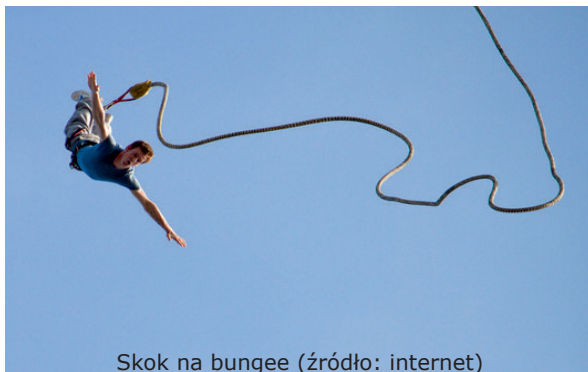


Nieważkość, przeciążenia

Żyjąc na Ziemi jesteśmy poddani, tak jak i wszystkie ciała posiadające masę, działaniu siły ciężkości, inaczej grawitacji. Odczuwamy to namacalnie, gdyż aby znajdować się w spoczynku – np. stać, siedzieć czy leżeć – potrzebujemy podpory. Wtedy działa na nas zarówno siła grawitacji jak i siła reakcji podpory. My z kolei naciskamy na podporę. Jeśli przypadkiem siła podpory nie jest w stanie zrównoważyć siły grawitacji, krzesło pod nami może się załamać, a my spadniemy na ziemię. Gdy stoimy w nieruchomej windzie, wywieramy na podłogę windy nacisk spowodowany naszym ciężarem (siłą grawitacji). Możemy zabrać do windy wagę i zobaczyć ile ten nacisk wynosi (tyle ile wskazuje waga).

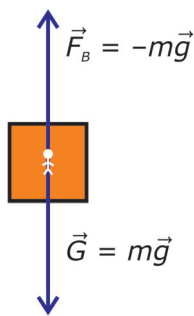
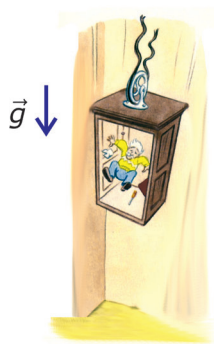
Aby doznać stanu nieważkości można skoczyć na linie bungee lub zafundować sobie mocne przeżycie w wesołym miasteczku wsiadając do windy, która spada swobodnie. W Wiedniu na Praterze znajduje się taka atrakcja – spadająca z wieży niezabudowana winda. W czasie swobodnego opadania windy



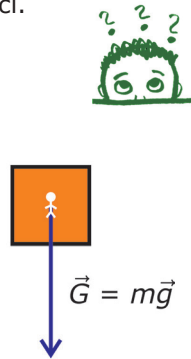
Skok na bungee (źródło: internet)

nie naciskamy na krzesółko, ono nas już nie podpira, mamy też wrażenie, że żołądek unosi się ku górze. Gdybyśmy w tej windzie stali na wadze, wskazywałaby ona zero. O takim stanie mówimy, że jest **stanem nieważkości**, ponieważ NIE odczuwamy działania siły ciężkości. Tymczasem działa na nas wyłącznie siła ciężkości, która powoduje ruch z przyspieszeniem ziemskim g . W czasie takiego swobodnego spadania znika ciśnienie hydrostatyczne; ciecze i gazy nie naciskają ani na dno, ani na ściany naczynia. W ogóle naczynie jest zbędne, ciecz może się utrzymywać w postaci kulistych kropli dzięki napięciu powierzchniowemu. Krople mają idealnie okrągły kształt¹.

O spadającej swobodnie windzie mówimy czasami jako o windzie Einsteina. Einstein formułując Ogólną Teorię Względności (OTW), czyli relatywistyczną teorię grawitacji (tę klasyczną stworzył Newton), stwierdził, że siły bezwładności należy rozważać tak jak siły grawitacji. Obserwator w zamkniętej windzie ich nie rozróżnia². W układzie spadającej swobodnie windy, która porusza się z przyspieszeniem względem układu, np. spoczynkowego związanego z ziemią (który jest tak zwanym układem inercjalnym), na ciała działają dodatkowo siły bezwładności związane z przyspieszeniem układu i równe minus przyspieszenie układu razy masa ciała. W windzie Einsteina to będzie $-gm$. Teraz na ciało w spadającej windzie Einsteina działa siła grawitacji mg , która jest równoważona przez siłę bezwładności, czyli ciężar ciała jest zrównoważony przez bezwładność. Rozumiemy teraz skąd się wzięła nazwa stan nieważkości.



(a)



(b)

Stan nieważkości w spadającej swobodnie windzie:

- (a) siły działające na ciało w układzie windy – winda porusza się z przyspieszeniem \vec{g} ;
 (b) w układzie związanym z Ziemią – obserwator widzi obiekt spadający pod wpływem siły ciężkości \vec{G} – obiekt ma przyspieszenie \vec{g} ;

¹ Obserwowane spadające krople deszczu mają inny, charakterystyczny kształt. To opór powietrza (czyli dodatkowa siła) jest tego przyczyną.

