

Elektrochemie

Voor en na het elektron...

Ludo Brandt

(Symposium: Opkomst van de instrumentele chemische analyse, Gent, 2011)

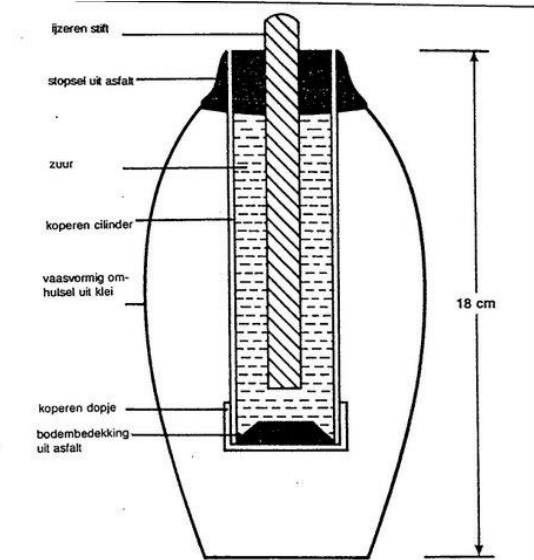
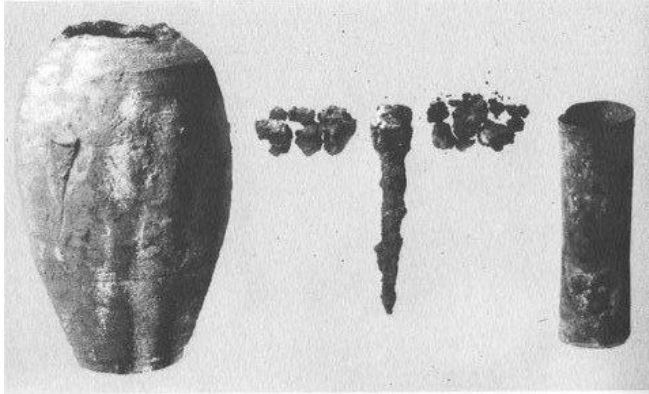
Wie het ontstaan en de ontwikkeling van de ‘elektrochemie’ napluist, komt tot een aantal interessante vaststellingen. De ontwikkeling van de chemie, inclusief de deelgebieden van de fysische chemie en de elektrochemie, tijdens de 19de eeuw is te vergelijken met een puzzel, waarvan de stukken langzaamaan aan elkaar geklonken werden, maar waarvan het sluitstuk, nl. de ontdekking van het ‘elektron’ als elementair materiedeeltje, pas als allerlaatste stuk van de puzzel gevonden werd. En het was dit laatste puzzelstuk dat de weg opende naar een heel nieuwe benadering van de inzichtelijke chemie: chemische verschijnselen verklaren uitgaande van elektronenmigraties binnen stoffensystemen.

Elektrochemie is een domein van de chemie dat tot ontwikkeling is gekomen door studie van de interacties tussen stoffen en het verschijnsel elektriciteit.

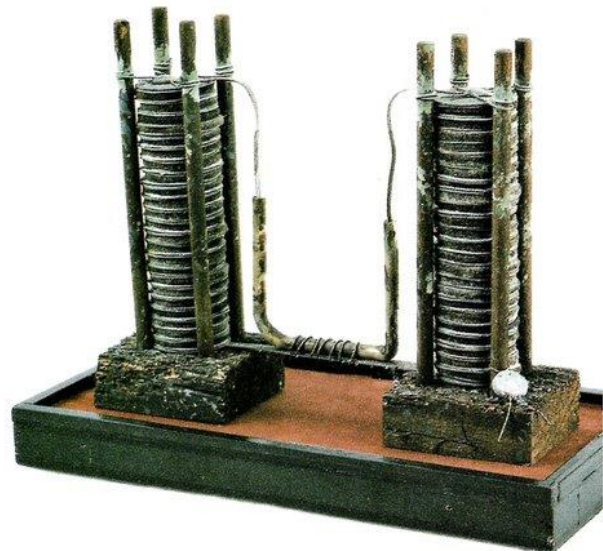
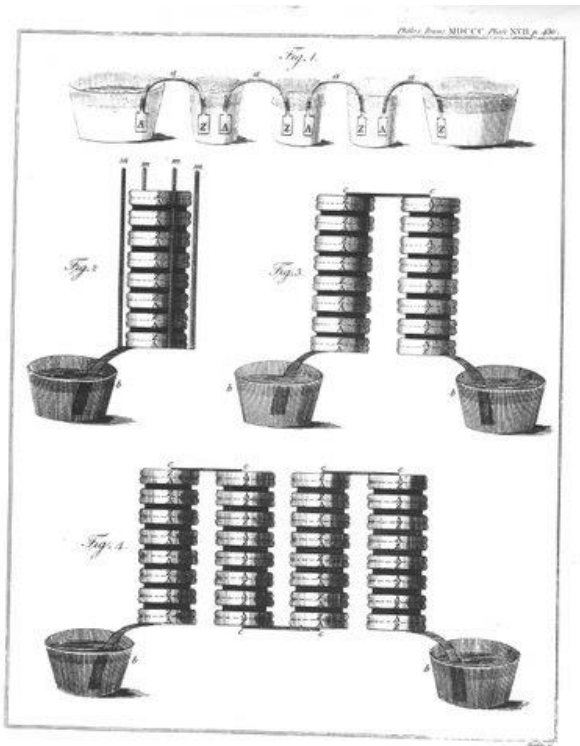
En dit in twee richtingen: hoe stoffen elektriciteit kunnen voortbrengen, en hoe elektriciteit de eigenschappen van stoffen beïnvloedt. Uiteindelijk is dit uitgemond in de huidige moderne chemie die men ook kan betitelen als de ‘elektronenchemie’. Het verhaal van deze ontwikkeling is boeiend, ingewikkeld en allerminst rechtlijnig.

