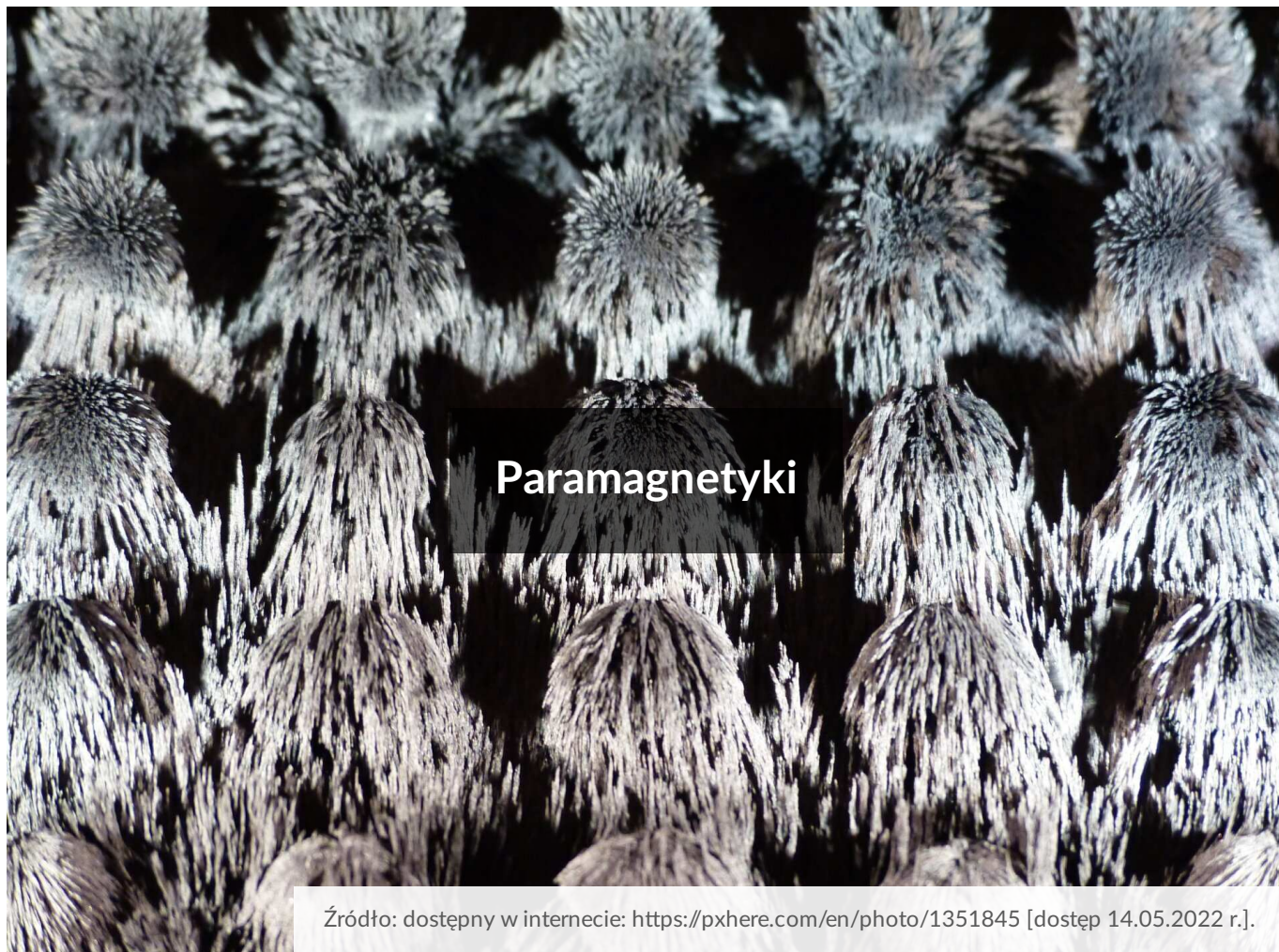




Paramagnetyki

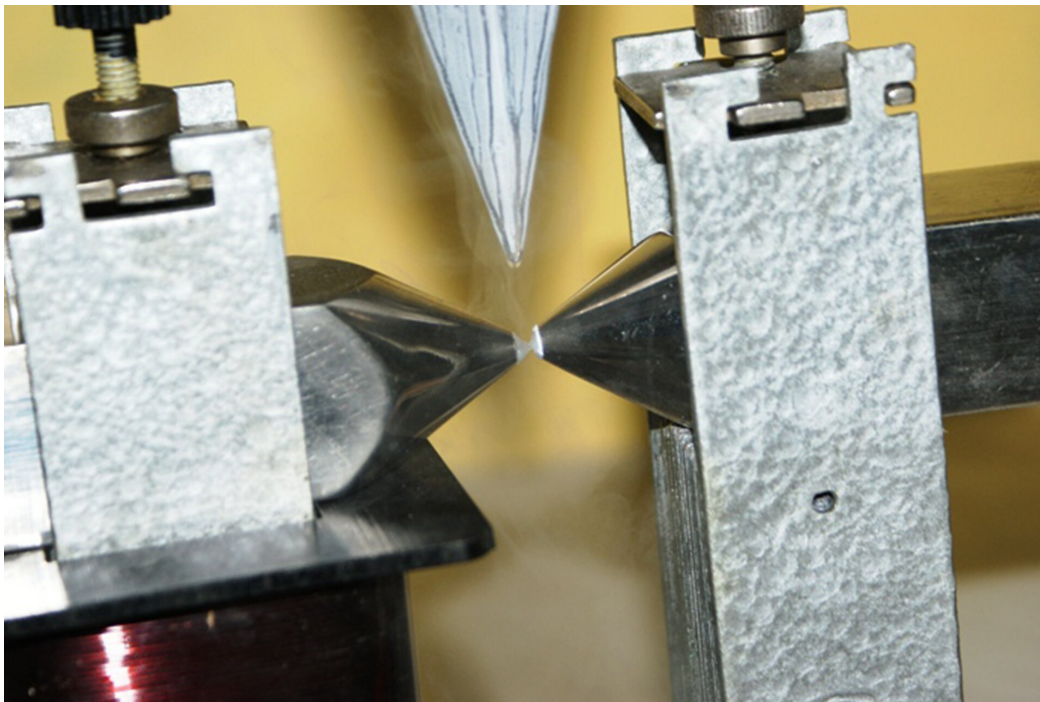
- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film samouczek](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Czy to nie ciekawe?

