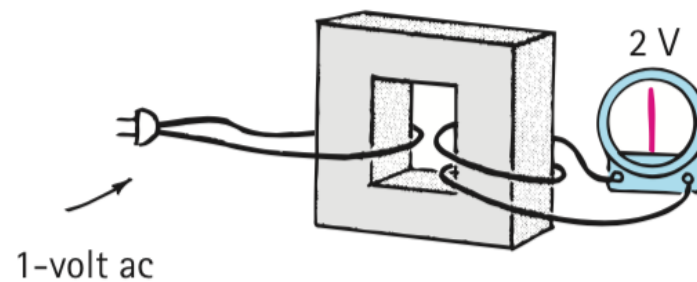
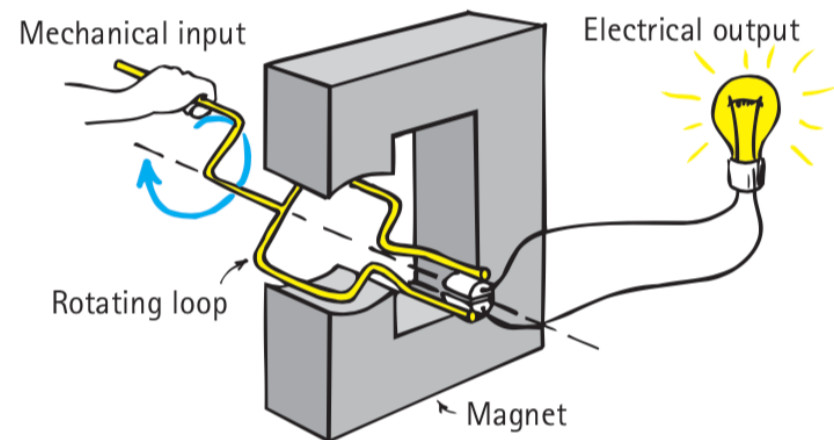
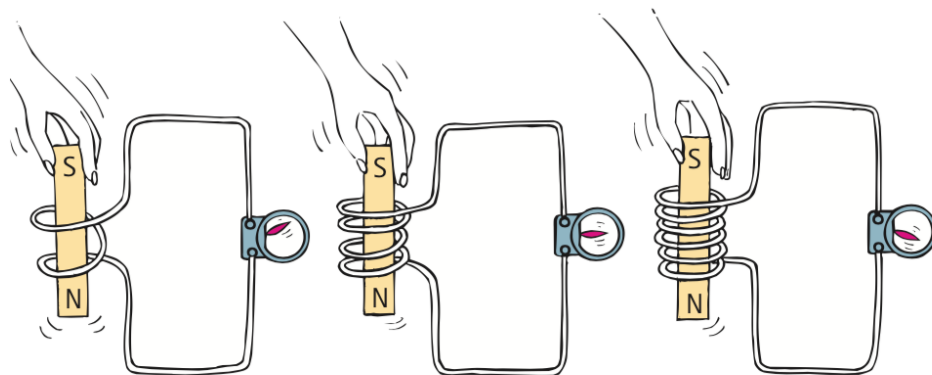


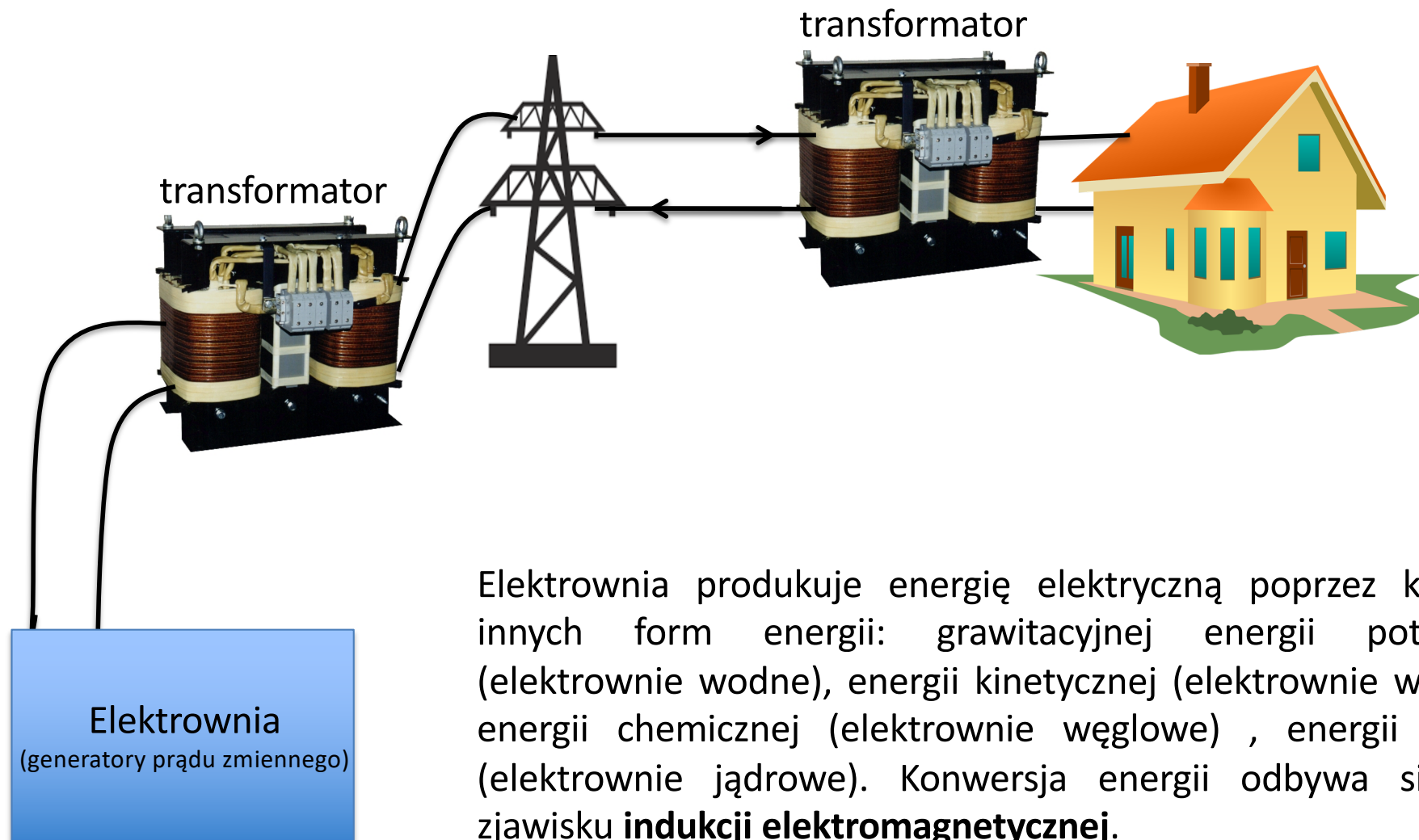
Wykład 16

Indukcja elektromagnetyczna

prawo Farady'a, reguła Lenza, prądy wirowe, transformatory

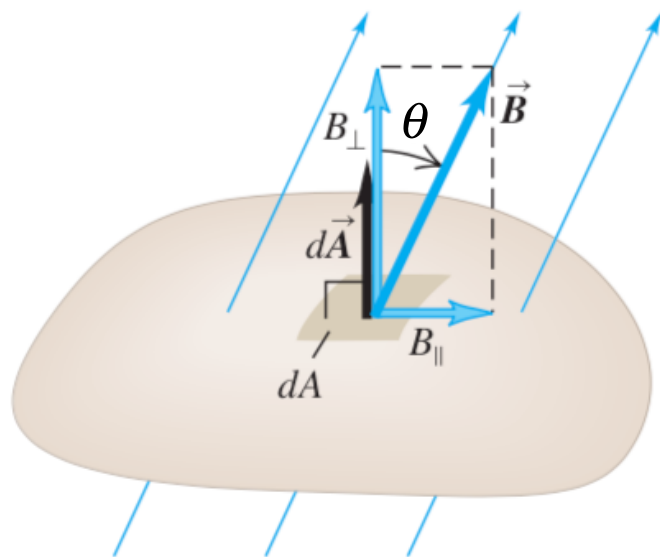


W jaki sposób elektrownia wytwarza energię elektryczną (siłę elektromotoryczną)?



Elektrownia produkuje energię elektryczną poprzez konwersję innych form energii: grawitacyjnej energii potencjalnej (elektrownie wodne), energii kinetycznej (elektrownie wiatrowe), energii chemicznej (elektrownie węglowe) , energii jądrowej (elektrownie jądrowe). Konwersja energii odbywa się dzięki zjawisku indukcji elektromagnetycznej.

