

Geschiedenis van de natuurwetenschap II:

Natuurlijke historie

Inleiding

1: Het Copernicanisme

De zon in het centrum; de eenvoud van het Copernicaanse stelsel; Tycho Brahe; Kepler en het geheim van de wereld; Kepler: de wetten; Galilei

2: De beweging

De vrije val; het medium; de traagheidswet; relativiteit van de beweging; het probleem van de botsing; Newton en de kracht

3: De zwaartekracht

De wervels van Descartes; Newton's Principia; Wat is zwaartekracht?

4: Optica in de 17^e eeuw

Telescoop; lichtbreking; microscoop; Newton

5: De vijf microscopisten

De Royal Society; Malpighi; Antonie van Leeuwenhoek; Hooke; Swammerdam; Grew

6: Klassificatie

De renaissance; John Ray; Linnaeus; het dierenrijk

7: Geologie en evolutie rond 1800

Lamarck en Cuvier; Neptunisme en Plutonisme; uniformitisme en catastrofisme

8: Darwin en de evolutietheorie

Expedities; The Origin of Species; The Descent of Man; Generatio Spontana

9: De genetica van Mendel

Preformatie en epigenese; Ovisten en animalculisten; Mendel

10: Lavoisier en de chemische revolutie

De flogistontheorie; pneumatische chemie; Lavoisier; wat verstaan we onder chemie?

11: De warmtestoftheorie

Thermometrie; calorimetrie; de warmtestoftheorie; het ideale gas; Carnot

12: Thermodynamica

De pioniers; wat is 'Kraft'?; het perpetuum mobile; principes van Kelvin en Clausius; thermodynamische temperatuurschaal; entropie; kracht en zwakte van de thermodynamica

13: De atoomtheorie van Dalton

De geest van Newton; de warmtestoftheorie; chemische verbindingen; de wet van Avogadro; de atoomhypothese

14: Kinetische gastheorie

Clausius; de afmetingen van de moleculen; de tweede hoofdwet; het conflict; Maxwell

15: Het begrip element

Nieuwe stoffen; valentie; Mendelejev; de hypothese van Prout

16: Electrostatica

Gilbert; Hausknee en Gray; Du Fay; de Leidse fles; Franklin; de omgekeerde kwadratenwet; de wet van Coulomb; het electrostatische veld

17: Electrodynamica

Oersted; Ampere; Faraday; Ohm

18: Veldentheorie

De ether; Kelvin; Maxwell; Hertz en Lorentz; Michelson; Einstein

19: De ontdekking van het electron

Grothius; Clausius; kathodestralen; Thomson; andere stralen; geleiding in een metaal

20: De atoomtheorie van Bohr

Balmer, Ritz en Zeeman; zwarte straling; Rutherford; Bohr; slot

Inleiding

Deze samenvatting van een tekst van Dick Stafleu behandelt representatieve momenten uit de geschiedenis van met name de natuurkunde, scheikunde en biologie in de periode 1500-1900.

1: Het Copernicanisme

Eudoxos en Aristoteles ontwikkelden een theorie die stelde dat elk hemellichaam vast zit aan een bol, die om het centrum van het heelal draait, maar niet die van de zon, maan en planeten kon beschrijven. Ptolemaios ontwierp een rekenmethode die dat wel kon, maar niet als fysische verklaring werd geaccepteerd. Copernicus probeerde een systeem te ontwerpen dat beide kon. Reeds in 1515 publiceerde hij "*Commentariolus*" waarin hij stelde dat de aarde en de planeten om de zon draaien. Pas in 1543 werkte hij dit uit in "*Revolutionibus Orbium Coelestium*". Zijn berekeningen zijn net zo nauwkeurig als die van Ptolemaios. Copernicus kan, i.t.t. Ptolemaios, echter een fysische verklaring geven over het waarom van het samenvallen van de retrograde beweging van de planeten met hun maximale helderheid. Ook kan bij Copernicus elke planeetbaan afgeleid worden uit waarnemingen en bij Ptolemaios niet. I.t.t. wat vaak beweert wordt in Copernicus' systeem niet eenvoudiger dan dat van Ptolemaios. De berekeningen bij Copernicus zijn zelfs ingewikkelder dan die bij Ptolemaios. Ook is het niet waar dat het uit het centrum van het heelal halen van de aarde door Copernicus een verlaging van de status van de aarde was, het centrum werd beschouwd als de laagste plaats, niet de hoogste. In de 16^e eeuw namen weinig astronomen de ideeën van Copernicus over. Tycho Brahe bouwde rond 1550 observatoria waarin veel nauwkeuriger waarnemingen konden worden gedaan als voorheen. Hij voerde ook in dat elke nacht systematisch werd geobserveerd. Daardoor kon hij de planeetbanen met ongekende nauwkeurigheid vastleggen. Het optreden van kometen aan de hemel en het verschijnen van een nieuwe ster in 1572 overtuigden hem er van dat hemelen niet onveranderlijk zijn. Maar hij aanvaardde het systeem van Copernicus niet op basis van astronomische (het ontbreken van de parallax van sterren), fysische (men merkt niets van de beweging van de aarde) en theologische (de Bijbel stelt dat de aarde stilstaat). Volgens Tycho Brahe draaiden de

planeten om de zon, en de zon en de maan om de aarde. Tycho had lang meer volgelingen dan Copernicus, vooral onder de protestanten, maar ook onder de Jezuïeten. Slechts drie beroepsastronomen waren toen Copernicanen: Rheticus, Maestlin en Kepler (alle 3 net als Tycho Lutheranen). Kepler trachtte vergeefs de zes planeten (Copernicus) te verklaren m.b.v. de 5 regelmatige lichamen. Deze probeerde hij zo te passen dat de ingeschreven bol van de ene tevens de omgeschreven bol van de andere is. De stralen van de 6 bollen die dat oplevert zouden dan gelijk zijn aan de 6 stralen van de planeetbanen. Hij publiceerde dit in 1596 in "*Mysterium Cosmographicum*", samen met een heruitgave van Rheticus "*Narratio Prima*" uit 1540, waarin Rheticus een meer begrijpelijke weergave van Copernicus' systeem gaf dan Copernicus zelf had gedaan. Tycho Brahe geloofde niets van Kepler's ideeën, maar nam hem aan om samen te werken in Praag. Kepler werkte Tycho's waarnemingen wiskundig uit en volgde Tycho in 1601 op. Kepler moest Tycho's systeem bewijzen, dat deed hij niet; de beweging van Mars beschrijven; en de waarneming van Tycho in tabelvorm publiceren, wat gebeurde in "*Tabellen van (keizer) Rudolf*" in 1627. Kepler slaagde er niet in Tycho's nauwkeurige waarnemingen te verzoenen met cirkelvormige planeetbanen. Kepler stelde dat de planeten een ellipsvormige baan hebben, waarbij de zon in een van de brandpunten staat. Verder dat de snelheid van de planeten groter is als ze zich dichterbij de zon bevinden. En dat er een vaste relatie is tussen de straal tot de 3^e macht t.o.v. omloopstijd tot de 2^e macht. De eerste 2 ontdekkingen werden gepubliceerd in "*Astronomia Nova*" (1609), de 3^e in "*Harmonice Mundi*" (1619), samen met allerlei fantastische beschouwingen. Zestig jaar lang nam niemand Kepler's vindingen serieus tot Newton zijn zwaartekrachttheorie op Kepler's derde wet baseerde. Galilei spak zich tot 1609 niet uit als Copernicaan, al hing hij de theorie al 20 jaar aan. Galilei observeerde de hemel met een zelfgebouwde verrekijker, en deed talloze ontdekkingen. Hij publiceerde deze in "*Sidereus Nuncius*" (1610) dat veel opzien baarde. De Inquisitie verbood hem in 1616 zich uit te spreken voor Copernicus. Osiander schreef een voorwoord voor Copernicus boek, onder de naam van Copernicus, waarin hij stelde dat Copernicus systeem alleen beschrijvend bedoeld is niet niet verklaren.

