

Käsitelouklien sekoittuminen fysiikan kielenkäytössä

Fysiikka kielenä

Fysiikka on kieli, jolla luonnonilmiöistä voidaan puhua. Ajattelu-
tapoja on mahdollista ilmaista ja
välittää vain kielen avulla. Uusien
käsitteiden käyttöönotto on en-
nen muuta niiden liittämistä kie-
leen. Käsitteiden hallinnan aste
kuvastuu selvimmin ja täydelli-
simmin kielellisestä esityksestä.
Virheellinen käyttö ilmentää aina
väärinkäsityksiä käsitteiden luon-
teesta.

Fysiikan opetus on aina
myös kielen kehittämistä. Ei riitä,
että käsitteet määritellään ja nii-
den käyttö perustellaan fysikaali-
sesti. Niitä on opetettava ja ope-
teltava käyttämään. Eihän kieltä
koskaan opita pelkästään opette-
lemalla sanojen merkityksiä sa-
nakirjasta. Käsitteiden merkitys
sisäistetään vähitellen, kun niitä
harjoitellaan käyttämään erilai-
sissa kielellisissä ja asiayhteyk-
sissä. Sen tähden opetuksen on
tarjottava riittävästi käsitteiden
oikean käytön kielellisiä malleja.

Käsitteiden luokittelu

Fysikaalisia käsitteitä voidaan
ryhmitellä niiden merkityksen
mukaisesti yleisiin luokkiin. Erityi-
sesti on erotettava **olioita, ilmiöi-
tä**, näiden **ominaisuuksia** sekä
suureita tarkoittavat käsitteet.
Kunkin luokan käsitteillä on **luo-
kalle ominaiset kielelliset käyt-
tötavat**, jotka ilmaisevat käsit-
teen yleisen luonteen. Hyvin jä-
sennelty fysiikan kieli edellyttäisi,
että eri luokkien käsitteitä vas-
taavat sanastot olisivat erilliset.

Käsitteen ymmärtämiseen
kuuluu olennaisesti tietoisuus

siitä, mitä luokkaa se edustaa.
Tämä on käsitteen oikean kielelli-
sen käytön perusedellytys. Käsite
voidaan oppia oikein vain, jos sen
käyttö oppikirjassa ja opetuksen
kielessä johdonmukaisesti kuvas-
taa sen luokalle kuuluvaa loogista
merkityssisältöä. Ristiriidat häm-
mentävät.

Oliot ovat luonnon subjekte-
ja. Niitä ovat hiukkaset, kappale-
et, kentät, aine, erilaiset syste-
emit, laitteet ja niiden osat. Ne
ovat, liikkuvat, toimivat ja vaikut-
tavat. Ne voivat muuttua, esimer-
kiksi kasvaa ja pienentyä, ne voi-
vat lisääntyä, vähentyä, levitä,
törmätä, yhdistyä, kasautua, ha-
jota jne.

Ilmiöt ovat luonnon tapah-
tumista, kaikkea sitä, mitä oliot
tekevät ja miten ne käyttäytyvät.
Ilmiöitä ovat siten kaikki liike, toi-
minta ja muuttuminen, kuten kas-
vaminen, pieneneminen, lisään-
tyminen, väheneminen, leviämi-
nen, törmäykset, hajoamiset jne.
tai vaikkapa pelkkä oleminen,
esimerkiksi tasapaino.

Olioita ja ilmiöitä ovat kielelli-
sesti myös olioiden ja ilmiöiden
mallit, kuten jäykkä kappale ja
harmoninen liike. Geometriset
objektit, janat, suorat, kolmiot,
kartiot jne. kuuluvat siten luonte-
vasti olioihin. Selvää rajaa "todel-
listen" ja mallien välillä ei ole-
kaan. Kaikkiin ilmiöitä ja olioita
tarkoittaviin fysikaalisiin käsitte-
isiin liittyy idealisointia, joka jo on
mallintamista. Samoilla sanoilla
voi kuitenkin yhteydestä riippuen
olla joko todelliseen oloon tai
ilmiöön taikka malliin viittaava
korostus. Esimerkiksi hiukkanen
voi tarkoittaa todellista luonnon
perusoliota, elektronia, protonia,
atomia jne. tai nimenomaan klas-
sista hiukkasmallia rinnastettuna
aaltomalliin. Siten hiukkasia voi-

daan pitää hiukkasina, aaltoliik-
keenä tai kvanttimekaniikan du-
aalisisina olioina.

Ominaisuudet ovat olioiden
ja ilmiöiden havaittavia piirteitä,
kvaliteetteja. **Suureet** ovat täs-
mällisesti määriteltäviä fysikaali-
sia käsitteitä, kvantiteetteja
(quantity = suure), jotka vastaa-
vat ja esittävät tiettyjä ominai-
suuksia. Niillä on sekä lukuarvo
että yksikkö. Kaikilla ominai-
suuksilla, kuten hyvyydellä, kau-
neudella, älykkyydellä tai värillä,
ei suinkaan ole suurevastineita.
Niistä ei myöskään tule fysikaali-
sista suureita, vaikka niille määri-
teltäisiin kvantitatiivisia asteikko-
ja, jotka perustuvat arvostelu-
tuomareiden antamiin pisteisiin,
mielipidetiedusteluihin tai psyko-
logisiin testeihin.

Olioita ja ilmiöitä havaitaan
ja tutkitaan. Myös niiden ominai-
suuksia voidaan tutkia. Suureita
tai suureiden arvoja mitataan ja
määritetään. Ne voivat olla suu-
ria tai pieniä, ne voivat suuren-
tua tai pienentyä, ja niillä voi-
daan suorittaa laskutoimituksia.
Suure sen sijaan ei yleensä liiku,
toimi, vaikuta tai lisääny, eikä
sillä ole kärkiä, särmiä tai sivuja
eikä muitakaan osia. Ilmiöitä,
olioita ja ominaisuuksia ei puo-
lestaan voi laskea yhteen, vä-
hentää, kertoa tai jakaa keske-
nään eikä suureiden kanssa.

Fysiikan slangi

Käsitteiden luokittelua, luokille
ominaisia kielellisiä käyttötapoja
ja käytön luokanmukaisuutta
voidaan tarkastella esimerkiksi
seuraavien tekstinäytteiden va-
lossa:

Yläasteen oppikirja:

"Erisuurien massojen kiihtyvyys voiman pysyessä muuttumattomana"

"Massalla on kaksi ominaisuutta, hitaus ja paino."

Lukion oppikirja:

"Kattoon on ripustettu allekkain kaksi massaa ..."

"Kierrejouseen ripustettu massa värähtelee harmonisesti ..."

"Kuvan värähtelevä massa ..."

"Piiri yhdistetään vaihtojännitteen ... ja kytkemme kapasitanssin ..."

Yliopiston lähtötasokokeen vastaus:

"Kaavaa käytetään silloin, kun tietty voima vaikuttaa jonkun ajan johonkin massaun. Tällöin voidaan laskea massan saavuttama nopeus em. kaavasta"

Yliopiston harjoitustehtävät:

"Dimensioitaan pieni dipolimomentti ..."

"Etäisyys kummastakin varauksesta ..."

Yliopiston oppikirja:

"Olkoon E yleinen sähkökenttä ..."

"Laske kenttä."

"Kierto ydinten välisen etäisyyden ympäri ..."

"Atomi lähettää taajuutta f eli aallonpituutta $\lambda = c/f$."

Opiskelijan tenttivastaus:

"Jännitelähteen ja jännitehäviön summa virtapiirissä on nolla."

"Lähdejännitteellä on sisäinen resistanssi"

Lisensiaattityö:

"Atomiketjujen pituus lyhenee."

"Suurin osa atomeista on liikkeellä ns. piikkivilavuudessa."

