

Sähkökemian historian alkuvaiheita

Helsingin yliopisto

Matemaattis-luonnontieteellinen
tiedekunta

Kemian laitos

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kandidaatintutkielma

Tekijä: Minna-Liisa Rantaniemi

Pvm. 12.11.2008

Ohjaajat:

Markku Sundberg

Maija Aksela

Sisällys

1. Johdanto	1
2. Sähkön tutkimuksen vaiheita	4
2.1 Bagdadin paristo.....	4
2.2 Sähkön tutkimuksen vaiheita 1600-1700 -luvuilla	4
2.2.1 Yleistä	4
2.2.2 Sähköä kitkan avulla	5
2.2.3 Ensimmäiset systemaattiset tutkimukset sähköllä	6
2.2.3 Ensimmäinen sähkögeneraattori	7
2.2.5 Valoa hankaussähkön avulla.....	8
2.2.6 Käsitteet johde ja eriste	9
2.2.7 Kahdenlaista sähköä.....	10
2.2.8 Leidenin pullo - ensimmäinen kondensaattori	12
2.2.9 Positiivinen ja negatiivinen sähkö.....	14
3. Pariston keksimisen historia.....	16
3.2 Luigi Galvani – eläinsähkön tutkija	16
3.2.1 Eläinsähkö	16
3.3 Alessandro Volta - pariston keksijä	20
3.3.1 Henkilöhistoriaa	20
3.3.2 Saavutuksia ennen Voltan pylvästä.....	20
3.3.3 Voltan kritiikki Galvanin kokeisiin.....	21
3.3.4 Voltan pylväs	22
3.3.5 Metallien välisen jännitteen vertailu: sähkökemiallisen jännitesarjan synty	25
3.3.6 Galvanin ja Voltan välisestä väittelystä:	27
4. Sähkökemian tutkimuksen alkuvaiheita.....	28
4.1 Pariston keksimisen vaikutus kemian tutkimukseen 1800-luvun alussa.....	28
4.2 Pariston kehityksestä	28
4.3 Veden elektrolyysi	29
4.4 Uusia alkuaineita elektrolyysi avulla	30
4.5 Elektrolyysilait	32
5. Johtopäätökset ja pohdinta	33
6. Lähteet:.....	35

1. Johdanto

Työssäni yläkoulun kemian opettajana olen useasti törmännyt oppilaitten esittämään kysymykseen ”kuka tämänkin on keksinyt?”. Vastaus moniin tällaisiin kysymyksiin löytyy kemian historiasta, joskus hämmästyttävän kaukaa sieltä.

Tämän työn alkuperäisenä tarkoituksena oli lähteä etsimään sähkökemiallisen jännitesarjan syntyhistoriaa. Varsin pian kävi kuitenkin selväksi, että sähkökemian historiassa pääosaan nousee sähkökemiallisen parin keksiminen, ja sähkökemiallinen jännitesarja tulee tästä päätapauksesta ikään kuin sivutuotteena.

Ennen Voltan pylvääseen, ensimmäiseen paristoon tutustumista, on kuitenkin syytä tutustua pariston keksimistä edeltävään sähkön historiaan. Olihan sähköä tutkittu jo 200 vuotta ennen pariston keksimistä, ja erilaiset sähköiset ilmiöt olivat askarruttanut ihmismieltä tuhansia vuosia. Kappaleessa kaksi on täten käyty läpi sähkön tutkimuksen tärkeimmät vaiheet 1600-1700 –luvulla. Tämä vaihe sähkön historiaa on yhteinen sähköfysiikan kanssa ja monet tuon ajan tutkijat olivatkin sekä fysiikan, että kemian tutkijoita. Aivan aluksi kerrotaan kurioositeetin vuoksi arkeologisesta löydöstä nimeltä Bagdadin paristo.

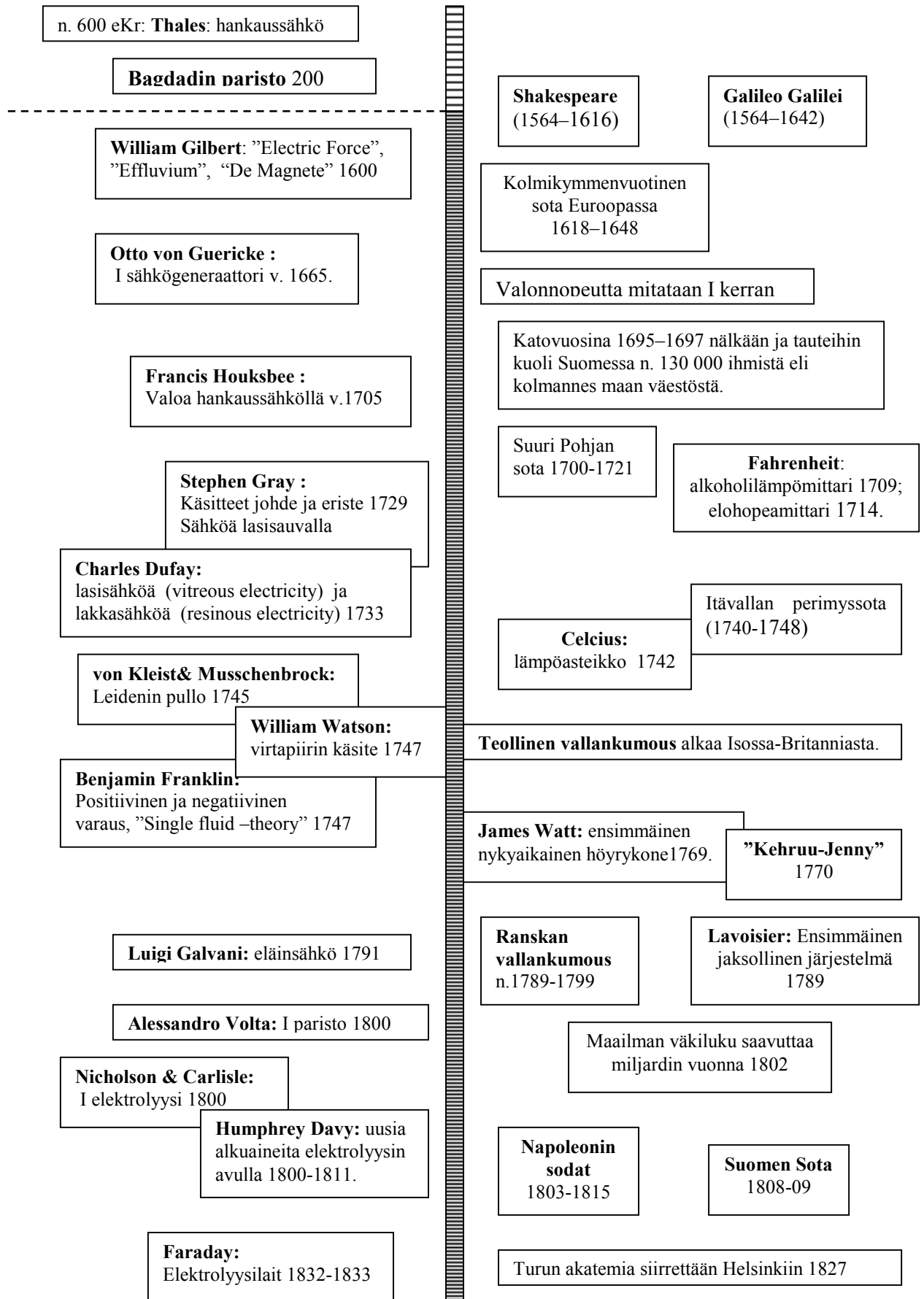
Kolmannessa luvussa keskitytään pariston syntyhistoriaan. Päähenkilöiksi tässä luvussa nousevat Luigi Galvani ja Alessandro Volta, joiden kohdalla olen halunnut tuoda esille myös hieman heidän henkilöhistoriaansa. Luigi Galvanin sähköllä tekemät perustavaa laatua olevat tutkimukset ja teoria eläinsähköstä saivat aikaan tuottoisan väittelyn Galvanin ja Voltan välillä, joka johti lopulta siihen, että Volta rakensi ensimmäisen sähkökemiallisen parin, Voltan pylvään, pariston.

Kappaleessa kolme kerrotaan myös sähkökemiallisen jännitesarjan synty, siltä osin kuin Volta laittoi näitä metalleja järjestykseen.

Fysiikan puolella pariston keksiminen tiesi myös huimaa kehitystä ja valtavan määrän uusia keksintöjä sähkömagnetismissa ja sähköfysiikan teorioissa. Tämä työn yhteydessä kuitenkin keskitytään vain siihen, mikä vaikutus pariston keksimisellä oli kemian tutkimukselle 1800-luvun ensimmäisellä neljänneksellä.

Voltan tutkimusten julkaiseminen aiheutti lähes välittömästi valtavan tutkimusten ryöpyn, joka johti paitsi uusien parempien paristojen syntyyn, myös ensimmäisiin sähkökemiallisiin tutkimuksiin. Voltan pylväs avasi tien elektrolyysille, yhdisteiden hajottamiselle ja sitä kautta uusien alkuaineiden löytymiselle. Neljännessä luvussa esitellään näitä keksintöjä. Pariston kehittäminen 1800-luvun alkuvuosikymmeninä oli kiivasta, minkä takia siitä voidaan tämän työn puitteissa käsitellä vain alkuaskeleet.

Seuraavalla sivulla olevassa aikajanassa on kuvattu tässä työssä esiintyvä sähkön ja sähkökemian historia suhteessa Suomen ja maailman tapahtumiin.

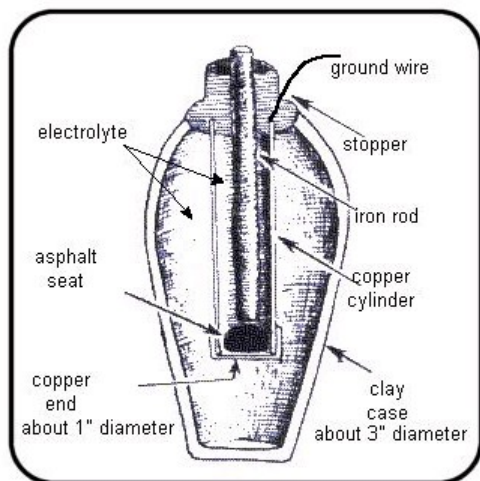


Aikajana työssä esiintyvistä sähkön ja sähkökemian historiasta suhteessa Suomen ja maailman tapahtumiin.

2. Sähkön tutkimuksen vaiheita

2.1 Bagdadin paristo

Vuonna 1936 löytyi rakennustyömaalta Khujut Rabun kylästä läheltä Bagdadia muinainen hauta, joka on ajoitettu noin vuoteen 200 eKr. Haudasta löytyi lukuisia saviastioita. Astiat oli tukittu asfaltilla, jonka läpi oli asennettu rautasauva. Astian sisällä rautasydäntä ympäröi kuparilevystä taivutettu putki. Saksalainen arkeologi Wilhelm König tiettävästi löysi nämä saviastiat Irakin kansallismuseon varastosta ja tutkittuaan niitä raportoi niistä vuonna 1940. Königin mielestä kyseessä saattoi olla muinainen paristo, jota olisi käytetty mahdollisesti kultauksen tekemiseen elektrolyysin avulla. König löysi myös yli 4000 vuotta vanhoja sumerilaisia kuparivaaseja, jotka oli päällystetty hopeakerroksella. Näin vanhoja paristoja tai niiden jäänteitä ei tiedetä löydetyn.^{1,2}



Kuva 1. Periaatekuva ns. Bagdadin paristosta.¹

2.2 Sähkön tutkimuksen vaiheita 1600-1700 -luvuilla

2.2.1 Yleistä

Jo aivan 1600-luvun alussa toivat muiden muassa Gilbert englannissa ja Galileo italiassa kokeellisen lähestymistavan luonnontieteiden tutkimukseen. Tietämys Gilbertin tavasta tehdä tutkimuksia levisi ”De Magnete” -teoksen välityksellä (julkaistu 1600), jossa oli huolellisesti selostettu hänen tutkimuksensa magnetismin ja sähkön parissa. Alkemia, mystiikka ja filosofisilla mielipiteillä spekulointi alkoivat vähitellen väistyä.³

1700-lukua kuvataan aikakautena, jolloin luonnontieteissä ei tapahtunut sen suurempia edistysaskelia, mutta tiede eteni laajalla alalla usein pienin askelin. 1700-luku oli aikaa, jolloin Newtonismi omaksuttiin ja sitä sovellettiin. Newtonismin mukaan maailma ilmiöineen on ymmärrettävissä ja selitettävissä yksinkertaisten fysiikan lakien avulla.⁴

1700-luvulla vallinneelle filosofiselle ajattelusuunnalle, valistukselle, oli tyypillistä järjen voitto taikauskosta.⁵ Haluttiin määrittää luonnossa vaikuttava lait ja valjastaa ne tekniikan avulla palvelemaan ihmistä.⁶

