

Hvordan forstå at jorda går i en rettlinj bevegelse rundt sola

Forskningsbasert utvikling og utprøving av undervisningsmodul i generell relativitetsteori

Ane Sofie Ytterhaug



Masteroppgave i realfagdidaktikk
Institutt for lærerutdanning og skoleforskning
Utdanningsvitenskapelig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

1. juni 2015

**Forskningsbasert utvikling og utprøving av
undervisningsmodul i generell
relativitetsteori for programfaget fysikk 2 i
videregående skole**

© Ane Sofie Ytterhaug

2015

Forskningsbasert utvikling og utprøving av nettbasert undervisningsmodul

Ane Sofie Ytterhaug

<http://www.duo.uio.no/>

Trykk: Universitetet i Oslo, 2015

Sammendrag

Denne masteroppgaven belyser hvordan man kan utvikle en undervisningsmodul i generell relativitetsteori basert på læreplanmål, relevant forskningslitteratur og et sosiokulturelt læringssyn. I oppgaven undersøkes det også

- hvilke problemer fysikk2-elever kan støte på når de skal danne seg en kvalitativ forståelse av den generelle relativitetsteorien
- hvilken støtte det er for å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn i utformingen av denne undervisningsmodulen
- hvordan man best mulig kan presentere det faglige innholdet og gjøre det tilgjengelig for elevene

Denne masteroppgaven presenterer utformingen av førsteutkastet til en undervisningsmodul i generell relativitetsteori, og uttesting av denne modulen i tre fysikk-klasser etterfulgt av et fokusgruppeintervju med elever fra hver klasse. Oppgaven har dermed to resultater; 1) et førsteutkast til en undervisningsmodul i generell relativitetsteori 2) resultater fra tematisk analyse av transkriberte lydfiler fra fokusgruppeintervjuene. Begge disse resultatene drøftes avslutningsvis i lys av relevant teori, og det foreslås endringer som kan forbedre modulen. Oppgaven er skrevet i samarbeid med prosjektet ReleKvant ved seksjon for fysikkdidaktikk på Fysisk institutt. Prosjektet har som mål å lage nettbaserte undervisningsmoduler på bakgrunn av et sosiokulturelt læringssyn og gjennom et forskningsdesign kalt «Educational design research». Prosjektet skal videreutvikle undervisningsmodulen som presenteres her på bakgrunn av endringene jeg kommer fram til i konklusjonen på oppgaven. Når modulen er ferdigutviklet, skal den legges ut på nettstedet viten.no. Hovedfunnet i oppgaven er hvilken sentral rolle læreren har i bruken av en slik nettbasert undervisningsmodul. Derfor foreslås det at prosjektet utvikler en lærerveiledning hvor dette kommer fram, og hvor lærerne får råd om hvordan de best mulig kan benytte modulen i undervisning. Det ble også gjort funn på flere misoppfatninger som kan oppstå hos elevene i møte med generell relativitetsteori. Og det drøftes flere forslag til endringer på modulen som kan hindre at slike misoppfatninger oppstår. Imidlertid kan man ut fra resultatene slå fast at fysikk2-elever kan vise god kvalitativ forståelse av sentrale begreper innen generell relativitetsteori. Resultatene støtter også opp under vektleggingen av et sosiokulturelt læringssyn i utformingen av modulen.

Forord

Da nærmer fem år ved Universitetet i Oslo seg slutten. Og de krones med denne masteroppgaven, hvor jeg har fått prøvd meg på mye forskjellig. Jeg har utviklet en undervisningsmodul, observert uttesting av denne modulen, gjennomført fokusgruppeintervjuer, transkribert lydfiler fra intervjuene, laget mitt eget kodesett og kodet datamaterialet, analysert resultatene og skrevet en oppgave om alt dette. Likevel har det ikke følt som mye arbeid og slit. Jeg synes det har vært veldig gøy å få muligheten til å være kreativ og lage en slik undervisningsmodul. Det har også vært spennende å få være med og se hvordan den har fungert i klasserommet. I tillegg har jeg fått være så heldig å få gjort dette innenfor det som jeg synes må være fysikkens mest fantastiske teori; den generelle relativitetsteorien. Jeg føler meg også privilegert som har fått være med prosjektet ReleKvant og fått et nært innblikk i prosessene innen utdanningsforskning. Jeg har lært vanvittig mye!

Jeg vil derfor først og fremst få takke forskergruppen i ReleKvantprosjektet for all mulig veiledning og støtte. Spesielt vil jeg takke Maria V. Bøe og Ellen K. Henriksen for mange gode og konstruktive tilbakemeldinger under utviklingen av undervisningsmodulen. Jeg må også takke Martin Hendry, Øyvind Grøn og alle prosjektdeltagere på ReleKvantseminaret på Voksenåsen høsten 2014. Dere har gitt meg mye inspirasjon og innspill som var viktig under utviklingen av undervisningsmodulen. En takk rettes spesielt til Øyvind Grøn som foreleste emnet *Generell relativitetsteori* for meg på Blindern våren 2014. Han har også stilt opp og kvalitetssikret det faglige innholdet i modulen før uttesting, samt gitt meg tilgang til mye av hans oppgaver og undervisningsmateriell innen generell relativitetsteori. Selvsagt må jeg også takke alle lærere og elever som var med på uttestingen, og spesielt de elevene som stilte opp til fokusgruppeintervju. Min kjære mor fortjener også en takk for sin støtte i flere telefonsamtaler og hjelp med korrekturlesing.

Sist men ikke minst må jeg takke mine to fantastiske veiledere, Carl Angell og Cathrine W. Tellefsen som virkelig har lagt ned mye tid på å gi meg god veiledning på både utformingen av undervisningsmodulen og denne masteroppgaven. Cathrine har også tålmodig lest korrektur på oppgaven. Tusen takk!

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Bakgrunn og motivasjon.....	1
1.1.1	Innføring av generell relativitetsteori i norsk læreplan	1
1.1.2	ReleKvant.....	2
1.1.3	Sentrale begreper og fenomener i generell relativitetsteori: Ekvivalensprinsippet, treghetssystemer og krumning av tidrom	3
1.2	Mål for denne oppgaven	4
2	Teori og resultater fra tidligere forskning	6
2.1	Undervisning innen generell relativitetsteori	6
2.2	Et sosiokulturelt læringssyn.....	9
2.2.1	Språk i fysikken.....	9
2.3	IKT og bruk av multimedia i læringsprosessen.....	10
2.3.1	Viten.no	13
2.3.2	ReleKvantmodulene	14
2.4	Motivasjon.....	15
2.4.1	Indre og ytre motivasjon	15
2.4.2	Innvirkende faktorer på engasjement hos elever.....	16
2.4.3	Hva interesserer elevene?.....	16
3	Metode.....	17
3.1	«Educational design research» – en forskningsbasert metode	17
3.2	Fokusgruppeintervju.....	17
3.2.1	Fokusgruppene	18
3.2.2	Intervjuguide	19
3.3	Analysemetode	20
3.3.1	Generelt om analyse av kvalitative data.....	20
3.3.2	Transkribering	21
3.3.3	Koding – Tematisk analyse av data.....	22
3.3.4	Funn fra fokusgruppene	24
3.3.5	Koding gjort av lektorstudenter på prosjektet	24
3.3.6	Tekniske hjelpemidler i analysen	25
3.4	Troverdighet	26

3.4.1	Reliabilitet	26
3.4.2	Validitet	26
4	Resultater	28
4.1	Første utgave av undervisningsmodulen	28
4.1.1	Valg gjort på bakgrunn av teori og tidligere forskningslitteratur om undervisning i generell relativitetsteori	29
4.1.2	En undervisningsmodul med vekt på bruk av språket	32
4.1.3	Bruk av multimediateori og tips til lærerne om hvordan bruke modulen i undervisningen	33
4.2	Resultater fra fokusgruppeintervju	33
4.2.1	Oversikt over kodene og kategoriene i kodesettet	34
4.2.2	Lærernes gjennomføring av undervisningen	39
4.2.3	Hva sier elevene om modulen?	40
4.2.4	Elevenes kommentarer til lærerens gjennomføring	44
4.2.5	Resultater som kan knyttes til læringsteori	46
4.2.6	Resultater som kan knyttes til multimediateori	48
4.2.7	Hvilke arbeidsmetoder foretrakk elevene?	50
4.2.8	Resultater av fysikk 2-elevs oppfatninger av sentrale begreper innen generell relativitetsteori	53
5	Oppsummering, diskusjon og konklusjon	59
5.1	Oppsummering av resultatene	59
5.1.1	Første utgave av undervisningsmodul	59
5.1.2	Resultater fra fokusgruppeintervju	60
5.2	Drøfting om forandringer av modulen	64
5.2.1	Hvilke problemer kan fysikk 2-elever støte på når de skal danne seg en forståelse av den generelle relativitetsteorien på en kvalitativ måte, og hva kan gjøres for å unngå disse problemene?	64
5.2.2	Hvilken støtte er det for å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn og annen fagdidaktisk teori om begrepsinnlæring?	68
5.2.3	Hva slags forandringer må gjøres i forhold til elevenes arbeidsmetoder i modulen?	69
5.2.4	Funn av forskjeller mellom fokusgruppene	71
5.2.5	Hvordan kan man på en best mulig måte presentere den generelle relativitetsteorien og gjøre den tilgjengelig for fysikk2-elever?	72
5.2.6	Hva burde forandres på ut fra tilbakemeldinger på utforming av modulen?	74

5.2.7	Forslag om at prosjektet utvikler en lærerveiledning for undervisningsmodulen	76
5.2.8	Hvor gyldige er disse resultatene?	77
5.3	Konklusjon.....	78
	Litteraturliste	81
	Vedlegg	83

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og motivasjon

1.1.1 Innføring av generell relativitetsteori i norsk læreplan

Under hovedområdet moderne fysikk i læreplanen for fysikk 2, er et av kompetansemålene: «gjøre rede for postulatene som er grunnlag for den spesielle relativitetsteorien, drøfte kvalitativt noen av konsekvensene av denne teorien for tid, bevegelsesmengde og energi, og gi en kvalitativ beskrivelse av den generelle relativitetsteorien» (Sommerseth & Lund, 2006b). Fysikk 2 er et programfag i videregående skole, og det tas av elever i 3.klasse. Det å ha generell relativitetsteori inkludert i læreplanen for videregående elever er ganske spesielt for Norge. Blant andre sammenlignbare land som Sverige, Danmark, Finland, England, Frankrike og Australia, er det kun Sverige som inkluderer generell relativitetsteori i læreplanen (Henriksen et al., 2014). Den generelle relativitetsteorien er krevende og abstrakt, og dette er antagelig grunnen til at de fleste land velger å ikke introdusere elever på videregående nivå for emnet. Emnet kom inn i læreplanen med kunnskapsløftet i 2006, og det gir en mulighet til å vise elevene en spennende teori. Dette kan virke motiverende på elevene, men det byr også på utfordringer. Men som sagt finnes det få land som introduserer elevene for generell relativitetsteori på videregående nivå, og dermed finnes det også lite litteratur, forskning og erfaring fra andre land å støtte seg til for norske lærere og lærebokforfattere.

Skottland er et av få land som introduserer studenter for generell relativitetsteori gjennom en kvalitativ tilnærming i løpet av de første årene ved universitetet. I Skottland er elevene 18 år når de går ut av «upper secondary school» som tilsvarende videregående skole i Norge. Altså er studentene på samme alder som norske vg3-elever når de begynner på universitetet og tar et emne som heter «higher physics» hvor bl.a. spesiell relativitetsteori er inkludert i læreplanen. I det neste emnet på universitetet som heter «advanced higher» blir studentene introdusert for generell relativitetsteori på en kvalitativ måte, og her vil de er yngste studentene være 19 år (The General Teaching Council for Scotland, 2015). Selv om de skotske studentene er et år eldre enn norske vg3-elever og har lært noe mer fysikk når de møter generell relativitetsteori for første gang, er det ikke veldig stor forskjell på nivået av hva som kreves av elevene ifølge

den skotske og norske læreplanen. Skottland er dermed et av de landene vi i Norge kan se til for å få råd om hvordan man kan undervise generell relativitetsteori på en kvalitativ måte.

Det er også en utfordring at norske lærere i videregående skole har begrenset kjennskap til generell relativitetsteori fra egen utdanning og liten erfaring i å undervise generell relativitetsteori (Henriksen et al., 2014). Det kan dermed være behov for oppgaver og undervisningsmateriale som lærerne kan støtte seg til, i tillegg til læreboken, for å mestre det å undervise generell relativitetsteori på en god og kvalitativ måte på videregående nivå. Dette materialet må hjelpe dem til å få fram de viktigste og mest sentrale begrepene fra en komplisert teori på en enkel måte. Det vil også være av nytte å få et innblikk i hvordan elever på videregående nivå jobber med og tilegner seg en så krevende teori. Det finnes lite forskningslitteratur på dette fra før, og det meste som finnes omhandler undervisning på universitetsnivå.

1.1.2 ReleKvant

ReleKvant er et forskningsprosjekt som er satt i gang i regi av seksjon for fysikkdidaktikk ved Fysisk institutt. Dette prosjektet har som mål å lage nettbaserte undervisningsmoduler på nettstedet viten.no innen relativitetsteori og kvantefysikk. Dette er to krevende fagområder i programfaget fysikk 2. Utviklingen av disse modulene følger en forskningsbasert metode kalt «educational design research». Dette innebærer at prosjektet følger en framdrift gjennom en rekke testinger og forbedringer av modulene. Motivasjon for dette prosjektet er innføringen av nye og krevende kompetansemål innen kvantefysikk og relativitetsteori for programfaget fysikk 2, og mangelen på forskningslitteratur og erfaringer ved å undervise temaer fra begge disse emnene på videregående nivå (Henriksen et al., 2014).

Samtidig prøver prosjektet å gi elevene en interessant og motiverende vinkling av pensum som gjør stoffet relevant for dem. Målet er dermed å utvikle nye undervisningsformer hvor tilleggsaspekter som historie, teknologi, fysikkens egenart, filosofiske aspekter ved faget, animasjoner og interaktivitet er inkludert i en helhetlig tilnærming, samtidig som det tas tak i viktige og sentrale begreper ved teorien (Henriksen et al., 2014). Det er ikke meningen at dette undervisningsmaterialet på noen måte skal erstatte en lærebok, men være et supplement. Prosjektet bygger på et sosiokulturelt læringssyn og det legges vekt på å bruke språket i læringsprosessen. Modulene oppmuntret dermed til bruk av språket både skriftlig og muntlig for å snakke om kvalitative tema (Henriksen et al., 2014).

1.1.3 Sentrale begreper og fenomener i generell relativitetsteori: Ekvivalensprinsippet, treghetssystemer og krumning av tidrom

Ekvivalensprinsippet er et av de grunnleggende prinsippene i generell relativitetsteori som gjorde det mulig for Einstein å formulere det generelle relativitetsprinsippet (Bandyopadhyay & Kumar, 2011). Dette prinsippet forteller oss at det å være i et akselerert system er ekvivalent med det å befinne seg i et permanent gravitasjonsfelt. Einstein illustrerer dette ved et tankeeksperiment: Om man befinner seg i et laboratorium på jordoverflaten, eller i et laboratorium i en rakett som er akselerert med $9,81 \text{ m/s}^2$ langt fra andre massive himmelobjekter, er det ingen eksperimenter man kan gjøre for å skille ut hvilket av laboratoriene man befinner seg i. Dette prinsippet gjør at det å være akselerert ikke lenger er en absolutt bevegelse. En akselerert observatør kan like gjerne hevde at han eller hun er i ro i et permanent gravitasjonsfelt med tyngdeakselerasjon $\vec{g} = -\vec{a}$. Dette gjorde at Einstein kunne generalisere det spesielle relativitetsprinsippet fra å gjelde systemer med konstant bevegelse til også å gjelde akselererte systemer.

Treghetssystemer er både i spesiell og generell relativitetsteori definert som systemer hvor Newtons 1.lov gjelder. Det vil si at om en gjenstand er i ro og den ikke blir påvirket av noen kraft vil den fortsette å være i ro. Fra ekvivalensprinsippet følger det at vi ikke kan se på gravitasjon som en kraft i generell relativitetsteori. Dette gjør at når vi er i fritt fall virker det ingen krefter på oss, og siden tyngdeakselerasjonen er uavhengig av massen og lik for alle gjenstander, vil fritt fallende objekter som er i ro i forhold til hverandre fortsette å være i ro i forhold til hverandre. Fritt fallende systemer er altså treghetssystemer ifølge generell relativitetsteori. De systemene man så på som treghetssystemer i spesiell relativitetsteori vil derimot ikke lengre være treghetssystemer. Ta f.eks. en person som sitter i ro på en krakk. I følge generell relativitetsteori vil kun normalkraften fra krakken virke på personen, og personen vil dermed være i et akselerert system oppover med $\vec{a} = -\vec{g}$.

Det at gravitasjon ikke er en kraft strider mot alt man tidligere har lært i fysikken, og det er umulig å forstå dette uten å forstå det mest sentrale i den generelle relativitetsteorien, nemlig krumning av tidrom. Egenskapene til tid og rom er knyttet tett sammen og vi befinner oss i en firedimensjonal tilværelse som kalles tidrom. Generell relativitetsteori forteller oss at masse krummer dette firedimensjonale tidrommet rundt seg avhengig av massens størrelse og form, og geometrien til tidrommet vil bestemme hvordan masse beveger seg i tidrommet.

Gjenstander som ikke er påvirket av krefter vil i tråd med Newtons 1. lov følge den retteste linjen i krumt tidrom, som vi kaller en geodet, og denne rette linjen vil avhenge av tidrommets geometri. Når man er i fritt fall følger man en slik geodetisk kurve i tidrommet, mens om man ikke er fritt fallende, f.eks. om man sitter på en krakk, vil man være påvirket av en kraft og dermed være akselerert. Det vi observerer som gravitasjon, f.eks. at et eple faller til bakken og at jorda går rundt sola, skyldes dermed ikke en kraft. Det er en effekt av at tidrommet er krumt som vi observerer når vi er i et akselerert system og ikke er fritt fallende.

1.2 Mål for denne oppgaven

I denne oppgaven har jeg ønsket å fokusere på hvordan man kan utvikle en nettbasert undervisningsmodul innen generell relativitetsteori. For å finne ut av dette har jeg selv, og med hjelp av forskergruppen i ReleKvant, utviklet en undervisningsmodul i generell relativitetsteori. Denne undervisningsmodulen skal være en støtte for fysikklærere i undervisningen og skal ligge tilgjengelig på viten.no når den er ferdigutviklet. I tråd med prosjektets målsetting for undervisningsmodulene hadde jeg som mål at denne modulen skulle lages på bakgrunn av læreplanmål, forskningslitteratur og et sosiokulturelt læringssyn. Modulen skulle også ta opp sentrale begreper i teorien og beskrive fenomener som teorien forutsier både gjennom tekst, forskjellige elevaktiviteter, skrive- og diskusjonsoppgaver, figurer og filmer, historiske og teknologiske perspektiv og ekstra ressursmateriale.

For å få svar på hvor godt denne modulen har fungert i praksis ble modulen testet ut i tre fysikk-klasser med innsamling av datamateriale fra diskusjonsoppgaver og skriftlige oppgaver. I etterkant gjennomførte jeg tre fokusgruppeintervjuer med en gruppe elever fra hver av klassene hvor jeg fokuserte på arbeidsmetoder, motivasjon, elevenes begrepsforståelse og aspekter knyttet til aktuell læringsteori og forskningslitteratur. Analyse av lydfilene fra disse intervjuene har gitt meg kvalitative data om elevenes inntrykk og erfaringer i forbindelse med testingen av modulen. Og på bakgrunn av dette har jeg kunnet danne meg en oversikt over hva som har fungert bra og hva som har fungert mindre bra.

Jeg har dermed endt opp med en todelt resultatdel på denne oppgaven. Det ene resultatet mitt er det første utkastet av modulen. En modul som er formet av valg jeg har tatt på bakgrunn av sosiokulturell læringsteori, forskningslitteratur og andres erfaringer fra undervisning i generell relativitetsteori og fra bruk av andre vitenmoduler. Det andre resultatet er et overblikk over

hvordan denne modulen har fungert i klasserommet, basert på analyse av fokusgruppeintervjuene. Resultatene mine fra fokusgruppeintervjuene har jeg så brukt til å foreslå forbedringer av modulen som skal utvikles videre av ReleKvantgruppen. For å kunne komme med forslag til forbedringer trengte jeg å finne ut:

Hvilke problemer kan fysikk 2-elever støte på når de skal danne seg en forståelse av den generelle relativitetsteorien på en kvalitativ måte, og hva kan gjøres for å unngå disse problemene?

Hvilken støtte det er for å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn i utformingen av en undervisningsmodul i generell relativitetsteori?

Hvordan kan man på en best mulig måte presentere den generelle relativitetsteorien og gjøre den tilgjengelig for fysikk2-elever?

2 Teori og resultater fra tidligere forskning

2.1 Undervisning innen generell relativitetsteori

Det finnes lite forskningslitteratur om undervisning av generell relativitetsteori som er passende for videregående nivå. Mye av tidligere didaktisk arbeid knyttet til generell relativitetsteori på universitetsnivå har gått ut på hvordan man kan gjøre den vanskelige matematikken i faget mer tilgjengelig for studenter (Bandyopadhyay & Kumar, 2010). Generell relativitetsteori er et krevende fag også på universitetsnivå, og for å kunne gjøre beregninger og forstå teorien i dybden trenger man å beherske komplisert tensormatematikk (Wald, 2006). I tillegg anbefaler Wald (2006) også at studentene har spesiell relativitetsteori, klassisk mekanikk med Euler-Lagrange dynamikk og elektromagnetisme fra lavere grad ved universitet før de tar emnet i generell relativitetsteori. Slike forkunnskaper har naturlig nok ikke norske videregående elever og det å gå så dypt i den generelle relativitetsteorien er også uaktuelt i forhold til læreplanmålet. Wald (2006) trekker fram flere sentrale trekk ved den generelle relativitetsteorien som han mener det er viktig å få fram når man underviser temaet. Ett av dem er at teorien har sin opprinnelse fra Einsteins forsøk på å formulere en teori om gravitasjon som stemte overens med hans ideer fra spesiell relativitetsteori. Hele teorien er fundamentalt bygget på ekvivalensprinsippet, og dette resulterer i at gravitasjon ikke lenger sees på som noen kraft, men er en konsekvens av forandring i tidrommets struktur som gjør at observatører i treghetssystemer akselerer relativt i forhold til hverandre (Wald, 2006). Det er dermed også viktig å få fram at generell relativitetsteori er en teori om strukturen og forholdet mellom tid og rom, og at alle gravitasjonseffekter sees på å være konsekvenser av krum geometri av tidrom.

Bandyopadhyay og Kumar (2010) hevder at til tross for at generell relativitetsteori er et regneteknisk vanskelig fag, kan man i høy grad skille de regnetekniske og begrepsmessige temaene fra hverandre og se på begrepsmessig forståelse av faget isolert. De har gjort flere studier av studenters syn på grunnleggende begreper og temaer innen generell relativitetsteori ved universitetet i Mumbai. I en studie fra 2010 så de etter utfordringer og misoppfatninger blant studentene i møtet med denne teorien. Studien la vekt på et konstruktivistisk syn på

læring. De tok utgangspunkt i ni nøkkeltemaer fra Einsteins originale bok «Relativity: The Special and General Theory», og undersøkte seks studenters alternative forklaringer rundt de grunnleggende begrepene. Prosjektet gikk ut på at studentene frivillig ble med på et sommerkurs i generell relativitetsteori. I første del av kurset ble de lest for av en person fra Einsteins publisering. Studentene skulle så svare skriftlig på spørsmål fra disse ni nøkkeltemaene fra boken før de gikk gjennom et introduksjonskurs i generell relativitetsteori hvor både tensormatematikk og teoriens kompliserte likninger og utledninger ble gjennomgått. På slutten av sommeren, da studentene hadde vært igjennom introduksjonskurset, ble det gjennomført intervjuer med alle studentene med de samme spørsmålene og temaene som de svarte på skriftlig før de hadde introduksjonskurset (Bandyopadhyay & Kumar, 2010).

I studien av Bandyopadhyay og Kumar fra 2010 viste det seg at tre av seks studenter mener at likheten til tung og treg masse kan utledes fra Newtons lover. Disse studentene ser heller ikke noe problem ved at Newtons teori gir oss at størrelsene for tung og treg masse til et objekt er like, selv om disse to størrelsene beskriver to forskjellige fysiske fenomener (Bandyopadhyay & Kumar, 2010). Det viser seg også at noen av studentene har utviklet misoppfatninger om egenskapene til tung og treg masse. De oppsummerer funnene som følgende:

“A conception of gravitational mass is shared by some of them, namely that it is the quantity that “resist” gravitational force... Instruction must alert the students that the gravitational mass of a body is not to be regarded as “an inertial mass in the context of gravitational force”. It is to be viewed as the gravitational analog of say electric charge. The inertial mass, on the other hand, is that characteristic of the body which determines the acceleration of a body under force... The universal proportionality between the inertial mass and the gravitational mass is not a priori obvious. It follows from the experimental verified fact that the acceleration of a body in a given gravitational field is independent of the material and physical state of the body” (Bandyopadhyay & Kumar, 2010, s. 5)

I en annen studie fra 2011 fokuserer Bandyopadhyay og Kumar nærmere på 30 laveregradsstudenters forståelse av ekvivalensprinsippet mens studentene fulgte et introduksjonskurs i generell relativitetsteori ved universitetet. Under denne studien ble diagnostiske tester brukt for å vurdere studentenes forståelse og misoppfatninger (Bandyopadhyay & Kumar, 2011). Her viste kun 8 av 30 studenter en god forståelse for den samme problemstillingen (Bandyopadhyay & Kumar, 2011). 12 av 30 svarte derimot at vi fra

Newtons lover kan utlede at tung og treg masse er det samme og at dette ikke trenger å testes eksperimentelt for å bli bekreftet.

Etter å ha fått en innføring i ekvivalensprinsippet kunne alle studentene i studien fra 2010 se at man fra likheten mellom tung og treg masse kan utlede ekvivalensprinsippet. I den første runden med skriftlige svar, før gjennomføringen av introduksjonskurset, kunne kun to av seks studenter gå i dybden og forklare at ekvivalensprinsippet kan generalisere relativitetsprinsippet til også å gjelde akselererte systemer fordi akselerasjonsbevegelsen ikke lengre er absolutt. I intervjuet etter gjennomføringen av introduksjonskurset, kunne samtlige studenter forklare denne sammenhengen (Bandyopadhyay & Kumar, 2010). Noen hadde en misoppfatning ved at de så for seg at gravitasjonsfeltet man observerer i et akselerert referansesystem kun gjelder inne i referansesystemet. Bandyopadhyay og Kumar (2010) anbefaler også å belyse Einsteins argument i revers, altså at man kan bruke ekvivalensprinsippet til å forklare hvorfor tung og treg masse er like store, for å oppnå en dypere forståelse av sammenhengen mellom disse fenomenene.

Studenter har det klart for seg fra klassisk mekanikk og spesiell relativitetsteori at et treghetssystem er et system med konstant bevegelse hvor Newtons 1. lov er oppfylt, og at disse referansesystemene er å foretrekke fremfor akselererte systemer ved beregninger (Bandyopadhyay & Kumar, 2010). I generell relativitetsteori snus det om på disse begrepene. Der har vi at et *fritt fallende bevegelsessystem* er et treghetssystem fordi gravitasjon ikke lenger sees på som en ytre kraft, mens f.eks. et bevegelsessystem i ro på jordoverflaten ikke lengre er et treghetssystem (Bandyopadhyay & Kumar, 2011). I studien fra 2011 svarer 11 av 30 studenter, antagelig inspirert av tanker fra klassisk mekanikk, at en fritt fallende person ikke merker noe gravitasjonsfelt fordi gravitasjonskraften kanselleres av pseudokrefter. Den riktige forklaringen, er derimot at gravitasjon ikke sees på som en kraft og ergo virker det ingen krefter på en fritt fallende person. Bandyopadhyay og Kumar (2011) hevder at begrepet om at fritt fallende systemer er treghetssystemer i generell relativitetsteori og at gravitasjon ikke lenger sees på som en kraft, er den viktigste kognitive forandringen studentene må igjennom i møtet med generell relativitetsteori. Det viser seg gjennom en rekke problemløsningsoppgaver som lett kan løses ved bruk av ekvivalensprinsippet eller definisjonen på treghetssystemer i generell relativitetsteori, at studentene i stedet fortsetter å tenke i tråd med Newton. Det virker derimot som løsninger ved hjelp av ekvivalensprinsippet

er litt lettere tilgjengelig for studentene enn løsninger ved hjelp av definisjonen av treghetssystemer (Bandyopadhyay & Kumar, 2011).

2.2 Et sosiokulturelt læringssyn

Lev Vygotskij, som sees på som det sosiokulturelle læringssynets far, kom fram til en modell kalt den proksimale utviklingssonen som beskriver hvordan læring oppstår i en kontekst og gjennom et samspill mellom individer (Vygotskij, 1978). På bakgrunn av studier av hvordan barn lærer og utvikler seg hevdet han at det finnes en begrensning på hva barn på et stadium i sin utvikling kan lære seg og hvilke oppgaver det mestrer på egen hånd. Men om barnet derimot samarbeider med et annet barn eller en voksen person som kan mer og er på et høyere utviklingsstadium, kan barnet lære å mestre mer kompliserte oppgaver. Så om man ser på de oppgavene som barnet kan lære seg å mestre på egen hånd som barnets utviklingszone, vil denne sonen bli utvidet om man legger til det barnet kan meste i samarbeid med andre personer. Denne utvidelsen av sonen kalles den proksimale utviklingssonen (Vygotskij, 1978). Videre har Vygotskij forsket mye på hvilken rolle språket har i læringsprosessen. Han sier at språket har to hovedfunksjoner. Det er både et kommunikasjonsverktøy for å dele og utvikle kunnskap sammen med andre, og et psykologisk verktøy for å organisere våre individuelle tanker, for å resonnerer, planlegge og evaluere handlinger (Vygotskij, 1987). Dette innebærer at språket ikke bare er en formidler av kunnskap, men at kunnskap også oppstår gjennom formulering og bruk av språket.