Kepler, die Osiander ontmaskerde, en Galilei meenden dat de aarde echt beweegt. Galilei schreef "Dialogo ..." (1632) en zette zich er in af tegen Aristoteles, niet tegen Ptolemaïos, en voor Copernicus. Het boek werd een succes, maar leverde Galilei ook een veroordeling door de Inquisitie en levenslang huisarrest op. Het boek verspreidde over Europa, droeg sterk bij aan de verspreiding van het Copernicanisme.

2: De beweging

Volgens Copernicus beweegt de aarde om de zon en om de eigen as. Ook tegen de laatste beweging waren allerlei bezwaren, die vooral Galilei trachtte te weerleggen m.b.v. een nieuwe bewegingstheorie. Aristoteles stelde dat zware voorwerpen sneller vallen dan lichte. Voor Galilei waren er al mensen die daaraan twijfelden, en verschillen in valsnelheid toeschreven aan de luchtweerstand. Bennedite deed gedachtenexperimenten om Aristoteles' ongelijk aan te tonen. Simon Stevin deed valproeven met hetzelfde doel. Galilei deed experimenten met hellende vlakken, al is onduidelijk hoe hij de tijdsintervallen meette. Zijn beschrijven in de "Discorsi" (1638) van proeven uit 1604 is onhelder daarover. In 1610 stelde hij de juiste relatie afgelegde weg is evenredig met het kwadraat van de tijd. Beeckman en Descartes bevestigden dat later. Galilei verwerpt Aristoteles' ontkennen van het vacuüm en het onderscheid tussen licht en zware voorwerpen. Galilei onderzocht ook de opwaartse kracht in water en in lucht, "La Bilancetta" (1585) en discussieerde in 1611-12 uit met de Aristotelianen, waarbij beide zijden ook experimenten deden. Aristoteles stelde dat voor een natuurlijke beweging geen uitwendige oorzaak nodig, maar wel een inwendige, Galilei stelde dat voor een natuurlijke beweging helemaal geen oorzaak is, wat beweegt blijft bewegen. Galilei onderscheidde twee natuurlijke bewegingen: de verticale vrije valbeweging en de cirkelbeweging rond een centraal lichaam, daarbij is er geen onderscheid tussen de hemelse en de aardse sfeer te maken. Beeckman verbeterde Galilei op dit punt: de vrije valbeweging heeft wel een oorzaak nodig, de oorzaakloze eenparige beweging is niet cirkelvormig maar rechtlijnig. Descartes baseerde hierop de traagheidswet. Galilei onderzocht ook gevallen waarin meerdere bewegingen gecombineerd worden, wat

volgens Aristoteles niet kan. Hij gebruikt de studie daarvan om bezwaren tegen de bewegingen van de aarde weg te nemen. Zijn ideeën gaan richting het begrip relatieve beweging, volgens Galilei staat alleen de zon echt stil in het centrum van het heelal. Descartes stelde dat bewegingen vanuit stilstand een uitwendige oorzaak nodig hebben, dat moet dan een botsing zijn. Hij stelt daarom botswetten op, waarvan er 6 fout en 1 juist zijn. Huygens, Wallis en Wren komen in 1670 tot juiste botswetten. Newton publiceert in 1687 "Principia", met daarin zijn 3 wetten. De 1^e wet is de traagheidswet; de 2^e de wet die zegt dat kracht x tijd (stoot) gelijk is aan massa x snelheid (impuls), met daarbij het nieuwe begrip massa; de 3^e wet zegt dat actie = reactie, waarbij een kracht niet een eigenschap is van een voorwerp maar van een relatie tussen 2 of meer voorwerpen. Huygens stelde dat een cirkelbeweging ook een oorzaak moet hebben en dat deze evenredig is met de versnelling (richting het centrum), Newton ging op zoek naar de kracht die de oorzaak is.

3: De zwaartekracht

Descartes legde het verband tussen de zwaartekracht en de planeetbeweging. Hij moest niet van vacuüm hebben, voor hem waren ruimte en materie niet te scheiden. Hij verklaart het optreden van de zwaartekracht uit het wervelen van de materie, daartoe aangezet door de passerende hemellichamen. Descartes vond dat hij zelf wel, maar Galilei niet, berekeningen verklaarde. Lang was deze theorie toonaangevend. Newton vond de wiskundige formulering van theorieën en meetbare resultaten dan zogenaamde fysische verklaringen à la Descartes. In zijn "Principia" (1687) geeft naast de 3 wetten o.a.: dat bij een beweging in vacuüm de kracht omgekeerd evenredig is met het kwadraat van afstand en de wetten van Kepler geleden; dat een beweging in een media wrijving ondervindt, maar in de ruimte daarom vacuüm moet heersen, en dat Descartes' theorie strijdig is met Kepler's wetten; de banen van de planeten, kometen en de aarde gaan rond de zon, de zwaartekracht veroorzaakt de omvorming van een beweging in een rechte lijn in een gebogen baan, de zwaartekracht veroorzaakt ook de eb- en-vloed beweging. Het boek werd sceptisch ontvangen: Newton zegt niets over wat zwaartekracht is en weigert er over te speculeren. Daarom hielden velen over naar

Descartes' werveltheorie die wel de zwaartekracht verklaard. Een ander probleem was de afsandswerking in vacuüm, met Descartes geloofden de meesten enkel in krachtwerking door mechanische botsingen. Descartes' slaagde er met zijn werveltheorie ook in om de werking van magneten zo te verklaren, als eerste. Newton's volgelingen hadden, i.t.t. Newton zelf, geen problemen met deze bezwaren. Coulomb pastte de principes van Newton toe bij zijn werk aan electriciteit (1785).

4: Optica in de 17^e eeuw

Voor Kepler (1604) ging het in de optica om het zien, daarna om de beeldvorming, meer specifiek met lenzen en lichtbreking. Daarnaast kwamen aan de orde: licht: dubbele breking: interferentie. Voor Kepler wantrouwen vele lenzen, men begreep hun werking niet. Janssen en Lippershey vonden de telescoop uit. Velen weigerden er door te kijken. Kepler verklaarde de werking van lenzen en de telescoop pin 1611. Hij stelde dat telescopen in plaats van een positieve en een negatieve lens beter gebruik kan maken van twee positieve lenzen. Huygens voegde kruisdraden toe aan de telescoop, introduceerde het oculair, en telescopen met meer dan 2 lenzen. Ook vond hij het slingeruurwerk uit. Deze uitvindingen stelden hem tot nauwkeuriger astronomische observaties in staat. Newton toonde aan de elke lenstelescoop kleurfouten heeft, en construeerde daarop de spiegeltelescoop in 1667. Ptolemaïes hield zich al met lichtbreking bezig. De Middeleeuwen begrepen dat regenbogen van doen hebben met reflectie en lichtbreking. Snellius ontdekte de brekingswet rond 1625. Descartes dacht dat de lichtsnelheid in lucht kleiner is dan in water/glas, en verklaarde zo lichtbreking in "La Dioptrique" (1637). Fermat dacht dat het precies andersom was, en kwam toch op dezelfde rekingswet uit. Huyghens stond achter Descartes, Newton achter Fermat, rond 1650 bleek het gelijk van Fermat. Romer meette al eerder de lichtsnelheid in vacuüm. Huygens publiceerde geen golftheorie van het licht maar een pulstheorie, in "Traite de la Lumiere" (1690). Als een puls breidt zich bolvormig uit, als een puls een punt bereikt gaat die weer in een bolvorm pulsen uitzenden, die weer ... (etc). Zo verklaarde Huygens rechtlijnige voortplanting, breking, dubbele breking, maar niet waarom licht alleen vooruit gaat en niet

ook achteruit. Dat deed pas Kirchoff rond 1850. Van Leewenhoek gebruikte microscopen met een lens, Hooke gebruikte meerdere lenzen. Newton deed rond 1670 experimenten met prisma's en lichtkleuren. In "Optics" (1704) verklaard hij lichtkleuren en interferentie m.b.v. een theorie die aanneemt dat licht uit deeltjes met een periodiek karakter bestaat. Andere ideeën over licht anders dan deeltjestheorieën kregen geen kans door het prestige van Newton. Pas in de 19^e eeuw kwam de golftheorie op, Young en Fresnel ontwikkelden die resp. voortbouwend op Newton en Huygens.

