

## Poznajemy II prawo Kirchhoffa

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



## Poznajemy II prawo Kirchhoffa

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.rawpixel.com/image/5948662/free-public-domain-cc0-photo> [dostęp 26.07.2022], domena publiczna.

### Czy to nie ciekawe?

Dwa prawa Kirchhoffa oraz prawo Ohma dotyczą obwodów prądu elektrycznego i stanowią zestaw zasad pozwalających rozwiązać niemal każde zadanie i problem z tej dziedziny. Reguły stosowania tych praw są łatwe do zapamiętania i wykonania. To niezwykła sytuacja, gdy można użyć tak niewiele sposobów postępowania, by rozwiązać tak wiele zadań. Zapraszamy do poznania drugiego z praw Kirchhoffa.

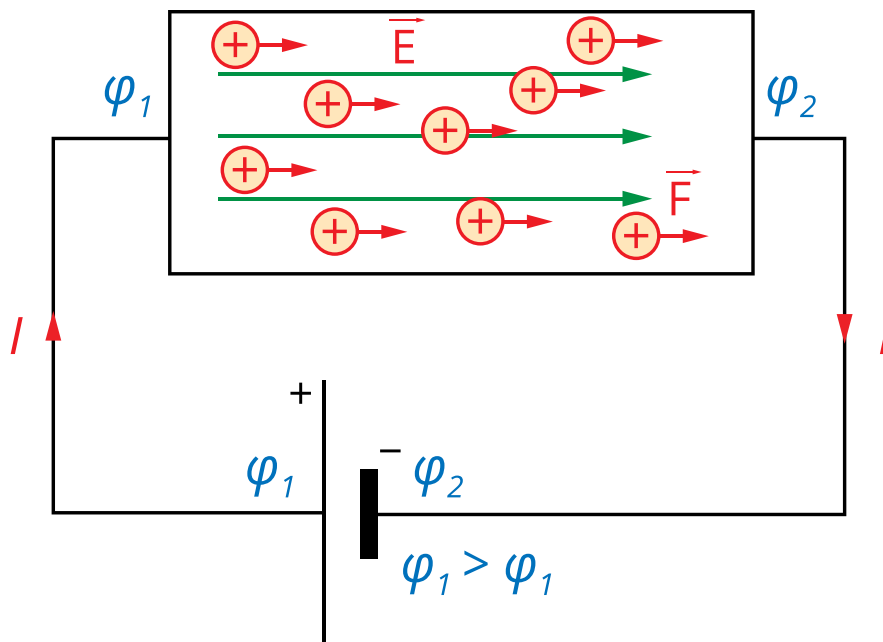
#### Twoje cele

- poznasz II prawo Kirchhoffa,
- zrozumiesz, że jest ono konsekwencją zasady zachowania energii,
- przeanalizujesz rozkład potencjałów i napięć w przykładowym obwodzie elektrycznym,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do rozwiązywania zadań pojęciowych i rachunkowych.

# Przeczytaj

## Warto przeczytać

Zamknięty obwód elektryczny zawierający źródło napięcia jest układem, w którym płynie prąd, czyli wzdłuż przewodów przemieszczają się w sposób ukierunkowany ładunki elektryczne. Wymaga to jednak siły działającej na te ładunki lub – ujmując to inaczej – występowania wewnątrz przewodników pola elektrycznego, które jest przyczyną pojawienia się takiej siły. Pole, o którym mowa, wytwarzane jest przez źródło. Każdy z dwóch jego zacisków ma inny potencjał elektryczny, a wytworzona w ten sposób różnica potencjałów (czyli napięcie) jest źródłem pola elektrycznego działającego siłą na ładunki oraz powoduje nadanie energii tym ładunkom.



Rys. 1. Różnica potencjałów (oznaczonych literą  $\varphi$ ), czyli napięcie elektryczne, jest źródłem pola elektrycznego i przyczyną działania sił na ładunki wewnątrz przewodników połączonych w obwód elektryczny

