



Jak objaśnić względność równoczesności?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film samouczek
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Jak objaśnić względność równoczesności?

Czy to nie ciekawe?

Na co dzień jako jednoczesne traktujemy te zdarzenia, od których jednocześnie dociera do nas sygnał – dźwięk lub światło. Na przykład: jeżeli usłyszymy jednocześnie klakson samochodu, który przejechał 100 m od nas i głos osoby stojącej obok nas, przyjmujemy, że dźwięki te zostały wydane jednocześnie. Nie zauważamy, że sygnał odległego samochodu musiał zostać wysłany wcześniej, ponieważ miał dłuższą drogę do przebycia. Podobnie jest z sygnałami świetlnymi. Jakie zdarzenia są traktowane w fizyce jako jednoczesne?

Twoje cele

- dowiesz się, jakie są założenia mechaniki Newtona i Szczególnej Teorii Względności (STW) Einsteina,
- poznasz różne koncepcje równoczesności,
- zrozumiesz, na czym polega równoczesność zdarzeń zgodnie z założeniami mechaniki Newtona i w Szczególnej Teorii Względności Einsteina,
- zastosujesz zdobytą wiedzę w analizie zjawisk,
- przeanalizujesz i zinterpretujesz względność równoczesności na przykładzie „Pociągu Einsteina”.

Przeczytaj

Warto przeczytać



Rys. 1. Udana lądowanie sondy na Marsie wzbudza powszechny entuzjazm wśród kontrolerów lotu – ale czy sonda rzeczywiście wylądowała na Czerwonej Planecie równocześnie?

Zjawiska fizyczne opisuje się określając miejsce i czas zajścia. Według zasad mechaniki klasycznej sformułowanych przez Izaaka Newtona czas był absolutny, niezależny od materii i zjawisk fizycznych. Upływał jednakowo we wszystkich **układach odniesienia**.

W szczególności czas trwania zjawisk nie zależał od wyboru układu odniesienia. Zgodnie z koncepcją Newtona, można było bez problemu zsynchronizować wszystkie zegary we Wszechświecie tak, aby pokazywały ten sam czas absolutny bez względu na ruch **układu odniesienia**, w którym znajdował się zegar. Ze względu na istnienie jednego, absolutnego czasu, zdarzenia równoczesne w jednym układzie będą równoczesne w każdym innym.

Według teorii Newtona jednoczesne były zatem te zdarzenia, które zachodziły w tej samej chwili czasu absolutnego. Jednoczesność, zgodnie z tą koncepcją, była absolutna – zdarzenia jednoczesne dla jednego obserwatora były jednoczesne dla każdego innego. Teoria Newtona dopuszczała możliwość nieskończonej szybkości rozchodzenia się informacji i sygnał pochodzący od zjawiska mógł być jednocześnie odbierany przez wszystkich obserwatorów. Oczywiście sygnały, które miały skończoną prędkość (np. dźwięki), od zjawisk zachodzących jednocześnie w różnych odległościach od obserwatora nie dochodziły do niego jednocześnie.

Podstawowym założeniem Szczególnej Teorii Względności (STW) nie jest absolutność czasu, ale absolutność prędkości światła w próżni. Teoria ta zakładała, że we wszystkich **układach inercjalnych** prędkość światła w próżni jest taka sama we wszystkich kierunkach i nie zależy od prędkości źródła.

Założenie to prowadzi do szeregu konsekwencji sprzecznych z naszą intuicją. Między innymi:

- prędkość światła w próżni jest maksymalną prędkością, jaką mogą osiągnąć obiekty, a także wszelkiego typu sygnały w przyrodzie;
- czas trwania zjawiska i długość obiektu zależy od układu odniesienia, względem którego jest mierzony.

Także względna jest równoczesność zdarzeń.

Zgodnie ze szczególną teorią względności, podobnie jak w mechanice klasycznej, dwa zdarzenia są równoczesne w pewnym układzie odniesienia, gdy mają w tym układzie tę samą współrzędną czasową.

