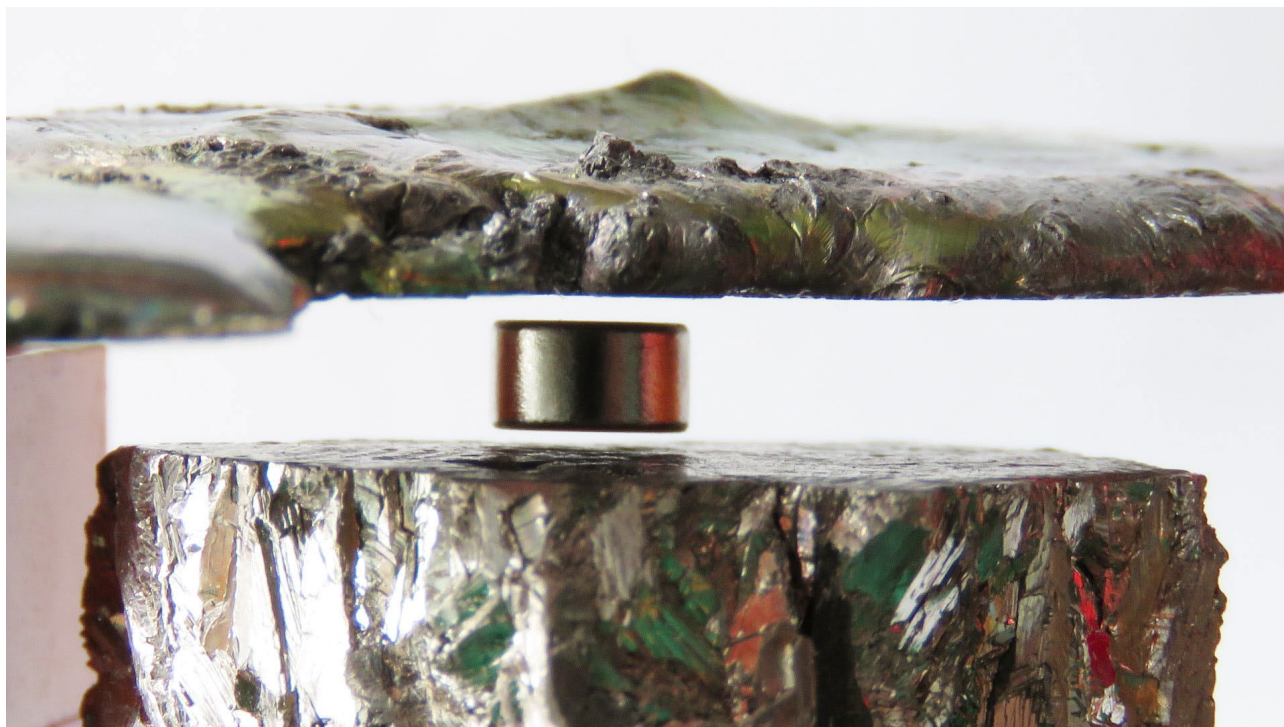




Lewitacja magnesu neodymowego nad bizmutem

Czy wiedziałeś, że diamagnetyczna woda w ciele żaby pozwala jej na lewitację w silnym polu magnetycznym? Ty też możesz zrealizować eksperyment demonstrujący siłę diamagnetyzmu. Sprawdź, jak zmusić magnes do lewitacji nad bizmutem i na co uważać podczas prób.

