



Co to jest siła bezwładności i jakie są jej cechy?

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Grafika interaktywna
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Co to jest siła bezwładności i jakie są jej cechy?

Czy to nie ciekawe?

Czy zastanawialiście się czasem, czemu podczas gwałtownego hamowania autobusu wszyscy jego pasażerowie są gwałtownie wypychani w kierunku jego jazdy? Albo: dlaczego, w ruszającej w górę z dużym przyspieszeniem windzie, „coś” wciska nas w podłogę? Tym czymś jest siła bezwładności, której cechy omówimy w tym e-materiale.

Twoje cele

- poznasz pojęcie bezwładności,
- dowiesz się, że siła bezwładności jest siłą pozorną,
- zrozumiesz, z czego wynika pozorność siły bezwładności,
- zastosujesz poznane wzory, by określić siłę bezwładności działającą na dany obiekt.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Siła bezwładności jest siłą pojawiającą się w układach nieinercjalnych, tj. takich, które poruszają się z przyspieszeniem względem inercjalnych. Należąc do nich zatem będą rozpędzający się bądź hamujący pociąg lub Księżyc krążący wokół Ziemi – w pierwszej sytuacji zmienia się wartość wektora prędkości, w drugim – w dobrym przybliżeniu tylko jego kierunek. Siła bezwładności jest siłą pozorną. Skąd to słowo – pozorna? Po pierwsze: siła jest miarą oddziaływania pomiędzy obiektami. Znamy trzy rodzaje oddziaływań: grawitacyjne, elektroslabe i silne. Siła bezwładności nie pochodzi od żadnego z nich. Po drugie: jedną z zasad fizycznych jest III zasada dynamiki Newtona, popularnie zwana zasadą akcji i reakcji – *jeśli ciało 1 działa pewną siłą na ciało 2, to ciało 2 działa na ciało 1 siłą przeciwnie skierowaną, równą co do wartości*. Siła bezwładności nie podlega tej zasadzie – nie ma tego „drugiego ciała”! W wielu tekstach termin ten figuruje jako „*siła*” bezwładności; cudzysłów ma przypominać o fakcie, że jest to siła pozorna.

Aby zrozumieć pojęcie siły bezwładności, najpierw przypomnijmy, czym jest sama bezwładność. Z fizycznego punktu widzenia bezwładność jest *możliwością danego ciała do zachowania swojej prędkości, jeśli wypadkowa siła działająca na to ciało jest równa zero*. Jeśli brzmi to dla Ciebie znajomo, to masz rację – zasada bezwładności jest po prostu pierwszą zasadą dynamiki Newtona, na temat której możesz poczytać w e-materiale „I zasada dynamiki”. Siłą wypadkową nazywamy sumę wszystkich sił działających na ciało. Zerową siłę wypadkową możemy otrzymać, jeśli na ciało nie działa żadna siła lub wszystkie działające siły się równoważą. Co to oznacza w praktyce? Jeśli na idealnie gładki stół umieszczony w próżni (brak tarcia zarówno od stołu, jak i od powietrza!) puścilibyśmy kulkę, to, **ze względu na swoją bezwładność**, poruszałaby się ona w nieskończoność (a przynajmniej do końca blatu i spadłaby ze stołu...), nie zmieniając ani wartości ani kierunku prędkości. Bezwładność uniemożliwia zatem zmianę prędkości ciała, jeśli nie działa na nie żadna siła wypadkowa.

Zastanówmy się teraz nad cechami siły bezwładności. W tym celu wyobraźmy sobie stację kolejową i spoczywającego obserwatora w **układzie inercjalnym** związanym z peronem. A dodatkowo – pasażera jadącego pociągiem. Pociąg przejeżdża bez zatrzymania obok stacji, na peronie której stoją ludzie i obserwują pojazd. Wyobraźmy sobie teraz, że pociąg zaczyna hamować – wtedy związany z pociągiem **układ odniesienia** staje się nieinercjalny, a sam pasażer zaczyna (z punktu widzenia obserwatora na peronie) przemieszczać się do przodu względem pociągu.

