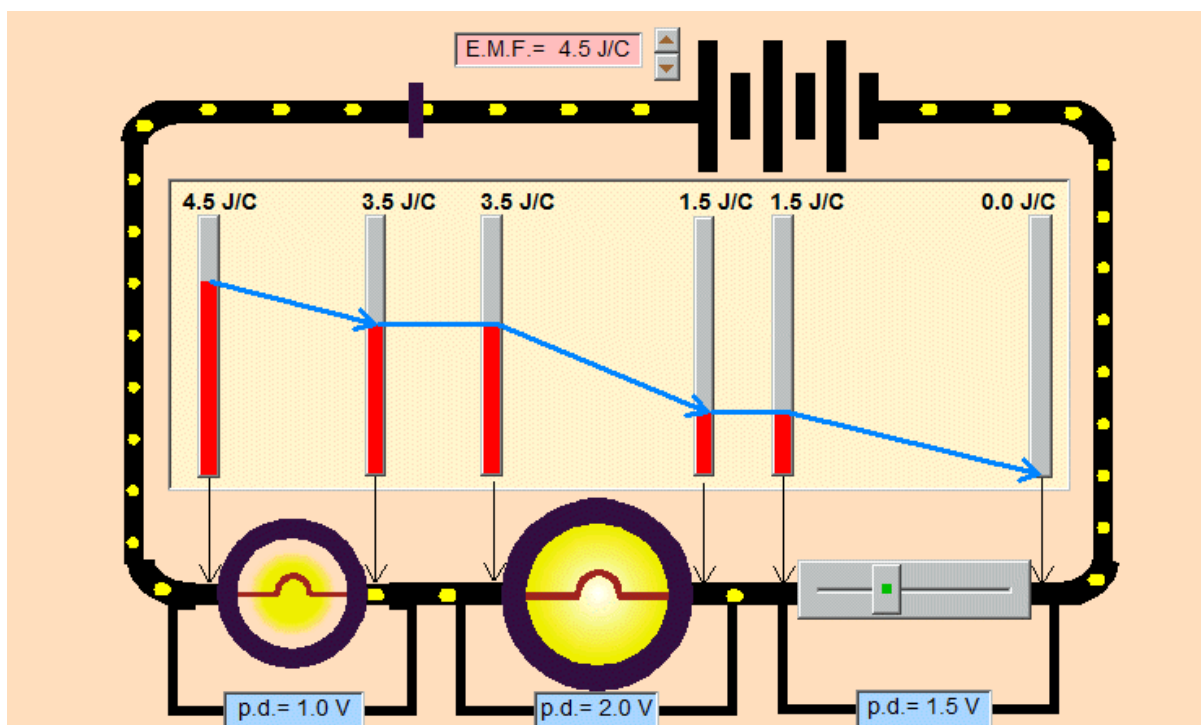
- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Opisywanie obserwacji i połączenie ich z wyjaśnieniem teoretycznym

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

7. Otwórz plik 'Circuit – potential'
8. Obejrzyj uważnie obwód w oknie symulacji. Zauważ, że składa się on z baterii, 2 żarówek i opornika suwakowego, połączonych szeregowo. Wewnątrz obwodu widoczne są 'słupki' pokazujące energię na 1 kulomb w różnych punktach obwodu.
9. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
10. Zamknij wyłącznik i ustaw EMF (SEM) baterii. Obserwuj jak to wpływa na 'słupki' energii.
11. Zauważ, że niebieskie linie i strzałki pomagają w pokazaniu jak zmienia się energia wzdłuż obwodu. Każda strzałka wskazuje różnicę potencjałów (napięcie) na żarówce lub oporniku.