Ponieważ maksymalna prędkość informacji to duża, ale jednak skończona prędkość światła, zmiana układu inercjalnego – poruszającego się z niezerową prędkością względem wybranego – powoduje, że zdarzenia jednoczesne w jednym układzie odniesienia nie muszą być jednoczesne w innym. Jedno z tych zdarzeń jest obserwowane jako wcześniejsze.

Dla niektórych zdarzeń niejednoczesnych w danym **układzie odniesienia** można znaleźć układ, w których te zdarzenia są równoczesne.

Względność równoczesności ilustruje tzw. pociąg Einsteina.

Zakładamy, że mamy dwa **inercjalne układy odniesienia**:

A – związany z wagonem pociągu poruszającego się z bardzo dużą prędkością;

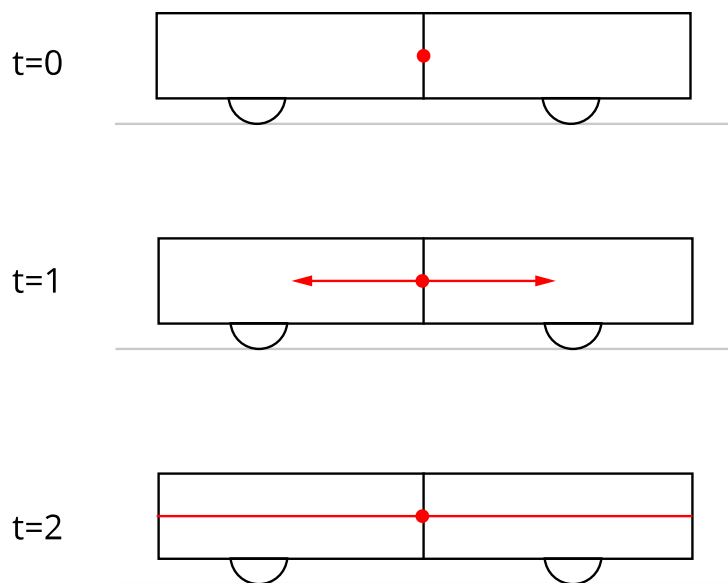
B – związany z Ziemią.

Każdy układ ma swój własny czas mierzony przez zsynchronizowane ze sobą zegary (pokazujące ten sam czas). Zegary te mogą być w każdym punkcie danego układu.

Rozważmy bieg promieni świetlnych wysłanych jednocześnie ze środka wagonu w kierunku przeciwległych ścian. Promienie wysyłane są z jednego punktu, dlatego w obu układach ich start będzie jednoczesny.

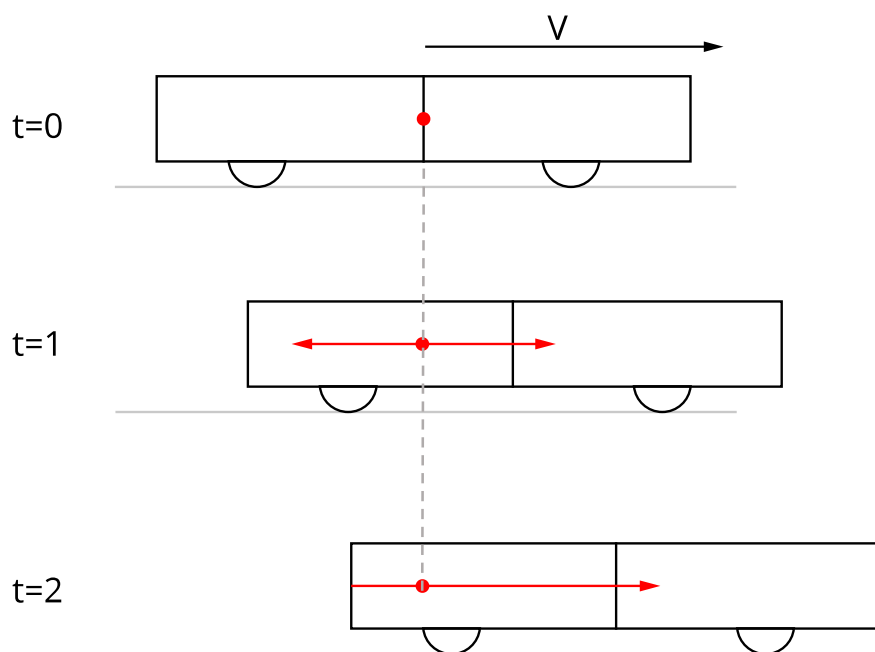
Rozważmy zjawiska – promienie docierają do ścian wagonu, zjawiska te mogą być np. rejestrowane przez detektory światła umieszczone na ścianach wagonu.

