



Lærebøkers fremstilling av kvantefysikk

En kvalitativ komparativ undersøkelse av hvordan lærebøkene i Fysikk 2 fremstiller fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur, og hvordan dette representerer et brudd med klassisk fysikk

TORMOD TRONVOLL

VEILEDERE

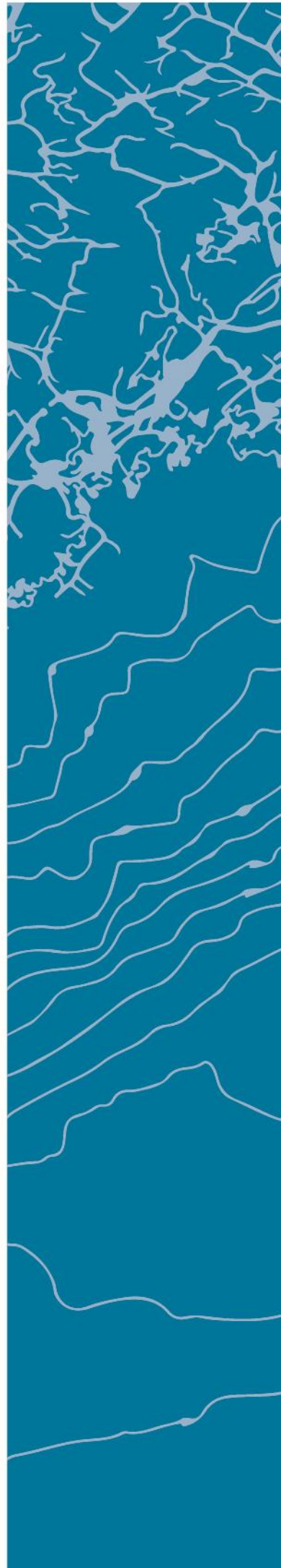
Jan Johansson

Kristina Raen

Universitetet i Agder, 2017

Fakultet for teknologi og realfag

Institutt for naturvitenskapelige fag



Forord

Dette er en oppgave i naturfagdidaktikk, med en fordypning i fysikkdidaktikk. Oppgaven har et omfang på 35 studiepoeng.

Jeg vil gjerne få takket mine to veiledere, Jan Johansson og Kristina Raen for hjelp, støtte og gode kritiske innspill under hele prosessen.

Jeg vil også takke medlemmene i «The core» som har støttet meg gjennom 18 år med skolegang og stilt opp hvis det har vært noe gjennom hele studietiden.

En stor takk til alle klassekamerater som har gjort hele studieperioden til en tid jeg ikke kommer til å glemme. Masteroppgaveskrivingen hadde ikke vært like hyggelig og produktiv uten mine to masterromkamerater og venner Kjetil Viken og Ingvild Bakke.

Sammendrag

Hovedmålet til lærebøker er å formidle informasjon og kunnskap til elever og lærere i skoleverket. Innholdet i lærebøkene blir bestemt av Utdanningsdirektoratet, dette blir formidlet gjennom kompetansemål som har som hensikt til å gi alle i samme fag en lik sluttkompetanse i faget. Hensikten med denne oppgaven er å se på hvordan et kompetansemål innenfor kvantefysikk blir svart på og fremstilt i bøkene *RomStoffTid Fysikk 2* og *ERGO Fysikk 2*. Kvantefysikk er et komplisert og abstrakt emne av natur, og det har vist seg gjennom flere undersøkelser at elever har problemer med å få en kvalitativ forståelse. Den største fellesnevneren i Norge og for norsk skole er lærebøkene. Det er av disse grunnene at hovedmålet i denne oppgaven er å analysere av fremstillingen og besvarelsen av kompetansemålet som vist under.

«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».

Den største innsamlingsmetoden som er brukt er en kvalitativ deskriptiv tekstanalyse av lærebøkene, oppgaven og analysen vil på grunn av dette delvis subjektiv av natur. Oppgaven er i all hovedsak tredelt der den første delen består av både fysikk- og didaktisk teori som et teoretisk grunnlag videre. Den andre delen består av en analyse av lærebøkene. Her blir begge lærebøkene behandlet separat og uavhengig av hverandre før det blir en sammenlikning. Den siste delen består av en diskusjon der det foregår en drøfting i lys av funnene og resultatene i analysen.

Hovedfunnene i denne oppgaven er at selv om begge disse bøkene skal formidle det samme fagstoffet er fremstillingen og språket veldig ulikt i begge bøkene. *ERGO Fysikk 2* har en fremstilling av kvantefysikken som engasjerer leseren til å undre og stille kritiske spørsmål til seg selv og stoffet for å motivere. *RomStoffTid 2* har i større grad en direkte fremgangsmåte der fagstoffet blir presentert konkret og idealistisk i lys av historiske personer og utvikling.

Det faglige innholdet og vektleggingen av kompetansemålet er også ulikt i bøkene. *RomStoffTid Fysikk 2* har i likhet med denne oppgaven lagt stor vekt på hvordan kvantefysikken, «*fotoelektrisk effekt, comptonspredning og partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk*» og klarer å formidle mye av dette. *ERGO 2* har ikke like stor fokus på dette i sin fremstilling og har noen mangler når det kommer til hvordan disse teoriene i fysikk skiller seg fra den klassiske fysikken. Det kan virke som om *ERGO 2* heller har fokusert på «*resultater fra forsøk*» istedenfor bruddet fra den klassiske fysikken.

Når to bøker fremstiller samme kompetansemål med en ulik tolkning, fremstilling og vekt kan det tyde på at kompetansemålene burde forklares eller konkretiseres i større grad. Ved å forklare eller konkretisere kompetansemålene vil det komme tydeligere frem for forfatterne og forlagene hva som blir beregnet som pensum.

Innholdsfortegnelse

<u>Forord.....</u>	<u>III</u>
<u>Sammendrag.....</u>	<u>V</u>
<u>1. Innledning</u>	<u>1</u>
1.1. Begrunnelse	1
1.2. Relatert forskning	2
1.3. Problemstilling.....	3
1.4. Oppbygging av oppgaven.....	4
<u>2. Fysikkteori.....</u>	<u>5</u>
2.1. Klassisk fysikk.....	5
2.2. Kvantefysikkens opprinnelse.....	5
2.3. Lyskvanter	6
2.4. Fotoelektrisk effekt.....	7
2.5. Einstein introduseres Lyskvanter bevegelsesmengde	10
2.6. Comptoneffekt	10
2.7. Lyskvantene får navn.....	11
2.8. Klassisk elektromagnetisk bølge	12
2.9. de Broglie	12
2.10. Kvantemekanikk	13
2.11. Erwin Schrödinger	13
2.12. Dobbelspaltforsøk med elektroner	15
2.13. Fotoner og partiklers bølgenatur	16
2.14. Hovedforskjellen fra klassisk- og kvantefysikk.....	16
<u>3. Didaktisk teori</u>	<u>17</u>
3.1. Lærebok	17
3.2. Fysikk i norsk skole.....	19
3.3. utfordringer i kvantefysikk	20
3.4. Forståelse	21
3.5. Modeller.....	22
3.6. Språk.....	24
<u>4. Metode.....</u>	<u>27</u>

4.1.	Relabilitet og validitet	27
4.2.	Metodisk tilnærming.....	28
4.3.	Vurderingskriterier	29
4.4.	Egne analysepunkter.....	30
4.5.	Kompetansemålet og begrepsavklaring.....	31
5.	<u>Presentasjon av lærebøkene.....</u>	35
5.1.	ERGO Fysikk 2	35
5.2.	RomStoffTid2 Fysikk 2	37
6.	<u>Analyse og resultat</u>	41
6.1.	Kapittelintroduksjon	41
6.2.	Fotoelektrisk effekt.....	44
6.3.	Fotonets bevegelsesmengde	52
6.4.	Comptoneffekt	54
6.5.	Partikkelens bølgeegenskap.....	58
6.6.	Klassisk fysikk, kvantemekanikk og moderne fysikk	63
6.7.	Oppgaver	64
7.	<u>Drøfting</u>	65
7.1.	Kompetansemålet	65
7.2.	Fysikkens fremstilling og korrekthet	65
7.3.	Illustrasjoner og modeller	67
7.4.	Samsvar og formidling i lærebøkene og kompetansemålet.....	68
8.	<u>Konklusjon</u>	71
	<u>Referanseliste</u>	73
	<u>Oversikt over figurer og tabeller</u>	77

1. Innledning

Læreboka har alltid vært en sentral del av skolen. Den er en av de viktigste kildene for informasjon og brukes ofte av både lærere og elever når det kommer til opplegg i timen og innhenting av informasjon (Skrunes, 2010). Dette har jeg opplevd mange ganger selv når jeg har undervist i et klasserom og vært student selv på universitetet og skoler. Det er derfor viktig at bøkene holder en god standard og formidler det som er forventet. Jeg har brukt læreboka flere ganger enn jeg kan telle når jeg skal tilegne meg ny kunnskap, sjekke noe eller øve til prøver, det er vist at mange andre bruker læreboka som et oppslagsverk og som er primærinformasjonskilde i likhet med meg selv. Undersøkelse har vist at mange lærere bruker lærebøkene som en veiledningsbok og informasjonskilde når de skal lage undervisningsopplegg i til timene (Bachmann, 2005). Det er derfor kritisk at dette oppslagsverket holder en god standard og formidler informasjon på en riktig måte som lett kan forstås, både for lærere og elever. En god lærebok er spesielt viktig for mer kompliserte temaer som kvantefysikk, der lærere og elever bruker lærebøkene mer aktivt enn i andre emner (Bungum, Henriksen, Angell, Tellefsen, & Bøe, 2015).

Kvantefysikk er en del av fysikken som ofte bryter med hverdagsforestillinger og en intuitiv forståelse (Ayene, Kriek, & Damtie, 2011). På grunn av kvantefysikkens kompliserte og abstrakte natur er det meningsløst eller vanskelig å bruke vanlige bilder og analogier som er kjente fra hverdagen for å forklare det som skjer (Angell et al., 2011). På grunn av dette har det vist seg i flere undersøkelser at det er elever som har feil oppfatning av kvantefysikken i skolen. Jeg ønsker derfor å analysere fremstillingen til kvantefysikken i lys av kompetansemålet;

«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» (Utdanningsdirektoratet, 2006b, s. 6).

Hovedmålet til denne oppgaven er å se på hvordan kompetansemålet blir presentert, formidlet og svart på i lærebøkene *RomStoffTid Fysikk 2* og *ERGO Fysikk 2*, som er de to eneste bøkene i Fysikk 2, og se om dette er gjort på en tilstrekkelig måte.

1.1. Begrunnelse

I Norge har vi en enhetsskole med en definert læreplan som består av kompetansemål som forklarer hva alle skal kunne i slutten av faget. Disse kompetansemålene blir tolket og skrevet i samarbeid med forlag og forfattere av lærebøkene, men mye av dette er lagt opp til tolkning slik at forfatterne kan presentere fagstoffet på den måten de selv mener er optimalt for å få frem innholdet. På grunn av at kompetansemålene kan tolkes på flere måter kan dette føre til ulik fremstilling og innhold i lærebøkene. Dette kan stride imot Utdanningsdirektoratet (UDIR) sin hensikt med å få en felles lik sluttkompetanse for alle som har hatt like fag. Før juni 2000 var det en offentlig kontroll og godkjenning av lærebøker i skolen. Den offentlige godkjenningen forsvant og ble sendt over til forlagene og forfatterne som skal kvalitetssikre og sjekke skolebøkene. Dette ble gjort, sier Utdanningsdepartementet, for å øke innflytelsen til foreldre, elever og lærer når det kommer til valg av skolebøker og mulige endringer (Ot.prp. nr. 44, 1998). For å sikre at bøkene fortsatt holder best mulig kvalitet vil det være en styrke å la en ekstern person undersøke og analysere om bøkene fortsatt holder den kvaliteten som forventes. Denne oppgaven har jeg tatt på meg videre.

Det er gjort undersøkelser gjort av blant annet Olsen (1999) og Renstrøm (2011) som viser at det er en mangelfull eller ufullstendig forståelse og misoppfatninger rundt kvantefysikken.

Dette kan selvfølgelig ha noe med at det er et komplisert tema som bryter med mange hverdagsforestillinger og hva som er «vanlig» i fysikken, men en stor fellesnevner blant alle skolene i Norge har er bruk av lærebøkene. Det er derfor verdt å se om dette kan være årsaken til en feil forståelse og forklaring innenfor kvantefysikk.

Halsan (2009) påpeker i sin undersøkelse av lærebøkene *RomStoffTid* og *ERGO* at de har to veldig forskjellige fremgangsmåter som kan bidra til at det faglige og hva som blir formidlet i bøkene kan være veldig forskjellige. Dette kan sees på som en følge av at mange av kompetansemålene og læreplanen kan tolkes av forlagene og forfatterne.

1.2. Relatert forskning

I innledningen ble det påpekt at det er gjort forskning for å undersøke elever sin forståelse av kvantefysikk. Dette er gjort av blant annet Renstrøm (2011) og Olsen (1999). Det er gjort en lærebokanalyse av Halsan (2009) der hun undersøkte lærebøkene i fysikk og så på struktur, fremstilling og hvordan læreplanen vektlegges. Disse undersøkelsene vil bli gått igjennom i korte trekk.

1.2.1. Kvantefysikkens utvikling

Renstrøm (2011) skriver i sin doktoravhandling om fremstillingen til kvantefysikk i lærebøker og forståelse rundt kvantefysikken. Hovedmålet med oppgaven er å se om kvantefysikken blir bedre forstått om en har en historisk fremgangsmåte om utviklingen til fysikken. Dette har hun delt inn i tre hoveddeler.

Den første delen består av fremstillingen til kvantefysikkens tidlige utvikling i anerkjente lærebøker og fagbøker. Hun konkluderer i den første delen at det fortsatt er mange misforståelser, myter og mystiske «kvasihistorier» som hindrer en korrekt fremstilling av kvantefysikkens utvikling. Den andre delen består av kvantefysikkens utvikling basert på primær- og sekundærkilder.

I den tredje delen blir resultater fra internasjonale studier som handler om elevers og studenters forståelse av kvantefysiske begreper og fenomener presentert og diskutert. Konklusjonen her var at lærebøkers fremstilling av kvantemekaniske begreper som «foton» er «en blanding av klassiske bilder, modeller og analogier for å beskrive kvanteegenskapene til strålingen» (Renstrøm, 2011, s. iii). Hun skriver at en betingelse for å forstå kvantefysikken er hvordan det skiller seg fra den klassiske fysikken. Mange av lærebøkene gjør det motsatte, de prøver å skjule forskjellene mellom den klassiske fysikken og kvantefysikken. Å tydeliggjøre forskjeller mellom den klassiske fysikken og kvantefysikken kan det være enklere for elever å forstå fysikken. Ved å ha en historisk fremgangsmåte kan det bli enklere å se hva som skiller seg ut og hvordan utviklingen har forandret seg som kan ha en positiv innvirkning på elevens forståelse av kvantefysikk.

1.2.2. Kvantefysikken i skolen

Olsen (1999) har undersøkt i sin hovedfagsoppgave fysikkelevens forståelse av kvantefysikk i skolefysikken. Olsen har sett på kvantefenomenene fotoelektrisk effekt, bølge-partikkel dualisme, Heisenberg sin uskarphetsrelasjon og atommodeller. Olsen har gitt ut spørreskjemaer og samlet inn svar fra elever i 3FY (Fysikk 2). Resultatet han oppdaget var at om fotoelektrisk effekt var elevene «regneteknisk sofistikerte», men hadde liten kvalitativ forståelse av fenomenet. Om bølge-partikkel-dualismen skriver han at elektroner oppfattes i stor grad som klassiske partikler, siden partiklene har masse. «Elektronets bølgenatur er i

beste fall løst integrert i elevens forestilling av elektronet» (Olsen, 1999, s. 98). Kvantitativt klarer de lett å regne på de Broglie bølgelengden uten å ha en særlig kvalitativ forståelse.

Når det kommer til beskrivelsen av elektronets bølgenatur ble det forklart av elevene at elektronet beveget seg i en sinusformet bane som er forklaring av bølgenaturen. Når det kommer til forståelsen av lys har mange av elevene samme alternative forestillingene som for elektronet. Når man lærer at lys er partikler, er en logisk følge av dette at lys har masse og vil dermed bevege seg som er partikkel. Han så også konturene at en alternativ forestilling der lys består av to separate deler, en bølgedel og en partikkeldel.

1.2.3. Lærebøker i fysikk etter Kunnskapsløftet

Halsan (2009) har gjort en analyse om lærebøkene etter kunnskapsløftet. I Norge har vi i dag to forlag som utgir fysikklærebøker, Cappelen (*RomStoffTid*) og Aschehoug (*ERGO*), begge verkene tar for seg fysikk 1 og 2 så det er totalt fire læreverker. Den hovedkilden til informasjonen er tekstanalyse, men det er også blitt benyttet intervju og spørreundersøkelse.

Gjennom den kvantitative analysen fant hun ut at *ERGO* sin fremstilling er mer kvantitativ enn *RomStoffTid*. Læreverkene skiller seg klart fra hverandre i struktur og tekstlig uttrykk. I fremstillingen av nye temaer har *ERGO* et språk som samtaler med eleven og henvender seg til elevens hverdag, mens *RomStoffTid* bruker en historisk fremstilling for å vekke elevens interesse og vise hvordan fysikken har blitt skapt gjennom menneskelig aktivitet og dynamikk, dette kommer tydelig frem i introduksjonen til hvert kapittel. «*RomStoffTid* bruker dikt og filosofiske sitater og ønsker å få elevene til å filosofere rundt luftige problemstillinger, mens *ERGO* oppmuntrer til undring og hverdagslige og alminnelige problemstillinger» (Halsan, 2009, s. 113).

Halsan mener selv at bøkene presenterer fysikken på to veldig ulike måter, «Jeg er enig i at det er spennende med to bøker som tilnærmer seg fysikkfaget på to forskjellige måter, men at bøkens faglige innhold skiller seg fra hverandre mener jeg er uheldig i forhold til læreplanens uttalte mål om en felles sluttkompetanse i fysikk» (Halsan, 2009, s. 113)

Både *ERGO* og *RomStoffTid* har to tydelig ulike strukturformer. I et intervju med forfattere fra begge bøkene sier forfatteren fra *RomStoffTid* at det er svært viktig at læreplanens struktur skal være synlig i bøkene, mens forfatteren fra *ERGO* mener at det ikke er like viktig, det er fysikkens struktur som har vært det viktigste. Det begge forfatterne var enige om var at det var komplisert å skille mellom de kvalitative og kvantitative temaene, de mente at det er bra å ha to forskjellige alternativer slik at det blir et tydelig valg.

1.3. Problemstilling

Hensikten med denne oppgaven er å se på fremstillingen til kvantefysikk i lys av kompetansemålet vist tidligere. Ut ifra dette er problemstillingen i denne oppgaven:

«Hvordan fremstiller lærerbøkene «*ERGO Fysikk 2*» og «*RomStoffTid Fysikk 2*» fotoelektrisk effekt, compton-effekt, partiklers bølgenatur og hvordan dette representerer et brudd med klassisk fysikk, og er dette i samsvar med kompetansemålet?»

1.3.1. Forskningsspørsmål

For å enklere svare og tilnærmes problemstillingen har den blitt delt inn i tre mindre deler over hva som skal gjennomgås.

1. Hvordan blir fysikken fremstilt? Er fysikken korrekt?
2. Er bruken av modeller og illustrasjoner hensiktsmessig og i samsvar med teksten?
3. Er det et tydelig samsvar mellom lærebøkene og kompetansemålet? Blir kompetansemålet formidlet?

Disse forskningsspørsmålene er valgt for å få et helhetlig bilde av hvordan lærebøkene presenterer det stoffet. I oppgaven blir det sett på både innholdet i teksten og bruk av bilder og modeller. Her blir det sett på om tekst og bilder er i samsvar med hverandre, og om det gir et godt bilde av fysikken uten at det legger opp til feiltolkninger. Dette gjøres i tillegg til å undersøke om lærebøkene formidler det som er kreves av Utdanningsdirektoratet og kompetansemålet.

1.4. Oppbygging av oppgaven

Oppgaven er bygget opp ved å skille ut de ulike teoriene innenfor fysikk og didaktikk for å så presentere disse hver for seg. Den fysikk-faglige delen vil først bli gått igjennom i en kronologisk rekkefølge som tar for seg alle de relevante teoriene i forhold kompetansemålet. Det vil så bli gått igjennom den pedagogiske teorien som trengs for å analysere en tekst, modellbruk og andre aspekter hva som er viktig i forhold til denne oppgaven. Dette vil så føre til en analyse og resultat der det blir sett på hver enkelt tema i lærebøkene individuelt og uavhengig av hverandre før en sammenlikning av hvert tema i begge bøkene. Hovedfunnene blant resultatene vil så blir diskutert og drøftet i lys av forskningsspørsmålene før konklusjonen.

2. Fysikkteori

2.1. Klassisk fysikk

I dagens fysikk skilles det gjerne mellom to hoveddeler innen fysikk, klassisk fysikk og kvantefysikk (Angell et al., 2011; Hemmer, 2005; Utdanningsdirektoratet, 2006b). «Klassisk fysikk» er ikke et veldefinert begrep, noen tolker begrepet som alt det som ikke er kvantefysikk (Angell et al., 2011), mens andre tenker på det som fysikken som vi får ut i fra Newton og Maxwell sine likninger (Renstrøm, 2011). Newtons mekanikk beskriver bevegelse til objekter med en veldefinert fart og posisjon som for eksempel planeter eller en ball, mens Maxwell beskriver relasjoner mellom elektriske og magnetiske felt og ladninger. Spesielt gir Maxwell sine likninger at lys er elektromagnetisk bølge. Ved hjelp av disse teoriene klarte man å beskrive det meste av fysiske fenomener og det ble et rammeverk for fysikk og forståelse av verden før 1900-tallet (Myhrehagen, 2015). Den klassiske fysikken klarte å forklare så mye på en så enkel måte at det kunne vært naturlig å anta at alt kan bli forklart så en så enkel og elegant måte.

Renstrøm (2011) skriver i sin doktoravhandling at all klassisk fysikk inneholder minst tre sentrale prinsipper som beskriver fysikken sin fremstilling av naturen, og støttes av Bungum and Tellefsen (2016). Disse tre prinsippene er:

1. *Kontinuitet*: Alle prosesser i naturen foregår kontinuerlig i tid og rom. Energien kan finnes i alle mengder, uansett hvor små eller store og den forandres kontinuerlig.
2. *Determinisme*: Hvis vi kjenner til begynnelsestilstanden til et system kan vi bruke de fysiske lovmessighetene til å beregne systemet til enhver tid.
3. *Lokal virkelighet (separabilitet)*: Alle partikler har en veldefinert fart og posisjon, eller andre egenskaper til enhver tid. Dersom et system består av flere partikler kan vi betrakte de som uavhengige fra hverandre, og måling på en partikkel har ingen betydning på den andre.

(Renstrøm, 2011, s. 181)

Olsen (1999) beskriver kontrastene mellom kvantefysikk og den klassiske fysikken som fire hovedpunkter som er tilsvarende like med Renstrøm (2011). *Kontinuitet* og *determinisme* er identiske som med Renstrøm sine punkter, men Olsen (1999) har 2 andre punkter der som er *kausalitet* og *lokalitet*. *Kausalitet* som forklarer at sammenhengen mellom årsak og virkning er entydig, ved å vite resultatet eller tilstanden til et system skal det være mulig å regne tilbake til originaltilstanden. *Lokalitet* innebærer at hvis to hendelser som er adskilt i tilstrekkelig tid og rom (lyshastigheten) ikke kan være avhengige av hverandre, disse punktene beskriver mye av det samme som *lokal virkelighet* hos Bungum and Tellefsen (2016); Renstrøm (2011).

2.2. Kvantefysikkens opprinnelse

På slutten av 1800-tallet oppdaget fysikere et problem som de ikke klarte å forklare ved hjelp av den klassiske fysikken. De klarte ikke å forklare strålingsfordelingen til et sort legeme. Maxwell sine likninger, som er grunnlaget for bølge teorien og forklarer elektromagnetisk stråling, hadde problemer med å forklare emisjonsspekteret til et sort legemet. De klassiske elektrodynamiske teoriene var utilstrekkelige og det trengtes en ny teori, kvantefysikken for å løse dette (Dirac, 1947). Dette var et problem og mange fysikere prøvde seg på dette før til

slutt Max Planck løste problemet. Det viste seg at «prinsippene» som alltid har vært gyldige hadde fått en begrenset gyldighet.

I Oktober 1900 utledet Max Planck en ny strålingslov der han forklarte emisjon og strålingsfordelingen til et sort legeme. Dette løste et tidligere problem, den daværende strålingsloven, Wiens strålingslov, stemte ikke overens med eksperimentelle resultatene ved måling av lave frekvenser (Gasirowicz, 2013). Planck kom med en ny strålingsloven som ble presentert den 14 desember, 1900 på konferansen som ble holdt av det tysk-fysiske selskap. Denne formelen stemte overens med de nyoppdagede eksperimentelle målingene og formelen ble allment akseptert (Renstrøm, 2011).

Da Planck utledet formelen brukte han Boltzmann sin likning for entropi,

$$S = k \ln W, \quad 1$$

der W er antall mikroskopiske måter å konstruere en makroskopisk tilstand og k er Boltzmann sin konstant. I sin utledning videre brukte Planck statistisk sannsynlighet der han delte den totale energien, eller strålingen i endelige kvanter eller energielementer. Hver lyskvant fikk en energi på

$$E = hv, \quad 2$$

der h er en konstant med en verdi på $6.66261 \cdot 10^{-34}$ Js, som har fått navnet, Plancks konstant og f er frekvensen. Kvantiseringen av energien ble ikke lagt merke til av fysikerne til stede, og formelen til Planck ble allment akseptert på grunn av sin overenstemmelse med de eksperimentelle resultatene. Planck hadde for første gang introdusert energikvanter, og dette regnes som kvantefysikkens opprinnelse av mange fysikere. (Renstrøm, 2011)

2.3. Lyskvanter

I 1905 ga Albert Einstein ut flere artikler, der en av de handlet om fotoelektrisk effekt og lyskvantehypotesen. I artikkelen "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt" (Engelsk oversettelse: Concerning an heuristic point of view toward the emission and transformation of light) som handler om fotoelektrisk effekt introduserer Einstein et nytt begrep «lyskvanter». Einstein skriver at

«Light are more readily understood if one assumes that the energy of light is discontinuously distributed in space. In accordance with the assumption to be considered here, the energy of a light ray spreading out from a point source is not continuously distributed over an increasing space but consists of a finite number of energy quanta which are localized at points in space, which move without dividing, and which can only be produced and absorbed as complete units. » (A Einstein, 1905, s. 368, engelsk oversettelse av Aarons & Peppard (1965))

Disse kvantene kan bevege og oppføre seg som en helhet, de kan derfor ikke bli delt i mindre biter. Lyskvantene kun bli produsert og absorbert som helhe deler, dette er den første introduksjonen av «lyskvanter».

Einstein brukte sammenhengen mellom entropi, energi og volum til å komme frem at hver «lyskvant» hadde entropi tilnærmet lik som et molekyl i en ideell gass. Ved å bruke forandringen til entropien til lyset og Boltzmann sin likning for entropi konkluderte han at monokromatisk lys med lav tetthet (Gyldighet til Wiens lov) oppfører seg termodynamisk likt som uavhengige energikvanter med størrelse Rb/N " (Arons & Peppard, 1965).

Energien til en lyskvante kan derfor skrives som

$$E = \frac{R\beta}{N} \nu, \quad 3$$

der ν er frekvensen og $\frac{R\beta}{N}$ har en verdi som er tilsvarende Plancks konstant $h = 6.626 * 10^{-34}$ Js (R er gasskonstanten, N er avogadros tall & β er $\frac{1}{\tau}$ der τ er den fundamentale temperaturen til systemet). Einstein resonerte seg frem til at lys må bestå lyskvanter i likhet hvordan partikler beveger seg i en ideel gass.

For at dette skulle bli godtatt i fysikkmiljøet måtte Einstein referere til, og begrunne dette med forsøk og fenomener som han kunne beskrive, et av disse er fotoelektrisk effekt (Renstrøm, 2011).

2.4. Fotoelektrisk effekt

Fenomenet fotoelektrisk effekt ble først oppdaget i 1887 da Heinrich Hertz sendte elektromagnetiske bølger mot metall. Han kom frem til fire konklusjoner ved dette.

1. Når elektromagnetisk stråling blir sendt mot et pusset metall så kan de sende ut elektroner, ikke positive ioner.
2. Om elektroner blir sendt ut eller ikke er avhengig av frekvensen til den elektromagnetiske strålingen. Det er en grensefrekvens som må overstiges for at dette skal skje.
3. Størrelsen til elektronstrømmen er proporsjonal med intensiteten av lyskilden.
4. Energien til elektronene er uavhengig av intensiteten av lyskilden, men varierer lineært med frekvensen til det innfallende lyset.

(Gasiorowicz, 2013, s. 5)

Denne tanken arbeidet Einstein videre på da han ga ut artikkelen i 1905 om fotoelektrisk effekt, som han brukte til å begrunne lyskvantehypotesen.

Fotoelektrisk effekt skjer når lys treffer en metalloverflate og slår løs elektroner fra metallet. For at dette skal skje må lyset være over en bestemt frekvens, gitt av metallet, om frekvensen er under frekvensen som kreves vil ingen av elektronene bli slått ut, uansett hvor stor intensiteten er (Hemmer, 2005). Selv om fenomenet fotoelektrisk effekt kan bli forstått innenfor klassisk elektrodynamisk teori med at stråling løsriver elektronene og gir disse en kinetisk energi, er det vanskeligere å forklare at den kinetiske energien ikke er avhengig av mengden med lys som blir sendt, intensiteten, men den kinetiske energien til elektronene øker proporsjonalt med frekvensen (Gasiorowicz, 2013).

