



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

Toruński doświadczalnik "ELEKTROMAGNETYZM"

Autorzy:

Mgr Andrzej Karbowski, absolwent Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, jest asystentem w Zakładzie Dydaktyki Fizyki UMK. Zajmuje się spektroskopią pozytonów w ciele stałym. Realizuje doktorat na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, pod kierunkiem prof. G. Karwasza.

Mgr Magdalena Sadowska jest nauczycielką w Zespole Szkół w Kaliszu obejmującym: Gimnazjum dla Dorosłych, Zasadniczą Szkołę Zawodową oraz Technikum Uzupełniające. Realizuje doktorat w zakresie dydaktyki fizyki na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, pod kierunkiem prof. G. Karwasza.

Mgr Krzysztof Służewski, absolwent Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, specjalista fizyk w Zakładzie Dydaktyki Fizyki UMK. Do jego zadań należy techniczna opieka ZDF.

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz, z wykształcenia mgr inż. fizyki (Politechnika Gdańska) i ekonomista (Uniwersytet Gdański), prowadzi prace badawcze w dziedzinie fizyki atomowej i fizyki ciała stałego. Jest autorem 120 artykułów naukowych, 200 komunikatów konferencyjnych oraz 4 monografii. Od 10 lat zajmuje się popularyzacją fizyki, organizując między innymi wystawy interaktywne „Fizyka zabawek”; był koordynatorem projektu UE „Physics is Fun” i MOSEM. Obecnie jest kierownikiem Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

Spis treści

1. Magnesy i materiały magnetyczne

- 1.1. Magnetyczne żuczki
- 1.2. Magnetyczny "pies na smyczy"
- 1.3. Materiały magnetyczne
- 1.4. Pływające magnesy

2. Pola magnetyczne

- 2.1. Badanie pola magnetycznego za pomocą opiłków żelaza
- 2.2. Badanie pola magnetycznego za pomocą magnetycznych pieczętek i "wykrywacza" pola magnetycznego
- 2.3. Badanie pola magnetycznego za pomocą klocków magnetycznych i kulek (Geomag)
- 2.4. Oddziaływanie magnesu na igły magnetyczne

3. Oddziaływania magnetyczne

- 3.1. Oddziaływania między dwoma magnesami
- 3.2. Kolumnienka magnesów – obwarzanków
- 3.3. Magnesy pierścieniowe na patyku
- 3.4. Siła przyciągania: pomiar przy użyciu dynamometru
- 3.5. Siła odpychania: magnesy sztabkowe (Geomag) w rurce
- 3.6. Tory kulek w polu magnetycznym

4. Pole magnetyczne Ziemi

- 4.1. Magnes zakręcający na równi pochyłej
- 4.2. Pomiar pola magnetycznego przy użyciu kompasu

5. Magnetyczne efekty przepływu prądu elektrycznego

- 5.1. Magnesy i cewki (zwojnica, solenoid)
- 5.2. Doświadczenie Oersteda – wersja pionowa (czyli doświadczenie Ampere'a)
- 5.3. Doświadczenie Oersteda – wersja pozioma
- 5.4. Siła magnetyczna między dwoma równoległymi przewodami (doświadczenie Ampere'a)
- 5.5. Pole magnetyczne wokół cewki
 - a) Pole magnetyczne wewnątrz pojedynczej cewki
 - b) Pole magnetyczne wewnątrz solenoidu
 - c) Wzajemne oddziaływanie cewki i magnesu
- 5.6. Żelazny rdzeń umieszczony wewnątrz cewki

6. Siła magnetyczna działająca na przewód z prądem - siła Lorentz'a

- 6.1. Doświadczenie Pohl'a (siła działająca na ramkę z prądem)
- 6.2. Oddziaływania między magnesem i zwojnicą, przez którą płynie prąd
- 6.3. Silniki elektryczne
 - a) Silnik na spinaczach
 - b) Silnik z jedną "pętlą"



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

c) Silnik z dwoma skrzydełkami („silnik - mikser”)

7. Zjawisko indukcja elektromagnetycznej

- 7.1. Siła elektromotoryczna indukowana i prąd w poruszającym się przewodzie
- 7.2. Siła elektromotoryczna indukowana i prąd w cewce (magnes jest wprowadzany do wnętrza zwojnicy)
- 7.3. Prąd wirowe (Foucaulta):
 - a) leniwe wahadło
 - b) hamulec elektromagnetyczny
 - c) "pijany" magnes (na miedzianej równi)
 - d) magnes zsuwający się po miedzianej równi
 - e) spadający magnes w rurze z miedzi (bez nacięć i z nacięciami)
 - f) łagodnie lądujący magnes

8. Generatory – proste generatory prądu przemiennego

8.1. Latarka "dynamo"

9. Zwojnice i transformatory

- 9.1. Transformator bez rdzenia (czyli zwojnica)
- 9.2. Transformator z różnymi rdzeniami



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

1.1: Magnetyczne żuczki

Cel: odkrycie istnienia dwóch rodzajów biegunów magnetycznych

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa magnetyczne „żuczki”.



Zdjęcie1. Magnetyczne żuczki.

Wykonanie:

1. Weź dwa magnetyczne „żuczki”. Zbliź je do siebie w taki sposób, aby się nie dotykały. Podrzuć je w górę. Co się dzieje? Popatrz i posłuchaj...
2. Przytrzymaj jednego żuczka palcami jednej dłoni a drugiego żuczka w palcach drugiej dłoni. Zbliź żuczki do siebie. Co czujesz?
3. Trzymaj nadal żuczki w palcach. Obracaj żuczkami, oddalaj je i przybliżaj. Co zauważyłeś?

Wyjaśnienie:

1. Magnetyczne żuczki zawierają wewnątrz silne magnesy. Podczas wyrzutu w górę na przemian odpychają się i przyciągają się wzajemnie, a zależy to od ich wzajemnego położenia. Żuczki poruszają się dopóki, nie spadną na dłoń.
2. W zależności od wzajemnego położenia magnetyczne żuczki przyciągają się lub odpychają, więc istnieją dwa rodzaje biegunów magnetycznych. Bieguny te można zidentyfikować: każdy z magnesów w żuczkach ma dwa bieguny, chociaż nie leżą on na końcach „żuczków”.

Uwagi metodologiczne:

1. Jest to wstępne doświadczenie, wprowadzające pojęcie „oddziaływania magnetycznego”. Żuczki, wbrew oczekiwaniom, nie mają biegunów położonych na ich wierzchołkach, jak by to miało miejsce dla magnesów sztabkowych. W rzeczywistości, magnesy są ukryte wewnątrz „żuczków”. Zadanie ucznia polega na określeniu miejsca, gdzie znajdują się bieguny.
2. Podobno, oryginalne żuczki powinny być zrobione z magnetytu i była to zabawka chińska. Żuczki w zestawie TPSS są zrobione z masy ceramicznej i zawierają magnesy neodymowe.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

1.2: Magnetyczny „pies na smyczy”

Cel: wykazanie, że oddziaływanie magnetyczne zachodzi na odległość

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa silne magnesy (neodymowe),
- płytkę z żelaza,
- statyw,
- sznurek o długości 0,3 – 0,5 m.



Zdjęcie 1. Sposób umieszczenia elementów doświadczalnych.

Wykonanie:

Weź statyw, płytkę i magnesy. Przymocuj płytkę do statywu (tak jak pokazane jest to na zdjęciu powyżej). Jeden z magnesów połącz z płytce. Drugi włóż do małego woreczka foliowego. Zawiąż woreczek sznurkiem. Przysuń magnes w woreczku do magnesu znajdującego się na płytce. Spróbuj poruszyć magnesem przy użyciu sznurka. Co się dzieje? Odłóż na chwilę magnes w woreczku, odwróć go i teraz przysuń do drugiego magnesu. Co się dzieje?

Wytlumaczenie:

Między dwoma magnesami działa siła magnetyczna. Raz jest to siła przyciągająca, a raz siła odpychająca. Dwa magnesy przyciągają się, ponieważ zostały zbliżone biegunami odmiennego typu. Gdy jeden z magnesów odwrócimy, to odpychają się, czyli zostały zbliżone biegunami tego samego typu. Wynika z tego, że istnieją dwa rodzaje biegunów magnetycznych.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie to, bardzo widowiskowe, bo widzimy magnes wiszący pozornie w powietrzu bez przyczyny, ma na celu zwrócenie uwagi ucznia (*eye-catching*). Można je ustawić np. w oknie lub w w drzwiach wejściowych do klasy. Uczniowie, ciągnąc psa, mierzą siłę oddziaływania.
2. W doświadczeniu należy zachować środki ostrożności, jak przy pracy z silnymi polami magnetycznymi (uwaga na karty magnetyczne, osoby noszące pace-maker etc.)



1. Nauczyciel powinien oczywiście pamiętać, że materiały dzielimy na ferromagnetyczne (silnie przyciągane przez magnesy), diamagnetyczne (słabo odpychane, jak miedź) i paramagnetyczne (jak aluminium). Bogactwo stopów jest tak duże, że doświadczenie to może zawsze dać wynik niespodziewanym jak to ma miejsce z euro-centami, które wydają się być zrobione z miedzi.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

1.4. Pływające magnesy

Cel: badanie oddziaływań między dwoma magnesami pływającymi po wodzie

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa magnesy typu « geomag »
- dwie małe styropianowe łódeczki.



Zdjęcie 1. Łódeczki z magnesami

Wykonanie:

Położ dwa magnesy na małych styropianowych łódeczkach. Następnie połącz łódki na wodzie pamiętając o tym, aby zachować między nimi odstęp. Co się dzieje? Przyjrzyj się łódeczkom. Jeśli położysz je na wodzie tak, że przeciwne bieguny magnesów będą na przeciwko siebie, zobaczysz, że magnesy się przyciągają aż do momentu zetknięcia się.

Ponownie połącz łódki na wodzie, ale jedną z nich umieść odwrotnie niż poprzednio. Co się dzieje? Przyjrzyj się łódce. Jeśli magnesy umieścimy na wodzie tak, że na przeciw będą te same bieguny, to zobaczysz, że jeden z nich obróci się o kąt 180° . Po czym, magnesy będą się przyciągać do momentu zetknięcia się.

Wyjaśnienie:

Między dwoma magnesami działa siła magnetyczna. Gdy magnesy zbliżone są do siebie przeciwnymi biegunami (tzn. północnym i południowym), to przyciągają się i po chwili stykają się. Jeśli natomiast zbliżone są tym samym biegunem (tzn. północnym - północnym lub południowym – południowym), to odpychają się. Po pewnym czasie jedna z łódek obraca się o 180° , magnesy zaczynają się przyciągać, a w efekcie łączą się w jeden magnes.

Oddziaływania magnesów obserwujemy nawet wtedy, gdy są one daleko od siebie. Zauważ, jak łódeczki przyspieszają w miarę zbliżania się.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie z łódeczkami, opisane w „Rozprawie o metodzie” Kartezjusza jest niezwykle bogate dydaktycznie. Warto zacząć od jednej łódeczki i zauważyć, jak się ona obraca, jeśli została położona „niewłaściwie”: bieguny magnesu ustawiają się w kierunku północ- południe. Zbudowaliśmy kompas!

2. Pole ziemskie wpływa na ruch łódek. Spróbujcie puszczać je z różnych rogów miski.

3. Oddziaływanie, o ile nie ma w pobliżu obiektów magnetycznych jak choćby gwoździe w stole, rzeczywiście może być obserwowane na dużą odległość. Łódeczki przyspieszają „znacznie”, w miarę zbliżania, bo rośnie siła ich wzajemnego oddziaływania. Ruch jest więc „bardziej przyspieszony niż jednostajnie przyspieszony”. Należy przypomnieć uczniom warunek ruchu *jednostajnie* przyspieszonego (tj. stałość siły).



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

2.1. Badanie pola magnetycznego za pomocą opiłków żelaza

Cel: badanie pola magnetycznego za pomocą opiłków żelaza

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- jeden magnes,
- opiłki żelaza (umieszczone w pudełku od płyty CD).



Zdjęcie 1. Magnes i opiłki. Badanie pola magnetycznego za pomocą opiłków.

Wykonanie:

Weź pudełko po płycie CD wypełnione opiłkami żelaza. Weź magnes i połóż go pod pudełkiem tak, aby było widać opiłki. Poruszaj magnesem. Co się dzieje? Opiłki żelaza poruszają się za magnesem tzn. ich ruch odpowiada ruchowi magnesu. Połóż magnes pod pudełkiem. Co się dzieje? Opiłki żelaza układają się w charakterystyczny sposób.

Wyjaśnienie:

Gdy poruszasz magnesem opiłki żelaza poruszają się za nim, ponieważ działa siła przyciągania magnetycznego. Opiłki żelaza stają się małymi magnesami.

Gdy położysz magnes pod pudełkiem opiłki układają się w specyficzny sposób. Wiele z nich znajduje się w pobliżu obu biegunów – północnego i południowego, a reszta układa się tworząc linie (tak jak pokazuje to powyższe zdjęcie). Położenie opiłków jest różne tzn. część z nich leży, a część „stoi”. Rozmieszczenie opiłków obrazuje linie pola magnetycznego powstające wokół magnesu.

Uwagi metodologiczne:

1. Opiłki znane z laboratoriów szkolnych są kłopotliwe w użyciu (brudzą). Wyżej pokazany „czytnik linii pola” można zbudować we własnym zakresie, tnąc na wiórki stalowy zmywak do naczyń.
2. Doświadczenie pochodzi od Faradaya. Pokazanie linii sił pola magnetycznego jest znacznie prostsze niż linii sił pola elektrycznego (potrzebna jest kasza manna, olej, i źródło silnego pola elektrycznego). W opisie dla ucznia podajemy, że opiłki są „przyciągane”. W rzeczywistości *indukują* się w każdym wiórce dwa bieguny magnetyczne – bliżej magnesu biegun przeciwny, dalej - taki sam. Opiłki tworzą ładne linie, bo powstaje łańcuch, wzajemnie przyciągających się magnesów (dipoli).

Doświadczenie to składa się na serię „detektorów pola magnetycznego” projektu TPSS.

TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

2.2. Badanie pola magnetycznego za pomocą magnetycznych pieczętek i „wykrywacza” pola magnetycznego

Cel: badanie istnienia pola magnetycznego za pomocą „wykrywacza”

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnesy sztabkowe, magnesy « geomag »
- magnetyczne pieczątki o różnych kształtach, np. magnesy na lodówkę
- wykrywacz pola magnetycznego.



