

Fale poprzeczne

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna (schemat)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Czy to nie ciekawe ?

Większość fal obserwowanych w przyrodzie można zaklasyfikować do jednego z dwóch rodzajów: **fale poprzeczne** lub **fale podłużne**. Czasem możemy obserwować je jednocześnie, na przykład poprzeczna fala na strunie szarpniętej przez gitarzystę wywołuje podłużną falę akustyczną w pudle rezonansowym gitary. Fale takie mogą pojawić się też jednocześnie z jakiegoś innego powodu, przykładowo wybuchowi wulkanu towarzyszy rozchodzenie się z różną prędkością fali sejsmicznej poprzecznej i podłużnej, co jest podstawą jednej z metod lokalizacji odległego miejsca wybuchu.

Fale poprzeczne charakteryzują się tym, że wywołują w ośrodku materialnym, w którym się rozchodzą (na strunie, membranie głośnika, w kryształach itp.) przemieszczenia prostopadłe do kierunku biegu fali. Ten rodzaj fal zostanie omówiony w tym e-materiale.

Twoje cele

W tym e-materiale

- dowiesz się, co odróżnia fale podłużne od poprzecznych,
- poznasz przykłady fal poprzecznych wytwarzanych w laboratorium i w naturze,

- zrozumiesz podstawowe pojęcia charakteryzujące fale w kontekście fal poprzecznych,
- przeanalizujesz, jak rozkładają się siły w ośrodku, w którym rozchodzi się fala poprzeczna,
- wykonasz eksperyment, w którym zaobserwujesz fale poprzeczne o różnym kształcie.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Kierunek przesunięcia a kierunek biegu fali

Zastanówmy się teraz nad następującym problemem: gdy w ośrodku materialnym rozchodzi się fala mechaniczna, elementy ośrodka poruszają się. Jak do kierunku biegu fali ma się kierunek tego ruchu? Ograniczmy się do rozważenia dwóch najprostszych przypadków:

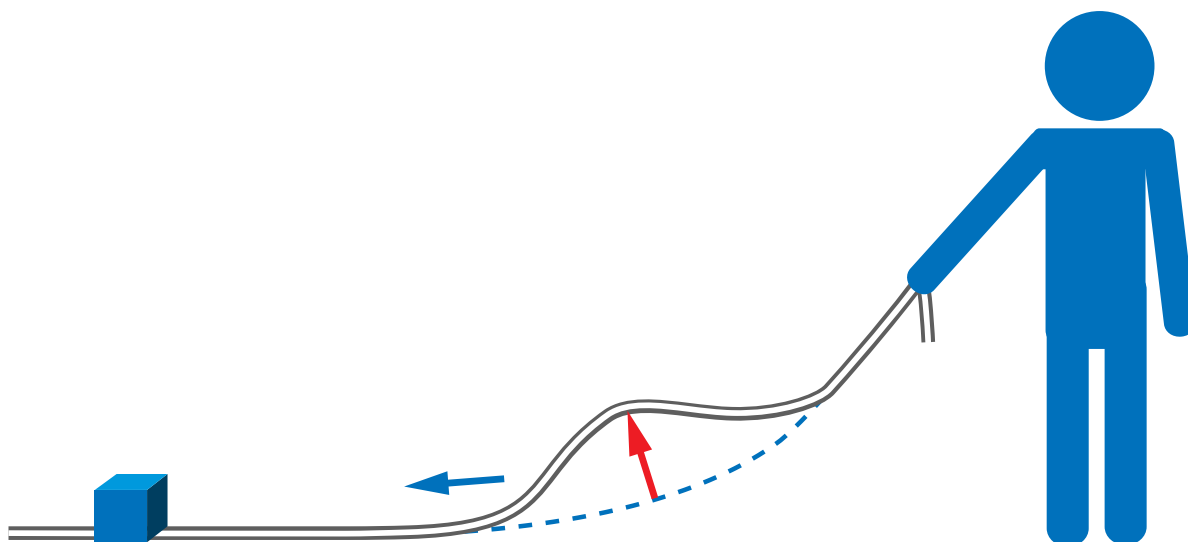
1. Kierunek wektora \vec{U} jest **równoległy** do kierunku biegu fali. Mówimy wtedy o **fali podłużnej**. Temu przypadkowi poświęcony jest np. e-materiał „Fale podłużne”.
2. Kierunek wektora \vec{U} jest **prostopadły** do kierunku biegu fali. Mówimy wtedy o **fali poprzecznej**. Tym przypadkiem zajmiemy się w tym e-materiale.

Warto wiedzieć, że nie wszystkie fale muszą należeć do jednego z wymienionych wyżej dwóch rodzajów. Np. fale na powierzchni wody, mimo że zwykle traktuje się je jako **fale poprzeczne**, w rzeczywistości nie są nimi, nie są też **falami podłużnymi**, ponieważ cząsteczki wody nie poruszają się po liniach równoległych lub prostopadłych do kierunku fali, ale raczej po okręgach.

