

Dia- czy paramagnetyk?

Oto jest pytanie!

W artykule został opisany prosty i skuteczny układ, przeznaczony do wykrywania przedmiotów, wykazujących słabe właściwości magnetyczne. Korzystając z tego układu można wykonać doświadczenia, których zwykle nie wykonuje się w szkole, ponieważ są uważane za zbyt trudne lub się nie udają.

Stanisław Bednarek
Jacek Ćwik

Wykrywanie przedmiotów wykonanych z materiałów ferromagnetycznych jest łatwe, ponieważ te przedmioty są silnie przyciągane przez magnesy trwałe i jest to powszechnie znane. Wiele przedmiotów w naszym otoczeniu jest jednak zrobionych z materiałów, które słabo albo bardzo słabo oddziałują z polem magnetycznym. Są to materiały dia-, albo paramagnetyczne.

Materiały diamagnetyczne bardzo słabo oddziałują z polem magnetycznym i są wypychane z obszaru o większej wartości indukcji pola. Z kolei materiały paramagnetyczne oddziałują z polem magnetycznym nieco silniej i ulegają wciąganiu w obszar pola o większej wartości indukcji [1].

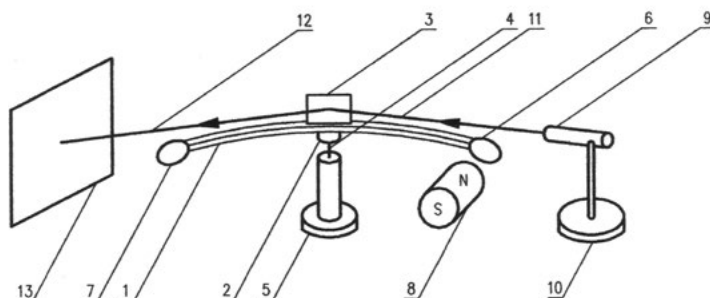
Informacja o tym jest zwykle podawana uczniom „na wiarę” bez poparcia eksperymentalnego, ponieważ wykonanie odpowiedniego doświadczenia w warunkach szkolnych jest uważane za zbyt trudne. Okazuje się, że wcale tak być nie musi. Opisany w tym artykule układ doświadczalny pozwala przy użyciu prostych środków skutecznie wykrywać materiały o słabych właściwościach magnetycznych i odróżniać diamagnetyczne od paramagnetycznych.

Budowa układu doświadczalnego

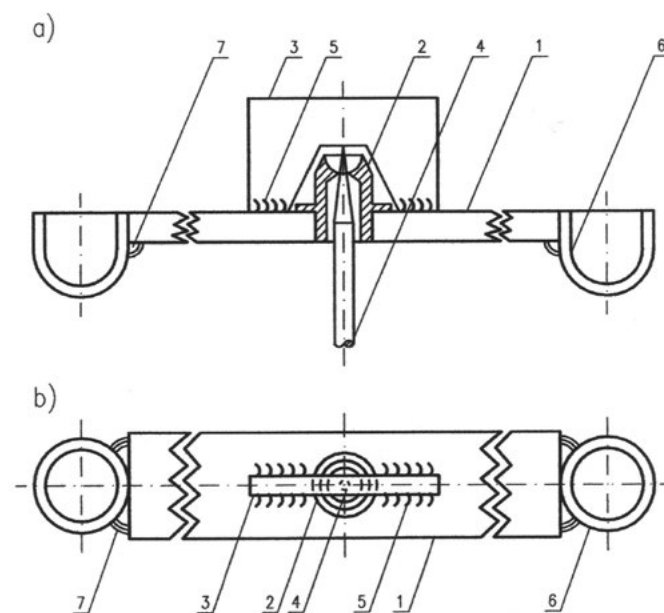
W budowie układu wykorzystano dwa pomysły. Pierwszy z nich polega na zwiększeniu niewielkiej siły oddziaływania dia- albo paramagnetyków z ogólnie dostępnymi magnesami trwałymi, tak żeby pokonać moment sił oporu ruchu i zauważyć skutek tego oddziaływania [2]. Ten pomysł zrealizowano przez zastosowanie długiej i lekkiej dźwigni, która może obracać się z małym tarciem. Drugi pomysł polega na uwidocznieniu dla dużej grupy osób małych zmian położenia dźwigni. Odbywa się to na ekranie przy użyciu wiązki światła ze wskaźnika laserowego, czyli tzw. „dźwigni optycznej” [3]. Układ doświadczalny, w którym dwa wspomniane pomysły są zastosowane przedstawia rys. 1.

