

HERÄTTEITÄ SÄHKÖMAGNETISMIN TUTKIMUKSEEN –
J.J. Nervanderin dosentinväitöskirja vuodelta 1829
Keisarillisessa Aleksanterin-Yliopistossa

Antti J. Niemi ja Ari Sihvola

**HERÄTTEITÄ SÄHKÖMAGNETISMIN TUTKIMUKSEEN –
J.J. Nervanderin dosentinväitöskirja vuodelta 1829
Keisarillisessa Aleksanterin-Yliopistossa**

Antti J. Niemi ja Ari Sihvola

Tiivistelmä – Johan Jakob Nervanderin dosentinväitöskirja *In Doctrinam Electro-Magnetismi Momenta* tarkastettiin Keisarillisessa Aleksanterin-Yliopistossa Helsingissä kesäkuun 9. vuonna 1829. Väitöskirjassa Nervander dokumentoi kokeitaan sähkövirran magneettivaikutuksesta. Tutkimus ennakoit tangenttibussolia, jota Nervander kehitteli ja esitteli tiedeyhteisölle vuonna 1834. Väitöskirjan on suomentanut TKK:n emeritusprofessori Antti J. Niemi ja toimitustyön tehnyt Ari Sihvola.

Distribution:

Helsinki University of Technology

Electromagnetics Laboratory

P.O. Box 3000

FI-02015 TKK

Tel. +358 9 451 2264

Fax +358 9 451 2267

ISBN 951-22-

ISSN 1457-7607

[\[Kirjapaino\]](#)

11. L. Lindell: Lennättimen ja puhelimen kehitysvaiheita, huhtikuu 1991.
12. I. Lindell: Päreestä sähkövaloon, syyskuu 1991.
13. J. Hänninen: Kaikuja tutkan historiasta, joulukuu 1991.
14. A. Sihvola (toimi.): Arkipäivän valoilmiöiden teoreettiset taustat, tammikuu 1992.
15. I. Lindell: Sähkövoimatekniikan kehitysvaiheita, maaliskuu 1992.
16. I. Lindell: Kipinästä kansanradioon: radiotekniikan kehitysvaiheita, kesäkuu 1992.
17. E. Voipio: Eräitä hypoteesejä sähköilmiöiden perustasta. G.G. Polvianderin väitöskirjat vuodelta 1772 Turun Akatemiassa, maaliskuu 1994.
18. P. Latvus: Faradayn, Kelvinin ja Maxwellin löytämä uusi todellisuus, helmikuu 1995.
19. I. Lindell: Langattoman lennättimen alkuvaiheita, tammikuu 1998.
20. F. Frezza, G. Schettini, I. Lindell: On the observation by D'Alembert in the treatment on Newton's refraction law by Klingenstjerna. A.N. Clewberg's thesis from 1772 at Åbo Academy, elokuu 2006.
21. L. Jylhä: Vesi-alkoholiseosten dielektrinen käyttäytyminen: malleja ja mittauksia, syyskuu 2000.
22. I. Lindell: Evolution of electromagnetics in the 19th century, helmikuu 2004.
23. A. Sihvola: Johan Jakob Nervanderin tangenttibussolitutkielma vuodelta 1834, elokuu 2005.
24. A. Niemi, A. Sihvola: Herätteitä sähkömagnetismin tutkimukseen – J.J. Nervanderin dosentinväitöskirja vuodelta 1829 Keisarillisessa Aleksanterin-Yliopistossa, joulukuu 2006.

Johan Jakob Nervanderin dosentinväitöskirja *In doctrinam electro-magnetismi momenta*

Vuonna 2005 tuli kuluneeksi 200 vuotta Johan Jakob Nervanderin syntymästä. Koska Nervanderin saavutukset sähkömagnetismin alalla olivat merkittävät, on Teknillisen korkeakoulun Sähkömagnetiikan laboratorio ottanut tehtäväksi tehdä tunnetuksi hänen tämän alueen töitään. Käsillä oleva julkaisu on Nervanderin dosentinväitöskirjan *In doctrinam electro-magnetismi momenta* suomennos. Käännöstyön on tehnyt Teknillisen korkeakoulun emeritusprofessori Antti J. Niemi.

--- -- ---

J.J. Nervander (1805–1848) promovoitiin maisteriksi Turun Akatemiassa loistavin arvosanoin vuonna 1827. Promootio oli viimeinen ennen saman vuoden syyskuussa raivonnutta Turun paloa, jonka jälkeen keisari käski siirtää Suomen Yliopiston uuteen pääkaupunkiin. Nervander jatkoi yliopistouraansa Helsingissä ja puolusti 9. kesäkuuta 1829 kaksiosaista dosentinväitöskirjaansa, joka suomennos siis on tässä raportissa.

Väitöskirjan otsikko – ”Herätteitä sähkömagnetismin tutkimukseen” – viittaa aikansa uusimpaan fysiikkaan ja luonnonfilosofiaan. Vaikka sähkö ja magneettisuus olivat vanhastaan hyvin tunnettuja ilmiöitä, oli tanskalainen Hans Christian Ørsted löytänyt sähkövirran magneettivaikutuksen vain vajaata vuosikymmentä aikaisemmin, vuonna 1820. Tieto tästä mullistavasta havainnosta levisi nopeasti ympäri Eurooppaa ja sen lainalaisuuksia ryhdyttiin tutkimaan systemaattisesti. Sopivampaa väitöskirjan aihetta aikakauden luonnontieteen eturintamassa Nervander tuskin olisi voinut löytää.

Seuraavassa väitöskirjan sisältö tiivistetyssä muodossa.

Enolleen, fysiikan apulaisprofessori Fredrik Bergbomille osoitetun omistuksen jälkeen Nervander väitöskirjan johdannossa kertoo olosuhteista, joiden puitteissa hän oli työnsä tehnyt. Ne olivatkin olleet kohtuuttoman epäonniset. Turun palo ei ainoastaan tuhonnut kirjastoa, jonka avulla hän olisi voinut paremmin olla saada tietoa alan saavutuksista ja taustoittaa tutkimuksensa tekstiä, vaan hävitti myös yliopiston instrumenttivarustuksen. Nervander ilmeisesti oli tehnyt ainakin osan väitöskirjassa raportoiduista sähkömagneettisista tutkimuksistaan jo Turun aikana.

Mittalaitteena Nervanderilla on J.S.C. Schweiggerin mukaan nimetty multiplikaattori, moninkertaisiksi silmukoiksi käämitty metallijohdelanka, johon hän johtaa sähkövirran Voltan patsaasta erilaisten johtimien kautta.

Multiplikaattorin sisällä virran aiheuttama magneettikenttä on suurimmillaan ja kääntää sinne sijoitettua magneettineulaa. Elohopea-astiat pitävät huolen virtapiirin galvaanisista yhteyksistä kuvan 1 mukaisesti. Kahdella sähkölähteellä Nervander saa aikaan vertailumittauksen, jossa hän tutkii magneettineulan poikkeamakulmaa lähteiden johtaessa erikseen sähköä multiplikaattoriin ja vertaa tilannetta siihen, että kummankin lähteen virta ohjautuu yhdessä sinne. Tulokset hän kirjaa taulukkoon I (sivut 6-7).

Nervander toteaa seuraavaksi tulosten osoittavan, että pienillä neulan poikkeamakulmilla patsaiden vaikutukset voidaan laskea suoraan yhteen, mutta kun sähkömagneettinen voima kasvaa, ei enää patsaiden erikseen tuottamien poikkeamien summa olekaan yhtä suuri kuin yhteisvaikutuksena saatu neulan kääntymäkulma.

Todettuaan tämän Nervander alkaakin tarkastella perusteellisesti mittaustilanteessa vaikuttavia magneettisia voimia. Tämä osa tekstiä on nykylukijalle melko vaikeasti seurattavaa, sillä väitöskirjan kuvia ja kaavioita ei ole ollut saatavilla. Olemme joutuneet ne rekonstruoimaan Nervanderin tekstin ja muun taustatiedon perusteella. Näitä kaavioita on liitteinä ilmeisesti ollut useita, sillä tekstissä viitataan kuviin 1, 2 ja 5. Hahmottelemamme kuvat seuraavat tässä raportissa tekstiosuuden perässä.

Pitkällisten geometrinen tarkastelujen jälkeen Nervander päätyy sivulla 11 tulokseen, että poikkeamakulmien *tangentit*, siis ei itse kulmia, tulee laskea yhteen. Toisin sanoen multiplikaattorin Voltan patsaasta saama sähkömagneettinen voima on verrannollinen sen kääntämän kompassineulan poikkeamakulman tangenttiin, kunhan vain multiplikaattori on asetettu magneettisen meridiaanin suuntaiseksi (pohjois–etelä-suuntaan). Tämä tulos, joka on siis aivan oikea, on varmasti edelleen ohjannut Nervanderia, kun hän myöhemmin jatkoi galvanometrin kehittämistyötä. Jo muutamaa vuotta myöhemmin (1834) hän esitteli Pariisissa tiedeyhteisölle virtamittarin, joka kuvaavasti tuli tunnetuksi nimellä ”tangenttibussoli”.

Väitöskirjan ensimmäinen osa päättyy äkillisesti. Nervander laskee logaritmeja trigonometrisistä funktioista ja tutkii ensimmäisen mittauksensa tulosten yhteensopivuutta tangenttilakiin nähden. Se lupaa hyvää.

Toinen osa väitöskirjaa alkaa suoraan asiaan menen taulukolla II, jossa aikaisemmat mittaustulokset esitetään varustettuina tangenttilain mukaisella ennustuksella sähkölähdepatsaiden yhdessä tuottamasta neulan kääntymiskulmasta. Yhteensopivuus ”kokeiden ja laskennan välillä” onkin jo parempi ja jatkuu nyt suuremmille neulan poikkeamakulmille kuin taulukossa I. Nervander ei kuitenkaan ole täysin tyytyväinen. Hän katsoo eroavaisuuden olevan niin suuri, ettei sitä havaintovirheeksi voi selittää, ja toteuttaa uuden mittaussarjan, jonka tulokset esitetään taulukoissa III ja IV.

Tällä kertaa Nervander käyttää kolmea multiplikaattoria (sähkölähteitä eli Voltan patsaita hänellä on yhä vain kaksi kuten aikaisemminkin). Ne on ilmeisesti kytketty yhteen kuvan 1b mukaisella tavalla: 1. patsas syöttää multiplikaattoreita M ja M' ja 2. patsas multiplikaattoreita M ja M'' . Multiplikaattori M on siis virtapiireille yhteinen. Tällä kertaa Nervander vertaakin magneettineulan kiertymiä tapauksissa, joissa yhteinen multiplikaattori M kytketään pois piiristä oikosulkemalla vuoroin eri piireistä siihen johtavat elohopeakupit siten, kuin tekstissä sivulla 14 kerrotaan.

Näissä taulukoissa pistää silmään se, että kulmapoikkeamalukemat ovat paljon suurempia kuin aikaisemmissa mittaustuloslistoissa. Mutta tärkeintä on ilmiö, jonka taulukot tuovat selvästi esiin: kun yhteinen multiplikaattori oikosuljetaan (”patsas 1 (tai patsas 2) yksinään”), piirin jäljelle jäänyt multiplikaattori kykenee aikaansaamaan *suuremman* neulan kääntymän kuin tapauksessa, jossa kaksi multiplikaattoria olisi yhdessä rasittamassa piiriä (”patsaat 1 ja 2 yhdessä”). Tämän tosiasian Nervander toteaa painokkaasti. Se on selvästi myös asia, jonka paikkansapitävyydestä Nervander haluaa varmistua, minkä voi todeta siitä, että hän ilmoittaa toistaneensa tietyn kokeen 600 kertaa! Väitöskirjan toisen osan loppupuolella Nervander analysoi myös pitkällisesti joitakin galvanometrisissä mittauksissa vastaan tulevia teknisiä ongelmia, kuten neulan heilahteluja ja näiden värähdysten asettumista lopulliseen tilaan.

Johtopäätös, jonka Nervander kirjaa väitöskirjansa viimeisen sivun harvennetulla tekstillä, toteaa tämän patsaiden neulaa kääntävän voiman vähentymisen, kun niiden virta väkisin ohjataan kulkemaan yhteisen reitin kautta. Erityisesti tämän vähenemisen Nervander mainitsee korostuvan

tapauksessa, jossa neulaa poikkeuttava voima itsenäisenä on suuri (ts. itse patsaan sähköintensiteetti on voimakas).

Nykysähköopin valossa tulos on järkevä ja oikein: sähköpiirin eri haarojen virrat voidaan kerrostaa ja laskea osissa. Mutta tämän päivän lukija saattaa silti jäädä ihmettelemään loppupäätelmän erityispainotusta: Nervanderillahan olisi ollut paljon vallankumouksellisempi tulos väitöskirjan ensimmäisen osan lopussa: tangenttilaki. Siihen hän tulisi kuitenkin palaamaan pian.