Einstein beskriver at fotoelektrisk effekt kan bli tolket på følgende måte: Hvert tilfelle av en lyskvant med frekvens f_1 , blir absorbert og genererer av seg selv, hvis det er tilstrekkelig med energi, en lyskvant med frekvens f_2 . (*A Einstein, 1905, engelsk oversettelse av Aaron & Peppard (1965)*). Frekvensen som kreves for å løsrive elektronene er avhengig hvor mye energi som kreves for å penetrere eller bryte det ytterste laget i metallet, varierer avhengig stoffet. Den «enkleste» måten, eller forklaringen som Einstein brukte var å tenke på dette som at all energien til en lyskvant blir overført til et elektron, som fører til elektronet får en kinetiske energi. Energien til fotonet må være større eller lik det arbeide som kreves for å frigjøre elektronet fra tilstanden det befinner seg i. Den kinetiske energien til elektronet kan beskrives som

$$E = \frac{R\beta}{N} \nu - P, \quad 4$$

der E er den kinetiske energien til et elektron, $\frac{R\beta}{N} \nu$ er energien til lyskvanten og P er energien som trengs for å løsrive elektronet fra metallet. Energien til lyskvanten er kun avhengig av frekvensen. Dette løste problemet med at energien til et foton, og dermed den kinetiske energien elektronet, kan beskrives ved hjelp av frekvensen istedenfor intensiteten som var et daværende problem i forhold til Maxwell sine likninger.

Einstein kunne da «forutse» resultatene i forsøk om fotoelektrisk effekt ved hjelp av likningen. Dette ble testet eksperimentelt noen år senere av Robert Millikan. Vi vet nå at $\frac{R\beta}{N}$ er tilsvarende plank sin konstant h , det er derfor vanlig å skrive likningen som

$$E = h\nu - P \quad 5$$

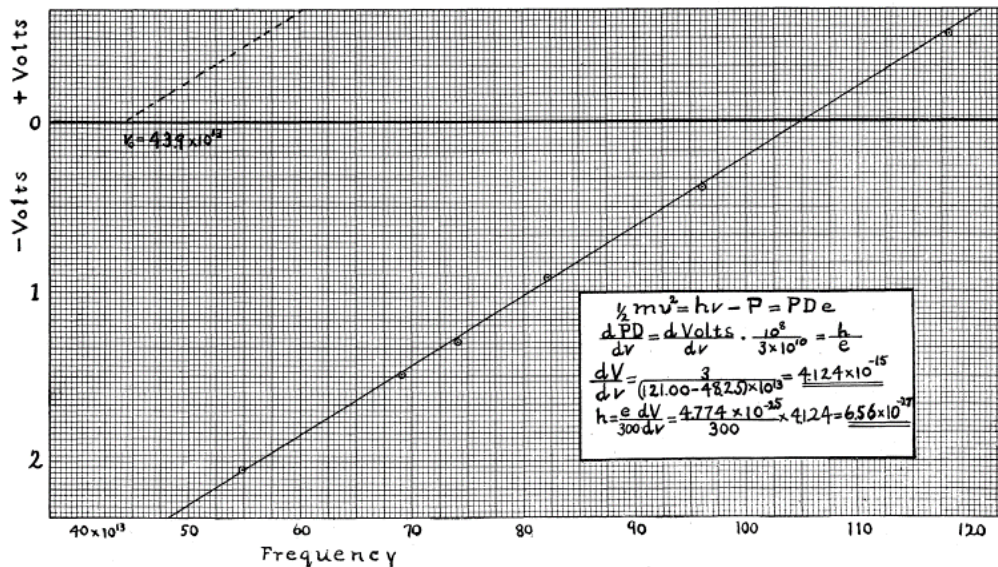
Albert Einstein fikk nobelprisen for likningen om fotoelektrisk effekt og sitt bidrag til teoretisk fysikk i 1921, men mottok prisen i 1922.

Max Planck hadde brukt energikvanter i sin utregning for strålingsloven noen år før Einstein, men ved å følge Einstein sin tankegang i artikkelen er det ingen indikasjon på at Einstein bruker Planck sine oppdagelser på noen måte i utregningen, men «Vi finner ingen sammenheng mellom Einsteins resonnementer og Plancks kvantehypotese» (Renstrøm, 2011, s. 64)

2.4.1. Millikan sitt forsøk med fotoelektrisk effekt

Det var fortsatt mange som tvilte på Einstein sin teori om lyskvanter. Forsøket som skulle vise sammenhengen mellom Einstein sin likning (4) og de eksperimentelle resultatene var Millikan sitt forsøk. Forsøket viste at energien til lyset kun er avhengig av frekvensen og ikke intensiteten som antatt tidligere (Gasiorowicz, 2013). Millikan jobbet med dette forsøket i flere år og til tross for sin tro om at lyset ikke besto av kvanter.

For å teste dette sendte Millikan, i 1916, ut monokromatisk lys mot metallplater og målte den kinetiske energien til elektronene. Det viste seg at den kinetiske energien til elektronene økte proporsjonalt med frekvensen, som antatt av Einstein tidligere som er vist i Figur 2.1



Figur 2.1 Resultatene fra Millikan sin originalartikkel om resultatene fra fotoelektrisk effekt (Millikan, 1916)

På Y-aksen er det den målte energien til elektronene og i X-aksen er det frekvensen til lyset som blir sendt imot elektronene. Punktene markert som sirkler i Figur 2.1 er resultatene som Millikan fikk, den rette linjen er det Einstein forutså skulle skje ut i fra likningen om fotoelektrisk effekt og fotonteorien. Ut i fra Figur 2.1 ser vi at punktene og antagelsen til Einstein stemte veldig godt overens, og at økningen skjer proporsjonalt med Plancks konstant. I punktet der den kinetiske energien går mot 0 er arbeidet som trengs for å løsrive elektronene fra metallet, P fra (4). Likningen til Einstein stemte perfekt med resultatene Millikan fikk (Isenberg & Chomet, 1987), men om teorien til Einstein, skrev Millikan i artikkelen sin

«Despite then the apparently complete success of the Einstein equation, the physical 'theory of which it was designed to be the symbolic expression is found so untenable that Einstein himself, I believe, no longer holds to it» (Millikan, 1916, s. 384).

Tanken om at lys er kvantisert er så uholdbart for Millikan at han antar at ikke Einstein kan tro på det lenger.

19 år etter Einstein ga ut artikkelen sin om lyskvantehypotesen var det fortsatt ikke veletablert at lys kunne bli kvantifisert på måten Einstein gjorde det. Millikan som eksperimentelt bekreftet Einstein sin likning, sa at det var en lang vei igjen før lyskvantehypotesen ble allment akseptert. Dette viser hvor kontroversielt teorien til Einstein var. I nobellettalen sin i 1924, 8 år etter han selv hadde bevist likningen og Einstein hadde fått nobelpris, sa Millikan at lyskvanter, som Einstein mente var forklaringen bak fotoelektrisk hadde en lang vei igjen før den ble akseptert. Millikan skriver

«to that extent the reality of Einstein's light quanta may be considered as experimentally established. But the conception of localized light-quanta out of which Einstein got his equation must still be regarded as far from being established» (Millikan, 1924, s. 64).

2.5. Einstein introduseres Lyskvanters bevegelsesmengde

Det var i 1917 at Einstein kom med konklusjonen at den totale energien til en partikkel er

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4, \quad 6$$

der m_0 er hvilemassen, c er lysfarten i vakuum og p er bevegelsesmengde, men siden lyskvantene er masseløse vil de da få en bevegelsesmengde (7)

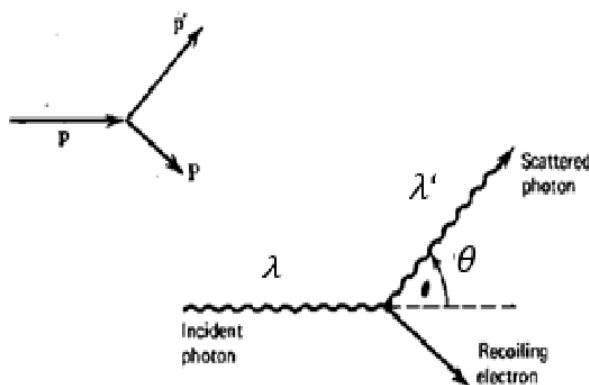
$$\frac{h\nu}{c} = p = \frac{h}{\lambda} \quad 7$$

I artikkelen som kom i 1917, *The Quantum Theory of Radiation*, kom han fram til samme konklusjon som Compton. Han skriver i artikkelen «Most important, however, appears to me the result about the momentum transferred to the molecule by incoming and outgoing radiation» (Albert Einstein, 1917, s. 14) og «The property of elementary as expressed makes a quantum theory of radiation almost unavoidable» (Albert Einstein, 1917, s. 14).

2.6. Comptoneffekt

Det var fortsatt mange som tvilte på lyskvantehypotesen. Det var ikke før i 1923-24 at Arthur Compton gjorde et forsøk som senere skulle ha en stor innvirkning på fotonteorien. Forsøket til Compton gikk ut på at han sendte elektromagnetisk stråling mot et tynt lag av karbon (Compton, 1924).

Compton fant ut at i to ting i eksperimentet; Den første er at strålingen som ble sendt ut endret bølgelengde, den andre var stråling med en bølgelengde som var forandret relativt til innfallsvinkelen og størrelsen til den originale strålingen (Gasiorowicz, 2013). Compton brukte denne informasjonen og antok at lyskvant hadde bevegelsesmengde og energi. Dette regnet han på som et elastisk støt mellom to partikler som fremstilt i Figur 2.2.



Figur 2.2 Visuell fremstilling av Compton spredning (Gasiorowicz, 2013, s. 8)

Ved å anta at en lyskvant med en bevegelsesmengde p treffer et elektron tilnærmet i ro, som vist i Figur 2.2. Etter kollisjonen har lyskvanten bevegelsesmengde p' og bølgelengde λ' , og elektronet har en bevegelsesmengde P . Dette kan skrives ved hjelp av bevaring av bevegelsesmengde og energi som

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos\theta). \quad 8$$

Ut i fra (8) ser vi at forandringen i bølgelengde er gitt ved massen til partikkelen, eller elektronet i dette tilfelle og innfallsvinkelen. Denne likningen er den som er mest assosiert med comptoneffekten.

Det er viktig å påpeke at ikke fotonet forandrer bølgelengde, siden det bare kan bli absorbert og sendt ut som hele kvanter. En måte å tolke det på er at elektronet absorberer hele fotonet og sender ut et nytt foton med en ny bølgelengde.

Compton målte kollisjonen mellom strålingen og et elektron etter det uelastiske støtet. Han sendte røntgenstråling mot en grafittplate som frigjorde elektroner. Resultatene han fikk stemte overens med det som ble forutsett i (8). Resultatene Compton oppdaget stemte overens med hva Einstein hadde forutsett at skulle skje i sin hypotese om lyskvanter. Dette var det mest direkte bevis for at lyskvanter og elektromagnetiskstråling kan ha partikkellikende egenskaper. Mange av de som tvilte på lyskvanter måtte innrømme nederlaget. (Gasirowicz, 2013). Compton skriver i artikkelen «Scattering of X-rays» at

«It is indeed difficult to see how the idea of quanta can be reconciled with those experiments in which interference is secured between rays that have moved in different directions... The conviction of the truth of the spherical wave hypothesis produced by such interference experiments has led Darwin and Bohr in conversation with me to choose rather the abandonment of the conservation principle "...” For this reason I am inclined toward the choice of these principles even at the great cost of losing the spreading wave theory of radiation. I am by this choice confined to the view that radiation consists of directed quanta» (Compton, 1924, s. 70).

Både Einstein og Compton hadde samme teori og konklusjon, men ingen av disse referer til hverandre. Det kan derfor tenkes at disse to konklusjonene kom uavhengig av hverandre (Bialynicki-Birula, 2006). Disse to artiklene som kom tilsynelatende uavhengig av hverandre var spikeren i kista for mange som tvilte på lyskvanteteorien.

2.7. Lyskvantene får navn

Det var ikke før 20 år etterpå at Einstein sine «lyskvanter» får et navn. Det var Gilbert Lewis, en professor på Berkley som publiserte en artikkel i 1926 om lyskvantene, der han ga de navnet «Foton».

«It would also cause confusion to call it merely a quantum, for later it will be necessary to distinguish between the number of these entities present in an atom and the so-called quantum number. I therefore take the liberty of proposing for this hypothetical new atom, which is not light but plays an essential part in every process of radiation, the name photon” (Lewis, 1926, sitert fra Bialynicki-Birula, 2006, s14)

Det var her navnet «foton» ble introdusert for første gang, alt tidligere enn dette ble det referert som lyskvanter. Selv om forklaringen på selve fotonet har forandret seg henger navnet, «foton» igjen,

2.8. Klassisk elektromagnetisk bølge

En klassisk elektromagnetisk bølge kan forklares uten så mye matematikk ved hjelp av fire hovedpunkter som alle elektromagnetiske bølger følger

1. Svingningene er på tvers at bølgens fartsretning: Det magnetiske og elektriske feltet er vinkelrett i forhold hverandre og fartsretningen
2. Forholdet mellom størrelsen på det elektriske feltet, E og magnetiske feltet, B er proporsjonalt, $E = kB$
3. Bølgen beveger seg i vakuum med en gitt og uforanderlig fart
4. I motsetning til mekaniske bølger trenger ikke elektromagnetiske bølger et medium

(Young, Freedman, Sears, Zemansky, & Ford, 2012, s. 1058)

Elektromagnetiske bølger transporter både energi og bevegelsesmengde. Energien til en bølge er gitt ved hjelp av intensiteten, I , lysfarten c og en konstant ϵ_0 .

$$I = \frac{c\epsilon_0 E_{max}^2}{2} \quad 9$$

Forholdet mellom energien og amplituden til en bølge kan skrives som

$$E \propto A^2. \quad 10$$

Ut i fra disse formelene ser vi at ved å øke intensiteten øker vi den maksimale energien og dermed amplituden til en bølge. Strålingstrykket, p_{rad} kan uttrykkes ved hjelp av intensiteten til en bølge som skrives

$$p_{rad} = \frac{dp}{dt} \frac{1}{A} = \frac{I}{c}, \quad 11$$

der dp er bevegelsesmengde, dt er tiden og A er areal.

Ved hjelp av formel (9), (10) og (11) kan vi beskrive energien, intensiteten, trykket og bevegelsesmengde til en klassisk elektromagnetisk bølge. I følge disse formlene er det kun intensiteten og amplituden som sier noe om energien til en bølge, og ikke frekvensen som i kvantefysikken, det er her noe av problemene oppstå når det kom til fotoelektrisk effekt.

2.9. de Broglie

I både Einstein sitt arbeid var det klart at fotoner hadde både partikkel- og bølgelikende egenskaper. En fransk fysiker, Lous de Broglie tok steget videre og tenkte det motsatte. At hvis fotoner hadde partikkelegenskaper må også partikler ha bølgeegenskaper (Dunningam & Vedral, 2011).

Han gikk ut ifra at alle partikler har med en bevegelsesmengde, p , som klassisk sett skrives som et produkt av masse og fart. $p = mv$. Tidligere viste også Einstein at bevegelsesmengden til et foton kan skrives som (7). Ved å kombinere disse to likningene fikk De Broglie en likning som skrives

$$\lambda = \frac{h}{p}. \quad 12$$

Ut i fra likningen ovenfor kan man se at bølgelengden, λ , er omvendt proporsjonal til bevegelsesmengden, p . Ut i fra dette ser vi at jo mer bevegelsesmengde noe har, jo kortere bølgelengde vil det få. Dette gjelder for alt, både partikler og større gjenstander, så i teorien har alt med bevegelsesmengde en bølgelengde. (Dunningam & Vedral, 2011)

2.10. Kvantemekanikk

Alt det som skjedde innenfor kvantefysikken før 1925-26 blir ofte referert som «kvantefysikk» eller «den gamle kvanteteorien». Det var ikke før Werner Heisenberg i 1925 og Erwin Schrödinger i 1926 kom inn i bildet at den moderne «kvantemekanikken» ble til, der selve mekanikken som brukes til å regne i kvantefysikken ble til (Gasiorowicz, 2013).

2.11. Erwin Schrödinger

Hvis partikler har egenskaper til bølger virker det også logisk at en kan forklare og beskrive disse ved hjelp av en bølgelikning. Det var vist at partikler hadde bølgelengde i de Broglie sin likning, (12). En som jobbet og videreutviklet dette var Erwin Schrödinger, som senere klarte å finne en likning for en bølgefunksjon som kunne forklare bølgeegenskapene til alle partikler.

Da Schrödinger utledet likningen begynte han med et elektron sin kinetiske energi som kan skrives som (13) hvor M er massen til elektronet.

$$E = \frac{p^2}{2M} = \frac{\hbar^2 k^2}{2M}. \quad 13$$

Tidligere er det vist at energi også kan skrives som en bølge assosiert med en naturlig frekvens

$$E = \hbar\omega, \quad 14$$

som også beskriver elektronets kinetiske energi. Ut i fra disse to likningene får vi en sammenheng mellom frekvensen og energien.

$$\omega = \frac{\hbar k^2}{2M}. \quad 15$$

Ut ifra dette er frekvensen proporsjonal med k^2 , som fører til

$$\psi = e^{i(kx - \frac{\hbar k^2 t}{2M})}. \quad 16$$

Ved å sette inn et potensialet og generalisere likningen for en fri partikkel får vi til slutt den berømte generelle Schrödinger likningen for en fri partikkel, (17) som han fikk nobelprisen for i 1933.

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = -\frac{\hbar}{2M} \frac{\partial^2 \psi(x, t)}{\partial x^2} + V(x)\psi(x, t) \quad 17$$

(Dunningam & Vedral, 2011; Gasiorowicz, 2013)

Likningen (17) en kompleks differensiallikning for bølger. I følge likningen det ikke kun et utfall som er mulig, men den sier at det vil være mange forskjellige mulige utfall og tilstander til et system.

Hovedforskjellen mellom en klassisk og Schrödinger sin bølgefunksjon er tolkningen. Ved å ta kvadratet til en klassisk amplitude får man ut bølgeenergien. Det er ikke slik med Schrödinger sin bølgefunksjon. Ved å ta kvadratet til absoluttverdien gir det en sannsynlighetsfordeling for bølgefunksjonen. Denne tolkningen av likningen kom fra Max Born, en tysk fysiker (Gasirowicz, 2013), ut i fra denne tolkningen kan vi kun si sannsynlighetsfordelingen gitt av bølgefunksjonen. Før dette vil partikkelen, eller det som bli målt ha en udefinert egenskap, som for eksempel posisjon eller fart. I en av de vanligste tolkningene, Københavntolkningen, er det kun ved å måle partikkelen at den får en definert posisjon slik at man kan si hvor den befinner seg, det er dette som kalles for «kollaps av bølgefunksjonen».

Likningen forteller oss om *kvantetilstanden* til partikkel. En kvantetilstand, eller tilstand er et felles begrep for informasjon om en partikkel som for eksempel spinn, polarisasjon, bevegelsesmengde eller posisjon. I klassisk fysikk er det mulig å observere mange av disse tilstandene på en gang, men innenfor kvantemekanikk er det begrenset hvor mange tilstander det er mulig å vite (Dirac, 1947), dette er et av de store forskjellene fra klassisk og kvantefysikk.

Likning (17) forteller at vi ikke kan si helt sikkert si noe om tilstanden til partikkelen før vi måler den. Man kan bare bruke likningen for å si hva tilstanden *mest sannsynlig* vil være. Det er gitt ved hjelp av en sannsynlighetsfordeling blant mange forskjellige mulige tilstander, der alle tilstandene er mulige utfall før vi måler det. Dette begrepet blir kalt for *superposisjon*.

2.11.1. Superposisjonsprinsippet

Superposisjon er et kvantemekanisk begrep der en mulig forklaring er «Når vi har to eller flere løsninger av Schrödinger likningen, det vil si to mulige fysiske tilstander til et system er en hvilken som helst superposisjon av disse mulighetene en løsning» (Dunningam & Vedral, 2011, s. 35). Når noe befinner seg i en superposisjon vil det være flere mulige utfall, men det er bare ved å måle systemets tilstand at systemet får én veldefinert tilstand. Før målingen kan man bare si det i forhold til hvor stor vekt sannsynligheten har (Dirac, 1947). Det å si at partikler eller fotonet er på begge eller ingen steder samtidig vil være feil, det er en bedre forklaring å si at posisjonen kun er udefinert.

Det er her det største skillet mellom den klassiske, deterministiske fysikken er og kvantemekanikken,

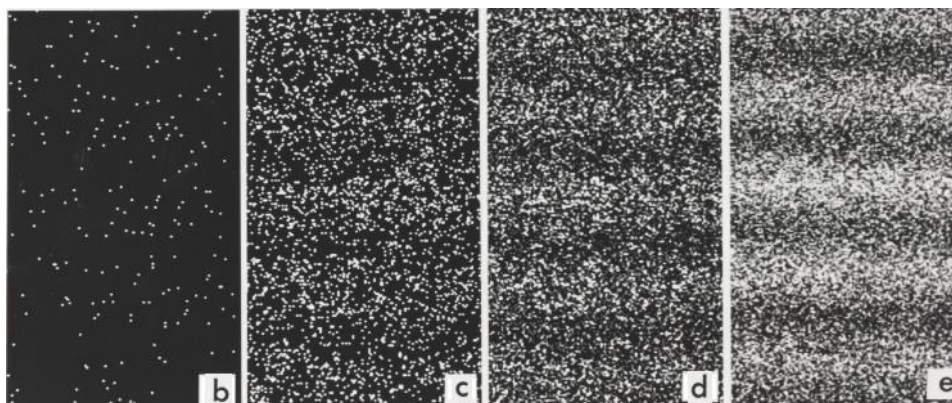
«The superposition that occurs in quantum mechanics is of an essentially different nature from any occurring in the classical theory, as is shown by the fact of quantum superposition principle» (Dirac, 1947, s. 14).

I kvanteverden kan man kun si noe ut i fra en sannsynlighetsfordeling og ikke et definitivt svar som det er vanlig å gjøre klassisk.

2.12. Dobbelspalteforsøk med elektroner

Schrödinger sin likning (17) beskriver egenskapene og tilstanden til en partikkel, og dermed partikkelen sin «bølgeegenskap». Tonumura, Endo, Matsuda, and Kawasaki (1989) gjorde et forsøk for å teste partikler, eller elektronet i dette tilfelle sine bølgeegenskaper.

De sendte elektroner inn i en dobbeltspalte for å se om det ble laget et interferensmønster som vi vet blir dannet hos bølger. Elektronene ble sendt inn en og en for at de ikke skulle påvirke hverandre. Etterhvert som de sendte inn flere elektroner begynte det å dannes et mønster der elektronene traff platen som kan sees i Figur 2.3.



Figur 2.3 Elektroner som er sendt igjennom en dobbeltspalte, med antall elektroner $b=100$, $c=3000$, $d=20\ 000$ og $e=70\ 000$ (Tonumura et al., 1989)

I bilde *b* ser det ut som elektronene er tilfeldig fordelt, det samme kan man si for bilde *c*. Etter hvert som det blir flere elektroner kan man se at det begynner å danne seg et mønster og ser et klart skille hvor de fleste elektronene har truffet. Dette skjer på grunn av en sannsynlighetsfordeling som kan beskrives ved hjelp av Schrödinger sin likning. Det er ved å måle posisjonen til elektronene i skjermen at «bølgefunksjonen kollapser». Før dette øyeblikket var posisjonen til elektronene beskrevet ved hjelp av en bølgefunksjon og dermed lage et interferensmønster. Det er sannsynlighetsbølgen til elektronene som kommer tydelig frem i eksperimentet og dermed bekrefter elektronets bølgenatur.

Det blir dannet et interferensmønster hos elektronene, som essensielt, er en bølgeegenskap. Konklusjonen blir da at elektroner, eller partikler generelt sett må ha bølgeegenskaper. Eksperimenter som vist elektronets bølgenatur ble det eksperimentale beviset som trengtes for å bekrefte teorien. Artikkelen blir avsluttet med å si «Resultatet her av interferensmønsteret er akkurat sånn som antatt av kvantemekanikk» (Tonumura et al., 1989, s. 120). Dette viser liknende resultat som med Young sitt forsøk i 1801 med interferens hos lys (Gasirowicz, 2013). Både bølgeegenskapen til partikler har blitt bevist ved hjelp av dobbeltspalteforsøket og partikkelegenskapene til fotoner gjennom comptoneffekten. Kvantefysikken kom seirende ut nok en gang.

For at det skal dannes et interferensmønster blant elektronene kan man ikke vite hvilken av spaltene elektronene gikk igjennom, de vil befinne seg i en superposisjon. Hvis man da velger å måle hvilken spalte elektronene gikk gjennom forandrer dette mønsteret elektronene gir og de vil da oppføre seg som klassiske partikler og ikke lage et interferensmønster.

2.13. Fotoner og partiklers bølgenatur

Fotoner og partiklers bølgenatur handler om hvordan fotoner kan bli sett på som å oppføre seg som en bølge, som vist i interferens og partikkel, som vist i Comptoneffekten.

På grunn av at fotoner og partikler kan beskrives som både partikler og bølger kalles dette ofte for «Bølge-partikkel-dualismen». Dualisme blir forklart i Det Store Norske Leksikon som «ideen om at det innenfor et område finnes to grunnleggende og forskjellige typer ting, i kontrast til monisme, som hevder det innenfor et område bare finnes én type ting» (Karlsen, 2017). Ved å følge samme definisjon for dualisme antar vi at det bølger og partikler er to grunnleggende forskjellige ting, men hvordan kan det da ha seg slik at fotoner kan oppføre seg som begge? Den enkle forklaringen på dette er at fotoner kan også tolkes som at det ikke er noen av delene. Et foton er et foton, og prøve å beskrive det ved hjelp av klassiske begreper er meningsløst (Fischler & Lichtfeldt, 1992). Den måten å se på et foton på som er mest korrekt er matematisk, dessverre kreves det en god del matematikk kunnskap for å gjøre dette så for mange er ikke dette en mulighet.

2.14. Hovedforskjellen fra klassisk- og kvantefysikk

Om vi går ut i fra *Kontinuitet, determinisme og lokal virkelighet* som de sentrale prinsippene til den klassiske fysikken (Bungum & Tellefsen, 2016; Olsen, 1999; Renstrøm, 2011) kan man se og forklare hva som faktisk blir «brutt».

Kontinuitet blir brutt ved at fotoner ikke kan få eller gi fra seg kontinuerlig energimengder, men får gi fra seg/få energi i hele kvanter *hv*. Dette bryter imot den klassiske fysikken der det skal være mulig å dele opp og gi/ta energi i hvilken som helst mengde energi, både små og store.

Determinisme blir brutt av Schrödinger i sin likning der det er sannsynlighet som bestemmer hva tilstanden til partikkelen er. Eksemplet på det som vist ovenfor er elektronspalteforsøket der det ble eksperimentelt bevist at partikler følger den samme sannsynlighetsfordelingen som lys. Selv om vi har informasjon om partikkelens tilstand nå kan vi ikke med 100% sikkerhet vite hvor tilstanden til partikkelen både i fortiden og i fremtiden.

Lokal virkelighet (Separabilitet) blir brutt ved hjelp av Schrödinger sin bølgefunksjon ved at den ikke kan få en veldefinert tilstand. Partikkelens bølgenatur bryter også med dette fordi det ikke er en entydig definert tilstand. Lokal virkelighet kan man enklere se «bruddet» på andre kvantefysiske fenomener som for eksempel sammenfiltrering.

3. Didaktisk teori

I dette kapitlet blir det gjennomgått forskjellige aspekter som er viktig når det didaktisk teori. Her blir det gjennomgått viktigheten av lærebøker i skolen og bruken av bøkene. I en lærebokanalyse er det mange forskjellige sider og aspekter som må tas hensyn til, noen av disse handler om utfordringer, forståelse, modeller og språk som vil bli sett nærmere på i kapitlet.

3.1. Lærebok

Læreboka har alltid vært sentralt når det kommer til undervisning og læring i skolesystemet. Selv om skolen har hatt en større påvirkning av teknologi har lærebøker fortsatt en eminent plass i skolen og har vist seg å være levedyktig, men det har vært forandring innad i bøkene (Selander & Skjelbred, 2004). Lærebøkene har mange forskjellige funksjoner i skolen, der en rekke av funksjonene er:

- Det er et redskap for undervisning og læring.
- Den samler opp kunnskap og innsikt som anses som grunnleggende og viktig.
- Den gir en form for felles referanseramme med betydning for samtale, formidling og samhörighet.
- Den utgjør et første steg i det kunnskapsunivers som de ulike fagene leder inn til.
- Den er et kontrollredskap.

(Skrunes, 2010, s. 15)

Alle disse punktene er kritiske når det kommer til å tilegne seg ny kunnskap. I den generelle delen av læreplanen står det også at læreboka og andre læremidler er vesentlig for undervisningens kvalitet (Utdanningsdirektoratet, 2006a). Læreboka er en av de viktigste, sammen med læreren, faktorene på hvordan elever tilegner seg kunnskap (Olsen, 1999).

3.1.1. Godkjenning/kontroll

Den offentlige kontrollen som godkjente lærebøker ble fjernet i juni 2000 der blir det skrevet i en melding til stortinget at «Ordninga med statleg godkjenning av lærebøkene har vore diskutert i lengre tid. Mellom anna foreslo fleirtalet i opplæringslovutvalet å oppheve den statlege lærebokgodkjenninga» (Ot.prp. nr. 44, 1998, s. 27). De skriver videre at kvalitetssikringen av lærebøker vil falle på forlaget, forfattere og lærere. Et argument til for dette er at det vil bli høyere konkurranse om lærebøkene og de dårlige lærebøkene vil dermed ikke selge og kvaliteten vil bli sikret. Det er allikevel noen kriterier bøkene må bestå som at lærebøkene må ta utgangspunkt i kompetansemålene satt av staten og ha korrekt språkbruk.

