



FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 14

Magnetyzm

dr inż. Katarzyna Gwóźdź

Magnetyzm

Magnetyzm to zespół zjawisk fizycznych związanych z istnieniem pola magnetycznego, które oddziałuje na poruszające się ładunki elektryczne, prądy oraz momenty magnetyczne materii.



By Maciej J. Mrowinski - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=126102528>

Pole magnetyczne

Stan przestrzeni wywołany istnieniem materii o właściwościach magnetycznych; pole magnetyczne wytwarza siłę, która oddziałuje na poruszający się ładunek elektryczny.

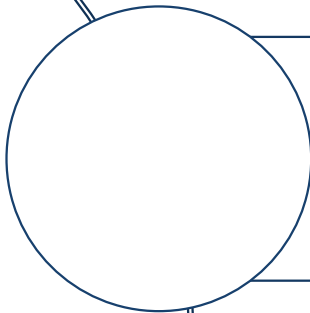
Brak pola magnetycznego



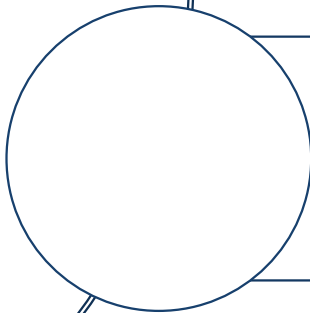
Istnieje pole
magnetyczne

Źródła pola magnetycznego

Nie istnieje monopol magnetyczny!



Poruszające się
naładowane cząstki



Wewnętrzne właściwości
magnetyczne cząstek

Siła Lorentza

Siła Lorentza (siła magnetyczna) siłą działająca na poruszający się ładunek w polu magnetycznym.

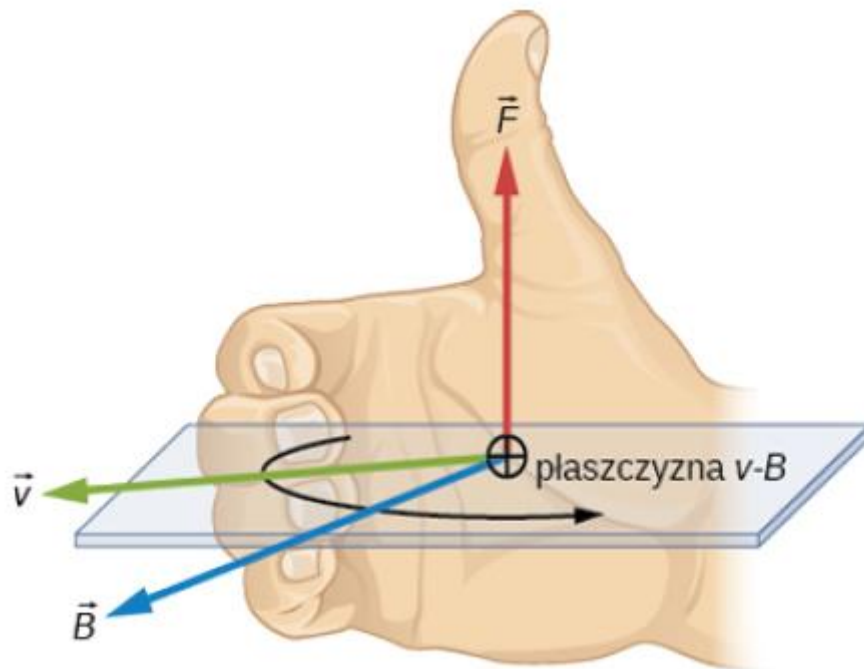
$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$\vec{F}_L$ - siła Lorentza

q - ładunek

$\vec{v}$ - prędkość ładunku

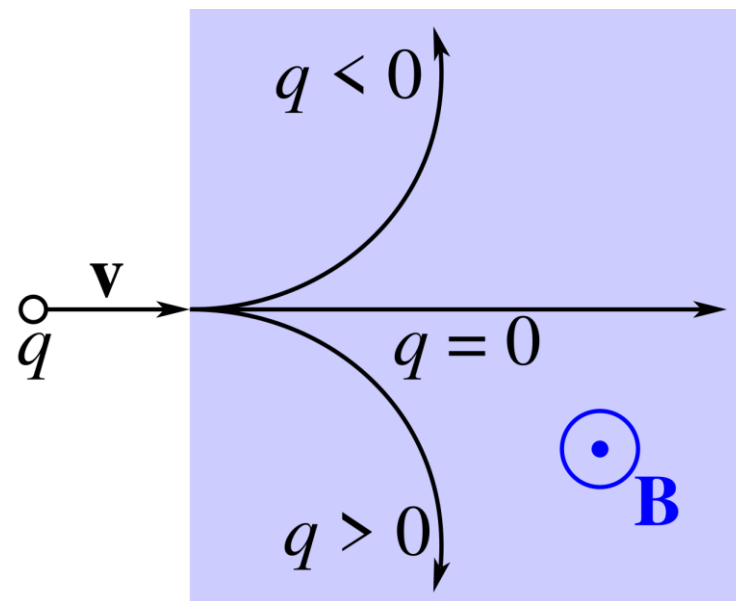
$\vec{B}$ [T] - indukcja magnetyczna



Siła Lorentza

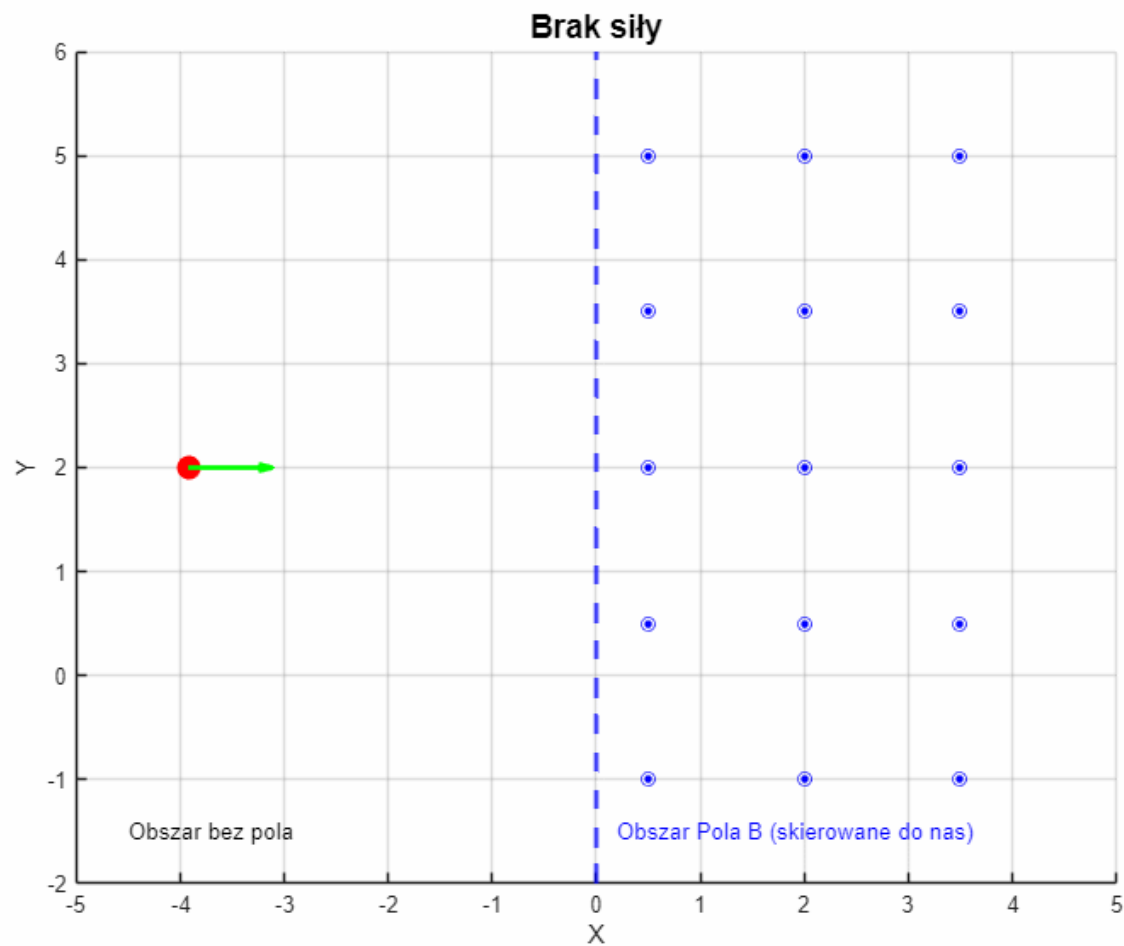
$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

