



KAPITAŁ LUDZKI  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Człowiek – najlepsza inwestycja

# FENIKS

## Wykłady z pokazami, UJK, cz. V b

### Elektryczność i magnetyzm

**Marek Pajek**

*Instytut Fizyki*

*Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy  
Jana Kochanowskiego w Kielcach*

(pisemna wersja wykładu plenarnego z pokazami z V semestru zajęć)

Film z wykładu: [www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK](http://www.feniks.ujk.edu.pl/index.php/pol/Multimedia/Filmy/UJK)



- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomaganie fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo - technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Projekt współfinansowany jest ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

---

## Część B

### *Magnesy i pole magnetyczne*

Jak pokazaliśmy w pierwszej części wykładu, istotą elektryczności jest istnienie ładunków elektrycznych dwojakiemu rodzaju, dodatnich i ujemnych, które oddziałują ze sobą zgodnie z prawem Coulomba opisującym oddziaływanie elektryczne, będące jednym z czterech oddziaływań fundamentalnych występujących w Przyrodzie. Jak pamiętamy oddziaływanie elektryczne zaobserwowano już bardzo dawno, analizując efekty przyciągania i odpychania się ciał naelektryzowanych. Również dawno temu zauważono, że istnieją pewne minerały zwane **magnesami** (lub poprawniej **magnetytami**), które się wzajemnie przyciągają lub odpychają w zależności od ich ułożenia. Oddziaływanie ich nazwano oddziaływaniem magnetycznym, a jego natury długo nie umiano wyjaśnić. W analogii do elektryczności można było przypuszczać, że istnieją w Przyrodzie zarówno ładunki magnetyczne jak i fundamentalne oddziaływanie magnetyczne. Okazało się jednak, że tak nie jest, a zjawiska magnetyczne są efektem oddziaływań elektromagnetycznych poruszających się ładunków!

O naturze magnetyzmu dowiadujemy się wykonując najprostsze doświadczenia: **przyciąganie żelaznych przedmiotów przez magnesy** i towarzyszący temu efekt trwałego namagnesowania przedmiotów żelaznych, które stają się magnesami. W rzeczywistości większość zwykłych magnesów to materiały zawierające żelazo (ferrum), które jest materiałem magnetycznym wykazującym silne namagnesowanie, tzw. ferromagnetykiem. Dysponując dwoma takimi magnesami możemy zbadać dokładniej podstawowe własności oddziaływania magnetycznego. Dwa takie same **magnesy sztabkowe w dobranym położeniu równoległym się przyciągają, a w położeniu antyrównoległym się odpychają**. Próbowano to wyjaśnić w następujący sposób: każdy magnes zawiera biegun „północny” i „południowy”, co, po wprowadzeniu dodatkowo w analogii do elektryczności ich oddziaływania, prowadziłoby do obserwowanego odpychania lub przyciągania w zależności od wzajemnego ułożenia. Takie nazwanie biegunów magnesów związane było z zaobserwowaniem ziemskiego pola magnetycznego (Ziemia jest magnesem!) z „biegunami” magnetycznymi zlokalizowanymi w pobliżu bieguna północnego i południowego. Obserwacja ta była już dawno wykorzystana w nawigacji do wyznaczania kierunków geograficznych, a magnetyczna igła żelazna i kompas są do dziś powszechnie znanymi przyrządami!

Zakładając, że bieguny magnetyczne zawierają „ładunki magnetyczne”, opis magnetyzmu byłby taki sam, jak elektryczności. Istnieje jednak zasadnicza różnica między magnetyzmem i elektrycznością: **przełamując magnes na dwie połowy** stwierdzamy, że hipotetyczne „ładunki” magnetyczne nie są rozdzielone, a wręcz przeciwnie, mniejsze dwa magnesy mają znów swoje bieguny północne i południowe. A więc ładunków magnetycznych nie da się rozdzielić tak jak ładunków elektrycznych: w istocie doświadczenie to stwierdza że w Przyrodzie nie istnieją ładunki magnetyczne. Czym jest więc magnetyzm i jaka jest jego natura?

