

# Nieważkość

Andrzej Kuczkowski

Żyjąc na Ziemi, doznajemy działania siły ciężkości  $Q$ , która jest proporcjonalna do masy ciała  $m$ .

$$Q = m \cdot g,$$

gdzie  $g$  jest przyspieszeniem ziemskim.

Siła ciężkości jest skutkiem oddziaływania grawitacyjnego masy Ziemi  $M$  i masy danego ciała  $m$ .

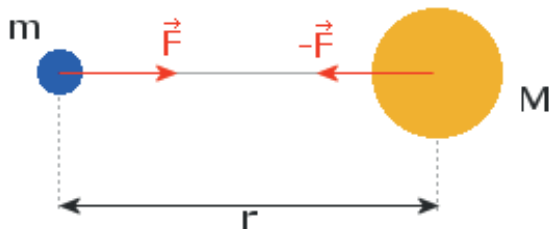
Oddziaływanie grawitacyjne występuje między wszystkimi ciałami i jest opisane prawem powszechnego ciążenia.

$$F = G \frac{M \cdot m}{r^2}, \text{ gdzie:}$$

$M$  i  $m$  – oddziałujące masy;

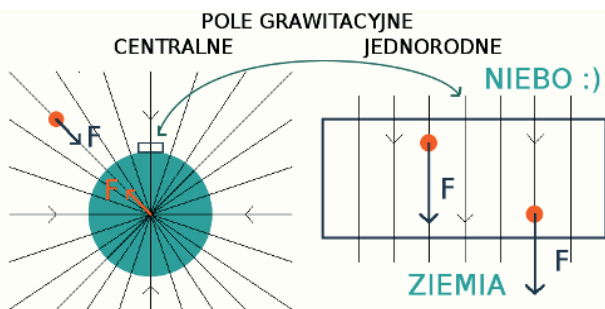
$R$  – odległość między ciałami;

$G$  – stała powszechnego ciążenia;  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ .



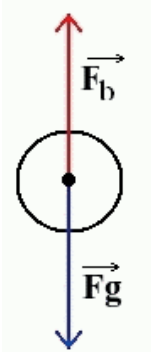
Rys. 1. Siła oddziaływania grawitacyjnego występująca między masą  $m$  a masą Ziemi  $M$   
 Źródło: [http://www.moskat.pl/szkola/fizyka/grawitacja.php?id=czym\\_jest\\_pierwsza\\_predkosc\\_kosmiczna](http://www.moskat.pl/szkola/fizyka/grawitacja.php?id=czym_jest_pierwsza_predkosc_kosmiczna).

Siły powszechnego ciążenia są siłami centralnymi, tzn. siłami działającymi między środkami oddziałujących ciał. Dla niewielkich odległości od powierzchni Ziemi możemy przyjąć, że pole grawitacyjne jest polem jednorodnym.



Rys. 2. Pole grawitacyjne Ziemi jest polem centralnym, jednakże dla niewielkich odległości od powierzchni Ziemi pole to możemy traktować jako pole jednorodne  
 Źródło: [http://www.moskat.pl/szkola/fizyka/grawitacja.php?id=czym\\_jest\\_pierwsza\\_predkosc\\_kosmiczna](http://www.moskat.pl/szkola/fizyka/grawitacja.php?id=czym_jest_pierwsza_predkosc_kosmiczna).

Z II zasady dynamiki wynika, że aby ciało spoczywało, nie może na nie działać żadna siła lub działające siły muszą się równoważyć.



Na powierzchni Ziemi, aby osiągnąć stan nieważkości, siłę powszechnego ciążenia  $F_g$  musimy zrównoważyć siłą  $F_b$  pochodzącą od różnych oddziaływań, które zostaną omówione poniżej (rys. 3).

Rys. 3. Stan nieważkości można osiągnąć przez zrównoważenie siły ciężkości  $F_g$  przez siłę  $F_b$  pochodzącą od różnych oddziaływań

Źródło: <http://weirdscience.eu/Lewitacja%20magnetyczna%20-%20stabilizacja%20fotoelektryczna.html>.

## 1. Stan nieważkości osiągnięty dzięki zrównoważeniu siły ciężkości przez siłę bezwładności

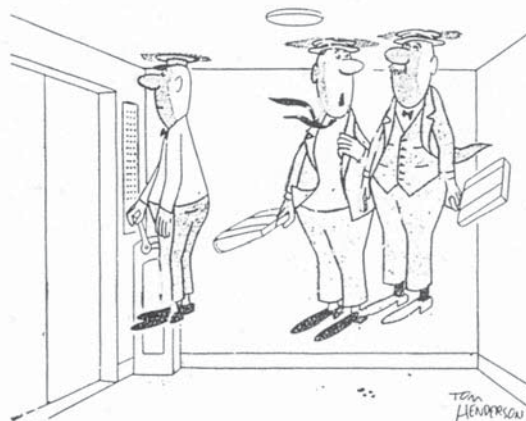
W układach poruszających się ruchem przyspieszonym z przyspieszeniem  $a$  oprócz wszystkich działających sił  $F$  odczuwamy również siłę bezwładności  $F_b$ . Siła bezwładności jest skierowana przeciwnie do przyspieszenia!