$$F_L = |q|vB \sin(\angle \vec{v}, \vec{B})$$

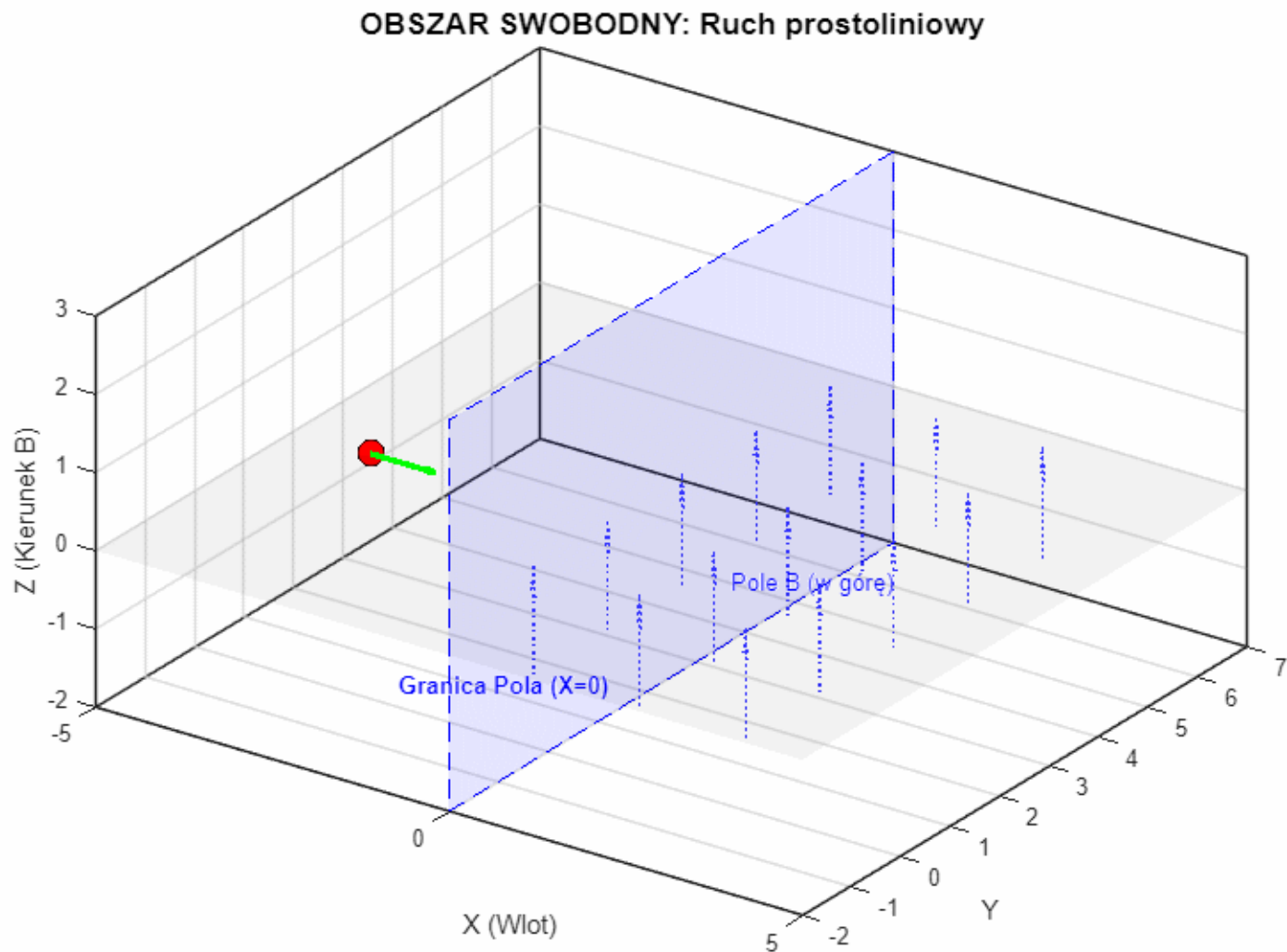


Autorstwa Jaro.p - Praca własna przy użyciu Wiedemann, Helmut (14 kwietnia 1999) Particle Accelerator Physics: Basic Principles and Linear Beam Dynamics (Wyd. 2), Springer ISBN: 354064671X, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=880315>

