

Właściwości magnetyczne substancji

1. Wstęp

Z magnetyzmem często stykamy się w naszym życiu od prostego przykładu jakim jest magnes na lodówkę, przez kompas, do wykorzystującego to zjawisko silnika elektrycznego. Działanie pola magnetycznego ludzkość zauważa już od tysiącleci, między 636 a 546 rokiem p.n.e. Tales z Miletu opisał przyciąganie żelaza do magnetytu, lecz nie potrafił tego wytłumaczyć, myślał że materiały te mają dużej. Pomimo, iż dzisiaj mało kto używa tradycyjnych kompasów, ponieważ do nawigacji wykorzystujemy ogólnodostępną technologię GPS to przełomowym odkryciem było wynalezienie igły magnetycznej. Opisał to w 1088 roku Chiński naukowiec Shen Kuo, a pierwsze wzmianki o wykorzystaniu tego wynalazku do nawigacji w Europie znajdziemy w opublikowanym w 1190 roku w Paryżu tekście angielskiego mnicha Alexandra Neckhama pod tytułem *De naturis rerum (O naturze rzeczy)*. Do dziś nie zostały zbadane i wyjaśnione wszystkie zagadki związane z polem magnetycznym. Jedną z nich, to wciąż niewyjaśnione jak dokładnie powstały bieguny magnetyczne ziemi.

Postanowiliśmy opisać kilka interesujących doświadczeń, związanych z magnetyzmem, których efekty nie dla każdego są oczywiste.

2. Czym właściwie jest magnes?

Poza rudami, które naturalnie wytwarzają pole magnetyczne (np. magnetyt i piryt), magnes jest ciałem wykazującym właściwości ferromagnetyczne, nazywanym stale twardym, czyli jest to metal, który można namagnesować zewnętrznym polem magnetycznym i utrzymuje on właściwości magnetyczne na długi czas. Ferromagnetyki namagnesowują się spontanicznie, dzielimy je na:

- **twarde** – zachowują stan namagnesowania, mimo zmian zewnętrznego pola magnetycznego;
- **miękkie** – po oddaleniu od źródła zewnętrznego pola magnetycznego tracą namagnesowanie;
- **półtwarde** – można je łatwo namagnesować i utrzymują one stan namagnesowania, lecz równie łatwo jest ten stan usnąć lub odwrócić jego polaryzację.

W poniższych doświadczeniach wykorzystujemy magnesy neodymowe. Ich proces produkcji różni się od opisanego wcześniej, ich skład to neodym, żelazo i bor, które sproszkowane są sprasowane w polu magnetycznym i podwyższonej temperaturze. Główną zaletą jest wytwarzanie silniejszego pola magnetycznego.

3. Diamagnetyzm wody i paramagnetyzm siarczanu(VI) manganu(II) oraz chlorku żelaza(III)

Czy woda w jakikolwiek sposób oddziałuje z polem magnetycznym? Sprawdziliśmy to! Nalaliśmy wody do akwarium i do małej plastikowej probówki. Probówkę szczelnie zamknęliśmy i ustawiliśmy na pływającej w akwarium podstawce. Zbliżyliśmy magnes i woda na prowizorycznej łódce zaczęła się od niego oddalać.

Doświadczenie prezentuje, że **woda** wykazuje właściwości diamagnetyczne, czyli pod wpływem działania zewnętrznego pola magnetycznego indukuje pole przeciwne i osłabia działanie pola zewnętrznego. Jej podatność magnetyczna to tylko $-8,8 \cdot 10^{-6}$, więc gdy zbliżaliśmy do niej silny magnes oddalała się bardzo powoli.

Równie słabo jak woda z polem magnetycznym reaguje **chlerek żelaza(III)**. Jest to jednak oddziaływanie zupełnie odwrotne – FeCl_3 jest przyciągany przez magnes, czyli wykazuje właściwości paramagnetyczne. Paramagnetyki magnesują się w kierunku zgodnym do zewnętrznego pola magnetycznego, dlatego są przyciągane.