## Istota magnetyzmu

Istotnego kroku w zrozumieniu natury magnetyzmu dokonał w latach 20-tych XIX w. duński fizyk Oersted, który zaobserwował – co pokazujemy na wykładzie – że **przepływowi prądu elektrycznego w przewodniku towarzyszy ustawianie się w kierunku prostopadłym igły magnetycznej**. A więc Oersted pokazał że pole magnetyczne ma związek z elektrycznością, a dokładniej z prądem elektrycznym związanym z ruchem ładunków elektrycznych. Oznacza to, że magnetyzm ma naturę elektryczną!

Posługując się małymi opiłkami żelaza (malutkie igły magnetyczne !) można zbadać rozkład pola magnetycznego wokół przewodników z prądem i magnesów. Wykonując takie doświadczenia obserwujemy, że **opiłki ustawiają się wzdłuż linii sił pola** dobrze obrazują badane pola magnetyczne. W ten sposób zaobserwowaliśmy, że przewodnik z prądem otoczony jest kolistym polem magnetycznym. Pętla z prądem wytwarza charakterystyczne rozbiegające się z pętli pole magnetyczne nazwane, przez analogię z polem dipola elektrycznego, polem dipola magnetycznego. Co więcej, badając pole magnetyczne magnesu sztabkowego zauważamy, że jest ono podobne do pola pętli z prądem nazwanego już dipolem magnetycznym. Tak więc magnes możemy (w przybliżeniu) traktować jak pętlę z prądem, a oddziaływanie dwóch magnesów jak oddziaływanie dwóch pętli z prądem, które ze sobą rzeczywiście oddziałują, bo prądy to poruszające się ładunki elektryczne wzajemnie oddziałujące.

Oddziaływanie przewodników z prądem demonstrujemy w **układzie dwóch długich równoległych przewodów które się przyciągają lub odpychają** w zależności od kierunku (zgodny/przeciwny) przepływu prądu elektrycznego. Tak więc widzimy, że oddziaływanie magnetyczne sprowadza się do oddziaływania poruszających się ładunków. Formalnie, do opisu oddziaływania magnetycznego wprowadzamy pojęcie indukcji magnetycznej **B**, określającej wielkość siły magnetycznej działającej na poruszający się ładunek. Siłę tą nazywamy siłą Lorentza i definiujemy ją następująco:  $\mathbf{F} = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . Fakt istnienia siły Lorentza demonstruje proste **doświadczenie z ramką z prądem umieszczoną w polu magnetycznym** magnesu stałego, która w zależności od kierunku przepływu prądu jest wciągana bądź wypychana z pola. Podobnie łatwo jest pokazać, że **poruszając magnesem w pobliżu lampy oscyloskopowej poruszamy plamką na ekranie**, a więc odchylamy magnesem biegnącą wiązkę elektronów.

Do pełniejszego zrozumienia istoty magnetyzmu jako efektu oddziaływania poruszających się ładunków brakuje nam jednego elementu. W jaki sposób w magnesach trwałych, na przykład namagnesowanym kawałku żelaza, wytwarzana jest dipolowe pole magnetyczne określone wcześniej jako „pole pętli z prądem”. Jakie prądy płyną w kawałku żelaza? Aby odpowiedzieć na to pytanie musimy sobie przypomnieć, że materiały są zbudowane z atomów, a atomy składają się z jąder atomowych i krążących wokół nich elektronów. Okazuje się, że elektron krążący po orbicie w atomie jest w istocie mikroskopową pętlą z prądem! I to jest właściwe wyjaśnienie istoty magnetyzmu żelaza. Dokładniej rzecz ujmując, w większości atomów pola magnetyczne od krążących elektronów znoszą się wzajemnie ze względu na symetrię tych atomów. Natomiast w niektórych atomach, takich jak żelazo, wybrane elektrony krążą po bardzo dużych orbitach, dając istotny wkład do niezerowego dipolowego pola magnetycznego. Pole to jest na tyle silne, że powoduje wzajemnie równoległe ustawienie dipoli magnetycznych sąsiadujących atomów, co dodatkowo wzmacnia makroskopowe pole magnetyczne żelaza. Jest to istota ferromagnetyków, tj.

materiałów wykazujących silne własności magnetyczne, ulegających namagnesowaniu trwałemu i wytwarzających silne pola magnetyczne.

