

Sile i Newtonovi zakoni gibanja

**FIZIKA
PSS-GRAD
21. listopada 2025.**



WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

4.1 *Koncept sile i mase*

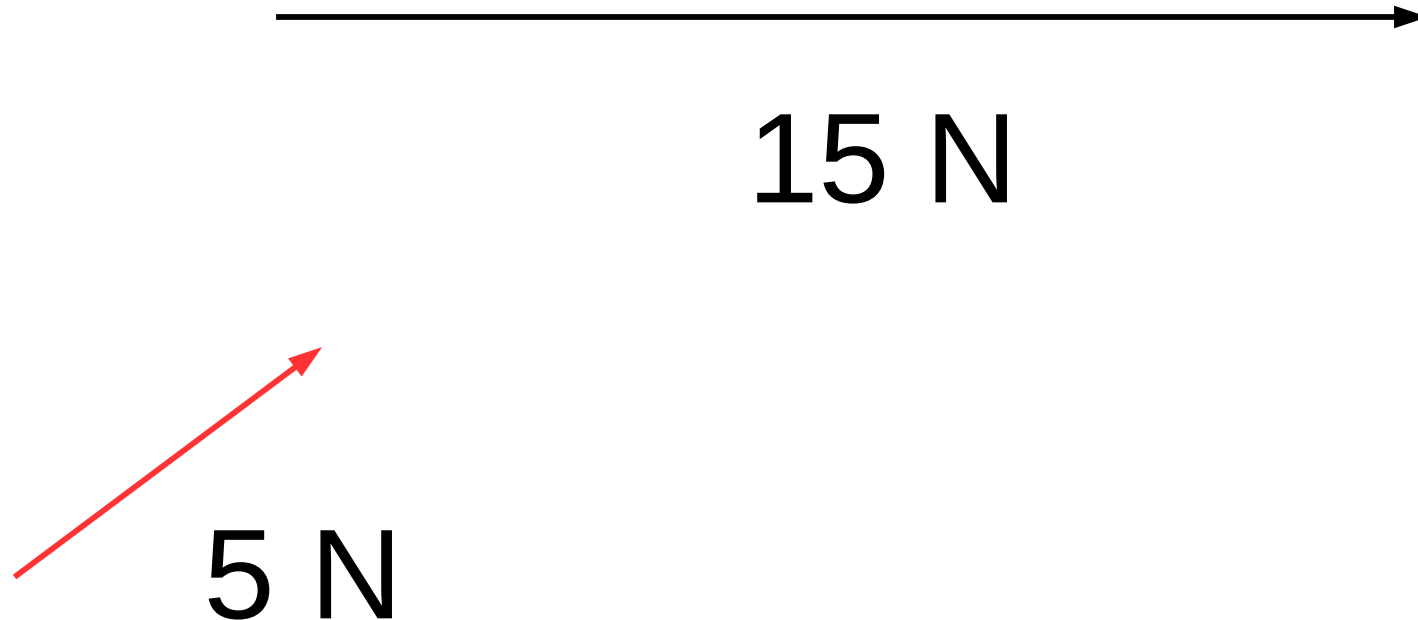
U uobičajenom smislu, ***sila*** je guranje ili vučenje.
U općenitijem smislu, *sila* je uzok **PROMJENE** gibanja.

Kontaktne sile proizlaze
iz fizičkog kontakta.

Sile djelovanja-na-daljinu ne
zahtijevaju kontakt. Takve su
gravitacijska i električna sila.

4.1 *Koncept sile i mase*

Sile prikazujemo strelicama. Duljina strelice razmjerna je iznosu sile.



4.1 *Koncept sile i mase*

U uobičajenom smislu, **masa** je mjera količine “materijala” koju objekt sadrži.

U općenitijem smislu, masa je mjera TROMOSTI tijela.

Tromost ili inercija je svojstvo pokretljivosti (određuje koliko je lako ili teško neko tijelo pokrenuti ili zaustaviti).

Prvi Newtonov zakon

Tijelo miruje ili se jednoliko giba po pravcu sve dok je rezultantna sila na njega jednaka nuli.

definicija inercijskog sustava

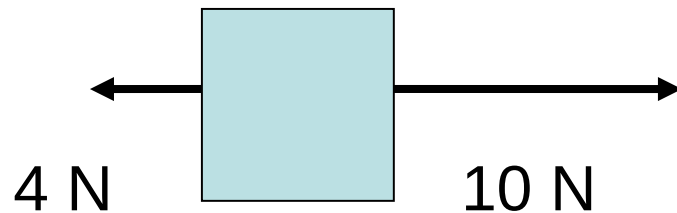
Rezultantna sila je vektorski zbroj svih sila koje djeluju na tijelo.

4.2 Prvi Newtonov zakon

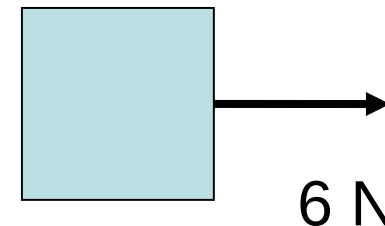
Rezultantna sila je vektorski zbroj svih sila koje djeluju na tijelo.

Naziv jedinice SI za silu je **njutn**, a oznaka N.

pojedinačne sile

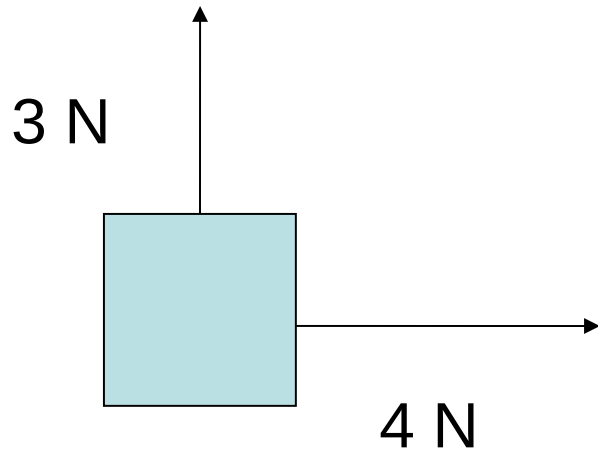


rezultantna sila

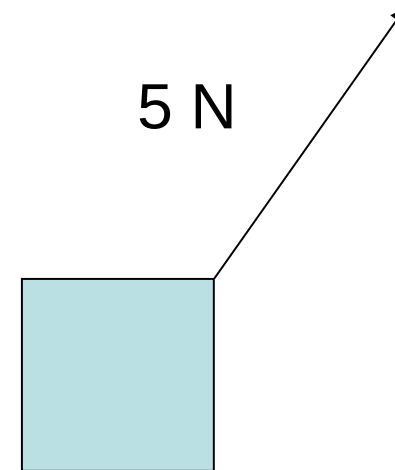


4.2 Prvi Newtonov zakon

pojedinačne sile



rezultantna sila



Tromost je prirodna težnja objekta da ostane mirovati ili se gibati stalnom brzinom po pravcu.

Masa objekta je mjera tromosti.

Naziv jedinice SI za masu je kilogram, a oznaka kg.

4.2 *Prvi Newtonov zakon*

Inercijski sustav je sustav u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon.

Svi ubrzani sustavi su neinercijski.

4.3 *Drugi Newtonov zakon*

Matematički, rezultantnu silu zapisujemo kao

$$\sum_i \vec{F}_i$$

gdje grčko slovo sigma označuje (vektorski) zbroj.

Drugi Newtonov zakon

Vanjska rezultantna sila koja djeluje na tijelo mase m , uzrokuje akceleraciju koja je razmjerna vanjskoj sili i čiji je iznos obrnuto razmjeran masi. Smjer akceleracije isti je kao i smjer sile.

$$\vec{a} = \frac{\sum_i \vec{F}_i}{m}$$

definicija sile

Jedinica SI za silu

$$\text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Tu kombinaciju jedinica nazivamo *njutn* (N).

