

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

### Tehtävien ratkaisut

Tehtävät 1–4 ovat automaattisesti tarkistettavia tehtäviä ja ne ovat digikirjassa.

#### 8-1.

Täydennä.

**\*Liukukitka\*** vastustaa ja hidastaa toisiaan koskettavien kappaleiden liukumista. Liukukitkan suuruus saadaan mittaamalla kappaletta vetävän (tai työntävän) voiman suuruus silloin, kun kappale on **\*tasaisessa\*** liikkeessä.

Esimerkiksi polkupyörän liikkeellelähtö ja kiihdytys perustuvat **\*lepokitkaan\***. Liikkeellelähdössä pyörän takarengas ”pyrkii” **\*pyörimään\*** paikallaan, mutta lepokitka estää renkaan liukumisen alustan suhteen ja polkupyörä liikkuu pyörimisen seurauksena eteenpäin. Voimakkaassa jarrutuksessa renkaat saattavat lukkiutua. Tällöin kitka on **\*liukukitkaa\***. Lepokitka on **\*muuttuva\*** voima.

Kitkakerroin kuvaa kitkan riippuvuutta hankaavista pinnoista. Kitkakertoimen suuruuteen vaikuttavat mm. hankaavien pintojen **\*materiaali\***, lämpötila ja kosteus.

#### 8-2.

Oikein/väärin väittämät

- Jäällä liukuvan jääkiekon pysäyttää kiekon ja jään välisestä vuorovaikutuksesta syntyvä kitka. **\*Kyllä//Ei\***
- Moottorikelkan moottorissa kitka saa toisiaan hankaavat kappaleet lämpenemään. **\*Kyllä//Ei\***
- Kun työnnät kirjahyllyä toiseen paikkaan, liukukitka vastustaa hyllyn liikkeellelähtöä ja estää hyllyn liukumisen. **\*Kyllä//Ei\***  
**Kommentti:** Lepokitka vastustaa liikkeellelähtöä ja estää liukumisen.
- Kiihdyvässä liikkeessä olevan laatikon liukumista vastustaa liukukitka. **\*Kyllä//Ei\***
- Kun skootteri lähtee liikkeelle, skootteria kiihdyttävän lepokitkan suunta on skootterin liikkeen suuntaan nähden vastakkainen. **\*Kyllä//Ei\***  
**Kommentti:** Skootteria kiihdyttävän lepokitkan suunta on liikkeen kanssa samansuuntainen.
- Kun skootteri jarruttaa, skootteria hidastavan lepokitkan suunta on skootterin liikkeen suuntaan nähden vastakkainen. **\*Kyllä//Ei\***
- Kitkakerroin on hankaaville pinnoille ominainen vakio, jonka suuruus ei riipu hankaavien pintojen nopeudesta toistensa suhteen. **\*Kyllä//Ei\***

#### 8-3.

Monivalintatehtävä

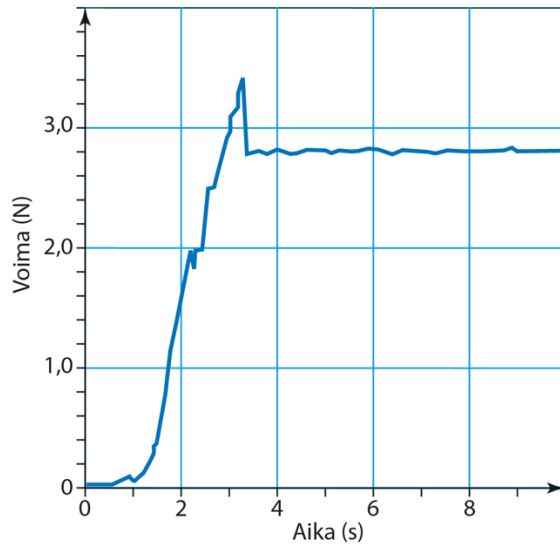
- Kitka
  - **on voima**
  - **liittyy auton liikkeellelähtöön**
  - **mahdollistaa kävelemisen.**
- Lepokitka
  - **mahdollistaa ajoneuvon tiellä pysymisen kaarteessa**
  - on aina suurempi kuin liukukitka
  - on suure, jolla ei ole yksikköä
  - **on muuttuva voima.**