Hamowanie pociągu wywołane jest siłą tarcia działającą jedynie na jego koła. Skąd więc wzięła się siła, która spowodowała przemieszczenie się pasażera do przodu (względem

pociągu)?

Zauważmy przede wszystkim, że z punktu widzenia osoby na peronie **nie zmieniło się zupełnie nic**. Skoro siła tarcia działa jedynie na koła pociągu, oznacza to, że (zgodnie z zasadą bezwładności) ruch pasażera nie mógł ulec żadnej zmianie – i tak się stało! Wyobraźmy sobie sytuację, w której pasażer unosi się nad podłogą pociągu i nie ma z nią bezpośredniego kontaktu (może być np. na małym poduszkowcu, ew. jeśli byłoby to zbyt drogie rozwiązanie – może posłużyć się wrotkami albo deskorolą). Zauważymy wówczas, że pociąg, hamując, ucieka „do tyłu” pasażerowi – cały czas poruszającemu się z tą samą prędkością!

A jak ta sytuacja wygląda w związanym z pociągiem nieinercyjnym **układzie odniesienia**, w którym znajduje się pasażer? W tym przypadku pasażer widzi, że zaczął poruszać się względem pociągu; musiała zatem pojawić się pewna siła, która spowodowała pojawienie się przyspieszenia i ruchu. Jest to właśnie siła bezwładności.



Fot. 1. Lądowanie samolotu F-18 C Hornet na pokładzie lotniskowca. Samolot zaczepia (albo - w razie nieudanego podejścia - nie zaczepia i musi ponownie wystartować!) hakiem o jedną z kilku stalowych lin na pokładzie i w ten sposób zostaje zatrzymany. Prędkość w ciągu kilku sekund spada o ok. 250 km/h, pilota w fotelu utrzymują pasy. [Źródło: U.S. Navy photo by Photographer's Mate 3rd Class Kristopher Wilson [Public domain]]

Spróbujmy teraz określić cechy siły bezwładności. W tym celu wygodnie jest potraktować ją jako rzeczywistą siłę działającą na ciało i uwzględnić ją w obliczeniach wynikających z II zasady dynamiki Newtona. Zasada ta mówi, że *przyspieszenie* \vec{a} , z jakim porusza się dane ciało, jest proporcjonalne do działającej na nie siły wypadkowej \vec{F}_w i odwrotnie proporcjonalne do jego masy m . Jej matematyczny zapis jest następujący:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_w}{m}.$$

Osoba znajdująca się na peronie widzi, że hamujący pociąg zaczyna „odjeżdżać pasażerowi spod nóg” z przyspieszeniem \vec{a} . Pasażer znajdujący się w układzie nieinercyjnym widzi z kolei, że porusza się względem pociągu z pewnym przyspieszeniem. Aby obserwacje w **układzie inercyjnym** i nieinercyjnym dały ten sam fizyczny rezultat (przemieszczenie pasażera względem pociągu), to przyspieszenie, któremu podlega pasażer w układzie związanym z pociągiem, musi być co do wartości równe przyspieszeniu pociągu, widzianemu z układu inercyjnego, lecz przeciwnie skierowane (gdyż pociąg „ucieka do tyłu”). Zatem przyspieszenie pasażera w układzie nieinercyjnym musi wynosić $-\vec{a}$. Na podstawie II zasady dynamiki, siła bezwładności powodująca to przyspieszenie jest równa

$$\vec{F}_b = -m\vec{a}.$$

Pozwala nam to na określenie wszystkich cech siły bezwładności działającej na dane ciało. Jej wartość wynosi ma , gdzie \vec{a} jest przyspieszeniem, z jakim porusza się układ nieinercyjny, w którym znajduje się ciało. Znak minus przy wektorze przyspieszenia oznacza, że siła bezwładności jest skierowana **przeciwnie do kierunku przyspieszenia układu**.

