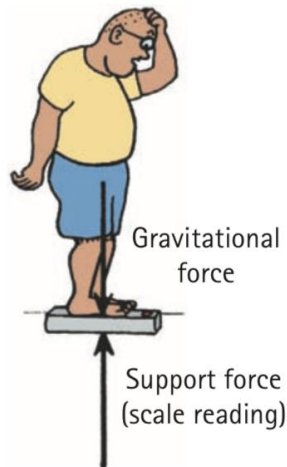


Wykład 4

Dynamika – ciąg dalszy:

- ciężar i stan nieważkości
 - siła sprężystości
 - siła tarcia



Inercjalne i nieinercjalne układy odniesienia - rozwiązywanie problemów

Przy rozwiązywaniu zagadnień mechanicznych mamy dwie drogi do wyboru:

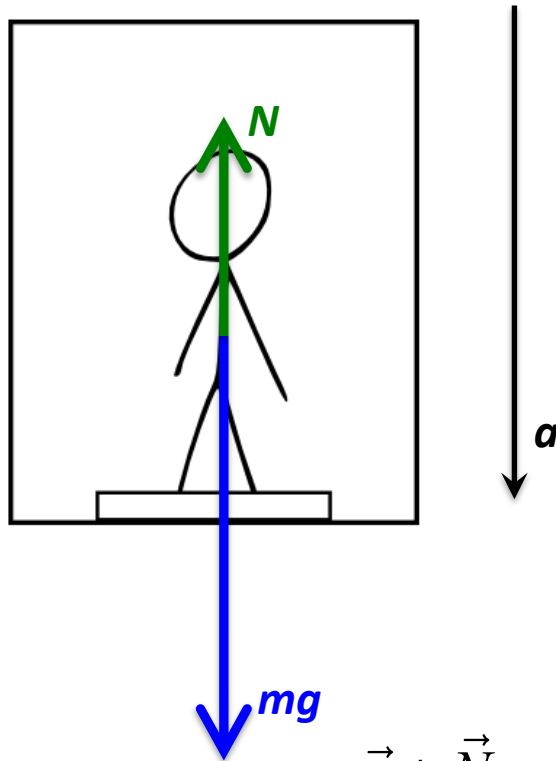
1. możemy wybrać *układ inercjalny* jako układ odniesienia i rozważyć jedynie siły rzeczywiste działające na ciało, tzn. siły wywierane przez konkretne ciała znajdujące się w otoczeniu ciała badanego
2. możemy wybrać *nieinercjalny układ* odniesienia i rozważyć nie tylko siły rzeczywiste, lecz również odpowiednio zdefiniowane siły bezwładności

Wybór jednej z tych możliwości jest kwestią wygody.

Siły bezwładności (pozorne)

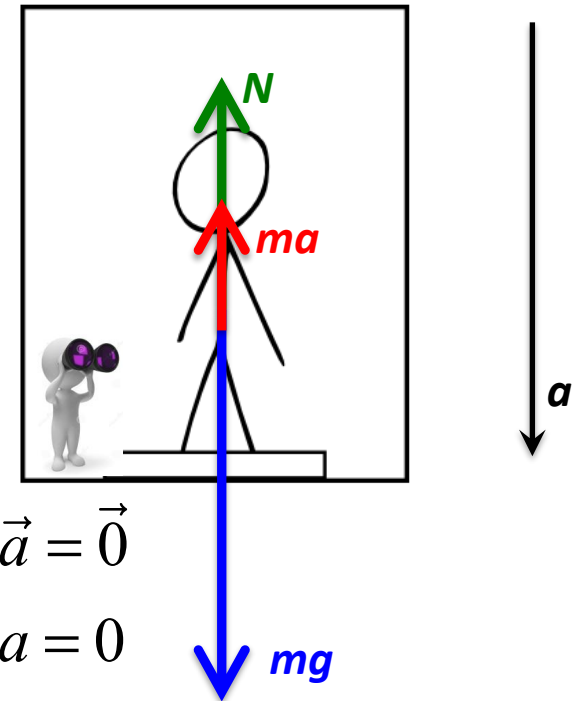
Zasady dynamiki Newtona można stosować w układach nieinercjalnych stosując siły pozorne (bezwładności).

Opis sił w układzie inercyjnym



$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$$
$$mg - N = ma$$

Opis sił w układzie nieinercyjnym



$$m\vec{g} + \vec{N} + m\vec{a} = \vec{0}$$

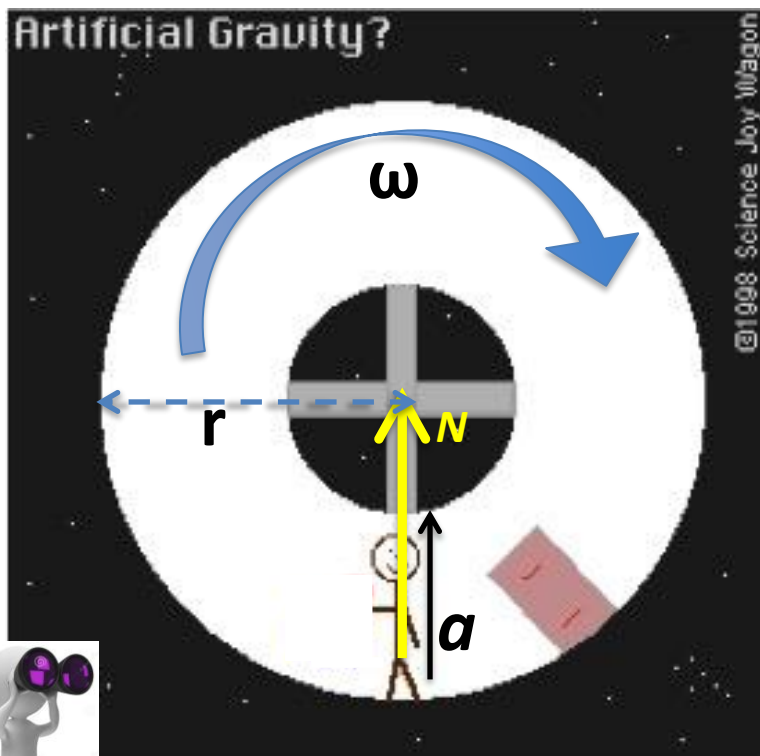
$$mg - N - ma = 0$$

Wartość siły bezwładności równa jest sile jaką nadawałaby ciału przyspieszenie nieinercyjnego układu odniesienia, w którym to ciało się znajduje. Siła bezwładności ma zwrot przeciwny do przyspieszenia układu nieinercyjnego.

Siły bezwładności (pozorne)

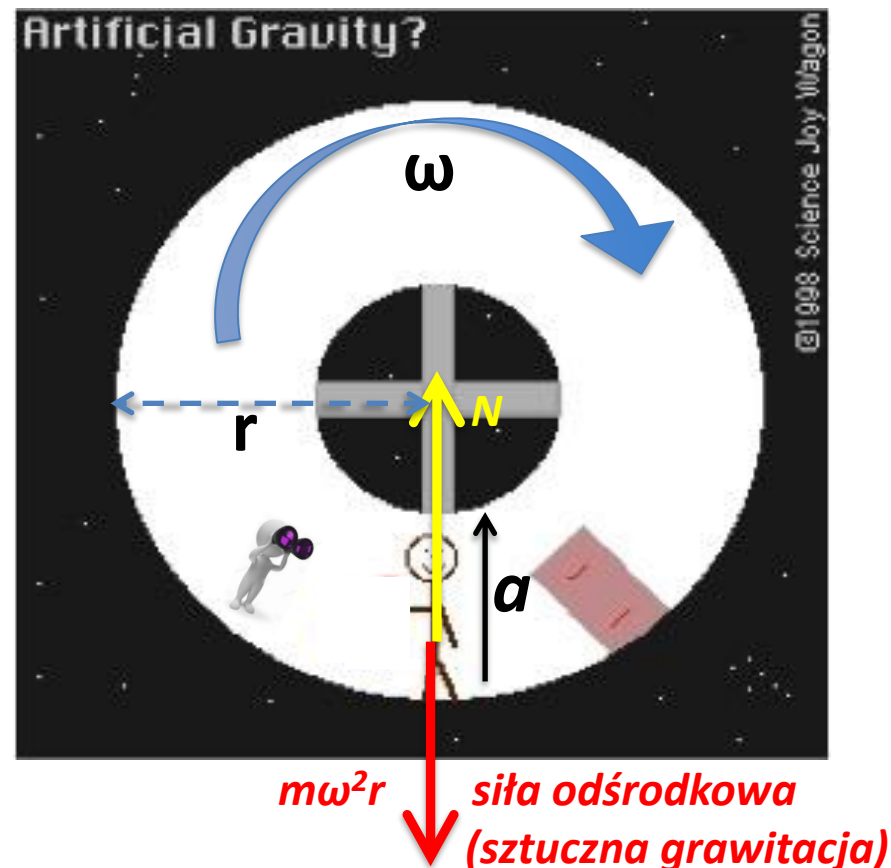
- np. tzw. siła odśrodkowa
(zwana czasami sztuczną / odczuwalną grawitacją)

Opis sił w układzie inercyjnym



$$N = ma = m\omega^2 r$$

Opis sił w układzie nieinercyjnym

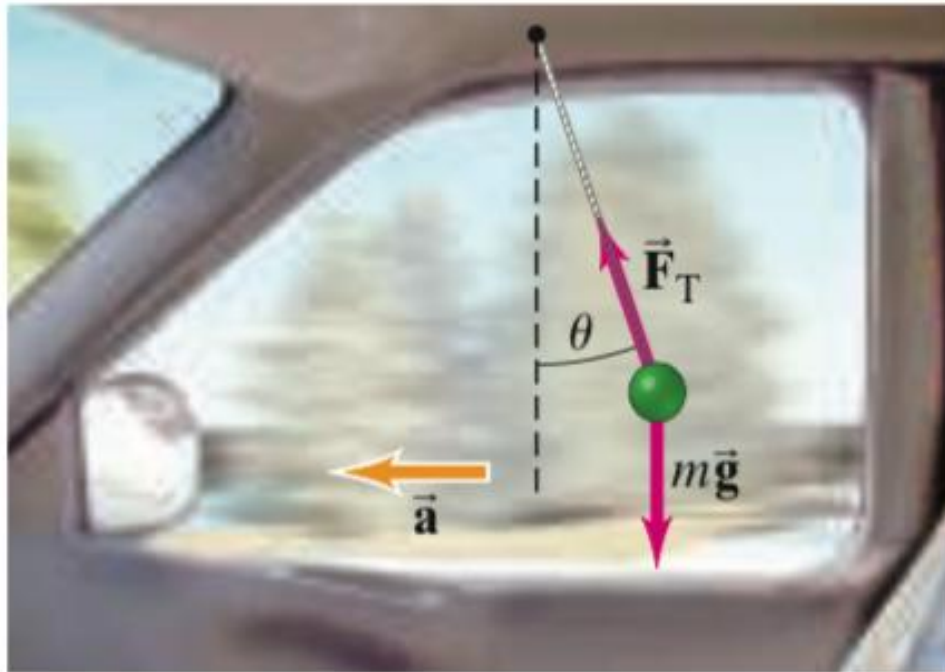


$$N - m\omega^2 r = 0$$

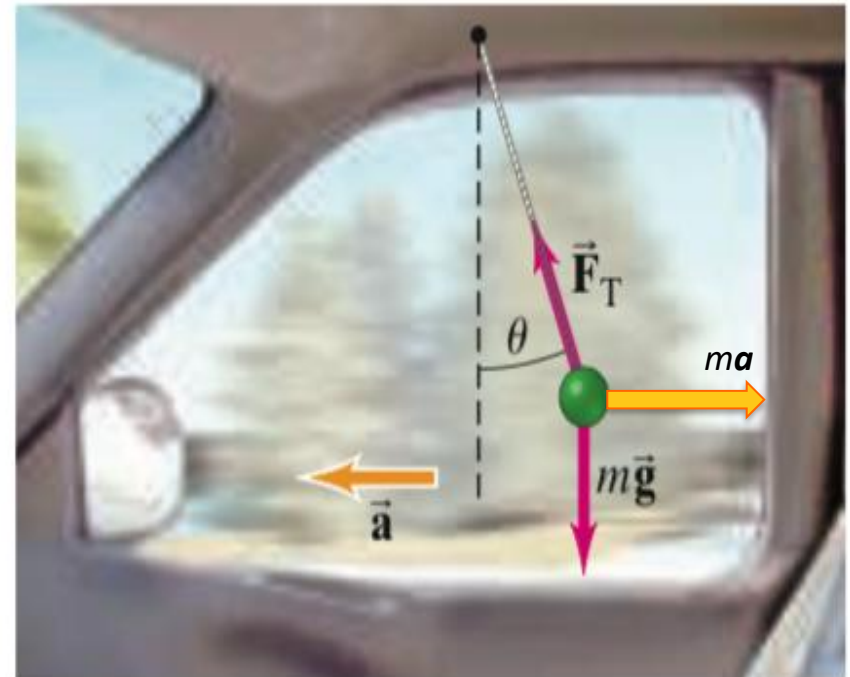
Rozwiązywanie problemów dynamiki w układach inercjalnych i nieinercjalnych

O jaki kąt θ wychyli się kulka zawieszona na lince wewnątrz samochodu, który porusza się z przyspieszeniem $a = 1.20 \text{ m/s}^2$?

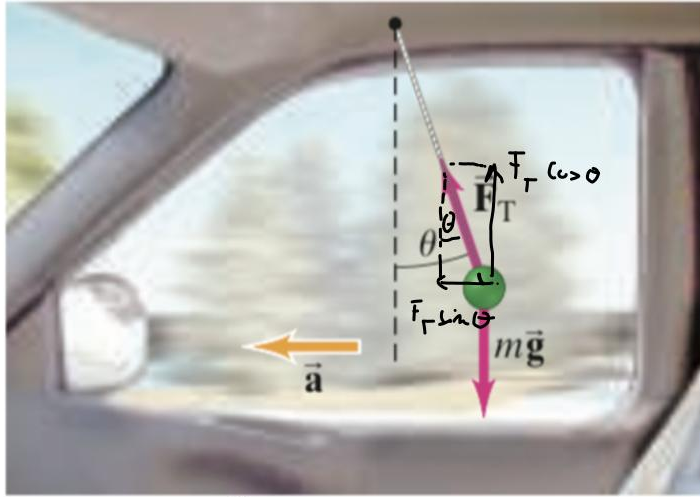
Opis sił w układzie inercjalnym



Opis sił w układzie nieinercjalnym



Opis sił w układzie inercyjnym

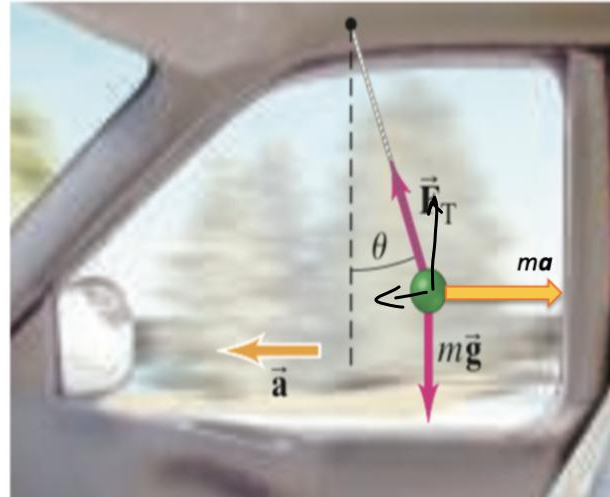


$$\vec{F}_T + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$F_T \cos \theta - mg = 0$$

