

Svein Ove Haugum Fagerheim

Naturvitenskapens egenart som en del av fysikkundervisningen

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8-13

Veileder: Berit Bungum

Juni 2023

Svein Ove Haugum Fagerheim

Naturvitenskapens egenart som en del av fysikkundervisningen

Masteroppgave i Lektorutdanning i realfag for trinn 8-13
Veileder: Berit Bungum
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for naturvitenskap
Institutt for fysikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Vitenskap har i århundrer vært med å prege samfunnet som vi lever i. Hva det er som kjennetegner vitenskap blir ofte kalt for naturvitenskapens egenart. I et samfunn i stadig raskere utvikling, hvor tilgangen på informasjon blir lettere og lettere, vil det å ha kunnskap om hva som kjennetegner vitenskap kanskje være viktigere enn noen gang. Denne kunnskapen kan man se komme til uttrykk gjennom det tverrfaglige temaet «demokrati og medborgerskap», som er en del av den nye norske læreplanen, LK20. For programfaget fysikk innebærer dette at elevene skal greie å skille mellom kunnskap basert på vitenskap og kvasivitenskap. Samtidig skal elevene klare å bidra til at naturvitenskaplige argumenter blir forstått i samfunnsdebatten. På denne måten kan vi se at naturvitenskapens egenart er en del av den norske læreplanen. Det viser seg allikevel at undervisning av naturvitenskapens egenart ofte får lite fokus i realfagsundervisningen. Siden det ikke er opplagt hvordan dette skal kombineres til å bli en del av realfagsundervisningen, har denne studien som mål å bidra til å gi ett mulig svar på hvordan man kan undervise om naturvitenskapens egenart som en del av fysikkundervisningen.

Studien baserer seg på intervensjonsbasert forskning, hvor målet er å undersøke hvordan man kan inkludere naturvitenskapens egenart som en del av fysikkundervisningen. For å kunne svare dette er det utformet, utprøvd og analysert et undervisningsopplegg. Undervisningsopplegget er laget som en del av undervisningen av kvantefysikk for en fysikk 2 klasse. Undervisningsopplegget baserte seg på en historisk tilnærming av kontroversen rundt fotoelektrisk effekt på starten av 1900-tallet, hvor elevene skulle skrive en kronikk for å argumentere for eller imot Einstein sin tolkning av fotoelektrisk effekt. Datamaterialet for undersøkelsen er hentet i tilknytning til undervisningsopplegget, både i form av innsamling av elevenes kronikker og intervjuer av elever i etterkant av undervisningen.

Resultater fra denne studien viser at skriving av en kronikk i fysikkundervisningen kan være en hensiktsmessig måte å jobbe med naturvitenskapens egenart på. Dette da elevene viser tegn til å ha gjort egne refleksjoner rundt naturvitenskapens egenart, og greier å trekke paralleller mellom den gitte historisk casen og forskning i dagens samfunn. Elevene uttrykte at de opplevde oppgaven om å skrive en kronikk interessant. Det kan også virke som at opplegget som helhet engasjerte elevene til å selv utforske fysikk på en annen måte, hvor de ga uttrykk for å oppleve å se sammenhenger i fysikk. Dette kan derfor indikere at undervisningsopplegget bidro til dybdelæring innenfor fysikk.

Abstract

Science has in centuries been a part of the society we live in. What describes science is often called for the nature of science. In a society in ever faster development, where access to information is becoming easier and easier, having knowledge of what science is will perhaps be more important than ever. This is to be able to understand in what way science is a part of the society. This can be seen expressed through the interdisciplinary theme “democracy and citizenship”, which is a part of the new curriculum for the Norwegian primary and secondary education and training, LK20. For physics this includes that the students must learn to distinguish between knowledge based on science and quasi-science. Students should also be able to contribute in such way that scientific arguments are understood in the social debate. The nature of science is therefore a part of the Norwegian curriculum. Although many see the importance of teaching the nature of science, it gets little attention in science education. This is due to it not obvious how one should include the nature of science in education. This thesis will give an answer to how one may include the nature of science in high school physics education.

The study can be described as intervention-based research where the objective of the study was to investigate how the nature of science can be included as a part of science curriculum. To investigate this a teaching plan were designed, tested and analyzed. The teaching plan was done as a part of the quantum physics education in the high school physics curriculum. The teaching plan was based on the historical controversy regarding the photoelectric effect at the beginning of the 20th century. The students were given the task to write a chronicle there they argued whether Einstein or Lenard had the correct interpretation of the photoelectric effect. The data for this study were collected from the student’s chronicles and from interview of the students done after completing the teaching plan.

The result for this study shows that writing of a column can be a suitable way to include the nature of science in the high school physics education. The students show signs that they have done their own reflections regarding the nature of science, and where able to draw lines between the historical case and science in today’s society. The task of writing a column was also something that the students found interesting. It may seem like the teaching plan managed to engage the students to learn physics in a unique way. Where the students also expressed that they were able to see connections between various parts of physics. This may therefore indicate that the teaching plan were providing the students whit an experience of in-depth learning in physics.

Forord

Da var mållinjen passert. Etter fem år med bratte motbakker, hårnålssvinger, ekstreme utforkjøringer kom også jeg til slutt fram til Paris, og kunne sykle inn på Champs-Élysées og rundt triumfbuen til overdøvende jubel blant trofaste følgesvenner. Studieløpet til oss lektorer er ikke en spurt, ikke ett maraton, og ei heller et treukers sykkelritt i Frankrike på sommeren. Det er et femårig langt studium preget av både opp og nedturer, hvor jeg brutalt har fått erfare at fysikk og matematikk er mye mer enn bare R2 og Fysikk 2.

Først vil jeg rette en takk til min veileder Berit Bungum som vår åpen for å veilede en oppgave basert på en liten ide jeg hadde. Takk for gode og konkrete innspill som har vært med på å gjøre at ideen ble til en fullverdig masteroppgave. Setter ufattelig stor pris på samarbeidet og de samtalene vi har hatt. Videre så ønsker jeg også å takke læreren som lot meg gjennomføre opplegget på klassen, og ikke minst for å være behjelpelig med å tilpasse undervisningen som ble gjennomført i forkant av undervisningopplegget slik at opplegget ble en del av en større helhet. Takk også til de 15 fysikk 2 elevene som ville være med på prosjektet.

Jeg vil også rette en takk til de vennskapene jeg har fått disse fem årene på studiene. Studiet hadde ikke blitt det samme uten dere. Det har blitt vennskap og turkamerater for livet.

Til slutt må det også rettes en takk til mor og far hjemme. Takk for alt den støtten som dere har gitt meg gjennom studietiden, og nå i innspurten. Ord kan ikke beskrive hvor takknemlig jeg er for alt dere har gjort for meg.

Trondheim juni 2023

Svein Ove Haugum Fagerheim

Innhold

1	Innledning.....	1
1.1	Problemstilling og forskerspørsmål.....	1
1.2	Oppgavens oppbygging	2
2	Naturvitenskapens egenart og didaktiske perspektiver	3
2.1	LK20 og dybdelæring.....	3
2.2	Naturvitenskapens egenart.....	3
2.3	Undervisning av kvantefysikk	5
2.4	Det analytiske rammeverket for oppgaven	6
2.5	Muntlig fortelling som et didaktisk verktøy	9
2.6	Skriving i fysikk og skriving for å lære NOS	10
3	Den historiske utviklingen av kvantefysikk	13
3.1	Hva er et lyskvant?	13
3.2	Lenard og den fotoelektriske effekten	14
3.3	Einstein og lyskvantet.....	14
3.4	Millikan bekrefter Einstein sin ligning om fotoelektrisk effekt	16
3.5	Compton-spredning sin betydning for lyskvanter	16
3.6	Avsluttende kommentarer.....	16
4	Undervisningsopplegget	19
4.1	Utforming av undervisningsopplegget	19
4.2	Planlagt gjennomføring av undervisningsopplegget	21
5	Forskningsmetode.....	23
5.1	Forskningsdesign	23
5.2	Gjennomføring av undervisningsopplegget og utvalget.....	25
5.3	Datamaterialet	26
5.4	Forskningskvalitet	29
6	Resultater og analyse	31
6.1	Analyse og resultater fra elevenes kronikker	31
6.2	Resultater og analyse fra gruppeintervju	39
6.3	Elevenes uttrykte opplevelse av opplegget.....	46
7	Diskusjon.....	55
7.1	Hvilke aspekter av NOS kommer frem i elevenes arbeid?.....	55
7.2	Hvordan fungerer skriving av en kronikk som en del av fysikkundervisningen?	59

7.3	Implikasjoner av studien.....	64
7.4	Forslag til forbedringer av opplegget	67
7.5	Metoderefleksjon	68
8	Konklusjon.....	71
	Referanser.....	73
	Vedlegg	77
	Vedlegg A – Presentasjon til elevene	77
	Vedlegg B – Samtykkeskjema	86
	Vedlegg C – Intervjuguide.....	88
	Vedlegg D – Elevbesvarelse 1	89
	Vedlegg E – Elevbesvarelse 2.....	94

1 Innledning

Vi lever i et samfunn som er preget av rask teknologisk utvikling, hvor forskning og utvikling av ny kunnskap skjer i rekordfart. Samtidig som denne utviklingen skjer er det også en økt tilgang på informasjon, og det er ikke alltid like lett å skille vitenskap fra kvasivitenskap. Det å ha kunnskap om hva det er som karakteriserer god vitenskap er derfor kanskje viktigere enn noen gang. Betegnelsen av hva som kjennetegner vitenskap blir populært kalt for naturvitenskapens egenart, fra nå av NOS. Undervisning av NOS vil være en sentral del i god realfagsundervisning, vil mange hevde (Angell et al., 2019; McComas et al., 1998; McComas & Clough, 2020; Stadermann, 2021). Vi kan også finne elementer av NOS i det tverrfaglige temaet «demokrati og medborgerskap», og hva dette temaet innebærer i læreplanen for fysikk på videregående (Utdanningsdirektoratet, 2021). Her står det: «I fysikk handler det tverrfaglige temaet demokrati og medborgerskap om evnen til å vurdere resonnementer og påstander kritisk, og å gi dem kompetansen som kreves for å skille mellom kunnskap basert på vitenskapelige metoder og alternative forklaringsmodeller. [...]» (Utdanningsdirektoratet, 2021). Elevene skal derfor kunne skille mellom vitenskap og kvasivitenskap. For å kunne dette er det nødvendig å ha god kunnskap om hva NOS er.

Allikevel viser forskning internasjonalt som McComas et al. (1998) viser til, at det er gjort lite for å inkludere NOS i undervisningen på en god måte. Dette problemet påpekte han hadde vært gjennomgående gjennom store deler av 1900-tallet. Det kan derfor virke som det er en litt uheldig trend at NOS undervisning ikke blir prioritert som en del av realfagsundervisningen. Spesielt når man også i 2008 får en rapport som også er kritisk til hvordan undervisningen i realfag gjør at elever får en naiv forståelse av NOS (Osborne & Dillon, 2008).

Det er derfor ønskelig å komme med et svar på hvordan man kan undervise NOS i skolen. For å gjøre dette er det utviklet et undervisningsopplegg som tar for seg den historiske casen om debatten om fotoelektrisk effekt på starten av 1900-tallet. Elevene skal i undervisningsopplegget skrive en kronikk, satt i den historiske konteksten til den historiske casen, hvor de argumenterer for et av synene på fotoelektrisk effekt fra den tiden. For å gi elevene muligheten til å argumentere for eller mot Einstein sin forklaring var elevenes kronikk tiltenkt å være utgitt i 1922.

1.1 Problemstilling og forskerspørsmål

Målet med denne masteroppgaven er å utvikle et undervisningsopplegg som skal legge til rette for at elevene kan lære om NOS, samtidig som de jobber med fysikk. Problemstillingen for masteroppgaven vil derfor være følgende:

Hvordan kan man undervise naturvitenskapens egenart gjennom bruk av en historisk case fra vitenskapshistorien?

På denne måten kan masteroppgaven fungere som ett av mange mulige svar på hvordan NOS kan undervises i fysikk. For å kunne svare på hvordan undervisningsopplegget fungerte er det utviklet to forskerspørsmål (FS):

FS1: Hvilke aspekter av naturvitenskapens egenart kommer frem i elevenes arbeid?

FS2: Hvordan fungerer skriving av en kronikk som en del av fysikkundervisningen?

For å kunne svare på FS1 ble elevenes kronikker samlet inn og analysert for hvilke elementer av NOS de trekker inn i sin kronikk. Det ble holdt intervjuer i etterkant, hvor elevene fikk muligheten til å snakke om sine kronikker. På denne måten kunne elevene utdype sine valg for hva de tok med i sin kronikk. For å svare på FS2 ble det primært brukt intervju. Intervjuet handlet både om faglig forståelse av NOS og hvordan eleven opplevde undervisningsopplegget. Samtidig ville elevenes kronikker være med på å gi et helhetsinntrykk for hvordan denne arbeidsformen fungerte og hvordan de brukte fysikk i sine kronikker. Ordet «fungerer» i FS2 vil derfor omfatte hva elevene gir uttrykk for å sitte igjen med faglig, samtidig som det omhandler hvilken opplevelse elevene har av undervisningsopplegget.

Det å se hva elevene tar med av NOS elementer i sitt arbeid er interessant siden opplegget er utformet for å få frem ulike elementer av NOS. Samtidig er det verdt å nevne at elevene ikke ble bedt eksplisitt om å ta med elementer fra NOS i sitt arbeid. Det elevene nevner av NOS i kronikken vil derfor være refleksjoner som elevene selv føler hensiktsmessig å nevne.

Det er også interessant å se på hvordan skriving av en kronikk fungerer i fysikkundervisningen, siden dette er en veldig utradisjonell måte å arbeide med fysikk på. Selv om sjangeren er utradisjonell for fysikkfaget, er ikke elementet om å argumentere utradisjonelt i fysikk. En må argumentere for hvorfor en påstand er sann og andre usann. Samtidig er lab-rapporter som profesjonelle forskere skrive en argumenterende tekst, men elementet om argumentasjon forsvinner ofte fra lab-rapporter elevene til vanlig skriver i fysikkundervisningen.

1.2 Oppgavens oppbygging

Oppgaven består av 8 kapitler. I kapittel 2 vil det bli presentert ulike didaktiske perspektiver som er relevante for oppgaven og utformingen av undervisningsopplegget. Disse vil fokusere på utfordringer med å undervise kvantefysikk, bruken av vitenskapshistorie i fysikkundervisning, bruken av fortelling og skriving som verktøy for læring. Samtidig vil det bli gitt en kort introduksjon i hva NOS er, og en forklaring av det analytiske rammeverket som er benyttet for å analysere elevenes kronikker. I kapittel 3 vil det bli presentert en historisk beretning av hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg på begynnelsen av 1900-tallet. Det vil også bli forklart hvordan denne casen kan ses i lys av det analytiske rammeverket som ble presentert i kapittel 2. Kapittel 4 vil omhandle hvordan undervisningsopplegget ble utformet, fra ide til hvordan de didaktiske perspektivene fra kapittel 2 er brukt. Det vil også i dette kapitlet bli skissert en plan for hvordan undervisningsopplegget var tiltenkt å bli gjennomført. Beskrivelse av forskningsdesignet og metoder for datainnsamling er beskrevet i kapittel 5. Resultater og analyse fra datainnsamlingen, innsamling av kronikker og intervjuer, er presentert i kapittel 6. Resultater og analyse fra datainnsamlingen presentert i kapittel 6 vil bli diskutert i kapittel 7, før konklusjonen av masteroppgaven blir presentert i kapittel 8.

2 Naturvitenskapens egenart og didaktiske perspektiver

Dette kapitlet vil først ta for seg noen sentrale elementer fra den overordnede delen av LK20 og begrepet dybdelæring. Deretter vil det bli gitt en innføring i begrepet NOS og hvordan det undervises i skolen. Dette vil bli knyttet til temaet kvantefysikk som undervises i programfaget fysikk 2. Gjennom å se kvantefysikk i lys av NOS vil det bli beskrevet noen sentrale elementer av NOS som vil være viktige i undervisningen av kvantefysikk. Disse elementene av NOS vil være med å utgjøre det analytiske rammeverket for oppgaven. Til slutt vil det følge noen didaktiske perspektiver som er benyttet i utformingen av undervisningsopplegget.

2.1 LK20 og dybdelæring

I den overordnede delen av læreplanen står det at opplæringen blant annet skal bære preg av skaperglede, engasjement og utforskertrang (Kunnskapsdepartementet, 2017). Videre står det at elevene skal få erfaring med å omsette sine ideer til handling, og at skolen skal dyrke frem ulike måter for elevene å utforske og skape. Gjennom den overordnede delen av læreplanen sier man også at evnen til å stille spørsmål, utforske og eksperimentere er viktige for dybdelæring (Kunnskapsdepartementet, 2017). Punkt 1.4 fra den overordnede delen av læreplanen som omhandler skaperglede, engasjement og utforskertrang må derfor ses i sammenheng med begrepet dybdelæring som har blitt en sentral del av den nye læreplanen. Utdanningsdirektoratet definerer dybdelæring på følgende måte: «[...] som det å gradvis utvikle kunnskap og varig forståelse av begreper, metoder og sammenhenger i fag og mellom fagområder» (Utdanningsdirektoratet, 2019). I fysikk vil dette kunne sees med at elevene klarer å se sammenhenger mellom ulike temaer, eksempelvis mekanikk og kvantefysikk. Samtidig som de greier å se at fysikkfaget også henger sammen med andre fagdisipliner. Siden dybdelæring er definert som det å gradvis utvikle kunnskap og varig forståelse kreves det at det settes av tid til at elevene skal greie å gå i dybden på ulike temaer, og trekke egne slutninger mellom ulike temaer innenfor faget og mellom ulike fagdisipliner.

2.2 Naturvitenskapens egenart

NOS er et omfattende begrep som omhandler hvordan vitenskapen fungerer (McComas & Clough, 2020). Dette omfatter blant annet hvordan vitenskapen fungerer, hvordan forskere arbeider, og hvordan vitenskapen er en del av samfunnet. Det finnes ulike måter å beskrive NOS på. En av måtene er «consensus view» som blir beskrevet av McComas et al. (1998). I «consensus view» blir det presentert en liste med punkter som er med på å gi en beskrivelse NOS. Denne listen er som Angell et al. (2019) sier, med på å gi et mulig svar på hva man som lærer bør legge vekt på når man skal undervise om NOS. Listen over de ulike elementene fra «consensus view» som er gjengitt i av Angell et al. (2019) er presentert i Tabell 1.

Tabell 1: Punkter som beskriver NOS. Tabellen er hentet fra Angell et al. (2019, s. 366).

-
- Vitenskapelig kunnskap er i sin natur foreløpig.
 - Naturvitenskap er basert på empirisk evidens.
 - Forskere krever reproduserbarhet og sannferdig rapportering.
 - Naturvitenskap er et forsøk på å forklare fenomener i den fysiske verden.
 - Forskning er kreativt arbeid.
 - Naturvitenskap inngår i en samfunnsmessig tradisjon.
 - Naturvitenskap spiller en viktig rolle i teknologi.
 - Vitenskapelige ideer påvirkes av den sosiale og historiske sammenhengen de utvikles i.
 - Nyvinninger innen naturvitenskap skjer gradvis.
 - Naturvitenskapen har global betydning.
-

Det finnes også andre måter å beskrive NOS på. En av disse er «family resemblance approach» som ofte blir forkortet til FRA (Erduran & Dagher, 2014). Tanken er at ulike grener av vitenskapen kan bli samlet i en gruppe siden de har fellestrekk, som en familie. Biologi, fysikk og kjemi vil alle for eksempel kunne kategoriseres som vitenskap siden de har som mål å beskrive verden rundt, og på den måten ha noen felles verdier som en familie. Samtidig vil de ha ulike særpreg som ulike medlemmer av en familie.

2.2.1 NOS undervisning i skolen

Ifølge McComas (2020a) er det i løpet av de siste tiårene blitt en endring i debatten om NOS og hvordan dette bør implementeres i undervisningen. Fra før har debatten sentrert seg rundt om NOS bør være en del av pensum til nå å handle om hvordan det kan bli inkludert som en del av læreplanene. Forskjellen vil derfor være at man før ikke så verdien av å undervise NOS, til at man nå ser verdien uten å vite hvordan det bør inkluderes som en del av undervisningen. Som McComas viste i 1998 har debatten om NOS i skolen strukket seg over flere tiår, samtidig som det vises at det er gjort svært lite for å få NOS implementert som en naturlig del av undervisningen (McComas et al., 1998). Selv om det er en enighet i at NOS bør implementeres som en del av undervisningen, er det ingen felles enighet om hvordan eller hvilke elementer som bør implementeres. Det man allikevel kan enes om er at det er ønskelig at elevene skal lære seg mer enn å bare gjengi de ulike punktene fra Tabell 1, men heller forstå punktene og kunne bruke denne forståelsen når forskning debatteres (Allchin, 2011). Allikevel viser det seg at NOS får lite oppmerksomhet i undervisningen. Stadermann (2021) sier at det er flere grunner til at NOS ikke blir prioritert i undervisningen. En av grunnene kan være at NOS ikke blir testet ved en avsluttende eksamen. Samtidig er ikke alle lærere klar over hvilke undervisningsstrategier som passer for undervisning av NOS. Det er også et problem at læreverk generelt gir lite fokus til NOS (Stadermann, 2021).

Selv om det viser seg at NOS ikke blir prioritert i undervisningen er det flere som hevder at det kanskje er noe av det viktigste som bør læres bort i naturfagene (McComas, 2020a; Stadermann, 2021). Det er ikke alle elevene som tar naturfagsemner som biologi, kjemi og fysikk på videregående som velger å studere disse fagene videre. Alle elever er og vil alltid være en del

av samfunnet. Det å ha en forståelse av hva som kjennetegner naturvitenskapen vil være en viktig del av demokratiet (Stadermann, 2021). Det å da ha kunnskap om hva som kjennetegner vitenskap, vil derfor være relevant og viktig for alle elever, uavhengig av hva man skal studere videre. Dette kan sees i sammenheng med at vi gjennom den nye læreplanen har fått tre tverrfaglige temaer, hvor ett av disse temaene er demokrati og medborgerskap (Kunnskapsdepartementet, 2017). I fysikk legger UDIR til grunn at demokrati og medborgerskap skal omfatte følgende:

«I fysikk handler det tverrfaglige temaet demokrati og medborgerskap om evnen til å vurdere resonnementer og påstander kritisk, og å gi dem kompetansen som kreves for å skille mellom kunnskap basert på vitenskapelige metoder og alternative forklaringsmodeller. Videre handler det om hvordan kunnskaper i fysikk gir innsikt i argumentasjon, slik at elevene kan bidra til at naturvitenskapelige argumenter blir forstått i samfunnsdebatten.» (Utdanningsdirektoratet, 2021).

Vi kan her se at UDIR er innom elementer av NOS i hva de legger til grunn for hva demokrati og medborgerskap skal bety i fysikk. Fra Tabell 1 kan vi se at NOS blant annet omfatter elementer som at forskere krever reproduserbarhet og sannferdig rapportering. Dette kan sees i lys av at elevene skal lære å skille mellom kunnskap basert på vitenskapelige metoder og alternative forklaringsmodeller, men også evnen til å vurdere resonnementer og påstander. Samtidig skal elevene kunne bidra at naturvitenskapelige argumenter blir forstått i samfunnsdebatten. På denne måten kan vi se at elevene også skal lære at naturvitenskapen inngår som en del av en samfunnsmessig tradisjon, noe som også er en del av Tabell 1. Vi kan derfor se at NOS er noe som er en del av den norske læreplanen i fysikk, men at det kanskje er litt bortgjemt under det tverrfaglige temaet demokrati og medborgerskap.

For å kunne undervise NOS på en god og effektiv måte bør man ha en eksplisitt tilnærming og få elevene til å selv gjøre egne refleksjoner om temaet. Når det er snakk om at man skal ha en eksplisitt tilnærming er det ment at undervisningen av NOS bør planlegges på samme måte som når man skal undervise om bevegelse i fysikken (McComas et al., 2020). Som med all undervisning er det viktig å være klar over hva elevene kan fra før om temaet. Når det kommer til hva elever kan fra før om NOS så vil de ha blitt påvirket av å gjennomføre det som Clough (2006) kaller for «kokebokforsøk». Med «kokebokforsøk» mener Clough (2006) at elevene får detaljert beskrivelse av fremgangsmåten til forsøket. Det at også lærebøker ofte presenterer sluttproduktet uten å si noe om hvordan man har kommet frem til det vil være problematisk. Dette kan være med å gjøre at elever fra før har et litt forenklet bilde av hva NOS er, noe som gjør det viktig at man har en eksplisitt tilnærming til undervisningen (McComas et al., 2020). For at undervisningen om NOS skal ha en effekt er det viktig at undervisningen er lagt opp på en slik måte at elevene selv er nødt til å gjøre sine egne tanker om NOS, og ikke bare repetere hva de har blitt fortalt (Williams & Rudge, 2016).

2.3 Undervisning av kvantefysikk

Kvantefysikk er et tema som blir undervist i den norske skolen for elever som tar fysikk 2 som programfag på videregående skole. I den norske læreplanen står det at elevene skal kunne følgende etter fysikk 2: «Gjøre rede for hva som skiller kvanteobjekter fra klassiske objekter,

og beskrive situasjoner der kvanteeffekter observeres» (Utdanningsdirektoratet, 2021). Elevene skal derfor lære seg hvilke egenskaper som skiller kvanteobjekter fra klassiske objekter. Det er vanskelig å gi en konsis beskrivelse av hva et kvanteobjekt er, men Lévy-Leblond (2003) har gitt en beskrivelse hva det er som skiller kvanteobjekter fra klassiske objekter. Ifølge Lévy-Leblond (2003) kan klassiske objekter enten beskrives som en partikkel eller som et felt. Hvor partikler opptrer i et diskret antall og utstrekning, mens felt er kontinuerlig både i antall og i utstrekning. Kvanteobjekter, eller «kvantoner» som Lévy-Leblond (2003) kaller det for, vil være diskret i antall, men kontinuerlig i utstrekning. Som et eksempel på et kvanteobjekt kan vi bruke et foton. Fotonet vil være diskret når det kommer til antall fotoner, men vi kan ikke med sikkerhet si nøyaktig hvor fotonet befinner seg i rommet.

De siste årene har det også blitt en trend internasjonalt å inkludere kvantefysikk som tema for elever som velger fysikk på videregående skole (Stadermann et al., 2019). Grunnen for dette er at elever skal få innblikk i mer moderne fysikk, og at kvantefysikk er grunnlaget for mye av den moderne teknologien vi har i dagens samfunn. Samtidig har kvantefysikk noe mytisk og spennende over seg som fasinere både forskere, lærere og elever (Stadermann et al., 2019). Kvantefysikk på universitetsnivå er preget av tunge matematiske formuleringer som elever på videregående skole ikke har forutsetninger for å sette seg inn i (Stadermann et al., 2019). Derfor må undervisningen av kvantefysikk i den videregående skolen foregå på et mer kvalitativt nivå. Noe av utfordringen med undervisning av kvantefysikk på videregående nivå er at elever ofte opplever konseptuelle utfordringer (Bouchée et al., 2022; Bouchée et al., 2023; Henriksen et al., 2018). Kvantefysikken er drevet av sannsynligheter, og elevene blir derfor nødt til å bytte fra et deterministisk verdensbilde til et verdensbilde som av natur baserer seg på sannsynligheter. Bouchée et al. (2022) peker på at det er fire grunner til at elever sliter med å oppnå en konseptuell forståelse av kvantefysikk. De fire grunnene er: 1) Elever sliter med å koble den matematiske formalismen til eksempler fra den virkelige verden, 2) Elever sliter med å tolke de kontraintuitive delene av kvantefysikk, 3) Elever sliter med å omstille seg fra et deterministisk verdenssyn til et verdenssyn drevet av sannsynligheter og 4) Elever sliter med å forstå begrensningene i språket og modellene som blir benyttet i kvantefysikk.

Selv om det er diverse utfordringer knyttet til undervisning av kvantefysikk, gir det også unike muligheter til å undervise om NOS (Stadermann, 2021). Hvordan ulike elementer av NOS kommer til syne gjennom kvantefysikken vil bli presentert i det påfølgende delkapittelet.

2.4 Det analytiske rammeverket for oppgaven

Stadermann (2021) peker på at det er flere elementer av NOS som er viktige når man skal lære kvantefysikk. Disse vil være med å danne grunnlaget for det analytiske rammeverket i denne oppgaven, og de vil bli presentert under. En oppsummering av kategoriene er presentert i Tabell 2. Tabell 2 er en egen oversettelse og modifikasjon av tabellen som er utviklet av Stadermann (2021, s. 36). Endringene som er gjort er å fjerne den ene kolonnen som sier noe om et «uopplyst syn» tilknyttet NOS. I tillegg er det laget en ny rad med kategorien «Teori og observasjoner har gjensidig påvirkning av hverandre». I de påfølgende avsnittene vil innholdet i Tabell 2 bli beskrevet i utdypende grad. Den nye kategorien vil også bli begrunnet.

Tabell 2: Beskrivelse av kategoriene som er med på å gi en beskrivelse av ulike elementer av NOS som kommer frem i kvantefysikken. Tabellen er en egen oversettelse og modifikasjon av tabellen til Stadermann (2021, s. 36, tabellen ble opprinnelig oversatt som en del av oppgaven i emnet RFEL3100 - forskningsmetoder i matematikk- og realfagsdidaktikk).

Ulike deler av NOS	Eksempel på «opplyst syn» av NOS	Eksempel på hvordan NOS i kvantefysikken fremstilles i undervisningssammenheng
<i>Bruken av modeller</i>	Vitenskapelige modeller blir brukt for å illustrere enkelte vitenskapelige fenomener på en nyttig og forenklet måte.	Avhengig av situasjon er det hensiktsmessig å benytte enten en bølgemodell eller en partikkelmodell.
<i>Tentativ utvikling av vitenskapelig kunnskap</i>	Vitenskapen er i kontinuerlig utvikling og er åpen for forbedringer.	Det er ikke mulig å forstå kvantefenomener ved å bruke klassisk fysikk.
<i>Kreativitet i vitenskap</i>	Forskere benytter seg av sin kreativitet og fantasi for å gjøre fremskritt.	Kvantefysikkens utvikling avhenger av kreative forskere som tenkte utenfor boksen og tankeeksperiment.
<i>Vitenskapen som menneskelig aktivitet</i>	Vitenskap er påvirket av ikke vitenskapelige faktorer som personlige preferanser, historiske, kulturelle, sosiale og økonomiske forutsetninger	Det finnes ulike tolkninger av kvantefysikken som ulike fysikere støtter seg til.
<i>Kontroverser i vitenskap</i>	Diskusjoner og uenigheter om ulike vitenskapelige ideer er en viktig del av den vitenskapelige utviklingen.	Diskusjonen mellom Bohr og Einstein viser at det finnes ulike måter å tolke kvantefysikken på. Det er enda ingen felles enighet om hvordan kvantefysikken skal tolkes. Et åpent syn uten strikte ideologiske føringer gjør ny utvikling av kvantefysikken mulig.
<i>Teori og observasjoner har gjensidig påvirkning av hverandre</i>	Teori er med på å sette et rammeverk for hvordan vi kan tolke observasjonene. Samtidig vil observasjoner være med å endre beskrivelsen av teoriene	På slutten av 1800-tallet var det enighet om at lys var en bølge. Når man da skulle forklare fotoelektrisk effekt tok man utgangspunkt i at lys var en bølge. Nye observasjoner utover 1900-tallet gjorde at man måtte endre teorien om lys.

Det at modeller faktisk bare er en representasjon av virkeligheten, og ikke virkeligheten selv er et av elementene av NOS som elevene bør lære i kvantefysikken. Fra før er elevene vant til å se på elektroner som partikler. En slik partikkelmodell av elektronet er ikke hensiktsmessig når man diskuterer fenomener som interferensmønster i et dobbeltspalteforsøk, uskarphetsprinsippet til Heisenberg eller superposisjon (Stadermann, 2021). I kvantefysikken er man derfor nødt til å bruke flere modeller av for eksempel elektron og lys for å kunne forklare ulike fenomener. De to modellene som ofte blir brukt er bølgemodellen og partikkelmodellen. Dette er det som man kaller for bølge-partikkel-dualiteten. Elevene bør derfor lære seg å bruke disse modellene, og vite hvilken modell som passer i den gitte situasjonen. På denne måten bør man også lære seg at modeller også har begrensninger og ikke en ren representasjon av virkeligheten.

Siden modeller ikke er rene representasjoner av virkeligheten vil det forekomme endringer av modellene. Vitenskapen vil derfor være under kontinuerlig utvikling, og er derfor tentativ av natur. Dette er noe som vitenskapshistorien viser oss da man til stadighet finner nye måter å forklare ulike fenomener på. Et av mange eksempler på at vitenskapen er tentativ er for eksempel utviklingen av kvantefysikk (Kragh, 1999). Stadermann (2021) hevder derfor at undervisning av kvantefysikk for elever ved videregående skole vil være et bra tema for å få elevene til å reflektere rundt det at vitenskapelig kunnskap er under en kontinuerlig utvikling.

Grunnet vitenskapen sin tentative natur, og siden den er under konstant utvikling. Vil dette føre til at det er kontroverser forbundet med vitenskapen (Stadermann, 2021). Lærebøker i fysikk presenterer som oftest ikke at det er kontroverser knyttet til den historiske utviklingen, og at ny kunnskap ofte blir tatt imot av et samstemt forskermiljø (Niaz & Rodríguez, 2002). Dette kan være med å gjøre at elever ikke ser at det er store debatter knyttet til utviklingen av ny kunnskap. En konsekvens av dette kan være at elever oppfatter at det ikke skal være noen debatt i forskning siden god forskning alltid blir tatt imot og akseptert av et samlet forskermiljø (Stadermann, 2021). På denne måten mister man det faktumet at debatter og argumentasjon er en viktig del av vitenskapen (Kolstø, 2008). Siden vitenskapen er preget av kontroverser og er en tidkrevende prosess kan man si at vitenskapen kan karakteriseres med trekk som tilsier at den både er preget av revolusjon og evolusjon.

Det at vitenskapen er preget av debatter og argumentasjon er med på å vise at vitenskapen er en menneskelig aktivitet. Det er forskere som konstruerer og gjennomfører forsøk. Forskning vil derfor inneholde et kreativt element, og forskere må derfor være kreative i utformingen og gjennomføringen av forsøk. En vanlig misoppfatning er at forskere følger en standard prosedyre, noe som fjerner det kreative elementet fra vitenskap. Forskning er mer komplisert enn som så og det finnes ingen «steg for steg» metode for hvordan forskere arbeider (Reiff-Cox, 2020). På denne måten vil også forskning være utsatt for faktorer som ikke er rent vitenskapelige. Eksempel på dette er som Stadermann (2021) peker på at forskere selv må tolke resultatene fra forsøkene.

