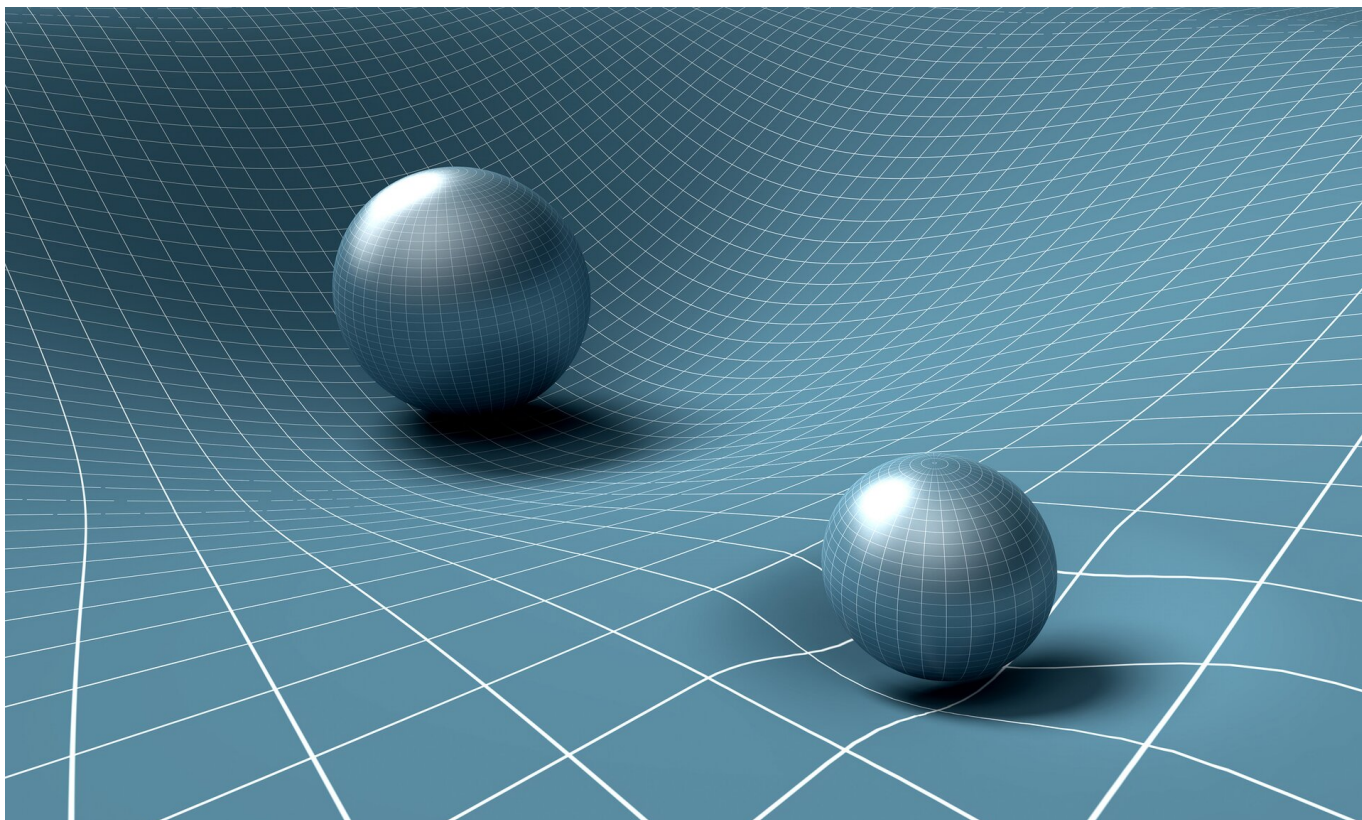
