



Demonstracja działania sił bezwładności

- Wprowadzenie
- Przeczytaj
- Film (standardowy)
- Sprawdź się
- Dla nauczyciela



Demonstracja działania sił bezwładności

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/kettenkarusell-karuzela-oktoberfest-4500762/> [dostęp 19.08.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Siły bezwładności pojawiają się we wszystkich układach nieinercjalnych, często powodując różne nieoczekiwane efekty. Powodują one m.in., że ciecze znajdujące się w wirujących naczyniach będą „wspinać się” po ściankach; są też jednym z czynników powodujących, że wiatry wiejące na Ziemi zmieniają swój kierunek – masy powietrza zakręcają lub tworzą spirale. Inne efekty możemy wywołać i obserwować sami, np. siedząc w samochodzie lub pociągu poruszającym się z niezerowym przyspieszeniem.

Twoje cele

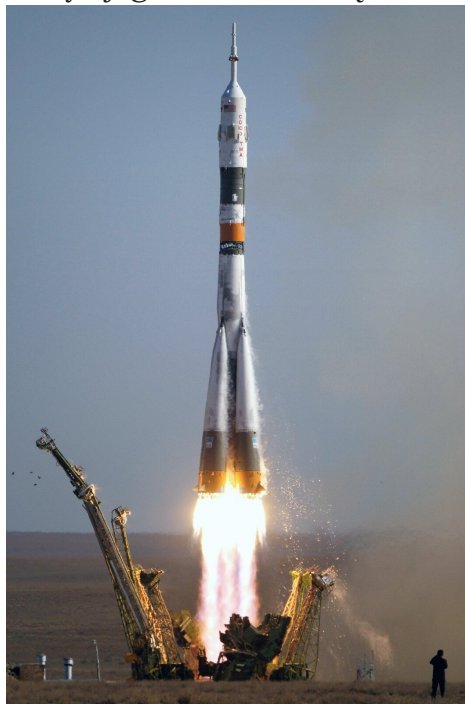
- poznasz i opiszesz przykładowe efekty związane z działaniem sił bezwładności;
- zrozumiesz podstawy fizyczne, jakie stoją za efektami działania sił bezwładności;
- przeanalizujesz i zinterpretujesz proste doświadczenia demonstrujące obecność sił bezwładności.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Siła bezwładności jest tzw. siłą pozorną. Jej pozorność wynika z dwóch powodów – po pierwsze, nie można przypisać jej żadnego znanego oddziaływania fizycznego (grawitacyjne, elektromagnetyczne, słabe, jądrowe), które by ją wywoływało. Po drugie – nie spełnia ona III zasady dynamiki Newtona, znanej jako zasada akcji i reakcji. Mówi ona, że *jeżeli ciało 1 działa na ciało 2 pewną siłą, to ciało 2 działa na ciało 1 taką samą siłą, lecz skierowaną przeciwnie*. Prawdą bowiem jest, że jeśli na ciało działa **siła bezwładności**, to ciało to nie działa na żadne inne siłą reakcji dla siły bezwładności.

Siły bezwładności pojawiają się w **układach nieinercjalnych**, tj. takich, które poruszają się z pewnym **przyspieszeniem**. Oznacza to, że taki układ możemy związać z kosmonautą w startującej rakiecie (wtedy następuje głównie zmiana wartości wektora prędkości rakiety) lub z ubraniem w wirującej pralce (wtedy na pewno zmianie ulega kierunek prędkości ściany bębna). Jak wskazuje ich nazwa, siły bezwładności są związane z **bezwładnością** danego ciała – czyli jego „skłonnością” do „utrzymywania” swojego ruchu.

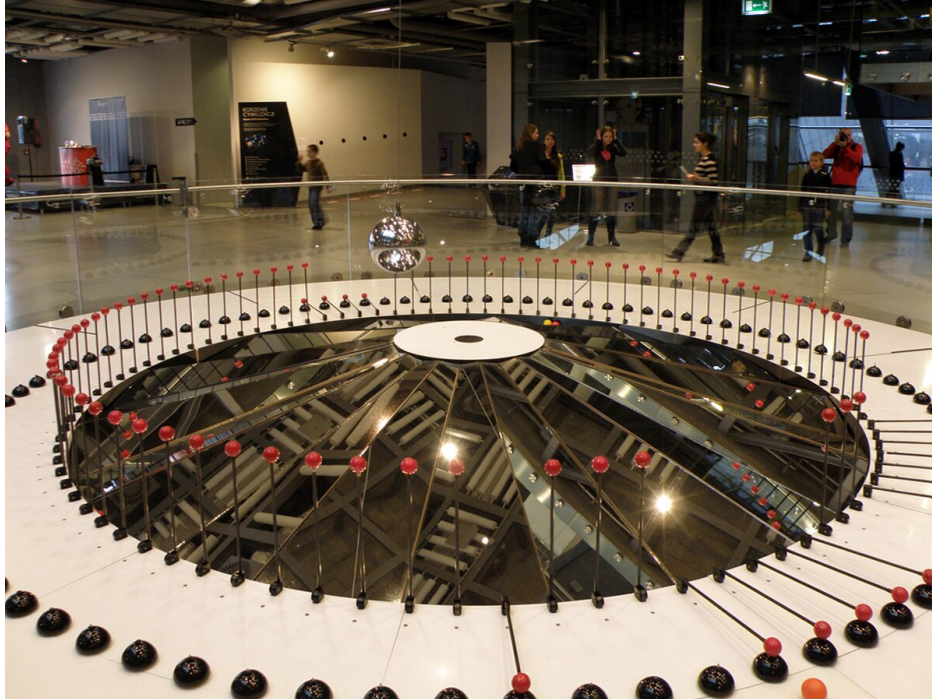


Rys. 1. Kosmodrom Bajkonur. Start rakiety Sojuz-FG z załogowym statkiem kosmicznym Sojuz TMA-12. Celem lotu była Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS).

Źródło: dostępny w internecie: <http://spaceflight.nasa.gov/gallery/images/station/crew-14/html/jsc2006e40672.html> [dostęp 19.04.2022], domena publiczna.

Także Ziemia jest układem nieinercjalnym gdyż wiruje wokół własnej osi, a ponadto porusza się po elipsie wokół Słońca. Efekty związane z nieinercjalnością ziemskiego układu są jednak niewielkie w większości naszych codziennych obserwacji. Dlatego w praktycznych zastosowaniach zakładamy, że Ziemia jest **układem inercjalnym**.

Demonstracją nieinercjalności układu związanego z Ziemią jest np. ruch wahadła Foucaulta [czyt. fuko, akcentuj ostatnią sylabę]. Zwykle, obserwując ruch wahadła (np. w starym zegarze czy huśtawce zbudowanej z opony na sznurku), widzimy jedynie jego wahania w lewo i w prawo, które zachodzą w ustalonej pionowej płaszczyźnie. Wahadło Foucaulta składa się z długiego (zwykle kilkanaście-kilkadziesiąt metrów) ramienia zakończonego ciężarkiem o dużej masie (kilkadziesiąt, a nawet kilkaset kilogramów). Takie parametry wynikają z konieczności zmniejszenia wpływu oporu powietrza na ruch wahadła, tak, by mogło ono wahać się jak najdłużej.



Rys. 2. Wahadło Foucaulta w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie. Najdłuższe w Polsce takie wahadło znajduje się w krakowskim Kościele św. św. Piotra i Pawła; ma 76 m długości.

Źródło: dostępny w internecie: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrum_Nauki_Kopernik_-_Warszawa_\(8\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Centrum_Nauki_Kopernik_-_Warszawa_(8).jpg) [dostęp 19.08.2022], licencja: CC BY 3.0.

Obserwując przez dłuższy czas z ziemskiego układu odniesienia wahadło Foucaulta, bylibyśmy w stanie zaobserwować ciągłą zmianę płaszczyzny drgań (a nawet wywnioskować, że nie jest to płaszczyzna!). Jeśli na początku obserwacji wahadło poruszałoby się prostopadłe do linii naszego wzroku, to po pewnym czasie ten kąt zmieniłby się. Dzieje się tak, ponieważ Ziemia cały czas wiruje (a my, jako obserwatorzy wahadła, wraz z nią). Samo wahadło cały czas utrzymuje swoją płaszczyznę drgań, dlatego też ziemskiemu obserwatorowi będzie się wydawać, że to wahadło cały czas się obraca. Aby opisywany efekt miał miejsce, punkt zaczepienia wahadła musi być związany z układem inercyjnym. Nie może zatem być bezpośrednio „połączone” z wirującą Ziemią – czyli np. sufitem budynku, gdzie zostało zawieszone. W tym celu wahadło zawiesza się np. na obrotowych łożyskach, a dopiero te montuje się na suficie.

Siły bezwładności związane z ruchem dobowym Ziemi są także jednym z czynników powodujących tworzenie się cyklonów (czyli wirujących mas powietrza), a także odchylenie kierunku wiatrów wiejących w strefie międzyzwrotnikowej, zwanych pasatami. Możemy

też powiedzieć, że siły bezwładności nie są odpowiedzialne – wbrew dość powszechnie panującemu pogładowi nie powodują one zmiany kierunku wirowania wody podczas wypuszczania jej z wanny. Opróżnianie wanny jest na tyle szybkim procesem, że siły bezwładności nie są w stanie wpłynąć na kierunek ruchu wody w zauważalnym stopniu.

Powyżej przedstawione przykłady dotyczyły działania sił bezwładności w układach nieinercjalnych poruszających się ruchem obrotowym. Możemy oczywiście podać również przykłady takiego działania dla układów przyspieszających lub hamujących bez zmiany kierunku ruchu. Takie przykłady to bagaż wypadający z półki w chwili ruszania pociągu, odchyłanie się pasażerów jadących autobusem przeciwnie do kierunku przyspieszenia pojazdu, czy wreszcie „wyrzucenie rowerzysty do przodu” przez kierownicę w sytuacji, gdy rower gwałtownie zahamuje.

Jednak by zademonstrować działanie siły bezwładności, nie musisz wykonywać aż tak drastycznych eksperymentów. Czasami wystarczy prosta obserwacja: jadąc autobusem, zwróć uwagę na umieszczone w nim uchwyty dla stojących pasażerów. Przyjrzyj się, jak uchwyty odchylają się od pionu w chwili, gdy autobus przyspiesza lub hamuje. Możesz też zbudować prosty układ składający się z ciężarka zawieszonego na sznurku. Drugi koniec sznurka należy podwiesić do sufitu pojazdu. Uzyskujesz w ten sposób najprostszy wskaźnik pokazujący, czy Twój układ odniesienia jest inercjalny, czy nie.

Słowniczek

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 (z niezerowym przyspieszeniem) względem **inercjalnego układu** odniesienia.

przyspieszenie

(*ang.: acceleration*) wielkość wektorowa mówiąca o tym, jak szybko w czasie zmienia się wektor prędkości. Przyspieszenie dane jest wzorem $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$. Jednostką przyspieszenia jest m/s^2 .

siła bezwładności

(*ang.: inertial force, fictitious force*) pozorna siła pojawiająca się tylko przy opisie ruchu z **nieinercjalnego układu** odniesienia. Jeśli pewien układ porusza się z **przyspieszeniem** $\vec{a}$, to siła bezwładności działająca na ciało znajdujące się w tym układzie wynosi $\vec{F} = -m\vec{a}$.

siła odśrodkowa

(ang.: *centrifugal force*) siła pojawiająca się w układach odniesienia poruszających się krzywoliniowo (czyli np. po okręgu, wirujących wokół własnej osi). Jej wartość dana jest wzorem $F = \frac{mv^2}{r}$ lub $F = m\omega^2 r$, gdzie m jest masą ciała, ω – prędkością kątową, z jaką ciało wiruje lub porusza się po łuku, r – odległością od osi obrotu, v – prędkością liniową ciała w danym punkcie. Jest skierowana zawsze „od” osi obrotu układu odniesienia.

Film (standardowy)

Demonstracja działania sił bezwładności

Film zawiera nagrania doświadczeń obrazujących przejawy działania siły bezwładności.

Pierwsze doświadczenie dotyczy wyciągania obrusu spod stojących na stole naczyń.

Drugie – suszenia prania podczas wirowania wskutek działania siły odśrodkowej.

Jako trzecie przedstawiono doświadczenie polegające na umieszczeniu naczynia wypełnionego olejem na obracającej się płaszczyźnie – może być to np. talerz gramofonu.



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/RKVlcKXhvBkJ](https://www.youtube.com/watch?v=RKVlcKXhvBkJ)

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

Zapoznaj się z audiodeskrypcją filmu.

Polecenie 1

W pierwszym doświadczeniu wykorzystano ruch przyspieszony **prostoliniowy** obrusa do demonstracji efektu wywołanego bezwładnością. Co sądzisz o możliwości wykorzystania układu nieinercyjnego **wirującego** do zademonstrowania takiego samego efektu? Zapisz pomysł na przeprowadzenie takiego pokazu za pomocą urządzenia podobnego do platformy obrotowej wykorzystanej w doświadczeniu trzecim.

Polecenie 2

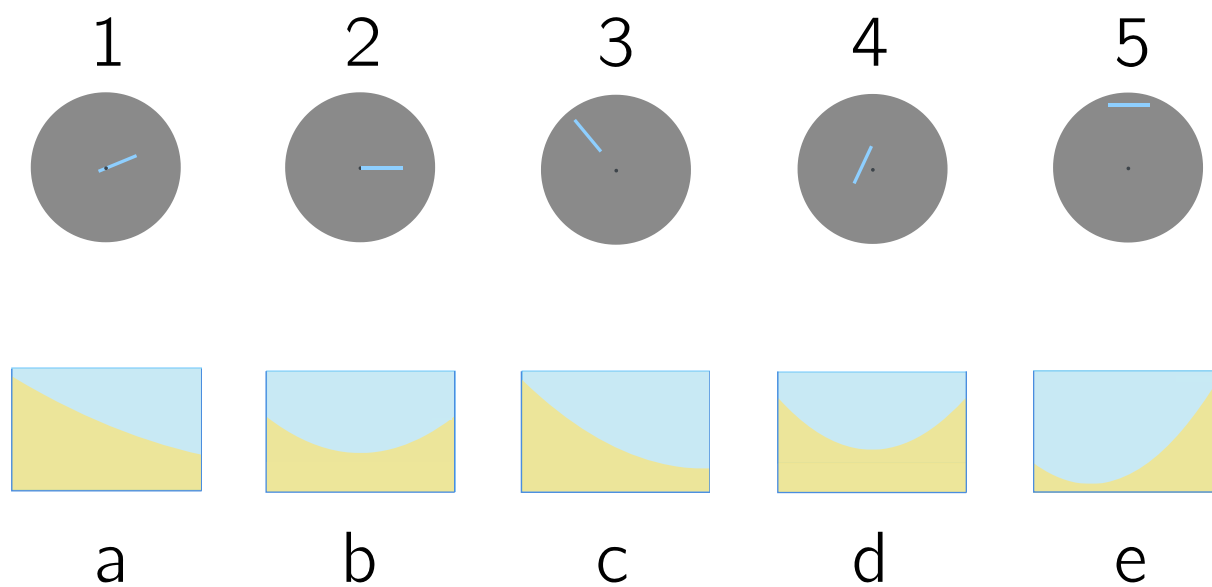
W drugim doświadczeniu opisano przebieg wyciskania wody z modelowego prania za pomocą wirówki. Przedstaw kilkuzdaniową wypowiedź, w której:

1. Rozstrzygniesz, czy opis przedstawia punkt widzenia obserwatora w inercyjnym układzie odniesienia, związanym z nieruchomą ścianą wirówki, czy też obserwatora w nieinercyjnym układzie odniesienia, związanym z obracającym się bębniem wirówki;
2. Uzasadnisz swoje wskazanie;
3. Przedstawisz opis tego samego zjawiska z punktu widzenia tego drugiego obserwatora.

Polecenie 3

W trzecim doświadczeniu naczynie z olejem było ułożone centralnie na osi obrotu platformy. Ale naczynie to można było ułożyć w innym położeniu, choć wtedy należałoby je przymocować do platformy - zastanów się, dlaczego.

Przyjrzyj się poniższemu rysunkowi. Ilustracje w górnym wierszu pokazują (schematycznie, w wersji „widok z góry”) kilka alternatywnych ułożeń naczynia.



Każdy obserwowany kształt powierzchni oleju (dolny rząd) odpowiada jakiemuś niecentralnemu ułożeniu naczynia na platformie obrotowej (górny rząd).

Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.pl>.

W dolnym wierszu pokazano możliwe wyglądy powierzchni oleju w naczyniu. Dopasuj te wyglądy do ułożeń.

2	e
5	c
4	d
1	b
3	a

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Wskaż, dla których ciał należy spodziewać się efektów związanych z siłą bezwładności.

- ☐ ciało wirujące wokół własnej osi ze stałą prędkością,
- ☐ ciało poruszające się ze stałą prędkością, na które działają równoważące się siły,
- ☐ ciało zwiększające swoją prędkość,
- ☐ ciało wirujące wokół własnej osi z coraz większą prędkością,

Ćwiczenie 2



Uzupełnij wypowiedź na temat siły bezwładności:

Siła bezwładności nazywana jest siłą **pozorną**. Jej działanie jest bowiem niezgodne z

pierwszą ☐ drugą ☐ trzecią ☐ zasadą dynamiki Newtona.

Inaczej rzecz ujmując, siła pozorna ☐ nie może być równoważona przez inne siły ☐

☐ nie może powodować przyspieszenia ciała, na które działa ☐

☐ działa na ciało bez udziału innych ciał ☐ .

Ćwiczenie 3



Na ślizgawce naprzeciw siebie stoi dwóch łyżwiarzy. Jeden z nich popycha drugiego, nadając mu pewne przyspieszenie, a w rezultacie sam zaczyna poruszać się w przeciwnym kierunku. Czy siła, z jaką pierwszy łyżwiarz działał na drugiego była pozorna?

- ☐ Nie, gdyż drugi łyżwiarz również działał na pierwszego siłą, co wynika z III zasady dynamiki Newtona.
- ☐ Nie, gdyż nie jest możliwe określenie, jaka siła działała na pierwszego łyżwiarza, który również zaczął się poruszać.
- ☐ Tak, układ odniesienia odepchniętego łyżwiarza stał się nieinercjalny, a w takim układzie będzie na niego działać pozorna siła bezwładności.
- ☐ Tak, gdyż jedynie pierwszy łyżwiarz działał siłą na drugiego, a drugi na pierwszego już nie, więc nie została spełniona III zasada dynamiki Newtona.

Ćwiczenie 4



Przypomnij sobie, co to jest wahadło Foucaulta. Wskaż zdanie prawdziwe.

- ☐ W ziemskim układzie odniesienia nie może działać siła bezwładności, gdyż przyspieszenie Ziemi jest na tyle małe, że można je zaniedbać.
- ☐ Siła bezwładności uniemożliwia zatrzymanie się wahadła, więc jego ruch jest bezwładny.
- ☐ W układzie odniesienia związanym z obserwatorem znajdującym się poza Ziemią wahadło nie zmienia swojej płaszczyzny drgań, gdyż znajduje się w tym samym układzie odniesienia, co Ziemia.
- ☐ W układzie odniesienia związanym z obserwatorem znajdującym się poza Ziemią wahadło nie zmienia płaszczyzny drgań, bo nie działa żadna siła, która mogłaby wywołać taki efekt.

Ćwiczenie 5



Wirownica obraca się z prędkością kątową $\omega = 2 \text{ rad/s}$. Na poziomej płycie wirownicy położono stugramowy odważnik w odległości $r = 10 \text{ cm}$ od osi obrotu.

Oblicz wartość siły bezwładności działającej na ten odważnik.

$$F_b = \boxed{} \text{ N.}$$

0,16

1,6

16

160

1600

16000

Ćwiczenie 6



Wskaż, w których sytuacjach możemy mówić o działaniu sił bezwładności.

☐

Podczas szybkiej jazdy rowerem po zakręcie musisz pochylić się nieco w kierunku środka łuku, by nie zostać wyrzuconym na zewnątrz zakrętu.

☐

Chcąc otworzyć zakorkowaną butelkę, możesz potrząsać nią i zatrzymywać w momencie, gdy płyn uderza w korek.

☐

Podczas gry w curling popchnięty kamień będzie poruszał się cały czas z taką samą prędkością (jeśli zaniedbamy niewielką siłę tarcia).

☐

Jeśli potrząsasz otwartą butelką ketchupu, to po ruchu butelki w dół i zatrzymaniu, ketchup będzie wypływał z butelki.

Ćwiczenie 7



Na szczycie gładkiej równi o kącie nachylenia $\alpha = 30^\circ$ znajduje się mały klocek, który może zsuwać się po niej bez tarcia. Równia porusza się z przyspieszeniem skierowanym poziomo, tak dobranym, by klocek nie zsuwał się z niej pod wpływem siły ciężkości.

Oblicz wartość przyspieszenia równi; określ także jego zwrot.

Przyjmij, że przyspieszenie ziemskie $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Zapisz swoje obliczenia w przygotowanym polu i porównaj je następnie z rozwiązaniem wzorcowym.

Ćwiczenie 8



Na osi wirującej platformy stoi naczynie z cieczą. Po ustaleniu się stanu równowagi ciecz wiruje z prędkością kątową ω , tak jak naczynie. Powierzchnia cieczy tworzy wtedy charakterystyczny lejek.

Jednak lejek nie ma kształtu stożka - kąt nachylenia α ściany lejka do poziomu zmienia się wraz z rosnącą odległością r od osi obrotu.

Uzupełnij wyrażenie pokazujące zależność kąta α od r i ω oraz przyspieszenia ziemskiego g .

$$= \frac{\omega^2 r}{g}$$

sin α

tg α

ctg α

cos α

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Przemysław Michalski
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Kosmos na Ziemi, czyli kilka przykładów działania siły bezwładności
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. III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. Zakres podstawowy Treści nauczania - wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 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: 3) prowadzi obliczenia szacunkowe i poddaje analizie otrzymany wynik; 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.: • 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: 1. wymienia przykładowe efekty związane z działaniem sił bezwładności. 2. wyjaśnia pojęcie nieważkości. 3. zapisuje bilans sił działających na ciała w układach nieinercjalnych. 4. stosuje siły bezwładności w rozwiązywaniu zadań rachunkowych. 5. proponuje i konstruuje własne doświadczenia demonstrujące działanie sił bezwładności.
Strategie nauczania:	flipped classroom
Metody nauczania:	dyskusja, eksperyment
Formy zajęć:	- praca zespołowa, - karty pracy.
Środki dydaktyczne:	karty pracy, statyw z krążkami, które mogą się po nim zsuwać, nitka/linka, lekkie, plastikowe wiadro z uchwytem, piłeczki pingpongowe
Materiały pomocnicze:	- komputer, - projektor.
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	

Nauczyciel prosi uczniów o wyjaśnienie pojęcia nieważkości. Wspólnie z uczniami, poprzez dyskusję, dochodzi do uzyskania poprawnej definicji (stan, w którym brak jest siły powodującej nacisk lub gdy siła ta jest równoważona przez inną). Nauczyciel wyświetla na ekranie przykłady stanu nieważkości w przestrzeni kosmicznej - może być to film przedstawiający swobodne unoszenie się we wnętrzu statku kosmicznego, bezwładny ruch przedmiotów, kropla wody unosząca się wewnątrz statku, itd. Nauczyciel prosi uczniów o narysowanie wektorów sił, działających np. na kroplę wody w statku krążącym wokół Ziemi (wektor siły ciężkości i wektor równoważącą ją siłę odśrodkową).

Wprowadzenie efektu zaciekawienia - czy możliwe jest uzyskanie podobnego stanu na powierzchni Ziemi?

Faza realizacyjna:

W zależności od dostępności wykorzystywanych urządzeń, doświadczenia można przeprowadzić grupowo dla całej klasy, bądź też podzielić klasę na mniejsze grupy i poprosić uczniów o ich samodzielne wykonywanie. Nauczyciel przed zajęciami przygotowuje karty pracy, które rozdaje uczniom. Na kartach pracy znajdują się:

- do doświadczenia 1: rysunek dwóch krążków połączonych nitką, znajdujących się na statywie, wraz z poleceniem narysowania sił działających na krążki w układzie nieinercyjnym (związany z krążkiem) oraz określeniem zachowania nici (napięta/nienapięta) i jego wyjaśnieniem
- do doświadczenia 2: cztery rysunki człowieka trzymającego wiadro z piłeczkami: w dwóch wiadro znajduje się na dole, w dwóch na górze; w każdej parze wiadro raz znajduje się w spoczynku, raz w ruchu, co można zasygnalizować strzałką oraz podaniem symbolu prędkości kątowej. Polecenie: narysować wektory sił działające na piłeczki w każdym przypadku.

1. Doświadczenie z dwoma krążkami na statywie. Nauczyciel prosi ochotnika, by połączył nitką dwa krążki, a następnie zamontował całość na statywie, podtrzymując krążki tak, by nie zsuwały się. Następnie uczeń puszcza krążki. Obserwujemy, że pomimo działania siły ciężkości na krążki (ruch w dół) linka je łącząca pozostaje swobodna.

2. Doświadczenie z wiadrem wypełnionym piłeczkami do ping-ponga. Nauczyciel wybiera ucznia-ochotnika i prosi go, by włożył do wiaderka piłeczki pingpongowe, a następnie obrócił wiadro do góry nogami – piłeczki wypadną. Nauczyciel następnie zachęca ucznia, by zaczął kręcić wiadrem w pionowej płaszczyźnie. Przy odpowiednio szybkim wirowaniu piłeczki nie będą wypadać z wiadra.

Rekonstruowanie wiedzy uczniów.

1. Nauczyciel prosi uczniów, by przedyskutowali w grupach zaobserwowane zjawiska, a następnie wypełnili karty pracy.
2. W doświadczeniu 2. należy pamiętać o siłach reakcji wiadra!

Faza podsumowująca:

Nauczyciel prosi uczniów o rozwiązanie zadań rachunkowych związanych z doświadczeniem 2. Przykładowe zadania:

1. Z jaką prędkością liniową (lub kątową) musi wirować wiadro, aby znajdujące się w nim piłeczki były nieważkie? Przyjąć, że odległość wiadra od osi obrotu wynosi $r = 50 \text{ cm}$ (długość ręki).
2. Z jaką prędkością liniową (lub kątową) musi wirować wiadro, aby znajdujące się w nim piłeczki nie wypadały (lub wypadały) na zewnątrz? Przyjąć, że odległość wiadra od osi obrotu wynosi $r = 50 \text{ cm}$ (długość ręki). (wbrew pozorom nie jest to identyczne zadanie do poprzedniego - tam chodzi o dokładną wartość siły odśrodkowej, która równoważy siłę ciężkości. W zadaniu 2 chodzi o siłę co najmniej (lub co najwyżej) równą sile ciężkości, więc odpowiedź będzie przedziałem liczbowym). „Nadwyżka” siły odśrodkowej nad siłą grawitacji powoduje nacisk piłeczek na dno wiadra, co będzie równoważone siłą reakcji wiadra.
3. Wyobraźmy sobie stację kosmiczną złożoną z pierścienia o promieniu $r = 300 \text{ m}$ umieszczonego na osi, względem której pierścień ten może się obracać. Stacja przemierza ruchem prostoliniowym przestrzeń kosmiczną z dala od planet oraz gwiazd, w związku z tym na jej mieszkańców nie działa siła grawitacji. Taki stan nieważkości jest na dłuższą metę niezdrowy dla kosmonautów, gdyż powoduje m.in. degradację mięśni i kości oraz mdłości wywołane przez zaburzenia pracy błędnika. Aby temu zapobiec, w stacji postanowiono uruchomić „sztuczną grawitację” poprzez wprowadzenie pierścienia w ruch wirowy. Z jaką prędkością liniową (lub kątową) powinien wirować pierścień, aby przebywający w nim kosmonauci odczuwali przyspieszenie równe połowie przyspieszenia ziemskiego?

Praca domowa:

1. Wykonanie doświadczenia z wagą łazienkową. Uczeń staje spokojnie na wadze i zapisuje otrzymany wynik. Następnie uczeń zaczyna wykonywać na wadze przysiady i obserwuje, co dzieje się ze wskazaniem wagi podczas gdy kuca i wstaje. Analizując wnioski z doświadczenia, uczeń powinien odpowiedzieć na pytania: co tak naprawdę „waży waga”? Dlaczego wskazania zmieniają się, gdy uczeń porusza się z przyspieszeniem? Jak wyjaśnić zmiany wskazań przy ruchu w konkretnym kierunku? (tutaj uczeń powinien m.in. narysować wektory działających sił).
2. Zaprojektowanie własnego doświadczenia obrazującego działanie sił bezwładności oraz jego wykonanie i omówienie podczas lekcji (zadanie może być realizowane w grupach). Może to być np. bardziej „ekstremalna” wersja doświadczenia z ćwiczeń (np. zastąpienie piłeczek wodą) lub zupełnie inne doświadczenie.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Film można wykorzystać jako główny element fazy realizacyjnej lekcji, aby uczniowie mieli możliwość zaznajomienia się z niektórymi efektami związanymi z siłami bezwładności.
--	---