



Jak wykorzystać zasadę równoważności układów inercjalnych?

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



Jak wykorzystać zasadę równoważności układów inercjalnych?

Czy to nie ciekawe?

Wyobraź sobie, że znajdujesz się w stojącym przy stacji pociągu i obserwujesz drugi pociąg stojący przy sąsiednim peronie. W pewnym momencie jeden z pociągów rusza ze stałą prędkością v . Opierając się tylko na obserwacji wzrokowej, nie jesteś w stanie określić, czy względem Ziemi porusza się Twój pociąg, czy obserwowany przez okno. Możesz przyjąć, że to Twój pociąg jedzie z prędkością $\vec{v}$, a obserwowany pozostaje w spoczynku. Jednakże taki sam opis ruchu otrzymasz, jeżeli przyjmiesz, że to Twój pociąg spoczywa, a drugi jedzie z prędkością $-\vec{v}$. W tej prostej sytuacji nie ma znaczenia, który opis wybierzesz. Czasami jednak, dla bardziej skomplikowanych ruchów wygodnie jest przyjąć układ odniesienia, który w maksymalny sposób uprości późniejsze obliczenia. Możemy tak zrobić, dzięki zasadzie równoważności układów inercjalnych.

Twoje cele

- opisziesz zasadę równoważności układów inercjalnych;
- poznasz transformację Galileusza;
- zrozumiesz, jak opisywać ruch w różnych i równoważnych inercjalnych układach odniesienia;

- zastosujesz zdobytą wiedzę do upraszczania opisu ruchu w różnych zadaniach.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Zasada równoważności układów inercjalnych zwana jest również zasadą względności Galileusza. Mówi ona, że

we wszystkich układach inercjalnych zjawiska mechaniczne przebiegają tak samo.

Co to oznacza w praktyce?

Zjawiska mechaniczne to zjawiska związane z ruchem ciał i siłami na nie działającymi. Można zaliczyć do nich m.in. ruch z ustaloną lub zmienną prędkością, deformacje (odkształcenia, zgniecenia) ciał lub też zagadnienia związane z równowagą i statyką.

Zgodnie z powyższą definicją, ograniczymy się do zjawisk zachodzących w układach inercjalnych (tj. takich, w których ciała poruszają się ze stałą, w szczególności równą zero, prędkością, jeśli *nie* działają żadne siły lub działające siły równoważą się).

W układach nieinercjalnych, tj. poruszających się z przyspieszeniem, zasada równoważności nie jest spełniona, gdyż efekty w nich występujące zależą od wielkości przyspieszenia.

Jeśli zatem analizujemy zjawiska w układach inercjalnych, to zasada równoważności mówi nam, że do ich opisu możemy wybrać dowolny układ inercjalny. W praktyce wybierac będziemy układ, w którym dane zjawisko będziemy w stanie opisać w najprostszy możliwy sposób.

Prostym przykładem takiego podejścia jest analiza ruchu dwóch samochodów, jadących z ustalonymi i takimi samymi prędkościami $\vec{v}$. Zewnętrzny obserwator w inercjalnym **układzie odniesienia** (np. pieszy stojący na chodniku) poda, że samochody poruszają się względem niego z prędkością $\vec{v}$. Jeśli jednak tę samą sytuację opiszemy w **układzie odniesienia** dowolnego z kierowców, wtedy prędkość jednego samochodu względem drugiego wynosi zero. Kierowcy względem siebie są w spoczynku, lecz obserwują za to, że świat zewnętrzny przesuwają się względem nich z prędkością $-\vec{v}$ (skierowaną w przeciwną stronę).

Matematycznie, zasada równoważności związana jest z tzw. transformacją Galileusza (zwaną też zasadą dodawania prędkości). Niech pociąg porusza się ze stałą prędkością $\vec{v}_2$.

W środku biegnie pasażer; porusza się on ze stałą prędkością $\vec{v}_1$ względem pociągu (Rys. 1.).

