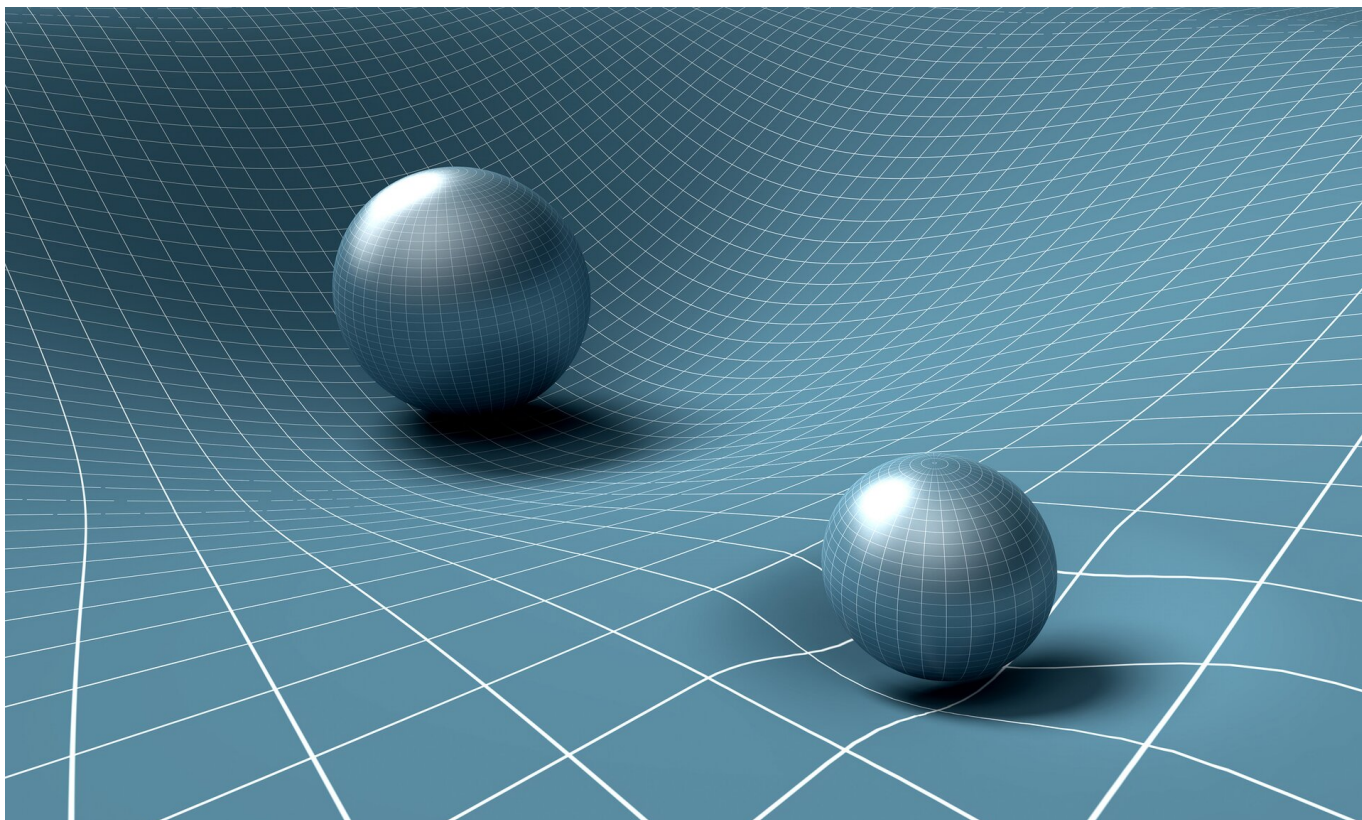




Jaki jakościowy wpływ ma siła grawitacji planet na ruch ich księżyców?

