

# DEMONSTRAATIO: Gyroskooppi pyörän vanteesta

Tekijät: Ilona Savolainen ([ilona.a.savolainen@student.jyu.fi](mailto:ilona.a.savolainen@student.jyu.fi))

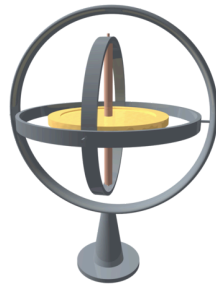
Tomi Koivisto ([tomi.v.h.koivisto@student.jyu.fi](mailto:tomi.v.h.koivisto@student.jyu.fi))

 [MIT Physics Demo -- Bicycle Wheel Gyroscope](#)

<b>Taso</b>	Lukio
<b>Aihealue</b>	Pyöräminen ja gravitaatio:
<b>Kesto</b>	20 min (demo 5 min + pohdinta 15 min)
<b>Tarvikkeet</b>	Pyörän vanne, johon on hitsattu tai muuten kiinnitetty akselin varsi Narua, joka on kiinnitetty akseliin
<b>Suoritus</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Esittele itse rakennettu gyroskooppi oppilaille.</li><li>2. Roikota gyroskooppia narusta ja käännä vanne vertikaalisesti. Kysy oppilailta: “Mitä tapahtuu, jos päästän irti vanteesta?”</li><li>3. Oppilaat ehdottavat, mitä vanteelle tapahtuu irrottaessa.</li><li>4. Päästä irti vanteesta. Vanne kellahtaa horisontaalisesti ja jää roikkumaan narusta. Kysy oppilailta: “Miksi vanne tipahti?”</li><li>5. Todetaan, että vanteen tippuminen johtui siihen kohdistuneesta painovoimasta, mikä sai sen tippumaan. Vanteen painopiste on sen keskellä, jonka vuoksi vanne pysähtyi horisontaaliseen tasoon.</li><li>6. Roikota vannetta uudestaan narusta ja käännä se vertikaalisesti.</li><li>7. Opettaja pitää kiinni vanteen akselista molemmilta puolilta s.e. vanne on vertikaalisesti, ja toinen henkilö lähtee pyörittämään vannetta. Mikäli toista opettajaa ei ole, oppilas voi pyörittää sitä.</li><li>8. Kiihdytetään vanteen nopeus mahdollisimman suureksi. Tämä onnistuu helpoiten antamalla lisää vauhtia pinnoista. Muistetaan varoa sormia.</li><li>9. Kun vanne on kiihdytetty niin suureen nopeuteen kuin käsin pystytään, kysy oppilailta uudestaan kysymys: “Mitä tapahtuu, jos päästän irti vanteesta?”</li><li>10. Päästä varovasti irti vanteesta niin, että pidät kuitenkin koko ajan kiinni akselissa olevasta narusta. Vanteen tulisi jäädä pystyyn.</li><li>11. Voit muuttaa pyörivän vanteen kulmaa varovasti akselista kääntämällä. Vanteen tulisi jäädä pyörimään aina asettamaasi kulmaan. Kysy oppilailta: “Miksi vanne jäi nyt pystyyn, eikä tipahtanut, kuten aluksi?”</li><li>12. Todetaan, että vanne jäi pystyyn, koska se pyöri.</li><li>13. Perustellaan vanteen pystyyn jääminen joko opettajan johdolla taululla (vastaus sivulla 3) tai kukin oppilas itsenäisesti/ryhmissä.</li><li>14. Jos oppilaat perustelivat itsenäisesti, käydään työ läpi opettajan johdolla: mitä tapahtui, mitä havaittiin, mistä johtui, missä mittausta tai ilmiötä voisi hyödyntää.</li></ol>

# Gyroskoopin toiminta

Varsinainen gyroskooppi on nopeasti pyörivä pyörä, joka on asetettu kehikkoon sellaisella akselilla, joka mahdollistaa pyörimisakselin suunnan muutoksen. Tällaista laitetta on havainnollistettu kuvassa 1. Oleellista gyroskoopin toiminnassa on, että vaikka kehikkoa käännettäisiin, pyörivä pyörä säilyttää asentonsa.