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

c) Seuraavista väittämistä paikkansa pitäviä ovat:

- **Kitkakerroin kuvaa kitkan riippuvuutta hankaavista pinnoista.**
- **Kitkakertoimen suuruuteen vaikuttaa mm. hankaavien pintojen materiaali.**
- Karheiden pintojen välinen kitkakerroin on yleensä pienempi kuin kahden sileän pinnan.
- Liukukitkan suuruuteen vaikuttavat kappaleen nopeus ja hankaavien pintojen pinta-ala.

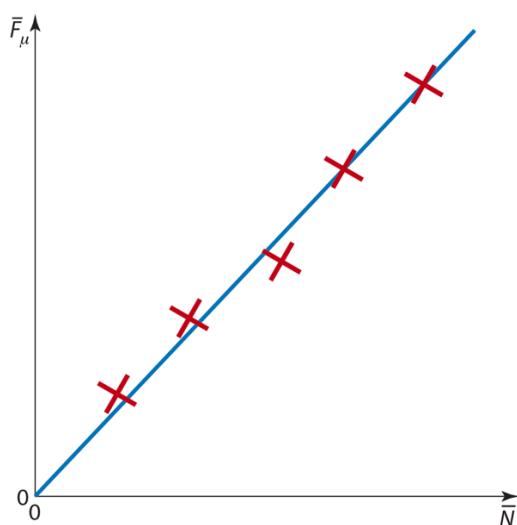
d)



Yllä olevassa piirroksessa on esitetty kappaleeseen kohdistuva työntävä voima ajan funktiona. Mitkä seuraavista väitteistä pitävät paikkansa?

- Lepokitkan suurin arvo on noin 2,8 N.
- **Hetkellä 6,0 s liukukitka on noin 2,8 N.**
- Lepokitkan suurin arvo on noin 3,4 N.
- **Hetkellä 3,0 s kitka on lepokitkaa.**
- Liukukitka on muuttuva voima.
- **Hetkellä 2,0 s lepokitka on noin 1,5 N.**

e)



Kuvaajasta saadaan fysikaalisena kulmakertoimenä

- liukukitka
- **kitkakerroin**
- lepokitka.

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

8-4.

|                   |                                             |
|-------------------|---------------------------------------------|
| $F_{\mu 0, \max}$ | lepokitkan suurin arvo                      |
| lepokitkakerroin  | koskettaville pintapareille ominainen vakio |
| lepokitka         | muuttuva voima                              |
| liukukitkakerroin | hankaaville pintapareille ominainen vakio   |

8-5.

- a) Kappale lähtee liikkeelle hetkellä  $t = 1,1$  s.
- b) Kuvaajasta saadaan liukukitkan suuruus  $F_{\mu} = 2,5$  N. Liukukitka on  
 $F_{\mu} = \mu N = \mu mg$ ,  
 josta saadaan liukukitkakertoimeksi  

$$\mu = \frac{F_{\mu}}{mg} = \frac{2,5 \text{ N}}{1,8 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 0,14.$$

