

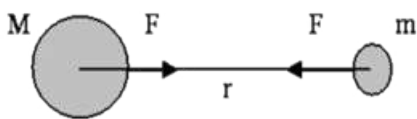
PRĘDKOŚCI KOSMICZNE

OPRACOWANIE

Obecnie, żyjąc w XXI wieku, wydaje się normalne, że człowiek potrafi polecieć w kosmos, opuścić Ziemię oraz wylądować na Księżycu. Poza ogromem problemów technicznych jakim ludzkość musiała stawić czoła by móc eksplorować obiekty pozaziemskie, jest jeszcze problem pokonania ograniczeń fizycznych, skutecznie uniemożliwiających człowiekowi wyrwanie się z więzów siły grawitacji, jaką matka Ziemia trzyma nas przy sobie. I choć pierwsze myśli naukowe o możliwości dotarcia do Księżyca wypowiedział, już w XVII wieku, Jan Kepler, to naukowe badania, dotyczące możliwości lotów kosmicznych rozpoczęto dopiero w XIX wieku. Pierwsze rozważania dotyczyły najpierw możliwości wyrzucenia w przestrzeń pozaziemską ciała, które mogłoby stać się satelitą Ziemi. Warunkiem do tego było nadanie ciału odpowiedniej prędkości koniecznej do zrównoważenia siły ciężenia ku środkowi Ziemi. Obecnie nauka rozważa i tworzy plany załogowych podróży międzyplanetarnych, jak choćby wyprawa na Marsa.

Spróbujmy przeanalizować i oszacować bariery jakie musimy pokonać by o takich podróżach można w ogóle mówić. Wykorzystując wiedzę o oddziaływaniu grawitacyjnym wiemy, że:

Dwa ciała o masach M i m przyciągają się wzajemnie siłami grawitacji.



Wartość siły grawitacji jest wprost proporcjonalna do iloczynu mas tych ciał, a odwrotnie proporcjonalna do

kwadratu odległości pomiędzy ich środkami.

Zapisujemy to w postaci

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

gdzie G – stała grawitacji. $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$

Wartość stałej grawitacji odpowiada sile z jaką przyciągają się dwie masy 1kg każda z odległości 1m.

Siła grawitacji stanowi więc siłę hamującą, „przytrzymującą” ciała na Ziemi. By pokonać tą siłę należy dostarczyć ciału odpowiedniej energii, która wprawi ciało w ruch i nada mu pewną prędkość. Właśnie wspomniana wcześniej prędkość jaką należy nadać ciału by mogło ono stać się satelitą jakiegokolwiek ciała niebieskiego i aby nie

spadło z powrotem na to ciało, z którego zostało wyrzucone, nosi nazwę prędkości kosmicznej.

Prędkości kosmiczne zostały wystopniowane w kolejności, pierwsza, druga, trzecia, czwarta. Każda kolejna prędkość kosmiczna określa minimalną prędkość jaką musi posiadać ciało by móc pokonać barierę potencjału grawitacyjnego w kolejności: druga prędkość kosmiczna by oddalić się od Ziemi, trzecia prędkość kosmiczna by oddalić się od Słońca, czwarta prędkość kosmiczna by dokonać ucieczki przed przyciąganiem naszej galaktyki.

Skąd wziął się taki podział? Chociaż oddziaływanie grawitacyjne jest w swoim zasięgu nieskończone to jednak w pewnych przypadkach jedno oddziaływanie można pominąć ponieważ inne jest znacząco większe. Tak więc przy powierzchni Ziemi wpływ oddziaływania grawitacyjnego innych ciał niebieskich jest tak mały, że przy rozważaniach nad pierwszą prędkością grawitacyjną bierze się pod uwagę wyłącznie siłę oddziaływania Ziemi. Tak samo jest z drugą prędkością kosmiczną.

Ciało po zerwaniu więzów grawitacyjnych z Ziemią i poruszające się w obrębie układu słonecznego nadal jest poddawane wpływom grawitacyjnym poszczególnych planet, w tym także Ziemi, lecz dominującą siłą grawitacyjną jest w tym przypadku siła oddziaływania Słońca. Dlatego przy rozważaniach nad trzecią prędkością kosmiczną bierze się pod uwagę tylko siłę oddziaływania Słońca. To właśnie pokonanie oddziaływania grawitacyjnego Słońca opisuje trzecia prędkość kosmiczna.

