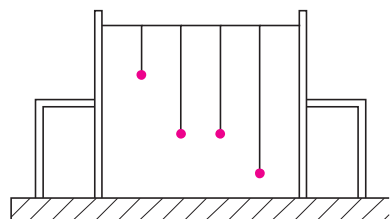


Badamy zjawisko rezonansu

Stanisław BEDNAREK



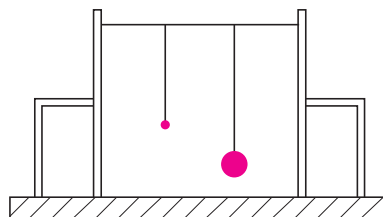
Rys. 1. Układ czterech wahadeł do badania zjawiska rezonansu.

Do przeprowadzenia proponowanych w tym artykule doświadczeń wystarczą nitka, plastelina, nożyczki, linijka, klej do papieru, kawałek kartonu i listewka. Na początek zbadamy zjawisko rezonansu w układzie wahadeł. Będą to w przybliżeniu wahadła matematyczne, to jest takie wahadła, których masa skupiona jest w jednym punkcie i zawieszona na końcu nieważkiej i nierozciągliwej nici. Z plasteliny formujemy cztery niewielkie kulki o średnicy około 1–2 cm. Z nici odcinamy pięć kawałków. Dwa kawałki powinny mieć taką samą długość, np. 50 cm. Trzeci kawałek powinien być dłuższy, np. 70 cm, a czwarty krótszy, powiedzmy, że 30 cm. Piąty kawałek nici o długości w przybliżeniu 100 cm rozwieszamy poziomo, przywiązując jego końce do oparć dwóch krzeseł ustawionych naprzeciw siebie (rys. 1). Do rozwieszonego i lekko naprężonego kawałka nici przywiązujemy w równych odstępach górne końce pozostałych czterech kawałków nici. Dolne końce tych nici wgniatamy w plastelinowe kulki. Odczekujemy przez pewien czas, aż ustaną przypadkowe wahania kulek.

Żeby zaobserwować zjawisko rezonansu, odchylamy od pionu jedno z wahadeł o jednakowych długościach i puszczamy swobodnie. Obserwujemy zachowanie się wszystkich wahadeł. Czy dłuższe i krótsze wahadło odchylają się od pionu? Czy odchyła się drugie wahadło o takiej samej długości? Jakie są maksymalne odchylenia od pionu, czyli amplitudy drgań wahadeł? Co po pewnym czasie dzieje się z wahadłem, które odchylił się od pionu? Już po kilkunastu sekundach widzimy, że drugie wahadło o jednakowej długości zaczyna wykonywać drgania. Amplituda tych drgań powoli wzrasta. Jednocześnie maleje amplituda drgań wahadła, które na początku doświadczenia odchylił się od pionu. Po pewnym czasie wahadło to zatrzymuje się zupełnie, a drugie wahadło o takiej samej długości wykonuje drgania o maksymalnej amplitudzie.

Energia drgań odchylonego na początku wahadła została przekazana drugiemu wahadłu o takiej samej długości. Właśnie to zjawisko przekazywania energii drgań między ciałami o takiej samej częstotliwości drgań własnych nazywamy rezonansem. Drgania własne są to drgania ciała wyprowadzonego z położenia równowagi i puszczanego swobodnie. Częstotliwość drgań własnych wahadła matematycznego f jest odwrotnie proporcjonalna do pierwiastka z jego długości i wyraża się następującym wzorem: $f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$, litera g w tym wzorze oznacza przyspieszenie ziemskie, które na naszej szerokości geograficznej wynosi $9,81 \text{ m/s}^2$. A co dzieje się z pozostałymi wahadłami? Otóż wykonują one, co prawda, drgania, ale ich amplituda jest bardzo niewielka. Po pewnym czasie okazuje się, że amplituda drgań drugiego wahadła o jednakowej długości maleje do zera, a amplituda drgań pierwszego wahadła jest prawie taka sama, jak na początku. W dalszej kolejności wahadła o jednakowych długościach na przemian przekazują sobie energię drgań. Wskutek oporu powietrza i tarcia wewnątrz nici amplituda drgań tych wahadeł maleje i po pewnym czasie oba wahadła się zatrzymują.

