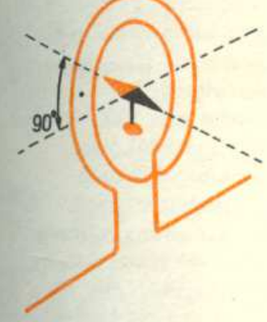
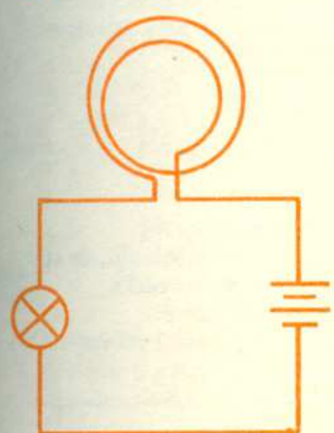
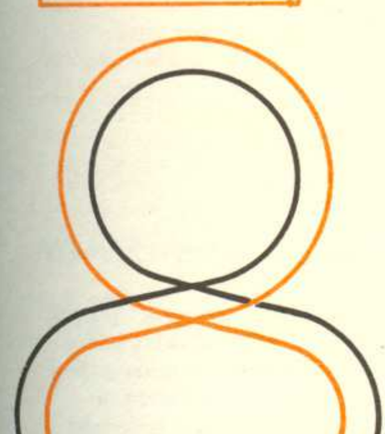
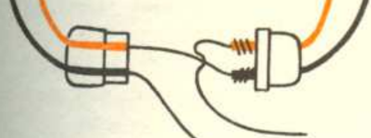
Laboratorium w domu

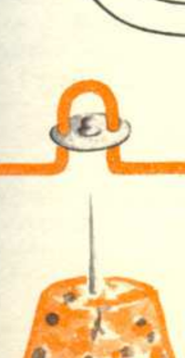
redaguje dr Jan GAJ











CO MOŻNA ZMIERZYĆ IGŁĄ MAGNETYCZNĄ?

Kierunek pola magnetycznego — odpowie każdy. A jego indukcję? Okazuje się, że indukcję pola magnetycznego też można nią zmierzyć i to wykorzystując jej wahania, które na ogół sprawiają kłopot przy używaniu igły np. do określania stron świata.

Eksperyment, który przeprowadzimy, będzie miał tym razem charakter ilościowego pomiaru fizycznego, a nie, jak w zeszłym miesiącu, jakościowej obserwacji zjawiska.

NA CZYM RZECZ POLEGA, czyli idea doświadczenia.

Wyznaczymy indukcję ziemskiego pola magnetycznego, a ściślej jej poziomą składową, przez pomiar częstości wahań igły magnetycznej. Niestety częstość ta zależy nie tylko od szukanej wartości indukcji, ale i od innych parametrów układu doświadczalnego, jak moment magnetyczny czy moment bezwładności igły. Dla ich odseparowania będziemy musieli nieco zmodyfikować pomiar.

NIECO TEORII, albo dlaczego igła się waha?

Igle magnetycznej, podobnie jak każdemu namagnesowanemu przedmiotowi możemy przypisać moment magnetyczny **M**. W polu magnetycznym o indukcji **B** na igłę działa więc moment siły $\mathbf{N} = \mathbf{M} \times \mathbf{B}$. Przechodząc do wartości liczbowych mamy:

$$N = -MB\sin\varphi,$$

gdzie φ jest kątem odchylenia. Minus przed prawą stroną oznacza, że moment siły działa w kierunku przeciwnym do wychylenia. Dla małych kątów $\sin\varphi \approx \varphi$, a wtedy:

$$N \approx -MB\varphi. \tag{1}$$

Mamy więc moment siły proporcjonalny do wychylenia, własność, która charakteryzuje ruch harmoniczny. Jak wiemy przyśpieszenie w ruchu harmonicznym jest równe:

$$a = -4\pi^2\nu^2 x,$$

gdzie x jest wychyleniem, a ν częstością drgań. W ruchu obrotowym analogiczna zależność istnieje między przyśpieszeniem kątowym i kątem wychylenia φ:

$$\varepsilon = -4\pi^2\nu^2\varphi.$$

Z II zasady dynamiki dla ruchu obrotowego mamy:

$$N = I\varepsilon,$$

gdzie I jest momentem bezwładności. Wobec tego w ruchu harmonicznym:

$$N = I\varepsilon = -4\pi^2\nu^2 I\varphi,$$

Porównując ten wzór z (1) mamy:

$$4\pi^2\nu^2 I = BM. \tag{2}$$

Otrzymany wzór określa zależność między częstością wahań igły i szukaną indukcją B. Musimy jeszcze pozbyć się występujących tu nieznanych wielkości I i M. W tym celu wytworzymy pewne znane dodatkowe pole magnetyczne $\mathbf{B}_1$ (a jak — o tym za chwilę) i wykonamy dwa pomiary częstości wahań: ν_+ — kiedy zwrot dodatkowego pola $\mathbf{B}_1$ będzie zgodny ze zwrotem pola ziemskiego **B** oraz ν_- — kiedy zwroty te będą przeciwne. Na podstawie (2) będziemy mieli:

$$4\pi^2\nu_+^2 I = (B+B_1)M$$

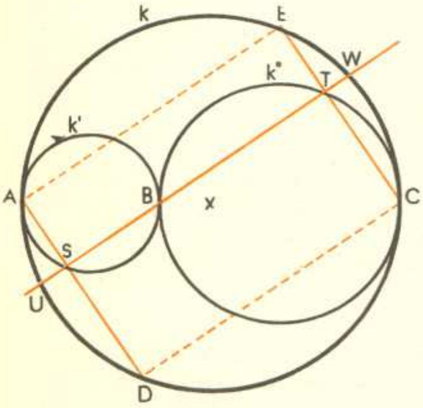
oraz (dla $B \geqslant B_1$):