5: De vijf microscopisten

Vesalius' werk toonde dat men niet op de biologische opvattingen van de Ouden kan vertrouwen. In de 17^e eeuw ging men daarom gegevens verzamelen over planten en dieren, met als uiteindelijk doel een systematie te kunnen opstellen. De microscoop was een geweldig hulpmiddel. Het verzamelen had zijn theorie te danken aan F. Bacon, de Royal Society werd in 1660 opgericht met het doel te verzamelen en te systematiseren. Oldenburg was de secretaris van en gaf het tijdschrift van de RS uit. Malpighi was arts en onderzocht vooral de menselijke organen. Ontdekte de capillaire bloedsomloop, de rode bloedlichaampjes, dat witte gal uit de lever komt, dat zwarte gal niet uit de milt komt, de onderste laag van de huid, de tongpappillen, de hersenschorsstructuur, de omgekeerde beeldvorming op het netvlies. Maar ook de bouw van de zijde worm, de ontwikkeling van het kippe-ei, etc. Van Leeuwenhoek onderzocht van alles met zijn eigen gemaakte microscopen, en correponderde er over met de RS. Hij ontdekte kleine diertjes in water, en dat het water koken ze doodt. Hooke ontdekte een wet over de uitrekking van veren, maar deed ook veel werk met samengestelde microscopen. In zijn "Micrographia" (1665) beschrijft hij cellen van planten en dieren. Later verscheen ook de "Microscopium" (1678) en werd hij secretaris van de RS. Het werk van Swammerdam werd pas na zijn dood (1680) uitgegeven door Boerhave in "Bijvel der Natuure" (1737). Hij bestudeerde vooral insecten, en publiceerde in 1669 over metamorfose. Contact met de RS had slechts 1x. Grew beschreef vooral de bouw van bloemen, hij ontdekte dat sommige bloemen zowel stampers als meeldraden hebben.

Camerarius ontdekte iets later hoe de sexuele voortplanting van planten fysiologisch werkt. Grew schreef "Philosophia: History of Plants" (1672) en "Anatomy of Plants" (1682). De bijdrage van deze microscopisten werden niet overtroffen tot in de 19e eeuw.

6: Klassificatie

De biologie ontstond pas in de 19^e eeuw, in de 16^e-18^e eeuw waren het veelal artsen die planten en dieren bestudeerden. Vooral planten i.v.m. hun medicinale werking. Eerst verzamelde men vooral, daarna ging men systematiseren, nog later ging men zich afvragen wat er achter de systematiek zat. Aristoteles e.a. klassificeerden al planten en dieren op basis van uiterlijke kenmerken, wat niet gelukkig bleek, en de formulering was ingewikkeld. De opkomst en de anatomie en de microscoop leidde tot een explosie van onsamenhangende kennis. De boekdrukkunst maakte verspreiding van botanische indeling met tekeningen (!) mogelijk, In 1550 waren er zo'n 500 planten beschreven, na 1600 al 6000. John Ray deed veel classificatiewerk, zowel voor planten als dieren, en publiceerde o.a. "Historia Generalis Plantarum" in (1686, 1688 en 1704 - 3 delen) met 18.600 planten. Ray zag in dat de soort de basiseenheid van populaties is, en dat een soortkenmerk is dat het onderling vruchtbare nakomelingen kan voortbrengen. Linnaeus zocht naar kenmerken van planten, essenties (Plato), die zo min mogelijk variëren. Dat bleken de stampers en meeldraden te zijn. Hij verbeterde ook de indeling door de begrippen klasse en orde in te voeren, naast geslacht en soort. En hij gaf de planten systematisch namen: eerst geslacht, dan soort. Zijn hoofdwerk is "Systema Naturae", dat het hele bekende planten- en dierenrijk klassificeerde. Pas laat in zijn leven begon hij er aan te twifelen of de soorten wel onveranderlijk zijn. Na zijn dood werden nieuwe categorieën in gevoerd: stam, familie. Buffon, Lamarck en Cuvier gingen verder met het indelen van het dierenrijk. Lamarck bedacht reeds een evolutietheorie. Cuvier baseerde zijn indeling voornamelijk op anatomisch onderzoek.

7: Geologie en evolutie rond 1800

De opkomst van de geologie was voor de evolutietheorie van groot belang. Fossielen waren reeds bekend, maar werden niet bestudeerd. Napoleon beroofde de musea van Europa van de beste fossielen en liet ze

bestuderen door Lamarck en Cuvier. Ook begon met in de tijd aardlagen te onderzoeken. De kennis van aardlagen werd sterk bevorderd door de wegen en kanalen die in Europa werden aangelegd. Cuvier ging er in navolging van Aristoteles vanuit dat de soorten onveranderlijk zijn, en verwierp daarom elke geacht aan evolutie. Lamarck, aan het einde van zijn leven, stelde een evolutietheorie op die er vanuit ging dat verworven (aangeleerde) eigenschappen erfelijk zijn. Populaties spelen in deze theorie geen rol. De drijvende kracht achter de evolutie was het idee van de vooruitgang. Lamarck benadrukte als Goethe de eenheid van de natuur, Cuvier veelvormigheid. De geoloog Werner stelde dat alle mineralen en gesteenten zich afgezet hebben uit water. Hutton stelde dat het vuur in de aarde de geologische processen bepaalde, en dat continenten ontstaan uit vulkanisme en ondergaan door erosie. Deze twee ideeën waren resp. bekend als neptunisme en plutonisme. Belangrijker was de tegenstellingen uniformisten – catastrofisten. De uniformisten benadrukten het belang van steeds dezelfde processen, gedurende veel meer dan 6000 jaar. Zij kwamen daarop in botsing met Bijbell-fundamentalisten. Meer serieuze bedenking, die pas door de ontdekking van de radioactiviteit als energiebron werden onkracht, kwamen van Lord Kelvin. Hutton werd in zijn uniformisme gesteund door het zeer invloedrijke "Principles of Geology" (1830-31) van Lyell. De catastrofisten gingen uit van het optreden van zondvloed en andere rampen. Zij kregen steun van de niet-fundamentalistische Cuvier die zich baseerde op de scherpe scheidingslijnen tussen de aardlagen die wijzen op een snelle ondergang van soorten.

8: Darwin en de evolutietheorie

Darwin was niet de eerste die over evolutie schreef, Lamarck, E. Darwin en Chambers gingen hem voor. Zijn verdienste was: dat hij een mechanisme vond; hij meer de nadruk op populaties leggen dan op individuen; hij veel empirisch bewijsmateriaal verzamelde. Wallace was met hetzelfde bezig. Vanaf de 18^e eeuw weden er specifiek wetenschappelijke expedities gedaan, zoals die van Cook en Banks (bioloog-financier) om 1768-81 en die met toch nog amateur bio/geoloog Darwin (1831-36). Zijn voornaamste hulpmiddelen: Lyell's boek en een microscoop. Wat opviel

was dat de overeenkomsten en verschillen van populaties geografisch bepaald zijn. Hij verzamelde zeer veel materiaal en schreef uitgebreide verslagen. Thuisgekomen schreef hij boeken over zijn waarnemingen. M;athus “Essay on the Principle of Poplulation” (1798) inspireerde Darwin en Wallace tot opvattingen over natuurlijke selectie, waarbij de best-aangepasten de meeste kans tot overleven hebben. In 1844 was zijn theorie in feite klaar, mag om verschillende redenen publiceerde hij die niet totdat Wallace in 1858 een artikel schreef dat vergelijkbaar was. Besloten werd beide werken tegelijk te publiceren (1859). Een omstreden punt bleef de afstamming van de mens, de biologen en geologen accepteerden de rest. Huxley verdedigde de evolutietheorie tegen de aanvallen van de kerk en maakte er een wapen voor het atheïsme van. In 1871 publiceerde Darwin “The Descent of Man” waarin hij meer dan in “The Origin of Spieces” de sexualiteit als factor in de natuurlijke selectie benadrukte. Darwin meende dat de eerste organismen geschapen waren, Huxley en Haeckel gingen er vanuit dat die uit oerslijm in zee ontstonden. Juist in een tijd dat het oude idee van het spontane ontstaan van leven uit anorganische materie reeds verlaten was. Pasteur en Koch traden daartegen op. Zij toonden aan dat veel ziekten een organische oorsprong hebben en als zodanig bestreden moeten worden. Zij overtuigden de meeste biologen ervan dat levende organismen alleen uit levende organismen kunnen ontstaan.

