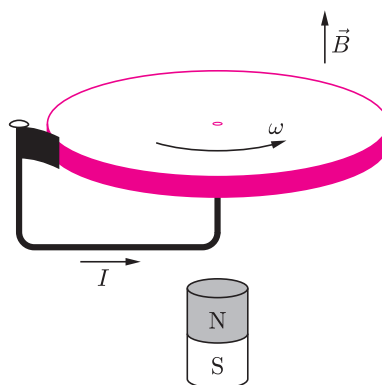
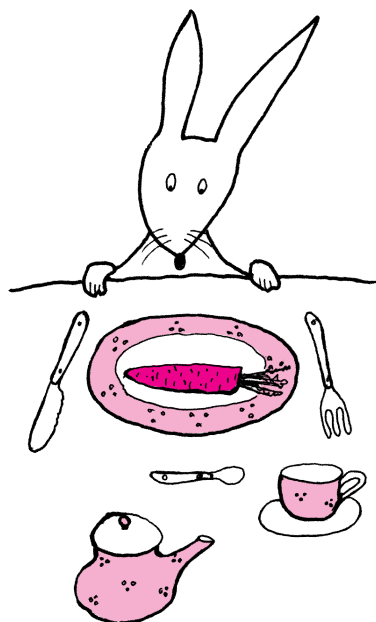


Dynamo we wnętrzu Ziemi

Ziemskie pole magnetyczne jest wszechobecne i bardzo łatwe do wykrycia. O jego istnieniu wiedzieli uczeni i podróżnicy w starożytności, a dzisiaj wie o nim każdy, kto miał w ręku kompas. Oprócz funkcji nawigacyjnej spełnia ono rolę tarczy ochronnej naszej planety, zakrzywiając tor naładowanych cząstek padających na naszą planetę z Kosmosu, głównie ze Słońca.

Jednak niewiele zapytanych osób potrafiłoby wyjaśnić, skąd ono się bierze. Na usprawiedliwienie niewiedzących trzeba przyznać, że naukowcy badający fizykę Ziemi, geofizycy, sami do końca nie rozumieją mechanizmu jego powstawania. Nie znaczy to, że są wobec tego zjawiska bezradni – w 1919 roku Larmor zapostulował mechanizm, który dziś jest już powszechnie uznawany. Mechanizm ten oparty jest na zasadzie działania prądnicy.

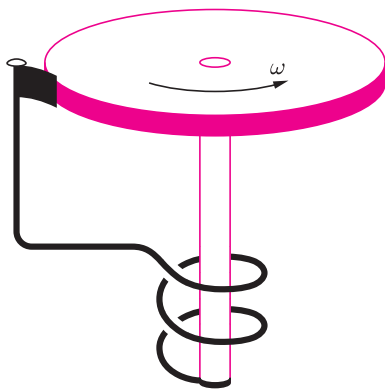
Prądnica, czyli inaczej dynamo, to jedna z najprostszych i najważniejszych maszyn elektrycznych. Zasadę jej działania odkrył na początku XIX wieku Michael Faraday: jeśli przewodnik porusza się w polu magnetycznym (bądź jeśli pole magnetyczne zmienia się w czasie), na końcach przewodnika wytwarza się różnica potencjałów. Jedno z pierwszych urządzeń tego typu zbudowanych przez Faradaya przedstawia rysunek 1: wirujący metalowy dysk umieszczony jest w polu magnetycznym stałego magnesu. Do brzegu dysku dotyka kontakt (np. metalowa szczotka), drugi przyłączony jest do środka dysku. Ruch wirowy dysku powoduje powstanie różnicy potencjałów między zewnętrznym brzegiem a środkiem, a ta z kolei powoduje przepływ niewielkiego, stałego prądu w obwodzie.



Rys. 1

Dobrze – ale skąd takie urządzenie w środku Ziemi? Skąd wirujący przewodnik i zewnętrzny magnes?

