

Wojciech DINDORF

## **Swobodny spadek Lektura nadobowiązkowa\***

### **Krótką lekcja o przyciąganiu**

Kamień rzucony w górę  
Spowalnia i wraca  
Zbyt mała była nad nim wykonana praca.  
Słaby człowiek zbudował potężne rakiety  
Robią to czego mięśnie nie mogą niestety.  
Słaby człowiek ma mózg, który liczy  
Długie lata w tym liczeniu się ćwiczy  
I wiesz co mądry człowiek wyliczył w tej sprawie?  
Że potrzeba 11 300 m/s (!!!) prawie  
By kamień z taką szybkością rzucony  
Oddalił się od Ziemi w obszar niezmierny  
Gdzie nikt nawet nie słyszał o naszej planecie  
(wybaczcie ten nadmiar fantazji w „poecie”)  
Gdzie najsłabsze „wróc do mnie” z Ziemi nie dociera  
Gdzie panuje prawdziwie wolna „atmosfera”.

.....  
I tu każdy kto myśli, że rozumie temat  
Powie – racja, choć puenty ta bajeczka nie ma.

---

\* Ciąg dalszy artykułu: W. Dindorf, *Swobodny spadek*, „Kwartalnik Opolski” 2010, nr 4, s. 73–81.

## Najkrótszy wykład o energii wiązania

Zapytał uczeń dociekliwy Pani (profesor)  
 Czy do Ziemi jesteście jakoś przywiązani?  
 Jak podskakujemy to nie odpadamy  
 Zawsze, i to szybko, spadając wracamy.  
*Pani (profesor)*  
 Natura nas wiąże z naszą matką Ziemią  
 I stawia nam trudne warunki:  
 Jak chciałbyś wziąć rozwód  
 Chcesz wynieść się z Ziemi  
 Zrób proszę proste rachunki.  
 Chcesz zmniejszyć Jej masę?  
 Płać w dzulach\*, a cena jest stała:  
 64 miliony za każdy kilogram emigracji (z powierzchni!)  
 To cena wcale niemała!!  
 (Księżyc żąda niecałe 2 miliony dzuli!!  
 – bo słaby, atmosfery Księżyc nie przytuli)  
 Gdyby za Ziemią stęskniony Ziemianin  
 Chciał z emigracji powrócić  
 Natura nie tylko wybaczy  
 Lecz musi energię tę ..... zwrócić  
 \* \* \* \* \*

\* Nie wiesz co to dzul?, to sobie wyobraź,  
 że podniesienie filiżanki herbaty (4N)  
 ze stołu do ust (0,25 m)  
 wymaga zużycia (utruty) energii w ilości  $4 \times 0,25 = 1 \text{ J}$   
 Gość, którego masa wynosi 78 kg, musiałby za „azyl” zapłacić  $78 \times 64 = 5$  miliardów dzuli!!!  
 Rozumiemy dlaczego dopiero w drugiej połowie XX wieku ludzie byli w stanie kilka kilogramów na zawsze z Ziemi wyrzucić?

\*\* \*\*\*\*\* \*\* \*\*\*\*\*

## I jeszcze coś dla dużych dzieci

### Bajka o mrówce\*

Była sobie raz bardzo mądra mrówka. Bardzo mądra jak na mrówki. Zafascynowana prawem grawitacji Newtona postanowiła wyruszyć w podróż na bez-

\* Przedruk z książki: *Moja fizyka*, t. 1, Warszawa 2002.

mrówczą planetę. Zamknęła się w skafandrze kosmicznym, zaopatrzyła w niezbędne do życia na kilka lat produkty, i załapała się na start rakiety, która właśnie wynosiła na orbitę potężnego satelitę. Po trudach podróży udało jej się wydostać na zewnątrz swojej kulistej planetki. Był to pewnie jakiś wojskowy sztuczny satelita ziemski. Sztuczny to on tak naprawdę nie był. Był całkiem normalny i prawdziwy, kulisty i jak mrówka na umieszczonej tam plakietce wyczytała, miał 50 m średnicy i masę 100 000 kg.

Wspaniała, bezmrówcza planeta – pomyślała mrówka i postanowiła tu się na dłużej zatrzymać. Marzyła o samotności, była mało wymagająca, a bardzo lubiła odkrywać nowe tereny.

Wyruszając w podróż, zabrała przezorna mrówka taką małą ściągę z fizyki, bo wiedza fizyczna jest w takich przypadkach kwestią życia lub śmierci.

Cóż ta ściągą zawierała? W zasadzie niewiele, ale niezmiernie ważne dla mrówki informacje.

Na kartoniku było wypisane:

**proszę te cztery wzory umieścić w ramce, takiej malej kartce**

$$1. F = \frac{GmM}{R^2}$$

$$2. g = F/m = \frac{GM}{R^2}$$

$$3. v_i = \sqrt{gR}$$

$$4. v_{ii} = v_i \sqrt{2}$$

Nr 1. Prawo Grawitacji:  $F = \frac{GmM}{R^2}$

Mrówka wiedziała, co oznaczają te symbole: G to stała taka sama w całym wielkim Wszechświecie, m to masa jej, mrówki, M zaś to masa planety. Mrówka знаła wszystkie wielkości. Znała też wartość R promienia swojej nowej rezydencji.