De moeizame weg naar de ‘elektronenchemie’

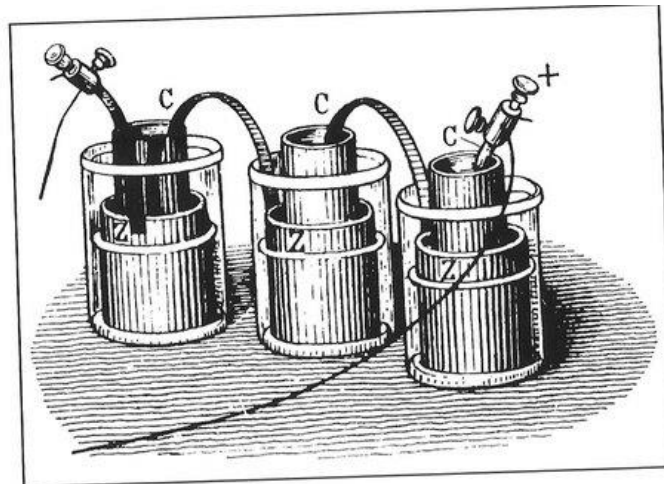
- Het ontstaan van de elektrochemie bevindt zich in de nevelen van de Oudheid, zoals ze onthuld worden door al of niet betwistbare archeologische vondsten, zoals b.v. de ‘Batterij van de Parthen’ en allerlei ambachtelijk-alchemistische procedés voor het vergulden, verzilveren van voorwerpen. Dat de samenstelling en de eigenschappen van stoffen iets te maken hadden met ‘electriciteit’ was reeds lang gekend. Denk maar aan de elektrische aard van ‘barnsteen’. Maar ook hier is het lang onduidelijk gebleven wie wat veroorzaakt: zit er ‘electriciteit’ in de stoffen of ontstaan de elektrische eigenschappen van stoffen onder invloed van omgevingselectriciteit? Het hoogtepunt van de zoektocht naar het wezen van de elektrochemie situeert zich evenwel pas einde 19de eeuw, met de invoering (in 1891, G.J. Stoney (1826-1911)) en aanvaarding van het concept ‘elektron’ eerst enkel als elementaire elektrische lading maar daarna ook als massadeeltje met een eigen specifieke massa/lading verhouding (in 1897, J.J. Thomson (1856-1940)). Vanaf dan kan men de chemie betitelen als een ‘elektronenchemie’. Dan pas kon men de zoektocht naar de ‘atoomstructuren’, en naar de aard van de ‘chemische bindingen’ en van de ‘chemische reactiemechanismen’ aanvatten of, beter gezegd, hervatten vanuit een nieuwe invalshoek nl. het gedrag van elektronen bij stofomzettingen.
- De ontwikkeling van de elektrochemie was nauw verbonden met de ontwikkeling van stabiele stroombronnen: systemen om ‘electriciteit’ te stockeren, tijdelijk te bewaren en opnieuw kunnen gebruiken. Mijlpalen hiervoor zijn het elektriseertoestel (1660) van Otto von Guericke (1602-1686), de ‘Leidse flessen’ (1750) van Pieter Van Musschenbroek (1692 -1761), de ‘metaalplatenzuil’ (1800) van Alessandro Volta (1745-1827) en de batterij van John Frederick Daniell die in 1835 een batterij samenstelde met elektroden van koper en zink, gedompeld in een kopersulfaatoplossing, en van elkaar gescheiden door een poreuze keramische wand. Deze batterij leverde een constante elektriciteitsstroom gedurende een langere tijd dan de tot dan toe beschikbare batterijen.



Batterij van de Parthen met schema.

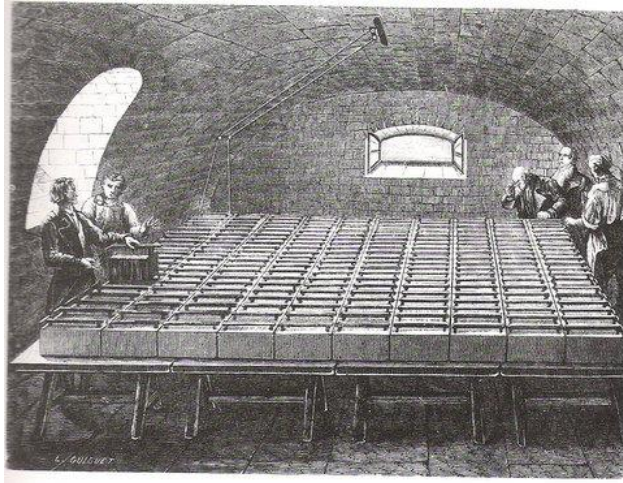


Metaalplatenzuil (1800) en elektrolysetoestel van Alessandro Volta (1745-1827).