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

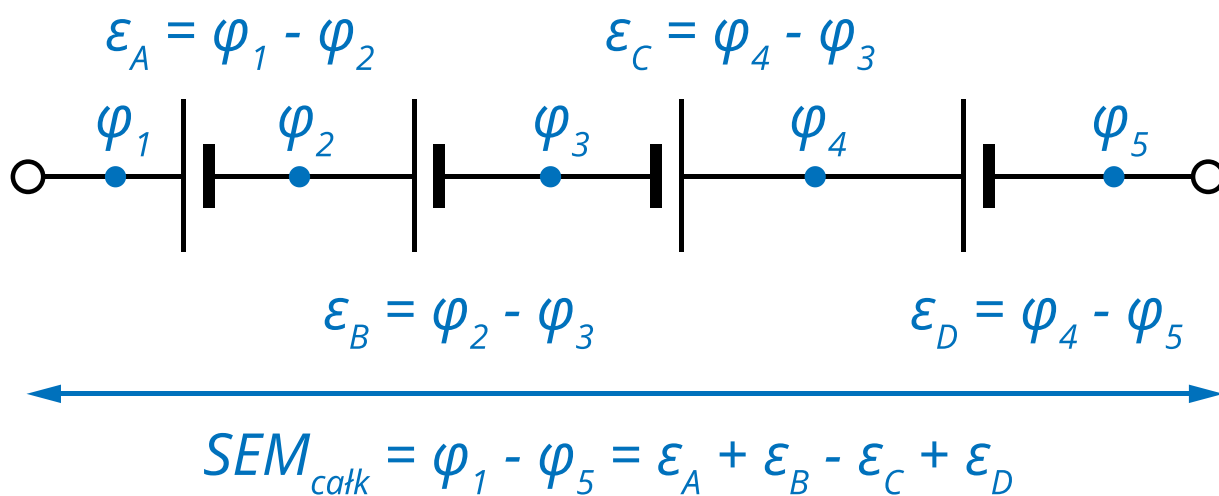
### Ważne!

Na Rys. 1. i w dalszym ciągu rozumowania przepływ prądu przedstawiony jest schematycznie w postaci ruchu nośników obdarzonych dodatnim ładunkiem elektrycznym. Ruch ten odbywa się wewnątrz abstrakcyjnego przewodnika. Wnioski, do których dochodzimy, w tym postaci II prawa Kirchhoffa, nie zależą od wyboru znaku tego ładunku, ani od wskazania właściwości tego przewodnika. Nie ma więc znaczenia, że w rzeczywistych przewodnikach mogą dominować nośniki ujemne (elektrony w metalach), dodatnie (dziury w półprzewodnikach typu „p”) albo współwystępować na jednakowych prawach (aniony i kationy w elektrolitach).

Rolę źródła w obwodzie elektrycznym omawiamy także w innych e-materiałach. Zachęcamy do zapoznania się, między innymi, z następującymi: „Dlaczego potrzebne jest źródło napięcia?” i „Siła elektromotoryczna źródła energii elektrycznej”.

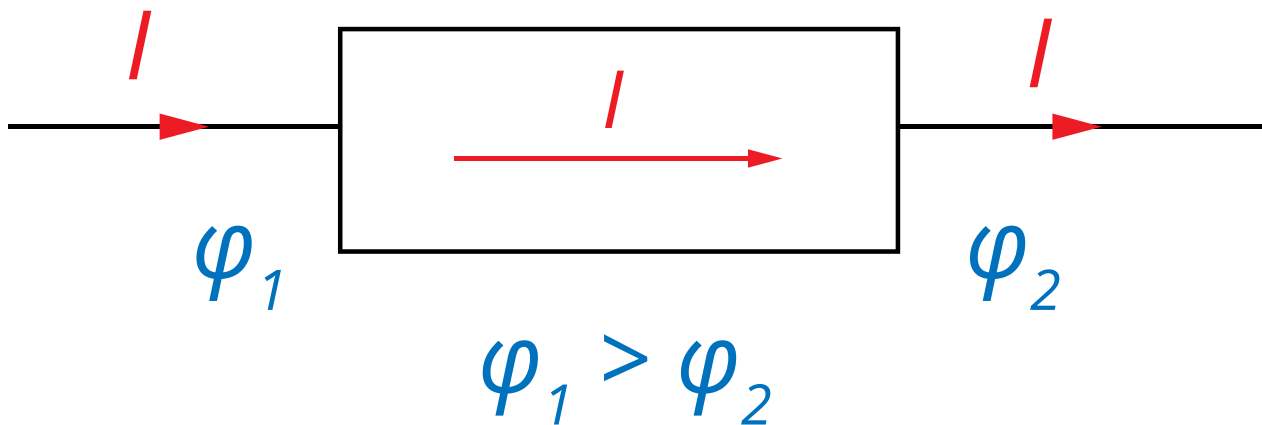
Zanim przejdziemy do dalszych rozważań zaznaczymy, że rzeczywiste źródła prądu posiadają swój opór wewnętrzny, który powoduje spadek napięcia na jego zaciskach podczas przepływu prądu. Aby wziąć pod uwagę tylko tę wielkość fizyczną, która jest źródłem pola elektrycznego wewnątrz przewodników, będziemy posługiwali się pojęciem **siły elektromotorycznej** źródła (w skrócie SEM), która nadaje ładunkom energię elektryczną. Gdy bieguny źródła są rozwarne (nie płynie przez nie prąd), wartość napięcia na jego zaciskach jest równa SEM.

