

# Kujawsko-Pomorska e-Szkoła

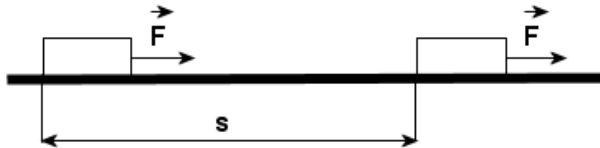
## FIZYKA – PRACA, MOC, ENERGIA



Temat: Praca według fizyka. Maszyny proste.

dr Krzysztof Rochowicz  
KPCEN / UMK Toruń 2020

# Kiedy fizyk wykonuje pracę?

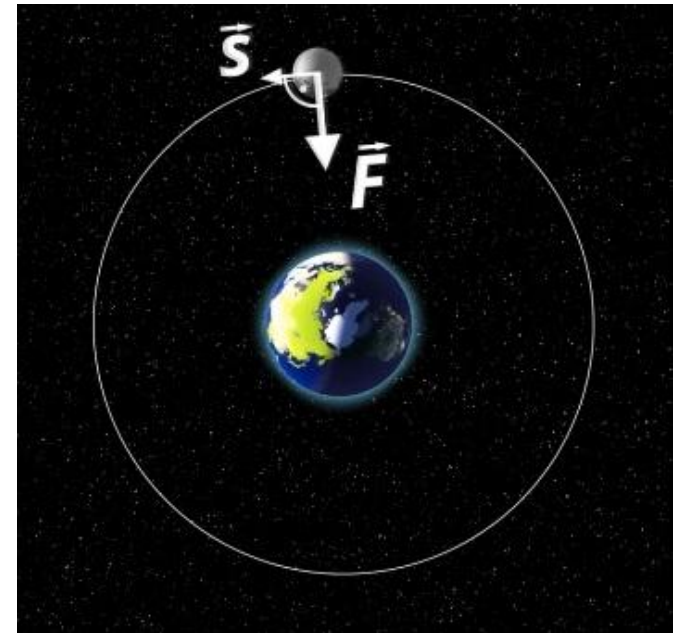
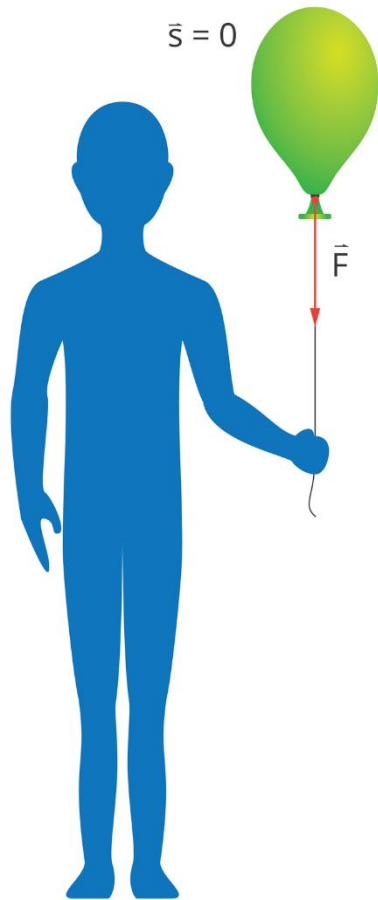


- Praca w sensie fizycznym jest wykonana wtedy, gdy na ciało działa siła, której skutkiem jest odkształcenie lub przesunięcie ciała.
- Wykonana praca  $W$  jest tym większa, im większa jest wartość działającej siły  $F$  oraz im większa jest wartość przesunięcia (droga)  $S$  w wyniku jej działania

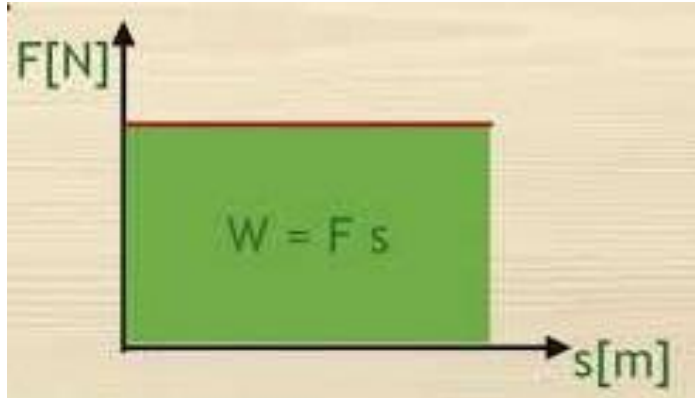
$$W = F \cdot S$$

jednostka (dżul) i wielokrotności

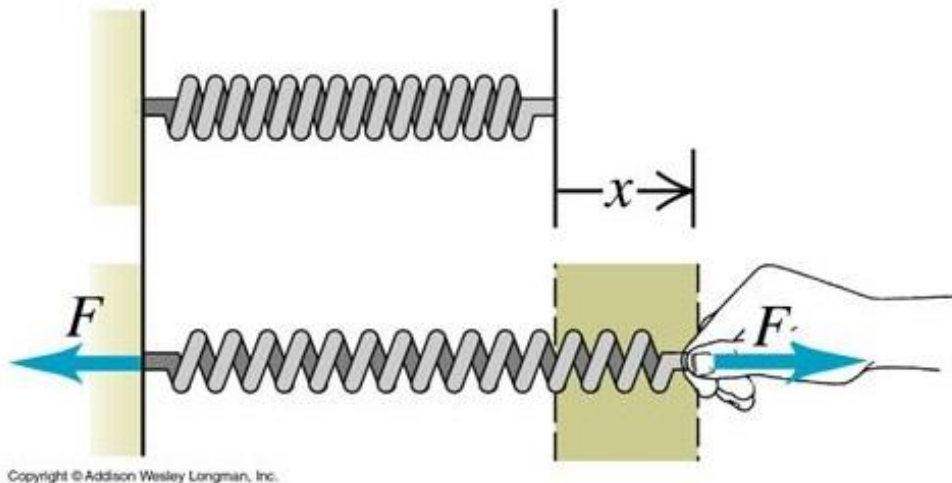
# Kiedy fizyk nie wykonuje pracy?



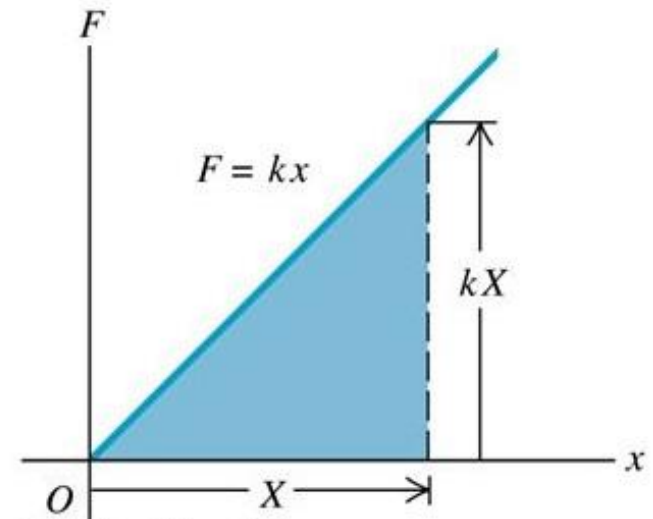
# Jak jeszcze możemy obliczyć pracę?



Możemy posłużyć się wykresem zależności siły  $F$  od przemieszczenia ciała  $s$ : miarą pracy jest pole pod wykresem



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.



Copyright © Addison Wesley Longman, Inc.

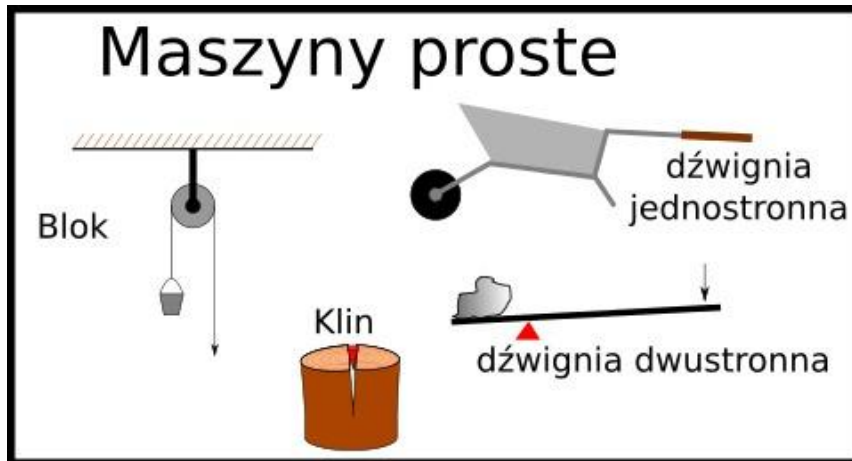


# Jaką pracę wykonamy przy podnoszeniu ciała?

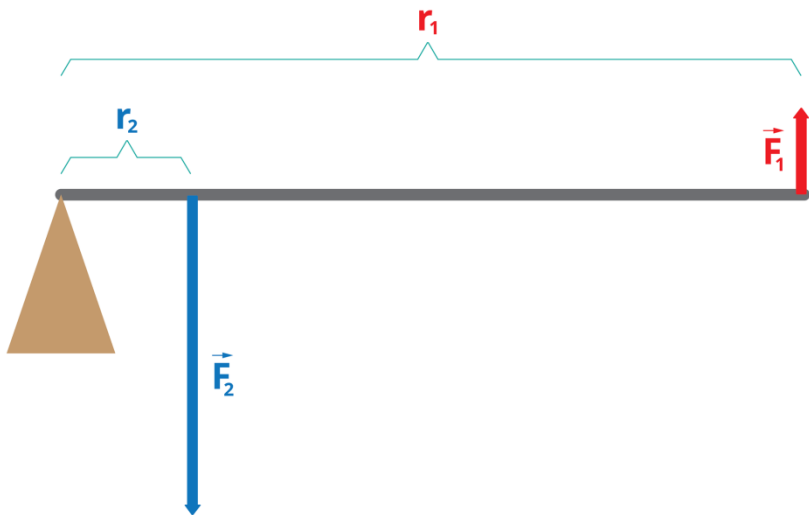


- sprawdzamy ciężar klocka
- czy siła potrzebna do podniesienia jest mniejsza/ /taka sama/większa?
- jakiej siły potrzebujemy na równi do:
  - wciągnięcia
  - wtoczenia
- UWAGA: zyskujemy na sile, nie na pracy! (do pokonania jest większa droga)

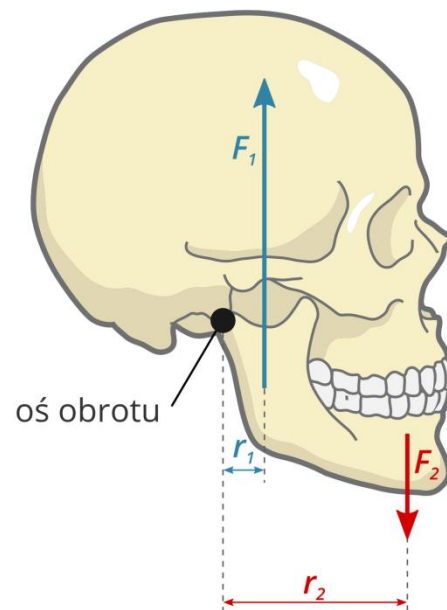
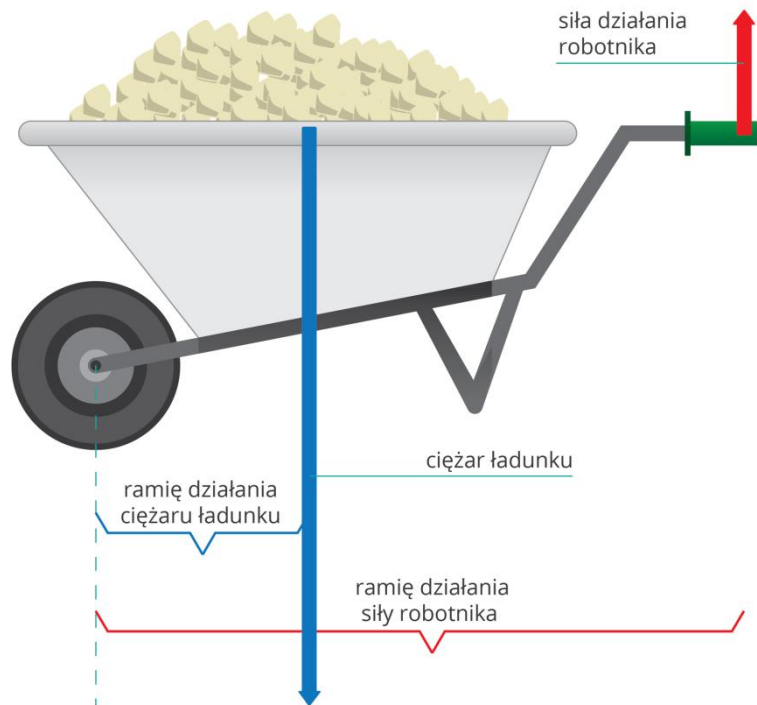
# Jak fizyk ułatwia sobie wykonanie pracy?



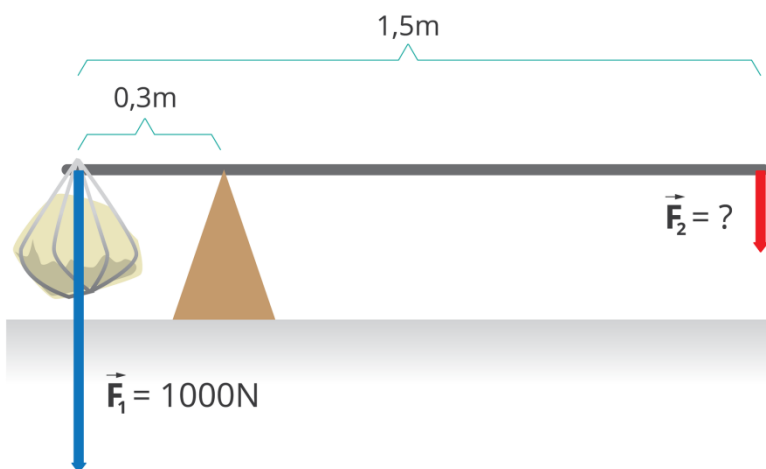
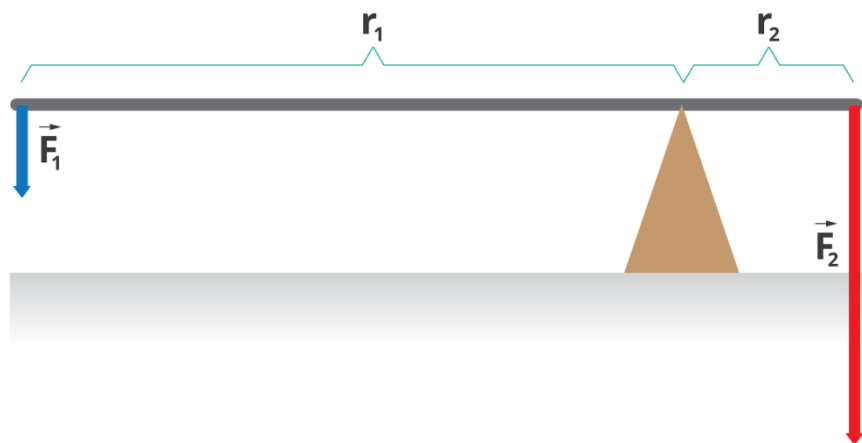
- Archimedes: „dajcie mi dostatecznie długą dźwignię, a poruszę Ziemię”
- Maszyny proste: obrotowe (dźwignie, bloczki, kołowrót, przekładnie) i przesuwne (równia pochyła, klin, śruba)
- Podstawowa zasada: zmniejszenie używanej siły (ale nie potrzebnej do wykonania pracy!!!)



# Dźwignia jednostronna

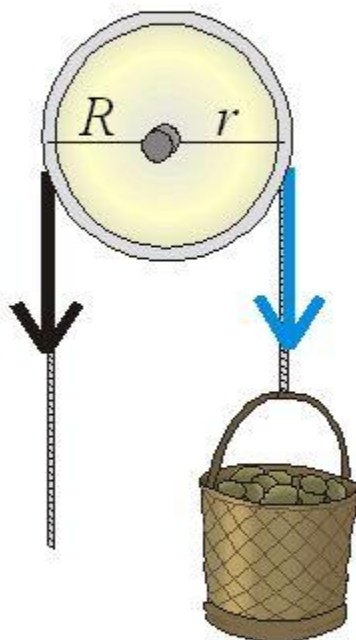


# Dźwignia dwustronna

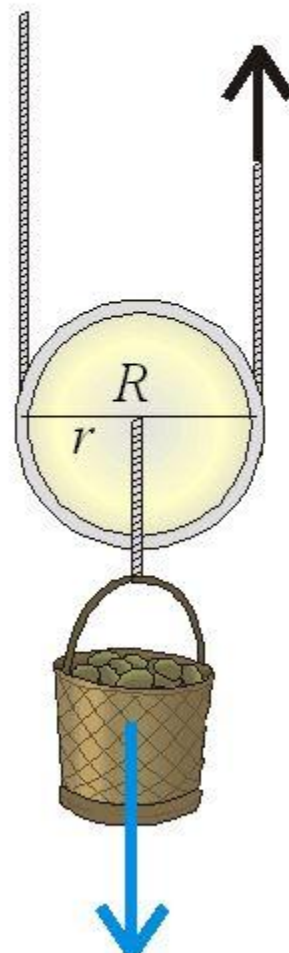


# Bloczek nieruchomy i ruchomy (odmiany dźwigni)

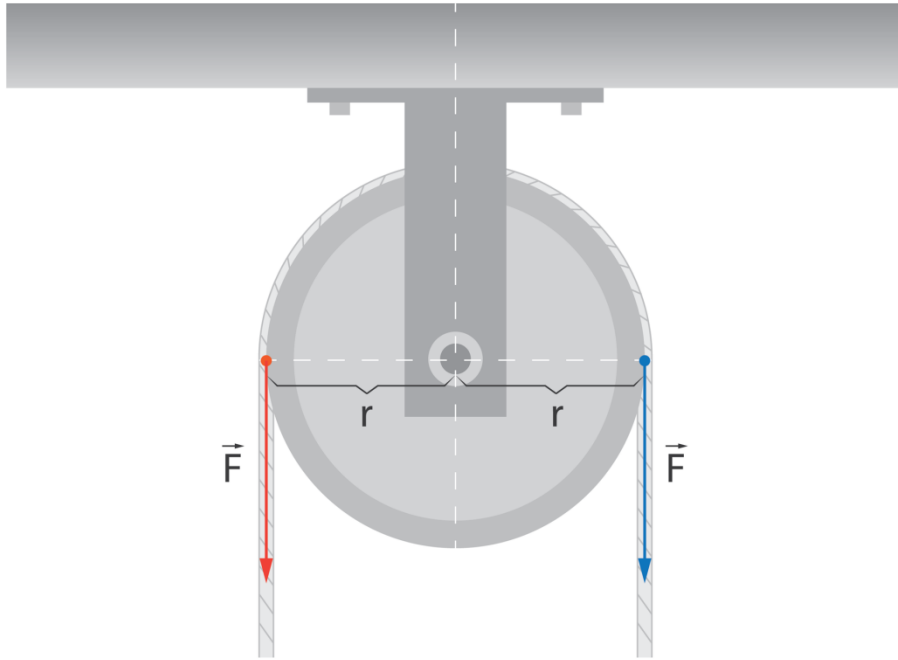
bloczek nieruchomy



bloczek ruchomy

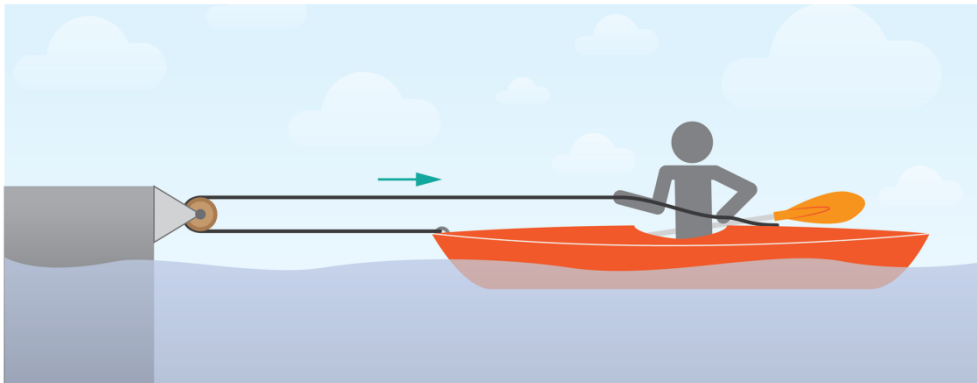


Bloczek nieruchomy tylko zmienia zwrot działającej siły. Bloczek ruchomy daje dwukrotny zysk na sile.

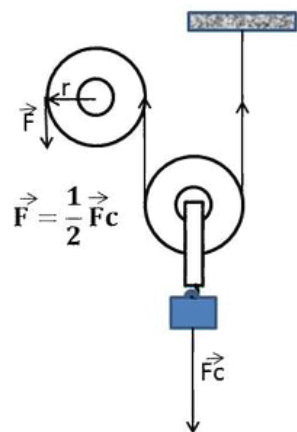


## Blok nieruchomy: brak zysku na sile, zmieniamy tylko jej kierunek (pomiar!)

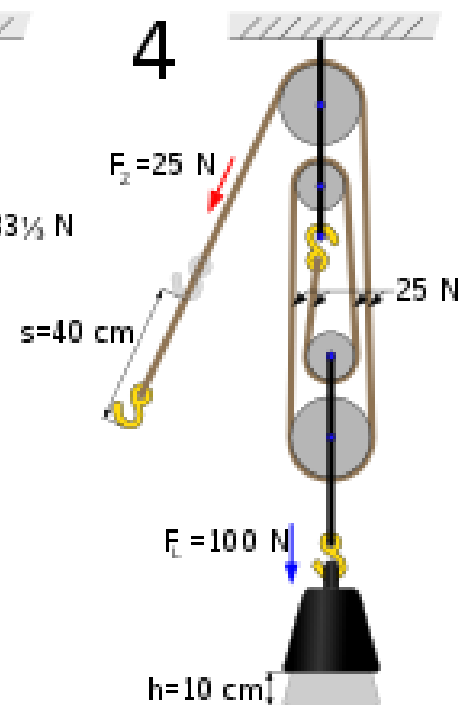
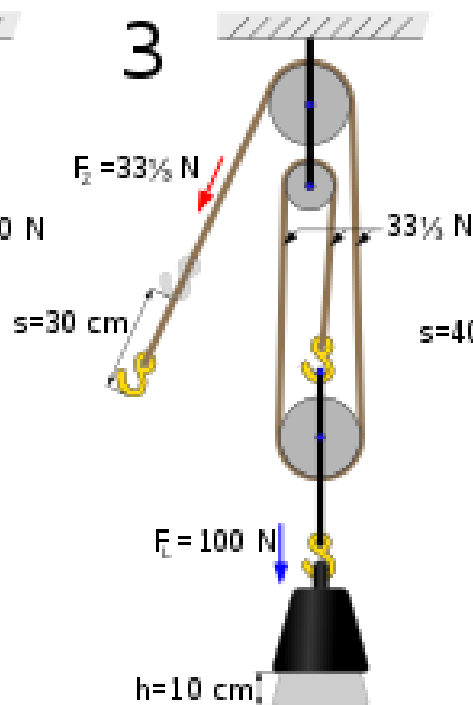
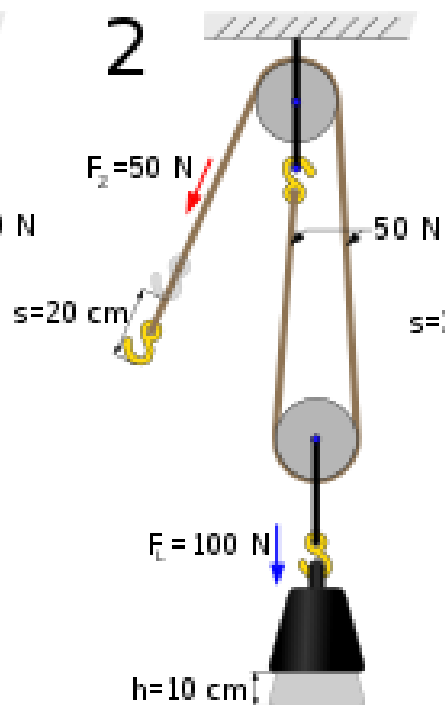
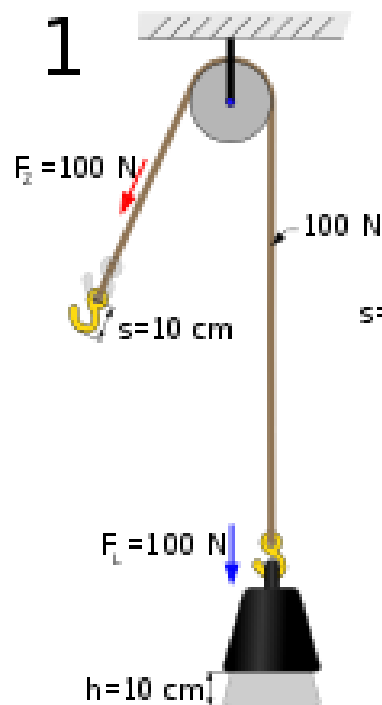
- Zadanie: Oblicz, jaki największy ładunek może podciągnąć do góry robotnik korzystający z bloku nieruchomego. Masa robotnika: 80 kg.







