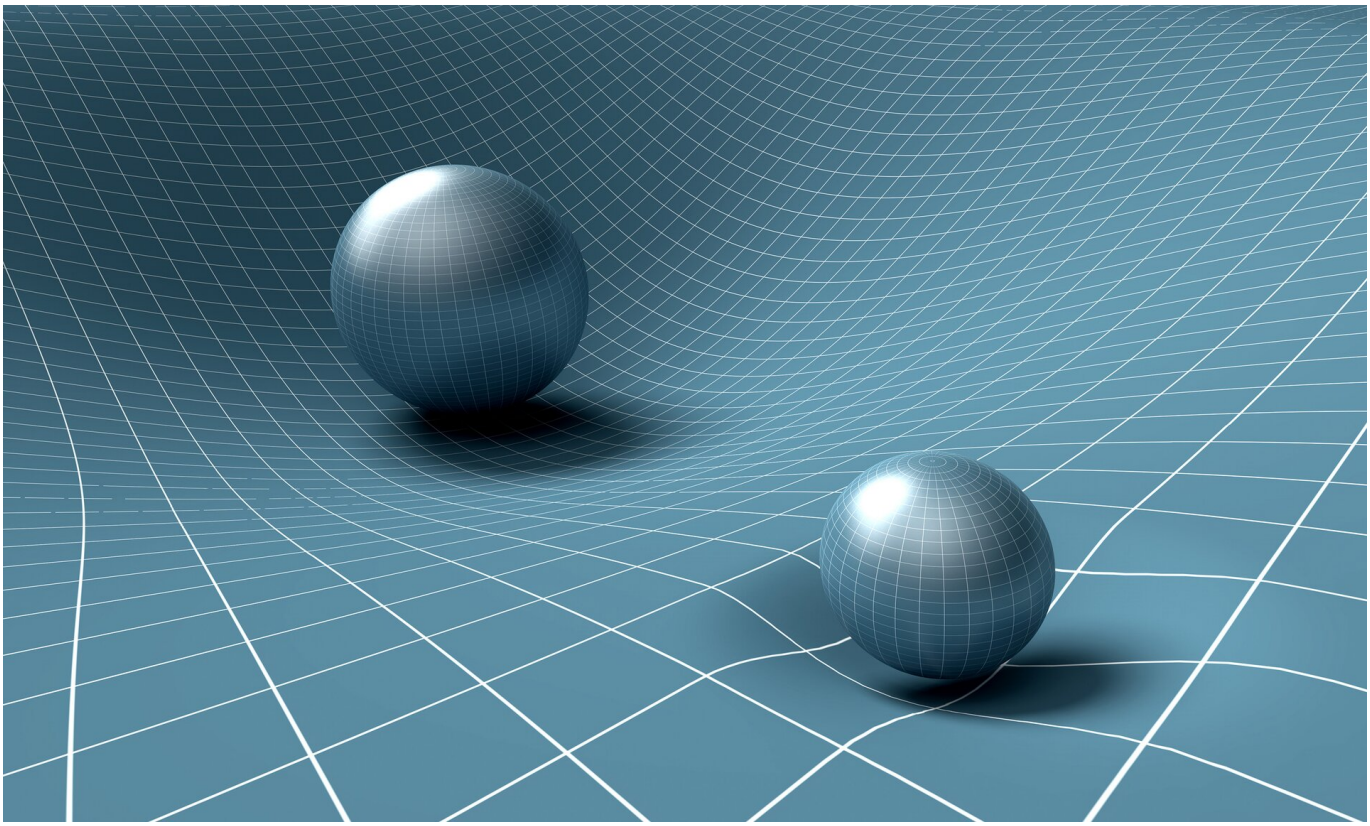


Przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni różnych planet

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

Czy to nie ciekawe?

Ciała spadając z pewnej wysokości zwiększają swoją prędkość – poruszają się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem zależnym od tego, na jakiej planecie się znajdują. Jak wygląda ta zależność? O tym w niniejszym materiale.

