

Sammendrag

Elektroner er fundamentale i både fysikk og kjemi, men konteksten avgjør hvilke egenskaper ved dem som til enhver tid er relevante. Fagfeltene fysikk og kjemi har hver sine interesseområder og kan derfor betrakte elektronene ulikt.

I denne studien har jeg undersøkt hvordan elektronene framstilles i lærebøker for fysikk og kjemi i videregående opplæring. Jeg har analysert både tekst og figurer. Det viser seg at det er klare tradisjoner for hva slags språklige bilder som er vanlige i hvert fag, og de bidrar til ulike oppfatninger av elektronene.

Jeg har konkludert med at det er forskjeller mellom hvordan fagene framstiller elektronene. Disse skyldes ikke kun presentasjoner av elektronene som sådan; underliggende strukturer med svak modellbevissthet har også hatt stor betydning for konklusjonen.

Abstract

Electrons are recognised as fundamental in both physics and in chemistry. The context dictates which qualities about the electrons are relevant at any given time. The fields of physics and chemistry have each their own areas of interest and can therefore view electrons differently.

In this study, I have examined how electrons are presented in textbooks written for physics and chemistry courses in upper secondary school. As it turns out, there are pronounced traditions for what kind of linguistic images is prevalent in each subject and they contribute to different perceptions of the electrons.

I have concluded that there are differences between the two subjects regarding how they present electrons. These differences do not result from the depictions of the electrons alone, but also from underlying structures with insufficient model awareness.

Forord

Arbeidet med denne masteroppgaven har vært lang, utfordrende og til tider frustrerende. Men det har også vært spennende, givende og lærerikt.

Jeg vil rette en stor takk til alle som har støttet meg på ulike måter gjennom dette arbeidet, men vil trekke fram noen spesielt.

Først og fremst vil jeg takke mine fantastiske veiledere, Berit Bungum og Per-Odd Eggen. Vi har hatt mange gode diskusjoner, og jeg har fått både motiverende ord og den drahjelpa som var nødvendig for å komme i mål, i tillegg til verdifulle tilbakemelding som har bidratt til kvaliteten i arbeidet mitt. Jeg kunne ikke ha bedt om bedre veiledere!

Mine arbeidsgivere ved Johan Bojer vgs skolested Leksvik har vært sjenerøse med permisjon i deler av stillingen min over flere skoleår, slik at jeg kunne kombinere jobb og studier.

Familien min har både heiet på meg og trøstet meg ved behov.

Min kjære samboer har hjulpet meg med korrekturlesing, støttet meg emosjonelt og stilt opp slik at jeg kunne prioritere å konsentrere meg om oppgaveskrivingen.

Innhold

Sammendrag	v
Abstract	vi
Forord	vii
Figurer	11
Tabeller	12
Bokser	12
1 Innledning	13
1.1 Problemstilling og forskningsspørsmål	13
2 Elektronet i naturvitenskapenes historie	14
3 Elektronet i læreplaner og undervisning	18
3.1 Elektroners plass i læreplanene	19
3.2 Lærebøker – en operasjonalisering av læreplanene	21
3.3 Kjente didaktiske utfordringer knyttet til de ulike rammetemaene	23
4 Metode	26
4.1 Utvelgelse av lærebøker og av relevant innhold	26
4.2 Analyseprosessen	26
4.3 Troverdighet	28
5 Resultater og analyse	29
5.1 Atomteori	30
5.2 Kjemiske bindinger	41
5.3 Elektrisitet	54
5.4 Kvantefysikk	61
6 Diskusjon	69
6.1 Drøfting	69
6.2 Styrker og svakheter ved arbeidet	74
7 Avslutning	75
8 Liste over lærebøker	76
9 Referanser	77
Vedlegg	81

Figurer

Figur 3.1 Valgtre over avgjørelser som forutsettes for å kunne velge programfagene fysikk og kjemi i norsk videregående opplæring.	18
Figur 5.1 Atommodeller fra Fy1, bestrålt med alfapartikler.	31
Figur 5.2 Representasjoner av Bohrs atommodell gjengitt fra Fy1.	32
Figur 5.3 Bohrs atommodell i Kj1: Et frittstående karbonatom.	34
Figur 5.4 Bohrs atommodell for hydrogen, i Kj1.	34
Figur 5.5 Atomorbitaler i Kj1.	35
Figur 5.6 Atommodell i kapittelet om elektrisitet i Fy1.	37
Figur 5.7 Ulike representasjoner av ionebinding i natriumklorid, hentet fra Kj1.	43
Figur 5.8 Ulike antall kovalente bindinger mellom to atomer, fra Kj1.	44
Figur 5.9 Kule-pinne-modell i Kj1.	45
Figur 5.10 Orbitalmodeller som er brukt til å illustrere elektronparbindinger i Kj1.	45
Figur 5.11 Metallbinding i Kj1	46
Figur 5.12 Representasjon av elektronparbindinger i Fy1.	47
Figur 5.13 Avstander mellom valensbånd og ledningsbånd i ulike typer materialer, fra Fy1.....	48
Figur 5.14 Illustrasjon av bindinger i dopede halvledere.....	48
Figur 5.15 Coulombs lov fra Fy2.	49
Figur 5.16 Elektrisk strøm i en metalltråd, fra Fy1.....	56
Figur 5.17 Metaller som sender ut ioner i vann, hentet fra Kj2.	57
Figur 5.18 Skjematisk oversikt over Daniell-element fra Kj2.....	58
Figur 5.20 Fotoelektrisk effekt, gjengitt fra Kj1.	62
Figur 5.21 Fotoelektrisk effekt, fra Fy2.	65
Figur 5.22 Comptoneffekten, fra Fy2.	65
Figur 5.23 Røntgenstråling, fra Fy2.	66
Figur 5.24 Sammenligning av fotoelektrisk effekt og røntgenstråling, hentet fra Fy2. ..	66

Tabeller

Tabell 2.1 Oversikt over tildelinger av nobelpriser.	17
Tabell 3.1 Antall og andel kompetansemål som legitimerer opplæring om elektroner ...	20
Tabell 4.1 Lærebøker og henvisningskoder.	26
Tabell 5.1 Enkel sammenligning av hvordan størrelser i elektrisitetslære framstilles i lærebøkene. Egne kommentarer er gitt i klammer.	60
Tabell 5.2 Oversikt over historiske hendelser og oppdagelser nevnt i lærebøkene.	67

Bokser

Boks 5.1: Kompetansemål om atomteori.	30
Boks 5.2: Kompetansemål om kjemiske bindinger.	41
Boks 5.3: Kompetansemål tilknyttet elektrisitet.	54
Boks 5.4: Kompetansemål som handler om kvantefysikk.	61

1 Innledning

Elektroner er fundamentale innenfor flere greiner av naturvitenskapenes historie. De ble ikke påvist før på slutten av 1800-tallet, men effekter av elektriske ladninger fascinerte mennesker allerede i antikken. Siden har mange bidratt til å avdekke elektronets mysterier, og flere av disse forskerne har i dag ikonisk status. I dag er elektroner sentrale i mange ulike sammenhenger innenfor både fysikk og kjemi. Hvilke egenskaper som til enhver tid er interessante, er avhengig av sammenhengen. Dette åpner for at elektronene kan bli beskrevet ulikt i fagfeltene fysikk og kjemi, og i ulike tema innenfor hvert fagfelt.

Elektronenes relevans i svært ulike tema gir elektronene en rettmessig plass i flere av skolens realfag. Elevene møter elektroner i flere ulike sammenhenger, og de kan få ulike helhetsinntrykk av elektronenes natur avhengig av hvilke(t) fag elevene får opplæring i, og hvordan ulike tema vektlegges i opplæringen.

I realfagsundervisning brukes lærebøker i utstrakt grad, og de styrer ofte både struktur og innhold i opplæringen (Nelson, 2006). Lærebøker har stor innflytelse på hva elever lærer om, og hvilke kunnskaper de har etter gjennomført opplæring. Det er derfor av interesse å undersøke hva lærebøker i fysikk og kjemi forteller om elektronenes natur, og i hvilken grad beskrivelsene er sammenfallende eller sprikende.

1.1 Problemstilling og forskningsspørsmål

I denne teksten undersøker jeg om elever som får opplæring i fysikk og/eller kjemi kan ende opp med ulike forestillinger av elektroners natur. Jeg belyser hvordan ulike sider av elektronenes natur kommer til syne innenfor ulike tema i lærebøker for fysikk og kjemi, og forsøker å avdekke om det er større forskjeller mellom fagene. Problemstillingene er:

Hvordan framstår elektroner i lærebøker i programfagene fysikk og kjemi for videregående opplæring i Norge? Og hvilket forbedringspotensial avdekkes eventuelt for å skape et mer helhetlig bilde av elektronene og deres natur?

For å kunne besvare spørsmålene i problemstillingen, har disse forskningsspørsmålene styrt arbeidet:

1. Hvordan framstilles elektronet innenfor og på tvers av ulike tema i lærebøker i fysikk og kjemi?
2. Hvordan bidrar ulike typer språklige bilder i lærebøkene til å belyse elektronets natur?
3. Hvordan representeres elektroner i figurer?
4. Hvilke potensialer kommer til syne for å bygge broer mellom fagene? Og hvilke utfordringer?

2 Elektronet i naturvitenskapenes historie

Historien om elektronet er lang, kronglete og sprikende. Her gjengir jeg i kronologisk rekkefølge et knippe hendelser og oppdagelser fra naturvitenskapene, knyttet til elektronet og dets egenskaper. Dette er ikke en vitenskapshistorisk analyse. Utvalget er basert på betydning for fagfeltene fysikk og kjemi, og er hentet fra enkle kilder.

Grekerne oppdaget at gnidd rav kunne trekke til seg lette gjenstander ca 600 år før vår tidsregning. Også andre stoffer viste seg etter hvert å ha denne egenskapen. På 1500-tallet studerte William Gilbert fenomenet systematisk, og ga tiltrekningskraften navnet elektrisk kraft, etter det greske ordet for rav – *ílektra*. Etter hvert ble det klart at det fantes to typer elektrisk ladning. Benjamin Franklin kalte disse typene *positiv* og *negativ* ladning på 1700-tallet. Elektriske ladninger ble studert av flere aristokrater i føydalsamfunn i Europa mot slutten av 1700-tallet.

Luigi Galvani var fysiker og lege på 1700-tallet. Han gjorde disseksjonsforsøk med en frosk på et bord som hadde nylig blitt brukt til eksperimenter med statisk elektrisitet. Froskens muskler trakk seg sammen da Galvani rørte ved en nerve med en skalpell som var oppladet av bordet. Galvani konkluderte med at elektrisiteten ble produsert i froskemusklene, og kalte fenomenet dyreelektrisitet. Alessandro Volta var ikke enig i Galvanis konklusjon. Han mente at det gikk en elektrisk strøm mellom metallene og at frosken kun fungerte som en strømleder. Selv har Volta fått æren for å lage verdens første batteri i 1800; en voltasøyle med alternerende skiver av kobber og sink, med salt og svovelsyre som strømledende løsning. John Frederic Daniell tok utgangspunkt i voltasøylen og laget en forbedret versjon i 1836. En galvanisk celle med kobber og sink i separate halvceller kalles i dag en Daniellcelle. Andre viktige oppdagelser på 1800-tallet knyttet til elektrisitet ble gjort av blant andre Hans Christian Ørsted, Humphrey Davy og Michael Faraday.

I 1887 observerte Heinrich Hertz den fotoelektriske effekten, men kunne ikke forklare den. Lys kunne få elektrisk strøm til å gå i en krets som ikke var sluttet. Forsøk viste at blått lys ga strøm i kretsen, men rødt lys kunne ikke gi strøm i kretsen selv om lysintensiteten ble økt. Det var ikke energimengden, men heller lysets frekvens som avgjorde om den fotoelektriske effekten oppsto. Dette var ulogisk fordi stråling ble ansett som kontinuerlig på denne tida. Wilhelm Röntgen oppdaget i 1895 stråling som kunne trenge gjennom materie. Denne røntgenstrålingen er høyfrekvent og kunne sendes ut fra en anode når en glødekatode ble utsatt for høy spenning. Senere skulle det vise seg at fotoelektrisk effekt og røntgenstråling er motsatte prosesser.

Alle disse oppdagelsene ble gjort uten at man visste hva elektrisitet egentlig *var*. På slutten av 1800-tallet eksperimenterte flere fysikere med glassrør som inneholdt gass under lavt trykk. Joseph John Thomson gjennomførte i 1895 et forsøk med en spenningskilde, et glassrør og et magnetfelt. Gassen lyste opp i røret da det gikk strøm gjennom det, slik at han kunne se elektrisiteten imens han eksperimenterte med den. Strømmen fra den negativt ladde metallplata ble avvært av magnetfeltet, og Thomson konkluderte med at strømmen måtte bestå av negative partikler med mye mindre masse enn et atom. Forsøket ble gjentatt med ulike typer metaller, som gav samme resultater. Dette viste at partikkelen måtte være felles for alle kjente grunnstoffer. Thomson kalte de små partiklene *elektroner*,

og lanserte en atommodell med elektronene jevnt fordelt i en positivt ladd atommasse. Denne atommodellen omtales ofte som rosinbollemodellen (engelsk: *plum pudding model*).

I 1900 fant Max Planck sammenhengen mellom lysets energi og frekvens. For å komme fram til dette, måtte Planck tenke på stråling som diskret. Strålingen var altså ikke kontinuerlig, men kom i pakker som Planck kalte energikvanter. Albert Einstein bygget videre på tankegodset til Planck i sin berømte artikkel om fotoelektrisk effekt, og kalte lysets energikvanter *fotoner*. Lyset ble da betraktet som partikler. Kun fotonene som hadde høy nok energi (og frekvens) kunne «sparke» løs elektroner fra katoden ved fotoelektrisk effekt. Dette forutsatte at lys ble betraktet som både partikler og bølger, og la grunnlaget for bølge-partikkeldualismen.

Robert Millikan gjennomførte oljedråpeeksperimentet rundt 1910 for å bestemme ladningsmengden til et elektron. Finfordelte oljedråper ble ionisert og utsatt for et elektrisk felt i et kammer. Det elektriske feltet ble justert for å holde oljedråpene suspendert. Da virket det like stor kraft nedover (gravitasjon) som oppover (elektrisk). Millikan kunne da beregne hvor stor ladning oljedråpene hadde. Millikan utførte forsøket på tusenvis av oljedråper og rapporterte at han fant alltid multipler av en konstant ved beregning av ladningen. Denne konstanten måtte være ladningsmengden til ett elektron. Tilsvarende måtte protonet ha like stor ladning med motsatt fortegn. Millikans rapporteringer førte til en langvarig disputt som i ettertid er kjent som Millikan-Ehrenhaft-kontroversen. Felix Ehrenhaft kunne ikke ignorere anomaliene i Millikans forsøk, med målinger tilsvarende 1/3 av elektronets påståtte ladningsmengde (Rodriguez & Niaz, 2004). Denne kontroversen bidro til at Millikan ikke ble tildelt nobelprisen i fysikk før i 1923, og da for sitt arbeid knyttet til fotoelektrisk effekt.

Ernest Rutherford mottok nobelprisen i kjemi allerede i 1908 for sitt arbeid med radioaktive partiklers kjemi. I 1910 gjennomførte han eksperimenter med alfapartikler mot gullfolie. Noen av alfapartiklene ble avbøyd eller spratt tilbake, men de fleste av partiklene passerte rett gjennom folien. Rutherford konkluderte at det aller meste av atommassen måtte være konsentrert i en positiv kjerne, som avbøyd alfapartiklene ved elektrisk frastøting når de kom nær atomkjernen. Dette betydde at elektronene ikke kunne befinne seg sammen med protonene, slik Thomsons modell tilsa. I 1911 lanserte Rutherford en kjernemodell for atomet, som skilte seg tydelig fra Thomsons rosinbollemodell.

Niels Bohr arbeidet først med Thomson og deretter Rutherford i 1911, men han ble etter hvert mer interessert i hvordan spektrallinjer oppsto. I 1913 publiserte Bohr sine to berømte postulater og en ny atommodell der elektronene er fordelt i baner rundt atomkjernen. Bohr mente at på samme måte som gravitasjonen holder planetene i bane rundt sola, ble elektronene holdt i bane ved den elektriske tiltrekningen med den positive kjernen. Disse banene har ulike energinivå som elektronene kunne bevege seg mellom ved energiutveksling, men elektronene kunne bare ta opp og gi fra seg energimengder lik forskjellen mellom to energinivå. Bohr lyktes kun med å gi en tilfredsstillende modell for hydrogenatomet. Atomer med flere elektroner viste seg å være vanskeligere å beskrive.

I 1916 publiserte Gilbert Lewis en artikkel om kjemiske bindinger. Han påpekte at atomer og molekyler med partall antall elektroner så ut til å være mer stabile enn atomer med elektroner i odde antall. Disse «odde molekylerne» med uparede elektroner kjenner vi i dag som frie radikaler. Artikkelen skulle bli grunnlaget for kovalente bindinger og inneholdt

figurer som senere skulle bli kjent som Lewisstrukturer. Lewis ble nominert til nobelprisen i kjemi 41 ganger, men mottok den aldri. (Nobel Media AB, 2020c)

I 1923 gjorde Arthur Compton eksperimenter der han bestrålte grafitt med røntgenstråling. Grafitt inneholder elektroner som er løst bundet til karbonatomene. Eksperimentene viste at elektroner ble sendt ut fra grafitten, og røntgenstrålingen endret retning og fikk lavere frekvens. Strålingen måtte betraktes som partikler, som gjennomgikk elastiske støt med elektronene.

Louis de Broglie lanserte i 1924 en idé om at Einsteins likning for fotoners bevegelsesmengde kunne omskrives til å finne bølgelengden til *partikler*. Bølge-partikkeldualismen gjaldt altså ikke bare for lys, men også for partikler som elektronet.

I 1925 oppdaget Friedrich Hund en lovmessighet som senere ble kalt Hunds regel. Elektroner fordeles enkeltvis i ledige plasser i like energinivå, før videre påfylling gir parvise elektroner. Samme år formulerte Wolfgang Pauli et prinsipp som sier at to elektroner som okkuperer samme energinivå må ha motsatt spinn.

Erwin Schrödinger bygget videre på tankene til de Broglie og satte i 1926 opp en kvantelikning som beskrev elektronets posisjoner. I 1927 viste Werner Heisenberg at det ikke var mulig å bestemme elektronets posisjon nøyaktig, men at man kunne finne sannsynligheter for at elektronet ville befinne seg i ulike posisjoner. Samme år viste George Paget Thomson at elektronet har bølgeegenskaper ved interferensforsøk. Elektroner som passerer gjennom tynne metallfolier, blir avbøyd på en måte som likner når lys passerer gjennom et gitter. Schrödingers bølgelikning og Heisenbergs uskarphetsrelasjon ble utgangspunktet for atomorbitalmodellen, der elektronenes sannsynlige posisjoner er angitt som elektron-skyer. Paul Dirac jobbet også med kvantelikninger, og teoretiserte i 1927 eksistensen av en partikkel med samme egenskaper som elektronet, men med positiv ladning; et positron.

Linus Pauling publiserte flere artikler om kjemiske bindinger på slutten av 1920-tallet, og introduserte i 1932 begrepene elektronegativitet og hybridiserte atomorbitaler. Paulings elektronegativitetsskala er fortsatt nyttig til å forutsi bindingstype mellom ulike atomtyper. Robert Mulliken arbeidet med spektroskopi og kvanteteori sammen med mange av de ovennevnte på 1920-tallet. Han var også inspirert av flere av de andre, blant andre Pauling. Mullikens samarbeid med Hund ledet fram til molekylorbitalteorien som også kalles Hund-Mulliken-teorien.

Hendelsene og oppdagelsene har i mange tilfeller resultert i nobelpriser i fysikk eller kjemi. Disse nobelprisene, som ble utdelt første gang i 1901, er samlet i Tabell 2.1. Nobelprisene og historieoppsummeringen viser at fysikere og kjemikere arbeidet med elektroner parallelt med hverandre, men studerte og vektla ulike egenskaper. Oppsummert kan vi si at elektronene ble utforsket med tilknytning til følgende tema, gitt i kronologisk rekkefølge:

- Elektrisitet
- Atomteori
- Kvantefysikk
- Kjemiske bindinger

Forskere fra begge fagfelt viste interesse for elektrisitet og atomteori, men fysikere utforsket kvantefysikk videre da kjemikere fattet større interesse for bindinger. Disse fire temaene benyttes som rammer for analysene av lærebøkene i kapittel 5.

Tabell 2.1 Oversikt over tildelinger av nobelpriser.

Tabellen er sortert kronologisk etter tildeling, med priskategori og kort begrunnelse for tildelingen. Hentet fra (Nobel Media AB, 2020a) og (Nobel Media AB, 2020b)

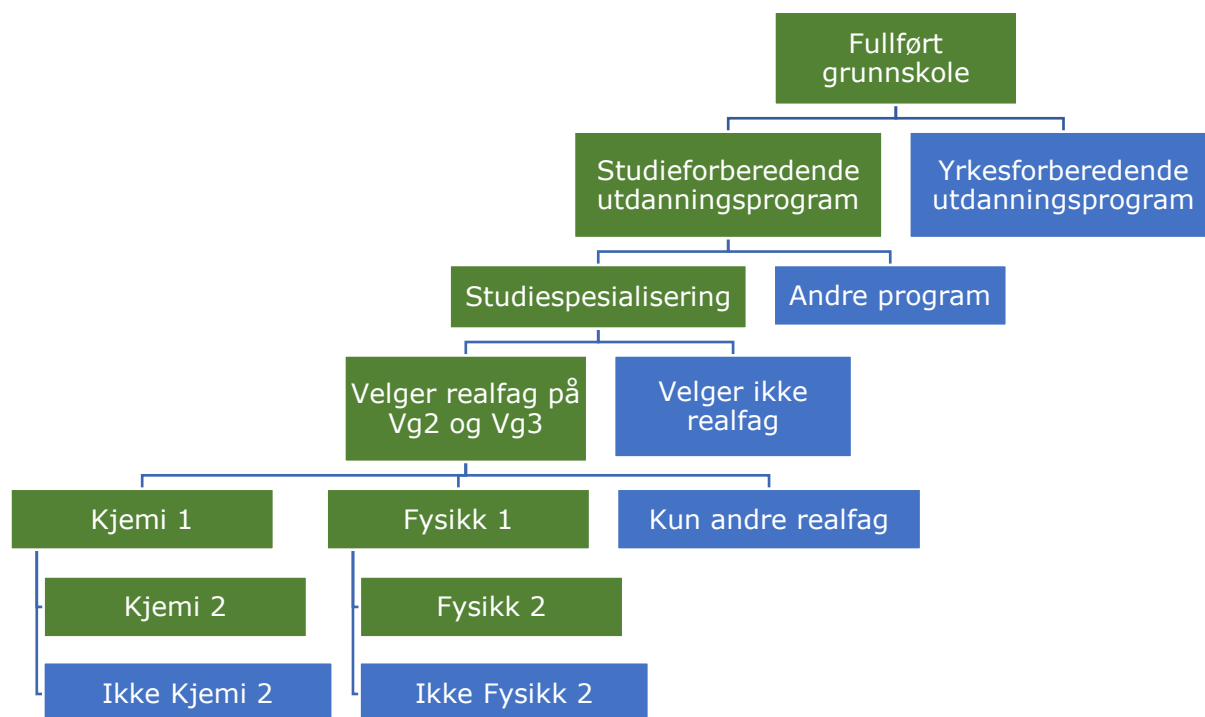
Navn	Priskategori, årstall	Begrunnelse
Wilhelm Röntgen	Fysikk, 1901	Røntgenstråling
Joseph John Thomson	Fysikk, 1906	Elektrisitetsarbeid med gasser
Ernest Rutherford	Kjemi, 1908	Radioaktive partiklers kjemi
Max Planck	Fysikk, 1918	Oppdagelse av kvanteenergi
Albert Einstein	Fysikk, 1921	Fotoelektrisk effekt
Niels Bohr	Fysikk, 1922	Atomenes struktur og stråling
Robert A. Millikan	Fysikk, 1923	Elementærladningen for elektrisitet og fotoelektrisk effekt
Arthur H. Compton	Fysikk, 1927	Oppdagelsen av comptoneffekten
Louis de Broglie	Fysikk, 1929	Oppdagelsen av elektronets naturlige bølger
Werner Heisenberg	Fysikk, 1932	Grunnleggelse av kvantemekanikken
Erwin Schrödinger og Paul Dirac	Fysikk, 1933	Ny atomteori
George Paget Thomson¹	Fysikk, 1937	Oppdagelsen av elektronavbøyning i krystaller
Wolfgang Pauli	Fysikk, 1945	Paulis eksklusjonsprinsipp
Linus Pauling	Kjemi, 1954	Kjemiske bindinger
Robert S. Mulliken	Kjemi, 1966	Kjemiske bindinger, molekylær orbitalmetode

¹ Thomson mottok prisen sammen med Clinton Davisson.

3 Elektronet i læreplaner og undervisning

Naturfag er et obligatorisk fellesfag som er ment å være allmenndannende, men fysikk og kjemi er i utgangspunktet kun tilgjengelig for elever som følger studieforbereende utdanningsprogram i videregående opplæring. Verken fysikk eller kjemi er obligatoriske fag, men de inngår i opptakskravene for en del videre studier. Begge fagene er delt i to programfag som gjennomføres i fast rekkefølge: Fysikk 1 og Fysikk 2, Kjemi 1 og Kjemi 2. Elevene har anledning til å avslutte opplæringen i faget etter programfag 1. Blant elevene som får tilbudet om fagene, er det ofte en beskjeden andel som velger dem, og videre kun en andel av disse elevene som gjennomfører begge programfagene. Det er altså mange avgjørelser som leder fram til fordypning (fullføre begge programfag) i fysikk og kjemi, se Figur 3.1.

I dette kapittelet vil jeg beskrive hvordan elektroner er representert i dagens læreplaner for fysikk og kjemi, og hva som skjer med læreplanene framover. Deretter beskriver jeg hva forskning sier om hvordan lærebøker brukes i realfagsundervisning. Videre gjør jeg rede for hvordan språk, modeller og figurer kan påvirke elevers forståelser for fagstoff innenfor kjemi og fysikk, før jeg forteller om utfordringer knyttet til undervisning med fokus på de fire temaene som ble identifisert i kapittel 2: atomteori, kjemiske bindinger, elektrisitet og kvantefysikk.



Figur 3.1 Valgtre over avgjørelser som forutsettes for å kunne velge programfagene fysikk og kjemi i norsk videregående opplæring.

Grønn farge angir avgjørelsene som fører fram til fagene. Blå farge angir avgjørelsene som utelukker fagene.

Basert på informasjon fra vilbli.no (u.d.).

3.1 Elektroners plass i læreplanene

Opplæring i fag i grunnskole og videregående skal være i samsvar med Læreplanverket Kunnskapsløftet (LK06) (Kunnskapsdepartementet, 2006). Utforming av læreplaner har variert gjennom tidene, både med tanke på faglig innhold og krav til arbeidsformer. Under LK06 har lærerne metodefrihet, og læreplanene uttrykker hvilken kompetanse som forventes av elevene etter gjennomført opplæring på ulike klassetrinn (*kompetansemål*).

Jeg tar utgangspunkt i læreplanene for fysikk og kjemi tilhørende LK06 for å legitimere at elevene skal få opplæring om elektroner. Nye læreplaner tas i bruk fra høsten 2020 (LK20) for grunnskolen og Vg1, og nye læreplaner i programfag for Vg2 og Vg3 kommer i henholdsvis 2021 og 2022. Læreplanene for programfag er ikke klare i skrivende stund.

3.1.1 Fagenes formål

Sjøberg (2009, s. 187) beskriver fire argumenter for at alle skal lære naturfag:

1. Økonomiargumentet: Naturfag som lønnsom forberedelse til yrke og utdanning i et høyteknologisk og vitenskapsbasert samfunn.
2. Nytteargumentet: Naturfag for praktisk mestring av dagliglivet i et moderne samfunn.
3. Demokratiargumentet: Naturvitenskapelig kunnskap er viktig for informert meningsdannelse og ansvarlig deltakelse i demokratiet.
4. Kulturargumentet: Naturvitenskapen er en viktig del av menneskets kultur.