Obserwujemy fale poprzeczne

Doświadczenie

Do doświadczenia potrzebny jest sznur od bielizny o długości około 5m. Jeden jego koniec połóż na podłodze i unieruchom czymś ciężkim (Rys. 1.). Drugi trzymaj ręką tak, aby większość sznura znajdowała się ponad podłogą, ale ostatni metr leżał na niej (wtedy fala nie będzie odbijać się od końca sznura).

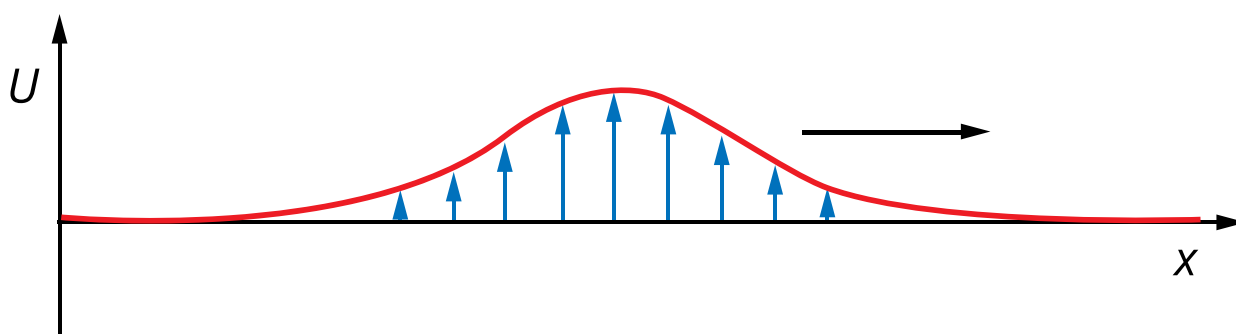


Rys.1

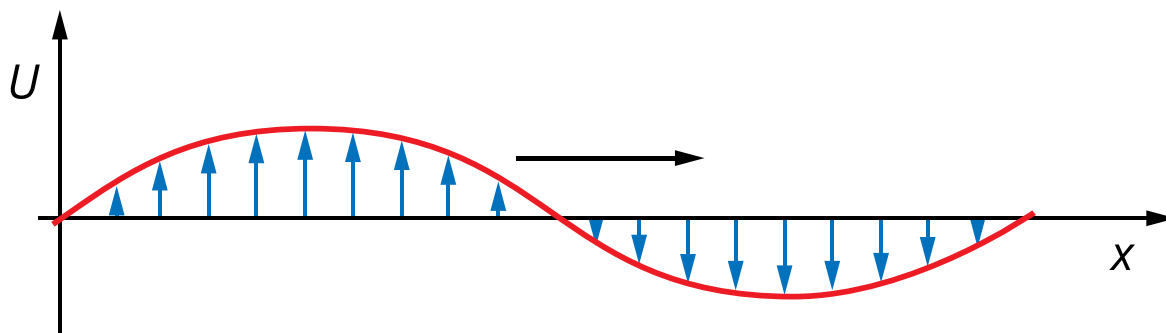
1. Szybkim ruchem odchyl rękę w prawo, a potem powróć do poprzedniego położenia. Co obserwujesz?
2. Poruszaj szybko ręką na przemian w prawo i w lewo. Jaka fala teraz powstaje?

W omawianym doświadczeniu obserwowaliśmy **fale poprzeczne**. Fala taka poruszała się wzdłuż sznura (Rys. 1., strzałka niebieska). A elementy ośrodka – w tym wypadku sznura – poruszały się **prostopadle do kierunku ruchu fali** (Rys. 1., strzałka czerwona). Wychylenia wszystkich elementów sznura były **równoległe**: wszystkie były poziome.

W doświadczeniu obserwujemy dwa typy fali: **impuls falowy** i **falę harmoniczną**. Schematycznie przedstawiają je Rys. 2. i 3.