Kuva 1: Gyroskooppi. (Wikimedia Commons)

Gyroskoopin toiminta perustuu pyörimismäärän säilymiseen. Tätä mallinnetaan demonstraatiossa yksinkertaisella gyroskoopin prototyypillä, jossa rengas on ripustettu akselistaan naruun. Prototyyppi on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2: Työssä käytetty gyroskoopin prototyyppi, joka on rakennettu pyöränvanteesta, akselista ja narusta.

## Tehtävä:

Muistele tai selvitä, mitä yhtälöitä pyörimiseen liittyy. Mikä niistä sopisi kuvaamaan gyroskoopin toimintaa? Mitä yhtälön eri suureet tarkoittavat? Miksi gyroskooppi säilyttää pyörimiskulmansa pitkään? Miksi gyroskooppi kuitenkin lopulta kellahtaa vaakatasoon?

## Mallivastaus

Gyroskoopin toiminta perustuu pyörimismäärän  $L$  säilymiseen. Pyörimismäärää voidaan kuvata yhtälöllä

$$L = J\omega,$$

jossa  $J$  on kappaleen hitausmomentti ja  $\omega$  on kappaleen kulmanopeus. Hitausmomentti kertoo, kuinka vaikeaa pyörivän esineen nopeuden muuttaminen on. Suuren hitausmomentin omaava pyörivä esine on vaikeaa saada pysähtymään. Toisaalta myös sen kiihdyttäminen vaatii paljon voimaa. Hitausmomentin yksikkö on  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$ . Kulmanopeus taas kuvaa pyörivän kappaleen pyörähdyskulman muutosta aikayksikköä kohti, esimerkiksi missä ajassa rengas pyörii puoli kierrosta. Kulmanopeuden yksikkö on  $\text{rad/s}$ .

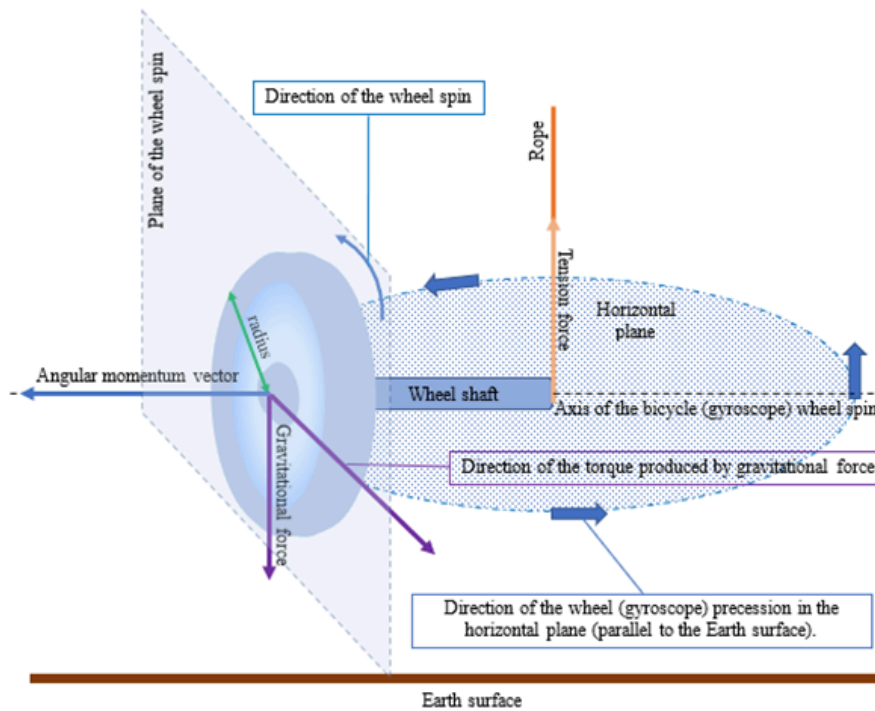
Jo lukion mekaniikan kurssilta on tuttua, että mikäli kappaleeseen ei vaikuta mitään voimia, sen kiihtyvyys on nolla. Tällöin myös sen liikemäärä säilyy. Toisin sanoen kappale on paikallaan tai liikkuu vakionopeudella. Sama ilmiö pätee myös pyörimiseen. Mikäli kappale pyörii eikä siihen vaikuta ulkoisia voimia, sen pyörimismäärä säilyy.

