

1 INNLEDNING

(Introduction)

1.1 Litt om metallenes historie

Egypterne og babylonerne mente at verdens primære bestanddeler var jord, vann og luft. Anaximander, som levde ca. 600år før Kristus, tilførte ild. Senere var det ikke alltid enighet om antall elementer. Anaximenes, omkring 500år før Kristus, hevdet at luft eller damp var det eneste element. Han bestred ikke jord og vann og ild som byggesteiner, men de kunne alle, mente han, avledes av luft.

Atomistene og pytagoreerne i Grekenland omkring 500år før Kristus viste adskillig interesse for stoffenes oppbygning. Mange av deres dokumenter er bevart, men de behandler mest den alminnelige verdensoppbygning og bare enkelte fragmenter har adresse til metallene.

Aristoteles og hans skole omkring 350år før Kristus, kalt peripatetikerne, var de siste, men også de største av de greske naturfilosofer. De beholdt oppfatningen om jord, vann, luft og ild som de fire grunnsstanser, men utstyrte dem med fundamentale egenskaper som tørrhet/våthet, varmheter/kaldhet og tunghet/letthet. På denne måte kunne Aristoteles forklare fenomen som fordampning og bunnfelling. Vann var for eksempel vått og kaldt, og luft var våt og varm. Når vann ble varmet opp, ble kaldheten tatt bort og erstattet med varmheter, og dermed ble vann til luft. Ble derimot våthet borte fra vann, ble vannet tørt og kaldt i stedet for vått og kaldt. Tørrhet og kaldhet var jords fundamentale egenskaper, og grekerne trodde således at det bunnfall som oppstod etter inndampning av vann, var jord laget av vann. Metallene var også bygget opp av de fire grunnelementer, og vann var det viktigste. Metallene kunne jo som vann gjøres flytende ved oppvarming og stivne ved avkjøling.

For oss lyder ikke den aristoteliske lære særlig overbevisende, men det fantes andre som var mer tvilsomme. I en persisk myte fra ca. 500år før Kristus heter det at metallene ble født når et hellig vesen døde. Bly kom da fra hodet, tinn fra blodet, sølv fra marginen, kobber fra benene, jern fra kjøttet og gull fra sjelen.

De greske filosofer har ellers ikke bidratt særlig til metallurgiens og kjemiens utvikling. De anerkjente ikke metallæren som vitenskap. Metallene ble utvunnet og bearbeidet av håndverkeren, og ingen fri mann kunne nedverdige seg til slikt arbeid. Disse forhold endret seg da grekerne selv ble erobret av romerne. Omkring 300år før Kristus ble den stoiske skole grunnlagt i Athen. Den holdt seg levende i over 500år og fostret de første alkymister. Stoikerne utviklet en lære om stoffers og metallers oppbygning som på Platinus' tid omkring 200år etter Kristus var usedvanlig vel utbygget. Vi finner den igjen hos araberne og i europeisk vitenskap helt frem til 1750-årene. Stoikerne trodde at metallene grodde under jorden, og at de gradvis utviklet seg mot det perfekte metall, gull. Denne prosess kunne kopieres i laboratoriet ved å isolere gulletts sjel og overføre den til et uedelt metall. Dette ville da bli til gull. Vanskeligheten var å få fatt på sjelen. En alminnelig prosedyre var å legere de fire metaller kobber, tinn, bly og jern. Overflaten ble så gjort lys med kvikksølv damp, som ble tolket til at sølvets ånd, som levde i kvikksølvet, tok bolig i legeringen. Det neste skritt var å legge et lite korn gull mot overflaten. En dyktig alkymist, noe som fordret nær kontakt med gudene og sikkert også adskillig hell, ville få gulletts sjel til å spre seg i legeringen, akkurat som gjær gjør det i brøddeigen. Behandlingen ble avsluttet med dypping i et slags svovelvann som farget overflaten gylden, dette tydeligvis for at selv den mest skeptiske skulle bli

overbevist om at legeringen nå var blitt til gull. Det tjener handelens folk til ære at de ikke lot seg lure av dette vitenskapelige hokus-pokus. Alkymistisk gull oppnådde ikke gullets verdi og ble oppfattet som forfalskning når det ble falbudt som ekte.

Drømmen om å lage gull finner vi også hos kineserne så tidlig som 500 år før Kristus. Kineserne var den gang og senere vel så interessert i kilden som ga dem evig liv. Kineserne regnet med grunnelementene vann, ild og jord og i tillegg metall og tre, men disse elementer skulle selv oppstå på en merkverdig måte ved en reaksjon mellom de to prinsipper Yin, en passiv og kvinnelig kraft, og Yang, den aktive og mannlige. De to prinsipper kunne isoleres i kvikksølv og svovel, som dermed utgjorde de grunnsubstanser som så vel gull som udødelighetspillen ble fremstilt av. Vi kan vel anta at kvikksølv neppe var den friskeste kilde til evig liv.

Praktisk metallutvinning i Kina var den gang intimt knyttet til sex. Metallene var kvinnelige og mannlige, og de kunne bare utvinnes og bearbeides av mennesker av tilsvarende kjønn og med høyverdig moral. Enhver besudling fra mindreverdige mennesker ville straks overføres til metallet. Denne oppfatning var rotfestet i erfaring om at visse stoffer selv i små kvanta ødelegger det gode metall. Hvor mange kilo stål ville vi med vårt tekniske apparat ha maktet å fremstille hvis slike restriksjoner skulle pålegges?

Klokka synes til alle tider og på alle steder å ha oppfordret til metallurgiske prestasjoner. I det gamle Kina bød klokkestøpingen imidlertid på et spesielt problem. Både kobber og tinn var mannlige metaller og smeltens kjønn måtte derfor balanseres med en ung jomfru. Det spesielle problem lå i å finne en kvinne som var jomfru, men som samtidig hadde en kvinnes lyster. Uten den siste kvalifikasjon hadde hun naturligvis ingen virkning i smelten. I senere litteratur finner vi tinn et nevnt som feminint metall. Dette passer utvilsomt bedre for det vakre myke og føyelige materiale, og for klokkestøpingen løste det et praktisk problem.

Etter Romerrikets fall ble det perserne og senere araberne som overtok og fortsatte. Geber eller Jabir levde en eller annen gang mellom det 7. og 12. århundre etter Kristus, og hans verk om Islams alkymi er regnet for et av historiens ypperste. Her finner vi for eksempel for første gang beskrevet hvordan salpetersyren fremstilles. Jabir adopterte Aristoteles' lære om de fire grunnelementer, men tilføyet at disse selv var oppstått gjennom samvirke av de to prinsipper kvikksølv og svovel. Her sporer vi således påvirkningen fra den gamle kinesiske lære. Ifølge Jabir ble metallene til gull ved påvirkning av de to hovedprinsipper. Ellers innførte araberne vekten i sin virksomhet, og Jabir beskriver en mengde laborieutstyr av glass og stentøy som ikke er veldig forskjellig fra hva vi finner i et moderne laboratorium.

Jabirs arbeid ble kjent i Europa under arabernes invasjon i Spania, og det ble grunnlaget for all alkymistisk aktivitet i middelalderen. Kvikksølv og svovel som de to grunnelementer gjennomlevde også den vitenskapelige renessanse gjennom 1500-årene, og ble ikke endelig avlivet før etter 1750. Egentlig er det ikke mye nytt å finne hos de europeiske alkymister sammenlignet med deres arabiske kolleger og stoikerne, men naturlig nok var læren blitt påvirket av kristendommen.

Metallene var ikke bare levende, de hadde også kropp og sjel. Sjelen bestemte de karakteristiske egenskaper, den kunne skilles fra kroppen ved oppvarming og insemineres i et annet metall. Vi skjønner hvorfor kvikksølv var av slik utslagsgivende betydning for alkymistene. Kvikksølv fordamper allerede ved 350°C og gir således opp sin sjel ved moderat påvirkning.