Jeżeli w obwodzie znajduje się więcej źródeł, każde z nich wnosi swój wkład w wytwarzanie pola elektrycznego nadającego energię ładunkom. Całkowita **siła elektromotoryczna**, powodująca przepływ prądu w obwodzie, jest równa sumie sił elektromotorycznych poszczególnych źródeł. Należy przy tym pamiętać, że SEM źródła włączonego w kierunku odwrotnym należy wziąć ze znakiem minus. Wyjaśnia to Rys. 2. Zwróć uwagę, że przewody łączące **elementy obwodu** traktujemy jak przewodniki pozbawione oporu elektrycznego, dlatego potencjały połączonych ze sobą zacisków są jednakowe.



Rys. 2. Rozkład potencjałów ( $\varphi$ ) w baterii zawierającej wiele źródeł oraz całkowita SEM takiej baterii  
 Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Oprócz źródeł, w obwodzie prądu znajdują się także odbiorniki energii elektrycznej, które zamieniają ją na inne formy energii. Niezależnie od zasady działania, każdy z nich posiada opór elektryczny. Zgodnie z prawem Ohma, przepływ prądu przez opornik jest wynikiem przyłożenia napięcia do jego końców. Innymi słowy, potencjał w obwodzie spada w kierunku przepływu prądu o wartość równą różnicy potencjałów (czyli napięciu) na końcach tego opornika. Obrazuje to Rys. 3. Z punktu widzenia przemian energetycznych, ładunki elektryczne w obwodzie wykonują w odbiorniku pracę kosztem energii elektrycznej nadanej im przez źródła.

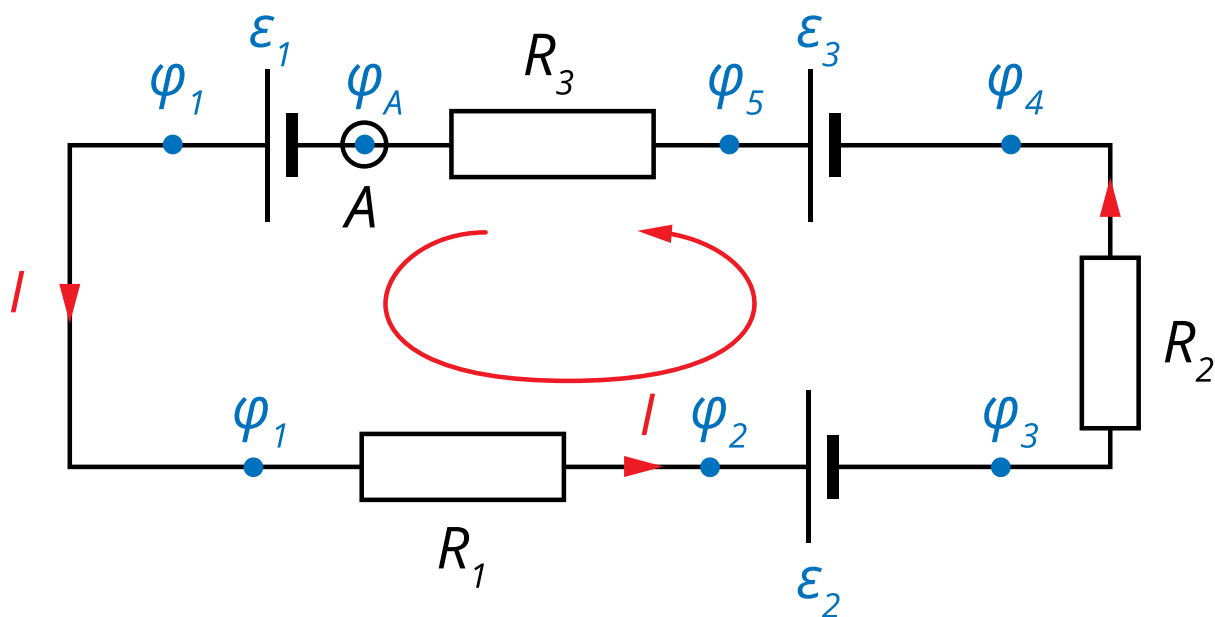


Rys. 3. Rozkład potencjałów przy przepływie prądu przez opornik. Potencjał spada od  $\varphi_1$  do  $\varphi_2$ , czyli spadek napięcia  $U = \varphi_1 - \varphi_2$

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

Jeżeli w obwodzie elektrycznym jest więcej elementów posiadających opór elektryczny, na każdym z nich następuje spadek napięcia w sposób opisany powyżej.