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

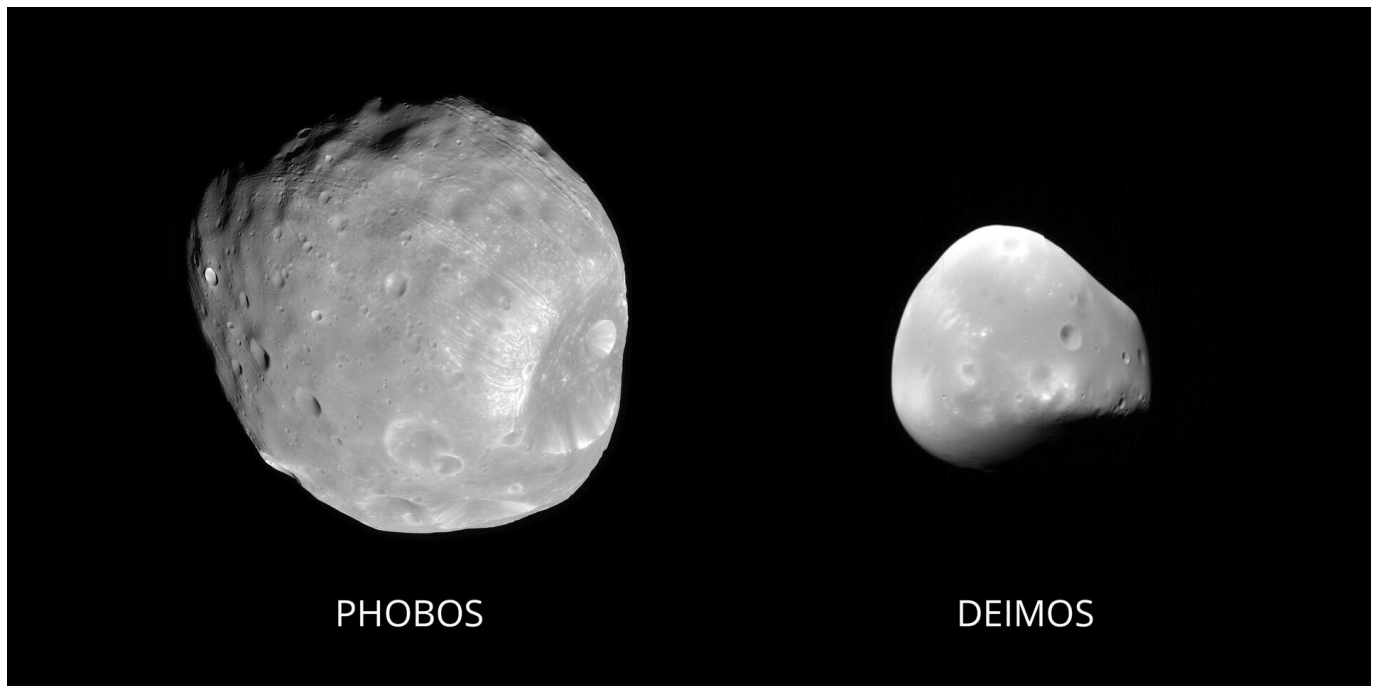
The image shows two blue spheres with a grid pattern, representing celestial bodies, on a blue background with a white grid that is warped into a funnel shape, illustrating the concept of gravity. A dark blue rectangular box with white text is overlaid on the image.

Jaki jakościowy wpływ ma siła grawitacji planet na ruch ich księżyców?

Źródło: dostępny w internecie: <https://www.istockphoto.com/pl/zdj%C4%99cie/kula-jest-wp%C5%82yw-na-przestrzeni-wok%C3%B3%C5%82-czas-gm508460520-85277025> [dostęp 9.01.2020], iStockphoto, tylko do użytku edukacyjnego na zpe.gov.pl.

Czy to nie ciekawe?

Dwa niewielkie księżyce Marsa, Phobos i Deimos, poruszają się wokół planety po orbitach, które mogą stanowić ilustrację możliwych orbit księżyców w Układzie Słonecznym. Orbita Deimosa jest prawie idealnie kołowa, a Phobosa - eliptyczna. Jak wpływa siła grawitacji Marsa na ruch księżyców? Przeanalizujemy to e-materiał, który zaczynasz czytać.



Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phobos_colour_2008.jpg [dostęp 21.04.2022],
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deimos-MRO.jpg> [dostęp 21.04.2022], domena publiczna.