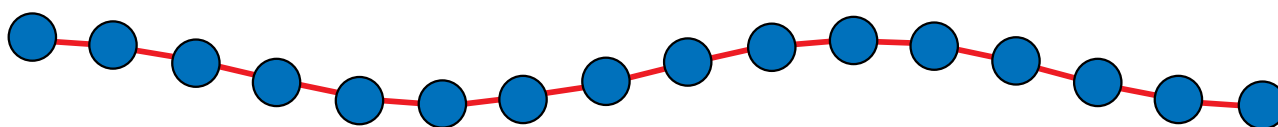
Rys. 2



Rys. 3

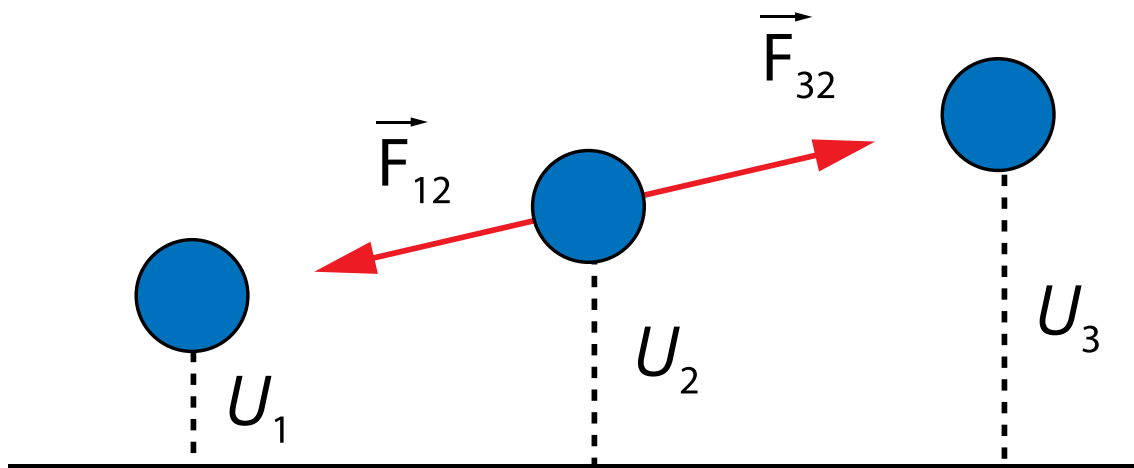
Na obu rysunkach zaznaczony został czarną strzałką kierunek biegu fali, a strzałkami niebieskimi prostopadłe do niego wektory przesunięcia (w danej chwili czasu) wybranych elementów ośrodka.

Przykład: fale w łańcuchu ciężarków

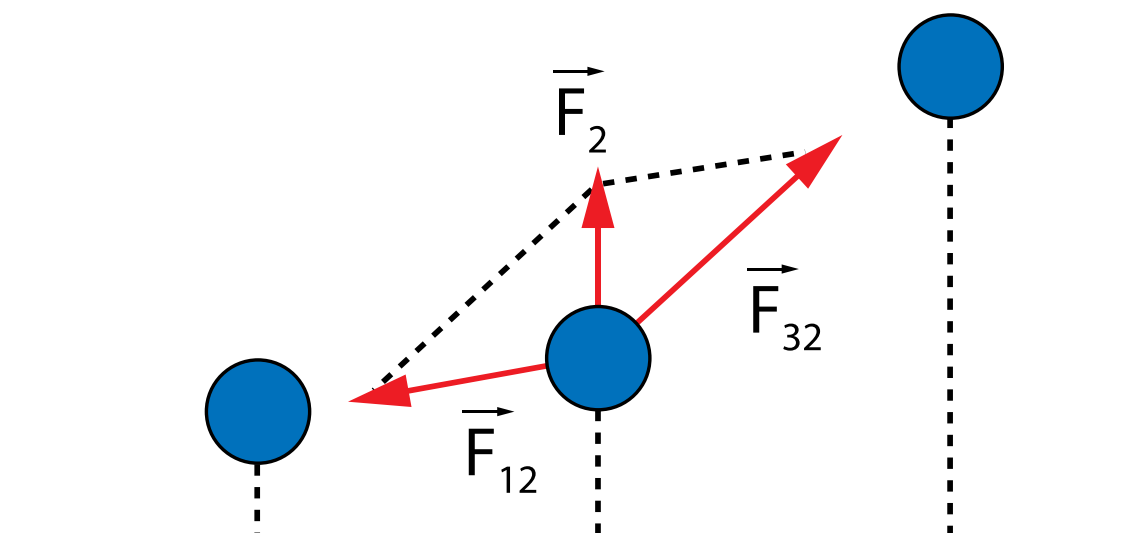


Rys. 4

Zastanowimy się teraz, jakie siły działają pomiędzy elementami ośrodka, kiedy biegnie w nim **fala poprzeczna**. Weźmy pod uwagę uproszczony model - łańcuch jednakowych ciężarków połączonych identycznymi gumkami (Rys. 4.). Zakładając przy tym będziemy, że układ jest rozciągnięty i w warunkach równowagi wszystkie gumki są jednakowo napięte, a więc są jednakowej długości. Rys. 4. przedstawia taki układ, gdy biegnie w nim **poprzeczna fala** harmoniczna.