$$F_T \sin \theta = ma$$

Opis sił w układzie nieinercyjnym



$$\vec{F}_T + m\vec{g} + m\vec{a} = \vec{0}$$

$$F_T \cos \theta - mg = 0$$

$$F_T \sin \theta - ma = 0$$



$$\begin{cases} F_T \cos \theta = mg \\ F_T \sin \theta = ma \end{cases}$$

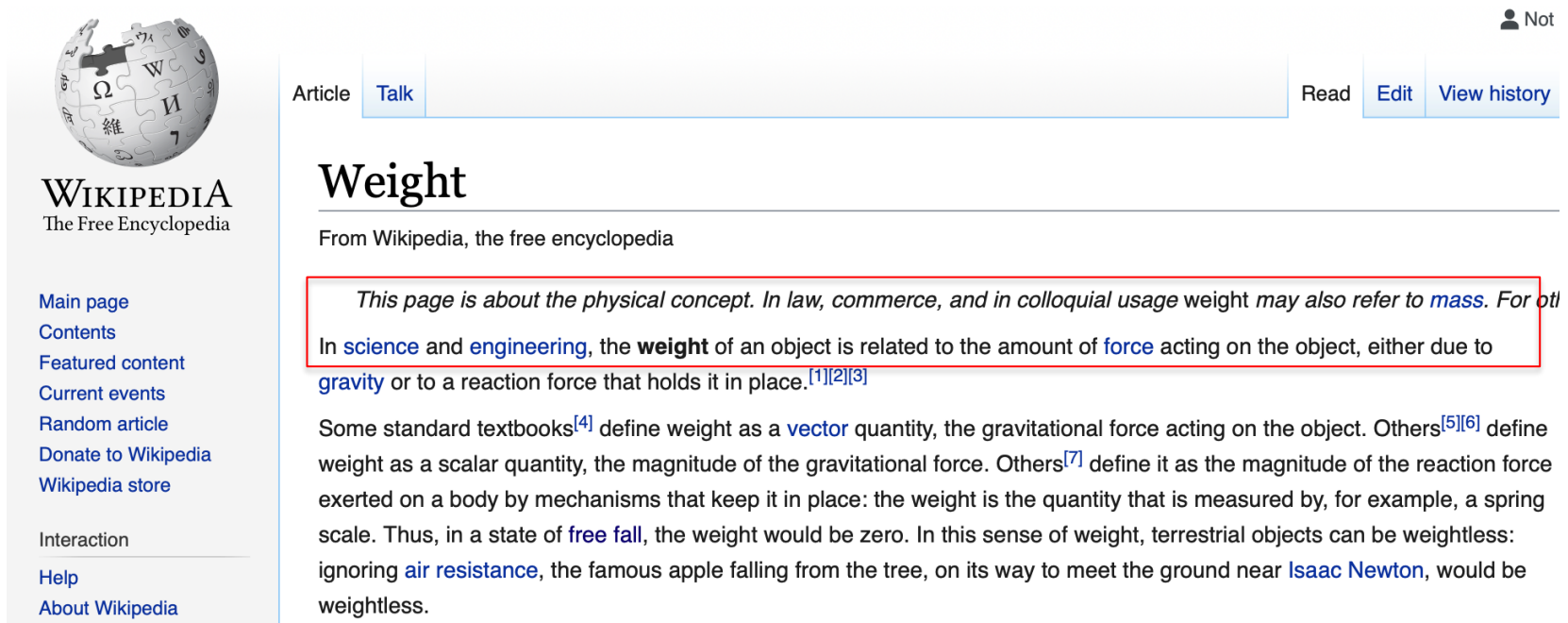
$$\frac{F_T \sin \theta}{F_T \cos \theta} = \frac{ma}{mg} \Rightarrow \tan \theta = \frac{a}{g}$$

Ciężar ciała - definicja

Bardzo nieintuicyjne zagadnienie – są nawet kłopoty z definicją.

W języku potocznym mówiąc ciężar często mamy na myśli masę ciała – w fizyce ciężar i masa to dwie zupełnie różne wielkości!

Ale fizycy też nie definiują ciężaru w sposób jednoznaczny:



The image is a screenshot of the Wikipedia article titled "Weight". On the left is the standard Wikipedia sidebar with the logo and navigation links. The main content area shows the article title "Weight" and a sub-header "From Wikipedia, the free encyclopedia". A red rectangular box highlights a paragraph of text. Below this, another paragraph discusses different definitions of weight in physics textbooks.

WIKIPEDIA
The Free Encyclopedia

Main page
Contents
Featured content
Current events
Random article
Donate to Wikipedia
Wikipedia store

Interaction
Help
About Wikipedia

Article [Talk](#) [Read](#) [Edit](#) [View history](#)

Weight

From Wikipedia, the free encyclopedia

This page is about the physical concept. In law, commerce, and in colloquial usage weight may also refer to [mass](#). For other uses, see [Weight \(disambiguation\)](#).

In [science](#) and [engineering](#), the **weight** of an object is related to the amount of [force](#) acting on the object, either due to [gravity](#) or to a reaction force that holds it in place.^{[1][2][3]}

Some standard textbooks^[4] define weight as a [vector](#) quantity, the gravitational force acting on the object. Others^{[5][6]} define weight as a scalar quantity, the magnitude of the gravitational force. Others^[7] define it as the magnitude of the reaction force exerted on a body by mechanisms that keep it in place: the weight is the quantity that is measured by, for example, a spring scale. Thus, in a state of [free fall](#), the weight would be zero. In this sense of weight, terrestrial objects can be weightless: ignoring [air resistance](#), the famous apple falling from the tree, on its way to meet the ground near [Isaac Newton](#), would be weightless.

Bez wątpienia ciężar to siła!

Stan nieważkości - definicja

Stan nieważkości = brak ciężaru

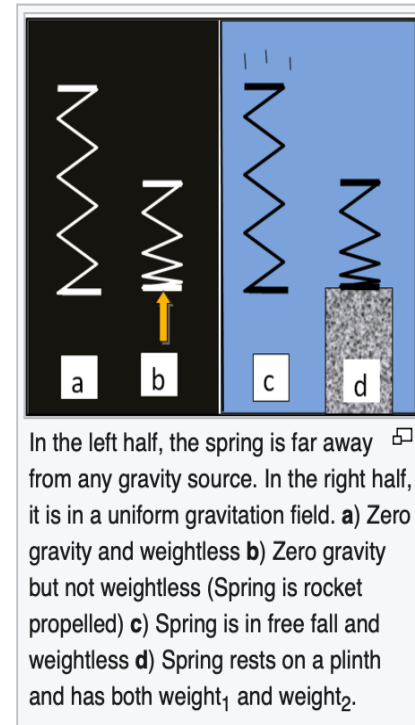
Weightlessness in Newtonian mechanics [\[edit \]](#)

In Newtonian mechanics the term "weight" is given two distinct interpretations by engineers.

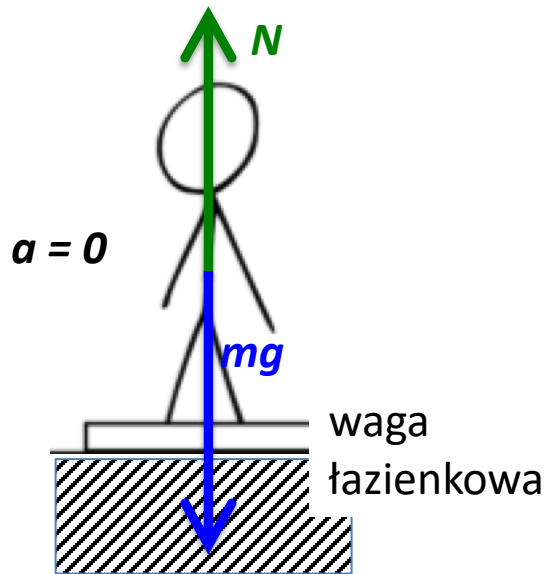
Weight₁: Under this interpretation, the "weight" of a body is the gravitational force exerted on the body and this is the notion of weight that prevails in engineering. Near the surface of the earth, a body whose mass is 1 kg has a weight of approximately 9.81 N, independent of its state of motion, *free fall*, or *not*. Weightlessness in this sense can be achieved by removing the body far away from the source of gravity. It can also be attained by placing the body at a neutral point between two gravitating masses.

Weight₂: Weight can also be interpreted as that quantity which is measured when one uses scales. What is being measured there is the force exerted *by* the body on the scales. In a standard weighing operation, the body being weighed is in a state of equilibrium as a result of a force exerted on it by the weighing machine cancelling the gravitational field. By Newton's 3rd law, there is an equal and opposite force exerted *by* the body on the machine. *This* force is called weight₂. The force is *not* gravitational. Typically, it is a contact force and not uniform across the mass of the body. If the body is placed on the scales in a lift (an elevator) in free fall in pure uniform gravity, the scale would read zero, and the body said to be weightless i.e. its weight₂ = 0. This describes the condition in which the body is stress free and undeformed. This is the weightlessness in *free fall in a uniform gravitational field*. (The situation is more complicated when the gravitational field is not uniform, or, when a body is subject to multiple forces which may, for instance, cancel each other and produce a state of stress albeit weight₂ being zero. See below.)

To sum up, we have two notions of weight of which weight₁ is dominant. Yet 'weightlessness' is typically exemplified not by absence of weight₁ but by the absence of stress associated with weight₂. This is the intended sense of weightlessness in what follows below.

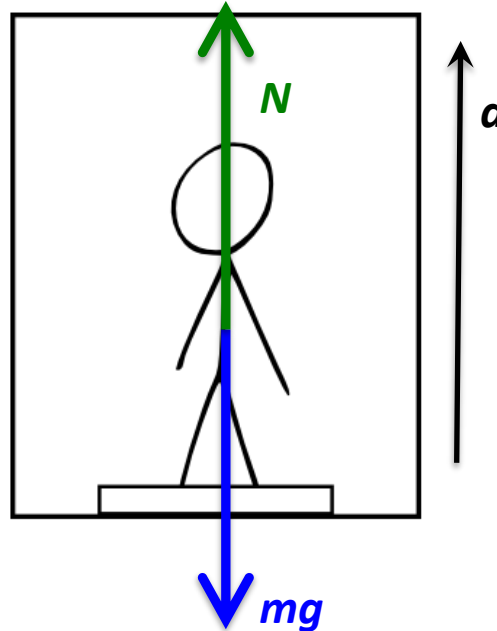


W jaki sposób „odczuwamy” ciężar ciała?

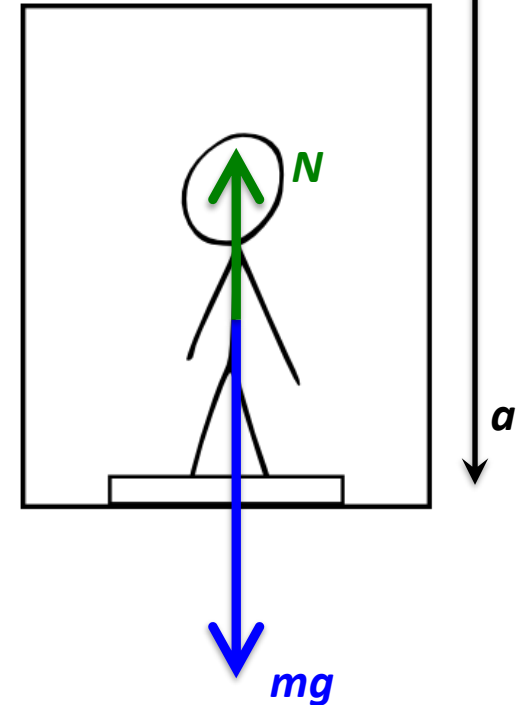


$$N = mg$$

przyspieszenie w górę



przyspieszenie w dół



Według definicji drugiej (patrz Wikipedia z poprzedniego slajdu) miarą ciężaru może być siła nacisku lub równa jej co do wartości siła reakcji na nacisk (N)!

$$N = m(g + a)$$

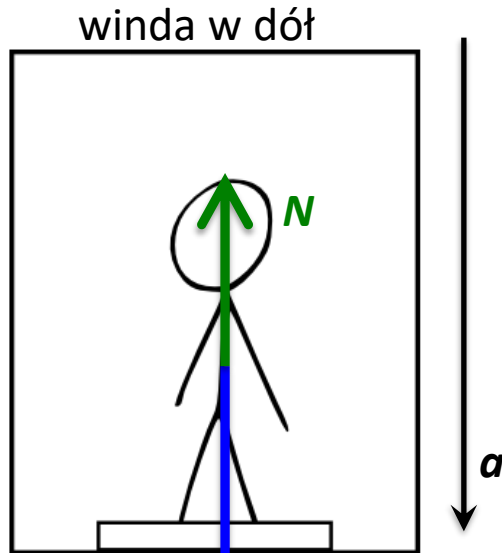
$$N = m(g - a)$$

Pomiar "masy" w windzie



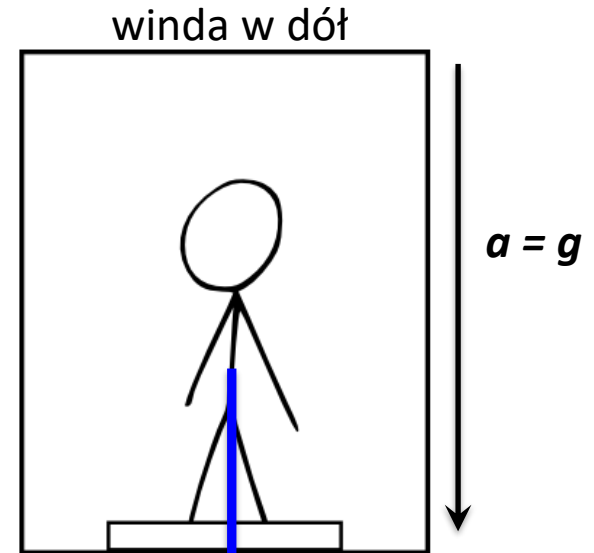
<https://www.youtube.com/watch?v=E2rI4m7N9-Q>

Stan nieważkości



$$N = m(g - a)$$

$a = g$
spadek swobodny



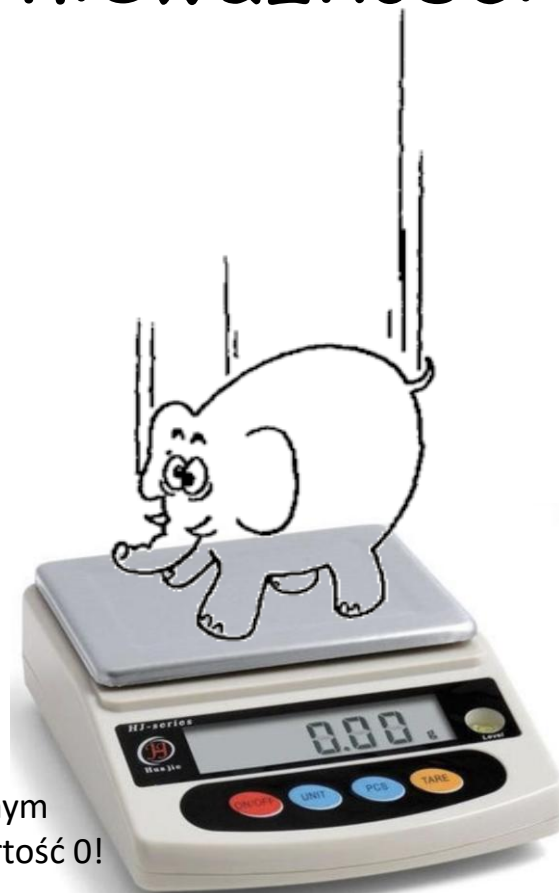
$$N = 0$$

Stan nieważkości to sytuacja, gdy w kierunku środka Ziemi na ciało działa tylko siła grawitacji!

Spadek swobodny = stan nieważkości

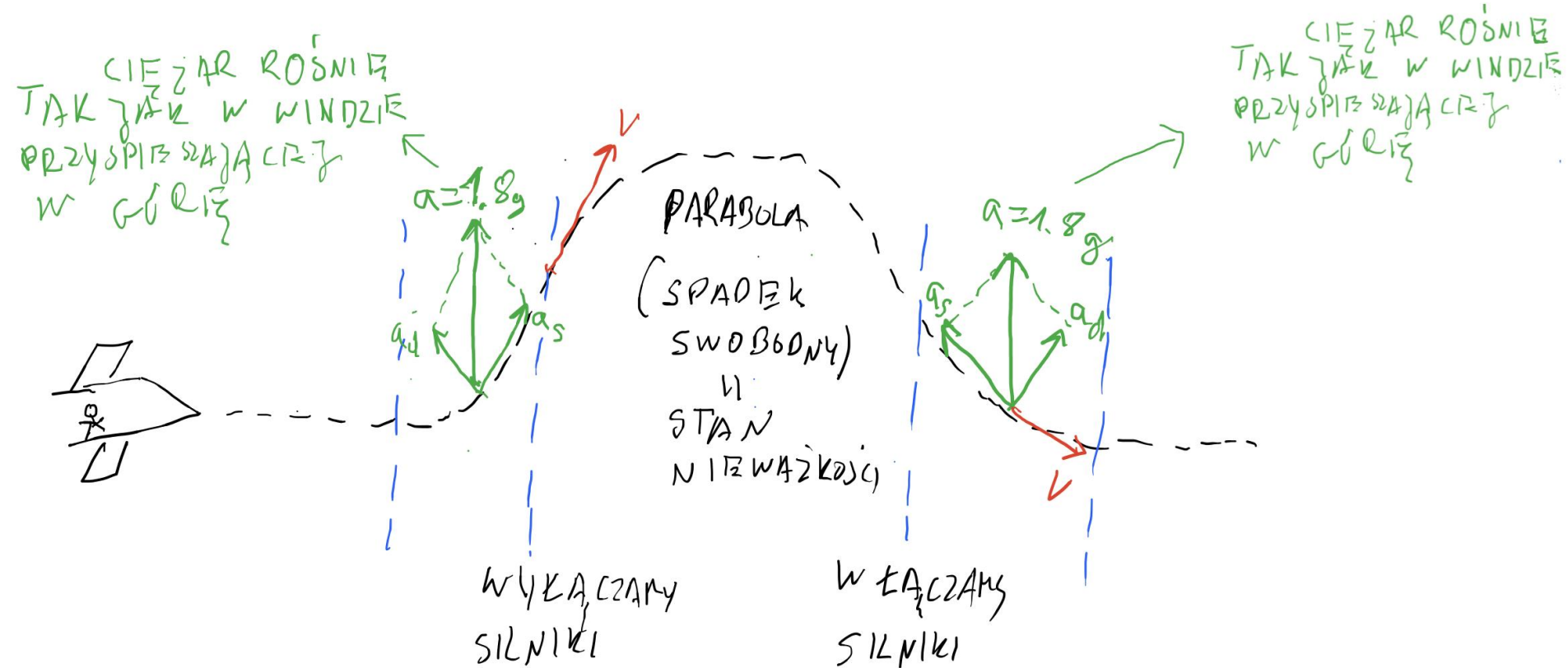


W spadku swobodnym
waga pokazuje wartość 0!



