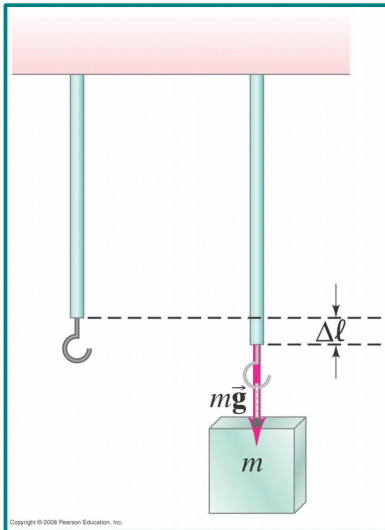
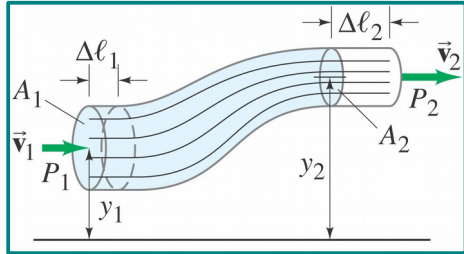
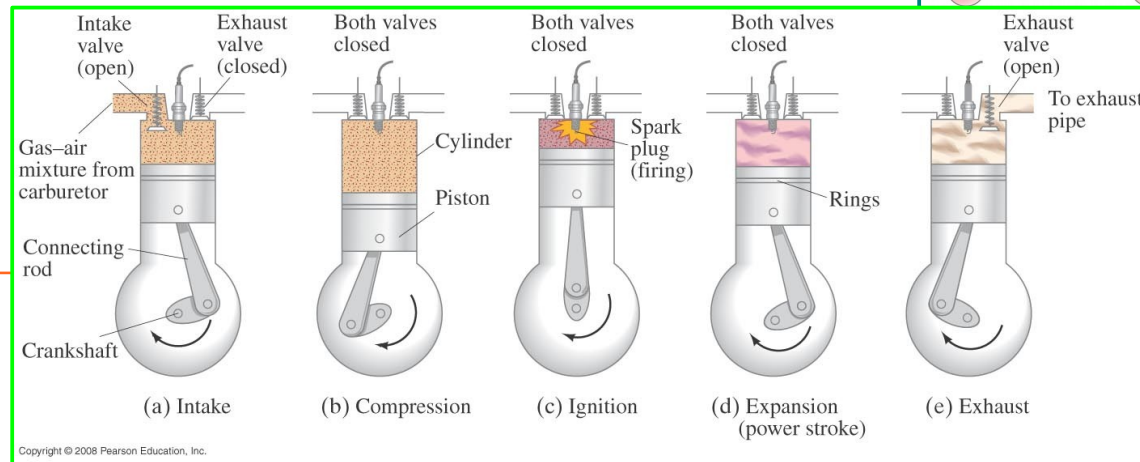
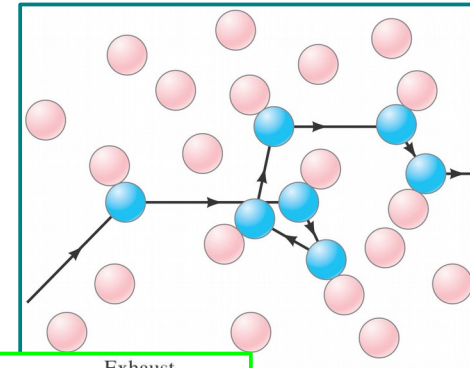
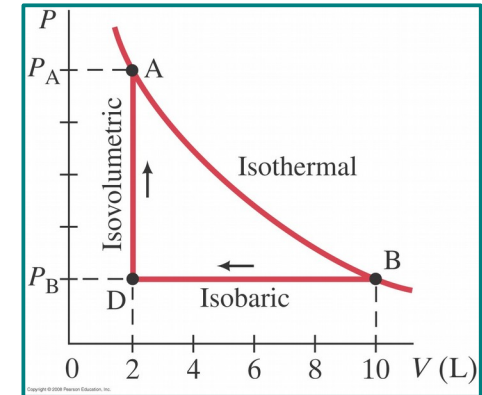


# PHYS-A3121 Termodynamiikka (ENG1) (5 op)



## Sisältö:

- Nestevirtaukset
- Elastiset muodonmuutokset
- Kineettinen kaasuteoria
- Termodynamiikan käsitteet
- Termodynamiikan pääsäännöt
- Termodynaamiset prosessit
- Termodynaamiset koneet



# Osaamistavoitteet

## Kurssin suoritettuaan opiskelija osaa

1. suorittaa fysikaalisia mittauksia ja analysoida saamiaan tuloksia,
2. ratkaista nesteiden virtauksia jatkuvuusyhtälön ja Bernoullin yhtälön avulla,
3. ratkaista elastisen kappaleen lämpövenymiä ja -jännityksiä sekä paineen aiheuttamia elastisia muodonmuutoksia,
4. soveltaa termodynamiikan pääsääntöjä termodynaamisiin prosesseihin,
5. selittää kineettisen kaasuteorian ja ideaalikaasun tilanyhtälön yhteyden,
6. analysoida termodynaamisia kiertokoneita ja laskea näiden hyötysuhteen sekä käyttöpaineen, -lämpötilan ja -tilavuuden.