Siden forskning ikke følger en standard «steg for steg metode», og siden forskere selv er nødt til å tolke resultatene fra forsøkene, kan forskning beskrives som en kreativ prosess. Uten det kreative aspektet av vitenskap skal man forvente at to forskere eller forskergrupper vil komme frem til den samme konklusjonen basert på de samme observasjonene, og de ville ha benyttet den samme metoden siden det skulle være en «steg for seg metode» (McComas, 2020b). En

vanlig misoppfatning er at vitenskapen ikke er en kreativ prosess siden den følger en standard «steg for steg metode» i jakten på et svar. Sannheten er at forskere er avhengig av å være kreative for å kunne se problemer og gjenkjenne ulike mønstre (McComas, 2020b). Det vil derfor være mulig for ulike forskere eller forskergrupper å tolke det samme datamaterialet på ulike måter basert på hvordan de benytter seg av sin kreativitet. Både når det kommer til å oppdage et problem, men også når man skal gjenkjenne ulike mønstre.

Hvordan datamaterialet blir tolket vil også være avhengig av hvilke teoretiske perspektiver forskerne benytter. Dette viser at hvordan man tolker observasjonene er preget av hvilke teorier man legger til grunn. Det er flere som hevder at teori og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre når det kommer til naturvitenskapen (Allchin et al., 2014; Kolstø, 2008). Observasjoner som man gjør vil være med på å forme hvordan man konstruerer teorier som skal beskrive observasjonene. Samtidig vil gjeldende teorier være med på å sette et rammeverk for hvordan man kan tolke observasjoner som blir gjort. Basert på dette er det derfor lagt inn en endring i tabellen til Stadermann (2021, s. 36) hvor det er lagt inn en ny kategori «teori og observasjon har gjensidig påvirkning av hverandre». Til sammen vil de nevnte kategoriene være med å utgjøre det analytiske rammeverket.

2.5 Muntlig fortelling som et didaktisk verktøy

Ifølge Kapsala og Mavrikaki (2020) har fortellinger blitt brukt som en læringsmetode helt siden mennesker begynte å kommunisere med hverandre gjennom tale. De viser til ulike artikler som peker på fordeler med historiefortellinger som et didaktisk verktøy. En av fordelene med å bruke historiefortellinger ifølge Kapsala og Mavrikaki (2020) er at slike fortellinger fenger oss, og at dette er noe som ligger naturlig for oss som mennesker. Når vi blir fortalt historier danner vi oss mentale bilder og knytter denne fortellingen opp til allerede eksisterende erfaringer som vi har. På denne måten mottar vi ny informasjon gjennom fortellingen, samtidig som vi knytter disse opp imot tidligere erfaringer automatisk.

2.5.1 Bruk av vitenskapshistorie for å lære om NOS

Bruken av vitenskapshistorie for å lære om NOS er noe som har vært anerkjent i lengre tid (Allchin, 2014; Matthews, 1994). Det er flere elementer NOS som blir godt belyst av å bruke vitenskapshistorie, deriblant at vitenskapen er tentativ og at vitenskapen har et menneskelig aspekt (Allchin, 2014; Kapsala & Mavrikaki, 2020).

For å finne hvilken historie fra vitenskapshistorien som skal benyttes, hevder Kapsala og Mavrikaki (2020) at man som lærer må velge en historie man selv finner interessant. Et viktig element når man skal bruke historiefortelling som et pedagogisk verktøy er at man greier å gjøre historien levende og interessant å høre på (Kapsala & Mavrikaki, 2020). Som Kapsala og Mavrikaki (2020) sier så må man selv like historien for å fortelle den på en bra måte, men man må elske historien for å kunne fortelle den med innlevelse. En av utfordringene med å bruke vitenskapshistorie for å lære om NOS er at det ofte kan oppfattes som gammeldags og kjedelig for elevene (Allchin, 2014). Det vil derfor variere fra lærer til lærer hvilke deler av vitenskapshistorien som passer. Samtidig bør historien man velger være en som passer til læreplanen. Det er også bedre om man som lærer fordyper seg i en konkret historie fra vitenskapshistorien enn

å kunne litt av mange dersom man vil undervise NOS gjennom bruk av vitenskapshistorie (Allchin, 2004).

2.5.2 Bruk av kvasihistorie i fysikkundervisning

Som vist i delkapittel 2.5.1 finnes det positive effekter når det gjelder bruk av vitenskapshistorie for å lære om NOS. Allikevel viser det seg at den historiske biten av undervisningen ikke blir prioritert i undervisningen (Henke & Höttecke, 2015). Dette er ikke bare et internasjonalt problem, men også et problem man finner i den norske skolen. Forskning som Angell et al. (2004) viser til er gjort under norske forhold og sier at vitenskapshistorie er et tema som verken av lærere eller elever ble sett på som spesielt interessant og viktig. En undersøkelse gjort av Bøe et al. (2018) på norske elever viser at elevene ikke ser på vitenskapshistorie som et viktig læringsmål i seg selv, men heller som noen artige fakta som krydrer undervisningen. Man kan derfor si at bruken av vitenskapshistorie i fysikkundervisningen ikke er en prioritet.

Når vitenskapshistorie først blir brukt er det også en stor fare for at historien blir presentert på en for forenklet måte. Allerede på slutten av 70-tallet ble det pekt på at den historiske utviklingen av kvantefysikk ble presentert på en kvasihistorisk måte i fysikkundervisningen med mange feil (Whitaker, 1979). Dette er også noe som flere forskere har pekt på oppigjennom årene (Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Passon et al., 2018; Renstrøm, 2011). Det er her spesielt relevant å se på arbeidet til Renstrøm (2011) som blant annet tok for seg flere anerkjente lærebøker i fysikk på universitetsnivå. Renstrøm (2011) kom frem til at den historiske utviklingen av kvantefysikk er svært forenklet fremstilt i lærebøker, og at historien bærer preg av myter og kvasihistorisk fremstilling. Selv om forskningen til Renstrøm (2011) er gjort på lærebøker for universitetsstudenter, kan det virke som det er en generell trend at lærebøker i fysikk presenterer den historiske utviklingen av kvantefysikk på en kvasihistorisk måte. Det som er ulempen med å benytte slike kvasihistoriske fortellinger er at det kan være med på å gi elevene en feil oppfatning av NOS (Allchin, 2004). Siden lærebøker i fysikk ikke er et bra sted for å oppsøke informasjon om vitenskapshistorie, er man som lærer nødt til å selv aktivt søke opp historiske kilder for å finne en mer korrekt utgave av vitenskapshistorien. Som Allchin (2004) peker på, kan man ikke forvente at naturfagslærere også er historikere. Det kan derfor være vanskelig om man som fysikklærer skal bedømme om en historie er reell eller om den er kvasihistorisk. Man kan allikevel ifølge Allchin (2004) være oppmerksom på ulike kvasihistoriske trekk som at historien er storslått, idealisert og dramatisk som spiller på følelser. Selv om slike kvasihistoriske fortellinger kan virke som artige fakta for elevene, kan det føre til at man får et inntrykk av at vitenskapen følger en bestemt metode og at det ikke er noe problem med å tolke observasjoner som er gjort.

2.6 Skrivning i fysikk og skrivning for å lære NOS

Det skriftlige språket skiller seg fra det muntlige språket. Når man kommuniserer muntlig kan man i større grad tillate avbrudd, omformuleringer og bruk av ulike grammatiske sammensetninger. Når man kommuniserer skriftlig kan man ikke tillate slike ting, og det stilles derfor strengere krav til hvordan setningene er konstruert (Angell et al., 2019). Det at elevene gjennom skrivning må konstruere meningsfulle setninger for å sette ord på tankene sine vil være positivt for deres forståelse av temaet. Selv om elevenes forståelse og tanker blir uttrykt

gjennom språket, vil det ikke være en direkte avbildning av den forståelsen eleven besitter (Vygotsky, 2012). Språket vil fungere som en representasjon for forståelsen, men i prosessen med å omformulere tankene og forståelsen til et språk vil de bli omstrukturert og forandres ifølge Vygotsky (2012). Selv om det elevene uttrykker gjennom språket ikke er en direkte avbildning av elevenes forståelse, vil det å jobbe med å uttrykke sine forståelser gjennom språket være positivt for elevenes læring. Dette vil gjelde når elevene uttrykker sine forståelser både muntlig og skriftlig. Siden det skriftlige språket stiller større krav til hvordan man formulerer presise og meningsfulle setninger gjør at man i større grad må arbeide med hvordan tankene skal formidles. Angell et al. (2019) viser også til at det finnes forskning som viser at desto mer faginnholdet blir bearbeidet gjennom skriveprosessen desto mer sannsynlig er det at innholdet blir forstått.

Skriving er en sentral del når fysikere og forskere skal utvikle ny kunnskap. Hypoteser skal utformes, eksperimentet skal loggføres, og til slutt skal man presentere funnene sine skriftlig gjennom en rapport eller en artikkel. Som en av de grunnleggende ferdighetene i fysikk, vil det å lære seg å skrive fysikk være en viktig del av fysikkundervisningen. UDIR legger følgende til grunn når de snakker om skriving i fysikk:

«Å kunne skrive i fysikk innebærer å formidle faglig innhold skriftlig på en strukturert og tydelig måte med bruk av fagterminologi, symboler og vitenskapelig notasjon. Det innebærer også å bruke et matematisk språk for å formulere lovmessigheter i naturen, formidle resonnementer og angi kvantitative sammenhenger. Videre innebærer det å veksle mellom ulike representasjoner, for eksempel figurer, tekst, grafer, tabeller og matematiske formler.» (Utdanningsdirektoratet, 2021).

Skriving vil derfor være å greie å formulere faget på en strukturert måte, samtidig som man greier å benytte seg av fagterminologi, symboler og vitenskapelig notasjon. Det står ingenting om hvilken sjanger det er forventet at elevene skal skrive. Ifølge Angell et al. (2019) kan naturvitenskaplige sjangere grovt sett deles inn i to grupper, en argumenterende og en refererende. I den gruppen som er refererende kommer tekster som har til hensikt å gjengi og presentere informasjon som man allerede vet. Angell et al. (2019) viser til at lærebøker i fysikk i stor grad kan klassifiseres i gruppen av refererende tekster da de kommer med begrepsoversikter, forklaringer og prosedyretekster. I den argumenterende gruppen finner man lab-rapporter. I det profesjonelle forskermiljøet vil en lab-rapport være en argumenterende tekst hvor man skal argumentere for hvorfor deres tolkning av et datamateriale er den korrekte tolkningen. Det finnes også andre sjangere i naturvitenskapen som er argumenterende. Kolstø (2012) viser blant annet til at både ekspertutredninger og debattinnlegg kan kategoriseres som en argumenterende sjanger i naturvitenskapen.

Selv om lab-rapporter som profesjonelle forskere skriver er en argumenterende tekst, er ikke dette vanligvis tilfelle for lab-rapporter som elever skriver i skolen (Angell et al., 2019; Gouvea et al., 2022). Grunnen til dette er at forsøkene som elever ofte gjennomfører i skolen, har fra før et kjent resultat som elevene skal forsøke å reproducere. Elevene skal ikke finne empiriske data for å støtte opp under sin hypotese, men heller bruke teori til å forklare observasjoner (Angell et al., 2019). Slike lab-rapporter og forsøk hvor eleven jobber etter å finne en fasit på én bestemt måte kan være med å gi elevene et for forenklet bilde av NOS med at forskere følger

en «steg for steg metode» og at det finnes bare en fasit (Clough, 2006; Reiff-Cox, 2020). Lab-rapporter som elever skriver i tilknytting til slike forsøk vil derfor kunne kategoriseres i en refererende sjanger fremfor en argumenterende sjanger.

Som nevnt er det en grunnleggende forskjell på profesjonelle lab-rapporter og lab-rapporter som blir skrevet av elevene i skolen. Elevene sine lab-rapporter ofte blir en gjenfortelling av hva som er gjort, samt forsøke å få observasjonene til å passe med en gitt teori. Den profesjonelle versjonen av lab-rapporter er argumenterende, og har som mål om å styrke den vitenskapelige verdien av en hypotese (Angell et al., 2019). Som Kolstø (2008) peker på er argumentasjon en viktig del av NOS. Det å lære seg å argumentere i fysikk vil også være nyttig for læringsutbyttet (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2007). Dette siden elevene blir nødt til å arbeide med fagstoffet på en annen måte, og må benytte seg av kunnskap som de har innenfor feltet til å konstruere argumenter for et synspunkt. Samtidig vil det å lære seg å argumentere være med å fremme kritisk tenkning siden elevene er nødt til å gjøre egne refleksjoner rundt et tema (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2007). På denne måten vil det å lære seg å argumentere i fysikk også være gunstig for temaet «demokrati og medborgerskap» i fysikk, som blant annet omfatter: «[...] å vurdere resonneringer og påstander kritisk, [...]» (Utdanningsdirektoratet, 2021). Siden lab-rapporter i skolefysikken ofte ikke er argumenterende vil det derfor være hensiktsmessig å få elevene til å skrive i en annen sjanger hvis målet er at elevene skal lære seg å argumentere i fysikk. Eksempelvis kan man skrive en debattartikkel som ifølge Kolstø (2012) også er en argumenterende sjanger i naturvitenskapen. For det aktuelle opplegget er det valgt at elevene skal skrive noe som kan være en variant av en debattartikkel, en kronikk som er tenkt forfattet i den aktuelle historiske konteksten.

3 Den historiske utviklingen av kvantefysikk

I dette kapitlet vil utviklingen av kvantefysikk på starten av 1900-tallet bli presentert. Tidligere studier av lærebøker i fysikk viser at den historiske utviklingen av kvantefysikk blir presentert på en for forenklet måte (Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Passon et al., 2018). Forenklingene er at lærebøker ofte presenterer utviklingen av kvantefysikk som en rekke enkelthendelser hvor empiriske observasjoner ikke lar seg forklare med eksisterende teori. Denne forenklingen hevder Kragh (1992) er misvisende og at historien er mer komplisert. I dette kapitlet vil det bli gitt en beskrivelse av hvordan Einstein sin hypotese om at lys består av lyskvant ble mottatt i sin samtid, og hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg i perioden 1888-1922.

3.1 Hva er et lyskvant?

«I 50 år har jeg forsøkt uten hell å komme nærmere svaret på spørsmålet: “Hva er et lyskvant?”. I dag tror alle og enhver at man vet hva det er, men de tar feil»

-Albert Einstein 1951.

Sitatet ovenfor er gjengitt i Hentschel (2018, s.1, egen oversettelse). Sitatet skal ifølge Hentschel (2018) være fra en brevutveksling mellom Einstein og en venn. Dette er med på å vise oss at debatten om hva lys egentlig består av er svært komplisert, og at selv ikke mannen som av mange kanskje regnes som en av de største fysikerne på 1900-tallet ikke klarte å forstå hva et lyskvant¹ er. Vi kan derfor kanskje ta presset litt av oss selv hvis vi ikke klarer å fatte konsekvensene av kvantefysikken.

Debatten om hva lys er har vært en langvarig debatt i fysikken, som kan spores tilbake til konflikten mellom Newton og Huygens på slutten av 1600-tallet hvor man debatterte om lys var bølger eller partikler. Debatten ble på mange måter lagt død etter Young sitt dobbeltspalteforsøk i 1801. Allikevel kan vi se at denne debatten på nytt oppsto etter at fenomenet fotoelektrisk effekt ble oppdaget. Selve fenomenet fotoelektrisk effekt ble oppdaget av den tyske fysikeren Hallwachs i 1888 (Hentschel, 2018). I tiden etter oppdaget Thomson at det var elektroner som ble slått løs i den fotoelektriske effekten (Klassen, 2011). I de påfølgende delkapitlene vil det bli gitt en beskrivelse av hvordan forståelsen av fotoelektriske effekt utviklet seg i perioden 1900-1923. I denne perioden ble da en ung tysk fysiker med navn Einstein senteret for kritikk da han foreslo at energien til lys ikke er kontinuerlig fordelt i rommet.

¹ Det som Einstein her kaller for «lyskvant» er det som vi i dag kjenner bedre som foton. Einstein benytter selv ikke dette begrepet. Det er derfor i kapittel 3 tatt et bevisst valg om å benytte begrepet lyskvant fremfor foton for å være mer tro mot originallitteraturen.

3.2 Lenard og den fotoelektriske effekten

Lenard var en tysk fysiker som ved inngangen til 1900-tallet studerte den fotoelektriske effekten gjennom å se på katodestråling (Hentschel, 2018). Fra før var det kjent at om man bestrålte en metallplate med UV-lys ble det frigjort elektroner, og at ulike metaller startet denne prosessen ved ulike bølgelengder av UV-lys (Katzir, 2006). I hovedsak var det to spørsmål som Lenard ønsket å besvare: 1) Hva er hastigheten til de frigjorte elektronene? og 2) Hva er antallet frigjorte elektroner? (Katzir, 2006). Ved å variere spenningen mellom de to metallplatene og variere intensiteten på UV-lyset fant Lenard ut at hastigheten til de frigjorte elektronene ikke varierte med intensiteten til UV-lyset. Det var kun antallet frigjorte elektroner som varierte med lysintensiteten. Hastigheten til de frigjorte elektronene var derfor kun avhengig av frekvensen på det innkommende UV-lyset (Klassen, 2011). Dette var et overraskende funn siden man fra klassisk bølge teori om lys skulle forvente at lys med større intensitet hadde større energi. Lenard sin konklusjon var derfor at lys ikke overfører sin energi til elektronet. Utfra hva man visste om lys og lyset sin bølgenatur forventet man at høyere intensitet ville si at lyset inneholdt mer energi, som ville gi en økt hastighet til elektronet. Lenard så derfor for seg at elektronet på forhånd hadde en indre bevegelse inne i atomet. Han foreslo derfor at elektronet ble løsrevet på grunn av en resonanseffekt mellom UV-lyset og elektronet (Hentschel, 2018). Lyset fungerte på denne måten som en slags katalysator som fikk elektronene til å forlate atomet med en allerede bestemt hastighet. Lys med ulike bølgelengder fungerte derfor som ulike katalysatorer som ga ulike hastigheter til de frigjorte elektronene. Det vil her være verdt å huske at vi nå befinner oss i 1902. Parallelt med dette foregår det en debatt om hvordan atomet er bygd opp. En av de regjerende atommodellene på denne tiden er Thomson sin atommodell (Katzir, 2006). Det er derfor ikke så utenkelig å se for seg at elektroner kan ha en bestemt bevegelse inne i atomet.

Lenard sin «katalysator-hypotese» greide å forklare hvordan hastigheten til de frigjorte elektronene kun var avhengig av metallet og frekvensen til det innkommende lyset. Frem til 1911 var dette en av de mest populære måtene å forklare fotoelektrisk effekt på, men den fikk allikevel noe kritikk fra andre fysikere. Kritikken var rettet imot antagelsen om at elektronene hadde en gitt indre kinetisk energi. Dersom denne antagelsen skulle stemme, skulle man også forvente en temperaturavhengighet i den fotoelektriske effekten. En høyere temperatur på metallet skulle ha ført til en høyere hastighet på elektronet (Wheaton, 1978). Nyere modeller av atomet, som Bohr sin modell fra 1913, var også grunnlag for kritikk mot «katalysator-hypotesen» til Lenard (Katzir, 2006). Grunnen til dette er fordi Bohr sin modell for atomet tilsier at elektronet beveger seg i bestemte baner rundt atomet, noe som gjør det vanskelig å forklare den tiltenkte resonanseffekten som Lenard sin «katalysator-hypotese» la til grunn.

3.3 Einstein og lyskvantet

I 1905 publiserte en ung tysk fysiker tre artikler i tidsskriftet «Annalen der Physik», hvor av den ene fikk store konsekvenser for forståelsen av lys. Navnet på denne fysikeren er nok kjent for de fleste, det er nemlig Einstein. Artikkelen som fikk konsekvenser for forståelsen av hvordan energien til lys er fordelt er «Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt» (Einstein, 1905). På norsk kan tittelen oversettes til

«Et heuristisk syn på produksjonen og transformasjonen av lys» (egen oversettelse). I denne artikkelen finner vi blant annet dette sitatet:

«... energien til en lysstråle som er sendt ut fra en punktkilde er ikke kontinuerlig fordelt i rommet, men består av et endelig antall av lyskvanter som er lokalisert i rommet, og som kun kan bli absorbert som hele enheter.» (Einstein, 1905, s.133, egen oversettelse).

Artikkelen til Einstein omhandler i liten grad selve fenomenet fotoelektrisk effekt. Det blir nevnt, men er ikke hovedpunktet i artikkelen (Einstein, 1905). Fotoelektrisk effekt blir nevnt som et fenomen som har vanskeligheter for å bli forklart med at energien til lys er kontinuerlig fordelt i rommet. Einstein viser at ved å anta at energien til lys består av et endelig antall lyskvanter som kun kan bli absorbert som hele enheter, vil man få de samme resultatene som Lenard kom frem til tre år tidligere. Man vil med en slik antagelse også få resultatet om at intensiteten til lys ikke har noe å si for elektronhastigheten, bare antallet elektroner som blir frigjort. Det er allikevel en fundamentale forskjeller i hvordan disse resultatene blir tolket. Der Lenard sier at lyset ikke overfører sin energi til atomet hevder Einstein at atomet absorberer energien til lyset som fører til at elektronet blir løsrevet.

Einstein sin hypotese om at lys besto av lyskvanter ble avslått av nærmest et samlet fysikkmiljø (Kragh, 1999). Mye av kritikken som ble rettet mot Einstein gikk ut på at han ikke tok hensyn til alle eksperimentene som kunne forklares gjennom bølgenaturen til lys som, interferens, diffraksjon og polarisering. Dette var fenomener som gjorde at fysikere hadde for lengst slått fra seg ideen om at lys var partikler. I 1909 skal Planck ha sagt følgende om Einstein sin hypotese om lyskvant:

«Teorien om lys vil bli satt tilbake flere tiår, om ikke århundrer. Tilbake til den tiden Christian Huygens utfordret Newton [...] Alt det som teorien om lys har oppnådd, noe som er at det største som er gjort innenfor fysikk, kanskje i vitenskapen generelt. Skal man gi avkall på dette på grunnlag av noen tvilsomme observasjoner? [...]» (Planck, 1909, sitert i Hentschel, 2018, s.123, egen oversettelse).

Det måtte altså noe mer til enn bare ett enkelt fenomen, som kunne beskrives ved at lys besto av lyskvanter, for å gjøre at teorien om at lys var en elektromagnetisk bølge ubetydelig. Selv etter at Einstein mottok nobelprisen i 1921 var det stor uenighet i fysikkmiljøet om hypotesen om at lys besto av lyskvanter. Bohr som mottok nobelprisen året etter fortalte i sin nobelforesning 1922 følgende:

«[...] hypotesen om lyskvant er ganske uforenelig med interferensfenomenet, og ikke nok til at vi skal gi slipp på lysets strålings natur. Jeg trenger bare å minne om at det er interferensfenomenet som er den eneste måten å undersøke egenskapene til stråling, og derav tilegne noen nærmere betydning til frekvensen som Einstein teori om lyskvant» (Bohr, 1922, s. 14, egen oversettelse).

Både sitatet fra Planck og Bohr viser at Einstein sin hypotese om lyskvant var et kontroversielt tema i sin samtid. Denne konflikten om lys skal tolkes som en bølge eller en partikkel er det som vi i dag kjenner som bølge-partikkel-dualiteten. Bohr sier i 1928 at denne dualiteten er en fundamental egenskap i naturen, og at de ulike synene komplimenterer hverandre. «De to

synene på lys bør bli sett på som ulike måter å forklare eksperimentelle data der begrensningene i de klassiske modellene komplimenteres.» (Bohr, 1928, s. 581, egen oversettelse).

3.4 Millikan bekrefter Einstein sin ligning om fotoelektrisk effekt

Einstein sin hypotese om at energien til det frigjorte elektronet i den fotoelektriske effekten vil være lineær med frekvensen til det innkommende UV-lyset, ble ikke verifisert før den amerikanske fysikeren Millikan bekreftet denne relasjonen i 1915 (Kragh, 1999). Det er flere grunner til at det tar så lang tid før ligningen blir verifisert eksperimentelt. En av grunnene er som Klassen (2011) påpeker at var det vanskelig å konstruere et eksperiment som greide å måle sammenhengen mellom frekvensen til det innkommende UV-lyset og energien til det frigjorte elektronet. En annen grunn er som Kragh (1999) sier at fotoelektrisk effekt ikke ble sett på som problematisk for den klassiske fysikken ved starten av 1900-tallet. Det var derfor ingen grunn til å teste hypotesen til Einstein da et nærmest samlet fysikkmiljø allerede hadde avvist den. Når først Millikan bekreftet ligningen som Einstein predikerte i 1905 mente Millikan det allikevel ikke var en bekreftelse av at lys besto av lyskvanter (Kragh, 1999).

3.5 Compton-spredning sin betydning for lyskvanter

Det som er interessant å se i tildelingen av Nobelprisen i fysikk til Einstein er at den blir gitt til han for hans arbeid med teoretisk fysikk, og da spesielt funnet av loven tilknyttet den fotoelektriske effekten (Hentschel, 2018). Det er flere grunner til at dette er interessant, hvor den ene grunnen er at Einstein ikke får Nobelprisen for relativitetsteorien. Det andre som er interessant å se nærmere på er at Einstein får tildelt Nobelprisen for å ha funnet loven for den fotoelektriske effekten, og ikke for ideen om lyskvant. Teorien om at lys består av lyskvanta er ikke nevnt i begrunnelsen for tildelingen (Hentschel, 2018). Teorien til Einstein om at lys består av lyskvanter er derfor fremdeles en svært kontroversiell teori selv når han mottar nobelprisen for sitt arbeid. Det som gjør at fysikkmiljøet til slutt greier å akseptere tanken om lyskvant er fysikeren Compton sitt arbeid med det som nå er kjent som Compton-spredning (Hentschel, 2018). I sitt arbeid fra 1909 behandler Einstein lyskvantet som en partikkel på lik linje med protonet og elektronet (Kragh, 1999). Lyskvantet må derfor også ha en bevegelsesmengde, noe som man kan finne ut om man kombinerer teorien om lyskvant og den spesielle relativitetsteorien til Einstein. Selv er det først i 1916 at Einstein skriver formen for bevegelsesmengde til et lyskvant (Kragh, 1999). Det at lyskvantet har en bevegelsesmengde er det som Compton bekrefter med sine forsøk i 1922 (Hentschel, 2018). Det er også andre forskere i samme periode som kommer frem til de samme resultatene som Compton, deriblant Debye. Etter dette ser man at fysikere begynner å akseptere ideen om lyskvantet, selv om det fremdeles er et kontroversielt tema (Hentschel, 2018).

3.6 Avsluttende kommentarer

Det er i dette kapittelet forsøkt å gi en mer autentisk fremstilling av hvordan utviklingen av forståelsen rundt fotoelektrisk effekt utviklet seg, og hvordan dette hører sammen med konseptet lyskvant som Einstein innførte i 1905. Prosessen viser seg å ikke være like enkel som lærebøker ofre fremstiller prosessen. Selve konseptet med lyskvanter er noe som fysikere ved inngangen til 1900-tallet ikke helt ble komfortabel med. Også Einstein selv var til tider skeptisk til sin egen ide om lyskvantet.

Denne historiske casen om hvordan forståelsen av lys og fotoelektrisk effekt er med på å belyse flere av kategoriene fra Tabell 2 i delkapittel 2.4. Det er derfor hensiktsmessig å se nærmere på hvordan de ulike kategoriene av NOS kommer til uttrykk gjennom den historiske casen. Fra den historiske casen kan vi se at forskerne ved inngangen til 1900-tallet benyttet en ren bølgemodell for å beskrive lys for å forklare fenomener på en forenklet måte. Samtidig ser vi at det i løpet av 1900-tallet utviklet seg en ny modell for hva lys er, og at det i enkelte tilfeller faktisk er mer nyttig å snakke om lys som partikler fremfor bølger. Dette viser både at vitenskapen er tentativ og at den er under stadig utvikling, samtidig viser dette oss at modeller faktisk er modeller og ikke rene representasjoner av virkeligheten. Dette vil innebære at man må avgjøre hvilken modell som passer til hvilke systemer.

Ideen om lyskvant til Einstein er et nytt konsept, som viser at forskning også er en kreativ prosess, hvor man ikke følger en standard kokebok prosedyre i utforming og tolkning av eksperimentelle data. Samtidig illustrerer den historiske casen også at forskning er et menneskelig produkt, som blir påvirket av ikke vitenskapelige faktorer. Dette kan være personlige preferanser hos forskere. Man må derfor se forskning i lys av tiden forskningen blir utført. Som en konsekvens av dette kan man også gjennom den historiske casen se at vitenskapen består av debatter og kontroverser om hvilke tolkninger som er riktig.

Den historiske casen som er presentert er også med å illustrere at teori og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre. Dette kan vi se at den regjerende bølgeteorien var med å sette begrensinger for hvordan man kunne tolke fotoelektrisk effekt siden man tok utgangspunkt i bølgeteorien for å forklare fenomenet. Samtidig kan vi se at nye observasjoner, som Comptonspredning, var med å endre teorien om hva lys består av.

Et annet poeng som er interessant å se fra denne historiske casen er Bohr sin beskrivelse bølgepartikkel-dualiteten i 1928. Her snakker han om de to modellene for lys, bølge- og partikkelmodellen, er komplementerende grunnet begrensningene i de klassiske modellene (Bohr, 1928). Det at de klassiske modellene har begrensninger kan vi se at Lévy-Leblond (2003) snakker om når han beskriver at «kvantoner» er en blanding av bølger og partikler. Det er også disse utfordringene som er en av grunnene til at elever har vanskeligheter med å få en konseptuell forståelse av kvantefysikk (Bouchée et al., 2022).

4 Undervisningsopplegget

Dette kapittelet vil gi en grundig beskrivelse undervisningsopplegget. Dette vil omhandle hvordan den historiske casen ble valgt, målet for undervisningen og ulike didaktiske valg som er tatt i utformingen av opplegget. Oppgaveteksten elevene fikk vil også bli presentert, etterfulgt av en beskrivelse av hvor mye tid som er tiltenkt for undervisningsopplegget.

4.1 Utforming av undervisningsopplegget

I dette delkapittel vil prosessen med utformingen av undervisningsopplegget bli presentert. Her vil valget av case bli begrunnet, hva som var målet med undervisningen og begrunnelse for utformingen av opplegget.

4.1.1 Valget av case

Det finnes mange ulike historiske caser som man kan benytte seg av dersom man ønsker å bruke vitenskapshistorie i undervisningssammenheng. Alt fra utviklingen av periodesystemet, Darwin og artenes opprinnelse, «oppdagelsen» av elektromagnetisme og sikkert mange andre eksempler. Så hvorfor falt valget på utviklingen av kvantefysikk ved starten av 1900-tallet, med fokus på hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg? Av personlige grunner finner jeg selv utviklingen av kvantefysikk veldig interessant. Grunnen til det er at kvantefysikk ofte blir omtalt som en revolusjon for fysikken ved første delen av 1900-tallet. Med revolusjon tenker jeg på store omveltninger hvor det også er tilknyttet store kontroverser. Fra egen utdanning i kvantefysikk, både på videregående og universitetet, fikk jeg ikke inntrykket av at det var så store kontroverser tilknyttet denne såkalte revolusjonen. Mitt inntrykk var at når Planck og Einstein greide å løse problemene med den ultrafiolette katastrofen og fotoelektrisk effekt at disse løsningene ble akseptert av et samstemt fysikkmiljø uten kontroverser. Spørsmålet er jo da hvorfor Einstein måtte vente i 16 år på å få en Nobelpris for en revolusjonerende tanke som alle «godtok» for sannheten i 1905? Etter å ha fått muligheten til å undersøke dette nærmere, ble jeg klar over at Einstein sin forklaring av fotoelektrisk effekt møtte store motsigelser i 1905. Det var altså knyttet en stor kontrovers til akkurat dette temaet om utviklingen av kvantefysikk som ikke nødvendigvis kommer tydelig frem i undervisningen. Siden fotoelektrisk effekt ofte blir benyttet i undervisningen av kvantefysikk ved videregående skole, ønsket jeg å lage et opplegg som baserte seg på denne kontroversen.

4.1.2 Målet med undervisningsopplegget

Målet med undervisningsopplegget er at elevene skal lære om ulike elementer av NOS, som er presentert i Tabell 2 i delkapittel 2.4. Samtidig skal de bruke fysikken som de allerede kan til å argumentere for en tolkning av fotoelektrisk effekt. Dette skal elevene gjøre med å skrive en kronikk sammen i par hvor de skal velge å argumentere for Einstein sin tolkning av fotoelektrisk effekt, eller for Lenard sin tolkning av fotoelektrisk effekt. Kronikken er tiltenkt å være utgitt i 1922, noe som gjør at elevene må sette seg tilbake i tid. Hvordan Einstein og Lenard tolket fotoelektrisk effekt er presentert i kapittel 3. Elevene kan også velge å ta et mer nøytralt

synspunkt og kommentere ulike styrker og svakheter med de ulike tolkningene uten å ta et endelig standpunkt.

4.1.3 Hvorfor presentasjon

Den første undervisningstimen er det tiltenkt at det skal bli holdt en presentasjon av hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg på begynnelsen av 1900-tallet. Grunnen til dette er for å gi elevene historisk tilnærming til tematikken. Siden de fleste lærebøker i fysikk presenterer den historiske utviklingen på en for forenklet måte er det ikke hensiktsmessig å la elevene lese i læreboka selv (Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Passon et al., 2018; Renstrøm, 2011; Whitaker, 1979). Samtidig har muntlige presentasjoner fordelen med at disse kan være interessante og fengende å høre på dersom de blir fortalt med innlevelse (Kapsala & Mavrikaki, 2020). Det er også planlagt to refleksjonsspørsmål som skal gi elevene tid og mulighet til å reflektere over det som blir sagt i presentasjonen. Det å kunne reflektere over elementer av NOS er som nevnt i delkapittel 2.2.1 et viktig element i undervisningen av NOS. I den avsluttende delen av presentasjonen er det en oppsummering av hvordan den historiske casen kan bli sett i lys av NOS. Dette for å gi elevene muligheten til å reflektere rundt hva den historiske casen forteller om NOS. Oppsummeringen kan derfor være med å prege elevenes oppfatning av NOS, og hvordan de besvarer oppgaven. Presentasjonen i sin helhet er lagt ved som vedlegg A.

Presentasjonen er noe mer utfyllende og med mer tekst enn hva man vanligvis tillater seg i presentasjoner. Grunnen til dette er at elevene skal kunne bruke presentasjonen i etterkant som en skriftlig kilde dersom de ønsker det. Presentasjonen har derfor en dobbeltfunksjon, både som presentasjon, men også som et oppsummerende hefte. I tillegg til presentasjonen vil elevene ha tilgang på en språklig forenklet versjon av delkapittel 3.1 - 3.5 som skal fungere som et utfyllende dokument til presentasjonen.