## *Pole elektromagnetyczne*

Opisując elektryczność i magnetyzm wprowadziliśmy pojęcia pola elektrycznego **E** i magnetycznego **B**. Pokazaliśmy również, że w przeciwieństwie do elektryczności, opisującej istniejące w Przyrodzie ładunki elektryczne i fundamentalne oddziaływanie elektryczne, magnetyzm opisuje oddziaływanie poruszających się wzajemnie ładunków. Podkreśliśmy też, że w Przyrodzie nie istnieją ładunki magnetyczne. Czym zatem jest pole magnetyczne? Po pierwsze, opisuje ono w odpowiedni sposób efekt oddziaływania poruszających się ładunków. Ale sięgając nieco głębiej i trochę na wyrost do podstaw **teorii względności Einsteina**, musimy zauważyć, że w istocie nie ma fundamentalnego rozróżnienia pomiędzy ruchem i spoczynkiem ładunków. Zależy to tylko od układu odniesienia, z którego obserwujemy dany ładunek. Tak więc rozróżnienie pomiędzy polem elektrycznym i magnetycznym jest w pewnym sensie analogiczne do rozróżnienia między spoczynkiem i ruchem. Z teorii względności wiemy, że ruch jest względny, nie absolutny, co w istocie zacierza zasadniczą różnicę między ruchem i spoczynkiem. Z tej też perspektywy pola elektryczne i magnetyczne są komplementarnymi opisami tej samej rzeczywistości – oddziaływania elektromagnetycznego ładunków – rozróżniającymi ruch i spoczynek w wybranym układzie odniesienia. Dlatego też ogólnie mówimy o **polu elektromagnetycznym**, opisanym wektorami (**E,B**), dającym pełny opis oddziaływań elektrycznych uwzględniających zarówno przypadki spoczynku jak i ruchu ładunków.

## Wykaz pokazów

### Część B - magnetyzm

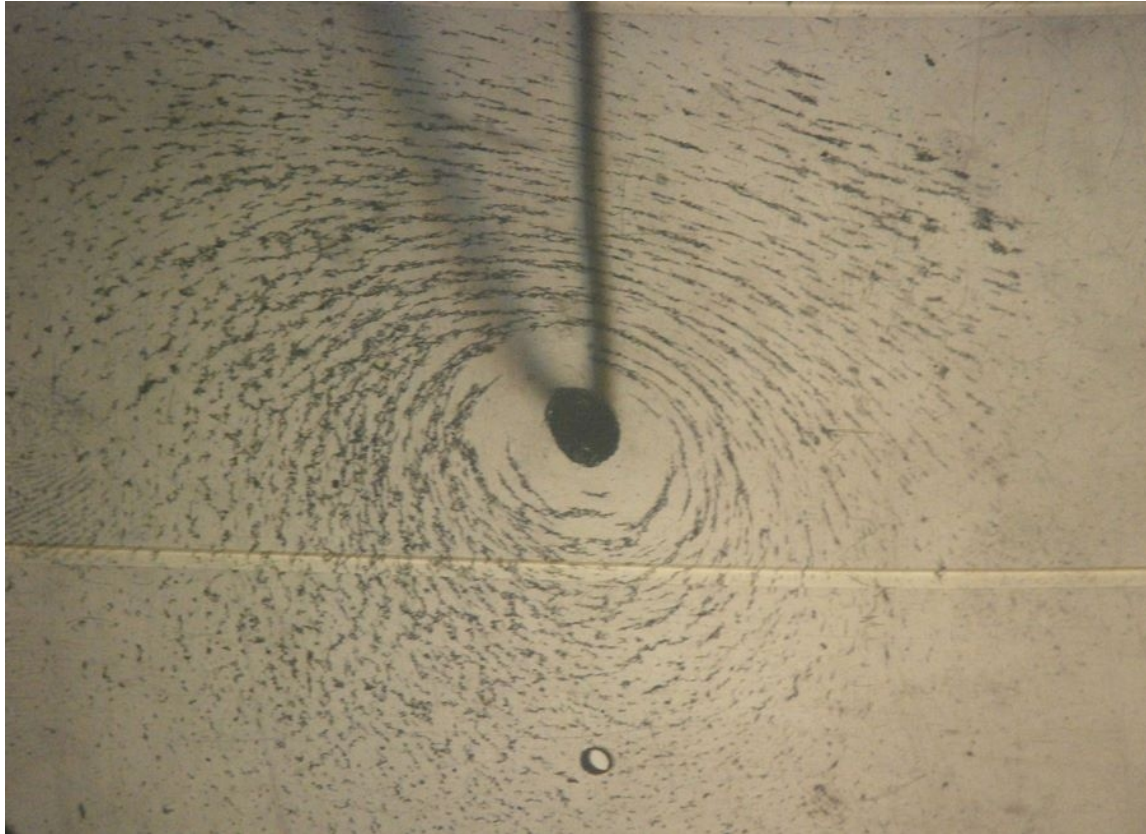
- 1) pokaz przyciągania żelaza przez magnesy
- 2) demonstracja przyciągania się lub odpychania się dwóch magnesów sztabkowych w zależności od ich ustawienia
- 3) łamanie magnesu jako pokaz niemożliwości rozdzielenia biegunów magnetycznych
- 4) pokaz prostopadłego ustawiania się igły magnetycznej w pobliżu przewodnika z prądem (doświadczenie Oersteda)
- 5) pokaz rozkładu pola magnetycznego wokół przewodników z prądem i magnesów przy pomocy opiłek żelaznych (przewodnik prostoliniowy, pętla z prądem, solenoid, magnes sztabkowy, U-magnes)
- 6) oddziaływanie ramki z prądem z polem magnetycznym
- 7) wzajemne przyciąganie/odpychanie dwóch równoległych przewodników z prądem
- 8) odchylenie wiązki elektronowej w oscyloskopie magnesem (siła Lorentza)