# Suorittaminen

## Viisi komponenttia

1. *Harjoitukset*: 2 x 2 h / vko 5 viikon ajan, palautus STACK-järjestelmään MyCoursesissa
2. *Luentojen esitehtävät*: viikoittain ennen luentoja, palautus MyCoursesissa
3. *Luennot*: 2 x 2 h / vko 5 viikon ajan
4. *Viikon kertaustehtävät*: palautus MyCoursesissa luentoviikon päätteeksi
5. *Laborioritotyöt*: harjoittelupaketti + 2 työtä, 1 laboratoriossa ja 1 etänä

## Arvostelu (yhteensä 100 pistettä)

1. Tenti: 6 tehtävää, enintään 30 pistettä
2. Harjoitukset: enintään 30 pistettä
3. Luentojen esitehtävät, enintään 10 pistettä
4. Viikon kertaustehtävät, enintään 10 pistettä
5. Laborioritotyöt: suoritettava hyväksytysti, enintään 20 pistettä

Yhteensä  
enintään  
4 x tenttipisteet

A”

# Järjestelmät

## MyCourses

- Luentomateriaali
- Harjoitustehtävät ja niiden vastaukset
- Viikon kertaustehtävien palautus
- Tiedotus, ym.

## Stack (MC:ssä)

- Satunnaistetut versiot tehtävistä
- Tehtävien palautus
  - Palautuksen takaraja: harjoitusviikon jälkeinen keskiviikko klo 03.00

## MasteringPhysics (MC:ssä)

- Luentojen aiheisiin johdattavia tehtäviä
- Palautetaan ennen tiistain luentoa

# Tämän vuoden erikoisuudet

- Luennot järjestetään etäluentoina tavallisiin luentoaikoihin (ti 10-12, ke 10-12).
- Harjoitukset järjestetään tilavissa saleissa turvavälejä ja -ohjeita noudattaen. Harjoitusryhmiä on 5 ja kuhunkin mahtuu 40 opiskelijaa.
- Laboratoriotöitä järjestetään yksi työ laboratoriossa ja toinen työ etänä.
- Lokakuun tentti järjestetään etätenttinä. Tämän vuoksi arvosteluasteikko on hyväksytty / hylätty.

## Ilmoittautuminen Oodissa

- Ilmoittaudu kurssin luennoille.
- Ilmoittaudu *yhteen* harjoitusryhmään, jos aikomuksenesi on käydä harjoituksissa.
- Ilmoittaudu *yhteen* laboratorior ryhmään

# Viikon rakenne

## → Luennot:

- ✓ Luentojen esitehtävä ennen tiistain luentoa (MC/MP)
- ✓ Luennot ti ja ke klo 10-12 (MC)
- ✓ Viikon kertaustehtävä viikon loppuun mennessä (MC)

## → Harjoitukset: 2 x 2h / vko, palautus Stackiin (MC)

- ✓ Sarja auki ke klo 6.00 – seuraavan viikon ke klo 3.00

## → Laboratoriotyöt: harjoittelupaketti, yksi lähilabra ja yksi etälabra

# Luennot

- Luennoilla keskeisiä ovat kurssin käsitteet → näiden hallintaa testataan myös tentissä
- Luennoilla käytetään metodia, jossa kaikki luentoa seuraavat pääsevät osallistumaan
- Käsitteiden oppiminen paranee, jos niitä joutuu käyttämään itse aktiivisesti

# Fysiikan opinnot

Termodynamiikka (periodi I)



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Pakolliset

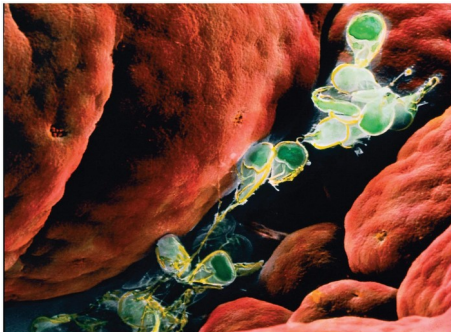


Sähkömagentismi (periodi III)



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Aineen rakenne (periodi IV / I+II)



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Sivuaine



- Termodynamiikka ja statistinen fysiikka
- Sähkömagneettisen kenttäteorian perusteet
- Kvanttimekaniikka
- Materiaalifysiikka