— — —

Yllä tuli jo mainituksi, että väitöskirjan puuttuvat kuvat ovat tuottaneet päänvaivaa. Niiden yksikäsitteinen uudelleentuottaminen on ollut mahdotonta Nervanderin tekstin puutteellisuuden ja monikäsitteisyyden takia. Olemme kuitenkin liittäneet käännökseen parhaimman kykymme mukaiset tulkintayritykset siitä, minkälaisia kuvat olisivat saattaneet olla. Mikäli alkuperäiset kuvat joskus vielä ilmestyvät esiin kirjastojen kätköistä, on niitä mielenkiintoista verrata aikaansaannoksiimme. Kuvien rekonstruoinnissa ja muussakin väitöskirjan sisällön analysoinnissa ovat auttaneet Ismo Lindell, Jukka Venermo, Henrik Kettunen ja Henrik Wallén. Kiitokset myös Sami Ilvoselle ja Katrina Nykäselle avusta toimitustyössä sekä Heikki Nevanlinnalle Nervander-asiantuntemuksesta.

Ari Sihvola

Väitöskirjan teksti osoittaa J. J. Nervanderin taitavaksi tieteellisen latinankielen käyttäjäksi. Pitkät, mutta kuitenkin kompaktit ja loogiset virkkeet, jotka käsittävät useita sivulauseita ja kauaksi pääsanastaan sijoitettuja attribuutteja, ovat teokselle tyypillisiä, mutta vaativat lukijalta aikaa ja kärsivällisyyttä.

Pitkän koululatinan lukeneelle kääntäjälle, joka on harrastuksenomaisesti pyrkinyt pitämään lukutaitoaan yllä, tehtävä on ollut haastava ja mielenkiintoinen. Se on edellyttänyt pyrkimystä kielenkäyttöön, joka vastaa Nervanderin ja vain harvojen hänen aikalaistensa käyttämää, teknistä ja fysikaalista terminologiaa, mutta on myös nykylukijan ymmärrettävissä. Teoksen fysikaalisen ja teknisen sanoman mieltämistä on luonnollisesti edesauttanut kääntäjän akateeminen opiskelu ja tutkimustyö niiden parissa.

Antti J. Niemi

IN
DOCTRINAM ELECTRO-MAGNETISMI
MOMENTA,

QUAE

ANNUENTE AMPL. ORD. PHILOS. IMP. UNIV. ALEXANDREÆ,
PUBLICO EXAMINI MODESTE SUBJICIUNT

Mag. JOHANNES JAC. NERVANDER,

Stipend. Hedmannianus

ET

JOHANNES TÖRNGREN,

Nylandus, Nobilis.

P. I.

In Auditorio Philosophico die IX Junii MDCCCXXIX.

h. a. m. s.

HELSINGFORSIAE,
Ex Officina Typographica FRENCKELLIANA.

3.

HERÄTTEITÄ
SÄHKÖMAGNETISMIN TUTKIMUKSEEN,

JOTKA

LAAJASTI YLISTETYN KEISARILLISEN ALEKSANTERIN
YLIOPISTON FILOSOFISEN OSASTON SUOSTUMUKSELLA
JULKISESTI TARKASTETTAVAKSI NÖYRÄSTI ESITTÄVÄT

Maist. JOHANNES JAC. NERVANDER,
Hedman-Stipendiaatti

JA

JOHANNES TÖRNGREN,
Uusmaalainen, jalosukuinen.

Osa I.

Filosofisessa Auditoriossa kesäkuun 9. päivänä 1829.

tavallisena aikana aamupäivällä

HELSINGISSÄ,
Frenckellin Kirjapainosta.

VIRO AMPLISSIMO ATQUE CELEBERRIMO

Mag. FREDRICO BERGBOM,

PHILOS. THEOR. AD IMP. ALEXAND. UNIV. IN FENNIA

PROFESSORI,

AVUNCULO, TUTORI, EDUCATORI

teneræ et inopis ætatis suæ curam patrio^m more aetam pie
recolens, mentis gratissimæ, quantulumcunque est, indicium
daturus, iuvenile hocce reconditarum litterarum primum spe-
cimen

dedicat

Au&or J. J. NERVANDER

KUNNIOITETULLE JA KUULUISALLE MIEHELLE

Maist. FREDRICO BERGBOMille,

KEISARILLISEN ALEKSANTERIN SUOMEN YLIOPISTON
TEOREETTISEN FILOSOFIAN

PROFESSORILLE,

ENOLLE, HOLHOOJALLE, KASVATTAJALLE,

herkkänä ja varattomana ikäkautenaan osakseen tulleen,
isällisen huolenpidon vilpittömästi muistavan, kiitollisen
mielen nuorekkaana, vaikkakin vaatimattomana ilmaisuna,
tähän asti kätketyn tieteenharjoituksen ensimmäisen näytteen

omistaa

Tekijä J. J. NERVANDER



Quum omnes fere ad magnam jam perfectionem pro-
vectæ sint scientiæ, numerusque eorum, qui omne
suum in iis colendis ponunt studium, in dies mirifice
crescat, unumquemque, qui in aliquo litterarum genere
vel novi quid afferre, vel ab aliis jam allata ulterius in-
vestigare satiusque explicare voluerit, ea sibi cognita ha-
bere oportet, quæ ab aliis eodem respectu antea in me-
dium prolata sint, supellectileque litteraria instructum es-
se admodum lauta. Periculum enim alias est, ne vel
dudum disputata temere repetat, vel rem modo minus
apto et probando absolvat. Quod si umquam de aliis
scientiis, certe de iis, quas naturales appellant, omnibus
valet; quæ igitur Physices etiam est ratio. Tantos enim
hæc scientia nostra ætate fecit progressus, totque ab
ejus peritis quotidie fere nova promuntur, ut tironibus



Kun miltei kaikki tieteet ovat jo edenneet suureen täydellisyyteen ja niiden lukumäärä, jotka omistavat kaiken mielenkiintonsa tieteiden harjoittamiseen, kasvaa nykyisin ihmetyttävästi, pitää jokaisen, joka jollakin tieteenalalla haluaisi joko esittää jotakin uutta tai tutkia pitemmälle ja selittää riittävämmiin toisten jo esittämää, omata ne tiedot, jotka toiset ovat samasta aihepiiristä aikaisemmin saattaneet julkisuuteen, varustamansa runsaan, kirjallisen aineiston välityksellä. Muutoin on nimittäin tarjolla vaara, että sattumalta toistaa jo aikaisemmin selvitettyjä asioita tai ratkaisee asian jollakin muulla kuin soveliaalla ja hyväksyttävällä tavalla. Koskiessaan muitakin tieteitä tämä varmasti pätee kaikilla niillä tieteenaloilla, joita kutsutaan luonnontieteiksi ja koskee siis myös Fysiikkaa. Siinä määrin tämä tiede nimittäin edistyy meidän aikanamme, ja niin monia uusia seikkoja paljastavat siihen perehtyneet lähes päivittäin, että erityisesti aloittelijoiden olisi tarkasti varottava etteivät he, julkista esittämistä

præsertim, in experimentis a se institutis publice proponendis, ne tritam jam viam, nihil ulterius profecti, denuo muniant, magnopere cavendum sit.

Hæc præmissa voluimus dolentes, incendium, quod apparatus instrumentorum et omnia denique subsidia Universitatis Fennicæ litteraria delevit, nos quoque impedivisse, quominus notitiam talem, qualem quidem optavissemus, eorum, quæ de rebus, quas nobis examinandas proposuimus, litteris tradita existant, compararemus, illudque effecisse, ut in experimentis quoque instituendis, plura minus accurate, quam voluissemus, exsequi et conficere valeremus. Quod igitur rerum nostrarum discrimini, haud vero incuriæ nostræ tribuant, quorum in manus pagellæ hæ incidant, Lectores Benevoli, summopere oramus, externos præcipue respicientes, qui in propria subsidiorum copia atque abundantia, ne imaginem quidem sibi forte fingere possunt angustiarum et sortis iniquæ, quibus post calamitatem, qua afflicti fuimus, tristissimam, premuntur apud nos litteræ 1).

Institutum vero opusculi hujus esse, diversa experimenta, ad doctrinam Electro-Magnetismi pertinentia, quæ qualitercunque, pro eo ut temporis difficultas tulit, adornavimus, commentariolosque, quos pro modulo virium de iis composuimus, sub uno quasi conspectu ponere, et sic in laudatam doctrinam momenta quædam, magni licet forte non fuerint ponderis, afferre, heic commemorare forsitan juvabit.

1) Sic, verbi causa, ne unum quidem plurimorum Annalium et Fastorum, in quibus congesta sunt Physicorum inventa et observationes, consulere nobis licuit.

varten järjestämissään kokeissa, lähtisi enää uudelleen tavanomaiselle polulle, poikkeamatta mihinkään sen ulkopuolelle.

Näiden alkusanojen jälkeen haluaisimme valittaa sitä, että tulipalo, joka hävitti Suomen Yliopiston instrumenttivarustuksen ja kaiken kirjallisen tukimateriaalin, on myös estänyt meitä vertaamasta sellaista tietoa kuin olisimme halunneet niiden tahojen tietoihin, jotka ovat laatineet kirjallisia esityksiä aiheista, joita olemme kaavailleet itse tutkivamme, mikä on edelleen saanut aikaan sen, että useimmat järjestettävistä kokeistakin pystyisimme suorittamaan ja viemään päätökseen vain vähemmän tarkkoina kuin olisimme halunneet. Tämän siis pankoot meidän olosuhteidemme eikä niinkään tarkkaamattomuutemme tiliin, Hyväntahtoiset Lukijat, joiden käsiin nämä sivut ehkä osuvat, ja rukoilemme hartaasti, että erityisesti ulkopuoliset tarkkailijat, joilla on runsas määrä tarvittavia apuvälineitä, voivat kuitenkin muodostaa itselleen kuvan vaikeuksista ja kohtuuttomasta epäonnesta, joiden alaisia olemme olleet sitten tuon mitä valitettavimman onnettomuuden, joka meillä vaikeuttaa kirjallisia toimintoja 1).

Tämän kirjasen tehtävä on sen sijaan esittää erilaisia, Sähkö-Magnetismiopin alaan kuuluvia kokeita, jotka suoritimme vaihtelevin tavoin ennen vaikeuksien aiheutumisen ajankohtaa, ja niitä koskevia kommentaareja, joita voimiemme salliessa olemme koonneet, sekä saattaa ne yhtenäiseen asuun ja siten liittää kiitettyyn oppiin joitakin, painoarvoltaan ehkei merkittäviä piirteitä, joiden mainitseminen tässä yhteydessä on ehkä hyödyllistä.

1) Täten meillä ei esimerkiksi ole ollut mahdollisuutta tukeutua yhteenkään monista Aikakausi- ja Vuosikirjoista, joihin on tiivistetty Fyysikkojen keksinnöt ja havainnot.

1.

Quamvis a pluribus experimenta facta esse cognovimus ad eruendam rationem, qua Electromotorum acum Magneticam declinandi vis, aucta vel quantitate vel intensitate Electricitatis eorum, crescat seu contineatur; illam tamen novo examini, observationibus adhibitis et experimentis, non sine fructu subjici posse putavimus. Et primo quidem legem, quam, *aucta quantitate Electricitatis*, vim supra nominatam sequi perhibuerunt Naturæ Investigatores, experimentis scrutari conati sumus.

Quoniam Multiplicatorem *Schweiggerianum*, cujus jam usus est frequentissimus in observationibus instituendis Electro-Magneticis, nos quoque ad indicandam declinationem a Electromotoribus effectam adhibuimus, e re forte non erit afferre, nostrum constructum esse secundum descriptionem, quæ pagina 214 et sequentibus Libri, cui titulus: *Handbuch der dynamischen Electricität von J. F. Demonferrand, bearbeitet von Th. Fehner*, perhibetur, additis tamen arculis vitreis, quæ, utrique foramini quadrangulo parietum ejus extrinsecus adaptatæ, aditum flatibus aëris claudunt. Acui Magneticæ, filo simplici sericeo suspensæ, index præterea, e tenui constans chartæ segmento, horizontaliter ad normam affixus est. Circuli subjecti gradus omnes sunt expressi, distantia inter se tanta, ut error in observando tertiam vel dimidiam partem gradus excedere probabiliter non possit. Eo modo compositus Multiplicator tam facile Electricitatem indicabat, ut elementum, quod voca-

1.

Vaikka monien tekemien kokeiden nojalla tiedämme osoitettavissa olevaksi tosiasiksi sen, miten Sähköliikuttajien Magneettineulaa poikkeuttava voima, lisätynä niiden Sähköisyyden kvantiteetilla tai intensiteetillä, kasvaa tai säilyy, olemme kuitenkin uskoneet tämän olevan hedelmällisesti saatettavissa uuden tutkimuksen, lisähavaintojen ja kokeilujen kohteeksi. Aluksi olemme pyrkineet tarkastelemaan kokeellisesti nimenomaan lakia, jota, Sähkön *kvantiteetilla täydennettynä*, Luonnon Tutkijat ovat esittäneet edellä mainitun voiman noudattavan.