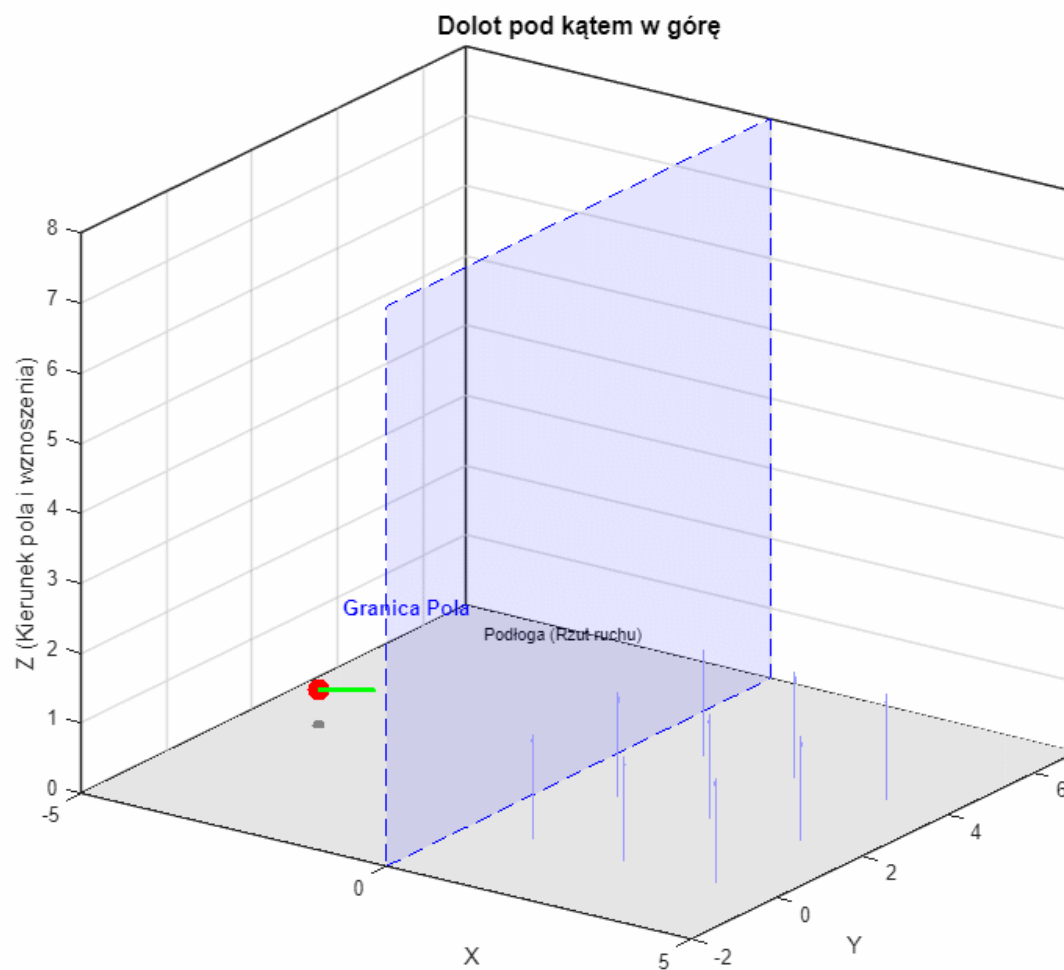
Siła Lorentza



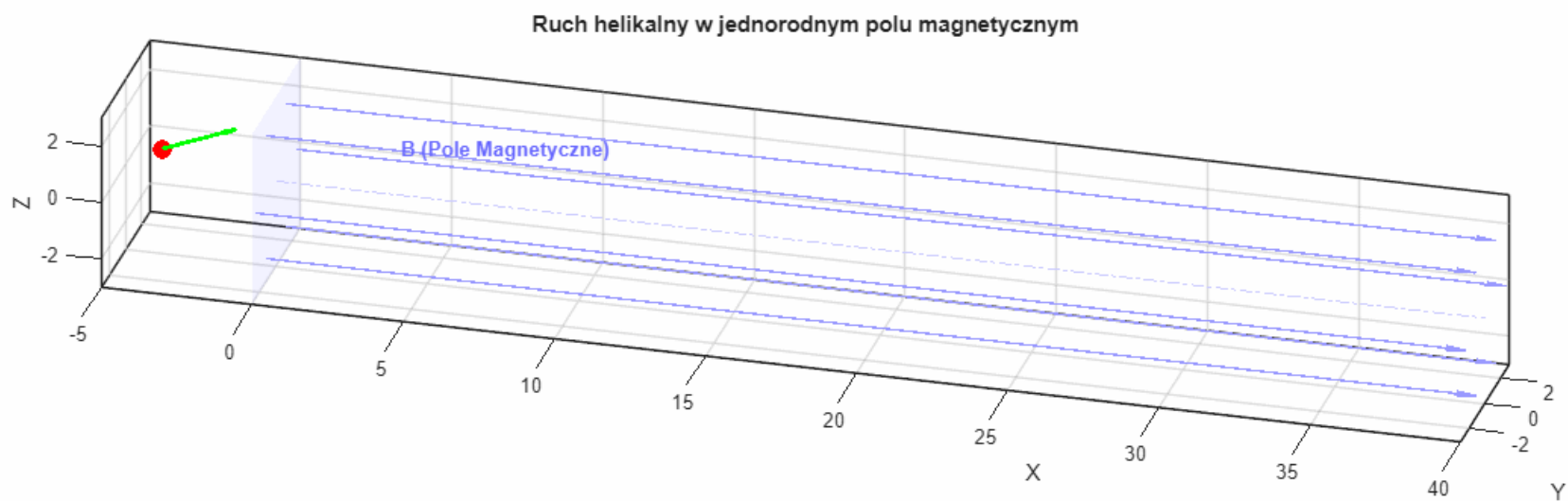
Siła Lorentza



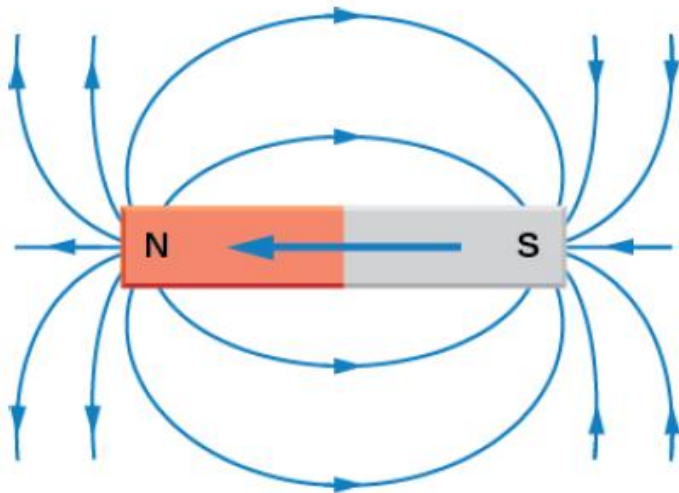
Siła Lorentza



Siła Lorentza

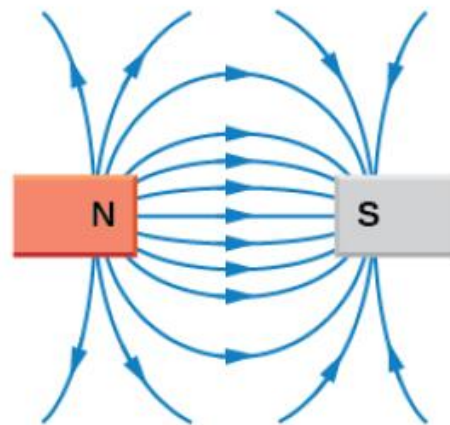


Linie pola magnetycznego



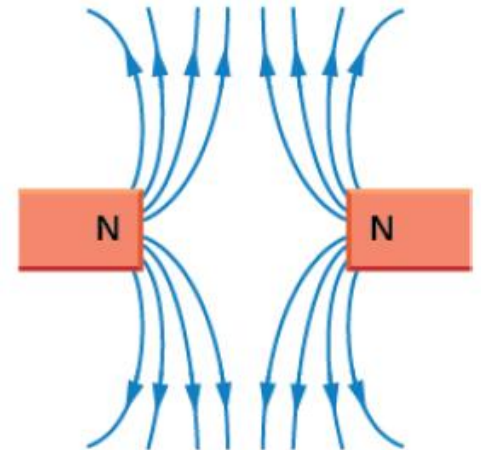
linie pola magnetycznego
w płytce magnetyka

(a)



linie pola magnetycznego
pomiędzy biegunami
różnoimiennymi

(b)



linie pola magnetycznego
pomiędzy biegunami
jednoimiennymi

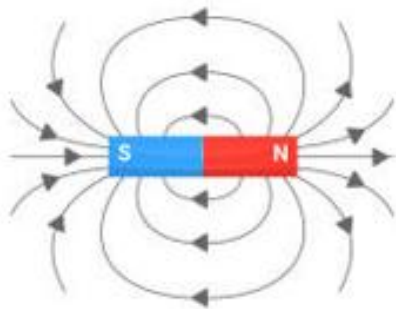
(c)

Nie istnieje monopol magnetyczny!

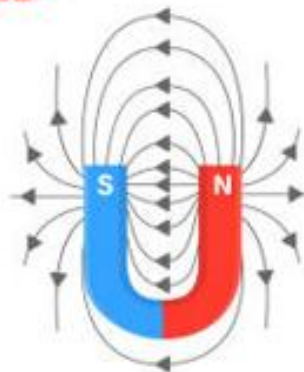
Dipol magnetyczny

Różnoimienne bieguny się przyciągają, jednoimienne się odpychają.

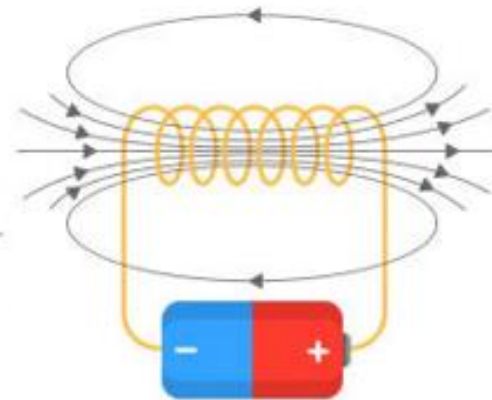
MAGNETIC FIELD



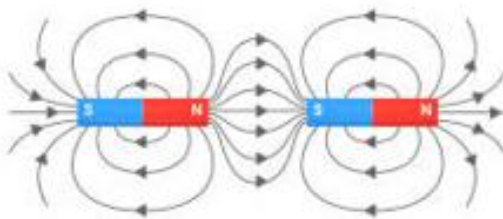
BAR MAGNET



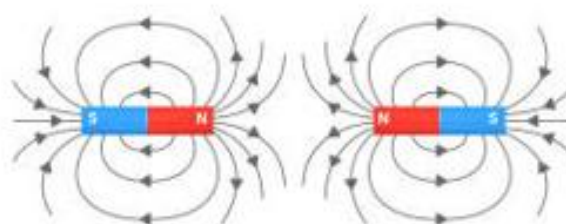
HORSESHOE MAGNET



ELECTROMAGENETIC FIELD



UNLIKE POLES ATTRACT



LIKE POLES ATTRACT

Indukcja magnetyczna

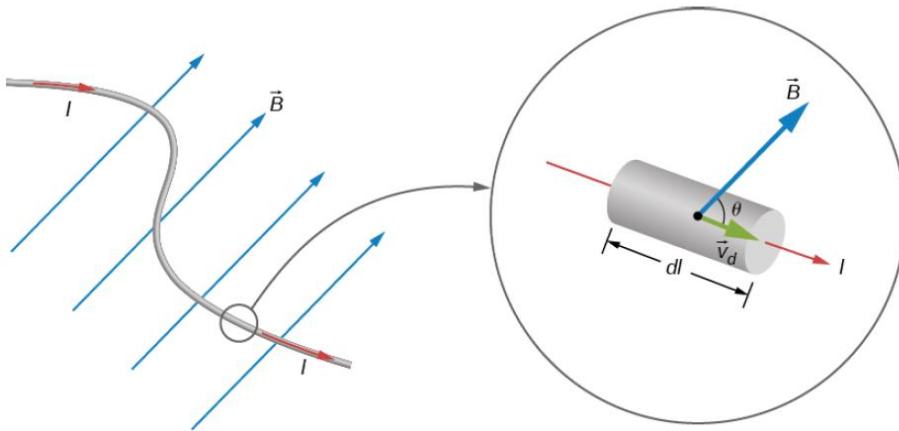
W układzie SI

$$\left[T = \frac{N}{C \frac{m}{s}} \right]$$

Na powierzchni gwiazdy neutronowej	10^8 T
W pobliżu dużego elektromagnesu	$1,5 \text{ T}$
W pobliżu małego magnesu sztabkowego	10^{-2} T
Na powierzchni Ziemi	10^{-4} T
W przestrzeni międzygwiazdnej	10^{-10} T

Pole magnetyczne wytwarzane przez przewodnik z prądem

Przewodnik z prądem w polu magnetycznym doświadcza działania siły magnetycznej.



$$I = neSv_d$$

$$d\vec{F}_B = nSdl\vec{v}_d \times \vec{B}$$

$$d\vec{F}_B = nSv_d d\vec{l} \times \vec{B}$$

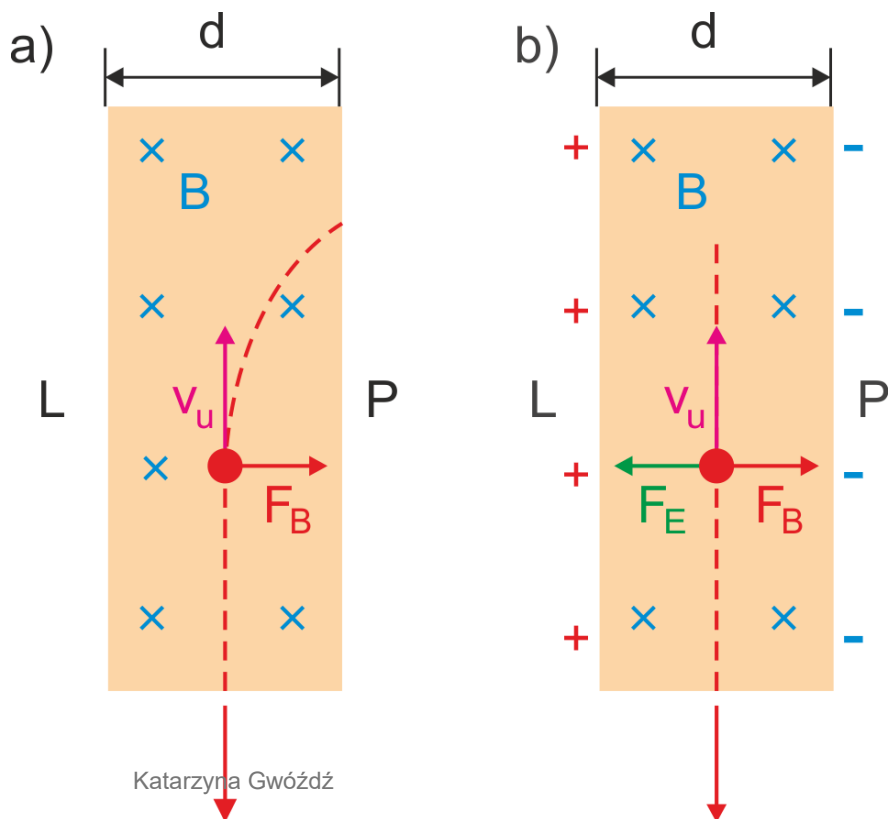
$$d\vec{F}_B = I d\vec{L} \times \vec{B}$$