Zdjęcie 1. a) „Magnetyczna” pieczętka, b) Wykrywacz pola magnetycznego

Wykonanie:

Weź „magnetyczną pieczętkę” i przyłóż ją do wykrywacza. Następnie zabierz pieczętkę i przyjrzyj się, jak wygląda powierzchnia wykrywacza. Czy kolor wykrywacza jest w każdym miejscu taki sam? Weź kolejną pieczętkę i postępuj tak samo. Co zaobserwowałeś?

Wyjaśnienie:

Wykrywacz pola magnetycznego służy do znalezienia biegunów magnetycznych oraz poznania ich ilości. Przestrzeń między biegunami magnetycznymi (obszar słabszego pola) na wykrywaczu zaznacza się na jasnozielony kolor, natomiast kolor ciemnozielony wskazuje na istnienie biegunów (silniejsze pole). Niektóre pieczątki pozostawiają nie dwa ciemnozielone ślady na wykrywaczu, ale więcej np. cztery. Oznacza to, że pieczętka jest wykonana z kilku magnesów, a każdy z nich ma dwa bieguny, o czym już wiesz.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie pozwala na identyfikację biegunów magnetycznych. W zestawach szkolnych posiadamy zazwyczaj jedynie magnesy sztabkowe i magnesy podkowiaste, które posiadają jedynie dwa, odmienne bieguny. Ich położenie jest łatwe do przewidzenia. W zestawie TPSS używamy magnesów spotykanych na co dzień. Okazuje się, że nawet małe i pozornie proste magnesy na lodówkę, mogą mieć więcej niż dwa bieguny. Ile? Zależy to od ich położenia. Wykrywacz pola może np. pokazać trzy miejsca z biegunami. Oznacza to, że w przedmiocie znajdują się dwa magnesy (każdy z nich jest dwubiegunowy) ale jeden z biegunów jest wspólny dla obu magnesów.

2. Dla uzupełnienia, złożmy stronami magnetycznymi dwa magnesy i spróbujmy je obracać i przesuwać, podobnie jak w doświadczeniu z żuczkami. Okazuje się, że magnesy mają pewne uprzywilejowane położenia – tak aby przeciwne bieguny były blisko siebie. Czy istnienie więcej niż dwóch biegunów nie przeszkadza w przyciąganiu magnesu do lodówki? Nie, bo w blasze lodówki indukują się zawsze, we właściwych miejscach bieguny przeciwne niż w magnecie.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3. „Wykrywacz” to mikroopłki, w zawiesinie w oleju, hermetycznie zamknięte.

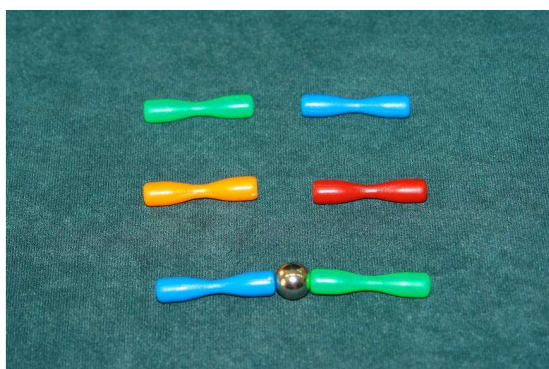
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

2.3. Badanie pola magnetycznego za pomocą klocków magnetycznych i kulek (Geomag)

Cel: badanie pola magnetycznego za pomocą

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnetyczne pręciki,
- małe kulki.



Zdjęcie 1. Magnetyczne pręciki i kulka (GEOMAG™)

Wykonanie:

Weź magnetyczne sztabki i stalową kulkę. Między pręciki zbliżone do siebie przeciwnymi biegunami włoż kulkę. Zaobserwuj co się dzieje. Następnie między sztabki zbliżone tymi samymi biegunami włoż kulkę. Co się dzieje tym razem?

Wyjaśnienie:

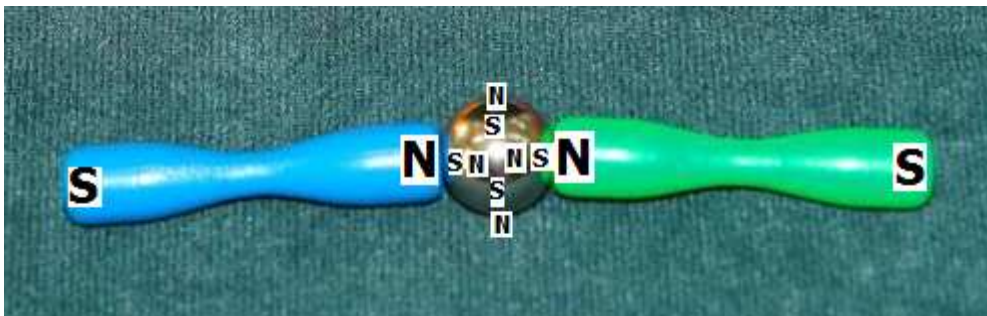
Kulka wykonana jest ze stali, a więc z materiału ferromagnetycznego. Jeśli włożysz ją między sztabki zbliżone biegunami różnoimiennymi, to w kulce indukuje się pole magnetyczne w charakterystyczny sposób. Od strony pręcika zbliżonego biegunem północnym w kulce indukuje się biegun południowy, a po przeciwnej stronie biegun północny. Biegun północny kulki oddziałuje z drugim pręcikiem powodując wzajemne przyciąganie się. W wyniku wzajemnych oddziaływań kulki i pręcików w kulce indukowany jest dipol magnetyczny.



Rysunek 2. Pręciki magnetyczne zbliżone biegunami różnoimiennymi oraz indukowane pole magnetyczne w kulce.

TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

Jeśli kulkę włożysz między pręciki zbliżone do siebie biegunami jednoimiennymi, również jest przyciągana. Wyjaśnienie tej sytuacji jest bardziej skomplikowane. Spójrz na rysunek 3.



Rysunek 3. Pręciki magnetyczne zbliżone biegunami jednoimiennymi oraz indukowane pole magnetyczne w kulce.

Rysunek 3 pokazuje, że pole magnetyczne wytworzone w sferze przypomina kształtem „latający dysk”: bieguny południowe wychodzą z góry i dołu dysku a na całym (poziomym) brzegu dysku leży biegun północny. Tak zbudowane są magnesy używane do zakrzywiania biegu cząstek w wielkich akceleratorach. Nazywamy tę konfigurację „kwadrupolem”.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie wprowadza trudne pojęcia, jak kwadrupol magnetyczny. Proponujemy je jako rozszerzenie zainteresowań uczniów a nie jako część głównej ścieżki dydaktycznej. Co więcej, niepełne lub niewłaściwe wytłumaczenie doświadczenia może podważyć główną przesłankę nauczania o magnesach: „wszystkie magnesy mają zawsze dwa bieguny” (innymi słowy, strumień magnetyczny przechodzący przez zamkniętą powierzchnię wynosi zero, lub jeszcze inaczej, *nie istnieją monopole magnetyczne*).

2. Wprowadziliśmy to doświadczenie również z uwagi na rozpowszechnienie zabawek konstrukcyjnych typu „geomag”. Przy zabawie z nimi rodzi się pytanie: jeżeli koniec S przyciąga się z końcem N drugiego elementu, to jak dołożyć trzeci element w tym samym wierzchołku? I jaki N czy S? W rzeczywistości, kulki są zasadniczym elementem zabawki. Same w sobie są niemagnetyczne (zbudowane z *miękkiej* magnetycznie stali) ale w pobliżu magnesów indukują się w nich *właściwe*, tj. zawsze przeciwne bieguny. Proszę zauważyć, że na tej samej zasadzie działają np. opiłki magnetyczne. Istnienie więcej niż dwóch biegunów w stalowej kulce obserwował już Kartezjusz

3. Opis „geomagu” i biegunów w różnych konfiguracjach zawiera praca G. Karwasza i współpracowników „Geomag paradoxes” w *Physic Education*, no.1 (2006)

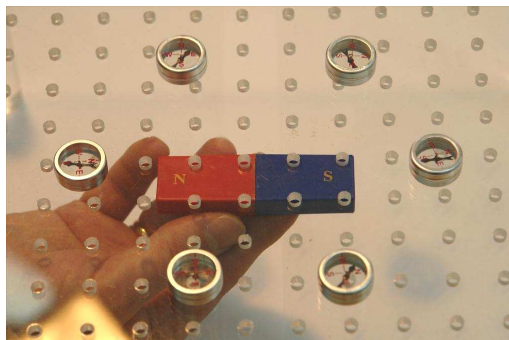
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

2.4. Oddziaływania magnesu na igły magnetyczne

Cel: badanie oddziaływania magnesu na igły magnetyczne.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes
- igły magnetyczne
- mały stolik pleksi



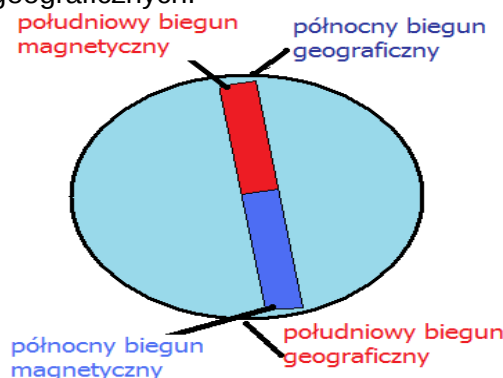
Zdjęcie 1. Oddziaływanie magnesu na igły magnetyczne

Wykonanie:

Na stoliku połóż kilka igieł magnetycznych. Zaobserwuj, jak są ustawione. Jaki kierunek wskazują? Włóż pod stolik (albo połóż na stoliku) magnes. Co teraz wskazują igły? Odwróć magnes tak, aby jego biegun południowy znalazł się po przeciwnej stronie. Co się stało z igłami?

Wyjaśnienie:

Leżące na stoliku igły magnetyczne są ustawione identycznie – wskazują północny biegun geograficzny. Po zbliżeniu magnesu igły obracają się w taki sposób, że każda z nich ustawiona jest pod innym kątem, ale wszystkie wskazują południowy biegun magnesu. Po odwróceniu magnesu igły również się obracają i ponownie zwrócone są w stronę bieguna południowego magnesu. Ruch igieł magnetycznych świadczy o tym, że magnesy zmieniają właściwości przestrzeni wokół siebie. Mówimy, że magnesy wytwarzają wokół siebie pole magnetyczne. Własność wskazywania południowego bieguna magnetycznego przez igły ma zastosowanie w kompasach. Jak wiesz kompas służy do wyznaczania kierunków geograficznych i jego igła wskazuje północ geograficzną. Jak to jest możliwe? Otóż można powiedzieć, że Ziemia jest ogromnym magnesem, którego bieguny magnetyczne znajdują się w okolicach biegunów geograficznych.



Rysunek 2. Bieguny geograficzne i magnetyczne Ziemi.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3.1. Oddziaływania między dwoma magnesami

Cel: badanie (jakościowe) oddziaływania między dwoma magnesami.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa magnesy sztabkowe



Zdjęcie 1. Oddziaływanie między magnesami

Wykonanie:

Weź dwa magnesy. Zbliź je biegunami przeciwnymi. Co się stało? Zbliź je tymi samymi biegunami np. oznaczonymi na niebiesko, a następnie na czerwono. Co dzieje się tym razem?

Wyjaśnienie:

Siły działające między magnesami nazywamy siłami magnetycznymi. Siły te mogą być siłami przyciągającymi lub odpychającymi. W zależności od odległości między magnesami, siły te mogą mieć różne wartości.

Magnesy zbliżone do siebie biegunami różnoimiennymi czyli północnym i południowym przyciągają się. Natomiast magnesy zbliżone do siebie biegunami jednoimiennymi czyli północnym i północnym lub południowym i południowym odpychają się.

Każdy magnes ma dwa bieguny – północny (N) i południowy (S). Występujące razem bieguny północny i południowy nazywamy dipolem magnetycznym.

Naukowcy próbowali odkryć istnienie magnesu o jednym biegunie, nazwali go roboczo monopolem. Jednak w wyniku prowadzonych badań okazało się, że nie istnieje taki magnes. Nawet po przecięciu magnesu sztabkowego, powstaną dwa magnesy i każdy z nich będzie miał biegun północny i południowy.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie ma zasadnicze znaczenie dla poprawnego zrozumienia pojęć magnetyzmu – istnienia w każdym magnecie dwóch, przeciwnych biegunów magnetycznych. Doświadczenie łączy się metodologicznie z doświadczeniem 1.4 „Pływające magnesy”.

2. Zwracamy uwagę, że w różnych krajach bieguny północne i południowe mogą być oznaczane odmiennymi kolorami.

3. Mimo, że czasów pracy Einsteina z 1911 roku wiemy, że oddziaływania magnetyczne wynikają z relatywistycznej zmiany gęstości ładunku w przewodach z prądem, nie proponujemy sprowadzania magnetyzmu jedynie do „oddziaływania przewodników z prądem”. Bieguny magnetyczne są obiektami, z którymi uczeń może poeksperymentować, w odróżnieniu od *spinów elektronów* w ferromagnetyku.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3.2. Kolumnienka magnesów - obwarzanków

Cel: badanie (jakościowe) oddziaływania między kilkoma magnesami.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- kolumnienka magnesów – obwarzanków
- linijka



Zdjęcie 1. Kolumnienka magnesów

Wykonanie:

Weź dwa magnesy – obwarzanki i nałóż je na kolumnienkę tak, aby były zwrócone do siebie tymi samymi biegunami. Co się dzieje? Weź następny magnes i dołóż go na kolumnienkę tak, aby był skierowany tym samym biegunem, co poprzedni magnes. Co zaobserwowałeś? Dołóż czwarty magnes. Co się stało?

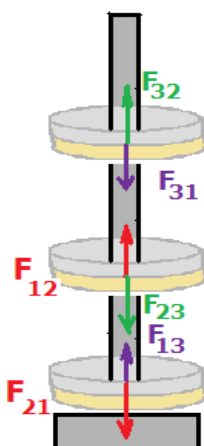
Zdejmij magnesy. Nałóż na kolumnienkę dwa magnesy biegunami jednoimiennymi do siebie. Zmierz odległość między nimi i zanotuj ją. Dołóż trzeci magnes. Zmierz odległości między: pierwszym i drugim magnesem, drugim i trzecim magnesem. Zanotuj wyniki pomiarów. Dołóż kolejny magnes. Ponownie zmierz odległości między: pierwszym i drugim magnesem, drugim i trzecim magnesem, trzecim i czwartym. Przeanalizuj otrzymane wyniki.