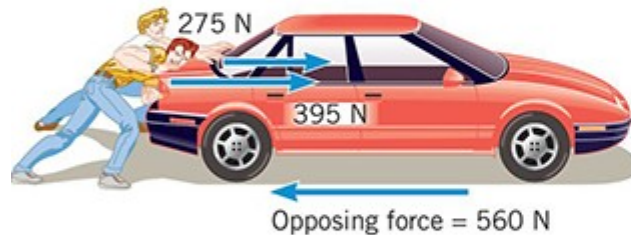
4.3 *Drugi Newtonov zakon*

Table 4.1 Units for Mass, Acceleration, and Force

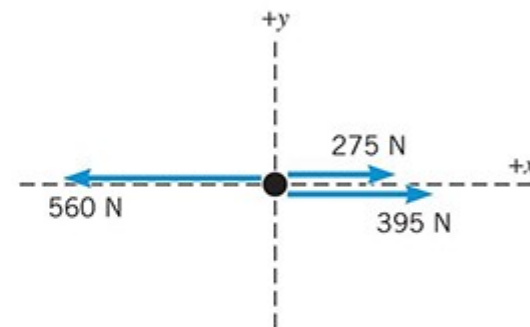
System	Mass	Acceleration	Force
SI	kilogram (kg)	meter/second ² (m/s ²)	newton (N)
CGS	gram (g)	centimeter/second ² (cm/s ²)	dyne (dyn)
BE	slug (sl)	foot/second ² (ft/s ²)	pound (lb)

4.3 *Drugi Newtonov zakon*

Dijagram slobodnog tijela je dijagram koji prikazuje tijelo i sile koje na njega djeluju.

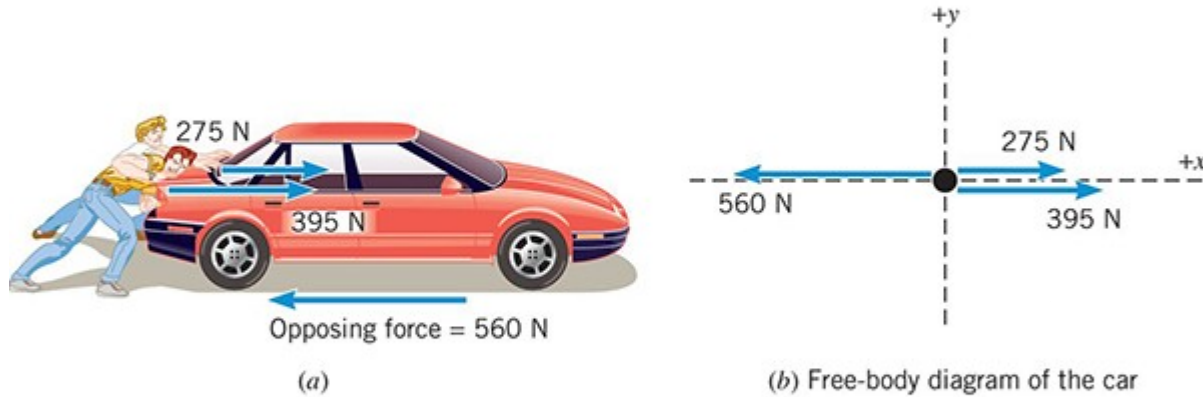


(a)



(b) Free-body diagram of the car

4.3 Drugi Newtonov zakon



U ovom je slučaju rezultantna sila:

$$275 \text{ N} + 395 \text{ N} - 560 \text{ N} = +110 \text{ N}$$

a usmjerena je duž pozitivne osi x .

4.3 *Drugi Newtonov zakon*

Ako je masa automobila 1850 kg onda je, prema drugom Newtonovom zakonu, akceleracija

$$a = \frac{\sum F}{m} = \frac{+110 \text{ N}}{1850 \text{ kg}} = +0.059 \text{ m/s}^2$$

4.4 Vektorska priroda drugog Newtonovog zakona

Smjer vektora sile i akceleracije može se odrediti iz x -komponente i y -komponente.

$$\sum_i \vec{F}_i = m \vec{a}$$

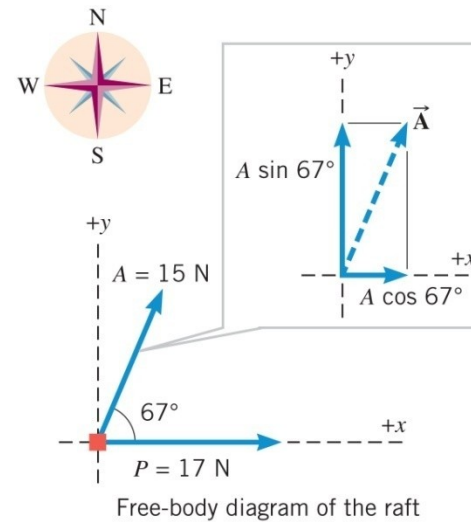
što je ekvivalentno izrazima

$$\sum_i F_{ix} = m a_x \quad \sum_i F_{iy} = m a_y$$

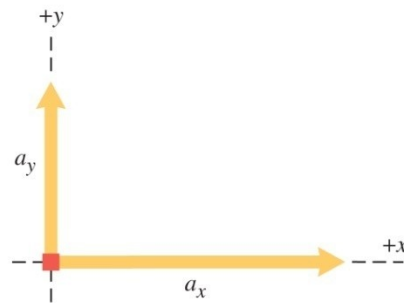
4.4 Vektorska priroda drugog Newtonovog zakona



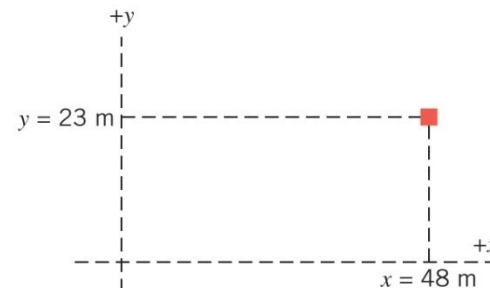
(a)



(b)



(c)



(d)

4.4 Vektorska priroda drugog Newtonovog zakona

Rezultantna sila na splav može se izračunati ovako:

silasila	x-komponenta	y-komponenta
P	+17 N	0 N
A	$+(15 \text{ N}) \cos(67)$	$+(15 \text{ N}) \sin(67)$
	+23 N	+14 N

4.4 Vektorska priroda drugog Newtonovog zakona

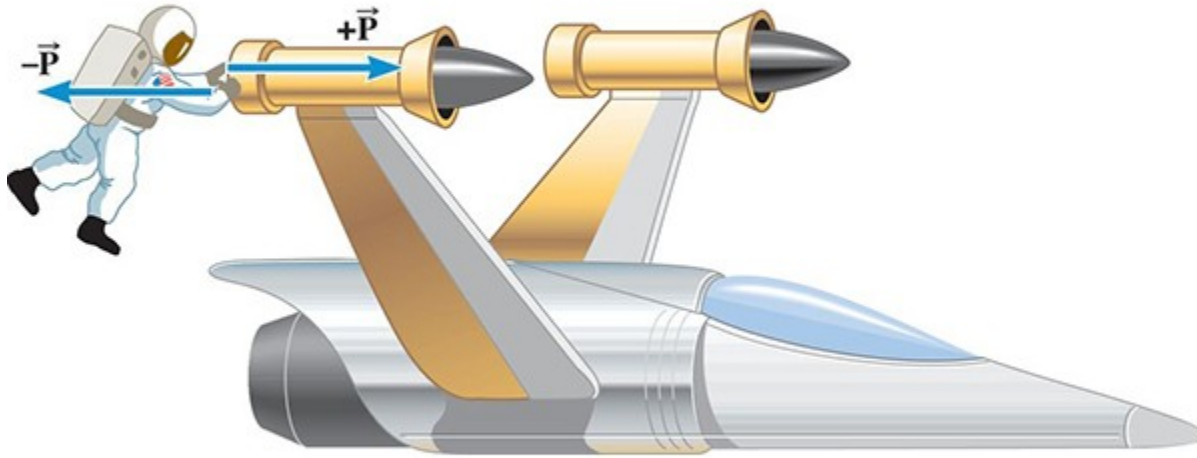
$$a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{+23 \text{ N}}{1300 \text{ kg}} = +0.018 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\sum F_y}{m} = \frac{+14 \text{ N}}{1300 \text{ kg}} = +0.011 \text{ m/s}^2$$

Treći Newtonov zakon

Kad jedno tijelo djeluje silom na drugo tijelo, onda i to drugo tijelo djeluje silom na prvo tijelo. Sile su istog iznosa i smjera, a suprotne orijentacije.