"Pinnan normaalin ja $N(\Theta)$:n välinen kulma ..."

"Tätä ilmiötä sanotaan läpäisevyydeksi."

"Jarruuntuminen on verrannollinen nopeuteen."

Väitöskirja:

"... incident energy minus the fluorescent lines ..."

"... evaluated by subtracting the photoabsorption from the total crosssection."

"... small angle scattering was very small."

Standardi:

"Fysikaalista ominaisuutta, jolla on sama arvo kaikissa olosuhteissa ..."

"Steradiaani on avaruuskulma, joka sen kärjen sijaitessa pallon keskipisteessä leikkaa pallon pinnasta alan, joka on yhtäsuuri kuin sellaisen neliön ala, jonka sivuna on pallon säde." (ISO 31/1-1978)

Esimerkkien pitäisi riittää osoittamaan ongelman luonne ja laajuus. Niissä esiintyvät lähes kaikki mahdolliset luokkien väliset sekaannukset, ja ongelma esiintyy kaikilla tasoilla.

Suureita käsitellään olioina. Niitä kiihdytetään ja ripustetaan, suureeseen vaikuttaa voima ja suure saavuttaa nopeuden, suureet värähtelevät ja niitä kytketään virtapiiriin, suureella on resistanssi, koko ja kärki, suureiden välisiä etäisyyksiä ja kulmia tarkastellaan, suure voi jopa erottaa osan pallon pinnasta ja sen ympäri voidaan kiertää, atomit voivat liikkua suureessa ja lähettää suureita, suureita kuvataan ominaisuuksilla. On myös varsin yleistä, että suureita kiihdytetään ja ohjataan olioilla (kentillä) tai jopa toisilla suureilla, kuten sähkökentän voimakkuudella ja magneettivuon tiheydellä

Olioita, ilmiöitä ja ominaisuuksia käsitellään suureina. Olioilla, ilmiöillä ja ominaisuuksilla on arvoja, joita myös lasketaan. Ilmiöitä ja olioita vähennetään suureista ja lasketaan yhteen suureiden kanssa. Ilmiö on verrannollinen suureeseen. Toisaalta esimerkeissä ilmiö nimitään myös ominaisuudeksi ja siitä puhutaan kuin oliosta.

Ongelmaa on helppo vähätellä. Olemme niin tottuneet puottamaan ja ripustamaan suureita ja asettamaan niitä kaltevalle tasolle, ettemme edes tiedosta tähän sisältyvää käsitteiden sekaannusta. Tosin on ainakin yksi poikkeus. Sanojen vastus ja resistanssi käytön yhteydessä esiintyy joskus melkoista kireäpoisuutta. Sanoipa standardi mitä tahansa, toinen hyväksytään vain

olioksi (komponentiksi) toinen suureeksi. Muiden suureiden kanssa ollaankin sitten sitä väljähattuisempia.

Fysiikoille ja fysiikan opettajille tämä ei aiheuta ongelmia. Ovathan lauseet täysin ymmärrettäviä. Kysymyksessä on kuitenkin harkitsematon, usein selvästi virheellinen ja harhaanjohtava kielenkäyttö. Ei virhettä pyhitä sen yleisyys eikä sen esiintyminen kaikilla tasoilla aina standardeja myöten. Oppilaat, jotka vasta ponnistelevat oppiakseen ymmärtämään käsitteiden merkityksiä, hämmentyvät ja oppiminen häiriintyy. Tällainen virheellinen kielenkäyttö, **käsitteiluokkien sekoittaminen**, on todennäköisesti varsin keskeinen syy moniin fysiikan opetuksen ongelmiin, tutkimusten osoittamiin väärinkäsityksiin ja puutteisiin oppimistuloksissa.