W związku z tym II zasadę dynamiki w układach nieinercjalnych trzeba zmodyfikować do postaci:

$$\vec{F} + \vec{F}_b = m\vec{a},$$

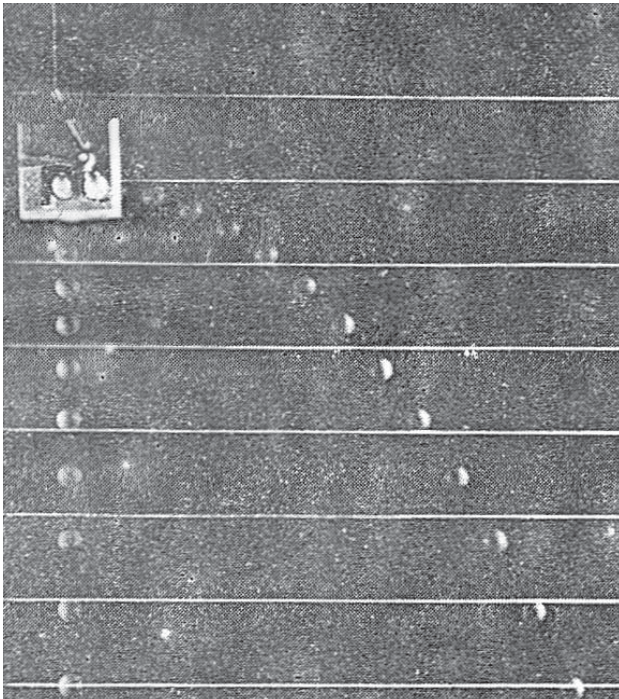
gdzie  $\vec{a}$  oznacza przyspieszenie obiektu w układzie nieinercjalnym.

Gdy na przykład obserwowane ciało będzie spadało swobodnie w polu grawitacyjnym z przyspieszeniem ziemskim  $g$ , wtedy siła  $F$  równa sile ciężkości  $F_g$  będzie zrównoważona przez siłę bezwładności  $F_b$  i przyspieszenie  $a$  ciała będzie równe zero, czyli ciało będzie znajdowało się w stanie nieważkości. Aby przeżyć chwilę w stanie nieważkości, nie musimy jednak znajdować



Rysunek przedstawia wnętrze windy spadającej z przyspieszeniem większym od  $g$ . (Przedrukowano ze specjalnym zezwoleniem z „The Saturday Evening Post”, Copyright 1959)

Rys. 4. Tak wyglądałoby wnętrze windy przemieszczającej się w dół z przyspieszeniem większym od przyspieszenia ziemskiego  
 Źródło: materiały internetowe.



Fot. 1. Zdjęcie stroboskopowe ilustrujące zasadę niezależności ruchów w przypadku rzutu poziomego. Rzut poziomy możemy traktować jako złożenie dwóch niezależnych ruchów: ruchu jednostajnego w kierunku poziomym oraz swobodnego spadku w kierunku pionowym  
Źródło: J. Orear, „U podstaw fizyki”, PWN, Warszawa 1966.

się np. w windzie, która będzie spadała z przyspieszeniem ziemskim. Wystarczy, że zeskoczymy z niewielkiej wysokości. Będziemy wówczas spadać z przyspieszeniem ziemskim i przez krótką chwilę znajdziemy się w stanie nieważkości.

Aby ciało przemieszczało się w dół z przyspieszeniem większym od przyspieszenia ziemskiego, musi na nie działać dodatkowa siła skierowana w dół, jak pokazano na rys. 4. W tym wypadku siła ta jest efektem działania sufitu windy na głowy pasażerów.

Jak wiadomo, rzut ukośny można traktować jako złożenie dwóch niezależnych ruchów: ruchu jednostajnego poziomego oraz swobodnego spadku w kierunku pionowym (fot. 1).

Pasażerowie samolotu poruszającego się po torze parabolicznym, w którym składowa pionowa przyspieszenia będzie równa przyspieszeniu ziemskiemu, a składowa pozioma przyspieszenia równa zero, będą przeżywać stan nieważkości (fot. 2).