Disse argumentene kan også betraktes som relevante formål i programfagene i fysikk og kjemi. Det står skrevet eksplisitt i de respektive læreplanene at fagene er en del av vår kulturarv, som er i samsvar med Sjøbergs kulturargument. I formålsavsnittet i læreplanen for fysikk finner vi at «(...) fysikk er en del av kulturarven, og at faget må ses i et historisk perspektiv.» (Udir, 2006a). Tilsvarende er dette formulert på følgende måte i avsnittet om formål i læreplanen for kjemi: «Den historiske utviklingen av kjemifaget er en del av kulturarven, og dette bør formidles gjennom opplæringen.» (Udir, 2006b). Dette kan tolkes som at historiske oppdagelser med stor betydning for utviklingene av fagfeltene bør være en del av opplæringen i fagene. Elektronet har betydning for mange tema innenfor fagene, og det er mulig å argumentere for at elektronet skal inkluderes og framstilles i et historisk perspektiv.

Et annet formål med opplæring i programfag, er å gi elevene et godt grunnlag for videre studier. Dette vil både gagne eleven i arbeidslivet senere (jamfør Sjøbergs økonomiargument), og tilføre samfunnet viktig kompetanse. Læreplanen i fysikk (Udir, 2006a) trekker fram:

«Programfaget skal gi forståelse av fysikkfaglige problemstillinger og av prosesser som fører til økt innsikt, noe som er et viktig grunnlag for flere studier i høyere utdanning og for livslang læring. Programfaget fysikk skal på den måten bidra til at samfunnet får tilført kvalifisert arbeidskraft, og fremme innovasjon og utvikling som kan komme næringsliv og samfunn til gode.»

Formålene i læreplanen i kjemi (Udir, 2006b) er i tråd med Sjøbergs økonomi-, nytte- og demokratiargument:

«Programfaget har som formål å skape interesse for kjemi og naturvitenskap, og samtidig gi kunnskaper som er nødvendige for å delta i samfunnsdebatten. I programfaget skal den

enkelte utvikle fortrolighet med naturvitenskapelig tankegang og naturvitenskapelige arbeidsmåter, og kunne vurdere eget arbeid og resultater. Et formål med programfaget er å gi innsikt i kjemiens ulike anvendelser og betydningen av kjemi i hverdagsliv og samfunn. [...] Kunnskaper og kompetanse i kjemi er viktig i mange yrker og kan gi et godt grunnlag for videre studier.»

Avsnittene om formål i læreplanene åpner for at elektronet skal ha en plass i opplæringen. Dette gjelder både med utgangspunkt i framheving av den historiske utviklingen av fagfeltene, og at programfagene skal forberede elevene på videre studier.

3.1.2 Innhold i kompetansemålene

Det faglige innholdet i opplæringene i hvert fag er konkretisert i form av kompetansemål. Disse er fordelt på ulike hovedområder for hvert fag. Kompetansemålene angir hva som forventes av elevene ved endt opplæring i faget, men det er stor variasjon i hvor konkret det faglige innholdet er formulert. Det er også stor forskjell på tradisjonene for innhold og omfang i de ulike kompetansemålene, det vil si hvor mye kunnskap og arbeid hvert kompetansemål legger opp til.

Som vi ser av Tabell 3.1, nevner ingen kompetansemål elektroner eksplisitt. Samtidig forutsetter en forholdsvis stor del av læreplanene kunnskaper om elektroner. Programfagene på Vg3 har større andel kompetansemål som fordrer opplæring om elektroner enn programfagene på Vg2. Om lag hvert femte kompetansemål på tvers av læreplanene i fysikk og kjemi kan ikke oppfylles uten behandling av elektroner. Disse kompetansemålene er gjengitt i Vedlegg A.

Tabell 3.1 Antall og andel kompetansemål som legitimerer opplæring om elektroner

	Fysikk 1	Fysikk 2	Kjemi 1	Kjemi 2
Antall kompetansemål totalt	25	22	24	26
Antall kompetansemål som nevner elektroner eksplisitt	0	0	0	0
Antall kompetansemål som forutsetter kunnskaper om elektroner	4	5	5	7
Andel av kompetansemålene som forutsetter kunnskaper om elektroner	16 %	23 %	21 %	27 %

Det er verdt å bemerke at ettersom det er stor variasjon i omfang mellom kompetansemålene, gir ikke nødvendigvis prosentene i Tabell 3.1 et klart bilde av hvor stor del av læreplanene som implisitt handler om elektroner.

Når kunnskaper om elektroner er nødvendige for å oppfylle et betydelig antall kompetansemål på tvers av fagene, kan man undres over hvorfor de ikke er nevnt eksplisitt. En mulig forklaring er at det henger igjen fra forrige læreplan, som heller ikke nevner elektroner (Kirke- utdannings-, og forskningsdepartementet, 1996). Læreplanene i fysikk og kjemi er nå under revidering, så det er anledning til å inkludere elektronene i de nye kompetansemålene i LK20.

3.2 Lærebøker – en operasjonalisering av læreplanene

All undervisning skal forankres i læreplanene, og lærerne har metodefrihet i LK06. Mange av kompetansemålene gir rom for tolkning, både når det gjelder konkret innhold, omfang og vanskelighetsgrad på lærestoffet. Det er likevel ikke en utbredt praksis at lærere og elever skaper eller samler sitt eget lærestoff med utgangspunkt direkte i læreplanene. Det er unødvendig og tidkrevende å «finne opp kruttet på nytt» selv når det foreligger lærebøker i fagene. Lærebokforfattere gjør et stort arbeid med å produsere læreverk som er i tråd med læreplanene, selv om det ikke lenger er noe kontrollorgan som godkjenner lærebøker i Norge. Men lærebøkene er ikke bare en representasjon av den gjeldende læreplan. De er også representasjoner av en felles fagtradisjon.

I kjemiundervisning på alle nivå er læreboka er det mest utbredte og hyppigst brukte læremiddelet (Justi & Gilbert, 2002). Nelson (2006) peker i sin reviewartikkel på at lærebøker brukes mye i realfagsundervisning, men at bruk av lærebøker ikke er en entydig praksis. Han beskriver at læreboka brukes mye og til flere formål, også i Norge. Elevene møter lærestoff i realfag hovedsakelig fra lærebøkene. Dette gjelder til tross for at elever i fysikk og kjemi ofte leser lite i bøkene (Driscoll, Moallem, & Dick, 1994), ettersom lærerne i Norge i stor grad baserer undervisninga på lærebøkens innhold og struktur (Bachmann, 2005). Nelsons artikkel er publisert i 2006; samme år som LK06 Kunnskapsløftet trådte i kraft i Norge. Det kan derfor ha skjedd endringer i norske læreres praksis knyttet til bruk av lærebøker siden den gang, i tillegg til at vi står overfor en ny læreplanreform.

Basert på disse funnene, kan lærebøker gi et representativt bilde av hvilke tema elever møter i opplæringen, og hva de lærer om disse temaene. Jeg benytter lærebøker som datamateriale og behandler dem som en operasjonalisering av læreplanene. Innholdet vurderes kritisk, men jeg har ikke til hensikt å kritisere verken lærebøkene eller forfatterne.

3.2.1 Representasjoner i lærebøker

Lærebøker i realfag er multimodale. De inneholder tekst, formler, figurer, fotografier, diagrammer, grafer og mye mer. Disse er gjerne representasjoner av ulike *modeller*, det vil si ulike forslag til hvordan ulike konsepter korrelerer (Gericke & Hagberg, 2007). Gilbert (2007) kategoriserer modeller i fire ulike typer, der pensummodeller kan deles inn i vitenskapelige modeller (modeller som vitenskapsmenn og forskere er enige om) og historiske modeller (modeller som er erstattet av en revidert vitenskapelig modell).

Ofte er tema i realfag abstrakte, og modeller og figurer benyttes for å hjelpe leseren til å forstå begreper og prinsipper. Dette betyr likevel ikke at bruk av figurer nødvendigvis er til hjelp for å forstå abstrakt innhold. Hvordan figurene designes og tas i bruk er også av stor betydning. Gouvea og Passmore (2017) tok utgangspunkt i at «utvikling og bruk av modeller» er blitt inkludert i rammeverket for naturfagundervisning i USA. I sin artikkel utfordrer de tenkning om hvordan modeller anvendes i undervisning. Forfatterne viser til andre kilder og forteller om to ulike måter modeller typisk anvendes i realfagsundervisning, og at dette kan legge føringer for om elever enten er aktive konstruktører av kunnskap («model for») eller passive mottakere av informasjon («model of»). De argumenterer for å innta et «model for»-perspektiv i undervisning, slik at modellene kan brukes kunnskaps-genererende, ikke bare deskriptivt.

Österlund *et al.* (2010) undersøkte i hvor stor grad ulike redoksmodeller blir brukt i ulike greiner av kjemi, og om veksling mellom ulike modeller begrunnes. De finner at redoksreaksjoner dekkes i en betydelig andel i alle læreverk. Alle fire kjente redoksmodeller anvendes, i tillegg til det de kaller «alternative representasjoner». De påpeker at modellvalg i biokjemi «skjuler» kjemisk betydning, og modellveksling gjennomføres ofte ubegrunnet i organisk kjemi, som kan bidra til elevers vanskeligheter med å forstå og bruke begrepene. Det vil være interessant å se om eksempler på slik ukritisk veksling mellom modeller også kommer til syne i de ulike temaene i mine analyser.

Bruk av modeller og figurer er særdeles viktig i kjemiundervisning, fordi man lærer om objekter som er så små at de ikke kan observeres direkte. Justi og Gilbert (2002) peker på at modellbruk er essensielt i kjemiundervisning. De beskriver at kjemikere veksler mellom ulike representasjoner nesten uten å tenke over det, og argumenterer for at elever bør undervises eksplisitt om modellens natur og deres bruksområde som tenkeverktøy. Videre forteller de at i en undersøkelse var det kun lærere med en grad i kjemi eller fysikk som kunne diskutere modellbegrepet på en måte som stemte godt overens med hvordan det forstås i academia. Forfatterne påpeker også at lærebøker er det mest brukte hjelpemiddelet for å lære kjemi, men bøkene diskuterer ikke modellbegrepet. Ofte brukes «hybridmodeller» som kombinerer karakteristikker fra flere ulike modeller, noe som er uheldig (Justi & Gilbert, 2002). Dette kan tyde på at det ikke er stor nok grad av bevissthet rundt, eller tydelig nok avklaring av, modellbegrepet innenfor kjemi, og som videreføres til nye generasjoner gjennom lærebøkene.

Bungum (2008) utforsket hvordan figurer i norske fysikklærebøker har endret seg visuelt fra 1943 fram til samtida. Hun har brukt flere konseptuelle verktøy (conceptual tools) som rammeverk for å analysere bildene, inspirert av Bernstein (1971) og Halliday (1996). Det ble blant annet funnet en overgang fra utstrakt brukt av figurer som viser vitenskapelige objekter og eksperimenter på en realistisk måte, til mer bruk av figurer med konvensjoner som i liten grad samsvarer visuelt med hvordan objektet oppfattes direkte med sansene våre. Et annet funn er at utviklingen antyder at den lærendes rolle er endret fra potensiell forsker til observerer eller konsument av fysikk. En annen undersøkelse viste at elevene ikke nødvendigvis bruker bilder i lærebøker i fysikk aktivt når de leser. (Nordvang, 2013)

3.2.2 Språklige bilder: analogier og antropomorfisme

Ulike typer språklige bilder er utbredt i realfagene. Analogier er sammenligninger med andre prosesser for å forklare enkelte egenskaper. Antropomorfisme innebærer å tilegne menneskelige egenskaper til noe som ikke er mennesker (Taber & Watts, 2007), som vilje, følelser eller intensjoner.

Yener (2012) undersøker omfang av og klassifiserer analogier i fysikkbøker for 9.-12. klasse i Tyrkia og konkluderer med at analogier brukes oftere når målet er abstrakt, som omfatter begreper elever har vanskeligheter med å forstå. Forfatteren argumenterer for at analogier er viktige hjelpemidler for å forstå abstrakte begreper og prinsipper, men advarer også om at dårlig samsvar mellom en *analog* (sammenligning) og et *mål* (faglig begrep eller prinsipp) kan føre til misforståelser. Han gjengir et klassifiseringssystem fra Thiele og Treagust (1994). Systemet er delt i syv kategorier, som anvendes til å analysere analogier i lærebøkene. Disse er:

- 1) Analogisk forhold mellom analogen og målet (struktur/ funksjon),
- 2) Presentasjonsformatet i analogien (tekst/bilde),
- 3) Abstraksjonsnivå (konkret/abstrakt analog/mål),
- 4) Analogplassering i forhold til målet (rekkefølge av analog og mål),
- 5) Berikelsesgrad (antall likheter mellom analogen og målet som trekkes fram),
- 6) *Pre-topic orientation* (sammenligning av analog og mål, understreking av analogien som sammenligning), og
- 7) Analogens begrensninger.

Også andre har undersøkt hvordan analogier benyttes i fysikk. Mogstad og Bungum (2020) har undersøkt hvordan ungdomsskoleelever forstår analogier som presenteres for dem i forbindelse med elektrisitet.

Taber og Watts (2007) utforsker bruk av antropomorfistisk språk i elevers forklaringsmodeller knyttet til kjemiske bindinger. Dette innebærer å tillegge ikke-levende objekter menneskelige egenskaper. Artikkelen inneholder utdrag av intervjuer der de utfordrer tre intervjuobjekters formuleringer om kjemiske bindinger. Artikkelen gjengir også hvordan antropomorfisme og animisme (å betrakte livløse objekter som om de var levende) er representert i eksempler fra vitenskapshistorie og i elevforklaringer, og hvordan dette har blitt utforsket og kritisert i andre kilder. Forfatterne foreslår også å klassifisere to typer antropomorfisme; svak og sterk. Dorion (2011) fremlegger funn fra en intervjustudie med fokus på bruk av antropomorfistiske uttalelser fra et utvalg elever, for å se om slike formuleringer avtok med sterkere kunnskapsgrunnlag. Forfatteren tar utgangspunkt i daværende nyere forskning som indikerte at bruk av teleologisk antropomorfisme blant annet var mer avhengig av kunnskapsnivå enn alder, som tidligere forskning tilsa. Intervjuer ble gjennomført med 24 kjemielever om ulike tema før og etter at de ble undervist, og en stund senere. De fleste hadde antropomorfistiske ytringer, som ble klassifisert som svake eller sterke. Forfatteren fant at elevene i mindre grad brukte antropomorfistiske uttalelser da de ble tryggere faglig. Det er lite som tilsier at denne studien kun gjelder britiske elever, så lignende resultater kan forventes ellers også.

3.3 Kjente didaktiske utfordringer knyttet til de ulike rammetemaene

Som nevnt i kapittel 2, analyseres lærebøkene med fire temaer som rammer: atomteori, kjemiske bindinger, elektrisitet og kvantefysikk. Nedenfor gjengir jeg noen eksempler på utfordringer knyttet til læring og undervisning av hver av disse temaene.

3.3.1 Atomteori

Hidayat *et al.* (2019) viser at elever fra 10.-12. klassetrinn i Indonesia har ulike forståelser av atomstrukturer og kjemiske bindinger, som kan sorteres i tre grupper. Elevbesvarelsene avslørte at de hadde sprikende forestillinger om hvorfor ytterelektronet i et natriumatom kan forlate atomet. I dette eksempelet tegnet alle atomene med Bohrs atommodell. Når elevene skulle forklare ionebinding ble reaksjonslikninger og tegninger av atomkuler benyttet. Flere tegnet vannmolekyler med kalottmodeller og med Lewisstrukturer (elektronprikkmodeller). Denne studien viser at elever behersker å veksle mellom ulike

representasjonsformer, selv om de ikke alltid er riktige (formelenheter i salter vist som parvise atomer i molekyllignende enheter, rettlinjede vannmolekyler når elektronprikk-modeller tegnes). I svenske lærebøker finnes det også figurer som kan inspirere elever til å tegne tilsvarende feilrepresentasjoner (Bergqvist, Drechsler, De Jong, & Chang Rundgren, 2013).

3.3.2 Kjemiske bindinger

Bindinger er et sentralt konsept i kjemi som handler om hvordan og hvor sterkt atomene knyttes sammen. Bindingstype på mikronivå bestemmer egenskaper på makronivå, og er avhengig av antall og fordeling av elektroner i atomene. Kjemiske bindinger kategoriseres som enten sterke (de vanligste eksemplene i norske lærebøker er kovalente bindinger, ionebindinger og metallbindinger) og svake (f.eks. dipolbindinger, hydrogenbindinger, van der Waalske krefter). I denne teksten avgrensers jeg temaet til de sterke bindingene, fordi elektronet spiller en mer sentral rolle.

Elevers oppfatning av ulike naturfenomener vil være påvirket av forutliggende ideer. Disse ideene er vanskelig å rokke ved selv om de avviker fra allmennaksepterte vitenskapelige synspunkt, eller ikke stemmer overens med vitenskapelige forklaringer. Kjemiske bindinger er ofte vanskelig for elevene, og det er funnet mange eksempler på utbredte misoppfatninger om temaet (Özmen, 2004). Misoppfatningene handler både om hva bindinger er, og hvordan og hvorfor de oppstår. Flere studier peker på at elever ofte har teleologiske eller antropomorfistiske forklaringer på kjemiske bindinger (Taber & Watts, 2007) (Taber & Coll, 2002).

Bergqvist *et al.* (2013) tar utgangspunkt i at forskning viser at elever synes temaet kjemiske bindinger er vanskelig, og undersøker hvordan ulike representasjoner i lærebøker korrelerer med vanlige misoppfatninger (*alternative conceptions*) om temaet. Ved hjelp av 11 kategorier som analytisk rammeverk ble det gjennomført innholdsanalyse av fem læreverker. De kom fram til at lærebøkene bruker representasjoner av kjemiske bindinger på måter som kan forårsake elevenes misoppfatninger. Ett eksempel jeg vil trekke fram, er at flere lærebøker introduserer ionebinding ved å vise elektronoverføring mellom to nøytrale atomer for å danne ioner. Videre skisserer Bergqvist og Chang Rundgren (2017) hvilken innflytelse de samme lærebøkene har på 10 læreres utvelgelse og bruk av representasjoner for kjemiske bindinger, og viser hvordan disse kan vanskeliggjøre elevenes forståelse. Innhold i bøkene og momenter fra intervjuene ble knyttet opp mot misoppfatninger og vanskeligheter for forståelse (ACDU: *alternative conceptions and difficulties understanding*) hos elever, kjent fra annen litteratur. Forfatterne viser klar sammenheng mellom hvordan modeller representeres i lærebøkene og i lærernes undervisning. Det er nærliggende å tro at samme studie ville gitt tilsvarende resultater i Norge.

I en litteraturbasert artikkel tar Lang (2018) utgangspunkt i utbredt lærestoff knyttet til oppbygning av metaller i kjemi og fysikk, og peker på inkompatibilitet i forklaringsmodeller på tvers av fagene. Artikkelen forteller at elektronsjømodellen, som er en vanlig modell for oppbyggingen av metaller brukt i kjemi, ikke er tilfredsstillende for å beskrive og forklare ulike egenskaper ved metaller. Videre peker artikkelen på en alternativ modell som kalles «myk kule»-modellen (*soft sphere model*), og redegjør for hvordan den bedre forklarer ulike egenskaper ved metaller og hvordan elektronsjømodellen kommer til kort.

3.3.3 Elektrisitet

Elektrisitet er et tema der fagfeltene fysikk og kjemi møtes fra ulike perspektiv. Elektrokjemi anses å være blant de vanskeligste temaene innen kjemifaget. De Jong og Treagust (2003) framhever at det elevene trenger en forståelse av redoksreaksjoner, som må anvendes på elektrokjemiske celler. De trekker også fram at elevene oppleve særlig vekslning mellom ulike synonyme begreper og ulike representasjonsformer utfordrende. Redoksreaksjoner oppleves utfordrende for mange både å lære og å undervise (Österlund, Berg, & Ekborg, 2010).

Wong og Chu (2017) undersøker multiple representasjonsformer i konteksten elektrisk strøm. De tar utgangspunkt i at elever ikke alltid forstår hensikten med multiple representasjonsformer, og analyserer 40 fysikkbøker før de tilbyr oppgaver for utforskende undervisning. Forfatterne tar utgangspunkt i ett rammeverk for kvalitetsvurdering av multiple representasjoner der de tillegges tre hovedfunksjoner; utfylle informasjon, begrense tolkning, og konstruere dypere forståelse. For å knytte analysen tydeligere til elektrisk strøm, anvendes et annet rammeverk for analyse av fem konseptuelle elementer i multiple representasjoner; objekt, natur, årsak, matematisk likning og betingelse. Forfatterne drøfter alternative oppfatninger som kan utvikles på bakgrunn av hver av de fem elementene, slik de knyttes til lærebøkene. De oppsummerer at lærebokforfattere bør forbedre sin bruk av multiple representasjoner for temaet elektrisk strøm. Forfatterne nevner at blant annet bruk av ulike konvensjoner i kjemi- og fysikkfagene kan skape begrepsmessige utfordringer for elevene. Forfatterne nevner også en studie som viser at noen av elevene som tar både fysikk og kjemi, har vanskelig for å forstå konseptet elektrisk strøm, sammenlignet med elever som bare tar kjemi.

3.3.4 Kvantefysikk

En fenomenografisk studie fra Etiopia undersøkte 25 bachelorstudenters forståelse av bølge-partikkeldualiteten og usikkerhetsprinsippet (Ayene, Kriek, & Damtie, 2011). Studien viste at studenter holdt fast ved forståelse og modeller fra klassisk fysikk selv etter at de hadde fullført et kurs i moderne fysikk og et introduksjonskurs i kvantemekanikk. Resultatene samsvarer med en norsk undersøkelse som viste at elever i liten grad forstår bølge-partikkeldualiteten etter undervisning om kvantefysikk (Olsen, 2002). Olsen (2002) spurte 236 elever og fant at 77 % av elevene valgte alternativet som beskriver lys som både bølger og partikler, men bare 36 % valgte samme beskrivelse av elektroner. Hele 59 % av elevene svarte at de anså elektroner kun som partikler.

Niaz og Marcano (2012) gjennomførte analyser av lærebøker for generell kjemi på universitetsnivå for å undersøke hvordan bølge-partikkeldualiteten framstilles. De analyserte 128 lærebøker publisert fra 1950-tallet til samtida. Lærebøkene ble vurdert kvalitativt basert på at de møtte hvert av 6 kriterier på tre ulike nivå; tilfredsstillende, nevnt eller ikke nevnt. De fant at kun to av kriteriene ble møtt på tilfredsstillende nivå, og i beskjedent omfang: henholdsvis 20 % og 3 % av lærebøkene.

4 Metode

4.1 Utvelgelse av lærebøker og av relevant innhold

Til datamaterialet ble lærebøkene med størst markedsandel valgt for hvert av programfagene i kjemi og fysikk. Det vil si at jeg har valgt å analysere læreboka som har størst utbredelse i skolen innenfor hvert fag. Disse bøkene har kommet i flere utgaver og opplag, og kan regnes som godt kjent av faglærere som underviser i disse programfagene. Referanser for lærebøkene er gitt i Tabell 4.1, sammen med hver sine koder, som er brukt til å omtale lærebøkene i løpende tekst videre.

Tabell 4.1 Lærebøker og henvisningskoder.

Oversikt over hvilke lærebøker som er analysert, og hvilke koder som er brukt for å henvise til lærebøkene i teksten.

Programfag	Referanse lærebok	Kode
Fysikk 1	Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2017). <i>Ergo Fysikk 1</i> (2. utg.). Oslo: Aschehoug.	Fy1
Fysikk 2	Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2012). <i>Ergo Fysikk 2</i> . Oslo: Aschehoug.	Fy2
Kjemi 1	Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2018). <i>Aqua 1 Kjemi 1 Grunnbok</i> (2. utg.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.	Kj1
Kjemi 2	Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2011). <i>Aqua 2 Kjemi 2 Grunnbok</i> . Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.	Kj2

4.1.1 Utvelgelse av innhold fra lærebøkene

Jeg foretok en førstegangssortering ved manuell gjennomgang av alle fire bøker fra perm til perm. Alle sider eller delkapitler som nevnte elektroner ble plukket ut og scannet til digitale filer for enklere behandling. Dette ga et datamateriale på omtrent 260 sider totalt som omfattet både tekst, figurer og likninger. Materialet ble deretter gjennomlest digitalt ved hjelp av programvaren Nvivo, og en prosess med sortering og redusering ble gjennomført med inspirasjon fra Rennstam og Wästerfors (2015).

4.2 Analyseprosessen

Jeg gjennomførte en kvalitativ lærebokanalyse, og valgte en empirinær metode med trekk fra «grounded theory» (Alvesson & Skjöldberg, 2017) (Fejes & Thornberg, 2019). Denne framgangsmåten ble valgt for å ha en mer åpen tilnærming, istedenfor å låse hva som skulle analyseres på forhånd og risikere at interessante momenter ble ekskludert fra datamaterialet.

Analyseprosessen ble ikke gjennomført med koding og kategorisering, men mer dynamisk. Jeg gikk gjennom lærebøkene gjentatte ganger for å undersøke hva som var interessant å analysere videre, og sorterte og reduserte materialet til noen tema utkrystalliserte seg. Dette ble gjort i flere sykluser fram til jeg satt igjen med fire overordnede tema. Disse temaene har jeg brukt som rammer for analysene, og fant annen litteratur om dem fortløpende.

Datamaterialet ble analysert i et didaktisk perspektiv. Det vil si at jeg ville sette meg inn i en elevs ståsted ved gjennomgang av lærebøkens innhold. Tekst og figurer ble analysert separat, men også sett i sammenheng.

4.2.1 Analyse av tekst

Jeg ville undersøke hvordan språk påvirket framstillingene av elektronene. Teksten i lærebøkene ble saumfart for beskrivelser av elektronets natur og funksjon i de ulike kontekstene. Inspirert av Taber og Watts (2007) ville jeg avdekke omfanget av antropomorfismer i lærebøkene. Jeg ville også undersøke bruk av analogier, og om begge disse typene språklige bilder ville være til hjelp eller hindring for elevenes forståelse. For å avgjøre dette, måtte jeg vurdere om de språklige virkemidlene ga mening både hver for seg og på tvers av de ulike temaene, og om de stemte overens eller motstred hverandre.

4.2.2 Analyse av figurer

Figurene som ble gitt i forbindelse med elektronrelaterte tema var i all hovedsak illustrasjoner og tegninger, ikke fotografier. Figurene ble analysert ved hjelp av to dimensjoner som bygger på Bernsteins (1971) arbeid: 1) *content specialisation*, som kan oversettes til innholdsspesialisering, og 2) *formality* som oversettes til formalitet. Bungum (2008) beskriver disse dimensjonene som deler av et rammeverk for analyser av bilder i fysikk-lærebøker. Den tredje dimensjonen (innramming) er mindre relevant i denne sammenhengen. Når figurene typisk vil vise hva som foregår på mikronivå, er det vanskelig og muligens lite hensiktsmessig å designe figurer som inviterer observatøren til å være en «aktiv deltaker» i det som avbildes.

Innholdsspesialisering handler om hvordan fenomener blir visualisert i figurene kontra hvordan de oppfattes med sansene våre. Høy grad av innholdsspesialisering antyder stor forskjell mellom representasjon og persepsjon, og innebærer typisk utstrakt bruk av *conventions* (for eksempel symboler, representasjonsformer). Derfor klassifiseres slike figurer som *konvensjonelle*. Figurer som visualiserer fenomener på en måte som ligger tett opp til våre sanseintrykk, klassifiseres som *realistiske*. Inndelingen i konvensjonelle og realistiske figurer er ikke dikotom; mellom disse klassifiseringene finner vi også hybrider.

Den andre dimensjonen, formalitet, viser til abstraksjonsgrad i bilder. *Lav formalitet* innebærer at det som skal kommunisere i bildet er avgrenset til de konkrete trekkene til det som avbildes. Hvis bildet forsøker å fange en dypere mening eller generell essens i det som er avbildet, har bildet *høy formalitet*.

4.3 Troverdighet

Innhold i lærebøkene og tolkning av ulike sekvenser ble diskutert fortløpende med veilederne i forskningsprosessen. Dette har brakt inn flere nyanser i analysene og ført til mer eksplisitte tolkninger.

Det ble ikke foretatt en reliabilitetstest for å se om analyser er konsistente og uavhengig av hvem som har gjennomført analysene, ettersom koding ikke er brukt i denne studien. Analysene har vært mer utforskende, og diskusjonene med veilederne har bidratt til samstemte tolkninger og gitt arbeidet større reliabilitet.

