

Klassinen dynamiikka: Luento 1

Martikainen Jani-Petri

Kieli yms.

- Luennoin suomeksi, mutta osa kalvoista voi olla englanniksi
- Käytän osin olemassa olevaa materiaalia ja joskus mukana voi olla myös englanninkielistä materiaalia.
- Omat muistiinpanoni myös jaan.

Oppimistavoitteet tänään

- Kurssin rakenne
- Kerrataan Newtonin lait ja säilymislait

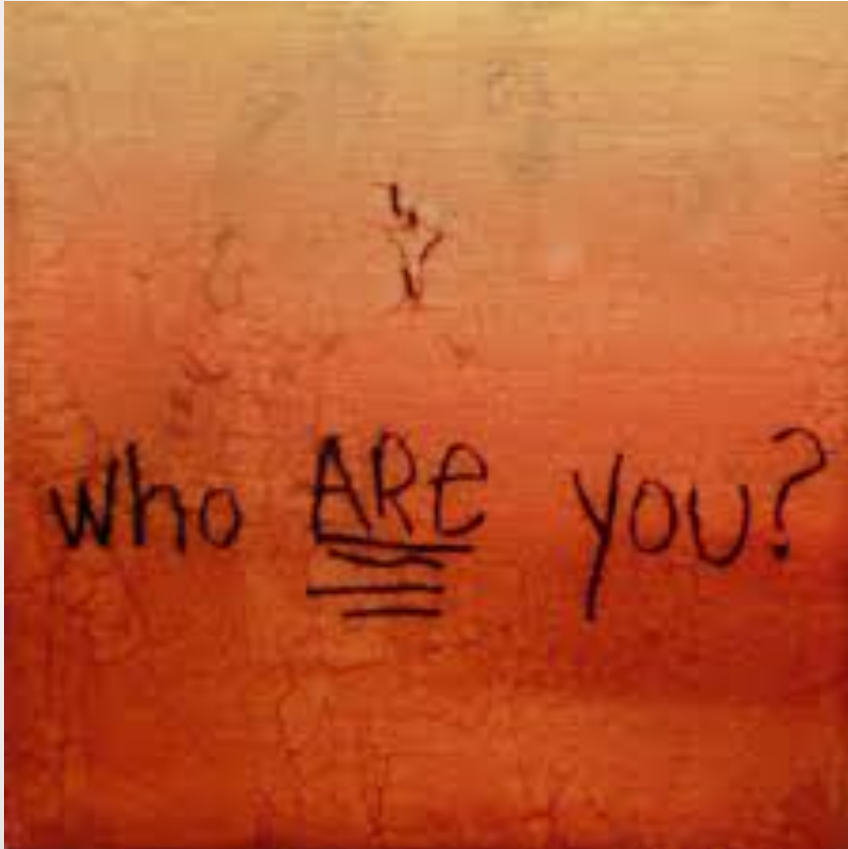


Käytännön asioita

- Materiaali yms. MyCourses-sivulla
- Assistants: Kukka-Emilia Huhtinen (kukka-emilia.huhtinen@aalto.fi) ja Samuel Nurmi (samuel.nurmi@aalto.fi)
- Laskareiden dedis seuravan viikon keskiviikon luentoan mennessä 12:15.

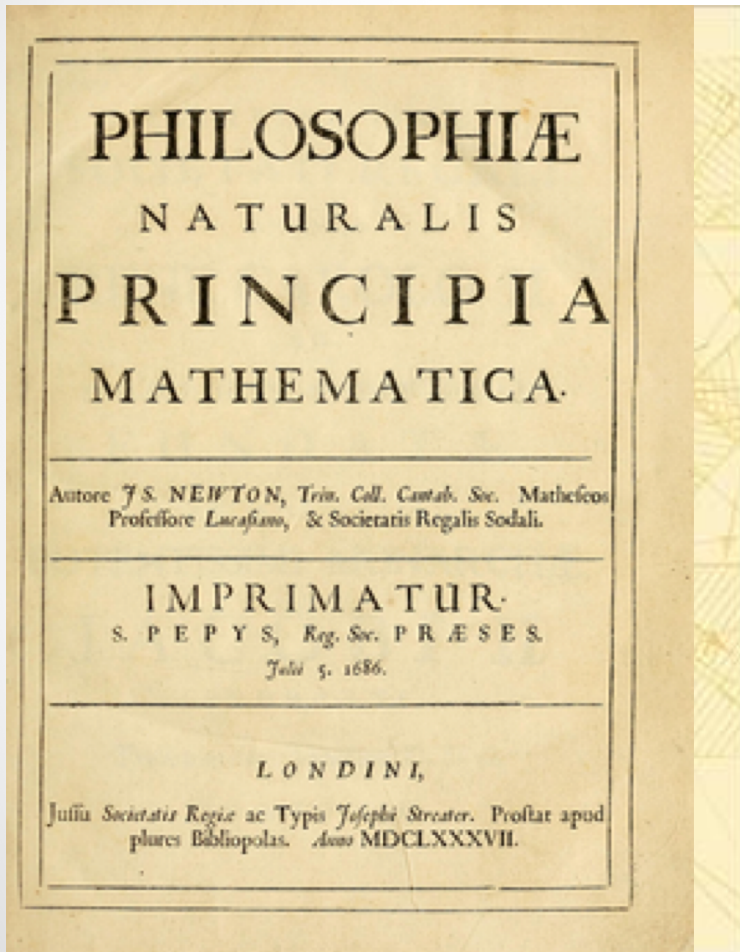
Maanantain 0815 ryhmä -> 0830 aloitus? Ok?