Koska meidänkin käytettävissämme oli Sähköliikuttajien aikaansaaman poikkeaman ilmaisemiseen *Schweiggerin* Multiplikaattori, jonka käyttö Sähkömagneettisten havainnointien toteuttamiseen on jo varsin yleistä, ei sen kuvaaminen ole tarpeen, laitteemme konstruktion ollessa teoksessa: *Handbuch der dynamischen Electricität von J. F. Demonferrand, bearbeitet von Th. Fechner*, sivulta 214 alkavan kuvauksen mukainen, siihen kuitenkin lisättyinä lasiset kotelot, jotka, sovitettuina ulkoapäin sen seinämien kumpaankin, nelikulmaiseen aukkoon, sulkevat ilmavirtausten pääsytiä. Yksinkertaiseen silkkilankaan ripustettuja Magneettineuloja ja niiden ohella osoitinta pitää koossa kartonkisegmentti, joka on kiinnitetty horisontaalisesti pystyakseliin. Sen alle sijoitettuun ympyrään on merkitty kaikki asteluvut sellaisin keskinäisin etäisyyksin, että lukemavirhe ei todennäköisesti voi ylittää asteen kolmasosaa tai puolikasta. Tällä tavoin kokoonpantu Multiplikaattori ilmaisi sähkön niin herkästi, että yksiköksi kutsuttu, kahdesta Kuparikerroksesta

tur, unicum, e duabus laminis Cupreis (homogeneis, rotundis, diametri 1,5 pollicis, quæ chartulis, solutione Chloridi Natrici imbutis, distinentur), constans, acum usque ad quintum sæpe gradum declinaverit 2). Quo factò, omnem spem abjecimus acquirendi nobis laminas Cupri et Zinci vel adeo homogeneas vel tanta cura elaboratas et politas, ut elementum e lamina Cupri et Zinci compositum, area eadem permanente ceterisque paribus, in eundem gradum declinaret acum, ac aliud ejusdem generis. Quam ob rem sequentem in experiendo viam inflectere coacti sumus; proprie enim duas vel plures pilas, ex elemento unico constantes, ejusdem areæ et eandem declinationem semper efficientes, nobis comparare et dein ad quem gradum, conjunctim in Multiplicatorem agentes, acum declinarent, experimentorum ope scrutari debuissemus.

Sint (Fig. 1) *AC*, *CD*, *FE* et *BF* fila orichalcea vel cuprea, *DME* Multiplicator Electro-Magneticus, et *C*, *D*, *E* et *F* vasa, Hydrargyro, communicationem inter Conductores nominatos efficiente, repleta, ita ut Pilæ Voltaicæ, ex unico tantum elemento constantis, fluido Electrico positivo e Cupro per *AC*, *CD*, *DME*, *EF* et *FB* ad Zincum via continua pateat. Simili ratione pilæ alterius, eodem mo-

2) Haec declinatio e diversitate quadam inter metalla laminarum oriebatur. Confer in *Magazin for Kunstnere og Haandverkere udgivet af Dr. G. F. URSIN, Prof.*, N:o 82 & 83, 1828, sectionem, cujus titulus: *Et Capitel af den electro-magnetiske Probeer-Kunst af H. C. OERSTED.*

(homogeenisista, pyöreistä, halkaisijaltaan 1,5 peukalomitan kokoisista, joita erottivat Natriumkloridiliuoksella kostutetut kartonkipalat) koostuva elementti poikkeutti neulaa usein jopa viiden asteen verran 2). Tämän todettuamme heitimme kaiken toivon Kupari- ja Sinkkilevyjen saamisesta käyttöömme sekä riittävän homogeenisina että niin huolellisesti viimeistelyinä ja hiottuina, että pinta-alaltaan yhtäsuurista ja muilta ominaisuuksiltaan yhtäläisistä Kupari- ja Sinkkikerroksista koottu elementti poikkeuttaisi neulaa saman kulman verran ja osoittaisi muutoinkin samoja piirteitä. Sentähden olimme pakotetut kääntymään kokeissamme seuraavalle tielle: Meidän tuli tarkoituksenmukaisesti hankkia käyttöömme kaksi yhdestä elementistä koostuvaa, alaltaan yhtäsuurta ja aina yhtäsuuren poikkeutuksen tuottavaa patsasta tai useampia yhtäläisiä patsaita, ja sitten tutkia kokeellisella työllä, mihin kulmaan ne poikkeuttaisivat neulaa ohjatessaan yhdessä Multiplikaattoria.

Olkoot (Kuva 1) AC , CD , FE ja BF messinki- tai kuparilankoja, DME Sähkö-Magneettinen Multiplikaattori ja C , D , E ja F Elohopealla täytettyjä astioita, jotka toteuttavat yhteyden mainittujen Johtimien välillä, siten että vain yhdestä elementistä koostuvan Voltan Patsaan positiiviselle Sähkövirralle avautuu jatkuva tie Kuparista $AC:n$, $CD:n$, $DME:n$, $EF:n$ ja $FB:n$ kautta Sinkkiin. Yhtäläisen päättelyn mukaan toisen, samalla tavoin edellä kuvatun kanssa

2) Tämä poikkeama johtui jostakin erilaisuudesta kerrosten metallien välillä. Vrt. *Magazin for Kunstnere og Haandtverkere udgivet af Dr. G. F. Ursin, Prof.*, N:o 82 & 83, 1828, jakso: *Et Capitel af den electromagnetiske Probeer-Kunst af H.C.Oersted.*

do ac primo loco nominata constructæ, fluidum 3) per $A'C$, CD , DME , EF et $F'B$ ad Zincum manabat. Utrisque igitur via per DME communis fuit. Quibus sic se habentibus, pilæ primæ acum declinandi vim, quum sola in eam ageret, observaturi, Conductores DC , EF , vasibus C et F prius per Conductorem CF inter se conjunctis, 4) sustulimus; dein restitutis DC et EF , CF vero remoto, ambarum conjunctim pilarum in Multiplicatorem effectum et demum, Conductore CF vasa C et F copulante, ablatis vero FE seu CD , vim pilæ secundæ per se comperimus.

Quibus sic constitutis, experimentorum hæc fuere consecutaria. (Observandum est, in ultima numerorum columna Tabulæ sequentis differentiam obvenire inter summam graduum declinationum per pilas separatim agentes effectarum et declinationem illis conjunctim agentibus, consecutam. Experimentis inter se discrepantibus *medium* tantum eorum attulimus.)

3) Semper fere, Celeberrimum *Ampere* secuti, *fluidum* tantum pro *fluido positivo Electrico*, quod e pilæ Voltaicæ juste constructæ ultima metalli negativi lamina in Rheophorum seu Conductorem manat, scripsimus.

4) Hoc eam ob causam observandum est, quod post interruptam ad tempus continuitatem inter Conductores, eadem restituta, fluidum hos majori primis momentis percurrat vi, haud ita cito ad pristinam conditionem revertente. Qua igitur re omnis in experiendo certitudo tolleretur.

konstruoidun patsaan virta 3) juoksi $A'C'$:n, CD :n, DME :n, EF' :n ja $F'B'$:n kautta Sinkkiin. Reitti DME :n kautta oli siten molemmille yhteinen. Näin ollen, neulaa poikkeuttavan, ensimmäisen patsaan yksinään tuottaman voiman havaitsemiseksi irrotimme johtimet DC' ja EF' astioista C' ja F' , niiden oltua aikaisemmin kytketyt yhteen Johtimella $C'F'$ 4). Palautettuumme sitten DC' :n ja EF' :n ja poistettuumme $C'F'$:n kohdistimme kummankin patsaan yhteisvaikutuksen Multiplikaattoriin ja lopuksi, kytkien yhteen astiat C ja F johtimella CF ja poistaen FE :n tai CD :n, määritimme toisen patsaan itsenäisen voiman.

Kuvattujen toimenpiteiden mukaisten kokeiden tulokset esitetään seuraavassa. (On huomattava, että seuraavan Taulukon viimeisen sarakkeen luvut esittävät erillisten patsaiden kulloinkin aiheuttamien poikkeamien astelukujen summaa vähennettynä niiden yhdessä aiheuttamalla poikkeamalla. Koetulosten erotessa toisistaan olemme esittäneet vain kunkin keskiarvon.)

3) Melkein aina, seuraten Kuuluisaa Ampère'a, olemme kirjoittaneet vain fluidum (tässä: virta) "fluido positivo Electrico"n sijasta, koska se oikein konstruoidussa Voltan patsaassa juoksee äärimmäisistä, negatiivisista metallikerroksista reoforiin l. konduktoriin.

4) Tämä on otettava huomioon siitä syystä, että kun johtimien välinen jatkuvuus on joksikin ajaksi katkaistu ja sitten palautettu, virta kulkee aluksi niiden kautta suuremmalla voimalla, palaamatta siten nopeasti entiseen tilaan. Tämän vaiheen aikana kokeilulta puuttuisi siten kaikki varmuus.

T A B U L A I.

				Grad. Decl.	Dif.
N:0 1.	Pila	1:ma	sola	- - - 2,°15'.	
	Pila	2:da	sola	- - - 4,°45'.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conjunct.	7°. - - - - - 0°.	
N:0 2.	Pila	1:ma	sola	- - - 7°.	
	Pila	2:da	sola	- - - 1°.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	8°. - - - - - 0°.	
N:0 3.	Pila	1:ma	sola	- - - 5,°30'.	
	Pila	2:da	sola	- - - 8°.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	8,°30'. - - - - 0°.	
N:0 4.	Pila	1:ma	sola	- - - 6°30'.	
	Pila	2:da	sola	- - - 4°.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	10,°20'. - - - - 10'.	
N:0 5.	Pila	1:ma	sola	- - - 9,°45'.	
	Pila	2:da	sola	- - - 3,°15'.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	12,°45'. - - - - 15'.	
N:0 6.	Pila	1:ma	sola	- - - 8°.	
	Pila	2:da	sola	- - - 6,°20'.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	14°. - - - - - 20'.	
N:0 7.	Pila	1:ma	sola	- - - 16°.	
	Pila	2:da	sola	- - - 1,°45'.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	17,°20'. - - - - 25'.	
N:0 8.	Pila	1:ma	sola	- - - 2°.	
	Pila	2:da	sola	- - - 16,°40'.	
	Pilæ	1:ma et 2:da	conj.	18°. - - - - - 40'.	

T A U L U K K O I.

			Poikk. Astel.	Erotus
N:o 1	Patsas 1	yksinään	2°15'	
	Patsas 2	yksinään	4°45'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	7°	0°
N:o 2	Patsas 1	yksinään	7°	
	Patsas 2	yksinään	1°	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	8°	0°
N:o 3	Patsas 1	yksinään	5°30'	
	Patsas 2	yksinään	3°	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	8°30'	0°
N:o 4	Patsas 1	yksinään	6°30'	
	Patsas 2	yksinään	4°	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	10°20'	10'
N:o 5	Patsas 1	yksinään	9°45'	
	Patsas 2	yksinään	3°15'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	12°45'	15'
N:o 6	Patsas 1	yksinään	8°	
	Patsas 2	yksinään	6°20'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	14°	20'
N:o 7	Patsas 1	yksinään	16°	
	Patsas 2	yksinään	1°45'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	17°20'	25'
N:o 8	Patsas 1	yksinään	2°	
	Patsas 2	yksinään	16°40'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	18°	40'

	Grad. Decl.	Diff.
N:0 9. Pila 1:ma sola - - -	17,°15'.	
Pila 2:da sola - - -	2°20'.	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	18,°40'. - - -	55'.
N:0 10. Pila 1:ma sola - - -	17,°40'.	
Pila 2:da sola - - -	2,°22',30".	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	19°. - - -	1,°2',30".
N:0 11. Pila 1:ma sola - - -	18°.	
Pila 2:da sola - - -	2°30'.	
Pila 1:ma et 2:da conj.	19,°15'. - - -	1,°15'.
N:0 12. Pila 1:ma sola - - -	19,°45'.	
Pila 2:da sola - - -	3,°30'.	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	21,°40'. - - -	1,°35'.
N:0 13. Pila 1:ma sola - - -	21°.	
Pila 2:da sola - - -	3,°30'.	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	22,°15'. - - -	2,°15'.
N:0 14. Pila 1:ma sola - - -	23°.	
Pila 2:da sola - - -	5,°45'.	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	24,°30'. - - -	4,°15'.
N:0 15. Pila 1:ma sola - - -	27,°54'.	
Pila 2:da sola - - -	24,°55'.	
Pilæ 1:ma et 2:da conj.	38,°20'. - - -	14,°29'.

