Druga prędkość kosmiczna dla różnych planet

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

Czy to nie ciekawe?

Odkąd ludzie zafascynowali się kosmosem zastanawiali się, jak go badać. Rozwój techniki umożliwił eksplorację kosmosu spoza powierzchni Ziemi. Astronomowie i inżynierowie wyznaczyli na podstawie podstawowego prawa fizyki – zachowania energii, teoretyczną wielkość, jaką jest druga prędkość kosmiczna często nazywana prędkością ucieczki. Tę prędkość można wyznaczyć dla każdego ciała niebieskiego lub dla układu ciał związanych ze sobą grawitacyjnie. Okazuje się, że z niektórych ciał niebieskich można dużo prościej wystrzelić jakiś obiekt niż z innych. Od czego zależy ta wielkość? Gdzie jest najłatwiej, a gdzie najtrudniej? Jak bardzo różnią się wartości drugiej prędkości kosmicznej w Układzie Słonecznym? Dowiesz się z tego e-materiału.

Twoje cele

- poznasz definicję drugiej prędkości kosmicznej,
- zrozumiesz założenia, jakie nakładane są przy wyliczaniu drugiej prędkości kosmicznej,
- wyznaczysz prędkości ucieczki dla dowolnych planet,
- porównasz drugą prędkość kosmiczną dla różnych planet,

- zrozumiesz, czym jest prędkość ucieczki oraz czym różni się od drugiej prędkości kosmicznej,
- przeanalizujesz różnice pomiędzy prędkością ucieczki z powierzchni różnych planet i z ich orbit.

Przeczytaj

Warto przeczytać

Obserwacje kosmosu z Ziemi wiążą się z wieloma trudnościami. Podstawową trudnością jest atmosfera Ziemi oraz pora dnia – ze względu na oświetlenie często nie możemy obserwować szybko zmieniającego się położenia obiektów na niebie. Drugą trudnością jest atmosfera ziemska, która pochłania znaczną część promieniowania. Trzecim problemem jest odległość. Rozwój technologii umożliwia budowanie coraz to dokładniejszych instrumentów badawczych, ale niektórych rzeczy nie da zbadać się z Ziemi. Na przykład utrudnione jest badanie innych planet, szczególnie najdalszych oraz dalekich zakamarków Układu Słonecznego, znajdujących się poza linią planet (w odległości powyżej 30 au od Ziemi). Eksplorację dalekich rejonów Układu Słonecznego umożliwiają sondy kosmiczne.

Rys. 1. Start sondy New Horizons. Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/New_Horizons#/media/Plik:Atlas_V_551_roars_into_blue_sky.jpg

Jednak podstawowym problemem jest, z jaką prędkością wystrzelić sondę kosmiczną (Rys. 1.), aby bez zbędnego użycia silników mogła opuścić pole grawitacyjne Ziemi.

Prędkość taką można wyznaczyć z zasady zachowania energii mechanicznej: $E_m = E_K + E_p$, gdzie E_m to energia mechaniczna, E_K – kinetyczna, E_p – potencjalna.

Energia kinetyczna wyraża się wzorem:

$$E_K = \frac{mv^2}{2},$$

gdzie m to masa obiektu, a v to jego prędkość.

Natomiast energia potencjalna oddziaływania grawitacyjnego planety i sondy kosmicznej ma postać:

$$E_p = \frac{-GMm}{r},$$

gdzie G to stała grawitacji G = 6,6743 · 10^{-11} $m^3/(kg \cdot s^2)$, a r to odległość dwu ciał.

Zatem energię mechaniczną można wyrazić jako sumę: $E_m = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r}$. Na orbicie okołoziemskiej ta energia jest stała.

Druga prędkość kosmiczna to najmniejsza prędkość, którą należy nadać ciału, aby oderwało się od pola grawitacyjnego, aby pokonało siłę grawitacyjną.

