

## Pakanallinen keskipakovoima

Juha Nikulainen on lukenut saamiaan vastauksia oudosti seulovin silmälasein. Ne ovat muuntaneet vastaajien ristiriitaisen termien käytän hänen käsitystensä yksimieliseksi tueksi. Keskustelun perusongelma onkin terminologinen.

JN ärsyyntyy siitä, että "*keskihakuvoima* on ainoa *voima*, joka vaikuttaa *keskeisliikkeessä*". Ei ole kuitenkaan selvää, mitä tämä lause hänen mielestään merkitsee. Perustermiä *voima* käytetään siinä epämääräisesti: "*voima vaikuttaa liikkeessä*"? Liikeilmiön yhteydessä toki esiintyy eri suuntaisia ja eri kappaleisiin vaikuttavia voimia. Täsmennetty lause: "*keskihakuvoima on ainoa voima, joka vaikuttaa keskeisliikkeessä olevaan kappaleeseen*", olisi fysikaalisesti oikea niiden merkitysten kannalta, joita oppikirjat termeille "*keskihakuvoima*" ja "*keskeisliike*" tässä yhteydessä antavat.

Lause on silti minustakin ärsyttävä: Se rajoittaa "*keskeisliikkeen*" virheellisesti tapauksiin, joissa *voima* suuntautuu kohti voimakeskusta. Toisaalta, vaikka lause ei sitä ilmaise, tällainen selitys liitetään kovin usein liikkeisiin, jotka eivät ole keskeisliikkeitä, esimerkiksi ympyräliikkeeseen, joka ei ole tasaista, tai jopa yleiseen käyräviivaiseen liikkeeseen.

Kun lauseessa "*keskihakuvoima*" tarkoittaa sitä *keskeisvoimaa*, joka saa aikaan kappaleen *keskeisliikkeen*, ja "*keskeisliike*" merkitsee "*keskihakuisen*" *keskeisvoiman* alaista liikettä, herää kysymys koko lauseen tarpeellisuudesta. Sen sisältä onkin oikeastaan vain poleeminen. "*Keskihakuvoima*" on alunperinkin pelkästään "*keskipakovoiman*" torjumiseksi omaksuttu termi. Fysiikan kannalta se on tarpeeton. Lisäksi se on siihen liitetyn fysikaalisen merkityksen kannalta huono. Se luo harhakuvan voimasta kappaleen omana pyrkimyksenä: "*kappale hakeutuu kohti keskusta*". ("*Keskipakovoimaan*" vastaava mielikuva sopii. Kappalehan "*pyrkii itse pakoon keskuksesta*" oman hitautensa vuoksi.)

Sanonta "*ainoa voima*" on poleeminen viittaus olemattomaan keskipakovoimaan. Se voi olla harhaanjohtava sen tähden, että yleensä kappaleeseen vaikuttavat voimat yksilöidään vuorovaikutusten perusteella, joista ne aiheutuvat.

JN:n osittainenkin tyytyväisyys vastauksiin on aiheetonta, sillä se perustuu pelkkiin väärinkäsityksiin. Kyllä *keskihakuvoimalla* aina tarkoitetaan *todellista voimaa*, ja *keskipakovoima* oikeassa merkityksessään on aina *näennäinen voima*.

*Todelliset* tai *aidot voimat* aiheutuvat kappaleen vuorovaikutuksista muiden kappaleiden (tai aineen) kanssa. *Näennäiset voimat* ovat kappaleen omasta *hitaudesta* aiheutuvia *hitausvoimia*, joiden kuvitellaan vaikuttavan kappaleeseen itseensä. Myös eri vuorovaikutuksista kappaleeseen aiheutuvien voimien summa on aito voima. Jos se sattuu suuntautumaan jatkuvasti samaan "voimakeskukseen", kappaleen liike on keskeisliikettä. Tässä Atso Hellan vastaus johtaa harhaan. Hän on oikeassa siinä, että yhden keskeisvuorovaikutuksen alaiset liikkeet ovat varsinaisia keskeisliikkeitä, kun taas kartioheiluri ja kaarreajo yms. liikeilmiöt, joissa kappaleeseen vaikuttaa useampia voimia, degeneroivat keskeisliikkeiksi vain satunnaisesti tasaisen ympyräliikkeen idealisoidussa erityistapauksessa.

