

Tieteen substanssi ja sen historia

Raimo Lehti

Kysymys tieteenhistorian edistämisestä ja organisoimisesta maassamme on viime aikoina ollut puheenaiheena sekä julkisissa että yksityisemmissä keskusteluissa. Oppi- ja aatehistorian professori Juha Manninen julkaisi aiheen tiimoilta viime vuonna *Tieteessä tapahtuu* -lehdessä (8/1998) laajan ja mielenkiintoisen artikkelin. Siinä hän mm. kritisoi (s. 14–15) tieteenhistorioitsijalta vaadituksi ehdotettua kaksoispätevyyttä. Siteeraan seuraavien pohdiskelujeni taustaksi laajahkosti hänen esitystään:

[Kaksoispätevyys] tarkoittaa sitä, että tieteenhistorioitsijalla tulisi olla pätevyys toisaalta historioitsijana, toisaalta sillä tieteenalalla, jota hänen tutkimuksensa koskee. Yhdistelmä on mahdoton. Historioitsija koulutetaan suuntaamaan huomionsa juuri sellaisiin todellisuuden kertautumattomiin piirteisiin, joista yleistä tietoa tavoittelevien teoreettisten tieteiden tutkija koulutetaan suuntaamaan huomionsa pois. ... Ilman teoreettisia abstraktioita, ei jälkimmäinen ensinkään katso voivansa asettaa kohteestaan kysymyksiä. Hän on onnellinen, jos onnistuu laajentamaan yleisiä teorioita kattavuudeltaan vieläkin yleisemmiksi. ...

... Näyttäisi siltä, että tavallisen historioitsijan koulutuksen saaneet suorasti pelkäisivät teoreettisia konstruktioita. Teoreettisen koulutuksen saaneet taas pääsääntöisesti halveksivat historioitsijan tutkimia asioita tai ainakin pitävät niitä älyllisesti vain vähäisessä määrin mielenkiintoisina. ... Hyvää tieteenhistorioitsijaa ei synny edellyttämällä kahta metodisesti vastakkaista pätevyyttä. Tieteenhistorioitsijalla onkin vain yksi pätevyys, tieteenhistorioitsijan pätevyys, joka tosin ei synny toisaalta ilman historioitsijan mentaliteettia, toisaalta ilman tavallista historioitsijaa verrattomasti suurempaa innostusta intellektuaalisiin kysymyksiin. Kaksoispätevyyden edellyttäminen on erityisen ongelmallista siksi, että teoreettisten tieteiden edustajat kernaasti kuvittelevat historioitsijan pätevyyden olevan jotain huomenlahjana saatua. Kun lähdekeskisellä historiallisella kritiikillä ei ole mitään erityistä teoreettista sisältöä, niin sen harjoittamisen saattaa luulla sujuvan keneltä hyvänsä ilman mitään erityistä ponnistelua. ...

Todellisuudessa kaksoispätevyyden vaatimus on kontraproduktiivinen. Tieteenhistorialta ei pidä edellyttää Janus-kasvoisuutta. Se ei ole kahta tieteenalaa yhtäaikaaisesti, vaan yksinkertaisesti historiallista ja humanistista tutkimusta, joskin sen erityinen laji samassa mielessä kuin taidehistoria, kirjallisuushistoria, sosiaali- ja taloushistoria tms. ... [T]ieteenhistorian tulee antaa kuva tieteellisten katsomusten, teorioiden ja metodien kehityksestä. Siihen kuuluvat myös tiedon haasteet ja anti käytännön elämälle ja sen arvoille, maailmankuvalle, kulttuurille, yhteiskunnallisille ja poliittisille uudistuksille, teknologisille ja teollisille innovaatioille, tiedepohjaisille ammateille, koulutukselle, julkiselle väittelylle. Tieteenhistorian tulee selvittää tieteen poliittista elämää ja sen institutionaalisia ehtoja, sen kansantaloudellista merkitystä ja sen paikkaa kulttuurisena voimatekijänä.

Luonnontieteilijä historioitsijana

Kirjoitin vuonna 1981 *Arkhimedes*-lehteen osittain samoja aiheita käsittelevän artikkelin "Tieteen historian rooli tieteen tutkimuksen kentässä"; artikkeli on reprodusoitu teoksessa *Tähtiä ja ihmisiä* (Lehti 1996, s. 273–285). Käytän seuraavassa jonkin verran tuon artikkelin materiaalia. Kirjoituksessani käsitelin aihetta ensisijaisesti pitkälle kehitettyjä matemaattisia menetelmiä soveltavien luonnontieteiden perspektiivistä, joiden kohdalla kaksoispätevyyden ongelma lienee vaikein; "innostus intellektuaalisiin kysymyksiin" ei niiden kohdalla riittä täydentämään historioitsijan pätevyyttä. Myös seuraavassa ovat ensisijaisesti nämä tieteet mielessäni, vaikka usein käytänkin lyhyden vuoksi monimerkityksellistä sanaa "tiede". Professori Manninen mainitsee teoreettisen koulutuksen saaneiden puutteeksi sen, että he "pääsääntöisesti halveksivat historioitsijan tutkimia asioita tai ainakin pitävät niitä älyllisesti