$$4\pi^2\nu_-^2 I = (B-B_1)M.$$

Przez podzielenie stronami otrzymujemy:

$$\frac{\nu_+^2}{\nu_-^2} = \frac{B+B_1}{B-B_1}$$

Szkic rozwiązania zadania **M4**.
Wykorzystujemy wielokrotnie fakt, że kąt wpisany oparty na średnicy jest prosty. Jest $AD \perp UW$, $EC \perp UW$, stąd $AD \| EC$; $AE \perp EC$, $AD \perp DC$.
Czworokąt ADCE jest więc trapezem, którego dwa przeciwległe kąty (przy wierzchołkach D i E) są proste. Jest on wobec tego prostokątem, a cięciwa UW jest równoległa do jednej pary jego boków, a więc $US = TW$.



i po prostym przekształceniu:

$$B = \frac{\nu_+^2 + \nu_-^2}{\nu_+^2 - \nu_-^2} B_1. \tag{3}$$

JAK TO ZROBIĆ czyli przebieg doświadczenia

Dodatkowe pole $\mathbf{B}_1$ wytworzymy przy pomocy przewodnika kołowego z prądem (o n zwojach). Aby kierunki pól $\mathbf{B}$ i $\mathbf{B}_1$ były zgodne, należy ustawić przewodnik kołowy tak, aby jego płaszczyzna była prostopadła do kierunku swobodnej igły magnetycznej. Jako źródła prądu użyjemy bateryjki. W obwód włączymy także żaróweczkę dla ustalenia wartości natężenia prądu. Schemat obwodu przedstawia rysunek. Praktycznie wygodnie posłużyć się latarką kieszonkową, w której obwód włączymy szeregowo przewodnik kołowy. W okrągłej latarce najlepiej zrobić to odkręcając jej tylną zakrętkę (ze sprężyną) i podłączając się między obudowę a dno baterii. Kto nie dysponuje przewodem izolowanym, może zrobić przewodnik kołowy nawijając długi przedłużacz lub sznur od żelazka na jakąś okrągłą formę np. kosz od śmieci. Połączenie należy tak wykonać, aby wykorzystać oba przewody przedłużacza łącząc je szeregowo. Oczywiście liczbę zwojów będziemy wtedy liczyć podwójnie. Indukcję B_1(w T) obliczymy ze wzoru:

$$B_1 = \frac{\mu_0 n i}{2R},$$

gdzie R jest promieniem przewodnika kołowego, a $\mu_0 = 1{,}25 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$ przenikalnością magnetyczną próżni. Natężenie i (jeśli nie dysponujemy amperomierzem) odczytamy po prostu z cokołu żaróweczki przy założeniu, że siła elektromotoryczna baterii zgadza się z napięciem nominalnym żaróweczki, wypisanym na niej, a opór przewodu i opór wewnętrzny baterii jest do pominięcia. Częstości ν_+ i ν_- mierzymy, licząc wahnięcia w ciągu np. 1 minuty. Kto nie ma igły magnetycznej czy kompasu, może ją zrobić z kawałka drutu i dużego zatrzasku, namagnesować magnesem i osadzić na igle do szycia wbitej tępym końcem w korek.
Napiszcie, jak Wam się udało.

Na pytanie co to jest dobry porządek odpowiada

prof. dr Andrzej MOSTOWSKI członek rzeczywisty PAN.

Będziemy zakładali, że Czytelnik zna dwa ogólne pojęcia matematyczne: pojęcie zbioru i pojęcie funkcji. Aby objaśnić, czym są zbiory dobrze uporządkowane, zdefiniujemy najpierw pojęcie relacji dwuczłonowej. Nazywamy tak funkcję dwu zmiennych, przebiegających jakiś zbiór, przyczem wartości funkcji należą do zbioru dwuelementowego złożonego z 0 i 1. Zbiór, który przebiegają zmienne, nazywamy zbiorem określoności relacji. Do oznaczania relacji używamy zazwyczaj liter $R, S, \ldots$ Jeśli A jest zbiorem określoności relacji R i x, y są elementami A, to zamiast $R(x, y) = 1$ piszemy zazwyczaj xRy i mówimy, że relacja R zachodzi między elementami x i y. Jeśli $R(x, y) = 0$, to piszemy x non$-Ry$ i mówimy, że relacja R nie zachodzi między x i y. Widzimy, że jeśli R jest relacją o zbiorze określoności A, to dla każdej pary uporządkowanej (x, y) elementów A ma miejsce albo xRy albo x non$-Ry$. Zbiór wszystkich par (x, y) elementów A rozpada się więc na dwie klasy: klasę par (x, y) takich, że relacja zachodzi między x i y, i klasę par (x, y) takich, że relacja R nie zachodzi między x i y.
Weźmy na przykład zbiór wszystkich prostych na jakiejś płaszczyźnie π i przyjmijmy $R(x, y) = 1$, jeśli proste x i y są do siebie prostopadłe, $R(x, y) = 0$ w przypadku przeciwnym. R jest więc relacją prostopadłości między prostymi leżącymi na płaszczyźnie. Zbiorem określoności relacji jest zbiór wszystkich prostych leżących na π. Inny przykład relacji o tym samym zbiorze określoności otrzymamy przyjmując $S(x, y) = 1$ gdy proste x i y są równoległe, $S(x, y) = 0$ w przypadku przeciwnym.

Często spotyka się relacje spełniające pewne warunki: relację R o zbiorze określoności A nazywamy zwrotną, jeśli xRx dla każdego x należącego do A; nazywamy ją antysymetryczną, jeśli warunek xRy wyklucza warunek yRx dla