FILM: 3.2. *Paramagnetyzm i diamagnetyzm – chlerek żelaza(III)*

Mocniejszym paramagnetykiem jest **siarczan(VI) manganu(II)**, który zdecydowanie szybciej podąża za magnesem. Wartość jego podatności magnetycznej jest większa niż chlorku żelaza(III).

FILM: 3.3. *Paramagnetyzm i diamagnetyzm – siarczan(VI) manganu(II)*

Dodatkowo stężony roztwór siarczanu(VI) manganu(II) umieściliśmy w dichlorometanie. Gęstość roztworu soli została tak dobrana, aby była bliska gęstości dichlorometanu.

FILM: 3.4. *Paramagnetyzm i diamagnetyzm – siarczan(VI) manganu(II) w dichlorometanie*

Podatność magnetyczną paramagnetyków opisuje prawo Curie, które uzależnia ją od temperatury. Poniżej pewnej temperatury, różnej dla każdego ciała paramagnetycznego, zwanej punktem Curie, niektóre paramagnetyki stają się ferromagnetykami.

Prawo Curie jest określone wzorem: $X_m = \frac{C}{T}$, gdzie C to stała Curie (zależna od rodzaju substancji), a T to temperatura bezwzględna danej substancji.

4. Efekt Curie

Niektóre pierwiastki zmieniają swoje właściwości magnetyczne w zależności od tego jak bardzo je podgrzejemy. Powyżej pewnej temperatury, zwanej temperaturą Curie, ferromagnetyk gwałtownie traci swoje właściwości magnetyczne i staje się paramagnetykiem. Wykonaliśmy pętelkę z aluminium. Na tej pętelce starannie owinęliśmy cienki drut niklowy, który jest silnie przyciągany przez magnes – jest ferromagnetykiem. Całość zawiesiliśmy na swobodnie poruszającym się aluminiowym ramieniu. W pewnej odległości od zwisającej pętelki zamocowaliśmy magnes, całość natychmiast została przyciągnięta. Równo pod częścią, która owinięta była niklem podstawiliśmy płomień świecy, po chwili ramię oddaliło się od magnesu po czym ponownie powróciło nad płomień, zaczęło wykonywać powtarzający się ruch. Kiedy nikiel został podgrzany do właściwej dla tego pierwiastka temperatury Curie, czyli 627K, utracił swoje właściwości ferromagnetyczne i stał się paramagnetykiem, lecz bardzo szybko się ochłodził i ponownie zaczął być przyciągany. Zjawisko to opisuje prawo Curie-Weissa, które określa zależność podatności magnetycznej ferromagnetyków od temperatury i jest wyrażone wzorem $X_m = \frac{C}{T - T_c}$, gdzie C to stała Curie-Weissa, różna dla każdego pierwiastka,

T – temperatura, T_c – temperatura Curie, dla danego pierwiastka. W szczególnym przypadku, gdy $T \gg T_c$, to prawo asymptotycznie utożsamia się z prawem Curie omówionym w poprzednim punkcie.

FILM: 4. *Efekt Curie*

5. Lewitacja magnetyczna

Lewitacja magnetyczna, to bardzo interesujący rodzaj lewitacji, czyli unoszenia się ciała bez kontaktu mechanicznego z podłożem. Zachodzi pod wpływem sił i oddziaływań pola magnetycznego i elektromagnetycznego, które równoważą siłę wynikającą z grawitacji lub innych czynników.

Szalenie ciekawa jest kwestia lewitacji nadprzewodnikowej idealnych diamagnetyków, związana z efektem Meissnera, jednak niestety nie mieliśmy potrzebnych materiałów do wykonania doświadczenia. Zamiast tego zajęliśmy się lewitacją jednego z najsilniejszych diamagnetyków w temperaturze pokojowej – grafitu.