Nr 2. Newton i jego Druga Zasada nie były obce mrówce. Wiedziała, że nawet bez liczenia siły F, jaka ją do planety przyciąga (i *vice versa* – jak się każdy domyśla) da się w prostym doświadczeniu wyznaczyć przyspieszenie g swobodnie spadającego ciała na planetę M przy jej powierzchni.  $g = F/m$  a więc także i  $GM/R^2$ . To były dla mrówki sprawy podstawowe.

(Czy domyślacie się może, dlaczego nie chciała tej wielkości wyznaczyć?)  
Miała ona jednak jeszcze w zapasie dwa przepisy:

Nr 3. To coś w rodzaju kodeksu drogowego, określającego limit prędkości poruszania się po planecie. Ta prędkość graniczna nazywa się Pierwszą Prędkością Kosmiczną. To jest prędkość, przy której „podróżnik” staje się satelitą swej planety. Ta prędkość wynosi  $v_i = \sqrt{gR}$ .

Nr 4. Ktoś życzliwy powiedział mrówce przed wyprawą, by jeszcze jedno miała na uwadze: nie podskakiwać! Jest bowiem taka wielkość, jak Druga Prędkość Kosmiczna, która mówi, jak szybko (co najmniej) trzeba się poruszać, aby nigdy już do domu nie wrócić. Tu należy tylko poprzednią prędkość pomnożyć przez  $\sqrt{2}$ . Czy nasza mrówka zdawała sobie sprawę z tego, ile te prędkości wynoszą na Ziemi? Może tak, a może nie. Podpowiedzmy jej zatem:

$g$  na Ziemi wynosi około  $10 \text{ m/s}^2$ ; Promień Ziemi  $R = 6\,400\,000 \text{ m}$ ;  
stąd  $v_i$  na Ziemi  $\approx 8 \text{ km/s}$  (pierwsza prędkość kosmiczna);  
 $v_{ii} = v_i \sqrt{2} \approx 11 \text{ km/s}$  (druga prędkość kosmiczna).

Tak więc nasza mrówka przywiązana do anteny radarowej mniej więcej metr nad powierzchnią (by zwiększyć pole widzenia), z notatnikiem w łapce zaczęła liczyć: Po mojej nowej ojczyźnie mogę poruszać się... w każdym kierunku... byle tylko nie przekroczyć... pierwszej prędkości kosmicznej, bo wtedy „wejść na orbitę”. A wchodzenia na orbitę mrówka chciała uniknąć, bo nie po to weszła z satelitą na orbitę, aby teraz „orbitować” satelitę. Ile ta prędkość „kosmiczna” wynosi?

Popatrzmy na ściąę  $v_i = \sqrt{gR}$  ale  $g = GM/R^2$  zatem

$$v_i = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

czyli... czy to możliwe?...  $1,2 \text{ m/h}$ , czyli mniej niż półtora metra na godzinę! Do czego to porównać? Nawet ślimak musiałby się tu mieć na baczności! Przekroczenie tej prędkości będzie równoznaczne z wejściem na orbitę około „planetarną”. Nie wiem, czy mrówka zdawała sobie sprawę, że jedno okrążenie trwałoby wtedy ponad 10 dób ziemskich!!

Nie były to wyniki bardzo radosne dla mrówki, która będzie musiała uważać na każdy krok. Tym bardziej... że... kiedy policzyła jeszcze drugą prędkość kosmiczną  $v_{ii} = 1,7 \text{ m/h}$ , to zrozumiała, że każdy przypadkowy podskok skończy się wyleceniem w przestrzeń bez możliwości powrotu na planetę. Trzeba było wcześniej o tym wiedzieć – pomyślała mrówka – i uroniła mrówczą łezkę. Lecz łezka jakoś nie śpieszyła się ze spadaniem. Wypisała więc mrówka na największej kartce, jaką miała, S.O.S, przyklepiła kartkę do masztu, a sama, odwiązawszy się od niego, zaczęła „spadać swobodnie” w dół i... po blisko ośmiu godzinach spadania miękko wylądowała na twardym gruncie swojej dziwnej bezmrów-

czej planety. Zrozumiała biedna mrówka, że tu dłużej nie wytrzyma, że tu każde nieopatrzone stuknięcie pięścią w stół może spowodować wyjście w Kosmos.

Zbudziła się w dreszczach i z lekką gorączką, ale szczęśliwa, bo znów ważyła aż 2 miliniutony! Na skok z wysokości jednego metra potrzebowała mniej niż pół sekundy.

Mogła biegać, bić mrówczą pięścią w mrówczy stół do woli i podskakiwać z radości bez obawy, że stanie się mrówczym satelitą Ziemi.

*Morał: Upewnij się, na jakiej planecie żyjesz, zanim zechcesz podskoczyć.*

FREE FALL  
SUPPLEMENTARY READING

Summary

This article is about gravitational field and weightlessness. It points out that everyone while jumping even a few centimeters up or down, experiences, during the short time of no contact with the ground, a state of weightlessness. Astronauts in a spaceship that orbits the earth are also falling down with gravitational acceleration  $g$ . Their horizontal speed of about 8 km/s and the Earth's curvature allows them to fall while following an elliptical path around the centre of the Earth. They have to be high enough above the ground (100-400 km) in order to maintain their speed, with engine off, – otherwise the dense air would slow them down or burn the spaceship due to high friction.