4.5 Treći Newtonov zakon



Neka je iznos sile 36 N, masa letjelice 11000 kg, a masa astronauta 92 kg. Odredite akceleracije.

4.5 *Treći Newtonov zakon*

$$\mathbf{a}_s = \frac{\mathbf{P}}{m_s} = \frac{+ 36 \text{ N}}{11,000 \text{ kg}} = +0.0033 \text{ m/s}^2$$

$$\mathbf{a}_A = \frac{- \mathbf{P}}{m_A} = \frac{- 36 \text{ N}}{92 \text{ kg}} = - 0.39 \text{ m/s}^2$$

4.6 Vrste sila: pregled

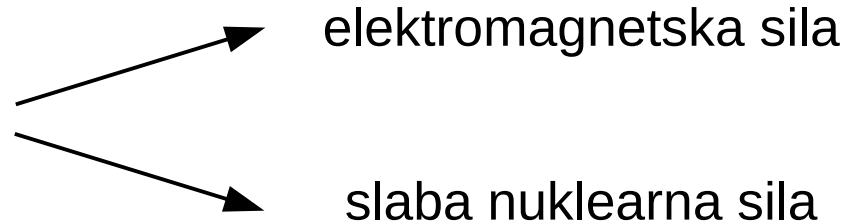
Dvije su vrste sila u prirodi: temeljne i netemeljne.

Temeljne sile:

1. gravitacijska sila

2. jaka nuklearna sila

3. elektroslaba sila



Primjeri netemeljnih sila:

trenje

napetost konopca

normalna ili potporna sila

Newtonov opći zakon gravitacije

Svaka čestica u svemiru djeluje privlačnom silom na svaku drugu česticu.

Čestica je djelić materije koji je dovoljno malen da ga možemo tretirati kao matematičku točku.

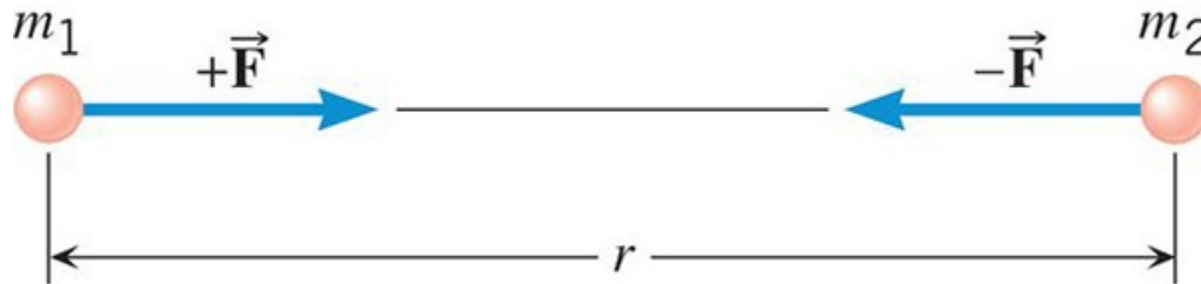
Vektori sila para čestica leže na spojnici tog para čestica.

4.7 Gravitacijska sila

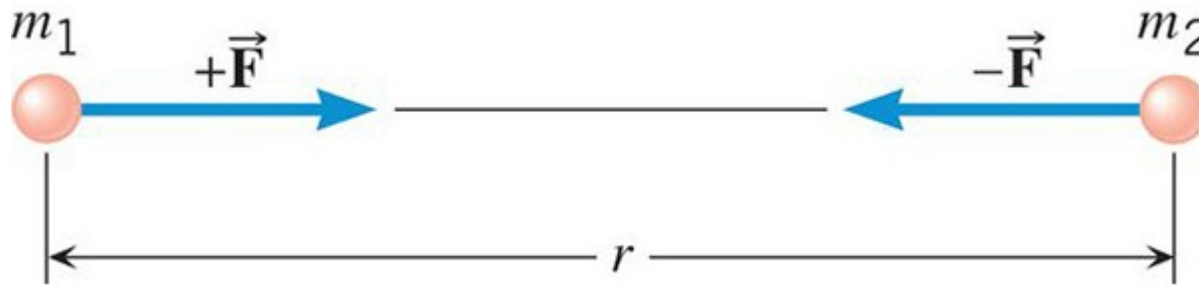
Za dvije čestice masa m_1 i m_2 koje su udaljene r , sila ima iznos

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$



4.7 Gravitacijska sila

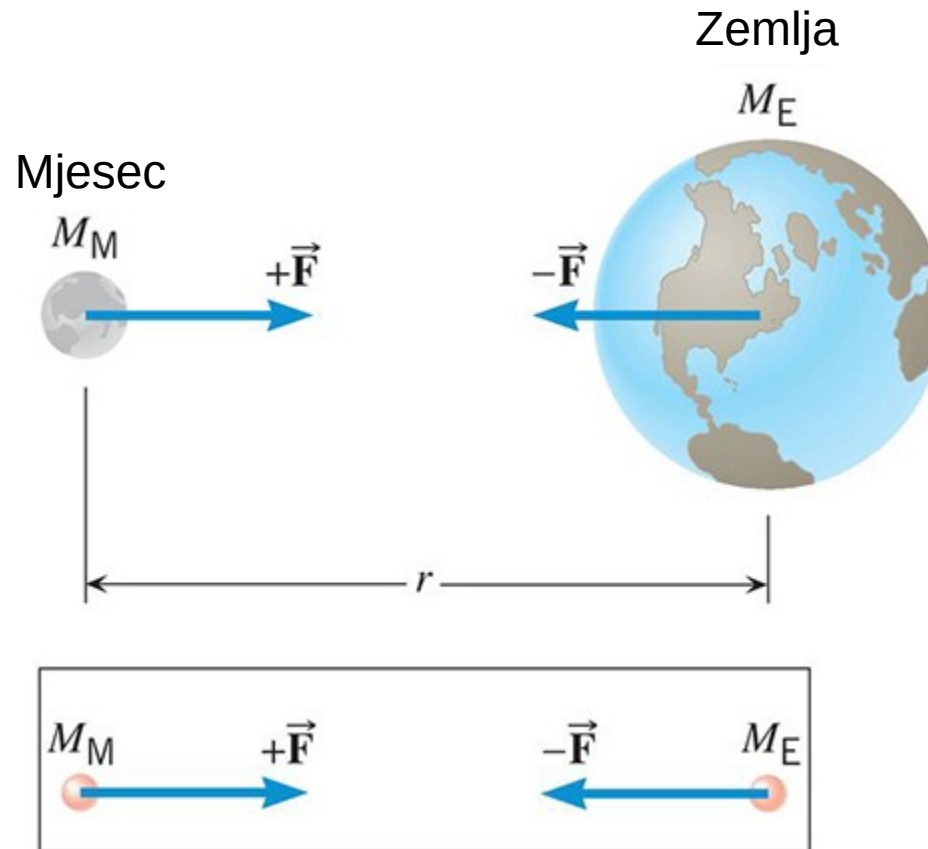


$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \frac{12 \text{ kg} \cdot 25 \text{ kg}}{(1,2 \text{ m})^2}$$

$$F = 1,4 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

4.7 Gravitacijska sila



Definicija težine

Težina objekta blizu površine Zemlje je gravitacijska sila* kojom Zemlja privlači taj objekt. Vektor sile usmjeren je prema središtu Zemlje.

Blizu površine drugog astronomskog tijela, težina objekta je gravitacijska sila* kojom astronomsko tijelo privlači taj objekt.

VAŽNO: Gravitacijska sila je glavni, ali ne i jedini doprinos težini. Prema međunarodnom standardu ISO 80000-4(2006), drugi je doprinos lokalna cenrifugalna sila. Uzgon ne ulazi u definiciju težine.

