



W jaki sposób definiujemy układ inercjalny, nieinercjalny i laboratoryjny?

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



W jaki sposób definiujemy układ inercjalny, nieinercjalny i laboratoryjny?

## Czy to nie ciekawe?

Czy kierowcę rajdowego, wchodzącego z dużą prędkością w ostry zakręt, obowiązują te same prawa fizyki jak w sytuacji, gdy ten sam kierowca jedzie z tą samą prędkością po prostym odcinku drogi? Współczesna fizyka odpowiada „w ciemno”: zdecydowanie tak – prawa fizyki są uniwersalne! W tym e-materiale wprowadzimy odpowiednie pojęcia, które pozwolą nam odpowiedzieć na to pytanie w sposób bardziej szczegółowy.

### Twoje cele

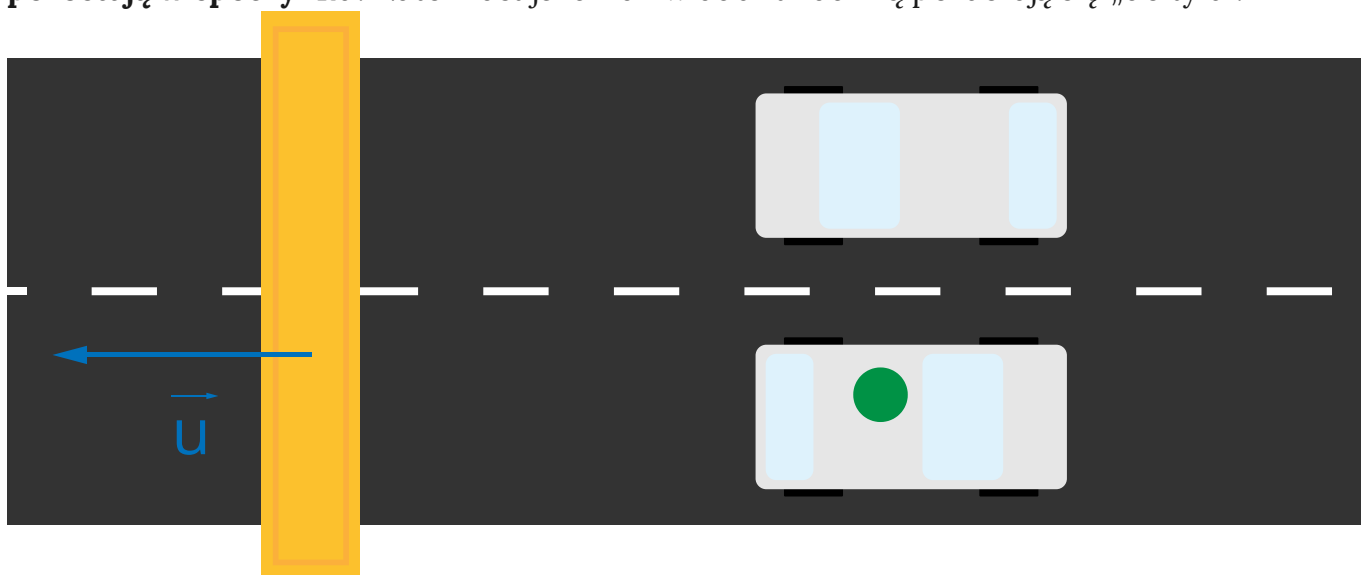
- poznasz definicję układu inercjalnego, nieinercjalnego i laboratoryjnego,
- dowiesz się, w jakim celu wykorzystuje się takie układy,
- zastosujesz zdobytą wiedzę do określania rodzaju układu w danej sytuacji.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

