

## O potencjale

Spróbuję pomóc ci zrozumieć jedno z istotniejszych pojęć w naukach przyrodniczych, **pojęcie potencjału**. Z tym pojęciem będziemy też wiązać termin **energia potencjalna**. Od razu można wyjaśnić, że związek między tymi dwoma pojęciami jest taki. Jak między ceną towaru a kwotą za towar zapłaconą. Cena dotyczy jednostki, kwota (cena razy ilość) zależy od ilości kupionych jednostek. Potencjał dotyczy jednostki, energia potencjalna to potencjał razy ilość masy obiektu lub w przypadku potencjału elektrycznego – razy ilość ładunku. Popatrzmy na sprawę konkretnie: leży kamień na polu.



Pytanie brzmi (brzmienie to jedna z cech pytania, jak wiesz): ile wynosi energia potencjalna tego kamienia? O co pytam? Pytam o to, ile pracy muszę wykonać, by kamień znalazł się tam, gdzie nic już nie będzie w jego dalszym przemieszczaniu przeszkadzało. Tam energia potencjalna kamienia będzie równa zero. Tak się fizycy umówili.

W **nieskończoności** ustalili poziom, względem którego energia będzie mierzona. Każdy inny poziom będzie poniżej zerowego, zatem kamień wszędzie będzie miał energię potencjalną ujemną.

Ustalmy dla prostoty kierunek przemieszczenia wzdłuż linii sił pola grawitacyjnego. A więc w górę albo w dół.

Wybermy logicznie (bo bliżej) kierunek w górę. Teraz sprawa wygląda jaśniej.

Oczywiście wywindowanie kamienia do góry wymaga pracy, ale gdzie bym nie wywindował, to dalsze podnoszenie też wymaga pracy. I tak będzie aż do miejsca, gdzie już nic kamienia w dół (czyli ku Ziemi) nie ściągnie. Wiem, że im wyżej jestem, tym słabiej siła grawitacji ściąga kamień w dół. a więc praca na przemieszczenie, powiedzmy, o każdy dalszy metr staje się mniejsza. Pytamy nieustępliwie: ile wynosi energia potencjalna, grawitacyjna kamienia na polu? Ile pracy trzeba, by kamień wynieść tam, skąd już nie wróci? Ile pracy? Ile co najmniej? Co najmniej, bo nie chcę przesadzać, nie chce by kamień ten tam gdzieś w przestworzach pędził czy wirował, czyli miał energie kinetyczną. Nie stać mnie na to. Ile zatem wynosi energia potencjalna kamienia na polu?

To się da wyliczyć, jak się wie, jak mocno kamień jest tu na polu przyciągany przez Ziemię i jak się wie, jak ta siła przyciągania zmienia się z miejscem (z przemieszczeniem). My to wiemy. Newton nam pomógł wyznaczyć i stąd potrafimy policzyć, że musimy wykonać pracę 62 440 650 dżuli nad każdym kilogramem kamienia, zatem energia potencjalna naszego 100-kilogramowego kamienia wynosi 6 244 065 000 J

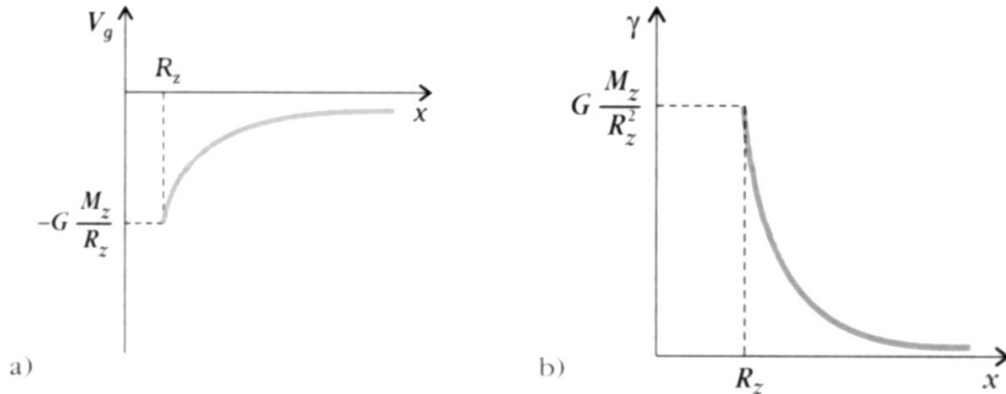
Potencjał grawitacyjny w miejscu, gdzie kamień leży na polu, wynosi 62 MJ/kg. Gdybyś chciał wiedzieć, jaką energią trzeba dysponować, by twego 80-kilogramowego nauczyciela wysłać w daleki kosmos, to możesz zastosować wiedzę o kamieniu i pomnożyć 62 MJ/kg przez 80 kg. Otrzymasz zawrotną wielkość 5 miliardów dżuli (5 GJ)! A przecież wiesz, że tak bez niczego się nie polecą, potrzebny pojazd, urządzenia, rakiety z paliwem, a to wszystko waży.