W celu fizycznego zgłębienia tematu należałoby wspomnieć twierdzenie Earnshawa:

W pustej przestrzeni nie istnieje żadna statyczna (czyli niezmiennąca się w czasie) konfiguracja pól elektrycznych, magnetycznych i grawitacyjnych, dla której energia potencjalna miałaby lokalne minimum.

Wyjaśnia to m.in., że nie można umieścić swobodnie jednego magnesu nad drugim, tak, aby oba się odpychały i jeden z nich lewitował.

Nie jest ono jednak prawdziwe dla diamagnetyków, które zachowują się przeciwnie do ferromagnetyków z powodu ich odmiennej przenikliwości magnetycznej (czyli zdolności do zmiany indukcji magnetycznej pod wpływem natężenia pola magnetycznego). Jak wiemy diamagnetyk pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego, tworzy przeciwne pole – odpychając się od źródła pola zewnętrznego. Wszystkie substancje mają właściwości diamagnetyczne, jednak są one bardzo słabe i zwykle przeważają właściwości paramagnetyczne lub ferromagnetyczne, działające (na poziomie makroskopowym) w odwrotny sposób. Z tego powodu efekt jest bardzo słaby i pozwala na lewitację m.in. bardzo cienkich kawałków grafitu pirolitycznego lub bizmutu nad dosyć silnym magnesem stałym.

FILM: [5.1. Lewitacja magnetyczna grafitu](#)

Jako że woda jest również diamagnetykiem, ta technika może być użyta do lewitacji wody, a nawet żyjących zwierząt, jednak do tego potrzebne są ogromne pola magnetyczne, rzędu 16 tesli.

Innym diamagnetykiem jest bizmut, który może zostać użyty do stabilizacji lewitacji lekkiego magnesu neodymowego w zewnętrznym polu magnetycznym. Mały magnes jest przyciągany przez umieszczony nad nim duży magnes oraz odpychany przez diamagnetyczny bizmut.

FILM: [5.2. Lewitacja magnetyczna stabilizowana bizmutem](#)

6. Ferrofluid

Ferrofluid to substancja o właściwościach możliwie zbliżonych do cieczy, która w odróżnieniu od typowych cieczy jest w warunkach pokojowych dobrym paramagnetykiem i ulega silnej polaryzacji magnetycznej w obecności zewnętrznych pól magnetycznych.

FILM: [6. Ferrofluid](#)

Są to roztwory około 5% nanocząsteczek magnetytu, hematytu lub innej substancji zawierającej żelazo (najczęściej poniżej 10 nm), 10% surfaktanta – kwasu oleinowego lub cytrynowego zapobiegającemu łączeniu się i sedymentacji drobin oraz 85% cieczy nośnej – zwykle wody lub rozpuszczalnika organicznego.

7. Podsumowanie

Pole magnetyczne znajduje bardzo szerokie zastosowanie w wielu dziedzinach naukowych, jak i w codziennym życiu człowieka. Temat jest tak rozbudowany, że możliwości jego wykorzystania są ograniczone tylko przez ludzki umysł. Efekty naszych doświadczeń mogą być zaskakujące dla wielu ludzi, ponieważ szerokie spektrum możliwości jakie daje nam magnes jest dla nich często nieznane.

8. Bibliografia

- <http://pl.wikipedia.org/>
- <http://www.magnesy-neodymowe.net.pl/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=mUz1ZaIHvDs>
- <http://portalwiedzy.onet.pl/>
- <http://wiki.wolnepodreczniki.pl/Fizyka:Gimnazjum/Magnetyzm>
- <http://www.fizyka.umk.pl/~wj/EDU/KTM/w14ab.pdf>
- <http://www.magnesy.net/>

Wszystkie filmy z doświadczeniami są dostępne w serwisie YouTube. Playlista ze wszystkimi filmami:
http://www.youtube.com/playlist?list=PLwaOsX8-uhZbQ05js93He_68eg65zFW37