



**MASTEROPPGAVER I TOÅRIG  
MASTERGRADSPROGRAM I FYSIKK (MFY)  
HØST 2006**

Dette dokumentet henvender seg til studenter ved bachelorstudiet i fysikk (BFY) som skal starte på masterstudiet i fysikk (MFY) høsten 2006, og inneholder

1 Forslag til masteroppgaver.....	2
1.1 Seksjon for kondenserte mediers fysikk .....	2
1.2 Seksjon for komplekse materialer.....	6
1.3 Seksjon for teoretisk fysikk.....	18
1.4 Seksjon for biofysikk og medisinsk teknologi.....	23
1.5 Seksjon for anvendt fysikk og fagdidaktikk .....	24
2 Generelt om masteroppgaven.....	29
2.1 Om oppgavevalg .....	29
2.2 Mastergradsavtale .....	29
2.3 Masteroppgaven .....	29

*Revidert 28. april 2006*

Spørsmål kan rettes til Snorre Hansen, rom E3-154, tlf. 93416, [snorre.hansen@ntnu.no](mailto:snorre.hansen@ntnu.no).

# 1 Forslag til masteroppgaver

## 1.1 Seksjon for kondenserte mediers fysikk

### Konstruksjon av STM/AFM

Veiledere: Førsteamanuensis Erik Wahlström ([erik.wahlstrom@ntnu.no](mailto:erik.wahlstrom@ntnu.no)).

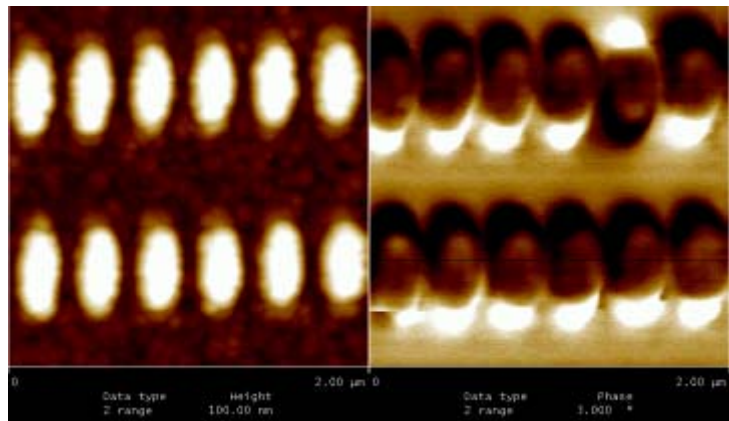
Sedan sveptunnelmikroskopet oppfanns 1982, så har det i grunden forandrat hur vi kan undersøke ytor på en atomär skala och revolutionerat hur vi ser på ytor och material. Trots detta så återstår det en hel del att göra inom utveckling av tekniken som sådan. Det finns ett flertal projekt som kan utföras inom konstruksjon av STM/AFM för att studera fenomen på nanometerskalan, som kan erbjuda allt från enbart instrumentbaserade oppgifter, till oppgifter med mer fokus på fysikaliska problem, som forslag kan ges:

- Design och utvärdering av ett AFM för mätningar av elektriska transportegenskaper genom ytstrukturer.
- Design av STM för användning i Kryostat.

### Optiska studier av magnetiska nanostrukturer

Veiledere: Førsteamanuensis Erik Wahlström([erik.wahlstrom@ntnu.no](mailto:erik.wahlstrom@ntnu.no))  
Professor Ola Hunderi ([ola.hunderi@ntnu.no](mailto:ola.hunderi@ntnu.no))

Magneto-resistiva material är idag viktiga för tekniken bakom IT. Inom projektet ligger hovedvikten på å karakterisere nanostrukturerte magnetiske filmer. De prøver som skal studeres har mønstrats med nanolitografiske tekniker så at ca en milliard øar av samme form og storlek har bildats på ett substrat. Studien går ut på å anvende, stille opp og modifisere en oppstilling for RAS-spektroskopi for å måte de magneto-optiske egenskapene og kopple de egenskapene til de magnetiske og mikromagnetiske egenskapene hos øarna. Arbetet innebær stimulerende utmaningar både når det gæller experimentelt arbeid og teoretisk tolkning og forståelse av observerte fenomen.