Det finnes lite informasjon som forklarer hvordan læremidler velges, utformes og brukes (Selander & Skjelbred, 2004). I en undersøkelse gjort av Skjelbred (2003) ble det spurt forskjellige lærere om det var nødvendig med kontroll av lærebøker svarte 40% ja, 20% nei og 38% var ikke sikre, der de fleste som ikke svarte ja argumenterte med at det var læreren sitt ansvar og kvalitetssikre læreverkene. Dette viser til en splittelse av lærere om godkjenning er en nødvendighet eller ikke. Generelt sett er det lite forskning som kan vurdere og begrunne valg og kvalitet av lærebøker og ressurser i norsk grunnskole og videregående utdanning, det kan være mange forskjellige motivasjoner bak dette som økonomi, kvalitet og pedagogiske

debatter (Skjelbred, 2003). Når 40% av lærerne i undersøkelsen sier at det er nødvendig kan det vise et behov for kontroll av lærebøkene.

3.1.2. Bruk av lærebøker

Flere pedagogikkbøker sier det samme på mange ulike formuleringer når det kommer til bruken av lærebøker, men essensen er det samme, «Det er ikke kun læreboka som er viktig, men hvordan den blir brukt» (Angvik, 1982; Krumsvik & Säljö, 2013; Selander & Skjelbred, 2004). Det er derfor viktig å se på bruken av lærebøkene.

Bachmann (2005) gjorde en undersøkelse i forbindelse med sin doktorgrad en undersøkelse som blant annet handlet om bruk av lærebøker, der hun stilte spørsmålet «Hvor ofte bruker du følgende hjelpemidler i planlegging og undervisning i det faget du har valgt?» Da var det om lag 90% (87 av 100) som svarte at de brukte læreboka ofte i planlegging og gjennomføring av en undervisnings økt, og det som ble rangert som nummer 2 var lærerveiledninger og tilhørende bøker (67 av 100), det er tilsvarende resultater i en undersøkelse gjort av Bueie (2002). Antagelsen hennes er da at «Lærebøkene, sammen med lærerveiledningene er lærerens viktigste innholds orienterende kilder» (Bachmann, 2005, s. 316).

I følge Skjelbred (2003) sin rapport har læreboka tre hovedbruksområder

1. Utgangspunkt for kunnskapsformidling
2. Utgangspunkt for elevarbeid (oppgaver, prosjekt)
3. Utgangspunkt for kontroll (Kontroll samtaler, prøver)

Konklusjonen i Skjelbred sin rapport er at læreverkene i disse undersøkelsene stort sett benyttes når elever skal tilegne seg kunnskap i faget og det som trengs når de stilles til ansvar med prøver. Lærerne bruker ikke læreverket slavisk, men tar en pedagogisk og faglig vurdering ut i fra elevenes forutsetning.

Flere av forlagene gir ut både lærerveiledning, oppgavehefte og digitale læringsressurser, men det viser seg at læreboka er det som blir mest brukt til å studere og tilegne seg kunnskap, spesielt i fag av vitenskapelig natur (Driscoll, Moallem, Dick, & Kirby, 1994), dette støtter viktigheten av presise og gode bøker. Videre påpeker de at læreboka, for læreren, har to hovedfunksjoner. Den første er hjelp til planlegging av undervisning, både for hver undervisningsøkt i tillegg til årsplaner for faget. For det andre fungerer læreboka som en primærkilde for faglig informasjon (Driscoll et al., 1994).

3.2. Fysikk i norsk skole

Det er viktig å lære om de naturvitenskapelige fagene for at flertallet av befolkningen kan være med å diskutere faglige diskusjoner og problemer. For å få til dette er det viktig å ha en allmenndannelse i de naturvitenskapelige fagene. Sjøberg (2009) skriver fire argumenter for at man skal lære naturfag og naturvitenskapelige fag i skolen.

1. *Økonomiargumentet*: Ved å kunne naturfag vil dette føre til en økonomisk fremgang for samfunnet og for hvert individ i forhold til fremtidig jobb og arbeid.
2. *Nytteargumentet*: Det er viktig for å ha en praktisk mestring av dagliglivet i et moderne samfunn. Det er også nyttig i forhold til videre arbeid og studie.
3. *Demokratiargumentet*: Naturvitenskapelig kunnskap er viktig for et informert og meningsdannelse og ansvarlig deltakelse i et demokrati.
4. *Kulturargumentet*: Naturvitenskapen er en viktig del av menneskets kultur og historie.

(Sjøberg, 2009, s. 187)

Argumentene gjelder for alle naturvitenskapelige fag. Sjøberg trekker frem det tredje argumentet som det viktigste, demokratiargumentet, for å få en allmenn god kunnskap om hvordan verden er og for å klare å sette seg inn i dagsaktuelle saker og være med i en saklig diskusjon.

Disse argumentene gjelder for fysikk også, men det er flere begrunnelser spesifikt til fysikk. Mange vil si at det er viktig å lære seg de grunnleggende prinsippene som styrer verden og fordi det representerer det mest fundamentale i naturen. Ideer og metoder innenfor fysikken gir et grunnlag for studier i alt fra biologiske studier til menneskelig aktiviteter og hvordan mennesket påvirker naturen (Angell et al., 2011). Angell, et al., (2011) er enig med Sjøberg (2009) at demokratiargumentet er viktigste. Fysikkfaget i skolen skal gi elevene kunnskap om naturvitenskap som gir dem grunnlag for å forstå og kunne være delaktige i politiske og samfunnsmessige debatter og beslutninger (Sjøberg, 2009).

Olsen (1999) kommenterte Sjøberg (2009) sine fire argumenter for å ha med kvantefysikk i skolen. Han skriver om de ulike argumentene:

Økonomiske argumentet: Det er viktig når det kommer til utvikling av nye materialer og kjemikalier. Dette argumentet kan også brukes imot kvantefysikk, for det er ingen klar og åpen sammenheng mellom forståelse i kvantefysikk og god økonomi. Russland er et eksempel på dette. De har mange eminente og suksessrike, men det har neppe ført til en overflod av valuta.

Nytteargumentet: Det å ha en god innsikt i kvantefysikk er neppe en viktig faktor for å mestre verden vi lever i, og det er vanskelig å se hvordan kvantefysikk forklarer hverdagsfenomener. En del ny teknologi har kommet som et resultat av kvantemekanikken, men for å anvende den trengs det nok ikke en dyp forståelse av teorien bak. Som en generell begrunnelse kan det være vanskelig å argumentere for dette, men det er allikevel nødvendig for å få en positiv utvikling.

Demokratiargumentet: I et demokrati er det viktig at allmennheten er i stand til å vurdere å argumentere for viktige aspekter av samfunnet. Det er få viktige aspekter av et samfunn i dag som trenger en forståelse innenfor kvantemekanikk. Olsen påpeker at det er enklere å bruke

argumentet *mot* kvantefysikk med argumenter som «alt er usikkert» som følge av Heisenberg og Schrödinger.

Det kulturelle argumentet: Utviklingen av kvantefysikk er en stor intellektuell prestasjon som har ført til mange nye oppdagelser og forståelser siden starten av 1900-tallet. Denne utviklingen kan sammenlignes med den industrielle revolusjonen og dampmaskinen i viktighet. Kvantefysikk er derfor i høyeste grad en del av vår kulturarv. Disse argumentene kan brukes både for og imot hvorfor det kan være nyttig å kvantefysikk i fysikkfaget, men det er viktig å påpeke at det ikke kun er en allmenndannelse i fysikk, men heller de som har valgt faget spesifikt som lærer om det. Kvantefysikk er også en av de mest fremgangsrike teoriene innenfor moderne fysikk, å utelatt dette ville utelate en stor del av den moderne fysikken (Angell et al., 2011; Olsen, 1999).

Fysikk i skolen har flere funksjoner og hensikter, men en av de er å motivere elever for videre studier i fysikk og relaterte fag. Skolen må klare å skape en fascinasjon og engasjement slik at elever får lyst til å velge realfag videre (Angell et al., 2011; Bungum et al., 2015). Ved å tenke på dette som et argument for fysikk kan det være logisk å tenke at noen vil gå videre med fysikk og trenger dette som et studieforberedende fag.

I et samfunn som stadig er i utvikling er det essensielt å få realister for å være med å hjelpe i en utvikling av samfunnet. Det er skolen sitt ansvar å gi de som vil ha og trenger realfagskompetanse. For enkeltelevne som trenger og vil ha det for å følge en karriere innenfor realfag, og samfunnet som trenger det for å utvikles. Fysikkfaget er et stort generelt fag som rekrutterer personer i mange forskjellige yrkesretninger som fysikere, ingeniører, medisin og teknikere, «Fysikkfag må gi elevene en solid oversikt over fysikkens fundamentale begreper og sammenhenger, slik at de kan bygge videre på dette i universitetsstudiet»(Angell et al., 2011, s. 23).

Fysikk handler i all hovedsak å kunne forklare og beskrive den verden vi bor i, fra stjerner og galakser til subatomære partikler. Det meste av teknologi og kunnskap kommer fra naturvitenskapelige metoder (Angell et al., 2011), og dette bør også gjenspeiles i fag og undervisning i skolesystemet. Det er viktig å få med seg alle disse delene av fysikken for å lage et mer helhetlig bilde.

3.3. Utfordringer i kvantefysikk

Prinsippene for kvantefysikken strider imot mange sine «hverdagsforestillinger» om hvordan verden fungerer. Dette kan man se på i eksempler som bruddet med kontinuitet og determinisme. Dette kan være et hinder når noen skal lære seg noe som bryter med dette. Den tidligere kunnskap som er tilegnet kan både hjelpe og være et hinder når det kommer til å tilegne seg ny kunnskap (Bransford, Brown, & Cocking, 2000). Det faktumet at kvantefysikk virker så «mystisk» og interessant kan virke som en motivasjon for mange elever. Dette kan være fordi det fortsatt er spørsmål vi ikke har klart å svare på enda som de kan være med å hjelpe (Bungum et al., 2015), paradoksalt kan dette også sees på som en utfordring hos mange lærere og elever fordi det er et så abstrakt emne (Angell et al., 2011).

Det faktumet at kvantefysikken er et så abstrakt og komplisert tema kan være en av grunnene til at kvantefysikk er vanskelig å forstå for mange elever og voksne. Det er gjort studier for å teste forståelse og bruk av kvantefysikk som viser at det er et gjengående problem for forståelse innenfor kvantefysikk (Ayene et al., 2011; Myhreagen, 2015; Olsen, 1999; Renstrøm, 2011).

Det viser seg at elever har som regel en grei forståelse når det kommer til å anvende kvantefysikk kvantitativt i form av likninger og beregninger, men når det kommer til å forstå kvantefysikken kvalitativt er det en stor variasjon hos elevene. En av de vanligste utfordringene for å lære kvantefysikk er at siden det er et abstrakt tema som kan føre til at mange har problemer med å forestille seg hva det faktisk er. For å løse dette problemet blir det ofte brukt analogier og modeller fra klassisk fysikk som det er lettere å relatere seg til. Flere forskere peker på at bruk av klassiske analogier og modeller kan føre til en feil forståelse av kvantefysikk, siden det ikke egentlig kan forklares ved hjelp av klassisk fysikk (Angell et al., 2011; Ayene et al., 2011). Klassiske forklaringer og modeller kan gi et feil inngangspunkt til kvantefysikken. Ved å begynne med en klassisk tankegang om kvantefysikken kan dette videre gi en feil forståelse av temaet og begrepene. Kvantefysikk blir ofte beskrevet som «rar» og «uforståelig» i lærebøker og populærvitenskap, som er de største kildene til informasjon. Når bøker skriver at ingen forstår kvantefysikk, kan det være vanskeligere å sette seg inn i pensumet med den tankegangen (Angell et al., 2011).

Siden det er et såpass abstrakt tema, er et problem hos mange elever begrepsforståelse. Det kan være problematisk å bruke et begrep når det ikke er en «naturlig forståelse» uten en måte man kan visualisere eller konkretisere det på en måte som er naturlig. Dette kommer igjen fra at kvantefysikken ikke er noe som man kan assosiere noe med i en naturlig, hverdagslig sammenheng eller at det er vanskelig å teste forståelsen. Kvantefysikken blir ofte introdusert med klassiske bilder før det går over til mer nøyaktige beskrivelser, dette kan gi et blandet inntrykk av fysikken som ikke har noe å gjøre i fysikken (Ayene et al., 2011).

Undervisning som foregår «tradisjonelt» med gjennomgang av stoff og oppgaver har vist seg å være mangelfull i å gi en tilstrekkelig forståelse innenfor kvantefysikk. Dette er fordi mange av lærebøkene beskriver kvantemekaniske fenomener ved hjelp av klassiske analogier og semi-klassiske tolkninger. På denne måten blir forskjellene mellom klassisk og kvantefysikk skjult i større grad og det blir vanskeligere å se ulikhetene. Dette kan føre til et mer klassisk bilde av kvantefysikken og verden. (Ayene et al., 2011; Myhreagen, 2015)

I en undersøkelse gjort i forhold til Relevans av Bungum et al. (2015) var det flere lærere som uttrykket at de ønsket mer og bedre læringsressurser spesielt når det kommer til vanskelige emner som kvantefysikk. Når det er vanskelige og ukjente emner for lærere vil de lene seg, og bruke bøker og læringsressurser mer enn på andre temaer som er mer kjente. Et tema som er ukjent eller vanskelig for mange er kvantefysikk (Bungum & Tellefsen, 2016).

3.4. Forståelse

I læreplanen blir kvantefysikk en del av hovedområde omtalt som «moderne fysikk». Her blir den kvalitative forståelsen lagt vekt på ved å «gjøre rede for» og «kvalitativt gjøre rede for», dette handler i all hovedsak om forståelsen om emnet med fokus på kvalitativ forståelse og kunne forklare pensum med egne ord. Det er vanskelig å si hva det vil si å «forstå» noe, men det er mange er opptatt av at de fleste skal ha en god forståelse av emnet. I spesielt fysikk blir ofte forståelse linket mot det å klare å løse fysiske problemer kvalitativt (Olsen, 1999). Ved å løse likninger og få svar får man en viss forståelse av faget. Læreplanen og kompetansemålet her er mer opptatt av den kvalitative delen og forståelsen. Så hva vil det si å ha en kognitiv og kvalitativ forståelse?

Det store norske leksikon beskriver forståelse som

«Forståelse, betegner den menneskelige evne til å begripe, fatte, gjøre bruk av forstanden, innse, oppfatte; betegner også resultatet av å forstå (som i «å komme til en forståelse»), resultatet av en undersøkelse, det å gripe en mening med noe» (Sletnes, 2015).

Stikkordet her er det avsluttende «Å gjøre bruk av» og «gripe mening med noe» ved å forstå meningen og hensikten til noe er man på god vei til en forståelse.

Skemp (1976) forklarer kognitiv, eller en relasjonell forståelse som at man kan gjengi informasjon og fenomener med egne ord og bruke begrepene som hører med på en måte som viser at du kan stoffet og ikke bare gjengir det. Kort oppsummert sier han at en forståelse er å vite hvordan du kan gjøre noe og hvorfor. Det motsatte beskriver han som instrumentell forståelse der en løser et problem instrumentelt og følger regler slavisk uten å vise noe forståelse for problemet. Begrepet «forståelse» er et komplekst begrep som er vanskelig å gi en god forklaring på. Det er kanskje enklere om man ser på læring som en prosess, og forståelse er sluttresultatet av denne prosessen. Å undersøke en elev sin læring er en annen måte å få et innblikk i elevers forståelse (Olsen, 1999).

3.5. Modeller

Et av målene med fysikken som vitenskap er «å lage modeller av virkeligheten» (Angell et al., 2011). Modeller og figurer er brukt mye i fysikk og naturvitenskapelige fag. Sjansen for at hvis man åpner en fysikkbok på en tilfeldig side og på denne siden er en modell relativt stor. Modell blir beskrevet av Ringnes and Hannisdal (2006, s. 169) som «En modell brukes til å representere eller simulere en virkelighet som kan være et objekt, en prosess eller et system». Å forstå modeller og begrensninger er noe som er vanskelig for mange elever i og med at noen deler av fysikkfaget er mer abstrakt og vanskeligere å visualisere det på en god måte. Det er en del elever som sliter med å «oversette» fysiske begreper, fenomener eller situasjoner til en matematisk representasjon. En av utfordringene er å kunne forholde seg til forskjellige representasjoner av informasjon som eksperimenter, grafer, begreper, verbale beskrivelser og likninger og løse dette på en god måte (Angell, Henriksen, & Kind, 2007).

I undervisning og læringsressurser blir det ofte brukt ulike modeller og ulike representasjoner av informasjon. Det er viktig ved bruk av modeller å påpeke at dette kun er en visualisering eller representasjon av virkeligheten og at det ikke er nøyaktig slik det skjer i virkeligheten. Modellen har ofte fremhevet den delen som skal poengteres, men oversett andre egenskaper som kan være like viktige, Ringnes and Hannisdal (2006) forklarer dette som positive og negative sider til en modell. Det er derfor viktig å være bevisst på at modeller som kan være ment som hjelp for å forstå pensum bedre kan føre til misoppfatninger, dette kan skyldes annerledes assosiasjoner for en elev enn det som var tenkt av forfatteren. En modell er sjeldent rett eller galt, men kan være mer eller mindre begrenset til å belyse det som er hensikten (Angell et al., 2011). Dette er en feil som ofte blir møtt på der ulike representasjonsformer blir presentert uten noen detaljer om modellen og det forventes at elevene skal skjønne det på lik linje som de som har laget den, uten å få noe tilleggsinformasjon om modellens natur eller funksjon. Det er derfor viktig å ha en sammenheng mellom modeller og tekst.

En modell har sin hovedfunksjon å forenkle eller redusere vanskelighetsgraden til virkeligheten (Marion & Strømme, 2015). Den mister mye av sin viktighet hvis den ikke blir forklart for leseren slik at det hjelper å få riktig oppfatning som kan minske sannsynligheten for misoppfatninger. Elever har ofte problemer med å skille mellom modeller og den virkelige verden, de oppfatter ofte modeller som en virkelig beskrivelse av virkeligheten istedenfor noe som er menneskeskapt (Ringnes & Hannisdal, 2006). Sadoski and Paivio (2013) har en teori om «Dual coding» forklarer at hjernen arbeider ut i fra to systemer, der det første er et system som er spesialisert i verbal kommunikasjon og det andre er spesialisert i ikke-verbal kommunikasjon som bilder og figurer. Alle former for kunnskap blir dannet ved hjelp av en

kommunikasjon eller samhandling til disse to systemene. Ved å bruke modeller og forklaring av modellene korrekt i teksten vil dette øke læringsutbytte (Angell et al., 2011; Sadoski & Paivio, 2013). Etterhvert som elever jobber med forskjellige likninger og representasjonsformer vil det bli enklere å forstå hva som er hensikten med modellene. Spesielt innenfor kvantefysikk er det en del matematiske uttrykk og modeller som trenger en forklaring, som for eksempel ved hjelp av analogier (Angell et al., 2011).

Elever oppfatter modeller ut i fra sine egne tanker og forutsetninger, det betyr at hver elev kan tolke samme modell på forskjellige måter. Om elever blir presentert med modeller eller analogier de ikke har kjennskap til forsøker elevene å konstruere kunnskap basert på noe liknende, en slik prosess kan ofte føre til mistolknings og misoppfatninger. Det er viktig å være bevisst på dette som lærer (Marion & Strømme, 2015).

3.5.1. Ulike type modeller

De ulike modelltypene som kommer oftest frem i fysikken er matematiske modeller, illustrasjoner og analogimodeller.

Matematiske modeller er en symbolsk beskrivelse av et fenomen eller en prosess, som for eksempel likningen for fotoelektrisk effekt

$$E = hv - P. \quad 18$$

Kun ved å se likningen vil det ikke hjelpe mange å forstå fotoelektrisk effekt. Det er først når man setter ord på hver komponent, symbol, fysiske størrelser og tall at det enklere kan forstås. Det kan også være mer hensiktsmessig og bruke flere modeller sammen (Marion & Strømme, 2015), det er også et krav at leseren har de nødvendige matematiske kunnskapene som kreves for å forstå den matematiske modellen.

Grafer og tabeller er et annet eksempel på matematisk representasjon av matematisk informasjon og modeller. På lik linje med likninger må disse forklares til en viss grad, selv om det kan forventes at i fysikkfaget at elever skal kunne lese og tolke forskjellige representasjoner av informasjon som grafer, likninger og tabeller.

Illustrasjoner kan være en visuell fremstilling av fenomener eller prosesser. Dette er som regel en forenklet versjon av det som skjer i virkeligheten. Hensikten er å få tydelig frem det som blir omtalt i teksten. Det kan vise forskjellige detaljer, konkretisere eller fokusere på hvordan disse virker sammen med kompliserte sammenhenger i virkeligheten (Mikkelsen & Sætre, 2015). Illustrasjoner har oftest et stort fokus på akkurat det som skal fremstilles og er derfor som regel oppblåst slik at det er enklere å visualisere hva som er hensikten. Det er derfor viktig å nevne dette, selv om det kan virke åpenlyst for mange (Marion & Strømme, 2015). Forskning viser at både lærere og elever foretrekker bøker som har en større bruk av bilder og illustrasjoner, og at menneskets sanser og hjerne fanger opp informasjon raskere fra et bilde enn med kun verbal tekst (Skrunes, 2010).

Analogier tar utgangspunkt i noe man antar at leseren har en viss kjennskap til som har likhetstrekk med det som ønskes å formidles i teksten. Et eksempel på dette er forklaring på fotoner, eller elektroner sitt interferensmønster. Her er det ofte et utgangspunkt i hva leseren har erfart tidligere som for eksempel at man kan tenke seg at bølger fra havet går inn mot en liten bukt, bølgene går sammen og danner noen topper som er høyere enn andre, og noen steder der det er mye lavere. Dette kalles for «bølgetopper» og «bølgebunner». Dette kan ofte ha den ønskede effekten på leseren, men det er viktig å spesifisere gyldigheten til analogien. Som det faktumet at dette er en forenkling av superposisjon og udefinerte egenskaper til

partiklene, mens hos vannbølgene så er det essensielt en ren bølgeegenskap. Analogier er ofte brukt, det fungerer ofte korrekt, men i kvantefysikken som er et relativt abstrakt tema kan dette ha motsatt effekt. Ved å bruke konkrete analogier som elevene har kjennskap til kan det føre til misoppfatninger fordi det ikke er det samme som de er vant med. Dette kan være en av årsakene til at det er mange som har problemer ved å forstå kvantefysikk. (Angell et al., 2011; Ayene et al., 2011; Renstrøm, 2011) Et eksempel på dette er at fotoner ofte blir beskrevet som «partikler og/eller bølger». Denne analogien er ment for å visualisere fotoner, men faktumet er at det blir feil siden et foton er hverken en partikkel eller en bølge, men et nytt kvantefenomen. Det er derfor viktig igjen å spesifisere gyldigheten og styrker/svakheter til analogiene (Marion & Strømme, 2015).

Det som kjennetegner god bruk av en modell er at det er fremtredende trekk som vi regner som positive og som blir lagt vekt på. Det er også nyttig å få frem både nøytrale og negative sider for å diskutere forståelse nyttheten til modellen. Det finnes flere modeller som kan beskrive samme fenomen, det er derfor viktig å diskutere både positive og negative sider ved modellen og argumentet for å velge den (Angell et al., 2011; Marion & Strømme, 2015).

3.6. Språk

Språk er essensielt for all kunnskapsformidling og læring. Bruk av språk er avgjørende om man lærer noe og klarer å forklare og formidle det videre på en tilstrekkelig måte. Innenfor matematikk og fysikk er det to hoveddeler av språket som skiller seg ut det er bruk av matematiske symboler og likninger (Nygaard, Hundeland, & Pettersen, 1999). Fysikk, i likhet med mange andre fag er det viktig å ha et presist og nøyaktig språk for å unngå misforståelser, det er også et fag hvor en stor del av faget og språket kan beskrives matematisk. Likninger, grafer, begreper og resultater er en stor del av språket og forståelsen. Fysikkens språk, både muntlig og skriftlig er særdeles viktig for både faglig korrekthet, forståelse og innlæring (Bungum & Tellefsen, 2016). Innenfor fysikkspråket er det viktig å ha korrekt bruk av begreper, siden hvert enkelt begrep har som regel en veldig spesifikk definisjon og betydning. Språket, som bærer av innholdet i boka må ha både faglig og pedagogisk forankring for at det skal bli forstått på best mulig måte (Skrunes, 2010).

3.6.1. Begreper

Tradisjonelt sett trenger vi en definisjon for å gi begreper mening (Ringnes & Hannisdal, 2006). I følge Nygaard et al. (1999) er det viktig å forklare eller definere et begrep, dette må møte noen krav.

- Det må være presist
- Den må ikke inneholdt det begrepet vi skal forklare
- Den må ikke kunne mistolkes
- Den må angi et karakteristikon, ikke en egenskap

(Nygaard et al., 1999, s. 485)

Et mål er at elever skal danne seg en begrepsforståelse som er mest mulig lik den som blir lagt opp til i en bok eller undervisning. Det er derfor viktig å bygge assosiasjoner til begrepene. Det er viktig når man presenterer et begrep å diskutere rundt begrepet og forklare alle symboler og hendelser som innfatter begrepet (Ringnes & Hannisdal, 2006).

Det er flere måter å lære et begrep på. En metode er å få en definisjon og lære et begrep ut i fra dette. Den andre måten er den omvendte veien. Ved å jobbe mye med et begrep uten en definisjon vil leseren få dannet en egen forståelse av hvilken egenskaper og hva begrepet innebærer (Ringnes & Hannisdal, 2006).

4. Metode

Det er metodens hensikt å finne ut av hvilke fremgangsmåter som er best egnet til å skaffe informasjon å gjøre velvurderte valg. Disse valgene blir nedgrenset ved å se på problemstilling og hvilken metode det er mest hensiktsmessig å bruke. I denne oppgaven er all ny informasjonen hentet fra lærebøkene *ERGO* og *RomStoffTid*. En følge av dette er at all informasjon er hentet fra tekster vil være viss grad subjektiv av natur. I en til dels subjektivitet oppgave er det viktig å være åpen rundt valgene som er tatt. Dette vil bli forklart mer i detalj i dette kapitlet.

4.1. Relabilitet og validitet

I en kvalitativ analyse er det vanskelig å sikre at studie og undersøkelser som er gjort holder en god standard av kvalitet. Relabilitet og validitet blir ofte knyttet opp mot dette. Relabilitet og validitet i en oppgave handler om hvor pålitelige og troverdige resultater, analyse og informasjonen som blir fremstilt er, og om undersøkelsen er gjort på en troverdig måte. Validitet, eller gyldighet handler om egne fortolkninger og funn av resultater, og handler i stor grad om å ikke gjøre antagelser eller konklusjoner uten argumenter som er mulig å følge for leseren. Dette er en utfordring i en tekstanalytisk oppgavesom er subjektiv siden det skal være mulig å gjenskape resultater i en vitenskapelig oppgave hvis metoden er gitt (Pingel, 2010).

I en ideell verden og oppgave vil lik informasjon og metode gi like resultater hver gang. Slik er det ikke i en tekstanalyse og pedagogikk. Det er for mange faktorer som spiller inn og det er i stor grad en subjektiv analyse. Selv ikke samme person som utfører samme analyse to ganger vil få samme resultat begge gangene. Det er viktig å ikke la egne følelser og antagelser være en stor påvirkende faktor og innflytelse i en analyse. Det er essensielt å ikke lage en konklusjon uten all informasjonen. Hvis man lager en konklusjon er det viktig å fortsatt være bevisst på dette og reflekterende rundt all ny informasjon, selv om resultatene strider imot den originale konklusjonen. For å få en bedre relabilitet og validitet er det derfor viktig å være bevisst og åpen om styrker og svakheter knyttet til måten informasjon er innsamlet på, og være kritisk og reflekterende rundt sin egen rolle. Hvor god kvalitet det blir er avhengig av refleksjon og åpenhet rundt gyldigheten til resultatene og hvor pålitelige de er (Postholm & Jacobsen, 2014).

Når det kommer til valg av analyse og metodeteori er det underliggende vurderinger av både språk og faglig validitet. Slike valg må være begrunnet med åpenhet slik at andre skal følge tankegangen til forfatteren. For at leseren skal kunne følge tankegangen kreves åpenhet av begrunnelse, valg og avgrensninger i forhold til forfatteren (Skrunes, 2010). Dette er noe som jeg prøver på i denne oppgaven med tanke på analysen, resultater og diskusjon, for å styrke validiteten og relabiliteten i tillegg til å gjøre det enklere for leseren å følge tankegangen videre.

Får å øke relabilitet og validitet i denne oppgaven blir det forsøkt å være så åpen om alle valg og begrunnelser som mulig. Det er derfor i jeg velger å presenterer bøkene sin fremstilling så objektivt som mulig med utdrag og sitater som er viktige for tekstens innhold. Det vil så foregå en egen analyse av teksten. I analysen vil det komme tydelig frem hva som er boka sitt innhold og hva jeg selv kommenterer, i tillegg til hvilken valg som er tatt. Når det kommer en konklusjon, er det etter å ha sett og diskutert ulike sider og innfallsvinkler i en åpen analyse slik at alle skal få et innsyn i tankegangen som skal kunne følges. I analysen vil jeg diskutere i forhold til forskjellige syn og vinkler som er relevante. Konklusjonen og drøftingen skal gjenspeile analysen og begrunnelsene som er tatt. Målet er å gi en

gjennomiktig analyse og en objektiv fremstilling av bøkene slik at relabiliteten og validiteten vil være tilstrekkelig.

4.2. *Metodisk tilnærming*

En av utfordringene når det kommer til tekst- og lærebokanalyse er at analysen er veldig subjektiv av natur. Dette er et problem i faglig forskning fordi det er praktisk sett umulig å reproducere samme resultat, noe som strider mot vitenskapens natur i testbarhet og pålitelighet. Likevel så må det foregå et bevisst metodisk valg i forhold til behandling av materialet, metoden må svare til valg av problemstilling og teorigrunnlag. Hensikten er å produsere et resultat som er troverdig og pålitelig, i tillegg til at resultatene kan etterprøves av andre (Skrunes, 2010).

