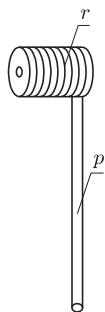
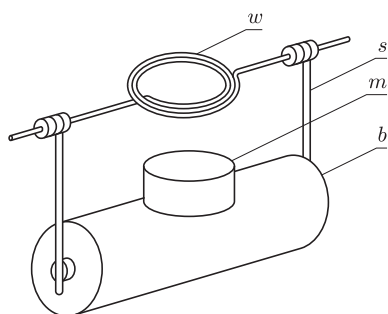


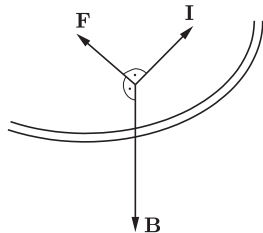
Rys. 1. Wironik z osią; z - zwoje, k - końcówka drutu, t - taśma klejąca, e - izolacja.



Rys. 2. Wspornik; r - rurka, p - prostoliniowy odcinek drutu.



Rys. 3. Silnik elektryczny po złożeniu; w - wironik, s - wspornik, m - magnes, b - bateria typu R20.



Rys. 4. Przyczyna obrotu wironika; \mathbf{F} - siła elektrodynamiczna, \mathbf{B} - wektor indukcji magnetycznej, \mathbf{I} - natężenie prądu.

Silnik elektryczny ma w sobie coś tajemniczego – przetwarza bowiem niewidoczną energię prądu elektrycznego na energię kinetyczną ruchu obrotowego. Obecnie miniaturowy silnik elektryczny można kupić za kilka złotych w sklepie z podzespołami elektronicznymi. Czy jest więc sens samodzielnej budowy silnika elektrycznego? Wbrew pozorom odpowiedź na to pytanie jest twierdząca pod warunkiem, że budowany silnik będzie charakteryzował się niezwykłą prostotą i pozwoli na lepsze poznanie praw fizyki.

Zajmiemy się dwoma modelami takich silników elektrycznych. Do zbudowania pierwszego z nich będziemy potrzebowali około 3 m miedzianego drutu o średnicy 1–2 mm izolowanego emalią, taśmę klejącą, magnes w kształcie dysku lub pierścienia o średnicy 3–6 cm, baterię R20, nożyczki, żyłtkę, zapalnik i lutownicę. Zamiast lutownicy można zastosować dwie gumki aptekarskie.

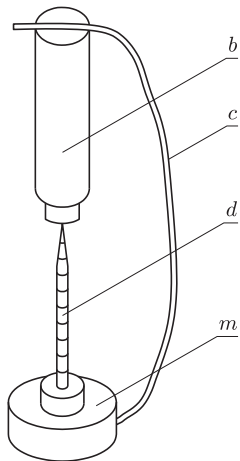
Z drutu odcinamy dwa kawałki o długości około 7 cm, z których później wykonamy wsporniki. Pozostałą część drutu wykorzystamy do wykonania wironika (rys. 1). Drut ten nawijamy na baterię R20, tak żeby uzyskać kilkadziesiąt zwojów z oraz pozostawiamy odgięte końcówki k o długości około 3 cm. Nawinięty drut zsuwamy z baterii i dwoma kawałkami taśmy klejącej t owijamy kilkakrotnie zwoje drutu, tak żeby ściśle przylegały do siebie. Sprawdzamy, czy odgięte końce drutu k są ustawione wzdłuż jednej prostej i ewentualnie je przyginamy. Żyłtką zeskrobujemy emaliową izolację e na obu podłużnych połówkach końcówek drutu (rys. 1). W ten sposób uzyskujemy wironik z osią.

Żyłtką usuwamy emaliowaną izolację na długości około 1,5 cm z obu końcówek dwóch odciętych kawałków drutu. Odizolowaną końcówkę drutu nawijamy 3-4 razy na zapalnik, tak żeby utworzyła rurkę r (rys. 2). Rurka ta będzie stanowiła łożysko dla wironika. Pozostały odcinek drutu p odginamy pod kątem prostym do rurki. Rurkę zsuwamy z zapalnika i w ten sam sposób wykonujemy wspornik z drugiego kawałka drutu.

