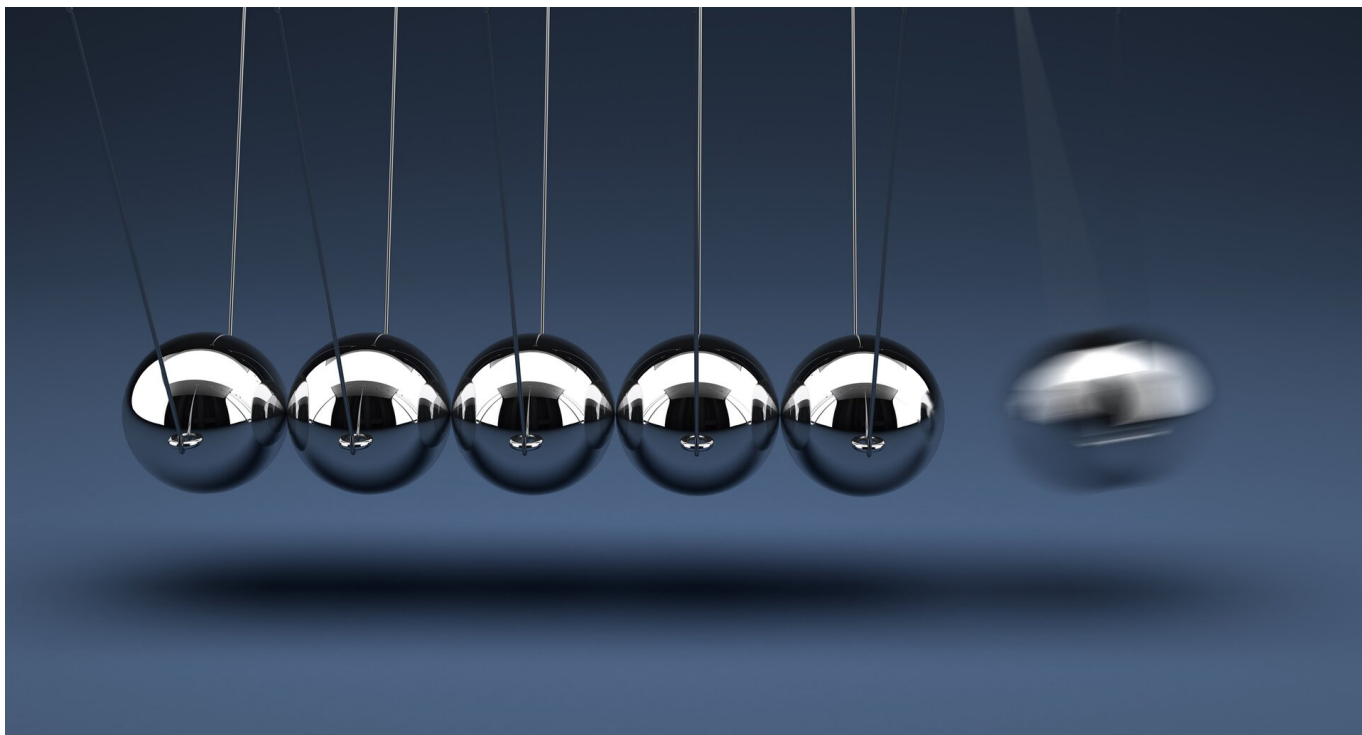




Co to są drgania wymuszone?

- [Wprowadzenie](#)
- [Przeczytaj](#)
- [Symulacja interaktywna](#)
- [Sprawdź się](#)
- [Dla nauczyciela](#)



Co to są drgania wymuszone?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdjęcie/kołyska-newtona-gm465044128-59504348> [dostęp 2.07.2019], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Czy to nie ciekawe ?

Huśtawka wychylona z położenia równowagi wykonuje drgania, poruszając się tam i z powrotem. Na skutek oporów, ruch ten szybko ustaje. Jeśli chcemy, aby huśtanie trwało dłużej, musimy popychać huśtawkę, czyli działać na nią siłą periodyczną. Jednak dobrze wiemy, że częstość działania siły na huśtawkę nie może być przypadkowa. Należy ją popychać z częstością odpowiadającą częstości drgań własnych huśtawki. Wtedy nawet, jeśli siła nie jest duża, amplituda ruchu huśtawki stopniowo zwiększa się – zadowolone dziecko frunie coraz wyżej. To przykład drgań wymuszonych. Więcej o takich drganiach dowiesz się z tego e-materiału.



Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/hu%c5%9btawka-r%c3%b3wnowa%c5%bcenie-dziecko-2920883/> [dostęp 30.05.2022], domena publiczna.

Twoje cele

- dowiesz się, jakie znaczenie ma występowanie siły wymuszającej w układach wykonujących drgania,
- zbadasz wpływ wymuszenia periodycznego na dynamikę oscylatora harmonicznego,
- przeanalizujesz zależność amplitudy i częstości drgań wymuszonych od częstości siły wymuszającej,
- poznasz zjawisko rezonansu.

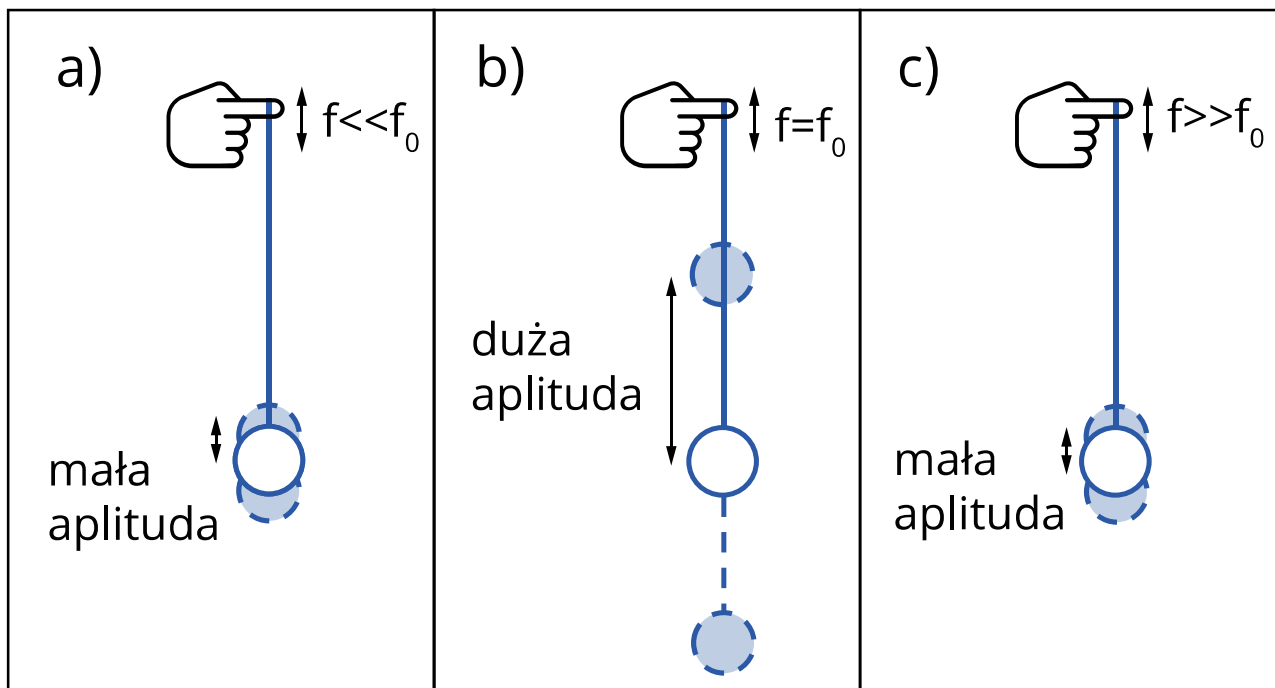
Przeczytaj

Warto przeczytać

Najpowszechniej występującym układem wykonującym drgania jest **oscylator harmoniczny**. Wynika to z faktu, że jeżeli jakkolwiek układ wychylimy ze stanu równowagi trwałej, pojawi się siła, która będzie próbować ten stan równowagi przywrócić. A przy niewielkim wychyleniu, siła ta zwykle jest proporcjonalna do wychylenia, dokładnie tak, jak w oscylatorze harmonicznym. W rzeczywistości jednak, samo spowodowane początkowego wychylenia często nie wystarczy, żeby drgania trwały. Wynika to z obecności sił oporu, które rozpraszając energię, hamują ruch, zmniejszając **amplitudę** drgań. Drgania możemy utrzymać za pomocą wymuszenia, czyli zewnętrznej siły oddziałującej na układ drgający. By drgania były periodyczne, siła wymuszająca również musi być periodyczna.