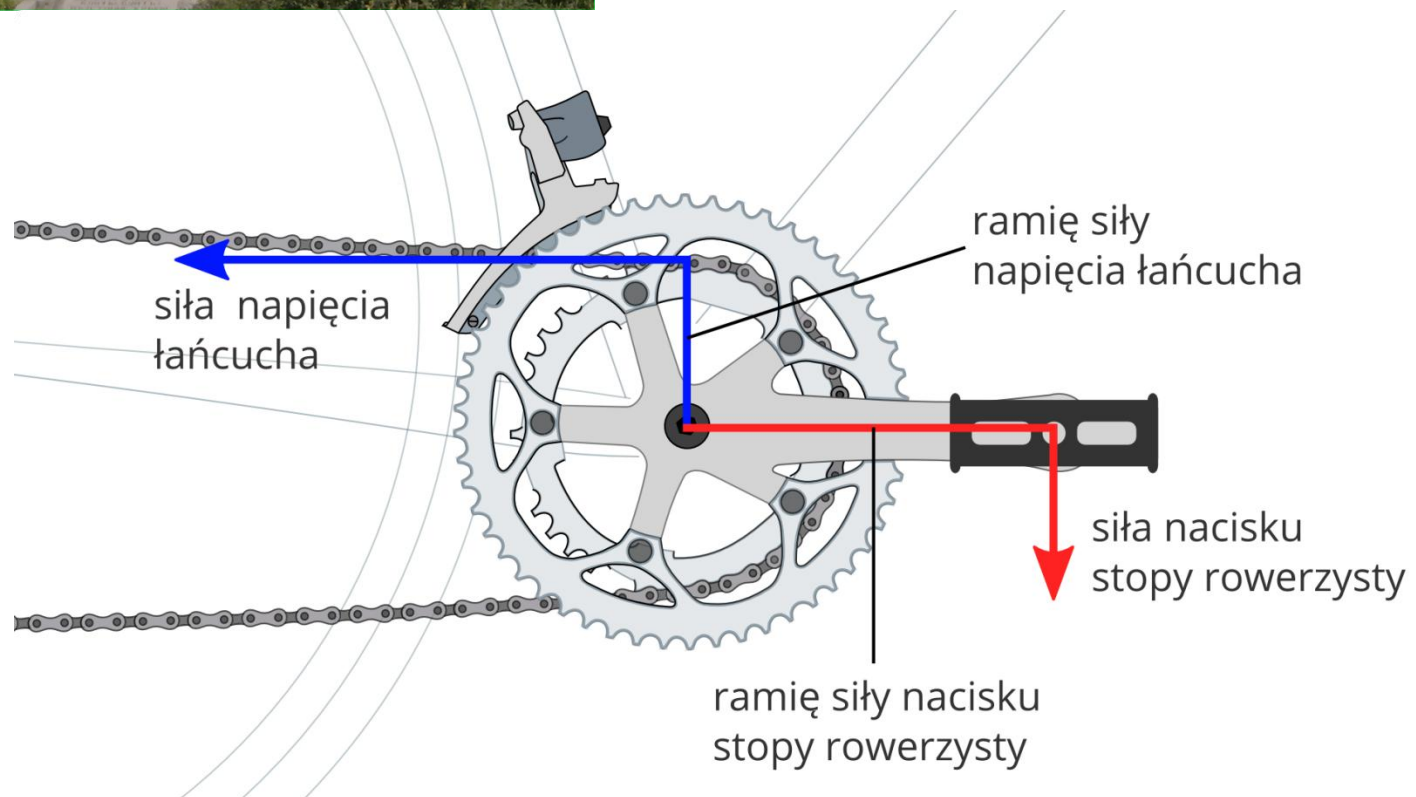
# Blok ruchomy, wielokrążki (praca 10 J, różne siły)





# kołowrót

dodatkowo w rowerze:  
przekładnie zębate

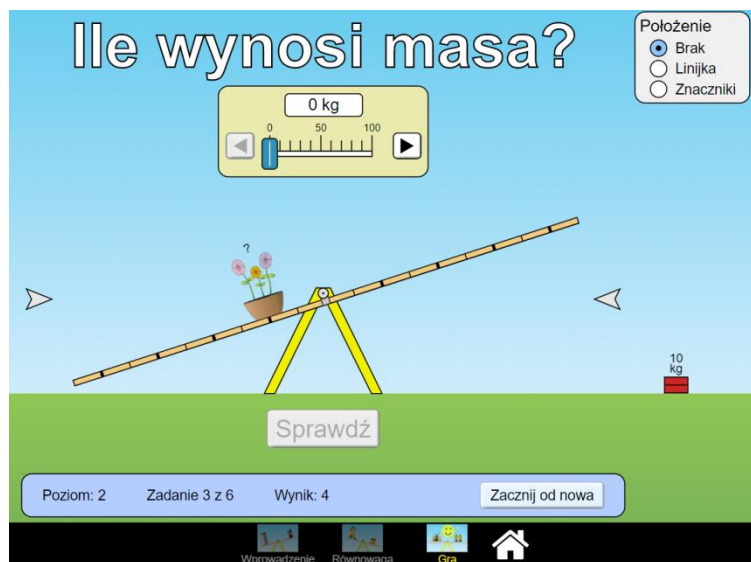


# Zadania domowe



- TED-ED: [The mighty mathematics of the lever](#)

(jak długa dźwignia jest potrzebna, by unieść samochód, wieżę Eiffle'a i... Ziemię!



- [Apps on Physics](#): wielokrążek, dźwignia dwustronna
- phet.colorado.edu: [równowaga](#) – GRA!!! 😊

Co powiedział Darth Vader?



# Kujawsko-Pomorska e-Szkoła

## FIZYKA – PRACA, MOC, ENERGIA



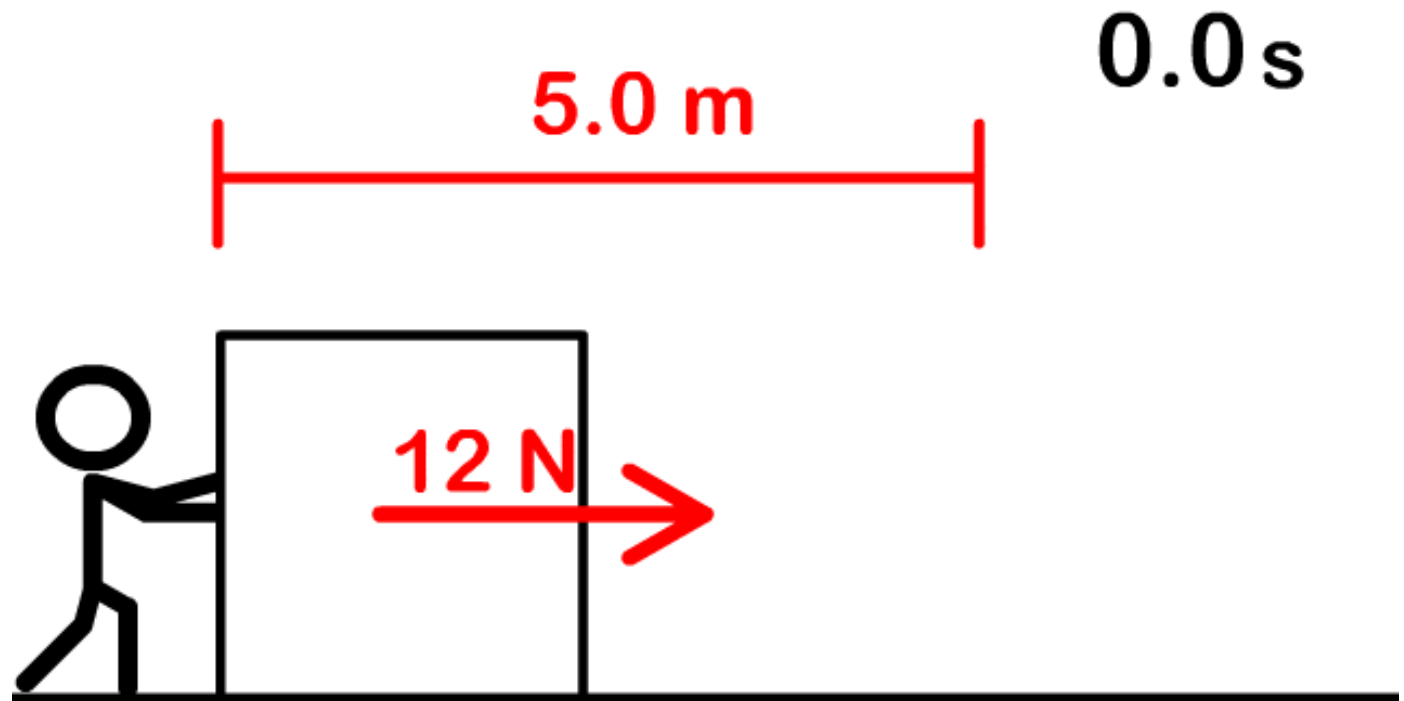
Temat: Moc – czyli szybkość wykonywania pracy

dr Krzysztof Rochowicz  
KPCEN / UMK Toruń 2020

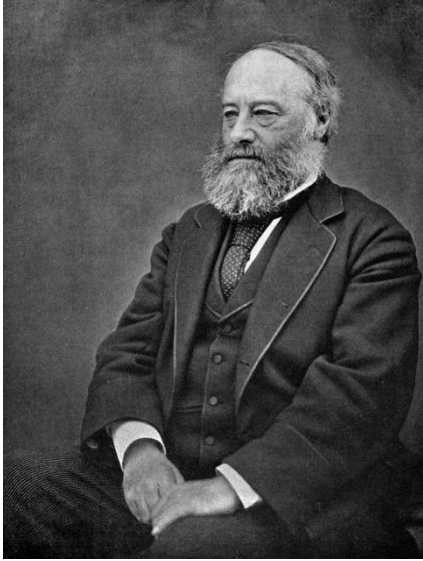
# Moc według fizyka

$$Moc = \frac{praca}{czas}$$

$$P = \frac{W}{t}$$

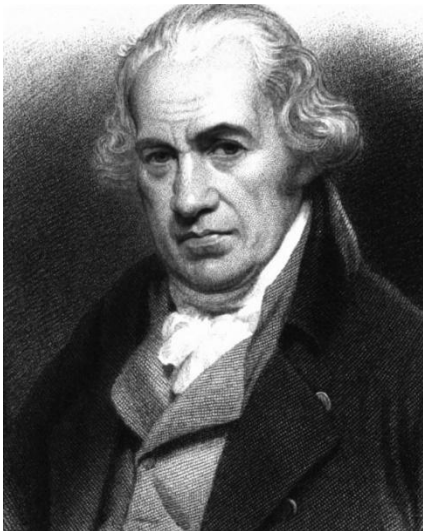




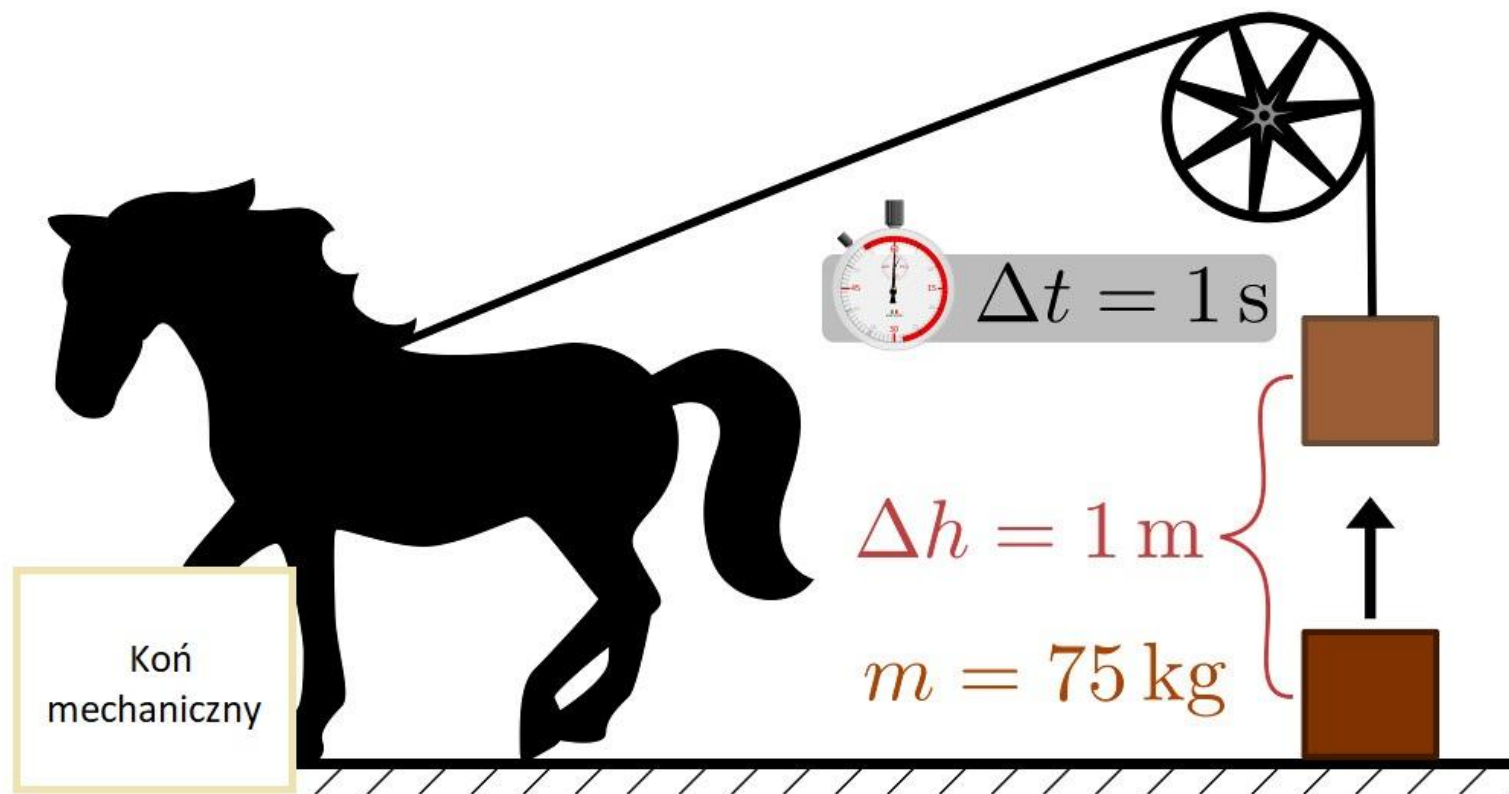


# Joule i Watt

- James Joule (1818-1889) – brytyjski fizyk, najbardziej znany z badań nad ciepłem jako formą energii. Na jego cześć została nazwana jednostka energii – dżul.
- James Watt (1736-1819) – szkocki inżynier, lutnik, ulepszył silnik parowy, dzięki czemu stał się ojcem rewolucji przemysłowej. Jako pierwszy użył określenia „konie mechaniczne”, a jednostka mocy została nazwana na jego cześć.



# Wielokrotności, inne jednostki





# Przykładowe moce



- człowiek – maks. do 400 W, średnio ok. 35 W (0.05-0.5 KM); kolarstwo torowe: do 3,4 KM
- laptop 60 W, komputer ok. 100 W
- pralka, czajnik elektryczny – 2 kW
- samochód – 40+ KM, tj. 30+ kW
- samolot, np. A380 – 300 000 KM
- rakietą Saturn V – 112 000 000 KM
- Słońce -  $4 \cdot 10^{26}$  W

# Doświadczenie 1: Pomiar temperatury

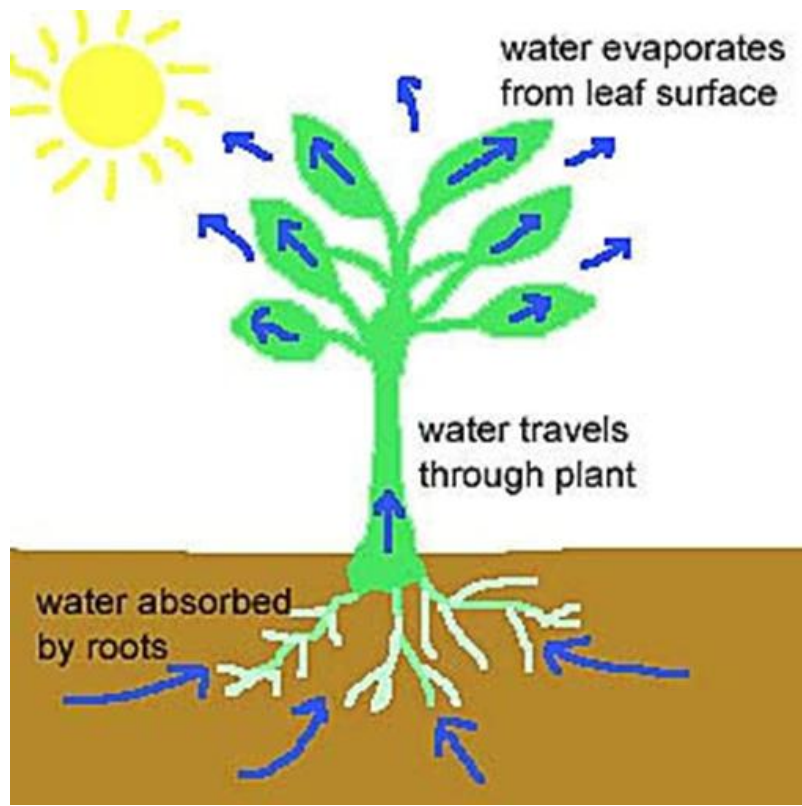


Wykorzystując czujnik temperatury sprawdzamy czy po wyjęciu czujnika z wody temperatura wzrasta czy maleje?

- Czujnik Pasco – pomiar temperatury otoczenia i wody;
- Czy i jak zmieni się wskazanie termometru po wyjęciu z wody? wzrośnie/nie zmieni się /zmaleje

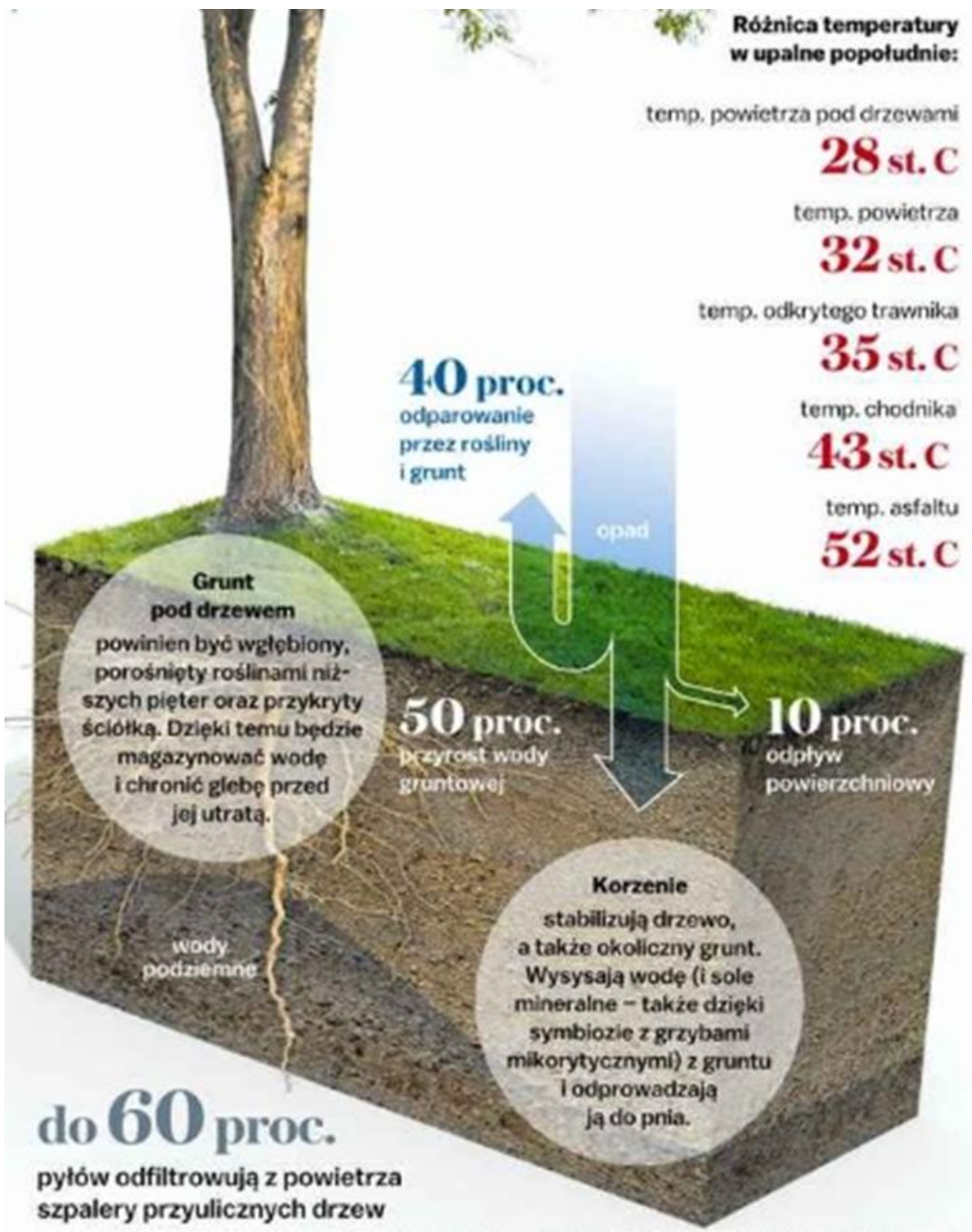
# Dlaczego się pocimy?

## Jak pomagają nam drzewa?



- Parowanie wiąże się z ogromnym zużyciem ciepła: jednostkę masy wody można by (teoretycznie) ogrzać o ponad 500 stopni!
- Duże drzewo działa jak pięć średniej wielkości klimatyzatorów!





