

62. årgang · 1938

Nr. 4 · April

NATUREN

Utgitt av
BERGENS MUSEUM

Redigert av
prof. dr. phil. Torbjørn Gaarder

med bistand av prof. dr. phil. Aug. Brinkmann, prof. dr. phil. Oscar Hagem,
prof. dr. phil. Bjørn Helland-Hansen og prof. dr. phil. Carl Fred. Kolderup

**ILLUSTRERT
MÅNEDSSKRIFT FOR
POPULÆR
NATURVIDENSKAP**

KOMMISSJONÆR OG FORLAG: JOHN GRIEG - BERGEN

INNHOOLD:

L. VEGARD: Lord Rutherford og hans livsverk	97
TRYGVE BRAARUD: „Rødt sjøvann“ ved Tvedestrand.....	108
HAAKON HARALDSEN: Kjemiske bindingsarter	111
SMÅSTYKKER: Arne J. Lie og N. Knaben: laktfagelser angående maur. — S. Alsaker-Nøstdahl: En elektrisk ål avgir 190 volt. — Edv. J. Havnø: Spekkhuggeren. — Edv. J. Havnø: „Sitrå- den“. — Johan Strand: En hegrekoloni på Helgebostad, Hitra	125

Eftertrykk av „Naturen“s artikler tillates såfremt „Naturen“ tydelig angis
som kilde og forfatterens samtykke er innhentet.

Pris
10 kroner pr. år
fritt tilsendt

Dansk kommisjonær
P. HAASE & SØN
København



NATUREN

begynte med januar 1938 sin 62. årgang (7de rekkes 2nen årgang) og har således nådd en alder som intet annet populært naturvidenskapelig tidsskrift i de nordiske land.

NATUREN

bringer hver måned et *allsidig lesestoff* fra alle naturvidenskapens fagområder. De fleste artikler er rikt illustrert. Tidsskriftet søker å holde leserne underrettet om *naturvidenskapenes mektige fremskritt* og vil bidra til større kunnskap om og bedre forståelse av vårt *lands rike og avvekslende natur*.

NATUREN

har *tallrike ansette medarbeidere* i de forskjellige deler av landet og bringer også oversettelser og bearbeidelser efter beste utenlandske kilder.

NATUREN

har i en årrekke, som anerkjennelse for sitt almennyttige virke, mottatt et årlig statsbidrag som for dette budgettår er bevilget med kr. 800.

NATUREN

burde imidlertid ha langt større utbredelse. Der kreves *ingen særlige naturvidenskapelige forkunnskaper* for å kunne lese dets artikler med utbytte.

NATUREN

utgis av *Bergens Museum* og utkommer i kommisjon på *John Griegs Forlag*; det redigeres av prof. dr. TORBJØRN GAARDER, under medvirkning av en redaksjonskomite, bestående av: prof. dr. A. BRINKMANN, prof. dr. OSCAR HAGEM, prof. dr. B. HELLAND-HANSEN og prof. dr. CARL FRED. KOLDERUP.

Lord Rutherford og hans livsverk.

Av L. Vegard.

Det er verd å legge merke til at vårt århundre, som hittil har vært preget av så megen uro og så store omveltninger, allikevel betegner en gullalder for videnskapen. Dette viser forskningens og forskertrangens altbeseirende makt. Det gjelder stort sett de fleste videnskapsgrener, men jeg tror nok at det er fysikken som i denne siste menneskealder kan innregistrere de største og mest dyptgripende fremskritt i menneskelig erkjennelse.

En mangeartet og stadig mere forfinet forsøkssteknikk har ført til opdagelsen av nye effekter, og åpnet for forskningen nye verdener som man skulde tro lå utenfor rekkevidden av det positivt erkjennelige.

De nye fenomener har fremtvunget nye synspunkter for den teoretiske formulering av prosessene. Man er ledet frem til oppstillingen av nye fundamentale prinsipper som gjør det mulig å finne større sammenheng i naturens foretelser enn det tidligere var mulig. Vi kan i denne forbindelse nevne relativitetsprinsippet, og den forbindelse det bragte istand mellom tid og rum og mellom energi og masse; og vi kan nevne utviklingen av kvantemekanikken, som beskriver de prosesser som foregår i atomenes verden, og som gir oss de tidligere kjente klassiske lover for materiens virkninger som et spesial-tilfelle, der gjelder, når man kun tar i betraktning gjennomsnittsvirkningen for store mengder av atomer.

Det teoretiske apparat som går under navn av kvantemekanikk, fører til at materiens elementer må være av en slik natur, at de snart opfører sig analogt med det vi kaller materielle partikler, snart gir de anledning til fenomener som er analoge med hvad vi kjenner fra en bølgebevegelse.

Denne utvidelse av vårt kjennskap til materien og den indre »struktur« baserer sig på forsøket. Det er først og fremst de eksperimentelle kjensgjerninger som har fremtvunget omformuleringen av våre naturprinsipper og det teoretiske apparat.

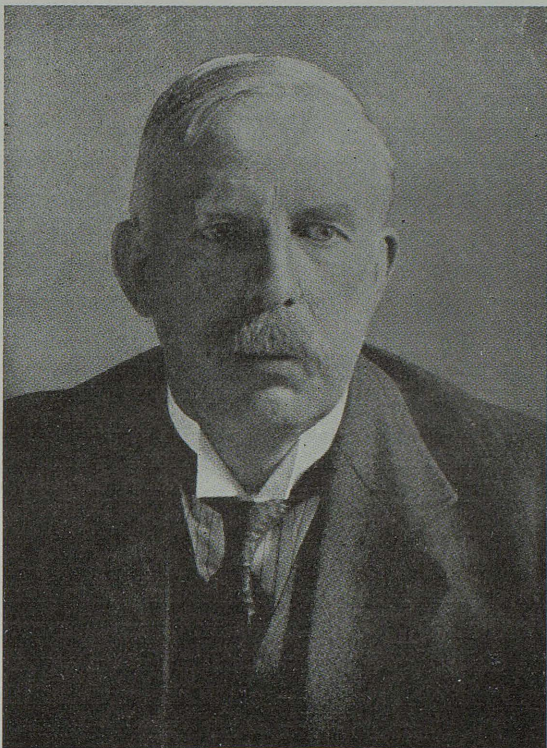
Det er selvsagt at den mangfoldighet av kjensgjærninger hvorpå atomfysikken bygger, er skaffet tilveie fra mange kanter og ved mange forskeres bidrag; men skulde vi fysikere utpeke de forskere som har inntatt en særlig central plass, og hvis forskningsresultater har vært banebrytende for utviklingen, så er jeg sikker på de fleste uten betenkning vilde sette den nylig avdøde LORD RUTHERFORD øverst på listen.