2.2.1 Språk i fysikken

Fysikkfaget handler om å beskrive fenomenene i naturen og universet rundt oss med modeller bygget opp av matematikk og abstrakte begreper (Angell et al., 2011), altså ved bruk av symboler og språk. Språket har dermed en sentral plass i fysikkfaget og fysikkundervisningen. For å kunne fysikk må man også kunne språket som man uttrykker fysikken med (Angell et al., 2011). Hva det å bruke språket i fysikken innebærer, er f.eks. spesifisert i målene for grunnleggende ferdigheter i læreplanen for fysikk:

«Å kunne uttrykke seg muntlig og skriftlig i fysikk innebærer å beskrive egne observasjoner og erfaringer fra naturen, eksperimenter, ekskursjoner og informasjon i medier. Å formulere spørsmål og hypoteser og å bruke fysikkfaglige begreper og uttrykksformer inngår i dette. Det

betyr å argumentere for egne vurderinger, gi tilbakemeldinger og presentere resultater. Det vil si å beherske et presist og entydig språk, blant annet å skille mellom dagliglivets bruk av begreper og fysikkens bruk av de samme begrepene.» (Sommerseth & Lund, 2006a)

Som nevnt tidligere introduseres ikke elevene for de matematiske likningene i den generelle relativitetsteori i videregående skole, men de introduseres derimot for svært abstrakte begreper som de vanskelig kan knytte til hverdagslige erfaringer. Angell et al. (2011) hevder at nettopp det å møte slike abstrakte modeller er en av elevenes største utfordringer i fysikken. De nye begrepene og fenomenene i den generelle relativitetsteorien endrer i tillegg deres oppfatning av tid og rom. Og teorien forandrer det elevene har lært om gravitasjon tidligere i fysikken. Møtet med denne abstrakte teorien og dens begreper vil altså være krevende for mange fysikkelever. *Begreper* defineres av Mork og Erlie (2010) som ideer, prinsipper og forestillinger. De nevner videre at begreper er det området i naturfag som er det største hinderet for læring, fordi de kan være veldig abstrakte. Begrepene kan ikke forstås isolert, men tilhører et nettverk av andre ord og bygger på tidligere erfaringer og forståelse av andre begreper (Mork & Erlie, 2010). Det å lære seg og danne seg forståelse av et begrep innebærer dermed mer enn å memorere en definisjon, for ord er ikke bærere av forståelse i seg selv. Angell et al. (2011) sier at for å utvikle forståelse av nye begreper må elevene arbeide gjennom tenkning og språklig samhandling. Elevene utvikler ikke full innsikt og forståelse av et begrep gjennom å pugge det eller ved å få det forklart. Et eksempel på en måte å jobbe med begreper på er små skriveoppgaver hvor elevene selv skal lage forklaringer og definisjoner på begreper (Mork & Erlie, 2010).

2.3 IKT og bruk av multimedia i læringsprosessen

IKT kan bidra til variasjon i undervisningen, og flere påstår at bruk av IKT i undervisningen gir både bedre læring og mer motiverende undervisningsformer (Angell et al., 2011). Det er derimot ikke nok forskningsresultater som kan bevise at disse påstandene er generelt gyldige. Smetana og Bell (2012) har i en Reviewartikkel tatt for seg forskningslitteratur om læringseffekten av bruk av datasimuleringer i undervisning. De slår fast at simuleringer kan være like effektive og i noen tilfeller mer effektive enn tradisjonell undervisning både når det gjelder utvikling av faglig kunnskap og å utvikle grunnleggende begrepsforståelse. I studier hvor datasimuleringer har vært integrert i mer tradisjonell undervisning vises det at det er en fordel å kombinere datasimuleringer med andre undervisningsformer. Men de nevner også at

effektiviteten avhenger av hvordan simuleringene blir brukt i undervisningen. Elevene drar ikke fullt nytte av fordelene ved en simulering om de ikke får nok tid, støtte eller oppmuntring til å engasjere seg og bruke den riktig. Dermed har læreren fortsatt en viktig rolle i undervisningen, og er avgjørende for effektiv læring gjennom datasimuleringer (Smetana & Bell, 2012). Dette viser seg også å gjelde generelt for IKT og multimedia i undervisningen (Angell et al., 2011). Hvor vellykket undervisning basert på multimedia blir, avhenger av god styring og planlegging fra lærerens side. Det er også viktig at multimediebaserte ressurser er godt tilpasset elevenes språk og fagets læreplan (Angell et al., 2011).

Simuleringer defineres som et IKT-basert eksperiment hvor brukeren aktivt kan endre på parametere i eksperimentet og se hvilke konsekvenser det gir. Det kan for eksempel brukes som et forsøk i fysikkundervisningen, men kan også brukes som et visualiseringsverktøy (Angell et al., 2011). Simuleringer skilles fra animasjoner og modellering. Animasjoner defineres som visning av en prosess hvor brukeren er passiv observatør, mens modellering er en prosess der man selv lager en matematisk modell av den fysiske virkelighet (Angell et al., 2011). Mork og Erlie (2010) trekker spesielt fram at animasjoner og simuleringer egner seg godt for å visualisere naturvitenskapelige prosesser og fenomener. Angell et al. (2011) nevner fire hovedkategorier for arbeid med digitale verktøy i fysikk: forsøk, visualisering og levendegjøring, bearbeiding av lesestoff og formidling og kommunikasjon. Forsøk innebærer datalogging, simuleringer og modellering. Video, animasjon og simuleringer går inn under kategorien visualisering. Av måter å bearbeide lærestoff har man f.eks. flervalgsoppgaver, digitalt kryssord, tankekart og lenkeoppgaver. Mens inn under kategorien formidling og kommunikasjon går dokumentasjon, publisering, informasjonsinnhenting og kritisk vurdering (Angell et al., 2011).

Mayer (2002) har gjennom testing av en kognitiv teori for multimedialæring funnet ni effekter som man burde ta høyde for når man utvikler og designer læringsmidler basert på multimedia. Han kaller budskapet som er ment å føre til multimedialæring for en «multimedia message» (multimedia melding). Multimedia melding definerer han som presentasjoner av et materiale gjennom ord og bilder (ord kan i denne definisjonen være skriftlige eller lyd/tale). Han sier at det har oppstått multimedialæring dersom personen har klart å lage seg en mental representasjon av multimedia meldingen som gjør at personen kan bruke kunnskapen riktig i flere ulike problemstillinger (Mayer, 2002). Den kognitive teorien for multimedialæring som Mayer (2002) har testet går ut på at mennesker har separate kanaler for å behandle

informasjon fra visuelt materiale og auditivt materiale. I tillegg er det slik at man kun kan behandle en begrenset mengde av materiale gjennom en kanal på en gang. Dette kalles «the limited capacity assumption» (Mayer, 2002). Mayer (2002) har gjennom tesing av denne teorien funnet evidens for at denne teorien fungerer best til å beskrive multimedialæring i samtlige utprøvinger. I tillegg fant han effektene presentert i tabell 2.3.1. I hvilken grad de empiriske funnene til Meyer er generaliserbare kan diskuteres, men de er gode råd å følge i utformingen av undervisningsmateriale basert på multimedia.

Tabell 2.3.1: Oversikt over effekter funnet ved uttesting av multimedia meldinger (Mayer, 2002).

Effekt	Beskrivelse
«Multimedia effect» (Multimedia effekt)	Bedre resultat når informasjon er presentert gjennom ord og bilder enn kun gjennom ord.
«Spatial effect» (Nærhets effekt)	Bedre resultater når ord er plassert nært enn et stykke vekk fra tilhørende bilde.
«Temporal contiguity effect» (Samtidighets effekt)	Bedre resultat når tilhørende tale og del av animasjon presenteres samtidig enn i sekvenser.
«Coherence effect» (Sammenhengs effekt)	Bedre resultater når irrelevante ord, bilder og lyder er ekskludert.
«Modality effect» (Informasjonskanal effekt)	Bedre resultat fra animasjon og tale enn fra animasjon og tekst på skjermen.
«Redundancy effect» (Reduserings effekt)	Bedre resultater fra animasjon og tale enn fra animasjon, tale og tekst på skjermen.
«Pretraining effect» (Forberednings effekt)	Bedre resultater når det man har fått illustrert på komponenter i en animasjon på forhånd enn å få forklaring fortløpende i animasjonen.

«Signaling effect» (Kategoriserings effekt)	Bedre resultater når deler av tale/animasjon har en tittel/er kategorisert enn uten.
«Personalization principle» (Personaliserings effekt)	Bedre resultat med dagligdags språk fremfor mer formelt språk.

2.3.1 Viten.no

Viten.no er et nettsted med digitale læringsaktiviteter og ressurser innen flere naturfaglige temaer. Ressursene er samlet i såkalte vitenprogrammer, og er beregnet både for naturfag fra barnetrinnet og opp til vg1 og for realfaglige programfag som biologi, geofag og fysikk. Mork og Erlie (2010) trekker fram vitenprogrammene som et eksempel på bruk av digitale verktøy i undervisningen og gir tips til hvordan de bør brukes i undervisningen. Et vitenprogram består av flere undervisningsmoduler om forskjellige tema og er et fullstendig og uavhengig undervisningsprogram for det læreplanmålet programmet tar opp. Gjennom programmene blir naturfaglig informasjon presentert på mange ulike måter som tekst, bilder, video, animasjoner og lenker til eksterne sider. Underveis i programmet blir elevene utfordret til å bruke kunnskaper i flere interaktive oppgaver som f.eks. quiz, dra-og-slippoppgaver, flervalgsoppgaver, kryssord, innfyllingsoppgaver og simuleringer. Skriftlige og interaktive oppgaver gjør at elevene får bruke og bearbeide fagstoffet de går igjennom (Mork & Erlie, 2010). Mork og Erlie (2010) kommer med flere resultater fra forskning som er gjort på bruk av vitenprogrammer. De nevner bl.a. at det viser seg at elevene lærer best det innholdet som er knyttet til skriftlige oppgaver og at elevene da får reflektert over det stoffet de har vært igjennom. Det viser seg også at elevene bør samarbeide. Flere oppgaver i noen av programmene er laget for diskusjon og refleksjon og det er da fint at elevene får formulere og forklare sine ideer for hverandre og får diskutere seg fram til en felles besvarelse. Mork og Erlie (2010) trekker også fram at læreren er veldig viktig ved bruken av vitenprogrammer.

«Dersom elevene bare slippes fri foran datamaskinen, er det mye som kan skje. Noen raser gjennom i full fart og er ferdig før andre har fått begynt. Enkelte elever går rett til aktiviteter og oppgaver og forsøker å besvare dem uten å ha gått igjennom den informasjonen de trenger for å gi gode svar. Andre hopper over det de ikke forstår eller faller for fristelsen til å surfe på internett.» (Mork & Erlie, 2010, s. 169)

Derfor anbefaler Mork og Erlien (2010) at læreren gjør seg godt kjent med programmet før han eller hun bruker det i undervisningen. Det er fint å ha en god oversikt over programmet og innsikt i om det er noen deler av programmet elevene trenger veiledning og støtte på. Før læreren tar i bruk et vitenprogram kan det også være smart for læreren å tenke gjennom hvordan han eller hun skal bruke programmet, om det skal brukes sammen med annen undervisning om det samme temaet og hvordan man skal organisere bruk av lærebok, lekser og forsøk i tilknytning til programmet. Et tips er også å opplyse om hvor stor del av programmet man skal igjennom i løpet av en undervisningsøkt og si at elevene skal si ifra når de er igjennom dette. Slik unngår man at elevene haster seg gjennom programmet og læreren kan kontrollere oppgavebesvarelsene og om elevene har lært det de skal. Vanskeligere deler av programmet kan også gjennomgås i fellesskap med projektor etter at elevene har fått jobbet litt med stoffet (Mork & Erlien, 2010).

2.3.2 ReleKvantmodulene

Modulene til ReleKvantprosjektet skiller seg fra de andre vitenprogrammene. Som nevnt er vitenprogrammene laget som frittstående undervisningsopplegg. Selv om Mork og Erlien (2010) poengterer at læreren har en viktig rolle om programmene skal brukes til undervisning, er programmene såpass frittstående og selvstendige at det går an å benytte dem som et lekseopplegg eller annet opplegg uten læreren til stede. Undervisningsmodulene i ReleKvantprosjektet er i enda større grad avhengig av lærerens deltagelse i undervisningen, og kan ikke brukes om et slikt selvstendig opplegg for elevene. Argumentene til Mork og Erlien (2010) vil være enda viktigere og mer sentrale under bruken av en vitenmodul i ReleKvant.

ReleKvantmodulene har for det første ikke som mål å være frittstående undervisningsopplegg. De er ment å være en støtte for lærernes undervisning og et supplement til læreboken. For det andre har ReleKvantprosjektet, som nevnt i innledningen, mål om å inkludere relevante aspekter fra historie, teknologi, fysikkens egenart og filosofi i undervisningsmodulene. Spesielt det å tilegne seg tanker om fysikkens egenart og filosofiske aspekter ved faget, er noe som kan være krevende å lære seg ved kun å sitte og lese om det. ReleKvantmodulene prøver å presisere slike aspekter, og legge til rette for elevenes læring om fysikkens egenart. Prosjektet har for eksempel laget en introduksjonsfilm der det forklares litt om hvordan læring med ReleKvant er lagt opp. Likevel har læreren som er til stede i klasserommet en viktig

rolle. Læreren må gi elevene den støtten og de forklaringene de trenger når de skal diskutere slike nye og krevende aspekter.

Prosjektet har for eksempel funnet tendenser på at elever føler seg ukomfortable med å ikke kunne sjekke «fasiten» etter diskusjons- og skriveoppgaver (Bøe, Angell, Bungum, & Henriksen, 2015). Elevene er nemlig vant med at det alltid er et fasitsvar i oppgaveløsningen i fysikken på skolen. De savner muligheten til å finne «den rette løsningen» på fysikkoppgavene. Men ved vitenskapsfronten i fysikk i dag er flere fenomener og fagområder uten fasitsvar (Angell et al., 2011). Og når ReleKvantmodulene tar opp slike emner og temaer vil heller ikke oppgavene i modulen ha noe klart fasitsvar. Det blir da lærerens jobb å forklare elevene at noen fenomener har vi ikke fasitsvar på ennå. Det må komme fram at dette er noe som forskere diskuterer og er uenige om i dag, men at man ut fra det vi vet i dag, kan vi hevde at noen modeller og teorier ser ut til å stemme bedre enn andre.

2.4 Motivasjon

Imsen (2005) definerer motivasjon som “Det som forårsaker aktivitet hos individet, det som holder denne aktiviteten ved like, og det som gir den mål og mening” (Imsen, 2005, s. 375). Alle aktiviteter mennesker utfører har sitt utspring i motivasjonen som ligger bak handlingen.

2.4.1 Indre og ytre motivasjon

Vi kan skille mellom to typer motivasjon og det er indre og ytre motivasjon. Utfører aktøren en handling for å få en belønning eller nå et mål, definerer vi det som ytre motivasjon. Dette kan for eksempel være en elev som jobber og gjør lekser for å få karakter 6 i et fag. Det å ha indre motivasjon vil si å ha en glød for det man jobber med, i motsetning til eleven som måtte gjøre lekser vil et individ med indre motivasjon gjøre det fordi man har lyst til det. Eleven kan for eksempel synes at faget er spennende og interessant og har derfor lyst til å lese mer. Imsen (2005) mener at idealet for en læringssituasjon er hvis eleven har en indre motivasjon.

2.4.2 Innvirkende faktorer på engasjement hos elever

Når man skal se på hva som påvirker elevens innsats henviser Angell et al. (2011) til studier av motivasjon gjort av Roeser og Galloway (2002) som peker ut tre faktorer av betydning. Det første er hvor mye faglig utbytte eleven føler han/hun får ut av undervisningen i forhold til arbeidsinnsatsen som legges ned. Det andre er hvor stort rom det er for medbestemmelse. Ifølge Angell et al. (2011) vil elever som ikke får innvirke på egen arbeidssituasjon, tendere til å engasjere seg mindre. For det tredje er det viktig at eleven føler seg komfortabel sosialt.

2.4.3 Hva interesserer elevene?

For å skape interesse for faget og undervisningen er det en fordel å kjenne til ungdommens holdninger og interesser, deres verdier og motivasjon og hva de finner viktig. Det er derfor blitt gjennomført et prosjekt kalt ROSE-prosjektet som har studert nettopp dette (Sjøberg, 2009). Prosjektet har undersøkt hva elever i 15-årsalderen har av relevante erfaringer, hva slags interesser de har, hvilke framtidsplaner de har, og hva slags holdninger og forestillinger de har til naturvitenskap, teknologi, miljøutfordringer, forskning og forskere (Sjøberg, 2009). Resultatene fra dette prosjektet viste et skille mellom interesser hos jenter og gutter. Det viste seg at flesteparten av jentene viste interesse for emner innen menneskets biologi, dyr og mysterier og filosofiske spørsmål. Flesteparten av guttene interesserte seg derimot for teknologi, viktige oppdagelser, nye oppfinnelser og spektakulære fenomener som bomber, atomkraftverk og elektrisk støt. For å lage undervisningsopplegg som er motiverende for både jenter og gutter er det da viktig å legge vekt på temaer som interesserer begge kjønn.

3 Metode

3.1 «Educational design research» – en forskningsbasert metode

Målet med forskningen bestemmer metoden og forskningsdesignet (Cohen, Manion, Morrison, & Bell, 2011). Det målet jeg har hatt for min masteroppgave er å utvikle en undervisningsmodul på bakgrunn av læreplanmål, forskningslitteratur og et sosiokulturelt læringssyn, som også oppfyller krav fra lærere og elever, og som fungerer i klasserommet. For å få til dette har jeg brukt et empirisk kvalitativt forskningsdesign. Dette er det samme designet som forskningsprosjektet benytter seg av. Designet er inspirert av «Educational design research», også kalt «design-based research» (Juuti & Lavonen, 2012) og går ut på å konstruere et samspill mellom forskning og praksis. Designet til forskningsprosjektet innebærer i grove trekk å utvikle undervisningsmodulene i samarbeid med lærere i klasserommet. Modulene blir testet ut i klasseromsundervisning og deretter redigert og videreutviklet. Det samme blir så gjentatt i flere runder. Man oppnår da at man utvikler noe som man vet det er behov for i fysikkundervisningen og som man vet fungerer i klasserommet. Man får oversikt over hva som fungerer bra og hva som fungerer mindre bra i praksis, og kan forandre på dette til neste uttesting. Samtidig får man samlet inn informasjon og data om elevers læring og begrepsforståelse innen de spesifikke temaene som modulene handler om. I denne masteroppgaven har jeg utviklet en modul i generell relativitetsteori, som er vedlagt i vedlegg A. Jeg har testet ut denne i tre fysikk-klasser, gjennomført fokusgruppeintervjuer med elevene og brukt de funnene jeg har gjort til å foreslå forbedringer av modulen. Forskergruppen kan så bruke funnene og forslagene mine til å redigere og videreutvikle modulen, før de gjør en ny runde med uttestinger.

3.2 Fokusgruppeintervju

Cohen et al. (2011) beskriver fokusgruppeintervju som en type gruppeintervju hvor man er interessert i interaksjonen mellom informantene og vil få fram forskjellige synspunkter om emnet som er i fokus. Det er fra interaksjonen i fokusgruppen at datamaterialet vokser fram. Fokusgruppeintervju er en egnet metode når en gruppe har jobbet sammen om noe, og flere

individens mening som en gruppe er viktig (Cohen et al., 2011). Kvale og Brinkmann (2009) hevder også at fokusgruppeintervjuer er godt egnet til eksplorative undersøkelser.

Målet for denne masteroppgaven var å utvikle en god undervisningsmodul på bakgrunn av læreplanmål, et sosiokulturelt læringssyn og relevant forskningslitteratur. For å finne ut i hvilken grad jeg klarte dette og om modulen fungerte i praksis, trengte jeg å utforske de forskjellige tankene og inntrykkene elevene satt igjen med etter arbeidet med modulen. Jeg trengte også å opparbeide meg kvalitative data rundt elevenes erfaringer med arbeidet med modulen og et inntrykk av deres begrepsforståelse. På bakgrunn av teori av Cohen et al. (2011) og Kvale og Brinkmann (2009), så jeg derfor på fokusgruppeintervju som en egnet forskningsmetode.

3.2.1 Fokusgruppene

Cohen et al. (2011) sier at det er viktig at deltagerne i en fokusgruppe har homogen bakgrunn og samme erfaringer med det som skal diskuteres for å få til en god diskusjon. Jeg gjennomførte tre fokusgruppeintervjuer slik at jeg hadde en fokusgruppe med elever fra hver klasse som var med på utprøvingen av modulen. Dermed hadde de elevene som var i samme fokusgruppe vært igjennom akkurat samme undervisning med samme lærer. Siden jeg selv var med og observerte under de fleste uttestingene av modulen og prosjektet har ført en logg over observasjonsdata fra alle uttestingene, var det mulig for meg å knytte resultatene jeg fikk i en fokusgruppe til hvordan læreren hadde brukt undervisningsmodulen og gjennomført undervisningen.

Det er også viktig å ha riktig størrelse på en fokusgruppe for at et fokusgruppeintervju skal være vellykket. Ifølge Cohen et al. (2011) er det spredning i metodeteorien om hva som er anbefalt størrelse på en fokusgruppe. De referer til Morgan (1988, s. 43) som anbefaler å ha mellom fire og 12 deltagere per fokusgruppe og til Fowler (2009, s. 117) som anbefaler mellom seks og åtte deltagere (Cohen et al., 2011). Størrelsen på fokusgruppen vil selvsagt variere med formål og hva slags gruppe av deltagere man intervjuer. Ut fra tidligere erfaringer som forskergruppen hadde fra fokusgruppeintervjuer med elever, ble jeg anbefalt å ha fokusgrupper med seks elever fra hver skole. Dessverre møtte kun tre elever opp til intervju ved skole 1. Dette resulterte i at det var vanskelig å få til en god diskusjon mellom deltagerne i dette intervjuet. I tillegg fikk jeg erfare en av ulempene ved fokusgruppeintervju som metode, nemlig at samtalen og diskusjonen kan domineres av en av deltagerne i intervjuet

(Cohen et al., 2011). Begge disse faktorene begrenser omfanget og kvaliteten på dataene fra denne klassen.

I de to andre intervjuene var det seks elever til stede. I disse intervjuene ble det gode diskusjoner mellom elevene samtidig som det gikk fint å holde kontroll over gruppa og passe på at alle deltageres meninger kom fram. Det er en ulempe ved fokusgruppeintervjuer at det ofte ikke er så mange deltagere med i intervjuet i forhold til antallet av hele populasjonen (Cohen et al., 2011). Man får dermed informasjon om relativt få elevers meninger, men til gjengjeld er dataene man får mer innholdsrike og gir et dypere innblikk i elevenes inntrykk av modulen. Seks elever tilsvarte mellom en tredjedel og en fjerdedel av klassene vi testet ut modulen i. For å sikre at et så snevert utvalg av elever skulle kunne gi så omfangsrike data som mulig, ble det viktig at utvalget av elever inneholdt både sterke og svakere elever. Lærerne fikk derfor oppgaven om å plukke ut elever som skulle være med, og de fikk beskjed om at disse elevene skulle være både sterke og svake elever.

3.2.2 Intervjuguide

I følge Krueger (1998b) er det to måter å organisere en intervjuguide. Man kan enten liste opp alle spørsmålene ferdig formulert, noe han kaller «the questioning route», eller så kan man ha en liste med ord eller setninger som minner om de temaene man vil ta opp. Dette kaller han en «topic guide». Som nevnt ønsket jeg gjennom fokusgruppeintervjuene å utforske hvordan modulen fungerte i praksis og om den oppfylte kravene som elevene stiller. Jeg valgte dermed å ta opp temaene læring, arbeidsmetoder, motivasjon og begrepene ekvivalensprinsippet, treghetssystemer i generell relativitetsteori og krumning av tidrom. Prosjektet hadde allerede en ferdig utviklet intervjuguide fra uttestingen av kvantefysikkmodulen som jeg tok utgangspunkt i. Denne intervjuguiden hadde form som en «questioning route» og hadde allerede spørsmål som tok opp temaene læring, arbeidsmetoder og motivasjon. Det jeg trengte å gjøre var å tilpasse den til å undersøke begrepene fra generell relativitetsteori. Krueger (1998b) anbefaler å velge å bruke en intervjuguide i form av en «questioning route». Til tross for at et intervju med en «topic guide» går fortere og gir mer naturlig og spontan dialog, gir en «questioning route» mer konsistente data som er enklere å analysere (Krueger, 1998b). Spesielt om man skal sammenligne flere separate fokusgruppeintervjuer, er det en fordel at de samme spørsmålene er blitt stilt og at de er formulert likt.

Man kan også velge om man vil føre en sterk eller svak grad av struktur på intervjuet, dette avhenger av om man er ute etter veldig spesifikke eller eksplorative data (Morgan, 1998). Intervjuguiden jeg benyttet meg av hadde en svak grad av struktur. Riktig nok er det mange spørsmål listet opp rundt hvert tema, men den er strukturert slik at det første spørsmålet for hvert tema er veldig åpent og oppmuntrer elevene til å føre diskusjonen i den retning de vil, og det lot jeg dem også gjøre. Dette fører til at deltakerne i et fokusgruppeintervju får en større mulighet til å påvirke hvilke data som blir produsert og prioritere det de har av interesse (Guttersrud, 2001). Altså resulterte en slik strukturering av intervjuet i at jeg fikk data som omhandlet de inntrykkene og erfaringene som elevene mente var viktigst. De andre spørsmålene som var listet opp i guiden ble brukt som kontrollspørsmål som man kunne velge å bruke om det var vanskelig å få i gang en diskusjon i gruppen eller som kunne stilles om det var noe man ønsket å ta opp innenfor et tema som elevene selv ikke tar opp i diskusjonen. Intervjuguiden er i vedlegg B.

3.3 Analysemetode

3.3.1 Generelt om analyse av kvalitative data

I følge Krueger (1998a) har kvalitativ forskning som mål å gi en beskrivelse av realiteten. Den gjengir en beskrivelse av individets tolkning av virkeligheten, og den er åpen for at det finnes flere forskjellige syn og tolkninger. Man kan si at man er ute etter å skape en objektiv framstilling av subjektive data, gjennom å gjøre noen få antagelser av hvordan ting fungerer. Samtidig er man i kvalitativ analyse forsiktig med årsakssammenheng (Krueger, 1998a).

Det at man jobber med subjektive data basert på holdninger og meninger har mye å si for kvalitative studiers reproduserbarhet. Reliabiliteten sees ofte på som muligheten for andre forskere til å reprodusere resultatene fra en studie (Kvale & Brinkmann, 2009). Holdninger og meninger kan forandre seg over tid og gjør at kvalitative data i liten grad vil kunne reproduseres. Dette vil påvirke reliabiliteten til en kvalitativ studie, som defineres som et mål på konsistens og troverdighet.

Et annet kjennetegn ved analyse av kvalitative data er at det er forskeren selv som er primærinstrument i datainnsamlingen. Et måleinstrument eller en metodes evne til å måle det den er ment å måle sees på som definisjonen på validitet (Kvale & Brinkmann, 2009).

Forskeren vil alltid være en del av undersøkelsen og vil dermed uansett ikke kunne være helt objektiv (Cohen et al., 2011). Dette fenomenet kaller vi «forskerbias». Kvalitative data vil derfor alltid ha en grad av «forskerbias», og dette vil påvirke validiteten til et kvalitativt forskningsprosjekt.

3.3.2 Transkribering

Transkripsjon er en konkret omdanning av en muntlig samtale til en skriftlig tekst (Kvale & Brinkmann, 2009). Det vil alltid være en forskjell på talespråk og skrevne tekster og dette kan ifølge Kvale og Brinkmann (2009) skape en rekke praktiske og prinsipielle problemer. Derfor er det viktig å være bevisst over valg man gjør under en transkribering for å sikre reliabiliteten. For meg er det en fordel at det ble gjort lydopptak under intervjuene. I et lydopptak er både ordbruk, tonefall og pauser bevart, og man vil lettere kunne skille ut ironi, som ellers er et problem under intervjuer (Kvale & Brinkmann, 2009). Det er også en fordel at det er jeg selv som transkriberer dataene både med tanke på en videre analyseprosess, og med tanke på at jeg har holdt samtlige intervjuer og kan huske detaljer som f.eks. kroppsspråk, som ikke kommer med på lydopptaket. Reliabiliteten kunne vært testet ved at en annen person hadde transkribert dataene parallelt med meg, men dette ble det ikke valgt å bruke ressurser og tid på. Ifølge Kvale og Brinkmann (2009) pleier ikke samfunnsforskere tradisjonelt sett å legge så stor vekt på reliabiliteten i en transkribering. Spesielt når man skal gjøre en innholdsanalyse av kvalitativt datamateriale, vil reliabiliteten til kodingen være viktigere enn reliabiliteten til transkriberingen i motsetning til om man gjennomfører en analyseform med fokus på språk. Det ble derfor brukt ressurser på at noen kodet materialet parallelt med meg for å øke reliabiliteten i selve kodingen av materialet.

Det er jeg selv som gjorde alle fokusgruppeintervjuene, og jeg blir gjengitt som moderator i transkriberingene. Under transkriberingen ble det hele tiden prøvd å transkribere det elevene sa ordrett uten noe redigering eller omformulering. Jeg har skrevet «(...)» når elevene tar pauser mens de snakker, og om det er deler av det elevene sier som det ikke var mulig å transkribere har jeg f.eks. skrevet «(støy)» eller «(mumler)».

Transkriberingene ble gjort etter at alle fokusgruppeintervjuene var gjennomført. En grunn til dette var at uttestingene av modulen kom ganske tett og fokusgruppeintervjuene burde gjennomføres innen relativt kort tid etter uttestingene. Dette var av både praktiske grunner i forhold til reisevei til noen av skolene og fordi vi antok at det ville bli bedre og mer

omfattende diskusjoner og data om uttestingen var friskt i minne hos elevene. En god side ved dette var at jeg stilte til fokusgruppeintervjuene minst mulig påvirket av det som ble sagt i de andre intervjuene. Jeg stilte de samme spørsmålene i hvert intervju og endret lite på praksisen, noe jeg kanskje ubevisst ville gjort om jeg hadde transkribert intervjuene før jeg hadde gjennomført neste fokusgruppeintervju. Dette var bra når jeg skulle sammenligne dataene fra hvert intervju med hverandre. En ulempe ved at jeg gjorde det på denne måten var at jeg bedre kunne husket ting som ikke blir med på lydopptak, som f.eks. kroppsspråk og hvilke elever som sa hva. Og jeg kunne også oppdaget verdifull informasjon og erfaringer fra et intervju som jeg kunne valgt å dra nytte av til et senere intervju.

3.3.3 Koding – Tematisk analyse av data

Jeg har benyttet tematisk analyse av dataene. Dette er den samme metoden som prosjektet bruker. Tematisk analyse er en metode som organiserer dataene samtidig som den analyserer og rapporterer mønstre i dataene som kan gi oss informasjon (Braun & Clarke, 2006). Metoden stammer fra den veletablerte metoden «content analysis» (innholdsanalyse) (Joffe, 2011), som beskrives av Cohen et al. (2011) som en metode som gjennom koding oppsummerer og rapporterer hovedtrekkene i dataene. Tematisk analyse trenger derimot ikke å være bundet til noe teoretisk rammeverk. Tematisk analyse kan sees på som en blanding av innholdsanalyse slik den er beskrevet av Cohen et al. (2011) og «grounded theory» beskrevet i forbindelse med meningskoding av Kvale og Brinkmann (2009), som legger vekt på åpen koding.