Jedinica SI za težinu: njutn (N)

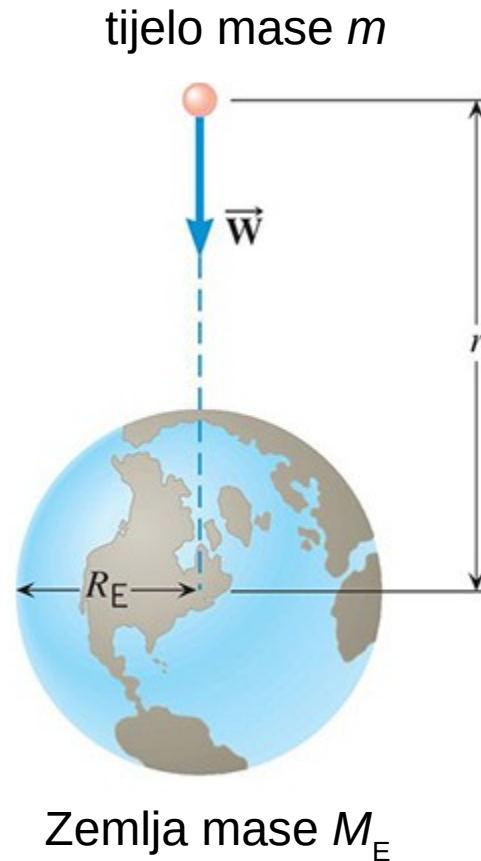
4.7 Gravitacijska sila

Odnos između mase i težine

$$W = G \frac{M_E m}{r^2}$$

$$W = mg$$

$$g = G \frac{M_E}{r^2}$$



Na površini Zemlje:

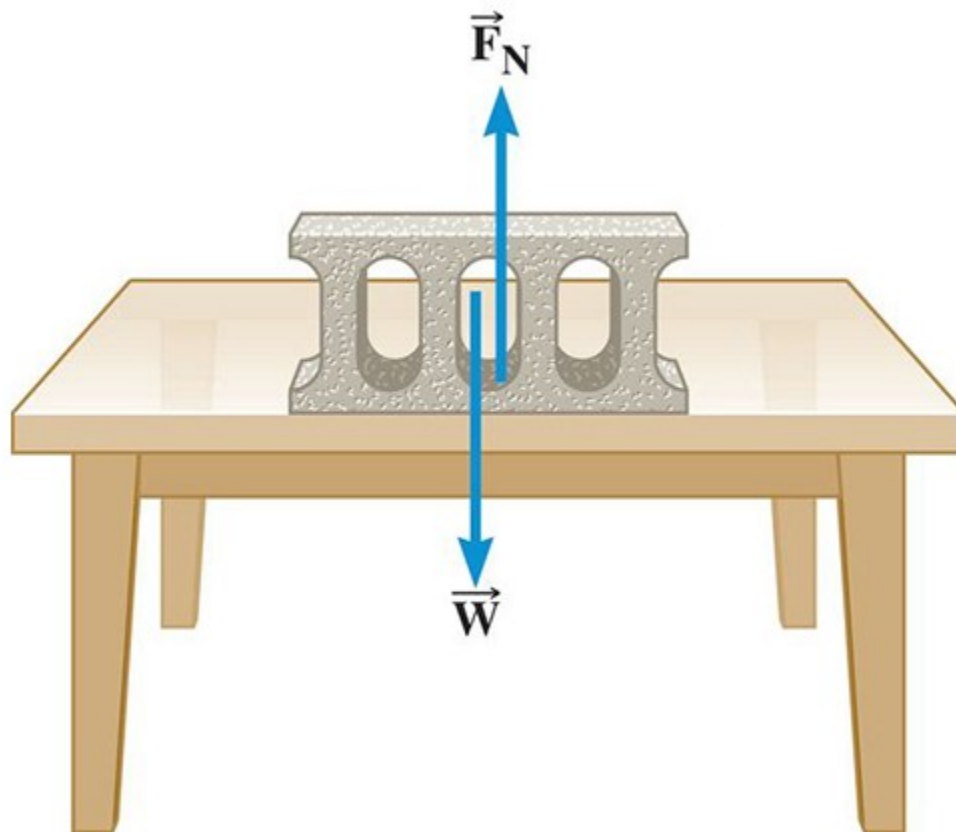
$$g = G \frac{M_E}{R_E^2}$$

$$g = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2} \frac{5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}}{(6,38 \cdot 10^6 \text{ m})^2}$$

$$g = 9,80 \text{ m/s}^2$$

Definicija normalne sile

Normalna sila je jedna komponenta sile kojom dodirna ploha djeluje na tijelo. Konkretno, to je komponenta **okomita** na plohu.



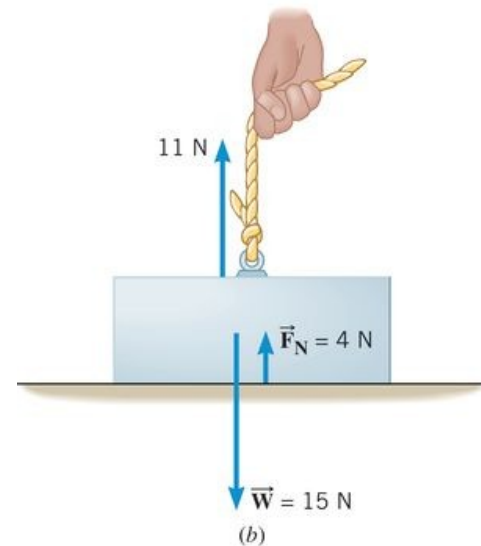
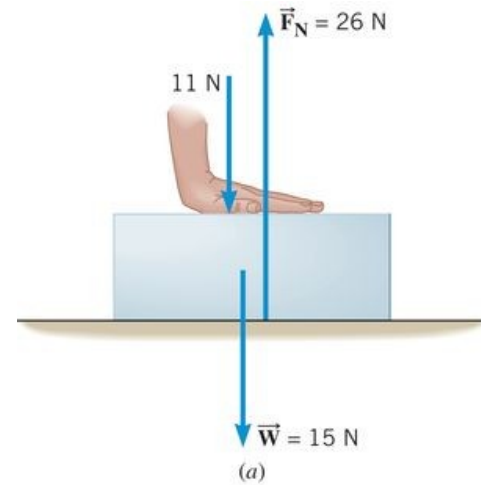
4.8 Normalna sila

$$F_N - 11\text{ N} - 15\text{ N} = 0$$

$$F_N = 26\text{ N}$$

$$F_N + 11\text{ N} - 15\text{ N} = 0$$

$$F_N = 4\text{ N}$$

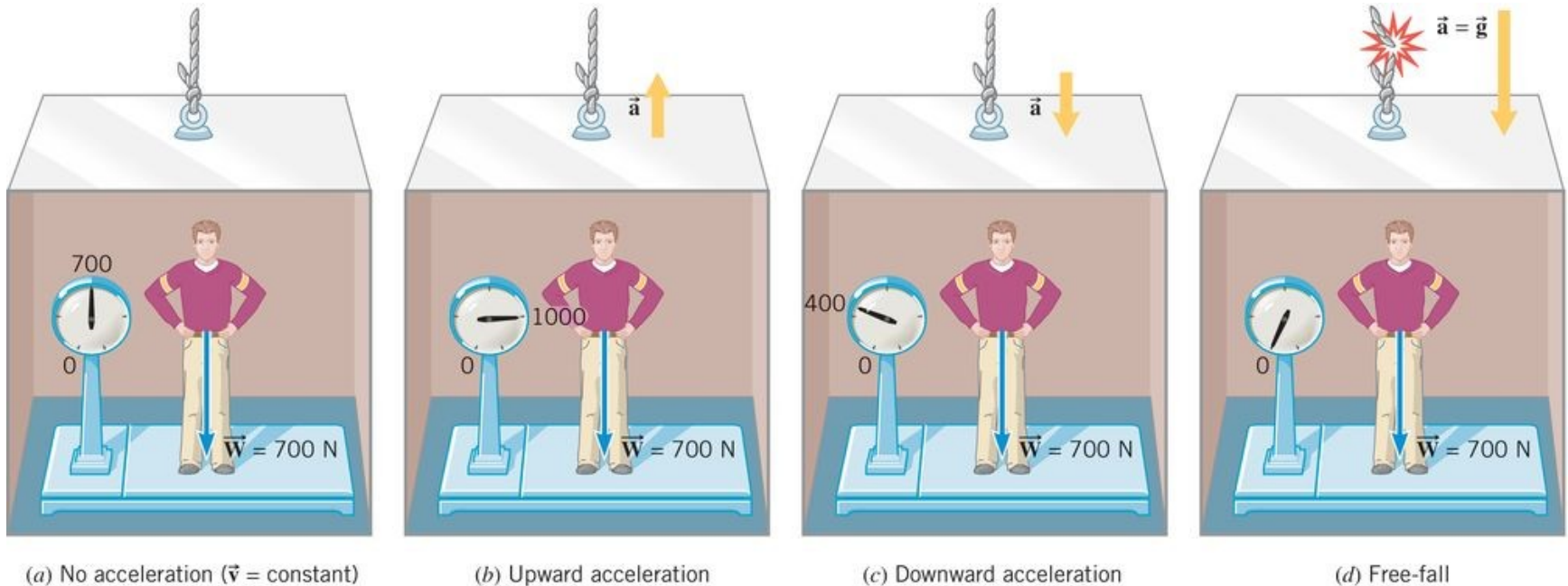


4.8 Normalna sila

Prividna težina

Prividna težina nekog tijela je iznos koji pokazuje vaga*.