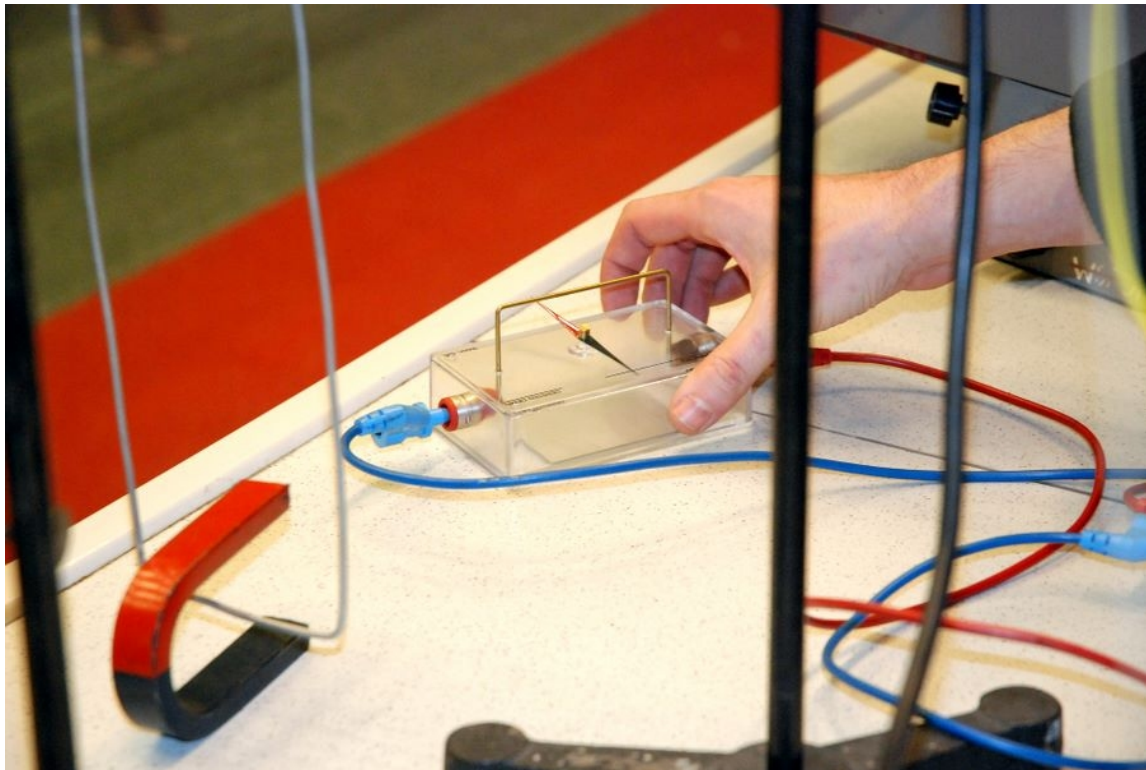
Oto dwa magnesy które się przyciągają lub odpychają... ale dlaczego?