Det er mulig å dele den metodiske tilnærmingene til en tekst i hoveddeler, der de mest brukte er, deskriptiv, kvalitativ og kvantitativ metode (Angvik, 1982; Postholm & Jacobsen, 2014). Disse forskjellige metodene kom som et svar på og forsøke å minske subjektiviteten i tekstanalysene og gjøre det enklere å teste og begrunne valg som er tatt. Det er verdt å nevne at det er flytende overganger mellom disse tre metodene (Angvik, 1982). Her ble deskriptiv og kvantitativ analyse fremstilt som to ytterpunkter.

Deskriptiv analyse er historisk sett den metoden som er oftest brukt. Denne metoden inneholder at analytikeren analyserer og tolker teksten og kommer med egne meninger og begrunnelser til hvorfor noe er bra/dårlig. Metoden går ut på å kode og kategorisere materialet (Postholm & Jacobsen, 2014).

Kvantitativ analyse ser på boka rent kvantitativt som for eksempel hvor stor andel av boka som er bilder, sammensatte tekster, bruk av begreper og andel av boka som blir brukt. Dette er en metode som blir tatt mer og mer i bruk for å øke testbarheten og fjerne større deler subjektiviteten til analytikeren. En av ulempene med denne metoden er at det bare kan stilles spørsmål som gir kvantifiserte svar. Dette er en grei metode om en skal se på utviklingen til et fenomen i et kapittel når det kommer til viktighet, andel i boken, spørsmålstyper og formuleringer (Angvik, 1982).

Kvalitativ analyse er et forsøk på å forene den deskriptive og kvantitative metoden ved å få frem styrkene og redusere svakhetene til begge fremgangsmåtene. Ved å forene disse to metodene går det ut på å *kvantifisere kvalitative utsagn*, enten ved å gi utsagn en tallverdi, plassere de i kolonner eller etter grad av tilstrekkelighet. Ved å bruke denne metoden kan den testes og det blir mer oversiktlige resultater og begrunnelser. Dette fjerner litt av subjektiviteten til analytikeren ved å definere alle kategorier, men det vil fortsatt ligge til grunn. Det optimale er å balansere alle metodene, samtidig som det er tydelige avgrensninger og skiller (Angvik, 1982).

Det er viktig å ha balansert bruk av alle disse metodene og være klar over styrker og svakheter i hver enkelt metode og fremgangsmåte (Skrunes, 2010). Den metoden som blir brukt videre er den deskriptive metoden, men det vil foregå en blanding av disse analysemetodene før å minske subjektivitet i tillegg til å øke relabilitet og validitet i oppgaven.

4.3. *Vurderingskriterier*

Det er utfordrende å analysere lærebøker fordi det er så mange innfallsvinkler en kan ta. Lærebøkene skal inneholde korrekt fagstoff som kan overføres til leseren på en god pedagogisk måte som gir lite eller ingen rom for feiltolkninger. Lærebøkene er ifølge Skrunes (2010) bærere av kunnskaper og verdier som er valgt ut fra et større kunnskaps- og verdifelt. Derfor kan det være vanskelig å gjøre en lærebokanalyse. Men det skal ifølge Johnson, Lorentzen, Staffan, and Skyum-Nielsen (1997) være mulig å vurdere lærebøker, dersom man definerer vurderingsgrunnlag, mål og målgruppe.

Johnson et al. (1997) har laget flere modeller som setter opp flere punkter v å analyse lærebøker som består av 5 hovedpunkter. For å klare å analysere en lærebok som en helhet og for å forstå hvorfor resultatet har blitt som det er det essensielt å ha kunnskap om disse punktene.

1. *Avsenderen ("persona")*

Avsenderparten av læremidler omfatter flere ledd som er med i produksjonsprosessen som politikk, forfattere og økonomi. Det er et komplekst samspill mellom myndigheter og forlag, som igjen jobber med lærere.

2. *Mottakeren ("auditor")*

Mottakerparten av lærebøkene er enklere å få frem, det er elevene. Det er allikevel viktig å tenke på forskjellige elevtyper og læremåter.

3. *Saken eller emnet ("causa")*

Saken eller emnet er et stort fokus på skolen og er dermed en av de viktigste delene hos skolen. Her vektlegges og kartlegges faglig kunnskap, fordypning og omfang.

4. *Omstendighetene – Tiden og stedet ("tempus")*

Omstendighetene kan påvirke kvaliteten av læremidlene, dette gjelder da spesielt de samfunnsmessige fagene som er mer subjektive og blir, i større grad påvirket av erfaring og personlige mener. Om et tema blir skrevet i hast og rett etter en hendelse har skjedd kan det være mer ensidig og mangelfull fakta og overblikk. Dette må være i bakhodet ved en analyse av lærebøker, eller andre tekster.

5. *Språket i videste forstand ("genus orationis")*

Språkanalyse i seg selv er vanskelig og komplisert. Læreboken har mange andre aspekter av kommunikasjon i tillegg til det rent språklige. Den har tabeller, illustrasjoner, analogier, typografi m.m. I tillegg spiller forfatteren sin personlige stil og skrivemåte inn i hvordan emnet blir fremlagt, som kan være både en positiv og negativ side for en elev.

(Johnson et al., 1997, s. 196)

Disse punktene er noe som må tas til vurdering ved en analyse av hvilken som helst tekster. Videre i analysen blir det lagt vekt på punkt 3 og 5 videre som omhandler det faglige i boken og språket. For å få en bedre og mer komplett vurdering av lærebøker trengs det flere punkter

og aspekter som må vurderes, ”Den klassiske modellen tegner, nettopp på lærebokområde, et altfor enkelt bilde” (Johnson et al., 1997, s. 196). Derfor blir punktene Bjørndal (1967) inkludert for å lage analysepunkter som er tilstrekkelig.

Bjørndal (1967) utviklet i sin bok «Om lærebøker : vurderingskriterier : forskningsoppgaver» flere vurderingskriterier når det kommer til å vurdere å lærebøker. Her blir det tatt opp flere hovedpunkter, der de som er mest relevant for denne oppgaven er:

1. Vurdering av lærebokas samsvar med læreplanen med hensyn til målsetting, lærestoff og metodikk
2. Gir boka en saklig og objektiv fremstilling av forhold og problemer som det kan være ulike meninger om?
3. Er det som står i boken eksakt og riktig informasjon?
4. Er det korrekt språk og passer det for alderstrinnet?
5. Abstraksjonsnivå
 - a. Hvordan blir nye begreper innført?
 - b. Brukes begrepene på en passende måte?
6. Har boka en ordentlig oppbygning fra det enklere til det mer kompliserte?
7. Illustrasjoner:
 - a. Er det en god sammenheng mellom illustrasjoner og tekst?
 - b. Gir illustrasjonene kun faglig informasjon eller representerer det noe emosjonelt?
 - c. Blir bilder, diagrammer og grafer satt inn i riktig sammenheng
 - d. Er det mulig å hente informasjon fra illustrasjoner uavhengig av teksten?
8. Oppgaver:
 - a. Er øvingsoppgavene allsidig og varierte?
 - b. Representerer det en riktig spredning i vanskelighetsgrad?
 - c. Stimulere oppgavestoffet til selvstendig jobbing?

(Bjørndal, 1967, pp. 57-59)

4.4. *Egne analysepunkter*

Ut i fra punktene til Johnson et al. (1997) og Bjørndal (1967) har jeg kommet med noen analysepunkter og spørsmål som er bedre designet både for å analysere bøkene som en helhet i tillegg til kvantefysikken og utfordringene her. Disse to punktene er,

1. *Faglige korrekthet:* Er det faglig stoffet korrekt? Hvordan blir fysikken framstilt?
2. *Modeller, begreper og språk:* Blir modeller og bilder brukt riktig, og er det en klar sammenheng med teksten? Hvordan blir begreper introdusert og hvordan blir språket brukt i teksten?

I punkt 1 «*Faglig korrekthet*» har jeg gått ut ifra punkt 2 og 3 i Bjørndal (1967) sine punkter i tillegg til punkt 3 i Johnson et al. (1997).

Punkt 2 «*Modeller, begreper og språk*» ble arbeidet ut i fra punkt 5 i Johnson et al. (1997) og 4, 5 og 7 hos Bjørndal (1967).

Disse analysepunktene er valgt for å besvare forskningsspørsmålene på best mulig måte, de resterende punktene til både Johnson et al. (1997) og Bjørndal (1967) vil være med i tankene og bakhodet i analysen, men bare ikke like direkte med som de overnevnte.

I min analyse i oppgaven blir begge bøkene analysert parallelt og uavhengig av hverandre, ved å se på hvert delkapittel i begge bøkene hver for seg, før det kommer en sammenlikning. I analysen vil det blir kommentert faglige før jeg kommenterer språk, modeller og bruk eventuelt bruk av begreper, i henhold til analysepunktene. Til slutt etter analysen og resultatene vil alle de relevante kapitlene i forhold til kompetansemålet bli drøftet i lys av forskningsspørsmålene og problemstillingen.

Det er verdt å nevne at bare fordi det er lett å påpeke feil eller ting som kan bli gjort annerledes betyr ikke dette nødvendigvis at jeg selv kunne gjort en bedre jobb uten noen feil. Det er enklere å påpeke og finne feil enn å finne en bedre løsning, dette ligger innebygd i menneskets natur, det er noe jeg er bevisst på når jeg tar en analyse. Det er viktig å være tildeles ydmyk og se på forskjellige sider av det som blir presentert før det blir tatt en antagelse eller konklusjon. Ulike elever lærer på forskjellige premisser og grunnlag. Det som kan være pedagogisk, teoretisk riktig i forhold til egen tolkning kan være feil for mange andre elever (Nordahl, 2014), det er derfor viktig å tenke på dette når man skal analysere en tekst.

4.5. *Kompetansemålet og begrepsavklaring*

Kompetansemålet som blir analysert i denne oppgaven er

“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” (Utdanningsdirektoratet, 2006b, s. 6)

Ut i fra dette velger jeg å konkretisere kompetansemålet til fire mindre deler

- 1 Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt
- 2 Kvalitativt gjør rede for hvordan resultater med fotoelektrisk effekt representerer ett brudd med klassisk fysikk
- 3 Kvalitativt gjør rede for hvordan comptoneffekten representerer et brudd med klassisk fysikk
- 4 Kvalitativt gjør rede for hvordan partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk.

I det første punktet står det «Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt». Men hva vil det det si å gjøre rede for noe? En definisjon kan være «*gjør rede for*: Innebærer nevning av faktorer som er med på å avgrense/definere et område, samt forklaring med egne ord på en måte som viser at studenten har forstått stoffet» (Ottervig, 2016). Hvis vi følger denne definisjonen skal elever forklare Einstein sin forklaring med egne ord som viser at de har forstått stoffet.

Hva betyr da «Kvalitativt gjøre rede for»? Det store norske leksikon definerer kvalitativt. «Kvalitativ, det som har med noe(n)s egenskaper eller kjennetegn å gjøre» (Malt, 2015). Å kvalitativt gjøre rede for noe er mer spesifikk og konkret enn «Å gjøre rede for». Å kvalitativt gjøre rede for noe må elevene forklare med egne ord som viser at de har forstått stoffet, samtidig som de må nevne spesifikke egenskaper og kjennetegn til fenomenet eller prosessen de må forklare.

En annen del som er en viktig del av kompetansemålet er «Representerer et brudd med klassisk fysikk». Definisjonen til klassisk fysikk i Fysikk 2 i læreplanen er: «Hovedområdet handler om feltbegrepet og hvordan det kan brukes innenfor ulike områder av fysikken til å beskrive og forklare fenomener. I tillegg inngår Newtons lover, kraft og akselerasjon anvendt på sirkelbevegelser. Sentrale støt og bevaringslover for slike støt hører med til hovedområdet» (Utdanningsdirektoratet, 2006b, s. 3). Innenfor klassisk fysikk er kompetansemålene:

- Beskrive homogene og inhomogene elektriske felt og bruke Coulombs lov
- Beskrive homogene og inhomogene gravitasjonsfelt og bruke Newtons gravitasjonslov
- Beskrive magnetiske felt rundt permanentmagneter og elektriske strømmen, og beregne magnetisk flukstetthet rundt en rett leder og kraft på en leder i magnetisk felt
- Gjøre rede for begrepet magnetisk fluks og bruke Faradays induksjonslov
- Bruke Newtons lover på vektorform for bevegelse i homogene magnetiske felt og i homogent gravitasjonsfelt
- Regne ut akselerasjon og krefter på objekter som beveger seg med konstant fart i en sirkelbane, og på objekter i en vertikal sirkelbane i øvre og nedre punkt
- Gjøre beregninger med loven om bevaring av bevegelsesmengde for sentrale støt

I læreplanen omtaler de den andre store fysikkdelen som «Moderne fysikk» der det inngår både relativitetsteorien og kvantefysikk, jeg velger å fjerne relativitetsteorien og partikkelfysikk, og kun se på kvantefysikken (siden læreplanen har delt inn partikkelfysikk som et eget tema istedenfor å ha det under kvantefysikk gjør følger jeg det samme). Denne delen blir omtalt som: «Hovedområdet handler om to teorier, kvanteteorien og relativitetsteorien. Mange av naturens kvanteeffekter og relativistiske effekter som er overraskende og bryter med vanlige forestillinger, inngår i hovedområdet» (Utdanningsdirektoratet, 2006b, s. 3). Dette inneholder kompetansemålene:

- ***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 sammenfiltrede fotoner og gjøre rede for erkjennelsesmessige konsekvenser av dem

Det er ingen kompetansemål i fysikk 1 som kan direkte knyttes opp til fotoelektrisk effekt, comtoneffekt og partiklers bølgenatur. I fysikk 1 har elevene fått kjennskap til blant annet

fotoner og energikvanter i når de må forklare Bohr sin atommodell og litt generelt under delen «moderne fysikk».

En utfordring med definisjonen til «klassisk fysikk» i forhold til læreplanen er at det er problematisk å se hva som blir ment når det blir snakket om «bruddet med klassisk fysikk». Derfor følger blir definisjonene gitt tidligere av Bungum et al. (2015); Olsen (1999); Renstrøm (2011) brukt videre.

4.5.1. Egne faglige forventninger ut i fra kompetansemålet

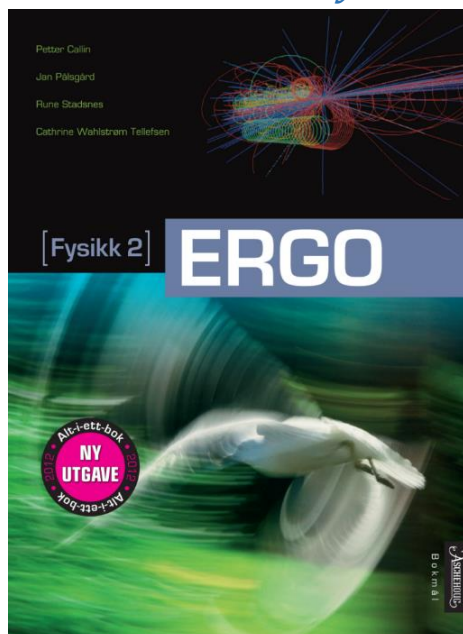
Tidligere i kapitlet ble kompetansemålet konkretisert, ut i fra disse punktene skal jeg gå mer i dybden av hva jeg forventer at elevene og bøkene skal forklare

- 1) *Gjøre rede for Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt:* Det forventes at man skal kunne hva fotoelektrisk effekt er, forklare og beskrive dette med egne ord. Det forventes at eleven har kjennskap til at Einstein lagde en teori for å forklare dette med å kvantisere lys. Man skal å være kjent med likningen for fotoelektrisk effekt (5) og kunne forklare symboler og konsekvenser av denne.
- 2) *Kvalitativt gjør rede for hvordan resultater med fotoelektrisk effekt representerer et brudd med klassisk fysikk:* Dette er en fortsettelse fra punkt 1, der det blir lagt vekt på forskjellige forklaringer ut i fra klassisk- og kvantefysikk. Man må vite *hvorfor* Einstein sin forklaring av fotoelektrisk effekt bryter med klassisk fysikk og kunne uttrykke dette med egne ord og forklaringer.
- 3) *Kvalitativt gjør rede for hvordan comptoneffekten representerer et brudd med klassisk fysikk:* I likhet med punkt 2 er fokuset på forskjellige forklaringer i klassisk- og kvantefysikk. Det forventes at man skal kunne forklare hva comptoneffekten er og forklare dette med egne ord. Det forventes at man skal kunne forklare hovedforskjellene mellom teorien i klassisk- og kvantefysikk og at dette var et skille innenfor teorier om lys.
- 4) *Kvalitativt gjør rede for hvordan partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk:* I klassisk fysikk har alle partikler veldefinerte egenskaper, mens i kvantefysikken er det ikke sånn, på grunn av dette er det et «brudd» med klassisk fysikk. Dette forklares ved hjelp av De Broglie sin likning (12) eller ved hjelp av Schrödinger sin likning og forklaring. Dette skal kunne gjenfortelles/forklares slik at det viser forståelse rundt emnet.

5. Presentasjon av lærebøkene

Her blir det begynt med å presentere lærebøkene for å få et mer helhetlig inntrykk, og for å bli kjent med bøkene. Her presenteres de viktige deler som blir brukt videre og hvordan bøkene er lagt opp i forhold til kapitler og relevante sider. Det blir også tatt opp det som er relevant i forhold til kompetansemålet fra bøkene i fysikk 1 som tidligere kunnskap. I overskrifter videre vil sidetallene som blir analysert nevnt i tittelen for å tydeliggjøre hvor ulike sitater er hentet fra.

5.1. *ERGO Fysikk 2*



Læreboka *ERGO Fysikk 2* (fra nå av blir den referert til som *ERGO 2*) er gitt ut i 2012 av Aschehoug forlag. Det er den andre utgave som skal analyseres. Boken er skrevet som et samarbeid av Petter Callin, Jan Pålsgård, Rune Stadsnes og Cathrine Wahlstrøm Tellefsen. *ERGO 2* er tilpasset den nåværende læreplanen som bygger på kunnskapsløftet. Aschehoug har i tillegg til læreboka har utviklet nettsider og lærerressurser som et supplement.

Figur 5.1 Bilde av forsiden til Aschehougs «Ergo Fysikk 2» (Petter Calin, Jan Pålsgård, Rune Stadsnes, & C Tellefsen, 2012b)

5.1.1. Oppsett

Boken består av totalt 445 sider som begynner med forord, innledning og en oversikt over bokens innhold. *ERGO 2* består av totalt 10 kapitler. Hvert kapittel blir begynt med å presentere kompetansemålene som skal fremlegges i kapitlet og en innledning til dette.

Viktig informasjon og begrepsdefinisjon står uthevet i beige tekstbokser med «tittel» på siden, som kan kalles «faktaboks» eller «rammeboks», eksempler finnes i blå tekstbokser. Det er kontrollspørsmål etter hvert delkapittel og oppgaver som hører til kapitlet kommer direkte etter oppsummering. Det er ekstra oppgaver til hvert kapittel etter alt av pensum er gjennomgått og i tillegg til en oppsummering. Det finnes fasit til alle oppgavene uten fremgangsmåte. Illustrasjoner og modeller som utdyper teksten og symboler finnes i marginen. Her finnes det også ikoner som viser til at det finnes simulasjoner og ekstra informasjon tilgjengelig på nettsiden. På slutten i boken er det eksempler på forsøk til hvert kapittel og en ordforklaring og stikkordsregister.

Det er kapittel 9 som skal analyseres som omhandler kvantefysikk. Kapitlet består av 5 delkapitler. I det første delkapitlet, «lysets partikkelegenskaper» handler om fotoelektrisk effekt, fotoner, Comptoneffekt og pardanning og annihiling. Det går så videre og til «Røntgenstråling» som en motsatt prosess av fotoelektrisk effekt og bruk av dette i medisinske undersøkelser som computertomografi. Neste delkapitlet er «Videre inn i kvanteverden» der det forklares partiklenes bølgeegenskap forklart ved hjelp av De Broglie sin likning og elektronspalteforsøket. Dette blir forklart videre ved hjelp av Heisenberg sin uskarphetsrelasjon og Schrödingers sannsynlighet. Det fjerde delkapitlet er «Sammenfiltrede fotoner» forklarer de fenomenet ved hjelp av polarisasjon og eksempler. Kapitlet avsluttes «Elementærpartikler» som forklarer elementærpartikler og standardmodellen. På de siste sidene før oppgavene er det et sammendrag av hele kapitlet.

5.1.2. Tidligere kunnskap - ERGO fysikk 1

Bølger, lyd og lys, s161

I kapittel 5, «Bølger, lyd og lys» forklarer de forskjellige egenskaper til bølger og lys. Her blir det blant annet forklart hva amplitude, frekvens er og hvordan man kan regne på det. Det blir også forklart at bølger kan være på samme posisjon samtidig og enten skape en bølgetopp, bunn eller nøytralisere hverandre, dette kaller de for «interferere».

Videre stilles spørsmålet i boken «Hva er egentlig lys?», svaret i boken er at det finnes to modeller, partikkelmodellen og bølgemodellen. De skriver at: «Det merkelige nok er at noen forsøk tyder på at partikkelmodellen er riktig, mens andre forsøk tyder på at bølgemodellen er riktig, i Fysikk 1 studerer vi bølgeegenskapene til lys, mens du må vente til fysikk 2 før du får vite mer om partikkelegenskapene til lys». Resten av kapitlet blir gått igjennom å forstå bølgeegenskaper som interferens med enkel og dobbelspalter. Interferens mellom bølger og lys er delt inn i to forskjellige delkapitler, men begge måtene er forklart tilsynelatende likt ved hjelp av «interferere». I kapitlet forklarer de også refleksjon og brytning.

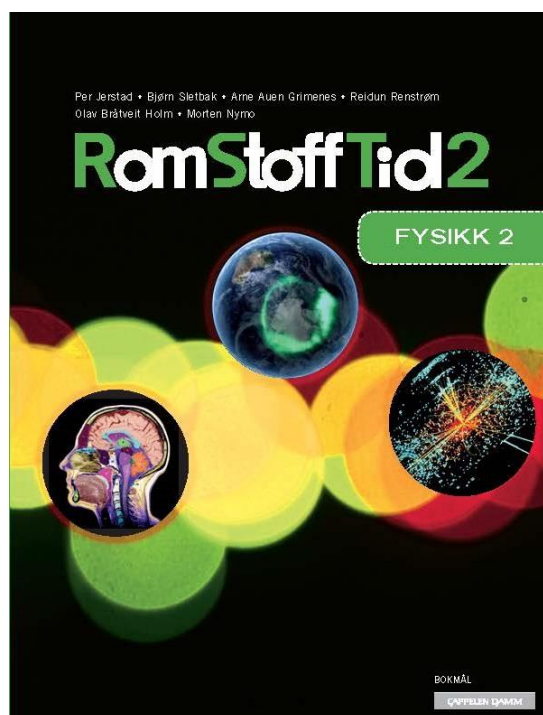
Kvantisert energi, s179 og 180

I kapittel 6 blir kvantehypotesen og kvantisert energi introdusert for første gang. Dette blir beskrevet som: «Kvantisert er motsetningen til kontinuerlig. Når en vannkran står og renner kommer vannet kontinuerlig, men om vannkraner står og drypper kommer det kvantisert». Det kommer også et eksempel til med en ball og hvordan den faller kontinuerlig ned fra en høyde. Sammenliknet med et elektron er ikke dette mulig, dette vil bare skje i kvantiserte hopp.

Senere blir Max Planck sin modell beskrevet der han bygde på en revolusjonerende hypotese, et atom kan bare sende ut eller ta imot energi i bestemte porsjoner eller energikvanter $E = hf$, i marginen står det at «For Planck selve var nok ikke sammenhengen med energikvantene noen hypotese om virkeligheten, men heller mer et regnetriks for å gå en god modell som passet med resultatene».

På begynnelsen av 1900-tallet var elektromagnetisk stråling beskrevet som bølger som brer seg i gjennom rommet. Energien i denne strålingen var kontinuerlig. Einstein studerte lysfenomener og mente lys «enklere kan forklare fenomenene ved hjelp av å kvantisere lyset», uten å nevne hvilken fenomen. En lyskvant «beveger seg uten å bli delt, og som kun kan absorberes eller sendes ut som hele». Disse kvantene blir kalt fotoner og har en energi $E = hf$.

5.2. RomStoffTid2 Fysikk 2



Læreboka *RomStoffTid2 Fysikk2* (Fra nå av referert til som *RST2*) er gitt ut i 2014 av Cappelen Damm forlag. Det er andre utgaven som skal analyseres. Den er skrevet som et samarbeid av Per Jerstad, Arne Grimenes, Reidun Renstrøm, Olav Holm og Morten Nymo. *RST2* er tilpasset læreplanen som bygger på kunnskapsløftet og er laget spesifikt for fysikk 2. Cappelen Damm har lærerressurser og nettsider som et supplement til den fysiske boka.

Figur 5.2 Bilde av forsiden til Cappelen Damm «RomStoffTid2» (Jerstad et al., 2014)

5.2.1. Oppsett

RST 2 består av totalt 480 sider med 13 forskjellige kapitler. Boken begynner innholdsfortegnelsen etterfulgt av forord der det blir beskrevet forskjellig bruk av logoer og tekstbokser. Der det blir forklart «Sokrates-spørsmål» som er markert med en logo av Sokrates og stiptet oransje ramme som er ment for å skape undring. Viktig informasjon og begreper er ofte å finne i grå bokser som er uthevet i tillegg til teksten, dette er som regel definisjoner, begreper og formler. Eksempler og stoff som ikke er direkte pensum blir markert i blått og blir omtalt som «Rammestoff». Etter hvert kapittel er det et sammendrag, oppgaver og eksempler som for laboratoriet eller småøvelser som hører til kapitlet. Det er flere oppgaver samlet etter alle kapitlene er ferdig. Alle oppgavene har en fasit uten utledning bakerst i boken. På slutten av boken finnes det både ordforklaringer på begreper og et stikkordsregister.

Det er i all hovedsak kapittel 11, «Kvantefysikk» som er i fokus, men her er også kapittel 1, «Fire ideer som forandret verden og vårt syn på den» relevant siden en av disse ideene er partiklers bølgeegenskap innenfor kvantefysikk.

I kapittel 1 i *RST 2* introduseres kvantefysikk i med at partikler også har bølgelengde og at de skal se på Youngs forsøk med interferens og minner leseren på fotoelektrisk effekt fra *RST 1*.

I kapittel 11, «kvantefysikk» blir temaet introdusert ved hjelp av en historisk fremvisning av begynnelsen med hvordan Max Planck kom frem til strålingsloven. Kapitlet er lagt opp kronologisk videre med Einstein sin lyskvanteteori fra 1905. Det blir gått mer i detalj på Einstein sin forklaring til fotoelektrisk effekt med et bilde av Einstein og en fremstilling av

fotoelektrisk effekt. Det blir så gått over på Millikan sitt eksperiment og resultater før det kommer noen regneeksempler på dette.

Det neste delkapitlet handler om bevegelsesmengde og bølgelengde til fotoner og elektroner. Det blir så brukt til å forklare Compton sitt forsøk og resultatene hans før det går over til de Broglie sin formel etterfulgt av et regneeksempel.

Det neste delkapitlet er «Kvantemekanikk» her beskriver RST 2 Heisenberg sin uskarphetsrelasjon som blir presentert ved hjelp av formuler og et regneeksempel. Schrödinger sin sannsynlighetsfordeling til et elektron kommer så rett etter, dette blir også brukt til å forklare dobbelspalteforsøket med elektroner. Det kommer så en kort forklaring på hva klassisk fysikk, kvantemekanikk og moderne fysikk er, før det blir byttet tema til sammenfildrede fotoner. Dette blir forklart ved hjelp av polarisasjon og Schrödinger sin katt, før kapitlet blir avsluttet med anvendelser av sammenfiltring. Direkte etter dette kommer et sammendrag av hele kapitlet på en side.

5.2.2. Tidligere kunnskap – *RomStoffTid 1*

Lys og Bølger, s19-30

I kapitlet om lys og bølger blir det gått igjennom egenskaper til bølger. Her forklarer de blant annet at man kan forklare bølger som er «svingninger som brer seg». Videre blir det forklart hva amplitude, frekvens er og hvordan man kan regne på dette. De forklarer også at bølger kan være på samme posisjon samtidig og enten skape en bølgetopp, bunn eller nøytralisere hverandre, de kaller dette for «overlagring». De forklarer kort forskjellen på bølger og partikler i denne egenskapen som «Partikler kolliderer når de møtes, mens bølger overlager, dvs. at de passerer hverandre uten at de påvirker hverandre».

Det blir forklart videre bølgefenomenet «interferens» med både enkelt og dobbelspalte forklart ved hjelp av «overlagring». De har separert «Bølgefenomener» og «Bølgemodellen for lys» i de forskjellige delkapitler, men forklaringen for interferens er lik med unntak av forandring av bølgelengde til lys.

Fotoner og fotoelektrisk effekt, s42-44

I kapittel 3, kvanter og atomer introdusere de i et delkapittel begrepet «fotoner» som en deloverskrift. Der de blant annet nevner fenomenet fotoelektrisk effekt. Det blir bygget på forrige kapittel, lys og bølger, og hvordan lys kan overføre energi på lik måte som bølger.

Introduksjonen til fotoelektrisk effekt begynner med

«Når vi sender lys mot en metalloverflate, vil lyset overføre energi til atomene i metallet. Hvis energien er stor nok, vil elektronene «løsne» fra atomet i metallet. Jo mer energi atomene absorberer, desto større energi vil elektronene forlate metallet med. Dette fenomenet kaller vi fotoelektrisk effekt» (Jerstad et al., 2013, s. 42).

