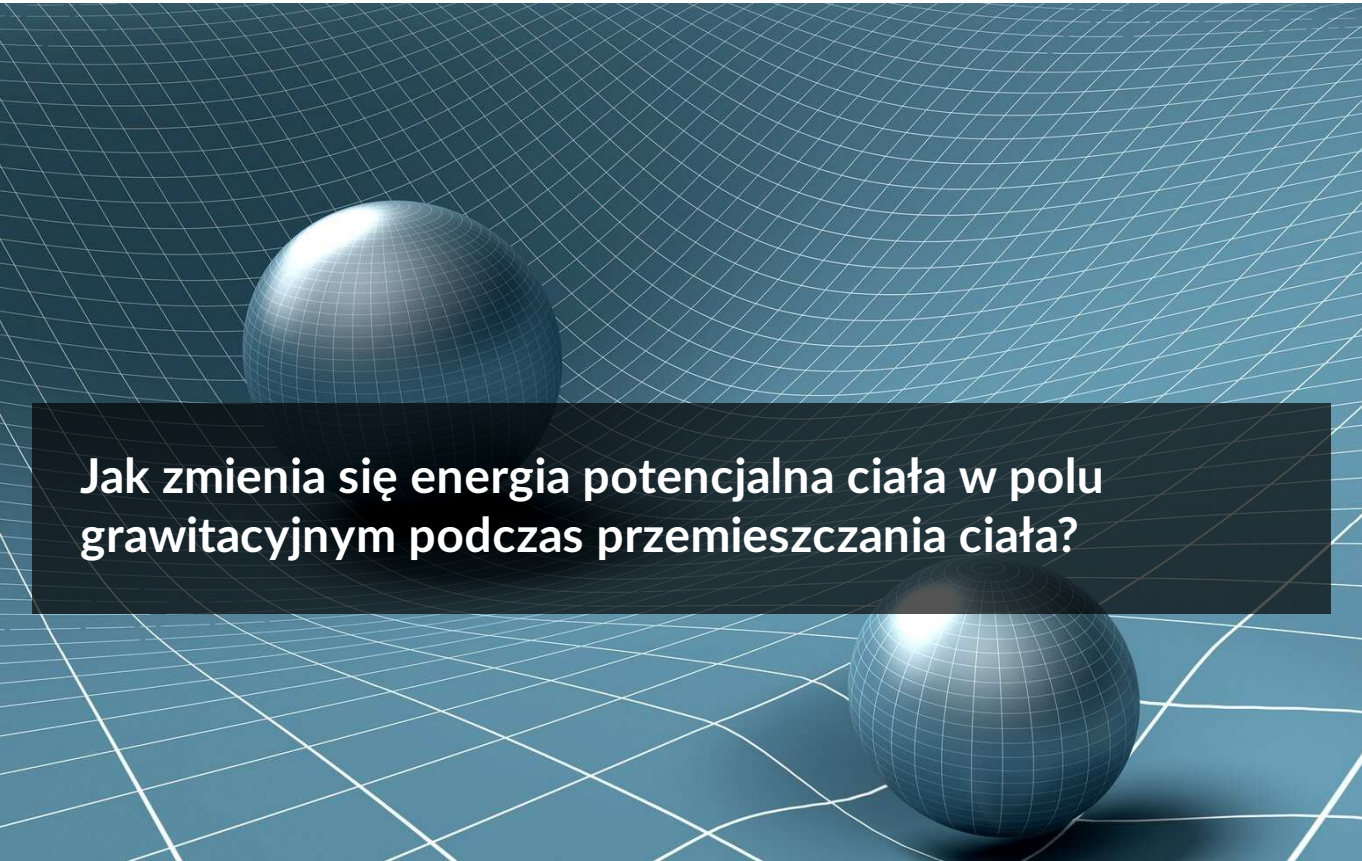


Jak zmienia się energia potencjalna ciała w polu grawitacyjnym podczas przemieszczania ciała?