Wyjaśnienie:

Wiesz już, że magnesy zbliżone do siebie biegunami jednoimiennymi odpychają się. Na podstawie trzeciej zasady dynamiki Newtona można stwierdzić, że magnesy odpychają się siłami o tych samych wartościach. Po dołożeniu trzeciego magnesu mamy do czynienia z większą ilością działających sił tzn. między magnesem pierwszym i drugim, drugim i trzecim działają siły odpychające, a pierwszym i trzecim działają siły przyciągające. W wyniku działania tych sił, a zwłaszcza przyciągających, odległość między magnesem pierwszym i drugim zmalała, co pokazuje rysunek (zaznaczono na nim tylko siły oddziaływań magnetycznych).

Wyjaśnijmy to jeszcze raz: jeżeli nad dolnym magnesem wisi tylko jeden magnes, musi być on odpychany w górę siłą równą jego ciężarowi. Jeśli nad dolnym magnesem wiszą dwa magnesy (masa dwukrotnie większa), odpychająca siła magnetyczna musi być dwa razy większa. Dwa razy większa siła odpychająca występuje, jeśli magnesy są bliżej siebie.

TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu



Po dołożeniu następnego magnesu ponownie odległości między magnesami ulegają zmianie, ponieważ działają siły przyciągające i odpychające.

Uwagi metodologiczne:

1. Doświadczenie to, oprócz ilustracji oddziaływania między magnesami, jest jednym z najlepszych dydaktycznie przekładów na III zasadę dynamiki Newtona. Rozważmy po kolei siły działające na poszczególne magnesy na powyższym rysunku.

- 1) na magnes najwyższy (nr 3) musi działać siła równoważąca jego ciężar $F_{32}=mg$
- 2) źródłem tej siły może być tylko magnes nr 2. Magnes nr 2 działa siłą F_{32} na magnes nr 3. Wskutek III zasady, magnes 3 działa siłą równą co do wartości ale o przeciwnym zwrocie na magnes nr 2 (siła F_{23}). Jeżeli magnes nr 2 pozostaje w spoczynku (a tak jest, bo „wisi”), to siła ta musi być zrównoważona przez inną siłę. Źródłem tej innej siły może być tylko magnes nr 1 (siła F_{12}). Magnes nr 1 musi wywierać na magnes nr 2 siłę równoważącą zarówno F_{32} jak i siłę ciężkości działającą na magnes nr 2. Mamy więc $F_{12} = - F_{23} - mg = - 2mg$.
- 3) kontynuując ten tok myślenia dochodzimy do wniosku, że na podstawę działa siła $F_{21} = - 3mg$. Innymi słowy, na podstawkę ciążyą wszystkie trzy magnesy, mimo, że się między sobą nie stykają.

2. Przypominamy jak specyficzna była konfiguracja biegunów w magnetycznych pieczętkach i kulkach „geomagu”. W magnetycznych „obwarzankach” jest ona nie mniej ciekawa: przeciwstawne bieguny magnesów znajdują się w górnej i dolnej podstawie obwarzanka.

3. Bardzo ciekawe jest wprowadzenie w drgania góra- dół najwyższego obwarzanka: zaczynają się poruszać wszystkie magnesy. Wzdłuż kolumny propaguje swego rodzaju fala (podłużna, jak fala głosowa).



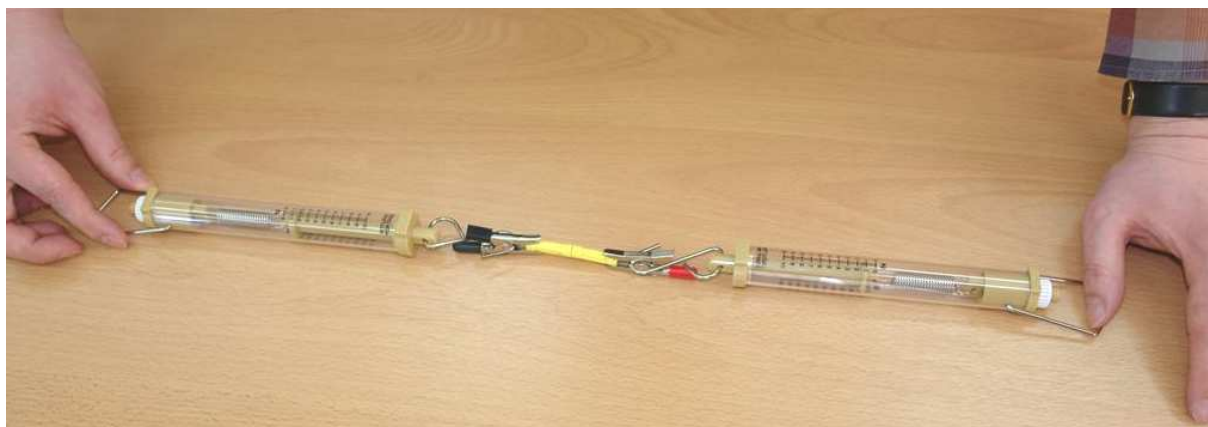
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3.4. Siła przyciągania: pomiar przy użyciu dynamometru

Cel: badanie (ilościowe) siły przyciągania między dwoma patyczkami magnetycznymi.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa magnetyczne patyczki (GEOMAG™)
- dwa połączenia krokodylowe
- dwa dynamometry



Zdjęcie 1. Badanie siły przyciągania przy użyciu dynamometru.

Wykonanie:

Weź dwa patyczki magnetyczne, złącza krokodylowe i dynamometry. Patyczki zbliż biegunami różnoimiennymi, połącz je z dynamometrami tak, jak pokazuje powyższe zdjęcie. Następnie odczytaj wartość siły przyciągania z dynamometrów, porównaj odczytane wartości.

Wyjaśnienie:

Wiesz już, że magnesy zbliżone do siebie biegunami różnoimiennymi przyciągają się. Magnes pierwszy przyciąga magnes drugi siłą o pewnej wartości (odczytałeś ją z dynamometru). Korzystając z trzeciej zasady dynamiki Newtona wiesz, że oddziaływania są wzajemne czyli magnes drugi przyciąga magnes pierwszy z siłą o tej samej wartości (co odczytałeś z drugiego dynamometru).



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3.5. Siła odpychania: magnesy sztabkowe (GEOMAG™) w rurce

Cel: badanie siły odpychania między dwoma patyczkami magnetycznymi.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa magnetyczne patyczki (GEOMAG™)
- plastikowa rurka
- linijka



Zdjęcie 1. Badanie siły odpychania.

Wykonanie:

Jeden patyczek wrzucić do rurki plastikowej, której koniec oparty jest np. o ławkę. Włożyć do rurki drugi magnetyczny patyczek skierowany tym samym biegunem do pierwszego patyczka. Zmierz odległość między nimi.

Wyjaśnienie:

Magnetyczna siła odpychania zależy od odległości między magnesami oraz wartości biegunów. Zachodzi tu pewne podobieństwo, chociaż jedynie dość ogólne, z oddziaływaniem ładunków elektrycznych, których to oddziaływanie opisał Coulomb. Można by zapisać siłę Coulomba dla biegunów magnetycznych:

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

gdzie: m_1 , m_2 – magnetyzacja; r – odległość, k – współczynnik proporcjonalności.

Widzisz, że siła odpychania jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między biegunami. Sformułowanie to oznacza, że im dalej patyczki będą znajdowały się od siebie, tym wartość siły odpychania będzie mniejsza.

Uwaga metodologiczne:

1. W rzeczywistości siła oddziaływania między biegunami magnesów ma bardziej skomplikowaną zależność, ale wykracza to poza kurs fizyki na poziomie szkoły średniej.

Lit. Mazzoldi i in. Fisica II – elettromagnetismo, Zanichelli editore, Padova

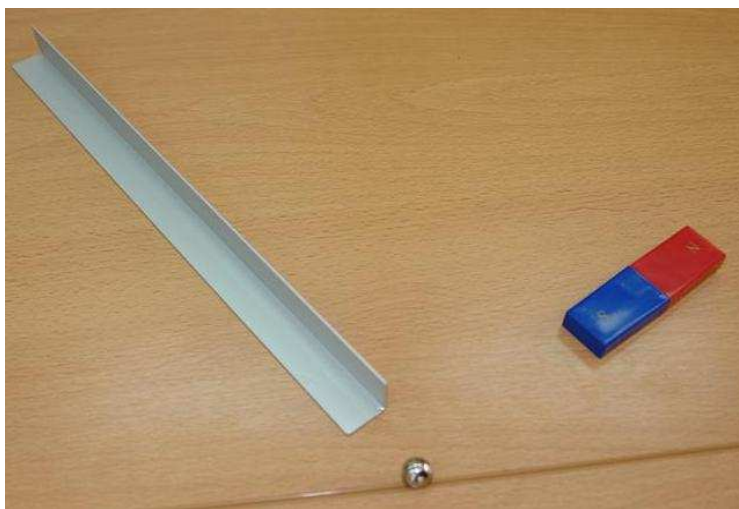
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

3.6: Tory kulek w polu magnetycznym

Cel: badanie wpływu pola magnetycznego na ruch metalowej kulki

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes sztabkowy
- „rynienka”
- metalowa kulka



Zdjęcie1. Ruch kulki w polu magnetycznym.

Wykonanie:

Przytrzymaj rynienkę tak, by była lekko uniesiona w górę, a następnie włóż w nią kulkę. Zaobserwuj, jak porusza się kulka. Wykonaj dokładnie to samo, ale tym razem poproś kolegę / koleżankę o pomoc, aby do rynienki zbliżył(a) magnes. Jak teraz porusza się kulka?

Wyjaśnienie:

W pierwszym przypadku kulka porusza się po linii prostej wzdłuż rynienki, wówczas na kulkę działa tylko siła grawitacji. Po zbliżeniu magnesu kulka nie porusza się po linii prostej, ale zaczyna skręcać. Jej tor ruchu jest krzywoliniowy. Przyczyną takiego ruchu jest to, że zaczyna działać dodatkowa siła – siła magnetyczna. Magnes oddziałuje na kulkę i powoduje, że zmienia się kierunek jej ruchu.

Uwagi metodologiczne:

1. Jest to bardzo ciekawe doświadczenie, wprowadzające do pozornie innego działu fizyki, jakim jest fizyka jądrowa. Otóż odchylenie od toru prostoliniowego zależy od: 1) „siły” magnesu, 2) odległości początkowej trajektorii (prostoliniowej) od magnesu, 3) masy kulki oraz 4) jej prędkości początkowej. Doświadczenie to bardzo przypomina doświadczenia Rutherforda nad rozpraszaniem cząstek alfa w folii złota.

Uczniowie mogą przeprowadzić „prawdziwe” pomiary rozpraszania, zmieniając kąt nachylenia i położenie początkowe kulki oraz odległość toru od magnesu. Z odrobiną cierpliwości, doświadczenie to może służyć do pomiaru prędkości kulki na końcu równi.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

4.1: Magnes zakręcający na równi pochyłej

Cel: badanie istnienia ziemskiego pola magnetycznego

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes (cylindryczny)
- równia pochyła



Zdjęcie1. Magnes na równi pochyłej.

Wykonanie:

Ustaw magnes na szczycie równi i przyjrzyj się, w jaki sposób porusza się w dół. Po jakim torze porusza się magnes? Jaki może być tego przyczyna?

Wyjaśnienie:

Magnes porusza się po torze krzywoliniowym – skręca. Działają na niego siły: grawitacji oraz jeszcze siła pochodząca z „wnętrza Ziemi” – siła magnetyczna. Gdyby nie działała ta druga siła, magnes poruszałby się po linii prostej. Siła magnetyczna pochodząca od Ziemi przyczynia się do zakrzywiania toru ruchu magnesu. Ziemia ma dwa bieguny magnetyczne tak, jak magnes sztabkowy. Wiesz, że po zbliżeniu magnesu do metalowej kulki toczącej się po równi pochyłej, zaczyna ona skręcać (doświadczenie 3.6). Podobnie jest w tym przypadku. Magnes zakręca, ponieważ oddziałuje z polem magnetycznym Ziemi.

Uwagi metodologiczne

1. Doświadczenie jest bardzo proste a przynosi zaskakujący wynik. O ile jesteśmy przyzwyczajeni, że pole magnetyczne odchyła „lekkie” obiekty jak igły magnetyczne, to nie spodziewamy się podobnego efektu dla „ciężkich” magnesów. W rzeczywistości, jak to pokazuje doświadczenie powyższe i doświadczenia z pływającymi łódkami, pole magnetyczne Ziemi działa na wszystkie magnesy.

2. W doświadczeniu bardzo istotne jest nachylenie równi oraz jej kierunek w stosunku do linii sił pola ziemskiego. Zaznaczając jeden z biegunów magnesu (znajdują się one na podstawach cylindra, choć nie zawsze na osi, możemy pokazać, że odwrócenie biegunów powoduje zakrzywienie w odwrotnym kierunku. Jeżeli magnes nie zbacza, to stacza się on w kierunku wschód- zachód. Dlaczego?

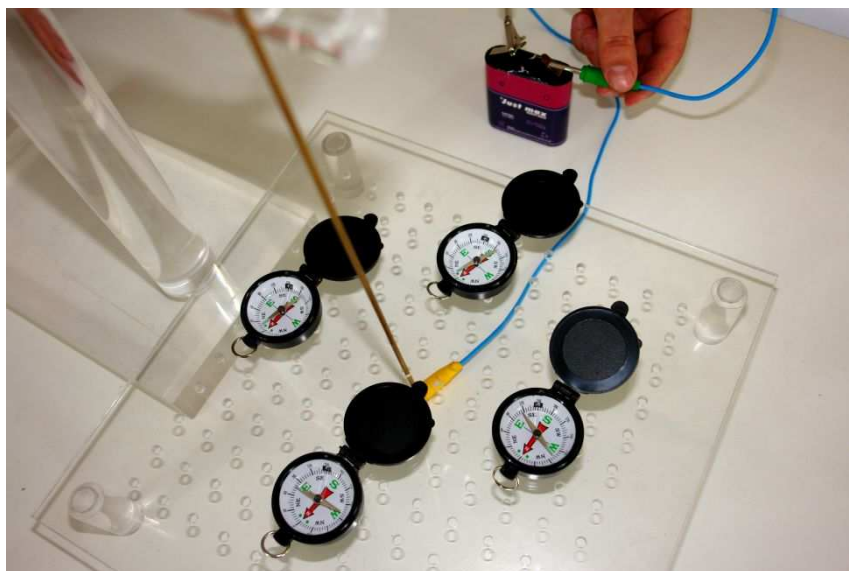
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.2. Doświadczenie Oersteda – wersja pionowa (czyli doświadczenie Ampere’a).