De skriver videre at hvis lys overfører energi til atomene på lik måte som bølger ville amplituden og intensiteten avgjøre energien til elektronet. På 1900-tallet ble det gjort forsøk med fotoelektrisk effekt, og det viste seg at det ikke var intensiteten som bestemte energien til elektronene som man skulle anta ifølge bølgemodellen, men det var frekvensen. Konklusjonen videre blir da «I bølgemodellen har frekvensen ingenting å si for den energien bølgen overfører til et legeme» og «Bølgemodellen kan derfor ikke beskrive hvordan lys overfører energi til stoff».

Det går så videre til Einstein sin nye og revolusjonerende teori der lys er en strøm av udelelige energipakker som senere fikk navnet «fotoner». Det står i uthevet boks at energien til et foton avhenger kun av frekvensen og er gitt $E = hf$.

En bestemt mengde lys består av et helt antall fotoner der energien er kvantisert. Økes lysstyrken øker mengden av fotoner per tidsenhet. Det blir skrevet videre at «Vi har ikke oppdaget noen egenskaper ved elektromagnetisk stråling som viser at lysenergien ikke er kvantisert». Det står under i en faktaboks at «Elektromagnetisk stråling blir sendt ut, overført og absorbert i udelelige energipakker som vi kaller for fotoner. Strålingsenergien er kvantisert». Etterfulgt av et regneeksempel om frekvensen og energien til et foton.

De avslutter delkapitlet med at fotoner kan forklare fotoelektrisk effekt på en lett måte, men at det allikevel tok 20 år før det ble godtatt. Det blir så stilt et spørsmål: «Men hvordan passer dette med interferensmønsteret?» De referer så til et forsøk gjort på 1960-tallet der selv med lav intensitet ble det dannet et interferensmønster.

Dette vil bli kommentert og analysere senere siden det er en så relevant del av forkunnskaper og kompetansemålet.

6. Analyse og resultat

Analysen og resultatene som er funnet i hver av bøkene blir først presentert individuelt i lys av analysepunktene. Siden begge bøkene har tilnærmet lik rekkefølge på stoffet vil det vil så være en sammenlikning av de liknende temaene i hver av bøkene.

Det vil bli tatt med sitater fra bøkene for å få et mer korrekt og objektivt bilde av hvordan bøkene selv fremlegger disse temaene. Sidetall og boken teksten er hentet fra står skrevet i overskriften, på grunn av dette ble valget tatt å ikke ha med referanse bak hvert sitat.

6.1. Kapittelintroduksjon

Kapittelintroduksjonen til begge bøkene er tatt med i analysen for å få et helhetlig bilde av fysikken og fremstillingen til hver av bøkene.

6.1.1. ERGO 2 – Introduksjon (248-249)

I kapittelintroduksjonen til ERGO 2 blir det begynt med å forklare at det er et glass med vann som «plutselig» har blitt tomt, vannet har havnet på bordet uten at noen har rørt dette, «Dette må jo være i strid med fysikkens lover, er dette mulig?». Videre blir det skrevet om at politiet har fartskontroll og skal måle farten til kjørende biler. Når de prøver å måle farten til bilen blir bilen uskarp, og når de tar bildet av bilen blir farten veldig uskarp,

«Hvis politiet i stedet tar skarpe bilder av bilene, slik at de kan se akkurat hvilken bil som passerer fartskontrollen, så blir fartsmålingene veldig usikre. Kamera og fartsmåler er uavhengig av hverandre, men likevel påvirker de hverandre på en merkelig måte» (Calin et al., 2012b, s. 248)

«Forklaringen» på disse to påstandene kommer på neste side. Her skriver de «Situasjonen som er beskrevet i innledningen, er urimelige i vår verden», men når vi «zoomer inn i atomenes verden» kan dette sammenliknes med radioaktivitet og Heisenberg sin uskarphetsrelasjon.

«Alfapartiklen aom er fanget inne i kjernen, har ikke nok energi til å slippe ut. Likevel slipper den ut etter en stund. Fartskontrollen blir sammenliknet med fart og posisjonen til et elektron. Det er ikke bare umulig å måle fart og posisjon samtidig. Det er faktisk ikke mulig at elektronet *har* nøyaktig fart og posisjon samtidig» (Calin et al., 2012b, s. 249)

Over kompetansemålene er det flere spørsmål som foreksempel «Er alle elektroner like?» og «Lys kan opptre som bølger, og lys kan opptre som partikler. Kan da partikler, for eksempel elektroner og protoner opptre som bølger? Hvordan kan vi undersøke det?»

Introduksjonsdelen av kvantefysikken blir avsluttet med to setninger.

«Velkommen til kvantefysikken! Si farvel til tydelige bilder og presise formuleringer som kan forklare hva som virkelig skjer» (Calin et al., 2012b, s. 249)

6.1.2. Analyse

I avslutningen står det «Si farvel til tydelige bilder og presise formuleringer som kan forklare hva som virkelig skjer». Det faktumet at kvantefysikken ikke kan gi presise formuleringer og forklaringen på hva «som virkelig skjer» kan sees på som en direkte feil eller i det minste misledende. Kvantefysikken har alltid hatt svarene og presise formuleringer på hva som kommer til så skje, som for eksempel Einstein sin forklaring på fotoelektrisk effekt. Det som skjer i kvantefysikken er en forklaring på hva som «virkelig skjer», siden det som skjer i kvantefysikken er faktisk det som skjer hos oss i en makroskopisk verden også. Det som kan

bli ment og som er skrevet av Angell et al. (2011) at kvantefysikken ikke kan og gi noen visuelle bilder som gir mening i vår makroskopiske verden, når vi bruker klassiske begreper og bilder ender det ofte opp med meningsløse forklaringer.

Hensikten med introduksjonen kan være å skape undring og interesse hos elever ved å få dem til å stille spørsmål og måtte tenke seg om dette faktisk er mulig og dermed danne egne meninger. Dette kan fungere som en motivasjon for mange elever (Bungum et al., 2015). Dette blir bekreftet av spørsmålene over kompetansemålene der det blir stilt spørsmål som man kan anta er designet for å skape undring og tenking rundt emnet. For å skape en «mystisisme» rundt fysikken blir det brukt flere ord for å forsterke dette. De sier blant annet «Plutselig er glasset tomt. Er dette mulig?» og «påvirker de hverandre på en merkelig måte», dette kan være får å hverdagslig gjøre språket slik at det blir lettere å tilnærme seg det (Halsan, 2009). Over kompetansemålene i kapitlet står det skrevet noen spørsmål. Mange av disse spørsmålene blir derimot ikke svart på direkte videre i kapitlet. Dette kan være et forsøk på å la elever og leseren finne ut mer informasjon på egenhånd og dermed skape mer motivasjon (Bungum et al., 2015). Det kan også sees på som en feil ved å stille spørsmål for å ikke svare på de senere.

Vannet i vannglasset er en sammenlikning med tunneling, eller hvordan en alfapartikkel blir sluppet ut av en radioaktivatomkjerne. Det kan virke som om hensikten med dette er å gjøre fysikken mer abstrakt og rart enn alt vi har visst tidligere ved å sammenlikne dette med noe som aldri ville ha skjedd i «vår verden». Det kan tenkes å ha som hensikt å skape en undring og nysgjerrighet hos leseren, men det kan også hende det skaper et inntrykk av at kvantefysikken er så abstrakt og annerledes at det ikke har noen relasjon med verden vi lever i. Dette blir bekreftet videre i teksten med bilen og farten, som er en referanse til Heisenberg sin uskarphetsrelasjon. Ved å sammenlikne bilen med Heisenberg sin uskarphetsrelasjon skaper de et klassisk bilde av kvantefysikken som ofte gir feil forståelse (Angell et al., 2011; Ayene et al., 2011; Renstrøm, 2011).

ERGO 2 har valgt å ha et bilde av en person som mediterer som er tatt ved hjelp av røntgenstråling slik at det er bare skjelettet som synes. Denne personen kan meditere og tenke over kvantefysikken, det er umulig å si. En av begrunnelsene for å ta denne med kan være at den er øyefangene og interessant slik at man får lyst til å lese videre. En annen grunn kan være for å vise at fysikken i kapitlet faktisk blir brukt i hverdagen, eller fordi kapitlet også inneholder delkapitlet «Røntgenstråling».

6.1.3. RomStoffTid 2 – Introduksjon (s281)

RST 2 har i stor grad en historisk vinkling når det kommer til fremstillingen av kvantefysikk. I introduksjonen blir det begynt med å fortelle om «bursdagen» til kvantefysikk 14 desember 1900 da, Max Planck presenterte strålingsloven sin for første gang. Dette var et problem fysikere hadde slitt med i flere tiår, å forklare strålingsspekteret til et sort legemet. For å løse dette gjorde skriver de at Planck måtte gjøre noe spesielt, han sa at «svingenergien til de ladde partiklene i det svarte legemet er kvantisert».

Det blir så forklart at dette var et «drastisk brudd ifra den etablerte fysikken» fordi alle prosesser skjedde kontinuerlig, mens Planck sin lov sa at det skjedde diskontinuerlig, at det skjedde energihopp. Selv om dette var i strid med det mange tenkte da ble likningen godtatt fordi det var den eneste muligheten for å komme frem til en riktig strålingslov.

Introduksjonen har to illustrasjoner i introduksjonen, der den ene er av Max Planck som de forklarer i teksten, og den andre er bilde en graf av resultatene fra strålingsloven.

6.1.4. Analyse

Hensikten bak denne introduksjonen kan man anta er for å skape en historisk helhet for fysikken istedenfor å dele det opp i mindre deler som det ofte gjøres. Ved å skape en tydeligere sammenheng å utvikling i fysikken kan det hjelpe elever å huske forskjellige deler og hva som skjer videre, hvorfor det skjer og hva forskjellene er (Olsen, 1999). Introduksjonen er veldig konkret og faglig korrekt, men på grunn av dette kan det også være tungt og lese.

Det virker som om de allerede prøver å svare på kompetansemålet når det kommer til skiller fra den «klassiske fysikken» der det blir nevnt en av de grunnleggende prinsippene, kontinuitet. Ved å gjøre leseren bevisst på dette med en gang kan det være enklere å forstå forskjellene i forhold til klassisk og kvantefysikk med en gang istedenfor å bygge på en klassisk forståelse (Renstrøm, 2011).

6.1.5. Analyse og sammenlikning – Introduksjon

Begge bøkene har tydelig forskjellige fremgangsmåter som kan sees i introduksjonen. *ERGO 2* prøver å lage en slags «undring» og noe slags «mystisisme» rundt kvantefysikken, mest sannsynlig for å prøve og lage spenning, interesse og motivasjon rundt temaet. Dette gjenspeiles også i hvordan de har lagt med spørsmål i introduksjonen som er designet for å skape diskusjon og undring rundt kapitlet. Dette gir også en indikasjon på hva som skal gjennomgås videre, på en annen måte enn hva en innholdsfortegnelse vil gi.

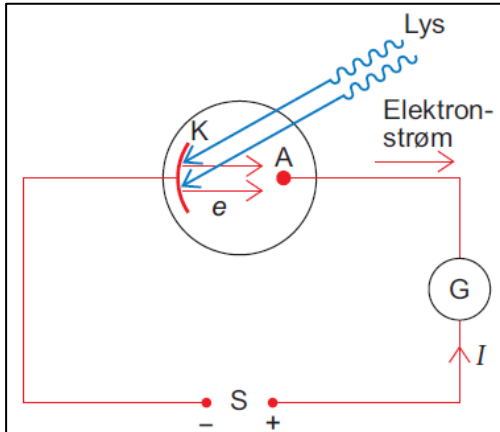
RST2 har i større grad en direkte fremgang som er basert på fakta og det menneskelige aspektet rundt fysikken og utviklingen. Dette kan være for å få frem at fysikere er mennesker som svarer på problemer som oppstår. Det virker som om det er utviklingen til fysikken, i tillegg å få frem den historiske fremstillingen av hvordan det har blitt til det er i dag som er hovedfokuset til *RST 2*. Dette er det også videre i kapitlet, det er en kronologisk historisk fremgang, i likhet med hvordan teorien er fremstilt i denne oppgaven. Dette er et tydelig skille i fra *ERGO 2* hvor det virker som om de prøver å distansere fysikken som noe ikke-menneskelig mystisk fenomen som bare oppstår som ingen vet så mye om.

Disse to introduksjonene følger det samme inntrykket når det kommer til fremstilling av stoffet og bildebruk, *RST2* har bildet av personen og resultatene hans for å få fysikken ned på jorda og humanisere fysikken, mens *ERGO 2* har bilde av noen som mediterer og tenker, kanskje for å gjenspeile at det er litt filosofi og tenking i fysikken og spesielt kvantefysikk.

6.2. Fotoelektrisk effekt

6.2.1. ERGO Fysikk 2 - Lysets partikkelegenskap (s250)

9A er det første kapitlet i kvantefysikken som har tittelen «Lysets Partikkelegenskaper». Det begynnes med å fortelle over de dramatiske forandringene på 1900-tallet, fotoner. Der de skriver «Du husker kanskje at lys ble beskrevet som en strøm av fotoner» før formelen for energien til et foton blir forklart.



Figur 6.1 ERGO 2 sin fremstilling av en fotocelle koblet til en likespenningskilde (Calin et al., 2012b, s. 250)

Videre blir det forklart fotoelektrisk effekt ved hjelp av et forsøk. I forsøket forklarer de en krets som består av anode, katode, elektrode, amperemeter og vakuumbør koblet til en spenningskilde Figur 6.1. Det blir forklart videre at siden det ikke er en lukket krets vil det ikke gå strøm igjennom den, men om det blir sendt hvitt lys mot metallet vil det amperemeteret gi utslag. De skriver «*elektronene blir trukket mot anoden av det elektriske feltet*» før de så blir fanget og går videre gjennom amperemeter og til spenningskilden. De sender så ensfarget lys mot metallet, det vil bli strøm med hvitt lys og blått lys, men hvorfor ikke med rødt? Svaret skriver står i neste avsnitt. Når frekvensen blir forandret kontinuerlig vil det komme et punkt da det blir

dannet strøm, dette kalles for grensefrekvensen. Er frekvensen over denne blir det dannet strøm, er den under dette blir det ikke strøm. Hvert metall har en egen grensefrekvens. Dette står også i en faktaboks for å understreke det nye begrepet.

Hvis frekvensen er over grensefrekvensen er antall elektroner løsrevet avhengig av intensiteten til lyset, den kinetiske energien øker med frekvensen.

De skriver så at

«I artikkelen om fotoelektriske effekt tok Einstein fått i Plancks kvantehypotese og førte den et skritt videre. I stedet for å mene at «fotonmodellen» var et skritt mot en bedre bølgemodell, mente Einstein at lys *virkelig* består av fotoner med partikkelegenskaper» (Calin et al., 2012b).

Hvert foton har energi $E = hf$. Det kreves også energi for å løsrive elektronet fra metallet som beskrives som W , som kalles løsrivningsarbeidet. Hele likningen til prosessen er gitt ved hjelp av likningen for fotoelektrisk effekt

$$hf = W + E_k, \quad 19$$

over likningen blir det skrevet «Når et foton river løs et elektron, går fotoenergien med til å rive løs elektronet og gi elektronet kinetisk energi» Om likningen blir det skrevet videre at

«Det som gjorde Einsteins modell verdig en nobelpris var det enorme tankespranget fra klassisk lysbølge tenking til en helt ny lyspartikkeltenking» (Calin et al., 2012b, s. 251)

Delkapitlet blir avsluttet med et eksempel der det regnes på fotoelektrisk effekt med kalium, for å så vise en mulig løsning på dette uten å beskrive hva som skal gjøres videre.

I margen står det en tekstboks om som heter «Kvantefysikk» her skriver de om at Planck sin kvantehypotese ikke ble tatt helt på alvor fordi «Hypotesen er nemlig umulig å forstå ut i fra

klassisk fysikk. Planck var sikker på at modellen var et skritt mot en mer korrekt bølge teori. Der tok han feil».

6.2.2. Analyse

Det blir skrevet at lys er som «en strøm av fotoner». Denne måten å forklare lys på finnes flere ganger i kapitlet. Det er mange måter å tolke denne analogien, men en av de som er vanligst er å tenke seg at fotoner er partikler og at det er mange partikler som kommer samlet på rekke med jevn tilførsel. Mange elever kan tenke på dette som for eksempel en snøstorm der hvert snøfnugg er et foton eller som en strøm av vann. Ordet «strøm» er noe mange har en assosiasjon med, ved å bruke dette ordet i en kvantefysisk sammenheng kan det være at mange tar med seg disse forestillingene videre i kvantefysikken som kan føre til en feil forståelse (Ayene et al., 2011).

I tittelen, og senere i boken bruker de begrepet «*Partikkelegenskap*». Dette kommer plutselig i teksten uten noen forklaring, hverken i teksten eller ordforklaringen bak i boken. Dette kan føre til forvirring rundt begrepet *partikkelegenskap*. En antakelse med dette begrepet er at det blir tenkt på klassiske partikler, som for eksempel en klinkekule i mye mindre skala og egenskapene denne har. Noen eksempler på «partikkelegenskaper» kan være en definert posisjon, bevegelsesmengde og masse. Er det dette som menes er det ikke riktig å bruke begrepet «partikkelegenskap» uten å forklare det grundigere, om hensikten bak begrepet er noe annet kunne det være en fordel å nevne dette for å unngå misoppfatninger. Allerede i introduksjonen får man et klassisk bilde av et foton som kan bygges på videre for å forsterke effekten. Ved å sette «partikkelegenskap» sammen med en «strøm» av fotoner forsterker disse forklaringene «svakhetene» til hver forklaring som igjen kan øke det klassiske bildet.

Når det kommer til det faglige om fotoelektrisk effekt finner jeg ingen store faglige «feil», men to ting som kan være opp til tolkning. Disse «feilene» har ikke noe med selve fysikken å gjøre, men den historiske fremvisningen og helheten til kapitlet. Det blir skrevet at «Einstein tok fatt i Plancks kvantehypotese og førte den et sted videre». I artikkelen til Einstein var det ingen referanse til Planck, og det var to forskjellige fremgangsmåter. Det kan derfor argumenteres om begge kom frem til samme konklusjon uavhengig av hverandre, men det er ingen tydelig sammenheng mellom disse to hypotesene (Bialynicki-Birula, 2006; Renstrøm, 2011).

Den andre er: «Det som gjorde Einsteins modell verdig en nobelpris var det enorme tankespranget fra klassisk lysbølgetenking til en helt ny lyspartikkeltenking». Einstein mottok prisen for likningen til fotoelektrisk effekt og bidraget til kvantefysikk, men ikke fotonteorien som hintet til ovenfor med å utheve bølge og partikkel. Dette forsterker også det klassiske partikkelbilde ved å utheve partikler og bølger uten noen mer forklaring.

I tekstboksen «Kvantefysikk» nevnes det at det er en forskjell fra den klassiske fysikken og kvantefysikken uten å nevne hvorfor. Det blir skrevet at «Hypotesen var umulig å forstå ut i fra klassisk fysikk». For Planck var kvantiseringen av energi mer enn regnemetode for å skape en ny strålingslov (Renstrøm, 2011), men konsekvens av den stemmer ikke overens med klassisk fysikk. Her blir et skillet mellom den klassiske- og kvantefysikken nevnt for første gang.

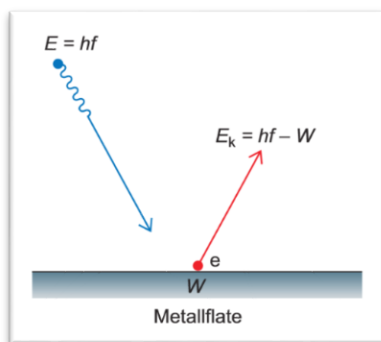
Når det kommer til bruk av begreper er det mange begreper som blir brukt om hverandre for å forklare fotoelektrisk effekt, «Fotocelle, vakuumbølge, katode, anode, elektrisk felt». Disse begrepene skal ha blitt gått igjennom i tidligere pensum både i fysikk 1 og naturfag. For en svak elev kan dette føre til problemer når det ikke er forklart tydeligere i teksten, men det er et

argument at ikke alt kan blir forklart hele tiden, det kan argumenteres at det er rimelig å forvente at elevene kan disse begrepene.

Fotoelektrisk effekt blir forklart ved å ta utgangspunkt i noe kjent, en strømkrets, for å så forklare med at hvis lyset er over en bestemt frekvens blir det strøm i kretsen, selv om det er en åpen krets. Dette skjer på grunn av at lyset tilfører energi slik at elektronene «blir trukket mot» det anoden ved hjelp av energien tilført av lyset. Dette er en veldig konkret måte å beskrive fenomenet på, som faktisk brukes, dette kan være for å konkretisere fysikken og la elevene få se den faktiske bruken av fysikk, dette hjelper med motivasjon ved å se nytteverdien og bruk av teorien i et konkret tilfelle (Imsen, 1999; Selander & Skjelbred, 2004).

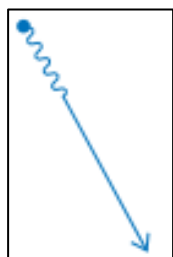
Det blir introdusert et nytt begrep, «*grensefrekvens*». Grensefrekvens blir beskrevet, «Når vi varierer lysfrekvensen kontinuerlig fra rødt lys til blått lys, begynner strømmen å gå ved en bestemt frekvens, som vi kaller *grensefrekvens*». Dette blir introdusert i trå med Nygaard et al. (1999) sine krav om begrepsforklaring. Dette er også uthevet i en faktaboks med en annen forklaring av grensefrekvens.

Selve likningen for fotoelektrisk effekt blir forklart på en god måte der det lite rom for feiltolkning der alle symboler er forklart. Det blir brukt to visuelle modeller for å fremstille fotoelektrisk effekt, den første er Figur 6.1. Denne blir forklart og referert til i teksten, modellen er brukt ofte tidligere og det er dannet en relasjon og forståelse rundt typen modelltypen. Figur 6.1 blir brukt som et supplement til teksten for å få en mer visuell forståelse.



Figur 6.2 Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt (Calin et al., 2012b, s. 251)

Figur 6.2 forklarer fotoelektrisk effekt med at når et foton med $E = hf$ går mot en metallplate vil elektronet ha $E_k = hf - W$. Selve modellen blir ikke nevnt i teksten, men den står ved siden av en «faktaboks» om Einstein sin fotoelektriske formel. Dette kan også sees på som en visuell fremstilling av formelen for å vise hva de forskjellige symbolene i formelen betyr, i tillegg til det som er forklart i teksten som kan føre til en bedre forståelse (Sadoski & Paivio, 2013). Det er viktig å få frem hva alt i en likning og modell betyr på en god og ordentlig måte slik at det er lett å forstå (Marion & Strømme, 2015).



Figur 6.3 ERGO 2 sin fremstilling av foton (Calin et al., 2012b, s. 251)

ERGO 2 bruker Figur 6.3 som en model for fotoner i Figur 6.2. Denne fremstillingen blir brukt videre i hele kapitlet og blir ikke kommentert. Dette kan føre til misoppfatninger ved å ikke kommentere styrker og svakheter til fremstillingen (Ringnes & Hannisdal, 2006), det kan argumenteres for at det burde være nevnt hvorfor den er tegnet slik som for eksempel «for å fremstille fotonet som både bølgebevegelse og partikkelbevegelse». Dette er også et eksempel på en «klassisk» fremstilling av et kvantemekanisk fenomen.

6.2.3. RomStoffTid 1 (s42-44)

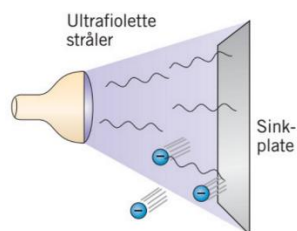
I Tidligere kunnskap – RomStoffTid 1, Fotoner og fotoelektrisk effekt, s42-44 ble det beskrevet hvordan fotoelektrisk effekt ble fremstilt i fysikk 1. Dette vil bli analysert for å få et helhetlig bilde av hvordan *RomStoffTid 1* fremstiller fenomenet.

6.2.4. Analyse

Etter en kort beskrivelse av fotoelektrisk effekt sammenliknes resultatene fra fotoelektrisk effekt med den klassiske bølgemodellen der blir skrevet «I bølgemodellen har frekvensen ingenting å si for den energien bølgen overfører til et annet legemet» For energien til en bølge er dette korrekt, men når de snakker om overføring av energi er frekvensen relevant, dette kan forklares i fenomener som resonans (Young et al., 2012). Når boken tar utgangspunkt i noe som er feil er det naturlig at argumentet videre også blir feil. De skriver så videre «Slik er det altså ikke når lys overfører energi til et stoff. Bølgemodellen kan derfor ikke beskrive hvordan lys overfører energi til et stoff», å anta at ikke fysikere klart å forklare hvorfor noe blir varmt hvis det ligger i solen før 1900-tallet er en ganske absurd påstand å komme med.

De skriver etter å ha introdusert energien til et foton at «blått lys vil derfor overføre mer energi enn rødt lys», dette er kun riktig hvis man snakker om et foton, eller en lik intensitet i til begge lyskildene. Dette kan være et spørsmål som elever lurere på som kanskje kunne vært spesifisert i teksten for å tydeliggjøre egenskapen til fotonene.

I slutten av delkapitlet avsluttes det med spørsmålet «Hvordan i all verden skulle man forklare interferens hvis det er fotoner som passerer gjennom spaltene?» I neste avsnitt «svarer» de på dette med å si at det er eksperiment bevist med å sende lys med lav intensitet mot en dobbelspalte. Selve forklaringen på hvorfor det blir interferens er på et annet faglig nivå enn hva som er pensum i Fysikk 1. Det kan da tenkes at det hadde være bedre å ikke stille spørsmålet i teksten uten å ha muligheten for å forklare dette på en ordentlig måte.



Figur 6.4 Fotoelektrisk effekt: Lys river løs elektroner fra en metallplate (Jerstad et al., 2013, s. 42)

Figur 6.4 står i marginen ved siden av forklaringen av fotoelektrisk effekt. I figuren blir det sendt lys mot en sinkplate. Her er lyset tegnet med en lilla farge og i fargen er det tegnet bølger. Siden disse bølgene bare er delvis i lyset kan dette tenkes at det er et forsøk på å kvantisere lys. Dette kan da oppfattes som et forsøk å tegne et foton som en bølge som kan føre til feil forståelse av foton (Ayene et al., 2011). Dette blir ikke nevnt i teksten eller i figurteksten, men når det står ved siden av delkapitlet «Foton» kan det være en antagelse elever gjør som kan føre til et klassisk bilde av fotoner. Det er kunne være naturlig å begrunne valget av figuren og forklare styrker og svakhetene for å fjerne feil oppfatning (Marion & Strømme, 2015).

En annen «svakheter» til figuren er at elektronene skutt av metallet i noe som virker som en stor fart. Det virker så om elektronene bare fortsetter bort i fra metallet, dette stemmer jo ikke i lengden siden coulombkraften vil være større enn den kinetiske energien til elektronene.

6.2.5. RomStoffTid 2- Lyskvanter – fotoner (s282)

RST 2 fortsetter fra introduksjonen med at fem år senere kom Einstein med en hypotese som sjokkerte fysikere, «lys må være en strøm av udelelige lyskvanter». Disse lyskvantene har en energi på $E = hf$. Dette strider mot mange fenomener som er bevist som bølgefenomener som interferens. «Hvordan ville Einstein forklare mønsteret hvis lys er en strøm av udelelige fotoner? Det gjorde han ikke noe forsøk på i 1905»

Hvordan interferens blir forklart ved hjelp av fotoner blir heller ikke svart på direkte, men det er en forklaring ved hjelp av elektronspalteforsøket som kan overføres til fotoner.

6.2.6. RomStoffTid 2 - Fotoelektrisk effekt og Einsteins forklaring (s282-285)

Fotoelektrisk effekt blir beskrevet som når lyst med «kort bølgelengde» blir sendt mot et metall kan atomene absorbere energien og elektroner kan bli revet løs fra metalloverflaten.

Det er frekvensen som bestemmer om elektronene blir løsrevet, ikke intensiteten som er gitt av Maxwell sine likninger. Einstein antok så at det skjedde en vekselvirkning mellom ett foton og ett atom, der atomet absorberte hele fotonet. Hvis fotonets energi er større enn energien som trengs for å frigjøre elektronet, *løsrivningsarbeidet* W , får elektronet kinetisk energi. Betingelsen for fotoelektrisk effekt er da at energien til fotonet må være større enn løsrivningsarbeidet. Energien til fotonet er gitt av frekvensen, derfor er det frekvensen som avgjør om fotoelektrisk effekt er mulig. Denne frekvensen kalles *grensefrekvensen*.

«Energibevaringen i vekselvirkningen mellom fotonet og atomet gir en bestemt sammenheng mellom fotonets frekvens og den maksimale kinetiske energien elektronene i et bestemt metall kan få. Denne sammenheng kaller vi for Einsteins likning for fotoelektrisk effekt» (Jerstad et al., 2014, s. 283).

Dette er etterfulgt av en faktaboks med formelen for fotoelektrisk effekt. Dette blir etterfulgt med et regneeksempel om energien til et elektron i når det skjer fotoelektrisk effekt. Før Millikan sitt forsøk blir forklart som et eksperimentelt bevis. De skriver at «Det viste seg at Einstein sin likning stemte perfekt med målingene, og dette bekreftet energibevaringen i vekselvirkningen mellom fotonet og et atom». Som en avslutning for delkapitlet skriver de at bare fordi at likningen blir bevist betyr det ikke at teorien bak er akseptert. Det var fortsatt stor uenighet i dette.

Det kommer så et regneeksempel ved å bruke Millikan sine målinger og finne stigningstallet i resultatene. I eksemplet blir det presentert med et spørsmål a) der de skal bruke en tabell for å regne på sammenheng mellom frekvens og kinetisk energi b) der de skal regne på løsrivningsarbeidet til metallet. Dette blir så vist nedenfor hvordan man kan regne det ut.

Til slutt kommer det et eksempel på s285 med «bruk av fotoelektrisk effekt» der det blir forklart bruk av fotoelektrisk effekt.