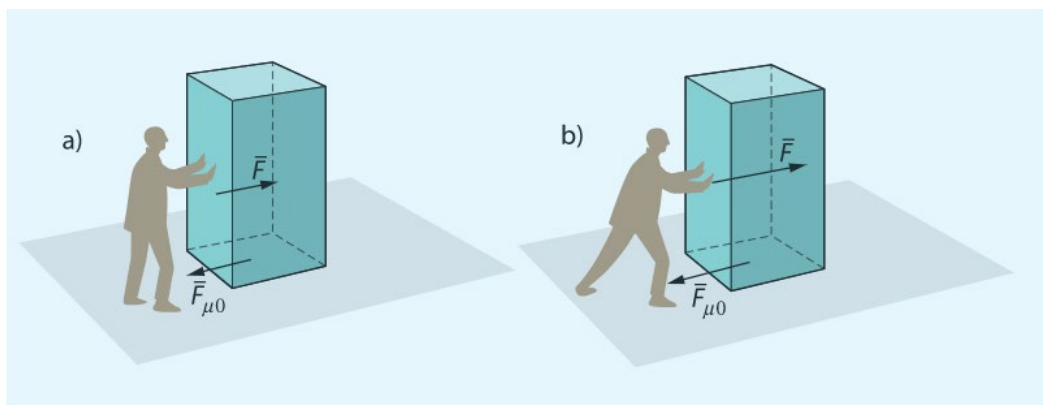
- c) Kuvaajasta saatava suurimman lepokitkan suuruus on  $F_{\mu 0, \max} = 4,5$  N.  
 Lepokitkakerroin on  

$$\mu_0 = \frac{F_{\mu 0, \max}}{mg} = \frac{4,5 \text{ N}}{1,8 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 0,25.$$

8-6.

Jos esimerkiksi laatikkoa aletaan työntää varovasti lattialla, laatikko ei heti lähde liukumaan, vaan pysyy paikallaan. Laatikon alustan ja lattian välinen kosketusvuorovaikutus synnyttää laatikkoon kohdistuvan, työntävälle voimalle vastakkaisen voiman, eli lepokitkan. Lepokitka on voima, joka estää kahden toisiaan koskettavan pinnan liukumisen toistensa suhteen.

Newtonin II lain mukaan paikallaan olevaan laatikkoon kohdistuvat voimat kumoavat toistensa vaikutuksen. Vaakasuunnassa laatikkoon kohdistuvat voimat ovat työntävä voima ja lepokitka. Koska henkilö voi muuttaa työntävän voiman suuruutta ilman, että laatikko lähtee liikkeelle, lepokitkan on ”mukauduttava” työntävän voiman kanssa yhtä suureksi. Siksi lepokitka on muuttuva voima.



## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

8-7.

Rekeen kohdistuu vaakasuunnassa vetävä voima  $\vec{F}$  ja liukukitka  $\vec{F}_\mu$ . Kun rekeä vedetään tasaisella nopeudella vaakasuoralla tiellä, Newtonin II lain perusteella on voimassa  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  eli  $\vec{F} + \vec{F}_\mu = \vec{0}$ .

Kun liikkeen suunta valitaan positiiviseksi, saadaan skalaariyhtälö  $F - F_\mu = 0$  eli  $F = F_\mu$ .

Reki ei liiku pystysuunnassa, joten Newtonin II lain mukaan pystysuunnassa on  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  eli  $\vec{N} + \vec{G} = \vec{0}$ , jossa  $\vec{N}$  on tienpinnan tukivoima ja  $\vec{G}$  rekeen kohdistuva paino. Kun suunta ylös valitaan positiiviseksi, saadaan skalaariyhtälö  $N - G = 0$  eli  $N = G$ .

Rekeen kohdistuvan vetävän voiman suuruus on

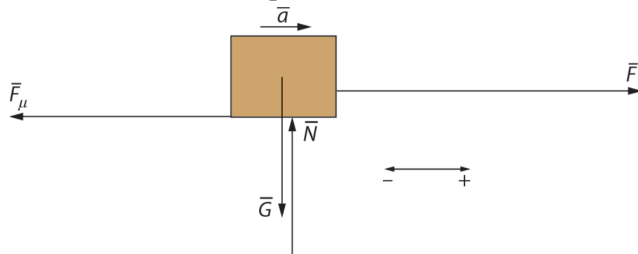
$$F = F_\mu = \mu N = \mu G = \mu mg = 0,085 \cdot 180 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 150 \text{ N}.$$

8-8.