Rys. 5a



Rys. 5b

Rys. 5. przedstawia tylko trzy wybrane ciężarki tego łańcucha. Jaka wypadkowa siła działa na ciężarek środkowy? Czerwone strzałki przedstawiają siły, z jakimi działają sąsiednie ciężarki (o numerach 1 i 3) na ciężarek środkowy (o numerze 2). Przeanalizujmy rysunek:

1. Jeżeli ciężarek 2 znajduje się dokładnie w środku pomiędzy ciężarkami 1 i 3, napięte gumki działają z siłami o takiej samej wartości, ale przeciwnych zwrotach (Rys. 5a.). Ich wypadkowa jest równa zero.
2. Różna od zera wypadkowa sił pojawi się, kiedy ciężarek 2 **nie znajduje się w środku** pomiędzy ciężarkiem 2 i ciężarkiem 3 (Rys. 5b.). Napięte gumki działają z siłami o podobnych wartościach, ale o różnych kierunkach. W pokazanym przypadku siła wypadkowa zwrócona jest ku górze.

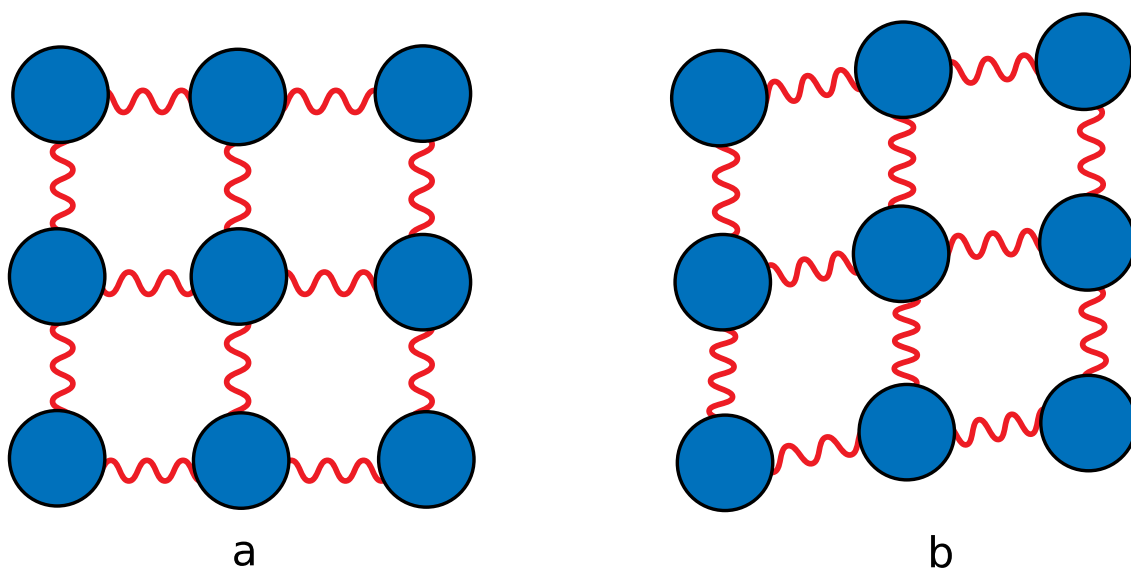
Widać, że siła wypadkowa działająca na element ośrodka zależy nie tyle od przemieszczenia U , co raczej od kształtu wygięcia ośrodka w danym punkcie.

Z **falami poprzecznymi** podobnymi do omówionych wyżej spotykamy się na strunach instrumentów muzycznych, jak fortepian czy gitara.

Fale poprzeczne w ośrodkach materialnych

Wyżej omawialiśmy proste modele **fal poprzecznych** rozchodzących się po jednowymiarowych obiektach. Można jednak zadać pytanie, czy fale tego rodzaju mogą rozchodzić się w ośrodkach trójwymiarowych. Okazuje się, że **fale poprzeczne** mogą rozchodzić się w ciałach stałych, a nie mogą rozchodzić się w cieczach i gazach.

Atomy w ciele stałym tworzą siatkę krystaliczną, utrzymywaną wiązaniami chemicznymi. Upraszczając zagadnienie, można wyobrazić sobie kryształ ciała stałego jako układ mas, połączonych sprężynkami (Rys. 7a). Trzeba działać pewną siłą, aby taką sprężynkę rozciągnąć lub skrócić, a także aby ją wygiąć.



Rys. 7

Rys. 7b. przedstawia sytuację, kiedy w kryształcie biegnie w prawo **fala poprzeczna**. Powoduje to pionowe przesuwanie się całych płaszczyzn krystalicznych – i wyginanie sprężynek-wiązań. Pomiędzy takimi warstwami działają siły, które „chcą przywrócić stan równowagi” – w uproszczeniu analogiczne z siłami przedstawionymi na Rys. 5.

W cieczach i gazach nie ma trwałej przestrzennej struktury. Wzajemne przesuwanie warstw atomów nie wywołuje siły „zwrotnej”. Dlatego w cieczy i w gazie nie mogą rozchodzić się **fale poprzeczne**, choć mogą rozchodzić się **fale podłużne**. (Więcej w e-materiale „Fale podłużne”).

