

Rajalla ¹

Sanotaan, että rajat ovat rikkomista varten. Sitä vartenhan me asetamme itsellemme tavoitteita, että ylittäisimme ne. Tässäkin olemme yhdessä eräällä rajalla, juhlimassa erästä merkittävää rajan ylitystä ja asettamassa, itsellemme jälleen uusia tavoitteita ylitettäväksi. Mutta lieneekö koskaan maailmassa vallinnut niin kiihkeä halu kaikkien mahdollisten rajojen rikkomiseen kuin tänä päivänä. Ajatellaan, että ihmisellä on kyky, valta ja oikeus – jopa velvollisuus – rikkoa kaikki rajat. Tämä ajattelutapa on aivan ilmeisesti seurausta kehityskulusta, jota voimme kutsua luonnontieteellisen ajattelutavan tai luonnontieteellisen kulttuurin läpimurroksi. Voimme ajatuksissamme sijoittaa tämän kehityskulun tapahtuneeksi koulumme 90-vuotisen historian aikana. Täsmällisiä aikarajoja on tietenkin mahdotonta asettaa, mutta 90 vuotta sitten tunnettiin todellakin vain häviävän pieni osa luonnon tarjoamista mahdollisuuksista, jotka kulu-neina 90 vuotena ovat muuttaneet ihmisen elämässä lähes kaiken ajattelutapaa myöten.

On ymmärrettävää, että kehityksen ja muutoksen yhä kiihtyvässä vauhdissa unohdetaan rajoitukset ja ajatellaan vain uusia saavutuksia, joilla ei näytä rajoja olevan. Tässä tilanteessa on suorastaan viehättävää tietty vastakohtaisuus. Luonnontieteen kehitykselle on nimittäin ollut tunnusomaista pikemminkin päinvastainen; on kohdattu ja opittu tuntemaan yhä uusia, ylittämättömiä rajoja, joiden olemassaolosta ei 90 vuotta sitten ollut aavistustakaan. Tällaisia rajoja on paljon, monet hyvinkin konkreettisia, ja tarkastelemme niistä eräitä esimerkkejä.

Kun kehittyvät liikennevälineemme joskus viime vuosisadalla ensimmäisen kerran saavuttivat päätähuimaavat 40 km/t, pohdittiin huolestuneesti, olisiko näin suuresta nopeudesta vakavia terveydellisiä vaaroja. Tämä tietysti huvittaa meitä, koska nykyisin tuskin kukaan maltaa noudattaa 50 km:n tunti nopeusrajoitusta. Uusin välinein saavutamme jatkuvasti uusia ennätys-iä. Tavallisessakin lentoliikenteessä puhutaan jo äänennopeuden (n. 350 m/s) rikkomisesta, ja nopeille koneille äänennopeus on enää vain yksikkö, jolla niiden nopeuksia on mukava mitata. Mutta tämäkin on jo jäänyt varjoon, sillä ovathan ystävämme lännessä ja idässä saavuttaneet satelliiteissaan maata kiertävällä radalla nopeuksia, jotka ovat useita kilometrejä sekunnissa. Eikä tässä näytä olevan rajoja lähelläkään. Me voimme ilmeisesti näitä ennätys-iä vielä paljon parantaa.

Kuitenkin, kuten tiedämme, on olemassa raja, valonnopeus, 300 000 km/s, jota yksikään kappale ei milloinkaan tule saavuttamaan, puhumattakaan ylittämisestä, koska se on mahdotonta. Me voimme tosin aina lisätä kappaleen nopeutta. Nykyaikaisissa hiukkaskiihdyttimissä, joilla ydintutkimusta tehdään, hiukkasten nopeus saadaan helposti kasvamaan 99,9 prosenttiin valonnopeudesta, ja suurimmissa kiihdyttimissä saattavat nopeudet nykyisin jäädä vajaan tuhannesosa prosentin päähän valonnopeudesta. Mutta valonnopeuteen ei voida päästä, se on *nopeuden ehdoton yläraja*.