Po wydostaniu się z układu słonecznego następną barierą jest posiadanie takiej prędkości by móc opuścić naszą galaktykę. Ten przypadek charakteryzuje czwarta prędkość kosmiczna. Biorąc pod uwagę obecne teorie budowy wszechświata można scharakteryzować jeszcze następne prędkości odnoszące się np. do ucieczki poza gromadę galaktyk, w której znajduje się nasza galaktyka. Jednak, nie będziemy się tym zagadnieniem zajmować w obecnym opracowaniu.

Podajmy definicje poszczególnych prędkości kosmicznych.

I prędkość kosmiczna (tzw. *prędkość kołowa*) to najmniejsza prędkość, jaką należy nadać obiektowi, aby mógł on orbitować wokół Ziemi lub innego ciała kosmicznego, np. innej planety w naszym układzie słonecznym.

Ściśle jest to prędkość na kołowej orbicie o promieniu równym średniemu promieniowi danego ciała kosmicznego, wokół punktowej (lub kulistej, o sferycznie równomiernym rozkładzie gęstości) masy, równej masie tego ciała. Oczywiście jest to pewna

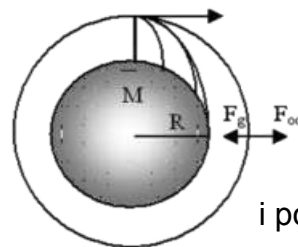
idealizacja i nie odpowiada rzeczywistemu przypadkowi np. rakiety startującej z Ziemi, która to musi pokonać jeszcze opory atmosfery i dodatkowo wznieść się na wysokość, na której atmosfera jest wystarczająco rozrzedzona, dla normalnego ruchu orbitalnego. W praktyce ze względu na występowanie atmosfery obiekt może utrzymać się na orbicie kołowej dopiero na wysokości ponad 100 km. Na tej wysokości prędkość kołowa jest nieco mniejsza i wynosi 7,8 km/s. Pierwszą prędkość kosmiczną otrzymamy w następujący sposób:

Jeżeli

$$a = \frac{F}{m} = \frac{GM}{r^2}$$

I przyrównując siłę grawitacji do energii kinetycznej jaką musi posiadać ciało by zrównoważyć tą siłę, otrzymujemy:

$$\begin{aligned} a &= \frac{v^2}{r} \\ \frac{GMm}{R^2} &= \frac{mv^2}{R} \\ \frac{GM}{R} &= v^2 \\ g &= \frac{GM}{R^2} \\ GM &= gR^2 \\ v^2 &= \frac{gR^2}{R} \\ v &= \sqrt{gR} \end{aligned}$$



i porównując z przyspieszeniem

dośrodkowym w ruchu po okręgu

Stąd $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, gdzie G - stała grawitacji, M - masa ciała kosmicznego, r - promień ciała kosmicznego. Po podstawieniu wartości liczbowych dla Ziemi dostajemy

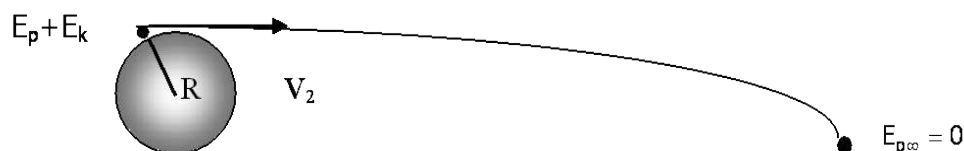
$$v_1 = 7,91 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

W rzeczywistości rakiety startując z Ziemi na wschód otrzymują już część prędkości z ruchu rotacyjnego planety. Dlatego też kosmodromy najchętniej buduje się jak najbliżej równika, gdzie zysk prędkości jest największy (w przypadku startu z równika Ziemi wynosi ok. 463 m/s).

II prędkość kosmiczna (tzw. *prędkość paraboliczna*), zwana też *prędkością ucieczki*¹ to najmniejsza prędkość, jaką należy nadać ciału, aby jego orbita w polu grawitacyjnym Ziemi stała się paraboliczną, co oznacza aby ciało pokonało przyciąganie Ziemi i zostało satelitą Słońca.

Wartość drugiej prędkości kosmicznej również zależy od masy i odległości od środka ciała przyciągającego. Za wartość charakteryzującą drugą prędkość kosmiczną przyjmuje się wartość odpowiadającą oddaleniu od środka ciała przyciągającego, równemu jego średniemu promieniowi. Dla Ziemi tuż przy jej powierzchni druga prędkość kosmiczna wynosi 11,2 km/s.