Chrońmy  
drzewa,  
łatwiej  
zniesiemy  
upały!



# Doświadczenie 2: określenie sprawności czajnika elektrycznego

- mierzymy moc  $P$  i czas  $t$  gotowania wody; stąd określamy pracę dostarczoną:  $W_{dostarczona} = P \cdot t$
- określamy przyrost temperatury  $\Delta T$  i ilość potrzebnego ciepła (pracę wykonaną)

$$\eta = \frac{W_{wykonana}}{W_{dostarczona}}$$

$$W_{wykonana} = Q = m \cdot c_w \cdot \Delta T$$

gdzie:  $m$  – masa wody (1 kg),  $c_w$  – ciepło właściwe wody (4190 J/kg·°C)

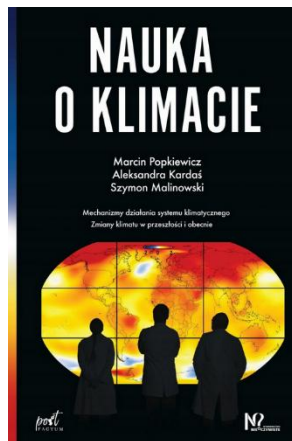
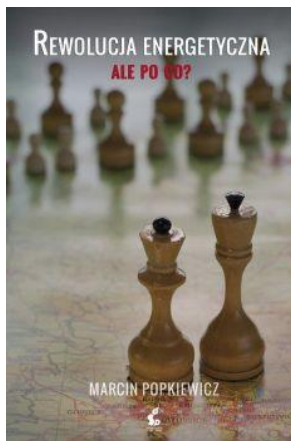
# „Wykonaliśmy” ok. 335 kJ pracy – czy to dużo, czy mało?



- To mniej więcej równoważność ciężkiej, fizycznej, całogodzinnej pracy człowieka!
- A na jaką wysokość moglibyśmy wejść, korzystając z tej energii?

$$E = m \cdot g \cdot h, \text{ stąd } h.$$

- Litrową butelkę wody moglibyśmy podnieść... do stratosfery!



[naukaoklimacie.pl](http://naukaoklimacie.pl)

Marcin Popkiewicz:

*Energia czyni nasze życie cudownie wygodnym. 1 kWh (kilowatogodzina) to odpowiednik ciężkiej pracy fizycznej jednego człowieka od świtu do nocy. Na jednego Polaka przypada 80 kWh dziennie, czyli na każdego z nas, metaforycznie, pracuje 80 niewolników. Dla porównania, w Stanach ten wskaźnik wynosi 200, średnia w Europie to sto, w Chinach kilkadziesiąt. Nie myślimy na co dzień o energii i naszym jej zużyciu, bo dla przeciętnego człowieka ona po prostu jest, jak powietrze, którym oddychamy. Mamy prąd w gniazdku, a paliwo na stacji benzynowej. Nie zastanawiamy się nad tym, co by się stało, gdyby energii nam zabrakło...*

# epodreczniki – Moc...



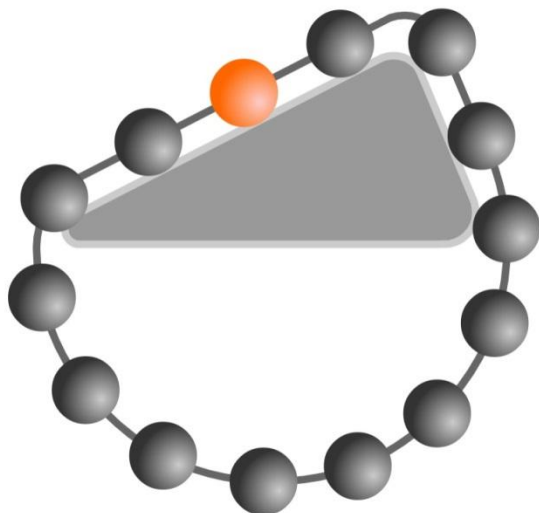
## Zadanie – Przykład 3

Aby jechać po poziomym torze ze stałą szybkością  $5 \text{ m/s}$ , rowerzysta musi pokonywać opory ruchu o wartości  $50 \text{ N}$ . Z jaką mocą musi pracować rowerzysta?



następny

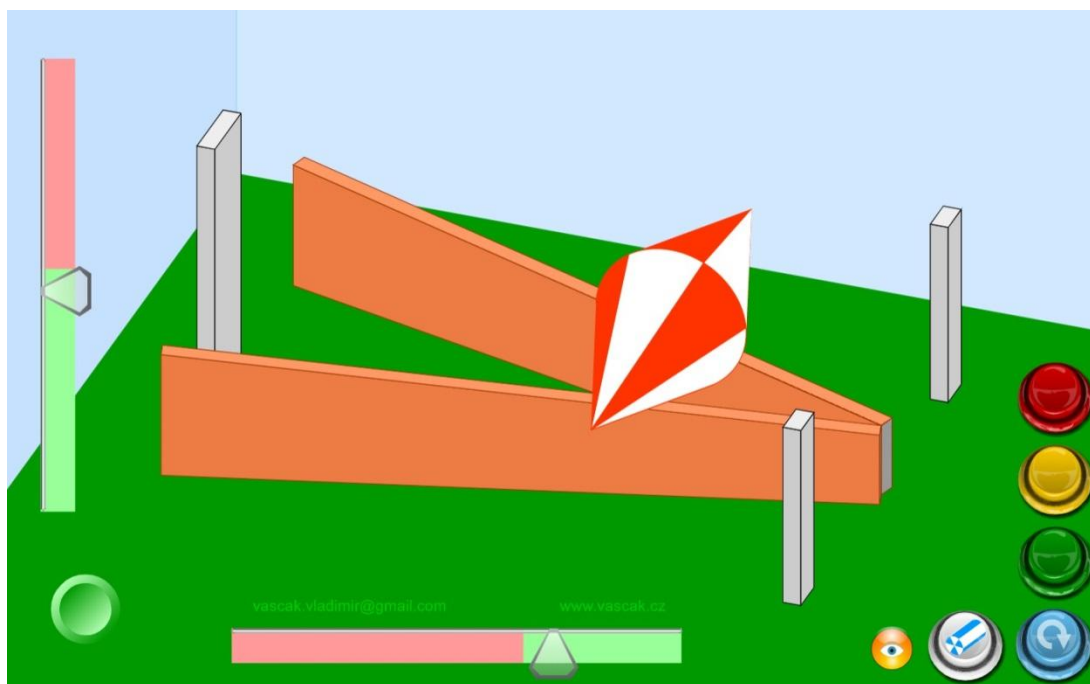
poprzedni



# Zadania domowe

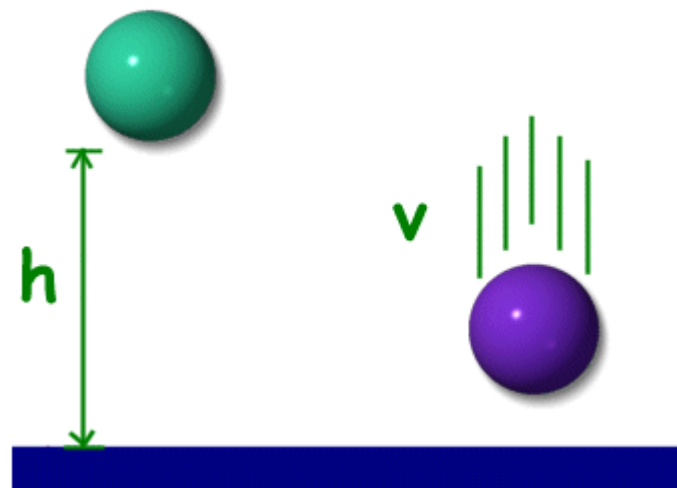
vascak.cz perpetuum mobile  
silnik 4-suwowy i inne symulacje

www.vascak.cz



# Kujawsko-Pomorska e-Szkoła

## FIZYKA – PRACA, MOC, ENERGIA



### Temat: Energia mechaniczna – potencjalna i kinetyczna

dr Krzysztof Rochowicz  
KPCEN / UMK Toruń 2020



# Krótką historia pojęcia energia



- gr. *ενεργεια* *energeia* od *ergon* „praca”
- XVIII w. – Emilie du Chatelet – potwierdziła hipotezę, że energia ciał będących w ruchu jest proporcjonalna do iloczynu masy i kwadratu prędkości
- Einstein podaje wzór  $E = mc^2$  wyjaśniający m.in. promieniotwórczość (reakcje jądrowe), promieniowanie Słońca i gwiazd

## Różne formy energii

### • Energia kinetyczna

Związana z ruchem; im szybciej porusza się dane ciało, tym większą ma energię kinetyczną.



### • Energia potencjalna grawitacji

Gdy podnosimy ciało na pewną wysokość, zwiększamy jego energię potencjalną. Jest ona tym większa, im wyżej znalazło się ciało.



### • Energia potencjalna sprężystości

Napięta sprężyna ma pewną energię, dzięki czemu może np. napędzić samochodzik na sprężynie lub zegar mechaniczny.



### • Energia wewnętrzna

Energia cząsteczek ciała związana z jego temperaturą i stanem skupienia. Gdy podgrzewamy ciało, zwiększamy jego energię wewnętrzną.



### • Energia chemiczna

Spalając węgiel czy benzynę, wyzwalamy zawartą w nich energię. Jest to obecnie główne źródło energii dla ludzkości. Każdy z nas może żyć tylko dzięki energii chemicznej zawartej w pożywieniu.



### • Energia elektryczna

Jest to postać energii najłatwiejsza do przesyłania i zamiany na inne rodzaje. Dlatego większość urządzeń, z których korzystamy, zasilana jest właśnie tą formą energii.



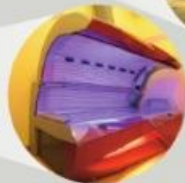
### • Energia jądrowa

Korzystamy z niej w elektrowniach jądrowych. Ale nie tylko: także Słońce świeci dzięki przemianom jądrowym zachodzącym w jego wnętrzu.



### • Energia promieniowania

Światło, mikrofalę w kuchenie mikrofalowej, ultrafiolet powodujący opalanie, promienie rentgenowskie używane do prześwietleń, fale radiowe – wszystkie niosą pewną energię.

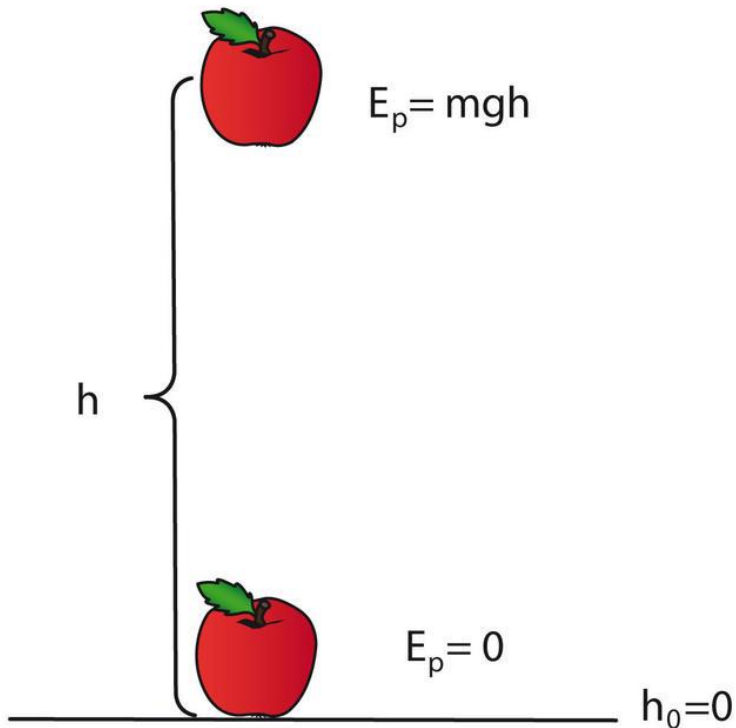


**energia  
mechaniczna**

**Energia** – zdolność  
do wykonania pracy;  
- jednostką jest dżul;  
- ZZE: nie pojawia się  
znikąd i nie znika,  
może zmienić formę

Przykład z podręcznika  
„To jest fizyka” wyd. Nowa Era

# Energia potencjalna (grawitacji)

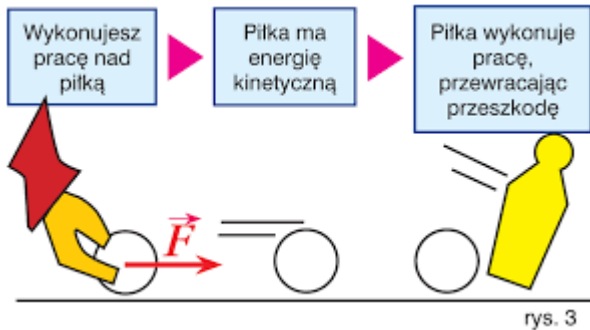


- W najprostszym przypadku wiąże się z wysokością  $h$  ciała;
- Podnosząc ciało (ruchem jednostajnym) na wysokość  $h$  wykonamy pracę  $mgh$  (pokonujemy ciężar  $mg$  na drodze  $h$ ) – przykład (1kg, 1m)

Doświadczenie: skutki spadania z wysokości  $h$



# Energia kinetyczna



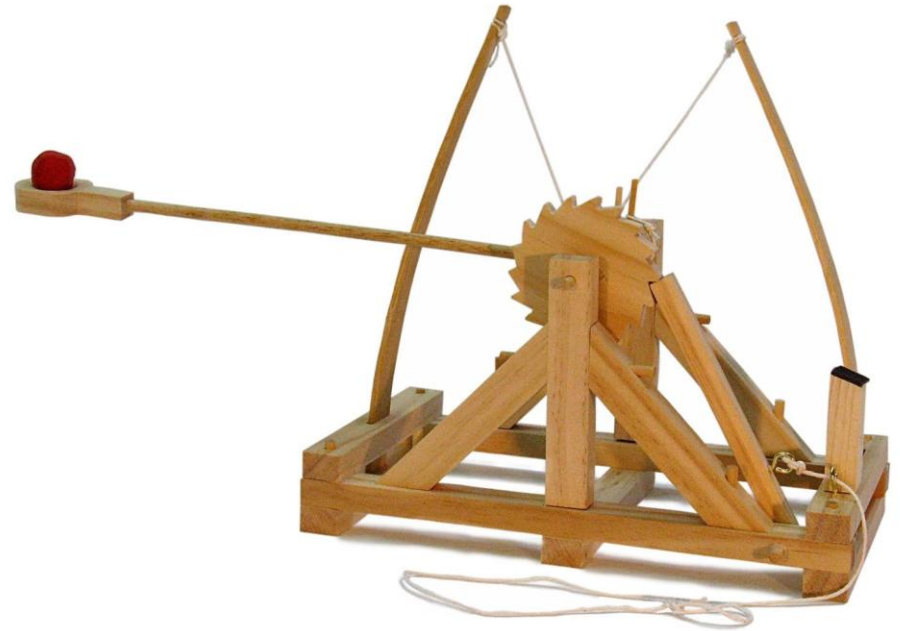
- Wykonujemy pracę  $F \cdot S$ , nadając energię  $ma \cdot at^2/2$
- Obliczmy energię kinetyczną samochodu (masa 1000 kg) jadącego z prędkością: 36 km/godz. i 72 km/godz.
- Twoja energia kinetyczna: (m=50kg) – spacer: 25 J, sprint: 2500 J (dla 10 m/s)



[kalkulator zderzenia krater](#)

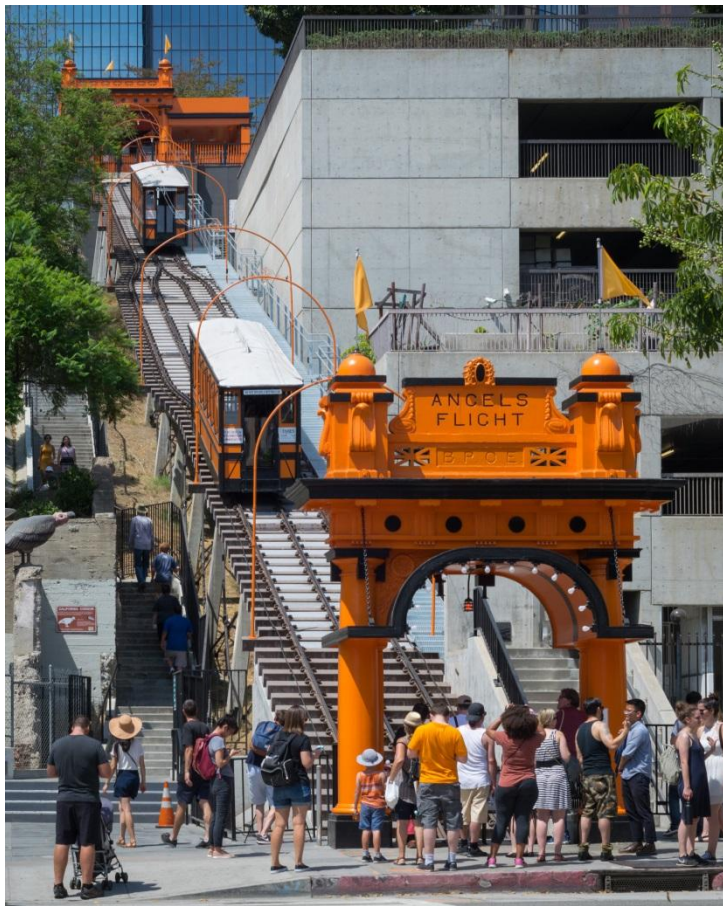


# Energia w praktyce



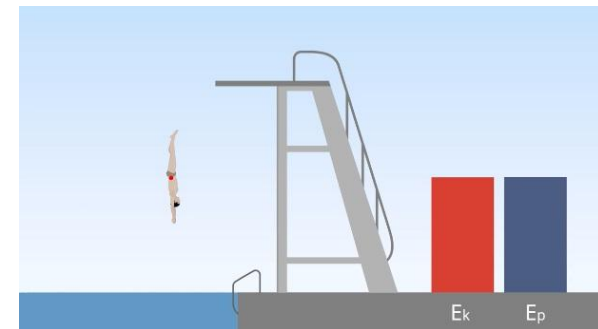
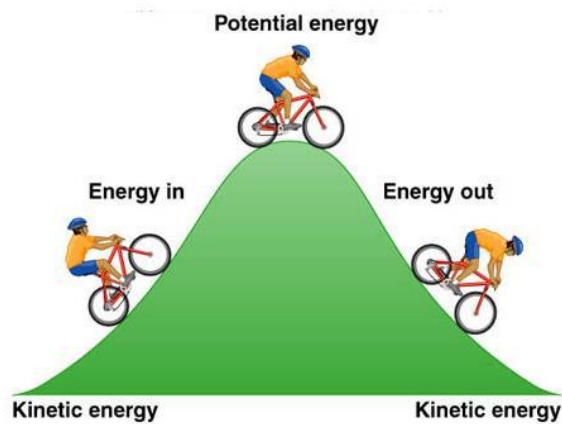
Bombarda (Kwidzyn), katapulta (da Vinci) itp. itd.

# Energia w praktyce współcześnie



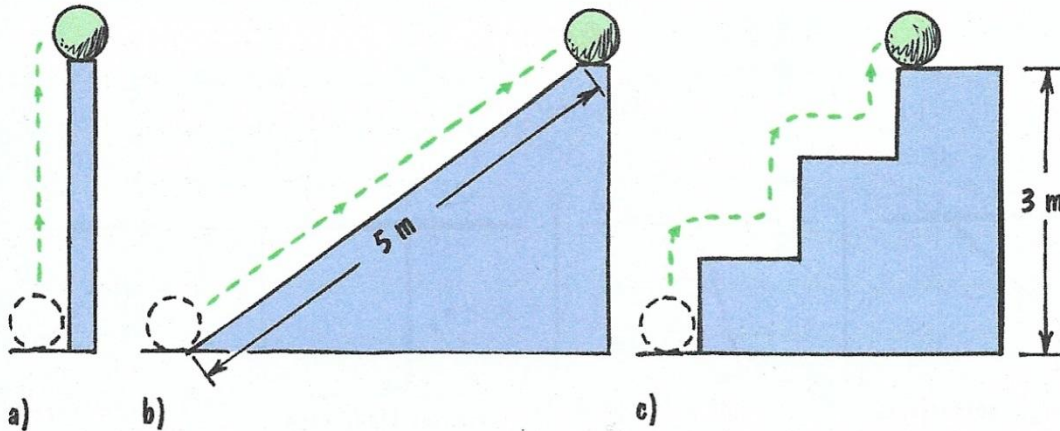


# Przemiany energii mechanicznej



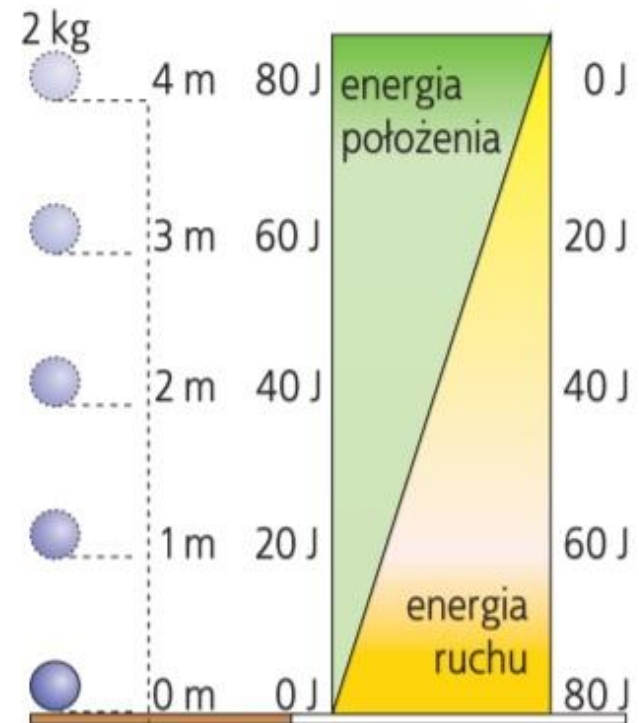
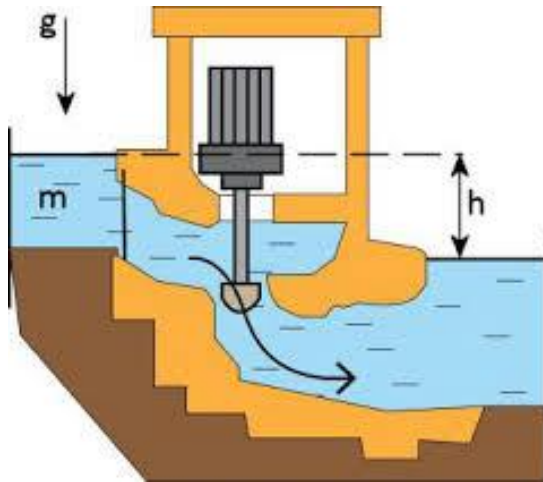
[epodreczniki.pl](http://epodreczniki.pl)

# Energia potencjalna



## RYSUNEK 7.6

Energia potencjalna kuli o ciężarze 10 N jest taka sama (i równa 30 J) we wszystkich trzech przypadkach, gdyż praca wykonana przy podniesieniu jej na wysokość 3 m jest niezależna od tego, czy a) kula została podniesiona siłą 10 N; b) kula została wtoczona siłą 6 N po równi pochyłej o długości 5 m; c) kula została wniesiona siłą 10 N po trzech stopniach o wysokości 1 m każdy. W ruchu poziomym (przy braku tarcia) nie jest wykonywana żadna praca

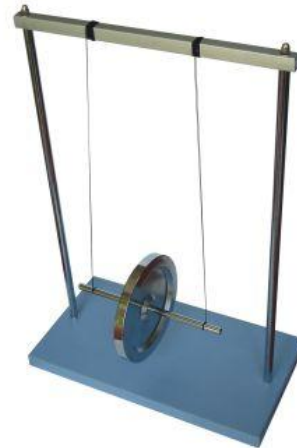


# Doświadczenia związane z energią



- Która kulka zjedzie szybciej?