Käytännön asioita



Kuka sinä
olet?
Poll

Käytännön asioita



Jani-Petri.Martikainen@aalto.fi (N201b),
Kukka-Emilia.Huhtinen@aalto.fi (to
ryhmät) ja Samuel.Nurmi@aalto.fi
5op, 4 h luentoa and 2 h laskareita
(5kpl)

Palauta laskarit yhdellä pdf-tiedostolla
MC:ssa ennen seuraavan viikon
laskareita.

Book(s): Fetter & Walecka: “Theoretical
mechanics of particles and Continua”

Monia muita...erityisesti
suhteellisuusteoriaa ei F&W:ssä

Käytännön asioita: muita kirjoja

Classical
MECHANICS
THIRD EDITION



Goldstein
Safko & Poole

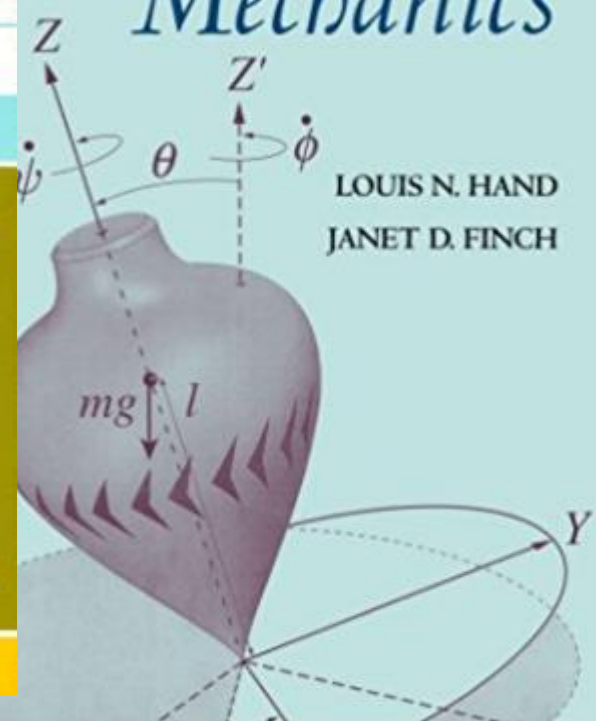
Mechanics
Third Edition

Course of Theoretical Physics
Volume 1

L.D. Landau and E.M. Lifshitz
Institute of Physical Problems, USSR Academy of Sciences, Moscow



Analytical
Mechanics



Voivat auttaa...lisäksi Classical mechanics :Douglas Gregory (e-book) sisältää osin samoja asioita. Goldsteinissa suhteellisuusteoriaa esim.

Käytännön asioita

- Lopputentti 2.6.2021 13 -16
- **Pisteytys ehdotus (?):**
 - Kokeesta $4 \times 6 = 24$ pistettä korkeintaan
 - Laskareista 16 pistettä korkeintaan (40%)
- Läpimenoraja jossain 50% nurkilla



**Lähetä sähköpostia, kysy MC:ssa,
jää luennon jälkeen
juttelemaan...**

Sisällys: noin suunnilleen

1. Viikko: kertausta, lämmittelyä klassisesta mekaniikasta
2. Viikko: Lagrangen dynamiikkaa
3. Viikko: Variaatiolaskentaa, Hamiltonin periaate
4. Viikko: Hamiltonin dynamiikka
5. Viikko: Suppeampi suhteellisuusteoria
6. Viikko (ei enää laskareita tältä viikolta)
 - Suhteellisuusteoriaa lisää, kentät ja hiukkaset yhdessä
 - kertaus

Sisällys: filosofia

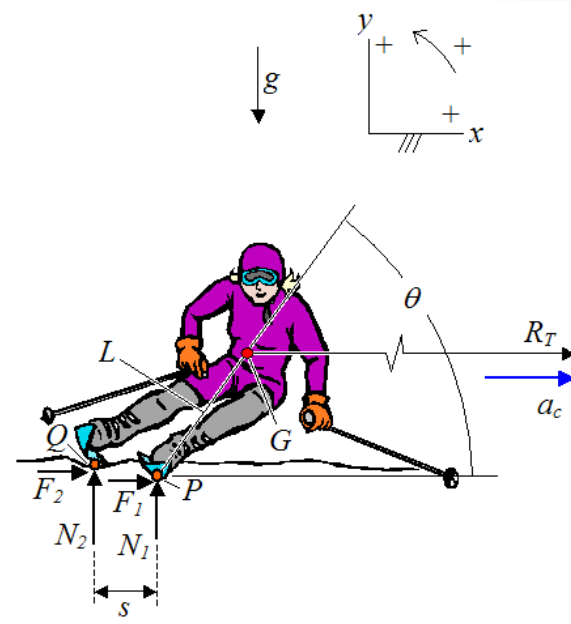
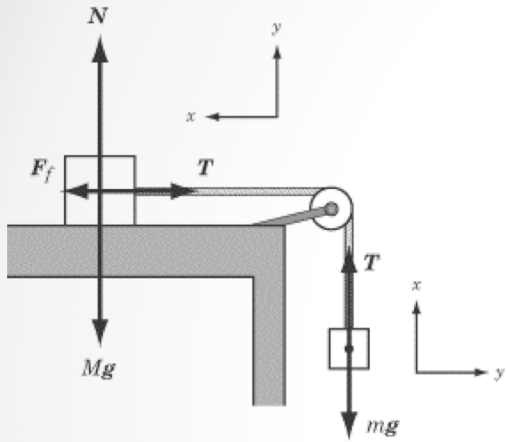
- Olet jo oppinut Newtonin lait
- Formuloimme vaihtoehtoisia ja helpompia tapoja käsitellä dynaamisia ongelmia
- Laskut helpompia: vähemmän vektoreita, luonnolliset koordinaatiston valinnat, symmetrioiden rooli selkeämpi
- Yleistyvät luontevammin kenttäteorioihin ja kvanttimekaniikkaan
- Miten suhteellisuusteoria muuttaa kokonaiskuvaa?
- **Sama työkalupakki kaikelle fysiikalle**
- **Klassista dynamiikkaa “done right”**



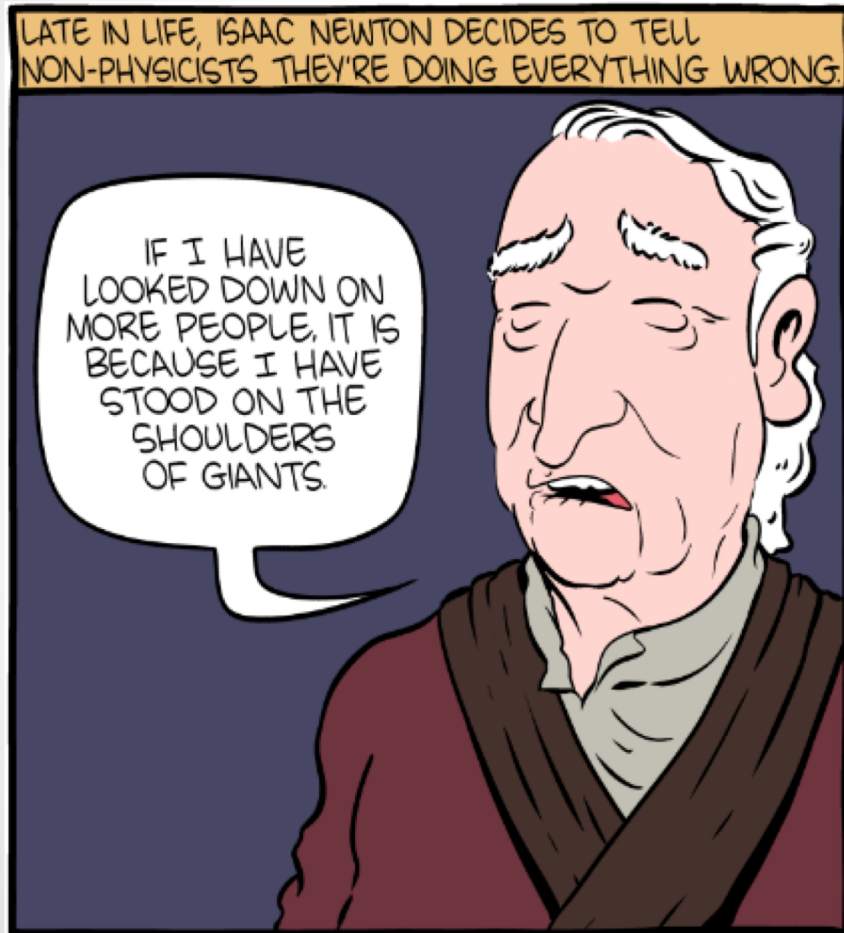
It is awesome!