Możemy teraz podsumować naszą wiedzę na temat siły bezwładności. Przeprowadzone powyżej rozumowanie dotyczyło pasażera w hamującym pociągu, jednak równie dobrze moglibyśmy przeprowadzić je dla pociągu rozpędzającego się lub jadącego po łuku, czyli w każdej sytuacji, gdy ruch pociągu scharakteryzowany jest przez niezerowy wektor przyspieszenia. W każdej takiej sytuacji staje się on układem nieinercyjnym, co oznacza, że na wszystkie obiekty znajdujące się wewnątrz działać będzie siła bezwładności.

Podsumowując: siła bezwładności

- występuje jedynie w układach nieinercyjnych i jest siłą pozorną;
- jej wartość wynosi $F_b = ma$, gdzie a jest przyspieszeniem, z jakim porusza się układ nieinercyjny względem inercyjnego;
- jej zwrot jest przeciwny do zwrotu przyspieszenia układu nieinercyjnego obserwowanego z **układu inercyjnego**.

Słowniczek

Układ odniesienia

(*ang.: frame of reference*) ciało, względem którego prowadzona jest obserwacja otaczających zjawisk, wyposażone w układ współrzędnych i zegar.

Układ inercjalny

(*ang.: inertial frame*) układ odniesienia, w którym wszystkie ciała nieoddziałujące z innymi ciałami poruszają się ze stałą prędkością (w szczególności równą zero), tj. ruchem jednostajnym prostoliniowym.

Siła

(*ang.: force*) wielkość wektorowa określająca „ilość” oddziaływania na dane ciało. Jeśli na ciało działa kilka sił, to można je dodać do siebie (wektorowo) i uzyskać wielkość nazywaną siłą wypadkową.

Grafika interaktywna

Co to jest siła bezwładności i jakie są jej cechy?

Pobaw się przedstawioną grafiką interaktywną, pokazującą przyspieszający statek i ślizgającą się po jego pokładzie skrzynię, którą obserwuje nieruchomy względem statku kapitan (obrazek po prawej stronie). Kwadrans wcześniej nieuważny majtek rozlał tran po pokładzie, więc ruch skrzyni odbywa się praktycznie bez oporów.

Na obrazku po lewej stronie widzimy wrażenia osoby stojącej na brzegu, patrzącej z boku na statek. Wpływ wiatru, fal, prądów morskich itd. pomijamy.

Uwaga: Niektóre z wektorów, dla lepszej wizualizacji, przedstawiono w nierealistycznej skali. Długości wektorów sił i przyspieszeń nie są wyrażone, odpowiednio, w N i m/s^2 .

Polecenie 1

Czy efekt odczuwania siły bezwładności znamy w życiu codziennym tylko z ruchów postępowych?

Polecenie 2

W samolotach myśliwskich, wykonujących często ciasne wiraże albo poruszających się po łukach w płaszczyźnie pionowej (np. podczas wykonywania tzw. pętli), pilot szczególnie dotkliwie odczuwa efekty bezwładności. Zastanów się, po co w spodniach kombinezonów stosuje się kompresory, które - w przypadku silnych przeciążeń - zaciskają się na nogach pilota.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Ćwiczenie 2



Ćwiczenie 3



Ćwiczenie 4



Ćwiczenie 5



Ćwiczenie 6



Ćwiczenie 7



Ćwiczenie 8



Wykaż, że wartość siły bezwładności \vec{F}_b działającej na siedzącego w hamującym pociągu o masie M pasażera o masie m wynosi $F_b = \frac{m}{M} F$, gdzie \vec{F} jest wypadkową siłą działającą na pociąg.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Dlaczego nie należy ważyć się w przyspieszającej windzie? Badamy cechy siły bezwładności.
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.
- II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.
- III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników.