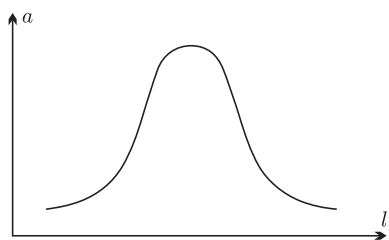
W następnym doświadczeniu wyznaczmy krzywą rezonansu, obrazującą zależność amplitudy drgań od długości wahadła wymuszającego drgania. W tym celu posłużymy się układem dwóch wahadeł, przedstawionym na rysunku 2. Do nici rozpiętej między dwoma krzesłami przywiązujemy pierwsze wahadło złożone z małej kulki plastelinowej, zawieszony na nici o stałej długości. Drugie wahadło będzie składało się z dużej kuli plastelinowej, o średnicy około 4–5 cm, zawieszony na nici, której długość będziemy zmieniać.



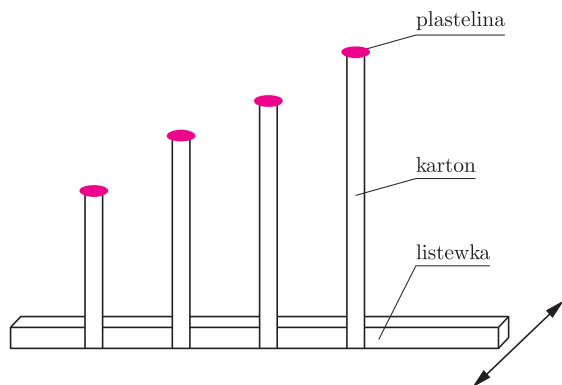
Rys. 2. Dwa wahadła do badania zjawiska rezonansu.

Niech w chwili początkowej oba wahadła będą nieruchome, a drugie wahadło będzie znacznie dłuższe od pierwszego, np. o 30 cm. Drugie wahadło odchylamy od pionu o kilka centymetrów i puszczamy swobodnie. Za pomocą linijki mierzymy największą amplitudę drgań pierwszego wahadła. Zapisujemy tę amplitudę i długość drugiego wahadła. Następnie skracamy drugie wahadło o 3–4 cm i odchylamy od pionu o tyle samo centymetrów, co za pierwszym razem. Ponownie mierzymy maksymalną amplitudę drgań pierwszego wahadła. Powtarzamy te czynności kilka razy, aż do uzyskania długości drugiego wahadła znacznie mniejszej od pierwszego. Zapisane wyniki pomiarów nanosimy na wykres, który będzie miał kształt podobny jak na rysunku 3. Maksimum na tym wykresie odpowiada jednakowej długości obu wahadeł.

Oczywiście, zjawisko rezonansu zachodzi nie tylko w układzie wahadeł matematycznych. Z kilku pasków papieru, plastelinowych kulek i listewki możemy wykonać rezonator przedstawiony na rysunku 4.

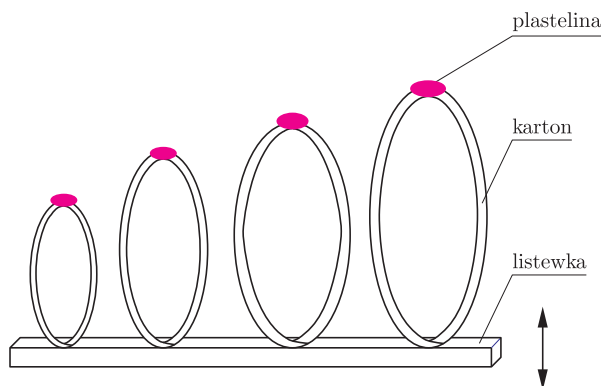


Rys. 3. Krzywa rezonansowa, a – maksymalna amplituda drgań wahadła pobudzanego, l – długość wahadła wymuszającego drgania.



Rys. 4. Rezonator z wahadłami wykonanymi z pasków papieru.