Weźmy teraz pod uwagę zamknięty obwód elektryczny, składający się z kilku źródeł i kilku oporów, na przykład taki, jak przedstawiony na Rys. 4.



Rys. 4. Rozkład potencjałów w zamkniętym obwodzie elektrycznym

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

Rozważmy wartości potencjałów elektrycznych w tym obwodzie, zaczynając od punktu A i „wędrując” wzdłuż obwodu w kierunku zaznaczonym strzałką. Zgodnie z zasadami omówionymi dotychczas, każde źródło włączone w kierunku naszego ruchu ( $\mathcal{E}_1$  i  $\mathcal{E}_3$ ) podnosi potencjał elektryczny, a włączone przeciwnie ( $\mathcal{E}_2$ ) – obniża go. Każdy opór obniża potencjał, jeśli poruszamy się wzdłuż kierunku przepływu prądu elektrycznego. Ponieważ

dochodząc do punktu A musimy uzyskać wyjściową wartość potencjału, bilans wzrostów i spadków napięć musi być równy zero.

Powyższa prawidłowość ma zastosowanie do każdego zamkniętego obwodu elektrycznego (tzw. **oczka**), niezależnie od tego, czy jest on fragmentem większej całości, czy nie.

Odkrytą przez nas zasadę można sformułować w sposób następujący:

**W zamkniętym obwodzie elektrycznym suma sił elektromotorycznych jest równa sumie spadków napięć na odbiornikach.**

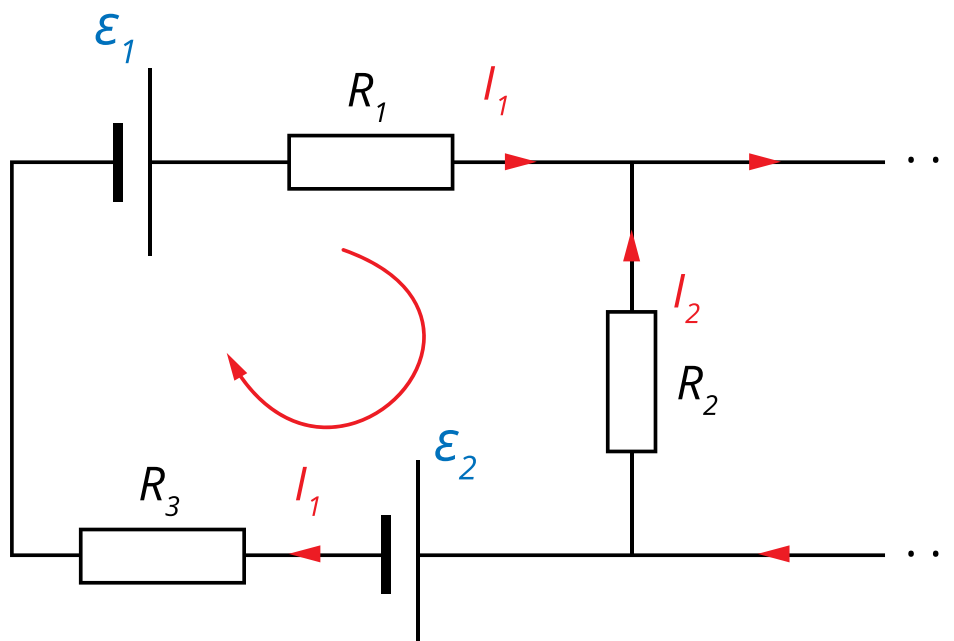
Stwierdzenie to nosi nazwę II prawa Kirchhoffa. Jest ono konsekwencją zasady zachowania energii. Rozważane tu zmiany potencjału elektrycznego przekładają się na zmiany potencjalnej energii elektrycznej ładunków w obwodzie. Przypomnijmy bowiem, że

$$\text{napięcie} \stackrel{def}{=} \text{różnica potencjałów} = \stackrel{def}{=} \frac{\text{różnica energii potencjalnych ładunku}}{\text{wartość ładunku}}$$

(1)

W obwodzie zamkniętym, suma energii nadanych ładunkom przez źródła jest równa sumie energii wykorzystanych przez te ładunki w odbiornikach prądu. Pamiętając, że zmiana energii jest równa pracy, można stwierdzić także, że praca wykonana przez źródła nad ładunkami elektrycznymi jest równa pracy wykonanej przez te ładunki w odbiornikach.

