

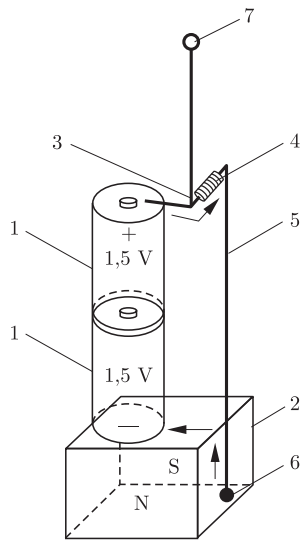
Elektrodynamiczne dziecięła i huśtawki

Stanisław BEDNAREK*

Siła elektrodynamiczna jest powszechnie wykorzystywana do wprawiania w ruch silników elektrycznych. My spróbujemy wykorzystać ją do napędu dwóch interesujących zabawek, które do złudzenia przypominają dziecięła i huśtawkę.

Do przeprowadzenia doświadczeń potrzebne będą: miedziany drut bez izolacji o długości około 1,5 m i średnicy 0,5–1,5 mm, magnes neodymowy w kształcie prostopadłościanu o rozmiarach około $4 \times 3 \times 1,5$ cm, dwie duże, okrągłe baterie o sile elektromotorycznej 1,5 V (typu R20) – najlepiej alkaliczne i wcześniej nieużywane, koralik albo kulka drewniana o średnicy około 1 cm z otworem, taśma klejąca, marker, lutownica, cyna i szypce uniwersalne (tzw. kombinerki). Magnes powinien być namagnesowany wzdłuż najkrótszego boku.

Sposób wykonania elektrodynamicznego dziecięła został przedstawiony na rysunku 1. Z drutu odcinamy dwa kawałki o długości kilku cm. Część pierwszego z tych kawałków nawijamy na drugim drucie, układając 10–15 zwojów równo jeden obok drugiego. W ten sposób uzyskujemy tulejkę o długości 1–1,5 cm, która będzie stanowiła łożysko dla korpusu kiwającego się dziecięła. Drugi kawałek drutu wysuwamy z tulejki i wyginamy koniec pierwszego, zgodnie z rysunkiem 1, a następnie odcinamy niepotrzebne końcówki. Dzięki temu mamy wspornik, który przylutowujemy do dodatniego bieguna jednej z baterii R20. Przez tulejkę przekładamy kawałek drutu o długości około 30 cm i zaginamy go po obu stronach pod kątem prostym, tak żeby odgięte odcinki miały długość kilkunastu centymetrów.



Rys. 1. Budowa elektrodynamicznego dziecięła; 1 – bateria alkaliczna 1,5 V (typu R20), 2 – prostopadłościenny magnes neodymowy, 3 – wspornik z drutu miedzianego, 4 – tulejka zwinięta z drutu na końcu wspornika, 5 – ogon dziecięła, 6 – kulka z cyny, 7 – koralik lub kulka, N, S – bieguny magnesu, strzałki wskazują kierunek przepływu prądu.

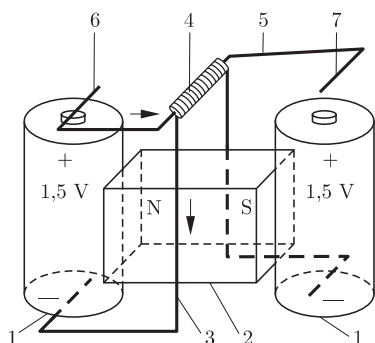
Na magnesie neodymowym ustawiamy drugą baterię R20, a na niej umieszczamy baterię ze wspornikiem. Obie baterie będą utrzymywane razem dzięki siłom przyciągania magnetycznego ich stalowych osłon. Dla zwiększenia pewności połączenia możemy owinać baterie taśmą klejącą. Posługując się magnesem neodymowym, należy zachować ostrożność, żeby nie przycisnął nam skóry palców do baterii lub innego przedmiotu stalowego. Na odgiętej w dół części drutu (nazwijmy ją „ogonem” dziecięła) zaznaczamy markerem odcinek sięgający nieco powyżej dolnej krawędzi magnesu. Zdejmujemy baterię z magnesu, odcinamy drut w miejscu zaznaczenia i nakładamy na jego dolny koniec kroplę cyny, która zapewni nam dobry kontakt z magnesem. Na górny koniec drutu nakładamy kulkę lub koralik i przyklejamy kawałkiem taśmy. Ponownie ustawiamy obie baterie na magnesie. Kulka z cyny powinna dotykać bocznej powierzchni magnesu. Gdyby tak nie było, należy wygiąć drut wspornika w odpowiednią stronę. Jeden z dziecięł, wykonany zgodnie z podanym opisem, jest pokazany na fotografii 1.