Odgovara normalnoj sili čovjeka na vagi.

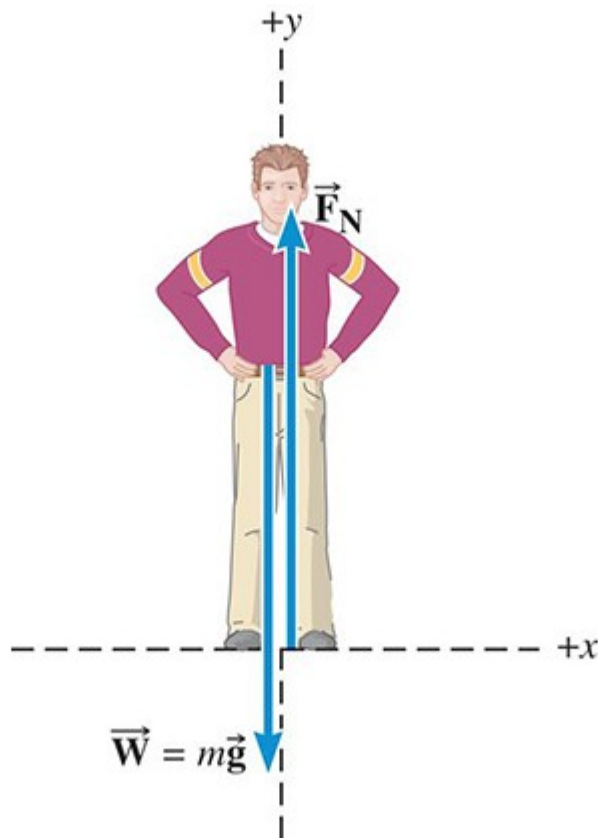


*Za tijelo, u blizini površine Zemlje, koje ne ubrzava *prividna težina* odgovara pravoj težini.

WILEY

Copyright © 2015 John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

4.8 Normalna sila



$$\sum F_y = +F_N - mg = ma$$

$$F_N = mg + ma$$

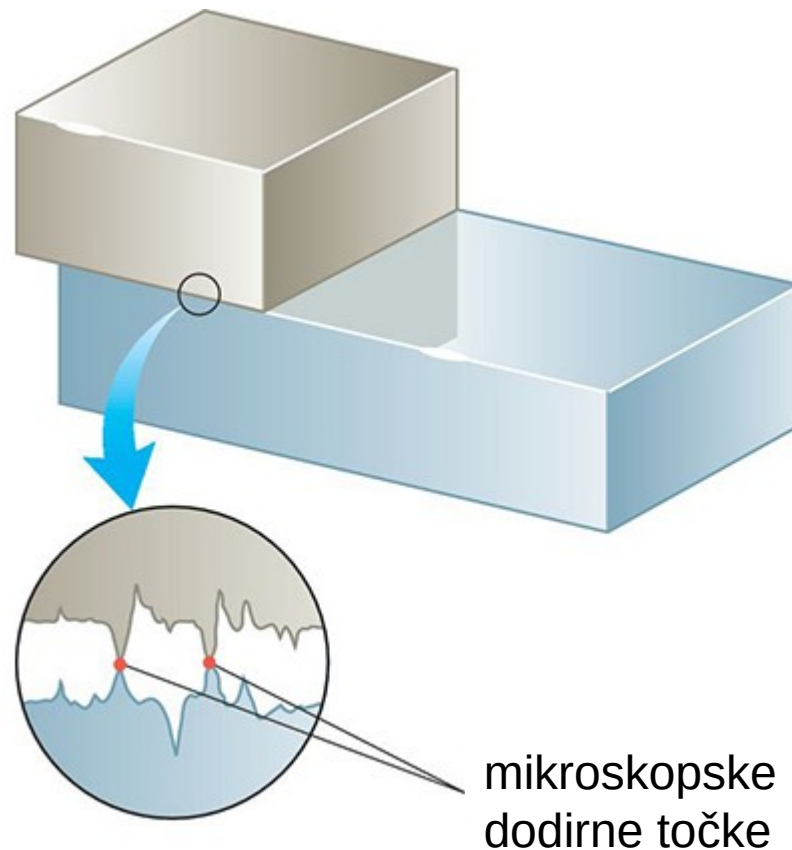
↑
prividna
težina

↑
prava
težina

WILEY

4.9 Statičke i kinetičke sile trenja

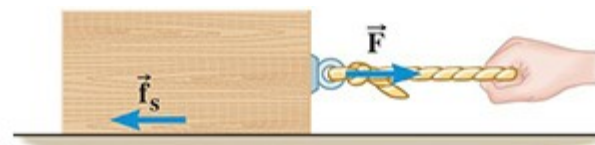
Na tijelo u dodiru s plohom djeluje sila. Komponentu te sile koja je usporedna s plohom nazivamo ***silom trenja***.



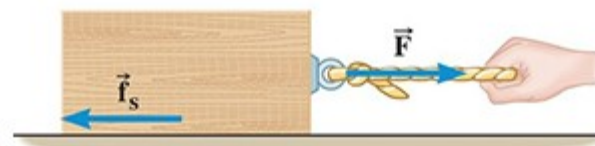
WILEY

4.9 Statičke i kinetičke sile trenja

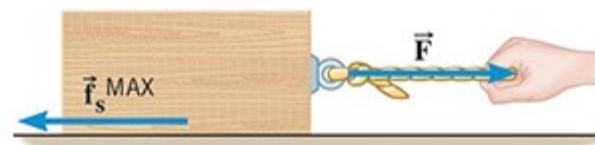
Kad dvije plohe **ne** klize jedna po drugoj trenje nazivamo **statičkim trenjem**.



(a) nema gibanja



(b) nema gibanja



(c) počinje gibanje

4.9 *Statičke i kinetičke sile trenja*

Iznos statičkog trenja može biti od nula do maksimalne vrijednosti.