vain vähäisessä määrin mielenkiintoisina." Hän moitti teoreettisten tieteiden edustajia siitä, että nämä "kernaasti kuvittelevat historioitsijan pätevyyden olevan jotain huomenlahjana saatua." On kyseessä aito dilemma, johon on jo kauan kiinnitetty huomiota. Historiasta kirjoittavilta tieteenharjoittajilta saatua puuttua historian tutkijan "standardiasetus": kyky tai kenties halukin perehtyä arkistojen kätköihin hautautuneeseen materiaaliin. Tämän seurauksena he eivät aina suhtaudu historiankirjoitukseen samalla kriittisyydellä kuin omaan tieteenalaansa. He saattavat aliarvioida historiallisen tutkimuksen metodiikan, esimerkiksi lähdekritiikin, merkitystä. Jo tieteenhistorian varhainen systematisoija ja organisoija George Sarton valitti, että tästä syystä historian poluilla seikkaileva tieteenharjoittaja joskus tuottaa niin hatarasti kirjoitettua historiaa, että tuotteella ei ole pysyvää arvoa. Sarton on kuitenkin Mannista optimistisempi ja arvelee, että haikka on voitettavissa: historian tutkimuksen metodiin perehtymällä voi luonnontieteilijä antaa itselleen tieteenhistorioitsijan tarvitsemää "täydennyskoulutusta" (Sarton 1957 s. 45–48). Voinee ounastella, että ainakin vaativaa tekniikkaa käyttävien matematisoituneiden tieteiden tapauksessa on vastaava täydennyskoulutus humanistisen peruskoulutuksen saaneelle vaikeampaa. Professori Manninen perustelee pessimistisempää kantaansa olettamalla luonnontieteilijän peruskoulutuksen saavan aikaan, että hän ei "ilman teoreettisia abstraktioita ... ensinkään katso voivansa asettaa kohteestaan kysymyksiä", vaan "on onnellinen, jos onnistuu laajentamaan yleisiä teorioita kattavuudeltaan vieläkin yleisemmiksi." En tiedä, minkälaiseen luonnontieteilijöiden käyttäytymisen tuntemukseen Manninen perustaa arvionsa, mutta joka tapauksessa se hieman valitettavalla tavalla myötäilee teoreettisten tieteiden harrastajia kohtaan tunnettuja yleisiä ennakkoluuloja. Eihän ole mitenkään harvinaista tavata sellaista asennetta, että vaikkapa matemaatikko tai teoreettinen fyysikko varmaankin kaikissa käytännön tomissaankin suhtautuu ympäristöönsä teoreettisia abstraktioita soveltaen. En oikein jaksa uskoa, että kukaan tieteenä historiallisesta kehityksestä kiinnostunut teoreetikko suhtautuisi historiaan noin ilmiselvän absurdilla tavalla.

Mielestäni ei tule sulkea pois mahdollisuutta, että jonkin asteinen kaksoispätevyys on saavutettavissa ainakin siinä mielessä, että luonnontieteellisen peruskoulutuksen saanut historiasta kiinnostunut henkilö ei välttämättä kauhistu sellaisen käsikirjoitus- ym. materiaalin käsittelyä, jossa historiallisen ammattikoulutuksen saaneet henkilöt liikkuvat kuin kalat vedessä. Kyllä monet parhaat tieteenhistorian harrastajat ovat tällaisen pätevyyden itselleen hankkineet; esimerkkinä vaikkapa babylonialaisen matematiikan ja tähtitieteen tutkija Otto Neugebauer. Näkemystään tieteen historiasta hän valottaa antiikin matemaattisen tähtitieteen historiaa käsittelevän teoksensa esipuheessa (*Neugebauer* 1975 s. VII; *Lehti* 1996 s. 280):

Olen kuitenkin yrittänyt päästä mahdollisimman lähelle itse tähtitieteellisiä probleemeja kätkemättä tietämättömyyttäni sosiologisten, elämäkerrallisten ja bibliografisten irrelevanssien savuverhon taakse.

Tieteen historian 'ammattillistuminen'

Kaksoispätevyyden vaatimusta Manninen pitää "kontraproduktiivisena"; se johtaa mahdottomaan yhdistelmään. Tieteenhistorioitsijalta ei tule edellyttää "kahta metodisesti vastakkaista pätevyyttä", vaan ainoastaan tieteenhistorioitsijan pätevyyttä, joka tekee sen harrastuksesta ammatin. "Mistään pelkästään harrastuspohjalta arvokkaita tuotteita synnyttävästä suuntautumisesta ei sen sijaan ole kysymys" (*Manninen* 1998 s. 6). Kenties on hyvä näin, mutta tuntuu jäävän hieman arvoitukselliseksi, mitä kaikkea vaadittavaan ammatilliseen pätevyyteen sisältyy. Sitä varten ilmoitetaan vaadittavan mm. "historioitsijan mentaliteettia" sekä "tavallista historioitsijaa verrattomasti suurempaa innostusta intellektuaalisiin kysymyksiin". Omana erikoistumisen aikakautena on tietenkin ymmärrettävää, että tieteen historia nähdään erilliseksi omat metodiikkansa kehittäneeksi oppialaksi. Varsinkin matematisoituneiden tieteiden perspektiivistä katsottuna tällä tendenssillä on omat vaaransa. Esimerkiksi matematisoituneiden tieteiden historian johtavan aikakauslehden *Archive for the History of Exact Sciences* pitkäaikainen päätoimittaja ja Eulerin teosten monien osien toimittaja, mekaniikan tunnettu tutkija Clifford Truesdell korostaa, että eksaktien tieteiden historiaan perehtyville on perusteellinen matematiikan tuntemus välttämätöntä. Hän kirjoittaa seuraavaa (*Truesdell* 1968 s. 2, *Lehti* 1996 s. 279-

280):

Ainoastaan siinä, että se soveltaa matematiikkaa luonnontieteisiin ja korvaa käsityöläisperinteen kalkulaatiolla, läntisen kulttuuripiirin teknologia eroaa periaatteellisesti muista.

Tieteen ja teknologian historian pääprobleemi on tämän erikoislaatuisen yhdistelmän ymmärtäminen, sen synnyn löytäminen ja sen kasvun seuraaminen. Nyt kun tieteen historiasta on tullut yliopistojen tunnustettu oppiala, ... joka yhdellä sanalla sanoen on ammatillistunut, on mainittu probleemi pikemminkin hämartyntä kuin ratkaistu. Useimmat tämän uuden oppialan riippumattomuuden asianajat eivät nimittäin kykene ratkaisemaan jotain differentiaalilaskennan tehtävää, saati sitten käsittämään sata vuotta vanhaa julkaisua hydrodynamiikan alalta. Niinpä tiede typistetään sille omistautuneiden historioitsijain mitan mukaiseksi, ja jos pätevä tiedemies uskaltaa kohottaa äänensä tieteen historian yhteydessä, hänet torjutaan tungettelevana amatööriinä.

Teksti saattaa joistakin tuntua turhan kovalta, mutta jos haluamme vakavasti keskustella tieteen historian harrastamisesta, ei sitä voi vaikenemalla sivuuttaa.

Tieteen 'substanssi' ja yhteiskunnalliset relaatiot

Tieteen historian monimuotoisuuden yhtenä syynä on tieteen 'olemuksesta' esiintyvien näkemysten moninaisuus. Jossain määrin tulee tieteen historian ottaa huomioon kaikki eri aspektit. Nämä konkretisoituvat professori Mannisen antamassa luettelossa tieteen historian päämääristä. Useat (ehkä useimmat) tieteenharjoittajat itse pitänevät keskeisimpänä kuvan antamista "tieteellisten katsomusten, teorioiden ja metodien kehityksestä". Ehdotan, että teoriat ja metodit, mukaan luettuina näitä käyttäen saadut tulokset, matemaattiset apuneuvot, havaintomenetelmät, sekä näiden kehittämiseksi sekä julkistamiseksi kehitetyt instituutiot muodostavat tieteen jonkinlaisen 'substantiaalisen möykyn', jonka muuttuminen ajan mukana antaa tieteen varsinaisen sisällyksellisen historian.