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

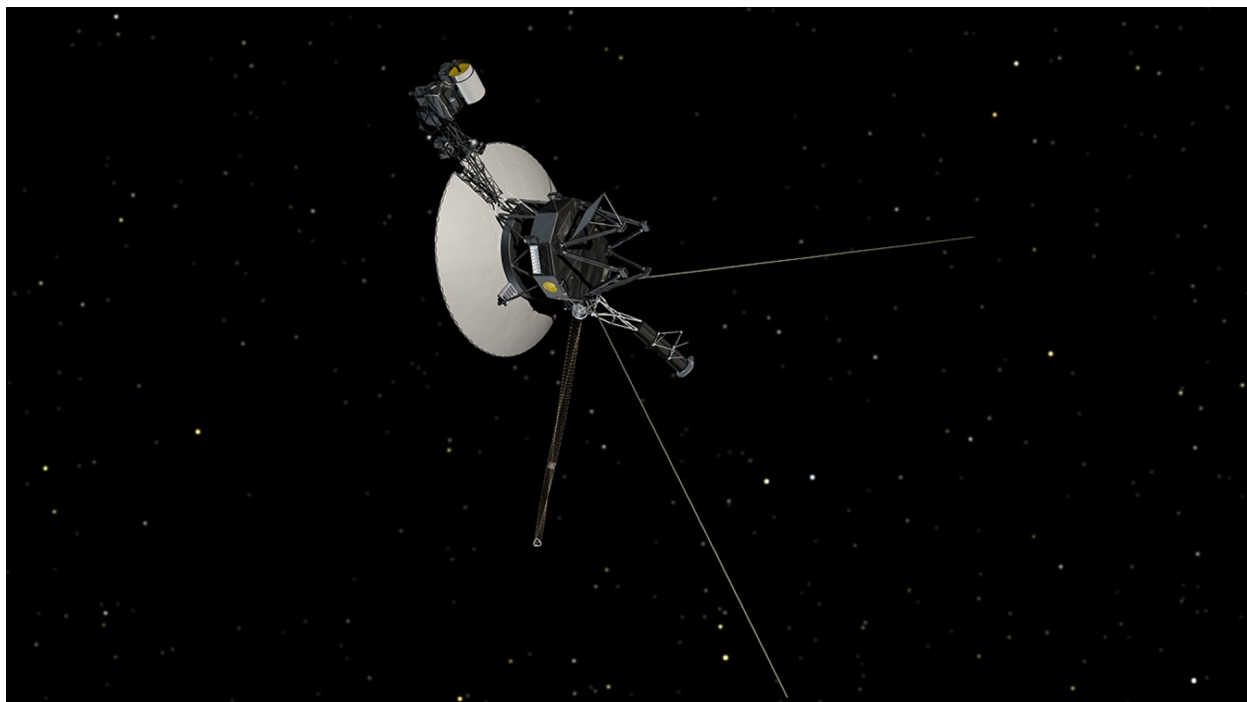
The image shows two spheres on a blue grid that curves downwards, representing a gravitational well. One sphere is positioned higher on the grid, and the other is lower. A dark blue horizontal bar with white text is overlaid on the grid.

## Jak zmienia się energia potencjalna ciała w polu grawitacyjnym podczas przemieszczania ciała?

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

### Czy to nie ciekawe?

Do tej pory rozpatrywaliśmy zmiany energii potencjalnej nad powierzchnią planety. Może warto zastanowić się teraz, jak zmiana ta będzie wyglądała, gdy ciało przemieści się na przykład z Ziemi na Księżyc, lub zacznie oddalać w nieskończoność. Co się wówczas stanie z jego energią? O tym w niniejszym materiale.



Rys. a. Czy sonda Voyager opuszczając Układ Słoneczny straciła już całą energię potencjalną? A może jest jednak odwrotnie?

Źródło: dostępny w internecie: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voyager\\_in\\_space\\_\(PIA17049\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Voyager_in_space_(PIA17049).jpg) [dostęp 5.05.2022 r.], domena publiczna.

## Twoje cele

Po zapoznaniu się z treścią niniejszego materiału:

- przypomnisz sobie, czym jest energia potencjalna i jaki wzór ją opisuje,
- przeanalizujesz, jak zmienia się energia potencjalna ciała przy jego przemieszczaniu się w polu grawitacyjnym,
- przeanalizujesz zmianę energii potencjalnej grawitacji planet w czasie ich ruchu dookoła Słońca,
- zastosujesz poznane informacje do rozwiązywania zadań rachunkowych.

# Przeczytaj

---

## Warto przeczytać

Jedną z form energii mechanicznej jest [energia potencjalna](#) ciała. Wynika ona ze wzajemnego oddziaływania ciał i jest zależna od ich położenia względem siebie. Ze względu na to, jakie oddziaływanie opisuje, dodaje się jeszcze do jej nazwy dodatkowy człon i mówi na przykład o energii potencjalnej elektrycznej, energii potencjalnej sprężystości czy energii potencjalnej grawitacji. I to właśnie tej ostatniej chcielibyśmy się dokładnie przyjrzeć.