Som nevnt kan alkymistenes lære føres tilbake til de gamle grekere, til stoikerne. Hemmelighetens stempel fikk den omkring 300 år etter Kristus, under filosofen Hermes. Den stoiske lære ble oppfattet som hedensk og kunne ikke tolereres under kristendommens fremmarsj. Dens tilhengere måtte skjule seg i jorden, de hermetiserte seg. De gamles autoritet var så stor at deres lære ikke ble betvilt 1000 år etter, og den ble videre utviklet. Blant annet ble kunsten å lage gull rasjonalisert. Det store mål ble nå å finne eller lage de vises stein, det stoff eller den eliksir som tilsatt i små mengder skulle forandre de uedle metaller til sølv og gull. Fra senmiddelalderen finnes det et utall av oppskrifter på de vises stein. Gull og kvikksølv var grunnsubstanser, men ellers hørte de mest selsomme ingredienser med i suppa. Jomfrumelk og urin fra en uberørt yngling var blant annet uunnværlig.

Naturligvis var alkymien enklere som filosofisk ide enn som praktisk vitenskap, og for å fullføre verket, dvs. de vises stein, måtte også himmelens medvirkning sikres. Ifølge et astrologisk grunnprinsipp fra 200 år etter Kristus var planetene og fiksstjernenes stilling i et barns fødselsøyeblikk bestemmende for barnets fremtid. Og hva var naturligere enn å trekke parallellen mellom en menneskefødsel og verkets fødsel? Og ble ikke denne tese ytterligere understreket ved at det fantes syv metaller og syv planeter? At solen og månen også måtte medregnes, kunne neppe betraktes som en hake ved et så fullkomment resonnement. På denne måte ble det kanskje ikke lettere å lage de vises stein, men det ble enklere å forklare hvorfor den fullkomne resept ikke virket. Stjernene stod ikke i riktig stilling, het det, men om noen år på en bestemt dag og klokkeslett, når den nøyaktige kombinasjon inntraff, ville steinens enestående kraft utløses. Det må antas at betalingen forfalt straks.

Hvert metall hadde sin spesielle himmelske beskytter. Det tunge bly var knyttet til den langsomme Saturn, det hvite tinn til den hvite Jupiter, gull naturligvis til solen, sølv til månen, jern til Mars og det uregjerlige kvikksølv til den raske Merkur. At kobber, det vakre røde, og den skjønne gylne aftenstjerne Venus hørte sammen, var like naturlig. Alkymistene trakk også forbindelsen mellom kjærlighetens gudinne Venus og den løse fugl blant metallene, kobber. Begge hadde slik en uanstendig trang til å stifte løse forbindelser!

Oldtidens astrologer hadde også antatt en forbindelse mellom planetene og menneskets enkelte organer. Således influerte solen hjernen, Mars blodet osv., og alkymistene trakk den slutning at metallene som planetenes stedfortredere på jorden måtte ha samme virkning. Planeten Mars påvirket blodet, og følgelig måtte metallet jern også påvirke blodet, og på denne måte, heter det, fant de frem til jern som legemiddel mot anemi. Fra den tid og ut fra lignende resonnement stammer en hær av mineralske legemidler, hvori naturlig nok kvikksølv og svovel var hyppige komponenter. Hvor ofte de var like heldig som i tilfellet jern mot anemi, vites ikke, blant annet av den grunn at medisinerne oftest besto av noe omkring 50 komponenter og var ment å skulle helbrede alle kjente sykdommer.

Vi har ikke noen grunn til å tro at det lyktes alkymistene å lage gull, og heller ikke at deres medisinske hokus-pokus var til nevneverdig hjelp for samtidens lidende. Alkymistenes omsegripende virksomhet i middelalderen er ufattelig for nåtidsmennesket. Trodde de selv på sin virksomhet? Alkymien ga ifølge sin hemmelige natur selvfølgelig ly for sjarlataner og virkelige kjeltringer, men det er galt å tro at alle alkymister var det. Vi finner middelalderens fremste filosofer og vitenskapsmenn som Albertus Magnus, Roger Bacon, Paracelsus, Robert Boyle og mange flere i alkymistenes rekke. Også Isaac Newton, 150 år senere, brukte mange år av sitt liv til ”gullmaking”.

Historien om middelalderens og også den nyere tids alkymi gir oss et uhyggelig eksempel på hvordan et i og for seg logisk tanke-system bygget på gale premisser kan føre en parasittisk blomstrende tilværelse i menneskesinnet. Alkymistene dominerte ikke bare den vitenskapelige og borgerlige, men også den fyrstelige verden helt frem til 1790-årene, da Lavoisier og Dalton fremla sin nye kjemiske filosofi. Men det magiske tenkesett er dypt forankret i menneskeheten. I 1897 syslet August Strindberg med alkymistiske formler, og samme år kjøpte De forente staters myntkontor alkymistisk gull for mangfoldige tusen dollar. Og skal vi være ærlige, er det egentlig annet enn primitiv alkymistisk mentalitet som tillater vår tids forretningsmenn å selge tannpasta med irium og klorofyll, krem som gjør huden ung og elastisk og deilig eller vann som garanterer hår på skallede isser?

Hva med det praktiske metallhåndverks grunnleggere, de som hadde våpen og redskap som mål for sin kunnen, ikke gull, rikdom og udødelighet? Når tok egentlig menneskene på denne jord metallene i bruk?

Ifølge vår egen Pontoppidan fant skapelsens uke sted engang for omtrent 5000 år siden. Den første mann som antydte at det fantes mennesker på jorden før de ble skapt, var professor Baden Powell ved Oxford University, som i årene omkring 1850 hadde funnet en hodeskalle under anlegg av en ny jernbane gjennom Cotwood Hills, og han mente at skallen var eldre enn Adams. Omtrent på samme tid dristet den skotske fysiker Lord Kelvin seg frem med en teori om jordens alder. Lord Kelvin postulerte at saltet var ført til havet av elvene, og ved måling av havet og elvenes saltgehalt fant han at dette måtte ha foregått i mer enn 500 millioner år. Både Baden Powell og Lord Kelvin kan være takknemlige for at de ikke levde 200 år før. For Kirken ville de ha vært større kjettere enn Galileo.

Det vites visstnok med sikkerhet at både Javamannen og Pekingmannen, som kanskje har levd for en halv million år siden, kjente ilden, og at de var menneskelige nok til å bruke primitivt verktøy. Vi må også ha grunn til å tro at selv de mest primitive menneskers intelligens og arbeidsinnsats var stor nok til at de kunne gjøre seg bruk av de metaller som finnes fri i naturen, slike som gull, sølv og kobber, og jern fra meteoriter. I dag er gedigent kobber og jern sjelden å finne, det meste er kanskje plukket opp av våre forfedre. Imidlertid finnes ingen metallgjenstander bevart som med sikkerhet vites å skrive seg fra den eldre steinalder. Det synes som om menneskene først for alvor tok metallene i bruk etter at sivilisasjonens annen nødvendige oppfinnelse var gjort, nemlig åkerbruken. Den første oppfinnelse var ilden. Og denne periodes begynnelse kan festes til omkring år 5000 før Kristus, så lenge vi snakker om den indoeuropeiske sivilisasjon.

Både arkeologi og klassiske tradisjoner utpeker områdene i det nordøstlige Persia som metallkunstens hjemland. Det er faktisk ganske sterke indikasjoner på at det metallurgiske håndverk oppstod her, og at det senere spredte seg til Europa, til India og Kina. Vi utelukker da de i naturen gedigne metaller, hvis bruk egentlig ikke var betinget av metallurgisk viten. Vi tror å vite at det i de nevnte områder ble produsert jern og bronse av malm omkring 3000 år før Kristus, og kobber en god del tidligere. Den første skrevne og bevarte meddelelse om jern er et brev fra hitittenes konge til den egyptiske Faraos Ramses den Annen. Det er av ekspertene datert til 1300 år før Kristus. Hitittene levde i fjellpartiene syd og øst for Svartehavet, altså i det nåværende Armenia, og brevet var av typen "beklager forsinkelsen, kjære venn". Kong Hititt kunne ikke levere den avtalte jernmengde til avtalt tid, hvilket utvilsomt skjedde med velberådning, for få år senere fikk han krig med egypterne. Det er ikke så sikkert at den nåværende praksis, der den krigførende på forhand sørger for å forsyne motstanderen med sine beste våpen for å få en god kamp, var ansett som like fornuftig den

gang. Den eldste jerngjenstand som med sikkerhet vites å ha vært fremstilt av malm, er fra samme tid, det er et sverdblade i Tutankhamens kiste, plassert på et sted og på en måte som fastslår det som en høyt skattet eiendel.