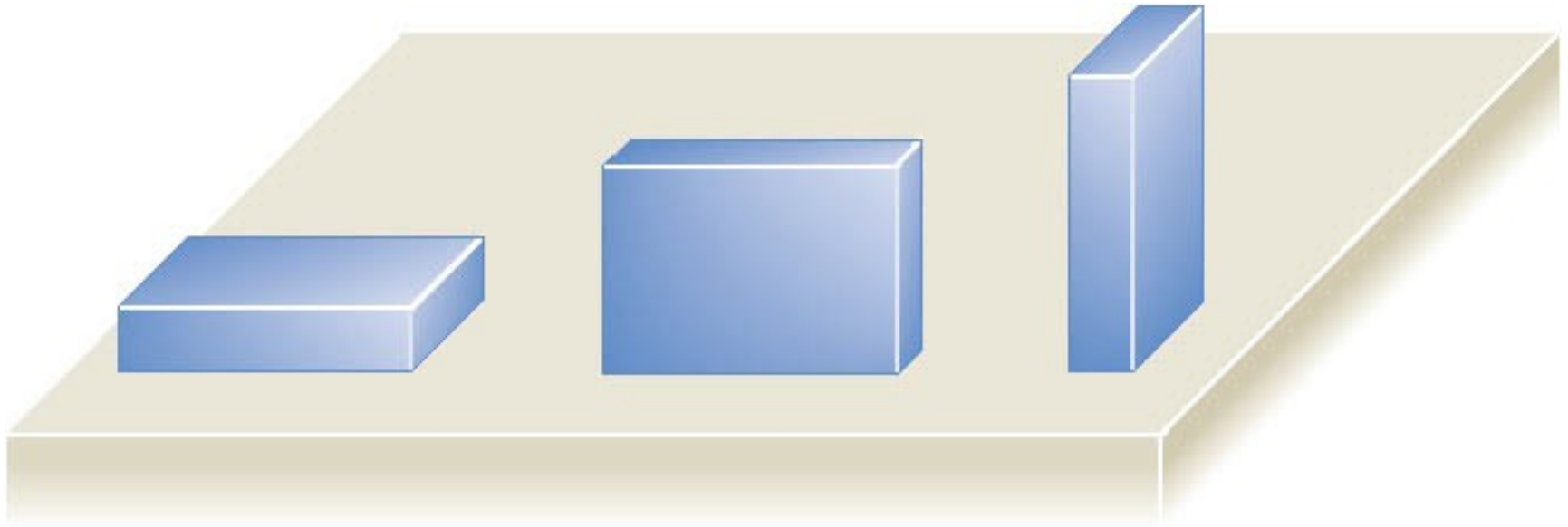
$$f_s \leq f_s^{MAX}$$

$$f_s^{MAX} = \mu_s F_N$$

$$0 \leq \mu_s \quad \text{faktor statičkog trenja}$$

4.9 *Statičke i kinetičke sile trenja*

Iznos sile trenja ne ovisi o površini dodirne plohe.



4.9 Statičke i kinetičke sile trenja

Orijentacija statičke sile trenja suprotna je orijentaciji *predstojećeg* gibanja.

Orijentacija kinetičke sile trenja suprotna je orijentaciji *stvarnog* gibanja.

$$f_k = \mu_k F_N$$

$$0 \leq \mu_k \quad \text{faktor kinetičkog trenja}$$

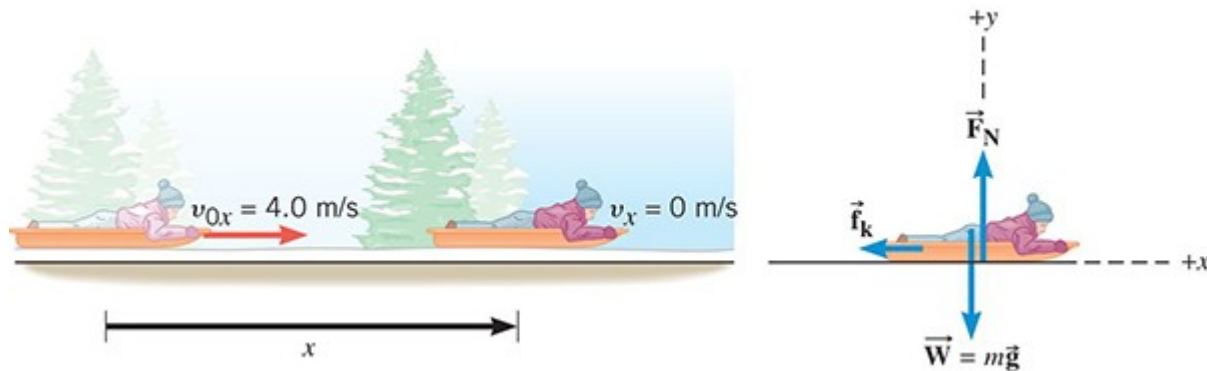
4.9 *Statičke i kinetičke sile trenja*

Table 4.2 Approximate Values of the Coefficients of Friction for Various Surfaces^a

Materials	Coefficient of Static Friction, μ_s	Coefficient of Kinetic Friction, μ_k
Glass on glass (dry)	0.94	0.4
Ice on ice (clean, 0 °C)	0.1	0.02
Rubber on dry concrete	1.0	0.8
Rubber on wet concrete	0.7	0.5
Steel on ice	0.1	0.05
Steel on steel (dry hard steel)	0.78	0.42
Teflon on Teflon	0.04	0.04
Wood on wood	0.35	0.3

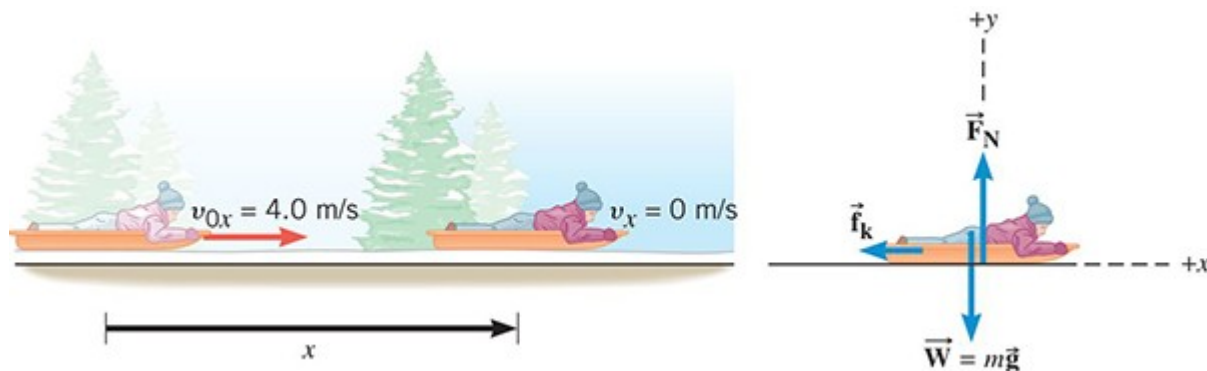
^aThe last column gives the coefficients of kinetic friction, a concept that will be discussed shortly.

4.9 Statičke i kinetičke sile trenja



Sanjke se zaustavljaju zato što se kinetička sila trenja suprotstavlja gibanju i izrokuje usporavanje.

4.9 Statičke i kinetičke sile trenja



Neka je faktor kinetičkog trenja 0,05 a ukupna masa 40kg.
Kolika je kinetička sila trenja?

$$f_k = \mu_k F_N = \mu_k mg = 0,05 \cdot 40 \text{ kg} \cdot 9,80 \text{ m s}^{-2}$$

$$f_k = 20 \text{ N}$$

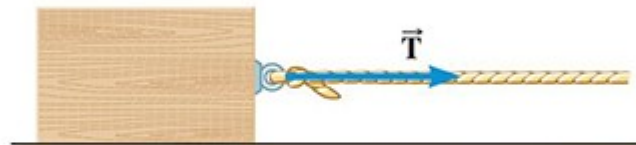
WILEY

4.9 Statičke i kinetičke sile trenja

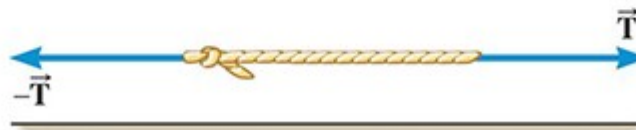
Kablovi i užad silu prenose ***napetošću***.



(a)

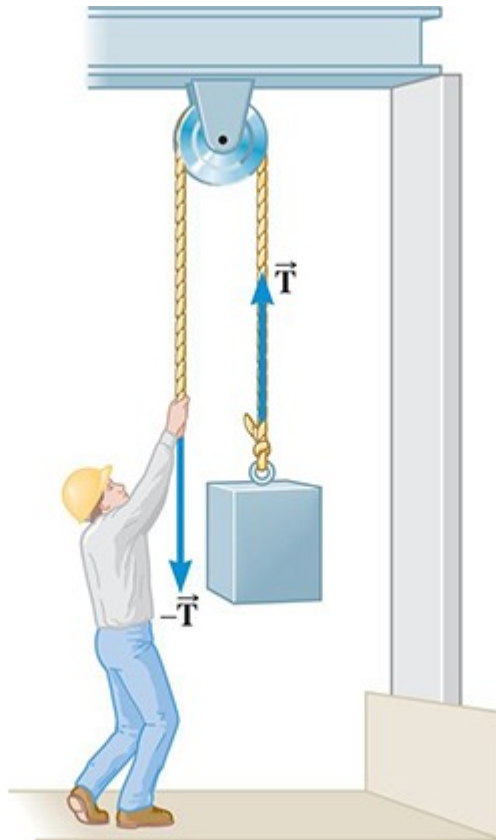


(b)



(c)

4.10 Sila napetosti



Bezmaseno uže prenosi istu napetost s jednog na drugi kraj.