Her blir det forklart fotoelektrisk effekt ved hjelp absorpsjon av lys og elektroner og hull i halvledere. Når en laser blir brutt (se Figur 6.5) vil det ikke gå en strøm i kretsen og alarmen vil gå av.

Figur 6.5 RomStoffTid 2 eksempel på bruk av fotoelektrisk effekt (Jerstad et al., 2014, s. 285)

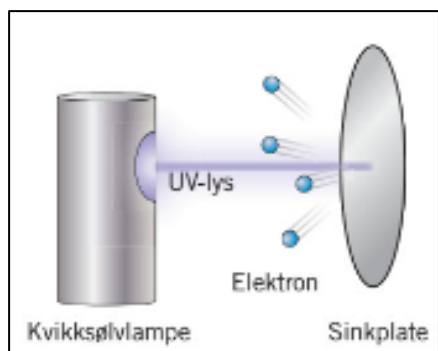
6.2.7. Analyse

For å forklare lys blir det brukt en analogi der lys er «En strøm av udelelige lyskvanter». Dette kan føre til en klassisk forståelse der «strøm» blir ofte assosiert med en kontinuerlig flyt av partikler eller noe annet. Hvis elevene har denne assosiasjonen kan den lett overføres til å tenke at lys er partikler som kommer kontinuerlig fra lyskilden, i likhet med en snøstorm.

De skriver nederst på s283 at «og dette bekreftet energibevaringen i vekselvirkningen mellom fotonet og et atom». Det er en grei antagelse å ta at det var veldig få fysikere som trodde energien ikke skulle være bevart i noen som helst tilfeller. At likningen «bekreftet energibevaringen» kan være opp til diskusjon, men det er avhengig av hvordan setningen blir tolket.

Fotoelektrisk effekt begynner med å blir forklart når lys med «kort bølgelengde» treffer en metallplate, dette er en vag definisjon. Hva som er «kort» er relativt til hva man snakker om, det hadde vært mer presist og skrive mellom disse gitte bølgelengdene eller f.eks. røntgenstråling. På denne måten vet også leseren hvilken lengder det er snakk om. Det blir ikke nevnt noe om størrelsen på frekvens eller bølgelengde før i eksemplet på neste side.

I forklaringen til fotoelektrisk effekt bli det introdusert to nye begreper. Det første er *løsrivningsarbeid* som har fått symbolet W . Når de introduserer begrepet kommer det først en tydelig definisjon «Det arbeidet som skal til for å rive løs disse elektronene kaller vi løsrivningsarbeid». Dette er en tydelig definisjon som stemmer med Nygaard et al. (1999); Ringnes and Hannisdal (2006) om hvordan man kan introdusere begreper ved å bygge på tidligere assosiasjoner og utvide eksisterende kunnskap. *Løsrivningsarbeid* begrepet blir så utvidet en gang til med *grensefrekvens* og det blir bygget en sammenheng mellom disse begrepene, der de skriver $hf_g = W$ for å få en sammenheng mellom disse begrepene og for å forstå det i forhold til fotoelektrisk effekt. Alle symbolene i likningene blir forklart enten før likningen eller rett etter som er en viktig del når det kommer til å forstå stoffet (Marion & Strømme, 2015).



Figur 6.6 RomStoffTid 2 sin visualisering av fotoelektrisk effekt (Jerstad et al., 2014, s. 282)

For å forklare fotoelektrisk effekt brukes det en illustrasjon for å visualisere dette, Figur 6.6. Figuren står i marginen og blir ikke nevnt i teksten og er uten bildetekst, men det kan regnes som et supplement. For å få maksimalt utbytte kan det argumenteres for at det burde være forklart og diskutert i teksten (Mikkelsen & Sætre, 2015).

Dette kan være en mulig kilde for misoppfatning ved å ikke diskutere styrker og svakheter til modellen som forklart i Ringnes and Hannisdal (2006). En ting som kan misoppfattes i denne modellen er at når elektronene blir «revet løs» av UV-lyset virker det ut i fra modellen som om de bare forsvinner ut i luften. I realiteten vil de bli dratt raskt tilbake på grunn av den sterke Coulomb kraften relativt elektronets energi.

I teksten er det ett bilde til som blir brukt, det er Millikan sine resultater fra fotoelektrisk effekt. Her er det en klar bildetekst som forklarer figuren og den blir brukt i eksemplet under, men det er ingen referanse til denne i hovedteksten, men allikevel med en tydelig sammenheng med teksten, figuren virker både som et supplement og som en selvstendig figur.

Det siste i delkapitlet er et eksempel på forklaringen av bruk av fotoelektrisk effekt som vist i Figur 6.5. De skriver hvordan fotoelektrisk effekt kan bli brukt i for eksempel en garasjeport. Dette blir forklart med at,

«Lys kan bli absorbert og danne part av elektroner og hull i halvledere. Da blir ledningsevnen til halvlederen endret. Dette blir utnyttet i fotodioder ... Når en lysstråle mellom en lyskilde og en fotodiode blir brutt, blir det brudd i den strømmen som går gjennom fotodioden. Fotodioden er koplet inn i en elektrisk krets på en slik måte at strømbruddet utløser alarmen eller døråpneren» (Jerstad et al., 2014, s. 285)

Dette er faglig korrekt, men relativt tungt og overfladisk skrevet. Hverken fotodiode eller halvledere blir nevnt i *RST 2* ifølge stikkordsregisteret, men det er pensum i fysikk 1. Det kan tenkes at det vil være hensiktsmessig med enten en kort repetisjon hva dette er eller forklare det uten halvledere og fotodioder. Fotoelektrisk effekt blir beskrevet i ordforklaringen som «effekt som består i at elektroner blir løsrevet fra metallplater som blir belyst» (Jerstad et al., 2014, s. 455). Det er mulig at det kan skape mer forvirring med å blande inn hull halvledere fotoelektrisk effekt for noen, en mulighet er å forklare de med «vanlige ord» der det ikke blir brukt så mange begreper for å få frem samme poeng. Det er likevel viktig å ha med hvordan fysikk brukes i hverdagen for å se nytten av den faglige kunnskapen (Imsen, 1999).

6.2.8. Analyse og sammenlikning av RST 1 og RST 2 – Fotoelektrisk effekt

I *RST 1* blir forklaringen til fotoelektrisk effekt i større grad enn *RST 2* en mer overfladisk forklaring, forståelse nok siden det ikke er pensum i fysikk 1. *RST 1* har flere «faglige feil» enn *RST 2*, spesielt når det kommer til hvordan bølgemodellen forklarer overføring av energi og forholdet til frekvens. Dette kommer tydelig frem når de skriver «bølgemodellen kan derfor ikke beskrive hvordan energi blir overført til et stoff», i motsetning til *RST 2* som har det meste av det faglige rundt fotoelektrisk effekt korrekt.

En annen tydelig forskjell er at i *RST 2* kan man anta at det er et bevisst valg å ikke tegne fotoner eller fremstille disse på en måte som kan tolkes som en klassisk bølge eller partikkel uten å kommentere dette. Dette har *RST 1* gjort, om ikke ment direkte. Dette kan føre til antagelser hos elever når det kommer til Figur 6.4 at fotoner er bølger. Begrepet «fotoner» blir innført som et «ukjent begrep» begge stedene kan det virke som, men med noenlunde lik definisjon. I *RST 1* beskriver de fotoner som «udelelige energipakker», mens i *RST 2* blir fotoner beskrevet som «udelelige lyskvanter». Selve betydningen bak ordet og bruken er lik i begge bøkene. Begge bøkene har forklarer begrepet uten en definisjon og bruker fenomenene og egenskaper til å innføre en egen forståelse hos elevene (Ringnes & Hannisdal, 2006).

6.2.9. Analyse og sammenlikning av ERGO 2 og RST 2 – Fotoelektrisk effekt

Både *ERGO 2* og *RST 2* har mye positivt i begge sine fremstillinger av fotoelektrisk effekt, selv om de er ganske ulike må mange måter. Faglig sett er det lite feil med noen av disse fremstillingene, pedagogisk sett har de to veldig ulike fremstillinger.

RST 2 prøver igjen å få frem den menneskelige utviklingen ved å hele tiden gå kronologisk frem ved å gå fra Planck til Einstein til Millikan for å få en bedre oversikt over hvordan fysikerne tenkte på den tiden og i dag, som er gjennomgående i hele kapitlet. Det virker som om *ERGO 2* har et større fokus når det kommer til forsøk og bruk av selve fysikken. De går mer i detalj for å beskrive forsøkene med fotoelektrisk effekt for å så forklare fenomenet ut i fra forsøket.

Et annet aspekt som er relativt forskjellige er antall sider som er brukt *ERGO 2* bruker 2 sider på sin fremstilling, mens *RST 2* bruker 4, selv om mye av dette er eksempler. Dette kan man se på skrivemåten i begge bøkene. *ERGO 2* har en mer kompakt skrivemåte som kan være litt tyngre å lese, mens *RST 2* har i større grad utfyllende tekst, tilleggsinformasjon og flere eksempler. Et resultat av dette er at *RST 2* har sider som er «ryddigere» der sidene ikke er like mye fylt med tekst og eksempler som i *ERGO 2* der de fyller margene med masse eksempler og tilleggsinformasjon, det må også nevnes at *RST 2* har fysisk større sider enn *ERGO 2* slik at det kan gi inntrykket at det er bedre plass, i tillegg til at *RST 2* har fysisk større sider enn *ERGO 2*.

Eksempler og utregning som er brukt i teksten er ulikt mellom bøkene. *RST 2* presenterer først informasjon etterfulgt av spørsmål, som man kan anta er for å la elevene prøve seg på dette selv før de får svaret. *ERGO 2* har en mer direkte fremgangsmåte der de ofte presenterer hvordan noe skal regnes ut uten å vise hva som skal regnes eller hva som skal skje videre i eksemplet. Det er ofte en positiv effekt om elever kan få mulighet for prøve selv å feile før de får svaret enn å få servert informasjonen (Nygaard et al., 1999). *ERGO 2* er ikke konsekvent på dette, måtene er fremlagt med spørsmål er varierende fra eksempel til eksempel.

6.3. Fotonets bevegelsesmengde

6.3.1. ERGO Fysikk 2 - Fotonets bevegelsesmengde (s252-253)

Fotonets bevegelsesmengde blir introdusert ved at «Einstein behandlet lys som partikler, fotoner.». Det blir forklart videre at bølgemodellen ikke er feil, men at fotoner måtte være noe helt nytt, «Partikler med bølgeegenskaper! Fotonene viser partikkelegenskaper og beveger seg med lysfarten». Det blir så introdusert formlene fra relativitetsteorien for energi og bevegelsesmengde og kombinerer disse til en formel bevegelsesmengde til fotonene som står i en rammeboks, Figur 6.7.

Resultatet viser at fotoner har bevegelsesmengde!

Fotonets bevegelsesmengde >>>

Bevegelsesmengden til et foton er lik energien delt på lysfarten,

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Her er f frekvensen og λ bølgelengden i strålingen.

Figur 6.7 Rammeboks om Fotonets bevegelsesmengde (Calin et al., 2012b, s. 252)

Dette blir etterfulgt med et eksempel om bevegelsesmengden til et foton med en gitt frekvens, og sammenlikning av fotonet med et elektron.

Under eksemplet er det et bilde av det som blir beskrevet i margen som et «Solseil» der det blir forklart at man kan bruke bevegelsesmengden til fotonet som en «motor» i en romsonde med et tilhørende bilde.

6.3.2. Analyse

«Einstein behandlet lys som partikler, fotoner» er en feil beskrivelse av Einstein sin tolkning, han behandlet «fotoner» eller lyskvanter som en lyskvant med en bevegelsesmengde (Albert Einstein, 1917) og ikke som klassiske partikler som det blir lagt opp til her.

Den siste setninger i teksten «Resultatet viser at fotoner har bevegelsesmengde!» får det til å virke som om kun ved å kombinere likningen kunne vi si at fotoner hadde bevegelsesmengde, og at dette var noe fantastisk. Faktumet at bølger også har bevegelsesmengde og lys består av fotoner er det en rimelig antagelse og ta at fotoner også måtte ha det.

Det som kan skape en mulig forvirring og feiltolkninger er språket. Her blir begrepet «foton» beskrevet som tre forskjellige beskrivelser i løpet av et avsnitt, «partikler», «partikler med bølgeegenskaper» og «Fotonene viser partikkelegenskaper». Når begrepet «foton» forandrer definisjon så ofte kan det være problematisk for en elev å forstå hva som er hensikten og forklaringen til begrepet, uten en tydelig definisjon eller forklaring er det lett å få feiltolkninger av begreper, spesielt når boka ikke er konsekvent med forklaringen (Ringnes & Hannisdal, 2006; Skrunes, 2010). Her blir det direkte skrevet at «Partikler, fotoner» som om *partikler = foton*, som kan er en direkte feil. Når fotoner blir forklart som «Partikler med bølgeegenskaper» er en antagelse å ta at det kan bli tolket som at det igjen er klassiske

partikler som beveger seg som bølger og kan lage interferens (Olsen, 1999). En annen tolkning kan være at partikkelen er «smurt» ut i rommet som en bølge.

Det er et ordbruk som kan føre til et upresist bilde i teksten i eksempelet om «Solspeil». Blant annet at de bruker ordet «kjempestort speil», hva vil kjempestort si? I et uendelig univers kan kjempestort være veldig relativt til hva som kan være vanlig og assosiere med ordet. Det er også rart å kalle fotonene sin bevegelsesmengde for «motor», selv om det er i anførselstegn, det blir tilsvarende og kalle vinden for en «motor» i en seilbåt.

6.3.3. RomStoffTid 2 – Bevegelsesmengde til fotoner (s286)

Fotonets bevegelsesmengde blir introdusert med en referanse til bevegelsesmengde i Newtons Mekanikk. De refererer så til Einstein sin likning til den totale energien som involverer masse og bevegelsesmengde, men siden fotonene er masseløse er det kun gitt av bevegelsesmengde. Energien til et foton er $E = hf$, som gir likningen

$$p_f = \frac{h}{\lambda}. \quad 20$$

Denne likningen blir beskrevet i marginen som «Bevegelsesmengde og bølgelengde til lyset er». Direkte under kommer det et regneeksempel på bevegelsesmengde og energi til et foton der bølgelengden er gitt.

6.3.4. Analyse

I kapitlet så langt har *RST 2* klart å unngå å kalle fotoner for «partikler» eller «bølger», men heller hvert konsekvent på å bruke begrepet «foton». Forklaringen rundt bevegelsesmengde i forhold til likningene står skrevet på en konkret måte, og alt av nye symboler blir forklart.

Om man skal være pirkete står det skrevet «*bølgelengden er til lyset er, (20)*». Om det skal være helt korrekt kunne det tenkes at det burde stått «*bølgelengden er ...*» for å unngå forvirring. I marginen står det «*Bølgelengden til et foton*» og i teksten står det «*bølgelengden til lyset*» disse to punktene burde skrive det samme for å fjerne all tvil om hva som blir vist.

6.3.5. Analyse og sammenlikning – Fotonets bevegelsesmengde

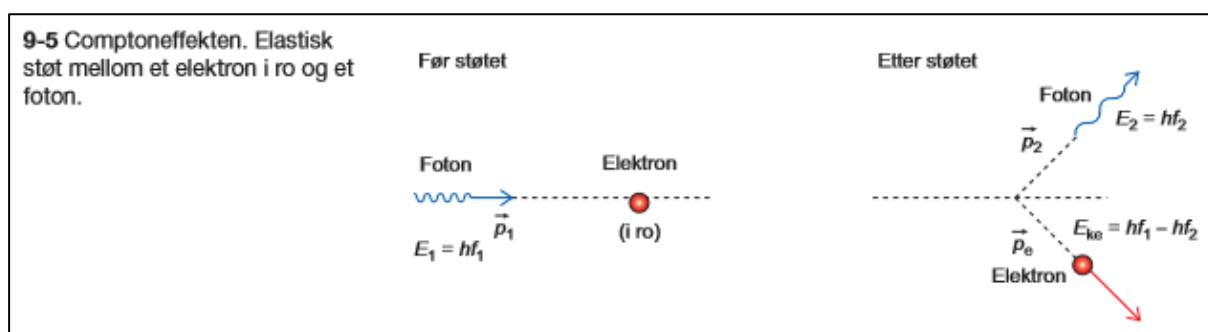
Begge bøkene presenterer bevegelsesmengden til fotoner på veldig lik måte der de presenterer det i forhold til relativitetsteorien og skrevet at siden fotonene er masseløse og en energi, hf . Bevegelsesmengden kan skrives som (20). Det som skiller disse to fremstillingene mest er beskrivelsen av «foton». *ERGO 2* beskriver fotoner som «partikler» «Partikler med bølgeegenskaper» og «fotoner med partikkelegenskaper» i motsetning til *RST 2* som kaller det et foton uten å skrive noe mer forklaring rundt begrepet. Disse bøkene har forskjellige fremgangsmåte på å forklare begrepet, med og uten definisjon, der begge metodene om brukt riktig kan føre til en god forståelse (Ringnes & Hannisdal, 2006).

6.4. Comptoneffekt

6.4.1. ERGO 2 – Comptoneffekten (s254-255)

Comptoneffekten blir innledet med at «Einsteins partikkelmodell for lys var hard kost», for de var vant med bølgemodellen. Fotelektriskeffekt var ikke nok for «å overbevise de fleste om at lys kunne være partikler». De skriver så at i 1923 gjorde fysikeren Arthur Compton en forsøk med dette, der han sendte røntgenstråling mot carbon som frigjorde elektroner der elektronene «oppfører seg nærmest som om de var frie partikler i ro».

De skriver at i et slikt støt er bevegelsesmengde bevart. Det blir så beskrevet de forskjellige komponentenes bevegelsesmengde og refererer til Figur 6.8.

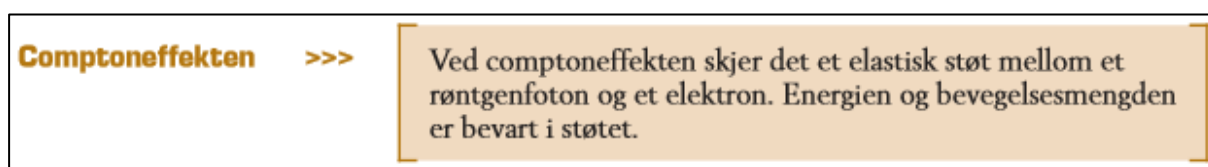


Figur 6.8 ERGO 2 sin visualisering av comptoneffekten – Elastisk støt mellom et elektron i ro og et foton. (Calin et al., 2012b, s. 254)

Siden det er et elastisk støt er energi og bevegelsesmengde bevart. «Fotonet som treffer elektronet, gir all sin energi til elektronet og det nye fotonet som blir dannet:

$$hf_1 = E_{ke} + hf_2. \quad 21$$

I rammeboksen under likningen blir comptoneffekten beskrevet som vist i Figur 6.9.



Figur 6.9 Rammeboks om Comptoneffekt (Calin et al., 2012b, s. 254)

Hovedteksten blir avsluttet med «Både fotelektrisk effekt og comptoneffekten bryter med klassisk fysikk, fordi vi må betrakte lys som partikler i stedet for bølger». Det kommer så et eksempel med regning om comptoneffekten.

6.4.2. Analyse

Mye av fokuset til *ERGO 2* ligger i å forklare forsøk, for å så forklare fenomenene ut i fra forsøkene. Dette har de i stor grad lykkes med, essensen som blir formidlet kommer godt frem i fremstillingen.

Det siste avsnittet i delkapitlet kan tolkes på ulik måte, «Både i fotelektrisk effekt og comptoneffekten bryter med klassisk fysikk, fordi vi må betrakte lys som partikler i stedet for bølger». Det ordet som kan skape forvirring her er *må*. Dette kan tolkes som om de endelig har funnet svaret, lys er partikler siden vi *må* betrakte lys som partikler. Dette blir kan bli

forsterket etter hva det første avsnittet «for å overbevise de fleste om at lys kunne være partikler». De bruker ordet «partikkel», «lys» og «fotoner» som synonymer, dette kan være forvirrende når de har lært tidligere at lys er bølger, det har vært forklart tidligere i delkapitlet er et lys er en variasjon mellom bølger og partikler. Forskjellige vage klassiske forklaringer kan bidra med å skape misoppfatninger om begrepet (Angell et al., 2011; Ayene et al., 2011).

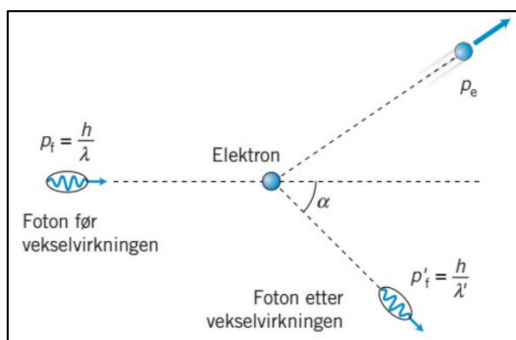
I rammeboksen står det også at «comptoneffekten skjer det et elastisk støt mellom et røntgenfoton og et elektron», det kunne likeså godt stått «foton» siden det ikke nødvendigvis må være røntgenstråling for at dette skal skje.

Det er en setning eller poeng som de har fått med seg som er veldig viktig når det kommer til forståelse av fotoner og comptoneffekten, «Fotonet som treffer elektroner, gir all sin energi til elektronet og det nye fotonet som blir dannet», her blir det poengtert noe viktig, at det fotonet vi ender opp med er ikke det samme fotonet som vi begynte med, siden foton bare kan absorberes og emitteres som en helhet (A Einstein, 1905).

Figur 6.9 som blir brukt til å forklare comptoneffekten blir brukt og forklart i teksten hvor alle delene står forklart. Den er oversiktlig og lett å forstå, og i dette tilfelle så kan dette betraktes som et «klassisk støt» så det kan være enkelt forsvares å tegne det på denne måten, det er en slik forenkling at de fleste elever ville forstå at dette kun er en visualisering av fenomenet, selv om det kunne blitt påpekt. Det er en liten differanse mellom modellen og teksten der det i teksten står at elektronet er «tilnærmet lik i ro», mens i modellen står det at den er «i ro». Dette har ikke nødvendigvis en stor innvirkning på leseren, men det er viktig å ha samme informasjon og sammenheng begge steder (Ringnes & Hannisdal, 2006).

6.4.3. RomStoffTid2 – Comptons forsøk (s287)

Delkapitlet begynne med å forklare at Arthur Compton gjorde forsøk med «frie elektroner». I følge Maxwell sine likninger skulle ikke bølgelengden forandre seg, men hvis «lys er en strøm av fotoner» vil det bli overført bevegelsesmengde til elektronet. Dette kan tenkes på som et elastisk støt der energien og bevegelsesmengden er bevart, som vist i Figur 6.10.



Ved å bruke bevaringslovene får vi en sammenheng mellom forandring i bølgelengde og vinkelen. De skriver så at det var stor spenning fordi «De to teoriene, fototeori og bølgeteori, forutsier to forskjellige resultater av forsøket. *Eksperimentet ville skille disse to teoriene*». Det viste seg at fototeorien var rett, og at Bohr som mostander av fototeorien ville innrømme nederlaget.

Figur 6.10 Vekselvirkningen mellom et foton og elektron fremstilt i RST 2 (Jerstad et al., 2014, s. 287)

6.4.4. Analyse

Det står i tittelen «Comptons forsøk: Et foton vekselvirker med et *fritt* elektron» at det er et foton som vekselvirker med et «fritt elektron», det var det ikke. Compton sendte røntgenstråling mot et lag av Carbon (Compton, 1924). Dette har veldig lite å si for forklaringen videre i kapitlet.

RST 2 får frem viktigheten av fenomenet i forhold til fototeorien. De skriver konkret at «*Eksperimentet ville skille disse to teoriene*». Her blir det tydeliggjort hva som er klassisk fysikk og hvor dette skiller seg som er en del av kompetansemålet. Dette står også skrevet i marginen «Comptons eksperiment skulle de to lysteoriene: bølgeteori og fototeori» for å tydeliggjøre det igjen. Det blir ikke gått noe nærmere inn på hva eller hvorfor dette var et skille.



Figur 6.11 RST 2 sin fremstilling av et foton (Jerstad et al., 2014, s. 287)

I forklaringen av comptoneffekten introduserer RST 2 en ny modell som de bruker videre for å visualisere fotoner, Figur 6.11. Her har de presentert en figur med forklarende bildetekst. Ved å presentere figuren kan det hjelpe til å forstå senere modeller (Angell et al., 2007). I forklaringen står det «For å skille fotonet fra andre partikler», når det står «andre partikler» er det lett å anta at fotonet også er en partikkel. RST 2 har vært konsekvent og bevist på å ikke

kalle foton en partikkel tidligere, dette er den første gangen man får følelsen av dette. Tolkningen av en figurtekst kan ha lite å si i forhold til hvordan fotonet har blitt forklart gjennomgående i kapitlet.

Figur 6.10 blir forklart i teksten i forhold til forandring i bølgelengde og vinkelen. De har da brukt Figur 6.11 i figuren for å skille fotonet fra elektronet. Det er beskrevet fotonet før og etter vekselvirkningen, men det er ikke skrevet «elektronet etter vekselvirkningen» for å spesifisere dette på lik linje med fotonet, dette kan vise at de legger større vekt på fotonet enn elektronet i figuren.

6.4.5. Analyse og sammenlikning – Comptoneffekt

Det er en forskjell mellom disse to bøkene sin fremstillingene av comptoneffekten. Det virker som om *ERGO 2* fremstiller dette som et resultat forsøk der de forklarer hva som skjedde når Compton gjorde dette, mens *RST 2* er mer opptatt av å forklare selve fenomenet og viktigheten av forsøket i en historisk sammenheng. *ERGO 2* er mer opptatt av bruken og forsøkene, mens *RST 2* prøver å forklare fenomenet på en skjematisk måte over hva som skjer i en ideell verden.

ERGO 2 presenterer også comptoneffekten ved hjelp av likninger og det kan virke som om de prøver å få en mer kvantitativ forståelse når det kommer til bruk av regning for å forstå comptoneffekten. *RST 2* har i større grad «forklarende» tekst der det ikke blir brukt likninger, men heller en kvalitativ forståelse (Halsan, 2009). *RST 2* forklarer hvorfor dette eksperimentet var viktig og at dette var et stort skille for teorier som involverer lys, mens *ERGO 2* nevner ikke i like stor grad. *ERGO 2* skriver at «comptoneffekt bryter med klassisk fysikk, fordi vi må betrakte lys som partikler i stedet for bølger». Ingen av bøkene skriver noe mer i forhold til hva som hadde skjedd i forhold den klassiske fysikken, kun at dette var et skille mellom disse delen i fysikken.

Ved beskrivelsen av et foton er *RST 2* i mindre grad beskrivende for selve begrepet, dette kan være for å la leseren få en egen forståelse av hva et «foton» er. *ERGO 2* beskriver «foton» som en variasjon mellom en partikkel og bølge med forskjellige nyanser i mellom. Som nevnt tidligere trenger et begrep en definisjon (Ringnes & Hannisdal, 2006), men når det begrepet ikke har en tydelig definisjon kan det være like riktig å la leseren få lage sin egen oppfatning av begrepet.

6.5. Partikkelens bølgeegenskap

6.5.1. ERGO 2 – Partiklenes bølgeegenskap (s259-261)

Partiklenes bølgeegenskaper blir introdusert ved å stille spørsmålet, «siden lys har partikkelegenskaper, kan man da lure om partikler har bølgeegenskaper også?». de Broglie blir introdusert og han fikk en likning som kobler sammen bevegelsesmengde og bølgelengde, dette blir uthevet i en faktaboks, Figur 6.12.

Bølgelengden til partikler >>>	Partikler har bølgeegenskaper. Bølgelengden til en partikkel er lik planckkonstanten delt på bevegelsesmengden til partikkelen, $\lambda = \frac{h}{p}$
---------------------------------------	--

Figur 6.12 ERGO 2 sin faktaboks "Bølgelengden til Partikler" (Calin et al., 2012b, s. 259)

Forskere begynte å lete etter bølgeegenskapene til partikler, og i 1927 påviste George Thomson at elektroner som går igjennom folie blir avbøyd på samme måte som et lys gjennom et gitter, det blir så dannet interferens. Ved å regne bakover fant Thomson bølgelengden til elektronene som stemte med De Broglie sin formel.

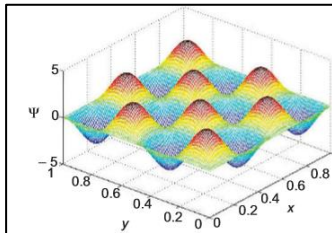
I 1961 gjorde en tysk fysiker et dobbelspalteforsøk med elektroner. Når det bare hadde kommet noen elektroner var det ikke noe tydelig mønster, men etter hvert som han skjøt ut flere kommer det tydelig frem et interferensmønster.

«Du ser altså at elektroner gir samme resultat i et dobbelspalteforsøk: Det blir interferensmønster på en skjerm, som om fotoene og elektronene *brer seg som bølger* gjennom rommet. Men vi vet at fotoner og elektroner *blir sendt ut som partikler*» (Calin et al., 2012b, s. 260)

Det kommer så en rammeboks, Figur 6.13, før det blir avsluttet med et eksempel. I eksemplet blir det forklart at vi kan bruke et lysmikroskop for å se størrelser ned til 200 nm. Det blir vist hvordan man regner bølgelengden til et elektron i en spenning, U . Bølgelengden de kommer frem til er $\lambda = 2,5 * 10^{-12} m$. De skriver så avslutningsvis «I praksis gjør dette at vi kan se ting ned til ca. 0,3 nm. Det vil si ting som bare er noen få atomdiametere i utstrekning!»