Dyskusja:

W oparciu o przeprowadzone obserwacje przedyskutuj poprawność następujących stwierdzeń:

- SEM jest to energia elektryczna dostarczana jednostkowemu ładunkowi (1 C) przepływającemu przez baterię. 'Słupki' energii pokazują, że energia na 1 kulomb maleje w czasie przepływu ładunku wokół obwodu.
- To samo dzieje się z natężeniem prądu przepływającego przez żarówki.
- Szybkość przemian energii w każdej żarówce zależy od napięcia na zaciskach żarówki i natężenia płynącego przez nią prądu.

ĆWICZENIE 2D. OPÓR PRZY POŁĄCZENIU SZEREGOWYM I RÓWNOLEGLYM

Cele nauczania:

- Rozumienie jak oblicza się opór na podstawie pomiarów natężenia i napięcia
- Odgadnięcie zasad obliczania oporu zastępczego przy szeregowym i równoległym łączeni oporników

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Opisywanie obserwacji i połączenie ich z wyjaśnieniem teoretycznym

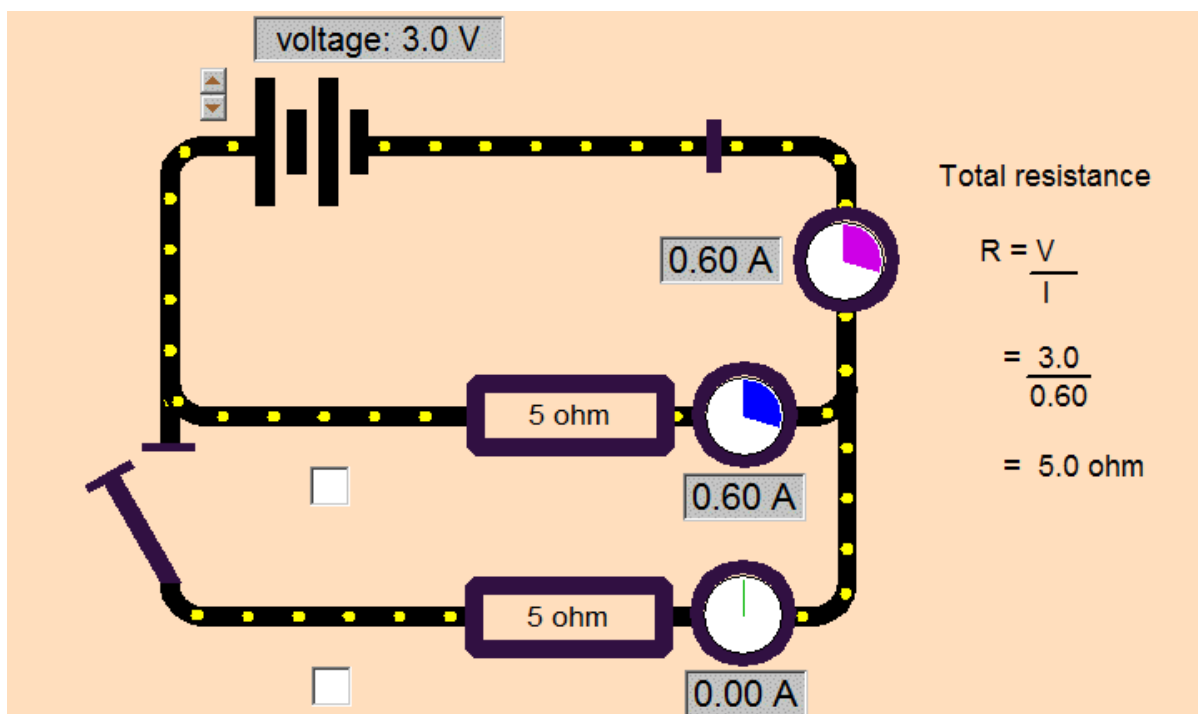
Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

1. Otwórz plik 'Circuit – resistance'
2. Obejrzyj uważnie obwód w oknie symulacji. Zauważ, że składa się on z baterii, 2 oporników, 2 wyłączników i 3 amperomierzy.
3. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
4. Zamknij wyłącznik przy baterii i ustaw napięcie baterii. Obserwuj jak w oparciu o pomiary napięcia i natężenia jest obliczany opór. Porównaj obliczenia przy różnych napięciach baterii.
5. Dodaj drugi opornik szeregowo z pierwszym i obserwuj obliczenia.
6. Usuń drugi opornik i zamknij drugi wyłącznik tak aby uzyskać równoległe połączenie oporników. Obserwuj obliczenia, porównaj z poprzednimi.
7. Przeanalizuj obliczenia przy różnych kombinacjach połączeń oporników.

