Maszyny proste, czyli co mają ze sobą wspólnego taczka, żuchwa i „dziadek do orzechów”...

Ciało człowieka zbudowane jest na konstrukcji szkieletowo-mięśniowej, przygotowanej do wykonywania różnego rodzaju czynności mechanicznych, nie tylko chodzenia, czy schylania się, ale także wykonywania skrętów, podnoszenia ciężarów, ściskania, dociskania itp. Ta wszechstronność ruchowa ludzkiego organizmu jest imponująca, ale w wielu przypadkach – niewystarczająca. Dlatego od zarania dziejów człowiek wynajdywał przeróżne narzędzia, aby pomóc sobie w codziennej i niecodziennej pracy. Mimo braku wyuczonej wiedzy fizycznej i technicznej budował m.in. konstrukcje oparte na bardzo prostych mechanizmach, które wykorzystuje także ludzkie ciało. Tak powstały **maszyny proste**, wykorzystywane po dziś dzień. Używamy ich powszechnie, w najróżniejszych okolicznościach, często intuicyjnie, nie zdając sobie sprawy z tego, na jakiej zasadzie nas wspomagają. Zgodnie z klasyfikacją zaproponowaną w okresie renesansu zestaw maszyn prostych stanowi sześć klasycznych urządzeń: klin, równia pochyła, dźwignia, bloczek, kołowrót oraz śruba.

Wszystkie maszyny proste mają za zadanie pomóc człowiekowi w wykonywaniu pracy, czy to poprzez **zmniejszenie wkładanego wysiłku**, czy to poprzez **zmianę kierunku lub zwrotu** przykładanej **siły** tak, aby wykonanie pracy stało się po prostu wygodniejsze.

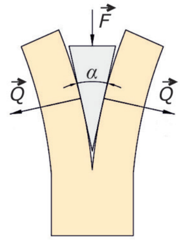
Wykorzystanie maszyn prostych nie skutkuje zmniejszeniem wykonywanej pracy! Zysk na wartości siły jest bowiem kompensowany przez wydłużenie drogi, na której praca jest wykonywana. Tym samym całkowita praca wykonana przez człowieka jest taka sama – czy to z użyciem, czy bez użycia maszyny prostej.

Najstarsze pomysły, czyli pięściak, siekierka i nóż

W epoce kamienia, w której pojawiły się pierwsze używane przez człowieka narzędzia, ludzkość zastosowała także swą pierwszą maszynę prostą – **klin**, w postaci kamiennego pięściaka.

Pięściak (by Didier Descouens, 13.04.2011, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14901021)

W kolejnych epokach – brązu i żelaza, klin został udoskonalony, przyjmując wszelkie postaci ostrzy: tasaków, noży, włóczni i siekier, i jest oczywiście używany do dzisiaj. Klin jest graniastosłupem o podstawie trójkąta równoramiennego, którego boki tworzą niewielki kąt α. Działając siłą $\vec{F}$ na ścianę graniastosłupa, w której zawiera się najkrótszy bok trójkąta, uzyskujemy znacznie większe siły, $\vec{Q}$ w kierunkach prostopadłych do obu ramion trójkąta:



Źródło: Wikipedia, autor: W. Ciszewski

$$Q = \frac{F}{2\sin\frac{\alpha}{2}}$$

Dzięki temu klin może się wbijać w twarde bloki (np. drewniane), dosłownie rozłupując je na dwie części. Im mniejszy kąt α, tym mniejsza wartość $\sin\frac{\alpha}{2}$ i tym większa siła $\vec{Q}$.

Klinów używa się także powszechnie do blokowania ruchu – np. drzwi.