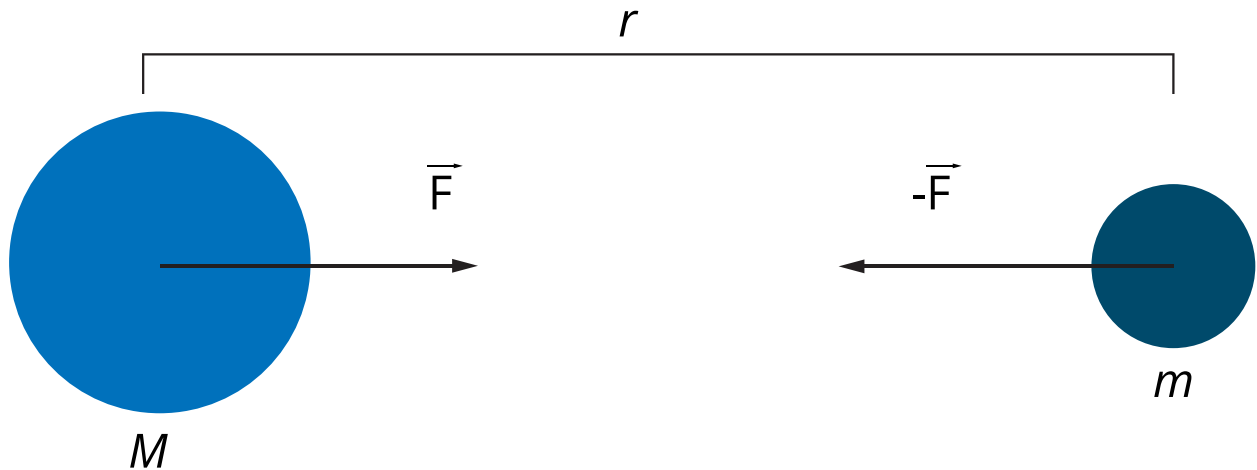
Twoje cele

- Dowiesz się, że ruch księżyca wokół planety odbywa się pod wpływem siły grawitacji, która jest siłą centralną.
- Przeanalizujesz skutki działania składowych siły grawitacji stycznej i prostopadłej do toru księżyca.
- Zrozumiesz, że moment siły grawitacji działającej na księżyc równy jest zeru i dlatego zachowany jest moment pędu księżyca.
- Przeanalizujesz zmiany prędkości księżyca wraz odległością od planety, wynikające z zasady zachowania momentu pędu.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Wszystkie ciała Układu Słonecznego związane są siłą grawitacji. Jest to siła przyciągająca, która oddziałuje między każdą parą ciał obdarzonych masą (Rys. 1.).



Rys. 1. Siły grawitacji między dwoma ciałami są równe co do wartości i przeciwnie skierowane.

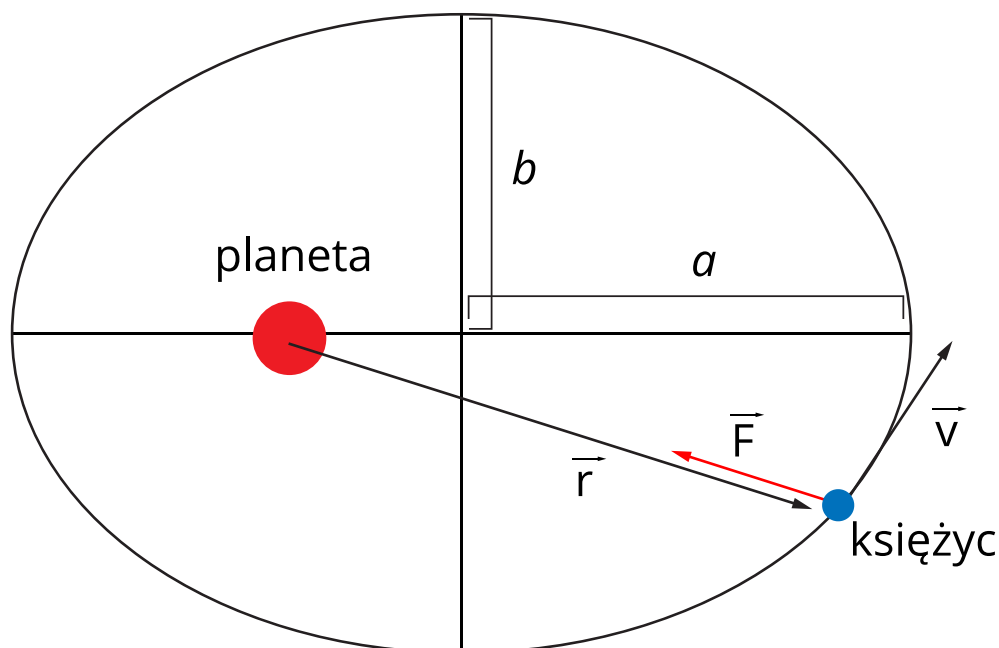
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Zgodnie z prawem powszechnego ciążenia Newtona, wartość siły grawitacji jest wprost proporcjonalna do mas obu ciał M i m , a odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości między ich środkami r :

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

gdzie $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ jest stałą grawitacji.