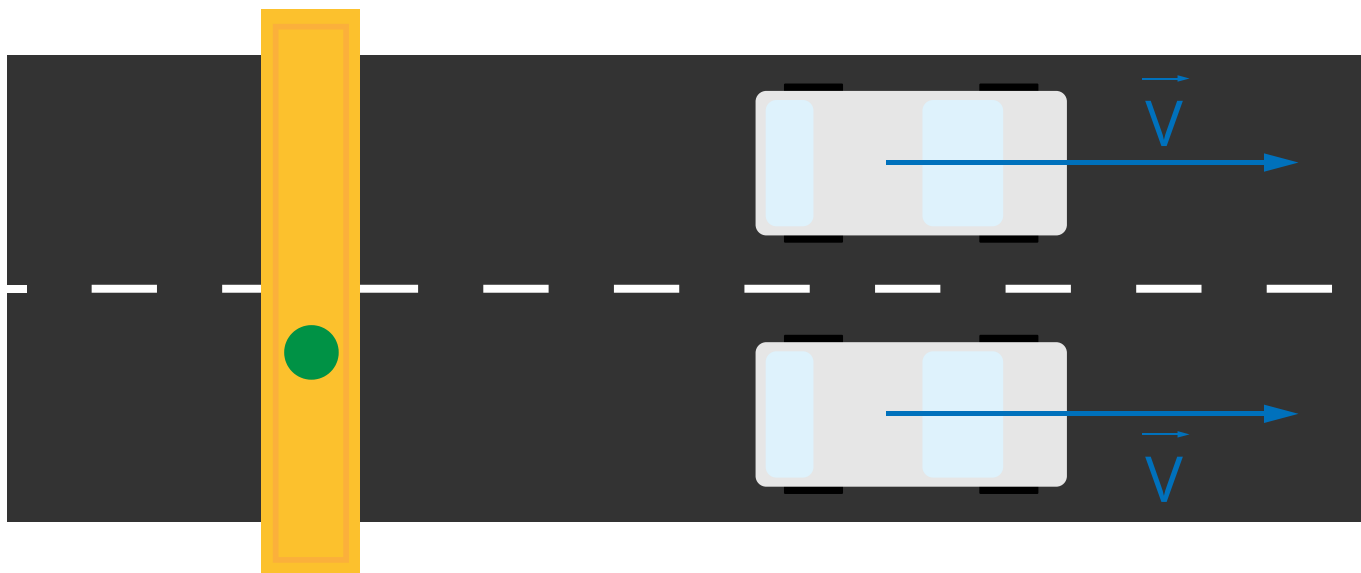
Każde zdarzenie fizyczne można opisać z punktu widzenia różnych obserwatorów. I to samo zjawisko oglądane przez różnych obserwatorów na ogół zostanie różnie opisane. Rozważmy np. dwa samochody jadące z tą samą prędkością i w tym samym kierunku po linii prostej. Każdy z kierowców uważa, że ten drugi jest w spoczynku – sytuację taką obserwujemy np. na kilkupasmowej jezdni, gdzie samochody jadą obok siebie (Rys. 1.). **Zatem z punktu widzenia każdego z kierowców ani on, ani jego sąsiad nie poruszają się - pozostają w spoczynku.** Natomiast jezdnie i wiadukt nad nią poruszają się „do tyłu”.



Rys. 1. Z punktu widzenia kierowcy w samochodzie, oznaczonym zieloną kropką, drugi samochód spoczywa, a jezdnie i wiadukt poruszają się "do tyłu"

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

Co jednak zaobserwuje osoba stojąca na wiadukcie nad tą jezdnią? (Rys. 2.) **Widzi spoczywającą jezdnię i dwa samochody oddalające się od niej „do przodu”, z jednakową prędkością, widzi więc ich ruch.**



Rys. 2. Z punktu widzenia osoby stojącej na wiadukcie oba samochody są w ruchu: oddalają się od niej z jednakowymi prędkościami, natomiast jezdni pozostaje w spoczynku.

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

## Układ odniesienia

Widzimy zatem, że opis ruchu zależy od obserwatora, który go bada. Używając języka fizyki, z takim obserwatorem wiążemy **układ odniesienia**. **Wyniki naszych obserwacji, w szczególności opis jakiegoś ruchu, w ogólności zależą od układu odniesienia.** Układ odniesienia może być powiązany z dowolnym ciałem – może być nim zarówno kierowca samochodu, jak i jego samochód, osoba stojąca na wiadukcie, a także sam wiadukt. **Każdy opis ruchu powinien zacząć się od określenia układu odniesienia.** Często jednak z kontekstu jasno wynika, jaki układ wybieramy - trzeba tylko pilnować, by nie prowadziło to do nieporozumień czy pozornych paradoksów.