Merkittävä tekijä valistuksen ajan aatteiden kukoistukselle luonnontieteissä oli Newtonin (1642-1727) fysiikan alalla tekemä työ, jonka antaman mallin mukaan pyrittiin selittämään ympäröivää maailmaa. Toinen merkittävä tekijä oli teollinen vallankumous, joka alkoi ensin Brittein saarilla 1740-1780 ja levisi sieltä sitten ympäri Eurooppaa. Teollinen vallankumous antoi vauhtia luonnontieteen tutkimukselle. Se lisäsi mielenkiintoa ja tuotti uusia käyttökelpoisia työkaluja tutkijoiden käyttöön. Erityisesti kemiassa kävi näin. (Esim. luotettava lämmönlähde, lämpötilan mittaaminen: Fahrenheit keksi alkoholilämpömittarin v.1709 ja elohopeamittarin v.1714. Celsius 1742 lämpöasteikko) Vuodesta 1740 alkaen oli kehitys kemian alueella nopeaa.⁷

2.2.2 Sähköä kitkan avulla

Meripihkan avulla saatu hankaussähkö oli tuttu jo muinaisista ajoista. Tiedettiin, että meripihkalla ja magneetilla oli kyky tartuttaa ominaisuutensa, joita pidettiin maagisina, toiseen kappaleeseen kosketuksen välityksellä.⁸

Antiikin kreikan filosofi Thales (624-547 eKr.) tulkitsi, että meripihkalla on sielu, koska se pystyy vetämän puoleensa elottomia esineitä. Tieto Thaleen tutkimuksista välittyi Aristoteleen (384-322 eKr.) kirjoitusten välityksellä 1500-luvulle.⁹

Roomalainen sotapäällikkö Gaius Plinius Secundus eli Plinius vanhempi (23-79 jKr.) kokosi luonnontieteiden ensyklopedian, Historia Naturalis. Siinä kerrotaan Lindellin mukaan, että ”meripihka vetää olkia, kuivia lehtiä ja lehmuksenkuorta puoleensa, kuten magneetti vetää rautaa”. Lisäksi tiedettiin, että turmaliini ja rubiini omaavat saman

puoleensa vetämisen kyvyn. Antiikin aikana tunnettiin myös sellaiset sähköperäiset ilmiöt, kuten salama, sähkökalat ja Pyhän Elmon tuli.⁹

2.2.3 Ensimmäiset systemaattiset tutkimukset sähköllä

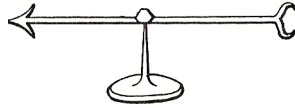
Termiä 'electric force', (sähköinen voima) käytti ensimmäisenä englantilainen fyysikko ja lääkäri **William Gilbert** (1544-1602)^{10,12}. Sana 'electric' tulee kreikan kielen sanasta 'electron', meripihka. Suomen kielen sana sähkö esitettiin ensimmäisen kerran lääketieteen tohtori Samuel Roosin kirjassa "Mintähden ja sentähden" vuodelta 1845. Sana sähkö ilmensi sen ominaisuutta "sähähtää säkenöimällä".⁹

Gilbert oli kuningatar Elisabeth I:n hovilääkäri ja tiettävästi ensimmäinen systemaattisesti sähköllä kokeita tehnyt tutkija. Gilbert tutki myös magnetismia, jota hän piti sähköä tärkeämpänä luonnonvoimana. Gilbert kokosi tutkimustensa tulokset teokseen "De Magnete" (1600), jonka sanotaan mullistaneen siihenastisen tiedon hankaussähköstä, vaikka vain muutama luku tuossa kuusiosaisessa teoksessa käsitteli sähköä ja sen tutkimuksia.¹¹

Gilbert tutki hankaamisen vaikutusta muihinkin aineisiin kuin meripihkaan¹². Hän löysi lukuisia sähköisiltä ominaisuuksiltaan meripihkan kaltaisia aineita (esim. lasi, timantti, safiiri, opaali, ametisti, kovettuneet hartsit, rikki ja sinettilakka). Tämän ryhmän aineita hän kutsui elektrisiksi, meripihkan kaltaisiksi. Aineita, joita ei hankaamalla saatu sähköiseksi, eli epäelektrisiä aineita Gilbert luettelee mm. metallit, marmori, luu, smaragdi, akaatti ja helmet. Gilbert ei tuntenut sähköistä poistovoimaa. Hän selitti sähköisen vetovoiman käsitteen effluvium avulla. Effluvium oli hänen mukaansa näkymätöntä, ohutta kumimaista ainetta, joka erkanee kappaleesta sitä hangattaessa.¹³

Gilbert erotti magneettisen ja sähköisen voiman toisistaan ja osoitti, että ne ovat eri ilmiöitä, mikä ei ollut itsestään selvää tuon ajan tutkijoille.¹⁴ Pääerot hän selittää sähkövoiman ja magneettisen voiman erilaisilla ominaisuuksilla: Magneettivoima on pysyvä, magneettisuus säilyy erilaisten kappaleiden yhteydessä ja magneetti vetää puoleensa vain tietynlaisia kappaleita, kun taas sähkövoima syntyy hankaamisen seurauksena, katoaa kosteassa ilmassa ja vetää puoleensa kaikenlaisia kappaleita.¹⁵ Kirjassaan De Magnete Gilbert esittelee kuvan 2 yksinkertaisen, herkästi pyörivän,

metallista valmistetun neulan, jonka avulla kuka tahansa voi testata aineen elektrisyyttä eli vetäkö hangattu kappale sitä puoleensa, kuten hangattua meripihkaa.¹⁶



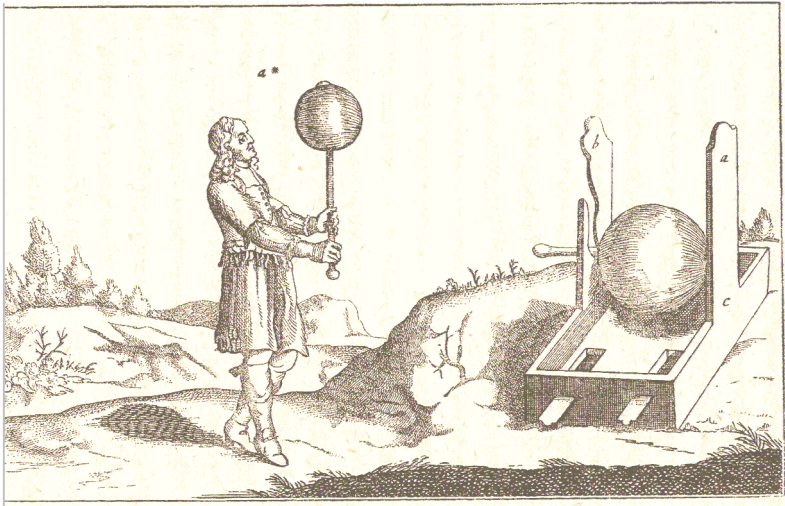
Kuva 2. Gilbertin herkästi kääntyvä neula¹⁶

Lindellin mukaan Gilbertin suurin merkitys sähköä ajatellen oli siinä, että hän lisäsi havainnoillaan ja päätelmillään muiden luonnontieteilijöiden mielenkiintoa hankaussähkön tutkimiseen.¹⁴

2.2.3 Ensimmäinen sähkögeneraattori

Otto von Guericke (1602-1686) oli saksalainen luonnonfilosofi ja valtiomies, Magdeburgin pormestari. Hän oli Gilbertin jälkeen seuraava sähkön tutkimuksia merkittävästi edistänyt tutkija.^{14,15} Hänen saavutuksiinsa luetaan myös ensimmäisen kunnollisen tyhjiöpumpun kehittäminen.¹⁴

Vuonna 1665 von Guericke kehitti ensimmäisen sähkögeneraattorin, joka oli laite, jossa suuri pyörivä rikkipallo tuli sähköiseksi, kun sen päällä pidettiin kättä pyörimisen aikana. Rikkipallo tuli paljon vahvemmin sähköiseksi, kuin aikaisemmat hangatut kappaleet ja näin voitiin tutkia voimakkaampia ilmiöitä. Pallogeneraattorin avulla von Guericke havaitsi myös sähköisen poistovoiman: pallo ei ainoastaan vetänyt puoleensa paperinpaloja, vaan kosketuksen jälkeen ne lensivät pallosta poispäin niin kauan kunnes koskettivat jotain toista esinettä, jolloin vetovoima palasi taas.¹⁸ Kuvassa 3 on Otto von Guericken sähkögeneraattori. Kuvassa von Guericke pitää varatun rikkipallon avulla höyhentä ilmassa leijailemassa.¹⁷



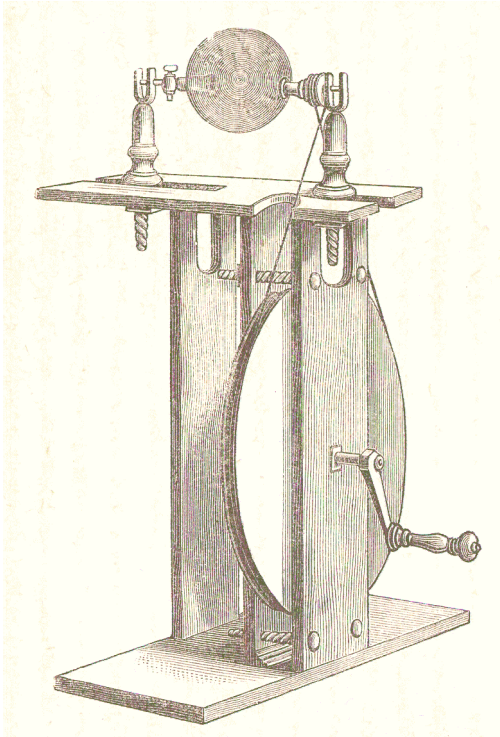
Kuva 3. Otto von Guericken sähkögeneraattori. ¹⁷

Von Guericke ei pystynyt selittämään ilmiötä. Varsinaisesti hän pyrki sähkögeneraattorin avulla selittämään gravitaation sähkövoimaksi. ¹⁹

Von Guericke keksi myös sähköön johtumisen pellavalankaa pitkin, mutta tämä ilmiö jäi vaille huomiota. Tarvittiin Stephen Gray keksimään sama asia n. 50 vuotta myöhemmin. Von Guericke havaitsi myös, että sähköistetyistä pallosta kuului ritisevä ääni ja pimeässä se hehkui heikkoa valoa. ^{18,19}

2.2.5 Valoa hankaussähkön avulla

Vuonna 1675 ranskalainen astronomi Jean Pickard ravisteli elohopeailmapuntaria pimeässä ja sai sen hohtamaan vihreää valoa. Tästä taas kiinnostui Francis Houksbee (1666-1713), Newtonin assistentti, joka toimi demonstraattorin virassa Royal Societyssä 1703-1713. Hän tutki valoilmiötä muuttamalla ilmanpainetta lasiputken sisällä. Hän sai selvillä että valon aiheutti elohopean ja lasin välinen kitka lähes tyhjiössä. Joulukuussa 1705 hän esitti Royal Societyssä kokeen, jossa ontto, ilmasta tyhjennetty lasipallo saatiin pyörimään nopeasti eräänlaisella vääntöalustalla (Kuva 4). Kun pallo sähköistettiin villakankaalla, se täyttyi valolla kuten Pickardin kokeessa. Tämä keksintö oli fluoresenssivalon eli nykyisen loisteputken edelläkävijä, mutta Houksbee itse ei löytänyt ilmiölle selitystä. ^{20,21}



Kuva 4. Houksbeen valopallo ²²

Houksbeen demonstraatioiden selostukset painettiin Royal Societyn lehdessä *Philosophical Transactions*, joka myöhemmin koottiin myös kirjaksi ja käännettiin useille eri kielille. Kirja oli hyvin suosittu 1700-luvulla, ja Houksbeen demonstraatioiden innoittama sähköllä kokeileminen levisi laajalle. Houksbeen mallin mukaisesti myös lasiputki, josta silkillä hankaamalla saatiin sähköä, yleistyi sähkökokeiden perustyövälineeksi 1700-luvun laboratorioissa. ^{19,23}

2.2.6 Käsitteet johde ja eriste

Eräs Houksbeen innostuneista kuulijoista oli englantilainen luonnontieteen harrastaja Stephen Gray (k.1736). Hän keksi ensimmäisenä käsitteet, jotka tunnetaan nykypäivänä nimellä johde ja eriste. Grayn ensimmäinen havainto oli, että lasisauvaan hankaamalla saatu sähkö siirtyi lasisauvan päässä tulppana olevaan korkkiin, joka myös veti puoleensa pieniä paperin- ja metallinpaloja. Tämä oli yllättävää, koska korkki kuului Gilbertin mukaan ns. sähköttömiin kappaleisiin. Gray lisäsi korkkitulppaan vielä puupuikon ja norsunluupallon vain huomatakseen, että sähkö siirtyi lasiputkea hangattaessa myös niihin. Kesällä 1729 Gray teki runsaasti kokeiluja käyttäen ”sähkölinjana” mm. pellavanarua pidentäen tätä koe kokeelta. Gray sai siirrettyä sähköä jopa 270 metrin matkan²⁴.