Do budowy układu będzie potrzebna cienka i lekka listewka 1 o długości ok. 1 m i przekroju poprzecznym w kształcie prostokąta lub kwadratu o boku 3-5 mm. Listewka może być wykonana z drewna sosnowego i wtedy jest do nabycia w sklepie z artykułami budowlanymi, albo z balsy – bardzo lekkiego i dość wytrzymałego drewna

i takie listewki są dostępne w sklepach z artykułami dla modelarzy lub dla plastyków. W połowie długości listewki należy wywiercić przelotowy otwór o średnicy, umożliwiającej umieszczenie w nim dolnej części metalowej końcówki 2 zużytego wkładu do długopisu (rys. 2). Końcówka 2 powinna być wcześniej umyta alkoholem z resz-



Rys. 1. Schemat układu doświadczalnego; 1 – cienka listewka sosnowa albo z balsy, 2 – końcówka wkładu do długopisu, 3 – zwierciadło płaskie z kawałką folii lustrzanej, 4 – cienka igła, 5 – podstawka igły, 6 – badany obiekt, np. owoc winogrona, 7 – przeciwiwzrost, 8 – magnes trwały neodymowy, 9 – wskaźnik laserowy, 10 – podstawka wskaźnika laserowego, 11 – wiązka światła padająca, 12 – wiązka światła odbita, 13 – ekran.



Rys. 2. Szczegóły przygotowania listewki: a) widok z boku, b) widok z góry; cyfry 1-4 mają takie same znaczenie, jak na rys. 1, 5, 7 – klej epoksydowy, 6 – połowa kapsułki od lekarstwa, albo miseczek z wytłoczki (tzw. blistera) od tabletek.



Fot. 1. Wygląd wykonanej listewki do wykrywania materiałów magnetycznych z owocami winogrona na końcach.

tek tuszu i należy z niej wypchnąć piszącą kuleczkę przy pomocy igły. Dolną część tak przygotowanej końcówki 2 smaruje się klejem epoksydowym 5, np. Poxipol i umieszcza w otworze listewki 1 (rys. 2a).

Po stwardnieniu kleju 5, trwającym ok. 10 min., nad wystającą z listewki 1 ku górze końcówką wkładu 2 należy przykleić małe zwierciadło płaskie 3, używając tego samego kleju 5. Najprostszy sposób uzyskania takiego zwierciadła, to wycięcie prostokąta o wymiarach ok. 1,5 x 3 cm z kawałka folii lustrzanej. Arkusz takiej folii formatu A4 można kupić w sklepach z artykułami papierniczymi lub artykułami dla plastyków. W arkuszu należy też zrobić trójkątne wycięcie na wystającą część końcówki 2 od wkładu. Zwierciadło 3 ustawia się w podłużnej płaszczyźnie symetrii listewki 1, (rys. 2.b), nakłada klej 5 na jego dolny brzeg oraz wycięcie i pozostawia nieruchome w tej pozycji przez ok. 10 min.

Tak przygotowaną listewkę 1 trzeba nałożyć na ostrze cienkiej igły 4, osadzonej w podstawce 5, wykonanej z materiału nieferromagnetycznego (fot. 1). Igłę 4 wprowadza się od dołu w otwór końcówki 2 wkładu do długopisu. Można również wykorzystać w tym celu drewnianą lub plastikową podstawkę od igły magnetycznej. Ważne jest, żeby ostrze igły 4 weszło luźno do otworu końcówki 2, a listewka 1 obracała się w płaszczyźnie poziomej z jak najmniejszym tarciem. Gdyby ostrze w gotowej podstawie było zbyt grube, należy je spiłować.