- Kun kappale vierii, kappaleen alusta voi painua kappaleen kosketuskohdassa tai kappale itse voi muuttaa muotoaan. Vierimisvastus aiheutuu kappaleen ja alustan rakenteiden myötäliikkeestä vierimisen aikana. Myös osa muodonmuutokseen kuluva energiasta muuntuu renkaiden ja tienpinnan lämmöksi: vierimisvastusta aiheuttaa myös kappaleen lämpeneminen vierimisen aikana.
- Videolla havainnollisesta liukukitkan ja vierimisvastuksen eroa. Vierimisvastus on jokaisessa tilanteessa pienempi kuin liukukitka.

8-9.

Laatikkoon kohdistuvat voimat ovat vetävä voima  $\vec{F}$ , liukukitka  $\vec{F}_\mu$ , lattian tukivoima  $\vec{N}$  ja laatikkoon kohdistuva paino  $\vec{G}$ . Piirretään voimakuvio.



Koska kappale ei liiku pystysuunnassa, Newtonin II lain mukaan pystysuunnassa  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  eli  $\vec{N} + \vec{G} = \vec{0}$ . Kun suunta ylös valitaan positiiviseksi, saadaan skalaariyhtälö  $N - G = 0$  eli  $N = G$ .

Koska kappale on kiihtyvässä liikkeessä, Newtonin II lain mukaan lattian suunnassa on  $\vec{F} + \vec{F}_\mu = m\vec{a}$ . Kun liikkeen suunta on positiivinen, saadaan skalaariyhtälö  $F - F_\mu = ma$  eli

$$F - \mu mg = ma. \text{ Yhtälöstä saadaan kitkakertoimeksi}$$

$$\mu = \frac{F - ma}{mg}.$$

Kappaleen kiihtyvyyden suuruudeksi  $a$  saadaan  $t, v$ -koordinaatistosta

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{5,0 \text{ m/s} - 0,5 \text{ m/s}}{1,0 \text{ s} - 0,0 \text{ s}} = \frac{4,5 \text{ m/s}}{1,0 \text{ s}} = 4,5 \text{ m/s}^2.$$

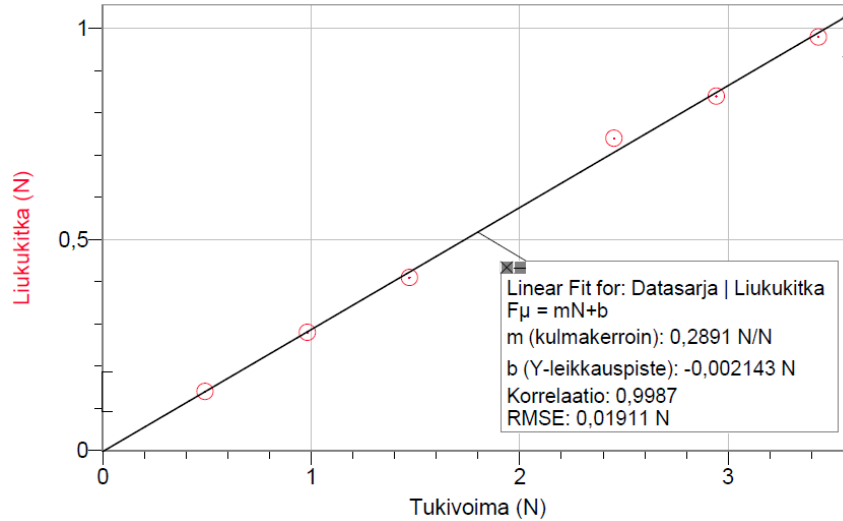
Kitkakerroin on

$$\mu = \frac{F - ma}{mg} = \frac{35,0 \text{ N} - 4,0 \text{ kg} \cdot 4,5 \text{ m/s}^2}{4,0 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 0,43.$$

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

8-10.

Kuvaaja  $N, F_\mu$ -koordinaatistossa.



Liukukitkakerroin on sovitetun suoran kulmakerroin, eli  $\mu \approx 0,29$ .

8-11.

$$v_0 = 4,2 \text{ m/s}, t = 23 \text{ s}, m = 18,25 \text{ kg}$$

Valitaan liikkeen suunta positiiviseksi suunnaksi.

