

## Rezonans mechaniczny - opis zjawiska i jego przykłady

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Film \(standardowy\)](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)

## 0390 Rezonans mechaniczny - opis zjawiska i jego przykłady

### Czy to nie ciekawe?



Rys. a. Katastrofa na moście w miejscowości Tacoma w Stanach Zjednoczonych

Czy wiesz, że w 1940 roku prawie dwukilometrowy most w miejscowości Tacoma w Stanach Zjednoczonych uległ całkowitej destrukcji w katastrofie spowodowanej zjawiskiem rezonansu?

To samo zjawisko odpowiada również za generację dźwięku w instrumentach takich jak trąbka czy klarnet. Czym jest rezonans i kiedy może wystąpić, dowiesz się z tego e-materiału.

#### Twoje cele

- Wyjaśnisz, czym jest zjawisko rezonansu.

- Przeanalizujesz, jak układy mogą przekazywać między sobą drgania w zjawisku rezonansu.
- Dowiesz się o zagrożeniach, jakie może spowodować niekontrolowane zjawisko rezonansu.
- Poznasz praktyczne zastosowania zjawiska rezonansu.
- Rozwiążesz zadania dotyczące kierunku drgań wahadła pobudzonego do ruchu przez inne wahadło.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Drgania harmoniczne rozpoczynają się, gdy układ zostanie wyprowadzony z położenia równowagi i pojawia się siła wprost proporcjonalna do wychylenia, która próbuje ten stan równowagi przywrócić. Przykładem może być ciało przyczepione do sprężyny, która zostanie rozciągnięta i puszczona swobodnie. Ciało to wykonuje drgania z **częstotliwością** charakterystyczną dla tego ciała i tej sprężyny. Częstotliwość drgań swobodnych, czyli takich, w których na układ nie działają siły zewnętrzne, nazywamy **częstotliwością drgań własnych**.

Oczywiście w realnym świecie zawsze występują siły oporu, które w końcu powodują wygaszenie drgań. Jeśli zależy nam na podtrzymaniu drgań, musimy na układ działać **periodyczną** siłą wymuszającą. Znanym wszystkim z własnego doświadczenia przypadkiem wymuszania drgań jest rozbijanie huśtawki (Rys. 1.). Aby to się udało, należy popychać huśtawkę z dokładnie określoną częstotliwością. Działanie siły musi być zgodne ze swobodnym ruchem huśtawki. Inaczej mówiąc, częstotliwość siły wymuszającej musi być zbliżona do częstotliwości drgań własnych. Jeśli będziemy popychali huśtawkę w innym rytmie, ruch huśtawki będzie bezładny a wychylenia z położenia równowagi niewielkie.



Rys. 1. Aby rozbijać huśtawkę, czyli uzyskać maksymalną amplitudę drgań, należy działać na nią siłą periodyczną o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości drgań własnych huśtawki

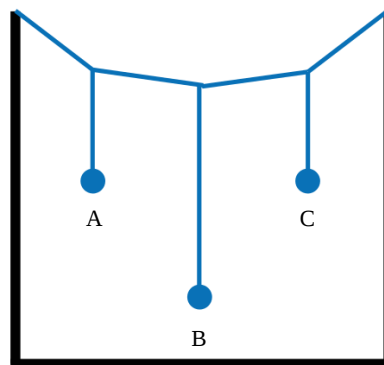
Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/playground-swing-child-2543210/> [dostęp 11.03.2022 r].

Zjawisko polegające na osiągnięciu przez układ drgający z wymuszeniem maksymalnej amplitudy nazywamy **rezonansem**. Częstotliwość siły wymuszającej, przy której występuje rezonans, nazywamy **częstotliwością rezonansową**. Częstotliwość rezonansowa zależy od wielkości sił oporu w układzie. Przy braku tłumienia częstotliwość rezonansowa równa jest częstotliwości własnej. Gdy występuje znaczne tłumienie, częstotliwość rezonansowa jest mniejsza od częstotliwości własnej układu i maleje wraz ze wzrostem sił oporu.

Czy dopasowanie częstotliwości siły wymuszającej do częstotliwości rezonansowej układu musi być idealne? Niekoniecznie. Drobne niedopasowania tych częstotliwości nie uniemożliwiają rezonansu. Jednak zasada ogólna jest taka, że im bliższe sobie są te częstotliwości, tym skuteczniej przekazywana jest energia do drgającego układu i tym większą amplitudę osiągnie układ.

Na Rys. 2. pokazano trzy wahadła zawieszono na linie. Częstotliwość drgań wahadła zależy od jego długości – im mniejsza długość, tym większa częstotliwość wahań i mniejszy okres.