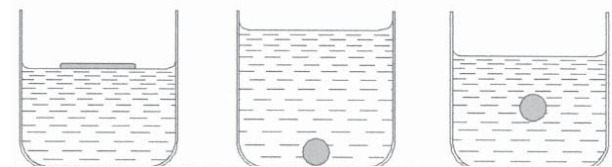
Stan nieważkości wystąpi również, gdy rakieta będzie poruszała się po orbicie wokółziemskiej. W tym wypadku odśrodkowa siła bezwładności będzie równoważyć siłę ciężkości.

## 2. Stan nieważkości osiągnięty dzięki zrównoważeniu siły ciężkości przez siłę wyporu hydrostatycznego

Zgodnie z prawem Archimidesa: „Na ciało zanurzone w cieczy działa siła wyporu równa ciężarowi wypartej cieczy”. Można więc przez dobór cieczy o odpowiedniej gęstości lub przez zmianę efektywnej gęstości zanurzonego ciała zrównoważyć siłę ciężkości siłą wyporu.



Fot. 2. W samolocie poruszającym się po torze parabolicznym pasażerowie przeżywają stan nieważkości  
Źródło: <http://platine.pl/kosmos-na-wyciągnięcie-reki-0-733785.html>.



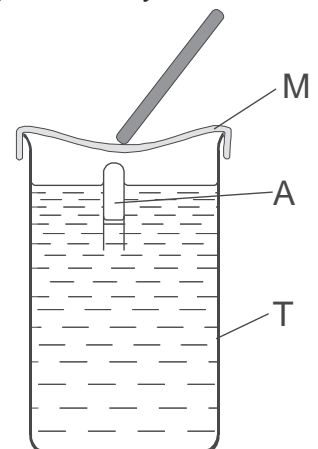
Rys. 5. Do zlewki z wodą wprowadzamy krople oleju, a następnie do wody dolewamy powoli denaturat. Przy określonej zawartości denaturatu w wodzie kropla oleju będzie w stanie nieważkości

Gdy na przykład mamy dwie niemieszające się cieczy i gdy siłę ciężkości jednej z cieczy zrównoważy siła wyporu hydrostatycznego drugiej cieczy, to powierzchnia swobodna tej cieczy przyjmie kształt kulisty. Stan taki możemy otrzymać, gdy do zlewki nalejemy nieco wody i na jej powierzchni umieścimy kroplę oleju. Utworzy ona wówczas płaską plamę na powierzchni wody. Następnie do wody należy wlewać ostrożnie denaturat. Plama oleju zaczyna przyjmować kształt kulisty, powoli zanurza się w wodzie, a następnie opada na dno. Przy odpowiedniej zawartości denaturatu w wodzie, gdy gęstość oleju będzie równa gęstości roztworu woda – denaturat, kulę olejową będzie cechować równowaga obojętna. Kula będzie znajdowała się w spoczynku na dowolnej głębokości, na której ją umieścimy.

W celu ilościowej analizy tego zjawiska należy zaznaczyć, że olej, denaturat i woda mają odpowiednio gęstości względne: 0,92, 0,79 i 1.

## Nurek Kartezjusza

Doświadczenie to świetnie ilustruje zasadę pływania i tonięcia ciał oraz występowanie stanu nieważkości. Naciskając na membranę, zwiększamy panujące pod nią ciśnienie, dlatego poziom wody w zbiorniczku A się podnosi, a objętość zawartego w nim powietrza się zmniejsza. Pozorny ciężar nurka (różnica ciężaru grawitacyj-



Rys. 6. Nurek Kartezjusza



Fot. 3. Nurek Kartezjusza zwany diabełkiem weneckim  
Źródło: katalog firmy Phywe.

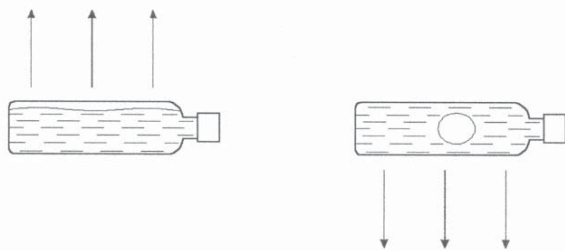
Rys. 7. Nurek Kartezjusza zwany diabełkiem weneckim  
Źródło: H. Maser, P. Richert, A. Kühns, „Die Physik”, Verlag von J. Neumann, Berlin 1905.