Nieudane eksperymenty

Przykłady udanej lewitacji

Lewitacja z wykorzystaniem bizmutu

Opis realizacji

eksperymentu

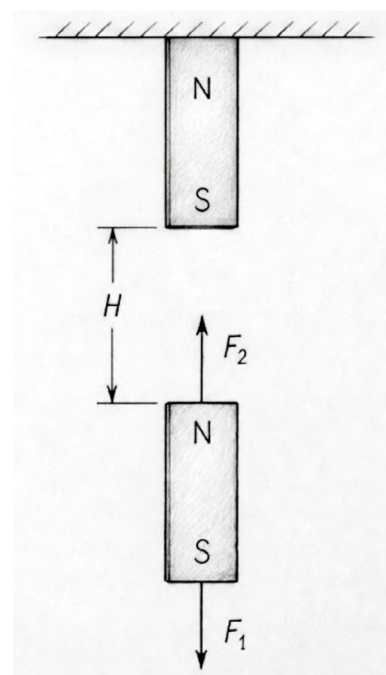
Ostrzeżenie

Nieudane eksperymenty

Chyba każdy z nas w dzieciństwie eksperymentował z magnesami, obserwując, jak się przyciągają i odpychają. Być może próbowaliśmy nawet ustawić je tak, aby jeden z nich zawisł w powietrzu. Jeśli ta sztuka nam się nie udała, to winą za nasze niepowodzenie należy obarczyć Samuela Earnshawa. To właśnie ten naukowiec w 1842 roku sformułował twierdzenie, które w dużym uproszczeniu mówi: stabilna lewitacja statyczna samych magnesów stałych jest niemożliwa.

Jeśli spróbujemy położyć jeden magnes na drugim, tak aby odpychany unosił się w powietrzu, ten momentalnie obróci się i zostanie przyciągnięty. Niepo-

wodzenie spotka nas także wtedy, gdy zechcemy wykorzystać siłę przyciągania. Spójrzmy na **rysunek 1**. Zmieniając odległość H , możemy sprawić, że siła grawitacji F_1 zostanie idealnie zrównoważona przez siłę przyciągania magnetycznego F_2 .



Rysunek 1

Problem jednak w tym, że układ ten jest całkowicie niestabilny. Jeśli dolny magnes choć odrobinę oddali się od górnego, F_1 przeważa nad F_2 , przez co znacznie on opadać, a dalsze zwiększanie odległości jeszcze bardziej osłabi F_2 i magnes po prostu spadnie. Z kolei gdy odległość między nimi choćby na moment stanie się mniejsza niż H , F_2 błyskawicznie zacznie wzrastać, a oba magnesy gwałtownie się zderzą.

Przykłady udanej lewitacji

Istnieją jednak konstrukcje pozwalające na stabilne uniesienie obiektu w przestrzeni za pomocą przyciągania magnetycznego. Wymaga to jednak użycia elektromagnesu. Zasada działania opiera się na ciągłej regulacji prądu cewki: pole magnetyczne musi równoważyć siłę ciężkości, nie dopuszczając jednocześnie do całkowitego przyciągnięcia elementu. Tego typu projekt ma duże walory edukacyjne, ponieważ pozwala poznać ciekawe zagadnienia z zakresu detekcji położenia oraz dynamiki układów regulacji. Choć nie jest to zadanie dla całkiem początkujących, to mniej doświadczeni elektronicy bez problemu kupią gotowe zestawy do samodzielnego montażu.

Wróćmy jednak do lewitacji bez użycia elektroniki. Okazuje się bowiem, że jest ona możliwa, wymaga jednak wprowadzenia do układu dodatkowego elementu: diamagnetyku. Tu krótkie (i zdecydowanie uproszczone) przypomnienie: w przyrodzie występują ferromagnetyki, paramagnetyki i diamagnetyki.

Te pierwsze bardzo silnie oddziałują na pole magnetyczne, a po jego usunięciu same mogą stać się magnesami. Pozostałe reagują na nie bardzo słabo, przy czym paramagnetyki są przez pole magnetyczne delikatnie przyciągane, a diamagnetyki odpychane. Zazwyczaj siły towarzyszące tym materiałom są tak małe, że w codziennym życiu nie zauważamy przyciągania magnesu do paramagnetyków (takich jak aluminium, platyna czy tytan) ani odpychania od diamagnetyków (np. miedzi, złota, ołowiu czy zwykłej wody). Jeśli jednak siła tego oddziaływania jest wyjątkowo duża, zjawisko staje się wręcz medialną ciekawostką. Znanym przykładem są nadprzewodniki, w których zachodzi odkryty w 1933 roku efekt Meissnera. Sprawia on, że stają się one idealnymi diamagnetykami, całkowi-