De armenske smeder holdt sin kunst ved like. Selv de mongolske horder 1300-1400 e. Kr. Så med frykt og respekt på dette folk, som de hevdet skodde en loppe like sikkert som en hest.

Arkeologene hevder at kulturutviklingen i Europa har gjennomgått tre stadier, nemlig steinalderen som i Middelhavsområdene varte til omkring 3000 år før Kristus, bronsealderen mellom 3000 og 1000 før Kristus, og jernalderen etter år 1000. Denne inndeling er basert på hyppigheten av metallfunn fra disse perioder, og er blitt identifisert med den tid menneskene lærte de respektive metaller å kjenne. Men når arkeologene ikke har funnet jern av eldre dato enn fra 1200-1300 år før Kristus, kan jo forklaringen også være at det eldste jern er rustet bort. Her gis en parallell. Rene tinn-gjenstander fra den greske og babylonske kulturrepoken finnes ikke bevart, til tross for at vi har helt sikre bevis for at tinnen har vært kjent fra før år 3000 før Kristus. Vi må søke grunnen i tinnets allotrope natur. Allerede under pluss 20°C er metallet tinn ustabil, det forandres etter hvert til ett grått, umetallisk pulver som ikke lett kan skilles fra jorden omkring. Jern var dessuten et høyt skattet metall og ble nok ikke kastet på skraphaugen etter bruk. Vi lar heller ikke våre aluminiums-fly korrodere på flyplassen når de er foreldet. Vi smelter dem om. Mange forhold antyder at jern var kjent for bronse, den sterkeste indikasjon er av metallurgisk art, smibart jern kan lages ved å brenne et skikkelig bål på en jernrik malm. Og det er nesten utenkelig at denne utvikling først skjedde etter bronsens oppfinnelse, som både betinget støping i ildfaste digler og tilgang på tinnmalm. Og tinn er mangelvarer omkring Middelhavet. En annen sak er at slikt primitivt fremstilt jern ikke vil være bedre enn bronse til våpen og redskap. Først over 900°C kan nemlig jernet oppta karbon, det element som gjør det både hardt og seigt på samme tid, og for å mestre denne høye temperatur måtte våre forfedre først konstruere blåsebelgen. Det første bevis på at en slik har vært i bruk, finner vi i en grav i Teben, datert til ca. 1500 år før Kristus, hvor smelting av bronse er avbildet. Vi har ingen grunn til å tro at antikkens kulturer hadde noen ide om elementet karbon eller dets dominerende utslag på jernets egenskaper. Heller ikke kan vi tro at de hadde noen tilnærmedesvis riktig oppfatning om herde- og anløpingsprosessen. Selv den pålitelige og allsidige Agricola nevner ikke noe om dette i sitt omfangrike verk fra 1530 etter Kristus, og først etter kjemiens grunnleggelse som vitenskap i 1750-1800 årene er karbonets utslagsgivende betydning blitt bevist. Det står imidlertid fast at karbonisering og herding var kjent som teknologiske prosesser etter år 1000 før Kristus, og først nå kunne det ventes at jernet etter hvert ville fortrenge bronzen. Vi kan derfor anta som mest sannsynlig at jernet har vært kjent og benyttet like tidlig som kobber og bronse, kanskje allerede før år 5000 før Kristus, men at jernmetallurgien først nådde den nødvendige fullkommenhet 4000 år senere. At det likevel var adskillige problemer med å lage det gode stål både da og senere, viser flere optegnelser i historien. For eksempel finner vi i beretningen fra et av romernes slag mot gallerne, at romerne med stor utstuderthet angrep i to raskt på hinannen følgende rekker. Gallerne hadde skarpe, men bløte sverd, og under annen fremstorming fant romerne dem opptatt med å rette ut de bøyde klinger. Romernes overlegne våpen og deres kjennskap til de fiendtlige våpens svake sider brakte dem således en lett seier. Fra våre egne sagaer vet vi at de bolde krigere mere enn en gang måtte trå på sverdet med foten under strid for å rette det ut.

At smedens arbeid, erfaring og dyktighet til tross, har vært et hasardspill, antyder også alle magiske og religiøse seremonier som helt inn i vår tid har vært knyttet til smedhåndverket. Mange praktiserende metallurger i dag har sikkert ønsket seg en smådjevle å rådføre seg med i tillegg til håndbøkene. Georg Brochmann nevner i sin fasinende bok "Jern" at da Carsten

Anker i året 1800 innviet sin nye masovn på Eidsvoll, forsvant hans nymotens negergutt, og man var ikke i tvil om at han var ofret til ovnen av den fortvilte masovnmester. Verket gikk med dundrende underskudd, og den nye masovn måtte greie det!

Visse arabiske ørkenstammer herder enda sine sverd etter et eldgammelt ritual, det glødende sverd blir kastet til en galopperende rytter, han griper det og med voldsomme hugg simulerer han en kamp mot en kristen hund, så jages sverdet inn i en levende geit så blodet spruter, for senere å avkjøles i en rolig periode mens Allah prises. Gjennom denne brutale prosess skulle sverdet vennes til kamp mens det var ungt og føyelig, men det bemerkes at en riktigere herde- og anløpingsprosess for et lavt levert stål kunne ingen moderne metallurg ha anvist, selv om han ville ha foretrukket mindre besværlige veier.

1.2 Generelt

Våre erfaringer er at alle stoffer kan deles i stadig mindre enheter, og vi kan ikke uten videre innse at denne oppdeling før eller senere må komme til en grense. Grekeren Demokritos hevdet likevel på rent spekulativt grunnlag, ca. 400år f. Kr., at all materie var sammensatt av udelelige partikler som han kalte atomer. Atomismen passet imidlertid ikke inn i Aristoteles' verdensbilde og vant ingen tilslutning hos oldtidens filosofer. Senere, i opplysningstiden, 1700-1800 e. Kr., ble den igjen aktuell. Opplysningstiden var spesielt preget av Newtons lære om tilværelsens lovbundethet, og den svekket forestillingen om Guds inngripen i verdensordenen. Det er forøvrig interessant å merke seg at også Demokritos hadde postulert at naturen var regulert av lover, men heller ikke denne ide ble godtatt i gammel tid, først og fremst fordi Aristoteles var imot den.

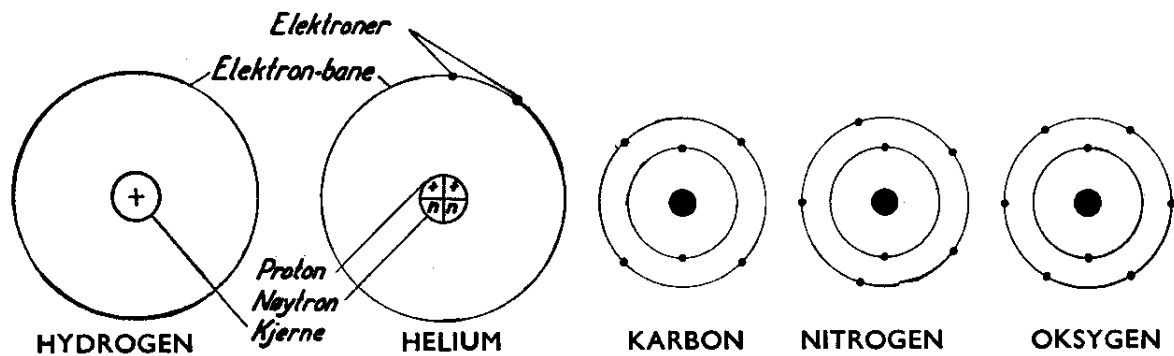
Den moderne atomteori ble grunnlagt av John Dalton (1766-1844). Han definerte et grunnstoff som en substans som ikke kunne deles opp i enklere bestanddeler. Daltons hypotese forklarte bl.a. hvorfor eksakte vektmengder av et stoff forbandt seg kjemisk med eksakte vektmengder av et annet stoff, noe som hadde vært kjent lenge før Daltons tid.