Wahadła A i C mają równe długości, a więc częstotliwości ich drgań własnych też są równe. Wahadło B jest wyraźnie dłuższe, a częstotliwość jego drgań własnych jest mniejsza niż pozostałych wahadeł.



Rys. 2. Wahadła A i C mogą przekazywać sobie drgania na skutek rezonansu. Jest to niemożliwe dla wahadła B, różniącego się częstotliwością drgań własnych

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Co się stanie, gdy wychylimy wahadło C z położenia równowagi? Oczywiście zacznie ono drgać, pociągając przy tym za linkę, na której wisi. Kierunek i częstotliwość siły wywieranej na linkę jest zgodna z kierunkiem i częstotliwością drgań wahadła C. Siła ta przez linkę przekazywana jest pozostałym wahadłom A i B. Częstotliwość drgań własnych dłuższego

wahadła B znacznie różni się od częstotliwości siły wywieranej na niego przez linkę i to wahadło nie rozpocznie drgań. Natomiast wahadło A, którego częstotliwość drgań własnych jest równa częstotliwości siły wymuszającej, rozpocznie drgania, osiągając maksymalną amplitudę. Gdy Wahadło A będzie już drgało z największą amplitudą, wahadło C zatrzyma się. Wynika to z zasady zachowania energii – wahadło A uzyskało energię drgań kosztem energii wahadła C. Teraz sytuacja odwraca się, wahadło A przekazuje energię drgań wahadłu C i ono znów zaczyna drgać, a wahadło A zatrzymuje się. Zjawisko powtarza się przez pewien czas, aż drgania ustaną na skutek rozproszenia energii w otoczeniu.

Widzimy z tego przykładu, że układy o jednakowych częstotliwościach drgań własnych mogą przekazywać sobie drgania. Bywa to przyczyną niszczącego działania rezonansu, na przykład gdy obudowa silnika ma częstotliwość drgań własnych równą częstotliwości z jaką pracuje silnik. Dochodzi wtedy do niekontrolowanego wzrostu amplitudy drgań obudowy i konstrukcja może nawet ulec zniszczeniu, pomimo niewielkiej mocy silnika. Częściej mamy do czynienia z uciążliwymi drganiami, stukami i hałaśliwą pracą urządzeń, w których pojawia się niechciany rezonans, powodując szybsze zużycie urządzenia. Konstruktorzy muszą pamiętać o zjawisku rezonansu, aby unikać takich sytuacji.

Zjawisko rezonansu może doprowadzić do zawalenia się budynku nawet podczas słabego trzęsienia ziemi, gdy częstotliwość własna drgań budynku jest zgodna z częstotliwością drgań gruntu.

W 1940 roku w Stanach Zjednoczonych w miejscowości Tacoma (stan Waszyngton) zawalił się w katastrofie most o długości ponad 1800 metrów, przy wietrze o prędkości zaledwie 64 km/h. Pomimo, że wiatr o tej prędkości potrafi zaledwie obłamywać gałązki z drzew, most wpadł w potężne wibracje, które doprowadziły do jego zawalenia. Wibracje o tej skali spowodowane były błędem w konstrukcji mostu. Kluczowe elementy konstrukcji, tzw. przęsła i pylony, miały bardzo zbliżone częstotliwości rezonansowe. W wyniku działania wiatru most wpadł w rezonans. Działanie wiatru miało podobny efekt, jakby ruch mostu był wymuszany ze wszystkimi możliwymi częstotliwościami. Taki sygnał, który zawiera w sobie wszystkie możliwe częstotliwości, w fizyce nazywamy szumem.

Każdy układ drgający posiada jakąś swoją wartość częstotliwości rezonansowej, czyli takiej częstotliwości, na którą odpowiada największą amplitudą. Jeśli któraś z częstotliwości sił wymuszających jest równa lub bliska częstotliwości rezonansowej, układ na nią odpowie i jego amplituda wzrośnie. Układ rezonansowy jest swego rodzaju filtrem, który odpowiada tylko na wybraną częstotliwość pobudzenia zgodną z częstotliwością rezonansową.

Na podobnej zasadzie działa wiele instrumentów muzycznych. Dmuchając w stroik oboju lub szarpiąc strunę gitary (Rys. 3.), nie wymuszamy drgań z konkretną częstotliwością, lecz ze wszystkimi możliwymi. Częstotliwości, które nie są częstotliwością rezonansową, bardzo szybko są osłabiane i zanikają, co sprawia, że drgania zachodzą z częstotliwością rezonansową i słyszany jest tylko jeden ton muzyczny. Inaczej mówiąc, stroik i struna

„wybierają” sobie tę częstotliwość, która jest najbliższą ich częstotliwości rezonansowej i właśnie z taką drgają.