Zero-gravity experiment

(nazwa eksperymentu błędna z fizycznego punktu widzenia – poprawnie powinno być „zero-weight experiment”)



Zero-gravity experiment

(nazwa eksperymentu błędna z fizycznego punktu widzenia – poprawnie powinno być „zero-weight experiment”)



European Space Agency

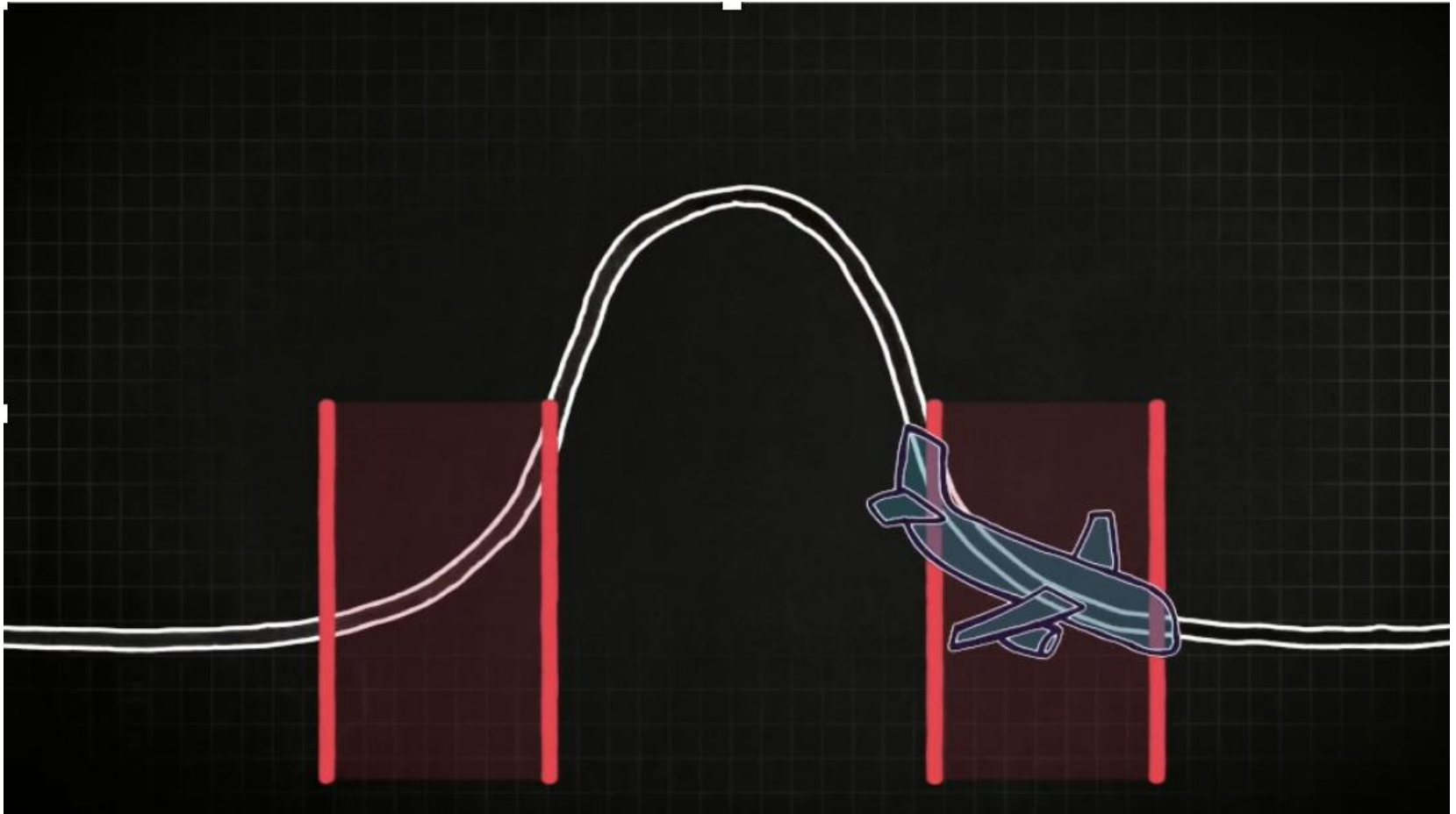


https://www.youtube.com/watch?v=xdJwG_9kF8s

<https://www.youtube.com/watch?v=AVq-E8n5Qcl>

Zero-gravity experiment

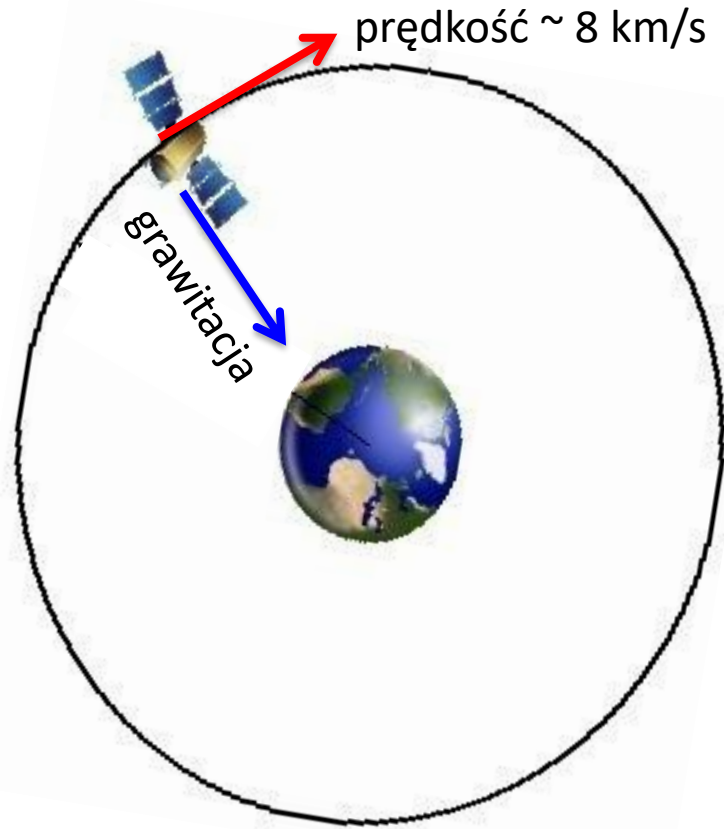
There is no free lunch... 1.8g podczas wznoszenia i wyrównywania lotu:



https://www.youtube.com/watch?v=q1_AJWZajEk

Pasażerowie międzynarodowej stacji kosmicznej znajdują się w nieustannym spadku swobodnym!

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!

Woda w spadku swobodnym oraz na międzynarodowej stacji kosmicznej



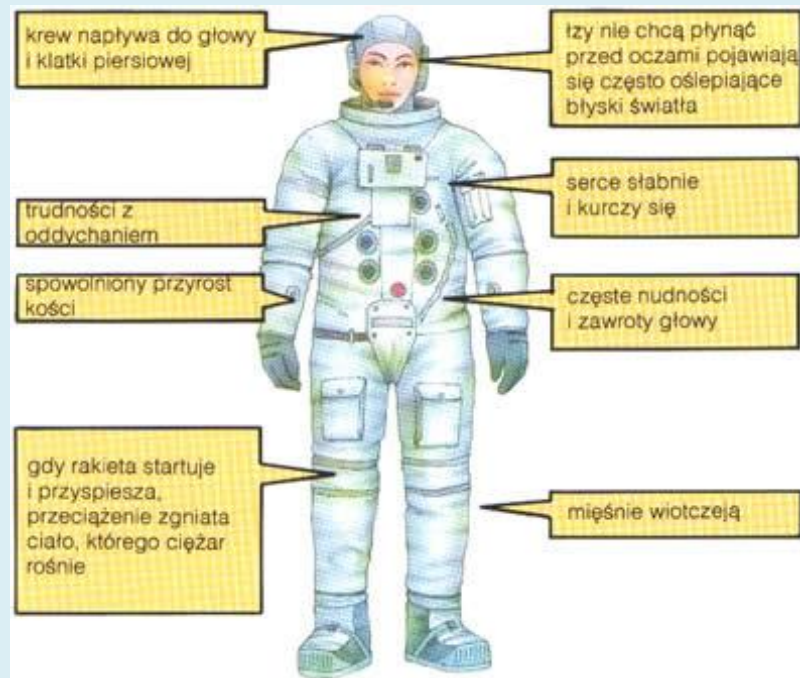
Woda pozostaje w miejscu względem nas (chyba, że ją pchniemy).

Ciekawe zjawiska fizyczne w stanie nieważkości



- Ciecze – napięcie powierzchniowe
- Doświadczenie z drutem do robótek ręcznych
- Kosmiczny ping-pong
- Wykręcanie ręcznika
- Łzy, mycie (łysej) głowy
- Woda na stacji orbitalnej





Wpływ nieważkości na organizm człowieka

Nieważkość jest wspaniała! ?

Objawy w skrócie:

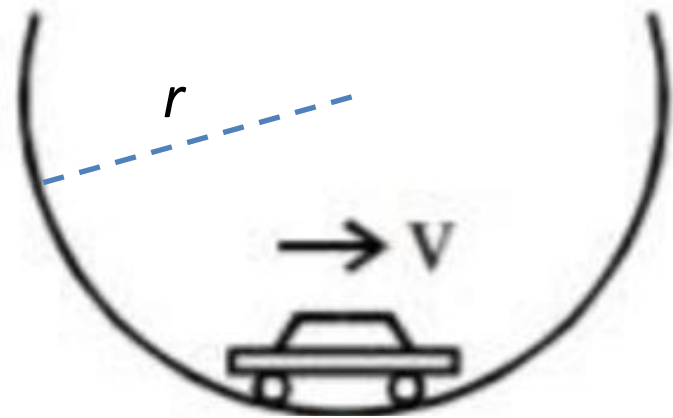
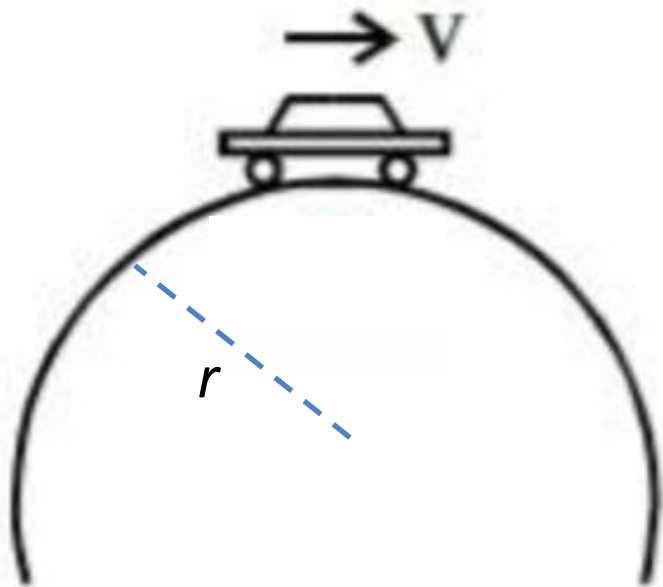
Utrata masy mięśni (ok. 20% tygodniowo) i kości (1-2% miesięcznie), pogorszenie widzenia, 1-2 l płynu napływa dodatkowo do głowy

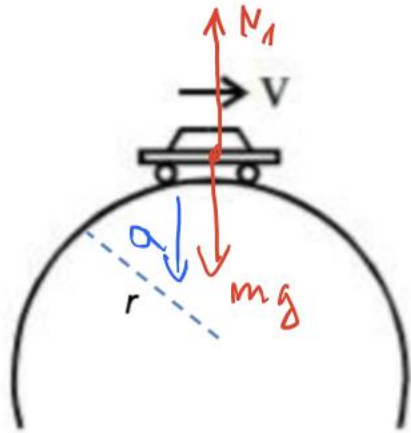
Badanie bliźniaków



Samochód na moście wklęsłym i wypukłym

Wyznaczyć siłę nacisku (ciężar) samochodu o masie m poruszającego się z prędkością v po moście wklęsłym i wypukłym. Promienie krzywizny obydwu mostów są identyczne i wynoszą r .