Ex his apparet, declinationem Multiplicatoris nostri conjunctis pilis ambabus ortam, nisi gradum 8:um et quod excurrit excederet, summæ declinationum, a pilis seorsim agentibus effectarum, æqualem semper fuisse seu rectius nos differentiam inter illas observare et quadam certitudine metiri non potuisse.

			Poikk. Astel.	Erotus
N:o 9	Patsas 1	yksinään	17°15'	
	Patsas 2	yksinään	2°20'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	18°40'	55'
N:o 10	Patsas 1	yksinään	17°40'	
	Patsas 2	yksinään	2°22'30"	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	19°	1°2'30"
N:o 11	Patsas 1	yksinään	18°	
	Patsas 2	yksinään	2°30'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	19°15'	1°15'
N:o 12	Patsas 1	yksinään	19°45'	
	Patsas 2	yksinään	3°30'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	21°40'	1°35'
N:o 13	Patsas 1	yksinään	21°	
	Patsas 2	yksinään	3°30'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	22°15'	2°15'
N:o 14	Patsas 1	yksinään	23°	
	Patsas 2	yksinään	5°45'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	24°30'	4°15'
N:o 15	Patsas 1	yksinään	27°54'	
	Patsas 2	yksinään	24°55'	
	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	38°20'	14°29'

Näistä luvuista ilmenee, että jos Multiplikaattorimme osoittama poikkeama, molempien patsaiden ollessa kytketyt yhteen, ei kokonaislukuna ylittänyt 8:aa astetta, se oli aina sama kuin toisistaan erotettujen patsaiden tuottamien poikkeamien summa tai, oikeamminkin, emme kyenneet havaitsemaan emmekä millään varmuudella mittaamaan eroa niiden välillä.

Copulatis vero sic ad unicum elementum pilis hisce sæpius commemoratis, *quantitas* tantum Electricitatis, *intensitate* namque eadem permanente, aucta est. Quo facto concludere possumus, gradum declinationis eadem fere proportione, ac quantitatem Electricitatis usque ad 8:um gradum Multiplicatoris Nostri crevisse. Supra illum vero declinatio non amplius eundem, ac *quantitas* aucta Electricitatis passum tenet; ita ut verbi causa triplo fere majori quantitate Electricitatis opus sit ad acum Magneticam a 19 ad 20 gradum usque promovendam, quam illa, quæ eandem a 0° ad 1° declinare faciat, et igitur 19:us gradus ejusdem fere censendus sit valoris in metienda vi Electro-Magnetica, ac tres primi conjunctim. Qui quidem valor graduum, aucta declinatione, vehementissime crescit. Sic ex. gratia, etiamsi pila prima declinationem effecerit 27,°54', pila autem secunda 24,°55', ambæ tamen illæ conjunctis viribus ad 38°, 20' tantum indicem evehebant, ita ut 10°,26' a 27°,54' numerati, ejusdem valoris sint ac 24,°55' primi.

Causa phænomeni quærenda est aut 1:mo in ipsa constructione Multiplicatoris aut 2:do in ipsa ratione Electricitatis, quæ tum ita comparata esse debet, ut *quantitas* Electricitatis a pilis conjunctis excitatæ, revera sit minor, quam summa quantitatum a pilis singulis separatim commotarum, vel 3:0 demum in conjunctis his jam allatis momentis. Rem paullo jam accuratius investigemus.

Sit *NS* (vid. Fig. 2.) acus Magnetica filo sericeo *OF* ita suspensa, ut horizontaliter tantum circa punctum *O* moveri possit, et *N'S', N''S''* diversi status ejus aliqua vi e linea Meridiana Magnetica *ns* declinatæ. Sit porro $nN = n'N' = N''n''$ vis Magnetismi terrestris acum seu rectius
 omni-

Kytettäessä siis tässä jo useasti mainitut patsaat siten yhdeksi elementiksi kasvoi vain Sähkön määrä, kun taas sen intensiteetti pysyi ennallaan. Tämän jälkeen saatoimme todeta poikkeaman asteen kasvaneen melkein samassa suhteessa kuin sähkön määrän Multiplikaattorimme 8. asteeseen saakka. Tämän yläpuolella poikkeama ei kuitenkaan enää noudata samaa tahtia kuin Sähkön määrän lisäys, sikäli että esimerkiksi siirtämään Magneettineula 19:stä 20:een asteeseen tarvitaan melkein kolme kertaa enemmän Sähköä kuin se määrä, joka saa sen poikkeamaan Nollasta Yhteen asteeseen. Siten 19. aste olisi arvostettava Sähkö-Magneettisen voiman mittauksessa lähes samanarvoiseksi kuin 1. asteen kolmikerta. Tämä asteiden arvo sitä paitsi kasvaa voimakkaasti poikkeaman suuretessa. Jos siten esimerkiksi 1. Patsas tuottaisi poikkeaman $27^{\circ}54'$ ja 2. Patsas $24^{\circ}55'$, ne molemmat kuitenkin nostaisivat osoituksen yhteisin voiminensa vain $38^{\circ}20'$:een, joten $10^{\circ}26'$:n lisäpoikkeama kulmasta $27^{\circ}54'$ eteenpäin laskettuna olisi saman arvoinen kuin $24^{\circ}55'$:n primääripoikkeama.

Ilmiön selvitetäväksi jäävä syy sisältyy joko, ensimmäiseksi, Multiplikaattorin rakenteeseen tai, toiseksi, Sähkön omaan luonteeseen, jotka tällöin on suhteutettava toisiinsa siten, että yhdistettyjen patsaiden tällöin kehittämän Sähkön määrä olisi todellisuudessa pienempi kuin yksittäisten patsaiden erikseen tuottamien määrien summa tai, lopulta kolmanneksi, edellä esitettyihin vaikutuksiin yhdistettyinä. Tutkikaamme tätä nyt hieman tarkemmin!

Olkoon NS (ks. Kuva 2.) silkkilangalla OF siten ripustettu Magneettineula, että se voi vaakatasossa liikkua vain pistettä O kiertäen, ja $N'S'$, $N''S''$ sen eri asentoja, sen ollessa poikkeutettuna jollakin voimalla Magneettisesta Meridiaanilinjasta ns . Olkoon edelleen $nN=n'N'=N''n''$ maamagnetismin voima, joka saattaa neulan

omnia ejus puncta Magnetismo libero munita, directione sibi et lineæ Meridianæ commemoratæ parallela, sollicitans = a . In ejus vero locum substituere possumus vim aliam = s in punctum N unice agentem, vel Mechanicam vel cujus demum sit generis, modo semper in directione lineæ commemoratæ Meridianæ parallela se exerat, et eadem vehementia qua Magnetismus, quem eo casu ut quiescentem nobis concipere debemus, acum ad ns reducere et in eadem linea retinere nitetur; effectus namque idem manet. Atqui, ob infra disputanda, commodissimum erit, si omnia puncta acus Magneticæ Magnetismo suo libero orbata nobis fingamus, excepto unico illo N , quod vero tantæ intensitatis Magnetismo sit munitum, ut acus vi a Magnetismi terrestri eadem efficacia, ac in statu suo solito, ad ns declinata reducatur. Sic, de vi a loquentes, acum esse comparatam fingimus. Constructo vero parallelogrammate virium apparet, nos vim $n'R$ seu $N'P$ omnino negligere posse, et vim tantum $N'R$ in causa loco moventis remanere, quam sequatur acus necesse est, nisi aliam vim $N'R'$ potestate eadem, at directione contraria ei opponere potuerimus. Disputata jam ad Conductorem Pilæ Voltaicæ Electro-Magnetismo munitum transferamus. Sit ille (vid. Fig. 5) linea CD , ns linea Meridiana et FO filum sericeum, quo pendet acus Magnetica NS ; p, p', p'', p''' sint puncta diversa Conductoris, quorum vires Electro Magneticæ acum e Meridiana illa linea ns declinare nituntur. Np, Np', Np'', Np''' sint directiones earum, quibus in punctum supra jam commemoratum N agunt. Patet, si in plano $NnSs$ e puncto N linea normalis MN in ns ducatur, vim quandam in plano nominato et directione lineæ MN in N agentem, e viribusque secundum Np, Np', Np'' agentibus compositam

tai, oikeammin, kaikki sen vapaata Magneettisuutta omaavat pisteet yhdensuuntaisiksi oman suuntansa ja mainitun Meridiaanilinjan kanssa ja joka = a . Mutta sen tilalle voimme sijoittaa toisen, yksinomaan pisteeseen N kohdistuvan, joko Mekaanisen tai senkaltaisen voiman = s , kunhan se vain aina osoittautuu suunnaltaan samaksi kuin mainittu Meridiaanilinja, ja pyrkii samalla voimakkuudella kuin Magnetismi, joka meidän tulee tässä tapauksessa käsittää lepääväksi, palauttamaan neulan ns :ään ja pitämään sen tässä samassa linjassa; sillä vaikutus säilyy samana. Seuraavaa pohdintaa silmälläpitäen olisi kuitenkin tarkoituksenmukaisinta, jos kuvittelisimme vapaan Magnetismin poistetuksi kaikista Magneettineulan pisteistä poislukien ainoastaan $N:n$, joka olisi kuitenkin varustettu niin suurella Magnetismin intensiteetillä, että neula voimalla a , maamagnetismin tehon ollessa sama ja sen tilan tavanomainen, palautuisi poikkeamaan ns . Siten, puhuessamme voimasta a , olettaisimme neulan olevan sen mukaisesti varustetun. Konstruoituamme voimien suunnikkaan ilmenee kuitenkin, että voimme jättää voiman $n'R$ tai $N'P$ kokonaan huomiotta ja yhtä suuren voiman $N'R$ jäävän liikuttajaksi, jota neula välttämättä tottelee, ellemme voi asettaa sitä vastaan toista, yhtä suurta mutta suunnaltaan vastakkaista voimaa $N'R'$. Siirtäkäämme tähän Voltan patsaan Sähkömagneettisen Johtimen yhteydessä jo pohditut seikat. Olkoon ko. (kts. Kuva 5) viiva CD , ns meridiaaniviiva ja FO silkkilanka, jossa riippuu Magneettineula NS ; p , p' , p'' , p''' olkoot Johtimen eri pisteet, joiden Sähkömagneettiset voimat pyrkivät poikkeuttamaan neulan ko. Meridiaaniviivasta ns . Np , Np' , Np'' , Np''' olkoot niiden suunnat, joissa ne vaikuttavat edellä jo mainittuun pisteeseen N . Ilmenee, että jos tasossa $NnSs$, pisteestä N lähtien, johdetaan $ns:n$ normaalijana MN , voidaan olettaa jonkin, janan MN suuntaisen voiman mainitussa tasossa ja janan MN suunnassa vaikuttavan N :ään koostuneena $Np:n$, $Np':n$ ja $Np'':n$ mukaisista,

tam pro iis, effectu eodem permanente, assumi posse. Si igitur vim illam (videas Fig. 2.) directione Nv , $N'v'$, $N''v''$ ad normam lineæ ns et igitur sibi parallelam, atque in N , N' , N'' agentem nobis concipiamus; 5) facile patet, facta $N'R' = N'R$ et ducta $R'M$ directione linea PO parallela, $N'M$ ($=u$) debere esse vim resultantem et in N' agentem Multiplicatoris 6) Electro-Magneticam, quo acus in statu $N'S'$ permaneat, Quo facto, si angulus declinationis NON' sit $=z$ et MN' producat ad M' , ubi BX , quæ lineam $n'R$ continuat, illam secat; patet MN' esse $=M'N'$, $R'N' = N'R$ et angulus $N'MR' = N'MR$ atque $MR'N' = N'RM'$. Angulus vero $M'n'N' = XON'$; $n'NOX$ quippe parallelogramma, quam ob rem

$$n'N' : MN' = \text{Tang } XnN' : \text{Rad.}$$

seu

$$n'N' : MN' = \text{Tang } XON' : \text{Rad.}$$

quod idem ac

$$\begin{aligned} a : u &= 1 : \text{Tang } z, \text{ et} \\ u &= a \text{ Tang } z; \text{ seu si } a = 1, \\ u &= \text{Tang } z. \end{aligned}$$

5) Vires Magnetismi terrestres boreales et australes se invicem in reducenda acu ad statum NS sublevare et igitur communiter per Nn , $N'n'$, $N''n''$ exprimi posse, in promptu est. Vires Conductoris, quæ NO versus N, N' et eæ quæ SO ad S, S' deflectere conantur eodem jure per Nv , $N'v'$, $N''v''$, descripsimus.