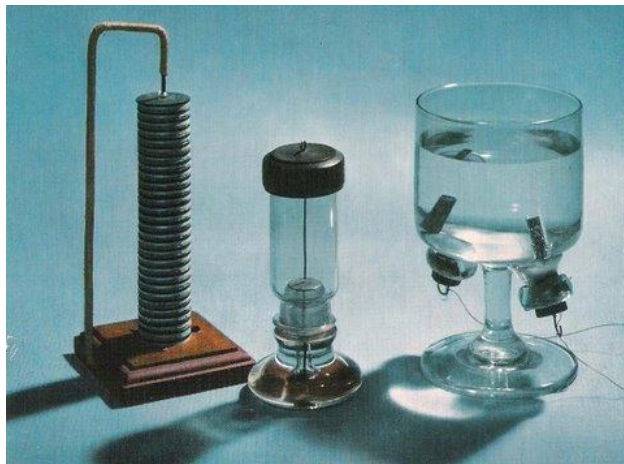


Batterij van John Frederick Daniell (1790-1845).

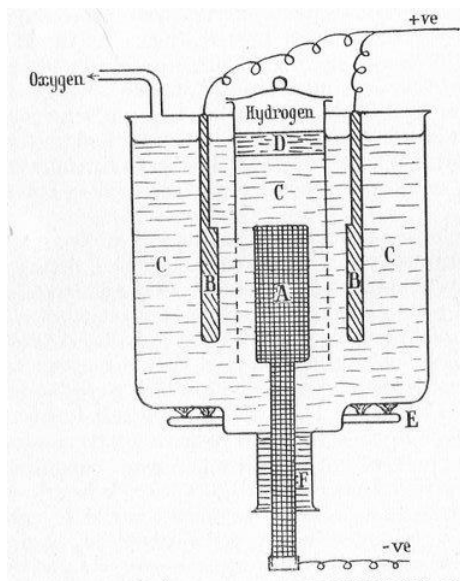
- Rond 1803 stelden J.J. Berzelius (1779-1848) en William Hisinger (1766-1852) vast dat tijdens zoutelektrolysen, basen gevormd werden aan de negatieve pool en zuren aan de positieve pool van een elektrische stroombron, waaruit ze afleidden dat zuren en basen zelf ook tegengestelde elektrische ladingen moesten dragen. Deze waarneming was voor Berzelius een belangrijk uitgangspunt voor zijn latere dualistische affiniteitstheorie tussen tegengesteld geladen deeltjes.
- Opzienbarende resultaten in het elektrochemisch onderzoek werden verkregen door Humphry Davy (1778-1819), die professor was aan het Royal Institution of London. Hij construeerde een batterij met meer dan 250 metaalplaten, één van de meest krachtige toenmalige toestellen. Met dit toestel probeerde hij elektrolysen uit te voeren op gesmolten zouten. In november 1807 kon hij de isolatie van metallisch kalium en natrium publiekelijk bekend maken. De chemici waren sterk onder de indruk van de grote reactiviteit die deze elementen vertoonden. Davy zette zijn onderzoek verder en kon op gelijkwaardige wijze barium, magnesium, calcium en strontium isoleren. Hij slaagde er eveneens in boorzuur te reduceren tot zuiver boor, met kalium als reductiemiddel. Deze reductieve bereidingsmethode werd later nog veelvuldig toegepast in de bereiding van metalen. Davy ontdekte zo ook de vorming van amalgamen door reductie van kwikoxide met metalen. Berzelius paste deze reactie toe op ammoniumzouten en verkreeg ammoniumamalgam, waaruit hij besloot tot het "basisch karakter" van ammoniak. De naam "ammonium" werd voorgesteld omwille van de ontdekte analogie met metalen.



Batterij van Humphry Davy (1778-1819).



Elektrolysetoestel van Humphry Davy (1778-1819).



Elektrolyse van NaOH.