Najłatwiej to zrozumieć na przykładzie znanej zabawki – piłeczki zawieszanej na elastycznej gumce (Rys. 1.). Jeśli jest ona przymocowana do nieruchomego haczyka i wychylona z położenia równowagi, wykonuje drgania, poruszając się w górę i w dół z określoną **częstotliwością** f_0 , zwaną częstotliwością własną. Gdy gumkę z piłeczką weźmiemy w rękę i zaczniemy wykonywać powolne ruchy periodyczne w górę i w dół, piłeczka podążając za ręką, zacznie drgać z taką samą częstotliwością, jak ręka, ale maksymalne wychylenie piłeczki (amplituda) będzie niewielkie (Rys. 1a.). Gdy częstotliwość drgań ręki zwiększa się, amplituda drgań piłeczki wzrasta, osiągając maksimum przy częstotliwości drgań ręki równej częstotliwości drgań własnych piłeczki f_0 (Rys. 1b.). Przy dalszym zwiększaniu częstotliwości drgań ręki, amplituda oscylacji piłeczki znów zmniejsza się (Rys. 1c.).

Jeśli wykonasz opisane tu doświadczenie zauważysz, że w początkowym okresie działania siły wymuszającej mogą wystąpić drgania nieustalone, czyli nieregularny ruch, podczas którego układ wymuszany (piłeczka) stopniowo dopasowuje się do wymuszenia (do ruchów ręki).



Rys. 1. Piłeczka zawieszona na elastycznej gumce wprawiana jest w drgania przez trzymającą ją rękę, która porusza się periodycznie w górę i w dół z częstotliwością f ; a) i c) gdy częstotliwość f jest dużo mniejsza lub dużo większa niż częstotliwość drgań własnych f_0 , amplituda drgań piłeczki jest niewielka; b) gdy częstotliwość f jest równa częstotliwości drgań własnych f_0 , amplituda drgań piłeczki jest maksymalna.

Podsumujmy wnioski z tych obserwacji.

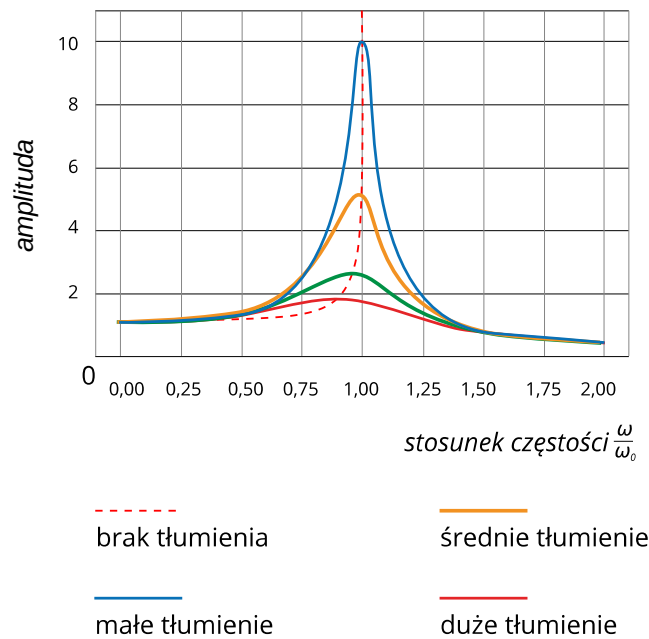
1. **Częstotliwość drgań wymuszonych jest zawsze równa częstotliwości siły wymuszającej.**
2. **Amplituda drgań wymuszonych jest tym większa, im częstotliwość siły wymuszającej jest bliższa częstotliwości własnej układu.**