Gyroskoopin pyörimismäärään vaikuttavat ilmanvastus sekä akseliston kitka. Gyroskoopin toimimisen kannalta on oleellista, että nämä pyritään minimoimaan, jotta pyörimismäärä pysyisi mahdollisimman muuttumattomana. Pyöränrengas-gyroskoopissa nämä asiat on usein huomioitu jo pyöränrenkaan kehittäjän toimesta. Pyöränrenkaalle on toivottavaa, että akselin kitka ja ilmanvastus ovat mahdollisimman pieniä. Tämän vuoksi esimerkiksi renkaassa on laakerit, sen pinnat ovat mahdollisimman ohuet ja se on pyritty rakentamaan virtaviivaisesti.

Pyörimisellä on sekä suunta että suuruus. Jos pyörimismäärä säilyy, sekä suunnan että suuruuden on säilyttävä. Näin ollen pystyyn asetettu pyöränrengas säilyttää asentonsa pyöriessään, sillä pyöriminen vastustaa pyörimisakselin suunnan muutosta. Kun rengas hidastuu, sen pyörimismäärä vähenee, jolloin sen prekessio\* kasvaa. Tällöin renkaan pystysuoraa vasten oleva kaltevuuskulma kasvaa, ja rengas päättyy lopulta vaakatasoon.

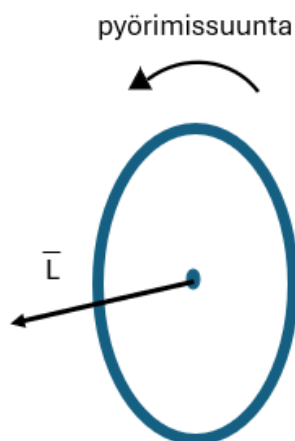
\*Prekessio eli niin kutsuttu hyrrävoima tarkoittaa pyörimisakselin kiertymistä. Kappaleen prekessoiva liike tarkoittaa sitä, että kappale "pyörii vinossa". Tällöin kaltevuuskulma pysyy vakiona, mutta kaltevuussuunta kiertyy. Kaltevasti pyörivän hyrrän liike ja maapallon pyöriminen itsensä ympäri ovat hyviä esimerkkejä prekessioliikkeestä. Kun prekessio kasvaa tarpeeksi, kappale lopulta kaatuu kyljelleen.

Demonstraatiota havainnollistamiseen ja selittämiseen voi käyttää myös vapaakappalekuva, joka on esitetty kuvassa 3. Yksinkertaistettu vapaakappalekuva on esitetty kuvassa 4.



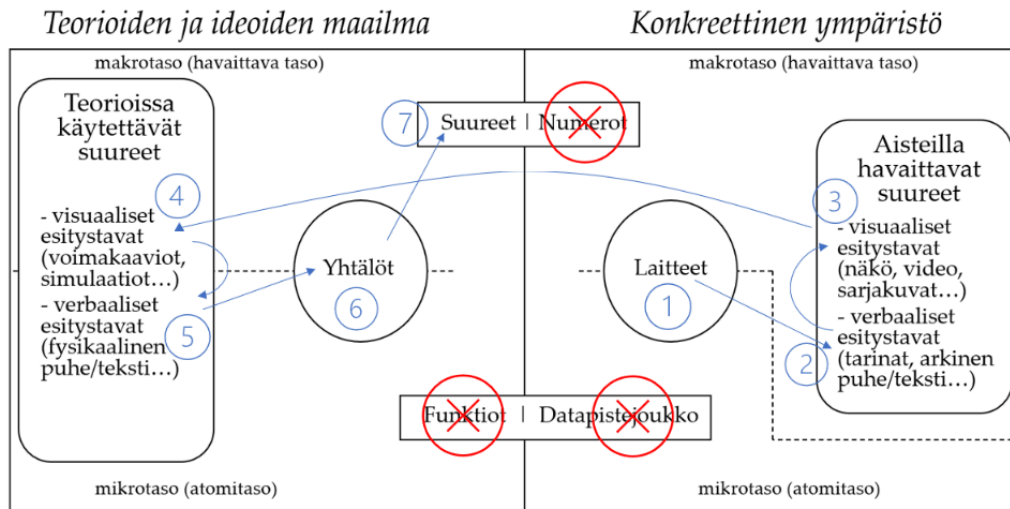
Kuva 3: Vapaakappalekuva demonstraatiosta. Demonstraatiossa käytetyt välineet ovat köysi (Rope), renkaan akseli (Wheel shaft) ja itse rengas. Demonstraatiota ymmärtämisen kannalta keskeisiä asioita ovat pyörimisen suunta (Direction of the wheel spin) sekä pyörimismäärää kuvaava vektori (Angular momentum vector). Muita systeemiin vaikuttavia voimia ovat narun jännitysvoima (Tension force) ja gravitaatiovoima (Gravitational force).