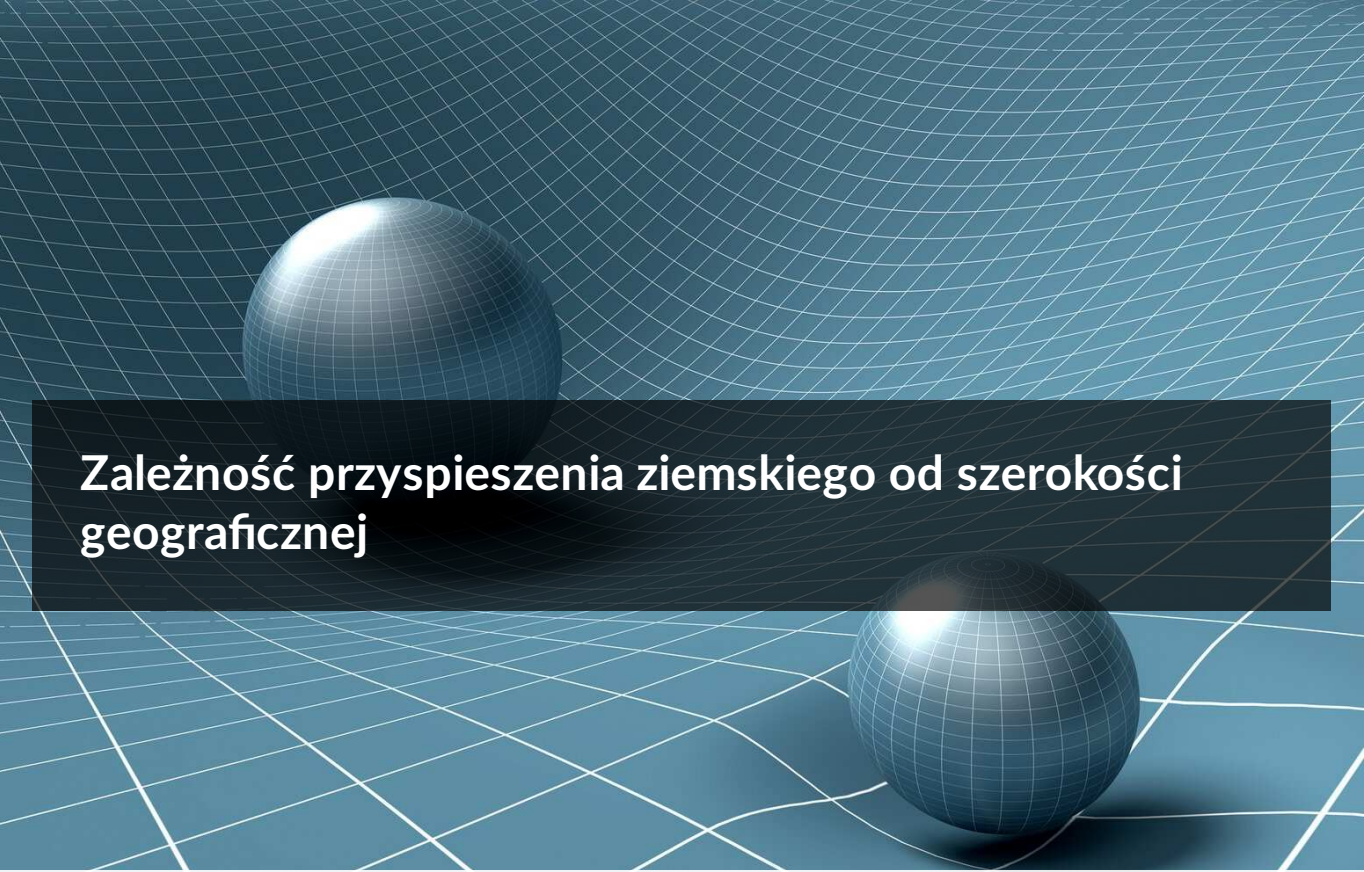




