

Wytwarzamy ferrofluidy i zawiesiny ferromagnetyczne

Stanisław BEDNAREK



Ferrofluidy i zawiesiny ferromagnetyczne stanowią wytworzoną przez człowieka grupę materiałów o niespotykanym dotychczas w przyrodzie właściwościach. Dzięki połączeniu w jednym materiale właściwości ciekłych i ferromagnetycznych znajdują wiele różnorodnych zastosowań – od prostych uszczelki po układy do bezpośredniego przetwarzania energii cieplnej na energię mechaniczną, mogące pracować w elektrowniach jądrowych i nowe sposoby aplikowania niektórych leków. Dlatego warto poznać sposoby otrzymywania ferrofluidów i zawiesin ferromagnetycznych oraz zastosowania tych niezwyklej materiałów. Warto także w miarę swoich możliwości spróbować wytworzyć je samodzielnie.

Wszystkie znane dotychczas substancje ferromagnetyczne to ciała stałe. Za występowanie ich właściwości ferromagnetycznych „odpowiedzialna” jest szczególna struktura, polegająca na uporządkowaniu momentów magnetycznych atomów lub cząsteczek w mikroobszarach zwanych domenami. Powyżej temperatury, zwanej temperaturą Curie, substancje te tracą swoje właściwości ferromagnetyczne, ponieważ energia chaotycznych ruchów cieplnych jest na tyle duża, że niszczy strukturę domenową. Dla wszystkich ferromagnetyków temperatura Curie jest znacznie niższa od temperatury topnienia, np. dla żelaza temperatura Curie wynosi 767°C a temperatura topnienia 1535°C . Nie można więc wytworzyć cieczy ferromagnetycznej przez stopienie ferromagnetyka występującego początkowo w postaci ciała stałego i trzeba w tym celu posłużyć się inną metodą.

Ferrofluidy są zawiesinami bardzo drobnych cząstek magnetycznych o rozmiarach 10^{-7} – 10^{-9} m w cieczy, np. w oleju lub nafcie, zwanej cieczą dyspersyjną. W cząstkach tych występuje uporządkowanie momentów magnetycznych. Są to cząstki jedno- lub wielodomenowe, dlatego ich zawiesina ma właściwości ferromagnetyczne. Zawiesiny ferromagnetyczne składają się ze znacznie większych cząstek ferromagnetycznych o rozmiarach rzędu 0,1 mm rozmieszczonych w bardzo lepkich cieczach, np. w oleju cedrowym.

Zarówno w ferrofluidach jak i zawiesinach ferromagnetycznych gęstość cząstek jest większa od gęstości cieczy dyspersyjnej, dlatego cząstki mają tendencję do opadania na dno naczynia, czyli do sedymentacji. Ponadto, cząstki mają tendencję do łączenia się, czyli do agregacji. Cząstki o większych rozmiarach szybciej opadają na dno. Żeby zapobiec agregacji i sedymentacji, cząstki w ferrofluidach pokrywa się warstwą substancji powierzchniowo czynnej, uniemożliwiającej zbliżanie się cząstek do siebie. W zawiesinach ferromagnetycznych sedymentacji zapobiega bardzo duża lepkość cieczy dyspersyjnej.

Wytworzenie stabilnego ferrofluidu nie jest specjalnie trudne i można tego dokonać w szkolnej pracowni chemicznej lub w domowym laboratorium. Do wytworzenia ferrofluidu nie są też potrzebne trudne ani trudno dostępne substancje, dlatego warto podjąć próbę. W tym celu należy przygotować roztwór 11,2 g siarczanu żelazawego ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) w 300 ml wody destylowanej oraz roztwór 22,2 g chlorku żelazowego ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) również w 300 ml wody destylowanej. Temperatura roztworów powinna wynosić około 20°C .

Oba roztwory zlewa się do szklanego naczynia i mieszając szklaną bagietką szybko dodaje 60 ml

stężonego roztworu wodorotlenku amonu (NH_4OH). Mieszaninę należy pozostawić w spokoju na czas 2 godzin w celu ustania się. W wyniku tego w górnej części naczynia zbierze się prawie przezroczysty roztwór, który trzeba ostrożnie usunąć za pomocą lewara wodnego lub pipety. Pozostała mętna zawiesina powinna mieć objętość około 160 ml. Zawiera ona wytrącone cząstki magnetytu i będzie wykorzystywana do dalszej obróbki.