Energia potencjalna ma najmniejszą wartość (wartość ta jest ujemna) przy powierzchni planety. Tu ciało (na przykład sonda) jest najmocniej przyciągane. Aby ciało opuściło pole grawitacyjne energia kinetyczna E_K musi być co najmniej równa modułowi tej energii potencjalnej $|E_p|$. A więc:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{GMm}{r},$$

stąd

$$\frac{v^2}{2} = \frac{GM}{r},$$

$$v^2 = \frac{2GM}{r},$$

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}.$$

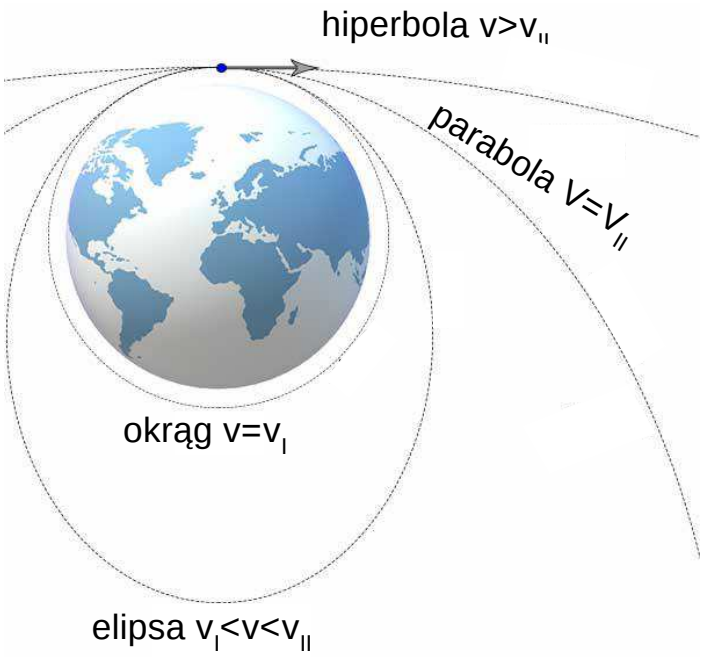
Podstawiając za M masę planety lub innego ciała niebieskiego, a za r jego promień równikowy, otrzymamy wartość prędkości, jaką należy nadać obiektowi, aby opuścił pole grawitacyjne ciała niebieskiego. Oczywiście w tych obliczeniach pomija się działanie oporów atmosfery, które na niektórych planetach są znaczące (np. Wenus, Ziemia) oraz działanie pól grawitacyjnych pobliskich ciał niebieskich. Prędkość tę nazywa się **drugą prędkością kosmiczną ciała niebieskiego**.

Obiekt wystrzelony z drugą prędkością kosmiczną porusza się po orbicie otwartej – po połowie paraboli lub hiperboli. Oznacza to, że obiekt oddali się na tyle daleko od ciała niebieskiego, że nigdy do niego nie wróci w wyniku działania pola grawitacyjnego tego ciała. Prędkość ta często nazywana jest prędkością ucieczki, ponieważ wystrzelony z co najmniej taką prędkością obiekt opuszcza pole grawitacyjne ciała niebieskiego na zawsze. Jednak pojęcie prędkości ucieczki jest znacznie szersze niż drugiej prędkości kosmicznej.

Za **prędkość ucieczki uważa się każdą prędkość umożliwiającą ucieczkę z pola grawitacyjnego**. Druga prędkość kosmiczna opisuje najmniejszą prędkość potrzebną do

opuszczenia pola grawitacyjnego danego ciała niebieskiego.

Druga prędkość kosmiczna jest $\sqrt{2}$ razy większa od pierwszej prędkości kosmicznej dla danego ciała: $v_{II} = \sqrt{2} v_I$.



Rys. 2. Rysunek przedstawia zależność pomiędzy wartością prędkości obiektu a torem jego ruchu. Jeżeli ciało ma prędkość równą drugiej prędkości kosmicznej to poruszać będzie się po paraboli, a ciało niebieskie będzie znajdować się w ognisku. Dla prędkości większych od drugiej prędkości kosmicznej torem ruchu będzie hiperbola

Ponieważ pole grawitacyjne Słońca jest dominujące, wyznacza się również prędkość ucieczki z rejonu orbity danego ciała niebieskiego. Wystrzelenie obiektu z powierzchni ciała niebieskiego z drugą prędkością kosmiczną może spowodować wejście obiektu na orbitę okołosłoneczną, ponieważ nie wyizolujemy całkowicie planety z pola grawitacyjnego Słońca. Jeżeli chcemy wystrzelić obiekt dalej musimy uwzględnić grawitację Słońca.
W takim wypadku we wzorze na drugą prędkość kosmiczną za masę przyjmuje się masę Słońca, a za promień – promień orbity danego ciała niebieskiego:

$$v_{III} = \sqrt{\frac{2GM_S}{R_{orbity}}}.$$

Często tę wartość nazywa się trzecią prędkością kosmiczną lub prędkością ucieczki z Układu Słonecznego.