4.1.4 Hvorfor skriving

Etter presentasjonen skal elevene skrive kronikken sin i par. Som vist i delkapittel 2.6 er skriving en metode for å lære fysikk og NOS. Grunnen til at valget falt på skriving er fordi det er ønskelig at elevene selv skal få jobbe med NOS. Samtidig er det ønskelig at de skal få arbeide med en sjanger som lar dem være kreative, og på den måten legge til rette for at elevene kan oppleve en form for skaperglede. Siden et av elementene av NOS er kontroverser, er det ønskelig at elevene skal argumentere for og imot et synspunkt for å tydeliggjøre denne kategorien. Det ble derfor valgt en sjanger som av natur er argumenterende. Valget falt på sjangeren kronikk, selv om dette ikke er en tradisjonell sjanger i fysikk er dette en sjanger elevene mest sannsynlig er kjent med fra før.

4.1.5 Selve oppgaven

Oppgaveteksten som elevene vil få tildelt er formulert på følgende måte:

Dere skal to og to skrive en kronikk om Einstein sin hypotese om at lys består av fotoner. Kronikken er tiltenkt å være utgitt i 1922, altså et år etter at Einstein fikk nobelprisen for fotoelektrisk effekt. Det var på denne tiden svært mange etablerte fysikere som mente at denne hypotesen ikke kunne forenes med allerede etablerte fakta om lys, som interferens.

Dere skal derfor i denne kronikken velge en måte å forklare den fotoelektriske effekten, og argumentere for at dette synet er korrekt. Dere skal også redegjøre for andre synspunkter, men her komme med motargumenter for hvorfor dette ikke er en korrekt forståelse.

Siden kronikken er tenkt til å være utgitt i 1922 står dere fritt til å velge i hvor stor grad kronikken skal støtte Einstein sin hypotese om at lys består fotoner. Dere kan derfor skrive en kronikk som har som mål å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er direkte feil, eller en kronikk som vil forsøke å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er den korrekte tolkningen av hva lys er. Det er også mulig å ha en mer moderat kronikk som verken har som mål å støtte eller angripe Einstein sin hypotese, men har som mål å gi en beskrivelse av de ulike synene på hva lys er uten å låse seg til en tolkning.

Vi kan se at oppgaveteksten benytter begrepet fotoner fremfor begrepet lyskvant som er mer korrekt dersom man skal forholde seg til originallitteraturen. Dette er fordi foton er et mer kjent begrep i dagnes samfunn og i skolen. Selv om opplegget har som mål om å undervise om NOS er det viktig å påpeke at elevene ikke blir bedt eksplisitt om å få med ulike kategorier av NOS i oppgaveteksten. Dette fordi det er ønskelig å gi elevene en åpen oppgave med gitte rammebetingelser. Samtidig er det ønskelig å se om elevene inkluderer elementer av NOS i kronikken sin uten at det er nevnt som en del av oppgaveteksten. Det er allikevel forventet at elevene vil inkludere noen elementer av NOS siden presentasjonen er utformet på en måte som får frem ulike elementer av NOS.

Sammen med oppgaveteksten er det utviklet noen retningslinjer for oppgaven for å hjelpe elevene i gang:

- *Presentere kort eksperimentet om fotoelektrisk effekt.*
- *Presentere ulike måter å tolke eksperimentet fotoelektrisk effekt og komme med argumenter for hvorfor disse tolkningene er korrekte eller ikke.*
- *Vær bevisst med hvordan dere argumenterer i kronikken deres. Pass på at dere ikke bare kommer med påstander. Påstandene må også begrunnes, gjerne i form av eksisterende teori eller empiriske data.*

Vi kan se at elevene blir bedt om å presentere kort eksperimentet om fotoelektrisk effekt, og at de skal presentere ulike måter hvordan man kan tolke det på. Dette er for å gi elevene konkrete oppgaver for å senke terskelen for å begynne med oppgaven. Vi kan også se at elevene blir bedt om å være bevisst med hvordan de argumenterer, og at de ikke bare skal komme med påstander.

4.1.6 Tidsasbruk

Opplegget i sin helhet er planlagt for å vare i en skoleuke, altså 5 skoletimer. Dette er relativt mye tid å bruke på ett konkret tema i fysikk. Den avsatte tiden ses allikevel på som nødvendig for at elevene skal få tid til å sette seg inn i den historiske casen. Oppgaven om å skrive en kronikk i par er også svært omfattende, noe som tilsier at elevene kommer til å bruke den avsatte tiden. Selv om opplegget har hovedfokus på fotoelektrisk effekt, vil det allikevel fungere som en oppsummering av temaet kvantefysikk. Oppgaveteksten er utformet på en slik måte at elevene får muligheten til å gå i dybden på et konkret tema innenfor kvantefysikk. Samtidig gir oppgaven elevene muligheten til å trekke inn andre elementer fra kvantefysikk. Den avsatte tiden vil også gi et signal om at man forventer at elevene skal legge ned et godt stykke arbeid i kronikkene sine, i motsetning om elev ene bare får to skoletimer.

4.2 Planlagt gjennomføring av undervisningsopplegget

Basert på utformingen av undervisningsopplegget som er beskrevet i delkapittel 4.1 er det utviklet en plan for hvordan undervisningen skal gjennomføres. Denne planen er gjengitt i Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over den planlagte gjennomføringen av undervisningsopplegget.

Time	Hva gjør lærer	Hva gjør elevene
1.time (dag 1)	Presenterer oppgaven. Holde foredrag om hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg. Presentere ulike måter fotoelektrisk effekt ble forklart på ved inngangen og starten på 1900-tallet.	Følger med på presentasjonen og tar notater fra den dersom de finner det nødvendig.
2.time (dag 1)	Veilede elevene med skrivingen.	Arbeider med kronikken i par.
3.time (dag 1)	Veilede elevene med skrivingen.	Arbeider med kronikken i par.
4.time (dag 2)	Veilede elevene med skrivingen.	Arbeider med kronikken i par.
5.time (dag 2)	Veilede elevene med skrivingen.	Arbeider med kronikken i par.

5 Forskningsmetode

Denne masteroppgaven benytter seg av et fleksibelt kvalitativt design, som bærer preg av intervensjonsbasert forskning. Dette kapittelet vil presentere forskningsdesignet, gjennomføringen av undervisningsopplegget og beskrivelsen av utvalget. Deretter vil datamaterialet for oppgaven bli beskrevet, både hvordan de ble samlet inn og hvordan de er analysert. Til slutt vil det komme en beskrivelse av ulike tiltak som er gjort for å sikre forskningskvaliteten.

5.1 Forskningsdesign

Ifølge Robson og McCartan (2016) er det viktig at man i starten av et forskningsprosjekt setter av tid til designet av forskningsprosjektet. Dersom man ikke setter av tid til designet av forskningsprosjektet og bare gyver løs uten en plan, vil man mest sannsynlig ende opp med et prosjekt som er uoversiktlig og preget av kaos (Robson & McCartan, 2016). Hvordan man legger opp forskningen vil derfor være preget av hva man ønsker å undersøke, og hvilke forskningsspørsmål man har. Forskningsdesignet man velger vil derfor prege hvordan man kan besvare forskningsspørsmålene. Samtidig vil utformingen av forskningsspørsmålene være med på å avgjøre forskningsdesignet. I denne studien er det valgt å benytte seg av et fleksibelt kvalitativt design, hvor studien bærer preg av intervensjonsbasert forskning, for å besvare de to forskningsspørsmålene:

- 1) *Hvilke aspekter av naturvitenskapens egenart kommer frem i elevenes arbeid?*
- 2) *Hvordan fungerer skriving av en kronikk som en del av fysikkundervisningen?*

5.1.1 Fleksibelt kvalitativt design

En fleksibel kvalitativ studie er preget av at studien kan utvikle seg gjennom hele prosessen, og at de ofte startet med en ide eller et problem som man ønsker å undersøke (Robson & McCartan, 2016). Forskningsspørsmålene trenger derfor ikke å være helt klare i starten av prosjektet siden prosjektet vil endre seg fortløpende gjennom prosessen. Det var i denne studien hensiktsmessig å benytte seg av et fleksibelt design siden formålet med studien var å utvikle og utprøve et undervisningsopplegg. Det fleksible designet gjorde det derfor mulig å starte med en bred ide om hva opplegget skulle omhandle, til at det underveis i prosessen ble mer og mer spisset etter hvert som undervisningsopplegget tok mer og mer form. Med å ha et fleksibelt design vil man klare å gjøre tilpasninger for studiene sitt særpreg. Selv om et fleksibelt design kan gjøre at prosjektet er under kontinuerlig utvikling peker Robson og McCartan (2016) på at det finnes flere ulike tradisjoner innenfor fleksible forskningsdesign som man bør forholde seg til. Denne studien bærer preg av det man kaller for intervensjonsforskning.

Tabell 4: De ulike stegene som blir benyttet ved intervensjonsforskning. Tabellen er en oversatt og redesignet versjon av figuren benyttet av Fraser og Galinsky (2010, s. 463).

Steg 1	Utvikle problemstilling og bli kjent med relevant teori.
Steg 2	Design og utvikle intervensjonen.
Steg 3	Teste og utbedre de ulike komponentene av intervensjonen komponent for komponent.
Steg 4	Teste intervensjonen i sin helhet.
Steg 5	Publisere resultat og konklusjon fra intervensjonen.

5.1.2 Intervensjonsforskning

Intervensjonsforskning er å gjennomføre en strukturert studie hvor man som forsker aktivt går inn for å gjøre en bevisst endring, gjøre en intervensjon (Fraser & Galinsky, 2010). For denne oppgaven vil intervensjonen være å inkludere NOS som en del av undervisningen i kvantefysikk for en fysikk 2 klasse gjennom bruken av en historisk case. En intervensjonsstudie består av flere prosesser, både designet av selve intervensjonen, men også utviklingen av selve intervensjonen. Fraser og Galinsky (2010) sier at det er fem stadier i intervensjonsbasert forskning, disse stegene er presentert i Tabell 4 som er en oversatt og redesignet versjon av figuren til Fraser og Galinsky (2010, s. 463). I de påfølgende avsnittene vil studiens forskningsdesign bli kommentert i lys av disse fem stadiene.

Steg 1: Innebære at man skal utvikle en problemstilling med tilhørende forskerspørsmål. Samtidig skal man gjør seg kjent med relevant teori og begrensede faktorer for å kunne utvikle intervensjonen. Steg 1 innebærer også å definere hvem intervensjon skal gjennomføres på, og hvem som skal gjennomføre intervensjonen. Dette er elementer som vi kan finne igjen i denne oppgaven, hvor problemstilling og forskerspørsmål ble definert tidlig i fasen, selv om det ble foretatt enkelte endringer underveis. Samtidig er det gjort et grundig søk for å bli kjent med teorien for å kunne utvikle intervensjonen, se kapittel 2 og 3. Det ble også tidlig i prosjektets startfase avtalt med en lærer om å gjennomføre intervensjonen på en fysikk 2 klasse. På denne måten vil læreplanen i fysikk være eksempel på en begrensede faktor for denne studien.

Steg 2: I steg 2 skal man designe og utvikle selve intervensjonen. Basert på teori fra kapittel 2 og 3 ble det utviklet en intervensjon, i dette tilfellet et undervisningsopplegg som hadde som mål om å undervise NOS i en fysikk 2 klasse. Etter at intervensjonen er utviklet anbefaler Fraser og Galinsky (2010) at intervensjonen deles med en ekspert på temaet. Dette for å få innspill på tilpasninger som kan gjøres på intervensjonen man gjennomfører en pilotutprøving. Selve undervisningsopplegget ble i dette tilfellet ikke delt med en ekspert for å få tilbakemeldinger for utprøvingen. Undervisningsopplegget ble allikevel utformet med en kontinuerlig dialog med klassens faglærer og veileder for masteroppgaven. Faglærer og veileder har derfor vært med å gi råd og perspektiver for at undervisningsopplegget skulle bli så bra som mulig før

gjennomføringen. Samarbeidet med klassens faglærer var også nyttig for å få undervisningsopplegget til å bli en del av en helhetlig undervisning i temaet kvantefysikk, og ikke bli et opplegg som ikke hang sammen med resten av undervisningen.

Steg 3: Ved steg 3 er det ønskelig at deler av intervensjonen testes separat for å se hvor effektiv intervensjonen er. Målet med disse pilot-testene er å oppdage mulige forbedringer på intervensjonen før den blir gjennomført i sin helhet. Grunnet tidsaspektet med masteroppgaven og begrensinger på ressurser og ble ikke dette steget gjennomført. Samtidig må undervisningsopplegget sees i helhet, noe som gjør at det ikke er trivielt hvordan man skal teste de ulike komponentene hver for seg siden de henger sammen.

Steg 4: Det skal nå være klart for å teste intervensjonen i sin helhet. Vanligvis er det ikke forskeren som gjennomfører denne utprøvingen ifølge Fraser og Galinsky (2010). Dette vil være for å unngå at forskeren får en dobbeltrolle i den siste gjennomføringen, i dette tilfellet rollen som lærer og forsker. Forskeren vil allikevel ofte være ansvarlig for opplæringen av vedkommende som skal gjennomføre intervensjonen. I denne studien var det allikevel jeg som utførte intervensjonen. Dette var for å sørge for at opplegget ble gjennomført som planlagt. For at opplegget skulle bli så autentisk som mulig var jeg derfor i klassen som en lærer de to ukene i forveien mens de hadde undervisning i kvantefysikk. På denne måten skulle elevene få en relasjon til meg som lærer og ikke forsker, noe som skulle gi en mer autentisk gjennomføring. Elevenes faglærer var også til stede mens opplegget ble gjennomført for å forsterke inntrykket av at dette var en del av undervisningen og ikke noe som foregikk utenfor undervisningen.

Steg 5: Det avsluttende steget i Fraser og Galinsky (2010) sin modell for intervensjonsbasert forskning er å publisere resultatene fra intervensjonen. Resultatene fra utprøvingen er presentert i kapittel 6. Dette sammen med en detaljert beskrivelse av undervisningsopplegget, se kapittel 4, vil være med å fullføre det siste steget i Fraser og Galinsky (2010) sin modell for intervensjonsbasert forskning.

Som presentert ser vi at studien bærer preg av å følge Fraser og Galinsky (2010) sin beskrivelse av intervensjonsbasert forskning, selv om ikke alle stegene er fulgt slavisk. Dette for å gjøre individuelle tilpasninger for studiens særegne preg som ofte er nødvendig når man benytter seg av et fleksibelt design.

5.2 Gjennomføring av undervisningsopplegget og utvalget

Undervisningsopplegget ble gjennomført på en fysikk 2 klasse ved en videregående skole i Norge. Tilgangen på klassen ble oppnådd gjennom bekjente kontakter på den aktuelle skolen, og kan derfor beskrives som et bekvemmelighetsvalg. Det faglige nivået til klassen var på det jevne med hva som brukte å være normalt for en fysikk 2 klasse ifølge deres faglærer. Undervisningsopplegget ble gjennomført uten nevneverdige avvik fra hva som er beskrevet i kapittel 4.

Undervisningsopplegget ble laget for å fungere som en oppsummering av temaet kvantefysikk. Det vil si at elevene på forhånd hadde vært gjennom temaer som fotoelektrisk effekt, dobbeltspalteforsøket og bølge-partikkel-dualiteten. Dette var hensiktsmessig siden elevene selv skulle velge om de ville argumentere for Einstein eller Lenard sin tolkning av fotoelektrisk

effekt. På denne måten kunne elevene bruke det de hadde lært tidligere i temaet om kvantefysikk, og benytte seg av annen fysikkunnskap.

Hele undervisningen av kvantefysikk strakk seg over tre uker, hvor den siste uka ble brukt til å gjennomføre undervisningsopplegget. Det vil si at de to første ukene av temaet kvantefysikk ble gjennomført med en tradisjonell tilnærming. Siden den siste uken i hovedsak skulle bestå av å skrive en kronikk, noe som er relativt utradisjonelt i fysikkundervisning, ble det funnet hensiktsmessig å gi elevene beskjed om hvordan de tre ukene med undervisning av kvantefysikk hang sammen. Eleven fikk derfor beskjed ved oppstarten av temaet om at de skulle skrive en kronikk som avslutning av temaet. På denne måten kunne elevene forberede seg på å skrive en kronikk, og tenke ut momenter som kunne brukes i kronikken fortløpende gjennom de tre ukene.

Før undervisningsopplegget og datainnsamlingen ble gjennomført ble det søkt om godkjenning av prosjektet hos Sikt-Kunnskapssektorens tjenesteleverandør, tidligere norsk senter for forskningsdata (NSD). I forkant av gjennomføringen av undervisningsopplegget ble elevene informert muntlig om forskningsprosjektets formål, hvilke rettigheter de hadde og hvilken rolle elevene spilte i prosjektet. Siden alle elevene var over 18 år kunne de selv skrive under på samtykkeskjema som ble delt ut i etterkant av den muntlige gjennomgangen av studiets omfang. Her kunne elevene velge om de ville være med på hele studien, eller bare deler av studien. En anonymisert utgave av samtykkeskjema som elevene signerte er lagt ved som Vedlegg B.

Det var totalt 15 elever i fysikk 2 klassen, 13 gutter og 2 jenter. Under gjennomføringen av undervisningsopplegget var det 2 elever som var fraværende grunnet sykdom. Av de 13 elevene som var med på undervisningen var det 11 gutter og 2 jenter. Totalt var det 8 stykker som sa seg villig til å være med på intervju i etterkant. Det ble også søkt om tillatelse for å benytte seg av lydopptak fra undervisningstimene som datamaterialet, men dette ble ikke gjennomført. Dette siden elevene i stor del av undervisningen skulle jobbe sammen i par, noe som ville ha ført til enorme mengder datamateriale. Samtidig var det ønskelig at eleven skulle få jobbe uforstyrret med å skrive kronikken uten å føle at de ble overvåket av en båndopptaker i skriveprosessen.

5.3 Datamaterialet

Fleksibel kvalitativ forskning kjennetegnes ofte med at det blir benyttet ulike typer former for datamateriale (Robson & McCartan, 2016). Datamaterialet for studien er todelt, og består av innsamling av elevarbeid og intervju. Datamaterialet samspiller på en slik måte at de kan brukes for å besvare begge forskerspørsmålene, enten direkte eller indirekte. Kronikkene er mer direkte knyttet opp til forskerspørsmål 1 om hvilke aspekter av NOS elevene tar med i sitt arbeid. Samtidig kan kronikkene også være med å gi et helhetsinntrykk til hvordan skriving av kronikk fungerer i fysikkundervisningen. Intervjuene vil være mer knyttet til hvordan eleven opplevde skrivingen, men gir også muligheten til elevene for å snakke om hvilke aspekter med NOS de tok med i sin kronikk. På denne måten vil dette være med å svare på forskerspørsmål 2 som omhandler hvordan skriving av en kronikk fungerer i fysikkundervisningen.

5.3.1 Datamatriale fra elevarbeid

Det var ønskelig å analysere elevenes ferdige produkt for å se hvordan de var innom ulike elementer av NOS og hvordan de hadde brukt fysikk i sine kronikker. Det er viktig å påpeke slik det blir nevnt i delkapittel 4.1.5 at oppgaveteksten som elevene fikk ikke ba de eksplisitt om å få med elementer fra NOS. Dette var både for å gi elevene en åpen oppgave, men også for å unngå at elevene følte seg tvunget til å ta med bestemte elementer fra NOS. Samtidig var det ønskelig å se om elevene inkluderte elementer fra NOS uoppfordret. Det er allikevel å forvente at elevene inkludere elementer av NOS grunnet undervisningsoppleggets og presentasjonens utforming.

Måten jeg fikk tak i elevenes kronikker var at jeg fikk tilsendt kronikkene fra deres faglærer. Siden et slikt elevarbeid bestående av skriftlig tekst produsert med hjelp av en datamaskin av natur er anonym, var det ikke nødvendig å søke om godkjenning til Sikt for innsamling av denne typen data. Elevene ble allikevel informert muntlig i gjennomgangen av prosjektet sitt formål om at kronikkene deres ville bli brukt som datamateriale for masteroppgaven, og at ved å signere på samtykkeskjemaet at dette innebar at det skriftlige arbeidet deres ville bli analysert. Av de 13 elevene som deltok i gjennomføringen var det ingen som hadde noe imot at deres kronikker skulle bli brukt som datamaterialet i masteroppgaven.

5.3.2 Datamaterialie fra gruppeintervju

For å få innsikt i elevenes opplevelse av opplegget, og for å høre om elevene hadde fått et faglig utbytte av opplegget, ble det gjennomført gruppeintervju. Intervju ble brukt som metode fordi intervju ofte gir gode og utfyllende kvalitative data sammenlignet med spørreskjema. Det var frivillig for elevene å delta i intervjuet, og elevene ble intervjuet i de samme gruppene som de hadde skrevet kronikken sammen. Av totalt 6 grupper ville 4 av gruppene stille til intervju. Det ble derfor gjennomført 4 separate intervju med disse 4 gruppene.

Et fokusgruppeintervju blir ofte definert som et intervju med 6 til 10 personer som blir ledet av en moderator (Kvale & Brinkmann, 2015). En ulempe med å gjennomføre slike store fokusgruppeintervju er at det kan være vanskelig for alle informantene å si sin mening i en større gruppe. Fordelen med større fokusgruppeintervju er at man legger opp til en mer naturlig samtale mellom informantene, og at man som intervjuer holder seg mer i bakgrunnen. På denne måten vil det danne seg en gruppedynamikk i intervjuet. Det vil derfor være vanskelig å si hva den enkelte informanten mener, men man får mer et inntrykk av hva gruppa som helhet mener. Samtidig vil fokusgruppeintervju gi muligheten for å hente inn store mengder med data på en effektiv måte. Antallet informanter som deltok på hvert intervju var to stykker, det er derfor mer hensiktsmessig å beskrive intervjuene som et gruppeintervju fremfor fokusgruppeintervju grunnet antallet. Man vil allikevel ha mange av de samme fordelene og utfordringen som ved et fokusgruppeintervju.

Siden jeg var interessert i å vite hvordan klassen som helhet opplevde undervisningsopplegget var det hensiktsmessig å gjennomføre flere gruppeintervju. Selv om det er vanskelig å si hvordan elevene opplevde undervisningen på individnivå, vil de 4 gruppeintervjuene gi et inntrykk av hvordan klassen som helhet opplevde undervisningen. Selv om antallet informanter som deltok pr gruppeintervju var bare to, er det allikevel hensiktsmessig å definere intervjuene

som ble gjennomført som et gruppeintervju siden det vil dannes en gruppedynamikk under intervjuet.

Gruppeintervjuene ble gjennomført som et semi-strukturert intervju, som kjennetegnes av friheten til å følge opp interessante temaer som kunne dukke opp (Robson & McCartan, 2016). Det ble utarbeidet en intervjuguide med forhåndsbestemte spørsmål og temaer som jeg var interessert i å få informasjon om. Intervjuguiden finnes som Vedlegg C. To av intervjuene ble gjennomført fredagen etter at fysikktimen var ferdig, mens de to siste ble gjennomført i fysikktimene tirsdagen den påfølgende uka. Intervjuene varte mellom 30-40 minutter, hvor det ble tatt lydopptak for å sørge for at datamaterialet kunne bli gjengitt i sin helhet. I etterkant ble gruppeintervjuene transkribert. Selv om gruppeintervjuene ble transkribert i sin helhet ble de ikke ordrett transkribert. Dette kommer av at det er stor forskjell på det muntlige språket og skriftlige språket (Kvale & Brinkmann, 2015). Kvale og Brinkmann (2015) peker også på at ordrette transkripsjoner ofte kan være vanskelige å lese. Det ble derfor tatt en vurdering på at det viktigste med transkripsjonen var å få frem hva elevene mente, selv om det ikke ble gjengitt ordrett.

5.3.3 Analytisk metode

Elevenes kronikker ble analysert ut fra et allerede utarbeidet rammeverk som er presentert i Tabell 2 i delkapittel 2.4. Det å benytte seg av forhåndsbestemte kategorier for å analysere datamaterialet vil være det som blir beskrevet for en deduktiv tilnærming (Robson & McCartan, 2016). Grunnen til at det ble valgt å benytte seg av en deduktiv tilnærming for å analysere elevenes arbeid var for å kunne svare på forskningsspørsmål 1, som omhandler hvilke elementer av NOS som kommer frem i elevenes arbeid. Samtidig ble undervisningsopplegget konstruert for å få frem de ulike kategoriene av NOS. På denne måten vil den deduktive tilnærmingen fungere som en kontroll for å se undervisningen nådde det underliggende målet om at elevene skulle lære om NOS. En induktiv tilnærming ville ikke kunne identifisere hvilke elementer av NOS som ikke ble dekket av elevene.

Når det kommer til analysen av intervjuene gjennomført med elevene ble disse analysert på en induktiv og deduktiv måte. Den deduktive tilnærmingen ble brukt for å analysere de delene av intervjuet hvor elevene snakket om ulike aspekter ved NOS. På denne måten var det mulig å gjennomføre en triangulering av datamaterialet slik at man både fikk se hvilke aspekter av NOS elevene var innom skriftlig gjennom kronikken, men også muntlig gjennom intervjuet.

Den delen av intervjuet som omhandlet elevenes opplevelse av undervisningsopplegget ble analysert induktivt med å bruke tematisk koding. Tematisk koding er en fleksibel metode som kan bli brukt for å analysere ulike typer av kvalitativ data (Robson & McCartan, 2016). Det starter med at man som forsker blir godt kjent med datamaterialet før man begynner selve kodingen. Når man begynner med selve kodingen starter man med å gi ulike deler av datasettet såkalte «merkelapper», eller koder. Deretter forsøker man å samle de kodene som henger sammen til overordnede temaer, før man videre samler de ulike temaene i såkalte nettverk. Ut fra disse nettverkene forsøker en å gi en beskrivelse av datamaterialet (Robson & McCartan, 2016). Dette vil derfor være en induktiv tilnærming til datamaterialet siden man starter med empirien for deretter utvikle kategorier som passer til empirien. Fordelen med tematisk koding

et at det er en fleksibel måte å kode store mengder med kvalitativt datamateriale på. Tematisk koding vil også være en metode som er overkommelig for personer som har liten erfaring med kvalitativ forskning (Robson & McCartan, 2016). Flexibiliteten til tematisk koding kan også være en ulempe siden det betyr at man kan kode datamaterialet på mange ulike måter. Tematisk koding alene vil også ofte begrense seg til å kun gi en beskrivelse av datamaterialet, og ikke gi en dypere forklaring til hvorfor datamaterialet er som det er (Robson & McCartan, 2016). Basert på min begrensede erfaring med kvalitativ forskning ble det tatt en beslutning om at tematisk koding av intervjudelen som omhandlet undervisningsopplegget var en fornuftig tilnærming. Selv om dette kunne medføre en overflatisk beskrivelse av elevenes opplevelse, vil dette allikevel ha en verdi siden det gir mulighet for elevene å uttrykke sin mening om opplegget.

En annen utfordring Robson og McCartan (2016) peker på med tematisk koding er at det ofte kan være utfordrende å redegjøre i detalj hvordan kodingen utviklet seg. Dette fordi tematisk koding ofte er en kreativ og assosiativ prosess, noe som vil gjøre det vanskelig å beskrive prosessen på konkret måte. Dette er noe som er tilfellet også ved denne studien. Resultatene fra den tematiske kodingen er presentert i delkapittel 6.3. Utover dette er ikke den tematiske kodingen benyttet i stor grad for videre behandling av datamaterialet.

5.4 Forskningskvalitet

Begrepene «validitet» og «relabilitet» er to begreper som benyttes for å si noe om kvaliteten til forskningen som er utført. Begrepene er ofte forbundet med store kvantitative datamateriale hvor man benytter statistiske metoder for å tolke datamaterialet. Forskning som benytter seg av et fleksibelt kvalitativt design må også forholde seg til validitet og relabilitet, men istedenfor å bruke begrepene validitet og relabilitet bruker man begrepet troverdighet for hvorvidt studien er troverdig. Det vil derfor i dette delkapittelet bli benyttet begrepet troverdighet, hvor dette fungerer som et samlebegrep av både validitet og relabilitet.

Det er gjort flere tiltak for å sikre denne masteroppgavens troverdighet. Et av tiltakene som er gjennomført er å benytte to ulike typer datamateriale, innsamling av elevarbeid og intervju, for å belyse begge forskningsspørsmålene. På denne måten kan man benytte datatriangulering, noe som er positivt for troverdigheten til studien (Robson & McCartan, 2016).

Siden en stor del av datainnsamlingen konsentrerer seg rundt undervisningsopplegget, enten som innhentning av elevarbeid fra undervisningen, eller som intervjuer i etterkant av undervisningen. Undervisningsopplegget er beskrevet i detalj i kapittel 4. På denne måten vil leseren av studien ha mulighet til å forstå hvilken kontekst datamaterialet er hentet fra. Dette vil være med å styrke troverdigheten til studien, siden man som leser får et innblikk i hva som ligger til grunn for den innsamlete dataen. Intervjuguiden er også lagt ved som Vedlegg C. Det vil derfor være mulig å forsøke å reprodusere resultatene fra studien siden det er mulig å se konteksten til datamaterialet, noe som er viktig for troverdigheten (Kvale & Brinkmann, 2015). I kapittel 6 vil det også bli presentert lengre utdrag fra både elevenes kronikker, og fra intervjuene med elevene, for at man som leser skal greie å se helheten i datamaterialet.

Det vil være vanskelig utfra denne studien å trekke en statistisk generalisering siden studien kun omfatter en fysikk 2 klasse. Kvale og Brinkmann (2015) peker allikevel på at en slik studie kan ha verdi i seg selv, siden kunnskapen som blir produsert i en slik studie kan overføres til

andre relevante situasjoner. Ved å benytte en analytisk generalisering kan man vurdere i hvilken grad funnene fra studien kan overføres til andre lignende situasjoner (Kvale & Brinkmann, 2015). Basert på beskrivelsen av utvalget og undervisningsopplegget som er presentert, kan man som lærer benytte seg av resultatene til å danne seg et bilde av hvordan et slikt opplegg vil fungere i en annen fysikk 2 klasse med tilsvarende rammebetingelser. Det vil derfor være opp til leseren å avgjøre hvor generaliserbar studien er for andre situasjoner hvor resultatet kan ha relevans.

6 Resultater og analyse

I dette kapittelet vil det bli presentert resultater og analyse av datamaterialet som er samlet inn. Datamaterialet består av to ulike deler, elevenes kronikker og intervju gjennomført i etterkant av undervisningsopplegget. Analysen er delt inn i tre delkapitler, hvor det første delkapittel tar for seg elevenes kronikker. De to siste delkapitlene vil ta for seg intervjuene som ble gjort av elevene i etterkant av undervisningen, og fokuserer på henholdsvis det faglige som elevene snakker om og elevenes uttrykte opplevelse av undervisningen.

6.1 Analyse og resultater fra elevenes kronikker

I dette delkapittelet vil det bli presentert resultater og analyse av kronikkene som elevene produserte gjennom undervisningsopplegget. Kronikkene ble analysert ved å bruke et modifisert analytisk rammeverk utviklet av Stadermann (2021) som er beskrevet i detalj i delkapittel 2.4. For å få en ryddig presentasjon av analysen vil hver enkelt kategori bli analysert for seg selv hvor det blir presentert utdrag fra elevenes kronikker i bokser. Siden kronikkene er en sammenhengende tekst elevene produserte, vil det bli presentert større utdrag fra kronikkene for å belyse de ulike kategoriene. Dette for å sørge for at helheten i kronikkene ikke forsvinner i for stor grad. Alle utdragene av elevenes kronikker er ordrett gjengitt. Enkelte av elevene var fra før vant til å referere i løpende tekst ved å bruke APA som referansestil. Enkelte tekstbokser inneholder derfor «(Fagerheim, 2023)», dette er plasser hvor elevene har referert til meg. I Tabell 5 er det presentert en oversikt over hvilke kategorier de ulike kronikkene er innom, totalt er det 6 kategorier. Fra Tabell 5 kan vi se at ingen av kronikkene nevner kreativitet i vitenskapen eksplisitt. Det vil derfor ikke bli presentert noe fra denne kategorien, men diskusjonen i delkapittel 7.1.5 vil diskutere hvorfor denne er fraværende.

To av kronikkene er lagt ved som vedlegg for å gi leseren et helhetlig bilde av hvordan de kan se ut, Vedlegg D og Vedlegg E. (For å få et bedre inntrykk av hvordan elevene løste oppgaven anbefales det å lese disse kronikkene i sin helhet.)

Tabell 5: Oversikt over hvilke kategorier de ulike kronikkene er innom.

	Kronikk 1	Kronikk 2	Kronikk 3	Kronikk 4	Kronikk 5	Kronikk 6
Bruk av modeller i vitenskap	X	X	X	X	X	X
Kontroverser i vitenskap	X	X	X	X		
Kreativitet						
Vitenskap som menneskelig aktivitet		X	X	X		X
Tentativ utvikling av kunnskap	X	X	X		X	X
Teori og observasjoner har en gjensidig påvirkning	X	X	X	X	X	X

6.1.1 Bruk av modeller i naturvitenskap

Alle kronikkene som elevene produserte nevner bruken av modeller. Enkelte av kronikkene benytter bruken av modeller i naturvitenskapen svært aktivt, mens andre såvidt er innom tematikken. Det er derfor variasjon i hvor stor grad elevene gir uttrykk for hvor bevisste de er over bruken av modeller i naturvitenskapen.

I boks 1 kan vi se at Elev 3 og Elev 4 benytter seg av matematiske modeller for hvileenergien til en partikkel med masse m_0 og den matematiske modellen for den relativistiske massen for en partikkel som er i bevegelse. Dette bruker de for å si at hvis man skal akselerere en partikkel med masse opp til lysfarten må man ha en uendelig mengde energi, noe som de sier ikke er mulig. På denne måten kan vi se at de to elevene benytter seg av to matematiske modeller for å konstruere et argument om at lys ikke kan bestå av partikler som har en masse. Siden disse elevene ønsket å forsøke å skrive en kronikk som argumenterte imot Einstein sin hypotese om at lys består av lyskvanter kan vi også se at de implisitt antar at et slikt lyskvant må ha en masse.

Boks 1, Elev 3 og Elev 4

Teorien at lys består av partikler medvirker at disse partiklene, og dermed lyset selv, har en masse. Dette møter flere komplikasjoner. Einsteins egne relativitetsteori er et av flere argumenter som motbeviser dette. Under utviklingen av teorien om generell relativitet oppdaget Einstein at masse og energi er ekvivalente størrelser gitt ved ligningen:

$$E = mc^2$$

Uttrykket impliserer da at et legeme med massen m_0 har dermed en hvileenergi gitt ved m_0c^2 . Når dette legemet da settes i bevegelse betyr det at energien til legemet også øker. Om vi da skal akselerere legemet er massen, ifølge Einsteins lov om generell relativitet, gitt ved:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}$$

Når farten v går mot lysfarten c går dermed også massen m mot uendelig. For å akselerere et legeme med uendelig masse kreves derfor uendelig energi, noe som ikke er mulig. Med andre ord er det fysisk umulig at et objekt med masse, eksempelvis en partikkel, kan oppnå lyshastigheten. Om lys skal kunne reise i lysets hastighet er det derfor umulig at det har en masse og det kan dermed heller ikke bestå av partikler.