Innholdet i lærebøkene er gjengitt i relativt stort omfang, og ofte i sitatform. Det er derfor mulig for leseren å «følge sporene mine» og selv ta stilling til beskrivelsene og tolkningene mine.

5 Resultater og analyse

Analysene av lærebøkene er gjort innenfor rammene av de fire temaene gitt i kapittel 2. I dette kapittelet presenteres resultater og analyser for hvert tema, under separate overskrifter. For hvert tema er både språk og figurer analysert med tanke på forståelse av elektroner. Temaene er ordnet basert på strukturen i lærebøkene, og kommer i denne rekkefølgen:

- 5.1 Atomteori
- 5.2 Kjemiske bindinger
- 5.3 Elektrisitet
- 5.4 Kvantefysikk

Hvert av de fire delkapitlene innledes med en boks med relevante kompetansemål fra læreplanene, merket med hvilket fag hvert kompetansemål er hentet fra. Alle kompetansemålene er gjengitt ordrett fra Udir (2006a) og (2006b).

Atomteori og elektrisitet er behandlet i begge fag, og gir grunnlag for sammenligning av fagene. Kjemiske bindinger er essensielt for forståelse av stoffers egenskaper og kjemiske prosesser. Temaet er behandlet eksplisitt kun i kjemibøkene, men teori om krefter fra fysikk er nødvendig for å kunne forklare hva bindinger er og hvorfor de oppstår. Det er også gitt noen beskrivelser av bindinger i den ene læreboka i fysikk. Kvantefysikk hører hjemme i fysikk, selv om referanser til kvantefysikk også er inkludert i den ene læreboka i kjemi. Kjemiske bindinger og kvantefysikk bidrar til nyansering av hvordan elektronene framstilles i hvert av fagene.

Jeg har tilstrebet å bruke formuleringer som ligger tett opp til de vi finner i lærebøkene når jeg har gjengitt innhold fra dem, uten særlig tolkning. Det skal derfor være trygt å anta at det er bokas stemme som er gitt i resten av kapitlene. Med jevne mellomrom har jeg likevel gitt mine egne kommentarer der jeg har følt særlig behov for det, for eksempel for nødvendige oppklaringer. Dette har jeg prøvd å gjøre tydelig ved ta i bruk første persons pronomen, eller gitt kommentarene mine i fotnoter.

I løpende tekst omtales lærebøkene med kodene gitt i Tabell 4.1 for leservennlighet, men henvisninger og sitater refereres i APA-stil.

5.1 Atomteori

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne:

Fysikk 1

- beskrive Bohrs atommodell og beregne frekvenser og bølgelengder til spektrallinjer i emisjons- og absorpsjonsspektre ut fra den

Kjemi 1

- gjøre rede for den historiske utviklingen av atombegrepet og beskrive og sammenligne Bohrs atommodell og dagens atommodell

Boks 5.1: Kompetansemål om atomteori.

Vi ser av Boks 5.1 at kompetansemål som omhandler atomteori trekker fram Bohrs atommodell, men fagene vektlegger innhold ulikt. I lærebøkene er atomteori det første temaet elevene møter i Kj1, og i Fy1 finner vi atomteori i kapittel 6 *Atomfysikk* – midt i boka. I både Fy1 og Kj1 er det skrevet en innledning med at atomet ble teoretisert allerede i antikken, og en redegjørelse for oppdagelsene av elektronet og protonet, før lærebøkene går i ulike retninger. Nedenfor gir jeg først en oppsummering av hvordan elektronets natur framstilles gjennom kapitlene om atomteori i lærebøkene, og deretter gjør jeg rede for hvordan jeg har kommet fram til disse resultatene.

5.1.1 Hvordan atomteori bidrar til å belyse elektronets natur

Innenfor atomteori finner vi mindre forskjeller mellom hvordan elektronene framstilles i kjemi og fysikk. Noen av disse skyldes at læreplanene vektlegger innhold ulikt. Andre forskjeller viser ulike framstillinger av samme innhold. I all hovedsak framstilles elektronene som materielle objekter med ladning og masse. Ladningsmengden til et elektron er like stor som hos et proton, men med motsatt fortegn. Massen er mye mindre enn i atomer. Elektroner kretser rundt en atomkjerne (Bohrs atommodell), eller svirrer rundt i elektronskyer (atomorbitalmodellen). Det vektlegges i både Fy1 og Kj1 at atomer har kvantisert energi. De kan «hoppe» fra ett energinivå til et høyere nivå ved absorpsjon av energikvanter (lysfotoner), for deretter å «falle» tilbake og emittere lys med bestemte bølgelengder. Dette henger sammen med elektronenes avstand fra atomkjernen i Bohrs atommodell, og forklarer emisjons- og absorpsjonsspektre. Så langt er innholdet i lærebøkene i stor grad overlappende. Kj1 går videre og presenterer en ny atommodell, der elektronenes posisjoner ikke kan bestemmes absolutt. Det er mulig å anslå områder hvor det er mer enn 90 % sannsynlig at elektronet befinner seg. Disse områdene kalles orbitaler.

5.1.2 Oppdagelsen av elektronet

Både Fy1 og Kj1 innleder atomteorikapitlene med en historisk vinkling på atombegrepet. Deretter gjøres det rede for oppdagelsen av elektronet gjennom Thomsons berømte forsøk. Lærebøkene beskriver eksperimentet med høy spenning gjennom et (tilnærmet) vakuum i et glassrør, og inkluderer figurer som viser apparaturen. Likevel er det ulike beskrivelser i de to bøkene. Kj1 beskriver at Thomson oppdaget at den negative metallplata sendte ut partikler i det evakuerte røret. Partiklene lot seg avbøye i et magnetfelt og måtte derfor

være negativt ladde. Kj1 gjengir at dette skjedde uansett hvilket metall som ble brukt. Disse partiklene – elektronene – måtte derfor finnes i alle grunnstoffer.

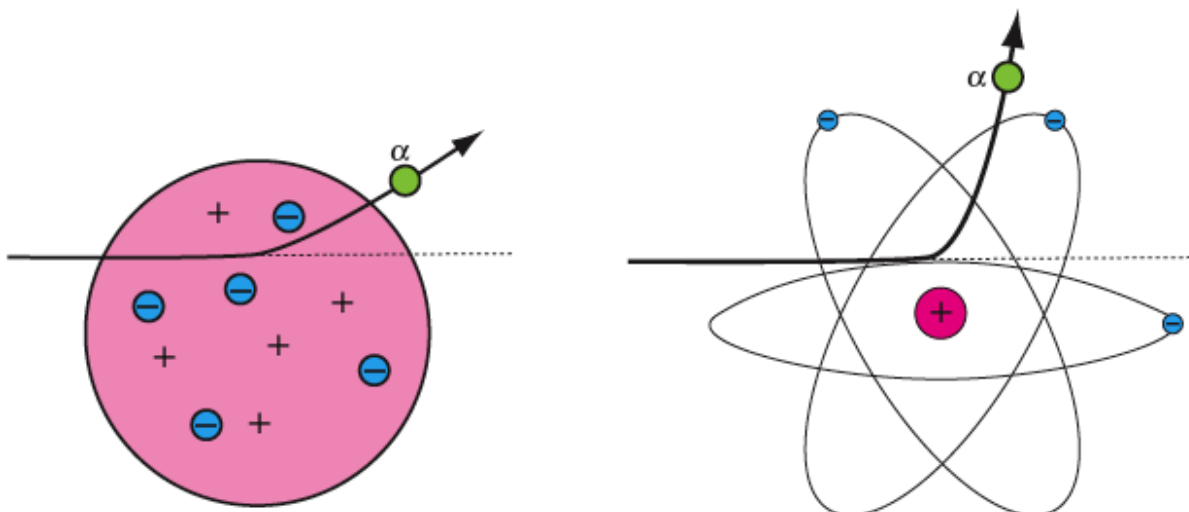
Fy1 gjengir mer detaljert enn Kj1 hva Thomson kunne observere og hvilke konklusjoner han kom til. Ved høy nok spenning ville det gå en strøm som lyste opp gassen i røret. Begge bøker forteller at strømmen besto av negativt ladde partikler som Thomson kalte elektroner. De hadde masse omtrent lik 1/2000 av hydrogenatomet ifølge Fy1, uttrykt som 0,0005 u i Kj1. Bøkene er enige i at Thomson oppdaget elektronet som negativt ladde partikler gjennom eksperimentene sine, men er ikke samstemte om hvorvidt det var gass i røret, eller hvilke observasjoner Thomson faktisk gjorde.

Vi ser at lærebøkene både for fysikk og kjemi introduserer elektronene som materielle objekter med utstrekning tidlig i forbindelse med atomteori, og trekker fram egenskapene ladning og masse, men beskriver historien noe ulikt.

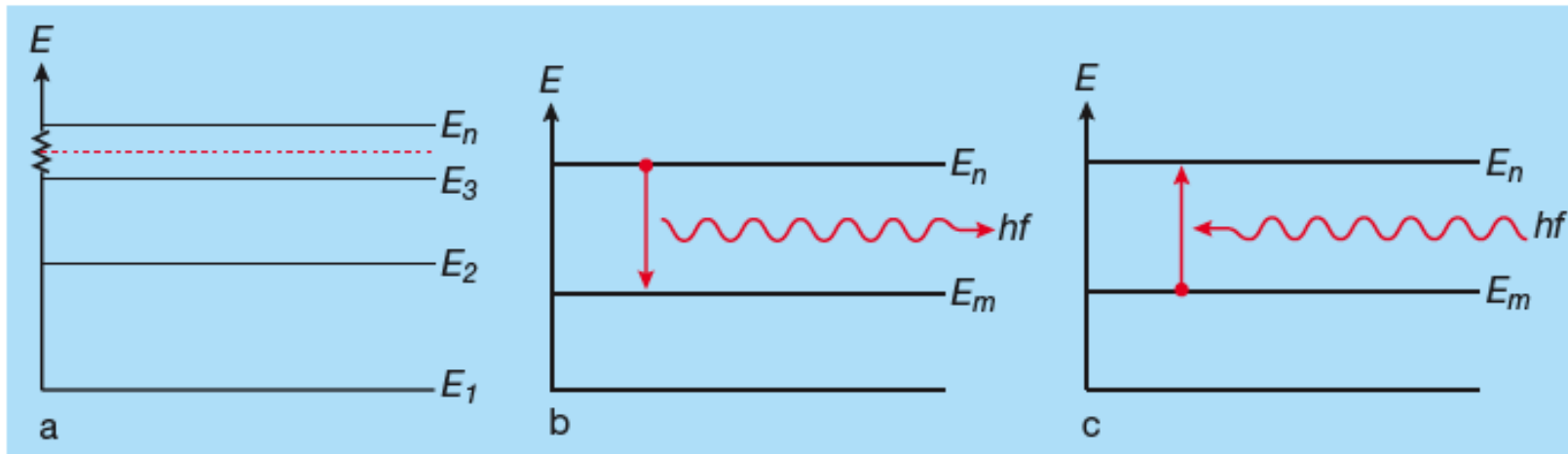
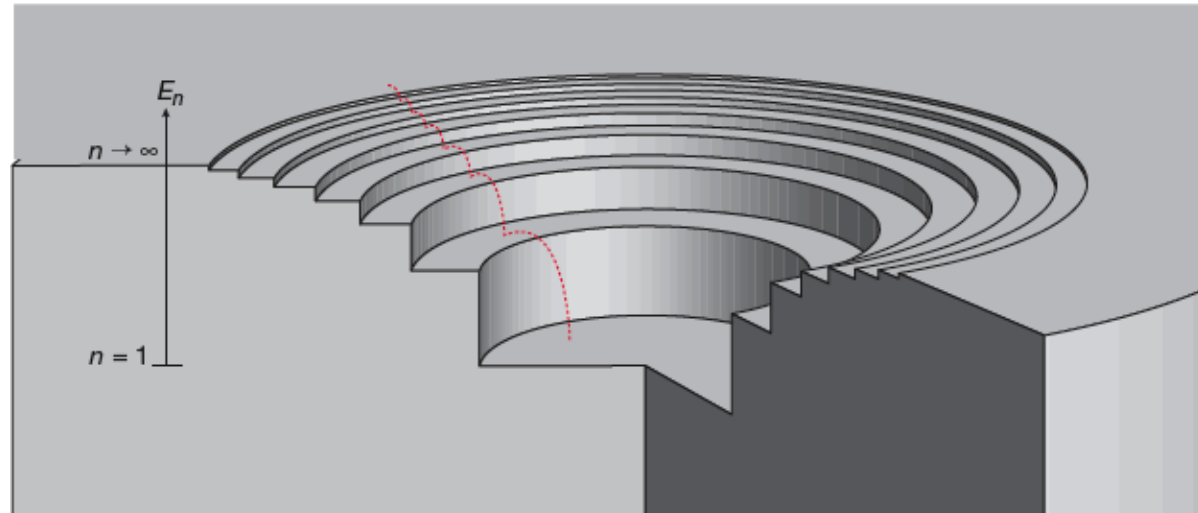
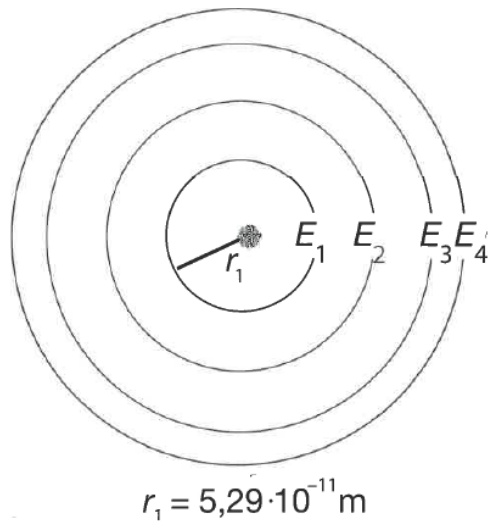
5.1.3 Atommodeller

5.1.3.1 Historisk utvikling av atommodeller i Fy1

Fy1 går kronologisk fram og beskriver Thomsons og Rutherfords atommodeller før fokuset flyttes over på kvantisert energi og Bohrs atommodell med utgangspunkt i spektrallinjer. De to førstnevnte modellene illustreres med figurer som tydelig viser elektroner som partikler (runde, blå) med negativ ladning (minustegn). Disse er illustrert ved siden av hverandre i Fy1, og gjengitt i Figur 5.1. Figuren forsøker også å kommunisere at Rutherfords gullfolieforsøk ble brukt som argument for at en kjernemodell av atomet stemte bedre overens med virkeligheten enn Thomsons modell.



Figur 5.1 Atommodeller fra Fy1, bestrålt med alfapartikler. Thomsons atommodell (t.v.) og Rutherfords kjernemodell. Thomsons modell kunne ikke forklare spredningsmønsteret i Rutherfords gullfolieforsøk på en tilfredsstillende måte. (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 178)



Figur 5.2 Representasjoner av Bohrs atommodell gjengitt fra Fy1.

Øverst t.v.: Elektronenes mulige baner i et hydrogenatom, angitt som energinivåer i ulike avstander fra atomkjernen. Øverst t.h.: Atomets energinivåer sammenlignet med en trapp. Nederst: Aksediagram for energinivåer i et atom. (a) Atomet har kvantiserte energinivå. (b) Atomet får lavere energinivå ved emisjon av lys, angitt ved hf . (c) Atomet får høyere energinivå ved absorpsjon av lys.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, ss. 182-183)

Videre forteller Fy1 om kvantisert energi og fotoner som bakgrunn for Bohrs atommodell. Basert på Plancks kvantehypotese, utleder Bohr postulater om energinivåer elektronene kan innta, der energinivået øker med avstand fra atomkjernen. Bohr forestilte seg atomer som solsystem med elektronene fordelt i baner i ulike avstander fra atomkjernen. Istedenfor gravitasjon er det den elektriske tiltrekningen mellom den positive kjernen og det negativt ladde elektronet som holder elektronet i bane. Men elektronene kan også løftes til høyere energinivå. Dersom elektroner faller til lavere energinivå, sendes energikvantet ut i form av fotoner. Dette er illustrert på ulike måter i Figur 5.2. Fy1 beskriver at dersom elektronet mottar nok energi til å bli løsrevet fra kjernen, blir atomet *ionisert*.

Fy1 utleder også Balmers formel fra Bohrs formel for energinivåene i hydrogenatomet. Balmerserien er en god matematisk tilnærming til bølgelengder for synlig lys som emitteres fra hydrogenatomet ved elektroners sprang til det nest innerste elektronskallet.

Bohrs atommodell er den siste som inkluderes i Fy1 før boka beskriver ulike fenomener tilknyttet emisjon og absorpsjon, som vi ser at er i tråd med kompetansemålet gjengitt i Boks 5.1.

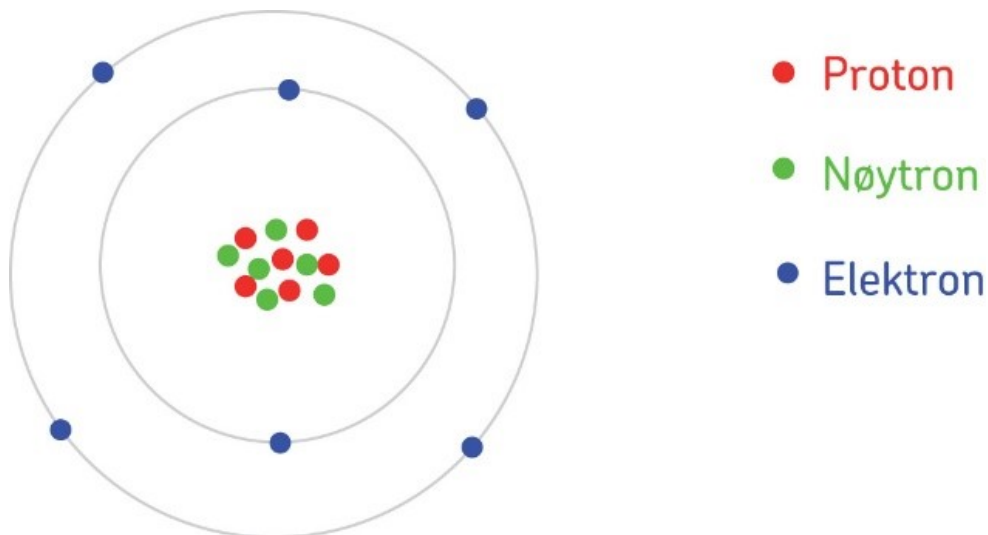
5.1.3.2 Historisk utvikling av atommodeller i Kj1

Rekkefølgen er en annen i Kj1 enn i Fy1 etter beskrivelser av oppdagelsene av elementærpartiklene (elektronet, protonet og nøytronet). Thomsons og Rutherfords modeller blir ikke gjengitt eksplisitt i Kj1, men vi finner dette utsagnet: *Det var delte meninger om denne ladningen var fordelt jevnt utover i atomet, eller om det fantes «en hard kjerne» av positiv ladning.* (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 21)

De neste 16 sidene i Kj1 er viet til grunnstoffer, isotoper, elektronstruktur, oktettregelen, ulike kategorier av kjemiske forbindelser, ioneladninger og bølge-partikkel-dualismen for lys. Etter dette beskrives sammenhengen mellom Bohrs atommodell og spektrallinjer.

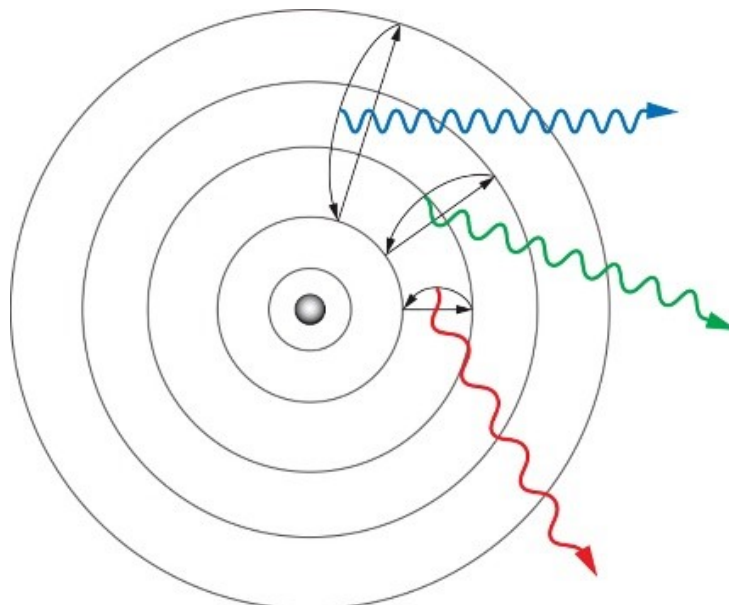
To ulike representasjoner av Bohrs atommodell er gitt i Kj1, først i forbindelse med oktettregelen, og deretter i forbindelse med spektrallinjer. Figur 5.3 viser et karbonatom, der de ulike elementærpartiklene er representert ved ensfargede sirkler i ulike farger. Elektronene er fordelt i ulike antall i sirkelformede baner eller elektronskall rundt kjernen etter prinsippet $2n^2$, der n er skallnummeret. Skallene er betegnet med bokstaver fra innerst til ytterst med K, L, M og så videre. Elektronene i figuren er tegnet i samme størrelse som kjernepartiklene, til tross for at læreboka tidligere forteller at elektronenes masse utgjør kun 0,0005 u mot protonets og nøytronets masse på omtrent 1 u.

I Figur 5.4 er hydrogenatomet tegnet i samsvar med Bohrs atommodell med tilnærmet lik avstand mellom elektronskallene. Protonet i atomkjernen er tegnet med skyggelegging som gir tydelig inntrykk av at det er kuleformet. De fargede bølgestrekene representerer lys med ulik energi som emitteres når elektronet faller tilbake til det *nest innerste* skallet etter eksitasjon. Dette skallet er valgt fordi lyset som emitteres, har bølgelengder som gir synlig lys. Lysbølgene har ulike farger og bølgelengder som samsvarer med forskjellene i energi mellom elektronskallene. Rødt lys emitteres ved det korteste fallet og har lengst bølgelengde og lavest energi, mens blått lys har kortest bølgelengde og høyest energi, og emitteres ved elektronets lengste fall tilbake til grunntilstanden.



Figur 5.3 Bohrs atommodell i Kj1: Et frittstående karbonatom. Atomet $^{12}_6\text{C}$ har seks protoner og seks nøytroner i atomkjernen, to elektroner i K-skallet og fire elektroner i L-skallet. (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 28)

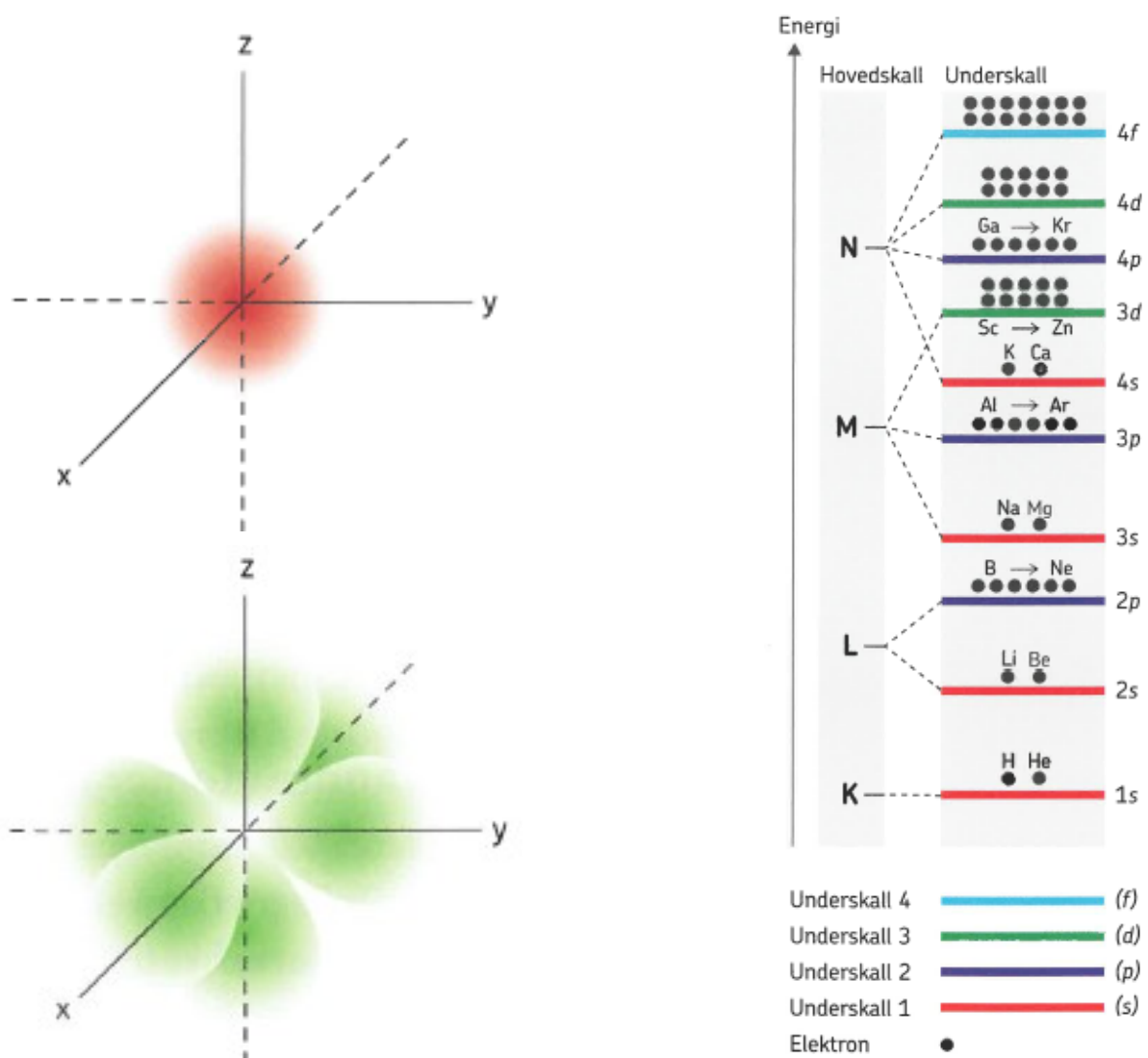
Vi ser at Figur 5.4 samsvarer med beskrivelser av Balmerserien i Fy1. Videre viser Kj1 bilder av et utvalg metalleres karakteristiske flammefarger og påpeker at eksitasjon med påfølgende emisjon av lys forklarer både hvorfor disse fargene oppstår og atomers ulike linjespektre.



Figur 5.4 Bohrs atommodell for hydrogen, i Kj1. Illustrasjonen viser eksitasjon av elektronet i et hydrogenatom fra skall nr 2 til ulike nivå, og emisjon av lys med ulike farger når elektronet går tilbake (deeksitasjon). (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 40)

Mot slutten av atomteorikapittelet i Kj1 blir en annen atommodell presentert på bakgrunn av to særlig viktige bidrag: Schrödingers bølgelikning og at Heisenberg viste at det ikke er mulig å bestemme et elektrons posisjon nøyaktig (se side 63 for videre beskrivelser). Disse er en videreføring av de Broglies tanker om at bølge-partikkel-dualismen for lys kunne overføres til at elektroner også kunne ha bølgeegenskaper. Den nye modellen har elektron-skyer som viser hvor det er mest sannsynlig å finne elektronene (elektrontetthetsdiagram). Skyene er ulike løsninger på Schrödingerlikningen og tilsvarer energinivåer, som kalles atomorbitaler i denne modellen.

Orbitalene har fått navn *s*, *p*, *d* og *f*, og framstilles som områder med ulike tredimensjonale former og ulike plasseringer i forhold til kjernen. Figur 5.5 viser to eksempler til venstre på hvordan orbitalene kan se ut. Til høyre i figuren ser vi hvordan energinivåene i orbitalene samsvarer med elektronskallene fra Bohrs atommodell.



Figur 5.5 Atomorbitaler i Kj1.

Øverst: En 1s-orbital med sannsynlighetstetthet for elektronene angitt i rødt. Nederst: Tre 2p-orbitaler angitt i grønt. Til høyre: Rekkefølgen orbitalene fylles opp fra laveste energinivå, med oversikt over hvilket elektron som fylles inn sist for hvert atom i grunntilstanden. Orbitalene er sammenholdt med elektronskallene kjent fra Bohrs atommodell.

Bildenes relative størrelser er justert for leservennlighet.