W układzie A, związanym z wagonem, światło do obu ścian ma taką samą drogę do przebycia. Zatem czas jej przebycia będzie jednakowy – zegary związane z wagonem wskażą ten sam czas, po którym promienie docierają do ścian wagonu (Rys. 1.).



Rys. 1. Bieg promieni świetlnych w układzie odniesienia wagonu – promienie mają tę samą drogę do przebycia – wysłane jednocześnie, docierają jednocześnie do ścian wagonu

W układzie B, związanym z Ziemią, porusza się również wagon (Rys. 2.), a światło, zgodnie z założeniami STW, ma taką samą prędkość w obu kierunkach, jak w układzie wagonu, równą prędkości światła w próżni. Ponieważ po wysłaniu błysków porusza się wagon, promienie świetlne będą mieć różne drogi do przebycia: krótszą – promień biegnący przeciwnie do zwrotu prędkości wagonu, dłuższą – promień biegnący zgodnie ze zwrotem prędkości wagonu. Z tego powodu promienie dotrą do obu ścian niejednocześnie – zegary związane z Ziemią wskażą inne czasy dotarcia do nich promienia, ponieważ oba promienie będą miały inne drogi do przebycia.



Rys. 2. Bieg promieni świetlnych w układzie Ziemi. Ponieważ porusza się wagon, promień świetlny ma do przebycia krótszą drogę do ściany tylnej niż do przedniej, zatem wcześniej promień dotrze do ściany tylnej

Jak widać z powyższej analizy zdarzenia: promienie światła docierają do przeciwległych ścian wagonów, jednocześnie w układzie wagonu nie są jednocześnie w układzie odniesienia Ziemi.

Słowniczek

Układ odniesienia

(*ang.: reference frame*) – punkt lub układ punktów w przestrzeni, względem którego określa się położenie lub zmianę położenia (ruch) danego ciała.

Inercjalny układ odniesienia

(*ang.: inertial reference frame*) – układ odniesienia, w którym każde ciało, niepodlegające zewnętrznemu oddziaływaniu z innymi ciałami, porusza się bez przyspieszenia (tzn. ruchem jednostajnym prostoliniowym) lub pozostaje w spoczynku.

Film samouczek

Jak objaśnić względność równoczesności?

Film ilustruje względność równoczesności na przykładzie tak zwanego „Pociągu Einsteina”.

[Film dostępny na portalu epodreczniki.pl](#)

Zapoznaj się z audiodeskrypcją samouczka.

Polecenie 1

Ze środka wagonu o długości 100 m, jadącego z prędkością 259000 km/s, zostaje wysłany błysk światła. Światło po dotarciu do tylnej (T) i przedniej (P) ściany wagonu uruchamia fotokomórki otwierające okienka znajdujące na tych ścianach. Które okienko otworzy się wcześniej dla obserwatora znajdującego się w wagonie, a które dla obserwatora związanego z Ziemią?

Polecenie 2

Poznaliśmy, czym jest „względność jednoczesności”. Czy ma sens odwrócenie terminów – „jednoczesność względności”?