Strumień indukcji magnetycznej



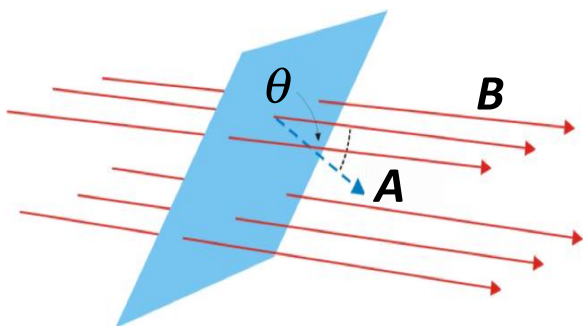
Strumień pola magnetycznego przez mały element powierzchni dA :

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B(dA)\cos\theta$$

Strumień pola magnetycznego przez całą powierzchnię:

$$\Phi_B = \int_{\text{powierzchnia}} d\Phi_B = \int_{\text{powierzchnia}} \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Dla płaskiej powierzchni oraz jednorodnego pola magnetycznego:

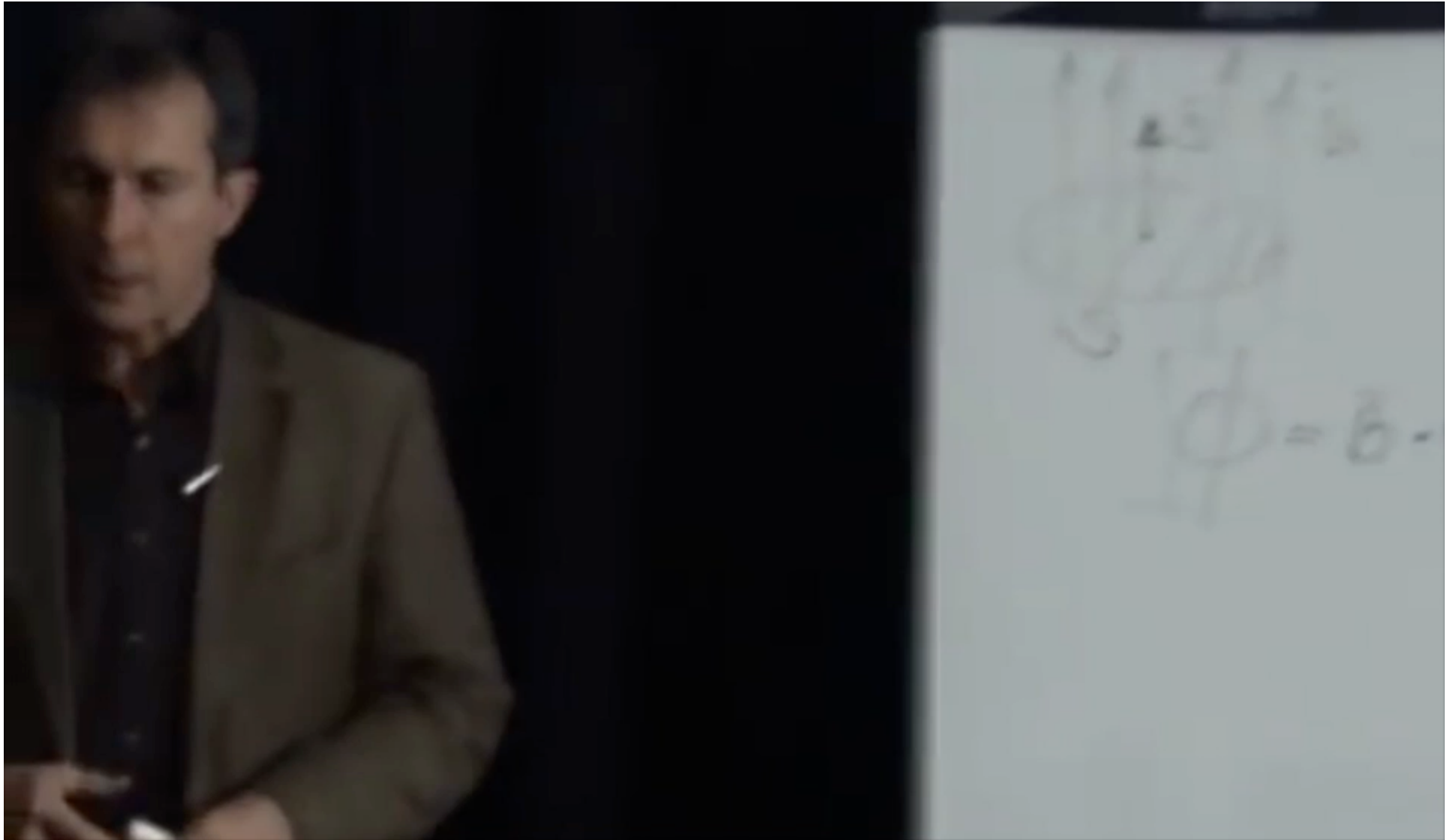


strumień redukuje się do wyrażenia

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\theta$$

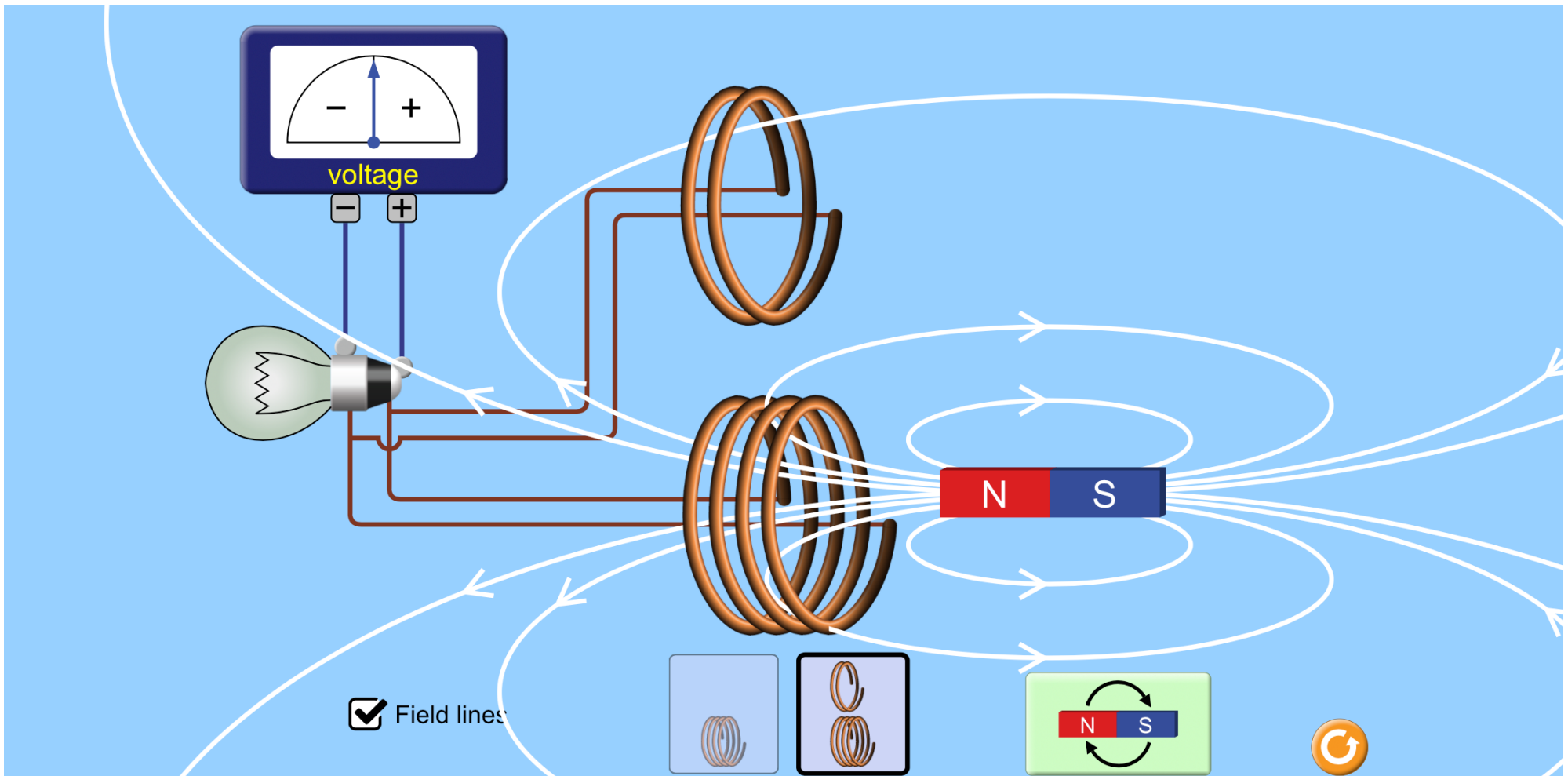
Jednostką strumienia B jest Weber: $[Wb = T \cdot m^2]$.