Konstruoidessaan koejärjestelyitä hän teki havainnon, että silkkiä voitiin käyttää kannattelemaan narua, toisin kuin metallilankaa, sillä silkkilanka ei johtanut sähköä. Gray havaitsi, että aineet, joiden hän havaitsi johtavan huonosti sähköä (nykyisin nimellä eristeet) olivat Gilbertin yli sadan vuoden takaisen jaottelun elektrisiä aineita. Niitä hankaamalla saatiin aikaan sähköä, mutta ne eivät johtaneet sitä. Hyvin sähköä johtavat aineet taas olivat Gilbertin jaottelun epäelektrisiä aineita, kuten metallit tai märkä naru, jotka johtivat sähköä, mutta joiden avulla ei voinut tuottaa sähköä.^{24,25} Gray tuli siihen tulokseen tutkimuksissaan, että sähkö on painoton, juokseva neste, jota on mahdoton punnita. Se voi virrata paikasta toiseen ilman, että havaitaan aineen liikkumista²⁰.

Gray kokeili innokkaasti millä tahansa kappaleilla ja materiaaleilla, mistä kertoo Grayn lista sopivista sähkönjohteista: metallit, saippuakuplat, vesi, sateenvarjo, vihannekset ja pikkupoika! Eräässä suurta suosiota saavuttaneessa demonstraatiossa Gray ripusti pikkupojan silkkiköysillä ilmaan ja sähköisti tämän hangatulla lasisauvalla. Pojan hiukset nousivat pysty ja sormenpäistä tuli kipinöitä.²⁴

Uutiset Grayn tekemistä kokeista saivat aikaan sen, että sähkö alkoi kiinnostaa ja se tuli niin sanotusti muotiin monien luonnontieteistä kiinnostuneiden kokeilijoiden parissa.²⁰

2.2.7 Kahdenlaista sähköä

Charles Francois De Cisternay Dufay (1698-1739) oli ranskalainen, kuningas Ludvig XV:n upseeri ja sittemmin Versailles'n puutarhojen yli-intendentti. Hänen kiinnostuksena luonnontieteissä kohdistui magnetismiin ja sähköön. Tutkimuksissaan sähköstä Dufay lähti liikkeelle Grayn tekemistä kokeista hyvillä ja huonoilla sähkön johteilla. Hän oli ensimmäinen, joka pyrki systemaattisesti hakemaan selitystä sille sähköiselle vuorovaikutukselle, mikä tapahtui sähköistetyn ja sähköistämättömän tai kahden sähköistetyn kappaleen välillä. Laajojen kokeilujensa perusteella hän totesi, että kaikkia aineita voidaan sähköistää hankaamalla, lukuun ottamatta metalleja tai aineita, jotka ovat liian pehmeitä hangattavaksi, kunhan kappale on kuiva ja lämmin. Eristävän (elektrisen) levyn päälle asetettuna kaikki aineet oli myös mahdollista sähköistää koskettamalla niitä sähköistetyllä kappaleella tai ilman kosketusta sähköiseksi hangatulla kappaleella. Dufayn ja Jean Antoine Nollet'n kokeissa sähkö siirtyi jopa 30 cm matkan ilman johtoa. Myös nesteet oli mahdollista saattaa sähköiseksi.^{26,27}

Erilaisista demonstraatioista, joissa esim. ihminen sähköistettiin eristelevyn päällä saaden tämän hiukset nousemaan pystyyn tai antamaan kunnon sähköiskun kätellessä harrastettiin yleisenä huvina 1750-luvulla.²⁶

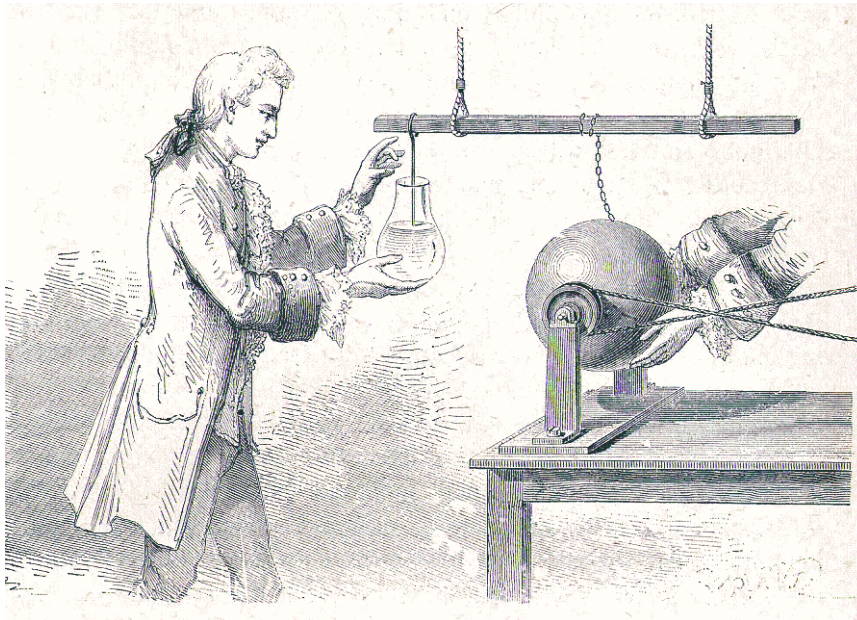
Guericken tekemistä höyhenkokeista asti oli ollut epäselvää, missä tilanteessa kahden kappaleen välillä on vetovoima, milloin taas poistovoima. 1733 Dufay päätyi oletukseen, että sähköisessä vuorovaikutuksessa sähköä siirtyi kappaleesta toiseen niiden kosketuksessa. Näin ollen sähköistetty kappale sähköisti toisen kappaleen kosketuksessa, minkä jälkeen vetovoima muuttui poistovoimaksi. Jatkotutkimukset osoittivat, että kaksi sähköistettyä kappaletta saattoivat myös vetää toisiaan puoleensa riippuen siitä, mitä ainetta kyseiset kappaleet olivat. Dufay tuli siihen tulokseen, että on olemassa kahdenlaista sähköä: *lasisähköä* (vitreous electricity) ja *lakkasähköä* (resinous electricity) riippuen siitä, hangataanko lasia vai meripihkaa vai niiden kaltaisia aineita. Periaatteena oli, että sähköistetty kappale hylkii samankaltaista sähköistettyä kappaletta ja vetää puoleensa ei-samankaltaista sähköistettyä kappaletta. Siten esimerkiksi kaksi sähköistettyä villalankaa hylkivät toisiaan mutta vastaavasti sähköistetty villalanka ja silkkilanka vetävät toisiaan puoleensa. Lasinkaltaisia aineita olivat jalokivet, hiukset ja villat kun taas meripihkan kaltaisia aineita ovat mm. silkki, paperi ja lakka. Englannin kielinen nimi tälle ”kahden sähkön teorialle” oli ”two fluid theory”.^{26,27}

Myöhemmin amerikkalainen (1747) Benjamin Franklin (1706-1790) esitti oman, ”single fluid” eli yksi sähkö -teoriansa. Lindellin mukaan hän ei ollut tietoinen Dufayn esittämästä kahden sähkön teoriasta.²⁸

2.2.8 Leidenin pullo - ensimmäinen kondensaattori

Tähän mennessä keksityt sähkön tuottamiseen tarkoitetut laitteilla saatiin sähköä tuotettua vain hetkellisesti, juuri meneillään olevaa koetta varten. Sähköä ei osattu varastoida kunnolla.

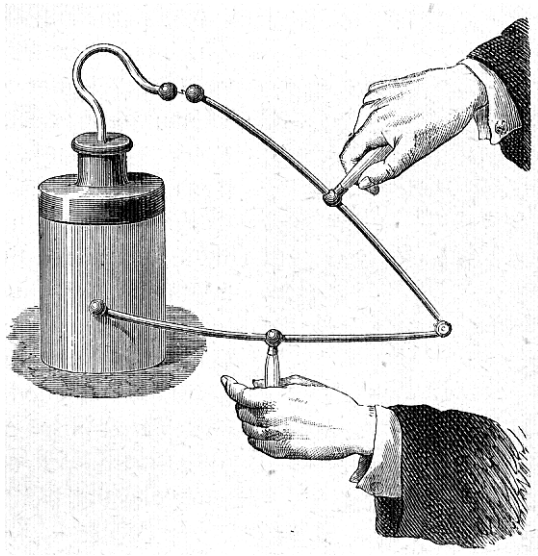
Leidenin pullo oli ensimmäinen laite, jolla voitiin varastoida sähköä myöhempää käyttöä varten. Koska sähkön oletettiin olevan ikään kuin nestettä ("electric fluid") ja se saatiin siirtymään johdinta pitkin, heräsi ajatus varastoida sitä pulloihin. Tässä onnistui ensimmäisenä pommerilainen juristi ja prelaatti Ewald Georg von Kleist (1700-1748), joka yritti vuonna 1745 varastoida sähköä elohopeaa täynnä olevaan pulloon naulan välityksellä. Hän on luultavasti historian ensimmäinen keinotekoisesti aikaan saadun sähköiskun saanut henkilö. Hän yritti johtaa sähkön pulloon pitämällä sitä toisessa kädessä ja koskettamalla naulaa toisella kädellä. Hollannissa teki Musschenbrock (1692-1761) samanlaisia kokeita muutamaa kuukautta myöhemmin. Sekä Kleist että Musschenbrock onnistuivat tässä osittain vahingossa: Kumpikin jätti vahingossa huomioimatta Dufayn ohjeen, että nesteen on oltava eristealustalla.^{29,30}



Kuva 5. Sähkön johtaminen Leidenin pulloon.³²

Musschenbrock teki ammatikseen tieteellisiä laitteita ja sai ensimmäisenä julkisuuteen täsmälliset ja selkeät käyttöohjeet laitteesta niin, että sen käyttö oli muiden toistettavissa. Niinpä hänen nimensä yleensä yhdistetään Leidenin pulloon sen keksijänä. Leiden on sen kaupungin nimi, jossa laite keksittiin (Leidenin yliopisto).^{29,30}

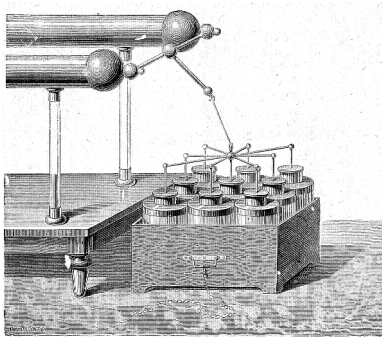
Leidenin pullosta kehitettiin lukuisia eri versioita, mutta sen rakenne oli periaatteessa varsin yksinkertainen. Kyseessä oli lasipurkki, joka oli päällystetty ohuella metallikalvolla sekä sisä- että ulkopuolelta, ei kuitenkaan aivan kaulaan saakka. Purkissa oli kansi, jonka läpi kulki metallinupilla varustettu metallisauva. Sähkö johdettiin sähkögeneraattorista nupin välityksellä sauvaan ja siitä roikkuvaa ketjua pitkin purkin sisäpinnan metallikerrokseen. Samanaikaisesti ulkokerros, joka oli maadoitettu, varautui yhtä suurella, mutta vastakkaismerkkisellä varauksella lasikerroksen estäessä näiden kontaktin. Varaus saatiin purettua järjestämällä johto sisä- ja ulkopinna välillä. Kuvassa 6 on tätä tarkoitusta varten muotoiltu metallitanko eristävillä kädensijoilla.³¹



Kuva 6. Leidenin pullo.³²

Leidenin puollon keksimisellä oli valtava vaikutus. Kaikki ihmiset halusivat kokea sähköiskun tai nähdä sen vaikutuksen muihin. Kerrotaan, että silloinen Ranskan kuningas järjesti sähköiskun kokonaiselle prikaatille sotilaita, joka hyppi samaan aikaan Leidenin pullo –patterista saatujen sähköiskujen vaikutuksesta.²⁹

William Watson (1715-1787), Englannin huomattavin sähköllä kokeilija 1700-luvun puolivälissä, keksi virtapiirin käsitteen 1747. Jotta sähköisku välittyy, sillä pitää olla ympäri kiertävä kulkutie. Sana piiri tarkoittikin alun perin ihmisistä muodostettua rengasta. Watson keksi myös, että suuremman varauskyvyn aikaansaamiseksi Leidenin pulloja voi kytkeä rinnakkain patteriksi (Kuva 7).³³



