

RAPORTTI

MITTAYKSIKÖN VALINNASTA

Luettu Tiedeakatemiassa 19. maaliskuuta 1791

Ajatus perustaa kaikki mitat luonnolliseen pituusyksikköön tarjoutui matemaatikoidelle siitä hetkestä lähtien, kun he tunnustivat tällaisen yksikön olemassaolon ja mahdollisuuden sen määrittämiseen. He näkivät, että se oli ainoa keino poistaa kaikki mielivaltaisuus mittausjärjestelmästä ja säilyttää se ikuisesti. Ainoastaan maailmanjärjestyksen kumous, voisi tehdä sen epäluotettavaksi. He olivat sitä mieltä, että sellaisesta järjestelmästä, joka ei ole minkään tietyn kansakunnan oma, kukaan ei voinut tuntea itseään imarrelluksi nähdessään, että kaikki olivat sen omaksuneet.

Itse asiassa, jos otettaisiin yksiköksi mitta, jota jossakin maassa on jo käytetty, olisi vaikeaa tarjota muille sen hyväksymiseksi syitä tasapainottamaan vastalauseita, ei niinkään filosofisia vaan hyvinkin luonnollisia, nimittäin jäljittelystä joka tuottaa voimakkaan alemmuuden tunteen. Edelleen, vaikka melkein kaikki ne olisivat otta- neet käyttöön yhden näistä mielivaltaisista perusmitoista, monet asiat, joita on helppo ennustaa, voisivat aiheuttaa epävarmuutta tämän perusmitan oikeasta koosta. Koska täsmälliset todentamiskeinot puuttuisivat, ajan mittaan mittojen välillä olisi eroja. Nykyinen monimuotoisuus, joka on käytössä eri maissa, ei ole niinkään alkupe- räistä monimuotoisuutta, joka juontaa juurensa niiden perustamisajankohdasta, kuin ajan aikaansaamiin muutoksiin. Lopuksi, yhdessäkään maassa ei juurikaan olisi hyö- tyä pitäytyä siellä käytetyissä pituusyksiköissä, sillä olisi kuitenkin tarpeen korjata mittausjärjestelmän muut viat, mikä toimenpide aiheuttaisi melkein saman verran haittaa suurimmalle osalle ihmisiä.

Voimme rajoittua kolmeen vaihtoehtoon, jotka vaikuttavat sopivimmalta mittayk- sikön perustaksi. Ne ovat heilurin pituus, neljäsosa päiväntasaajan ympyrästä, ja lo- puksi neljännes Maan meridiaanista.

Heilurin pituus näytti yleensä ansaitsevan etusijan. Sen etuna on, että se on varsin helppo määrittää ja sen seurauksena tarkistaa, jos jotkut mittatangolle sattuneet onnettomuudet antavat aiheita sen korjaamiseksi. Lisäksi niiden, jotka haluaisivat ottaa käyttöön tämän mitan, joka on jo jonkin toisen kansakunnan käytössä, tai jonka he ovat jo ottaneet käyttöön ja joka hyväksymisen jälkeen olisi tarkistettava, ei olisi pakollista lähettää tarkkailijoita ensimmäiseen operaatioon.

Itse asiassa heiluripituuksien laki on luotettava. Kokemus vahvistaa, että se on käyttökelpoinen operaatioissa tarvitsematta pelätä tuntemattomia virheitä. Vaikka emme muuten haluaisi ottaa tätä lakia huomioon, katsomme, että heilurien aikai- semmin tehtyjen pituserojen vertailu voitaisiin aina uudelleen todentaa ja että siten mittayksikkö pysyisi muuttumattomana kaikissa niissä paikoissa, missä tämä vertai- lu olisi tehty. Siten standardien vahingossa tapahtuva muutos voitaisiin heti korjata tai määrittää sama mittayksikkö uudelleen siellä, missä päätös mitan hyväksymisestä

oli tehty. Mutta näemme välittömästi, että tämä jälkimmäinen etu, joka on yhteinen kaikille luonnollisille mitoille, on saatavissa käyttämällä heilurihavaintoja niiden tarkistamiseen, vaikka ne eivät olisi olleetkaan perustana niiden määrittämiselle.

