



Środek masy a środek ciężkości

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



Środek masy a środek ciężkości

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/photos/instalacja-wodoci%c4%85gowa-klucz-do-rur-585658/>
[dostęp 29.03.2022], domena publiczna.

Czy to nie ciekawe?

Gdy oddalamy się od powierzchni Ziemi, na przykład lecąc rakieta w kierunku Marsa, wiele rzeczy dookoła się zmienia. Atmosfera staje się coraz rzadsza, promieniowanie słoneczne coraz słabsze, a kosmiczne coraz silniejsze. Znika błękit nieba, a zamiast niego pojawia się czerń próżni kosmicznej. Dopiero z kosmosu widać, że Ziemia ma kulisty kształt! Na co dzień, przebywając na jej powierzchni, przyjmujemy, że jest płaska i wytwarza jednorodne pole grawitacyjne. W tym e-materiale, między innymi, odpowiadamy na pytanie: Kiedy przybliżenie płaskiej Ziemi jest sensowne, a kiedy trzeba go zdecydowanie zaniechać.



Rys. a. Wschód Słońca nad Ziemią widoczny z przestrzeni kosmicznej.

Źródło: dostępny w internecie: <https://pixabay.com/pl/illustrations/ziemia-przestrze%c5%84-%c5%9bwiat%c5%82o-s%c5%82oneczne-1756274/> [dostęp 29.03.2022], domena publiczna.

Twoje cele

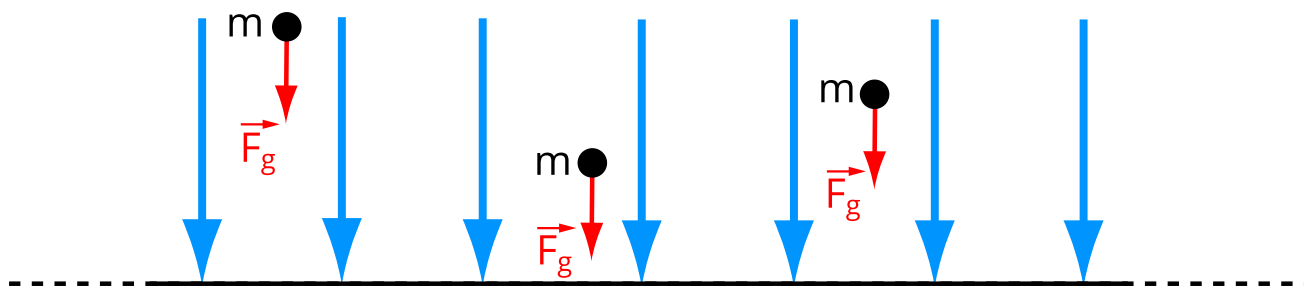
- wyjaśnisz różnice między jednorodnym i niejednorodnym polem grawitacyjnym,
- dowiesz się, czym jest środek ciężkości i kiedy pokrywa się on ze środkiem masy,
- zrozumiesz pojęcie środka sił i jego położenie względem środka masy.

Przeczytaj

Warto przeczytać

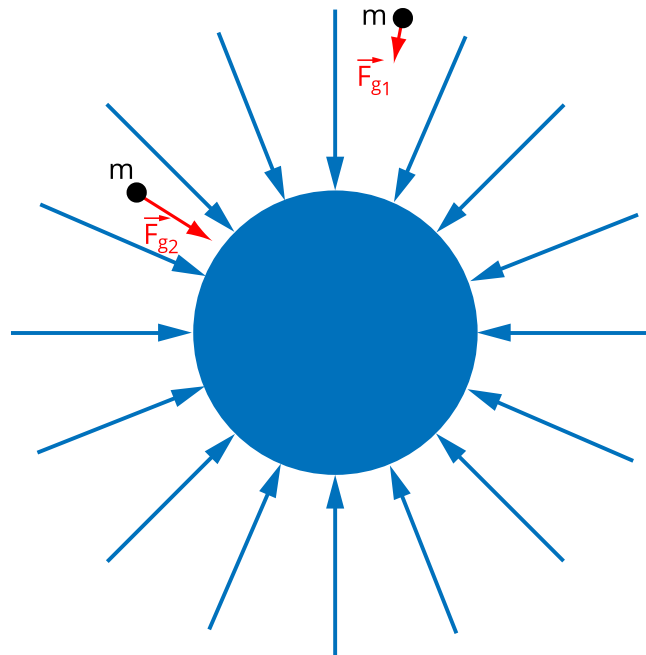
Każde ciało obdarzone masą wytwarza wokół siebie pole grawitacyjne. Oczywiście, wartość natężenia pola grawitacyjnego i kształt jego [linii](#) zależy od masy i kształtu ciała, które to pole wytwarza. Jakie jest pole grawitacyjne wytwarzane przez naszą planetę?

Zanim odpowiemy na postawione przed chwilą pytanie, wyobraźmy sobie nieskończenie wielką płaszczyznę (zob. Rys. 1.). Przyjmijmy, że jej masa jest jednorodnie rozłożona w każdym kierunku. Innymi słowy gęstość materii, z której zbudowana jest ta płaszczyzna w każdym punkcie jest taka sama. Stojąc na takiej płaszczyźnie będziemy odczuwać siłę grawitacji działającą pionowo w dół. W każdym kierunku, w którym się udamy, wartość tej siły będzie taka sama. Będzie tak, ponieważ pole grawitacyjne pochodzące od nieskończonej płaszczyzny o stałej gęstości jest **jednorodnym polem grawitacyjnym**, którego [linie](#) są do siebie równoległe.