- Een belangrijk dispuut in het elektrochemisch onderzoek was de ‘dualistische theorie’ van J.J. Berzelius (\pm 1820). Daarin werd verondersteld dat alle atomen ‘elektrische ladingen’ droegen. De aard en de oorsprong van dergelijke ladingen was echter nog onbekend. Atomen met tegengestelde lading konden zich combineren tot verbindingen. Zolang deze verbindingen nog elektrisch geladen waren kon een reactie optreden met verbindingen met tegengestelde lading. Deze theorie vond zeer veel weerklank bij de toenmalige chemici, maar was onrechtstreeks ook medeoorzaak van het moeilijk doordringen van de opvattingen van Amedeo Avogadro (1776-1856), betreffende het diatomisch karakter van gasmoleculen, en van onderzoekers zoals Michaël Faraday (1791-1867), J.W. Hittorf (1824-1914) en J.F. Daniell, die trachten te ontraadselen hoe elektrisch geladen deeltjes konden ontstaan in waterige oplossingen en in smelten. Dergelijke studies van chemische reacties beïnvloedden het chemisch denken zeer sterk in het eerste kwartaal van de negentiende eeuw. Nochtans bleven de chemici vooral redeneren op basis van louter kwalitatieve waarnemingen.
- Kwantitatieve waarnemingen in de elektrochemie werden verricht en kenbaar gemaakt door M. Faraday, assistent en opvolger van H. Davy in het Royal Institution in London. De onderzoekingen van Faraday op het gebied van de elektriciteit waren vooral fysisch gericht. Hij verwierf vooral bekendheid wegens zijn ontdekking van de elektromagnetische inductie. Nochtans was zijn chemisch onderzoek niet minder opzienbarend! Zijn belangrijkste ontdekking (1832-1833) voor de vooruitgang van de elektrochemie was, dat tijdens een elektrolyse de hoeveelheid ontbonden stof evenredig was met stroomsterkte en tijd, en dat de massa van de stof die zich afzet op de elektroden evenredig is met de "equivalent-massa" van die stof. Deze ontdekking bood een nieuwe onafhankelijke methode ter bepaling van equivalent-massa's. Nochtans stuitte deze ontdekking op vrij veel tegenstand in chemische kringen, o.a. door het verzet van Berzelius. Faraday voerde ook een betere terminologie in voor de elektrochemische verschijnselen. Hij nam daartoe de suggesties over van William Whewell (1794-1866), een classicus, gespecialiseerd in de geschiedenis van de wetenschap: elektroden, anode, kathode, ion, anion, kation. De wetten van Faraday, die o.a. een basis leggen voor het kwantitatief verband tussen massatransport en elektriciteit, werden dus reeds vastgesteld voordat men een duidelijk inzicht had in het wezen van de elektriciteit zelf.
- Het werd stilaan voor elkeen duidelijk dat de "elektrische kracht" of de "elektrische vloeistof" een belangrijke rol ging spelen in de chemische basistheorieën. Vermits chemische verbindingen werden doorbroken door elektrolyse, leek het meer en meer waarschijnlijk dat de chemische affiniteit tussen de elementen onderling mede bepaald werd door elektrische eigenschappen van elementen. Reeds in 1800 had William Cruikshank (1745-1800) gesuggereerd dat de "elektrische vloeistof", die hij beschouwde als een chemische verbinding, net zoals warmte, reageerde met zuurstof of waterstof aan de elektroden van een elektrische stroombron. Davy opperde de mening dat chemische verbindingen elektrisch opgeladen werden wanneer ze mekaar naderden, en dat verbindingen stabiel bleven door neutralisatie van deze ladingen.

Verval van de dualistische theorie van Jöns Jacob Berzelius en ontstaan van de ionisatietheorie van Svante Arrhenius

- Een groot struikelblok in het elektrochemisch denken bleef evenwel het ongeloof bij de meeste onderzoekers dat tegengesteld geladen deeltjes, los van elkaar in oplossing

zouden bestaan. De grote doorbraak werd geleverd door de ionisatietheorie in de tweede helft van de negentiende eeuw, toen de onderzoekers een correlatie ontdekten tussen enerzijds dampspannings- en osmotische eigenschappen van oplossingen en anderzijds het "elektrisch gedrag" van oplossingen.

- De drie belangrijkste ontwikkelingsdomeinen in de fysicochemie tijdens de negentiende eeuw waren de kinetica, de thermodynamica en de elektrochemie. Daarnaast begonnen zich ook langzaam gebieden te ontwikkelen zoals de fotochemie en de colloïdchemie. De ontwikkelingen in de elektrochemie waren enigszins in het slop geraakt rond de jaren 1840-1850, doordat de chemici niet goed raad wisten met de dualistische theorie van Berzelius. Nieuwe perspectieven werden echter geopend door enkele chemici die verbanden begonnen te leggen tussen enerzijds gekende experimenten over osmose, vriespuntsverlagingen en kookpuntsverhogingen, en anderzijds het "elektrisch" gedrag van stoffen in oplossing.
- In 1748 had Abbé Nollet (1700-1770) vastgesteld dat water diffundeerde doorheen een dierlijk membraan naar een suikeroplossing. R.J.H. Dutrahet (1770-1847) ondernam in 1826 pogingen om de aldus ontstane drukken te meten, en kwam tot de conclusie dat de "osmotische druk" evenredig was met de concentratie der gebruikte oplossingen. Thomas Graham (1805-1869) stelde vast dat sommige stoffen niet diffundeerden doorheen zulke membranen en legde door zijn verder onderzoek de grondslagen van de colloïdchemie. Nauwkeuriger studies over de osmotische effecten werden mogelijk toen Moritz Traube (1845-1894) in 1867 de samenstelling beschreef van artificiële membranen in de wand van een poreuze pot. De plantkundige William Pfeffer (1845-1920) gebruikte dergelijke artificiële membranen om de wetmatigheden tussen osmotische druk, concentratie en temperatuur vast te stellen. In 1885 toonde Jacobus van 't Hoff (1852-1911) aan dat de wetten van de osmotische druk in feite dezelfde waren als de gaswetten op voorwaarde dat zeer verdunde oplossingen gebruikt werden.
- Francois Marie Raoult (1830-1901) toonde in 1882 aan dat de vriespuntsverlaging van oplossingen evenredig was met de 'moleculaire concentratie' van de oplossing. In 1887 toonde hij het gelijksoortig effect aan betreffende de dampspanning van oplossingen. Het onderzoek van Raoult opende niet enkel een nieuwe weg naar de molecuulmassabepalingen, maar correleerde ook zeer goed met de bevindingen van J.H. van 't Hoff betreffende de osmotische drukken van oplossingen.
- De wetten van J.H. van 't Hoff over de osmotische druk bleken evenwel enkel te kloppen voor oplossingen van organische stoffen zoals bv. kandijsuiker. Afwijkende resultaten werden vastgesteld voor waterige oplossingen van zuren, basen en zouten. Dergelijke oplossingen gedroegen zich alsof ze sterker geconcentreerd waren, dan hun experimentele samenstelling. Raoult stelde hetzelfde effect vast in zijn onderzoekingen over vriespuntsverlagingen en dampspanningsverlagingen van oplossingen. Het was toen reeds gekend dat osmotische effecten afhankelijk waren van het aantal opgeloste deeltjes, net zoals gasdrukken afhankelijk waren van het aantal gasmoleculen in een gesloten ruimte.
- Sinds het werk van Henri Deville (1818-1881) betreffende de thermische dissociatie van stoffen (1857), waren er reeds heel wat vermoedens dat chemische verbindingen in bepaalde omstandigheden konden ontbinden of weer recombineren. De