We wzorze tym pomija się masy planet znajdujących się na mniejszych orbitach. Są one znacznie mniejsze od masy Słońca. Masa Słońca stanowi ponad 99% masy całego Układu Słonecznego.

Zależności tej używa się w celu wystrzelenia obiektu, na przykład sondy kosmicznej, w dalsze rejony Układu Słonecznego. Obecnie używa się głównie wartości trzeciej prędkości kosmicznej dla Ziemi, ponieważ z niej wystrzeliwane są sondy kosmiczne. Jednak prędkość tę można wyznaczyć dla każdej planety Układu Słonecznego. Astronomowie i inżynierowie zajmujący się tworzeniem sond kosmicznych planują stworzenie bazy postojowej na jednym z księżyców Saturna lub Jowisza. Z takiej bazy wystrzelenie statku kosmicznego będzie znacznie łatwiejsze, ponieważ prędkość ucieczki będzie miała mniejszą wartość.

Poniżej znajduje się tabela (Tab. 1.), która przedstawia zestawienie wartości drugiej i trzeciej prędkości kosmicznej dla planet Układu Słonecznego.

Planeta	Zdjęcie	Masa M [$\cdot 10^{21}$ kg]	Promień równikowy R [km]	Promień orbity [AU] / [10^9 m]	Druga prędkość kosmiczna v_{II} [km/s] z powierzchni	Prędkość ucieczki z orbity v_{III} [km/s]
Merkury		328	2439	0,39 / 57,9	4,4	68
Wenus		4868	6052	0,72 / 108,2	10,4	49
Ziemia		5974	6378	1,0 / 149,6	11,2	42
Mars		642	3403	1,52 / 227,9	7,8	34
Jowisz		1898600	71492	5,20 / 778,4	59,5	18
Saturn		568517	60268	9,54 / 1426,7	35,5	14
Uran		86841	25559	19,19 / 2871,0	21,3	10
Neptun		103439	24764	30,07 / 4498,2	23,6	8

Tab. 1. Zestawienie wartości drugiej i trzeciej prędkości kosmicznej dla planet Układu Słonecznego

Słowniczek

> **Ciało niebieskie**
>
> każdy naturalny obiekt fizyczny znajdujący się w kosmosie, poza granicą atmosfery danej planety. Są nimi gwiazdy, planety, księżyce, planetoidy, meteoroidy.

> **Jednostka astronomiczna (au)**
>
> jednostka odległości używana w astronomii do określania odległości planetarnych. Jedna jednostka astronomiczna to średnia odległość Ziemi od Słońca:
>
> 1 au = 149597870700 m.

> **Pierwsza prędkość kosmiczna**

> teoretyczna wielkość, określająca jaką prędkość należy nadać obiektowi, aby znalazł się na minimalnej orbicie wokół ciała niebieskiego.

Symulacja interaktywna

Druga prędkość kosmiczna dla różnych planet

Symulacja interaktywna pokazująca, jak zmienia się wartość drugiej prędkości kosmicznej w zależności od masy *M* i promienia *R*. Symulacja ma za zadanie pokazać uczniom, jak zmienia się wartość drugiej prędkości kosmicznej.

Jeżeli dobór parametrów będzie zgodny z parametrami którejś z planet (Merkury, Wenus, Ziemia, Mars...), to pokaże się zdjęcie tej planety i podpis z jej nazwą.

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

Polecenie 1

Wstaw do symulacji następujące dane: M=0,95·10^{21}kg oraz R= 473000m. Co to za planeta?

Polecenie 2

Ile wynosi druga prędkość kosmiczna dla Słońca? Wynik podaj z zaokrągleniu do liczb całkowitych, w kilometrach na sekundę.