Jos heilurin pituus otetaan käyttöön, on luonnollista suosia yksinkertaisen sekuntiheilurin pituutta 45. leveysasteella. Itse asiassa laki, jota yksinkertaisten heilurien pituudet noudattavat päiväntasaajalta navoille, kun heilahduksen kestot ovat samat, on sellainen, että 45. asteen heilurin pituus on tarkalleen kaikkien näiden pituuksien keskiarvo, ts. se on yhtä suuri kuin niiden summa, jaettuna niiden lukumäärällä. Se on myös kahden äärimmäisen, navalla ja päiväntasaajalla, saatavan pituuden keskiarvo, sekä kahden sellaisen pituuden keskiarvo, missä leveysasteet ovat yhtä kaukana 45. asteesta sen pohjois- ja eteläpuolella. Siksi tässä ei mittausyksikkönä tulisi olemaan heilurin pituus tietyllä leveysasteella, vaan erisuurien sekuntiheilurien keskimääräinen pituus.

Meidän on kuitenkin huomattava, että tämä näin päätetty yhtenäisyys sisältää sinänsä jotain mielivaltaista. Yksi sekunti ajassa on 86400. osa päivästä, ja siksi tämän luonnollisen yksikön mielivaltainen jako. Siten pituusyksikön kiinnittämiseksi on käytetty paitsi muuttuvaa osaa (aikaa) myös mielivaltaista osaa.

Tosiasiasa tämä viimeinen haitta vältetään ottamalla yksikön perustaksi hypoteettinen heiluri, joka heilahtaisi vain kerran yhdessä päivässä. Tämä pituus jaettuna kymmeneen miljardiin osaan, antaisi tavalliseksi mittayksiköksi noin kaksikymmentäseitsemän tuumaa ja tämä yksikkö vastaisi heiluria, joka tekee satatuhatta heilahdusta päivässä. Mutta silloin meillä olisi edelleen haittana se osa, joka käyttää pituuden yksikön määrittämisessä ajan yksikköä tai mikä tässä on sama asia, painovoiman voimakkuutta maan pinnalla. Mutta jos on mahdollista saada pituusyksikkö, joka ei riipu muista määrittämisistä, vaikuttaa luonnolliselta suosia sitä. Lisäksi juuri maan pintaan liittyvällä mittayksiköllä on toinen etu. Se on täysin analoginen kaikkien nykyisten tavalliseen elämään liittyvien maan pinnalla tehtävien sellaisten mittausten kanssa, joita ovat maan pinnan pisteiden välinen etäisyys tai saman pinnan osien pinta-alat. On paljon luonnollisempaa verrata etäisyyttä paikasta toiseen suhteessa neljäsosaan Maan piiristä kuin suhteuttaa sitä heilurin pituuteen.

Siksi olemme arvelleet, että meidän oli päätettävä tällaisesta mittayksiköstä, ja sitten pidimme parempana neljäsosaa meridiaanista kuin neljäsosaa päiväntasaajasta. Tämän viimeisen tekijän määrittämiseen tarvittavat toimenpiteet voitaisiin suorittaa vain liian kaukana olevissa maissa, eivätkä ne vastaisi niitä kuluja ja vaikeuksia, jotka huomattavasti ylittävät luvassa olevat edut. Jos haluamme joskus turvautua tarkistuksiin, niiden suorittaminen olisi vaikeampaa kaikille kansakunnille ainakin siihen asti, kunnes sivilisaation edistyminen ulottui päiväntasaajan kansoihin. Valitettavasti nämä ajat vielä kaukana meistä. Tämän Päiväntasaajan ympyrän säännöllisyyttä ei voida taata sen enempää kuin meridiaanien samankaltaisuutta ja säännöllisyyttä. Taivaankaaren pituus, joka vastaa mitattua pituutta, on vähemmän sovelias tarkasti määriteltäväksi. Lopuksi voi sanoa, että jokainen kansa saa osan jostakin meridiaanista, mutta että vain osa kansoista on Päiväntasaajalla.

Maan meridiaanin neljänneksestä tulisi sitten todellinen mittayksikkö, ja kymmenesmiljoonas osa tästä pituudesta olisi tavallinen yksikkö. Tässä me luovumme meridiaanin neljänneksen tavanomaisesta jakautumisesta 90 asteeseen, minuutteihin

ja sekunteihin. Mutta tätä vanhaa jakoa ei voitu pitää vahingoittamatta mittajärjestelmän yhtenäisyyttä, koska aritmeettista asteikkoa vastaava desimaalijakoa on pidettävä parempana tavanomaisissa mittauksissa. Muuten meillä olisi pelkästään pituudelle, kaksi jakojärjestelmää, joista yksi mukautuisi suuriin mittoihin ja toinen pieniin. Esimerkiksi peninkulma ei voisi olla samanaikaisesti sekä asteen jako osiin että toise-pituuden (sylen) pyöristetty monikerta. Tämän kaksoisjärjestelmän haitat olisivat ikuiset, sitä vastoin näiden muutosten haitat ovat väliaikaisia. Lisäksi ne koskevat vain pientä joukkoa laskentaan tottuneita miehiä, emmekä usko, että operaation loppuun saattamista olisi uhrattava sellaisen edun vuoksi, jota voimme monessa suhteessa pitää henkilökohtaisena.