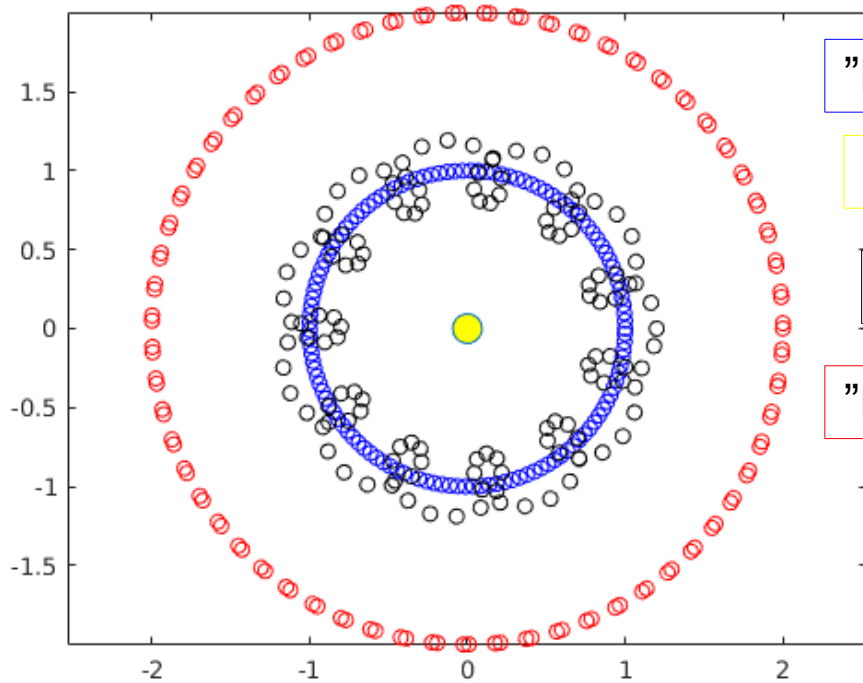


# Tieteellinen metodi

Tieteellinen teoria on:

- selittävä
- ennustava
- koeteltava

Aurinkokeskeinen



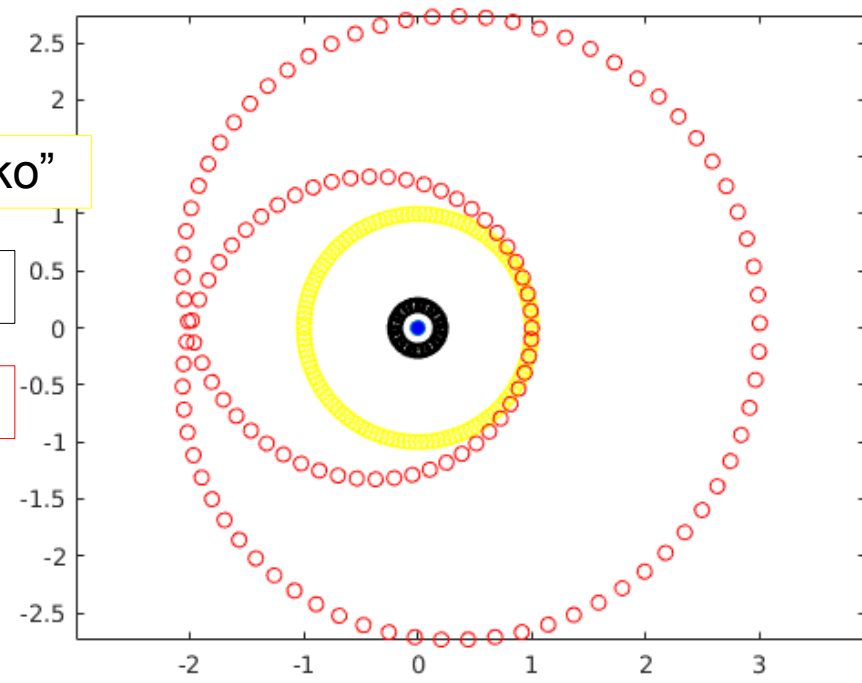
"Maa"

"Aurinko"

"Kuu"

"Mars"