Kvanteparadokset >>>	Elektroner og fotoner opptrer som partikler, men vi må bruke bølger for å beskrive hvordan partiklene kan bevege seg.
-----------------------------	---

Figur 6.13 Rammeboks om "Kvanteparadokse" (Calin et al., 2012b, s. 260)



9-19 Hva betyr det egentlig at posisjonen til en partikkel er uskarp? Vi kan beskrive posisjonen til en partikkel med en *bølgefunksjon*. Her ser du bølgefunksjonen til et elektron som er fanget i en boks. I punktene hvor bølgefunksjonen har stor amplitude (opp eller ned), er det mest sannsynlig å finne elektronet. Der amplituden er null, er det minst sannsynlig. Hvor elektronet *virkelig* er når vi ikke måler, er et meningsløst spørsmål. Elektronet er ikke som en liten kule med en entydig posisjon.

Figur 6.14 Figur 1 ERGO 2 som forklarer bølgefunksjonen (Calin et al., 2012b, s. 263)

Videre i boken når de forklarer Heisenberg sin uskarphetsrelasjon på side 263 blir partikler bølgenatur forklart litt mer i dybden. Det står ved siden av et eksempel om «Ekte sannsynlighet», men blir ikke nevnt der.

6.5.2. Analyse

I de fem første avsnittene er det det forklaringen av De Broglie sin formel og gjengivelse av forsøk med partikler som viser partikkelegenskaper.

Når *ERGO 2* skal forklare dette kan det tolkes på flere måter, «fotonene og elektronene *brer seg som bølger gjennom rommet*. Men vi ve at fotoner og elektroner *blir sendt ut som partikler*». Dette kan føre til mange forskjellige antagelser og spørsmål til hvordan et elektron er og hvordan man kan beskrive det. Som for eksempel når blir da elektronet og fotonet til en bølge? Dette kan være forvirrende, spesielt med fotonbegrepet ved at det blir sendt ut som en «klassisk partikkel» før det så plutselig går over til å bli til en bølge uten noe mer forklaring. Ved å forklare kvantefenomener ved hjelp av klassiske analogier kan dette føre til feil oppfatning av kvantefysikken (Ayene et al., 2011; Renstrøm, 2011).

Figur 6.13 er navngitt «Kvanteparadokset» i *ERGO 2*. Hvis man tenker rent klassisk så kan dette tolkes som et «paradoks» siden en partikkel har en definert posisjon og egenskap (Olsen, 1999; Renstrøm, 2011), men i kvantefysikken kan ikke dette «paradokset» tolkes på lik linje med den klassiske definisjonen. Ved å bruke ordet «kvanteparadoks» virker det som om dette er to egenskaper som strider imot hverandre, som det gjør i klassisk fysikk, men i kvantefysikken er ikke dette et paradoks på lik linje (Olsen, 1999). I Figur 6.13 står det «men vi må bruke bølger for å beskrive hvordan partiklene beveger seg», nøkkelordet her er *må*. Tidligere i boken så har elektroner blitt beskrevet som en partikkel med en definert posisjon og egenskap i både tekst og modeller. Dette tyder på at boken er inkonsistent med seg selv når en definisjon og forståelse selv «plutselig» forandrer seg uten noe mer forklaring rundt elektroner som kan gi en blandet forståelse (Marion & Strømme, 2015)

I eksemplet på slutten av delkapitlet kommer de frem til en bølgelengde for elektronet som er $2,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}$. I den neste setningen skriver de «I praksis gjør det at vi kan se ting ned til ca. 0,3 nm» (Figur 6.15). Det står heller ikke noe om hvor tallet 0,3 nm er hentet fra. Disse to

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{1,39 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2,08 \cdot 10^6} \text{ m} = 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

I praksis gjør det at vi kan se ting ned til ca. 0,3 nm. Det vil si ting som bare er noen få atomdiametre i utstrekning!

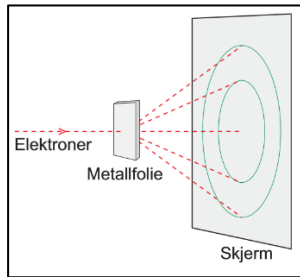
Figur 6.15 En del av Eksempel 7 «Å se med partikler» (Calin et al., 2012b, s. 261)

tallene er ikke like, det er en faktor på ca. 100 som skiller dem. Det kan være problematisk for en elev når det «plutselig» dukker opp noen tall som ikke stemmer overens med hva de har regnet ut. Elever har ofte problemer med å tolke svar og tall i kvantefysikk (Ayene et al., 2011; Olsen, 1999), og dette kan bidra til å forsterke dette problemet. Dette kan også være en

regnefeil fra forfatteren sin side.

Etter de Broglie sin formel introduserer de partiklenes bølgeegenskap med «Bølgehypotesen var hard kost for mange fysikere. Men de begynte likevel å lete etter bølgeegenskapene til

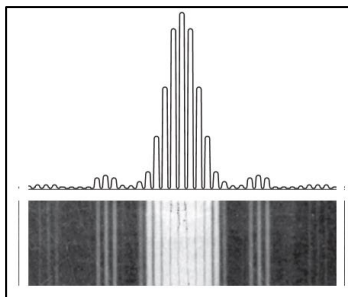
partikler». Måten de bruker ordene «men» og «likevel» får det til å virke som om fysikere egentlig ikke hadde lyst til å finne ut noe av dette, men gjorde det kun fordi de måtte, som ikke stemmer.



Figur 6.16 «Thomson viste at elektronene har bølgeegenskaper» (Calin et al., 2012b, s. 260)

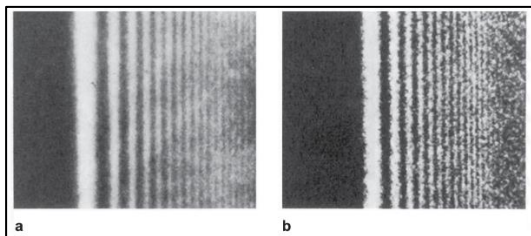
Figur 6.16 er i margin i begynnelsen av siden og blir referert til i teksten som «elektroner går gjennom tynne metallfolier, blir avbøyd på liknende måte som lys i et gitter». Her ser man hvordan et forsøk med dette kan gjennomføres. Det er tydelig at dette er en tegning eller en representasjon av hvordan noe kan være siden dette ikke prøver å imitere et bilde fra virkeligheten. Den blir beskrevet i teksten og fungerer som et supplement, i tillegg til at den er i stor grad selvstendig.

Videre i teksten blir det brukt to bilder som viser hvordan et interferensmønster er både hos elektroner og hos lys, Figur 6.17 og Figur 6.18.



Figur 6.17 Youngs forsøk med fotoner eller elektroner (Calin et al., 2012b, s. 260)

I teksten blir Figur 6.17 referert til, de skriver «Hvis vi sender ensfarget lys mot to smale spalter får vi interferensstriper på en skjerm bak spaltene». I figurteksten står det «fotoner eller elektroner. Interferensbildet blir det samme i begge tilfeller». Youngs forsøk er i all hovedsak et forsøk for å bevise interferens hos lys som en bølge, Young sitt forsøk innebar kun lys og ikke elektroner (Gasirowicz, 2013). Det kan derfor tolkes som feil å si at Youngs forsøk innebar både elektroner og fotoner, dette nevnes også senere i teksten i referanse til Figur 6.18.



Figur 6.18 Dobbelspalteforsøket, a) er mønster av synlig lys b) Mønster laget av elektroner (Calin et al., 2012b, s. 260)

Figur 6.18 blir referert til «På en skjerm fikk han interferensstriper, akkurat som i Youngs forsøk med lys». Dette er en tydelig fremstilling av interferens hos elektroner og lys som gir lite rom for feiltolkning når det er en så tydelig og konkret bildetekst.

Disse bildene blir brukt som en sammenlikning med og mot hverandre. For å understreke likheter mellom partikler og bølger som kan være en god måte å vise likhetene.

I bildeteksten til Figur 6.14 blir det forklart «bølgedualiteten» ved å forklare dette med en bølgefunksjon. Denne fremstillingen og forklaringen på hvordan en denne «dualiteten» er en faglig tung men god beskrivelse sannsynlighetsfordelingen til en bølge, det er heller ikke et direkte klassisk bilde som prøver å forklare, men heller en matematisk fremstilling av bølgefunksjonen. Dette er et tydelig eksempel på hvordan kvantefysikken blir først fremstilt ved hjelp av klassiske bilder for å så bli forklart mer grundig ved hjelp av matematiske modeller, dette kan føre til en blandet forståelse av fysikken (Ayene et al., 2011).

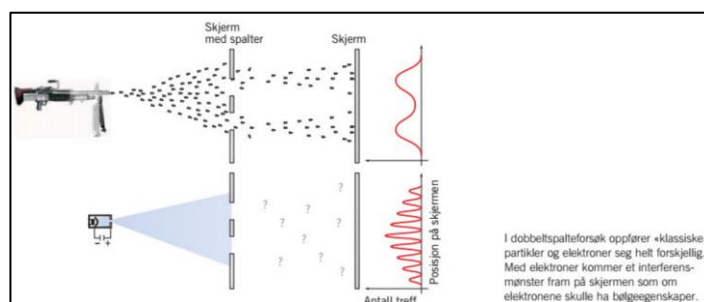
6.5.3. RomStoffTid 2 – Også partikler har bølgelengde (s17-20)

I kapittel 1 blir kvantefysikken nevnt som en av de fire ideene som forandret verden. Her blir det tatt opp partiklenes bølgeegenskap som et av hovedtemaene.

Dette blir introdusert med et kjapt tilbakeblikk over hva de skal ha lært i fysikk 1. Her blir det nevnt tre hoveddeler de må huske. 1. Youngs eksperiment med lys som bølge der det blir dannet et interferensmønster. 2. Fotoelektrisk effekt, om at fotoelektrisk effekt og hva som skjer når vi sender lys mot en metallplate, og hvordan vi kan forklare dette. «I tilfellet med fotoelektrisk effekt må vi oppfatte lys som en strøm av kvanter», der hver kvante har energi hf . 3. Max Planck hadde en ide som var sterkt beslektet med Einstein sin teori. Han delte strålingen i ««små» porsjoner, kvanter».

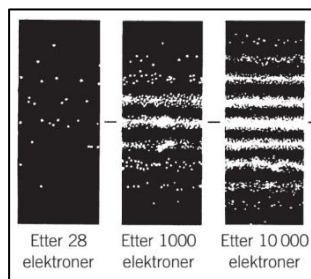
De skriver så at «Einstein og Plancks ideer ble begynnelsen på en lang, men svært vellykket historie». Videre blir det forklart om De Broglie sin ide om at partikler hadde bølgelengde. I en spørrende måte skriver de spørsmål som kan ha blitt stilt og svart på av de Broglie som «Er fotoner og elektroner rett og slett mer like enn vi har trodd?». For å svare på dette ble det testet ut interferens hos elektroner.

Videre forklarer de dobbelspalteforsøk med elektroner. For å få frem forskjellen mellom hva som skjer med en klassisk partikkel og elektroner når det blir sendt mot en dobbelspalte bruker de Figur 6.19.



Figur 6.19 Forskjell på klassiske partikler og lys mot en dobbelspalte (Jerstad et al., 2014, s. 19)

De forklarer dette med når vi sender klassisk partikler, eller «kuler» mot en dobbelspalte vil de fleste kulene treffet rett bak dobbelspalten, med litt «utsmørt treff-fordeling» av kulene. Elektronenes interferensmønster forklarer de med at «Treff-fordeling på skjermen er slik at vi bare kan forså den som et interferensmønster», dette kunne forklares ved hjelp av de Broglie sin ide om at elektroner i fart har en bølgelengde. I marginen står det «For å kunne forstå interferensmønstrene fra elektronene må vi tenke oss at elektronene har bølgeegenskaper».



Figur 6.20 Dobbelspalteforsøk med elektroner gjort av Akira Tonomura (Jerstad et al., 2014, s. 20)

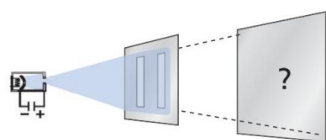
Videre presenterer RST 2 to bilder med interferens av lys og elektroner og ser likheten mellom disse. «Kanskje det enda mer overraskende enn selve interferensmønsteret er dette: Vi kan få frem interferensmønsteret selv om det ikke er mange elektroner som samtidig går igjennom dobbelspalten, hvordan skal vi forstå dette?». Forklaringen på dette skriver de, og henviser til Figur 6.20. Når elektronene treffer skjermen en og en oppfører de seg som partikler, de treffer ett og ett punkt. Det blir så stilt en rekke spørsmål til dette som de skal gå mer i detalj på i kapittel 11 som;

«Men da har vel som en og en partikkel gått *enten* gjennom den ene spalten *eller* den andre?», «Eller er det så mystisk at elektroner går igjennom begge spaltene *samtidig*?», «Eller er det rett og slett vi må stille andre spørsmål til den atomære verden enn til den «vanlige» vi ser rundt oss?» og «Er det for eksempel slik at vi ikke kan finne noe svar på *hvor* elektronet går?». Det viser seg å være ja på begge de to siste spørsmålene. Hvorfor blir skal de gå mer i detalj i kapittel 11.

6.5.4. Analyse

Kapitlet «partikler har bølgelengde» er en introduksjon til kvantefysikken. Her blir det beskrevet en historisk fremgangsmåte om personene, eksperimenter og sammenlikninger med «vanlig klassisk fysikk». Språket som er brukt her skiller seg tydelig ut fra hvordan det er i hovedkapitlet om kvantefysikk, kapittel 11. Dette er en ren kvalitativ fremgangsmåte der det ikke er brukt noen likninger. Dette forklarer en av forfatterne i et intervju med Halsan (2009),

«moderne fysikk skal beskrives kvalitativt, vi skal ha inn forståelse, vi skal diskutere de viktige prinsippene og ideene. Det er altså mindre krav til matematikk og når elevene kommer etter to måneder sommerferie så sitter de matematiske ferdighetene langt inne» (Halsan, 2009, s. 97).



Figur 6.21 Dobbelspalte med elektroner. Hva får vi se på skjermen da? (Jerstad et al., 2014, s. 18)

Figur 6.21 legger opp til at elever kan tenke selv om hva de tror kommer til å skje, dette kan være for å skape interesse og vekke tanker hos elever. Ved å la leseren få tenke over hva de tror kommer til å skje før de får vite svaret kan det bidra til å bekrefte/avkrefte oppfatninger til leseren før de leser videre.

De to mest sannsynlige utfallene blir så forklart ut i fra en ny modell, Figur 6.19, som forklarer begge de mest sannsynlige tankegangen til leseren.

Ved å forklare forskjellene til klassisk fysikk og i kvantefysikk på en tydelig måte slik som det er gjort i samarbeid med, Figur 6.21 og Figur 6.19, kan det hjelpe elever å fjerne misoppfatninger (Angell et al., 2011; Ayene et al., 2011; Renstrøm, 2011). Når det først blir lagt opp til å tenke selv før de får svaret kan også leseren blir mer bevisst på disse misoppfatningen og kan rette på det.

Interferens med elektroner blir så presentert, Figur 6.20, med faktiske resultater for å understreke at dette er noe som faktisk skjer i «vår verden» også og at dette er eksperimentelt bekreftet og får like resultater som lys. Spørsmålene som kapitlet blir avsluttet med skaper en spenning og undring om kvantefysikken som kan hjelpe til å motivere elever til å lære om kvantefysikken videre (Bungum et al., 2015).

6.5.5. RomStoffTid 2 - Elektroner og andre partikler har bølgelengde (s287-289)

Her blir de Broglie presentert som mannen som foreslo at sammenhengen mellom fotoner og bølgelengde måtte gjelde for alle partikler. Formelen til De Broglie blir presentert i en faktaramme der de forskjellige symbolene betyr. Videre kommer det et regneksempel der formelen blir brukt. Delkapitlet blir så avsluttet med å fortelle at interferens er påvist hos nøytroner, protoner og for hele atomer og at «Vi har ingen *forklaring* på hvordan mønsteret oppstår, men vi har en teori som gjør det mulig å beskrive det».

6.5.6. Analyse

Av hovedteksten så er det kun de Broglie sin formel som blir forklart og presentert i delkapitlet, som det ikke er noe å kommentere på, alle symboler og bruken blir forklart og vist i tekstboksen og eksemplet.

Den siste setninger i delkapitlet blir det skrevet «Vi har ingen *forklaring* på hvordan mønsteret oppstår, men vi har en teori som gjør det mulig å beskrive det». Dette kan oppfattes som en unødvendig og rar setning i og med at en teori kan være en forklaring av et fenomen (Lem, 2015), dette er avhengig av hvilken definisjon som blir brukt, men en teori og forklaring kan virke intuitivt som det samme. Dette kan være forvirrende hos leseren og mulig skape forvirring rundt det som har blitt presentert.

6.5.7. Analyse og sammenlikning – Partiklers bølgeegenskap

Begge bøkene har en kvalitativ fremgangsmåte med kun en likning som blir presentert og forklart. Forklaringen på «bølgeegenskapen» er vesentlig forskjellig for begge bøkene, i *ERGO 2* blir dette beskrevet som med at partikler «brer seg som bølger» og «blir sendt ut som partikler» som er et forsøk på å forklare bølgeegenskapene ved å bruke klassisk analogier som elevene er kjent med. *RST 2* beskriver ikke bølgeegenskapen like direkte, men de skriver «vi må tenke oss at elektronene har bølgeegenskaper», det kan virke som om *RST 2* unngår dette med vilje og heller lar eksperimentene snakke for seg selv for å unngå de klassiske analogiene. *ERGO 2* forklarer partiklers bølgenatur ved hjelp av en bølgefunksjon, mens *RST 2* ikke nevner dette.

Begge bøkene forklarer elektronets bølgeegenskap ved hjelp av interferens, der begge sammenlikner interferensmønsteret til elektronet med lys. *RST 2* tar et steg videre og sammenlikner dette med hvordan «klassiske partikler» ville ha oppført seg i samme tilfelle. Dette er for å tydeliggjøre forskjellene mellom klassisk og kvantefysikk som er en stor hensikt i med kompetansemålet.

Bruken av modeller er tilnærmet like i begge boken, med unntak av Figur 6.19. Det består av en blanding av resultater og fremstillinger av forsøk som er gjort med interferens og modeller som er laget for å vise frem egenskaper eller hvordan et forsøk blir gjennomført.

6.6. *Klassisk fysikk, kvantemekanikk og moderne fysikk*

6.6.1. RomStoffTid 2 (s292)

RST 2 har en halv side som heter «Klassisk fysikk, kvantemekanikk og moderne fysikk». Her blir det forklart at kvantemekanikkens likninger gjør det mulig å beregne hvor sannsynlig en partikkel er på et viss sted, mens i Newtons og Maxwell sine teorier finnes det ikke sannsynlighet og uskarphet. «Disse teoriene kaller vi *klassisk fysikk*». I hverdagen er det ingen uskarphet og vi kan bruke Newtons likninger til dette, «kvantepartikler, derimot kan ikke beskrives med disse teoriene. Til det trenger vi kvantemekanikken». De beskriver at *moderne fysikk* er en vanlig begrep for teorier som er utviklet etter 1900-tallet som kvantefysikk, relativitetsteorien, partikkelfysikk og astrofysikk.

6.6.2. Analyse

Dette avsnittet er med for å tydeliggjøre skillet mellom klassisk og moderne fysikk. Det avgrenser også når vi kan bruke kvanteteorier og Newtons mekanikk.

6.7. Oppgaver

Kompetansemålet forteller at elever skal «gjøre rede for» og «kvalitativt gjøre rede for» compton-effekt, fotoelektrisk effekt og partiklers bølgenatur. På bakgrunn av dette sees det på om oppgavene i bøkene blir representert er «kvantitativt», «kvalitativt» eller en blanding av begge, etter egen dømming.

Kvantitative oppgaver blir i her definert som oppgaver der man kun må regne ved å bruke formler uten noe mer forklaring. Et eksempel på en kvantitativ oppgave er:

«En UV-lampe sender ut stråling med bølgelengde 300 nm. Finn energien til UV-fotonene» (Oppgave 9.01 hentet fra, Calin et al., 2012b, s. 282)

Kvalitativt oppgave er oppgaver der det trengs en forklaring for å løse problemet. Et eksempel på en kvalitativ oppgave er:

«Hvilken observasjon bekreftet de Broglies idè om at størrelsen bølgelengde kan knytte til partikler?» (Oppgave 11.15 hentet fra, Jerstad et al., 2014, s. 301)

En blanding vil da være oppgaver som krever både regning og forklaring. Et eksempel på dette er:

«A) Hva er et comptonstøt?
B) Hva kan du si om energien og bevegelsesmengden før og etter et comptonstøt?
C) Et foton med frekvens $8,38 \cdot 10^{17}$ Hz støter mot et elektron som er i ro. Etter støtet oppstår det et foton med frekvensen $7,15 \cdot 10^{17}$ Hz. Finn den kinetiske energien til elektronet i støtet.» i støtet.» (Oppgave 9.11 hentet fra, Calin et al., 2012b, s. 282)

Opgavene i *ERGO 2* er fra side 282-284 og s378-382 blant oppgavene som er relevant i forhold til kompetansemålet.

Opgavene i *RST 2* er fra s300-301 og s435-437 av oppgavene som er relevant for kompetansemålet.

Tabell 1 Oppgavefordelingen hos *ERGO 2* og *RST 2*

	<i>ERGO 2</i>	Prosent <i>ERGO 2</i>	<i>RST 2</i>	Prosent <i>RST 2</i>
Kvantitativt	19	59,375%	21	52,5%
Kvalitativt	7	21,875%	12	30%
Blanding	6	18,75%	7	17,5%
Totalt	32	100%	40	100%

Ut i fra disse tallene i Tabell 1 kan man se at totalt har *RST 2* litt flere oppgaver og en litt større andel med kvalitative oppgaver, mens *ERGO 2* har større fokus på kvantitative. Disse resultatene stemmer også med Halsan (2009) sin konklusjon med at *ERGO 2* har i større grad en kvantitativ fremstilling mens *RST 2* har i stor grad kvalitativ.

7. Drøfting

I en tekstanalyse kommer man ikke unna det faktumet at oppgaven blir delvis subjektivt på grunn av metodens natur. Jeg føler det er viktig å påpeke og poenktene dette igjen. Andre som leser en setning, begrep eller en tekst kan få en helt annen betydning og mening ut av nøyaktig det samme innholdet, dette kan skyldes egne erfaringer og tanker (Marion & Strømme, 2015).

En annen ting som er viktig å poenktene å få frem i lyset er at i en tekstanalyse som dette så er det mye lettere å påpeke og finne feil enn noe som er gjort bra eller korrekt. Det skal også sies at selv om jeg kan finne noe jeg mener er feil eller som burde ha blitt løst på en annen måte betyr ikke dette at jeg faktisk hadde klart å gjøre dette bedre om jeg hadde fått mulighet til dette.

7.1. *Kompetansemålet*

Før jeg går inn på hvor vidt kompetansemålets fremstilling og besvarelse i bøkene vil jeg kommentere selve kompetansemålet:

“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” (Utdanningsdirektoratet, 2006b, s. 6)

Hvis en ser på begrepet «klassisk fysikk» og bruker samme definisjon som blir brukt i Utdanningsdirektoratet (2006b) er det vanskelig å se hva det faktiske «bruddet» med den klassiske fysikken er. Dette burde ha vært konkretisert ved å enten bruke punktene til Olsen (1999); Renstrøm (2011) for å tydeliggjøre hva det faktiske «bruddet» er. Dette vil gjøre det enklere for forfattere og forlag å formidle det som er ønsket av Utdanningsdirektoratet på en bedre måte som ikke er avhengig av tolkning i like stor grad for å vite hva som skal være med i pensum. Slik som det blir beskrevet i læreplanen må det mye godvilje til for å forstå hva som faktisk blir beregnet som «bruddet». Det faktumet at klassisk fysikk og hva som er bruddet ikke er spesifisert og konkretisert kan ha en stor innvirkning på hvordan forlagene har lagt opp bøkene og hva som er i fokus.

Et annet punkt, eller ord som er verdt å nevne er *resultater*. Kompetansemålet sier at man skal forklare hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt representerer et brudd med klassisk fysikk. Resultater er i stor grad tall og informasjon, kan dette være noe som bryter med noe? Tall er bare tall, men det er teorien og forklaringer bak disse tallene som representerer nødvendigvis ikke et «brudd».

7.2. *Fysikkens fremstilling og korrekthet*

ERGO 2 og *RST 2* har to ulike fremstillinger når det kommer til kvantefysikken. *ERGO 2* har konsekvent valgt en fremstilling som er designet for å få leseren til å få lesere til å tenke, stille spørsmål og undre seg om det kan virkelig være sånn i kvanteverden for å skape en motivasjon og undring hos leseren (Bungum et al., 2015; Halsan, 2009). Dette kan man se på i forhold til språket i introduksjonen til kapitlet med at glasset med vann «plutselig» blir borte etterfulgt og at dette påvirker hverandre på en «merkelig måte» etterfulgt av spørsmål om det virkelig kan være på denne måten. Et av spørsmålene med dette er om dette også kan ha motsatt effekt. Ved å skrive at mye er «mystisk og uforklarelig» kan det få en motsatt effekt på leseren der det kan være lett å tenke «Alt er så mystisk og uforklarelig, da klarer hvertfall ikke jeg å lære dette». Dette er jo selvfølgelig avhengig av hvordan teksten blir oppfattet. Når

det er mye vage forklaringer og ordbruk kan det føre til at essensen i teksten ikke kommer frem på en like god måte som ønsket.

RST 2 har gått en nesten motsatt fremstilling der alt blir forklart i forhold til hva personene som kom med teorien/oppdagelsen mente og hvordan de jobbet seg videre fra en enkel ide. De forklarer det meste ved hjelp av teorier og forklaringer og lar lite være igjen til egen undring og tenking. Dette kan være en positiv ting i og med at i kvantefysikken kan man ikke forklare mye av teorien ved kun logisk tenkning alene (Angell et al., 2011). Dette kan også føre til at dette kan føles ut som om det er ren pugging av materialet uten en «egen forståelse» av stoffet, men på en annen side er det også mange som liker å arbeide med stoff på denne måten.

Både *RST* og *ERGO* har en grei kontroll på fysikk-faglige som blir fremstilt i forhold til kompetansemålet. Begge bøkene har noen setninger og modeller som kan bli forklart på en annen måte for å utnytte de maksimalt og for å forhindre misoppfatninger. Det meste av de faglige feilene er ikke ofte knyttet direkte opp mot fotoelektrisk effekt eller comptoneffekt, men heller side og tilleggssetninger som kan bidra til å skape en forvirring hos elever. *RST 1* skrev blant annet at «Bølgemodellen kan derfor ikke beskrive hvordan lys overfører energi til et stoff» som ikke er direkte koblet opp mot fotoelektrisk effekt, men som kan få elever til å tenke om fysikere ikke hadde klart å finne ut om hvorfor noe blir varmt i sola, noe som virker ganske rart.

Forståelse av begrepet «foton» er ekstremt viktig for hele kompetansemålet. I *ERGO 2* blir det skrevet om comptoneffekt og fotoner at vi «må betrakte lys som partikler i stedet for bølger», dette kan også føre til en del spørsmål som for eksempel er alt det vi har lært at lys er bølger enn løgn? *ERGO 2* skriver også at «Fotoner og elektroner blir sendt ut som partikler», ved å sammenlikne og forklare fotoner og elektroner på denne måten kan det være at leseren tenker at fotoner er bare veldig små elektroner, siden begge oppfører seg likt. Dette er en av de største forskjellene når det kommer til å forklare begrepet «fotoner» i *RST 2* og *ERGO 2*.

RST 2 har tatt et bevisst valgt ved å ikke bruke ordene «partikler» eller «bølger» når de beskriver «foton». De har heller valgt å gå litt «rundt grøten» for å la leseren tolke resultater og eksperimenter for å danne sin egen mening om hva et foton er, antagelig for å forhindre de klassiske analogiene i kvantefysikken. *RST 2* beskriver foton som «en udelelig lyskvant» og bruker så kun begrepet uten å gå nøyere inn på definisjonen eller forklaringen. Dette kan være en måte å forhindre å klassiske tanker og analogier ved å sørge for at elevene får en forståelse kun ved resultater og eksperimenter (Ayene et al., 2011). Ved å ikke definere et begrep tydelig kan det også føre til at noen ikke vil forstå begrepet eller hensikten og kanskje ikke henger like godt med, som er en negativ side ved denne fremgangsmåten (Marion & Strømme, 2015).

ERGO 2 beskriver begrepet foton som «partikler, fotoner», «Partikler med bølgeegenskaper», «Fotonene viser partikkelegenskaper», «partikkelmodell», nesten alle varianter mellom en bølge og partikkel som er mulig blir bruk uten å gå mer inn i detalj. De bruker ordene «partikkelegenskaper» og «bølgeegenskaper» uten å faktisk forklare hva som menes med dette. «Partikkelegenskap» kan tolkes som om noe har masse, bevegelsesmengde og en definert definisjon. Når man tenker på ordet «partikkel» er et bilde som kan dukke opp er for eksempel en liten klinkekule som en «partikkel», «partikkelegenskaper» vil da være noe tilnærmet lik denne uten å vite faktisk hva som er likt eller forskjellig. De sier heller ikke hva en «bølgeegenskap» er, de nevner interferens som en bølgeegenskap, men når da dette «fotonet, partikkelen» lager interferens, hva er da en bølgeegenskap?

Det kommer tydelig frem at fotoner og elektronet kan oppføre seg som både partikler og bølger. Det kan virke som om *ERGO 2* ikke vet hvordan de skal beskrive begrepet og prøver med en beskrivelse som er passende kun for den situasjonen og forandrer den til neste situasjon istedenfor å være konsekvent med en definisjon. Ved å ha så mange forklaringen for samme begrep kan det veldig lett føre til usikkerhet på når man kan bruke hvilken definisjon og hva som faktisk er riktig (Marion & Strømme, 2015).