Rys. 1. Pole jednorodne - linie pola są do siebie wzajemnie równoległe. Gęstość linii pola jest stała, co oznacza, że we wszystkich punktach pola jego wektor natężenia ma taki sam kierunek i taką samą wartość. Dlatego we wszystkich punktach pola siła grawitacji $\vec{F}_g$ działająca na masę m jest taka sama.

Właśnie w taki sposób, na co dzień, postrzegamy pole grawitacyjne naszej planety. Jesteśmy tak mali, w porównaniu z rozmiarem Ziemi (promień Ziemi wynosi ok. 6400 kilometrów!), że na co dzień wydaje nam się ona płaska, a wytwarzane przez nią pole - jednorodne. Oczywiście zakładając, że Ziemia wytwarza jednorodne pole grawitacyjne stosujemy pewne przybliżenie, które na swój sposób jest usprawiedliwione, gdy chcemy np. opisać ruch kopniętej piłki, która przeleci kilkadziesiąt metrów. Gdy jednak chcemy opisać ruch rakiety, która ma przelecieć na inny kontynent lub polecieć w kosmos, nie powinniśmy stosować tego przybliżenia. W takich sytuacjach trzeba pamiętać o tym, że Ziemia jest kulą, a wytwarzane przez nią pole grawitacyjne ma symetrię sferyczną - jest **niejednorodnym polem grawitacyjnym**. Ilustruje to Rys. 2.



Rys. 2. Przykład niejednorodnego pola grawitacyjnego - pole o symetrii sferycznej, zwane też polem centralnym. Gęstość linii pola nie jest stała, ale zmniejsza się wraz z odległością od środka kuli. Oznacza to, że wartość wektora natężenia tego pola jest malejącą funkcją tej odległości. Z tego powodu, wartość wektora siły grawitacji $\vec{F}_g$ działającej na masę m jest również malejącą funkcją tej odległości. Na przykład na tym rysunku mamy: $F_{g1} < F_{g2}$.

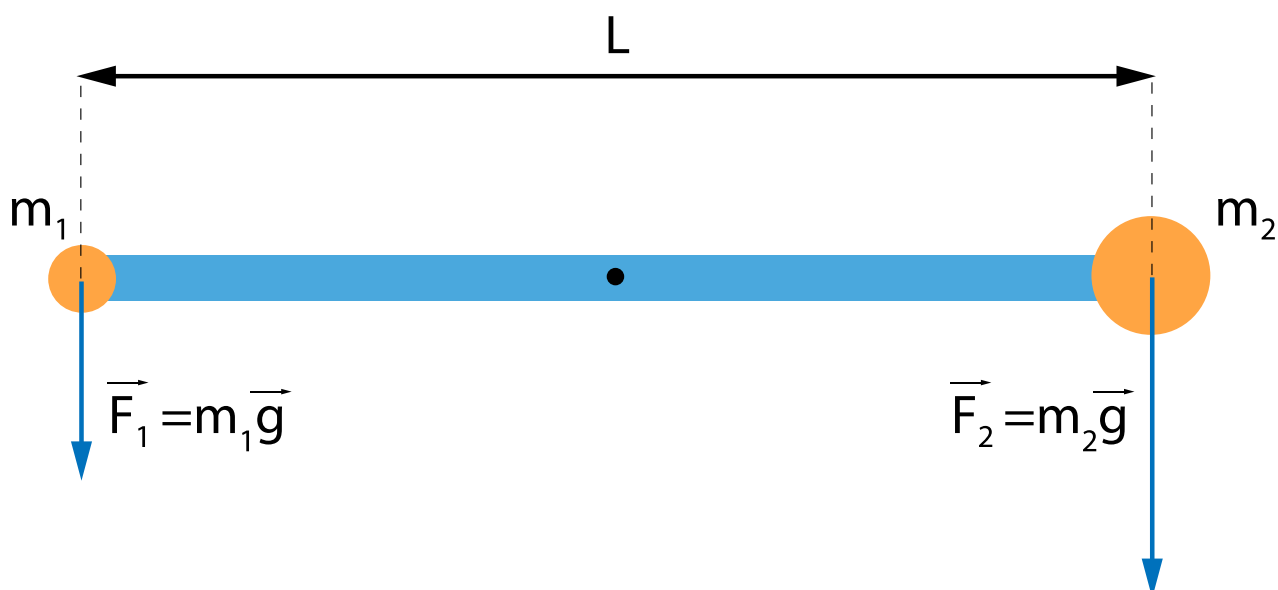
W jaki sposób symetria pola grawitacyjnego wpływa na poruszanie się w nim ciał obdarzonych masą? Aby to zrozumieć, najpierw przypomnimy dwa pojęcia z mechaniki: **środek masy** i **środek ciężkości**.