Zmiana strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię ograniczoną obwodem elektrycznym



Indukcja elektromagnetyczna symulacja

https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_en.html



Zmiana strumienia indukcji magnetycznej przez powierzchnię ograniczoną obwodem elektrycznym



Jak zmieniać w czasie strumień indukcji magnetycznej?

$$\Phi_B(t) = \vec{B} \cdot \vec{A} = \underline{B(t)} \underline{A(t)} \cos \underline{\theta(t)}$$

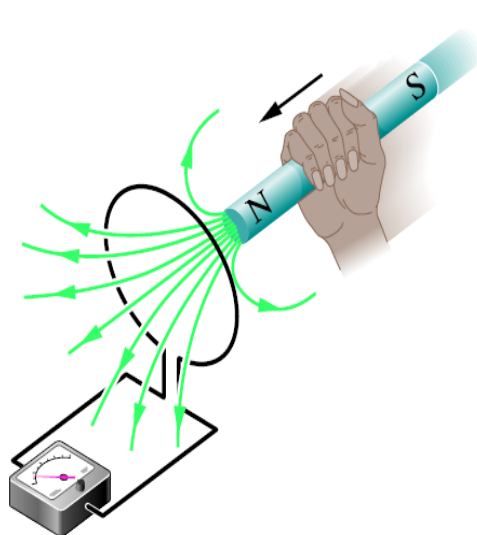
- zmiana wartości B ,
- zmiana pola A ,
- zmiana kąta θ

Voltage is induced in a coil
when:

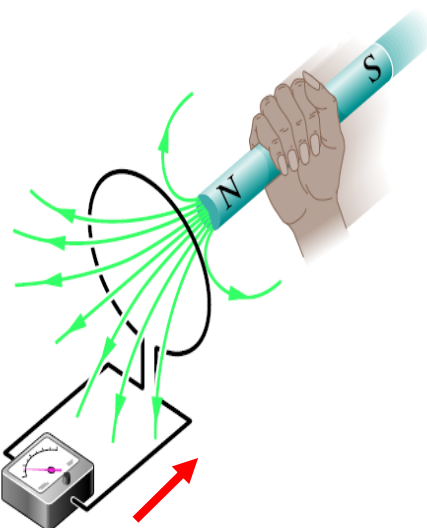
PRAWO FARADAYA

Siła elektromotoryczna indukcji jest proporcjonalna do szybkości zmian w czasie strumienia indukcji magnetycznej przechodzącego przez pole powierzchni rozpostartej na konturze obwodu:

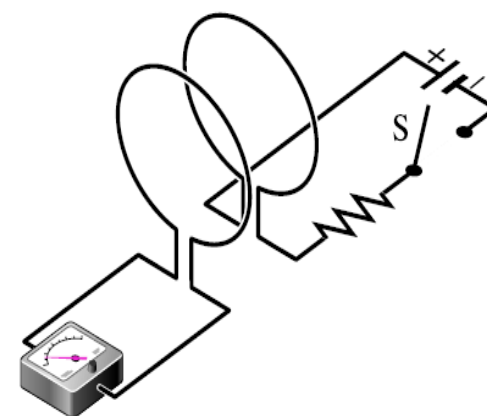
$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi_B}{dt}$$



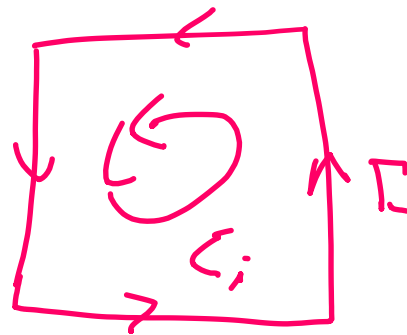
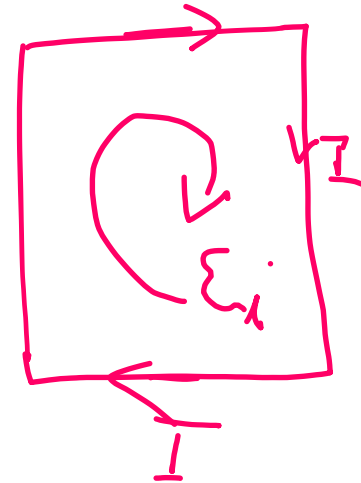
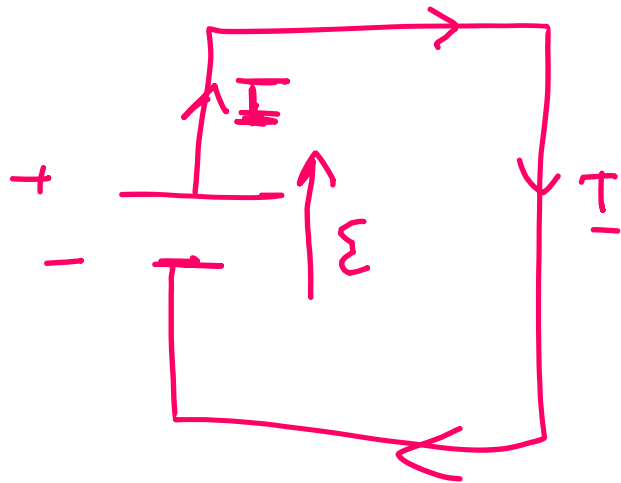
Nieruchoma pętla, względem której porusza się źródło pola magnetycznego



Przewód w kształcie pętli porusza się w obszarze pola magnetycznego



Nieruchoma pętla i nieruchome źródło pola magnetycznego lecz zmienia się prąd, który jest źródłem pola magnetycznego.



CELL OR WOUND

STAGE I

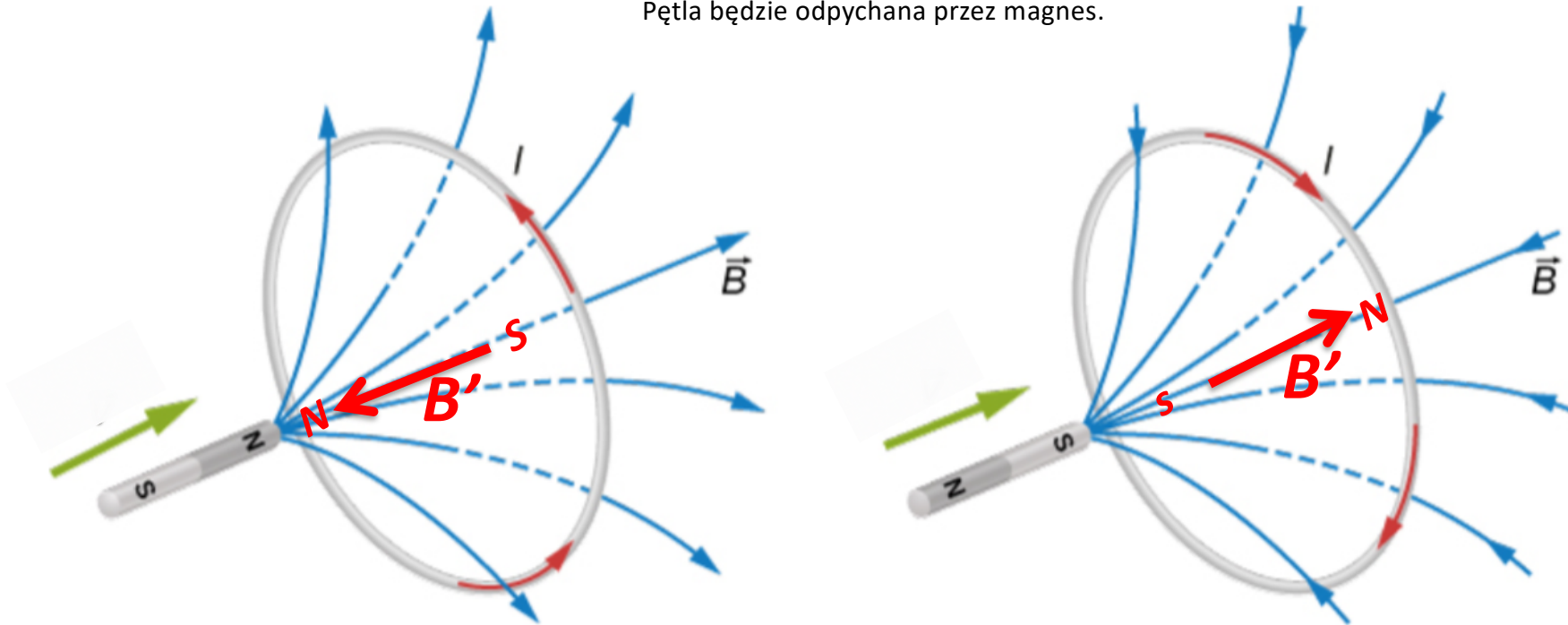
"BATTERY"

Reguła Lenza

Reguła Lenza: Natura nie znosi zmiany strumienia

Indukowany prąd będzie płynął w takim kierunku, aby dodatkowy strumień powstały w wyniku jego przepływu sprzeciwiał się zmianie pierwotnego strumienia.

Strumień pola magnesu sztabkowego przez powierzchnię ograniczoną pętlą rośnie.
Pętla będzie odpychana przez magnes.