Eksperymenty

Oczywiście, doświadczenia muszą być wykonywane w miejscu, gdzie nie ma powiewów powietrza i wstrząsów. Dla zachowania poprawności metodologicznej (kanonów jedynej różnicy i jedynej zgodności), należy najpierw pokazać, że końce listewki 1 bez umieszczonych na nich badanych przedmiotów lub materiałów 6 nie oddziałują w zauważalny sposób z polem magnetycznym zastosowanych magnesów. Co prawda, drewno jest diamagnetykiem. Jeżeli jednak zastosowana listewka jest dostatecznie cienka i nie zwiera zanieczyszczeń, szczególnie materiałami ferromagnetycznymi, np. drobnymi opiłkami, żelaza, które mogły się do niej przypadkowo przykleić w czasie obróbki, to jej oddziaływanie będzie niezauważalne.

Badane przedmioty lub materiały 6, umieszcza się na jednym z końców listewki 1 i równoważy przeciwcieżarem 7, tak żeby ramiona listewki zajmowały pozycję sy-

metryczną względem pionowej osi obrotu. Jeżeli obiekt jest miękki, np. owoc winogrona, truskawka, kawałek plasteliny, to można go nałożyć na listewkę wbijając na jej koniec (fot. 1). Obiekty o małych rozmiarach w granicach kilku milimetrów, np. kawałek grafitu, można położyć bezpośrednio na końcu listewki.

Po umieszczeniu badanego obiektu na końcu listewki trzeba poczekać aż ustaną jej wahania. Do badanych obiektów należy powoli zbliżyć na odległość kilku milimetrów magnes trwały 8, wykonany ze spieku proszków żelaza, neodymu i boru, pokryty ochronną warstwą niklu, nazywany potocznie magnesem neodymowym.

Jeżeli badany obiekt ma właściwości diamagnetyczne, bo np. zwiera dużo wody, tak jak owoce winogrona, to nastąpi jego odpychanie od magnesu. W przypadku obiektów paramagnetycznych efekt będzie odwrotny. Ponieważ listewka ma pewien moment bezwładności, więc po przeniesieniu magnesu na przeciwną stronę obiektu należy poczekać aż jego ruch ulegnie wyhamowaniu i wtedy dopiero będzie widoczny właściwy efekt oddziaływania obiektu z magnesem.

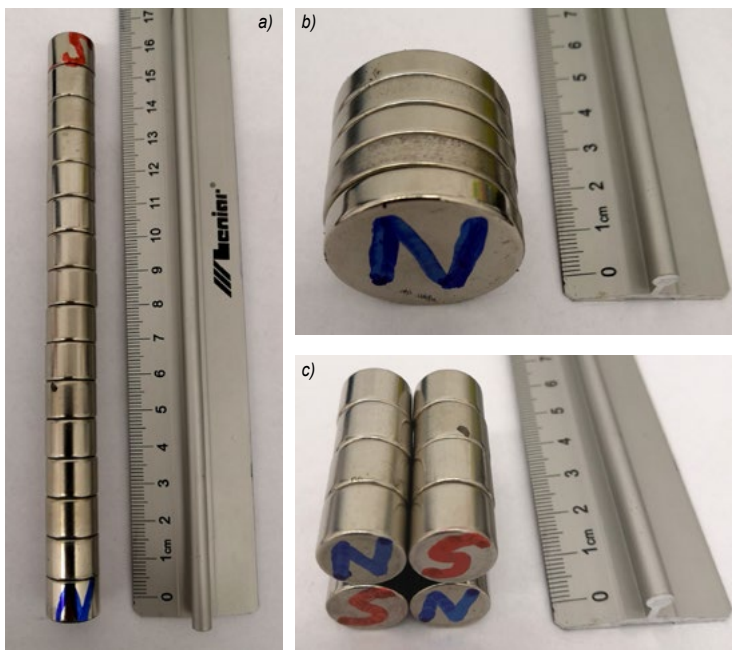
Szczególnie widowiskowe i łatwe do wykonania jest wykazanie właściwości diamagnetycznych wody przy użyciu dwóch dużych owoców winogrona. Listy substancji dia- i paramagnetycznych wraz z wartościami przenikalności lub podatności magnetycznej, które stanowią informację o sile ich oddziaływania z polem magnetycznym są podawane w tablicach fizycznych, np. [4].