Środek masy, to punkt, który zachowuje się tak, jakby była w nim skupiona cała masa ciała lub układu ciał. Opisując ruch ciała (bryły sztywnej) opisujemy ruch postępowy jego środka masy oraz ruch obrotowy ciała dookoła środka masy (zob. e-materiał pt. *Jakim ruchem może poruszać się bryła sztywna?*). Położenie środka masy nie zależy od tego, czy ciało znajduje się w polu grawitacyjnym, czy nie. Wynika ono jedynie z geometrii ciała, czyli z tego, jak w przestrzeni rozłożona jest jego masa.

Środek ciężkości jest natomiast punktem, którego istnienie jest nierozłącznie związane z występowaniem pola grawitacyjnego. Jest to punkt, do którego umownie przykładamy wypadkową siłę ciężkości działającą na daną masę. Środek ciężkości zlokalizowany jest w takim miejscu w ciele, że przyłożenie wypadkowej siły ciężkości w tym właśnie punkcie powoduje identyczne skutki, jak przyłożenie składowych sił ciężkości do każdego punktu ciała z osobna.

W jednorodnym polu grawitacyjnym położenie środka masy ciała pokrywa się z położeniem jego środka ciężkości. Chcąc to zilustrować, przyjrzyjmy się układowi dwóch kul o masach $m_1 = 1 \text{ kg}$ i $m_2 = 2 \text{ kg}$, które są ze sobą połączone sztywnym prętem

o długości $L = 1$ m, którego masę zaniedbujemy (Rys. 3.). Jednorodne pole grawitacyjne jest w tym układzie reprezentowane przez stałe przyspieszenie ziemskie $g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

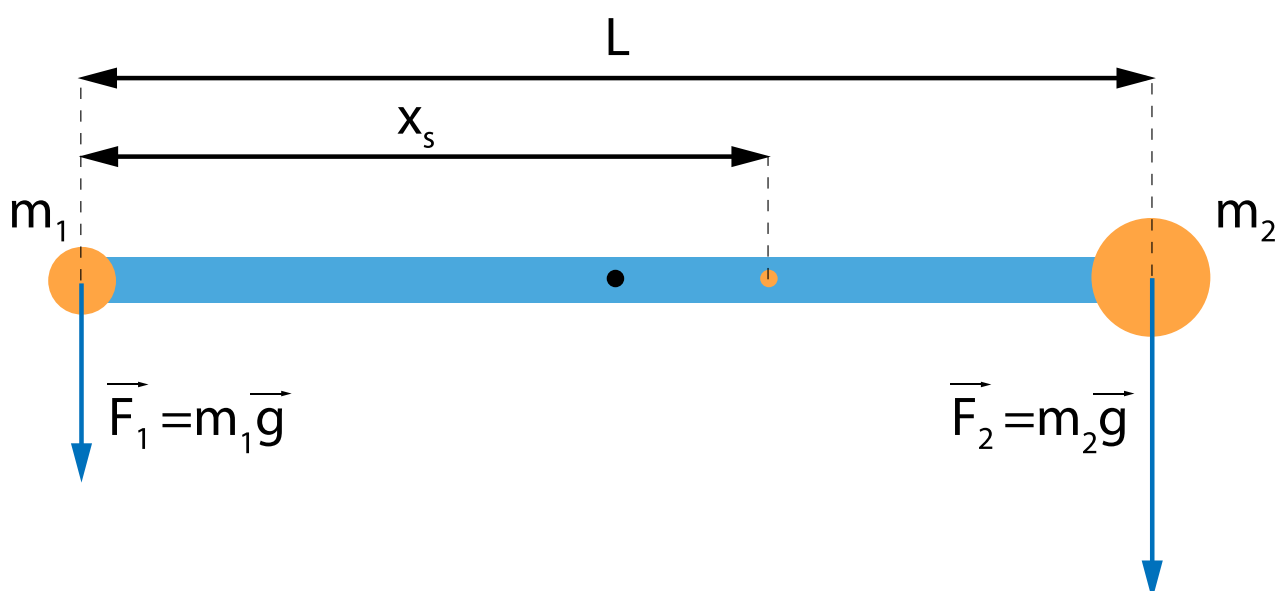


Rys. 3. Ilustracja badanego układu dwóch kul o różnych masach połączonych nieważkim prętem.

Wprowadźmy układ współrzędnych o początku w środku lewej kuli o masie m_1 . Położenie środka masy tego układu jest dane wzorem:

$$x_s = \frac{0 \cdot m_1 + L \cdot m_2}{m_1 + m_2} = \frac{1 \text{ m} \cdot 2 \text{ kg}}{1 \text{ kg} + 2 \text{ kg}} = \frac{2}{3} \text{ m}.$$

Położenie środka masy zaznaczono małą, pomarańczową kropką na Rys. 4.



Rys. 4. Ciąg dalszy przykładu - zaznaczenie środka masy układu reprezentowanego przez pomarańczową kropkę na pręcie w odległości x_s od masy m_1 .

Aby przekonać się o tym, że środek masy badanego układu rzeczywiście pokrywa się z jego środkiem ciężkości, zbadamy siły i momenty sił (składowe i wypadkowe) występujące w tym układzie.