Muistelua:klassisen mekaniikan käsitteitä



Newtonin lait



- Arkielämän dynamikka
- Usein riittävän tarkka
- Koneet, ilmakedä, satelliitit...

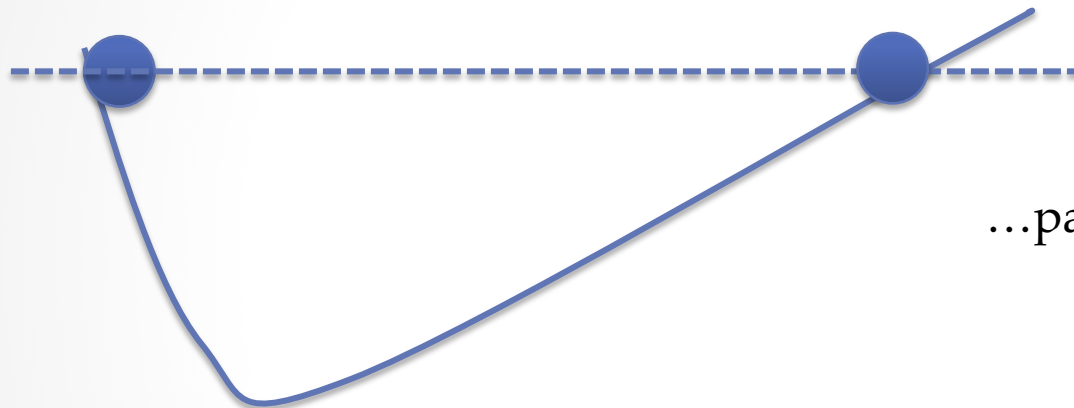
Newtonin 1. laki

- Määrittelee inertiaalikoordinaatiston:
 - "Kappale jatkaa tasaista suoraviivaista liikettä vakionopeudella tai pysyy levossa, jos siihen ei vaikuta ulkoisia voimia"
- Aristoteles olisi ollut eri mieltä!
- Galileo Galilei pohjusti ja Rene Descartes sanoi sen selvästi 1644 (Newton syntyi 1642!)...Descartes taas kopsasi sen Isaac Beeckmanilta!
- Ei lainkaan intuitiivinen laki
- Kokeellinen vahvistus approksimatiivinen (painovoima!)

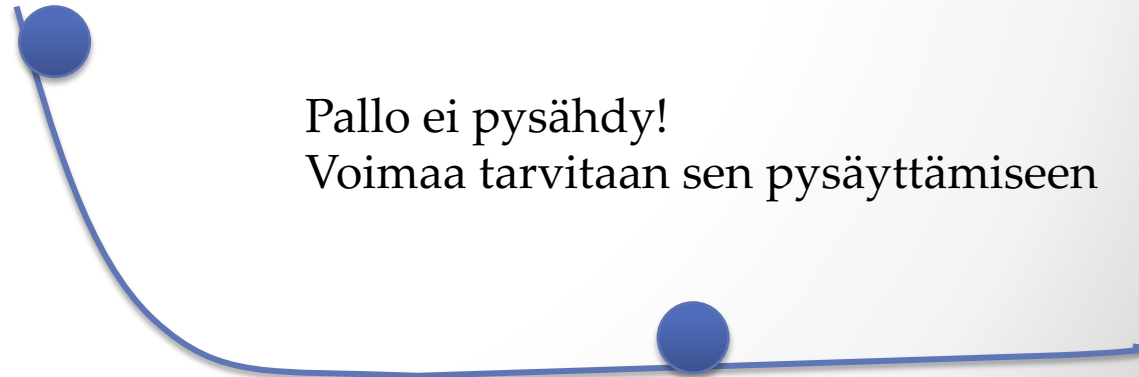
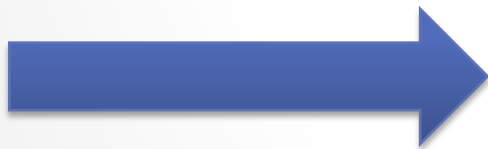
Kuinka monta inertiaalikoordinaatistoa?