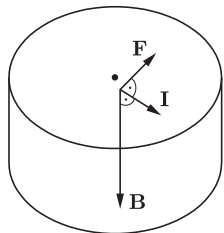
Przystępujemy teraz do montażu naszego silnika. Z przeciwległych stron baterii b do jej obu biegunów przylutowujemy prostoliniowe końcówki wsporników p (rys. 3). Jeżeli nie mamy dostępu do lutownicy, to możemy przymocować końcówki wsporników za pomocą dwóch gumek aptekarskich, nałożonych na baterię. W rurki r, stanowiące łożyska, wsuwamy odgięte końcówki k wironika. Sprawdzamy, czy wironik może się lekko obracać w łożyskach oraz czy podczas obrotu zachowuje on symetrię osiową, czyli nie ma tzw. bicia poprzecznego. Ewentualny brak symetrii usuwamy przez przygięcie końcówek wironika.

Między baterią a wironikiem umieszczamy magnes m. Magnes ten samodzielnie utrzymuje się na baterii dzięki sile przyciągania do jej stalowego płaszczka. Ustawiamy wironik w płaszczyźnie pionowej, obracamy nim i sprawdzamy, czy między zwojami wironika a górną powierzchnią magnesu jest szczelina o szerokości 2–3 mm. Szerokość tej szczeliny możemy skorygować przez przygięcie wsporników lub końcówek wironika. Gotowy silnik przedstawia fotografia 1.

W celu uruchomienia silnika należy wironik wprawić w ruch obrotowy przez popchnięcie palcami. Następnie wironik obraca się samodzielnie. Przyczyną obrotu wironika jest siła elektrodynamiczna \mathbf{F} , działająca na przewodnik, przez który płynie prąd elektryczny, umieszczony w polu magnetycznym (rys. 4). Pole to wytwarza magnes m. Kierunek siły elektrodynamicznej jest prostopadły do kierunku wektora indukcji magnetycznej \mathbf{B} oraz kierunku przepływu prądu \mathbf{I} . W wyniku tego siła elektrodynamiczna daje moment powodujący obrót wironika. W naszym modelu siła ta działa impulsowo przez pół obrotu wironika, kiedy pozbawiony izolacji fragment końcówki wironika styka się z dolną częścią rurki wspornika. Ponieważ silnik nie ma wyłącznika, należy wyjąć wironik ze wsporników, kiedy nie jest on używany. Zapobiegnie to szybkiemu rozładowaniu się baterii.



Rys. 5. Silnik elektryczny z wirującym magnesem. *b* – bateria typu R 6, *c* – drut miedziany, *d* – wkręt stalowy, *m* – magnes.



Rys. 6. Przyczyna obrotu magnesu; **F** – siła elektrodynamiczna, **B** – wektor indukcji magnetycznej, **I** – natężenie prądu.

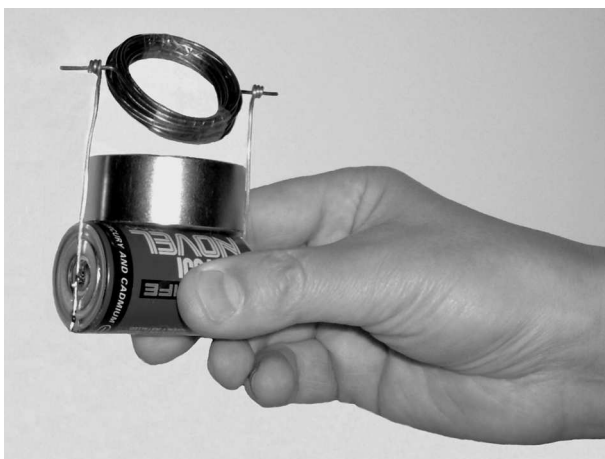
Do zbudowania drugiego modelu silnika wystarczą tylko: bateria typu R6, (popularnie nazywana „paluszkiem”), stalowy wkręt o długości 3–5 cm, metalowy magnes w kształcie dysku lub pierścienia i kawałek miedzianego przewodu lub drutu o średnicy 1–2 mm i długości 15–20 cm. Nieco uwagi należy poświęcić magnesowi. Musi on przewodzić prąd elektryczny i być namagnesowany w kierunku osiowym. Niestety, do tego celu nie nadają się popularne magnesy ferrytowe, używane do przytrzymywania kartek na tablicy magnetycznej lub lodówce. Mają one zbyt duży opór elektryczny. Do naszego silnika najlepszy jest magnes ze spieku żelazowo-neodymowo-borowego, krótko nazywany magnesem neodymowym albo magnes ze stopu alnico. Skąd wziąć taki magnes? Małe magnesy neodymowe są ostatnio do kupienia w sklepach z podzespołami elektronicznymi. Mają one około 10 mm średnicy, co do naszych celów zupełnie wystarczy. Kosztują 5–6 złotych.