Tieteen toisenlaiset aspektit tuntuvat kiinnostavan professori Mannista enemmän; ainakin hän antaa niistä monipuolisemman luettelon. Hän mainitsee tiedon annin ja haasteet "käytännön elämälle ja sen arvoille, maailmankuvalle, kulttuurille, yhteiskunnallisille ja poliittisille uudistuksille, teknologisille ja teollisille innovaatioille, tiedepohjaisille ammattiteille, koulutukselle, julkiselle väittelylle"; edelleen on selvittävä "tieteen poliittista elämää ja sen institutionaalisia ehtoja, sen kansantaloudellista merkitystä ja sen paikkaa kulttuurisena voimatekijänä". Näitä tieteen komponentteja voimme luonnehtia yhteisnimellä 'tieteen yhteiskunnalliset relaatiot'.

Olen tietoinen tällaisten luokittelujen vaikeudesta. Jokaisena ajankohtana sijaitsee 'tieteen substantiaallinen möykky' tietyssä yhteiskunnallisten olojen sanelemassa tilanteessa, joten siihen vaikuttavat, joskus suuremmassa joskus pienemmässä määrässä, 'yhteiskunnalliseksi relaatioiksi' luokittelemani komponentit. Tieteen substanssia ei tietenkään voi eristää muusta maailmasta, ei sen enempää tekniikasta ja taloudesta kuin opeista ja aatteistakaan; kuitenkin se muodostaa kenties hieman 'ameebamaisen' mutta identifioitavissa olevan yksilön, jonka kokonaisuuden tai osien historia on kirjoitettavissa. Tätä perusasiaa ei muuta miksiäkään se, että eri aikoina on saattanut vallita eri mielipiteitä siitä, mitä kaikkea tieteen 'substanssiin' sisältyy (esimerkkinä astrologia).

Horisontaalisuus ja vertikaalisuus

Edellä hahmottelemani jaottelu tieteen substanssin ja yhteiskunnallisten relaatioiden historiaan on tietyssä joskaan ei tiukassa korrelaatioissa toiseen jaotteluun. Jo mainitsemani George Sarton jakoi tieteen historian kentän kolmeen suuntaan kulkevilla akseleilla. Jaottelun mukaan tieteen historian harrastajan tulee perehtyä jonkin erityisalan historiaan kautta aikojen, jonkin aikakauden tieteesen kokonaisuutena ja jonkin maan tiedehistoriaan kokonaisuutena (Sarton 1957 s. 27-30, Lehti 1996 s. 276).

Manninen analysoi artikkelissaan tosiasiaa, että Suomessa organisoitu tieteen historia keskittyy huomattavassa määrin Sartonin kolmanteen 'maakohtaiseen' dimensioon. Jätän nyt tämän dimension huomiotta, ja kutsun ensimmäistä kahta tieteen 'vertikaaliseksi' ja 'horisontaaliseksi' dimensioksi. Vertikaalisesta perspektiivistä tiede näkyy joukkona aikojen

halki kulkevia 'säikeitä'. Yleensä nuo säikeet vastaavat joitain oppialoja tai erityisten luonnonilmiöiden tutkimista, ja tällaisena ne muodostavat osan tieteen substanssista. Horisontaalisesta perspektiivistä tiede sijoittuu yhdeksi oman aikansa komponentiksi, yhtäläillä aatteiden kuin konkreettisen tekniikan ja 'maailman muuttamisen' tasolla. Tämä perspektiivi suosii keskittymistä tieteen yhteiskunnallisiin relaatioihin. Tietenkään korrelaatio ei ole sitova; voisihan poimia esiin myös jonkin yhteiskunnallisen relaation, vaikkapa tähtitieteen soveltamisen merenkulkuun, ja kuljettaa tämän relaation historiaa kautta vuosisatojen.

Dimensiot antavat kaksi koordinaattiakselia, jotka tietenkin leikkaavat toisensa, esimerkiksi kukin yksittäinen tieteenharjoittaja sijaitsee molemmilla akseleilla.

Vertikaalinen dimensio tieteenharjoittajan hallitsemana

Voimme olettaa, että Sartonin mainitsemat akselit ovat tieteen tutkimuksen huomionarvoisia ulottuvuuksia. Voiko tästä päätellä jotain siitä, minkälaista tiedollista ja koulutuksellista taustaa vaaditaan tieteen historian analysoijilta?

Varhaisemmat vaiheet antavat yksiselitteisen kuvan. Tieteen historian perustan ovat rakentaneet asianomaisten tieteenalojen edustajat, matemaattisen tai luonnontieteellisen peruskoulutuksen saaneet myöhemmin elämässään historian puoleen kääntyneet henkilöt, tyypillisinä esimerkkeinä vaikkapa fyysikot William Whewell ja arabialaisen tiedehistorian varhainen tutkija Eilhard Wiedemann, astronomi Jean Baptiste Joseph Delambre ym. (Sarton 1962 s. 64, Lehti 1996 s. 277-278).

Tieteen empiirisen tutkimuksen varhaisin ja pitkän aikaa ainoa muoto oli tieteen historia, ja sen ovat luoneet historialliseen problematiikkaan syventyneet tieteenharjoittajat. On kysyttävä, onko tämä tieteen historian varhainen suuntaus ollut hyvä, vai onko kyseessä tieteen tutkimuksen amatöörimäinen varhaisvaihe, jonka tulee korvaamaan monivivahteisemmin historiallinen tai sosiologinen asennoituminen?

Kuten jo todettiin, luonnontieteilijä-historioitsijat eivät yleensä ole saaneet historian tutkimukseen tähtäävää koulutusta.

Tämän puutteen takia heiltä on katsottu puuttuvan näkemyksiä ja tietoja kuvailemiensa ilmiöiden yleishistoriallisesta taustasta ja riippuvuussuhteista. He rajoittuvat tieteen erikoisalojen detajlien analysoimiseen välttämättä niiden yhteyksistä yleisiin historiallisiin ja yhteiskunnallisiin ilmiöihin. Toisaalta tieteenharjoittajat tuntevat perusteellisesti tieteenalansa ja pystyvät tämän takia sen kehityksen yksityiskohtaiseen analysoimiseen. Tieteen historian ulottuvuuksiin suhteutettuna tämä merkitsee, että tieteenharjoittajahistorioitsijan voimana on vertikaalinen ja heikkoutena horisontaalinen dimensio.