### Ciekawostka

Zauważ, że w zdaniu użytym na początku tekstu: „Rozważmy np. dwa samochody jadące z tą samą prędkością i w tym samym kierunku po linii prostej”, zawarte jest właśnie „niejawne” powiązanie układu odniesienia z jezdnią. Nie jest łatwo, w ramach potocznej mowy, podać tę samą informację w sposób neutralny z punktu widzenia wyboru układu odniesienia. Brzmiałoby to bardzo sztucznie: „Rozważmy dwa spoczywające względem siebie samochody oraz prostoliniowy odcinek drogi, z której korzystają te samochody. Samochody i droga są względem siebie w ruchu.”

Układ odniesienia jest bardzo przydatnym pojęciem, a nawet... narzędziem: **wybranie odpowiedniego układu zwykle pozwala na uproszczenie opisu zjawiska.** Jeśli chcemy opisać ruch rakiety lecącej z Ziemi na Księżyc, to dla prostoty opisu układ zwiążemy z Ziemią, a nie np. z inną planetą, której ruch należałoby wówczas wziąć pod uwagę, na dodatek jest to ruch przyspieszony. Z drugiej strony, gdy analizujemy ruch sondy międzyplanetarnej, to prostszy opis uzyskujemy poprzez wybór układu odniesienia związanego ze Słońcem, a nie z Ziemią.

## Inercjalne i nieinercjalne układy odniesienia

Podstawowe (i rozłączne) klasy układów odniesienia to układy inercjalne i nieinercjalne.

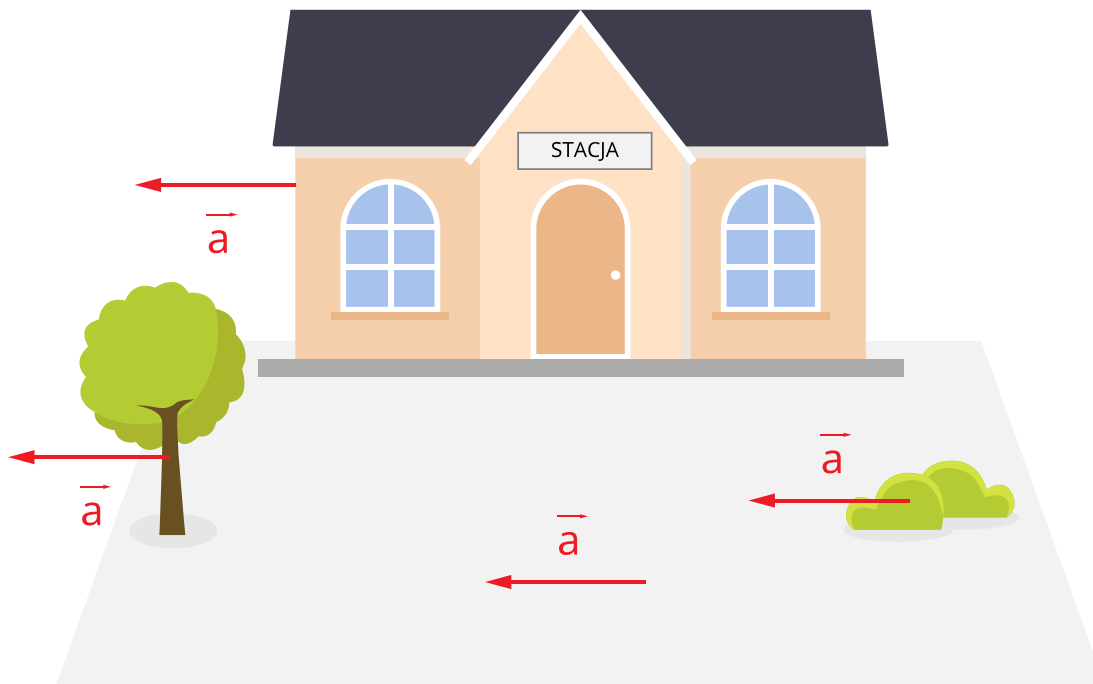
**Układem inercjalnym** nazywamy taki układ, w którym wszystkie obiekty, nieoddziałujące z innymi obiektami, poruszają się ze stałą prędkością. W szczególnym przypadku prędkość ta może wynosić zero. Co więcej, wszystkie układy poruszające się ze stałą prędkością względem tak zdefiniowanego układu również są układami inercjalnymi. Tak więc przykładem układu inercjalnego jest układ odniesienia związany z pasażerem pociągu jadącego po linii prostej, ze stałą prędkością, jak również z pasażerem stojącym na peronie i obserwującym jadący pociąg.