Hyväksymällä nämä periaatteet toimenpiteisiin ei sisälly mitään mielivaltaista lukuun ottamatta aritmeettista mittakaavaa, joka välttämättä säätää niiden jakoa osiin. Samoin painoissa ei ole mitään muuta mielivaltaista kuin homogeenisen aineen valinta, jonka puhtaus ja tiheys on helppo pitää aina samanlaisena. Sellaiseen aineeseen kaikkien muiden painoarvo on verrattavissa. Esimerkiksi, jos sellaiseksi valitaan tislattu vesi, joka punnitaan tyhjässä eli korjataan siihen painoon, mikä sillä olisi tyhjiössä, ja määritetään se siinä lämpötilassa, missä se muuttuu kiinteäksi neste-mäiseksi. Samassa lämpötilapisteessä ilmoitetaan myös kaikki operaatioissa käytetyt todelliset mittaukset niin pätevästi, että koko järjestelmässä ei olisi mitään mielivaltaista, paitsi mikä on välttämätöntä ja asioiden luonteesta johtuvaa. Tämän aineen ja tämän lämpötilan valinta perustuu fyysisiin syihin ja ajankohtaisen aritmeettisen asteikon säilymiseen, johon on vaikuttanut pelko vaarasta, johon tämä muutos on lisännyt kaikkiin muihin, paljastaisi koko operaation onnistumisen. Silti tämän aineen ja tämän lämpötilan valinta perustuu fyysisiin syihin, ja aritmeettiseen asteikkoon, säilymisen määrää se pelko vaarasta, johon tämä muutos lisäsi kaikkia muita, paljastaisi koko operaation onnistumisen.

Maan meridiaanin neljänneksen välitön mittaaminen ei olisi käytännössä mahdollista; mutta onnistumme määrittämään sen suuruuden mittaamalla tietyn järkevasti valitun kaaren, jolloin koko kaaren pituus voidaan saada selville joko välittömästi tai päättelemällä tästä mittauksesta meridiaanikaaren suuruus, joka vastaa taivaankaaren sadasosaa 90 asteesta. Otetaan tämä kaari siten, että puolet tästä kaaresta on etelään 45. leveysasteesta ja toinen puoli pohjoiseen. Koska tämä kaari on todellakin niiden arvojen keskiarvo, jotka vastaavat taivaankaaren yhtä suuria osia päiväntasajalta navoille tai, mikä on sama asia, ovat leveysasteissa yhtä etäällä, kertomalla tämä arvo sadalla, meillä on sitten neljäsosa meridiaania.

Näiden maanpäällisten kaarien kasvu noudattaa samaa lakia kuin heilurin pituuden kasvu. Kaari, joka vastaa tätä leveysastetta on keskiarvo kaikista muista samalla tavalla kuin heilurin pituus 45. leveysasteella on keskiarvo kaikista heilurin pituuksista kaikilla eri leveysasteilla.

Tässä voitaisiin väittää, että yhden asteen pituuksien kasvulaki kuljettaessa kohti napoja ei ole yhtä varma kuin heilurin pituuksien kasvu, vaikka molemmat sisältävät saman oletuksen meridiaanien elliptisyydestä. Voitaisiin sanoa, että havainnot eivät liioin ole sitä vahvistaneet. Mutta 1° ei ole muuta tapaa saada neljänneksen arvo yhdestä Maan meridiaanista; 2° mitään todellista epätarkkuutta ei synny, koska meillä on mitatun kaaren välitön pituus, jonka kanssa tekemämme kaavan on aina

oltava sopusoinnussa; 3° virhe, joka tässä voidaan tehdä meridiaanin neljänneksen sadasosan määrittämisessä, ei olisi merkittävä. Elliptisen hypoteesin täytyy näkyä todellisessa kaaressa, jonka pituus välittömästi mitataan. Se edustaa väistämättä riittävällä tarkkuudella sitä käyrän pientä kaarevaa osaa, joka on litistyneenäkin melkein ympyrän muotoinen hieman; 4° lopuksi, jos tämä virhe olisi merkittävä, se voitaisiin myös väistämättä korjata samojen havaintojen avulla. On olemassa havaintojen avulla korjattavia virheitä.