Vænster: Ellipser av Ni/Fe og Co avbildede med AFM. Høger: Magnetisk kraftmikroskopibild av samme øar.

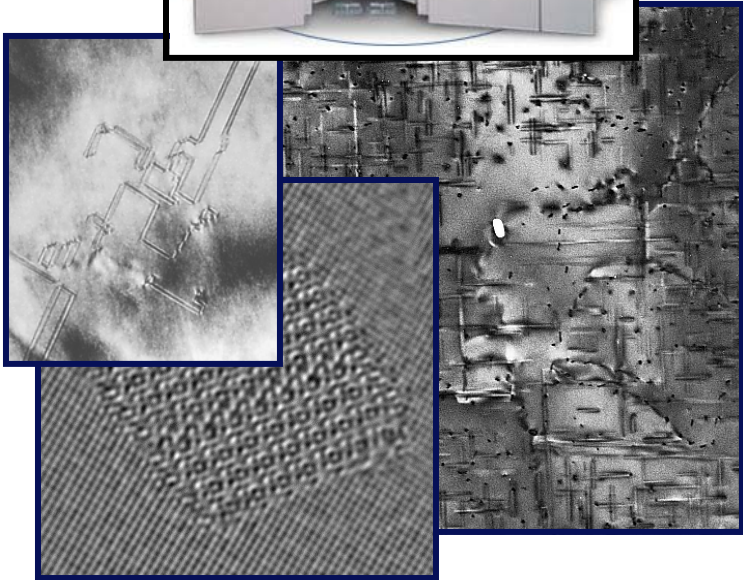
### 1.1.1 Elektronmikroskopi

Holmestad / Walmsley/ van Helvoort / Vissers / Vullum / Hasting / Nordmark / Tucho i samarbeid med SINTEF Anvendt fysikk (Andersen / Marioara / Tanem / Walmsley)

(e-post: [randih@phys.ntnu.no](mailto:randih@phys.ntnu.no), [a.helvoort@phys.ntnu.no](mailto:a.helvoort@phys.ntnu.no), [rene.vissers@phys.ntnu.no](mailto:rene.vissers@phys.ntnu.no), [per.vullum@phys.ntnu.no](mailto:per.vullum@phys.ntnu.no), [hakon.hasting@phys.ntnu.no](mailto:hakon.hasting@phys.ntnu.no), [heidi.nordmark@phys.ntnu.no](mailto:heidi.nordmark@phys.ntnu.no), [wakshum.tucho@phys.ntnu.no](mailto:wakshum.tucho@phys.ntnu.no), [sigmund.andersen@sintef.no](mailto:sigmund.andersen@sintef.no), [calin.d.marioara@sintef.no](mailto:calin.d.marioara@sintef.no), [bjorn.s.tanem@sintef.no](mailto:bjorn.s.tanem@sintef.no), [john.walmsley@sintef.no](mailto:john.walmsley@sintef.no) )



TEM-gruppa arbeider innen materialfysikk med studier av avanserte materialer både eksperimentelt og teoretisk. De makroskopiske egenskapene til et materiale har nære og kompliserte sammenhenger med materialets oppbygging fra atomært til mikrometer nivå. En fellesnevner for forskningen vår er å forstå og etablere slike sammenhenger slik at det blir mulig å skreddersy materialer med ønskede egenskaper. Her bruker vi både eksperimentelle metoder, diverse simuleringsprogrammer, samt beregninger basert på kvantemekanikk. Transmisjons-elektronmikroskopet (TEM) er et instrument der en kan studere nano-skala områder med flere teknikker samtidig: avbildning, diffraksjon, røntgenspektroskopi og energitapsanalyse. Instrumentet er derfor ypperlig for mikrostrukturstudier og materialutvikling.



Vi har en meget velutrustet lab med tre transmisjonselektronmikroskop. Vi har også et atomic force mikroskop (AFM), det siste til overflatestudier. Vi har god tilgang på nødvendig regnekraft for modellering og simuleringer. Vi samarbeider i stor grad med andre grupper på NTNU, SINTEF materialer og kjemi og norsk industri, samt flere grupper i utlandet. Gruppa kan tilby varierte oppgaver innen materialfysikk; fra helt teoretiske til helt eksperimentelle eller en kombinasjon.