### Ważne!

Należy tu podkreślić, że jest to jedynie przybliżenie. Przecież peron znajduje się na Ziemi, a ta wykonuje dość skomplikowany ruch – bynajmniej nie jednostajny prostoliniowy.

Skąd wiemy, że takie inercjalne układy odniesienia istnieją? Tak naprawdę... nie wiemy! Jedyne, co możemy zrobić, to *postulować ich istnienie*. I przybliżyć – jak w przykładzie z peronem – opis rzeczywistości, pomijając efekty nieinercjalności układu. W pewnych przypadkach warto oszacować skalę wpływu rzeczywistej nieinercjalności układu na wyniki tego opisu.

Zastanówmy się dalej, co dzieje się w sytuacji, gdy obserwujemy ruch z układu, który sam porusza się ze zmienną prędkością (tj. podlega przyspieszeniu). Wróćmy do przykładu z pociągiem i rozważmy obserwację budynku stacji i peronu z okien ruszającego (tj. poruszającego się z przyspieszeniem) pociągu (Rys. 3.). Na podstawie naszej obserwacji doszlibyśmy do wniosku, że wszystkie obiekty na peronie oddalają się od nas z przyspieszeniem – pomimo, że nie działają na nie żadne siły, które mogłyby powodować taki ruch.

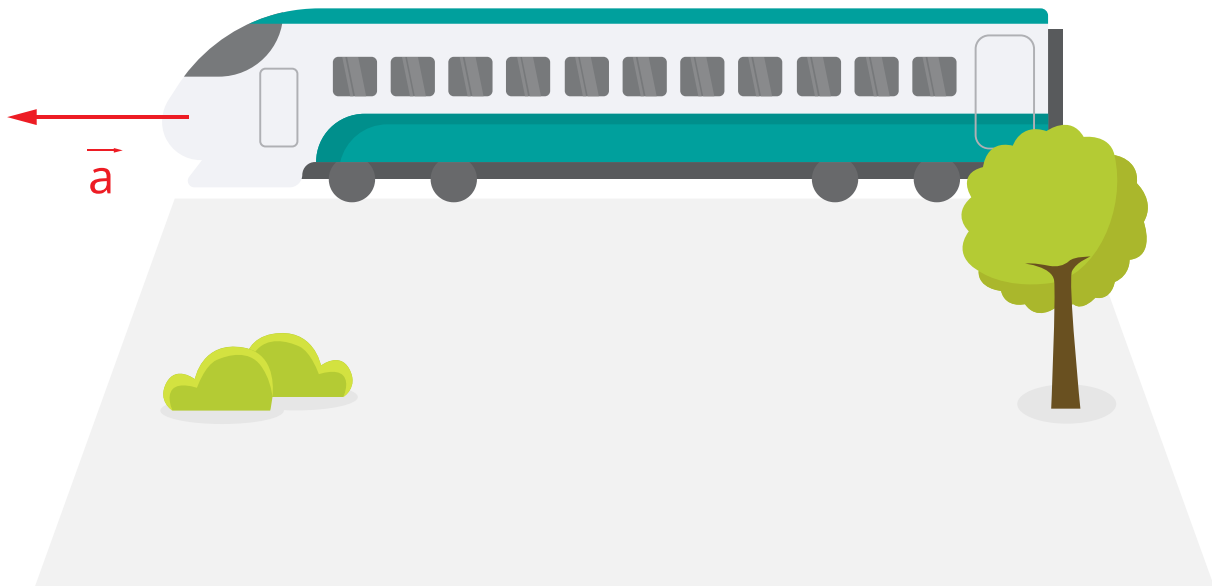


Rys. 3. Budynek stacyjny i wszystkie objekty na peronie, także sam peron, poruszają się ruchem przyspieszonym w układzie odniesienia pociągu ruszającego ze stacji. Nie wynika to z sił działających na te objekty, lecz ze specyficznego charakteru układu odniesienia