Przykład: rozbieg na skoczni narciarskiej – optymalny kształt to odwrócona [cykloida](#)

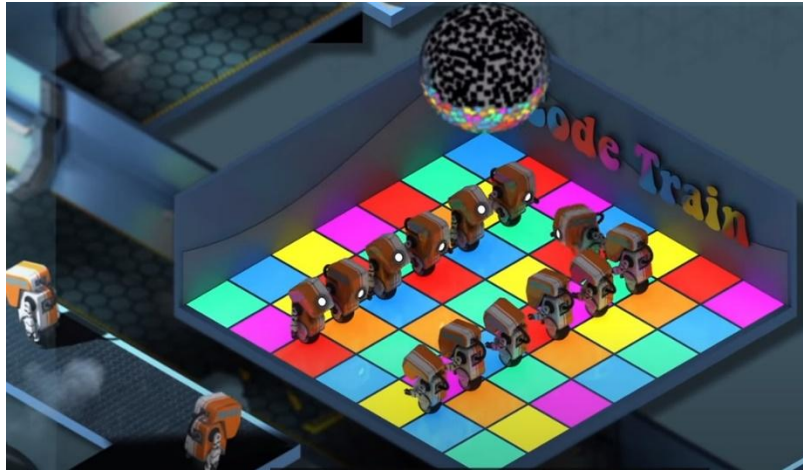
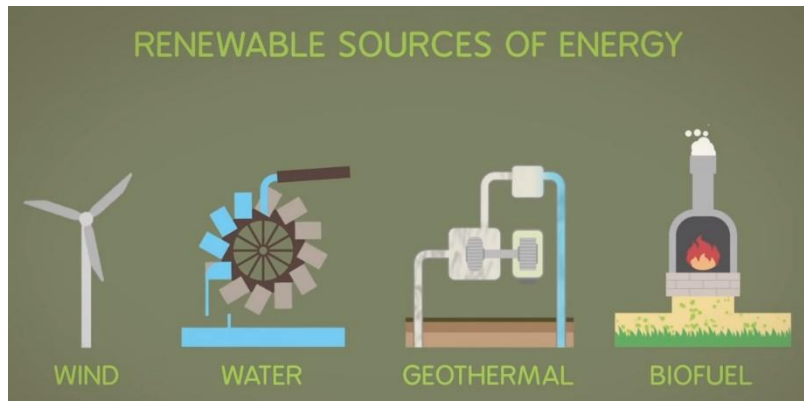


# Doświadczenie mrozące krew w żyłach



piłki – odbicie; sprytna plastelina





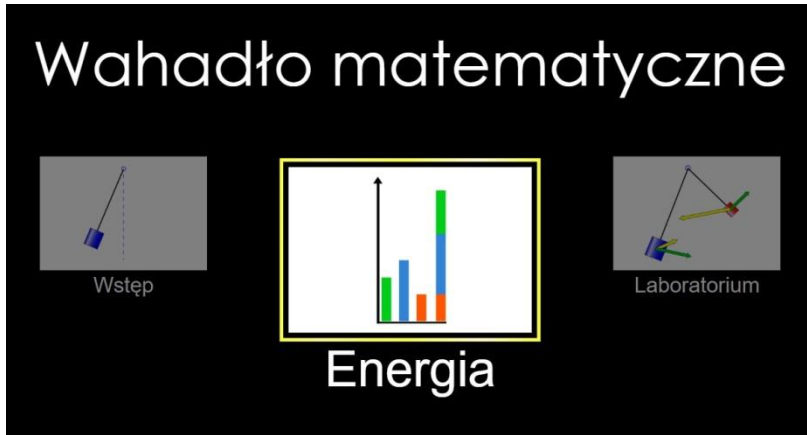
# Zadania domowe

Do obejrzenia – filmy TED-ED:  
(youtube ted ed energy)

- [A guide to the energy of the Earth](#)
- [All of the energy in the Universe is...](#)
- [Can 100% renewable energy power the world?](#)



# Do przetestowania - symulacje



- Walter Fendt – [wahadło, ciężarek na sprężynie kołyska Newtona](#)
- phet.colorado.edu – [formy energii i ich przemiany, wahadło matematyczne, ciężarki na sprężynach, energia w skateparku](#) 😊



# Kujawsko-Pomorska e-Szkoła

## FIZYKA – PRACA, MOC, ENERGIA



### Temat: Energia przyszłości

dr Krzysztof Rochowicz

KPCEN / UMK Toruń 2020

## Różne formy energii

### • Energia kinetyczna

Związana z ruchem; im szybciej porusza się dane ciało, tym większą ma energię kinetyczną.



### • Energia potencjalna grawitacji

Gdy podnosimy ciało na pewną wysokość, zwiększamy jego energię potencjalną. Jest ona tym większa, im wyżej znalazło się ciało.



### • Energia potencjalna sprężystości

Napięta sprężyna ma pewną energię, dzięki czemu może np. napędzić samochodzik na sprężynie lub zegar mechaniczny.



### • Energia wewnętrzna

Energia cząsteczek ciała związana z jego temperaturą i stanem skupienia. Gdy podgrzewamy ciało, zwiększamy jego energię wewnętrzną.



### • Energia chemiczna

Spalając węgiel czy benzynę, wyzwalamy zawartą w nich energię. Jest to obecnie główne źródło energii dla ludzkości. Każdy z nas może żyć tylko dzięki energii chemicznej zawartej w pożywieniu.



### • Energia elektryczna

Jest to postać energii najłatwiejsza do przesyłania i zamiany na inne rodzaje. Dlatego większość urządzeń, z których korzystamy, zasilana jest właśnie tą formą energii.



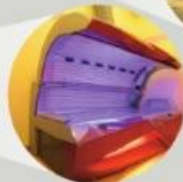
### • Energia jądrowa

Korzystamy z niej w elektrowniach jądrowych. Ale nie tylko: także Słońce świeci dzięki przemianom jądrowym zachodzącym w jego wnętrzu.



### • Energia promieniowania

Światło, mikrofalę w kuchence mikrofalowej, ultrafiolet powodujący opalanie, promienie rentgenowskie używane do prześwietleń, fale radiowe – wszystkie niosą pewną energię.

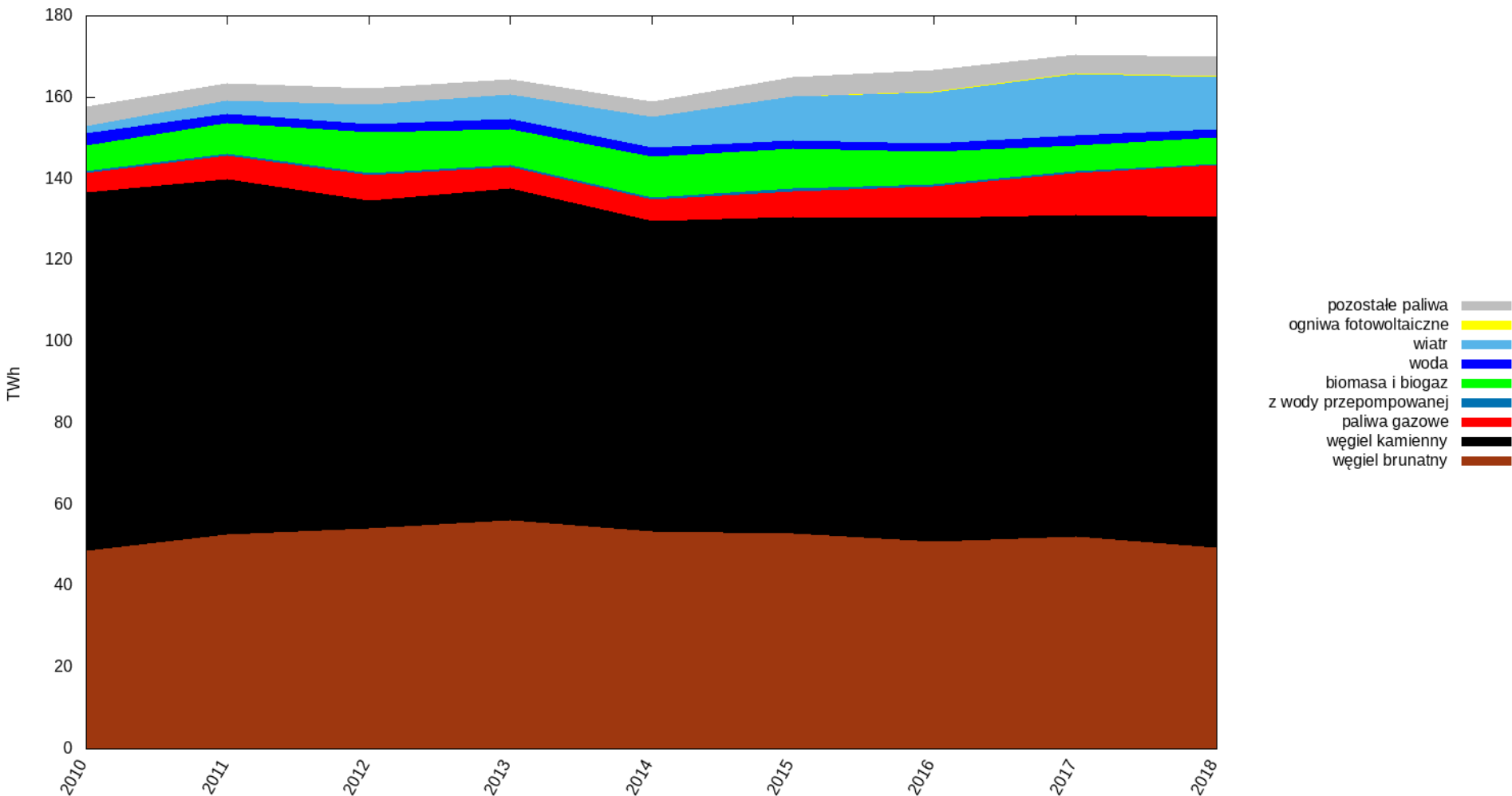


**energia  
mechaniczna**

**Energia** – zdolność  
do wykonania pracy;  
- jednostką jest dżul;  
- ZZE: nie pojawia się  
znikąd i nie znika,  
może zmienić formę

Przykład z podręcznika  
„To jest fizyka” wyd. Nowa Era

# Odnawialne źródła energii (OZE) na świecie i w Polsce



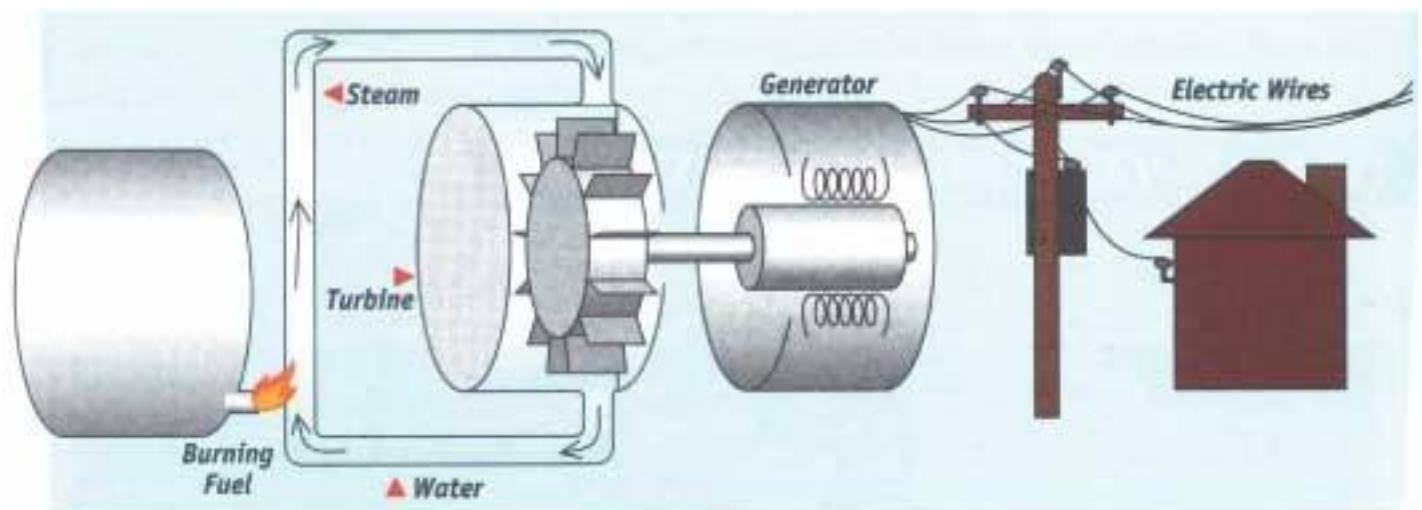
# Skąd wziąć prąd elektryczny?



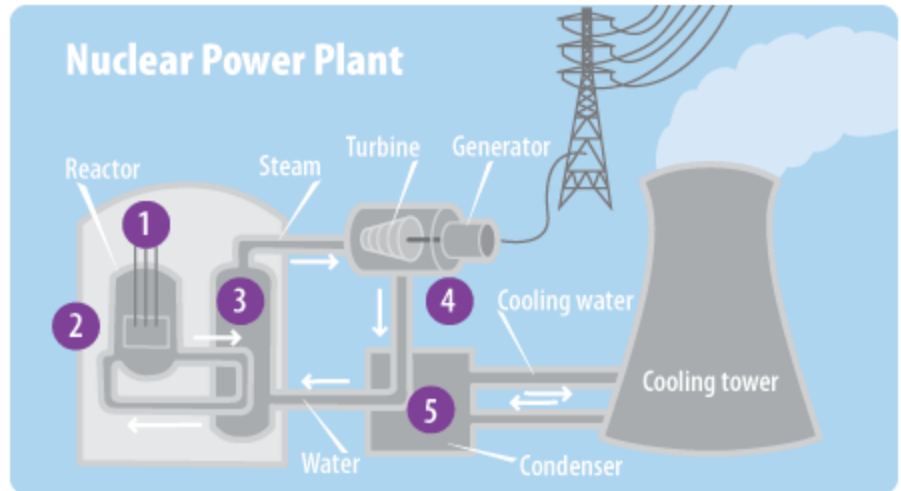
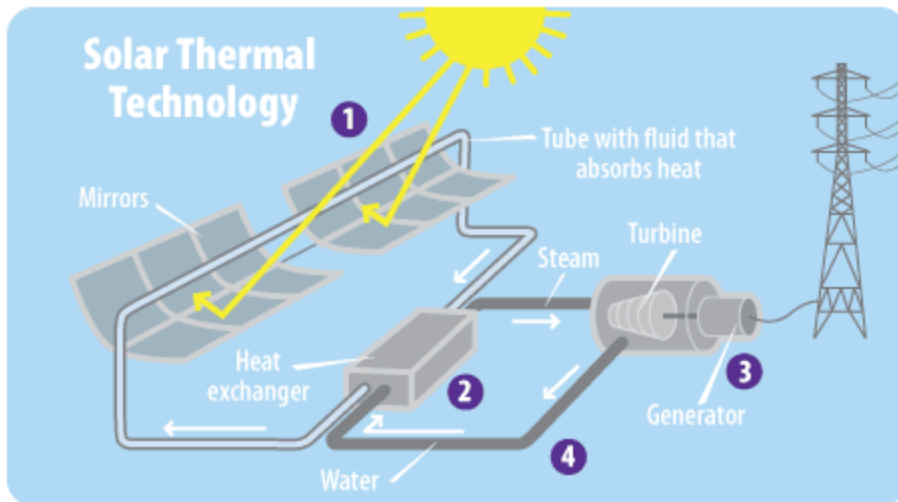
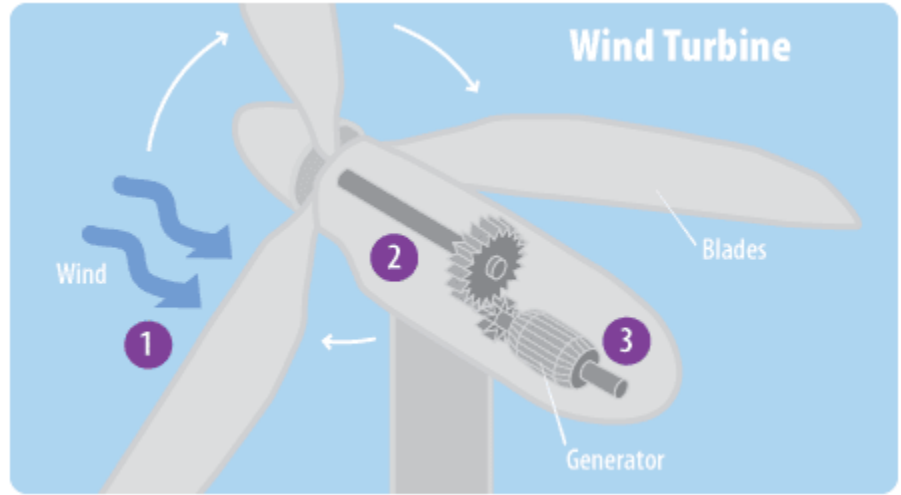
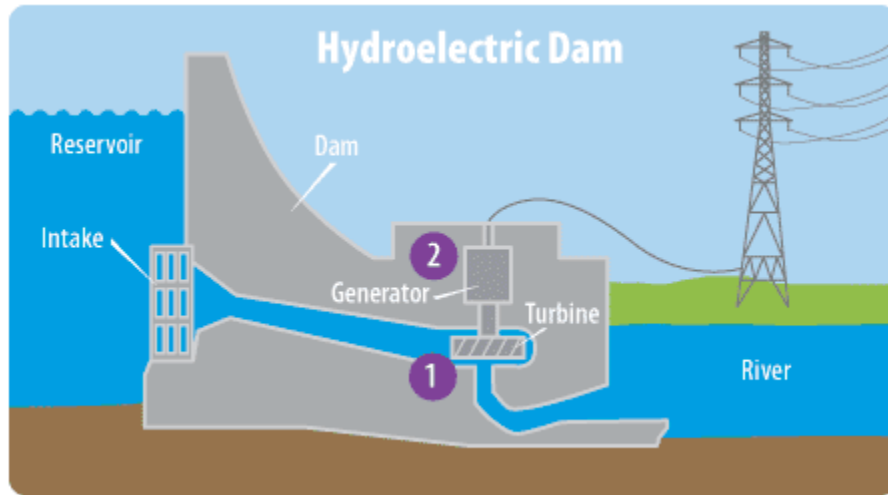




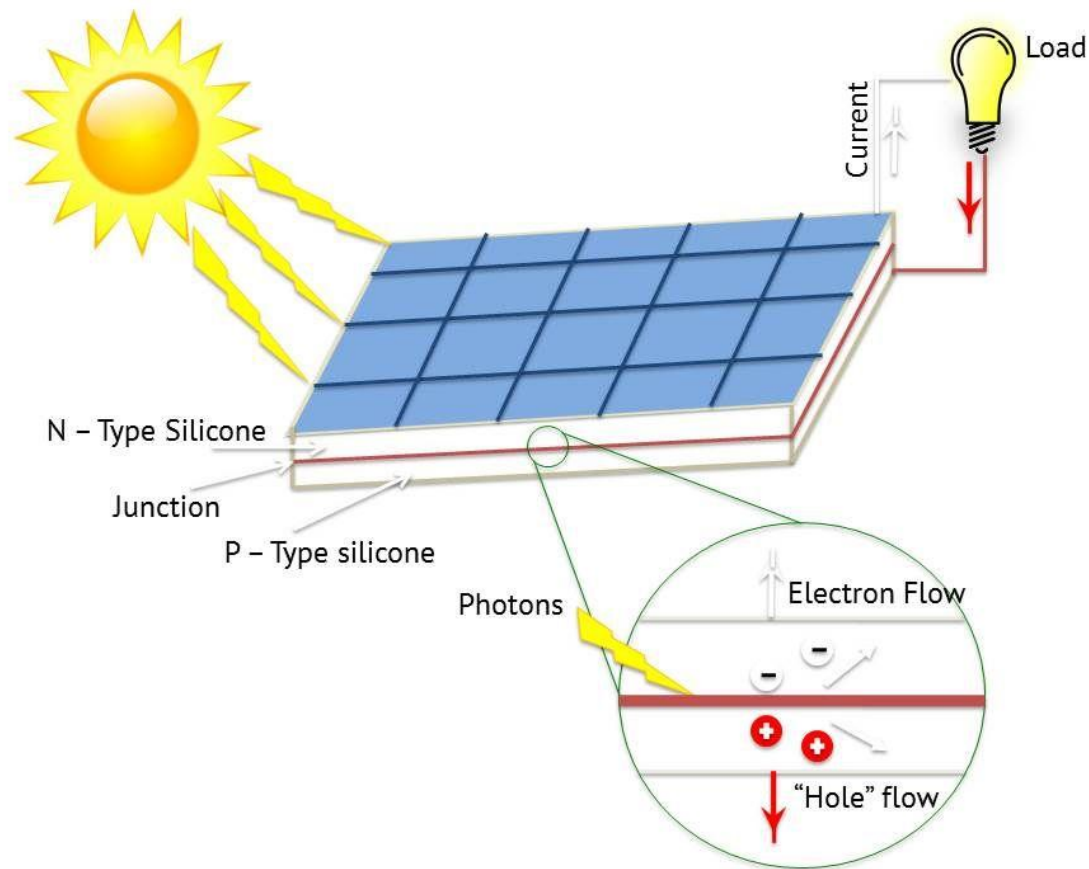
Od dynamo  
do elektrowni...