Ako je uže prebačeno preko bezmasene koloture, koja se može okretati bez trenja, tada se ista napetost prenosi s jednog na drugi kraj.

Definicija ravnoteže

Tijelo* je u ravnoteži kad mu je akceleracija nula.

$$\sum F_x = 0$$

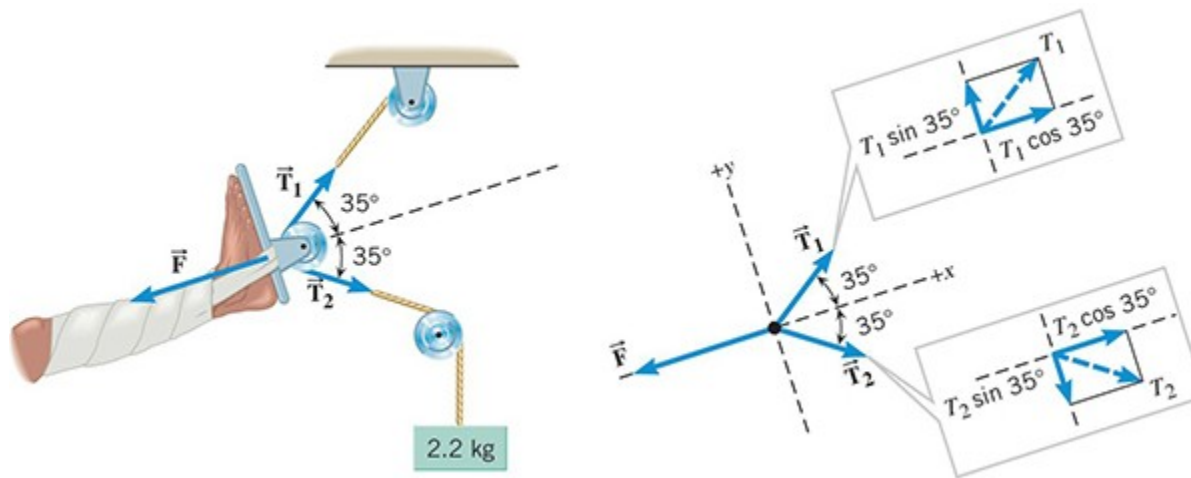
$$\sum F_y = 0$$

*Zasad pretpostavljamo samo točkasto tijelo. Kasnije ćemo za kruta tijela konačnih dimenzija (koja mogu i rotirati) definiciju ravnoteže proširiti.

Strategija za rješavanje statičkih problema

- Odaberite tijela na koje ćete primijeniti jednačbe ravnoteže.
- Nacrtajte dijagram slobodnog tijela za svako odabrano tijelo. Uključite samo sile koje djeluju na tijelo, ne sile kojima tijelo djeluje na okolinu.
- Odaberite osi x i y za svako tijelo te rastavite sve sile iz dijagrama slobodnog tijela na komponente duž tih osi.
- Napišite i riješite jednačbe.

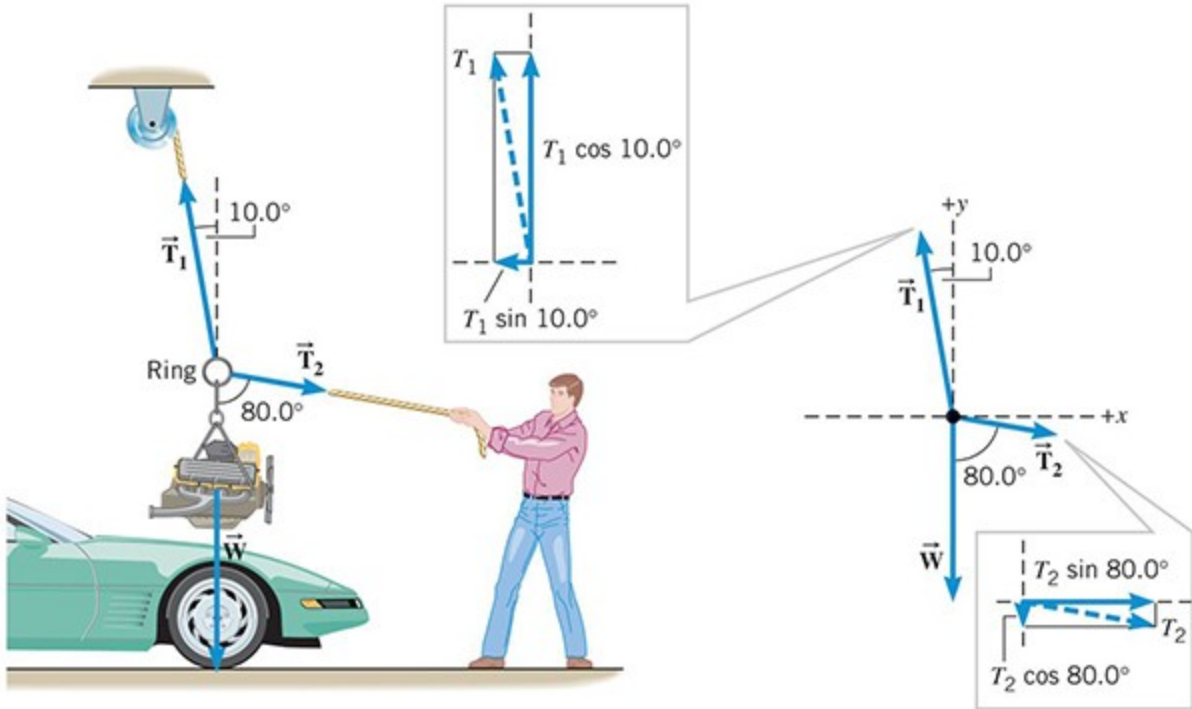
4.11 Primjena Newtonovih zakona u ravnoteži



$$+ T_1 \sin 35^\circ - T_2 \sin 35^\circ = 0$$

$$+ T_1 \cos 35^\circ + T_2 \cos 35^\circ - F = 0$$

4.11 Primjena Newtonovih zakona u ravnoteži



4.11 *Primjena Newtonovih zakona u ravnoteži*

<i>sila</i>	<i>x-komponenta</i>	<i>y-komponenta</i>
T_1	$- T_1 \sin 10.0^\circ$	$+ T_1 \cos 10.0^\circ$
T_2	$+ T_2 \sin 80.0^\circ$	$- T_2 \cos 80.0^\circ$
W	0	$- W$

$W = 3150 \text{ N}$

4.11 *Primjena Newtonovih zakona u ravnoteži*

$$\sum F_x = -T_1 \sin 10.0^\circ + T_2 \sin 80.0^\circ = 0$$

$$\sum F_y = +T_1 \cos 10.0^\circ - T_2 \cos 80.0^\circ - W = 0$$

Prva jednačba daje

$$T_1 = \left(\frac{\sin 80,0^\circ}{\sin 10,0^\circ} \right) T_2$$

Supstitucija u drugu jednačbu daje

$$\left(\frac{\sin 80,0^\circ}{\sin 10,0^\circ} \right) T_2 \cos 10,0^\circ - T_2 \cos 80,0^\circ - W = 0$$