Jeśli prostoliniowy:

$$\vec{F}_B = I\vec{L} \times \vec{B}$$

Zjawisko Halla

Gdy przewodnik, przez który przepływa prąd, znajduje się w polu magnetycznym, na okładkach poprzecznych do przepływu prądu pojawia się napięcie, zwane napięciem Halla.



$$F_L = F_E$$

$$qvB = eE_H$$

$$E_H = vB$$

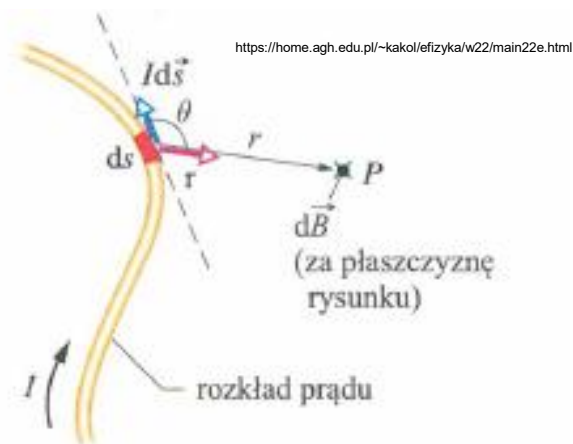
$$v = \frac{I}{neS} = \frac{j}{ne}$$

$$n = \frac{jB}{eE_H}$$

Prawo Biota-Savarta

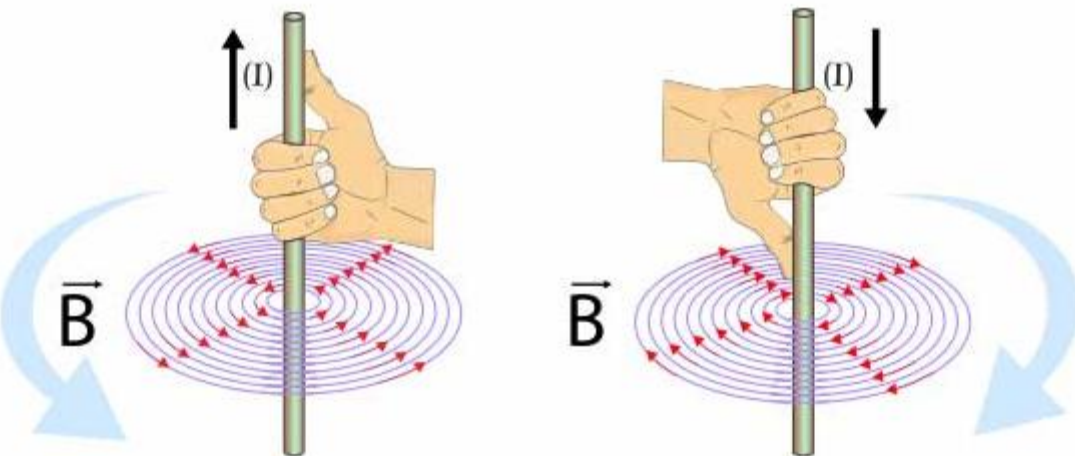
Prąd elektryczny, który składa się z poruszających się ładunków, jest źródłem pola magnetycznego.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$



Długi przewód prostoliniowy:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R}$$



Prawo Biota-Savarta

Prąd elektryczny, który składa się z poruszających się ładunków, jest źródłem pola magnetycznego.

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Id\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

$\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$ - przenikalność magnetyczna próżni

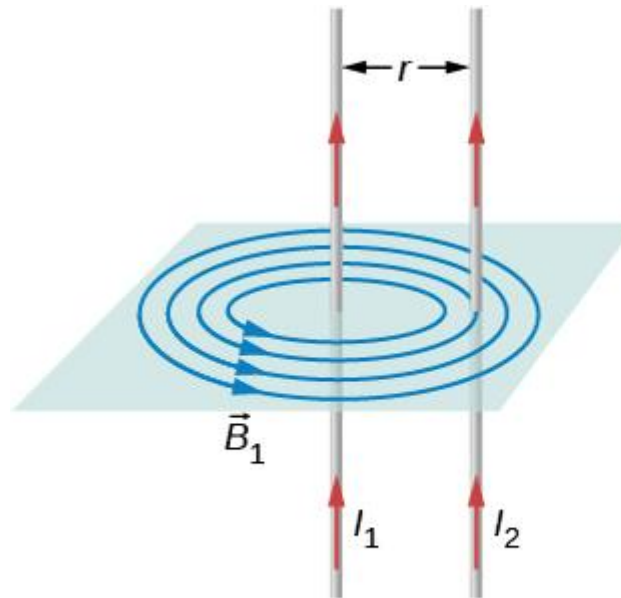
Dwa równoległe przewody

Przewody, w których płyną prądy równoległe, przyciągają się, a te, w których płyną prądy antyrównoległe, odpychają się.

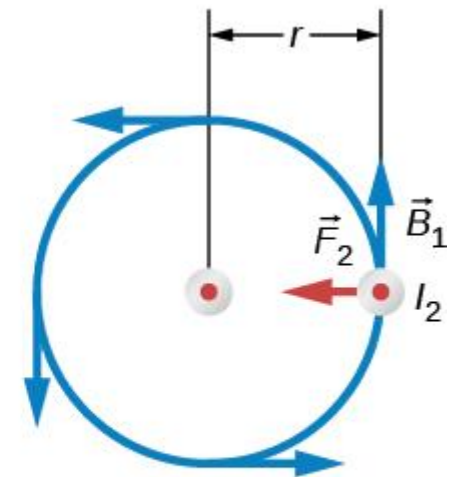
<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-2/pages/12-3-oddzia%C5%82ywanie-magnetyczne-dwoch-rownoleg%C5%82ych-przewod%C3%B3w-z-pradem>

$$F = \frac{\mu_0 L I_1 I_2}{2\pi r}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



(a)



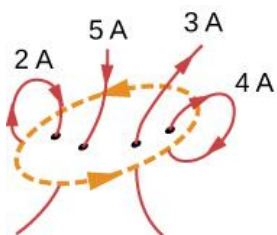
(b)

Prawo Ampere'a

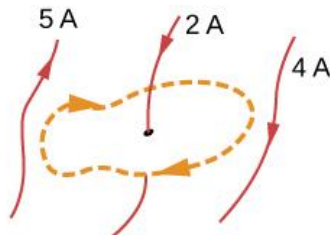
Pozwala na wyznaczenie wypadkowego pola magnetycznego utworzonego przez dowolny układ prądów.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_p$$

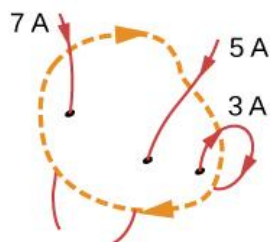
Natężenie prądu I_p jest wypadkowym natężeniem prądu przepływającego przez powierzchnię ograniczoną konturem całkowania.