Substancje w różny sposób wpływają na pole magnetyczne, w którym się znalazły. Na ogół ich działanie jest znikome. Znikomy, wręcz niezauważalny wobec tego jest też wpływ pola magnetycznego na nie. Do wyjątków należą ferromagnetyki, które potrafią wzmocnić pole magnetyczne nawet setki tysięcy razy, i które w widoczny sposób są wciągane w obszar silniejszego pola magnetycznego – na przykład przyciągane do bieguna magnetycznego magnesu.

Tak więc widok animacji z magnesem zbierającym tłuszcz z talerzy w reklamie środka do mycia naczyń jest prawdziwie rozśmieszający – tłuszcz nie jest ferromagnetykiem.



Rys. a. Paramagnetykiem o stosunkowo silnych właściwościach jest ciekły tlen. Tu tlen wylewany na bieguny silnego magnesu gromadzi się w obszarze między biegunami.

Źródło: www.portalnaukowy.edu.pl, dostępny w internecie: <https://www.portalnaukowy.edu.pl/index.php/kriofizyka/142-paramagnetyzm-ciekego-tlenu> [dostęp 14.05.2022 r.], Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

W tym e-materiale poznasz bliżej grupę magnetyków, które w minimalnym stopniu wzmacniają pole magnetyczne. Zwane są paramagnetykami. Na Rys. a pokazano zachowanie się ciekłego tlenu w pobliżu biegunów magnesu. Przyczynę takiego zachowania zrozumiesz studiując niniejszy e-materiał.

Twoje cele

W tym e-materiale:

- dowiesz się, w jaki sposób badamy wpływ różnych substancji na wartość wektora indukcji magnetycznej,
- zapoznasz się z podziałem substancji na grupy w zależności od rodzaju i wielkości wpływu na wartość indukcji magnetycznej,
- dowiesz się, które substancje są paramagnetykami,
- zrozumiesz, dlaczego substancje paramagnetyczne wzmacniają pole magnetyczne i dlaczego nie można namagnesować ich trwale,

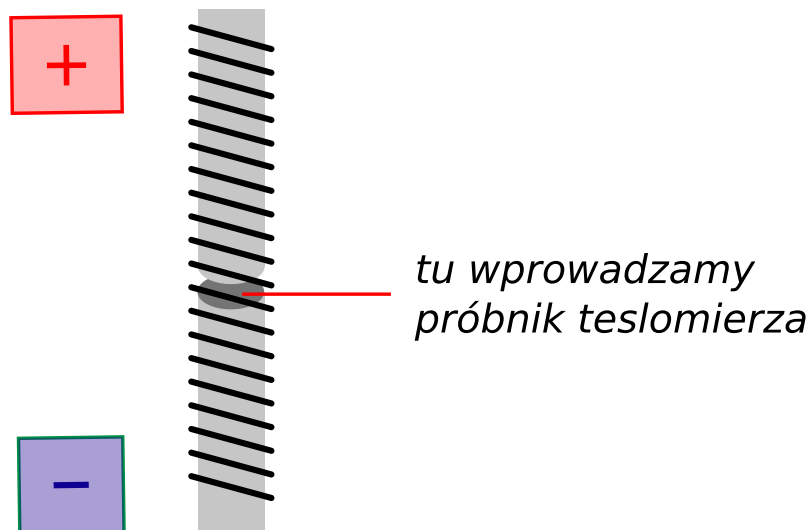
- obliczysz wartość indukcji magnetycznej wewnątrz paramagnetyka w obecności zewnętrznego pola magnetycznego,
- przewidzisz zachowanie paramagnetyka w obecności magnesu.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Zacznijmy od tego, co oznacza termin **paramagnetyzm**. To zjawisko fizyczne polegające na bardzo słabym wzmocnieniu [pola magnetycznego](#) przez umieszczenie w tym polu pewnej substancji zwanej **paramagnetykiem**.

W jaki sposób bada się wpływ substancji na [pole magnetyczne](#)? Jak wykonać pomiar indukcji magnetycznej wewnątrz badanej substancji? Typowy układ doświadczalny pozwalający na taki pomiar przedstawiony jest na Rys. 1.



Rys. 1. Sposób użycia teslomierza

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Wyobraźmy sobie dwa rdzenie z badanej substancji umieszczone wewnątrz elektromagnesu. W małej szczelinie między rdzeniami umieszczamy czujnik indukcji magnetycznej – [teslomierz](#) (zobacz Rys. 1).

Ponieważ szczelinka między rdzeniami jest bardzo wąska, [pole magnetyczne](#) wewnątrz szczelinki jest z dobrym przybliżeniem polem jednorodnym, więc indukcja

magnetyczna wewnątrz szczeliny ma taką samą wartość jak w rdzeniu.



Rys. 2. Teslomierz.

Źródło: Maciej J. Mrowiński, licencja: CC BY 4.0.