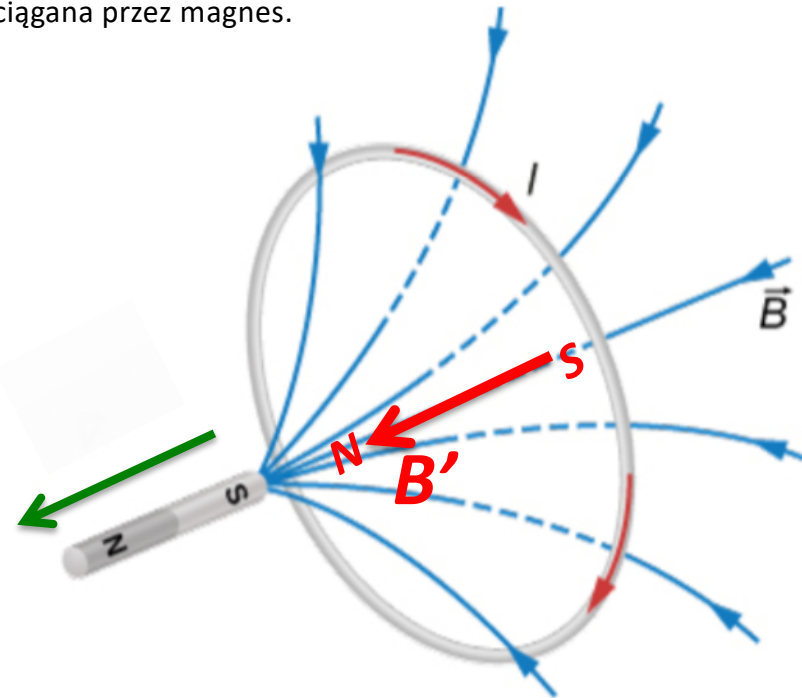
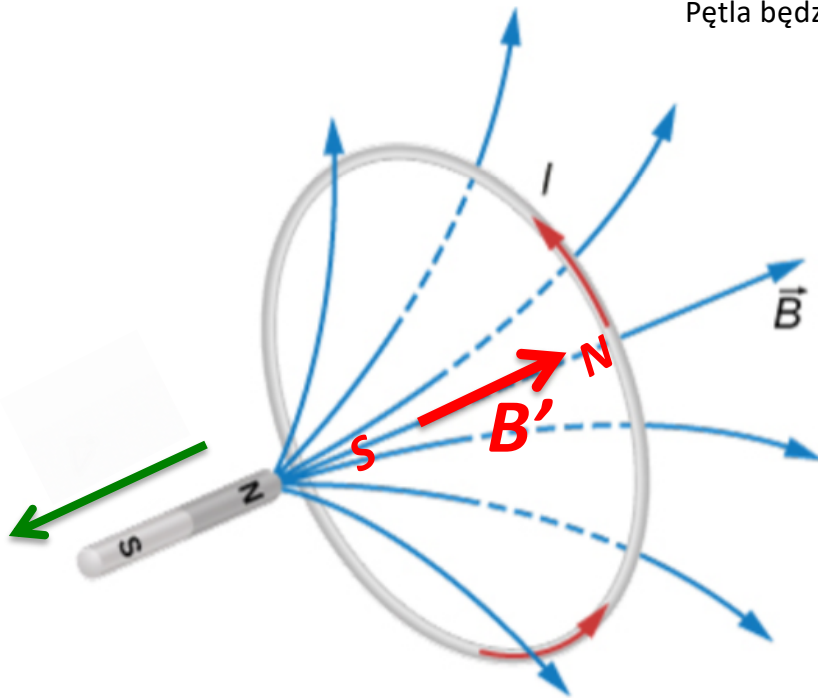
Prąd indukowany w pętli wytwarza pole magnetyczne skierowane przeciwnie do pola magnesu, tak by wytworzyć strumień kompensujący zmiany pierwotnego strumienia.

Reguła Lenza

Reguła Lenza: Natura nie znosi zmiany strumienia

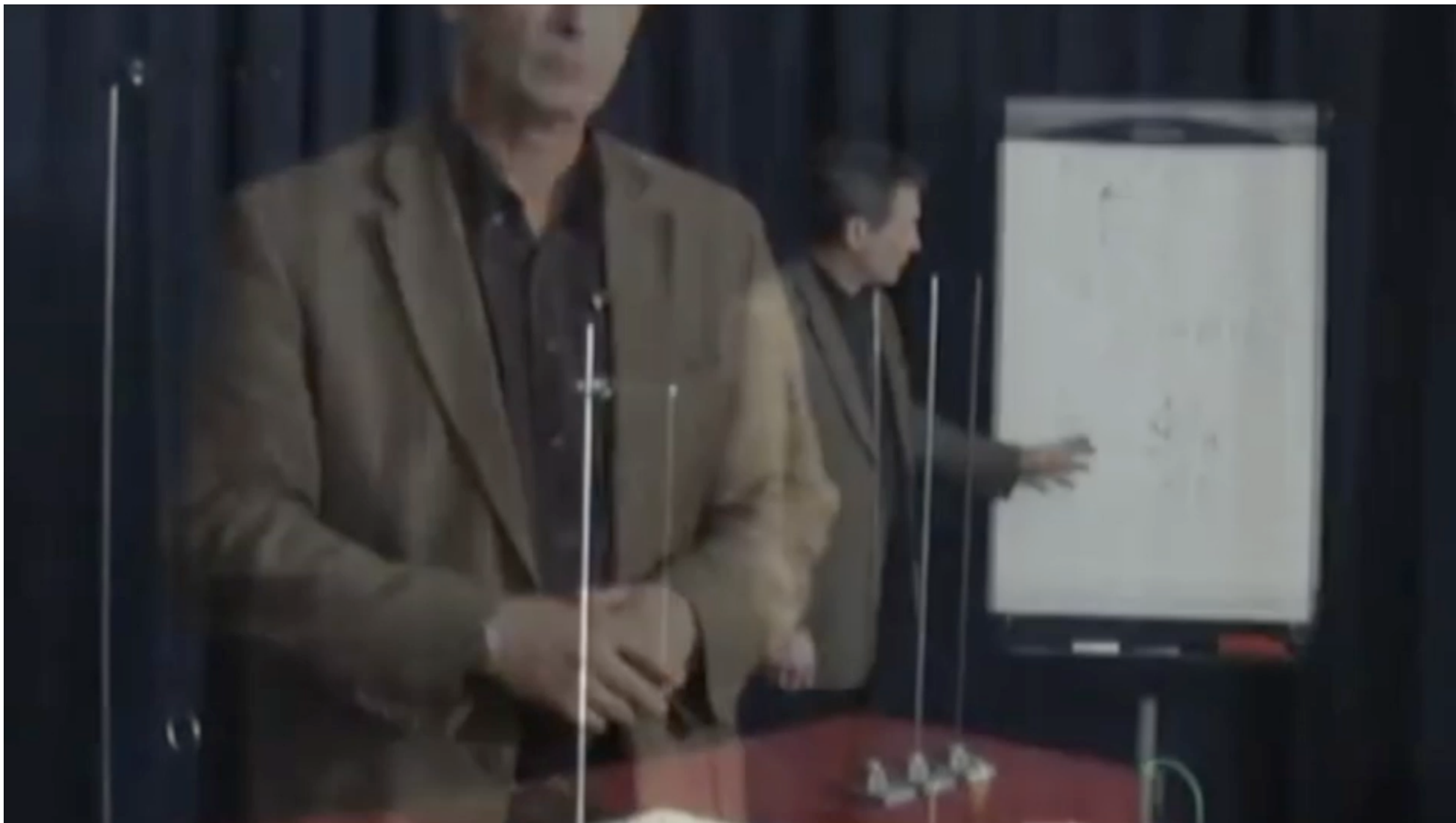
Indukowany prąd będzie płynął w takim kierunku, aby dodatkowy strumień powstały w wyniku jego przepływu sprzeciwiał się zmianie pierwotnego strumienia.

Strumień pola magnesu sztabkowego przez powierzchnię ograniczoną pętlą maleje.
Pętla będzie przyciągana przez magnes.

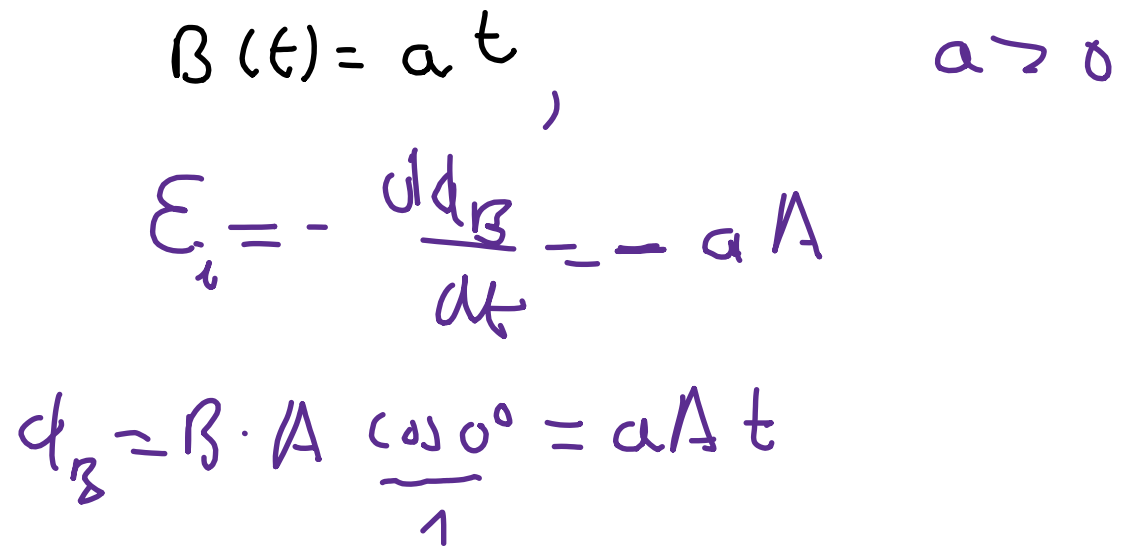


Prąd indukowany w pętli wytwarza pole magnetyczne skierowane zgodnie do pola magnesu, tak by wytworzyć strumień kompensujący zmiany pierwotnego strumienia.