Wartość energii potencjalnej grawitacji zależna jest od masy oddziaływujących ze sobą ciał oraz od odległości między nimi. Wyraża się ona wzorem:

$$E_p = -G \frac{mM}{r},$$

gdzie:

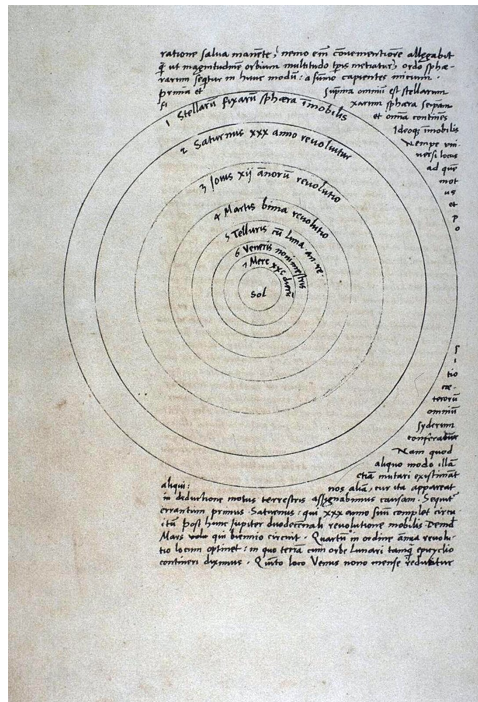
$E_p$  – energia potencjalna grawitacji [J],

$m$  – masa ciała [kg],

$M$  – masa źródła [pola grawitacyjnego](#) [kg],

$r$  – odległość pomiędzy środkami ciał [m].

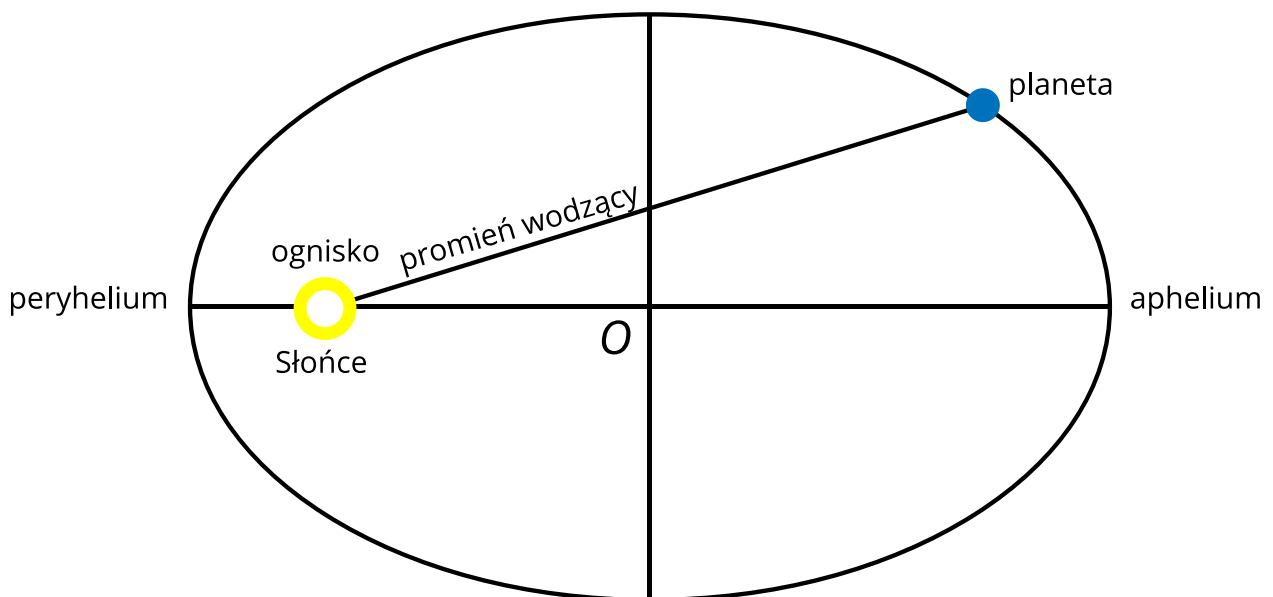
Zastanówmy się, jak zmienia się [energia potencjalna](#) ciała przy jego przemieszczaniu się w przestrzeni kosmicznej. Zaczniemy od prostego przypadku, a mianowicie ruchu planety dookoła Słońca. Jeśli rozpatrzmy założenie, które przyjął Kopernik w swojej teorii heliocentrycznej (Rys. 1.) i potraktujemy tor ruchu planety jako okrąg, wówczas zauważymy, że jej energia potencjalna nie zmienia się, gdyż odległość pomiędzy środkiem planety, a Słońcem oraz ich masy pozostaną stałe.