Zależność przyspieszenia ziemskiego od szerokości geograficznej

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

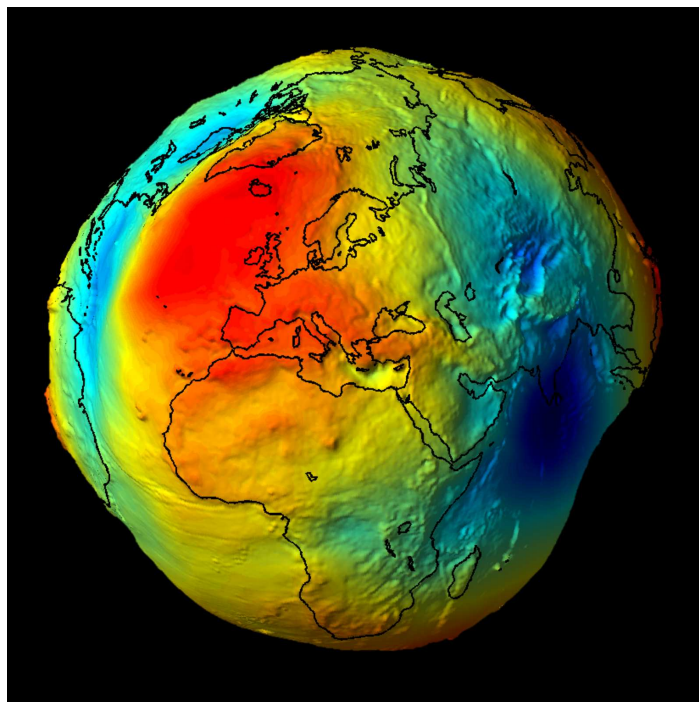
The image shows two blue spheres with a grid pattern on a blue background with a white grid. The grid is warped, curving around the spheres, which represent gravitational wells. The sphere on the left is larger and further away, while the one on the right is smaller and closer. A dark blue horizontal bar with white text is positioned between the two spheres.

Zależność przyspieszenia ziemskiego od szerokości geograficznej

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?

O oddziaływaniu grawitacyjnym możemy mówić wówczas, gdy mamy do czynienia z ciałami posiadającymi masę. Ciała takie przyciągają się wzajemnie. Im większa jest ich masa, tym siła przyciągania jest większa. To właśnie masa jest źródłem siły, której skutkiem jest ruch ciała z przyspieszeniem. Od czego to przyspieszenie zależy i czy w każdym miejscu na Ziemi jego wartość jest taka sama? Dowiesz się tego w niniejszym e-materiale.



Rys. a. Czy fakt, że Ziemia nie jest idealną kulą, ma wpływ na przyspieszenie grawitacyjne?

Źródło: dostępny w internecie: https://www.esa.int/About_Us/Exhibitions/Understanding_Climate_Change_images_texts [dostęp 18.04.2022], tylko do użytku niekomercyjnego.

Twoje cele

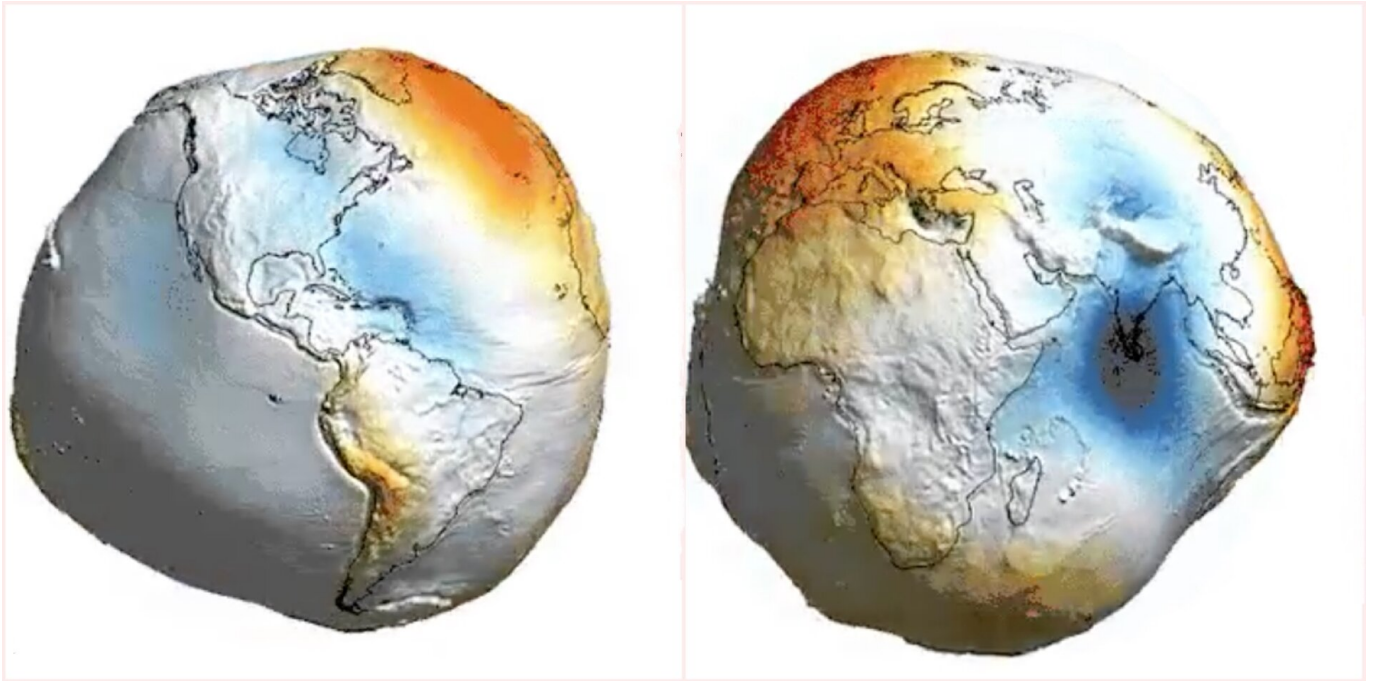
Pracując z tym e-materiałem:

- dowiesz się, od czego zależy wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego,
- przeanalizujesz zmiany wartości ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego w zależności od szerokości geograficznej,
- zrozumiesz, dlaczego na biegunie wartość przyspieszenia grawitacyjnego jest najmniejsza,
- zastosujesz poznane informacje do rozwiązania problemów praktycznych.

Przeczytaj

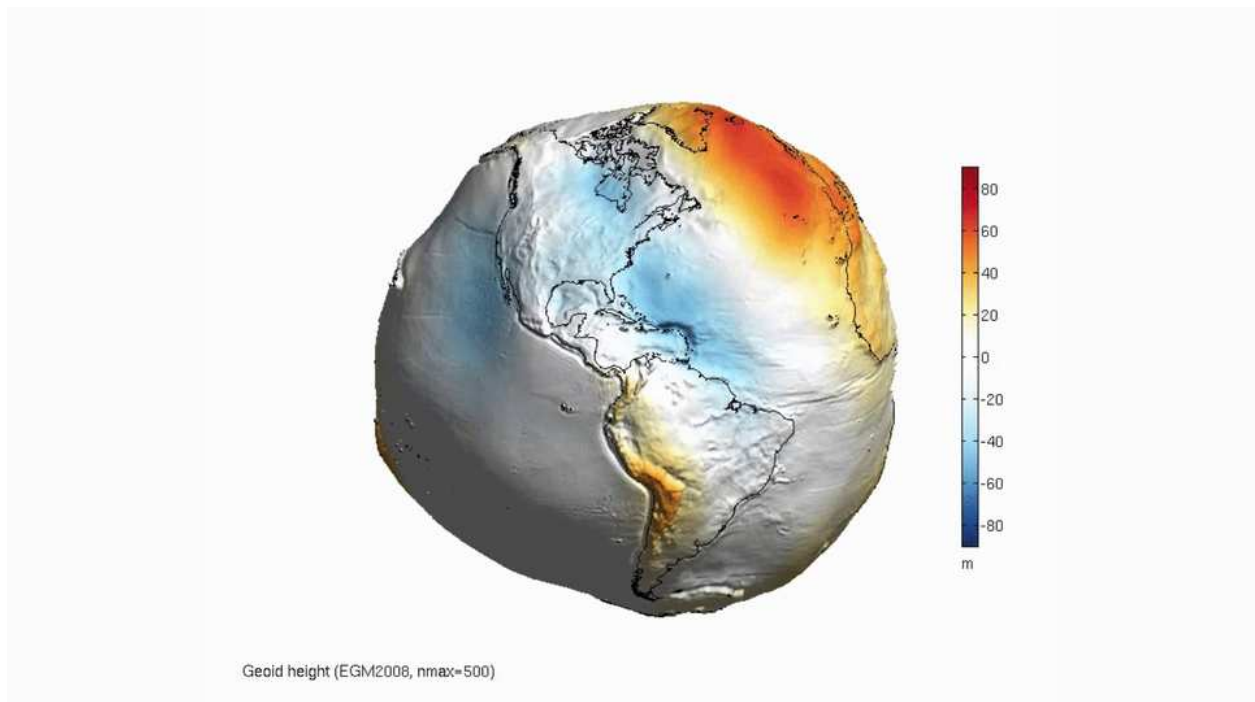
Warto przeczytać

Wartość przyspieszenia grawitacyjnego dla Ziemi podawana w tablicach stałych fizycznych wynosi $9,81 \frac{m}{s^2}$. Jest to jednak wartość uśredniona. W rzeczywistości na równiku, na biegunach, a także na różnych szerokościach geograficznych jest ona inna. Jest to związane z faktem, że Ziemia nie jest idealną kulą o jednorodnie rozłożonej masie, lecz geoidą o rozkładzie niejednorodnym.



Rys. 1-old. W rzeczywistości kula ziemską jest nieregularnym obiektem o kształcie bardziej zbliżonym do geoidy niż do idealnej kuli. Trzeba jednak podkreślić, że proporcje na tym rysunku są przejawskrawione i nie odpowiadają rzeczywistym - wzniesienia i doliny zostały przeskalowane kilka tysięcy razy. Kolorami oznaczono różnice między geoidą a idealną elipsoidą (ciepłe kolory - powyżej elipsoidy, zimne kolory - poniżej elipsoidy). Na zdjęciu - dwa ujęcia animacji 3D.

Źródło: dostępny w internecie: https://www.asu.cas.cz/~bezdek/vyzkum/rotating_3d_globe/index.php [dostęp 18.04.2022],
Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).



Film dostępny pod adresem [/preview/resource/Rm94ZoyvBxqGy](#)

Rys. 1. W rzeczywistości kula ziemiska jest nieregularnym obiektem o kształcie bardziej zbliżonym do geoidy niż do idealnej kuli. Trzeba jednak podkreślić, że proporcje w tej animacji są przejaskrawione i nie odpowiadają rzeczywistym - wzniesienia i doliny zostały przeskalowane kilka tysięcy razy. Kolorami oznaczono różnice między geoidą a idealną elipsoidą (ciepłe kolory - powyżej elipsoidy, zimne kolory - poniżej elipsoidy).