Allerede i tredveårsalderen hadde han gjort opdagelser som stillet ham i fronten blandt tidens fysikere, og hans virksomhet gjennom 40 år er markert av en næsten uavbrutt strøm av arbeider og banebrytende opdagelser.

RUTHERFORD var fremforalt den geniale eksperimentator. Hans teoretiske betraktninger er klare og konsise, men bygger på matematikk av forholdsvis elementær art. Hans eksperimentelle arbeider er preget av klar anskuelighet og uimotståelig logikk. Hans slutninger virker overbevisende på en slik måte at de ikke er til å komme forbi. Han er ofte blitt sammenlignet med FARADAY, og jeg tror med rette. De har begge det tilfelles at de retter oppmerksomheten direkte på naturprosessene selv, og har denne merkelige evne til å anordne forsøkene slik at naturen så å si kan åpne sig for iakttageren. Eksperimentet gir naturen anledning til å fremvise nye sider ved sitt vesen.

Det er denne merkelige intuitive evne til å tale med naturen gjennom forsøket som på en så slående måte karakteriserer såvel FARADAY som LORD RUTHERFORD. I denne kunst har begge nådd frem til det høieste mesterskap. Det vilde være hensiktsløst å spørre om hvem av dem er størst, for begge har nådd op til den største høide og neppe nogen annen kommer som eksperimentell fysiker op ved siden av disse to kjempeskikkelser.

RUTHERFORD var hvad engelskmennene kaller »a colonial«. Han er født i den lille by Nelson på Ny Zeeland i 1871. Han kommer fra meget enkle forhold, men da man straks var oppmerksom på hans store evner, fikk han allerede på Ny Zeeland en god utdannelse ved universitetet i Christchurch. Allerede her la han for dagen store evner og interesse for



Lord Rutherford.

fysisk forskning, og som ung student foretok han meget interessante forsøk over elektriske bølger — et arbeide han også senere i nogen grad fortsatte. Han opnådde å sende og motta trådløse signaler på avstander av flere kilometer, og han kan derfor sies sammen med HERTZ og MARCONI å ha vært en av foregangsmennene for utviklingen av den trådløse telegrafi.

Så snart han var ferdig med sin utdannelse ved Christchurch fikk han i 1895 stipendium, for å studere hos den berømte fysiker Sir J. J. THOMSON, som dengang stod som en av pionerene for utforskningen av elektrisitetens og materiens struktur.

Det falt sig så heldig at man ved universitetet i Cambridge nettop hadde åpnet adgang for studenter fra andre

land til å opná en universitetsgrad (B. A.) på basis av videnskapelige undersøkelser. En reform som har vist sig å ha fått den største betydning for det videnskapelige liv i Cambridge, og særlig da for utviklingen av Cavendish Laboratoriet.

RUTHERFORD var i virkeligheten den første som meldte sig hos Sir J. J. THOMSON som »research student«. Han blev etterfulgt av en rekke andre unge fysikere som senere har vunnet sig en fremtredende plass i videnskapen. Men blandt alle disse fremragende fysikere kom allikevel RUTHERFORD til å stå som den ubestridte førstemann.

Det må vel sies at han kom til Cambridge, og fikk anledning til å utfolde sine evner, i et meget gunstig øieblikk. Det var nettop i denne tid at det blev gjort en rekke av de opdagelser som skulde åpne nye veier og skape grunnlag for den utvikling som fysikken har undergått i den siste menneskealder.

Først kom opdagelsen av røntgenstrålene, derpå fulgte opdagelsen av de radioaktive stoffer ved BECQUEREL, opdagelsen av radium og polonium ved hr. og fru CURIE og endelig studiet av elektrisitetens struktur, studiet av gassjoner og påvisningen av elektronet — en rekke undersøkelser hvor særlig Sir J. J. THOMSON har gjort sig fortjent.

Ved Cavenish Laboratoriet kom RUTHERFORD således inn i et fruktbart videnskapelig miljø, hvor man gjennom tidligere arbeider stod særlig vel rustet til å utnytte de nye store opdagelser.

RUTHERFORD kastet sig med all sin ungdommelige entusiasme og geniale forskerbegavelse inn i utforskningen av de nyopdagede fenomener; og allerede efter 3 års opphold i Cambridge hadde han utført så betydelige arbeider at han blev tilbudt og fikk stillingen som professor ved universitetet i Montreal.

Gjennom formående menns hjelp fikk universitetet skaffet tilveie et mindre kvantum radium og radioaktive stoffer som gjorde det mulig for ham å fortsette de påbegynte arbeider over egenskapene hos de radioaktive stoffer.

Det var som professor i Montreal at han utførte en rekke av de arbeider som i det vesentlige klargjorde radioaktivi-

teten. Han gjorde først og fremst den viktige oppdagelse at det radioaktive thorium-preparat frembragte en art radioaktiv gass, som han kalte for emanasjon.

Studiet av de radioaktive substanser medførte en rekke oppgaver av rent kjemisk art, og han innledet her samarbeide med den bekjente fysikalske-kjemiker FR. SODDY. Et overmåte viktig resultat av dette samarbeide har vi i den såkalte disintegrasjonsteori for de radioaktive stoffer.

RUTHERFORD og SODDY fremkom her med den for den tid dristige hypotese, at radioaktiviteten beror på en sprengning av substansens atomer. De antar at de radioaktive elementers atomer av en eller annen grunn ikke er helt stabile, og at det alltid er en viss sannsynlighet for at et atom springer i stykker, og denne sprengning skulde da frigjøre store energimengder, som vi bl. a. iakttar i form av de utsendte strålinger.

Det viste sig snart at man her var inne på rett vei, og at man på grunnlag av denne til å begynne med hypotetiske antagelse formådde å bringe klarhet i de radioaktive prosesser. I dette arbeide er det særlig RUTHERFORD og hans skole som har tatt de tyngste løft.

Det viste sig at der efter en atomsprengning opstod et nytt stoff, en datter-substans, som gjerne atter igjen var radioaktiv. På denne måte blev de radioaktive stoffer ordnet i rekker i naturlige familier. Og det blev særlig RUTHERFORD og hans elever som kom til nærmere å identifisere og bestemme de forskjellige stoffer som optrer innen de enkelte radioaktive familier.

Det var imidlertid ikke bare selve den radioaktive prosess, som sådan som interesserte RUTHERFORD, men han innså at selve strålingen bød på overmåte viktige hjelpemidler for studiet av materiens opbygning. I første rekke heftet han sig ved de såkalte α -stråler.

Sammen med sin elev og medarbeider ROYDS viste han at α -strålene består av partikler som ikke var annet enn positivt ladete heliumatomer.

Sir W. RAMSAY hadde allerede tidligere påvist at det blev dannet helium ved de radioaktive omvandlinger, og

hadde kunnet måle den mengde helium som f. eks. i løpet av et år vilde utvikles fra et gram radium.