Kiven keskimääräinen kiihtyvyys on

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0,0 \text{ m/s} - 4,2 \text{ m/s}}{23 \text{ s}} = -0,182609 \text{ m/s}^2.$$

Negatiivinen etumerkki ilmaisee, että kiihtyvyyden suunta on liikkeen suunnalle vastakkainen, eli kivi on hidastuvassa liikkeessä.

Kun kivi liikkuu, ainoa vaakasuunnassa vaikuttava voima on liukukitka, kun ilmanvastus oletetaan pieneksi. Tällöin liukukitka on Newtonin II lain mukaan

$$F_\mu = ma = 18,25 \text{ kg} \cdot (-0,182609 \text{ m/s}^2) \approx -3,3 \text{ N}.$$

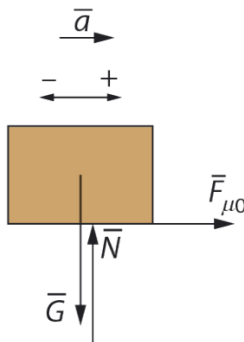
Liukukitkan suuruus on 3,3 N ja suunta on liikkeen suunnalle vastakkainen.

8-12.

- a) Laatikkoon vaikuttavat voimat ovat paino  $\vec{G}$ , lavan tukivoima  $\vec{N}$  ja lepokitka  $\vec{F}_{\mu 0}$ .

Laatikkoa kiihdyttävänä voimana on lavan pinnan ja laatikon pohjan välinen lepokitka.

- b)  $m = 165 \text{ kg}, \mu_0 = 0,37, a = 1,8 \text{ m/s}^2$



Newtonin II lain mukaan vaakasuunnassa on  $\vec{F}_{\mu 0} = m\vec{a}$ . Valitaan liikkeen suunta positiiviseksi.

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

Laatikkoon vaikuttavan lepokitkan suuruus on  
 $F_{\mu 0} = ma = 165 \text{ kg} \cdot 1,8 \text{ m/s}^2 \approx 300 \text{ N}$ .

Laatikko lähtee liukumaan, kun lepokitka ylittää suurimman arvonsa. Lepokitka on suurimmillaan  
 $F_{\mu 0, \max} = \mu_0 N = \mu_0 mg = 0,37 \cdot 165 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \approx 600 \text{ N}$ .

Koska  $F_{\mu 0} < F_{\mu 0, \max}$ , niin laatikko ei liu'u.

### 8-13.

- Renkaiden pääraaka-aine on kumisekoitus. Asfaltin ja kumin välinen kitkakerroin on suuri, mikä lisää renkaan pitoa maantiellä.
- Hyvää nastallisissa talvirenkaissa on se, että nastat pureutuvat hyvin jäiseen tienpintaan varsinkin, kun lämpötila on lähellä nollaa celsiusastetta. Tämä lisää pitoa, eli rengas ei lähde herkästi liukumaan. Nastat myös karhentavat jäistä tienpintaa, mikä vähentää tien liukkautta. Nastarenkaiden huono puoli on, että nastat kuluttavat jäätöntä tienpintaa. Teiden korjaus on kallista ja lisäksi kulumisessa vapautuva pöly huonontaa ilmanlaatua. Nastarenkaiden käyttö lisää myös auton polttoaineen kulutusta, mikä kasvattaa päästöjen määrää.
- Kesärenkaiden pääurien syvyydeksi suositellaan vähintään 4 mm. Sadekelillä urat siirtävät vettä pois kumin ja tien välistä ja estävät näin osaltaan vesiliirron syntymistä. (Vesiliirrolla tarkoitetaan tilannetta, jossa tienpinnan ja renkaan väliin jää ajettaessa ohut vesikerros, joka tekee kitkakertoimesta hyvin pienen. Tämän seurauksena auto voi liukua vesikerroksen päällä, ja tällöin autoa ei voi ohjata.)
- Mitä lähempänä jään lämpötila on nollaa celsiusastetta, sitä pienempi on renkaan ja jään välinen kitkakerroin. Tietä suolaamalla voidaan alentaa jään sulamispistettä, jolloin tie pysyy sulana pikkupakkasella, eikä jäätä pääse muodostumaan.