Rys. 1. Strona z rękopisu dzieła *O obrotach sfer niebieskich* M. Kopernika prezentująca, jak autor wyobrażał sobie Układ Słoneczny.

Źródło: dostępny w internecie: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:De\\_Revolutionibus\\_manuscript\\_p9.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:De_Revolutionibus_manuscript_p9.jpg) [dostęp 5.05.2022 r.], domena publiczna.

A jak będzie wyglądała zmiana energii, jeśli przyjmiemy za Keplerem, że planety krążą dookoła Słońca po elipsach (Rys. 2.)?



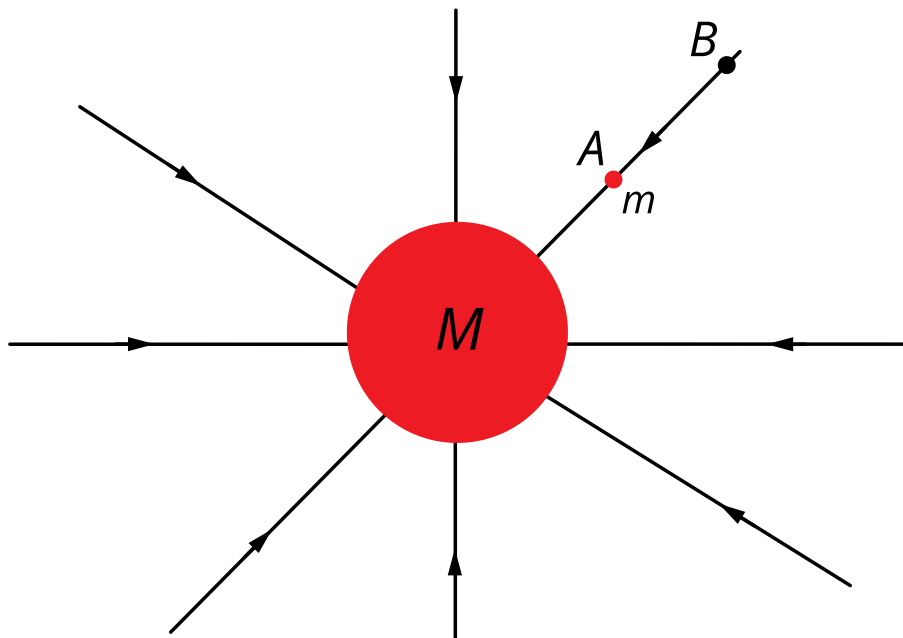
Rys. 2. Rysunek ilustrujący schematycznie orbitę planety w Układzie Słonecznym.

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

Możemy zauważyć, że wartość energii potencjalnej grawitacji przyjmuje najmniejszą wartość w punkcie leżącym najbliżej Słońca (zwanym peryhelium), gdyż w tym miejscu – odległość pomiędzy planetą a Słońcem jest najmniejsza. W miarę oddalania się od tego punktu energia potencjalna rośnie po to, by w aphelium (punkcie oddalonym najbardziej) osiągnąć wartość największą. Zmiana ta odbywa się kosztem energii kinetycznej.

Pozostaje jeszcze wyjaśnienie, dlaczego we wzorze pojawia się minus. Otóż jest to konsekwencją przyjęcia hipotetycznie poprawnego założenia, że w odległości  $r = \infty$  ciała ze sobą nie oddziałują. Energia potencjalna zwiększa się zatem wraz z odległością od źródła pola tak, by w nieskończonej odległości osiągnąć wartość zero.

Wiemy już, jak zmienia się energia w przypadku okrążania danego ciała niebieskiego. Pozostaje jeszcze zastanowić się, co się stanie, gdy zaczniemy odsuwać ciało w stronę nieskończoności. Wyobraźmy sobie, że ciało przesuniemy z punktu A znajdującego się w odległości  $r_1$  od źródła pola grawitacyjnego do punktu B znajdującego się w odległości  $r_2$  (Rys. 3.). Jak zmieni się jego energia potencjalna grawitacji?