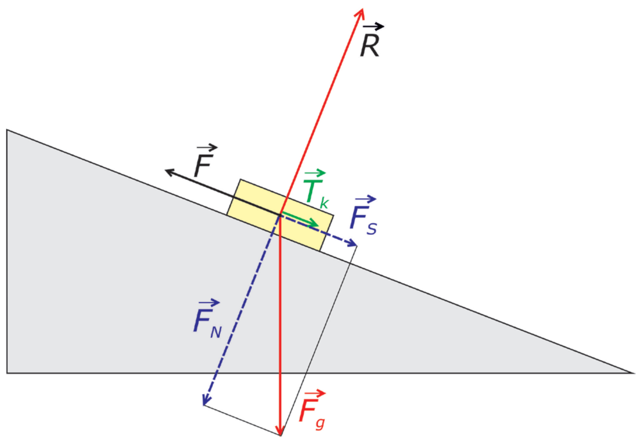
W górę bez wysiłku – czyli równia pochyła

Ścieżka zbudowana przez Rzymian w roku 72 n.e. przed inwazją Masady (Palestyna)

Równie prehistorycznym wynalazkiem jest równia pochyła, czyli spoczywający klin lub płaska powierzchnia ustawiona pod pewnym kątem do podłoża. Można po niej przesuwać przedmioty, wkładając mniej wysiłku niż przy podciąganiu ciężkiego przedmiotu pionowo w górę (zyskując tym samym na wartości niezbędnej siły ciągnącej). Przyjmuje się powszechnie, że równie pochyłe wspomagały budowniczych przy wznoszeniu piramid w starożytnym Egipcie oraz w Stonehenge (2–3 tys. lat p.n.e.). Współcześnie wykorzystujemy równię pochyłą dokładnie w tym samym celu, co starożytni: do rozładunku i załadunku ciężkich przedmiotów, do bezpiecznego, powolnego transportu na i z większej wysokości (drogi dla niepełnosprawnych, ewakuacja pasażerów z samolotu, drogi – serpentyny w górach), a także... do zabawy – jako zjeżdżalnie.

W górę

Rozkład sił działających na przedmiot ułożony na równi pochyłej o kącie nachylenia α podczas wciągania go w górę ze stałą szybkością przedstawiony został na rysunku:



Jeśli ciało porusza się ruchem jednostajnym, obowiązuje I zasada dynamiki Newtona:

$$\vec{F_g} + \vec{R} + \vec{T_k} + \vec{F} = 0$$

gdzie $\vec{F_g}$ – to siła grawitacji, $\vec{R}$ – to siła reakcji (sprężystości) podłoża, $\vec{T_k}$ – to siła tarcia kinetycznego, a $\vec{F}$ – to siła ciągnąca. Po rozłożeniu wszystkich sił na składowe wzdłuż zbocza równi i prostopadle do niego, z powyższego równania wektorowego otrzymujemy:

- wzdłuż zbocza równi: $F - F_g \cdot \sin\alpha - T_k = 0$
- prostopadle do zbocza równi: $R - F_g \cdot \cos\alpha = 0$

oraz równanie na wartość siły tarcia kinetycznego: $T_k = \mu_k R$, gdzie μ_k jest współczynnikiem tarcia kinetycznego pomiędzy ciałem a powierzchnią zbocza równi. Ostatecznie:

$$F = F_g \sin\alpha + T_k = m \cdot g \cdot \sin\alpha + \mu_k \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha$$

Przy odpowiednio dobranym (tzn. niezbyt dużym) kącie nachylenia równi α oraz odpowiednio śliskiej powierzchni (mała wartość μ_k) zachodzi warunek $F < F_g = m \cdot g$, czyli wymagana siła ciągnąca jest mniejsza niż w przypadku ciągnięcia ładunku pionowo w górę.

„Dajcie mi punkt podparcia, a poruszę Ziemię”, czyli zasada dźwigni

Dźwignia została opisana po raz pierwszy ok. roku 260 p.n.e. przez greckiego uczonego, Archimedesa, który miał powiedzieć: *Dajcie mi dostatecznie długą dźwignię i punkt podparcia, a poruszę Ziemię.* Dźwignia zbudowana jest ze sztywnej belki, najczęściej zawieszonej lub podpartej w jednym punkcie. Podstawowym warunkiem dźwigni jest swoboda ruchu obrotowego belki wokół osi przechodzącej przez taki punkt (ruch odbywa się przeważnie w jednej płaszczyźnie). Do belki przyłożone są najczęściej dwie siły. W zależności od ich położenia względem punktu zawieszenia (podparcia), a tym samym – względem osi obrotu, rozróżnia się dźwignie jednostronne i dwustronne.