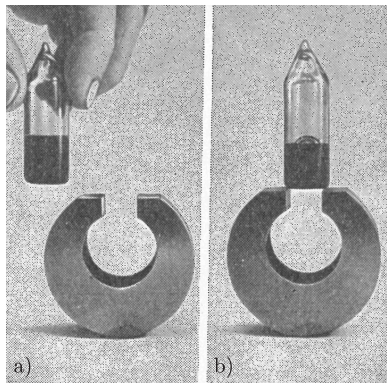
Do zawiesiny, przy ciągłym mieszaniu, dodaje się 6 g kwasu oleinowego ($\text{C}_{18}\text{H}_{37}\text{COOH}$) i 90 ml dowolnego oleju roślinnego. Naczynie z mieszaniną wstawia się do większego naczynia z wrzącą wodą i na otrzymanej w ten sposób łaźni wodnej ogrzewa przez 30 minut. Z mieszaniny wydzieli się ferrofluid w postaci warstwy, którą zlewa się lub zbiera pipetą. Otrzymany ferrofluid stanowi zawiesinę cząstek magnetytu w oleju roślinnym otoczonych stabilizującą warstewką kwasu oleinowego.

Składniki potrzebne do wytworzenia opisanego ferrofluidu bez większych trudności można znaleźć w szkolnym gabinecie chemicznym lub zakupić w sklepie z odczynnikami chemicznymi. W przypadku trudności ze zdobyciem kwasu oleinowego, można go zastąpić innym wyższym kwasem tłuszczowym, np. stearynowym lub palmitynowym albo trzy razy większą masą szamponu do włosów lub płynu do mycia naczyń. Zastosowana przez nas metoda wytwarzania ferrofluidu, polegająca na wytrącaniu cząstek magnetytu z mieszaniny roztworów przez jej zalkalizowanie, nazywa się metodą polikondensacji chemicznej.

Ferrofluidy wykazują szereg bardzo interesujących właściwości, z których najbardziej charakterystyczną i dającą się najłatwiej zaobserwować jest wyraźne

oddziaływanie z polem magnetycznym. Umieszczony w niejednorodnym polu magnetycznym ferrofluid jest wciągany do obszaru najsilniejszego pola. Właściwość ta umożliwia zastosowanie cieczy ferromagnetycznych do budowy łożysk i uszczeltek. Jedną z ważnych ich zalet jest to, że nie ulegają one zużyciu.

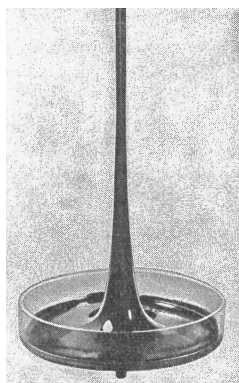
Gdy do naczynia z ferrofluidem wrzucimy kulkę wykonaną ze szkła lub nierozmagnetycznego metalu, np. miedzi lub mosiądzu, to kulka zatoni, ponieważ jej gęstość jest większa od gęstości ferrofluidu (fot. 1.a).



Fot. 1. Wypieranie szklanej kulki z ferrofluidu; a) przed umieszczeniem w polu magnetycznym kulka tonie i jest niewidoczna, b) po umieszczeniu w niejednorodnym polu magnetycznym wytwarzanym przez magnes w kształcie litery C kulka wynurza się z ferrofluidu.

Jeżeli teraz umieścimy to naczynie w niejednorodnym polu magnetycznym, to kulka wypłynie, gdyż na ferrofluid podziała dodatkowa siła w kierunku dna naczynia a kulka praktycznie nie oddziałuje z polem (fot. 1.b). W konsekwencji ferrofluid działa na kulkę większą siłą wyporu, powodującą wypychanie kulki ku górze.

Wciąganie ferrofluidu w obszar silniejszego pola magnetycznego można wykazać również w innym doświadczeniu. Gdy w szerokim naczyniu z ferrofluidem umieszczony jest prostoliniowy przewód, tak żeby przechodził prostopadle do powierzchni swobodnej ferrofluidu, to po przepuszczeniu przez niego prądu elektrycznego ferrofluid wzniesie się wokół przewodnika tworząc efektowną kolumnę (fot. 2).