Avogadro, som var Daltons samtidige, innførte molekylbegrepet. Han definerte et molekyl som den minste partikkel et stoff kunne deles ned til uten at stoffets egenskaper ble endret. Definisjonen kan aksepteres også i dag hvis vi begrenser egenskaper til kjemiske egenskaper, og videre tar i betraktning at molekylbegrepet ikke er relevant til et flertall av de krystallinske stoffer. Det er ikke hensiktsmessig å operere med f.eks. et metallmolekyl, heller ikke med et molekyl krystallinsk bordsalt.

De neste punktene gir en kort oppsummering av noen viktige begreper, betegnelser.

1.2.1 Atommodell

All materie, alt stoff er bygd opp av atomer som er bygd opp av elementpartiklene protoner (p^+ ladning), nøytroner og elektroner (e^- ladning).



Figur 1.1
Atommodeller (Niels Bohr, 1913).

Definisjoner:

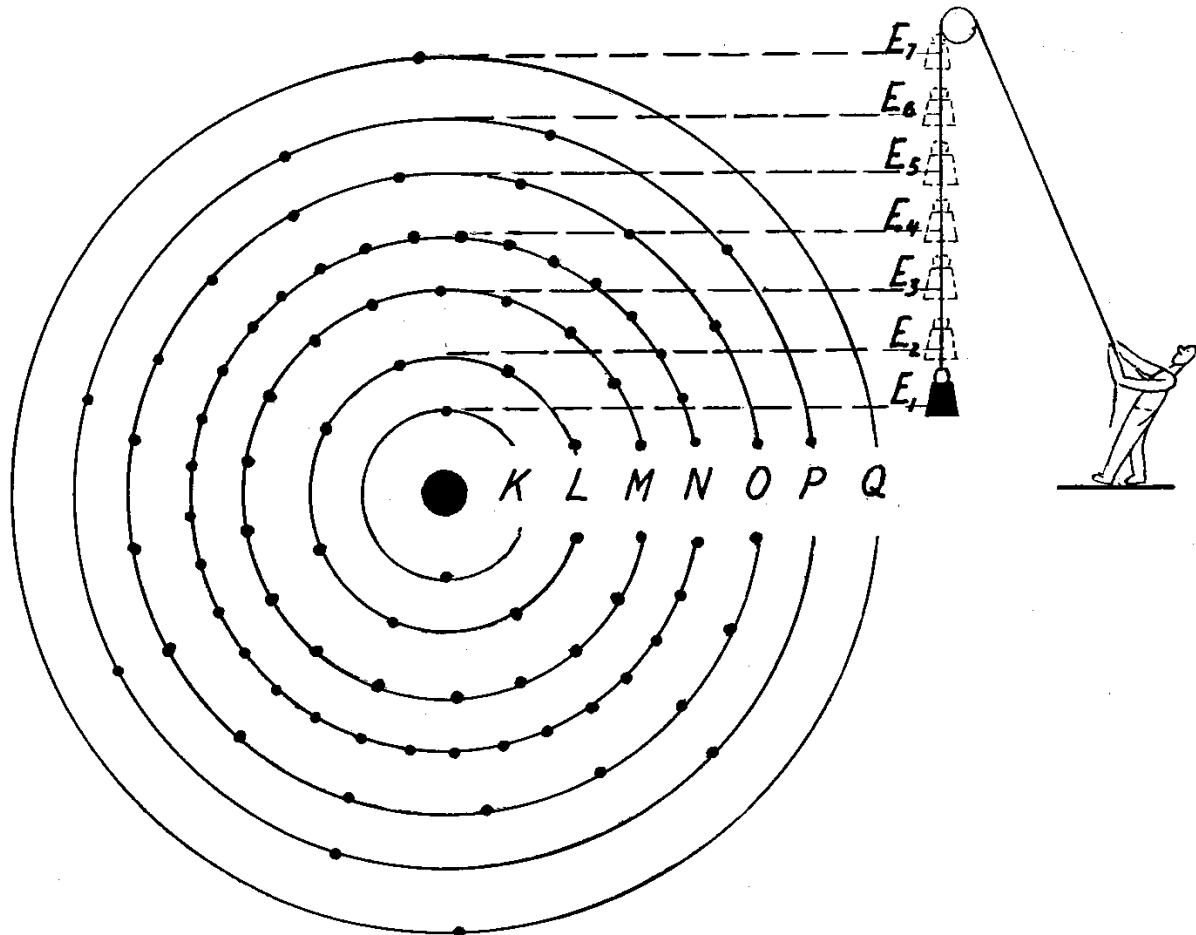
- elektronisk nøytralt (normale atom):
 - atomnummer = antall protoner, p^+ , i kjernen
 - antall elektroner, e^- = antall protoner, p^+
- ladde atomer, kalt ioner:
 - $e^- < p^+$
 - eller
 - $e^- > p^+$

1.2.2 Kjemisk grunnstoff

Samling av atomer med samme atomnummer.

1.2.3 Energiforhold rundt atomet

Figuren under viser hvordan atomer kan fremstilles skjematisk. Atomet består av en kjerne med elektroner plassert i forskjellig skall kalt K, L, M, ... eller 1, 2, 3, ... Skallene representerer energiforhold rundt atomet. De forskjellige grunnstoffene har forskjellig antall elektroner, og elektronene er plassert i et bestemt system i skallene.



Figur 1.2

Skjematisk fremstilling av energiforholdene rundt atomet.

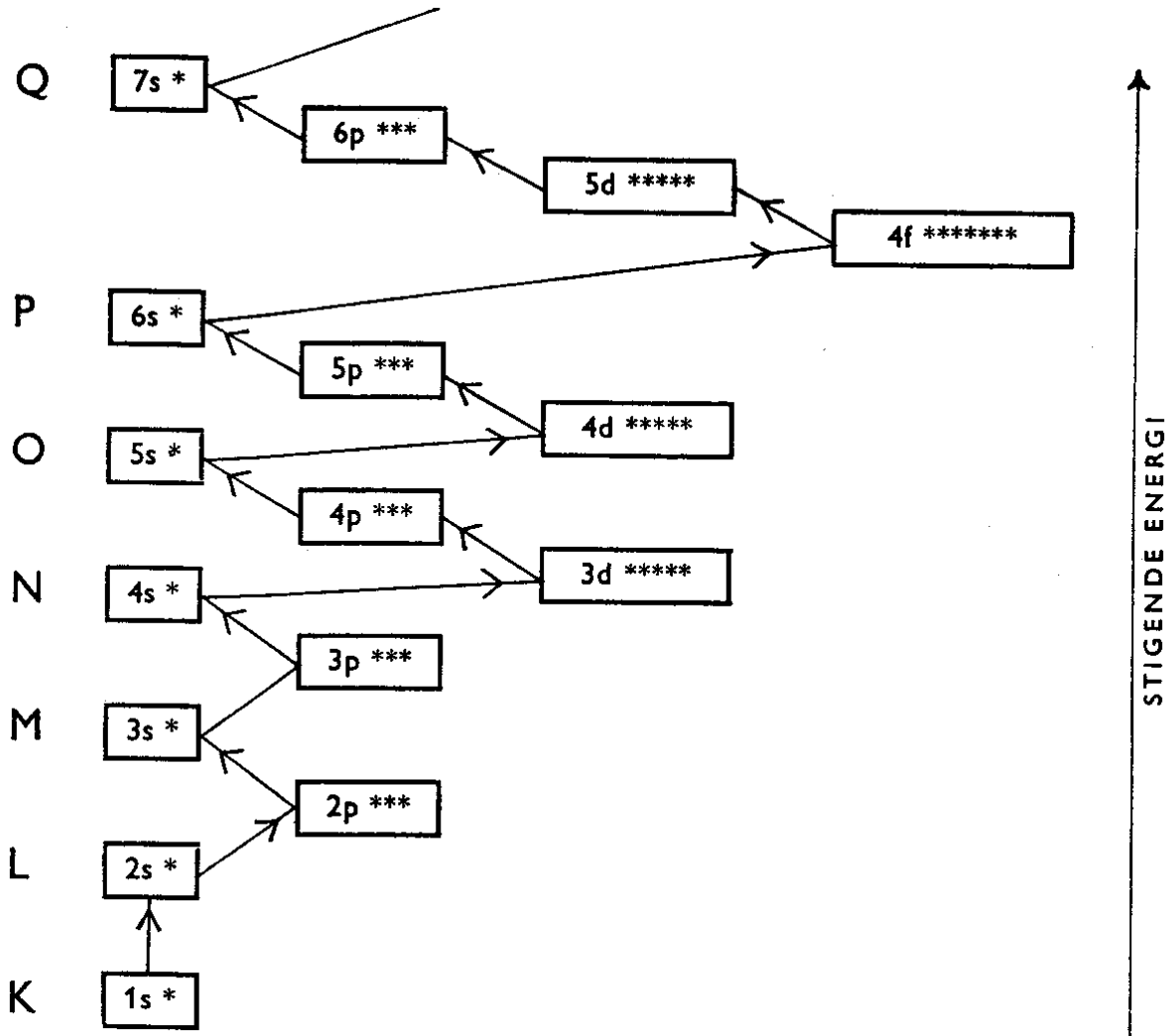
For energiskallene gjelder:

- Maksimalt antall elektroner = $2 \cdot n^2$
hvor n = skallnummer (K=1, L=2, M=3, ...)

1.2.4 Orbitaler

Orbitaler er forskjellige typer baner innenfor hvert energiskall. Orbitalene representerer forskjellige energinivåer, s, p, d, f med stigende energi.

Figuren under viser rekkefølgen av orbitaler ved elektronpåfylling. Hver * representerer et elektronpar, slik at figuren også viser hvor mange elektroner det kan være i de forskjellige orbitaler.



Figur 1.3

Illustrasjon som viser rekkefølgen av orbitaler ved elektronpåfylling.

Hver * representerer et elektronpar, slik at figuren også viser hvor mange elektroner det kan være i de forskjellige orbitaler.

1.2.5 Oktett regelen

Et atom kan ikke ha flere enn 8 elektroner i ytterste skall.

1.2.6 Valenselektroner

Antall elektroner i ytterste skall

1.2.7 Atomvekter

Atomvektene er små og har ingen praktisk interesse. For eksempel så har hydrogen, H en atomvekt på $1,7 \cdot 10^{-22}$ kg.

Vi bruker forholdstall med Karbon, C = 12 som utgangspunkt.

Eksempel jern, Fe:

Fe har atomvekt 55,847kg/kmol

Avogadros tall er $6,0248 \cdot 10^{26}$ atomer/kmol

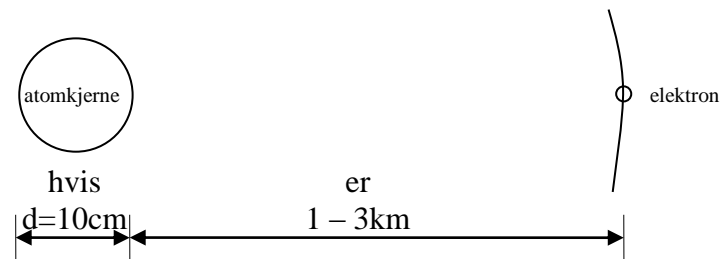
$$\rightarrow \underline{Fe} = \frac{55,847 \text{kg/kmol}}{6,0248 \cdot 10^{26} \text{atomer/kmol}} = \underline{9,27 \cdot 10^{-26} \text{kg/atom}}$$

1.2.8 Atomstørrelse

Atom størrelsen er 1 – 3 Å (Ångstrøm, $1 \text{Å} = 10^{-10}$ m).

1.2.9 Atomkjernestørrelse

Størrelsen på atomkjernen er 10^{-4} Å. $1 \text{Å} (\text{Ångstrøm}) = 10^{-10}$ m.



Figur 1.4

Atomstørrelse (atomet består stort sett av "luft").

1.2.10 Massen

Atommassen ligger i kjernen. 1cm^3 veier en million tonn (sorte hull).

1.2.11 Grunnstoffer

Det finnes ca. 100 forskjellige grunnstoffer, se det periodiske system.

1.2.12 Metaller eller halvmetaller

Det finnes ca. 80 forskjellige metaller eller halvmetaller. Av disse brukes ca. 25 i konstruksjonsmaterialer. Jern er det metallet som benyttes mest, i stål. Ellers bruker vi aluminium, magnesium, titan, kobber, etc.

De fleste metallene benyttes som legeringselementer.

1.2.13 Det periodiske system

I det periodiske system er grunnstoffene ordnet etter antall positive ladninger i atomkjernen, atomnummer.

Key

- Atomic number
- Symbol
- Atomic weight

IA 1 H 1.0080																	0 2 He 4.0026
3 Li 6.939	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.183
11 Na 22.990	12 Mg 24.312	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII			IB	IIB	13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.064	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.847	27 Co 58.933	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.91	36 Kr 83.80
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.4	47 Ag 107.87	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.30
55 Cs 132.91	56 Ba 137.34	Rare earth series	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.98	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	Acti- nide series															
Rare earth series		57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97	
Actinide series		89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lw (257)	

Figur 1.5
Elementenes periodiske system.

I det periodiske system er:

- A – Hovedgrupper. Elektronvekst skjer i ytterste skall.
- B – Sidegrupper. Elektronvekst skjer i nest ytterste skall.
- Sjeldne jordmetaller. Elektronvekst skjer i tredje ytterste skall.

1.3 Bindinger mellom atomer

1.3.1 Gasser og væsker

I gasser og i væsker er det bevegelse mellom atomer og molekyler. De bytter naboer ustanselig. Det er løse bindinger mellom atomer / molekyler.

1.3.2 Faste stoffer

I faste stoffer ligger atomene og molekylerne stort sett ”stille”.

Det foregår diffusjon, som er langsom bevegelse av atomer.

Vi Skiller mellom forskjellige typer fast struktur:

- **Amorf struktur.**
Atomstrukturen er uordnet. Eksempler er plast, glass. Disse har ikke fast smeltetemperatur.
- **Krystallinsk struktur.**
Atomstrukturen er ordnet i et tredimensjonalt mønster. Eksempler er metaller, salter og mineraler.

1.3.3 Atombindinger

Mellom atomene i faste stoffer er det forskjellige typer bindinger, avhengig av type grunnstoff eller materiale. Metaller har forskjellig type atombinding i forhold til for eksempel plast og keramer.

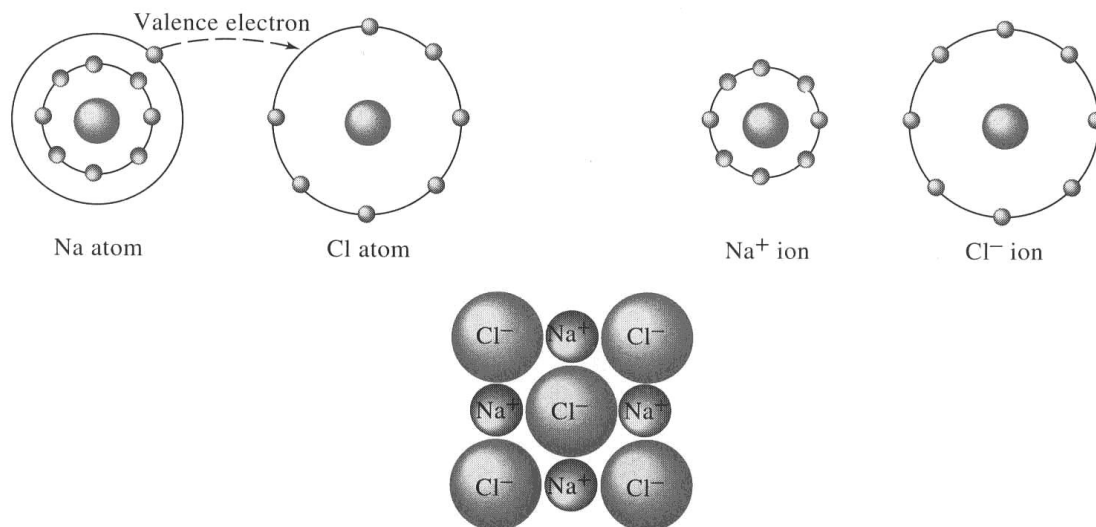
De viktigste atombindingene er:

- **Ionebinding**
- **Kovalent binding**
- **Metallisk binding**
- **Van der Waals binding**

Ionebinding

Ionebinding er typisk hos salter, mineraler og keramer.