vaststellingen van Van 't Hoff en Raoult deden dan ook vermoeden dat sommige stoffen op een of andere wijze moesten ontbinden wanneer ze opgelost werden in water. Bovendien waren dit telkens oplossingen met een goede elektrische geleidbaarheid, zodat ergens een verband moest gevonden worden met de elektrische eigenschappen van deze stoffen. Zelfs een genie als Van 't Hoff heeft de verklaring niet gevonden! Daartoe bleek een meer nauwgezet onderzoek van de elektrische eigenschappen van oplossingen nodig.

- Reeds in 1805 had Theodor van Grotthuss (1785-1822) de mening geopperd dat wanneer een elektrische spanning werd aangelegd op een oplossing, er zich "molecuulketens" vormden waarlangs tegengestelde ladingen naar de respectievelijke elektroden konden bewegen. Faraday aanvaardde deze opvatting en meende dat het aanleggen van de elektrische stroom de moleculen deed uiteenvallen in ionen. Doordat de meeste chemici in die tijd zich bezighielden met de studie van "niet-elektrolyten", nl. de organische verbindingen, en mede door de stellingname van Berzelius, geraakte het probleem wat in de vergeethoek.
- In 1839 verkondigde Daniell dat volgens hem de zouten niet samengesteld waren uit metaaloxiden en zuuranhydriden, zoals Berzelius beweerde, maar uit "metaalionen" en "zuurionen". Langzaam begon dit idee ingang te vinden, zelfs in de organische chemie. Daniell gebruikte het ionconcept van Faraday om tot zijn verklaring te komen.
- Het ionconcept won veel aan belang door de studies van Johann Wilhelm Hittorf (1824-1914), betreffende de ionenbeweging in oplossingen. Hij ontwikkelde het idee van bewegingsgetallen en toonde aan dat elk ion een karakteristieke bewegingssnelheid bezat tijdens een elektrolyseproces. Hij stelde ook dat de ionen van een elektrolyt in een oplossing niet meer in een stabiele vorm tot hele moleculen verenigd zijn. Hij beschreef reeds correct de ionische structuur van heel wat complexe zouten. De ideeën van Hittorf klonken echter nog zeer vreemd voor zijn tijdgenoten en hij slaagde er niet in, midden de talrijke controversen, zijn opvattingen te doen zegevieren.
- A.W. Williamson (1824-1904), in 1851 en R. Clausius (1822-1888) in 1857 beweerden dat elektrolytmoleculen in oplossing voortdurend ontbonden en weerom recombineerden. Maar de idee dat deeltjes met tegengestelde elektrische ladingen gescheiden van elkaar konden voorkomen in oplossingen kon door vele chemici en fysici niet begrepen worden.
- In 1876 kwam Friedrich Kohlrausch (1840-1910) nog een stap dichterbij de oplossing van dit probleem door aan te tonen dat de bewegingssnelheid van ionen in oplossing niet beïnvloed werd door de aanwezigheid van ionen met tegengestelde ladingen. Hij ontwikkelde een methode om geleidbaarheidsmetingen in oplossingen uit te voeren met wisselstroom.
- Het was tenslotte Svante Arrhenius (1859-1927) die alle beschikbare elementen tot één verklarende theorie bijeenbracht. In 1883 stelde hij de ionisatietheorie voor aan de Zweedse Academie voor Wetenschappen. De essentie van deze theorie was dat wanneer een elektrolyt opgelost werd in water het onmiddellijk dissocieerde in ionen. Ionen waren dus altijd aanwezig in wateroplossingen, onafgezien van het feit of er elektrische stroom doorvloeide of niet. Dit verklaarde zowel de vaststellingen