(<https://www.qeios.com/read/PGJNBW>)



Kuva 4: Yksinkertaistettu vapaakappalekuva demonstraatiosta. Pyörimismäärävektorin  $L$  suunta saadaan oikean käden säännöstä; kun sormet kiertyvät pyörimisen suuntaisesti, peukalo osoittaa pyörimismäärävektorin suuntaan.

# Demonstraation fysiikan pohtiminen



Kuva 5: Representaatiokaavio.

Demossa ei havaita suoraan tarvittavia suureita, ainoastaan renkaan käyttäytymisen muutos sen pyöriessä. Yhtälöitä käytetään apuna ilmiön selittämisessä. Kaaviosta jää käyttämättä datapistejoukko, funktiot sekä numerot.

**Vaihe 1:** Ensimmäisenä havaitaan työssä keskeinen laite, gyroskooppi.

*Gyroskooppi ja sen eri osat (rengas, akselin varsi ja naru) esitellään oppilaille. Oppilaat saavat myös tutkia laitetta.*

**Vaiheet 2 ja 3:** Verbaalinen esitystapa, kuten johdattelevat kysymykset, ohjaavat oppilaan huomiota tarkasteltavaan asiaan. Näköaistilla voidaan havaita renkaan käyttäytyminen, kun se ei pyöri, sekä muuttunut käyttäytyminen, kun se pyörii.

*Tässä työssä konkreettisen ympäristön verbaalinen esitystapa ja visuaalinen esitystapa kulkevat käsi kädessä, ja niiden välillä vuorottelevat.*

**Vaiheet 4 ja 5:** Demonstraation esittelyn jälkeen oppilaille annetaan gyroskoopin toiminnasta kertova moniste, jossa on kuva gyroskoopista (visuaalinen esitystapa) ja siitä kertova tietoteksti (verbaalinen esitystapa).

*Teoriamonisteessa visuaalinen esitystapa ja verbaalinen esitystapa vuorottelevat, kun tekstiä lukiessa luettua verrataan kuvaan.*

**Vaiheet 6 ja 7:** Oppilaat muistelevat/ päättävät, mitä kaavoja pyörimismäärään liittyy, ja pyrkivät palauttamaan mieleen, mitä yhtälöiden suureet käytännössä tarkoittivat ja kuinka ne selittävät gyroskoopin toimintaa.

*Tässä vaiheessa opettaja voi tarvittaessa ohjata ajattelua mallivastauksensa avulla.*

**Vaihe 8:** (ei merkitty kuvaan 3) Demon läpikäynnissä käydään yhteisesti läpi, mihin gyroskoopin toiminta perustuu. Tässä voidaan hyödyntää useita eri representaatiokaavion kohtia.

## Demonstraation muuntaminen eri tasolle

Pyörimismäärä ei kuulu yläasteen fysiikan opetussuunnitelmaan, joten pyörimiseen liittyvää demonstraatiota pitää yksinkertaistaa huomattavasti. Yläasteen fysiikassa mekaniikasta kuitenkin opetetaan tasainen liike ja tutustutaan kappaleen kokemuksiin eri voimiin.

### **Muunnos: Pyörimisnopeuden yksikkömuunnoksia ja tulosten vertailua**

Tässä demonstraatiossa voidaan esimerkiksi määrittää karusellin pyörimisnopeus laskemalla minuutin aikana pyörityt kierrokset (rpm). Lopuksi tulosta verrataan annettuun arvoon, joka on yksikössä rps. Tunnettu arvo voi olla esimerkiksi suurin pyörimisnopeus, jolla oppilas uskaltaa olla kyydissä. Vertailua varten täytyy suorittaa yksinkertainen yksikkömuunnos.