Maailmankaikkeudesta me ajattelemme usein näin: jospa jossakin on raja, mitä mahtanee olla sen toisella puolella. Tämä kuvastaa hyvin meidän ajatuksiamme kaikista mahdollisista rajoista. Todistamme näin itsellemme, ettei mitään rajoja voikaan olla. Maailmankaikkeutta tarkasteltaessa äärettömyyden ongelma, josta usein puhutaan, on oikeastaan aivan yhtä hyvin äärellisyyden ongelma, sillä onhan aivan yhtä mahdotonta kuvitella äärellistä maailmaa kuin ääretöntä. Avaruuden tutkimus onkin saattanut meidät vastakkain aivan käsittämättömien etäisyyksien kanssa. Valo, joka kulkee 300000 km sekunnissa, tarvitsee auringosta ja lähimmistä planeetoista muutamia minutteja tullakseen maahan. Kaukaisimmista planeetoista se viipty tunteja, lähimmästäkin kiintotähdestä yli neljä vuotta ja linnunratamme keskustasta noin 30 000 vuotta. Lähimmästäkin toisesta linnunratajärjestelmästä tarvitaan peräti kaksi miljoonaa vuotta ennen kuin valo, nopein tuntemamme signaali pääsee tänne. Ja kaukaisimmat astronomiset objektit, joita koskaan olemme onnistuneet havaitsemaan, ovat – niin arvellaan – kymmenen miljardin valovuoden suuruusluokkaa olevilla etäisyyksillä. Lieneekö sitten niin, että parantamalla havaintovälineitämme, pääsemme näkemään aina kauemmas, rajattomasti, vai olisiko sittenkin jossakin raja vastassa?

Nykyinen käsityksemme, joka oikeastaan on jo kymmeniäkin vuosia vanha, on, että *tiettyä rajaa' suurempia etäisyyksiä ei ole*. Tätä ei ensi kuulemalta ole kovinkaan helppoa ymmärtää, mutta sitä voidaan verrata tilanteeseen maan pinnalla, jossa kaksi pistettä eivät pääse kauemmaksi toisistaan kuin 20 000 kilometrin päähän, sillä ne ovat silloin maapallon vastakkaisilla puolilla. Siis, jos etäisyyttä mitataan maan pintaa pitkin, 20000 km on pisin mahdollinen etäisyyys. Jotensakin vastaavalla tavalla kuvittelemme avaruuden. Voimme ajatella kahden pisteen sijaitsevan jollakin tavoin avaruuden vastakkaisilla puolilla, jolloin niiden etäisyys – arvelujen

¹ Professori Kaarle Kurki-Suonion 90-vuotisjuhlaesitelmä 10. 11. 68.

mukaan – on 20000 miljardin valovuoden suuruusluokkaa. Miten tahansa toinen näistä liikkuu-kin, se voi vain lähestyä toista. Jos kuljemme tällaisessa avaruudessa suoraan mihin suuntaan tahansa, käy aivan kuten maan pinnalla; tulemme vastakkaiselta suunnalta takaisin lähtökoh-taan.

Mikäli käsityksemme avaruuden laajuudesta on edes suurin piirtein oikea, me elämme tällä hetkellä varsin mielenkiintoista aikaa. Koska havaintomme jo ulottuvat noin 10 miljardin valovuoden päähän, olemme saavuttamassa – teorianne mukaan – tilanteen, jossa ihmis-katse ulottuu kaikkialle avaruuteen. Ehkä voimme piankin todistaa teorianne, sillä jos se on oikea, pitäisi meidän nähdä kaukaisimmat tähtitieteelliset objektit kahdella vastakkaisella suunnalla samanaikaisesti. Jos pohjoiselta pallonpuoliskolta katsoen näemme ne edestä, nä-kisimme eteläiseltä pallonpuoliskolta niiden selkäpuolen tasan päinvastaisessa suunnassa. Ja mielenkiintoista on, että aivan viime viikkoina on tieteellisessä lehdistössä esitetty vakavasti väite, jonka mukaan tällaisia havaintoja jo olisi tehty.