Zastosowana TI:
symulacja

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela



Dyskusja:

W oparciu o przeprowadzone obserwacje przedyskutuj poprawność następujących stwierdzeń:

- Zmiana napięcia baterii nie wpływa na obliczaną wartość oporu.
- Przy szeregowym połączeniu 2 oporników płynie mniejszy prąd.
- Podwojenie oporu obwodu powoduje dwukrotne zmniejszenie natężenia prądu.
- Gdy oporniki są połączone równolegle w obwodzie płynie prąd o większym natężeniu.

ĆWICZENIE 2E. BADANIE MOCY WYDZIELANEJ W OBWODZIE

Cele nauczania:

- Rozumienie, że przepływ prądu to przepływ ładunku elektrycznego
- Rozumienie, że z zachowania całkowitego ładunku w obwodzie wynika, że natężenie prądu przy połączeniu szeregowym i równoległym jest też zachowane
- Rozumienie, że napięcie powoduje przepływ prądu elektrycznego i jest miarą przemian energii zachodzących w czasie przepływu prądu elektrycznego przez obwód

Zastosowana TI:
symulacja

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

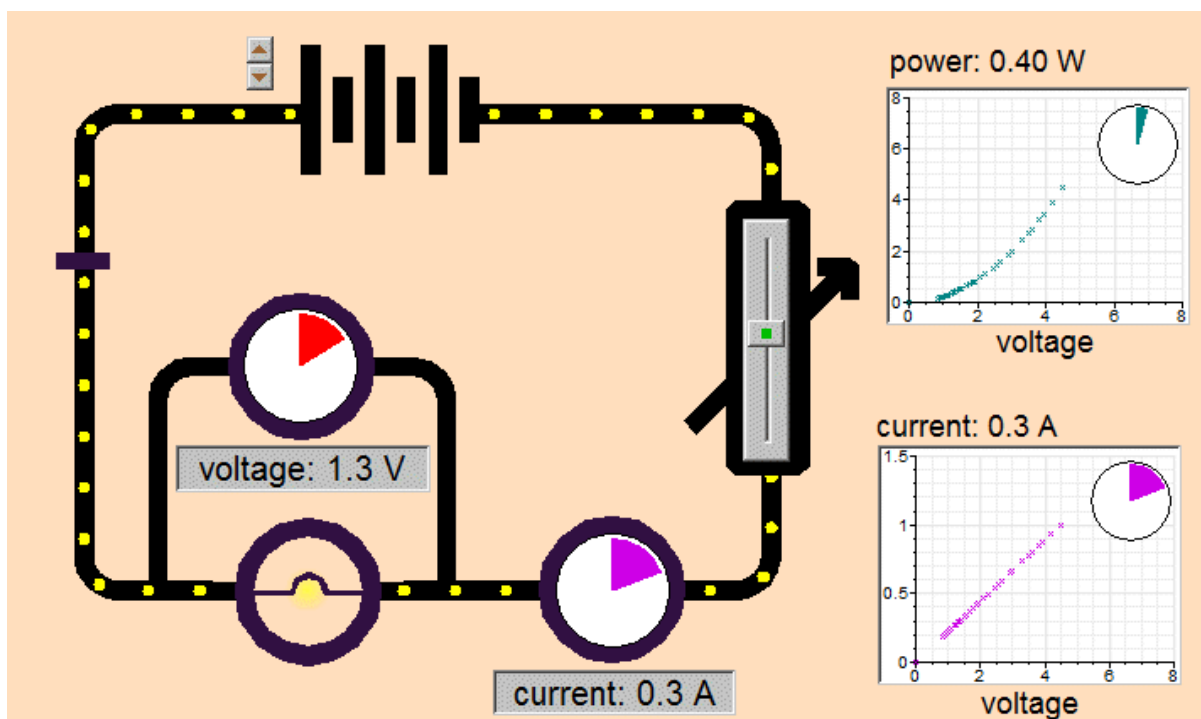
- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Opisywanie obserwacji i połączenie ich z wyjaśnieniem teoretycznym