# Różne elektrownie

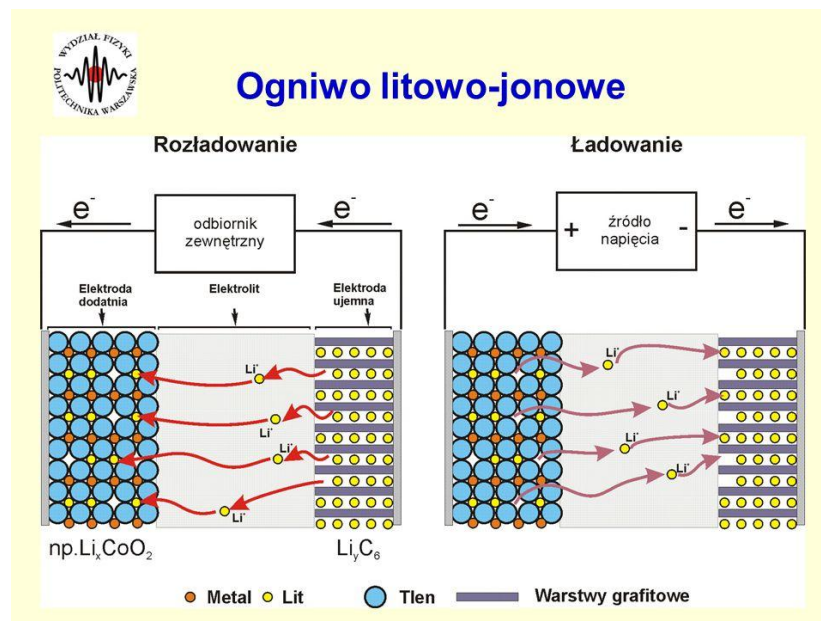


# Energia ze słońca – zjawisko fotoelektryczne (Einstein, 1905)

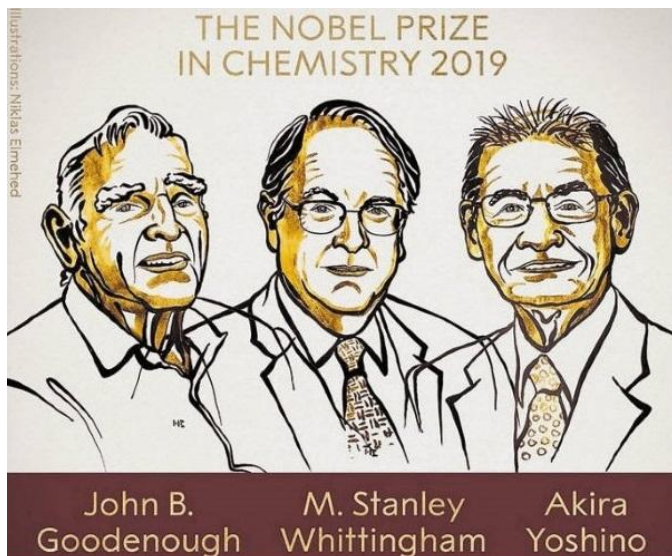




# Elektryczność dla każdego





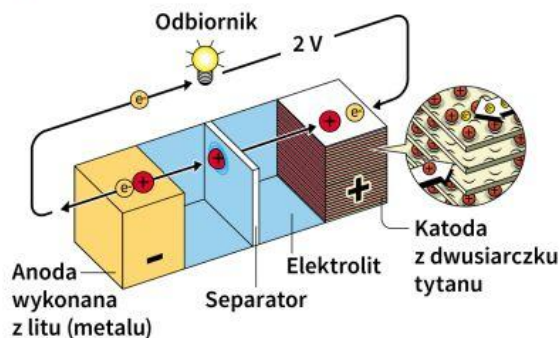


# Nobel z chemii za ogniwa litowo-jonowe

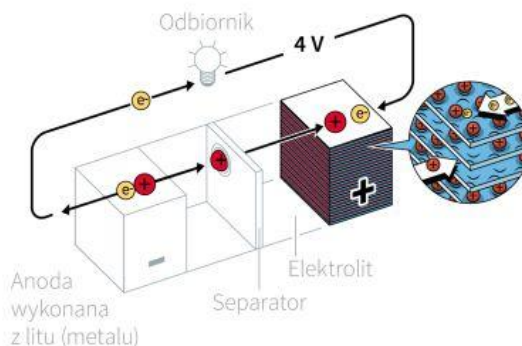
John Goodenough, Stanley Whittingham i Akira Yoshino zostali tegorocznymi laureatami Nagrody Nobla w dziedzinie chemii za opracowanie lekkich i pojemnych akumulatorów litowo-jonowych. Wprowadzone na rynek w 1991 r. akumulatory litowo-jonowe zrewolucjonizowały nasze życie i są używane w niezliczonych urządzeniach, od smartfonów po samochody elektryczne.

## ROZWÓJ TECHNOLOGII AKUMULATORÓW LITOWO-JONOWYCH

⬤ jon litu   ⬢ elektron

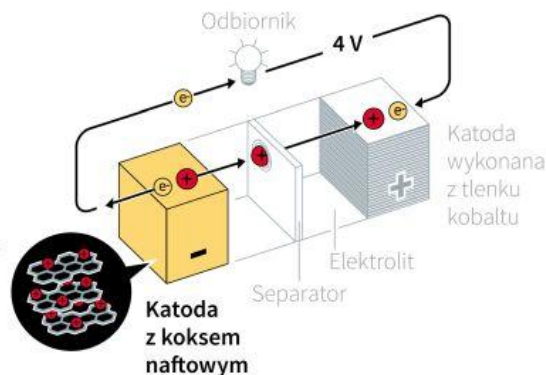


Pierwsze akumulatory miały elektrody wykonane z metali, które ulegały zniszczeniu w kontakcie z elektrolitem. Whittingham użył do wykonania **katody dwusiarczku tytanu**, w którym mogły być przechowywane jony litu. Umożliwiło to **ponowne naładowanie baterii**. Niestety akumulatory oparte na tej technologii były bardzo drogie i przy uszkodzeniu wybuchały.



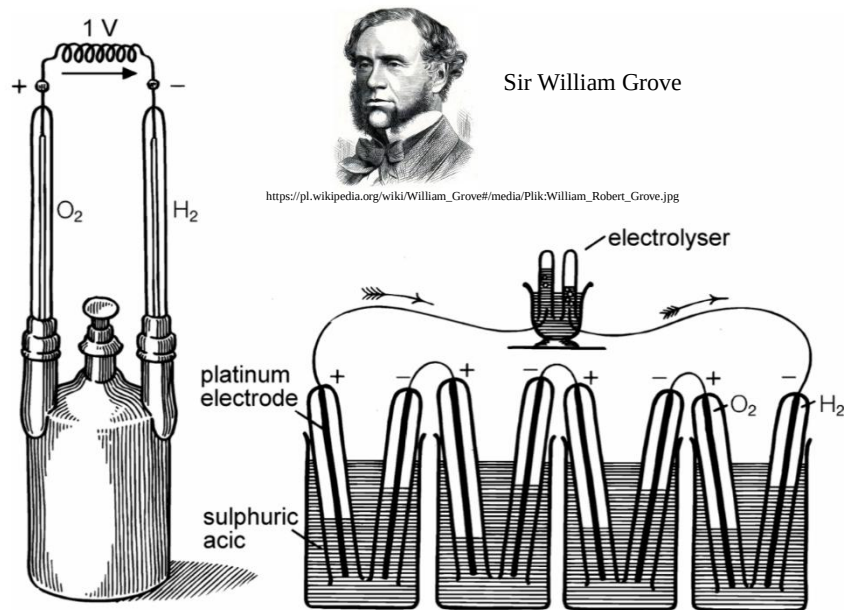
Goodenough zaczął używać w **katodzie tlenku kobaltu**. Podwoiło to **potencjał** akumulatorów, z 2 do 4 V.

Akira Yoshino stworzył **pierwszy stabilny akumulator litowo-jonowy**. Wykorzystał katodę z tlenku kobaltu (Goodenougha) i **anodę z koksu naftowego**, dzięki czemu wyeliminował reakcje chemiczne, które uszkadzały akumulator.





# „Bateria gazowa” – pierwsze ogniwo paliwowe

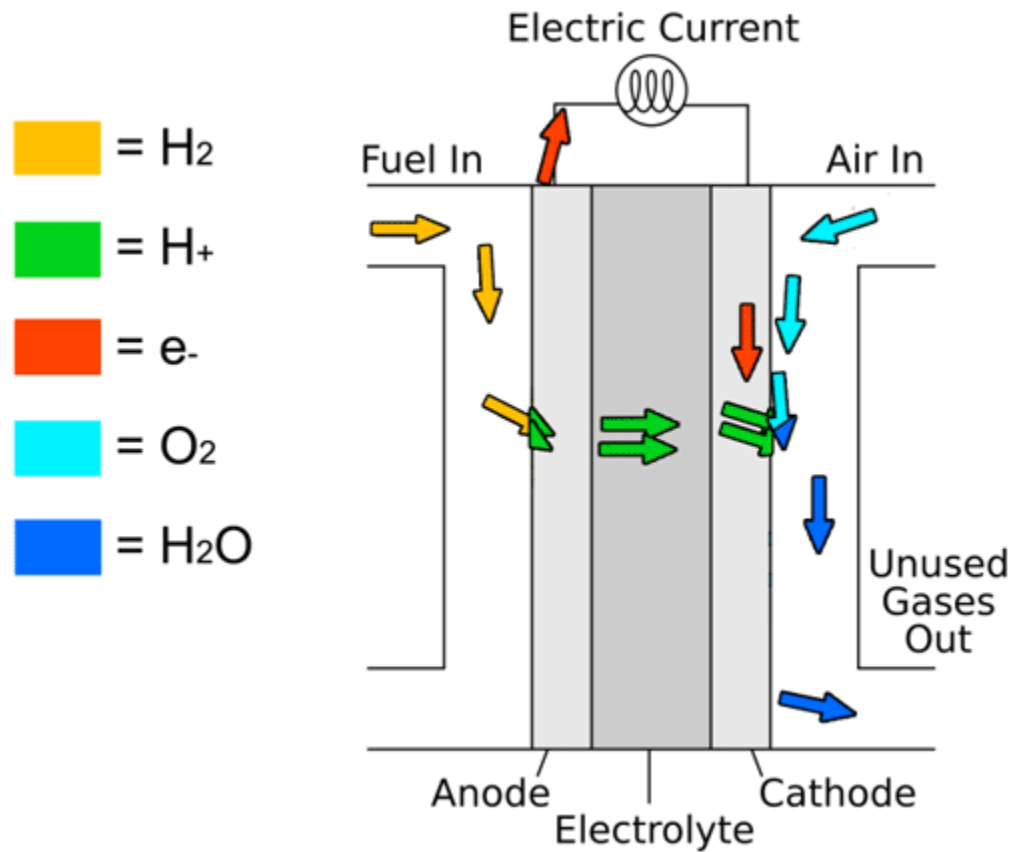


Grove's 'gas battery' (1839) produced a voltage of about 1 volt, shown left. Grove's 'gas chain' powering an electrolyzer (1842), shown right.

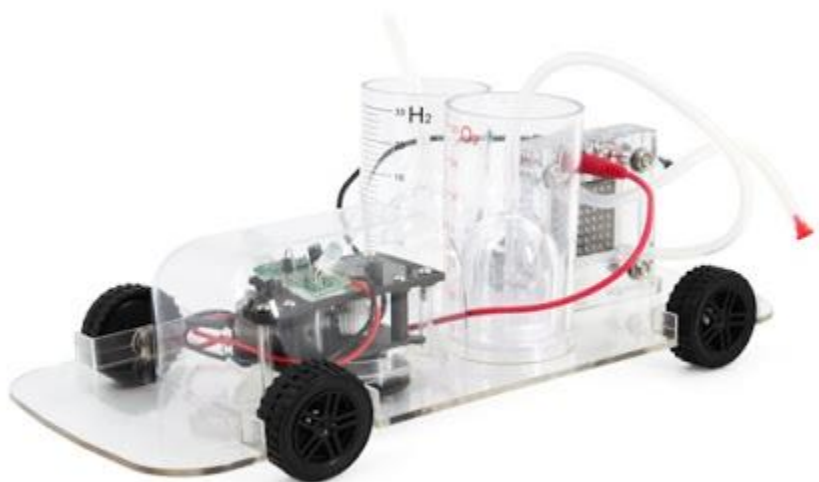
Sir William Grove (1811–96), brytyjski prawnik (i naukowiec amator) opracował pierwsze ogniwo paliwowe w 1839 r. Zasada została odkryta przypadkowo podczas eksperymentu elektrolizy. Kiedy Grove odłączył akumulator od elektrolizera i połączył obie elektrody razem, zauważył prąd płynący w przeciwnym kierunku, zużywający gazy wodoru i tlenu. Jego bateria gazowa składała się z elektrod platynowych umieszczonych w probówkach wodoru i tlenu zanurzonych w kąpeli z rozcieńczonym kwasem siarkowym. Generował napięcia o wartości około jednego wolta.

W 1842 r. Grove połączył kilka baterii gazowych szeregowo, tworząc „łańcuch gazowy”. Używał energii elektrycznej wytwarzanej z łańcucha gazowego do zasilania elektrolizera, dzieląc wodę na H i O. Jednak z powodu problemów związanych z korozją elektrod i niestabilnością materiałów ogniwo Grove'a nie było praktyczne. W rezultacie przez wiele lat prowadzono niewiele badań związanych z rozwojem ogniw paliwowych, aż do połowy XX wieku.

# Ogniwo paliwowe z membraną

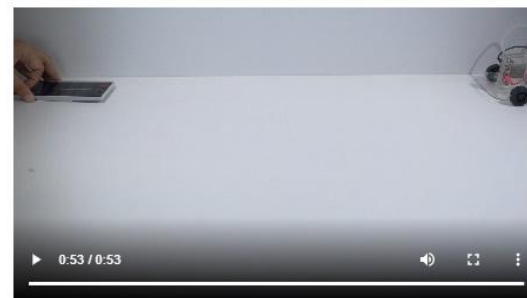


# Samochód „na wodę”



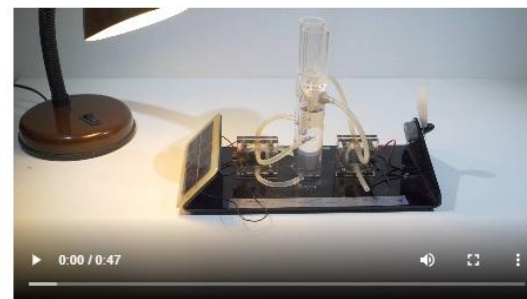
## FCHgo - filmy i zdjęcia

Na filmach i zdjęciach możecie Państwo zobaczyć m. in. w jaki sposób działa "samochód na wodę".



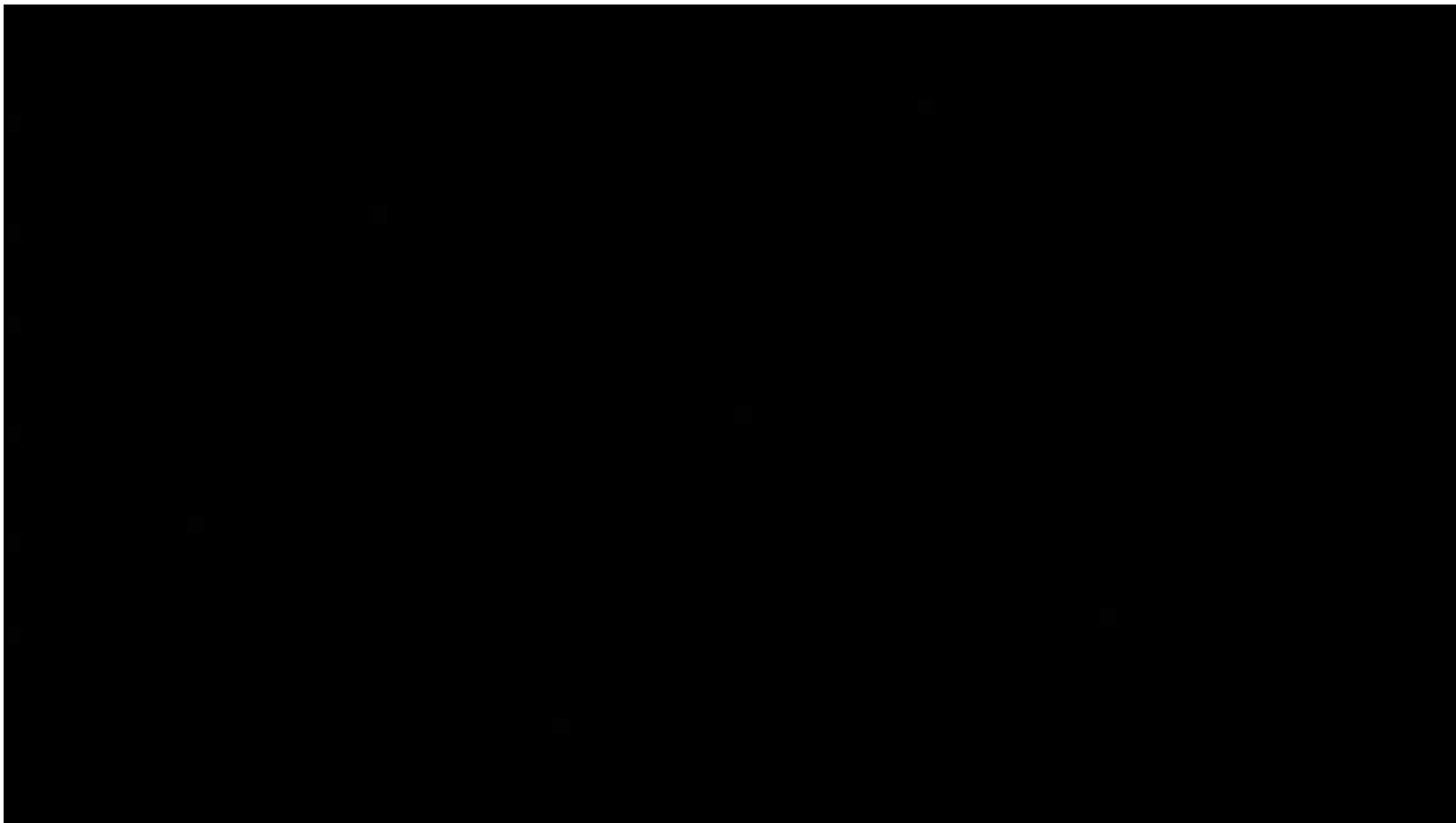
Na początku doświadczenia lampka oświetla ogniwo fotowoltaiczne i wytwarzany jest w nim prąd elektryczny, który płynie do ogniwa paliwowego. Ogniwo pali w oddzielnych zbiornikach.

Następnie odłączono jest ogniwo fotowoltaiczne od ogniwa paliwowego. Teraz tlen i wodór dostarczane są do ogniwa paliwowego z dwóch różnych stron. Prezentowany samochód jeździ samodzielnie kilkadziesiąt sekund.



Podobnie działa pojazd z innym ogniwem wodorowym (tzn. paliwowym), ale zamiast kół silnik elektryczny napędza śmigło, które obraca się bardzo szybko.

# Wodór – paliwo przyszłości?



# Samochód napędzany wodorem



<https://ssl.toyota.com/mirai/fcv.html>

## Toyota Mirai

Ogniwo wodorowe z litego polimeru, silnik elektryczny 150 KM.

Zbiornik wodoru 37 l, @ 70 atm. ciśnienie, czas napełniania 5 minut.

Zasięg - 300 mil

Przyspieszenie 0–60 km/h - 9 sekund



# W autobusach...

„Phileas-Bus“ in Cologne  
in daily use in public traffic



Source: HyCologne -Wasserstoff  
Region Rheinland

Silniki wysokoprężne w autobusach wytwarzają nie tylko CO<sub>2</sub>, ale także dość często ogromne ilości nanocząsteczek podobnych do węgla, które są rakotwórcze. Są one powszechnie klasyfikowane jako PM10, ale są znacznie bardziej niebezpieczne niż zwykły (podobny do krzemionki) pył.

Autobus wodorowy w Kolonii jest teraz 2-3 razy droższy niż tradycyjne autobusy, ale tak dzieje się zawsze z nowymi technologiami.



# Na statkach...

## The first fuel cell passenger ship in Hamburg



72,500 kg of CO<sub>2</sub>  
1000 kg of NO<sub>x</sub>  
220 kg of SO<sub>x</sub>  
40 kg of particles  
will **not** be emitted per year!



Source: Alster Touristik GmbH

Statki używają bardzo mocnych silników Diesla, które są szczególnie zanieczyszczające. Nie odczuwa się tego zanieczyszczenia na wodzie. Jednak zdjęcia satelitarne pokazują ślady tras którymi przepływały statki, w postaci chmur nad otwartym oceanem.

Silniki wysokoprężne wytwarzają również ogromne ilości gazów, które będąc poliatomowe, powodują długotrwałe (270 lat w przypadku N<sub>2</sub>O) globalne ocieplenie. Z kolei NO<sub>2</sub> przyczynia się do powstania ozonu troposferycznego, który jest rakotwórczy.

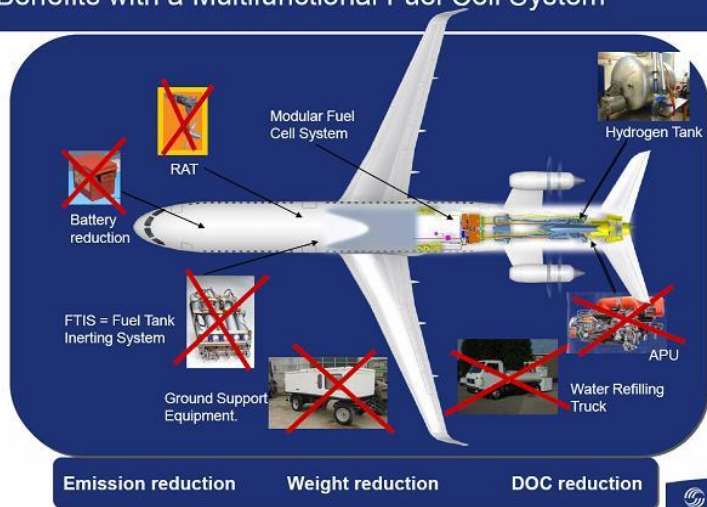
# Nawet w samolotach...

## Fuel cells as APU's in Airplanes



Example of a typical A30X application: F/C to replace APU

Benefits with a Multifunctional Fuel Cell System



Fuel cell technologies and H2 can make Aircraft systems simpler

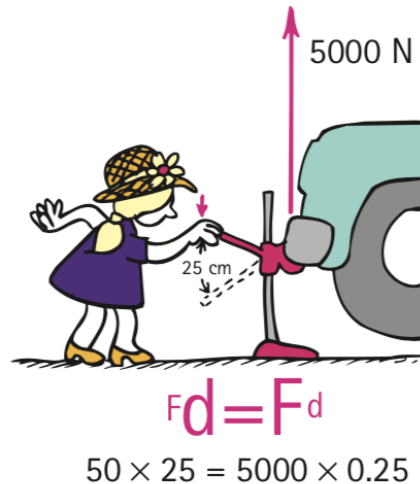
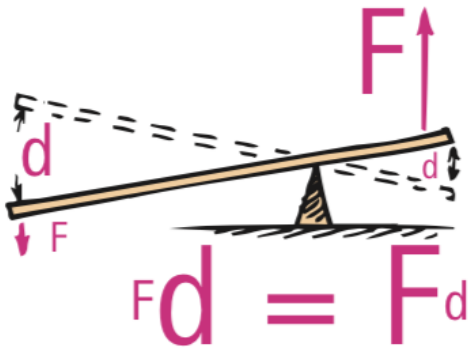
Samoloty, zwłaszcza wojskowe, najprawdopodobniej jako ostatnie porzucą benzynę, ale ogromna ilość ruchu pasażerskiego zmusza producentów samolotów do poważnego rozważenia wodoru jako paliwa.

I prawdopodobnie dość bliskie jest zastosowanie ogniw paliwowych jako generatorów prądu elektrycznego w samolotach (tutaj Airbus A30X).

Technologie FC „wystartowały”, gdy były wykorzystywane w lotach Apollo.