I praksis betydde dette at før jeg begynte å analysere hadde jeg et kodesett med koder basert på

- teori fra generell relativitetsteori
- forskning på studenters begrepsforståelse i møte med generell relativitetsteori
- sosiokulturell læringsteori
- forskning og teori på utforming av undervisningsressurser basert på bruk av IKT og multimedia

Mens jeg kodet datamaterialet mitt dukket nye koder og kodekategorier opp ut fra tendenser og mønstre i materialet. De kodene jeg hadde fra teorien og de kodene som dukket opp underveis, ble så bakt sammen til et *kodesett* av koder og kategorier som jeg brukte for å gå igjennom og systematisere og kode datamaterialet på nytt. Det fine med å benytte seg av tematisk analyse er at man ikke er bundet til å måtte bruke det teoretiske rammeverket, og den kan dermed kombinere en induktiv og deduktiv metode for koding (Braun & Clarke, 2006). Jeg kunne dermed forandre på de kodene jeg startet med og tilpasse dem så de passet sammen med nye koder.

Braun og Clarke (2006) legger vekt på at de kodene som kommer til induktivt, også konstrueres av forskeren og gjennom forskerens valg og at man som forsker må være bevisst dette. For å svare på forskningsspørsmålene mine og finne ut hvilke forandringer som burde gjøres på modulen, trenger jeg et kodesett med koder som gir meg svar på hva som fungerte bra og hva om fungerte dårlig. Men for å forstå dataene og trekke ut noen resultater trenger man også teori og generell forskningslitteratur. Derfor var det viktig å bevisst lete etter mønstre i datamaterialet som kunne brukes til å videreutvikle modulen eller som kunne knyttes til teori. På denne måten kunne, de nye kodene og kategoriene gi resultater som var relevante for oppgaven min. Under nok en gjennomgang av datamaterialet ble det gjort noen siste justeringer på kodesettet før jeg gikk igjennom materialet en siste gang for å kontrollere det jeg hadde kodet.

Det er stor forskjell på det kodesettet jeg startet med og det jeg endte opp med til slutt. Naturlig nok endte jeg opp med en overordnet hovedkategori som het «Utforming av modul». I denne kategorien er det plassert flere koder, som alle har dukket opp induktivt. Noen eksempler er «motivasjon», «eleven faller av på grunn av utformingen av modul» og «forslag til forandringer på modul». De kategoriene jeg startet med er organisert som underkategorier. Kategoriene «ekvivalensprinsippet», «treghetssystemer i generell relativitetsteori» og «krumning av tidrom» er samlet under en kategori som heter «elevers begrepsforståelse». I tillegg er det tilført en kategori som heter «lærerens gjennomføring» og kodene fra teori om IKT i undervisningen er fordelt mellom denne og andre kategorier. Kategorien «multimediateori» inneholder kun koder knyttet til Mayers multimediateori. Kodesettet har altså opp til fire nivåer av kategorier. De underkategoriene som hadde underkategorier fra før av har fortsatt beholdt disse. F.eks. er «elevers begrepsforståelse» en underkategori under «utforming av modul», kategorien «ekvivalensprinsippet» er en underkategori under «elevers

begrepsforståelse» og kategorien «tung og treg masse» er en underkategori under «ekvivalensprinsippet». Det at kodene er organisert under flere slike forskjellige kategorier gjør det enklere å kunne studere og analysere hver kategori for seg og knytte resultatene til den relevante teorien og forskningslitteraturen for denne kategorien. Kodesettet jeg startet med på bakgrunn av teori, er vedlagt i vedlegg C. Det ferdige kodesettet som tilslutt ble brukt av meg og de tre lektorstudentene, er presentert i innledningen til presentasjonen av resultatene fra fokusgruppeintervjuene. Analysen gikk videre ut på å se etter mønstre i datamaterialet om elevenes meninger om forskjellige deler av modulen.

3.3.4 Funn fra fokusgruppene

Fokusgruppeintervjuene ga meg to typer funn; 1) enighet blant flesteparten av elevene og 2) bemerkninger fra enkeltelever. Begge disse typene funn er tatt med som resultater da de begge er like relevante for mitt formål med fokusgruppeintervjuene. Sitatene som er gjengitt er valgt ut først gjennom koding av datamaterialet, og deretter fordi de er antatt å være de mest beskrivende sitatene. De er gjengitt ordrett uten noen form for redigering.

3.3.5 Koding gjort av lektorstudenter på prosjektet

For å studere reliabiliteten i kodingen min, fikk tre lektorstudenter som er tilknyttet prosjektet det endelige kodesettet mitt og de transkriberte lydfile. Deretter kodet de hvert sitt fokusgruppeintervju. Ved å sammenligne antall ganger de forskjellige kodene er blitt brukt av meg og av lektorstudentene, fikk jeg et bilde på hvor godt kodesettet var og hvor godt kodingen min stemte. Generelt var det stor enighet mellom kodingen min og kodingene til studentene, og på de fleste koder var det kun små avvik. Tabell 3.3.4 gir en oversikt over hvor mange koder som hadde et visst avvik i antall ganger de er blitt brukt. Man må være klar over at disse tallene ikke gir et fullstendig bilde av reliabiliteten i og med at avviket også bør sees i sammenheng med totalt antall ganger koden er blitt brukt. Tabellen viser at det var noen koder hvor det var store avvik. Studentene bemerket at de ikke følte seg så trygge på det faglige når det kom til generell relativitetsteori, og at de var usikre på koding knyttet til dette. En del av avvikene i kodingen skyldtes derfor at lektorstudentene kodet feil innenfor dette temaet. Neste skritt ville ha vært at jeg og studentene hadde satt oss ned og snakket om tolkningen av disse kodene. Vi ville da funnet en ny og bedre beskrivelse av kodene og når disse kodene skulle brukes. Deretter måtte vi kodet datamaterialet på nytt. Det har ikke vært

tid til å kunne gjøre dette i denne masteroppgaven. Det var heller ikke så nødvendig å gjøre en slik gjennomgang av kodesettet og kode dataene på nytt, i og med at dette er kvalitative data og det ikke på noen måte er lagt opp til å bruke tallene til noen kvantitativ analyse. Men jeg har merket meg de kodene det har vært store avvik på, og når jeg har analysert har jeg sett nærmere på de sitatene som lektorstudentene og jeg hadde kodet forskjellig.

Tabell 3.3.4: Tabell med oversikt over avvik i bruk av kodene.

Avvik i antall ganger en kode er blitt brukt	Antall koder
0-1	18
2-3	12
4-5	13
6-9	4
10 +	6

3.3.6 Tekniske hjelpemidler i analysen

Jeg har benyttet meg av programmene HyperTranscribe Version 1.6 under transkriberingen og HyperResearch Version 3.7.1 under kodingen av datamaterialet.

Transkripsjonsprogrammet effektiviserte transkriberingen ved at jeg enkelt kunne spille av og repetere sekvenser av lydfilen ved hjelp av enkle tastetrykk mens jeg skrev ned det som ble sagt i et vindu i programmet. Da jeg var ferdig med dette ble teksten kopiert over i et Word-dokument og lagret som en Word-fil. Denne filen kunne jeg så åpne i programmet HyperResearch for å gjennomføre kodingen. Før jeg begynte å kode måtte jeg lage meg en kodebok («Codebook»). Her kunne kodene mine lett organiseres i flere nivåer av kategorier. Kodingen foregikk ved å markere det jeg ville kode og velge hvilken kode jeg ville merke sitatet med. Programmet ga mulighet for å velge ut enkelte koder eller kategorier og studere disse hver for seg. Jeg benyttet meg også av en funksjon kalt «Frequency Report» hvor jeg fikk oversikt over hvor mange ganger hver enkelt kode hadde blitt brukt for å sammenligne min koding med lektorstudentenes koding.

3.4 Troverdighet

3.4.1 Reliabilitet

Som nevnt handler reliabilitet om reproduserbarhet, og som nevnt kan resultater fra kvalitative studier i liten grad reproduseres. Reliabiliteten innebærer en vurdering av i hvilken grad det finnes en sann virkelighet som ville gitt de samme resultatene om noen andre prøvde å reprodusere mitt datamateriale og analysen jeg har gjort av det. Denne reproduserbarheten vil avhenge av analysen (Guttersrud, 2001). Reliabiliteten vil dermed kunne styrkes av at analyseprosessen er godt beskrevet, noe jeg har prøvd å gjøre i dette metodekapittelet. I tillegg har det styrket reliabiliteten at lærerne fikk beskjed om å plukke ut elever på ulike faglige nivå til fokusgruppeintervjuene. Troverdigheten er ytterligere styrket ved at jeg har hatt tre lektorstudenter som har kodet materialet parallelt med meg med mitt kodesett. Jeg har dermed fått en oversikt over hvilke koder som har gitt store avvik i kodingen. Dette har jeg da vært klar over under analysen av resultatene, og jeg kunne studere både mine og studentenes elevsitater for disse kodene.

3.4.2 Validitet

Som nevnt i analyse av kvalitative data er validitet definert i hvilken grad et instrument eller en metode undersøker det den er ment å undersøke. Og siden forskeren selv er forskningsinstrumentet i kvalitativ forskning, har vi en «forskerbias». For å høyne validiteten i dataene mine, hadde jeg hadde mål om å være så nøytral som mulig under fokusgruppeintervjuet. Man bør da tenke gjennom valg av ord og måten man stiller spørsmål på (Kvale & Brinkmann, 2009). Men selv om man har mål om dette, vil det som nevnt alltid være en «forskerbias». Jeg har med meg forkunnskaper og erfaringer som gjør at jeg ikke kan være helt objektiv, og datamaterialet vil være farget av meg og det formålet jeg skal bruke datamaterialet til. Denne påvirkningen vil spille inn under all behandling av datamaterialet både under intervjuet, transkriberingen, kodingen og analysen. Det er i midlertidig en fordel at formuleringen av spørsmålene allerede var bestemt i intervjuguiden. Det styrket også validiteten at jeg har gjort lydopptak og fått med alt som blir sagt ordrett. I tillegg har det at lektorstudentene kodet dataene parallelt med meg, gitt resultatene en større grad av validitet ved å gi mindre mulighet for «forskerbias» i kodingen.

Selv om man prøver å forebygge for «forskerbias» under koding og analyse, kan man likevel ikke se bort fra forskerens påvirkning av resultatet i kvalitative studier. Dette kan stille et spørsmålstegn ved i hvilken grad kvalitative studier kan gi gyldige vitenskapelige resultater. Om man derimot legger vekt på den brede definisjonen av validitet, som går ut på hvor godt en metode måler det den ønsker, argumenterer Kvale og Brinkmann (2009) for at kvalitativ forskning gir gyldige vitenskapelig kunnskap. Ut fra denne brede definisjonen, har mine resultater en stor grad av validitet. Jeg hadde som ønske å studere elevenes subjektive oppfatning av hvordan undervisningsmodulen fungerte, og på bakgrunn av Krueger (1998a) sin beskrivelse av kvalitative data, Cohen et al. (2011) sin beskrivelse av metoden fokusgruppeintervju og spørsmålene i intervjuguiden som ble benyttet vil jeg si at metoden jeg har benyttet meg av i stor grad har målt dette.

Man deler ofte validitetsbegrepet i de to begrepene ytre og indre validitet, også henholdsvis kalt for overførbarhet og pålitelighet i forbindelse med kvalitative studier (Cohen et al., 2011). Kvale og Brinkmann (2009) betegner indre validitet som pålitelighet og gyldighet. I grove trekk omhandler dette det jeg har diskutert om «forskerbias» og hvorvidt metoden man benytter måler det den skal. Ytre validitet innebærer derimot hvorvidt resultatene man får kan generaliseres. Altså i hvilken grad kan de resultatene jeg finner gjennom fokusgruppeintervjuene med noen elever også sies å gjelde for alle norske elever. Fokusgruppetudier benyttes for å få et dypere innblikk i det man studere, som for eksempel motivasjon, oppførsel, følelser og hvordan en mindre gruppe mennesker tenker (Krueger, 1998a). Meningen med en slik studie er med andre ord ikke å finne generelt gyldige resultater, og det har jeg heller ikke vært ute etter i denne oppgaven. Et undervisningsopplegg vil alltid kunne fungere forskjellig fra klasse til klasse avhengig av både lærere og elever og faktorer som tid, forkunnskaper osv. Jeg vil dermed si at mine resultater ikke er generelt generaliserbare og gyldige i et hvert klasserom. Likevel mener jeg at mine funn, basert på tre forskjellige uttestinger, kan brukes til forbedring av undervisningsmodulen. Jeg har også funnet støtte for resultatene mine i veletablert læringsteori og annen forskningslitteratur.

4 Resultater

4.1 Første utgave av undervisningsmodulen

Læreplanmålet som inkluderer generell relativitetsteori sier at elevene skal kunne *gi en kvalitativ beskrivelse av den generelle relativitetsteorien*. Dette læreplanmålet er veldig åpent. Det er vanskelig å vite hvilke temaer man skal ta tak i, hvor dypt man skal gå inn i teorien og hvordan strukturen på modulen skal være. Jeg startet derfor med å studere hvordan de to lærebøkene Ergo og Rom Stoff Tid har valgt å tolke læreplanmålet. Jeg laget meg så en oversikt over hva de har valgt å ta med og på hvilken måte de har valgt å presentere teorien.

Før jeg begynte å lage et førsteutkast til undervisningsmodulen, hadde prosjektet et seminar med lærerne fra de tre samarbeidsskolene. Under dette seminaret holdt professor Øyvind Grøn et foredrag. Han underviser introduksjonsemnet til generell relativitetsteori på UiO, og presenterte et foredrag med temaer som han anbefalte å ha med i modulen. I tillegg hadde vi også besøk av Martin Hendry, professor i gravitasjonell astrofysikk fra universitetet i Glasgow. Som nevnt i innledningen er første og andre års studenter ved universitetet i Skottland omtrent samme årsgruppe som norske elever som tar fysikk 2 (The General Teaching Council for Scotland, 2015). Skottland inkluderer også generell relativitetsteori i læreplanen for andre års studenter ved universitetet på en kvalitativ måte. Vi kan derfor i stor grad dra nytte av å se på undervisningen i Skottland og kravene som settes i den skotske læreplanen. Hendry presenterte hvilke krav læreplanen i Skottland stiller til studentene innenfor generell relativitetsteori. I tillegg presenterte han mange eksempler på undervisningsstoff og oppgaver fra universitetsemnet i Glasgow. På slutten av seminaret ble det arrangert en idémyldring hvor lærerne, professorene og folk fra prosjektet ble blandet og fordelt på fire grupper. Her fikk jeg mange gode forslag til stoff, oppgaver og illustrasjoner som burde tas med og ting som burde utelukkes. Jeg fikk også gode tips om praktiske og tekniske detaljer og erfaringer fra utprøving av undervisningsmodulen som prosjektet har laget i kvantefysikk.

Med utgangspunkt i resultatene fra denne idémyldringen, materiale fra Øyvind Grøn og Martin Hendry og materiale fra lærebøkene, formet jeg en struktur på modulen med de temaene som utpekte seg til å være med og forslag til hvordan disse temaene skulle presenteres. Dette ble så gjennomgått i en arbeidsøkt med forskergruppen hvor jeg fikk

tilbakemeldinger og vi gjorde redigeringer. Denne tilbakemeldingen brukte jeg sammen med det jeg hadde funnet og lest av forskningslitteratur til videre utformingen av modulen. Forskningslitteraturen er presentert i teorikapittelet. Før jeg kom fram til den ferdige undervisningsmodulen som ble testet ut i klassene, hadde jeg til sammen fire slike arbeidsøker med folk fra forskningsgruppen. Jeg har dermed fått mye tilbakemeldinger fra forskergruppen underveis som jeg har brukt til å utvikle og forbedre modulen. Det var dessverre ikke tid til å få programmert modulen inn i vitenplattformen før uttestingen. Vi måtte dermed teste den ut som en lysarkpresentasjon. Dette gjorde at vi dessverre ikke fikk testet ut idéene vi hadde til interaktive oppgaver i modulen, men elevene fikk gjennomført diskusjons- og skriveoppgavene.

Fra observasjoner gjort under første uttesting på skole 1 ble det gjort noen redigeringer før de to neste uttestingene på skole 2 og skole 3. Dette var for det meste ordformuleringer og noen skrivefeil. I tillegg fikk vi lagt inn en film om gravitasjonslensing i den versjonen som ble testet ut på de to siste skolene. Den siste versjonen av modulen er lagt med som vedlegg A. Det ble også holdt et prosjektseminar med lærerne fra samarbeidsskolene etter uttesting på skole 1. På dette seminaret holdt jeg et lite foredrag og presenterte modulen og forklarte hva jeg og forskergruppen hadde tenkt, hvilke intensjoner vi hadde med det forskjellige stoffet og hvilke begreper vi trakk fram som sentrale.

4.1.1 Valg gjort på bakgrunn av teori og tidligere forskningslitteratur om undervisning i generell relativitetsteori

Mange av valgene som ble gjort under utformingen av det første utkastet av modulen er tatt på bakgrunn av teori og tidligere forskningslitteratur på undervisning innen generell relativitetsteori. Kanskje det viktigste valget som ble tatt, var vinklingen av hele modulen. Spørsmålene jeg stilte meg før jeg begynte å utforme et første utkast til modulen var: Hva handler den generelle relativitetsteorien egentlig om? Hva er det viktigste å formidle og trekke fram?

Som Wald (2006) trekker fram har den generelle relativitetsteorien sin opprinnelse fra Einsteins forsøk på å formulere en teori om gravitasjon som stemte overens med hans ideer fra spesiell relativitetsteori. Einstein endte så opp med en teori hvor gravitasjon ikke er en kraft slik det er i Newtons teori. Ifølge Einsteins teori er gravitasjon i stedet en konsekvens av forandring i tidrommets struktur som gjør at observatører i treghetssystemer akselererer relativt

i forhold til hverandre. Den generelle relativitetsteorien er altså en ny teori for gravitasjon, og dette ble vi enige om at måtte være det viktigste å formidle. Dette budskapet er derfor det første elevene møter i innledningen av modulen og det er videre en rød tråd gjennom resten av undervisningsmodulen. Det at vinklingen av modulen er i tråd med teoriens historiske opprinnelse passer også bra med prosjektets mål om å inkludere historiske aspekter i undervisningen.

Når man leser om generell relativitetsteori, kan det virke som at det teorien virkelig handler om kommer i skyggen av forklaringer om ekvivalensprinsippet og relativitetsprinsippet, og fenomener som f.eks. gravitasjonell rødforskyvning og bøyning av lys i gravitasjonsfelt. I utgangspunktet er alt dette en konsekvens av tidrommets krumning. Wald (2006) hevder at det at egenskapene til tid og rom er knyttet sammen og at forholdet mellom rom og tid påvirkes av masse, er noe av det mest sentrale i hele teorien. Det er vanskelig å ha en dyp forståelse av alt den generelle relativitetsteorien har å by på uten å forstå hva krumning av tidrom går ut på. På bakgrunn av dette har vi valgt å fokusere på å gi elevene en god forståelse av krumning av tidrom. For å få til dette innførte vi begrepene tidrom og geodet som er grunnleggende begreper for å forstå krumning av tidrom og hvordan tidrommets krumning påvirker bevegelsen til masser i tidrommet. Vi tok også med en praktisk oppgave hvor elevene får utforske avstand og linjer på krumme flater. Tanken med denne oppgaven var gi elevene en illustrasjon av dynamikken i krumt tidrom, ved å trekke en parallell mellom rette linjer på krumme flater og geodeter i krumt tidrom.

Både Wald (2006) og Bandyopadhyay og Kumar (2011) beskriver ekvivalensprinsippet som det prinsippet som hele den generelle relativitetsteorien er bygget på. Som nevnt i teoridelen til denne oppgaven, gjorde dette det mulig for Einstein å generalisere det generelle relativitetsprinsippet til også å gjelde akselererte systemer. Dette var veldig sentralt og nødvendig for å komme fram til teorien om krumt tidrom. Grunnlaget for ekvivalensprinsippet er at den gravitasjonelle akselerasjonen er uavhengig av massen. Einstein har selv beskrevet det øyeblikket hvor han innså dette som et stort gjennombrudd. I senere tid har han kalt det for sin lykkeligste tanke. Ekvivalensprinsippet og grunnlaget for dette er dermed sentralt i generell relativitetsteori i et historisk perspektiv. Samtidig er det også viktig for å kunne forstå andre elementer av teorien, som at gravitasjon ikke er en kraft, treghetssystemer i generell relativitetsteori og det generelle relativitetsprinsippet. På bakgrunn

av dette så vi på det som viktig at elevene fikk en god forståelse av hva ekvivalensprinsippet innebærer og inkluderte dette i undervisningsmodulen.

Bandyopadhyay og Kumar (2010) hevder at en god forståelse av ekvivalensprinsippet betyr at man kan se sammenhengen mellom det at tung og treg masse er like store og ekvivalensprinsippet. Ifølge Newtons teori er det ingen grunn for at tung og treg masse skal være like store. Dette er to størrelser som beskriver to forskjellige fysiske fenomener og som tilsynelatende tilfeldigvis alltid ser ut til å være like store i eksperimenter. Einsteins ekvivalensprinsipp gir en forklaring på hvorfor det er slik. Læreboken Ergo utleder ekvivalensprinsippet ved å starte med det eksperimentelt verifiserte faktum at tung og treg masse er like store. Bandyopadhyay og Kumar (2010) hevder at for å ha en dyp forståelse av ekvivalensprinsippet må man også kunne se at man fint kan føre utledningen «motsatt vei». Man kan også utlede at tung og treg masse må ha lik størrelse fra ekvivalensprinsippet og det faktum at den gravitasjonelle akselerasjonen er uavhengig av størrelsen på massen. Vi valgte derfor denne måten å presentere sammenhengen mellom tung og treg masse og ekvivalensprinsippet på i undervisningsmodulen.

Treghetssystemer er et annet viktig begrep vi har valgt å ta med. Når man skal gjøre beregninger både i spesiell og generell relativitetsteori, er det sentralt å forstå dette begrepet. Treghetssystemer er definert som systemer hvor Newtons 1. lov er oppfylt. I spesiell relativitetsteori er dette systemer som beveger seg med konstant fart i forhold til hverandre, mens i generell relativitetsteori blir de fritt fallende treghetssystemer. Denne omstillingen beskrives av Bandyopadhyay og Kumar som den viktigste kognitive omstillingen elevene må igjennom i møtet med generell relativitetsteori. Uten å klare å se og forstå denne forandringen, er det vanskelig å se teorien som en helhet. En god forståelse av treghetssystemer i generell relativitetsteori vil kunne gi elevene mulighet til å knytte teorien om krumning av tidrom sammen med ekvivalensprinsippet (Bandyopadhyay & Kumar, 2011).

Resten av det teoretiske innholdet i modulen er valgt på bakgrunn av idemyldring på prosjektseminaret, tips fra Øyvind Grøn og Martin Hendry og etter inspirasjon fra lærebøkene. Her kom det fram meninger om at fenomenene gravitasjonell bøyning av lys, tidsforlengelse og rødforskyvning er både motiverende og interessant stoff. Som Imsen (2005) hevder, er indre motivasjon idealet for en læringssituasjon og med å inkludere disse spennende og interessante temaene håpet vi på å kunne skape indre motivasjon hos elevene.

Jeg mener at den gravitasjonelle relativitetsteorien er veldig interessant og spennende i seg selv, men det er klart at det å se hvilke fenomener og konsekvenser vi får av krumning av tidrom er enda mer fascinerende og spennende. Vi tenkte at mystikken rundt fenomener som gravitasjonell tidsforlengelse og rødforskyvning kunne skape en form for indre motivasjon hos begge kjønn.

For å inkludere historiske aspekter har vi valgt å ta med stoff om solformørkelsen i 1919. Vi så på dette som en viktig historisk hendelse, i og med at det var den første bekræftelsen på at Einsteins teori stemte og et vendepunktet i Einsteins karriere. For å gjøre teorien relevant for elevenes hverdag og for å inkludere teknologiske aspekter er det også tatt med en del om GPS-systemet. Ved å inkludere et slikt praktisk og teknologisk eksempel håpet vi å fange guttenes interesse i tråd med resultater fra ROSE-prosjektet (Sjøberg, 2009). For å fange jentenes interesse og oppfylle mål om å gi elevene mulighet til å se fagstoffet i et filosofisk perspektiv, prøvde vi å lage noen oppgaver med et mer filosofisk preg.

4.1.2 En undervisningsmodul med vekt på bruk av språket

Modulene ble utviklet med bakgrunn i Vygotskijs sosiokulturelle læringssyn om at læring oppstår gjennom bruk av språket og i en kontekst og samspill med andre mennesker. Angell et al. (2011) påpeker at om man skal lære seg fysikkens språk og begreper er man også nødt til å praktisere språket. Undervisningsmodulen måtte med andre ord oppmuntre elevene til å bruke språket under læringsprosessen, både muntlig og skriftlig. Dette resulterte i at det er en god del diskusjons- og skriveoppgaver i modulen. Vi ville med dette at elevene skulle få mulighet til å bruke språket og at de må tenke og formulere seg ved å bruke fysikkens begreper. Mork og Erlien (2010) foreslår også at små skriveoppgaver hvor elevene selv må formulere definisjoner og begreper, er fin måte å jobbe med begreper på. Vi benyttet oss blant annet av to slike oppgaver om gravitasjon. En i starten av modulen for å vekke forkunnskaper og for å få elevene til å tenke over hva gravitasjon er. Og en til slutt i modulen for å få elevene til å tenke over begrepet gravitasjon i lys av det nye de har lært.

I de fleste av diskusjonsoppgavene skal elevene jobbe i par i tråd med Vygotskij (1978) sin teori om den proksimale utviklingssonen. Valget om at elevene skulle jobbe i par istedenfor tre og tre, ble gjort på bakgrunn av tips fra lærere på prosjektseminaret. Lærerne hevdet at det ofte er en tendens at en av elevene kan melde seg ut av diskusjonen om det er en diskusjon mellom tre eller flere elever. Når elevene diskuterer i par er derimot alle elevene nødt til å si

noe. Dette kan også støttes av erfaringer som prosjektet gjorde under utviklingen av kvantefysikkmodulen. Det viste seg der at de beste diskusjonene ofte var mellom de som diskuterte i par.

4.1.3 Bruk av multimediateori og tips til lærerne om hvordan bruke modulen i undervisningen

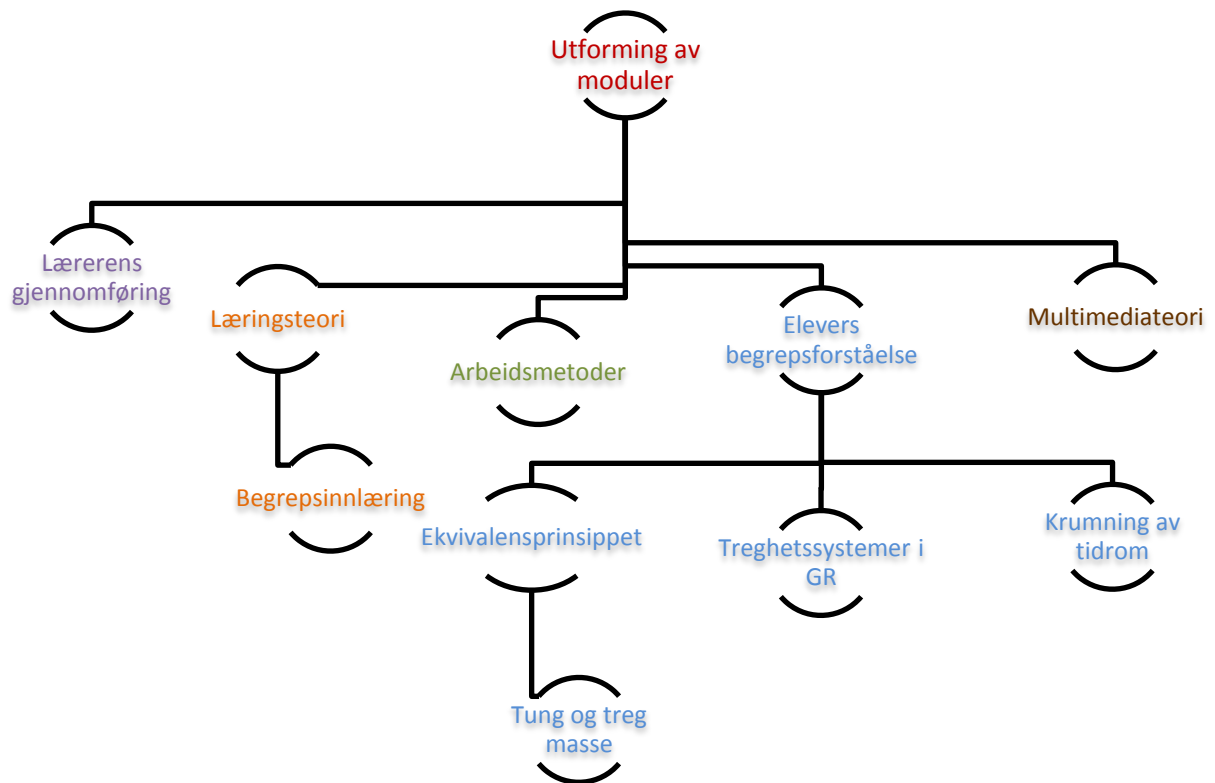
Undervisningsmodulen er multimediasert og flere grep er gjort med tanke på funn i Mayers multimediateori. Vi fikk laget to filmer. En med professor Øyvind Grøn og en med en forsker ved UiO som heter Marit Sandstad. De forklarte deler av materialet om gravitasjonslensing og gravitasjonell rødforskyvning. Tanken var å presentere deler av materialet både auditivt og visuelt slik det er anbefalt av Mayer (2002). Vi prøvde også å forenkle tekstene og forklare fenomenene uten å innføre for mange nye og vanskelige begreper i tråd med Mayers «Coherence effect» og «Personalization principle». Vi har for eksempel valgt å utelate mange av begrepene som læreboken Rom Stoff Tid bruker i sin presentasjon av den generelle relativitetsteorien. Vi prøvde også i stor grad å ha med illustrative og forklarende bilder til alle temaene som ble presentert for å oppnå en «multimedia effect». I tillegg sørget vi for at bildene var plassert nær den teksten som bildet hørte til («spatial effect»).