Figuren under viser et eksempel på ionebinding hos natriumklorid, NaCl. Na har ett elektron i sitt ytre skall, mens Cl mangler ett elektron i sitt. Ved å binde seg sammen som vist i figuren, får begge atomene fullt ytre skall.

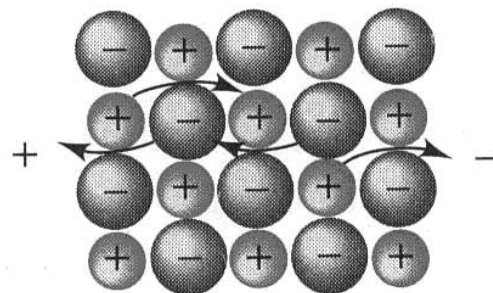


Figur 1.6

Ionebinding er opprettet mellom to ulike atomer med forskjellig elektronegativitet. Når natrium (N) avgir sitt valenselektron til klor (Cl), blir begge et ion, tiltrekning oppstår og ionebindingen oppstår.

Typisk for grunnstoffer med ionebinding, hvis de har full oktett (fullt ytre skall):

- har høyt smeltepunkt
- er harde
- er dårlige ledere
(har ingen frie elektroner)



Figur 1.7

Når spenning tilføres et metall med ionebinding, må hele ionet bevege seg for å få strøm. Bevegelse av ioner går tregt og elektrisk ledningsevne er dårlig.

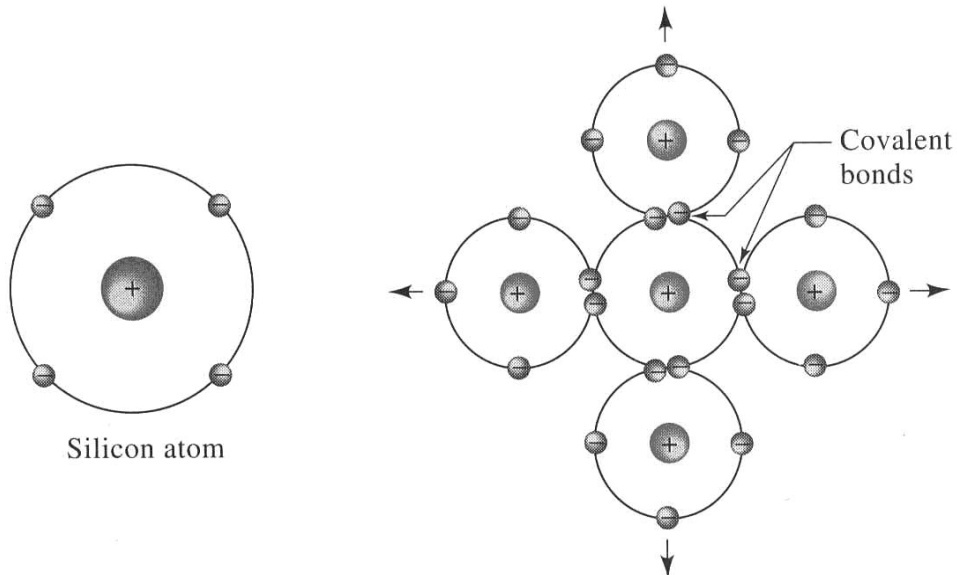
Koalent binding

Koalent binding finner vi ofte i organiske stoffer som hos plast og i keramer.

Noen eksempler på koalent binding:

- Diamant har koalent binding av karbon (C)
- Silisium, Si
- Keramen silica SiO_2

I figuren under som viser koalent binding i Si, ser vi at Si atomet har fire elektroner i ytterste skall. Atomene binder seg sammen ved å dele elektronpar. Ved at et atom deler elektronpar med fire andre, får atomene åtte elektroner i ytre skall og dermed full oktett.



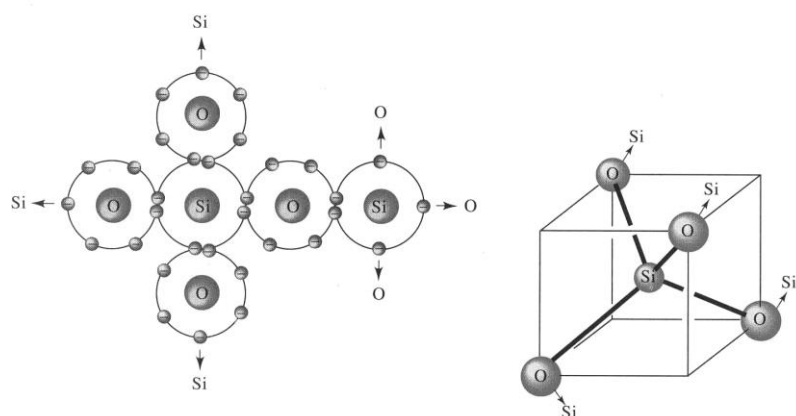
Figur 1.8

Koalent binding krever at elektroner må deles mellom atomer på en måte slik at hvert atom får sitt ytterste sp orbital fylt. I silisium(Si) med valens på fire, må det dannes fire bindinger.

Figuren til høyre viser koalent binding i keramen silica SiO_2 .

Typisk for koalent binding med full oktett:

- er harde
- er dårlige ledere
- er temperaturbestandige

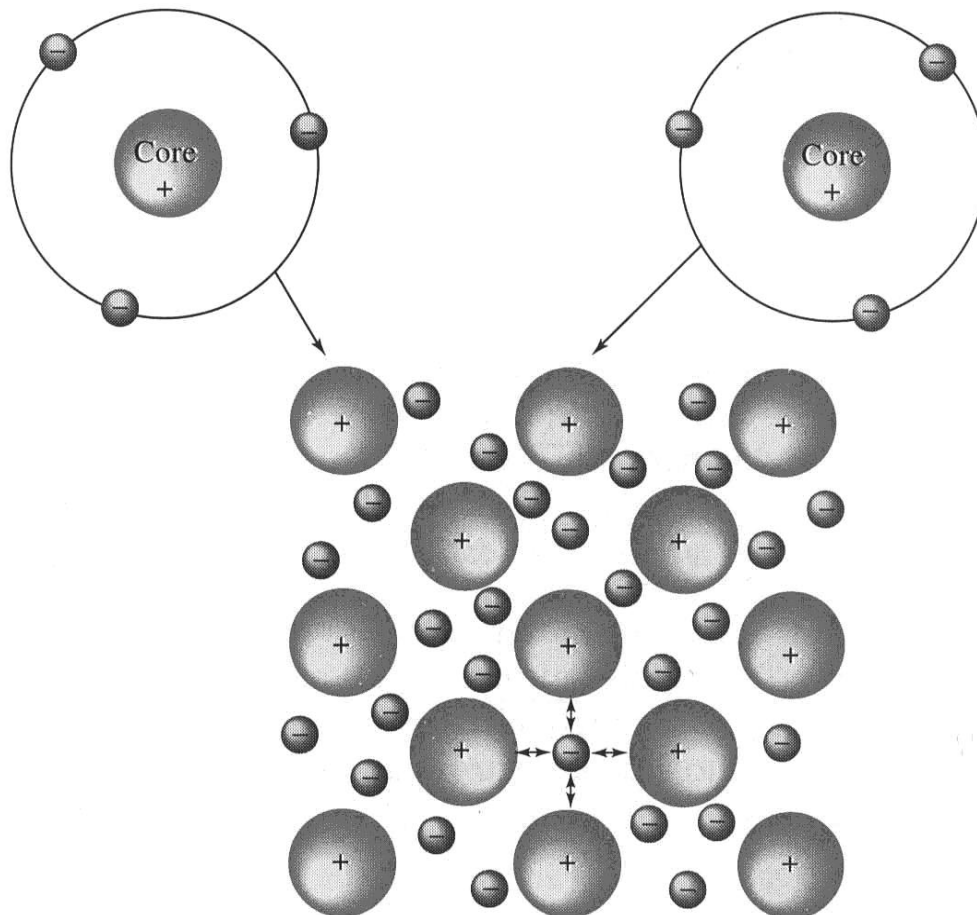


Figur 1.9

Tetragonal struktur av keramen silica (SiO_2) som inneholder koalent binding mellom silisium (Si) og oksygen (O) atomer.