Abi Jorma Ruuskan puheenvuoro kaipaa sen oikaisun, etteivät keskihakuvoima ja keskipakovoima ole vaihtoehtoisia esityksiä. Lepokoordinaatistossa todellinen keskihakuvoima aiheuttaa kappaleen kiihtyvyyden. Pyörivässä koordinaatistossa näennäinen keskipakovoima kumoaa todellisen keskihakuvoiman. Vaihtoehdot ovat siis keskihakuvoima yksin tai keskihakuvoima ja keskipakovoima yhdessä näennäisessä tasapainossa. Todellisia voimia koordinaatiston valinta ei eliminoi.

JN:n toinen kappale avaa keskustelulle paljon syvemmän ja vakavamman perspektiivin: Mikä on fysiikan opetuksen tehtävä, ja mitä merkitsee ilmiöiden fysikaalinen selittäminen?

Fysiikassa lait ovat selityksiä, mitä yleisempiä lakeja, sitä parempia ja syvällisempiä selityksiä. Muita fysikaalisia selityksiä ei ole. Joka kysyy ilmiön fysikaalista selitystä, osoittaa olevansa kiinnostunut fysiikan laeista. Lait ovat lyhyitä ja yksinkertaisia selityksiä, mutta tie niihin voi olla pitkä, - sitä sanotaan fysiikan opetuksiksi.

Oppilaille, jotka eivät vielä tunne fysiikan lakeja, ilmiöiden selittäminen merkitsee opastamista säännönmukaisuuksien hahmottamiseen luonnon ilmiöistä, lakien kvalitatiivisten perushahmojen osoittamista ja niiden käsitteellistämistä, niin että saadaan terminologia, jonka avulla ilmiöistä voidaan puhua. Lakien matemaattisiin esitysmuotoihin on melkoinen matka, ennen kuin niistä on oppilaalle selityksiksi.

Ilmiö on saanut selityksen, kun se on oivallettu yleisemmän ilmiöluokan erityistapaukseksi, josta voidaan puhua koko luokalle yhteisin käsittein. Selityksen alkuun päästään osoittamalla oikeat kysymykset, sellaiset, jotka auttavat tekemään yleisiä havaintoja ilmiöistä ja huomaamaan niissä yhteisiä yleisiä lainalaisuuksia.

Ilmiöalue, jota JN on lähtenyt tarkastelemaan muodostaa erinomaisen lähtökohdan mekaniikan peruskäsitteiden hahmottamiselle. Pyrkimys on selvästi oikea, kun hän yrittää rinnastaa erilaisia pyörimis- ja kiertoliikkeen tilanteita toisiinsa. Mutta suunta on väärä; ei epämääräisiin tuntemuksiin liitetty kansanomainen "keskipakovoima" ole selitys vaan selitettävä.

Moukaria tarkasteltaessa on erotettava kaksi kysymystä: (1) Mikä pitää narun kireällä? (2) Mikä saa kappaleen liikkumaan ympyrärataa?

Lienee helppoa todeta, että naru on kireällä, kun sitä vedetään päistä vastakkaisiin suuntiin (yhtä suuret vastakkaiset voimat). Tästä seuraa selkeä johtopäätös: Moukarin varsi on kireällä pyöritettäessä, koska heittäjä ja moukari vetävät vartta vastakkaisilla voimilla, toinen sisään- toinen ulospäin. Nämä voimat *eivät ole* nuo kiistellyt keskihakuvoima ja keskipakovoima! Molemmat ovat todellisia voimia, jotka aiheutuvat varren kosketusvuorovaikutuksista heittäjän ja moukarin kanssa.

Se, että moukari vaikuttaa varteen ulospäin suuntautuvalla voimalla, ei välttämättä merkitse, että myös moukariin itseensä vaikuttaisi voima ulospäin. Tämän selittämiseksi tarvitaan vaihtelevia "kappale langan päässä" -tilanteita, todellisia ja kuviteltuja. Voidaan kysyä, miksi lanka on kireällä, kun (1) kappale riippuu langan varassa, (2) kappaletta vedetään langasta vaakasuoralla alustalla? Miten tilanne muuttuu, jos kappale on (1) painottomassa tilassa, (2) kitkattomalla alustalla? Mitä kappaleen kiihdyttäminen pelkän riiputtamisen tai tasaisen vetämisen sijasta vaikuttaa?