Ze względu na znaczną wartość indukcji pola wytwarzanego przez magnesy neodymowe, należy zachować ostrożność podczas ich używania. W szczególności trzeba usunąć przedmioty ferromagnetyczne o dużych rozmiarach oraz magnetyczne nośniki danych z miejsca doświadczeń. Nie wolno też puszczać swobodnie magnesów, ponieważ mogą przycisnąć skórę palców, a z powodu kruchości spieku ulec pęknięciu podczas uderzenia. Osoby z różnego rodzaju implantami medycznymi nie powinny używać tych magnesów bez przedniej konsultacji z lekarzem.

Ulepszenia układu

Efekty doświadczalne w opisanym układzie są już widoczne przy użyciu pojedynczych magnesów neodymowych w kształcie walca o rozmiarach ok. 1,5 cm. Siła oddziaływania badanych obiektów z magnesem zależy jednak nie tylko od wartości indukcji pola magnetycznego, ale też od jego niejednorodności, której miarą jest gradient. Dokładniej, wartość tej siły jest wprost proporcjonalna do iloczynu tych wielkości i objętości obiektu zawartej w tym polu [5]. Dlatego w niejednorodnym polu powinien znajdować cały obiekt.

Niestety, łatwo dostępne w handlu magnesy neodymowe mają zwykle niewielkie rozmiary. Żeby w przypadku niektórych materiałów zauważyć wyraźniejsze efekty, można użyć większej liczby magnesów złożonych w odpowiedni sposób. Przykłady takich zestawów przedstawia fot. 2. Zestaw w kształcie długiego pręta, złożony z dużej liczby magnesów walcowych (fot. 2.a) pozwala zwiększyć wartość indukcji magnetycznej przy końcowych magnesach, ponieważ długi pręt ma mniejszy współczynnik odmagnesowania [6].



Fot. 2. Zestawy magnesów neodymowych używanych podczas doświadczeń: a) odpowiednik długiego magnesu sztabkowego, b) krótki magnes o zwiększonym polu przekroju poprzecznego, c) zestaw czterech krótkich magnesów o zwiększonym gradientie pola.

Zestaw, składający się z kilku magnesów o większej średnicy (fot. 2.b) umożliwia objęcie polem magnetycznym całego obiektu. Z kolei zestaw czterech magnesów, ustawionych obok siebie z naprzemiennie skierowanymi biegunami (fot. 2.c), daje wzrost gradientu pola i objętości zajmowanej przez to pole.

Do pokazania obrotu listewki 1 o niewielki kąt dużej grupie osób jest przeznaczony układ rozbudowany o wskaźnik laserowy 9, zamocowany na podstawie 10 i ekran 13 (rys. 1). Wskaźnik 9 emituje wiązkę światła 11, padającą na zwierciadełko 3, która następnie jako wiązka odbita 12 daje plamkę świetlną na ekranie 13. Jeżeli, w wyniku oddziaływania obiektu 6 umieszczonego na listewce 1 z magnesem 8, nastąpi obrót zwierciadełka 3 i zmiana kąta padania wiązki 11 o $\Delta\alpha$, to kąt odbicia wiązki 12 zmieni się o $2\Delta\alpha$. Oprócz tego ekran 13 może być ustawiony w odległości kilku metrów od zwierciadełka 3. Dzięki temu przesunięcie plamki świetlnej na ekranie będzie duże i dobrze widoczne dla licznej grupy osób.