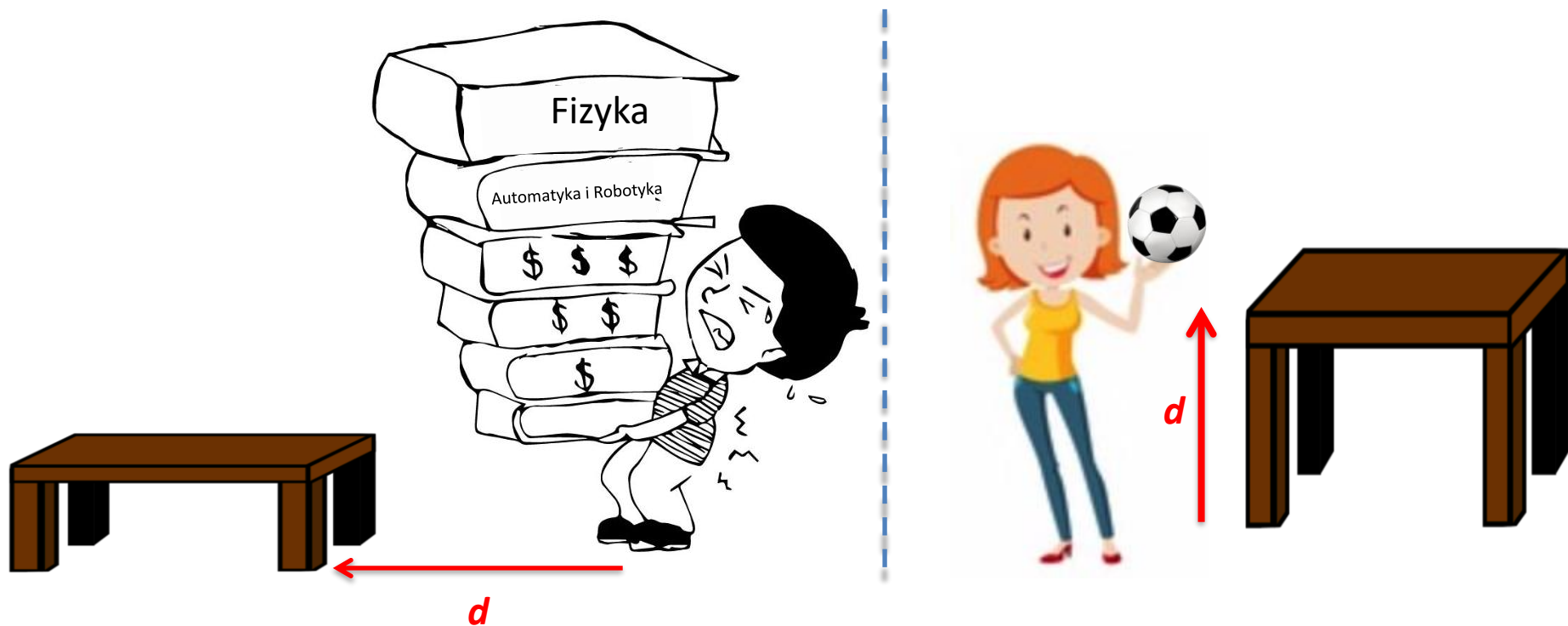
## Wykład 5

# Praca i energia kinetyczna



# Praca w języku potocznym

Kto wykonuje większą pracę?



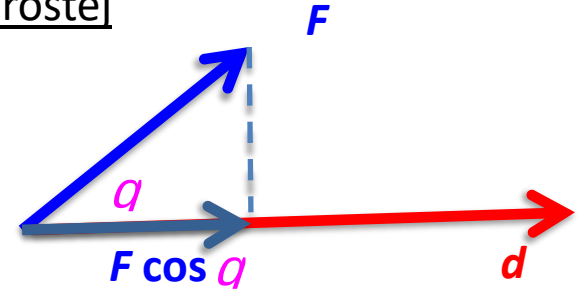


# Praca w fizyce

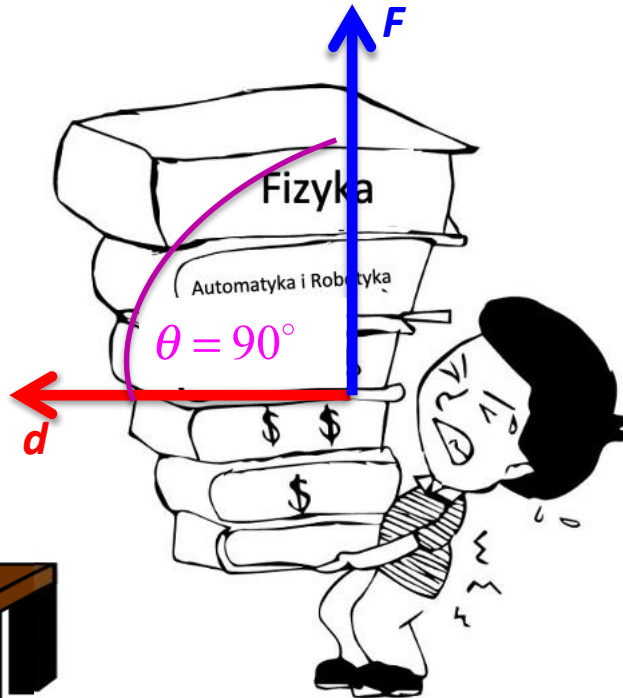
Praca siły stałej działającej na ciało przesuwane się wzdłuż linii prostej ma precyzyjną definicję:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

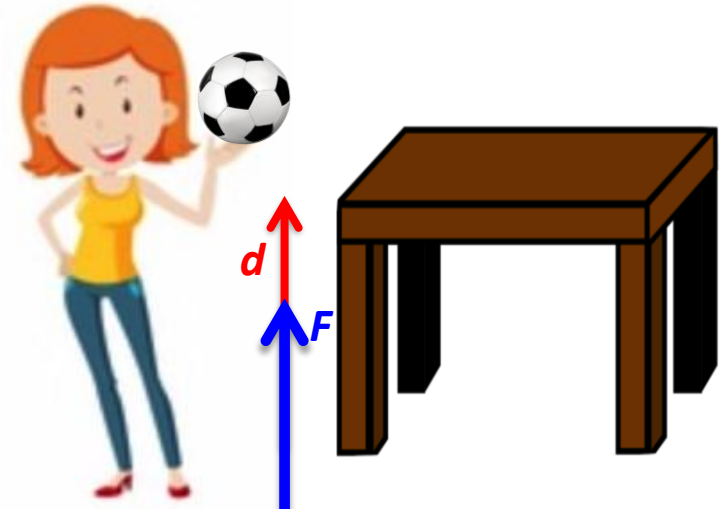
$$W = (F \cos q) \times d$$



jednostka  
Joule  $[J] = [N \cdot m]$

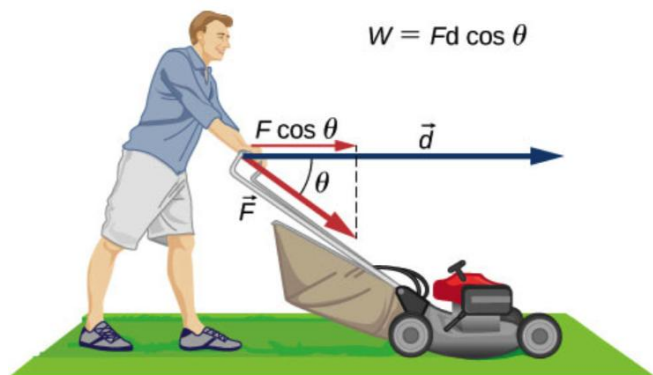


$$W = 0$$

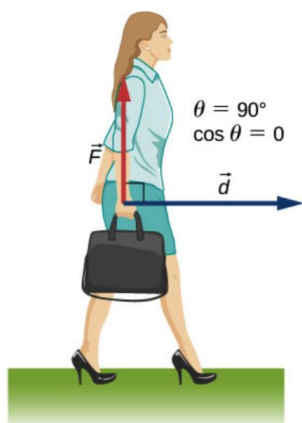
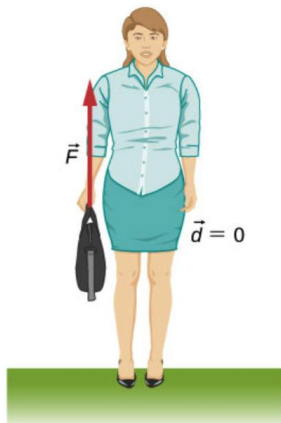


$$W = F \times d$$

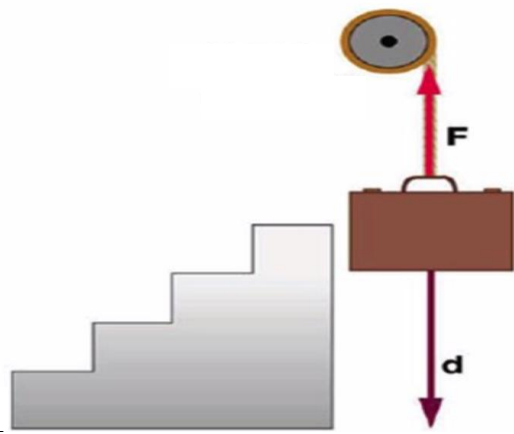
# Praca może być dodatnia, ujemna lub wynosić zero



Praca siły  $F$  jest dodatnia, gdy składowa tej siły w kierunku przesunięcia ma zwrot zgodny z tym przesunięciem,  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$  – składowa przyspiesza ciało



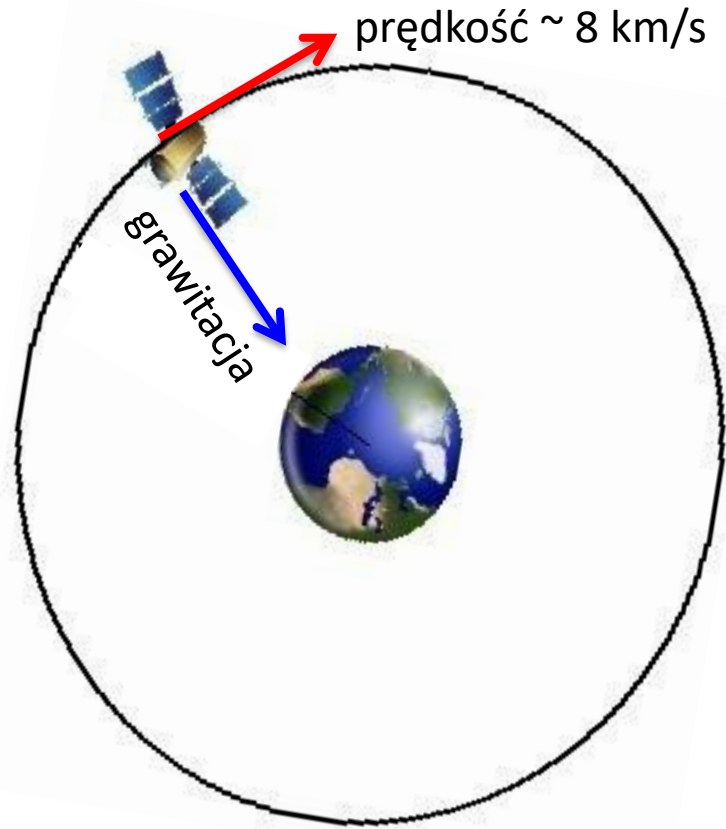
Praca siły  $F$  wynosi zero, gdy nie ma przesunięcia ( $d=0$ ) lub kiedy siła jest prostopadła do przesunięcia,  $\theta = 90^\circ$



Praca siły  $F$  jest ujemna, gdy składowa tej siły w kierunku przesunięcia ma zwrot przeciwny do przesunięcia,  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  - składowa spowalnia ciało

# Pasażerowie międzynarodowej stacji kosmicznej znajdują się w nieustannym spadku swobodnym!

[http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa\\_strona/?q=node/629](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=node/629)



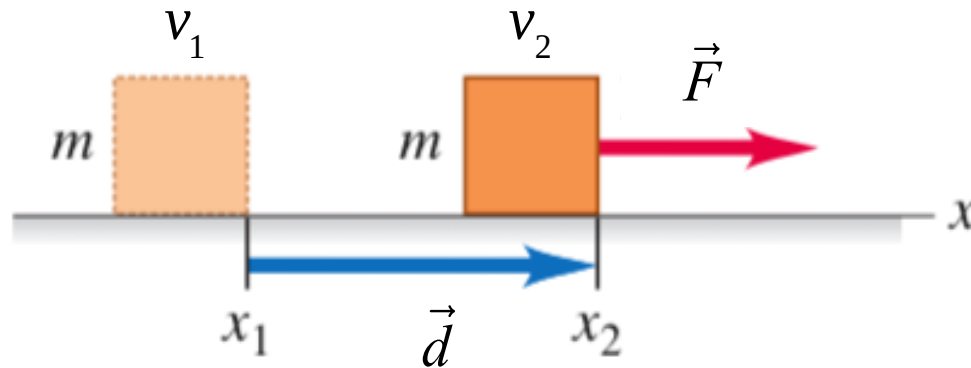
<https://www.youtube.com/watch?v=tgRMAVoHRbk>



Satelita znajduje się w spadku swobodnym, ale nigdy na Ziemię nie spadnie, bo Ziemia mu wciąż ucieka!

# Energia kinetyczna oraz jej związek z pracą siły wypadkowej

Ciało o masie  $m$  przyspieszane jest na dystansie  $d$  od prędkości  $v_1$  do prędkości  $v_2$  przez stałą siłę  $F$ . Tarcie można zaniedbać.



$$\begin{cases} x_2 = x_1 + v_1 t + \frac{1}{2} a t^2 \\ v_2 = v_1 + a t \end{cases} \Rightarrow a = \frac{v_2 - v_1}{t} \Rightarrow x_2 - x_1 = \frac{(v_2 + v_1)}{2} t$$

Praca:  $W = F \cdot (x_2 - x_1) = ma \frac{(v_2 + v_1)}{2} t = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

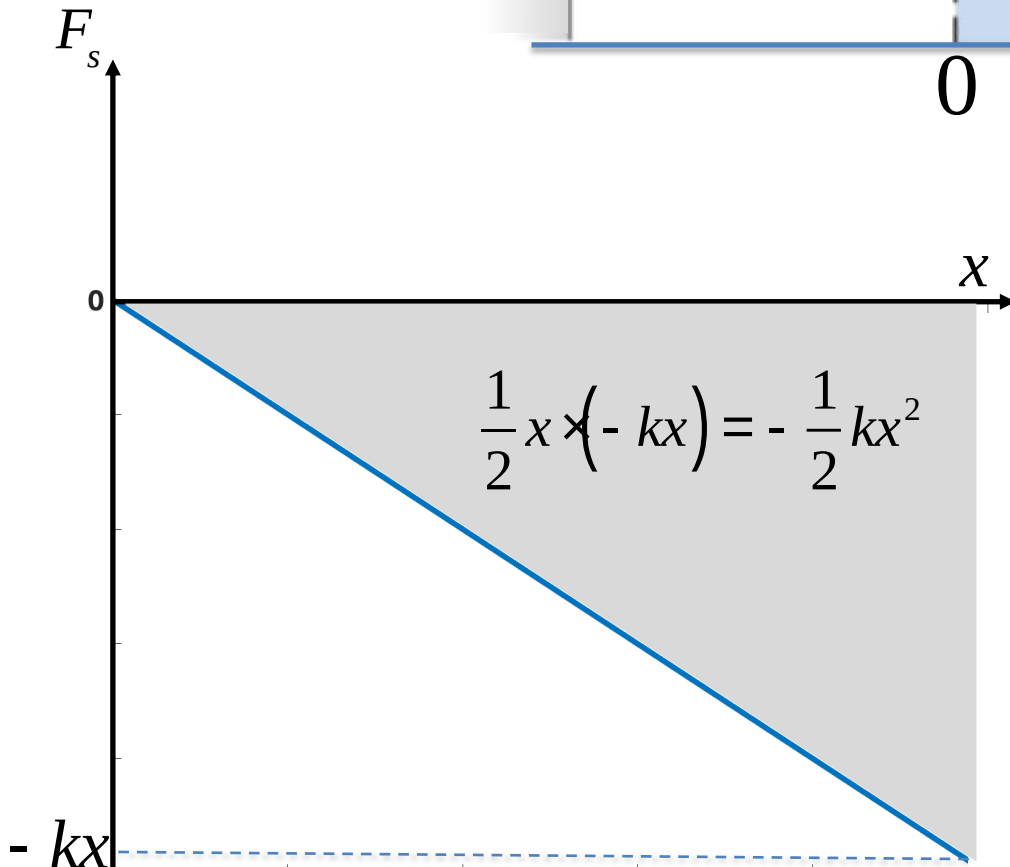
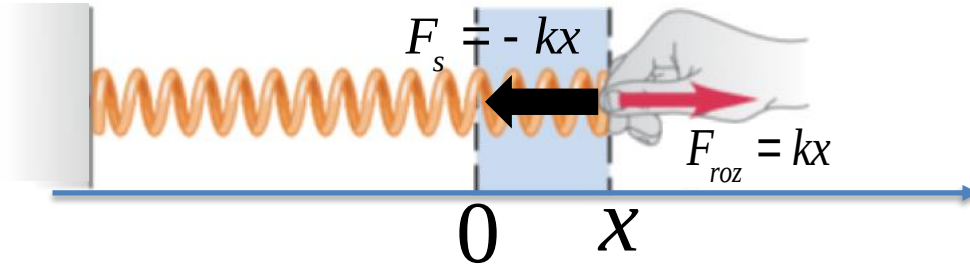
energia kinetyczna

$$W = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$$

praca wykonana przez siłę wypadkową jest równa zmianie energii kinetycznej ciała

# Praca siły sprężystości podczas rozciągania (lub ściskania) sprężyny

(siła zmienna, przesunięcie po linii prostej)



Praca wykonana przez siłę sprężystości:

$$W_{F_s} = -\frac{1}{2}kx^2$$

Praca wykonana przez siłę rozciągającą:

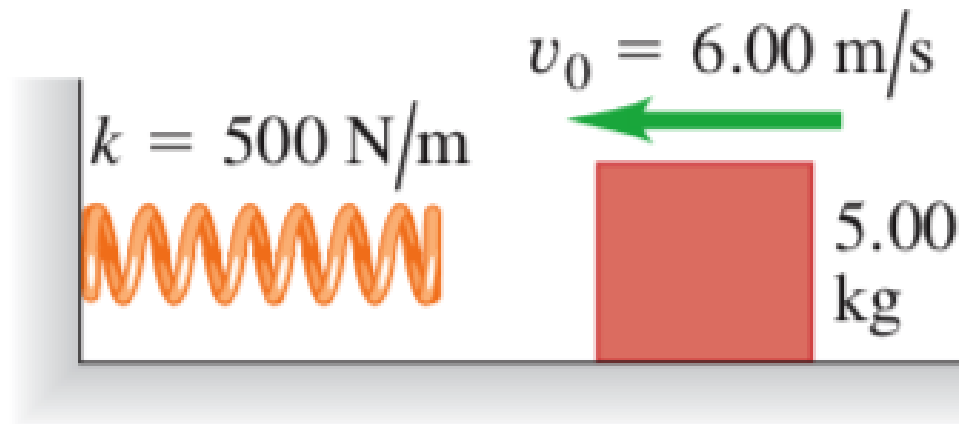
$$W_{F_{roz}} = \frac{1}{2}kx^2$$



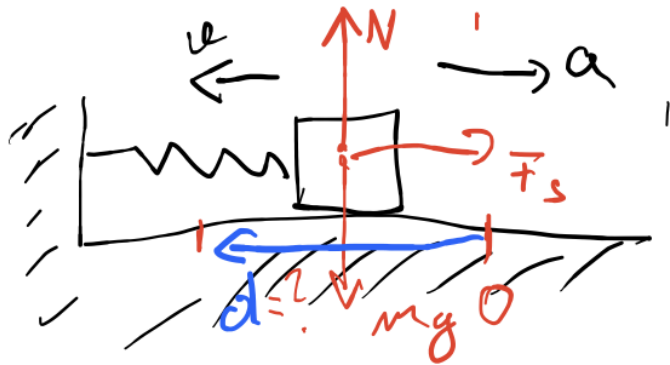
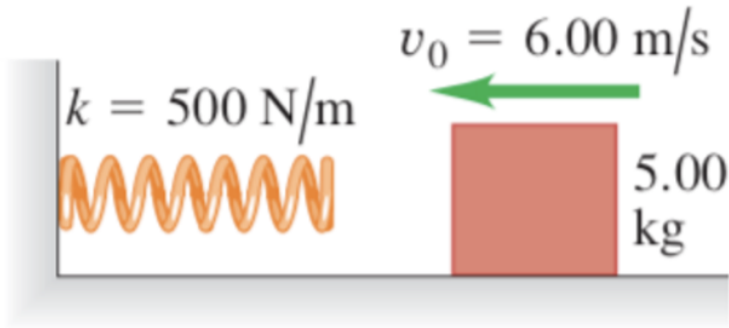
# Energia kinetyczna oraz jej związek z pracą siły wypadkowej

przykłady zastosowania

W kierunku sprężyny, po idealnie gładkiej powierzchni, porusza się ciało o masie  $m = 5\text{ kg}$  z prędkością  $v_0 = 6\text{ m/s}$ . Stała sprężystości sprężyny wynosi  $k = 500\text{ N/m}$ . Na jakiej długości sprężyna zostanie ściśnięta? Zaniedbać tarcie.



W kierunku sprężyny, po idealnie gładkiej powierzchni, porusza się ciało o masie  $m = 5\text{ kg}$  z prędkością  $v_0 = 6\text{ m/s}$ . Stała sprężystości sprężyny wynosi  $k = 500\text{ N/m}$ . Na jakiej długości sprężyna zostanie ściśnięta? Zaniedbać tarcie.



$$W_N = 0 \quad \vec{N} \perp \vec{d}, \quad m\vec{g} \perp \vec{d}$$

$$W_{mg} = m\vec{g} \cdot \vec{d} = mg d \cos 90^\circ = 0$$

$$W_{\text{spr}} = -\frac{1}{2} kx^2$$

$$W_{\text{Tot}} = W_{F_s}$$

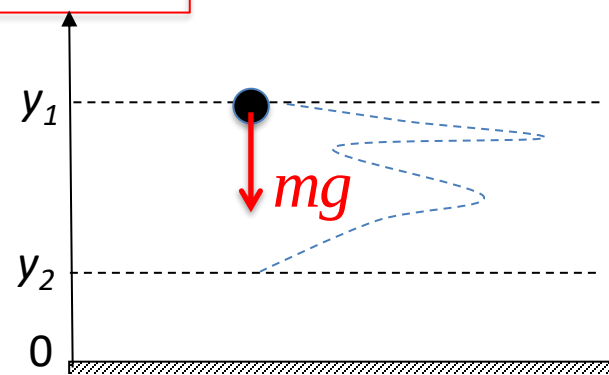
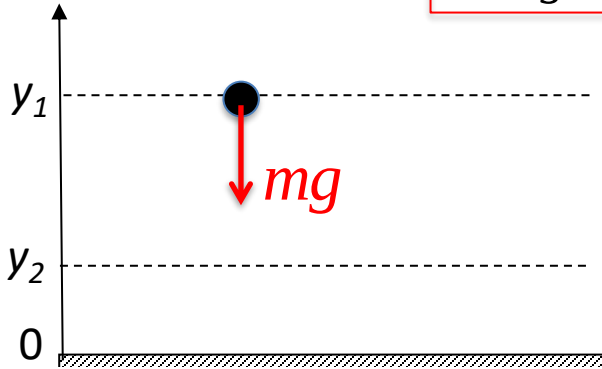
$$W_{\text{Tot}} = W_{F_s} = -\frac{1}{2} k d^2 = \Delta E_k = \frac{1}{2} m 0^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

$$\left[ d = \sqrt{\frac{m}{k}} \cdot v_0 = 0.6\text{ m} = 60\text{ cm} \right]$$

# Energia potencjalna grawitacji

Praca siły grawitacji nie zależy od drogi przebytej przez ciało, a jedynie od końcowego i początkowego położenia ciała.

$$W_{mg} = mgy_1 - mgy_2$$



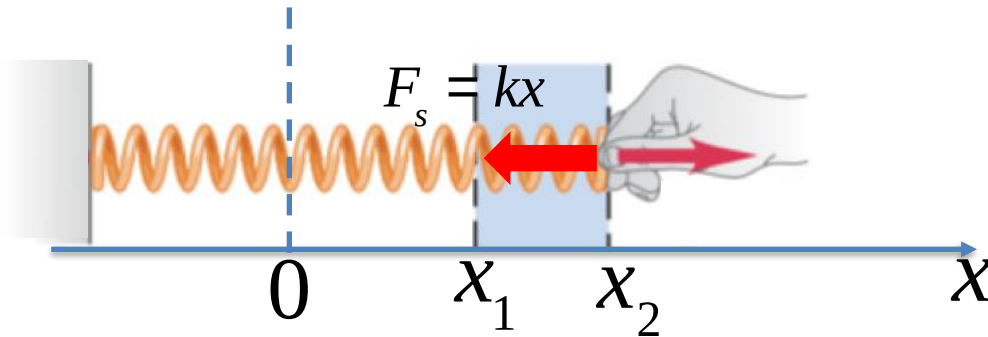
Energia potencjalna grawitacji na wysokości  $y$  względem poziomu odniesienia:

$$E_p = mgy$$

Praca siły grawitacji:  $W_{mg} = E_{p1} - E_{p2} = -DE_p$

# Energia potencjalna sprężystości

Praca siły sprężystości zależy jedynie od końcowego i początkowego położenia ciała.