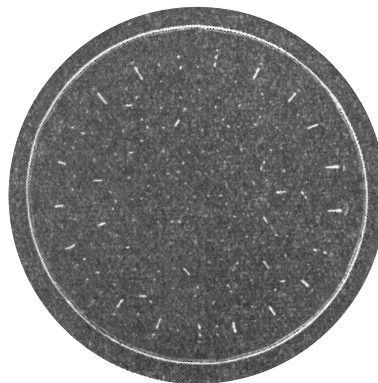


Fot. 2. Ferrofluid umieszczony w naczyniu, przez które przechodzi przewód z płynącym prądem, wznosi się, tworząc efektowną kolumnę wokół przewodnika.

Wzniesienie ferrofluidu spowodowane jest jego wciąganiem w obszar silniejszego pola, który znajduje się bliżej przewodnika.

Niejednorodne pole magnetyczne, oddziałując na zawieszony w cieczy cząstki ferromagnetyczne powoduje ich ruch. Poruszające się cząstki dzięki siłom lepkości wprawiają w ruch cząsteczki cieczy dyspersyjnej, co w końcowym efekcie skutkuje ruchem ferrofluidu jako całości. Jeżeli pole magnetyczne będzie zmieniało się w czasie z niezbyt dużą częstotliwością, to również ferrofluid będzie poruszał się z tą samą częstotliwością. Właściwość ta znalazła zastosowanie w budowie przetworników elektroakustycznych i elektromechanicznych z ferrofluidem.

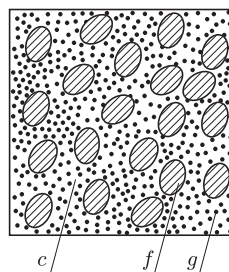
W silnych polach magnetycznych obserwuje się efekt nazywany zestaleniem ferrofluidu. Polega on na tym, że rozproszone cząstki ferromagnetyczne ulegają namagnesowaniu i przyciągają się wzajemnie. Rezultatem tego jest tworzenie się skupisk cząstek najpierw w postaci igieł a następnie włókien i kolumn złożonych z tych igieł. Skupiska te widoczne są również na powierzchni ferrofluidu (fot. 3).



Fot. 3

Cząstki zostają jakby uwięzione wzdłuż linii pola, a wraz z nimi, dzięki siłom lepkości, utrzymywana jest również ciecz dyspersyjna. Powoduje to znaczny wzrost lepkości ferrofluidu, który zachowuje się jak ciało stałe o niezerowym module sztywności.

Nadszedł czas, żeby zająć się zawieszinami ferromagnetycznymi. Struktura tych zawieszin w przypadku braku pola magnetycznego przedstawiona jest na rysunku 1. Widzimy tutaj cząstki ferromagnetyczne f oraz znacznie mniejsze od nich cząstki przewodzące prąd elektryczny g .

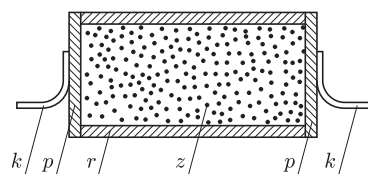


Rys. 1. Struktura zawiesziny ferromagnetycznej nie umieszczonej w polu magnetycznym; f - cząstki ferromagnetyczne, g - cząstki przewodzące, c - ciecz dyspersyjna.

Oba rodzaje cząstek są chaotycznie rozmieszczone w cieczy dyspersyjnej c o bardzo dużej lepkości. Wytworzenie takiej zawiesiny jest znacznie prostsze niż wytworzenie ferrofluidów. Cały proces wytwarzania sprowadza się do zmieszania obu rodzajów cząstek z cieczą dyspersyjną.