Fysiikan terminologia

Käsitteiluokkien sekoittuminen on ongelma, johon selvästikään ei ole kiinnitetty yleistä huomiota. Fysiikan standardinen terminologiakaan ei valitettavasti ole täysin jäsentynyttä. Esiintyy termejä, kuten **kulma**, **sähkövirta** ja **vastus**, joilla on sekä olion tai ilmiön että suureen merkitys. Tästä aiheutuu käsitteellistä sekaannusta, kuten käy ilmi esimerkiksi Matemaattisten Aineiden Aikakauskirjassa muinoin käydystä kulman määrittelyä koskeneesta keskustelusta. Siinä tarkoitettiin suuretta, mutta määriteltiin geometrista oliota.

Erityisesti ominaisuuksien ja suureiden kielellinen erottaminen on vaikeaa. Suoraan yleiskielestä otetut suurenimet kuten pituus, etäisyys, nopeus, kiihtyvyys, tiheys, voima, paine, työ, teho ja lämpö ilmaisevat yleiskielisessä merkityksessään paljolti myös suureen esittämää ominaisuutta. Tämä on luontevaa suureen merkityksen ymmärtämisen kannalta, mutta siitä aiheutuu myös ongelmia.

Opetuksessa joudutaan tautologisiin hankaluuksiin selvitet-

täessä, mitä ominaisuutta suure vastaa. "Nopeus ilmaisee liikkeen nopeuden." Samalla ominaisuuden ja sitä kuvaavan fysikaalisen suureen välinen ero hämärtyy.

Tällainen kuvailevan yleiskielen ja täsmällisen fysikaalisen terminologian päällekkäisyys säteilee vaikutuksia sinnekin, missä päällekkäisyyttä ei ole. Oppilas, jopa opettajakin rohkaistuvat sen perusteella käyttämään luovaa mielikuvitustaan väärissä paikoissa ja keksimään omintakeisia suurenimiä oikeiden asemesta tai lisäksi. Tähän näyttävät sopivan lähes mitkä tahansa sanat, jotka yleiskielessä merkitsevät samaa, samantapaista tai vastakkaista ominaisuutta kuin se, mitä oikea suurenimi vastaa. (Kuumuus, kylmyys, voimakkuus, tehokkuus, vastustus jne.) Suurenimet, kuten yksikötkin, ovat fysikaalisia termejä. Ei niitä voi valita yksilöllisten mieltymysten mukaan. On luonnollisesti eri asia, että monet oikeatkin suurenimet ovat vakiintumattomia ja standardit muuttuvat.

Käsitteiden jäsentely olioihin, ilmiöihin, ominaisuuksiin ja suureisiin liittyy kiinteästi fysiikan luonnolliseen kokeelliseen lähestymistapaan. Fysikaalinen käsitteenmuodostus on kielen luonnollisen kehittymisen jatkoa. Uusia käsitteitä otetaan käyttöön siitä syystä, että niitä tarvitaan kuvaamaan luonnon olioiden ja ilmiöiden ominaisuuksia sitä mukaa kuin niitä opitaan hahmottamaan havaintojen ja kokeellisen tutkimuksen avulla.

Fysiikan teoriat ja niihin perustuva todellisuuskuvan kehitys johtavat toisaalta ajattelutapaan, jossa suureet paljolti korvaavat ilmiöitä ja olioita todellisuuden elementteinä. Peruslait ovat toimintaperiaatteita, joita teorioiden luonnonilmiöille käyttämät mallit

noudattavat. Samalla ne ovat suureiden välisiä relaatioita, jolloin ne antavat välittömän mielikuvan suureiden aktiivisesta tehtävistä ilmiöiden mekanismeissa.

"Voima vaikuttaa." "Voima tekee työtä." "Hiukkanen on potentiaalikuopassa." Nämä ovat esimerkkejä teoreettisista lauseista, joissa suureet "voima" ja "potentiaali(energia)" esiintyvät teorian aktivoimina "suureolioina" tai "suureilmiöinä".