Istnieje pewna wartość częstotliwości, przy której układ wymuszany drga z maksymalną amplitudą. Taką częstotliwość nazywamy **rezonansową**, a samo zjawisko - **rezonansem**. Zależy ona od wielkości tłumienia w układzie. Przy braku tłumienia, częstotliwość rezonansowa równa jest częstotliwości własnej (oczywiście w realnych warunkach opory ruchu zawsze występują). Jeśli tłumienie jest niewielkie, jak w naszym przykładzie z piłeczką zawieszoną na gumce, częstotliwość rezonansowa jest bardzo bliska częstotliwości własnej. Gdy występuje znaczne tłumienie, jest ona mniejsza od częstotliwości własnej układu i maleje wraz ze wzrostem tłumienia.

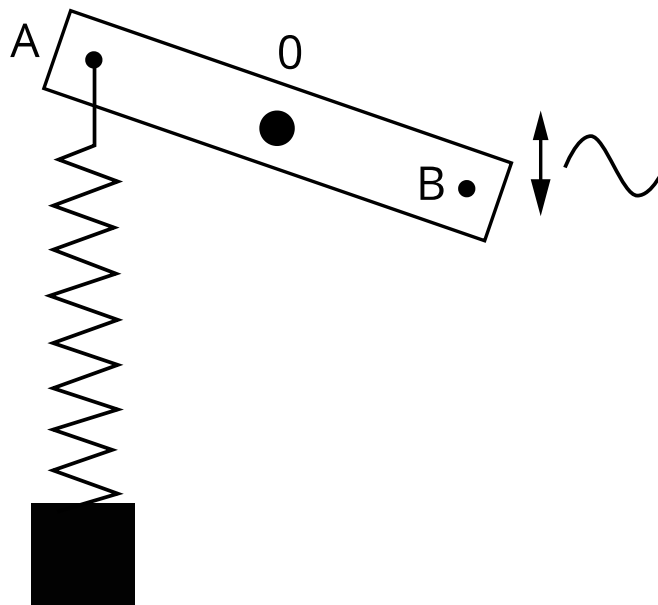
Rys. 2. pokazuje zależność amplitudy ruchu drgającego wymuszonego od **częstości** siły wymuszającej. Na osi x odłożono stosunek częstości siły wymuszającej do częstości własnej układu ($\frac{\omega}{\omega_0}$), a na osi y - amplitudę drgań w dowolnych jednostkach odległości.

Zwróć uwagę, że dla dużego tłumienia, maksimum amplitudy drgań przypada dla częstości drgań mniejszych od częstości własnej ($\omega < \omega_0$ lub $\frac{\omega}{\omega_0} < 1$). Tłumienie drgań powoduje też zmniejszenie amplitudy drgań rezonansowych. Natomiast przy braku tłumienia, amplituda

drgań rezonansowych dąży do nieskończoności. To oczywiście przypadek czysto teoretyczny, bo realne drgania zawsze przebiegają z tłumieniem.



Rys. 2. Zależność amplitudy ruchu drgającego wymuszonego od stosunku częstości siły wymuszającej do częstości własnej układu.



Rys. 3. Przykład oscylatora harmonicznego z siłą wymuszającą.

Przeanalizujemy ruch układu przedstawionego na Rys. 3. Na długiej sprężynie zawieszony jest ciężarek. Sprężyna jest zaczepiona w punkcie A. Punkt ten jednak nie jest nieruchomy, a znajduje się na końcu ruchomej poprzeczki. Poprzeczka może obracać się o niewielki kąt względem nieruchomego punktu O. Punkt B na drugim końcu poprzeczki poruszany jest przez pewien zewnętrzny układ, który może wprawiać poprzeczkę w ruch periodyczny.

Układ ten jest przykładem oscylatora harmonicznego (ciężarek na sprężynie) z wymuszeniem (ruchoma poprzeczka). Załóżmy, że amplituda wymuszenia jest stała

i stosunkowo niewielka. W ten sposób nasz układ ma tylko jeden parametr, który możemy dowolnie zmieniać – częstotliwość wymuszenia. Natomiast wielkości fizyczne, które możemy przy zmianach częstości wymuszenia obserwować, to: amplituda i częstotliwość drgań ciężarka.