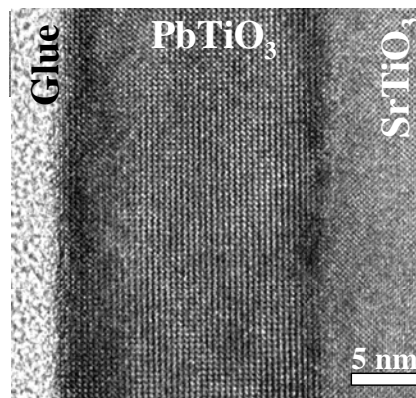
Oppgavene kan tilpasses faglig bakgrunn og interesser. Studenter vil arbeide med oppgaver nært koplet opp til forskningsprosjekter som er i gang i gruppa, og ofte knyttet til en postdoc, dr.ing.-student eller SINTEF-forsker. Mulige oppgaver er listet under, men det beste er å komme og snakke med oss! Vi sitter i 4. etasje i B og D-blokka i Realfagbygget!

### **Utvikling av nye Al-legeringer**

Innen lettmetall-legeringer er det store utfordringer når det gjelder å etablere relasjoner mellom mikrostruktur og mekaniske egenskaper som f. eks. styrke, hardhet og duktilitet. Det er metastabile utfellinger av legeringselementer i nanometer størrelse som bestemmer mekaniske egenskaper i Al-legeringer. Vi må forstå utfellingssekvensene for å kunne oppnå de tilsiktede bruksegenskapene. Oppgaven vil bestå i eksperimentelle mikrostrukturstudier og testing av mekaniske egenskaper ved forskjellige termomekaniske forhistorier. Vi arbeider her nært sammen med norsk lettmetallindustri. En modelleringsoppgave innen aluminium kan også bli gitt. Kontaktpersoner: Calin Marioara, René Vissers, Anders Frøseth, Randi Holmestad.

### **TEM-karakterisering av perovskitt-baserte syntetiske materialer**

Ved Institutt for elektronikk og telekom. forskes det på å realisere kunstige materialer med kontrollerbare egenskaper basert på perovskitt-struktur. Innenfor denne materialklassen finner man så forskjellige materialer som høytemperatur superledere, sterkt korrelerte metaller og ferroelektrika. Målet er å skape materialer med nye og forbedrede egenskaper. Dette vil en gjøre gjennom å kontrollere sekvensen av de ulike bestanddeler i de epitaksielle tynnfilmene, dvs vokse hetrostrukturer som inneholder ulike funksjonelle perovskitter i de ulike lagene som bygger opp superstrukturen. Vi studerer her krystallstruktur og koherens i de ulike tynnfilmene med TEM og korrelerer endrede materialeegenskaper med mikrostrukturen. Et viktig aspekt her er å få til å lage gode nok TEM-prøver av tynnfilmene. Prosjektet er et samarbeid mellom Institutt for elektronikk og telekom. og Institutt for fysikk. Kontaktpersoner: Randi Holmestad, Ton van Helvoort, Espen Eberg, Thomas Tybell.



### **TEM-studier av katalysepartikler**

I samarbeid med Institutt for prosesskjemi studerer vi forskjellige typer porøse materialer med små partikler som brukes som katalysatorer i et vidt spekter av industrielle prosesser. For å forstå egenskapene til katalysatoren er det meget viktig å vite størrelsen (som kan være ned mot noen få nanometer) og strukturen på partiklene, samt hva slags legering/sammensetning de har. Her er TEM et nødvendig karakteriseringsverktøy. Mikrostrukturstudiene vil foregå i samarbeid med katalysegruppen, og relateres til katalysatorens egenskaper. Kontaktpersoner: John Walmsley, Magnus Rønning, De Chen, Anders Holmen.