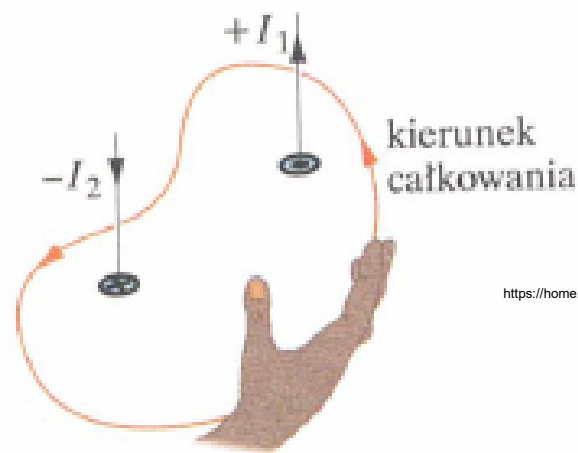
(a)



(b)



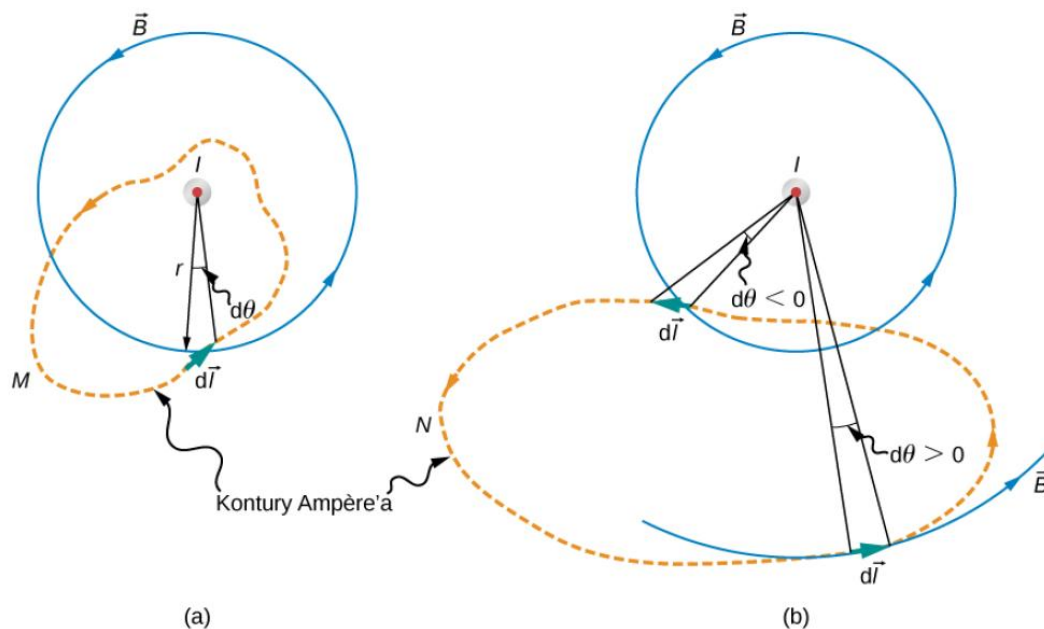
(c)



<https://home.agh.edu.pl/~kakol/efizyka/w22/main22e.html>

Prawo Ampere'a

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl =$$

$$= B \oint dl = 2B\pi r$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_p$$

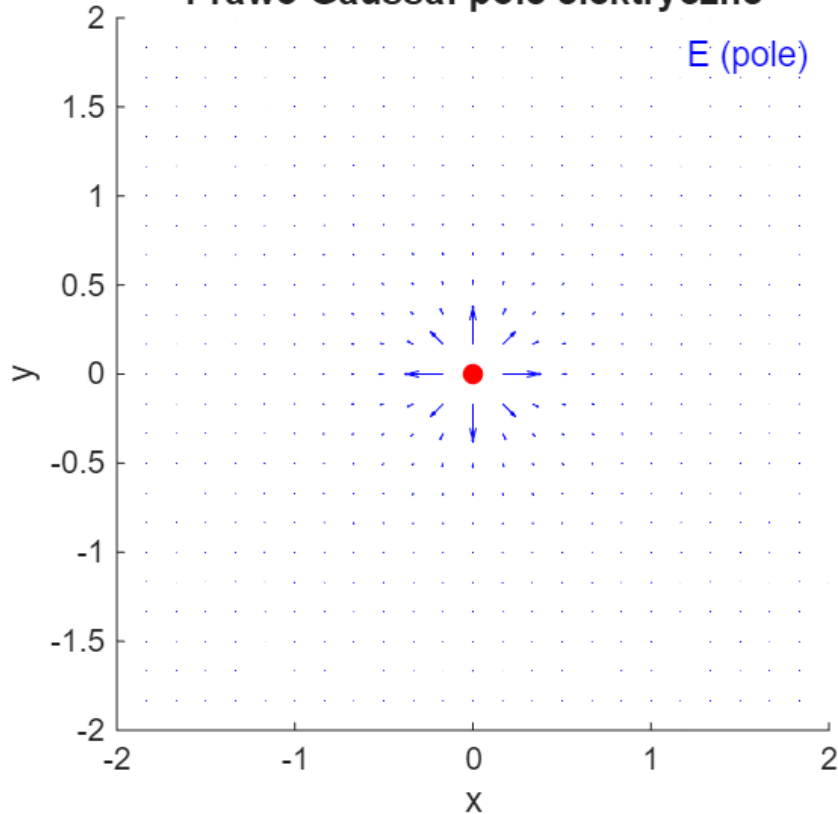
$$2B\pi r = \mu_0 I_p$$

$$B = \frac{\mu_0 I_p}{2\pi r}$$

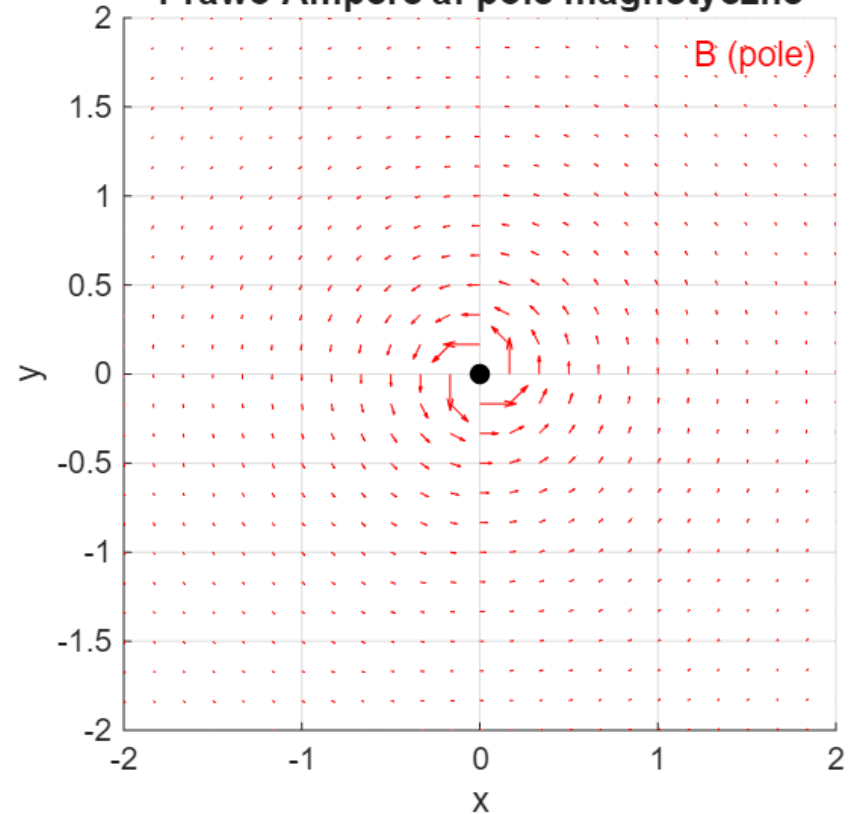
$$\oint_M \vec{B} \cdot d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \oint_M dl = \mu_0 I \quad \oint_N \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$$

Prawo Ampere'a a prawo Gaussa

Prawo Gaussa: pole elektryczne



Prawo Ampère'a: pole magnetyczne



Prawo Ampere'a z poprawką Maxwella

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_p$$

Prawo Ampere'a działa dla prądu stałego

Gdy kondensator się ładuje, prąd przez niego nie płynie, ale pole magnetyczne się zmienia

$$\vec{J}_d = \varepsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t}$$

Zmienne pole elektryczne działa jak „prąd zastępczy”, który tworzy pole magnetyczne

Prawo Ampere'a z poprawką Maxwella

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 I_p$$

$$\vec{J}_d = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\int_S \vec{J}_D \cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 \int_S \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 \frac{d}{dt} \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt}$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{S} = \mu_0 \left(I_p + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \right)$$

Prawo Ampere'a z poprawką Maxwella - wnioski

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0(I_p + \varepsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt})$$

Wnioski:

- Cyrkulacja B zależy od prądu przewodzenia + prądu przesunięcia.
- Pętla Ampère'a obejmuje przewodnik lub obszar ze zmiennym polem E .
- Dzięki poprawce Maxwella prawo działa dla prądów stałych i zmiennych.
- Zmienne pole elektryczne i przepływający prąd są źródłami pola magnetycznego.

Prawo Faraday'a

SEM jest indukowana w pętli, gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzącego przez pętlę.