Reguła Lenza



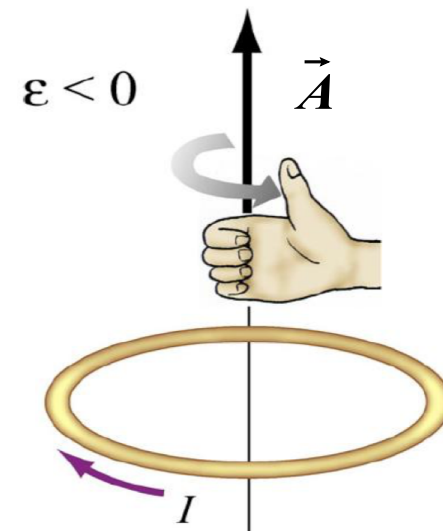
<https://www.youtube.com/watch?v=8WjN7PNOxF0>



$a \succ \emptyset$

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\phi_B}{dt} = - \mu A$$

$$d_B = B \cdot A \frac{\cos 0^\circ}{1} = a A t$$



Prostokątna cewka obracająca się jednostajnie w jednorodnym polu magnetycznym

cewka zawiera N zwojów

Strumień przez jeden zwoj:

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = BA \cos \theta(t)$$

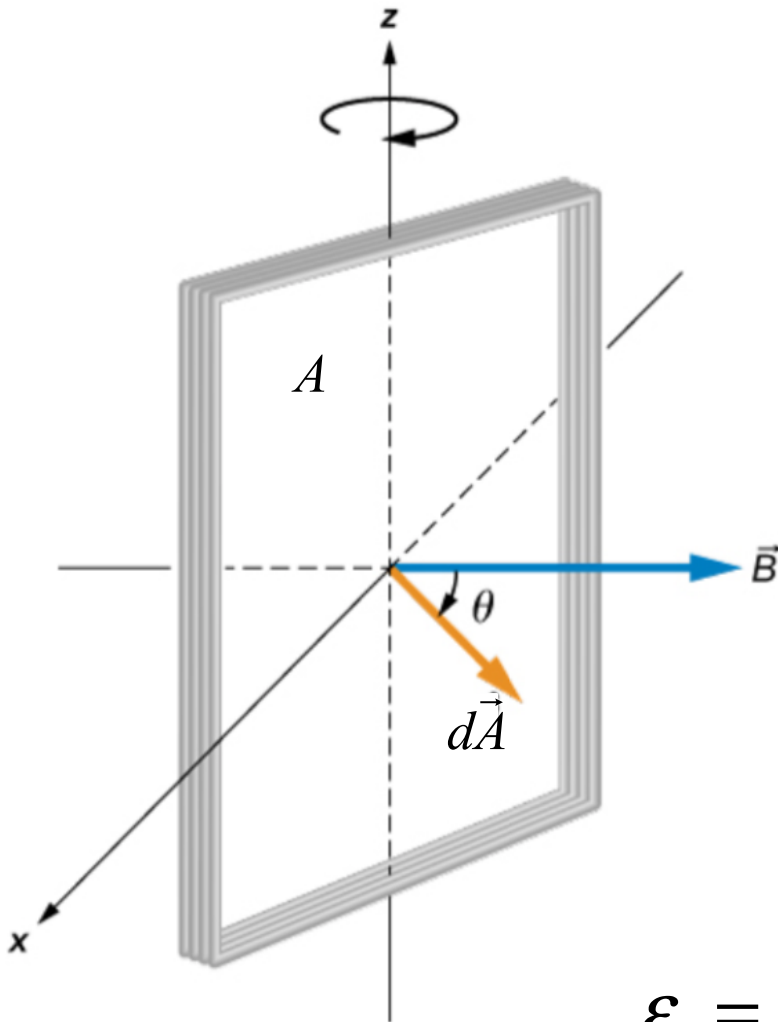
$$\theta(t) = \omega t$$

$$\Phi_B = BA \cos \omega t$$

Siła elektromotoryczna we wszystkich zwojach:

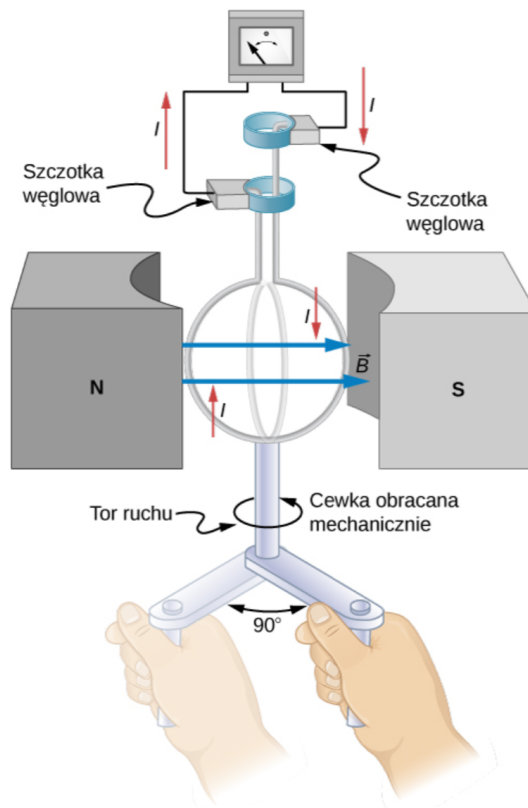
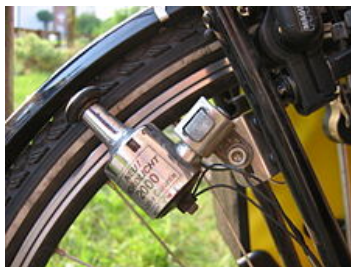
$$\mathcal{E}_i = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\mathcal{E}_i = NBA\omega \sin \omega t, \quad I = \frac{\mathcal{E}_i(t)}{R} = \frac{NBA\omega}{R} \sin \omega t$$



Zastosowanie indukcji elektromagnetycznej: generator prądu przemiennego (AC)

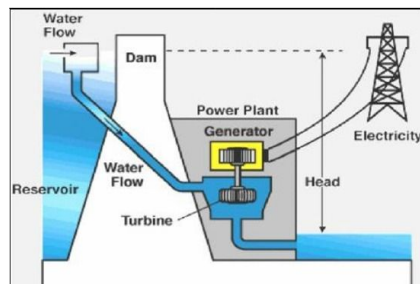
Dynamo rowerowe



Latarka zasilana siłą mięśni



elektrownie wodne



wiatraki



elektrownie węglowe



elektrownie jądrowe



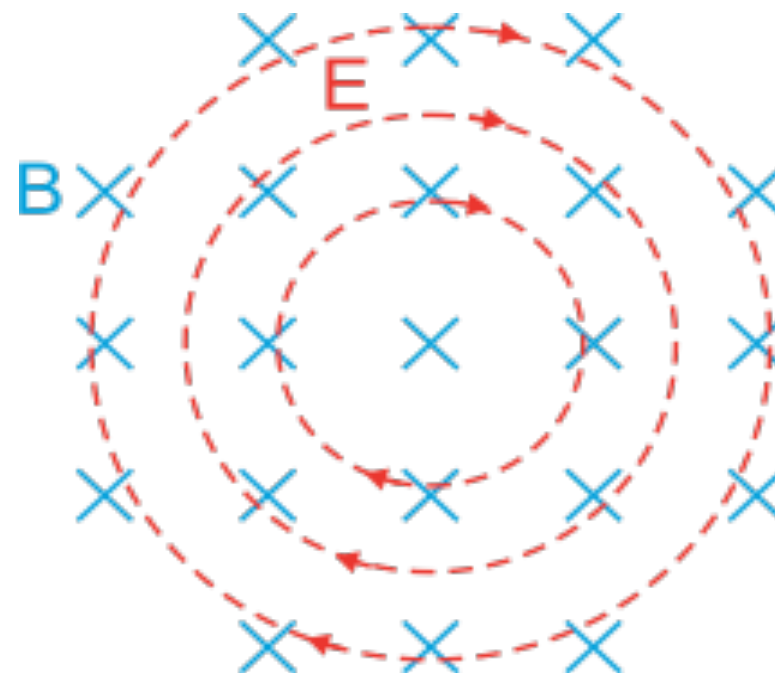
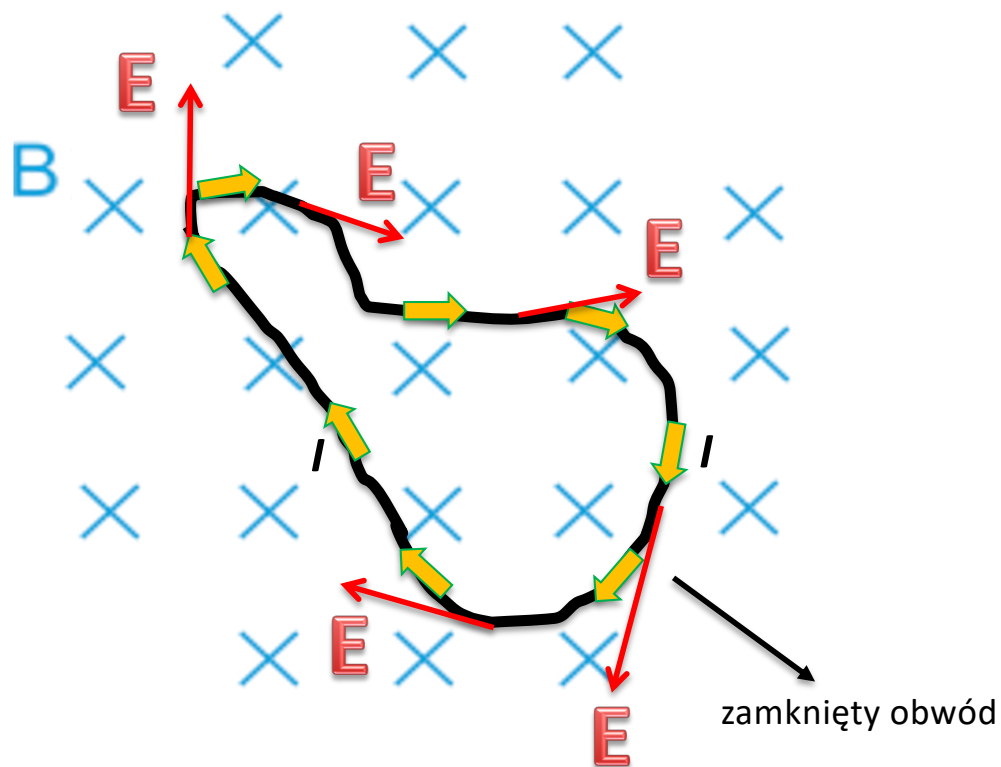
Generator prądu przemiennego (AC)