9: De genetica van Mendel

Aristoteles “De Generatio Animalum” gaat reeds over de voortplanting en de groei van embryo’s, en stelt de vraag: worden embryo’s gevormd uit ongevormde materie (epigenese) of uit gepreformeerde embryo’s (homoculi).. Een ander probleem is de vraag: bepaald de man of de vrouw voornamelijk de voortplanting? Swammerdam, de Malebranche en Malpighi verdedigden rond 1670 de preformatietheorie. Alleen Harvey en Wolff stonden aan de kant van Aristoteles en de epigenesetheorie. Binnen de preformatietheorie waren er twee stromen, de ovisten stelden dat het embryo al in miniatuur in de vrouwelijke eicel aanwezig is, anderen dat dit het geval was met de mannelijke spermaceel. Ernst von Baer’s “Entwicklungsgeschichte der Tiere” (1828-37) maakte een eind aan de preformatietheorie, ontdekte ook eicellen bij zoogdieren, en wees

op de overeenkomst in de embryonale ontwikkeling van verschillende diersoorten. Op het laatste ging Haeckel’s biogenetische wet door. Camerarius ontdekte dat ook planten zich geslachtelijk voortplanten, van Leeuwenhoek ontdekte dat sommige dieren (luizen) zich ongeslachtelijk kunnen voortplanten. In de 18^e/19^e eeuw werden veel planten gekruist. Kolreuter ontdekte dat beide ouders bijdragen aan de voortplanting. Mendel deed rond 1860 genetische proeven met erwtenplanten, waarbij hij zijn resultaten kwantitatief vastlegde. Hij ontdekte dat erfelijke eigenschappen (genen) niet vermengen, maar onafhankelijk blijven voortbestaan; dat genen in paren voorkomen dat bij bastariseren paren worden gevormd die afwijken van die van de ouders; dat sommige genen dominant zijn; dat er getalsverhoudingen bestaan tussen de variëteiten. Zijn werk werd pas 35 jaar later in 1900 herontdekt, en gebruikt door de Vries in zijn mutatietheorie. Deze werd aanvankelijk door de Darwinisten bestreden, maar ze bleken elkaar een schitterend aan te vullen.

10: Lavoisier en de chemische revolutie

Voor de 18^e eeuw had de chemie bereikt : bewerking van metalen en voedsel; productie van verf, medicijnen, glas, keramiek. De theoretische systemen voldeden niet, een nieuwe poging kwam met de flogistrontheorie van o.a. Stahl. Stahl zag net als de alchimisten metalen als verbinding en metaalstenen als zuivere stoffen. Stahl stelde dat bij verbranding de vuurstof (flogistron) vrijkomt. Deze flogistron is beperkt oplosbaar in lucht en maakt kalkwater troebel, net als de licht die mensen en dieren uitblazen. Ook bij verkalken en roesten zou flogistron vrijkomen, maar bij het maken van een metaal uit erts moet men het toevoegen. Deze theorie was in 170 vrijwel algemeen aanvaardt, bezwaarlijk was dat flogistron niet geïsoleerd was, en dus een vreemd element was. In die tijd ging men bij chemische reacties ook op de tot dan toe verwaarloosde gassen (pneumata) letten, van Helmond b.v. Buridanus was de eerste die naast lucht waterdamp als gas herkende, in de 17^e/18^e eeuw volgden er meer, o.a. Priestly. Cavendish ontdekte een brandbaar gas dat vrijkomt als metaal in een zuur oplost, was dit het flogistron? Lavoisier was geen echte chemicus, en stelde dat bij chemische reacties er geen massa kon bijkomen of verdwijnen,

terwijl licht en elektriciteit die geen massa hebben. Stoffen worden bij verbranding zwaarder, dan moet flogiston een negatieve massa hebben. Lavoisier stelde dat bij verbranding geen flogiston vrijkomt, maar lucht wordt gebonden; en dat metalen elementen zijn en erts verbindingen. Priestly en Lavoisier, voor- en tegenstander van de flogiston, worstelden met: de aard van de lucht bij verbranding; de aard van verzadigde lucht; en de aard van (Cavendish') brandbare lucht; en wat is warmte? Gewone lucht bleek zuurstof en stikstof, verzadigde lucht bleek koolstof en zuurstof, brandbare lucht bleek waterstof. Lavoisier viel de flogistontheorie aan in "Reflexions sur le Phlogistique" (1785). Dit wordt als het startpunt van de moderne chemie gezien, mede door de rationele naamgeving die hij gebruikt. De flogistontheorie voldeed echter aan alle eisen van een theorie in de oriëntatiefase van de chemie. In de 18^e eeuw bleek dat het aantal elementen veel groter was dan vier, en bleken lucht, aarde en water mengsels te zijn. Experiment werd erkent als enige betrouwbare bron van kennis. Lavoisier's bijdrage was niet de kwantitatieve methode, de flogistontheorie gebruikte die ook, maar zijn ordening van de naamgeving.

11: De warmtestoftheorie

Black voerde rond 1760 het onderscheid tussen warmte en temperatuur in, en definieerde soortelijke warmte en latende warmte. Lavoisier en Laplace herontdekte deze begrippen., Lavoisier en Laplace publiceren "Memoire sur le Chaleur" (1783). Volgens Lavoisier is warmte een stof, een element. Laplace brengt warmte in verband met beweging van de moleculen. Beide gaan ze uit van het behoud van warmte. Temperaturen meet men met thermometers, die rond 1600 worden uitgevonden, en zich gebaseert zijn op de stelling dat de uitzetting lineair verloopt. Ijken werd mogelijk toen bleek dat smeltend ijs en kokend water altijd dezelfde temperatuur hebben – Fahrenheit (1717), Celsius (1742). Temperatuur is een intensieve grootheid, d.w.z. voorwerpen die met elkaar in contact zijn nemen dezelfde temperatuur aan. Was dat niet zo dan zou een thermometer niet werken. Black en Lavoisier voerden bij de extensieve grootheid voor warmte in, de hoeveelheid warmte. Alle calorische experimenten gaan er vanuit de warmte behouden blijft. Daarnaast

werd aangenomen dat warmte en massa evenredig zijn. Black en Lavoisier definieerden en maten aan de begrippen: soortelijke warmte, warmtecapaciteit en latente warmte. En dat qua warmteopname en afgifte faseovergang omkeerbaar zijn. Rond 1800 was er weinig kritiek op de warmtestoftheorie, Maar het idee dat warmte de beweging van deeltjes uitdrukt verdween niet, Bernouille, Rumford, Davy zetten daarin de traditie van Newton, Descartes., Leibniz voort, en toonden aan dat wrijving ongelimiteerde hoeveelheden warmte kan geven, en warmte dus geen stof kan zijn. Dat werd door de warmtestofaanhangers wel als een probleem gezien, maar niet voldoende om hun theorie op te geven. Amontons, Charles en Gay-Lussac ontdekten alle drie dat gassen bijna lineair uitzetten bij verwarming en alle dezelfde uitzettingscoëfficiënt hebben. Het ideale gas werd vervolgens gedefinieerd als een gas dat exact voldoet aan de wet van Boyle en lineair uitzet. Ondertussen was de stoommachine uitgevonden, en deze werd zeer belangrijk voor de warmteleer. Pas na de technische ontwikkeling (o.a. Newcomen en Watt) kwam de theoretische studie op gang. Carnot bestudeerde in 1824 calorische machines die arbeid produceren in een cyclisch thermisch proces. Carnot stelde als aanhanger van de warmtestoftheorie niet dat warmte wordt omgezet in arbeid. Hij definieerde het begrip rendement, waarbij hoe hoger het temperatuurverschil is in de verschillende delen van de machine hoe hoger het rendement is – dit verklaart de werking van de condensor. Het rendement is het hoogst als de warmtetoevoer plaatsvindt bij een zo hoog mogelijke temperatuur en de warmteafvoer plaatsvindt bij een zo laag mogelijke temperatuur. Tussen de twee toestanden moet dan de temperatuur worden verhoogd resp. verlaagd zonder dat warmte met de omgeving wordt uitgewisseld. Carnot twijfelde aan de juistheid van het principe van het behoud van warmte. Zijn inzichten bleken later ook geldig toen Thomson het principe van behoud van energie had ingevoerd (i.p.v. van warmte).