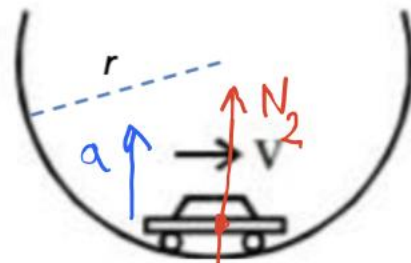


$$m\vec{g} + \vec{N}_1 = m\vec{a}$$

$$mg - N_1 = ma$$

$$N_1 = mg - ma$$

$$N_1 = m\left(g - \frac{v^2}{r}\right)$$



$$a = \frac{v^2}{r}$$

$$m\vec{g} + \vec{N}_2 = m\vec{a}$$

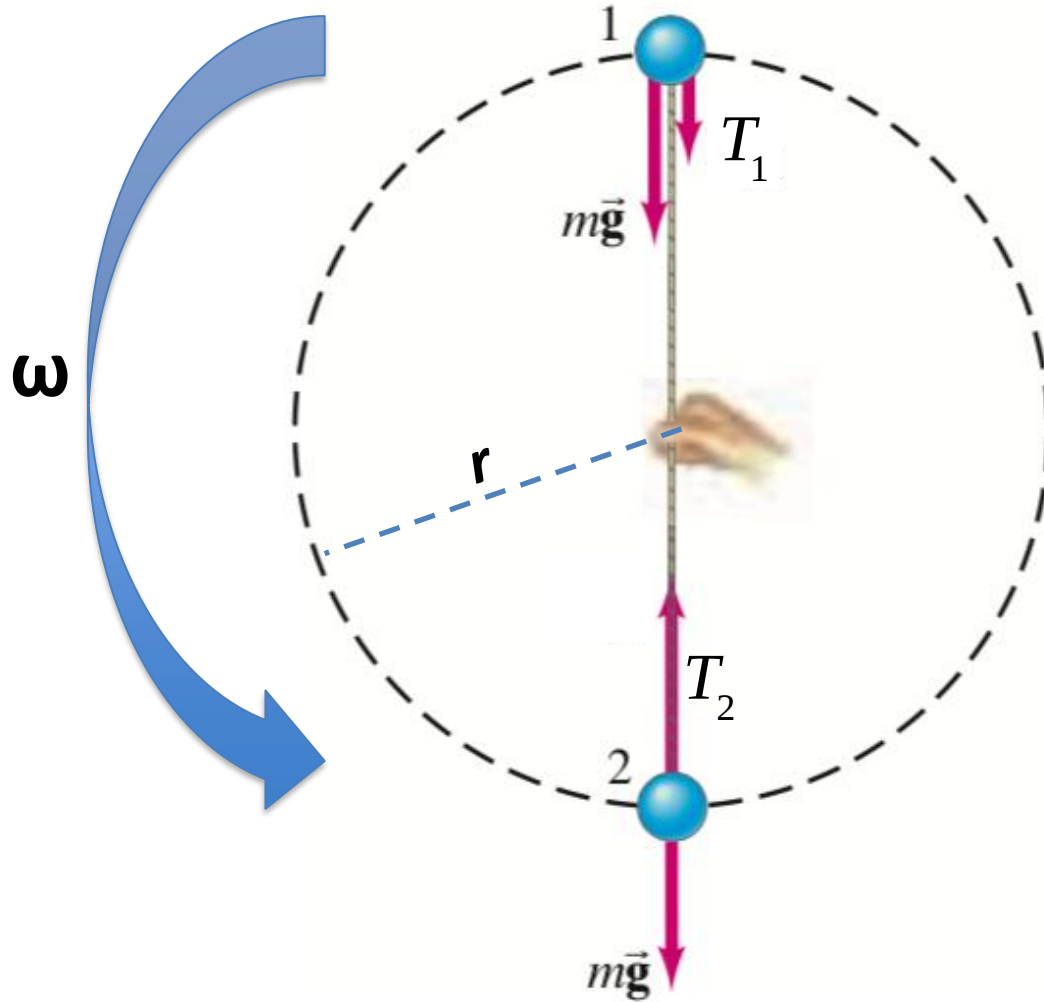
$$N_2 - mg = ma$$

$$N_2 = mg + ma$$

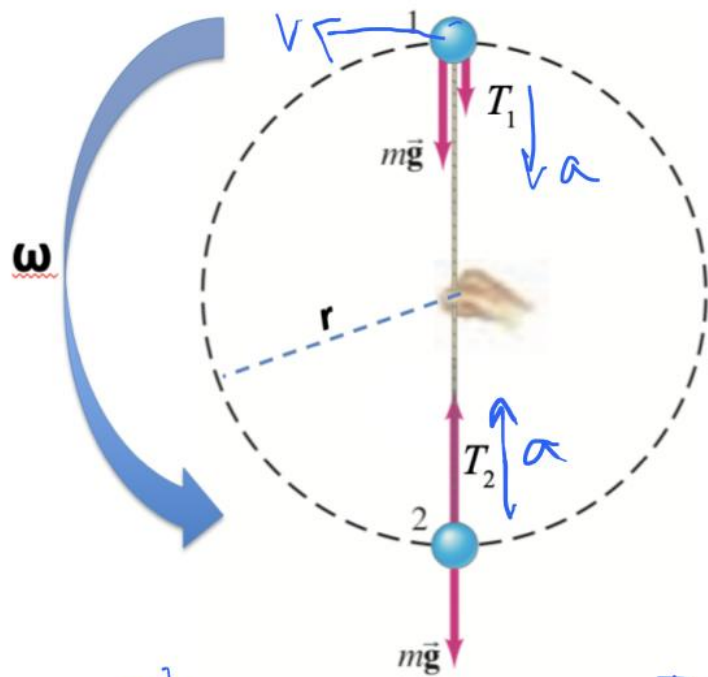
$$N_2 = m\left(g + \frac{v^2}{r}\right)$$

$$N_2 > N_1$$

Kulka poruszająca się po okręgu w płaszczyźnie pionowej



Wyznaczyć naprężenie liny w najniższym i najwyższym punkcie.



$$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

$$T_2 > T_1$$

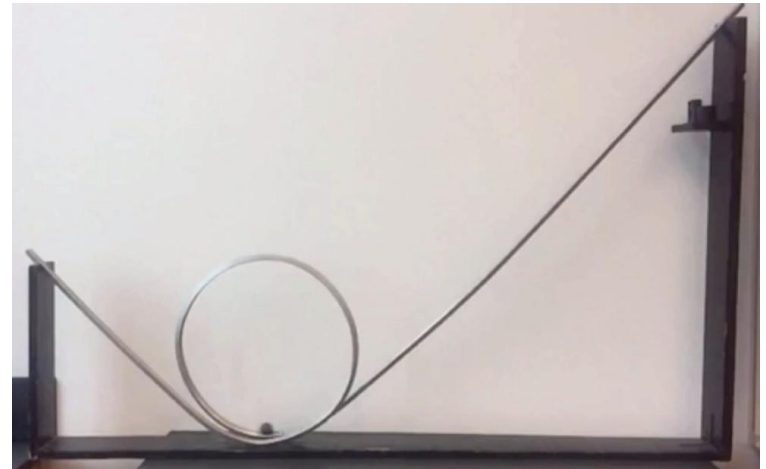
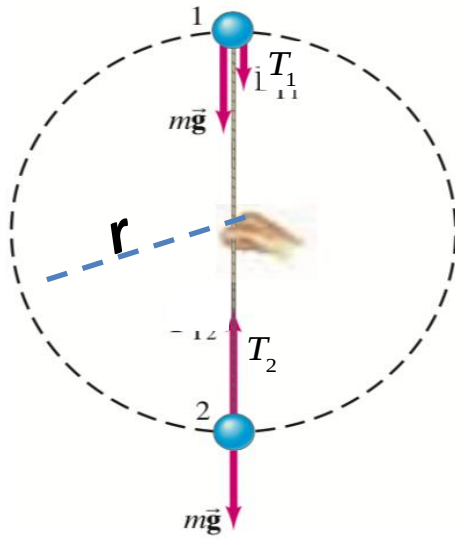
$$\textcircled{1} \quad T_1 + mg = ma = m\omega^2 r$$

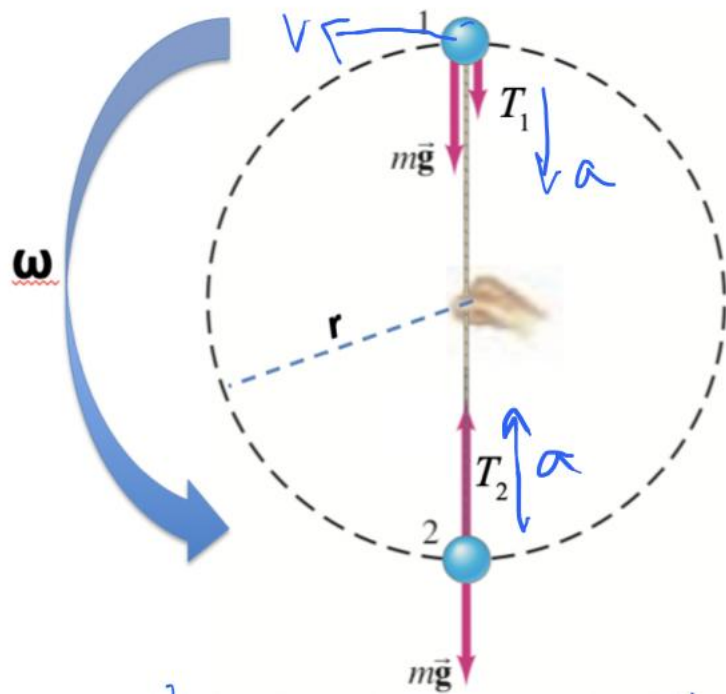
$$T_1 = m(\omega^2 r - g) = m\left(\frac{v^2}{r} - g\right)$$

$$\textcircled{2} \quad T_2 - mg = m\frac{v^2}{r}$$

$$T_2 = m\left(\frac{v^2}{r} + g\right)$$

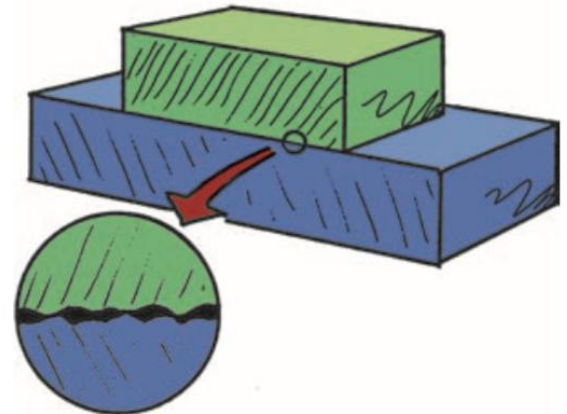
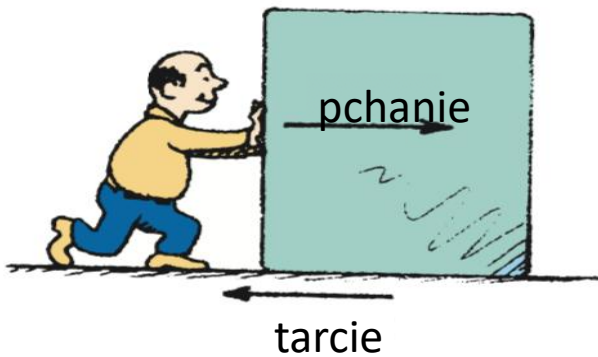
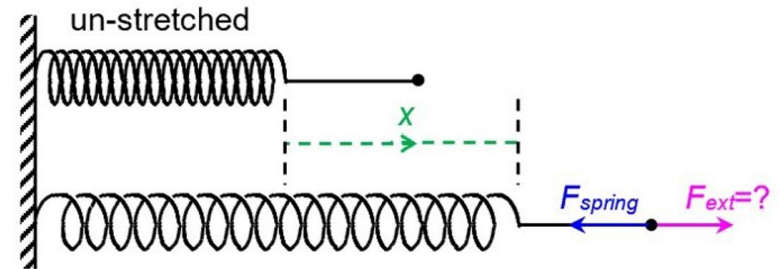
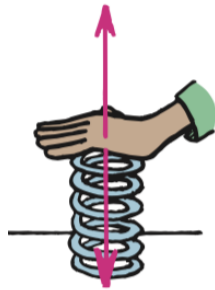
Minimalna prędkość aby pokonać „pętlę śmierci”





$$T_1 \geq 0 \quad m \left(\frac{v^2}{r} - g \right) \geq 0 \quad \Rightarrow \frac{v^2}{r} \geq g \quad \Rightarrow v \geq \sqrt{gr}$$

Siła sprężystości i siła tarcia



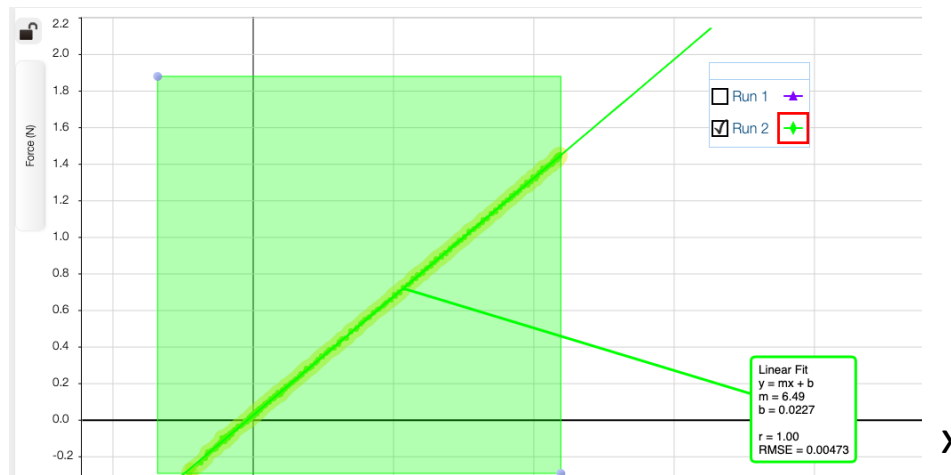
Siła sprężystości

(z ang. *restoring force* - siła przywracająca)

dłoń nieruchoma

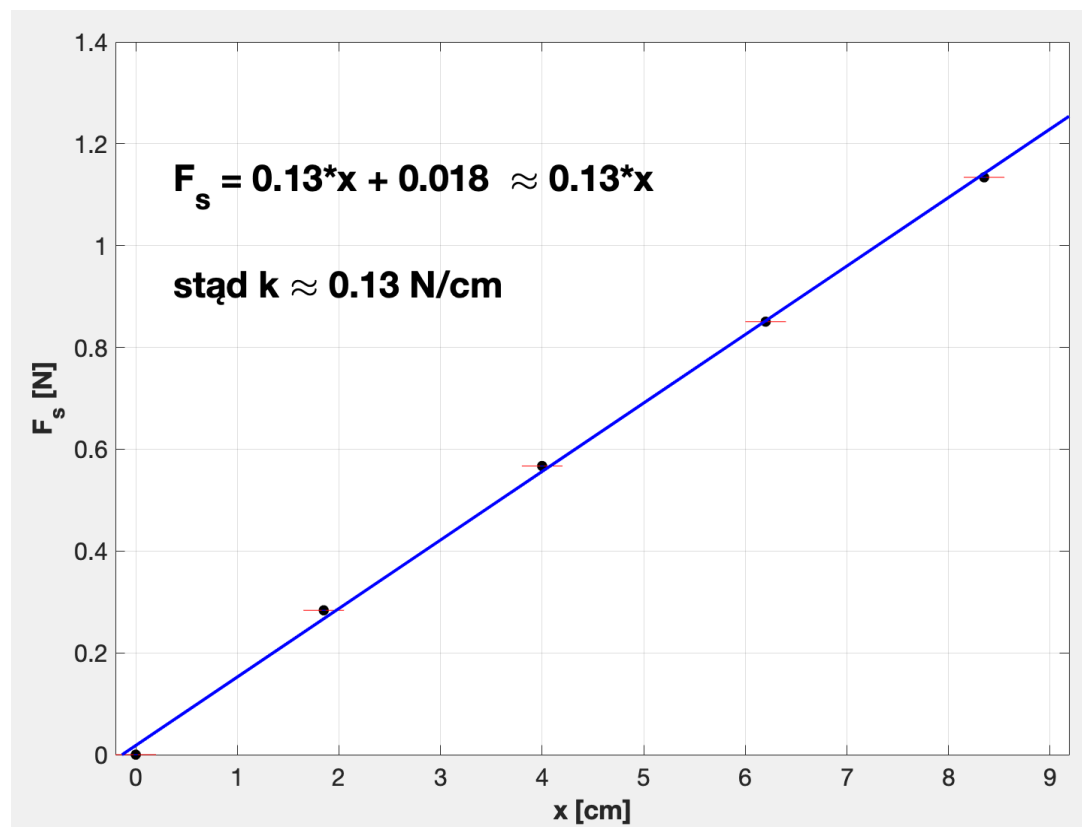
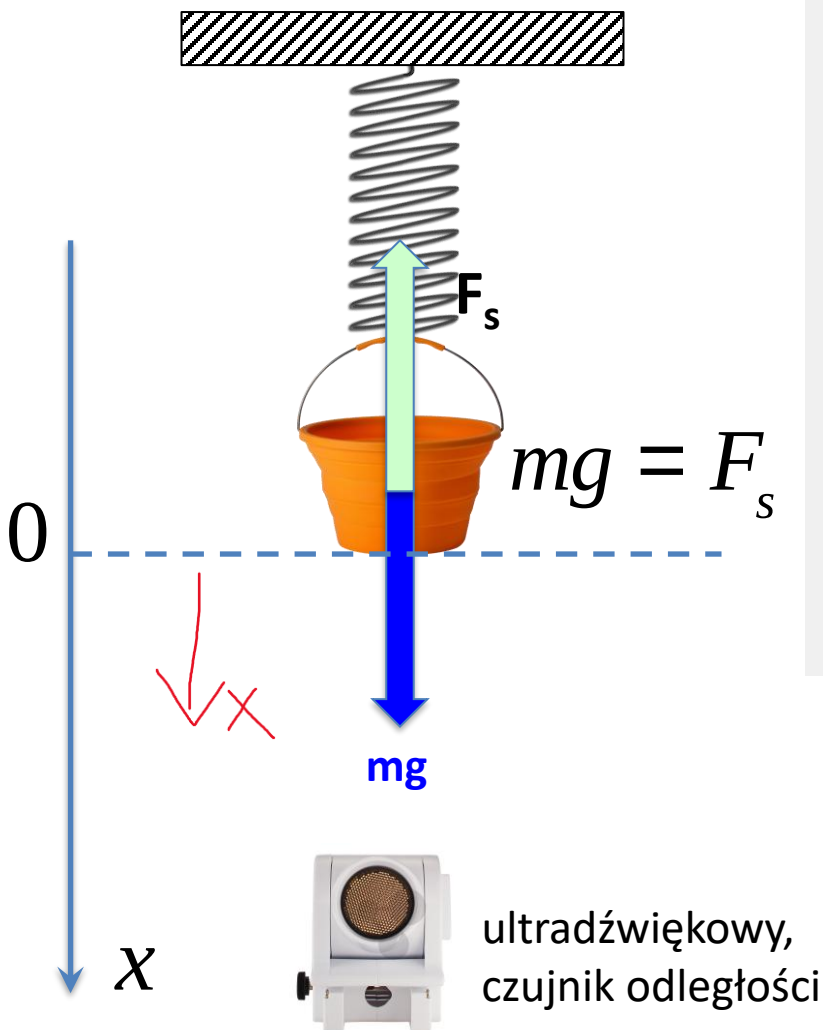


Pomiar siły wywieranej przez sprężynę na wózek w funkcji położenia wózka (= rozciąganie sprężyny):



Siła sprężystości

(z ang. *restoring force* - siła przywracająca)



$$F_s = kx$$

wartość bezwzględna siły,
 $k > 0$ – stała sprężystości

$$\vec{F}_s = -k\vec{x}$$

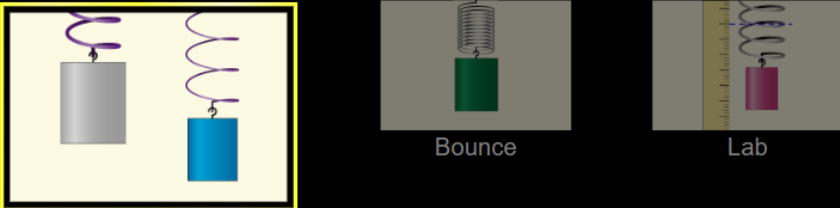
„minus” bo wektor siły F_s
zawsze przeciwny do wektora
przemieszczenia x względem
położenia 0

Symulator sprężyny zawieszanej pionowo

https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_en.html

Privacy & Terms

Masses and Springs: Basics



The image shows three icons for the simulation modes. The 'Stretch' icon is highlighted with a yellow border and shows a grey mass and a blue mass hanging from a spring. The 'Bounce' icon shows a green mass on a spring. The 'Lab' icon shows a pink mass on a spring next to a ruler.