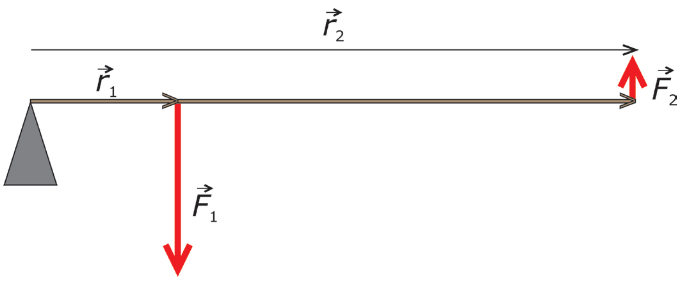
Archimedes poruszający Ziemię za pomocą maszyny prostej – dźwigni.
Fresk w Galerii Uffizi (Wikipedia)

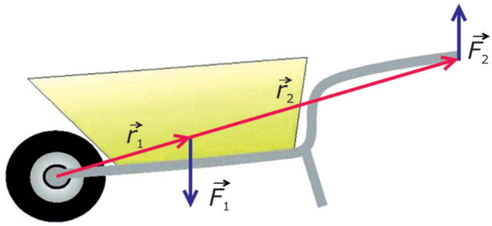
Taczka, żuchwa i „dziadek do orzechów" – czyli dźwignia jednostronna

W przypadku dźwigni jednostronnej obie siły są do niej przyłożone po tej samej stronie względem osi obrotu. Warunek równowagi dźwigni:

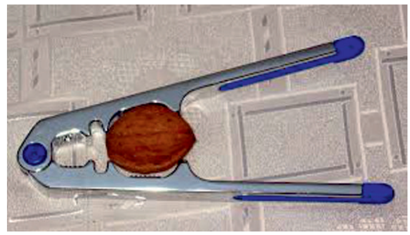
$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

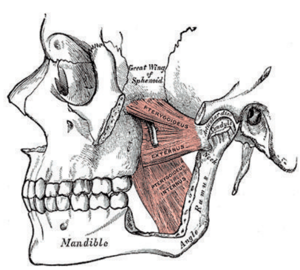
(wynika z równoważenia się momentów sił względem osi obrotu przechodzącej przez punkt podparcia), gdzie r_1 to długość tak zwanego ramienia siły $\vec{F_1}$, czyli wektora łączącego oś obrotu z punktem przyłożenia siły $\vec{F_1}$, a r_2 to długość tak zwanego ramienia siły $\vec{F_2}$.





Z równania $F_1 r_1 = F_2 r_2$ wynika, że chcąc np. unieść ciało, na które działa duża siła grawitacji ($\vec{F}_1$), nie wysilając się przy tym nadmiernie, musimy umieścić ciało pomiędzy nami a osią obrotu ($r_1 < r_2$) – tak jak np. w taczce. Podobnie w przypadku klasycznego „dziadka do orzechów”, orzech, którego twardą skorupę chcemy zgnieść, należy umieścić pomiędzy zaciskiem naszych dłoni, a osią obrotu przyrządu. Na tej samej zasadzie działa żuchwa (szczęka dolna) w ludzkiej czaszce, będąca elementem ruchomym osadzonym na stawach żuchwowo-skroniowych. Oś obrotu znajduje się pomiędzy nieruchomą szczęką górną a żuchwą (pod małżowiną uszną). Tuż pod nią doczepione są mięśnie wprawiające żuchwę w ruch. Mięśnie muszą działać dużą siłą, gdyż znajdują się blisko osi obrotu, bliżej niż pozostała część żuchwy z zębami służącymi do rozgryzania pokarmu. Ogólna zasada dźwigni brzmi: im dalej od osi obrotu, tym mniejsza siła potrzebna do spełnienia warunku równowagi.



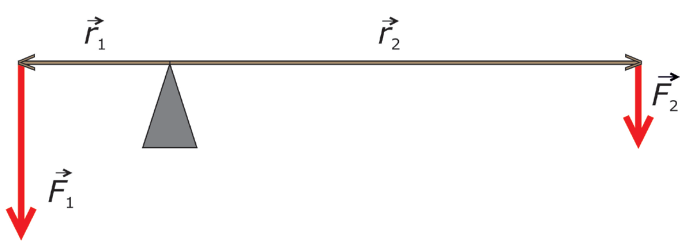


Waga szalkowa, huśtawka równoważna i dźwig – czyli dźwignia dwustronna

Jeżeli siły przyłożone są do dźwigni z dwóch różnych stron osi obrotu, to mamy do czynienia z dźwignią dwustronną. W warunkach równowagi obowiązuje takie samo równanie, jak w przypadku dźwigni jednostronnej:

$$F_1 r_1 = F_2 R_2$$

tyle tylko, że teraz ramiona sił są wektorami o przeciwnych zwrotach.