cie wypychającymi linie pola magnetycznego, dzięki czemu magnes potrafi nad nimi stabilnie lewitować. Podobnie jest ze słynną „lewitującą żabą”, którą w 1997 roku pokazał światu Andre Geim. Zawarta w organizmie diamagnetyczna woda, umieszczona w ekstremalnie silnym polu magnetycznym, pozwalała na uniesienie zwierzątka w powietrze.

Lewitacja z wykorzystaniem bizmutu

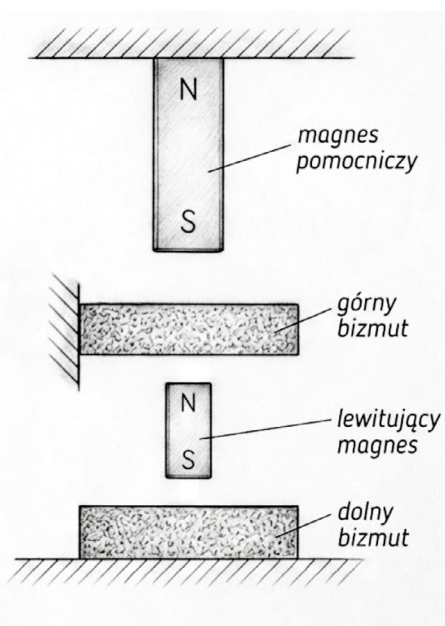
Niestety, tak spektakularnych doświadczeń nie powtórzymy sami, gdyż wymagają one dobrze wyposażonego laboratorium. Istnieją jednak prostsze układy, w których nie potrzeba nadprzewodników, niskich temperatur czy też potężnych pól magnetycznych.

Dobrym przykładem jest eksperyment z bizmitem, który należy do najsilniejszych znanych diamagnetyków. Pierwsze udane próby z jego lewitacją przeprowadził już w 1939 roku Werner Braunbek. W jego eksperymencie kawałki tego metalu uniosły się w silnym polu magnetycznym. Dziś o wiele łatwiej jest zrealizować nieco zmodyfikowaną wersję tego doświadczenia, z lewitującym silnym magnesem neodymowym, którego w czasach Braunbeka jeszcze nie znano.

Jednak nie wystarczy jedynie położyć taki magnes na kawałku bizmutu. Wprawdzie będzie on odpychany, ale siła tego oddziaływania nie przekroczy siły, z jaką przyciąga go Ziemia. Układ należy zmodyfikować, po pierwsze dodając znany już z rysunku 1 drugi magnes. Teraz na nasz lewitujący magnes działa stała siła grawitacji, skierowana w dół, oraz dwie skierowane ku górze siły oddziaływań magnetycznych. Gdy magnes zaczyna opadać,

oddala się od magnesu górnego, co osłabia siłę przyciągania. Jednocześnie zbliża się do bizmutu, a więc rośnie działająca na niego siła odpychania.

Niestety w dalszym ciągu unoszący się magnes może uciec ku górze. Dlatego należy umieścić nad nim kolejny blok bizmutu. Docelowy układ przedstawia **rysunek 2**. Teraz, gdy lewitujący magnes zaczyna się wznosić i rośnie siła przyciągania górnego magnesu, jego dalszemu unoszeniu przeciwdziałają zmiany sił pochodzących od bloków bizmutu. Dolny odpycha go ku górze coraz słabiej, a górny coraz mocniej popycha go w dół.



Rysunek 2

Fizycy mogą dla takiego układu wskazać wzory pozwalające precyzyjnie obliczyć, jak się zmieniają wszystkie wspomniane siły. Jednak dla nas nie będą tu potrzebne jakiejkolwiek wartości liczbowe. Istotny jest jedynie fakt, że w pewnych przypadkach, mając odpowiednio duże bloki bizmutu oraz wystarczająco mały magnes, możemy znaleźć takie odległości pomiędzy elementami całej układanki, że siły wzajemnie zrównoważą się w sposób zapewniający stabilną lewitację.

