

Aidot ja näennäiset voimat

Juha Nikulainen avaa Dimensiossa 1/88 keskustelun keskipakovoimasta rohkeasti esittelemällä yhden tyypillisen väärinkäsitysten vyyhden. Pakinoiden vai tosissaan, samantekevää, hän tarjoaa tilaisuuden fysiikan peruskäsitteissä usein esiintyvien ongelmien tarkasteluun.

Varmuuden vuoksi on ensiksi torjuttava jyrkästi ajatus, että vastakkain olisivat havainnollinen opetuksellinen näkemys ja fysiikan "tieteelliset hienoudet". "Vyyhti" on joukko kansanomaisia mielikuvia, jotka ovat ristiriidassa sekä mekaniikan perusteiden kanssa että keskenään. Silti ne ovat merkillisen sitkeähenkisiä ja vaikeuttavat kaikkialla fysiikan perusteiden oppimista. Niiden torjuminen Newtonin mekaniikan yksinkertaisilla ja selvillä periaatteilla näyttää joskus lähes toivottomalta. Niillä on mekaniikassa sama merkitys kuin valo-opissa silmän lähettämällä näkösäteellä tai sähköopissa pariston navoista lähtevillä erimerkkisillä sähköillä, jotka törmäävät hehkulangassa.

Vyyhti on sukua ajattelulle, joka oli vallalla ennen Newtonia ja jonka vanki Newtonkin pitkään oli. Sentrifugaaliajattelun virheellisyys valkeni hänelle tiettävästi kirjeenvaihdossa Robert Hooken kanssa. Tämä oli Newtonin mekaniikan ratkaisevia oivalluksia. Jos se oli Newtonille vaikea, on ymmärrettävää, ettei se ole muillekaan helppo.

Vyyhti on monessa solmussa. Jollakin tavoin se kohtelee kaltoin ainakin Newtonin I, II ja III lakia sekä käsitteitä kiihtyvyys, voima, näennäinen voima, vastavoima ja voimien kumoutuminen. En tiedä muuta keinoa solmujen avaamiseen kuin vetoamisen mekaniikan perusteisiin:

Voima vaikuttaa kappaleeseen, kukin voima vain yhteen tiettyyn kappaleeseen.

Voimat aiheutuvat vuorovaikutuksista. Voiman syyksi kelpaa vain tunnistettava vuorovaikutus tunnistettavan kappaleen kanssa.

Voima ja vastavoima aiheutuvat samasta vuorovaikutuksesta, ne vaikuttavat eri kappaleisiin ja ovat yhtä suuret mutta vastakkaissuuntaiset.

Voima on kiihtyvyyden aiheuttaja. Samaan kappaleeseen eri vuorovaikutuksista aiheutuvat voimat yhdessä määräävät kappaleen kiihtyvyyden. Nämä voimat voivat kumota toisensa. Tällöin kappale liikkuu tasaisesti ja suoraviivaisesti kuten kappale, johon ei vaikuta yhtään voimaa. Erityisesti voima ja vastavoima eivät voi kumota toisiaan, koska ne kohdistuvat eri kappaleisiin ja vaikuttavat kumpikin osaltaan vain "oman" kappaleensa liiketilään.

Näin yksinkertaista mekaniikka on vain inertiaalisessa (levossa olevassa tai tasaisesti etenevässä) koordinaatistossa. Epäinertiaalisen koordinaatiston asukas havaitsee kiihtyvyyksiä, joiden syyksi ei löydy aitoja voimia. Ne aiheutuvat hänen koordinaatistonsa liikkeestä. Saadaksean kuitenkin Newtonin yksinkertaiset periaatteet pätemään hän tarvitsee näennäisiä voimia. Esimerkiksi kaarretta ajavassa autossa ja lingon pyörivässä rummussa näennäinen keskipakovoima vaikuttaa kaikkiin kappaleisiin auton ja rumpun suhteen. Se on näennäinen, koska se aiheutuu koordinaatiston liikkeestä eikä vuorovaikutuksesta. Pyörivän havaitsijan kannalta se on hyvin todellinen, vaikka ulkopuolinen näkeekin sen vaikutusten, esim. veden poistumisen pyykistä ja pyykin painumisen rumpun seinämää vasten, johtuvan kappaleiden hitaudesta eli siis pyrkimyksestä liikkua tasaisesti ja suoraviivaisesti koordinaatiston pyörimisestä välittämättä.