6) Multiplicatoris quidem Conductor pluries in orbem circumvolvitur, adeo ut anulum seu Zonam latitudinis et crassitudinis haud exiguæ formet sed quoniam tamen ita collo-

vaikuttavista voimista näitä pysyvästi, yhtä tehokkaasti edustaen. Jos sentähden käsitämme tuon voiman (kts. Kuva 2) suunnaltaan $N\nu$, $N'\nu'$, $N''\nu''$ samaksi janan ns normaalin ja siis voiman itsensä kanssa ja kohdistuvaksi pisteeseen N, N', N'' ; 5) ilmenee välittömästi, kun on asetettu $N'R' = N'R$ ja johdettu suunnaltaan PO :lle rinnakkainen jana $R'M$, että $N'M:n (=u)$ on oltava Multiplikaattorin resuloiva, 6) Sähkö-Magneettinen, N' :uun vaikuttava voima, jolla neula pysyy asemassa $N'S'$. Tämän jälkeen, jos poikkeamakulma NON' on $=z$ ja MN' siirretään M' :uun, missä janan $n'R$ jatko RX leikkaa sen; ilmenee, että $MN' = M'N'$, sillä $R'N' = N'R$ ja kulma $N'MR' = N'M'R$ sekä $MR'N' = N'RM'$. Mutta kulma $M'n'N' = XON'$; $nN'OX$ taas suunnikas, mistä syystä

$$n'N' : M'N' = \text{Tang } XnN' : \text{Rad.}$$

tai

$$n'N' : MN' = \text{Tang } XON' : \text{Rad.}$$

samoin myös

$$\begin{aligned} a : u &= l : \text{Tang } z, \quad \text{ja} \\ u &= a \text{ Tang } z; \quad \text{tai jos } a = l \\ u &= \text{Tang } z \end{aligned}$$

5) On ilmeistä, että Maamagnetismin pohjoiset ja eteläiset voimat voidaan, kumpikin puolestaan, kompensoida palauttamalla neula asentoon NS , siis yhteisesti $Nn:n$, $N'n':n$ ja $N''n'':n$ kautta. Olemme kuvanneet Johtimen voimat, jotka pyrkivät kääntämään $NO:n$ $N',N'':a$ kohti ja ne, jotka $SO:n$ $S',S:n$ suuntaan, saman säännön mukaisesti $N\nu:n$, $N'\nu':n$ ja $N''\nu'':n$ kautta.

6) Multiplikaattorin Johdin puolestaan kierrätetään useina kehinä, niin että se muodostaa leveydeltään ja paksuudeltaan kohtalaisen renkaan tai vyöhykkeen. Ne on kuitenkin sijoitettu siten, että kun ne lukumäärältään ja sijoitukseltaan

Sumtis igitur duabus pilis Voltaicis, si Multiplicatoris vis Electro-Magnetica, a prima earum excitata sit = u , et declinatio = z censeatur, vis vero e secunda earum originem ducens = u' , et deviatio = z' , et vis illarum quæretur conjunctarum, fit illa seu $u'' = u + u' =$

$$\text{Tang } z + \text{Tang } z',$$

si modo vis Electro-Magnetica Multiplicatoris eadem lege ac quantitas Electricitatis crescat. Jam vero u'' quoque = $\text{Tang } z''$;

$$\text{ergo } \text{Tang } z + \text{Tang } z' = \text{Tang } z''$$

Calculi commodioris causa transformemus modo solito

8) $\text{Tang } z + \text{Tang } z'$ in $\frac{\text{Sin}(z + z')}{\text{Cos } z \text{ Cos } z'}$; quare

$$\text{Tang } z'' = \frac{\text{Sin}(z + z')}{\text{Cos } z \text{ Cos } z'}$$

Sic pag 6, in experimento, sub N:o 1 allato, ubi declinatio a pila prima effecta = $2^{\circ}, 15'$, et illa, quam excitavit pila secunda = $4^{\circ}, 45'$;

cati sint, ut numero et dispositione æquales ad opposita latera fili FO seu plani FOS contineantur, nihil impedit, quominus, re eadem permanente, horum orbium in locum Conductorem simplicem, in plano FOS situm, eadem vi Electro-Magnetica ac omnes hi conjunctim gaudentem mente substituere possimus. Infra ad hanc rem reveniemus.

7) Vid. v. gr. *Traité Element. de Trigonometrie par La Croix*
Edit 7:me Pag. 34.

Jos siis otetaan kaksi Voltan patsasta ja jos Multiplikaattorin Sähkö-Magneettinen voima ensimmäisen tuottamana olisi $= u$ ja arvioitu poikkeama $= z$, kun taas toisesta johtuva voima $= u'$ ja poikkeama $= z'$, ja kysytään niiden yhdistettyinä tuottamaa voimaa, täksi tulee $u'' = u + u' =$

$$\text{Tang } z + \text{Tang } z',$$

jos Multiplikaattorin Sähkö-Magneettinen voima kasvaa saman lain mukaisesti kuin Sähkön määrä. Mutta nyt myös $u'' = \text{Tang } z''$;

$$\text{näin ollen } \quad \text{Tang } z + \text{Tang } z' = \text{Tang } z''$$

(huom.: tässä kaavassa on alkutekstissä esiintyvä painovirhe korjattu.)

Laskennallisen mukavuuden vuoksi muuntakaamme tunnettuun tapaan 7)

$$\text{Tang } z + \text{Tang } z' \text{ muotoon } \quad \frac{\text{Sin}(z + z')}{\text{Cos } z \text{ Cos } z'} ; \quad \text{joten}$$

$$\text{Tang } z'' = \frac{\text{Sin}(z + z')}{\text{Cos } z \text{ Cos } z'}$$

Siten sivun 6 numerolla 1 varustetussa kokeessa, jossa ensimmäisen patsaan tuottama poikkeama $= 2^{\circ}15'$, ja toisen patsaan $= 4^{\circ}45'$;

yhtäläisinä kuuluvat langan FO tai tason FOS vastakkaisiin puoliin, ei mikään estä meitä tyytyväisin mielin sijoittamasta, asian miksikään muuttumatta, näiden piirien tilalle yksinkertaista, tasossa FOS sijaitsevaa Johdinta, jolla on sama Sähkö-Magneettinen voima kuin niillä yhteensä. Palaamme tähän jäljempänä.

7) Kts. *Traité Element. de Trigonometrie par La Croix Edit 7:me Pag. 34.*

$$\text{Tang } z'' = \frac{\text{Sin } 7^\circ}{\text{Cos } 2^\circ,15' \cdot \text{Cos } 4^\circ,45'} \text{ esse oportet.}$$

jam vero

$$\begin{array}{r} \text{Log Sin } 7^\circ = 0,0858945 - 1 \\ \text{Log Cos } 2^\circ,15' + \text{Log Cos } 4^\circ,45' = 0,9981708 - 1 \\ \hline \text{Log Tang } 6^\circ,58',38'' = 0,0877237 - 1 \end{array}$$

Secundum Calculum pilæ igitur conjunctis viribus Acum Multiplicatoris *M* usque ad $6^\circ 58' 38''$ a linea Meridiana Magnetica declinare debuissent.

Experimentum 7° dedit, qui $1', 22''$ a $6^\circ, 58', 38''$ differunt. Tali ratione experimenta eadem pagina occurrentia cum calculo comparantes, ad sequentia pervenimus. ")

") Ordinem, quo experimenta in Tabula prima occurrunt, quoque in secunda hac servavimus. In columna quarta continentur summæ angulorum declinatæ per pilam primam Acus Magneticæ, additorum angulis per pilam secundam effectis.

$$\text{Tang } z'' = \frac{\text{Sin } 7^\circ}{\text{Cos } 2^\circ 15' \text{ Cos } 4^\circ 15'} \text{ välittömäksi tulokseksi.}$$

Mutta samalla

$$\begin{array}{r} \text{Log Sin } 7^\circ = 0,0858945 - 1 \\ \text{LogCos } 2^\circ 15' + \text{LogCos } 4^\circ 15' = 0,9981708 - 1 \\ \hline \text{Log Tang } 6^\circ 58' 38'' = 0,0877237 - 1 \end{array}$$

Laskelman mukaan patsaiden olisi siis pitänyt yhdistetyillä voimillaan poikkeuttaa Multiplikaattorin M Neulaa Magneettisesta Meridiaaniviivasta $6^\circ 58' 38''$:n verran.

Koe antoi tulokseksi 7° , mikä eroaa $1' 22''$:n verran $6^\circ 58' 38''$:sta. Vertaamalla samalla sivulla esitettyjä koetuloksia tämän päättelyn mukaisesti laskettuihin päädyimme seuraaviin tuloksiin. ``)

``) Järjestyksen, jossa kokeet esiintyvät ensimmäisessä Taulukossa, olemme säilyttäneet myös tässä toisessa. Sen neljäs sarake käsittää ensimmäisen patsaan tuottamien Magneettineulan poikkeutuskulmien ja toisen patsaan tuottamien kulmien summat.

IN
DOCTRINAM ELECTRO-MAGNETISMI
MOMENTA,

QUAE

ANNUENTE AMPL. ORD. PHILOS. IMP. UNIV. ALEXANDREÆ,
PUBLICO EXAMINI MODESTE SUBJICIUNT

Mag. JOHANNES JAC. NERVANDER,

Stipend. Hedmarnianus

ET

GUSTAVUS MALM,

Stipend. Publicus.

Ostrobothnienses.

P. II.

In Auditorio Philosophico die IX Junii MDCCCXXIX.

h. p. m. s.

HELSINGFORSIAE,

Ex Officina Typographica FRENCKELLIANA.

4.

HERÄTTEITÄ
SÄHKÖMAGNETISMIN TUTKIMUKSEEN,

JOTKA

LAAJASTI YLISTETYN KEISARILLISEN ALEKSANTERIN
YLIOPISTON FILOSOFISEN OSASTON SUOSTUMUKSELLA
JULKISESTI TARKASTETTAVAKSI NÖYRÄSTI ESITTÄVÄT

Maist. JOHANNES JAC. NERVANDER,
Hedman-Stipendiaatti

JA

GUSTAVUS MALM,
Julkisen stipendin nauttija.
Pohjalainen.

Osa II.

Filosofisessa Auditoriossa kesäkuun 9. päivänä 1829.

tavallisena aikana iltapäivällä

HELSINGISSÄ,
Frenckellin Kirjapainosta.

T A B U L A II.

	Angulus declinationis effecta per		Summa declina- tionum.	Angulus decl. amb. Pilarum secundum		Diff. int. Calc. et Exp.
	Pilam 1:m	Pilam 2:m		Experim.	Calcul.	
N:0	1—2° 15'	—4°,45'	—7°—	7°—	— 6° 59'	— 1'
N:0	2—7°	—1°—	8°—	8°—	— 7° 59'	— 1'
N:0	3—5° 30'	—3°—	8° 30'	8° 30'	— 8° 27'	— 3'
N:0	4—6° 30'	—4°—	10° 30'	10° 20'	—10° 25'	+ 5'
N:0	5—9° 45'	—3°15'	—13°—	12°45'	—13° 10'	+25'
N:0	6—8°	—6°20'	—14° 20'	14°—	—14° 7'	+ 7'
N:0	7—16°	—1°45'	—17° 45'	17°20'	—17° 36'	+16'
N:0	8—16°40'	—2°—	—18° 40'	18°—	—18° 29'	+29'
N:0	9—17°15'	—2°20'	—19° 35'	18°40'	—19° 21'	+41'
N:010	—17°40'	—2°22'30"	20°2'30."	19°—	—19° 48'	+48'
N:011	—18°	—2°30'	—20°30'	19°15'	—20° 14'	+1°
N:012	—19° 45'	—3°30'	—23°15'	21°40'	—22°44'	+1°4'
N:013	—21°	—3°30'	—24°30'	22°15'	—23°59'	+1°44'
N:014	—23°	—5°45'	—28°45'	24°30'	—27°38'	+ 3°8'
N:015	—27°54'	—24°55'	52°49'	—38°20'	—44°49'	+6°29'

Ex his apparet, differentiam inter experimenta et calculum ad 10 usque gradum nullius esse momenti, ab eo autem augescere et ita augescere, ut numerus graduum ope calculi inventus, semper illum, quem experimentum

TAULUKKO II.

	1. patsaan tuottama poikkeutuskulma	2. patsaan	Poikkeutusten summa	Molempien patsaiden tuottama poikkeutuskulma		Lasketun ja kokeell:n erotus
				Kokeell.	Laskettu	
No 1	2°15'	4°45'	7°	7°	6°59'	1'
No 2	7°	1°	8°	8°	7°59'	1'
No 3	5°30'	3°	8°30'	8°30'	8°27'	3'
No 4	6°30'	4°	10°30'	10°20'	10°25'	5'
No 5	9°45'	3°15'	13°	12°45'	13°10'	25'
No 6	8°	6°20'	14°20'	14°	14°7'	7'
No 7	16°	1°45'	17°45'	17°20'	17°36'	16'
No 8	16°40'	2°	18°40'	18°	18°29'	29'
No 9	17°15'	2°20'	19°35'	18°40'	19°21'	41'
No 10	17°40'	2°22'30"	20°2'30"	19°	19°48'	48'
No 11	18°	2°30'	20°30'	19°15'	20°14'	1°
No 12	19°45'	3°30'	23°15'	21°40'	22°44'	1°4'
No 13	21°	3°30'	24°30'	22°15'	23°59'	1°44'
No 14	23°	5°45'	28°45'	24°30'	27°38'	3°8'
No 15	27° 54'	24°55'	52°49'	38°20'	44°49'	6°29'

Näistä luvuista ilmenee, että kokeiden ja laskennan välinen ero on merkityksetön 10:een asteeseen saakka, mutta kasvaa siitä lähtien nimenomaan siten, että laskennallisesti saavutettu asteluku ylittää aina

suppeditat, excedat. Cujus rei quum error in observando sola esse causa non posset, restabat jam, ut investigaremus, an forte e secundo, pagina 8. allato fonte error hicce originem traheret, et sic ipsa lex in conjunctione ambarum, quas ibidem commemoravimus, causarum contineretur.