Galileo: inertia

- Mitä jos ei ole kitkaa...



...pallo nousee samalle korkeudelle



Pallo ei pysähdy!
Voimaa tarvitaan sen pysäyttämiseen



Newton II

- “Intertiaalikoordinaatistossa, ulkoinen voima muuttaa liikemäärää kuten...”

$$\mathbf{F} = \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \dot{\mathbf{p}}$$

- JOS massa säilyy
- ja liikemäärä $\mathbf{p} = m\mathbf{v}$

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = \frac{d^2 \mathbf{x}}{dt^2} = \ddot{\mathbf{x}}$$

a=kiikhtyvvyys

May the...



turkerviolin:

theravennerd:

landsharman:

The difference between nerds and geeks.

That's it. I found it. The thing that finally made me actually understand the difference.

There it is. It has been said.

Newton III: voiman ja vastavoiman laki

- “To each action, there is an equal and opposite reaction. Thus if \mathbf{F}_{12} is the force exerted on particle 1 by particle 2, then

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

- and these forces act along the line separating the particles”: F&W



Ed Yong
@edyong209

Share



Following

For every action, there is an equal and opposite distraction.

↩ Reply ↻ Retweeted ★ Favorite ⋮ More

Mitä jos massa ei säily?

- Esimerkkejä?
- Raketit, pisarat, ablaatio paine (rockets/inertial confinement fusion/thermonuclear weapons?)

$$M = M_0 e^{-V/c}$$

M = Mass after velocity V has been reached

M₀ = Launch Mass

V = velocity attained

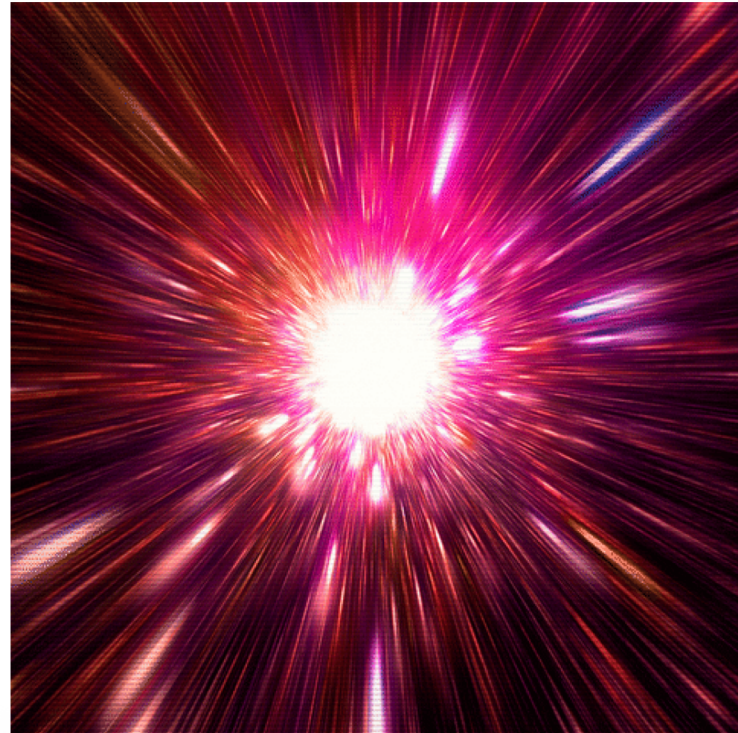
c = Exhaust Velocity of gases



Jos massa ei säily?

- Teaser suhteellisuusteoriasta...
- Massa kasvaa nopeuden mukana...vakiovoima kiihdyttää?

Valon nopeus rajana!