Fot. 1. Przykład wykonania elektrodynamicznego dziecięła

Gdy kropla cyny dotyka bocznej powierzchni magnesu, wtedy obserwujemy drgania drutu w płaszczyźnie pionowej, przypominające ruchy dziecięła kującego drzewo. Przyczyną tych drgań jest przepływ prądu elektrycznego – od dodatniego bieguna górnej baterii przez tulejkę, ogon dziecięła, cynową kulkę i powierzchnię magnesu do ujemnego bieguna dolnej baterii. Ponieważ ogon dziecięła znajduje się w polu magnetycznym, to działa na niego siła elektrodynamiczna odpychająca go od magnesu. Powoduje to odsunięcie ogona wraz z kroplą cyny od magnesu i przerwanie obwodu oraz zanik siły elektrodynamicznej. Wtedy ogon szybko opada pod własnym ciężarem, co powoduje ponowne zamknięcie obwodu i przepływ prądu. W konsekwencji tego odbywają się drgania, podczas których słychać uderzenia cynowej kulki o magnes, przypominające stukanie dziecięła. Wahający drut z kulką przypomina z kolei ruchy górnej części tułowia dziecięła. Są to drgania relaksacyjne, charakteryzujące się tym, że wykres zależności wychylenia od czasu ma kształt podobny do zębów piły. Używając zbudowanej zabawki, możemy przeprowadzić szereg doświadczeń o charakterze ilościowym, np. zbadać zależność częstotliwości stukania dziecięła od położenia koralika na drucie lub od długości jego ogona. Można też zbudować dziecięła, używając innej liczby baterii niż dwie.

*Instytut Fizyki, Uniwersytet Łódzki



Rys. 2. Huśtawka elektrodynamiczna; 1 – bateria alkaliczna 1,5 V (typu R20), 2 – prostokątny magnes neodymowy, 3 – wspornik wygięty z drutu miedzianego, 4 – tulejka zwinięta z drutu, 5 – ramię, 6, 7 – końcówki ramienia z drutu miedzianego, N, S – bieguny magnesu, strzałki wskazują kierunek przepływu prądu w przypadku przechylenia ramienia w lewo.

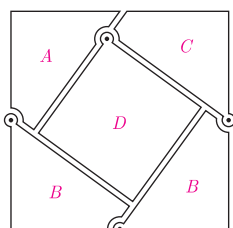


Fot. 2. Wygląd zbudowanej huśtawki elektrodynamicznej

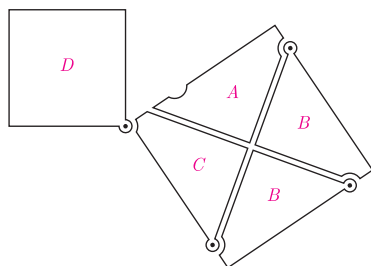
Sposób wykonania elektrodynamicznej huśtawki przedstawia rysunek 2. W tym układzie dwie baterie alkaliczne typu R20 są przyłożone do przeciwległych ścianek używanego poprzednio prostokątnego magnesu neodymowego. Na magnes nałożony jest wspornik z tulejką, w części środkowej wygięty z drutu miedzianego. Wykonując tulejkę i wspornik, należy postępować w sposób podobny jak poprzednio. Dolne końce wspornika zostały zagięte pod kątem prostym i dotykają od spodu ujemnych biegunów baterii. Przez tulejkę wspornika przechodzi poziome ramię zagięte dwukrotnie pod kątem prostym, dzięki temu jego końcówki mogą dotykać do dodatnich biegunów baterii. Wysokość wspornika jest nieco większa niż wysokość baterii. Skutkiem tego w dowolnej chwili tylko jedna końcówka ramienia po jego przechyleniu może dotykać baterii. Jeden ze zbudowanych modeli huśtawki pokazano na fotografii 2.

