

Det eksperimentelle program på bacheloruddannelsen i fysik

1. Indledning.

Fysikstudiet på Aarhus Universitet indeholder både teoretisk undervisning og praktiske eksperimentelle øvelser. De eksperimentelle øvelser tjener i mange tilfælde det formål at eftervise, at de fysiske teorier er forankrede i eksperimentelle kendsgerninger. Herved illustreres og underbygges forståelsen af det teoretisk gennemgåede stof. Øvelserne har imidlertid også det selvstændige, vigtige formål at kvalificere dig til at planlægge, gennemføre og rapportere om eksperimentelt arbejde. Sådanne kompetencer er ikke mindst vigtige i forbindelse med eksperimentelle bachelor- og kandidatprojekter. Nogle af de eksperimentelle øvelser vil du møde på specifikke eksperimentelle kurser, mens andre af øvelserne indgår som delelementer i de generelle fysikkurser.

Formålet med denne note er, fra starten af dit fysikstudium, at give dig en kort introduktion til de enkelte elementer, der vil blive arbejdet med ved øvelserne, samt at give et overblik over det samlede eksperimentelle program på bacheloruddannelsen. Forhåbentlig vil noten hjælpe dig til at se, hvorledes de eksperimentelle øvelser, der er spredt ud over forskellige kurser, i virkeligheden udgør et samlet hele, hvor forskellige væsentlige elementer i eksperimentelt arbejde trænes i et progressivt forløb. Yderligere beskrives, hvordan et antal valgfrie kurser bibringer væsentlige eksperimentelle kompetencer, og hvordan studerende, der overvejer et eksperimentelt bachelor og specialeforløb, bedst kan tilrettelægge deres studium.

2. Fokuselementer ved de eksperimentelle øvelser.

I korte træk vil de eksperimentelle kurser indeholde følgende elementer:

- a) Begrebsforståelse og eftervisning af fysiske lovmæssigheder
- b) Udstyrskendskab.
- c) Kreativ tænkning og problemformulering.
- d) Planlægning af et eksperiment.
- e) Opbygning af et eksperiment og fejlfinding.
- f) Dataindsamling.
- g) Dataanalyse og usikkerhedsberegning.
- h) Præsentation/rapportskrivning.

a) Begrebsforståelse og eftervisning af fysiske lovmæssigheder

Som nævnt i indledningen tjener eksperimenter i mange tilfælde til at underbygge indlæringen af de grundlæggende begreber og lovmæssigheder, som præsenteres i de teoretiske kurser.

b) Udstyrskendskab

I løbet af det samlede kursusforløb vil du, forhåbentlig, opnå et solidt kendskab til standard eksperimentelt udstyr, så som spændingsforsyninger, funktionsgeneratorer og oscilloskoper, samt blive introduceret til mere specialiseret udstyr ved de enkelte øvelser.

Basal elektronik og pc-baseret dataindsamling f.eks. via LabView brugerfladen er ligeledes vigtige elementer.

c) Kreativ tænkning og problemformulering

Ved flere af øvelserne vil du kreativt skulle arbejde med forslag til eksperimenter. I den forbindelse, men også helt generelt, er det vigtigt at få konkretiseret, hvad der skal måles. Der skal således altid udarbejdes en problemformulering og et forslag til et måleprogram. Det er vigtigt at overveje, om det er *kvalitative* eller *kvantitative* data, man ønsker at opnå.

d) Planlægning af et eksperiment

Der er mange spørgsmål, der skal afklares inden man kaster sig ud i at eksperimentere. Her har du nogle få, som du skal afklare og helst formulere svar til ved alle øvelser:

- Hvordan kan man forestille sig at måle det ønskede?
- Hvilke parametre skal måles (eller holdes øje med)?
- Hvilken måleprocedure skal anvendes?
- Er der alternative måder at gøre det på?
- Hvordan hænger dette sammen med hvad, der er til rådighed af eksperimentelt udstyr?
- Hvad er de potentielle fejkilder (systematiske såvel som ikke-systematiske)?