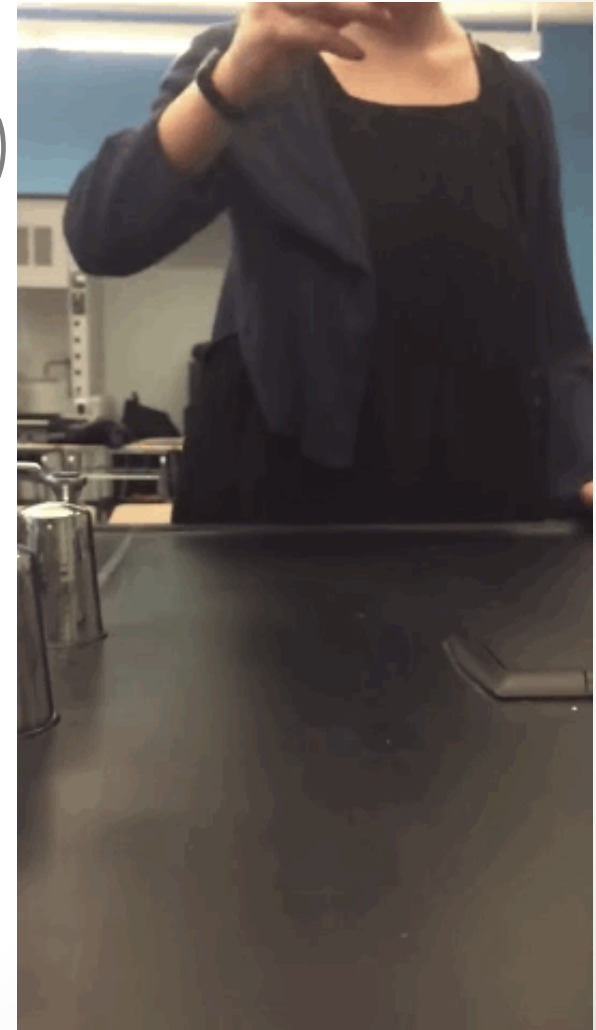
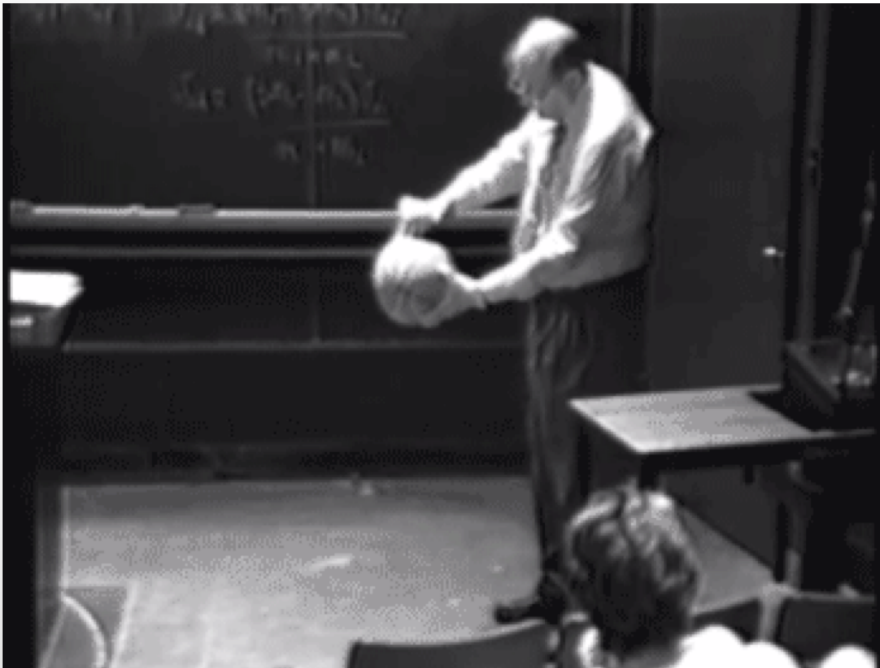
Liikemäärän säilyminen