Maakeskeinen

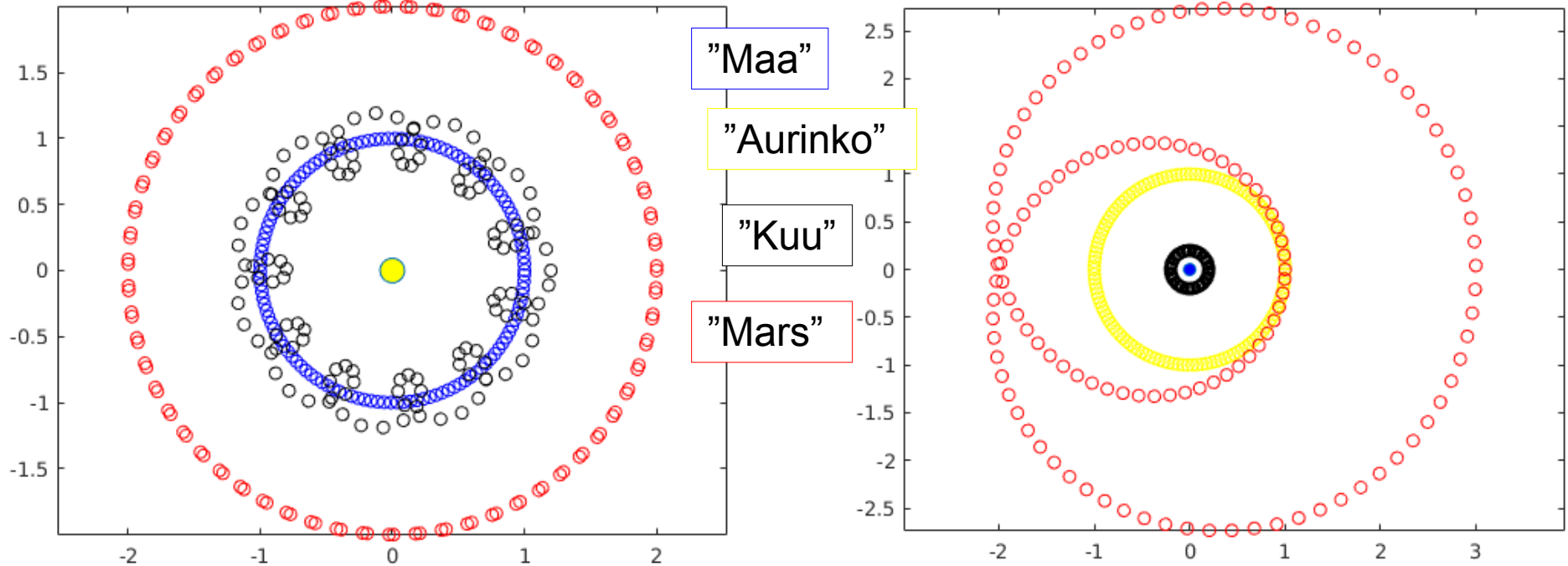


Molemmat mallit tuottavat saman liikkeen. Kumpi on parempi?

# Tieteellinen metodi

Aurinkokeskeinen

Maakeskeinen

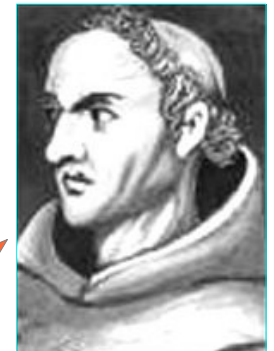


Molemmat mallit tuottavat saman liikkeen. Kumpi on parempi?

**Occamin partaveitsi:**



Ilmiötä selittävien tekijöiden määrän tulee olla mahdollisimman vähäinen. Teorioiden tulee olla mahdollisimman yksinkertaisia.

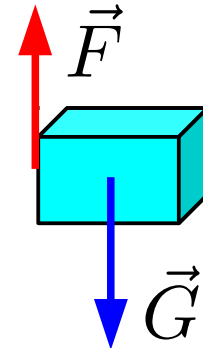
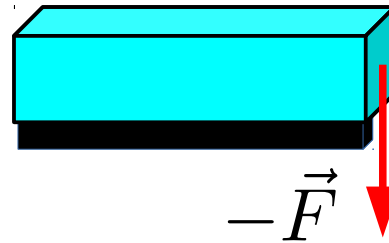


Wilhelm Ockhamilainen  
(n. 1285 - 1349)

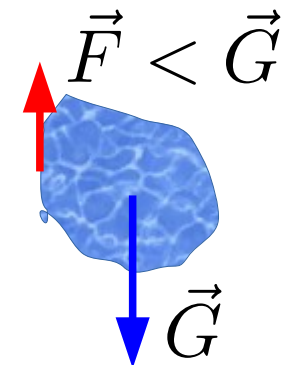
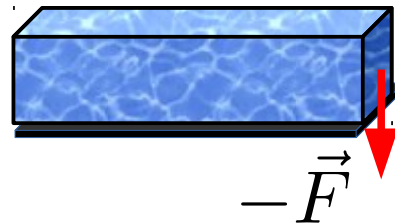
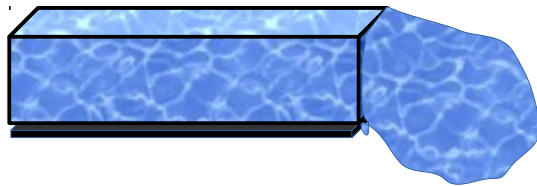
# Nesteet

Mikä on neste?

Tapaus 1:



Tapaus 2:



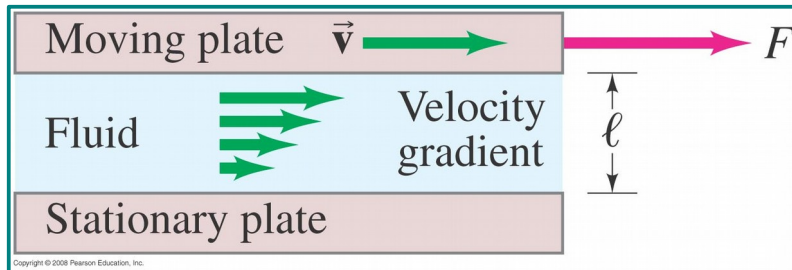
# Nestevirtaukset

Yleisesti ottaen nesteen virtaus on aika sekava prosessi.