RUTHERFORD utviklet nu en ganske sindrig eksperimentell fremgangsmåte for telling av α -partikler. Ved hjelp av et slikt forsøk kunde han bestemme hvor mange α -partikler som blev utsendt fra et gram radium pr. år, m. a. o. han kunde simpelthen telle hvor mange heliumatomer det var i et visst målt kvantum helium. Og på en i særlig grad direkte måte kunde han således bestemme den fundamentale størrelse i atomfysikken som kalles for Avogadros tall, og som angir hvormange atomer det er i den såkalte atomvekt av et element.

I tilfelle av helium med atomvekt 4 vil det si at han bestemte hvormange helium-atomer (α -partikler) det er i 4 gram helium. Med kjennskap til dette tall blir atomer og molekyler å betrakte som kjente størrelser, hvis absolutte masse man kan beregne.

RUTHERFORD viste videre at α -strålene kunde bøies ved elektriske og magnetiske felter. Ved en like enkel som sinnrik forsøkssteknikk lyktes det ham å måle med meget stor nøiaktighet såvel strålenes hastighet som forholdet mellom deres ladning og masse; og han kom til det nu vel kjente resultat at en α -partikkel er et helium-atom som har mistet 2 elektroner.

Gjennem de studier RUTHERFORD senere utførte over atomets struktur, viste det sig at α -partiklen var den samme som den såkalte helium-kjerne.

RUTHERFORD var klar over at man i α -strålene hadde et viktig hjelpemiddel for studiet av atomets struktur. Ved forsøk, tildels av andre forskere som Sir WILLIAM BRAGG og C. T. R. WILSON, var det godtgjort at α -partiklene i almindelighet beveget sig rettlinjert gjennom materien. En ganske enkel beregning viste da at α -partiklen måtte ha evnen til å trenge gjennom atomene uten å møte synderlig motstand. Men en nærmere undersøkelse av RUTHERFORD og hans medarbeidere viste at det var visse undtagelser fra denne regel. Av og til hendte det at strålen fikk et plutselig knekk,

så strålen kunde avbøies i en retning som sterkt avvek fra den oprinnelige.

Disse fenomener blev forklart av RUTHERFORD ved hans nu så bekjente atommodell. α -strålenes gjennomgang gjennom materien fant han vilde være enkelt forklart hvis man antar at atomet består av en indre kjerne, hvortil meste-parten av atomets masse er knyttet. Kjernen må være positivt ladet, og normalt være omgitt av så mange elektroner som skal til for å nøytralisere kjernens ladning.

På basis av denne atommodell utvikler så RUTHERFORD en enkel og klar teori for α -strålenes spredning. Denne teori fører til en rekke konsekvenser som lar sig prøve eksperimentelt. Og disse prøver viste at de teoretiske resultater helt ut stemte med erfaringen. Gjennom disse forsøk blev det endog mulig tilnærmet å bestemme antallet av elektroner som omgir atomets kjerne.

Denne atommodell var dermed så godt forankret i kjensgjerningene at man kunde betrakte den som en sikker basis for den videre utforskning av atomets egenskaper. En rekke av de viktigste egenskaper som stoffet viser, er vesentlig betinget av de ytre elektronsystemer, og en første og viktigste oppgave blev det derfor å forsøke, på basis av RUTHERFORDS atommodell, å utlede atomets egenskaper og viktigste funksjoner.

Denne oppgave synes til å begynne med ytterst vanskelig for ikke å si umulig. Ut fra de vanlige klassiske lover for de elektriske massers gjensidige virkning på hinannen var det umulig på basis av atommodellen å utlede sådanne egenskaper som et atom nødvendigvis måtte ha.

Professor BOHR som på denne tid (1913) arbeidet hos RUTHERFORD — som da var blitt professor i Manchester — trakk den nødvendige konsekvens av denne situasjon, ved å innse at man til beskrivelse av atomsystemene ikke lengre kunne klare sig med den klassiske elektrodynamikk, men måtte gå til opstilling av nye prinsipper som kom til anvendelse i atomenes verden.

Dette danner innledningen til det store og fruktbare arbeide innen den teoretiske fysikk, som nu har resultert i

utviklingen av den såkalte kvantemekanikk, som har vist sig å være det teoretiske apparat som må til for å beskrive de prosesser som foregår i atomets ytre elektronsystem.

Vi kan nu si at vi prinsipielt behersker den del av atomfysikken som beskjeftiger sig med atomene omkring kjernen. Men så kommer vi til det annet og kanskje ennu mere fundamentale problem — selve kjerne-fysikken. Også her kom RUTHERFORD til å gjøre den første og grunnleggende opdagelse.

Allerede gjennom den radioaktive disintegrasjonsteori var det påvist at atomkjernene hadde en indre struktur. De kunde springe istykker og gå over til atomer med nye egenskaper. Denne sprekning av de radioaktive atomer synes imidlertid å foregå helt spontant på grunn av indre egenskaper ved kjernens bygning; og det syntes til å begynne med helt umulig å influere på denne prosess eller på kjernens stabilitet. Men dette kunde jo bero på at de vanlige fysiske påkjenninger som stoffet blev underkastet, så å si blev avdempet i de ytre elektronsystemer, så virkningen ikke nådde inn til kjernen.

RUTHERFORD innså at hvis man overhodet skulde kunne influere på atomets stabilitet og eventuelt frembringe en kunstig atom-omvandling, så måtte dette skje ved at man anvendte et middel som gjorde det mulig å utøve kraftvirkninger på selve atomkjernen. Det middel som her naturlig frembød sig, var α -strålene fra de radioaktive substanser.

Fra sine forsøk over α -strålenes spredning visste han jo at disse av og til med voldsom energi støtte mot selve atomkjernen, og det var da naturlig å tenke sig at et slikt støt kunde bli formeget for et atom, og at det derfor av og til gikk istykker.

I 1919 lyktes det også RUTHERFORD for første gang å iverksette og påvise at en atomsprekning under slike forhold faktisk fant sted. Han viste at kvelstoffatomer som blev utsatt for α -stråler av og til blev sprengt under utsendelse av meget hurtige stråler som sterkt lignet α -stråler, men disse viste sig ikke å bestå av heliumkjerner, men bestod av vannstoffkjerner som ofte også kalles for protoner.

Det er klart at denne opdagelse vakte opsikt, og den

kom også til å få en avgjørende betydning for den senere atomforskning. Det var intet mindre enn alkymistenes store problem som iallfall for ett elements vedkommende var realisert, nemlig overføringen av et element til et annet.