I boks 2 kan vi se at Elev 3 og Elev 4 fortsetter å benytte seg av ideen om at et lyskvant må ha en masse, og bruker også andre prinsipper ifra fysikken for å argumentere for at lys ikke kan ha en masse. Deriblant benytter de seg av at lysfarten er konstant, og at det vil virke en gravitasjonskraft imellom to objekter med masse.

Boks 2, Elev 3 og Elev 4

Gjennom Einsteins arbeid med generell relativitet dukket det opp et annet fenomen som komplisere hans teori om at lys er bestående av partikler. Han konstaterte nemlig at lysfarten er konstant. Dette er vi helt enige i, og arbeidet som er gjort for å bevise det er grundig og troverdig. Problemet kommer her: Se for deg at du er en partikkel som reiser fra sola med en gitt startfart. Er det da riktig at farten vil være den samme i det du forlot sola og når du er kommet milevis unna? Grunnet solens gravitasjonskraft vil du oppleve en akselerasjon mot din fartsretning, altså som bremses deg. Det samme gjelder et hvilket som helst objekt med masse. Om lys består av partikler er det derfor umulig at farten er konstant da den vil bli akselerert av gravitasjonskraften til legemer som sola og jorda.

Samtidig kan vi i boks 3 se at Elev 3 og Elev 4 benytter seg av Thomas Young sitt dobbeltspalteforsøk for å argumentere for lys sin bølgenatur. Samtidig beskriver elevene hva som ville ha skjedd dersom vi gjennomførte et dobbeltspalteforsøk med partikler. På denne måten kan vi se at eleven også bruker hvilke konsekvenser ulike modeller får for ulike forsøk.

Boks 3, Elev 3 og Elev 4

Om vi et sekund skal late som Einstein har rett og sender lys gjennom en dobbelspalteåpning med en skjerm bak for å se hvordan lyset oppfører seg. Om vi tar utgangspunkt i Einsteins teori om lysets partikkelnatur vil lyset gi to belyste spalter på skjermen. Om du utfører eksperimentet vil du oppdage at det oppstår flere belyste spalter. Thomas Young gjennomførte eksperimentet i 1801. Det han observerte var at lyset dannet et interferensmønster på skjermen. Det oppstår spalter av lys og mangel på lys som brer seg utover skjermen. Dette fenomenet forklares ved lysets bølgenatur. Som vist på modellen under vil lysets bølger, når de slipper gjennom spaltene, interferere med hverandre og danne et interferensmønster på skjermen. Dette fenomenet kan ikke forklares ved partikkelnatur da de ikke vil påvirke hverandre på samme måte. Det er derfor med Thomas Youngs *dobbelspalteeksperiment* motbevist at lys består av partikler.

I kronikken til Elev 1 og Elev 2 kan vi i boks 4 også se at de benytter seg av to ulike modeller for hva lys er for å argumentere for hvilken modell de mener er mest troverdig. Vi kan se at de benytter seg av Einstein sin beskrivelse av hvordan energien til en lysstråle er fordelt i rommet, samtidig som de forklarer hva man kunne forvente skulle skje dersom man benyttet en ren bølgemodell for lys.

Boks 4, Elev 1 og Elev 2

Her skriver han «... energien til en lysstråle som er sendt ut fra en punktkilde er ikke kontinuerlig fordelt i rommet, men består av et endelig antall av lyskvanter som er lokalisert i rommet, og som kun kan bli absorbert som hele enheter». Her beskriver Einstein tanken om at lys er bygd opp av lyskvanta som er en størrelse energi som ikke kan endres. Selv om Einstein ikke enda kan si noe mer om hva en lyskvanta er, vet vi at de eksisterer på grunn av Fotoelektrisk effekt eksperimentet. Med bølge teorien ville elektronene i eksperimentet løsrives ved å skru opp intensiteten til lyset, men det skjedde ikke. I stedet skjedde det som Einstein hadde sett for seg og elektronene ble løs revet når frekvensen til lyset økte å dette bekrefter partikkelteorien. For det som egentlig skjer når man skrur opp intensiteten til lyset er å sende ut flere lyskvanter med samme energi som før og man vil få flere eventuelle løsrivinger. Med dette kom han opp med $E=hf$ som er formelen for energien til en lyskvanta.

Vi kan i boks 5 se at Elev 5 og Elev 6 også påpeker hva som er et forventet resultat av eksperimentet med fotoelektrisk effekt dersom man legger en ren bølgemodell til grunn.

Boks 5, Elev 5 og Elev 6

Ifølge bølge modellen ville flere elektroner blitt slått ut ved å øke intensiteten til lyset, noe som ikke var tilfellet. Dette var grunnen til at bølge modellen ble vanskeligere å forsvare når fenomenet fotoelektrisk effekt kom på bordet.

6.1.2 Teorier og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre

I alle kronikkene som elevene har skrevet kan vi se at de i større eller mindre grad er inne på elementer som sier at teorier og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre. Dette kommer ofte til syne når elevene påpeker svakheter med den teorien som de mener er feil.

Spesielt blant de som ønsket å snakke for Einstein sin hypotese om lys består av lyskvanter, ser vi at de ofte påpeker en svakhet med Lenard sin hypotese. Grunnen til at dette vil være en gjensidig påvirkning av teori og observasjon er at observasjoner som blir gjort vil være med å endre hvordan vi forklarer teorien. Samtidig vil den eksisterende teorien være med å danne grunnlaget for hvordan vi kan forklare fenomenet. I boks 6, 7, 8 og 9 kan vi se hvordan ulike elever kommer med eksempler på at på at observasjoner som blir gjort vil være med å endre hvordan man tolker eksisterende teorier.

Boks 6, Elev 1 og Elev 2

Forklaringen hans lyder slik: "Lys vil ikke overføre sin energi til det utløste elektronet. Elektronet blir frigjort fra atomet som en resonanseffekt mellom lyset og elektronet. Lys fungerer derfor kun som en katalysator og bidrar til å frigjøre en bevegelse som allerede eksisterer inne i atomet."

...

Hele Einstein sin tanke om lys går også imot Lenards tolking av forsøket. Skulle Lenards teori være korrekt skulle elektronene bevege seg raskere om vi varmet om metallplaten på forhånd. Tanken var at når elektronene har blitt tilført energi ville de bevege seg raskere når de blir løsrevet fra metallplaten. Han prøvde å gjennomføre dette, men observerte ikke det han hadde forventet. I et forsøk på å motbevise Einstein, så støttet han i stedet opp mot lyskvanta teorien hans.

Boks 7, Elev 7 og Elev 8

Lenard oppdager at lyset oppfører seg annerledes når det treffer metallplaten ved at han justerer intensiteten til lyset. Hvis lyset var en bølge ville intensiteten gjort elektronet raskere, men det skjedde ikke. Intensiteten gjorde at flere elektroner ble frigjort og at farten var den samme uavhengig av intensitet. Derfor kom han med at lyset ikke gir fra seg energien sin men er en katalysator som gir elektronet en bestemt fart. Ulike bølgelengde ga ulik fart og sånn kunne han bygge på sin katalysator teori. Lenard teori fikk mye kritikk siden den ikke kunne beskrive hvorfor man fikk den samme farten selv om man varmet opp metallplaten først. Man trodde jo mere energi elektronet har jo raskere ville det gå etter at lyset treffer.

Boks 8, Elev 9 og Elev 10

Lenard mener at hastigheten og den kinetiske energien til elektronet eksisterer fra før som svingninger inne i atomet. Han sier videre at dette er en effekt der lyset og elektronet resonerer slik at elektronet blir frigjort ved visse bølgelengder og frekvenser. Derfor sier han at lyset bare er som en katalysator, den frigjør noe som allerede er der.

Lenards påstander tar ikke hensyn til tilførsel av varmen energi i metallplata. Varme vil øke den indre kinetiske energien til elektronene slik at de vibrerer raskere, noe som burde tilsi at når et elektron blir slått løst burde det ha høyere utgangshastighet, noe flere forskere i tidsperioden 1905-1911 fant at ikke stemmer.

Boks 9, Elev 11, Elev 12 og Elev 13

Teorien, “katalysator-hypotesen” går ut på at elektronene til metallet allerede har en energi lagret og en interaksjon mellom lys bølger ved spesifikke frekvenser har en utløsende effekt slik at elektronene blir skutt ut. I denne teorien er lyset en “katalysator” og fungerer som en “trigger”. I utgangspunktet er dette en grei teori men om ser nærmere på teorien er det noen åpenbare hull. Først og fremst om vi gjør forsøket på nytt men med oppvarmet metall, elektronene har en indre kinetisk energi, i dette tilfelle vil elektronene ha en større lagret energi og om vi sender lyset skal elektronene utløses med en høyere hastighet noe som ikke skjer når forsøket blir gjort, metallet reagerer likt som før.

Med eksemplene nevnt i boks 6, 7, 8 og 9 kan vi se at elevene beskriver observasjoner som er vanskelig å forklare med en gitt modell, og på denne måten har en innvirkning på hvordan modellen kan tolkes. I kronikken til Elev 5 og Elev 6 kan vi også se i boks 10 at de snakker om at nye observasjoner gjør at man gjør forandringer på de eksisterende teoriene for at de skal passe bedre med observasjoner. Noe senere i kronikken sin forteller de også noe som tyder på at allerede eksisterende teorier er med å sette begrensinger for hvordan man kan tolke nye observasjoner.

Boks 10, Elev 5 og Elev 6

Ifølge bølgemodellen ville flere elektroner blitt slått ut ved å øke intensiteten til lyset, noe som ikke var tilfellet. Dette var grunnen til at bølgemodellen ble vanskeligere å forsvare når fenomenet fotoelektrisk effekt kom på bordet. Det fikk den tyske fysikeren Philipp Lenard, født 1862, til å gjøre en endring i den klassiske modellen (the nobel prize, u.d.). Han ble opptatt av å kunne beskrive Hallwachs eksperiment og lagde “katalysator hypotesen” i 1902.

...

Det største problemet med teorien til Einstein er at det allerede er bevist at lys er en bølge (Fossum et al, 2022). Beviset for dette kommer fra dobbeltspalteeksperimentet, der man ser at lys som blir sendt gjennom to små spalter vil danne et interferensmønster bak spaltene (Vistnes, 2010). Om lys hadde vært partikler, ville lyset heller ha dannet to linjer bak spaltene. Forklaringen Einstein har til dette er at fotonene kan oppføre seg som både bølger og partikler. Det er usannsynlig at lys kan være både bølger og partikler.

6.1.3 Vitenskapen er tentativ

I flere av kronikkene som elevene har skrevet kommer det frem elementer som viser at vitenskapen er en kontinuerlig prosess, som strekker seg over en lengre tidsperiode. Flere av elevene har blant annet tatt med at debatten om hva lys består av er en lengre debatt som kan spores tilbake til Newton sin tid. Man kan derfor si at elevene er inne på at vitenskapen har trekk som tilsier at den kan beskrives som konservativ og en evolusjon når det kommer til utvikling. Dette kan vi se i eksemplene i boks 11 og boks 12.

Boks 11, Elev 5 og Elev 6

I følge tid.uio.no levde faktisk teorien om at lys var partikler i 100 år fra debatten mellom Isaac Newton og Huygen på slutten av 1600-tallet (Vistnes, 2010).

Boks 12, Elev 11, Elev 12 og Elev 13

På tross av motargumentene sto Einstein på sitt og fortsatte med sin teori, selv om han også fikk litt tvil på om det egentlig var sant. I hans levetid ble ikke partikkel-bølge debatten ferdig og selv ikke den dag i dag er vi helt sikker på hva lys består av.

Det er en rekke forklaringer på fotoelektrisk effekt, og ingen har blitt bevist, hevet over all tvil. Derfor kan vi ikke si akkurat hva som er riktig og feil, men som vi har fortalt over har vi en ganske grei idé. Vi mener Einsteins teori er den mest troverdige, men vi kan ikke vite helt sikkert. Forskning er en kontinuerlig prosess, så Einsteins teori er mest sannsynlig ikke menneskers siste teori. Hvem vet, kanskje finner vi det eksakte svaret til slutt.

Den tentative utviklingen av vitenskapen har også revolusjonerende trekk, noe som kommer frem i ulike kronikker skrevet av elevene, se boks 13 og boks 14. I boks 14 se at Elev 3 og Elev 4 både er inne på at forskningen er en lang prosess når de peker på at det har vært en 200 år lang debatt om hva lys er. Samtidig som de viser til at Einstein sin hypotese om at lys består av fotoner er en radikal tanke som bryter med tanker som allerede er bevist, og hevder at en slik tanke vil være bremsende for utviklingen av moderne fysikk. Det er derfor mulig å hevde at Elev 3 og Elev 4 i dette lille avsnittet er inne på flere elementer av den tentative utviklingen av vitenskap, både trekk som tilsier at utviklingen av kunnskap foregår over en lang tidsperiode, og dermed er en evolusjon. Samtidig som den radikale hypotesen til Einstein viser til at det kommer revolusjonerende tanker som bryter med det som allerede er etablert som sannheter. Man kan også se tegn til det konservative elementet når de hevder at en slik radikal hypotese vil være en brems for videre utvikling av moderne fysikk.

Boks 13, Elev 5 og Elev 6

Han mente at lyset måtte være en strøm av fotoner som blir absorbert av elektronene i metallplata, og dermed gi nok energi til å gå gjennom kretsen (Fagerheim, 2023). Tross sin unge alder og minimal utdanning presenterte han i 1905 tre teorier, hvor to av dem fikk revolusjonerende følger og som han fikk nobelprisen for i fjor (Fagerheim, 2023).

Boks 14, Elev 3 og Elev 4

Etter en to hundre år lang debatt har vi endelig kommet til enighet om at lys er et fenomen bestående av bølger. Albert Einsteins radikale hypotese bryter med det som allerede er bevist og vil være en stor brems for utviklingen av moderne fysikk.

6.1.4 Kontroverser i vitenskapen

I kronikken kom elevene også innom elementer av kontroverser som var tilknyttet Einstein sin hypotese om lyskvanter. Dette kan gjenspeiles i at elevene sier noe om at Einstein mottok kritikk for sin hypotese i 1905, se boks 15. Samtidig peker den ene gruppen på at Einstein først mottok nobelprisen 16 år etter at han publiserte artikkelen sin i 1905, se boks 16.

Boks 15, Elev 1 og Elev 2

Den unge fysikeren Albert Einstein har nylig publisert revolusjonerende artikler som forklarer fotoelektrisk effekt på en måte som stiller spørsmål til hele vår virkelighetsoppfatning. Kritikken mot Einstein har hamret inn fra alle retninger. Det er derfor den eldre generasjonen med fysikere sitt ansvar å slippe til et sett med unge øyne i fysikkens verden.

Boks 16, Elev 5 og Elev 6

Tross sin unge alder og minimal utdanning presenterte han i 1905 tre teorier, hvor to av dem fikk revolusjonerende følger og som han fikk nobelprisen for i fjor (Fagerheim, 2023). Dette med et spenn på 16 år, noe som underbygger det faktum at teoriene hans ikke fikk særlig god respons med en gang de ble publisert. Nobelprisen fikk han nettopp for teorien om den fotoelektriske effekten, men hvorfor fikk den da så mye motstand da den kom ut?

I kronikken til Elev 1 og Elev 2 kan vi i boks 17 se at de også er inne på at kontroverser og uenigheter ikke nødvendigvis er negativt med tanke på utviklingen av kunnskap. Dette er i kontrast til hva vi ser i boks 14 hvor Elev 3 og Elev 4 sier at Einstein sin radikale hypotese vil fungere som en bremsekloss for videre utvikling.

Boks 17, Elev 1 og Elev 2

Prosessen med å oppdage lyskvanta har involvert utallige fysikere som både forsker for å oppdage, og forsker for å motbevise. Alle disse har en rolle i å bygge opp den vanntette forståelsen av lys som Einstein har kommet opp med.

6.1.5 Subjektivitet i vitenskapen

To av kronikkene til elevene viser at forskerens status i vitenskapsmiljøet har en betydning for hvordan hypoteser blir tatt imot. Begge kronikkene tar utgangspunkt i debatten som var imellom Newton og Hyugen på slutten av 1600-tallet for å si at Newton fikk støtte for sin hypotese grunnet hans status i sin samtid. Dette kan vi se i boks 18, hvor Elev 3 og Elev 4 nevner at statusen til Newton gjorde hans hypotese om lys ble anerkjent i hans samtid. Elevene viser dermed en forståelse for at forskerens kompetanse innenfor et fagfelt er avgjørende for hvorvidt nye teorier vil bli anerkjent.

Boks 18, Elev 3 og Elev 4

På grunn av Newtons respekt og posisjon i verdens fysikkksamfunn ble denne forklaringen akseptert. Dessuten var det ingen andre som verken turte eller klarte å motbevise den store sir Isaac Newton.

Boks 19, Elev 5 og Elev 6

I følge tid.uio.no levde faktisk teorien om at lys var partikler i 100 år fra debatten mellom Isaac Newton og Huygen på slutten av 1600-tallet (Vistnes, 2010). Dette var fordi Newton fikk anerkjennelse for mye av den andre fysikken han hadde gjort og folk trodde dermed på han og partikkelteorien

I boks 19 viser Elev 5 og Elev 6 at selv om forskere sitter på samme resultater og observasjoner er det forskerne selv som er nødt til å tolke resultatene. I en slik tolkning vil personlige preferanser være avgjørende for hvordan den enkelte forskeren tolker resultatet. Samtidig viser de noe senere i kronikken sin at et konservativt vitenskapsmiljø som gjorde at ikke Einstein fikk anerkjennelsen med en gang. Dette kan vi se i boks 20.

Boks 20, Elev 5 og Elev 6

Lenard var imidlertid imot Einsteins teori om fotoner og tross at begge konkluderte med at økt intensitet ikke frigjør flere elektroner var de uenige i om atomene absorberte energien til lyset eller ikke.

...

Oppsummert finnes nok argumenter til at Einsteins nobelpris for hypotesen om fotoner var vel fortjent. Den skulle allerede ha kommet da han publiserte teorien, men det var konservative syn og vanene til klassisk fysikk som gjorde teorien kritikkverdigg. Bra for Einstein ble det til og med bevist at deler av teorien hans var riktig, selv om Millikan, som beviste det, i utgangspunktet var imot teorien om fotoner.

6.2 Resultater og analyse fra gruppeintervju

Dette delkapittelet vil presentere resultater og analyse fra intervjuene med elevene. Delkapittelet vil fokusere på den delen av gruppeintervjuet hvor eleven snakket NOS. Resultatet fra de fire gruppeintervjuene vil bli analysert temavis i tamene:

- Bruk av modeller.
- Kontroverser, kreativitet og forskning som en del av samfunnet.
- Teori og observasjon har en gjensidig påvirkning.
- Vitenskapen som en menneskelig prosess.
- Vitenskapen er tentativ.

Hva som ligger til grunn for de ulike temaene er presentert i delkapittel 2.4. Intervjuet som ble holdt med Elev 1 og Elev 2 ble et kortere intervju siden disse elevene var mindre snakkesalig

enn de andre elevgruppene som ble intervjuet. Elev 1 og Elev 2 vil derfor være mindre representert enn de andre elevene. Selv om Elev 1 og Elev 2 var mindre pratsomme enn de andre elevgruppene avvirket ikke deres svar fra de resterende.

6.2.1 Bruk av modeller

Flere av gruppene som ble intervjuet var innom at vitenskapen tar i bruk modeller for å kunne forklare fysiske fenomener. Elev 11 og Elev 12 er også inne på noe som kan tyde på at modellene som blir tatt i bruk har sine begrensninger når vi skal forklare ulike fenomener. Når de blir bedt om å si hvilken vinkling de valgte å gi oppgaven sin svarte de på følgende måte:

Intervjuer: «Dere er ferdige med oppgaven nå, så jeg lurer på hvordan dere vinklet oppgaven deres?»

Elev 11: «Vi vinklet oppgaven slik at vi skulle være enig med Einstein sin teori om fotoelektrisk effekt.»

Elev 12: «Det var også litt viktig at selv om vi skulle støtte partikkeldualiteten, så tenkte vi også at det er viktig å understreke at vi vil ikke ha noen enkel konklusjon. Vi ville ikke svare der er en partikkel, eller det er en bølge. Vi må på en måte presentere det slik at lys er noe for seg selv. Noe som vi kanskje ikke kan koble til noe annet. Verken med begrepet bølge eller partikkel.»

Vi kan her se at Elev 12 sier noe om at lys har en bølge-partikkel-dualitet, og at man ikke ønsket å ha en enkel konklusjon med å si at lys er en bølge eller en partikkel. Det var derfor viktig for dem å få frem at lys kanskje består av noe eget, og ikke kan kobles direkte til hverken en bølge eller en partikkel. Vi kan her se at elevene er inne på begrensninger som ulike modeller gir når man skal forklare ulike fenomener. Elev 3 og Elev 4 var også inne på at det er viktig at man er klar over hvilke antagelser som ligger til grunn for modellene som blir brukt, og hvilke begrensninger disse antagelsene gir:

Elev 4: «En ting jeg hadde likt at vi lærte mer om i fysikken er hva ligningene og reglene antar. For eksempel 'Denne ligningen her antar at lys er en bølge'. Vanligvis så lærer vi bare formlene og bruker de når vi skal løse oppgaver, men det er jo noen oppgaver som tester deg. [...].»

Intervjuer: «Så vite mer hva det er formlene antar og hva de bygger på?»

Elev 4: «Ja. At Compton-spredning antar at lys er en partikkel.»

Intervjuer: «Så det føler dere at dere får mer av når dere må skrive en kronikk, og trekke frem flere elementer og se ting i sammenheng?»

Elev 4: «Mer enn i en vanlig oppgave i alle fall»

Elev 3: «Å argumentere for hvorfor du kan bruke den og den formelen, fremfor å bare bruke den.»

Elev 4: «Eller argumenter hvorfor formelen antar at noe er sant. At denne formelen ikke kan brukes i dette tilfellet fordi den feilaktig antar dette og dette.»

Vi kan i samtaleutsnittet over lese at elevene snakker om bruk av modeller i fysikk og hvilke antagelser som ligger til grunn for modellene. Elevene snakker også om at en oppgave som ber dem argumentere for et synspunkt gjør at de i større grad må fokusere på antagelsene som er gjort for de ulike modellene, og argumentere for hvorfor dette er riktige antagelser basert på observasjoner som er gjort. Elevene gir også uttrykk for at de gjennom en slik oppgave ser flere sammenhenger i fysikk. Samtidig måtte elevene ta hensyn til hvilke antagelser formlene bygger på for å kunne svare på oppgaven.

6.2.2 Kontroverser, kreativitet og forskning som del av samfunnet

Samtlige av elevgruppene som ble intervjuet snakket også, direkte eller indirekte, om kontroverser i vitenskapen. Når Elev 3 og Elev 4 ble spurt om å gi en kort oppsummering av hvordan forståelsen av fenomenet fotoelektrisk effekt utviklet seg fra oppdagelsen til slutten av 1920-tallet oppsummerte Elev 3 det på følgende måte:

Elev 3: «Det høres teit ut å si det nå at de brukte 40 år på å finne ut at lys har partikkelegenskaper og at det besto av små energikvanter. Men det må jo være litt av et problem å begripe seg på når man ikke, hmm. Det som jeg tror var den store bremsen var at de allerede hadde akseptert bølgeteorien. Det å da prøve å endre de lovene og reglene som da var 'moderne fysikk' og si at det er feil. Det å da starte fra null igjen. Så det var mye tenking og mye arbeid og diskusjoner og rare teorier. Jeg tror de har vært innom mye annet rart før de kom innom de energikvantene. Så ja, nei hvordan de egentlig kom på det er ganske sykt.»

Intervjuer: «Så det var litt overaskende at det tok tilnærmet 40 år?»

Elev 3: «Ja, det er lett å si det nå da. Men når du er der og du står og har sett et eksperiment som motbeviser det du vet om fysikk. Eller som argumenterer for at det er noen annet enn hva du tror. Og da klare å tenke seg fram til det, og det å klare å bevise det med den teknologien de hadde ved det 100-årsskiftet der.»

Vi kan her se at Elev 3 er innom flere deler av NOS, både at vitenskapen er tentativ når vi ser på et tidsaspekt på 40 år. Samtidig er Elev 3 også inne på forskning som en kreativ prosess når han snakker om at forskerne måtte starte på null igjen, og at det innebærer mye tenking og arbeid. Samtidig nevner han at det mest sannsynlig har vært tenkt på mange andre ting før man var innom energikvanter. Elev 3 snakker også om at den store bremsen for å akseptere energikvanter var at de på den tiden hadde akseptert lys som en bølge. Dette viser at elevene forstår at innføringen av at lys består av små lyskvanter var ekstremt kontroversielt i sin samtid når man hadde akseptert lys som en bølge. Helt på slutten snakker Elev 3 om noe som kan tyde på at han forstår at forskning er en del av samfunnet man lever i når han snakker om teknologien som var tilgjengelig på starten av 1900-tallet. Elev 5 og Elev 6 ble spurt om en historisk tilnærming førte til at man fikk et mer innblikk i forskningen som en del av samfunnet:

Intervjuer: «Så man får kanskje mer innblikk i hvordan forskningen er en del av samfunnet?»

Elev 5: «Ja. Også ser vi verdien av debatt, at debatten som det her fenomenet skapte gjorde at fysikken kom lengre. Det er kanskje det man bør sitte igjen med etter det her. At hvis man ikke diskuterer eller er uenige så kommer man seg aldri lengre frem. Hvis alle var enige om at det var bølger og ingen stilte spørsmål så hadde man aldri funnet ut at det var noen bølgedualitet.»

Elev 6: «Så tror jeg kanskje det å se på det i en historisk sammenheng får det til å være litt lettere å se sammenhengen mellom de ulike tingene. For vanligvis så vil vi jo hatt først om fotoelektrisk effekt, så om fotoner og hva det er. Mens her får vi se hvorfor ideen om fotoner finnes i det hele tatt.»

Elev 5: «Hvorfor noen turte å stille spørsmålet. Fordi de så at her var det noe som ikke stemte.»

Vi kan her se at Elev 5 snakker om verdien av debatter i forskning. Uten debatter og uenigheter kommer man ikke videre i forskning. Det som Elev 5 sitter igjen med er at hun ser verdien av uenigheter og debatter i forskningen. Samtidig sier Elev 6 at han gjennom en historisk tilnærming lettere ser sammenhengen mellom fotoelektrisk effekt og hvorfor ideen om fotoner finnes. Elev 5 utfyller Elev 6 med å si at en slik framstilling er med å vise hvorfor noen også tør å stille kritiske spørsmål til allerede eksisterende teorier. Samtidig kan vi se at Elev 1 også er inne på at man lærer litt om den vitenskapelige prosessen når man har en historisk tilnærming:

Intervjuer: «Hva synes dere om den historiske tilnærmingen vi hadde denne uka?»

Elev 1: «Artig å få lære litt historie også, og se litt på all den forskingen som ligger bak det som vi i dag vet. Det er tøft.»

Intervjuer: «Så artig å lære litt om prosessen?»

Elev 1: «Ja det er viktig det, lære litt om den vitenskapelige prosessen. Så er det greit å få et lite innblikk i hva som faktisk skjer. At det ikke bare er en person som har funnet på alt. At det faktisk er mange personer som har bygd på hverandre sine teorier og testet de ut. Samtidig som de kranglet om hva som var rett tolkning.»

Her kan vi se at Elev 1 snakker om at den historiske vinklingen viser at det ikke bare er én person som har funnet på noe, men at der er flere personer involvert. Både elementet om at forskere bygger på hverandres teorier og tester disse viser forskning som en kollektiv prosess.

6.2.3 Teori og observasjoner har en gjensidig påvirkning

Flere av elevene var innom at teori og observasjoner har en gjensidig påvirkning på hverandre. Når Elev 5 og Elev 6 fikk spørsmål om å oppsummere hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt hadde utviklet seg fra oppdagelsen til 1920-1930 svarte de følgende:

Intervjuer: «Hvis dere skulle ha oppsummert hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt har utviklet seg fra oppdagelsen til 1920-1930. Hvordan vil dere oppsummere det?»

Elev 5: «Når det kom så var jo folk sånn ‘det skjønner vi ikke’ det var som en bombe siden bølge-teorien ikke kunne forklare det. Hvordan dette skulle fungere.»

Elev 6: «De tok vel og endret bølgeteorien til å passe med det den sa. Slik at de måtte jo allerede endre den slik at det passet med det de fant. Også passet der heller ikke med noe andre ting, så kunne de ikke endre den til å få det til å funger. Så det ble laget en ny teori på hvordan det fungerte»

Elev 5: «Også grunnen til at Einstein kom med en ny teori der var jo fordi endringen i bølgeteorien fikk svakheter. For fotoelektrisk effekt, at det å varme opp metallplata ikke gjorde at elektronene gikk raskere. Slik som Lenard sin teori sa. Så det var hele tiden svakheter med teorien om fotoelektrisk effekt som gjorde at det kom nye teorier. [...]»

Vi kan her se at elevene forstår at observasjoner er med å endre eksisterende teorier for å få teoriene til å stemme overens med observasjonene. Elev 6 snakker om at man endret bølgeteorien til å passe med de nye observasjonene. Elev 5 peker også på at det kom stadig nye «svakheter» med bølgeteorien grunnet nye observasjoner som var med å prege teoriene. Med disse utsagnene fra elevene kan vi si at Elev 5 og Elev 6 er klar over at teorier setter begrensinger for hvordan man tolker observasjonene, siden de sier at man først forsøkte å forklare fenomenet med den eksisterende teorien. Samtidig er de klar over at nye observasjoner kan føre til endringer i eksisterende teorier. Det at de eksisterende teoriene er med å sette rammeverket for hvordan man tolker observasjonene er også noe Elev 3 snakker om når han sier «Det som jeg tror var den store bremsen var at de allerede hadde akseptert bølgeteorien.» (se side 41).

6.2.4 Vitenskapen som en menneskelig prosess

Det at vitenskapen er en menneskelig prosess snakket spesielt Elev 11 og Elev 12 om i intervjuet. Når Elev 11 og Elev 12 fikk spørsmålet om å oppsummere hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt hadde utviklet seg fra oppdagelsen til 1920-1930 svarte de følgende:

Intervjuer: «Hvis dere skulle ha oppsummert hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt, fra man oppdaget det til Einstein vant nobelprisen. Hvordan vil dere oppsummere prosessen?»

Elev 12: «Det var jo han ene som oppdaget det som ikke gjorde så mye ut av det. Men så snart det ble litt mer anerkjent så forsøkte de å bortforklare det med noe som passet med teoriene de hadde fra før. Helt til Einstein ikke var enig i det da. Det var vel det som var prosessen»

Elev 11: «Også i det Einstein hadde så prøvde de aktivt å motvirke det han sa, for hvis de fant ut at det han sa var riktig så ville det ha lagt all forskingen de hadde gjort i grus, tenkte de.»

Intervjuer: «Men det du sier med aktivt motvirke (får ikke fullført spørsmålet) ...?»

Elev 11: «Ja det virket som at dem bare fant på argumenter. Det her er bare meg i dag da som tolker hvordan de oppførte seg, men de virket litt redde for å miste ansikt. Derfor fant de ut ting som kunne passe sånn halvveis i sin forklaring og som ikke passet med Einstein. Så de da kunne få han til å se, hmm, i alle fall passe på at hans ide ikke ble mer akseptert. For da ville deres ide se dummere ut på en måte.»

Vi kan her se at Elev 11 og Elev 12 er inne på en mer subjektiv side ved vitenskapen. Det at vitenskapen er en menneskelig prosess innebærer også at forskere selv har en personlig agenda, og selv ikke ønsker å miste ansikt som Elev 11 sier. Videre i intervjuet utdyper Elev 11 og Elev 12 dette når de blir spurt om det var noe som var overraskende ved hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg:

Intervjuer: «Er det noe i denne prosessen her som var overraskende i hvordan det utviklet seg?»

Elev 12: «Det som er litt fascinerende er hvor bastante og konservative folk er. Det er jo litt overaskende, samtidig forståelig, for det var jo som du sa at de hadde brukt mange år av livet sitt til å vise at en teori stemmer. Så det er jo forståelig, men også litt fascinerende.»

Elev 11: «Jeg er enig i det, men jeg synes ikke det er så overraskende. Som i dag også så det er jo ingen som liker å bli fortalt at de har feil, spesielt hvis man har brukt veldig lang tid på det. Så jeg synes det er forståelig at de prøvde sånn. Det er jo litt dumt da det stopper fremskritt.»

Her snakker elevene om at det var litt fascinerende å se hvor bastante og konservative personer er. Det er noe som de finner litt overraskende, samtidig som at det er forståelig. De ble videre spurt om hva de tenker om at vitenskapen er konservativ:

Intervjuer: «Men hva tenker dere om at vitenskapen er konservativ, eller det noe som bør (får ikke fullført spørsmålet) ...?»

Elev 11: «Hvis det er noen som finner ut noe nytt så burde man se på det og se om det er noe som har blitt gjort feil for å finne ut den nye tingen. Og gi det en sjanse hvis det er revolusjonerende da. Så gi det en sjanse og sjekke om det faktisk er reelt. Og hvis man finner ut at det ikke er reelt så er det så. Hvis det er reelt så må man kanskje se tilbake på det man har gjort tidligere å se hvorfor de to ikke passer sammen.»

Elev 12: «Det er jo greit at ting ikke blir konkludert med en gang, skal jo dobbeltsjekkes og sånt. Det må jo for eksempel, jeg husker ikke, det var for litt siden en forskningsgruppe som fant ut at de hadde funnet noe som var raskere enn lyset. Jeg husker ikke helt detaljene, men ett eller annet. Det viste seg å ikke stemme da, så det er jo greit å dobbeltsjekke. Samtidig når jeg tenker på de konservative personene, så handler det ikke bare om å dobbeltsjekke. Det handler litt mer om å forsvare deres ære og det blir veldig subjektivt på den måten. Det blir ikke så veldig objektiv diskusjon. Det blir litt for personlig, og det tenker jeg ikke er særlig positivt.»

Elev 11 og Elev 12 er her inne på elementer som sier vitenskapen er naturlig konservativ med at man bør dobbeltsjekke og ikke trekke konklusjoner med en gang. Dette kan minne om at forskere fagfelle vurderer hverandres arbeid, og på den måten derfor er kritiske til hverandre for å se om det er noe som er gjort feil i prosessen. Dette virker som det er noe som Elev 11 og Elev 12 mener at vitenskapen bør være. Det som de allikevel legger i konservative personer er ikke bare at de er kritiske til hverandre, for å styrke vitenskapen, men at enkelte også ønsker å forsvare sin ære. Dette hevder elevene gjør at debatten blir for personlig og lite objektiv. En

slik konservativ holdning hvor det handler om å forsvare sin egen ære fremfor å finne svaret er noe som Elev 11 sier vil være en hindring for progresjon i vitenskapen.