Si (vid. Fig. 1) fluidum Electricum pilæ primæ e Cupro per NL in vas L et deinde per Multiplicatorem M' ad vas F , exindeque, ceteris eodem statu, ac antea pag. 4 et 5 occurrunt, manentibus, ad Zincum transit, et pari ratione fluidum pilæ secundæ et Cupro per $N'L'$ in vas L' , unde per Multiplicatorem M'' ad vas F' manat, et sic demum ad Zincum cursum tenere cogatur; patet Multiplicatorem M , per quem via ambobus fluidis communis est 8), communem quoque eorum effectum monstrare, Multiplicatorem vero M' , qui pilæ primæ tantum afficitur vi Electro-Magnetica, hanc quoque solam indicare et Multiplicatoris M'' acum simili ratione a pilæ solummodo secundæ fluido Electrico declinari.

Si igitur, sublatis Conductoribus FE , CD , vasibus vero C et F Conductore CF unitis, declinatio Multiplicatorum M et M' observetur, et dein remoto Conductore CF et (continuitate inter C et D , F et E restituta, sublatis vero DC et FE conjunctisque C et F Conducto-

8) Pilæ enim primæ fluidum e Conductore NL , per Multiplicatorem M , Conductorem FE , Multiplicatorem M , Conductorem DC et CA ad Zincum manat; sic quoque pilæ secundæ fluidum e NL' per Multipl. M' , Conductorem FE , Multipl. M et Conductores DC , CA in Zincum dilabitur

kokeen tuottaman arvon. Kun havaintovirhe ei voine olla tämän piirteen ainoa syy, tehtäväksemme jäi vielä tutkia, johtaisiko tämä virhe alkuperänsä kenties toisesta, sivulla 8 mainitusta lähteestä, ja siten itse laki sisältyisi molempien, samassa paikassa mainitsemiemme syiden yhdistymiseen.

Jos (kts. Kuva 1) ensimmäisen patsaan Sähkövirta juoksee Kuparista NL :n kautta astiaan L ja sitten Multiplikaattorin M' kautta astiaan F ja siitä, muiden, sv. 4 ja 5 mainittujen tekijöiden pysyessä ennallaan, edelleen Sinkkiin, ja jos, samanlaisen päättelyn mukaisesti, toisen patsaan virta juoksee Kuparista NL' :n kautta astiaan L' ja siitä Multiplikaattorin M'' kautta astiaan F' ohjautuen siten lopulta Sinkkiin, on ilmeistä, että Multiplikaattori M , jonka kautta kulkeva reitti on molemmille virroille yhteinen 8), osoittaa myös niiden yhteisvaikutuksen, mutta että Multiplikaattori M' , johon vaikuttaa vain ensimmäisen patsaan Sähkö-Magneettinen voima, ilmaisee ainoastaan tämän vaikutuksen ja että, vastaavan periaatteen mukaisesti, Multiplikaattorin M'' neula poikkeutuu ainoastaan toisen patsaan Sähkövirran vaikutuksesta.

Jos siis, johtimet FE , CD irroitettuina, mutta astiat C ja F yhdistettyinä Johtimella CF , havaittaisiin Multiplikaattorien M ja M' poikkeama, ja sitten, poistaen Johtimen CF myös (palauttaen jatkuvuuden C :n ja D :n, F :n ja E :n välillä, mutta poistaen DC' :n ja FE :n ja yhdistäen C' :n ja F' :n Johtimella

8) Ensimmäisen patsaan virta nimittäin juoksee Johtimesta NL Multiplikaattorin M , Johtimen FE , Multiplikaattorin M , Johtimen DC ja CA :n kautta Sinkkiin; siten myös toisen patsaan virta joutuu NL' :sta Multipl.:n M' , Johtimen FE , Multipl.:n M ja Johtimien DC , CA kautta Sinkkiin.

re $C'F'$) status Multiplicatorum M et M'' declinatus quoque annotetur, et demum, remoto Conductore $C'F'$, restituamus conjunctionem inter D et C' , E et F' ; in promptu est, Multiplicatoris M'' statum immotum esse permanensurum; Multiplicatoris vero M' eundem ac prius declinationis gradum indicare debere 9), nisi pilarum vis Electro-motoria vel augeatur vel minuatur, eo quod fluidum ambarum *una* ejusdem Multiplicatoris M filum legere seu percurrere cogantur.

Pluribus experimentis inter se paullo discrepantibus medium tantum eorum afferemus; quoniam vero majoris sint momenti ad rem explicandam, quaedam exempli causa prolixius primo afferre, a proposito alienum forte non erit, quo quis ipse methodos, quas in experiendo secuti simus, dijudicare possit. In hunc finem sequentia elegimus experimenta

9) Excepta variatione, quæ e vi pilæ Electro-motoria, per intervallum temporis, inter observationes præterlapsam, aucta vel minuta, originem ducere possit.

CF') todettaisiin Multiplikaattorien M ja M'' poikkeutettu tila ja sitten, poistaen Johtimen CF' palauttaisimme yhteyden väleille D ja C' , E ja F' ; on ilmeistä, että Multiplikaattorin M'' tila jää muuttumattomaksi; kun taas Multiplikaattorin M' pitää osoittaa samaa poikkeama-astetta kuin ennenkin 9), ellei patsaiden Sähkö-motorinen voima lisäännä eikä vähene siitä, että molempien virta pakotetaan yhdessä valitsemaan saman Multiplikaattorin M lanka tai juoksemaan sen kautta.

Useiden kokeiden erotessa toisistaan vain vähän esitämme vain niiden keskiarvoja, mutta koska tarve asian selvittämiseksi vaatii esittämään aluksi joitakin seikkoja esimerkin vuoksi perusteellisemmin, eikä tämä oletettavasti liene outoakaan, jotta kukin voi itse arvioida periaatteita, joita olemme kokeissamme seuranneet. Tätä tarkoittaen olemme valinneet seuraavat kokeet

9) Poislukien vaihtelun, joka voi saada alkunsa patsaan Sähkö-motorisen voiman kasvamisesta tai vähenemisestä havaintojen välillä kuluneena ajanjaksona.

T A B U L A III.

	Multiplicator <i>M</i>	Multiplic. <i>M</i>	Multipl. <i>M'</i>
α) Pilæ 1 et 2 conj.	34°	30°45'	14°
Pila 2:da sola	25°30'		17°
Pila 1:ma sola	27°45'	34°15'	
Pilæ 1 et 2 conj.	36°	31°45'	16°45'
Pila 2:da sola	26°		18°15'
Pila 1:ma sola	28°40'	36°	
Pilæ 1 et 2 conj.	37°40'	34°	17°
Pila 2:da sola	26°20'		18°
Pila 1:ma sola	29°30'	37°	
Pilæ 1 et 2 conj.	38°15'	35°	17°
Pila 2:da sola	26°45'		18°15'
Pilæ 1 et 2 conj.	38°20'	35°	17°
Pila 1:ma sola	29°30'	37°	
Pila 2:da sola	27°45'		19°
Pilæ 1 et 2 conj.	38°45'	35°	18°15'
Pila 2:da sola	27°45'		19°
Pilæ 1 et 2 conj.	<u>38°45'</u>	<u>35°</u>	18°15'
β) Pilæ 1 et 2 conj.	27°	20°	12°15'
Pila 1:ma sola	19°	22°	
Pila 2:da sola	19°		13°
Pilæ 1 et 2 conj.	26°45'	20°30'	11°15'

T A U L U K K O III.

		Multiplikaattori. <i>M</i>	Multipl. <i>M'</i>	Multipl. <i>M''</i>
α)	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	34°	30°45'	14°
	Patsas 2 yksinään	25°30'		17°
	Patsas 1 yksinään	27°45'	34°15'	
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	36°	31°45'	16°45'
	Patsas 2 yksinään	26°		18°15'
	Patsas 1 yksinään	28°40'	36°	
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	37°40'	34°	17°
	Patsas 2 yksinään	26°20'		18°
	Patsas 1 yksinään	29°30'	37°	
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	38°15'	35°	17°
	Patsas 2 yksinään	26°45'		18°15'
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	38°20'	35°	17°
	Patsas 1 yksinään	29°30'	37°	
	Patsas 2 yksinään	27°45'		19°
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	38°45'	35°	18°15'
	Patsas 2 yksinään	27°45'		19°
Patsaat 1 ja 2 yhdessä	38°45'	35°	18°15'	
β)	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	27°	20°	12°15'
	Patsas 1 yksinään	19°	22°	
	Patsas 2 yksinään	19°		13°
	Patsaat 1 ja 2 yhdessä	26°45'	20°30'	11°15'

Veri species seu medium Experimentorum allatorum nobis contineri videtur iis, quæ tabulæ sequenti sub N:s 4 et 6 inserta obveniunt.

T A B U L A IV.

		Mult. M	Mult. M'	Mult. M''
N:0 1	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	46°15'	6°	35°
	Pila 1:ma sola	6°30'	7°40'	
	Pila 2:da sola	45°40'		35°7'30"
N:0 2	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	45°	42°	26°
	Pila 1:ma sola	33°40'	44°	
	Pila 2:da sola	33°40'		27°
N:0 3	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	41°35'	32°45'	26°10'
	Pila 1:ma sola	27°40'	36°	
	Pila 2:da sola	34°20'		28°
N:0 4	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	38°45'	35°	18°15'
	Pila 1:ma sola	29°30'	37°	
	Pila 2:da sola	27°45'		19°
N:0 5	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	31°	24°20'	17°45'
	Pila 1:ma sola	19°45'	25°45'	
	Pila 2:da sola	23°		19°30'
N:0 6	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	26°52'30"	20°15'	11°45'
	Pila 1:ma sola	19°	22°	
	Pila 2:da sola	19°		13°
N:0 7	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	26°	27°	8°
	Pila 1:ma sola	22°	27°30'	
	Pila 2:da sola	13°		10°

Todellisten arvojen tai esitettyjen Kokeiden keskiarvojen osalta havaitaan meidän rajoittuvan niihin, jotka ilmenevät seuraavan taulukon N:ojen 4 ja 6 kohdalle sijoitettuina.

T A U L U K K O IV.

			Mult. M	Mult. M'	Mult. M''
No 1	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		46°15'	6°	35°
	Patsas 1	yksinään	6°30'	7°40'	
	Patsas 2	yksinään	45°40'		35°7'30"
No 2	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		45°	42°	26°
	Patsas 1	yksinään	33°40'	44°	
	Patsas 2	yksinään	33°40'		27°
No 3	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		41°35'	32° 45'	26°10'
	Patsas 1	yksinään	27°40'	36°	
	Patsas 2	yksinään	34°20'		28°
No 4	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		38°45'	35°	18°15'
	Patsas 1	yksinään	29°30'	37°	
	Patsas 2	yksinään	27°45'		19°
No 5	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		31°	24°20'	17°45'
	Patsas 1	yksinään	19°45'	25°45'	
	Patsas 2	yksinään	23°		19°30'
No 6	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		26°52'30"	20°15'	11°45'
	Patsas 1	yksinään	19°	22°	
	Patsas 2	yksinään	19°		13°
No 7	Patsaat 1 ja 2 yhdessä		26°	27°	8°
	Patsas 1	yksinään	22°	27°30'	
	Patsas 2	yksinään	13°		10°

		Multipl. M	Multipl. M'	Multipl. M''
N:0 8	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$23^{\circ}15'30''$	25°	$4^{\circ}45'$
	Pila 1:ma sola	20°	$25^{\circ}15'$	
	Pila 2:da sola	$7^{\circ}15'$		$5^{\circ}45'$
N:0 9	Pilæ 1:ma 2:da et conj.	$23^{\circ}7'30''$	$24^{\circ}52'30''$	$4^{\circ}30'$
	Pila 1:ma sola	20°	$25^{\circ}15'$	
	Pila 2:da sola	$6^{\circ}45'$		$5^{\circ}30'$
N:0 10	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$21^{\circ}40'$	$21^{\circ}30'$	$4^{\circ}30'$
	Pila 1:ma sola	$17^{\circ}30'$	$22^{\circ}15'$	
	Pila 2:da sola	$6^{\circ}52'30''$		$5^{\circ}30'$
N:0 11	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$20^{\circ}25'$	$17^{\circ}30'$	$5^{\circ}45'$
	Pila 1:ma sola	$16^{\circ}45'$	18°	
	Pila 2:da sola	8°		$6^{\circ}30'$
N:0 12	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	20°	17°	$5^{\circ}15'$
	Pila 1:ma sola	$16^{\circ}20'$	$17^{\circ}30'$	
	Pila 2:da sola	7°		$5^{\circ}45'$
N:0 13	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$13^{\circ}45'$	$10^{\circ}-x'$	$3^{\circ}30'$
	Pila 1:ma sola	10°	$10^{\circ}+x'$	
	Pila 2:da sola	$4^{\circ}-x'$		$3^{\circ}30'+x'$
N:0 14	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$12^{\circ}45'$		
	Pila 1:ma sola	$9^{\circ}45'$		
	Pila 2:da sola	$3^{\circ}15'$		
N:0 15	Pilæ 1:ma et 2:da conj.	$5^{\circ}45'$		
	Pila 1:ma sola	4°		
	Pila 2:da sola	$1^{\circ}45'$		