Det er vigtigt, at man allerede i denne fase tænker over, hvordan man kan opnå data, som simplest muligt viser det ønskede og let lader sig kommunikere til andre.

e) Opbygning af et eksperiment og fejlfinding.

Baseret på punkt d) ovenfor skal det overvejes, hvad der skal bruges for at lave forsøget. Lav altid en skitse over opstillingen. Hvis der er flere deltagere i samme forsøg, så sørg for at blive enige inden I går i gang med forsøget.

Overvej altid, hvordan delelementer i opstillingen kan testes separat, inden det hele sættes sammen. Man skal gøre sig klart, hvad begrænsningerne er ved sit udstyr (eks. hvor stor en strøm man kan sende gennem en elektromagnet uden isoleringen smelter).

Foretag derefter test af delelementerne. Hvis der er fejl, så gå i gang med fejlfinding og reparation. Når alle delelementerne fungerer, samles hele opstillingen. Hvis opstillingen ikke virker samlet, så check først omhyggeligt, om alt er sat ordentligt sammen og forbundet som man ønsker. Hvis opstillingen efter eventuelle rettelser stadigvæk ikke fungerer, må man gå i gang med fejlfinding ved skridtvis adskillelse af opstilling og evt. ombytning af dele, såfremt dette er muligt. Det er vigtigt at holde sig for øje, at eksperimentelt arbejde altid vil indeholde disse elementer, og systematisk fejlfinding vil således også blive trænet til øvelserne. Når I oplever at noget ikke virker, er det altså jeres, ikke instruktorens, opgave at gøre et helhjertet forsøg på at lokalisere problemet.

For at undgå at bruge tid på at tage mange fejlbehæftede data, er det en god regel først at udvælge sig nogle få repræsentative punkter og checke, at alt ser ud til at fungere rigtigt. Om muligt er det her en fordel at have gjort sig klart nogenlunde, hvad man forventer at finde, f.eks. ved en forudgående beregning.

f) Dataindsamling

Hvis de repræsentative datapunkter målt under e) ser ud til at være i orden, kan flere detaljerede data derefter opsamles. Hvor mange data, der skal indsamles, afgøres til dels af,

om man søger et *kvalitativt* eller et *kvantitativt* resultat. I det sidste tilfælde skal potentielle fejlkilder undersøges nøjere, og usikkerheder på data bestemmes.

På dette tidspunkt bør man også igen overveje, om man virkelig har data, der kan præsenteres på en overbevisende måde over for andre. Er det muligt at optimere parametre, eller kan man ligefrem vise det samme via en anden målemetode?

g) Dataanalyse og usikkerhedsberegning

Forskellige programmer for standardanalyser vil blive gennemgået og være til rådighed i det omfang, det er nødvendigt for øvelserne. Det vil tilstræbes, at du får et godt kendskab til såvel standard kommercielle programpakker som specialprogrammer.

h) Præsentation/rapportskrivning

For at kunne kommunikere med omverdenen, er det vigtigt at kunne præsentere sine resultater på en klar og præcis måde i skriftlig og mundtlig form. Det eksperimentelle forløb vil således også træne dig i at præsentere dine data i velvalgte tabeller og grafer samt i at udvise omhu i de sproglige formuleringer og i den logiske opbygning af rapporter. Omfanget og strukturen af afrapporteringen vil variere igennem uddannelsens forløb og vil reflektere de enkelte øvelses fokus. Generelt skal en rapport altid indeholde (i) en klar beskrivelse af hvad der er planlagt målt og (ii) hvordan dette er gjort (som regel inkluderende en skitse over forsøgsopstillingen); (iii) de opnåede data (som regel i form af en eller flere grafer, der viser målingernes parameterafhængighed); (iv) en diskussion af de opnåede data – deres kvalitet (evt. usikkerhed) og fejlkilder, samt deres relation til teoretiske forudsigelser.