### **TEM-karakterisering av nanostaver av funksjonelle oksider**

Gruppen for uorganiske materialer og keramer ved Institutt for materialteknologi syntetiserer 1-dimensionale nanostaver av ferroelektriske materialer som  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{PbTiO}_3$  og enkle oksider som  $\text{TiO}_2$  ved hjelp av kjemiske metoder. TEM er et nødvendig karakteriseringsverktøy for å studere disse nanostavene, for å bestemme krystallstruktur, sammensetning, størrelse og morfologi. Arbeidet vil foregå i samarbeid med de som lager materialene og mikrostruktur vil koples opp mot egenskaper. Prosjektet er et samarbeid mellom Institutt for fysikk, Institutt for materialteknologi og Institutt for elektronikk og telekommunikasjon. Kontaktpersoner: Ton van Helvoort, Randi Holmestad, Mari-Ann Einarsrud, Guozhong Wang, Tor Grande, Thomas Tybell

### **Beregninger av EELS spektra**

Grenseflata i ferroelektriske tynnfilmene av blytitanat ( $\text{PbTiO}_3$ ) på strontiumtitanat ( $\text{SrTiO}_3$ ) er studert ved hjelp av elektron energitapsspektroskopi (EELS). EELS spektra viser en finstruktur som reflekterer både krystallografisk struktur og båndstruktur i prøva vår. Spektrene er relatert til tettheten av uokkuperte tilstander (density of states (DOS)) over Fermi-nivået. Denne oppgaven er rent teoretisk og går ut på å sette seg inn i programvare (diverse DFT software) for å beregne DOS og sammenlikne med eksperimentelle EELS data. I første omgang vil vi ta for oss de to strukturene, neste steg er å inkludere div. mulige effekter ved grenseflata. Prosjektet er et samarbeid med seksjon for teoretisk fysikk. Kontaktpersoner: Jon Andreas Støvneng, Ton van Helvoort, Anders Frøseth, Randi Holmestad.

### **TEM-karakterisering av karbon nanokjegler**

Karbon nano kjegler er mindre kjent enn karbon nanorør, og består karbonlag i flate disk og kjegler med forskjellige vinkler. Slike kjegler er foreslått som et egnet medium for hydrogenlagring. TEM-studier av disse kjeglene skal koples opp mot produksjonsparametere og målinger av egenskaper. Interessante parametere som kan finnes ved hjelp av TEM er størrelse, vinkler og morfologi. Prosjektet er et samarbeid med Institutt for Energiteknikk (IFE) og seksjon for komplekse materialer. Kontaktpersoner: Arnljot Elgsæter, Stine Nalum Næss, Randi Holmestad, John Walmsley.

## 1.2 Seksjon for komplekse materialer

Seksjon for komplekse materialer representerer forskning og vitenskap i fysikk ved instituttet innen grunnleggende materialvitenskap, med spesiell fokus på nanostrukturerte myke og komplekse materialer, komplekse systemer, nanovitenskap og nanoteknologi, og potensielle anvendelser av dette. Seksjonen omfatter vitenskapelig ansatte (7 faste vitenskapelig ansatte, for tiden 6-7 postdocs og et titalls PhD-studenter) som arbeider med eksperimenter, numerisk modellering eller teori.

Følgende faste vitenskapelige ansatte ved Institutt for fysikk er medlemmer av seksjonen (Februar 2006 i alfabetisk rekkefølge):

- Arljot Elgsæter, professor (biologisk fysikk, teori og eksperiment)
- Jon Otto Fossum, professor (eksperimenter i kondenserte fasers fysikk)
- Alex Hansen, professor (teoretisk fysikk)
- Arne Mikkelsen, professor (biologisk fysikk, teori og eksperiment)
- Frode Mo, professor (krystallografi)
- Steinar Raaen, professor (eksperimenter i kondenserte fasers fysikk)
- Bo-Sture Skagerstam, professor (teoretisk fysikk)

Deler av seksjonen er nært knyttet til det nasjonale vitenskapelige programmet COMPLEX, som er et strategisk universitetsprogram (SUP) for

**”Komplekse systemer og myke materialer”**



<http://www.phys.ntnu.no/CPX>

Dette er et samarbeid mellom tre forskningsgrupper i Norge: Gruppe for komplekse systemer og myke materialer ved Universitetet i Oslo (UiO), Seksjon for komplekse materialer ved NTNU og deler av Fysikkavdelingen ved Institutt for energiteknikk (IFE).

COMPLEX nasjonalt definerer også en CRT ("Collaborating Research Team") som har betydelige bevilgninger fra Norges forskningsråd's (NFR) NANOMAT program for studier av "Nanostrukturerte komplekse og myke materialer".

Deler av seksjonen har videre en stor aktivitet innen petroleumsrelatert fysikk, med en betydelig bevilgning fra NFR's Petromaks program. COMPEX nasjonalt er også kjernepartner innenfor EU's Network of Excellence (NoE) for Inside POREs studier, og har en betydelig bevilgning fra dette nettverket.