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

1. Otwórz plik 'Circuit- current'
2. Otwórz plik 'Circuit – power'
3. Obejrzyj uważnie obwód w oknie symulacji. Zauważ, że składa się on z baterii, wyłącznika, żarówki, opornika suwakowego, amperomierza i woltomierza. Na wykresach przedstawiono zależność mocy i natężenia prądu od czasu.
4. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
5. Zamknij wyłącznik, ustaw napięcie baterii. Obserwuj jak to wpływa na wartości natężenia i mocy.
6. Powoli zwiększaj opór, obserwuj i porównaj oba wykresy. Powoli zmniejszaj opór wracając z powrotem do 0.
7. Zmniejsz opór do zera, włącz 1 ogniwo i zapisz wartości mocy i natężenia. Powtórz to dla 2, 3 i 4 ogniw. Porównaj zmiany natężenia i mocy.



Dyskusja:

W oparciu o przeprowadzone obserwacje przedyskutuj poprawność następujących stwierdzeń:

- Gdy napięcie rośnie 2, 3 i 4-krotnie, moc wzrasta 4, 9 i 16-krotnie.
- Natężenie rośnie w tym samym stosunku co napięcie.
- Moc wzrasta proporcjonalnie do kwadratu napięcia.

ĆWICZENIE 3A. ANALIZA MODELU WŁASNOŚCI ELEKTRYCZNYCH WŁÓKNA ŻARÓWKI

Cele nauczania:

- Rozumienie, że opór włókna żarówki zmienia się wraz ze wzrostem temperatury. Jest to przyczyną nieliniowej zależności między natężeniem a napięciem
- Rozumienie, że temperatura włókna żarówki osiąga stałą wartość, gdy energia wypromieniowana przez żarówkę jest równa pobranej energii elektrycznej
- Rozumienie, że zmiany natężenia prądu płynącego przez żarówkę są opóźnione w czasie w stosunku do zmian napięcia zasilającego

Zastosowana TI:
modelowanie

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie lub pokaz przeprowadzony przez nauczyciela

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji
- Używanie kursora do odczytu danych z wykresu

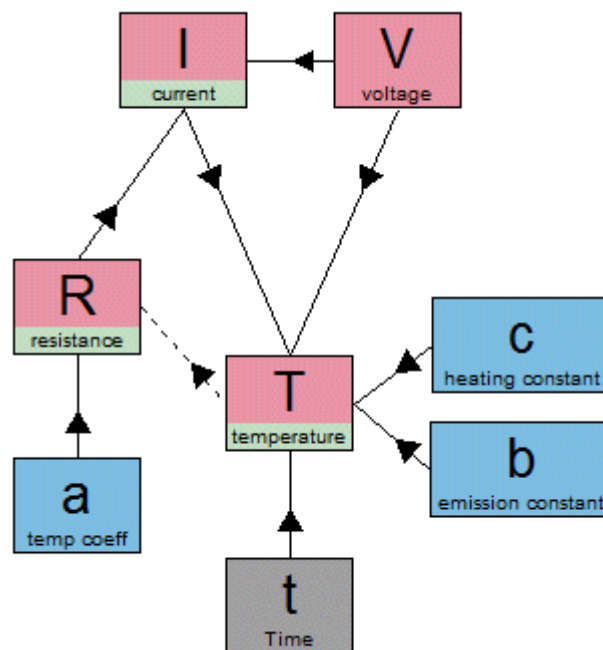
Umiejętności ogólne:

- Przewidywanie oporu żarówki na podstawie kształtu wykresu
- Wiązanie kształtu wykresu ze wzorem matematycznym w modelu
- Stosowanie modelu do wyjaśnienia zachowania żarówki

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

1. Otwórz plik 'model – bulb'.
2. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
3. Powoli zwiększaj napięcie aż do maksimum, a potem powoli zmniejszaj do zera. Kliknij prawym klawiszem myszy na blok Voltage i pokaże się suwak.
4. Obserwuj kształt wykresu natężenia od napięcia i spróbuj przewidzieć co się stało z wartością oporu podczas eksperymentu.
5. Wyświetl wykres zależności oporu od napięcia (resistance vs. voltage), aby sprawdzić swoje przewidywania.
6. Wyjaśnij, dlaczego wykres przy zwiększaniu napięcia nie pokrywa się z wykresem powstałym przy zmniejszaniu napięcia.
7. Zatrzymaj symulację i sprawdź wzór stosowany do obliczania oporu, temperatury i natężenia prądu. Spróbuj wyjaśnić co mówią te wzory o każdej z tych zmiennych.

8. Kliknij dwukrotnie na blok a ('temperature coefficient' – temperaturowy współczynnik oporu) i ustaw wartość zero. Oznacza to, że opór nie zmienia się z temperaturą, lecz jest stały.
9. Uruchom ponownie symulację i powtórz polecenie 3. Wyjaśnij, dlaczego nowy wykres ma inny kształt. Wyjaśnij związek między wykresem a prawem Ohma.



ĆWICZENIE 3B. ANALIZA MODELU OBLICZAJĄCEGO OPÓR ZASTĘPCZY TRZECH OPORNİKÓW POŁĄCZONYCH RÓWNOLEGLE

Cele nauczania:

- Zastosowanie praw do obliczania napięcia i natężenia w obwodzie z połączeniem równoległym do obliczenia oporu zastępczego 3 oporników połączonych równolegle

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji

Umiejętności ogólne:

- Wyjaśnienie podstawy fizycznej każdego wzoru stosowanego w modelu

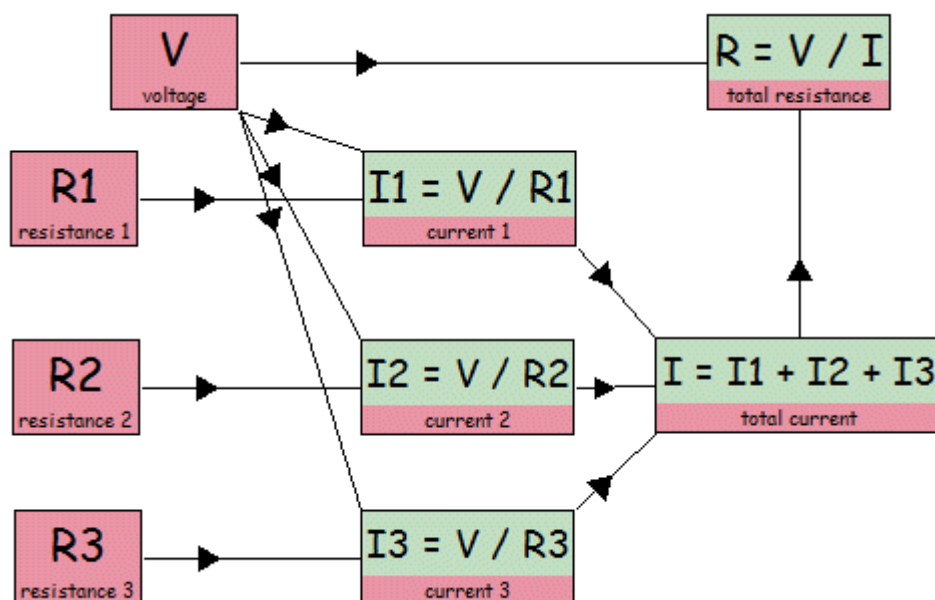
Zastosowana TI:
modelowanie

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

1. Otwórz plik 'model – resistors'.
2. Przeanalizuj starannie model. Zwróć uwagę na sposób obliczeń: natężenia prądów I_1 , I_2 i I_3 są obliczane dla każdego oporu, kombinacja tych natężeń daje całkowite natężenie I , które jest wykorzystane do obliczenia oporu zastępczego.
3. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
4. Zaobserwuj wartości obliczanych natężeń i oporu całkowitego przy ustawieniu wartości każdego oporu na 3 ohm.
5. Pomyśl, że dodanie większej ilości oporników spowoduje zmniejszenie oporu całkowitego. Spróbuj to wyjaśnić.
6. Poeksperymentuj z różnymi wartościami oporu, aby przewidzieć zasadę obliczania całkowitego oporu.



ĆWICZENIE 3C. ANALIZA MODELU BATERII ZASILAJĄCEJ OBWÓD. STRATY ENERGII NA OPORZE WEWNĘTRZNYM (PROBLEM 'STRACONYCH' WOLTÓW)

Cele nauczania:

- Rozumienie, że opór wewnętrzny baterii wpływa na napięcie zasilania odbiorników w obwodzie
- Rozumienie, że zmniejszenie napięcia na zaciskach baterii zależy od natężenia płynącego prądu i wartości oporu wewnętrznego

Umiejętności w zakresie posługiwania się TI:

- Posługiwanie się programem - uruchomienie symulacji
- Używanie kursora do odczytu danych z wykresu

Umiejętności ogólne

- Wyjaśnienie podstawy fizycznej każdego wzoru stosowanego w modelu

Przebieg ćwiczenia (z *Simulation Insight*):

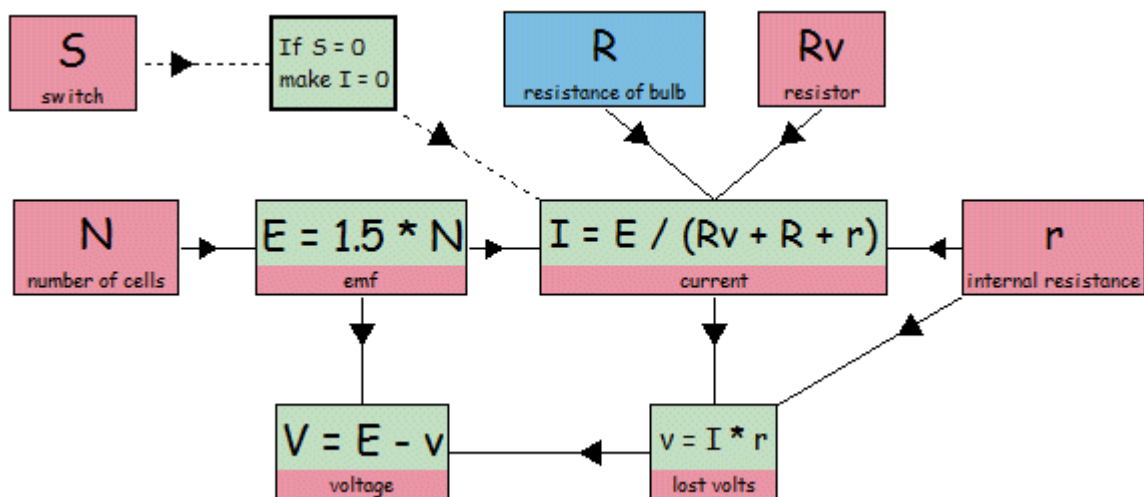
1. Otwórz plik 'model - battery'
2. Przeanalizuj starannie model i wzory zastosowane do obliczenia SEM, napięcia i natężenia prądu.