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.

częstość / częstość kołowa

(*ang.: angular frequency*) wielkość określająca, jak szybko powtarza się dane zjawisko okresowe, równa $\omega = 2\pi \cdot f$, gdzie f oznacza częstotliwość.

częstotliwość

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

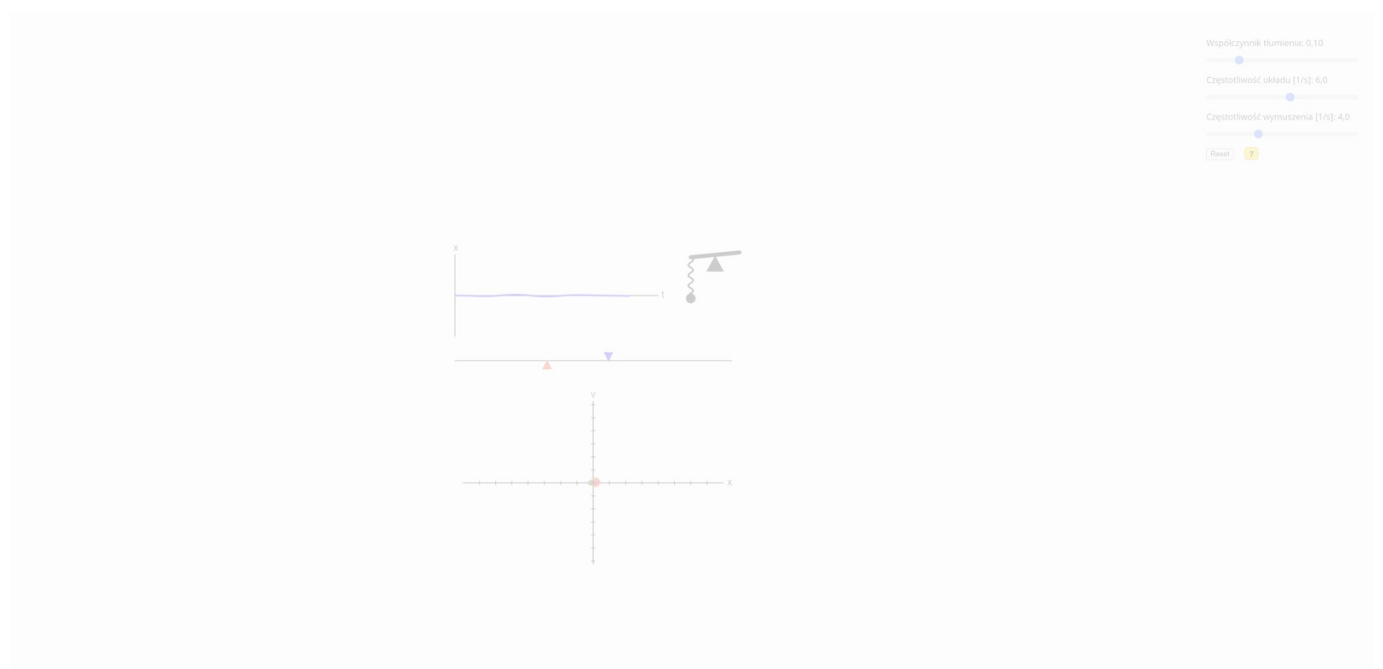
amplituda

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

Symulacja interaktywna

Symulacja drgań wymuszonych z tłumieniem

Symulacja przedstawia ruch ciężarka na sprężynie, której drugi koniec przyczepiony jest do drgającej poprzeczki. Górny wykres, to zależność wychylenia x ciężarka od czasu t . Na dolnym wykresie, na osiach odłożono wychylenie x i prędkość ciężarka v . Możemy zmieniać współczynnik tłumienia, częstotliwość własną układu i częstotliwość wymuszenia.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D1mazdKN9>

Źródło: Politechnika Warszawska Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0. Licencja:
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

Polecenie 1

Ustaw współczynnik tłumienia = 0,2, częstotliwość własną układu = 6, częstotliwość wymuszenia = 6. Zapisz wartość amplitudy po ustaleniu się drgań. Zmień częstotliwość wymuszenia na mniejszą, a potem na większą i zapisz obie wartości amplitudy. Wyjaśnij różnice wartości amplitud.