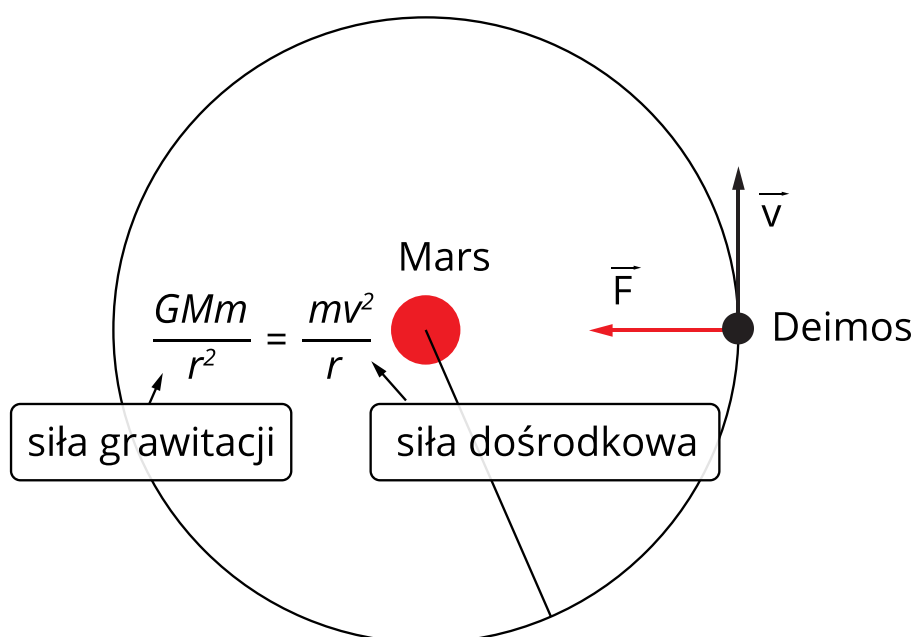
Siła grawitacji jest siłą centralną, co oznacza, że działa wzdłuż prostej łączącej środki ciał. W polu sił centralnych swobodny ruch ciał odbywa się po orbitach eliptycznych, a przy większych energiach kinetycznych również po orbitach parabolicznych i hiperbolicznych. Wszystkie planety okrążają Słońce po orbitach eliptycznych. Również po orbitach eliptycznych poruszają się księżyce wokół planet (Rys. 2.). Planeta znajduje się w ognisku elipsy, a kształt elipsy wyznaczają: półoś wielka a i półoś mała b .



Rys. 2. Księżyc porusza się po eliptycznej orbicie wokół planety pod wpływem centralnej siły grawitacji $\vec{F}$. Planeta znajduje się w ognisku elipsy, zaznaczone są półosie: wielka a i mała b .

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

Szczególnym przypadkiem elipsy jest okrąg, dla którego półosie wielka i mała mają jednakową długość. Po takiej właśnie orbicie porusza się księżyc Marsa Deimos (Rys. 3.).



Rys. 3. Orbita Deimosa, księżyc Marsa, jest prawie idealnym okręgiem.

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

Siła grawitacji $\vec{F}$ w każdym punkcie orbity jest prostopadła do wektora prędkości $\vec{v}$ i pełni rolę siły dośrodkowej, która zmienia kierunek wektora prędkości. Wartość prędkości pozostaje stała. Można ją wyznaczyć z równania:

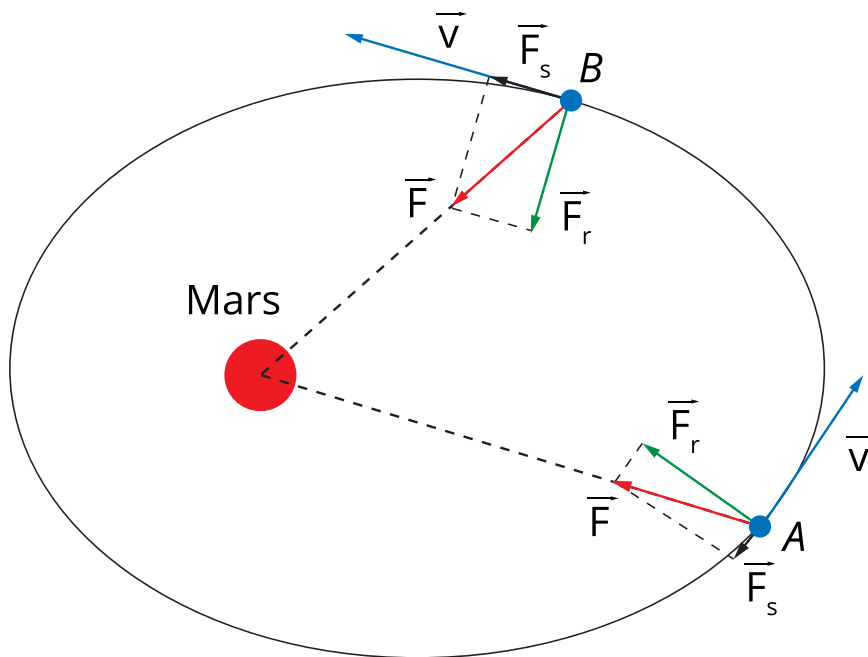
$$\text{siła grawitacji} \rightarrow \frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \leftarrow \text{siła dośrodkowa}$$

Po przekształceniach otrzymujemy:

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Prędkość satelity nie zależy od jego masy, a tylko od masy M planety, będącej źródłem pola grawitacyjnego i od promienia r orbity. Z taką samą prędkością porusza się po określonej orbicie kołowej zarówno masywny księżyc, jak i najdrobniejszy okrusek skalny.