3. En kort oversigt over det eksperimentelle program på fysikstudiets bachelordel.

Det eksperimentelle program på fysikstudiets bachelordel er indeholdt i 9 forskellige kurser. I tabel 1 vises en oversigt over disse samt øvelsernes varighed i lab og emner.

Kvarter	Kursets navn	Øvelser	Omfang
1.	Indledende mekanik	Intro-øvelse Lineær mekanik Kollisioner Projekt	3 x 3 timer Projekt 3+8+8 timer
1.	Relativitetsteori	Lysets hastighed Relativistisk masse Kernekraft, $E=mc^2$ Tidsforlængelse Michelson-interferometer GPS systemet	3 x 3 timer <i>+perspektivering</i>
2.	Mekanik og termodynamik	Rotationel mekanik Resonans Væskestrømning	3 x 3 timer
3.	Elektromagnetisme	Elektrisk potential Kondensatorer Magnetiske felter / induktion	3 x 3 timer
4.	Bølger og optik	Mekaniske bølger Geometrisk optik Projekt (eksp. eller teori)	2 x 3 timer Projekt 2 uger
4.	Statistik og databehandling	Dataanalyse Usikkerhedsberegning	6 x 3 timer
5.	Moderne fysik	Superledn. + Josephson effekt Spektroskopi af lyskilder Atomic-force mikroskopi Kerneresonanser	3 x 3 timer
7.	Elektrodynamik [*]	Dielektrisk tab Laplaceligningen Helmholtz spoler	6 x 3 timer
8.	Elektrodynamik [*]	Magnetiske kredse Strømvægt Fresnel relationerne	6 x 3 timer
8., 10. eller 12.	Øvelser i eksperimentel fysik	Kernestruktur Røntgenstråling Rutherfordspredning Fermifordeling for metaller Mikrobølger Optiske resonatorer / laseren	12 x 3 timer

Tabel 1: Oversigt over det eksperimentelle indhold i bachelordelens fysikkurser.

^{*} Bemærk, at kurset *Elektrodynamik* (forårssemesteret, tidligst 7.+8. kv.) ikke er obligatorisk på bachelordelen af fysikstudiet, men skal være indeholdt i det samlede bachelor og kandidatforløb (hvis kandidatuddannelsen er Fysik, Astronomi eller Teknisk Fysik).

4. Kursernes sammenhæng og progression.

De eksperimentelle kurser udgør en samlet pakke, der tilstræber at dække flest mulige aspekter af uddannelsen i eksperimentalfysik. Tabel 2 viser fordelingen af hvilke kompetencer i eksperimentalfysik, de forskellige kurser vægter højest. Efterfølgende gives en mere detaljeret omtale af de enkelte kurser.

Kvarter	Kursets navn	Begrebsforståelse / lovæssigheder	Udstyrskendskab	Kreativitet / problemformulering	Planlægning	Opbygning / fejlfinding	Dataindsamling	Dataanalyse / usikkerhedsberegning	Præsentation / rapportkrivning
1.	Indledende mekanik				Projekt				
1.	Relativitetsteori								
2.	Mek. og termodyn.								
3.	Elektromagnetisme								
4.	Bølger og optik				Projekt				
4.	Statistik & Databeh.								
5.	Moderne fysik								
7. ^a	Elektrodynamik								
8. ^a	Elektrodynamik								
8./10. / 12.	Øvelser i eksp. fysik								
Valgfrit ^b	Eksperimentel teknik								
Valgfrit ^b	Elektronik								
Valgfrit ^b	Styring og dataops.								
Valgfrit ^b	Karakteriseringsmet.								
Valgfrit ^c	Observat. værktøjer								
Valgfrit ^d	Store eksp. øvelser								
Valgfrit ^d	Eksp. optik og lasere								
Valgfrit ^d	Observat.-kursus astr.								