### 8-14.

Klikataan ensin simulaatioikkunan oikeassa yläkulmassa olevan valikon suuret näkyviin.

- Kohdistetaan laatikkoon työntävä voima esimerkiksi ikkunassa näkyvien nuolipainikkeiden avulla.

Kappale pysyy paikallaan, kun työntävä voima on 125 N ja lähtee liikkeelle voiman ollessa 126 N. Suurin lepokitka on siis välillä 125...126 N. Lepokitkan suunta on vasemmalle.

Kun työntäminen lopetetaan ja kappale liukuu, simulaatio ilmoittaa liukukitkavoiman suuruudeksi 94 N. Liukukitkan suunta on vasemmalle.

Laatikko on pystysuunnassa tarkasteltuna paikallaan, joten siihen kohdistuva paino ja tukivoima ovat yhtä suuret:  $N = G = mg$ .

Liukukitkan suuruus on  $F_{\mu} = \mu N$ , josta liukukitkakerroin on

$$\mu = \frac{F_{\mu}}{N} = \frac{F_{\mu}}{mg} = \frac{94 \text{ N}}{50 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} \approx 0,2.$$

- Määritetään lahjapaketin massa. Siirretään paketti hiirellä vetämällä puulaatikon päälle ja määritetään liukumaan saatettuun systeemiin (laatikko+paketti) kohdistuva liukukitka.

Liukukitkan suuruus, 188 N, on kaksinkertainen verrattuna pelkkään laatikkoon kohdistuvaan liukukitkaan. Koska kitkakerroin on sama kuin kohdassa a, täytyy systeemiin kohdistuvan tukivoiman olla kaksinkertainen verrattuna pelkkään laatikkoon kohdistuvaan tukivoimaan.

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

Tukivoima on kaksinkertainen, jos systeemin massa on kaksinkertainen ( $N = mg$ ).  
Systeemin massan tulee siis olla 100 kg, eli paketin massa on 50 kg.

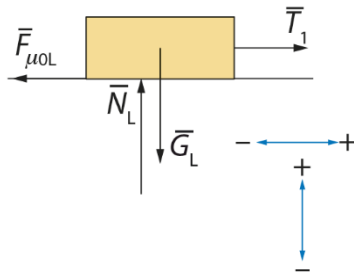
8-15.

Spinneri eli sormihyrrä on käytännössä koteloitu kuulalaakeri. Kuulalaakerissa toistensa suhteen pyörivien pintojen välissä on metallikuulia, jotka vähentävät vastusvoimia muuttamalla liukumisen vierimiseksi: vierimisvastus on liukukitkaa pienempi, ja hyrrä pyörii pitkään. (Kuulalaakereita käytetään autoissa, polkupyörissä ja monissa eri laitteissa.)

8-16.

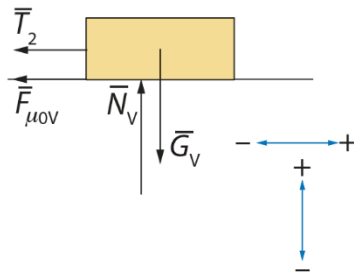
$$m_L = 120 \text{ kg}, m_V = 85 \text{ kg}, \mu_{OL} = 0,50, \mu_{OV} = 0,50, g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- a) Piirretään laatikon voimakuvio. Laatikkoon vaikuttavat voimat ovat paino  $\vec{G}_L$ , pinnan tukivoima  $\vec{N}_L$ , kitka  $\vec{F}_{\mu OL}$  ja köyden jännitysvoima  $\vec{T}_1$ .



Laatikko on paikallaan, jolloin Newtonin II lain mukaan on  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  eli  $\vec{T}_1 + \vec{F}_{\mu OL} = \vec{0}$ . Kun suunta oikealle on positiivinen, saadaan skalaariyhtälö  $T_1 - F_{\mu OL} = 0$ . Köyden jännitysvoiman suuruus on  $T_1 = F_{\mu OL}$ .