Jako cząstki ferromagnetyczne zastosujemy opilki żelazne. Opilki takie można znaleźć w gabinecie chemicznym lub otrzymać samodzielnie przez szlifowanie np. gwoździ pilnikiem. Cząstkami przewodzącymi prąd elektryczny są cząstki pyłu grafitowego. Pyłu takiego używa się do wyrobu smaru grafitowego. Łatwo można otrzymać go samodzielnie przez zmielenie rysika z miękkiego ołówka. W roli cieczy dyspersyjnej zastosujemy olej cedrowy, używany podczas obserwacji mikroskopowych, lub sztuczny miód. W celu wytworzenia zawiesiny ferromagnetycznej odmierzamy 6 części objętościowych opilków żelaznych, 3 części objętościowe pyłu grafitowego i 6 części objętościowych oleju cedrowego lub sztucznego miodu. Oba rodzaje cząstek starannie mieszamy z cieczą dyspersyjną.

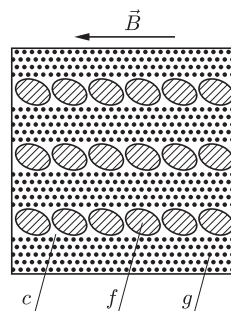
Jedną z interesujących właściwości otrzymanej zawiesiny ferromagnetycznej jest ujemny magnetoopór, czyli zmniejszanie się oporu elektrycznego po umieszczeniu zawiesiny w polu magnetycznym. Żeby zbadać magnetoopór, wykonamy komórkę wypełnioną zawiesiną ferromagnetyczną (rys. 2).



Rys. 2. Komórka z zawiesiną ferromagnetyczną do badania magnetooporu; r – rurka izolacyjna, z – zawiesina ferromagnetyczna, p – elektroda, k – końcówka.

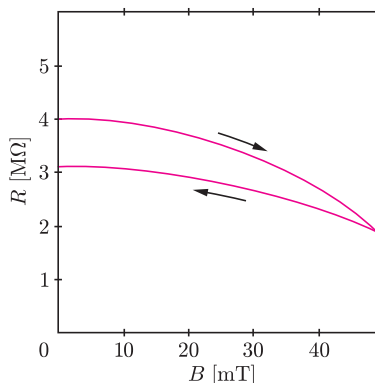
W tym celu potrzebna będzie plastikowa rurka r o średnicy około 2 cm i długości 4–5 cm. Rurkę tę napełniamy zawiesiną ferromagnetyczną z po czym zamykamy dwoma metalowymi krążkami p , stanowiącymi elektrody. Krążki te przyklejamy do końców rurki. Do elektrod przylutowujemy kawałki drutu stanowiące końcówki k , przeznaczone do połączenia komórki z omomierzem.

Po umieszczeniu komórki w polu magnetycznym zachodzą zmiany w strukturze zawiesiny, polegające na uporządkowaniu cząstek ferromagnetycznych wzdłuż linii pola magnetycznego (rys. 3).



Rys. 3. Struktura zawiesiny ferromagnetycznej umieszczonej w jednorodnym polu magnetycznym o indukcji B ; znaczenie symboli jest takie samo, jak na rys. 1.

Ustawione w łańcuchy cząstki wykazują mniejszy opór elektryczny, niż cząstki rozmieszczone w zawieszynie chaotycznie. Zależność oporu elektrycznego od indukcji przyłożonego pola magnetycznego przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Zależność oporu elektrycznego zawiesiny ferromagnetycznej R od indukcji przyłożonego pola magnetycznego B .

Interesującym faktem jest zmniejszenie się oporu po wyłączeniu pola – przyczynę tego stanowi utrzymywanie się częściowo uporządkowanej struktury zawiesiny. Niezbędne do pomiaru magnetooporu pole magnetyczne łatwo można uzyskać przez zbliżanie do komórki magnesu trwałego.

W majowym numerze *Delty* przedstawiłem dwa rozwiązania zadania o kolorowaniu pól szachownicy z Warszawskiego Konkursu Informatycznego. W tym artykule omówię rozwiązanie innego (ale, jak się okaże, niezupełnie) zadania, które również (w trochę innym sformułowaniu) zaproponowałem kiedyś na WKI.

Zadanie. Rysunek przedstawia prostokątny wycinek planu miasta. W jednym rogu siatki ulic znajduje się dom żółwia, a w przeciwnym kącie szkoła. Czerwonym kolorem zaznaczona jest jedna z wielu dróg o minimalnej długości z domu żółwia do szkoły.