Keskittyminen julkaistun materiaaliin

Luonnontieteilijä-historioitsijoiden usein vaillinaisen historian tutkimuksen metodien hallitseminen synnyttää tendenssin keskittyä tieteellisiin tutkimuksiin tai oppikirjojen julkaisuun materiaaliin. Tämä pakottaa tietenkin heidät ajalta ennen kirjapainotaidon keksimistä rajoittumaan muiden toimittamaan ja julkaisemaan aineistoon. Se antaa kylläkin monilta aikakausilta varsin kattavan taustan omiinkin analyyseihin; esimerkiksi Babylonian matemaattisiin ja tähtitieteellisiin teksteihin voi melko hyvin perehtyä alkutekstien esitystekniikkaa tuntematta. Keskittyminen painettuihin julkaisuihin on mahdollista viimeistään ajalta noin vuodesta 1500 alkaen, ja tämä aika kattaa valtavasti suurimman osan tieteen substanssin kasvusta. Tuolloinkin keskittymistä painotuotteisiin voi kritisoida; Manninen ehdottaa (Manninen 1998 s. 16): "Tieteen historiaa ei sitäpaitsi voi kirjoittaa pelkästään tieteellisiin julkaisuihin viittaamalla."

Tämäkin asia olisi syytä esittää pikemminkin kysymyksenä kuin kategorisena väitteenä. On selvää, että lopulliset julkaisut eivät selvitä, miten tieteenharjoittaja on laboratorioissaan menetellyt, mitä hän on ajatellut, mitä virheitä tehnyt, mitkä havaintotulokset hylännyt ja mistä syystä, mitä siis laboratorioissa 'todella tapahtuu', miten siellä idealisoidaan ja siloitellaan tuloksia, kuka hyväksytään auktoriteetiksi jne. Tällaisten asioiden selvittelyä varten tarvitaan tieteen sosiologin pätevyys ja menetelmät, ja hänen saamansa tulokset ovat parhaassa tapauksessa mitä valaisevimpia. Ne antavat tieteen tekemiselle väriä, vauhtia ja 'elämänläheisyyttä'. Tästä huolimatta voi esittää kysymyksen, ovatko tällä tavalla saadut tiedot olennaisia tieteen substantiaalisen historian kannalta? Jos hyväksymme määritelmän, että tiede on julkista tietoa (ja tämä on yksi lukuisista ehdotetuista tieteen määritelmistä), niin

voi omaksua sellaisenkin kannan, että mikään salaiseksi ja julkistamattomaksi jäänyt toiminta ei ole ollut tärkeää. Tärkeää ei ole, mitä Newton, Einstein tai Bohr ajattelivat ja miten he toimivat teoksiaan kirjoittaessaan; tärkeää on vain se, minkä he kirjoittivat julkaistuihin teoksiinsa, sillä tämä oli se, mitä he nimensä auktoriteetilla vakuuttivat pitävänsä totena. Vain tähän voivat myöhemmät vedota Newtonin, Einsteinin tai Bohrin teorioina, ja vain tämä teki historiaa. Kun haluamme selvittää, millä tavoin Newtonin mekaniikka tai erityinen suhteellisuusteoria tai kvanttimekaniikka ovat tieteinä vaikuttaneet ja kehittyneet edelleen, niin riittää lukea, mitä mainitut herrat ja heidän seuraajansa kirjoittivat julkaistuissa teoksissaan. Tiede on julmaa; kätköön jääneet oivallukset eivät muodosta osaa tieteen substanssista.

Seuraavaksi voi kysyä, kuinka ratkaisemme, millä tavoin tieteenharjoittajien julkaistut teokset ovat vaikuttaneet? Looginen seuraus edellä sanotusta on, että mikäli rajoittumme tieteen substanssin historiaan, ei ole mitään merkitystä sillä, mitä (josko mitään) mahdollinen lukija on ajatellut, vaan ainoastaan, millaisen julkaisun hän vuorostaan on saanut aikaan. Tällöin tieteen historia redusoituu peräkkäisten jotain määärättyä aihetta koskevien julkaisujen jonon historiaksi. Tämä on tietenkin äärimmäisen rajoittunut näkemys, enkä mitenkään halua ehdottaa tieteen substanssinkin historiaa näin formaaliksi, mutta kuitenkin saamme yhden aivan käyttökelpoisen komponentin tieteen historiasta. Pelkästään tähän aspektiin keskittyvä tutkija saattaa päästä aivan arvokkaisiin tuloksiin, ja jopa sellaisiin, jotka korjaavat tai peräti kumoavat yleisiä aatteita avarammin etsivän historioitsijan mielikuvituksen kukkasia.

Otan tästä kuvitellun esimerkin: Olettakaamme, että joku ottaa tutkiakseen kolmen kappaleen probleemin historiaa Newtonista omaan aikaamme asti. Tällöin hän pystyy seuraamaan, minkä matemaattisen asun probleemin käsittely sai ensin Newtonin Principiassa, sitten teoksien jonossa, joiden kirjoittajina olivat mm. d'Alembert, Clairaut, Euler, Lagrange, Laplace, Delambre, Tisserand, Poincaré, Sundman jne. Asian tietenkin tekee sekä värikkäämmäksi että tieteen historian kannalta kiinnostavammaksi tieto siitä, mitkä tekijät vaikuttivat kunkin kirjoittajan kohdalla kysymyksen käsittelytapaan: Miksi Clairaut piti ensin Newtonin vetovoimalain muuttamista tarpeellisena; miksi Sundman käytti nimenomaan analyyttisten funktioiden jatkamisen tekniikkaa jne. Tällainen tieto ei kuitenkaan ole *välttämätöntä* sen selvittämiseksi, miten probleemi on elänyt ja muuttanut muotoaan julkaisusta toiseen.

Pelkkien julkaisujen tutkiminen tuottaa rajoitettua tietoa, mutta antaa kuitenkin yhden sellaisenaan tärkeän ja asioita valaisevan loimen tieteen historian kankaaseen. Esimerkiksi kolmen kappaleen probleemin tapauksessa asian huolellinen tutkiminen on omiaan romuttamaan joitakin suurpiirteisemmän historiankirjoituksen myyjtejä, kuten kuvitelman newtonilaisen matemaattisen fysiikan determinismistä, Merkuriuksen perihelikiertymästä newtonilaisen taivaanmekaniikan 'falsifioijana' sekä klassillisesta taivaanmekaniikasta Einsteinin gravitaatioteorian 'approksimaationa'.