Źródło: https://www.asu.cas.cz/~bezdek/vyzkum/rotating_3d_globe/index.php, Materiał wykorzystany na podstawie art. 29 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych (prawo cytatu).

Zapoznaj się z audiodeskrypcją animacji.

To właśnie ten niejednorodny rozkład wpływa na różne wartości przyspieszenia – zależne między innymi od szerokości geograficznej, wysokości nad poziomem morza czy gęstości skał. Skąd to wynika? Bezpośrednio ze wzoru

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

gdzie:

a – przyspieszenie grawitacyjne $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$,

G – uniwersalna stała grawitacyjna równa $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$,

M – masa planety [kg],

R – odległość ciała od środka planety [m].

Jeśli w różnych miejscach naszego globu mamy do czynienia z różnymi długościami promienia, a tym samym z różnymi rozkładami masy będącej źródłem przyspieszenia, to przyjmuje ono różne wartości. Im promień jest większy (na przykład na równiku), tym przyspieszenie powinno być mniejsze. Jest to zależność kwadratowa. Wynika z tego, że wraz ze zbliżaniem się do biegunów geoidy, wartość przyspieszenia powinna maleć. Jednak to nie promień odgrywa tutaj kluczową rolę, a masa (aczkolwiek są to wartości od siebie zależne). Im masa jest większa, tym bardziej wzrasta wartość przyspieszenia.

Biorąc pod uwagę opisane powyżej czynniki oraz analizując dane pomiarowe stwierdzono, że przyspieszenie o największej wartości występuje w okolicy bieguna północnego, zaś o wartości najmniejszej – na górze Huascarán w Andach. Różnice te są jednakże niewielkie. Dodatkowo warto wiedzieć, że przyspieszenie grawitacyjne dla danej miejscowości można obliczyć korzystając z dostępnych kalkulatorów – jeden z nich dostępny jest w tym e-materiale.