Tabel 2: Vægten af de forskellige eksperimentelle fokuselementer henover porteføljen af eksperimentelle kurser. Høj vægt svarer til høj sværtning.

^a Bemærk, at kurset *Elektrodynamik* (forårssemesteret, tidligst 7.+8. kv.) ikke er obligatorisk på bachelordelen af fysikstudiet og således ikke formelt er en forudsætning for deltagelse i kurset *Eksperimentelle Øvelser* (10. kv.). Det skal dog være indeholdt i det samlede bachelor og kandidatforløb (hvis kandidatuddannelsen er Fysik, Astronomi eller Teknisk Fysik), og kan anbefales med den viste placering.

^b Disse fire kurser er en del af studieretningen ”Teknisk Fysik”, der således giver et godt udgangspunkt for et eksperimentelt bachelor og specialeforløb.

^c Dette kursus er en del af studieretningen ”Astronomi”.

^d Formelt set kandidatkurser.

5. Eksperimentelt indhold i bachelordelens obligatoriske kurser.

Som vist i tabellen ovenfor, fordeler det eksperimentelle indhold sig over 9 forskellige kurser, hvis indhold beskrives i dette afsnit.

Indledende mekanik (1.kv.), Mekanik og termodynamik (2.kv.), Elektromagnetisme (3. kv.), samt Bølger og optik (4. kv.):

Disse fire kurser udgør tilsammen den grundlæggende introduktion til fysik på studiets første år. De eksperimentelle øvelser tilknyttet disse kurser er tæt relateret til det teoretiske stof, og bidrager til forståelsen af de behandlede begreber/fænomener. Yderligere giver øvelserne en introduktion til grundlæggende eksperimentelt udstyr og metodik. Som oplæg til øvelserne udleveres en vejledning, der redegør for øvelsens tema og det udstyr, der er til rådighed. Øvelserne er som hovedregel formuleret forholdsvist åbent, og du trænes således i selv at definere og planlægge dit måleprogram samt opbygge de nødvendige eksperimentelle opstillinger. Med dette for øje er der typisk tale om forholdsvist enkelt og gennemskueligt forsøgsudstyr, der illustrerer grundlæggende fænomener som acceleration, stød, svingninger, magnetisk induktion, osv. Øvelserne dokumenteres som hovedregel med kortfattede rapporter, der beskriver de udførte eksperimenter og de opnåede resultater samt diskuterer disse i forhold til teorien. Kurset *Indledende Mekanik (1. kv.)* afsluttes med et 3 dages eksperimentelt projekt, hvor du sammen med en lille gruppe medstuderende selv formulerer projektets indhold under vejledning af en instruktør. Kurset *Bølger og optik (4. kv.)* afsluttes med et to ugers projekt, der kan være eksperimentelt.

Relativitetsteori (1. kv.):

Dette kursus er det første møde med en side af fysikken som for de fleste vil være helt ny og overraskende. De eksperimentelle øvelser har tæt relation til teorien, men er baserede på rotation mellem de enkelte øvelser, hvorved en progression sammen med indførelsen af ny teori ikke er mulig. Derimod er det overordnede mål at vise, at relativitetsteori ikke blot er en teoretisk konstruktion afkoblet fra virkeligheden, at give mulighed for at møde relativt avanceret udstyr og evt. at afdæmpe berøringsangst ved denne type udstyr. Der føres en kortfattet journal under øvelsen – inspireret af egentlige eksperimenteres ”logbog” – som rettes umiddelbart efter øvelsen. I perspektiveringsdelen gennemgås 3 af instituttets aktive forskningsområder, blandt andet for at vise hvad man senere kan komme til at beskæftige sig med.