6.2.5 Vitenskapen er tentativ

Det at vitenskapen er tentativ kommer til syne i flere av sekvensene presentert foran. Både når elevene snakker om at teorier og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre, og når de snakker om at fotoelektrisk effekt var et kontroversielt fenomen når det ble oppdaget i sin samtid. Det at elevene peker på at det var en utvikling på i underkant av 40 år, og når de snakker om at Einstein sin forklaring ikke ble akseptert med engang, er eksempler på at vitenskapen er tentativ. Dette er eksempler hvor elevene er inne på at vitenskapen er tentativ. Aspektet om at vitenskapene er tentativ kommer tydelig frem når Elev 11 og Elev 12 blir spurt om hva de syntes om at det ble brukt en historisk tilnærming for å lære om fotoelektrisk effekt:

Intervjuer «Jeg hadde jo en liten historisk tilnærming for å lære om fotoelektrisk effekt, hva synes dere om å bruke en historisk tilnærming?»

Elev 11: «Jeg synes det var ganske gøy, det å sette seg inn i en annen historisk kontekst»

Elev 12: «Det gir jo oss i alle fall i det temaet her så viser jo den historiske tilnærmingen at det var så mye frem og tilbake, at det var mye uklarhet. Det gir oss jo en slags indikator på at det her er et tema vi ikke helt forstår enda. At det er et tema som mangler litt. Hva skal man si, et tema som mangler litt teori og kunnskap. Det føler jeg at vi har med den historiske tilnærmingen klarer å forstå og ta nytte av.»

Intervjuer: «Hva tenker dere at dere lærer om det?»

Elev 11: «Det sier jo at vitenskapen endrer seg kontinuerlig, det er jo en konstant prosess hvor man oppdager nye ting hele tiden. Vi får da vite det at vi kan ta et argument og så er alle sammen enige om det. Så finner man noe nytt, og så går man til et annet argument. Så finner man ut at det var feil, så går man tilbake til det første fordi da hadde det blitt en feil på det første. For eksempel sånn da. Så det gir jo liksom, for å si det sånn, reell forklaring, det viser litt hvordan det egentlig foregår i verden.»

Elev 12: «Det viser kanskje at vitenskap har ikke et slags entydig svar da. Det er ikke en fasit. Det er mer en slags prosess der man kommer, etter mange argumenter frem og tilbake, kommer til en slags konklusjon, men som ikke står beinstøtt heller.»

Her kan vi se at Elev 11 og Elev 12 beskriver at vitenskapen er under kontinuerlig endring, og at vitenskapen ikke gir et entydig svar. De beskriver vitenskapen mer som en prosess hvor man etter en rekke argumenter og observasjoner greier å trekke en konklusjon. Samtidig som Elev 11 og Elev 12 er her inne på at vitenskapen er under kontinuerlig utvikling er de også inne på vitenskapen som en menneskelig prosess. Det at vitenskapen ikke gir noe entydig svar kan vise til at det er forskere som er nødt til å tyde observasjonene, og argumentere for hvorfor deres tolkning er den korrekte.

6.3 Elevenes uttrykte opplevelse av opplegget

I denne delen av analysen vil elevenes uttrykte opplevelse av undervisningsopplegget gjennom intervjuet bli analysert. Dette omfatter den delen av intervjuet hvor elevene snakket om opplevelsen av opplegget. Resultatet fra denne delen av intervjuet vil bli analysert i to temaer, «generelle opplevelser av opplegget» og «opplevelser av oppgaven». Temaet «generelle opplevelser av opplegget» vil presentere elevenes uttrykte opplevelse av opplegget som helhet, mens temaet «opplevelser av oppgaven» vil ta presentere hva elevene ga uttrykk for å synes om oppgaven og skriving i fysikk.

6.3.1 Generelle opplevelser av opplegget

Alle elevgruppene som ble intervjuet ga uttrykk for at opplegget som ble gjennomført den gitte uken var annerledes enn hva de hadde gjort tidligere i fysikkundervisningen. Ingen av elevene kunne huske at de hadde arbeidet med å produsere en tekst i fysikken annet enn lab-rapport:

Intervjuer: «Hvis dere skulle ha forsøkt å beskrive opplegget med 2-3 adjektiv, hvordan ville dere ha gjort det?»

Elev 5: «En annen synsvinkel på læringen. Så istedenfor å bare lese og skrive om det, så må vi klare å argumentere for hvorfor det er sånn. Så det er jo bra»

Elev 6: «Enig med det. Det er jo veldig annerledes fra hva man pleier å gjøre i fysikk.»

Elev 5: «Jeg har aldri skrevet en tekst i fysikk, eller noen andre av naturfagene.»

De andre elevene gir også uttrykk for at det var et annerledes undervisningsopplegg enn hva de var vant til i fysikk, og at det var uvant å skrive en tekst i fysikken. Elev 11 og Elev 12 sier også at de ikke har skrevet noe særlig i fysikk før annet enn lab-rapporter, men at heller ikke disse har vært særlig utfyllende:

Elev 11: «Vi har jo hatt en del forsøk, men vi har ikke skrevet noen utfyllende rapporter.»

Intervjuer: «Så dere har ikke skrevet så mye i fysikk fra før?»

Elev 11: «Nei jeg føler ikke vi har det»

Elev 12: «Vi har ikke gjort det så veldig mye nei»

Elev 11: «I alle fall ikke på en slik måte. Nå er jo ikke dette her noen lab-rapport da, men det å argumentere for sitt syn og sine opplevelser.»

Intervjuer: «Så føler dere det er en forskjell å skrive en lab-rapport og skrive det her»

Elev 11: «Ja, fordi en lab-rapport så skal man forklare mer hva som skjedde under forsøket og resultatene. Mens her er det mer å forklare hvorfor vi tror på noe mer enn noe annet.»

Vi ser her at Elev 11 og Elev 12 bekrefter det Elev 5 og Elev 6 sier om at elevene ikke er vant til å skrive i fysikken. Det av skriving som de er vant til er gjennom lab-rapporter, men elevene

synes at oppgaven som ble gitt skiller seg ut fra en lab-rapport da man i denne oppgaven skulle argumentere for et synspunkt og hvorfor de trodde på den ene siden og ikke den andre.

Man kan si at elevene var enige i at det var en uvant oppgave. Elevene er enige i at det var bra at de fikk avsatt tid til å gjøre oppgaven på skolen. Dette var noe de likte spesielt da de skulle skrive i par:

Intervjuer: «Men hva tenker dere om at dere fikk 4-skoletimer på å skrive oppgaven på skolen?»

Elev 4: «Det likte jeg.»

Elev 3: «Ja det var lurt, spesielt siden vi er en duo. Dersom vi skulle gjort det alene så hadde det ikke vært like nødvendig med så mye tid på skolen. For da får man gjort like mye hjemme. Når man er på skolen så er det enklere å diskutere med hverandre.»

Det samme kan vi finne hos de andre gruppene som ble intervjuet om at det var bra de fikk avsatt tid på skolen for å skrive oppgaven. Gjennom intervjuene kom det også frem at tre av de fire gruppene som ble intervjuet syntes det var satt av nok tid til oppgaven. Dette kan vi se at Elev 5 og Elev 6 snakker om:

Elev 6: «Synes egentlig den tiden vi fikk på dette var ganske bra. På noen ting for eksempel en historieoppgave vi har nå så vært en time på skolen. Så må man sitte hjemme å jobbe med det 5-6 timer. Mens her så ble det at man kunne gjøre mesteparten på skolen, og litt hjemme.»

Elev 5: «Det var liksom bra mengde oppgave til mengde tid.»

Intervjuer: «Så det var fin fordeling av tid og oppgave?»

Elev 5: «Ja. Vi hadde sikkert fått til en enda bedre kronikk dersom vi hadde en time til. Men alle har hatt lik tid [...].»

Gruppa med Elev 11 og Elev 12 var derimot uenige i at det var en fin fordeling av mengde oppgave og tildelt tid på oppgaven. De kunne gjerne tenkt seg at det skulle vært satt av mere tid til oppgaven:

Intervjuer: «Men er det noe dere tenker kunne vært gjort annerledes?»

Elev 12: «Det om lys er en bølge eller partikkel. Det er jo et veldig stort spørsmål. Så jeg tenker vi kunne ha hatt enda mere tid på oppgaven siden det er et så stort tema.»

Elev 11: «Jeg er enig. Veldig stort tema og litt vanskelig å konkludere også siden det ikke er, i alle fall ikke et allment akseptert svar på hva lys er. Så det er litt vanskelig å komme frem til svaret. Litt lite tid også, men ja det er jo fremdeles mulig å skrive mye. Det å innhente informasjonen er jo det som tar tid her. Det å skrive på tre timer rekker du en god del, men den delen med å hente inn informasjon er tidkrevende»

Intervjuer: «Så kunne vært satt av mer tid til opplesning?»

Elev 12: «Jeg tenker det»

Selv om Elev 11 og Elev 12 syntes det var en stor oppgave som de gjerne skulle ha hatt mere tid på å gjennomføre, likte de at det ble brukt en time til presentasjon og gjennomgang av den historiske utviklingen av fotoelektrisk effekt. Dette var noe de ga uttrykk for senere i intervjuet:

Intervjuer: «Var presentasjonen til hjelp med å komme i gang med oppgaven?»

Elev 11: «Jeg synes det. Så syntes jeg det var en veldig ryddig. For innimellom så syntes jeg det var litt vanskelig å skjønne akkurat hva vi skulle gjøre i oppgaven. Det hjalp med presentasjonen for å forklare hva vi skulle gjøre. Selve oppgaveteksten synes jeg ikke var så enkel å forstå, mulig det bare var meg som syntes det var vanskelig.»

Elev 12: «Tenker det at presentasjonen var til hjelp med å blant annet med å forstå konteksten rundt oppgaven. Siden det var jo et slags scenario vi fikk. At vi var i 1922 og dette var teoriene. Hjelp oss med å kartlegge situasjonen»

Elev 11: «Det jeg likte veldig godt var at vi skulle sette oss inn i at vi var i 1922 og at vi måtte ha det tankesettet syntes jeg var en veldig fin måte å gjøre det på.»

Vi kan her se at Elev 11 fant presentasjonen nødvendig for å forstå oppgaven, da han fant oppgaveteksten i seg selv til å være utydelig. Samtidig snakker Elev 11 og Elev 12 om at det var en fin vinkling til oppgaven å få et scenario fra 1922 hvor de skulle være med å kartlegge hvordan situasjon var da. De andre elevgruppene som ble intervjuet syntes også at presentasjonen var til hjelp for å strukturere og starte på oppgaven:

Intervjuer: «Hva tenker dere om opplegget vi hadde denne uka?»

Elev 6: «Har vi ikke bare jobbet med teksten?»

Elev 5: «Jo. Det har jo vært greit. Vi brukte mye av det du sa i presentasjonen som kilder. Så det at du hadde en presentasjon først var veldig fint. Også fikk vi mye tid til å jobbe»

Vi kan her se at Elev 5 selv trekker frem presentasjonen, og at de brukte den som en kilde når de skulle løse oppgaven. Elev 3 og Elev 4 ble også spurt om hva de syntes om opplegget de hadde. Disse ble intervjuet uka etter, og hadde glemt detaljene i hvordan uka så ut. De trengte derfor å bli påminnet hvordan uka var strukturert for å svare på spørsmålet:

Intervjuer: «For det som vi gjorde siste uke var jo at jeg hadde en presentasjon i 45 minutter. Deretter fikk dere to timer på å skrive, og to timer på fredag for å skrive.»

Elev 3: «Ja, stemmer det. Det var egentlig en grei ordning. Da hadde vi allerede litt bakgrunnskunnskap om temaet. Som vi hadde jobbet med i 2-3 uker. Også få det repetert på den presentasjonen å få det litt frisket opp. For der kom du jo med litt teorier fra forskjellige fysikere, og ulike vinklinger på oppgaven. Da ble vi satt litt mer på sporet av oppgaven igjen, så det var en god ordning egentlig. For da var vi litt inn i det når vi skulle begynne å skrive etter presentasjonen.»

Vi kan her se at Elev 3 etter å ha bli minnet på hvordan opplegget var strukturert syntes det var fint å få å starte uken med å få en oppfriskning av tematikken før de begynte å arbeide med

oppgaven sin. Elev 2 syntes også at presentasjonen som ble holdt i forkant var til hjelp for å løse oppgaven:

Intervjuer: «Sett utenfra så fikk jeg inntrykk av at enkelte grupper hadde vanskeligheter med å starte. Men dere syntes det var ganske greit siden dere startet med engang. Hva kunne ha vært gjort for å gjøre det enklere å starte?»

Elev 2: «Jeg synes du la det opp veldig greit. Med den artikkelen du hadde laget med underoverskrifter med de ulike synene. Også på presentasjonen så hadde du de ulike synene. Så når vi bestemte oss for hvordan vi delte opp avsnittene så gikk vi bare rett inn på presentasjonen og leste det på nytt. Så begynte vi å skrive med engang. Så jeg synes du hadde lagt det opp veldig greit for å være effektiv.»

Vi kan her se at Elev 2 syntes både presentasjonen og den utarbeidete artikkelen som ble gjort tilgjengelig for elevene var til hjelp for å løse oppgaven. Generelt virker det som elevene syntes det var nyttig med en presentasjon før de startet å arbeide med oppgaven. Både for å få en klarhet i hva oppgaveteksten betydde, men også for å få en oppfriskning i tematikken som de hadde arbeidet med de siste 2 ukene.

6.3.2 Opplevelser av oppgaven

Som Elev 11 og Elev 12 var inne på i forrige delkapittel syntes de det var en stor oppgave som gjerne skulle fått mer tid. Det er flere elever som også ga uttrykk for at det var en stor oppgave med mange elementer:

Elev 4: «Når du har en oppgave som består av så mange utrolig mange småting at man ikke klarer å sette ord eller tanker på alle de små detaljene. Da blir fort oppgaven overveldende. Og da er det vanskeligere å starte. Som hvis du skal rydde rommet ditt og det er utrolig rotete og du har ikke gjort det før, og du vet ikke hvor du skal starte. Da blir det liksom 'ååå herregud jeg bare gjør det i morgen'. Det er litt samme greia med kronikken da. Fordi vi har ikke gjort det før det er en god del å gjøre. Mange nye ting å ta hensyn til som vi ikke har gjort så ofte.»

Vi kan se at Elev 4 beskriver at en slik oppgave fort kan virke overveldende siden det er mange ulike komponenter man må ta hensyn til. Det kommer her også frem at elevene ikke er vant til å arbeide med fysikk på denne måten, noe som kan være med å gjøre at oppgaven virker overveldende. Det at oppgaven også virker overveldende er med å vise at elevene forstår at det er mange aspekter med temaet.

Selv om oppgaven kunne virke overveldende og stor i starten virker det som at elevene som ble intervjuet syntes at oppgaven var interessant og spennende. Siden oppgaven og arbeidsmetoden var utradisjonell kan det virke som en fin variasjon fra resten av fysikkundervisningen:

Intervjuer: «Hvis dere skal beskrive opplegget med noen adjektiv, hvordan vil dere beskrive det?»

Elev 11: «Spennende, jeg liker jo når det er litt variasjon. Det er jo noe helt nytt, det er ikke noe galt med det vi gjør til vanlig. Men det er fint å ha litt andre ting også.»

Elev 12: «Kan jo si interessant, det er jo et interessant tema og oppgave. Er enig i at det er spennende også vet jeg ikke helt hva det tredje skal være.»

Vi kan her se at Elev 11 og Elev 12 uttrykte at de synes at opplegget var spennende, og at de satte pris på variasjonene som opplegget ga fra den vanlige fysikkundervisningen. På hva det var som gjorde opplegget interessant ser vi at Elev 12 trekker frem at temaet og oppgaven i seg selv gjorde opplegget interessant. I intervjuet med Elev 1 og Elev 2 trekker Elev 2 også frem at det var interessant oppgave:

Intervjuer: «Så dere har sikkert litt erfaring med skriving i norsk, samfunnsfag og lignende. Hvordan synes dere denne oppgaven var sammenlignet med de andre skriveoppgavene som dere har?»

Elev 1: «Veldig lik en norskoppgave, jeg har aldri skrevet en kronikk før så det var litt artig.»

Elev 2: «Det var litt interessant, fordi man kunne velge»

Intervjuer: «Hva var det som gjorde det interessant?»

Elev 1: «Det at vi skulle ha en mening om noe i fysikken. For vanligvis så har vi ikke noen meninger i fysikk. For da får vi bare matet inn alt med en skje og blir fortalt at sånn er det. Men nå skulle vi faktisk si at vi tror det er 'sånn' fordi 'dette'.»

Vi kan her se at Elev 1 og Elev 2 synes det var litt artig og skrive en kronikk, og at oppgaven var interessant fordi den ga valgfrihet i hvordan man kunne løse den. Samtidig ser vi at Elev 1 velger å utdype hvorfor oppgaven var interessant med å si at det var interessant å ha en mening i fysikk. Dette da han er vant til at man skal bli fortalt hva man skal mene i fysikken og at alt til vanlig blir «matet inn alt med skje». Vi kan også se at Elev 4 sier noe av det samme. Elevene ble først spurt om hva de tenker om bruk av vitenskapshistorie for å lære fysikk. Etter lengre samtale elevene seg imellom hvor de diskuterer at det kan hjelpe med å se sammenhenger i hva forskerne tenkte i sin samtid sier Elev 4 til slutt:

Elev 4: «Og da er man jo tilbake på ideen da. At det er enklere å forstå ideene, så når fysikken handler om ideene og ikke det å 'grinde' formler og huske de. Så er jeg enig at det hjelper å lære litt om historien.»

Det Elev 4 mener med å «grinde formler» i dette tilfelle vil være det å arbeide så mye med formlene at formlene til slutt sitter under huden. Dette kan ses i sammenheng med hva Elev 1 sier om at elevene er vant til å bli «matet inn med skje».

Det at oppgaven fanget interessen til elevene kan vi også se at elevene gir uttrykk for gjennom intervjuet når de beskriver hvordan de arbeidet med oppgaven. Flere av elevgruppene forteller at de i tillegg til å jobbe med oppgaven på skolen satte av tid til å jobbe med den hjemme imellom de to skriveøktene:

Intervjuer: «Dere har jo skrevet i par. Hvordan følte dere at det gikk å skrive den to og to.»

Elev 6: «Ja, jeg syntes det gikk ganske bra. Vi startet med å skrive hver for oss også jobbet vi litt videre på det hjemme. Også når vi var på skolen igjen så var det litt lettere å få det vi hadde skrevet til å passe med det den andre hadde skrevet. Ta konklusjonen i fellesskap»

Elev 5: «For å kunne få litt fremgang så valgte vi at en jobbet med Einstein sin og en jobbet med Lenard sin hypotese. Når vi da hadde fått ned alt av fakta så kunne vi drøfte sammen. Så vi fikk ned alt av fakta og påstander hjemme slik at vi kunne drøfte når vi kom på skolen. Så det var en effektiv måte og vi ble jo ferdige.»

Vi ser her at Elev 5 og Elev 6 fordelte arbeidsoppgavene mellom seg, og benyttet tiden de var sammen på skolen til å drøfte oppgaven med hverandre. Grunnlaget for å kunne drøfte sammen la de ved at de hjemme benyttet tiden til å finne fakta og påstander. Elev 3 og Elev 4 arbeidet også med oppgaven utenom de gitte timene som de fikk på skolen:

Intervjuer: «Hvor mye tid tror dere at dere brukte utenom skolen?»

Elev 4: «Ja jeg satt og tenkte litt hjemme for å forsøke å forstå det da. Selve skrivinga, jeg hadde glemt fristen så selve skrivinga ble gjort på slutten. Eemm ... Men det å sette hodet mitt rundt det. Det var liksom det som jeg syntes var vanskeligst når jeg skulle skrive. Eemm ... Det var jo liksom den tanken da. Fordi jeg hadde ikke en helt riktig ide for hva jeg skulle skrive eller hva kvantefysikken er.»

Elev 3: «Til meg så var nøkkelen litt å bare, jeg vet ikke, jeg jobber ofte best hvis jeg først bare kommer i gang med skrivinga. Så jeg jobbet litt både på tirsdag, onsdag og torsdag. Men da med mye sitte og skrive og skrive det jeg kan om kvantefysikk, for å så komme på nye tanker og ideer og ha det bare kjørende i bakhodet hele uka. Jeg var på trening tirsdagskvelden, og så satt jeg i pausene og tenkte på kvantefysikk og Einstein og hva som han har gjort feil. Og så kom jeg på et eller annet som jeg måtte skrive ned på notater på telefonene og så var det hjem å gjøre 'research' når jeg kom hjem fra skolen på onsdag. Så spesielt når det er kvantefysikk som egentlig er uforståelig så må man bare akseptere. Så går man jo, jeg vet ikke jeg. Jeg føler at jeg går og tenker på det hele tiden og at det 'plager' meg døgnet rundt.»

Elev 4: «Det er som en spiral»

Vi kan her se at Elev 3 har tenkt på oppgaven i flere dager, og at Elev 4 beskriver denne prosessen som en spiral hvor man går og graver seg dypere og dypere ned i stoffet. Det at Elev 3 kom på ideer til hva han kunne skrive om i oppgavene når han var på trening og måtte notere ned denne tanken viser at oppgaven opptatte elevene også utenfor skoletiden. Det at de gjorde søk etter enge kilder utenom de kildene som var gitt er med på å vise at de fant oppgaven interessant.

Når det kommer til det å skrive oppgaven viser det seg at elevene syntes det var et norskfaglig preg over oppgaven siden de skulle skrive en kronikk:

Intervjuer: «Så litt på vurderingsformen, det å skrive en tekst, hva synes dere om den?»

Elev 11: «Jeg er jo veldig glad i å skrive tekster, så jeg synes det er fint»

Elev 12: «Det er jo en fin vurderingssituasjon det, men det kan jo. Problemet er jo at din evne til å skrive tekst kan gå utover hvordan resultatet går, så det blir kanskje litt mer norsk. Men det burde sannsynligvis gå greit»

Vi kan her se at Elev 12 peker på at skriveferdighetene man har vil være med å påvirke hvor godt man presterer, slik at oppgaven får et visst norskpreg over seg. Dette er også noe som Elev 5 og Elev 6 snakker om.

Intervjuer: «Men hva synes dere om vurderingsformen?»

Elev 5: «Det var litt det vi sa om at det er en ny måte å se på fysikk. Så vi blir litt utfordret til å klare å gjøre det på en annen måte enn hva vi er vant til. Det viser jo helt klart kompetanse når man får en sånn utfordring kastet på seg.»

Intervjuer: «Men føler dere at dere fikk vist deres kompetanse i fysikk?»

Elev 5: «Eee neei.»

Elev 6: «Jeg synes kanskje at jeg ikke får vis min kompetanse da i slike tekster like godt som i vanlige prøver. Det blir mer sånn sett opp struktur.»

Elev 5: «Også blir det veldig mye at man skriver. Litt sånn sirkelkomposisjon at man skriver det samme hver gang i innledning, hoveddel og avslutning. Så tenker man mer på hvordan man skal skrive det bra enn hva man skriver. Det er mange flere aspekter av kvantefysikken som vi ikke snakker om i teksten. Den er veldig spisset. På en prøve så hadde jeg sikkert fått vist mer, og flere ting. Vi skriver jo at bølgeteorien handler om interferens, men vi viser jo ingen kompetanse på bølgemønster og sånt. Så det er jo enkelte ting som skyves litt bort. Man får vist litt mer hvor flink man er i norsk egentlig.»

Som Elev 5 er inne på her så peker hun på at det er flere elementer fra norskfaget som man må tenke på når man skal skrive kronikk. Dette fører til at Elev 5 og Elev 6 ikke føler helt at de får vist sin kompetanse innenfor fysikk i akkurat denne oppgaven. Det at oppgaven er så spisset gjør også at de føler at de ikke får vist en bred kompetanse, men en spisset kompetanse inne for en ting. Samtidig sier Elev 5 at det viser kompetanse når man får en slik ny utfordring kastet på seg. Selv om Elev 4 og Elev 5 ikke føler de fikk vist all sin kompetanse ved denne vurderingssituasjonen var de allikevel ikke utelukkende negativ til å ha noen slike oppgaver i løpet av året. Som en fortsettelse av samtaleutsnittet over sier Elev 5 og Elev 6 følgende:

Elev 6: «Det er vel litt mer fokus på en greie da. Så man får vist mer kompetanse innenfor den ene greia, mens man mister litt på resten.»

Elev 5: «Det er derfor det var bra at det ikke var mer enn en uke. At vi får spisset det ekstra på det. Vi får øvd oss på å argumentere for et synspunkt på en akademisk måte, og så får vi bruk resten av tiden på andre ting. Så jeg tror ikke det er en læringsmetode man skal kutte helt ut, men jeg tror ikke man bør ha fem av disse i løpet av ett år.»

Vi kan dermed se at Elev 5 synes at det var greit at opplegget ikke varte mer enn en uke, og anerkjenner at det er en læringsmetode som man ikke bør kutte helt ut, men at den heller ikke bør gjøres for ofte. Elev 3 og Elev 4 drar også paralleller til norskfaget når de blir bedt om å si hva de synes om vurderingsformen kronikk:

Intervjuer: «Men hva synes dere om vurderingsformen kronikk?»

Elev 3: «Den er jo veldig ...»

Elev 4: «Norskfaglig»

Elev 3: «Ja det er det jo. Du blir jo å tenke på mer enn bare selve fysikken.»

Elev 4: «Du må jo tenke på temasetninger, setningsoppbygging, rødtråd, logos, patos, etos. Hvis du skal ha en god kronikk så må du jo tenke mer på norsk enn fysikk egentlig. For du skal jo overbevis leseren istedenfor å bevise at du har rett.»

Vi kan her se at Elev 4 peker på ulike elementer fra norskfaget som man må tenke på når man skulle skrive oppgaven og at man måtte tenke mere på disse elementene enn det rent fysikkfaglige for å skrive en god kronikk. Samtalen mellom Elev 3 og Elev 4 fortsetter allikevel når de snakker sammen om hvordan kronikken fungerer som vurderingsform:

Elev 3: «Du må jo få det til å virke troverdig, men jeg liker det litt. For du har jo spesielt et par dager på deg. For hvis du skulle ha hatt samme oppgave på en muntligprøve for eksempel da. Og da fått 15 minutter på å forberede deg og snakke med læreren som en fagsamtale. Så hadde det blitt et helt annet resultat, for når du skriver en kronikk får du mulighetene til å gå mer i dybden. Du kommer inn på et nytt tankespor som gir deg muligheten til å gjøre 'research' å lese deg opp. Men det får du ikke muligheten til i en fagsamtale.»

Elev 4: «Ja den er mer spontan. Du kan ikke gjøre 'research' og vise til ting du har oppdaget. Du finner ingenting nytt mens du har fagsamtalen.»

Elev 3: «Spesielt i et tema som kvantefysikk så er det jo en lur ordning. For det er jo vanskelig å få testet så veldig mye på en skriftligprøve på to-timer. For jeg føler det handler mer om tankesettet i kvante. Og det å klare å tenke og forstå teoriene, heller enn å bruke og forstå formler. Så da er jo en kronikk en god mulighet å løse det på for da får du muligheten til å få ned litt tanker og ideer.»

Vi kan her se at Elev 3 sammenligner kronikken med en slags muntligprøve i fysikk, bare at den er gitt skriftlig. Han ser på kronikken som en slags skriftlig fagsamtale hvor han har fått bedre tid til å forberede seg. Det å kunne få tid til å skrive en kronikk hvor man skal debattere ulike synspunkter gjorde at Elev 3 og Elev 4 greide å sette seg ned å få tid til å prøve å forstå teoriene. På oppfølgingsspørsmålet om de følte de hadde fått vist kompetanse i fysikk selv om det var en kronikk svarte de følgende:

Elev 4: «Ja. Det er som å ha en fagsamtale, bare skriftlig. Du skal vise at du kan det her. Du skal ikke løse ligninger, men vise at du vet om teoriene.»

Elev 3: «Og da må du bruke mer forståelse og sammenhenger i fysikken. Enn å bare kunne å bruke formler på en måte. Og det er jo det som er litt artig med fysikk, når du klarer å se sammenhengene i fysikk og trekke likhetstegn mellom teoriene og se forskjellene mellom dem. Og det får du mer bruk for i en kronikk enn på en vanlig regneprøve»

Det å arbeide med en kronikk gjorde derfor at Elev 3 følte at han greide å se flere sammenhenger i fysikk og trekke likhetstegn imellom de ulike teoriene. Elev 1 og Elev 2 var også positive til vurderingsformen kronikk. De var ikke like utfyllende i svarene sine som Elev 3 og Elev 4, men trekker frem at det ikke var så stressende som å ha en prøve:

Intervjuer: «Hva tenker dere om vurderingsformen?»

Elev 2: «Bedre enn prøve, innlevering er bedre enn prøve»

Elev 1 «Ja, det blir ikke like mye stress. Så nå måtte vi ikke jobbe så mye hjemme, for hvis det hadde vært en prøve så måtte vi ha brukt uka på å øve til prøven. Nå kunne vi bruke timene og så kunne vi bruk tiden hjemme til å jobbe med andre fag.»

Intervjuer: «Men føler dere at dere fikk vist deres kompetanse med denne vurderingen?»

Elev 1 og Elev 2: «Ja»

Elev 2 «Vi fikk jo med nesten alle kapitlene i boka. Så føler vi fikk brukt alt det vi skulle ha lært»

Elev 1: «Ja der synes jeg. Jeg synes vi fikk vist god kompetanse, du har jo mulighet til å legge så mye ned som du bare vil.»

Selv om Elev 1 og Elev 2 er mer kortfattet i sine svar kan vi se at de sitter igjen med en følelse av å ha vist kompetanse innenfor fysikk gjennom denne oppgaven siden de benyttet alle kapitlene i læreboka. Det at de også peker på at oppgaven man hadde muligheten til å legge så mye arbeid ned i kronikkens som man selv ville viser også at oppgaven ble oppfattet som at det var stor valgfrihet knyttet til den. Valgfriheten som oppgaven ga var også noe som Elev 12 snakket om som positivt, og var med på å gjøre oppgaven interessant og spennende:

Intervjuer: «Har vært litt inne på det, men var det noe som var bra med opplegget. Dere har jo sagt at det var spennende og interessant. Er det noe som gjorde at det var spennende og interessant?»

Elev 12: «Det er jo et spennende tema, det må jo være lov til å si. I tillegg så snakket jeg litt tidligere om at det er jo veldig mye valgfrihet med oppgaven som gjør at man kan gjøre litt hva man vil. Så det kan jo mange sette pris på.»

Valgfriheten i oppgaven som Elev 12 snakker om er med på å gjøre at elevene selv kan velge hvordan de løser oppgaven. Man kan dermed tenke at denne valgfriheten spilte positivt inn for å gjøre oppgaven mer interessant for elevene siden de kunne gjøre den til sin egen.

7 Diskusjon

Målet til denne studien er å undersøke hvordan man kan kombinere skriving av en kronikk med en case fra vitenskapshistorien for å lære om NOS i fysikkundervisningen. Dette da kunnskaper om NOS kan argumenteres for, blir stadig viktigere i dagens samfunn hvor man i større og større grad bør ha kunnskap om hvordan vitenskapen fungerer. Det er som en del av studien utviklet et opplegg som tar for seg den historiske utviklingen av kvantefysikk på starten av 1900-tallet, med fokus på fotoelektrisk effekt. For å kunne svare på hvordan opplegget gikk er det utviklet to forskerspørsmål:

FS1: Hvilke aspekter av naturvitenskapens egenart kommer frem i elevenes arbeid?

FS2: Hvordan fungerer skriving av en kronikk som en del av fysikkundervisningen?

De to forskerspørsmålene vil i dette kapitlet bli diskutert separat, og det vil bli brukt resultater fra datamaterialet bestående av elevenes kronikker og intervju av elevgrupper, delkapittel 6.1 - 6.3. Dette datamaterialet vil bli sett i lys av teori som er presentert i kapittel 2 og 3.

7.1 Hvilke aspekter av NOS kommer frem i elevenes arbeid?

Det er i dette undervisningsopplegget brukt en historisk tilnærming for å lære om NOS, og hvordan kvantefysikken utviklet seg. Som Allchin et al. (2014) påpeker så vil en historisk tilnærming belyse at naturvitenskapen er en menneskelig aktivitet, at vitenskapen av natur er tentativ og kontroverser i vitenskapen. Slik som nevnt i delkapittel 3.6 illustrer også den historiske valgte casen godt at vitenskapen benytter seg av modeller og det tentative aspektet med vitenskap. Gjennom elevenes arbeid gir elevene uttrykk for at de har forstått ulike elementer av NOS og klarer å koble dette opp mot en reel situasjon som de har fått beskrevet. Fra Tabell 5 i delkapittel 6.1 kan vi se hvilke elementer av NOS de ulike kronikkene er innom. Som forventet er det en variasjon i hvilke kategorier som elevene tar med i sitt arbeid, se Tabell 5. Det er flere grunner til at det vil være variasjon i hvilke elementer av NOS som kommer frem i elevenes arbeid. Siden oppgaven som elevene fikk var en åpen oppgave med stor valgfrihet vil elevene på en naturlig måte skrive om det de selv finner interessant, og av den grunnen kanskje ubevisst utelater enkelte elementer siden de finner andre elementer mer relevant å skrive om. Hvordan de ulike kategoriene kommer blir belyst gjennom elevenes arbeid, vil bli diskutert for seg selv i de påfølgende delkapitlene.

7.1.1 Hvordan bruker elevene eksisterende modeller i vitenskap

Det at vitenskapen bruker modeller for å forklare og beskrive vitenskapelige fenomener er et av elementene i NOS, se Tabell 2 i delkapittel 2.4. Siden vitenskapen benytter modeller er det viktig at elevene lærer seg å se begrensningene i modellene, og at en modell ikke er en ren beskrivelse av virkeligheten, men en forenkling. Det å lære seg å se begrensningene i språket og modellene er ifølge Bouchée et al. (2022) også viktig for at elevene skal greie å få en konseptuell forståelse av kvantefysikk. Resultatene fra denne oppgaven viser at elevene, gjennom kronikkene sine, bruker eksisterende modeller i fysikk for å argumentere for hvilken

forståelse av fotoelektrisk effekt som de mener er mest korrekt. Hvordan elevene bruker de eksisterende modellene varierer fra kronikk til kronikk, enkelte benytter seg mer av matematiske modeller og forklarer hva som vil skje dersom man endrer på noen av parameterne (se boks 1 og 2 i delkapittel 6.1.1). Andre elever beskriver mer kvalitativt bølge- og partikkelmodellen for lys (se boks 3, 4 og 5 i delkapittel 6.1.1) og forklarer hva som vil være et forventet resultat av ulike eksperimenter dersom man legger ulike modeller av lys til grunn. Gjennom elevenes kronikker kommer det til syne at elevene har forstått at vitenskapen bruker modeller. Dette kan vi si siden elevene argumenterer for hvilke av modellene, bølge og partikkel, de mener er den mest korrekte til å beskrive lys. På denne måten er de også innom de ulike begrensningene modellene har for å forklare ulike fenomener, som fotoelektrisk effekt og interferens. Elevene arbeider derfor med å se de ulike begrensningene i modellene, og på denne måten kan de få et mer bevisst forhold til at modeller har begrensninger. Det vil her være naturlig å dra en parallell til læreplanmålet i fysikk 2 som omhandler kvanteobjekter. Elevene skal ifølge læreplanen lære seg hva det er som skiller kvanteobjekter fra klassiske objekter (Utdanningsdirektoratet, 2021). Siden kvanteobjekter er fundamentalt forskjellige fra klassiske objekter ifølge Lévy-Leblond (2003) vil det være naturlig at elevene lærer seg hvilke begrensninger som ligger i modellene for bølge og partikkel.

Dette med å lære seg begrensninger i de ulike modellene er noe som vil være viktig ifølge Bouchée et al. (2022) for å kunne utvikle en konseptuell forståelse av kvantefysikk. Det kommer også frem i to av gruppeintervjuene som ble utført med elevgruppene. Her snakker Elev 12 (se side 40) om at de ikke ønsket å komme med en enkel konklusjon om at lys var en bølge eller en partikkel, men at lys kanskje kunne være noe eget som ikke kunne kobles direkte til verken begrepene bølge eller partikkel. Elev 12 er her inne på begrensningene som ligger i begrepene og modellene for bølge og partikkel. Dette var noe som Bohr også snakket om i 1928 om at begrensningene i de klassiske modellene er med å komplementere hverandre (Bohr, 1928). Når det kommer til begrensninger i modeller snakket Elev 4 (se side 40) om at han gjerne skulle ønske at de lærte mer om hva de ulike ligningene og reglene antok i fysikk. Dette viser at Elev 4 ikke bare er interessert i å lære reglene, men også hva de antar og bygger på.

7.1.2 Vitenskapen er av natur tentativ og kontroverser i vitenskapen

Det at vitenskapen av natur er tentativ og kontroverser i vitenskapen er noe som ifølge Allchin et al. (2014) kommer svært godt frem når man jobber med en historisk tilnærming. Samtidig vil det være naturlig å reflektere rundt det at vitenskapen er tentativ av natur når man jobber med kvantefysikk (Stadermann, 2021). Opplegget og arbeidet som elevene gjennomførte kan beskrives som å ha en historisk tilnærming. Flere av elevgruppene presenterte i sine kronikker at vitenskapen er en lang og tidkrevende prosess (se boks 11, 12, 13 og 14 i delkapittel 6.1.3). I boks 13 og 14 peker elevene også på at selv om vitenskapen er tidkrevende, og kan derfor karakteriseres som en evolusjon, har den også revolusjonerende trekk. Dette viser at elevene greier å reflektere rundt vitenskapens tentative natur, noe som er viktig når man skal lære NOS (Williams & Rudge, 2016). Samtidig som elevene reflekterer rundt vitenskapens tentative natur trekker de også frem at vitenskapen er preget av kontroverser. En vanlig misoppfatning ifølge Niaz og Rodríguez (2002) er at man kan få et inntrykk av at vitenskapen ikke er preget av kontroverser siden vitenskapen skal presentere sannheten og at god forskning blir tatt imot av

et samstemt forskermiljø. Samtidig peker Kolstø (2008) på at en viktig del av NOS er at vitenskapen er preget av uenigheter og debatt. Gjennom kronikkene kan det virke som at elevene har forstått at forskning tar tid og er preget av kontroverser. Vi kan se dette både i boks 15 og boks 16 i delkapittel 6.1.4. På denne måten viser elevene en forståelse for at vitenskapen er preget av debatter og kontroverser, noe som kan tyde på at elevene forstår at utvikling av ny kunnskap ikke nødvendigvis blir tatt imot av et samstemt forskermiljø. Et eksempel på dette er fra intervjuet med Elev 11 og Elev 12. Her snakker Elev 12 (se side 45) om at en historisk tilnærming viser at det var mye «frem og tilbake» i utviklingen av kvante-fysikk. Samtidig snakket Elev 11 (se side 45) om at den historiske vinklingen viste at vitenskapen endrer seg kontinuerlig. På denne måten bekrefter dette det som Allchin et al. (2014) sier om at en historisk vinkling godt belyser vitenskapens tentative aspekt. Elevenes kronikker og intervju av elevene viser også at de greier å reflektere rundt vitenskapens tentative aspekt.

7.1.3 Vitenskap som en menneskelig prosess og del av samfunnet

Vitenskapen kan også bli beskrevet som en menneskelig prosess. Dette da det er mennesker som skal konstruere eksperimentene og tolke resultatene. Siden forskere selv er nødt til å tolke resultatene vil personlige preferanser være med å påvirke hvordan forskerne tolker resultatet (Stadermann, 2021). Dette poenget er det noen av elevene tar opp (se boks 20 i delkapittel 6.1.5). Samtidig er elevene inne på at status til forskeren også vil spille en rolle for hvorvidt man blir trodd (se boks 18 og 19 i delkapittel 6.1.5). Elevene gir derfor uttrykk av at de har en forståelse om at vitenskapen også blir påvirket av menneskelige faktorer. Elev 11 og Elev 12 snakker (se side 43-44) i intervjuet også om at vitenskapen er preget av at forskere også er mennesker, og derfor til tider kan ha en personlig agenda. Dette blir gjenspeilt i at de føler at forskere også har lyst til å forsvare sin egen ære, og at det er ingen som liker å bli fortalt at deres arbeid er feil. I tillegg til at vitenskap er en menneskelig prosess vil også teknologien være med å påvirke vitenskapen. Dette er noe som Elev 3 drar inn i intervjuet om at teknologien som er tilgjengelig vil være med å spille en rolle for hva man kan finne ut av (se side 41). På denne måten kan vi se at elevene har gjort seg opp noen tanker om at vitenskapen også er preget av ikke vitenskapelige faktorer, som tilgangen på teknologi og at forskning er utført av mennesker som må tolke resultatene.

En vanlig misoppfatning om NOS er at forskere følger en standard prosedyre (Clough, 2006; Reiff-Cox, 2020). Akkurat denne delen av vitenskapen som en menneskelig prosess kommer ikke tydelig frem i elevenes arbeid, men gjennom intervjuet snakket Elev 1 (se side 42) om at det var interessant å få et lite innblikk i alt arbeidet som ligger bak det vi vet i dag. På denne måten kan man si at Elev 1 ble bevisstgjort på at hva vi vet i dag er resultatet av mange forskeres arbeid som har bygd på hverandre. Samtidig snakket Elev 1 om at forskerne kranglet seg imellom om hva som var den rette tolkningen. Dette viser at Elev 1 har gjort refleksjoner rundt at vitenskapen er en kollektiv prosess hvor forskere benytter seg av andres arbeid, og hvor de utfordrer hverandre. Samtidig kan vi se Elev 11 (se side 45) beskriver vitenskapen som en prosess hvor man går mye frem og tilbake siden man kontinuerlig får nye observasjoner. På denne måten vil det ikke være mulig å følge en standard prosedyre. Dette fordi det stadig kommer nye observasjoner som skal tolkes, og man som forsker er nødt til å argumentere for

hvorfor sine tolkninger er korrekt. Det kan derfor virke som at elevene har en forståelse for at forskning ikke nødvendigvis følger en standard prosedyre.

7.1.4 Teori og observasjon har en gjensidig påvirkning av hverandre

Forskning er preget av teorier og observasjoner. Disse to har en gjensidig påvirkning av hverandre (Allchin et al., 2014; Kolstø, 2008). Som presentert i delkapittel 3.6 viser den historisk valgte casen flere aspekter av NOS, men kanskje spesielt at teorier og observasjoner har en gjensidig påvirkning av hverandre. Dette siden man fra før hadde en etablert teori om hva lys var, men at man gjennom nye observasjoner på 1900-tallet fikk en ny forståelse av lys. Dette er noe som flere av elevene er innom i sine kronikker (se boks 6, 7, 8 og 9 i delkapittel 6.1.2). Her snakker elevene mye om at nye observasjoner som blir gjort vil være med å endre hvordan man tolker allerede eksisterende teorier. Elevene er også innom at de eksisterende teoriene også er med på å danne grunnlaget for hvordan man kan tolke observasjonene. Det at teorier er med å danne grunnlaget for hvordan man kan tolke observasjonene kommer tydelig frem i kronikken til Elev 5 og Elev 6 (se boks 10 i delkapittel 6.1.2). Andre elever er også innom dette aspektet når de benytter seg av ulike teorier for å forklare hva som vil være et forventet resultat av et forsøk basert på den gitte teorien (se boks 3, 4 og 5 i delkapittel 6.1.1). Enkelte av elevene tar også opp denne gjensidige påvirkningen i intervjuet som ble gjennomført. Dette kommer frem når Elev 5 og Elev 6 (se side 42-43) snakker om at man først forsøkte å endre bølge-teorien for å passe med observasjonene, men at Einstein til slutt kom med en ny teori siden endringene i bølge-teorien fikk svakheter.

Sett i et historisk perspektiv blir det litt feil å si at man forsøkte å endre bølge-teorien for å få den til å passe med observasjonene tilknyttet fotoelektrisk effekt. Som presentert i kapittel 3 var det i utgangspunktet ikke noe problem for fysikere å få observasjonene fra fotoelektrisk effekt til å passe inn med bølge-teorien om lys. Det at elevene beskriver at fotoelektrisk effekt «var som en bombe» (se side 42) man ikke kunne forklare med bølge-teorien blir derfor litt overforenklet å si. Det som er riktig er at «katalysator-hypotesen» til Lenard fikk svakheter utover 1900-tallet da man ikke kunne se en relasjon mellom elektronhastigheten og et varmere metall. Dette er Elev 5 og Elev 6 innom i intervjuet. Selv om Elev 5 og Elev 6 kanskje har et litt overforenklet bilde av hvordan selve utviklingen skjedde så viser de at de forstår at teori og observasjon har en gjensidig påvirkning.

7.1.5 Kreativitet

Den kategorien som ikke kom til syne i elevenes arbeid er kategorien kreativitet. Dette betyr ikke at elevene oppfatter den vitenskapen som en lite kreativ prosess. Kreativitet i vitenskapen kan blant annet være at det ikke er noen bestemt måte å gjøre vitenskap på, og at forskere er nødt til å være kreative når man skal tolke datamaterialet (McComas, 2020b; Reiff-Cox, 2020). Gjennom intervjuene kunne man se at enkelte av elevene var innom det kreative aspektet av vitenskapen når de snakker om at det var mye tenking og arbeid for å finne ut av kvantefysikken. Samtidig snakket andre om at det var artig å lære litt mer om prosessen rundt forskning og se at forskere tester hverandres arbeid. Elev 12 snakket i intervjuet (se side 45) om at vitenskapen ikke har et entydig svar, men er mer som en prosess der man kommer frem til en slags konklusjon som ikke er endelig. Dette er med å vise at elevene har en forståelse for at vitenskapen krever at man er kreative selv om dette ikke uttrykkes eksplisitt.

7.1.6 Andre faglige aspekter som kommer inn i elevenes arbeid

Forskning viser at elever har konseptuelle utfordringer når de skal lære seg kvantefysikk f.eks (Bouchée et al., 2022; Bouchée et al., 2023; Henriksen et al., 2018). Som nevnt i kapittel 2 sier Bouchée et al. (2022) at det er fire grunner til at elever har konseptuelle utfordringer. Gjennom arbeidet med kronikkene og den historiske casen kan vi se at elevene arbeider med å se begrensningene, og finne svakheter med ulike modeller som finnes. Begrensningene er ikke bare i modellene, men også i språket som vi benytter når vi skal forklare kvanteeffekter. Dette er Elev 11, Elev 12 og Elev 13 veldig tydelig innom i sin kronikk hvor de snakker om at lys kanskje ikke kan knyttes til verken begrepet partikkel eller bølge, se boks 12 i delkapittel 6.1.3. Gjennom intervjuet bekreftet Elev 12 (se side 40) at de ønsket å få frem at det ikke skulle være et enkelt svar på om lys var en bølge eller partikkel, men kanskje noe for seg selv som ikke direkte kan kobles opp mot begrepene bølge eller partikkel. En slik måte å jobbe med kvantefysikk på kan derfor være med på å bevisstgjøre elevene på begrensningene som finnes i språket og modellene når man skal lære om kvantefysikk. Selv om Elev 12 ikke nevner hva som gjør at lys ikke kan kobles direkte til verken begrepet bølge eller partikkel er Elev 12 innpå at det er en forskjell siden lys kanskje må være noe eget. På denne måten er Elev 12 innom konsekvensen av kvanteobjekter, uten å nevne dette eksplisitt, siden disse er fundamentalt forskjellige fra klassiske objekter som bølger og partikler (Lévy-Leblond, 2003).

Bouchée et al. (2022) snakker også om at en annen utfordring som elevene har for å få en konseptuell forståelse av kvantefysikk er å knytte den matematiske formalismen til eksempler i den fysiske verden. Når Bouchée et al. (2022) snakker om den matematiske formalismen i kvantefysikk omhandler dette primært uskarphetsrelasjonen til Heisenberg, sannsynlighetsfordelingen og bølgefunksjonen. I dette undervisningsopplegget trengte ikke elevene å ta stilling til disse matematiske formaliseringene. Elevene benyttet allikevel andre matematiske formaliseringer for å argumentere for sitt synspunkt. Flere av elevene benyttet seg av ligningen for fotoelektrisk effekt for å forklare og argumentere for partikkelegenskapene til lys. I tillegg var det en gruppe som benyttet seg av Einstein sin ligning for relativistisk energi for å argumentere for at en partikkel med masse aldri kan oppnå lyshastigheten (se boks 1 i delkapittel 6.1.1). Gjennom måten å arbeide på, hvor elevene skulle argumentere for et synspunkt, klarte flere av elevgruppene å bruke matematiske formaliseringer og knytte disse opp imot eksempler fra den fysiske verden. Selv om elevene ikke benyttet seg av de mest abstrakte matematiske formaliseringene i kvantefysikk, greide de å sette seg inn i den fysiske betydningen av mindre abstrakte matematiske formaliseringer. Hva de matematiske formuleringene betydde fysisk var noe enkelte elever ga uttrykk for at de måtte jobbe med for å kunne svare på oppgaven. På denne måten kan vi si at oppgaven får frem ulike typer kunnskap innenfor fysikk. Det å forstå modellene som blir brukt, men også greie å knytte det fysiske betydning til matematiske formuleringer.

7.2 Hvordan fungerer skriving av en kronikk som en del av fysikkundervisningen?

Gjennom intervjuene kom det fram at elevene ikke var særlig vant til å skrive tekster i fysikk. Dette viste seg når elevene skulle begynne å skrive teksten at flere av elevgruppene syntes det var utfordrende å komme i gang med selve oppgaven, og at enkelte syntes at oppgaveteksten til

tider var vanskelig å forstå. Elev 4 valgte å si at det å skrive en kronikk var like vanskelig som å rydde rommet sitt hvis man aldri hadde gjort det før (se side 49). Det var så mange deler man måtte ta hensyn til som man ikke hadde gjort før og at det derfor kanskje kunne virke overveldende. Dette viser at elevene greier å ta inn over seg kompleksiteten i hva en slik oppgave faktisk innebærer, og hva man forventer av elevene. Selv om enkelte av elevene syntes det var vanskelig å starte med oppgaven likte de at det ble holdt en presentasjon den første av totalt fem skoletimer. Den utarbeidede artikkelen (språklig forenklet versjon av delkapittel 3.1 - 3.5) som skulle fungere som en kilde ble også brukt av elevene. Dette er noe som elevene selv sa under intervjuet, og enkelte av elevgruppene refererte også til denne i kronikken sin.

7.2.1 Skrivning for å lære om NOS

Når man underviser NOS er det viktig å ha en eksplisitt tilnærming, og få elevene til å selv gjøre egne refleksjoner om NOS (McComas et al., 2020; Williams & Rudge, 2016). Elevene må derfor ikke bare gjenfortelle elementer av NOS, men arbeide med NOS på en slik måte at de også må gjøre egne refleksjoner. Det vil derfor være hensiktsmessig at elevene skal skrive en tekst for å legge til rette for at elevene kan gjøre egne refleksjoner rundt NOS. Det å kommunisere skriftlig krever en større grad av presisjon enn når man skal kommunisere muntlig (Angell et al., 2019). Siden elevene må jobbe med språket på en annen måte må de jobbe med å formulere tankene sine på en mer presis måte enn hva de er vant med i muntlig kommunikasjon. På denne måten vil man med å arbeide med fagstoffet gjennom en skriveprosess kunne øke sin forståelse av fagstoffet. Elementet om å være mer bevisst på hvordan man ordlegger seg ser vi at enkelte av elevgruppene snakker om i intervjuene. Elev 5 snakker om at de måtte være mer bevisst på sirkelkomposisjon gjennom teksten, og at teksten skulle henge sammen (Se side 52). Elev 4 tok opp at de måtte tenke på elementer som etos, logos og patos når de skulle skrive kronikken (Se side 53). Andre elever snakket om at oppgaven hadde et noe norskfaglig preg over seg siden de skulle skrive en kronikk. Likevel viser det seg at elevene faktisk arbeidet med fysikk (Se boks 1 delkapittel 6.1.1 for eksempel). Det at oppgaven var utformet på en slik måte at elevene jobbet med fysikk kan derfor trolig ha vært med å motivere elevene for å skrive i fysikken. Samtidig som elevene arbeidet med fysikk måtte de arbeide med å formulere tankene sine, og formidle disse på en presis og gjennomtenkt måte (se boks 9 i delkapittel 6.1.2 for eksempel). På denne måten oppfyller man det som Utdanningsdirektoratet legger til grunn for hva skrivning i fysikk skal innebære, med at elevene greier å «... formidle faglig innhold skriftlig på en strukturert og tydelig måte med bruk av fagterminologi, symboler og vitenskapelig notasjon» (Utdanningsdirektoratet, 2021).

Siden elevene skulle jobbe i par var de også nødt til å formidle sine tanker om hvordan teksten skulle være bygd opp. Dette kan vi se at Elev 5 og Elev 6 snakker om når de forteller at de skrev deler av oppgaven sammen for å få de ulike delene til å passe sammen (se side 50-51). Elevene ble derfor nødt til å dele tankene de hadde med hverandre. På denne måten måtte elevene arbeide både med å strukturere tankene sine med å formulere disse skriftlig, samtidig som de måtte kommunisere muntlig med hverandre. Elevene arbeidet derfor med faget skriftlig og muntlig. I prosessen med å formulere tankene om fagstoffet, både skriftlig og muntlig, vil det ifølge Vygotsky (2012) foregå en prosess hvor elevenes forståelse av fagstoffet endres og vil spille positivt inn for elevenes læring.

7.2.2 Argumentasjon i fysikk og lab-rapporter

Gjennom intervjuene ble det klart at de skriveoppgavene som elevene var vant med fra fysikkundervisningen var lab-rapporter. Enkelte av elevgruppene beskriver at en av forskjellene med å skrive en kronikk og en lab-rapport var, at i en kronikk skulle man argumentere for et synspunkt. I en lab-rapport skulle man ifølge elevene mer gjengi hva som man hadde gjort istedenfor å argumentere (se side 46). Dette funnet stemmer overens med forskning om at lab-rapporter som elever skriver på videregående ofte mister elementet om argumentasjon (Angell et al., 2019; Gouvea et al., 2022). Fra et profesjonelt syn er lab-rapporter som forskere skriver en argumenterendetekst. Det kan derfor virke som at det argumenterende aspektet med lab-rapporter ofte faller bort fra lab-rapporter som elevene skriver i fysikkundervisningen.

Argumentasjon er et viktig element av NOS, men også en viktig del av det å tenke kritisk (Kolstø, 2008). Det å lære seg å argumentere vil også spille positivt for læringsutbytte i fysikk (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2007). Gjennom å konstruere argumenter er elevene nødt til å gjøre egne refleksjoner, samt greie å formidle disse refleksjonene. Dette vil være viktig både for å lære fagstoffet på en annen måte, men også for å lære seg å tenke kritisk (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2007). Ved å se på enkelte utdrag fra kronikkene til elevene kan vi se at de greier å konstruere egne argumenter (se boks 1 delkapittel 6.1.1 og boks 8 delkapittel 6.1.2 for eksempel). Gjennom intervjuet med Elev 11 og Elev 12 kan vi også se at de har gjort seg opp refleksjoner som kan tyde på at de har blitt mer bevisst på kritisk tenkning i fysikk. Dette når de snakker om at vitenskapen ikke har en fasit, men er en prosess (se side 45). Siden vitenskapen ikke har en fasit bør man også være kritisk til forskning siden det er en prosess, hvor det argumenteres for flere synspunkter. Det å kunne vurdere disse argumentene kritisk kan derfor sees på som en sentral del av undervisningen.

Poenget med å få elevene til å skrive en kronikk var for å tydelig få frem elementet om at elevene skulle argumentere. Det å skrive en kronikk kan derfor sammenlignes med sjangeren som Kolstø (2012) beskriver som et «debattinnlegg» hvor argumentasjon står i sentrum. Gjennom elevenes arbeid, og intervjuene som ble gjennomført, virker det som at elevene forsto poenget om at de skulle argumentere i denne oppgaven. Det kan derfor være hensiktsmessig å få elevene til å skrive en annen sjanger enn lab-rapport dersom målet er at elevene skal skrive en argumenterende tekst. Samtidig snakker Elev 5 (se side 42) om at hvis det er noe man skal ta med seg fra opplegget så er det å se verdien av debatter i vitenskapen. Dette er noe som Kolstø (2008) peker på er en viktig del av NOS. Selv om kronikk ikke er en tradisjonell sjanger i fysikk viser det seg at det å skrive en kronikk i fysikken faktisk fungerer. Elevene var fra før kjent med sjangeren og fikk til å argumentere for ulike standpunkter. Dette gjorde at elevene fikk tid til å gå i dybden i fysikken for å finne ut hva som lå til grunn for de ulike teoriene. Elevene greide også å formidle de ulike teoriene på en strukturert og tydelig måte samtidig som de argumenterte for ett synspunkt på fotoelektrisk effekt. På denne måten kan man si at elevene oppfylte deler av hva skriving i fysikk skal innebære ifølge UDIR (se UDIR sin definisjon av skriving i fysikk på side 11 i delkapittel 2.6). Valget om å skrive en kronikk virker derfor å ha vært vellykket selv om det ikke er en tradisjonell sjanger i fysikk.

7.2.3 Tidsbruk

For å ha muligheten til å få innsikt i en historisk case er det viktig at det blir satt av god tid, både til forberedelser og utføring av selve opplegget. Forskning gjort av Angell et al. (2004) og av Bøe et al. (2018) viser at både elever og lærere i den norske skolen ikke ser på vitenskapshistorie som spesielt interessant eller noe som var viktig å lære seg. Samtidig viser en rekke studier at når vitenskapshistorie først blir brukt så blir den framstilt på en kvasihistorisk måte (Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Passon et al., 2018; Renstrøm, 2011; Whitaker, 1979). Mine resultater tyder imidlertid på at elevene opplever det som interessant å jobbe med vitenskapshistorie dersom elevene får nok tid til å gå i dybden på en historisk case, og at opplegget er nøye planlagt. Dette er noe som stemmer med teori som sier at det er bedre å fordype seg i en historisk case, og at man som lærer selv er nødt til å kjenne den historiske casen godt (Allchin, 2004; Kapsala & Mavrikaki, 2020).

Opplegget som helhet tok tid å gjennomføre, en hele skoleuke. Denne avsatte tiden var noe som elevene likte, og enkelte skulle ønske at det var satt av mere tid (se side 47). Samtidig tok det tid for meg som lærer å planlegge og å sette seg inn i den historiske casen. Det kan allikevel argumenteres for at det var verdt tiden som ble lagt ned. Den avsatte tiden vil også være med å vise elevene at dette er noe som blir tatt seriøst fra lærerens side. Samtidig fikk elevene tid til å gå i dybden på tematikken og gjennom dette oppnå dybdelæring innenfor fysikk, se delkapittel 2.1. Dette kan sees i enkelte av kronikkene til elevene, hvor enkelte trekker inn ulike elementer fra andre tema i fysikken for å argumentere for sitt synspunkt. Det virker også som at elevene satte pris på tiden de fikk til rådighet, både tiden på skole og den de hadde utenfor. Elev 3 valgte å sammenligne det som en fagsamtale, bare at man nå fikk tid til å gå i dybden på tematikken og lese seg opp (se side 53). Samtidig forklarte Elev 3 at han fikk bedre tid til å få en forståelse av teorien og se sammenhenger i fysikk (se side 53-54). Den avsatte tiden gjorde derfor at elevene fikk muligheten til å undersøke og fordype seg i et område av fysikken. Samtidig som det gir muligheter for å trekke inn andre temaer fra fysikken, noe som gjør at elevene gjennom opplegget fikk mulighet til å oppleve dybdelæring i fysikk.

7.2.4 Elevenes refleksjon rundt NOS

Som det ble nevnt i delkapittel 2.2.1 vil undervisning av NOS være viktig element av demokratiundervisningen (Stadermann, 2021). Vi kan også se dette i hva som blir lagt til grunn for hva som menes med det tverrfaglige temaet demokrati og medborgerskap i fysikk, hvor eleven skal lære hvordan man kan bidra til at vitenskapelige argumenter blir forstått i samfunnsdebatten (Utdanningsdirektoratet, 2021). Samtidig er det ikke ønskelig at eleven skal pugge de ulike punktene fra Tabell 1 i delkapittel 2.2 for å gi en beskrivelse av hva NOS er. Det er ønskelig at elevene skal greie å ha en forståelse av NOS, og gjøre egne refleksjoner rundt NOS (Allchin, 2011; Williams & Rudge, 2016). Gjennom intervjuet ser vi at enkelte av elevene har gjort egne refleksjoner over ulike kategorier som beskriver NOS. Dette kan sees av Elev 5 som snakker om at opplegget fikk frem verdien av debatt i vitenskapen (se side 42). Også Elev 11 og 12 kom med egne refleksjoner rundt NOS, (se side 45), hvor de beskriver vitenskapen mer som en prosess hvor man kommer frem til en slags konklusjon som ikke er endelig, og at vitenskapen er under kontinuerlig utvikling. Elev 11 og 12 brukte også andre eksempler når de skulle forklare hva de mente med at vitenskapen var konservativ. Fra intervjuet med Elev 11

og 12 (se side 44) kan vi se at de snakker om at det kan være greit at vitenskapen er litt konservativ og at man ikke gjør konklusjoner med en eneste gang. For å illustrere dette nevner de at det var en forskergruppe som hadde funnet noe som var raskere enn lyset, men at det hadde blitt gjort en feil. Dette viser at elevene gjennom opplegget har klart å gjøre sine egne refleksjoner rundt NOS, noe som er viktig for å gjennomføre god NOS undervisning. Det er allikevel vanskelig å si om disse refleksjonene er på grunn av at elevene skulle skrive en kronikk, eller om det er den historiske vinklingen. Sannsynligvis er det opplegget som helhet som har vært med å gi elevene mulighet for å gjøre sine egne meninger og reflektere rundt NOS.

7.2.5 Opplevelse av opplegget

Gjennom intervjuene ga samtlige av elevgruppene uttrykk for at opplegget som ble gjennomført var en uvant måte å jobbe med fysikk på. Det er ikke uventet at elevene syntes dette var en uvant måte å jobbe med fysikk på siden opplegget hadde en historisk vinkling, og tidligere forskning viser at det er liten bruk av vitenskapshistorie i fysikkundervisningen (Angell et al., 2004; Bøe et al., 2018; Henke & Höttecke, 2015). Samtidig var de fleste av elevgruppene ikke negative til den nye måten å jobbe med fysikk på, og syntes det var fint med variasjon fra hva de vanligvis gjorde i fysikken. Den ene elevgruppa som uttrykte noe skepsis til opplegget var den største hemskoen at de følte de ikke fikk vist sin fulle kompetanse innenfor kvantefysikk. De så allikevel verdien av å gjøre et slikt opplegg enkelte ganger gjennom skoleåret, men at en slik undervisning og vurderingsform ikke kunne være dominerende.

Av de tre elevgruppene som uttrykte seg positivt til opplegget satte de veldig pris på variasjonen fra en vanlig fysikktime, og det at de skulle forstå teoriene om fotoelektrisk effekt fremfor å pugge, og bruke, formler blindt. Opplegget med å skrive kronikken virker derfor å ha motivert elevene til å sette seg mere inn i hva teoriene sier, og prøve å forstå de på et dypere plan. Dette er noe som kan være med å indikere at elevene ble engasjert for å dybdelære innenfor fysikk. I tillegg vil det å forstå teoriene på et dypere plan være positivt for at elevene skal greie å få en konseptuell forståelse av kvantefysikken. Bouchée et al. (2022) sier at det er fire grunner til at elever har vanskeligheter med å oppnå en konseptuell forståelse av kvantefysikk. Hvor to av disse grunne er at elever sliter med å se begrensninger i språket og knytte matematikken til den fysiske verden. Skrivning av kronikk kan virke å ha motivert elevene til å sette seg inn i begrensningene som finnes i språket og modeller som blir brukt, samt å koble den matematiske formalismen til eksempler fra virkeligheten.

Elevene gir også uttrykk for at de opplevde at de arbeidet med fysikk selv om de skrev en kronikk, og selv om opplegget hadde en historisk vinkling. Elev 4 (se side 50) snakket blant annet om at den historiske vinklingen gjorde det lettere å forstå ideene, og at det med fordel kunne bli brukt når man skulle jobbe med å forstå ideene fremfor å lære seg formler. Andre elever, som Elev 6 (se side 42) og Elev 3 (se side 54) snakker om at opplegget var til hjelp med å se sammenhenger i fysikk. Det kan derfor virke som at elevene følte at de primært jobbet med fysikk og at den historiske vinklingen var et bakteppe. Det at de skulle argumentere for et synspunkt i en historisk debatt gjorde at det ble et slags scenario som elevene skulle leve seg inn i. Dette var det noe som Elev 11 og Elev 12 snakket om i intervjuet (se side 48). På denne måten var fremdeles det å forstå og arbeide med fysikken primæroppgaven til eleven. Gjennom kronikkene kan vi også se at elevene jobber med å forstå fysikken (se boks 3 og 4 i delkapittel

6.1.1 for eksempel). Dette er med å bekrefte at elevene primært føler at de jobber med fysikk og ikke historien. Den historiske vinklingen var der mer for å gi oppgaven kontekst, og for å gjøre oppgaven mer levende. Det at ting blir mer levende gjennom å bruke historie er en av fordelene med en historisk vinkling dersom det blir utført på en korrekt måte (Kapsala & Mavrikaki, 2020). Ulempen er at dersom historie blir dominerende at det kan oppleves som kjedelig og uviktig (Allchin et al., 2014; Angell et al., 2004; Bøe et al., 2018). Ut fra hva elevene svarte i intervjuet kan det virke som at opplegget, med den historiske vinklingen, og oppgaven som helhet greide å engasjere elevene.

Enkelte av elevgruppene ga også uttrykk for at de hadde jobbet med oppgaven også utenfor skoletiden. Elev 3 (se side 51) sa for eksempel under intervjuet at han hadde fått en ide til oppgaven mens han var på trening, og måtte notere ned denne ideen før han skulle utforske den nærmere dagen etter. Dette viser at Elev 3 ble engasjert i oppgaven. Flere av elevene ga også uttrykk for at de hadde også arbeidet med oppgaven utenfor den tiden de fikk tildelt på skolen. Grunnen til dette kan være at kvantefysikk ofte blir oppfattet som et spennende og interessant tema for elevene, selv om de finner det vanskelig (Stadermann et al., 2019).

Det enkelte av elevene også fant interessant med opplegget var at de skulle argumentere for et synspunkt, og ha en egen mening. Dette kan vi se at Elev 1 (se side 50) snakker om når han sier det var interessant å ha en mening i fysikk, og at han opplever at de ofte blir fortalt hva som man skal mene i fysikk. Det samme kan vi se at andre elever også snakker om når de forteller om at de fant det interessant å argumentere for et synspunkt i fysikk. Det kan derfor virke som at oppgaven engasjerte elevene til å jobbe med oppgaven utenfor skoletiden fordi de fant den spennende og interessant.

Noe annet som enkelte elever gjennom intervjuet ga uttrykk for var at de syntes det var spennende og interessant å jobbe med den historiske casen for seg selv. En av farene med å bruke historie for å lære om NOS ifølge litteraturen er at det av elevene kan bli oppfattet som gammeldags og kjedelig (Allchin et al., 2014). Av de elevgruppene som ble intervjuet var det ingen som ga uttrykk for at de opplevde opplegget som kjedelig. En av grunnene kan være som litteraturen sier at en av forutsetningene for at man selv skal kunne fortelle en historie eller fortelling som engasjerer må læreren selv virkelig sette seg inn i fortellingen (Kapsala & Mavrikaki, 2020). Dette stemmer også overens med hva Allchin (2004) sier om at det er bedre at man fordyper seg i en historisk case enn å lære litt om alt. Noe annet som kan være med å gjøre at opplegget ikke ble oppfattet som kjedelig er at det omfattet temaet kvantefysikk. Som nevnt tidligere er kvantefysikk et tema som elevene ofte finner interessant (Stadermann et al., 2019). Elev 11 nevnte i intervjuet (se side 54) at det var et spennende og interessant tema å jobbe med. Det at det ble lagt ned et grundig arbeid med å utforme undervisningsopplegget i forkant, og at elever ofte finner kvantefysikk som et interessant og spennende tema, kan ha vært med å ha motvirket at elevene opplevde opplegget som kjedelig.

7.3 Implikasjoner av studien

Noe uventet viste det seg at elevene fant oppgaven om å skrive en kronikk interessant og spennende. Man kunne ha tenkt seg at enkelte av elevene ville motsette seg oppgaven om å skrive en kronikk som til dels hadde et vitenskapshistorisk preg over seg. Dette da tidligere

forskning, både internasjonalt og nasjonalt, viser at en historisk tilnærming av fysikk ofte kan bli oppfattet som kjedelig og uviktig (Allchin et al., 2014; Angell et al., 2004; Bøe et al., 2018). Samtidig er ikke fysikkelever vant til å skrive argumenterende tekster, da de tekstene som blir skrevet i fysikk som regel er lab-rapporter og disse ikke blir oppfattet som argumenterende i skolesammenheng (Angell et al., 2019; Gouvea et al., 2022). Med å se på elevenes kronikker i helhet (se Vedlegg D og Vedlegg E for eksempler) og hva elevene uttrykte gjennom intervjuene stemmer ikke forventningen om at det ville bli vanskelig å be fysikkelever om å skrive en kronikk i fysikktimen. Samtidig jobbet elevene mye med å sette seg inn i fysikken for å kunne svare på oppgaven. Som presentert i delkapittel 2.6 er skriving en metode for å lære, og man er nødt gjennom skriving strukturere tankene på en mer presis måte enn hva man gjør dersom man kommuniserer muntlig (Angell et al., 2019). Samtidig er språket en representasjon av hvilken forståelse og tanker elevene sitter med (Vygotsky, 2012). Siden oppgaven var konstruert slik at elevene skulle skrive, fikk de også jobbet med språket og jobbet med å organisere og strukturere tankene sine om temaet på en presis måte. Dette viser at skriving av en argumenterende tekst i fysikk kombinert med en historisk vinkling faktisk lar seg gjennomføre, og at flere av elevene finner det interessant og spennende å jobbe med fysikk på denne måten.

