

VUOROVAIKUTUKSET:

1) GRAVITAATIO ELI PAINOVOIMA (gravitoni)

- johtuu vuorovaikuttavien kappaleiden massoista
- planeetat ja asteroidit (= planeettojen kuut) kiertävät aurinkoa gravitaatiovuorovaikutuksen johdosta, samoin planeettojen kuut planeettoja (gravitaatiolaki)
- esim. aurinkokunnat ja galaksit pysyvät kasassa gravitaatiovuorovaikutuksen johdosta
- kaikkein heikoin ja huonoiten tunnettu vuorovaikutus
- pitkän kantaman vuorovaikutus (kantama ∞), suht.voim. $\sim 10^{-38}$
- välittäjähiukkanen gravitoni, jota ei ole vielä havaittu

2) SÄHKÖMAGNEETTINEN VUOROVAIKUTUS (fotoni)

- sähkövarausten väline voimavaikutus, magneettien välillä
- toiseksi vahvin vuorovaikutus
- esim. atomytimen ja elektroniverhon välillä \rightarrow sm-vuorovaikutus pitää atomia koossa
- protonien välillä sähkömagneettinen hylkimisvoima
- kemialliset sidokset, molekyylien väliset heikot voimat (van der Waalsin voimat) ovat sm-vuorovaikutuksesta johtuvia voimia
- sidosvoimat, kiinnevoimat ja kosketusvoimat ovat luonteeltaan sähkömagneettisia
- pitkän kantaman vuorovaikutus (kantama ∞), suht.voim. $\sim 10^{-2}$
- välittäjähiukkanen fotoni

3) VAHVA VUOROVAIKUTUS ELI VÄRIVOIMA (gluoni)

- atomytimessä nukleonien (protonit, neutronit) välillä sekä kvarkkien välillä; protonit ja neutronit koostuvat kvarkeista (ks. MAOL s. 115-116 (107-108))
- atomytimen pysyy koossa, koska vahva vv $>$ sähkömagn. vv (protonien välinen sähkömagn. vv on hylkimisvoima !!)
- vahva vuorovaikutus on kaikkein vahvin vuorovaikutus
- kun etäisyys on alle 0,4 fm, vahva vv aiheuttaa voimakkaan hylkimisvoiman
- kun etäisyys on välillä 0,4 fm – 2 fm, vahva vv on vetovoima
- kun etäisyys on yli 2 fm, vahva vv heikkenee nopeasti
- kantama $\sim 10^{-15}$ m, suht.voim. ~ 1
- välittäjähiukkanen gluoni

4) HEIKKO VUOROVAIKUTUS (välibosoni)

- aiheuttaa neutronin ja protonin hajoamisen ytimen beetahajoamisessa
- toiseksi heikoin vuorovaikutus
- vaikuttaa ainoastaan atomin ytimen suuruusluokkaa olevilla etäisyyksillä
- kantama $\sim 10^{-18}$ m, suht.voim. $\sim 10^{-12}$
- välittäjähiukkasina toimii kolme erilaista välibosonia

\rightarrow YHTENÄISTEORIA

Suuri yhtenäisteoria (*Grand Unified Theory eli GUT*) on fysiikassa yhtenäiskenttäteoria, joilla pyritään yhdistämään kolme neljästä perusvuorovaikutuksesta eli heikko vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja sähkömagneettinen vuorovaikutus. Sähkömagneettinen vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus on onnistuttu yhdistämään *sähköheikoksi vuorovaikutukseksi*. **Suuren yhtenäisteorian** tarkoituksena on yhdistää sähköheikko vuorovaikutus ja vahva vuorovaikutus. Vielä laajempi teorioiden yhdistäminen on ns, **Kaiken teoria** (*Theory of Everything eli TOE*), johon yhdistettäisiin kaikki neljä perusvuorovaikutusta.

Hiukkasfysiikan standardimalli on puolestaan hiukkasfysiikan teoria, joka kuvaa heikon, vahvan ja sähkömagneettisen vuorovaikutuksen sekä alkeishiukkasat, joista aine pohjimmiltaan koostuu. Se on osa tavoiteltavaa laajempaa teoriaa (GUT, TOE). Standardimallin puuttuva hiukkanen, Higgsin hiukkanen eli Higgsin bosoni, löydettiin vuonna 2012. *Yksi tämän hetken ajankohtaisia tutkimusaiheita fysiikassa on gravitaatiovuorovaikutus. Gravitaatioaalto löydettiin kokeellisesti vuonna 2016. Fysikoiden tavoitteena on luoda Suuri yhtenäisteoria (GUT) ja viimein kaikki vuorovaikutukset yhdistävä suuri yhtenäisteoria TOE, Theory of Everything.* (Vrt. YO-K1998+16), YO-K2015, <http://www.kotiposti.net/ajnieminen/std.pdf>
<http://www.kotiposti.net/ajnieminen/stan.pdf>

YO-K2014-1

1. a) *Luettele luonnon neljä perusvuorovaikutusta. (2p.)*
b) *Mikä perusvuorovaikutus pitää koossa seuraavat rakenteet: (4p.)*
 - 1) *vesimolekyyli*
 - 2) *spiraaligalaksi*
 - 3) *lumikide*
 - 4) *protoni.*

RATKAISU:

- a) gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus, heikko vuorovaikutus
- b) 1) sähkömagneettinen vuorovaikutus
2) gravitaatiovuorovaikutus
3) sähkömagneettinen vuorovaikutus
4) vahva vuorovaikutus.