Metallisk binding

I metallisk binding svever valenselektronene fritt mellom atomene. Når atomene oppgir sine valenselektroner dannes en elektronsky som vist i figuren under.

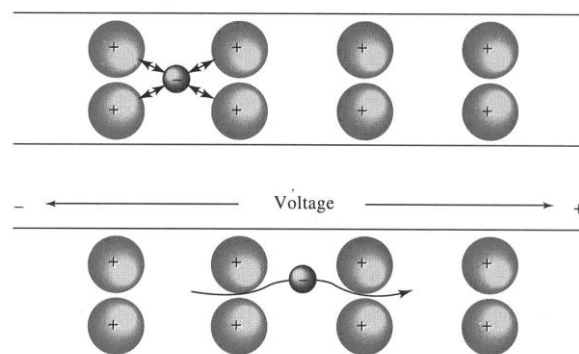


Figur 1.10

Metallisk binding dannes når atomene oppgir sine valenselektroner som da danner elektronsky. De positivt ladede atomkjernene er bundet sammen med felles tiltrekningskrefter til de negativt ladede elektronene.

Fri elektronstrøm gir:

- God elektrisk ledningsevne
- Bindinger som ikke er retningsbestemte. Dette gir god deformasjonsevne.
- Smeltetemperaturer som varierer. Eksempel kvikksølv, Hg, -38°C og wolfram, W, 3410°C . Dette gir varierende bindingsstyrke.



Figur 1.11

Når spenning tilføres et metall, kan elektronskyen lett bevege seg og lede strøm.

Van der Waals binding

Van der Waals binding danner molekyler eller grupper av atomer med svak elektrostatiske tiltrekning.

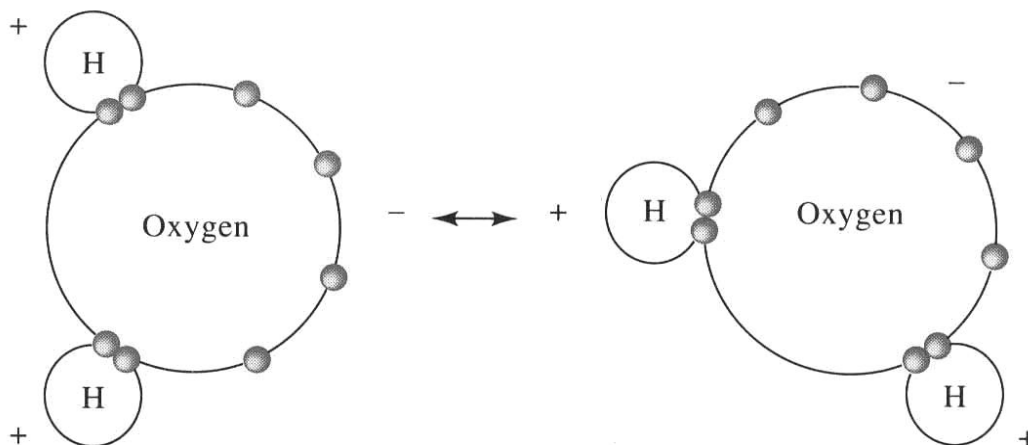
Noen eksempler på Van der Waals binding:

- I mange polymerer, plaster
- I keramer
- I vann og andre

Van der Waals binding finner vi for eksempel i termoplast som binding mellom molekylkjedene. Dette er løse bindinger som ved for eksempel oppvarming vil brytes. Dette fører til at termoplasten smelter. Ved avkjøling dannes det nye Van der Waals bindinger og plasten størkner til fast form igjen. (Molekylkjedene brytes ikke ved oppvarming. Disse har kovalent binding.)

Figuren under viser eksempelet vann.

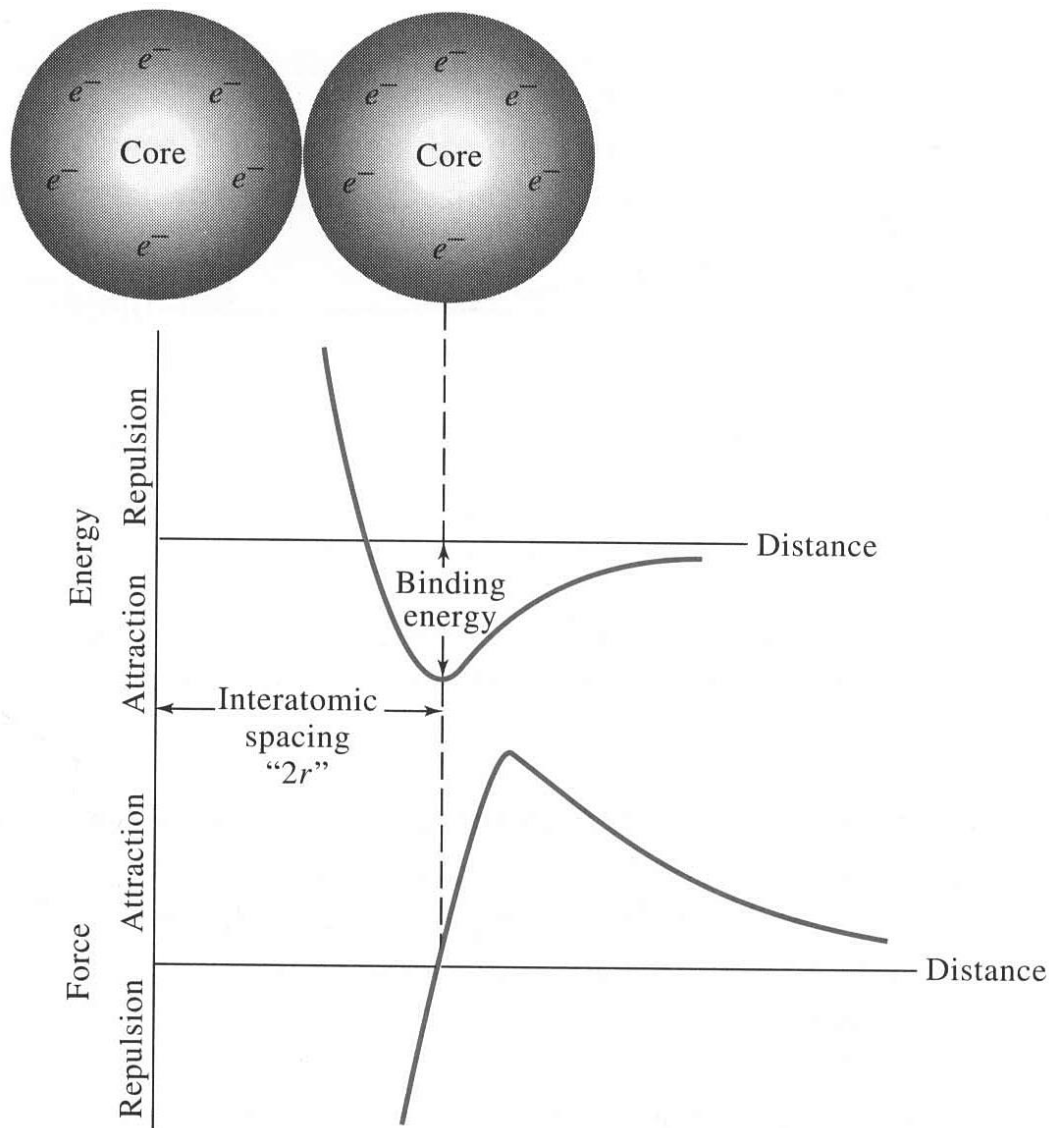
Van der Waals binding dannes som et resultat av polarisasjon av molekyler eller grupper av atomer. I vann har elektronene i oksygen, O, en tendens til å samle seg unna hydrogen, H. Resulterende spenningsforskjell gjør at molekylene blir svakt bundet til andre vannmolekyler.