Zastosowana TI:
modelowanie

Poziom nauczania:
14 – 17 lat

Zalecany sposób
prowadzenia ćwiczeń:
ćwiczenia uczniowskie
lub pokaz
przeprowadzony przez
nauczyciela

3. Przełącz się na chwilę do okna scenki ('Scene'), aby obejrzeć obwód i wróć do okna modelu.
4. Uruchom symulację naciskając przycisk START.
5. Ustaw klucz w pozycji 1 (włączony) i obserwuj natężenie prądu płynącego w obwodzie i napięcie na zaciskach baterii, gdy zwiększasz ilość ogniw w baterii.
6. Zwiększ wartość oporu wewnętrznego i ponownie obserwuj napięcie na zaciskach baterii. Różnica między SEM baterii (ang. EMF) i napięciem na jej zaciskach jest oznaczona przez 'lost volts' ('stracone woltów').
7. Zaproponuj prawo do przewidywania wartości 'zagubionych woltów'.



DODATEK 1

Za:

http://www.practicalphysics.org/go/Guidance_25.html?topic_id=8&guidance_id=1

MODELE OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH

Na początku nauczania o obwodach elektrycznych, uczniowie będą chcieli wiedzieć, czym jest prąd elektryczny. Mogą mieć własne wyobrażenia dotyczące tego co to jest prąd i jak się zachowuje. Przeprowadzono liczne badania dotyczące poglądów, z którymi uczniowie przychodzą na lekcje i wyobrażeń, jakich nabywają w wyniku błędnego zrozumienia materiału w procesie nauczania/uczenia się.

Prąd znamy wyłącznie z efektów cieplnych, magnetycznych lub chemicznych, które towarzyszą jego przepływowi. Uzupełnieniem są wyłącznie modele, wyjaśniające te efekty i umożliwiające wiarygodne przewidywania.

NAJCZĘSTSZE, BŁĘDNE PRZEKONANIA UCZNIÓW:

- „model zderzających się prądów” – według którego prąd wypływa z baterii w obie strony i wpływa do odbiornika (na przykład lampy) i sprawia, że ona działa;
- „model pojedynczego przewodu” – w którym uczniowie uważają, że wystarczy tylko jeden przewód łączący baterię z lampą (to przekonanie jest pogłębiane często dlatego, że nie wszystkie połączenia w obwodzie są dobrze widoczne);
- „model zużywania prądu w obwodzie” – według którego prąd wypływa jednym biegunem ogniwa, zużywa się na elementach obwodu i nic nie wraca do drugiego bieguna ogniwa. Więc po co właściwie kabel powrotny?

MODELE WYKORZYSTYWANE PRZEZ NAUCZYCIELI

Nauczyciele używają wielu modeli do opisu obwodu elektrycznego. Każdy z nich może być wykorzystany w innej sytuacji. Tutaj wymieniamy trzy z nich:

- obwód wodny, w którym przepływ wody jest porównywany do przepływu prądu elektrycznego;
- sieć szerokich i wąskich ulic, z parkingami i ulicami jednokierunkowymi, po których poruszają się samochody z prędkościami określonymi przez natężenie ruchu;
- obwód zbudowany z uczniów, w którym „uczeń–bateria” wydaje cukierki (energię), a „uczniowie–ładunki” przekazują je do „uczniów–odbiorników”.

Omawiając obwód wodny jako model obwodu elektrycznego mogą Państwo powiedzieć uczniom:

Jest coś niezmiennego w całym obwodzie, taki sam odczyt na prostym amperomierzu lub taka sama jasność wszystkich lamp. Jedna z lamp mogłaby nawet zostać umieszczona pomiędzy dwoma ogniwami i nadal świeciłaby tak jasno jak pozostałe.