betreffende geleidbaarheid van elektrolieten, ontwikkeld door Hittorf, Kohlrausch en anderen, alsook de osmotische afwijkingen vastgesteld door Van 't Hoff en Raoult. De mening van Arrhenius dat zwakke elektrolieten slechts gedeeltelijk ioniseerden in oplossing, opende ook de weg voor de toepassing van de wet der massawerking en evenwichtsverschijnselen op oplossingen. Andere waarnemingen zoals de studies van W. Ostwald (1853-1932) over de sterkte van zuren en basen, vonden eveneens voldoende verklaring in de ionisatietheorie. In het licht van de ionisatietheorie ontwikkelde Walther Nernst (1864-1941) zijn theorieën omtrent de druk van oplossingen, de elektromotorische kracht, en het gemeenschappelijk ioneffect. Ofschoon de Arrhenius-theorie in de eerste jaren ook nog moeizaam aanvaard werd, omdat men niet kon geloven dat tegengesteld geladen deeltjes gescheiden van elkaar konden bestaan, toch was deze theorie tegen het einde van de negentiende eeuw gemeengoed geworden van de wetenschap. De grote steun die de ionisatietheorie mocht ondervinden van Ostwald en Van 't Hoff bevorderde sterk de verspreiding en aanvaarding ervan. Weinig verklarende theorieën in de chemie zijn zo vruchtbaar geweest voor de wetenschap als de ionisatietheorie.

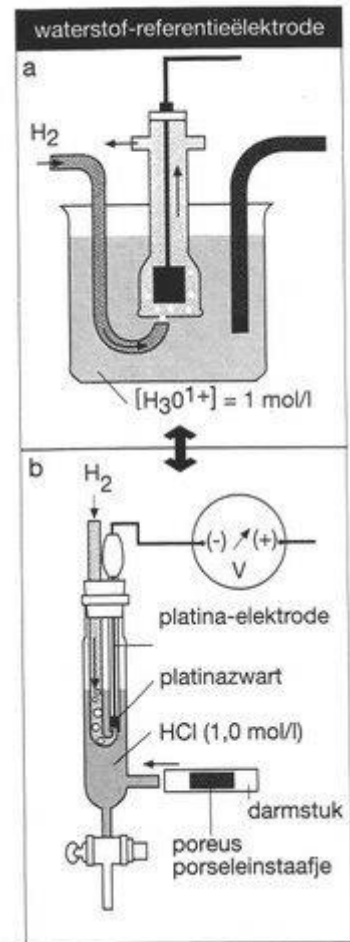
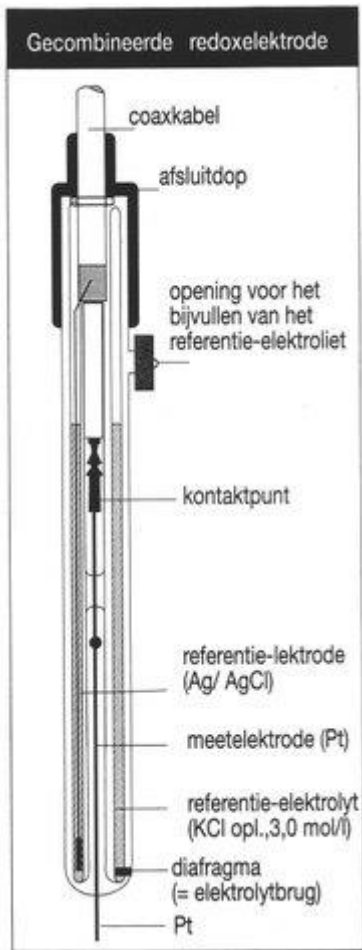
- Pas rond 1890 ontstond er een wetenschappelijke consensus dat elektriciteit veroorzaakt werd door specifieke materiedeeltjes. Dit was vooral een gevolg van het onderzoek naar ontladingsverschijnselen in vacuümbuizen (W. Crookes, 1871) en naar stralingsfenomenen (W. Röntgen, 1895). H. Becquerel ontdekt het fenomeen van de radioactiviteit bij uraanzouten. G. Stoney lanceerde de naam 'elektronen' (1891) en in 1897 slaagde J.J. Thomson erin voor het eerst een specifieke massa/lading verhouding van het elektrondeeltje te bepalen. Vanaf dan werd het elektron beschouwd als een wezenlijk deeltje van een atoom, en begon de zoektocht naar de plaats en de rol van de elektronen in de aard van de atomen en de daaruit voortvloeiende eigenschappen van de stoffen. Pas in 1908 slaagde R. Millikan er uiteindelijk in de lading van het elektron te bepalen, onafhankelijk van zijn massa.