RUTHERFORD, som nu var blitt Sir J. J. THOMSONS efterfølger ved Cavendish Laboratoriet, la nu all sin kraft på studiet av atomkjernen. Han viste at også en rekke andre elementer lot sig spalte ved α -stråler, men det var samtidig klart at denne atomspaltning vilde bli av forholdsvis liten betydning hvis man utelukkende var henvist til å foreta denne ved hjelp av α -stråler fra radioaktive stoffer.

Det blev derfor såvel ved Cavendish Laboratoriet som ved en rekke andre laboratorier rundt omkring i verden påbegynt et intenst arbeide for å finne nye tekniske hjelpemidler for atomspreningsprosessene. Dette er ensbetydende med å bygge hensiktsmessige elektriske dynamoer for høiest mulige spenninger, og samtidig hermed å finne et hensiktsmessig apparat for fremstilling av energirike atomstråler.

Det var Cavendish Laboratoriet som først bragte positive resultater av disse bestrebelse. Det blev visstnok ikke RUTHERFORD selv som direkte fikk sitt navn knyttet til disse arbeider, men det var hans medarbeidere COCKCROFT og WALTON hvem det først lyktes å foreta atomsprenning ved hjelp av stråler som var frembragt ved almindelige høispenningsmaskiner.

Som professor ved Cavendish Laboratoriet — en stilling som han hadde de siste 20 år av sin levetid — kastet han sig særlig over den oppgave å utvikle Cavendish Laboratoriet til et førsterangs institutt for atomforskning; og han forstod å omgi sig med en skare unge dyktige forskere som på en rekke forskjellige felter utnyttet de hjelpemidler som RUTHERFORD skaffet tilveie. Han offentliggjorde jo også i denne tid en rekke overmåte betydningsfulle arbeider, men det blev tildels hans medarbeidere som fikk best anledning til å utføre de mest krevende oppgaver, og vi ser derfor også at flere av de banebrytende opdagelser som i de senere år er kommet fra Cavendish Laboratoriet ikke direkte er knyttet til RUTHERFORDS navn, men til hans medarbeideres. Men

vi må dog ikke glemme at RUTHERFORD har en stor del av æren for disse opdagelser, idet han som den store general har ledet forskningen inn i det riktige spor, og skaffet tilveie det tekniske utstyr som var en nødvendig forutsetning for at disse opdagelser kunde bli gjort.

Blandt disse fundamentale opdagelser som i de senere år er gjort ved Cavendish Laboratoriet, må vi særlig nevne to. Nemlig COCKCROFT og WALTONS påvisning av at man kunde frembringe kunstig atomomvandling ved hjelp av stråler som frembragtes i laboratoriet ved hjelp av kraftige høispenningsmaskiner og egnede utladningsrør.

Videre CHADWICKS opdagelse av nøytronet, en partikkel som RUTHERFORD i en lang årrekke hadde søkt etter, men ikke kunnet påvise, fordi man ennå ikke hadde de tekniske hjelpemidler som førte frem. Nøytronet er, som bekjent, en partikkel som har tilnærmet samme masse som vannstoffkjernen, men er nøytral. Det kan opfattes som et element med atomnummer 0, altså med en kjerne uten ladning og uten elektroner omkring.

Den senere utvikling har vist at dette nøytron spiller en overmåte fundamental rolle i atomets opbygning. Man antar nu at kjernen kan opfattes som et system som utelukkende består av protoner og nøytroner. Og på grunn av at nøytronet ikke har nogen ladning, vil det ha evnen til å trenge inn i en atomkjerne uten at nøytronet behøver å ha synderlig stor hastighet. Det kan liste sig inn i kjernen, så å si, og derved forstyrre dens likevekt, så der oppstår et kunstig radioaktivt produkt. Med andre ord kjernen springer istykker under dannelse av nye atomer og under utsendelse av forskjellige arter av stråling. På denne måte er det nu blitt mulig å overføre de fleste elementer til slike kunstige radioaktive stoffer.

Ved å kunne influere kunstig på kjernens stabilitet har man fått et mektig hjelpemiddel for studiet av kjernens fysikk og de lover som behersker kjernens opbygning.

Vi har i det foregående bare ganske flyktig kunnet streife inn på de mange fundamentale arbeider som RUTHERFORD har

utført eller foranlediget utført, og vi får et slående inntrykk av at han blandt den siste menneskealders fysikere har stått som banebryteren, hvis navn er knyttet til en rekke av de opdagelser som har ført videnskapen inn i en ny verden og åpnet nye fruktbare felter.

RUTHERFORD var ikke alene en stor forsker, men han var også stor som menneske og en charmerende personlighet, fri for affektasjon, liketil i sin fremferd mot alle. Han hadde utpreget sans for humor, likte en god spøk og man kunde alltid finne en gruppe av muntre mennesker der hvor han befant sig i en forsamling — hans rungende latter kunde høres på lang avstand.

Han var også av de lykkelige videnskapsmenn som allerede tidlig opnådde anerkjennelse for sitt arbeide. Han fikk også efterhånden alle de utmerkelser som kan bli en videnskapsmann tildel. Allerede i 1908 fikk han Nobelprisen i kjemi. Det kan kanskje synes merkelig at han fikk Nobelprisen i kjemi, men når vi betenker den grunnleggende betydning hans arbeider har hatt også for kjemien, er dette både forståelig og berettiget.

I 1914 blev han ridder med titelen Sir, og kort efter blev han — likesom en annen stor engelsk fysiker Lord Kelvin — ophøiet i adelstanden, og han tok titelen LORD RUTHERFORD OF NELSON. At han valgte dette navn, gir oss også et sympatisk trekk ved LORD RUTHERFORD. Det viser at han alltid følte sig knyttet til sitt hjemland og sitt barndomshjem.

Han falt på sin post, kun 66 år gammel, midt i sitt mest aktive arbeide. Nu hviler han i Westminster Abbey sammen med andre videnskapens kjempeskikkelser som NEWTON, LORD KELVIN, MAXWELL og FARADAY.

„Rødt sjøvann“ ved Tvedestrand.

Av Trygve Braarud.

I en artikkel i 1937, »Naturen«s februarhefte, omtalte jeg endel eksempler på usedvanlig vannfarve både i ferskvann og i sjøen. Blandt annet nevntes et tilfelle av blodrødt ferskvann, nemlig fra en bukt av Steinsfjorden på Ringerike. Jeg kan nu supplere disse med et tilfelle av rødfarvning av sjøvann.