			Mult. M	Mult. M'	Mult. M''
No 8	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	23°15'30''	25°	4°45'
	Patsas 1	yksinään	20°	25°15'	
	Patsas 2	yksinään	7°15'		5°45'
No 9	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	23°7'30''	24°52'30''	4°30'
	Patsas 1	yksinään	20°	25°15'	
	Patsas 2	yksinään	6°45'		5°30'
No 10	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	21°40'	21°30'	4°30'
	Patsas 1	yksinään	17°30'	22°15'	
	Patsas 2	yksinään	6°52'30''		5°30'
No 11	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	20°25'	17°30'	5°45'
	Patsas 1	yksinään	16°45'	18°	
	Patsas 2	yksinään	8°		6°30'
No 12	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	20°	17°	5°15'
	Patsas 1	yksinään	16°20'	17°30'	
	Patsas 2	yksinään	7°		5°45'
No 13	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	13°45'	10°-x'	3°30''
	Patsas 1	yksinään	10°	10°+x'	
	Patsas 2	yksinään	4°-x'		3°30+x'
No 14	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	12°45'		
	Patsas 1	yksinään	9°45'		
	Patsas 2	yksinään	3°15'		
No 15	Patsaat 1 ja 2	yhdessä	5°45'		
	Patsas 1	yksinään	4°		
	Patsas 2	yksinään	1°45'		

Ex his primo jam intuitu manifestum est, declinationem Multiplicatorum M' et M'' pilis conjunctis decrevisse. Quæ quidem declinatio non sensim dilabitur, sed uno eodemque momento quo primum altera pila vim in Multiplicatorem M exseruerit, Multiplicatoris M' acus lineam Meridianam Magneticam versus acriter retorquetur et demum post oscillationes plures paucioresve 10) in statu comminutæ, ut Experimenta demonstrant, deviationis subsistit. E contrario, sublatis (vid. Fig. 1) $C'D$ et $F'E$ pari ratione atque æque vehementer ad pristinum statum revertitur. Quod an ab aliis jam antea fuerit observatum, ignorantes, quo exploratam nobis ipsis experimenti veritatem haberemus, sexcenties rem experti sumus. Nam hoc nullius sane est difficultatis, quæ tum demum obvenit, quando definiendum nobis sit, quantum pilis conjunctis declinatio decreverit, et omnis exinde oritur, quod pilarum vires Electro-Magneticæ, variis e causis, ab experimento instituto non pendentibus, variationem quandam, intervallo temporis inter observationes præterlapso passæ fuerint.

Prætereundum forte non est, nos, quo experimenta succederent, et ad certitudinem exoptatam perveniremus, distantiam inter Multiplicatores M , M' et M'' semper augendam curasse, donec Conductorem Multiplicatoris M ne minimum quidem in experimentis instituendis acus

10) Si aliquanto vehementior fuit vis pilarum, ita ut verbi causa, utraque seorsim seu sola in Multiplicatorem agens 40° circa graduum declinationem efficeret, sublata per vices et restituta inter C et D' communicatione, oscillationes acus Multiplicatoris M' , cujuslibet magnitudinis, provocare potuimus.

Näistä ilmenee jo ensi silmäyksellä, että yhdistettäessä patsaat Multiplikaattorien M' ja M'' poikkeutus on pienentynyt. Tämä poikkeutus ei kuitenkaan heikkene vähitellen, vaan yhdellä ja samalla hetkellä, jolla ensiksi toinen patsas nostaa Multiplikaattoriin M kohdistuvan voiman, Multiplikaattorin M' neula kiertyy rajusti takaisin Magneettista Meridiaaniviivaa kohti ja sitten, useiden tai vähälukuisten heilahdusten jälkeen 10) pysähtyy, kuten Kokeet osoittavat, pienentyneeseen poikkeama-arvoon. Tätä vastoin, kun $C'D$ ja $F'E$ on irrotettu (kts. Kuva 1), se samaan tapaan ja yhtä kiivaasti palaa entiseen tilaan. Tietämättä sitä, olivatko muut jo aikaisemmin havainneet tämän, minkä katsoisimme itse kokeellisesti esillesaamaksemme totuudeksi, toistimme tämän kokeen kuusisataa kertaa. Tämä on nimittäin vähemmän olennainen seikka kuin se vaikeus, joka silloin tuli lopulta esille, kun meidän oli määritettävä, *kuinka paljon* poikkeama väheni kytkettäessä patsaat yhteen, ja joka kaikki johtui siitä, että patsaiden Sähkö-Magneettiset voimat olivat havaintojen välillä kuluneena aikana jonkin vaihtelun alaisia erilaisista, järjestetystä kokeesta riippumattomista syistä.

Ei ehkä pidä sivuuttaa sitä, että me olemme, jotta kokeet onnistuisivat ja saavuttaisimme toivotun varmuuden, aina huolehtineet etäisyyden lisäämisestä Multiplikaattorien M , M' ja M'' välillä, kunnes olemme todenneet, ettei Multiplikaattorin M Johdin toteutettavissa kokeissa

10) Jos patsaiden voima oli huomattavasti suurempi siten, että kun esimerkiksi kumpikin syöttäessään erikseen tai yksinään Multiplikaattoria aiheutti noin 40 asteen poikkeaman, kykenimme, poistamalla ja palauttamalla vuorotellen yhteyden $C:n$ ja $D:n$ välillä, aikaansaamaan laajuudeltaan mielivaltaisia Multiplikaattorin M' neulan heilahteluja.

Magneticas Multiplicatorum M' et M'' sollicitare et statum eorum turbare posse cognoverimus 11). Comparavimus igitur nobis pilam, cujus vis Electro-Magnetica aliquanto erat major ac pilarum conjunctim agentium, quibus in experimentis instituendis uti statueramus, vim fore conjecimus; quo facto, fluidum ejus (vid. Fig 3). sublatis Conductoribus CD' et EF' , Multiplicatores M' et M'' percurrere fecimus, posteaque Multiplicatorem M'' eo usque removimus, quo acus ejus immota maneret, communicatione quamvis inter C et D' pluries, intervallis servatis, abrupta et iterum restituta. Pari dein ratione, remotis Conductoribus CD et EF , et filis cupreis vel orichalceis majoris longitudinis iterum vasa C et D' , E et F' jungentibus, rem ita adornavimus, ut pila illa in Multiplicatores M et M'' , intervallo inter se commemorato distantes, ageret et dein inter illos et Multiplicatorem M' , hunc amovendo, spatium satis superque extendimus.

Alterum nec minoris momenti, quod est observandum, eo oritur, quod Conductores Multiplicatorum, fluido Electro Magnetico illos diutius percurrente, muniantur Magnetismo *immanente*, qui haud ita cito evanescit. Serie igitur experimentorum abrupta, sæpius quiescendum et donec acus Magnetica ad lineam Meridianam reverterit. 12).

11) Longe lateque enim extenditur spatium, quo Multiplicator acum haud ita exigue declinare potest.

12) Ad institutum allata sufficiunt, in continuatione vero opusculi reperiet Lector, quæ experti sumus comparantes varios Multiplicatores inter se, quos idem fluidum Electricum eadem fere vi Electro-Magnetica permeabat et quæ de ratione, qua quisque eorum citius vel serius, majorem minoremve Magnetismum, ad tempus saltem, immanentem sibi acquirebat, pro virili parte censuimus.

voi lainkaan häiritä Multiplikaattorien M' ja M'' Magneettineuloja eikä järkyttää edellisten tilaa 11). Olemme sentähden hankkineet itsellemme patsaan, jonka Sähkö-Magneettinen voima oli jonkin verran suurempi kuin minkä yhdessä toimivien patsaiden voiman päättelimme olevan kaavailujemme mukaisesti järjestettävissä kokeissa. Tämän jälkeen olemme, poistaen Johtimet CD' ja EF' , saattaneet sen virran kulkemaan Multiplikaattorien M' ja M kautta ja sen jälkeen siirtäneet Multiplikaattoria M'' , kunnes sen neula pysyy liikkumatta, kun $C:n$ ja $D':n$ välinen yhteys katkaistaan ja jälleen palautetaan miten monin, valvotuin aikavälein tahansa. Sitten, yhtäläistä periaatetta noudattaen, Johtimet CD ja EF irrottaen ja astiat C ja D' , E ja F' pitkähköillä kupari- tai messinkilangoilla uudelleen yhdistäen järjestimme piirin siten, että tuo patsas vaikuttaisi muistiin merkityin aikavälein kaukaisiin Multiplikaattoreihin M ja M'' ja sitten niiden ja Multiplikaattorin M' välillä; tämän poistamalla laajensimme tilaa yllin kyllin.

Toinen eikä vähemmän tärkeä seikka, joka on otettava huomioon, johtuu siitä, että Sähkö-Magneettinen virta, joka kulkee pitempäänkin Multiplikaattorien Johtimien kautta, varustaa nämä *pysyvällä* Magneettisuudella, joka siten ei häviä nopeasti. Jos koesarja sitten keskeytetään, seuraa useimmiten rauhoittuminen, aina kunnes Magneettineula palaa Meridiaanilinjalle 12).

11) Kauas ja laajalle ulottuu nimittäin tila, jossa Multiplikaattori pystyy tuskin lainkaan poikkeuttamaan neulaa. (Huom.: Nervanderin "acum" / "neula" tarkoittaa tässä selvästikin toisen multiplikaattorin neulaa tai muuta, ulkopuolista magneettineulaa.)

12) Esitetyt seikat riittävät ohjeeksi, mutta kirjasen jatko-osasta Lukija havaitsee, mitä kokeita olemme tehneet verratessamme keskenään eri Multiplikaattoreita, joiden kautta kulki sama Sähkö-virta miltei samalla Sähkö-Magneettisella voimalla, ja mitä olemme voimaa koskevalta osalta päätelleet periaatteesta, jolla kukin niistä ennemmin tai myöhemmin omaksui ainakin joksikin ajaksi suuremman tai pienemmän Magneettisuuden.

Quod ad experimenta tria ultima attinet, semper quidem observavimus, declinationes Multiplicatorum M et M' , pilis conjunctim in Multiplicatorem agentibus, decrevisse, anguli vero quibus diminuebantur nominatæ jam declinationes, minores fuere, quam ut illos numeris, quadam saltem fide, exprimere potuissemus, quare omnem hac in re periclitationem omittere satius duximus. Atqui pro certo affirmare possumus, declinationes has in causa commemorata *semper decrevisse*, si vel deviatio effecta communi vi Electro Magnetica pilarum conjunctarum, Multiplicatoris M gradum 2:dum immo 1:mum non excederet, quod, conjunctione inter C et D' , (si observationes in Multiplicatore M fierent), aliquoties, more sæpius commemorato sublata et denuo restituta, manifesto apparuit.

Declinationes Multiplicatorum M et M' , pilis Conductorem communem percurentibus, decrescunt, si vel Conductor ille non sit majoris longitudinis seu in Multiplicatorem formatus. Quamvis enim (vid Fig. 1.) sublato Multiplicatore DME , fluidum Electricum e vase D ad vas E manaret per Conductorem, e filo orichalceo, 10 poll. dec. longitudine, eadem vero crassitudine ac Multiplicator DME constantem; attamen, pilæ primæ fluido filum hoc percurrente, quoties pilæ quoque secundæ illud permeare fecimus, toties manifesto decrevit Multiplicatoris M declinatio, et iterum, remoto Conductore EF ad pristinum statum revenit. Angulus quidem, rebus sic se habentibus, quo diminuebatur declinatio illa, multo minor fuit, quam si, ceteris paribus, Multiplicator M vasa D et E conjunxisset, sed diminutionem tamen hanc adhuc observare potuimus, quando declinationes a Multiplicatoribus M et M' indicatæ angulum 4:tum vel 3:um non excedebant.