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

Muszą zatem istnieć takie układy odniesienia, że obserwowane z nich objekty poruszają się z przyspieszeniem nawet wtedy, jeśli nie działają na nie żadne siły. Byłoby to niezgodne z prymitywną wersją I zasady dynamiki Newtona, która mówi, że *jeśli na ciało nie działa żadna siła lub siły działające równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym*. Gdzie zatem leży sprzeczność? Otóż w fakcie, że I zasada dynamiki Newtona niewiele mówi o siłach jako takich i ich wpływie na ruch.

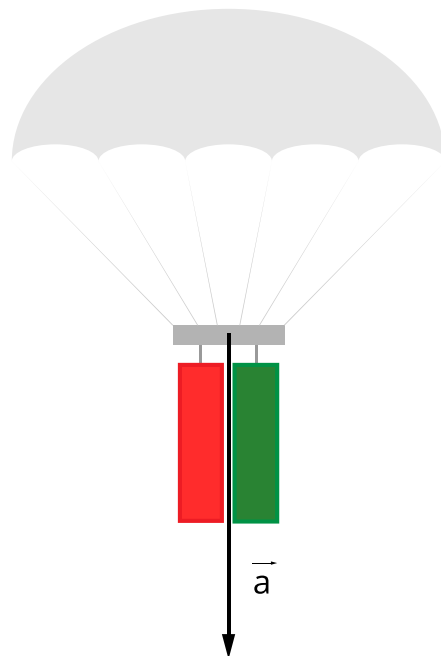
Naprawdę zasada ta **postuluje istnienie inercjalnych układów odniesienia**. Takim układem jest - z dobrym przybliżeniem - peron (Rys. 4.). Przyspieszenie pociągu ruszającego ze stacji jest wynikiem działania siły. **Jeśli natomiast układ z obserwatorem sam porusza się z przyspieszeniem, stosowanie naiwnej wersji I zasady dynamiki prowadzi do sprzeczności, a taki układ nazywamy nieinercjalnym**. W rzeczywistości za opis ruchu i związek przyspieszenia z siłą wypadkową (zerową albo nie) odpowiada II zasada dynamiki; choć można uważać, że w wersji takiej, jak „I zasada dynamiki” - naiwna - równanie ruchu  $\vec{F} = m\vec{a}$  w postaci  $0 = 0$  nie jest ciekawe. Choć z  $\vec{a} = 0$  **wnioskiem** jest, że  $\vec{v} = \text{const}$ .



Rys. 4. Obserwator stojący na peronie przed budynkiem stacyjnym, objaśni przyspieszony ruch pociągu działającą nań niezrównoważoną siłą wypadkową

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

Wyobraźmy sobie dwie skrzynie, spadające pod jednym spadochronem, krótko po jego rozwinięciu, tj. przed ustaleniem się prędkości opadania. Jedna z nich, w układzie odniesienia związanym z drugą, będzie w spoczynku. Każda z nich porusza się jednak ruchem opóźnionym względem Ziemi. Nie możemy zatem układu związanego z którąkolwiek ze skrzyń nazwać inercyjnym, mimo że skrzynie te względem siebie spoczywają. Ilustruje to Rys. 5.



Rys. 5. Dwie skrzynie opadają ruchem opóźnionym. Z każdą z nich wiążemy **nieinercyjny** układ odniesienia. Nie zmienia tego fakt, że każda w układzie odniesienia związanym z tą drugą jest w spoczynku

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

Przykładami układów (z bardzo dobrym przybliżeniem) inercjalnych będą zatem: układ związany z pasażerem stojącym na peronie i obserwującym jadący pociąg, lub z rowerzystą jadącym po prostej drodze ze stałą prędkością. Z kolei do układów nieinercjalnych zaliczyć można również układ związany z rowerzystą, ale pokonującym zakręt (zmienia się kierunek prędkości, niezerowa jest zatem składowa przyspieszenia prostopadła do kierunku ruchu) lub z pilotem startującego samolotu (którego wartość prędkości zmienia się przed wzniesieniem).