Mając zgromadzone wszystkie przedmioty, przystępujemy do uruchomienia silnika. Z obu końcówek drutu na długości około 1,5 cm usuwamy izolację, posługując się żyłką. Łebek wkrętu *d* przykładamy do środkowej części płaskiej powierzchni magnesu *m* (rys. 5). Następnie ostrze wkrętu przykładamy do jednego z biegunów baterijki *b*. Wkręt wraz z magnesem będą utrzymywać się w zwisie dzięki siłom przyciągania magnetycznego. Przytrzymujemy baterię palcami lewej ręki (fot. 2). Przewód lub drut *c* zginamy, nadając mu kształt łuku i ujmujemy palcami prawej ręki. Górny, pozbawiony izolacji, koniec przewodu przykładamy do górnego bieguna baterii, a dolny koniec do bocznej, cylindrycznej powierzchni magnesu.

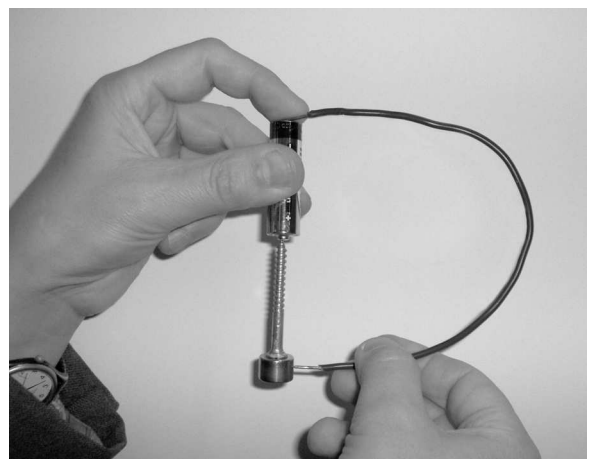
Zauważamy, że magnes wraz z wkrętem zaczyna się szybko obracać wokół osi wkrętu. Między dolną końcówką przewodu a powierzchnią boczną magnesu mogą przeskakiwać iskierki. Są one spowodowane tym, że nasz silnik pobiera prąd o znacznym natężeniu (około 3–4 A). Duży prąd powoduje również nagrzewanie się baterii. Jest to odczuwalne po kilku minutach pracy silnika. Ponieważ magnes i wkręt mają pewien moment bezwładności, ich wirowanie trwa jeszcze przez kilkadziesiąt sekund po odsunięciu końca drutu od powierzchni magnesu.

Przyczyną wirowania magnesu jest działający na niego moment sił elektrodynamicznych **F** (rys. 6). Przez magnes przepływa bowiem prąd elektryczny. Kierunek tego prądu jest zgodny z kierunkiem promienia magnesu. Elektrony tworzące ten prąd znajdują się w polu magnetycznym o indukcji **B**. Należy zwrócić uwagę na to, że pole magnetyczne istnieje również wewnątrz magnesu. Właśnie na elektrony wewnątrz magnesu działa siła elektrodynamiczna. Elektrony te oddziałują z kolei na sieć krystaliczną magnesu, wprawiając go w ruch obrotowy.

Na zakończenie mały problem do samodzielnego rozwiązania. W jaki sposób można zmienić kierunek obrotów w pierwszym i drugim modelu silnika?



Fot. 1. Widok silnika elektrycznego.



Fot. 2. Silnik elektryczny z wirującym magnesem.