Widać, że jeśli mamy do dyspozycji idealnie wyważoną wagę szalkową (np. dawną wagę aptekarską), to jej równowaga zostanie zachowana jedynie wtedy, gdy na obu szalkach umieścimy taką samą masę – na jednej masę towaru, a na drugiej masę specjalnie wycechowanych odważników. W ten sposób można odważyć nieznaną masę towaru – poprzez porównanie z masą odważników w stanie równowagi wagi: skoro $r_1 = r_2$, to $F_1 = F_2$, czyli $m_1 g = m_2 g$, a zatem $m_1 = m_2$.

Wyobraźmy sobie jednak inną sytuację, w której na jednym ramieniu wagi dwustronnej umieszczone jest ciało o znacznie większej masie, niż na drugim. W takim przypadku do równowagi dźwigni można doprowadzić jedynie, jeśli ciała zawieszone są w różnych odległościach od osi obrotu: im większa masa, tym bliżej osi obrotu musi się znaleźć. Dzięki temu na przykład osoba dorosła może huśtać się z dzieckiem na huśtawce równoważnej, o ile usiądzie na niej bardzo blisko osi obrotu.

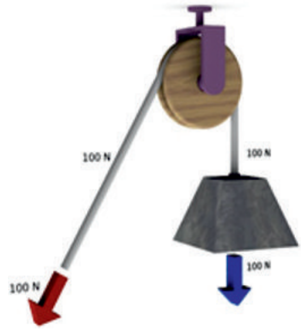
Huśtawka równoważna (źródło: Wikipedia)

Od przybytku głowa nie boli, czyli bloczki i wielokrążki

Trudno powiedzieć, kiedy został wynaleziony bloczek (krążek linowy), ale na pewno zajmował się nim od strony naukowej już sam Archimedes w III wieku p.n.e. Bloczki lub ich całe systemy spotykamy wszędzie tam, gdzie podnosi się ładunki, a także gdzie używa się dynamicznego olinowania (czyli np. na jachtach lub żaglowcach). Pojedynczy bloczek składa się z koła umocowanego na ośce lub wale, dzięki którym krążek może zostać wprawiony w ruch obrotowy. Bloczki mogą być ruchome lub nieruchome (podział ze względu na ruch lub spoczynek ich środka masy), a konstrukcja złożona z kilku bloczków zwana jest wielokrążkiem.

Najprostsze przybliżenie teoretyczne przy opisie zasady działania bloczków zakłada, że zarówno same krążki jak i liny są nieważkie oraz, że nie występują straty energii związane z tarciem; liny powinny być także nierozciągliwe. W stanie równowagi (lina napięta, lecz nieruchoma lub lina poruszająca się ruchem jednostajnym) siły działające na bloczek muszą się równoważyć, zgodnie z I zasadą dynamiki Newtona.

Pojedynczy bloczek nieruchomy – służy jedynie do zmiany kierunku działania siły. Zamiast podnosić ciężar zawieszony na linie, działając na nią siłą pionową w górę, przewieszamy linę przez bloczek, dzięki któremu ciężar zawieszony po jednej stronie liny można podnieść do góry działając na drugi koniec liny siłą w dół o wartości równej ciężarowi ładunku. Nie mamy więc korzyści na wartości siły ciągnącej, ale zmiana jej zwrotu i tak powoduje włożenie mniejszego wysiłku, gdyż człowiek może się wspomóc, wykorzystując swój własny ciężar, uwieszając się na końcu liny.