Rozważmy jeszcze na związek przyspieszenia grawitacyjnego z ciężarem. Zaczniemy od definicji ciężaru – jest to wypadkowa sił działających na ciało pozbawione więzów: siły grawitacyjnej oraz siły bezwładności. Jeżeli zaniedbamy siły bezwładności, wówczas możemy stosować wzór $Q = mg$.

Przytoczony wzór pozwala nam jedynie na określenie wartości ciężaru. Jednak jest on siłą, czyli wielkością wektorową. Należy więc określić pozostałe jego cechy. Punktem przyłożenia jest oczywiście środek ciężkości ciała. Ale co z kierunkiem? Warto zauważyć, że na ciało działa siła grawitacji oraz bezwładności związana z ruchem obrotowym naszej planety. Jednakże to grawitacja odgrywa rolę dominującą. Kierunek siły bezwładności zmienia się zaś w zależności od szerokości geograficznej i tak na przykład na 45° szerokości geograficznej odchyła się ku równikowi o 6 minut kątowych od promienia Ziemi. Co zatem z naszym wzorem? Czym jest znajdujące się w nim przyspieszenie g ? Teoretycznie jest to przyspieszenie swobodnie spadającego ciała w punkcie, w którym chcemy je określić – a więc wypadkowa przyspieszenia wywołanego siłą grawitacji oraz siłami: odśrodkową i Coriolisa. Jednak okazuje się, że podstawienie takiej wartości spowodowałoby nieprawidłowe wyniki, gdyż kierunek siły ciężkości byłby różny od pionu. Z tego to powodu za wartość g przyjmuje się przyspieszenie wywoływane jedynie przez siły grawitacyjne oraz siły odśrodkowe związane z ruchem Ziemi.

Warto zastanowić się na koniec nad tym, jak duży wpływ mają wymienione wyżej czynniki na wartość przyspieszenia grawitacyjnego. Jeżeli uwzględnimy jedynie przyciąganie grawitacyjne, wówczas przyspieszenie na równiku będzie o około 0,2% mniejsze niż na biegunie. Kiedy dodatkowo uwzględnimy obrót Ziemi, to różnica ta wzrośnie do około 0,5%. Natomiast jeżeli chodzi o wpływ wysokości, to zakończymy materiał ciekawostką – przyspieszenie grawitacyjne na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS), której orbita znajduje się na wysokości około 400 kilometrów, wynosi około 90% przyspieszenia

ziemskiego. Czy jesteś w stanie powiedzieć, dlaczego w takim razie mieszkający na stacji astronauta znajdują się w stanie nieważkości?

Słowniczek

przyspieszenie grawitacyjne

(*ang.: gravitational acceleration*) wielkość wektorowa wyrażająca zmianę prędkości ciała w czasie wynikająca z działania na ciało przyciągania grawitacyjnego.

szerokość geograficzna

(*ang.: latitude*) kąt pomiędzy płaszczyzną równika a promieniem ziemskim przechodzącym przez dany punkt na powierzchni Ziemi.

geoida

(*ang.: geoid*) jest to teoretyczna powierzchnia przedstawiająca kształt Ziemi, w każdym miejscu prostopadła do pionu wyznaczanego przez siłę ciężkości (oznacza to, że geoida jest powierzchnią ekwipotencjalną dla siły ciężkości).

Symulacja interaktywna

Kalkulator przyspieszenia grawitacyjnego

Korzystając z poniższego kalkulatora możesz wyznaczyć przybliżoną wartość przyspieszenia grawitacyjnego w twojej okolicy. By to uczynić, sprawdź najpierw (na przykład w Internecie), jaka jest szerokość geograficzna interesującego cię miejsca oraz na jakiej wysokości nad poziomem morza się ono znajduje. Następnie uzupełnij odpowiednie pola w kalkulatorze i kliknij przycisk „Oblicz”. Uwaga: kalkulator wykorzystuje kropkę jako separator dziesiętny.

Szerokość geograficzna [stopnie]: 52.0144

☒ H Wysokość nad poziomem morza [m]: 120

OBLICZ RESET ?

Zasób interaktywny dostępny pod adresem <https://zpe.gov.pl/a/DK93VVqbF>

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

Polecenie 1

Jedno z dolnośląskich miast leży na szerokości geograficznej $51,6667^\circ$. Jego średnia wysokość to 77 m n.p.m. Podaj wartość przyspieszenia grawitacyjnego w tym mieście.