I begynnelsen av oktober fikk dr. ALF DANNEVIG, Flødevikens Utlekningsanstalt, en forespørsel om årsaken til en rødfarvning av vannet på Tvedestrand's havn. Han

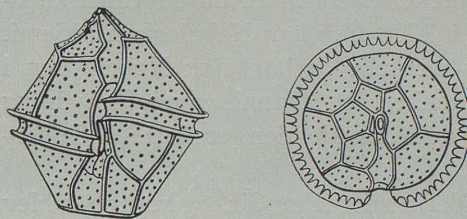


Fig. 1. *Goniaulax polyedra*. Skall sett forfra og ovenfra. (× 500).—
Efter KOFOED.

sendte en konservert vannprøve til forfatteren til nærmere undersøkelse av de små organismer, som han hadde sett fantes i uhyre mengder i vannet. Det viste sig at rødfarvningen var fremkalt av endel plankton-organismer tilhørende en flagellatgruppe som kalles dinoflagellater. Disse finnes i almindelighet i ganske store mengder i sjøvannet på denne årstid, men når de her kunde fremkalle en virkelig rødfarvning av vannet, skyldtes det at de forekom i usedvanlig store mengder. Dette var især tilfelle med en art, *Goniaulax polyedra* Stein, som er avbildet i fig 1. Denne dominerte helt i prøven. De fleste eksemplarer var noget ualmindelige i form, idet de hadde usedvanlig vel utviklede lister på skallet som omgir flagellaten. *Goniaulax polyedra* finnes vesentlig i kystfarvannene i varme og tempererte strøk og tåler ikke kaldt vann. Ved Amerikas vestkyst, langs California, forekommer den undertiden i enorme masser og fremkaller en



Fig. 2. Døde fisk og evertebrater på stranden ved East San Pedro, California under en optreden av rødt vann i 1907. — Efter KOFOID.

rødfarvning av vannet i likhet med den som er iaktatt ved Tvedestrand. KOFOID¹ gir en utførlig beretning om forekomsten derborte. Denne arts optreden er meget lunefull, idet det bare er enkelte år der er store mengder av den. Masseforekomsten skifter også fra sted til sted. I 1907 var der særlig kraftig farvning over et større område langs California-kysten og dette år hadde forekomsten en meget uheldig virkning på dyrelivet på bunnen. Mange slags bunnorganismer, som reker og fisk, døde og fløt op, så der lå et belte av døde dyr langs kysten. Dette skyldtes, mener KOFOID, at forråtnelsesproduktene av *Goniaulax polyedra* er giftige for mange marine organismer, så de dør i store mengder. De utallige millioner av disse flagellater som døde og blev

¹ C. A. KOFOID, Univ. Calif. Publ. Zool., 8 : 187—286, 1911.

liggende på stranden ved lavvann, fremkalte en gjennomtrengende stank som var høist ubehagelig.

Hvor der er masseforekomst av denne organisme får man også en usedvanlig kraftig morild, idet *Goniaulax polyedra* er en av de organismer som har evnen til å lyse når de er utsatt for forskjellig slags irritasjon, f.eks. ved vannbevegelsen når en fisk beveger sig i vannet eller når bølgene slår mot stranden.

I våre farvann er *Goniaulax polyedra* kjent fra mange lokaliteter, også i våre fjorder, men der er aldri påvist særlig store mengder av den slik som i dette tilfelle. På grunnlag av den prøve jeg har fått tilsendt, som er tatt omtrent en uke etterat farvningen først blev iaktatt, skulde der da være ca. 5 000 000 celler av *Goniaulax polyedra* pr. liter sjøvann. Hvad årsaken til denne masseforekomst i år kan være er det umulig å si noe sikkert om, især fordi denne organisme efter KOFOIDS iakttagelser med hensyn til formering og vekst later til å være usedvanlig følsom overfor endringer i de ytre forhold. Hvilke forhold det er som er særlig gunstige for den, om det er rikelig tilførsel av gjødselstoffer eller om det er særlige stoffer den krever til sin utvikling, kjenner vi ikke nærmere til.

Efter data ALLEN¹ har samlet for San Diego-trakten i California, har der her vært iaktatt rødt vann i 1901, 1907, 1917, 1924 og i 1933. Alle disse farvninger har imidlertid ikke vært fremkalt av *Goniaulax polyedra*. Den optrådte i 1907, mens det for eksempel i 1933 var andre dinoflagellater, først og fremst *Ceratium tripos* og *Prorocentrum micans* som var dominerende. Disse siste er almindelige i høstplanktonet i våre kystfarvann og fantes også, sammen med noen arter av slekten *Peridinium*, i prøven fra Tvedestrand. Fra våre farvann kjenner vi ikke noe tilfelle hvor de har fremkalt virkelig rødt vann, men de bidrar ofte til å gi fjordvannet, f. eks. i Oslofjorden, en tydelig brun farve om høsten.

Et par arter av dinoflagellatslekten *Gymnodinium* har også optrådt i så store mengder at sjøvannet er blitt rødt.

¹ W. E. ALLEN, Science, July 7, 1933, Vol. 78, No. 2010, 12—13.

Fra Japan har MIYAKE beskrevet tilfeller hvor rødt vann fremkalt av gymnodinier har bevirket store ødeleggelser blandt perlemuslingene. Bare for året 1933 anslår han tapet til 15 millioner yen. Lignende ødeleggelser av østers og andre muslinger har NIGHTINGALE¹) beskrevet fra den nordlige del av U. S. A.'s vestkyst. Her var skaden først tilskrevet en kjemisk forurensning (ved sulfit), men det viste sig at den skyldtes *Gymnodinium splendens* som fantes i mengder på op til 15,8 millioner celler pr. liter.

Kjemiske bindingsarter.

Av Haakon Haraldsen.

I.

Spørsmålet om den kjemiske binding og dens årsak er et gammelt hovedproblem innen kjemien. Allerede BERZELIUS² befattet sig utførlig med dette spørsmål. Han opstillet den teori at den kjemiske binding blev forårsaket ved en tiltrekning mellem motsatt elektrisk ladede partikler. Hvis f. eks. et sinkatom og et surstoffatom kom i berøring med hverandre, så skulde det opstå en elektrisk gnist som ladet sinkatomet positivt og surstoffatomet negativt. Svovel skulde likeledes lades negativt i forhold til sink, men positivt i forhold til surstoff. Svovel blev derfor den negative del av et molekyl som sinksulfid (ZnS), men den positive del av et molekyl som svoveltrioxyd (SO₃). Molekyler som ZnO, ZnS og SO₃ blev ganske enkelt holdt sammen på grunn av de elektriske krefter som de motsatt ladede partikler

¹ H. W. NIGHTINGALE, Red Water Organisms, Seattle 1936, 2—23.

² JØNS JAKOB BERZELIUS (1779—1848), svensk kjemiker, professor i kjemi og farmasi i Stockholm, er en av de betydeligste kjemikere som nogensinne har levet, særlig bemerkelsesverdig var hans analytiske undersøkelser som gjorde det mulig å stille op det første system av atomvekter.

utøvet på hverandre. Bragte man nu to slike molekyler som ZnO og SO₃ i berøring med hverandre, så fortsatte de imidlertid ikke med å være elektrisk nøytrale. ZnO ladet sig op positivt i forhold til SO₃ hvorved molekylet ZnSO₄ (sinksulfat) blev dannet, et molekyl som altså også blev holdt sammen ved hjelp av elektriske krefter.