Stretch

Bounce

Lab

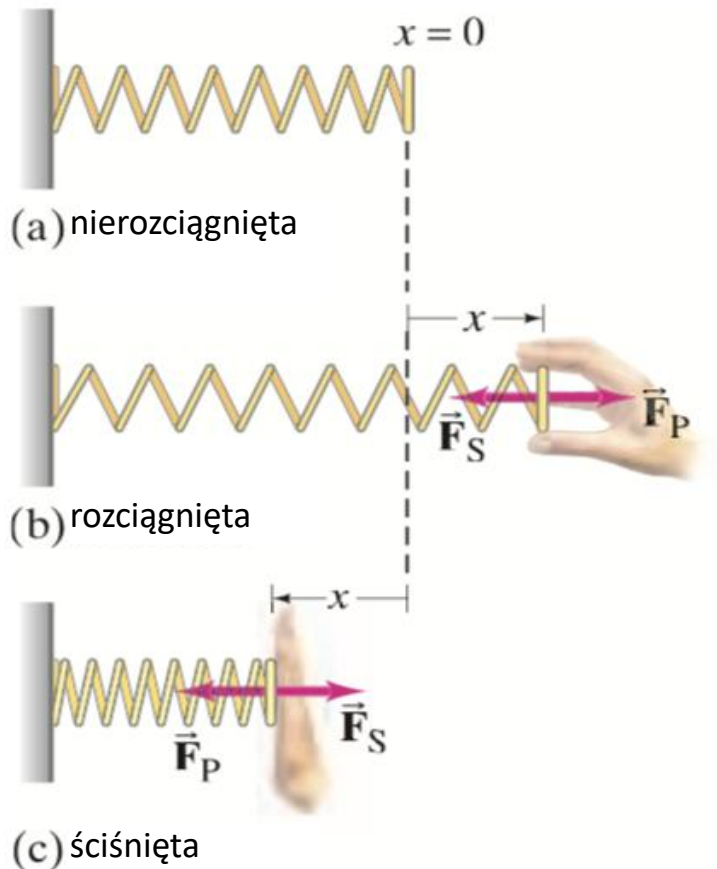
PHET:

Siła sprężystości jest odpowiedzialna za ruch drgający!

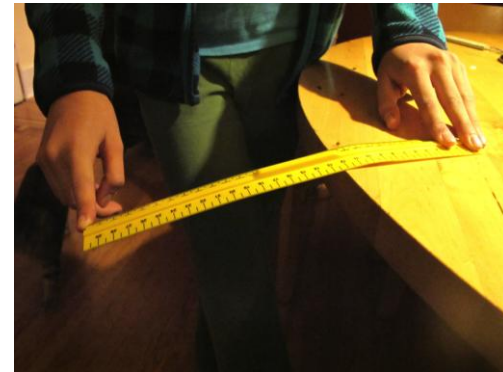
Prawo Hooke'a

Odształcenie ciała pod wpływem działającej na nie siły jest proporcjonalne do tej siły.

$$\vec{F}_s = -k\vec{x}$$

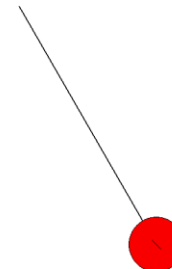


elastyczne deformacje ciał

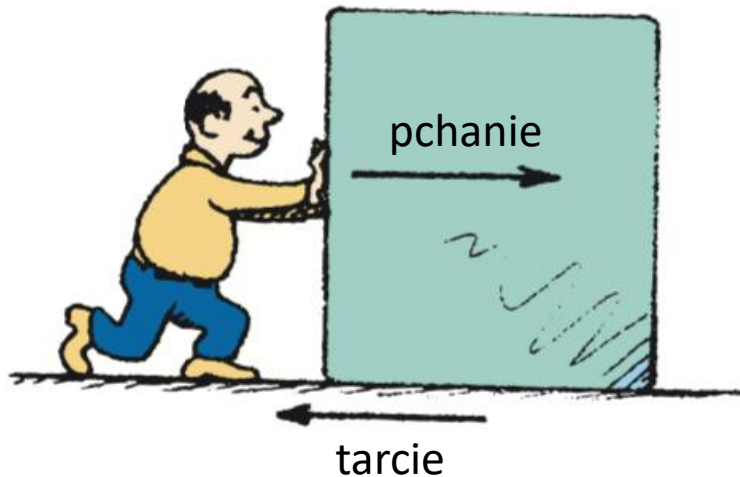


ruch harmoniczny (okresowy)

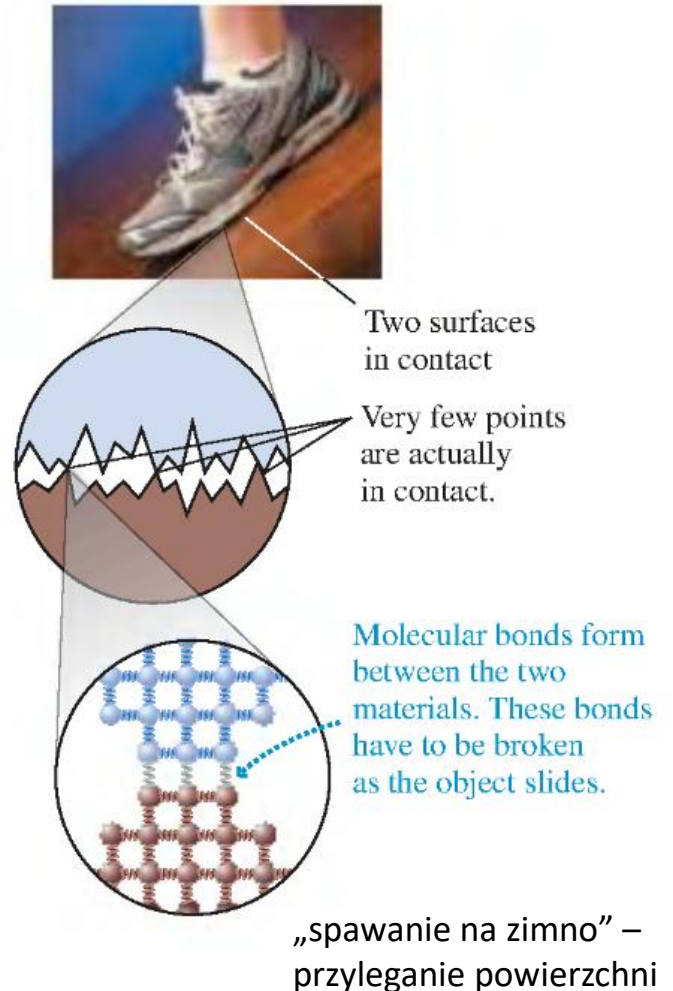
Animation of simple pendulum via RvF45



Siła tarcia

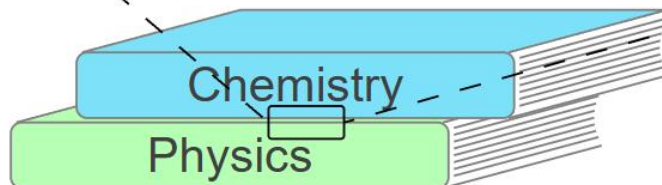
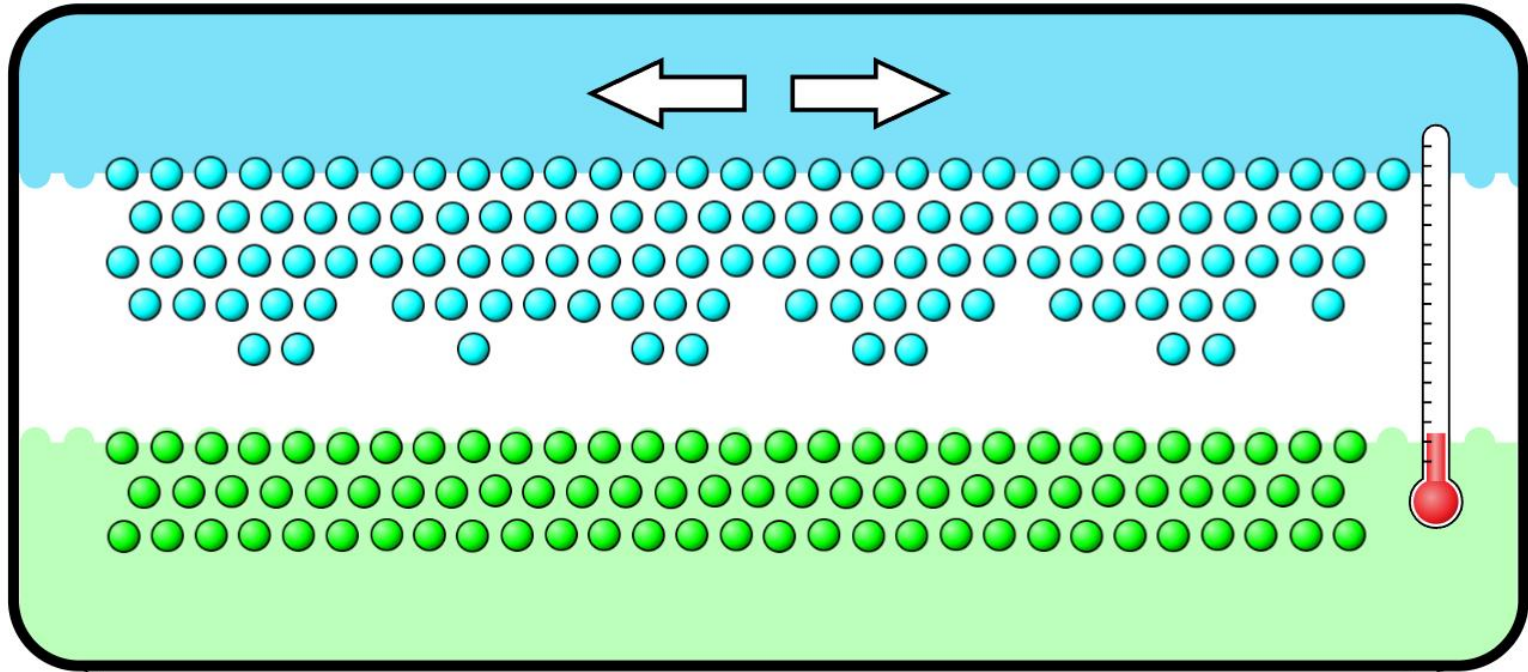


Tarcie jest zawsze przeciwnie skierowane do kierunku ruchu poślizgowego lub siły skierowanej wzdłuż styku dwóch powierzchni, która dąży do wyprowadzenia ciała ze spoczynku.

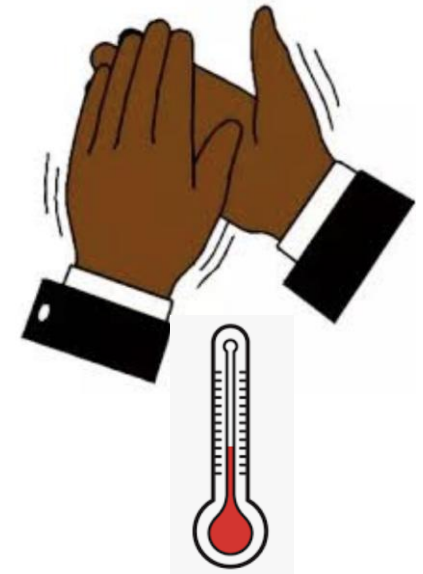
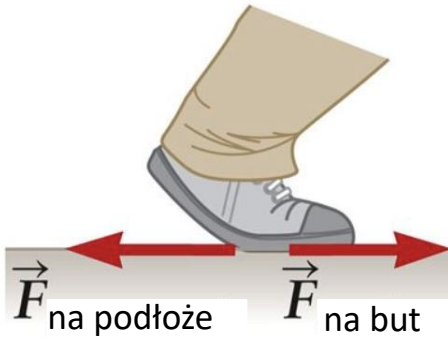


Symulacja molekularnego modelu tarcia

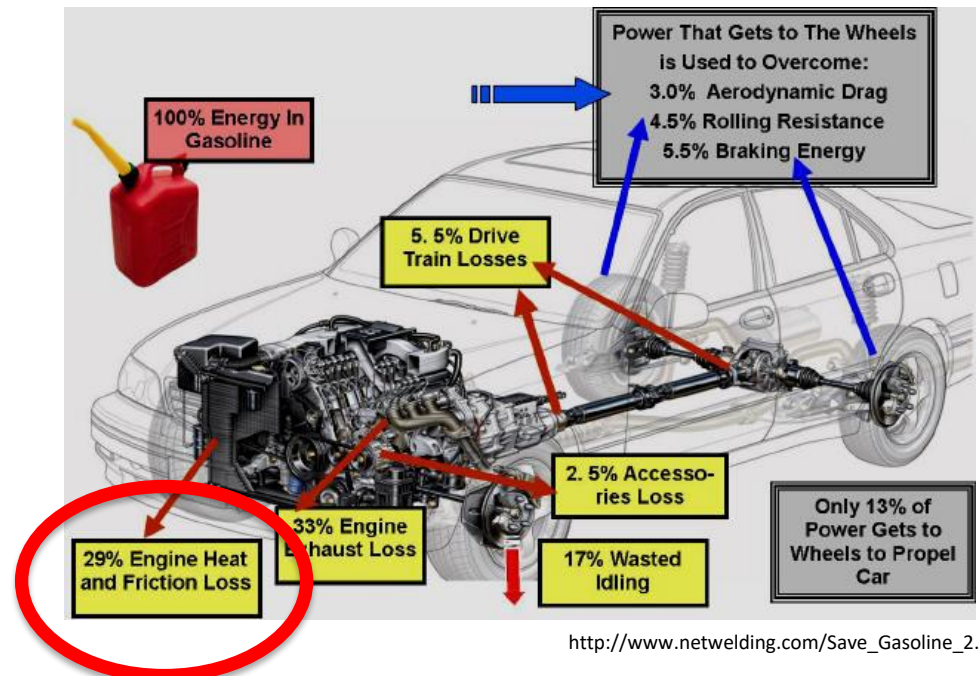
Privacy & Terms



Pozytywna strona tarcia



Negatywna strona tarcia





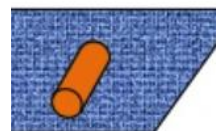
Leonardo da Vinci

Podstawowe makroskopowe własności sił tarcia

- Tarcie zależy od rodzaju powierzchni

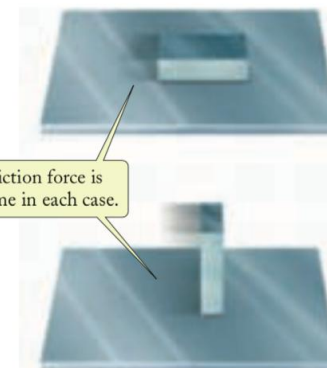


powierzchnia gładka

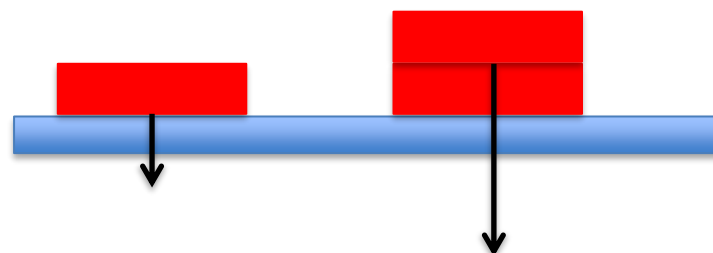


powierzchnia szorstka

- Tarcie nie zależy od wielkości powierzchni kontaktu między ciałami

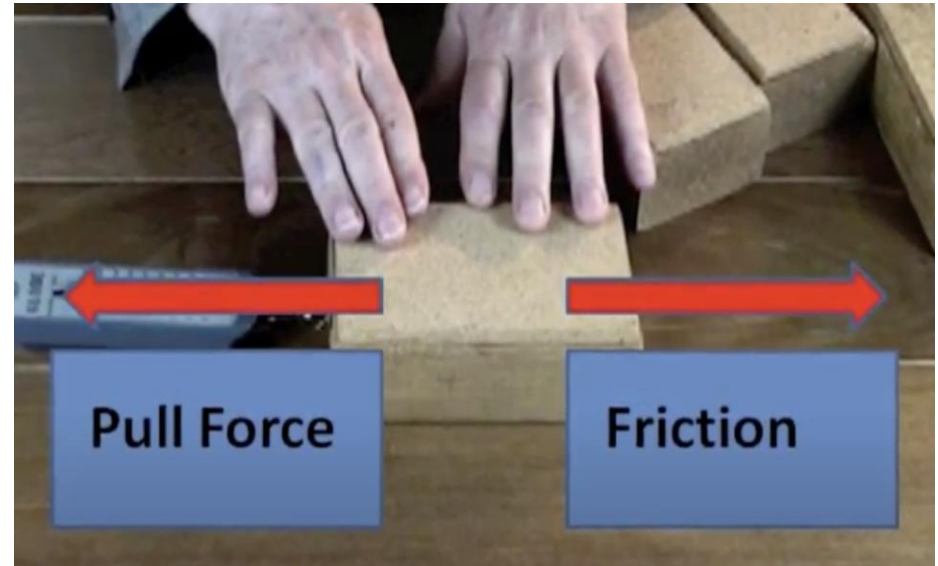


- Tarcie zależy od siły nacisku



Jak zademonstrować wymienione właściwości tarcia?