> **Twoje cele**
>
> Zapoznanie się z treścią materiału sprawi, że:
>
> - dowiesz się, od czego zależy przyspieszenie grawitacyjne,
> - przeanalizujesz, jak zmienia się przyspieszenie grawitacyjne planet,
> - obliczysz, jakie wartości przyjmuje przyspieszenie grawitacyjne w przypadku poszczególnych planet Układu Słonecznego.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Wiesz, że wartość siły grawitacji działającej na ciało znajdujące się w pobliżu powierzchni Ziemi wyraża się wzorem:

$$F_g = mg$$

gdzie m - masa ciała, g = 9,81 m/s^2 - przyspieszenie ziemskie. Znasz też prawo powszechnego ciążenia, zgodnie z którym wartość siły grawitacji działającej na ciało o masie m znajdujące się na powierzchni planety o masie M i promieniu R wyraża się wzorem:

$$F_g = G\frac{Mm}{R^2}$$

Porównując te zależności

$$mg = G\frac{Mm}{R^2}$$

otrzymujemy zależność na przyspieszenie ziemskie:

$$g = G\frac{M}{R^2}$$

gdzie G - stała grawitacji, M - masa Ziemi, a R - jej promień. Możesz sprawdzić, że po wstawieniu odpowiednich wartości otrzymasz znaną wartość przyspieszenia ziemskiego - około 9,81 m/s^2. Z takim przyspieszeniem spada swobodnie skoczek spadochronowy w początkowej fazie skoku (Rys. 1.).

Rys. 1. Skoczek spadochronowy w początkowej fazie skoku.

Źródło: dostępny w internecie: https://www.stockvault.net/photo/205959/professional-skydivers [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Podobnie przyspieszenie, z jakim spada ciało w pobliżu powierzchni dowolnej planety, można też wyznaczyć korzystając ze wzoru:

$$a = G\frac{M}{R^2}$$

gdzie:

a – przyspieszenie grawitacyjne [m/s^2],

G – uniwersalna stała grawitacyjna $\left[6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{s}^2}\right]$,

M – masa planety [kg],

R – odległość ciała od środka planety będąca de facto promieniem tej planety [m].

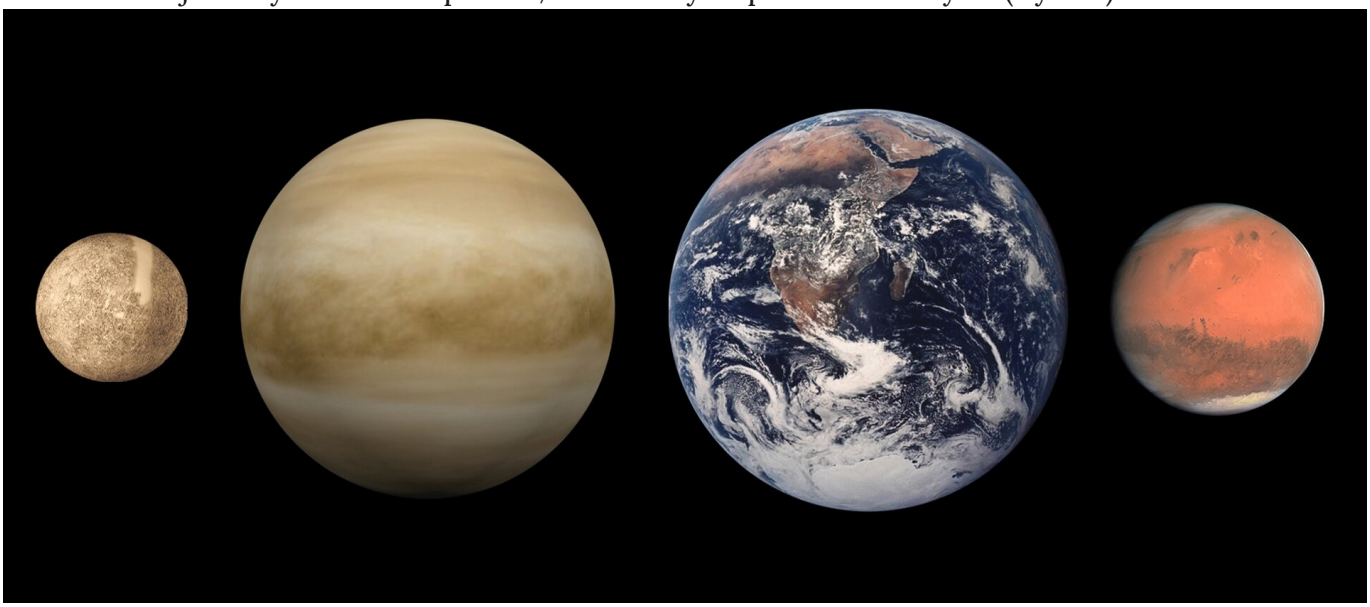
Podstawiając promień i masę planety do powyższego wzoru możemy obliczyć, z jakim przyspieszeniem spadałoby upuszczone swobodnie przy powierzchni planety ciało.