Drugi księżyc Marsa, Phobos, porusza się po orbicie eliptycznej (Rys. 4.). W tym przypadku siła grawitacji nie jest w każdym punkcie prostopadła do wektora prędkości. W punkcie A na Rys. 4. wektory te tworzą kąt rozwarty, a w punkcie B – kąt ostry. Siłę grawitacji możemy rozłożyć na dwie składowe: prostopadłą $\vec{F}_r$ i równoległą $\vec{F}_s$ do wektora prędkości. Składowa prostopadła do wektora prędkości spełnia rolę siły dośrodkowej i zmienia jego kierunek, natomiast składowa równoległa, zmienia wartość wektora prędkości.



Rys. 4. Składowa siły grawitacji prostopadła do wektora prędkości, $\vec{F}_r$, zmienia kierunek wektora prędkości, składowa równoległa do niego, $\vec{F}_s$, zmienia wartość prędkości – w punkcie A zmniejsza, a w punkcie B zwiększa tę wartość (dla przejrzystości rysunku kształt orbity został zmieniony, w rzeczywistości orbita Phobosa jest bardziej zbliżona do okręgu).

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

W punkcie A, gdzie kąt między wektorem prędkości a wektorem siły grawitacji jest większy od 90° , składowa styczna do toru ma przeciwny zwrot do wektora prędkości i nadaje księżycowi przyspieszenie ujemne (opóźnienie), czyli powoduje zmniejszanie wartości prędkości. Natomiast w punkcie B, kąt między wektorem prędkości a wektorem siły grawitacji jest mniejszy od 90° , składowa styczna do toru ma zwrot zgodny ze zwrotem

wektora prędkości i nadaje planecie przyspieszenie dodatnie, czyli powoduje zwiększanie wartości prędkości. W rezultacie, w punkcie położonym najbliżej Marsa wartość prędkości księżycy osiąga największą wartość, a w punkcie najbardziej oddalonym – najmniejszą.

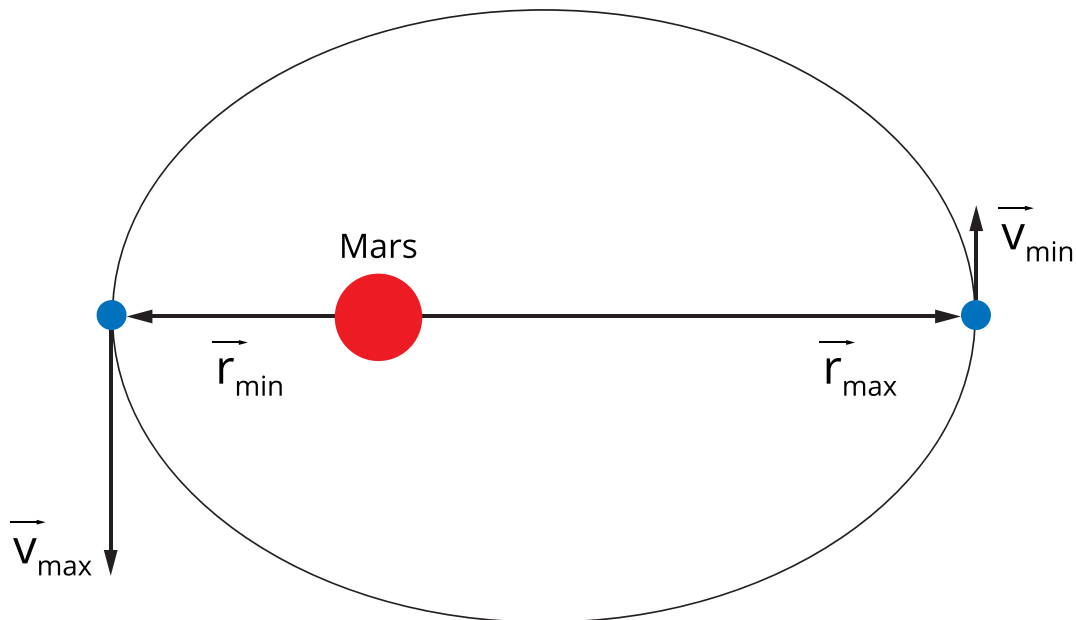
Zmiany prędkości księżycy na orbicie eliptycznej wynikają też z zasady zachowania momentu pędu, która mówi, że moment pędu ciała jest stały, jeśli nie działa na nie moment siły. Popatrz na Rys. 2. – siła grawitacji, działająca na księżyc, jest w każdym momencie skierowana wzdłuż promienia wodzącego planety. Moment siły grawitacji względem osi obrotu, zdefiniowany jako iloczyn wektorowy wektora $\vec{r}$ i wektora siły $\vec{F}$, jest więc równy zeru. Moment pędu księżycy pozostaje więc stały. Porównajmy momenty pędu, gdy księżyc znajduje się najbliżej i najdalej od planety (Rys. 5.). Wektor pędu $\vec{p} = m \vec{v}$ jest w tych punktach prostopadły do promienia wodzącego księżycy $\vec{r}$. Wartość momentu pędu można więc przedstawić jako iloczyn wartości pędu i promienia wodzącego. Przyrównując wartości momentu pędu w punktach o maksymalnej i minimalnej odległości od planety, otrzymujemy:

$$r_{min} \cdot v_{max} = r_{max} \cdot v_{min}$$

Po przekształceniach równanie to można przedstawić w postaci:

$$\frac{v_{max}}{v_{min}} = \frac{r_{max}}{r_{min}}$$

Im bardziej wydłużony kształt orbity, tym większy stosunek maksymalnej do minimalnej prędkości księżycy.



Rys. 5. Phobos porusza się najszybciej w punkcie orbity położonym najbliżej Marsa, a najwolniej w punkcie najbardziej oddalonym.

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

Często zdarza się, że orbity kołowe mają księżyce znajdujące się najbliżej planety, a eliptyczne – księżyce położone dalej (choć nie jest to regułą). Przykładem jest Neptun – najdalej położona od Słońca planeta, który ma 14 dotychczas odkrytych księżyców. Osiem najbliższych księżyców, w tym największy Tryton, porusza się po orbitach kołowych lub bardzo zbliżonych do okręgu. Promienie ich orbit zawierają się w przedziale od około 50 tys. km do około 350 tys. km. Natomiast dalsze księżyce poruszają się po orbitach eliptycznych o półosiach wielkich od około 5500 tys. km do ponad 48000 tys. km. Dziewiąty księżyc pod względem odległości od planety, Nereida, krąży po orbicie o kształcie najbardziej wydłużonej elipsy spośród wszystkich znanych satelitów w Układzie Słonecznym. Odległość Nereidy od Neptuna zmienia się od 1,37 do 9,65 miliona kilometrów, czyli ponad siedmiokrotnie. Tyle samo razy jego największa prędkość orbitalna przewyższa najmniejszą prędkość. Niezwykłość orbity Nereidy nasuwa podejrzenie, że może ona być przechwyconą przez Neptuna **planetoidą**.

Słowniczek

Planetoida

(ang.: *minor planet*) – ciało niebieskie o rozmiarach od kilku metrów do ponad 1000 km, obiegające Słońce i posiadające stałą powierzchnię skalną lub lodową.

Perygeum

(ang. *perigee*) – punkt orbity okołozemskiej, który znajduje się najbliżej Ziemi.

Apogeum

(ang. *apogee*) – punkt orbity okołozemskiej, który znajduje się najdalej od Ziemi.

Symulacja interaktywna

Jaki jakościowy wpływ ma siła grawitacji planet na ruch ich księżyców?

Symulacja przedstawia księżyc krążący wokół planety po orbicie kołowej lub eliptycznej. Zaznaczono siłę grawitacji $\vec{F}$, rozłożoną na 2 składowe: styczną $\vec{F}_s$ i prostopadłą do toru $\vec{F}_r$ oraz wektor prędkości księżyca.

Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.



Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/D12mWU2WN>

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

Polecenie 1

Wyjaśnij, kiedy prędkość księżyca na orbicie wokół planety jest stała, a kiedy zmienia się podczas ruchu.

Polecenie 2

Wyjaśnij, jakie efekty wywołuje składowa siły grawitacji prostopadła do wektora prędkości, a jakie składowa równoległa do wektora prędkości księżyca poruszającego się po orbicie eliptycznej.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Uzupełnij zdanie:

Zmiana prędkości księżycy poruszającego się wokół planety po orbicie eliptycznej jest konsekwencją zasady zachowania (pędu ☐ / momentu pędu ☐).

Ćwiczenie 2



Wybierz wszystkie prawdziwe stwierdzenia:

☐

Gdy księżyc okrąży planetę po orbicie eliptycznej, składowa siły grawitacji równoległa do wektora prędkości powoduje zwiększanie lub zmniejszanie prędkości księżycy.

☐

Gdy księżyc okrąży planetę po orbicie kołowej, składowa siły grawitacji równoległa do wektora prędkości jest w każdym punkcie orbity równa zero.