12 : Thermodynamica

In de 17^e/18^e eeuw kwamen wetenschapsgebieden onafhankelijk tot ontwikkeling. Begin 19^e eeuw ontstond er weer een beweging naar eenheid o.a. de romantiek en de Duitse filosofie. Er werd gezocht naar onderlinge verbinden. Het meeste succes op

deze weg was de wet van behoud van energie: daarbij wordt interactie behouden; soorten interacties zijn omzetbaar; energie is universeel. Het 1^e aspect werd benadrukt door Lagrange; het 2^e door Mayer en Joule. Het 3^e door Helmholtz; Thomson en Clausius benadrukten de abstracte, universele betekenis van de wet. Er is veel door nationalisme geïnspireerde strijd geweest over wie de wet het eerst ontdekte. Helmholtz in "Ueber die Erhaltung der Kraft" (1847) vertoont de breedste visie en het diepste inzicht. Hij sluit aan op Leibniz' vis viva, die hij echter anders definieert en berekent. ($1/2mv^2$ en niet mv^2). Hij behandelt verschillende gevallen in de 6 delen van het werk, aanvankelijk alleen gevallen waarin centrale krachten werken. Ter sprake komen de bewegingen, warmte, electriciteit en magnetisme. In 1881 voegde enige opmerkingen toe over niet-centraal werkende krachten, die echter geen arbeid verrichten. Daardoor werd de Lorentzkracht, die loodrecht op de bewegingsrichting staat in 1881 wel door Helmholtz aanvaard, terwijl in 1848 hij nog alle theorieën over electromagnetische krachten afwees. Rankine stelde in 1853 energie te onderscheiden van kracht; vis viva werd kinetische energie, spankracht potentiële energie. Tot dan was kracht een veel breder begrip dan het nu is en miste het wiskundige precisie. Vanwege de behoudswet van energie werd energie een belangrijker begrip, na Newton was kracht het belangrijkste begrip geworden. Naast de wet van behoud van energie, de 1^e thermodynamische hoofdwet werd rond 1850 ook een 2^e geformuleerd: het is onmogelijk warmte volledig om te zetten in beweging in een cyclisch warmteproces. Deze 2 wetten stellen tevens dat de constructie van een perpetuum mobile onmogelijk is. In 1906 werd een 3^e hoofdwet geformuleerd, het theorema van Nernst: het is onmogelijk een machine te creëren die een lichaam kan afkoelen tot het absolute nulpunt van temperatuur. Tegen de wil van de romantische filosofen toonde Helmholtz aan dat de wet van behoud van energie alleen vruchtbaar is in een theorie met een wiskundige structuur. Thomson (Kelvin) en Clausius voerde ook rond 1850 het begrip entropie in. Clausius stelde dat geen cyclisch proces als enige effect kan hebben dat warmte wordt overgebracht van een lage- naar een hoge temperatuureservoir. Thomson stelde dat geen cyclisch proces mogelijk is waarbij

warmte wordt omgezet in arbeid zonder dat warmte wordt overgebracht van een hoge- naar een lage temperatuureservoir. Deze 2 wetten zijn in feite identiek. Thomson (Kelvin) leidde vanuit de Carnot-cyclus een nieuwe temperatuurschaal af, die heeft universele geldigheid, omdat ze onafhankelijk is van de structuur van enig materiaal. Andere temperatuurschalen waren dat wel: de lineaire (?) uitzetting van kwik of ideale gassen. Het bleek dat de universele temperatuurschaal van Kelvin over een kwam met die van een ideaal gas. De principes van Carnot, Kelvin en Clausius tonen de onomkeerbaarheid aan van spontane processen. In omkeerbare processen is de entropie vooraf en achteraf gelijk, maar is energie toegevoegd of onttrokken aan het systeem. Bij onomkeerbare processen neemt altijd de entropie toe. Het entropiebegrip is verwant met het stroombegrip. Als er een stroom loopt (warmte, electriciteit of materie) tussen twee systemen dan neemt de entropie toe. Men kan het ook zo formuleren: in een gesloten systeem kan de entropie niet afnemen. De sterkte van de thermodynamica is dat ze veel wiskundige relaties tussen allerlei grootheden en verschijnselen heeft kunnen formuleren – afhankelijk van de specifieke eigenschappen van de stoffen waarover het gaat. Dat is ook tegelijk haar zwakte: ze kan niet helpen om de typische eigenschappen van stoffen te bepalen, en dat zijn nu juist de eigenschappen waardoor de ene stof zich van de andere onderscheidt.

13 : De atoomtheorie van Dalton

Er zijn grote verschillen tussen de atoomhypothese van Leukippos en Demokritos en de wetenschappelijke atoomhypothese. De laatste gaat er vanuit dat de allerkleinste deeltjes aan elkaar gelijk zijn, en meetbare eigenschappen hebben. Het onderscheidt tussen moleculen en atomen werd voor het eerst gemaakt door Dalton rond 1800. Dalton was geen chemicus, en niet-universitair gevormd. Hij kende wel de belangrijkste wetenschappelijke theorieën en deed zelf experimenten. Newton had Boyle's wet voor ideale gasen theoretisch afgeleid. Hij ging er vanuit dat de deeltjes weinig bewegen en elkaar afstoten met een kracht die omgekeerd evenredig is met hun onderlinge afstand. Dalton loste het probleem van waarom zware gassen niet zakken in lichte gassen en het probleem waarom men de gasdrukken van

meerdere gassen in een ruimte mag optellen op door te veronderstellen dat alleen gelijksoortige atomen elkaar afstoten en ongelijksoortige geen krachten op elkaar uitoefenen. Dalton verenigde dit model van Newton met de warmtestoftheorie, die min of meer de eigenschappen van het ideale gas overnam, zonder dat duidelijk werd gemaakt waarom. Het verschil tussen mengsel en zuivere stoffen was rond 1800 nog niet duidelijk. Berthollet en Proust stelden vast dat twee stoffen altijd in een vaste verhouding met elkaar reageren. Dalton zag in dat men dit kon teugbrengen tot vaste verhoudingsgetallen tussen de massa's. Dalton veronderstelde dat de moleculen van de stoffen altijd op dezelfde manier zijn opgebouwd uit atomen. Voor koolstof C en zuurstof O zijn dat b.v. CO, CO₂, C₂O, etc. Nu kan men uitzoeken hoe verbindingen opgebouwd zijn. Berzelius had er al 2000 vastgesteld rond 1820. Dalton schreef "A New System of Chemical Philosophy" (1808-27), belangrijkste conclusie daarin: alle atomen van een element zijn evenzwaar, atomen van verschillende elementen zijn niet even zwaar. Hij botste met Gay-Lussac over gassen, waarbij Avogadro en Ampere een oplossing vonden die niemand accepteerde tot 1860: namelijk dat gassen bij gelijke volume, druk en temperatuur evenveel moleculen bevatten welk gas het ook is. In de periode 1830-60 accepteerde geen chemicus de atoomhypothese, deze werd al metafysisch gezien – maar ze werkten er wel mee. Pas in 1859 wist Cannizzaro zijn vakgenoten er van te overtuigen dat vele problemen opgelost zouden worden als men de hypothese van Avogadro zou accepteren en het statische gasmodel van Newton zou opgeven. Het werd de aanzet tot de kinetische gastheorie van o.a. Clausius. Over bleef het probleem waarom zo veel moleculen uit 2-atomen bestaan.