(Steen, Fimland, & Juel, 2018, ss. 44, 46, 48)

Kj1 medgir at atomorbitalmodellen bryter tydelig med Bohrs kuleskallmodell når vi ser formen på p -orbitalen. Jeg må påpeke at dette er første gang formuleringen *kuleskall* dukker opp i læreboka, og indikerer for første gang at Bohrs atommodell ikke er implisitt beskrevet som planar slik den framstår i solsystemanalogien og motivet øverst til venstre i Figur 5.2.

5.1.3.3 Elektronkonfigurasjoner

Elektronkonfigurasjoner er beskrivelser av hvordan elektroner er fordelt hos atomer. Lærebøkene i fysikk har ingen omtaler av elektronkonfigurasjoner, men Kj1 omtaler dem som elektronstrukturer. Kj1 vektlegger at elektronstruktur har stor betydning for egenskaper ved atomer. Det er plass til bestemte antall elektroner i hvert skall i Bohrs atommodell gitt ved formelen $2n^2$. Videre beskriver Kj1 oktettregelen slik (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 27):

Det viser seg at grunnstoffer som har åtte elektroner i sitt ytterste elektronskall, er spesielt stabile. Det betyr i praksis at de har svært vanskelig for å reagere med andre grunnstoffer og lage nye forbindelser. [...] De atomslagene som ikke har åtte elektroner i ytterste skall, vil på alle måter søke å oppnå dette ved enten å gi fra seg eller trekke til seg ekstra elektroner.

Oktettregelen illustreres gjentatte ganger i figurer med Bohrs atommodell i Kj1, og kommenteres i avsnittet om kjemiske bindinger. Læreboka forklarer ikke eksplisitt hvordan regelen overføres til atomorbitalmodellen, men beskriver hvordan elektronene fordeles i orbitalene. Kj1 gjengir at det er plass til to elektroner i hver orbital, og hvordan elektronene blir fordelt i orbitalene fra lavest energinivå først: «Det viser seg at det alltid fylles opp ett elektron i alle de tomme orbitalene først, og deretter fylles det andre elektronet inn i orbitalene etter hvert.»² (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 45)

5.1.3.4 Andre representasjoner av atomer i lærebøkene

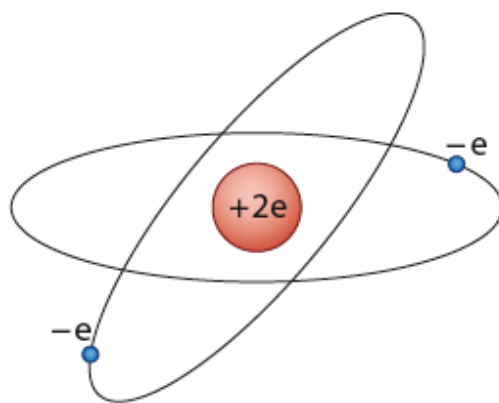
Kj1 inneholder mange andre representasjoner av atomer, og disse blir analysert innenfor andre rammer senere.

Vi finner et annet eksempel på en illustrasjon av et atom i Fy1 i kapittelet om elektrisitet. Se Figur 5.6. Hensikten med figuren er å vise at et atom er (elektrisk) nøytralt når det inneholder like mange elektroner som protoner. Illustrasjonen stemmer godt overens med Rutherford's kjernemodell, som er vist til høyre i Figur 5.1.

Brødteksten på samme side i læreboka inneholder følgende sitat (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 262):

Atomer har en kjerne med positive protoner og nøytrale nøytroner. Rundt kjernen kretser det negative elektroner. Vanligvis er atomet elektrisk nøytralt. Da er det like mange elektroner utenfor kjernen som protoner inne i kjernen. Den samlede negative ladningen til elektronene er derfor lik den samlede positive ladningen til protonene. Men atomer kan også gi fra seg eller ta til seg elektroner, for eksempel når en gjenstand blir gnidd. Hvis atomene gir fra seg elektroner, får de et overskudd av positiv ladning. Hvis atomene tar til seg elektroner, får de et overskudd av negativ ladning.

² Det Kj1 beskriver her uten å bruke begrepene, er aufbauprinsippet og Hunds regel.



Figur 5.6 Atommodell i kapittelet om elektrisitet i Fy1.

Illustrasjonen viser en kjernemodell av heliumatomet. Påskriften «e» betyr *elementærladning* og viser at hvert elektron har en ladning lik elementærladningen med negativt fortegn. Atomkjernen inneholder to protoner som til sammen har ladning lik to ganger elementærladningen, med positivt fortegn. Atomet er nøytralt.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 262)

Jeg vil påpeke at ordvalget «vanligvis» kan kommunisere at normaltstanden til et atom er å være elektrisk nøytralt. Dette motstrider oktettregelen som i Kj1 beskriver at atomer blir mer stabile og har lavere energi når de får edelgasskonfigurasjon ved utveksling av elektroner. Ioner framstår nesten som noe «unaturlig» i Fy1, noe som forsterkes ved å trekke fram at det må investeres arbeid (gjenstander må gnis) for at elektroner skal overføres. Fy1 velger også å ikke benytte begrepet «ion» om elektrisk ladde atomer, til tross for at ionisering er forklart tidligere i læreboka (se 5.1.3.1). Hvor elektronene kommer fra eller blir av, forblir et mysterium. Dannelse av ioner som resultat av spontane kjemiske reaksjoner er fullstendig ignorert, til tross for at elektronoverføringer (redoksreaksjoner) er den kjemiske reaksjonstypen som er aller mest utbredt.

5.1.4 Analyser av analogier og språklige bilder

Ifølge Fy1 forestilte Bohr seg at atomets oppbygning som et solsystem, der atomkjernen tilsvarende sola, elektronene tilsvarende planeter og den elektriske tiltrekningen mellom motsatte ladninger tilsvarende gravitasjonen. Dette er en analogi som er problematisk av flere årsaker, men Fy1 peker kun på at «en planet kan ha en hvilken som helst avstand fra sola. Elektronet derimot kan bare være i helt bestemte energinivåer, som svarer til bestemte avstander fra kjernen.» (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 183) Andre svakheter i analogien er at planeter ikke er like, at hver planetbane inneholder kun én planet, og at planetbanene i vårt solsystem (som nok er det eneste elevene kjenner til) er elliptiske og ligger i tilnærmet samme plan. Kretser elektronene i samme plan hele tida, eller endrer de kurs? Ligger alle elektronbanene i samme plan? Og hva med planetenes felles kretsretning rundt sola? Fy1 adresserer ikke hvilke av aspektene ved analogien som skal overføres til atomet, som betyr at elevene er overlatt til seg selv for å tolke hvordan analogien skal forstås.

Fy1 nevner «fall» gjentatte ganger i sammenheng med Bohrs atommodell og spektrallinjer, men er ikke konsekvent om hva det er som faller. På én side står det at «et elektron kan falle fra ett energinivå til et lavere energinivå» (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen,

2017, s. 182) og at energiforskjellen sendes ut som et foton, mens på neste side i boka heter det at atomene faller (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 183):

Når et atom sender ut lys, faller atomet fra et høyt energinivå til et lavere energinivå. Når atomet absorberer lys, hopper det fra et lavt energinivå til et høyere energinivå. Mange slike energisprang er mulige i et atom.

Når det er snakk om at elektroner faller, kan dette forstås på samme måte som at noe faller på grunn av gravitasjon, som i Bohrs solsystemanalogi. Elever kan forestille seg at elektronene kommer nærmere kjernen til lavere energinivå. Men det er mer uklart hva som menes når et atom «faller» eller «hopper». Også Kj1 beskriver at elektronene «hopper» og «faller», som i dette sitatet: «Vi tilfører energi slik at elektronet hopper ut til neste bane. [...] Elektronet faller straks tilbake til grunntilstanden igjen, [...]» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 40).

I forbindelse med oktettregelen (se Elektronkonfigurasjoner ovenfor) finner vi et eksempel på antropomorfering. Elektronene tillegges menneskelige egenskaper som hensikt, vilje og ønsker gjennom formuleringer som at elektronene «vil på alle måter søke å oppnå [edelgasstruktur]» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 27). Disse ordvalgene snur årsak og virkning. De kan gi inntrykk av at elektronoverføringer skal forklares teleologisk; at overføring av elektroner skjer *fordi* formålet er å oppfylle oktettregelen og oppnå edelgasstruktur.

5.1.5 Analyser av figurer som illustrerer atommodeller

I innledningen i læreboka Kj1 diskuteres modellbegrepet, og fordeler og ulemper ved et utvalg representasjonsformer som brukes i boka og hvorav de fleste er vanlige i fagfeltet for øvrig: molekylformel, strukturformel, pinnemodell, kule-pinnemodell, kalottmodell og en hybrid kalt «kule-pinnemodell med kjerne og elektronsky» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 14). Disse blir likevel ikke knyttet opp mot de ulike atommodellene. Ettersom dette er skrevet i et unummerert introduksjonskapittel, er det dessverre også usikkert om elever (og lærere) vil prioritere å lese dette avsnittet.

Motivene i Figur 5.1 kan klassifiseres som *realistiske* modeller av atomet. De må likevel ikke tolkes som naturtro kopier av virkeligheten, ettersom det verken menes at elementærpartiklene har farger eller symboler. Samtidig kan modellene beskrives med *lav formalitet* da de ikke prøver å kommunisere mer enn det motivene viser; modellene skal vise atomets oppbygning med faktiske partikler.

Det er sterk kontrast til figurene som er brukt til å illustrere Bohrs atommodell og postulater om energinivå i Figur 5.2 som har mer *konvensjonelle* motiver. Elektronene er ikke lenger representert som fysiske partikler, men erstattet med teknisk-vitenskapelig notasjon for energinivå (E_1 , E_2 osv) i Bohrs atommodell i første motiv. Her vises energinivåer som baner analogt med et solsystem, og kan derfor forstås som en planar modell ved sammenligning med vårt eget solsystem. Dette står i så fall i motsetning til Rutherfords kjernemodell i Figur 5.1 der elektronene ser ut til å bevege seg i mer vilkårlige retninger.

Trappemodellen i motivet til høyre i Figur 5.2 viser også *høy formalitet* fordi det er et bilde som vil tydeliggjøre at elektronene vil returnere til grunntilstanden etter eksitasjon, ved hjelp av tyngdekraften som metafor. Høydeforskjellene mellom trappetrinnene skal

samsvare med energiforskjellene mellom de ulike elektronskallene, og den røde stiplede streken viser at elektronet «faller tilbake» til grunntilstanden. Det er usikkert om spretten nedover trappa skal tolkes som realistisk. Spretter elektroner som baller når de faller fra ett energinivå til et annet?

I det tredje motivet i samme figur kan vi slett ikke kjenne igjen atomets oppbygning, da det er en abstraksjon med kun teknisk-vitenskapelige notasjoner i et aksediagram med en ubenevnt førsteakse og en andreakse som viser energinivå. Diagrammet viser at når et atom sender ut et lysfoton, faller det til et lavere energinivå. Fotonet er gitt ved en bølgestrek markert hf . Ved tilføring av energimengde gitt ved en identisk bølgestrek hf , blir elektronet flyttet fra lavere nivå E_m , til høyere nivå E_n . Selv om motivet er abstrakt, kan energinivåene assosieres med elektronskallene i Bohrs atommodell, slik at elever kan tolke figuren som realistisk i noen grad.

Vi ser av Figur 5.2 at elektronet illustreres på ganske ulike måter i løpet av noen få sider i læreboka. De tre motivene viser en overgang fra konkrete objekter til mer abstrakte representasjoner. Det er altså en økende grad av konvensjonalisme og formalitet gjennom de tre motivene. I læreboka er det likevel kun trappemotivet som kommuniseres tydelig som abstrakt, slik at det mest konvensjonelle motivet kan bli feiltolket som realistisk.

De neste to figurene er hentet fra Kj1, og er også illustrasjoner av Bohrs atommodell. De viser henholdsvis ett karbon- og ett hydrogenatom, men figurene har ulike hensikter. Karbonatomet i Figur 5.3 er brukt som eksempel for å vise fordeling av elementærpartikler i et atom, gitt ved ensfargede sirkler. Protonene og nøytronene er samlet i midten, men fordelt «flatt» slik at alle vises og knapt noen av partiklene er i kontakt med andre. Hele figuren framstår som planar, med elektronskall som minner om planetbaner i et solsystem, i motsetning til framstillingen av Rutherford's kjernemodell der elektronene kretser i ulike plan (se Figur 5.1). De seks elektronene er fordelt med to elektroner i K-skallet, og de fire resterende i L-skallet. Alle elektronene er fordelt med størst mulig avstand til de andre i samme skall. Motivet i Figur 5.3 har lav formalitet; det er ikke noen dypere mening som skal tolkes. I tillegg kan det regnes som realistisk, men med samme forbehold som for Figur 5.1. En svakhet som må påpekes er at elektronene er illustrert i samme størrelse som protonene og nøytronene, til tross for at Kj1 eksplisitt har beskrevet elektronet som veldig liten sammenlignet med protonet tidligere. Dette kan muligens føre til forvirring eller misforståelser hos elever.

Hensikten med Figur 5.4 er å vise hvordan eksitasjon av elektroner fører til at atomer kan sende ut lys, med hydrogenatomet som eksempel. Skyggeleggingen av atomkjernen (protonet) indikerer en realistisk representasjon, samtidig som dette er høyst urealistisk ettersom atomkjerner er mye mindre enn bølgelengder for lys og derfor ikke kan kaste skygge. Skyggelegging bidrar også til konkretisering av en ellers abstrakt framstilling. Elektronet er ikke vist som et objekt, men representert abstrakt ved piler mellom elektronskallene.

Bølgestrekene representerer lys med ulik energi. De er fargede og har ulike bølgelengder som samsvarer med energinivåforskjellene mellom elektronskallene. Fargevalgene er i tråd med den relative energiforskjellen i lys med ulike farger; lavest energi i rødt lys og høyest i blått. Det er benyttet samme fargepalett i denne figuren som i Figur 5.3, men fargene representerer altså ikke det samme. Jeg vil påpeke at Figur 5.4 kan potensielt føre til misoppfatninger for elever på flere måter;

- Flere suksessive hendelser vises parallelt (og muligens i en runddans) slik at det er vanskelig for en elev å vurdere rekkefølgen på hendelsene og årsak-virkning-forhold.
- Det er tilsynelatende ingenting som driver eksitasjonen.
- Figuren kan gi inntrykk av at hydrogenatomet har flere elektroner, på grunn av at flere eksitasjoner er tegnet i samme figur.
- Elektronene kan se ut til å bli *omdannet til lysbølger* som forlater atomet.

I Figur 5.5 er en helt annen modell vist; atomorbitalmodellen. Øverst til venstre ser vi tetthetsdiagram for elektroner i $1s$ -orbitalen angitt i rødt, og nederst til venstre er tilsvarende for elektroner i $2p$ -orbitalen i grønt. Kj1 fargekoder altså orbitaltypene. Disse motivene kan klassifiseres som hybrider av realistiske (sannsynlighet for elektronposisjon) og konvensjonelle (aksediagram) illustrasjoner, og har lav formalitet.

Diagrammet til høyre i Figur 5.5 viser energinivåene til de ulike orbitalene langs en akse. Motivet er mer abstrakt og skal ikke oppfattes realistisk, til tross for at elektronene er representert som objekter. Også i dette diagrammet er orbitaltypene fargekodet, men med andre fargevalg enn i de øvrige motivene i samme figur. Endringen i fargepaletten er ikke begrunnet i læreboka, og kan derfor like gjerne forstås som tilfeldig eller intensjonell. Diagrammet viser hvordan atomorbitalene henger sammen med Bohrs atommodell, og er derfor et eksempel på en modellhybridisering.

I likhet med Fy1, viser også figurene fra Kj1 økende abstraksjon og bruk av konvensjoner, ikke bare for hver representasjon av en atommodell, men også utover i hele avsnittet om atomteori.

Figur 5.6 er den siste figuren som er inkludert her, og viser et heliumatom fra kapitlet om elektrisitet i Fy1. Motivet er realistisk, men inneholder også konvensjonelle notasjoner. Heliumatomet har ingen klar rolle i elektrisitet, men er anvendt som eksempel på et nøytralt atom i forbindelse med *ladning*, som gir figuren høy formalitet. Elektronene kretser i separate baner med ulik retning. Det er uklart hvilken atommodell som representeres i figuren. Ifølge Kj1 ville elektronene ha okkupert samme skall i Bohrs atommodell etter prinsippet $2n^2$. Sånn sett stemmer figuren bedre overens med Rutherford's atommodell (se Figur 5.1). Samtidig er ikke elektronkonfigurasjon nevnt i Fy1 og elektronene ser ut til å kretse i samme avstand fra atomkjernen, slik at det er mulig at figuren skal representere Bohrs atommodell, med elektroner i samme energinivå i separate baner.

5.2 Kjemiske bindinger

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne:

Kjemi 1

- forklare, illustrere og vurdere stoffers sammensetning, bindingstyper og egenskaper ved hjelp av periodesystemet

Fysikk 1:

- gjøre rede for forskjellen mellom ledere, halvledere og isolatorer ut fra dagens atommodell, og forklare doping av halvleder

Boks 5.2: Kompetansemål om kjemiske bindinger.

Bindinger er fundamentale for å forklare mange fenomener innenfor fagfeltet kjemi, og omtales i de fleste kapitler i begge lærebøker i kjemi. I hovedsak er kapitlene 1 *Atomter, molekyler og ioner* og 2 *Kjemiske bindinger* i Kj1 valgt til analyse. Dette skyldes at disse kapitlene bidrar mest til å avdekke hvordan elektronene er, men relevant innhold fra andre deler av Kj1 eller de andre lærebøkene inkluderes også.

Kapittel 1 i Kj1 gjør rede for atomteori. I tillegg gir kapittel 1 en innføring i oktettregelen, hvordan kjemiske formler skal tolkes, hva molekylære og ioniske forbindelser er, hvilke atomtyper standardfargene i kule-pinne-modeller for molekyler representerer, og hvordan finne formelenhet for salter ved hjelp av hovedgruppene i periodesystemet. Det kommer fram allerede her at det er ulike bindinger mellom atomer i ulike typer forbindelser. Kapittel 2 går noe videre i dybden om hva kjemiske bindinger er, hvorfor ulike typer bindinger oppstår, og hvordan egenskaper ved ulike materialer henger sammen med bindingstyper. Både ulike bindingstyper mellom atomer og mellom molekyler er beskrevet i læreboka.

Nedenfor presenteres først hvordan lærebøkens innhold om kjemiske bindinger belyser elektronets natur, og deretter gjør jeg rede for hvordan jeg har kommet fram til dette. Bindingstypene er gitt i samme rekkefølge som i Kj1. Videre kommenterer jeg hvordan drivkreftene bak kjemiske bindinger presenteres i lærebøkene, og hvordan et utvalg figurer av kjemiske bindinger framstiller elektroner.

5.2.1 Hva kjemiske bindinger forteller oss om elektronene

Elektroner omtales og illustreres fortsatt hovedsakelig som negativt ladde partikler. Av og til framstilles elektroner som at de opptrer i par, avhengig av hvilken modell som til enhver tid benyttes. Oktettregelen angir at elektroner *ønsker* å opptre i grupper på åtte for å danne mer stabile atomer. Derfor vil elektroner overføres helt eller delvis mellom atomer, som gjør at atomer holdes sammen i ulike typer enheter ved hjelp av kjemiske bindinger. Elektronene kan derfor beskrives både som «valuta» og som «lim» mellom atomer.

Fy1 beskriver ikke kjemiske bindinger inngående, men illustrerer en molekylbinding som en springfjær mellom to kuleatomer, og bidrar med en annen modell for metallbinding.

5.2.2 Bindingstyper og ulike representasjoner av elektroner

Jeg avgrenser utvalget av kjemiske bindinger til bindingstypene vi finner mellom atomer (i motsetning til bindinger mellom molekyler), fordi «rollen» til elektronet er tydeligere. Disse bindingstypene er ionebinding, elektronparbinding og metallbinding. De regnes som sterke bindinger, og kategoriseres ved hvordan elektroner fordeles mellom atomene som deler bindingene.

Før Kj1 går inn på de ulike bindingstypene, gjør læreboka oppmerksom på at de aller fleste atomer vanligvis ikke opptrer enkeltvis (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 57):

Det er bare edelgassene som finnes som frie atomer under vanlige forhold. I alle andre grunnstoffer er atomene bundet sammen på en eller annen måte. I de andre grunnstoffene som opptrer som gasser, er atomene bundet sammen to og to til molekyler. Atomradius definerer vi da som halvparten av avstanden mellom atomkjernene.

Dette sitatet gis sammen med en figur av et molekyl avbildet med atomorbitalmodellen. De runde elektronskyene er litt flatere mellom atomene, og ligner ballonger som presses mot hverandre.

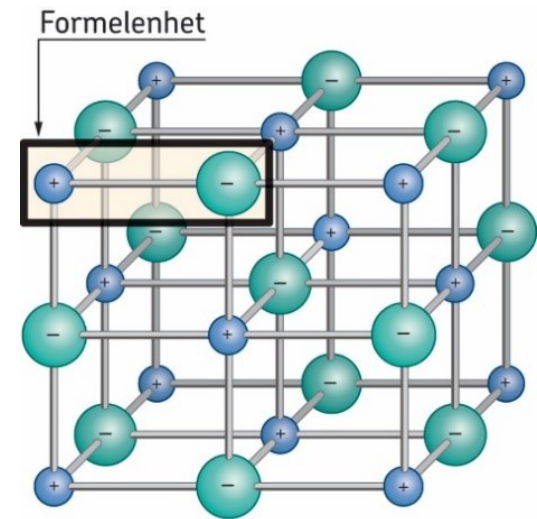
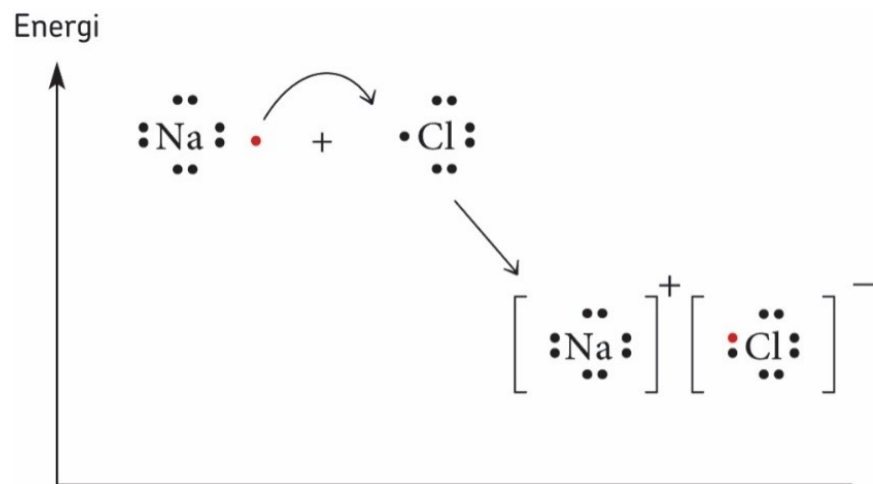
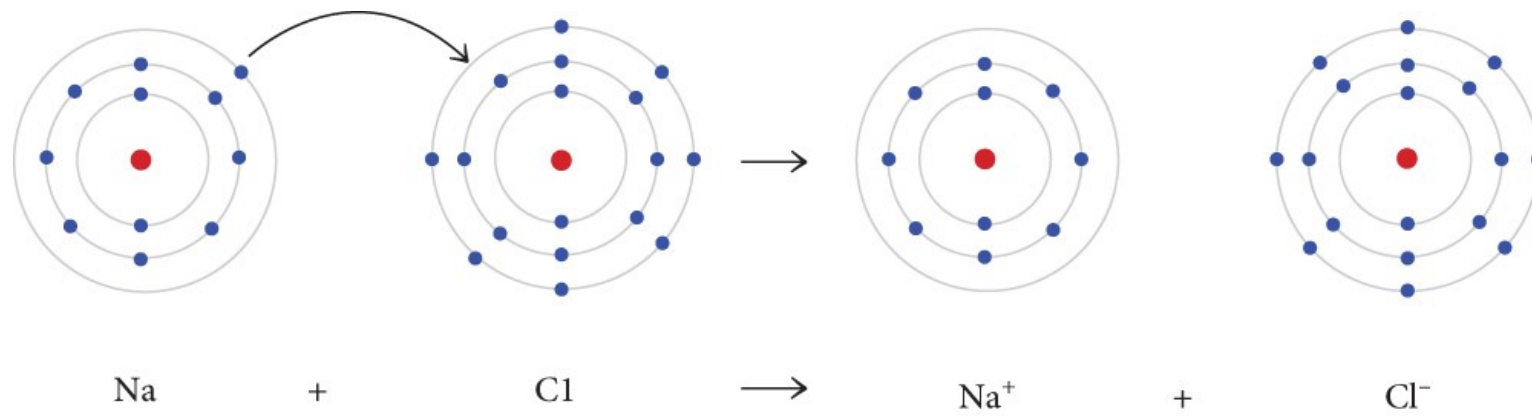
Sterke bindinger ses i Kj1 tydelig i sammenheng med elektronegativitet, som i denne læreboka defineres som «den relative evnen atomet har til å tiltrekke seg et felles elektronpar som deles med et annet atom.» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 60) Forskjeller mellom elektronegativitetsverdier brukes til å avgjøre hva slags binding som forventes mellom to atomer.

Ioniseringsenergi er et annet prinsipp som vektlegges i Kj1; «energien som må tilføres et nøytralt atom for å fjerne ett elektron fullstendig og dermed danne et positivt ion» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 61). Vi har tidligere sett at Fy1 også beskriver at elektroner kan frigjøres fra atomer ved tilførsel av nok energi.

5.2.2.1 Ionebinding

Ionebinding beskrives som resultat av at et metall overfører et elektron til et ikke-metall. Denne fullstendige elektronoverføringen forklares med stor forskjell i elektronegativitetsverdier ($>2,0$). Kj1 benytter frittstående atomer av natrium (0,9) og klor (3,2) som eksempler (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 62): «Dette fører til at det dannes et positivt natriumion og et negativt kloridion, og oktettregelen er oppfylt for begge grunnstoffene.» Ionebinding defineres kort som bindingen mellom motsatt ladde ioner, og gjøres ikke videre rede for i dette kapittelet i Kj1.

Elektronprikkm modeller dukker opp som en ny representasjonsform av atomer i dette avsnittet; kjemiske symboler omgitt av prikker gruppert i par. De anvendes i en figur som viser at natrium- og kloridionene har fått lavere energi etter at et elektron ble overført mellom frittstående, nøytrale natrium- og kloratomer. Se Figur 5.7. Kj1 opplyser at «et stoff med lav energi er mer stabilt enn et stoff med høy energi» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 62). Den samme elektronoverføringen er vist tidligere i Kj1 illustrert med Bohrs atommodell med komplette elektronskall, sammen med en enkel reaksjonslikning. Disse representasjonene er også gjengitt i Figur 5.7 sammen med en illustrasjon som viser et ionegitter i en saltkrystall av natriumklorid med en kule-pinne-modell.



Figur 5.7 Ulike representasjoner av ionebinding i natriumklorid, hentet fra Kj1.

Øverst: Elektronoverføring mellom atomer av natrium og klor, illustrert med Bohrs atommodell, sammen med en reaksjonslikning.

F. v.: Energidiagram før og etter elektronoverføring mellom atomer av natrium og klor, elektronprikkmodell. Saltkrystall med positive og negative ioner i et ionegitter, kule-pinne-modell.