Działanie huśtawki jest następujące. Jeżeli końcówka ramienia po którejś stronie dotknie dodatniego bieguna baterii, wówczas zamknie ona obwód elektryczny. Przez połowę ramienia, znajdującego się po stronie dotknięcia, popłynie prąd w kierunku tulejki, wspornika i ujemnego bieguna baterii. Ramię znajduje się w polu magnetycznym, skierowanym do niego prostopadle, więc ta połowa ramienia zostanie odepchnięta ku górze. Spowoduje to otwarcie obwodu i utworzenie zamkniętego obwodu po stronie przeciwnej, gdzie powtórzy się opisana sytuacja. W ten sposób ramię będzie przechylało się raz w jedną, raz w drugą stronę, podobnie jak dwuosobowa huśtawka. W przypadku tej huśtawki również zachodzą drgania relaksacyjne. Bardziej dociekliwi Czytelnicy mogą wykorzystać tę zabawkę do doświadczeń o charakterze ilościowym, np. badając zależność między częstotliwością drgań i masą każdego z ramion, którą łatwo zmieniać, umieszczając na nim ciężarki o znanej masie, np. małe, mosiężne nakrętki. Można też zastanowić się, czy dzieciół i huśtawka będą działały po odwróceniu magnesu i zamianie miejscami jego biegunów? Kończąc, warto dodać, że drgania relaksacyjne są bardzo często spotykanym rodzajem drgań i zachodzą m.in. podczas skrzywienia przesuwanych po sobie ciał, a także gry na instrumentach smyczkowych.

8 Pitagoras w zawiasach



Oczywiście, w niektórych wierzchołkach czworokątów dodane są kółeczka (mające środek w wierzchołkach, a w innych są wycięcia, które należy zrobić promieniem o 1 mm większym od kółeczek).



Czy do podziału kwadratu trzeba koniecznie użyć środków boków?

Zabawmy się Pitagorasem, budując urządzenie przedstawione obok... W tym celu wytnijmy z grubego kartonu lub z cienkiej sklejki figury narysowane na tylnej stronie okładki (w ilościach tam wskazanych) oraz

- przyklejmy do części A_s z góry i z dołu części A ,
- podobnie do części B_s z góry i z dołu części B ,
- tak samo z C i D .

Tak uzyskane figury trzywarstwowe zestawmy tak, jak na rysunku obok. Wtedy wystające z figury A_s kółko wejdzie pomiędzy wystające kółka figur B i tak dalej. Następnie przez wszystkie kropki przetknijmy druciki (np. od spinacza), elementy powinny utworzyć jedną nierozzerwalną całość – praca konstruktorska skończona.

Teraz otrzymane urządzenie będzie można przez pociągnięcie za część A *pitagorasić*, czyli doprowadzić do tego, że z kwadratu zrobią się dwa (*pitagorejski rozkład kwadratu*).

Gdy zechcemy mieć inny podział tego samego kwadratu na dwa (a przecież możemy sobie tego życzyć, ponieważ istnieje bardzo wiele trójkątów prostokątnych o zadanej przeciwprostokątnej), musimy nieco popracować. Mianowicie, należy ze środka boku kwadratu (tego, który chcemy podzielić na dwa mniejsze – oznaczymy jego długość przez p) poprowadzić prostą aż do przecięcia z prostą poprowadzoną pod tym samym kątem ze środka kolejnego boku itd. Wówczas wewnątrz danego kwadratu powstanie mniejszy kwadrat (oznaczymy długość jego boku przez q), a cztery czworokąty, na jakie podzielona zostanie „reszta”, złożą się na kolejny kwadrat.

Te czworokąty mają dwa kąty proste. Przy jednym z nich oba ramiona są tej samej długości – ich długość to $p/2$. Przy drugim kącie prostym ramiona mają długość

$$\frac{\sqrt{p^2 - q^2} + q}{2} \quad \text{i} \quad \frac{\sqrt{p^2 - q^2} - q}{2}.$$

Na okładce długości boków czworokątów to 5, 5, 7 i 1.

K. Ł.