62 MJ/kg można nazwać energią wiązania wszystkiego, co znajduje się na powierzchni Ziemi. Widzisz już zapewne oczyma wyobraźni ten ogień strzelający z dysz rakiety startującej z Przylądka Kennedy'ego. Ona, ta rakietka, zbudowana została w XX wieku, by „rozwiązać” więzi niewielkiego kawałka materii z Ziemią. Ten niewielki kawałek

materii nazywamy sondą kosmiczną. Kilka takich wysłano już tam, skąd nigdy nie wróćą. Niedawno jedna z nich (Galileusz) po 12 latach podróży dotarła w okolice Neptuna i jeszcze trochę potrwa zanim opuści nasz Układ Słoneczny. Wróćmy na Ziemię.

Około 10N/kg to siła, jaka nas wiąże (każdy kilogram) z Matką Ziemią (9,81 N/kg – ściślej biorąc). Niezależnie od tego, czy kamień to czy kwiatek, czy żywa istota. Tę wielkość nazwaliśmy **natężeniem pola grawitacyjnego** na powierzchni Ziemi.

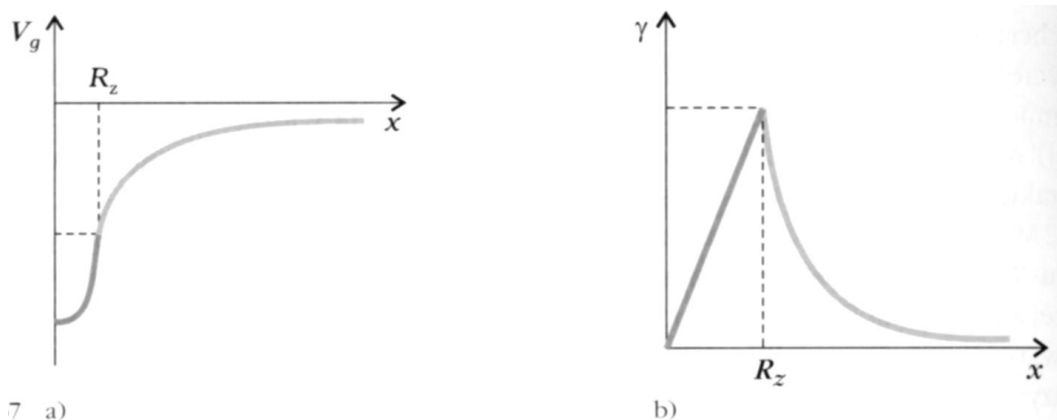
Około – 62 MJ/kg, to brakująca energia, to praca, którą należałoby wykonać (energia, jaką trzeba dysponować), by kilogram masy na zawsze oderwać od Ziemi. Tę wielkość nazywamy **potencjałem grawitacyjnym**. Zobaczmy, jak obie wielkości zmieniają się, gdy wyznaczamy je na różnych odległościach od Ziemi. (rys. 1 a i b)



Bieglejsi w matematyce zauważą może, że kształt drugiego wykresu odpowiada przebiegowi zmian nachylenia krzywej z wykresu pierwszego. Analizując te oba przebiegi, dostrzegamy pewnie logikę, jaką rządzi się przyroda. Siła zanika dość szybko, ale pracy (prawdopodobnie ze względu na daleką drogę, „że końca nie widać”) zbytnio nie ubywa. Energia jest ujemna – potencjał grawitacyjny jest – z definicji – ujemny, nasze przemieszczenie jest w kierunku przeciwnym niż kierunek działania siły (grawitacji). Droga do zerowego potencjału jest „pod górę” (tzn. od wartości minimalnej potencjału). Jeśli droga do zerowego poziomu jest „w górę”, to znaczy, że jesteśmy w depresji!

Co więcej: wielkość powierzchni zawartej pod krzywą  $\gamma = f(x)$ , liczona od dowolnego miejsca w prawo, powinna odpowiadać wartości  $V_g$  w danym miejscu. Popatrzmy przez chwile, przerzucając wzrok z prawego wykresu na lewy, by dopatrzeć się i tej prawidłowości.

Zapewniam czytelnika, że ciekawsza jeszcze niż na zewnątrz planety sytuacja panuje na odległościach mniejszych niż  $R_z$ . (rys. 2 a i b)



Tu już wyraźniej oba przebiegi różnią się między sobą. Jak je interpretować? Popatrzmy może najpierw na wykres na rysunku 2 b. Odpowiada on naszemu przekonaniu, że im głębiej zanurzalibyśmy się pod powierzchnię Ziemi, tym mniej byśmy ważyli. To Newton dał nam matematyczne uzasadnienie, że tym razem zmiana siły grawitacji zachodziłaby liniowo, to znaczy zmieniałaby się proporcjonalnie do odległości od środka planety. Planeta musiałaby być jednorodna, to znaczy wszędzie o takiej samej gęstości, kulista, co możemy w wystarczającym przybliżeniu uznać za prawdziwe.

A więc w samym środku Ziemi natężenie pola grawitacyjnego wynosi zero. Nie ważymy, bo w którą stronę mielibyśmy ważyć? Spadliśmy już na samo dno, skąd dalej się nie da. Potencjał jest najmniejszy (ma największą wartość bezwzględną), jaki może być dla Ziemi.

Zmalał ten potencjał jeszcze o połowę tej wartości, jaką miał na powierzchni. Żeby ze środka Ziemi wydostać się na powierzchnię, to trzeba się napracować. A co dopiero do nieskończoności!

Popatrzmy przez chwilę, przerzucając wzrok z wykresu 2 b na 2 a. by dopatrzeć się i tych prawidłowości.