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mech_treni&l=pl



Jeżeli ciągnę bloczek za pomocą siłomierza ze stałą prędkością to siły działające na bloczek równoważą. Wartość siły wskazywanej przez siłomierz jest równa sile tarcia.

<https://www.youtube.com/watch?v=9w-ORd14Ucs>

Tarcie nie zależy od wielkości powierzchni kontaktu między ciałami



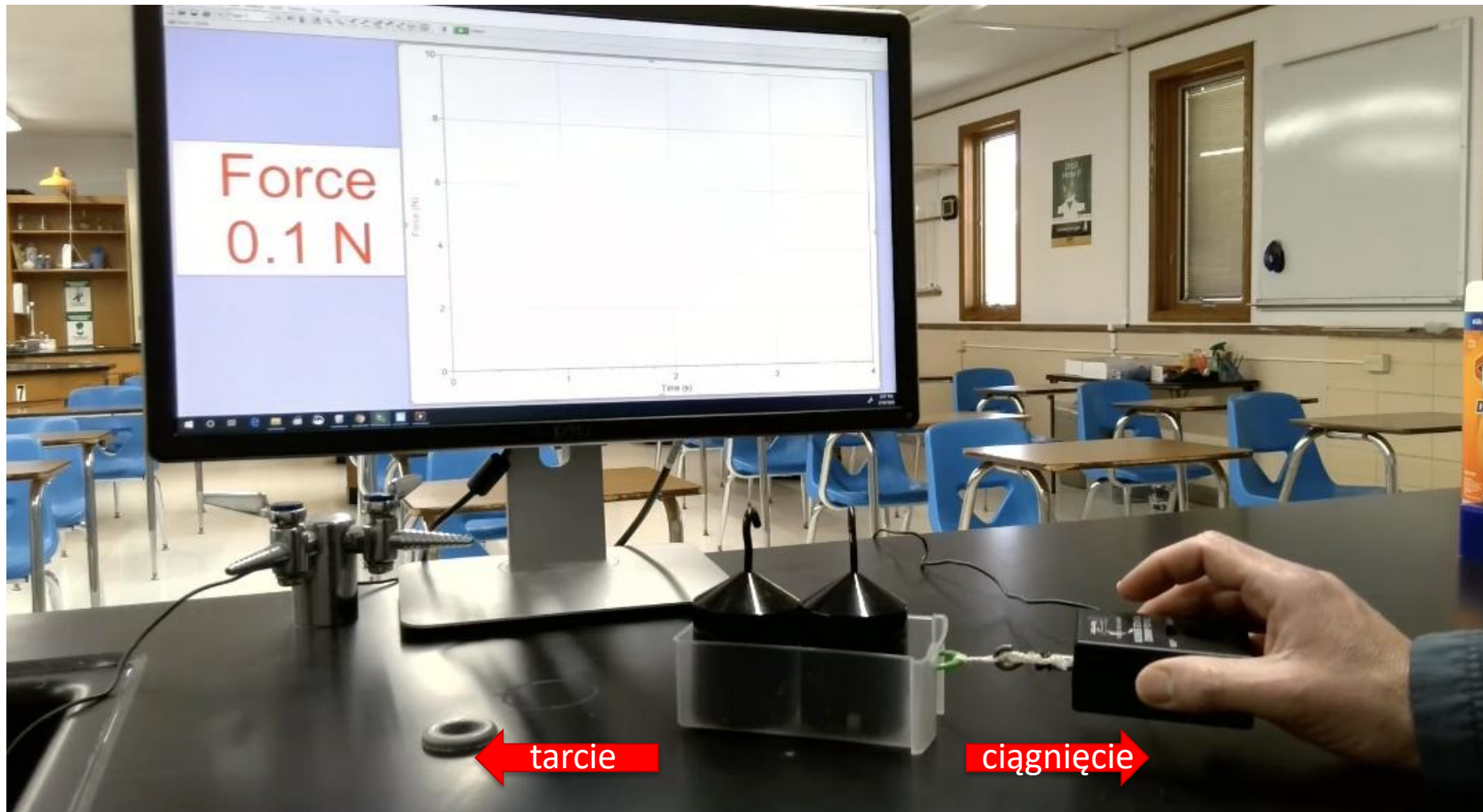
<https://www.youtube.com/watch?v=idYX7kkRqbs>

Tarcie zależy od siły nacisku (ciężaru ciała)



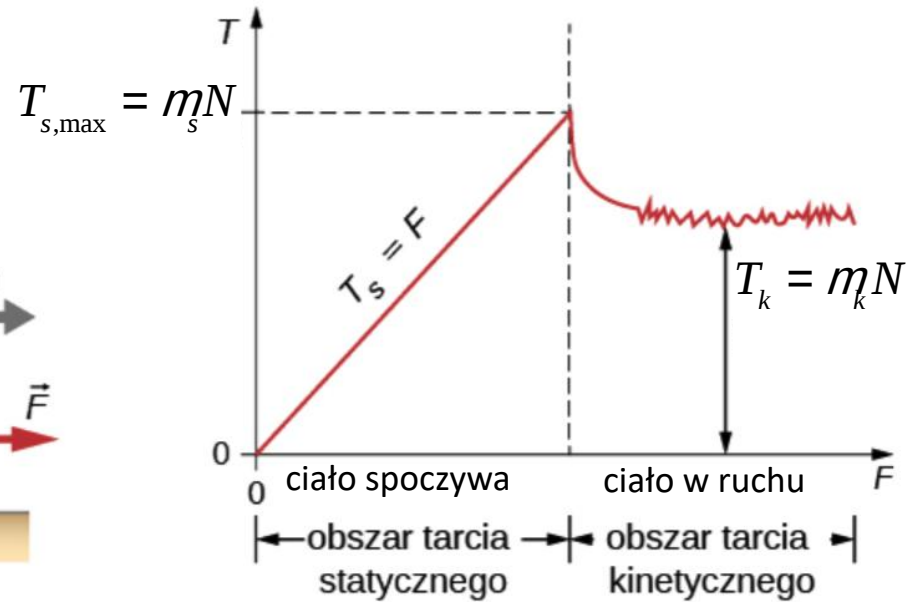
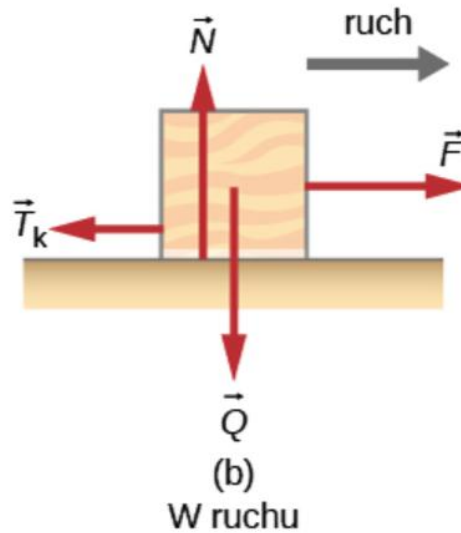
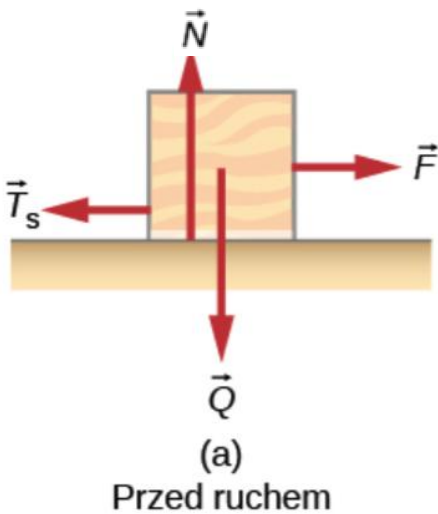
<https://www.youtube.com/watch?v=9w-ORd14Ucs>

Tarcie statyczne vs tarcie kinetyczne



Tarcie statyczne vs tarcie kinetyczne

Fizyka dla szkół wyższych Tom 1 by OpenStax



Maksymalna wartość tarcia statycznego:

$$T_{s,max} = m_s N$$

Tarcie kinetyczne:

$$T_k = m_k N$$

(stykające się z sobą powierzchnie
"suną" po sobie)

μ_s oraz μ_k to odpowiednio współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego, $\mu_s > \mu_k$
obydwie wielkości przyjmują na ogół wartości z zakresu między 0 i 1

Współczynniki tarcia

Przykładowy układ	Współczynnik tarcia statycznego μ_s	Współczynnik tarcia kinetycznego μ_k
Guma na suchym betonie	1,0	0,7
Guma na mokrym betonie	0,5-0,7	0,3-0,5
Drewno na drewnie	0,5	0,3
Woskowane drewno na mokrym śniegu	0,14	0,1
Metal na drewnie	0,5	0,3
Stal na stali (sucha)	0,6	0,3
Stal na stali (naoliwiona)	0,05	0,03
Stal na teflonie	0,04	0,04
Kość nasmarowana mazią stawową	0,016	0,015
Buty na drewnie	0,9	0,7
Buty na lodzie	0,1	0,05
Lód na lodzie	0,1	0,03
Stal na lodzie	0,4	0,02

Tabela 6.1 Przybliżone współczynniki tarcia statycznego i kinetycznego

Tarcie podczas toczenia



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

Tarcie podczas toczenia

Bez tarcia auto nie ruszy.

To siły tarcia umożliwiają auto przyspieszenie na drodze.



<https://www.youtube.com/watch?v=BSI3V16IVdA>

Tarcie podczas toczenia



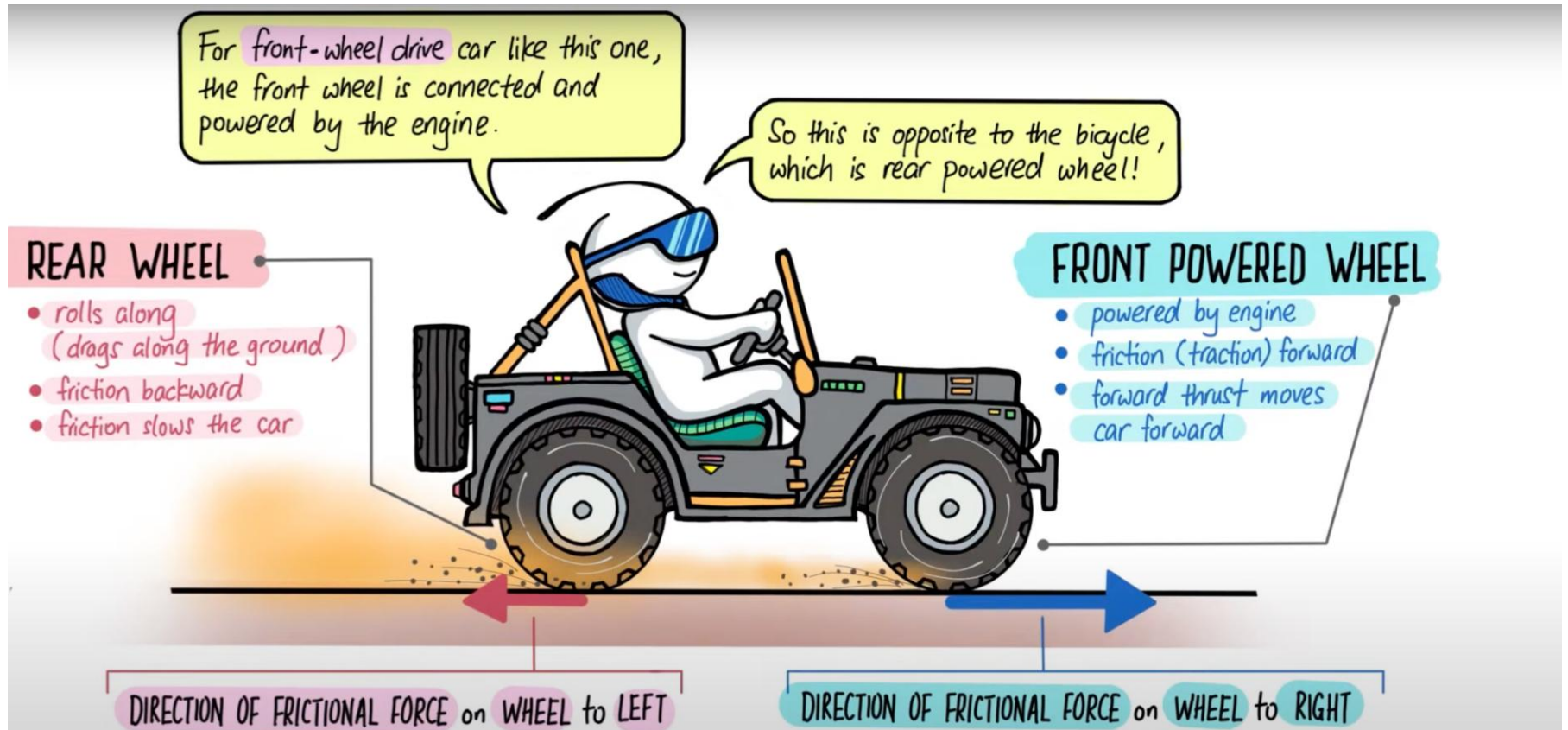
<https://www.youtube.com/watch?v=RHYHtfyamOw>

Tracie kinetyczne występuje, gdy dowolny punkt ciała na styku z powierzchnią ślizga się względem podłoża, po którym się porusza.

W przypadku toczenia bez poślizgu (np. obrotu koła na suchej nawierzchni), punkty styku z podłożem nie ślizgają się względem podłoża. Innymi słowy, **podczas toczenia występuje tarcie statyczne.**

Tarcie podczas toczenia

Tarcie statyczne skierowane jest w kierunku ruchu w przypadku pary kół, do których przyłożony jest napęd. Odcięcie napędu (hamowanie) zmienia kierunek działania siły tarcia. Dla kół niepodłączonych do napędu tarcie skierowane jest przeciwnie do kierunku ruchu.



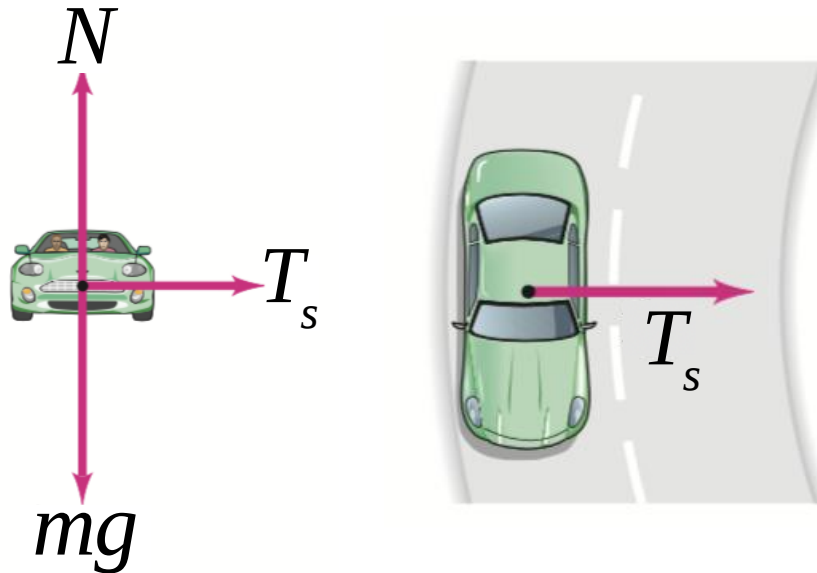
<https://www.youtube.com/watch?v=NHI7C1WBUJg>

Samochód na zakręcie

<https://www.youtube.com/watch?v=ZVW9uMeFXK8>

Samochód wchodzi w zakręt na płaskiej drodze o promieniu 50 m z prędkością 15 m/s (54 km/h). Czy samochód skręci, czy jednak wypadnie z drogi?

Założmy: (a) nawierzchnia jest sucha, a współczynnik tarcia statycznego wynosi $\mu_s = 0.60$;
(b) nawierzchnia jest oblodzona, a $\mu_s = 0,25$.

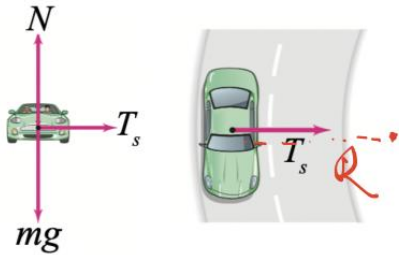


Uwaga: samochód (o ile nie ślizga się) przyspiesza dzięki obecności tarcia statycznego. Podczas ruchu po okręgu ze stałą do wartości prędkością, tarcie statyczne pełni rolę siły dośrodkowej.

Samochód na zakręcie

Samochód wchodzi w zakręt na płaskiej drodze o promieniu 50 m z prędkością 15 m/s (54 km/h). Czy samochód skręci, czy jednak wypadnie z drogi?

Założmy: (a) nawierzchnia jest sucha, a współczynnik tarcia statycznego wynosi $\mu_s = 0.60$;
(b) nawierzchnia jest oblodzona, a $\mu_s = 0.25$.



Bez tarcia statycznego auto nie ruszy.



<https://www.youtube.com/watch?v=BSi3V16IVdA>

Uwaga: samochód (o ile nie ślizga się) porusza się dzięki obecności tarcia statycznego.

Punkt styku z podłożem (P) jest w spoczynku względem podłoża.

$$R = 50 \text{ m}$$

$$N = mg$$

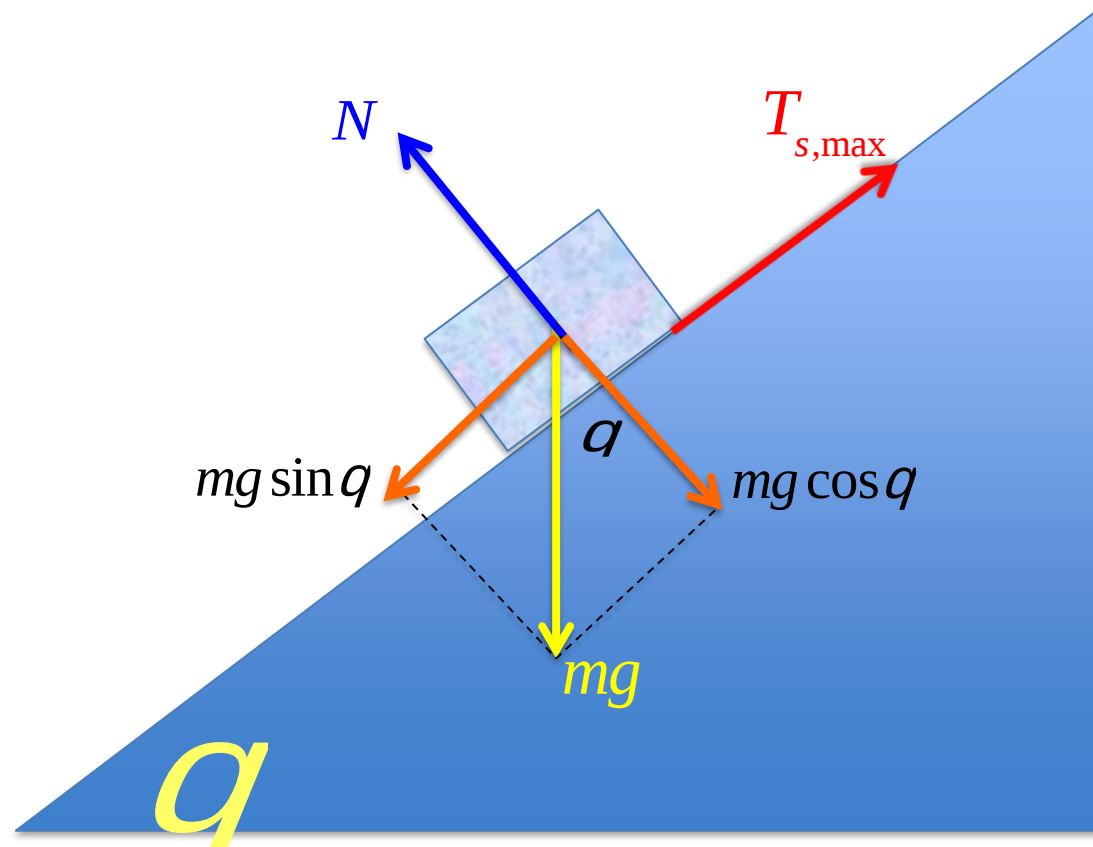
$$T_s \leq T_{s, \max} = \mu_s N = m \frac{v_{\max}^2}{R}$$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{\mu_s}{m} NR} = \sqrt{\mu_s \cdot g R}$$

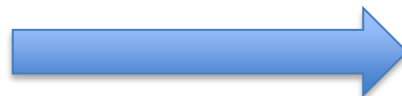
$$(a) \mu_s = 0.6 \Rightarrow v_{\max} \approx 17 \frac{\text{m}}{\text{s}} > 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$(b) \mu_s = 0.25 \Rightarrow v_{\max} \approx 11.2 \frac{\text{m}}{\text{s}} < 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Wyznaczanie współczynnika tarcia statycznego przy pomocy równi pochyłej

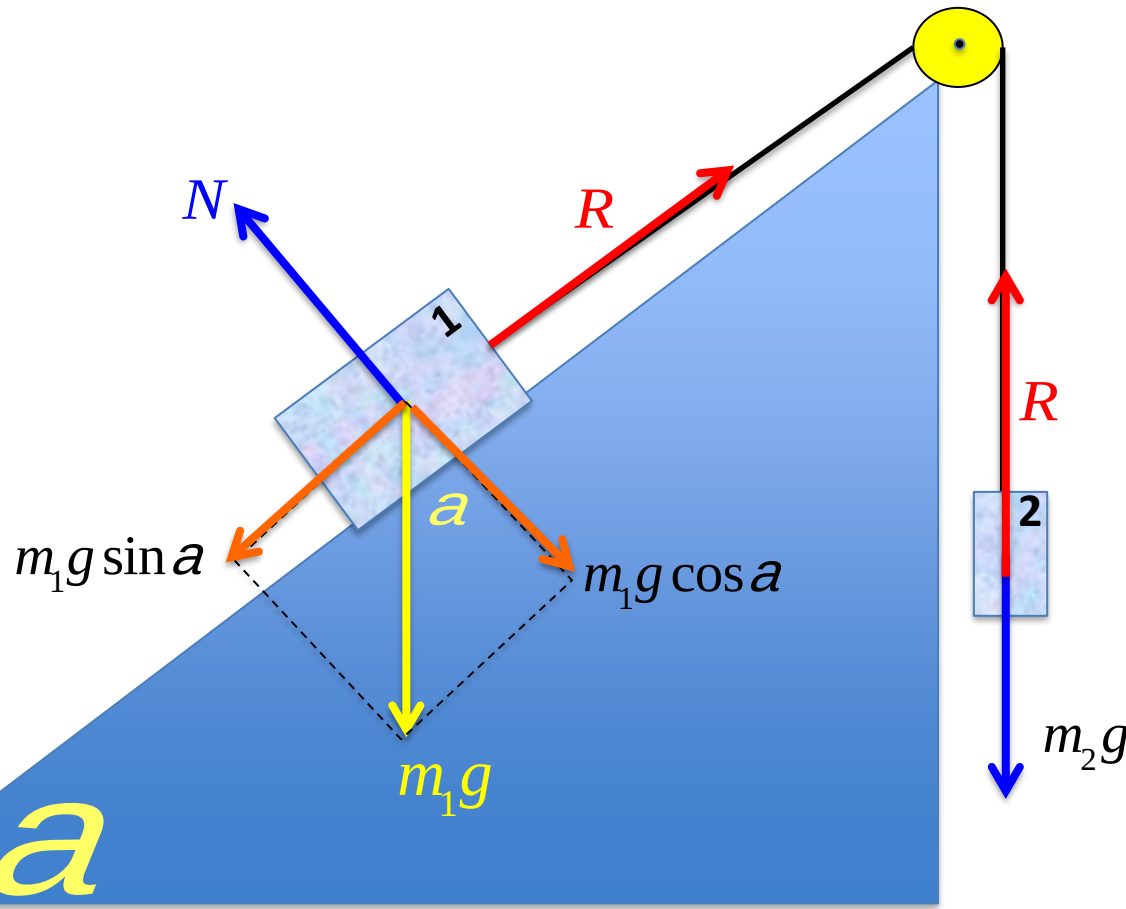


$$T_{s,max} = m_s N$$



$$m_s = \tan q$$

Tarcie - przykładowy problem



Założenia:

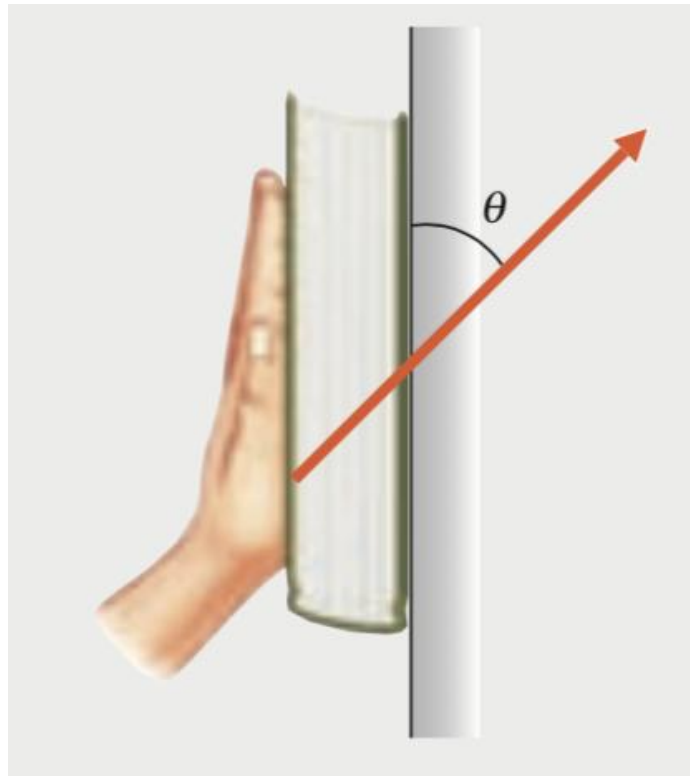
- sznurek bez masowy
- brak tarcia na krążku obrotowym

Jakie warunki musi spełniać masa m_2 aby ciało 2 :

- (a) Spoczywało,
- (b) poruszało się w dół,
- (c) poruszało się w górę?

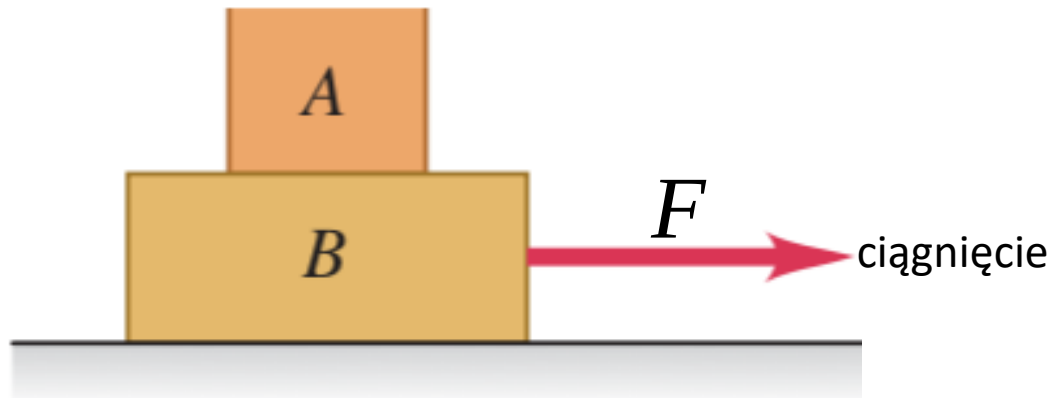
Tarcie - przykładowy problem

Książka o masie $m = 2 \text{ kg}$ jest dociskana do ściany za pomocą siły F skierowanej pod kątem $\theta = 45^\circ$ względem pionu. Współczynnik tarcia statycznego pomiędzy książką i ścianą wynosi $\mu_s = 0.4$. Wyznacz minimalną siłę F potrzebną do utrzymania książki.



Tarcie - przykładowy problem

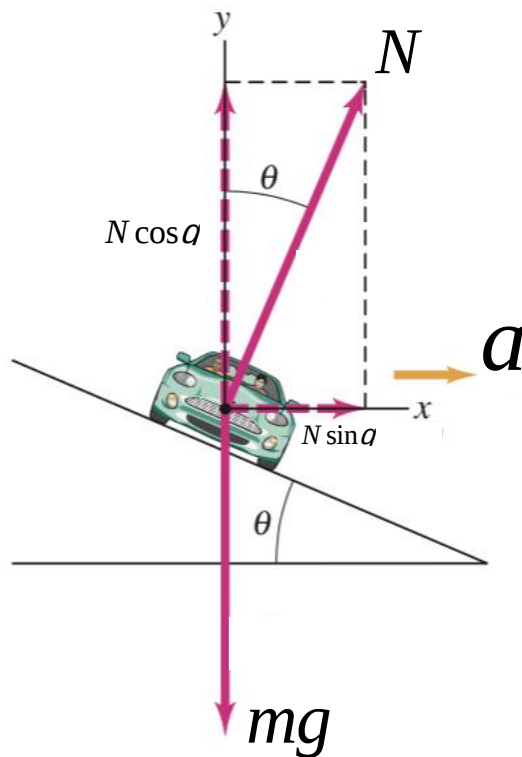
Na klocku o masie $m_B = 5 \text{ kg}$ położono klocek o masie $m_A = 4 \text{ kg}$. Aby wywołać ślizganie się górnego klocka na dolnym klocku należy na górny zadziałać siłą 12 N . Znaleźć maksymalną wartość siły F , jaką można przyłożyć do dolnego klocka, przy której klocki będą poruszać się razem. Zaniedbać tarcie między klockiem dolnym a podłożem.



Samochód na pochyłej drodze

- brak tarcia nie zawsze musi być problemem

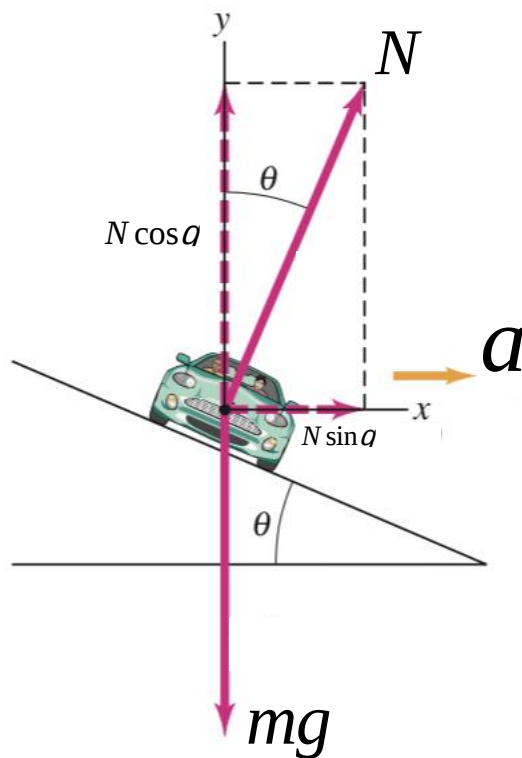
Założmy, że samochód wjeżdża z prędkością $v = 20$ m/s w zakręt pokryty grubym lodem, gdzie tarcie jest bardzo małe ($\mu_s = 0$, $\mu_k = 0$). Zakręt ma kształt łuku okręgu o promieniu $R = 50$ m. Pod jakim kątem należy przechylić drogę, aby samochód mógł wykonać zakręt ruchem poślizgowym z prędkością v ?



Samochód na pochyłej drodze

- brak tarcia nie zawsze musi być problemem

Założmy, że samochód wjeżdża z prędkością $v = 20$ m/s w zakręt pokryty grubym lodem, gdzie tarcie jest bardzo małe ($\mu_s = 0$, $\mu_k = 0$). Zakręt ma kształt łuku okręgu o promieniu $R = 50$ m. Pod jakim kątem należy przechylić drogę, aby samochód mógł wykonać zakręt ruchem poślizgowym z prędkością v ?



$$T_s \approx 0$$

$$\begin{cases} N \sin \theta = ma = m \frac{v^2}{R} \\ N \cos \theta = mg \end{cases}$$

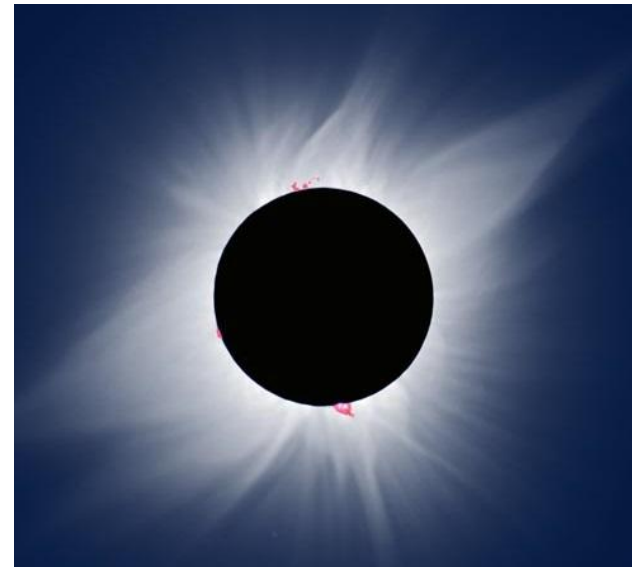
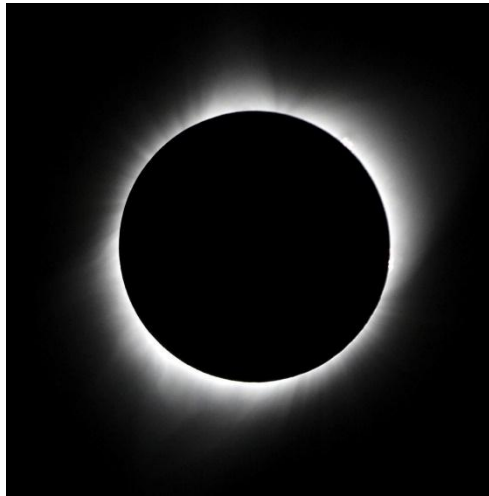
$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{v^2}{gR} \Rightarrow \tan \theta = \frac{v^2}{gR}$$

$$\theta = \arctan \left(\frac{v^2}{gR} \right) \approx 39^\circ$$

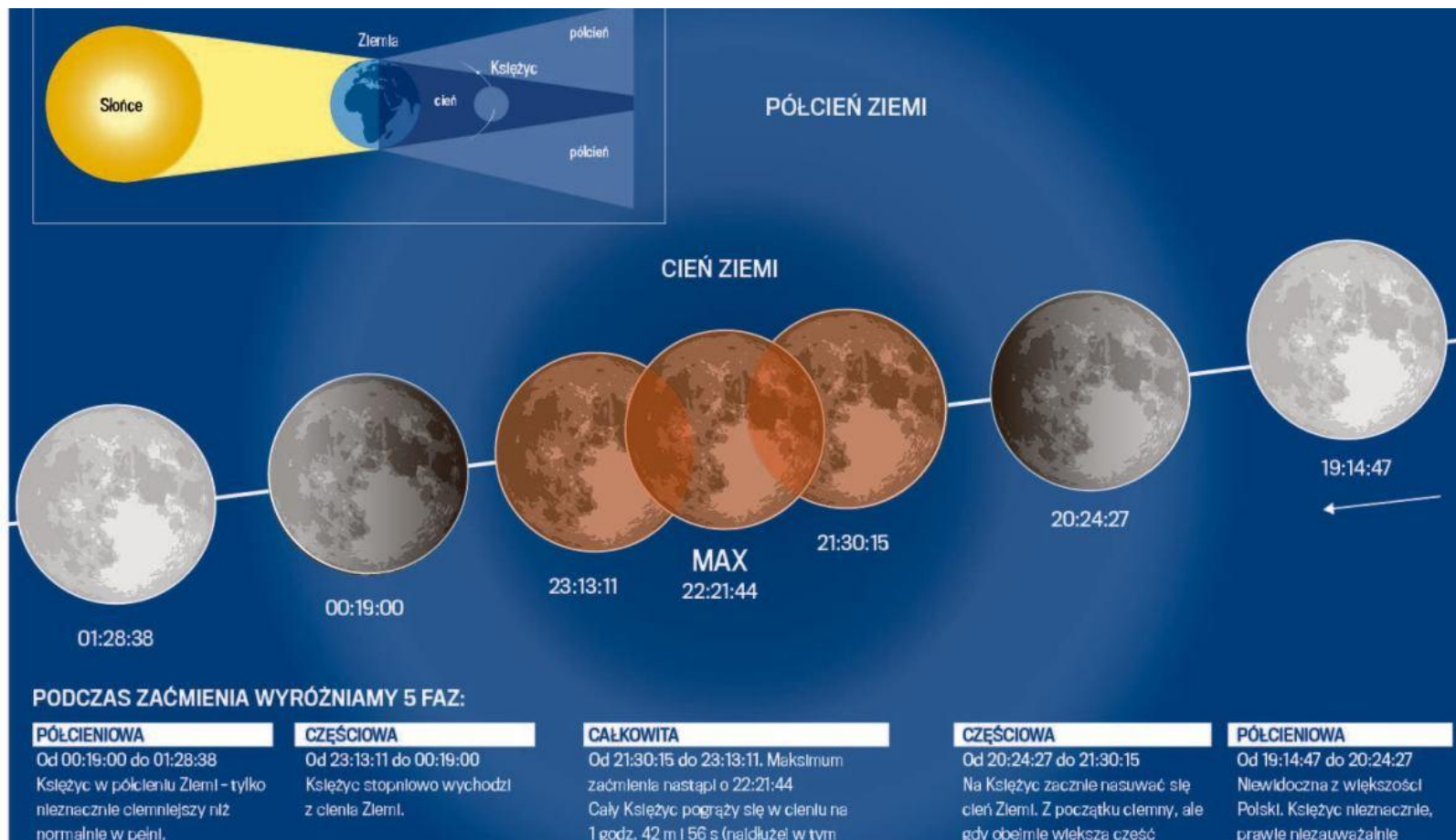
Ćwiczenia ZPE

- Ciężar na powierzchni różnych planet
- O czym mówi współczynnik sprężystości i jaka jest jego jednostka?
- Badanie zależności siły tarcia od siły nacisku
- Badanie zależności siły tarcia od wielkości powierzchni trących
- Tarcie w zadaniach

zaćmienia



Jak przebiega zaćmienie Księżyca?



Zaćmienie 28 września 2015



To samo zaćmienie...

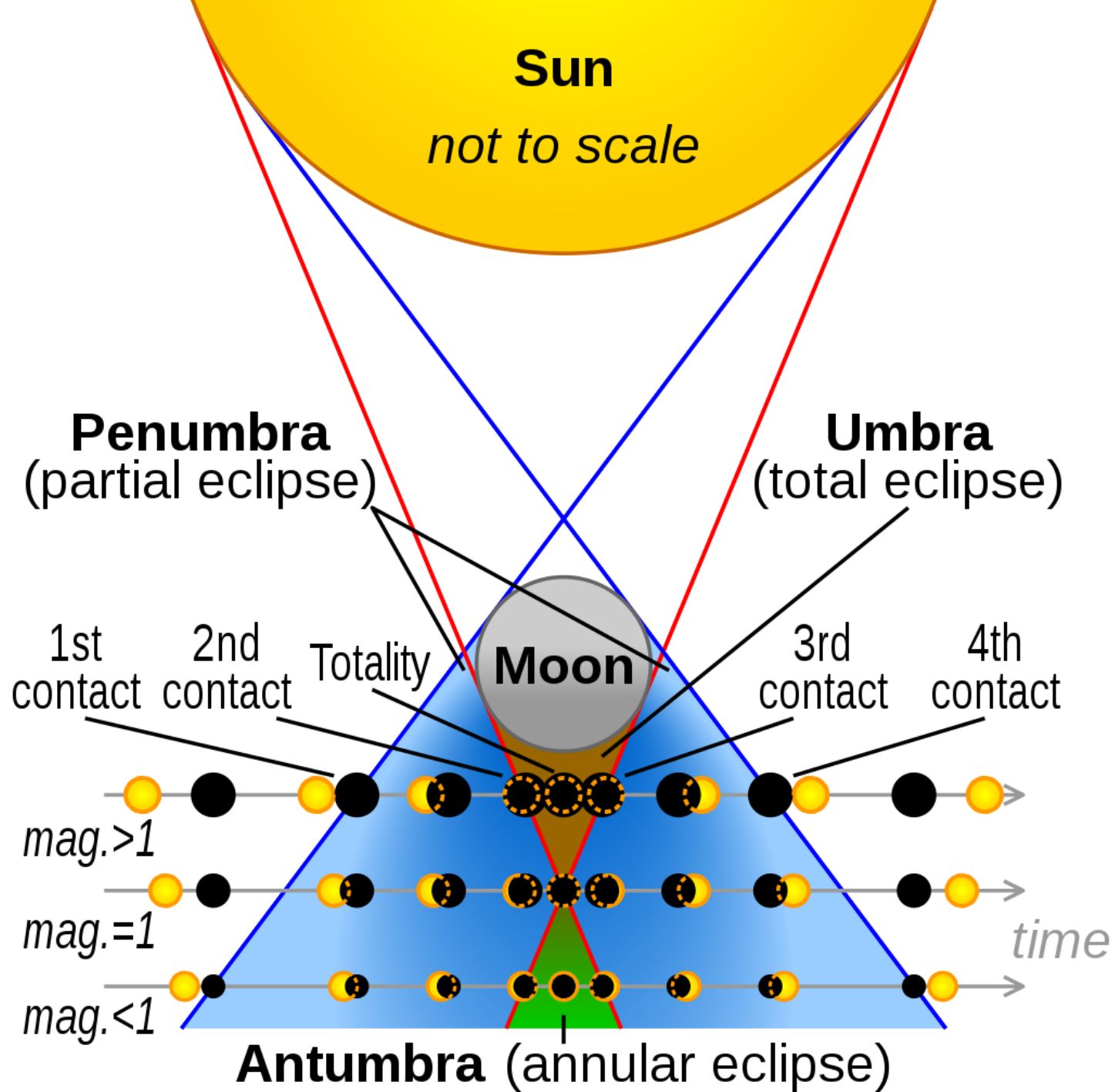
27 września 2015 w USA

ławie zabarwienie zaćmionej części, aż w końcu (o godzinie 4:11) nasz naturalny satelita całkowicie pogrążył się w cieniu Ziemi.

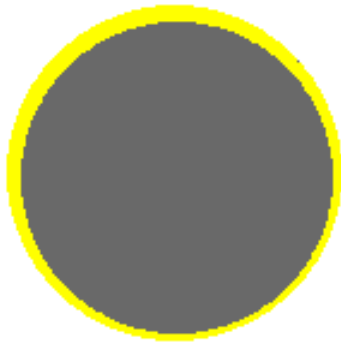


Najbliższe pełne zaćmienie
całkowite Księżycy w Polsce:
20 grudnia 2029

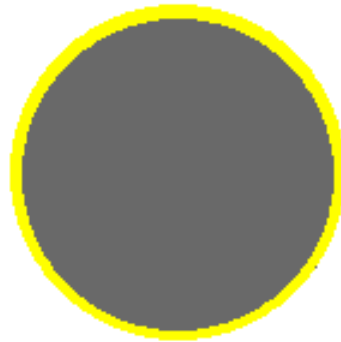
Jak przebiega zaćmienie Słońca?



Najbliższe zaćmienia całkowite Słońca w Polsce



2075 - 07 - 13

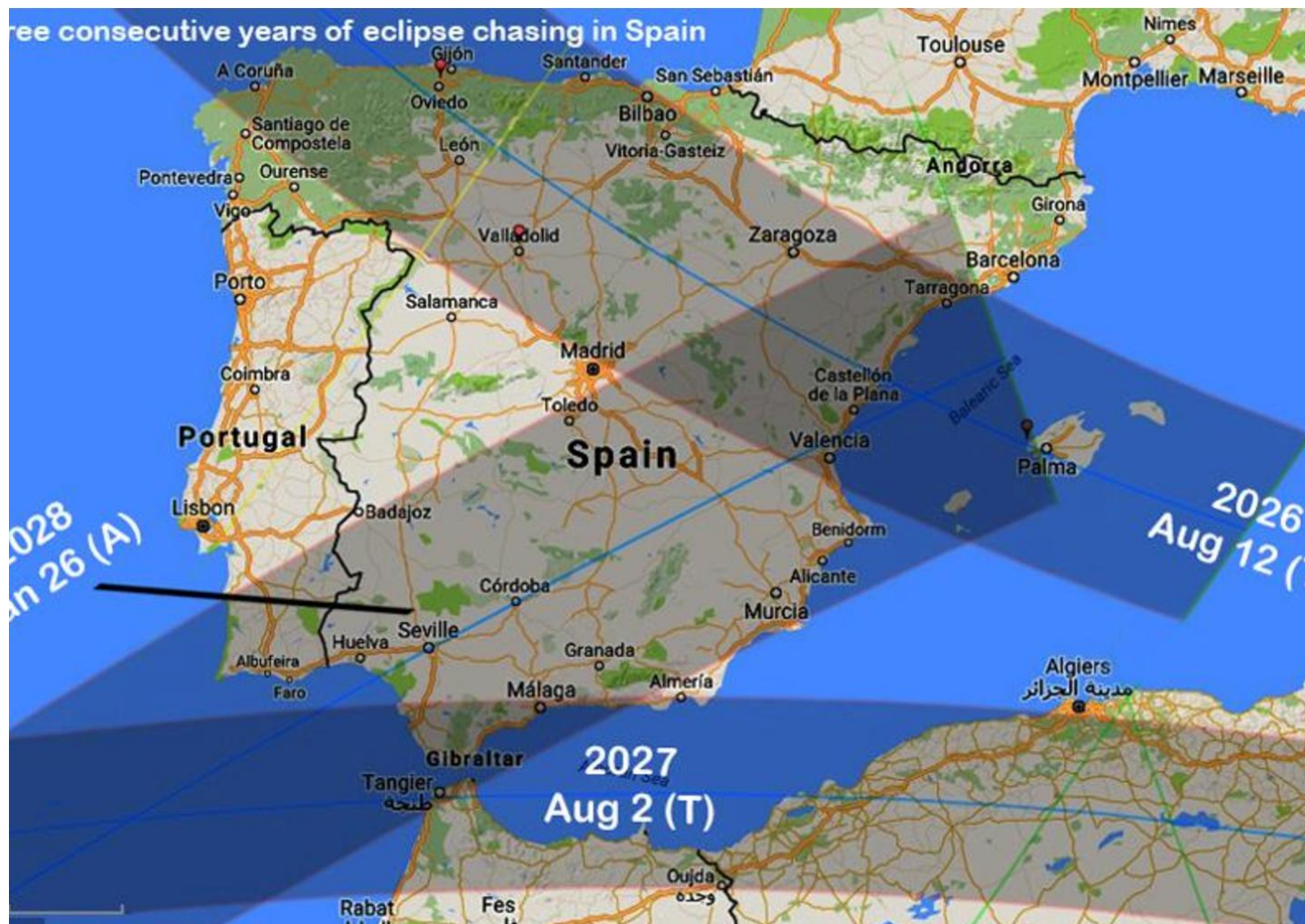


2093 - 07 - 23



2135 - 10 - 07

Najbliższe zaćmienia w Europie



Jak to może wyglądać?