Planeta	**masa [$\times 10^{23}$ kg]**	**promień [km]**
Merkury	3,3	2 439
Wenus	48,7	6 052
Ziemia	59,7	6 371

Mars	6,4	3 390
Jowisz	18 981,9	69 911
Saturn	5 685,2	58 232
Uran	868,4	25 900
Neptun	1 024,4	24 750

Tab. 1. Zestawienie mas i promieni planet Układu Słonecznego

Zacznijmy od obliczenia i analizy wartości przyspieszeń grawitacyjnych na powierzchni czterech najbliższych Słońcu planet, tak zwanych planet skalistych (Rys. 2.).



Rys. 2. Wygląd z zachowaną skalą rozmiarów planet skalistych Układu Słonecznego. Od lewej: Merkury, Wenus, Ziemia, Mars.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Terrestrial_planet_size_comparisons.jpg [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Po wstawieniu danych z Tabeli. 1. otrzymujemy następujące wartości przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni tych planet:

- Merkury:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{3,3 \cdot 10^{23} \ \mathrm{kg}}{\left(2439 \cdot 10^3 \ \mathrm{m}\right)^2} \approx 3,7 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Wenus:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11} \ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{48,7 \cdot 10^{23} \ \mathrm{kg}}{\left(6052 \cdot 10^3 \ \mathrm{m}\right)^2} \approx 8,9 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Ziemia:

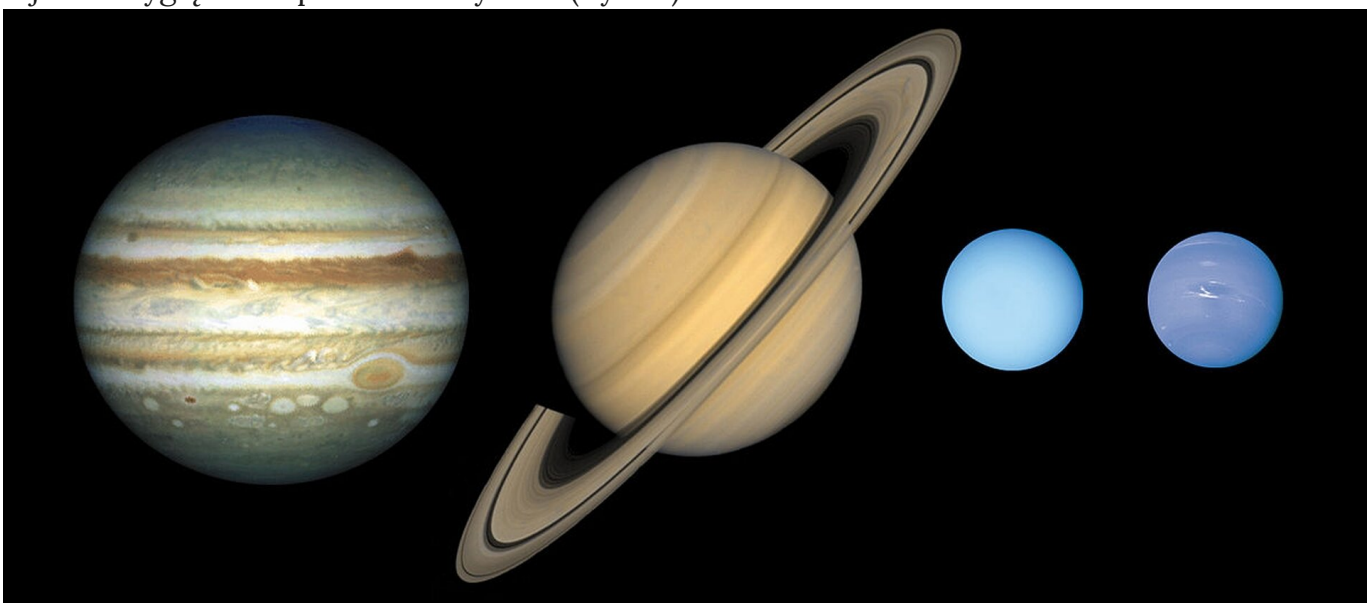
$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{59,7 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(6371 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 9,8\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Mars:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{6,4 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(390 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 3,7\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Zauważmy, że przybliżone wartości przyspieszeń grawitacyjnych na powierzchni Merkurego i Marsa są sobie równe i około dwa razy mniejsze od przyspieszenia ziemskiego. Z kolei przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni Wenus jest tylko o 0,9 $\mathrm{m/s^2}$ mniejsze od ziemskiego.