Mitä pidempi kaari mitataan, sitä tarkempia tulokset ovat. Itse asiassa virheillä, jotka tehdään taivaankaaren määrittämisessä tai jopa maanpäällisissä mittauksissa ja oletuksessa, on vähemmän vaikutusta tuloksiin, kun tämä kaari on pidempi. Lopuksi etua on siitä, että äärimmäiset mittauspisteet ovat 45 asteen etelä- ja pohjoispuolella, vaikka eivät ehkä yhtä etäällä siitä niin eivät vallan epäsuhtaisestikaan.

Siksi ehdotamme, että mitattaisiin välittömästi meridiaanikaari Dunkirkista Barcelonaan, joka sisältää hiukan yli yhdeksän ja puoli astetta. Tämä kaari olisi varsin riittävä ja siinä olisi suunnilleen kuusi astetta pohjoiseen ja kolme ja puoli etelään keskimääräisestä leveysasteesta. Sillä on myös se etu, että sen kaksi ääripistettä ovat yhtäläisesti merenpinnan tasolla. Tämän viimeisen ehdon täytyminen antaa luonnon määrittelemät muuttumattomat tasopisteet mitatun kaaren pidentämiseksi vertailukelpoisella tavalla. Lopuksi mittauksen laajentaminen Pyreneiden ulkopuolelle Barcelonaan asti vähentää havaintoinstrumenttien kautta tulevia epävarmuustekijöitä mittauksista. Ellemme mittaa paljon suurempaa kaarta, emme voi Euroopasta tai mistään muualta maailmassa löytää meridiaanikaaren osuutta, joka täyttää samanlaisesti ehdon, että kaksi äärimmäistä pistettä ovat merenpinnan tasolla, ja että se ylittää 45 . leveysasteen. Tämän ehdon täyttää ainoastaan ehdotettu linja tai Ranskan rannikolta länteen suuntautuva meridiaani, joka ulottuu Espanjan rannikolle. Tämä jälkimmäinen kaari jakaisi tasaisemmin 45 . asteen kaaren, mutta me pidämme parempana kaarta, joka ulottuu Barcelonasta Dunkirkiin, koska tämä kaari on jo mitattu Ranskassa Dunkirkista Perpignaniin. On edullista käyttää jo tehtyjä töitä varmistamaan niitä, jotka on vielä suoritettava. Itse asiassa, jos uusien operaatioiden avulla mittaamme uudelleen etäisyyden Perpignanista Dunkirkiin, ja kaikissa sen osissa saadaan sama tulos kuin aikaisemminkin, luottamus näiden operaatioiden hyvyyteen kasvaa. Jos löytyy eroja, tutkimalla mitkä ovat niiden syyt ja millä taholla virhe on, paljastamme nämä syyt ja korjaamme virheen. Lisäksi tässä suunnassa Pyreneiden ylitys on helpompaa.

Tätä työtä varten tarvittavat toimenpiteet olisivat:

1. Dunkirkin ja Barcelonan välisten leveysasteiden erotuksen määrittäminen ja yleensä tällä linjalla kaikkien niiden tähtitieteellisten havaintojen tekeminen, joita pidetään hyödyllisinä.
2. Vanhojen perusviivojen mittaaminen, jotka tehtiin Pariisissa suoritettua astemittausta ja Ranskan kartoittamista varten.
3. Varmistaa uusilla havainnoilla ne kolmiosarjat, joita on käytetty meridiaanien mittauksessa, ja ulottaa ne Barcelonaan.