<https://www.youtube.com/watch?v=MW1YUy3Yqpc>

Indukowane wirowe pole elektryczne

Indukcja magnetyczna B maleje w czasie



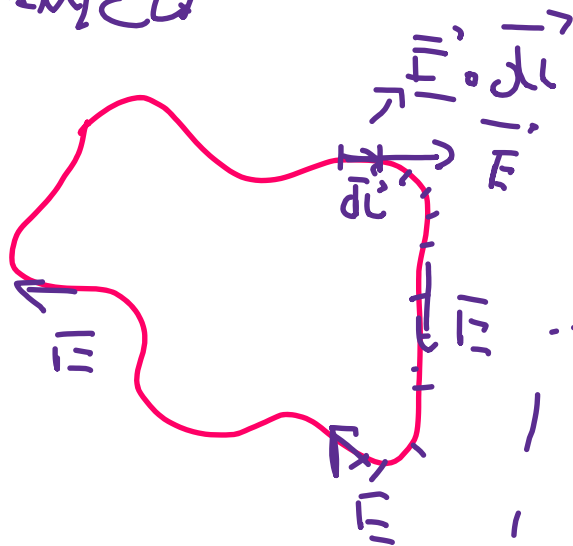
Indukowane pole E istnieje nawet wówczas gdy nie ma obwodu

Prawo Faraday'a w alternatywnej formie:

Zmienne pole magnetyczne indukuje wirowe pole elektryczne.

$$\oint_{\text{kontur zamknięty}} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \varepsilon_i = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t}$$

DLA POL $\vec{E}$
 WYTWARZANYCH
 PRZKZ
 I WYKŁY
 FUNKCJON.



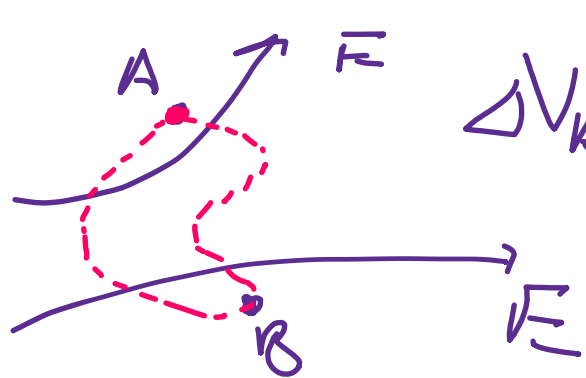
$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \mathcal{E}_i = - \frac{d\phi_{rs}}{dt}$$

KONT. ZAKŁAD.

DLA POL $\vec{E}$
 WYTWARZANYCH PRZKZ

KADUNKI

STATYKUM



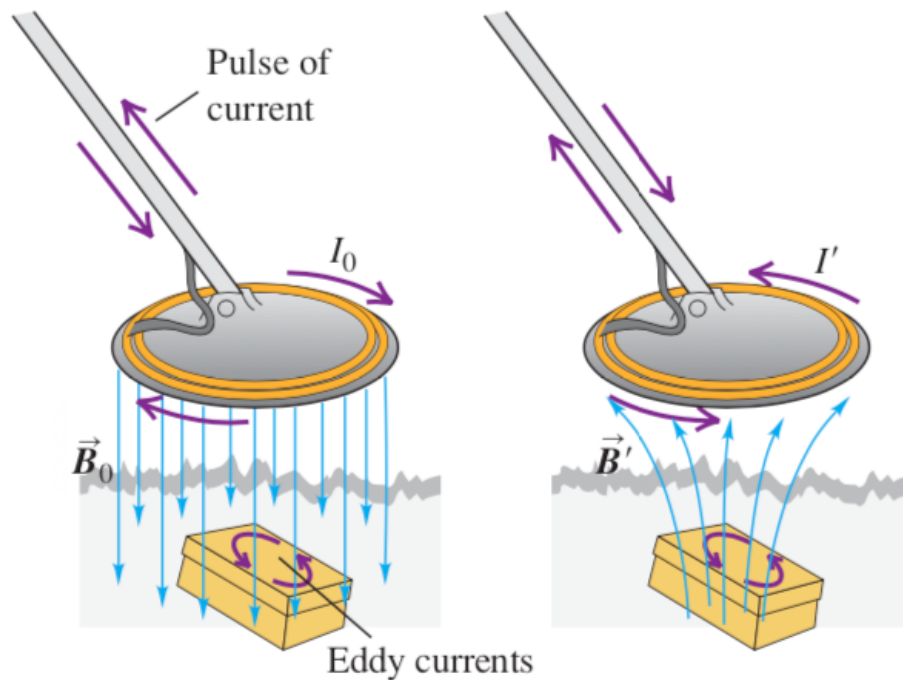
$$\Delta V_{AB} = - \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\Delta V_{AA} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0$$

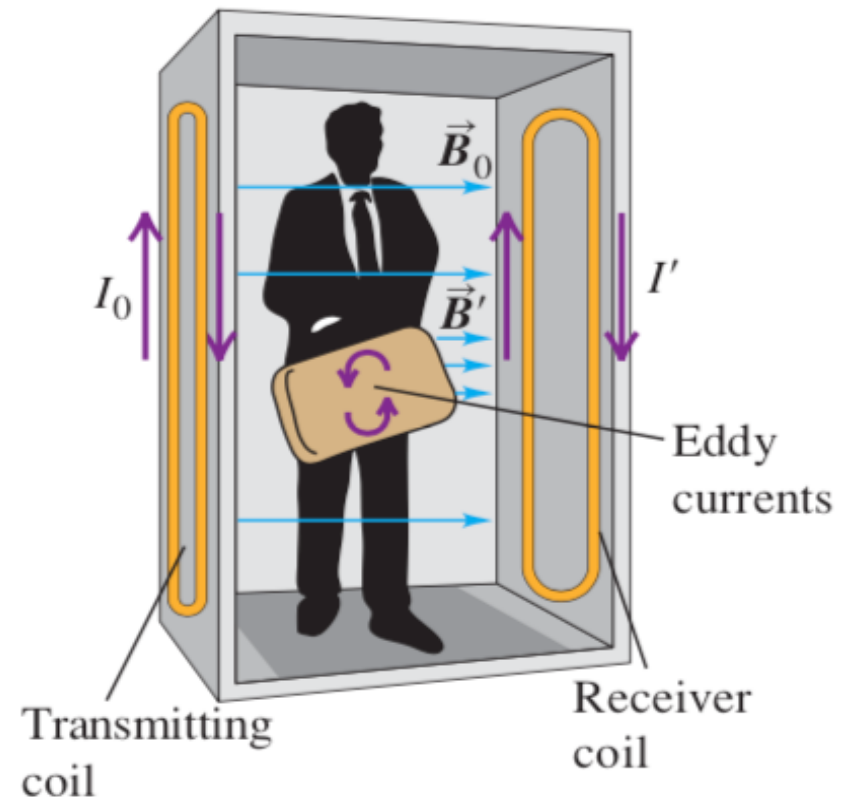
Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

Prądy można indukować elektromagnetycznie nie tylko w przewodnikach liniowych, ale również w materiałach przewodzących o dowolnym kształcie i powierzchni, jeżeli tylko zmienia się strumień pola magnetycznego. Indukowane prądy cyrkulują w objętości materiału, dlatego nazywamy je prądami wirowymi.