Denne BERZELIUS' elektrokjemiske eller *dualistiske* teori var lenge den herskende innen kjemien og blev forsøkt anvendt ikke bare på forholdsvis enkle forbindelser, men også på de mest kompliserte molekyler. Da den dualistiske teori blev opstillet, visste man ikke at nogen av de bestandigste kjemiske forbindelser består av to like atomer, som f. eks. vannstoffmolekylet (H₂), kvelstoffmolekylet (N₂), klormolekylet (Cl₂) o.s.v. Slike forbindelser var det umulig å forklare på grunnlag av den dualistiske teori. Likeledes førte den organiske kjemis utvikling i siste halvdel av forrige århundre til opdagelsen av stadig flere og flere forbindelser som ikke lot sig innpasse i den dualistiske teoris skjema. Særlig henviste man til at kullstoffatomet kunde binde såvel elektropositive vannstoffatomer som elektronegative kloratomer uten at der intrådte nogen særlig store forandringer i egenkapene. Den dualistiske teori kom derfor etterhvert mere og mere i miskreditt og blev tilslutt fullstendig opgitt.

Istedet opstod der i forbindelse med den organiske strukturmolekyl utvikling en helt ny opfatning av den kjemiske binding. Selve spørsmålet om den kjemiske bindings *årsak* trådte helt i bakgrunnen. Man nøiet sig med å føre den tilbake på en eller annen hemmelighetsfull kraftvirkning, den såkalte *affinitet* eller *valenskraft*. Denne valenskraft antok man utgikk i bestemte retninger fra atomet. Det var særlig VAN'T HOFFS¹ og LE BELS² påvisning av at et kullstoffatom forbandt sig med 4 atomer som var tetraedrisk anordnet omkring det som førte til teorien om den *rettede* valenskraft.

¹ J. H. VAN'T HOFF (1852—1911), hollandsk fysiko-kjemiker, død som professor i Berlin, Nobelpris i kjemi 1901, var en av grunnleggerne av den moderne fysikalske kjemi.

² J. A. LE BEL (1847—1930), fransk kjemiker.

Et kullstoffatom skulde ifølge denne opfatning besitte 4 valenskrefter som utgikk fra 4 punkter i kullstoffatomet der var slik beliggende at de svarte til hjørnepunktene i et regulært tetraeder. På samme måte som kullstoffatomet skulde også ethvert annet atom besitte et bestemt antall rettede valenskrefter. Deres antall blev bestemt ved det såkalte *valenstall* som rett og slett angav hvor mange andre atomer et bestemt atom kunde binde til sig.

Som alle vet formådde denne *valenslære*, som først og fremst skyldtes KEKULÉ¹ og VAN'T HOFF, å feire store triumfer innen den organiske kjemi. Dog forblev spørsmålet om valenskraftens årsak fullstendig ubesvart. Man nøiet sig med å fremstille den i form av enkelte, dobbelte eller mangedobbelte bindestreker i de forskjellige strukturformler. Man talte om mettede bindinger, om umettede bindinger, svake valenser, sterke affiniteter, om spaltede valenser, man talte om spenninger i molekylene på grunn av valenskreftenes avbøining fra deres oprinnelige retninger som årsak til kjemiske forbindelsers instabilitet o.s.v. Nærmere besett var den erkjennelsesteoretiske betydning av disse uttrykk ikke stort mere verd enn tidligere tiders forestillinger om atomenes kjærlighet, hat og sult som årsak til den kjemiske binding.

Det var derfor heller ikke å undres over at man støtte på meget store vanskeligheter da man forsøkte å overføre den organiske strukturkjemis metoder på den anorganiske kjemi. Uten hensyn til de kjemiske egenskaper trakk man også her bindestreker mellom de enkelte atomer og ødet megen energi på også for de anorganiske forbindelsers vedkommende å tegne op strukturformler som passet inn i de tilvante skjemaer. Idag har alle disse formler hverken nogen praktisk eller videnskapelig interesse.

En av de største vanskeligheter for valenslæren lå deri at bortsett fra kullstoffatomet, så optrer de fleste elementer med en hel rekke forskjellige valenser. Et bestemt, konstant valenstall kommer derfor i virkeligheten slett ikke i

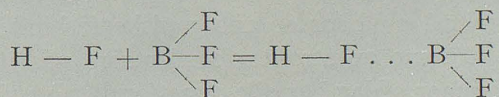
¹ F. A. KEKULÉ (1829—1896), tysk kjemiker, professor i Bonn, gjorde en meget betydelig innsats, særlig innen den organiske kjemi.

betraktning. Klor f. eks. optrer med valensen 1 i kloridene. I en forbindelse som klorheptoksyd, Cl_2O_7 , må vi imidlertid anta at der foreligger syvverdige klor hvis vi da ikke vil godta en så usedvanlig strukturformel som:



I høiden kunde man hevde at hvert element besatt en karakteristisk *maksimalvalens*. Men også denne opfatning fører til store vanskeligheter. På grunnlag av de enkle borforbindelser, som f. eks. BCl_3 , må man tilskrive boratomet valensen 3. I forbindelser som HBF_4 (borvannstoff-fluorid) må man derimot hvis man vil oprettholde det stive valensbegrep, anta at bor også kan opetre femverdige hvis man da ikke vil røre ved vannstoffs og fluors godt funderte enverdighet. I det hele tatt var det studiet av slike kompleksforbindelser som førte til at teorien om den rettede valenskraft måtte opgis.

For disse forbindelser utviklet A. WERNER¹ en ny valens-teori, den såkalte *koordinasjonslære*. Ifølge den må man skjelne mellem to forskjellige valenskrefter, *hovedvalenser* og *bivalenser*. En forbindelse som den ovenfor nevnte HBF_4 f. eks. kan man tenke sig opstå på den måte at BF_3 (borfluorid), tiltross for at bors normale valenser her er fullstendig avmettet, ikke desto mindre besitter evnen til ved hjelp av en bivalens å binde et molekyl HF (fluorvannstoff) til sig, f. eks. efter følgende skjema, hvor hovedvalensene er angitt ved uttrukne linjer, bivalensene ved prikkede linjer:



På samme måte skulde også i andre kompleksforbindelser bivalensene være bestemmende for hvor mange atomer eller atomgrupper et centralatom kunde binde til sig. Man sa at de atomer og atomgrupper som på den måte var bundet

¹ A. WERNER (1866—1919), sveitsisk kjemiker, professor i Zürich, Nobelpris i kjemi 1913.

til et centralatom, var *koordinativt* bundet. Deres antall blev angitt ved det såkalte *koordinasjonstall*. I vårt eksempel er B (bor) centralatomet, de fire fluoratomer er koordinativt bundet til dette, tre ved hjelp av hovedvalenser og et ved hjelp av en bivalens. Koordinasjonstallet er 4. Ved siden av 6 er dette det hyppigst forekommende koordinasjonstall.