4. Tehdä 45. leveysasteen kohdalla havainnot, jotka ilmoittavat yksinkertaisen heilurin heilahdusten lukumäärän päivässä, korjattuina tyhjiöön, meren pinnan tasoon ja sulavan jään lämpötilaan. Meridiaanin kaaren kymmenesmiljoonas osa liittyy tähän lukumäärään, joten kun tämä jälkimmäinen on tiedossa, voimme löytää tuon edellisen heilahdusten lukumäärän perusteella. Tällä tavoin yhdistämme suosimamme meridiaanikaaren mittaamisen edut sen kanssa, että olisimme valinneet heilurin pituuden mittayksiköksi. Nämä heilurihavainnot voidaan tehdä ennen kuin tämä kymmenesmiljoonas osa tunnetaan. Kun tiedetään todellakin tietyn pituisen heilurin heilahdusten lukumäärä, riittää tietää seuraavassa tämän heilurin pituuden suhde tähän kymmenenteen miljoonaan osaan, jotta voidaan johtaa etsitty luku.
5. Varmentaa uusilla kokeilla huolellisesti tyhjiössä painovoiman suuruus tietyllä määrällä tislattua vettä jään sulamispisteessä.
6. Lopuksi pelkistää kaupoissa käytettyjä pituus- pinta-ala- ja tilavuusmittoja ja erilaisia käytössä olevia painomittoja nykyisiksi pituusmittoiksi, jotta voimme ne sitten muuntaa kolmen yksinkertaisen säännön avulla sellaisiksi, kun ne tullaan määrittelemään.

On ilmeistä, että nämä erilaiset operaatiot vaativat kuusi erillistä komissiota, joista jokaisessa on yksi näistä tehtävistä. Niillä, joille Akatemia on uskonut asiasta huolehtimisen, on velvollisuus samanaikaisesti antaa selvitys menetelmästä, jota he aikovat sen hoitamisessa noudattaa.

Olemme rajoittuneet tässä ensimmäisessä raportissa siihen, mikä koskee mittayksikköä: ehdotamme, että esittelemme toisessa suunnitelmassa yleisen järjestelmän, joka on laadittava tämän yksikön perusteella. Itse asiassa tämä ensimmäinen määrittely vaatii alustavia operaatioita, jotka vaativat aikaa ja jotka kansalliskokouksen on ensin määrättävä tehtäväksi. Olemme kuitenkin jo huolehtineet tästä suunnitelmasta. Operaatioiden tulokset, sekä meridiaanikaaren että tietyn vesimäärän painon mittaamiseksi, voidaan ennustaa likimääräisesti, jotta voimme jo nyt vakuuttaa, että ottamalla äskettäin ehdottamamme mittayksikön voimme muodostaa yleisen järjestelmän, joka jakautuu osiin aritmeettisen asteikon mukaisesti, ja jonka yksikään osa ei sisällä mitään, mikä voisi haitata tavanomaista käyttöä. Rajoitumme sanomaan tässä vain, että tämä meridiaanin neljänneksen kymmenesmiljoonas osa, josta tulisi tavanomainen mittayksikkömme, eroaisi yksinkertaisen heilurin pituudesta vain noin 1/145. Näin ollen molemmat yksiköt johtavat mittajärjestelmiin, jotka ovat peräti samanlaisia.

Emme uskoneet, että oli välttämätöntä odottaa muiden kansakuntien apua sen paremmin mittayksikön valinnasta päättämiseen kuin toiminnan aloittamiseen. Itse asiassa olemme sulkeneet pois kaikki omavaltaiset ratkaisut tästä valinnasta. Olemme hyväksyneet vain sellaisia aineksia, jotka kuuluvat yhtäläillä kaikille kansakunnille. Neljänneksen kymmenennen viidennen leveysasteen valintaa ei määrää Ranskan asema. Sitä ei pidetä tässä meridiaanin kiinteänä pisteenä, vaan vain sellaisena, joka liittyy heilurin keskimääräiseen pituuteen ja tämän ympyrän minkä tahansa osan tavanomaiseen kokoon. Lopulta valitsimme ainoan meridiaanin, joka sisältää molemmista

päistään merenpinnan tasolle päättyvän kaaren ja leikkaa keskimääräisen leveysasteen olematta kuitenkaan liian laaja, mikä tekisi mittaamisesta liian vaikeaa. Tässä ei siis mikään voi antaa vähäisintäkään tekosyytä moitteelle, että on tahallisesti käytetty hyväksi vahvaa ensisijaisuutta.

Siksi päätämme esittämällä tämän raportin kansalliskokoukselle. Toivomme sen olevan riittävän hyvä, jotta ehdotetut operaatiot ja tarvittavat toimenpiteet, joiden on määrä ulottua Espanjan alueelle, voidaan toteuttaa.

Kirjoitettu Akatemiassa 19. maaliskuuta 1791,
Allekirjoittanut Borda, La Grange, La Place, Monge, Condorcet.

Vakuutan, että tämä ote on alkuperäisen ja Akatemian päätöksen mukainen.
Pariisissa 21. maaliskuuta 1791.

CONDORCET, pysyvä sihteeri.