WILEY

4.11 *Primjena Newtonovih zakona u ravnoteži*

$$T_2 = \frac{W}{\left(\frac{\sin 80,0^\circ}{\sin 10,0^\circ} \right) \cos 10,0^\circ - \cos 80,0^\circ}$$

$$T_2 = 582 \text{ N}$$

$$T_1 = 3,30 \cdot 10^3 \text{ N}$$

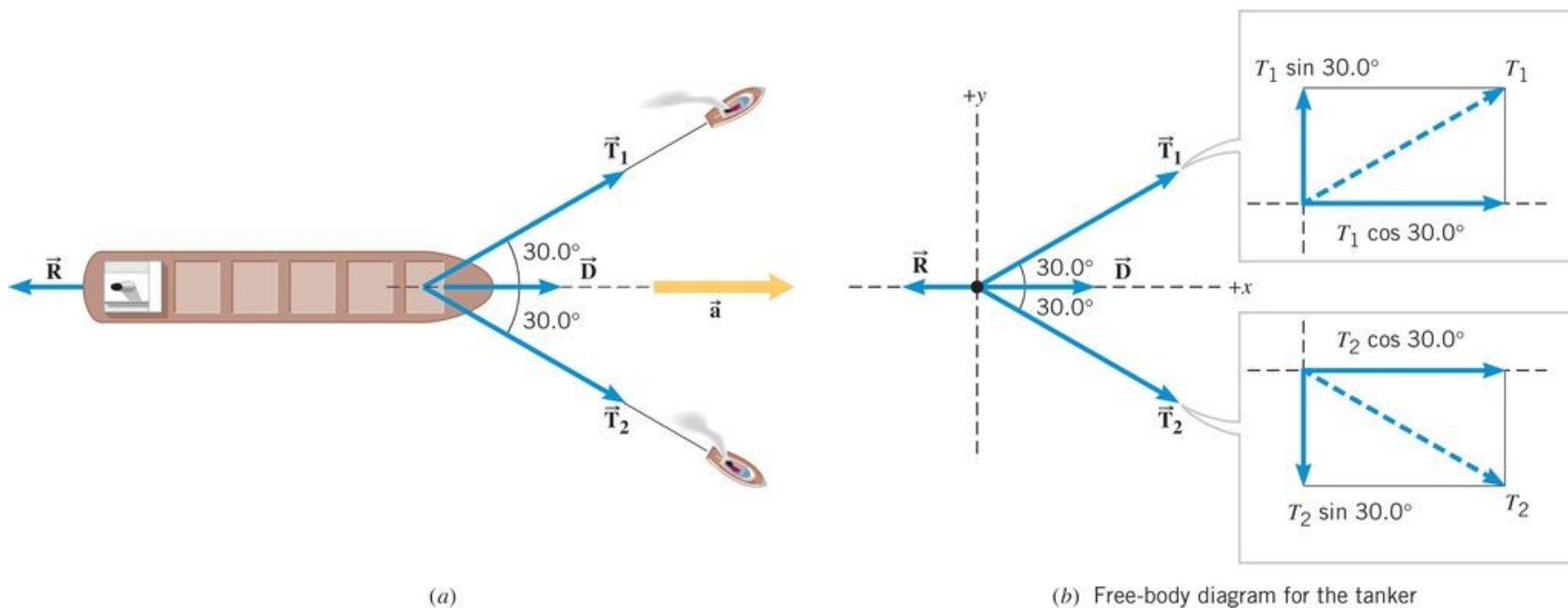
4.12 *Primjena Newtonovih zakona u neravnoteži*

Tijelo koje ubrzava nije u ravnoteži.

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

4.12 Primjena Newtonovih zakona u neravnoteži



Akceleracija je u smjeru osi x stoga je $a_y = 0$

4.12 *Primjena Newtonovih zakona u neravnoteži*

silasila	x-komponentax-komponenta	y-komponentay-komponenta
T₁	$+T_1 \cos 30,0^\circ$	$+T_1 \sin 30,0^\circ$
T₂	$+T_2 \cos 30,0^\circ$	$-T_2 \sin 30,0^\circ$
D	$+D$	0
R	$-R$	0

4.12 *Primjena Newtonovih zakona u neravnoteži*

$$\sum F_y = +T_1 \sin 30,0^\circ - T_2 \sin 30,0^\circ = 0$$

$$\Rightarrow T_1 = T_2$$

$$\sum F_x = +T_1 \cos 30,0^\circ + T_2 \cos 30,0^\circ + D - R$$

$$\sum F_x = m a_x$$

$$m = 1,50 \cdot 10^8 \text{ kg}$$

4.12 *Primjena Newtonovih zakona u neravnoteži*

$$T_1 = T_2 = T$$

$$T = \frac{m a_x + R - D}{2 \cos 30,0^\circ} = 1,53 \cdot 10^5 \text{ N}$$

ZADACI ZA VJEŽBU

1. Avion mase $3,1 \cdot 10^4$ kg uzlijeće pod utjecajem potisne sile od $3,7 \cdot 10^4$ N. Kolika sila djeluje na pilota mase 78 kg?

RJEŠENJE: 93 N

2. Auto mase 1580 kg giba se stalnom brzinom od 15,0 m/s. Odredite iznos vodoravne sile potrebne da zaustavi taj automobil na putu od 50,0 m.

RJEŠENJE: 3560 N

3. Elektron je subatomska čestica na koju djeluje električna sila. Elektron ubzava u pozitivnom smjeru osi x od početne brzine $5,40 \cdot 10^5$ m/s do konačne brzine $2,10 \cdot 10^6$ m/s i pritom prevali put od 0,038 m. Ubzanje uzrokuju dvije električne sile usporedne s osi x . $F_1 = + 7,50 \cdot 10^{-17}$ N i F_2 koja je orijentirana u negativnom smjeru osi x . Odredite iznos: (a) ukupne sile koja djeluje na elektron; (b) električne sile F_2 . Masa elektrona je $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg.

RJEŠENJE: (a) $4,94 \cdot 10^{-17}$ N; (b) $2,56 \cdot 10^{-17}$ N

4. Klizač mase 82 kg i klizačica mase 48 kg stoje na ledu. Trenje između klizaljki i leda je zanemarivo. Klizačica odgurne klizača silom od 45 N prema istoku. Odredite iznos i smjer/orijentaciju akceleracije: (a) klizača; (b) klizačice.

RJEŠENJE: (a) $0,55 \text{ m/s}^2$ (prema istoku); (b) $0,94 \text{ m/s}^2$ (prema zapadu)

ZADACI ZA VJEŽBU

5. Mars ima masu $6,46 \cdot 10^{23}$ kg i polumjer $3,39 \cdot 10^6$ m. (a) Odredite gravitacijsko ubrzanje na Marsu. (b) Koliko na tom planetu teži osoba mase 65 kg?

RJEŠENJE: (a) $3,75 \text{ m/s}^2$; (b) 240 N

6. Težina nekog tijela ista je na dva različita planeta. Masa planeta A je 60% mase planeta B. Odredite omjer polumjera dvaju planeta.

RJEŠENJE: 0,77

7. Mercedes-Benz 300SL (mase 1700 kg) parkiran je na usponu od 15° . Odredite iznose: (a) normalne sile; (b) sile statičkog trenja između tla i guma.

RJEŠENJE: $1,6 \cdot 10^4 \text{ N}$; $4,3 \cdot 10^3 \text{ N}$



WILEY

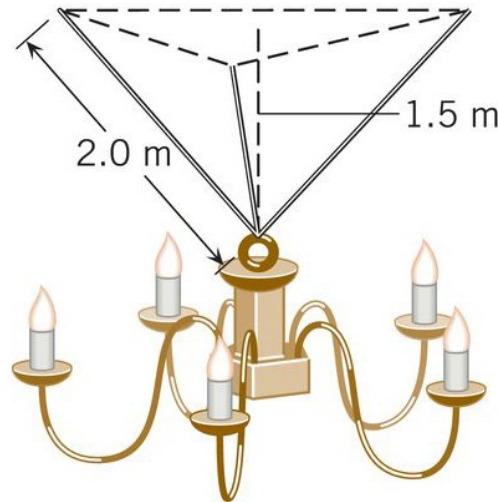
ZADACI ZA VJEŽBU

8. Radnik mirno stoji na krovu koji je, s obzirom na horizontalu, nagnut 36° . Statička sila trenja iznosa 390 N drži ga da ne sklizne. Odredite masu radnika.

RJEŠENJE: 68 kg

9. Luster mase 44 kg visi na tri jednako napete žice dugačke 2,0 m, kao na slici. Odredite napetost pojedine žice, ako je luster 1,5 m ispod stropa.

RJEŠENJE: 190 N



10. Pigvin klizi po zaleđenoj kosini stalnom brzinom od 1,4 m/s. Kosina je nagnuta $6,9^\circ$. Na kraju kosine pingvin nastavlja kliziti po vodoravnoj zaleđenoj plohi. Kinetički faktor trenja isti je na nagnutom i vodoravnom dijelu puta. Koliko traje klizanje po vodoravnom dijelu puta?

RJEŠENJE: 1,2 s

WILEY

PITANJA ZA PONAVLJANJE

1. koncepti sile i mase
2. prvi Newtonow zakon
3. drugi Newtonow zakon
4. treći Newtonow zakon
5. gravitacijska sila
6. normalna sila
7. sila trenja
8. sila napetosti
9. primjena Newtonovih zakona u ravnoteži
10. primjena Newtonovih zakona u neravnoteži