Kuva 7. Leidenin pulloja kytkettynä rinnakkain.³⁴

2.2.9 Positiivinen ja negatiivinen sähkö

Sähkövillitys kiiri myös yli Atlantin, missä luonnontieteilijä ja poliitikko Benjamin Franklin (1706-1790) kiinnostui sähköstä kuultuaan siitä yleisöluennon v. 1744. Hän osti luennoitsija Spencerin mukanaan tuomat laitteet, täydensi niitä tilaamalla Euroopasta ja tutki sähköä vuosina 1747-1753. Tutkimustensa perusteella Franklin kuvasi sähköä siten, että se on ikään kuin aineetonta nestettä ”fluidumia”⁶⁵, jota ei voi havaita niin kauan kuin kappale on sillä kyllästetty.²⁹ Franklinin mukaan kappaleessa on tietty ”normaali” määrä sähköistä ainetta. Jos osa siitä otetaan pois, kappale varautuu negatiivisesti, ja positiivisesti, jos sitä lisätään. Tämän teorian taustalla oli havainto siitä, että lasiputkea hangattaessa sekä silkkikangas, että lasiputki tulivat sähköisiksi. Sähkömäärät molemmissa olivat yhtä suuret mutta erimerkkiset. Franklinin valitsema + -merkki vastasi Dufayn lasisähköä ja - -merkki lakkasähköä. Teoriaa kutsutaan yhden sähkön teoriaksi (”Single fluid -theory”). Franklin käytti käsitteen ”electric fluid” sijasta termiä ”electric fire”. Sellaiset termit, kuten ”charge” (varaus) ja ”condenser” (kondensaattori = sähköön tiivistäjä) ovat Franklinin keksintöä.^{28,29,36,37}

Franklinin teoria otettiin suosiolla vastaan tieteellisissä piireissä.³⁷ Teoria on hyvin lähellä nykykäsitystä, sillä kun ”aineeton neste” korvataan elektroneilla ja varausten merkit vaihdetaan, päästään nykypäivän teoriaan.²⁹

Sähköisen vuorovaikutuksen selittäminen oli hyvin vaikeaa. Näin oli erityisesti siinä tapauksessa, kun sähkön ilmiselvästi nähtiin välittyvän ilman kosketusta kappaleesta toiseen. Dufayn ja Franklinin ’Electrical fluid’– ja ’electrical fire’– teoriat olivat tärkeä askel matkalla kohti sähkövirran ja jännitteen käsitteen muodostumista. Ne olivat tarpeen, kun yritettiin ymmärtää ja selittää kappaleiden sähköistymistä ja varattujen kappaleiden tai varatun ja varauksettoman kappaleen välistä vuorovaikutusta. Kallunki tuo työssään esiin mielenkiintoisen yhtäläisyyden näiden teorioiden, antiikin teorioiden ja nykypäivän teorioiden välillä: Kaikissa niissä ajatellaan sähköisen vuorovaikutuksen tapahtuvan sähkövoimaa kantavien partikkeleiden välityksellä.³⁶

Franklin tutki myös Leidenin pulloa osoittaen, että sähkö ei varaudu siinä olevaan nesteeseen, kuten aluksi luultiin, vaan itse lasiin²⁸. Franklin osoitti Leidenin pullon avulla myös, että laboratoriossa tuotettu kipinä ja salamanisku ovat samaa sähköä. Tästä hän teki johtopäätöksen, että salamanisku voidaan torjua. Franklin keksi ukkosenjohdattimen vuonna 1753.²⁹ Sen käyttöönotto vähensi huomattavasti salamaniskujen aiheuttamia vahinkoja Euroopassa ja Amerikassa 1760-luvulta lähtien.³⁸

Franklin oli ensimmäisiä, joka kokeili sähköä lääketieteellisessä käytössä virvoittamaan halvaantuneita jäseniä. 1757 päivätyssä kirjeessä hänen mukaansa sähköllä ei kuitenkaan saatu aikaan pysyviä muutoksia halvaantuneissa jäsenissä. Tästä huolimatta Franklinin terapiaa, ”sähkökylpyjä” käytettiin hoitona ja annettiin myös yleislääkityksenä ja mielialan hoidossa aina 1850-luvulle saakka.³⁹

Franklinille myönnettiin v. 1753 Sir Godfrey Copleyn kultamitali, joka oli tuon ajan Nobelin palkinto. Lindellin mukaan perusteluissa mainittiin, että ”Franklin oli nostanut sähkön luonnon suurvoimien joukkoon, vaikka sitä vähän aikaisemmin oli vielä pidetty merkityksettömänä oppina veto- ja poistovoimasta.”³⁹

3. Pariston keksimisen historia

3.2 Luigi Galvani – eläinsähkön tutkija

Aloisio Luigi Galvani (1737-1798) syntyi 9.syyskuuta 1737 Bolognassa. Hän valmistui Bolognan yliopiston lääketieteen ja kirurgian tiedekunnasta vuonna 1759. Hän jatkoi opintojaan anatomiassa ja synnytysopissa valmistuen lääketieteen tohtoriksi 1762. Galvani eli ja vaikutti koko elämänsä Bolognan kaupungissa. Hän toimi valmistuttuaan Bolognan yliopistossa ensin luennoitsijana ja myöhemmin anatomian apulaisprofessorina ja lopulta professorina vuodesta 1782. Galvani menetti virkansa 1797 poliittisen tilanteen takia: hän kieltäytyi uskonnollisista syistä vannomasta uskollisuutta Napoleonin perustaman Cisalpinen tasavallan hallinnolle. Jo muutenkin heikentyneenä jäätyään leskeksi 1790 Galvani vetäytyi veljensä taloon, jossa hän kuoli ”köyhänä ja pettyneenä”⁴⁰ 1798.^{40,41}

Luigi Galvani pani alulle tutkimusten ketjun, joka johti lopulta Voltan pylvään ja pariston keksimiseen. Historia on korostanut Galvanin työn merkitystä pääasiassa sähkön kehityksen kannalta, mutta hänen esittämänsä teoria eläinsähköstä loi pohjan myös sähköfysiologialle. Nykypäivänä Galvanin työn tuloksia pidetäänkin merkittävänä neurotieteiden puolella.⁴²

3.2.1 Eläinsähkö

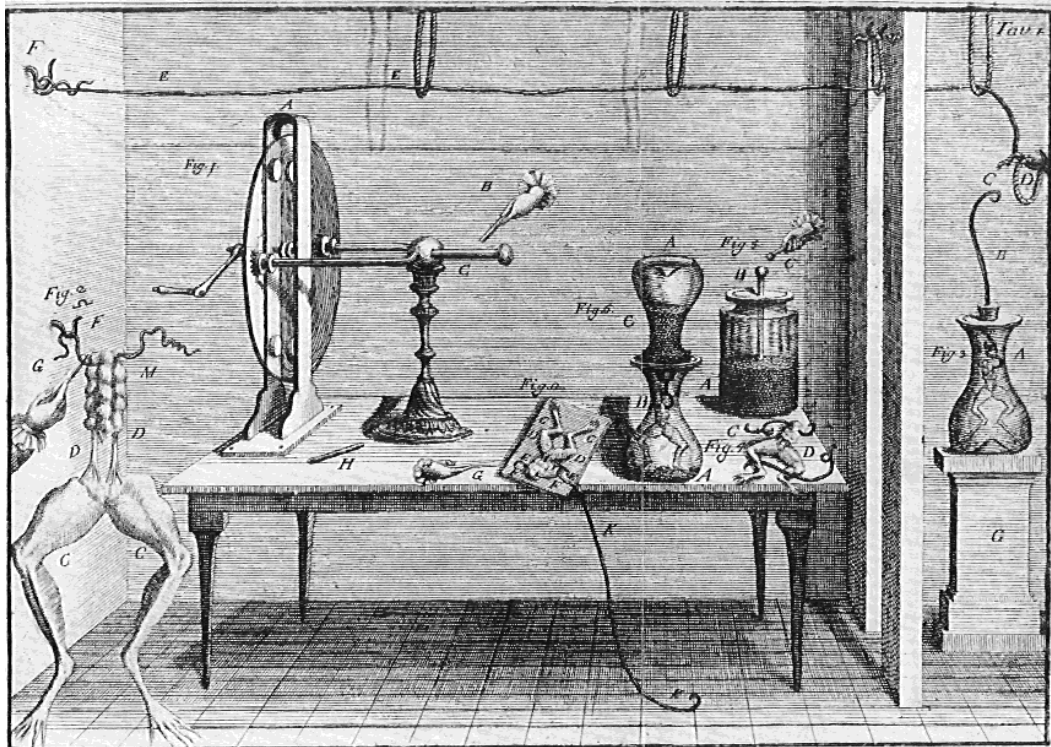
Luigi Galvanin teoria eläinsähköstä julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1791 nimellä "De viribus electricitatis in motu musculari commentarius". Kokeet jotka johtivat Galvanin teoriaan oli aloitettu vuonna 1786. Jo sitä ennen sammakon anatomia ja sähkön vaikutus eläinpreparaattien lihaksiin oli ollut Galvanin kiinnostuksen kohteena useiden vuosien ajan.^{41,42}

Staattisen sähkön tutkimus oli hyvin suosittu aihe 1700-luvun lopulla, jolloin oli jo saatavilla sähkölaitteita tutkimusten tekoa varten. Luettuaan muiden tutkijoiden kokeiluista, Galvani alkoi itsekkin tutkia sähkön vaikutuksia lihaksiin.⁴⁰

Galvani valmisti kokeita varten sammakkopreparaatit, joissa sammakoista oli jäljellä vain takaraajat ja osa selkäydintä. Hermosäikeet oli kaivettu huolella esiin. Julkaisussaan eläinsähköstä Galvani kuvaa kokeellisissa tutkimuksissaan kolme vaihetta.^{40,43}

Ensimmäinen havainto sammakon jalkojen koukistelusta tuli sattumalta. Samanaikaisesti, kun kipinäkojeesta tuotettiin kipinä, kosketti työssä avustanut henkilö vahingossa pöydälle tutkimusta varten valmiiksi laitettua sammakon hermoa tutkimusveitsellä ja sai aikaan jalan nytkähdyksen. Kuultuaan tästä Galvani testasi tilanteen uudestaan useita kertoja. Jalka nytkähteli yhä uudelleen samalla tavalla kouristellen, joten Galvani päätti välittömästi tutkia tarkemmin, mistä ilmiö johtuu.^{42,43}

Galvanin kokeessa sammakko asetettiin metallialustalle ja sähköstaattisesta koneesta johdettiin sähköä johtimella sammakon selkäydinhermoon, jolloin havaittiin jalan nytkähtelyä (kuva 8). Koe uusittiin ja sitä muunneltiin monella eri tavalla. Koesarjassa tehtiin myös yllättävä havainto: sammakon jalka nytkähteli veitsen kosketuksesta, vaikka tämä ei ollut kytkettynä johtimeen ja jalka oli etäällä sähkökipinöitä tuottavasta koneesta. Jalka ei kuitenkaan liikkunut ilman kipinää eikä ilman veitsen kosketusta kipinöitä otettaessa. Sama koe lasitangolla ei myöskään tuottanut liikettä, kun taas nytkähtely oli hyvin helppo saada aikaiseksi rautatangon avulla.⁴³ Galvani huomasi myös, että liikkeiden voimakkuus suureni sähköpurkauksen suuruutta kasvatettaessa, mutta vain tiettyyn määrään saakka. Toisaalta liike voitiin saada aikaiseksi niinkin pienellä sähköisellä voimalla, mikä ei ollut enää mitattavissa herkimmilläkään mittalaitteella (elektroskooppi). Tämä sai Galvanin uskomaan, että kyseessä olisi jokin lihaksen sisäinen voima, ei ulkoinen sähkö.⁴⁴



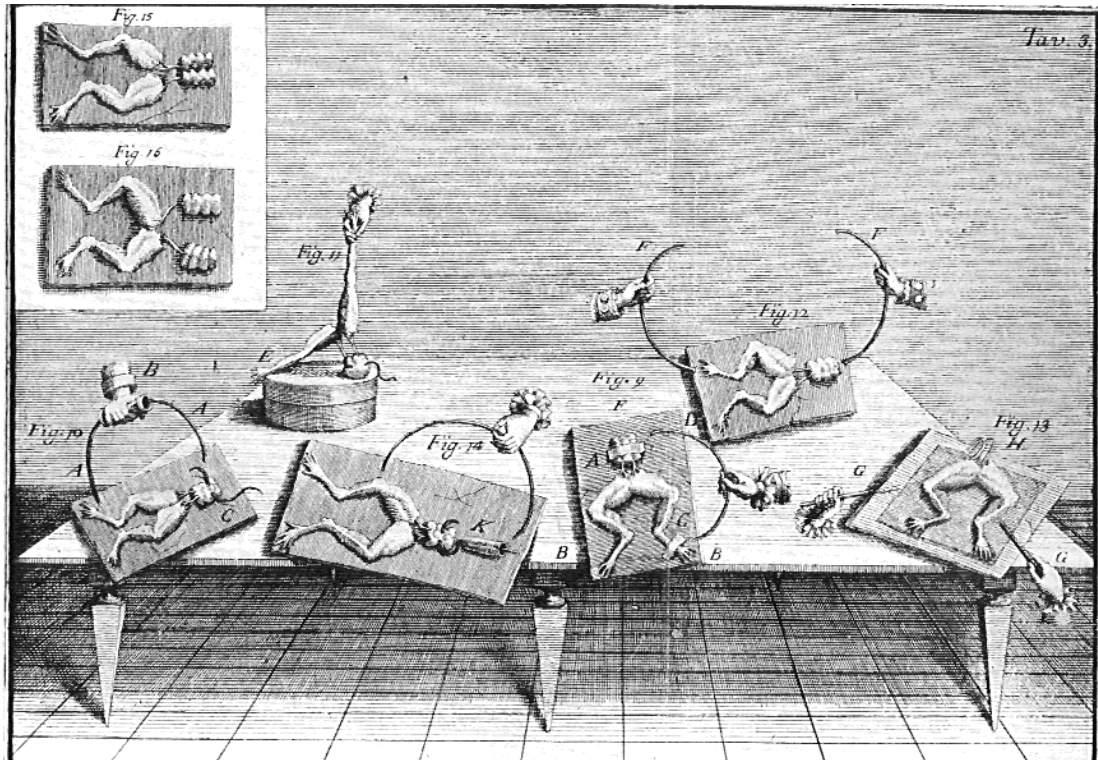
Kuva 8. Galvanin ensimmäisen kokeen koejärjestelyt.⁴⁵