(Steen, Fimland, & Juel, 2018, ss. 32, 62, 33)

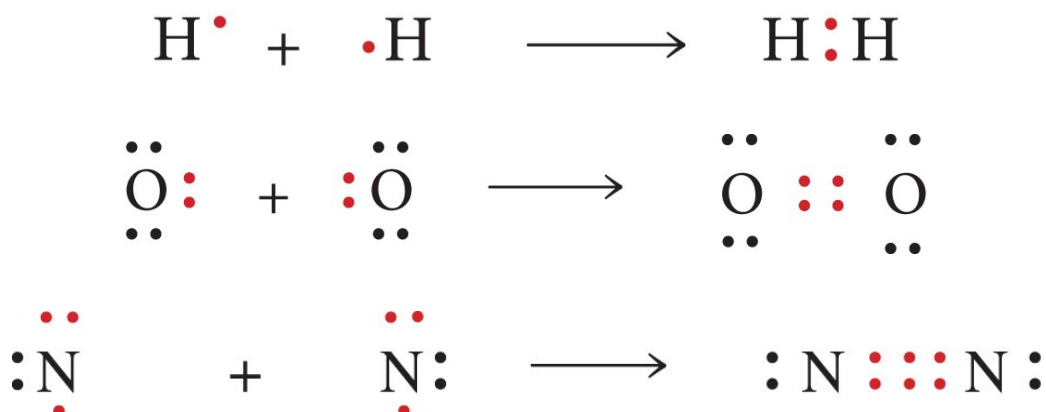
5.2.2.2 Elektronparbinding

Den neste bindingstypen i Kj1 er *elektronparbinding*, eller *kovalent binding*. Oktettregelen blir referert her også: «Klor har 7 elektroner i det ytterste skallet og mangler bare ett på å få åtte. Dette oppnår de vet at ett elektronpar deles mellom [dem]» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 63). Elektronprikkmodeller benyttes til å vise hvordan en elektronparbinding oppstår mellom to frie kloratomer, og et tilsvarende energidiagram som i Figur 5.7 skal forklare at bindingen oppstår fordi klormolekylet har lavere energi enn de frie kloratomene.

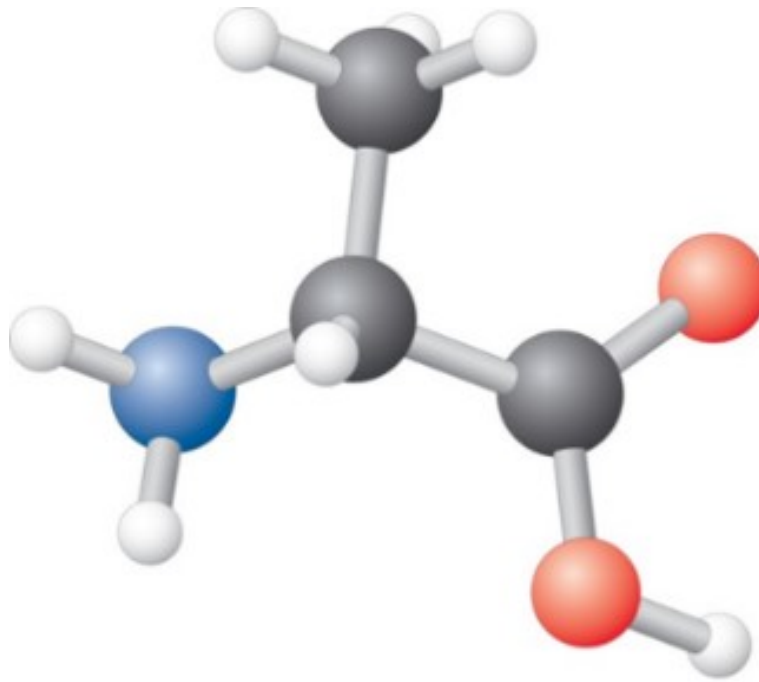
Videre forteller Kj1 at elektronparbindinger kan opptre i ulike antall; enkelt-, dobbelt- og trippelbindinger. Eksempler på disse typene er illustrert kun med elektronprikkmodeller, se Figur 5.8. I brødteksten benytter Kj1 ordet «skall» gjentatte ganger, som tyder på at Bohrs atommodell legges til grunn – ikke orbitalmodellen.

Kj1 benytter også andre ulike representasjonsformer for elektronparbindinger. Figur 5.9 viser en kule-pinne-modell av alanin gjengitt fra kapittel 1 i Kj1. Pinnene representerer bindingene mellom atomene (kulene), og kan tolkes som et elektronpar. Senere i Kj1 er det tydeligere at atomorbitalmodellen benyttes i illustrasjoner, som gitt ved eksempler i Figur 5.10. Her er elektronpar representert med elektronskyer, og viser vinklene som oppstår mellom atomene som følge av at elektron-parene frastøter hverandre. Kj1 velger begrepet «elektronsky» ved beskrivelser av vann-molekylet, men forklarer tetraedervinkelen ($109,5^\circ$) i metan ved hjelp av blandings-orbitaler (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 256):

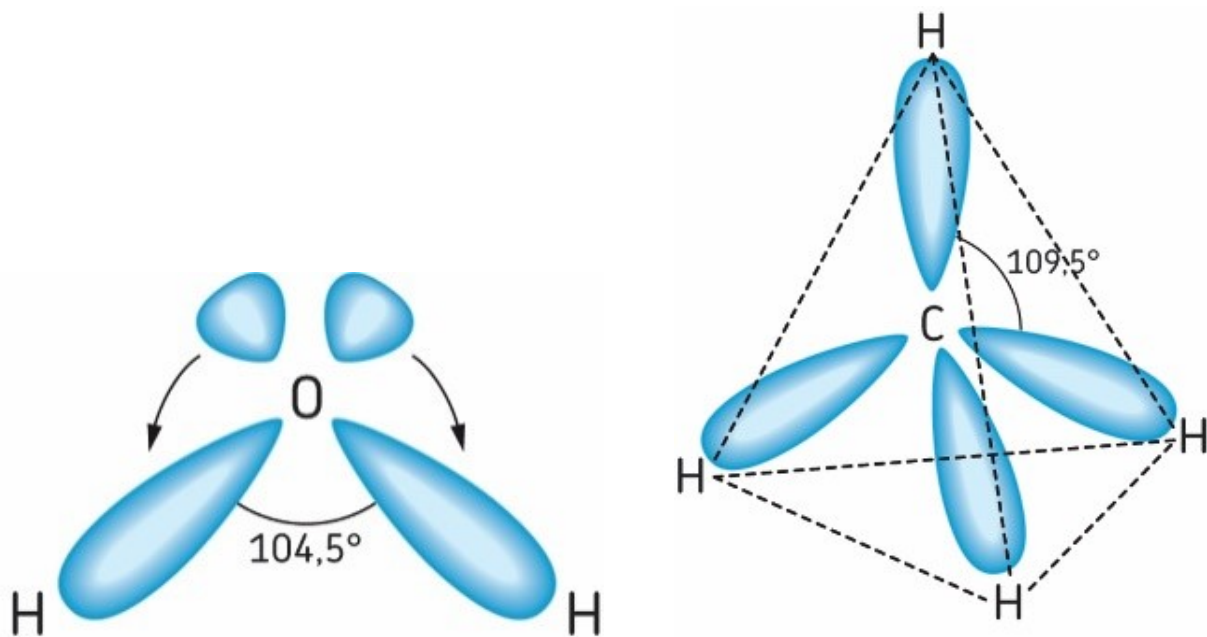
Vi kan jo lure litt på hvordan disse vinklene oppstår, da vi i kapittel 1 snakket om at p -orbitalene danner en vinkel på 90° med hverandre. Men elektronskyer vil alltid prøve å frastøte hverandre mest mulig. I metan gjøres dette ved at $2s$ -orbitalen og de tre $2p$ -orbitalene hos karbon går sammen og lager fire blandingsorbitaler. Disse stiller seg inn med tetraedervinkelen mellom seg.



Figur 5.8 Ulike antall kovalente bindinger mellom to atomer, fra Kj1. Fra øverst: enkeltbinding mellom to hydrogenatomer, dobbeltbinding mellom to oksygenatomer, trippelbinding mellom to nitrogenatomer. (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 64)



Figur 5.9 Kule-pinne-modell i Kj1.
Illustrasjon av aminosyra alanin med kule-pinne-modell.
(Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 31)



Figur 5.10 Orbitalmodeller som er brukt til å illustrere elektronparbindinger i Kj1.
Elektroniskymodell av vannmolekylet (til venstre) og orbitalmodell av metan.
(Steen, Fimland, & Juel, 2018, ss. 76, 256)

5.2.2.3 Metallbinding

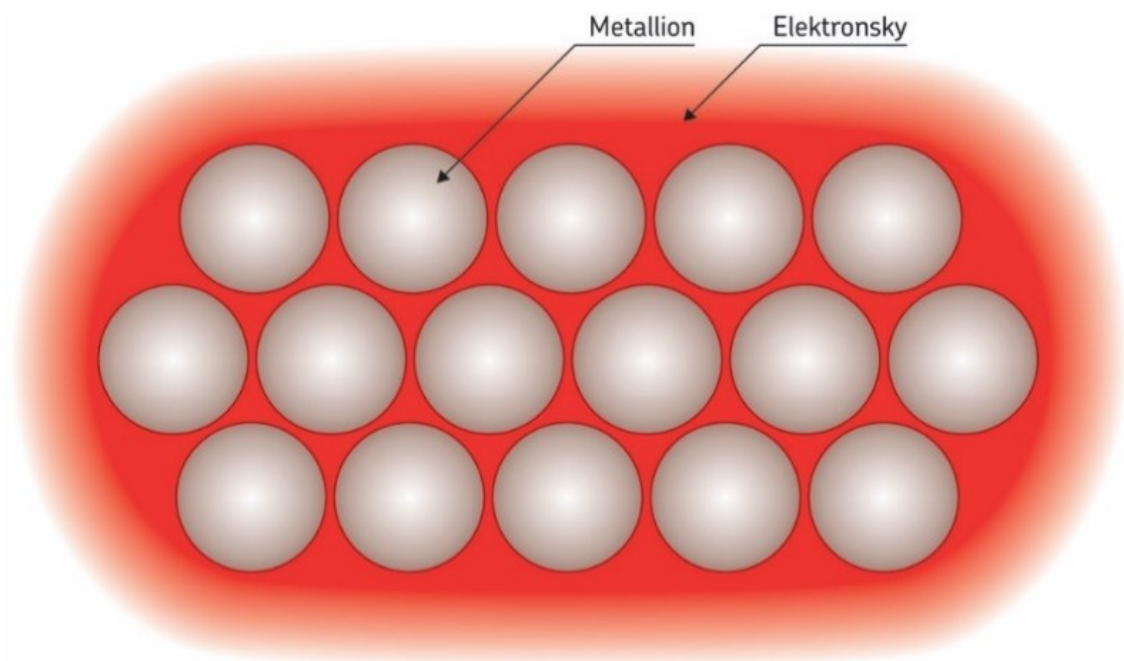
Ved introduksjon til metallbindinger velger Kj1 eksplisitt å benytte atomorbitalmodeller, og gjentar at atomorbitaler er det samme som elektronskyer. Kj1 (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 69) beskriver:

Siden atomene ligger så tett sammen, vil elektronskyene til elektronene i ytterste skall overlappe hverandre. Vi kan derfor beskrive et metall som at det består av positive metallioner, der de ytterste elektronene kan bevege seg fritt mellom ionene. Mellom de positive ionene og den negative elektronskyen vil det bli tiltrekningskrefter, og det er disse kreftene som holder metallet sammen.

Metallioner og elektronskyer er gjengitt i Figur 5.11. Like etterpå presiserer Kj1: «Det bildet vi her har tegnet av metallbindingen, er sterkt forenklet, for teorien bak denne bindingen er tung og vanskelig.» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 69) Kj1 beskriver hvordan oppbyggingen av metaller gjør at de leder strøm (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 70):

Det at de ytterste elektronene ikke tilhører noe bestemt atom, men er i fri bevegelse mellom metallionene, gjør at metallene er gode strømledere. Kobler vi en metalltråd mellom polene på et batteri, vil elektronene kunne bevege seg nesten fritt mot den positive polen på batteriet, og nye elektroner blir overført til metallet fra den negative polen.

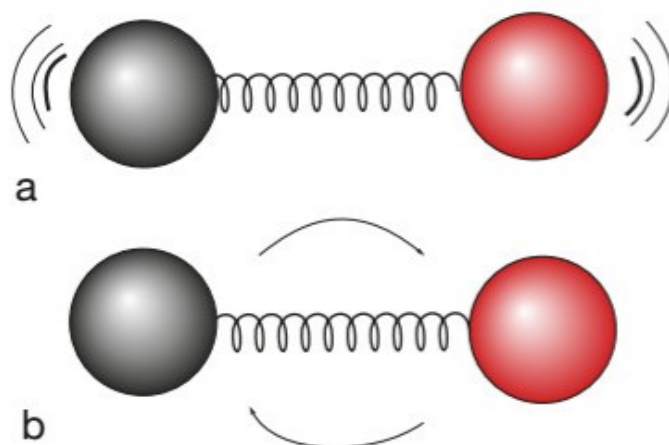
Vi skal straks se at fysikkbøkene gir en annen framstilling av hvordan stoffer leder elektrisitet.



Figur 5.11 Metallbinding i Kj1

Metaller består av tettpakkede metallioner omgitt av en «sky» av valenselektroner (sjekk formulering i boka).

(Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 69)



Figur 5.12 Representasjon av elektronparbindinger i Fy1. Molekylillustrasjon med springfjærbinding som viser at molekyler kan ha (a) vibrasjonsenergi og (b) rotasjonsenergi. (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 188)

5.2.2.4 Representasjoner av kjemiske bindinger i Fy1

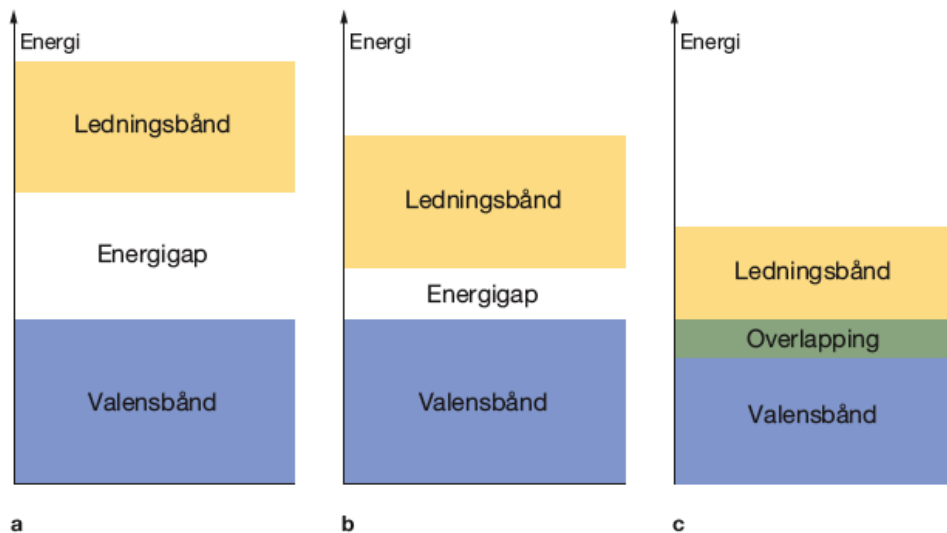
Bindinger mellom atomer nevnes ikke eksplisitt i læreplanene i fysikk. Likevel gir Fy1 en kort beskrivelse av hva elektronparbindinger er. Dette kommer i forbindelse med spektral-linjer for å forklare hvordan båndspektre for molekyler oppstår (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 188):

Når atomer går sammen og danner molekyler, deltar de ytterste elektronene i molekyl-bindingene. Spektrene fra molekyler ser derfor annerledes ut enn spektrene fra frie atomer. Hvert molekyl har sitt karakteristiske fingeravtrykk. [...] Et molekyl som består av to atomer, for eksempel H_2 , har flere «kanaler» som energien kan fordeles på, enn ett enkelt atom. Alle de tilsvarende energinivåene er kvantisert. [...] Rotasjons- og vibrasjonsenergiene [...] forandrer spektrallinjene til tette bånd av linjer. Slike spektre kaller vi for *båndspektre*.

Det gis ingen forklaring på hva som menes med «kanaler». Fy1 viser også en figur som skal demonstrere hvordan molekyler kan vibrere og rotere, med en springfjær som representerer en «molekylbinding» mellom to atomkuler. Se Figur 5.12. Denne modellen avviker fra dem vi finner i Kj1, for eksempel ved å indikere en elastisitet i bindingene.

Lærebøkene i fysikk forteller ikke eksplisitt om metallbinding, men presenterer en annen modell enn Kj1 for å forklare hvorfor noen stoffer kan lede elektrisitet. Fy1 beskriver at i faste stoffer ligger mange atomer nær hverandre, og vil påvirke hverandre slik at energinivåene endres. I faste stoffer ligger derfor energinivåene tett i tett og danner energibånd. Det øverste båndet kalles valensbåndet, og elektronene her kan eksiteres til ledningsbåndet hvor de er mobile slik at det oppstår elektrisk strøm. Fy1 beskriver ledere slik (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, ss. 294-295):

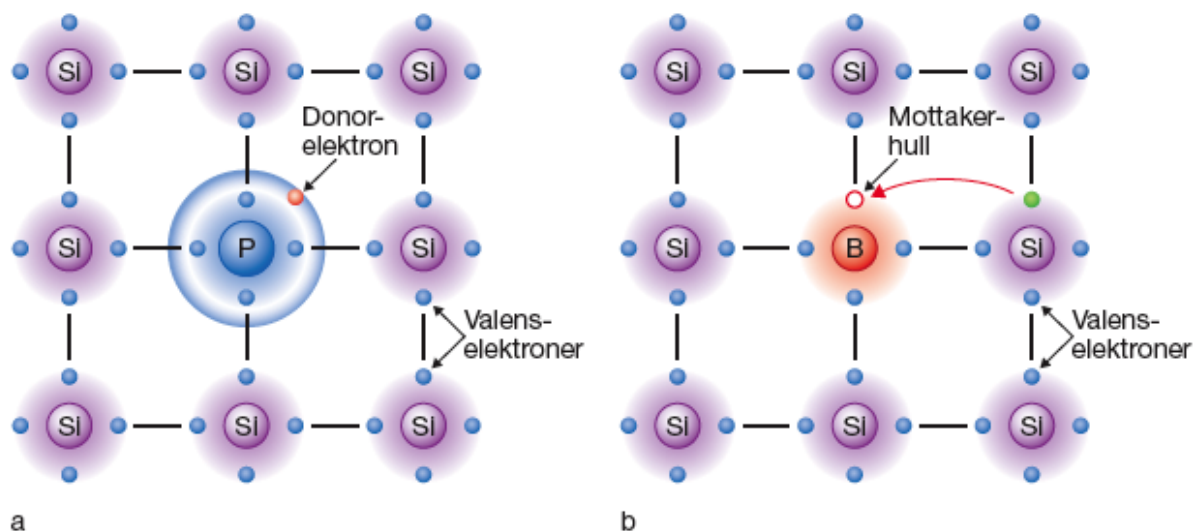
Det er energidifferansen mellom valensbåndet og ledningsbåndet som bestemmer hvor mange ledningselektroner det er i et stoff, og dermed om stoffet er en leder eller en isolator. [...] I en *leder* overlapper valensbåndet og ledningsbåndet. Da er det mange ledningselektroner ved normal temperatur. [...] Eksempler på gode ledere er sølv, kobber og aluminium.



Figur 5.13 Avstander mellom valensbånd og ledningsbånd i ulike typer materialer, fra Fy1. I en isolator (a) er det stor avstand mellom båndene. I en halvleder (b) er gapet mindre. I ledere (c) overlapper valensbåndet og ledningsbåndet. (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 294)

Vi ser at Fy1 ikke beskriver metaller generelt som gode ledere, men gir eksempler på stoffer (metaller) som leder elektrisitet godt. Fy1 gir også energidiagrammer som skal illustrere forskjeller i egenskaper hos isolatorer, halvledere og ledere, se Figur 5.13.

Videre beskriver Fy1 oppbygging av halvledere. «I silisiumkrystaller er hvert atom bundet til fire andre atomer. Da er åtteregelen oppfylt, og vi har en stabil struktur» (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 296). Halvledere kan også dopes med andre stoffer, som vist i Figur 5.14 med fosfor (P) og bor (B). Vi ser at elektronene er avbildet



Figur 5.14 Illustrasjon av bindinger i dopede halvledere. «a) I en silisiumhalvleder dopet med fosfor er det ekstra elektroner som er lett å eksitere til ledningsbåndet. B) Hvis halvlederen blir dopet med bor, er det i stedet ekstra hull som lett kan ta elektroner fra et naboatom.» (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 297)

som kuler, og elektronparbindingene er angitt som streker mellom to elektroner på hvert sitt atom. Ledningsevnen i materialet er forklart med positive hull som elektroner hos naboatomer kan fylle, for så å etterlate nye positive hull i den opprinnelige posisjonen.

5.2.3 Drivkreftene bak kjemiske bindinger

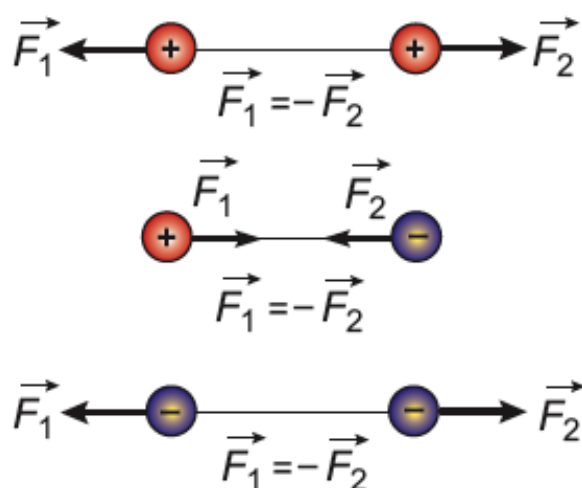
Kapittel 2 *Kjemiske bindinger* i Kj1 innleder med at flere egenskaper felles for ulike grunnstoffer skyldes antall elektroner i ytterste skall. Deretter trekker Kj1 fram Coulombs lov, som handler om krefter mellom ladninger. Denne loven er mer brukt i fysikk, og er formulert slik i Fy2 (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 126):

Kreftene mellom to elektriske ladninger er proporsjonale med ladningene og omvendt proporsjonale med kvadratet av avstanden mellom dem, $F = \frac{kQ_1Q_2}{r^2}$. Kreftene virker langs den rette linjen mellom ladningene.

En illustrasjon som viser kraftvektorer langs linja mellom like og ulike ladninger, jamfør Coulombs lov, er gjengitt i Figur 5.15.

I Kj1 er Coulombs lov gjengitt i dagligtale: «Kreftene mellom ladde partikler øker med ladningenes størrelse og med kortere avstand mellom partiklene.» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 56) og boka oppfordrer leseren til å «ha [Coulombs lov] i bakhodet når vi skal forklare mange kjemiske og fysiske egenskaper ved kjemiske stoffer» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 56).

Coulombs lov samt variasjon i atomradius, ioniseringsenergi og elektronegativitet legges til grunn for at ulike kombinasjoner av atomtyper gir ulike bindinger. Samtidig er det hyppige henvisninger til oktettregelen – at «hensikten» med å danne bindinger er å oppnå at ytterste elektronskall har 8 elektroner. Se 5.1.4 *Analyser av analogier og språklige bilder* for flere kommentarer om henvisninger til oktettregelen.



Figur 5.15 Coulombs lov fra Fy2.

Like ladninger frastøter hverandre, som vist øverst med to positive ladninger og nederst med to negative ladninger. Motsatte ladninger tiltrekker hverandre.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 126)

5.2.4 Analyser av språklige bilder for kjemiske bindinger

Antropomorfisering av elektronene i forbindelse med oktettregelen fortsetter når Kj1 beskriver kjemiske bindinger. I tillegg brukes andre formuleringer mange steder i Kj1 som tillegger atomene og elektronene menneskelige egenskaper:

- Klor *mangler* ett elektron.
- Atomer *deler* ett eller flere elektronpar mellom seg.
- Like atomer *trekker* like sterkt på elektronene i en binding.
- Atomer blir mer stabile ved å *holde sammen* og *oppfylle* oktettregelen enn å *være alene*.
- I et metall *tilhører* ikke de ytterste elektronene bestemte atomer, og kan *bevege seg fritt*.

Fy1 bruker analogien «kanaler» til å beskrive energinivåmulighetene i molekyler, uten å angi hva slags kanaler det er snakk om. Min tolkning er at analogien refererer til radiokanaler, som man finner på bestemte frekvenser. Mellom slike frekvenser får man bare støy. I dag er FM-nettet stort sett nedlagt, vi har DAB-radio, digitale radioapparater er svært utbredt også i biler, og radiokringkastere har i stor grad tatt i bruk andre muligheter som apper og podkaster for å nå lytterne. Jeg er derfor usikker på om elevene vil forstå referansen i radiokanalalogien framover.

5.2.5 Analyser av figurer som illustrerer kjemiske bindinger

Kj1 veksler mellom en rekke representasjonsformer og figurer i forbindelse med temaet kjemiske bindinger. Vi har sett Bohrs atommodell, reaksjonslikninger, kule-pinne-modeller, elektronprikkmodeller, energidiagram, elektronskyer og molekylorbitaler. I tillegg har Fy1 gitt oss en springfjæranalogi. Nedenfor gir jeg analyser av figurene, gruppert etter bindingstype.

5.2.5.1 Ionebinding

Ulike representasjoner av ionebindinger med natrium og klor er gitt i Figur 5.7; elektronoverføring mellom atomer vist med Bohrs atommodell, en forenklet reaksjonslikning, et energidiagram for prosessen med elektronprikkmodeller og et ionegitter av natriumklorid. De tre førstnevnte viser en reaksjon mellom frittstående nøytrale atomer av natrium og klor. Dette stemmer dårlig overens med virkeligheten, og kan føre til misforståelser. Frie radikaler av begge atomtyper er så ustabile at de i praksis ikke eksisterer. Natrium må framstilles ved elektrolyse og oppbevares i olje eller parafin for ikke å reagere med oksygen eller vann, og frie kloratomer oppstår ved UV-belysning av for eksempel KFK-gasser, og binder seg raskt til andre forbindelser.

Blant illustrasjonene i Figur 5.7 framstår den øverste med Bohrs atommodell som mer realistisk. Denne viser i større grad atomene «slik de er» med en atomkjerne i midten og elektroner som objekter rundt. Denne gangen er ikke elektronene tegnet i samme størrelse som protonene og nøytronene (se Figur 5.3), men knapt mindre enn hele atomkjernen. Hos natrium og klor består kjernen av et tosifret antall kjernepartikler, som medfører at

hvert elektron er *større* enn hvert proton eller nøytron. Elektronene er også tegnet med lik avstand innenfor hvert skall.

Den jevne elektronfordelingen i Bohr-modellen skiller seg fra elektronprikkmodellen i energidiagrammet, hvor elektronene er gruppert i par. Dette motivet har mer konvensjonelle elementer (atomer angitt i mer abstrakt form som kjemiske symboler) enn det foregående. Kj1 har påpekt at atomer får lavere energi når de oppnår edelgasstruktur, men har også definert ioniseringsenergi som energien som kreves for å fjerne et elektron fra et nøytralt atom. Det er derfor uklart hva det er som bidrar til at atomene får lavere energi når de danner ioner.

Buede piler benyttes for å tydeliggjøre elektronoverføringer. Dette ligner en notasjon som anvendes innenfor organisk kjemi for å vise elektronoverføringer i reaksjonsmekanismer, men da med enkelthaket pil for å vise overføring av ett elektron og dobbelthaket pil for å vise overføring av et elektronpar.

5.2.5.2 Elektronparbinding

Figur 5.8 viser elektronoverføringer når frittstående nøytrale atomer danner molekyler med enkelt-, dobbelt- og trippelbindinger, angitt med elektronprikkmodeller. Motivene kategoriseres som konvensjonelle, med kjemiske symboler for atomene omgitt av prikker som representerer elektroner. Også her brukes eksempler som i praksis ikke eksisterer (frie radikaler), og gjentakelsen øker risikoen for misforståelser hos elevene.

Fordeling av elektronene i par indikerer at elektronprikkmodellene samsvarer i større grad med orbitalmodellen enn med Bohrs atommodell, men dette blir ikke kommentert i Kj1. Samtidig er de frittstående atomene av både oksygen og nitrogen tegnet med både elektronpar og tomme orbitaler i samme atom. Da er ikke regelen om fordeling av elektroner i tomme orbitaler før paring av elektroner oppfylt (se 5.1.3.3). Dette gjør det vanskelig for en elev å avgjøre hvilken atommodell elektronprikkmodellene representerer. Elektronprikkmodellen kan kategoriseres som et eksempel på en hybridmodell.

Elektronparbindingene er konsekvent vist som vertikale prikkpar mellom atomene i alle tre eksemplene i figuren, som resulterer i større avstand mellom nitrogenatomene enn i de andre molekylene. Denne representasjonen er uheldig både fordi det skaper forvirring om hvordan bindingen fungerer uten at de negativt ladde elektronparene frastøter hverandre, og fordi trippelbindinger er svært sterke bindinger som i virkeligheten gir *kortere* bindingslengde mellom atomer.