Yhtä kiintoisaa maailmankuvamme kannalta on tarkastella, onko etäisyydellä tai koolla alarajaa. Tällöin joudumme tunkeutumaan yhä syvemmälle aineen rakenteeseen, jakaen sitä yhä pienempiin osiin. Atomit ovat meille jo vanhanaikaisia. Niistä on puhuttu kauan. Me osamme särkeä atomin ja tunnemme sen rakenteen. Nykyisin tutkimme atomin osia, ytimiä ja ytimen rakenneosia, yleisemmin alkeishiukkasia. Atomi, tuo vanhanaikainen, on sekin läpimi-taltaan vain millimetrin kymmenesmiljoonasosia, mutta alkeishiukkasia, joista nykyisin puhu-taan, on mitattava millimetrin miljoonasosan miljoonasosalla. Tunnemme lähes 300, oikeas-taan yhä kasvavan määrän alkeishiukkasia, jotka ovat tätä suuruusluokkaa. Ja tiedemiehet tutkivat innokkaasti, lieneekö näillä rakennetta, jonka voisimme selittää joidenkin vielä alkeelli-sembien hiukkasten avulla. Tässä suhteessa on kaksi vallitsevaa ajatustapaa. Eräät tutkijat ovat sitä mieltä, että tunnetut alkeishiukkaset ovat toinen toistensa osia. Jos me hajotamme niitä, saamme vain joitakin muita jo tunnettuja hiukkasia. Eräät matemaattisluontoiset teorian-t ovat antaneet aiheen toiseen ajatustapaan, jonka mukaan sittenkin on eräitä vielä alkeellisem-pia osasia, joita kutsutaan kvarkeiksi. Mutta merkillistä on, etteivät nämä vielä alkeellisemmat osaset – mikäli niitä yleensä on olemassa – olekaan pienempiä kuin ne alkeishiukkaset, jonka osia ne ovat. Tämä koskee sekä kokoa että massaa.

Tässä yhteydessä on samantekevää, kumpi selitys paremmin vastaa todellisuutta. Joka ta-pauksessa molemmat johtavat siihen merkilliseen tilanteeseen, että kokonaisuus ei enää ole osi-ansa suurempi. Olemme tulleet rajalle, jossa jakamalla ei enää saada aikaan pienempiä osia. Olemme *koon alarajalla*. Nyt atomipommin aikakaudella selitys tuntuu yksinkertaiselta: jakami-seen tarvitaan paljon energiaa, joka ilmenee aikaansaatuisten osien suurena massana.

Myöskin *ajan alaraja* tulee tässä yhteydessä esille mielenkiintoisella tavalla. Useimmat mai-nituista alkeishiukkasista ovat hyvin lyhytikäisiä hajoten nopeasti muiksi alkeishiukkasiksi. On opittu tuntemaan hiukkasia, joiden ikä on niin lyhyt, että valo ehtii sen aikana kulkea vain ytimen läpimitan pituisen matkan. Koska valon nopeus on suurin mahdollinen nopeus ja ytimen läpimita pienin ajateltavissa oleva matka, on ilmeistä, ettei tätä lyhyempiä aikavälejä ole. Tämä on ai-kayksikkö, jota ei enää voi jakaa osiin.

Tämäntapaiset rajoitukset ovat kuitenkin lähes pelkästään kiinnostusta ja uteliaisuutta he-rättäviä. On mielenkiintoista tutustua niihin. Voimme ne sijoittaa maailmankuvaamme ja olla tyy-tyväisiä; ne eivät koske meitä sen enempää kuin korkeushyppääjää koskee mahdollisuus lyödä päänsä kuuhun. Paljon vakavammin on pakko suhtautua rajoihin, joita aivan viime aikoina on tullut näköpiiriin, rajoihin, jotka rajoittavat itse luonnontieteellisen kulttuurin edistymistä, siis ihmi-sen omaa kehitystä. Näitä on useitakin.