Ensimmäisten kokeiden jälkeen Galvani päätti testata ilman sähköisyyden vaikutusta sammakonreiteen. Koe suoritettiin ulkona kattoterassilla myrskyisenä iltana. Sen tulos oli, että sammakonreidit nytkähtelivät voimakkaasti salamaniskun aikana, mutta eivät muulloin. Seuraavaksi Galvani suoritti samat kokeet kauniilla säällä. Preparoidut sammakonreidit oli ripustettu messinkikoukuilla rautakaiteeseen siten, että koukku läpäisi selkäytimen. Mitään ei tapahtunut, vaikka Galvani tarkkaili sammakonreisiä päiväkausia ja eri aikaan päivästä. Väsyessään odottamaan liikahteluja Galvani tuli työntäneeksi sammakoita metallikaidetta vasten, jolloin sammakonreidit alkoivat taas nytkähdellä. Galvani toisti kokeen sisätiloissa asettaen sammakonreiden, jossa oli metallikoukku, eri metalleja oleville alustoille tehden kokeet eri aikoina päivästä. Tulokset olivat samat, mutta Galvani huomasi myös, että nytkähtely tapahtui eri voimakkuudella riippuen siitä, mitä metallia alustana käytettiin. Eristeitä käytettäessä (lasi, kumi, kivi yms.) ei tapahtunut mitään. Koska koe oli toistettavissa sisätiloissa, Galvani päätteli, että ilman sähköisyys ei aiheuttanut nytkähtelyitä.^{43, 44}

Galvani alkoi ajatella, että sähkö olisi lähtöisin eläimestä itsestään ja teki kolmannen koesarjan uusin järjestelyin. Edellisen kokeen perusteella Galvani kytki nyt hermot lihakseen erilaisilla metallikaarilla tai johteilla, jotta preparaatin sisäinen sähkö pääsisi

virtaamaan. Sammakonreidet asetettiin lasilevylle ja sen selkäyttimeen asetettua metallikoukkuja kosketettiin metallista tehdyn kaaren toisella päällä, kun taas kaaren toisella päällä kosketettiin sammakon jalkaterää tai lihasta. Kuvassa 9 on esitetty koejärjestelyt. Sammakonjalkojen nytkähtely saatiin nyt aikaiseksi myös ilman Leidenin pullosta otettua sähköä, pelkän metallikosketuksen avulla. Galvani tuli siihen johtopäätökseen, että lihaksen ja hermon yhdistäminen sähköä johtavalla materiaalilla sai eläimen sisäisen sähköliikkeen ja aiheutti nytkähtelyn.^{43, 44}

Galvani huomasi myös, että jos metallikaari on tehty kahdesta eri metallista, nytkähtelyt olivat sitä voimakkaampia, mitä parempi sähköjohtokyky metallilla oli. Jos taas aluslevy ja metallikaari olivat samaa metallia, nytkähtelyä ei tapahtunut, tai se oli hyvin heikkoa. Galvanin kokeiden mukaan hopea oli paras metallipari raudalle johtamaan eläinsähköä. Kokeet onnistuivat myös sähköä johtavien nesteiden avulla. Galvani esitti, että sammakonjalan hermo ja lihas muodostavat eräänlaisen Leidenin pullon, jonne sammakon jalassa oleva sähkö varastoituu. Galvani vertasi tätä sähkökalojen kehittämään sähköön ja käytti ilmiöstä nimeä eläinsähkö.^{43,44} Termin eläinsähkö oli jo muutamaa vuotta aikaisemmin esitellyt Pierre Berthollon.⁴⁴



Kuva 9. Galvanin kokeet metallikaarilla.⁴⁶

Eläinsähkö nosti suuren kohun tieteellisissä piireissä ja tiedemiehet asettuivat joko kannattamaan sitä tai vastustamaan sitä.⁴⁷

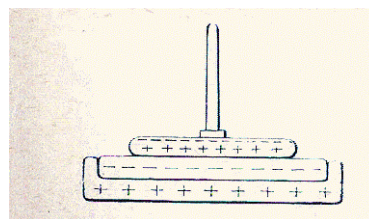
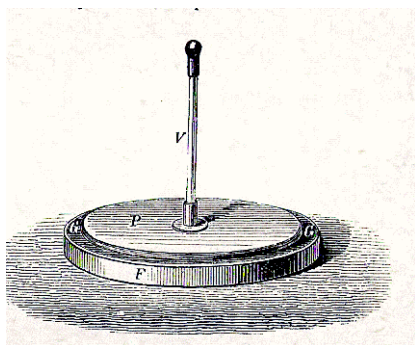
3.3 Alessandro Volta - pariston keksijä

3.3.1 Henkilöhistoriaa

Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1829) syntyi 18. helmikuuta 1745 Comossa ja oli taustaltaan aatelinen. Volta oli kiinnostunut sähköstä jo nuorena ja tutustui oma-aloitteisesti kaikkiin tuon ajan tunnetuimpien sähköntutkijoiden teoksiin (Musschenbroek, Nollet ja Beccaria).⁴⁸ Hän toimi Comon lukiossa fysiikan opettajana vuodesta 1774 ja vuodesta 1779 kokeellisen fysiikan professorina Pavian yliopistossa. Vuonna 1794 hän sai tieteellisistä ansioistaan tuon ajan tärkeimmän tunnustuksen, Englannin Royal Societyn Copley-mitalin. Maailman laajuisen kuuluisuuden hän saavutti keksittyään sähköparin idean, ns. Voltan pylvään, joka julkaistiin vuonna 1800. Noustuaan valtaan Napoleon nimitti Voltan kreiviksi.^{49, 50}

3.3.2 Saavutuksia ennen Voltan pylvästä

Ennen Voltan pylvästä hän oli jo kuitenkin tehnyt merkittäviä keksintöjä. Vuonna 1775 hän keksi elektroforin (perpetual electrophorus), joka oli laite, jolla pystyi helposti tuottamaan ja tallettamaan pieniä määriä staattista sähköä. Sen toiminta perustui siihen, että varattu kappale indusoi lähellä olevan johdekappaleen pintaan vastakkaismerkkisen varauksen. Kun neutraalin kappaleen erimerkkiset sähkövaraukset erotetaan toisistaan induktion avulla, ja toinen niistä poistetaan maadoittamalla levy (esim. sormen kosketuksella), jää kappale varattuun tilaan. Tämä varaus voitiin edelleen siirtää Leidenin pulloon ja toistamalla siirto kasvattaa sähkön määrää Leidenin pullossa. Elektrofori levisi nopeasti kaikkiin Euroopan sähköä tutkiviin laboratorioihin korvaten lasisauvan sähkön lähteenä.^{51, 52} Kuvassa 10 on esitetty elektrofori ja varauksen jakautuminen sen levyissä.



Kuva 10. Voltan elektrofori ja varauksen jakautumisen periaatekuva.⁵³

Seuraavana kesänä hän keksi myös metaanin, jota hän kutsui nimellä ”marskimaan paloherkkä ilma”. Metaania synnyttäviä alueita voitiin kartoittaa toisella Voltan keksinnöllä, kaasupistoolilla. Sen avulla voitiin tunnistaa räjähtävä suokaasu, jonka vielä tuolloin luultiin olevan syypää malariaan.⁵⁴

Voltan keksimä kondensaattori eli tiivistäjäelektroskooppi oli myös merkittävä keksintö. Sen avulla voitiin mitata hyvin pieniä varauksia, joiden oli ensin annettu kerääntyä kondensaattoriin. Vasta Galvanin sammakonjalka oli herkempi sähkönn tunnistin.⁵⁴

3.3.3 Voltan kritiikki Galvanin kokeisiin

Luettuaan Galvanin kokeista (1791) Alessandro Volta jätti sen hetkiset suokaasututkimuksensa ja toisti Galvanin raportoimat kokeet.^{54,55} Aluksi Volta oli vakuuttunut ja samaa mieltä Galvanin tuloksista. Vähitellen Volta kuitenkin alkoi epäillä ja kritisoida erinäisiä yksityiskohtia Galvanin työssä. Yksi tärkeimmistä kritiikin kohteista oli, että jalan koukistelu oli mahdollista saada aikaan myös yhdistämällä vain saman hermon kaksi kohtaa metallikaarella, ilman että lihas oli osana virtapiiriä. (Vastaavassa tilanteessa vertailukohtana käytetty Leidenin pullo ei vapauttaisi sähköä.) Myös Galvani oli huomannut tämän kokeissaan, mutta ei pitänyt sitä merkittävänä. Lisäksi Volta huomasi, että sammakon jalka oli hyvin herkkä nytkähtelemään pienelläkin sähkömäärällä ja alkoikin pitää sammakonjalkaa vain hyvin herkkänä elektroskooppina. Sen sijaan Volta keskittyi jatkossa tutkimaan jo Galvanin esille tuomaa havaintoa, että kaksi eri metallia saivat aikaan voimakkaamman nytkähtelyn sammakon jalassa kuin kaksi samaa metallia. (Jälkimmäistä ilmiötä Volta ei saanut edes aikaan, koska hän ei valmistanut preparaatteja samanlaisella huolella ja tarkkuudella kuin Galvani, joka oli ammatiltaan kirurgi. ”Ehjän” eläimen pinta reagoi vain kahta eri metallia olevan kaaren kosketukseen). Olihan sammakko reagoinut samalla tavalla myös Leidenin puollosta tuotettuun keinotekoiseen ulkoiseen sähköön: Volta piti siis mahdollisena, että sähkö aiheutuikin kahden eri metallin kosketuksesta, ei eläimen sisäisestä sähköstä.⁵⁵

Volta teki hyvin monipuolisia kokeita. Hän kokeili kaksimetallisen kaaren vaikutusta omaan kieleensä, sillä siinä lihas on hyvin lähellä ulkoista kontaktia. Tina-hopea-kaaren kontakti ei aiheuttanut lihaksen nytkähtelyä, mutta suussa maistui happamalta. Kokeissaan

kielellä Volta teki havainnon, että tuntemus jatkui niin kauan kuin metallit olivat kosketuksessa kieleen. Volta kokeili myös silmällään saaden aikaan valohavainnon. Tämä koe tuki myös Voltan otaksumaa, että hermoreaktion saa aikaan ilman, että virtapiirissä on lihaskudosta. Laajojen kokeilujensa jälkeen Volta tuli siihen tulokseen, että kokeissa käytetyt eri metallit eivät toimi ainoastaan sähköön johteina, vaan tuottavat havaitun sähköön.⁵⁵

Nämä Voltan kokeet ja tulokset herättivät edelleen kritiikkiä Galvanissa ja eläinsähkön puolustajissa. Osoittaakseen eläinsähkön olemassaolon, sekä Galvani (vuonna 1794) että pisalainen Eusebio Valli tekivät samantyyppiset kokeet, joissa lihaksen nytkähtely saatiin aikaan yhdistämällä sammakon toisen jalan hermo sammakon jalkalihakseen. Vuonna 1797 Galvani teki uuden kokeen, jonka tavoitteena oli nujertaa kaikki vastustus eläinsähköä kohtaan. Hän yhdisti huolella preparoidun sammakon reiden hermosäikeet sen toisen jalan hermoon kahteen kohtaan, jolloin molemmat jalat alkoivat toinen toisensa jälkeen nytkähdellä. Koe ei kuitenkaan vakuuttanut Voltaa ja hänen kannattajiaan, vaan kerrotaan, että tiedeyhteisö ei arvostanut sitä. Myöhemmin tätä koetta on pidetty perustana sähköfysiologian tieteenhaaran kehittymiselle.⁵⁵

3.3.4 Voltan pylväs

Volta etsi sopivaa koejärjestelyä, jolla osoittaa, että pelkkien metallien avulla, ilman eläinkudosta, pystytään tuottamaan sähköä. Kokeiltuaan useilla erilaisilla koejärjestelyillä hän lopulta sai tuotettua hopea- ja sinkkilevyjen välisen kosketuksen avulla sähköä. Hän havaitsi sähköön kondensaattoriin aiheuttaman jännitteen tiivistäjäelektroskoopilla.⁵⁶