Erityisesti voimakkaita säilymislakeja noudattavat suureet, kuten **massa, varaus ja energia** "olioituvat". Niiden differentiaaliset säilymislait tekevät mahdolliseksi liittää jatkuvaan aineeseen, kenttiin ja aaltoliikkeisiin vastavia tiheys- ja virrantiheysuureita. Näin muodostuu sellainen mielikuva, että massa, varaus ja energia ovat aineeseen rinnastettavia olioita ja aletaan puhua massa-, varaus- ja energija-kaumista. Nämä ovat perusjäsentelyn kannalta outoja "suureolioita", joita kuvaavia varsinaisia suureita ovat (massa)tiheys, varaus- ja energiatiheys.

Opetuksen kieli

Fysikaalisen kielenkäytön käsitteellinen jäsentymättömyys joutuneekin paljolti fysiikan opetuksen perinteisestä teoreettisuudesta. Nojaututtaessa alusta alkaen voimakkaasti nykyaikaisen teoreettisen tietämyksen mukaisesti malleihin hypätään suoraan käyttämään myös teoreettisen kehityksen valmiiksi muokkaamaa kieltä ja menetetään luonnollisen, havaintoon ja mittaamiseen perustuvan käsitteenmuodostuksen hyvin jäsentynyt selkeys.

Opetuksessa pitäisi vaikeuksista huolimatta pyrkiä johdonmukaisesti jäsentävään kielenkäyttöön. Alkaessaan uuden aihepiirin opettajan on hyödyllistä kiinnittää huomiota tarvittaviin uusiin käsitteisiin, niiden jäsentelyyn ilmiöitä, olioita, ominaisuuksia ja suureita tarkoitaviin luokkiin, luokille ominaisiin kielellisiin käyttötapoihin sekä ongelmiin, joita perinteinen sanasto aiheuttaa tällaiselle jäsentelylle.

Fysiikan käsitteelliseen ja tieto-opilliseen kehitykseen perustuvan kielellisen kehityksen on annettava tapahtua myös fysiikan opiskelussa. Sen ja siihen kuuluvan suureiden olioitumisen ja ilmiöitymisen on oltava tietoista ja hallittua. Fysiikan tuntemuksen lisääntyessä käsitteet opitaan liittämään uusiin yhteyksiin. Ne saavat uusia, täsmällisempiä, syvällisempiä ja laajempia merkityksiä. Kussakin opiskelun vaiheessa käsitteiden käytön on oltava sopusoinnussa niiden siihen mennessä tunnetun ja määritellyn merkityksen kanssa.

Käsitteiden kehittyminen opetuksen edistyessä on todellinen ongelma. Opettaja tuntee käsitteet koko nykyaikaista fysiikan tietämystään vastaavassa merkityksessä. Siksi hänen on vaikeata sopeuttaa kielenkäyttöään käsitteiden merkityksen varhaisemmille tasoille. Oppilaan fysikaalisen kielenkäytön olisi kuitenkin saatava laajentua ja rikastua vähitellen, järjestelmällisesti ja loogisesti. Jokaiseen uuteen käyttötapaan ja – yhteyteen pitäisi kiinnittää huomiota niin, että oppilas huomaa käsitteen avartumisen. Muuten fysiikka alkaa tuntua epäloogiselta ja mystiseltä oppiaineelta, jota voi oppia vain ulkoa.

Summary

Intermixing of conceptual categories in the lingual practice of physics

by Kaarle and Riitta Kurki-Suonio

The lingual practice of physics is analysed in terms of a classification of concepts into entities, phenomena, properties and quantities. On basis of a variety of texts it is noted that

- (1) intermixing of categories, i.e. quantities are treated as entities etc., is common on all levels from elementary textbooks to international standards,
- (2) this confusion extends even to standard terminology containing words with meanings under more than one category,
- (3) the epistemological development of physics has largely replaced entities and phenomena by quantities as constituents of Nature, which is clear also from the language of physical theory,
- (4) in teaching such intermixing is confusing and may prevent proper learning of concepts.