Rys. 3. Muzyk szarpie za struny gitary basowej

Źródło: dostępny w internecie: [https://www.pexels.com/photo/person-playing-sun-burst-electric-bass-guitar-in-bokeh-photography-96380/?utm\\_content=attributionCopyText&utm\\_medium=referral&utm\\_source=pexels](https://www.pexels.com/photo/person-playing-sun-burst-electric-bass-guitar-in-bokeh-photography-96380/?utm_content=attributionCopyText&utm_medium=referral&utm_source=pexels) [dostęp 11.03.2022 r.].

Działanie instrumentów muzycznych to przykład korzystnego dla nas zjawiska rezonansu. Innym przykładem wykorzystania rezonansu jest zegar wahadłowy (Rys. 4.). Ruch wahadła zegara odbywa się z częstotliwością bliską częstotliwości rezonansowej. Urządzenie napędowe zegara podtrzymuje wahania wahadła, działając na nie siłą z częstotliwością równą częstotliwości rezonansowej.



Rys. 4. Zegar wahadłowy

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/photos/wall-clock-clock-antique-1947754/> [dostęp 11.03.2022 r.].

## Słowniczek

### Oscylator harmoniczny

(ang. *harmonic oscillator*) – układ drgający wykonujący ruch harmoniczny, czyli ruch pod wpływem siły wprost proporcjonalnej do wychylenia i skierowanej przeciwnie do niego.

### Częstotliwość

(ang. *frequency*) – liczba pełnych drgań w jednostce czasu.

### Amplituda

(ang. *amplitude*) – maksymalne wychylenie w ruchu drgającym.

### Ruch periodyczny

(ang. *periodic motion*) zjawisko powtarzające się zawsze co pewien czas, np. pora dnia, pora roku. Każdy proces periodyczny możemy opisać matematycznie przy pomocy funkcji okresowej.

# Film (standardowy)

---

## Rezonans mechaniczny - opis zjawiska

Obejrzyj film, który demonstruje zjawisko rezonansu. Do doświadczenia użyto trzech wahadeł zawieszonych na jednej linie. Dwa z nich mają jednakowe długości, a jedno jest krótsze. Sprawdź, w jaki sposób wahadła przekazują energię drgań między sobą oraz jaki wpływ na ruch wahadeł ma ich częstotliwość własna.

Film dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DS3DdUeV6>

Film przedstawia zachowanie się trzech powiązanych ze sobą wahadeł w ramach zjawiska rezonansu mechanicznego. Animację rozpoczyna czarny slajd tytułowy, na którym po środku umieszczono, dużymi literami, biały napis "REZONANS MECHANICZNY OPIS ZJAWISKA". Następnie rozpoczyna się film, na którym przedstawiono, na białym tle, na zielonym stole postawiono pionowo czarną ramę, po między której bocznymi krawędziami rozpięta jest lina, na której wiszą obok siebie trzy bordowe wahadła. Dwa skrajne z nich są tej samej długości a środkowe jest znacznie krótsze. Po wprowadzeniu wahadła lewego w ruch zaczyna poruszać linę. Drgania liny, na której wiszą wahadła przenoszą energię na wahadło środkowe i prawe. Bujać zaczyna się jednak tylko wahadło prawe ponieważ wahadło środkowe ma inną długość a przez to także inną częstotliwość drgań własnych. Animację kończy biały, cieniowany na dole, slajd końcowy, w którego środku umieszczono logo projektu, składające się z niebieskich, zamalowanych w środku, obiektów przypominających elipsy rozmieszczonych na powierzchni przypominającej fragment koła. Logo to również zawiera niebieski napis zapisany dużymi literami o treści "FIZYKA 950 KAPSUŁEK". Na dole ekranu umieszczono dodatkowe trzy loga w poziomie obok siebie. Są to kolejno od lewej: logo w postaci prostokąta w którym zawarto dwie umieszczone pod sobą identyczne gasnące fale, z czarnym napisem po prawej stronie którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter "Wydział Fizyki" a pod nim mniejszą czarną czcionką dużymi literami tekst "POLITECHNIKA WARSZAWSKA", logo składające się z trzech pięcioramiennych gwiazdek w kolorach żółtym, białym i czerwonym na granatowym tle, po którego prawej stronie znajduje się czarny napis, którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter, treści: "Fundusze Europejskie Wiedza

Edukacja Rozwój" oraz logo składające się z granatowej flagi ze złotymi dwunastoma gwiazdami ułożonymi w kształt okręgu z czarnym napisem po lewej stronie, którego wyrazy rozpoczynają się z dużych liter, treści "Unia Europejska".