Słowniczek

fala podłużna

(*ang. longitudinal wave*) – fala wywołująca w ośrodku materialnym przemieszczenie elementów ośrodka równoległe do kierunku biegu fali.

fala poprzeczna

(*ang. transverse wave*) – fala wywołująca w ośrodku materialnym przemieszczenie elementów ośrodka prostopadłe do kierunku biegu fali. (Uwaga: światło jest falą poprzeczną; wielkości, które ulegają zmianom wraz z jego propagacją, to prostopadłe do kierunku biegu światła składowe pola elektrycznego i magnetycznego.)

fala harmoniczna

(*ang. harmonic wave*) – fala, w której przemieszczenie elementów ośrodka zmienia się sinusoidalnie w czasie. Charakteryzują ją takie wielkości, jak:

- okres, czyli czas, jaki mija między dwoma kolejnymi maksymalnymi wychyleniami drgającego elementu ośrodka;
- częstotliwość, czyli liczba drgań elementu ośrodka przypadająca na jednostkę czasu;
- długość fali, czyli odległość między dwoma kolejnymi punktami, w których w danej chwili elementy ośrodka mają maksymalne wychylenie;
- amplituda, czyli maksymalne przemieszczenie elementu ośrodka względem stanu równowagi.

impuls falowy

(*ang. wavelet*) – rozchodzące się przemieszczenie elementów ośrodka ograniczone w czasie i przestrzeni, mające swój początek i koniec.

Grafika interaktywna (schemat)

Propagacja fali poprzecznej

Grafika interaktywna prezentuje schematycznie rozchodzenie się na wężu gumowym fali poprzecznej o wybranych wartościach parametrów: amplitudy, okresu, prędkości rozchodzenia się fali.

Polecenie 1

Spróbuj zmieniać wartości parametrów (amplitudę, okres, prędkość) i zobacz, jaki to ma wpływ na charakter fali.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



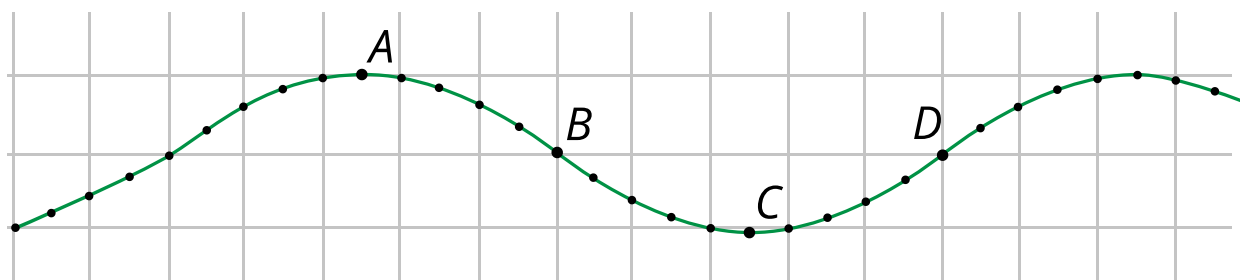
Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



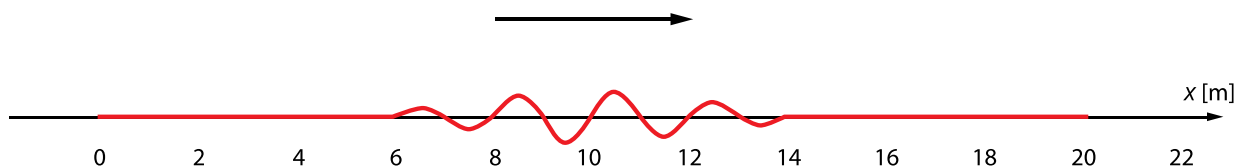
Poniższy rysunek przedstawia falę poprzeczną na gumowym wężu. Wskaż, na który z zaznaczonych punktów działa siła wypadkowa o największej wartości, a w których punktach wypadkowa siła jest zerowa.