Opis realizacji eksperymentu

A więc do dzieła! Ja w swoim eksperymencie użyłem dwóch walcowych magnesów neodymowych. Mały ($\Phi 5 \times 2,5$ mm) miał za zadanie lewitować, w czym pomagał mu większy magnes ($\Phi 15 \times 10$ mm).

Będziemy potrzebować także bizmutu. Warto tu dodać krótką uwagę: choć zalicza się go do metali ciężkich, to w przeciwieństwie do ołowiu czy rtęci jest on nietoksyczny i uznawany za bezpieczny dla ludzi. Jeszcze kilka lat temu najłatwiej było kupić go na Aliexpress, gdzie za około 200 gramów tego metalu (**fotografia 3**) zapłaciłem niecałe 30 złotych. Dziś takich ofert już tam nie widać. Zapewne wynika to z wprowadzonych w ostatnim czasie chińskich ograniczeń dotyczących eksportu metali strategicznych. Bizmut wciąż jednak można znaleźć na innych portalach, gdzie sprzedawany jest jako materiał do otrzymywania efektownych kryształów.

Teraz należy odpowiednio umiejscowić w przestrzeni elementy naszej układanki. Niemal wszystkie tego typu konstrukcje, których bez liku można znaleźć w Internecie, do ustawienia położenia górnego magnesu wykorzystują śrubę, pozwalającą na płynną regulację jego wysokości. Ja swoją prowizoryczną konstrukcję zbudowałem z klocków Lego (**fotografia 4**). Nie był to jednak szczególnie trafny wybór. Całość wyszła koślawą, ponieważ użyte elementy metalowe były dość nieforemne. Dodatkowo nie udało mi się idealnie dopasować wymiarów, dlatego konieczne było mocne dociśnięcie górnego magnesu, tak aby minimalnie ugięła się poprzeczna belka, na której został on ustawiony. Dopie-

ro wtedy uzyskiwałem stabilną lewitację (patrz **fotografia tytułowa**).

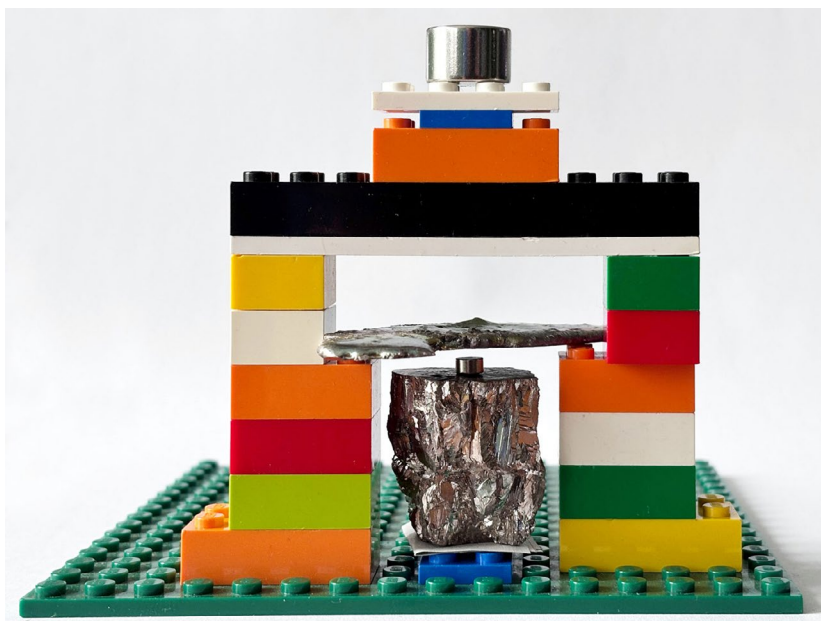
Mogę więc stwierdzić, że eksperyment zakończył się sukcesem! Małutki magnesik zawisł w bezruchu między dwoma blokami metalu. Wygląda to niepozornie, ale tak naprawdę mamy do czynienia z ciekawym doświadczeniem, które pozwala na własne oczy zobaczyć rzadko obserwowany efekt działania diamagnetyzmu.