Cel: zbadanie zjawiska powstawania pola magnetycznego wokół przewodnika, przez który płynie prąd.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- przewódnik z mosiądzu,
- bateria 4.5 V,
- 4 kompasy,
- 4 krokodylki,
- 2 kable,
- stolik z pleksi z krótkimi nogami,
- uniwersalny statyw.



Zdjęcie 1. Zestaw do prezentacji pionowej wersji doświadczenia Oersteda.

Procedura:

Umieszczamy cztery kompasy wokół pionowo ustawionego przewodnika z mosiądzu, który jest częścią obwodu elektrycznego. Gdy obwód elektryczny jest otwarty, igły wszystkich kompasów wskazują kierunek północ – południe. Zamknij obwód. Co się dzieje z igłami w kompasach?

Wyjaśnienie:

Gdy zamykamy obwód, przez przewód płynie prąd elektryczny, a igły w kompasach obracają się. W omawianym doświadczeniu pokazujemy, że prąd elektryczny może być źródłem siły magnetycznej oraz że linie pola magnetycznego mają kształt okręgów. Od Ampere’a pochodzi ta część doświadczenia, która pokazuje, że natężenie pola magnetycznego maleje wraz ze wzrostem odległości od przewodu i jest ono proporcjonalne do natężenia prądu:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} ,$$



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

gdzie μ_0 jest przenikalnością magnetyczną próżni ($=4\pi \cdot 10^{-7}$ N/Am). Jest to ogólny wzór opisujący prawo Ampere'a dla przewodu prostoliniowego. Gdy płynie prąd w dwóch przewodach w tym samym kierunku, to natężenie pola jest sumą natężeń pól. Jeśli prąd w dwóch przewodach płynie w przeciwnych kierunkach, to natężenie pola jest równe zero.

Uwagi metodologiczne:

1. Linie siła pola dookoła przewodnika liniowego (w powyższej geometrii) są okręgami. Kierunki igieł magnetycznych powinny więc tworzyć elementy okręgu. W rzeczywistym doświadczeniu, przynajmniej z prądami o „rozsądnym” natężeniu (<10 A) igły odchylają się, ale nie tworzą regularnego okręgu. Dlaczego?

Powodem jest znowu pole magnetyczne Ziemi. Co więcej, doświadczenie to (i następne) mogą służyć do pomiaru wartości indukcji pola magnetycznego Ziemi. Załóżmy, że przez przewód przepływa prąd 10 A a igła znajduje się w odległości 10 cm. Zgodnie z powyższym wzorem indukcja B w odległości 10 cm od przewodnika wyniesie $2 \cdot 10^{-5}$ T. Pole magnetyczne Ziemi ma wartość około $3 \cdot 10^{-5}$ T. Pole wytworzone przez przewód jest więc prawie takie same jak pole ziemskie.

Igła wskaże kierunek będący wypadkową dwóch pól – ziemskiego i pochodzącego od przewodu z prądem. Pomiar kąta pod jakim wychyla się igła od kierunku północ- południe w obecności dodatkowego pola pozwala na wyznaczenie wielkości pola magnetycznego Ziemi.

(zob. materiały Supercomet2 na www.dydaktyka.fizyka.umk.pl).

2. Doświadczenie jeszcze raz pokazuje wszechobecność (i stosunkowo duże natężenie) ziemskiego pola magnetycznego. Należy dodać, że ani Mars ani Wenus nie mają własnego pola magnetycznego. Pola magnetyczne chroni Ziemię przed napływem szkodliwych dla istot żywych, elektrycznie naładowanych cząstek ze Słońca (głównie protonów i wysokoenergetycznych elektronów).

Co więcej, ostatnie badania wskazują, że z pola magnetycznego Ziemi korzystają żółwie moreksi powracające do swoich miejsc lęgowych dla złożenia jaj oraz słowiki odlatujące na zimę ze Szwecji na południe. Zob. G. Karwasz „Magnetic turtles” na www.modern.fizyka.umk.pl

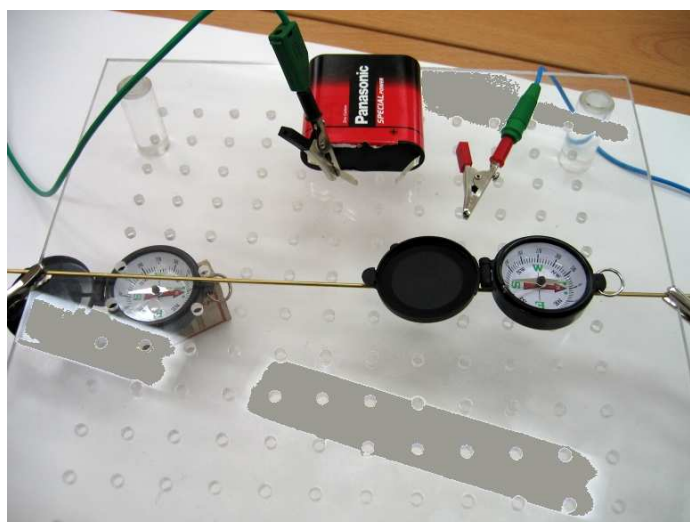
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.3. Doświadczenie Oersteda – wersja pozioma.

Cel: zbadanie zjawiska powstawania pola magnetycznego wokół przewodnika przez który płynie prąd.

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

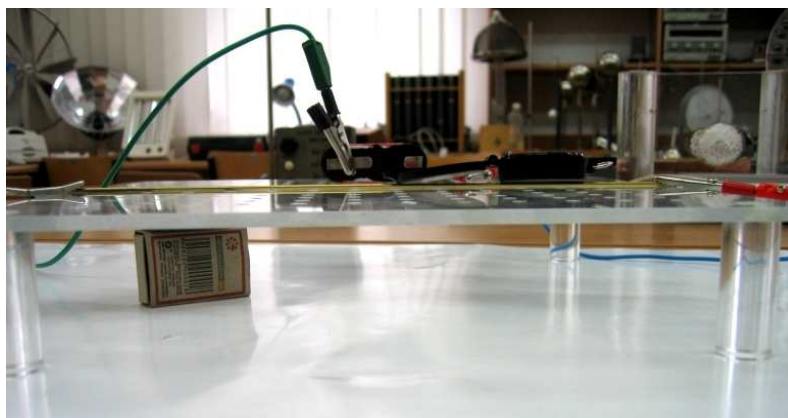
- przewód z miedzi,
- bateria 4.5 V,
- 2 kompasy,
- 4 krokodylki i 2 kabelki,
- stolik z pleksi z krótkimi nogami.



Zdjęcie 1. Zestaw do prezentacji poziomej wersji doświadczenia Oersteda.

Procedura:

Położ przewód z miedzi na stoliku z pleksi. Ustaw dwa kompasy (nad i pod przewodem, połów pudełko zapalek) w pobliżu prostego przewodu z miedzi. Połącz ten przewód za pomocą 2 kabli i 4 krokodylków do baterii 4,5 V.



Zdjęcie 2. Sposób połączenia wszystkich elementów doświadczalnych.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

Wyjaśnienie:

Umieszczamy dwa kompasy dokładnie nad i pod prostym przewodnikiem, który jest częścią obwodu elektrycznego. Prosty przewodnik jest równoległy do kierunku północ – południe, wyznaczonego przez kompas. Podłącz uchwyty zaciskowe do baterii 4,5 V i zamknij obwód elektryczny. Co się dzieje? Przyjrzyj się igłom w kompasach. Jak można to wytłumaczyć?

Igła kompasu obraca się, dopóki nie znajdzie się w położeniu prostopadłym do przewodnika z mosiądzu. Kierunek wskazywany przez igłę jest przeciwny do kompasu umieszczonego pod przewodnikiem, w nawiązaniu do tych dwóch umieszczonych nad przewodnikiem. Jeśli odwrócimy kierunek przepływu prądu w przewodniku, to również położenie igieł w kompasach się zmieni na przeciwne. W 1820 roku Oersted pokazał, że prąd elektryczny może być źródłem pola magnetycznego. Pole magnetyczne istnieje nad i pod przewodnikiem. Jego kierunek ulega zmianie, gdy zmienia się kierunek przepływu prądu.

Uwagi metodologiczne:

1. Ważne jest, aby pokazać jak odchyła się igła położona nad przewodem i pod przewodem (służy do tego stolik z plexi).

2. Podobnie jak w poprzednim doświadczeniu, odchylenie igły może być wykorzystane do znalezienia wielkości pola magnetycznego Ziemi. Ograniczeniem pomiaru jest wielkość prądu przepływającego przez przewodnik. Rozsądna granicą w dłuższych pomiarach są 3 A na 1 mm² przewodnika.

3. Istnieją udokumentowane dane historyczne wskazujące, że doświadczenie „Oersteda” przeprowadził po raz pierwszy, w 1802 roku, prawnik z Trydentu, Giandomenico Romagnosi. Jego praca na ten temat, zgłoszona na konkurs rozpisany przez Napoleona została negatywnie oceniona przez Ampera, który napisał, że nie ma nic bardziej absurdalnego jak twierdzenie, że istnieje jakikolwiek związek między zjawiskami elektrycznymi a magnetycznymi.

Oersted przebywał w Paryżu w czasie rozstrzygnięcia konkursu. Z powodów politycznych, Romagnosi trafił, co prawda na krótko, do więzienia (austriackiego). Po ogłoszeniu pracy Oersteda Romagnosi próbował protestować, ale bez skutku.

Zob. S. Stringari, Romagnosi and discovery of electromagnetism, Accademia dei lincei, Rzym, 1998.



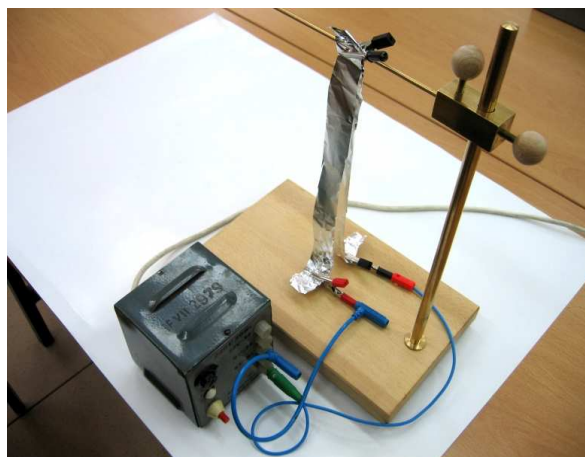
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.4: Siła magnetyczna między dwoma równoległymi przewodami (doświadczenie Ampère'a)

Cel: badanie oddziaływania między przewodami, przez które przepływa prąd elektryczny

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwa kable z połączeniem krokodylowym
- dwa paski folii aluminiowej
- zasilacz niskiego napięcia (np. 12 V), możliwie dużego prądu (do 10 A)
- statyw



Zdjęcie 1. Ustawienie zestawu do demonstracji doświadczenia Ampère'a.

Wykonanie:

Do statywu przymocuj dwa paski folii aluminiowej – tak jak pokazano to na zdjęciu 1. Następnie połącz je z zasilaczem. Włącz zasilacz. Zaobserwuj, co się dzieje z paskami. Jak myślisz, dlaczego się odpychają?

Wyjaśnienie:

Paski z folii aluminiowej są przymocowane w taki sposób do statywu, że są do siebie równoległe. Paski stanowią część obwodu elektrycznego, a więc przepływa przez nie prąd. Kierunek przepływu prądu jest antyrównoległy tzn. prąd w paskach płynie w przeciwnych kierunkach. Z pewnością zauważyłeś, że paski działają na siebie siłami odpychającymi. Jak już wiesz wokół przewodu, przez który przepływa prąd powstaje pole magnetyczne. Paski są właśnie przewodami z prądem, więc wokół nich też powstaje pole magnetyczne. Stąd można wnioskować, że między paskami działają magnetyczne siły odpychające. Jak z pewnością pamiętasz, dwa magnesy odpychają się, gdy zbliżysz je biegunami jednoimiennymi. Podobnie jest w przypadku przewodników z prądem tzn. w przewodniki odpychają się, ponieważ powstające dwa pola magnetyczne są zwrócone tymi samymi biegunami. Można to sprawdzić korzystając z reguły prawej dłoni.

Paski są z cienkiej folii aluminiowej, gdyż siła działająca jest niewielka. Przyjmijmy, że paski są odległe o $r=1$ cm, o długości $l=20$ cm i płynie przez nie prąd $I=10$ A. Do obliczenia tej siły musimy najpierw (z prawa Ampère'a) znaleźć wielkość indukcji pola.

Korzystamy ze wzoru $B = \mu_0 I / 2\pi r = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 10 / 0,01$ [T] = $2 \cdot 10^{-4}$ T

Siłę działającą (na cały pasek) obliczamy ze wzoru $F = IBl = 10 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2$ [N] = $4 \cdot 10^{-4}$ N

Przypominamy, że definicja ampera (a przez to i kulomba) korzysta z powyższego wzoru.



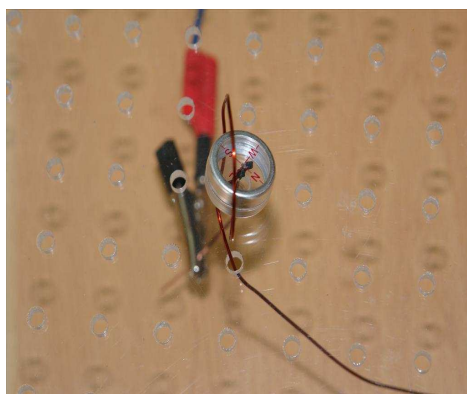
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.5 a): Pole magnetyczne wewnątrz pojedynczej cewki

Cel: badanie istnienia pola magnetycznego wewnątrz pojedynczego zwoju przewodnika

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- cewka z jednym zwojem
- kompas
- 2 złącza krokodylowe
- bateria
- stolik z pleksi



Zdjęcie 1. Ustawienie zestawu do demonstracji powstawania pola magnetycznego wewnątrz cewki.

Wykonanie:

Przełóż końce cewki pod spód stolika. Następnie włóż kompas w cewkę i podłącz ją do baterii. Co się dzieje?