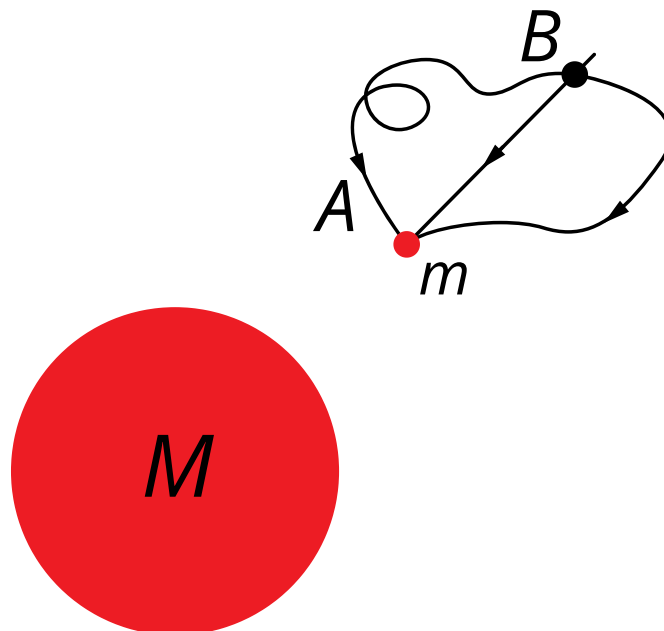
Rys. 3. Zmiana energii potencjalnej przy przesunięciu ciała o masie  $m$  (dużo mniejszej od masy  $M$  ciała centralnego) z punktu A do punktu B

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

Zmianę energii potencjalnej przy przesuwaniu ciała z punktu A do punktu B można wyznaczyć odejmując wartości energii w tych punktach (warto pamiętać, że im bliżej powierzchni danej planety znajduje się ciało, tym jego energia potencjalna jest mniejsza):

$$\Delta E_{p_{A \rightarrow B}} = E_{p_B} - E_{p_A} = -G \frac{Mm}{r_2} - \left( -G \frac{Mm}{r_1} \right) = GMm \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Analizując powyższe zależności, należy jeszcze zwrócić uwagę na bardzo ważną kwestię. Otóż **zmiana energii potencjalnej nie zależy od toru ruchu, po jakim będziemy przesuwać ciało, a jedynie od doboru punktów: początkowego i końcowego.**



Rys. 4. Zmiana energii potencjalnej przy przesunięciu ciała o masie  $m$  z punktu B do punktu A nie zależy od toru ruchu pomiędzy punktami, a jedynie od położenia tych punktów

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

## Słowniczek

### Energia potencjalna

(ang. *potential energy*) - energia układu ciał oddziałujących ze sobą grawitacyjnie, zależna od masy ciał i odległości między ich środkami.

### Pole grawitacyjne

(ang. *gravitational field*) - modyfikacja własności przestrzeni sprawiająca, że na każde ciało o masie  $m$ , umieszczone w pobliżu masy będącej źródłem pola, działa siła grawitacyjna.

# Symulacja interaktywna

---

## Jak zmienia się energia potencjalna ciała w polu grawitacyjnym podczas przemieszczania ciała?

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

Niniejsza interaktywna symulacja pozwoli Ci zrozumieć, jaka jest zależność energii potencjalnej ciała  $E_p$  w polu grawitacyjnym od odległości  $r$  od masy centralnej. Możesz przesuwać ciałem, odsuwać je na różne odległości od źródła pola centralnego, zmieniać masy i obserwować na wykresie, jak zmienia się energia potencjalna tego ciała. Symulację najlepiej uruchomić w trybie pełnoekranowym klikając na ikonę dwóch strzałek w prawym dolnym rogu symulacji.

### Polecenie 1

Czy potrafisz naszkicować zależność energii potencjalnej ciała (oznaczonego kolorem czerwonym) od położenia na osi poziomej w sytuacji, gdy w odległości 100 metrów od masy centralnej  $M$  (oznaczonej kolorem niebieskim) umieścimy na tej osi drugą taką samą masę  $M$ ?