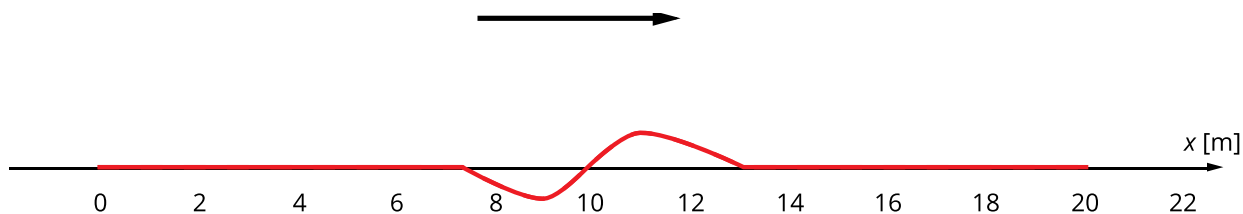
Ćwiczenie 4



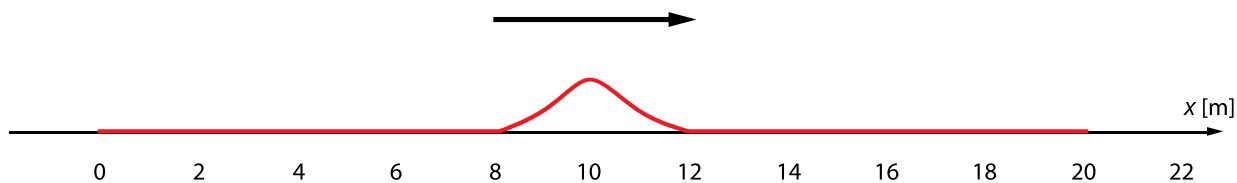
Jak można wytworzyć na linii taternickiej falę o takim kształcie, jak wskazany na każdym z Rys. (a)-(c)? Przyjmij, że wychylenia fali są poziome, a fale rozchodzą się zgodnie z kierunkiem wskazanym przez strzałkę z prędkością 2 m/s. Dopasuj rysunki do odpowiednich opisów i uzupełnij brakujące w nich wartości liczbowe.



(a)



(b)

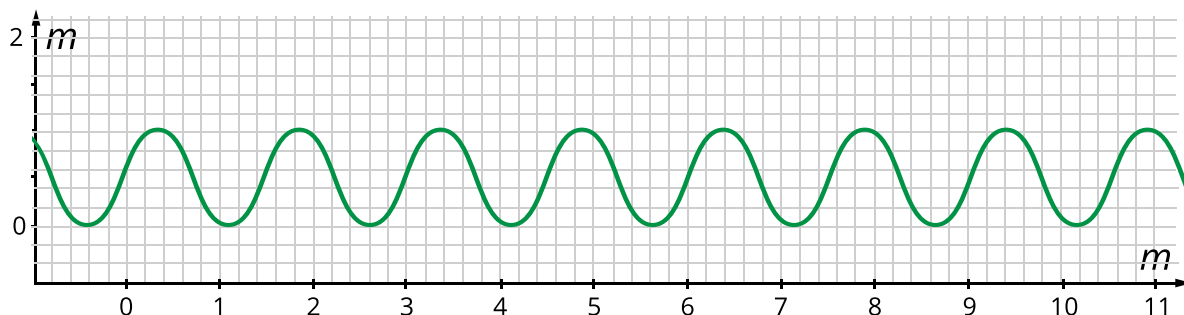


(c)

Ćwiczenie 5



Przedstawiona na wykresie fala została wytworzona przez poruszanie rytmicznie jednym końcem gumowego węża z częstotliwością 2 razy na sekundę. Odczytaj z wykresu amplitudę i długość fali, a następnie oblicz prędkość rozchodzenia się fali wzdłuż gumowego węża.



Ćwiczenie 6



Wiatr wytworzył na fladze naszego północno-wschodniego sąsiada falę taką, jak na rysunku.