Na het elektron: een explosie van inzichtelijke chemie en instrumentele analyse

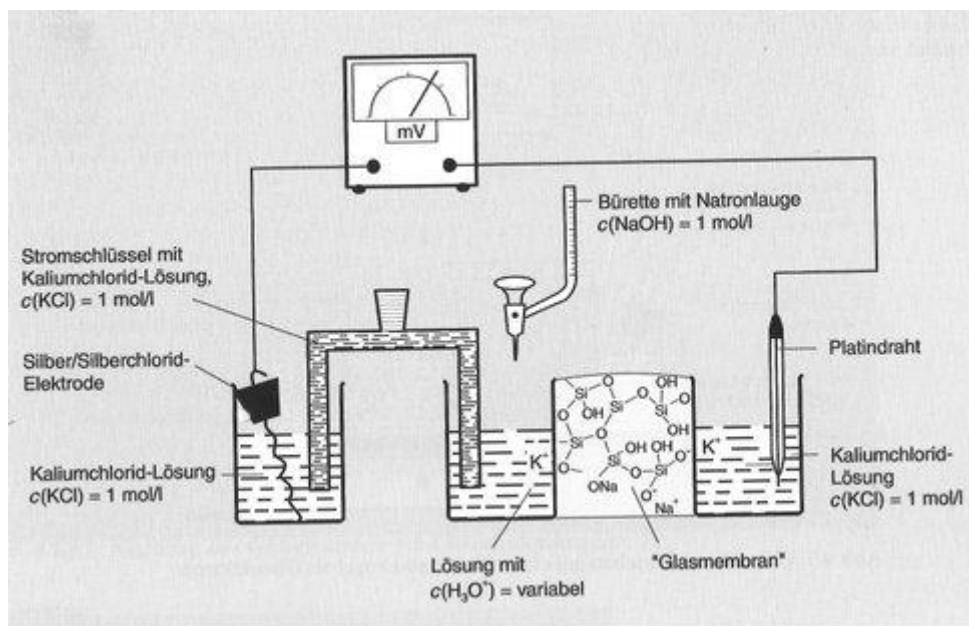
- Zowel het ionbegrip (Faraday, 1833), als de ionisatietheorie (Arrhenius, 1883) werden in de chemie dus reeds ingevoerd, geruime tijd voor het atoommodel van Rutherford (1911)! De ionisatietheorie is zelfs een directe aanleiding geweest voor chemici en fysici om meer adequate atoommodellen te gaan ontwerpen die beter correleerden met o.a. de ionisatieverschijnselen. Tegen het einde van de negentiende eeuw waren de klassieke takken van de chemie uitgegroeid tot omvangrijke onderzoeksdomeinen, die evenwel een nogal onafhankelijk bestaan leidden t.o.v. elkaar. De nood aan overkoepelende, verklarende theorieën doorheen alle takken van de chemie deed zich meer en meer voelen. De ontwikkeling van de atoommodellen, in het licht van de ontdekkingen der negentiende eeuw, was dan ook één van de belangrijkste opgaven voor de wetenschap bij de aanvang van de twintigste eeuw.
- In 1913, legde Henry Moseley (1887- 1915) het verband tussen de plaats van atomen in het periodiek systeem en het aantal elektronen in een atoom, op basis van de studie van X-stralen spectra van atomen. Let wel dit is 43 jaren later dan de voorstelling (1869-70) door Dimitri Mendelejeff (1834-1907) en Lothar Meyer (1830-1895) van een 'Periodiek

systeem van de elementen' waarin atomen gerangschikt werden volgens toenemende atoommassa's en analogieën in eigenschappen.