### Polecenie 2

Czy jeśli umieścimy ciało w równej odległości od obu mas centralnych, to ciało to będzie znajdować się w równowadze (nie spadnie z czasem na jedną z mas centralnych)?

# Sprawdź się

---

Pokaż ćwiczenia:   

## Ćwiczenie 1



Wskaż wszystkie wielkości, od których bezpośrednio zależy energia potencjalna ciała znajdującego się w polu grawitacyjnym planety.

ciśnienie

odległość ciała od środka planety

masa planety

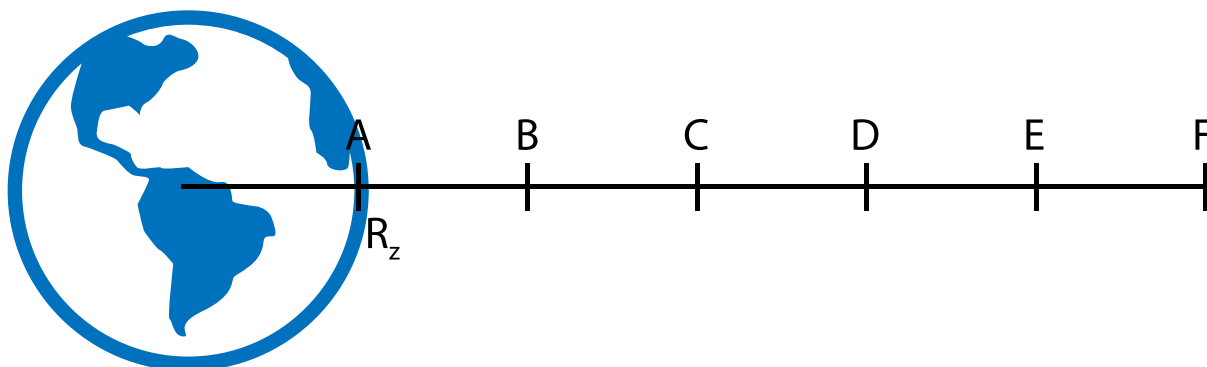
gęstość planety

masa ciała

## Ćwiczenie 2



Wskaż punkt, w którym wartość energii potencjalnej ciała o masie  $m$  będzie największa.



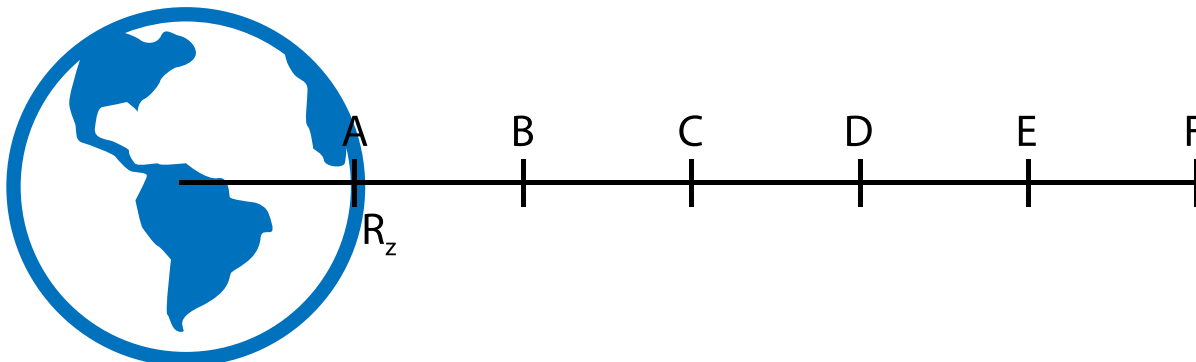
Źródło: Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, licencja: CC BY 4.0.

Odp.: .

### Ćwiczenie 3



Przy przesuwaniu ciała z punktu C do punktu A jego energia potencjalna:



nie zmieniła się

zmalała

wzrosła

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

### Ćwiczenie 4



Określ prawdziwość poniższych zdań.