$$W_{F_s} = \frac{1}{2} kx_1^2 - \frac{1}{2} kx_2^2$$

Energia potencjalna sprężystości:

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

Praca siły sprężystości:  $W_{F_s} = E_{p1} - E_{p2} = -DE_p$

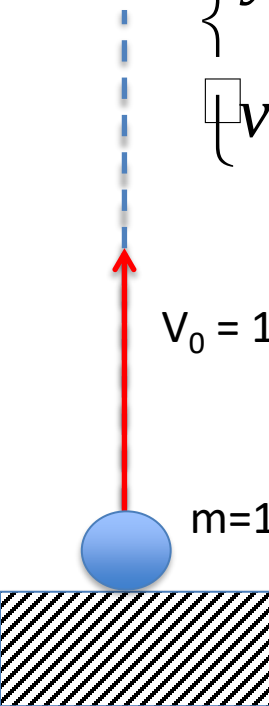
# Siły konserwatywne (zachowawcze)

Siły konserwatywne (zachowawcze) to siły, które spełniają następujące warunki:

- praca wykonana przez siłę zachowawczą nad cząstką przemieszczającą się między dwoma punktami nie zależy od drogi, po jakiej porusza się cząstka, tylko od początkowego i końcowego położenia
- praca wykonana przez siłę zachowawczą po dowolnej drodze zamkniętej jest równa zeru
- praca sił konserwatywnych da się wyrazić za pomocą **energii potencjalnej**
- do sił konserwatywnych należą **grawitacja** oraz **siła sprężystości**

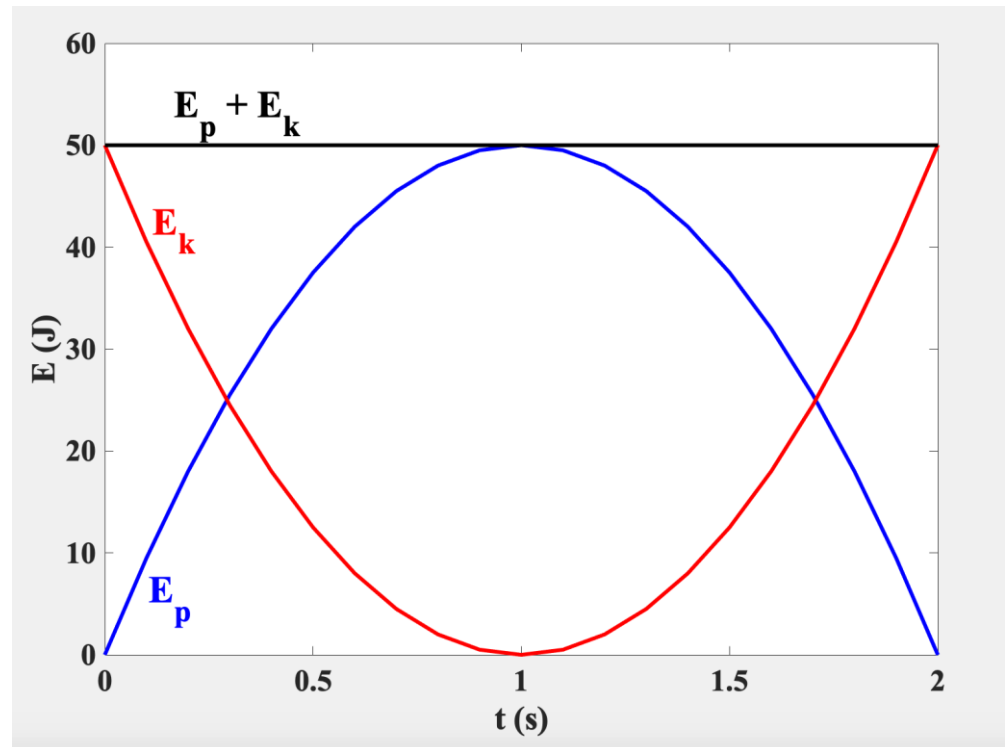


# Zachowanie energii mechanicznej rzut pionowy


$$\begin{aligned} y_t &= v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \\ v_t &= v_0 - g t \end{aligned} \quad \rightarrow$$

$$\begin{aligned} E_p &= m g y_t = m g \left( v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \right) \\ E_k &= \frac{1}{2} m v_t^2 = \frac{1}{2} m (v_0 - g t)^2 \end{aligned}$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

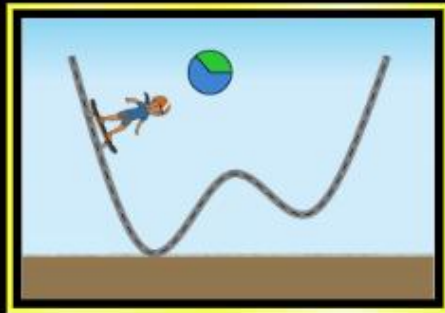


# Symulacja zmian energii mechanicznej w skateparku

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/energy-skate-park>

Privacy & Terms

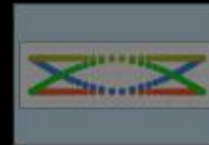
## Energy Skate Park



Intro



Measure



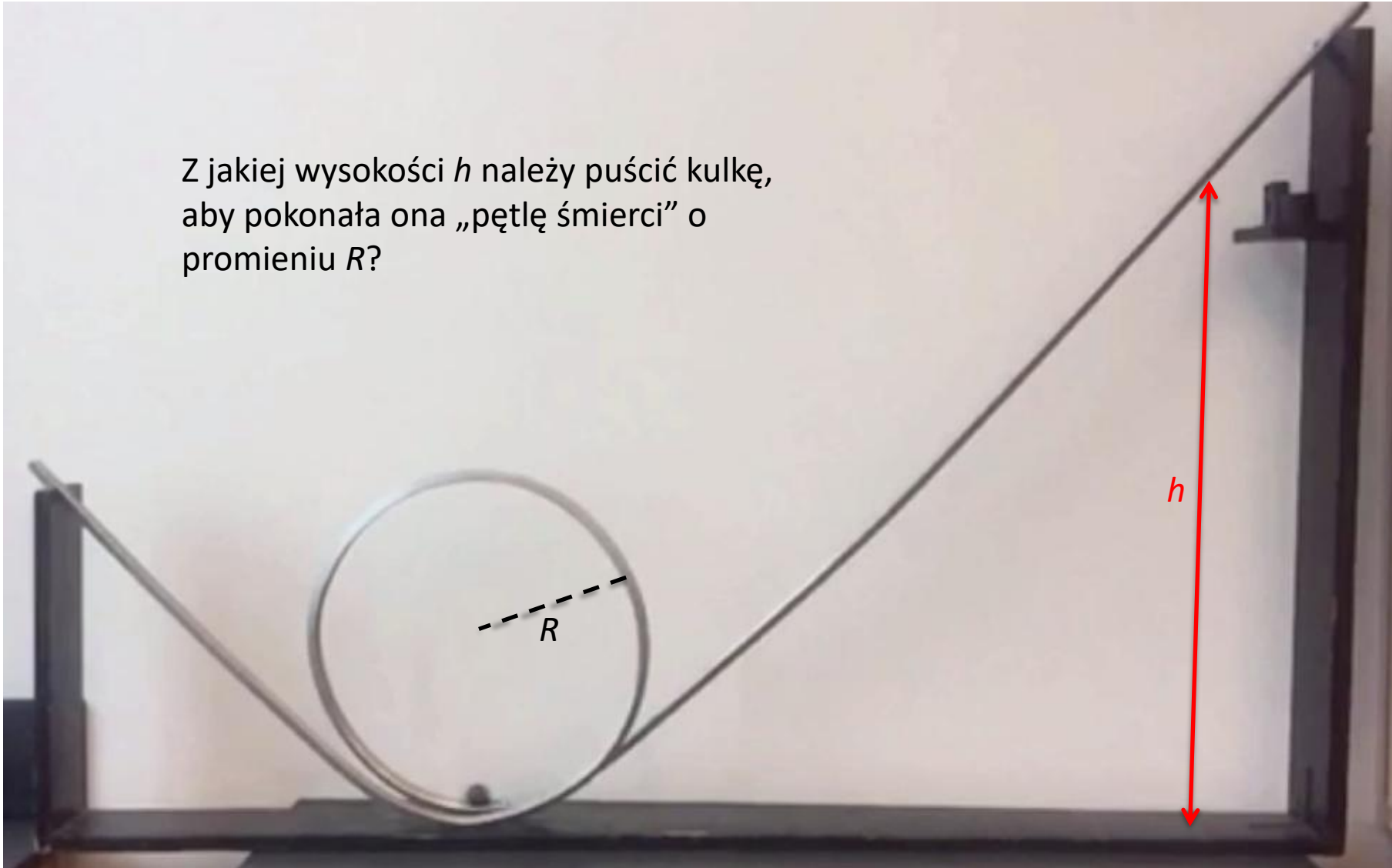
Graphs



Playground

# Zastosowanie zasady zachowania energii do „pętli śmierci” (roller coaster)

Z jakiej wysokości  $h$  należy puścić kulkę, aby pokonała ona „pętlę śmierci” o promieniu  $R$ ?



# Zasada zachowania energii mechanicznej

huśtająca się kula do kręgli – „swinging bowling ball physics”



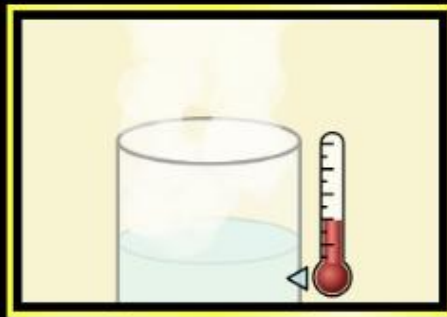
<https://www.youtube.com/watch?v=29v8Da8mhF4>

# Różne formy energii, transfer energii

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/energy-forms-and-changes>

Privacy & Terms

## Energy Forms and Changes



Intro



Systems



# Moc

Moc to wielkość opisująca szybkość z jaką siła wykonuje pracę:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

jednostka  
Watt

$$[W] = \left[ \frac{J}{s} \right]$$

Koń mechaniczny (KM) = 746 W

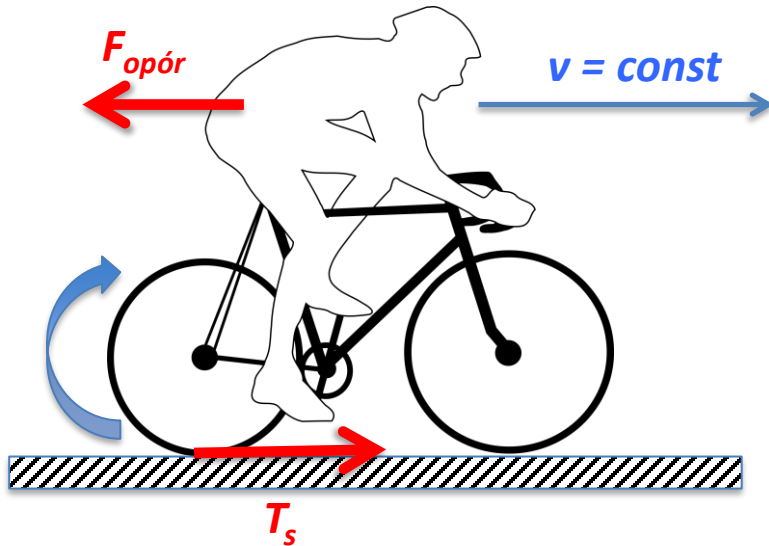
Inna wersja wyrażenia na moc:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{x}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

# Moc

- przykład

Jazda na rowerze przy bezwietrznej pogodzie:



opór powietrza (reżim ciśnieniowy):

$$F_{opor} = kv^2, \quad k \gg 0.2 \text{ kg/m}$$

[https://www.slowtwitch.com/Tech/The\\_Physics\\_of\\_Moving\\_a\\_Bike\\_163.html](https://www.slowtwitch.com/Tech/The_Physics_of_Moving_a_Bike_163.html)

do utrzymania stałej prędkości:

$$T_s = F_{opor}$$



Tempo z jakim siła tarcia wykonuje pracę:

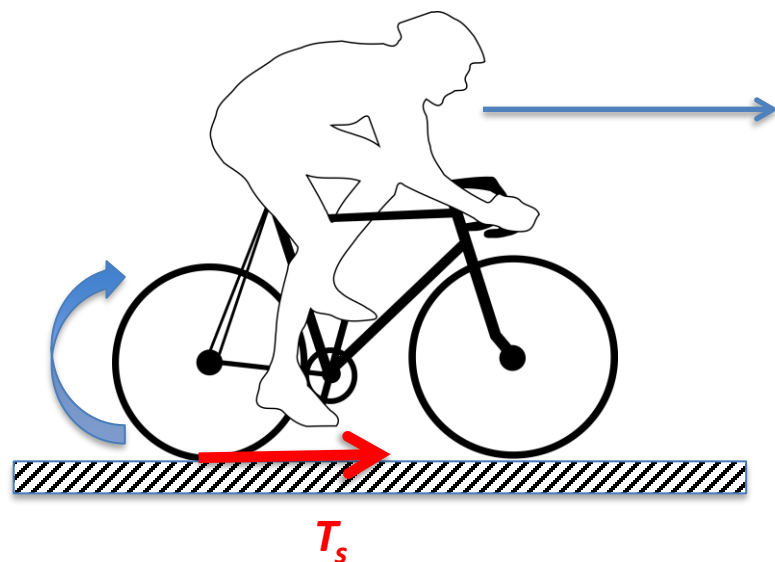
$$P = T_s v = kv^3$$

| v (km/h) | P (W) |
|----------|-------|
| 15       | ~ 15  |
| 30       | ~ 120 |

**Dlaczego rower w ogóle porusza się?**

– ponieważ posiada energię, którą przekazuje mu rowerzysta wykonując pracę. Zwiększając dwukrotnie prędkość, rowerzysta musi ośmiokrotnie zwiększyć swoją moc – czyli tempo z jakim przekazuje energię na ruch roweru.

Rowerzysta wykonuje pracę naciskając na pedały. Praca ta zamienia „jego energię” (poprzez łańcuch) na energię ruchu obrotowego koła. Siła tarcia  $T_s$  zamienia z kolei energię ruchu obrotowego koła na energię kinetyczną w ruchu translacyjnym roweru. Rowerzysta wykonując pracę w większym tempie (z większą mocą) może osiągnąć większe prędkości.



Siły wykonując pracę nad ciałem przekazują lub odbierają mu energię.  
Proces ten może zachodzić w różnym tempie (z różną mocą).

**Moc to tempo przemiany jednej formy energii w drugą.**

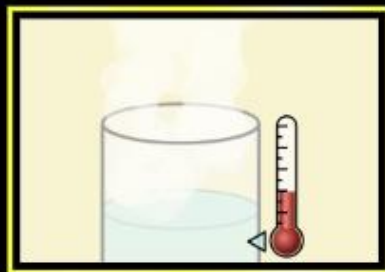
# Różne formy energii, transfer energii

[https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_en.html)

Moc to tempo przemiany jednej formy energii w drugą:

Privacy & Terms

## Energy Forms and Changes



Intro



Systems

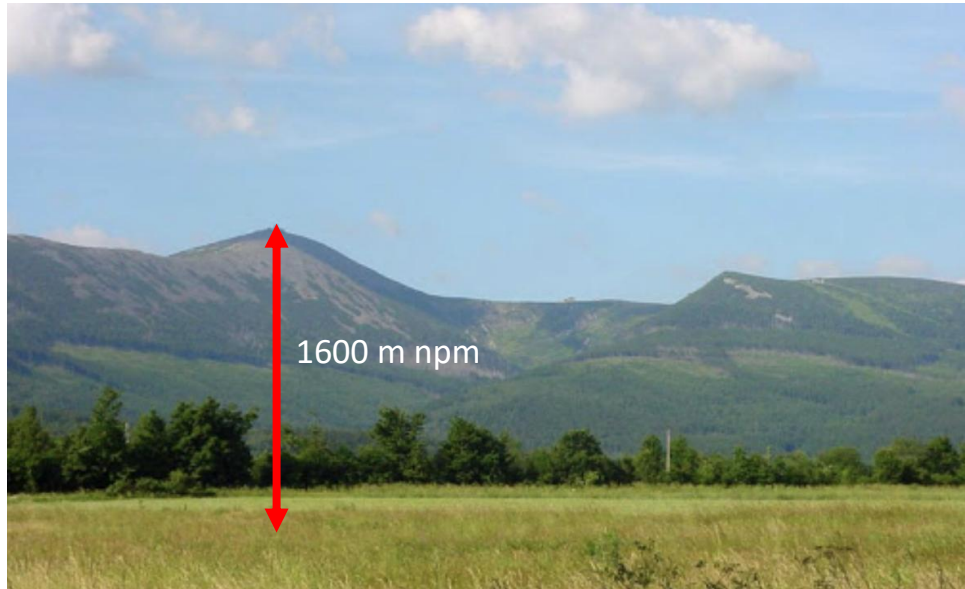
# Skąd rowerzysta czerpie energię?

| Wartość odżywcza/Nutrition information  | 100 g    | 16,7 g  | %* / 16,7 g | *          |
|-----------------------------------------|----------|---------|-------------|------------|
| Energia/Energy                          | 2089 kJ  | 349 kJ  | 4,2%        | 8 400 kJ   |
|                                         | 502 kcal | 84 kcal |             | 2 000 kcal |
| Tłuszcz/Fat                             | 32 g     | 5,3 g   | 7,6%        | 70 g       |
| w tym kwasy nasycone/of which saturates | 20 g     | 3,3 g   | 16,5%       | 20 g       |
| Węglowodany/Carbohydrate                | 39 g     | 6,6 g   | 2,5%        | 260 g      |
| w tym cukry/of which sugars             | 35 g     | 5,8 g   | 6,4%        | 90 g       |
| Błonnik/Fibre                           | 13 g     | 2,1 g   | -           | -          |
| Białko/Protein                          | 8,4 g    | 1,4 g   | 2,8%        | 50 g       |
| Sól/Salt                                | 0,02 g   | <0,01 g | <0,2%       | 6 g        |





# Ile energii potrzeba, aby zdobyć Śnieżkę?



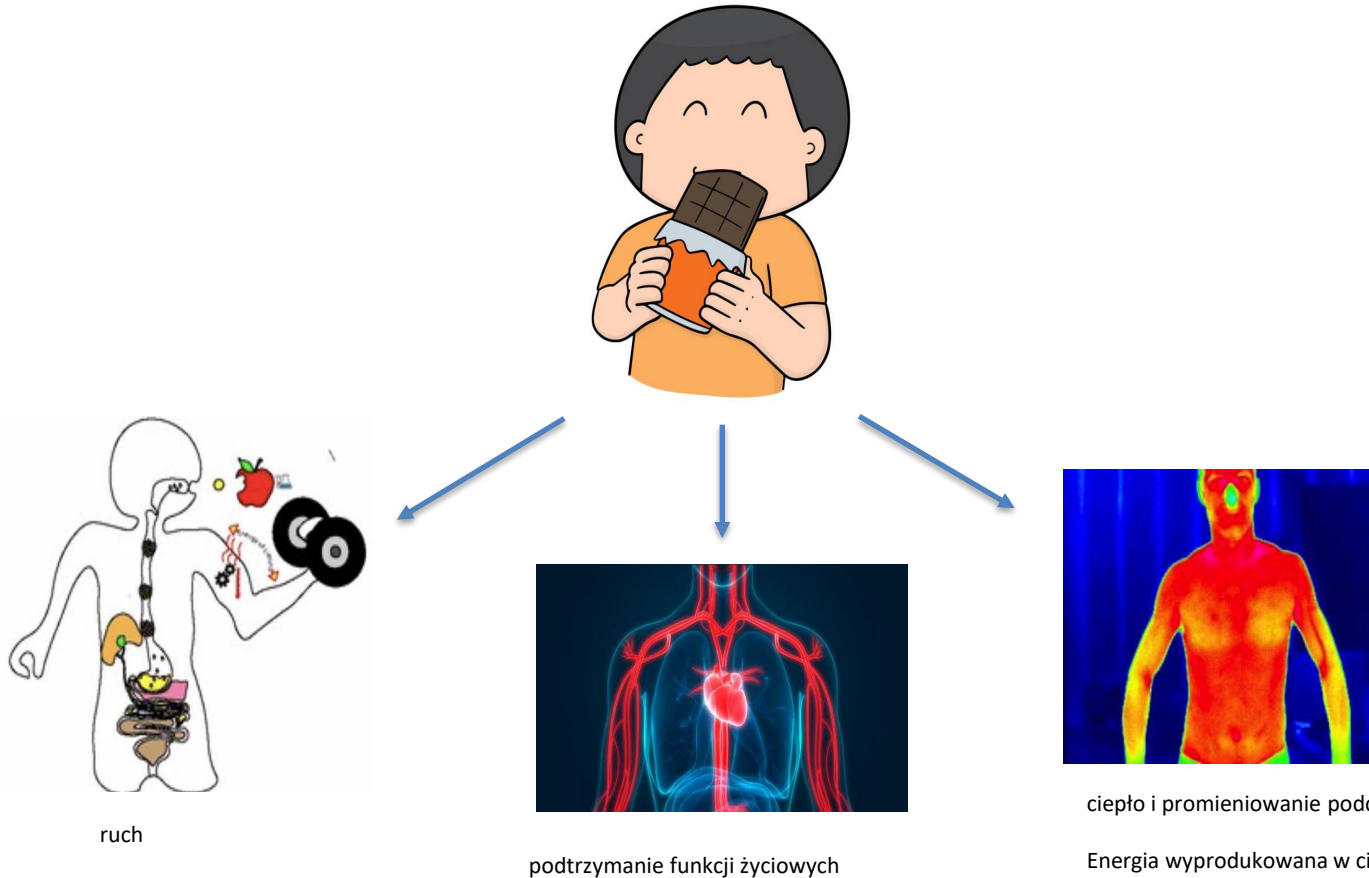
$$E = mgh$$

$$E = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1600 \text{ m} = 1.6 \text{ MJ}$$

To mniej niż energia zawarta w 100 gramach czekolady....

...ile trzeba się namęczyć, aby pozbyć się tylu kalorii!