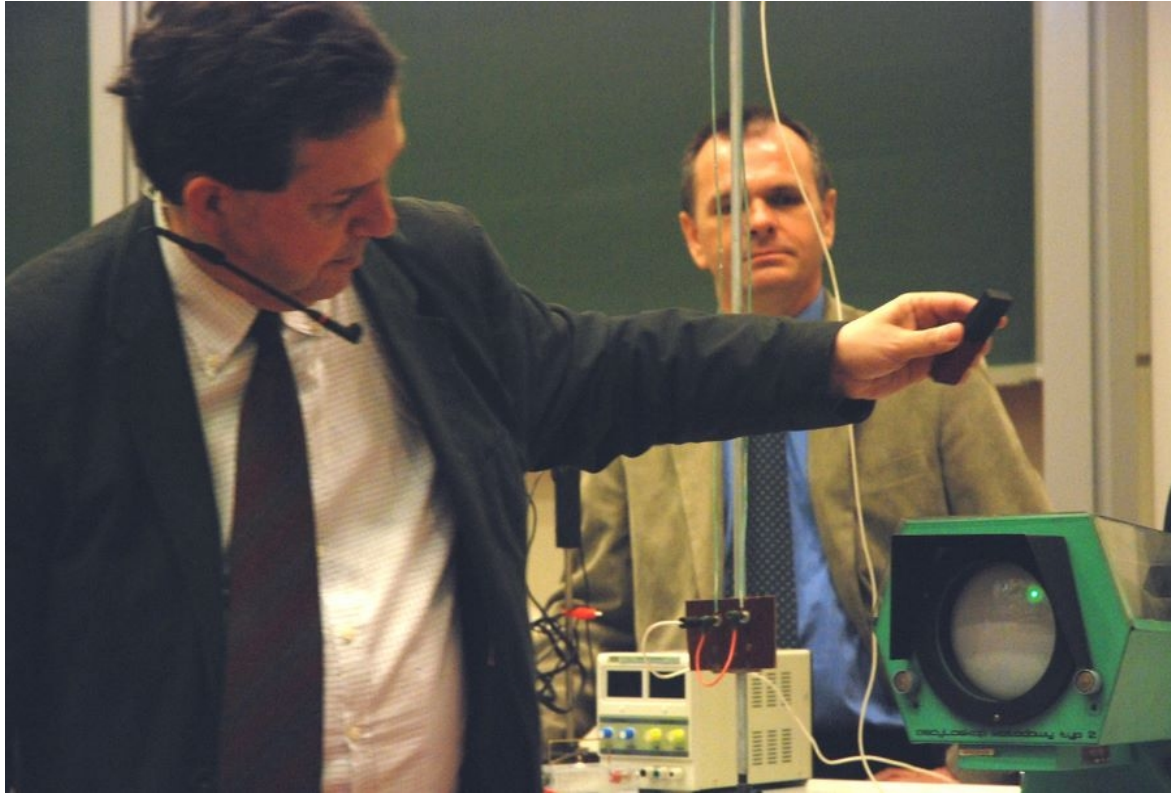
Demonstrujemy podstawowe własności oddziaływania magnetycznego



Opilki żelazne pokazują jak wygląda pole magnetyczne wokół przewodnika



Magnesy oddziałują z przewodnikami z prądem jak kiedyś pokazał Oersted



Plamkę wiązki elektronowej na ekranie oscyloskopu poruszać możemy magnesem



Czy są na sali wykładowej przyszli fizycy?





Obecność stojącego profesora Broniowskiego oznacza że wykład należy już kończyć ...