² W Wikipedii można przeczytać, że stan nieważkości jest wtedy, gdy na ciało działa wyłącznie siła ciężkości. Jak wiemy powoduje ona ruch jednostajnie przyspieszony z przyspieszeniem g . W niektórych podręcznikach można znaleźć stwierdzenie, że stan nieważkości jest wtedy, gdy wszystkie działające na ciało siły znoszą się. W układzie spadającej windy tak w istocie jest. Znosi się siła bezwładności z siłą ciężkości. Przy takim określeniu nieważkości nurkowanie w słonej wodzie o gęstości równej gęstości naszego ciała (siła wyporu = sile ciężkości) imituje stan nieważkości.

Oczywiście, gdybyśmy się znaleźli gdzieś hen w Kosmosie z dala od wszelkich obiektów masywnych, to też doznawalibyśmy stanu nieważkości.

Rozumiemy, dlaczego w spadającej swobodnie windzie Einsteina nie odczuwa się ciężkości, ale dlaczego w statku kosmicznym astronauta znajdują się w stanie nieważkości?

Musimy zauważyć jednak, że kosmonauci nie zawsze znajdują się w stanie nieważkości. Zależy to od tego, jak porusza się stacja czy prom kosmiczny. Stan nieważkości jest tylko wtedy, gdy winda, prom kosmiczny, rakieta, samolot poruszają się z wyłączonymi silnikami.

Tak się dzieje, gdy stacja lub prom kosmiczny jest na trajektorii okołozemskiej i jest jakby satelitą Ziemi, a samolot³ porusza się po torze parabolicznym (jak kamień wyrzucony w górę).

Siła grawitacji działająca na stację lub prom na orbicie okołozemskiej jest oczywiście słabsza od tej działającej przy powierzchni Ziemi (na wysokości mniej więcej 500 km o około 10%), ale to ona utrzymuje pędzący statek na orbicie. Dzięki tej sile statek ma przyspieszenie dośrodkowe, układ statku nie jest inercjalny i na statku działa, jak to stwierdził Einstein, siła bezwładności, która równoważy siłę ciężkości.

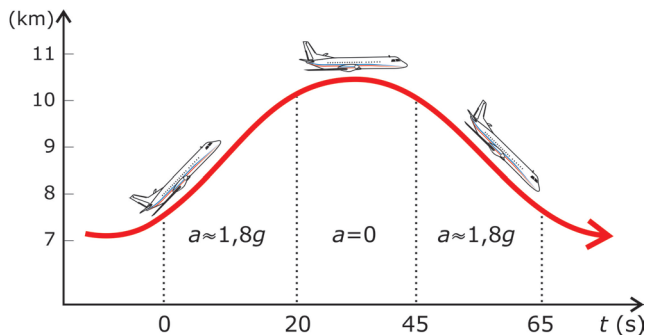
Siły bezwładności odczuwasz w gwałtownie przyspieszającym lub hamującym aucie, czujesz ją też w samochodzie na zakręcie. Jeśli ta siła jest zrównoważona przez siłę wywieraną przez pasy, którymi jesteś przypięty do siedzenia, to w porządku, jeśli nie – to sytuacja może być groźna. Zwykliśmy nazywać siły działające na ludzi w układach przyspieszonych przeciążeniem i mierzyć je wielokrotnościami wartości przyspieszenia grawitacyjnego g .

Astronauta w startującej rakiecie (i w hamującej) doznają sił bezwładności, które dodają się do siły grawitacji. Mówimy wtedy o przeciążeniu. W czasie gwałtownego hamowania, przy powrocie na Ziemię, astronauta też doznają przeciążeń, pomimo że siła bezwładności (dokładnie jej wartość) odejmuje się od siły ciężkości. Przeciążenie w czasie startu rakiety sięga parunastu g . Astronauta na specjalnych wirówkach trenują na ziemi stan przeciążenia. Bogaci ludzie mogą sobie zafundować dłuższe przebywanie w stanie nieważkości i doznawać przeciążeń wykupując bilety na tak zwane loty paraboliczne. Samoloty przez pewien czas lecą po torze parabolicznym takim, jakim by leciały z wyłączonymi silnikami.



Trajektoria takiego lotu wygląda jak na wykresie. Pierwszy etap lotu to ostre wzbijanie się ku górze. Wtedy występują przeciążenia, pasażerowie są wbijani w fotele. Po osiągnięciu planowanej wysokości samolot porusza się ruchem parabolicznym (jak kamień rzucony do celu). I to wtedy, podczas kilkudziesięciu sekund, doświadcza się przyjemności stanu nieważkości. Następnie samolot wraca na Ziemię. W zależności od trajektorii lotu (pracy silników) na tym odcinku lotu pasażerowie mogą doznawać przez chwilę przyspieszenia $1/6 g$, czyli jak na Księżycu, czy $1/3 g$ jak na Marsie. Przy samym lądowaniu znowu doznają przeciążeń.

³ Szybowiec, który nie ma silników, nie musi poruszać się torem parabolicznym. Działają na niego siły oporu powietrza i siła nośna. My tutaj mówimy o samolocie na dużych wysokościach, tam gdzie siły te są pomijalnie małe.



Znacznym przeciążeniom poddawani są kierowcy Formuły 1 i to nie tylko podczas przyspieszania bolidów, ale przede wszystkim podczas kolizji z przeszkodą. Czas hamowania rozpędzonego bolidu jest bardzo krótki i to powoduje ogromne przyspieszenia. Rakiety kosmiczne muszą mieć odpowiednio długi czas przyspieszania i hamowania, aby ciało astronauty mogło znieść przeciążenia.

Z.G-M