wykrywacze metali

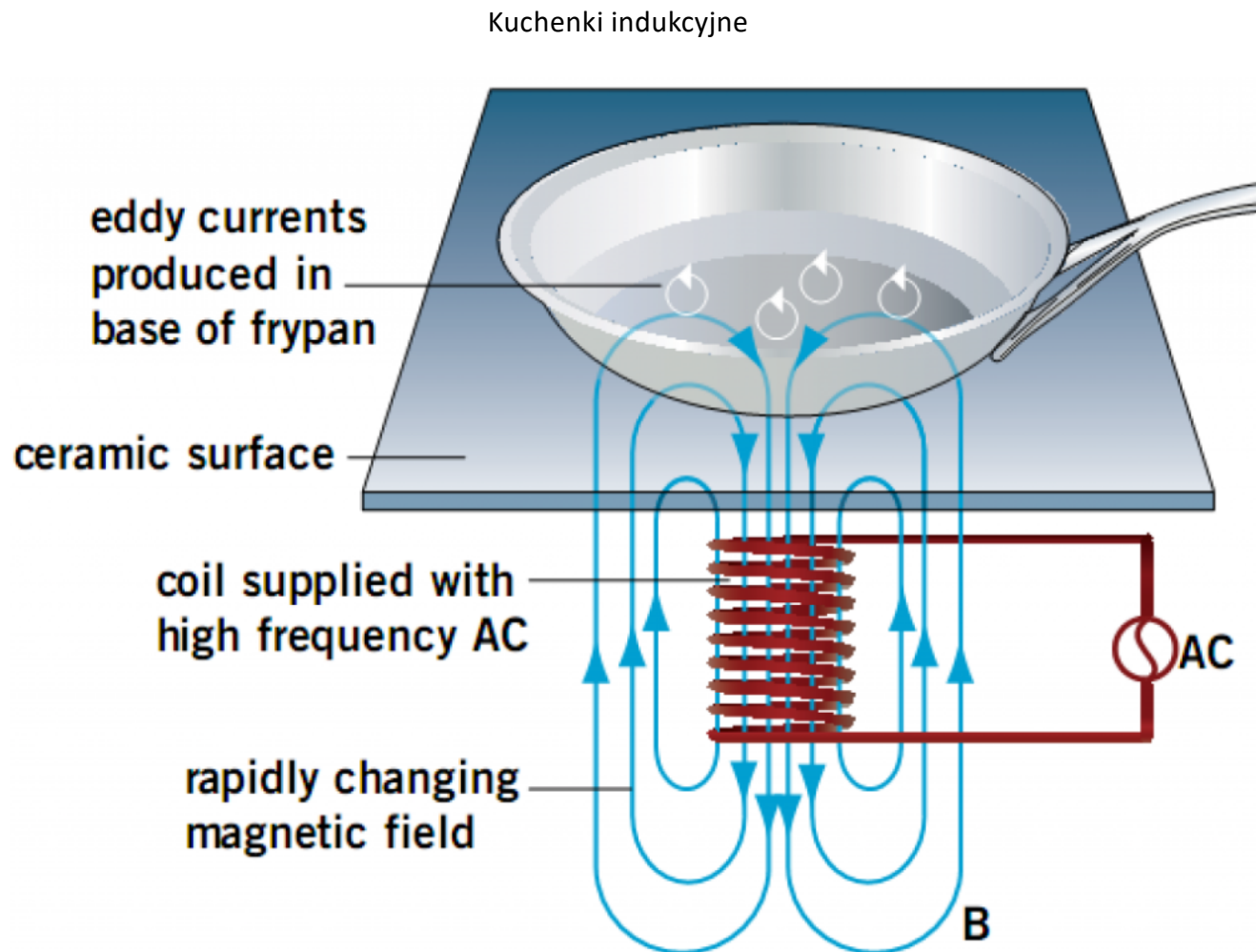


bramka wykrywająca metale



Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

Prądy można indukować elektromagnetycznie nie tylko w przewodnikach liniowych, ale również w materiałach przewodzących o dowolnym kształcie i powierzchni, jeżeli tylko zmienia się strumień pola magnetycznego. Indukowane prądy cyrkulują w objętości materiału, dlatego nazywamy je prądami wirowymi.



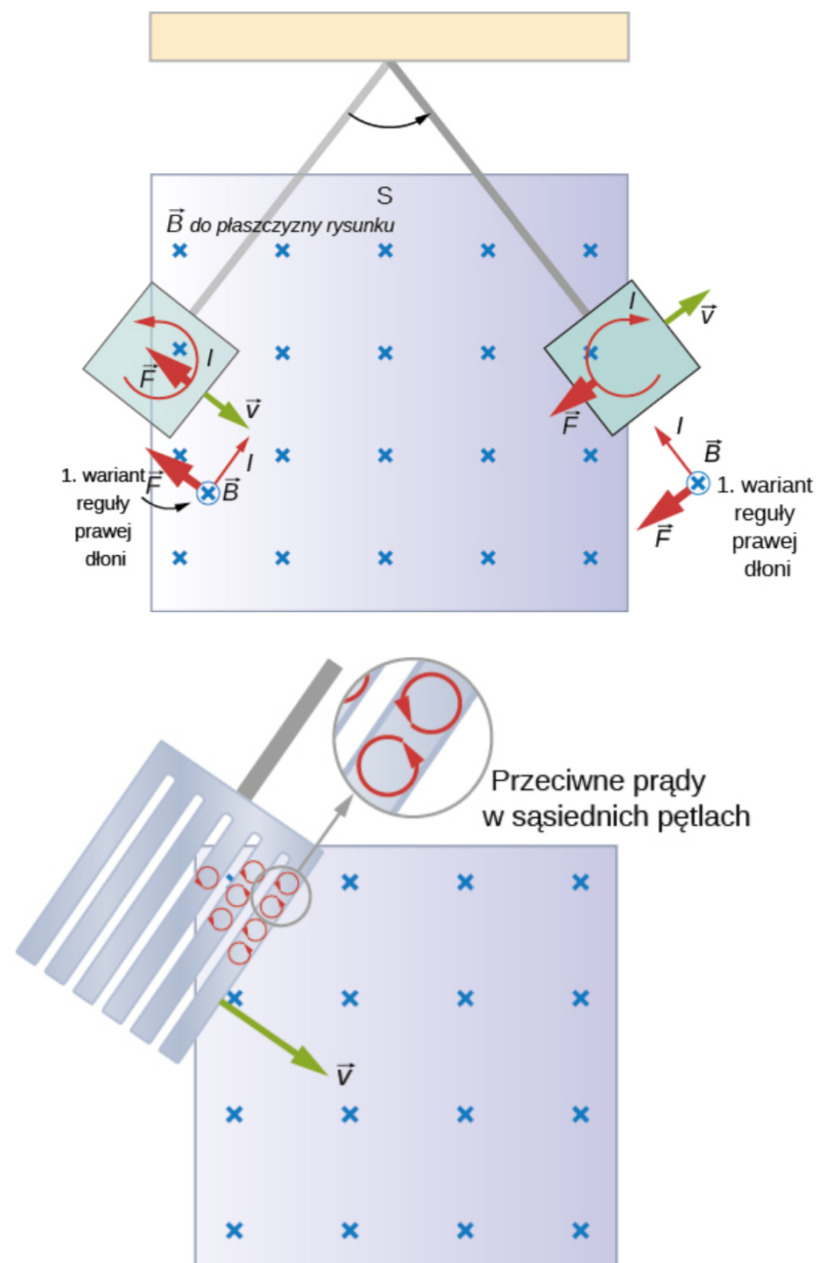
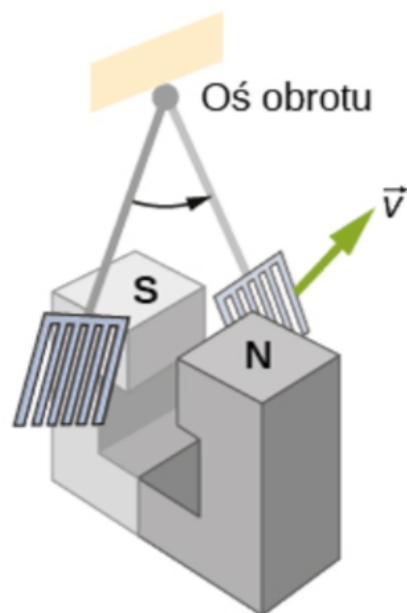
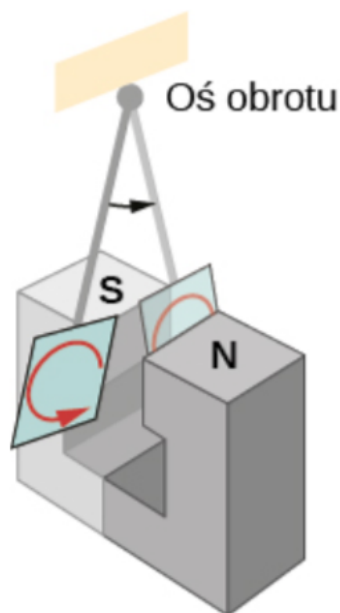
Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