Tämän edistysaskeleen jälkeen Volta keskittyi tuottamaan metallilevyjen avulla aiempaa suuremman määrän sähköä (nykyisin: ”jännitteen”). Onnistuakseen tässä Volta kasasi vuoronperään kupari- ja sinkkilevyjä, saavuttamatta kuitenkaan tavoitettaan. Vuonna 1796 firenzeläinen Giovanni Fabroni (1752-1822) keksi, että metallilevyjen välissä pitää lisäksi olla jotain nestettä, jotta sähköä syntyy.⁵⁴ Volta lisäsi metalliparien väliin suolaveteen kastetut kartonkipalat. Näin syntyi ensimmäinen paristo, josta Volta tiedotti kirjeitse 20. maaliskuuta 1800 Lontoon Royal Societyn sihteerille Sir Joseph Banksille. Kirje luettiin Royal Societyn kokouksessa.^{56,57}

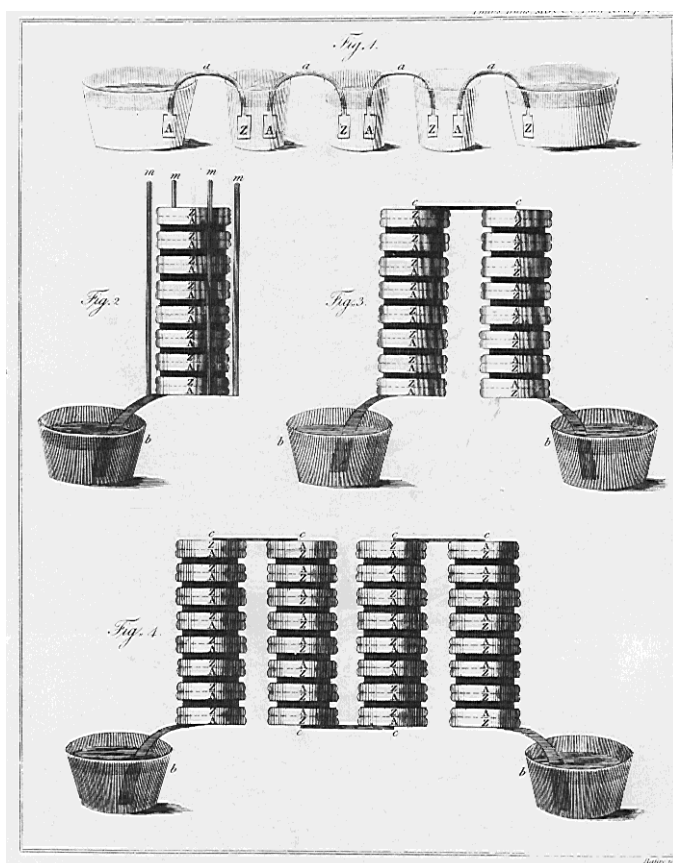
Kirjeessään Volta kertoo keksineensä laitteen, jonka vaikutus käsivarsiin ja muihin ruumiinosiin muistuttaa Leidenin pullon tai sähköankeriaan iskua kuitenkin sillä erolla, että vaikutus on jatkuva. Lisäksi erona on se, että laite koostuu vain sähköä johtavista materiaaleista (non-electrics). Voltan laitteessa, jota Voltan pylvääksi alettiin kutsua, oli pinottuna vuoronperään kupari- tai hopeakiekkoja ja tina- tai sinkkiekkoja siten että metalliparien väliin oli laitettu esim. suolavedellä kostutettu pala kartonkia tai nahkaa. Volta kertoo kirjeessään, että hopea-sinkki metalliparilla saadaan voimakkaampi sähkötuntemus aikaiseksi kuin kupari-tina -parilla. Volta korostaa, että kyseessä olevaa laitetta ei tarvitse ladata ulkopuolelta tuodun sähköän avulla vaan se latautuu itsestään yhä uudelleen ja uudelleen. Volta kutsuu laitetta keinotekoiseksi sähköiseksi organismiksi, jonka aiheuttamaa sähköistä tuntemusta hän vertaa Leidenin puollon tai voimattoman sähkörauskun iskuun silloin, kun metallipareja on kasattu päällekkäin 20 kpl.⁵⁸ Kuvassa 11 on kuva Pavian yliopiston museon rekonstruktio Voltan pylväästä.⁵⁹



Kuva 11. Rekonstruktio Voltan pylväästä.⁵⁹

Kallunki tuo tutkimuksessaan esille, että rinnastamalla pylvään tuottamaa sähköä Leidenin puollon tuottamaan sähköön Volta halusi nimenomaan korostaa, että pariston tuottama sähkövirta oli samaa sähköä kuin aikaisemmin staattisesti tuotettu sähkö. Jokainen saattoi tuntea sähköjen samanlaisuuden kokeilemalla Leidenin pullon ja toisaalta Voltan pylvään antamaa efektiä ruumiissaan. Voltalle tämä oli riittävä todiste liittää ilmiöön jo olemassa oleva 'sähköisen nesteen' (electrical fluid) malli. Lisäksi Volta kertoo kirjeessään, että pariston tuottama sähkö on mitattavissa Cavallon elektrometrillä, mikä myös todisti näiden eri tavalla tuotettujen sähköjen samankaltaisuuden.³⁶

Volta kertoo myös, että jos haluaa kokeilla tuntemusta käsillään, pitää käsien olla kunnolla kostutetut. Jos kytkee laitteen vesiastiaan, ja kastaa kätensä siihen, voi askel askelelta voimistaa sähköistä tuntemusta kytkemällä toisessa kädessä olevan johtimen ylemmäs metallitornissa. Lisäksi Volta kertoo, että lämpötila vaikuttaa ilmiöön siten, että lämpimämpi vesi johtaa paremmin sähköä ja korostaa, että kostutetut kiekot on parempi kostuttaa suolavedellä. Laitteen toimintaa voi tehostaa huomattavasti kytkemällä useampia metalliparipylväitä toisiinsa. Periaate tästä sarjaan kytkennästä on esitetty kuvassa 12. Volta esittelee sähköparista myös version, jossa metallilevyt on kytketty suolavesikupista toiseen (the crown of cups, kuva 2), jonka avulla on mahdollista saada voimakkaampi sähköinen efekti kuin pylväällä. Vaikeutena nimittäin oli, että rakennettaessa korkeampi pylväs, puristui metallilevyjen välissä olevista kosteista kartongeista vettä pois heikentäen pylvään toimintaa.⁶⁰ Lähteen mukaan loppuosassa kirjettä Volta kertoo siitä, miltä sähköparin aiheuttamat sähköiskut tuntuvat eri osissa ruumista.⁵⁸



Kuva 12. Voltan kirjeestä Sir Joseph Banksille.⁵⁸

Volta toi kirjeessään Royal Societylle esille vain havaintonsa mittavista tutkimuksistaan Voltan pylväällä, mutta ei yrittänytkaan selittää siihen liittyvää ilmiötä millään teorialla.⁶¹

Volta itse selitti sähkön muodostumisen metallien välisen kosketuksen aiheuttamana, ei kemiallisena tapahtumana.⁶²

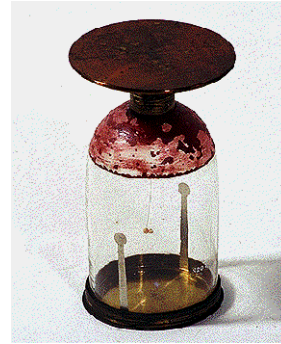
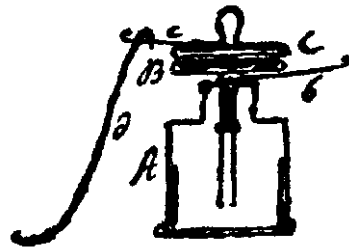
Pian Voltan pylvään julkaisun jälkeen Volta kutsuttiin esittelemään keksintöään Ranskaan, jossa oltiin Coulombin ansiosta pitkällä sähkötekniikan kokeellisessa ja teoreettisessa tietämyksessä. Vierailun seurauksena alettiin Ranskassa etsiä teoreettista selitystä sähköparin toiminnalle.⁵⁷

Keskustelu siitä, aiheutuiko Voltan pariston sähkö todella vain metallien kosketuksesta vai oliko kyseessä kemiallinen reaktio, jatkui aina 1900-luvulle saakka.⁶³ Volta itse pitäytyi käsityksessään, että metallien välinen kosketus sai elektronit liikkeelle (mover of electricity, ”electromotor”) ja sai aikaa sähköä, kun taas neste toimi vain sähkön johtena. Se kumpi metalleista veti puoleensa elektroneja voimakkaammin, määräsi elektronien suunnan. Mitä enemmän näitä metallipareja yhdistettiin, sitä nopeampi oli myös sähkövirta.⁶¹

Kipnis⁶¹ on analysoinut väittelyä Voltan pylvään synnyttämän sähkön alkuperästä. Väittely paljasti Voltan teoriassa monia ongelmia, mutta sen arvostelijat (mm. Nicholson ja Davy) eivät käyttäneet niitä hyväkseen. Volta hyväksyi lopulta sen, että myös nesteen läsnäolo oli tarpeen metallien lisäksi, jotta sähköä syntyy.⁶¹

3.3.5 Metallien välisen jännitteen vertailu: sähkökemiallisen jännitesarjan synty

Volta vertasi eri metalliparien yhdistämisen aiheuttamia varauksia ja samalla myös jännitteitä itse kehittelemällään laitteella, kondensaattori- eli tiivistäjäelektroskoopilla. (Kuva 13). Sen avulla voitiin mitata pieniä varauksia keräämällä niitä ensin levyjen muodostamaan kondensaattoriin. Poistamalla ylempi levy saatiin varaus siirtymään elektroskoopin ’viisareina’ toimiviin kultalehtiin, astian sisälle. Kultalehtien siirtyminen osoitti kerääntyneen varauksen määrän. Tällainen elektroskooppi oli herkin tunnettu sähkön indikaattori.⁶⁴



Kuva 13 . Voltan alkuperäinen luonnos kondensaattorielektroskoopista. ⁶⁵

Volta osoitti kokeessaan, että kun kupari ja sinkki yhdistetään, kupari tulee positiivisesti ja sinkki negatiivisesti sähköiseksi. Kun kondensaattorin levyjä kosketetaan näillä metalleilla, kontaktin jännite synnyttää varauksen, jonka suuruus on riippuvainen kondensaattorin kapasitanssista. Kun toinen kondensaattorin levyistä poistetaan, jää elektroskooppiin varaus, joka aiheuttaa elektroskoopin osoittimen siirtymisen. Tämä osoitus on suoraan verrannollinen metallikontaktin aikaansaamaan jännitteeseen U .⁶⁵ Volta päätteli myös ns. kondensaattorilain, jonka mukaan kondensaattoriin siirtyvän varauksen suuruus riippuu kondensaattorin kapasitanssista C ja sitä lataavasta jännitteestä T (nykyään U) kaavan $Q = CT$ mukaisesti. Jännitettä hän kuvasi ”sähkön taipumuksena paeta varatusta kappaleesta”.⁴⁸

Volta teki kokeita eri metallipareilla ja havaitsi, että niillä oli erilaiset varausluvut. Lisäksi hän havaitsi, että eri metallipareilla saatu elektroskoopin osoittimen siirtymä oli verrannollinen varauslukujen erotukseen.

Kokeittensa tuloksena hän sai aikaan Taulukon 1 mukaiset varausluvut.

Taulukko1.Voltan kokeiden tuloksena eri metalleille saadut varausluvut.⁶⁴

Metalli		varausluku
Sinkki	Zn	12
Lyijy	Pb	7
Tina	Sn	6
Rauta	Fe	5
Kupari	Cu	1
Hopea	Ag	0

Varauslukujen avulla voidaan laskea, että esimerkiksi sinkki-hopeaparin välinen suhteellinen varaus on $12 - 0 = 12$ ja rauta-kupariparin välinen suhteellinen varaus on $5 - 1 = 4$. Volta käytti näitä varauslukuja jännitteen tapaan selittäessään pariston toimintaa. Mitä suurempi oli metallien välinen varauslukujen ero, sitä suurempi jännite myös paristosta saadaan. Jännite kasvaa aina varauslukujen erotuksen verran siirryttäessä seuraavaan metallipariin pylväässä. Volta ei aluksi painottanut liuoksen merkitystä pariston toiminnassa, mutta sen osoitettiin kuitenkin myöhemmin olevan tärkeä tekijä.⁶⁰ Voltakin totesi jo julkaistessaan Voltan pylvään, että on parempi, jos liuos on suolaliuos.⁵⁸

Jos verrataan tätä nykyaikaiseen kemian taulukkoon,⁶⁶ huomataan, että metallien sähkökemiallinen jännitesarja on yllä mainittujen metallien osalta Zn, Fe, Sn, Pb, Cu, Ag. (Tinan ja lyijyn normaalipotentialien ero on hyvin pieni, vain 0,01 V).

Täytyy huomata, että tässä vaiheessa alkuaineiden jaksollinen järjestelmä oli vielä varsin puutteellinen, sillä vasta pariston keksiminen mahdollisti monien metallien löytymisen, kun elektrolyysi keksittiin ja metallit saatiin eristettyä yhdisteistään.