Moderne Fysik (5. kv.):

De eksperimentelle øvelser i dette kursus illustrerer de emner, der behandles i det teoretiske kursus. Eksperimenterne er valgt, så både atom/molekyl-fysiske, faststoffysiske, subatomare og astrofysiske emner er inkluderet. Det er tilstræbt at holde øvelserne og vejledningerne i en form, så der er plads og tid til at forsøge ting på eget initiativ med det eksperimentelle udstyr. Afrapporteringen er på ”logbogs” form.

Statistik og databehandling (4. kv.):

Kursets eksperimentelle del tilsigter at give dig mere erfaring med eksperimentelt arbejde, herunder især et uddybet kendskab til måleusikkerheder: Fysik kaldes ofte ”en eksakt videnskab”. Dette skal betragtes med den modifikation, at alle fysiske eksperimentelle data er behæftede med en vis usikkerhed. Ved rapporteringen af sådanne data og ved disses

sammenligning med andre data og teoretiske resultater er det derfor nødvendigt at kende denne usikkerhed. Formålet med den eksperimentelle del af kurset er at give kendskab til stringent behandling og rapportering af eksperimentelle data. Der afholdes både forelæsninger og øvelser.

Elektrodynamik (forårssemesteret, tidligst 7./8. kv.):

Formålet med de eksperimentelle øvelser er at give dig en mulighed for gennem egne målinger at erfare, at elektrodynamikken er solidt forankret i eksperimentelt kontrollerbare lovmæssigheder. Øvelserne er valgt, så de illustrerer én eller flere af de fire fundamentale Maxwell ligninger, som således – i løbet af de seks øvelser i dette kursus og de tre fra kurset *Elektromagnetisme* – alle efterprøves grundigt på et empirisk grundlag. De eksperimentelle emner følger forholdsvist tæt udviklingen i det teoretiske pensum. Der lægges stor vægt på dataanalyse, usikkerhedsberegning og skriftlig afrapportering.

Øvelser i eksperimentel fysik (10. eller 12. kv.):

Kurset introducerer dig til målemetoder og måleudstyr, der bruges i fysikforskningen. Gennem øvelser, der dækker en række emner inden for moderne fysik, bliver du gradvist i stand til selvstændigt at betjene dig af centrale metoder og ofte forekommende udstyr. Efter en introduktionsforelæsning vedrørende bl.a. helsefysik består kurset af 6 øvelser (a' 2 x 3 timer). Der lægges vægt på en professionel rapportering af de opnåede resultater i en form, der nærmer sig den, man finder i videnskabelige publikationer.

6. Eksperimentelt indhold i bachelordelens valgfrie kurser.

Udover de obligatoriske kurser beskrevet ovenfor, udbydes et antal valgfrie kurser, der udvider ens eksperimentelle kompetencer, og som anbefales de studerende, der planlægger at gennemføre et eksperimentelt bachelor- eller specialeprojekt. Afhængig af fagpakkevalget følges kurserne under bachelordelen eller i starten af kandidatdelen. De første fire kurser omtalt nedenfor er en del af fagpakken ”Teknisk Fysik”.

Eksperimentel teknik (Q2):

Kurset giver studerende, der påtænker at lave eksperimentelt speciale, en introduktion til nogle grundlæggende, generelle eksperimentelle teknikker samt laboratoriesikkerhed.

Elektronik (Q3):

Kurset skal give deltagerne indblik i udvalgte emner fra både analog og digital elektronik, og gøre dem i stand til at konstruere simple elektroniske kredsløb. Endvidere gøres deltagerne bekendte med emner, der vedrører interfacing mellem computer og eksperiment, og er relevante for styring og dataopsamling.

Styring og dataopsamling (Q4):

Formålet med kurset er at give deltagerne forståelse for problemstillinger inden for elektronisk styring og dataopsamling samt øvelse i løsning af konkrete problemstillinger ved hjælp af programmeringssproget LabVIEW. Kurset indeholder således et overblik over problemstillinger inden for elektronisk styring og dataopsamling. Det grafiske programmeringssprog LabVIEW introduceres og anvendes i ugentlige laboratorieøvelser til

eksemplificering af løsninger af afgrænsede opgaver inden for dataopsamling. Kurset afsluttes med et selvstændigt projekt, hvor der arbejdes i grupper på to personer.