Miarą wpływu substancji na pole magnetyczne, w którym ta substancja jest umieszczona, jest jej **względny współczynnik przenikalności magnetycznej** oznaczany przez μ_r . Jest on zdefiniowany jako stosunek wartości B indukcji magnetycznej w obecności danej substancji do wartości indukcji magnetycznej bez tej substancji (w próżni) B_0 , tj.

$$\mu_r = \frac{B}{B_0}.$$

Substancje - ze względu na wartość względnego współczynnika przenikalności magnetycznej - zostały podzielone na trzy główne grupy:

- Diamagnetyki - w bardzo małym stopniu zmniejszają pole magnetyczne; $\mu_r < 1$ (np. dla wody $\mu_r = 0,9999991$)
- Paramagnetyki - w bardzo małym stopniu zwiększają pole magnetyczne; $\mu_r > 1$ (np. dla cyny $\mu_r = 1,000002$)
- Ferromagnetyki - w bardzo wielkim stopniu zwiększają pole magnetyczne; $\mu_r \gg 1$ (np. dla żelaza elektrolitycznego $\mu_r = 15000$)

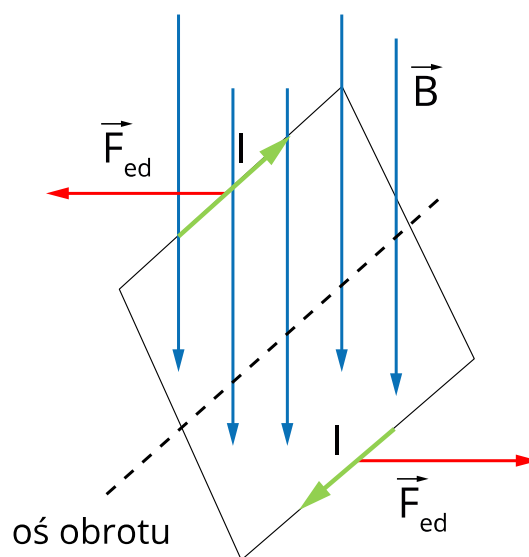
Tutaj będą nas interesowały **paramagnetyki**. Należą do nich np. glin (aluminium), sód, chrom, magnez, wapń, molibden, platyna, tytan, wolfram, siarczan niklu, chlorek miedzi, tlen.

W niezbyt niskich temperaturach oraz dla niezbyt silnych pól magnetycznych paramagnetyki wykazują liniową zależność namagnesowania od wartości indukcji pola zewnętrznego, co oznacza, że współczynnik μ_r ma stałą wartość.

Jak to się dzieje, że paramagnetyki zwiększają pole magnetyczne?

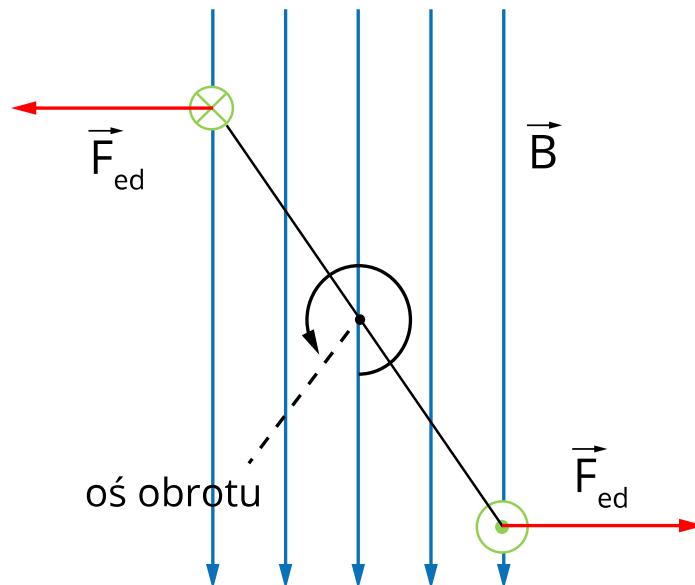
Dla zrozumienia magnetyzmu różnych substancji kluczowym pojęciem jest wielkość fizyczna zwana **momentem magnetycznym**. Zanim przejdziemy do własności magnetycznych substancji, warto dla nabrania intuicji uświadomić sobie, że momentem magnetycznym obdarzona jest każda pętla z prądem.

Wyobraźmy sobie prostokątną pętlę (Rys. 3a.), umieszczoną w polu magnetycznym tak, że linie pola nie są prostopadłe do niej. Łatwo zauważymy, że obróci się wokół zaznaczonej na rysunku osi. Jeszcze lepiej widoczny będzie działający na ramkę moment siły, gdy popatrzymy na układ „z boku”, wzdłuż osi obrotu i w płaszczyźnie wyznaczonej przez pole indukcji magnetycznej i siłę działającą na poziome fragmenty ramki (Rys. 3b.).



Rys. 3a. Prostokątna, przewodząca ramka w jednorodnym polu magnetycznym

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.



Rys. 3b. Ramka z Rys. 3a. widziana w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ramka obróci się do pozycji, w której linie indukcji magnetycznej będą prostopadłe do płaszczyzny ramki. To jest położenie równowagi trwałej ramki. Gdyby nie było tłumienia w układzie, to ramka w nieskończoność wykonywałaby ruch wahadłowy wokół tego położenia.

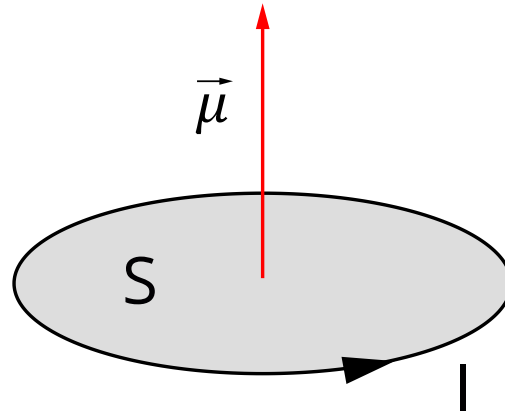
Okazuje się, że wszelkie pętle z prądem, o ile są swobodne, obracają się w polu magnetycznym do położenia równowagi. Wartość momentu siły, który działa na taką pętlę, jest wprost proporcjonalna do (między innymi) wartości powierzchni rozpiętej na pętli S oraz natężenia płynącego w niej prądu I .