Ostrzeżenie

Magnesy neodymowe w tej chwili są tanie i szeroko dostępne. Często wykorzystuje się je do różnych eksperymentów i to nie tylko w szkolnych laboratoriach czy pracowniach akademickich.



Fotografia 3



Fotografia 4

Własne doświadczenia chętnie przeprowadzają z nimi zarówno najmłodszy, jak i dorośli. Z jednej strony to bardzo dobrze, bo dzieci mogą w ten sposób poznawać fizykę, a starsi zyskują szansę na zbudowanie ciekawych konstrukcji.

Jednak magnesy neodymowe mogą być też niebezpieczne. Warto przy tym pamiętać, że zagrożenia czyhają na nas na każdym kroku, ale doświadczenie życiowe zazwyczaj pozwala nam je skutecznie przewidywać. Na co dzień używamy ostrego noża i wiemy, że możemy się skaleczyć. Gorąca lutownica grozi oparzeniem, a przyjemny relaks nad wodą niesie ryzyko utonięcia. Ta lista nie ma końca. Jednak w przypadku magnesów może się okazać, że dopiero po fakcie zauważymy, gdzie czaiło się grożące nam niebezpieczeństwo.

Magnesy neodymowe są zaskakująco mocne, a im większe są ich rozmiary, tym większa jest ich siła. Dzieci mają zazwyczaj dostęp do małych magnesów, ale starsi bez problemu wejdą w posiadanie dużych egzemplarzy. A te potrafią już boleśnie uszczypnąć skórę. Z kolei bardziej zaawansowane projekty mogą wymagać jeszcze potężniejszych magnesów, które mają naprawdę olbrzymią moc. Sekunda nieuwagi i można trafić do szpitala z pogruchotanymi palcami.

Magnesy neodymowe są też bardzo kruche. Ich metaliczna powłoka może mylnie sugerować, że będą zachowywały się niczym kawałek metalu. Jednak pod tą powłoką kryje się całkiem inne wnętrze. Magnesu takiego nie wygniemy, bo po prostu pęknie. Gdybyśmy położyli go na kowadło i uderzyli młotkiem, to rozkruszy się niemal jak szkło. Co istotne, nie potrzebujemy do tego młotka, gdyż podobnie się stanie, kiedy dwa większe magnesy przez nieuwagę znajdą się zbyt blisko siebie. Zaczną się przyciągać, a gwałtowne zderzenie niekiedy kończy się ich roztrzaskaniem (**fotografia 5**). Jeśli nie mamy okularów ochronnych, to ryzykujemy, że powstałe wówczas odłamki wbiją się nam w oko, co może mieć naprawdę poważne konsekwencje.



Fotografia 5



Fotografia 6

Przy czym nie tylko duże magnesy są groźne. Niebezpieczne mogą okazać się nawet te najmniejsze, na przykład przeznaczone do zabawy kilkumilimetrowe kuleczki (**fotografia 6**). Taki malutki, błyszczący przedmiot łatwo przykuwa uwagę raczkującego dziecka, które wszystko, co napotka, wkłada do buzi. I choć przypadkowe połknięcie jednego elementu nie wydaje się zagrożeniem, to całkiem inaczej będzie po zjedzeniu następnego. Po jakimś czasie mogą się one spotkać gdzieś na zakrętach przewodu pokarmowego. Siła przyciągania spowoduje, że nie powędrują już dalej, a zaciśnięte między nimi tkanki zostaną pozbawione odpowiedniego dopływu krwi. Oczywiście jest to czarny scenariusz, ale konsekwencją może być nawet konieczność operacji.

Marian Gabrowski

marian kropka gabrowski @ gmail kropka com