I introduksjonen bruker begge bøkene tilsvarende lik fremgangsmåte, «lys består av en strøm med fotoner». Denne analogien er det lett å tenke seg en kontinuerlig strøm av små partikler som strømmer ut av for eksempel en lampe som blir til lys, om det er sånn leseren tenker eller ikke er opp til den enkelte. Ut i fra beskrivelsen til *ERGO 2* om fotonet kan det tenke seg at det er lett å få oppfatningen av et foton som er påpekt av Olsen (1999), der fotonet enten er partikler som beveger seg i en sinusbølge eller at fotonet består av to separate deler, en partikkeldel og bølgedel. Det skal også nevnes at det er veldig vanskelig å få frem hva som er hensikten uten klassiske bilder, noe som gjør det å beskrive uten noen rom for misoppfatninger ekstremt vanskelig, nærmest umulig.

I ordforklaringen beskriver *ERGO 2* fotoner som «lyspartikkel, kvant av elektromagnetisk stråling» og *RST 2* beskriver det som «Energikvant som lys og annen elektromagnetisk stråling består av, med energi $E = hf$. Et foton har ikke elektrisk ladning. Det er masseløst». Begge disse definisjonene forklarer hva et foton er, men uten å beskrive eller forklare annet at det er en «energikvant» eller «kvant av elektromagnetisk stråling». En av grunnene til at både *ERGO 2* og *RST 2* har en lite beskrivende definisjon av et foton i ordforklaringen er fordi det ikke er en tydelig kvalitativ beskrivende definisjon. Om det er best å forklare beskrivelsen ved hjelp av «bølger» eller «partikler», eller prøve å unngå begge kan egentlig bare den som leser svare på.

RST 2 sin fremstilling av fysikken får frem hovedpoengene til kvantefysikken, men en idealistisk fremstilling av fenomenene i kvantefysikken kan føre til en begrenset forståelse av pensum. Ved å kun få frem hovedpoengene og hva som har forandret seg i løpet av historien kan andre viktige aspekter gå tapt i forklaringen, som for eksempel hvordan fysikken blir brukt i dag som *ERGO 2* fokuserer mer på.

RST 2 vært veldig konsekvente med fremstillingen av fysikken med å prøve å bruke klassiske analogier og bildebruk så lite som mulig, mens de allikevel får frem poengene i teorien. Dette gjør de ved å ikke bruker «partikler» eller «bølger» i forklaringer som omhandler fotonet. Fotonet blir istedenfor behandlet som noe eget som er annerledes, uten en forklaring på hvorfor utenom resultater og eksperimenter. Dette er en god måte å gjøre det for å forhindre klassiske analogier og bilder, men det kan føre til at forståelsen av teorien kan bli begrenset og ikke like godt forstått når det ikke er mulig å sammenlikne teorien med tidligere kunnskap eller bilder.

7.3. Illustrasjoner og modeller

Begge bøkene bruker modeller og illustrasjoner for å understreke det som blir beskrevet i teksten, men bruken av modeller og illustrasjoner er ulikt i bøkene. *ERGO 2* har totalt 10 bilder og illustrasjoner som er direkte koblet opp mot analysesidene, av disse er 5 «tegnet» eller designet for å passe til teksten, som Figur 6.1 og Figur 6.8, de 5 resterende er enten resultater fra forsøk eller bilder fra virkeligheten som er brukt for å forsterke teksten. Dette er en motsetning til *RST 2* som har 9 modeller og illustrasjoner der kun 2 av disse er tegnet, eller designet til teksten, Figur 6.6 og Figur 6.10. Resten består av fotografier av personer eller matematiske fremstillinger som grafer og tabeller. Modellene og illustrasjonene i bøkene har

som regel en klar sammenheng med hva som er skrevet i hovedteksten, men de kan ofte stå som uavhengige bilder der det ikke er nødvendig å lese hovedteksten, som modellene brukt i comptoneffekten blir det nødvendige forklart i modellen og bildeteksten. Dette gjenspeiler vektleggingen i bøkene. *RST 2* forklarer teorien ut i fra personer og historisk viktighet og en ideell skjematisk fremstilling. Her blir mange av fenomenene forklart på en illustrerende måte slik at det ikke er behov for så mange illustrerende figurer. *ERGO 2* har i større grad fokus på bruk og forklaring av forsøk og bruker illustrasjoner og modeller for å understreke dette i forklaringene.

I likhet med forklaringen av begrepet «foton» er dette også noe som er ulikt i begge bøkene. Når *RST 2* introduserer en tegning av et foton skriver de spesifikt at de tegner det på den måten de gjør for å skille fotonet fra andre partikler, Figur 6.11. Dette er en god måte å påpeke at fotoner er annerledes og tydeliggjøre dette med en forklaring på hvorfor det er gjort på den måten. *ERGO 2* introduserte figuren sin av foton, Figur 6.3, uten noen forklaring på hvorfor. Jeg antar at den består av en rett linje og en bølgete linje for å representer retningen til partikkel og bølge. Når denne figuren blir vist kan det være lett for leseren å anta at det faktisk er sånn et foton beveger seg og ser ut siden det allerede er en «vag» forklaring på om fotonet er en partikkel eller bølge i *ERGO 2*.

Det er også spesielt viktig å diskutere svakheter og styrker med modeller og figurer (Ringnes & Hannisdal, 2006) innenfor kvantefysikk, dette er noe som er viktig, men kan være problematisk og virke oppstykket når det står i en helhetlig tekst. Hvis man ikke gjør dette kan det føre til misoppfatninger som Figur 6.6 der *RST 2* visualiserer fotoelektrisk effekt der det virker som at elektronene forsvinner for alltid når man lyser metallplaten. Hverken *ERGO 2* eller *RST 2* nevner dette i teksten, men Figur 6.6 kan det virke åpenlyst at det er mulig. På en annen side er det ikke noe som er direkte relatert til fotoelektrisk effekt, så hvor nødvendig det er å vite at elektronene ikke «forsvinner» er vanskelig å si. Begge bøkene gjør en god jobb ved å bruke figurer og modeller som ikke kan tolkes på så mange måter som representer det som står i teksten på en god måte.

7.4. Samsvar og formidling i lærebøkene og kompetansemålet

I læreplanen kommer det ikke tydelig frem hva som menes med «bruddet med klassisk fysikk» ut i fra beskrivelsen av begrepet. Jeg velger derfor å gå ut i fra begrepene beskrevet og forklart i *Klassisk fysikk*, 2.1.

I følge min tolkning av kompetansemålet skal bøkene svare på og formidle de fire punktene som ble gjennomgått i 4.5.1.

Begge bøkene går igjennom fotoelektrisk effekt, og hvordan Einstein forklarte dette ved å introdusere lyskvanter. Dette blir gjort på en oversiktlig måte i begge bøkene, med en forskjellig vinkling. Det virker som om *ERGO 2* har valgt å fokusere på *resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt* siden de forklarer fenomenet ved hjelp av et forsøk med en åpen krets. Dette er gjennomgående hos *ERGO 2* at fenomener blir forklart ved hjelp av forsøk og resultater. *RST 2* har mer fokus på det kvalitative aspektet og selve forklaringen av fenomenet, før de så forteller kort om Millikan sitt forsøk med fotoelektrisk effekt. Dette er også gjennomgående hos *RST 2*, forsøk blir forklart på en skjematisk og ideell måte der fokuset er på kun hva som skjer i selve fenomenet. De har allerede her fokusert på to forskjellige sider av fenomener, det konkrete bruksområdene og testbarheten til fenomener og det kvalitative som beskriver og forklarer fenomenene.

En annen del av kompetansemålet er «*hvordan resultater fra forsøk med fotoelektrisk effekt representerer et brudd med klassisk fysikk*». Her er det veldig variert hva som nevnes i bøkene. Som jeg nevnte i Hovedforskjellen fra klassisk- og kvantefysikk er det som skiller fotoelektrisk effekt fra klassisk fysikk er kvantiseringen av lys eller energi (Olsen, 1999; Renstrøm, 2011). *RST 2* nevner i innledningen sin at «svinge energien til de ladde partiklene i det svarte legemet er kvantisert», ««Naturen foretar ingen hopp», sa Newton» og «Selv om Planck altså brøt med et grunnleggende prinsipp i fysikken ble strålingslov likevel akseptert». I introduksjonen står det mye om hvordan Planck bryter med kontinuitet med å kvantisere svinge energien, men det står ingen direkte referanse eller kobling til hvordan fotonene brøt med dette prinsippet. En våken leser ville kanskje tatt sammenhengen, men for å spesifisere å svare på kompetansemålet på en bedre måte kan det være et alternativ å ha en direkte kobling mot Einstein og fotonteorien også.

ERGO 2 nevner ikke kontinuitet som et prinsipp i den klassiske fysikken, den eneste referansen de gjør til den klassiske fysikken er «Hypotesen til Planck var umulig å forstå ut fra klassisk fysikk». Det står bare at det er «umulig» uten å beskrive hvorfor, dette kan jo skyldes at læreplanen selv mangler en direkte forklaring på dette. Klassisk fysikk blir beskrevet fra ordforklaringen i *ERGO 2* som «Fysikken fram til slutten av 1800-tallet», ut i fra denne definisjonen er det ikke noe brudd heller. *ERGO 2* skriver også i avslutningen om comptoneffekt at «Både fotoelektrisk effekt og comptoneffekten bryter med klassisk fysikk, fordi vi må betrakte lys som partikler i stedet for bølger». Dette er helt riktig å skrive i og med at i fotoelektrisk effekt blir ikke fotoner behandlet som partikler, men som en lyskvant (A Einstein, 1905). I fenomenet fotoelektrisk effekt er det faktumet at energien blir kvantisert som blir beregnet som bruddet med den etablerte klassisk fysikken (Olsen, 1999; Renstrøm, 2011).

Det faktumet at *ERGO 2* skriver at «vi må betrakte lys som partikler» er noe som kan gi feil oppfatning om fotonet, men det er i større grad riktig, selv om det er feil, når man snakker om comptoneffekten enn fotoelektrisk effekt, men det gir fortsatt et klassiske bilde av fotoner. Comptoneffekten blir forklart på en god måte der det blir forklart som et «klassisk elastisk støt» som elevene skal være kjent med i tidligere pensum, dette er også den samme fremstillingen som *RST 2* har. *RST 2* har en annen forklaringen på hvorfor dette bryter med den klassisk fysikken enn *ERGO 2*. *RST 2* skriver at «Disse teoriene, foton teorien og bølge teorien forutsier to forskjellige resultater av forsøket. *Eksperimentet ville skille disse teoriene*», resultatene stemte ikke med den etablerte fysikken. Ingen av bøkene forklarer hvordan den klassiske fysikken ville forklart det eller hva som faktisk var forskjellen. *RST 2* forklarer at det ble forventet to forskjellige utfall som skulle skille disse teoriene og at fotonteorien kom seirende ut, men ikke hvorfor, dette gjør heller ikke *ERGO 2*. Det er vanskelig å vite hva bruddet er når man ikke vet hva som skilte disse teoriene og hva man forventet. For å svare på dette kunne det vært nevnt at elektronet fikk en bevegelsesmengde i en definert retning som sier imot den klassiske fysikken der elektronet vil oscillere (Gasiorowicz, 2013). Dette kan leseren se ut i fra figurene og teksten, men det er vanskelig å vite at det er det som er det som skiller de to teoriene konkret. Dette er avhengig av i hvor stor grad man må forklare «bruddet med klassisk fysikk» og hvor mye det blir vektlagt i beskrivelsen til kompetansemålet.

Forklaringen til «*partiklers bølgenatur representerer et brudd med klassisk fysikk*» er en ganske lik i fremgangsmåten i kapitlet om kvantefysikk i begge bøkene. *ERGO 2* og *RST 2* presenterer de Broglie sin formel med begrunnelsen «Fotoelektrisk effekt og comptoneffekten viser at lys har partikkelegenskaper. Man kan derfor lure på om partikler også har bølgeegenskaper?» For interferens hos elektroner og lys får samme resultat. Ut ifra dette er det en logisk tanke å få et

bilde som Olsen (1999) nevner at fotoner og partikler beveger seg i sinusformede baner når dette ikke blir forklart grundigere. Et skille mellom bøkene er at *RST 2* har plassert partiklers bølgeegenskap i kapittel 1 i tillegg til kapittel 11. I kapittel 1 forklarer *RST 2* hva de Broglie tenkte om at partikler har bølgelengde og så interferens hos elektroner og lys som bekrefter dette i likhet med *ERGO 2*. *ERGO 2* beskriver ikke hvordan dette skiller seg fra den klassiske fysikken eller hvordan partikler et mønster uten interferens ville sett ut. *RST 2* forklarer dette i Figur 6.19. Her blir det forklart både hvordan det ville sett ut om partikler ikke hadde hatt bølgeegenskaper og når de har det. Her er det tydeliggjort hva som faktisk er «bruddet» og hvordan partikler ville ha oppført seg uten bølgeegenskapene i motsetning til *ERGO 2* som ikke nevner dette. At *RST 2* har tatt med partiklers bølgeegenskap i et kapittel til over flere sider er også noen av de største strukturforskjellene mellom disse bøkene. Det viser også forskjell i fokus blant bøkene der *RST 2* har flere sider og vinklinger på partiklers bølgenatur, det blir også lagt vekt på forskjellene fra klassisk fysikk og kvantefysikk.

I kompetansemålet blir det lagt stor vekt på det kvalitative aspektet av faget. Dette gjenspeiles gjennom måtene begge bøkene forklarer og beskriver fenomenene. *RST 2* har i større grad enn *ERGO 2* fokus på det kvalitative. Dette kan sees på måten *RST 2* forklarer partiklens bølgenatur der det blir brukt 4 sider uten likninger på å forklare dette på en kvalitativ måte i motsetning til *ERGO 2* som tar utgangspunkt i de Broglie sin likning og forklarer ved hjelp av likningen. Dette er det generelle inntrykket jeg også har fått i fra begge bøkene. *RST 2* har en kvalitativ fremgangsmåte der mye fenomenene blir forklart ved hjelp av ord, mens *ERGO 2* har en mer kvantitativ fremgangsmåte der de bruker likninger i stor grad i forklaringer. Dette stemmer også med oppgavefordelingen i Tabell 1 og med Halsan (2009) sitt inntrykk av bøkene.

8. Konklusjon

I oppgaven har det blitt undersøkt hvordan lærebøkene *RomStoffTid Fysikk 2* og *ERGO Fysikk 2* fremstiller og svarer på kompetansemålet,

«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».

Det jeg har kommet frem til er at fremgangsmåten og fremstillingen til begge bøkene er veldig ulike. *ERGO Fysikk 2* har fremgangsmåte som er en blanding av vage og mysteriske formuleringer for å skape tanker og undring hos leseren og konkrete eksempler på hvordan fenomenene blir brukt i forsøk, som er to motsetninger av hverandre. Om dette er en god kombinasjon eller om det kun skaper forvirring hos leseren er ikke noe jeg har undersøkt i denne oppgaven. *RST 2* har en mer skjematisk og ideell fremstilling av forsøkene der selve fenomenene og teorien er i fokus. Disse blir forklart på en måte for å få frem hva som skjer i teorien uten mye tilleggsinformasjon. Om denne idealistiske fremstillingen av fenomenene kommer frem uten noen problemer er avhengig av hvem som leser det og hvordan det blir oppfattet.

Når det kommer til formidlingen av kompetansemålet er det tydelig at *RST 2* har lagt stor vekt på forskjeller mellom den klassiske fysikken og kvantefysikken, mens *ERGO 2* har vektlagt «resultater fra forsøk». Hvis man vektlegger «bruddet med klassisk fysikk» i kompetansemålet, sånn som jeg har gjort, har *RST 2* en tydeligere vektlegging og skille mellom disse delene av fysikken enn *ERGO 2*. *ERGO 2* har en del mangler når det kommer til forklaringen og skillene blant disse to delene i fysikken. Dette blir kun nevnt med noen innskuddssetninger der det er tydelig at det er på grunn av kompetansemålet. *RST 2* har forklart skillet bedre i en mer helhetlig og tydelig form, selv om det fortsatt er noen mangler her også.

Når to bøker som har samme utgangspunkt i kompetansemålene velger to så ulike fremstillinger og innhold i bøkene kan det tyde på at kompetansemålet burde ha blitt forklart i større grad eller mer konkretisert. Dette kan føre til at hovedpoengene kommer bedre frem i lærebøkene for å få en tilnærmet lik felles sluttkompetanse.

Det hadde vært interessant å undersøke videre om fremstillingen og besvarelsen av kompetansemålet er gjennomgående i begge bøkene, eventuelt analysert om disse funnene kun gjelder for dette kompetansemålet. Det burde blitt undersøkt nærmere om flere kompetansemål, i fysikk og andre fag, kan tolkes på flere måter. Ulike fremstillinger og tolkninger kan føre til en ulik sluttkompetanse. Siden *ERGO* og *RST* har så tydelig ulike fremstillinger av samme pensum hadde det vært spennende og interessant å se hvilken bok som klarte å formidle stoffet slik at elevene hadde best mulig kvalitativ forståelse.

Referanseliste

- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E., Kolstø, S., Persson, J., & Renstrøm, R. (2011). *Fysikkdidaktikk*. Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Angell, C., Henriksen, E., & Kind, P. (2007). Fys21 - Et prosjekt om modellering og vitenskapelig arbeids- og tenkemåte i fysikkundervisningen. *NorDiNa*, 3(1), 86-92.
- Angvik, M. (1982). Skolebokanalyse som tema for lærerutdanning og forskning. *Pedagogisk tidsskrift*, 66(10), 367-379.
- Arons, A. B., & Peppard, M. B. (1965). Einstein's Proposal of the Photon Concept—a Translation of the Annalen der Physik Paper of 1905. *American Journal of Physics*, 33(5), 367-374. doi:10.1119/1.1971542
- Ayene, M., Kriek, J., & Damtie, B. (2011). Wave-particle duality and uncertainty principle: Phenomenographic categories of description of tertiary physics students' depictions. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7(2), 020113.
- Bachmann, K. (2005). *Læreplanens differens - Formidling av læreplanen til skolepraksis* (Doktorgrad), Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet, Trondheim. Hentet fra https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/265015/125854_FULLTEXT01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bialynicki-Birula, I. (2006). Photon as a quantum particle. *ACTA PHYSICA POLONICA B*, 37(3), 935-946.
- Bjørndal, B. (1967). *Om lærebøker : vurderingskriterier : forskningsoppgaver*. Oslo: Universitetsforl.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn*. Washington, DC: National Academy Press.
- Bueie, A. (2002). *Lærebokvalg - en formalisert og systematisk prosess? - En undersøkelse av valg av lærebøker for norskfaget i den videregående skole*. Hentet fra Tønsberg: <http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/2002-11/rapport11.pdf>
- Bungum, B., Henriksen, E., Angell, C., Tellefsen, C., & Bøe, M. (2015). Requant - Improving teaching and learning in quantum physics through educational design. *NorDiNa*, 11(2), 153-168.
- Bungum, B., & Tellefsen, C. W. (2016). Bruk av språk og diskusjoner for å fremme elevers forståelse i kvantefysikk gjennom digitale ressurser. *2016*, 2(1), 2-16. doi:10.17585/ntpk.v2.127
- Calin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. (2012a). *ERGO - Fysikk 1*. Trondheim: Aschehoug.
- Calin, P., Pålsgård, J., Stadsnes, R., & Tellefsen, C. (2012b). *ERGO - Fysikk 2* (2 ed.). Trondheim: Aschehoug.
- Compton, A. (1924). The scattering of X-rays. *Journal of the Franklin Institute*, 198(1), 57-72. doi:10.1016/S0016-0032(24)90007-X

- Dirac, P. (1947). *The principles of quantum mechanics*. Oxford, England Oxford University press.
- Driscoll, M. P., Moallem, M., Dick, W., & Kirby, E. (1994). How Does the Textbook Contribute to Learning in a Middle School Science Class? *Contemporary Educational Psychology*, 19(1), 79-100. doi:10.1006/ceps.1994.1008
- Dunningam, J., & Vedral, V. (2011). *Introductory Quantum Physics and Relativity*. London: Imperial College Press.
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 322(6), 132-148. doi:10.1002/andp.19053220607
- Einstein, A. (1917). The Quantum Theory of Radiation. *Physikalische Zeitschrift*, 18(121), 1-15.
- Fischler, H., & Lichtfeldt, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *International Journal of Science Education*, 14(2), 181-190. doi:10.1080/0950069920140206
- Gasiorowicz, S. (2013). *Quantum Physics*. Minnesota, United States: Hamilton printing company.
- Halsan, H. (2009). *Lærebøker i fysikk etter kunnskapsløftet - en analyse av lærebøkernes tekstlige behandling av nye temaer i fysikk i videregående skole*. (Master), Universitet i Oslo, Oslo. Hentet fra https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/11267/Masteroppgave_hoveddokument.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hemmer, P. (2005). *Kvantemekanikk*. Trondheim: Tapir akademisk forlag.
- Imsen, G. (1999). *Elevens verden - Innføring i pedagogisk psykologi*.
- Isenberg, C., & Chomet, S. (1987). *Physics experiments and projects for students* (Vol. 1). London: Newman-Hemisphere.
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A., Renstrøm, R., Holm, O., & Nymo, M. (2013). *RomStoffTid1 - Fysikk 1*. Oslo: Cappelen Damm.
- Jerstad, P., Sletbak, B., Grimenes, A., Renstrøm, R., Holm, O., & Nymo, M. (2014). *RomStoffTid2 - Fysikk 2* (2 ed.). Oslo: Cappelen Damm.
- Johnson, B., Lorentzen, S., Staffan, S., & Skyum-Nielsen, P. (1997). *Kunnskapens tekster*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Karlsen, G. (2017, 8 Mars). Dualisme. *Det Store Norske Leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/dualisme>
- Krumsvik, R., & Säljö, R. (2013). *Praktisk Pedagogisk Utdanning*. Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Lem, G. (2015, 12 Mai). Teori. *Det Store Norske Leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/.versionview/602217>

- Lewis, G. (1926). Letter to nature. *Nature*.
- Malt, U. (2015, 4 September). Kvalitativt. . *Det Store Norske Leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/kvalitativ>
- Marion, P., & Strømme, A. (2015). *Biologididaktikk*. Oslo: Cappelen Damm.
- Mikkelsen, R., & Sætre, P. (2015). *Geografididaktikk for klasserommet*. Oslo: Cappelen Damm.
- Millikan, R. (1916). A DIRECT PHOTOELECTRIC DETERMINATION OF PLANCKS "h". *American Physical Society*, 7(3), 355-388.
- Millikan, R. (1924). The electron and the light-quant from the experimental point of view. *Nobel Lecture*.
- Myhrehaugen, H. (2015). *Fysikkelevers forståelse av erkjennelsesmessige sider og dens prinsipielle brudd med klassisk fysikk*. (Masteroppgave), Norges Teknisk-naturvitenskapelige Universitet, Trondheim. Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2353046>
- Nordahl, T. (2014). *Eleven som aktør*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Nygaard, O., Hundeland, P., & Pettersen, P. (1999). *Aha: Matematikk og matematikdidaktikk* (2 ed.). Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Olsen, R. (1999). *Kvantefysikk i skolen*. (Hovedsfagoppgave), Universitetet i Oslo, Oslo.
- Ot.prp. nr. 44. (1998). *Om lov om endringer i lov 17. juli 1998 nr. 61 om grunnskolen og den vidaregående opplæringa (opplæringslova) m.m.* Oslo Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/6908c4adbf6c46ce962d3042c9fc12c2/nno/pdfa/otp199920000044000dddpdfa.pdf>.
- Ottervig, C. (2016, 9 Mai). Oppgaveskriving. Hentet fra <https://www.ldh.no/bibliotek/oppgave-skriving>
- Pingel, F. (2010). *UNESCO Guidebook on Textbook Research and Textbook Revision* (2 ed.): United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Postholm, M., & Jacobsen, D. (2014). *Læreren med forskerblick*. Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Renstrøm, R. (2011). *KVANTEFYSIKKENS UTVIKLING i fysikklærebøker, vitenskapshistorien og undervisning*. Oslo: Universitetet i Oslo.
- Ringnes, V., & Hannisdal, M. (2006). *Kjemididaktikk* (2 ed.). Kristiansand: Høyskoleforlaget.
- Sadoski, M., & Paivio, A. (2013). *Imagery and text*. New York: Routledge.
- Selander, S., & Skjelbred, D. (2004). *Pedagogiske tekster for kommunikasjon og læring*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Sjøberg, S. (2009). *Naturfag som allmenndannelse*. Oslo: Gyldendal Akademisk.

- Skemp, R. (1976). Relational Understanding and Instrumental Understanding. *Mathematics Teaching*, 1-16.
- Skjelbred, D. (2003). *Valg, vurdering og kvalitetsutvikling av lærebøker og andre læremidler*. Hentet fra Tønsberg: <http://www-bib.hive.no/tekster/hveskrift/rapport/2003-12/rapport12.pdf>
- Skrunes, N. (2010). *Lærebokforskning*. Oslo: Abstrakt Forlag AS.
- Sletnes, K. B. (2015, 12 Mai). Forståelse. *Det Store Norske Leksikon*. Hentet fra <https://snl.no/forst%C3%A5else>
- Tonumura, A., Endo, J., Matsuda, T., & Kawasaki, T. (1989). Demonstration of a single-electron buildup of interference pattern. *American Journal of Physics*, 57(117), 117-120.
- Utdanningsdirektoratet. (2006a). *Den Generelle Lærplanen*. Hentet fra https://www.udir.no/upload/larerplaner/generell_del/generell_del_lareplanen_bm.pdf.
- Utdanningsdirektoratet. (2006b). *Læreplan i fysikk - programfag i utdanningsprogram for studiespesialisering*. Hentet fra <http://data.udir.no/kl06/FYS1-01.pdf>.
- Young, H. D., Freedman, R. A., Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Ford, A. L. (2012). *Sears and Zemansky's University physics : with modern physics* (13th ed., [extended ed.] with modern physics. ed.). Boston: Addison-Wesley.

Oversikt over figurer og tabeller

Figuroversikt

<i>Figur 2.1 Resultatene fra Millikan sin originalartikkel om resultatene fra fotoelektrisk effekt (Millikan, 1916) ...</i>	9
<i>Figur 2.2 Visuell fremstilling av Compton spredning (Gasiorowicz, 2013, s. 8).....</i>	10
<i>Figur 2.3 Elektroner som er sendt igjennom en dobbelspalte, med antall elektroner $b=100$, $c=3000$, $d=20\ 000$ og $e=70\ 000$ (Tonumura et al., 1989).....</i>	15
<i>Figur 5.1 Bilde av forsiden til Aschehougs «Ergo Fysikk 2» (Petter Calin, Jan Pålsgård, Rune Stadsnes, & C Tellefesen, 2012b).....</i>	35
<i>Figur 5.2 Bilde av forsiden til Cappelen Damm «RomStoffTid2» (Jerstad et al., 2014)</i>	37
<i>Figur 6.1 ERGO 2 sin fremstilling av en fotocelle koblet til en likespenningskilde (Calin et al., 2012b, s. 250) .</i>	44
<i>Figur 6.2 Einsteins forklaring av fotoelektrisk effekt (Calin et al., 2012b, s. 251)</i>	46
<i>Figur 6.3 ERGO 2 sin fremstilling av foton (Calin et al., 2012b, s. 251)</i>	46
<i>Figur 6.4 Fotoelektrisk effekt: Lys river løs elektroner fra en metallplate (Jerstad et al., 2013, s. 42).....</i>	47
<i>Figur 6.5 RomStoffTid 2 eksempel på bruk av fotoelektrisk effekt (Jerstad et al., 2014, s. 285)</i>	49
<i>Figur 6.6 RomStoffTid 2 sin visualisering av fotoelektrisk effekt (Jerstad et al., 2014, s. 282).....</i>	50
<i>Figur 6.7 Rammeboks om Fotonets bevegelsesmengde (Calin et al., 2012b, s. 252)</i>	52
<i>Figur 6.8 ERGO 2 sin visualisering av comptoneffekten – Elastisk støt mellom et elektron i ro og et foton. (Calin et al., 2012b, s. 254).....</i>	54
<i>Figur 6.9 Rammeboks om Comptoneffekt (Calin et al., 2012b, s. 254).....</i>	54
<i>Figur 6.10 Vekselvirkningen mellom et foton og elektron fremstilt I RST 2 (Jerstad et al., 2014, s. 287).....</i>	56
<i>Figur 6.11 RST 2 sin fremstilling av et foton (Jerstad et al., 2014, s. 287)</i>	56
<i>Figur 6.12 ERGO 2 sin faktaboks “Bølgelengden til Partikler” (Calin et al., 2012b, s. 259)</i>	58
<i>Figur 6.13 Rammeboks om “Kvanteparadokse” (Calin et al., 2012b, s. 260)</i>	58
<i>Figur 6.14 Figur 1 ERGO 2 som forklarer bølgefunksjonen (Calin et al., 2012b, s. 263).....</i>	59
<i>Figur 6.15 En del av Eksempel 7 «Å se med partikler» (Calin et al., 2012b, s. 261)</i>	59
<i>Figur 6.16 «Thomson viste at elektronene har bølgeegenskaper» (Calin et al., 2012b, s. 260).....</i>	60
<i>Figur 6.17 Youngs forsøk med fotoner eller elektroner (Calin et al., 2012b, s. 260)</i>	60
<i>Figur 6.18 Dobbelspalteforsøket, a) er mønster av synlig lys b) Mønster laget av elektroner (Calin et al., 2012b, s. 260).....</i>	60
<i>Figur 6.19 Forskjell på klassiske partikler og lys mot en dobbelspalte (Jerstad et al., 2014, s. 19)</i>	61
<i>Figur 6.20 Dobbelspalteforsøk med elektroner gjort av Akira Tonomura (Jerstad et al., 2014, s. 20).....</i>	61
<i>Figur 6.21 Dobbelspalte med elektroner. Hva får vi se på skjermen da? (Jerstad et al., 2014, s. 18).....</i>	62

Tabelloversikt

<i>Tabell 1 Oppgavefordelingen hos ERGO 2 og RST 2</i>	64
	77