Po pierwsze, wartości odpowiednich sił grawitacji są równe:

$$|\vec{F}_1| = m_1 g = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 9,81 \text{ N},$$

$$|\vec{F}_2| = m_2 g = 2 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 19,62 \text{ N},$$

$$|\vec{F}_w| = |\vec{F}_1| + |\vec{F}_2| = m_1 g + m_2 g = (m_1 + m_2) g = 29,43 \text{ N}.$$

Ostatnia z powyższych sił to siła wypadkowa, będąca sumą sił składowych działających na obydwie masy układu. Gdzie powinna być ona przyłożona, aby wypadkowy moment siły był równy sumie składowych momentów sił? Aby to rozstrzygnąć zauważmy, że składowe momenty sił są, co do wartości, równe:

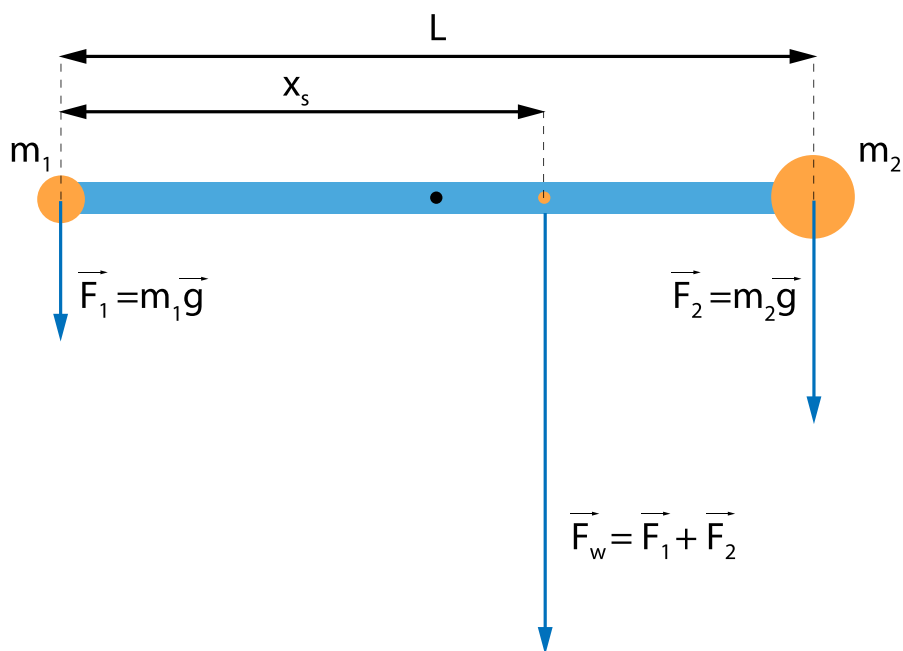
$$|\vec{M}_1| = x_s F_1 = \frac{2}{3} \text{ m} \cdot 9,81 \text{ N} = 6,54 \text{ N} \cdot \text{m},$$

$$|\vec{M}_2| = (L - x_s) F_2 = \frac{1}{30} \text{ m} \cdot 19,61 \text{ N} = 6,54 \text{ N} \cdot \text{m},$$

mają ten sam kierunek (obydwa są prostopadłe do płaszczyzny rysunku), ale są przeciwnie skierowane. Oznacza to, że wypadkowy moment siły tego układu, jako całości, jest równy zero:

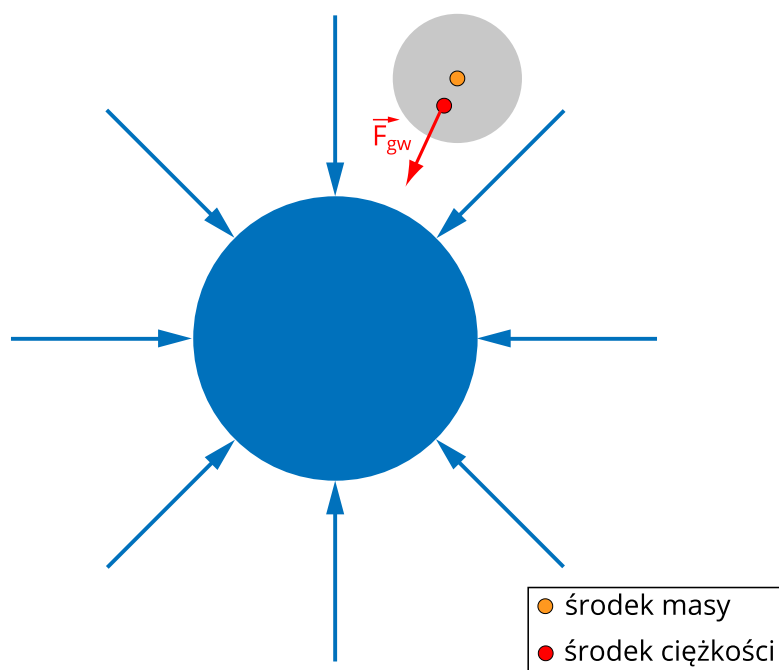
$$|\vec{M}_w| = 0.$$

Aby różna od zera wypadkowa siła grawitacji $\vec{F}_w$ dawała zerowy moment siły, punkt jej przyłożenia, który jest z definicji środkiem ciężkości, musi się pokrywać ze środkiem masy układu (Rys. 5.). Wniosek ten kończy nasze rozważania, w których pokazaliśmy, że w jednorodnym polu grawitacyjnym środek ciężkości pokrywa się ze środkiem masy.



Rys. 5. Przyłożenie wypadkowej siły ciężkości do środka masy.