14: Kinetische gastheorie

De mechanica was het succesverhaal in de wetenschap. Daarom probeerden velen de thermodynamica een mechanische grondslag te geven. De kinetische gastheorie had twee doelen: een atomistische grondslag te geven aan de thermodynamica (Clausius); de structuur van de materie te onthullen (Maxwell). In de kinetische gastheorie, geformuleerd rond 1850, spelen Newton's 2^e en 3^e bewegingswet geen rol, maar de wetten van behoud van impuls en energie. Clausius

stelde een theorie op waarin gasdeeltjes snel door elkaar bewegen, geen krachten uitoefen behalve als ze op elkaar of de wand botsten, en waarbij de impulsveranderingen bij die botsingen de gasdruk verklaart. Wel had de nieuwe theorie problemen, waarop Buys-Ballot wees: het kon niet verklaren waarom twee gassen zo traag in elkaar diffunderen, en waarom berekeningen aan de soortelijke warmte niet kloppen met de metingen. Clausius nam daarop aan dat de krachten bij de botsingen groot waren en de bewegingsrichting erg willekeurig is, dat loste het eerste probleem op. Maxwell gebruikte het vrijeweglenge idee van Clausius om een verdelingswet voor de snelheden van deeltjes in een gas op te stellen: en kwam tot onverwachte conclusies over viscositeit, diffusie en warmtegeleiding. V.d. Waals zat in die tijd 1860-80 op hetzelfde spoor als Clausius en Maxwell, maar kon zijn model niet kwantitatief maken. Boltzmann trachtte de toename van de entropie in afgesloten systemen terug te herleiden tot de bewegingswetten van Newton. Hij kreeg kritiek van Thomson en Loschmidt, zij stelden dat alle mechanische systemen omkeerbaar zijn en dat elke verdeling van moleculen even waarschijnlijk moet zijn als zijn tijdsomgekeerde. D.w.z. dat een proces dat de entropie laat toenemen tijdsomgekeerd de entropie laat afnemen. De 2^e hoofdwet van de thermodynamica verbiedt dat -> tegenstelling. Poincare en Zermelo wezen nog op andere fouten. Boltzmann moest toegeven dat zijn theorie niet geheel mechanistisch is, maar ook deels statistisch is. Maxwell stelde in 1870 dat moleculaire wanorde zelf een axioma is waar men niet buiten kan. Clausius en Boltzmann kregen veel kritiek van de z.g. energisten Mach, Ostwald, Duhem, die stelden dat atomen en moleculen alleen maar begrippen zijn, maar dat men niet mag zeggen dat ze echt bestaan – en dat alleen primaire waarnemingen werkelijk zijn. Boltzmann, Einstein e.a. meenden, als realisten, dat atomen en moleculen echt bestaan. Einstein interpreteerde het foto-electrisch effect en de Brownse beweging door uit te gaan van echte deeltjes. Perrin deed metingen aan gassen die Einstein in staat stelden uit te rekenen hoeveel moleculen er in een gas gaan waarvan de druk, het volume en de temperatuur bekend zijn (getal van Avogadro). De meeste wetenschappers gingen daarop over naar het

realistische standpunt. Maxwell legde de nadruk op het feit dat de atomistische theorie niet de juiste waarde voor de verhouding tussen de soortelijke warmte bij gelijk druk en die bij gelijk volume kan voorspellen. Deels werd dit opgelost door nieuwe metingen die verschillende uitkomsten geven voor gassen met een-atomige moleculen en gassen met twee-atomige moleculen. Boltzmann had wel goede ideeën om deze problemen op te lossen, maar Maxwell's kritiek dat die ideeën niets met klassieke mechanica te doen hebben was ook juist.

15: Het begrip element

Het moderne elementbegrip komt van Boyle en Lavoisier, niet van Aristoteles of de alchemisten. Dalton werkte het elementbegrip verder uit. Maar de massa van atomen kon men in de 19^e eeuw niet vaststellen, maar men kon wel de massaverhoudingsgetallen tussen de atomen bepalen. Lavoisier kende in 1790 33 elementen, Dalton 20, sindsdien zijn er afgegaan en vele bijgekomen. Nieuwe elementen werden empirisch gevonden, met name door de opkomende industrie. Frankland voerde in 1852 het begrip valentie in, de voorkeur om zich met andere atomen te binden. Sommige stoffen bleken meer dan een valentie te kunnen hebben. Mendeljev kende in 1869 reeds 63 elementen, die hij rangschikte in een tabel met daarin het atoomgewicht en de valentie. In het systeem kwamen elementen die scheikundig op elkaar leken in de valentiekolom te staan. Op enige anomalieën na paste alles heel goed in dit periodiek systeem. Opvallend was dat er plaatsen in het schema overbleven, volgens Mendeljev moesten daar nog te ontdekken elementen komen – wat juist bleek, snel werd het systeem aangevuld tot 92. Later creëerde men ook zwaardere kunstmatige elementen. Prout suggereerde al in 1815 dat alle elementen uiteindelijk uit een soort deeltje, het proton, zouden bestaan. Dan moeten de atoomgewichten gehele getallen zijn. Omdat dat vaak wel, maar vrijwel nooit helemaal klopte, ging verloren het idee na eerst grote opgang te hebben gedaan ook weer snel aan populariteit. In 1896 ontdekte men de radioactiviteit, het bleek dat in elk geval niet alle atomen onveranderlijk waren. Ook bleek dat het eindresultaat steeds lood was, maar lood met verschillende atoomgewichten. Er zijn dus meerdere soorten lood, meerdere isotopen. Dit verklaart de gemeten

atoomgewichten nooit precies gehele getallen zijn, dat komt omdat men meet aan een mengsel van isotopen. Verder toonde Einstein aan dat massa en energie equivalent zijn. Zo heeft Helium niet precies het atoomgewicht 4, maar minder, blijkbaar is de ontbrekende massa omgezet aan de bindingsenergie tussen de deeltjes. Dat geldt trouwens ook voor moleculen, maar het effect is miljoenen malen kleiner, vrijwel onmeetbaar. Later bleken er ook neutronen te zijn naast protonen, en die hebben niet precies dezelfde massa.

16: Electrostatica

Net als magnetische effecten waren statische elektrische effecten, geweven voorwerpen trekken kleine voorwerpjes aan, al heel lang bekend, maar werden ze als occult gezien. Cardanus zag als eerste, en Gilbert als tweede het onderscheid tussen de twee effecten. Gilbert beschreef beide in "De Magnete" (1600). Hij geeft ook experimenten weer met magneten, en nam van Fracastero (1550) een niet-magnetische naald over, waarmee hij elektrische krachten kon aantonen. Cabeo merkte als eerste op dat elektrische krachten ook afstotend kunnen zijn, tot dan had men alleen de aantrekkende waargenomen, maar hij werd 100 jaar lang niet geloofd. Hauksbee egden een verband tussen electriciteit en licht (onweer) en bouwde een elektriseermachine. Gray wist elektrische lading van een voorwerp over te dragen aan een tweede, en onderscheidde isolatoren en geleiders, ook ontdekte hij het influentieverschijnsel. Beide werkten rond 1700. Du Fay systematiseerde de kennis, en merkte op dat er twee soorten electriciteit bestaan (glasachtig, harsachtig), voorwerpen met dezelfde soort electriciteit stoten elkaar af, voorwerpen met verschillende soorten trekken elkaar aan. Beide soorten trekken neutrale voorwerpen aan. Na Du Fay werden alle nieuwe bronnen van electriciteit teruggebracht tot wrijving, geleiding of influentie. In de 17^e/18^e eeuw beschouwde men electriciteit als een uitwaseming. Nadat men elektriseermachines had uitgevonden, kwam het idee op dat men electriciteit vloeibaar kan maken = condenseren en opvangen in een (Leidse) fles. Deze fles werd uitgevonden door von Kleinst (1745) en Musschenbroek (1746). Rond 1740 ging men electriciteit zien als iets kan stromen, en daarbij behouden blijft, i.t.t. de dampvorm van electriciteit. Franklin bedacht dit in de periode 1743-57, en volgens hem was