- Muistiinpanot...
- Liikemäärä p säilyy jos ei ulkoisia voimia

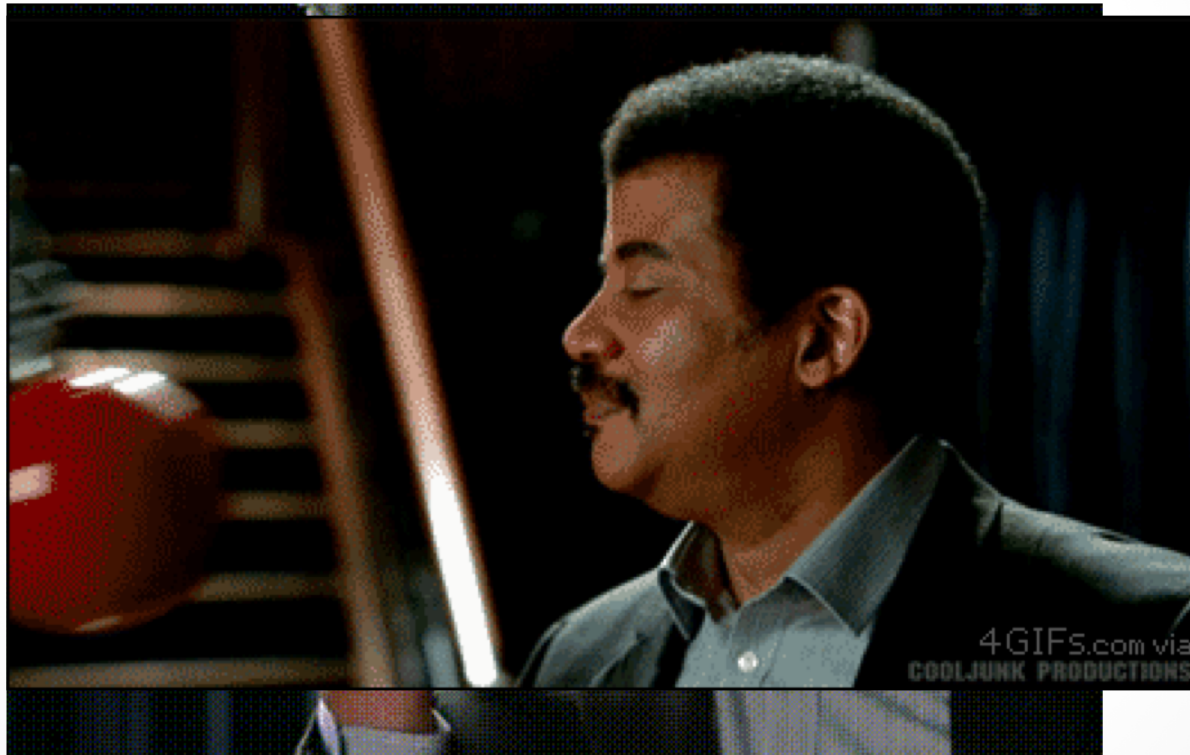


Energian säilyminen

- Ks muistiinpanot...
- Energia (konservatiiviset voimat)
- Mitä tässä tapahtuu?

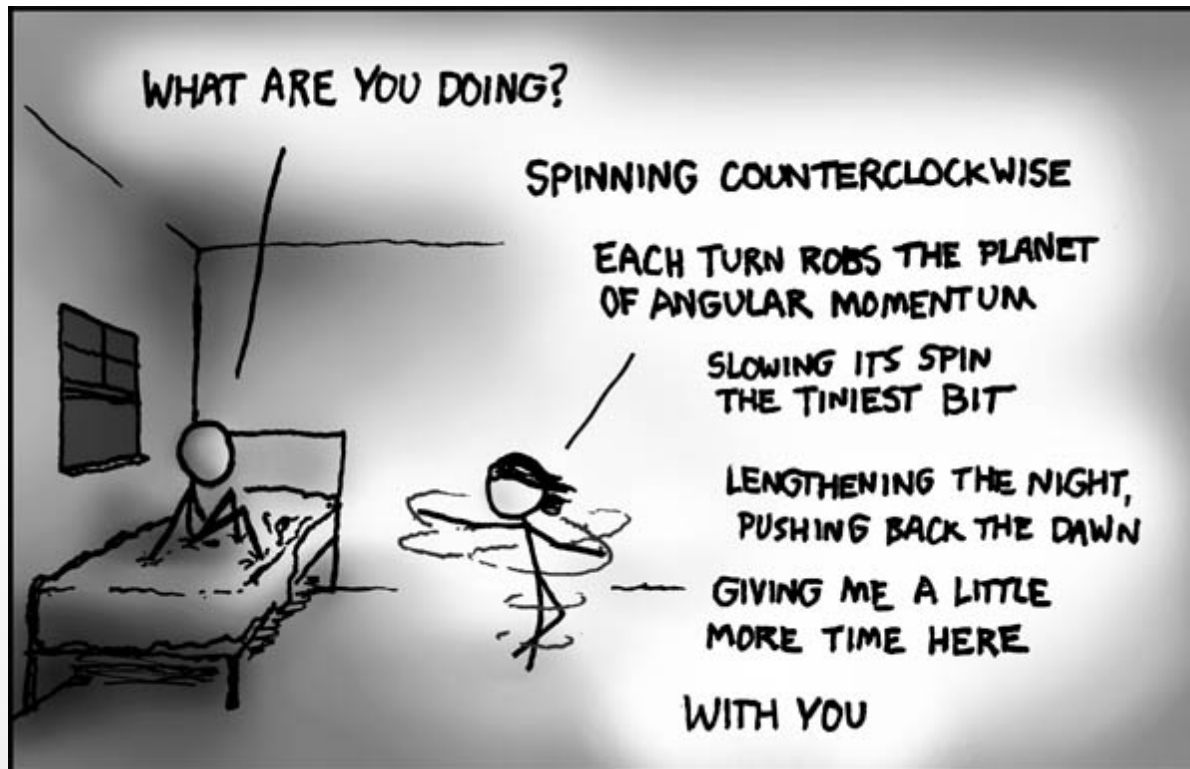


Energian säilyminen



Kulmaliikemäärän säilyminen

- muistiinpanot...
- Kulmaliikemäärä säilyy, jos ei vääntömomenttia
- Keskeisvoimat → kulmaliikemäärä säilyy



Miksi säilymislait hyödyllisiä?