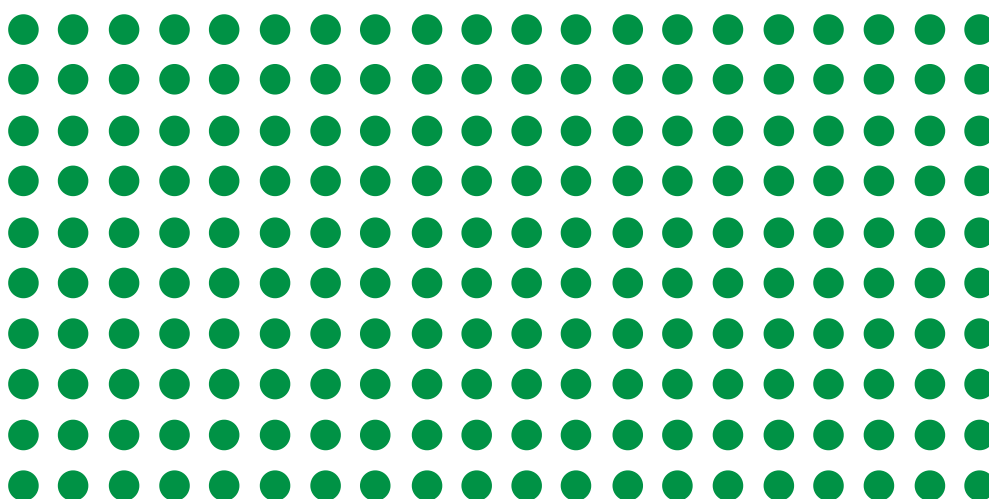
Ćwiczenie 7



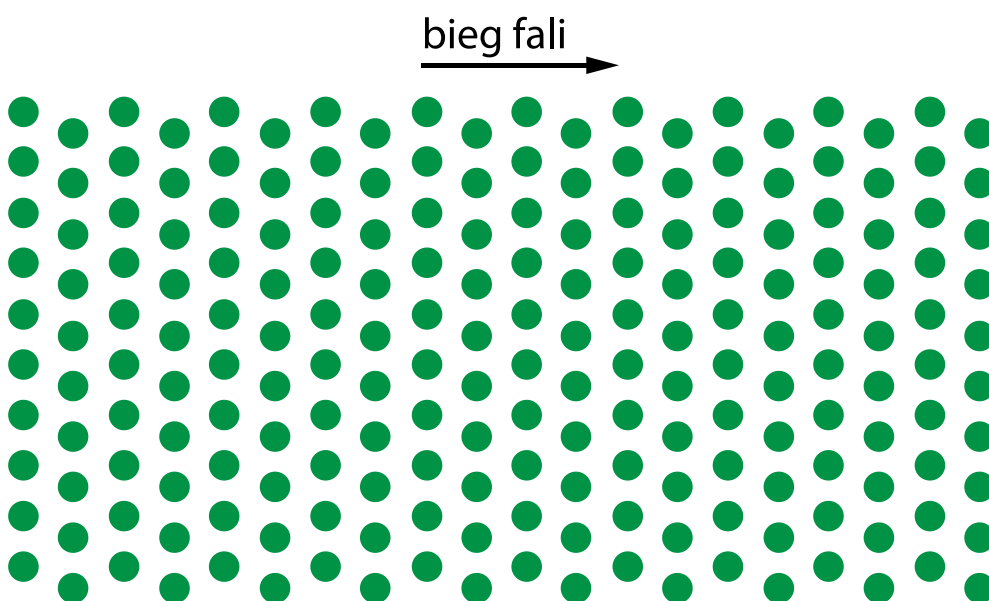
Ćwiczenie 8



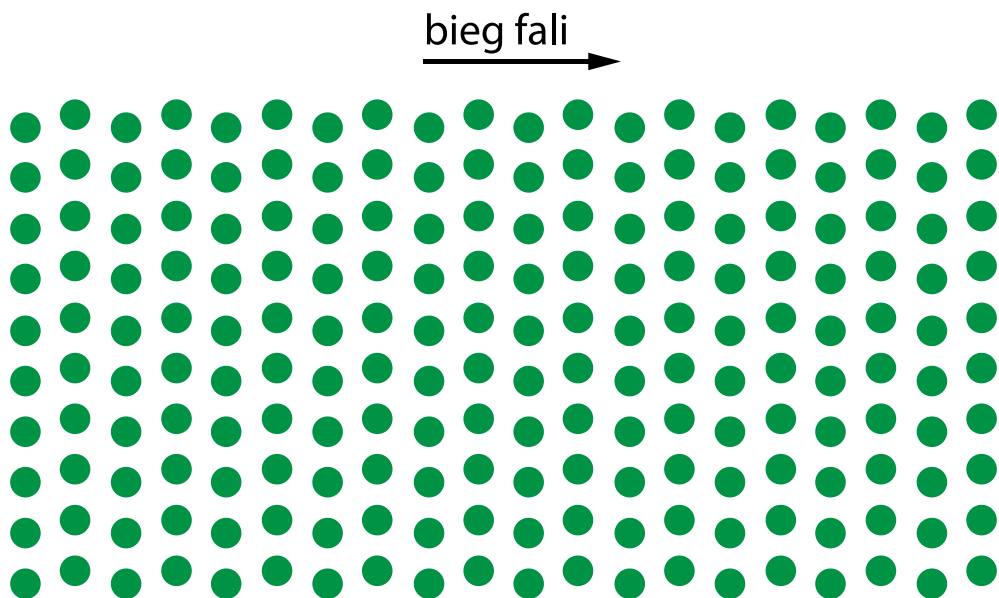
Widzisz cztery rysunki. Rysunek a) przedstawia schematycznie układ atomów w sieci krystalicznej. Następne rysunki przedstawiają układ atomów w tej sieci w pewnej chwili, kiedy zaczęła się w tej sieci rozchodzić fala w kierunku wskazanym strzałką, przy czym inna fala rozchodziła się na rysunku b), inna na rysunku c), a jeszcze inna na rysunku d). Strzałką zaznaczono kierunek biegu fali. Wskaż, która z fal może być falą poprzeczną.