Można pokazać, że ten moment siły opisany jest wyrażeniem

$$\vec{M} = \vec{\mu} \times \vec{B},$$

gdzie $\vec{\mu}$ jest **dipolowym momentem magnetycznym** zdefiniowanym dla pętli z prądem jako $\vec{\mu} = I \cdot \vec{S}$. Wektor \vec{S} jest prostopadły do powierzchni rozpiętej na pętli; umówiono się, że jego zwrot pokazuje kciuk prawej dłoni, jeśli zagięte palce będą pokazywać

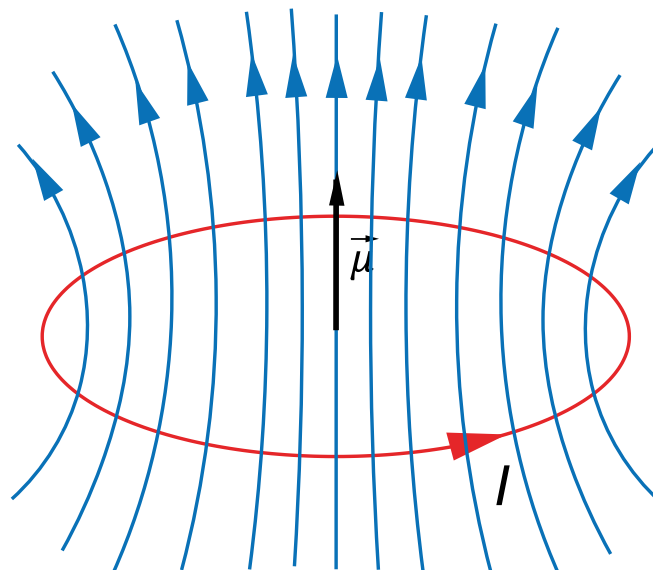
kierunek prądu płynącego w pętli. Taki sam jest kierunek i zwrot wektora momentu magnetycznego $\vec{\mu}$ (Rys. 4.). Wyprowadzenie związku wektora momentu siły z wektorem momentu magnetycznego i wektora indukcji magnetycznej znajdziesz w e-materiale „Co to jest moment magnetyczny?”.



Rys. 4. Dipolowy moment magnetyczny, wytwarzany przez prąd elektryczny o natężeniu I zamykający obszar o powierzchni S

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Należy sobie dodatkowo uświadomić, że każdy obiekt posiadający moment magnetyczny sam jest źródłem [pola magnetycznego](#), przy czym wektor indukcji \vec{B} przez ten obiekt wytwarzany, skierowany jest tak samo jak wektor momentu magnetycznego $\vec{\mu}$ (zobacz Rys. 5.).

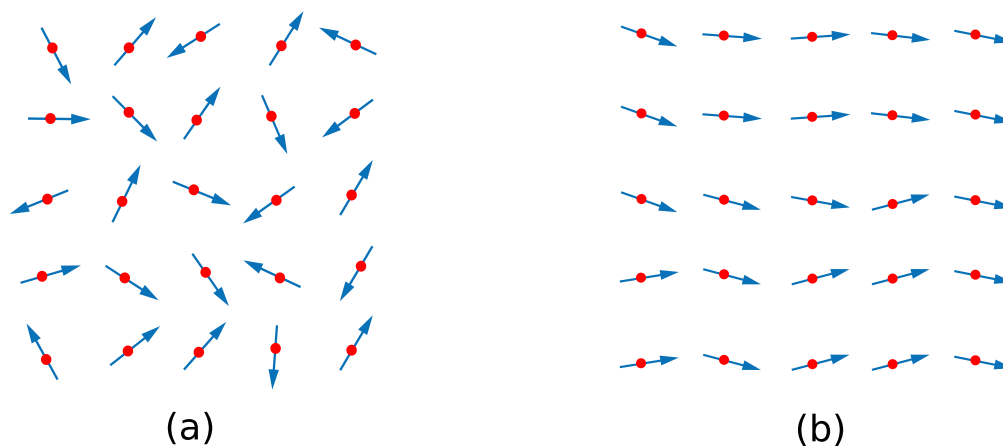


Rys. 5. Kołowy obwód z prądem jako dipol magnetyczny (obiekt obdarzony dipolowym momentem magnetycznym). Niebieskie krzywe to poglądowa ilustracja linii, do których styczne jest pole indukcji \vec{B} . Na osi symetrii obwodu pole indukcji jest prostopadłe do płaszczyzny wyznaczonej przez obwód i najsilniejsze w środku obwodu.

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Wróćmy do naszego opisu paramagnetyzmu. Rzecz polega na tym, że w atomach – podstawowym budulcu substancji chemicznych – mamy do czynienia z ruchem elektronów, który możemy traktować – w uproszczeniu – jako prąd elektryczny. Tak więc atom może być obdarzony momentem magnetycznym, ale poprawny opis atomowego momentu magnetycznego daje dopiero fizyka kwantowa. Nam w tym miejscu musi wystarczyć model momentu magnetycznego atomu w postaci pętli z prądem.

Dowolną substancję paramagnetyczną przedstawiamy sobie jako zbiór momentów magnetycznych. Gdy substancja nie jest umieszczona w zewnętrznym polu magnetycznym ($B_0 = 0$), momenty magnetyczne poszczególnych atomów ustawione są w dowolny sposób – ich wypadkowy (sumaryczny) moment magnetyczny równy jest zeru (zobacz Rys. 6a.).



Rys. 6. a) Brak zewnętrznego pola magnetycznego $B_0 = 0$

b) Tutaj wektor \vec{B}_0 skierowany jest w prawo

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Jeśli jednak substancję wprowadzimy w zewnętrzne [pole magnetyczne](#) o niezerowej wartości indukcji B_0 , to będzie inaczej. Momenty magnetyczne będą obracały się tak, aby ustawić się zgodnie z wektorem indukcji \vec{B}_0 , bo to jest ich położenie równowagi (zobacz Rys. 6b.). Czynnikiem znacznie utrudniającym to uporządkowanie są ruchy termiczne atomów. Atomy w ciele stałym drgają wokół swoich położen równowagi, zderzają się z sąsiednimi atomami, ze swobodnymi elektronami. To, co widzimy na Rys. 6b., jest mocno przesadzone. Takie uporządkowanie momentów magnetycznych byłoby możliwe w bardzo silnym zewnętrznym polu magnetycznym i w bardzo niskiej temperaturze. Niemniej, sumaryczny moment magnetyczny wszystkich atomów nie będzie teraz równy zero – substancja namagnesuje się, to znaczy, że sama stanie się [dipolem magnetycznym](#).