Snorefest to come!

© 2000 Ted Goff www.tedgoff.com



"You're not allowed to use the sprinkler system to keep your audience awake."

Monen hiukkasen systeemi

- N hiukkasta... määrittelee massakeskipiste \mathbf{R} (M =total mass):

$$\sum_i m_i \mathbf{r}_i = \sum_i m_i \mathbf{R} = M \mathbf{R}$$

- Ulkoinen voima ja voimat muista hiukkasista

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_i^{(e)} + \sum_{j \neq i} \mathbf{F}_{ji}$$

- Massakeskipisteelle (center of mass =CM)

$$M \ddot{\mathbf{R}} = \sum_i m_i \ddot{\mathbf{r}}_i = \sum_i \mathbf{F}_i^{(e)} + \sum_i \sum_{j \neq i} \mathbf{F}_{ji}$$

Monen hiukkasen systeemi

- Viimeinen termi häviää...miksi?
- Saamme

$$M\ddot{\mathbf{R}} = M\dot{\mathbf{V}} = \sum_i \mathbf{F}_i^{(e)} \equiv \mathbf{F}^e$$

- CM liikkuu ikäänkuin ulkoinen voima vaikuttaa M:ään joka sijaitsee kohdassa R
- Milloin kokonaisliikemäärä $\mathbf{P} = \sum_i \mathbf{p}_i$ säilyy ?
- Samalla tavalla kokonais kulmaliikemäärä

$$\mathbf{L} = \sum_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{p}_i$$

Monen hiukkaseen systeemi

- Saamme (jos voimat F_{ij} r_i - r_j suuntaisia)... (aina totta?)

$$\dot{\mathbf{L}} = \sum_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{F}_i^{(e)} \equiv \Gamma^{(e)}$$

Muutos kokonaiskulmaliekin määrässä liittyy ulkoisen vääntömomenttiin.

Usein hyödyllistä käyttää koordinaatistoa, jonka origo massakeskipisteessä

$$\mathbf{r}_i = \mathbf{R} + \mathbf{r}'_i \quad \mathbf{v}_i = \mathbf{V} + \mathbf{v}'_i$$

- Jolloin saamme

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_{cm} + \mathbf{L}'$$

$$\mathbf{L}_{cm} = \mathbf{R} \times \mathbf{P}$$

$$\sum_i m_i \mathbf{r}'_i = 0 = \sum_i m_i \mathbf{v}'_i$$

Monen hiukkaseen systeemi

- Pilkullinen on siis sisäinen kulmaliikemäärä massakeskipisteen suhteen

$$\mathbf{L}' = \sum_i m_i \mathbf{r}'_i \times \mathbf{v}'_i$$

- L ei riipu massakeskipisteestä R VAIN jos $V=0$.
- L':n muutos CM:n suhteen on ulkoinen vääntömomentti massakeskipisteen suhteen

$$\dot{\mathbf{L}}' = \dot{\mathbf{L}} - \dot{\mathbf{L}}_{cm} = \sum_i \mathbf{r}'_i \times \mathbf{F}_i^{(e)}$$

- Tämä totta myös ei-inertiaalisessa koordinaatistossa
- Jos ei vääntömomenttia, L' on vakio

•

•

Monen hiukkasen systeemi

- Enerdialla samalla logiikalla . Kokonaisliike-energia

$$T = \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = T_{cm} + T'$$
$$T_{cm} = \frac{1}{2} M V^2 \quad \text{and} \quad T' = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i'^2$$

- Potentiaali energia (konservatiiviset voimat ja ei "itseisvoimia" eli $V(r_{ii})=0$):

$$V = \sum_i V^{(e)}(\mathbf{r}_i) + \frac{1}{2} \sum_{ij} V(r_{ij})$$

Monta hiukasta

- ...saamme energian säilymisen lain

$$E = T + V = \textit{constant}$$

- Mitä oletus jäykästä kappaleesta täällä tarkoittaa?
Miten se yksinkertaistaa asioita?
- Jäykälle kappaleelle r_{ij} ovat vakioita ja summa hiukkastenvälisille potentiaaleille antaa vakion. Silloin vain ulkoiset voimat voivat muuttaa liike-energiaa

Ensi kerralla

- Sovelletaan opittua...miten liikeyhtälöt johdettiin?
- Ei-inertiaaliset koordinaatitot