Wyjaśnienie:

Płynący przez cewkę prąd podobnie, jak w przypadku przewodu prostoliniowego, wywołuje powstanie pola magnetycznego, o czym świadczy ruch igły kompasu. Igła ustawia się prostopadle do cewki.

Podsumowując linie pola magnetycznego wewnątrz cewki są do niej prostopadłe.

Uwagi dydaktyczne:

1. Początkowe ustawienie (geograficzne) kompasu (i cewki) należy wybrać tak, aby igła magnetyczna była równoległa do zwoju.

2. Dysponując zasilaczem o regulowanej wartości prądu można pokusić się o wyznaczenie wielkości indukcji pola magnetycznego Ziemi. Ustawivszy początkowo cewkę i kompas równoległe do kierunku północ- południe zwiększamy stopniowo natężenie prądu i mierzymy kąt, o jaki wychylił się kompas. Natężenie pola na osi pojedynczej pętli z prądem obliczamy ze wzoru $B = \mu_0 I / r$ (Do wyprowadzenia tego wzoru trzeba skorzystać z prawa Biota-Savarta, co jest bardziej skomplikowane niż korzystanie z prawa Ampère'a).

Tangens kąta wychYLENIA jest równy stosunkowi pola B wytworzonego przez cewkę i pola ziemskiego B_0
$$\operatorname{tg} \varphi = B/B_0$$

Wartość (składowej poziomej) indukcji pola ziemskiego wynosi około $0,3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$.



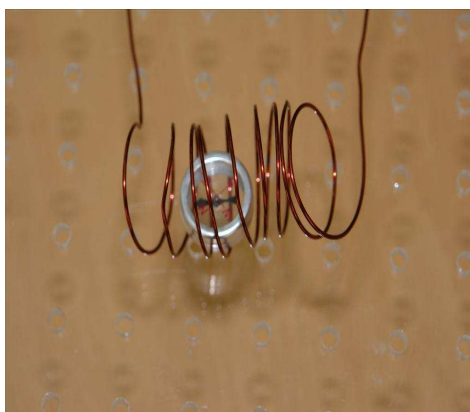
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.5 b) Pole magnetyczne wewnątrz solenoidu

Cel: badanie istnienia pola magnetycznego wewnątrz solenoidu

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- solenoid
- kompas
- 2 złącza krokodylowe
- bateria
- stolik z pleksi



Zdjęcie 1. Ustawienie zestawu do demonstracji powstawania pola magnetycznego wewnątrz solenoidu.

Wykonanie:

Przełóż końce solenoidu pod spód stolika. Następnie włóż kompas w solenoid i podłącz go do baterii. Co się dzieje?

Wyjaśnienie:

Po podłączeniu solenoidu do baterii igła kompasu porusza się i ustawia się prostopadłe do zwojów solenoidu. Płynący przez solenoid prąd wywołuje powstanie pola magnetycznego wewnątrz solenoidu. Prostopadłe ustawienie się igły, świadczy o tym, że linie pola magnetycznego wewnątrz solenoidu są do siebie równoległe. Można stwierdzić, że pole magnetyczne powstające wewnątrz i wokół solenoidu jest podobne do pola magnetycznego magnesu sztabkowego.

Uwagi dydaktyczne:

Podobne uwagi dydaktyczne jak do ćwiczenia poprzedniego stosują się również do badania pola wewnątrz cewki. Przypominamy, że pole wewnątrz (idealnej, tj. nieskończenie długiej) cewki zależy tylko od natężenia prądu I i ilości n , zwojów na jednostkę długości

$$B = \mu_0 I n$$

a jest niezależne od wielkości geometrycznych, jak długość cewki lub jej promień. Jest to wygodne w rozwiązywaniu zadań, ale kłopotliwe dla konstruktorów cewek do generacji silnych pól: zwiększając ilość zwojów na jednostkę długości rosną kłopoty z odprowadzaniem ciepła a i sama cewka coraz mniej przypomina cewkę *idealną*, tzn. nieskończenie długą i nieskończenie cienką.

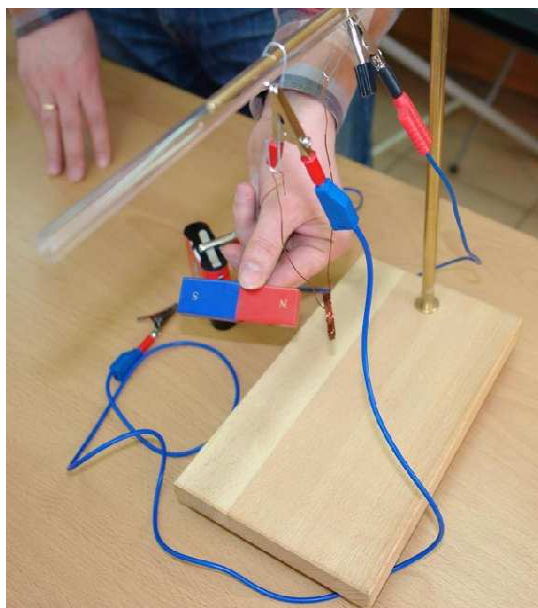
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.5 c) Wzajemne oddziaływanie cewki i magnesu

Cel: badanie istnienia pola magnetycznego wewnątrz solenoidu

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- statyw oraz plastikowa rurka
- 2 złącza krokodyłowe i 2 spinacze
- cewka
- magnes sztabkowy



Zdjęcie 1. Ustawienie zestawu.

Wykonanie:

Na metalową część statywu nałóż plastikową rurkę. Rozegnij spinacze i zamocuj je tak, jak widać to na zdjęciu. Zawieś na spinaczach cewkę. Połącz spinacze z baterią za pomocą złączy krokodyłowych. Następnie do cewki zbliż magnes biegunem północnym. Zaobserwuj, co się dzieje. Odwróć magnes i zbliż go do cewki biegunem południowym. Co się dzieje?

Wyjaśnienie:

Jak już wiesz przepływowi prądu przez przewodnik towarzyszy powstanie pola magnetycznego. Jeśli dodatkowo przewodnik z prądem umieścimy w polu magnetycznym, czyli zbliżymy do niego magnes, to wówczas na cewkę zaczyna działać dodatkowa siła, która przyczynia się do ruchu cewki. Siła ta nazywana jest siłą elektrodynamiczną (lub siłą Lorentza). Siła elektrodynamiczna zależy do kierunku pola magnetycznego (na pewno zauważyłeś, że odwrócenie magnesu spowodowało zmianę kierunku ruchu cewki), kierunku przepływu prądu i jego natężenia.

Wyjaśnienie przyczyny siły Lorentza (1853-1928) $F = q \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ (lub $F = I \mathbf{l} \times \mathbf{B}$) nie jest takie proste. Najprostsze wyjaśnienie zostało dane przez Einsteina i dotyczy ono przykładu dwóch równoległych przewodników (doświadczenie 5.4): wskutek względnego ruchu ładunków w obu przewodnikach „długość” tych ładunków ulega skróceniu. Oddziaływanie magnetyczne jest równoważne oddziaływaniu elektrostatycznemu nieskompensowanych (bo we wzajemnym ruchu) gęstości ładunków.

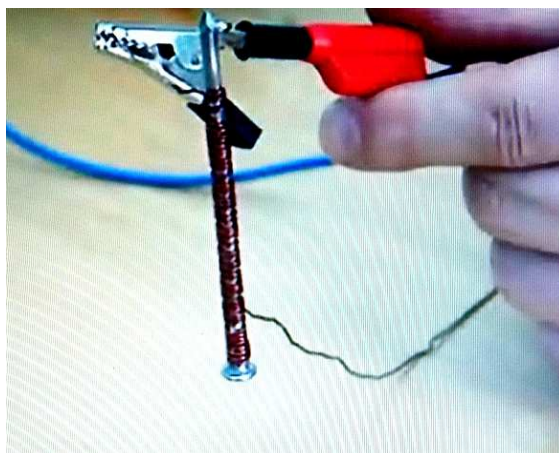
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

5.6. Żelazny rdzeń umieszczony wewnątrz cewki

Cel: badanie własności żelaznego rdzenia umieszczonego wewnątrz cewki

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- złącza krokodylowe
- miedziany przewód
- gwóźdź
- bateria



Zdjęcie 1. Prosty elektromagnes.

Wykonanie:

Na gwóźdź nawij przewód miedziany i za pomocą dwóch złączy krokodylowych podłącz przewód do baterii. Następnie zbliżaj przedmioty wykonane z różnych materiałów np. spinacze, szpilki, ołówki, linijkę. Zaobserwuj, co się dzieje.

Wyjaśnienie:

Po połączeniu zestawu przez przewód przepływa prąd, a wokół przewodu powstaje pole magnetyczne. Jak zauważyłaś(-eś), zestaw zachowuje się tak jak magnes, to znaczy przyciąga przedmioty wykonane z żelaza lub stopów metali zawierających żelazo (lub kobalt, lub nikiel) np. stalowe spinacze. Urządzenia, w których żelazny rdzeń umieszczony jest wewnątrz cewki i które po podłączeniu do źródła prądu stają się silnymi magnesami nazywamy elektro-magnesami. Służą one do podnoszenia ciężkich stalowych elementów na złomowiskach.

Uwagi dydaktyczne:

1. Oczywiście i bez rdzenia cewka mogłaby być elektromagnesem. Obecność rdzenia z żelaza „wzmocnia” pole. Rzeczywiście, wzrost wartości indukcji pola generowanego przez cewkę z rdzeniem można uznać za swoisty efekt „wzmocnienia”: pole cewki ustawia domeny magnetyczne w ferromagnetyku równoległe do pola, tak że pole cewki jest większe, nawet o czynnik 100 i więcej.
2. We wzorze na wartość indukcji $B = \mu_0 \mu_R In$ (lub $B = \mu_0 \mu_R H$) pojawia się μ_R , czyli względna przenikalność magnetyczna. O ile łatwo podać wartość μ_R dla diamagnetyków i paramagnetyków (w obu przypadkach μ_R niewiele różni się od jeden) to dla ferromagnetyków nie jest to takie proste. Wartość μ_R zmienia się w zależności od pola zewnętrznego, aż do wartości kiedy wzrost pola H nie powoduje dalszego wzrostu indukcji B (czyli pole H osiąga wartość nasycenia dla danego materiału).



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

Dla niektórych stopów kobaltu i niklu (tzw. *mumetal*) wartości μ_R dochodzą do 40.000 i więcej.

3. Kluczowym pojęciem w dyskusji ferromagnetyków jest krzywa *histerezy* (czyli pamięci).



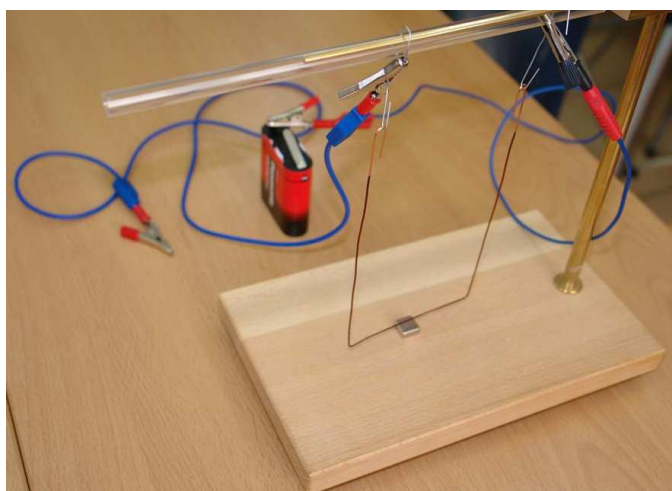
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

6.1. Doświadczenie Pohl'a (siła działająca na ramkę z prądem)

Cel: badanie siły działającej na ramkę z prądem umieszczoną w polu magnetycznym

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- 2 przewody ze złączami krokodyłowymi
- ramka wykonana z miedzi
- statyw
- magnes neodymowy (najlepiej kwadratowy)
- bateria
- 2 spinacze



Zdjęcie 1. Sposób połączenia elementów zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Ramkę zamocuj na statywie przy pomocy spinaczy. Pamiętaj o nałożeniu plastikowej "nakładki" na uchwyt statywu, aby nie przewodził prądu. Pod ramkę podłóż magnes neodymowy. Ramkę połącz z baterią. Zwróć uwagę na to, co dzieje się z ramką. Następnie połącz ramkę tak, aby odwrócić kierunek przepływu. Jak w tym przypadku zachowuje się ramka? Odwróć magnes. Jak teraz ramka się wychyla?

Wyjaśnienie:

Na pewno zauważyłeś, że po połączeniu ramki z baterią, ramka wychyliła się. Zwróć uwagę na to, że fragment poziomy przewodu jest ustawiony prostopadle do magnesu (a dokładnie pola magnetycznego). Przyczyną wychylenia się ramki jest działająca na nią siła. Jest to siła Lorentz'a. Siła ta działa na przewody, przez które przepływa prąd elektryczny i które umieszczone są w polu magnetycznym. Po odwróceniu kierunku przepływu prądu ramka wychyliła się w przeciwną stronę.

Wiesz, że prąd elektryczny jest uporządkowanym ruchem elektronów. Przypominamy, że elektron jest cząstką elementarną obdarzoną ładunkiem ujemnym. Elektrony w przewodzie poruszają się z pewną prędkością - $\vec{v}$. Dodatkowo nasz przewód jest umieszczony w polu magnetycznym o pewnym natężeniu - $\vec{B}$. Na poruszające się w polu magnetycznym ładunki działa siła Lorentz'a:



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

$$\mathbf{F} = q\vec{v} \times \vec{B}.$$

Między prędkością i natężeniem pola magnetycznego występuje symbol $\times$, którym oznacza się tzw. iloczyn wektorowy. Iloczyn wektorowy zależy od kąta ϕ , jest to kąt między wektorami prędkości i natężenia pola magnetycznego, wzór można zapisać w innej postaci:

$$\mathbf{F} = |q| \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B} \cdot \sin\phi,$$

gdzie $\sin\phi$ jest funkcją o określonych wartościach. W przypadku, gdy kąt ϕ był równy 90° , a $\sin 90^\circ = 1$, więc wzór uprości się do postaci:

$$\mathbf{F} = |q| \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}$$

W przypadku, gdy przewód ustawiony byłby równolegle do pola magnetycznego (czyli magnesu), siła byłaby równa zero, ponieważ $\sin 0^\circ = 0$. Funkcja sinus może przyjmować wartości od 0 do 1, tzn., że dla kątów ostrych przyjmuje ona wartości mniejsze niż 1, a im większy kąt, tym większa wartość funkcji sinus. Można powiedzieć, że im większy kąt (w zakresie kątów ostrych), tym większą wartość będzie miała siła Lorentza.

Powyższy wzór można jeszcze przekształcić korzystając ze wzoru na natężenie prądu elektrycznego:

$$I = \frac{q}{t},$$

a stąd mamy:

$$q = I \cdot t.$$

Poza tym można założyć, że elektrony poruszają się ruchem prostoliniowym jednostajnym przebywając drogę równą długości przewodu - L znajdującego się w polu magnetycznym z prędkością - v :

$$L = v \cdot t.$$

Z tego wzoru wyznaczamy czas:

$$t = \frac{L}{v}.$$

Wstawiamy wyrażenie określające czas do wzoru na ładunek:

$$q = I \frac{L}{v}.$$

Ostateczny wzór na siłę działającą na przewodnik z prądem umieszczonym w polu magnetycznym, prostopadłym do przewodnika:

$$\mathbf{F} = I \frac{L}{v} \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}$$

$$\mathbf{F} = I \cdot L \cdot \mathbf{B}$$

Powyższa zależność dotyczy przewodnika umieszczonego prostopadle do pola magnetycznego. Chcąc uogólnić powyższy wzór, trzeba uwzględnić inne położenie przewodnika, co można zrobić poprzez wstawienie iloczynu wektorowego:

$$\mathbf{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$$

Widać, że siła działająca na przewodnik, przez który przepływa prąd, zależy od natężenia prądu, długości przewodu umieszczonego w polu magnetycznym oraz indukcji pola magnetycznego B .

Podsumowując: na przewód znajdujący się w polu magnetycznym i przez którym przepływa prąd działa siła Lorentza. Siła ta zależy od: wartości i prędkości przepływających ładunków, wartości natężenia pola magnetycznego i kąta między wektorem prędkości a wektorem natężenia pola magnetycznego. Siła Lorentza nie działa na przewód, gdy jest on ułożony równolegle do linii pola magnetycznego. Największą wartość siła przyjmuje, gdy przewód jest ustawiony prostopadle do linii pola magnetycznego.



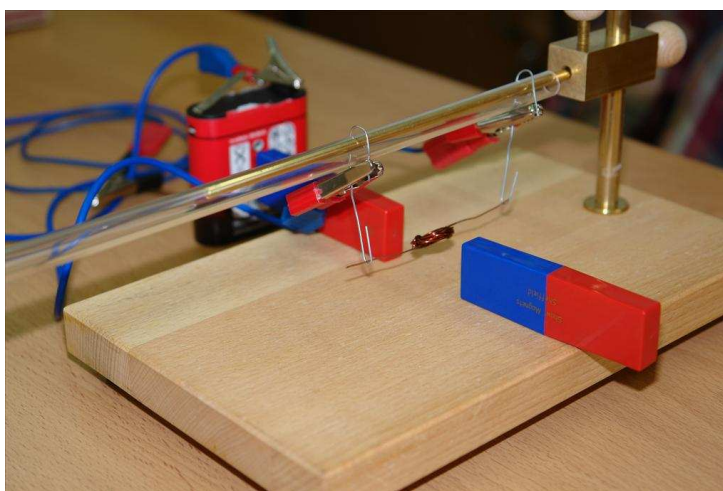
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

6.2. Zwój z przewodnika między biegunami magnesów

Cel: badanie siły działającej na zwój umieszczony w polu magnetycznym

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- zwój z przewodnika
- 2 przewody ze złączami krokodyłowymi
- bateria
- 2 spinacze
- 2 magnesy sztabkowe
- statyw



Zdjęcie 1. Sposób połączenia elementów zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Na statywie zamocuj za pomocą spinaczy zwój z przewodnika, pamiętaj o umieszczeniu plastikowej nakładki na ramię statywu. Ustaw dwa magnesy skierowane do siebie przeciwnymi biegunami (tak jak pokazano to na zdjęciu powyżej). Podłącz za pomocą złączy krokodylowych baterię i zwój z przewodnika. Co się dzieje? Następnie podłącz baterię odwrotnie, by zmienić kierunek przepływu prądu. Co zaobserwowałeś? Przetaw magnesy - zamień bieguny. Jak teraz zachowuje się zwój?

Wyjaśnienie:

Podobnie, jak w poprzednim doświadczeniu (6.1.) zwój zaczyna się poruszać. Tym razem nie jest to jednak tylko wychylenie, ale pełne obroty wykonywane przez zwój. Po zmianie kierunku przepływu prądu, zwój obraca się w przeciwną stronę niż za pierwszym razem. Gdy zamienimy bieguny magnesów, wówczas też zmienia się kierunek obrotu zwoju. Ponownie przyczyną ruchu zwojnicy jest działanie siły Lorentza. Tym razem siła ta działa w ruchu po okręgu, gdyż zwój w przybliżeniu jest okręgiem.

Przypominamy, że siła Lorentz'a zależy od wartości i prędkości poruszających się ładunków oraz natężenia pola magnetycznego.

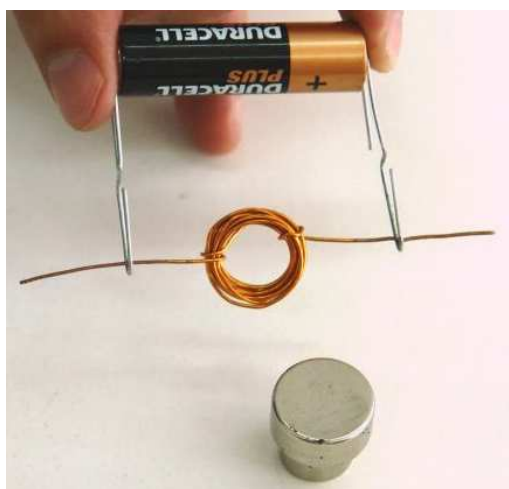
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

6.3.a. Silnik na spinaczach

Cel: badanie siły działającej na zwój umieszczony w polu magnetycznym

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- zwój z przewodnika
- 2 spinacze
- bateria paluszek
- magnes neodymowy



Zdjęcie 1. Model silnika na spinaczach.

Wykonanie:

Końce spinaczy ułóż na końcach baterii, a po przeciwnej stronie włóż zwój z przewodnika. Trzymając baterię zbliż ją do magnesu. Co się dzieje? Odwróć magnes tak, aby był ustawiony do baterii przeciwnym biegunem niż za pierwszym razem. Jak zachowuje się teraz zwój?

Wyjaśnienie:

Powyższy model jest modelem silnika elektrycznego na prąd stały, który ma szerokie zastosowanie w wielu urządzeniach. Zwój z przewodnika obraca się, ponieważ znajduje się w polu magnetycznym i przepływa przez niego prąd. Źródłem prądu jest bateria - paluszek, a obwód jest zamknięty dzięki spinaczom. Po umieszczeniu obwodu w pobliżu magnesu na zwój zaczyna działać znana Ci już siła Lorentza. Po odwróceniu magnesu zmienia się kierunek pola magnetycznego, więc zwój obraca się w przeciwną stronę niż za pierwszym razem.



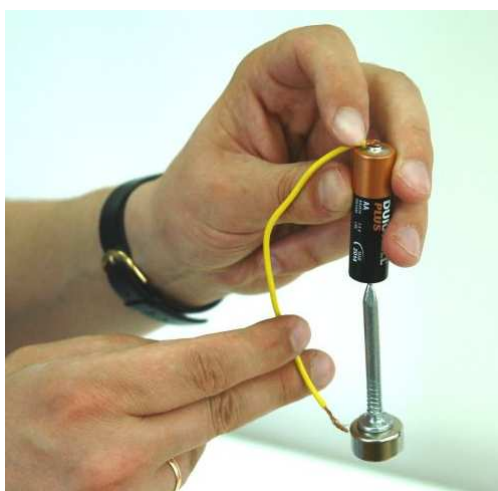
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

6.3.b. Silnik z "jedną pętlą"

Cel: badanie zasady działania silnika elektromagnetycznego

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- bateria paluszek
- gwóźdź
- magnes neodymowy
- kawałek przewodu izolowanego



Zdjęcie 1. Model silnika z "jedną pętlą".

Wykonanie:

Zdejmij izolację z końców przewodnika. Na magnesie postaw gwóźdź, a na nim baterię i przytrzymaj ją palcami. Całą konstrukcję podnieś w górę, aby nie dotykała podłoża. Jednym końcem przewodu dotknij do magnesu, a drugim do baterii. Zaobserwuj co się dzieje? Dotykaj końcem przewodu do różnych części magnesu. Dla jakiego położenia przewodu przy magnesie obraca się on najszybciej, a dla jakiego najwolniej?

Wyjaśnienie:

Doświadczenie to pokazuje również zasadę działania silnika. Jednak ten silnik różni się od poprzedniego, ponieważ tym razem nie porusza się przewód, ale magnes. Dzieje się tak, gdyż przewód - pętla jest przytrzymywana ręką, zatem zgodnie z trzecią zasadą dynamiki (akcja i reakcja) magnes się obraca. Na pewno zauważyłeś, że magnes się nie obraca - zatrzymuje się, gdy przewód dotyka magnes na dole. W takim ustawieniu przewód obejmuje oba bieguny magnesu i wypadkowy strumień pola magnetycznego jest zerowy. Jeśli przewód dotyka magnes w połowie jego wysokości, to przewód obejmuje tylko jeden biegun i magnes obraca się najszybciej.



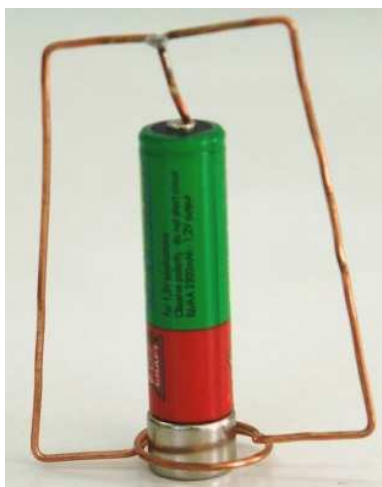
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

6.3.c. Silnik z dwoma "skrzydełkami" (silnik - mikser)

Cel: badanie zasady działania silnika elektromagnetycznego

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- bateria paluszek
- magnes neodymowy
- ramka z przewodnika w kształcie trapezu "z pętlą"



Zdjęcie 1. Silnik - mikser.

Wykonanie:

Baterię postaw na magnesie. Na baterii oprzyj ramkę, jak pokazano na zdjęciu. Co się dzieje? Odwróć magnes, jak teraz zachowuje się ramka? Odwróć baterię, jak się porusza ramka?

Wyjaśnienie:

Przez obie części ramki (lewą i prawą) przepływa prąd. Obwód jest zamknięty dzięki temu, że co jakiś czas pętla dotyka do magnesu. Ponadto magnes wytwarza pole magnetyczne, które oddziałuje z ramką. Na skutek działania siły Lorentza ramka obraca się tak długo, dopóki utrzymuje się na baterii. Po odwróceniu baterii zmienia się kierunek przepływu prądu, co z kolei powoduje zmianę kierunku obrotu ramki.



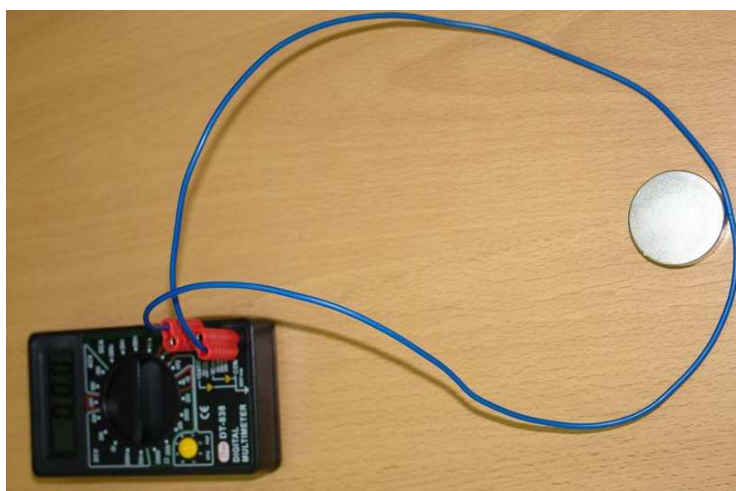
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.1. Siła elektromotoryczna indukowana i prąd w poruszającym się przewodzie

Cel: badanie powstawania prądu indukcyjnego w przewodzie

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- przewód
- miernik



Zdjęcie 1. Sposób ustawienia zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Włącz miernik i wybierz odpowiedni zakres pomiarów dla prądu przemiennego. Podłącz przewód do miernika, a w pobliżu przewodu umieść magnes neodymowy. Poruszaj przewodem, co pokazuje miernik? Spróbuj poruszać magnesem w pobliżu przewodu, czy miernik coś wskazuje? Spróbuj poruszać równocześnie przewodem i magnesem. Zaobserwuj wskazania miernika.

Wyjaśnienie:

We wszystkich przypadkach miernik pokazuje pewną wartość, która się zmienia. W doświadczeniach tych mamy do czynienia z przepływem prądu, mimo że nie ma żadnego źródła prądu. Zbliżając i oddalając magnes od przewodu powodujemy, że w pobliżu przewodu zmienia się pole magnetyczne - gdy magnes jest blisko przewodu jest ono "silniejsze", a gdy magnes jest dalej - pole jest "słabsze". Mówiąc, że pole jest "słabsze" lub "silniejsze" mamy na myśli wartość strumienia pola magnetycznego obejmującego przewód. W wyniku zmian pola magnetycznego w przewodzie zaczyna płynąć prąd tzw. prąd indukcyjny, którego przepływ jest wywołany względnym ruchem przewodu i magnesu (niezależnie od tego czym poruszamy). Uogólniając można stwierdzić, że zmienne pole magnetyczne wymusza czyli indukuje powstanie i przepływ prądu w przewodzie.