Obliczamy ją znajdując różnicę w energii obiektu znajdującego się na powierzchni danego ciała kosmicznego oraz w nieskończoności. Energia w nieskończoności równa jest 0, natomiast na powierzchni jest sumą energii potencjalnej



$$\frac{-GMm}{r}$$

oraz energii kinetycznej

$$\frac{mv^2}{2}.$$

Dostajemy więc równanie

$$\frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{r} = 0,$$

z którego wynika

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

Podstawienie danych liczbowych dla Ziemi daje $v_2 = 11,19 \frac{\text{km}}{\text{s}}$.

Wszystko to przy założeniu, że nie ma innego ciała kosmicznego oprócz rozpatrywanego - a że zwykle inne ciała są (w przypadku np. Układu Słonecznego), więc tor lotu w praktyce nie jest parabolą, bo zaginają go po swojemu oddziaływania grawitacyjne tych innych ciał (Słońca, Księżycy...).

III prędkość kosmiczna jest najmniejszą prędkością początkową, przy której ciało, rozpoczynając ruch w pobliżu Ziemi lub innego ciała Układu Słonecznego, przezwycięży przyciąganie całego Układu (w szczególności Słońca) i go opuści.

Jest to prędkość w praktyce odpowiadająca prędkości ucieczki względem Słońca. Zachowując warunek, że jest to prędkość liczona względem powierzchni Ziemi, za r musimy wstawić średnią odległość Ziemi od Słońca, za M masę Słońca (która skupia większość masy układu).

Daje to

$$v_3 = 42,1 \frac{\text{km}}{\text{s}}.$$

Warto jednak pamiętać, że startująca rakieta ma już pewną prędkość związaną z ruchem obiegowym Ziemi wokół Słońca, więc w istocie nie musi ona się rozpędzać aż do prędkości $42,1 \frac{\text{km}}{\text{s}}$. Wystarczy przy starcie z powierzchni Ziemi nadać obiektowi, w kierunku zgodnym z obiegowym Ziemi wokół Słońca, prędkość $16,7 \text{ km/s}$, by opuścił on Układ Słoneczny. Zasadniczo trzecią prędkość kosmiczną podaje się względem Słońca, ale można podać dla innego punktu startu (im dalej od ciała, tym mniejsza prędkość ucieczki).

Można się jeszcze spotkać z **czwartą prędkością kosmiczną**, którą definiujemy jako *najmniejszą prędkość, której osiągnięcie umożliwi opuszczenie na zawsze naszej Galaktyki.*

W okolicach Słońca (Układu Słonecznego) prędkość ta wynosi około $350 \frac{\text{km}}{\text{s}}$, lub uwzględniając ruch Słońca ok. **130 km/s**.

Niektórzy skłonni są definiować także piątą prędkość kosmiczną, jako prędkość ucieczki z wszechświata. Jej obliczenie jest jednak obecnie niemożliwe, ze względu na naszą nikłą wiedzę odnośnie jego globalnej budowy.

Kilka obiektów skonstruowanych ręką ludzką zdołało już oddalić się od Słońca bardziej niż najdalsza planeta Układu Słonecznego. Najodleglejsza sonda kosmiczna *Voyager 1* we wrześniu 1999 r., czyli 22 lata po swym starcie z Ziemi, znajdowała się w odległości od Słońca przewyższającej prawie 75 razy promień orbity Ziemi, podczas gdy Pluton obiega Słońce w średniej odległości 40 promieni ziemskiej orbity. Na

czterech ciałach niebieskich (Księżycu i trzech planetach: Wenus, Marsie i Jowiszu) pracowały przyrządy zbudowane przez człowieka, a jedno (Księżyc) odwiedzili ludzie.

¹ - Prędkość ucieczki

Prędkość ucieczki (zwana też drugą prędkością kosmiczną) - minimalna prędkość, z jaką obiekt może oddalić się od danego pola grawitacyjnego. Im lżejsze jest źródło pola grawitacyjnego, tym mniejsza prędkość ucieczki.

Bibliografia:

1. Eugeniusz Rybka – Astronomia ogólna
2. M. Herman, A. Palestyński, L. Widomski – Podstawy fizyki
3. B. Jaworski, A. Dietłaf – Kurs fizyki, tom 1.
4. Internet