Polecenie 2

Czy we wszystkich miastach leżących na danej szerokości geograficznej będzie dokładnie takie samo przyspieszenie grawitacyjne? Odpowiedź uzasadnij.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:   

Ćwiczenie 1



Spośród podanych niżej wartości wybierz tę, która równa jest średniemu przyspieszeniu grawitacyjnemu dla Ziemi.

☐ $9,80265 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

☐ $9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

☐ $9,81665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

☐ żadna z powyższych

Ćwiczenie 2



Wybierz miejsce, w którym przyspieszenie grawitacyjne ma największą wartość.

☐ w pobliżu bieguna północnego

☐ w Andach

☐ na równiku

☐ na południku zero

☐ w Warszawie

☐ żadne z powyższych

Ćwiczenie 3



Przeczytaj poniższy tekst, a następnie oceń prawdziwość poniższych zdań.

Źródłem przyspieszenia ziemskiego jest masa Ziemi i istnienie tego przyspieszenia jest niezależne od faktu, czy Ziemia się obraca czy też nie. Ruch obrotowy Ziemi rzeczywiście wpływa na ruch ciał przy jej powierzchni i obserwowany jest np. jako pojawienie się tzw. siły Coriolisa (jest to przykład tzw. siły pozornej, występującej w nieinercjalnym układzie odniesienia, jakim jest obracająca się Ziemia). Jednakże sama siła Coriolisa nie jest bezpośrednio związana z masą Ziemi ani przyspieszeniem ziemskim - wielkości te nie pojawiają się we wzorze na jej wartość, który ma postać $\vec{F} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$, gdzie m oraz $\vec{v}$ to masa i prędkość rozpatrywanego obiektu, natomiast $\vec{\omega}$ to prędkość kątowna Ziemi.
Źródło: <https://zapytajfizyka.fuw.edu.pl/pytania/ile-wynosi-przyspieszenie-ziemskie/>

Występowanie przyspieszenia grawitacyjnego nie zależy od tego, czy planeta się obraca.

PRAWDA ☐

FAŁSZ ☐

Siła Coriolisa modyfikuje wartości przyspieszenia grawitacyjnego na biegunach.

PRAWDA ☐

FAŁSZ ☐

Źródłem przyspieszenia ziemskiego jest masa naszej planety.

PRAWDA ☐

FAŁSZ ☐

Ćwiczenie 4



Spośród poniższych czynników wybierz te, które mają wpływ na wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego.

☐ gęstości skał

☐ siła Coriolisa

☐ wysokość nad poziomem morza

Ćwiczenie 5



Przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

Na biegunie	9,833 321 6	Kraków	9,810 5
Na równiku	9, 780 30	Poznań	9, 812 6
Na poziomie morza 45° szer. geogr. (normalne)	9, 806 65	Warszawa	9, 812 3
Gdańsk	9, 814 5	Wrocław	9, 811 3

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

Na podstawie tabeli wskaż spośród podanych miasto w Polsce, w którym ciężar ciała o masie $m = 5 \text{ kg}$ ma największą wartość. Zastanów się, czy różnice wartości ciężaru w poszczególnych miastach Polski są istotne.

☐ Warszawa

☐ Gdańsk

☐ Kraków

☐ Wrocław

☐ Poznań

Ćwiczenie 6



W dobie Internetu dociera do nas bardzo wiele informacji, które nie zawsze są prawdziwe. Na początku warto więc ocenić słuszność przedstawianych informacji. Przed tobą dwa zdania. Wskaż zdanie fałszywe.

☐ Różnica wartości przyspieszenia grawitacyjnego na równiku i na biegunie nie jest znacząca, gdyż waha się od $9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ na biegunach do $9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ na równiku.

☐ Różnica wartości przyspieszenia grawitacyjnego na równiku i na biegunie nie jest znacząca, gdyż waha się od $9,78 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ na równiku do $9,83 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ na biegunach.