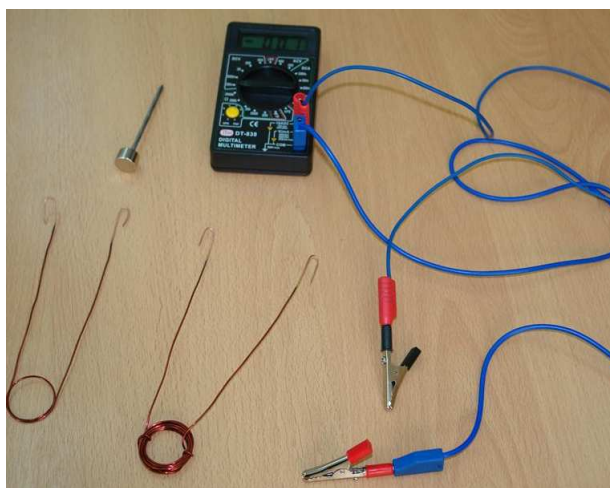
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.2. Siła elektromotoryczna indukowana i prąd w cewce (magnes jest wprowadzany do wnętrza zwojnicy)

Cel: badanie powstawania prądu indukcyjnego w cewce

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- gwóźdź
- 2 cewki o różnych liczbach zwojów
- 2 przewody zakończone złączem krokodylowym
- miernik



Zdjęcie 1. Elementy z zestawu doświadczalnego potrzebne do wykonania doświadczenia

Wykonanie:

Włącz miernik i wybierz odpowiedni zakres pomiarów dla prądu przemiennego. Podłącz przewody do miernika, a następnie połącz je jedną z cewek. Trzymaj cewkę w górze jedną ręką, a drugą ręką przysuwaj i odsuwaj gwóźdź z magnesem do cewki. Zaobserwuj wskazania miernika. Odwróć magnes, jakie są teraz wskazania miernika? Trzymaj magnes nieruchomo, a poruszaj cewką - zbliżaj i oddalaj ją. Co wskazuje miernik? Powtórz wszystkie czynności dla drugiej cewki. Zwróć uwagę na wskazania miernika.

Wyjaśnienie:

W doświadczeniach miałeś do czynienia ze zjawiskiem powstawania prądu indukcyjnego w cewce, którego przyczyną były: ruch magnesu względem cewki, ruch cewki względem magnesu. Ogólnie można powiedzieć, że względny ruch cewki i magnesu indukuje w cewce przepływ prądu, co rejestruje miernik - jego wskazania.

Najbardziej dokładne jest stwierdzenie, że zmienne pole magnetyczne powoduje przepływ prądu elektrycznego przez cewkę. Wewnątrz przewodu, z którego zbudowana jest cewka znajdują się elektrony. Zmienne pole magnetyczne przyczynia się do "popchnięcia" niektórych elektronów - do wprowadzenia ich w ruch. Większość elektronów porusza się w tę samą stronę tzn. w określonym kierunku wzdłuż przewodu - cewki. Wprowadzenie w ruch elektronów nazywane jest siłą elektromotoryczną - w skrócie SEM, a za jej powstanie



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

odpowiada siła magnetyczna.

Mówiąc, że zmienia się pole magnetyczne mamy na myśli zmianę strumienia pola magnetycznego Φ :

$$\Phi = BS,$$

gdzie B - indukcja magnetyczna, S - pole powierzchni objęte przez strumień.

W naszym przypadku S jest stałe. Gdy przysuwamy magnes w czasie Δt , to B rośnie i równocześnie wzrasta Φ . Gdy odsuwamy magnes, to B i maleje Φ . Podsumowując zmiana strumienia jest równa:

$$\Delta\Phi = BS$$

Gdy strumień pola magnetycznego przechodzący przez pętlę (cewkę) zmienia się w czasie, to SEM jest równa szybkości zmian tego strumienia. Dla cewki o n zwojach SEM jest równa:

$$\mathcal{E} = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Wsuwając magnes do cewki powodujemy wzrost strumienia, ponieważ rośnie indukcja pola magnetycznego. Indukowany prąd wytwarza własne pole magnetyczne, którego zwrot jest przeciwny do zwrotu pola magnetycznego magnesu. Gdy odsuwamy magnes, strumień maleje, bo maleje indukcja pola magnetycznego. Wówczas indukowany prąd zmienia kierunek przepływu, dlatego na mierniku pojawiały się przeciwne znaki - raz minus a za chwilę plus. Równocześnie zmienia się zwrot pola magnetycznego wytwarzanego przez prąd w cewce. Ogólnie można powiedzieć, że indukowany prąd próbuje przeciwstawić się zmianom strumienia. Jest to tzw. reguła Lenza.

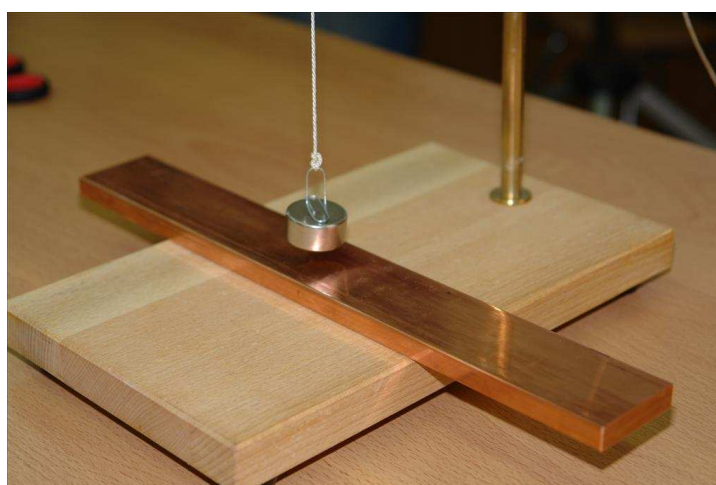
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.a. Leniwe wahadło

Cel: badanie powstawania prądów wirowych

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- spinacz
- sznurek
- statyw
- miedziana sztabka



Zdjęcie 1. Leniwe wahadło

Wykonanie:

Przywiąż sznurek do spinacza. Spinacz połóż na magnesie. Na podstawie statywu pod magnesem połóż miedzianą sztabkę. Wychyl magnes z położenia równowagi. Przyjrzyj się, jak zachowuje się magnes.

Wyjaśnienie:

Z poprzednich doświadczeń wiesz, że zmienne pole magnetyczne indukuje przepływ prądu w przewodniku. W tym doświadczeniu jest podobnie. Magnes wychylony z położenia równowagi porusza się jak wahadło, ale w zwolnionym tempie. Przyczyną takiego ruchu magnesu jest miedziana sztabka, a dokładnie to, co się dzieje z elektronami przewodnictwa w jej wnętrzu, z pewnością pamiętasz, że miedź jest przewodnikiem. Nad sztabką znajduje się wahający się magnes. Zmienne pole magnetyczne (magnes się porusza) powoduje, że wewnątrz sztabki indukują się prądy, tak samo jak w przypadku cewki. Elektrony przewodnictwa w miedzi nie poruszają się po jednym torze (tak jak to było w przypadku cewki), ale krążą po różnych torach. Elektrony poruszają się w taki sposób, jakby znajdowały się w wodnym wirze. Prądy te nazywane są prądami wirowymi lub prądami Foucaulta. Powstaniu prądów wirowych towarzyszy wydzielanie się energii termicznej. Gdyby to sztabka się poruszała względem magnesu, to jej energia mechaniczna byłaby zamieniana w energię termiczną czyli ciepło. W wyniku ich istnienia magnes napotyka na siłę przeciwdziałającą jego ruchowi, dlatego porusza się z pewnym opóźnieniem.

Korzystając z prawa Ohma wiemy, że wartość prądu wirowego zależy od oporu obwodu. W



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

przypadku przewodnika o dużej masie - takiego jak sztabka miedziana, wartość oporu jest mała. Z kolei mała wartość oporu umożliwia powstanie prądów wirowych o znacznej wartości, nawet gdy pole magnetyczne zmienia się wolno. Wartość natężenia prądów wirowych można obliczyć w przybliżeniu ze wzoru:

$$I_{\text{wir}} \sim f B_{\text{max}} \sigma,$$

gdzie f - częstotliwość zmian pola magnetycznego, B_{max} - amplituda zmian indukcji,
 σ - przewodność właściwa ciała.



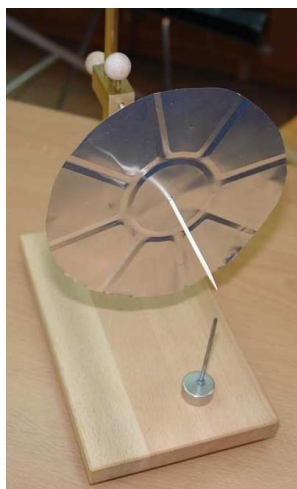
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.b. Hamulec elektromagnetyczny

Cel: badanie wpływu prądów wirowych na ruch tarczy

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- gwóźdź
- statyw (z cienkim ramieniem)
- tarcza aluminiowa w kształcie koła



Zdjęcie 1. Hamulec elektromagnetyczny.

Wykonanie:

Do statywu przymocuj cienkie ramię, a na nie nałóż aluminiową tarczę. W pobliżu tarczy ustaw magnes, a na nim gwóźdź. Zakręć delikatnie tarczę. Zaobserwuj, jak porusza się tarcza.

Wyjaśnienie:

Tak jak w poprzednim doświadczeniu 7.3.a mamy do czynienia z prądami wirowymi. Tym razem jednak magnes się nie porusza, ale w ruch jest wprawiona tarcza aluminiowa. Aluminium tak jak miedź jest przewodnikiem prądu. Poszczególne "kawałki" tarczy zbliżają i odsuwają się od źródła pola magnetycznego czyli od magnesu. Wybierając jeden mały "kawałek" tarczy możemy powiedzieć, że znajduje się w zmiennym polu magnetycznym, więc w jego wnętrzu indukuje się prąd elektryczny. Składając wszystkie "kawałki" w tarczę, można powiedzieć, że cała tarcza znajduje się w niejednorodnym (czyli zmiennym) polu magnetycznym. Dlatego w całej tarczy indukują się prądy wirowe, dzieje się to wewnątrz przewodzącej aluminiowej płyty. Należy pamiętać, że prądy wirowe są prądami zmiennymi. Powstałe prądy wirowe powodują, że płyta obraca się tak, jakby była dodatkowo przez coś zatrzymywana - przez jakąś dodatkowo działającą siłę.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.c. Pijany magnes

Cel: badanie przyczyny krzywoliniowego ruchu magnesu na miedzianej równi

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- miedziana sztabka



Zdjęcie 1. Sposób przeprowadzenia doświadczenia

Wykonanie:

Zbuduj równię pochyłą ze sztabki miedzianej i np. pudełka po zapalkach (tak jak pokazano to na zdjęciu powyżej). Na szczycie równi ustaw magnes ("na kant") i przyjrzyj się, w jaki sposób się porusza. Zmień kąt nachylenia równi poprzez zmianę punktu jej podparcia czyli ustawienie pudełka. Czy zmiana kąta nachylenia równi zmienia tor ruchu magnesu? Kładź magnes w różnych punktach równi i obserwuj, jak się porusza.

Wyjaśnienie:

Na pewno zauważyłeś, że niezależnie od kąta nachylenia i położenia początkowego magnesu porusza się on po pewnej krzywej. Można nawet powiedzieć, że zatacza się od prawej do lewej strony dopóki nie opuści równi.

Gdy magnes był postawiony na szczycie równi, zaczął poruszać się w dół i oddalał się od szczytu równi. Tak więc szczyt równi znalazł się pod wpływem działania zmiennego pola magnetycznego, co wywołało z kolei powstanie pola elektrycznego wewnątrz sztabki. Innymi słowy w jej wnętrzu popłynął prąd. Jak wiesz przepływowi prądu towarzyszy powstanie pola magnetycznego. Zwrot wyindukowanego pola magnetycznego wewnątrz sztabki przeciwstawiał się przyczynie, która go wywołała. To stwierdzenie nazywane, jak pamiętasz, regułą Lenza. Ponieważ magnes oddalał się od szczytu, więc wyindukowane pole magnetyczne miało taki zwrot, aby go przyciągnąć w górę. Poruszanie się magnesu od lewej do prawej jest wynikiem istnienia prądów wirowych w sztabce, które z kolei przyczyniły się do powstania pola magnetycznego w sztabce.

Podsumowując: przyczyną krzywoliniowego toru ruchu magnesu jest powstawanie prądów wirowych wewnątrz miedzianej sztabki.



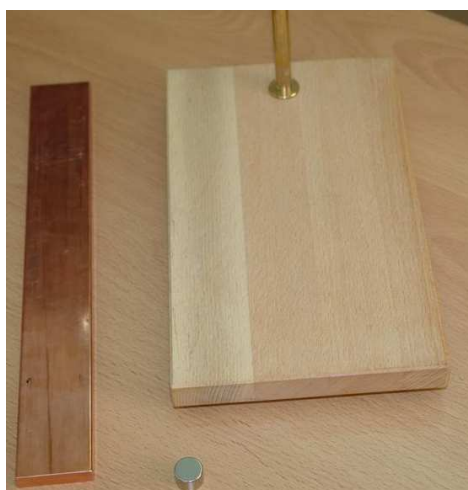
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.d. Magnes zsuwający się po miedzianej równi

Cel: badanie przyczyny zsuwania się magnesu na miedzianej równi

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- miedziana sztabka
- statyw



Zdjęcie 1. Potrzebne elementy z zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Oprzyj miedzianą sztabkę o statyw. Na szczycie równi połóż magnes (tym razem "płasko", tak jak pokazano na zdjęciu). Zaobserwuj, w jaki sposób porusza się magnes. Odwróć magnes i przyjrzyj się jego ruchowi.

Wyjaśnienie:

Jest to kolejne doświadczenie potwierdzające istnienie prądów wirowych. Magnes nie porusza się szybko po równi, jak podpowiada intuicja, ale zsuwa się powoli. Gdyby na magnes działała tylko siła grawitacji, to zsunąłby się w krótszym czasie. Zastanówmy się dlaczego magnes zsuwa się wolniej.

Wyberzmy jeden punkt na równi - niech będzie to punkt znajdujący się w połowie długości sztabki. Gdy magnes zsuwa się ze szczytu, zbliża się do środka, ale gdy go minie - oddala się od niego. Środek równi znajduje się pod wpływem zmiennego pola magnetycznego. Najpierw indukcja tego zmiennego pola wzrasta - zbliżający się magnes, a gdy już minie środek indukcja pola maleje. Dla dowolnego punktu na miedzianej równi pole magnetyczne ulega zmianie. Powoduje ono powstanie wewnątrz sztabki przepływu prądu, elektrony przewodnictwa poruszają się po różnych torach. Powstają prądy wirowe, które z kolei spowalniają ruch magnesu w dół. Dzieje się tak, ponieważ przepływowi prądu towarzyszy powstanie pola magnetycznego. Jak wiesz, zwrot pola jest taki, że przeciwstawia się przyczynie go wywołującej czyli poruszającemu się magnesowi. Wyindukowane pole magnetyczne przeciwstawia się ruchowi magnesu i dlatego zsuwa się on wolniej niż podpowiadała intuicja.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.e. Spadający magnes w miedzianej rurze (bez nacięć i z nacięciami)

Cel: badanie ruchu magnesu w miedzianej rurze

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- miedziana rura bez nacięć
- miedziana rura z nacięciami



Zdjęcie 1. Sposób wykonania doświadczenia.