☐

Gdy księżyc okrąży planetę po orbicie eliptycznej, składowa siły grawitacji równoległa do wektora prędkości jest w każdym punkcie orbity równa zero.

☐

Gdy księżyc okrąży planetę po orbicie kołowej, składowa siły grawitacji równoległa do wektora prędkości jest w każdym punkcie orbity większa od zera.

Ćwiczenie 3



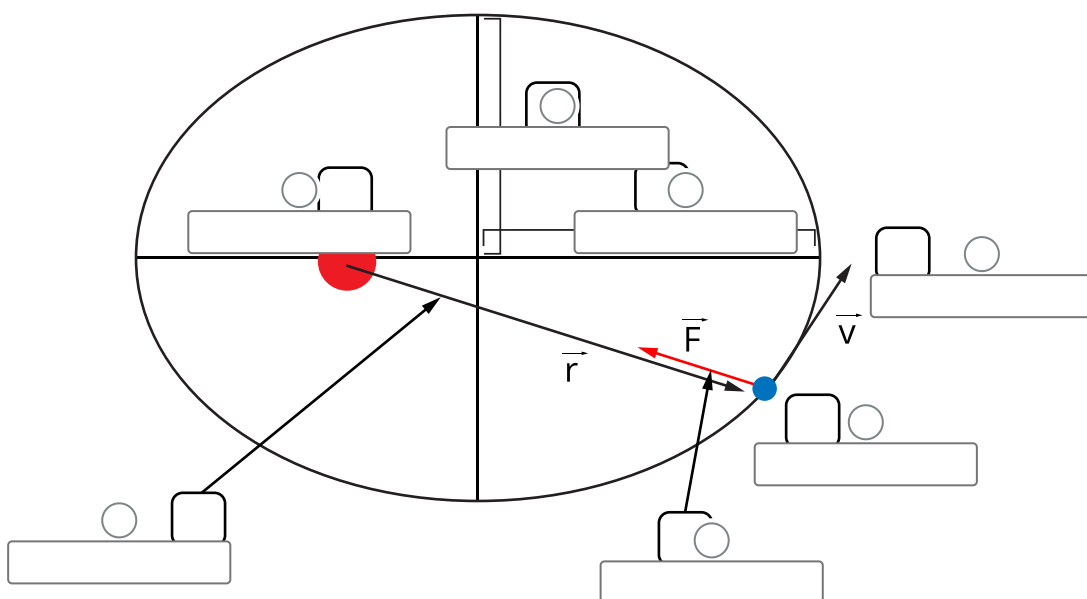
Saturn, oprócz wielu księżyców, posiada też pierścienie, które składają się z drobnych cząstek lodu i skał, krążących wokół niego. Wybierz prawdziwe stwierdzenie:

- ☐ Prędkości skał o różnych masach, poruszających się po jednakowej orbicie, są odwrotnie proporcjonalne do ich mas.
- ☐ Skały o różnych masach, poruszające się po jednakowej orbicie, mają w tych samych punktach jednakowe prędkości.

Ćwiczenie 4



Rysunek przedstawia orbitę eliptyczną, po której księżyc porusza się wokół planety. Wstaw podpisy na rysunku.



półoś wielka

półoś mała

promień wodzący księżyc

wektor siły grawitacji

księżyc

planeta

wektor prędkości

Ćwiczenie 5



Połącz wyrażenia z obu kolumn tabeli, aby otrzymać prawdziwe stwierdzenia:

Gdy księżyc porusza się wokół planety po orbicie eliptycznej,...

wartość jego prędkości jest stała.

Gdy księżyc porusza się wokół planety po orbicie kołowej,...

wartość jego prędkości jest najmniejsza.

Gdy księżyc podczas ruchu po orbicie eliptycznej znajduje się w najmniejszej odległości od planety...

wartość jego prędkości jest największa.

Gdy księżyc podczas ruchu po orbicie eliptycznej znajduje się w największej odległości od planety...

jego prędkość jest różna w różnych punktach orbity.

Ćwiczenie 6



Ziemi Księżyc porusza się po orbicie eliptycznej. Odległość Księżyca od Ziemi zmienia się od 363,3 tys. km (perygeum) do 405,5 tys. km (apogeum). Oblicz stosunek prędkości Księżyca w punkcie najbliższym i najdalszym od Ziemi, $\frac{v_1}{v_2}$. Podaj 4 cyfry znaczące.