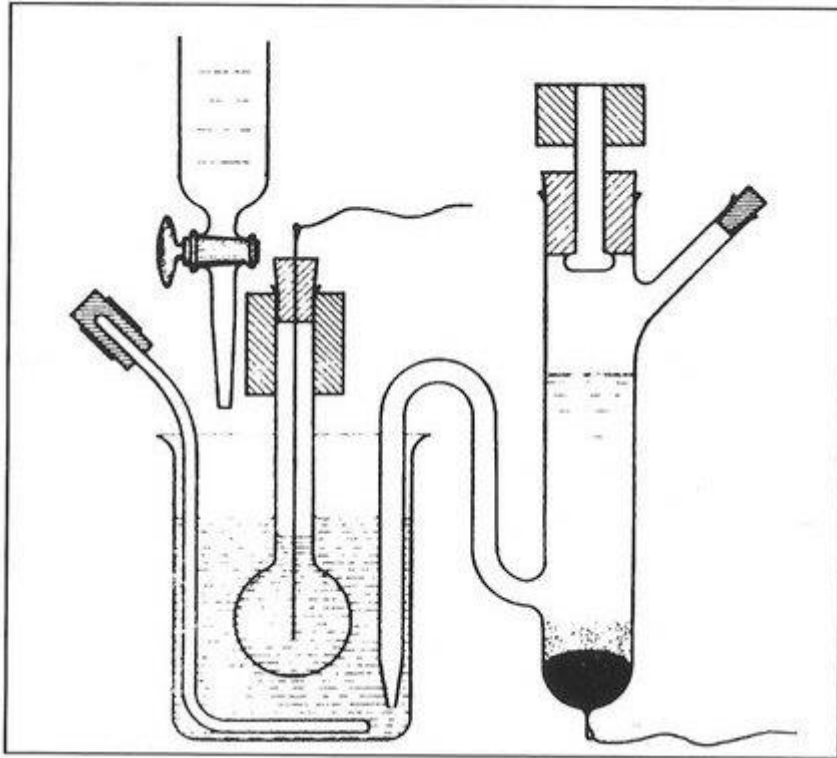
- De ontdekking van het elektrondeeltje versnelde ook het onderzoek naar de atoommodellen. Joseph Thomson (1856-1940) lanceerde het 'plumpuddingmodel' (1904), met de elektronen en protonen doorheen elkaar vermengd. Ernest Rutherford (1871-1937) leverde het experimenteel bewijs voor een scheiding tussen een 'atoomkern' en een 'elektronenmantel' (1911). Niels Bohr (1885-1962) en A. Sommerfeld (1868-1951) verfijnden de structuur van de elektronenmantel (1913-1916) en implementeerden de quantumtheorie van Max Planck (1858-1947) in het atoommodel. Halverwege de twintigste eeuw werd de opvatting over het wezen van het elektron uitgebreid met het golfkarakter ervan als gevolg van quantummechanisch en golfmechanisch onderzoek door wetenschappers zoals Louis De Broglie (1892-1987), Max Born (1882-1970), W. Heisenberg (1901-1976) en Erwin Schrödinger (1887-1961).
- Het dieper inzicht in de energieniveaus van elektronen in de atoomstructuren, o.a. door de ontwikkeling van de spectroscopie, leverde de grondslagen voor verder onderzoek naar de rol van de elektronen bij:
 - het tot stand komen van al of niet stabiele chemische bindingen tussen atomen (Linus Pauling (1901-1994), Gilbert Lewis (1875-1946)),
 - de stereochemie van moleculen en roosters (Jacobus Van 't Hoff (1852-1911), Joseph Le Bell (1847-1930), William H. Bragg (1862-1942) en William L Bragg (1890-1971),
 - de mechanismen achter de elektronenmigraties tijdens chemische reacties (Christopher Ingold (1893-1970)).
- Het gebruik van de techniek van de 'elektrolyse' en van de daarvan afgeleide 'galvanostegie' ontstond reeds zeer snel na de lancering van de 'metaal-zuilen (Volta, 1800), en aanverwante 'galvanische cellen' (Daniell, 1835). Vooral 'elektrolyse' werd snel een standaardtechniek voor stofanalyse (Davy, Faraday). Heel wat nieuwe chemische elementen werden daardoor ontdekt evenals meer inzicht in de samenstelling van zouten en andere stofsoorten. Reeds in 1889 legde W. Nernst de basis voor een kwantitatief verband tussen elektrische celpotentiaalveranderingen, en de concentraties van oxidatoren en reductoren in elektrolytoplossingen. Later mondde zijn onderzoek uit in de fameuze 'Nernst-vergelijking', waarin tevens verband werd gelegd met het aantal mol elektronen, dat betrokken is bij de elektronen migratie in een gegeven redoxsysteem. Dit ondersteunde de speurtocht naar allerlei nieuwe instrumentele analysetechnieken zoals voltametrie, potentiometrie, coulometrie, polarografie (1925) (Jaroslav Heyrovsky (1890-1967), en allerlei aanverwante varianten, evenals naar de ontwikkeling van allerlei meetelektroden, gaande van de halfcel referentie-elektroden op basis van waterstof-platina-, later calomel- en quinhydronelektroden, tot allerlei combinatie-elektroden en ion-specifieke elektroden. Een belangrijke doorbraak voor de ontwikkeling van pH-meters en voor de potentiometrie als titratietechniek, was de ontdekking van de 'glas-elektrode', reeds in 1909 geconstrueerd door Fritz Haber (1868-1934) en Zygmunt Klemensiewicz (1886-1963) voor de bepaling van het zuurgehalte van oplossingen, maar pas volop tot operationeel gebruik gekomen na 1930.



Schema van een gecombineerde redoxelektrode en waterstof-referentie elektrode.



Schema van een glaselektrode.



Glaselektrode van Fritz Haber (1868-1934).

- Heden ten dage situeert het spitsonderzoek in de elektrochemie zich hoofdzakelijk in de
 - ontwikkeling en toepassingen van nieuwe batterijen, voor micro- en macrogebruik;
 - interactie tussen elektromagnetische straling en moleculen;
 - elektronenuitwisselingen tijdens biochemische reactieprocessen;
 - detectie van elektronenbewegingen op nanoschaal binnen atomen en moleculen, op zich en tijdens chemische reacties.

Geraadpleegde werken

The Historical Background of Chemistry,
 Henry M. Leicester, San Francisco
 1st ed. 1956, John Wiley & Sons,
 Dover publications 1971 ISBN 0-486-61053-5

Handbuch der experimentellen Chemie, Band 6 : Elektrochemie
 Walter Jansen e.a., Universität Oldenburg
 Aulis Verlag Deubner & Co, Köln 1994 , ISBN 3-7614-1630-X

The Development of Modern Chemistry
 Aaron J. Ihde , University of Wisconsin
 Harper & Row Publishers, New York , 1964

Der Historische Weg der Chemie

Wilhelm Strube, Universitäten Rostock, Leipzig , Berlin
VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989
ISBN 3-7614-1180-4

Vom Bernstein zum Elektron
Jürgen Tecihmann
Deutsches Museum München, 1983

Geschichte der Technik und Naturwissenschaften
Burchard Brentjes, Siegfried Richter, Rolf Sonneman
Aulis Verlag Deubner & Co, Köln 1987
ISBN 3-7614-1005-0

Koninklijke Vlaamse Chemische Vereniging
EChO 2, 1994, Chemie Historisch bekijken
EChO 6, 1997, Elektrochemie