Jo tällaisen tieteenhistoriallisen erityiskysymyksen läpikotainen selvittäminen olisi niin laaja asia, että siihen yhden ihmisen elinaika kulusikin ehtimättä pohtia kunkin toimijan motiveja ja sijaintia oman aikansa yhteiskunnassa. Kenties teoreettisista tarkasteluista kiinnostuneet ihmiset tarttuvat tällaiseen historiankirjoitukseen, kun teoreettinen fysiikka kerran löytää ennustetun 'kaiken teorian', ja sen enempi kehittäminen käy mielenkiinnottomaksi.

Ymmärrän hyvin, että edellä kuvitellun kaltainen tieteen historian kirjoittaminen saattaa 'horisontaalisesti' suuntautuneesta yhteiskunnallisista yhteyksiä korostavasta historiotsijasta tuntua mielenkiinnottomalta. Aivan samoin saattaa tieteen substantiaalisesta kehityksestä kiinnostuneen henkilön mielestä jokin pelkästään yhteiskunnallisia relaatioita käsittelevä tutkimus näyttää epäolennaiselta. Tieteen monikasvoisuudesta johtuen on myös tieteen historia niin monikasvoista, että monenlaisten lähestymistapojen hyväksyminen on välttämätöntä.

'Whig-historia' ja 'presentismi'

Edellä vertikaaliseksi ja tieteen substanssiin keskittyväksi luonnehtimani tieteen historian lähestymistapa on jo muutaman vuosikymmenen ajan ollut horisontaalisesti suuntautuneiden kirjoittajien kritiikin kohteena. Kritiikin perusajatukset lienevät suunnilleen seuraavia: Kun tiede (ts. erityistieteet sekä ajallisesti samoina pysyvien erityiskysymysten tutkiminen) nähdään ajallisesti kehittyvänä jonona, niin tällöin arvioidaan

aikaisempien aikakausien tiedettä oman aikamme tieteen termein ja 'pisteytetään' aikaisempien tiedemiesten tekemät ratkaisut sen mukaan, miten ne ovat auttaneet myöhemmin 'edistymiseksi' määritellyn tapahtumasarjan toteutumista. Näitä historiankirjoituksen virheitä pilkataan varsin yleisesti sellaisilla slogaaneilla kuin 'presentismi' ja 'Whig-historia'. Kriitikki yhdistetään usein enemmän tai vähemmän eksplisiittisesti kunkin tieteenalan specialistien historiankirjoitusyritysten kritiikkiin: Heidän oletetaan katsovan aikaisempaa tiedettä nykypäivän perspektiivistä, jolloin he eivät ota huomioon kunkin ajan tiedollisen tason sekä yleisesti vallinneiden näkemysten vaikutusta.

Kriitikki on useissa tapauksissa oikeaan osuvaa. Kuten jo edellä totesin, ei sen esittäminen ole kovin uuttakaan, vaan jo varhain on kannettu huolta tällaisen 'historiallisen amatöörimäisyyden' vaikutuksesta. Tieteen historian laajasta kirjallisuudesta voi poimia lukuisia esimerkkejä tarkastelun kohteena olevan ajan olosuhteiden joskus räikeästäkin huomiotta jättämisestä. Tämän kiistämättömän ongelman varjolla on kuitenkin omaksuttu tieteen kasvussa ilmenevää suuntautumista väheksyvä näkemys, joka on omiaan synnyttämään tieteen keskeisimpiä piirteitä hämähäyttäviä historiantikintoja. Tällaiset tulkinnot näkevät tieteenharjoittajien kunkin aikana tekemät ratkaisut ensisijaisesti tai jopa miltei yksinomaan sosiaalisina ratkaisuuina; tieteen totuuksina pitämät tulokset 'sosiaalisina konstruktioina'.

Sopivasti täsmennettynä on kritiikkiä 'presentismistä' pidettävä oikeutettunakin, mutta edellytyksenä on tuon sanan merkityksen analysoiminen. Tieteen historioitsijalta on vaadittava, että hän arvioi aikaisempaa kautena eläneen tieteenharjoittajan tekemiä ratkaisuja tämän elinajan tunnettujen tai vähintäänkin mahdollisten menetelmien ja tietojen perusteella. Arviota ei saa perustaa siihen, millaisia tietoja ja teorioita asiasta on myöhemmin kehitelty. Tämän periaatteen rikkominen osoittaa puutteellista historian ymmärtämisen kykyä (mutta kaikkihan me olemme puutteellisia). Syyte periaatteen rikkomisesta esitetään kuitenkin usein heikoin perustein. Syytteen esittämiseksi tuntuu usein riittävän jo se, että historioitsija on todennut tai kenties jopa korostanut, että aikaisemman tieteenharjoittajan tekemä ratkaisu on ollut *sama*, minkä nykyinenkin tieteenharjoittaja tekisi, ja on johtanut yhtenä askeleena siihen, mitä nykyisin pidämme tuosta kysymyksestä oikeana tietona. Kuitenkin: Etenevää tiedettä ei olisi laisinkaan olemassa, jos aikaisemmin saavutetuista tiedoista ei kasvaisi nykyinen tieto. ('Tieteellisiä vallankumouksia' koskevien yliampuvien kuvitelmien kritiikkiin en tässä jaksa puuttua; olen niitä monissa kirjoituksissani kritisoinut.)