3.3.6 Galvanin ja Voltan välisestä väittelystä

Piccolino sanoo tekstissään⁴² Galvanin ja Voltan välillä käydyn tieteellisen keskustelun (tai voisiko sanoa väittelyn ja kritisoinnin) olevan yksi tieteen historian tärkeimmistä, koska sen ansiosta molemmat tieteilijät jatkoivat kokeitaan, jotka johtivat merkittäviin keksintöihin. Voltan kokeet johtivat sähköparin keksimiseen, mikä mahdollisti edelleen suuren määrän tutkimuksia ja keksintöjä sähköstä, sähkökemiasta, sähkömagnetismista ja muista sähköön liittyvistä ilmiöistä. Galvanin tutkimukset taas loivat pohjan sähköfysiologian tieteenalalle.⁴²

4. Sähkökemian tutkimuksen alkuvaiheita

4.1 Pariston keksimisen vaikutus kemian tutkimukseen 1800-luvun alussa

1800-luvun ensimmäinen neljännes oli voimakasta kehityksen aikaa kemiassa. Luonnontiede oli hyvin kansainvälistä, tutkijat olivat jatkuvasti yhteydessä toisiinsa sodista huolimatta ja lukuisia uusia tieteen aikakausilehtiä perustettiin. Kemia tunnustettiin ensimmäistä kertaa omaksi ammatikseen, toisin kuin ennen, jolloin kemisti yleensä valmistui ensin farmaseutiksi tai lääkäriksi. Yksityisiä kemian laboratorioita perustettiin ja yliopistoihin tuli lisää kemian professoreita. Jakoa ”puhtaaseen” ja ”soveltavaan” kemiaan ei vielä ollut, vaan teoreettisen kemian kehitys kulki käsi kädessä teknillisen kehityksen kanssa. Laajamittainen kemian teollisuus sai alkunsa. Kemian kehittyessä huimaa vauhtia myös tutkijat omistautuivat joko kemialle tai fysiikalle ja kemian ja fysiikan välinen läheinen yhteistyö alkoi heiketä.⁶⁷

Ennen Voltan pylvään keksimistä sähkön tutkimus koski lähinnä staattista sähköä. Voltan pylvään avulla oli kuitenkin mahdollista saada aikaan jatkuvaa sähkövirtaa. Lisäksi virran voimakkuutta voitiin säädellä lisäämällä tai vähentämällä Voltan pylvään korkeutta eli metalliekkiparien määrää pylväässä.⁶⁸

4.2 Pariston kehityksestä

Voltan paristossa oli tiettyjä heikkouksia, minkä takia sitä alettiin parannella ja siitä kehittyi nopeassa tahdissa uusia versioita. Voltan parin sinkkilevyt hapettuivat helposti, minkä takia niitä piti muutaman päivän välein hioa puhtaaksi ja vetykaasukuplat, joita muodostui positiivisella elektrodilla, heikensivät pariston tehoa.⁶⁹ Tämä oli vielä ongelmana myös ensimmäisessä massatuotantoon tulleessa paristossa, jonka kehitti Voltan kuppisarjan perusteella William Cruickschank (1745-1800). Se koostui pitkästä puisesta kaukalosta, joka oli jaettu lokeroihin yhteen juotetuilla kupari- ja sinkkilevyillä. Elektrolyytinä toimi rikkihappoliuos. Tämä paristotyyppi oli yleisesti käytössä sähköntutkimuksessa aina vuoteen 1830 saakka.⁷⁰

Muutamassa vuosikymmenessä Voltan paristo saatiin kehitettyä käyttökelpoiseen muotoon. Haitallinen vetykaasukuplien muodostuminen (ns. polarisoituminen), joka heikensi sähkö-

kulkua, saatiin estettyä laittamalla kummallekin elektrodille oma elektrolyyttinesteensä, joiden sekoittumisen esti huokoinen väliseinä. Tämän keksi vuonna 1829 A.C.Becquerell, jonka pojanpoika keksi radioaktiivisuuden. Rakennetta kehitti edelleen käytännöllisemmäksi J.F. Daniell 1836. Daniellin paristossa oli savilieriön sisällä rikkihapossa sinkkielektrodi, jota ympäröi kuparielektrodi kuparisulfaattiliuoksessa. Pariston jännite oli 1,08 V, ja sillä saatiin sähkövirtaa noin kuuden tunnin ajan.⁷⁰

4.3 Veden elektrolyysi

Ensimmäinen sähkön avulla tuotettu kemiallinen reaktio oli veden elektrolyysi eli veden hajottaminen vedyksi ja hapeksi.⁶⁷

Volta lähetti pylvästään koskevan kirjeen Royal Societylle kahdessa osassa, joten useat englantilaiset tutkijat olivat nähneet Voltan tutkimuselostuksen ensimmäisen osan jo ennen kuin se luettiin Royal Societyssä.^{67,70} Sen oli nähnyt myös Anthony Carlisle, joka oli Royal Societyn sihteerin Sir Joseph Banksin hyvä ystävä. Carlisle kokosikin tutkijaystävänsä William Nicholsonin kanssa Voltan pylvään ja aloitti tutkimukset sillä jo ennen kuin Voltan kuvaus pylvästä oli julkaistu. Anthony Carlisle oli lontoolainen kirurgi ja Nicholson taas liikemies, vesi-insinööri, opettaja ja tutkija sekä luonnontieteellisten kirjoitusten ja teosten laatija ja kustantaja.⁷¹

Nicholson ja Carlisle eivät varsinaisesti lähteneet etsimään veden elektrolyysiä, vaan sen löytyminen tapahtui sattumalta. Koottuaan Voltan pylvään he tarkistivat elektrometrin avulla, että pylväs todella tuotti sähköä. Varmistaakseen kontaktin johtimien ja Voltan pylvään välillä, he olivat laittaneet vesipisaran ylimmän metallilevyn päälle. Kun tähän tuotiin johdin, havaitsi Carlisle, että siitä irtosi kaasua, joka hänen mielestään haisi vedyltä. Lukuisien jatkotutkimusten ja erilaisten koejärjestelyiden perusteella he varmistuivat siitä, että reaktiossa muodostui happea ja vetyä suhteessa 2:1, kuten tiedettiin olevan veden komponenttien suhde. Lisäksi he havaitsivat, että vapautuneiden kaasujen määrä oli suorassa suhteessa käytetyn sähkövirran määrään.⁷²

Nicholson ja Carlisle odottivat, että Voltan kirjeen toinen osa saapui ja esitettiin Royal Societylle, ennen kuin julkaisivat tuloksensa heinäkuussa 1800 Nicholsonin omassa lehdessä, jolla oli näin kunnia julkaista ensimmäinen sähkökemiallinen tutkimus. Jatkossa Nicholsonin lehdessä julkaistiin mm. ”tee-se-itse”-ohjeet Voltan pylvästä ja Sir Humphry Davyn sähkökemian tutkimuksia.⁷¹

4.4 Uusia alkuaineita elektrolyysi avulla

Humphry Davy (1778-1819), oli eräs merkittävistä kemian tutkijoista 1800-luvun alussa, Royal Institutionin johtaja (1802-1812) ja pidetty luennoitsija. Hänen tärkeimmät työnsä koskivat sähkökemian ja hän teki myös sähköön liittyviä keksintöjä.

Davy alkoi myös tehdä omia kemiallisia kokeitaan Voltan pylväällä vuonna 1800. Davy havaitsi, että sähköön avulla oli mahdollista hajottaa myös hyvin pysyviksi luultuja aineita. Jo Lavoisier oli epäillyt, että osa alkuaineiksi luulluista maa-alkalimetalleista (alkali earths) olisivat itse asiassa vielä tuntemattomien metallien oksideja, ei alkuaineita. Davy sai lopulta elektrolyysin avulla eristettyä kaliumin potaskasta ja natriumin soodasta.⁷³

Davy käytti potaska- ja soodaliuoskokeissaan Voltan pylvästä, jossa oli 100 kpl kuuden neliötuuman kokoisia kupari- ja sinkkilevyä. Hän kokeili lukuisia eri kytkentöjä, mutta ei onnistunut hajottamaan yhdisteitä vaan sai aikaaan vain vetyä ja happea, jotka olivat peräisin vesiliuoksesta. Lopulta hänen onnistui (1807) hajottaa potaska käyttämällä kokeessa liuoksen sijaan sulatettua potaskaa ja Voltan paristoa, jossa oli 250 kupari- ja sinkkilevyä. Kaliumin eristäminen oli vaikeaa jo siitäkin syystä, että tuote, jota saatiin hyvin pieni määrä, reagoi saman tien räjähtämällä ja syttymällä kiivaasti palamaan. Davy käytti samaa menetelmää myös natriumin eristämiseen soodasta. Davyn kuvaus natriumin eristämisestä on hurjaa luettavaa:⁷³

”When the power of 250 was used, with a very high charge for the decomposition of soda, the globules often burnt at the moment of their formation, and sometimes violently exploded and separated into smaller globules, which flew with great velocity through the air in a state of vivid combustion, producing a beautiful effect of continued jets of fire.”⁷³

”Kun soodan hajottamiseen käytettiin hyvin korkeaa latausta, 250 levyn paristoa, pisarat paloivat usein syntymishetkellään. Joskus pisarat räjähtivät kiivaasti ja erottuivat yhä pienemmiksi pisaroiksi, jotka sitten kiisivät ilmassa kovalla nopeudella kirkkaasti palaen ja tuottivat kauniin jatkuvan liekkisuihkun.”⁷³

Davy ei ollut varma kaliumin ja natriumin metalliluonteesta. Käytyään asiasta keskustelua muiden tieteilijöiden kanssa hän tuli siihen tulokseen, että niitä voidaan pitää metalleina niiden metallikiillon sekä sähkön- ja lämmönjohtokyvyn vuoksi.⁷³

Vuonna 1808 Davy eristi ensi kertaa myös kalsiumin. Tässä hän käytti apuna sähkövirtaa ja amalgaamia, jota hän sai aikaan kytkemällä sähkövirran kalkin ja elohopean seokseen. Tuloksena oli kalsiumamalgaamia, josta elohopea saatiin tislamalla pois. Samaa menetelmää soveltaen hän eristi pian myös bariumin, magnesiumin ja strontiumin. Booria Davy sai valmistettua käyttämällä hyväksi kaliumin pelkistävää vaikutusta.^{67,74}

Davy käytti Voltan paristoa myös tutkimuksissaan, joiden tuloksena hän totesi, että kloori on alkuaine eikä yhdiste. Lavoisier oli esittänyt, että muriaattihappona vielä tuolloin tunnettu aine olisi jonkin tuntemattoman aineen oksidi, eikä alkuaine. Näin ollen tutkimuksessa oksimuriaattihapossa olisi pitänyt olla vielä enemmän happea. Kokeissa käytetyssä Voltan paristossa oli 1000 levyä, mutta siitä johdettu sähkö ei irrottanut oksimuriaattihaposta happea, mikä olisi osoittanut Lavoisierin oletuksen oikeaksi.⁷⁵ Sen sijaan Davy osoitti pitkällisten kokeiden tuloksena, että oksimuriaattihappo oli happea muistuttava aine. Davy antoi sille nimen kloori, joka kuvaa kyseisen kaasun vihreää väriä. Lisäksi hän tuli tulokseen, että muriaattihappo onkin kloorin ja vedyn yhdiste.⁷⁴

Davy, joka oli monipuolinen tutkija ja teki perusteellista työtä, totesi myös, että sähkövirta on suoraan verrannollinen johtimen poikkipinta-alaan ja kääntäen verrannollinen sen pituuteen.⁷⁶ Davy osoitti, että sähkön syntymiseen liittyy kemiallinen reaktio, Voltan esittämä pelkkä kahden metallin välinen kontakti ei riitä. Hän teki kokeita erilaisilla metallipareilla ja liuoksilla päätyen siihen tulokseen, että toinen metalleista hapettuu.⁷⁴

Sähkön ja kemiallisten reaktioiden välinen yhteys tuli hyvin esiin elektrolyysissä. Kun kerran sähköllä voitiin hajottaa yhdisteitä, oli luonnollista olettaa, että molekyyliä koossapitävät voimat olisivat myös luonteeltaan sähköisiä.⁶⁷ Davy esitti, että molekyylien osat ovat toisissaan kiinni sähkövoimalla, ja kun yhdisteeseen tuodaan ulkopuolista sähkövoimaa, tämä sidos voi mennä rikki.⁶⁹

4.5 Elektrolyysilait

Michael Faradayn (1791-1867) tutkimukset sähköstä liittyivät pääasiassa fysiikkaan. Hänet tunnetaan parhaiten sähkömagneettisen induktion keksimisestä (1831). Myös Faradayn sähkökemian tutkimukset olivat merkittävät. Faraday tutki elektrolyysiä ja julkaisi v.1832-1833 ns. elektrolyysilait.⁶⁷ Lindell esittää ne suomeksi seuraavasti:⁷⁷

1. *Massa, joka vapautuu elektrodilla on verrannollinen elektrolyytissä kulkevan sähkön määrään.*
2. *Massa, jonka tietty sähkömäärä vapauttaa, on verrannollinen alkuaineen atomipainoon ja kääntäen verrannollinen sen valenssiin.*

Faraday kehitti sähkökemian termistöä yhdessä luonnontieteiden historioitsija William Whewellin (1794-1866) kanssa. Käyttöön otettiin sanat electrode (elektrodi), anode (anodi), cathode (katodi), ion (ioni), anion (anioni) ja cation (kationi).⁶⁷

5. Johtopäätökset ja pohdinta

Sähkö ilmiönä on ollut ihmiselle tuttu jo vuosituhansien ajan. Ilman 1600-1800-luvuilla tapahtunutta valtavaa luonnontieteilijöiden ja harrastajien keskuudessa virinnyttä innostusta sähköön parissa ja siitä seurannutta sähköä, magnetismia ja kemian tutkimuksen rinta rinnan tapahtunutta esiinmarssia ei nykyaikainen yhteiskunta mukavuuksineen olisi mahdollinen.