Den neste figuren viser en kule-pinne-modell av forbindelsen alanin (se Figur 5.9). Kule-pinne-modeller er mye brukt i kjemi for å vise bindinger mellom atomer i molekyler. Atomene er visualisert med kuler, og bindingene med pinner som holder kulene sammen. Noen fordeler med denne modellen er at man kan vise hvor mange bindinger det er mellom ulike atomer, og hvordan atomgrupper kan vris rundt aksene langs en enkeltbinding, men ikke rundt en dobbeltbinding. Det er likevel ikke klart hvilken atommodell som representeres når kule-pinne-modeller tas i bruk.

I motivet i Figur 5.9 er fargebruken konsekvent med standardfargene for ulike atomtyper, og forhold mellom kulestørrelsene er i samsvar med atomradiusoversikt boka har gitt tidligere. (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 58) Skyggelegging og plassering av pinnene på kulene er brukt for å gi illustrasjonen et romlig preg; de viser at atomene ikke ligger fordelt

i et plan. Dessverre inneholder figuren en liten tegnefeil; det skal egentlig være dobbeltbinding i syregruppa i alanin, det vil si mellom karbonatomet i svart til høyre og det øverste oksygenatomet i rødt. Og det som verre er; denne feilen repeteres i Kj2 når andre aminosyrer avtegnes med kule-pinne-modell, se Steen, Fimland og Juel (2011, s. 213).

Ettersom elektronparbinding defineres som at to atomer deler et elektronpar, kan pinnene i modellen tolkes som en representasjon av et elektronpar. Pinnene må derimot ikke tolkes på denne måten i saltkrystallillustrasjonen i Figur 5.7. Der er det ionebindinger mellom ioner, ikke elektronparbindinger mellom nøytrale atomer. I ionegitteret skal pinnene bidra til å tydeliggjøre det repeterende mønsteret med veksling mellom positive og negative ioner i den tredimensjonale saltkrystallen.

Kule-pinne-modeller er mer abstrakte enn de ser ut ved første øyekast. Atomene framstår som ganske realistiske når de avbildes som kuleobjekter. Bindingene er derimot ikke realistiske, men konkretisering av noe abstrakt. De gir i tillegg inntrykk av avstander mellom atomene, når de ligger egentlig tett inntil hverandre. I molekyler kan bindingspinnene bli tolket til å representere et elektronpar, men en slik forståelse kan ikke anvendes på pinnene som angir bindinger i et ionegitter (se Figur 5.7, nederst til høyre).

I Figur 5.10 ser vi to representasjoner av molekyler som ligner hverandre, men skiller seg tydelig fra de andre figurene vi har sett på. Her er begge motivene basert på atomorbitalmodellen, selv om det kun er beskrevet eksplisitt om motivet til høyre. Det er nesten 200 sider mellom disse to motivene i Kj1, og vi finner bokas eneste henvisning til orbitalhybridisering (omtalt som dannelse av blandingsorbitaler) ved forklaring av tetraedervinkelen i metanmolekylet.

Den første figuren som viser binding mellom to atomer i Fy1, er en springfjærmodell som skal demonstrere vibrasjons- og rotasjonsenergi i et molekyl (se Figur 5.12). Motivets er ikke framstilt som realistisk, men som en analogi. Figurteksten i læreboka beskriver disse energitypene som kvantiserte, slik at det er uklart hvorfor en springfjær med kontinuerlig strekk benyttes som analogi. Figuren gir flere spørsmål enn svar; er det en sammentrykt, utstrukket eller avslappet fjær i en binding?

Den andre typen figur som viser elektronparbindinger i Fy1, handler om oppbygning av halvledere. Et eksempel er gitt i Figur 5.14. Denne figuren viser et nettverk av separate atomer med uklar utstrekning, tydelig avstand mellom atomene, elektroner stort sett vist som blå kuler og en strek som symboliserer binding plassert mellom to elektroner på hvert sitt atom. Figurteksten henviser til åtteregelen (oktettregelen), men denne kommer ikke tydelig fram i motivene. Bindingen ser også ut til å være en tiltrekning mellom to negative ladninger.

I Fy1 finner vi altså to ulike typer figurer som viser elektronparbindinger, men disse skiller seg tydelig fra figurene i Kj1 eller motstrider fysiske prinsipper om frastøting mellom like ladninger.

5.2.5.3 Metallbinding

Kj1 bruker en elektronskymmodell for metaller (se Figur 5.11), der atomkjernene er vist som blanke kuler og elektronene er en diffus sky i rødt. Læreboka medgir at denne er en forenkling som er gitt fordi «teorien bak denne bindingen er tung og vanskelig» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 69). Modellen tilsvarer det som ellers ofte kalles elektronsjø-

modellen. I Kj1 brukes modellen til å forklare hvorfor metaller er gode ledere av elektrisitet, men andre egenskaper er ikke forklart.

I lærebøkene i fysikk finner vi ikke elektronsjømodellen, eller noen annen generell modell for oppbygningen i metaller. Fy1 gir derimot en modell som forklarer hvorvidt ulike materialer har elektrisk ledningsevne. Denne båndteorimodellen er illustrert i Figur 5.13, og motivet i denne figuren er mye mer abstrakt enn de andre vi har sett på. Figuren er et energidiagram, og derfor konvensjonell. Den har også høyere formalitet enn de andre figurene, ettersom den også vil kommunisere forskjeller i en egenskap (ledningsevne) utover det som avbildes i figuren.

5.2.6 Oppsummering av hvordan elektroner framstilles i kjemiske bindinger

Elektroner kan overføres helt eller delvis mellom atomer ved kjemiske reaksjoner som fører til dannelse av produkter med andre egenskaper enn utgangsstoffene. De kan også overføres fra atom til atom i en leder eller halvleder uten å endre de kjemiske egenskapene til materialet. Min tolkning er at «eierskifte» av elektroner åpner for at de kan betraktes som «valuta», og at elektronegativitet er en egenskap som tilsvarer kjøpekraft. Jeg vil også påpeke at elektroner ser ut til å utgjøre bindemidler innad i stoffer og holder atomene sammen i enheter, særlig i molekyler, metaller og nettverksstoffer.

Flere ulike atommodeller er brukt ved illustrasjoner av kjemiske bindinger i Kj1: Bohrs atommodell, orbitalmodellen og elektronprikkmodellen som en hybrid av de to andre. I Fy1 finner vi en springfjæranalogi, en variant av Bohrs atommodell i halvlederfiguren, og en kvantemekanisk modell i båndteori.

Framstillingene av elektroner i kjemiske bindinger gjør at jeg sitter igjen med to tankekors:

- Elektroner frastøter hverandre, hvorfor vil de opptre parvis?
- Orbitalteori og kvantemekanikk gir en forklaring på at elektroner opptre i par, men likevel brukes ofte Bohrs atommodell. Hvorfor benyttes ikke molekylorbitalmodeller i større grad?

5.3 Elektrisitet

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne:

Fysikk 1

- definere begrepene strøm, spenning og resistans, og bruke prinsippene om bevaring av ladning og energi på enkle og forgreinede likestrømskretser

Fysikk 2

- beskrive homogene og inhomogene elektriske felt og bruke Coulombs lov

Kjemi 2

- gjøre forsøk med elektrokjemiske celler og gjøre rede for spontane og ikke-spontane redoksreaksjoner

- beregne kapasiteten og cellepotensialet til et batteri og utbyttet i en elektrolyse

Boks 5.3: Kompetansemål tilknyttet elektrisitet.

Elektrisitetslære behandles i Fy1 i kapitlene 9 *Elektrisitet* og 10 *Fysikk og teknologi* og i Fy2 kapittel 5 *Elektrisk felt*. I læreplanene for kjemi er elektrisitet lagt til kjemi 2 i form av redoksreaksjoner og elektrokjemi, og Kj2 presenterer disse i de to første kapitlene. Elever med fordypning i kjemi og fysikk vil derfor møte temaet gjentatte ganger, men med ulike kontekster. Ved kronologisk gjennomgang av lærebøkene, jobber elevene med elektrisitet som siste del av fysikk 1, første del av kjemi 2 og igjen midt i fysikk 2.

Nedenfor kommer først en oppsummering av hvordan lærebøkene framstiller elektroner i forbindelse med elektrisitet. Deretter beskriver jeg hvordan dette har kommet fram.

5.3.1 Hvordan innhold relatert til elektrisitet i lærebøkene bidrar til å belyse elektronets natur

Elektronene framstilles fortsatt som materielle objekter med negativ ladning. Fy1 benytter også vektorpiler for å angi elektronenes bevegelse. Ytterelektroner i metaller/ledere framstilles som mobile partikler i begge fag, og disse elektronene er ladningsbærere som gir elektrisk energi ved bevegelse gjennom en krets. Fy1 forklarer elektronenes mobilitet med båndteori, som ikke nevnes i lærebøkene i kjemi. Ved beskrivelser av metallbindinger i Kj1 brukes en forenklet modell, som gjør at metallers ledningsevne ikke forklares tydelig i kjemibøkene.

Fy1 og Kj2 har i stor grad sammenfallende framstillinger av elektronet som ladningsbærer, men gir ulike modeller for å forklare mekanismene bak elektroners forflytning gjennom en krets. Lærebøkene er med andre ord tilsynelatende uenige om hva spenning er, og hvordan det oppstår. Kj2 vektlegger forskjell i elektronegativitet og reduksjonspotensial mellom ulike metallpar, og Fy1 omtaler en elektrisk kraft som gjør et arbeid på ladningen. Ingen av disse forklaringsmodellene ble funnet i lærebøkene i det andre faget. Det er vanskelig å vurdere om disse modellene er compatible eller motstridende basert på framstillingene i bøkene, så det vil neppe være en enkel oppgave for elever å avgjøre heller.

5.3.2 Tilnærming til elektrisitet i Fy1 og Kj2

Lærebøkene har svært ulike tilnærminger til elektrisitet, og dette er i tråd med kompetansemålene i læreplanene. Her er ulikhetene mellom fagene så store at de både utfyller hverandre på noen punkter og motstrider hverandre på andre. Kj2 innleder temaet med en historisk vinkling, mens Fy1 «hopper rett inn» i fagstoffet. Fy1 inkluderer et tosifret antall kretsskjema, går detaljert inn på grunnleggende elektrisitetslære og beskriver størrelsene ladning, strøm, spenning og resistans både kvalitativt og kvantitativt. De tre førstnevnte størrelsene benyttes til beregninger knyttet til elektrokjemiske reaksjoner i Kj2, men resistans nevnes ikke. Kj2 vektlegger hvordan kjemiske reaksjoner kan utnyttes til elektrisk energi og motsatt, konsekvenser av materialvalg i batterier, samt batteriers oppbygning, funksjon og bruksområder.

I Kj2 innledes kapittel 1 *Oksidasjon og reduksjon* med fire kjente definisjoner av redoksreaksjoner. I denne teksten er det kun elektronmodellen som er særlig relevant; at elektroner overføres helt eller delvis mellom to stoffer. Kapittel 2 *Elektrokjemi* tar redoksreaksjonene et steg videre og beskriver elektrokjemiske celler. Reduksjonene og oksidasjonene settes opp som separate halvreaksjoner og foregår på hvert sitt sted. Elektronene går i en ytre krets fra reduksjonsmiddelet til oksidasjonsmiddelet. Det skilles mellom elektrokjemiske celler [galvaniske elementer] som produserer elektrisk energi ved hjelp av kjemiske reaksjoner, og elektrolyseceller som krever elektrisk energi for å drive kjemiske reaksjoner og framstille produkter.

Vi kan allerede legge merke til at kjemi og fysikk har ulike tilnærminger til – og interesseområder tilknyttet – elektrisitet. Men vi skal også se at det er uenighet om årsakene som ligger til grunn for å forklare hvorfor elektrisitet oppstår, og om hva strøm og spenning egentlig er.

5.3.3 Elektrisitetslære i fysikk: ladning, strøm, spenning og resistans

Den første størrelsen Fy1 beskriver, er *ladning*. Ladning har symbol Q og måles i coulomb (C), men Fy1 forteller også at vi ikke vet hva ladning egentlig er. Robert Millikan krediteres for den første målingen av ladningsmengde pr elektron, og denne *elementærladningen* gjør at ladning er kvantisert. Gjennom to regneeksempler blir leseren kjent med hvor mange elektroner som kreves for å oppnå en ladningsmengde lik 1 C, og hvor stor ladning protonene og elektronene i ett gram hydrogen har.³

³ Dette eksempelet oppgir at ett gram hydrogen består av $N = 6,0 \cdot 10^{23}$ hydrogenatomer. Jeg vil påpeke at dette tallet er avledet av Avogadros konstant ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$), som er antall i ett mol (SI-enheten for stoffmengde). Avogadros konstant og molbegrepet er essensielle i kjemi. Den molare massen til hydrogen (1,008 g/mol) gir at ett gram hydrogen tilsvarer ett mol hydrogenatomer.

Videre forklarer Fy1 hvorfor metaller kan lede strøm (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 265):

De fleste metaller er faste stoffer ved vanlige temperaturer. Atomkjernene ligger da fast i et mønster og kan ikke bevege seg. De ytterste elektronene i hvert atom er derimot løst bundet og kan lett bevege seg i metallet. Derfor kaller vi dem *ledningselektroner*. Det er disse elektronene som beveger seg når det går en elektrisk strøm i metallet.

Fy1 definerer *elektrisk strøm* (I) som ladning per tidsenhet. Se likning (5.1) nedenfor.

$$I = \frac{Q}{t} \quad (5.1)$$

Strøm måles i ampere (A), som ifølge formel (5.1) er lik ladning pr sekund, $1 A = 1 \frac{C}{s}$. Positiv strømretning er retningen positive ladninger ville ha beveget seg. I et metall kan ikke de positivt ladde atomkjernene flytte seg fordi de ligger i et fast mønster, men de negativt ladde elektronene kan bevege seg, og går i motsatt retning. Se Figur 5.16. Spenningskilden i en elektrisk krets holder strømmen i gang, og har derfor en elektromotorisk spenning. Fy1 gir en vannrøranalogi for strøm, og en fossefallsanalogi for spenning – begge er vist med figurer.

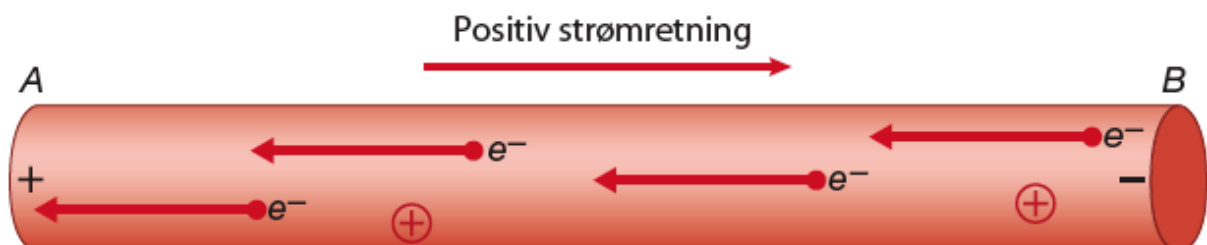
En elektrisk kraft driver ladningen i kretsen. Denne kraften utfører et arbeid W på ladningen. *Spenning* blir definert som arbeid per ladning, se formel (5.2).

$$U = \frac{W}{Q} \quad (5.2)$$

Resistans beskrives slik i Fy1 (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 269):

Et materiale som det går strøm gjennom, gjør motstand mot strømmen. Det kan vi forklare med en mikroskopisk modell: Når elektroner strømmer gjennom et materiale, kolliderer de stadig med atomene i materialet. De mister derfor energi og må stadig få tilført ny energi fra en spenningskilde. Samtidig øker temperaturen i materialet, fordi energien i atomene øker.

De andre begrepene i elektrisitetens lære som beskrives i Fy1 (energi og effekt) er utelatt fra utvalget her fordi de ikke tilfører noe nytt om egenskapene til elektronene.



Figur 5.16 Elektrisk strøm i en metalltråd, fra Fy1.

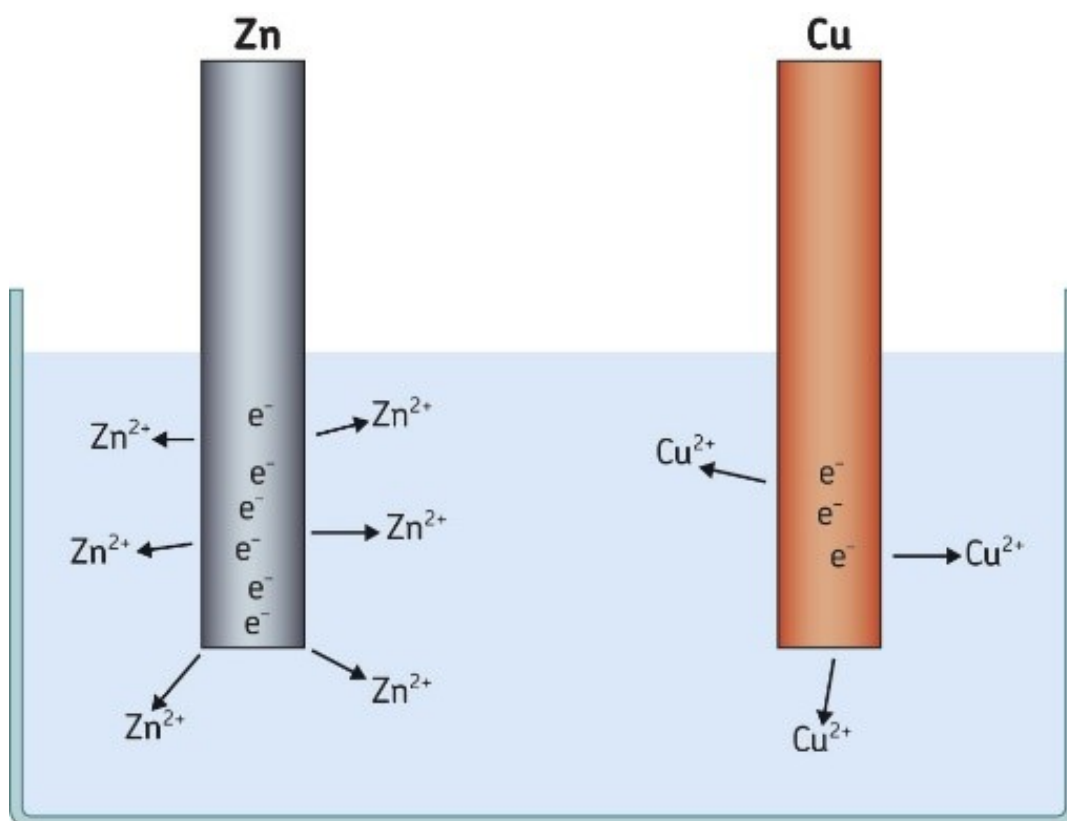
Linjestykket AB er en del av en elektrisk krets. Punkt A er koblet til den positive polen på spenningskilden, og punkt B til den negative polen. Det virker elektriske krefter på atomene i metallet. Atomkjernene (+) ligger fast i metalltråden, mens de ytterste elektronene (e^-) er løst bundet og kan derfor lett bevege seg i metallet.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017)

5.3.4 Elektrokjemi: spenning, strøm og ladning

Kj2 innleder temaet om elektrokjemi med en forklaring på hvorfor elektroner vil bevege seg fra ett metall til et annet. Boka forklarer at metaller har ulik evne til å sende ut ioner i vann, og denne evnen henger sammen med elektronegativitet. Jo høyere elektronegativitet, desto sterkere binding mellom ionene og elektronene. Dette medfører at mer elektronegative metaller sender færre ioner ut i vannløsningen. Figur 5.17 illustrerer forskjellen mellom hvor lett ioner sendes ut fra sink og fra kobber. Vi ser at sinkstaven sender flere ioner ut i vannløsningen enn kobberstaven gjør. Det oppstår et større overskudd av elektroner på sinkstaven, og den får høyere negativ ladning enn kobberstaven. Dette gjør at vi kan måle en spenning på 1,1 V mellom metallstavene.

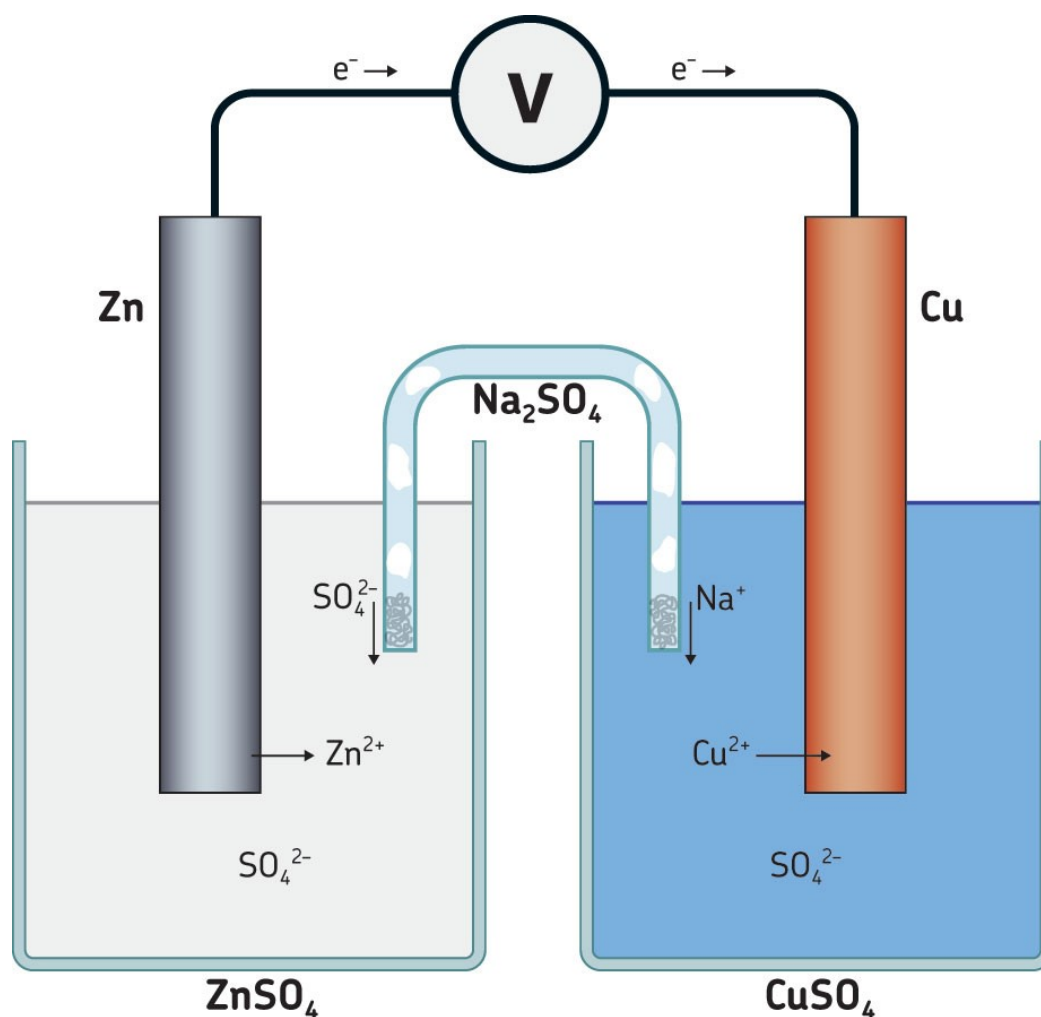
Videre forteller Kj2 om «Daniell-elementet», som ofte presenteres som et standard oppsett for en galvanisk celle i lærebøker i kjemi. Det er likevel noen ulikheter mellom figurer i ulike kilder, som kan skyldes at detaljnivået velges med tanke på hvem som er målgruppa for figuren. Figurer varierer altså muligens med hvilket vanskelighetsnivå forfattere velger å legge seg på. Illustrasjonen i Kj2 er gjengitt i Figur 5.18 og viser hvilken retning elektronene og de ulike ionene i cella beveger seg.



Figur 5.17 Metaller som sender ut ioner i vann, hentet fra Kj2.

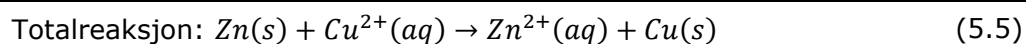
Sink (Zn) har svakere elektronegativitet enn kobber (Cu) og vil derfor lettere avgi elektroner. Det dannes derfor flere sinkioner enn kobberioner, og sinkstaven får større negativ ladning enn kobberstaven.

(Steen, Fimland, & Juel, 2011, s. 35)



Figur 5.18 Skjematisk oversikt over Daniell-element fra Kj2. Halvceller med henholdsvis sink og kobber i respektive sulfatløsninger. Saltbru med natriumsulfat utjevner ladningsforskjellen i de to halvcellene. (Steen, Fimland, & Juel, 2011, s. 36)

I Daniell-elementet foregår to halvreaksjoner ved at sink og kobber er fysisk skilt fra hverandre, men koblet sammen via et voltmeter. Sinkmetall blir oksidert ved anoden, (se likning (5.3)) og kobberioner blir redusert ved katoden (se likning (5.4)). Totalreaksjonen er en redoksreaksjon mellom sink og kobber. Denne er angitt i likning (5.5).



Spenningen som måles, kalles cellepotensialet. Dersom det er standardtilstand (25 °C, 1 atm trykk og løsningene i halvcellene har konsentrasjon 1 mol/L) brukes betegnelsen standard cellepotensial, E^0 .

Læreplanen for kjemi 2 sier blant annet at elevene skal kunne «beregne kapasiteten og cellepotensialet til et batteri og utbyttet i en elektrolyse» (Udir, 2006b).

- *Kapasiteten i et batteri* er størrelsen på ladningen i batteriet. Den kalles også strømmengde eller elektrisitetsmengde. Kapasiteten kan uttrykkes i coulomb (C) eller amperetimer (Ah) og beregnes med utgangspunkt i massen av den begrensende reaktanten. For å beregne batterikapasiteten må man benytte sammenhenger mellom strøm og ladning, masse og stoffmengde, og ladningsmengde pr stoffmengde elektroner (Faradays konstant).
- *Cellepotensialet til et batteri* er spenningen hver celle i batteriet leverer. Potensialet skyldes elektronegativitetsforskjell mellom reaktantene, og beregnes ved hjelp av verdier i spenningsrekka, eller også kalt tabell over standard reduksjonspotensial.
- *Utbyttet i en elektrolyse* er hvor mye stoff som framstilles i løpet av tida elektrolysen foregår. Utbyttet beregnes ved hjelp av de samme størrelsene som ved batterikapasitet, og uttrykkes i masse av fast stoff som avsettes eller volum av gass som dannes.

Kj2 bruker – i motsetning til lærebøkene i fysikk – i liten grad formler med symboler når disse punktene behandles, men benevninger er ivaretatt i mellomregningene i regneeksemplene som presenteres.

5.3.5 Oppsummering av hvordan elektroner framstilles i figurer innenfor elektrisitet

Elektroner blir framstilt som partikler gitt ved kuler, eller konvensjonelt med skrivemåten e^- . I Fy1 blir elektroners forflytning i en krets ofte også angitt ved røde vektorpiler. I Figur 5.17 fra Kj2 er elektroner vist med e^- som blir værende i metallstengene når metallioner sendes ut i vannløsningen. En svakhet som kan påpekes ved denne figuren, er at støkiometrien ikke er ivaretatt; hver av sink- og kobberatomene gir fra seg to elektroner når de danner ioner, men figuren indikerer et 1:1-forhold.

En enkel sammenligning av hvordan de grunnleggende størrelsene ladning, strøm, spenning og resistans beskrives i lærebøkene i fysikk og kjemi er oppsummert i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Enkel sammenligning av hvordan størrelser i elektrisitetslære framstilles i lærebøkene. Egne kommentarer er gitt i klammer.