W niejednorodnym polu grawitacyjnym położenie środka masy, na ogół, nie pokrywa się z położeniem środka ciężkości. Z tego powodu pojęcia te nie powinny być ze sobą utożsamiane. Dlaczego tak się dzieje?



Rys. 6. Mniejsza kula umieszczona w polu grawitacyjnym większej kuli. Rozsuniecie środka masy i środka ciężkości spowodowane niejednorodnym polem grawitacyjnym (zob. opis w tekście).

Zastanówmy się, co by się stało gdybyśmy np. dużą kulę o stałej gęstości umieścili w niejednorodnym polu grawitacyjnym, np. takim, w którym siła maleje z odległością od źródła pola (zob. Rys. 6). Środek masy takiej kuli nie zależy od pola. A ponieważ kula ma stałą gęstość, pokrywa się on z jej środkiem geometrycznym. Inaczej jest ze środkiem ciężkości kuli. Ponieważ siła grawitacji maleje z wysokością (czyli odległością od masy wytwarzającej

pole grawitacyjne), to na część kuli znajdującą się wyżej działa mniejsza siła grawitacji, niż na jej część położoną niżej. Oznacza to, że punkt przyłożenia wypadkowej siły ciężkości będzie przesunięty względem jej środka masy w kierunku źródła pola grawitacyjnego. Innymi słowy, w niejednorodnym polu grawitacyjnym, takim jak pole centralne, środek masy i środek ciężkości kuli będą się znajdowały w innych punktach.

Słowniczek

linie pola grawitacyjnego

(*ang.: field lines*) sposób graficznego przedstawienia pola grawitacyjnego. Linie pola prowadzi się w taki sposób, by w każdym punkcie pola były styczne do wektora natężenia pola. Gęstość linii odzwierciedla lokalne natężenie pola.

Środek masy, a środek ciężkości

Wysłuchaj informacji o tym, czym różni się punkt zwany środkiem masy od punktu zwanego środkiem ciężkości. Z treści tego audiobooka dowiesz się, kiedy te punkty pokrywają się, a kiedy nie, oraz jakie to ma znaczenie dla ruchu ciał w polu grawitacyjnym.

Audiobook można wysłuchać pod adresem: <https://zpe.gov.pl/b/PxxZHDmXF>

Środek masy, a środek ciężkości

W fizyce bardzo często stosuje się użyteczne przybliżenia. Upraszczają one omawiane zagadnienie ułatwiając zarówno obliczenia, jak i zrozumienie tematu. Trzeba jednak pamiętać, że każde przybliżenie jest słuszne tylko w pewnym zakresie stosowalności, a poza nim jest błędne. Przykładem takiego przybliżenia jest przyjęcie, że ziemskie pole grawitacyjne jest jednorodne.

To przybliżenie jest uzasadnione, gdy analizuje się ruch obiektów, które są małe w porównaniu z rozmiarem Ziemi i gdy ten ruch odbywa się na odległościach, które są znacznie mniejsze od promienia Ziemi. Jeśli jednak analizujemy na przykład ruch komety, która przelatuje w pobliżu Ziemi, wówczas absolutnie nie możemy przyjąć takiego założenia, ponieważ prowadziłoby ono do poważnych błędów. Przy większych odległościach musimy uwzględnić to, że pole grawitacyjne Ziemi jest polem centralnym, a nie jednorodnym.

Na przykład, w bardzo precyzyjnych badaniach geofizycznych wyznacza się mapy Ziemi wskazujące, jakie jest przyspieszenie ziemskie w danym punkcie, gdyż przyspieszenie to zmienia się wraz z grubością skał pod naszymi stopami lub występującymi tam złożami pierwiastków ciężkich. Wszystko to brzmi bardzo rozsądnie, ale co w praktyce zmienia się w opisie ruchu ciała poruszającego się w niejednorodnym polu grawitacyjnym?

Oczywiście, sama wartość siły grawitacyjnej zmienia się z odległością, zgodnie z prawem powszechnego ciążenia. Ale tu chcielibyśmy zwrócić uwagę na inną rzecz: W jednorodnym polu grawitacyjnym środek masy i środek ciężkości pokrywają się, a w polu niejednorodnym, przestają się pokrywać. Jakie to ma znaczenie i jakie są tego konsekwencje?

Środek masy to punkt geometryczny, który zachowuje się tak, jakby cała masa ciała znajdowała się w tym punkcie. Środek ciężkości jest natomiast punktem zaczepienia wypadkowej siły wszystkich sił ciężkości działających na ciało. Gdzie znajduje się ten punkt? Zsumujmy wszystkie momenty siły pochodzące od wszystkich sił przyłożonych do każdego punktu ciała. Położenie środka ciężkości musi być takie, że przyłożona w tym punkcie wypadkowa siła da ten sam moment siły. Jeśli ciało znajduje się w jednorodnym polu grawitacyjnym, wówczas wypadkową siłę przykładamy właśnie do środka masy. Innymi słowy – wypadkowa siła grawitacji tworzy zerowy moment siły względem środka ciężkości. Efekt tego jest taki, że w jednorodnym polu grawitacyjnym siła grawitacji nie obraca ciała. Oczywiście mówimy tu wyłącznie o sile grawitacji. Wyobrażamy więc sobie ciało, które swobodnie spada w polu grawitacyjnym, pomijając opory powietrza lub siłę nacisku innych ciał. Co się dzieje, jeśli pole jest niejednorodne?