Żeby umożliwić badanie cieczy i materiałów sypkich za pomocą opisanego układu, należy na końcach listewki 1 przykleić klejem epoksydowym dwa małe pojemniczki 6 (rys. 2), wykonane z cienkiej, niemetalowej folii. Dobrze nadają się do tego celu połowy kapsułki od lekarstwa lub miseczki otrzymane przez odcięcie zagłębienia wytłoczki na tabletki, tzw. blistera. Ilość materiału tego pojemniczka powinna być na tyle mała, żeby jego oddziaływanie w stanie pustym z zastosowanymi magnesami było niezauważalne.

Podsumowanie

Opisany w tym artykule układ jest jednym z przykładów na to, że doświadczenia uważane za trudne lub nie-

możliwe do wykonania w warunkach szkolnych dają się z powodzeniem przeprowadzić, jeżeli będą zastosowane odpowiednie materiały i umiejętnie dobrane ważne parametry układu. Używane do opisanych doświadczeń magnesy neodymowe są wykonane z nowoczesnych materiałów spiekanych, których technologia została opracowana w latach osiemdziesiątych XX w. [7]. Z kolei zastosowanie długiej i lekkiej listewki, ułożyskowanej na igle i końcówce wkładu do długopisu, pozwala zwiększyć niewielki moment sił oddziaływania magnetycznego i pokonać opory ruchu. Wskaźnik laserowy jest wprost idealnym źródłem światła, dającym niemal równoległą wiązkę bez dodatkowych elementów optycznych. Pomyślne przeprowadzenie w szkole trudnego doświadczenia wzbudza też wiele pozytywnych emocji, umacnia wiarę we własne siły i podnosi autorytet nauczyciela.

Interpretując zaobserwowane efekty doświadczeń, trzeba jednak zachować krytyczne podejście i nie wyciągać zbyt szybko końcowych wniosków. W którymś z doświadczeń może się zdarzyć, że badany materiał będzie przyciągany, co sugerowałoby posiadanie właściwości paramagnetycznych. W odpowiednich tablicach ten materiał będzie jednak zaliczany do diamagnetyków, a więc powinien być odpychany. Tak może się zdarzyć, gdy badany materiał będzie zanieczyszczony nawet niewielką ilością substancji o znacznie silniejszych właściwościach paramagnetycznych lub ferromagnetycznych, np. mikroskopijnymi opiłkami stali z narzędzia używanego do przycięcia kawałka tego materiału.

W przeprowadzonych doświadczeniach nie jest przecież badany skład chemiczny materiałów. Z kolei w przypadku badania kawałków metalu o małym oporze właściwym, np. miedzi czy aluminium, może okazać się, że są one najpierw odpychane od zbliżanego magnesu, a następnie podczas jego oddalania przyciągane. Taki efekt może być spowodowany indukowaniem prądów wirowych w kawałku metalu i ich oddziaływaniem z magnesem, zgodnie z regułą Lenza. W tym przypadku należy zmniejszyć szybkość ruchu magnesu albo podzielić materiał na mniejsze części.

Stanisław Bednarek

Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Uniwersytetu Łódzkiego

Jacek Ćwik

Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych
Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu

LITERATURA

- [1] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. III, Elektryczność i magnetyzm, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1980), s. 330.
- [2] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. I, Mechanika i akustyka, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1973), s. 303.
- [3] S. Szczeniowski, Fizyka doświadczalna, cz. IV, Optyka, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa (1983), s. 25.
- [4] W. Mizerski, Tablice fizyczno-astrofizyczne, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa (2013), s.187.
- [5] H. Rawa, Elektryczność i magnetyzm w technice, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa (1994), s. 336.
- [6] J. K. Kuryłowicz, Badania materiałów magnetycznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa (1964), s. 24.
- [7] M. Lenowicz, J. J. Wyslocki, Współczesne magnesy, technologie, mechanizmy koercji, zastosowania, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa (2005), s. 48.