Polecenie 2

Ustaw współczynnik tłumienia = 0, częstotliwość własną układu = 6, częstotliwość wymuszenia = 6. Zaobserwuj, jak zmienia się amplituda drgań. Czy ustala się stan drgań? Wyjaśnij to zjawisko.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wybierz poprawne dokończenie zdania.

Zjawisko rezonansu polega na tym, że ...

- ☐ drgania przebiegające z siłą wymuszającą mają maksymalną częstotliwość.
- ☐ drgania przebiegające z siłą wymuszającą mają maksymalną amplitudę.
- ☐ drgania przebiegające z siłą tłumiącą mają maksymalną amplitudę.

Ćwiczenie 2



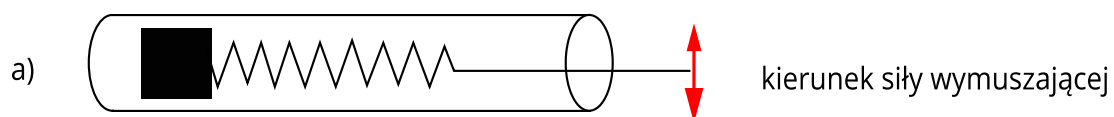
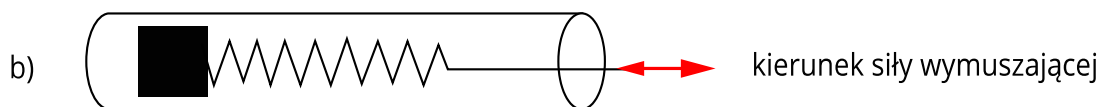
Uzupełnij zdanie:

Zjawisko rezonansu polega na tym, że amplituda drgań osiąga /
 wartość, gdy / siły wymuszającej
jest zbliżona do / drgań własnych układu.

Ćwiczenie 3



W tulei umieszczono sprężynę z przymocowanym do niej klockiem tak, jak na rysunkach. Wybierz rysunek pokazujący prawidłowy kierunek periodycznej siły, która spowoduje drgania wymuszone klocka. Odpowiedź uzasadnij.



Ćwiczenie 4



Wybierz wszystkie stwierdzenia, które są prawdziwe przy braku tłumienia drgań.

Oscylator harmoniczny, na który ...

- ☐ nie działa periodyczna siła wymuszająca, drga z częstotliwością własną.
- ☐ działa periodyczna siła wymuszająca, drga z częstotliwością równą częstotliwości siły wymuszającej.
- ☐ działa periodyczna siła wymuszająca, drga z częstotliwością pośrednią między częstotliwością własną a częstotliwością siły wymuszającej.
- ☐ działa periodyczna siła wymuszająca, drga z częstotliwością własną.