Olemme nyt asian kohdalla, johon mielestäni tieteen substanssia ja vertikaalista historiaa korostavien ja tieteen yhteiskunnallista relaatiota ja horisontaalista historiaa korostavien henkilöiden näkemysero keskittyy. Jos jonkin aikaisemman kauden tieteenharjoittaja on jonkin kysymyksen kohdalla tehnyt tietyn ratkaisun, jonka tänä päivänäkin hyväksymme oikeaksi, ts. 'tieteen totuudeksi', niin mihin perustuu tuon ratkaisun oikeana pitäminen? Pidämmekö tuota ratkaisua oikeana *sen takia, että se on osa meidän hyväksymästämme tieteestä*, vai onko se osa meidän hyväksymästämme tieteestä *sen takia, että se oli aikanaan ja on edelleenkin oikea*? Ainakin ääritapauksissa tuntuvat sosiologissävyn horisontaalisen tieteenhistorian edustajat pitävän edellistä mahdollisuutta miltei itsestään selvästi oikeana. Ratkaisuihin vaikuttaneiden sosiologistyyppisten tekijöiden ehdottaminen ja perusteleminen johtaa usein mitä hauskiimpiin konstruktioihin (esimerkkinä vaikkapa teoksessa Biagioli 1993 tehty ehdotus Galilein kopernikanismista hänen hovimiesroolinsa funktiona), mutta tieteen kehityksen rakentaminen pelkästään sellaisten varaan on kuin kattaisi kauniisti kalustetun ruokapöydän ilman suuhunpantavaa. Ajasta ja yhteiskunnallisista olosuhteista riippuvien tekijöiden ohella vaikuttaa tieteenharjoittajien tekemiin ratkaisuihin kaksi aikakaudesta toiseen samana pysyvää tekijää: luonto pysyy luontona, ja johdonmukaisuus pysyy johdonmukaisuutena. Tieteen historioitsijalla on sekä oikeus että velvollisuus selvittää ja kertoa, onko tieteenharjoittaja noudattanut vai rikkonut luonnossa selvästi näkyviä merkkejä ja johdonmukaisuuden vaatimusta. Hänen tulee pyrkiä ymmärtämään, miten nämä tekijät ovat kussakin tilanteessa vaikuttaneet. Niiden kätkeyminen pelkkien yhteiskunnallisten ja aatehistoriallisten tekijöiden taakse osoittaa, että tieteen substanssia niukahkoisti hallitseva kirjoittaja pyrkii yli siitä, missä aita on matalin.

Matematiikan merkitys objektiivisuuden lisääjänä

Matemaatikko kun olen, en malta olla hieman nostamatta matemaattista kissanhäntää. Pidän matematiikan ikuisena kunniana sitä, että matematiikassa virhe on virhe, eikä sitä mikään aatehistoriallinen tai filosofinen sievistely muuksi muuta. Antiikin matemaatikot osasivat jotain, mitä Platon ja Aristoteles eivät osanneet; he osasivat tehdä virheitä, joita kukaan ei pysty selittämään parhain päin. Sen sijaan kirjoittivat Platon ja Aristoteles mitä kummallisuuksia hyvänsä, kyllä etevä eksegeetti tekstistä mieltä löytää.

Ottakaamme esimerkiksi Eukleideen *Stoikheia* -teos. Siinä on mukana paljonkin sen kirjoittamisajan näkemyksistä riippuvia tekijöitä; sen perustaksi otetut oletukset eivät ole samalla tavalla johdonmukaisia ja riittäviä kuin nykyisin matemaattiselta teorialta vaatisimme. Sen sijaan päättelyistä lauseesta lauseeseen voimme mielekkäästi sanoa, ovatko ne virheellisiä vai virheettömiä, eikä arvio ole kuluneiden 2300 vuoden aikana suurestikaan muuttunut.

Tämän ansiosta pätee myös, että mitä enemmän luontoa käsittelevässä tieteessä on matematiikkaa, sen objektiivisemmin voi siinä tehtyjen ratkaisujen oikeellisuutta arvioida. Esimerkiksi sekä Pappos että Heron Aleksandrialainen johtivat *väärän* tasapainolain kaltevilla tasolla sijaitsevalle kappaleelle (ks. *Cohen–Drabkin* 1969 s. 194–200). Johdossa olevat virheet voi identifioida, eikä mikään Pappoksen ja Heronin kunnioitus heidän muiden aikaansaannostensa mahdollisen oikeellisuuden ansiosta tee heistä auktoriteettia tämän kysymyksen kohdalla. Virhettä ei myöskään voi selittää millään Pappoksen tai Heronin ympärillä velloneiden yhteiskunnallisten, taloudellisten, uskonnollisten tms. tekijöiden kombinaatiolla.

Virheen korjaamiseen keskiajalla eivät myöskään vaikuttaneet tuolloiset olosuhteet. Statiikan historialle olennaisempaa on, millaisen logiikan avulla virhe korjattiin, kuin mitä kaikkea kunkin statiikan harrastajan ympärillä melskattiin. Tällä tavalla tieteiden substanssi kehittyi vuosisatojen mittaan; siihen olennaisimmin vaikuttanut asia on edeltävän ajan tieteen substanssi. Jos joku ei hyväksy tätä tieteen olennaiseksi ja tieteen kaikkea vaikutusta ajatellen keskeiseksi piirteeksi, niin hän varmaan tekisi viisaasti keskittymällä tieteestä poikkeavien oppien ja aatteiden historian fundeeraamiseen.

Konkreettinen esimerkki: David C. Lindberg ja optiikan historia

Mainitsin edellä, että kukin yksittäinen tieteenharjoittaja sijaitsee horisontaalisen ja vertikaalisen tieteenhistorian leikkauksessa. Niinpä tällaisesta alkunsa saava historiankirjoitus voi laajeta yhtäläillä horisontaaliseen kuin vertikaaliseen suuntaan. Otan tästä esimerkkinä tunnetun tieteenhistorioitsijan David C. Lindbergin työt. Sivuutan hänen lukuisat keskiajan optiikan historiaa käsittelevät artikkelinsa ja mainitsen vain muutamasta hänen tunnetuimmasta teoksestaan.

Väitöskirjana syntyi Lindbergin kääntämä ja toimittama 1200-luvulla eläneen John Pechamin optiikkaa käsittelevän teoksen *Perspectica communis* laitos (Lindberg 1970). Tämä on perusteellinen käsikirjoitusten kollaatio, jollaiset tekevät keskiajan tieteen käsittelemisen mahdolliseksi historiantutkijan perusmetodiikkoihin vaullinuisemminkin perehtyneelle tieteen historian harrastajalle. Pechamin sijoittaminen laajempiin yhteyksiin on mahdollista kahteen suuntaan. Lindbergin toimittama keskiajan tieteen historia (Lindberg 1978) käsittelee aikakautta monien tieteiden ja oppien kudelmanä. Teoksen johdannossa Lindberg formuloi horisontaalisen tieteenhistorian perusnäkökulman (s. ix):

... [K]eskiajan tieteen historioitsijat eivät enää pääasiassa harrasta edeltäjien etsimistä, vaan pyrkivät pikemminkin ymmärtämään keskiajan tieteellistä aikaansaannosta sen omin termein. Keskiajan ja varhaisen uuden ajan jotain tiettyä kysymystä koskevien ideoiden vertailemisen arvon voi yhä tunnustaa, mutta keskiajan saavutukset tunnustetaan nyt sellaisinaan kiinnostaviksi, eikä niiden arvoa enää liitetä myöhempien kehitelmien ennakointiin. Kolmanneksi, ajatus, että tieteen historia (ja erityisesti keskiajan tieteen historia) on autonominen oppiala, jota harrastavat pääasiallisesti modernin tieteellisen koulutuksen saaneet, on korvautunut oivalluksella, että oikein ymmärrettynä täytyy keskiajan tiede nähdä laajassa yhteiskunnallisessa ja intellektuaalisessa kontekstissa – että se oli molemminpuolisessa vuorovaikutuksessa lukuisiin sosiaalisiin tekijöihin ja muihin opillisuuden aloihin – ja että sen takia sitä täytyy harrastaa oppineiden, jotka laajalti hallitsevat keskiajan sosiaalista ja intellektuaalista historiaa.