Podamy jeszcze ważną uwagę praktyczną, przydatną przy rozwiązywaniu zadań. Jeżeli rozważany obwód zamknięty jest fragmentem większej całości i prądy płyną w różnych kierunkach, ustalając znak spadku napięcia na oporze przy „wędrowaniu” wzdłuż obwodu musimy uwzględnić kierunek prądu. II prawo Kirchhoffa dla obwodu przedstawionego na Rys. 5. ma postać:



Rys. 5. Obwód zamknięty, który jest fragmentem większej całości

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_1 R_3$$

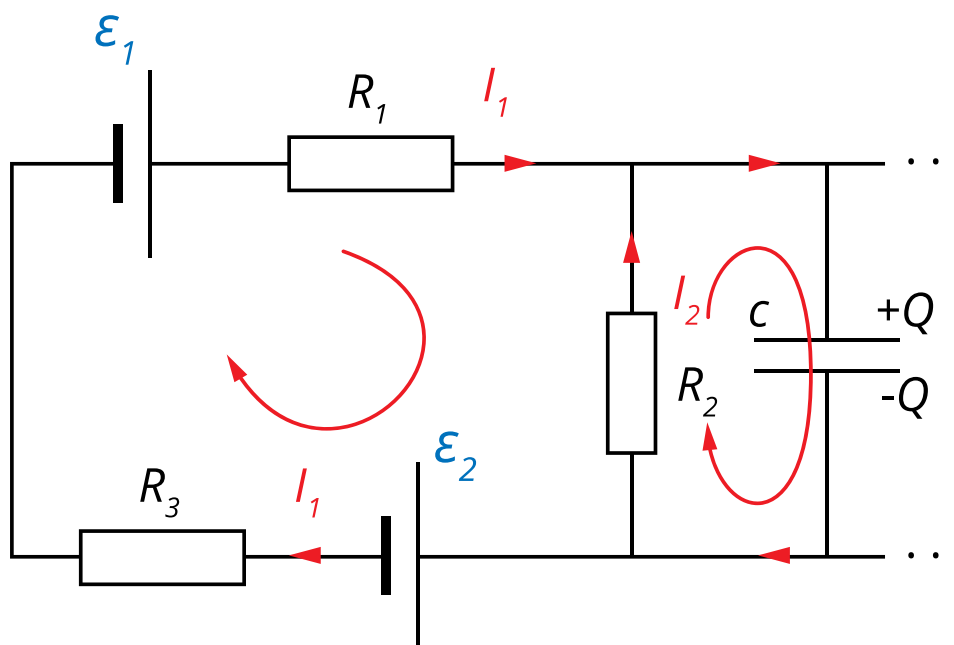
(2)

Na koniec zauważymy, że II prawo Kirchhoffa obowiązuje zawsze, dla każdego rodzaju elementu i rodzaju prądu. Jeśli w obwodzie znajduje się kondensator, to po włączeniu napięcia stałego prąd płynie przez niego tylko przez chwilę, do naładowania go. Potem kondensator staje się elementem, na którym panuje spadek napięcia równy

$$U_C = \frac{Q}{C}$$

(3)

gdzie  $Q$  to wartość ładunku zgromadzonego na każdej okładce, a  $C$  to pojemność kondensatora. Dodatkowe napięcie może się także indukować w cewce, jeśli płynie przez nią prąd o zmieniającej się wartości.



Rys. 6. Obwód zawierający źródła, oporniki i kondensator

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

Dla przykładu, zapiszmy równania II prawa Kirchhoffa dla oczek na Rys. 6., dla dużego – równanie (4), dla prawego – równanie (5).

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = I_1 R_1 + \frac{Q}{C} + I_1 R_3$$

(4)

$$0 = I_2 R_2 + \frac{Q}{C}$$

## Słowniczek

### Oczko

(ang. *circuit loop*) – zwyczajowa nazwa zamkniętego fragmentu obwodu elektrycznego.

### Element obwodu elektrycznego

(ang. *electrical circuit component*) – każde urządzenie elektryczne połączone przewodami z innymi, zarówno źródło, jak i odbiornik prądu.

