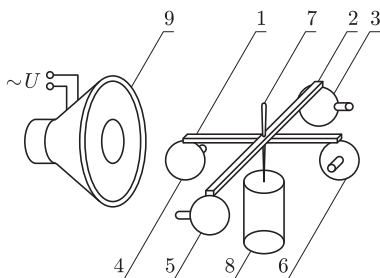
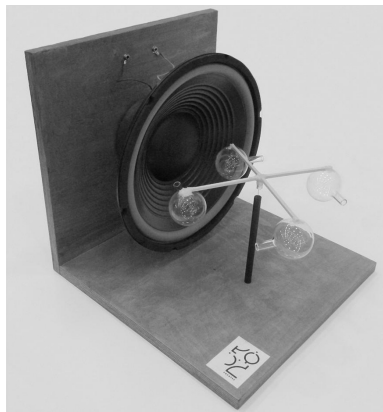


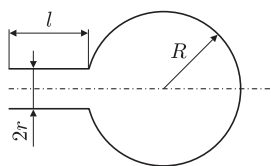
Do doświadczeń potrzebne będą: dwie cienkie listewki, cztery bombki choinkowe lub niewielkie plastikowe butelki, igła do szycia ręcznego, szklanka, głośnik elektrodynamiczny niskotonowy lub kolumna głośnikowa, generator elektroniczny o częstotliwości akustycznej, klej epoksydowy, np. Poxipol, nóż i linijka, opcjonalnie: dwa kawałki sklejk, wkręty do drewna, mała próbówka i pręt drewniany.



Rys. 1. Najważniejsze elementy karuzeli Helmholtza; 1,2 – cienkie listewki, 3–6 bombki choinkowe, 7 – igła do szycia, 8 – odwrócona szklanka, 9 – głośnik. Bombki można zastąpić małymi, plastikowymi butelkami o rozmiarach kilku centymetrów.



Fot. 1. Karuzela Helmholtza. „Ramię” przyrządu wykonano z dwóch kawałków sklejk – poziomego i pionowego – głośnik przyklejono bezpośrednio do pionowego kawałka. Łożysko wirnika stanowi mała próbówka, odwrócona dnem do góry i przyklejona od dołu do krzyżaka. Wirnik opiera się na ostrzu igły, wprowadzonej do próbówki i osadzonej tym końcem we wsporniku, który osadzono w poziomym kawałku sklejk.



Rys. 2. Schemat rezonatora

## Karuzela Helmholtza

Stanisław BEDNAREK

Wybitny niemiecki fizyk, Hermann von Helmholtz żył w latach 1821–1894. Nie sposób wymienić tu choćby w skrócie jego wkładu do nauki. Podziw teoretyków budzi współudział Helmholtza w sformułowaniu zasady zachowania energii. Doświadczalnicy z pewnością pamiętają zbudowany przez niego i do dziś używany układ cewek kołowych, pozwalający na wytwarzanie w dużej objętości pola magnetycznego o stałej indukcji albo o stałym gradencie. Na każdym zaś duże wrażenie robi nieodmiennie skonstruowana przez Helmholtza karuzela obracana niewidzialnymi falami dźwiękowymi, określana dziś jego nazwiskiem.

Zbudowanie karuzeli Helmholtza jest bardzo łatwe. Dwie cienkie listewki należy połączyć w połowie długości pod kątem prostym, żeby uzyskać krzyżak o równych ramionach (rys. 1). Najprościej skleić je klejem epoksydowym. Krzyżak powinien być możliwie lekki, dlatego odpowiednie rozmiary listewek to długość około 25 cm i grubość około 3–5 mm. W zbudowanym modelu zastosowano listewki z balsy (do kupienia w sklepach dla modelarzy i plastyków), ale można też zastosować listewki sosnowe, spotykane w hipermarketach technicznych i sklepach meblowych. W miejscu połączenia listewek wbijamy prostopadłe do nich igłę, która będzie pełnić rolę osi. Do końca każdej listewki przyklejamy klejem epoksydowym po jednej bombce choinkowej, najlepiej o średnicy 3–6 cm; bombki mogą być szklane lub plastikowe. Z szyjek bombek należy usunąć druciki i nakładki, służące do zawieszania na choince. Otwarte końce szyjek wszystkich bombek powinny być ustawione poziomo i skierowane w tę samą stronę, prostopadłe do listewek. Po stwardnieniu kleju najważniejsza część karuzeli – wirnik – jest gotowa.

W celu uruchomienia karuzeli na stole ustawiamy szklankę odwróconą do góry dnem. Na dnie szklanki należy oprzeć ostry koniec igły wirnika. Takie rozwiązanie daje najprostszy sposób zminimalizowania tarcia podczas obrotu. Wirnik powinien znajdować się z dala od wszelkich powiewów i mieć pozycję poziomą. Jeśli wirnik przechyła się w stronę któregoś z ramion, to trzeba go zrównoważyć przez dociążenie przeciwnego ramienia, na przykład przez nałożenie na nie odrobiny kleju. Obok wirnika należy zamocować głośnik, tak żeby jego oś była prostopadła do igły i znajdowała się na wprost szyjek bombek. Głośnik podłączamy do generatora, ustawiając możliwie dużą amplitudę napięcia na jego wyjściu, uważając jednak, żeby nie przekroczyć dopuszczalnej mocy głośnika. Zmieniamy częstotliwość napięcia i w pewnym momencie wirnik z bombkami powinien zacząć się obracać. Zjawisko to zachodzi, gdy częstotliwość napięcia na wyjściu generatora jest równa częstotliwości fali dźwiękowej, dla której występuje rezonans masy powietrza zawartego wewnątrz bombki. Dla sugerowanych bombek o kilkucentymetrowej średnicy i średnicy szyjki około 1 cm ta częstotliwość wynosi kilkaset herców. W ogólnym przypadku dla tego typu rezonatora jego częstotliwość rezonansowa  $f_{\text{rez}}$  wyraża się wzorem

$$f_{\text{rez}} = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{Vl}},$$

gdzie  $v$  jest prędkością dźwięku w powietrzu,  $V$ ,  $S$  oraz  $l$  są zaś odpowiednio objętością bombki oraz polem przekroju poprzecznego i długością szyjki rezonatora. Dla przedstawionego na rysunku 2 rezonatora kulistego mamy

$$S = \pi r^2 \quad \text{oraz} \quad V = \frac{4\pi}{3} R^2.$$

Wykorzystując zbudowaną karuzelę Helmholtza, możemy przeprowadzić szereg interesujących eksperymentów, m.in. sprawdzić zgodność wyznaczonej doświadczalnie częstotliwości rezonansowej z wartością obliczoną z podanego wyżej wzoru, zbadać zależność szybkości obrotu wirnika od amplitudy napięcia i prądu zasilania głośnika oraz od natężenia dźwięku. Bardziej zaawansowani mogą ponadto wyznaczyć moment bezwładności wirnika i jego energię kinetyczną, a następnie obliczyć sprawność tego niezwykłego silnika, napędzanego falami dźwiękowymi. Wszyscy zaś będą mieć niewątpliwie wiele satysfakcji przy demonstracji tego widowiskowego urządzenia mniej wtajemniczonym.