Karakteriseringsmetoder (Q3):

Formålet med kurset er at give deltagerne grundlæggende kendskab til en række materiale- og overflade-karakteriseringsteknikker der anvendes bredt i laboratorierne ved Fysik, herunder elektron- og skanning-probe-mikroskopi, optisk og partikel-baseret spektroskopi, diffraktions-teknikker mm. I kurset behandles såvel den teoretiske som den praktiske baggrund bag de enkelte karakteriseringsmetoder, og deltagerne skal ved kursets afslutning være i stand til at fortolke og kritisk vurdere rigtige datasæt fra hver teknik. Kurset afsluttes med et eksperimentel projekt og evalueres med en skriftlig hjemmeeksamen.

Store eksperimentelle øvelser (Q1 / Q3):

Formålet med kurset er, at deltagerne skal møde en del af den eksperimentelle forskning, der foregår på IFA. I løbet af kurset udføres 5 øvelsesforløb. Disse vælges iblandt ca. 20 forløb, der udbydes af forskellige forskergrupper. Øvelserne foregår i de udbydende grupperes laboratorier. Kurset er også en god introduktion til valget af eksperimentelt specialeemne.

Eksperimentel optik og lasere (Q4):

Formålet med kurset er at give de studerende, der vælger at udføre et eksperimentelt bachelor-, speciale- eller ph.d.-projekt indenfor laserfysik og -kemi, en grundig indføring i de metoder, der anvendes i forskningslaboratorierne her på stedet. Deltagerne stifter bekendtskab med avanceret laserudstyr. Praktisk eksamen med karaktergivning.

Observationelle værktøjer (Q4):

Formålet med kurset er at give deltagerne et grundlæggende kendskab til astronomiske observationsmetoder og redskaber, så det bliver muligt at planlægge og definere et observationsprojekt. Dette vil ske via en gennemgang af konkrete instrumenter, detektorer og indflydelsen af atmosfæren for jordbaserede observationer. Endvidere vil øvelserne fokusere på skrivning af computerprogrammer til reduktion af astronomiske data. Kurset afsluttes med en skriftlig opgave. Som en del af kurset besøges Ole Rømer Observatoriet.

Observationskursus i Astronomi (Forår):

Observationskurset afholdes på De Kanariske Øer (normalt på *Observatorio del Teide*, Tenerife) og skal give deltagerne en forståelse af de tre faser i et observationelt projekt: Problemformulering og tilrettelæggelse, udførelsen af observationerne og den afsluttende datareduktion og fortolkning. Deltagerne skal selv formulere et projekt på basis af nogle idéforslag. De skal skrive en ansøgning, hvilket kræver kendskab til det instrumentelle udstyr, og de skal observere, analysere og til sidst præsentere resultaterne i en rapport, som klart og letfatteligt gør rede for projektet og sammenholder resultaterne med eksisterende viden inden for det valgte emne.

Bedømmelse af kurserne:

De fleste af kurserne består ved at man afleverer og får godkendt en række obligatoriske rapporter. Nogle af kurserne afsluttes med et projekt, hvortil der udarbejdes en rapport der

skal godkendes. De fleste kurser bedømmes med "Bestået/ikke bestået". I kurserne "Elektronik" og "Observationelle værktøjer" gives karakter efter bedømmelse af en projektrapport, og "Øvelser i eksperimentel fysik" afsluttes med mundtlig eksamen, hvor der også gives karakter. Kurset "Eksperimentel optik og lasere" har praktisk eksamen med karakter.

Undervisningsudvalget ved Institut for Fysik og Astronomi

Århus, den 8. september 2010