Wyobraźmy sobie długi pręt, który znalazł się w niejednorodnym polu grawitacyjnym pod pewnym kątem do linii sił pola. Na każdy punkt tego pręta oddziałuje siła grawitacji. Na przykład w polu centralnym na tę część, która jest nieco bliżej źródła siły będzie działała nieco większa siła niż ta, która działa na elementy pręta znajdujące się w większej odległości od źródła. Sprawi to, że punkt, w którym znajdzie się środek tych sił, będzie przesunięty bliżej w stronę planety. Skoro pojawia się siła, która przyłożona jest w innym punkcie niż środek masy, będzie to skutkować pojawieniem się momentu siły. Moment siły sprawi, że pręt spadając zacznie się obracać.

Jest jeszcze jedna istotna różnica pomiędzy środkiem masy, a środkiem ciężkości. Środek ciężkości to punkt przyłożenia wypadkowej siły ciężkości – istnieje on zatem tylko wtedy, gdy ciało znajduje się w polu grawitacyjnym. Natomiast środek masy to własność geometryczna obiektu – istniejąca niezależnie od tego, czy obiekt znajduje się w polu grawitacyjnym, czy nie.

Polecenie 1

Mówi się, że „kromka chleba z masłem zawsze spada posmarowaną częścią do dołu”. Zastanów się i odpowiedz: Czy efekt ten można wytłumaczyć tym, że posmarowana strona kromki jest cięższa, co powoduje przesunięcie się jej środka masy?



W 1996 roku brytyjski fizyk i pisarz Robert Matthews otrzymał Ig Nobla w dziedzinie fizyki za publikację naukową poświęconą badaniu "zjawiska posmarowanej kromki chleba" (ang.: *buttered toast phenomenon*).

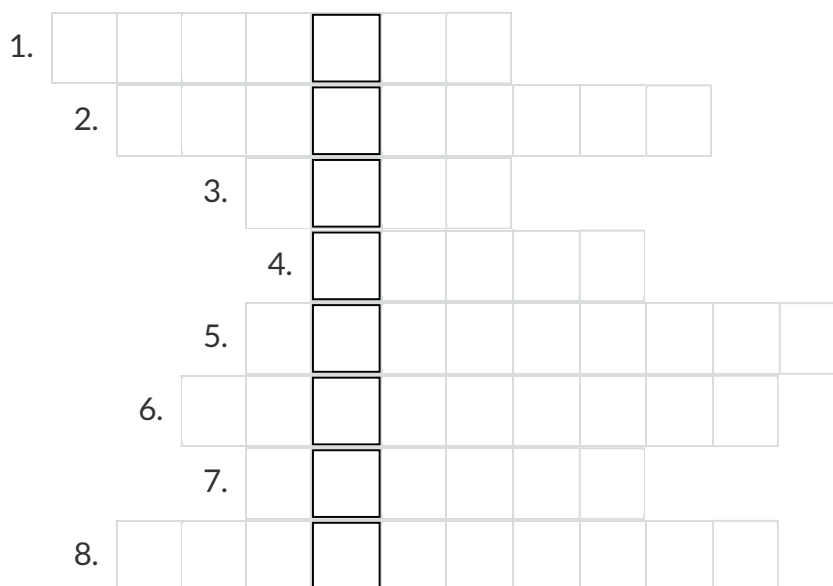
Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Rozwiąż krzyżówkę:



1. Potencjalna lub kinetyczna.
2. Pole grawitacyjne wytworzone przez punkt materialny ma symetrię ...
3. Punkt, który zachowuje się tak, jakby była w nim skupiona cała masa ciała, nazywamy środkiem ...
4. Druga planeta od Słońca w Układzie Słonecznym.
5. Punkt, do którego umownie przykładamy wypadkową siłę ciężkości działającą na ciało, nazywamy środkiem ...
6. Wektor, do którego styczne są linie pola grawitacyjnego, to wektor ... pola.
7. ... siły jest zdefiniowany wzorem: $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$.
8. W pobliżu powierzchni Ziemi, pole grawitacyjne można traktować tak, jakby było ...

Ćwiczenie 2



W poniższych zdaniach należy wstawić poprawne stwierdzenia wybrane z dostępnych możliwości.

Pole grawitacyjne można graficznie przedstawić za pomocą linii pola. W każdym punkcie pola

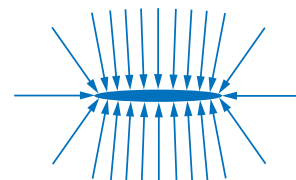
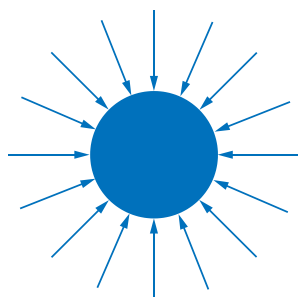
linie te są ☐ prostopadłe ☐ / ☐ styczne ☐ do wektora ☐ natężenia pola ☐ /
☐ prędkości masy punktowej ☐ . Zwrot linii pola jest zgodny ze zwrotem
☐ sił działających na masę punktową ☐ / ☐ wektora prędkości tej masy ☐ .