Kolmen viimeisen kokeen osalta huomasimme kuitenkin aina, että Multiplikaattorien M' ja M'' poikkeamat olivat pienentyneet patsaiden syöttäessä Multiplikaattoria yhdessä, mutta että kulmat, joiden verran edellä mainitut poikkeamat pienenevät, olivat pienempiä kuin mitä olisimme voineet, ainakaan mitenkään luotettavasti, ilmaista numeroilla, joten pidimme parempana luopua näissä kohdin kaikesta arvionvaraisuudesta. Voimme kuitenkin vakuuttaa varmana tietona, että nämä poikkeamat mainitussa tapauksessa *aina pienenevät*, jos pelkkä yhdistettyjen patsaiden yhteisen, Sähkö-Magneettisen voiman tuottama ero ei ylittänyt Multiplikaattorin M 2. eikä edes 1. astetta, mikä ilmeni selvästi kytkettäessä yhteen C ja D' , (jos havainnot koskivat Multiplikaattoria M'), ja toistamiseen, erotettaessa ja yhdistettäessä ne jälleen useasti mainitulla tavalla.

Multiplikaattorien M' ja M'' poikkeamat pienenevät patsaiden syöttäessä yhteistä Johdinta, ellei em. Johdin ole kovin pitkä tai muotoiltu Multiplikaattoria varten. Sillä olisipa Multiplikaattori DME irrotettu miten tahansa (kts. Kuva 1), Sähkövirta juoksisi astiasta D astiaan E reittinään messinkilangasta tehty Johdin, jonka pituus on 10 peukalomittaa mutta paksuus sama kuin sinänsä muuttumattoman Multiplikaattorin DME . Silti kuitenkin, ensimmäisen patsaan virran juostessa tämän langan kautta, niin usein kuin panimme toisenkin patsaan virran kulkemaan sen kautta, joka kerralla Multiplikaattorin M' poikkeama väheni selvästi ja palasi jälleen entiseen tilaansa, kun Johdin EF' poistettiin. Tässä tilanteessa kuitenkin kulma, jonka verran tuo poikkeama pieneni, oli paljon pienempi kuin jos Multiplikaattori M olisi, muiden tekijöiden pysyessä ennallaan, yhdistänyt astiat D ja E . Tämän pienenemisen kykenimme kuitenkin vielä havaitsemaan, silloin kun Multiplikaattorien M' ja M'' ilmaisemat poikkeamat eivät ylittäneet 4. tai 3. kulmaa.

Generalis igitur manet regula, vim Electro-Magneticam pilarum eo momento decrescere, quo fluidum earum per eundem Conductorem viam communiter inflectere cogatur, et id eo magis, quo major earum singularum per se jam sit vis acum declinandi 13).

Defectu plurium Multiplicatorum, veritatem Regulæ hujus, tribus vel pluribus pilis eundem Multiplicatorem percurrentibus, sequenti tantum modo demonstrare potuimus. Quando (vid. Fig. 1.) fluido duarum pilarum, modo supra commemorato, Multiplicatorem permeante, pilæ adhuc tertiæ fluidum eandem viam tenere coëgerimus, Multiplicatores M' et M'' utrique declinationem comminutam indicabant 14)

13) Quæ non ita sumenda sunt, ac si pila prima sola declinationem efficiente v. gr. 40 graduum, 2da vero 4°, illa, ambabus conjunctis, majorem pateretur diminutionem virium suarum Electro-Magneticarum, quam in Experimento alio pila, qua sola agente oritur declinatio 35°, patiatur, quando 2da, ad idem experimentum pertinens, pila, declinationem ex causa 30° efficiens, una cum illa Multiplicatorem percurrat. Sensus est, vim Electro-Magneticam pilæ quæ acum ad 40° declinat, magis diminui, quam ejus, quæ, declinationem tantum 35° indicat; si nempe illam primum una cum pila declinationem 4° efficienti, Multiplicatorem M dercurrere cogatur, et dein alteram earum conjunctim cum eadem hac pila, quæ acum ad 4° declinat, per eundem Multiplicatorem M manare fecerimus.

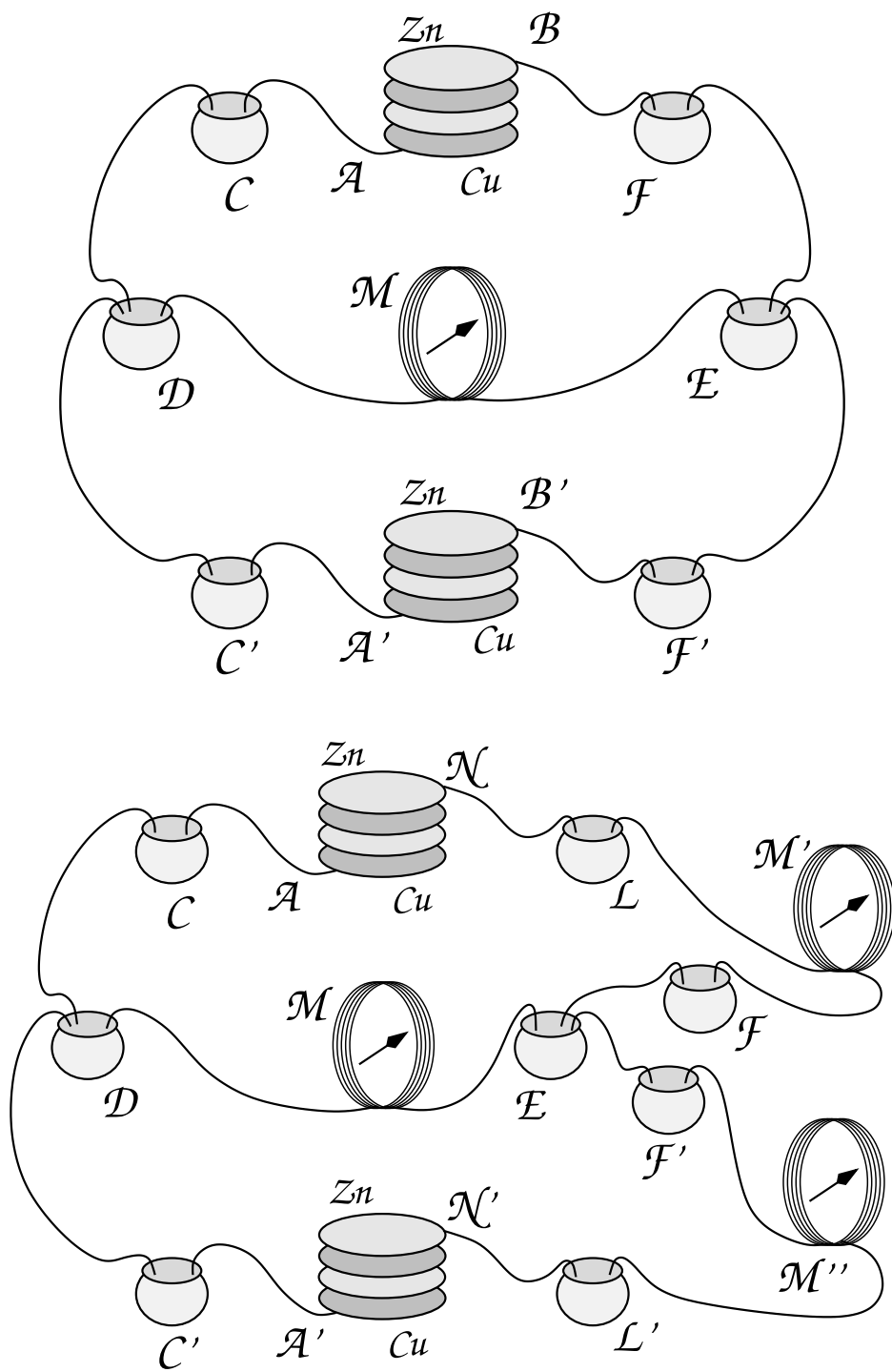
14) Hæc ulterius prosequendi consilium distulimus usque dum instrumenta plura nobis comparaverimus.

Yleiseksi jää siis sääntö, joka lausuu patsaiden Sähkö-Magneettisen voiman vähentyvän sillä hetkellä, jolla niiden virta pakotetaan suuntaamaan yhteisen reittinsä saman Johtimen kautta kulkevaksi, ja vähentyvän sitä enemmän, mitä suurempi niiden kunkin neulaa poikkeuttava voima itsenäisenä olisi 13).

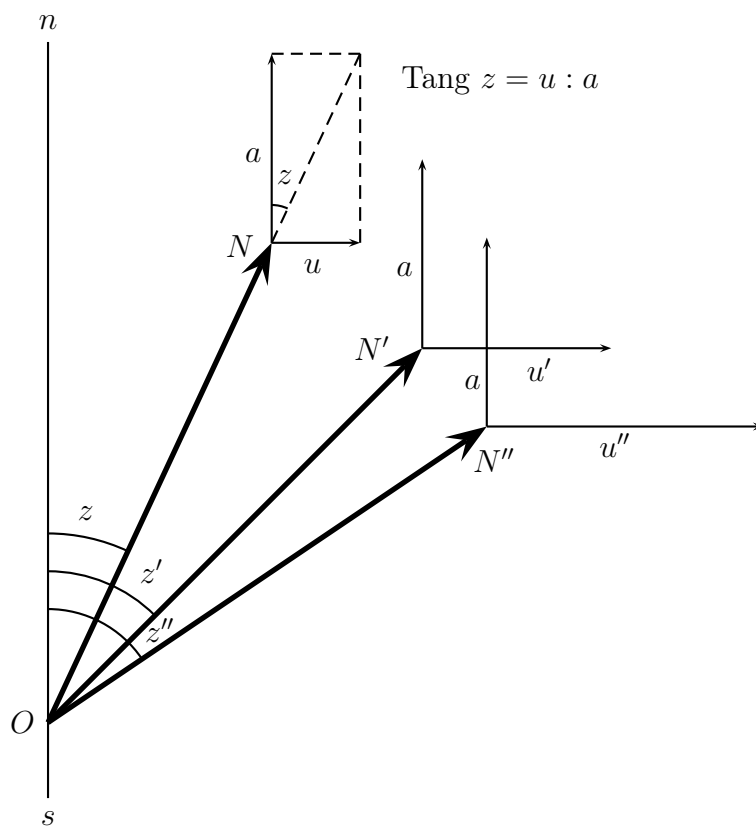
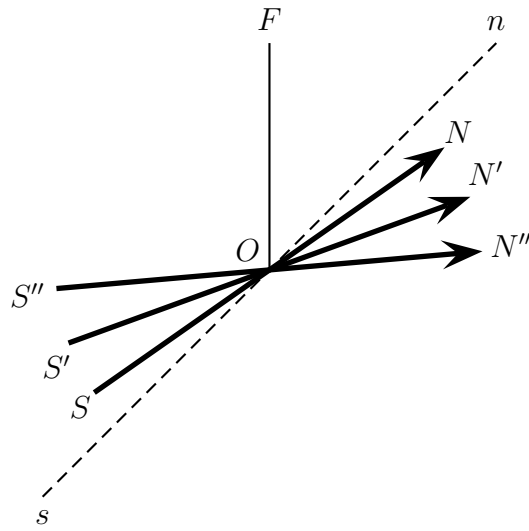
Useampien Multiplikaattorien puuttuessa olemme voineet osoittaa tämän Säännön todenmukaisuuden vain seuraavalla tavalla, kolmea tai useampaa, samaa Multiplikaattoria syöttävää patsasta käyttäen. Kun (kts. Kuva 1) kahden patsaan edellä esitetyllä tavalla tuottama virta kulki Multiplikaattorin kautta ja pakotimme tähän kolmannen patsaan virran kulkemaan samaa reittiä, kummatkin Multiplikaattorit M' ja M'' osoittivat poikkeaman pienentyneen 14).

13) Tätä ei pidä käsittää siten, että jos 1. patsas yksinään tuottaa esim. 40 asteen ja 2. patsas 4 asteen poikkeaman, niiden yhdistämisen jälkeen edellinen kärsisi Sähkö-Magneettisten voimiensa suuremman heikkenemisen kuin kokeessa jollakin muulla patsaalla, jonka syöttäessä yksinään poikkeama nousee 35°:een, ja jolloin toinen, samaan kokeeseen kuuluva ja esim. 30°:n poikkeaman tuottava patsas tulee syöttämään Multiplikaattoria yhdessä edellisen kanssa. Tuntuu siltä, että neulan 40°:n poikkeuttavan, Sähkö- Magneettisen patsaan voima heikkenee enemmän kuin sen, joka osoittaa vain 35°:n poikkeaman; jos todella pakotetaan tuo ensimmäinen yhdessä 4°:n poikkeaman tuottavan patsaan kanssa syöttämään Multiplikaattoria M , ja sitten toisen niistä yhdistettynä tähän samaan patsaaseen, joka poikkeuttaa neulaa 4°, saattaisimme virtaamaan saman Multiplikaattorin M kautta.

14) Tämän lopullisemmin osoitettavan päätelmän olemme lykanneet, kunnes olemme hankkineet lisää instrumentteja.



Kuva 1:



Kuva 2: