

Udviklingen af John Daltons atomteori

The development of John Dalton's atomic theory



Den Naturvidenskabelige Bachelor (NAB-A-17)

3. semesterprojekt, Hus 27.1, efteråret 2018

Dato for aflevering: Tirsdag den 18. december 2018

Vejleder: Søren Hvidt

Af gruppe 1:

Frederik-Anton Gammeltoft Schmidt (62591)

Jacob Tofte (62577)

Jonas Hestbech Lind (62565)

Katharina Vognstrup Jäger (62561)

Laura Emilie Bjergbæk Olsson (62623)

Soffie Marie Sophie Bram Pedersen (62617)



Roskilde Universitet

Abstract

The atomic theory by John Dalton, first introduced in his book, *A New System of Chemical Philosophy* published in 1808, creates the foundation of chemistry as we know it today. This theory consists of four laws, which together describe how everything is constructed of small indivisible particles called atoms that form specific chemical compounds depending on how they interact with each other and how they reorganize during the formation of molecules. In this project it was investigated how the atomic theory was received by the contemporary scientific society and how it affected the posterity. Furthermore it was investigated if the atomic theory postulated by Dalton is best understood by Thomas Kuhn's paradigm shift, Karl Popper's falsification principle, Imre Lakatos's scientific research programs or Paul Feyerarbens anarchistic scientific view. We conclude that Daltons scientific methods are considered too philosophical and that the atomic theory has created the foundation of the present understanding of atoms. Furthermore we conclude that Imre Lakatos's demarcation principle best classifies Dalton's atomic theory.

Resume

John Daltons atomteori, der første gang blev præsenteret i hans bog, *A New System of Chemical Philosophy* fra 1808, danner fundamentet for den kemi vi kender i dag. Denne teori består af fire lovmæssigheder, der samlet beskriver hvordan alting er opbygget af små, udelelige partikler kaldet atomer, som danner specifikke kemiske forbindelser alt efter hvordan de binder sig til hinanden og hvordan de reorganiseres under dannelsen af molekyler. I dette projekt er det undersøgt, hvordan Daltons atomteori blev modtaget i samtiden og hvilken effekt den havde på eftertiden. Ydermere er det undersøgt hvorvidt atomteorien postuleret af Dalton bedst kan forstås ved Thomas Kuhns paradigmeskift, Karl Poppers falsifikationisme, Imre Lakatos' forskningsprogram eller Paul Feyerarbens anarkistiske videnskabssyn. Vi konkluderer, at Daltons arbejdsmetode blev betragtet som værende for filosofisk og at atomteorien har dannet fundamentet for nutidens forståelse af atomer. Vi konkluderer, at Imre Lakatos' demarkationskriterium er det, som bedst klassificerer Daltons atomteori.

Forord

Dette er et semesterprojekt udarbejdet af en gruppe 3. semesterstuderende på den naturvidenskabelige bacheloruddannelse ved Roskilde Universitet i efteråret 2018. Projektet er et litteraturstudie, hvor der er benyttet historiebøger, videnskabsbøger og videnskabelige artikler, for at opnå en viden om, hvad der muliggjorde, at John Dalton kunne komme frem til sin atomteori i 1808 og diskutere hvem af videnskabsteoretikerne, hans atomteori bedst kan forklares ved.

Projektet tager udgangspunkt i 3. semesterbindingen, der lyder som følger: *”Formålet med projektet er, at den studerende gennem arbejdet med et repræsentativt eksempel får erfaring med videnskabsteoretisk analyse af naturvidenskab som historisk, kulturelt og samfundsmæssigt fænomen”*. Målgruppen for dette projekt er andre universitetsstuderende med en tværfaglig interesse indenfor kemi, fysik samt videnskabsteori.

Vi ønsker at takke vores vejleder, Søren Hvidt, for konstruktiv vejledning under hele projektperioden, samt vores opponentgruppe, gruppe 2, og deres vejleder, Nicholas Bailey. Endvidere ønsker vi også at takke Martin Niss, lektor i fysik ved Roskilde Universitet, for hjælp til videnskabsteori.

Indholdsfortegnelse

Abstract	2
Resume	2
Forord	3
1. Introduktion	6
1.1 Indledning	6
1.2 Problemformulering.....	8
1.3 Afgrænsning	8
1.4 Læsevejledning.....	9
2. Atomers opbygning	11
2.1 Introduktion til atomet	11
2.1.1 Ion- og kovalente bindinger	12
2.2 Kvantekemien	13
2.2.1 Atomorbitaler.....	14
2.2.2 Molekyleorbitaler.....	16
3. Videnskabsmænd	19
3.1 Leucippus	19
3.2 Demokrit	19
3.3 Robert Boyle.....	20
3.4 Sir Isaac Newton.....	21
3.5 Antoine Laurent de Lavoisier	22
4. John Dalton	23
4.1 John Daltons liv	23
4.2 Tidsligt perspektiv på Daltons atomteori.....	23
4.3 Atomteorien	28
4.4 Det naturvidenskabelig samfunds modtagelse af John Daltons atomteori	30
5. Videnskabsteori	34
5.1 Demarkation.....	34
5.2 Den induktive metode	35
5.3 Den hypotetisk-deduktive metode	35
5.4 Videnskabsteoretikere	36
5.4.1 Thomas Kuhns paradigmeskift.....	36
5.4.2 Karl Popper og falsifikationisme	38

5.4.3 Imre Lakatos og forskningsprogrammer	39
5.4.4 Paul Feyerabend	41
5.4.5 Opsamling	42
6. Diskussion	43
6.1 Modtagelsen af Daltons atomteori samt den nutidige anvendelse af den	43
6.2 Klassifikation af atomteorien som naturvidenskab ifølge videnskabsteoretikerne	46
7. Konklusion	51
8. Perspektivering.....	52
9. Referencer	53
10. Appendiks	56
10.1 Atomers opdagelse tidslinje.....	56

1. Introduktion

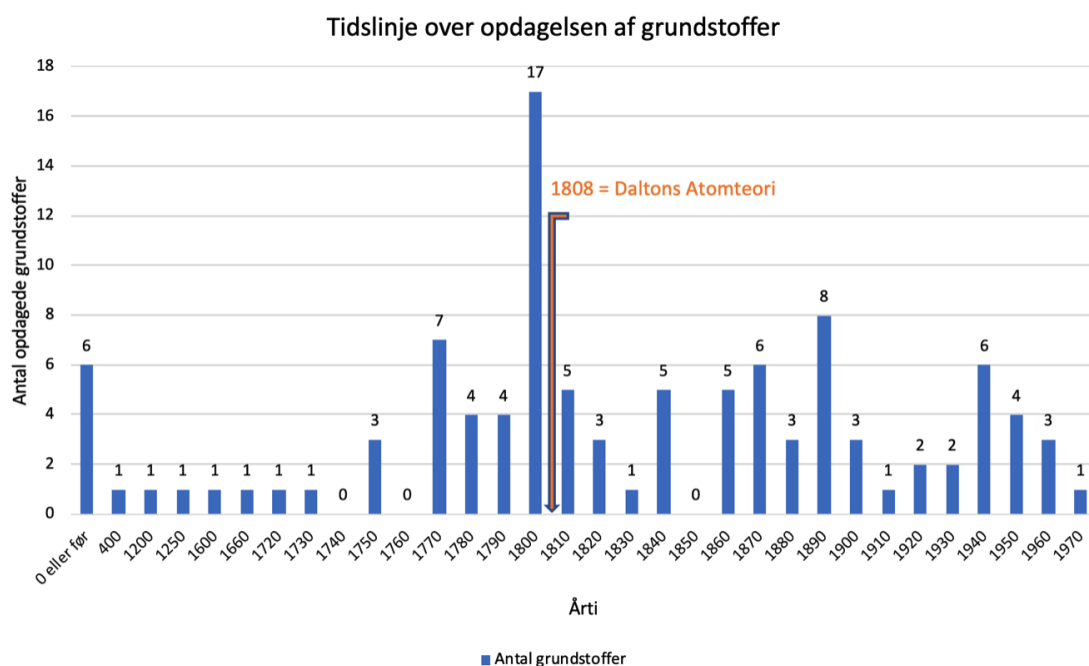
I det følgende kapitel vil der komme en indledning, som beskriver, hvilken indgangsvinkel dette projekt har med udgangspunkt i John Dalton. Endvidere indeholder kapitlet også en beskrivelse af problemformuleringen og en afgrænsning af, hvad projektet ikke vil belyse samt en læsevejledning.

1.1 Indledning

I starten af universet var al energi og stof presset sammen til en størrelse på 10^{-20} af en atomkerne, og det menes, at de fire kræfter; gravitation, stærke- og svage kernekræfter samt elektromagnetismen var samlet i en kraft (Colin, 1991). Da universet var 10^{-35} sekunder gammelt, begyndte starten på dannelsen af vores univers i form af ekspansion. Mens ekspansionen var i gang, blev universets størrelse fordoblet hvert 10^{-35} sekund, hvilket resulterede i, at temperaturen faldt fra 10^{28} til 10^{23} K. Dette fald i temperatur resulterede i et voldsomt energiudbrud, som betød, at atompartikler blev dannet, hvilket medførte, at universet blev genopvarmet og dannelsen af det stof, som kendes i dag, startede. Da universet var 300.000 år gammelt, bestod det af $\frac{3}{4}$ hydrogen og den sidste fjerdedel var primært helium, hvilket var de grundstoffer, galakser blev formet af (Ibid). Det var først efter to milliarder år, at universet var blevet kølet nok ned grundet ekspansion, at stjerner og galakser kunne formes. Stjerner er kilden til alle de grundstoffer, der kendes i dag, men de er afhængige af stjernens størrelse. Nogle stjerner er så kompakte og varme, at de kan smelte to carbonatomer sammen og danner derved magnesium, mens andre stjerner er endnu større og kan omdanne magnesium til jern. Denne proces har været grundkilden til vores eksistens i dag. Når en stjerne løber tør for brændstof, vil den trække ind om sig selv og eksplodere og i denne proces bliver mange grundstoffer dannet og derved spredt ud i universet (Ibid).

Den viden, vi i dag har om universet, er ikke opnået på én dag. Det har været en lang proces, som har været bundet op på mange personer. De første tanker omhandlende atomer stammer helt tilbage fra det antikke Grækenland, da Leucippus og Demokrit, som de første, mente, at alt var opbygget af små uigennemtrængelige og udelelige partikler kaldet atomer (Chalmers and SpringerLink, 2009). Derefter har personer som Robert Boyle, Sir Isaac Newton og Antoine Laurent de Lavoisier haft stor betydning. Boyles bidrag til den kemiske forståelse af, hvordan verden hænger sammen,

skyldes hans opdagelse af Boyles Lov og eksperimentel fysisk-kemi samt at han var medstifter af det anerkendte *Royal Society* (Lodge, 2012; Zumdahl and DeCoste, 2015). Newtons største bidrag skyldes hans bog *Principia*, hvori al klassisk mekanik bliver beskrevet og Lavoisier lagde grundlaget for grundstofopfattelsen og blandt andet gennem dette gjorde kemien til en moderne videnskab (Newton, 1726; Rancke-Madsen, 1984). Da Lavoisier dør i 1794 er der kendskab til 28 grundstoffer, og dette tal blev næsten fordoblet, da der i starten af 1800-tallet blev opdaget 17 nye grundstoffer, som kan ses på figur 1.1. Idet brugen af elektrolyse begyndte, kunne Humphry Davy anvende dette til at opdaget 6 nye metaller fra 1807 til 1808, som kan ses i appendiks 10.1 (Davy, 1839).



Figur 1.1: Tidslinje over opdagelsen af grundstoffer i tiårsperioder, hvor det er bemærkelsesværdigt, at der bliver opdaget 17 nye grundstoffer i perioden 1800-1809. Selvlavet med udgangspunkt i (Lide, 1976).

År 1808 er et af de vigtigste årstal fra en kemikers synspunkt. I 1808 kommer John Dalton nemlig med sin atomteori, hvor han i sin bog "*A New System of Chemical Philosophy*" (Dalton, 1808) beskriver, hvordan atomer er bundet sammen og grundstoffernes relative masser bliver for første gang præsenteret, hvilket danner fundamentet for den kemi, vi kender i dag (Ibid). Daltons lovmæssigheder er:

1. Alt er opbygget af små udelelige partikler kaldet atomer.
2. Atomerne i en given kemisk forbindelse er identiske og atomer i forskellige kemiske forbindelser er forskellige på en eller flere fundamentale måder.

3. Kemiske forbindelser dannes når atomer binder sig til hinanden. En given forbindelse har altid det samme relative antal og typer af atomer.
4. Kemiske reaktioner involverer reorganisering af atomer, hvilket betyder ændringer i måden de er bundet sammen på. Atomet i sig selv ændres ikke i en kemisk reaktion.

Grundet modstand mod atomteorien tog det 70 år at anerkende den, hvilket i dag er vores grundlæggende viden for, hvordan atomer fungerer (Thackray, 1972).

Dette projekt vil undersøge hvilke faktorer, der muliggjorde, at Dalton kunne komme med sin atomteori i 1808, hvordan datiden modtog den og hvilken effekt det har haft på eftertiden. Yderligere vil vi belyse, hvorvidt Daltons atomteori og arbejde kan klassificeres ud fra de fire videnskabsteoretikere, Thomas Kuhn, Karl Popper, Imre Lakatos og Paul Feyerabend, som hver har deres syn på, hvad videnskab er, og hvordan rigtig videnskab laves. Vi vil anvende disse teoretikere til at konkludere, hvem vi mener, Daltons eksperimenter og teorier bedst beskrives ved.

1.2 Problemformulering

Hvorfor tog det så lang tid for datidens videnskabelige samfund at acceptere John Daltons atomteori og hvilken betydning havde den for eftertiden? Kan Daltons atomteori bedst klassificeres ved Thomas Kuhns paradigmeskift, Karl Poppers falsifikationisme, Imre Lakatos' forskningsprogrammer eller Paul Feyerabends anarkistiske videnskabssyn?

Projektets problemformulering er udarbejdet med formålet om at lave et tværfagligt projekt mellem naturvidenskab og videnskabsteori med et historisk perspektiv.

1.3 Afgrænsning

I dette projekt har vi valgt at afgrænse os fra at inddrage andre videnskabsmænd end Leucippus, Demokrit, Robert Boyle, Sir Isaac Newton og Antoine Laurent de Lavoisier, da vi mener, at disse er mest relevante for at kunne forstå, hvordan Dalton kunne komme frem til sin atomteori.

Vi afgrænser os fra at skrive om andre videnskabsteoretikeres teorier om videnskabelig udvikling, da de valgte videnskabsteoretikere er de mest anerkendte og vi får deraf et bredt syn på, hvordan

videnskab klassificeres. Vi har yderligere valgt at afgrænse os til den induktive- og hypotetisk-deduktive metode, da disse er de mest anerkendte metoder inden for naturvidenskab.

1.4 Læsevejledning

Dette projekt har til formål at belyse atomteorien, som John Dalton postulerede i 1808.

Kapitel 2 vil belyse det 21. århundredes anskuelse af atomer og deres struktur som en baggrundsviden. Der vil ligeledes komme en simpel redegørelse for kvantekemien bag atom- og molekyleorbitaler og kemiske bindinger.

Kapitel 3 vil kort redegøre for de vigtigste videnskabsmænd, som har haft betydning for, at Dalton kunne komme med sin atomteori, da tidligere videnskabsmænd har dannet grundlaget for, at Dalton kunne komme med sin atomteori.

Kapitel 4 er opdelt således, at afsnit 4.1 vil redegøre for Daltons liv og præsentere et udsnit af hans opdagelser. Afsnit 4.2 vil være en dybdegående analyse af, hvordan Dalton fik sine første tanker om atomteorien, og vil samtidig belyse mange af de opdagelser, der muliggjorde, at han kunne komme frem til atomteorien. Afsnit 4.3 tager udgangspunkt i Daltons bog "*A New System of Chemical Philosophy*" fra 1808, hvori han for første gang postulerer sin atomteori på skrift. Afsnit 4.4 vil være en beskrivelse af, hvordan omverdenen tog imod Daltons atomteori.

Kapitel 5 har til formål at belyse naturvidenskaben ud fra videnskabsteoretikerne Kuhn, Popper, Lakatos og Feyerabend og herunder beskrive den induktive- og hypotetisk-deduktive metode samt demarkation som begreb.

Kapitel 6 vil indeholde vores diskussion, hvori omdrejningspunktet vil være kapitel 2, 3, 4 og 5. Afsnit 6.1 vil belyse holdningerne til Daltons atomteori samt diskutere årsagerne til, at denne var 70 år om at blive bredt accepteret. Endvidere vil vi sammenkæde atomteorien fra 1808 med den kemi, vi kender i dag og forsøge at undersøge og diskutere, hvorfor dele af Daltons atomteori ikke længere er accepteret, samt diskutere de områder, hvor hans atomteori stadig er accepteret. Afsnit 6.2 vil indeholde en diskussion af, hvem af videnskabsteoretikerne, vi mener bedst kan klassificere Daltons atomteori.

Kapitel 7 vil indeholde en konklusion, som vil opsummere hele rapporten og forklare i hvilken udstrækning, vores problemformulering er blevet besvaret.

Kapitel 8 vil indeholde vores perspektivering, som omhandler Daltons indflydelse på opdagelsen af det periodiske system.

2. Atomers opbygning

I dette kapitel redegøres der for forståelsen af atomets opbygning i det 21. århundrede og herunder vil der komme en forklaring af kvantekemien i form af orbitalstruktur for både atomer og molekyler. Dette kapitel er vigtigt, da vi i diskussionsafsnittet 6.1 vil sammenholde Daltons atomteori med den nuværende viden om atomer samt belyse på hvilke punkter, han havde ret.

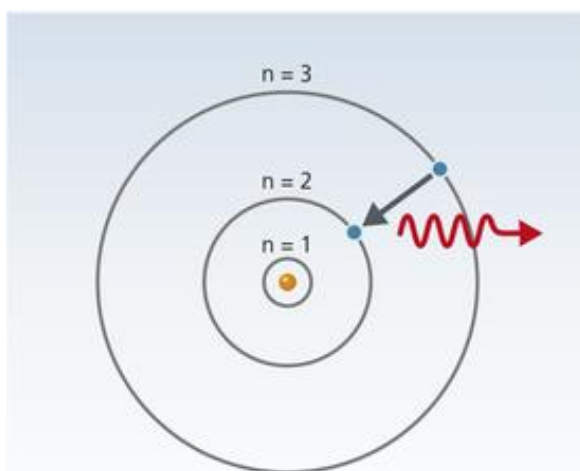
2.1 Introduktion til atomet

I dette afsnit vil der kort blive redegjort for vores opfattelse af, hvordan atomer er opbygget i det 21. århundrede, og til sidst i afsnittet vil der komme en kort beskrivelse af de første eksperimenter, som ledte til kvantekemien.

Op til 1700-tallet var opfattelsen, at alt stof var opbygget af ild, vand, jord og luft, hvorefter Antoine Laurent de Lavoisier i slutningen af 1700-tallet kom med begyndelsen på grundstofopfattelsen (Rancke-Madsen, 1984). Det var først i 1808, da John Dalton postulerede sin atomteori, at de første idéer til det, vi i dag kender som den moderne atomteori, kom. Et atom er, set fra en kemikers opfattelse, opbygget af tre fundamentale dele: en positivt ladet proton, en neutral neutron og en negativt ladet elektron. Neutroner fungerer som en stabilisator i kernen og forskellen i atomernes antal af neutroner giver generelt ikke en forskel i atomets kemiske egenskaber. Desuden er protonen og neutronens relative masse henholdsvis en faktor 1837 og 1839 større end elektronens masse. En af elektronens funktioner er at skabe bindinger mellem atomer og derved skabe molekyler. Det, der adskiller atomerne kemisk fra hinanden, er antallet af protoner, hvilket betegnes som atomnummeret (Z). Som udgangspunkt er antallet af protoner i et atom det samme som antallet af elektroner, da atomer er neutralt ladet. Atommassetallet (A) er summen af antal protoner og neutroner, mens atommassen er vægten af protoner, elektroner og neutroner i et atom. Forskellen på atomnummeret og atommassen er, at atommassen kan variere for et givent atom, da antallet af neutroner i et atom kan variere. Atomer med samme atomnummer men forskellige atommasser kaldes for isotoper (Housecroft and Sharpe, 2012).

Ernest Rutherford var en newzealandsk-britisk atomfysiker, der levede fra 1871 til 1937. I 1911 opstillede han en model, som beskrev ladnings- og massefordelingen i et atom. Han baserede denne model på sit eksperiment, som omhandlede at skyde alfapartikler, He^{2+} , direkte ind på et tyndt lag guldfolie. Han observerede herudfra, at nogle få alfapartikler blev spredt ud i alle retninger, endog blev et lille antal reflekteret direkte tilbage mod kilden. Hans fortolkning af dette var, at alfapartiklerne havde kollideret med tunge og kompakte, positivt ladede, partikler i guldfoliet. Dette ledte til en konklusion om, at den positive ladning, og derved næsten hele massen af atomerne i guldfoliet, måtte være samlet i kompakte kerner (Mølmer, 2010).

Niels Bohr var en dansk fysiker, der levede fra 1885 til 1962. Rutherfords eksperiment (Rutherford and Geiger, 1908) og model førte i 1913 Niels Bohr til en atommodel (Bohr, 1913). Denne model er defineret som en slags planetsystem, hvor de negativt ladede elektroner kredser om den kompakte positivt ladede kerne, hvilket kan ses på figur 2.1 (Mølmer, 2010).



Figur 2.1. Viser Bohrs atommodel, hvor kernen er den gule plet i midten, og $n=1$ svarer til 1.skæl, $n=2$ svarer til 2.skæl og $n=3$ svarer til 3.skæl. Den røde bølge indikerer energiforskellen mellem de to baner (Mølmer, 2010).

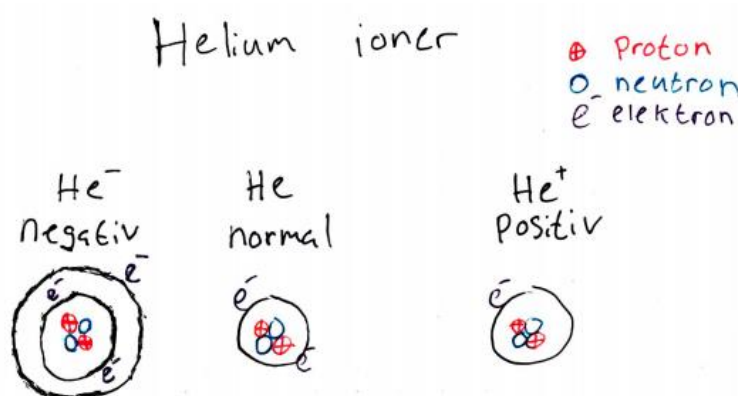
Det, der adskiller banerne fra hinanden, er mængden af energi og impulsmoment, det kræver for elektronerne at cirkulere i dem. Yderligere beskriver han, at når elektronerne bevæger sig fra en bane med et energiniveau, og kvantetal n , til en anden bane med energiniveau $n - 1$, bliver der udsendt lys med en bølgelængde svarende til energiforskellen mellem de to baner, hvilket er illustreret med den røde bølge på figur 2.1 (Ibid).

2.1.1 Ion- og kovalente bindinger

I dette afsnit vil der blive redegjort for de hyppigste bindinger, atomer danner, når de går sammen og skaber molekyler.

Elektronerne spiller en vigtig rolle i bindingen mellem atomerne, da det er delingen af elektroner, der holder atomerne sammenbundet i molekyler. De to hyppigste typer af bindinger er kovalente-

og ionbindinger. En kovalent binding binder to atomer sammen ved, at de deler elektronerne mellem sig, hvorimod i ionbindinger tager eller giver det ene atom en elektron fra det andet. Elektronegativiteten spiller en vigtig rolle i, hvilken binding der dannes mellem to atomer. Hvis forskellen i elektronegativitet for de to atomer er lav, vil der dannes kovalente bindinger og hvis den er høj, vil der dannes ionbindinger, men mange bindinger er en mellemting mellem de to typer. Hvis et atom har flere eller færre elektroner end antal protoner i kernen, kaldes det for en ion. Dette illustreres med et + eller – og som det kan ses på figur 2.2, findes der både positive og negative ioner. En positiv ion indeholder flere protoner end elektroner og en negativ ion indeholder flere elektroner end protoner (Housecroft and Sharpe, 2012).



Figur 2.2. Illustration af helium som ion og grundtilstand. De røde krydsede cirkler er protoner, de blå tomme cirkler er neutroner og elektronerne er vist som et e^- . Som det kan ses, er He^- en negativ ion, da den har optaget en elektron mere og derved har flere elektroner end protoner, hvilket medfører, at der bliver dannet en ny skal. Som det kan ses, er He^+ en positiv ion, da den har afgivet en elektron, og derved har flere protoner end elektroner. He viser helium i sin grundtilstand (Selvtaget billede).

2.2 Kvantekemien

I dette afsnit vil der kort blive redegjort for kvantekemien i det 21. århundrede. Dette afsnit vil omhandle atomorbitaler og vil derefter anvende denne viden til at forklare, hvordan molekyleorbitaler bliver dannet.

I midten af 1920'erne var der tre fysikere, Louis de Broglie (1891 – 1987), Werner Heisenberg (1901–1976) og Erwin Schrödinger (1887 – 1961), som fandt frem til det, der i dag kendes som bølgemekanikken. de Broglie undersøgte først elektronen og fandt frem til, at den viste bølgelignende

egenskaber, selvom det er en partikel. Schrödinger opsatte derefter en ligning, der muliggjorde beskrivelsen af disse egenskaber:

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

Hamiltonian operatoren ($\hat{H}$) er et matematisk værktøj, hvis indvirkning på en funktion resulterer i en ny funktion gange energien. Bølgefunktionen (ψ) er en funktion af elektronens position i et tre-dimensionelt rum med koordinaterne x , y og z . Den totale energi (E) er lig med den potentielle energi mellem protonen og elektronen plus den kinetiske energi af elektronens bevægelse. $\hat{H}$ er operatoren for energi med egenværdier E og egenfunktioner ψ . Denne funktion har mange forskellige løsninger, hvor hver løsning består af en bølgefunktion karakteriseret ved en bestemt værdi af energi. En specifik løsning af bølgefunktionen for en enkelt elektron kaldes også for en orbital (Zumdahl and DeCoste, 2015).

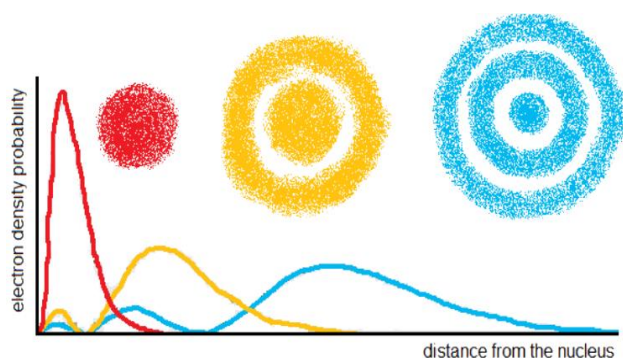
2.2.1 Atomorbitaler

I dette afsnit vil der blive redegjort for kvantekemiens måde at beskrive elektronernes placering i et atom.

Elektronfordelingen i et atom kan approksimativt beregnes ved at tilordne elektroner i forskellige orbitaler. En orbital beskrives ved følgende fire kvantetal, som hver har deres egen indflydelse på orbitalestrukturen: n , kaldes hovedkvantetallet og beskriver energiniveauet og kan antage værdierne $n = 1, 2, 3, \dots$, m_l kaldes det magnetiske kvantetal, og kan antage værdierne $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$, hvor l er det angulære kvantetal og beskriver størrelsesordenen af orbitalens angulære moment (impulsmoment) og kan antage værdierne $l = 0, 1, 2, \dots, n - 1$ og m_s beskriver elektronens spin og kan antage værdierne $\pm \frac{1}{2}$, hvilket betyder, at elektronerne er spin halve partikler. Måden, hvorpå elektronerne placerer sig i en orbital, er bestemt ved Aufbauprincippet, hvilket betyder, at en elektron i atomets grundtilstand, med laveste energi, placerer sig i den tilgængelige orbital med det laveste energiniveau. n er afgørende for energien og dernæst l ; orbitaler med $l = 0$ kaldes s-orbitaler, $l = 1$ er en p-orbital, $l = 2$ er en d-orbital og $l = 3$ er gældende for en f-orbital. Der er plads til henholdsvis 2, 6, 10 og 14 elektroner i en s, p, d og f orbital (Atkins et al., 2018; Zumdahl and DeCoste, 2015).

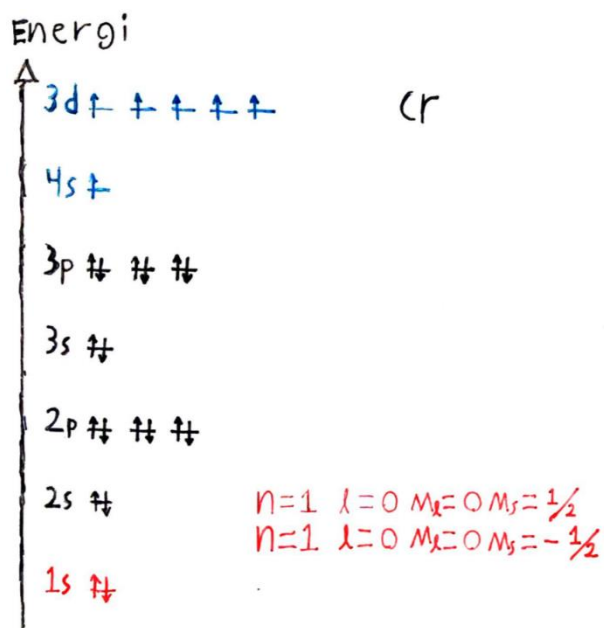
Orbitaler er en mere avanceret og korrekt måde at beskrive atomets elektronbaner på. Den negative ladning af en elektron vil naturligt være tiltrukket af den positive ladning i kernen, hvilket medfører, at elektronerne prøver at positionere sig så tæt på kernen som muligt i et givent atom. For større atomer vil elektroner lægge sig i forskellige orbitaler, da der, som nævnt tidligere, kun er plads til et bestemt antal i hver orbital med maksimalt to per orbitaleplads, se figur 2.4. Når en given mængde af elektroner befinder sig i en orbital, vil disse elektroner frastøde overskydende elektroner, hvilket resulterer i dannelsen af en ny orbital med et højere energiniveau, som kan ses på figur 2.3. Sandsynligheden for at finde en given elektron, med dens tilhørende energiniveau, er større i dens tilsvarende orbital end i en anden orbital. Det kan dog ikke med sikkerhed vides, hvor elektronen befinder sig på et givent tidspunkt og orbitaler skal derfor forstås som sandsynligheden for at finde en elektron med et givent energiniveau på et givent tidspunkt (Atkins et al., 2018).

Farverne rød, gul og blå på figur 2.3 repræsenterer henholdsvis et atom med en 1s orbital, et atom med en 1s og en 2s orbital og et atom med en 1s, en 2s og en 2p orbital. De områder, hvorved prikkerne sidder tæt, betyder, at elektrontætheden er stor, hvilket vil sige kvadratet over alle elektronernes respektive bølgefunktioner summet. Det kan derfor ud fra grafen på figur 2.3 ses, at de orbitaler, som er længst væk fra atomkernen også, er dem, hvor der sandsynligvis er flest elektroner og dermed et højere energiniveau.



Figur 2.3. Illustration af elektrontætheden for de forskellige orbitaler. Som det ses, er der en meget større elektrontæthed af elektroner i den røde prikstruktur (1s orbital) og x-aksen indikerer afstanden til kernen. Den yderste gule ring er en 2s orbital og den tredje ring på den blå svarer til en 2p orbital (Editors, 2015).

Wolfgang Ernst Pauli var en schweizisk-amerikansk fysiker, der levede fra 1900 til 1958 og fandt frem til det, som i dag kaldes Paulis udelukelsesprincip. Pauliprincippet beskriver, hvordan elektronopfyldningen af orbitaler er styret. Det vil sige, at to elektroner ikke kan have det samme sæt kvantenumre, og de kan kun sidde sammen, hvis deres respektive spin, m_s , er modsat af hinanden (Hayward, 2002). Et eksempel på Pauliprincippet kan ses på figur 2.4, hvor det eneste, der adskiller elektronerne, er deres spin. Den første orbital i krom, der bliver udfyldt, er 1s, da



Figur 2.4. Besatte orbitaler for krom i grundtilstanden. Som det kan ses på figuren, er Pauliprincippet anvendt i dette eksempel, da 4s og 3d orbitalerne ikke er helt fyldt ud. Dette skyldes, at det er mere energisk favorabelt for atomet at have parallelle spins (Selvlavet billede).

elektroner med parallelt spin er maksimeret. Et eksempel på Hunds regel kan ses i 4s- og 3d orbitalerne, da det er energimæssigt favorabelt at have seks elektroner med parallelt spin i forhold til to parrede elektroner i 4s orbitalen og fire parallelle i 3d orbitalen.

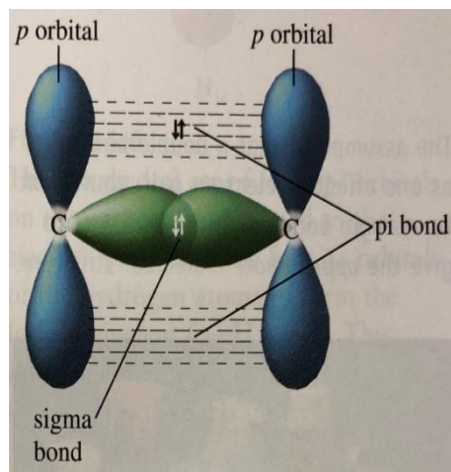
denne orbital har det laveste energiniveau og her efter følges Aufbauprincippet, som kan ses på figur 2.4. Friedrich Hund var en tysk fysiker, der levede fra 1896 til 1997, og han opstillede reglen "for an atom with a particular electron configuration, the most stable state is the one which has the maximum number of unpaired electrons", hvilket betyder, at det er mest energimæssigt favorabelt for atomer at have uparrede elektroner (Hayward, 2002). Som det kan ses i 3d orbitalen på figur 2.4, er de 5 sidste elektroner ligeligt fordelt, hvilket Hunds regel beskriver. Energiniveauet er lavere for elektroner med parallelt spin, hvilket skyldes, at frastødningskraften er lavere, hvis mængden af

2.2.2 Molekyleorbitaler

I dette afsnit vil det blive redegjort for, hvordan atomer danner molekyler, samt hvordan de forskellige molekyleorbitaler bliver dannet, og hvilken betydning det har.

Som det blev beskrevet i afsnit 2.2.1 befinder elektronerne sig i orbitaler. Det samme er gældende, når to atomer sætter sig sammen og danner en molekyleorbital. En molekyleorbital bliver dannet, når to atomer bliver tiltrukket af hinanden, og deres respektive orbitaler overlapper hinanden. Det er kun elektronerne i den yderste orbital fra hvert atom, som danner bindingen og skaber en molekyleorbital. De elektroner, som danner molekyleorbitaler, kaldes for valenselektroner. Elektronerne i en molekyleorbital tilhører ikke længere de enkelte atomer, men hele molekylet. Dette vil sige, at en elektron har fri bevægelighed i hele molekylet og er ikke begrænset til kun det ene atom. Rangeringen af grundstofferne i det periodiske system er bestemt ved, at alle atomer i samme

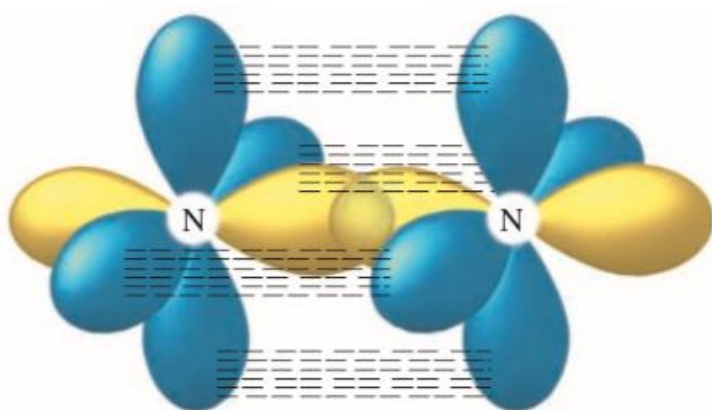
hovedgruppe har den samme valenselektronkonfiguration, hvilket vil sige, at alle grundstofferne i samme hovedgruppe ofte viser de samme kemiske egenskaber (Zumdahl and DeCoste, 2015).



Figur 2.5. Molekyleorbital for to carbon atomer. En pi-binding forekommer, når de to carbon atomers 2p orbitaler overlapper hinanden. Sigmabindingen forekommer, når de to carbon atomers sp orbitaler overlapper og skaber en dobbeltbinding (Zumdahl and DeCoste, 2015).

På figur 2.5 er en sigmabinding illustreret som et resultat af overlappet mellem de to carbon atomers sp^2 orbitaler. Dette vil sige, at der bliver brugt elektroner fra s-orbitalen og elektroner fra to p-orbitaler til at danne denne orbital. En sigmabinding er givet ved, at et elektronpar okkuperer rummet imellem to atomer og at de peger ind mod hinanden. På figur 2.5 ses et eksempel på en pi-binding, som forekommer under dannelse af dobbeltbindinger. Pi-bindingen dannes ved brug af p-orbitalerne på hvert carbon-atom, hvilket foregår i rummet over eller under sigmabindingen og en pi-binding er resultatet af orbitaler der løber parallelt med hinanden (Ibid).

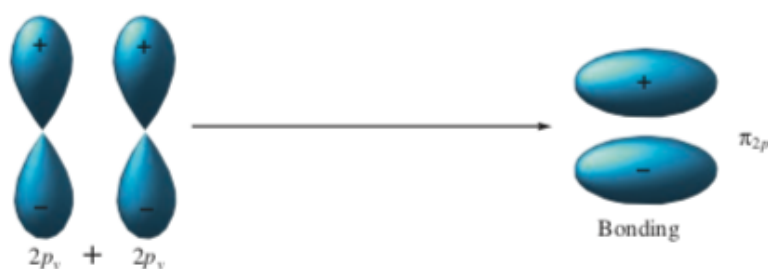
På figur 2.6 ses en model af dinitrogen (N_2). De to nitrogenatomer er bundet sammen af en trippelbinding, hvilket medfører, at der forekommer to pi-orbitaler, som befinder sig i to planer, der begge løber parallelt med sigma-bindingen. Pi-orbitalerne er de blå og sigma-orbitalerne er de gule.



Figur 2.6. Illustration af dinitrogen (N_2). To pi-bindinger bliver dannet, når dinitrogen danner en trippelbinding. Det ses, hvordan to pi-orbitaler (de blå) i en trippelbinding ser ud. Pi-bindingerne er parallelle med sigma-bindingen (den gule), men i forskellige planer (Zumdahl and DeCoste, 2015).

Når atomer binder sig sammen, kan der blive dannet fire forskellige bindinger; en sigma-binding, en sigma-anti-binding, en pi-binding og en pi-anti-binding. Disse bindinger, i form af molekyleorbitalerne, undergår enten konstruktiv interferens, hvilket er sigma- og pi-bindinger eller destruktiv interferens, hvilket er sigma-anti- og pi-anti-bindinger. Når der opstår konstruktiv interferens, som kan ses på figur 2.7, betyder det, at der er større

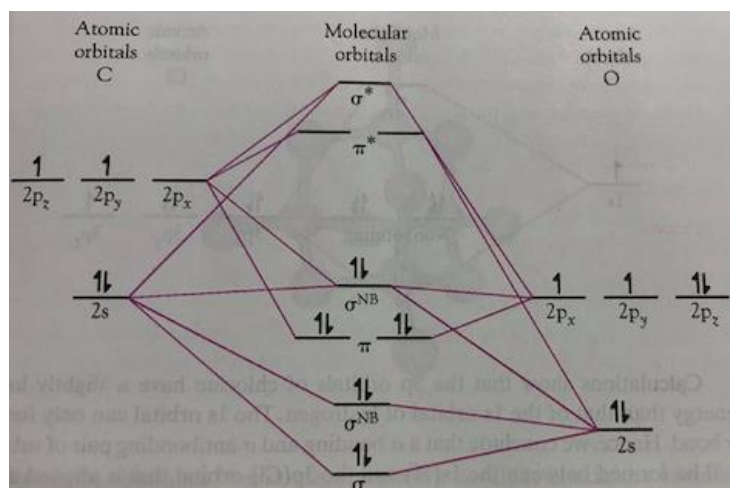
sandsynlighed for at finde en elektron tæt ved kerne, og at der er elektrostatisk tiltrækning mellem kernen og den forhøjede elektrontæthed. Derimod resulterer destruktiv interferens, som kan ses på figur 2.8, i en formindsket sandsynlighed for at finde en elektron tæt ved kernen og der opstår elektrostatisk frastødning fra kernen til elektronen. Antibindingerne noteres med en stjerne i molekylediagrammer, som kan ses på figur 2.7 (Ibid).



Figur 1.7. Konstruktiv interferens mellem $2p$ orbitalen som skaber en π_{2p} molekyleorbital (Zumdahl and DeCoste, 2015).



Figur 2.8. Destruktiv interferens mellem $2p$ orbitaler som skaber en π_{2p}^* molekyleorbital (Zumdahl and DeCoste, 2015).



Figur 2.9. Molekyleorbitaldiagram for carbonmonoxid. Her ses det, hvordan de to atomer går sammen og danner en molekyleorbital og hvordan elektronerne bliver fordelt i sigma-bindingen og pi-bindingen, afhængig af deres energi. Det ses også, at der ingen elektroner er i sigma-anti- og pi-anti-bindingen. Dette skyldes, at der ikke er flere elektroner fra nogle af atomerne og at det er mest energimæssigt favorabelt at have elektronerne parrede end at have dem i en anti-binding (Housecroft and Sharpe, 2012).

Dette betyder, at konstruktiv interferens også er mere energisk favorabelt end en destruktiv interferens, hvilket gør, at elektroner i molekyleorbitaler først opfylder sigma- og pi-bindingerne, som kan ses på figur 2.9.

3. Videnskabsmænd

I det følgende afsnit vil de forskellige videnskabsmænd, Leucippus, Demokrit, Robert Boyle, Sir Isaac Newton og Antoine Laurent de Lavoisier, blive belyst igennem deres opdagelser og indflydelse på, at Dalton kunne komme med sin atomteori.

3.1 Leucippus

I dette afsnit beskrives Leucippus, der anses som værende den første, der udtrykte sig om atomer sammen med Demokrit.

Det er uvist, hvilken indflydelse Leucippus har haft på Dalton, men han var en af de første til at komme med de tanker, som Dalton postulerede i sin atomteori. Det er ukendt, hvornår Leucippus blev født og døde, men det vides, at han levede i det femte århundrede før Kristi fødsel. Leucippus siges at være grundlæggeren af atomtanker i den antikke græske filosofi (Chalmers and SpringerLink, 2009). Det vides ikke, hvor stort Leucippus' bidrag alene var til den udviklede atomteori, da skrifterne om den tidlige græske atomisme kun viser Demokrits synspunkter eller både Demokrit og Leucippus' synspunkter samlet. Aristoteles mente, at det var Leucippus, som lagde fundamentet for idéen om, at alt er opbygget af forskellige uigennemtrængelige og udelelige elementer kaldet atomer. Ifølge Aristoteles forsøgte Leucippus at lave en teori, som stemmer overens med beviser for sanserne; at forandring og bevægelse eksisterer i verden. I det atomistiske system sker en forandring kun på et niveau af fremtoninger, atomerne forbliver uændrede, dog omrangerer de sig hele tiden til nye kombinationer, som danner verdenens fremtoning. Leucippus mente, at atomer altid er i bevægelse, er uforanderlige, deres egenskaber er sandsynligvis ens hele tiden og derfor skal der være et tomrum for fri bevægelighed. Dette fik kritik fra Aristoteles, da Leucippus ikke frembragte en teori om, hvorfor et bestemt atom bevæger sig samt hvorfor der overhoved er bevægelse (Ibid).

3.2 Demokrit

I dette afsnit beskrives Demokrit, der anses som værende den første, der udtrykte sig om atomer sammen med Leucippus.

Det er uvist, hvilken indflydelse Demokrit har haft på Dalton, men Demokrit var sammen med Leucippus den første til at komme med de tanker, som Dalton postulerede i sin atomteori. Demokrit var en græsk filosof, der levede omkring 460 år før Kristi fødsel. Demokrit postulerede, at alt bestod af små bestanddele og menes at være grundlæggeren, sammen med Leucippus, til idéen om, at stof er opbygget af atomer. Ordet *atomos*, som senere blev til atom, kommer fra det græske adjektiv og betyder udelelige (Zumdahl and DeCoste, 2015). Leucippus underviste Demokrit indenfor filosofi, metafysik og matematik. Demokrit mente, at verden ikke bestod af andet end atomer, der bevæger sig i det tomme rum og derudover også, at sjælen bestod af atomer. Atomer har evnen til at ændre sig i form af dannelsen af andre atomer eller nedbrydning af atomer, hvilket adskiller Demokrits tankegang fra Leucippus'. Atomer ville derfor kunne genbruges til andre atomer. Denne teori menes at tage udgangspunkt i Paramenides teori, som beskriver, at intet kommer fra intet (Chalmers and SpringerLink, 2009; Rancke-Madsen, 1984).

3.3 Robert Boyle

I dette afsnit beskrives Robert Boyle, der startede ændringen af den kemiske filosofi fra alkymi til kemi og medførte, at kemi skulle være bundet op på eksperimentelle metoder. Dette havde stor indflydelse på Daltons muligheder for at komme med sin atomteori grundet ændringen i filosofien.

Robert Boyle var en irsk-engelsk filosof, kemiker og fysiker, der levede fra 1627 til 1691. Boyle brugte tiden på Oxford, under den engelske borgerkrig, med at læse og eksperimentere i samarbejde med sine assistenter og kollegaer. De var tilhængere af filosofien om, at observationer og eksperimenter blev værdsat lige så meget som logisk tænkning. Boyle udviklede i 1661 grundstofopfattelsen, men den blev ikke publiceret, da han var nervøs overfor modtagelsen af den (Rancke-Madsen, 1984). Boyle er mest kendt for Boyles lov, der blev publiceret i år 1662 (Zumdahl and DeCoste, 2015). Boyles lov forklarer, hvordan et produkt af tryk og volumen, for en idealgas, er konstant, forudsat at temperatur og stofmængde er konstant (Ibid). En række af Boyles teorier og arbejde inden for kemien blev udgivet i London i 1663, og dette menes at have ligget til grund for, at kemien blev anerkendt som et selvstændigt fag inden for videnskaben. I 1663 var det videnskabelige syn optaget

af lægekunsten og alkymi¹, men Boyles forklaring var, at kemi var opbygget af teori, der var baseret på eksperimenter og iagttagelser, som havde en stor betydning for kemiens videreudvikling (ibid). Omkring genoprettelsen af det britiske monarki i 1660 havde Boyle en afgørende rolle, da han oprettede *the Royal Society* for at opfostre denne nye videnskabelige opfattelse. *The Royal Society* er Englands videnskabsakademi, og består af et fællesskab af verdens mest fremtrædende forskere og siges at være det ældste fungerende lærde samfund (Syfret, 1948).

3.4 Sir Isaac Newton

I dette afsnit beskrives Isaac Newton, som anses for at have haft stor betydning for den nuværende forståelse for fysik. Newton var sammen med Boyle om at starte tankegangen om atomers eksistens. Dette afsnit er vigtigt, da mange af Daltons tankemønstre afspejler den newtonske tankegang.

Sir Isaac Newton var en britisk fysiker, som blev født i 1642 og døde i 1727 og anses for at være en af de største fysikere nogensinde på grund af sin bog, "*Principia*", som blandt andet indeholdte beviset på bevægelseslovene, "*The Laws of Motion*" (Newton, 1726a). I en alder af 30 år blev Newton tilbudt en plads i *the Royal Society* og da han var 45 år gammel, blev hans første udgave af sit mest kendte værk, "*Principia*", publiceret, hvori han fremlagde grundlaget for klassisk mekanik, tyngdeloven om gravitation og en undring over Keplers love (Lodge, 2012; Newton, 1726). Newtons arbejde med kemi har især været vigtigt for, at Dalton postulerer sin atomteori i 1808. Dette skyldes, at Newtons anskuelser på gasser har været grundlaget for det arbejde, Dalton senere kunne udføre, og i sin bog "*Principia*" skriver Newton, hvordan han anskuede atomer og gassers opførsel "*But whether elastic fluids do really consist of particles so repelling each other, is a physical question. We have here demonstrated mathematically the property of fluids consisting of particles of this kind, and hence philisophers may take occasion to discuss that question*". Han betragter her gasser med et fysisk udgangspunkt og vil derfor lade andre filosoffer om at besvare spørgsmålet om, hvorvidt væsker består af atomer eller ej. Newtons betragtning af gasser og partikler anvendte Dalton til store dele af sine teorier om gasser, herunder til loven om "*mixed gasses*" (Fleming, 1974).

¹ Opfattelsen af at uædle metaller kunne ændres til guld, grundet opfattelsen af at alle grundstoffer bestod af vand, jord, luft og ild.

3.5 Antoine Laurent de Lavoisier

I dette afsnit beskrives Antoine Laurent de Lavoisier, som anses for at have haft stor betydning inden for den moderne udvikling af kemien, idet han endeligt gjorde op med alkymien og fastlagde grundstofbegrebet.

Antoine Laurent de Lavoisier var en fransk kemiker, der levede fra 1743 til 1794. Lavoisier siges at være faderen til den kemiske revolution, som i perioden 1775-1790 gjorde kemien til en moderne videnskab, dog uden at være den, som grundlagde kemien (Rancke-Madsen, 1984). Andre videnskabsmænd bidrog også under den kemiske revolution, men Lavoisier var den vigtigste på grund af sin bog, *"Traité élémentaire de chimie"* fra 1789 (Lavoisier, 1789), som skilte sig ud ved, at den i modsætning til andre lærebøger skrevet på den tid, kan forstås og værdsættes af kemikere, selv i det 21. århundrede. Endvidere var bogen også skelsættende, da den gjorde op med alkymien ved at fremsætte grundstofbegrebet, som Dalton senere slog helt fast med sin atomteori (Rancke-Madsen, 1984). Bogen var eksperimentelt baseret og nytænkende omkring grundstofbegrebet, grundstoffernes art, vand som en kemisk forbindelse, forbrændingsprocesser og syrer- og basers natur (Donovan, 1996).

4. John Dalton

Dette kapitel omhandler John Daltons liv og hans største bedrifter som videnskabsmand, herunder atomteorien. Desuden vil kapitlet indeholde, hvordan Daltons atomteori blev modtaget af det naturvidenskabelige samfund i hans samtid og eftertid. Dette kapitel er relevant for senere at kunne diskutere og sammenholde med kapitel 2 og 5 i kapitel 6.

4.1 John Daltons liv

I det følgende afsnit vil der kort blive redegjort for John Daltons liv og hans største bedrifter.

John Dalton blev født i 1766 i Eaglesfield, England og døde i 1844 i Manchester. Han gik i skole hos sin far og senere hen hos sin onkel John Fletcher. Daltons familie var for fattige til at betale for hans skolegang, hvilket betød, at han måtte være hjælpelærer på den lokale skole, da han var dygtig inden for matematik og fysik. En unik ting ved Dalton var hans manglende akademiske uddannelse og dermed at hans arbejde inden for naturvidenskaben udelukkende var drevet af hans interesse inden for emnet (Schils, 2012). I 1787 publicerede Dalton, i en alder af 21 år, sin første udgave af *"Meteorological Observations and Essays"* (Dalton, 1834), hvori han forklarede, at atmosfæren indeholdte cirka 80% nitrogen og 20% oxygen (Schils, 2012). I 1794 publicerede Dalton en teori om farveblindhed med udgangspunkt i sit og sin brors syn. I 1801 publicerede Dalton sin teori om *"partial pressure"*, hvor han definerede tryk i form af en fysisk lov. Det totale tryk i en gasblanding er summen af partialtrykkene fra de gasser, der er i blandingen, hvilket betyder, at antallet af forskellige gasser ikke har nogen indvirkning på det totale tryk, men det har mængden af de forskellige gasser derimod (Ibid). Dalton blev medlem af *the Royal Society* i 1822 (H. Kargon, 1977).

4.2 Tidsligt perspektiv på Daltons atomteori

Dette afsnit vil belyse, hvordan Dalton kom på idéen til atomteorien samt hvilke tanker og eksperimenter, der gjorde det muligt.

I slutningen af 1700-tallet var atmosfærens indhold af grundstoffer allerede kendt, men mange var uenige om, hvorvidt gasserne var kemisk- eller mekanisk bundet sammen og om hvorvidt gasserne

i atmosfæren var en blanding af hinanden. Hvis det blev antaget, at gasserne var en blanding af hinanden, undrede det videnskabsmændene, hvorfor de ikke lå i lag afhængig af deres densitet. Dalton var optaget af dette spørgsmål og lavede flere forsøg for at finde svaret, hvilket senere viste sig at være starten til hans atomteori (Viana og Porto 2010).

Daltons og andres forsøg indikerede, at atmosfæren måtte være en blanding af forskellige stoffer og ikke kemisk bundet. Efter dette begyndte Dalton at undersøge, hvorfor atmosfæren ikke var opdelt i lag, og til dette omformulerede han i 1802 den allerede kendte newtonske gasmodel, jævnfør afsnit 3.4, ved at sige "*When two elastic fluids, denoted by A and B, are mixed together, there is no mutual repulsion amongst their particles; that is, the particles of A do not repel those of B, as they do to one another*" (Dalton, 1808; Viana and Porto, 2010). Dette skulle senere vise sig at være starten på Daltons lov om *mixed gases*, som blev en vigtig lov for hans senere arbejde hen mod atomteorien. Denne lov blev dog kritiseret af hans tidligere underviser John Gough og andre, som mente, at det kun var en tilfældighed, mens William Henry så potentialet i den (Viana og Porto 2010).

Henry og Dalton begyndte at arbejde sammen, hvilket resulterede i Henrys lov, som siger, at massen af den absorberede gas i vand ved en given temperatur er proportional med det partielle tryk (Ibid). Efter Henry havde opstillet sin lov, undrede Dalton sig over, om der var en sammenhæng mellem optagelsen af gas og deres atommasse. I 1805 publicerede Dalton et værk med titlen "*On the absorption of gases by water and other liquids*" (Dalton, 1805), hvori han forklarede sammenhængen mellem absorption af gas i væsker, hvilket vil sige, hvor meget masse af gassen en given væske kan absorbere uden at være i kontakt med gassen (Viana and Porto, 2010). Efter denne opdagelse undrede Dalton sig over, om årsagen skyldtes, at de enkelte atomer havde forskellige masser, og om dette var årsagen til deres forskellige absorptioner. Før Dalton kunne fastsætte de relative atommasser, var han nødt til at opsætte en regel, som han kaldte "*Rule of Simplicity*" (Ibid). Dalton gjorde sig hermed med denne regel antagelsen om, at naturen er så simpel som mulig (Zumdahl and DeCoste, 2015).

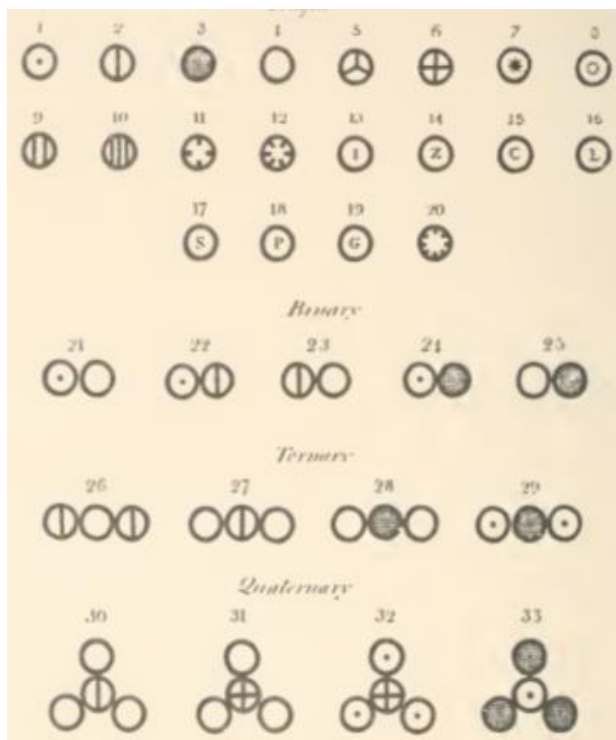
Han udviklede en model, som kunne forklare kemiske kombinationer og bestemme formlen for molekyler. Han anvendte sin viden fra gasteorien til at sige, at når atomer var på gasform, ville der være

en tiltrækning, men atomerne kunne ikke binde sammen og forblev derfor i en mekanisk ligevægt. Han observerede dog, at hvis ligevægten blev påvirket, enten med varme eller elektricitet, ville atomerne binde sig til hinanden, hvilket han kaldte "*power of affinity*", som vil sige, at atomerne bliver tiltrukket af hinanden. Ligesom mange andre prominente videnskabsmænd i Daltons samtid, mente han fejlagtigt, at to identiske atomer ikke kunne sætte sig sammen og udgøre et molekyle, da to identiske atomer ikke havde nogen affinitet for hinanden (Ibid). Ifølge Daltons *Rule of Simplicity* ville ét hydrogenatom binde sig med ét oxygenatom, og efter denne regel opstillede Dalton en tabel over mulige kombinationer af forskellige atomer. Ud fra denne antagelse lavede han loven "*multiple proportions*", som kan ses på figur 4.1, og som omhandler, at der under dannelse af molekyler altid vil blive brugt atomer i ratioer af naturlige tal. Dette vil sige, at forholdene altid vil være enten 1:1, 1:2 og så videre.

1 atom of A + 1 atom of B = 1 atom of C, binary.
 1 atom of A + 2 atoms of B = 1 atom of D, ternary.
 2 atoms of A + 1 atom of B = 1 atom of E, ternary.
 1 atom of A + 3 atoms of B = 1 atom of F, quaternary.
 3 atoms of A + 1 atom of B = 1 atom of G, quaternary.

Figur 4.1. Daltons beskrivelse af atomers sammensætning og hvilke strukturer de respektive sammensætninger af molekyler kunne antage (Dalton, 1808).

Han mente ud fra sin lov, at der var forskellige geometriske kombinationer, molekylerne kunne antage for at mindske frastødningskraften mellem atomerne, hvilket kan ses på figur 4.2. Han mente, at hvis et molekyle bestod af fire atomer, ville de antage en trigonal struktur, hvor det ene atom ville sidde i midten og de andre tre ville sætte sig i en "trekant" og derved have en vinkel på 120°, hvorimod hvis molekylet bestod af 5 atomer, ville de danne en firkant og have en vinkel på 90°, hvilket var en teoretisk forklaring på sin regel, *Rule of Simplicity* (Viana og Porto 2010).



Figur 4.2. Daltons beskrivelse af de forskellige atomers sammensætning og dannelse af bindinger. De forskellige atomer er opdelt efter masse og er i følgende rækkefølge: 1. hydrogen, 2. nitrogen, 3. carbon, 4. oxygen, 5. fosfor, 6. svovl, 7. magnesium, 8. calcium, 9. natrium, 10. kalium, 11. strontium, 12. barium, 13. jern, 14. zink, 15. kobber, 16. bly, 17. sølv, 18. platin, 19. guld og 20. kviksølv. Nummer 21-33 repræsenterer Daltons molekylesammensætning. Eksempler på dette er nummer 21, som er et molekyle bestående af hydrogen og oxygen (Dalton, 1808).

Ud fra de opsatte love og regler kunne Dalton bestemme massen af de forskellige atomer, og derved komme med det første bud på den relative atommasse for adskillige atomer. I starten anvendte Dalton resultater fra andre videnskabsmænds arbejde, herunder Lavoisier, til at fastsætte atommasserne. Lavoisier havde fundet frem til, at 100g vand bestod af 15g hydrogen og 85g oxygen. Ud fra Daltons *Rule of Simplicity* antog han, at forholdet mellem oxygen og hydrogen ville være 1:1, hvilket gav ham, at forholdet ville være 5,66g oxygen per gram hydrogen. Efterfølgende viste Daltons egne forsøg dog, at forholdet mellem hydrogens og oxygens masse i et vandmolekyle var 1:8 (Dalton, 1808), og ud fra hans *Rule of Simplicity* fik han derved oxygens relative masse til at være otte, hvilket senere viste sig at være forkert da det blev opdaget, at forholdet mellem hydrogens og oxygens masse i vand er 2:1 og at det forhold mellem masserne af hydrogen og oxygen derved er 16.

Daltons arbejde, med at finde relative masser af grundstoffer, var en længere proces. Hans første undren opstod, da han i 1803 arbejdede med det, som dengang blev kaldt olefiant gas² (CH) og carboneret hydrogen³ (CH₂). Her observerede han, at der var dobbelt så meget hydrogen i carboneret hydrogen som i olefiant gas, og anvendte dette princip til at bestemme den relative atommasse af andre atomer, heriblandt oxygen, nitrogen, hydrogen og carbon (Thackray, 1972). Dalton brugte også resultater fra andre, som havde fundet ud af, at forholdet mellem ammoniak var 80% nitrogen

² I nutiden går olefiant gas under navnet ethen og har molekylestrukturen C₂H₄.

³ I nutiden går carboneret hydrogen under navnet metan og har molekylestrukturen CH₄.

og 20% hydrogen, hvilket gav ham, at nitrogen ville veje 4g. Nu hvor Dalton havde fundet den relative masse af både nitrogen og oxygen, anvendte han sin lov *multiple proportions* til at bestemme forholdet mellem oxygen og nitrogen i forskellige blandinger af disse to elementer. Ud fra disse beregninger og opdagelser kunne Dalton lave sin tabel over atomers relative masser og deraf videreudvikle på atommodellen, som han brugte til at postulere sin atomteori, der udkom i 1808 (Viana og Porto 2010). Selvom mange af de relative masser var forkerte i hans tabel, var selve konstruktionen af tabellen en vigtig udvikling for naturvidenskaben, og lagde derved grundstenen for det periodiske system, som kom 80 år senere (Zumdahl and DeCoste, 2015).

Dalton lavede flere eksperimenter undervejs for at have et belæg for de påstande, han kom med i forbindelse med sin atomteori. Nogle eksempler på dette lyder som følger: Dalton lavede et forsøg hvor han observerede kombinationen af gasserne af azote (nitrogen) og oxygen. Den reaktion han egentligt så er $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$, men det han troede han så var $N + O \rightleftharpoons NO$, grundet sin *Rule of Simplicity* om at naturen er så simpel som mulig og at han dermed antog at azotic gas (nitrogengas) var N og oxygen gas var O i stedet for N_2 og O_2 . Daltons konklusion, ud fra det han troede han så, var at for én del azote, og én del oxygen, vil der komme to dele Nitrous gas (nitrogenoxid), men der kunne ikke være flere NO molekyler end der enten var N atomer, eller O atomer til at starte med. Han beskrev herved den begrænsende faktor (Siegfried, 2002).

Dalton indså, at han tidligere ikke havde taget højde for, at en forskel i partiklers størrelse, kunne have indflydelse på, hvordan en kombination af gasser kunne opfattes. Med størrelse mente han selve den hårde partikel samt dens atmosfære bestående af varme, som kan ses på figur 4.3. Hvis et volumen på 1L oxygen og et volumen på 1L azote haves, men at der ikke er det samme antal af partikler i de to volumener, vil det være størrelsen af partiklerne, som varierer. Hvis det antages at frastødningskræfterne er i form af varme, kan det konkluderes at to partikler med forskellige størrelser ikke kan indgå i ligevægt med hinanden (Roscoe, 1896).

Daltons bedste forklaring på, hvorfor to partikler med uens størrelser ikke kunne opnå en stabil ligevægt, kommer i 1810 i del to af hans bog fra 1808. Han beskrev ud fra figur 4.3, hvordan atmosfærernes linjer, som går ud fra det centrale atom, møder hinanden og dermed opretholder en stabil ligevægt. Hvis ikke linjerne mødes, vil ligevægten ikke være stabil. Ud fra figur 4.3 kan det

ses, at hydrogenatomerne kan indgå i en stabil ligevægt med hinanden og det samme er gældende for azote, hvilket kan ses ud fra, at deres atmosfærer møder hinanden.

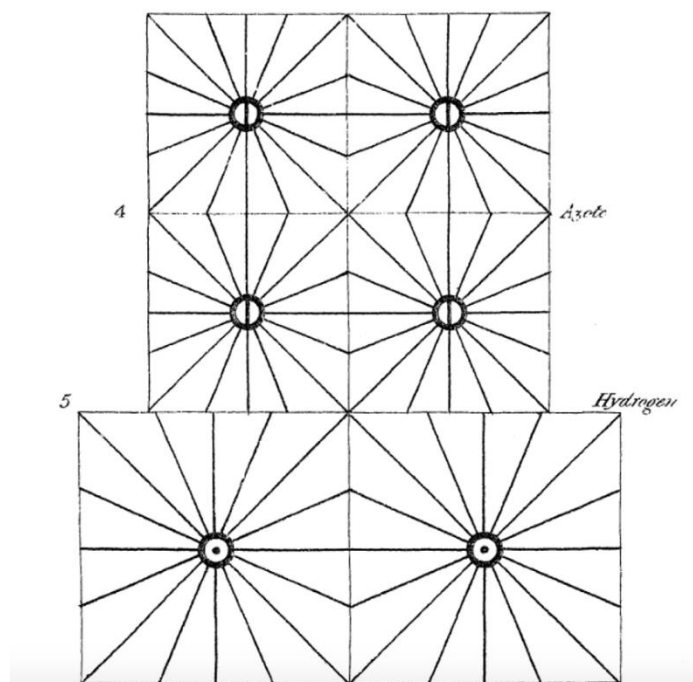


Figure 4.3 En illustration af to hydrogen atomer og fire azote (nitrogen) atomer med den centrale kerne og den tilsvarende atmosfære tilhørende de forskellige atomer. Linjerne ud fra den centrale kerne illustrer atmosfærene i atomet og hvis atmosfærene mødes, kan atomerne indgå i ligevægt (Dalton, 1808).

Ovenstående er en direkte modsigelse af Avogadros princip omhandlende, at volumener af samme størrelse, af forskellige gasser, indeholder det samme antal molekyler (Siegfried 2002). Dalton sagde, at to lige store volumener af forskellige gasser, ikke kunne indeholde det samme antal molekyler fordi atomerne ikke er lige store, og Avogadro sagde, at to lige store volumener af forskellige gasser, indeholder det samme antal molekyler (Dalton, 1808; Siegfried, 2002).

4.3 Atomteorien

Dette afsnit omhandler John Daltons atomteori, som vil blive diskuteret i kapitel 6 i forbindelse med kapitel 5, videnskabsteori og det vil også blive brugt til at sammenholde og diskuteres med kapitel 2, atomers opbygning. Afsnittet er udelukkende baseret på Daltons bog "A New System of Chemical Philosophy" fra 1808.

John Dalton udviklede mange love og regler i starten af 1800-tallet, hvor han blandt andet kom med sin lov om *Partial Pressure* og efterfølgende udviklede det, der i dag kendes som den moderne atomteori. Dalton arbejdede primært med gasser og ekspansion, hvilket han brugte til at danne sin atomteori som udkom i hans bog *"A New System of Chemical Philosophy"* fra 1808 (Dalton, 1808).

I bogen på side 212 beskriver Dalton sin atomteori, hvor den første lovmæssighed bliver beskrevet på følgende måde: *"When we attempt to conceive the number of particles in an atmosphere, it is somewhat like attempting to conceive the number of stars in the universe; we are confounded with the thought. But if we limit the subject, by taking a given volume of any gas, we seem persuaded that, let the divisions be ever so minute, the number of particles must be finite just as in a given space of the universe, the number of stars and planets cannot be infinite"*.

I dette beskriver Dalton, at alle molekyler er lavet af små udelelige partikler, hvilket kan virke som et uendeligt antal, ligesom antallet af stjerner på himlen. Hvis der derimod kigges på et givent område af himmelen, vil der være et endeligt antal af stjerner og ligeledes vil antallet af atomer for et givent system også bestå af et begrænset antal af atomer.

Det har ikke været muligt for os at finde frem til Daltons anden lovmæssighed i bogen, hvilket kan skyldes at hans lovmæssigheder ikke står tydeligt beskrevet, men det kan også skyldes, at han ikke mente at det var nødvendigt at beskrive og er gået ud fra at dette var almen viden.

Hans postulat for sin tredje lov står ligeledes også på side 212, hvor han skriver *"Chemical analysis and synthesis go no farther than to the separation of particles one from another, and to their reunion. No new creation or destruction of matter is within the reach of chemical agency"*. Her beskriver han de kemiske forbindelser som formes, når atomer sætter sig sammen og danner molekyler. Endvidere siger hans tredje lov også, at der i en given forbindelse altid vil være det samme relative antal og typer af atomer. Ydermere skriver han, at der ikke kan opstå eller ødelægges stof, *"No new creation or destruction of matter[...]"*.

Hans fjerde og sidste postulat formuleres således: *"All the changes we can produce, consist in separating particles that are in a state of cohesion or combination, and joining those that were*

previously at a distance.” Hvor han beskriver de kemiske reaktioner og hvordan de reorganiserer sig, hvilket vil sige, at de ændrer den måde, de sidder sammen på, men ikke ændrer atomet i sig selv.

Nutidige lærebøger, såsom Zumdahl, 2015, sammenfatter Daltons atomteori til fire lovmæssigheder og nedenfor er disse beskrevet:

1. Alt er opbygget af små udelelige partikler, kaldet atomer.
2. Atomerne i en given kemisk forbindelse er identiske og atomer i forskellige kemiske forbindelser er forskellige på en eller flere fundamentale måder.
3. Kemiske forbindelser dannes, når atomer binder sig til hinanden. En given forbindelse har altid det samme relative antal og typer af atomer.
4. Kemiske reaktioner involverer reorganisering af atomer, hvilket betyder ændringer i måden de er bundet sammen på. Atomet i sig selv ændres ikke i en kemisk reaktion.

4.4 Det naturvidenskabelig samfunds modtagelse af John Daltons atomteori

I følgende afsnit vil der redegøres for, hvordan det naturvidenskabelige samfund tog imod John Daltons atomteori og dette vil endvidere danne grundlag for diskussionsafsnittet 6.1.

Da Dalton kom frem med sin atomteori i 1808, gav dette et nyt syn på opfattelsen af atomer. Hans atomteori blev samlet set kritiseret af datidens videnskabelige samfund, da der var en generel konsensus omkring nødvendigheden af eksperimentel bevisførelse for ens påstande på dette tidspunkt. Videnskabsmænd i Daltons samtid havde den opfattelse, at hvis ting ikke kunne blive påvist eksperimentelt, var det ikke andet end ren filosofi, hvilket Newtons citat, jævnfør afsnit 3.4, modstrider. Dalton mødte kritik fra forskellige parter, heriblandt Dr. Bryan Higgins og hans nevø William Higgins. Dr. Higgins fandt ikke Daltons atomteori som bedst beskrivende for de omkringbeholdende omgivelser, da han stadig var tilhænger af idéen om et *prima materia*, som var et urstof, hvorudfra de fire elementer, jord, luft, ild og vand var dannet (Smith, 1856). Et andet kritikpunkt blev udtrykt af kemikeren Henri-Francois Gaultier de Claubry er *"that a man of Dalton's ability should have been so carried away by his own theory that he had tried to make experience fit his theory, rather than modify his theory in the light of experimental evidence"*. Claubry beskylder her Dalton for at prøve at

tilpasse sine resultater til hans hypotese i stedet for at acceptere et resultat, der ikke bekræfter hans hypotese. Han mener, at det i stedet er nødvendigt at prøve på at modbevise sin hypotese og herefter tilpasse den alt efter resultatet. Yderligere bliver Dalton kritiseret af Davy, da han sagde "*Dalton is too much of an Atomic Philosopher; and in making atoms arrange themselves according to his own hypothesis, he has often indulged in vain speculation*". Igen gives der udtryk for, at Daltons metodiske ræsonnement ikke var tilstrækkeligt og at hans teori er mere filosofisk end eksperimentelt baseret. Endvidere udtalte Claude Louis Berthollet om Dalton "*We know bodies only by the effects which they produce by their action, but nothing in this action can inform us of the distinct properties of their ultimate atoms*". Med dette mente han, at observationer omkring atomernes egenskaber ikke havde noget belæg, da det ikke var muligt at observere et atom. Atomteorien blev ikke yderligere anerkendt, da William. C. Henry i 1854 skrev en biografi om Dalton med titlen "*Memoirs of the Life and Scientific Researches of John Dalton*" (Henry, 1854). Denne var utilstrækkelig og hovedsageligt baseret på få venners anekdoter om Daltons liv uden at beskrive hans mange videnskabelige manuskripter og noter. Henry hentydede endda til, at nogle af Daltons idéer skyldtes andres videnskabelige arbejde, hvilket også underbyggede tanken om, at meget af Daltons arbejde var mere videnskabshistorisk end selvlavet, og dette underminerede derved yderligere Daltons troværdighed som videnskabsmand (Thackray, 1972). Henry underbyggede også den udbredte opfattelse omkring eksperimenter og videnskab, da han i sin bog "*Elements of Experimental Chemistry*" udtrykte skepsis overfor Daltons atomteori ved at sige "*Cannot at present be regarded in any other light than that of an hypothesis*". Her anklager han, ligesom Davy, Dalton for at have en mere filosofisk tankegang i udarbejdelsen af sin teori end konkret belæg og hvad Dalton beskriver som lovmæssighed blot er baseret på gisninger. I samme bog beskrev Henry Daltons *Rule of Simplicity* "[...]a gratuitous assumption" som værende filosofisk og ikke bevist gennem eksperimentelt arbejde (Siegfried, 2002).

Selvom mange kemikere var imod Dalton, var der dog dele af hans atomteori, som blev positivt mødt. Hans atomteori blev af mange videnskabsmænd opdelt i flere delelementer, hvoraf den del af atomteorien der blev mødt positivt af datidens kemikere, var loven om *multiple proportions*. Jöns Jakob Berzelius anerkendte Daltons opdagelser på dette område og udtrykte, at det var meget vigtig for fremtidig kemi, at tabeller med relative atommasser kunne opstilles. Berzelius arbejdede på

baggrund af dette videre og opstillede senere en tabel med relative masser for 45 ud af 49 af de på den tid kendte atomer. Selvom Davy så kritisk på nogle af Daltons teorier og antagelser, udtrykte han sig også positivt over for Daltons opdagelser om, hvordan atomer sammensættes, og herved danner molekyler i fikserede ratioer. Dalton modtog også megen ros fra Thomas Thomson, ven af Dalton og professor i kemi ved Glasgow Universitet, som udtalte sig om, at Daltons arbejde havde sammensat en god helhed, sammenlignet med Thomsons eget arbejde som var mere specifikt. Endvidere mente Thomson, at Daltons atomteori var bundet op på grundigt observerede resultater.

Da Dalton døde i 1844, var hans atomteori stadig ikke blevet accepteret blandt videnskabsmænd. Dette skyldtes blandt andet at Thomson, under forskellige lejligheder⁴, var kommet med modsigende udtalelser om, hvordan Dalton fik idéen til atomteorien. Dette blev dog ændret, da Dr. George Wilson, som en af de eneste personer i årene op til 1845, tog sig tiden til at læse og analysere Daltons bog fra 1808 og i 1845 fik udgivet et essay i *"the British Quarterly Review"*. Wilsons arbejde tydeliggjorde, hvor dårligt Thomsons udsagn hang sammen med Daltons egentlige videnskabelige arbejde (Thackray, 1972).

Det var først, da *Owens College - Manchester School of Chemists* blev grundlagt, næsten 70 år efter udgivelsen af bogen, at atomteorien og Daltons arbejdsmetoder fik den anerkendelse de fortjente. I 1877 udgav H. E. Roscoe, professor i kemi ved Owens College, en bog med titlen *"Roscoe and Schorlemmer"* (Roscoe and Schorlemmer, 1877). Bogens forside viste et billede af Dalton, og indeholdte blandt andet følgende: *"Daltons atomic theory may be said [...] to have exerted an influence on chemistry's progress greater than that of any other generalization, with, perhaps, the single exception of Lavoisier's explanation of the phenomena of combustion"*. Nogle år senere, i 1895, skrev Roscoe en ny biografi om Dalton med titlen *"John Dalton and the Rise of Modern Chemistry"* (Roscoe, 1895). Denne tydeliggjorde, at kemiens verden endelig anerkendte det stykke arbejde, Dalton havde gjort, herunder hans atomteori som videnskabeligt gældende. Roscoe var tydeligt

⁴ I 1845 vedholder Thomson, at Dalton fik tankerne under observationen af olefiant gas og carboneret hydrogen, men i 1850 siger Thomson, at Dalton fik tankerne under observationen af to gasser; Protoxid og deutoxid, hvilket ikke var rigtigt (Roscoe, 1896).

inspireret af Daltons arbejde, hvilket kan ses i hans udtagelse: "*Dalton may truly be said to be the founder of modern chemistry*" (Thackray, 1972).

5. Videnskabsteori

I det følgende afsnit beskrives videnskabsteori, demarkation samt den induktive og den hypotetisk-deduktive metode, som er relevant for dette projekt. Videnskabsteoretikerne, Kuhn, Popper, Lakatos og Feyerabend, bliver nævnt i afsnit 5.4, som vil blive brugt i diskussionsafsnittet 6.2 til at sammenholde med kapitel 4.

Videnskabsteori er et filosofisk område, hvor videnskabens metoder, normer og baggrunde undersøges. Inden for videnskabsteori undersøges det blandt andet, hvornår en teori er bevist, hvis muligt, samt hvilken retning videnskaben udvikler sig hen imod; opfindes teorier selv af mennesket, eller udvikles videnskab ud fra en større sandhed om naturen. Videnskabsteori er en metadisciplin, som kommer af at reflektere over en bestemt type af spørgsmål og svar, som bliver givet i en bestemt disciplin. Enhver videnskab forudsætter, at den reflekterer over fundamentet for sin egen viden og videns skabelse. Videnskabsteorien antager, at videnskaben ikke skal kunne besvare alle spørgsmål selv. Selvom videnskabsmænd har mere viden end videnskabsteoretikere omkring, hvordan videnskaben udføres, er de ikke nødvendigvis bedre end videnskabsteoretikerne, når det kommer til at beskrive videnskaben (Hviid Jacobsen et al., 2010).

5.1 Demarkation

I dette afsnit vil der være en kort beskrivelse af, hvad ordet demarkation betyder inden for naturvidenskab.

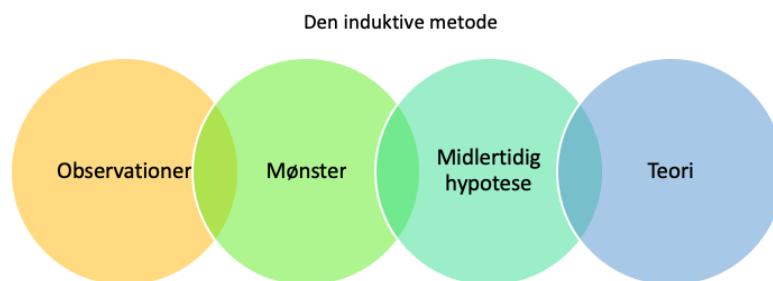
Demarkation betyder afgrænsning og inden for naturvidenskab ønskes der en afgrænsning på, hvad der kan defineres som naturvidenskab, og dermed bruges demarkation som en metode for at kunne adskille naturvidenskab fra pseudovidenskab og ikke-videnskab. Videnskabsteoretikerne, præsenteret i afsnit 5.4, beskriver deres demarkationskriterier inden for det, de kendetegner som naturvidenskab. Derudover er der en retningslinje for samfundet og naturvidenskaben i forhold til, hvad der er acceptabelt inden for eksperimenter, videreformidling og derudover er til gavn for samfundet (Hansson, 2017). Der findes ikke en bestemt metode til at definere naturvidenskab, blot en videreformidling om at opnå sand viden om naturen. Derudover er der flere kriterier, som underbygger

naturvidenskabens evidens, såsom påstande, teorier, forskningsprogrammer, discipliner med mere. De to mest hyppige metoder, som anvendes inden for naturvidenskab, er den induktive- og hypotetisk-deduktive metode, som beskrives i afsnit 5.2 og 5.3 (Bortolotti, 2008).

5.2 Den induktive metode

I dette afsnit beskrives den induktive metode, som er fra observation til teori og vil blive brugt i kapitel 6 til at diskutere Daltons arbejdsmetoder.

Hvis en observation, af eksempelvis eksperimenter, generaliseres til en lovmæssighed og ikke kun anvender logiske slutninger, kaldes det induktion. Den induktive metode tager udgangspunkt i analyse af konkrete observationer, såsom empiri eller data. Efterfølgende vil der ud fra observationerne forsøges at findes et mønster, som kan lede til en opstilling af en hypotese. Denne vil derefter blive undersøgt og kan derved lede til en konklusion eller en generel teori, hvilket kan ses på figur 5.1. Den induktive metode er baseret på enkelttilfælde, hvorfra der udledes en generel regel eller hypotese. Dette kan skabe fejlbedømmelser, da helbilledet af observationen ikke er med, grundet manglende indkalkulering af variabler (Machamer, 2012).

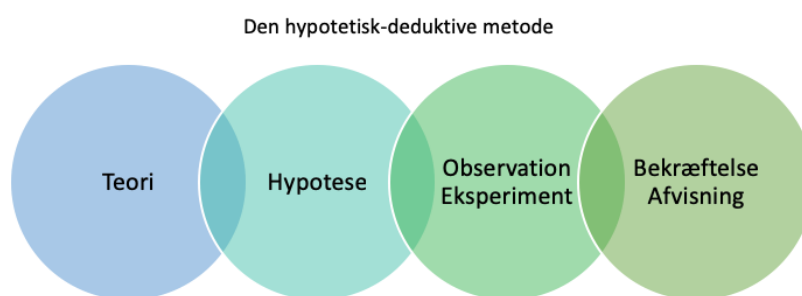


Figur 5.1. Den induktive metodes fremgangsmåde, hvor der tages udgangspunkt i observationer, som kan danne et mønster. Der vil derefter blive lavet en midlertidig hypotese, som kan blive til teori (inspireret af Martin Niss, Prof. i fysik ved Roskilde Universitet).

5.3 Den hypotetisk-deduktive metode

I dette afsnit beskrives den hypotetisk-deduktive metode fra teori til bekræftelse eller afvisning af hypotese og vil blive brugt i kapitel 6 til at diskutere Daltons arbejdsmetoder.

Hvis en observation af eksempelvis eksperimenter udledes ved hjælp af kun logiske slutninger, kaldes dette deduktion. Den hypotetisk-deduktive metode tager udgangspunkt i allerede eksisterende teori, som er den induktive metodes slutpunkt, hvorefter hypotesen opstilles på baggrund af det konkrete problem, som derved vil blive undersøgt. Hypotesen kan enten være opstillet fra den induktive metode eller nye hypoteser kan opstå ud fra teorien, hvilket kan ses på figur 5.2. Hypotesen inden for naturvidenskab er en påstand, som indbefatter to egenskaber; hypotesens sandhedsværdi skal være ukendt, før den kan undersøges, og den skal være testbar for at kunne forklare eller forudsige noget, der omhandler problemstillingen i hypotesen. Dermed vil data eller observationer samles, som herefter vil kunne besvare hypotesen ved enten at blive forkastet eller bekræftet (Machamer, 2012).



Figur 5.2. Opstilling af den hypotetisk-deduktive metode, hvor der på baggrund af en given teori dannes en hypotese, som vil blive undersøgt af observationer og/eller eksperimenter, som derefter enten vil af- eller bekræfte hypotesen (inspireret af Martin Niss, Prof. i fysik ved Roskilde Universitet).

5.4 Videnskabsteoretikere

I de følgende fire afsnit vil videnskabsteoretikernes filosofier, Thomas Kuhns paradigmeskift, Karl Poppers falsifikationisme, Imre Lakatos' forskningsprogram og Paul Feyerarbends anarkistisk videnskabssyn, blive belyst. Disse vil i diskussionsafsnit 6.2 blive diskuteret i forbindelse med John Daltons udvikling af atomteorien. Til sidst i kapitlet vil der være en opsamlingstabel over videnskabsteoretikernes vigtigste begreber.

5.4.1 Thomas Kuhns paradigmeskift

Thomas Samuel Kuhn var en amerikansk videnskabsteoretiker, filosof og historiker, som levede fra 1922 til 1996. Kuhns tilgang til videnskabshistorie og filosofien var epistemologisk, også kaldet

erkendelsesteoretisk. Han videreudviklede sit begreb paradigme i forbindelse med udgivelsen af sin første udgave af værket "*The Structure of Scientific Revolutions*" fra 1962 (Kuhn, 1963).

Kuhns demarkationskriterium inden for naturvidenskaben indordner sig inden for et paradigme (Hviid Jacobsen et al., 2010; Marcum, 2015). Inden for det pågældende paradigme vil videnskabsmænd have tiltro til den paradigmatilhørende videnskab, hvilket afgrænses yderligere ved at det kun er gådeløsning, som er en acceptabel arbejdsmetode. Dette betyder, at der stræbes efter ny viden, som skal forklare eller udforme en forklaring eller et udsagn, der kan verificeres eller falsificeres.

Begrebet paradigme beskrives som en enighed mellem en dominerende gruppe videnskabsmænd i forhold til specifikke argumenter og tankemønstre. Det nutidige synspunkt på et paradigme i naturvidenskaben er et system af tanker, der tilsammen danner et grundlag for et specifikt verdenssyn. Et paradigme er en sammenhæng mellem teoridannelse og et verdensbillede, der tilsammen deles af et videnskabeligt fællesskab. Ifølge Kuhn vil alle normalvidenskabelige hypoteser opstå fra et paradigme (Marcum, 2015). Den videnskab, der udføres inden for det fastlagte paradigme, som forskere ikke kritiserer, kaldes normalvidenskab. Inden for den pågældende normalvidenskab kan der foretages delvis moderate ændringer eller tilpasninger, dog stadig med den samme teoretiske tankegang. Ved en ændring af tankegangen vil der være tale om en revolution, som derved vil afløse den nuværende normalvidenskab og resultere i et paradigmeskift og derved en ny normalvidenskab. Dette skal forstås ved, at der inden for et paradigme kan opstå anomalier. En anomali indenfor videnskabsteori er en benævnelse for en iagttagelse, der strider imod teorien for det nuværende paradigme. Hvis anomalier ikke kan forklares, vil der opstå en krise, som kan medføre et paradigmeskift (Hviid Jacobsen et al., 2010).

Kuhns nye perspektiv gav anledning til en ny opfattelse af videnskaben, ved at indføre videnskabens udvikling igennem følgende tre faser: Præ-paradigmatisk periode, normalvidenskabelig periode og den revolutionære periode (Ibid), hvilket er illustreret på figur 5.3.



Figur 5.3 Kuhns illustration af de tre faser: Den præparadigmatiske-, den normalvidenskabelige- og den revolutionære periode, hvorefter paradigmeskiftet fører tilbage til normalvidenskaben og processen gentages (Kuhn, 1963).

Kuhns videnskabsteori bygger på én præ-paradigmatisk periode, der dermed leder hen til normalvidenskab, som er det, forskere bygger deres teorier på i en periode, indtil der sker et nyt paradigmeskift. Kuhn hævder, at naturvidenskab ikke er udviklet fra viden, men gennem omvæltninger, hvilket han kaldte paradigmeskift (Marcum, 2015). Kuhn mener, at en videnskabsrevolution vil ændre verdensbilledet, ikke på grund af at det gamle paradigme blev modbevist, eller at den nye blev bevist, men at det i stedet er forholdet mellem den gamle og den nye, der udløser paradigmeskiftet (Hviid Jacobsen et al., 2010).

Et paradigmeskift involverer, at et eller flere paradigmer kan blive udskiftet af nye paradigmer. Dette skal forstås som, at det nuværende paradigme vil blive afløst af det nye, hvis dette har et udgangspunkt for at kunne forklare det pågældende område bedre (Ibid). Derfor vil der ske et paradigmeskift efterhånden som der vil være flere, der vil støtte op omkring det nye paradigme. Ifølge Kuhn er to paradigmer ikke sammenlignelige, da et nyt paradigme ikke er en udvikling af den nuværende, men en erstatning (Marcum, 2015).

5.4.2 Karl Popper og falsifikationisme

Karl R. Popper var en østrigsk videnskabsfilosof, som levede fra 1902 til 1994. I begyndelsen af det 20. århundrede var de fleste videnskabsteoretikere enige om, at enhver videnskabelig teori skulle kunne verificeres, hvis en teori ikke kunne verificeres, var der ikke tale om videnskab. Teoretikere med den overbevisning blev kaldt for logiske positivist, hvilket Popper var kritiker af, da logiske positivist mente, at resultater opnås på baggrund af den induktive metode. Idet Popper tog afstand fra den logiske positivismes tilgang til videnskab, opstillede han et demarkationskriterium. Poppers demarkationskriterium omhandler falsifikationisme, hvilket vil sige, at Popper afgrænser

videnskaben ved, at en given teori kun er videnskabelig, hvis hypoteser, som modsiger teorien, kan falsificeres ved brug af den hypotetisk-deduktive metode, jævnfør afsnit 5.3, og derved gøre teorien stærkere. Popper mente, at en videnskabelig teori ikke kan bevises, men derimod kun falsificeres, hvilket han kaldte falsifikationisme. Ligeledes blev der fremstillet et kriterium for videnskabelighed, kaldet falsificerbarhed. En teori er videnskabelig, hvis den er falsificerbar, hvilket vil sige, at det er muligt at undersøge, om den er falsk (Rønn, 2006). Denne nye videnskabsteoretiske retning blev kaldt kritisk rationalisme og er forskellig fra logisk positivisme i form af verifikation. Popper mente ikke, at en teori kunne bevises, og dermed vil videnskaben ikke kunne finde endegyldige sandheder om naturen, men en teori bliver derimod stærk, hvis den modstår gentagende forsøg på at blive modbevist (Hviid Jacobsen et al., 2010).

Den videnskabelige proces i den kritiske rationalisme opfattede Popper som et udviklingsskema, som var gældende for alle systemer: $P \rightarrow T \rightarrow FE \rightarrow \text{Nyt } P$ (Kragh, 1991). P er et givent problem, mens T er teorier eller hypoteser, hvor en teori er en løsning på det givne problem. FE er en fejleliminering, hvilket betyder, at der kan blive fundet svagheder ved teorierne, når de testes, og det er muligt at påvise en fejl i en teori, men ikke at den er sand. De fundne fejl i teorien danner grundlag for et nyt problem, og dermed starter processen forfra (Wiley, 1975).

5.4.3 Imre Lakatos og forskningsprogrammer

Afsnittet er udelukkende baseret på artiklen "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes" (Lakatos, 1978) af Imre Lakatos fra 1978.

Imre Lakatos var en ungarsk matematiker og filosof, som levede fra 1922 til 1974. Lakatos blev i 1960 ansat på *London School of Economics*, hvor han mødte Karl Popper, som endte med at blive en inspirationskilde til Lakatos' forskningsprogrammer. Lakatos' videnskabsteori ligger imellem Poppers falsifikationisme og Kuhns paradigmeskift på skalaen over graden af rationalitet med udgangspunkt i menneskets fornuft ifølge tankegang, beslutninger samt handlinger, hvilket kan ses på figur 5.4.



Figur 5.4. Forskellen i Paul Feyerabend, Thomas Kuhn, Imre Lakatos og Karl Poppers rationalitet. Graden viser rationaliteten for de enkelte videnskabsteoretikere i forhold til hinanden. Ordet rationalitet er baseret på fornuft indenfor tankegang, beslutninger og handlinger (inspireret af Martin Niss, Prof. I fysik ved Roskilde Universitet).

Naturvidenskaben udvikles inden for en bestemt ramme, hvilket Lakatos kalder et forskningsprogram og foruden et forskningsprogram kan naturvidenskaben ikke udvikles. Lakatos' demarkationskriterium er, at der arbejdes progressivt inden for et forskningsprogram som følge af, at en eller flere teori(er) skal komme med nye forudsigelser, der vil kunne erstatte hinanden og derved vil forskningsprogrammet blive udviklet kontinuerligt. Det bedste forskningsprogram opnås ved, at flere forskningsprogrammer og teorier eksisterer og vurderes sideløbende, men hvis teorierne ikke er progressive, er der tale om pseudovidenskab. Et videnskabeligt forskningsprogram består af en række teorier med fællestræk og ifølge Lakatos styres et forskningsprogram blandt andet af principper, som kan opdeles i en negativ og en positiv heuristik. Den negative heuristik er konceptet om, at teoriernes hårde kerne ikke skal påvirkes og kritiseres. Den hårde kerne er en del af teorien, som alle er enige om og denne stilles der ikke spørgsmålstegn ved. Teoriernes positive heuristik er en samling af forslag og antydninger, som skal forbedre forskningsprogrammet. Den positive heuristik kan, ved at definere problemet og antyde opbygningen af et bælte af hjælpehypoteser, forbedre forskningsprogrammet. Den hårde kerne kan dermed blive forsvaret, hvis der opstår modstand. Bæltet af hjælpehypoteser beskytter den hårde kerne, og det er bæltet af hjælpehypoteser, som skal gennem den største andel af testene. Resultatet af testene er, at bæltet enten skal justeres eller udskiftes, hvilket styrker den hårde kerne. Ved konstant at prøve at falsificere bæltet af hjælpehypoteser, vil teorien forstærkes. Lakatos' kriterie for, hvornår en teori er falsificeret er, når en ny teori både kan forklare det samme som den tidligere, men også forklare fænomener som den tidligere ikke kunne. Dog mener han ikke, at en teori skal forkastes med det samme, den er blevet falsificeret, da den stadig potentielt kan indeholde brugbare elementer. Lakatos' demarkationskriterium er derfor inspireret af Kuhns og Poppers filosofier jævnfør afsnit 5.4.1 og 5.4.2.

5.4.4 Paul Feyerabend

Paul Feyerabend var en østrigsk videnskabsfilosof, som levede fra 1924 til 1994. I 1948 mødte Feyerabend Karl Popper, og det var Popper, der menes at være den, som har haft størst indflydelse på Feyerabends arbejde. Feyerabend beundrede Poppers respektløse holdning til de tyske filosoffer, som var tilhængere af den logiske positivisme.

Feyerabend kom i 1957 med sine tanker på skrift, hvor han argumenterede for, at videnskaben har brug for realisme for at kunne udvikle sig, hvilket var den samme tilgang som Poppers. I 1957 kom Feyerabend med udgivelsen af *"In the Quantum Theory of Measurement"*, hvor han introducerede et vigtigt tema i sit arbejde. Temaet omhandlede, at der ikke er noget særskilt og neutralt observationssprog eller hverdagssprog, hvorpå teoretiske videnskabelige erklæringer testes. Med dette mener Feyerabend, at det kan være svært at sige, hvad der er naturvidenskab ud fra kun en videnskabsteori, da naturvidenskab metodisk kan udarbejdes ud fra et bredt spektrum af forskellige videnskabsteorier. Naturvidenskab er ikke nødvendigvis kun korrekt, hvis den kan falsificeres, men omvendt er det heller ikke kun rigtigt, hvis den induktive metode er brugt. Ifølge Feyerabend skal metoden reflektere det arbejde, der er lavet i form af, at metoden skal tilpasses arbejdet i stedet for, at arbejdet skal tilpasses metoden. Dette forhold mellem teori og erfaring markerede et ophør med den positivistiske opfattelse af teorier samt Poppers opfattelse. I 1958 argumenterede Feyerabend imod den logiske positivisme til fordel for realismens redegørelse af forholdet mellem teori og erfaring, hvilket hovedsageligt var på baggrund af sit kendskab til Popper og hans falsifikationsprincip. Ifølge Feyerabend er teorien uafhængig af erfaring, i den forstand, at en teori kan skabes uden et observationssæt, men den erfaring, som tilegnes, er afhængig af den allerede formulerede teori i form af, at de observationer, der gøres, er influerede af den videnskab, som er kendt. Feyerabend fulgte herefter op på denne teori med *"the Pragmatic Theory of Observation"*, som sagde, at det ikke er vigtigt, at en observation er erfarende i sig selv, men derimod er årsagen, til hvorfor der observeres, vigtig, når der produceres eller gendrives teorier. Feyerabends demarkationskriterium er, at naturvidenskaben ikke skrider frem på en rationel måde og at der ingen forskel er på naturvidenskab og pseudovidenskab samt at der ikke er en metode, der er korrekt at anvende inden for naturvidenskaben. Feyerabends videnskabsteori er forskellig fra Poppers, idet Poppers teori ifølge Feyerabend ikke beskriver videnskaben, som den er foregået. Feyerabend mener

desuden, at en filosofisk udarbejdet metode vil dræbe videnskaben, og derfor kom han med metodisk anarkisme, der beskriver, at alle metoder er gældende inden for naturvidenskab (Preston, 2016).

5.4.5 Opsamling

Tabel 5.1 viser centrale begreber og hovedpointer i videnskabsteorierne hos Thomas Kuhn, Karl Popper, Imre Lakatos og Paul Feyerabend.

	Thomas Kuhn	Karl Popper	Imre Lakatos	Paul Feyerabend
Demarkationskriterium	Paradigmer med gådeløsning	Falsifikation	Forskningsprogrammer med falsifikation	Alt er videnskab
Centrale begreber	Paradigme, præ-paradigmatisk periode, normalvidenskabelig periode, revolutionær periode, anomalier, krise, diskontinuerlig, afhængighed og usammenlignelige paradigmer	Kritisk rationalisme, falsifikationsisme, og falsificerbarhed	Forskningsprogrammer, progressivt, kontinuerlig udvikling, hård kerne, negativ heuristik, positiv heuristik, bælte af hjælpehypoteser og uafhængigt	Anarkistisk videnskabssyn, videnskabsteori parallelt med videnskabshistoriens udvikling, videnskab og pseudovidenskab kan ikke skelnes imellem
Ramme for viden	Paradigme	Hypotetisk-deduktive metode	Forskningsprogram	Metodisk anarkisme (ingen metode), alt er tilladt
Viden til-egnes	Afhængigt af paradigmet	Ved testning af hypoteser	Kontinuerligt og uafhængigt	Uafhængigt

6. Diskussion

I afsnit 6.1 diskuteres det, ved at sammenholde afsnit 4.2 med 4.4, hvem der var modstandere og tilhængere af Daltons atomteori i samtiden. Endvidere vurderes det, ved at sammenholde kapitel 2 med kapitel 4, hvor meget af Daltons atomteori, som stadig anvendes i dag og hvis ikke, hvorfor. I afsnit 6.2 vil de fire videnskabsteoretikers demarkationskriterier, fra afsnit 5.4, blive diskuteret, i forhold til hvis demarkationskriterium der bedst beskriver Daltons atomteori og arbejdsmetoder.

6.1 Modtagelsen af Daltons atomteori samt den nutidige anvendelse af den

På trods af hvor korrekte størstedelen af Daltons postulater var, gik der mange år, før atomteorien blev anerkendt, jævnfør afsnit 4.4. I Daltons tid var der udbredt enighed om grundstofopfattelsen, men mange videnskabsmænd var dog uenige om muligheden for at observere atomernes egenskaber, jævnfør afsnit 4.4 med citat af Berthollet. Mange videnskabsfolk anså ham som en videnskabshistoriker, da han gjorde meget brug af den induktive metode, jævnfør afsnit 5.2, til at udforme sin atomteori. Grunden til dette var, at han gjorde brug af andres resultater til at drage konklusioner og ikke baserede dele af sin teori på egne eksperimenter, jævnfør afsnit 4.4. Endvidere var der generelt enighed om, at Dalton var for filosofisk i sine antagelser herom, og der var derfor flere videnskabsmænd, som var modstandere af atomteorien, men samtidig støttede nogle også op om den, jævnfør afsnit 4.4. Disse forskelligheder reflekterede den daværende holdning omhandlende, at videnskab skulle kunne støttes op af eksperimentelt arbejde. Det var hovedsageligt den del af atomteorien, der var underbygget af eksperimenter, som blev anerkendt, mens det hovedsageligt var den del, hvor Dalton gjorde sig filosofiske antagelser, som mødte meget modstand. En af Daltons regler, som specielt mødte modgang, var hans *Rule of Simplicity*, jævnfør afsnit 4.4. Dette skyldtes, at reglen var en antagelse, som ikke havde noget eksperimentelt belæg for at være gældende. Dalton opstillede sin *Rule of Simplicity* med det formål at simplificere sine idéer om atomer og med denne antagelse muliggjorde han udviklingen af sin atomteori, da det ellers i samtiden ikke var muligt rent fysisk at slutte noget om atomers størrelse og egenskaber ud fra eksperimenter. Selvom hans antagelse gav ham forkerte resultater, var de relative masser stadig rigtige efter de forhold,

han arbejdede med. Da det rigtige forhold mellem oxygen og hydrogen i vand blev fundet, blev Daltons *Rule of Simplicity* forkastet, jævnfør afsnit 4.2.

Videnskaben kan ses fra to vinkler; hvis ens arbejde på en teori rammer en mur, stoppes det, fordi det ikke er muligt at fortsætte eller også gøres der nogle antagelser, som muliggør, at arbejdet kan fortsættes. Dalton benyttede sig af sidst nævnte vinkel. Hans videre arbejde byggede på en forkert antagelse, men processen var vigtig, selvom hans resultater senere blev erstattet grundet dette. Selvom Dalton fik meget kritik af sin *Rule of Simplicity*, er det vigtigt at tage med i betragtning, at hans arbejde medvirkede til, at der for første gang blev udregnet relative masser på atomer, hvilket medførte starten på det periodiske system. Ved at anskue videnskaben ved brug af en anden metode end den gængse, lykkedes det herved Dalton at opstille sin atomteori, som nærmest står uændret 200 år senere, jævnfør afsnit 4.3.