## Układ laboratoryjny

Na koniec warto wspomnieć o tzw. **układzie laboratoryjnym**. Jest to nazwa, która nie niesie za sobą treści fizycznej i nie ma nic wspólnego z podziałem układów odniesienia na rozłączne klasy. Nazywamy tak - dla ustalenia uwagi - układ związany z konkretnym, osobowym obserwatorem - czyli Ty, prowadząc obserwację, znajdujesz się w układzie laboratoryjnym, choć jeśli obserwujesz pociąg, to zapewne nazywanie peronu terminem laboratorium jest nieco egzotyczne.

Skąd bierze się ta nazwa? Praca w laboratorium polega m.in. na obserwacji różnych zjawisk fizycznych zachodzących w badanych obiektach. Nie ma ograniczenia na przynależność układu laboratoryjnego do dwóch wyżej omówionych klas - układów inercjalnych bądź nieinercjalnych.

## Słowniczek

### Układ odniesienia

(*ang.: reference frame*) ciało, względem którego opisujemy ilościowo otaczający świat i zachodzące w nim zjawiska.

### Układ inercjalny

(*ang.: inertial reference frame*) układ odniesienia, w którym wszystkie ciała nieoddziałujące z innymi ciałami poruszają się ze stałą prędkością (w szczególności równą zero). *z j. łac. inertia - bezczynność.*

### Układ nieinercjalny

(*ang.: non-inertial reference frame*) układ związany z ciałem, które porusza się ze zmienną prędkością (czyli mającym niezerowe przyspieszenie) względem inercjalnego układu odniesienia.

### Układ laboratoryjny

(*ang.: laboratory reference frame; lab frame*) każdy układ, z którego prowadzimy obserwację zjawisk w innych układach. *z j. łac. labor -praca.*

### Przyspieszenie

(ang.: *acceleration*) wielkość wektorowa mówiąca o tym, jak szybko zmienia się wektor (czyli długość, kierunek i zwrot) prędkości, poprzez obliczenie ilorazu zmiany prędkości do długości przedziału czasu, w którym ta zmiana nastąpiła,  $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ . Jednostką przyspieszenia jest  $\text{m/s}^2$ .

# Grafika interaktywna (schemat)

---

## W jakim układzie znajdują się osoby na placu zabaw?

Zapoznaj się z grafiką przedstawiającą fragment parku z placem zabaw. Widoczne są dzieci kręcące się na karuzeli i huśtające się na huśtawkach. W międzyczasie dorośli siedzą na ławkach lub spacerują ścieżką.

Kliknij na określoną postać, np. grupę osób; zobaczysz, jaki jest charakter układu odniesienia z nią związany. (Rzecz jasna, zaniedbujemy tu wpływ ruchu Ziemi na obserwowane ruchy.)

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

Wykonaj poniższe polecenia. Przyjmij przy tym, że plac zabaw stanowi inercjalny układ odniesienia.

### Polecenie 1

Uzasadnij, że Zosia huśtająca się na huśtawce (postać nr 6) znajduje się w nieinercjalnym układzie odniesienia. Zapisz swoje uzasadnienie i porównaj je z wzorcowym wyjaśnieniem.

### Polecenie 2

Uzasadnij, że pies goniący piłkę (postać nr 8) znajduje się w nieinercjalnym układzie odniesienia. Zapisz swoje uzasadnienie i porównaj je z wzorcowym wyjaśnieniem.

### Polecenie 3

Uzasadnij, że Joasia - kręcąca się na minikaruzeli - znajduje się w nieinercjalnym układzie odniesienia, podczas gdy kręcący tą karuzelą Henio jest w inercjalnym układzie odniesienia (postacie nr 9). Zapisz swoje uzasadnienie i porównaj je z wzorcowym wyjaśnieniem.