Tehdään muutamia helpottavia oletuksia:

1. *Pyörteettömyys* eli virtaus on ns. laminaarista
2. *Kitkattomuus* eli nesteessä ei ole sisäistä kitkaa
3. Virtauksen *tulppaprofiili* eli neste liikkuu rintamana samalla nopeudella
4. Usein myös *kokoonpuristumattomuus* eli nesteen tiheys ei muutu virtauksessa

Viskositeetin eli nesteen sisäisen kitkan määrittäminen



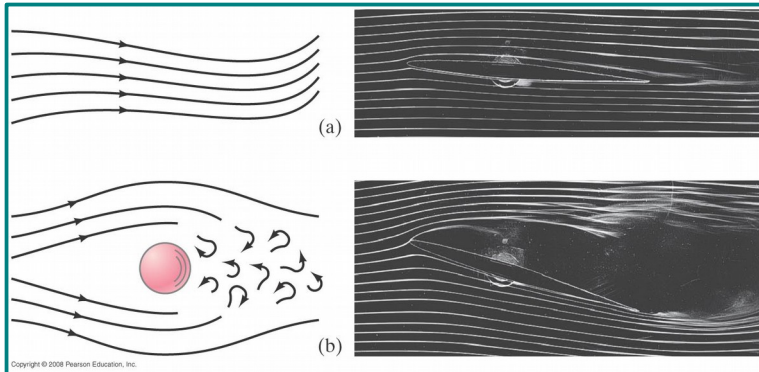
$$F = \eta A \frac{v_1 - v_0}{\ell} = \eta A \frac{v}{\ell} \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{F \ell}{A v}$$



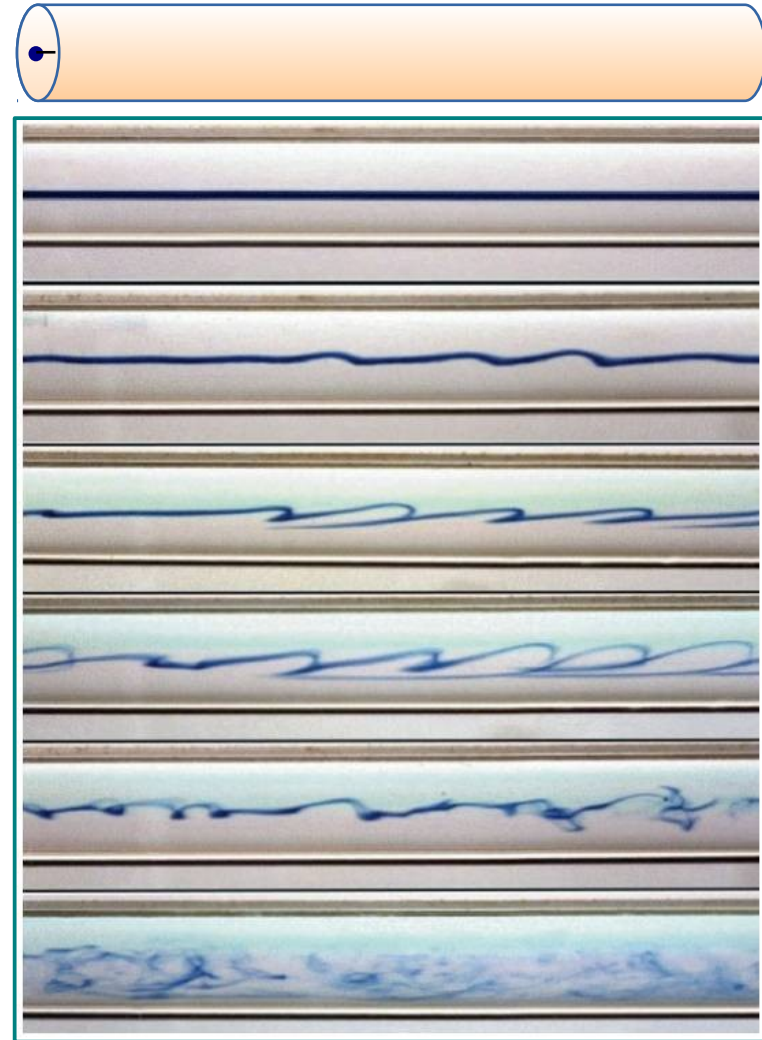
<http://www.bonappetit.com>

# Pyörteinen eli turbulenti virtaus

Häiriö virtauksessa muuttuu sen helposti turbulentiksi



Virtausnopeus putkessa kasvaa



# Nestevirtaukset: jatkuvuusyhtälö

Määritellään nesteen **massavirta**:

$$R = \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

= kunkin pisteen aikayksikössä ohittaman nesteen massa

Koska pisteessä 1:

$$\Delta m_1 = \rho_1 \Delta V_1 = \rho_1 A_1 \Delta \ell_1$$

ja samoin pisteessä 2:

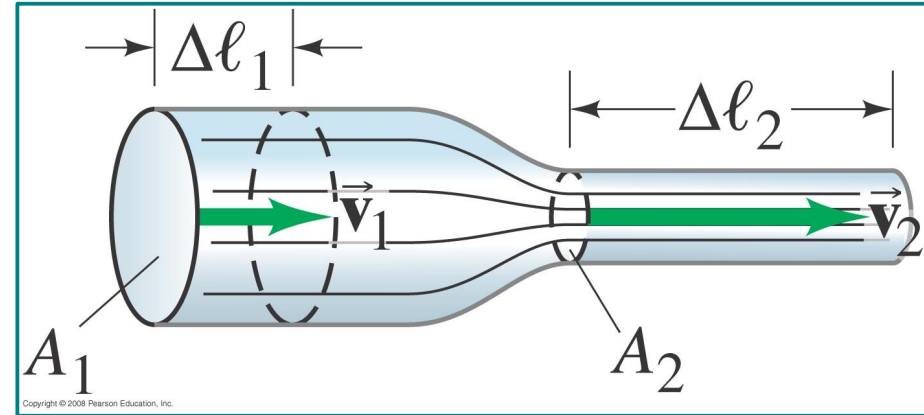
$$\Delta m_2 = \rho_2 \Delta V_2 = \rho_2 A_2 \Delta \ell_2$$

ja koska massa ei missään häviä:

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t}$$

ja koska

$$\frac{\Delta \ell_1}{\Delta t} = v_1 \quad \& \quad \frac{\Delta \ell_2}{\Delta t} = v_2$$



Jatkuvuusyhtälö



$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

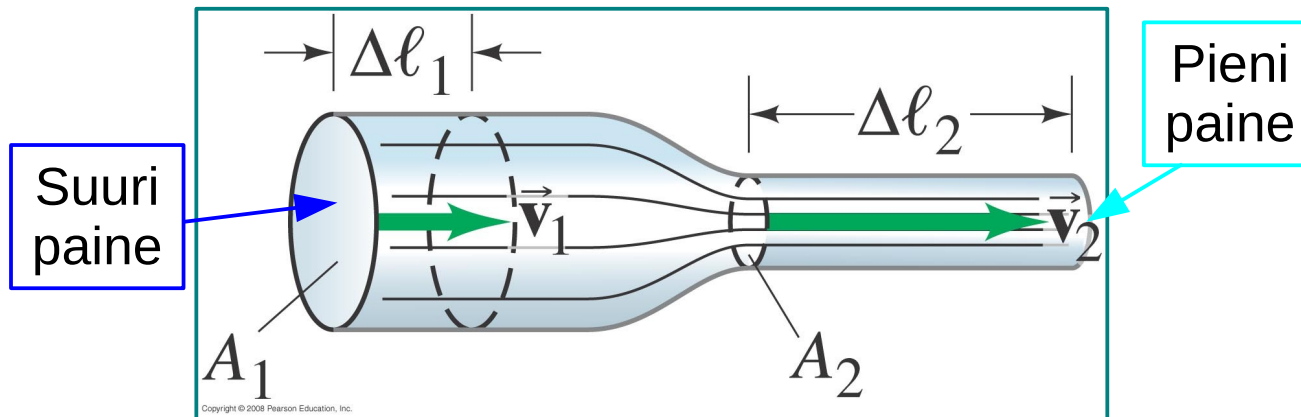
Jos nesteen tiheys ei muutu eli neste on kokoonpuristumatonta niin  $\rho_1 = \rho_2$  ja

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

# Nestevirtaukset: Bernoullin yhtälö

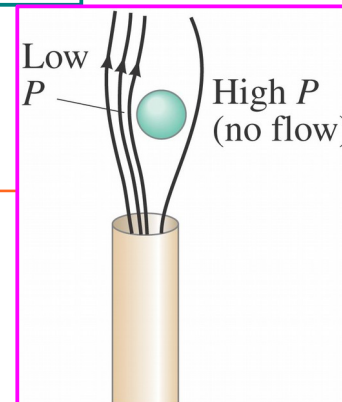
Jatkuvuusyhtälö: mikä menee sisään, tulee uloskin

*Bernoullin periaate:* Jos nesteen virtausnopeus on suuri, niin sen paine on pieni ja jos nopeus on pieni niin paine on suuri



Daniel Bernoulli  
1700 - 1782

Mutta: Mikä saa nesteen liikkumaan?