Rys. 1. W pociągu biegnie pasażer z prędkością $\vec{v}_1$. Niezależnie od tego pociąg jedzie z prędkością $\vec{v}_2$ względem peronu

Wyberzmy do obserwacji tej sytuacji **układ odniesienia** związany z osobą stojącą nieruchomo na peronie. Ile wyniesie prędkość $\vec{v}$ pasażera obserwowana w jej **układzie odniesienia**? Transformacja Galileusza mówi że:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Obserwator w układzie nazwanym przez nas „nieruchomym” widzi, że prędkość pasażera względem niego jest sumą wektorową prędkości pasażera i pociągu. Taki opis ruchu mógłby stać się bardziej skomplikowany, np. gdyby prędkości $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ miały różne kierunki. Z pomocą przychodzi nam jednak zasada równoważności: układ, z którego prowadzimy obserwację możemy wybrać dowolnie i uprościć w ten sposób opis. Jeśli np. zwiążemy **układ odniesienia** z jadącym pociągiem, to wtedy:

$$\vec{v} = \vec{v}_1$$

Gdy wybierzemy już **układ odniesienia**, w którym opis sytuacji jest najprostszy, możemy, dla prędkości wyznaczonej w tym układzie, skorzystać z równań kinematyki opisujących położenie i drogę przebyte przez ciało.

Słowniczek

Mechanika

(*ang.: mechanics*) jeden z podstawowych działów fizyki i techniki, obejmujący zagadnienia statyki, odkształceń i ruchu ciał, a także problematykę wzajemnego oddziaływania między ciałami. (*z.j. greckiego: mechané* – ‘maszyna’)

Układ odniesienia

(*ang.: reference frame*) ciało, względem którego prowadzona jest obserwacja otaczającego świata i zjawisk.

Film samouczek

Jak wykorzystać zasadę równoważności układów inercjalnych?

Film prezentuje opis ruchu w przypadku dwuwymiarowym: dla dwóch samochodów, które po prostopadłych drogach zbliżają się do skrzyżowania. Jeden z opisów związany jest z inercjalnym obserwatorem stojącym na środku skrzyżowania. W drugim przypadku układ odniesienia związany z drzewem przy skrzyżowaniu.

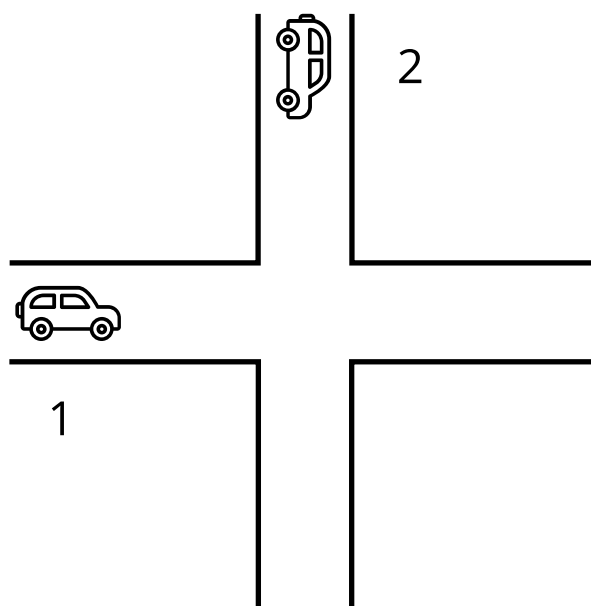
Polecenie 1

Odnotuj różnice w opisie ruchu: w którym z przypadków zależność wektorów położenia od czasu obu samochodów jest prostsza?

Po obejrzeniu filmu wykonaj zamieszczone pod nim polecenia.

Polecenie 2

Dwa samochody zbliżają się do środka skrzyżowania po prostopadłych drogach. Pierwszy z nich początkowo znajduje się w odległości s_1 od skrzyżowania i porusza się z prędkością o wartości v_1 . Drugi znajduje się początkowo w odległości s_2 i porusza się z prędkością o wartości v_2 . Wskaż prawidłową zależność odpowiedniej współrzędnej położenia od czasu dla obydwu samochodów, jeśli ich położenia początkowe są takie, jak na rysunku. Wybierz układ odniesienia związany ze środkiem skrzyżowania.