Tarkastelu ohjaa siihen johtopäätökseen, että langan kiristymiselle voi olla kaksi erilaista syytä (tai molemmat yhdessä): (1) kappaleeseen vaikuttaa voima, joka kumotaan langan avulla, (2) kappale panee vastaan, kun sitä kiihdytetään. Tässä on paikka *hitauden* käsitteelle. Termi hitaus tarkoittaa sitä kappaleen ominaisuutta, että se vastustaa nopeuden muutoksia.

Kumpi syy selittää moukarin varren kiristymisen?

Moukarin rinnastus jälkimmäiseen tilanteeseen, jossa kappaletta kiihdytetään ja kappale panee vastaan hitautensa vuoksi, on oikea selitys. Se johtaa siihen hyvin tärkeään käsitteelliseen yleistykseen, että myös kappaleen suunnan muuttuminen on kiihtyvyyttä.

Keskipakovoima merkitsee rinnastusta edelliseen tilanteeseen, jossa kappaleeseen vaikuttaa jokin kumottava voima. Se on kohtalokkaalla tavalla väärä selitys. Se jakaa suoraviivaiset ja käyräviivaiset liikkeet oppilaan tajunnassa peruuttamattomasti kahdeksi erilliseksi ilmiömaailmaksi, joista puhutaan eri käsittein ja jotka noudattavat erilaisia lakeja. Näin se toimii fysiikan oppimisen kannalta väärään suuntaan. Se salpaa tien ymmärtämiseltä, joka perustuu jatkuvaan yhä yleisempien ja yhtenäisempien käsitteiden hahmottamiseen.

Moukarin varsi ei siis ole kireällä sen tähden, että moukariin vaikuttaisi jokin mystinen keskipakovoima, vaan koska moukari hitautensa vuoksi panee vastaan, kun sen ei anneta kulkea suoraan vaan sen liikesuuntaa koko ajan muutetaan varren avulla, - nk. keskihakuvoimalla, jolla varsi vaikuttaa moukariin.

Olennaista tässä selityksessä on, että oppilasta autetaan hahmottamaan liikeilmiöihin liittyvä kappaleen perusominaisuus, *hitaus*. Myös vesi lingossa pyrkii hitautensa vuoksi etenemään suoraan ja pakenee pyörivän rummun reilistä. Tarkasteluun kätkeytyy samalla alku vuorovaikutuksen ja voiman käsitteiden hahmottamiselle, ja se voi sillä tavalla luoda perustaa myöhemmälle kvantitatiiviselle käsittelylle, jossa ominaisuuksia vastaavat suureet määritellään ja Newtonin lakeja tarkastellaan täsmällisessä muodossa.

Fysiikan opetuksen tehtävä ei ole toistaa ja vahvistaa virheellisiä kansanomaisia uskomuksia, vaan kuvata ja selittää ilmiöitä, sen ohessa myös selvittää ja oikaista vääriä uskomuksia ja mielikuvia. Haikarakin on "yleinen kansanomainen apukäsite", jonka kaikki ymmärtävät. Lasten syntymistä on paljon helpompi selittää sen kuin biologisten lakien avulla. Ei sitä silti käytettäne peruskoulussa ajatellen, että lasten syntymisen todellinen syy opitaan lukiossa.

Muuten olen vielä huolestuneempi auton liikkeellelähdön kuin kaarreajon peruskouluselityksistä. Kaarretta voidaan ajaa vasta sen jälkeen kun on päästy liikkeelle. Toivottoman usein tulee ylioppilaiden papereista vastaan mystinen "moottorin aiheuttama eteen päin työntävä voima", johon liikkeelle lähdön yksinkertaisen fysiikan ymmärtäminen kilpistyy.

Japanissa näin kerran, miten pappi juhlallisin menoin karkotti pahat henget tuliterän Volvon moottorista. Mitähän Suomessa pitäisi tehdä, jotta uskottaisiin autojen, sentrifugien ja muiden laitteiden toimivan fysiikan lakien mukaisesti eikä pakanallisten uskomusten voimalla?

Kaarle Kurki-Suonio