Sähkökemian erkani omaksi tieteenhaarakseen siinä vaiheessa, kun paristo oli keksitty 1800-luvun alussa. Sitä ennen oli kemian historia sähköä osalta edennyt hyvin tiiviisti käsi kädessä fysiikan tutkimusten kanssa. Merkittävimmät 1700-luvun tutkijat tekivät sekä fysiikan että kemian tutkimuksia. Askarreltiin vielä sen ongelman parissa mitä sähkö on, miten sitä saadaan tuotettua, varastoitua, miten se käyttäytyy, näyttäytyy ja siirtyy paikasta toiseen. Voisi sanoa, että sähköllä enneminkin vielä leikittiin – nykytietämyksen valossa - tutustuen tämän uuden ”leikkikalun” ominaisuuksiin. Tämä työ ei suinkaan ollut turhaa, vaan se pohjusti myöhempää tutkimusta ja sähköön liittyvien teorioiden ja keksintöjen kehittelyä.

Sähköä tutkimuksen eteneminen on ollut varsin loogista, vaikkakin monin paikoin myös sattumalla on ollut osansa historian etenemisessä, kuten voi huomata mm. Gilbertin, Galvanin, ja Nicholsonin ja Carlislen kohdalla. Keksintöjen tekeminen on vaatinut tutkijalta kyvyn nähdä yllättävät ilmiöt ja sitkeyttä tutkia niitä joka suunnalta ja eri olosuhteissa. Peräänantamattomuus, innostuneisuus ja uteliaisuus ovatkin niitä ominaisuuksia, jotka yhdistävät kaikkia näitä historiaan jääneitä tutkijoita ja luonnontieteen harrastajia. Lisäksi täytyy ihmetellä sitä, kuinka tuon ajan olosuhteissa tutkijat ovat pitäneet varsin tiiviisti toisiinsa yhteyttä kirjeitse ja vierailujen välityksellä yli valtakuntien rajojen ja kielirajojen jopa sotien aikana. Tieteellisten julkaisuiden ja yleisöluentojen merkitys on ollut suuri.

1800-luvulle tultaessa oli jo saavutettu merkittäviä virstanpylväitä sähköä tutkimuksessa: Osattiin tuottaa sähköä monella eri tavalla, osattiin varastoida sitä Leidenin pulloon, jolloin sähkö oli jopa siirrettävissä ”matkalaboratorion” tavoin. Oli myös esitetty jo parikin teoriaa siitä, mitä sähkö on. Tunnettiin sähköä jakautuminen positiiviseen ja negatiiviseen varaukseen.

Kun sitten lopulta tapahtui käänteen tekevä edistysaskel Voltan keksiessä Voltan pylvään eli ensimmäisen pariston, oli kehitys sen jälkeen huimaa. Voltan pylväs tarjosi ensimmäisen luotettavan ja kontrolloitavissa olevan keinon tuottaa sähköä. Se oli helppo koota ja tarjosi näin ollen lähes välittömästi tutkijoille uuden työkalun tutkimuksiinsa sähköön ja kemian parissa. Sähköparin kehittäminen alkoi välittömästi. Paristosta tuotettiin useita eri versioita korjaten sen heikkouksia. Paristo avasi uudet mahdollisuudet myös kemian puolella, missä lähes välittömästi keksittiin – vahingossa – elektrolyysi ja alettiin löytää uusia alkuaineita sen avulla. Sähköparin periaatteen keksimisen merkitys paljastuu, kun ajatellaan, missä kaikkialla tällä hetkellä käytetään paristoja.

Tämä työ on avannut tekijälleen kokonaisen maailman, jonka olemassaolo oli tiedossa, mutta jonka sisältö, todellinen laajuus ja monimuotoisuus on ollut kiehtovuudessaan hämmentävä tuttavuus. Voisi olettaa, että kemian historiasta olisi apua myös kemian kouluopetuksessa. Kemian historian näkökulman mukaan tuominen opetukseen avaisi varmasti näkökulman, joka olisi omiaan motivoimaan myös sellaisia oppilaita, joille keskittyminen pelkkään kemiaan ja sen ilmiöihin on haasteellista.

6. Lähteet:

¹ <http://www.allaboutbatteries.com/history-of-batteries.html> 5.10.2008.

Kuva osoitteesta: (11.11.2008)

<http://patentpending.blogs.com/patent_pending_blog/2004/10/the_baghdad_bat.html>

² http://en.wikipedia.org/wiki/Baghdad_Battery 05.10.2008.

³ Gribbin, J. *Science : a history, 1543-2001*; 2003; s.68-69.

⁴ Viite 3, s.285.

⁵ Viite 3, s.241.

⁶ *Suomalainen tietosanakirja, tamp-ö*, Weilin+Göös, Porvoo, 1993, s. 322.

⁷ Viite 3, s.242.

⁸ Bernal, J. D. *Science in history*, Watts, London, 1954, s.431.

⁹ Lindell, I. V. *Sähkötekniikan historia*, Otatieto, Espoo, 1994, s.3-4.

¹⁰ Encyclopaedia Britannica, William Gilbert

<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/233551/William-Gilbert> , 1.9.2008.

¹¹ Viite 9, s.6.

¹² La Cour, P.; Appel, J. *Maailman rakenne ja luonnonvoimat II*, Otava, Helsinki, 1906, s. 297.

¹³ Viite 9, s.8.

¹⁴ Viite 9, s.9.

¹⁵ Viite 12, s.298.

¹⁶ Magie, W. F. *A source book in physics*; Harvard University Press: Cambridge, 1965, s.393. Käännös englanniksi kirjasta De Magnete Magnetisque Corporibus et de Magno Magnete Tellure Physiologia Nova. Kääntänyt E.Fleury Mottelay, julkaistu 1893.

¹⁷ Viite 12, s.299.

¹⁸ Viite 16, s.394, Ote Guericken tekstistä *Works, Fourth Book, De Virtutibus Mundanis*, luku 15, Electric Attractions and Repulsions (ei julkaisuvuotta).

¹⁹ Viite 9, s.10-12.

²⁰ Viite 8, s.432.

²¹ Viite 9, s.13.

²² Viite 12, s. 302.

²³ Viite 9, s.14.

²⁴ Viite 9, s.16-17.

²⁵ Viite 16, s.395-398, ote Grayn tekstistä Royal Societyn julkaisussa *Philosophical Transactions* Vol 6, Part II, s. 6, 1731 (julkaistu 1733).

²⁶ Viite 9, s.18-20.

²⁷ Viite 16, s.398-400, ote Dufayn tekstistä Royal Societyn julkaisussa *Philosophical Transactions* Vol 38, s.258, 1734.

²⁸ Viite 9, s.55-56.

²⁹ Viite 8, s. 433-434.

³⁰ Viite 9, s.22.

³¹ Magnet Lab, National high magnetic field laboratory, Florida State University, Center for integrating research and learning.

<<http://www.magnet.fsu.edu/education/tutorials/museum/Leidenjar.html>> (09.11.2008)

³² Viite 12, s.315 ja 317.

³³ Viite 9, s.51.

³⁴ Viite 12, s. 322.

³⁵ Viite 9, s.65.

³⁶ Kallunki, V. *From electrostatics to the circuits of the pile: experimentality and models in concept formation*, lisensiaattityö, Helsingin yliopisto, Helsinki, 2001, s.27-33.

³⁷ Viite 12, s.319.

³⁸ Viite 9, s.59.

³⁹ Viite 9, s.61-62.

⁴⁰ Viite 9, s.81-86

⁴¹ Classic Encyclopedia, <http://www.1911encyclopedia.org/Luigi_Galvani> 01.11.2008

⁴² Piccolino M., Animal electricity and the birth of electrophysiology: the legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin* 1998, 5, 381. s.381-383.

⁴³ Viite 16, s.420-426, Otteita Galvanin tekstistä “De viribus electricitatis in motu musculari commetarius”, julkaistu teoksessa *De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto atque Academia Commentarii*, Vol 7, 1791.

⁴⁴ Viite 42, s. 384-386.

⁴⁵ Pavian yliopiston fysiikan laitoksen Volta-museon internetsivut. Kuva osoitteessa http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/immagini/gv2_1.gif (09.11.2008)

⁴⁶ Viite 45, Kuva osoitteessa: <http://ppp.unipv.it/volta/Pages/immagini/avus7_2.gif> (09.11.2008)

⁴⁷ Viite 9, s.85.

⁴⁸ Viite 45, Alessandro Volta, man and scientist
<<http://ppp.unipv.it/volta/Pages/ePage1.html>> (09.11.2008)

⁴⁹ Viite 9, s.88

⁵⁰ Viite 3, s.289-290.

⁵¹ Viite 9, s. 67 ja 89

⁵² Viite 45, <<http://ppp.unipv.it/volta/Pages/ePage1.html>> (09.11.2008)

⁵³ Viite 12, s.359

⁵⁴ Viite 9, s.90

⁵⁵ Viite 42, s.387-388.

⁵⁶ Viite 42, s. 389

⁵⁷ Viite 9, s.92

⁵⁸ Leicester, H. M.; Klickstein, H. S. *A source book in chemistry 1400-1900*; McGraw-Hill: New York, 1952, 554, s.240-242. Ote Voltan kirjeestä Sir Joseph Banksille 20.3.1800, Julkaistu Royal Societyn julkaisussa *Philosophical Transactions* s.403, 1800.

⁵⁹ Lähde 45, <http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/immagini/gv8_1.gif>(09.11.2008)

⁶⁰ Viite 9, s.93.

⁶¹ Kipnis, N., Debating the Nature of Voltaic Electricity, 1800-1850. Kirjassa F.Bevilacqua ja E.A. Giannetto (toim.) *Nuova Voltiana, Sudies on Volta and his Times*, 3. Universita degli studi di Pavia. Hoepli. Milano, 2001. s.126-128

⁶² Viite 45, <ppp.unipv.it/Volta/Pages/ePage5.html>(09.11.2008)

⁶³ Kragh, H. Confusion and Controversy: Nineteenth Century Theories of the Voltaic Pile. Kirjassa F.Bevilacqua ja E.A. Giannetto (toim.) *Nuova Voltiana, Sudies on Volta and his Times*, 1. Universita degli studi di Pavia. Hoepli. Milano, 2000. 133-157, s.134

⁶⁴ Viite 9, s.91

⁶⁵ Viite 45, The condenser electrometer
< <http://ppp.unipv.it/Volta/Pages/ePage1.html>> (09.11.2008)

⁶⁶ Karkela, L., Kervinen, M., Meriläinen, P., Parkkila, I., Seppänen, R. Maol taulukot, 2.painos, Otava, Keuruu, 2006, s.146.

⁶⁷ Leicester, H. M. *The historical background of chemistry*, Wiley, New York, 1956, s.165-170.

⁶⁸ Viite 3, s.290.

⁶⁹ Viite 9, s.94-98.

⁷⁰ Viite 61, s.122.

⁷¹ Institute of Chemistry, The Hebrew University of Jerusalem,
<<http://chem.ch.huji.ac.il/history/nicholson.html>>(11.11.2008)

⁷² Viite 16, s. 432-436. Ote julkaisusta *Nicholsons's Journal of Natural Philosophy, Chemistry and Arts*, July, 1800.

⁷³ Viite 58, s.243-248, Ote tekstistä The Bakerian Lecture in November 1807, julkaisusta *The Philosophical Transactions* 98, 1-44, 1808. Lainatun katkelman käännös suomeksi Matleena Ojapalo ja Minna-Liisa Rantaniemi.

⁷⁴Hudson, J. *Suurin tiede : kemian historia*, Art House, Helsinki, 1995.s.145-152

⁷⁵Viite 58, s.253-258, Ote tekstistä”Researches on the oxymuriatic Acid, its Nature and Combinations; and on the Elements of the muriatic Acid”, *Philosophical Transactions*, 100, 231-57, 1810. Sekä *Philosophical Transactions* 101, 1-35, 1811.

⁷⁶Viite 9, s. 132.

⁷⁷ Viite 9. s. 162.