Pole grawitacyjne ☐ jednorodne ☐ / ☐ jednostajne ☐ to takie, którego linie są do siebie
☐ prostopadłe ☐ / ☐ równoległe ☐ . Natomiast pole ☐ typu gwiazdy ☐ / ☐ centralne ☐ to
takie, którego linie mają symetrię ☐ sferyczną/lustrzaną ☐ .

Ćwiczenie 3



Połącz w pary tekst z ilustracjami:



pole centralne

pole jednorodne

przykład pola
niejednorodnego

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

Ćwiczenie 4



Spośród wymienionych niżej charakterystycznych punktów, związanych z mechaniką bryły sztywnej, tylko jeden jest nierozłącznie związany z istnieniem pola grawitacyjnego. Zaznacz, który z punktów pasuje do tego opisu:

☐

środek symetrii

☐

środek układu przyłożonych sił

☐

środek ciężkości

☐

środek masy

Ćwiczenie 5



Zaznacz, które z poniższych stwierdzeń są prawdziwe:

Środek masy, to punkt, który zachowuje się tak, jakby była w nim skupiona cała masa ciała. [

PRAWDA ☐

/ FAŁSZ ☐]

Środek ciężkości, to punkt do którego umownie przykładamy wypadkową siłę ciężkości działającą na ciało i który zawsze pokrywa się ze środkiem masy. [PRAWDA ☐ /

FAŁSZ ☐]

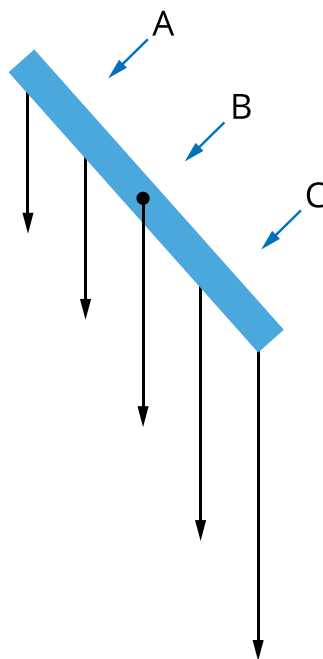
Środek masy pokrywa się ze środkiem ciężkości jedynie wtedy, gdy pole grawitacyjne jest jednorodne. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

W centralnym polu grawitacyjnym, środek masy i środek ciężkości nie muszą, choć mogą się pokrywać. [PRAWDA ☐ / FAŁSZ ☐]

Ćwiczenie 6



Bardzo długi, jednorodny pręt znajduje się w niejednorodnym polu grawitacyjnym, takim, że dolne jego części doznają działania większej siły grawitacji, niż górne (zob. rys.). Czarną kropką oznaczono położenie środka masy tego pręta. Gdzie mniej więcej znajduje się jego środek ciężkości?



☐ W punkcie B, który pokrywa się ze środkiem masy.

☐ Żadne z powyższych

☐ W punkcie A

☐ W punkcie C

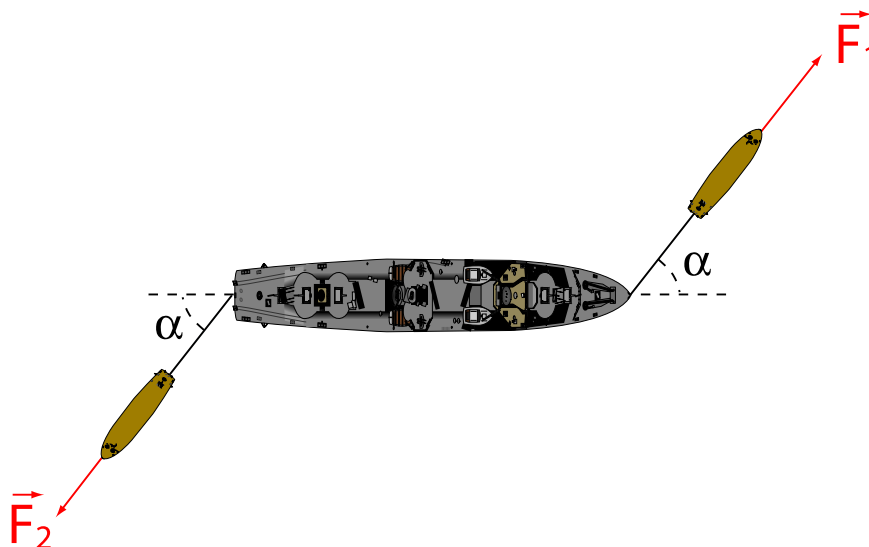
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Ćwiczenie 7



Dwie łodzie obracają statek o długości 50 m wokół osi pionowej przechodzącej dokładnie przez jego środek. Siły, z jakimi te łodzie działają na statek, są równe co do wartości $5 \cdot 10^4$ N każda i są skierowane pod kątem 60° do osi podłużnej statku, tak jak pokazano na załączonym rysunku.