er maar een soort electrisch fluidum, is er een overschot aan dat fluidum dan is een voorwerp positief, is er een tekort dan is het negatief, bij geleiding loopt het fluidum van positief naar negatief toe, maar de totale hoeveelheid fluidum (lading) blijft gelijk. Franklin kon ook influentie en condensatoren verklaren. Vroeg probeerde men al de omgekeerde kwadratenwet van Newton voor zwaartekracht ook aan te tonen voor magnetisme en electriciteit. Experimenteel is dat moelijk en het lukte pas aan Coulomb voor statische electriciteit in 1785 en voor magnetisme pas in 1791. Priestly en Cavendisch herhaalde Coulomb's proef met veel grotere nauwkeurigheid in 1773. Coulomb toonde ook aan dat de kracht afhangt van de grote van de ladingen, net zoals dat bij de zwaartekracht afhangt van de massa's. Rond 1800, werd het begrip electrische lading gedefinieerd. Tussen 1810-50 ontwikkelde de electrostatica zich verder, men voerde het begrip veld in, niet als fysische verklaring, maar als wiskundig hulpmiddel. Het komt er op neer dat men de sterkte van een electrisch veld pas kan bereken als men een lading in dat veld plaatst – maar daardoor verandert de sterkte van het veld, daarom moet men de lading zeer klein kiezen. Ook nam men aan dat ladingen puntvormig zijn, wiskundig en niet-fysisch gezien. Over een verband met atomen dacht men niet na rond 1800-50, behalve Faraday, het atomisme was toen niet-populair.

17: Electrodynamica

Gilbert, van Swinden, Ampere en Coulomb toonden aan dat electriciteit en magnetisme twee aparte verschijnselen waren, Daarom werd tot 1820 weinig geloof gehecht aan de rapporten, vooral van zeevarende, over verbanden tussen de twee. De scheiding tussen de natuurkundige gebieden, met elk een eigen kracht, werd sterk gepropageerd door de wiskundige en anti-metafysisch ingestelde Newtonianen. In Duitsland onstond er begin 19^e eeuw een stroming in de filosofie die naar de eenheid in de natuur zocht, vaak waren deze ant-wiskundig ingesteld. Het stimuleerde het zoeken naar dwarsverbindingen, die werden dan ook gevonden door Oersted, Faraday e.a. Oersted zag electriciteits als een conflict tussen positieve en negatieve polen, en magnetisme als de synthese. In 1820 vond hij een krachtwerking van een stroom op een kompasnaald die loodrecht op die stroom

stond, terwijl men het effect verwachtte en ze parallel lagen. Arago, Blot, Savart en vooral Ampere zagen meteen het belang, en vonden dat een stroom door een rechte stroomdraad een kracht op een magneet uitoefend. En wel op een manier die niet door de Newtonianen kon worden verklaard (qua richting, qua grootte). Hetzelfde geldt voor de magnetische krachtwerking tussen twee stromen die door twee parallele draden lopen. Het boek van Ampere uit 1826 bleef het standaardwerk tot 1850, Weber werkte haar om en deze bleef leidend tot 1890. Faraday deed baanbrekende experimenten in de periode 1821-1885, waarbij hij zocht naar eenheid tussen de krachten en niet naar wiskundige relaties. Hij liet stroomdraden en magneten t.o.v. elkaar bewegen, waardoor er stroom gaat lopen in de draad, magnetische inductie, de basis van de electromotor en de dynamo. Hij ontdekte dat wisselende magnetische velden stroom op kunnen wekken, Oersted had het tegenovergestelde ontdekt. Hij definieerde ook de begrippen spanning (electromagnetische kracht) die evenredig met het aantal veldlijnen dat door het circuit gaat. En ook merkte hij op dat de stroom omgekeerd evenredig is met de weerstand. Voor 1840 werkte men met batterijen, Volta 1800, die geen constante stroom geven, en zonder goede meters. Sindsdien bouwde men dynamo's en vonden Ampere en Schweigger meters uit. Ohm gebruikte als eerste in 1826 thermo-electrische elementen om een constante stroom op te wekken, en vond de relatie: de bronspanning is gelijk aan de stroomsterkte maal de weerstand. Het gebruikte daarvoor de electroscoop, die door Volta tot meetinstrument voor electrosopische kracht (spanning). Ohm werkte geïsoleerd en gebruikte nieuwe, dynamische begrippen als electrische kracht, die niet werden begrepen, men werkte tot dan slechts met statische begrippen als potentiaal. Een doorbraak kwam toen men inzag dat potentiaalverschil en electrosopische kracht hetzelfde zijn, Kirchoff 1849. Kirchoff had ook wetten voor stroomkringen ontdekt. Met de komst van betere stroombronnen en meetapparatuur nam de elektrotechniek een grote vlucht.

18: Veldentheorie

Hauksbee introduceerde het begrip veld rond 1700. In de 19^e eeuw kwam er een wiskundige statische veldentheorie voor de zwaartekracht, electriciteit en magnetisme, maar men kende

geen fysische realiteit aan het veld toe. Alleen aan de kracht, massa, lading en poolsterkte zag men als fysisch reeel. Toen het energiebegrip het krachtbegrip ging verdringen neigden Maxwell en Kelvin, naar Faraday, ernaar het veld fysische betekenis te geven, werking op afstand werd dan vervangen door contactwerking. Door Young en Fresnel was de deeltjestheorie over licht vervangen door een golftheorie. Die golven zouden dan door de ether gaan, een materieel medium. Maar die zou volgens de wetten van de mechanica zeer hard en stijf moeten zijn, maar is nooit waargenomen terwijl ze heelal zou moeten vullen. Kelvin, Maxwell, Helmholtz trachtten magnetisme en electriciteit aan de ether te koppelen. De ontdekking dat men licht kan polariseren met magneten en de berekening die aantoonde dat lading gedeeld door poolsterkte gelijk is aan de lichtsnelheid, doet een verband vermoeden tussen magnetisme, electriciteit en optica. Kelvin (Thomson) onderzocht de invloed van veranderlijke stromen op spoelen, en voerde nieuwe meer wiskundige begrippen in: flux, coefficient van zelfinductie, coefficient van wederzijdse inductie. Maxwell is de grondlegger van de electromagnetische veldentheorie in 1855, in 1861 vindt hij zijn vergelijking over de elektrische en magnetische veldsterkte. Hij stelde dat licht een electromagnetische golf is, en een golf van fluctuerende elektrische en magnetische velden. Er wordt energie en impuls mee getransporteerd, dus is die golf fysisch reeel. In 1864 maakte Maxwell de theorie abstracter, zodat de etherhypothese overbodig werd. In het boek "Treatise on Electricity and Magnetism" (1873) werd de theorie samengevat. Hertz kon electromagnetische golven opwekken en legde de basis voor de radio en de tv. Naast zichtbaar licht bleek ook infrarode, ultraviolette en radio straling alle electromagnetisch van aard te zijn. Lorentz toonde in 1892 aan dat electromagnetische straling kan wisselwerken met materie mits die geladen deeltjes bevat. Later bleken dit de electronen te zijn. Zeeman merkte op dat spectraallijnen splitsen o.i.v. een magnetisch veld, Lorentz verklaarde ook dat. Michelson toonde met een experiment aan dat licht zie in alle richting even snel verplaatst, dat overtuigde Lorentz ervan dat ether alleen electromagnetische golven en velden draagt, maar verder niet op te merken is. Lorentz moest om Michelson's experiment te verklaren

transformaties invoeren, die er op neerkomen dat bij beweging door de ether voorwerpen krimpen en klokken vertragen, 1904. Einstein, 1905, verklaarde het experiment anders, door aan te nemen dat de lichtsnelheid altijd dezelfde waarde heeft en geen absolute rust/beweging bestaan. In deze speciale relativiteitstheorie neemt Einstein de vergelijkingen van Maxwell over, maar de wetten van Newton niet, noch de relatie tussen energie en impuls van bewegende deeltjes. Toen aangetoond werd dat de massa inderdaad toeneemt met de snelheid, in 1916, werd de theorie aanvaard. Energie en massa bleken equivalent, en de ether bleek overbodig. Er was veel weerstand tegen de relativiteitstheorie vanwege de gevolgen voor het algemene wereldbeeld, de fysische problemen met de theorie waren immers snel verholpen.