Piirretään vetäjän voimakuvio. Häneen vaikuttavat voimat ovat paino  $\vec{G}_V$ , pinnan tukivoima  $\vec{N}_V$ , kitka  $\vec{F}_{\mu OV}$  ja köyden jännitysvoima  $\vec{T}_2$ .



Koska vetäjä pysyy paikallaan, saa Newtonin II laki vaakasuunnassa muodon  $\vec{T}_2 + \vec{F}_{\mu OV} = \vec{0}$ . Kun suunta oikealle on positiivinen, skalaariyhtälöstä  $F_{\mu OV} - T_2 = 0$  saadaan köyden jännitysvoimaksi  $T_2 = F_{\mu OV}$ .

Oletetaan köysi venymättömäksi, jolloin jännitysvoiman suuruus on yhtä suuri eri kohdissa köyttä. Näin ollen  $T_1 = T_2$  ja edelleen  $F_{\mu OL} = F_{\mu OV}$ . Laatikkoon vaikuttava kitkavoima  $F_{\mu OL}$  on suurin silloin, kun kenkiin vaikuttava kitkavoima  $F_{\mu OV}$  on suurin.

Newtonin II lain mukaan pystysuunnassa on  $\vec{N}_V + \vec{G}_V = \vec{0}$ . Kun suunta ylös on positiivinen, on  $N_V - G_V = 0$  ja edelleen  $N_V = G_V$ .

Kitkavoimalle pätee  $F_\mu = \mu N$ . Kenkiin kohdistuva suurin kitka on  $F_{\mu OV} = \mu_{OV} N_V = \mu_{OV} m_V g = 0,50 \cdot 85 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 416,925 \text{ N} \approx 420 \text{ N}$ . Suurin laatikkoon kohdistuva kitka on 420 N.

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima

- b) Laatikko lähtee liikkeelle, mikäli köyden jännitysvoima  $T_1 > F_{\mu 0L}$ .  
Tarkastellaan rajatapauksia  $T_1 = F_{\mu 0L}$ .  
Vetäjä on paikallaan, joten kohdan a perusteella hänelle on voimassa yhtälö  $T_2 = F_{\mu 0V, \text{uusi}}$ . Köyden jännitysvoima on yhtä suuri eri kohdissa köyttä, joten  $T_1 = T_2$ .

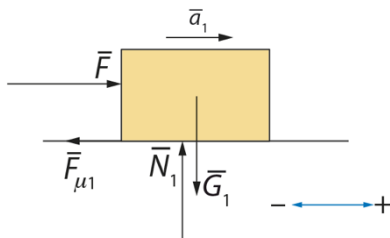
Kirjoitetaan yhtälö  $F_{\mu 0L} = F_{\mu 0V, \text{uusi}}$  muotoon  $\mu_{0L} m_L g = \mu_{0V, \text{uusi}} m_V g$ . Kenkien ja lattian välinen kitkakerroin on

$$\mu_{0V, \text{uusi}} = \frac{\mu_{0L} \cdot m_L}{m_V} = \frac{0,50 \cdot 120 \text{ kg}}{85 \text{ kg}} \approx 0,71.$$

Kenkien ja lattian välisen kitkakertoimen tulee olla siis vähintään 0,71.

### 8-17.

- a) Piirretään ylemmän laatikon voimakuvio. Ylempään laatikkoon vaikuttavat voimat ovat paino  $\vec{G}_1$ , alemman laatikon tukivoima  $\vec{N}_1$ , työntävä voima  $\vec{F}$  ja liukukitka  $\vec{F}_{\mu 1}$ .



Laatikko ei liiku pystysuunnassa, joten Newtonin II lain mukaan on  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  ja pystysuuntaiset voimat

$\vec{G}_1$  ja  $\vec{N}_1$  kumoavat toistensa vaikutukset.