Under presentasjonen av modulen på det prosjektseminaret som ble holdt før utprøvingen av modulen på skole 2 og 3, la jeg vekt på at denne undervisningsmodulen ikke er et eget frittstående undervisningsopplegg, men at læreren har en sentral rolle i bruken av modulen. Jeg framhevet også hvilke faglige begreper vi mente var de viktigste, mest sentrale og kanskje de vanskeligste begrepene. Lærerne ble rådet til å gå igjennom dette i plenum med elevene, slik Mork og Erlien (2010) anbefaler når de skriver om bruk av vitenprogrammer.

4.2 Resultater fra fokusgruppeintervju

Resultatene blir i denne delen av oppgaven framstilt bolkevis etter kategoriene «utforming av modul», «arbeidsmetoder», «lærerens gjennomføring», «multimedia» og «elevenes begrepsforståelse». Disse kategoriene finner man igjen i figur 4.2 som gir en oversikt over alle kategoriene i kodesettet. Det er mange sitater som er blitt kodet med flere koder fra samme kategori, og da vil en slik presentasjon av resultatene gi en bedre oversikt over funnene enn om funnene for hver kode hadde blitt presentert for seg. På denne måten kommer

også sammenhengen mellom funnene for kodene innen en kategori tydeligere fram. Sammenhenger mellom funn i de forskjellige kategoriene vil bli diskutert og presentert i lys av relevant teori i diskusjonsdelen. For likevel å kunne gi leseren et dypere innblikk i hva hver kategori innebærer, vil jeg presentere alle kodene og en liten forklaring om kjennetegn for hver kode.



Figur 4.2: Oversikt over kategoriene i kodesettet.

4.2.1 Oversikt over kodene og kategoriene i kodesettet

Koder i kategorien **Utforming av moduler:**

Motivasjon: Eleven snakker om noe konkret som gjorde at han/hun følte seg mer eller mindre motivert.

Variert/annerledes undervisning: Eleven snakker om at opplegget skiller seg fra den undervisningen de er vant med.

Forandringer: Eleven kommer med forslag til forandringer.

Inntrykk: Eleven snakker om inntrykk han/hun sitter igjen med av undervisningsmodulen. Forteller generelt om hvordan det har vært å jobbe med modulen.

Inntrykk fra annen undervisning: Eleven forteller om inntrykk han/hun har fra annen undervisning som han/hun husker bedre enn materiale fra undervisningsmodulen i generell relativitetsteori.

Aha-opplevelse: Eleven snakker om noe (f.eks. et bilde, en oppgave, en film) hvor det gikk opp et lys for eleven og han/hun fikk en aha-opplevelse.

Vanskelig: Eleven uttrykker at et tema eller noe ved modulen var vanskelig.

Følt læringsutbytte: Eleven forteller om han/hun føler å ha lært/ikke lært noe av modulen.

Faller av pga. utformingen av modulen: Eleven forteller at han/hun faller av og følger ikke med på grunn av hvordan modulen er utformet.

Fysikkens egenart: Eleven viser innsikt i fysikkens egenart.

Koder i kategorien Lærerens gjennomføring:

Faller av pga. lærerens gjennomføring: Eleven forteller han/hun faller av og følger ikke med på grunn av hvordan læreren gjennomfører undervisningen.

Etterlyser forberedelse: Eleven etterlyser å ha mer forberedelse før gjennomføring av undervisningsmodulen (f.eks. gjennomgang av begreper, lese i boka).

Etterlyser støtte: Eleven etterlyser å få mer støtte fra læreren underveis i undervisningsmodulen.

Koder i kategorien Læringsteori:

Den proksimale utviklingssonen: Eleven snakker om noe som kan knyttes til Vygotskij's teori om den proksimale utviklingssonen. Forteller at han/hun lærer mer i samarbeid med andre elever.

Språk i læringsprosessen: Eleven snakker om det å lære gjennom å bruke språket ved å snakke eller skrive.

Koder i underkategorien **Begrepsinnlæring:**

Begrepsforståelse: Eleven snakker om forståelse av ideer, prinsipper og forestillinger.

Abstrakt begrep: Eleven synes det er vanskelig å forstå begrep fordi det ikke kan knyttes til hverdagserfaringer.

Mangler forståelse av andre begreper: Eleven forstår ikke et begrep fordi han/hun ikke forstår andre grunnleggende begreper.

Koder i kategorien **Multimediateori:**

Multimediapresentasjon: Eleven snakker som om presentasjonen av stoffet gjennom multimedia. Snakker om hvordan materialet kommer fram gjennom ord og bilder (ord kan i denne definisjonen være skriftlige eller lyd/tale).

Visualisering: Eleven nevner materiale som han/hun føler hjalp dem å forstå begreper fra den generelle relativitetsteorien bedre gjennom visualisering.

Koder i kategorien **Arbeidsmetoder:**

Plenumsdiskusjoner: Eleven snakker om plenumsdiskusjoner.

Interaktive oppgaver: Eleven snakker om interaktive oppgaver.

Jobbe individuelt: Eleven snakker om å jobbe individuelt.

Jobbe i par: Eleven snakker om å jobbe i par.

Jobbe i grupper: Eleven snakker om å jobbe i grupper.

Diskusjonsoppgaver: Eleven snakker om å jobbe med diskusjonsoppgaver.

Praktiske oppgaver: Eleven snakker om praktiske oppgaver.

Skriveoppgaver: Eleven snakker om skriveoppgaver.

Tenking/refleksjon: Eleven snakker om å tenke og reflektere over faget og begrepene.

Tavleundervisning: Eleven snakker om tavleundervisning.

Koder i kategorien **Elevers begrepsforståelse:**

Faglige refleksjoner: Eleven reflekterer over faglig innhold i GR-modulen.

Mangler forkunnskap: Eleven sier eller viser at han/hun mangler forkunnskaper.

Husker ikke/forsto ikke: Eleven husker ikke et tema/begrep som blir nevnt eller forsto det ikke.

Forståelse for andre tema i GR: Eleven viser forståelse for andre temaer og begreper i generell relativitetsteori.

Misoppfatning: Eleven viser at han/hun har laget seg en misoppfatning av et tema/begrep i GR.

Koder i underkategorien Ekvivalensprinsippet:

Beskriver ekvivalensprinsippet: Eleven kan greit beskrive hva ekvivalensprinsippet går ut på: Det å være i et akselerert system er ekvivalent med å være i et gravitasjonsfelt.

Dypere forståelse av ekvivalensprinsippet: Eleven viser dypere forståelse for ekvivalensprinsippet ved å se sammenhengen mellom at tung og treg masse er lik og ekvivalensprinsippet, eller ser at fysikkens lover må være dem samme om du enten er akselerert eller påvirket av et gravitasjonsfelt.

Mangelfull forståelse av ekvivalensprinsippet: Eleven er inne på noe men viser ikke full forståelse av begrepet.

Koder i underkategorien tung og treg masse:

Forkunnskaper tung og treg masse: Eleven forteller om hva han/hun visste om tung og treg masse fra før GR-modulen.

God forståelse av tung masse: Eleven viser god forståelse av tung masse: tung masse er proporsjonalitetskonstant til en tiltrekkende kraft. Den er som ladning i et elektrisk felt.

God forståelse av treg masse: Treg masse forteller oss hvordan masse gjør motstand mot akselerasjon.

Mangelfull forståelse av tung og treg masse: Eleven er inne på noe men viser ikke full forståelse av begrepet.

Koder i underkategorien Treghetssystemer i GR:

Beskriver treghetssystemer i GR: Eleven kan beskrive treghetssystemer i generell relativitetsteori: Treghetssystemer i generell relativitetsteori er fritt fallende systemer.

Dypere forståelse av treghetssystemer i GR: Eleven kan forklare hvorfor treghetssystemer i generell relativitetsteori er fritt fallende ved at Newtons 1. lov er oppfylt og at gravitasjon ikke lengre er en kraft.

Mangelfull forståelse av treghetssystemer i GR: Eleven er inne på noe men viser ikke full forståelse av begrepet treghetssystemer i generell relativitetsteori.

Treghetssystemer i SR: Eleven snakker om eller viser at han/hun tenker i tråd med treghetssystemer i spesiell relativitetsteori.

Koder i underkategorien Krumnings av tidrom:

Beskriver krumning av tidrom: Eleven kan beskrive fenomenet krumning av tidrom: Masse krummer rommet rundt seg som en tung ball på en trampoline.

Dypere forståelse av krumning av tidrom: Eleven forstår begrepet tidrom som noe firedimensjonalt og skjønner at all masse (både store og små) krummer tidrommet og tidrommet forteller hvordan massen skal bevege seg. Skjønner at den korteste veien i krumt rom ikke er rette linjer og skjønner at det er dette som gjør at planetene beveger seg i ellipsebaner rundt sola, at treghetssystemer er fritt fallende og lys bøyer seg rundt massive legemer.

Beskriver gravitasjon i GR: Eleven kan beskrive gravitasjon ved at gravitasjon er ikke er en kraft.

Dypere forståelse av gravitasjon i GR: Eleven forstår at gravitasjon er en effekt vi observerer som konsekvens av krumt tidrom dersom vi er i et akselerert system og ikke er fritt fallende.

Mangelfull forståelse av gravitasjon og krumt tidrom: Eleven er inne på noe men viser ikke full forståelse av begrepene.

Newtons gravitasjonsteori: Eleven snakker om eller viser at han/hun tenker i tråd med Newtons gravitasjonsteori.

Nesten samtlige av disse kodene har gitt meg relevante funn for denne oppgaven. Jeg gjorde derimot også noen funn som jeg ikke har valgt å studere nærmere. Grunnen er at disse funnene ikke er så sentrale for min oppgave og min problemstilling. De kodene jeg dermed har valgt å utelukke fra resultatene i oppgaven er «Fysikkfagets egenart», «tenking/refleksjon», «Faglige refleksjoner» og «Forståelse av andre temaer i GR». Jeg kan bekrefte at jeg blant annet gjorde flere funn av både god forståelse og misoppfatninger av fenomenene gravitasjonell rødforskyvning, gravitasjonell tidsforsinkelse og bøyning av lys i gravitasjonsfelt. Jeg gjorde også funn på god forståelse av fysikkfagets egenart hos noen enkeltelever. Koden «tenking/refleksjon» ble utelatt på grunn av at den i utgangspunktet ikke er noen spesifikk arbeidsmetode, og siden funnene for denne koden også diskuteres i forbindelse med flere koder i kategorien «læringsteorier».

4.2.2 Lærernes gjennomføring av undervisningen

De tre lærerne som brukte undervisningsmodulen, brukte den på tre veldig forskjellige måter. Dette vet jeg både fra egen observasjon av de fleste utprøvingene av modulen og ellers gjennom loggføringen av observasjonsdata fra prosjektet. Læreren til fokusgruppe 1 brukte modulen som et helt frittstående undervisningsopplegg og hadde liten grad av lærerstyring. Elevene jobbet med modulen i par i hvert sitt tempo. De benyttet seg ikke av læreboken verken til forberedelse eller under arbeidet med modulen. Læreren gikk for det meste rundt og svarte på spørsmål og gjennomgikk kun noe av stoffet på tavlen. Læreren til fokusgruppe 2 passet på at elevene gikk fram med samme tempo. Læreren gikk igjennom hele opplegget felles på projektor, og underveis fikk elevene gjøre de forskjellige oppgavene to og to når læreren ga beskjed om det. Etter at elevene hadde diskutert, gikk læreren igjennom det de hadde diskutert i plenum. Slik kom elevene sammen fram til svarene på diskusjonsoppgavene. Det er ikke blitt gjort noe observasjon av læreren til fokusgruppe 3, men jeg har vært i samtale med denne læreren og fikk vite at læreren hadde en høy grad av lærerstyring. Læreren sa at elevene gikk igjennom modulen i samme tempo. Læreren ga hele tiden beskjed om hvilke slides på lysarkpresentasjonen elevene skulle lese og hvilke oppgaver de skulle gjøre. Elevene jobbet dermed hele tiden to og to med modulen, og det var lite av undervisningen som foregikk i plenum. Læreren opplyste også at elevene hadde hatt i lekse å lese kapittelet om generell relativitetsteori før uttestingen av modulen.

4.2.3 Hva sier elevene om modulen?

I dette avsnittet presenteres resultatene av de kodene som direkte kan knyttes til utformingen av modulen og som var plassert under hovedkategorien “Utforming av modul” (se figur 4.2). Generelt virker det som at elevene i alle fokusgruppene hadde et positiv inntrykk av undervisningsopplegget. De syntes det var lærerikt, men at det også var litt knapt med tid. Ellers er det også en felles oppfatning at teorien var vanskelig. Flere beskrev det som at teorien «var litt vanskelig å se for seg». Elevene sa at de også følte at teorien snudde om på mye av det de hadde lært tidligere i faget.

«Moderator: Først så starter jeg da bare med et åpningsspørsmål og spør hvordan syns dere det har vært å jobbe med generell relativitetsteori?»

E1: Lærerikt

Moderator: Lærerikt?

E2: Vel det var veldig forvirrende i starten det må jeg si.

E3: Bare i starten? Det er liksom (...) alle disse lovene, alle disse tingene du trodde du visste, nei alt er feil.»

I et utsagn fra en elev kom det fram at hun syntes det var litt press å måtte ta opptak av svarene i diskusjonsoppgavene fordi hun var redd for å si noe feil. Det kom også fram at en annen elev syntes at opplegget virket litt uoversiktlig.

«Det var fint med noe nytt i hvertfall, men også at det var litt vanskelig å henge med da. Fordi jeg følte litt at presentasjonen var på en måte litt uoversiktlig.»

Denne eleven var med i fokusgruppe 1 og følte at han ikke hadde lært så mye. Det begrunnet han med at han følte at han ikke hadde den bakgrunnskunnskapen som trengtes og at undervisningsopplegget var uoversiktlig. Han savnet noe som gjorde at han husket det han hadde lest bedre.

«Det kommer liksom tilbake til det med at jeg synes kanskje det var litt uoversiktlig. Jeg klarte liksom ikke å koble sammen (...) det jeg hadde lest ble på en måte glemt.»

I fokusgruppe 2 var det litt blandede følelser i forhold til læringsutbyttet av undervisningsopplegget. Noen av elevene syntes de hadde lært mye, mens andre følte at de ikke hadde fått med seg så mye.

FG2: «Jeg skal være helt ærlig å si at når læreren snakker på tavla så pleier jeg ikke følge helt med. Nå har jeg faktisk lært noe, så jeg har fulgt mer med enn vanlig. Så ja, der er mer læringsutbytte enn vanlig tror jeg.»

FG2: «Ehm, helt ærlig egentlig ikke fordi jeg vet jeg må hjem å lese mye mer fordi jeg ikke helt skjønnte poenget og syntes det var litt vanskelig å følge med.»

I fokusgruppe 3 er inntrykket at elevene følte de hadde lært mye, og en elev nevner bl.a. at han lærte mye av oppgave 2 (Se figur 4.2.3).

FG3: «Nei, det er jo blitt nevnt, men det huset uten vinduer. Det var jo ganske det er kanskje det eksempelet jeg husker best da på en måte. Så det må jeg helt klart si var en veldig bra måte å lære det på da.»

Denne oppgaven ble diskutert mye i fokusgruppe 3, og flere sa de fikk en aha-opplevelse av å diskutere denne oppgaven. Andre ting som kom fram i fokusgruppe 2 og 3 var at elevene fikk en aha-opplevelse knyttet til hvordan tiden er relativ i forhold til hvor man befinner seg i et gravitasjonsfelt. I fokusgruppe 1 var det derimot ingen av elevene som ga uttrykk for noen spesielle aha-opplevelser.

VITEN

Diskuter i par:

Se for deg at du befinner deg i et rom som er lydtett og uten vinduer. Du får høre at rommet akselererer med $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ og er langt fra andre himmellegemer. Hva slags eksperimenter kan du gjøre inni rommet for å finne ut om dette er sant?

Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren

The slide features two illustrations: on the left, a small white cube with a person inside sits on a patch of grass next to a tree; on the right, a similar cube is shown inside a dark blue sphere representing a planet, with a red arrow pointing upwards and the text '9.8 m/s²' next to it.

Figur 4.2.3: Oppgave som ga elevene i fokusgruppe 3 en aha-opplevelse og som de syntes lærerik.

Det var helt tydelig i alle fokusgruppene at elevene karakteriserte undervisningsopplegget som «annerledes enn vanlig undervisning». Elevene hevdet at det var uvant å snakke og skrive så mye. Men de følte også at de fikk reflektert mer og at de fikk mulighet til å forstå teorien bedre enn ved vanlig undervisning, og dette var de positive til.

«Ja, den metoden vi brukte nå var litt spesiell syns jeg i forhold til hvordan vi vanligvis ville hadde gått fram ehh sånn som vi gjorde i timene, litt mer tenking i forhold til hva (...) litt hittil i faget har det vært mye oppgaver og litt lite tenking mer liksom å gjøre oppgaver. Det var fint at det var noe nytt i hvertfall.»

I samtlige fokusgrupper var elevene enig om at det er motiverende med ny og annerledes undervisning. Elevene syntes også det var motiverende å jobbe to og to der de kunne diskutere og reflektere over sin forståelse. De kommenterte at de praktiske oppgavene var motiverende.

«E: I tillegg var det jo en litt ny måte å lære på så det ble litt annerledes enn det du var vant til da og da blir det litt mer interessant og litt mer motiverende da syns jeg.

Moderator: Ja, folk nikker på hodet. Er dere enige?

Elevene: Ja (nikker).»

«Men også i tillegg når vi hadde disse diskusjonen og at vi snakker sammen, da går tiden mye fortere. Man slipper den kjedelige ventetiden på at friminuttene skal komme da.»

«Også syns jeg det var morsomt at vi hadde litt at det var litt praktiske ting vi gjorde også. Sånn som den med den ballongen og potetgull og sånt.»

Det var flere enkeltelever som hadde meninger om konkrete ting som de syntes var motiverende. En elev syntes det var morsomt å lære om en teori som er så kjent, mens en annen elev følte det var motiverende å få vite litt uvanlige og forbløffende ting. En siste elev mente det ville vært motiverende med poengscore og konkurranse innad i klassen.

«Det er kanskje litt mer interessant når man lærer dette her siden der er ganske kjent. Sånn Einsteins $E=mc^2$ og sånt, og jeg har hørt om det før. Nå vet jeg hva det betyr.»

«E: Ja, jeg liker også at det for eksempel er litt uvanlige opplysninger man også får vite da eller litt forbløffende ting kanskje litt utenom det vanlige som man kanskje får vite om. Det synes jeg er morsomt.»

En del av elevene syntes teorien i seg selv var motiverende av forskjellige grunner.

«Det er litt vanskeligere enn det andre vi har hatt, de andre temaene vi har hatt i fysikken. Men ja, det gjør det jo interessant og.»

«Ja det var faktisk ganske morsomt å lære om treghetssystemer og hvorvidt man kan bestemme om man akselererer, er i konstant fart eller står stille. Det var litt morsomt å eh ja tenke på da.»

Det var en felles oppfatning blant elevene at teorien var vanskelig. Noen elever syntes dette var demotiverende. Konkrete temaer som ble dratt fram av enkeltelever var krumning av tidrom og ekvivalensprinsippet. En elev nevnte også at han syntes det var vanskelig å skulle snakke så mye.

«E1: Den der med krumning av tidrom, det syns jeg var vanskelig å skjønne.

E2: Gravitasjon og tidrom henger sammen på den måten at blir jo trukket til men samtidig er det en kraft som dytter fra og opp som gjør at vi ikke faller fra, men vi forsvinner jo ikke heller så det er tidrommet som holder oss nede på jorda.

Moderator: Mhm, flere som vil si noe?

E3: Det høres helt gresk ut for meg ass.»

Det var flere grunner enn vanskelig teori som gjorde at elevene slet med å henge med. Flere uttalelser fra enkeltelever viste at de falt av på grunn av selve utformingen av modulen. Som sagt falt en elev av på grunn av at han følte at opplegget var uoversiktlig. En annen elev nevnte at han husker at han forsto hvorfor tung og treg masse måtte være like store. Men på grunn av utformingen av modulen virket det ikke som det var så viktig å huske det, så han glemte det og husket bare at sånn var det. Også var det en elev som mente han falt av på grunn av parsammensetningen og at de måtte jobbe i par:

«Selv om jeg (...) litt større grupper ikke bare to og to men kanskje fire og fire, det hadde vært bedre. For hvis den andre ikke kan så mye også gidder den ikke da er man så får man ikke gjort så mye selv heller. Så men hvis det er større grupper så blir det bedre.»

Under intervjuet kom det også fram en del forslag til forandringer. I fokusgruppe 1 og 3 etterlyste elevene en eller annen form for støtte. De savnet noe som kunne gjort det enklere å gjøre skrive- og diskusjonsoppgavene, og gi dem bekreftelse på hva som var riktig eller feil.

FG1: «Ehh, det som er veldig viktig er at vi får med oss informasjonen og det er viktig at det er organisert sånn at vi klarer å prosessere informasjonen vi får da og liksom huske det og bruke det og jeg vet ikke helt hvordan man kan endre på så man kan få det til da så, men ja.»

FG3: «Det er noe jeg ønsket kanskje var forklart litt bedre før man ble satt på diskusjonsoppgavene. Kanskje man kunne gitt litt mer informasjon for temaet er jo helt nytt ikke sant, så det var jo liksom noen ting jeg følte jeg ikke hadde så mye å si om. Noe som på en måte hjalp til litt i diskusjonene da.»

FG3: «Ha litt mere info for jeg føler at når vi drev med det så snakket vi veldig mye og det var veldig vanskelig å avkrefte om det vi sa var riktig eller feil. Så det å ha hatt opp litt ordforklaringer på noen ting også at læreren kunne forklart litt mer også.»

Konkrete forslag til endringer som kom fra et par enkeltelever i hver sin fokusgruppe, var å innføre mer eksempler, å oppsummere på slutten av timen, ta opp noen av diskusjonene felles i klassen og å ha mer oppgaver. Det var også forslag i fokusgruppe 1 og 3 om å ha større elevgrupper under diskusjonen.

«Kanskje hvis man får flere oppgaver og at det blir litt mer sånn eksempelopplegg da er det litt lettere og man kan tenke seg noe selv om man ikke har alle prinsippene helt klart for seg.»

I alle fokusgruppeintervjuene begynte elevene å snakke om ting fra annen undervisning når de ble spurt om det var noe spesielt de husket ekstra godt fra modulen. Det materialet som de snakket om var ofte animasjoner eller filmer, og kom ofte fra undervisning i spesiell relativitetsteori.

4.2.4 Elevenes kommentarer til lærerens gjennomføring

Resultatene jeg presenterer i dette avsnittet er fra kategorien «lærerens gjennomføring». Som nevnt var det ganske stor forskjell på hvordan lærerne gjennomførte undervisningen og brukte modulen. Derfor er elevenes kommentarer naturlig nok relativt forskjellige.

I fokusgruppe 2 var det kommentarer på at det gikk litt for fort fram.

FG2: «Jeg synes det har gått litt for fort, jeg sliter med å henge med på alt. Det er noe jeg henger med på og (...)»

FG2: «Ja, læreren snakker så kjapt på den powerpionten at jeg måtte se på pc-en min egentlig for å følge med.»

Elevene fra fokusgruppe 1 nevnte at de syntes de var litt ukonsentrerte under arbeidet med modulen. Måten de jobbet med modulen på gjorde at det ble mye lesing. Og da var det lett for dem å falle ut og gjøre andre ting. En av dem etterlyste også i denne forbindelsen at det kunne hjulpet med mer undervisning på tavlen.

FG1: «Jeg synes også at det skulle blitt litt mer at det hadde vært bedre med litt mer undervisning på tavlen kanskje, så man får litt bedre hjelp til å skjønne siden det blir mye sånn i forhold til når vi skal gjøre oppgaver så blir det litt mye annet enn å gjøre oppgaver.»

I fokusgruppe 1 og 3 var det også andre etterlysninger fra et par elever om en eller annen form for støtte fra læreren. Noen av dem ville at læreren skulle hatt mer undervisning og gjennomgang på tavlen, mens en annen elev ønsket at læreren kunne forklart litt mer. Det var også en mening blant elevene i fokusgruppe 1 og 3 at de gjerne ville hatt en eller annen form for forberedelse. De følte ikke at de kunne nok når de skulle gjøre skrive- og diskusjonsoppgavene. De beskrev det som at de følte de manglet en «grunnforståelse» eller bakgrunnskunnskap. En elev fortalte at han gjerne ville ha forberedelse individuelt slik at han følte seg tryggere under diskusjonsoppgavene, mens en annen elev ønsket litt mer ordforklaringer.

FG1: «Ja, jeg hadde ikke lest så mye på det fra før av også plutselig kom den dagen da man skulle svare på spørsmål så det var jo litt (...) kanskje jeg hadde ikke lært så mye av det kapittelet så at jeg hadde (...) det hadde vært gunstig da også kunne lest meg opp litt til det da.»

FG3: «Men vi sa det kunne hjelpe med litt mer sånn derre bakgrunnskunnskap for det var vanskelig å skulle diskutere om noe du ikke kunne så veldig mye om da.»

FG3: «Jeg skulle gjerne hatt litt individuell jobbing først så du kan sette deg noen tanker før du setter deg ned i gruppa. Også det å kunne gått igjennom litt mer på forhånd. Det er litt greit, da føler man seg litt mer tryggere på det man gjør.»

4.2.5 Resultater som kan knyttes til læringsteori

I dette avsnittet presenteres resultatene fra kategorien «læringsteori». I alle fokusgrupper fikk jeg et inntrykk av at elevene følte de lærte mer av å jobbe og snakke sammen to og to enn om de skulle jobbet individuelt.

«Jeg synes egentlig det var veldig vanskelig i starten. Jeg slet med å forstå det. Men det at vi kunne snakke sammen to og to gjorde at man liksom kunne diskutere litt fram og tilbake og forstå det litt bedre da.»

«Det er akkurat det da at hvis man liksom ikke har (...) hvis man egentlig ikke vet noen ting om det så kan man liksom hvis man hører en annen sin mening så kan man jo begynne å tenke litt. Også kan man ja klare på en måte å se det litt lettere hvis man er litt fler, for da er det som regel en som kan lite grann.»

Som nevnt under kategorien «utforming av modul» beskrev elevene at det var uvant å skulle snakke og bruke språket så mye, men de var likevel veldig positive til det. Dette kom fram i alle fokusgruppene, og de mente at de fikk reflektert mye mer enn ved «vanlig undervisning» og at de fikk bedre forståelse av temaet.

«Første halvtimen pleier læreren å snakke også pleier vi å gjøre oppgaver resten av timen og det har ikke funka for meg da. Det med oppgaver og sånn, for da blir jeg så sliten av å gjøre oppgavene. Jeg liker bedre å snakke og at vi har sånn undervisning og sånn som vi har nå.»

«Jeg merker at det er mye lettere å diskutere det enn å sitte å høre på læreren i 60 minutter også jobbe med oppgaver etterpå, for jeg har egentlig ikke forstått det da.»

«Veldig fin måte å lære på hvor man liksom kan sitte å tenke og diskutere istedenfor å bare bli fortalt at sånn og sånn er det liksom. Fordi da skjønner man egentlig ikke så mye av det, man bare ... for jeg er veldig sånn at jeg kan ikke bare høre det er sånn. Jeg må skjønne hvorfor er det sånn.»

I omtrent alle uttalelser hvor elevene snakket om å snakke og diskutere, ble tenking eller refleksjon også nevnt. Det er også interessant å legge merke til hvordan noen av elevene ikke en gang skilte mellom det å snakke og det å tenke når de uttalte seg om diskusjonsoppgavene.

«Altså få et konkret eksempel og sitte å diskutere om det og på en måte sitte å tenke mens man snakker på en måte og også høre hva andre tenker da.»

Elevene ga også et inntrykk av at de fikk en bedre begrepsforståelse av denne måten å lære på. Det er også tydelig at de syntes at det er viktig å ha en god begrepsforståelse og en helhetlig forståelse av hvordan ting henger sammen.

«Ja, jeg det er jeg ganske enig i fordi det å vite teorien bak er litt viktigere enn å bare kunne formlene da, for når vi har læreren vår så er det litt sånn rett på formler og hoppe over det som ligger bak. Så jeg sliter litt sånn med å henge med.»

«Jeg synes det fungerte bra å diskutere å få litt ja personlige meninger, litt ehm man får høre hva andre tenker så kan man jo på en måte da sette sammen litt hvis man tenker noe men ikke liksom klarer å formulere et helt syn på det så kan man få andre sine meninger og klare å sette det sammen til en helhet og klare å se en helhet i det.»

En elev nevnte også at hun lærte seg bedre å bruke fagbegreper når hun snakket.

«Man lærer seg jo på en måte å bruke fagbegreper da, ikke på en måte regne og finne fram løsninger men man kan også liksom forstå og resonere seg fram da ved å bruke faguttrykk og ja da komme med forklaringer.»

Som nevnt etterlyste elevene i fokusgruppe 1 og 3 noe som de beskrev som bakgrunnskunnskap og «grunnforståelse». En elev i fokusgruppe 1 nevnte at det var vanskelig å lære seg noen av begrepene som ble presentert senere i modulen fordi han hadde glemt tidligere begreper i modulen.

«For plutselig så var det noen begreper ja jeg husker det var noen begreper jeg ikke husket også bare jeg ble ganske ja da får man ikke motivasjonen til å hoppe eller gå videre.»

Når elevene snakket om teori fra modulen, oppdaget jeg flere eksempler på at god forståelse av et begrep kunne hindres av en misforståelse av et annet begrep.

«Nei, jeg (mumling) nei er det på grunn av gravitasjon at det blir krumme linjer i tidrommet da? At det er et objekt som lager krumningen og får lyset til å bevege seg på den måten for det har vel litt med for hvis lyset går fra et objekt til jorden gjennom solen eller kommer fra solen så vil den gå sånn (peker på skrå) slik at det som er bak solen kan man se fra jorden.»

I dette avsnittet forklarte eleven fenomenet gravitasjonslensing helt riktig. Men han hadde en helt feil oppfatning av hva det er som skaper et krumt tidrom. Det virker som han fortsatt har et Newtonsk syn på gravitasjon som en kraft og at det er denne kraften som forårsaker krumning av tidrommet. I realiteten er det egentlig motsatt. Det er masse som skaper krumning og gravitasjon er en effekt vi kan observere på grunn av denne krumning av tidrommet.

Ellers var det tydelig at elevene syntes at hele den generelle relativitetsteorien var abstrakt. Og en elev nevnte også at han syntes det var vanskelig å bruke teorien nettopp fordi den var så abstrakt.

«Jeg synes det er litt vanskelig å kjenne seg igjen i. For ofte lærer jeg hvis jeg hvis jeg kjenner meg igjen i ting, men dette er litt sånn diffust så da er det litt vanskelig å tenke da synes jeg da.»