YO-S2001-1

1. a) *Kaikki fysiikassa esiintyvät voimat aiheutuvat viime kädessä neljästä perusvuorovaikutuksesta. Luettele nämä vuorovaikutukset.*
b) *Selitä mikä perusvuorovaikutus on hallitseva seuraavissa ilmiöissä:*
 - 1) *Paperisilppu tarttuu kampaan, jolla on juuri harjattu hiuksia.*
 - 2) *Kuu kiertää Maata.*
 - 3) *Atomiydin pysyy koossa.*
 - 4) *Pallo pomppaa lattiasta.*

RATKAISU:

- a) Perusvuorovaikutukset ovat gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.
- b) 1) Sähkömagneettinen vuorovaikutus
Kammattaessa hankaussähköllä varautunut kampa synnyttää ympärilleen sähkökentän, joka aiheuttaa paperipalasisa sähköisen polarisaation ja edelleen vetovoiman.
- 2) Gravitaatiovuorovaikutus
Kuun keskeiskiihtyvyyttä aiheuttaa Maan ja Kuun välisestä gravitaatiovoimasta.
- 3) Vahva vuorovaikutus
Nukleonien välisestä vahvasta vuorovaikutuksesta aiheutuva vetovoima on paljon suurempi kuin protonien välinen sähköinen poistovoima.
- 4) Sähkömagneettinen vuorovaikutus
Kosketusvoimat ja kimmovoimat aiheutuvat aineen rakenneosasten välisistä sähköisistä voimista.

SÄILYMISLAIT:

(vrt. YO-K1986 +12)

1) ENERGIAN SÄILYMISLAKI: $\sum E_i = \text{vakio}$

- eristetyn systeemin kokonaisenergia säilyy

- **esim.1. mekaanisen energian säilymlaki:** $E_p^a + E_k^a = E_p^l + E_k^l$

(eristetty systeemi; $E_p = mgh$, $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ($v \ll c$), $a = \text{alussa}$, $l = \text{lopussa}$)

Huom! Jos $v \geq 0,1c \Rightarrow E_k = mc^2 - m_0c^2$, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

- **esim.2. mekaanisen energian säilymlaki:** $E_p^a + E_k^a + W = E_p^l + E_k^l$

(eristämätön systeemi) eli **energiaperiaate**, $W = \text{ulkoisten voimien tekemä työ}$

Esim. kitka, ilmanvastus $\Rightarrow W < 0$, myötätuuli $\Rightarrow W > 0$.

Kappale vierii eli etenee ja pyörii $\Rightarrow E_k = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}J\omega^2$

- massa on myös yksi energian esiintymismuoto: $E = mc^2$

2) LIKEMÄÄRÄN SÄILYMISLAKI: $\sum \bar{p}_i = \text{vakio}$

- eristetyn systeemin liikemäärä säilyy: $\sum \bar{p}_i = m_i \bar{v}_i = \text{vakio}$

- pätee sekä klassisessa fysiikassa että modernissa fysiikassa ("atomimaailmassa")

- **esim.1. kimmoisa törmäys:** $m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = m_1 \bar{u}_1 + m_2 \bar{u}_2$

- **esim.2. kimmoton törmäys:** $m_1 \bar{v}_1 + m_2 \bar{v}_2 = (m_1 + m_2) \bar{u}$ (kappaleet tarttuvat kiinni)

- vrt. liikemäärä $\bar{p} = m\bar{v}$, impulssi $\bar{I} = \bar{F} \cdot \Delta t = m\Delta\bar{v} = \Delta\bar{p}$

3) PYÖRIMISMÄÄRÄN SÄILYMISLAKI: $L = J\omega = \text{vakio}$

- eristetyn systeemin pyörimismäärä eli liikemäärämomentti säilyy: $J_a \omega_a = J_1 \omega_1$.

($J = \text{hitausmomentti}$, $\omega = \text{kulmanopeus}$)

- esim. massapisteellä $\bar{L} = \bar{r} \times \bar{p} = \bar{r} \times m\bar{v}$

Hitausmomenttien arvoja eri kappaleille on taulukossa (MAOL s. 126-127 (118-119)).

- **esim. taitoluistelijan piruetit, uimahyppääjän voltit** (kun J pienenee, niin ω kasvaa !!)

- **karuselli, helikopteri, gyroskooppi, Keplerin II laki, alkeishiukkasten spin**, jne.

4) VARAUKSEN SÄILYMISLAKI: $\sum Q_i = \text{vakio}$

- eristetyn systeemin kokonaisvaraus säilyy eli positiivisten ja negatiivisten varausten summa on vakio

→ **Kirchhoffin I laki:** tiettyyn pisteeseen tulevien sähkövirtojen summa

= lähtevien sähkövirtojen summa,

kondensaattorit, anihilaatioreaktio: $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$, jne.

5) HIUKKASFYSIIKAN SÄILYMISLAIT:

- **leptoniluvun säilymlait**

- **baryoniluvun säilymlait**

- **pariteetti, isospin, outous, kauneus, lumo, totuus**

(MAOL s. 115-116 (107-108))