# Nestevirtaukset: Bernoullin yhtälö

Työ pisteessä 1:  $W_1 = P_1 A_1 \Delta l_1$

Työ pisteessä 2:  $W_2 = -P_2 A_2 \Delta l_2$

Painovoiman tekemä työ:

$$W_3 = -mg(y_2 - y_1)$$

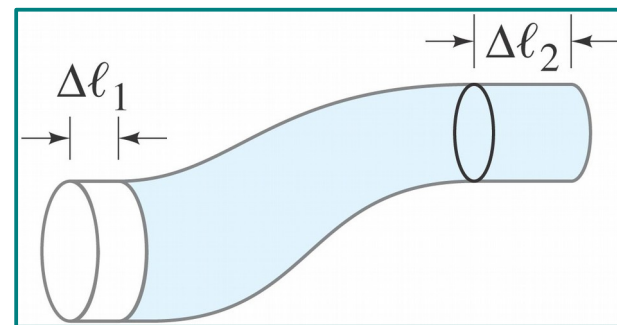
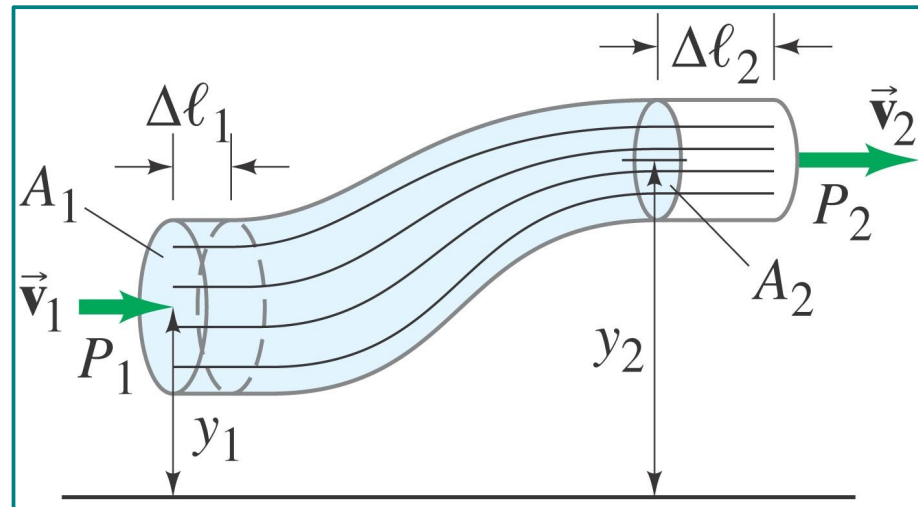
Kaikki nämä muuttavat nesteen  
liike-energiaa:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = P_1 A_1 \Delta l_1 - P_2 A_2 \Delta l_2 + mgy_1 - mgy_2$$

Kokoonpuristumattomalle nesteelle

$$m = \rho \Delta V$$

$$\Delta V = A_1 \Delta l_1 = A_2 \Delta l_2$$

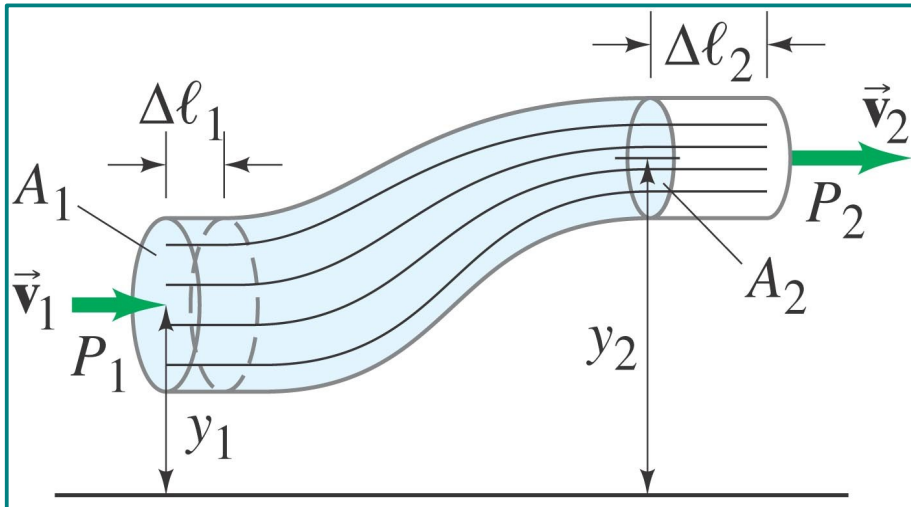


$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$



# Nestevirtaukset: Bernoullin yhtälö

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$



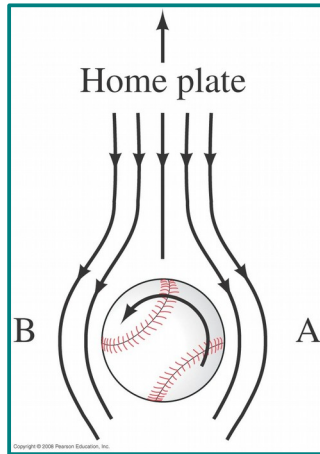
Bernoullin yhtälö siis sanoo, että tietty paineesta, virtausnopeudesta ja painovoiman potentiaalienergiasta riippuva lauseke säilyy virtaviivalla

Milloin tämä on realistista:

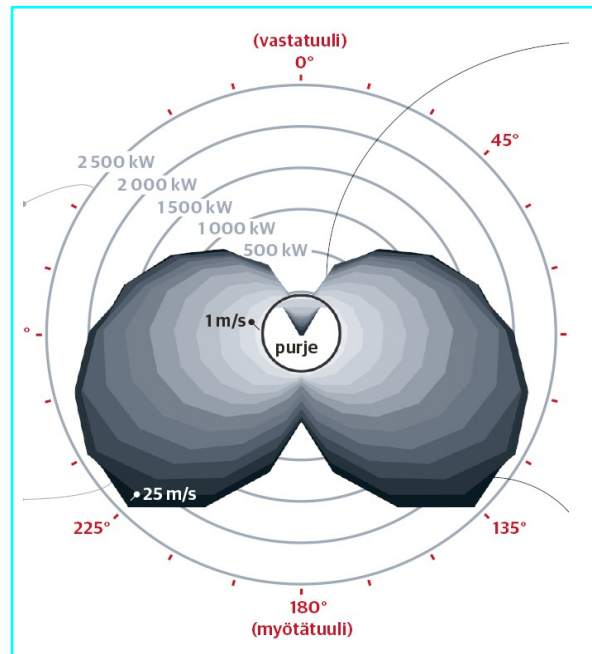
- Kun virtaus on *pyörteetöntä*
- Kun virtaus on *kitkatonta*
- Ylläolevassa muodossa, kun virtaus on *kokoonpuristumatonta*

# Bernoullin yhtälö arjessa

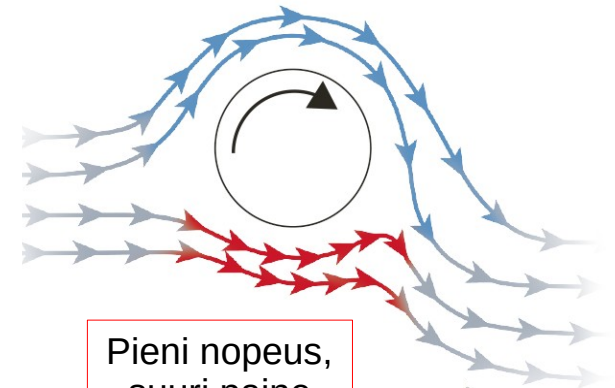
Kierteinen pallo muuttaa suuntaansa



Roottoripurje



Suuri nopeus, pieni paine



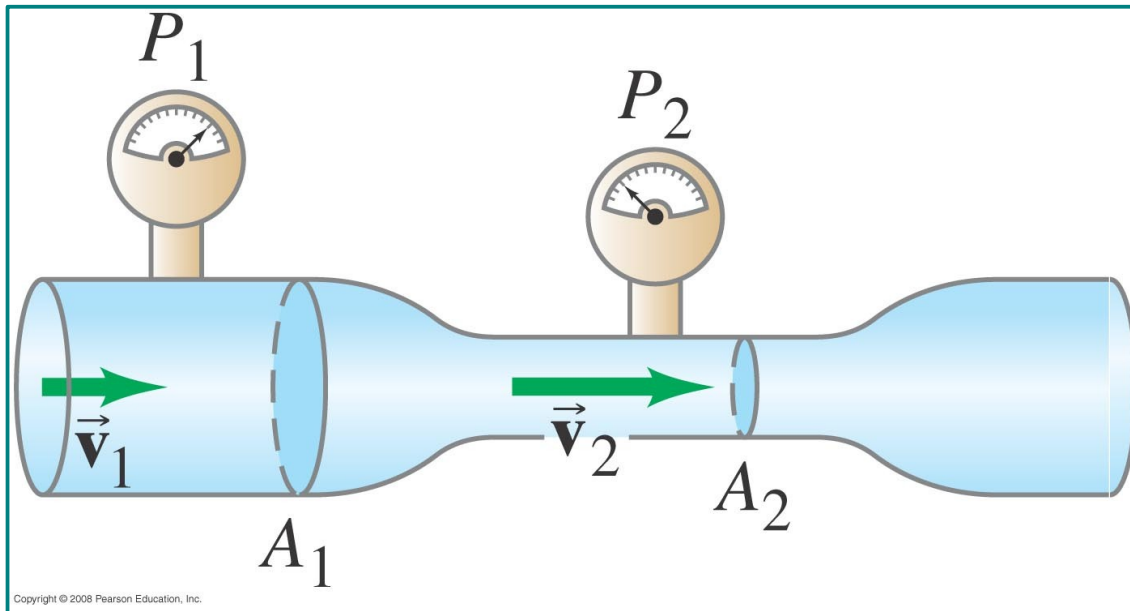
Pieni nopeus, suuri paine

# Esimerkki: Venturin putki / mittari

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2$$



Giovanni Battista Venturi  
(1746 - 1822)



Virtauskorkeus ei muutu, eli  $y_1 = y_2$

Jatkuvuusyhtälön vuoksi  $v_2 > v_1$

Bernoullin yhtälön nojalla  $P_1 > P_2$

Ja itse asiassa  
mittaamalla  
paine-ero  
voidaan määrittää  
virtausnopeus:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \left( \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right)}}$$

# Esimerkki: Venturin putki kaasuttimessa