«Apropos, spesifikt i forhold til det vi har lært er det litt vanskelig å bruke det enda for det er jo veldig abstrakt nå å måtte tenke sånn.»

4.2.6 Resultater som kan knyttes til multimediateori

I dette avsnittet skal jeg gå nærmere inn på resultatene fra kodene i kategorien «multimediateori». En elev nevnte at han syntes det var demotiverende at undervisningsopplegget var formet som en lysarkpresentasjon. Både denne eleven og de andre elevene hadde kjennskap til vitenprogrammer og var positiv til at lysarkpresentasjonen skulle utvikles til en vitenmodul. Når det kommer til de to filmene som er inkludert i modulen, virker det som at de fleste elevene var misfornøyde med begge filmene. En enkeltelev var derimot fornøyd med filmen av Grøn.

«E1: Ja, de filmene de synes jeg var litt unødvendige å ha med. De var litt lite energiske og litt kjedelige.»

E2: Den med han mannen var bra.

E1: Ja, det var jo ikke lange klippene da men skulle de vært lengre hvertfall så skulle det blitt ganske langtekkelig.»

Det ble også oppdaget at flere av elevene ikke fikk med seg innholdet i filmen av Øyvind Grøn. I alle tre fokusgruppene snakket elevene om forklaringen av bøyning av lys i

gravitasjonsfelt når de ble spurt om hva som blir forklart i filmen med Øyvind Grøn om rødforskyvning i gravitasjonsfelt.

«Moderator: Da så dere en film av professor Øyvind Grøn som hadde et eksempel hvor det kom lys inn i en rute i taket også forsvant det lys ut gjennom en rute i bunnen av en akselerert rakett ehm, er det noen som kan forklare meg da om dem forsto det her med gravitasjonell rødforskyvning ved det her eksempelet?»

E: Men var det ikke bare at lyset når det blir skyti ut så beveger det seg med raketten, men når det på en måte forlater pistolen så beveger det seg fortsatt rett fram men raketten fortsetter å akselerere rett oppover, så når lyset treffer da veggen så vil jo raketten ha beveget seg litt opp, og da går jo lyset litt lengre ned enn det det originalt ble skyti ut som da.

Moderator: Ja, den er forhold til den er det eksempelet med bøyning av lys det.

E: Ja, riktig, men det var ikke det vi snakka om?»

Som jeg har vært inne på i kategorien «Utforming av modulen», fortalte elevene ofte om animasjoner fra andre undervisningsopplegg når de ble spurt om hva de husket best og syntes var mest interessant fra modulen. Et par elever fra hver sin fokusgruppe nevnte tegningen av en masse som krummer et «todimensjonalt tidrom» som noe de husket godt.

«Moderator: Er det noen spesielle figurer eller temaer som dere synes var spesielt interessant?»

E: Den ballen på trampolina. Den var og generell var den ikke?»

«Også det eksempelet jeg husker best det er nok det derre med ballen på den derre trampolina og den krumninga. Det synes jeg var bra.»

Et bilde eller filmen av gravitasjonslensing har tydeligvis også gjort inntrykk på en elev som beskrev dette på et spørsmål om ekvivalensprinsippet.

«Ja, det var noe med et sort hull og sånt ikke sant på en måte? Nei, jeg husker bare at jeg så en modell med noe krumt og lys rundt ble bøyd.»

Som forslag til endringer på undervisningsmodulen var det en elev som foreslo å ha med mer videoer.

«Ehm, ja videoer hadde vært fint for jeg tror det er enklere å huske videoer enn det er å huske hva du har lest i en tekst. Hvis du ser på den en del ganger vil du jo huske mer av den for den har gjort litt større inntrykk på deg.»

Det er ganske interessant å bemerke at samme elev hevdet tidligere i intervjuet at han husket lite fra filmen om Øyvind Grøn fordi den hadde gjort lite inntrykk på ham, og at han husket bedre en film av Einstein som han hadde sett i fysikkundervisningen ved et tidligere tidspunkt. Dette kan tyde på at ikke alle filmer gir et inntrykk på elever, og at filmen av Grøn mangler innhold som gir et slikt inntrykk.

4.2.7 Hvilke arbeidsmetoder foretrakk elevene?

Resultatene fra kategorien «arbeidsmetoder» viser i flere tilfeller at det var varierende hvordan elevene foretrakk å arbeide. Dette kan ha en sammenheng med at det som nevnt var ulik bruk av modulen og gjennomføring av undervisningen i de forskjellige klassene. Fokusgruppe 2 ga inntrykk av at de var fornøyd med hvordan de hadde arbeidet med modulen. De jobbet først i par med diskusjonsoppgavene for så å snakke om det de hadde diskutert i plenum.

FG2: «Men jeg synes det var bra at vi først fikk snakke to og to og så fikk man på en måte vite hva de andre i klassen syntes da, for da fikk vi litt andre perspektiv enn den bare den medeleven jeg jobbet med sitt da, og det hjalp litt mer.»

De var også klare på at det var viktig å ha diskusjoner i par eller små grupper og ikke kun ha diskusjoner i hel klasse.

FG2: «I små grupper for da får man snakka mer sammen, i store diskusjoner er det lettere å bare la ordet gå til de andre.»

I fokusgruppe 3 var alle elevene klare på at de savnet å ha oppsummering og diskusjon i plenum. På spørsmål om hva som burde vært gjort annerledes svarte de f.eks.:

FG3: «Ja, at man går igjennom litt sammen, assa først diskuterer i grupper også går man igjennom assa det i hele klassen etterpå.»

FG3: «Også danne en diskusjon blant gruppene da. Ikke bare vise hva man har kommet fram til da, så kan gruppene kanskje få fem minutter på hvorfor de mente det og hvorfor de mente

det. Og til slutt kommer man med svaret også ser man hvor mye man har tenkt riktig og om man faktisk klarte å overbevise andre og sånt.»

Som nevnt i forbindelse med kategorien «utforming av modul», var alle positive til å jobbe og diskutere sammen med en annen person. Men i fokusgruppe 3 var det stemning for også å ha større elevgrupper under diskusjonsoppgavene. En elev i fokusgruppe 1 nevnte også dette. Flere elevene begrunnet dette med at diskusjonen mellom to ble litt lite innholdsrik.

FG3: «Det hadde kanskje vært litt morsommere hvis gruppene hadde vært større. Eller at man kanskje en og annen gang hadde man litt større grupper så man hadde en litt større diskusjon også flere meninger. For f.eks. hvis to personer er ganske enige i det de har fordi det er på en måte det eneste de vet også er det kanskje en annen person som kan komme med noe helt nytt som ville snudd et helt nytt lys på situasjonen.»

En enkeltelever kom også med en annen begrunnelse for hvorfor det var bedre med større grupper:

FG1: «Selv om jeg (...) litt større grupper ikke bare to og to men kanskje fire og fire. Det hadde vært bedre for hvis den andre ikke kan så mye også gidder den ikke da er man så får man ikke gjort så mye selv heller. Så men hvis det er større grupper blir det bedre.»

Det ble også en diskusjon i fokusgruppe 3 over hvor stor en gruppe burde være.

FG3: «E1: Jeg tror heller ikke man burde være veldig mange flere for da kan det være vanskelig å komme til ordet.

E2: Det er sant, fire-fem kanskje?

E1: Ja, kanskje fire-typ for hadde vi siddet i en så stor gruppe som det her så hadde det assa vært vanskelig å komme til ordet og si det man tenker og hvis man i tillegg er litt sånn blyg da og bare: «vet ikke helt om jeg tørr å si det da», så blir man bare sittende og høre på og da får man liksom ikke så mye ut av det heller.

E3: Men fire-fem kunne kanskje vært greit vært okei

E1: Ja, nei. Jeg synes tre-fire. Vi var tre stykker og det synes jeg var veldig greit.

E4: To var litt lite, jeg vil si at to var litt for lite.»

I fokusgruppe 2 var det derimot en enighet i at det var veldig bra å jobbe i par.

FG2: «Men det at vi kunne snakke sammen to og to gjorde at man liksom kunne diskutere litt fram og tilbake og forstå det litt bedre da.»

FG2: «Og hvis det er diskusjon i hele klassen så kommer jeg aldri til å rekke opp hånda. Jeg pleier ikke si noe i klassen ikke sant. Men hvis det er to og to da må jeg si noe.»

Det var også tre elever som likte å jobbe individuelt og de savnet noe individuell jobbing.

«Jeg tror en kombinasjon av det her og alene ville vært veldig bra. Fordi man får på en måte ikke noen mengdetrening av å sitte å snakke med hverandre. Mengdetrening kommer jo av å sitte å løse oppgaver for deg selv.»

«Jeg skulle gjerne hatt litt individuell jobbing først så du kan sette deg noen tanker før du setter deg ned i gruppa.»

Når det kommer til hva slags type oppgaver elevene likte å jobbe med var de som sagt veldig positive til diskusjonsoppgaver. Flere enkeltelever nevnte også at de praktiske oppgavene var motiverende, og alle var positive til at opplegget skulle få flere interaktive oppgaver med quiz-spørsmål og lignende. Når det kom til skriveoppgaver ble det ikke snakket så mye om dette annet enn at en elev syntes skriveoppgavene var litt vanskelige.

«Spesielt det å skrive så eh ja for eksempel å forkl... eller det du vet om gravitasjon eller jeg tror det var en oppgave. Ja, det var jo det ble jo nesten umulig å skrive mer enn to setninger. Det ble kjempevanskelig plutselig. Man har jo egentlig aldri tenkt over det. Du vet man har jo egentlig bare brukt det til regneoppgaver så da, man har liksom ikke virkelig tenkt over det.»

Elevene refererte ofte til tavleundervisning og oppgaveregning som «vanlig» undervisning, og flere elever følte denne undervisningsmodulen passet dem bedre. I fokusgruppe 2 og 3 var elevene veldig tydelige på at «vanlig tavleundervisning» ikke ga dem god nok forståelse av ting, mens det fikk de i større grad av arbeidet med dette undervisningsopplegget.

«Når man bare har vanlig tavleundervisning sånn: «sånn er det», men nå så kan du liksom tenke deg fram til det selv også hvorfor det blir sånn og hvordan det fungerer.»

4.2.8 Resultater av fysikk 2-elevers oppfatninger av sentrale begreper innen generell relativitetsteori.

For å studere hva som fungerer bra og hva som fungerer dårlig ved undervisningsmodulen er det også viktig å få et inntrykk av om elevene faktisk lærte det de skulle. Dette kan vi få et inntrykk av fra resultatene fra kategorien «Elevenes begrepsforståelse». Tre begreper som vi har sett på som svært sentrale i generell relativitetsteori er ekvivalensprinsippet, treghetssystemer og krumning av tidrom. I fokusgruppe 2 og 3 var det elever som fint kunne beskrive ekvivalensprinsippet.

«Var det ikke det med at du ikke kunne merke noen forskjell i det hele tatt, var det ikke det som var ekvivalens? Altså det at gravitasjonsfelt var det samme som akselerasjon.»

Det var også flere uttalelser fra flere elever i fokusgruppe 3 som viste dypere forståelse av hva dette faktisk innebærer.

«Ja, riktig men det har jo liksom ingenting å si om akselerasjonen kommer av to masser som tiltrekker hverandre eller om det kommer fra noe annet for eksempel at du skyter en rakett med brensel eller hva det skal være. Lovene blir vell det samme uansett.»

En elev fra fokusgruppe 2 hevdet at han skjønnte sammenhengen mellom like størrelse på tung og treg masse og ekvivalensprinsippet da det ble gjennomgått i klassen.

«Moderator: Men skjønnte dere litt mer om det gjennom den powerpointen eller?»

E: Om ekvivalensprinsippet?

Moderator: Ja, også det her med tung og treg masse. Det var jo litt om det, en slide om det.

E: Ja, men det falt jo sammen.

Moderator: Ja, så dere sammenhengen?

E: Jeg husker bare at det falt sammen også så jeg på det som en sånn bare hvordan man kom fram til det så glemte jeg bare det og husker at sånn er det.»

Elevene var ikke veldig godt kjent med begrepene tung og treg masse. De hevdet at de bare var vant til å bruke begrepet «masse» for begge deler. Det var bare en elev som viste god forståelse av begrepet treg masse, og ingen elever viste spesielt god forståelse av begrepet tung masse. I stedet var det en elev som viste en misoppfatning av begrepet tung masse.

«Assa vi har jo lært, i fjor lærte vi jo om massetregghet så at jo større en masse er jo tregere er den. Så det kan man jo knytte litt opp til det her da.»

«E: At tung masse var den massen som motsa massebevegelsen eller noe sånt.»

I fokusgruppe 3 var det en av elevene som ikke helt hadde forstått eller husket hva ekvivalensprinsippet gikk ut på. I fokusgruppe 1 virket det som ingen av elevene helt hadde fått med seg hva ekvivalensprinsippet gikk ut på.

FG3: «Det at det gjelder ut i fra, nei men var det ikke det vi snakka om at treghetssystemer som akselererte... Nei, dette var vanskelig husker jeg.»

FG1: «E1: Hva vet jeg om det ja nei jeg vet ikke om jeg husker det eh..

Moderator: Det her med (avbrutt)

E2: Ja, det var noe med hva var det eh det var akselerasjon og

Moderator: Det har mye å gjøre med dem her to rommene at man ikke kan si om man er på (avbrutt)

E2: Åja, okei ja det er sant

E3: Om man akselererer eller er i ro i romskipet var det noe sånt?»

Det virket egentlig som at det var mange temaer som elevene ikke forsto eller husket noe om i fokusgruppe 1. Andre temaer hvor de svarte at de ikke husket eller hvor de viser at de ikke har forståelse for temaene var treghetssystemer, krumning av tidrom og gravitasjon.

FG1: «Moderator: mhm, det her med en ny måte å se på gravitasjon på? Hva synes dere om det? Fikk dere med dere det, holdt jeg på å si?

E: Jeg husker ikke så mye om det nei, jeg tror jeg kanskje må ha jobbet litt mer med det for å huske litt mer. Men jeg husker at ja var det ikke sånn treghet et eller annet med fart eller akselerasjon, nei jeg husker det ikke helt det er litt sånn blankt.»

FG1: «Moderator: Det her med treghetssystemer i forhold til det her med generell relativitetsteori, det ble jo litt forandra i forhold til det dere lærte i spesiell relativitetsteori. Kan dere si noe om det?

E: Jeg skjønnte ikke helt hva som ble forandret egentlig, jeg skjønnte ikke helt liksom hva.»

Det var heller ingen elever i fokusgruppe 3 som beskrev eller forklarte hva som kjennetegnet treghetssystemer i generell relativitetsteori på en korrekt måte. I stedet ble det funnet

indikasjoner på mangelfull forståelse av begrepet både i fokusgruppe 1 og 3. Disse elevene er inne på noe men det er også tydelig at de ikke har full forståelse av begrepet. I fokusgruppe 2 derimot ble begrepet treghetssystemer i generell relativitetsteori diskutert riktig.

FG1: «E1: At gravitasjon ikke var en kraft, var det det?»

E2: Ja

E1: Så hvis man falt ned og ja hvis eplet falt ned så står det i ro til

E2: Åja, sånn at hvis er det ikke sånn at hvis du er i fart og et objekt er i fart så holder dere dere i ro i forhold til hverandre»

FG3: «Moderator: Du nevnte det her med treghetssystemer. Husker dere noe som kan fortelle hvorfor treghetssystemer er fritt fallende i generell relativitetsteori?»

E1: Det er fordi du faller

E2: Fordi egentlig alle, men man sier vell hovedsakelig Newtons 1. lov eller Newtons lover skal gjelde i dem eller er det ikke derfor?»

FG2: «Moderator: Treghetssystemer i generell relativitetsteori ...

E1: I generell da var det i fritt fall var det ikke?

E2: Ja.

E3: Er det noe mer?

E1: Jo, det er eneste gangen summen av kreftene er lik null når det ikke er noen krefter som virker, for gravitasjon ikke lenger er en kraft.»

Under diskusjonen om treghetssystemer dukket det opp en misoppfatning hos en elev i fokusgruppe 1 og en i fokusgruppe 3. Generelt var det bare i fokusgruppe 1 og 3 at det dukket opp tegn på misoppfatninger.

FG1: «Moderator: Eh, et treghetssystem er en form for et system hvor Newtons 1.lov gjelder, hvis du har et objekt i ro så forblir det i ro.

E: For det var noe med konstant og ja de i konstant fart og ja i ro. Ja for det hadde vi jo lært i timene før.»

FG3: «Men vi har jo det her med at treghetssystemer akselererer.»

Her er det tydelig at disse elevene fortsatt tenker i tråd med spesiell relativitetsteori og ikke har klart å etablere hva som blir treghetssystemer i generell relativitetsteori. En annen

misoppfatning som et par elever hadde, var at for at ingen ytre krefter skal virke må treghetssystemet være et lukket system.

FG3: «Er det (støy) et lukka system på en måte som gjør at det ikke blir påvirket av noen ytre krefter?»

FG3: «Nå vet man tyngdekraften ikke er noen kraft så det er egentlig alle, sånne som man sier lukkede områder, assa objekter som ikke blir påvirket av noen krefter da, men de objektene får jo en akselerasjon.»

Det ble også oppdaget at flere elever hadde en misoppfatning om at det fortsatt er en tiltrekningskraft inne i bildet selv om gravitasjon ikke lengre er en kraft. En elev hadde veldig problemer med å forklare at vi befinner oss i et akselerert system når vi sitter i ro på en stol, og svarte at det var på grunn av en tiltrekningskraft:

FG3: «Så det betyr at hver gang en gjenstand på en måte blir påvirket av tyngden, nei massen til en annen, på en måte blir tiltrukket av massen til et annet objekt så på en måte kommer du eller gjenstanden i en liten akselerasjon. Det er det samme på en måte så selv om du ikke legger merke til det så kommer vi i en liten akselerasjon på grunn av jorda da på en måte selv om vi ikke legger merke til det akkurat nå så er vi alle i en akselerasjon.»

FG3: «Moderator: Er det noen som kan si hvorfor objekter får en akselerasjon når det ikke er en kraft? (...) Ja, hva er det som gjør at jorda går rundt sola og hva er det som gjør at ting ramler ned til bakken?»

E1: Er det en tiltrekning her da?

Moderator: Ja, men gravitasjon er ikke en kraft lengre.

E2: De tiltrekker hverandre med lik kraft det er bare at massen til den ene gjenstanden f.eks. jorda er mye større da, så den blir ikke tiltrukket like mye av den andre.»

FG1: «Moderator: Men ser dere noen kobling mellom det med krumt tidrom og gravitasjon?»

E: Nei, jeg (mumler) nei er det på grunn av gravitasjon at det blir krumme linjer i tidrommet?»

Flere elever fra alle fokusgruppene kunne beskrive gravitasjon ved at det ikke er en kraft.

«E1: Men i et generelt treghetssystem skal hvertfall Newtons 1. lov gjelde

E2: For det er jo egentlig ingen kraft som virker på ting som faller

E3: Er det ikke? Ja..

E2: Fordi tyngdekraften er jo ikke en kraft i den forstand, den akselererer liksom men det er jo liksom ikke en kraft.»

Bare en elev fra fokusgruppe 3 klarte enkelt å beskrive krumning av tidrom.

«Moderator: Er det noen som kan beskrive hvordan dem ser for seg krumning av tidrom?

E: En ball på en trampoline

(Noen mumler ja)»

Når det gjelder litt dypere forståelse av hva som forårsaker det vi kaller gravitasjon, var det et par elever i fokusgruppe 2 og 3 som viste tegn på dette.

FG2: «Gravitasjon og tidrom henger sammen på den måten at du blir jo trukket til men samtidig er det en normalkraft som dytter fra og opp som gjør at vi ikke faller fra men vi forsvinner jo ikke heller så det er tidrommet som holder oss nede på jorda og samtidig er det normalkraften som dytter oss opp og da forsvinner på en måte gravitasjonsgreiene litt. Da er det ikke gravitasjon som holder oss nede det er tidrommet som presser oss ned.»

FG3: «E1: Nå begynte jeg å tenke litt på det her med at gravitasjon egentlig ikke er en kraft, men det blir jo fortsatt en gravitasjon da i forbindelse med bevegelse (...)

E2: På grunn av at rommet krummer seg, du på en måte bare følger den krummede veien.»

Det var også en del elever som viste tegn på en dypere forståelse av begrepet krumning av tidrom i fokusgruppe 2 og 3, mens i fokusgruppe 1 var det kun en elev som viste tegn på dette.

FG1: «E1: Jeg husker bare at jeg så en modell med noe krumt og lys rundt ble bøyd.

E2: Du går den korteste veien, når du krummer rommet så blir det den korteste veien for objektet eller noe, i stedet for en rett linje.»

FG2: «E1: De framstiller det som at du legger, som at tidrom er et plan og at du legger noe på planet. Men det stemmer jo ikke. Tidrom er jo en materie så du putter et eller annet inn i tidrommet og tidrommet krummer seg rundt. Figuren viser et plan som krummer seg i en retning men det planet kan jo både gå sånn og sånn og sånn ikke sant. Om du putter noe inn og den krummer seg rundt hele. Det er litt..

E2: Det er jo derfor vi så den rundingen ikke sant. Ellers hadde vi bare sett to prikker.

Moderator: Med gravitasjonslinser mener du?

E2: Ja, med gravitasjonslinser. Fordi det virker i alle retninger og ikke bare i et sånn plan som vi så på tegningen.»

FG3: «E1: Men krumning blir jo liksom det blir jo bare ikke en enkel krumning siden hver eneste gjenstand på en måte hver eneste partikkel krummer så blir den ikke så rett som man på en måte ser på bildene. Jorda krummer rommet men hvordan er det med alle gjenstandene som er i det rommet krummer de også rommet? Krummer de samme rom? Ikke sant, hvordan er det rommet er krummet av sola? Hvordan er det krummet av galaksen?

E2: Du kan jo tenke på månen, jorda og sola da. Månen blir jo fortsatt påvirket av sola sin gravitasjonskraft selv om den går i bane rundt jorda. Så den blir den bøyer på en måte begge to da sånn egentlig»

I det siste sitatet virker det som E2 forsto hva krumning av tidrommet er, og han har jo rett. Men vi ser at han hadde problemer med å forklare ting uten å støtte seg til Newtons gravitasjonsteori som han var kjent med fra før. Dette gjaldt også når et par andre elever viste mangelfull forståelse av gravitasjon og krumning av tidrom. De var inne på noe og hadde en grei forståelse av begrepene. Men det synet de var vant til å ha på gravitasjonskraft fra Newtons gravitasjonsteori var svært etablert og forvirret dem.

5 Oppsummering, diskusjon og konklusjon

5.1 Oppsummering av resultatene

5.1.1 Første utgave av undervisningsmodul

I utviklingen av den første utgaven av undervisningsmodulen ble det valgt å legge vekt på at den generelle relativitetsteorien er en ny teori for gravitasjon. Dette ble dermed brukt som en rød tråd i undervisningsopplegget. Det ble også sett på som viktig at elevene fikk en god forståelse av krumning av tidrom, da dette sees på som det mest sentrale i hele teorien. Ekvivalensprinsippet er sentralt i generell relativitetsteori i et historisk perspektiv, samtidig som det er viktig for å kunne forstå både det at gravitasjon ikke er en kraft, treghetssystemer i generell relativitetsteori og det generelle relativitetsprinsippet. Vi så det derfor også som viktig at elevene fikk en god forståelse av hva ekvivalensprinsippet innebærer. Derfor valgte vi å introdusere elevene for sammenhengen mellom ekvivalensprinsippet og at tung og treg masse er like store. Vi har også lagt vekt på treghetssystemer i generell relativitetsteori, da dette er et viktig begrep under beregninger både i spesiell og generell relativitetsteori. En god forståelse av treghetssystemer i generell relativitetsteori er også viktig for å få et helhetlig bilde av teorien og noe som knytter krumning av tidrom sammen med ekvivalensprinsippet. Vi har i tillegg valgt å ta med stoff om solformørkelsen i 1919, gravitasjonell bøyning av lys, gravitasjonslensing, gravitasjonell rødforskyvning og tidsforlengelse og GPS-systemet. Disse valgene ble tatt på bakgrunn av idémyldring på prosjektseminar, teori om motivasjon og mål om å inkludere historiske og teknologiske aspekter.

I tråd med sosiokulturell læringsteori er modulen utviklet med tanke på å oppmuntre elevene til å bruke språket under læringsprosessen, både muntlig og skriftlig. Dette ble gjort ved å inkludere en god del diskusjons- og skriveoppgaver. Vi mente også det var viktig å gi elevene mulighet til å bruke språket og formulere seg for at de skal tilegne seg og bruke fysikkens begreper. Vi la vekt på at elevene skulle jobbe mye i par i tråd med Vygotskijs teori om den proksimale utviklingssonen. Tanken bak at elevene skulle jobbe to og to, var at alle elevene

skulle være nødt til å si et eller annet, og hindre at noen elever kan melde seg ut av diskusjonen.

Vi prøvde å tilpasse modulen i tråd med Mayers multimediateori og fikk bl.a. laget to filmer med en professor og en forsker fra UiO som forklarte deler av materialet om gravitasjonslensing og gravitasjonell rødforskyvning. Jeg informerte også lærerne på prosjektseminaret om hvilken sentral rolle de har under bruken av undervisningsmodulen.

5.1.2 Resultater fra fokusgruppeintervju

I resultatkapitlet startet jeg med hovedkategorien «utforming av modul». I dette avsnittet tenker jeg å gjøre motsatt og avslutte med denne kategorien. Grunnen til dette er at alle de funnene jeg har gjort i underkategoriene, påvirker forslagene til forandringer i utformingen av andre utgave av modulen.

Elevenes begrepsforståelse

Det virket som alle elevene hadde fått med seg at gravitasjon ikke sees på som en kraft i generell relativitetsteori. Likevel var det flere enkeltelever i fokusgruppe 1 og 3 som hadde en misoppfatning om at det fortsatt finnes en slags tiltrekningskraft mellom masser. Dette kan tyde på at de fortsatt tenkte i tråd med Newtons gravitasjonsteori. Men det var også flere enkeltelever i fokusgruppe 2 og 3 som viste tegn på dypere forståelse av gravitasjon. Når det gjaldt krumning av tidrom var det en elev som enkelt og konkret klarte å beskrive krumning av tidrom. Det var også flere elever i fokusgruppe 2 og 3 som viste tegn på dypere forståelse av dette. I fokusgruppe 1 var det kun en av elevene som viste tegn på dypere forståelse av krumning av tidrom.

I fokusgruppe 2 og 3 kunne elevene beskrive ekvivalensprinsippet, bortsett fra en elev i fokusgruppe 3 som ikke husket det. I fokusgruppe 3 var det også enkeltelever som viste tegn på en dypere forståelse av ekvivalensprinsippet. I fokusgruppe 2 var det en elev som hevdet å forstå sammenhengen mellom tung og treg masse under gjennomgangen, men glemte dette igjen fordi han fikk inntrykk av at det ikke var viktig. Ellers var det et funn at elevene ikke hadde noe godt kjennskap til begrepene tung og treg masse fra før. Det var bare en elev som viste god forståelse av treg masse, og ingen elever viste forståelse av begrepet tung masse. Det var også en elev som hadde en misoppfatning av begrepet tung masse. I fokusgruppe 1 var

det tegn på at elevene enten ikke husket eller forsto teorien om ekvivalensprinsippet, treghetssystemer, krumning av tidrom og hva gravitasjon beskrives som i generell relativitetsteori.

Når det gjaldt treghetssystemer i generell relativitetsteori, ble dette diskutert korrekt blant elevene i fokusgruppe 2, mens i fokusgruppe 1 og 3 viste flere av elevene en mangelfull forståelse av dette begrepet. Det ble også funnet misoppfatninger av begrepet treghetssystemer i fokusgruppe 1 og 3. I fokusgruppe 3 var det ingen av elevene som kunne forklare begrepet riktig, og det var to elever som hadde en misoppfatning om at treghetssystemer må være lukkede systemer for at ingen ytre krefter skal virke. Noen av misoppfatningene om treghetssystemer i generell relativitetsteori viste tegn på at elevene fortsatt så på treghetssystemer slik de er definert i spesiell relativitetsteori. Elevene snakket av og til om inntrykk fra annen undervisning, og dette var som oftest knyttet til spesiell relativitetsteori.

Læringsteori:

Det var helt klart at elevene følte at de lærte mer av å jobbe og snakke sammen to og to enn ved å jobbe individuelt. Elevene følte også at det var uvant å snakke og bruke språket så mye, men de var alle positive til dette. De hevdet at gjennom å snakke og diskutere fikk de reflektere mer og forsto teorien bedre. Det å snakke og diskutere og det å tenke og reflektere ble alltid omtalt samtidig. Flere elever mente at de gjennom å snakke og diskutere fikk en mer helhetlig forståelse av hvordan ting henger sammen, og en elev fortalte også at hun følte det gjorde henne bedre til å bruke fagbegreper. En elev sa at det var vanskelig å lære noen av begrepene, fordi han ikke hadde forstått noen av de begrepene som var blitt presentert tidligere i modulen. I et utsagn fra en elev ser man tydelig at forståelsen av et begrep kan hindres av en misoppfatning av et annet begrep. Ellers hevdet elevene at begrepene og teorien var abstrakt.

Multimediateori

Det var en elev som var negativ til at undervisningsopplegget var en lysarkframvisning, og generelt virket det som at alle elevene var positive til at opplegget utvikles videre til en vitenmodul. Det viste seg at elevene ikke har fått med seg innholdet i filmen av Øyvind Grøn om gravitasjonell rødforskyvning og tidsforlengelse, og de fleste elevene var også misfornøyde med filmene. Det var derimot en elev som forteller at hun likte filmen av Grøn.

Når elevene snakket om inntrykk fra andre undervisningsopplegg, fortalte de ofte om animasjoner eller simuleringer. Ellers syntes en elev at illustrasjonen som forklarer krumning av tidrom og masses bevegelse i tidrommet var bra. Gjennom sin beskrivelse av gravitasjonslinsing viste en annen elev at filmen av Sandstad hadde gjort inntrykk på ham. Det var også en elev som kom med forslag om å ha med flere videoer i opplegget.

Arbeidsmetoder

I fokusgruppe 2 fortalte elevene at de likte å jobbe i par og var fornøyde med først å diskutere i par for så å diskutere i plenum. De poengterte at det var viktig å ha diskusjonen i par og ikke bare ha undervisning i hel klasse for at hver enkelt elev skulle få muligheten til å snakke. I alle grupper var elevene positive til å jobbe sammen med en eller flere personer, og kun to elever uttalte at de ville ha litt mer individuell jobbing. I fokusgruppe 3 fortalte flere elever at de savnet oppsummering og diskusjon i plenum, og at det burde vært større grupper. En elev i fokusgruppe 1 etterlyste også å jobbe i større grupper.