☐ $x_1(t) = s_1 - v_1 \cdot t; y_2(t) = s_2 - v_2 \cdot t.$

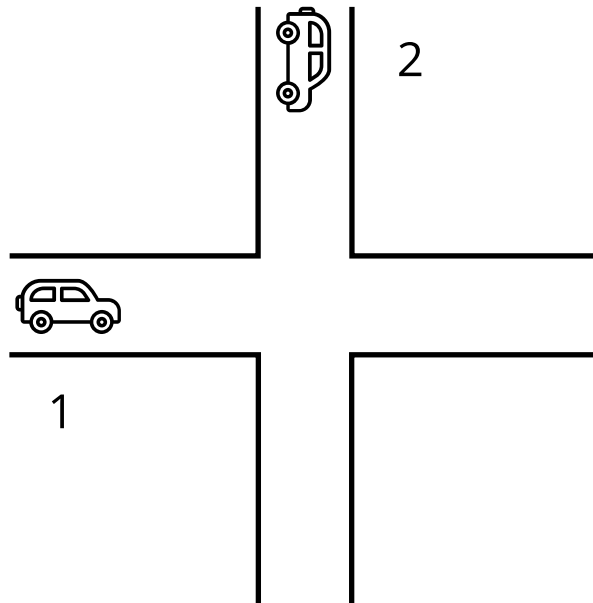
☐ $x_1(t) = -s_1 - v_1 \cdot t; y_2(t) = s_2 + v_2 \cdot t.$

☐ $x_1(t) = -s_1 + v_1 \cdot t; y_2(t) = s_2 - v_2 \cdot t.$

☐ $x_1(t) = s_1 + v_1 \cdot t; y_2(t) = s_2 + v_2 \cdot t.$

Polecenie 3

Dwa samochody zbliżają się do środka skrzyżowania po prostopadłych drogach. Pierwszy z nich początkowo znajduje się w odległości s_1 od skrzyżowania i porusza się z prędkością o wartości v_1 . Drugi znajduje się początkowo w odległości s_2 i porusza się z prędkością o wartości v_2 . Wskaż prawidłową zależność wektorów położenia od czasu dla obydwu samochodów, jeśli ich położenia początkowe są takie, jak na rysunku. Wybierz układ odniesienia związany z samochodem 1.



☐ $r_1(t) = [s_1 - v_1 \cdot t; 0], r_2(t) = [0; -s_2 + v_2 \cdot t].$

☐ $r_1(t) = [0; 0]; r_2(t) = [s_1 - v_1 \cdot t; s_2 - v_2 \cdot t].$

☐ $r_1(t) = [-s_1 + v_1 \cdot t; 0], r_2(t) = [0; s_2 - v_2 \cdot t].$

☐ $r_1(t) = [s_1 - v_1 \cdot t; s_2 - v_2 \cdot t], r_2(t) = [0; 0].$

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Dwa samochody poruszają się w tę samą stronę z prędkościami o wartościach v_1 i v_2 . Uzupełnij wyrażenie tak, by poprawnie opisywało wartość prędkości v_{12} samochodu 1. w układzie odniesienia samochodu 2.

$v_{12} =$

$v_1 + v_2$

$v_2 - v_1$

$|v_1 - v_2|$

$v_1 - v_2$

Ćwiczenie 2



Samochód o prędkości v_1 wyprzedza samochód jadący z prędkością o wartości v_2 . Co obserwuje kierowca w samochodzie 1., patrząc na samochód 2.?

Kierowca 1. widzi, że samochód 2. przesuwa się do ze prędkością.

przodu

tyłu

zmienną

stałą

Ćwiczenie 3



Dwa samochody poruszają się ze stałymi prędkościami $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ i zbliżają się do siebie. W jakim przypadku zderzenie tych samochodów będzie najgroźniejsze?

- ☐ gdy $\vec{v}_1$ jest prostopadłe do $\vec{v}_2$
- ☐ gdy $\vec{v}_1$ nie jest ani prostopadłe ani równoległe do $\vec{v}_2$
- ☐ gdy zwroty prędkości $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ są skierowane w tę samą stronę
- ☐ gdy zwroty prędkości $\vec{v}_1$ i $\vec{v}_2$ są skierowane przeciwnie

Ćwiczenie 4



W pociągu jadącym z prędkością $\vec{u}_1$, z jednego przedziału do drugiego przechodzi pasażer poruszający się ze stałą prędkością $\vec{v}_1$ skierowaną zgodnie z prędkością pociągu.