Vaatus on sinänsä erinomainen, mutta ei varmaankaan aivan helposti realisoitavissa. En ryhdy pohtimaan, missä määrin teoksen (*Lindberg 1978*) artikkelien kirjoittajat ovat näin vaativan ehdon toteuttaneet. – Seuraavassa teoksessaan (*Lindberg 1981*) Lindberg sijoittaa Pechamin 'vertikaalisen tieteen' yhteyteen ja tutkii näkemisen teorioiden historiaa antiikin ajalta Kepleriin asti. Tämän teoksen johdannossa hän kirjoittaa seuraavaa (s. x-xi):

On tehtävä kaksi metodologista huomautusta. Ensiksikin: Yrityksellä jonkin idean kehityksen seuraamiseksi vertikaalisesti halki pitkän ajanjakson on vaarana käydä "Whig-historiaksi". En kuitenkaan usko, että voimme sallia vaarojen pelottavan meitä matkan tekemisestä; meidän täytyy edetä, mutta huolehdittava tarvittavista varatoimista. Esillä olevassa tutkimuksessa on suuri vaara nähdä Kepleriä edeltävä aika hänen näkökohdaltaan – valita aikaisempien näkemisen teorioiden ratkaiseviksi tai kiinnostaviksi piirteiksi sellaiset elementit, jotka jäivät eloon ja jotka sisällytettiin Keplerin teoriaan verkkokalvolla sijaitsevasta kuvasta. Parhaan kyyni mukaan olen yrittänyt välttää tämän kompastuskiven. Olen yrittänyt nähdä kunkin teorian sen omalta pohjalta, käsitellä aiheita, joita se käsittelee, ja korostaa, mitä se korostaa. Huomattava osa vaivannäöstäni on tosiaankin uhrattu näkemisen probleemin tarkasteluissa ilmenevien vaihtuvien perspektiivien käsittelylle. Kuitenkaan en ole luopunut päämäärästä paljastaa yhteyksiä ja selvittää yhden teorian vaikutuksia toiseen teoriaan, jolloin lopullisena tarkoituksena on Keplerin aikaansaannoksen ymmärtäminen ja arvioiminen.

On ironista, että merkittävä tieteenhistorioitsija pitää "Whig-historian" leimakirvestä heiluttavien boioottien pelossa tarpeellisena miltei anteeksipyytäen kertoa lukijoilleen, että hän on tutkimassa erään tieteenalan ajallista kehitystä juuri sillä tavalla kuin sitä on pakko tutkia, mikäli ajallisen tapahtumasarjan ymmärtämiseen pyritään. Sosiologissävyyden dogmatismen edustajat eivät kuitenkaan juuri vaivaudu pohtimaan, onko tiettyyn lopulta hyväksytyyn teoriaan päätyneen kehityksen toisiaan seuraavia askeleita analysoitu Lindbergin vaatimaa varovaisuutta käyttäen; on helpompaa yksinkertaisesti hylätä analyysi 'presentisminä'.

Teoksen (*Lindberg 1981*) aihe antaa erinomaisen esimerkin tiettyyn lopputulokseen 'konvergoineesta' kehityksestä, jonka askeleiden oikeellisuutta voi mainiosti arvioida vetoamalla siihen, että nykyisin pääpiirteittäin hyväksymme lopputuloksen oikeaksi. Lindbergin kuvaileman kehityslinjan lopputuloksena on Keplerin vuonna 1604 esittämä näkemisen teoria, jonka mukaan nähdyn kohteen jokaisesta pisteestä lähtee valonsäteitä eri suuntiin. Silmäterään osuu kustakin pisteestä lähtevä sädekartio, jonka kantana on silmäterä, ja kärkenä kohteen piste. Silmän linssissä sädekartio taittuu suppenevien säteiden kartioksi, jonka kärki on verkkokalvolla. Tällöin muodostuu verkkokalvolle pisteittäisesti rakennettu havaitun kohteen kuva. Nykyisen laajentuneen tietomme perusteella on Keplerin puhe säteistä ja silmän fysiologiasta puutteellista. Uudempien teorioiden mukanaan tuomaa tietoa ei Keplerillä eikä hänen edeltäjillään tietenkään voinut olla; jos käyttäisimme sitä käsitysten muuttumisen arvioimisessa, olisi todellakin kysymys 'presentismin' virheestä. Tällaisia anakronistisia historiantulkintoja esiintyy, ja niiden kritisoiminen on aiheellista. Edellä siteeratun tekstinsä mukaisesti Lindberg on tarkkaan kavahtanut tämän kaltaista presentismia. Kun Kepler rakensi teoriansa silmästä ja näkemisestä, hänellä ei ollut mitään sellaista teoreettista silmän fysiologiaan tai valon olemukseen liittyvää tietoa, mitä ei ollut, tai minkä saaminen olisi ollut vaikeaa, hänen edeltäjilleen. Jotain hänellä oli, nimittäin askel askeleelta tapahtuneiden usein miltei ajatuskokeen luonteisten uusien ehdotusten perintö. Askeleet johtivat "kohti" Keplerin teoriaa, mutta tapahtumien suuntaa ei määrännyt lopputulokseksi saatu teoria, ei myöskään muuttuvien kulttuuriympäristöjen jono eivätkä kulloinkin vallitsevat aatteet. Askelten suunnan määräsi kova kaikista spekuloijista riippumaton tosiseikka, että *silmä on tällainen ja näkeminen on tällaista*. Tapahtumia ei ohjannut 'pyrkimys kohti totuutta' vaan kussakin askeleessa ilmennyt *paine* kohti pikkuisen parempaa selitystä. Askeleet olivat parhaimmillaan *johdonmukaisia*. *Että ne johtivat Keplerin teoriaan, johtui siitä, että johdonmukaisten askeleiden täytyi johtaa Keplerin teoriaan, koska silmä on sellainen kuin on*. Lindbergiä voimme pitää eräässä mielessä 'kaksoispätevyyden' ideaalitapauksena: sekä horisontaalisen että vertikaalisen tieteenhistorian hallitsevana kirjoittajana.

