



11 Ciężar i nieważkość

11

Z gimnazjum powinienes:

- wiedzieć, jak działa waga sprężynowa,
- wiedzieć, jak skierowany jest wektor przyspieszenia ciała, gdy jego prędkość się zwiększa i gdy się zmniejsza,
- znać trzecią zasadę dynamiki Newtona.

Przeciążenie

Kiedy chcesz się dowiedzieć, ile ważysz, stajesz na wadze sprężynowej. Nie mierzy ona jednak masy bezpośrednio, ale mierzy działającą na wagę siłę nacisku. Z gimnazjum wiesz, że siła ta jest równa ciężarowi, czyli w typowych warunkach i w dużym przybliżeniu sile grawitacji (ciężkości), którą Ziemia przyciąga dane ciało.

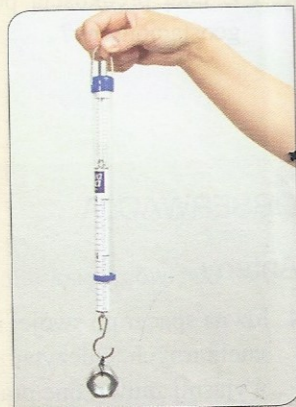
Okazuje się, że ze zmianami wskazań wagi, czyli zmianami ciężaru, mamy do czynienia w układach, które poruszają się z pewnym przyspieszeniem w górę lub w dół.

Doświadczenie

1. Na haczyku siłomierza powieś dowolne ciało, np. metalowy obciążnik lub piórnik.

Uwaga. Jeśli nie masz siłomierza, możesz użyć gumki recepturki.

2. Mocno pociągnij za siłomierz (gumkę) do góry. Jak zmienia się wskazanie siłomierza (rozciągnięcie gumki)?



Aby poruszyć ciało do góry z pewnym przyspieszeniem, musisz działać na nie siłą większą od siły ciężkości, jaką Ziemia przyciąga ciało. Taka sytuacja miała miejsce podczas doświadczenia. Podobnie dzieje się, gdy znajdujesz się w windzie, która rusza do góry z pewnym przyspieszeniem (zdjęcie b). Zgodnie z trzecią zasadą dynamiki Newtona siła wywierana przez ciebie na windę jest równa co do wartości, ale przeciwnie skierowana do siły, z jaką podłoga windy działa na ciebie.

W windzie, która jedzie do góry z pewnym przyspieszeniem, podłoga działa na ciebie nie tylko siłą, która równoważy siłę ciężkości, ale dodatkowo siłą, która nadaje ci przyspieszenie. Gdyby w tym momencie dokonać pomiaru siły nacisku na podłogę z użyciem wagi sprężynowej, wskazałaby ona, że twój ciężar wzrósł w porównaniu z sytuacją, gdy winda była w spoczynku. Taki stan nazywamy **przeciążeniem**.

Jeśli ciało porusza się z przyspieszeniem skierowanym w górę, zwiększa się jego ciężar. Nazywamy to stanem przeciążenia.

Przykład 1

Człowiek o masie 70 kg stoi na wadze sprężynowej wyskalowanej w niutonach w windzie ruszającej w górę z przyspieszeniem $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Co wskazuje waga w windzie nieruchomej, a co w poruszającej się?

Dane:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$a = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$F_w = ?$$

Rozwiązanie:

Najpierw obliczamy ciężar człowieka $Q = mg$.

$$Q = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 700 \text{ N}$$

Tyle wskazuje waga w spoczywającej windzie.

Następnie obliczamy siłę nadającą mu odpowiednie przyspieszenie, czyli $F = ma$.

$$F = 70 \text{ kg} \cdot 3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 210 \text{ N}$$

Wskazanie wagi jest sumą tych sił.

$$F_w = Q + F$$

$$F_w = 700 \text{ N} + 210 \text{ N} = 910 \text{ N}$$

Odpowiedź: Waga w spoczywającej windzie wskazuje 700 N, a w poruszającej się – wskazuje 910 N.

a)



Człowiek o ciężarze 600 N stoi w windzie na wadze sprężynowej wyskalowanej w niutonach.

b)



Winda rusza w górę. Ciężar rośnie do 660 N.

c)



Winda rusza w dół. Ciężar maleje do 540 N.

W windzie przyspieszenie nie jest zbyt duże, dlatego różnice wskazań wagi nie są znaczące, ale np. w startującej rakiecie twój ciężar zwiększyłby się nawet 10 razy. Kości kosmonauty mogłyby nie wytrzymać takiego obciążenia, dlatego w startującej rakiecie nikt nie stoi – kosmonauci leżą w specjalnie zaprojektowanych fotelach. Przed lotem przechodzą szkolenie przygotowujące ich organizmy do tego, aby zniosły takie przeciążenie (patrz zdjęcie na s. 86). Stan przeciążenia występuje wtedy, gdy przyspieszenie jest skierowane w górę, ale nie zależy od zwrotu prędkości. Gdy winda jedzie w dół i nagle hamuje, także odczuwasz przeciążenie, ponieważ do twojego ciężaru dodaje się siła powodująca hamowanie twojego ciała. Gdy skoczysz z pewnej wysokości, wyraźnie odczujesz przeciążenie w chwili zetknięcia z ziemią.

Niedociążenie

Wyobraźmy sobie teraz, że winda rusza w dół. Ty poruszasz się razem z nią z pewnym przyspieszeniem (zdjęcie c na s. 83). Ponieważ podłoga ucieka ci spod stóp, naciskasz na nią mniejszą siłą, a więc i podłoga naciska na ciebie słabiej niż w nieruchomej windzie. W takiej sytuacji ciężar jest mniejszy niż w sytuacji, gdy winda jest w spoczynku.