Zdanie	Prawda	Fałsz
Energia potencjalna grawitacji ma największą wartość w nieskończoności.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Porównując wartości energii potencjalnej grawitacji na powierzchni planety oraz w pewnej odległości $x$ od jej powierzchni, możemy stwierdzić, że energia ta maleje wraz z odległością.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zależność energii potencjalnej grawitacji od odległości ma charakter liniowy.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

## Ćwiczenie 5



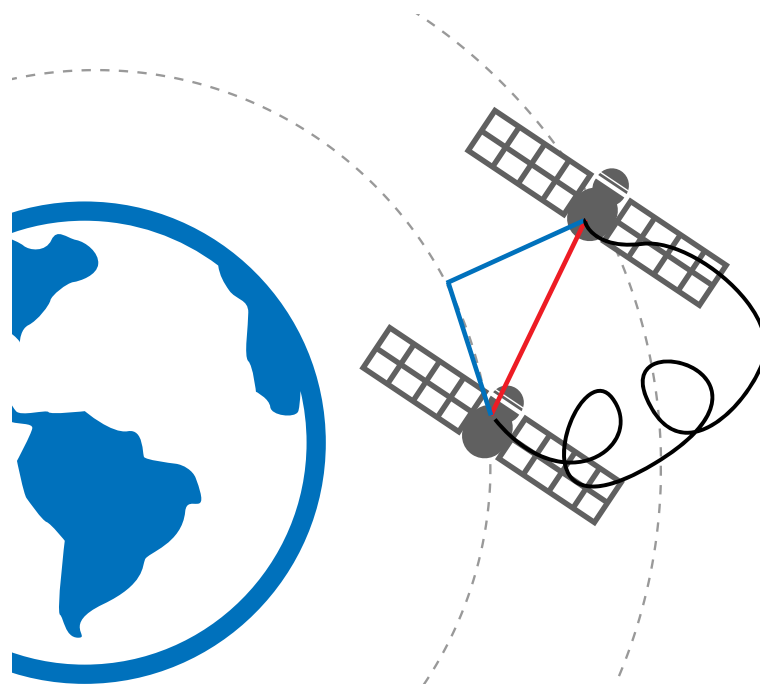
Oblicz, jak zmieni się energia potencjalna grawitacji w czasie jednego obiegu Księżyca wokół Ziemi. Przyjmij, że masa Księżyca wynosi  $7,35 \cdot 10^{22}$  kg, masa Ziemi  $6 \cdot 10^{24}$  kg, a odległość Ziemia – Księżyc wynosi 384400 km. Wynik podaj w dżulach w zaokrągleniu do liczb całkowitych.

Odp.  $\Delta E_p =$   J.

## Ćwiczenie 6



Na rysunku pokazana jest planeta i jej satelita (przy czym proporcje nie są zachowane, a rysunek jest tylko schematem). W którym z zaznaczonych na rysunku przypadków zmiana energii potencjalnej jest najmniejsza?



- w każdym przypadku zmiana energii potencjalnej jest taka sama
- w przypadku zaznaczonym kolorem niebieskim
- nie da się tego określić na podstawie rysunku
- w przypadku zaznaczonym kolorem czarnym
- w przypadku zaznaczonym kolorem czerwonym

### Ćwiczenie 7



Ciało o masie  $m = 100$  kg znajdujące się na wysokości  $h = R_K$  nad powierzchnią Księżyca zostało przeniesione na wysokość  $h' = 2R_K$ . Oblicz zmianę energii potencjalnej przy przemieszczaniu tego ciała. Wynik podaj w MJ w zaokrągleniu do trzech cyfr znaczących. Przyjmij, że promień Księżyca ma 1737 km, a jego masa  $7,35 \cdot 10^{22}$  kg.

Odp.:  MJ.

### Ćwiczenie 8



Wiedząc, że zmiana energii potencjalnej grawitacji wynosi 250 MJ, oblicz, na jaką wysokość nad powierzchnią Ziemi wzniosło się ciało o masie  $m = 100$  kg. Przyjmij, że masa Ziemi wynosi  $M_Z = 6 \cdot 10^{24}$  kg, a jej promień  $R_Z = 6370$  km. Wynik podaj w kilometrach w zaokrągleniu do liczb całkowitych.

Odp.:  km.