Ćwiczenie 5

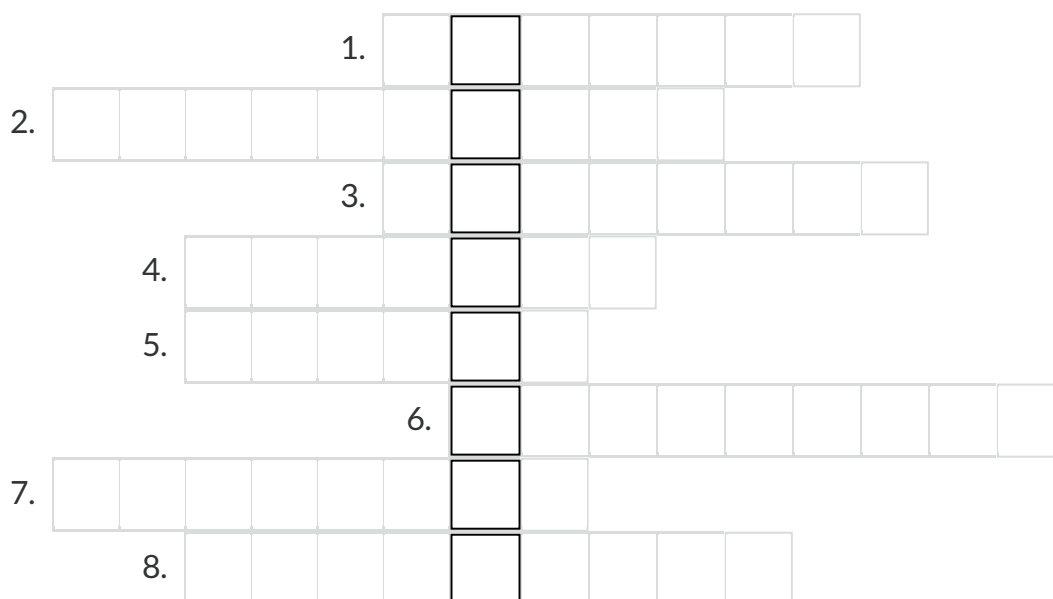


Wyjaśnij, czy to prawda, że aby huśtawkę rozbijać bardzo wysoko, konieczne jest używanie dużej siły jej przy popychaniu. Jaki warunek powinna spełniać siła wywierana na huśtawkę?

Ćwiczenie 6



Rozwiąż krzyżówkę.

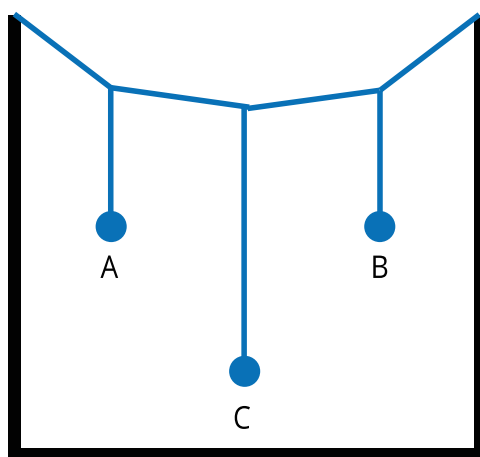


1. Inaczej oscylacje.
2. Chwilowe położenie ciała w ruchu harmonicznym.
3. Wielkość określająca, jak szybko powtarza się dane zjawisko okresowe.
4. Wielkość, od której zależy częstotliwość drgań własnych wahadła matematycznego.
5. Częstota drgań układu, na który nie działają siły zewnętrzne, to częstota ...
6. Maksymalne wychylenie w ruchu harmonicznym.
7. Metalowy drut w kształcie elastycznej spirali.
8. Drgania zachodzące pod wpływem periodycznej siły wymuszającej to drgania ...

Ćwiczenie 7



Na linie zawieszono trzy wahadła A, B i C. Wahadło A wychylono z położenia równowagi w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku i rozpoczęło ono drgania. Po pewnym czasie drgania wahadła A ustały, a ich energia została przekazana poprzez linkę do pozostałych wahadeł. Które z wahadeł zaczęło drgać z większą amplitudą? Odpowiedź uzasadnij.



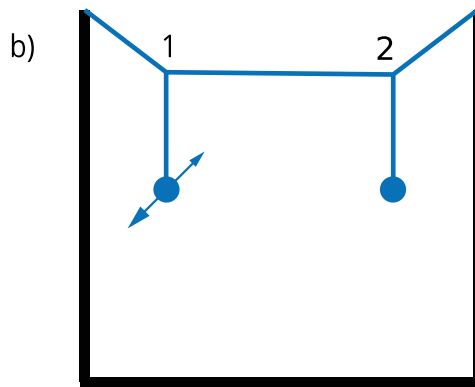
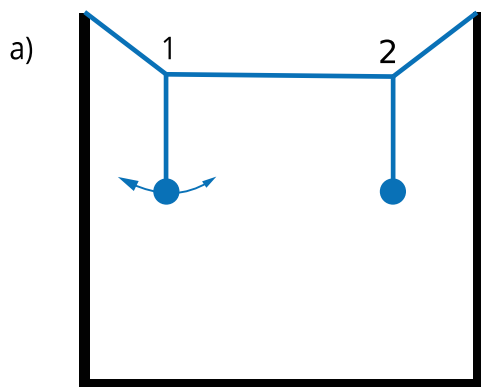
☐ Wahadło B zaczęło drgać z większą amplitudą.