### Siła elektromotoryczna

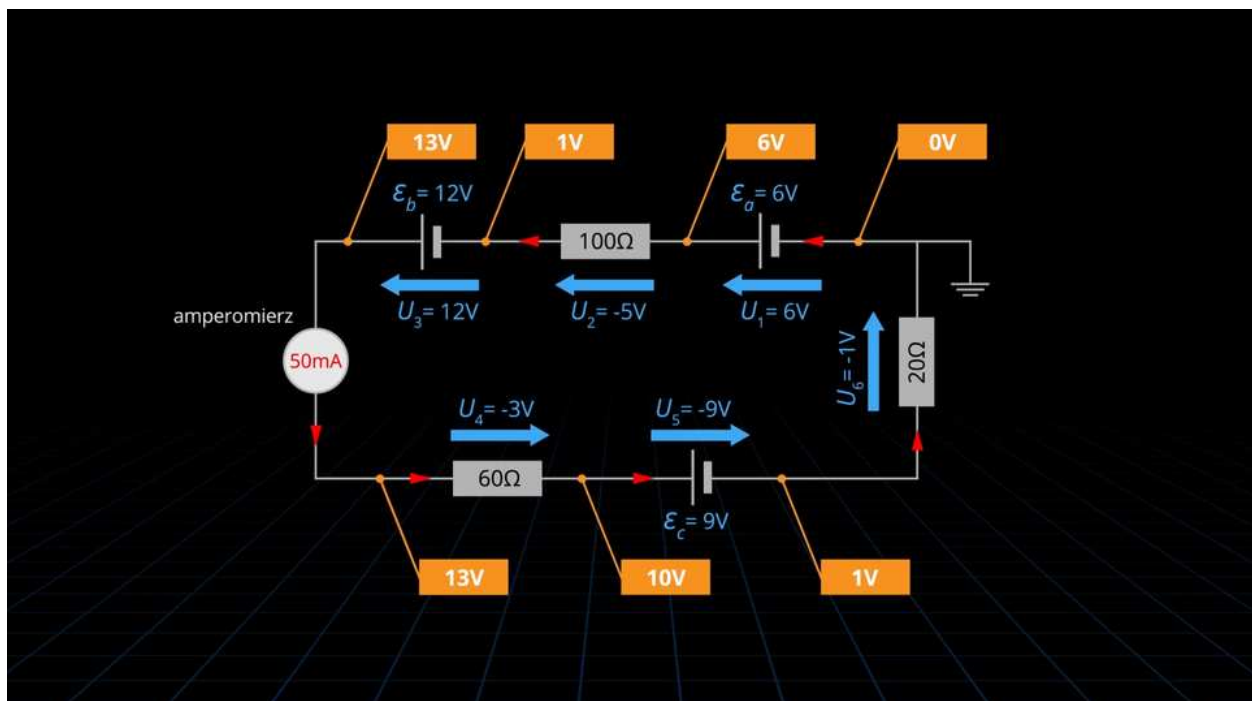
(ang. *electromotive force*) – napięcie wytwarzane przez źródło, powodujące przepływ prądu w obwodzie, liczbowo równe elektrycznej energii potencjalnej nadawanej ładunkowi jednostkowemu przez źródło (równe napięciu panującemu na zaciskach źródła, do którego nie podłączono obwodu zewnętrznego).

# Animacja

## Poznajemy II prawo Kirchhoffa

W animacji przedstawiono przykład zamkniętego obwodu elektrycznego. Możesz zobaczyć, jakie są wartości potencjałów w wybranych punktach obwodu oraz spadków lub wzrostów napięcia na poszczególnych elementach. Obejrzyj animację i sprawdź, czy obliczenia doprowadzą do takich samych rezultatów.

Trwa wczytywanie danych ..



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RVpaRk3DIZOXm>

### **Polecenie 1**

Dlaczego z lewej strony źródła  $\mathcal{E}$  potencjał jest większy, a z prawej mniejszy? Porównaj swoją odpowiedź z naszą.




### **Polecenie 2**

Dlaczego wzdłuż strzałek napięcie  $U_1$  jest dodatnie, a napięcie  $U_2$  ujemne? Porównaj swoją odpowiedź z naszą.

### **Polecenie 3**

Ile wynosi suma wszystkich napięć od  $U_1$  do  $U_6$ ?

# Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1

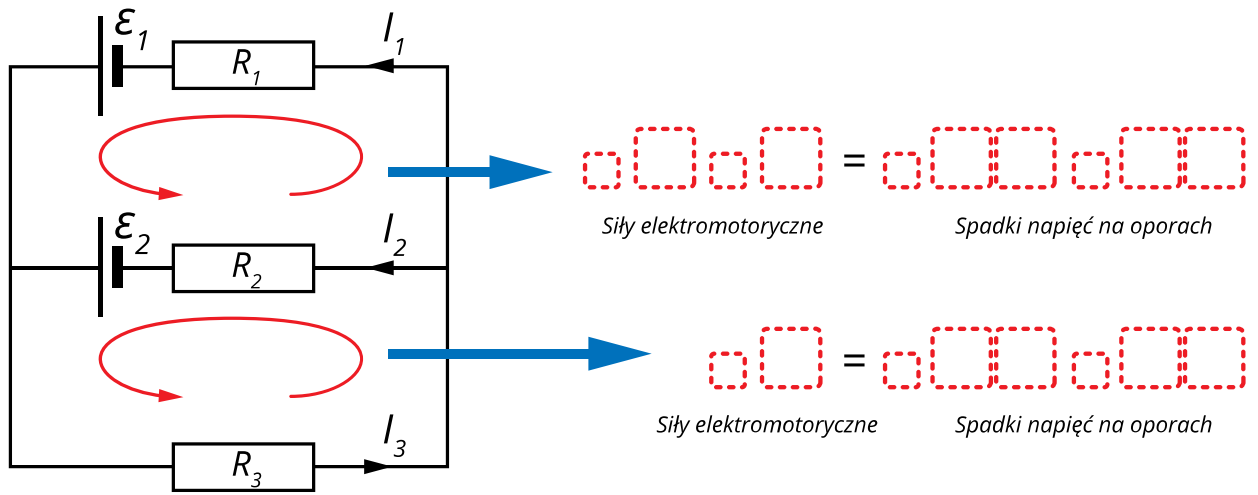


Ćwiczenie 2



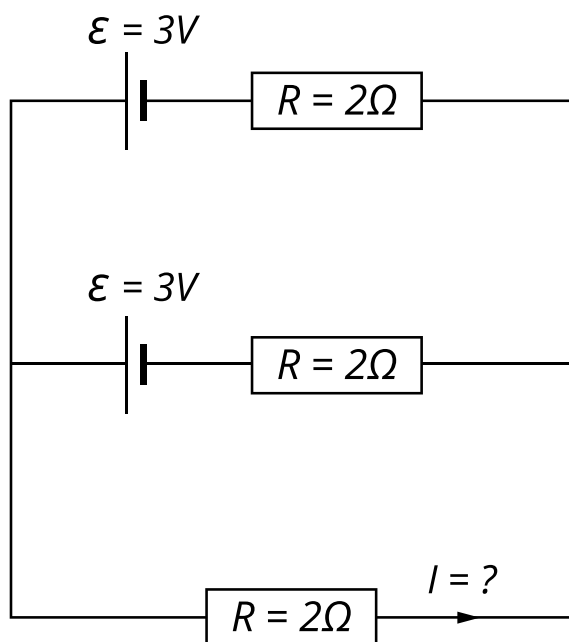
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 3



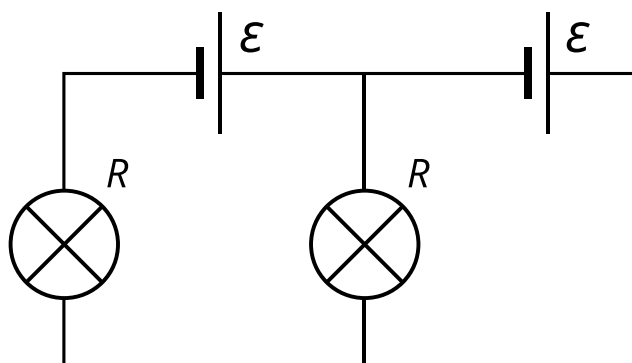
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Ćwiczenie 4



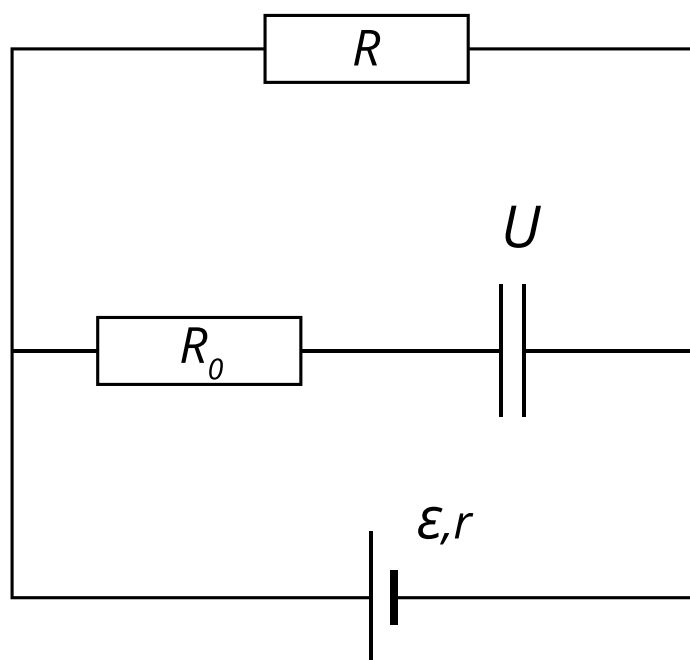
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Ćwiczenie 5