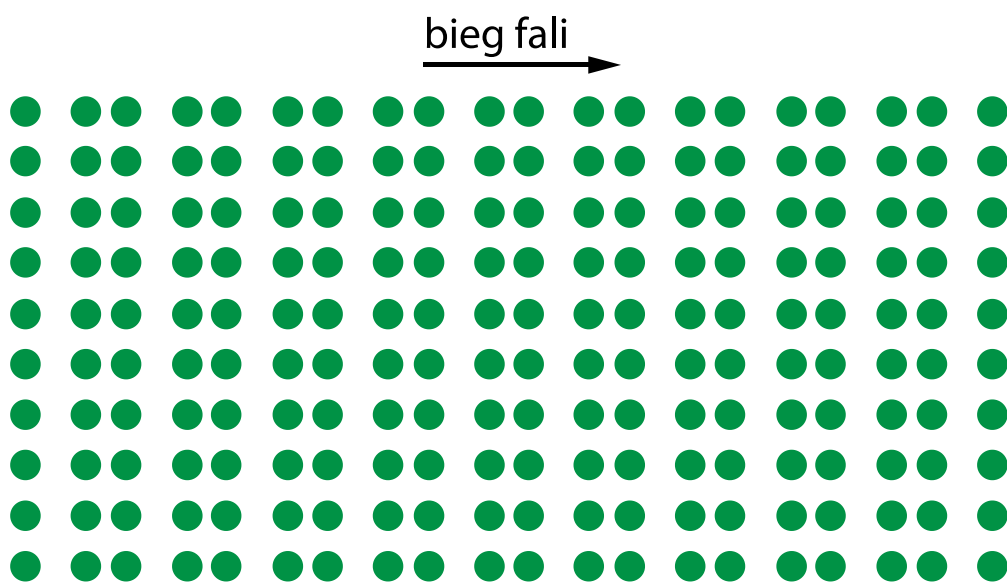
Rys. a



Rys. b



Rys. c



Rys. d

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Józef Ginter
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Fale poprzeczne
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	<p>Cele kształcenia - wymagania ogólne</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>III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.</p> <p>Zakres podstawowy</p> <p>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p> <p>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;</p> <p>IX Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>6) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną; opisuje polaryzację światła wynikającą z poprzecznego charakteru fali.</p> <p>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania - wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach;</p>

	<p>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;</p> <p>11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;</p> <p>X Fale i optyka. Uczeń:</p> <p>14) rozróżnia fale poprzeczne i podłużne; opisuje światło jako falę elektromagnetyczną poprzeczną; rozróżnia światło spolaryzowane i niespolaryzowane;</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. definiuje falę poprzeczną i wymienia cechy odróżniające ją od fali podłużnej. 2. znajduje przykłady fal poprzecznych wytwarzanych w laboratorium i w naturze. 3. stosuje podstawowe pojęcia charakteryzujące fale na drodze analizy konkretnych fal poprzecznych. 4. wykonuje eksperymenty, w których obserwuje i dokonuje analizy fal poprzecznych o różnym kształcie. 5. analizuje siły działające w ośrodku, w którym rozchodzi się fala poprzeczna.
Strategie nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> • IBSE (Inquiry-Based Science Education). • strategia eksperymentalno-obszerności.
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - pogadanka, - burza mózgów, - pokaz multimedialny, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	klasowo-lekcyjna, eksperymentalna - w parach lub grupach
Środki dydaktyczne:	gruby sznur lub lina taternicza, rzutnik multimedialny

Materiały pomocnicze:	e-materiały o tytułach „Fale podłużne”, „Na czym polega rozchodzenie się fal?”, „Klasyfikacja fal”.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Lekcję zaczyna nauczyciel od wykonania doświadczenia: wytworzenia fali poprzecznej na poziomym sznurze. Powinien pokazać, że zależnie od sposobu wytworzenia fali, ma ona charakter ciągły (fala harmoniczna) lub też ograniczony w czasie i przestrzeni (impuls falowy), może mieć różne wartości amplitudy i długości fali. Uczniowie szacują (rzęd wielkości) prędkość rozchodzenia się fali na sznurze.</p>	
Faza realizacyjna:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Nauczyciel przedstawia na tablicy model fali poprzecznej w łańcuchu kul połączonych gumkami. 2. Poszczególni uczniowie analizują kierunek siły wypadkowej działającej na każdą z kul. 3. Uczniowie formułują wniosek odnośnie tego, od czego bezpośrednio zależny jest kierunek siły wypadkowej: od wartości przemieszczenia czy od kształtu. Dostrzegają, że dla fali harmonicznej te dwie charakterystyki są ze sobą powiązane. 4. Nauczyciel omawia rozchodzenie się fali poprzecznej w różnych ośrodkach materialnych, w szczególności w sieci krystalicznej. 5. Uczniowie oglądają grafikę interaktywną z tego e-materiału, wspólnie z nauczycielem bawią się nią i omawiają to, co widać. 	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie sami rozwiązują zadania 4 i 6.	
Praca domowa:	
Zadania 1, 2, 3, 5, 7, 8.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Animacja może być wykorzystana do lekcji powtórzeniowej o falach.