En egenskab, der adskiller Dalton fra andre videnskabsmænd i hans samtid, var, at de ikke kunne komme videre med deres tanker omhandlende en teori om atomer i og med, at de kun arbejdede ud fra datidens accepterede metode og dermed ikke så muligheden for at bevæge sig uden for disse fastlagte naturvidenskabelige rammer. Foruden Daltons antagelse, *Rule of Simplicity*, ville det ikke være muligt for ham at nå til en konklusion. Dette er et eksempel på, at metoden nogle gange kan komme i vejen for resultatet og at der ikke altid er én metode, som er den bedst passende på alt arbejde, men at forskellige metoder passer bedst på specifikke situationer. Dalton udøvede sin egen form for naturvidenskab i den forstand, at han arbejdede ud fra den hypotetisk-deduktive metode, jævnfør afsnit 5.3, så vidt det var muligt, men at han også anvendte en anden arbejdsmetode, på trods af samtidens opfattelse af den naturvidenskabelige arbejdsmetode, jævnfør afsnit 4.4. Et eksempel, hvor han brugte den hypotetisk deduktive metode, er, når han kommer frem til loven om *Multiple Proportions*, mens hans *Rule of Simplicity* er et eksempel på, at han bryder den gængse arbejdsmetode, jævnfør afsnit 4.2.

Forståelsen for hvad korrekt videnskab er, har ændret sig siden Dalton levede. Dengang blev videnskab kun anerkendt, hvis den var underbygget af eksperimentelle data og videnskabsmanden dermed havde brugt den hypotetisk-deduktive metode til sit arbejde. I dag bliver teorier også

anerkendt, hvis videnskabsmanden bruger den induktive metode, jævnfør afsnit 5.2, hvilket Bohr gjorde med sin atommodel, jævnfør afsnit 2.1. Både Davy og Claubry kritiserede Dalton for at tilpasse sine resultater fra sine eksperimenter og observationer for at kunne bekræfte sin hypotese, jævnfør afsnit 4.4, i stedet for at tilpasse sin teori til at denne kunne forklare sine resultater. Denne kritik kunne skyldes, at Dalton ikke har været dygtig nok til at formidle sine teorier videre i form af forklaringer på hans tanker. Hvis Dalton har konkluderet noget ud fra sine observationer og eksperimenter, på baggrund af en viden, han havde tilegnet sig, som Davy og Claubry ikke har haft, kan det for dem ligne, at han havde prøvet at tilpasse sine resultater til sin teori i stedet for at tilpasse sin teori til sine resultater. Mange videnskabsmænd på Daltons tid mente, at kritikken af atomteorien havde belæg grundet holdningen i det naturvidenskabelige samfund omhandlende nødvendigheden af eksperimentelle data.

Grundet den ændrede opfattelse af hvordan naturvidenskabeligt arbejde udføres, er der i dag en anden holdning til atomteoriens gyldighed. I Daltons samtid havde kritikerne belæg for deres påstande, men da hjemlen er blevet ændret, i form af accepterede arbejdsmetoder, vil de i dag ikke have et gyldigt belæg for deres påstande omhandlende hans filosofiske tankegang, jævnfør afsnit 4.4. Daltons første lovmæssighed beskriver, at i et givent rum ville der være et begrænset antal af partikler, kaldet atomer. I dag vides det yderligere hvad de er sammensat af, hvilket Rutherford og Bohr var de første til eksperimentelt at bevise, jævnfør afsnit 2.1, men hvis Dalton havde levet i deres tid, havde han selv haft mulighed for eksperimentelt at bevise dette. Hans anden lovmæssighed beskriver, hvordan atomer i en given kemisk forbindelse er identiske og hvordan atomer i forskellige kemiske forbindelser er forskellige på en eller flere fundamentale måder. Vi har ikke kunnet finde belæg eller påstand for ovenstående lovmæssighed, men i dag tvivles der ikke på validiteten af lovmæssigheden. Hans tredje lovmæssighed beskriver, hvordan kemiske forbindelser dannes, når atomer sætter sig sammen til molekyler, og at der i en given forbindelse altid vil være det samme relative antal og typer af atomer. I dag kender vi ydermere til forskellige bindinger og sammensætninger af molekyler og hvad deres kemiske egenskaber er, jævnfør afsnit 2.1.1. Et eksempel på dette er, at vi i dag ved, at vand altid vil indeholde to hydrogenatomer og et oxygenatom og vil altid placere sig, geometrisk, på samme måde i et vandmolekyle. Hans fjerde lovmæssighed beskriver at kemiske reaktioner involverer reorganisering af atomer og at atomet i sig selv ikke ændres i en

kemisk reaktion. Et eksempel på dette er hvor Dalton observerede reaktionen $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$, men i stedet troede at han observerede reaktionen $N + O \rightleftharpoons NO$, grundet hans *Rule of Simplicity*, jævnfør afsnit 4.2. Ud fra denne reaktion kan vi se, at hans fjerde lovmæssighed opfyldes, da der er lige mange atomer på henholdsvis reaktant- og produktsiden som reorganiseres. Som nævnt i starten af afsnittet, mødte Dalton stærk kritik for dele af hans atomteori. Dalton havde kun eksperimentelt bevist hans fjerde lovmæssighed, hvilket indikerer, at det må være hans resterende lovmæssigheder, der var udsat for mest kritik.

Dalton havde formentlig haft det nemmere med at få anerkendt sin atomteori i dag, da teorier udarbejdet fra andre naturvidenskabelige metoder i nutiden anses som valide. Det, at Dalton turde anvende andre naturvidenskabelige metoder end datidens accepterede, kan være årsagen til, at han haft stor indflydelse på nutiden. Herudover kunne Dalton have påvist sine teorier eksperimentelt, hvis han havde haft de samme teknologiske ressourcer, som vi har i dag. Det var dog ikke alt, hvad han postulerede, som viste sig at være sandt. Som beskrevet i afsnit 4.2 mente han for eksempel ikke, at to identiske atomer kunne sætte sig sammen og udgøre et molekyle, hvilket i dag er blevet modbevist, jævnfør afsnit 2.2.2, hvilket figur 2.6 (N_2) er et eksempel på.

På trods af at Daltons atomteori ikke blev anerkendt med det samme, har den efter anerkendelsen haft stor indflydelse på det naturvidenskabelige samfund og dermed den efterfølgende videnskab. Dette kan ses, fordi den moderne atomforståelse, jævnfør kapitel 2, overordnet set er baseret på den atomteori, Dalton formulerede i 1808, jævnfør afsnit 4.3. I 1877 udgav Roscoe bogen "*Roscoe and Schorlemmer*", som gjorde, at Dalton fik den anerkendelse, han fortjente, jævnfør afsnit 4.4. Det kan konkluderes, at meget af det, han fandt frem til, og især hans atomteori fra 1808 har været skelsættende for den kemiske verden og som Roscoe også formulerede det "*Dalton may truly be said to be the founder of modern chemistry*".

6.2 Klassifikation af atomteorien som naturvidenskab ifølge videnskabsteoretikerne

Hvis Daltons atomteori, jævnfør kapitel 4, holdes op mod Kuhns demarkationskriterium, jævnfør afsnit 5.4.1, kan der ses ligheder og uligheder. Ifølge Kuhn er der grundlag for et paradigmeskift, når

der opstår en ny teori, der ikke passer ind i den allerede tilstedeværende opfattelse. Eftersom Daltons atomteori ikke passede på den daværende opfattelse af kemien, som var en blanding af alkymi og en grundstofopfattelse, jævnfør afsnit 3.5, er der grundlag for et paradigmeskift. Dalton postulerede sin atomteori i 1808, jævnfør afsnit 4.3, dog blev denne først anerkendt, da Roscoe i 1877 udgav bogen "*Roscoe and Schorlemmer*", jævnfør afsnit 4.4. Hvis Kuhns beskrivelse af et paradigmeskift gennemgås, kan Daltons atomteori passes ind i de forskellige perioder. Det forhenværende paradigmes normalvidenskab var alkymi og da Lavoisier gjorde op med alkymien og introducerede grundstofbegrebet, jævnfør afsnit 3.5, opstår en anomali og den revolutionære periode startede. Den revolutionære periode sluttede, da Daltons postulerede atomteori 70 år senere fik sin fortjente anerkendelse og atomteorien bliver derved til den nye normalvidenskab, hvilken stadig er gældende. Herudfra kan der argumenteres for, at der sker et længerevarende paradigmeskift, jævnfør afsnit 5.4.1.

Ifølge Kuhn skal videnskabsmænd arbejde med gædeløsning inden for det pågældende paradigme og ud fra Kuhns principper om gædeløsning, er det essentielt at kunne verificere eller falsificere det, der undersøges, jævnfør afsnit 5.4.1. Dalton stræbte efter at arbejde ud fra den hypotetisk-deduktive metode, hvilket ikke var muligt for ham i forbindelse med dele af atomteorien i samtiden. Et eksempel på at det i hans tid ikke var muligt at komme videre med atomteorien, ved brug af den hypotetisk-deduktive metode, var hans *Rule of Simplicity*, jævnfør afsnit 4.2. Foruden ovenstående antagelse havde det videre arbejde ikke været muligt, men denne antagelse gjorde, at det videre arbejde, i samtiden, er ikke-videnskabeligt ifølge Kuhn. Daltons arbejde bliver ikke-videnskabeligt, da han udformer sin *Rule of Simplicity*, fordi den ikke kan verificeres eller falsificeres og dermed kan alt arbejde baseret på denne regel heller ikke falsificeres eller verificeres og er dermed ifølge Kuhn ikke-videnskabeligt, da det strider imod hans gædeløsning, jævnfør afsnit 5.4.1.

Hvis Daltons arbejde med atomteorien, jævnfør afsnit 4.2, holdes op mod Poppers falsifikationsprincip, jævnfør afsnit 5.4.2, kan der ses ligheder og uligheder. Dalton stræbte efter at arbejde ud fra den hypotetisk-deduktive metode, som generelt var accepteret i datidens naturvidenskabelige samfund. I udarbejdelsen af sine love som for eksempel *Multiple Proportions* eller *Partial Pressure*, brugte han den hypotetisk-deduktive metode, jævnfør afsnit 4.2 og 5.3. Dalton arbejdede på denne

måde efter en Poppersk tankegang, hvilket ikke var en mulighed for ham, hvis der samlet ses på atomteorien. Dalton havde ikke de remedier til rådighed, der var nødvendige for at kunne opnå tilstrækkeligt belæg for sine påstande gennem eksperimentelt arbejde og valgte, som beskrevet tidligere, at gøre sig nogle antagelser. Disse antagelser eller tankeeksperimenter var ikke mulige at falsificere, på denne tid, og falder hermed uden for Poppers demarkationskriterium. Havde Dalton levet i en senere periode, er det muligt, at han kunne have færdiggjort sin atomteori udelukkende ved brug af den hypotetisk-deduktive metode og herved have en falsificerbar teori, idet han havde haft redskaberne til fysisk at påvise sine filosofiske antagelser.

Hvis Daltons atomteori, jævnfør afsnit 4.3, holdes op mod Lakatos' forskningsprogram, jævnfør afsnit 5.4.3, kan der ses ligheder. Efter atomteorien blev accepteret i det naturvidenskabelige samfund, er der ligheder mellem den og Lakatos' videnskabsteori. Lakatos beskriver et forskningsprogram som en hård kerne, som ikke sættes spørgsmålstegn ved, med et beskyttende bælte bestående af hjælpehypoteser. Den hårde kerne kan ses som den del af atomteorien, der er en generel enighed om i det naturvidenskabelige samfund og som ikke bliver betvivlet eller testet. Beskyttelsesbæltet kan ses som den del af atomteorien, der kontinuerligt bliver testet og udviklet. Den hårde kerne er i dette tilfælde Daltons fire lovmæssigheder, jævnfør afsnit 4.3, og beskyttelsesbæltet består af alle de hypoteser og eksperimenter, der er blevet udført på baggrund af disse, såsom Rutherfords- og Bohrs eksperimenter, jævnfør kapitel 2.1. Lakatos, som er inspireret af Popper, beskriver også, at videnskaben skal udarbejdes falsifikationistisk, men fokuserer derimod sit falsifikationsprincip på hjælpehypoteserne, hvilke er mulige at falsificere i forhold til atomteorien, da disse først kommer efter anerkendelsen af atomteorien.

Hvis Daltons atomteori, jævnfør kapitel 4, holdes op mod Feyerarbends anarkistiske videnskabssyn, jævnfør afsnit 5.4.4, kan der ses ligheder og uligheder. Feyerarbends videnskabsteoretiske synspunkter ligger, på nogle punkter, tæt op ad Daltons arbejdsmetoder, hvilket kommer til udtryk i form af Daltons vekslen mellem brugen af filosofiske tankeeksperimenter, den hypotetisk-deduktive- og den induktive metode som udgangspunkt for sine resultater. Dalton stræbte efter at arbejde inden for datidens accepterede rammer for den naturvidenskabelig fremgangsmåde, men anvendte en filosofisk baseret arbejdsmetode, når han mente det var nødvendigt. På denne måde er det ikke

altid én enkelt metode, der passer bedst til ethvert aspekt i Daltons arbejde, hvilket er det, Feyerabend pointerer med sin metodiske anarkisme. Der, hvor Feyerabends teori ikke passer på Dalton, er, hvor han mener, at naturvidenskaben ikke kan defineres og at der derfor ikke er forskel på naturvidenskab og pseudovidenskab. Dalton stræbte efter at holde sig inden for en given metodisk fremgangsmåde så vidt, det var muligt. Feyerabend beskrev, at videnskaben vil uddø, hvis den er baseret på en bestemt filosofisk udarbejdet metode, jævnfør afsnit 5.4.4 og i dette tilfælde kan der argumenteres for, at Daltons atomteori ikke ville eksistere, hvis han havde holdt sig til datidens accepterede metoder. Dalton kommer frem til, at grundstoffer ikke kan omdannes til andre grundstoffer, hvilket er en modsigelse af alkymien, jævnfør afsnit 3.5. Her erfarer han sig noget uafhængigt af den eksisterende teori, hvilket Feyerabend mener er umuligt, da erfaringer er afhængige af den allerede formulerede teori. Samtidig mener Feyerabend, at en teori er uafhængig af erfaringer, hvilket stemmer overens med Dalton, som baserer dele af atomteorien på tankeeksperimente og ikke erfaringer, jævnfør afsnit 4.2.

Hvis diskussionsafsnittene om de forskellige videnskabsteoretikeres klassificering af atomteorien sammenlignes, ses det, at der er elementer i alle videnskabsteorierne, som passer på atomteorien. Som Feyerabend beskriver det, er der sjældent et sprog, der passer til en teori, og gennem sit anarkistiske videnskabssyn mener han, at alt er videnskab, hvilket går imod både Lakatos', Poppers og Kuhns videnskabsteori. Vi mener, at Feyerabend ikke er særlig konkret i sin måde at definere videnskab på og derfor passer meget videnskab ind under hans teori. Dette betyder samtidig, at hans videnskabsteori ikke bidrager med en fornyet forståelse og hjælper os ikke til at forstå videnskabens udvikling, såsom hvordan Dalton kom frem til sin atomteori i 1808. Endvidere mener vi, at hans teori er intetsigende om alt i den forstand, at den passer på videnskab som Popper, Kuhn og Lakatos mener er ikke-videnskab.

Både Kuhn og Popper mener, at videnskabsmænd skal arbejde gådeløseligt, men måden hvorpå, dette opnås, er forskelligt. Popper mener, at en teori skal kunne falsificeres, hvor Kuhn mener, at den enten skal kunne verificeres eller falsificeres. På denne måde kan det siges, at Poppers demarkationskriterium er mere afgrænsende end Kuhns. Endvidere er Kuhns demarkationskriterium vagt defineret, da grænsen for, hvad et samfund er, ikke bliver konkretiseret. Hvis Kuhns demarkationskriterium skal afspejle, hvorvidt Daltons atomteori resulterede i et paradigmeskift, over en længere

periode, beskriver Lakatos samme begivenhed, ved brug af sine forskningsprogrammer. Hvis Poppers demarkationskriterium skal afspejle, hvorvidt Daltons arbejde med atomteorien er baseret på falsifikation, beskriver Lakatos igen dette ved hjælp af sine kontinuerlige tests af hjælpehypoteserne.

Vi mener, ud fra ovenstående, at det er vigtigt at skelne mellem Daltons atomteori og hans arbejds-metoder. Daltons atomteori er en fastlæggelse af den daværende forståelse for grundstoffer og danner derfor grundlaget for atomers opfattelse og det periodiske system, ved brugen af den induktive- og hypotetisk-deduktive-metode samt tankeeksperimenter. Dette strider imod Kuhns demarkationskriterium, da han kun acceptere den hypotetisk-deduktive metode, men eftersom den hårde kerne stadig står ved magt, er Lakatos demarkationskriterium den, som bedst beskriver Daltons arbejde med atomteorien. Dalton lavede eksperimenter med forskellige gasser, som han baserede en del af sin atomteori på og benyttede dermed den hypotetisk-deduktive metode til at opnå viden. Den hypotetisk-deduktive metode, som er blevet definerede på baggrund af Poppers falsifikationisme, benytter Lakatos også til at udvikle sine forskningsprogrammer, da han mener, at forskning bør komme med gådeløsning uafhængigt af forskningsprogrammet i stedet for Kuhns paradigme, som danner rammen for forskningen. I dag bliver der ikke forsket i grundidéen af atomteorien, hvilket er den hårde kerne. Denne er alle forskere enige i og det er samtidig den, der danner grundlag for den videre forskning af det, som Lakatos beskriver som beskyttelsesbæltet, der henad vejen bliver udviklet og/eller udskiftet. Vi kan derfor konkludere, at Lakatos' demarkationskriterium bedst beskriver Daltons atomteori, da Lakatos har en progressiv tilgang og den hårde kerne i nutiden er accepteret og ikke forsøges at ændres. I modsætning til Lakatos har Popper ikke en progressiv tilgang, hvilket vil resultere i, at atomteorien hele tiden vil blive falsificeret og dermed forblive i samme stadie.