Odpowiedź: $\frac{v_1}{v_2} =$

Ćwiczenie 7



Sykoraks, największy nieregularny, zewnętrzny księżyc planety Uran, porusza się po silnie wydłużonej orbicie eliptycznej. Jego maksymalna prędkość orbitalna jest 3,2 razy większa niż prędkość minimalna. Oblicz maksymalną odległość Sykoraksa od planety, jeśli najmniejsza odległość wynosi 5820 tys. km.

Odpowiedź: Maksymalna odległość Sykoraksa od Urana wynosi tys. km.

Ćwiczenie 8



Zgodnie z zasadą zachowania energii, energia kinetyczna ciała zmienia się, gdy siły działające na ciało wykonają pracę równą zmianie energii kinetycznej. Wyjaśnij, posługując się zasadą zachowania energii, dlaczego prędkość satelity na orbicie kołowej jest > stała.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Krystyna Wosińska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	Jaki jakościowy wpływ ma siła grawitacji planet na ruch ich księżyców?
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: 6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 3) analizuje jakościowo wpływ siły grawitacji Słońca na niejednostajny ruch planet po orbitach eliptycznych i siły grawitacji planet na ruch ich księżyców.
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. wyjaśni, że ruch księżyca wokół planety odbywa się pod wpływem siły grawitacji, która jest siłą centralną, 2. przeanalizuje skutki działania składowych siły grawitacji stycznej i prostopadłej do toru księżyca, 3. wyjaśni, że moment siły grawitacji działającej na księżyc równy jest zeru i dlatego zachowany jest moment pędu księżyca, 4. przeanalizuje zmiany prędkości księżyca wraz odległością od planety, wynikające z zasady zachowania momentu pędu.
Strategie nauczania:	strategia eksperymentalno-obserwacyjna (dostrzeganie i definiowanie problemów)
Metody nauczania:	wykład informacyjny, pokaz multimedialny, analiza pomysłów
Formy zajęć:	praca w grupach, praca indywidualna
Środki dydaktyczne:	komputer z rzutnikiem lub tablety do dyspozycji każdego ucznia
Materiały pomocnicze:	e-materiał: „Jak definiuje się siły grawitacji?”, „Prawo powszechnego ciężenia”, „Jak wykorzystać zasadę zachowania momentu pędu w zadaniach?”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Wprowadzenie, zgodnie z treścią w części pierwszej „Czy to nie ciekawe?”. Odwołanie do wiedzy uczniów o sile grawitacji.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie przypominają prawo powszechnego ciążenia. Nauczyciel tłumaczy, że siła grawitacji jest siłą centralną, co oznacza, że działa wzdłuż prostej łączącej środki ciał, a swobodny ruch ciał w polu siły grawitacji odbywa się po orbitach eliptycznych. Następnie wyjaśnia, czym jest elipsa, definiując jej półoś wielką i małą. Rysuje na tablicy orbitę kołową księżyca, jako szczególny przypadek elipsy. Uczniowie dodają do rysunku wektor siły grawitacji działającej na księżyc i zastanawiają się, jaki jest skutek działania tej siły, dochodząc do wniosku, że jest to siła dośrodkowa, zmieniająca kierunek prędkości, przy zachowaniu stałej wartości prędkości. Uczniowie w grupach wyprowadzają wzór na prędkość księżyca na orbicie kołowej w zależności od masy planety i promienia orbity.

Następnie nauczyciel omawia orbitę eliptyczną z planetą w jednym z ognisk i rysuje taką orbitę na tablicy. Uczniowie dodają do rysunku na tablicy wektor siły grawitacji, działającej na księżyc w różnych punktach orbity i rozkładają go na składową styczną i prostopadłą do toru. Następnie, w dyskusji, uczniowie ustalają, jaki jest skutek działania obu składowych: prostopadła zmienia kierunek prędkości (jest siłą dośrodkową), a styczna zmienia wartość prędkości. Następnie uczniowie analizują ruch księżyca w różnych punktach orbity i dochodzą do wniosku, że w punkcie orbity najbliższym planety, wartość prędkości jest największa, a w punkcie najbardziej oddalonym - najmniejsza. Następnie uczniowie przypominają zasadę zachowania momentu pędu i wspólnie z nauczycielem analizują, czy ta zasada jest spełniona dla księżyca na orbicie wokół planety. Uzasadniają, dlaczego moment siły grawitacji równy jest zero i dochodzą do wniosku, że moment pędu księżyca jest zachowany, więc prędkość musi się zmieniać wraz z odległością od planety.

Faza podsumowująca:

Uczniowie oglądają animację i odpowiadają na pytania w niej zawarte.

Praca domowa:

Zadania z zestawu ćwiczeń: 1 - 3 obowiązkowo, do wyboru jedno z pozostałych zadań.

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Animacja może też być wykorzystana przez uczniów po lekcji, do powtórzenia i utrwalenia materiału.