A jak to wygląda dla planet olbrzymów (Rys. 3.)?



Rys. 3. Cztery gazowe olbrzymy Układu Słonecznego w jednakowej skali. Od lewej: Jowisz, Saturn, Uran, Neptun.

Źródło: dostępny w internecie: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gas_planet_size_comparisons.jpg?uselang=pl [dostęp 18.04.2022], domena publiczna.

Przyspieszenia grawitacyjne na powierzchni tych planet wynoszą:

- Jowisz:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{18981 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(69911 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 25,9\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Saturn:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{5685,2 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(58232 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 11,2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Uran:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{868,4 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(25900 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 8,6\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

- Neptun:

$$a_g = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{kg} \cdot \mathrm{s}^2} \cdot \frac{1024,4 \cdot 10^{23}\ \mathrm{kg}}{(24750 \cdot 10^3\ \mathrm{m})^2} \approx 11,2\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$$

Zauważmy równe wartości przyspieszeń grawitacyjnych na powierzchni Saturna i Neptuna, które znacznie różnią się rozmiarami i budową wewnętrzną. (Patrz e-materiał: „Co to są gazowe olbrzymy?”.) A wartość przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni Urana niewiele różni się od przyspieszenia ziemskiego i na powierzchni Wenus.

Warto wspomnieć, że w przypadku centralnej gwiazdy naszego układu, czyli Słońca oraz planet olbrzymów – czyli obiektów niemających stałej powierzchni, dywagacje na temat swobodnego spadania są czysto teoretyczne i nieprawdopodobne, mają jedynie charakter ćwiczeniowy. Dodatkowo, w zależności od tego, czy znajdujemy się na równiku, czy na innych szerokościach geograficznych danej planety, wartość przyspieszenia grawitacyjnego będzie ulegała zmianie.

Oczywiście, obliczenia przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni planet, możemy wykonać z użyciem kalkulatora, jednak byłaby to mozolna praca. Znacznie efektywniejszym rozwiązaniem będzie skorzystanie z arkusza kalkulacyjnego. Znając dane zaprezentowane w Tab. 1., należy wprowadzić do arkusza przedstawiony powyżej wzór. Możesz to wykonać samodzielnie i sprawdzić, czy wyniki obliczeń będą takie, jak obliczone powyżej.

Słowniczek

> **Przyspieszenie grawitacyjne**
>
> (*ang.: gravitational acceleration*) – wielkość wektorowa wyrażająca zmianę prędkości ciała w jednostce czasu, wynikająca z działania na ciało przyciągania grawitacyjnego.

Symulacja interaktywna

Przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni różnych planet

Symulacja pozwoli Ci zrozumieć, jak oblicza się przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni wybranej planety. Uruchom symulację i obserwuj, jak spadają ciała na różnych planetach.

Uwaga. Praca z symulacją jest wygodniejsza po przełączeniu na widok pełnoekranowy.

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

Polecenie 1

Na której planecie przyspieszenie grawitacyjne jest najbardziej zbliżone do ziemskiego? Czy są na niej warunki korzystne do zamieszkania? Wyszukaj odpowiednie informacje w dostępnych źródłach.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Wskaż tę planetę Układu Słonecznego, na której przyspieszenie grawitacyjne przyjmuje największą wartość.

- Jowisz
- Saturn
- Neptun
- Ziemia
- Mars
- Merkury
- Wenus
- Uran

Ćwiczenie 2

Ciało spadając swobodnie przez 5 s uzyskało w momencie uderzenia o powierzchnię prędkość 44,5 m/s. Na jakiej planecie znajdowało się to ciało?

