



Ruch pionowy

Na początek warto odpowiedzieć na pytanie ile siły w momencie zderzenia będzie oraz skąd ona się tam wzięła. Pytanie to sprowadza się do określenia **energii**, czyli wielkości, która opisuje stan w jakim dane ciało się znajduje. Opiszmy więc stan początkowy w którym znajduje się nasze jajko.

Jajko zawieszone jest na pewnej wysokości h i początkowo cała energia znajdująca się w układzie jest w postaci energii potencjalnej związanej z masą, wysokością i siłą grawitacji i może być zamieniona na inne formy energii. W przypadku zrzuconego jajka, energia potencjalna zamieniana jest na energię kinetyczną związaną z prędkością. Jednak całkowita energia pozostaje stała

$$E_{\text{całkowita}} = E_{\text{potencjalna}} + E_{\text{kinetyczna}}$$

Energia potencjalna związana jest z występowaniem pola grawitacyjnego Ziemi i można ją opisać wzorem:

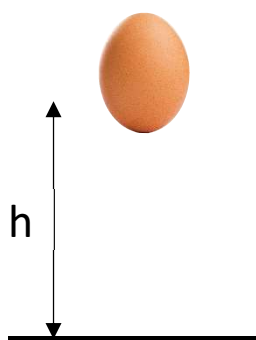
$$E_{\text{potencjalna}} = m \cdot g \cdot h$$

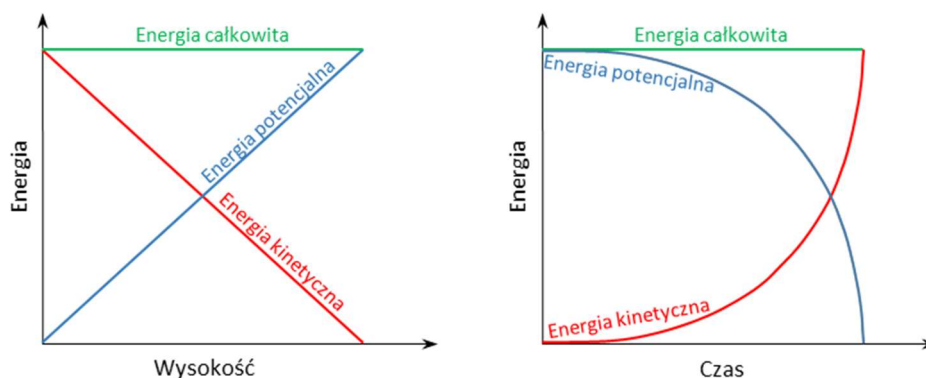
Czyli im wyżej znajduje się jajko, tym większą energię potencjalną posiada na początku i w trakcie trwania całego eksperymentu. Podobnie jest z masą, co warto mieć cały czas na uwadze.

Podczas spadania energia potencjalna zamieniana jest na kinetyczną związaną z ruchem.

$$E_{\text{kinetyczna}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Zależności te można łatwo przedstawić na wykresach w zależności od czasu upadku lub wysokości.





Z powyższych zależności z łatwością można obliczyć jaką energię mamy w układzie i jaką prędkość osiągnie nasz prototyp w momencie upadku. Obniżyć ją można poprzez zmniejszenie masy i niewiele więcej, ponieważ zarówno wysokość jest ustalona w konkursie, a stała grawitacji jest niezmienna. Sytuacja ta opisuje jednak spadek swobodny, gdzie jedyną siłą w układzie jest **siła grawitacji**, rozsądnym jest zatem stworzenie prototypu, który będzie przeciwdziałał tej sile. Taka siła musi być skierowana do góry.

Jak wpłynie siła skierowana do góry na cały eksperyment?

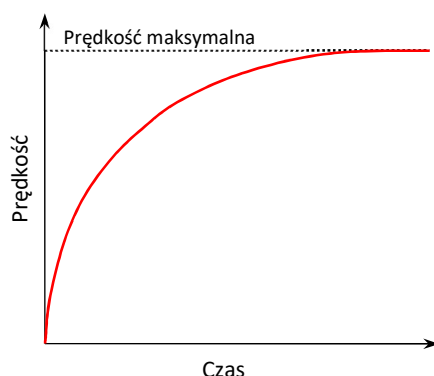
Nie trudno sobie wyobrazić, że jajko spadać będzie wolniej. Dzieje się tak za sprawą oporu powietrza.