I alle fokusgruppene var elevene positive til diskusjonsoppgaver. Skriveoppgaver ble bare nevnt av en elev, og han beskrev dem som vanskelige. Ellers ble undervisningsopplegget beskrevet som bedre enn «vanlig tavleundervisning», og i fokusgruppe 2 og 3 ble dette begrunnet med at elevene følte at tavleundervisning ikke gir dem like god forståelse. En elev i fokusgruppe 1 etterlyste derimot mer tavleundervisning.

Lærerens gjennomføring:

I fokusgruppe 2 syntes elevene det hadde vært for lite tid og at læreren hadde gått for fort fram. I fokusgruppe 1 og 3 etterlyste elevene en eller annen form for forberedelse. Elevene sa de følte de manglet bakgrunnsforståelse. Enkeltelever i fokusgruppe 1 og 3 etterlyste også mer undervisning på tavla, ordforklaringer og mer forklaring fra lærer. I fokusgruppe 1 ga også to av elevene uttrykk for at de følte at de var ukonsentrerte under arbeidet. De kommenterte at det ble mye lesing og da var det lett å falle ut og gjøre andre ting.

Utforming av modul:

Generelt virket det som elevene hadde et positivt inntrykk av undervisningsmodulen. De beskrev opplegget som lærerikt, men at teorien var vanskelig. En elev følte at det de lærte snudde om på veldig mye av det de tidligere hadde lært i faget. Negative inntrykk som ble nevnt er at en elev følte det var veldig press å måtte ta opptak av diskusjonene, mens en annen elev mente presentasjonen var uoversiktlig.

I fokusgruppe 2 var det blandede følelser om læringsutbyttet, mens i fokusgruppe 3 mente elevene at de hadde lært mye. Elevene i fokusgruppe 3 fortalte at de hadde lært mye av oppgave 2, og at denne oppgaven ga dem en aha-opplevelse. Fenomenet gravitasjonell tidsforlengelse ble også karakterisert som en aha-opplevelse i både fokusgruppe 2 og 3. I fokusgruppe 1 mente ingen av elevene at de hadde hatt noen form for aha-opplevelse.

Det er et funn i alle fokusgruppene at elevene syntes det var motiverende at undervisningsmodulen var annerledes enn «vanlig undervisning». Elevene syntes at det var motiverende å jobbe og diskutere to og to, og de syntes det var motiverende å kunne forstå teorien og fenomenene. Flere elever syntes også at den praktiske elevøvelsen var motiverende. Enkeltelever nevnte at det var motiverende å jobbe med teori som var så kjent og å få vite forbløffende ting litt utenom det vanlige. En elev mente det ville vært motiverende å få poengscore på oppgavene, mens en annen elev syntes teorien i seg selv var motiverende. To enkeltelever sa derimot at de syntes teorien var demotiverende fordi den var vanskelig. Temaer som ble beskrevet som vanskelige av enkeltelever var krumning av tidrom og ekvivalensprinsippet.

Når det kom til utforming av modulen, var det en elev som falt av på grunn av uoversiktlig oppsett. En annen elev falt av på grunn av parsammensetningen. En elev hevdet å ikke huske sammenhengen mellom det at tung og treg masse er lik og ekvivalensprinsippet, fordi det på grunn av oppsettet ikke virket som det var viktig. Det kom flere forslag til forandringer på undervisningsmodulen. Enkeltelever foreslo å innføre mer eksempler, å oppsummere på slutten av timen, å ha noen felles diskusjoner i klassen og ha mer oppgaver. Ellers var det et forslag i fokusgruppe 3 om at det burde være større grupper på diskusjonsoppgavene. En elev uttrykte også at han syntes at opplegget måtte ha med noe som hjalp ham til å huske det han leste.

5.2 Drøfting om forandringer av modulen

5.2.1 Hvilke problemer kan fysikk 2-elever støte på når de skal danne seg en forståelse av den generelle relativitetsteorien på en kvalitativ måte, og hva kan gjøres for å unngå disse problemene?

Flesteparten av elevene hadde fått med seg at gravitasjon ikke lengre er en kraft. Dette tyder på at vi har klart å få fram hovedbudskapet som vi ønsket å formidle, nemlig at Einsteins relativitetsteori er en ny gravitasjonsteori. Valgene vi har tatt i modulen for å formidle dette ser altså ut til å fungere bra. Det ser dermed ut til at modulen formidler det som ifølge Wald (2006) er det mest sentrale i undervisning av generell relativitetsteori. Men selv om de fleste av elevene har lært seg at gravitasjon ikke sees på som en kraft i generell relativitetsteori, er det elever som fortsatt har tanker om at det likevel finnes en form for tiltrekningskraft. Dette indikerer at det er vanskelig for elevene å gi slipp på det de tidligere har lært om gravitasjon. En annen grunn til disse misoppfatningene kan være at elevene ikke klarer å se sammenhengen mellom krumning av tidrom og det vi observerer som en gravitasjonskraft. De lærer at gravitasjon ikke er en kraft gjennom ekvivalensprinsippet, men så virker det som de ikke helt skjønner at det er krumningen av tidrommet som gjør at et eple vil falle til bakken og at jorda går i bane rundt sola. Dermed støtter de seg i stedet til Newtons gravitasjonsteori som de kjenner fra før. De dataene jeg har i denne oppgaven er ikke omfattende nok til at jeg kan trekke noen generelle slutninger om hvorfor elevene svarer som de gjør. Men jeg kan i hvert fall slå fast at denne endringen av elevenes syn på gravitasjon ikke er lett for dem. Dette er altså et begrep de trenger tid til å fordøye og veiledning for å forstå. Det blir viktig at læreren er klar over dette og kan gi elevene den riktige veiledningen i diskusjoner rundt dette begrepet. Men jeg må påpeke at enkelte elever viser god forståelse av fenomenet gravitasjon i generell relativitetsteori. Dette viser at det er ingen umulighet for fysikk2-elever å forstå denne delen av teorien på en kvalitativ måte.

Noe av det mest grunnleggende i generell relativitetsteori er forståelsen av krumning av tidrom. Det var kun en elev som mestret å beskrive krumning av tidrom, som en tung ball på en trampoline. Det var likevel flere andre elever som også viste at de hadde en dyp forståelse av krumning av tidrom gjennom diskusjonene. Man kan dermed konkludere med at det er mulig for fysikk2-elever å vise god forståelse av det abstrakte begrepet krumning av tidrom. Det var få misoppfatninger blant elevene når det gjaldt dette temaet. Men man kan se at flere

elever har problemer med å forklare problemstillinger om krumning av tidrom uten å støtte seg til Newtons gravitasjonsteori som de er kjent med fra før. Det virker som det synet de er vant til å ha på gravitasjonskraft fra Newtons gravitasjonsteori er godt etablert og forvirrer dem.

Flere elever forteller at de synes at krumning av tidrom er vanskelig. I utgangspunktet er også begrepet tidrom i seg selv et abstrakt begrep som det er vanskelig å se for seg. Ifølge Angell et al. (2011) og Mork og Erlie (2010) er slike abstrakte begreper de vanskeligste å møte for elevene i fysikken. På bakgrunn av dette kan det være smart å gå igjennom modulen og se nærmere på om det er noen måter man kan gjøre krumning av tidrom mer tilgjengelig for elevene. Dette temaet blir i første utgave av modulen presentert gjennom tekst og illustrative bilder, samt en praktisk øvelse. Ifølge Mayer (2002) sin multimediateori vil dette kunne presenteres bedre om materialet i modulen stemmer mer overens med hans ni multimedia læringseffekter. Ifølge funnene Mayer har gjort om det han kaller «coherence effect», kan det for eksempel være smart å gå igjennom teksten og fjerne irrelevante ord og bilder. Og ut fra funnene om et «personalization principle», vil elevene lære innholdet lettere om det er skrevet på et mer hverdagslig språk. Likevel er det fortsatt viktig å bruke relevante faguttrykk og begreper i tekstene. Mork og Erlie (2010) skriver at begreper ofte bygger på hverandre. Begrepene tidrom og krumning av tidrom bygger slik på hverandre. Det kan på bakgrunn av dette være enklere for elevene å forstå krumning av tidrom om modulen tar opp begrepet tidrom og forklarer dette begrepet mer eksplisitt for elevene. Alt dette må også læreren være klar over. Det blir viktig at læreren trekker linjene mellom den praktiske øvelsen, begrepet tidrom, krumning av tidrom og gravitasjon. Mork og Erlie (2010) påpeker at resultater fra forskning på bruk av vitenprogrammer, indikerer at vanskelige temaer bør gås igjennom på projektor i samlet klasse. På bakgrunn av dette burde krumning av tidrom dermed gås igjennom i plenum. Et forslag er derfor å innføre en oppsummering eller en felles diskusjon i modulen som gir læreren mulighet til dette, og hvor læreren samtidig kan vise sammenhengen mellom de nevnte begreper.

Ekvivalensprinsippet var også noe som mange av elevene kunne beskrive, og det var noen av elevene som viste at de hadde klart å opparbeide seg en dypere forståelse av temaet. Det var også et par elever som strevde med å forklare hva prinsippet går ut på og syntes det var vanskelig. I forbindelse med ekvivalensprinsippet valgte vi å introdusere elevene for sammenhengen mellom likheten av tung og treg masse og ekvivalensprinsippet. Kun en elev

hevdet å forstå denne sammenhengen, men glemte det fordi han ikke trodde det var viktig. Som i studien til Bandyopadhyay og Kumar (2010) viste det seg at elevene ikke har noen god forståelse av begrepene tung og treg masse fra tidligere i fysikkundervisningen. Det ble også gjort funn på en misoppfatning av begrepet tung masse. Dette kan være en grunn til at så få elever forsto denne sammenhengen. Når elevene blir introdusert for begrepene tung og treg masse og problemstillingen om at det eksperimentelt viser seg at disse er like store, ser de ikke noe problem ved dette. I grunnen er dette egentlig ganske alarmerende. Dette er to størrelser som beskriver to helt motsatte fenomener: den ene beskriver et fenomen hvor vi snakker om tiltrekningskrefter som skaper akselerasjon, mens den andre beskriver et fenomen hvor massen gjør motstand mot akselerasjonen.

Man kan spørre om når ikke en gang realfagstudenter ved universitet har god forståelse for disse begrepene, er det da riktig å forvente at videregående elever skal ha det? Med sine forkunnskaper om tiltrekningskrefter i elektromagnetismen burde det i utgangspunktet ikke være vanskelig for elevene å få en god forståelse av begrepet tung masse. Og elevene har hatt om begrepet treg masse i forbindelse med mekanikken. Dette ble til og med poengtert av en elev i fokusgruppeintervjuet. En mulig grunn kan være at det er vanskelig for elevene å skape to motstridende forståelser av noe man i dagligtale og ellers i fysikken kaller for det samme. Det må dermed gjøres en vurdering på om man skal bruke tid og ressurser på å etablere forståelse for disse to begrepene og denne uoverensstemmelsen, eller om man skal spare dette til emner på høyere utdanning. Elevene vil mest sannsynlig kunne klare seg fint gjennom andre temaer i fysikkundervisningen og flere emner på høyere utdanning uten å ha dette klart for seg. Men samtidig mener jeg dette er et veldig godt eksempel på en svakhet ved Newtons gravitasjonsteori, hvor Einsteins relativitetsteori er bedre og faktisk gir oss en forklaring. Bandyopadhyay og Kumar (2010) hevder også at det er essensielt å ha en riktig forståelse av hvorfor størrelsene til tung og treg masse er like store for å oppnå en dyp forståelse av ekvivalensprinsippet.

Bestemmer man seg for å inkludere tung og treg masse i modulen, burde det innføres oppgaver som hjelper elevene å forstå forskjellene på disse begrepene. Jeg foreslår at dette kommer før de introduseres for ekvivalensprinsippet. Slik oppdager de først en uoverensstemmelse i Newtons gravitasjonsteori, og deretter forklarer ekvivalensprinsippet hvorfor tung og treg masse er like. Under utforming av modulen hadde vi en idé om en oppgave hvor elevene selv skulle utlede at tung og treg masse må være like. Denne oppgaven

er presentert i figur 5.2.1I Elevene skal her klikke og dra symboler for tung masse, treg masse, akselerasjon og tyngdeakselerasjon på riktig plass av likhetstegnet. Oppgaven kan forbedres ved at elevene selv begrunner hvorfor tung og treg masse er like ut fra ekvivalensprinsippet og ved at alle gjenstander faller med samme akselerasjon uavhengig av massen. Dette kan enten være en flervalgsoppgave eller en skriveoppgave.

VITEN

Oppgave om tung og treg masse

Hvis en gjenstand kun er påvirket av tyngden (slik som på figuren) har vi:

$$\sum \vec{F} = \vec{G}$$

Dra symbolene inn på riktig plass før og etter likhetstegnet:

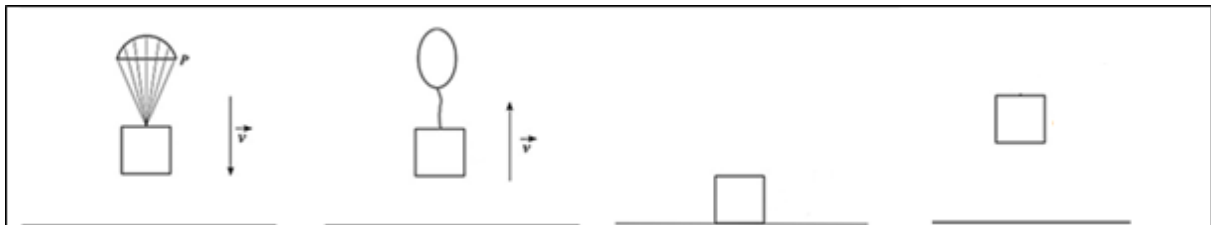
Vi får at: $\vec{a} = \frac{m_g}{m_t} \vec{g}$

Og siden akselerasjonen er lik for alle gjenstander uavhengig av masse må $m_t = m_g$.

Figur 5.2.1I: Forslag til oppgave som kan gi elevene en bedre forståelse av hvorfor tung og treg masse er like. Her står m_t for treg masse og m_g for tung masse.

Det ble også oppdaget en del misoppfatninger i forhold til begrepet treghetssystemer i generell relativitetsteori. I fokusgruppe 2 viste elevene god forståelse av treghetssystemer i generell relativitetsteori og diskuterte dette korrekt. I de to andre fokusgruppene hadde elevene en mangelfull forståelse av dette. I forbindelse med dette begrepet fant jeg to typer misoppfatninger. Begge disse er i tråd med misoppfatninger påpekt av Bandyopadhyay og Kumar (2011). Den ene er at noen elever ser det som nødvendig at et treghetssystem må være et lukket system for at ingen ytre krefter skal virke på det. I den andre varianten av misoppfatninger ser man tydelig at elevene ikke har gitt slipp på synet på treghetssystemer i spesiell relativitetsteori. Ifølge Bandyopadhyay og Kumar (2010) er forståelsen av treghetssystemer i generell relativitetsteori den viktigste kognitive forandringen elevene er igjennom. Man er absolutt nødt til å ha en korrekt forståelse av dette begrepet når man kommer til beregninger.

Noe må gjøres for å unngå disse misoppfatningene. Misoppfatningene kan henge sammen med at eleven ikke har forstått krumning av tidrom og gravitasjon. Så det kan hjelpe om man klarer å skape en bedre forståelse av disse begrepene hos elevene. Ellers blir treghetssystemer i generell relativitetsteori kun presentert gjennom en tekst og et bilde i undervisningsmodulen. Et forslag er derfor i tillegg å innføre noen illustrative oppgaver hvor elevene må bruke sin forståelse av treghetssystemer på et praktisk eksempel. Dette er i tråd med hvordan Mayer (2002) definerer læring i sin multimedialæring. Han sier at man først har lært når man har klart å lage seg en mental modell og klarer å anvende denne i ulike problemstillinger. Et forslag er å lage en flervalgsoppgave, hvor man presenterer en illustrasjon av forskjellige bevegelsessystemer, som vist i figur 5.2.1 II. Oppgaveteksten må opplyse om at alle klossene befinner seg i et gravitasjonsfelt med gravitasjonell akselerasjon lik \vec{g} . Elevene skal så krysse av for om de forskjellige bevegelsessystemene er et treghetssystem i spesiell eller generell relativitetsteori. Eleven må da gjennom en tankeprosess, og vurdere sin forståelse av begrepet. Umiddelbart etterpå vil eleven få bekreftelse på om hans eller hennes forståelse er korrekt. Eleven vil dermed kunne bli nødt til å lese gjennom forklaringen om treghetssystemer i generell relativitetsteori en gang til, eller spørre læreren på hjelp. Det er også viktig at læreren er klar over at disse misoppfatningene kan oppstå hos elevene, og prøve å hjelpe de elevene som sitter med slike misoppfatninger.



Figur 5.2.1 II: Forslag til illustrasjon for flervalgsoppgave om treghetssystemer.

5.2.2 Hvilken støtte er det for å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn og annen fagdidaktisk teori om begrepsinnlæring?

Elevene ga uttrykk for at de lærer og forstår teorien bedre gjennom diskusjonsoppgavene og gjennom å bruke språket. Dette er i tråd med Vygotskij (1987) sin sosiokulturelle læringsteori. I tillegg har vi funnet støtte for at elever kan lære fysiske begreper og faguttrykk bedre gjennom bruk av språket, slik det er hevdet av Angell et al. (2011). Elevene hevdet også at de lærte mye av å jobbe i par. Dette er i tråd med teorien om den proksimale

utviklingssonen (Vygotskij, 1978). På bakgrunn av dette vil jeg si at prosjektets mål om å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn er svært passende for denne modulen.

Vi har sett eksempler på at begrepene i denne undervisningsmodulen bygger på hverandre. Vi har sett at det kan være vanskelig å få en god forståelse for et av begrepene hvis eleven mangler forståelse eller sitter med en misoppfatning av et annet begrep. Dette poengteres også av Mork og Erlie (2010). Generelt vil det være viktig at læreren er klar over dette i situasjoner hvor han eller hun skal hjelpe eleven med problemer og misforståelser. Det kom også fram at elevene karakteriserte teorien som abstrakt, og som nevnt kan nettopp dette være grunnen til at elevene syntes at teorien var vanskelig. Dette kan også være en av grunnene til at et par elever etterlyste flere eksempler. Man kan dermed tenke seg at man kan gjøre teorien mer tilgjengelig for elevene om man knyttet teorien til et eksempel som elevene kan kjenne seg igjen i. Dette er noe man kan ta høyde for både under utforming av neste utgave av modulen, og det kan være et nyttig å vite for læreren.

5.2.3 Hva slags forandringer må gjøres i forhold til elevenes arbeidsmetoder i modulen?

Som det allerede er blitt diskutert har jeg funnet støtte for å inkludere diskusjons- og skriveoppgaver i modulen, i tråd med et sosiokulturelt læringssyn. I tillegg til at elevene syntes de lærte mer gjennom en slik arbeidsmetode, fortalte de også at de syntes det var motiverende å diskutere. Angell et al. (2011) hevder at om elevene får inntrykk av at de får et bra læringsutbytte av et undervisningsopplegg, er de mer villige til å engasjere seg i opplegget. Det at elevene synes at diskusjonsoppgavene er lærerike, kan dermed være en av grunnene til at de engasjerer seg og synes de er motiverende også. Elevene snakket mest om diskusjonsoppgavene. Skriveoppgavene ble det ikke sagt like mye om, bortsett fra at en elev bemerket at de var vanskelige. Det kan imidlertid virke som at elevene har lært de temaene de har hatt skriveoppgaver om godt. Dette er i tråd med funn gjort av Mork og Erlie (2010). For eksempel kan mange av elevene beskrive gravitasjon i generell relativitetsteori og gravitasjonell tidsforsinkelse godt, og dette er temaer hvor vi har benyttet oss av skriveoppgaver. På bakgrunn av dette er det altså viktig å både ha diskusjonsoppgaver og skriveoppgaver i undervisningsmodulen.

Elevene forteller også at de syntes at modulen var bedre enn «vanlig tavleundervisning», både når det gjaldt motivasjon og læringsutbytte. Det kan være flere grunner til dette. En grunn

kan være at elevene syntes at det var motiverende å gjøre noe annerledes. En annen grunn kan være at elevene som nevnt syntes det var motiverende å diskutere og snakke. Ifølge Mayer (2002) kommer en multimediamelding lettere fram gjennom ord og bilder enn gjennom ord alene. På bakgrunn av dette kan det også ha en innvirkende effekt at undervisningsmodulen i større grad er illustrert med bilder enn en «vanlig tavleundervisning». Likevel skriver Mork og Erlien (2010) som nevnt at det er viktig også å ha gjennomgang i fellesskap på det som er vanskelig for elevene. Fordi visuelt og auditivt materiale ifølge multimediateorien behandles gjennom separate kanaler og lagres som forskjellig informasjon (Mayer, 2002), vil man gjennom både visuell og auditiv presentasjon få et større læringsutbytte («modality effect»). På bakgrunn av dette vil det absolutt anbefales å gå igjennom deler av materialet som presenteres i modulen felles i klasserommet.

Noen av elevene etterlyser mer individuell jobbing, men dette er ikke et dominerende syn. I tillegg er det etterspørsel etter mer forberedelse og noen elever føler de mangler en form for bakgrunnskunnskap. Ved å gi elevene en lekse eller et opplegg de kan bruke til å forberede seg hjemme i forkant av undervisningen, ville man kunne oppfylle noe av dette. Dette kan også gi bedre læringseffekt ifølge funn gjort av Mayer (2002) om en «pretraining effect». Denne effekten viser at elever lærer mer og presterer bedre om de har fått øve seg på begreper og ordforklaringer på forhånd. Fokusgruppe 3 hadde ifølge læreren fått i lekse å lese kapittelet om generell relativitetsteori i læreboka, før gjennomgangen av undervisningsmodulen. Likevel mente ikke disse elevene at de hadde god nok bakgrunnsforståelse. Det kan være slik at en del av elevene ikke hadde gjort leksen, og derfor følte de ikke at de hadde den bakgrunnsforståelsen de trengte. Men det kan også være at det å lese kapittelet i boka, ikke ga god nok forberedelse for elevene. I så fall kan det tyde på at et opplegg som skal brukes til forberedelse, burde tenkes gjennom og planlegges mer nøye.

På bakgrunn av teori om begrepslæring og en «pretraining effect», ville det vært en fordel om et slikt forberedelsesopplegg repeterte tidligere begreper fra fysikken som elevene trenger i modulen. Tung og treg masse er eksempler på slike begreper. I en slik forberedelse kunne også nye begreper som benyttes i modulen bli introdusert og forklart. Eksempler på slike begreper er tidrom og geodet.

5.2.4 Funn av forskjeller mellom fokusgruppene

Det viste seg å være en del forskjeller mellom hva som ble etterspurt i de forskjellige fokusgruppene. Fokusgruppe 2 var veldig fornøyde med først å ha diskusjon i par for så å ta opp diskusjonen felles i klassen. I fokusgruppe 1 og 3 etterlyste elevene oppsummering og diskusjon i plenum. I fokusgruppe 2 var elevene også fornøyde med å diskutere to og to, mens i fokusgruppe 1 og 3 ville de ha større grupper. Disse forskjellene kan antagelig knyttes til hvordan de forskjellige lærerne har benyttet seg av undervisningsmodulen i de forskjellige klassene. I fokusgruppe 2 ble hele undervisningsmodulen gjennomgått i plenum, samt at diskusjonsoppgavene også ble oppsummert. Derfor etterlyser naturlig nok ikke disse elevene oppsummering og diskusjon i plenum. I fokusgruppe 1 og 3 var det i mye mindre grad slik oppsummering og dialog i plenum. I tråd med resonnementet jeg gjorde i forrige avsnitt om multimediateorien til Mayer (2002) og funn av Mork og Erlie (2010) og ut fra elevenes etterspørsel bør det derfor eksplisitt innføres noen felles oppsummeringer og diskusjoner i undervisningsmodulen.

Det at elevene skulle jobbe sammen i par og ikke tre og tre, var et bevisst valg vi gjorde under utformingen av modulen. Dette valget ble tatt på bakgrunn av erfaringer fra erfarne lærere og erfaringer fra tidligere uttestinger av moduler i prosjektet. Likevel var det altså uenighet blant elevene om hvor store disse diskusjonsgruppene skal være. Det kom fram tre forskjellige begrunnelser for å ha større grupper. De fleste elevene ville ha større grupper fordi de ikke fikk god nok bekreftelse på hva som var riktig og galt da de diskuterer to og to. Dette vil kunne løses om man innfører felles oppsummering av stoffet. Et annet argument som kom opp, var at diskusjonen ville blitt mer innholdsrik om det var flere elever på gruppene. Dette problemet ville løses om man gjennomfører noen av diskusjonsoppgavene felles i klassen, etter først å ha diskutert to og to. Til slutt argumenterte en elev med at han falt av og ikke fikk gjort så mye av diskusjonsoppgavene fordi han jobbet i par med en annen elev som var en del svakere i faget og som ikke ville gjøre diskusjonsoppgavene. For å unngå dette, vil det kunne være gunstig at læreren plukker elevpar ut uten altfor sprikende nivå av både muntlige og faglige ferdigheter. Ifølge teorien om den proksimale utviklingssonen av Vygotskij (1978), vil det være en fordel med en liten nivåforskjell mellom elevene. Slik vil den svakeste av elevene ha mulighet til å kunne strekke seg opp mot nivået til den som er litt sterkere i faget. Ifølge Vygotskij (1987) er ikke språket bare en formidler av kunnskap, men kunnskap oppstår også gjennom formulering og bruk av språket. Dette vil si at også den sterkeste av elevene vil få et

utbytte av å forklare og diskutere teorien med partneren. Som Angell et al. (2011) påpeker, må elevene arbeide gjennom tenkning og språklig samhandling for å utvikle innsikt og forståelse av begreper. Begge elevene vil dermed oppnå større innsikt og forståelse av begrepene gjennom å sitte og diskutere.

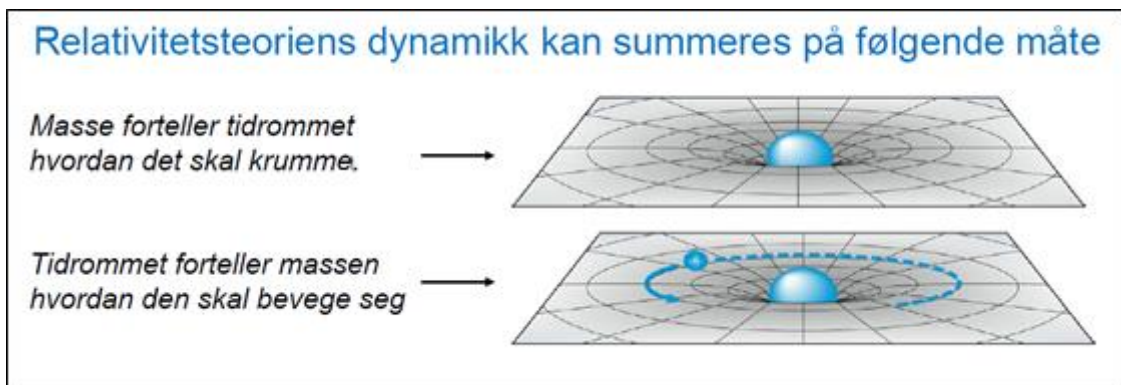
Hvis man gjennomfører endringene som ble diskutert i forrige avsnitt kan det være mulig at det ikke lenger vil være en etterspørsel om å være flere elever på diskusjonsgruppene, slik som i fokusgruppe 2. Andre forskjeller som utmerket seg mellom gruppene, var at elevene i fokusgruppe 1 ga uttrykk for at de ikke husket eller ikke forsto det meste av innholdet i modulen. På spørsmål om de sentrale begrepene i generell relativitetsteori var det lite de viste forståelse for. Det kom fram i fokusgruppeintervjuene at disse elevene følte de manglet støtte fra læreren og at de følte de var ukonsentrerte under arbeidet. Dette kan ha en sammenheng med måten undervisningsmodulen ble brukt på. I denne klassen ble elevene mer eller mindre overlatt til å gå igjennom modulen på egen hånd og de fikk jobbe med den i sitt eget individuelle tempo. Det var tegn på et betydelig høyere læringsutbytte i fokusgruppe 2 og 3, hvor undervisningen i større grad var lærerstyrt og hvor elevene går igjennom modulen i samme tempo. Dette resultatet er i tråd med synspunkter på bruk av IKT i undervisningen av Angell et al. (2011) og resultatene fra forskning på bruk av vitenprogrammer presentert av Mork og Erlien (2010). Det understreker også hvor sentral rolle læreren har i undervisningsmodulene i ReleKvantprosjektet, slik jeg har diskutert i teoridelen. Det er kun i fokusgruppe 1 og 3 det ble funnet tegn på misoppfatninger blant elevene. Ved å i større grad oppsummere stoffet og følge opp diskusjonene, kan det se ut som det oppstår færre misoppfatninger hos elevene.

5.2.5 Hvordan kan man på en best mulig måte presentere den generelle relativitetsteorien og gjøre den tilgjengelig for fysikk2-elever?

En elev ville ha med flere filmer. Dette ville vært i tråd med multimediateori, i og med at en film har mulighet til å presentere materiale både visuelt og auditivt (Mayer, 2002). Når det gjelder de to filmene som vi har laget, er elevene misfornøyde med disse. En elev beskriver dem som lite energiske og kjedelige, og en annen uttrykker at de ikke gjør inntrykk på ham. Vi ser også at elevene ikke får med seg innholdet i filmen av Øyvind Grøn om gravitasjonell rødforskyvning. I noen av elevsitatene kan man derimot se spor av at de har blitt påvirket av

filmen om gravitasjonslinser av Marit Sandstad. Studerer man filmene nærmere, kan man se at filmen av Grøn, presenterer informasjon kun auditivt og ikke visuelt. Denne filmen inneholder ingen visuelle modeller eller illustrasjoner av det han snakker om. I filmen med Sandstad er det derimot klippet inn en illustrasjon om hvordan masse krummer tidrommet, samt at hun også har tegnet en modell av hvordan lyset bøyes i gravitasjonsfelt på en tavle i bakgrunnen. Filmene av Sandstad får dermed presentert materialet både auditivt og visuelt, og i tråd med en «modality effect» gir dette økt mulighet for læringsutbytte.