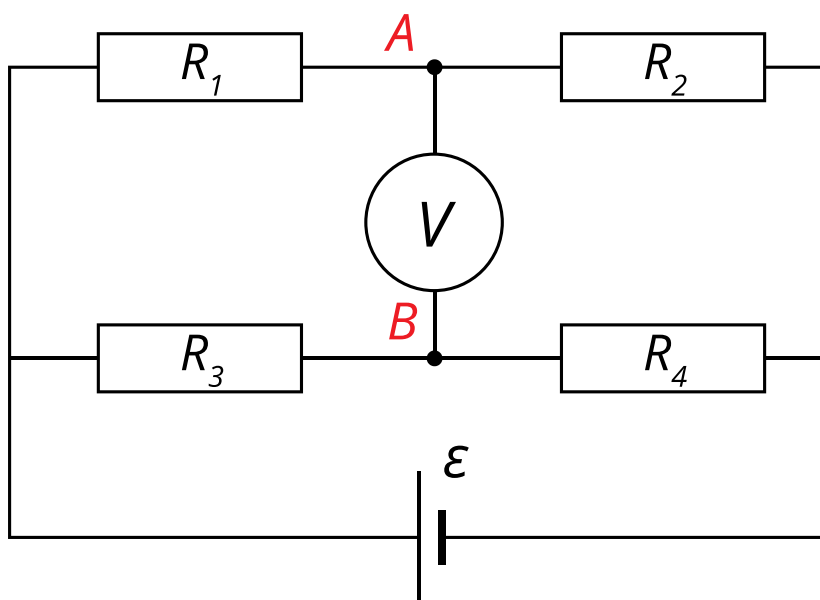
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

## Ćwiczenie 6



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

## Ćwiczenie 7



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

## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Tomasz Sobiepan
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>II prawo Kirchhoffa</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach.</p> <p>VIII. Prąd elektryczny. Uczeń:</p> <p>12) analizuje dodawanie i odejmowanie napięć w obwodzie z uwzględnieniem źródeł i odbiorników energii (II prawo Kirchhoffa).</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<p><b>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li><li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li><li>• kompetencje cyfrowe,</li><li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li></ul>

<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. sformułuje II prawo Kirchhoffa;</li> <li>2. uzasadni, że jest ono konsekwencją zasady zachowania energii;</li> <li>3. przeanalizuje rozkład potencjałów i napięć w przykładowym obwodzie elektrycznym;</li> <li>4. zastosuje zdobytą wiedzę do rozwiązania zadań pojęciowych i rachunkowych.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania</b>	oceniania kształtującego
<b>Metody nauczania</b>	wykład problemowy, poszukująca (rozwiązywanie zadań)
<b>Formy zajęć:</b>	praca w parach, praca indywidualna
<b>Środki dydaktyczne:</b>	animacja, zestaw zadań (z tego e-materiału)
<b>Materiały pomocnicze:</b>	e-materiał: „Poznajemy II prawo Kirchhoffa”
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Zaciekawienie uczniów wg części „Czy to nie ciekawe?”.</p> <p>Uzgodnienie z uczniami celów do osiągnięcia na lekcji oraz podanie NaCoBeZU (Na Co Będziemy Zwracać Uwagę).</p> <p>Rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów i nawiązanie do tej wiedzy – elektrostatyka: ruch ładunków pod wpływem pola, związki pomiędzy napięciem, potencjałem i energią.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	
<p>Wykład problemowy wg części „Warto przeczytać” z udziałem uczniów, przeprowadzony przez parę uczniów przygotowaną do tego wcześniej przez nauczyciela.</p> <p>Wykład zawiera fragment indywidualnej pracy uczniów, podczas której analizują oni animację obwodu elektrycznego, dołączoną do e-materiału.</p> <p>Podsumowanie wykładu przez uczniów poprzez dokończenie zdania „Z wykładu zrozumiałem/-am .....”.</p> <p>Rozwiązywanie zadań przez uczniów w parach, w kolejności od 2 do 7. Po każdym zadaniu uczniowie przekazują sobie nawzajem jednozdaniową pozytywną informację zwrotną na temat wkładu w rozwiązanie zadania.</p> <p>Podczas rozwiązywania zadań uczniowie korzystają z informacji zwrotnych umieszczonych przy każdym z nich. W razie potrzeby nauczyciel uzupełnia je o informacje kierowane indywidualnie do poszczególnych uczniów.</p>	

**Faza podsumowująca:**

Nauczyciel prosi uczniów o podsumowanie lekcji poprzez dokończenie zdania „Dziś nauczyłem/-am się .....”.

Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.

**Praca domowa:**

Uczniowie utrwalają wiedzę i umiejętności zdobyte w czasie lekcji przez rozwiązanie w domu zadań nr 1 i 8.

**Wskazówki  
metodyczne  
opisujące różne  
zastosowania  
danego  
multimedium**

Animacja może zostać wykorzystana także jako wsparcie w nauczaniu elektrostatyki i wstępnych tematów z zakresu prądu elektrycznego. Świetnie nadaje się jako praca domowa, do samodzielnego przeanalizowania przez uczniów.