Jeśli ciało porusza się z przyspieszeniem skierowanym w dół, zmniejsza się jego ciężar. Stan taki nazywamy niedociążeniem.

Przykład 2

Człowiek o masie 70 kg stoi na wadze sprężynowej wyskalowanej w niutonach w windzie ruszającej w dół z przyspieszeniem $4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$. Jaki ciężar wskazuje waga?

Dane:

$$m = 70 \text{ kg}$$

$$a = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Szukane:

$$F_w = ?$$

Rozwiązanie:

Na początku postępujemy podobnie jak w przykładzie 1. Obliczamy ciężar spoczywającego człowieka.

$$Q = mg$$

$$Q = 70 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 700 \text{ N}$$

Potem obliczamy siłę nadającą przyspieszenie $F = ma$.

$$F = 70 \text{ kg} \cdot 4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 280 \text{ N}$$

Wskazanie wagi jest różnicą tych sił.

$$F_w = Q - F$$

$$F_w = 700 \text{ N} - 280 \text{ N} = 420 \text{ N}$$

Odpowiedź: Waga wskazuje 420 N.

Podobnie jak w wypadku przeciążenia, niedociążenie zależy od zwrotu przyspieszenia względem siły ciężkości, a nie od prędkości. Także gdy winda poruszająca się w górę nagle się zatrzymuje, ciężar się zmniejsza.

Trzeba podkreślić, że w wypadku przeciążenia i niedociążenia nie zmienia się siła grawitacji, którą Ziemia nas przyciąga. Tym bardziej nie zmienia się masa.

Nieważkość

Im większe jest przyspieszenie windy poruszającej się w dół, tym mniejszy będzie ciężar. Wyobraź sobie, że winda spada (porusza się w dół z przyspieszeniem $g = 10 \frac{m}{s^2}$) – w tej sytuacji znajdujące się w niej ciało nie naciskałoby na wagę, która wskazywałaby wówczas zero. Cała siła ciężkości ciała „zużywałaby się” bowiem na nadanie mu przyspieszenia g . Nie naciskałoby ono na podłogę, a więc i podłoga nie naciskałaby na ciało.

Gdybyś znalazł się w tej windzie i wypuścił z dłoni jakiś przedmiot, zauważyłbyś, że nie spada on na podłogę. Gdyby winda była przeszklona, obserwator stojący na schodach stwierdziłby, że upuszczone ciało spada, ale ponieważ wszystkie ciała znajdujące się w windzie spadają z tym samym przyspieszeniem, nie poruszają się **względem windy**.

Ty zaś czujesz, że twój ciężar jest zerowy. Stan taki nazywamy **nieważkością**.

A to ciekawe

Pchła, jak każde skaczące zwierzę, rozpędza się tylko do chwili, gdy jej nogi oderwą się od podłoża. Ponieważ jest bardzo mała, rozpędza się bardzo szybko i w czasie skoku musi poruszać się z przyspieszeniem 300 razy większym od ziemskiego. Dlatego jej ciężar jest 300 razy większy od ciężaru w stanie spoczynku. Pchła może przeżyć takie przeciążenie m.in. dlatego, że trwa ono bardzo krótko, mniej niż 1 ms.



Jeśli ciało porusza się z przyspieszeniem g skierowanym w dół, znajduje się w stanie nieważkości, choć siła grawitacji wciąż na nie działa.

Doświadczenie

1. Zawieś na siłomierzu dowolne ciało (np. piórnik) i stań na stołku.
2. Odczytaj wskazanie siłomierza.

Uwaga. Zachowaj ostrożność podczas zeskakiwania ze stołka.

3. Zeskocz ze stołka, trzymając w ręku siłomierz. Obserwuj wskazania siłomierza.

Co zauważasz?

W doświadczeniu zaobserwowałeś zjawisko nieważkości. Gdy swobodnie spadałeś razem z siłomierzem i zawieszonym na nim ciałem, siłomierz wskazywał zero.

Na orbicie

Sztuczny satelita Ziemi znajdujący się na jej orbicie „spada” w stronę środka Ziemi podobnie jak Księżyc. Gdyby kosmonauta wyszedł z satelity, „spadałby” dokładnie tak samo jak ten satelita i nie poruszałby się względem swojego statku kosmicznego.

Zauważ, że nie ma znaczenia, czy kosmonauta znajduje się wewnątrz czy na zewnątrz statku. Także wewnątrz statku kosmicznego człowiek „spada” w taki sam sposób jak satelita. Może więc zawisnąć nad podłogą. Nie porusza się względem satelity i dlatego jego ciężar jest zerowy.

Nieważkość panująca w statku kosmicznym znajdującym się na orbicie nie oznacza zaniku siły grawitacji. Gdyby nie ta siła, zgodnie z pierwszą zasadą dynamiki statek poruszałby się po prostej, oddalając się od Ziemi. Nieważkość wynika stąd, że ciała wewnątrz statku „spadają” razem z nim. Sytuacja jest podobna jak w spadającej swobodnie windzie.



▲ Astronauci w stanie nieważkości podczas ćwiczeń w spadającym przez chwilę samolocie.

Podsumowanie

- Gdy poruszasz się z przyspieszeniem skierowanym do góry, czyli przeciwnie do siły grawitacji, twój ciężar się zwiększa. Odczuwasz wówczas przeciążenie.
- Gdy przyspieszenie ciała skierowane jest w dół – ciężar maleje. Odczuwamy wówczas niedociążenie.
- W spadającej windzie czy „spadającym” satelicie ciężar ciała jest równy zero – panuje wtedy stan nieważkości. Nie oznacza to jednak, że na ciała nie działa siła grawitacji.