Yhden kappaleen liikkeessä termiä keskipakovoima voidaan käyttää nk. D'Alembertin periaatteen yhteydessä. Tällöin dynamiikan peruslaki $F = ma$ kirjoitetaan muotoon $F - ma = 0$ ja todetaan, että dynamiikasta tulee statiikkaa, kun aitojen voimien F lisäksi kappaleeseen asetetaan vaikuttamaan näennäinen voima $-ma$. Tämän nopeutta vastaan kohtisuoraa komponenttia sopii kutsua keskipakovoimaksi. Sen suunta on kunakin hetkenä poispäin radan kaarevuuskeskipisteestä. Tämä merkitys vastaa jossakin määrin keskipakovoiman kansanomaista käyttöä naruun sidotun kappaleen yhteydessä. Mekaniikan peruskäsitteitä opittaessa sen käyttö on kuitenkin käsitteitä pahasti sotkeva silmäkääntötempu.

Vyyhden pahin solmu on ehkä se, ettei selvitetä, mihin kappaleeseen minkä voima vaikuttaa. Nikulaisen lause "kpv määritellään khv:n vastavoimaksi" viittaa narun ja kappaleen väliseen vuorovaikutukseen. Tällöin siis naru aiheuttaa kappaleeseen khv:n, kappale naruun kpv:n. Khv siis antaa kappaleelle narun suuntaisen kiihtyvyyden, joka käyristää kappaleen radan. Kpv taas yhdessä narun toiseen päähän vaikuttavan voiman kanssa pitää narun kireällä. Tässä ei ole mitään muuta vikaa kuin termin kpv väärä käyttö. Kpv:n ja khv:n yhteen kytkeytyminen on

tällöin selviö eikä viittaa mitenkään toisen näennäisyyteen. Molemmat ovat nyt aitoja voimia, jotka aiheutuvat narun ja kappaleen kosketusvuorovaikutuksesta.

Tämän jälkeen Nikulaisen kpv ja khv vaikuttavatkin yllättäen samaan kappaleeseen. Kpv estää khv:aa vetämästä kappaletta pyörittäjän käteen. Unohdetaan, että nopeuden suunnan muuttuminen jo on se kiihtyvyys, jonka khv kappaleelle antaa. Mikä kumma sen kappaleen käteen vetäisi? Lause "kpv kumoaa khv:n ja pitää narun kireällä" on sisäisesti ristiriitainen. Alkuosan mukaan sekä kpv että khv vaikuttavat kappaleeseen, loppuosan mukaan kpv vaikuttaa naruun. Toisaalta, jos kpv ja khv kumoavat toisensa, niin kappale, johon ne vaikuttavat, kulkee jo suoraan ja tasaisesti, eikä niiden lakkaaminen vaikuta kappaleen liikkeeseen sitä eikä tätä.

Jos voima halutaan hyväksyä voimaksi voimien joukkoon, on osoitettava vuorovaikutus, josta se aiheutuu. Vuorovaikutuksen luonne on voimien ainoa yleinen fysikaalinen luokitteluperuste (painovoima, sähköstaattinen voima, magneettinen voima ja kosketusvoimat esim. kitka, tukivoimat, väliaineen vastus). Voiman suunta on vain tilannekohtainen geometrinen peruste. Khv ja kpv ovat yhtä hyviä termejä kuin ylös, alas, oikealle, vasemmalle, eteenpäin, taaksepäin, kohti tai poispäin vaikuttava voima.

Käyrää rataa liikkuvan kappaleen tarkastelussa sekä kpv että khv ovat tarpeettomia termejä. Niillä on ollut historiallinen merkitys siinä keskustelussa, jossa selvitettiin esinewtonisen ja Newtonin ajattelun välisiä eroja. Koulussa on tarpeellisiakin termejä aivan riittävästi opetettavaksi, miksi siis säilyttää tällaista historiallista painolastia.

Kaarle Kurki-Suonio