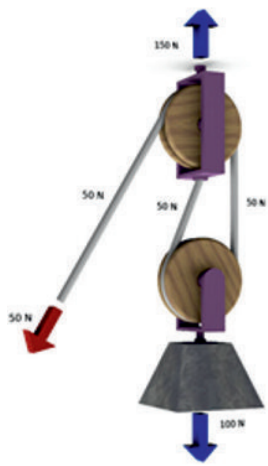


Bloczek nieruchomy
(rys. by César Rincón, Wikipedia)

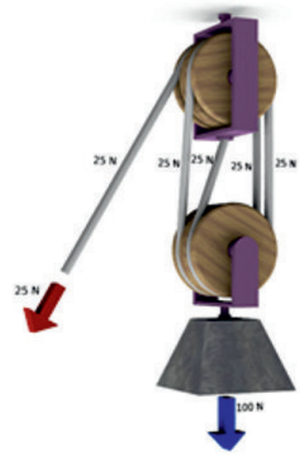
Bloczek ruchomy
(rys. by César Rincón, Wikipedia)

Pojedynczy bloczek ruchomy – jest podtrzymywany z obu stron przez tę samą linę i porusza się wraz z przemieszczaniem się tej liny. Ponieważ dwa fragmenty liny działają na bloczek w górę dwoma identycznymi siłami naciągu (naciąg wzdłuż całej liny pozostaje stały), zaś w dół działa na bloczek siła grawitacji pochodząca od zawieszonego na nim przedmiotu, stąd prosty wniosek, że wartość siły naciągu jest tym razem równa połowie ciężaru przedmiotu. Zatem w bloczku ruchomym nie zyskujemy na kierunku siły, ale za to zyskujemy na wartości siły, z jaką musimy ciągnąć linę. W pojedynczym ruchomym bloczku jest to zysk dwukrotny. Należy przy tym zauważyć, że w takiej konfiguracji podczas podnoszenia przedmiotu linę trzeba przeciągnąć na długość dwa razy większą niż wysokość wznoszenia przedmiotu, z czego wynika, że nie zyskujemy na pracy.

Wielokrążek – to system nieruchomych i ruchomych bloczków połączonych ze sobą za pomocą lin. W zależności od ich kombinacji zyskujemy na wartości siły, jaką należy przyłożyć, aby podciągnąć ciężar albo na wartości i zwrocie tej siły. Taki wielokrążek stosuje się między innymi w żeglarstwie (np. talia żagla).

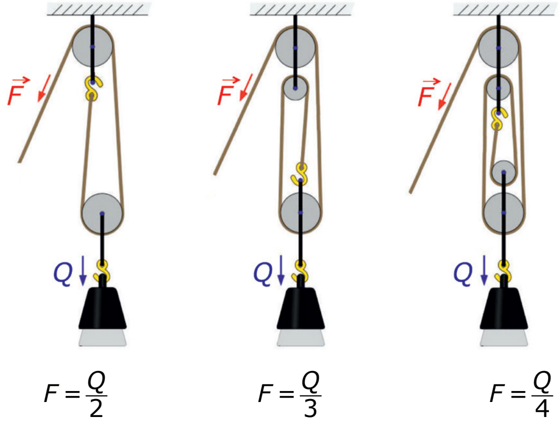


Wielokrążek złożony z jednego bloczka nieruchomego (powodującego korzystną zmianę kierunku siły) oraz jednego bloczka ruchomego podwieszonego na dwóch kawałkach tej samej liny, dzięki czemu zysk na wartości siły jest dwukrotny (rys. by Mindbuilder, Wikipedia)



Wielokrążek złożony z podwójnego bloczka nieruchomego (powodującego korzystną zmianę kierunku siły) oraz podwójnego bloczka ruchomego podwieszonego na czterech kawałkach tej samej liny, dzięki czemu zysk na wartości siły jest czterokrotny (rys. by César Rincón, Wikipedia)

Aby obliczyć krotność zysku na wartości siły ciągnącej pojedynczą linę przez system ruchomych i nieruchomych bloczków należy policzyć wszystkie fragmenty liny (n) podtrzymujące wszystkie bloczki ruchome. Wówczas wartość siły ciągnącej jest równa Q/n, gdzie Q to ciężar zawieszony na ruchomym bloczku.



Przytoczone w artykule przyrządy, to tylko nieliczne przykłady z całego wachlarza zastosowań podstawowych maszyn prostych w życiu codziennym. Zachęcamy Czytelnika do przyjrzenia się innym mechanicznym przedmiotom powszechnego użytku i po zbadaniu ich działania – do zastanowienia się, do którego rodzaju maszyn prostych należą.

DS