Ensimmäisenä mainitsisin *luonnon asettamat rajat*. Teknisellä edistyksellä on jo jonkin aikaa ollut näköpiirissään luonnonvaroja koskevat rajoitukset. Mitä tehokkaampia välineitä me raken-namme, sitä nopeammin kulutamme luonnonvarojamme. Yhä nopeammin myös syydämme il-moille jätteitä, käyttökelpotonta materiaa. Jos näin jatkuu, istumme ennen pitkää kaikki yhdessä suurella tunkiolla. Tässä ei ole kysymys pelkästään epämukavuudesta tai esteettisistä arvoista, vaan tämä merkitsee, että me rajoitamme elämän mahdollisuuksia maapallolla ratkaisevasti. Ainakin tämä vaara on olemassa. Ihmisen on pakko vapaaehtoisesti alistua rajoituksiin, jotta yleinen saastuminen ei ylittäisi kriittistä rajaa. Atomiräjäytyskokeiden yhteydestä me tiedämme tämän ehkä parhaiten. Niitä koskevat sopimukset ovat kuitenkin vain erikoistapaus, jossa pyri-tään rajoittamaan radioaktiivisen saasteen leviämistä.

Monin paikoin – tunnetuimpana esimerkkinä Yhdysvaltojen Los Angeles – ilman myrkytymi-nen on jo saavuttanut sellaiset mittasuhteet, että se on terveydelle vahingollista, ja on ollut pakko säätää lakeja, jotka rajoittavat ilman saastuttamista. Tämäkin ongelma on pian koko maapalloa koskeva. Mutta ilman myrkyttyminen ei ole tällöin suinkaan ainoa vaara, tuskin edes ensimmäi-nen. Ilmakehän kokoomuksen muuttuminen, mistä jo todella alkaa olla kysymys, aikaansaa muutoksia maanpinnalta avaruuteen ja avaruudesta maahan pääsevässä säteilyssä. Ennustei-den mukaan elämälle vahingollinen säteily maan pinnalla tulee lisääntymään. Pitemmällä täh-

täimellä, ellei rajoituksiin alistuta, saattaa tällöin myös koko maapallon lämpötasapaino olla vaarassa.

Toiseksi, luonnontiede, erityisesti alkeishiukkastutkimus ja avaruustutkimus, on selvästi *taloudellisen rajan* edessä. Yhdysvalloissa, jossa molempia mainittuja aloja innokkaasti harrastetaan, on jo kauan käytetty yksikkönä miljoonaa dollaria puhuttaessa näiden alojen uusista suunnitelmista ja niiden toteuttamisesta. On selvää, että tällaiset suunnitelmat ovat kohdanneet yhä suurempaa vastustusta. Olemme jo nyt tilanteessa, jossa pienten valtioiden taloudelliset mahdollisuudet eivät riitä näiden alojen tehokkaaseen tutkimukseen. Sen vuoksi onkin perustettu kansainvälisiä tutkimuskeskuksia, kuten CERN Genevessä ja Dubnan keskus Moskovan lähellä, joita yhteisin varoin ylläpidetään. Kovin kaukana ei enää ole sekään raja, jolloin koko maailman yhteiset taloudelliset voimavarat eivät riitä seuraavan edistysaskelen toteuttamiseen. Mitä sitten tehdään?

Kolmannen rajan asettaa ihmiskunnan *äärellinen tietokapasiteetti ja oppimiskyky*. Yksityinen tiedemies on jo kauan sitten kohdannut paisuvan tietomäärän ongelman. Jotta tutkimuksen edistyminen olisi ollut mahdollista, on ollut pakko ryhtyä yhteistyöhön, perustaa tutkimusryhmiä ja tutkimuslaitoksia, jotka keskittyvät tiettyihin ongelmiin useiden tiedemiesten yhtynein voimin. Tällä tavoin on rajaa voitu siirtää vähän kauemmaksi. Viime vuosina tietokoneet ovat merkinneet tässä suhteessa huomattavaa edistysaskelta. Niiden avulla pystymme tallettamaan ja käsittelemään samanaikaisesti suorastaan käsittämättömiä tietomääriä. Mutta samalla nämä välineet merkitsevät tietomäärän kasvunopeuden ratkaisevaa kiihtymistä. Siten, jos rajaa onkin sysätty kauemmaksi, lähestymme sitä myös yhä nopeammin, ja kohta se on taas vastassa. Kaikki tieto ei pian mahdu minnekään. Ja vaikka mahtui sikin, eteenpäin pääseminen minkä tahansa tieteen alalla tulee yhä vaikeammaksi. Usein nytkin ollaan jo siinä tilanteessa, että esiintyvät probleemat ratkaistaan itse ottamatta edes selvää, onko ne jo ratkaistu vai ei, koska tämä on nopeampi tie siinäkin tapauksessa että ne jo olisi ratkaistu ja ratkaisu olisi löydettävissä jostakin tieteellisen kirjallisuuden suunnattomasta tietomerestä. Jättiläinen on kasvanut niin suureksi, että tuskin kukaan enää jaksaa kiivetä sen hartioille ponnistaakseen siitä ylöspäin.