Wykonanie:

Do miedzianej rury bez otworów wrzucić magnes tak, aby nie dotykał jej ścian. Popatrz, jak magnes porusza się w jej wnętrzu. Ten sam magnes wrzucić do miedzianej rury z nacięciami. Jak się tym razem porusza? Porównaj czas spadania magnesu w obu rurach.

Wyjaśnienie:

W przypadku rury miedzianej bez nacięć magnes poruszał się w charakterystyczny sposób, który nazywany jest lewitacją. Czas jego spadania był dłuższy niż w przypadku rurki z nacięciami.

Poruszający się wewnątrz rury bez nacięć magnes wywołał powstanie przepływu prądu. Ponownie mamy do czynienia ze zmiennym polem magnetycznym, które wywołuje przepływ prądu. Po raz kolejny są to prądy wirowe, gdyż mamy do czynienia z rurą, a nie przewodem. Są one zmienne, dlatego indukują pole magnetyczne wewnątrz rury, które przeciwstawia się ruchowi magnesu. Można powiedzieć, że prądy wirowe powstrzymują - spowalniają ruch magnesu w dół.

Wykonując dokładnie to samo doświadczenie z rurą z nacięciami widać, że magnes zachowuje się inaczej - spada szybciej. Przyczyną tego szybszego ruchu są nacięcia w rurze. Szczeliny znajdujące się w rurze uniemożliwiają powstawanie prądów wirowych na dużą skalę (w porównaniu do rury bez nacięć). W tej sytuacji indukowane pole magnetyczne wewnątrz rury nie wywiera dużego wpływu na ruch magnesu.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

7.3.f. Łagodnie lądujący magnes

Cel: badanie przyczyny łagodnego lądowania magnesu

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- magnes neodymowy
- gwóźdź
- miedziana sztabka



Zdjęcie 1. Potrzebne środki dydaktyczne.

Wykonanie:

Położ gwóźdź na magnecie. Na stole ułóż miedzianą sztabkę. Z pewnej wysokości puść magnes z gwóździem. Przyjrzyj się, jak magnes ląduje na sztabce. Puść magnes z innej wysokości. Czy lądowanie wyglądało podobnie jak w poprzedniej sytuacji?

Wyjaśnienie:

Magnes spadając zbliża się do sztabki, więc mamy do czynienia ze zmiennym polem magnetycznym (niezależnie od wysokości, z jakiej spada), a dokładnie z rosnącą indukcją pola magnetycznego. Pamiętaj, że zmienne pole magnetyczne powoduje przepływ prądu wewnątrz przewodnika - miedzi. Nasz przewodnik ma dużą powierzchnię, więc są to prądy wirowe. To one są odpowiedzialne za "miękkie" lądowanie magnesu. Prądy wirowe przyczyniają się do powstania pola magnetycznego wewnątrz sztabki. Zgodnie z regułą Lentz'a pole magnetyczne przeciwstawia się przyczynie, która je wywołała. Innymi słowy sztabka odpycha magnes i tym samym zapewnia mu łagodne lądowanie.



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

8.1. Latarka "dynamo"

Cel: pokazanie praktycznego zastosowania indukcji elektromagnetycznej

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- latarka "dynamo"



Zdjęcie 1. Latarka "dynamo".

Wykonanie:

Naciskaj kilkakrotnie na rączkę latarki. Co się dzieje? Jak myślisz z jakim zjawiskiem masz do czynienia?

Wyjaśnienie:

Działanie tej latarki opiera się o zjawisko indukcji elektromagnetycznej i zasadę działania dynama rowerowego tzn. energia mechaniczna zamieniana jest w energię elektryczną. Naciskając na rączkę latarki wykonujemy pracę i w jej wyniku rączka zyskuje energię kinetyczną czyli jeden z rodzajów energii mechanicznej. Wewnątrz latarki znajduje się koło zębate, które wprowadzane jest w ruch poprzez naciśnięcie rączki. Powoduje ono ruch, a dokładnie obracanie się zwojnicy umieszczonej w polu magnetycznym. Pole magnetyczne pochodzi od magnesu znajdującego się wewnątrz zwojnicy. Jak wiesz względny ruch przewodu i magnesu powoduje przepływ prądu. Za pomocą przewodu prowadzącego od zwojnicy do żarówki doprowadzany jest ten prąd indukcyjny, a dzięki niemu żarówka świeci. Jeśli będziesz szybciej naciskał na rączkę żarówka zacznie jaśniej świecić, ponieważ napięcie prądu indukcyjnego będzie miało większą wartość. Napięcie prądu zależy od: ilości obrotów zwojnicy, ilości zwojów oraz od indukcji pola magnetycznego czyli od tego, jaki magnes znajduje się w zwojnicy.

Tego typu latarka jest przykładem prostego generatora prądu czyli prądnicy. Prądnica to urządzenie służące do zamiany energii mechanicznej na elektryczną, którego działanie opiera się o zjawisko indukcji elektromagnetycznej.



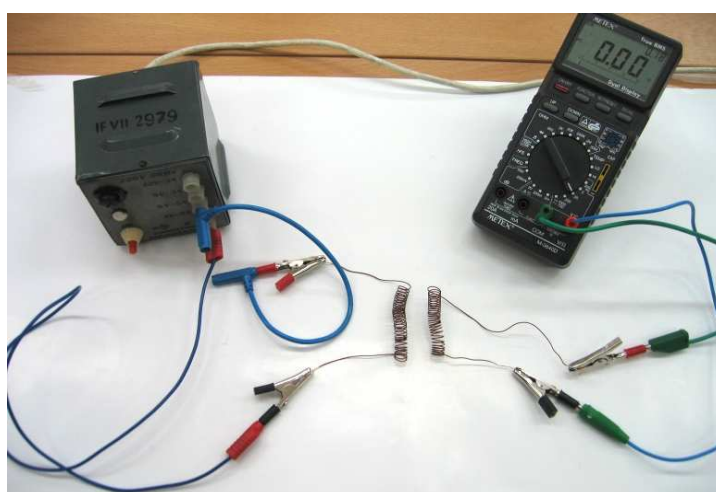
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

9.1. Transformator bez rdzenia (czyli zwojnica)

Cel: badanie sposobów wywołania przepływu prądu indukcyjnego

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwie zwojnice,
- cztery przewody ze złączami krokodylowymi
- miernik
- generator prądu (nie należy do zestawu TPiSS)



Zdjęcie 1. Sposób połączenia elementów zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Jedną ze zwojnic za pomocą przewodów podłącz do generatora prądu stałego. Drugą zwojnicę podłącz do miernika. Poruszaj drugą zwojnicą przybliżając i oddalając ją od pierwszej. Jakie są wskazania miernika? Poruszaj zwojnicą podłączoną do generatora. Czy miernik coś pokazuje? Połóż obie zwojnice, a w pierwszej włączaj i wyłączaj dopływ prądu. Co pokazuje miernik? Ustaw generator tak, aby wytwarzał zmienny prąd. Jakie są wskazania miernika?

Wyjaśnienie:

Zastanówmy się nad pierwszą sytuacją - poruszania zwojnicą. Wewnątrz zwojnicy podłączonej do generatora płynie prąd stały, który powoduje powstanie wokół niej pola magnetycznego. Przysuwając i odsuwając drugą zwojnicę powodujemy, że znajduje się ona w zmiennym polu magnetycznym. Z kolei zmienne pole magnetyczne wywołuje przepływ prądu indukcyjnego w tej zwojnicy i miernik wskazuje napięcie tego prądu. Gdy przysuwamy i odsuwamy zwojnicę podłączoną do generatora mamy do czynienia z analogiczną sytuacją. Tzn. druga zwojnica znajduje się w zmiennym polu magnetycznym, które wywołuje przepływ prądu. Uogólniając można powiedzieć, że względny ruch zwojnic indukuje prąd, pod warunkiem, że jedna jest podłączona do źródła napięcia.

Drugie doświadczenie różni się nieco od pierwszego. Po pierwsze nie mamy do czynienia ze względnym ruchem zwojnic, a prąd indukcyjny nadal płynie - świadczą o tym wskazania miernika. Tym razem włączanie i wyłączanie generatora, powoduje w zwojnicy podłączonej



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

do niego na zmianę płynięcie i nie płynięcie prądu. W związku z tym pole magnetyczne wokół tej zwojnicy powstaje i zanika, czyli jest zmienne. Zmiana pola magnetycznego jest koniecznym warunkiem powstania prądu indukcyjnego w drugiej zwojnicy. Wskazanie miernika potwierdza przepływ prądu w drugiej zwojnicy.

Trzecie doświadczenie jest zdecydowanie inne niż dwa poprzednie, ponieważ przez przewód przepływa prąd zmienny. W zwojnicy podłączonej do zmiennego źródła napięcia powstaje zmienne pole magnetyczne, które z kolei wywołuje przepływ prądu w drugiej zwojnicy. Miernik ponownie wskazuje wartości napięcia.

We wszystkich trzech doświadczeniach wartości napięcia pokazywanego przez miernik zmieniały, nie była to stała wartość. Przyczyną tego jest fakt, że zmienne pole magnetyczne indukuje zmienny prąd tzn. prąd, którego napięcie zmienia się w czasie. Prąd taki nazywany jest także prądem zmiennym.

Podsumowując: aby wywołać przepływ prądu indukcyjnego wcale nie trzeba dysponować magnesem stałym, wystarczy w dowolny sposób wytworzyć zmienne pole magnetyczne. Prąd indukcyjny jest prądem zmiennym. Urządzenia wykorzystujące omówione powyżej zjawisko nazywane są transformatorem.

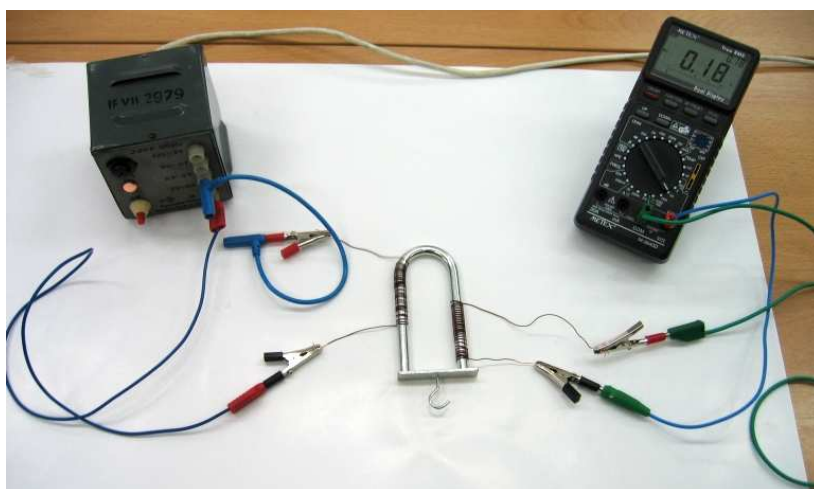
TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

9.2. Transformator z rdzeniem

Cel: badanie zasady działania transformatora

Środki dydaktyczne: z zestawu doświadczalnego TPiSS:

- dwie zwojnice o różnej liczbie zwojów,
- rdzeń np. ze stali
- cztery przewody ze złączami krokodylowymi
- miernik
- generator prądu (nie należy do zestawu TPiSS)



Zdjęcie 1. Sposób połączenia elementów zestawu doświadczalnego.

Wykonanie:

Nałóż zwojnice na stalową podkowę. Jedną ze zwojnic za pomocą przewodów podłącz do generatora prądu przemiennego, a drugą podłącz do miernika. Zanotuj maksymalne napięcie wytwarzane przez generator i maksymalne napięcie wskazane przez miernik. Zmierz napięcie na transformatorze i podobnie zanotuj odczyt. Możesz kilkakrotnie zmieniać napięcie generatora, odczytywać i notować wskazania miernika. Policz ilość zwojów w każdej zwojnicy. Czy zauważyłeś jakąś zależność?

Wyjaśnienie:

Doświadczenie pokazuje, jak działa i do czego służy transformator. Zajmiemy się najpierw sposobem działania. Z doświadczenia 9.1 wiesz, że zmienny prąd płynący przez zwojnicę podłączoną do prądu wywołuje powstanie zmiennego pola magnetycznego, które z kolei przyczynia się do powstania zmiennego prądu indukcyjnego w drugiej zwojnicy. Zwojnica podłączona do generatora nazywana jest uzwojeniem pierwotnym, a druga zwojnica nosi nazwę uzwojenia wtórnego. Stalowa podkowa, na której znajdują się uzwojenia, nazywa się rdzeniem. Natomiast cały układ to transformator.

Zauważyłeś na pewno, że po tej stronie, po której znajduje się więcej zwojów, płynie prąd o większym napięciu (porównaj maksymalne napięcia). Transformator zamienia wartość generowanego napięcia na inną wartość za pomocą różnej liczby zwojów wtórnych i pierwotnych. Istnieje zależność między napięciem a ilością zwojów, która nazywana jest przekładnią transformatora:



TPSS - Teaching Physics in Secondary School – doświadczenia z elektromagnetyzmu

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1},$$

gdzie:

U_2 - napięcie na uzwojeniu wtórnym,

U_1 - napięcie na uzwojeniu pierwotnym,

n_2 - liczba zwojów uzwojenia wtórnego,

n_1 - liczba zwojów uzwojenia pierwotnego.

Zmieniając liczbę zwojów, możemy zmienić wartość napięcia prądu indukowanego. Jest to bardzo pożyteczne podczas przesyłania energii elektrycznej na duże odległości np. z elektrowni do Twojego domu. Przez linie przesyłowe płynie prąd o bardzo dużym napięciu - nazywane są liniami wysokiego napięcia, natomiast domowe urządzenia korzystają z prądu o napięciu 230V. Po drodze znajdują się transformatory obniżające napięcie do 230V.