En mulig forutsetning for at en slik historisk vinkling viste seg å være vellykket kan være at det ble lagt ned mye tid i starten av studien til å utvikle opplegget og undersøke den historiske casen nøye. Som det har blitt påpekt tidligere i delkapittel 2.5.2 blir vitenskapshistorie ofte fremstilt på en kvasihistorisk måte, og at den blir brukt som artige fakta i undervisningen (Bøe et al., 2018). En forutsetning for at man som lærer skal greie å formidle en fortelling med entusiasme, og derav unngå at den blir oppfattet som kjedelig, er at man som formidler selv virkelig elsker og kan fortellingen (Kapsala & Mavrikaki, 2020). Dette vil stille et krav om at man selv går aktivt inn for å lære seg vitenskapshistorien. Det er vist at lærebøker i fysikk ikke er en god kilde hvis man ønsker å lære om vitenskapshistorien (Kragh, 1992; Niaz et al., 2010; Passon et al., 2018; Renstrøm, 2011; Whitaker, 1979). Som Allchin (2004) påpeker så er det ikke å forvente at realfaglærere også er historikere. For å kunne utnytte bruken vitenskapshistorie på en god måte vil det derfor være hensiktsmessig at det utvikles flere gjennomarbeidede historiske caser slik at terskelen for lærer å utforske vitenskapshistorie senkes. På denne måten kan lærere, og elever, finne ett case fra vitenskapshistorien som de synes er interessant, og på den måten lære seg å mestre den ene casen. For som Allchin (2004) sier så er det bedre å mestre ett case, enn å kunne litt av mange.

Denne studien er også et svar på hvordan man kan undervise om NOS i skolen for fysikkelever. McComas (2020a) sier at debatten de siste tiårene endret seg fra om man skal undervise NOS i undervisningen av realfag, til nå handle om hvordan man kan drive undervisning av NOS. Denne studien gir derfor ett svar på hvordan man kan undervise NOS. Både Allchin et al. (2014) og Matthews (1994) sier at bruken av vitenskapshistorie er en anerkjent måte å undervise om NOS. Allikevel viser flere at bruken av vitenskapshistorie ikke blir prioritert i realfagsundervisningen. Noen av grunnene til dette er at man enten ikke ser nytten av vitenskapshistorie, eller at man ikke vet hvordan man kan bruke vitenskapshistorie (Angell et al., 2004; Bøe et al., 2018; Henke & Höttecke, 2015). Denne masteroppgaven kan derfor være med å gi inspirasjon til lærere, lærebokforfattere og andre realfagsdidaktikere til hvordan man kan benytte seg av vitenskapshistorie i undervisningen av realfag. Til videre forskning vil det derfor

anbefales at det forskes på flere konkrete historiske caser, og hvordan disse kan brukes i realfagsundervisningen. Med å gjøre dette vil man kunne variere bruken av vitenskapshistorie i undervisningen på en hensiktsmessig måte.

Det vil også være et spørsmål om når man skal lære om NOS. Ifølge McComas et al. (2020) er det viktig å ha en eksplisitt tilnærming når man skal lære om NOS. Dette vil si at man ikke kan forvente at elevene lærer NOS gjennom å lære fysikk, men at man må sette av tid for å lære om NOS. Stadermann (2021) viser til at NOS ofte ikke blir prioritert i undervisningen av fysikk. En av grunnene til det ifølge Stadermann (2021) er at kunnskaper om NOS ikke blir testet ved en eksamen, og at man derfor prioriterer å bruke tiden på det som blir testet ved eksamen. Det at man arbeider med NOS kunnskap i fysikken betyr ikke at man ikke arbeider med fysikk. Fra elevenes kronikker (se boks 1 i delkapittel 6.1.1 for eksempel), kan vi se at elevene faktisk jobber mye med fysikken bak samtidig som de evner å reflektere rundt NOS. Det vil si at arbeid med NOS og arbeid med andre fysikktemaer ikke trenger å være to separate ting så lenge man har gjort god og nøye planlegging i forkant. For at elevene skal greie å bruke fysikken mens de arbeider med NOS er det en fordel at de har blitt komfortable med fysikken som inngår i casen. Det kan derfor i dette opplegget ha vært hensiktsmessig at elevene hadde tatt fysikk i over ett og et halvt år. Det vil derfor være en anbefaling at NOS ikke undervises i starten av skoleåret, men at man venter til elevene har blitt vant med å arbeide med fysikk. På denne måten kan elevene få bruke den fysikken de allerede har lært mens de arbeider med NOS.

Ett av de tverrfaglige temaene som har kommet med den nye læreplanen er demokrati og medborgerskap (Kunnskapsdepartementet, 2017). Som nevnt i delkapittel 2.2.1 kan det å ha god kunnskap om NOS ses på som en viktig del av demokratiet (Stadermann, 2021). Opplegget kan derfor fungere inn imot et tverrfaglig prosjekt innenfor temaet demokrati og medborgerskap. Det kan også kjøres i en kombinasjon med norskfaget i en periode hvor elevene arbeider med skriving og argumentasjon i norsk. En utfordring er at det å lære seg å bygge opp saklige argumenter er et kompetansemål for VG1 i norsk, mens fysikk 2 er et fag som man tar tredje året på videregående (Kunnskapsdepartementet, 2019). Dette betyr at det kan være vanskelig å gjennomføre disse oppleggene parallelt. Allikevel skal standpunktvurderingen i norsk VG3 være en samlet vurdering av elevens kompetanse etter tre år med norsk. Opplegget kan derfor fungere som en repetisjon av argumentasjon fra VG1. Det er derfor mulig å få til et tverrfaglig samarbeid mellom norsk og fysikk 2. Man må uansett huske på at norsk er et fag samtlige elever har ved videregående skole, mens det bare er en liten andel av elevene som har fysikk 2. Det er derfor ikke mulig å si at man repeterer argumentasjon fra VG1 i fysikk 2 siden dette kun omfatter en liten andel av elevene.

Som vist i delkapittel 2.2.1 er argumentasjon en del av fysikkfaget gjennom det overordnede temaet demokrati og medborgerskap. Elementet om argumentasjon kommer også til syne gjennom de grunnleggende ferdighetene «muntlige ferdigheter» og «å kunne lese fysikk» (Utdanningsdirektoratet, 2021). Her innebærer det at elevene skal greie å følge fysikkfaglige resonnementer i skriftlig tekst og argumentere for vurderinger de gjør muntlig. Argumentasjon er dog ikke nevnt eksplisitt som en del av det som UDIR regner for å være grunnleggende skriftlig ferdighet i fysikk. Som opplegget har vist er det mulig å inkludere argumentasjon og skriving i fysikkundervisningen. Siden argumentasjon er et viktig element når forskere skal

publisere artikler og rapporter kan man med fordel også inkludere argumentasjon som en grunnleggende skriftlig ferdighet også.

7.4 Forslag til forbedringer av opplegget

Basert på analysen av kronikkene viser det seg at vitenskapen som en kreativ prosess ikke kommer tydelig frem i elevenes arbeid. Siden elevenes arbeid må ses i lys av opplegget som helhet kan dette tyde på at det kreative elementet av NOS ikke kom frem på eksplisitt måte i presentasjonen eller i dokumentene som elevene fikk utdelt. Man kan derfor muligens være ekstra tydelig når man snakker om kreativitet som en del av NOS. Selv om ikke kreativitet kommer frem i elevenes arbeid snakker elevene om forskning som en kreativ prosess i intervjuene. Dette blant annen når Elev 12 snakker om at forskning ikke har et entydig svar, men mer en prosess. På denne måten viser enkelte av elevene implisitt at de forstår at vitenskapen er en kreativ prosess. Spørsmålet blir derfor mer om man ønsker at elevene skal vise at de ser på vitenskapen som en kreativ prosess i sitt elevarbeid. Om det er tilfellet kan det kanskje være nødvendig å være mer tydelig når man snakker om kreativitet i vitenskapen, eller komme med konkrete eksempler på hvordan de kan få inn dette elementet i kronikken sin.

Noe annet som kunne vært forbedret er å også gitt elevene en variant av delkapittel 3.6 som en del av artikkelen de fikk utdelt. Delkapittel 3.6 handler om hvordan man kan se de ulike kategoriene av NOS i den gitte historiske casen. En fordel med dette er at elevene ville fått en mer konkret oversikt over hvordan de ulike elementene av NOS kan sees i det gitte eksempelet. Selv om tanken er god, kan det kanskje virke imot sin hensikt. Oppgaven var at elevene skulle skrive en kronikk hvor de skulle argumentere for en av måtene fotoelektrisk effekt ble tolket på ved starten av 1900-tallet. En oppsummering av hvordan casen belyser ulike elementer av NOS kan derfor muligens virke forstyrrende når elevene skal lete etter informasjon. Dette ville også kanskje gjort det vanskeligere for elevene å gjøre egne refleksjoner, siden det da allerede ville ha eksistert en refleksjon over hvordan NOS er representert i den gitte casen. Samtidig er det ønskelig at eleven skal få fordype seg selv og selv lete i kildene for å finne det de selv synes er interessant.

Det er også ulike ting man kunne ha gjort for å gjøre det enklere for elevene å starte med oppgaven. Som enkelte av elevene uttrykte var det like vanskelig å starte på denne oppgaven som det var å rydde et utrolig rotete rom. Siden dette var en uvant oppgave for elevene kunne man på forhånd ha laget noen «eksempelavsnitt» som elevene kunne ha fått utdelt. På denne måten kunne de ha fått inspirasjon til hvordan man kan bygge opp et avsnitt, eller sagt på elevenes språk en instruksjon til hvordan man kan rydde rommet. En ulempe med dette er elevene kunne ha oppfattet dette avsnittet som en slags rigid mal for hvordan avsnittene skal se ut. Med å gjøre en sann endring kan kanskje oppgaven bli oppfattet som mindre åpen siden det eksisterer en slags «fasit» på hvordan avsnittene og argumentasjonen skal se ut.

Det er her mulig å dra en liten parallell til NOS og den vitenskapelige metode. Som nevnt er det en vanlig misforståelse at vitenskapen følger en bestemt metode (Reiff-Cox, 2020). Det vil derfor kanskje virke mot sin hensikt å gi elevene noe som kan bli oppfattet som en mal, når man skal lære at vitenskapen ikke følger en bestemt mal. Samtidig er det kanskje å gjøre en bjørnetjeneste for elevene å gi de konkrete eksempler som de kan følge. Et av poengene med

LK20 er at man i større grad skal legge opp til at elevene selv skal få utforske. Det står i den overordnede delen av læreplanen at: «Skolen skal la elevene utfolde skaperglede, engasjement og utforskertrang, og la dem få erfaring med å se muligheter og omsette ideer til handling.» (Kunnskapsdepartementet, 2017). For å oppnå dette er man kanskje nødt til å tillate at elevene bruker litt tid på å starte med oppgaven. Selv om det kan virke som at elevene bruker tid med å komme i gang, er ikke dette ekvivalent med at elevene ikke tenker og arbeider med hvordan de skal strukturere oppgaven. Allikevel kan det være utfordrende å ta fatt på noe som man ikke helt vet hvordan man skal begynne på. Som Elev 4 sa var det en oppgave bestående av mange deler som kunne virke overveldende (se side 49). Det kunne derfor kanskje vært nyttig i dette tilfellet, siden det var en helt ny type oppgave for elevene, å ha gjort klart noen eksempler til de som satt aller mest fast.

7.5 Metoderefleksjon

I delkapittel 3.6 ble det foretatt en enkel analyse om hvordan man kan se de ulike elementene av NOS i den historiske casen om hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg. Gjennom arbeidet til elevene og intervjuene som ble gjort i etterkant av opplegget viser det seg at elevene var innovent de fleste av punktene som er med å beskrive hva NOS er, og de gjør dette på en god måte. Elevene fikk utdelt en versjon av kapitlene 3.1 - 3.5. Samtidig som det ble holdt en presentasjon av meg som lærer (se Vedlegg A) i forkant av skriveøkten. Dette vil ha vært med å prege hvordan elevene løste oppgaven, og hvilke deler av NOS de tok med. Som nevnt i delkapittel 2.2 finnes det ulike måter å beskrive NOS på. Siden opplegget ble laget på en slik måte at det skulle få frem elementer fra det analytiske rammeverket er det naturlig at man vil finne disse elementene i elevenes besvarelser og i intervjuene. Allikevel var det hensiktsmessig å ta utgangspunkt i Stadermann (2021) sin beskrivelse av NOS, se Tabell 2. Dette da den tar utgangspunkt i hvilke elementer av NOS som er sentrale i undervisning av kvantefysikk. Det er også vanskelig å si om opplegget gjorde at elevene lærte noe nytt om NOS siden det ikke ble gjennomført en pre-test for å teste elevenes NOS kunnskaper. Opplegget vil allikevel ha gitt elevene et tydelig eksempel på NOS knyttet opp imot en konkret historisk case.

Gjennom hele prosjektet har jeg vært en aktiv deltager, fra ide til konstruksjon og gjennomføring av undervisningsopplegget samt analyse av resultatene. Dette har ført til at jeg har god kjennskap til prosjektet, og hvordan det har utviklet seg. Det at jeg har god kjennskap til prosjektet som helhet har vært en styrke i prosessen da jeg har vist hva som var tanken bak prosjektet og vist hva som var målet. Samtidig vil den nære tilknytningen til prosjektet gjøre at jeg har en god innsikt i teorien, som gjør at jeg kan se ting som nødvendigvis ikke andre lærere ser. Ulempen med min nære tilknytning til prosjektet er at det kan ha en negativ innvirkning på troverdigheten av resultatene. Den nære tilknytningen til prosjektet kan ha gjort analysen av resultatene mer utsatt for forskerbias (Robson & McCartan, 2016). Selv om jeg har god innsikt i ulike teorier kan nærheten til prosjektet ha gjort at jeg kun greier å se resultatene på en måte. For å unngå dette har jeg fortløpende gjennom prosjektet snakket med veileder og medstudenter for å sørge for at jeg greier å se resultatene på flere måter, og få inspirasjon til nye innfallsvinkler til prosjektet. Selv om den nære tilknytning gjør at prosjektet er mer utsatt for forskerbias er det gjort tiltak fortløpende for å unngå forskerbias, og heller utnytte styrkene til den nære tilknytningen.

For at undervisningsopplegget skulle være en naturlig del av undervisningen som helhet var jeg innom klassen de to ukene i forkant av gjennomføringen. Dette for å bli kjent med elevene, og for at opplegget ikke skulle bli oppfattet som noe som ikke var en del av den vanlige undervisningen. Dette har ført til at jeg har fått en dobbeltrolle, hvor elevene kan ha fått en oppfatning av meg som lærer fremfor forsker. Denne dobbeltrollen som både lærer og forsker vil utvilsomt ha en innvirkning på hvordan undervisningsopplegget gikk. På den ene siden vil det at jeg kunne bli oppfattet som lærer være med å gjøre at opplegget blir oppfattet som en del av undervisningen og ikke som noe eget utenfor undervisningen. Dette vil være med å gjøre at resultatene fra opplegget blir mer autentiske. En ulempe med å gjøre det på denne måten er at jeg vil gjennom min tilstedeværelse ukene i forkant er at elevene vil ha dannet en relasjon til meg. Dette kan føre til at elevene kanskje får en forsterket positiv eller negativ innstilling til opplegget avhengig av hva de synes om meg som person. Resultatene kan derfor være påvirket av den relasjonen som jeg har bygget til elevene. Som lærer vil man naturligvis ha relasjoner til elevene, det at jeg hadde en relasjon til elevene mens jeg gjennomførte opplegget er nødvendigvis ikke negativt. Ulempen er at det kan være vanskelig å si om opplegget fungerte bra på grunn av måten opplegget var konstruert på, eller om min relasjon gjorde at elevene var mer positivt innstilt til opplegget enn hva de vanligvis ville ha vært.

Relasjonen som ble bygget til elevene vil også ha en påvirkning hvordan intervjuene med elevene gikk. Siden elevene kan ha fått et inntrykk av meg som lærer fremfor forsker kan det være at enkelte av svarene til elevene i intervjuene bærer preg av denne relasjonen. Det kan også være at elevene i intervjuet ønsket å uttrykke at de var positive til opplegget på grunn av at de hadde fått en god relasjon til meg, og ikke ønsket å ødelegge denne relasjonen med å være kritisk eller negativ til opplegget. På denne måten kan elevene føle seg forpliktet til å gi positive svar om opplegget. Allikevel kan vi se i delkapittel 6.3.2 (se side 52) at to av elevene ytret seg litt kritisk til opplegget med at de følte de ikke fikk vist sin fulle kompetanse. Det at Elev 5 og Elev 6 sier ifra om at de ikke fikk vist sin fulle kompetanse direkte til meg viser at Elev 5 og Elev 6 ikke følte seg forpliktet til å gi et høflig svar til meg. Samtidig var det enkelte elever som avbrøt meg i det ene spørsmålet for å svare (se side 43 og 44). Dette viser at selv om elevene hadde fått en relasjon til meg, turte elevene å si hva de mente om opplegget. Relasjonen som hadde blitt dannet mellom meg og elevene kan faktisk ha vært avgjørende for at elevene turte å gi utfyllende svar. Som vi kan se i flere av intervjuutsnittene fra delkapittel 6.2 og 6.3 kan vi se at elevene til tider gir svært utfyllende svar og at de bygger på hverandres ideer (se side 53 for eksempel). Dette ville kanskje ikke vært tilfelle om elevene ikke kjente meg som person før intervjuet. Selv om relasjonen kan påvirke resultatet troverdigheten negativt siden elevene ønsker å gi et positivt inntrykk ovenfor meg, kan en god relasjon til elevene gjøre at de tørr å gi utfyllende svar samtidig som de tørr å si hva de er kritiske til.

Intervjuet viste seg å gi gode utfyllende svar fra elevenes side. En av farene med å bruke intervju som innsamlingsmetode er at man som intervjuer både bevisst og ubevisst kan stille ledende spørsmål. Et eksempel på hvor det ble stilt et ledende spørsmål er i intervjuet med Elev 11 og Elev 12 (se side 45). Her spør jeg om hva de syntes om at jeg brukte en historisk tilnærming for å lære om den fotoelektriske effekten. Det vil være vanskelig for elever å si noe negativt om dette direkte til meg. Allikevel kan vi fra svarene til elevene se at de svarer ganske utfyllende på spørsmålet. Svaret til elevene virker derfor å være troverdig siden det vil være vanskelig å

svare utfyllende på noe man egentlig ikke mener. Relasjonen som ble bygget kan derfor ha vært nødvendig for at elevene skal se på meg som en trygg person å snakke med, og være med å gi mer utfyllende svar.

Det å gjennomføre flere intervjuer er tidkrevende. Det ble derfor ikke samlet inn data fra alle elevene, eller alle elevgruppene som skrev kronikker. Det ble allikevel intervjuet 4 av 6 elevgrupper, som sørget for at de fleste elevgruppene ble intervjuet. Dette tilsvarer 8 av 13 elever som deltok på opplegget. For at de 5 andre elevene også skulle ha fått kommet med sin mening kunne det ha blitt utviklet et spørreskjema som elevene kunne ha besvart anonymt. På denne måten kunne man ha fått samlet inn data fra alle elevene anonymt om hvordan de opplevde undervisningsopplegget. Ulempen med å benytte spørreskjema fremfor intervju er at et spørreskjema ofte kan gi lite utfyllende svar sammenlignet med intervju. Dette da intervju også gir muligheten for å stille oppfølgingsspørsmål slik at elevene får muligheten til å gi mer utfyllende data. Det er derfor mer hensiktsmessig å benytte intervju som metode når man er interessert i elevenes opplevelse av et opplegg. Selv om det har sine fordeler med et spørreskjema viste det seg i denne undersøkelsen at gruppeintervjuene av elevgruppene ga tilstrekkelige gode data som man kanskje ikke hadde fått dersom man baserte seg på et spørreskjema.

Man kunne selvfølgelig ha benyttet begge metodene, både intervju og spørreskjema, for å samle inn data til undersøkelsen. På denne måten kunne man også gjennomført en datatriangulering av hvordan elevene opplevde opplegget, noe som ville ha styrket troverdigheten til også denne delen av studien (Robson & McCartan, 2016). En kan da komme over et etisk problem over hvor mye man skal be om fra informantene sine. Informantene er også levende vesener, som har egne liv. Man skal derfor sette pris på at informantene velger å bruke litt av sin tid til å delta på undersøkelsen, og man må passe på å ikke be om for mye av informantene. Samtidig kunne man risikere at færre ville delta på et intervju dersom de ble bedt om å svare på et spørreskjema. Dette da man som informant kan oppleve å allerede ha sagt hva man hadde på hjertet, og derfor ikke ser verdien av å bidra til intervju. Det å svare utfyllende på et spørreskjema og delta på et intervju kan også oppleves som overveldende for informantene. Beslutningen om å bare benytte seg av intervju som innsamlingsmetode for å finne ut om elevenes opplevelse av opplegget virker derfor å ha vært hensiktsmessig.

8 Konklusjon

Undervisning av NOS noe som har blitt debattert i lang tid. Selv om det har vært en langvarig debatt finnes det ingen felles enighet om hvordan NOS bør implementeres som en del av undervisningen i fysikk og andre realfag. Denne masteroppgaven hadde som mål å gi ett svar på hvordan NOS kan implementeres med å bruke en historisk vinkling, og en historisk case for å undervise kvantefysikk. Gjennom å skrive en argumenterende tekst i form av en kronikk greide elevene å inkludere elementer av NOS. Med å lese elevenes kronikker kan man se at de gjennom å skrive den argumenterende teksten har gjort egne refleksjoner om ulike elementer som beskriver NOS. Intervjuer som ble gjort i etterkant av undervisningsopplegget bekrefter at elevene har gjort egne refleksjoner om NOS. Hvor enkelte greier å koble dette opp imot forskning som skjer i dagens samfunn og ser verdien av debatt og uenighet i vitenskapen.

Selv om kronikk ikke er en tradisjonell vitenskapelig sjanger, og at enkelte elever beskriver det som like vanskelig å skrive en kronikk som å rydde sitt eget rom, greier elevene allikevel å bruke fysikk for å argumentere for ett standpunkt. På denne måten får elevene vist kompetanse innenfor fysikk, og de må vise at de har forstått modellene på en annen måte enn å bare bruke formler. Det å skrive en kronikk kan derfor være hensiktsmessig for å fremme argumentasjon i fysikkundervisningen siden mer tradisjonelle sjangere som lab-rapporter ofte mister aspektet med argumentasjon.

Elevene ga uttrykk for at de opplevde opplegget med den historiske vinklingen og skriving av kronikk som interessant. Av momenter som gjorde opplegget interessant peker elevene på at det var spennende å få lov til å ha en mening og argumentere i fysikk, samtidig som at oppgaven i seg selv var interessant grunnet den store valgfriheten og at temaet kvantefysikk var interessant. Elevene ble også engasjerte i oppgaven, og enkelte brukte også tiden utenfor skolen til å tenke på kvantefysikk for å finne argumenter som kunne bli brukt i kronikken. Selv om det var et tidkrevende undervisningsopplegg kan det argumenteres for at dette var nødvendig. Den avsatte tiden var med på å gi elevene muligheten til å selv utforske den historiske utviklingen av kvantefysikk, og muligheten til å se sammenhenger mellom ulike deler av fysikken.

Den historiske vinklingen kombinert med skriving av en kronikk i fysikkundervisningen fikk derfor frem ulike aspekter med NOS i elevenes arbeid, hvor elevene opplevde å jobbe med fysikk på en ny måte som de fant givende og interessant. Dette vil derfor være ett forslag til hvordan man kan inkludere NOS i fysikkundervisningen på en fornuftig måte. For videre arbeid anbefales det at det utvikles flere gjennomarbeidete historiske caser og undervisningsopplegg som omfatter NOS for å greie å inkludere NOS i undervisningen på variert og fornuftig måte.

Det er vanskelig å si hva det var som gjorde at opplegget ble så vellykket som det ble, men utfra resultatene og diskusjonen kan man tenke seg til tre nøkkelforutsetninger. Det første er at elevene fikk nok tid til å fordype seg i tematikken. Samtidig inneholdt opplegget en god del fysikk som kan virke motiverende for fysikkelever. Det at jeg som lærer også hadde satt meg godt inn i den historiske casen kan også ha spilt en viktig rolle for at opplegget ble vellykket.

Referanser

- Allchin, D. (2004). Pseudohistory and Pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179-195. <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000025563.35883.e9>
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education (Salem, Mass)*, 95(3), 518-542. <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2014). From Science Studies to Scientific Literacy: A View from the Classroom. *Science & Education*, 23(9), 1911-1932. <https://doi.org/10.1007/s11191-013-9672-8>
- Allchin, D., Andersen, H. M. & Nielsen, K. (2014). Complementary Approaches to Teaching Nature of Science: Integrating Student Inquiry, Historical Cases, and Contemporary Cases in Classroom Practice: COMPLEMENTARY APPROACHES TO TEACHING NOS. *Science Education (Salem, Mass.)*, 98(3), 461-486. <https://doi.org/10.1002/sce.21111>
- Angell, C., Bungum, B., Henriksen, E. K., Kolstø, S. D., Persson, J. & Renstrøm, R. (2019). *Fysikkdidaktikk* (2. utgave.). Cappelen Damm akademisk.
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K. & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science Education (Salem, Mass)*, 88(5), 683-706. <https://doi.org/10.1002/sce.10141>
- Bohr, N. (1922, 11. desember). *The structure of the atom* [Papirpresentasjon]. Nobel forelesning, Stockholm. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1922/bohr/lecture/>
- Bohr, N. (1928). Quantum postulate and the recent development of atomic theory. *Nature (London)*, 121(3050), 580-591. <https://doi.org/10.1038/121580a0>
- Bouchée, T., de Putter - Smits, L., Thurlings, M. & Pepin, B. (2022). Towards a better understanding of conceptual difficulties in introductory quantum physics courses. *Studies in Science Education*, 58(2), 183-202. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1963579>
- Bouchée, T., Thurlings, M., de Putter - Smits, L. & Pepin, B. (2023). Investigating teachers' and students' experiences of quantum physics lessons: opportunities and challenges. *Research in Science & Technological Education*, 41(2), 777-799. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1948826>
- Bøe, M. V., Henriksen, E. K. & Angell, C. (2018). Actual versus implied physics students: How students from traditional physics classrooms related to an innovative approach to quantum physics. *Science Education (Salem, Mass.)*, 102(4), 649-667. <https://doi.org/10.1002/sce.21339>
- Clough, M. P. (2006). Learners' responses to the demands of conceptual change: Considerations for effective nature of science instruction. *Science & Education*, 15(5), 463-494. <https://doi.org/10.1007/s11191-005-4846-7>
- Einstein, A. (1905). Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 322(6), 132-148. <https://doi.org/10.1002/andp.19053220607>
- Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education : Scientific Knowledge, Practices and Other Family Categories*. Springer Netherlands : Imprint: Springer.
- Fraser, M. W. & Galinsky, M. J. (2010). Steps in Intervention Research: Designing and Developing Social Programs. *Research on Social Work Practice*, 20(5), 459-466. <https://doi.org/10.1177/1049731509358424>

- Gouvea, J., Appleby, L., Fu, L. & Wagh, A. (2022). Motivating and Shaping Scientific Argumentation in Lab Reports. *CBE Life Sciences Education*, 21(4), ar71-ar71. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-11-0316>
- Henke, A. & Höttecke, D. (2015). Physics Teachers' Challenges in Using History and Philosophy of Science in Teaching. *Science & Education*, 24(4), 349-385. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9737-3>
- Henriksen, E. K., Angell, C., Vistnes, A. I. & Bungum, B. (2018). What Is Light? *Science & Education*, 27(1-2), 81-111. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-9963-1>
- Hentschel, K. (2018). *Photons: The History and Mental Models of Light Quanta*. Springer International Publishing: Imprint: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. & Erduran, S. (2007). Argumentation in Science Education: An Overview. I S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Red.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (s. 3-27). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_1
- Kapsala, N. & Mavrikaki, E. (2020). Storytelling as a Pedagogical Tool in Nature of Science Instruction. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 485-512). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_27
- Katzir, S. (2006). Thermodynamic deduction versus quantum revolution: The failure of Richardson's theory of the photoelectric effect. *Annals of Science*, 63(4), 447-469. <https://doi.org/10.1080/00033790600787417>
- Klassen, S. (2011). The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. *Science & Education*, 20(7-8), 719-731. <https://doi.org/10.1007/s11191-009-9214-6>
- Kolstø, S. D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), 977-997. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9084-8>
- Kolstø, S. D. (2012). Vektlegging av lesing i naturfaget. Del 2: Hvordan fremme elevens kompetanse i å lese naturfaglige tekster? *Nordina : Nordic Studies in Science Education*, 5(1), 75-88. <https://doi.org/10.5617/nordina.334>
- Kragh, H. (1992). A sense of history: History of science and the teaching of introductory quantum theory. *Science & Education*, 1(4), 349-363. <https://doi.org/10.1007/BF00430962>
- Kragh, H. (1999). *Quantum generations : a history of physics in the twentieth century*. Princeton University Press.
- Kunnskapsdepartementet. (2017). *Overordnet del - verdier og prinsipper for grunnopplæringen*. Fastsatt ved forskrift ved kongelig resolusjon. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. <https://www.udir.no/lk20/overordnet-del/opplaringens-verdigrunnlag/>
- Kunnskapsdepartementet. (2019). *Læreplan i norsk (NOR01-06)*. Fastsatt som forskrift. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. <https://www.udir.no/lk20/nor01-06?lang=nob>
- Kvale, S. & Brinkmann, S. (2015). *Det kvalitative forskningsintervjuet* (3. utgave). Gyldendal akademisk.
- Lévy-Leblond, J.-M. (2003). On the nature of quantons. *Science & Education*, 12(5-6), 495-502. <https://doi.org/10.1023/a:1025382113814>
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge.
- McComas, W. F. (2020a). Considering a Consensus View of Nature of Science Content for School Science Purposes. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science*

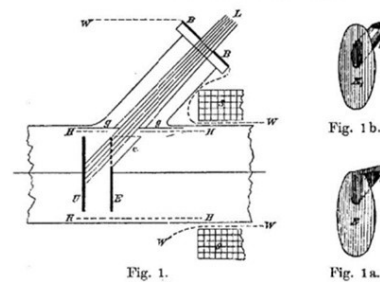
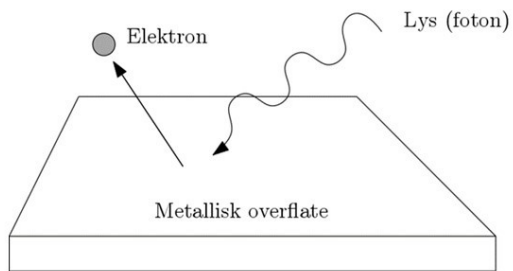
- Instruction: Rationales and Strategies* (s. 23-34). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_2
- McComas, W. F. (2020b). Principal Elements of Nature of Science: Informing Science Teaching while Dispelling the Myths. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 35-65). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_3
- McComas, W. F., Almazroa, H. & Clough, M. P. (1998). The Nature of Science in Science Education: An Introduction. *Science & Education*, 7(6), 511-532. <https://doi.org/10.1023/A:1008642510402>
- McComas, W. F. & Clough, M. P. (2020). Nature of Science in Science Instruction: Meaning, Advocacy, Rationales, and Recommendations. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 3-22). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_1
- McComas, W. F., Clough, M. P. & Nouri, N. (2020). Nature of Science and Classroom Practice: A Review of the Literature with Implications for Effective NOS Instruction. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 67-111). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_4
- Niaz, M., Klassen, S., McMillan, B. & Metz, D. (2010). Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks. *Sciences Education*, 94(5), 903-931. <https://doi.org/10.1002/sce.20389>
- Niaz, M. & Rodríguez, M. A. (2002). Improving learning by discussing controversies in 20th century physics. *Physics Education*, 37(1), 59-63. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/37/1/308>
- Osborne, J. & Dillon, J. (2008). *Science education in Europe: Critical reflections* (Bd. 13). London: The Nuffield Foundation.
- Passon, O., Zügge, T. & Grebe-Ellis, J. (2018). Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. *Physics Education*, 54(1), 15014. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aadbc7>
- Reiff-Cox, R. (2020). Exchanging the Myth of a Step-by-Step Scientific Method for a More Authentic Description of Inquiry in Practice. I W. F. McComas (Red.), *Nature of Science in Science Instruction: Rationales and Strategies* (s. 127-139). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57239-6_6
- Renstrøm, R. (2011). *Kvantefysikkens utvikling : i fysikklærebøker, vitenskapshistorien og undervisning* [Doktorgradsavhandling]. Universitetet i Oslo.
- Robson, C. & McCartan, K. (2016). *Real world research : a resource for users of social research methods in applied settings* (4.utgave). Wiley.
- Stadermann, H. K. E., van den Berg, E. & Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries: Different perspectives on a challenging topic. *Physical Review Physics Education Research*, 15(1), 010130. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010130>
- Stadermann, K. (2021). *Connecting Secondary School Quantum Physics and Nature of Science. Possibilities and challenges in curriculum design, teaching, and learning* [Doktorgradsavhandling]. University of Groningen.
- Utdanningsdirektoratet. (2019, 13.03.2019). *Dybdeløring*. <https://www.udir.no/laring-og-trivsel/dybdelaring/>
- Utdanningsdirektoratet. (2021). *Læreplan i fysikk (FYS01-02)*. Fastsatt som forskrift. Læreplanverket for Kunnskapsløftet 2020. <https://www.udir.no/lk20/fys01-02>
- Vygotsky, L. S. (2012). *Thought and language*. MIT press.
- Wheaton, B. R. (1978). Philipp Lenard and the Photoelectric Effect, 1889-1911. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9, 299-322. <https://doi.org/10.2307/27757381>

- Whitaker, M. A. B. (1979). History and quasi-history in physics education. I. *Physics Education*, 14(2), 108-112. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/14/2/009>
- Williams, C. T. & Rudge, D. W. (2016). Emphasizing the History of Genetics in an Explicit and Reflective Approach to Teaching the Nature of Science: A Pilot Study. *Science & Education*, 25(3-4), 407-427. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9821-y>

Vedlegg

Vedlegg A – Presentasjon til elevene

Fotoelektrisk effekt



Plan for dagen

- Presentasjon av oppgaven
- Fotoelektrisk effekt
- Oppdagelsen av fotoelektrisk effekt
- Lenard sin tolkning av fotoelektrisk effekt
- Einstein sin tolkning av fotoelektrisk effekt
- Compton og Compton-spredning
- Arbeide med oppgaven



Oppgaven

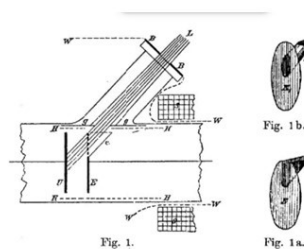
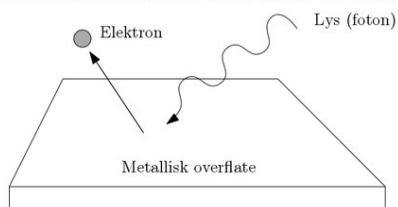
Dere skal to og to skrive en kronikk om Einstein sin hypotese om at lys består av fotoner. Kronikken er tiltenkt å være utgitt i 1922, altså et år etter at Einstein fikk nobelprisen for fotoelektrisk effekt. Det var på denne tiden svært mange etablerte fysikere som mente at denne hypotesen ikke kunne forenes med allerede etablerte fakta om lys, som interferens.