Sprawdź się

Pokaż ćwiczenia:

Ćwiczenie 1

Druga prędkość kosmiczna to:

- prędkość początkowa, potrzebna obiektowi do opuszczenia Galaktyki.
- najmniejsza prędkość, jaką należy nadać obiektowi względem przyciągającego go ciała niebieskiego, aby poruszał się on po zamkniętej orbicie wokół tego ciała.
- najmniejsza prędkość, jaką należy nadać obiektowi, aby opuścił na zawsze dane ciało niebieskie, poruszając się po orbicie otwartej.
- prędkość początkowa, potrzebna obiektowi do opuszczenia Układu Słonecznego.

Ćwiczenie 2

Która planeta Układu Słonecznego ma największą wartość drugiej prędkości kosmicznej?

Odpowiedź:

Ćwiczenie 3

W tabeli wpisz P, jeśli zdanie jest prawdziwe lub F, jeśli zdanie jest fałszywe.

Zdanie	P/F
Uran i Neptun to gazowe olbrzymy bardzo do siebie podobne. Wartość drugiej prędkości kosmicznej tych planet jest 2 razy większa od pierwszej prędkości kosmicznej Ziemi.	
Jowisz, mimo że jest największą planetą Układu Słonecznego, nie ma największej drugiej prędkości kosmicznej.	
Druga prędkość kosmiczna dla Jowisza to prawie 60 tysięcy kilometrów na godzinę.	
Wartość drugiej prędkości kosmicznej Merkurego to prawie 3 km/s.	
Najmniejszą wartość drugiej prędkości kosmicznej wśród planet skalistych Układu Słonecznego ma Mars.	
Druga prędkość kosmiczna dla planet różni się jedynie o czynnik $\sqrt{2}$ od pierwszej prędkości kosmicznej.	

Ćwiczenie 4

Dopasuj planetę do jej drugiej prędkości kosmicznej.

Saturn	{35,5 km/s}
Wenus	{4,4 km/s}
Merkury	{21,3 km/s}
Neptun	{23,6 km/s}
Uran	{10,4 km/s}

Ćwiczenie 5

Oblicz stosunek drugiej prędkości kosmicznej Ziemi do trzeciej prędkości kosmicznej $k = \frac{v_{II}}{v_{III}}$. Wynik zaokrąglij do części tysięcznych.
Przyjmij:
G = 6,67 · 10^{-11} $m^3/(kg \cdot s^2)$,
masę Ziemi M_Z = 5,972 · 10^{24} kg,
promień Ziemi R_Z = 6371 km = 6371000 m,
promień orbity Ziemi R_{orbity} = 149 597 870 700 m,
masę Słońca $M_{\text{Słońca}}$ = 1,989 · 10^{30} kg.

Odpowiedź: k =

Ćwiczenie 6

Oblicz drugą prędkość kosmiczną dla planety pozasłonecznej Wendelstein-2b odkrytej w 2020 roku. Przyjmij M = 0,75 masy Jowisza, promień równy dokładnie tyle, ile promień Jowisza. Wynik podaj jako liczbę całkowitą w metrach na sekundę.
R_J = 71492 km
M_J = 1,8982 · 10^{27} kg

Odpowiedź: m/s

Ćwiczenie 7

Przyspieszenie grawitacyjne ciała niebieskiego wyraża się wzorem: $g = \frac{GM}{R^2}$. Wiedząc, że druga prędkość kosmiczna Urana jest k = 1,9 razy większa od drugiej prędkości kosmicznej Ziemi v_{II} oraz promień Urana jest n = 4 razy większy od promienia R_Z Ziemi, a przyspieszenie ziemskie g_Z = 9,81 m/s^2, oblicz przyspieszenie grawitacyjne Urana.

Odpowiedź: m/s^2

Ćwiczenie 8

Zastanów się, w jakim kierunku i z jakiego miejsca na Ziemi należy wystrzelić obiekt, aby wykorzystać energię kinetyczną obiektu wynikającą z ruchu obrotowego Ziemi.