Den videre utvikling har imidlertid vist at der ikke foreligger nogensomhelst grunn til å anta at det ene fluoratom i komplekset BF_4 er anderledes bundet enn de tre andre. De må alle betraktes som fullstendig likeverdig bundet. Det er derfor ikke lenger nogen grunn til å oprettholde noget prinsipielt skille mellom hoved- og bivalenser. Selv om WERNERS teori derfor har måttet modifiseres på et ganske vesentlig punkt, så har den hatt sin store betydning; for først ved hjelp av den blev det mulig å ordne hele det veldige antall kompleksforbindelser og forene dem i et oversiktlig og greit system. Likeså litt som den organiske valenslære inneholdt WERNERS teori noget om *årsaken* til at slike kompleksforbindelser med koordinativt bundne atomer eller atomgrupper kom istand.

Et vesentlig skritt videre fremover betydde ARRHENIUS'¹ teori for den elektrolytiske dissosiasjon. Takket være den blev kjemikernes interesse for de saltaktige forbindelser atter vakt til nytt liv. Som alle vet, hevder ARRHENIUS' teori at disse forbindelser i vandig oppløsning er dissosiert i motsatt ladede joner, natriumklorid f. eks. i positivt ladede natriumjoner (Na^+) og negativt ladede klorjoner (Cl^-). Da enhver tvil om riktigheten av ARRHENIUS' teori var forsvunnet, lå det nær å anta at allerede det udissozierte natriumklorid-molekyl inneholdt de ladete partikler: natrium med ladningen $+$ (Na^+), klor med ladningen $-$ (Cl^-) og at disse partikler holdtes sammen ved hjelp av de *elektrostatiske* krefter som de utøvet på hinannen.

Kjemikerne blev på denne måte atter ført tilbake til den dualistiske teori, om enn på en ny og mere moderne

¹ S. A. ARRHENIUS (1859—1927), svensk fysiko-kjemiker, professor i Stockholm, Nobelpris i kjemi 1903, er også en av den moderne fysikalske kjemis grunnleggere.

basis og atter støtte de på uoverstigelige vanskeligheter da de ved hjelp av den vilde forsøke å forklare slike stoffers egenskaper som metan eller det toatomige vannstoffmolekyl. Det så derfor virkelig ut som om det fantes to forskjellige klasser kjemiske forbindelser: på den ene side de saltlignende eller *heteropolare* (også kalt bare *polare*) stoffer som natriumklorid (NaCl) og andre typiske salter, hvor den kjemiske binding kunde antas å bero på en elektrostatiske tiltrekning mellom motsatt ladede elektriske partikler; på den annen side de *upolare* eller *homøopolare* stoffer, hvortil de fleste organiske forbindelser måtte regnes og for hvilke den kjemiske binding ikke uten videre kunde føres tilbake på en elektrostatiske vekselvirkning mellom motsatt ladede joner.

Selv om det eksperimentelle og teoretiske materiale som vi idag råder over, med sikkerhet viser at der ikke eksisterer noget uoverstigelig skille mellom disse to stoffklasser, men at man tvertimot kjenner alle mulige overgangsformer, så letter det behandlingen og oversikten når vi oprettholder inndelingen av stoffene i to klasser: de heteropolare forbindelser eller *joneforbindelsene* som antas å være sammensatt av positive og negative joner, og de homøopolare forbindelser eller *atomforbindelsene* hvis enkelte bestanddeler utgjøres av nøytrale atomer. Svarende til denne inndeling av de kjemiske forbindelser vil vi også tale om to forskjellige bindingsarter: *jonebindingen* som ansvarlig for joneforbindelsene og *atombindingen* som ansvarlig for atomforbindelsene. Vi vil behandle disse bindinger hver for sig om det enn uttrykkelig må betones at der ikke består noget prinsipielt skille mellom dem. De kan begge til syvende og sist føres tilbake på kraftvirkninger av samme art, nemlig såkalte COULOMBSKE¹ krefter, d.v.s. krefter av elektrostatiske art.

Som en tredje bindingsart vil vi behandle den *metalliske* binding, d.v.s. den binding som er fremherskende hos metallene og de intermetalliske forbindelser og som er ansvarlige for disses dannelse. Den eksperimentelle og teoretiske behandling av denne siste bindingsart er av forholdsvis ny datum og

¹ Disse krefter kalles slik efter C. A. COULOMB (1736—1806), fransk offiser, som opstillet formelen for deres kvantitative beregning.

det er ikke så svært meget man enda vet om den. De tre nevnte bindingsarter kalles også ofte for *hovedvalensbindinger* og de tilsvarende bindingskrefter for *hovedvalenskrefter*.

Som en fjerde bindingsart kommer så hertil de såkalte VAN DER WAALS *krefter*,¹ d. e. krefter som man antar er virksomme mellom atomer og molekyler som i valensmessig henseende er avmettet. Man blev ført til å anta disse krefters eksistens bl. a. på grunn av de avvikelser som man iakttok fra de ideale gasslover. Disse krefter spiller i kjemisk henseende en forholdsvis underordnet rolle. Alene for sig forekommer de bare hos edelgassene i krystallinsk tilstand. Ellers fører de aldri direkte til nogen kjemisk binding. Til forskjell fra de ekte kjemiske bindingskrefter har man derfor kalt dem *intra-molekylare* krefter. Men nettop fordi disse krefter er virksomme mellom alle molekyler og atomer enten vi nu har med gasser, væsker eller faste legemer å gjøre, er de meget almindelig utbredt og forekommer egentlig alltid sammen med de ekte kjemiske bindingskrefter. Angående deres årsak så vet man idag ganske god beskjed. De forårsakes hovedsakelig av atomenes *dipoler* og gjensidige *polarisasjon*, dessuten spiller den såkalte *Londons dispersjonseffekt*, som skyldes tiltrekningskrefter mellom elektroner som er i bevegelse, en vesentlig rolle. Man taler derfor også om binding ved *polarisasjon*. Da disse krefter på grunn av sin langt mindre størrelsesorden er av relativ underordnet betydning ved siden av de ekte kjemiske bindingskrefter, skal vi ikke gå noget nærmere inn på de VAN DER WAALSKE krefter her.