19: De ontdekking van het electron

De theorie van de geleiding van elektrische stroom in metalen is veel later ontwikkeld dan de theorie over geleiding van elektrische stroom in vloeistoffen en gassen. Grotthus bedacht in 1806 een theorie over geleiding in vloeistoffen, er zou een soort kettingreactie op gang komen in de vloeistof, splitsing van moleculen die hercombineren met hun burens, en waarbij zich lading verplaatst van de ene electrode naar de andere. Berzelius dacht na over chemische bindingen, die zouden verklaard kunnen worden met elektrische krachten, maar hij liep vast. Faraday deed hetzelfde in 1834. Clausius merkte op dat Grotthus theorie de wet van Ohm niet verklaard. Volgens Clausius is de oplossing dat de moleculen in vloeistoffen als gedissocieerd zijn ook al voor dat er stroom gaat lopen. Er zouden ook twee stromen gaan lopen, een positieve naar de negatieve pool, een negatieve naar de positieve pool. Hittorf, Kohlrausch, van 't Hoff, Arrhenius, Nernst deden experimenten: ze meetten de snelheden van de ionen, verklaarden osmose- en smeltpuntalingsverschijnselen, etc. Het bracht het idee van de elektrische aard van chemische verbindingen weer in zicht. Na vroeg werk van Hauksbee onderzochten Geissler, Plucker, Goldstein e.a. elektrische ontladingen in vacuumbuizen. Daarbij werden kathodestralen ontdekt, die men aanzag voor e.m.-straling of ionen – beide onjuist. J.J. Thomson (niet Kelvin) ontdekte in 1897 dat de deeltjes waren met een veel kleinere massa waren dan

ionen. Uit deze en vergelijkbare experimenten werd een nieuw deeltje afgeleid: het electron. Definitief werd de ontdekking pas niet Milikin in 1909-16 niet de lading gedeeld door de massa meette (als Thomson) maar de lading (van wat het electron bleek te zijn) zelf. Dit na theoretisch werk van Helmholtz, Lorentz die een fundamentele, eenheids elektrische lading voorspelden. Het ontdekken van het electron was zo een proces van 40 jaar. Goldstein vond in 1886 kanaalstralen, Wien ontdekte dat het positieve ionen zijn. Rontgen ontdekte in 1895 een nieuwe vorm van e.m. straling met een groot doordringend vermogen. In 1887 had Hertz de radiostralen, ook e.m. straling ontdekt. In 1896 ontdekt Bequerel de spontane straling van uranium, de radioactiviteit. Er waren twee typen straling: straling bestaande uit deeltjes en electromagnetisch straling, wat de theorieën van Maxwell bevestigden. Heel de 19^e eeuw was er geen vooruitgang in het begrijpen van stroomgeleiding in metalen. In 1853 ontdekten Wiedemann en Franz dat het thermisch geleidingsvermogen gedeeld door het elektrisch geleidingsvermogen voor alle metalen evenredig is met de absolute temperatuur. Maxwell bedacht de vrije ladingsdragers, daarmee kon hij verklaren waarom e.m. straling niet door metalen heen gaat, en waarom metalen spiegelen als je ze polijst, en ook het Hall-effect. Eerst dacht hij met ionen te maken te hebben, maar het bleken electronen te zijn. Waarom soms positieve lading opduikt in een metaal bleef nog onverklaard.

20: De atoomtheorie van Bohr

De ontdekking van het electron en de radioactiviteit veroorzaakte verwarring over de aard van de atomen. Atomen zijn dus niet onveranderbaar en ondeelbaar. Verder waren er opeens allerlei nieuwe stralen, werd de mechanica van Newton ondergraven door de relativiteitstheorie van Einstein en beweerden Planck en Einstein dat licht niet alleen maar een electromagnetische golf is. Rond 1910 was er sprake van een crisis, waarop men probeerde te antwoorden d.m.v. conferenties. Bohr kwam in 1913 met een revolutionaire oplossing van enige problemen, wees de weg naar de quantumfysica. De stabiliteit van het atoom bleek samen te hangen met de wisselwerking materie en e.m. straling. Newton had al laten zien dat licht bestaat uit kleuren, en later werden ook andere vormen gevonden, zoals

infrarood en ultraviolet en kon men golflengtes gaan meten en spectra fotografisch vastleggen. In 1845 merkte Fraunhofer al op dat het spectrum van de zon zwarte lijnen vertoont, dus licht van bepaalde golflengte niet uitzend. Later vond men ook dat bij emissiespectra juist alleen sommige golflengten worden uitgezonden, maar de meeste niet. Kirchoff stelde in 1859 vast dat die twee samenhangen, gas kan alleen licht van bepaalde golflengte uitzenden en opnemen. Later kon men de spectraallijnen verbinden met atomen en zelfs moleculen. Het maakte mogelijk de samenstelling van sterren te bestuderen. Balmer, Ritz en Zeeman ontdekten regelmatigheden in de volgorde van spectraallijnen en splitsing van die lijnen o.i.v. magnetische velden. Lorentz koppelde de lijnen aan de trilling van electronen in de atomen, die dat blijktbaar met een vaste frequentie doen. Uit onderzoek van verhitting van zwarte lichamen bleek dat de totale hoeveelheid straling die uitgezonden wordt afhangt van de temperatuur tot de vierde macht, Stefan en Boltzmann ontdekten dat. Maar de spreiding van de golflengte tegen de intensiteit werd niet begrepen. Planck stelde dat die straling wordt uitgezonden door trillende atomen, en dat die blijktbaar niet alle mogelijke frequenties kunnen aannemen, maar alleen sommige. Hij nam aan dat alleen bepaalde hoeveelheden stralingsenergie kunnen worden opgenomen of afgestoten. Einstein gaf een andere verklaring, licht bestaat zelf uit energiepakketjes (fotonen). Niemand wilde dit aannemen, tot bleek dat electronen ook een golfkarakter hebben. Blijkbaar hebben deeltjes ook een golf/stralingskarakter en andersom. Rutherford en de Curies onderzochten de structuur van de atomen, Rutherford toonde aan dat een atoom bestaat uit een kleine, positieve, zware kern met daarom lichte, negatieve electronen. Probleem was dat zijn model niet stabiel was. Bohr stelde een model op met electronen in stationaire banen, die door energie op te nemen resp. af te stoten kunnen ze in hogere of lagere banen springen, maar slecht sommige banen zijn toegestaan. Hij gaan de theorieën van Maxwell en die van Newton de deur uit. Hij was ook in staat de energiesprongen te verbinden met de spectraallijnen van bekende elementen zoals waterstof, en zelf nieuwe reeksen met succes voorspellen. Toen er later onnauwkeurigheden optraden in zijn

voorspellen paste hij het model aan daar naast lading ook massa in de berekeningen te betrekken, waarna de voorspellen dramatisch verbeterden. Deze theorie van Bohr betekende het eindpunt van de 19^e eeuwse fysica en het begin van de moderne. Net als het model van

Copernicus eerder was het model van Bohr een stap in het omverwerpen van een wereldbeeld en het scheppen van een nieuw.

Samenvatting Richard (1984 / 2009)