- Saturn
- Merkury
- Uran
- Neptun
- Mars
- Jowisz
- Wenus
- Ziemia

Ćwiczenie 3

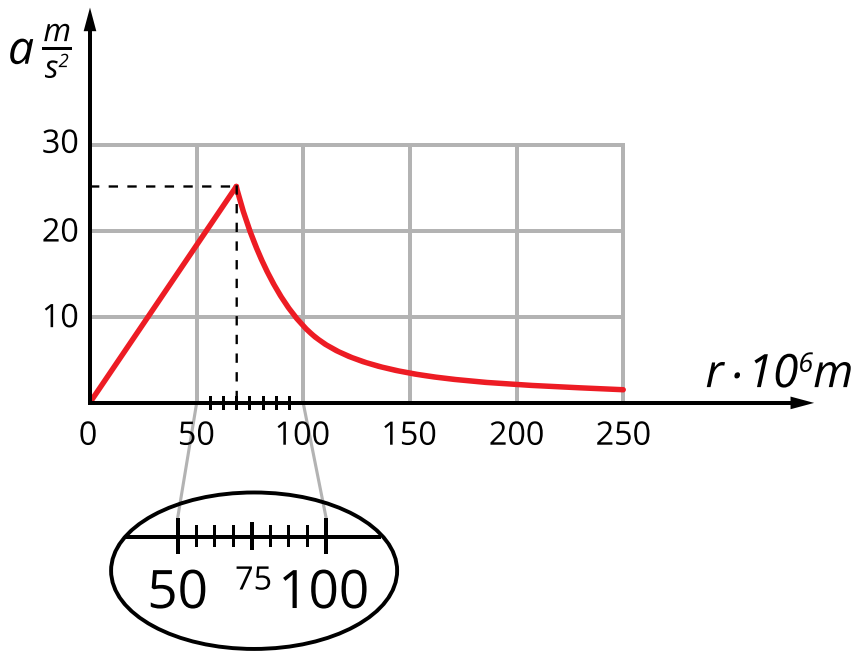
Zapoznaj się z fragmentem artykułu Johna Mollego **Kolonizacja Wenus i Marsa - szanse i zagrożenia**, a następnie określ prawdziwość poniższych zdań.

Entuzjaści kolonizacji kosmosu twierdzą, że tylko międzyplanetarna ekspansja może uratować ludzkość przed zagładą. Mieszkańcy Ziemi realizują już pierwsze kroki mające na celu zbudowanie pierwszych kolonii na Marsie, lecz drugim, równie interesującym kandydatem do zamieszkania jest planeta Wenus (...) Wenus nie bez powodu określana jest jako siostra Ziemi. Obie planety posiadają zbliżone rozmiary. Przyspieszenie grawitacyjne Ziemi wynosi około 9,807 m/s^2. W przypadku Wenus jest to 8,87 m/s^2, a Marsa - tylko 3,711 m/s^2. Niski poziom grawitacji ma bardzo zły wpływ na zdrowie człowieka, powoduje między innymi choroby mięśni i kości. Jeśli ludzie chcą przeżyć na Czerwonej Planecie, muszą w jakiś sposób rozwiązać ten problem.
źródło: https://tylkonauka.pl/wiadomosc/kolonizacja-wenus-i-marsa-szanse-i-zagrozenia

	Prawda	Fałsz
Przyspieszenie grawitacyjne na Marsie jest większe od przyspieszenia ziemskiego.	○	○
Przyspieszenie grawitacyjne na Wenus stanowi około 90% wartości przyspieszenia ziemskiego.	○	○
Niska grawitacja wpływa negatywnie na zdrowie człowieka.	○	○

Ćwiczenie 4

Na podstawie poniższego wykresu wyznacz masę planety, dla którego został on wykonany.



- $26 \cdot 10^{25}$ kg
- $3{,}4 \cdot 10^{25}$ kg
- $42 \cdot 10^{25}$ kg
- $177 \cdot 10^{25}$ kg

Ćwiczenie 5

Masa pewnej planety jest 25 razy mniejsza od masy Ziemi, a jej promień jest 1,5 razy mniejszy od promienia ziemskiego. Oblicz przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni tej planety przyjmując, że g = 9,81 m/s ^{2}. Wynik podaj w m/s ^{2} w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

Odp.: _____ m/s ^{2}

Ćwiczenie 6

Wiedząc, że piąty co do wielkości księżyc Urana o masie $6{,}6 \cdot 10^{19}$ kg – Miranda – ma średnicę 471 km, oblicz przyspieszenie grawitacyjne tuż przy jego powierzchni. Wynik podaj w mm/s^2 w zaokrągleniu do dwóch cyfr znaczących.

Odp. _____ mm/s^2

Ćwiczenie 7

Na powierzchni jednego z księżyców Urana – Tytanii – przyspieszenie grawitacyjne przyjmuje wartość $0{,}378\ m/s^2$. Wiedząc, że średnica tego księżyca wynosi 1578 km, oblicz jego gęstość średnią. Wynik podaj w kg/m^3 w zaokrągleniu do liczb całkowitych.

