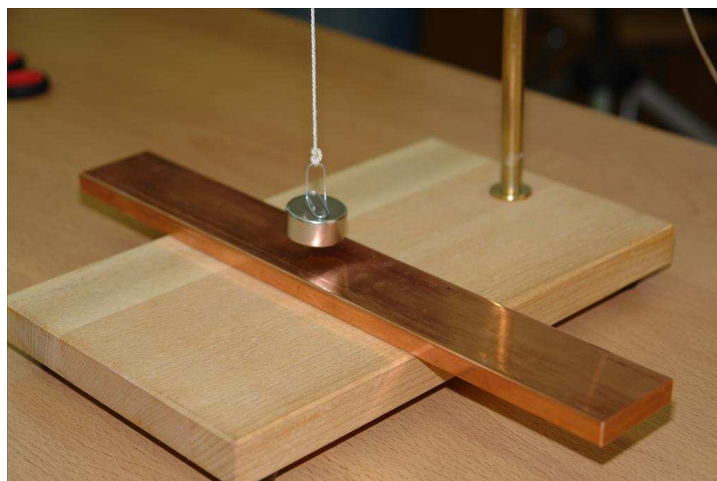


7.3.a. Leniwe wahadło

Cel: badanie powstawania prądów wirowych

Środki dydaktyczne z zestawu doświadczalnego:

- magnes neodymowy
- spinacz
- sznurek
- statyw
- miedziana sztabka



Fot. 7.3. Leniwe wahadło

Wykonanie:

Przywiąż sznurek do spinacza. Spinacz połóż na magnesie. Na podstawie statywu pod magnesem połóż miedzianą sztabkę. Wychyl magnes z położenia równowagi. Przyjrzyj się, jak zachowuje się magnes.

Wyjaśnienie:

Z poprzednich doświadczeń wiesz, że zmienne pole magnetyczne indukuje przepływ prądu w przewodniku. W tym doświadczeniu jest podobnie. Magnes wychylony z położenia równowagi porusza się jak wahadło, ale w zwolnionym tempie. Przyczyną takiego ruchu magnesu jest miedziana sztabka, a dokładnie to, co się dzieje z elektronami przewodnictwa w jej wnętrzu, z pewnością pamiętasz, że miedź jest przewodnikiem.

Nad sztabką znajduje się wahający się magnes. Zmienne pole magnetyczne (magnes się porusza) powoduje, że wewnątrz sztabki indukują się prądy, tak samo jak w przypadku cewki. O ile jednak w przypadku cewki prądy płyną w dobrze określonym kierunku (tj. wzdłuż drutu), to w sztabce miedzi prądy mogą płynąć we wszystkich kierunkach. I tak się właśnie dzieje!

W jakich kierunkach płyną indukowane prądy? W takich, jak to definiuje reguła Lenza: zawsze tak, że pole magnetyczne wytworzone przez indukowane prądy przeciwstawia się zmianom *zewnętrznego* pola magnetycznego.

Korzystając z prawa Ohma wiemy, że wartość prądu zależy od oporu obwodu. W przypadku przewodnika o dużej masie - takiego jak sztabka miedziana, wartość oporu jest mała. Z kolei

mała wartość oporu umożliwia powstanie prądów wirowych o znacznej wartości, nawet gdy pole magnetyczne zmienia się wolno. Wartość natężenia prądów wirowych można obliczyć w przybliżeniu ze wzoru:

$$I_{\text{wir}} \approx f B_{\text{max}} \sigma,$$

gdzie f - częstotliwość zmian pola magnetycznego, B_{max} - amplituda zmian indukcji, σ - przewodność właściwa ciała.

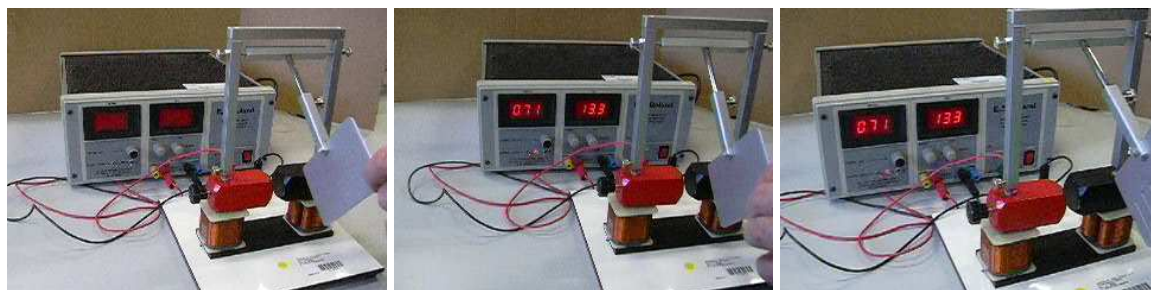
Zagadnienie:

„Normalne” wahadło nie zatrzymuje się w położeniu równowagi, ale wychyla się w drugą stronę, po czym wraca. „Leniwe” wahadło staje w położeniu równowagi. Gdzie się podziewa jego energia kinetyczna?

Oczywiście, energia kinetyczna wahadła jest źródłem powstania prądów indukowanych. Te z kolei, przepływając w materiale o określonej oporności, wytwarzają ciepło.

Uwagi dydaktyczne:

1. Doświadczenie pokazuje jeszcze raz, że powstająca siła elektromagnetyczna zależy od *strumienia* pola magnetycznego (a w zasadzie od szybkości jego zmian). W doświadczeniu używamy magnesu o dużej powierzchni: strumień pola jest więc duży (wszystkie magnesy neodymowe wytwarzają pola o indukcji rzędu 1 T na ich powierzchni).
2. Powstające prądy nazywamy prądami „wirowymi”. W rzeczywistości ich kierunek jest określony przez regułę Lenza. W obecnym doświadczeniu, przesuwanego się magnesu nad płytką miedzi, prądy te płyną w przekroju poprzecznym płytki. Siła hamująca zależy więc od grubości płytki; można powtórzyć doświadczenie dla cieńszej blachy miedzianej – efekt hamowania będzie znacznie słabszy.
3. Do pokazania prądów indukowanych w materiale służy też doświadczenie w konfiguracji jak na zdjęciach poniżej. Blacha aluminiowa waha się między nabiegunnikami elektromagnesu. Jeśli przez elektromagnes nie przepływa prąd, ruch ten nie jest hamowany. Kiedy prąd przepływa (drugie zdjęcia) blacha jest silnie hamowana (zob. filmy w wersji internetowej). Ruch nie jest hamowany, jeśli blacha ma nacięcia jak grzebień (trzecie zdjęcie).



Fot. 7.4.. Doświadczenie ilustrujące prądy wirowe