☐ Wahadło C zaczęło drgać z większą amplitudą.

Ćwiczenie 8



Dwa wahadła o jednakowej długości zawieszono na lince. Na rysunku a) wahadło nr 1 wykonuje drgania swobodne w kierunku równoległym do płaszczyzny rysunku, a na rysunku b) w kierunku prostopadłym do płaszczyzny rysunku. W jakim kierunku zaczną poruszać się wahadło nr 2 w przypadkach a) i b). Odpowiedź uzasadnij.



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Tomasz Gradowski, Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Co to są drgania wymuszone?
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony

**Podstawa
programowa:**

Cele kształcenia – wymagania ogólne

I. Wykorzystanie pojęć i wielkości fizycznych do opisu zjawisk oraz wskazywanie ich przykładów w otaczającej rzeczywistości.

III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Zakres podstawowy

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;

15) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.

IV. Drgania. Uczeń:

4) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione, ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach.

Zakres rozszerzony

Treści nauczania – wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji;

19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.

V. Drgania. Uczeń:

7) opisuje drgania wymuszone i drgania słabo tłumione, ilustruje zjawisko rezonansu mechanicznego na wybranych przykładach.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.: • kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji, • kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii, • kompetencje cyfrowe, • kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.
Cele operacyjne:	Uczeń: 1. wyjaśni, jakie znaczenie ma występowanie siły wymuszającej w układach wykonujących drgania; 2. zbada wpływ wymuszenia periodycznego na dynamikę oscylatora harmonicznego; 3. przeanalizuje zależność amplitudy i częstości drgań wymuszonych od częstości siły wymuszającej; 4. opíše zjawisko rezonansu.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, przeprowadzenie doświadczenia, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	monitor interaktywny lub komputer z rzutnikiem albo tablety do dyspozycji każdego ucznia; niewielki przedmiot (piłeczka) zawieszony na elastycznej gumie lub sprężynie dla każdej 4-osobowej grupy
Materiały pomocnicze:	e-materiały: „Co to jest ruch harmoniczny?”, „Przykłady ruchu harmonicznego”, „Tłumienie drgań”, „Co to są drgania wymuszone?”.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie, zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do codziennej wiedzy uczniów o ruchu huśtawki i podtrzymywaniu jej drgań.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie, pracując w grupach, badają ruch piłeczki zawieszanej na elastycznej gumie. Najpierw wyznaczają częstotliwość drgań własnych układu, mierząc czas na przykład 20 swobodnych drgań. Następnie, trzymając za koniec gumy, poruszają ręką w górę i w dół, zaczynając od powolnych ruchów (mała częstotliwość siły wymuszającej) i stopniowo zwiększając częstotliwość ruchów ręki, obserwują ruch piłeczki. Wyznaczają częstotliwość ruchów ręki, przy której amplituda piłeczki jest maksymalna. Uczniowie dzielą się swoimi spostrzeżeniami i pod kierunkiem nauczyciela wyciągają wnioski z doświadczenia (częstotliwość drgań wymuszonych jest zawsze równa częstotliwości siły wymuszającej a amplituda drgań wymuszonych jest tym większa, im częstotliwość siły wymuszającej jest bliższa częstotliwości własnej układu).

Nauczyciel wyjaśnia zjawisko rezonansu. Uczniowie pracują indywidualnie z symulacją interaktywną i odpowiadają na związane z nią pytania.

Faza podsumowująca:

Uczniowie odpowiadają na pytania:

- Co to są drgania wymuszone?
- Jaka jest ich częstość?
- Od czego zależy ich amplituda?
- Na czym polega rezonans?

Praca domowa:

Zadania 1 – 4 z zestawu zadań – obowiązkowo, jedno z pozostałych zadań – do wyboru.

**Wskazówki
metodyczne
opisujące różne
zastosowania danego
multimedium**

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