# Dla nauczyciela

---

<b>Imię i nazwisko autora:</b>	Ewelina Kędzierska
<b>Przedmiot:</b>	fizyka
<b>Temat zajęć:</b>	<b>Zmiana energii potencjalnej ciała podczas jego przemieszczania się w polu grawitacyjnym</b>
<b>Grupa docelowa:</b>	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
<b>Podstawa programowa:</b>	<p><b>Cele kształcenia – wymagania ogólne</b></p> <p>II. Rozwiązywanie problemów z wykorzystaniem praw i zależności fizycznych.</p> <p><b>Poziom rozszerzony</b></p> <p><b>Treści nauczania – wymagania szczegółowe</b></p> <p>I. Wymagania przekrojowe. Uczeń:</p> <p>4) przeprowadza obliczenia liczbowe posługując się kalkulatorem;</p> <p>6) tworzy teksty, tabele, diagramy lub wykresy, rysunki schematyczne lub blokowe dla zilustrowania zjawisk bądź problemu; właściwie skaluje, oznacza i dobiera zakresy osi.</p> <p>IV. Grawitacja i elementy astronomii. Uczeń:</p> <p>7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do ruchu orbitalnego; posługuje się pojęciem drugiej prędkości kosmicznej (prędkości ucieczki).</p>

<p><b>Kształtowane kompetencje kluczowe:</b></p>	<p><b>Zalecenia Parlamentu Europejskiego i Rady UE z 2018 r.:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• kompetencje w zakresie rozumienia i tworzenia informacji,</li> <li>• kompetencje cyfrowe,</li> <li>• kompetencje matematyczne oraz kompetencje w zakresie nauk przyrodniczych, technologii i inżynierii,</li> <li>• kompetencje osobiste, społeczne i w zakresie umiejętności uczenia się.</li> </ul>
<p><b>Cele operacyjne:</b></p>	<p>Uczeń:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. przedstawi i omówi wzór opisujący energię potencjalną ciała,</li> <li>2. przeanalizuje, jak zmienia się energia potencjalna ciała przy jego przemieszczaniu się w polu grawitacyjnym,</li> <li>3. przeanalizuje zmianę energii potencjalnej grawitacji planet w czasie ich ruchu dookoła Słońca,</li> <li>4. zastosuje poznane informacje do rozwiązywania zadań rachunkowych.</li> </ol>
<p><b>Strategie nauczania:</b></p>	<p>formative feedback</p>
<p><b>Metody nauczania:</b></p>	<p>merytoryczna dyskusja wprowadzająca, obserwacja, rozmowa kierowana</p>
<p><b>Formy zajęć:</b></p>	<p>praca indywidualna, praca w parach</p>
<p><b>Środki dydaktyczne:</b></p>	<p>tablica multimedialna / rzutnik</p>
<p><b>Materiały pomocnicze:</b></p>	<p>-</p>
<p><b>PRZEBIEG LEKCJI</b></p>	
<p><b>Faza wprowadzająca:</b></p>	

Nauczyciel rozpoczyna lekcję poprzez zaciekawienie uczniów tematem. Następnie, zadaniem nauczyciela jest rozpoznanie wiedzy wyjściowej uczniów w kontekście realizowanego tematu oraz nawiązanie do tej wiedzy w merytorycznej dyskusji wprowadzającej (może to być także rozmowa kierowana na temat energii – należy przypomnieć, czym jest energia potencjalna oraz jakim wzorem się wyraża).

**Faza realizacyjna:**

- Konstruowanie wiedzy z zakresu nowego tematu:

– nauczyciel przypomina uczniom zależność pozwalającą na obliczenie energii potencjalnej grawitacji

– uczniowie słuchają nauczyciela,

– nauczyciel omawia z uczniami, od czego zależy zmiana energii potencjalnej grawitacji dla ciała oddalającego się od planety,

– uczniowie przypatrują się przeprowadzanym operacjom matematycznym, prosząc o wyjaśnienie kwestii problemowych lub niezrozumiałych (jeżeli takowe są),

– nauczyciel prosi uczniów, by spróbowali określić, jak zmienia się energia potencjalna w zależności od odległości; prosi ich, by narysowali wykres zależności  $E_p(r)$ ,

– uczniowie próbują narysować wykres,

– nauczyciel koryguje i naprowadza uczniów,

– 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 odpowiadają na pytanie dotyczące zmiany energii potencjalnej grawitacji w przypadku planet krążących dookoła Słońca wg założeń Kopernika i Keplera,

– nauczyciel koryguje i naprowadza uczniów,

– uczniowie rozwiązują samodzielnie zadania (mogą być to zadania zawarte w niniejszym materiale),

– uczniowie dobierają się w pary 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.

#### **Praca domowa:**

Zadaniem uczniów jest zapoznanie się z symulacją interaktywną dołączoną do niniejszego materiału.

#### **Wskazówki**

**metodyczne opisujące  
różne zastosowania  
danego multimedium**

Symulacja interaktywna może być wykorzystana do samodzielnej pracy ucznia przed lekcją.