Ellers i modulen er det viktig å ha illustrative og forklarende bilder til forklarende tekst ifølge en «multimedia effect» funnet av Mayer (2002). En illustrasjon som dras fram i fokusgruppene er figur 5.2.5. Et par elever forteller at de husker dette bildet godt og at det var lærerikt. Bildet oppfyller i stor grad krav som kan gi både en «multimedia effect», «spatial effect» og «signaling effect». I videre utvikling av modulen er det viktig å være klar over effekten av å ha gode og illustrative bilder og hvordan de bør plasseres i forhold til tilhørende tekst.



Figur 5.2.5: Bilde som blir nevnt av elever i fokusgruppene og som oppfyller flere av effektene i multimediateorien til Mayer (2002).

Elevene snakker ofte om animasjoner og simuleringer fra andre undervisningsopplegg, og det virker som om disse har gjort stort inntrykk på elevene. Simuleringer og animasjoner oppfyller i større grad flere av multimedialærings effektene i multimediateorien, enn presentasjon av stoff kun gjennom tekst og bilder (Mayer, 2002). Og ifølge Smetana og Bell (2012) er det tydelig at om simuleringer brukes på riktig måte, kan de gi bedre læringseffekt enn tradisjonell undervisning. På bakgrunn av dette ville det vært en fordel om man hadde funnet eller laget en animasjon til noe av stoffet i modulen. Hvis dette ikke er mulig har jeg et forslag om å bruke en film fra nettstedet «youtube», som ligger som lenke under

ekstramateriale i slutten av undervisningsmodulen. Denne filmen presenterer både ekvivalensprinsippet, krumning av tidrom, gravitasjon og hvordan solformørkelsen i 1919 bekreftet Einsteins teori. I tillegg har denne filmen flere spennende og illustrative effekter. Denne filmen kan derfor være mer i tråd med hva ungdom i dag forventer av en film enn de filmene vi har laget selv. I tillegg oppfyller den i større grad kravene til flere multimedialæringseffekter. I og med at filmen er relativt kort kunne den for eksempel fungert som en del av en oppsummering av ekvivalensprinsippet, krumning av tidrom og gravitasjon. Etter å ha sett filmen kunne elevene diskutert hva de husker av dette felles i klassen. Grunnet problemer som kan dukke opp på grunn av lenkeråte og opphavsrett, valgte vi å ikke inkludere filmen fra «youtube». Det er selvsagt fortsatt store problemstillinger i forbindelse med det, men jeg ville gjort en ny vurdering av dette i og med at en slik film vil kunne presentere mye av stoffet på en bedre måte.

5.2.6 Hva burde forandres på ut fra til tilbakemeldinger på utforming av modulen?

Generelt hadde elevene et positiv inntrykk av undervisningsmodulen, og de syntes opplegget var lærerikt. Når man skal gjøre endringer på modulen blir det viktig å bevare dette inntrykket. Det kan gjøres ved å bevare det materialet som fungerte bra og de komponentene som skapte motivasjon hos elevene. Det kom fram at flere elever hevdet at tidsforsinkelse i gravitasjonsfelt ga dem en aha-opplevelse, og det virket som mystikken rundt dette var motiverende. I tillegg er det også mange elever som syntes at oppgave 2 (se figur 4.2.3) ga dem en aha-opplevelse og at det var en lærerik oppgave.

En elev nevnte at det var motiverende å lære om en kjent teori som er laget av Einstein. Dette kan være et argument for å ha med historiske perspektiver om hvordan Einstein kom fram til den generelle relativitetsteorien og solformørkelsen 1919. Det ble også nevnt at det var motiverende å høre om forbløffende ting. Det kan dermed være en idé å utvide konseptet vi innførte med «grubliser» (se figur 5.2.6). Grubliser er en fin måte å skape indre motivasjon hos elevene ved å vise fram deler av materialet som er spennende og interessant. Noen elever uttrykte at generell relativitetsteori var vanskelig. De slet med å forstå alt, og har antageligvis nok med å fokusere på det innholdet som allerede er i modulen. Disse grubliserne burde derfor være valgfrie. Grubliserne kunne for eksempel dukket opp på skjermen til elevene når de velger å trykke på dem.

VITEN

Spør en forsker: Hva tenkte Einstein om lys som beveger seg nedover i gravitasjonsfelt?

[Se filmen av Øyvind Grøn](#) som forklarer eksempel med gravitasjonell rødforskyvning og gravitasjonell tidsforlengelse.

I et sort hull går massetettheten og gravitasjonen mot uendelig. Tiden vil dermed gå saktere og saktere jo nærmere du kommer. Tiden vil så å stoppe helt opp i det du er ved den kritiske radien til det sorte hullet.

GRUBLIS: Hva skjer med tiden når du nærmer deg et sort hull?

Figur 5.2.6: Grublisen som vi inkluderte i modulen.

På bakgrunn av resultater fra ROSE-prosjektet, inkluderte vi materiale om GPS-systemet for å blant annet vekke interesse hos guttene. Og vi håpet at en filosofisk tilnærming til deler av materialet skulle være interessant for jentene. Dette kom ikke opp under diskusjon i fokusgruppene om hva som motiverte elevene, men det er fortsatt viktig for at modulen skal oppfylle prosjektets mål om å inkludere teknologiske og filosofiske aspekter ved teorien. GPS-systemet er også et eksempel på bruk av den generelle relativitetsteorien i dagliglivet og at teorien viser seg å stemme. Det er dermed en veldig fin måte å gjøre teorien relevant for elevene på.

En elev kom med forslag om å innføre en poengscore og skape en konkurranse i klassen. Dette ville skapt en form for ytre motivasjon hos elevene, og det er sikkert en effektiv måte å engasjere noen av elevene. Imsen (2005) hevder derimot at det mest optimale i en læringssituasjon er å prøve å skape indre motivasjon hos elevene. Jeg mener derfor det er viktigst å legge vekt på effekter som kan skape indre motivasjon under utformingen av modulen.

Spesielt i fokusgruppe 2 ble det nevnt at elevene følte at det var litt lite tid til å gjennomføre undervisningsmodulen og at det ble gått fort frem. Det er mulig det ikke er nødvendig å gå gjennom alt materiale felles i klassen slik læreren gjorde i undervisningen til denne fokusgruppen. Man kunne kanskje spart en del tid på å prioritere de temaene og begrepene

man ser på som mest sentrale og temaer hvor man ser at det kan oppstå misoppfatninger. I tillegg har jeg kommet fram til at det trengs å innføres oppsummeringer og diskusjoner i hel klasse, samt at det skal tilføres en del interaktive oppgaver. Dette gjør imidlertid at man vil få et tidsproblem med gjennomføring av modulen. En løsning kan være at deler av opplegget, for eksempel en del oppgaver, blir gjort hjemme som lekse enten som forberedelse til undervisningen eller som etterarbeid. Likevel kan det hende man må vurdere å kutte ut deler av materialet. Det kan også være en mulighet å utvide tidsrammen for modulen. Denne første utgaven av modulen er beregnet for to dobbelttimer. Man kunne vurdert å utvide tidsrammen for modulen med enda en dobbelttime eller en enkelt time. Det ville gitt elevene mer tid til å etablere disse nye og abstrakte begrepene, og man ville sluppet å kutte ut noe av materialet. Utfordringen er at generell relativitetsteori utgjør en ganske liten del av kompetansemålet om relativitetsteori. Før man velger å utvide tidsrammen, bør det derfor undersøkes om lærere synes det er greit å bruke mer enn to dobbelttimer på å undervise generell relativitetsteori.

5.2.7 Forslag om at prosjektet utvikler en lærerveiledning for undervisningsmodulen

Det kommer klart fram av resultatene fra fokusgruppene at læreren har en sentral rolle ved bruk av denne undervisningsmodulen. Det var elever som etterlyser støtte fra læreren. De ønsket mer forklaring fra læreren, samt mer oppsummering, diskusjon og undervisning felles i klassen. Vi ser at det ikke er nok for elevene å forstå generell relativitetsteori gjennom å lese tekst og diskutere rundt det i par. Elevene trenger tilbakemelding på sine forestillinger og tanker, og de trenger bekreftelse på om at det de tenker er riktig. Det at det ikke ble funnet tegn på misoppfatninger i fokusgruppe 2, støtter også opp om denne slutningen. For at læreren skal kunne gi elevene denne støtten, er det viktig at læreren vet hva som kreves av han eller henne. Det er viktig at læreren vet hvilken rolle han eller hun har under gjennomføring av modulen, og hvordan det er smart å bruke modulen i undervisningen. Som nevnt skiller ReleKvantmodulene seg også fra andre vitenprogrammer, og dette må læreren også være klar over. Som jeg har kommet fram til i diskusjonen, trenger læreren å vite hvilke begreper og temaer som er sentrale i undervisning av generell relativitetsteori gjennom en kvalitativ tilnærming. Det er også sentralt for læreren å vite hvilke misoppfatninger som kan oppstå. På denne måten kan læreren være på vakt for disse misoppfatningene under veiledning av elevene. Læreren vil også kunne være forberedt på hva han eller hun kan gjøre for å rette opp

i en eventuell misoppfatning. Sist men ikke minst er det vesentlig at læreren selv har en god kvalitativ forståelse av generell relativitetsteori.

For å kunne formidle alt dette til de lærerne som skal bruke undervisningsmodulen, ville det vært en fordel å lage en lærerveiledning. Her ville man både kunne presentere lærerens rolle i en ReleKvantmodul og hvordan modulen best mulig kan benyttes i undervisning. Det kunne også bli gitt tips og råd til undervisningen. Her burde det også komme fram at man bør tenke gjennom valg av par til diskusjonsoppgavene, hvilke temaer som ser ut til å være vanskelige for elevene og hvilke misoppfatninger som kan oppstå hos elevene. I tillegg kunne en slik lærerveiledning inneholde teori og fordypningsstoff. Henriksen et al. (2014) opplyser om at få lærere har kjennskap til generell relativitetsteori fra egen utdanning. Det å inkludere teori og fordypningsstoff i lærerveiledningen, vil kunne gjøre det enklere for læreren å sette seg inn i generell relativitetsteori på en kvalitativ måte og føle seg tryggere. I forbindelse med utformingen av en slik lærerveiledning, ville det selvfølgelig også være en fordel å undersøke hva lærerne trenger innføring i for å bruke ReleKvantmodulene. Man burde vite hva de synes er vanskelig ved å bruke en slik undervisningsmodul, samt hvor god forståelse de har av den generelle relativitetsteorien.

5.2.8 Hvor gyldige er disse resultatene?

I denne oppgaven har jeg ønsket å få et innblikk i elevenes forståelse av teorien og inntrykk av modulen, og det har jeg fått. Jeg vil derimot bemerke at jeg ikke har godt nok datamateriale for å trekke noen generelle slutninger om hverken klassenes forståelse av den generelle relativitetsteorien eller klassens inntrykk av og meninger om modulen. Skulle man sagt noe om klassenes forståelse av teorien, måtte man i så fall studert elevenes skriftlige besvarelser og de transkriberte diskusjonene fra uttestingen.

Det er også andre faktorer som kan ha påvirket resultatene mine. Som sagt var det lærerne fra uttestingen som plukket ut elevene som skulle være med på fokusgruppeintervju. De fikk beskjed om å plukke ut elever på forskjellig faglig nivå, altså både svake og sterke elever. Jeg har ingen dokumentasjon på om dette kravet ble oppfylt. Jeg vet heller ikke om det var en representativ fordeling av svake elever og sterke elever i fokusgruppene. Ut fra elevsvarene kan man se at det både var elever som viste dyp forståelse av begrepene og elever som ikke forsto begrepene. Dette kan tyde på at det var en viss forskjell på det faglige nivået til elevene. Men som sagt kan jeg ikke si dette med sikkerhet. Man må også ta høyde for at det kun var tre

elever med i fokusgruppe 1. Dataene fra dette intervjuet vil altså ha noe dårligere kvalitet enn dataene i fokusgruppe 2 og 3, og inneholder et mindre mangfold av forskjellige meninger og elevuttalelser. Av flere grunner kan også elever ha holdt tilbake synspunkter under fokusgruppeintervjuene. Noen av elevene kan for eksempel vært ha sjenerte eller de kan ha vært redde for å vise at det var begreper i modulen som de ikke forsto. Slik kan det være både flere inntrykk og misoppfatninger blant elever i fokusgruppene som ikke kommer fram i resultatene.

Jeg har likevel trukket slutninger både om enkelte elevers forståelse og inntrykk av modulen. Disse slutningene er fullt gyldige i og med at jeg har gjort en kvalitativ studie. Jeg har på ingen måte generalisert resultatene mine. Så selv om dette er resultater som omfatter et lite utvalg av elever fra klassene, er de nyttige å bruke i videre utvikling av modulen. Jeg har også trukket sammenhenger mellom elevenes svar og lærerens gjennomføring av undervisningen. Dette er også gyldig i og med at lærerens gjennomføring kan ha påvirket den enkelte elevs svar. Selvsagt er det mange andre faktorer som også kan påvirke elevsvarene, men når det er enighet i fokusgruppene tyder det på at elevenes meninger kan ha sammenheng med det som skjedde under felles undervisning. Når det så ble funnet forskjellige meninger i de forskjellige fokusgruppene, og undervisningsmodulen var ganske lik i alle uttestinger, kan det tyde på at lærerens gjennomføring utgjør forskjellen.

5.3 Konklusjon

Resultatene tyder på at det er fullt mulig for fysikk 2-elever å forstå alle de sentrale begrepene i den generelle relativitetsteorien på en kvalitativ måte. Det er også stor støtte i resultatene for å legge vekt på et sosiokulturelt læringssyn i utformingen av denne modulen. Altså vil det fortsatt være gunstig å legge vekt på bruk av diskusjons- og skriveoppgaver i videre utvikling av modulen. I tillegg er det også gjort funn som støtter opp under at elevene lærer fysiske begreper og faguttrykk gjennom å snakke og bruke språket. Andre komponenter som det var positive tilbakemeldinger fra elevene på var temaet gravitasjonell tidsforlengelse og oppgave 2 i modulen. Dette bør derfor være med i neste utgave av modulen. Det er også en idé å utvide konseptet med grubliser, som beskrives som motiverende.

Ellers er det mye endringer som kan gjøres på modulen for å forbedre den til neste uttestingsrunde. Det viktigste som kom fram fra resultatene, var hvor sentral rollen til læreren

er i bruken av denne undervisningsmodulen. Derfor anbefales det å lage en lærerveiledning. I denne lærerveiledningen burde man presentere hvilken rolle læreren har i en ReleKvantmodul og hvordan man best benytter en slik modul i undervisningen. Man kan også inkludere teori og fordypningsstoff som læreren kan sette seg inn i for å forstå bedre og føle seg tryggere på hva den generelle relativitetsteorien innebærer. I oppgaven har det også kommet fram at læreren bør passe på at elevene gjennomfører modulen i samme tempo. Og det viser seg at det er smart om læreren plukker ut hvilke elever som skal jobbe sammen i par ut fra muntlige og faglige ferdigheter. Dette burde også komme fram i en lærerveiledning.

Selv om flere elever viste god forståelse av de sentrale begrepene i generell relativitetsteori, ble det også gjort funn på en del misoppfatninger som kan oppstå hos elevene. En misoppfatning dreier seg om gravitasjon. Selv om elevene lærer seg at gravitasjon ikke sees på som en kraft, ser noen elever for seg at det fortsatt finnes en form for tiltrekningskraft. Det viser seg at elevene også støtter seg til elementer fra Newtons gravitasjonsteori i forbindelse med problemstillinger innen krumning av tidrom. Det er derfor viktig at læreren hjelper elevene med å trekke linjene mellom den praktiske elevøvelsen, begrepet tidrom, krumning av tidrom og gravitasjon. Det ble også oppdaget to typer misoppfatninger i forhold til treghetssystemer i generell relativitetsteori. Et forslag for å hindre at elevene etablerer disse misoppfatningene, er å innføre illustrative flervalgsoppgaver hvor elevene må bruke sin forståelse av treghetssystemer på et praktisk eksempel. Et forslag på en illustrasjon til en slik oppgave er gitt i figur 5.2.2. Disse misoppfatningene burde man også informere lærerne om i en lærerveiledning.

Generelt kommer det fram at elevene synes at teorien i modulen er abstrakt. En måte å gjøre teorien mer tilgjengelig for elevene på, vil i denne forbindelse være å innføre eksempler i modulen hvor man kan knytte teorien til noe praktisk som elevene kan kjenne seg igjen i. Spesielt krumning av tidrom og ekvivalensprinsippet beskrives av elever som vanskelig. For å gjøre krumning av tidrom mer tilgjengelig for elevene er det et forslag å presentere begrepet tidrom mer eksplisitt for elevene i neste utgave av modulen. I forbindelse med ekvivalensprinsippet kom det fram at elevene har dårlig forståelse av begrepene tung og treg masse. Det må gjøres en vurdering om man skal bruke tid på å etablere disse begrepene for elevene i fysikk 2 og introdusere elevene for sammenhengen mellom lik verdi av tung og treg masse og ekvivalensprinsippet. Dersom det blir inkludert bør man innføre oppgaver som hjelper elevene med å etablere en forståelse av disse begrepene og se denne sammenhengen.

Generelt kan materialet i modulen presenteres bedre om man går igjennom modulen og ser over plassering og valg av bilder og utforming av de forklarende tekstene. Passer man på at dette er i tråd med Mayers multimediateori, er det økt mulighet for læringsutbytte. Det anbefales også å gjøre noe med filmene som er med i modulen, slik at de presenterer innholdet både visuelt og auditivt. Det hadde vært en fordel å finne eller lage en animasjon av deler av stoffet i modulen, og det kan også være en mulighet å inkludere en film fra «youtube» som ligger lenket som ekstramateriale i modulen. Denne filmen kunne blitt brukt som innledning til en oppsummering om begrepene ekvivalensprinsippet, krumning av tidrom og gravitasjon.

Deler av materialet burde i tillegg til å jobbes med gjennom diskusjons- og skriveoppgaver, presenteres felles i klasserommet. I forbindelse med dette er det et viktig å innføre komponenter i modulen med instruksjon om å diskutere og oppsummere vanskelige temaer i plenum. En av oppsummeringene burde plasseres slik at læreren får mulighet til å trekke sammenhengen mellom krumning av tidrom, tidrom, gravitasjon og den praktiske øvelsen. For å oppfylle elevenes ønske om noe mer individuell jobbing og mulighet til å være mer forberedt til diskusjonene, kunne deler av modulen blitt laget slik at den brukes til forberedelse. I dette forberedelsesopplegget burde elevene repetere relevante begreper fra tidligere undervisning. Og man kunne introdusere elevene for noen av de nye begrepene som benyttes i modulen.

Det bør altså gjøres endringer på flere komponenter i undervisningsmodulen. Og i tråd med et «Educational Design Research», skal modulen gjennom flere runder med uttestinger og endringer før den er ferdig utviklet. I neste omgang med endringer bør mye nytt inkluderes, samtidig som tidsrammen for undervisningsmodulen kan være litt for liten. Dette kan tyde på at man enten må kutte ut noe av materialet eller utvide tidsrammen. En annen løsning kan være at elevene gjennomfører deler av opplegget som lekse eller som et forberedelsesopplegg. Det blir uansett viktig å passe på at endringene som gjøres er til det beste for undervisningsmodulen som helhet. Det er viktig å ha en balanse mellom den teoretiske kvaliteten på modulen og de komponentene som virker motiverende på elevene. Man må passe på å sikre at elevene får god nok forståelse av de viktigste og mest sentrale begrepene. Samtidig som man passer på at elevene fortsatt har et positivt inntrykk av modulen, er motiverte og engasjerer seg i arbeidet med generell relativitetsteori.

Litteraturliste

- Angell, Carl, Bungum, Berit, Henriksen, Ellen K., Kolstø, Stein D., Persson, Jonas, & Renstrøm, Reidun. (2011). *Fysikkdidaktikk*. Kristiansand: Høyskoleforl.
- Bandyopadhyay, Atanu, & Kumar, Arvind. (2010). Probing students' understanding of some conceptual themes in general relativity. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), 020104.
- Bandyopadhyay, Atanu, & Kumar, Arvind. (2011). Probing students' ideas of the principle of equivalence. *European Journal of Physics*, 32(1), 139.
- Braun, Virginia, & Clarke, Victoria. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. doi: 10.1191/1478088706qp063oa
- Bøe, Maria V., Angell, Carl, Bungum, Berit, & Henriksen, Ellen. K. (2015). *Entanglement: Quantum physics, history, philosophy and NoS in traditional Norwegian classrooms*. Proposal accepted for the ESERA 2015 Conference in Helsinki, Finland, September 2015.
- Cohen, Louis, Manion, Lawrence, Morrison, Keith, & Bell, Richard Colin. (2011). *Research methods in education* (7th ed. utg.). London: Routledge.
- Fowler, Floyd J. (2009). *Survey research methods* (4th ed. utg. Vol. 1). Los Angeles: Sage.
- Guttersrud, Øystein. (2001). "Det er ikke lett å diskutere med venner som ikke vet at ting faller like fort" : en fokusgruppestudie av fysikkelevers oppfatninger av fysikk og deres grunner for å velge fysikk i videregående skole. Oslo: Ø. Guttersrud.
- Henriksen, Ellen K., Bungum, Berit, Angell, Carl, Tellefsen, Cathrine W., Frågåt, Thomas, & Bøe, Maria V. (2014). Relativity, quantum physics and philosophy in the upper secondary curriculum: challenges, opportunities and proposed approaches. *Physics Education*, 49(6), 678.
- Imsen, Gunn. (2005). *Elevers verden : innføring i pedagogisk psykologi* (4. utg. utg.). Oslo: Universitetsforlaget.
- Joffe, Helene. (2011). Thematic Analysis *Qualitative Research Methods in Mental Health and Psychotherapy* (s. 209-223): John Wiley & Sons, Ltd.
- Juuti, Kalle, & Lavonen, Jari. (2012). Design-based research in science education: One step towards methodology. *Nordic Studies in Science Education*, 2(2), 54-68.
- Krueger, Richard A. (1998a). *Analyzing & reporting focus group results*. Thousand Oaks, Calif: Sage.
- Krueger, Richard A. (1998b). *Developing questions for focus groups*. Thousand Oaks, Calif: Sage.
- Kvale, Steinar, & Brinkmann, Svend. (2009). *Det kvalitative forskningsintervju* (2. utg. utg.). Oslo: Gyldendal akademisk.
- Mayer, Richard E. (2002). Multimedia learning. *Psychology Of Learning And Motivation: Advances In Research And Theory*, 41, 85-139.
- Morgan, David L. (1988). *Focus groups as qualitative research* (Vol. 16). Newbury Park, Calif: Sage.
- Morgan, David L. (1998). *Planning focus groups*. Thousand Oaks, Calif: Sage.
- Mork, Sonja M., & Erlien, Wenche. (2010). *Språk og digitale verktøy i naturfag*. Oslo: Universitetsforl.
- Roeser, Robert W, & Galloway, Mollie K. (2002). Studying motivation to learn during early adolescence: A holistic perspective *Academic motivation of adolescents* (s. 331-372).
- Sjøberg, Svein. (2009). *Naturfag som allmenndannelse : en kritisk fagdidaktikk* (3. utg. utg.). Oslo: Gyldendal akademisk.

- Smetana, Lara Kathleen, & Bell, Randy L. (2012). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337-1370. doi: 10.1080/09500693.2011.605182
- Sommerseth, Helene, & Lund, Helge. (2006a). Læreplan i fysikk - programfag i studiespesialiserende utdanningsprogram - Grunnleggende ferdigheter. Lastet ned 29.05, 2015, fra http://www.udir.no/kl06/FYS1-01/Hele/Grunnleggende_ferdigheter/
- Sommerseth, Helene, & Lund, Helge. (2006b). Læreplan i fysikk - programfag i studiespesialiserende utdanningsprogram - kompetansemål. Lastet ned 27.05, 2015, fra <http://www.udir.no/kl06/FYS1-01/Kompetansemaal/?arst=1858830314&kmsn=46633111>
- The General Teaching Council for Scotland. (2015). The General Teaching Council for Scotland. Lastet ned 27.05, 2015, fra <http://www.gtcs.org.uk/education-in-scotland/education-in-scotland.aspx>
- Vygotskij, Lev Semenovi. (1978). *Mind in society : the development of higher psychological processes*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Vygotskij, Lev Semenovi. (1987). *The collected works of L. S. Vygotsky : 1 : Problems of general psychology : including the volume Thinking and speech*. New York: Plenum Press.
- Wald, Robert M. (2006). Resource Letter TMGR-1: Teaching the mathematics of general relativity. *American Journal of Physics*, 74(6), 471-477. doi: <http://dx.doi.org/10.1119/1.2178850>

Vedlegg

Vedlegg A: Første utgave av undervisningsmodul i generell relativitetsteori



Generell relativitetsteori

 Ane Sofie Ytterhaug, Øyvind Grøn, ReleKvant-prosjektet 2015
<http://www.mn.uio.no/fysikk/forskning/prosjekter/relekvant/> 



En ny teori for gravitasjon

Hvilke fysiske lover trengte man å kjenne til for å sende de første menneskene til månen i 1969?

Da det første månelandingsfartøyet Eagle landet på månen, var Newtons lover tilstrekkelig for de beregningene som lå til grunn for denne bragden.

Sir Isaac Newton formulerte i 1687 en lov som beskrev kraften gravitasjon. Denne loven har blitt brukt til å beregne bevegelsen til både himmellegemer og gjenstander her på jorden i flere hundre år.

I dag, over 300 år senere, vet vi at en del fenomener ikke kan forklares med Newtons gravitasjonslov. Vi trenger i tillegg Einsteins generelle relativitetsteori!



Hva ville skje om sola plutselig forsvant?



I følge Newtons gravitasjonslov vil det merkes momentant om sola plutselig forsvinner. Når den store massen til sola ikke lenger er der, vil det heller ikke være noen gravitasjonskraft som virker

på jorda, og jorda vil momentant gå ut av sin bane og fortsette med rettlinjett bevegelse utover i rommet.

For Einstein var dette et problem; i følge den spesielle relativitetsteorien kan ingenting bevege seg raskere enn lyset, og lyset bruker litt over 8 minutter fra sola til jorda. Hvis jorda momentant går ut av sin bane, må *informasjonen* om at sola forsvinner bevege seg med overlyshastighet.

Dette problemet skulle bli starten på hans generelle relativitetsteori - en gravitasjonsteori.

Skriv deg i gang:



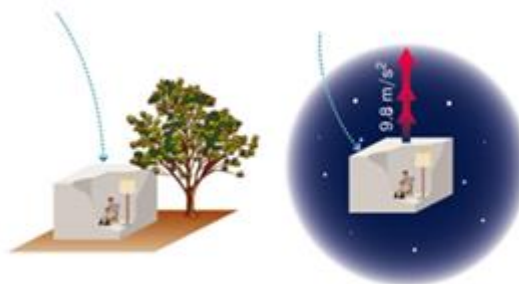
- Hva er gravitasjon? Beskriv det så godt du kan

Skriv i Word og send dokumentet til læreren etter timen!

Diskuter i par:

Se for deg at du befinner deg i et rom som er lydtett og uten vinduer. Du får høre at rommet akselererer med $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ og er langt fra andre himmellegemer. Hva slags eksperimenter kan du gjøre inni rommet for å finne ut om dette er sant?

Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren



Einsteins lykkeligste tanke

En dag i 1907, da han satt i en stol på patentkontoret i Bern, fikk Einstein det han i senere tid kalte sin lykkeligste tanke.



«Hvis en person faller fritt, vil han ikke føle sin egen vekt. Jeg ble helt oppjaget. Denne enkle tanken gjorde et dypt inntrykk på meg. Den drev meg mot en gravitasjonsteori.»

Einstein tok utgangs-punkt i en fundamental og lenge kjent egenskap ved gravitasjon. På et gitt sted faller alle gjenstander med samme akselerasjon uansett hva de er laget av. Akselerasjonen i et tyngdefelt er uavhengig av massen.

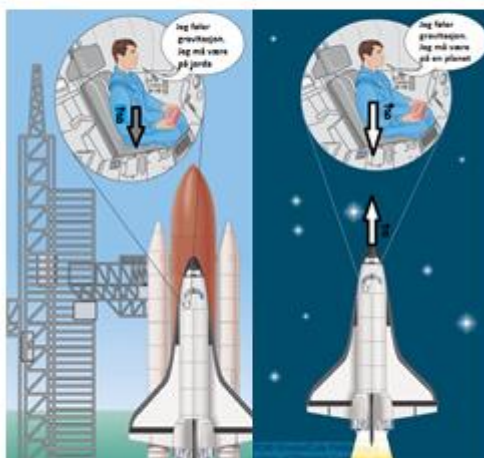
Ekvivalensprinsippet

Einstein konstruerte videre et tankeeksperiment der han så for seg en person som befant seg i et akselerert laboratorium i verdensrommet, og en annen person i et laboratorium på jorden. Han kom fram til at det ikke er mulig å gjøre noen forsøk i disse laboratoriene som kan skille det ene tilfellet fra det andre. Han konkluderte med at akselerasjon og gravitasjon er to *ekvivalente* fysiske fenomener, og formulerte ekvivalensprinsippet.

Ekvivalensprinsippet: På et gitt sted er et akselerert referansesystem ekvivalent med et permanent gravitasjonsfelt forårsaket av et legeme.

$$\vec{a} = -\vec{g}$$

Legg merke til at akselerasjonsretningen er i motsatt retning av gravitasjonsfeltet. Hvis vi er i et laboratorium som akselererer framover, opplever vi at en gjenstand som slippes akselererer bakover.



Dette fører til at vi i generell relativitetsteori ikke lenger ser på gravitasjon som en kraft.

Masse

Hittil har dere hørt om masse i forbindelse med de to forskjellige fysiske fenomenene:

Akselerasjon

$$\Sigma \vec{F} = m_t \vec{a}$$

Newtons 2. lov som forteller om akselerasjonen til en gjenstand. Konstanten m_t sier oss noe om gjenstandens motstand mot akselerasjon. Dette kaller vi *treg masse*.



Gravitasjon

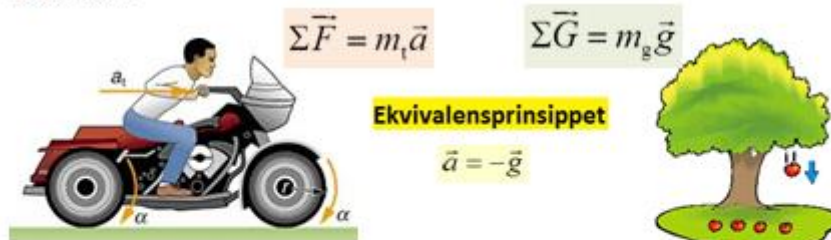
$$\Sigma \vec{G} = m_g \vec{g}$$

Her er en beskrivelse av gravitasjonskraften. Den forteller om kraftvirkningen på en gjenstand. Konstanten m_g forteller oss hvordan gjenstanden blir tiltrukket av gravitasjonskraften fra andre gjenstander. Vi kaller det *tung masse*.