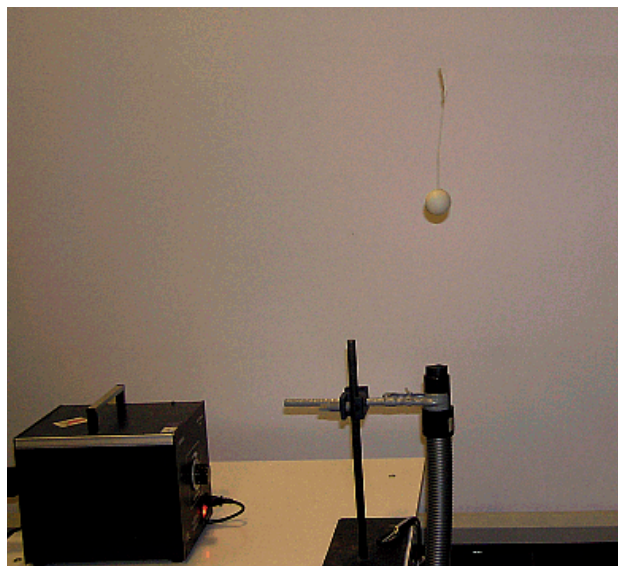
nego i siły wyporu) zwiększa się, nurek opada w dół (rys. 6). Zmniejszenie nacisku na membranę powoduje wypchnięcie wody ze zbiorniczka A przez sprężone powietrze i jego wynurzenie. Doświadczenie to świetnie ilustruje mechanizm zanurzenia i wynurzenia łodzi podwodnej. Na podobnej zasadzie co nurek Kartezjusza działa tzw. diabeł wenecki pokazany na rys. 7 i fot. 3. W tych urządzeniach opisany zbiorniczek ma kształt diabełka, co dodatkowo uatrakcyjnia pokaz tego eksperymentu.

Proszę zwrócić uwagę na ubiór diabełka na rys. 7. W czasach oświecenia na salonach modne były dyskusje o różnych teoriach naukowych, a nawet przeprowadzano proste eksperymenty fizyczne, między innymi z diabełkiem weneckim. Jego nazwa wywodzi się od miejscowości, w której diabełki były wytwarzane (w Murano niedaleko Wenecji). Zapewne eksperyment ten znany był także Adamowi Mickiewiczowi, gdyż charakteryzując postać hrabiego z *Pana Tadeusza*, pisał, że miał on między innymi frak i wyglądał jak diabeł wenecki.

W stanie nieważkości, gdy na powierzchnię cieczy działają tylko siły spójności, ciecz przyjmuje kształt kulisty. Stan taki występuje również wtedy, gdy ciecz spada swobodnie w polu grawitacyjnym. W układzie nieinercyjnym związanym ze spadającą cieczą siła grawitacyjna zrównoważona jest przez siłę bezwładności i ciecz znajduje się w stanie nieważkości. W celu demonstracji tego zjawiska wystarczy wylewać powoli ciecz z naczynia.



Rys. 8. Bąbel powietrza w swobodnie spadającej, niecałkowicie napełnionej wodą butelce zajmuje pozycję w jej środku



Fot. 4. Unoszenie się piłeczki pingpongowej w strumieniu sprężonego powietrza  
Źródło: zdjęcie autora.

Ciągła początkowo struga w pewnej odległości od naczynia rozrywa się i tworzą się oddzielne kuliste krople.

Gdy spadająca ciecz znajduje się w naczyniu, to oprócz sił spójności występują jeszcze siły przylegania. Plastikową butelkę napełnioną prawie całkowicie wodą ustawiamy poziomo i wyrzucamy lekko w górę. W czasie spadania pęcherzyk powietrza w butelce przemieści się z powierzchni do jej środka.

### 3. Stan nieważkości osiągnięty dzięki zrównoważeniu siły ciężkości przez siłę aerodynamiczną

Nieważkość ciał w sprężonym powietrzu spowodowana jest ciśnieniem powietrza na unoszący się obiekt. Tak na przykład łatwo możemy otrzymać stan nieważkości lekkiej piłeczki w strumieniu powietrza, które wypływa z odkurzacza. Zamiast odkurzacza możemy wykorzystać również suszarkę.

### 4. Stan nieważkości osiągnięty dzięki zrównoważeniu siły ciężkości przez siłę pochodzącą od innych oddziaływań

Stan nieważkości można uzyskać, umieszczając niewielkie przedmioty w węzłach fali akustycznej, w strumieniu wiązki światła o dużym natężeniu, wykorzystując efekt ciśnienia światła, oraz za pomocą sił oddziaływania magnetycznego lub elektrycznego.

### Podsumowanie

Z fizycznego punktu widzenia, aby obiekt mógł być w stanie nieważkości, musi na niego działać siła równoważąca siłę grawitacji. Stan ten można otrzymać, korzystając z różnych omówionych tu oddziaływań oraz z sił bezwładności.

Andrzej Kuczkowski

Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej  
Politechniki Gdańskiej