Det er således mulig å skjelne mellom en rekke forskjellige kjemiske bindingsarter. Felles for vår moderne opfatning av dem er det at de alle kan settes i relasjon til atomets elektroner og føres tilbake på visse vekselvirkninger mellom atomene og deres elektroner. Kun er arten av disse vekselvirkninger forskjellig for de forskjellige bindingsarter.

JONEBINDINGEN.

Den bindingsart hvis vesen og årsak først blev klarlagt var jonebindingen. Den er det mulig å forklare og kvantitativt å beregne i sine vesentligste trekk allerede på grunnlag

¹ J. D. VAN DER WAALS (1837—1923), hollandsk fysiker, professor i Amsterdam, Nobelpris i fysikk 1910.

av BOHR¹ klassiske atom- og kvanteteori. De to andre kjemiske bindingsarter er det kun mulig å få et dypere innblikk i ved hjelp av den moderne bølgemekanikk.

Vår opfatning av jonebindingen går tilbake på en teori som i 1916 blev opstilt av W. KOSSEL² i nær tilknytning til den BOHR-RUTHERFORDSKE³ atommodell. Ifølge denne klassiske atommodell må man forestille sig de forskjellige elektroner som et atom inneholder, fordelt på forskjellige grupper eller som man også sier, forskjellige skall, de såkalte *elektron-skall*, innenfor atomet. Det antall skall som elektronene normalt fordeler sig på, er naturligvis avhengig av hvor mange elektroner atomet overhodet inneholder. Således fordeler urans 92 elektroner sig på et langt større antall skall enn vannstoffets ene elektron.

En viktig egenskap ved disse elektronskall er det at hvert av dem kun kan inneholde et visst maksimalt antall elektroner. Nummererer vi skallene 1, 2, 3 o.s.v. (ofte blir de også i rekkefølge betegnet med bokstavene K, L, M, N o.s.v.), så kan det første skall maksimalt inneholde 2 elektroner, det annet maksimalt 8, det tredje maksimalt 18 o.s.v. De som er fortrolig med det periodiske system og elementenes anordning i dette, ser uten videre at disse tall 2, 8, 18 nøiaktig svarer til lengden av de første perioder i dette system.

Det periodiske system som blev opstillet praktisk talt samtidig av tyskeren LOTHAR MEYER (1830—1895) og russeren D. MENDELEJEFF (1834—1907), inneholder en systematisk anordning av alle kjemiske elementer i *vertikale grupper* og *horisontale perioder*. Nedenfor er de tre første perioder gjengitt:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	O
1. periode							H	He
2. periode	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3. periode	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar

¹ N. H. BOHR (1885—), dansk fysiker, professor i Kjøbenhavn, Nobelpris i fysikk 1922.

² W. KOSSEL (1888—), tysk fysiker, professor i Danzig.

³ E. RUTHERFORD (1871—1937), engelsk fysiker, professor i Cambridge, Nobelpris i kjemi 1908.

Første periode inneholder som vi ser, bare to elementer, vannstoff og helium, annen og tredje periode inneholder hver 8 elementer, mens den fjerde periode som ikke er gjengitt her, inneholder hele 18 o.s.v.

Romertallene i ovenstående sammenstilling angir de forskjellige grupper¹. Som vi ser, fordeler elementene i de tre første perioder sig på 8 grupper. Går vi imidlertid over til neste periode, så må vi føie til enda en gruppe slik at det periodiske system alt i alt inneholder 9 grupper, ihvertfall i den såkalte kortperiodiske fremstilling av det. I hver enkelt gruppe er slike elementer samlet som viser nær overensstemmelse i sine kjemiske egenskaper. Gruppe I inneholder således de såkalte *alkalimetaller* som foruten de to anførte elementer, litium og natrium, omfatter kalium, rubidium og sesium, gruppe II inneholder *jordalkalimetallene*: beryllium, magnesium, kalsium, strontium og barium samt radium, gruppe VI de såkalte *kalkogener*: surstoff, svovel, selen og tellur, gruppe VII *halogenene*: fluor, klor, brom og jod, gruppe O *edelgassene*: helium, neon, argon, krypton og xenon.

Nu inneholder et skall i almindelighet ikke alle de elektroner som det maksimalt kan inneholde. Det følger ganske enkelt derav at atomene inneholder et forskjellig antall elektroner. Atomene adskiller sig med andre ord med hensyn til sin elektronopbygning og spesielt antar man at de atomer som står i samme periode i det periodiske system, besitter et forskjellig antall elektroner i sitt ytterste skall. Disse ytterste elektroner kaller man valenselektroner.

Det første atom i det periodiske system, vannstoffatomet, inneholder bare et elektron utenfor kjernen. I sin normale tilstand antas dette å befinne sig i det innerste skall, d.v.s. i skall nr. 1 (K-skallet). Det neste atom, heliumatomet, besitter to elektroner som normalt antas å befinne sig i det samme skall. Dermed inneholder dette skall de to elektroner som det maksimalt kan inneholde. Man sier at skallet er *avsluttet*. Hos det neste element, litium, med tre elektroner befinner to sig i det samme skall, mens det tredje optas i skall nr. 2 (L-skallet). Hos beryllium kommer enda et elektron til i skall nr. 2, likeså hos hvert av de følgende elementer: bor, kullstoff, kvelstoff, surstoff, fluor og neon. Edelgassen neon inneholder derfor i det ytterste skall, som

¹ Den siste gruppe kalles av historiske grunner for gruppe O.

her er skall nr. 2, i alt 8 elektroner, d.v.s. det maksimale antall som skallet kan inneholde. Dessuten har neon 2 elektroner i skall nr. 1 slik at det alt i alt besitter 10 elektroner (jfr. nedenstående tabell).

Hos det følgende element, natrium, må det 11. elektron nødvendigvis optas i det utenforliggende skall, skall nr. 3

Element	Elektronskall		
	1 (K)	2 (L)	3 (M)
H	1		
He	2		
Li	2	1	
Be	2	2	
B	2	3	
C	2	4	
N	2	5	
O	2	6	
F	2	7	
Ne	2	8	
Na	2	8	1
Mg	2	8	2
Al	2	8	3
Si	2	8	4
P	2	8	5
S	2	8	6
Cl	2	8	7
Ar	2	8	8

(M-skallet) hvorpå den samme prosess som vi nettop har betraktet, gjentar sig hos de følgende elementer: magnesium, aluminium, silisium, fosfor, svovel, klor og argon. Ved hvert element optas et nytt elektron i skall nr. 3. Hos edelgassen argon vil det atter være 8 elektroner i det ytterste skall. I det hele tatt vil man overalt i det periodiske system finne at edelgassene alle har en elektronkonfigurasjon med i alt 8 elektroner i det ytterste skall. Man sier at edelgassene besitter en 8-konfigurasjon. Vi merker oss likeledes at alle alkalimetaller besitter bare et elektron utenfor en slik