Na pierwsze pytanie odpowiedź jest bardzo łatwo: we wnętrzu Ziemi znajduje się dużo płynnego żelaza, które jest znakomitym przewodnikiem. Z kolei konwekcja, czyli unoszenie gorętszych i lżejszych warstw żelaza, połączone z obrotem Ziemi wokół własnej osi, dostarcza energii



Rys. 2

mechanicznej. Brakuje tylko magnesu – wszak w pobliżu naszej planety nie unosi się żadna namagnesowana sztabka lub podkowa.

Czy jednak prądnica koniecznie potrzebuje zewnętrznego pola magnetycznego aby działać? Popatrzmy na rysunek 2. Magnes zewnętrzny zastąpiono tutaj cewką, przez którą przepływa indukowany prąd. Przypuśćmy, że w urządzeniu płynie już prąd. Przy konfiguracji takiej, jak na rysunku, pole magnetyczne wytworzone w cewce ma taki zwrot, że ruch dysku wytwarza siłę elektromotoryczną podtrzymującą prąd (Czytelników znających regułę prawej i lewej ręki proszę o sprawdzenie). Taka prądnica może sama działać bez stałego magnesu z zewnątrz, ale wymaga początkowego impulsu.

Ale to nie wszystko: okazuje się, że jeśli prędkość wirowania dysku jest odpowiednio duża, układ bez ingerencji z zewnątrz wytwarza pole magnetyczne! Jak to możliwe? Po prostu dla odpowiednio dużych prędkości obrotu najmniejszy prąd, jaki powstanie w obwodzie, czy to na skutek bezładnego ruchu elektronów, czy też wzbudzony przez jakieś niewielkie pole magnetyczne z zewnątrz, zostaje wzmocniony, aż wartości natężenia prądu i pola osiągną stabilną wartość równowagową, czyli taką, której nie są w stanie zniszczyć niewielkie zaburzenia. Fizycy mówią, że stan „bez prądu” stał się stanem równowagi niestabilnej.

Oczywiście maszyna taka nie jest *perpetuum mobile* – aby dysk wirował ze stałą prędkością, musimy kręcić nim, czyli stale wykonywać nad nim pracę mechaniczną, która zamieniana jest na energię prądu w obwodzie i energię pola magnetycznego.

Analogiczny mechanizm, tzw. *geodynamo*, wyjaśnia jakościowo istnienie pola magnetycznego wokół Ziemi. Wspomnieliśmy jednak na początku, że sprawa ziemskiego pola magnetycznego nie jest jeszcze do końca wyjaśniona. Fizycy chcieliby wymodelować, czyli odtworzyć to zjawisko przy użyciu komputera. Problem jest jednak bardzo trudny: trzeba jednocześnie śledzić zachowanie linii pola magnetycznego, przepływ prądu i ruch gorącego płynu, przy czym wszystkie te ruchy powiązane są skomplikowanymi równaniami różniczkowymi, tzw. *równaniami magnetohydrodynamiki*. W szczególności chcieliby dzięki symulacjom uzyskać odpowiedź na pytanie, skąd bierze się najbardziej chyba zadziwiająca własność ziemskiego pola magnetycznego, a mianowicie jego skłonność do zamiany biegunów magnetycznych co kilkanaście do kilkuset tysięcy lat. Dane geologiczne w postaci namagnesowania zastygłych w dawnych epokach skał pokazują, że takie zmiany orientacji pola magnetycznego zdarzały się w historii wiele razy, ale w bardzo nieregularnych odstępach.

Większość symulacji komputerowych, z powodu ograniczonej szybkości i pamięci komputera, wprowadza do problemu znaczne uproszczenia, np. zakładając, że ruchy odbywają się tylko w dwu wymiarach bądź zaniedbując część oddziaływań. Z tych samych powodów zakładane wartości parametrów przepływu cieczy we wnętrzu Ziemi są na ogół odległe od rzeczywistych. Takie modele nie oddają w pełni zachowania geodynamy. Mimo uproszczeń jedne z lepszych symulacji wykonali w 1995 roku Glatzmaier i Roberts. Udało im się nawet wymodelować inwersję biegunów. Filmy obrazujące wyniki ich symulacji dostępne są w internecie pod adresem <http://www.psc.edu/research/graphics/gallery/geodynamo.html>.

Małą Deltę przygotował Mikołaj KORZYŃSKI