Ćwiczenie 7



Ciało upuszczone w pobliżu powierzchni Ziemi z pewnej wysokości h porusza się ruchem jednostajnie przyspieszonym z przyspieszeniem grawitacyjnym. Wiedząc, że ciało upuszczone z wysokości 44 m spadało 3 sekundy, wyznacz wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego w tym miejscu. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

$$g = \boxed{} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ćwiczenie 8



Wartość przyspieszenia grawitacyjnego można wyznaczyć używając wahadła matematycznego (czyli niewielkiej masy zawieszanej na cienkiej i nierozciągliwej nici). Mierząc jego długość l oraz okres drgań T , a następnie wykorzystując wzór:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

możemy obliczyć g .

Wiedząc, że w Krakowie, w kościele pod wezwaniem św. Piotra i Pawła, znajduje się wahadło o długości 46,5 m, masie 25 kg i okresie drgań równym 13,7 s, wyznacz wartość przyspieszenia grawitacyjnego w tym miejscu. Przyjmij $\pi \approx 3,14$. Wynik podaj z dokładnością do trzech cyfr znaczących.

$$g = \boxed{} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Ciekawostka

Otrzymany wynik jest zgodny w granicach niepewności pomiarowej z wartościami tabelarycznymi. Przy wykonywaniu tego typu doświadczeń należy uwzględnić zarówno niepewności pomiaru długości i czasu, jak również i fakt, że nie mamy do czynienia z idealnym modelem wahadła matematycznego.

Dla nauczyciela

Scenariusz lekcji:

Imię i nazwisko autora:	Ewelina Kędzierska
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	Zależność przyspieszenia ziemskiego od szerokości geograficznej i wysokości nad poziomem morza
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: 4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem; 19) wyodrębnia zjawisko z kontekstu, nazywa je oraz wskazuje czynniki istotne i nieistotne dla jego przebiegu. 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. wymienia czynniki, od których zależy wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego, 2. analizuje zmiany wartości ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego w zależności od szerokości geograficznej, 3. tłumaczy, dlaczego na biegunie wartość przyspieszenia grawitacyjnego jest najmniejsza.
Strategie nauczania:	blended-learning
Metody nauczania:	merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, rozmowa kierowana
Formy zajęć:	praca indywidualna, dyskusja grupowa
Środki dydaktyczne:	tablica multimedialna / rzutnik
Materiały pomocnicze:	tablice fizykochemiczne dla każdego ucznia
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem według rozdziału „Czy to nie ciekawe?”. Rozmawia z uczniami na temat przyspieszenia grawitacyjnego i jego wpływu na nasze życie. Można tutaj także wspomnieć o anomaliach grawitacyjnych oraz wyjaśnić ich istotę. Następnie zadaniem nauczyciela jest rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązanie do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej.	
Faza realizacyjna:	

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:

- nauczyciel rozdaje uczniom tablice fizykochemiczne,
- nauczyciel pyta uczniów, o czynniki, które ich zdaniem mają wpływ na wartość ziemskiego przyspieszenia grawitacyjnego,
- uczniowie odpowiadają na pytanie nauczyciela,
- nauczyciel omawia każdy z podanych przez uczniów czynników,
- uczniowie zadają pytania dotyczące kwestii niezrozumiałych,
- nauczyciel odpowiada na pytania uczniów.

- Kolejny etap lekcji obejmuje rekonstruowanie wiedzy uczniów:

- uczniowie wykonują zadania wskazane przez nauczyciela (mogą to być zadania dołączone do niniejszego materiału),
- nauczyciel sprawdza poprawność uczniowskich rozwiązań.

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.

Praca domowa:

W ramach pracy zdalnej z dostępnymi materiałami zadaniem uczniów jest wyselekcjonowanie kluczowych informacji i sporządzenie notatki, a także zapoznanie się z dołączoną do materiału symulacją oraz wyznaczenie – z jej użyciem – wartości przyspieszenia grawitacyjnego dla swojej miejscowości.

Osobom bardziej zainteresowanym można polecić

stronę: <https://www.isobudgets.com/how-to-calculate-local-gravity/> (Local Gravity: How to Calculate Yours in 3 Minutes)

Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium

Symulacja interaktywna może być wykorzystana do samodzielnej pracy ucznia przed lub w trakcie lekcji.