Treg masse = tung masse

I følge Newtons lover har m_t og m_g sin opprinnelse fra to helt forskjellige fenomener. I følge disse lovene er det ingen grunn til at disse størrelsene skal være like store. Men eksperimenter har gang på gang vist at $m_t = m_g$. Derfor omtaler vi begge disse størrelsene for masse. Ekvivalensprinsippet gir et svar på hvorfor det er sånn. Det er fordi akselerasjon og gravitasjon er *ekvivalente* fenomener.



Det generelle relativitetsprinsippet

Ut fra ekvivalensprinsippet kunne Einstein nå formulere det generelle relativitetsprinsippet: «*Fysikkens lover har samme form i alle referansesystemer*». Dette var grunnlaget for den generelle relativitetsteorien som han publiserte i 1916.

Diskuter med en annen elev; hva er forskjellen mellom det spesielle og det generelle relativitetsprinsippet?

Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren



Treghetssystemer i den generelle relativitetsteorien

I den generelle relativitetsteorien ser man ikke på gravitasjon som en kraft, men treghetssystemer defineres fortsatt som systemer der Newtons 1. lov gjelder. Newtons 1. lov forteller oss: hvis ingen krefter virker på en gjenstand og den er i ro, forblir den i ro.

Se for deg at du er i fritt fall og har et eple i hånden. Du slipper eplet foran deg: Hva skjer?

Jo, eplet vil falle med samme akselerasjon som deg ned mot bakken og *i forhold til deg* vil eplet være i ro. Ifølge den generelle relativitetsteorien vil verken du eller eplet være påvirket av noen krefter, siden gravitasjon ikke blir regnet som en kraft. Det vil si at Newtons 1. lov gjelder både på deg og eplet. Dere er i et treghetssystem.

I den generelle relativitetsteorien er et treghetssystem det samme som et referansesystem i fritt fall.



Diskuter i par:

Befinner du deg i et treghetssystem akkurat nå ifølge den generelle relativitetsteorien? Forklar.

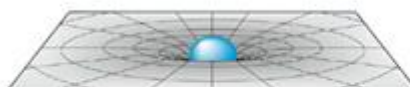
Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren



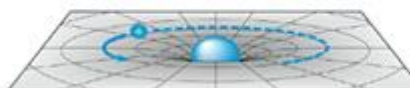
En gravitasjonsteori

Når vi skal avtale å møte noen, må vi avtale både sted og tid for å være sikre på å møtes. Dette forteller oss at vi lever i et firedimensjonalt univers med tre romlige koordinater og en tidskoordinat. Dette firedimensjonale rommet kalles tidrom. Den generelle relativitetsteorien forteller at et objekt med masse krummer tidrommet rundt objektet, lik som en tung kule på en trampoline.

Masse forteller tidrommet hvordan det skal krumme



Tidrommet forteller hvordan masse skal bevege seg



Rettlinjet bevegelse på en krum overflate

Hvorfor flyr vi over Island når vi skal til New York?

Vi flyr den korteste ruten! Men på et flatt todimensjonalt kart vil det ikke se slik ut. Der vil det se ut som den korteste ruten er en rett linje fra Oslo til New York over England.



En storsirkel er en sirkel som har samme radius og sentrum som jordkloden. Ekvator er f.eks. en storsirkel. For å finne den korteste avstanden mellom to punkter på jordkloden trekker man en storsirkel med sentrum i sentrum av jordkloden gjennom disse punktene. Dermed har vi at den korteste ruten fra Oslo til New York er langs en storsirkel som går gjennom både Oslo og New York. Denne går omtrent over Island og danner en krum linje.



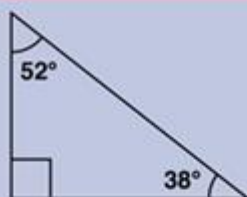
Elevaktivitet:

Utforsk rette linjer på forskjellige krumme overflater ved å tegne den korteste veien mellom to punkter på et papir, en ballong og et flak med Pringles. Diskuter to og to, hva blir forskjellen på disse linjene?

Tegn så en trekant på disse tre forskjellige flatene, hvordan skiller trekantene seg fra hverandre?

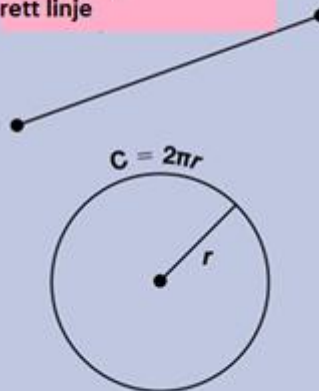


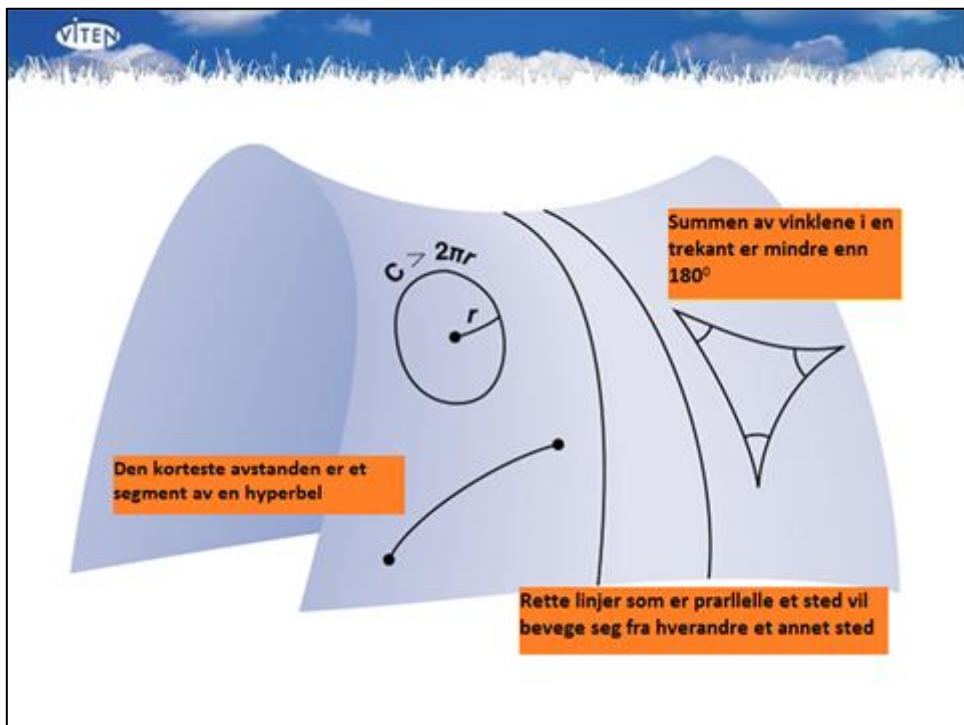
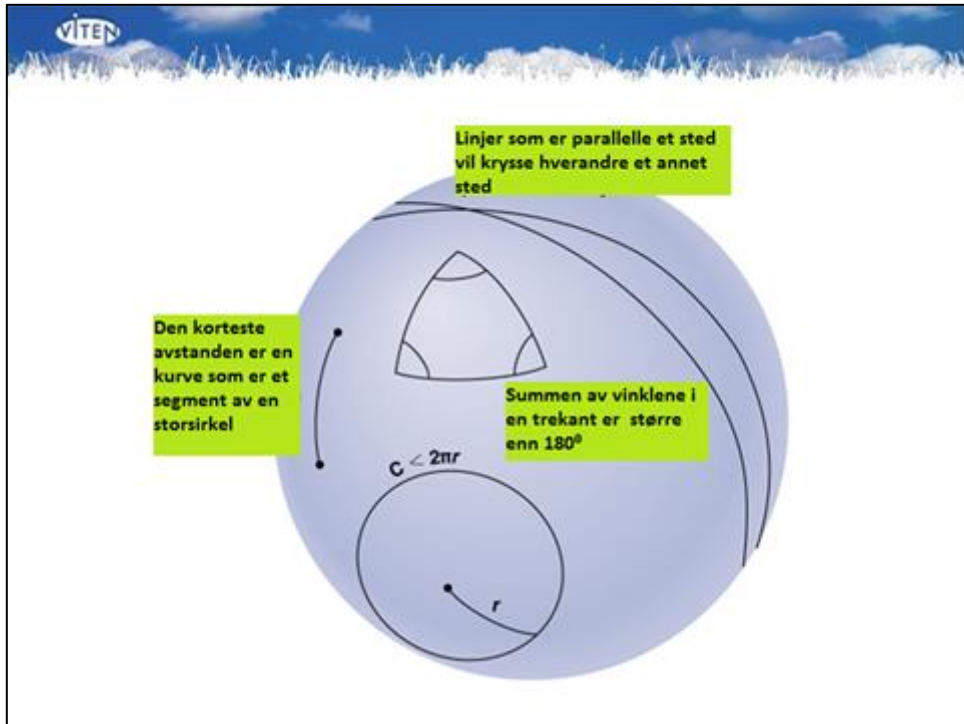
Summen av vinklene i trekanten er lik 180°



Rette linjer som er parallelle et sted, er også parallelle alle andre steder

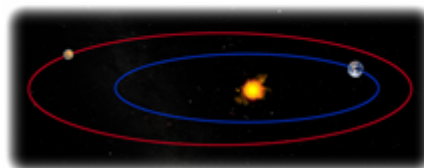
Den korteste avstanden mellom to punkter er en rett linje





Jordas «rettlinjete» bevegelse rundt sola

Den retteste banen mellom to punkter i tidrommet kalles en *geodetisk kurve*. Man kan sammenligne en geodet med de rette linjene dere tegnet i elevaktiviteten. I følge den generelle relativitetsteorien vil en partikkel som ikke blir påvirket av ytre krefter alltid bevege seg den retteste avstanden mellom to punkter i tidrommet, altså langs en geodet. Jorda beveger seg gjennom verdensrommet uten å bli påvirket av ytre krefter. I følge Newtons 1.lov kan jorda derfor betraktes som en fri partikkel. Uten sola ville jorda beveget seg med konstant og rettlinjet fart på en ensom reise ut i universet. Men sola krummer tidrommet slik at den retteste linjen i det firedimensjonale tidrommet blir en ellipsebane rundt sola i vanlig tredimensjonalt rom.



Hva skjer med lyset når det beveger seg i et gravitasjonsfelt?



Marit Sandstad er forsker ved Institutt for teoretisk astrofysikk ved Universitetet i Oslo

[Se video av Marit som forteller om gravitasjonslinser](#)

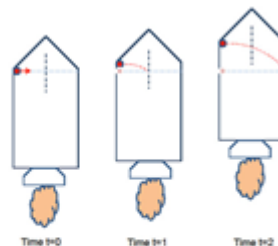
Sjur Refsdal, en norsk astrofysiker, var pioner på fenomenet gravitasjonslinsing. Han var den første som innså at dette fenomenet kunne brukes som et redskap for å studere universet. Ved hjelp av det som i dag kalles Refsdals metode, har man kunnet bestemme hvor raskt universet utvider seg og dermed også dets alder.



Lysets avbøying i gravitasjonsfelt

Einsteins resonnerer som følgende: Ekvivalensprinsippet forteller oss at det å være i et akselerert system er ekvivalent med å befinne seg i et gravitasjonsfelt. Man kan dermed bruke en akselerert rakett for å utforske lysets bevegelse. Se for deg at man har en lampe på den ene veggen i raketten som sender ut lys horisontalt i forhold til gulvet. På den andre veggen i raketten er det detektorer som måler hvor lysstrålen treffer. Er raketten i ro vet vi at lyset beveger seg rettlinjet og treffer veggen i samme høyde som lampen. Men hva vil skje om raketten akselererer og vi opplever et gravitasjonsfelt med feltstyrke $g=a$?

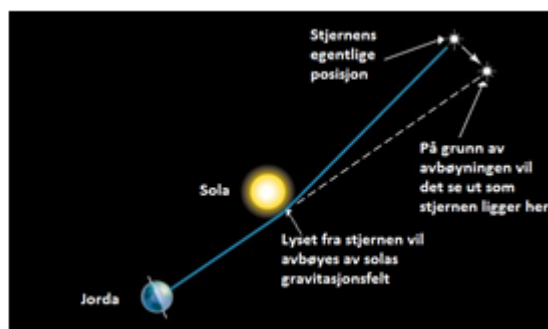
Da vil raketten ha rukket å bevege seg et lite stykke mens lyset er på vei over mot den andre veggen, og lyset vil treffe veggen i en lavere høyde enn om raketten er i ro! Plasser vi oss selv inne i raketten med den oppfatning om at vi er i ro i et gravitasjonsfelt vil vi observere at lyset ikke beveger seg rettlinjet, men det blir avbøyd ned mot gulvet i en krum bane. Avbøyningsvinkelen vil bli større jo forttere vi akselererer. Vi kan dermed slå fast at lys blir avbøyd i gravitasjonsfelt og at avbøyningsvinkelen blir større jo sterkere gravitasjonsfeltet er.



Einsteins forutsigelse

Den generelle relativitetsteorien forutsa altså at lys må bli avbøyd i det krumme tidrommet rundt større masser. Einstein regnet ut hvor mye lyset fra fjerne stjerner i synslinjen til sola blir avbøyd i gravitasjonsfeltet rundt sola. Slik fant han de posisjonene som disse stjernene ville se ut til å ha på himmelen når sola ligger mellom stjernene og jorda.

Men lyset fra sola er så sterkt at det er umulig å observere og måle forskyvningene av disse stjernenes posisjoner. Det var dermed vanskelig å bekrefte denne forutsigelsen og finne støtte for at teorien og beregningene hans var riktige.



Solformørkelsen 1919

I 1919, tre år etter publiseringen av den generelle relativitetsteorien, var det en total solformørkelse som forflyttet seg i en smal bane over Brasil og sør for sentral Afrika. Ved en total solformørkelse er det mulig å studere stjernehimmelen uten at lyset fra sola ødelegger observasjonene. Dette var ypperlige forhold for å teste Einsteins forutsigelse.

En brite ved navn Sir Arthur Eddington gjennomførte en ekspedisjon til Afrika for å teste Einsteins teori og utregninger. Einsteins teori besto testen. Like etter at første verdenskrig var avsluttet viste britene at den nye gravitasjonsteorien til den tyske-sveitsiske fysikeren Einstein var en bedre teori enn deres egen Sir Newtons gravitasjonsteori. Dette var vendepunktet i Einsteins karriere. Nå var han ikke bare en kjent person innen vitenskapsamfunnet, men han var også blitt en internasjonal superkjendis.



LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.

Dette er forsiden
på New York Times
10. november
1919, da
resultatene fra
Eddingtons
ekspedisjon ble
kjent.

Hva betydde dette for Newtons gravitasjonsteori?



Newtons gravitasjonsteori er ikke feil, men den gjelder kun ved lave hastigheter i forhold til lyshastigheten og ved svake gravitasjonsfelter sammenlignet med feltene til massive objekter som stjerner og sorte hull. Vi kan si at Newtons gravitasjonsteori har et mindre gyldighetsområde enn den generelle relativitetsteorien.

Elevaktivitet:

Det avbøyde lyset fra objekter bak store massive himmellegemer danner ofte ringer, kalt Einstein-ringer, som vist på det øverste bildet. På det nederste bildet kan du se hvordan man selv kan lage en modell av Einstein-ringer ved hjelp av stearinlys og vinglass.



Spør en forsker: Hva tenkte Einstein om lys som beveger seg nedover i gravitasjonsfelt?

[Se filmen av Øyvind Grøn](#) som forklarer eksempel med gravitasjonell rødforskyvning og gravitasjonell tidsforlengelse.

I et sort hull går massetettheten og gravitasjonen mot uendelig. Tiden vil dermed gå saktere og saktere jo nærmere du kommer. Tiden vil så å stoppe helt opp i det du er ved den kritiske radien til det sorte hullet.

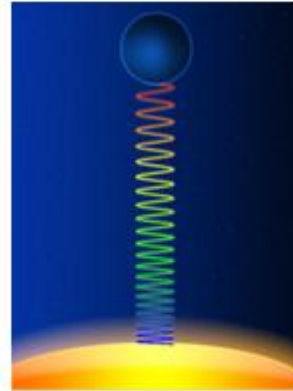
GRUBLIS: Hva skjer med tiden når du nærmer deg et sort hull?



Diskuter i par:

Hvordan vil stjernene se ut fra overflaten til en nøytronstjerne? Forklar.

Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren



Skriveoppgave:



Tid er relativt. Forklar dette med tanke på både spesiell og generell relativitetsteori:

Skriv i Word og send dokumentet til læreren etter timen!

Skriveoppgave:



Hva er forskjellen på forklaringen av rødforskyvning i klassisk fysikk og i generell relativitetsteori?

Skriv i Word og send dokumentet til læreren etter timen!

GPS (Global Positioning System)

GPS-funksjonen på mobiltelefonen eller pulsklokka di trenger relativitetsteori for å virke. Signaler fra satellitter gjør det mulig for GPS-systemet å beregne din posisjon og høyde over havet med usikkerhet på kun noen meter.

Dette gjøres ved å måle tiden et radiosignal bruker fra GPS-mottakeren opp til satellitten og tilbake. Men da må vi vite hvordan tida går oppe i satellitten i forhold til nede på bakken.



Oppgave om effekter fra spesiell og generell relativitetsteori

GPS-satellittene sirkler 20 200 km over jordoverflaten med en banefart på 3,9 km/s.

Hvilke effekter fra den spesielle og den generelle relativitetsteorien må GPS-systemet ta hensyn til når denne tida blir bestemt, tror du?

- a) Gravitasjonell rødforskyvning av radiosignalet
- b) Gravitasjonell tidsforsinkelse mellom klokken i satellitten og på jorda
- c) Lengdekontraksjon av satellitten
- d) Tidsforsinkelse på klokken i satellitten pga. farten til satellitten i forhold til jordoverflaten

Det er ikke mulig å måle hvor satellittene befinner seg, men siden banefarten er kjent kan posisjonen til satellitten beregnes ut fra bevegelseslikningene. For at denne posisjonsberegningen skal bli riktig må vi vite hvordan tida går oppe hos satellitten i forhold til tida på jordoverflata.

Satellitten går i bane høyt oppe i tyngdefeltet, dermed går tida på jordoverflaten i følge generell relativitetsteori. →

Klokkene i satellitten går 45,6 μ s fortere enn klokken på jorda per døgn

Satellitten har en hastighet i forhold til jordoverflaten, dermed går satellitten enn på jorda i følge spesiell relativitetsteori. →

Klokkene i satellitten går 7,2 μ s saktere enn klokken på jorda per døgn

I dette tilfellet er den gravitasjonelle tidsforsinkelsen av klokken enn tidsforsinkelsen av klokken i satellitten knyttet til hastighet.

GPS-systemet måler så tiden radiosignalene fra din GPS-mottaker bruker opp til tre forskjellige satellitter og tilbake. Og siden systemet vet akkurat posisjon til satellittene ut fra bevegelseslikningene, kan det ut fra dette beregne din posisjon på jordoverflaten.



Diskuter i par:

En pilot satt en dag og snakket med en venn som jobbet i bakkemannskapet og sa:

«I følge Einsteins teorier vil det at jeg ofte flyr med høy hastighet og høyt oppe i gravitasjonsfeltet gjøre at jeg eldes mye saktere enn det du gjør.»

Bruk det du har lært om generell og spesiell relativitetsteori til å kommentere denne pilotens utsagn.



Ta lydopptak av diskusjonen, bruk en smarttelefon og send opptaket til læreren

Skriveoppgave:



Hva vet du nå om gravitasjon?

Skriv i Word og send dokumentet til læreren etter timen!

Fordypningsstoff

- [Artikkel fra Aftenposten om Einstein og den generelle relativitetsteorien \(Øyvind Grøn\)](#)
- [Tvillingparadokset \(Øyvind Grøn\)](#)
- Den generelle relativitetsteorien kort oppsummert:
<https://www.youtube.com/watch?v=nhAUiLLMAsk>

Vedlegg B: Intervjuguide til fokusgruppeintervju

Intervjuguide – Relevant – Fokusgruppe med elever

Intro

Presentasjon av meg og prosjektet

Velkommen til denne uformelle samtalen om undervisning og læringsaktiviteter innen generell relativitetsteori! Jeg heter ..., og dette er.....

Som dere kjenner til (fordi dere har samtykket i å delta), er *ReleKvant* et forskningsprosjekt i samarbeid mellom Universitetet i Oslo, NTNU, Naturfagsenteret, og fire videregående skoler. I prosjektet skal vi utvikle og prøve ut undervisningsressurser innen kvantefysikk og relativitetsteori, og vi ønsker å finne ut mer om elevenes læring og motivasjon knyttet til disse temaene og til de ressursene vi utvikler. Målet er å bidra til bedre læring og motivasjon i fysikk.

Mål med fokusgruppeintervjuet og praktiske opplysninger

Vi skal nå ha en uformell diskusjon der vi ønsker å finne ut mer om hvordan dere synes det var å lære relativitetsteori gjennom det opplegget dere har brukt i klassen de siste par ukene. Vi vil gjerne høre hva som var nyttig og mindre nyttig for læringen, og hvilke aktiviteter dere synes var mer motiverende og mindre motiverende. I tillegg er vi interessert i hva dere lærte og hva slags begrepsforståelse dere sitter igjen med i forbindelse med treghetssystemer i generell relativitetsteori, ekvivalensprinsippet og rødforskyvning i gravitasjonsfelt. Det er frivillig å delta i denne diskusjonen, og du kan når som helst, uten begrunnelse, trekke deg.

Vi ønsker å gjøre lydopptak av diskusjonen. Opptaket skal bare brukes til forskningsformål og vil ikke innvirke på vurdering eller karaktersetning av dere i fysikk. Opptaket vil behandles konfidensielt; du vil ikke identifiseres med navn eller kunne gjenkjennes på annen måte i rapporter fra forskningen. For lydopptaket sin del er det fint om dere snakker én om gangen (selv om vi skjønner at dere kan bli ivrige ☺)

Ønsker alle fortsatt å delta? I så fall starter vi diskusjonen og lydopptaket. Vi ønsker at dere i størst mulig grad skal diskutere med hverandre ut fra relativt åpne spørsmål og temaer som vi tar opp.

Start av opptak

Åpningsspørsmål:

- Hvordan har det vært å jobbe med generell relativitetsteori i klassen den siste uken?

Læring:

- Har dere lært noe? (ja/nei bare for å komme i gang ev)

Opplegget dere har vært i gjennom skal bli en **nettbasert løsning**, med animasjoner, simuleringer, quiz-oppgaver, video o.l.

- På hvilke måter har det gjort det lettere eller vanskeligere å lære generell relativitetsteori?
- Kan dere fortelle om situasjoner der dere mener dere lærte noe, noen a-ha-opplevelser for eksempel? Hva karakteriserte situasjonene som ga a-ha-opplevelser ev?
- Kan dere huske deler av materialet dere likte spesielt godt eller dårlig?

Dere har arbeidet **individuellt, i par/smågrupper**, og hatt diskusjoner i **hel klasse**.

- Hvordan fungerte det for dere å lære generell relativitetsteori i de ulike arbeidsformene?
- Hva var grunnen til at det fungerte bra eller mindre bra?
(hjelpende stikkord: viktig med andres synspunkter? Bra å si ting høyt? Vanskelig å komme til orde/ta ordet i plenum? Liker best å jobbe selv eller omvendt osv?).

I dette opplegget la vi spesielt vekt på at dere elever skulle **bruke språket og «skrive og snakke»** fysikk, for å bli kjent med begrepene og fenomenene i generell relativitetsteori.

- Hvordan opplevde dere det å skulle prate og skrive såpass mye?
- På hvilke måter synes dere det å prate og skrive fysikk påvirket forståelsen av stoffet?

- (Hvis de trenger trigger) Forstår dere for eksempel ting bedre når dere må formulere synspunktene deres med ord?
- Hvordan er det å lære på denne måten sammenlignet med mer bruk av matematikk og formler for å beskrive naturen (slik dere har jobbet i noen andre temaer i fysikk)?

Oppsummeringsspørsmål læring (hvis ikke allerede dekt av svarene deres): Kan dere fortelle om noe **dere lærte spesielt mye av** i dette opplegget?

Motivasjon:

Åpningsspørsmål: Hva synes dere om generell relativitetsteori nå?

(Ev trigger: Er det spennende? Interessant? Frustrerende? Motiverende? Rart? Kjedelig? For lite regning? For få klare svar? For lite konkret?)

Vi har nå snakket en del om hvordan dere har lært generell relativitetsteori med dette opplegget. Vi er også interesserte i å vite hvordan det har **påvirket motivasjonen** deres for fysikk (hvor godt dere liker fysikk, hvor gøy det har vært å jobbe med generell relativitetsteori osv.?)

- Kan dere fortelle om noe i opplegget dere opplevde som spesielt spennende, interessant eller motiverende? (snakking/diskusjoner, video/simuleringer/animasjoner, historiske biter, nettbasert, eller det faktiske faglige innholdet)
- (Hvis det trengs) Hva var det som gjorde det ekstra spennende/interessant/motiverende?

Hvis god tid kanskje: Hvor vil dere nå plassere (rangere) generell relativitetsteori på lista over spennende temaer i fysikk?

Sentrale fenomener og begreper innen generell relativitetsteori:

Vi er også interessert i hva dere lærte og hvilken forståelse dere sitter igjen med av begrepet treghetssystem i generell relativitetsteori, ekvivalensprinsippet, krumning av tidrom og fenomenet om rødforskyvning i gravitasjonsfelt. Det er viktig at dere prøver å forklare dette innholdet slik dere har lært og forstått det, og vi vil minne om at dette ikke vil ha noen innvirkning på karakteren deres.

Ekvivalensprinsippet:

- Kan dere beskrive hva ekvivalensprinsippet forteller oss?
- Hvilke konsekvenser gir dette?
- Hvordan ser man på gravitasjon i generell relativitetsteori

I forbindelse med ekvivalensprinsippet fikk dere høre om tung og treg masse og at disse størrelsene er like.

- Har dere hørt om tung og treg masse tidligere? Og hva har dere i så fall tenkt om disse to størrelsene? (opplagt at de er like eller ikke?)
- Så dere koblingen mellom ekvivalensprinsippet og at tung masse er lik treg masse?
- Hva tenker dere om dette nå?

Treghetssystemer:

Et treghetssystem er definert som et system hvor Newtons 1.lov gjelder.

- Hva innebærer dette?
- Hva slags systemer er treghetssystemer i generell relativitetsteori?

Krumning av tidrom:

Dere blir introdusert til begrepet tidrom, det at vi lever i en firedimensjonal verden hvor tid er den fjerde dimensjonen, og at dette tidrommet blir krummet av masse.

- Hvilke tanker har dere rundt begrepet tidrom og krumning av tidrom av masse?
- Hvordan henger dette sammen med gravitasjon?

Avslutning

Vi skal utvikle dette undervisningsopplegget videre framover. Hva vil dere at vi skal forandre på?

Er det noe dere har lyst til å si (om opplegget, generell relativitetsteori, eller annet?)

Tusen takk! Dere er til god hjelp!

Vedlegg C: Kodesett på bakgrunn av teori

Kodesett basert på teori for koding av fokusgruppeintervju

Kategorier:

Læringsteori

Multimediateori og IKT i undervisningen

Arbeidsmetoder

Ekvivalensprinsippet

- Tung og treg masse

Treghetssystemer i GR

Krumning av tidrom

Koder i kategorien Læringsteori:

Den proksimale utviklingssonen: Eleven snakker om at når han/hun jobber med en annen elev klarer han/hun å mestre flere og mer kompliserte oppgaver enn på egen hånd.

Språk i læringsprosessen: Eleven snakker om at han/hun lærer gjennom å formulere seg og snakke fysikk.

Koder i underkategorien Begrepsinnlæring:

Begrepsforståelse: Eleven snakker om forståelse av ideer, prinsipper og forestillinger.

Abstrakte begreper/teorier: Eleven snakker om at det er vanskelig å forstå begreper fordi de er vanskelige å knytte til hverdagserfaringer.

Manglende forkunnskaper: Eleven forstår ikke begrep fordi han/hun mangler forståelse for andre grunnleggende begreper.

Koder i kategorien Multimediateori og IKT i undervisningen:

Visualisering: Eleven snakker om at han/hun har lært av noe visuelt for eksempel en film, bilde eller modell.

Lærerens gjennomføring: Eleven faller av/lærer ikke på grunn av lærerens gjennomføring av undervisningen.

Kodet i kategorien arbeidsmetoder:

Skriveoppgaver: Eleven snakker om læring gjennom skriveoppgaver.

Diskusjonsoppgaver: Eleven snakker om læring gjennom diskusjonsoppgaver.

Interaktive oppgaver: Eleven snakker om læring gjennom interaktive oppgaver.

Koder i kategorien Ekvivalensprinsippet:

Dyp forståelse av ekvivalensprinsippet: Eleven ser sammenheng mellom ekvivalensprinsippet og at størrelsene til tung og treg masse er like.

God forståelse av ekvivalensprinsippet: Eleven forstår at det å være i et akselerert referansesystem er ekvivalent med å være i et gravitasjonsfelt.

Koder i underkategorien tung og treg masse:

God forståelse av tung og treg masse: Eleven er klar over at tung og treg masse beskriver to forskjellige fenomener og ser en uoverensstemmelse i at de to størrelsene er like.

Dårlig forståelse av tung og treg masse: Eleven vet om begrepene tung og treg masse og ser ikke en uoverensstemmelse i at disse størrelsene er like.

Hart ikke hørt om tung og treg masse: Eleven har ikke hørt om begrepene tung og treg masse.

Koder i kategorien Treghetssystemer:

Treghetssystemer i spesiell relativitetsteori: Eleven beskriver treghetssystemer som systemer hvor Newtons 1.lov er oppfylt og beskriver dette som systemer med konstantbevegelse.

God forståelse av treghetssystemer i generell relativitetsteori: Eleven beskriver treghetssystemer som systemer hvor Newtons 1.lov er oppfylt og ser at i og med at gravitasjon ikke sees på som en kraft i generell relativitetsteori er treghetssystemer i denne teorien fritt fallende.

Overfladisk forståelse av treghetssystemer i generell relativitetsteori: Elever sier at treghetssystemer i generell relativitetsteori er fritt fallende.

Koder i kategorien Krumning av tidrom:

God forståelse av gravitasjon i generell relativitetsteori: Eleven beskriver gravitasjon som konsekvenser av krum geometri av tidrommet.

Overfladisk forståelse av gravitasjon i generell relativitetsteori: Eleven sier at gravitasjon ikke er en kraft.

God forståelse av krumning av tidrom: Eleven forklarer at masse krummer tidrommet og tidrommet bestemmer hvordan masse beveger seg.