Taki jest ogólny mechanizm magnesowania się substancji w polu magnetycznym \vec{B}_0 w przypadku paramagnetyzmu i ferromagnetyzmu.

Jeśli weźmiemy na przykład próbkę aluminium i umieścimy ją w zewnętrznym polu magnetycznym, to wartość indukcji magnetycznej wzrośnie μ_r razy, gdzie – przypomnijmy – współczynnik μ_r to względna przenikalność magnetyczna substancji. Dla aluminium μ_r z dobrym przybliżeniem wynosi 1,00002. Wynika stąd, że pole magnetyczne wytworzone pod wpływem pola zewnętrznego w wyniku „porządkowania” momentów magnetycznych jest znikome. Zauważmy, że na pole \vec{B} składa się pole zewnętrzne \vec{B}_0 i wytworzone w substancji pole \vec{B}_s . Wszystkie te wektory indukcji mają ten sam kierunek i zwrot, wobec tego ich długości spełniają związek

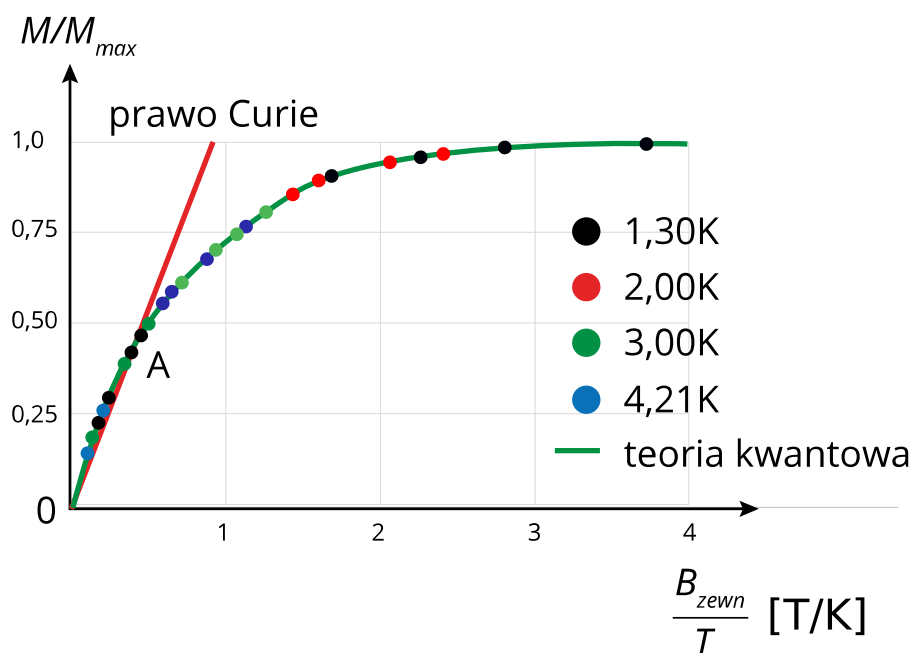
$$B = B_0 + B_s = \mu_r \cdot B_0,$$

skąd

$$B_s = (\mu_r - 1) \cdot B_0 = 0,00002 \cdot B_0.$$

Tak małe [pole magnetyczne](#) wytworzy się w aluminium (paramagnetyku). I ponieważ wartość indukcji B_s jest wprost proporcjonalna do B_0 , to – jeśli usuniemy aluminium z zewnętrznego pola – [pole magnetyczne](#) w aluminium zniknie. W obrazie mikroskopowym to drgania termiczne atomów są odpowiedzialne za całkowite „zniszczenie” nawet najmniejszego uporządkowania momentów magnetycznych.

Wróćmy jeszcze na chwilę do problemu nasycenia paramagnetyka, czyli uzyskania stanu, w którym zwiększanie [pola magnetycznego](#) nie będzie powodowało zwiększenia indukcji w paramagnetyku. W tym stanie wszystkie atomowe momenty magnetyczne będą skierowane tak, jak wektor indukcji \vec{B}_0 . Taka sytuacja jest możliwa. Zwróć uwagę na wykres zamieszczony na Rys. 7., wzorowanym na pracy naukowej W. E. Henry'ego i przytoczonym za podręcznikiem „Podstawy fizyki” autorstwa Resnicka, Hallidaya i Walkera. Wykres przedstawia krzywą namagnesowania siarczany chromowo-potasowego - soli paramagnetycznej. Na osi pionowej odłożono wartość namagnesowania M w stosunku do namagnesowania maksymalnego M_{max} . (Namagnesowanie jest wypadkowym momentem magnetycznym wszystkich atomów. Jest wprost proporcjonalne do indukcji \vec{B}_s .) Na osi poziomej odłożono stosunek wartości indukcji B_0 do temperatury w kelwinach. Zwróć uwagę, że stan nasycenia paramagnetyka można uzyskać dopiero w ekstremalnych warunkach: w temperaturze 1,3 K i wartości indukcji magnetycznej pola zewnętrznego równej około 6 T.



Rys. 7. Krzywa namagnesowania $KCr(SO_4)_2$

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Słowniczek

Pole magnetyczne

(ang. *magnetic field*) - stan przestrzeni charakteryzujący się działaniem siły, zwanej siłą magnetyczną (Lorentza) na poruszający się ładunek umieszczony w tej przestrzeni bądź na obiekt obdarzony momentem magnetycznym; wielkością charakteryzująca pole magnetyczne jest wektor indukcji magnetycznej \vec{B} .

Dipol magnetyczny

(ang. *magnetic dipole*) - układ wytwarzający pole magnetyczne, które cechuje niezerowy magnetyczny moment dipolowy, na przykład magnes trwały, solenoid lub pojedyncza pętla z prądem. Wszystkie skończone źródła pola magnetycznego są dipolami.

Teslomierz

(ang. *teslameter*) - przyrząd do pomiaru indukcji magnetycznej. Składa się z przetwornika pola magnetycznego w sygnał elektryczny oraz układu do pomiaru tego sygnału.

Ze względu na zasadę działania dzielimy je na

- hallotronowe,
- rezonansowe,
- indukcyjne,
- transduktorowe.