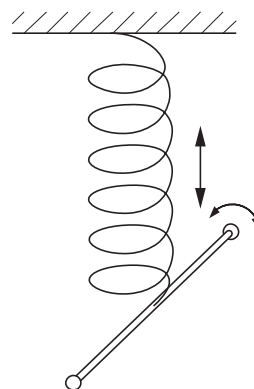
Trzymając dwiema rękami za końce listewki i poruszając ją ze zwiększającą się częstotliwością w kierunku poziomym, obserwujemy, jak kolejno coraz krótsze wahadła osiągną rezonans. Zamiast prostych pasków papieru możemy zastosować paski zwinięte w kształcie okręgów i plastelinowe kulki. Widok takiego rezonatora przedstawia rysunek 5. Rezonator ten wprawiamy w drgania, poruszając listewką ze zwiększającą się częstotliwością w kierunku pionowym.



Rys. 5. Rezonator z papierowymi pierścieniami.

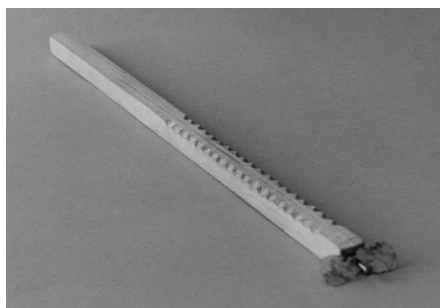
Interesujący i elegancki przypadek zjawiska rezonansu występuje w wahadle Wilberforce'a (rys. 6). Mamy tutaj spiralną sprężynę zawieszoną za górny koniec. Wahadło Wilberforce'a wykorzystuje fakt, że każda sprężyna wprawiona w drgania w kierunku podłużnym wykonuje również drgania skrętne. Do dolnego końca sprężyny przymocowana jest poprzeczka z dwoma ciężarkami, których odległość od osi sprężyny można zmieniać. Wzrost odległości ciężarków powoduje zmniejszenie częstotliwości drgań skrętnych układu. Dla pewnej odległości częstotliwość tych drgań będzie równa częstotliwości drgań podłużnych. Wystąpi wówczas rezonans, podczas którego sprężyna wprawiona

w drgania podłużne wykazuje zanik tych drgań i wzbudzenie drgań skrętnych. Po pewnym czasie drgania skrętne zanikają, a ich energia zmienia się znowu w energię drgań podłużnych.



Rys. 6. Wahadło Wilberforce'a.

Inny, interesujący przypadek zjawiska rezonansu wykazuje tzw. kij indiański przedstawiony na fotografii 1. Mamy tutaj listewkę o przekroju kwadratowym z ponacinanymi korbami. W koniec listewki wbity jest gwóźdź stanowiący oś śmigielka wyciętego z kartonu. Kij indiański trzymamy ręką za wolny koniec. W drugiej ręce mamy pręcik lub ołówek i przesuwamy nim ze zmienną szybkością po korbach listewki. Dla pewnej szybkości przesuwu śmigielko zaczyna się obracać. Zachodzi wtedy rezonans między drganiami podłużnymi listewki, wzbudzonymi przesuwaniem patyka, a jej drganiami skrętnymi.



Fot. 1. Indiański kij.

Zjawisko rezonansu znalazło szerokie i ważne zastosowania praktyczne. Wiele z nich wykorzystujemy na co dzień, często nie zdając sobie z tego sprawy. Dzięki zjawisku rezonansu możliwy jest m.in. odbiór programów radiowych i telewizyjnych. Nasz odbiornik radiowy czy telewizyjny odbiera tylko jedną stację spośród wielu aktualnie pracujących. Częstotliwość fal elektromagnetycznych wysyłanych przez tę stację jest równa częstotliwości drgań własnych obwodów rezonansowych wybranej przez nas pokrętłem strojenia odbiornika.

Zjawisko rezonansu może powodować również negatywne skutki. Zdarzało się, że mosty ulegały załamaniu pod wpływem rytmicznych podmuchów wiatru, czy miarowych kroków maszerującego oddziału żołnierzy. Dlatego też zaleca się, żeby oddziały wojskowe przechodziły przez mosty krokiem dowolnym.