Dere skal derfor i denne kronikken velge en måte å forklare den fotoelektriske effekten, og argumentere for at dette synet er korrekt. Dere skal også redegjøre for andre synspunkter, men her komme med motargumenter for hvorfor dette ikke er en korrekt forståelse.

Siden kronikken er tenkt til å være utgitt i 1922 står dere fritt til å velge i hvor stor grad kronikken skal støtte Einstein sin hypotese om at lys består fotoner. Dere kan derfor skrive en kronikk som har som mål å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er direkte feil, eller en kronikk som vil forsøke å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er den korrekte tolkningen av hva lys er. Det er også mulig å ha en mer moderat kronikk som verken har som mål å støtte eller angripe Einstein sin hypotese, men har som mål å gi en beskrivelse av de ulike synene på hva lys er uten å låse seg til en tolkning.

Fotoelektrisk effekt

- Fotoelektrisk effekt er at lys treffer en metallplate og slår løs elektroner fra atomet. Det viser seg at ikke alle former for lys greier å slå løs elektroner fra metallplata. Dette fikk fysikere på slutten av 1800-tallet og starten av 1900-tallet til å stille seg følgende spørsmål:
 - Hvorfor var det slik?
 - Hva var det som foregikk?
 - Hvordan kunne man forklare dette fenomenet?



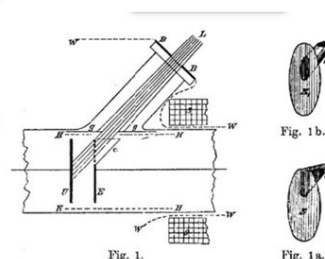
Oppdagelsen av fotoelektrisk effekt

- Oppdaget av Hallwach i 1888. Han oppdaget at man kunne indusere en strøm dersom man eksponerte en metallplate for UV-lys
- Det var spesielt to fysikere som ble inspirert av oppdagelsen til Hallwach, Thomson og Lenard. Hvorav Thomson oppdaget at det var elektronet som var ladningsbæreren som sørget for at det gikk en strøm i kretsen
- Lenard på sin side var mer opptatt av hvordan man kunne beskrive fenomenet og hva det var som skjedde i den fotoelektriske effekten.



Lenard sin forklaring av fotoelektriske effekt

- Siden det var kjent at det var elektroner fra metallplata som sørget for strømmen i kretsen var det to spørsmål man stilte seg.
 - 1) Hva er farten til disse elektronene?
 - 2) Hvor mange elektroner er det som blir frigjort?
- Lenard valgte å fokusere sin forskning på å finne relasjonen mellom innstrålt lys og farten til elektronene. Dette gjorde han ved å endre på parametere:
 - Frekvensen til UV-lyset
 - Intensiteten til UV-lyset
 - Spenningsforskjellen mellom to metallplater
- Ved å studere dette greide Lenard å regne ut hastigheten til de frigjorte elektronene, og at denne hastigheten ikke ble påvirket av intensiteten til UV-lyset. Intensiteten spilte kun en rolle for antallet elektroner som ble frigjort. Lenard fant også ut at hastigheten var avhengig av frekvensen til det innkommende UV-lyset, men greide ikke å etablere noen relasjon mellom frekvens og elektronhastighet.

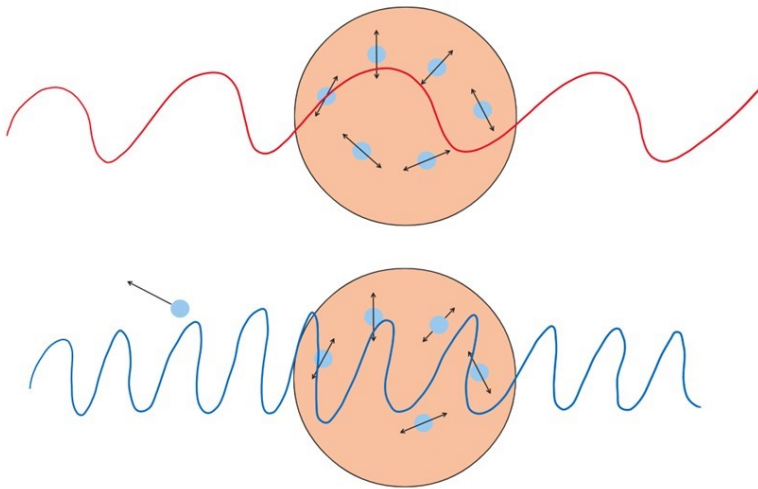


Lenard og «katalysator hypotesen»

- Konklusjonen om at intensiteten ikke har betydning for elektronhastigheten er noe som strider imot hva man ville tenke seg utfra hva man viste om bølger. Høyere intensitet skulle tilsi mer energi i bølgen som skulle bli overført til atomet, og gi elektronene en høyere utgangshastighet.
- Lenard foreslo derfor noe som vi kan kalle for «katalysator hypotesen» som forklaring på fenomenet fotoelektrisk effekt som kan beskrives slik:
 - *«Lys vil ikke overføre sin energi til det utløste elektronet. Elektronet sin hastighet og kinetiske energi eksisterer fra før som svingninger inne i atomet. Elektronet blir frigjort fra atomet som en resonanseffekt mellom lyset og elektronet. Lys fungerer derfor kun som en katalysator og bidrar til å frigjøre en bevegelse som allerede eksistere inne i atomet.»*
- Denne hypotesen var en foretrukket forklaring på fenomenet fotoelektrisk effekt på starten av 1900-tallet. Denne forklaringen bryter heller ikke med prinsipper fra klassisk fysikk om at energi og lys er kontinuerlige størrelser.



Lenard sin «katalysator hypotese»

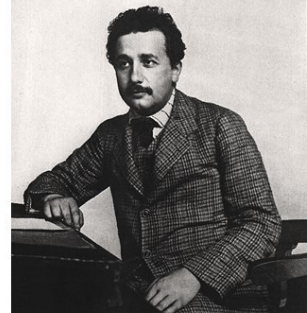


Einstein sin forklaring av fotoelektrisk effekt

- Einstein kommer i 1905 med sin hypotese om fotoner og at lys består av en strøm av disse, hvor hvert enkelt foton har energien $E=hf$. En konsekvens av dette er da at energien til lyset ikke avhenger av intensiteten, noe som støtter Lenard sine funn om at intensiteten til UV-lyset ikke har betydning for elektronene sin hastighet.
- Einstein foreslår også følgende relasjon for den kinetiske energien til det frigjorte elektronet og frekvensen til det innkommende UV-lyset:

$$E_k = hf - W$$

- Dette er et resultat som strider imot «katalysator hypotesen» til Lenard.
- Einstein sin hypotese om fotoner og forklaring av den fotoelektriske effekten møter en stor motstand siden den forutsatte en helt ny tolkning av hva lys er.



- Hvorfor tror dere at Einstein sin hypotese møtte stor motstand i 1905?



Kritikken i mot Einstein sin hypotese

- Einstein sin hypotese om fotoner og forklaringen av den fotoelektriske effekten møter stor motstand internt i fysikkmiljøet. Hovedgrunnen til kritikken var beskrivelsen av lys som en strøm bestående av fotoner ikke stemmer overens med beskrivelsen av lys som en bølge.
- Planck kritiserte Einstein med at en slik tolkning av lys ville sende teorien om lys flere hundreår tilbake. Samtidig hadde bølge teoriene om lys gjort store prestasjoner og det måtte mer til enn et lite enkelt forsøk, som fremdeles var omdiskutert, til for at bølge teorien om lys skulle kastes.
- I 1915 greide den amerikanske fysikeren Millikan å bekrefte Einstein sin ligning knyttet til fotoelektrisk effekt. Selv om han bekreftet ligningen var han uenig i tanken selve fundamentet som Einstein sin hypotese bygde på. Så ligningen var bekreftet, men hypotesen om at lys besto av fotoner var ikke det.

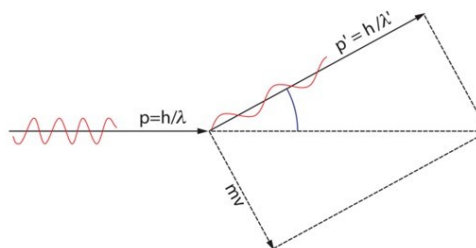


- Hvorfor tror dere at det var vanskelig for fysikkmiljøet å gi slipp på hypotesen om at lys kun kan beskrives som en bølge?



Compton og compton-spredning

- I sin publikasjon fra 1905 om fotoner predikerer Einstein at et foton vil få en mindre frekvens dersom det kolliderer med et elektron. Dette er noe som Compton greier å bekrefte eksperimentelt i 1922.
- Compton-spredning kan bli sett på som klassisk støt mellom to elastiske kuler. Det er allikevel en vesentlig forskjell. Siden røntgenstrålene beveger seg med lysfarten kan man ikke lenger regne på det klassisk, men man må bruke den spesielle relativitetsteorien til Einstein.
- Compton-spredning virker derfor også som en bekreftelse på Einstein sin hypotese om fotoner og samtidig som en bekreftelse av den spesielle relativitetsteorien



Oppsummering

Hva forteller dette oss om naturvitenskapens egenart?

- Det er veldig sjeldent et «eureka-øyeblikk». Forskning er en kontinuerlig prosess som foregår over tid og involverer mange ulike personer.
- Det blir utviklet modeller for å forklare fysiske fenomener. Det er viktig å være klar over begrensningene i de modellene som blir benyttet
- Forskere er avhengig av andres arbeid både for inspirasjon, men også bekreftelse av eget arbeid.
- Forskere er avhengig av å være kreative og bruke fantasi for å fremskritt.
- Diskusjoner og uenigheter er en viktig del den vitenskapelige utviklingen.

“ All those 50 years of careful pondering have not brought me closer to the answer to the question: ‘What are light quanta?’ Today any old scamp believes he knows, but he’s deluding himself. ”

-Albert Einstein

Oppgaven

Dere skal to og to skrive en kronikk om Einstein sin hypotese om at lys består av fotoner. Kronikken er tiltenkt å være utgitt i 1922, altså et år etter at Einstein fikk nobelprisen for fotoelektrisk effekt. Det var på denne tiden svært mange etablerte fysikere som mente at denne hypotesen ikke kunne forenes med allerede etablerte fakta om lys, som interferens.

Dere skal derfor i denne kronikken velge en måte å forklare den fotoelektriske effekten, og argumentere for at dette synet er korrekt. Dere skal også redegjøre for andre synspunkter, men her komme med motargumenter for hvorfor dette ikke er en korrekt forståelse.

Siden kronikken er tenkt til å være utgitt i 1922 står dere fritt til å velge i hvor stor grad kronikken skal støtte Einstein sin hypotese om at lys består fotoner. Dere kan derfor skrive en kronikk som har som mål å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er direkte feil, eller en kronikk som vil forsøke å overbevise leseren om at Einstein sin hypotese er den korrekte tolkningen av hva lys er. Det er også mulig å ha en mer moderat kronikk som verken har som mål å støtte eller angripe Einstein sin hypotese, men har som mål å gi en beskrivelse av de ulike synene på hva lys er uten å låse seg til en tolkning.

Retningslinjer for oppgaven

- Presentere kort eksperimentet om fotoelektrisk effekt.
- Presentere ulike måter å tolke eksperimentet fotoelektrisk effekt og komme med argumenter for hvorfor disse tolkningene er korrekte eller ikke.
- Vær bevisst med hvordan dere argumenterer i kronikken deres. Pass på at dere ikke bare kommer med påstander. Påstandene må også begrunnes, gjerne i form av eksisterende teori eller empiriske data.

Vedlegg B – Samtykkeskjema

Vil du delta i forskningsprosjektet Utviklingen av kvantefysikk?

Dette er et spørsmål til deg om å delta i et masterprosjekt hvor formålet er å kartlegge elevens forhold til utviklingen av kvantefysikk. I dette skrivet gir vi deg informasjon om målene for prosjektet og hva deltakelse vil innebære for deg.

Formål

Formålet med prosjektet er å kartlegge elevens forhold til hvordan kvantefysikken utviklet seg, og hvilket forhold elever har til naturvitenskapens egenart.

Data fra dette prosjektet vil bli brukt i min masteroppgave ved instituttet for fysikk ved NTNU

Hvem er ansvarlig for forskningsprosjektet?

Svein Ove Haugum Fagerheim 5.årsstudent ved instituttet for fysikk ved NTNU er ansvarlig for prosjektet.

Hvorfor får du spørsmål om å delta?

Du får spørsmål om å delta på denne undersøkelsen siden du har fysikk 2.

Hva innebærer det for deg å delta?

Det vil bli gjort lydopptak av diskusjoner i klasserommet i løpet av undervisningen. Noen vil bli spurt om å delta i intervju i etterkant av undervisningen. Intervjuet vil vare i omtrent 20-30 minutter. Intervjuet vil også bli tatt opp, og det vil bli tatt notater under intervjuet.

Lydopptakene av diskusjonene i klasserommet vil ikke ha betydning for din vurdering i faget, og vil kun bli brukt som data i min masteroppgave.

Det er frivillig å delta

Det er frivillig å delta i prosjektet. Hvis du velger å delta, kan du når som helst trekke samtykket tilbake uten å oppgi noen grunn. Alle dine personopplysninger vil da bli slettet. Det vil ikke ha noen negative konsekvenser for deg hvis du ikke vil delta eller senere velger å trekke deg.

Ditt personvern – hvordan vi oppbevarer og bruker dine opplysninger

Vi vil bare bruke opplysningene om deg til formålene vi har fortalt om i dette skrivet. Vi behandler opplysningene konfidensielt og i samsvar med personvernregelverket.

- Det er kun oppgaveansvarlig Svein Ove Haugum Fagerheim som vil ha tilgang til personopplysninger, via koblingsnøkkel.

- Personopplysningene dine vil bli erstattet med en kode som lagres på en navneliste adskilt fra øvrige data (koblingsnøkkel). Datamaterialet vil lagres ved hjelp av en ekstern lagringsløsning

I en eventuell publikasjon vil ingen utenforstående være i stand til å gjenkjenne deg. Dine

personopplysninger vil ikke bli publisert.

Hva skjer med personopplysningene dine når forskningsprosjektet avsluttes?

Prosjektet vil etter planen avsluttes 01.12.2023. Etter prosjektslutt vil datamaterialet med dine personopplysninger anonymiseres, det vil si at koblingsnøkkelen som gjør det mulig å kombinere dine personopplysninger og dine data vil bli slettet. Lydopptakene vil også bli slettet.

Hva gir oss rett til å behandle personopplysninger om deg?

Vi behandler opplysninger om deg basert på ditt samtykke.

På oppdrag fra NTNU har Personverntjenester vurdert at behandlingen av personopplysninger i dette prosjektet er i samsvar med personvernregelverket.

Dine rettigheter

Så lenge du kan identifiseres i datamaterialet, har du rett til:

- innsyn i hvilke opplysninger vi behandler om deg, og å få utlevert en kopi av opplysningene
- å få rettet opplysninger om deg som er feil eller misvisende
- å få slettet personopplysninger om deg
- å sende klage til Datatilsynet om behandlingen av dine personopplysninger

Hvis du har spørsmål til studien, eller ønsker å vite mer om eller benytte deg av dine rettigheter, ta kontakt med:

- Student som gjennomfører prosjektet: Svein Ove Haugum Fagerheim, tlf: 93682354, e-post: sofagerh@stud.ntnu.no
- Veileder: Berit Bungum, tlf: 73591881, e-post: berit.bungum@ntnu.no
- Vårt personvernombud: Thomas Helgesen

Hvis du har spørsmål knyttet til Personverntjenester sin vurdering av prosjektet, kan du ta kontakt med:

- Personverntjenester på epost (personverntjenester@sikt.no) eller på telefon: 53 21 15 00.

Med vennlig hilsen

Svein Ove Haugum Fagerheim
(Student)

Samtykkeerklæring

Jeg har mottatt og forstått informasjon om prosjektet *Utviklingen av kvantefysikk* og har fått anledning til å stille spørsmål. Jeg samtykker til:

- å delta i gruppediskusjoner i løpet av undervisningen
- å delta i intervju i etterkant av undervisningen

Jeg samtykker til at mine opplysninger behandles frem til prosjektet er avsluttet

(Signert av prosjektdeltaker, dato)

Vedlegg C – Intervjuguide

Hva ønsker jeg å vite?	Spørsmål tilknyttet hva jeg ønsker å vite
<p><i>Undervisningsopplegget (5-10min)</i></p> <p>Hvordan følte elevene at undervisningsopplegget var?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hvordan var det dere vinklet oppgaven deres? <ul style="list-style-type: none"> o Hvorfor valgte dere denne vinklingen? o Hvordan bestemte dere hvilken vinkling dere ville ha? o Hvordan var det å skrive i par? Var det en fordel/ulempe? - Hva synes dere om opplegget vi hadde denne uka? <ul style="list-style-type: none"> o Hvorfor tenker dere dette? o Hvordan vil dere beskrive opplegget med 2-3 adjektiv? o Er det noe som kunne vært gjort annerledes? o Noe som var bra? o Var presentasjonen og de andre dokumentene til hjelp? o Tror dere at deres syn på opplegget er representativt for klassen som helet?
<p><i>Vurderingen (10 min)</i></p> <p>Føler elevene at vurderingssituasjonen med kronikk passer til å vurdere kompetanse i fysikk?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hva synes dere om vurderingsformen? <ul style="list-style-type: none"> o Hvordan var det å ha en kronikk som vurderingsform? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hvorfor var det slik? o Følte dere at dere fikk vist deres kompetanse med denne vurderingsformen? o Sett utenifra så virket det som enkelte grupper syntes det var litt vanskelig å starte med oppgaven, syntes dere det var vanskelig å starte med oppgaven? <ul style="list-style-type: none"> ▪ (Om lett å starte) Hva tror dere kan være grunne til at andre fant det utfordrende å starte? ▪ (Om vanskelig å starte) Hva var det som gjorde at det var vanskelig å starte? ▪ Hvordan kunne man ha endret oppgaven slik at det ble enklere å starte?
<p><i>Vitenskapshistorie og NOS (10 min)</i></p> <p>Tenker elevene at det er nyttig å lære om vitenskapshistorie?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hva synes dere om å bruke en historiskvinkling for å lære om den fotoelektriske effekten? <ul style="list-style-type: none"> o Hvorfor dette? o Hva tenker dere om bruk av vitenskapshistorie for å lære fysikk? o Hva kan være positivt med å bruke vitenskapshistorie i undervisningen? <ul style="list-style-type: none"> ▪ Hjalp det med forståelsen? - Hvordan vil dere oppsummere hvordan forståelsen av fotoelektrisk effekt utviklet seg fra oppdagelsen til rundt 1922? <ul style="list-style-type: none"> o Var det noe i denne prosessen som var overraskende? o Tror dere denne prosessen er
<p><i>Fotoner (5min)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hvis dere skulle ha forklart hva et foton er, hvordan ville dere ha forklart det? - Hvordan vil dere forklare hva et kvanteobjekt er?

Vedlegg D – Elevbesvarelse 1

Sannheten om lys

«Et opprør mot klassisk fysikk»

Innholdsfortegnelse

§1 Spørsmålet om bølger eller partikler	2
§2 Løsningen på fotoelektrisk effekt	2
§3 Masseløse partikler	3
§4 Lysets bølgeegenskaper	4
§5 Konklusjon	5

§1

SPØRSMÅLET OM BØLGER ELLER PARTIKLER

Lyset har vært en viktig del av den verden vi lever i siden lenge før menneskeheten i det hele tatt fantes. Til tross for at vi mennesker har levd med lys overalt i alle år er det fortsatt ingen som helt sikkert vet hva det er. Siden det 17. århundre har sir Isaac Newton og flere store fysikere og matematikere forsøkt å begripe seg på hva dette fenomenet er. Newton argumenterte for at lys bestod av bittesmå partikler. Han begrunnet det med bakgrunn i fargene vi ser i lyset. Newton oppdaget at sollys i bunn og grunn er en blanding av lys i flere farger. Alle disse fargene mente han kunne blandes frem med tre primærfarger, rødt, gult og blått. Da er det logisk å tenke at lys består av små partikler i tre forskjellige farger, nemlig rødt, gult og blått. På grunn av Newtons respekt og posisjon i verdens fysikksamfunn ble denne forklaringen akseptert. Dessuten var det ingen andre som verken turte eller klarte å motbevise den store sir Isaac Newton. I 1905 viste vår kollega Albert Einstein frem et eksperiment kalt *fotoelektrisk effekt*. Han mente med dette forsøket at han hadde bevist at lys består av små energikvanter han kalte fotoner. Eksperimentet baserer seg på at man skyter lys med en bestemt frekvens på en metallplate. Lyset vil da gi elektroner i metallet nok energi til at elektroner sende ut av plata med en bestemt utgangshastighet. Han mente dette var grunn nok til å påstå at lys består av partikler og ikke bølger, siden de måtte inneholde en gitt mengde energi for å få effekten. Mener han med det at bølger ikke har energi?

Etter en to hundre å lang debatt har vi endelig kommet til enighet om at lys er et fenomen bestående av bølger. Albert Einsteins radikale hypotese bryter med det som allerede er bevist og vil være en stor brems for utviklingen av moderne fysikk.

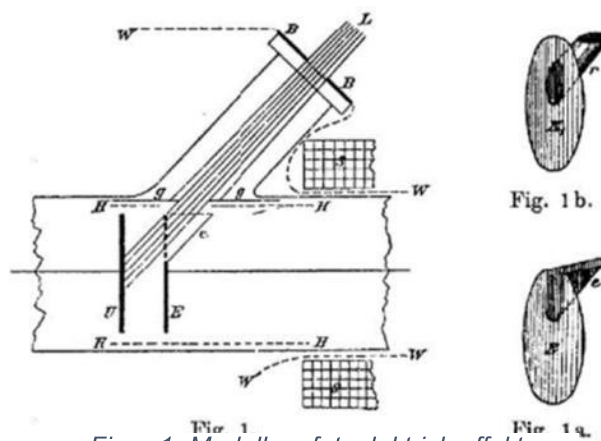
§2

LØSNINGEN PÅ FOTOELEKTRISK EFFEKT

Som sagt baserte Einsteins antagelse seg på at lys inneholder en gitt mengde energi. Han utledet en formel for energien til et såkalt foton i lys med en gitt bølgelengde. Energien er da gitt ved:

$$E = hf$$

Her er da h Plancks konstant og f er frekvensen. Begrunnelsen han gir er i og for seg god, men hva er det som hindrer en bølge fra å gjøre det samme?



Figur 1: Modell av fotoelektrisk effekt

Det er et kjent fenomen at bølger også inneholder energi. Energien i en bølge er gitt som en funksjon av amplituden og frekvensen. Derfor vil en bølge med riktig amplitude og frekvens oppnå samme energi som et foton og dermed ha muligheten til å «slippe løs» elektroner. Det ligger i bølgens natur at når den støter med et objekt vil den overføre deler av energien. Det er derfor naturlig at om en lysbølge med en gitt mengde energi treffer en metallplate, som i Einsteins eksperiment, vil den bølgen overføre den energien som kreves til elektroner i metallet og de får dermed nok energi til å «slippe løs». Det er derfor ingen grunn til å tro at lys består av små energipakker og ikke bølger.

§3

MASSELØSE PARTIKLER?

Teorien at lys består av partikler medvirker at disse partiklene, og dermed lyset selv, har en masse. Dette møter flere komplikasjoner. Einsteins egne relativitetsteori er et av flere argumenter som motbeviser dette. Under utviklingen av teorien om generell relativitet oppdaget Einstein at masse og energi er ekvivalente størrelser gitt ved ligningen:

$$E = mc^2$$

Uttrykket impliserer da at et legeme med massen m_0 har dermed en hvileenergi gitt ved m_0c^2 .

Når dette legemet da settes i bevegelse betyr det at energien til legemet også øker. Om vi da skal akselerere legemet er massen, ifølge Einsteins lov om generell relativitet, gitt ved:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

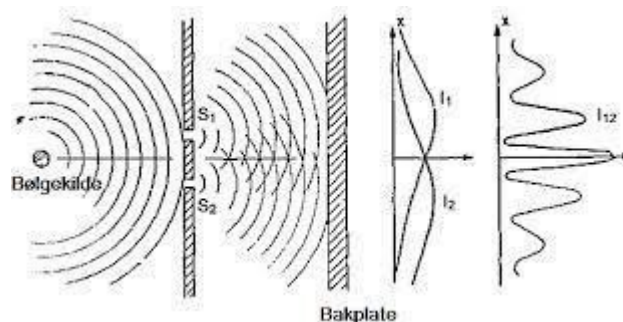
Når farten v går mot lysfarten c går dermed også massen m mot uendelig. For å akselerere et legeme med uendelig masse kreves derfor uendelig energi, noe som ikke er mulig. Med andre ord er det fysisk umulig at et objekt med masse, eksempelvis en partikkel, kan oppnå lyshastigheten. Om lys skal kunne reise i lysets hastighet er det derfor umulig at det har en masse og det kan dermed heller ikke bestå av partikler.

Gjennom Einsteins arbeid med generell relativitet dukket det opp et annet fenomen som kompliserte hans teori om at lys er bestående av partikler. Han konstaterte nemlig at lysfarten er konstant. Dette er vi helt enige i, og arbeidet som er gjort for å bevise det er grundig og troverdig. Problemet kommer her: Se for deg at du er en partikkel som reiser fra sola med en gitt startfart. Er det da riktig at farten vil være den samme i det du forlot sola og når du er kommet milevis unna? Grunnet solens gravitasjonskraft vil du oppleve en akselerasjon mot din fartsretning, altså som bremses deg. Det samme gjelder et hvilket som helst objekt med masse. Om lys består av partikler er det derfor umulig at farten er konstant da den vil bli akselerert av gravitasjonskraften til legemer som sola og jorda. (Einstein, 1914)

§4

Lysets bølgeegenskaper

Om vi et sekund skal late som Einstein har rett og sender lys gjennom en dobbelspalteåpning med en skjerm bak for å se hvordan lyset oppfører seg. Om vi tar utgangspunkt i Einsteins teori om lysets partikkelnatur vil lyset gi to belyste spalter på skjermen. Om du utfører eksperimentet vil du oppdage at det oppstår flere belyste spalter. Thomas Young gjennomførte eksperimentet i 1801. Det han observerte var at lyset dannet et interferensmønster på skjermen. Det oppstår spalter av lys og mangel på lys som brer seg utover skjermen. Dette fenomenet forklares ved lysets bølgenatur. Som vist på modellen under vil lysets bølger, når de slipper gjennom spaltene, interferere med hverandre og danne et interferensmønster på skjermen. Dette fenomenet kan ikke forklares ved partikkelnatur da de ikke vil påvirke hverandre på samme måte. Det er derfor med Thomas Youngs *dobbelspalteeksperiment* motbevist at lys består av partikler. (Linder, 1801)



Figur 2: Modell av Thomas Youngs

Konklusjon

Det er viktig å merke seg at diskusjonen om lys er enten bølger eller partikler har vært en langvarig debatt i fysikken. Bølgeteoriene har flere argumenter som støtter teorien, mens partikleteoriene har flere begrensninger. Eksperimentene som er nevnt i kronikken, som fotoelektrisk effekt og diffraksjonsfenomenet, kan tolkes som støtte for bølgeteorien og motbeviser partikleteorien. Fotoelektrisk effekt kan forklares ved at lysbølger eksiterer elektronene i metallet til å gå opp til et høyere energinivå, slik at de kan "slippe løs" fra metallet.

Så basert på dette kan vi si at lys består av bølger og ikke partikler.

Dokumentliste

Einstein, A. (1914). *The Formula Foundation of the General Theori of Relativity*. Max-Planck- Gesellschaft.

Linder, J. (2022, Januar 31). *Store norske leksikon*. Hentet fra dobbeltpalteeksperimentet: <https://snl.no/dobbeltpalteeksperiment>

Vedlegg E – Elevbesvarelse 2

Hadde Einstein rett i sin teori om forklaringen på fotoelektrisk effekt?

Det har alltid vært en debatt om hva lys egentlig består av. At lys ikke har noen masse og beveger seg i enorm hastighet, gjør det vanskelig å forstå og forklare. Debatten var tilstede allerede i newtons tid, der han mente at lys besto av små partikler. Dette ble på den tiden motebevisst av bølgeteorien. Denne teorien ble den dominerende teorien om lys siden lys dannet interferensmønster når den ble sendt gjennom en dobbeltspalte, som viste at lys hadde bølgeegenskaper. Men etter at Einstein publiserte en artikkel i 1905 om fotoelektrisk effekt gjenopptok debatten. Einstein gjorde et poeng ut av energien i lyset var kvantisert og presenterte teorien om at lys besto av små energipakker(fotoner).

Et forsøk med fotoelektrisk effekt blir gjort ved å sende lys på en metallplate og måle den elektriske strømmen i kretsen. Eksperimentet resulterte i at elektronene bare eksiterte under belysning fra stråling med bestemte frekvenser. Ut fra dette eksperimentet fant einstein ut at strømmen var proporsjonal med lysets intensitet, men uavhengig av dens frekvens. For at eksperimentet skulle gi mening foreslår einstein at lyset måtte være diskontinuerlig og at lyset dermed var delt opp i små energipakker, altså lyset var kvantisert, noe som skaper en ny forståelse for lys og konseptet om fotoner. Denne ideen har skapt store problemer i fysikk verden, men et annet forsøk eller teori som forsterker einstein konsept om at lys er en kvantisert entitet er comptonspredning.

Comptonspredning er et fenomen der bare noe av energien overføres til elektronet som ble oppdaget av Arthur Holly Compton. Han sendte røntgenstråling mot en metallplate og observerte at lyset skiftet retning. Dette var helt forventet men det som ikke var forventet lyset også endret bølgelengde, noe som ikke kan forklares ved bølgemodellen. Man kan heller anta at lys er en strøm av fotoner som ikke bare har energi uten masse men også bevegelsesmengde. Derfor kan man forklare comptonspredning ved at et foton kolliderer med et elektron i et elastisk støt. Altså den kinetiske energien og bevegelsesmengden blir overført fra fotonet til elektronet. Dette støtter Einstein sin hypotese.

Fotoelektrisk effekt støtter også hypotesen. Ifølge bølgemodellen skal man kunne øke energien i den elektromagnetiske strålingen på to måter. Den ene er å øke frekvensen samt å øke amplituden. Men uansett hvor mye du øker amplituden(intensiteten) med en lav frekvens vil man ikke kunne slå løs elektroner fra metallplaten. Dette strider med bølgeteorien men kommer overens med at lys består av lyskvanter siden det gir litt mer mening at uansett hvor mange lyskvanter du sender så vil du ikke klare å løsrive elektronet hvis ikke lyskvantet har nok energi.

Om vi ser igjen på forsøk med fotoelektrisk effekt er det en dominerende teori som er foretrukket av de andre fysikerne. Dette er Philip von Lenards teori og tolkning, den

prøver å beskrive fotoelektrisk effekt på en måte som tilfredsstillende den klassiske fysikken og dens konsept om lys som bølger. Leonard bestemte seg for å studere den fotoelektriske effekten gjennom det som kalles for katodestråling. Teorien, "katalysator-hypotesen" går ut på at elektronene til metallet allerede har en energi lagret og en interaksjon mellom lys bølger ved spesifikke frekvenser har en utløsende effekt slik at elektronene blir skutt ut. I denne teorien er lyset en "katalysator" og fungerer som en "trigger". I utgangspunktet er dette en grei teori men om ser nærmere på teorien er det noen åpenbare hull. Først og fremst om vi gjør forsøket på nytt men med oppvarmet metall, elektronene har en indre kinetisk energi, i dette tilfelle vil elektronene ha en større lagret energi og om vi sender lyset skal elektronene utløses med en høyere hastighet noe som ikke skjer når forsøket blir gjort, metallet reagerer likt som før. Einsteins beskrivelse derimot beskriver fortsatt effekten på en korrekt måte og med sammenheng mellom realitet og tanke.

Et argument som har blitt brukt Einsteins teori om fotoner er dobbeltspalteeksperimentet. Det at lys lager et interferensmønster er blitt brukt som et argument mot at lys kan være noe annet enn bølger. Einstein forklarte interferensmønsteret ved å vise at lyset består av individuelle partikler kalt fotoner, i stedet for å være en bølge av EM-stråling. Disse fotonene var kvantiserte, som betyr at vi ikke kan fastsette akkurat hvor de vil være. Dette mente Einstein at er grunnen til at de lager et interferensmønster. Dette var starten på utviklingen av kvantefysikken.

På tross av motargumentene sto Einstein på sitt og fortsatte med sin teori, selv om han også fikk litt tvil på om det egentlig var sant. I hans levetid ble ikke partikkel-bølge debatten ferdig og selv ikke den dag i dag er vi helt sikker på hva lys består av.

Det er en rekke forklaringer på fotoelektrisk effekt, og ingen har blitt bevist, hevet over all tvil. Derfor kan vi ikke si akkurat hva som er riktig og feil, men som vi har fortalt over har vi en ganske grei idé. Vi mener Einsteins teori er den mest troverdige, men vi kan ikke vite helt sikkert. Forskning er en kontinuerlig prosess, så Einsteins teori er mest sannsynlig ikke menneskers siste teori. Hvem vet, kanskje finner vi det eksakte svaret til slutt.

Albert Einstein revolusjonerte forståelsen av lys ved å vise at det er kvantisert og består av partikler kalt fotoner. Dette konseptet, kjent som lyskvantefysikk, førte til et paradigmeskifte innen fysikk i begynnelsen av 1900-tallet. På samme tid fant han ut at lyshastigheten var konstant uansett tilstanden til den som observerer, og kom derfor med revolusjonerende relativitetsteorien.