# Energia z pożywienia wykorzystywana jest nie tylko na ruch...

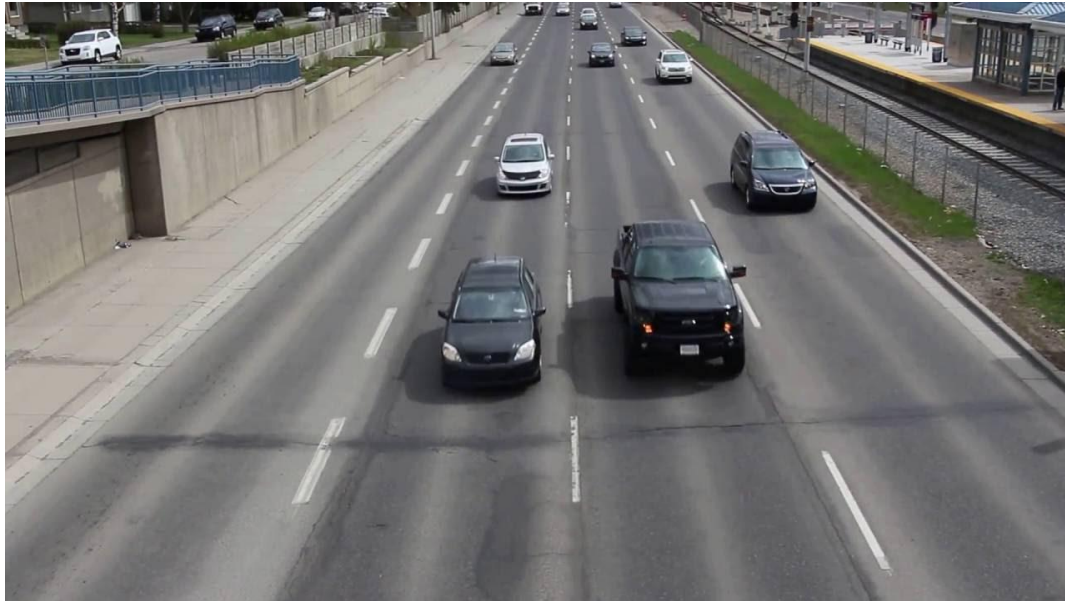


Energia wyprodukowana w ciągu jedno dnia zużyta tylko na produkcję ciepła i emisję promieniowania elektromagnetycznego:

$\sim 100\text{W} * 24\text{h} * 3600\text{s} \sim 8.6 \text{ mln J} \sim 2 \text{ mln cal} \sim 2\,000 \text{ kcal} = (4 \times 100 \text{ g czekolady})$

# Samochód jest jak człowiek...

... tzn. czerpie energię potrzebną do ruchu z energii chemicznej - tylko, że zawartej w paliwie.

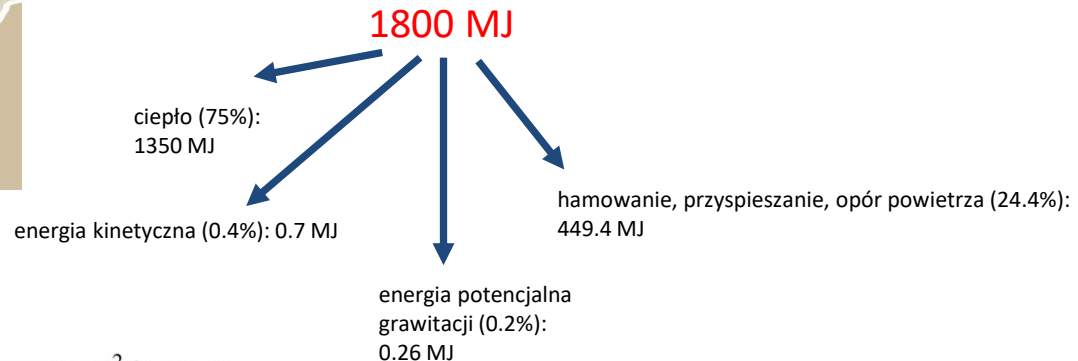


energia chemiczna → ciepło → ruch (energia kinetyczna)

# Ile energii kosztuje podróż z Gdańska do Krakowa?



- dystans = 600 km
- spalanie = 10 L / 100 km
- całkowite zużycie paliwa = 60 L
- zawartość energetyczna benzyny = 30 MJ / L
- całkowita wykorzystana energia = **1800 MJ** !!!!

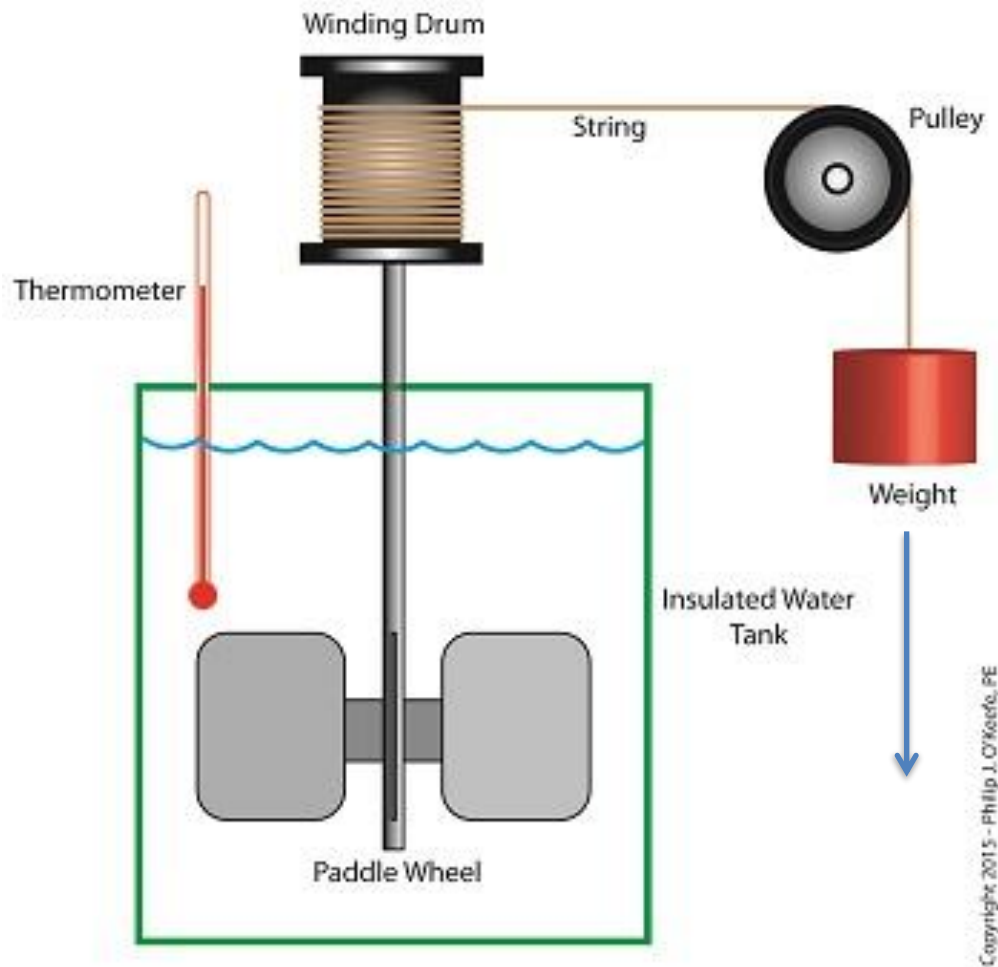


$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \cong \frac{1}{2}(1800 \text{ kg})(100 \text{ km/h})^2 \cong 700 \text{ kJ}$$

$$mgh = (1800 \text{ kg})(9.8 \text{ m/s})(15 \text{ m}) \cong 260 \text{ kJ}$$

# Równoważność energii mechanicznej i ciepła

## Eksperyment Jamesa Joule'a



Energia mechaniczna równa 4.2 J potrzebna jest do podgrzania 1g wody o jeden stopień Celsjusza.

Taką ilość energii nazywa się często **kalorią**!

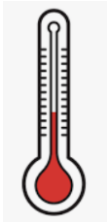
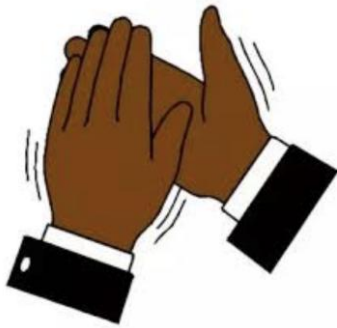
1 cal  $\approx$  4.2 J

# Przemiany energii

ruch



ciepło



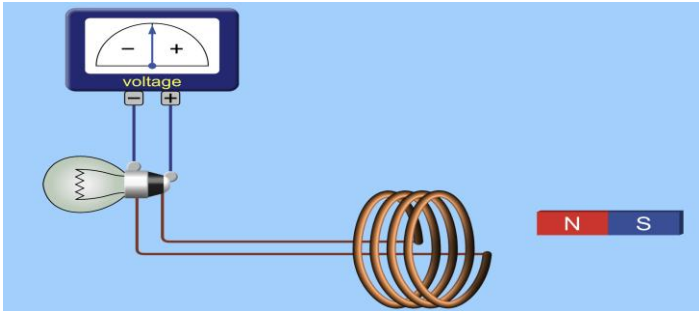


# Przemiany energii

ruch



elektryczność



Potrzebny jest ruch magnesu względem obwodu elektrycznego (najlepiej w kształcie tzw. cewki – zwiniętych drutów)

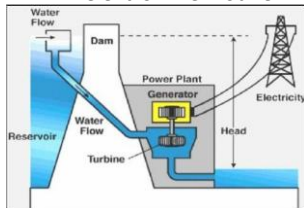
dynamo rowerowe



latarka bez baterii



elektrownie wodne



wiatraki



elektrownie węglowe



elektrownie jądrowe

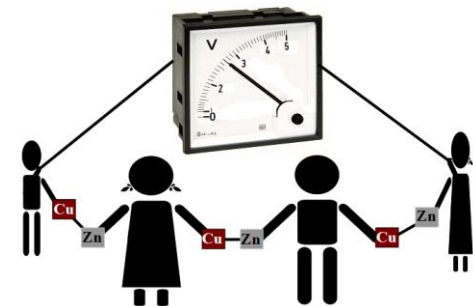
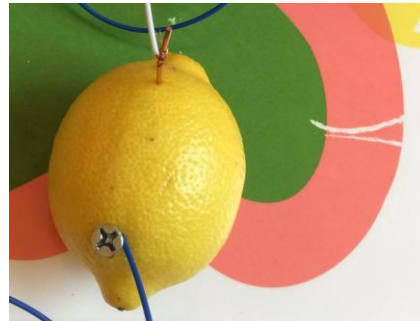
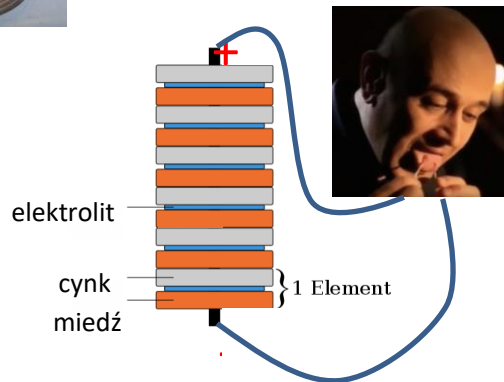


# Przemiany energii

energia chemiczna



elektryczność



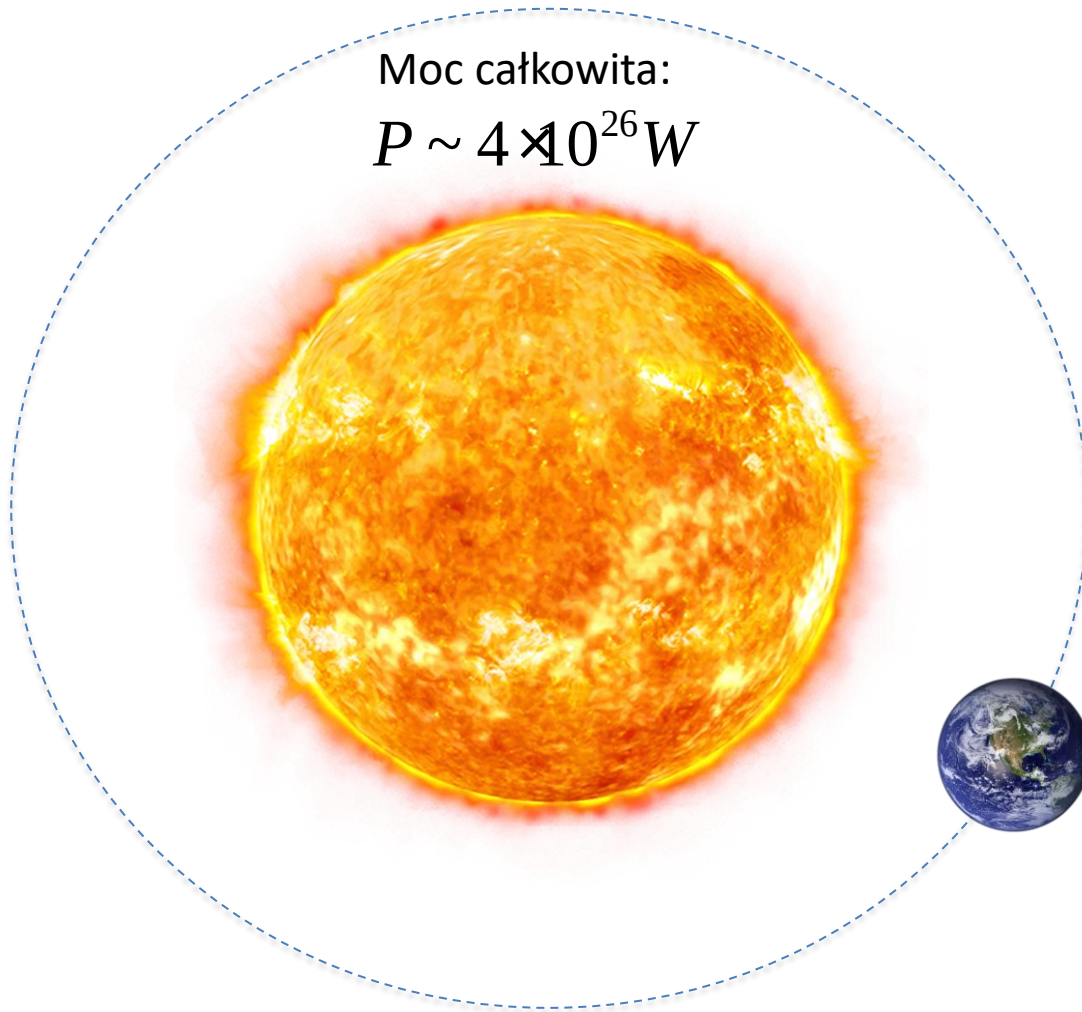


# Energia słoneczna



Moc całkowita:

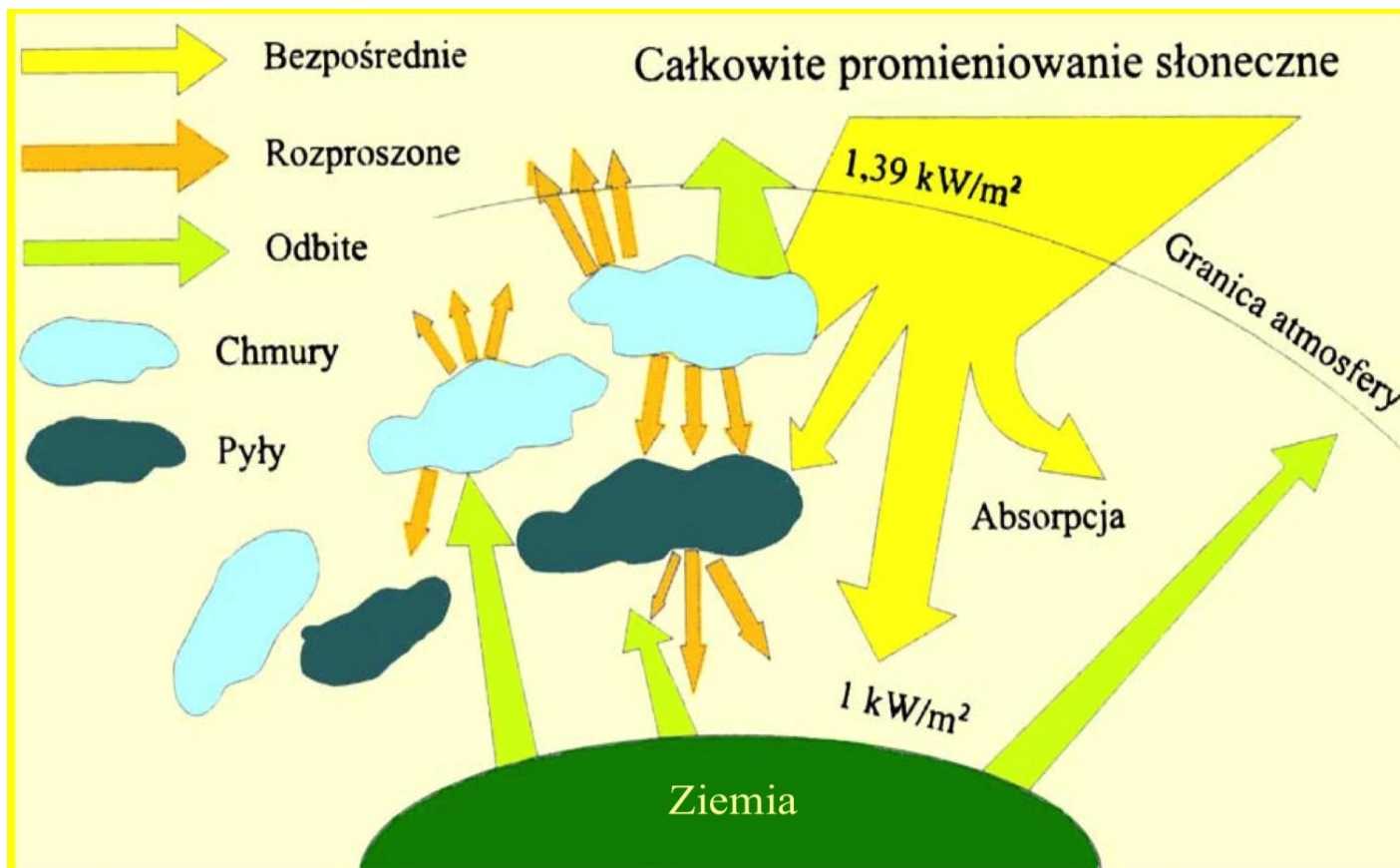
$$P \sim 4 \times 10^{26} \text{ W}$$



Do Ziemi dociera :

$$P \sim 1.4 \times 10^3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

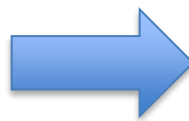
# Energia słoneczna



[http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/wyklady/ener\\_srod/rozdzial9.pdf](http://www.plan-rozwoju.pcz.pl/wyklady/ener_srod/rozdzial9.pdf)

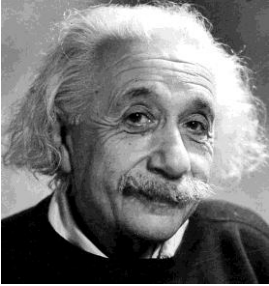
„Proekologiczne źródła energii odnawialnej” Witold M. Lewandowski Warszawa 2001

Średnie światowe  
zużycie energii  $\sim 5.7 \times 10^{20} \frac{J}{rok}$



Powierzchnia paneli słonecznych  
potrzebnych do zaspokojenia  
obecnego zużycia energii  $\sim 10^{10} m^2$ ,  
porównywalne z powierzchnią  
województwa kujawsko-pomorskiego,  
przy założeniu, że nie ma nocy, a  
wydajność konwersji wynosi 100%

# Przemiany energii - energia jądrowa



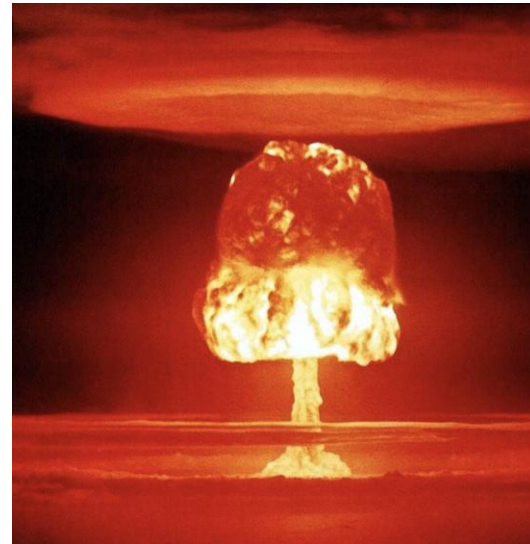
W masie ciał zawarta jest energia!

$$E = mc^2$$

elektrownie jądrowe

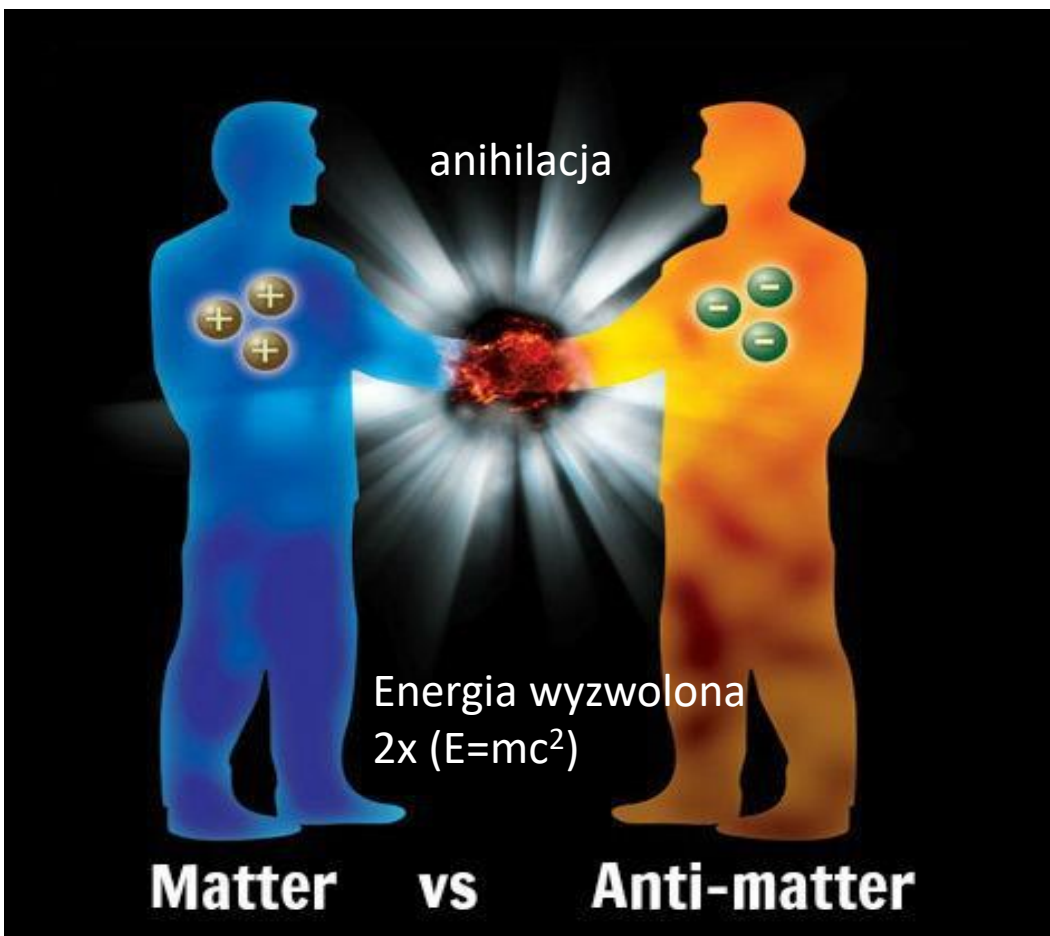


bomba atomowa





# Przemiany energii - antymateria



Średnie światowe zużycie energii

$$\sim 6 \times 10^{20} \frac{J}{rok}$$

w roku 2013, wg. The United States Energy Information Administration (EIA)

Energia wyzwolona podczas anihilacji **1kg antymaterii**:

$$\sim 1.8 \times 10^{20} J$$

Niestety, światowy Rekord produkcji antymaterii (akcelerator Tevatron w Fermilabie w USA )

$\sim 10^{10}$  antyprotonów w ciągu godziny

$\sim 10^{-13}$  grama na rok

$\sim 10^{13}$  lat na wyprodukowanie 1g antyprotonów!



# Ćwiczenia na platformie ZPE

- [Energia kinetyczna](#)
- [Energia potencjalna grawitacji](#)
- [Energia potencjalna sprężystości](#)
- [Praca mechaniczna i jej jednostka](#)
- [Moc i jej jednostka](#)
- [Praca i moc w zadaniach](#)