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Przemysław Michalski
<b>Przedmiot:</b>	Fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Czy w fizyce (jak w życiu) punkt widzenia zależy od punktu siedzenia?</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy/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><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>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>9) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; posługuje się pojęciem siły bezwładności.</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>II. Mechanika. Uczeń:</p> <p>18) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; omawia różnice między opisem ruchu ciał w układach inercjalnych i nieinercjalnych; posługuje się pojęciem siły bezwładności.</p>
<b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</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. poznaje definicje układu inercjalnego, nieinercjalnego oraz laboratoryjnego,</li> <li>2. wskazuje przykłady układów każdego rodzaju,</li> <li>3. wykorzystując poznane definicje, opisuje zjawiska „przechodząc” między układami (tzn. podaje typ układu odniesienia patrząc z dowolnych innych układów odniesienia).</li> </ol>
<b>Strategie nauczania:</b>	flipped classroom
<b>Metody nauczania:</b>	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, burza mózgów, analiza pomysłów
<b>Formy zajęć:</b>	praca indywidualna/w grupach, wykorzystanie grafiki interaktywnej
<b>Środki dydaktyczne:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- komputer,</li> <li>- projektor.</li> </ul>
<b>Materiały pomocnicze:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kartki,</li> <li>- taśma klejąca,</li> <li>- nożyczki,</li> <li>- kolorowe flamastry (w zależności od przyjętego wariantu lekcji).</li> </ul>
<b>PRZEBIEG LEKCJI</b>	
<b>Faza wprowadzająca:</b>	
<p>Nauczyciel prosi uczniów o interpretację powiedzenia „punkt widzenia zależy od punktu siedzenia”; pyta uczniów, czy uważają, że powiedzenie to może być przeniesiona do świata fizyki. Wśród wypowiedzi nauczyciel wychwytuje te, które dotyczą uściślenia potocznego języka i wskazuje na znaczenie tego problemu.</p>	
<b>Faza realizacyjna:</b>	

1. Nauczyciel odwołuje się do wiadomości zawartych w e-materiale. Prosi uczniów o samodzielne zdefiniowanie układu inercjalnego, nieinercjalnego, laboratoryjnego (własnymi słowami) w celu umożliwienia uczniom przełożenia języka fizyki na ich własny. Zadanie to można wykonać, dzieląc uczniów na grupy i prosząc ich o stworzenie własnych definicji, które potem zostają umieszczone na tablicy; można również zlecić to zadanie indywidualnie, prosząc każdego ucznia, by zapisał własne rozumienie tych definicji na małej kartce, którą potem każdy przyklei na tablicy.
2. W dyskusji nauczyciela i uczniów następuje wspólne uściślenie definicji - tak, by spełniała standardy naukowe - odwrotne przełożenie „własnych słów” uczniów na język naukowy - najlepiej na bazie dyskusji, poprzez wyjaśnienie, które stwierdzenia są nieściśle, z prośbą o zastanowienie się, jak zastąpić je ścisłymi.
3. Nauczyciel wykorzystuje grafikę interaktywną i przedstawia sytuacje w niej pokazane. Prosi uczniów o określenie, jaki układ odniesienia związany jest z daną grupą osób i szybko weryfikuje odpowiedzi.
4. Nauczyciel dokonuje analizy i syntezy podanych informacji. Wykorzystuje przy tym doświadczenie myślowe, polegające na zmianie sytuacji widocznej na grafice – np. jak zmieni się typ układów, jeśli np. karuzela zatrzyma się? Oprócz doświadczenia myślowego nauczyciel wykorzystuje zadania 7. oraz 8.

#### **Faza podsumowująca:**

1. Wspólne przypomnienie definicji układów.
2. Nawiązanie do tytułu zajęć i prośba do uczniów o podanie fizycznej interpretacji określenia „punkt widzenia zależy od punktu siedzenia”.
3. Uczniowie zadają pytania, wyjaśniają wątpliwości.

#### **Praca domowa:**

Rozwiązanie pozostałych zadań (niewykorzystanych podczas lekcji).

**Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:**

Multimedium może być inspiracją do rekonstrukcji wiedzy uczniów (doświadczenie myślowe, p. 4 realizacji).