Figur 1.12
Van der Waals binding i vann.

1.4 Bindingsenergi og mellomrom mellom atomer

Likevektsavstand mellom atomer er en balanse mellom frastøtende og tiltrekkende krefter. I metallisk binding, for eksempel, er tiltrekking mellom elektronene og atomkjernen balansert av frastøtingen mellom atomkjernene. Atskillelse opptrer når total energi mellom atomene er et minimum, eller når total kraft er verken tiltrekkende eller frastøtende, se figuren under. Avstanden mellom atomene i faste materialer er tilnærmet lik $2r$ (radius).



Figur 1.13

Atomer blir atskilt i en likevektstilling som tilsvarer minimum energi mellom atomene (eller når ingen kraft virker for å frastøte eller tiltrekke atomene).

Tabellen under viser bindingsenergien til de fire omtalte typer av atombindinger.

Bindingstype	Bindingsenergi [kcal/mol]
Ione binding	150 - 370
Kovalent binding	125 - 300
Metallisk binding	25 - 200
Van der Waals binding	< 10

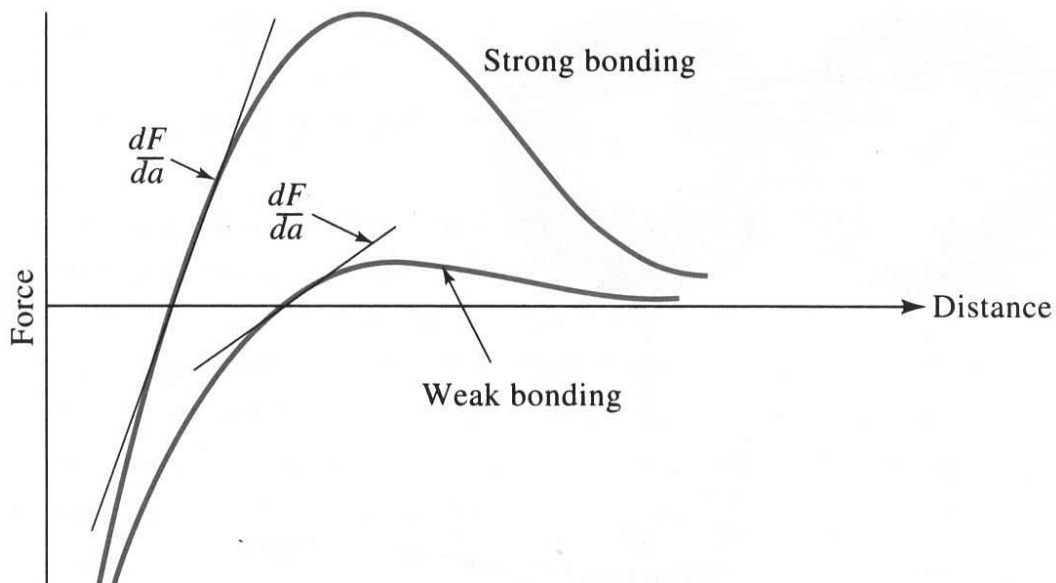
Tabell 1.1
Bindingsenergi.

Figuren under viser bindingskraften mellom atomene som funksjon av avstanden for en sterk og en svak atombinding.

En bratt kurve, sterk binding, betyr at materialet har en høy elastisitetsmodul, E .

E -modulen forteller hvor mye materialet forlenger seg når det strekkes med en kraft, F .

For eksempel, $E_{\text{stål}} = \text{ca. } 210.000\text{N/mm}^2$ og $E_{\text{aluminium}} = \text{ca. } 70.000\text{N/mm}^2$.



Figur 1.14

Kraft - avstand kurve for to materialer som viser forholdet mellom atombinding og E -modul.

En bratt dF/da kurve gir en høy E -modul.

Den neste figuren viser atskilleelsesenergien mellom to atomer som funksjon av avstanden for en sterk atombinding og en svak.

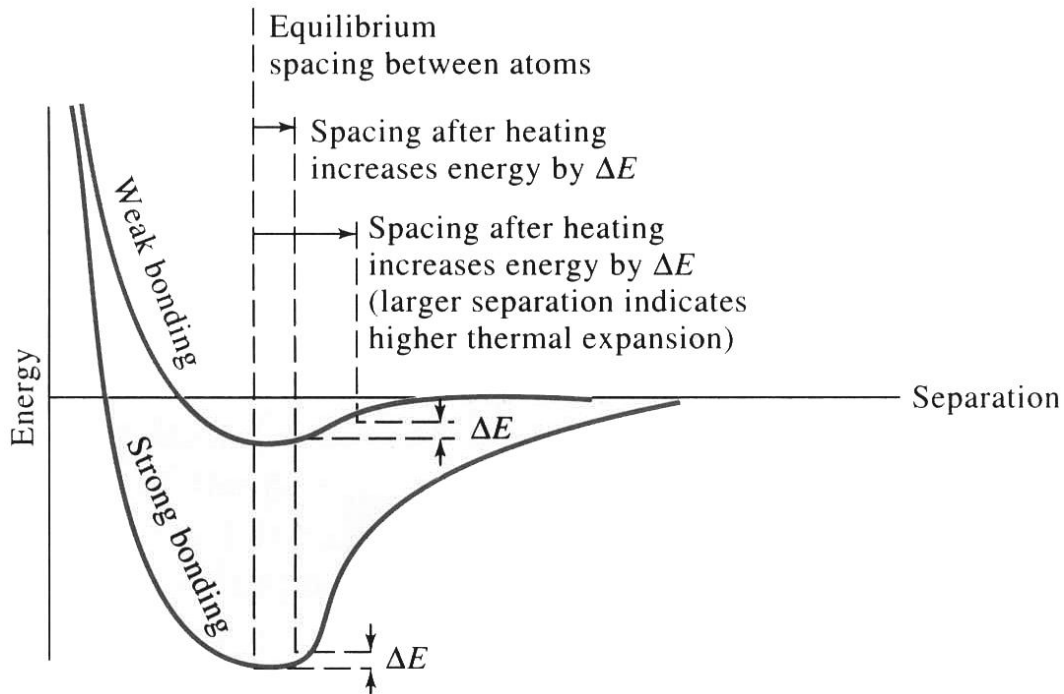
En bratt kurve med en dyp dal, sterk binding, betyr at materialet har lav varmeutvidelseskoeffisient, α .

Varmeutvidelseskoeffisienten α , forteller oss hvor mye materialet utvider- eller krymper ved temperaturvariasjoner.

For eksempel så er $\alpha_{\text{stål}} = 13 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}^{\circ}\text{C}$ og $\alpha_{\text{aluminium}} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}^{\circ}\text{C}$.

Hvis vi varming opp en 1m lang aluminiumstang 10°C vil den forlenges seg:

$$\underline{\Delta L} = L \cdot \Delta T \cdot \alpha = 1000\text{mm} \cdot 10^{\circ}\text{C} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ mm/mm}^{\circ}\text{C} = 240 \cdot 10^{-3} = \underline{0,240\text{mm}}$$



Figur 1.15

Energi - avstand kurve for to atomer. Materialer med En bratt kurve med en dyp dal har lav varmeutvidelseskoeffisient, α .