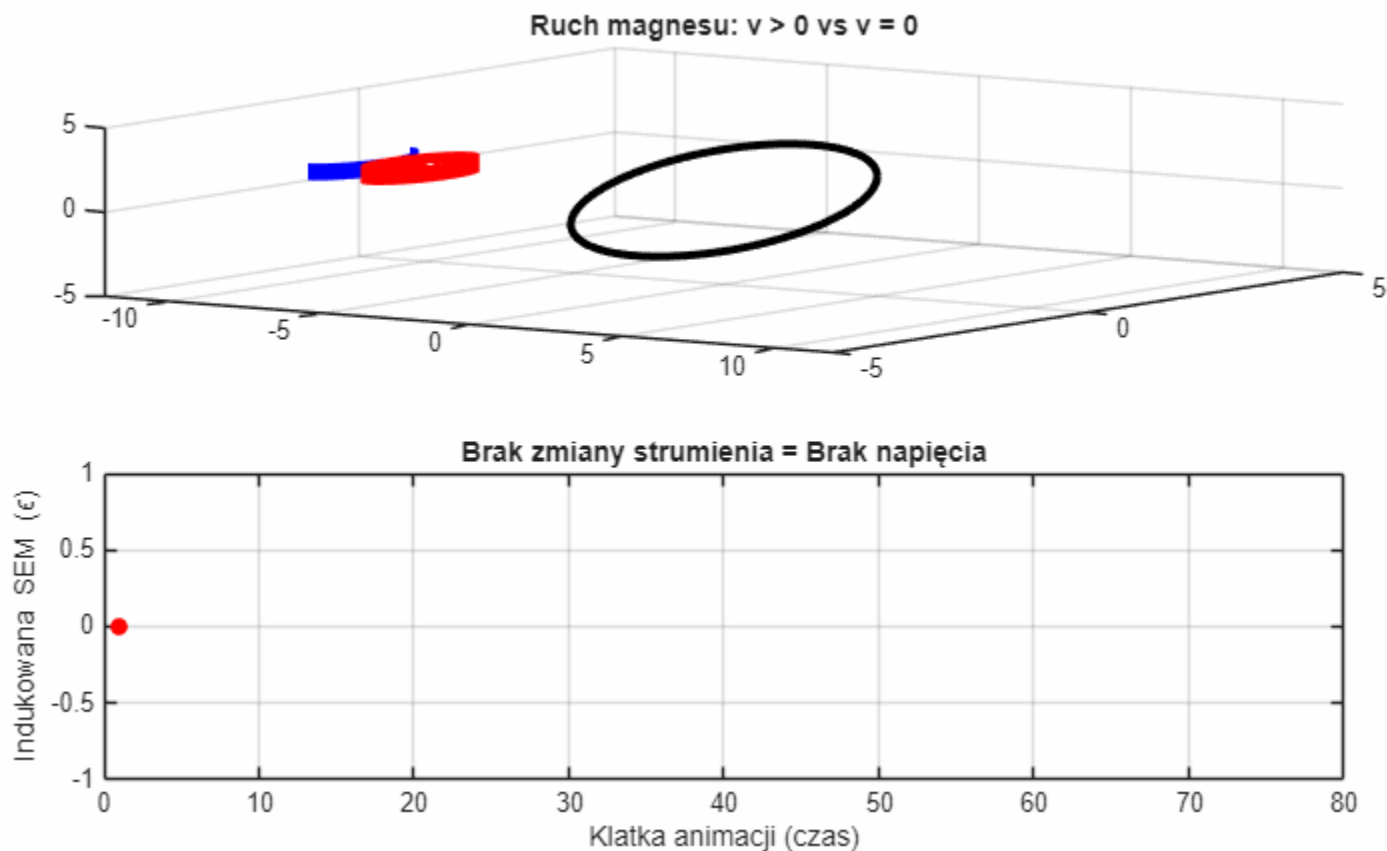
$$\epsilon = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\Phi_B = \iint_S \vec{B} \cdot \vec{ds}$$



Prawo Faraday'a

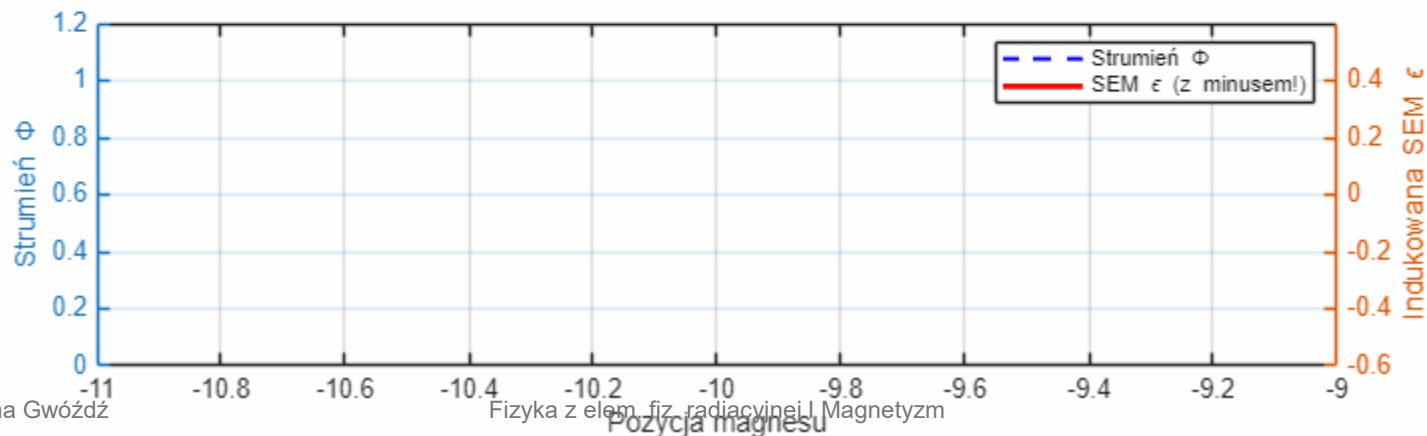
SEM jest indukowana w pętli, gdy zmienia się liczba linii pola magnetycznego przechodzącego przez pętlę.



Reguła Lenza

Kierunek indukowanej siły elektromotorycznej jest taki, że wywołany przez nią prąd zawsze przeciwdziała zmianie strumienia pola magnetycznego, która tę siłę generuje.

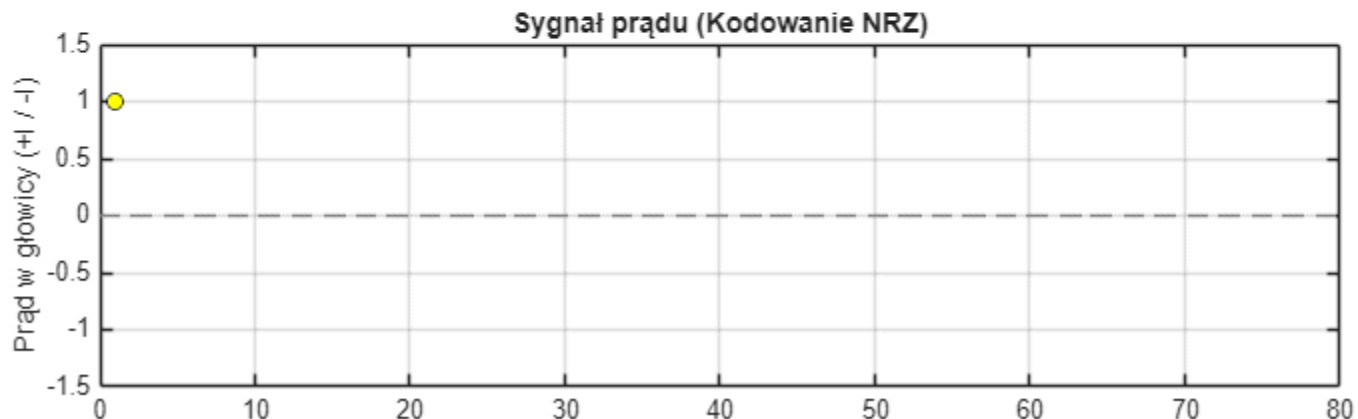
Reguła Lenza: Indukowane pole przeciwstawia się zmianie