Film samouczek

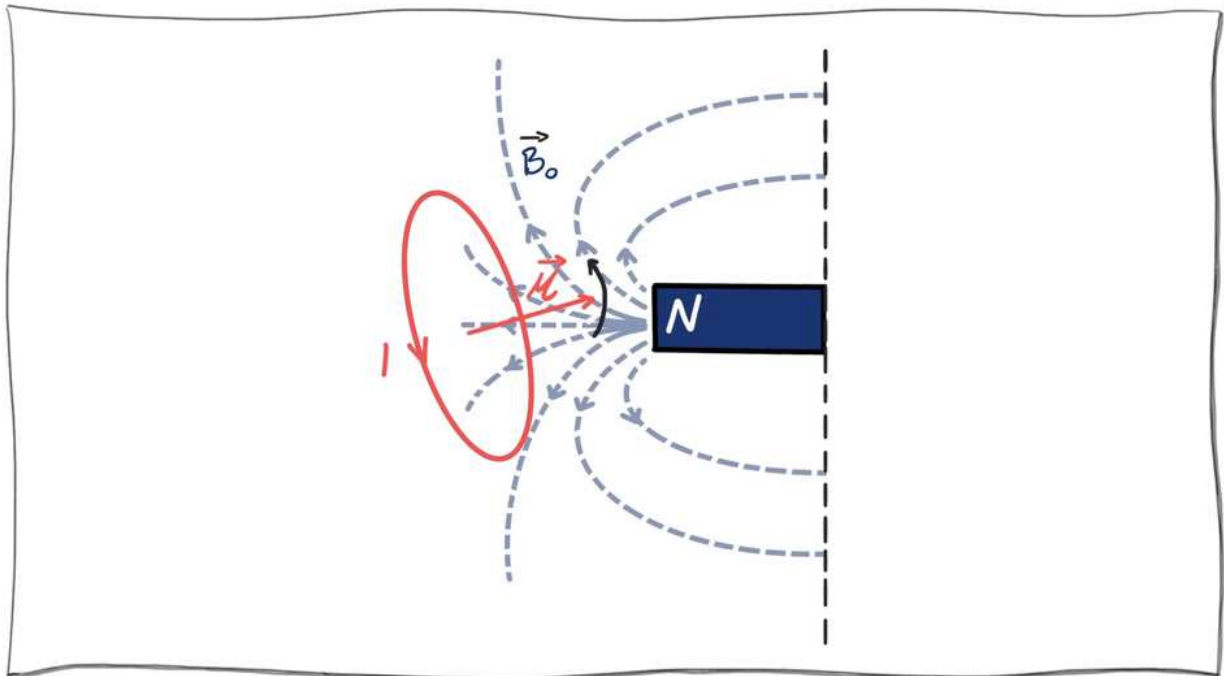
Paramagnetyki

W samouczku wyjaśnimy, jak magnes - wprawdzie z niewielką siłą - ale przyciąga substancję paramagnetyczną.

Efekt ten jest największy dla paramagnetyka o największej wartości względnej przenikalności magnetycznej - dla ciekłego tlenu. O ile dla aluminium $\mu_r = 1,00002$, to dla ciekłego tlenu $\mu_r = 1,001552$, czyli różnice między przenikalnością próżni a przenikalnościami obu substancji mają się do siebie, w przybliżeniu, jak 1 : 80.

Polecenie 1

Obejrzyj film. Wykonaj polecenie, które usłyszysz w trakcie oglądania.



Film dostępny pod adresem </preview/resource/RankDJE0QYD5Y>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>

Zapoznaj się z alternatywną ścieżką samouczka.

Polecenie 2

Jeśli zawiesimy magnes nad pojemnikiem z ciekłym powietrzem, zacznie on przyciągać tylko krople ciekłego tlenu, chociaż stężenie azotu w powietrzu jest kilkukrotnie większe niż tlenu. Czy potrafisz podać przyczynę tego zjawiska? Jaka jest istotna, w kontekście tego zjawiska, różnica między tlenem i azotem?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Zewnętrzne pole magnetyczne jest przez paramagnetyk

pozostawiane bez zmian.

wzmacniane.

osłabiane.

Ćwiczenie 2



Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

W zwykłych, nieekstremalnych sytuacjach doświadczalnych, jeśli indukcja B_0 pola magnetycznego, w którym została umieszczona próbka paramagnetyka wzrasta, to indukcja pola magnetycznego mierzona wewnątrz próbki