	Fysikk	Kjemi
Ladning	Vi vet ikke hva ladning er.	«Ladningen til et batteri er produktet av strømstyrke og tid. Kapasiteten til et batteri er derfor et mål for hvor stor ladning batteriet har.» [Coulomb, ampere sekunder, milliamperetimer]
	Elementærladningen [=ladningsmengde per elektron]: $-e = -1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ [Stoffmengdebegrepet (mol) kjent fra kjemi refereres indirekte i et eksempel.]	Faradays konstant [=ladningsmengde per stoffmengde av elektroner]: $F = \frac{96\,500 \text{ C}}{\text{mol } e^-}$
Strøm	$I = \frac{Q}{t}, \quad 1 \text{ A} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}}$ Transportert ladning per tid. Atomkjerner i ro, ytterste elektroner beveger seg.	[Behandles kun til mellomregninger i forbindelse med beregninger knyttet til batterikapasitet og elektrolyseutbytte.] $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$
	«Kraftretningen er fra A til B for de positive kjernene, men de ligger fast i metalltråden. Elektronene, derimot kan bevege seg. Fordi de har negativ ladning, beveger de seg fra B til A.»	$n_{e^-} = \frac{I \cdot t}{F}$
Spenning	En kraft driver ladning fra A til B. «Denne kraften utfører et arbeid W på ladningen. [...] Arbeidet per ladning viser seg å være like stort for alle ladninger som går fra A til B. Arbeidet per ladning kaller vi spenningen mellom A og B.» $U = \frac{W}{Q}, \quad 1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$	«[...] vil sink ha lettere for å sende ioner ut i vannløsningen enn kobber. Sink får dermed en større ladning av elektroner på metallet enn det kobber får, og vi kan måle en elektrisk spenning mellom de to metallplatene» Elektronegativitet som forklaringsmodell. Reduksjonspotensial. Spenningsrekke. Standard hydrogenelektrode (SHE) 0,00 V.
Resistans	«Når elektroner strømmer gjennom et materiale, kolliderer de stadig med atomene i materialet. De mister derfor energi og må stadig få tilført ny energi fra en spenningskilde. Samtidig øker temperaturen i materialet, fordi energien i atomene øker.» $R = \frac{U}{I}, \quad 1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}$	[Ikke behandlet i denne boka.]

Motstand: komponent i strømkrets som regulerer resistans.

5.4 Kvantefysikk

Mål for opplæringen er at eleven skal kunne:

Kjemi 1

- (gjøre rede for den historiske utviklingen av atombegrepet og) beskrive og sammenligne Bohrs atommodell og dagens atommodell

Fysikk 2

- gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt, og kvalitativt gjøre rede for hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk

- (gjøre rede for bevaringslover som gjelder i prosesser med elementærpartikler, og beskrive vekselvirkningene mellom elementærpartikler)

- gjøre rede for Heisenbergs uskarphetsrelasjoner, (beskrive fenomenet sammenfildrede fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem)

Boks 5.4: Kompetansemål som handler om kvantefysikk.

Kvantefysikk er inkludert i hovedområdet «Moderne fysikk» for programfaget fysikk 2, og behandles i læreboka Fy2 i kapittel 9 *Kvantefysikk*. Læreboka Kj1 har valgt å berøre temaet kort i forbindelse med atomteori selv om kvanteteori ikke nevnes eksplisitt i læreplanene i kjemi. Ved kronologisk gjennomgang av lærebøkene vil kvantefysikk være noe av det første kjemielevne møter, og blant det siste fysikkelevne møter.

Kvantefysikk er et fagområde som bryter med klassisk fysikk, fordi vi blant annet må betrakte lys som partikler i tillegg til bølger (bølge-partikkeldualitet). Dette åpner for at også partikler som protoner og elektroner kan opptre som bølger. Vi skal se nærmere på hva lærebøkene sier om elektronene i denne konteksten.

5.4.1 Hvordan bidrar avsnittene om kvantefysikk til å nyansere elektronets natur?

Elektronene er fortsatt angitt som negativt ladde partikler med masse, men nye egenskaper blir introdusert. Fotoner med høy nok frekvens kan «rive løs» elektroner (fotoelektrisk effekt), og elektroner kan føre til høyfrekvent stråling (røntgenstråling). Forklaringene på dette forutsetter at elektroner betraktes som partikler *og* bølger. Elektronenes bølgeegenskaper er bekreftet ved interferensforsøk. Ved elastiske støt med fotoner kan elektroner få kinetisk energi (comptoneffekten).

Det er umulig å bestemme både et elektrons posisjon og bevegelsesmengde nøyaktig (Heisenbers uskarphetsrelasjon). Schrödingers bølgelikning gir sannsynlige posisjoner for et elektron; atomorbitaler.

Videre gjør jeg rede for hvordan dette har kommet fram.

Det er mange historiske oppdagelser som leder fram til at elektronet kan betraktes som en partikkel med bølgenatur, og de ulike lærebøkene har selektert og vektlagt hendelsene ulikt. Nedenfor gir jeg en redegjørelse for hvordan lærebøkene Kj1, Fy1 og Fy2 har omtalt hendelser som har betydning for kvantefysikk. Kj2 er utelatt fordi boka ikke inneholder henvisninger til kvantefysikk. Hendelsene oppgis i samme rekkefølge som i lærebøkene.

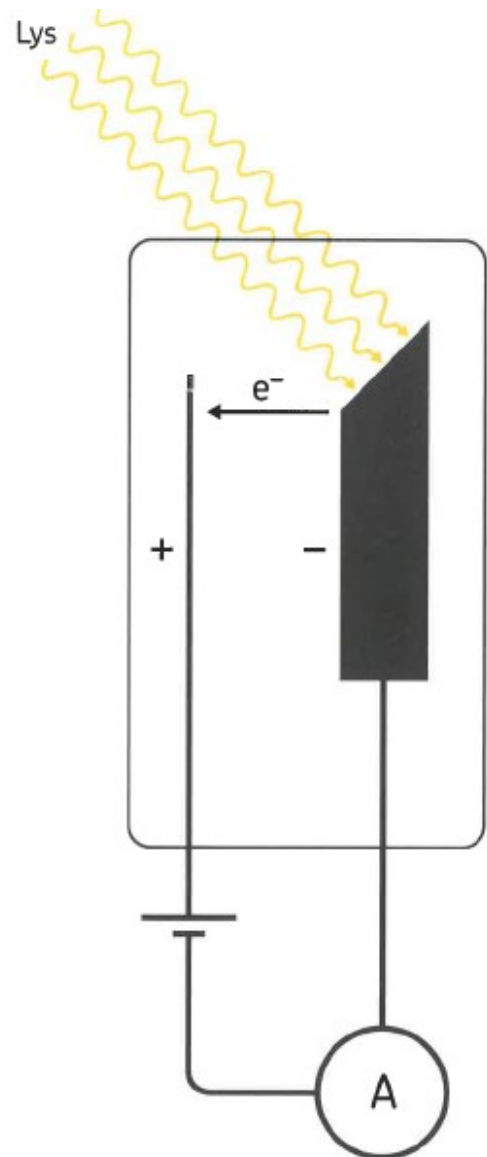
5.4.2 Beskrivelser av hendelser knyttet til kvanteteori i Kj1

Kj1 innleder kapittel 1 *Atom, molekyler og ioner* med oppdagelsene som leder til henholdsvis Thomsons og Rutherfords atommodeller. Det stadfestes at elektronet er en negativt ladd partikkel med masse på 0,0005 u. Før introduksjon av Bohrs atommodell, forteller Kj1 om bølgenaturen til lys «fordi lys og elektroner har en del felles egenskaper.» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 37). Kj1 gjengir da først sammenhengen mellom frekvens og bølglengde, og at Planck fikk en revolusjonerende idé om at energi sendes ut i små porsjoner han kalte kvanter. Da fant han sammenhengen mellom frekvens og energimengde til lys. Sammenhengen er uttrykt i likning (5.6), der E står for energi, f er frekvensen til lyset, og h er Plancks konstant.

$$E = h \cdot f \quad (5.6)$$

I samme avsnitt beskrives fotoelektrisk effekt. Lys med høy nok frekvens gjør at det går strøm i en krets der to metallplater er koblet til en spenningskilde, men ikke er i kontakt med hverandre. Se Figur 5.19. Einstein får æren av å forklare fenomenet. Da måtte han beskrive lys som partikler, og kalte disse *fotoner*. Fotonene slår løs elektroner fra den negativt ladde metallplata, og den positivt ladde metallplata trekker til seg elektronene.

Kj1 beskriver bølge-partikkeldualismen⁴ til lys: «[...] lys oppfører seg som en bølge så lenge det bare er utsatt for svake hindringer, men oppfører seg som en partikkel når det enten blir sendt ut av eller tatt opp av en gjenstand.» (Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 38)



Figur 5.19 Fotoelektrisk effekt, gjengitt fra Kj1.

Fotoner sparker løs elektroner fra den negativt ladde plata. Elektronene trekkes til den positivt ladde plata, og da går det strøm i kretsen.

(Steen, Fimland, & Juel, 2018, s. 38)

⁴ Kj1 bruker skrivemåten bølge-partikkeldualismen.

Videre gjengir Kj1 at Bohr forklarer i sine to postulater hvorfor atomer kan sende ut lys når de tilføres energi.

1. Elektronene beveger seg i bestemte baner rundt atomkjernen, der de har en bestemt energi. Der gir de ikke fra seg energi.
2. Dersom fotoner med bestemt energi tas opp, går atomet fra ett energinivå til et annet. Energien i fotonet må være lik differansen mellom de to energinivåene, se likning (5.7) nedenfor.

$$E = E_2 - E_1 \quad (5.7)$$

Det første postulatet strider mot klassisk fysikk,⁵ og det viser seg også senere at elektronene ikke går i faste baner. Bohrs atommodell forklarer hvordan atomspektre oppstår ved at elektroner eksiteres til høyere energinivå, men modellen egner seg kun til å vise dette for hydrogenatomet.

De Broglie stiller seg et spørsmål om partikler som elektronet kan betraktes som bølger, når lys kan betraktes som partikler. Dette bekreftes av andre ved interferensforsøk. Schrödinger viderefører tankene til de Broglie og setter i 1926 opp en likning som beskriver elektronets posisjoner. Schrödingers bølge­likning, eller Schrödingerlikningen er gjengitt i likning (5.8) og forklares ikke videre i læreboka.

$$\frac{\delta^2 \Psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta z^2} + \frac{8\pi^2 m_e}{h^2} [E - V(x, y, z)] \Psi = 0 \quad (5.8)$$

Atomorbitalteorien utvikles på bakgrunn av Schrödingerlikningen og at Heisenberg i 1927 viser at man ikke kan bestemme et elektrons posisjoner nøyaktig.

5.4.3 Hendelser i kvantefysikk, som gjengitt i Fy1

I likhet med Kj1 introduserer Fy1 Plancks revolusjonerende kvantehypotese med likning (5.6) etter Rutherford's kjernemodell. Det opplyses at Plancks konstant, h , har verdien $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$. Likningen forteller at «*et atom kan bare sende ut eller ta imot energi i bestemte posjoner eller energikvanter*» (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, s. 180). Einstein finner at mange av lysfenomenene er mer forståelige dersom man antar at lysenergien ikke er kontinuerlig fordelt. Disse lyskvantene (fotonene) har en energi som bestemmes kun av frekvensen til fotonet, som er i tråd med Plancks likning (5.6).

Bohr tenker seg at elektronene beveger seg som satellitter i bane rundt atomer og setter opp sine postulater:

1. Elektronet kan bare være i bestemte energinivåer. Da stråler det ikke ut energi.
2. Elektronet kan falle fra en eksitert tilstand til et lavere energinivå, og energiforskjellen mellom nivåene sendes ut som et energikvant (foton).

⁵ Læreboka forklarer ikke nærmere hva de mener med at postulatet strider mot klassisk fysikk.

Bohr klarer kun å gi en god modell for energinivåene i et hydrogenatom, se likning (5.9).

$$E_n = -\frac{B}{n^2} \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\} \quad (5.9)$$

En matematisk modell gis for energien i fotonet som sendes ut når elektronet faller fra energinivået E_n til E_m i likning (5.10).

$$hf = E_n - E_m = \left(-\frac{B}{n^2}\right) - \left(-\frac{B}{m^2}\right) = B\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (5.10)$$

Videre forteller Fy1 om atomspektre, luminescens og dopplereffekten. Elektroner nevnes ikke videre i dette kapitlet.

5.4.4 Redegjørelser for kvantefysikk i Fy2

I kapittel 9 *Kvantefysikk* får vi først en påminnelse om lysfotonenes energi, $E = hf$, der f er strålingsfrekvensen og h er planckkonstanten: $6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$.

Fy2 fortsetter med at Hertz i 1887 først observerte den fotoelektriske effekten. Ved bruk av ensfarget lys viser det seg at det går strøm i kretsen hvis man bruker blått lys, men ikke med rødt lys. Strømmen begynner å gå ved en bestemt frekvens, grensefrekvensen f_g , som er avhengig av hvilket metall det er på katoden.

I 1905 publiserer Einstein tre artikler, hvor den ene omhandler fotoelektrisk effekt. Ved å tenke på lys som partikler, kunne Einstein forklare fenomenet. Dette var nyskapende fordi det brøt med den klassiske lysbølgetenkingen. Fotonenergien gitt ved Plancks likning (5.6), gjør et arbeid W for å rive løs et elektron og gir elektronet kinetisk energi E_k , se likning (5.11) og Figur 5.20.

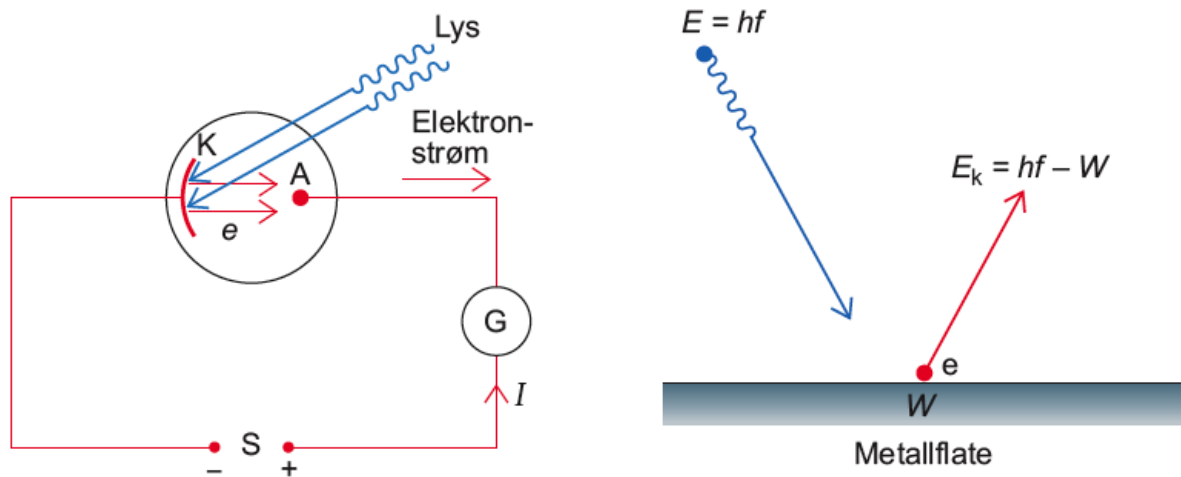
$$hf = W + E_k \quad (5.11)$$

Einstein betrakter fotoner som partikler med bølgeegenskaper og utleder fotonets bevegelsesmengde fra to likninger fra relativitetsteori: $E = \gamma mc^2$ for totalenergi og $p = \gamma mv$ for bevegelsesmengde.⁶ Disse kombineres til likning (5.12).

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (5.12)$$

Bevegelsesmengde p er en vektor og er definert som produktet av masse og fart i klassisk fysikk. Med likning (5.12) viser Einstein at fotonet også har bevegelsesmengde.

⁶ γ er lorentzfaktoren som beregnes fra forholdet mellom partikkelens fart og lysfarten. Ved lave hastigheter vil γ være ≈ 1 . Verdien av γ nærmer seg uendelig når farten nærmer seg lysfarten.

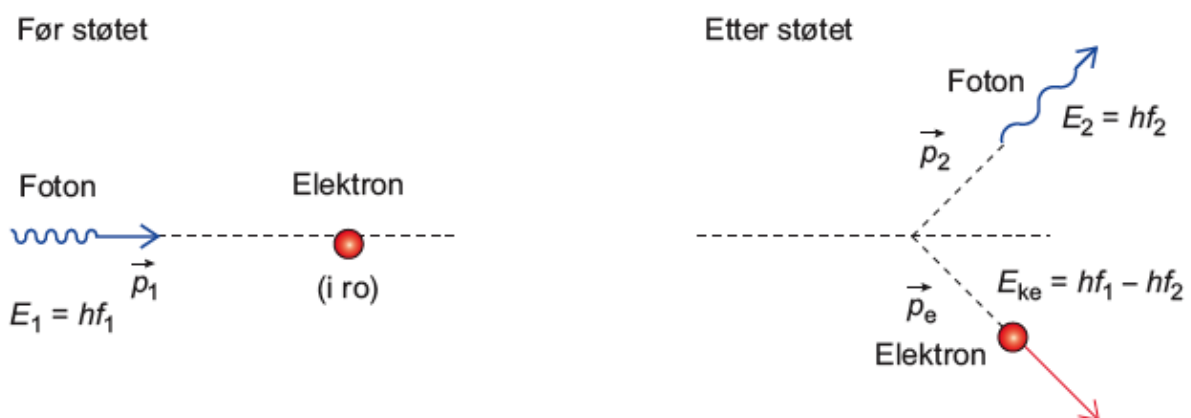


Figur 5.20 Fotoelektrisk effekt, fra Fy2.

Lys med en viss frekvens slår løs elektroner fra katoden K. Det elektriske feltet gjør at elektronene trekkes til anoden A. Amperemeteret G vil da måle en strøm i kretsen. (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 250)

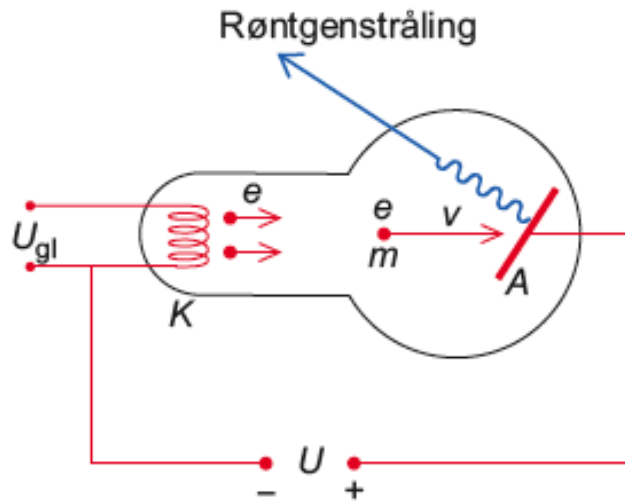
I 1923 gjør Compton forsøk med bestråling av grafitt med røntgenstråling. Elektroner blir sendt ut fra grafitten og strålingen får lavere frekvens og forandrer retning. Dette er vist i Figur 5.21. Vi må betrakte lys som partikler istedenfor bølger, og comptoneffekten bryter derfor med klassisk fysikk.

Videre forteller Fy2 kort om pardanning og annihiling, der henholdsvis et gammafoton kan omdannes til en partikkel, en antipartikkel og kinetisk energi, og et partikkel-antipartikkel-par annihileres og danner to gammafotoner. Dirac teoretiserte eksistensen av antipartikkelen til elektronet fra en kvantefysisk likning i 1928, men positronet ble ikke observert før noen år senere.



Figur 5.21 Comptoneffekten, fra Fy2.

Et foton overfører noe av energien til et elektron i et elastisk støt, slik at elektronet får kinetisk energi. Restenergien gir et nytt foton. (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 254)



Figur 5.22 Røntgenstråling, fra Fy2.

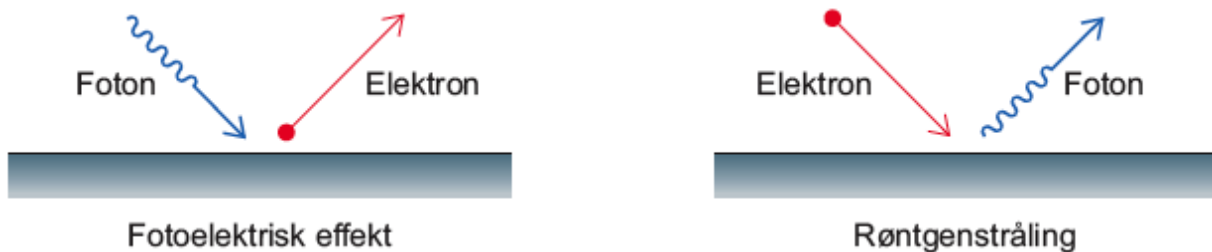
Elektroner akselereres fra en glødekathode mot en anode. Energien produserer høyfrekvente fotoner som sendes ut.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 256)

I 1895 oppdaget von Röntgen en type stråling som kunne trenge gjennom stoff. Røntgenstrålingen er fotoner med høy frekvens, og kan lages ved å sende elektroner fra en glødekathode mot en anode. Elektronene akselereres ved hjelp av høy spenning. Ved anoden omformes energien i elektronet til røntgenstråling med ulike frekvenser. Energien i strålingen begrenses av spenningen i røntgenrøret. Se Figur 5.22. Røntgenstråling er altså det motsatte av fotoelektrisk effekt. Se Figur 5.23.

Lys har partikkelegenskaper, jamfør fotoelektrisk effekt og comptoneffekten. Dette åpner for at partikler også kan ha bølgeegenskaper. I 1924 foreslår de Broglie at Einsteins likning for bevegelsesmengde for et foton (se likning (5.12)) kan snus for å finne bølgelengden til en partikkel. Se likning (5.13).

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (5.13)$$



Figur 5.23 Sammenligning av fotoelektrisk effekt og røntgenstråling, hentet fra Fy2.

T.v.: Ved fotoelektrisk effekt vil fotoner med høy nok frekvens rive løs elektroner slik at det går elektrisk strøm. T.h.: Ved røntgenstråling omformes akselererte elektroner til høyfrekvent stråling ved hjelp av høy spenning.

(Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2012, s. 257)

G. Thomson viser at elektroner har bølgeegenskaper i 1927 ved et interferensforsøk. Beregninger av elektronets bølgelengde fra forsøket, stemte overens med de Broglies formel. Samme år lanserer Heisenberg prinsippet som sier at vi ikke kan måle både posisjon og bevegelsesmengde for en partikkel helt nøyaktig. Fy2 kaller dette Heisenbergs uskarphetsrelasjoner. Vi kan likevel beregne sannsynligheten for å observere et elektron i et visst område.

Etter en redegjørelse for sammenfiltrede fotoner, forteller Fy2 om elementærpartikler. Partikler som består av kvarker, kalles hadroner. Kjernepartiklene protonene og nøytronene består av opp- og nedkvarker. Et nøytron kan omdannes til et proton, og det dannes samtidig et elektron, et nøytrino og energi. Dette skjer ved betastråling. Leptoner er elementærpartikler som ikke påvirkes av den sterke kjernekraften. Leptoner omfatter blant annet elektroner og nøytrinoer, og deres antipartikler. I *standardmodellen* formidles alle krefter av partikler. Vekselvirkninger medfører utveksling av kraftpartikler.

Fy2 avslutter kapittelet med at den generelle relativitetsteorien og standardmodellen motstrider hverandre på mikronivå. Vi trenger en ny teori. Newtons mekanikk, den generelle relativitetsteorien og standardmodellen er svært gode teorier innenfor hver sine gyldighetsområder.

5.4.5 Figurer i kvantefysikk

I begge fag er det brukt konvensjonelle representasjoner av elektronene ved skrivemåten e^- . Kretsskjema med konvensjonelle symboler er også benyttet i begge fag i figurer som viser fotoelektrisk effekt.

Fy2 har valgt å tegne elektronene som røde kuler i noen tilfeller (comptonspredning) eller røde vektorpiler når de er i bevegelse. Lys er angitt som bølgede streker som ender i en pil for å angi bevegelsesretning, og ulik energi i fotoner er angitt med ulike bølgelengder (se Figur 5.21). Man kan undres over at fotonene er angitt med bølgede piler, men elektronene konsekvent tegnes med rette piler (se Figur 5.20, Figur 5.22 og Figur 5.23). Dette kan svekke forståelsen av elektroner som partikler og bølger. Samtidig kommer disse figurene før Fy2 konkluderer med elektronenes bølgenatur, og figurene er valgt og designet for å tydeliggjøre andre momenter.

5.5 Oppsummering av elektronet i et historisk lys

Den tematiske rekkefølgen – både i denne teksten og i lærebøkene – gjør det vanskeligere for leseren å holde oversikt over rekkefølgen i hendelsene som beskrives. En kronologisk oversikt over de sentrale hendelsene er derfor oppsummert i Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Oversikt over historiske hendelser og oppdagelser nevnt i lærebøkene. Kronologisk oversikt over oppdagelser med betydning for forståelse av elektronets natur, og hvilke lærebøker som henviser til dem.

Hendelser og oppdagelser	Kj1	Fy1	Fy2
1887 Hertz observerer fotoelektrisk effekt	X ⁷		X
1895 Røntgenstråling oppdages			X
1897 J. J. Thomson oppdager elektronet, kuleformet atommodell	X	X	
1900 Planck: energikvanter. $E = hf$	X	X	X
1905 Einstein publiserer tre artikler (relativitetsteorien, brownske bevegelser, fotoelektrisk effekt)	X		X
1910 Rutherford's gullfolieeksperiment, kjernemodell for atomet	X	X	
1910 Millikans oljedråpeeksperiment		X	X
1913 Bohrs to postulater og Bohrs solsystemmodell for atomet	X	X	
1923 Comptoneffekten oppdages			X
1924 de Broglie: partikler har bølgeegenskaper	X		X
1926 Schrödingers bølgelikning for elektronets posisjoner	X		
1927 Heisenbergs uskarphetsrelasjon	X		X
1927 G. Thomson viser elektronets bølgenatur med interferensforsøk	X ⁸		X
1928 Dirac teoretiserer positronet fra en kvantelikning			X
Ukjent årstall Atomorbitaler for hver løsning av Schrödingerlikningen	X		

⁷ Hertz krediteres ikke.

⁸ Interferensforsøk nevnes, men boka oppgir ikke navn.

6 Diskusjon

6.1 Drøfting

Problemstillingen mine er:

Hvordan framstår elektroner i lærebøker i programfagene fysikk og kjemi for videregående opplæring i Norge? Og hvilket forbedringspotensial avdekkes eventuelt for å skape et mer helhetlig bilde av elektronene og deres natur?

For å besvare disse problemstillingene, har arbeidet blitt styrt av fem forskningsspørsmål. Disse besvares under egne overskrifter nedenfor, der funnene knyttes opp mot litteratur.

6.1.1 Hvordan framstilles elektronet innenfor og på tvers av ulike tema i lærebøker i fysikk og kjemi?

Vi har sett at ulike sider av elektronenes natur framheves avhengig av hvilket tema som behandles, men også at det er noen forskjeller mellom hvordan elektronets funksjonelle egenskaper blir framstilt i fysikk og i kjemi. Noen av ulikhetene kan spores tilbake til hvilken modell av atomet som til enhver tid benyttes. Lærebøkene i begge fag gir en innføring i modelltyper, men kun Fy1 diskuterer begrepet «modell» på en måte som ligger tett opp til hvordan det er brukt i denne teksten. Lærebøkene i kjemi bruker begrepene «modell» og «figur» mer synonymt.

Både Fy1 og Kj1 gir en oversikt over atommodeller i et historisk perspektiv. Fy1 beskriver Thomsons, Rutherfords og Bohrs atommodeller, og Kj1 inkluderer i tillegg en orbitalmodell som baseres på kvantemekanikk. Gjennom læreboka veksler Kj1 hyppig mellom ulike modeller (særlig Bohrs atommodell og orbitalmodellen), men verken hvert modellvalg eller vekslingen mellom dem blir begrunnet tydelig. Kj1 inneholder også figurer med representasjonsformer som ikke er forenlig med noen av modellene, og andre som viser hybridmodeller med karakteristikk fra flere modeller. Dette samsvarer med andre analyser av lærebøker i kjemi (Justi & Gilbert, 2002). Basert på at lærebøker er det mest brukte hjelpemiddelet for å lære kjemi (Justi & Gilbert, 2002), at lærere ofte betrakter lærebøker som viktige ressurser for elevene (Bergqvist & Chang Rundgren, 2017) og undersøkelser viser at kun lærere med grader i fysikk eller kjemi diskuterer modellbegrepet tilfredsstillende (Justi & Gilbert, 2002), er det viktig at lærebøker i kjemi har et bevisst forhold til modeller.