Zastosowanie – dysk twardy HDD

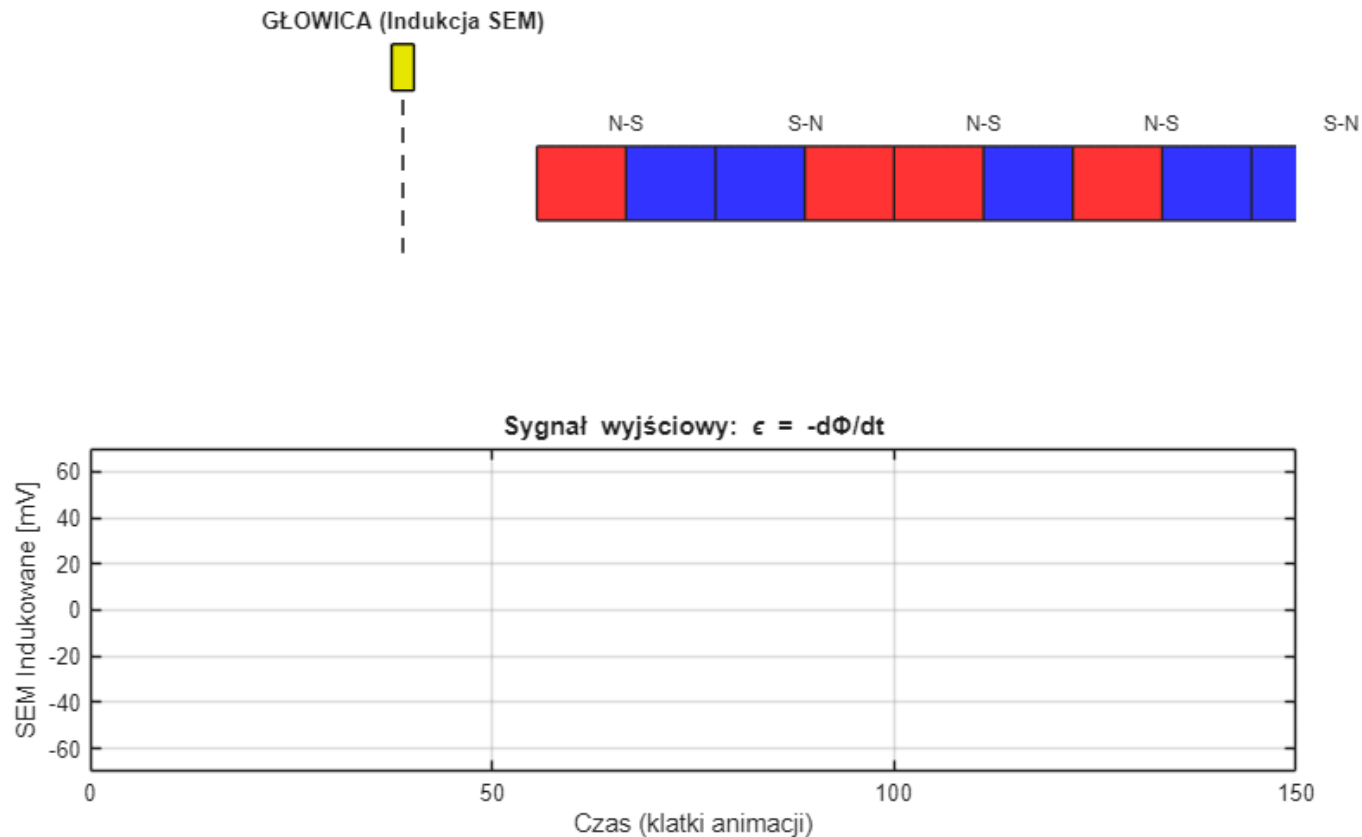
Prawo Ampere'a – zapis na dysku

ZAPIS: Zmiana kierunku prądu zmienia bieguny magnesu



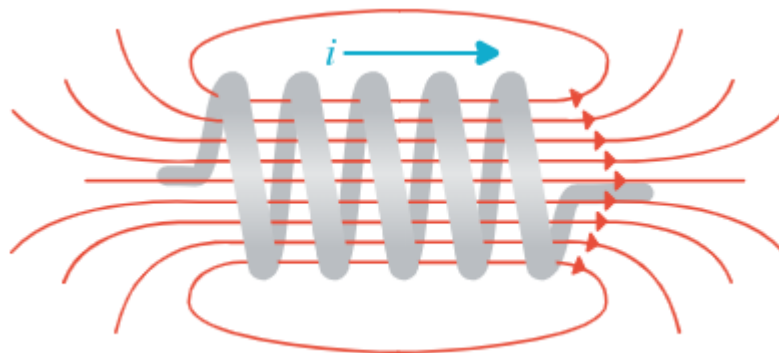
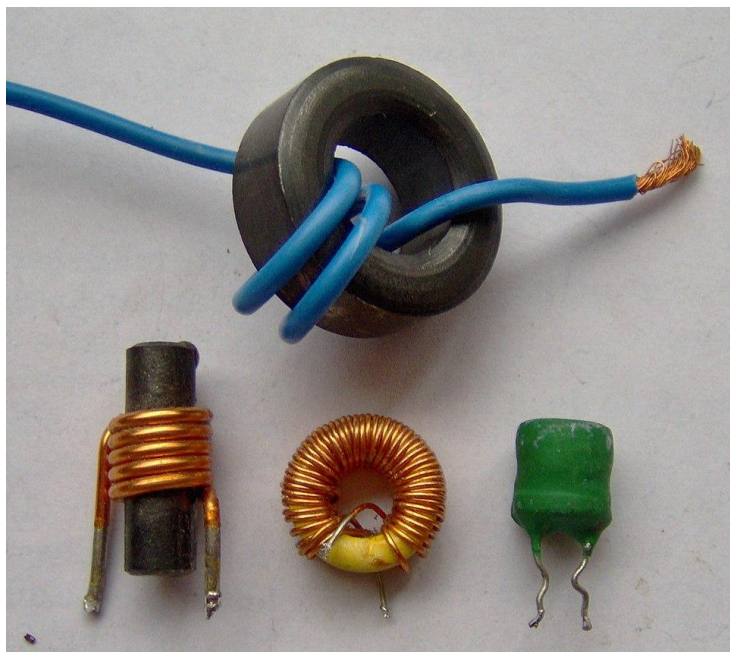
Zastosowanie – dysk twardy HDD

Prawo Faraday'a – odczyt dysku



Cewka

Element elektroniczny zbudowany ze zwojów przewodnika (zazwyczaj miedzi) nawiniętych na rdzeń.



<https://spinningnumbers.org/a/inductor-how-it-works.html>

Autorstwa Miguel - Photograph, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1534586>

Indukcyjność cewki

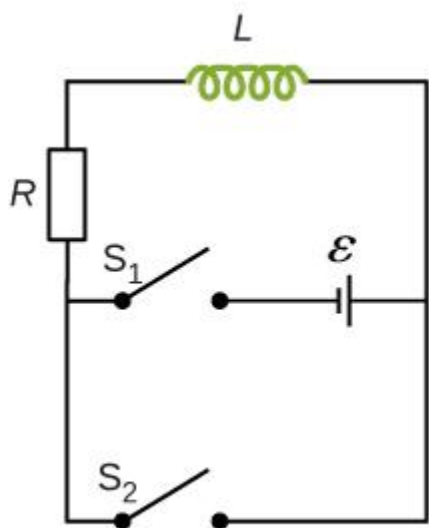
Jeśli przy uzwojenie cewki przepuścimy prąd, to wytworzy on strumień magnetyczny w środkowej części cewki.

$$L = \frac{N\Phi_B}{I}$$

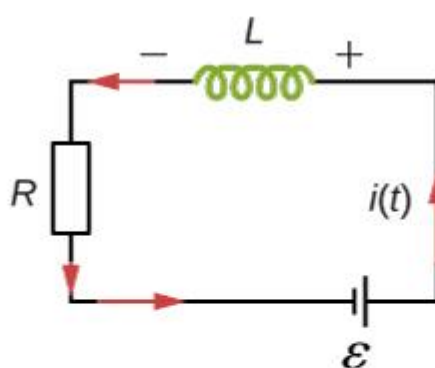
$$\left[1 \text{ H} = 1 \text{ T} \frac{\text{m}^2}{\text{A}} \right]$$

Układ RL

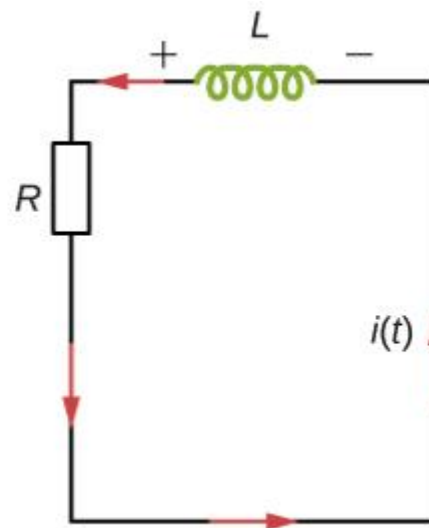
Obwód zawierający opornik i cewkę.



(a)



(b)



(c)

<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-2/pages/14-4-obwody-rl>

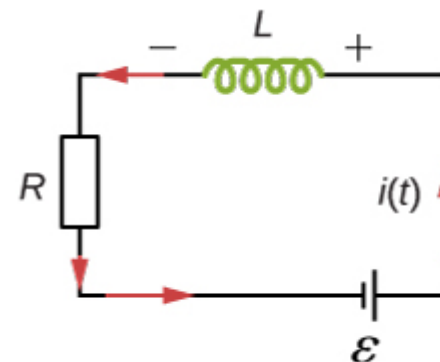
Układ RL

$$\varepsilon - L \frac{di}{dt} - iR = 0$$

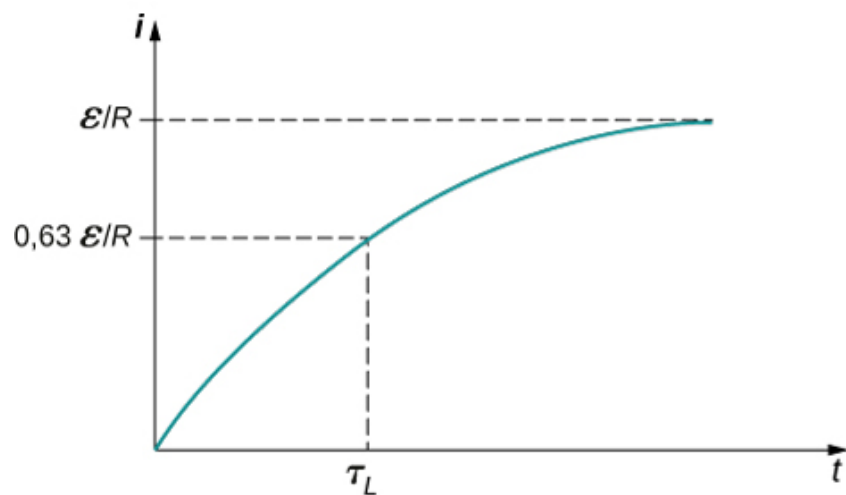
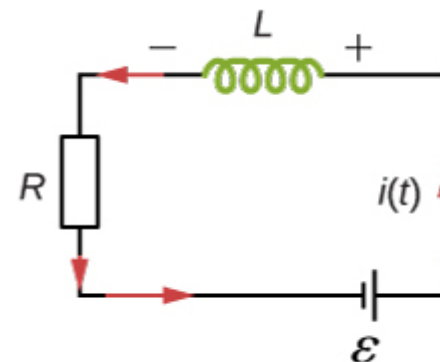
$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{Rt}{L}})$$