Lindbergin antiikin ja keskiajan tieteen yleisesitys (*Lindberg* 1992) vahvistaa arviota. Kuitenkin on syytä esittää pari kommenttia. Yhden aikakauden horisontaalisen esityksen ja yhden alan fysikaalisen substanssin historian yhdistäminen saattaa onnistua joskus. Ehtona on tällöin, että tieteen historian perspektiivistä katsoen ei kyseessä oleva aikakausi saa olla liian monitahoinen, eikä fysikaalinen problematiikka liian vaativa. Optiikka ennen 1600-lukua oli lopultakin melko yksinkertainen ja vaatimatonta matemaattista aparaattia soveltava tiede. Vuoteen 1600 mennessä oli olemassa vain kaksi menetelmiltään ja oppisisällöiltään todella vaativiksi kehittynyttä tiedettä, nimittäin matematiikka (jos sen tieteeksi hyväksymme) ja tähtitiede.

Näiden tieteiden substantiaalista historiaa tuskin pystyvät kirjoittamaan muut kuin näiltä aloilta peruskoulutuksensa saaneet ja niitä tutkineet henkilöt. Esimerkiksi Oulun yliopiston oppi- ja aatehistorian tutkintovaatimuksissa mainitut näiden alojen esitykset on kirjoittanut ammattimatematiikko ja ammattitähdistieteilijä, joilla kummallakaan ei ole erityistä tieteenhistorian 'ammatillista' pätevyyttä. Kuinkapa voisi toisin ollakaan? Vertikaalisuuden ja horisontaalisuuden yhdistäminen näillä pitkän historian omaavilla tieteenaloilla lienee melko mahdotonta; ei kai voine kuvitella, että niiden historian kirjoittaja pystyisi antamaan riittävän kuvailun yleisistä yhteiskunnallisista ja aatehistoriallisista olosuhteista noin 5000 vuoden ajalta.

Miten tulisi tiedehistorian dimensiot yhdistää?

Edellä sanotulla on merkitystä arvioitaessa, millä tavoin tieteen historiaa tulisi edistää ja organisoida. Tiede näkyy perspektiivistä riippuen erilaisena, jolloin voi enemmän tai vähemmän korostua vertikaalinen tai horisontaalinen aspekti. Oman oppialansa historian tutkijan ote on usein isoiloiva tai 'atomaarinen'. Historioitsijan tai sosiologin perspektiivissä sen sijaan useammin korostuvat 'holistiset' aspektit: tieteen laajat ja molempiin suuntiin kulkevat yhteydet yhteiskuntaan. Aspektit täydentävät toisiaan, ja molempien tulisi jossain määrin tulla esille jokaisen tieteen tutkijan työssä. Aspekteissa on mielestäni kuitenkin eräs ero, joka ei ehkä niinkään liity niiden tärkeyteen tai arvoon kuin niiden realisoitavuuteen. Isoilovasta perspektiivistä käsin voidaan tehdä kenties rajoittunutta, mutta kuitenkin jonkin konkreettisen tiedon murusen hyppysiin jättävää työtä, jopa silloinkin, kun työn tekijän näköpiiri ei riitä yleisten yhteyksien tarkasteluun. Sen sijaan on pelättävissä (ja pelko on joskus toteutunutkin), että tieteen yleisen merkityksen ja yhteiskunnallisten yhteyksien yksinomainen korostaminen jättää kourat tyhjiksi: mikäli työ ei perustu lukuisille jo olemassa oleville 'isoloille' tutkimuksille, se tuottaa tuskin mitään, millä olisi pysyvää arvoa. Ideaalinen ratkaisu saattaisi olla sellaisen työyhteisön luominen, että siinä eri perspektiivit voisivat kohdata ja täydentää toisiaan. Jos halutaan saada aikaan matemaattis-luonnontieteellisen tiedon syntyyn, kasvuun, vaikutukseen ja merkitykseen kohdistuvaa relevanttia tutkimusta, niin yhtenä, mielestäni tärkeimpänä, osapuolena on oltava matemaattisten tieteiden ja luonnontieteiden edistämisestä maassamme vastuuta kantavat instituutiot ja päätöksentekijät. Näiden osuus on välttämätön, jotta maassamme suoritettu tieteen tutkimus tekisi sisällyksellisesti vaikeiden matemaattis-fysikaalisten tieteiden historian analysoimisen mahdolliseksi (*Lehti* 1996 s. 283-284).

KIRJALLISUUTTA

Mario Biagioli, Mario (1993): *Galileo, Courtier*. The University of Chicago Press, Chicago and London 1993.
Cohen, Morris R. and Drabkin, Israel E. (1969): *A Source Book in Greek Science*. Harvard University Press, Cambridge Mass. 1969 (1948).
Lehti, Raimo (1996): *Tähtiä ja ihmisiä. Tähtitieteellinen yhdistys Ursa*, Helsinki.
Lindberg, David C. (1970): *John Pecham and the Science of Optics. 'Perspectiva Communis' edited with an introduction, English translation, and critical notes by David C. Lindberg*. The University of Wisconsin Press, Madison etc. 1970.
Lindberg, David C. (ed.) (1978): *Science in the Middle Ages*. The University of Chicago Press, Chicago and London 1978.
Lindberg, David C. (1981): *Theories of Vision from Al-Kindi to Kepler*. The University of Chicago Press, Chicago and London 1981 (1976).
Lindberg, David C. (1992): *The Beginnings of Western Science*. The University of Chicago Press, Chicago and London 1992.
Manninen, Juha (1998): *Mihin aate- ja oppihistoriaa tarvitaan?* Tieteessä tapahtuu 8, 1998, s. 6-19.
Neugebauer, Otto (1975): *A History of Ancient Mathematical*



Astronomy I-III. Springer, Berlin Heidelberg - New York 1975.
Sarton, George (1957): The Study of the History of Science. Dover,
New York 1957 (1936).
Clifford Truesdell, Clifford (1968): Essays in the History of Mechanics.
Springer, Berlin - Heidelberg - New York 1968.



*Kirjoittaja on Teknillisen korkeakoulun matematiikan
emeritusprofessori.*