Dla nauczyciela

Imię i nazwisko autora:	Monika Sitek
Przedmiot:	fizyka
Temat zajęć:	**Jak wygląda prędkość ucieczki dla różnych planet?**
Grupa docelowa:	III etap edukacyjny, liceum, technikum, zakres rozszerzony
Podstawa programowa:	**Cele kształcenia – wymagania ogólne** III. Planowanie i przeprowadzanie obserwacji lub doświadczeń oraz wnioskowanie na podstawie ich wyników. IV. Posługiwanie się informacjami pochodzącymi z analizy materiałów źródłowych, w tym tekstów popularnonaukowych. **Zakres rozszerzony** **Treści nauczania – wymagania szczegółowe** I. Wymagania przekrojowe. Uczeń: 10) przeprowadza wybrane obserwacje, pomiary i doświadczenia korzystając z ich opisów; planuje i modyfikuje ich przebieg; formułuje hipotezę i prezentuje kroki niezbędne do jej weryfikacji; 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: 7) oblicza zmiany energii potencjalnej grawitacji i stosuje zasadę zachowania energii do ruchu orbitalnego; posługuje się pojęciem drugiej prędkości kosmicznej (prędkości ucieczki).

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. definiuje drugą prędkość kosmiczną; 2. porównuje pierwszą i drugą prędkość kosmiczną; 3. wylicza prędkość ucieczki dla dowolnych planet; 4. porównuje wielkość prędkości ucieczki dla różnych planet; 5. analizuje różnicę w prędkości ucieczki dla powierzchni planety, jak i dla orbity tej planety.
Strategie nauczania:	blended learning
Metody nauczania:	burza mózgów
Formy zajęć:	praca w parach, praca wspólna
Środki dydaktyczne:	urządzenie multimedialne dla każdej pary uczniów , rzutnik
Materiały pomocnicze:	e-materiał „Pierwsza prędkość kosmiczna dla różnych planet”
PRZEBIEG LEKCJI	
Faza wprowadzająca:	
Uczniowie zapoznają się w domu z tekstem z tego e-materiału, rozwiązują zadania sprawdzające. Na lekcji nauczyciel rozpoczyna od sprawdzenia w formie dyskusji wspólnej czy uczniowie przyswoili materiał. Pyta uczniów czym jest prędkość ucieczki, od jakich parametrów zależy. Uczniowie wspólnie odpowiadają na zadawane pytania. Nauczyciel na tablicy wypisuje cele lekcji.	
Faza realizacyjna:	

Uczniowie na urządzeniach multimedialnych włączają multimedium z tego e-materiału, czyli symulacje interaktywną. Każda para uczniów symuluje różne wartości drugiej prędkości kosmicznej i zapisuje otrzymane wyniki. W pierwszej kolejności zmieniamy tylko jeden parametr - M, potem zmieniamy tylko drugi parametr czyli R. Dopiero w drugim kroku zmieniamy oba parametry. Na podstawie przeprowadzonych symulacji uczniowie powinni wyciągnąć wspólnie wnioski na temat prędkości ucieczki: • Jak zmienia się pod wpływem zmiany parametrów? • Jak duże różnice w tej wartości będą dla planet gazowych, a jakie dla planet skalistych? Nauczyciel wprowadza pojęcie trzeciej prędkości kosmicznej. Pokazuje uczniom od czego ona zależy (promień orbity i masa gwiazdy centralnej).	
Faza podsumowująca:	
Uczniowie pod nadzorem nauczyciela wspólnie dyskutują nad otrzymanymi wnioskami. Wypisują na tablicy drugie prędkości kosmiczne otrzymane dla wszystkich planet Układu Słonecznego. Wspólnie w oparciu o dane znalezione w Internecie na temat planet Układu Słonecznego, wyznaczają również trzecią prędkość kosmiczną dla każdej planety i porównują je dla każdej prędkości. Interpretują wyniki.	
Praca domowa:	
Uczeń wybiera z listy *exoplanet.eu* dowolny układ planetarny. Wyznacza dla każdej planety w tym układzie drugą i trzecią prędkość kosmiczną.	
Wskazówki metodyczne opisujące różne zastosowania danego multimedium	Uczniowie mogą wykorzystać symulację interaktywną po lekcji w celu powtórzenia i utrwalenia wiadomości.