$$\frac{L}{R} = \tau \text{ -- stała czasowa obwodu RL [s]}$$

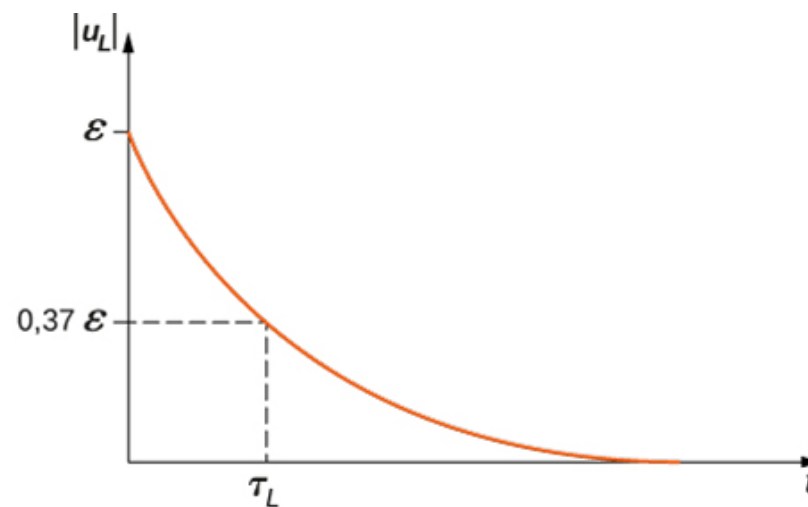
$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$



Układ RL



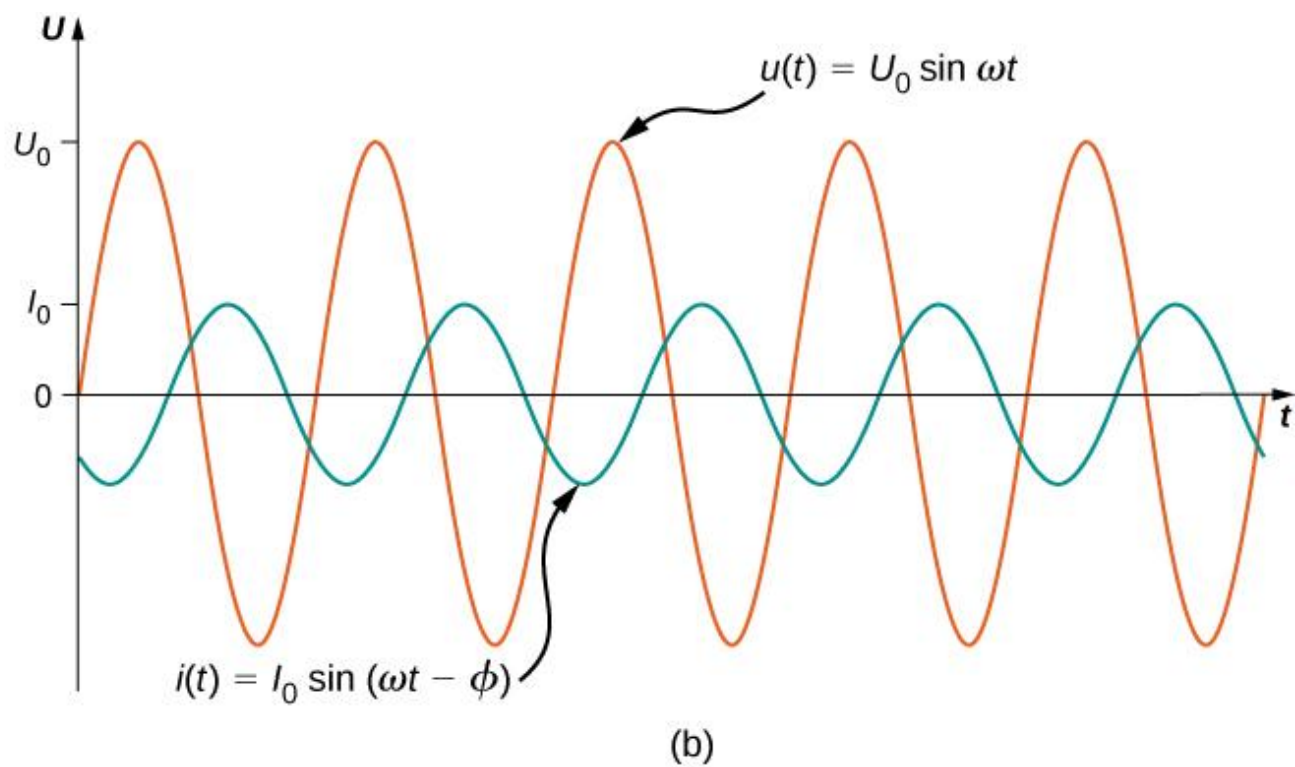
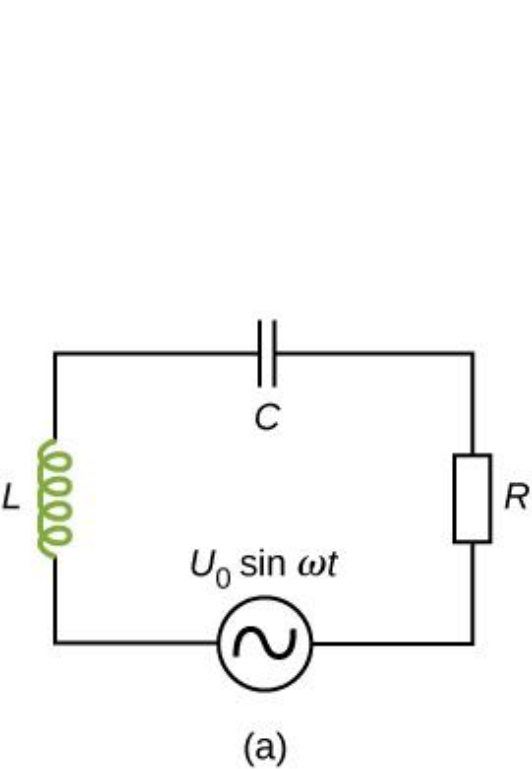
(a)



(b)

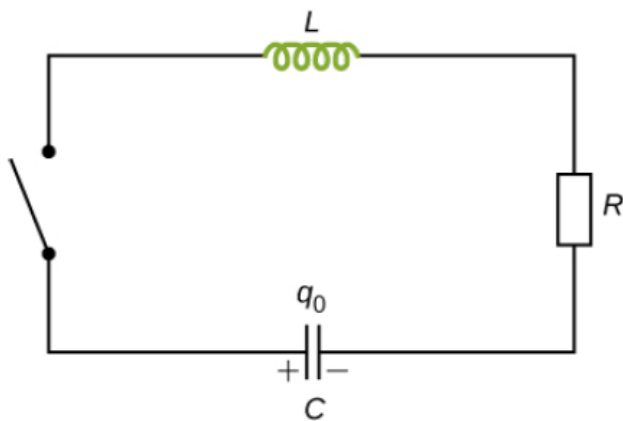
<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-2/pages/14-4-obwody-rl>

Układ RLC

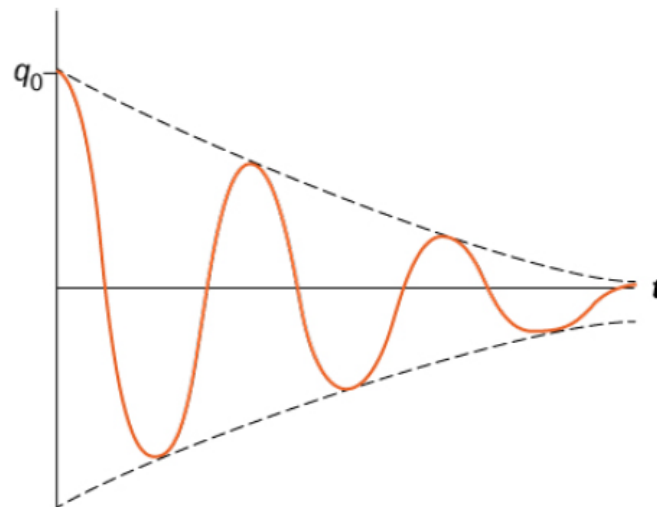


<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-2/pages/14-4-obwody-rl>

Układ RLC



(a)



(b)

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C} q = 0$$



FIZYKA Z ELEMENTAMI FIZYKI RADIACYJNEJ I | WYKŁAD 14

Dziękuję za uwagę.

dr inż. Katarzyna Gwóźdź