Latający pierścień



Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

tłumienie magnetyczne



Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

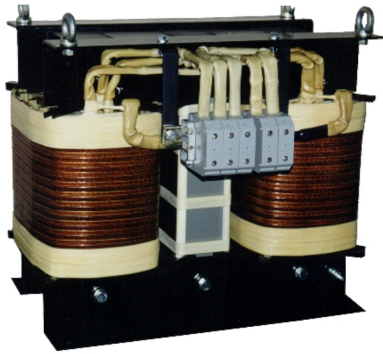
tłumienie magnetyczne



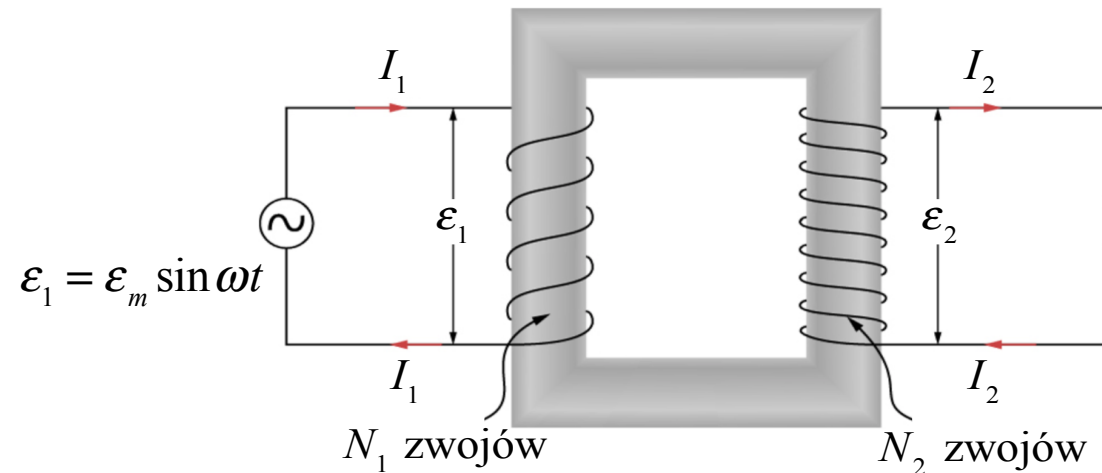
Prądy wirowe (ang. *eddy currents*)

Antygravitacja?





Transformatory



- transformatory są tak projektowane, że niemal cały strumień indukcji magnetycznej produkowany przez prąd w uzwojeniu pierwotnym N_1 przechodzi przez uzwojenie wtórne N_2
- moc tracona w uzwojeniu pierwotnym jest niemal równa mocy wytwarzanej w uzwojeniu wtórnym (zaniedbując straty na ciepło oraz prądy wirowe w rdzeniu magnetycznym); w rzeczywistych transformatorach 99% energii z uzwojenia pierwotnego trafia do uzwojenia wtórnego
- kiedy przez uzwojenie pierwotne przepływa prąd AC, w uzwojeniu wtórnym indukowana jest siła elektromotoryczna ε_2 :

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt}$$

- napięcie wejściowe ε_1 w uzwojeniu pierwotnym jest proporcjonalne do zmian strumienia indukcji magnetycznej generowanej w tym uzwojeniu, (indukowana siła elektromotoryczna równoważy napięcie wejściowe – zgodnie z prawem Kirchhoffa)

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_1 \frac{N_2}{N_1} \quad \text{przekładnia transformatora}$$

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi_B}{dt},$$

$$\varepsilon_1 = 1V, \quad N_1 = 1$$

$$\varepsilon_2 = 1000V, \quad N_2 = 10^3$$

Transformatory

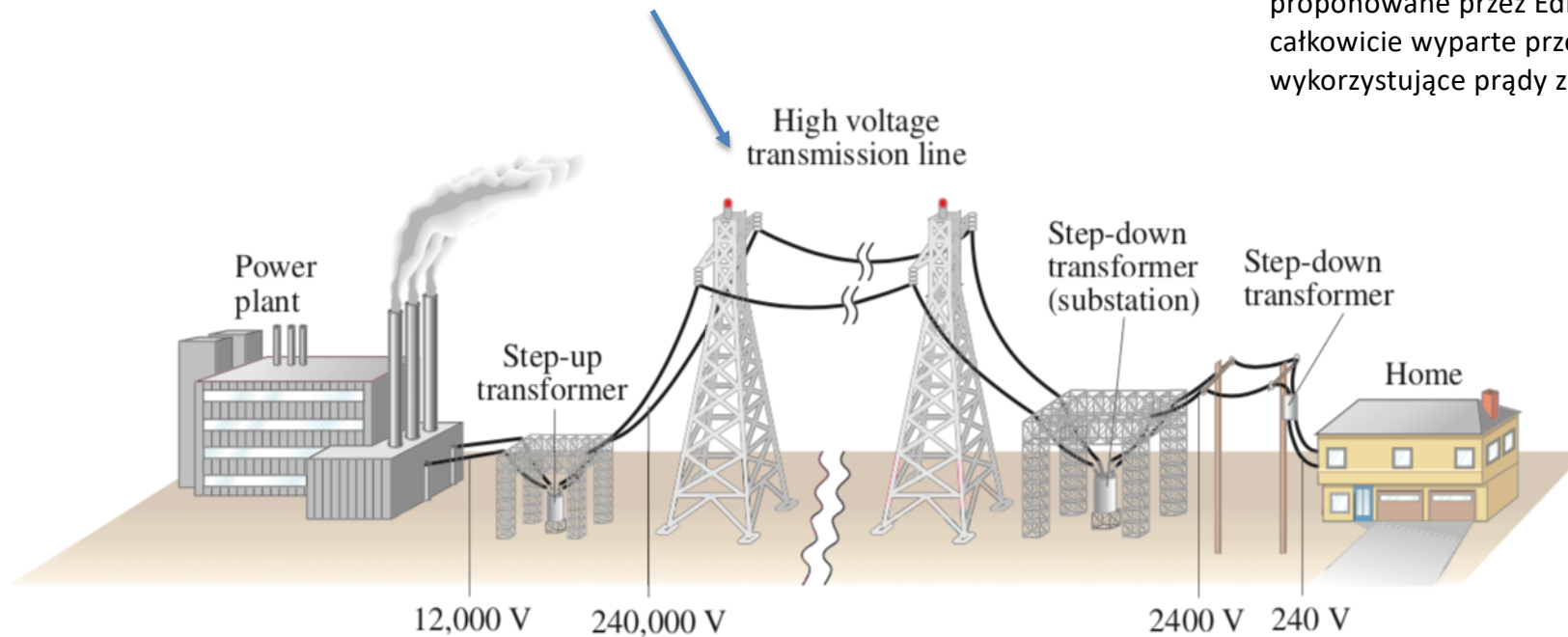
Transformatory są niezbędne w dystrybucji energii elektrycznej.

Tesla vs Edison



Zminimalizowanie strat energii elektrycznej wymaga stosowania wysokich napięć elektrycznych podczas transportu na dużych dystansach.

Dla prądu stałego nie ma prostego odpowiednika transformatora. Dlatego systemy dystrybucji prądu stałego proponowane przez Edisona zostały całkowicie wyparte przez systemy wykorzystujące prądy zmienne Tesli.



Transformatory

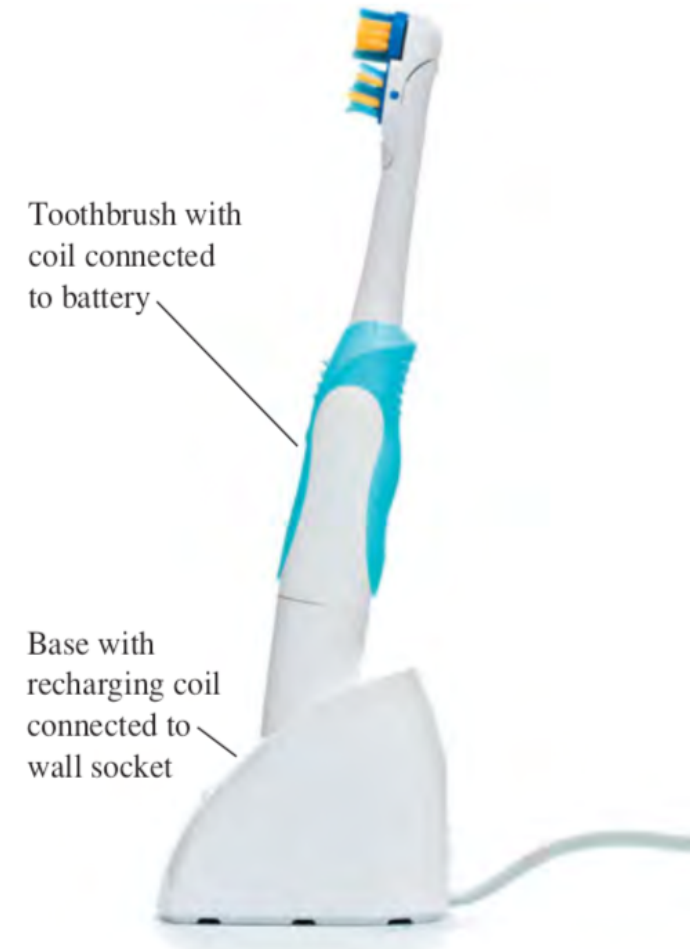


<https://www.youtube.com/watch?v=8WjN7PNOxF0>

Indukcyjność wzajemna między cewkami - zastosowanie



Mata ładująca smartfon zawiera cewkę, która podłączona jest do źródła prądu zmiennego (czyli prądu, którego natężenie rośnie i maleje naprzemiennie). Zmienny prąd indukuje w smartfonie SEM, która powoduje ładowanie jego akumulatora.



Baza ładująca zawiera cewkę, przez którą przepuszczany jest prąd zmienny. Prąd zmienny indukuje siłę elektromotoryczną w cewce wewnątrz szczoteczki, która jest wykorzystana do ładowania jej baterii.