Jaka jest wartość, kierunek i zwrot wypadkowego momentu siły działającego na statek? Wartość momentu podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



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

Odpowiedź:

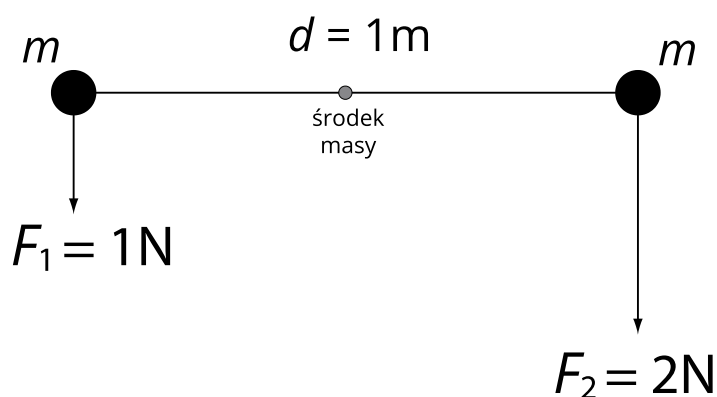
Wartość momentu siły jest równa: $\left| \vec{M}_w \right| = \boxed{} \cdot 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$,

Kierunek wektora $\vec{M}_w$ jest ☐ równoległy / ☐ prostopadły do osi obrotu statku, a jego zwrot jest skierowany ☐ za rysunek / ☐ przed rysunek / ☐ w prawo / ☐ w lewo.

Ćwiczenie 8



Na poniższym rysunku pokazano układ dwóch takich samych mas punktowych, które są umieszczone na końcach nieważkiego, sztywnego pręta o długości 1 m, w niejednorodnym polu grawitacyjnym. Na lewą masę działa skierowana pionowo w dół siła grawitacji o wartości 1 N, a na prawą masę siła o takim samym kierunku i zwrocie, ale o wartości 2 N. W jakiej odległości od środka masy tego układu znajduje się jego środek ciężkości. Wynik podaj z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.



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

Odp: Środek ciężkości układu jest przesunięty, względem jego środka masy, o $r_w =$

m w kierunku prawej masy, na którą działa większa siła grawitacji.

Dla nauczyciela

Konspekt (scenariusz) lekcji

Imię i nazwisko autora:	Dariusz Aksamit
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Środek masy a środek sił
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	Cele kształcenia – wymagania ogólne II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych. Zakres rozszerzony Treści nauczania – wymagania szczegółowe I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. III. Mechanika bryły sztywnej. Uczeń: 3) stosuje warunki statyki bryły sztywnej; posługuje się pojęciem momentu sił wraz z jednostką.
Kształtowane kompetencje kluczowe:	Zalecenia 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. rozróżnia jednorodne i niejednorodne pola grawitacyjne, 2. wyjaśnia pojęcia środka masy i środka ciężkości, 3. ilustruje pojęcia środka masy i środka ciężkości na przykładach.

Strategie i metody nauczania:	odwrócona klasa (flipped classroom)
Formy zajęć:	- praca indywidualna, - dyskusja grupowa.
Środki dydaktyczne:	komputer z dostępem do Internetu i projektorem multimedialnym
Materiały pomocnicze	e-materiały pt. Iloczyn wektorowy, Jak definiuje się moment siły? Jak wyznaczyć moment siły?
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel prosi wcześniej uczniów o wysłuchanie audiobooka z niniejszego e-materiału. Rozpoczynając lekcję nauczyciel pyta uczniów, jaka jest różnica między środkiem masy i środkiem ciężkości. Po dyskusji w klasie nauczyciel prezentuje na ekranie obiekt w jednorodnym i niejednorodnym polu grawitacyjnym i prosi ochotnika o zaznaczenie w obu wypadkach położenia środka masy i środka ciężkości. Nauczyciel może posłużyć się w tym miejscu zadaniami numer 5 i 6 z niniejszego e-materiału.	
Faza realizacyjna:	
Nauczyciel zaznacza, że opisane zależności nie dotyczą wyłącznie sił w polu grawitacyjnym. Nauczyciel pyta uczniów, gdzie można spotkać inne przypadki jednorodnych i niejednorodnych pól sił (elektrycznych, magnetycznych, grawitacyjnych). Nauczyciel prosi ochotnika o rozwiązanie zadania numer 8 z niniejszego e-materiału, pomagając mu zaprezentować prawidłowy wynik na tablicy.	
Faza podsumowująca:	
W podsumowaniu nauczyciel zwraca uwagę na to, że ziemskie pole grawitacyjne nigdzie nie jest jednorodne – że posługiwanie się stałą fizyczną g jest przybliżeniem. Zachęteni przez nauczyciela uczniowie podają przykłady sytuacji, kiedy można, a kiedy nie należy stosować tego przybliżenia. Nauczyciel prowadzi dyskusję na temat stosowania przybliżeń w fizyce.	
Praca domowa:	
Uczniowie już poświęcili czas na przygotowanie do lekcji w ramach odwróconej klasy, więc praca domowa w tym wypadku nie powinna być obowiązkowa. Nauczyciel powinien jednak zachęcić uczniów do przejrzenia nierozwiązanych zadań z części „Sprawdź się” tego e-materiału.	

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedia:	Multimedia (w formie audiobooku) można wykorzystać w fazie wprowadzającej lekcji, jako punkt wyjścia do dyskusji. Tak, jak zaproponowano w tym scenariuszu nauczyciel może zlecić uczniom, by wysłuchali ten audiobook przed lekcją.
---	---