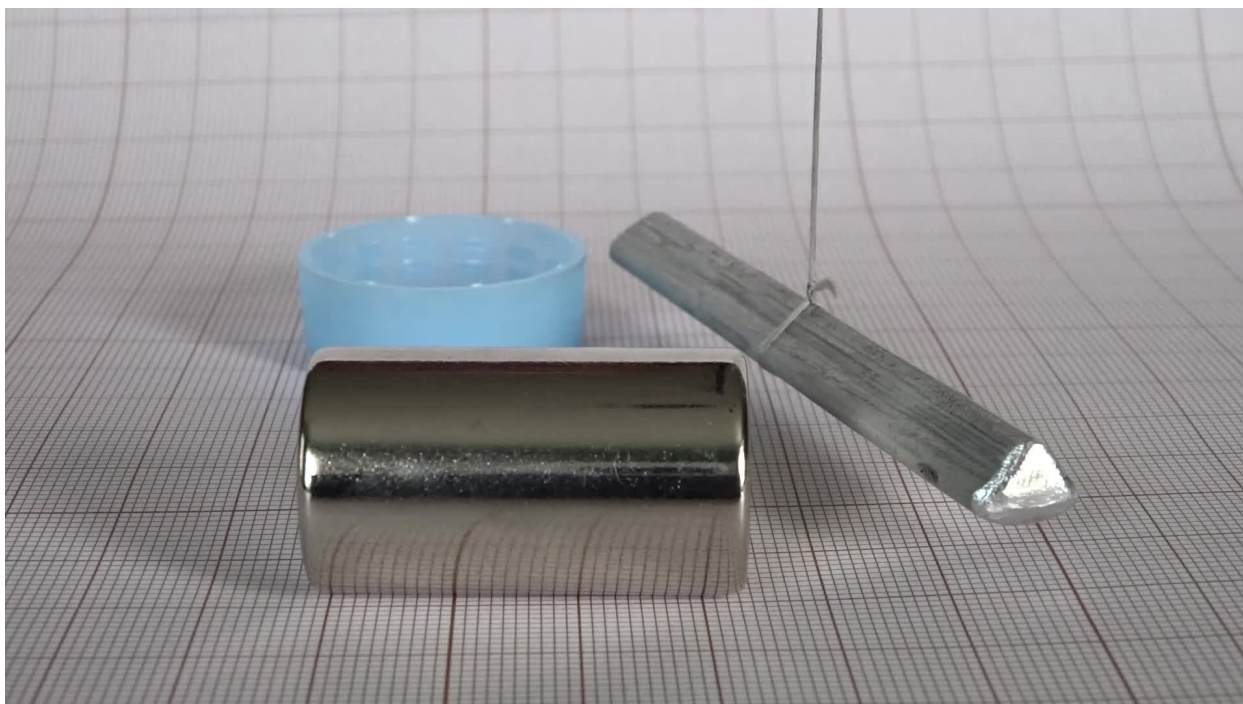
wzrasta wprost proporcjonalnie do B_0 /

maleje odwrotnie proporcjonalnie do B_0 / pozostaje stała .

Ćwiczenie 3



Zapoznaj się ze zdjęciem i jego opisem. Następnie wybierz poprawne uzupełnienia zdania.



Źródło: Sylwester Górski, dostępny w internecie:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paramagnetyzm_\(aluminium\).webm](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paramagnetyzm_(aluminium).webm) [dostęp 14.05.2022], licencja: CC BY-SA 4.0.

Na zdjęciu pokazano zawieszony na nitce aluminiowy pręt, do którego (niecentralnie - bliżej prawego końca) przybliżono biegun S silnego magnesu neodymowego. Pręt obróci się bliższym obserwatorowi (prawym) końcem w stronę do / od magnesu. Jeśli obrócimy magnes tak, żeby biegun N znalazł się bliżej prawej części pręta, to pręt obróci się w tę samą / w przeciwną stronę, co poprzednio.

Ćwiczenie 4



Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Po usunięciu substancji paramagnetycznej z pola magnetycznego pozostaje / nie pozostaje w niej stan namagnesowania.

Ćwiczenie 5



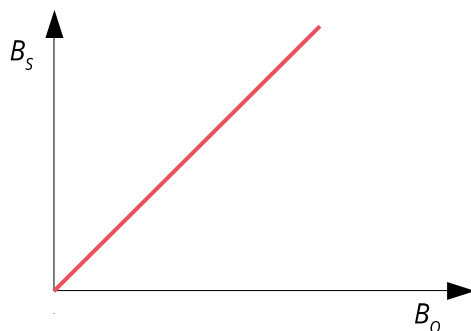
Oblicz wartość indukcji magnetycznej B_S , wytworzonej w ciekłym tlenie w obecności zewnętrznego pola magnetycznego o indukcji 1 T. Względna przenikalność magnetyczna dla ciekłego tlenu $\mu_r = 1,001552$.

Odp.: $B_S =$ T

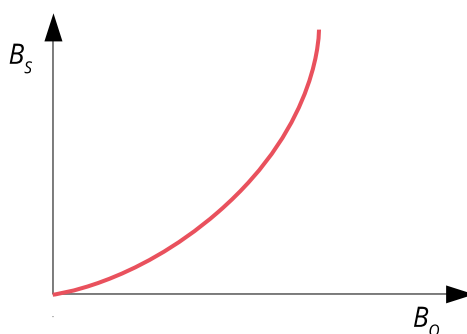
Ćwiczenie 6



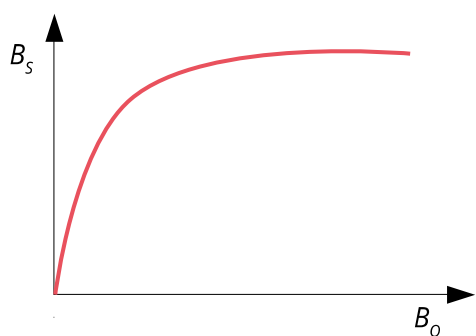
Z naszkicowanych wykresów wybierz taki, który najlepiej przedstawiałby zależność indukcji magnetycznej pola wytworzonego w paramagnetyku B_s od indukcji magnetycznej pola zewnętrznego, do którego ten paramagnetyk wprowadziliśmy. Przyjmij, że wartość B_0 może zmieniać się w nieograniczony sposób, a temperatura jest stała.



a)



b)



c)





d)



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Ćwiczenie 7



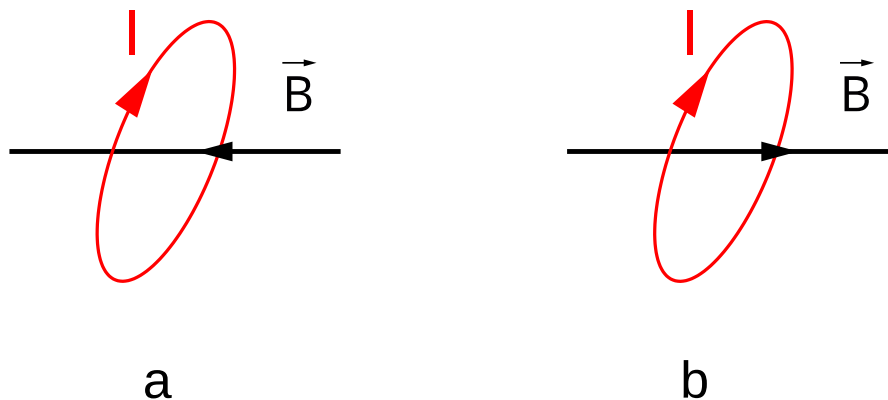
Wybierz poprawne uzupełnienie zdania.