Vaakas suunnassa Newtonin II lain mukaan on  $\Sigma \vec{F} = m\vec{a}$  eli  $\vec{F} + \vec{F}_{\mu 1} = m_1 \vec{a}_1$ . Kun positiivinen suunta valitaan oikealle, saadaan skalaarimuotoinen liikeyhtälö

$F - F_{\mu 1} = m_1 a_1$ . Yhtälöstä saadaan ylemmän laatikon kiihtyvyyden suuruudeksi

$$a_1 = \frac{F - F_{\mu 1}}{m_1} = \frac{F - \mu_1 m_1 g}{m_1} = \frac{F}{m_1} - \mu_1 g.$$

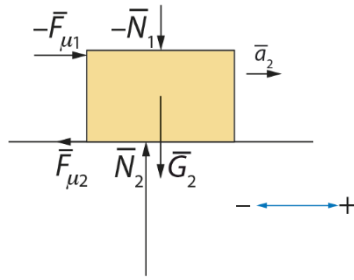
- b) Piirretään alemman laatikon voimakuvio.

Ylemmän ja alemman laatikon välinen kosketusvuorovaikutus synnyttää ylemmän laatikkoon kohdistuvan liukukitkavoiman  $\vec{F}_{\mu 1}$  vasemmalle. Newtonin III lain mukaan alemmaan laatikkoon kohdistuu yhtä suuri ja vastakkaisuuntainen voima oikealle.

Vastaavasti ylemmän ja alemman laatikon välinen kosketusvuorovaikutus synnyttää ylemmän laatikkoon kohdistuvan tukivoiman  $\vec{N}_1$  ylöspäin, jolloin Newtonin III lain mukaan alemmaan laatikkoon kohdistuu yhtä suuri voima alaspäin.

Muut alemmaan laatikkoon kohdistuvat voimat ovat paino  $\vec{G}_2$ , alustan tukivoima  $\vec{N}_2$  ja liukukitka  $\vec{F}_{\mu 2}$ .

## 8 Kitka on liukumista vastustava voima



Laatikko ei liiku pystysuunnassa, joten Newtonin II lain mukaan on  $\Sigma \vec{F} = \vec{0}$  ja pystysuuntaiset voimat  $-\vec{N}_1$ ,  $\vec{G}_2$  ja  $\vec{N}_2$  kumoavat toistensa vaikutukset.

Tukivoiman  $\vec{N}_2$  suuruuden tulee olla  $N_2 = |\vec{N}_1| + |\vec{G}_2| = m_1 g + m_2 g = (m_1 + m_2) g$ .

Voidaan myös ajatella, että tukivoiman  $\vec{N}_2$  tulee tukea molempia laatikoita (kokonaismassa  $m_1 + m_2$ ), joten tukivoiman suuruuden on oltava  $N_2 = (m_1 + m_2) g$ .

Vaakasunnassa Newtonin II lain mukaan on  $\Sigma \vec{F} = m \vec{a}$  eli  $\vec{F}_{\mu 1} + \vec{F}_{\mu 2} = m_2 \vec{a}_2$ .

Kun positiivinen suunta valitaan oikealle, saadaan skalaarimuotoinen yhtälö  $F_{\mu 1} - F_{\mu 2} = m_2 a_2$ . Tästä saadaan alemman laatikon kiihtyvyyden suuruudeksi

$$a_2 = \frac{F_{\mu 1} - F_{\mu 2}}{m_2} = \frac{\mu_1 N_1 - \mu_2 N_2}{m_2} = \frac{\mu_1 m_1 g - \mu_2 (m_1 + m_2) g}{m_2}$$

$$= \mu_1 \frac{m_1}{m_2} g - \mu_2 \frac{m_1 + m_2}{m_2} g.$$

Kun kiihtyvyydelle lasketaan lukuarvo, kyseisen arvon etumerkki kertoo tilanteessa kiihtyvyyden suunnan.

### 8-18.

Asetellaan kirjan sivut lomittain kuvan esittämällä tavalla. Eri kirjojen sivujen välillä vaikuttava lepokitkavoima estää sivuja liukumasta toistensa suhteen ja pitää kirjat yhdessä, kun kirjoja vedetään vastakkaisiin suuntiin.



Kuva: Heikki Lehto