Neljännän ja ehkä vakavimman rajoituksen asettaa *ihmisen ymmärrys*.

Se on auttamattomasti sidottu konkreettisen havainto maailman kahleisiin, ja kuitenkin tahdomme alistaa sille maailmankaikkeuden suunnattomat avaruudet, atomimaailman häviävän pienet yksityiskohdat, ajan ja aineen, elämän ja kuoleman salaisuudet, joilla ei ole eikä voikaan olla mitään yhtymäkohtaa meidän suppean havaintomaailmamme kanssa. Tämä rajoitus on luonnon perusteita tutkivalle tiedemiehelle jokapäiväistä todellisuutta, mutta sen tarkastelu johtaisi meidät liian pitkään filosofiaan. Ottaisin kuitenkin yhden pienen esimerkin kehityskulusta, joka on johtanut tämän rajoituksen luonteen parempaan ymmärtämiseen.

Viime vuosisadalla, kun tutkittiin klassista mekaniikkaa, osoittautui kolmen kappaleen probleema ratkeamattomaksi. Sitten opimme suhteellisuusteoriaa ja totesimme, että kahden hiukkasen probleema on mahdoton. Opittuamme kvanttimekaniikkaa totesimme, että yhden hiukkasen probleemaa ei voida ratkaista. Ja lopulta kenttien kvanttiteoria osoitti, että ei yhtään hiukkasta on jo liian monta voidaksemme täysin ymmärtää tilanteen. Kuitenkin on selvää, että tässä kehityskulussa on tapahtunut huimaava edistys. Jokainen sen vaihe merkitsee ongelman luonteen uutta avarampaa ymmärtämistä.

Lopultakin ymmärtäminen itse ja sen merkitys on luonnontieteilijän vaikein ongelma. Olemme oppineet, että selvimpinäkin pitämämme asiat saattavat olla erehdyksiä. Luonto on monesti osoittautunut aivan erilaiseksi kuin sen meidän mielestämme pitäisi olla. Monessa suhteessa meidän on ollut pakko myöntää, että ainoa mahdollinen ja oikea ymmärtäminen voi merkitä vain sitä, että ymmärrämme miksi ymmärtäminen on mahdotonta.

Jos pitäisi lyhyesti määritellä luonnontieteellisen kulttuurin perintö jollekin tulevalle sukupolvelle, joka ehkä on luomassa kokonaan omaa uutta kulttuuriaan, niin tilannetta voidaan tarkastella useammaltakin eri kannalta. Yksi mahdollisuus on katsoa asiaa kuten Nobel-fysikko Richard Feynman, joka kuuluisien luentojensa alussa arvelee tähän tapaan: "Jos meidän olisi yhteen lauseeseen keskitettävä mahdollisimman paljon oppimaamme luonnontieteellistä tietoa, niin lause 'Kaikki materia muodostuu atomeista' olisi varmasti parhaita." Mielestäni on kuitenkin ilmeistä, että ihmisen itsensä kannalta varsinaista tiedollista ainesta paljon arvokkaampi perintö kätkeytyy siihen totuuteen, jota olemme tässä hetken tarkastelleet ja jonka kanssaluonnontiede on saattanut meidät kasvokkain, nimittäin siihen; että on rajoja. On rajoja, jotka meidän täytyy ylittää ja joiden ylittämiseksi meidän on ponnistettava kaikki voimamme. Mutta on myös rajoja, joita *ei voi rikkoa*, ja rajoja, joita *ei saa rikkoa*. Ihmisen mahdollisuudet ja hänen ymmärryksensä ovat rajoitetut, ja vain rajoituksensa tunteva ihminen voi kehittyä.