Teoretycznie można by uzyskać stan nasycenia w paramagnetyku tj. stan maksymalnego namagnesowania. W tym celu należałoby zwiększać / zmniejszać wartość indukcji pola magnetycznego B_0 , w którym umieszczono paramagnetyk i jednocześnie zwiększać / zmniejszać temperaturę paramagnetyka.

Ćwiczenie 8

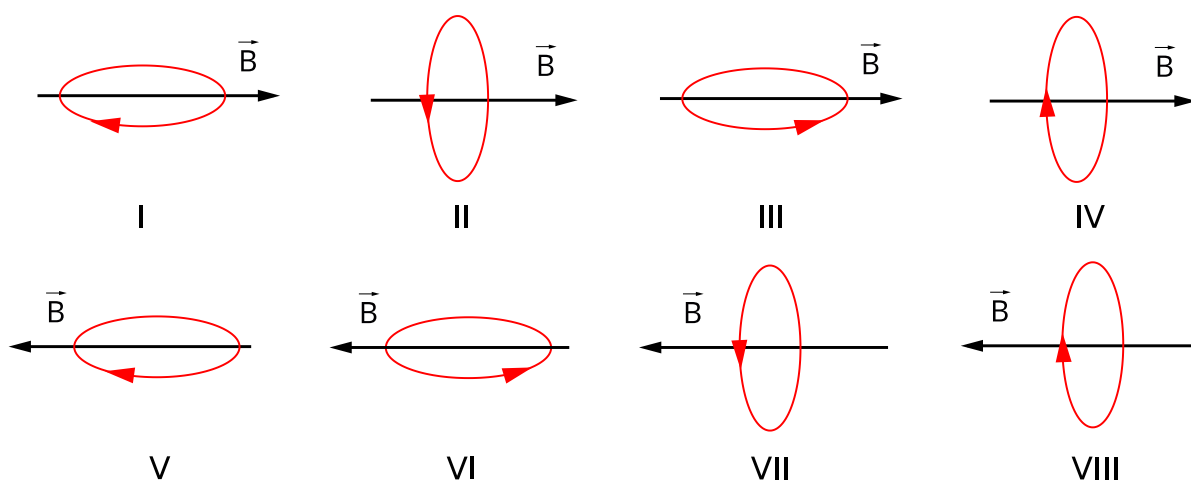


Na Rys. a. i b. pokazane są identyczne kołowe obwody z prądem, które znajdują się w jednorodnych polach magnetycznych o przeciwnych wektorach indukcji \vec{B} .



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Przypisz każdej z sytuacji początkowych z Rys. a. i b. rysunek przedstawiający końcowe położenie obwodu. Uwaga: na wszystkich rysunkach strzałki są bliżej obserwatora.



Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

a. - , b. -

VI I VIII IV II III VII V

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Nina Tomaszewska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Paramagnetyki
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzający zapis podstawy programowej dla kształcenia rozszerzonego
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia – wymagania ogólne</p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu;</p> <p>IX. Magnetyzm.</p> <p>Rozszerzenie podstawy programowej</p>

<p>Kształtowane kompetencje kluczowe:</p>	<p>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
<p>Cele operacyjne:</p>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. objaśnia, w jaki sposób badamy wpływ różnych substancji na wartość wektora indukcji magnetycznej. 2. przeprowadza podział substancji na grupy w zależności od rodzaju i wielkości wpływu na wartość indukcji magnetycznej; 3. wymienia przykłady paramagnetyków 4. objaśnia, dlaczego substancje paramagnetyczne wzmacniają pole magnetyczne i dlaczego nie można namagnesować ich trwale. 5. objaśnia, dlaczego magnes przyciąga paramagnetyki, choć to działanie jest bardzo słabe.
<p>Strategie nauczania:</p>	<p>blended learning</p>
<p>Metody nauczania:</p>	<p>wykład informacyjny wspomagany pokazem multimedialnym</p>
<p>Formy zajęć:</p>	<p>Praca w zespole klasowym</p>

Środki dydaktyczne:	Niniejszy e-materiał + komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Nauczyciel zaciekawia uczniów dając przykłady materiałów, które w małym stopniu wpływają na pole magnetyczne, do którego je wprowadzimy i jednocześnie (III. zasada dynamiki) pole magnetyczne słabo na nie wpływa. Paramagnetyki to grupa substancji, które choć w małym stopniu wzmacniają jednak pole magnetyczne. Jak to się dzieje? Dlaczego wzmacniają i dlaczego są słabo przyciągane przez magnes? Takie pytania stawia nauczyciel przed uczniami.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>Żeby odpowiedzieć na postawione w fazie wstępnej pytania, należy zagłębić się nieco w wiedzę dotyczącą budowy materii, tak aby dostrzec, że w przypadku atomów możemy mówić o momencie magnetycznym. Najpierw nauczyciel najprościej jak to możliwe wprowadza to pojęcie. Mówi o dipolu magnetycznym i jego obracaniu się w polu magnetycznym. Następnie przechodzi do omówienia substancji jako zbioru momentów magnetycznych i ogólnej zasady wzmacniania zewnętrznego pola magnetycznego, w którym umieszczona zostaje substancja. Uczniowie oglądają film samouczek w celu samodzielnego zapoznania się z efektem przyciągania substancji paramagnetycznej, tym bardziej, że jest w nim zawarte ćwiczenie aktywizujące. Nauczyciel opowiada uczniom o eksperymentach mających na celu osiągnięcia stanu nasycenia paramagnetyka. Dobrym uzupełnieniem tego zagadnienia jest rozwiązanie przez uczniów zadania 7. i 8. z zestawu ćwiczeń.</p>	
Faza podsumowująca:	
<p>W fazie podsumowującej nauczyciel wraz z uczniami powinien rozwiązać jeszcze zadania: 5. i 6. z zestawu ćwiczeń.</p>	
Praca domowa:	
<p>Jako pracę domową nauczyciel zadaje zadania: 1., 2., 3., 4. z zestawu ćwiczeń.</p>	

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimediu:	Film samouczek, wyjaśniający zachowanie momentu magnetycznego w polu magnetycznym niejednorodnym, może być wykorzystany w nauczaniu o ferromagnetyzmie.
---	---