Po sąsiednim torze jedzie pociąg z prędkością $\vec{u}_2$, zwróconą przeciwnie do $\vec{u}_1$.

Wstaw odpowiednie znaki do wyrażenia, by poprawnie opisywało ono wartość prędkości $\vec{v}$ idącego pasażera, w układzie odniesienia związanym z maszynistą drugiego pociągu.

$$v = \boxed{} v_1 \boxed{} u_1 \boxed{} u_2$$

-	+	-	+	-	+
---	---	---	---	---	---

Ćwiczenie 5



Niech $\vec{u}$ oznacza prędkość nurtu rzeki względem brzegu. Wioślarz nadaje kajakowi stałą prędkość $\vec{v}$ względem wody. Pod jakim kątem α **do brzegu** wioślarz powinien kierować kajak, aby jego ruch wypadkowo odbywał się dokładnie w poprzek rzeki? Wskaż właściwe rozwiązanie tego problemu.

☐ 1. pod kątem prostym

☐ 2. $\cos \alpha = \frac{u}{v}$

☐ 3. $\sin \alpha = \frac{u}{v}$

☐ 4. $\sin \alpha = \frac{v}{u}$

Rozwiązanie zadania wymaga znajomości funkcji trygonometrycznych.

Ćwiczenie 6



Statek płynie rzeką pod prąd z prędkością względem **wody** o wartości 10 m/s.

W pewnym momencie ze statku odczepiło się koło ratunkowe. Kapitan statku zauważył jego brak dopiero po jednej minucie. W tym momencie statek zawrócił i poruszając się z tą samą prędkością względem rzeki, dopłynął do koła ratunkowego po przebyciu względem **brzegu** drogi 720 m. Oblicz wartość prędkości nurtu rzeki.

Zapisz swoje rozumowanie w poniższym polu a następnie porównaj ze wzorcową odpowiedzią.

Ćwiczenie 7



Przy bezwietrznej pogodzie krople deszczu spadają pionowo z prędkością o wartości u . Pasażer pociągu jadącego ze stałą prędkością o wartości v widzi jednak, że kierunek lotu kropeł jest odchylony od pionu o kąt $\alpha = 30^\circ$.

Uzupełnij wyrażenie opisujące relację pomiędzy wartościami u i v .

$$\frac{v}{u} = \boxed{}$$

$\frac{\sqrt{3}}{2}$

$\sqrt{3}$

$\frac{1}{2}$

$\frac{\sqrt{3}}{3}$

Ćwiczenie 8



Grupa specjalistów planuje lot rakiety z Ziemi na Marsa. Zaczynają od zaplanowania właściwego momentu startu rakiety - wymaga to precyzyjnego opisu ruchu obu planet wokół Słońca. Wskaż układ odniesienia, w którym najwygodniej będzie dokonać takiego opisu. Uzasadnij pokrótce swój wybór. Zapisz swoje argumenty w przygotowanym polu i porównaj z odpowiedzią wzorcową.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Zasada względności Galileusza
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres podstawowy i rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia - wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres podstawowy Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne; 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi; II. Mechanika. Uczeń: 9) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; posługuje się pojęciem siły bezwładności; Zakres rozszerzony Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 5) rozróżnia wielkości wektorowe i skalarne, wykonuje graficznie działania na wektorach (dodawanie, odejmowanie, rozkładanie na składowe); 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi; II. Mechanika. Uczeń: 18) rozróżnia układy inercjalne i nieinercjalne; omawia różnice między opisem ruchu ciał w układach inercjalnych i nieinercjalnych; posługuje się pojęciem siły bezwładności.

Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenie 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: - wymienia przykładowe efekty związane z działaniem sił bezwładności w odniesieniu do przestrzeni kosmicznej. - zapisuje bilans sił działających na ciała w układach inercjalnych oraz nieinercjalnych. - stosuje pojęcie sił bezwładności w rozwiązywaniu zadań rachunkowych. - wyprowadza abstrakcyjne relacje w przykładowych zjawiskach związanych z działaniem sił bezwładności.
Strategie nauczania:	blended learning
Metody nauczania:	- pogadanka, - ćwiczenia rachunkowe.
Formy zajęć:	- praca indywidualna, - rozwiązywanie zadań przy tablicy.
Środki dydaktyczne:	-
Materiały pomocnicze:	-
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Przed zajęciami: nauczyciel prosi uczniów o przyswojenie treści samouczka (zarówno filmowego jak i tekstowego) oraz o rozwiązanie zadań 1-4. Zaciekawienie: Nauczyciel przytacza sytuację związaną z dwoma pociągami stojącymi przy peronie. Czy, gdy jeden pociąg ruszy ze stałą prędkością, da się jednoznacznie, jedynie za pomocą wzroku określić, który z pojazdów jest w ruchu? Czy istnieje tylko jeden sposób opisu takiej sytuacji (nie - gdyż można opisać jeden pociąg jako jadący z prędkością v, lub drugi, jadący z prędkością $-v$, w zależności od wyboru układu odniesienia).	

Faza realizacyjna:

Lekcja ma charakter ćwiczeniowy. Konstruowanie i rekonstruowanie wiedzy uczniów polega na rozwiązywaniu zadań rachunkowych. Nauczyciel zwraca uwagę, że wybór układu odniesienia powinien zależeć od rodzaju problemu, który chcemy rozwiązać oraz od możliwego uproszczenia danego zagadnienia.

Nauczyciel rozpoczyna od zadania 5. Przed jego rozwiązaniem zachęca uczniów do odpowiedzi na pytania: jaki układ odniesienia należy wybrać? Jaka jest intuicja uczniów co do kierunku, w jakim wioślarz musi ustawić łódkę? Po krótkiej dyskusji nauczyciel prosi jednego z uczniów o rozwiązanie zadania przy tablicy i objaśnienie krok po kroku swoich działań.

Następnie, nauczyciel przechodzi do zadania 6. Jest to bardzo dobre zadanie do pokazania, jak istotny jest wybór odpowiedniego układu odniesienia. W tym celu można rozwiązać je zarówno w układzie odniesienia związanym z brzegiem rzeki (nie jest to możliwe, brakuje informacji o czasie płynięcia z prądem), jak i z rzeką. Każdy wariant zadania nauczyciel zleca do rozwiązania chętnemu uczniowi.

W zależności od ilości czasu dostępnego na lekcji nauczyciel może rozwiązać następnie zadanie 9 i 10, lub tylko 9. Pożądanym wariantem byłoby rozwiązanie dwóch zadań ze względu na możliwość porównania trudności opisu przy wyborze różnych układów odniesienia. Każdy wariant nauczyciel zleca do rozwiązania chętnemu uczniowi.

Faza podsumowująca:

W ramach podsumowania nauczyciel podkreśla jeszcze raz wygodę i potęgę zasady równoważności układów inercjalnych, odwołując się zwłaszcza do zadań 6 oraz 9/10; zachęca uczniów do zadawania pytań i wyjaśniania ewentualne wątpliwości.

Praca domowa:

Jako pracę domową nauczyciel proponuje zadania 7-9 (9 - jeśli nie starczyło czasu na lekcji).

Zadanie 8 można zweryfikować eksperymentalnie - jeśli w pracowni fizycznej jest dostęp do urządzenia, w którym na wspólnym trzpieniu mogą obracać się dwa dyski; dysk o mniejszym promieniu musi obracać się szybciej. Na jednym dysku ustawić telefon (jako układ odniesienia związany z Ziemią, a na dysku wolniej obracającym się - np. czerwoną piłkę, kulkę czerwonej plasteliny, itp., symbolizującą Marsa. Wprawiając dyski w ruch w tę samą stronę można nagrać, jak będzie wyglądał tor Marsa względem Ziemi i pokazać, że opis w takim układzie odniesienia byłby bardzo skomplikowany.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Multimedium bazowe można polecić jako pomoc w rozwiązywaniu zadań domowych.
--	--