### **Muunnos: Pyörimisnopeuden muuttaminen “tavalliseksi” nopeudeksi**

Yläkoulun yhdeksäsluokkalaisille sopiva ongelma olisi muuntaa polkupyörän renkaan pyörimisnopeus pyöräilijän nopeudeksi, kun renkaan säde tunnetaan. Pyörimisnopeus voidaan itse määrittää esimerkiksi edellisen muunnoksen menetelmällä.

# Muita saman aiheen demonstraatioita ja oppilastöitä

## Iso gyroskooppi toimistotuolissa

Tarvitaan polkupyörän rengas ja pyörivä toimistotuoli. Istutaan tuoliin ja pidetään rengasta pystyasennossa. Rengasta voi kallistella, eikä mitään pitäisi tapahtua. Seuraavaksi rengas palautetaan pystyasentoon ja laitetaan pyörimään kovaa (tähän voi tarvita avustajaa). Nyt kun pyörivää rengasta kallistaa, tuolinkin pitäisi lähteä pyörimään. Koska pyörimismäärä säilyy, rengas ja tuoli pyörivät vastakkaisiin suuntiin.

 [Gyroscope seat Demonstration](#)

## Iso gyroskooppi ilman tuolia

Tarvitaan taas polkupyörän rengas, mutta ei pyörivää tuolia. Kun renkaan saa pyörimään tarpeeksi kovaa, sen kallistaminen on erittäin raskasta. Tämä johtuu pyörimismäärän säilymisestä. Jotta pyörimismäärä säilyisi, myös renkaan pitelijän täytyisi pyöriä, mutta lattialla se ei onnistu.

## Punnukset pyörivällä kiekolla

Asetetaan samanmassaisia punnuksia suuren kiekon päälle. Kiekon kuuluu olla vaakatasossa ja kiinnitetty keskipisteestään siten, että kiekko voi pyöriä paikallaan kuin vinyylilevy levysoittimessa. Tarkoituksena on pyörittää kiekkoa eri nopeuksilla ja tarkkailla, mikä punnuksista irtoaa ensimmäisenä.

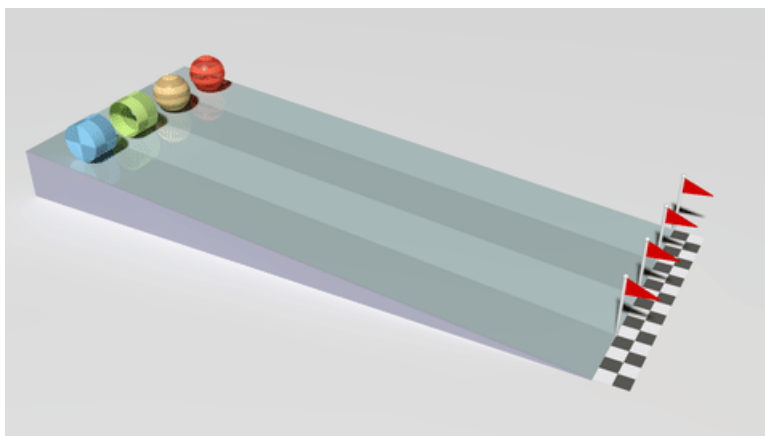
[Empiria 5, Otava - 2011](#)

## Katapultti

Tarvitaan laite tai mekanismi, joka sinkoaa kappaleen ympyräradalle katapultin tavoin. Ideana on saada kappale ympyräradalle ja vapauttaa se halutussa pisteessä. Oppilaiden tehtävänä on ennustaa mihin suuntaan kappale jatkaa matkaansa kun se vapautuu ympyräradalta. Jos käytössä on esim suurnopeuskamera, oikea suunta saadaan todennettua luotettavammin kuin paljaalla silmällä.

## Hitausmomentti ja geometria

Tähän demonstraatioon tarvitaan eri muotoisia, mutta samanmassaisia kappaleita ja kalteva taso. Yksi mahdollinen toteutustapa on kuvassa 6. Kuvassa käytetyt esimerkkikappaleet ovat (lähimmältä radalta kauimmaiselle) **sylinteri**, **rengas**, **pallo** ja **ontto pallokuori**.



Kuva 6: Hitausmomentin riippuvuus kappaleen geometriasta.  
(Wikimedia Commons)