Opór powietrza jest rodzajem tarcia, ale posiada te same cechy charakterystyczne co siła tarcia: występuje zawsze, skierowana jest przeciwnie do poruszającego się obiektu i występuje, gdy pojawia się ruch. Podobna jest też przyczyna oporu – fizyczne uderzenia o cząsteczki. Dotyczy to wszystkich płynów (powietrze też jest płynem, tylko ma znacznie mniejszą gęstość niż woda albo stal), ale łatwiej to sobie wyobrazić na przykładzie wody. Idąc zanurzonym w wodzie czujemy silny opór, ponieważ musimy fizycznie się zderzać z cząsteczkami, które są przed nami (poruszamy się względem stojącej wody). Im szybciej idziemy, tym więcej zderzeń mamy, a to oznacza większy opór. Warto od razu odnotować, że opór powietrza (płynów) zależy od **prędkości** (v). Podobnie jak prędkość, ilość zderzeń będzie zależała od tego czy idziemy przodem czy bokiem, co mówi o tym, że opór zależy od powierzchni czołowej obiektu (A). Skoro opór dotyczy wszystkich płynów, a powietrze różni się od wody gęstością to gęstość (ρ) płynu także jest istotna. Podobnie jak w tarcu powierzchniowym w oporze płynów występuje współczynnik tarcia, który jest charakterystyczny dla różnych materiałów (C). Zbierając wszystkie te informacje możemy siłę oporu powietrza (F_{op}) opisać jako

$$F_{oporu} = \frac{-1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

Pojawia się tu wniosek godny odnotowania: jeżeli siła grawitacji (która jest **stała**) powoduje, że jajko ciągle przyspiesza, a siła oporu **rośnie** wraz z prędkością to w którymś momencie, siły te muszą być sobie równe. W takim wypadku, zgodnie z pierwszym prawem Newtona, jajko powinno poruszać się

ruchem jednostajnym. I faktycznie wszystkie ciała, które poruszają się w ośrodku, który wytwarza opór osiągają swoją prędkość maksymalną. To samo oczywiście dotyczy ruchu w poziomie – najłatwiej przetestować to jadąc na rowerze, ale samochód z silnikiem o danej mocy, też nie może przyspieszać w nieskończoność.



Z powyższego wzoru wynika, że opór można zwiększyć stosując jak największą powierzchnię. I na takiej zasadzie działają wszystkie spadochrony – mają dużą powierzchnię i niewielką masę.



Czy to oznacza, że bez oporu powietrza kula do kręgli i pióra opadną z tą samą prędkością i tym samym czasie?

Tak, jeżeli wyeliminujemy opór powietrza, to jedynym przyspieszeniem będzie przyspieszenie grawitacyjne, więc te elementy opadną jednakowo. Eksperyment przedstawiający taką sytuację dostępny jest pod linkiem:

<https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

Wytworzenie siły przeciwdziałającej sile grawitacji

Alternatywnym podejściem jest wytworzenie realnej siły, która będzie skierowana do góry. Przykładem może być siła wyporu:

$$F_{\text{wyporu}} = \rho \cdot g \cdot V$$

ρ , oznacza gęstość cieczy, g - stałą grawitacji, a V objętość zanurzonej części. Jak wcześniej było wspomniane, powietrze jest płynem (bardzo rzadkim), więc siła wyporu powinna mieć zastosowanie także w tym przypadku. Przypomnijmy podstawowe zasady w klasycznym przypadku z wodą:

- Jeśli gęstość ciała jest większa od gęstości płynu, ciało tonie.
- Jeśli gęstość ciała jest mniejsza niż gęstość płynu, ciało wypływa na powierzchnię.
- Jeśli gęstość ciała jest równa gęstości płynu, ciało pływa (tkwi) całkowicie zanurzone pod powierzchnią cieczy.

Całość problemu sprowadza się do **gęstości**. W przypadku, gdy średnia gęstość naszej konstrukcji z jajkiem będzie mniejsza niż gęstość powietrza, wtedy cała konstrukcja „wypłynie na powierzchnię”. Można to uzyskać przy użyciu balonów z helem lub wodorem, który ma mniejszą gęstość niż powietrze. Co oznacza w tym przypadku sformułowanie, że balon „wypłynie na powierzchnię”? Czy opuści on naszą atmosferę? Cóż, niekoniecznie, bo wraz z wysokością, gęstość powietrza maleje, więc na pewnej wysokości siła wyporu i siła grawitacji się zrównają. Ale w przypadku samego cząsteczkowego wodoru czy helu (bez całej konstrukcji z jajkiem), tak właśnie się dzieje – opuszcza bezpowrotnie naszą planetę.

Wracając do eksperymentu z Jajkonautą, to nasza konstrukcja niekoniecznie musi się unosić, bo wtedy nigdy nie dotknie ziemi i nie zostaną spełnione warunki konkursu. Wystarczy, że częściowo siła wyporu będzie przeciwdziałać sile grawitacji. Wówczas Jajkonauta wyląduje na powierzchni z mniejszą energią kinetyczną i jego szanse na przetrwanie wzrosną.