Zakres podstawowy

Treści nauczania - wymagania szczegółowe

I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:

4) przeprowadza obliczenia liczbowe, posługując się kalkulatorem;

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;

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;

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;

11) opisuje przebieg doświadczenia lub pokazu; wyróżnia kluczowe kroki i sposób postępowania oraz wskazuje rolę użytych przyrządów i uwzględnia ich rozdzielczość;

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.: <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 osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się. • kompetencje cyfrowe.
Cele operacyjne:	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. objaśnia, dlaczego siły bezwładności występują tylko w układach nieinercjalnych. 2. określa cechy wektora siły bezwładności (ogólnie oraz dla konkretnych układów nieinercjalnych). 3. wykonuje i interpretuje doświadczenia obrazujące bezwładny i niebezwładny ruch ciał. 4. oblicza wartość siły bezwładności.
Strategie nauczania:	strategia kształcenia wyprzedzającego
Metody nauczania:	<ul style="list-style-type: none"> - dyskusja, - eksperyment, - analiza pomysłów.
Formy zajęć:	praca w grupach
Środki dydaktyczne:	pęk kluczy (najlepiej długich), stół, obrus, talerz (ciężki - nie plastikowy); w innym wariantcie: stół, deska, wózek o małym tarcu
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
<p>Wzbudzenie ciekawości - nauczyciel prosi uczniów, by spróbowali wymyślić sposób ściągnięcia ze stołu obrusa bez przesuwania i podnoszenia stojących na nim naczyń. Nauczyciel zadaje pytanie sprawdzające, czy uczniowie pamiętają pojęcie siły i zasady dynamiki.</p>	
Faza realizacyjna:	
<p>1. Prezentacja bezwładności w eksperymencie. Do eksperymentu potrzebny jest stół z obrusem, na którym stoi talerz. Nauczyciel wyciąga obrus spod talerza, poprzez szybkie szarpnięcie. Uczniowie obserwują, że położenie talerza praktycznie nie uległo</p>	

zmianie. Nauczyciel wyjaśnia, że ma to związek z bezwładnością talerza, który nie może zmienić swojego rodzaju ruchu (tu: spoczynku), jeśli nie działa na niego żadna siła (w tym przypadku: tarcie między obrusem a talerzem działa na tyle krótko, że nie jest go w stanie przesunąć na zauważalną odległość). Inny, mniej „ryzykowny” wariant tego doświadczenia: nauczyciel kładzie na stole długą deskę, a na niej stawia wózek o małym tarcu. Nauczyciel prosi ucznia-ochotnika, by zaznaczył (np. flamastrem) na stole i desce punkt położenia kół wózka względem stołu (i deski). Nauczyciel następnie szybko wyciąga deskę spod wózka i prosi uczniów, by określili, czy położenie wózka względem stołu/deski uległo zmianie (stół: nie powinno/deska: zmieniło się).

2. Analiza zjawisk w inercjalnym układzie odniesienia. Nauczyciel, wspólnie z uczniami, stara się wypracować opis ruchu w inercjalnym (związanym ze stołem) układem odniesienia. Nauczyciel stara się nie przekazywać wiedzy *explicite*, raczej zadaje uczniom pytania naprowadzające i aktywizuje ich – np. czy położenie wózka/talerza względem stołu uległo zmianie? Czy na wózek/talerz działała jakaś siła? Czy działanie siły na obrus/deskę powoduje powstanie siły działającej na talerz/wózek? Rozumowanie ma doprowadzić do wniosku, że - w inercjalnym układzie odniesienia związanym ze stołem - na wózek/talerz nie działały żadne siły, w związku z czym nie mógł on zmienić względem stołu swojego położenia. Nauczyciel podkreśla, że taką cechę ciał nazywa się bezwładnością.