---

### **Polecenie 1**

Na filmie wahadło zostało odchylone w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wyznaczonej przez wiszące wahadła. Co by się stało, gdyby to samo wahadło odchylono w kierunku równoległym do tej płaszczyzny? Które wahadło rozpoczęłoby drgania i w jakim kierunku?

### **Polecenie 2**

Wyjaśnij, jaka uniwersalna zasada fizyczna jest przyczyną takiego kierunku drgań wahadła pobudzonego do ruchu przez pierwsze wahadło.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



## Ćwiczenie 2



## Ćwiczenie 3

Podaj po dwa przykłady niekorzystnego działania i korzystnego działania zjawiska rezonansu.



## Ćwiczenie 4

Gdy jedziemy autobusem, możemy czasem zaobserwować, że przy pewnej prędkości zaczynają drżeć szyby w oknach, a przy innych prędkościach to zjawisko nie występuje. Wyjaśnij to zjawisko.



## Ćwiczenie 5

Oddział wojska maszeruje równym krokiem. Przed nimi most wiszący. Czy rozsądne będzie, gdy oddział przejdzie przez most nie zmieniając marszu? Co grozi żołnierzom w takim wypadku?



## Ćwiczenie 6



## Ćwiczenie 7



## Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Tomasz Gradowski, Krystyna Wosińska
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Rezonans mechaniczny - opis zjawiska i jego przykłady</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, podstawowy i rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.</p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Zakres podstawowy</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>IV. Drgania. Uczeń:</p> <p>4) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione, ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach.</p> <p><b>Zakres rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>V. Drgania. Uczeń:</p> <p>7) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione, ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach.</p>

<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b>	<b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>
<b>Cele operacyjne:</b>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. opisuje, czym jest zjawisko rezonansu,</li> <li>2. analizuje, jak układy mogą przekazywać między sobą drgania w zjawisku rezonansu,</li> <li>3. zdaje sobie sprawę z zagrożeń, jakie może spowodować niekontrolowane zjawisko rezonansu,</li> <li>4. dostrzega praktyczne zastosowania zjawiska rezonansu.</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	strategia eksperymentalno-obszernacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
<b>Metody nauczania:</b>	wykład informacyjny, przeprowadzenie doświadczenia, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
<b>Formy zajęć:</b>	praca w grupach, praca indywidualna
<b>Środki dydaktyczne:</b>	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
<b>Materiały pomocnicze:</b>	e-materiał: „Co to jest ruch harmoniczny?“, „Co to są drgania wymuszone?“
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Wprowadzenie zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?“          Odwołanie do wiedzy uczniów o ruchu harmonicznym. Uczniowie odpowiadają na pytania:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Co to jest ruch harmoniczny?</li> <li>• Co to jest amplituda, częstotliwość i okres ruchu harmonicznego?</li> </ul>	

**Faza realizacyjna:**

Uczniowie zgłaszają pomysły, jak podtrzymać gasnące drgania. Na przykładzie huśtawki dochodzą do wniosku, że siła wymuszająca musi mieć zbliżoną częstotliwość do częstotliwości drgań własnych. Nauczyciel wyjaśnia, czym jest rezonans. Uczniowie podają przykłady rezonansu z życia codziennego (przykład rezonansu: kiedy jedziesz po wyboistej drodze, a twój samochód zaczyna podskakiwać - to jest przykład oscylacji twojego samochodu na jego częstotliwości rezonansowej, a raczej częstotliwości rezonansowej amortyzatorów. Możesz zauważyć, że kiedy jeździsz autobusem, częstotliwość odbicia jest nieco mniejsza. Jest tak dlatego, że amortyzatory opon mają niższą częstotliwość rezonansową.). Uczniowie oglądają film edukacyjny pokazujący układy (wahadła) znajdujące się w rezonansie. Aby upewnić się, że uczniowie zrozumieli zjawiska pokazane w filmie, pyta uczniów, jak drugie z wahadeł zostało wprowadzone w ruch. Następnie odpowiadają na pytania związane z filmem.

**Faza podsumowująca:**

Uczniowie rozwiązują w grupach zadania 6 i 8 z zestawu zadań.

**Praca domowa:**

Zadania 1 - 3 z zestawu zadań obowiązkowo, jedno z pozostałych zadań do wyboru.

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium**

Multimedium bazowe może też być wykorzystane przez uczniów po lekcjach w celu powtórzenia i lepszego zrozumienia materiału.