Odp: _____ kg/m^3

Ćwiczenie 8

Wyobraźmy sobie planetę, która wykonana byłaby z czystego złota o gęstości $\rho = 19{,}3\ g/cm^3$. Jaki musiałby być jej promień, aby przyspieszenie grawitacyjne miało na niej wartość równą ziemskiemu przyspieszeniu grawitacyjnemu. Przyjmij, że $g = 9{,}81\ m/s^2$, a $\pi = 3{,}14$. Wynik podaj w kilometrach w zaokrągleniu do cyfry jedności.

Odp. _____ km

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Ewelina Kędzierska
Przedmiot:	Fizyka
Temat zajęć:	**Przyspieszenie grawitacyjne na powierzchni różnych planet**
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: 7) wyodrębnia z tekstów, tabel, diagramów lub wykresów, rysunków schematycznych lub blokowych informacje kluczowe dla opisywanego zjawiska bądź problemu; przedstawia te informacje w różnych postaciach; 16) przeprowadza obliczenia i zapisuje wynik zgodnie z zasadami zaokrąglania oraz zachowaniem liczby cyfr znaczących wynikającej z dokładności pomiaru lub z danych. IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń: 2) stosuje do obliczeń związek między przyspieszeniem grawitacyjnym na powierzchni planety a jej masą i promieniem.
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. poda, od czego zależy przyspieszenie grawitacyjne. 2. przeanalizuje, jak zmienia się przyspieszenie grawitacyjne planet. 3. obliczy, jakie wartości przyjmuje przyspieszenie grawitacyjne w przypadku poszczególnych planet Układu Słonecznego.
Strategie nauczania:	IBSE
Metody nauczania:	- merytoryczna dyskusja wprowadzająca, - obserwacja, - doświadczenie, - podsumowująca rozmowa kierowana.
Formy zajęć:	- praca indywidualna, - praca w parach i w grupie.
Środki dydaktyczne:	tablica multimedialna/rzutnik
Materiały pomocnicze:	brak
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem. Nauczyciel rozpoznaje wiedzę wyjściową uczniów na temat przyspieszenia grawitacyjnego oraz nawiązuje do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej. Uczniowie przedstawiają posiadane informacje na temat pola grawitacyjnego, które poznali na poprzednich lekcjach.	
Faza realizacyjna:	

• Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu: – nauczyciel prosi uczniów o podanie wzoru na przyspieszenie grawitacyjne, wyjaśnienie symboli wielkości fizycznych oraz podanie ich jednostek, – uczniowie odpowiadają na pytania nauczyciela, prosząc o wyjaśnienie kwestii problemowych lub niezrozumiałych (jeżeli takowe są), – nauczyciel zachęca uczniów do zadawania pytań, – nauczyciel odpowiada na pytania uczniów, koryguje ich odpowiedzi, ewentualnie naprowadza na właściwy trop. • Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów: – uczniowie na podstawie informacji uzyskanych od nauczyciela rozwiązują samodzielnie zadania (mogą być to zadania zawarte w niniejszym e-materiale), – uczniowie dobierają się w pary (w przypadku licznych klas mogą to być grupy 3-4 osobowe) i sprawdzają sobie nawzajem rozwiązania zadań próbując omówić ewentualne problemy, – nauczyciel podchodzi do każdej z par i sprawdza wyniki pracy.	
Faza podsumowująca:	
Nauczyciel przeprowadza z uczniami rozmowę, podczas której omawiają rozwiązywane w trakcie lekcji zadania. Dodatkowo powinien sprowokować uczniów do wskazania problemów napotkanych w czasie samodzielnej pracy. Uczniowie odnoszą się do postawionych sobie celów lekcji, ustalają które osiągnęli, a które wymagają jeszcze pracy, jakiej i kiedy. W razie potrzeby nauczyciel dostarcza im informację zwrotną kształtującą.	
Praca domowa:	
Zadaniem uczniów jest zapoznanie się z symulacją dołączoną do niniejszego materiału w celu utrwalenia omawianych zagadnień. Dodatkowo uczniowie powinni wykonać dwa wybrane przez nauczyciela zadania rachunkowe, spośród dołączonych do materiału.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium:	Symulacja interaktywna może być wykorzystana w pracy samodzielnej ucznia na lekcji.