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Pociąg Einsteina to model ilustrujący względność równoczesności zdarzeń. Według STW błyski światła wysłane ze środka wagonu, docierające jednocześnie do przeciwległych ścian wagonu w układzie odniesienia wagonu, docierają niejednocześnie dla obserwatora związanego z układem odniesienia Ziemi. Natomiast zgodnie z klasyczną mechaniką Newtona błyski te powinny dotrzeć jednocześnie dla obu obserwatorów. Jakie założenia tych teorii powodują te różnice?

Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Pociąg porusza się z prędkością bliską prędkości światła. W pewnej chwili obserwator stojący na Ziemi dostrzega, że w miejsca, w których znajdują się przód i tył wagonu jednocześnie uderzają w tory pioruny.



Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Jarosław Krakowski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Względność równoczesności
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres 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>Zakres rozszerzony</p> <p>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu.</p> <p>XII. Elementy fizyki relatywistycznej i fizyka jądrowa.</p> <p>Uczeń:</p> <p>1) wskazuje niezależność prędkości światła w próżni od prędkości źródła i prędkości obserwatora, opisuje względność równoczesności.</p>
Kształtowane kompetencje kluczowe:	<p>Zalecenia 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. poda podstawowe założenia mechaniki Newtona i Szczególnej Teorii Względności (STW) Einsteina; 2. omówi różne koncepcje równoczesności; 3. wyjaśni, na czym polega równoczesność zdarzeń zgodnie z założeniami mechaniki Newtona i w Szczególnej Teorii Względności Einsteina; 4. zastosuje zdobytą wiedzę w analizie zjawisk; 5. przeanalizuje i zinterpretuje względność równoczesności na przykładzie „Pociągu Einsteina”.
Strategie nauczania:	IBSE (Inquiry-Based Science Education) - nauczanie/uczenie się przedmiotów przyrodniczych przez odkrywanie/dociekanie naukowe
Metody nauczania:	wykład problemowy, burza mózgów
Formy zajęć:	praca zespołowa, praca w grupach
Środki dydaktyczne:	grafika i filmy ilustrujące różne koncepcje równoczesności (np. https://youtu.be/C2VMO7pcWhg), zestaw zadań
Materiały pomocnicze:	rzutnik, ekran
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Pytanie nauczyciela:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Jakie zdarzenia uważacie za równoczesne? Oczekiwana odpowiedź: Te, o których jednocześnie uzyskujemy informację; te, które zachodzą w tej samej chwili czasu. 2. Jakie są założenia o właściwości czasu według mechaniki Newtona i Einsteina? Oczekiwana odpowiedź: Wg. Newtona czas jest absolutny, wg. Einsteina prędkość światła jest absolutna. 	
Faza realizacyjna:	

1. Analiza równoczesności zdarzeń zgodnie z założeniami absolutnego czasu. Wniosek: Ponieważ czas jest absolutny, to zdarzenia są równoczesne, jeżeli zachodzą w tej samej chwili czasu absolutnego.

2. Analiza założeń Szczególnej Teorii Względności.

3. Ilustracja konsekwencji założeń niezależności prędkości światła od układu odniesienia.

4. Analiza równoczesności zdarzeń w różnych układach odniesienia zgodnie z założeniami STW, na przykładzie „Pociągu Einsteina”.

Faza podsumowująca:

W celu zweryfikowania osiągniętych celów, uczniowie rozwiązują zadania 1, 3, 6, 8 z zestawu ćwiczeń. Nauczyciel pełni rolę doradcy, obserwuje i kontroluje pracę uczniów.

Praca domowa:

W celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości o względności równoczesności uczniowie rozwiązują zadania: 2, 4, 5, 7 z zestawu ćwiczeń.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Film może być wykorzystany przy powtarzaniu wiadomości i na innych lekcjach na temat Szczególnej Teorii Względności.