Fy1 benytter i flere tilfeller forklaringer og figurer som i liten grad samsvarer med atomteorien. Ett eksempel er båndteori (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, ss. 293-295) som bryter med forestillingen om diskrete energinivå i Bohrs atommodell, uten at Fy1 tydeliggjør at en ny modell tas i bruk. Et annet eksempel dukker opp rett etterpå: nettverksstoffer avbildes slik at fire elektroner tydelig tilhører hvert atom og hver binding mellom atomer er tegnet som en strek mellom to elektroner (Callin, Pålsgård, Stadsnes, & Tellefsen, 2017, ss. 296-297). Denne illustrasjonen av kjemiske bindinger samsvarer ikke

med figurer i kjemilærebøkene, og bryter i tillegg med prinsippet om at like ladninger frastøter hverandre.

Kj1 legger Coulombs lov fra fysikk til grunn for å forklare kjemiske bindinger. Bruk av denne henvisningen støttes av Kronik *et al.* (2008), som argumenterer for å benytte begrepene *energi* og *kraft* fra fysikk til å begrunne dannelse av kjemiske bindinger. Lærebøkene i kjemi følger likevel ikke opp med eksplisitte henvisninger til Coulombs lov for å forklare andre egenskaper. Ett eksempel der elektroner er særlige relevante, kunne være egenskapen reduksjonspotensial ved sammenligning av ulike metaller i elektrokjemi.

Framstillinger av de ulike bindingstypene er ikke alltid virkelighetsnære, men stemmer overens med gjengivelser av eksempler fra andre lærebøker hos Bergqvist *et al.* (2013). Dette gjelder eksempelvis for ionebinding, som Kj1 definerer kort som tiltrekning mellom motsatt ladde ioner – en standard formulering man kan finne i mange lærebøker. I Kj1 introduseres denne bindingstypen med dannelse av ioner ved utveksling av et elektron fra et nøytralt natriumatom til et nøytralt kloratom. Presentasjon av elektronoverføringer mellom enkeltstående atomer som foranledning for ionebindinger er også utbredt ellers (Taber & Coll, 2002) (Bergqvist, Drechsler, De Jong, & Chang Rundgren, 2013), men stemmer ikke overens med realistiske situasjoner.

Kj1 presenterer elektronparbinding også med utgangspunkt i frittstående nøytrale atomer, som deler elektroner når de bindes sammen. Dette ble også funnet hos Bergqvist *et al.* (2013). Figurene i fysikkbøkene bruker analogier (springfjær) eller alternative framstillinger av elektronparbindinger (strek mellom elektroner i separate naboatomer) som ikke kommuniserer hvordan kjemiske bindinger fungerer på en tilfredsstillende måte.

Metallbinding beskrives i Kj1 som krefter mellom positive atomkjerner og en felles elektronsky, som også er i samsvar med eksempler funnet i Bergqvist *et al.* (2013), og Bergqvist og Chang Rundgren (2017). Denne modellen omtales ofte som «elektronsjømodellen», der de ytterste elektronene ikke tilhører bestemte atomer. Kj1 trekker fram at denne modellen er en forenkling, men tilbyr ikke noen annen modell. Elektronsjømodellen kan være til hinder for elevenes forståelse. Taber (2001) rapporterer at «sjø»-delen av analogien har påvirket elever i så stor grad at de anså elektronsjøen som analog med en enorm vannmasse. Andre svakheter ved modellen har også blitt framhevet. Den presenterer metallbinding som klart forskjellig fra elektronparbindinger, mens mer moderne beskrivelser tilsier at begge bindingstyper involverer deling av elektroner (Kronik, Nahum, Mamlok-Naaman, & Hofstein, 2008). Lang (2018) peker også på flere svakheter ved elektronsjømodellen og argumenterer for at det er behov for en bedre modell for metallbinding. Båndteorien, som benyttes i Fy1, beskriver tydeligere hvordan metaller leder elektrisitet. Men den forklarer heller ikke andre egenskaper ved metallene på en tilfredsstillende måte, som at de kan formes og strekkes (Lang, 2018).

Lærebøkene i fysikk og kjemi har ikke bare ulike tilnærminger til og interesseområder i tilknytning til elektrisitet. Kjemiboka gir først et eget kapittel om redoksreaksjoner, og dette er i tråd med De Jong og Treagust (2003) som framhever at god forståelse av redoksreaksjoner er essensielt for å forstå elektrokjemi. Lærebøkene benytter i noen tilfeller ulike beskrivelser og forklaringer av de samme størrelsene. Bruk av ulike konvensjoner i fysikk og kjemi har blitt funnet til å skape utfordringer for elever (Wong & Chu, 2017), og det samme gjelder for veksling mellom synonyme begreper og ulike representasjonsformer (De Jong & Treagust, 2003).

Lærebøkene i fysikk og kjemi gjengir i stor grad de samme oppdagelsene og vitenskapsmennene når den historiske utviklingen av kvanteteori oppsummeres, se Tabell 5.2. Selv om lærebøkene i begge fag forteller at kvantefysikk bryter med klassisk fysikk, vil framstillingene av elektroner neppe overbevise leseren om å gi opp forestillingene fra klassisk fysikk, som er i tråd med funnene til Ayene et al. (2011) og Olsen (2002). Kj1 følger også i lite grad opp bølgeegenskapene til elektronene fra kvantemekanikk når andre tema behandles. Særlig kjemiske bindinger har stort forbedringspotensial, der molekylorbitaler kunne ha vært brukt i større grad.

6.1.2 Hvordan bidrar ulike typer språklige bilder i lærebøkene til å belyse elektronets natur?

Språklige bilder benyttes til å illustrere strukturelle og/eller funksjonelle egenskaper i alle fire rammetemaene, men både omfang og type språklig bilde varierer. Det er tydelig forskjell mellom fagene når det gjelder hva slags språklige bilder som benyttes.

Lærebøkene i kjemi inneholder mange eksempler på antropomorfismer, spesielt når kjemiske bindinger skal forklares. Teleologiske antropomorfismer knyttet til oktettregelen i Kj1 stemmer overens med det som Taber og Watts (2007) og Bergqvist *et al.* (2013) beskriver. Elektronene *ønsker* å oppfylle oktettregelen, og atomer danner bindinger *for* å oppnå dette. Slike formuleringer gir ikke et riktig bilde av elektronene, men behøver likevel ikke å være problematisk. Elever benytter gjerne antropomorfismer på et tidlig stadium, og tar i bruk mer faglige begreper etter hvert som de forstår lærestoffet bedre (Dorion, 2011). Antropomorfismer kan derfor være til hjelp for elevenes forståelse av elektronet og kjemiske bindinger, men det er samtidig viktig at det teleologiske argumentet ikke kommuniseres for sterkt i lærebøkene og fører til varige misforståelser, som ofte er stabile og vanskelige å endre senere.

I fysikkbøkene finner vi sjelden antropomorfismer, men større utbredelse av analogier. Innenfor atomteori sammenlignes elektronene med planeter i et solsystem, og en radiokanalalogi illustrerer «tillatte energinivå» for molekyler og som gir båndspektre. I forbindelse med elektrisitet sammenlignes strøm med vann i et rørsystem, og spenning med et fossefall. Heisenbergs uskarphetsrelasjoner blir sammenlignet biler i bevegelse som fotograferes med ulik lukkertid.

Vannrør- og fossefallanalogiene forekommer også i lærebøker for ungdomstrinnet. Mogstad og Bungum (2020) fant at tekst kombinert med en figur med tre motiver for en vannrøranalogi ikke oppfylte hensikten med en analogi; den klarte ikke å sammenligne målet med noe som er mer kjent for elevene. Det kan muligens også gjelde for analogien i Fy1, men der er samtidig figuren enklere (inneholder færre komponenter, og kun to motiver) som kan begrense hvor mye figuren bidrar til forvirring for elevene. Fossefallanalogien ble vurdert som mer egnet for diskusjoner om begrepet spenning (Mogstad & Bungum, 2020).

Analogier i fysikklærebøker kan kategoriseres som konkret-konkrete (både analog og mål er konkrete), abstrakt-abstrakte (både analog og mål er abstrakte) eller konkret-abstrakte (analogen er konkret og målet er abstrakt) (Yener, 2012). I lærebøkene jeg har analysert er både konkret-konkrete (solsystematom) eller konkret-abstrakte (vannrør, fossefall, kameralukkertid) analogier utbredt. Radiokanalalogien er et unntak som kan

kategoriseres som abstrakt-abstrakt. Fordelingen av typer analogier skiller seg noe fra funnene hos Yener (2012), men forskjellene kan være tilfeldige siden jeg kun har et lite utvalg. Der ble det funnet at 66 % av analogiene var konkret-abstrakte, mens abstrakt-abstrakte utgjorde 22 % og konkret-konkrete kun 12 %. Samtidig ble undersøkelsene gjort på tvers av fem lærebøker og uten begrensninger med hensyn til tema. Det er derfor vanskelig å vite om fordelingene kunne være ulike fra tema til tema. Yener (2012) framhever at konkret-abstrakte analogier er ønskelig, fordi analogienes viktigste oppgave er å gjøre abstrakte egenskaper konkrete for den lærende. Fy1 og Fy2 oppfyller dette, slik at det er mulig å tolke at analogiene stort sett kan være til hjelp for elevene. Samtidig vil jeg påpeke at valg av analog med fordel kan oppdateres i noen tilfeller. Jeg mener at stadig flere metaforer blir avleggse i takt med utskiftninger av teknologiske duppeditter. Da vil færre ungdommer forstå radiokanal-analogien, på samme måte som at de som ikke har vokst opp med fasttelefon neppe forstår uttrykket «å slå på tråden».

Totalt gir de språklige virkemidlene en mer animert framstilling av elektroner i lærebøkene i kjemi enn i fysikk. Antropomorfismer i kjemibøkene gir elektronene «liv», mens analogiene i fysikk er sammenligninger med andre ikke-levende fenomener eller prosesser.

6.1.3 Hvordan representeres elektroner i figurer?

Innenfor både fysikk og kjemi framstilles atomer stort sett med Bohrs atommodell, som også er den eneste som nevnes eksplisitt i læreplanene (se Boks 5.1). I Kj1 veksles det hyppig mellom Bohrs atommodell og atomorbitalmodellen på tvers av rammetemaene. Ofte er ikke vekslingene tydelig begrunnet, slik at utvelgelsene av modeller framstår som tilfeldige, ukritiske eller pragmatiske for å framheve bestemte egenskaper. Dette gjelder særlig ved introduksjon av de ulike bindingstypene der *elektron skall* og *elektron skyer* til enhver tid benyttes der de «passer» best. Læreboka inneholder også flere eksempler på figurer som er basert på hybridisering mellom flere modeller. Eksempelene som er trukket fram samsvarer i stor grad med kategoriene og funnene i analyser av svenske kjemibøker gjennomført av Bergqvist *et al.* (2013). Jeg vil presisere at dette ikke skyldes noen svakhet hos lærebokforfatterne, men kan tolkes som del av en uheldig fagtradisjon der figurer og modeller har overlevd og blitt reproduisert til dels ukritisk i lærebøker i lang tid, og over landegrensene. Slike tradisjoner kan være vanskelig å bryte med, ettersom de gjennomsyrrer et helt didaktisk fagfelt. Mye av klasseromsundervisningen baseres på lærebøker (Nelson, 2006), og Bergqvist og Chang Rundgren (2017) viser også i deres studie at lærere i stor grad påvirkes av lærebøker. En endring av fagtradisjonen må derfor iverksettes systemisk, med både revisjon av hvordan lærebøker designer figurer og gjennom økt fokus på implikasjoner av modellbruk for elevenes forståelse i lærer-utdanningene.

Elektroner blir ofte avbildet på en realistisk måte. Da er de tegnet som små kuler, og i mange tilfeller (på tvers av temaene og fagene) er de fargelagt blå. Atomkjernene eller protonene er da gjerne vist i rødt. Dette kan være gjort med overlegg for å assosiere til røde positive verdier og blå negative verdier for temperatur på en gradstokk, som vi kan anta at elevene er godt kjent med. I temaet kvantefysikk i Fy2 finner vi et tydelig avvik fra denne trenden. Der blir elektronene konsekvent vist med rød farge.

Fy1 tilbyr en springfjæranalogi (se Figur 5.12) for å vise hvordan molekyler gir båndspektre, men analogien stemmer dårlig overens med atommodellene. Figurteksten i

Fy1 minner om at også rotasjons- og vibrasjonsenergier er kvantiserte. Men en springfjær har en kontinuerlig strekkbarhet, noe som kan oppleves forvirrende for leseren. Figuren presenteres sammen med absorpsjons- og emisjonsspektre forklart ved Bohrs atommodell, men figuren knyttes ikke tydelig opp mot denne eller noen atommodell. Jeg vil derfor si at den «eksisterer i et vakuum». Det er likevel mulig å se springfjæranalogien i sammenheng med elektronparbindinger på en fruktbar måte, der bindingslengden er en gitt avstand mellom to atomer som gir balanse mellom tiltreknings- og frastøttingskrefter og det dermed ikke er noen nettokrefter på atomkjernene. Se Kronik *et al.* (2008) for et eksempel på en figur som viser dette i et energidiagram.

6.1.4 Hvilke potensialer kommer til syne for å bygge broer mellom fagene? Og hvilke utfordringer?

Jeg finner at det foreligger et større potensial for at læreplaner og -bøker i fysikk kan ha nytte av å inkludere eller anerkjenne teori fra kjemi, enn motsatt. Lærebøkene i kjemi som er valgt til denne analysen tar allerede i bruk mye teori fra fysikk, men kan fortsatt se til fysikk for forbedringer. Eksempler som kan gi et mer helhetlig bilde av elektroner, kan innebære større bevissthet rundt modellbruk, noen momenter fra elektrisitetslære og en annen modell for metallbinding (for eksempel båndteori). Fysikkbøkene tilkjenner teori fra kjemifeltet sporadisk i noen eksempler og figurer. I noen tilfeller finner jeg at de ignorerer (orbitalmodellen), forenkler (molbegrepet, bindinger i molekyler) eller gir mangelfulle eller misvisende bilder av kjemirelatert innhold (springfjæranalogien, bindinger i halvledere). Lærebokforfatterne skal ikke bebreides for dette; de har konstruert bøkene i samsvar med innholdet i læreplanene, som også var bestillingen.

Elektrisitet er et stort tema i Fy1 og kommer midt i boka. I lærebøkene i kjemi møter leseren elektrokjemi tidlig i Kj2, slik at elever som har tatt fysikk 1 har en annen for forståelse enn de øvrige elevene. Tilsvarende har Kj1 valgt å gi en kort innføring i kvantefysikk i første kapittel selv om læreplanen ikke krever det eksplisitt, og dette temaet dukker opp fysikklærebøkene mot slutten av Fy2. Det går derfor gjerne halvannet år mellom elevenes møte med kvantefysikk, og dette kan påvirke elevenes helhetsinntrykk. Ettersom elektrisitet og kvantefysikk er forbeholdt henholdsvis programfagene kjemi 2 og fysikk 2, kan mange elever få et ensidig bilde av disse temaene avhengig av om de velger fordypning i noen av fagene.

Det er muligheter for å velge en annen rekkefølge av temaer innad i lærebøkene som kan gi mer helhetlige bilder av elektronene. Kanskje kan det være hensiktsmessig å flytte om på noen tema mellom programfag 1 og 2 i hvert fag? Å velge hvordan tema i en læreplan skal fordeles mellom programfagene, er samtidig en kompleks oppgave der flere hensyn må ivaretas for å få en meningsfylt struktur. Under R94 (Kirke- utdannings-, og forskningsdepartementet, 1996) ble redoksreaksjoner introdusert i 2KJ (tilsvarer Kjemi 1), men dette ble flyttet til Kjemi 2 ved innføring av LK06. I fysikk fikk elevene en innføring i bølge- og partikkelmodeller for lys i 2FY (tilsvarer Fysikk 1), som vi nå finner igjen i læreplanen og -boka for Fysikk 2.

6.2 Styrker og svakheter ved studien

Først vil jeg gi eksempler på noen sterke sider ved arbeidet jeg har gjort:

Elektroner i seg selv er et lite utforsket tema til tross for hvor viktig den er i så mange ulike sammenhenger, slik at jeg tilfører noe nytt til litteraturen. Ulike funn i studien min viser samsvar med studier gjort andre steder i verden.

Å ta utgangspunkt i grounded theory som metode åpnet for å utforske ulike momenter som dukket opp underveis istedenfor å binde meg til en forhåndsgitt/ begrensende og kanskje biased problemstilling. Lærebokanalyse har gitt et datamateriale som er lett tilgjengelig for andre, og er dermed etterprøvbart. Ved å gjennomføre analyser av både språk og bilder, kunne jeg gi et mer komplett bilde av hvordan elektronene ble framstilt i lærebøkene.

Det har vært utfordrende å dra nytte av standard metodelitteratur siden man finner lite om tekstanalyse som ikke er i et samfunnsfaglig perspektiv. Slike tekstanalyser vil gjerne fokusere på narrativ eller diskurser, og ville ikke ha gitt rom for de tolkningene jeg har gjort. Lærebokanalyser bør derfor gjennomføres med et bevisst forhold til hva ulike metodologier kan bidra med og hvordan de kan begrense analysene, men jeg har erfart at det ikke er nødvendig å bruke «standard» metodologi for å gjennomføre gode analyser.

Studien min har også hatt noen forbedringsmuligheter:

Stor bredde (fire analysetema) gjorde det vanskelig å gå mer i dybden uten at omfanget ble svært stort. En smalere problemstilling kunne åpne for å analysere flere læreverk for å samle lærebøkens totale «definisjonsmakt».

Et annet poeng er at lærebokanalyser kunne ha vært komplementert ved elevintervjuer for å få innblikk i hvilke bilder elever har av elektronet, men det ville samtidig ikke ha vært representativt fordi rammene for studien (omfanget av oppgaven) kunne ville tillatt et lite antall intervju. Slike intervjuer kunne også bli ganske ustrukturerte ettersom studien min innebærer en utforskende analyse. Jeg tok et bevisst valg om å forholde meg til kun lærebøkene.

7 Avslutning

Hvordan framstår elektroner i lærebøker i programfagene fysikk og kjemi for videregående opplæring i Norge? Og hvilket forbedringspotensial avdekkes eventuelt for å skape et mer helhetlig bilde av elektronene og deres natur?

Ulike sider av elektronenes natur framheves avhengig av hvilket tema som behandles, men det er også noen forskjeller mellom hvordan elektronets funksjonelle egenskaper blir framstilt i fysikk og i kjemi. Noen av ulikhetene kan spores tilbake til hvilken modell av atomet som til enhver tid benyttes. Lærebøkene i begge fag gir en innføring i modelltyper, men kun Fy1 diskuterer begrepet «modell» på en måte som ligger tett opp til hvordan det er brukt i denne teksten. Lærebøkene i kjemi bruker begrepene «modell» og «figur» mer synonymt, og har vekslet mellom hvilken atommodell som representeres fra figur til figur. Inkonsekvent bruk av modeller er derfor en stor bidragsyter til forskjellige framstillinger av elektronet i fysikk og kjemi.

De språklige virkemidlene har stor betydning for hvordan elektronene framstilles. Elektronene framstår som mer animerte i lærebøkene i kjemi enn i fysikk. De er passive objekter som utsettes for ulike krefter i fysikklærebøkene, mens antropomorfismer kommuniserer elektronene som mer aktive bidragsytere i kjemilærebøkene.

Figurene avbilder elektroner på ulike måter, men viser i all hovedsak elektronene som materielle objekter med ladning og masse. Noen figurer har motiver med så store ulikheter at det ikke nødvendigvis kommer fram at de representerer samme atommodell. Bølgeegenskapene deres kommer ikke tydelig fram i figurene.

Jeg finner at det foreligger et større potensial for at læreplaner og -bøker i fysikk kan ha nytte av å inkludere eller anerkjenne teori fra kjemi, enn motsatt. Lærebøkene i kjemi som er valgt til denne analysen tar allerede i bruk mye teori fra fysikk, men kan fortsatt se til fysikk for forbedringer. Lærebøkene i fysikk behandler i noen tilfeller teori fra kjemifeltet på en «stemoderlig» måte, for eksempel ved å gi beskrivelser eller forklaringer som er så forenklete at de blir misvisende.

8 Liste over lærebøker

Koder	Referanser
Fy1	Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2017). <i>Ergo Fysikk 1</i> (2. utg.). Oslo: Aschehoug.
Fy2	Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2012). <i>Ergo Fysikk 2</i> . Oslo: Aschehoug.
Kj1	Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2018). <i>Aqua 1 Kjemi 1 Grunnbok</i> (2. utg.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
Kj2	Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2011). <i>Aqua 2 Kjemi 2 Grunnbok</i> . Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.

9 Referanser

- Alvesson, M., & Skjöldberg, K. (2017). *Tolkning och reflektion - vetenskapsfilosofi och kvalitativ metod*. Lund: Studentlitteratur.
- Ayene, M., Kriek, J., & Damtie, B. (2011). Wave-particle duality and uncertainty principle: Phenomenographic categories of tertiary physics students' depictions. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2). doi:10.1103/physrevstper.7.020113
- Bachmann, K. E. (2005). *Læreplanens differens: formidling av læreplanen til skolepraksis*. Trondheim: Pedagogisk institutt.
- Bergqvist, A., & Chang Rundgren, S.-N. (2017). The influence of textbooks on teachers' knowledge of chemical bonding representations relative to students' difficulties understanding. *Research in Science & Technological Education*, 35(2), ss. 215-237. doi:10.1080/02635143.2017.1295934
- Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O., & Chang Rundgren, S.-N. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks - help or hindrance for understanding? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 14(4), ss. 589-606. doi:10.1039/c3rp20159g
- Bernstein, B. (1971). On the Classification and Framing of Educational Knowledge. I M. D. Young, *Knowledge and Control. New Directions for the Sociology of Education*. London: Collier MacMillan.
- Bungum, B. (2008). Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in Norwegian physics textbooks. *NorDiNa*, 4(2), ss. 132-141. doi:10.5617/nordina.285
- Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2012). *Ergo Fysikk 2*. Oslo: Aschehoug.
- Callin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. W. (2017). *Ergo Fysikk 1* (2. utg.). Oslo: Aschehoug.
- De Jong, O., & Treagust, D. F. (2003). The Teaching and Learning of Electrochemistry. I J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (ss. 317-337). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Dorion, K. (2011). A Learner's Tactic: How secondary students' anthropomorphic language may support learning of abstract science concepts. *Electronic Journal of Science Education*, 12(2), ss. 1-22.
- Driscoll, M. P., Moallem, M., & Dick, W. (1994). How Does the Textbook Contribute to Learning. *Contemporary educational psychology*, 19, ss. 79-100.

- Fejes, A., & Thornberg, R. (2019). *Handbok i kvalitativ analys*. Stockholm: Liber AB.
- Gericke, N. M., & Hagberg, M. (2007). Definitions of historical models of gene function and their relations to students' understanding of genetics. *Sci. Educ.*, *16*(7/8), ss. 849-881.
- Gilbert, J. K. (2007). Visualization: a metacognitive skill in science and science education. I J. K. Gilbert, *Visualization in science education* (ss. 9-27). Dordrecht: Springer.
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for' - Toward an Agent-Based Conception of Modeling in the Science Classroom. *Sci & Educ*, *26*(1-2), ss. 49-63. doi:10.1007/s11191-017-9884-4
- Halliday, M. A. (1996). On the language of physical science. I M. A. Halliday, & J. R. Martin, *Writing science: Literacy and discursive power* (ss. 54-68). London: The Falmer Press.
- Hidayat, J., Firman, H., Sunarya, Y., & Redjeki, S. (2019, februar). Secondary School Students' Perspective Models on Atomic Structure and Chemical Bonding. *Journal of Engineering Science and Technology*, *14*(Special issue 1), ss. 59-67.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Models and modelling in chemical education. I J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (ss. 47-68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Kronik, L., Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., & Hofstein, A. (2008). A New "Bottom-Up" Framework for Teaching Chemical Bonding. *Journal of Chemical Education*, *85*(12), ss. 1680-1685. doi:10.1021/ed085p1680
- Kunnskapsdepartementet. (2006). *Kapittel 1. Innholdet i opplæringa*. Hentet fra Forskrift til opplæringslova: <https://lovdata.no/forskrift/2006-06-23-724/§1-3>
- Lang, P. F. (2018). Is a Metal "Ions in a Sea of Delocalized Electrons?". *Journal of Chemical Education*, *95*(10), ss. 1787-1793. doi:10.1021/asc.jchemed.8b00239
- Mogstad, E., & Bungum, B. (2020). Ski lifts, bowling balls, pipe system or waterfall? Lower secondary students' understanding of analogies for electric circuits. *NorDiNa*, *16*(1), ss. 37-51. doi:10.5617/nordina.6882
- Nelson, J. (2006). Hur används läroboken av lärare och elever? *NorDiNa*, *2*(2), ss. 16-27.
- Niaz, M., & Marcano, C. (2012). *Reconstruction of Wave-Particle Duality and its Implications for General Chemistry Textbooks*. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-4396-0
- Nobel Media AB. (2020a). *All Nobel Prizes in Chemistry*. Hentet fra Nobelprize.org: <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-chemistry/>
- Nobel Media AB. (2020b). *All Nobel Prizes in Physics*. Hentet fra Nobelprize.org: <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>

- Nobel Media AB. (2020c, april). *Nomination Archive: Gilbert N Lewis*. Hentet fra Nobelprize.org:
https://www.nobelprize.org/nomination/archive/show_people.php?id=5441
- Nordvang, A. (2013). *"Den figuren er irrelevant for meg"*. NTNU, Trondheim.
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24(6), ss. 565-574. doi:10.1080/09500690110073982
- Rennstam, J., & Wåsterfors, D. (2015). *Från stoff till studie - Om analysarbete i kvalitativ forskning*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Rodriguez, M. A., & Niaz, M. (2004). The oil drop experiment: An illustration of scientific research methodology and its implications for physics textbooks. *Instructional Science*, 32(5), ss. 357-386. doi:10.1023/b:truc.0000044641.19894.ed
- Sjøberg, S. (2009). 6 Hvorfor skal alle lære naturfag? I *Naturfag som allmenndannelse - en kritisk fagdidaktikk* (3. utg.). Oslo: Gyldendal akademisk.
- Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2011). *Aqua 2 Kjemi 2 Grunnbok*. Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Steen, B. G., Fimland, N., & Juel, L. A. (2018). *Aqua 1 Kjemi 1 Grunnbok* (2. utg.). Oslo: Gyldendal Norsk Forlag AS.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2(2), ss. 123-158. doi:10.1039/b1rp90014e
- Taber, K. S., & Coll, R. K. (2002). Bonding. I J. K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel, *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (ss. 213-234). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Taber, K. S., & Watts, M. (2007). The secret life of the chemical bond: students' anthropomorphic and animistic references to bonding. *International Journal of Science Education*, 18(5), ss. 557-568. doi:10.1080/0950069960180505
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1994). The nature and extend of analogies in secondary chemistry textbooks. *Intrusctional Science*, 22(1), ss. 61-74.
- Udir. (2006a). *Læreplan i fysikk - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering*. Hentet fra Udir.no: <http://data.udir.no/kl06/FYS1-01.pdf>
- Udir. (2006b). *Læreplan i kjemi - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering*. Hentet fra Udir.no: <http://data.udir.no/kl06/KJE1-01.pdf>
- vilbli.no. (u.d.). *Realfag*. Hentet april 2020 fra vilbli.no:
https://www.vilbli.no/nb/nb/no/fag-og-timefordeling/program/v.st/v.stusp1----_v.strea2----_p2?rev=lk06

- Wong, C. L., & Chu, H.-E. (2017). Chapter 9 The Conceptual Elements of Multiple Representations: A Study of Textbooks' Representations of Electric Current. I D. F. Treagust, R. Duit, & H. E. Fischer, *Multiple Representations in Physics Education* (ss. 183-206). Springer International Publishing.
- Yener, D. (2012). A study on analogies presented in high school physics textbooks. *Asia-pacific forum on science learning and teaching*, 13(1), ss. 1-17.
- Österlund, L.-L., Berg, A., & Ekborg, M. (2010). Redox models in chemistry textbooks for the upper secondary school: friend of foe? *Chem. Educ. Res. Pract.*, 11(3), ss. 182-192. doi:10.1039/c005467b
- Özmen, H. (2004). Some Student Misconceptions in Chemistry: A Literature Review of Chemical Bonding. *Journal of Science Education and Technology*, 13(2), ss. 147-159. doi:10.1023/b:jost.0000031255.92943.6d

Vedlegg

Vedlegg A: Kompetansemål fra Kunnskapsløftet LK06 som forutsetter kunnskaper om elektroner

Vedlegg B: Oversikt over kapitler i lærebøkene og hvilke rammetema som er representert i hvilke kapitler