Dlatego naukowcy mówią: „Jest przepływ prądu; coś porusza się wokół obwodu i cały czas pozostaje takie samo, tak jak prąd wody w rzece.” Jeśli rzeka niesie 1000 litrów wody na minutę w jednym miejscu, musi nieść 1000 litrów na minutę w dowolnym innym miejscu w dół rzeki, chyba, że jest tam jakiś boczny strumień lub tajemnicza dziura w ziemi. Niektórzy naukowcy lubią myśleć o obwodzie elektrycznym jak o wodzie pompowanej w zamkniętym kręgu z rur.

Podkreście analogię pomiędzy:

- pompą i ogniwem
- rurami i przewodami łączącymi obwód elektryczny w całość
- wąskimi i szerokimi rurami a oporami w obwodzie
- miernikiem przepływu i amperomierzem
- ciśnieniomierzem i woltomierzem

Gdy uczniowie poznają inne elementy układu, model można rozszerzyć o pojęcie jednokierunkowych zaworów reprezentujących diody i zbiorników wodnych, czyli kondensatorów. Należy podkreślić, że przepływ wody jest taki sam w całym obwodzie, oczywiście pod warunkiem, że nie ma wycieków.

Po omówieniu modelu dyskusja może wrócić do obwodów elektrycznych: *Czy faktycznie coś porusza się wzdłuż miedzianych drutów i przez lampę, i sprawia, że lampa świeci lub przyciąga magnes? Według naszej obecnej wiedzy możemy powiedzieć jedynie, że obwód elektryczny zachowuje się tak samo jak płynąca woda, która sprawia, że wszędzie dzieje się tak samo. Nie wiemy jeszcze, czy coś w rzeczywistości płynie i na pewno nie wiemy, co to jest. Jeśli płynie, to może to być jakiś rodzaj soku płynącego w tę stronę (sok dodatni) lub to może być jakiś przeciwny sok (sok ujemny) płynący w obwodzie w przeciwną stronę. Lub oba mogą płynąć jednocześnie, każdy w swoją stronę.*

Zamiast jednolitego soku płynącego jak woda w rurach prąd może być ruchem małych cząsteczek poruszających się gęsiego jak krety w wąskim tunelu lub jak armia na drodze. Znow może to być rząd dodatnich cząsteczek poruszających się w tę stronę, lub ujemnych w drugą stronę, lub oba na raz, każdy podróżujący w swoją stronę.

Jak sądzicie, który opis jest poprawny? Nic się nie porusza, płynie sok w jedną lub drugą stronę czy poruszają się drobinki w jedną lub drugą stronę?

Niezależnie od odpowiedzi, na tym etapie uczniowie muszą poczekać na dalsze dowody. Dziś naukowcy wiedzą, że są cząsteczki, które poruszają się, gdy pojawia się prąd, w niektórych przypadkach nawet kilka rodzajów. Tak naprawdę, wbrew panującej opinii, żadne pojęcie w podstawach fizyki, nawet promienie katodowe nie wymaga poglądu, że ładunki elektryczne to małe cząsteczki. Ciągły (ujemny) sok będzie działał tak samo dobrze. Jedynie przy wyjaśnianiu eksperymentu Millikana ładunki elektryczne muszą być cząsteczkami.

Na razie trzymajmy się standardowego założenia, wykorzystywanego przez elektryków, że drobinki dodatniej elektryczności wychodzą z czerwonego końca

ogniwa i poruszają się wokół obwodu w kierunku ujemnego bieguna baterii. Tak ustalono na długo zanim ludzie dowiedzieli się o elektronach i ta umowa obowiązuje podczas rysowania strzałek na schematach obwodów elektrycznych. Później będziecie mogli sami zdecydować co tak naprawdę się dzieje i okaże się to dużo bardziej skomplikowane niż wam się wydaje.