7. Konklusion

Det kan ud fra afsnit 6.1 konkluderes, at hans arbejdsmetoder generelt, ifølge samtidens naturvidenskabelige samfund, blev betragtet som filosofiske, på trods af belæg for dele af hans atomteori, hvilket indikerer, at Daltons tankemønstre var forud for hans tid. Årsagen til at Daltons atomteori blev accepteret, skyldtes at opfattelsen af gyldige arbejdsmetoder 70 år senere havde ændret sig, og videnskabsmænd som Roscoe begyndte at anerkende Daltons metoder, hvilket blandt andet kan ses ved udgivelsen af bogen "*Roscoe and Schorlemmer*". Endvidere kan det ud fra afsnit 6.1 konkluderes, at Daltons atomteori har haft stor indflydelse på den nutidige atomteori, idet hans fire lovmæssigheder danner fundamentet for den nutidige opfattelse af atomer. Ud fra afsnit 6.2 kan vi konkludere, at der er ligheder mellem Daltons atomteori og alle fire videnskabsteoretikere, men vi finder størst belæg for, at Daltons atomteori er bedst beskrevet ved et Lakatosk forskningsprogram, idet der ikke længere sættes spørgsmålstejn ved atomers eksistens, fordi Daltons fire lovmæssigheder danner den hårde kerne, som er støttet op af et bælte af hjælpehypoteser.

8. Perspektivering

En anden mulig vinkel på projektet kunne være at undersøge, hvorvidt Daltons atomteori gavnede andre videnskabsmænd i forhold til deres opdagelse af nye grundstoffer. Eksempelvis Smithson Tennant og Humphry Davy som opdagede flere nye grundstoffer fra 1800 til 1809. Dette ville kræve en analyse af deres arbejdsmetoder, herunder elektrolyse, og om de benyttede sig af Daltons teorier. I denne sammenhæng ville det også være interessant at gå i dybden med det periodiske system og dets skaber, Dimitrij Mendelejev. Herudover ville det være relevant at lave en sammenligning af Tennants og Davys metoder. Med denne vinkel ville vi gå mere i dybden med videnskabsmændenes egne metoder og eksperimenter, og have mindre fokus på videnskabsteoretikerne i sig selv.

9. Referencer

- Atkins, P., Paula, J. de, Keeler, J., 2018. Atkins' Physical Chemistry, 11. ed. Oxford University Press, England.
- Bohr, N., 1913. I. On the constitution of atoms and molecules. Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci. 26, 1–25. <https://doi.org/10.1080/14786441308634955>
- Chalmers, A., SpringerLink, 2009. The scientist's atom and the philosopher's stone, how science succeeded and philosophy failed to gain knowledge of atoms, 279. ed, Boston studies in the philosophy of science v. 279. Springer, Dordrecht.
- Colin, A.R., 1991. The natural history of the univers, 1. ed. Macmillan publishing company, New York.
- Dalton, J., 1834. Meteorological Observations and Essays. Harrison & Crosfield.
- Dalton, J., 1808. A New System of Chemical Philosophy, Volume 1, Cambridge library collection Physical Sciences. Cambridge University Press, Cambridge.
- Dalton, J., 1805. On the absorption of gases by water and other liquids, 1. ed. SRussel.
- Davy, H., 1839. The Collected Works of Sir Humphry Davy (etc.), 1. ed. Smith, Elder, England.
- Donovan, A., 1996. Antoine Lavoisier: Science, Administration and Revolution. Cambridge University Press.
- Fleming, R.S., 1974. Newton, Gases, and Daltonian chemistry: The foundations of combination in definite proportion. Ann. Sci. 31, 561–574. <https://doi.org/10.1080/00033797400200461>
- H. Kargon, R., 1977. Science In Victorian Manchester Enterprise and Expetise, 1. ed. The John Hopkins University Press, USA.
- Hansson, S.O., 2017. Science and Pseudo-Science, in: Zalta, E.N, 1. ed. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Hayward, D.O., 2002. Quantum Mechanics for Chemists. Royal Society of Chemistry.
- Henry, W.C., 1854. Memoirs of the life and scientific researches of John Dalton ., 1. ed. Printed for the Cavendish Society, England.
- Housecroft, C., Sharpe, A.G., 2012. Inorganic Chemistry, 5. ed. Pearson Education UK, Harlow, United Kingdom.
- Hviid Jacobsen, M., Lippert-Rasmussen, K., Nedergaard, P., 2010. Videnskabsteori - i statskundskab, sociologi og forvaltning, 1. ed. Hans Reitzels Forlag, Danmark.

- Kragh, H., 1991. *Naturvidenskabens teori, en indføring i naturvidenskabernes og teknologiens filosofiske problemer*, 2. ed. Nyt Nordisk Forlag, Kbh.
- Kuhn, T.S., 1963. *The structure of scientific revolutions*, 2. impr. ed, International encyclopedia of unified science ; 2,2. The University of Chicago Press, Chicago.
- Lakatos, I., 1978. *The methodology of scientific research programmes. Philosophical papers.*, 1. ed. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lavoisier, A.L., 1789. *Traité élémentaire de Chimie*, p. I-II, 1. ed. Tome Premier, Paris.
- Lide, D.R., 1976. *CRC handbook of chemistry and physics, a ready-reference book of chemical and physical data*, 73rd ed. CRC, Boca Raton.
- Lodge, O., 2012. *Pioneers of Science*, 1. ed. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139380904.002>
- Machamer, P., 2012. Lisa Bortolotti: An Introduction to the Philosophy of Science. *Sci. Educ.* 21, 287–288. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9393-9>
- Marcum, J.A., 2015. *Thomas Kuhn's Revolutions: An Historical and an Evolutionary Philosophy of Science?*, 1. ed. Bloomsbury Publishing PLC, London.
- Mølmer, K., 2010. *Kvantemekanik: atomernes vilde verden*, 1. udgave, 2. oplag 2011. ed. Aarhus Universitetsforlag, Danmark.
- Newton, I., 1726. *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, Auctore Isaaco Newtono, Editio tertia aucta & emendata, 3. ed. apud Guil& JhInnys, Londini.
- Preston, J., 2016. Paul Feyerabend, in: Zalta, E.N, 1. ed. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Metaphysics Research Lab, Stanford University.
- Ranke-Madsen, E., 1984. *Grundstoffernes opdagelseshistorie*, 1. ed. Gads Forlag, Kbh.
- Rønn, C., 2006. *Almen videnskabsteori, for professionsuddannelserne, iagttagelse, viden, teori, refleksion*, 1. ed. Alinea, Kbh.
- Roscoe, H.E., 1896. *A new view of the origin of Dalton's atomic theory ;a contribution to chemical history, together with letters and documents concerning the life and labours of John Dalton, now for the first time published from manuscript in the possession of the Literary and philosophical society of Manchester*, 1. ed. London and New York: Macmillan and co, England.
- Roscoe, H.E., 1895. *John Dalton and the Rise of Modern Chemistry*, 1. ed. Cassell, London.

- Roscoe, H.E., Schorlemmer, C., 1877. Review. A treatise on chemistry. *The Analyst* 2, 115–117.
<https://doi.org/10.1039/AN8770200115>
- Rutherford, E., Geiger, H., 1908. The charge and nature of the α -particle. *Proc R Soc Lond A* 81, 162–173. <https://doi.org/10.1098/rspa.1908.0066>
- Schils, R., 2012. John Dalton, in: Schils, R., 1. ed. *How James Watt Invented the Copier: Forgotten Inventions of Our Great Scientists*. Springer New York, New York, NY, pp. 49–54.
https://doi.org/10.1007/978-1-4614-0860-4_9
- Siegfried, R., 2002. From Elements to Atoms: A History of Chemical Composition. *Trans. Am. Philos. Soc.* 92, i–278. <https://doi.org/10.2307/4144909>
- Smith, R.A., 1856. *Memoir of John Dalton: And History of the Atomic Theory Up to His Time*, 13. ed, 2. H. Bailliere, London.
- Syfret, M.R.H., 1948. The Origins of the Royal Society. *Notes Rec. R. Soc. Lond.* 1938-1996 5, 75–137. <https://doi.org/10.1098/rsnr.1948.0017>
- Thackray, A., 1972. *John Dalton, Critical Assessments of His Life and Science*, Reprint 2014. ed. Harvard University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.4159/harvard.9780674433922>
- Viana, H.E.B., Porto, P.A., 2010. The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry. *Sci. Educ.* 19, 75–90.
<https://doi.org/10.1007/s11191-008-9182-2>
- Wiley, E.O., 1975. Karl R. Popper, Systematics, and Classification: A Reply to Walter Bock and Other Evolutionary Taxonomists. *Syst. Zool.* 24, 233–243. <https://doi.org/10.2307/2412764>
- Zumdahl, S.S., DeCoste, D.J., 2015. *Chemical Principles*, 8. ed. Cengage Learning, USA.

10. Appendiks

10.1 Atomers opdagelse tidslinje (Lide, 2008)

Kvinder er markeret med lyserød og mænd med sort.

3000 f.Kr.	Kobber	Ej angivet
3000 f.Kr.	Sølv	Ej angivet
2000 f.Kr.	Tin	Ej angivet
640 f.Kr.	Guld	Ej angivet
600 f.Kr.	Svovl	Ej angivet
500 f.Kr.	Bly	Ej angivet
400	Jern	Ej angivet
1200	Zink	Ej angivet
1250	Arsen	Albertus Magnus (1200-1280)
1600	Antimon	Ej angivet
1669	Fosfor	Hennig Brand (1630-1710)
1722	Carbon	René Antoine Ferchault de Réaumur (1683-1757)
1735	Kobalt	Georg Brandt (1694-1768)
1735	Platin	Antonio de Ulloa (1716-1795)
1751	Nikkel	Axel Fredrik Cronstedt (1722-1765)
1753	Bismuth	Claude Francios Geoffroy (1729-1753)
1771	Fluor	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)
1771	Oxygen	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)
1772	Nitrogen	Daniel Rutherford (1749-1819)
1774	Klor	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)
1774	Mangan	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) & Torben Bergman (1735-1784)
1776	Hydrogen	Henry Cavendish (1731-1810)
1778	Molybdæn	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)
1781	Wolfram	Carl Wilhelm Scheele (1742-1786)
1782	Tellur	Franz-Joseph Müller von Reichenstein (1740-1825)
1789	Uran	Martin Heinrich Klaproth (1743-1817)

1789	Zirconium	Martin Heinrich Klaproth (1743-1817)
1791	Titanium	William Gregor (1762-1817)
1794	Yttrium	Johan Gadolin (1760-1852)
1797	Krom	Louis-Nicolas Vauquelin (1763-1829)
1798	Beryllium	Louis-Nicolas Vauquelin (1763-1829)
1802	Niobium	Charles Hatchett (1765-1847)
1802	Palladium	Heinrich Olbers (1758-1840)
1802	Tantal	Anders Gustaf Ekeberg (1767-1813)
1802	Vanadium	Andres Manuel del Rio (1764-1849)
1803	Iridium	Smithson Tennant (1761-1815)
1803	Osmium	Smithson Tennant (1761-1815)
1803	Rhodium	William Hyde Wollaston (1766-1828)
1804	Cerium	William Hisinger (1766-1852) & Jacob Berzelius (1779-1848)
1804	Iridium	Smithson Tennant (1761-1815)
1804	Osmium	Smithson Tennant (1761-1815)
1807	Kalium	Humphry Davy (1778-1829)
1807	Natrium	Humphry Davy (1778-1829)
1808	Barium	Humphry Davy (1778-1829)
1808	Bor	Humphry Davy (1778-1829), Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) & Louis Jacques Thenard (1777-1857)
1808	Calcium	Humphry Davy (1778-1829)
1808	Magnesium	Humphry Davy (1778-1829)
1808	Strontium	Humphry Davy (1778-1829)
1811	Iod	Bernard Courtois (1777-1838)
1811	Silicium	Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) & Louis Jacques Thenard (1777-1857)
1817	Cadmium	Friedrich Stromeyer (1776-1835)
1817	Lithium	Johann Arfvedson (1792-1841)
1817	Selen	Jacob Berzelius (1779-1848)
1825	Aluminium	Hans Christian Ørsted (1777-1851)

1826	Brom	Antoine-Jérôme Balard (1802-1876)
1828	Thorium	Jacob Berzelius (1779-1848)
1839	Lanthan	Carl Gustaf Mosander (1797-1858)
1841	Neodym	Carl Gustaf Mosander (1797-1858)
1841	Praseodym	Carl Gustaf Mosander (1797-1858)
1842	Erbium	Carl Gustaf Mosander (1797-1858)
1843	Terbium	Carl Gustaf Mosander (1797-1858)
1844	Ruthenium	Karl Karlovich Klaus (1796-1864)
1860	Cæsium	Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) & Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)
1861	Rubidium	Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) & Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887)
1861	Thallium	William Crookes (1832-1919)
1863	Indium	Ferdinand Reich (1799-1882) & Hieronymus Theodor Richter (1824-1898)
1868	Helium	Pierre Janssen (1824-1907)
1875	Gallium	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912)
1878	Holmium	Marc Delafontaine (1837-1911) & Jacques Louis Soret (1827-1890)
1878	Ytterbium	Jean Charles Galissard de Marignac (1817-1894)
1879	Samarium	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912)
1879	Scandium	Lars Fredrik Nilson (1840-1899)
1879	Thulium	Per Teodor Cleve (1840-1905)
1880	Gadolinium	Jean Charles Galissard de Marignac (1817-1894)
1886	Dysprosium	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912)
1886	Germanium	Clemens Alexander Winkler (1838-1904)
1890	Europium	Paul Émile Lecoq de Boisbaudran (1838-1912)
1894	Argon	Baron Rayleigh (1842-1919) & William Ramsay (1852-1916)
1898	Krypton	William Ramsay (1852-1916) & Morris Travers (1872-1961)
1898	Neon	William Ramsay (1852-1916) & Morris Travers (1872-1961)

1898	Polonium	Marie Curie (1867-1934)
1898	Radium	Marie Curie (1867-1934)
1898	Xenon	William Ramsay (1852-1916) & Morris Travers (1872-1961)
1899	Actinium	André-Louis Debierne (1874-1949)
1900	Radon	Friedrich Ernst Dorn (1848-1916)
1902	Promethium	Bohuslav Branner (1855-1935)
1905	Lutetium	Georges Urbain (1872-1938)
1913	Protactinium	Kazimierz Fajans (1887-1975) & Oswald Helmuth Göhring (1889-1915)
1923	Hafnium	Dirk Coster (1889-1950) & George de Hevesy (1885-1966)
1925	Rhenium	Walter Noddack (1893-1960), Ida Tacke (1896-1978) & Otto Berg (1873-1939)
1937	Technetium	Carlo Perrier (1886-1948) & Emilio Segré (1905-1989)
1939	Francium	Marguerite Perey (1909-1975)
1940	Astat	Dale R. Corson (1914-2012), Kenneth Ross MacKenzie (1912-2002) & Emilio G. Segré (1905-1989)
1940	Neptunium	Edwin McMillan (1907-1991) & Philip Hauge Abelson (1913-2004)
1940	Plutonium	Glenn T. Seaborg (1912-1999), Edwin McMillan (1907-1991), Joseph William Kennedy (1916-1957) & Arthur Wahl (1917-2006)
1944	Americium	Glenn T. Seaborg (1912-1999), Ralph A. James (1920-1973), Leon O. Morgan (1919-2002) & Albert Ghiorso (1915-2010)
1944	Curium	Glenn T. Seaborg (1912-1999), Albert Ghiorso (1915-2010) & Ralph A. James (1920-1973)
1949	Berkelium	Glenn T. Seaborg (1912-1999), Albert Ghiorso (1915-2010) & Stanley Gerald Thompson (1912-1976)
1950	Californium	Stanley Gerald Thompson (1912-1976), Glenn T. Seaborg (1912-1999), Albert Ghiorso (1915-2010) & Kenneth Street Jr. (1920-2006)
1952	Einsteinium	Albert Ghiorso (1915-2010)
1952	Fermium	Albert Ghiorso (1915-2010)

1955	Mendelevium	Albert Ghiorso (1915-2010), Stanley Gerald Thompson (1912-1976), Glenn T. Seaborg (1912-1999), Robert Gregory Choppin (1927-2015) & Bernard Harvey (1919-2016)
1961	Lawrencium	Albert Ghiorso (1915-2010), Torbjørn Sikkeland (1923-2014), Almon Larsh & Robert M. Latimer (1934-1998)
1964	Rutherfordium	Medarbejdere ved Joint Nuclear Research Institute i Dubna
1967	Dubnium	Medarbejdere ved Joint Nuclear Research Institute i Dubna
1974	Seaborgium	Medarbejdere ved Joint Nuclear Research Institute i Dubna