3. Analiza zjawisk w układzie nieinercjalnym. Nauczyciel zachęca teraz uczniów, by wyobrazili sobie sytuację w układzie nieinercjalnym (np. proponując, by wyobrazili sobie, że siedzą na wózku lub talerzu). Ponownie wykorzystując metodę pytań naprowadzających, nauczyciel aktywizuje uczniów, by doprowadzili rozumowanie do następującej postaci: w układzie nieinercjalnym obserwator „siedzący” na wózku/talerzu zauważa, że przesuwa się względem nich. Skoro tak, to na obserwatora w układzie nieinercjalnym musi działać pewna siła, która powoduje jego ruch względem deski/obrusa.

4. Wyznaczenie cech siły bezwładności. Aby wyznaczyć cechy siły bezwładności, nauczyciel odwołuje się do zasady, że - niezależnie od wykorzystywanego do opisu układu odniesienia - efekty zachodzących zjawisk muszą być takie same. Zachęca uczniów, by samodzielnie spróbowali określić cechy siły przez następujące rozumowanie: w układzie inercjalnym wózek/talerz nie przesunął się względem stołu. Aby uzyskać ten sam efekt (braku przesunięcia względem stołu) w układzie nieinercjalnym poruszającym się z pewnym przyspieszeniem \vec{a} , musi pojawić się pewna siła wywołująca przyspieszenie talerza/wózka, które będzie przeciwnie skierowane. Wyniesie ono zatem $-\vec{a}$. Siła z nim związana, na mocy II zasady dynamiki, równa będzie $\vec{F} = -m\vec{a}$.

5. Nauczyciel przekłada wnioski uczniów z punktu 4 na model matematyczny, zapisując równanie wektorowe $\vec{F}_b = -m \vec{a}$.

6. Nauczyciel prosi ucznia-ochotnika o przeprowadzenie doświadczenia z kluczami. Na początku klucze są po prostu trzymane (za brelok) w ręce, co sprawia, że ich języczki opadają w dół. Nauczyciel następnie prosi ochotnika o podrzucenie kluczy, a całą klasę o obserwację, jak ułożą się w powietrzu (języczki nie opadają na dół, klucze w trakcie ruchu znajdują się w stanie nieważkości). Nauczyciel prosi uczniów, by na podstawie zdobytej wiedzy spróbowali opisać siły działające na klucze w nieinercyjnym układzie odniesienia i zastanowili się, skąd bierze się stan nieważkości.

Faza podsumowująca:

1. Odwołanie się do tematu zajęć - na podstawie zdobytej wiedzy nauczyciel zachęca uczniów do wskazania, czemu nie należy ważyć się w windzie poruszającej się z przyspieszeniem. Część ta sprowadza się do wskazania cech siły bezwładności oraz pokazania, że w przyspieszającej windzie siła wypadkowa działająca na wagę jest inna niż siła ciężkości ważonego obiektu, co zakłóca wynik ważenia. Nauczyciel prosi uczniów by wskazali, w jakich sytuacjach waga pokaże mniejsze wskazanie, a w jakich większe.

2. Rozwiązanie zadań 4 i 5.

3. Uczniowie zadają pytania, wyjaśniają wątpliwości.

Praca domowa:

1. Rozwiązanie pozostałych zadań multimedialnym sprawdzającym. Wykorzystanie multimedialnego bazowego.

2. Analiza wiersza Miłosza Waligórskiego pt. „rower” ([<http://publica.pl/teksty/cztery-wiersze-41047.html>] [<http://publica.pl/teksty/cztery-wiersze-41047.html>] (<http://publica.pl/teksty/cztery-wiersze-41047.html>)) Czy opisane w nim „odczuwanie” bezwładności jest zbliżone do tego, co opisujemy za pomocą fizyki? Jak należałoby opisać ruch rowerzysty (w układzie inercyjnym i nieinercyjnym), gdyby rower gwałtownie zahamował?

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedialnego:

Grafikę interaktywną należy wykorzystać jako pracę domową, do rekonstruowania wiedzy.