Fossum og Mo er begge tunge brukere av den sveitsisk-norske strålelinjen SNBL ved ESRF-synkrotronen i Grenoble. Fossum og Hansen har samarbeid med universitetene i Brasilia, Recife og Forta Leza, som også omfatter bruk av den brasilianske synkrotronkilden LNLS i Campinas, Brasil. COMPLEX samarbeider også nært med vitenskapelige grupperinger i København (Niels Bohr instituttet og NORDITA), i Frankrike (f.eks. Ecole Normale Supérieure i Paris, Université de Paris 7, Université de Nice, Université de Rennes 1), i USA (University of Arizona, University of Hawaii, Brookhaven National Lab, etc), i Sør-Korea (Gwangju Institute of Science and Technology) og i flere andre land. NFR støtter flere av disse samarbeidene med dedikerte midler.

- Vi kan derfor tilby masteroppgaver både
- internt ved NTNU, Institutt for fysikk,
  - ved UiO, Fysisk institutt,
  - ved IFE, Kjeller, fysikkavdelingen,
  - i København,
  - i Frankrike,
  - i Brasil,
  - eller andre steder etter eventuelt ønske.

I alle disse tilfellene vil hovedveileder aktivt være en av de nevnte ovenfor, selv om arbeidet fysisk foregår et annet sted enn ved NTNU.

Seksjon for komplekse materialer fokuserer for tiden blant annet på problemstillinger innenfor følgende hovedområder av moderne fysikk:

### **Nanopartikler: Biologiske partikler (proteiner, DNA/RNA, polysakkarider, lipid/vesikler) (Elgsæter/Mikkelsen):**

Eksempler på biologiske nanopartikler: Proteiner, DNA/RNA, polysakkarider og lipider-vesikler. Proteinene sørger blant annet for høgspesifikk kjemisk katalyse og kommunikasjon i levende celler. DNA er bærer av "minnet" og styrer sammen med RNA det hele, inklusive hvilke proteiner som blir syntetisert. Proteiner, DNA/RNA og polysakkarider er alle biopolymerer som kan anta en rekke ulike konformasjoner. Lipider danner membraner som fysisk omslutter alle celler og mikroorganismer. Vi ønsker å forstå de involverte molekylære mekanismene, og hvorledes de vekselvirker. I de fleste tilfellene fokuseres det på hvordan solid fysikkforståelse kan bidra til en dypere forståelse av biologiske problemstillinger (biologisk fysikk). Dette inkluderer proteinfolding, protein-protein vekselvirkninger, protein-DNA vekselvirkninger og organisering på høyere nivå som f.eks. genetiske "switcher" og molekylære nettverk.

### **Nanostrukturerte myke komplekse materialer (Fossum):**

Myke materialer er som oftest resultat av vekselvirkninger mellom nanopartikler. De fleste materialer av biologisk opphav hører inn under kategorien myke materialer. Det samme gjelder også de fleste materialer bestående av syntetiske polymerer som ikke befinner seg i glassfase eller mikrokrySTALLinsk fase. Et annet viktig eksempel på et mykt kondensert medium er leire. Leire er mykt, dvs. makroskopisk ikke-krySTALLinsk, og viser en fascinerende og fantastisk rik oppførsel under forskjellige betingelser. Hvordan oppfører myke materialer seg når ytre krefter påtrykkes, f.eks. ytre elektrisk felt, magnetfelt, eller påtrykte spenninger eller deformasjoner (rheologi)? Hovedformålet med denne forskningen er å forstå sammenhengen mellom struktur på nanoskala, og makroskopiske egenskaper til materialer, ved å studere modell materialer, som for eksempel leire ved hjelp av flere eksperimentelle teknikker i parallelle prosjekter.

### **Sprekkvekst og sprekkmorfologi (Hansen), samt andre utvalgte emner innen teoretisk fysikk:**

Et godt eksempel på et fysisk kollektivt fenomen er sprekkvekst: Når et materiale svikter under mekanisk stress (spenning), utvikles sprekker på grunn av spenningsfeltet. Spenningsfeltet utvikles (forsterkes) i sin tur av oppsprekningen; man får en runddans. Det vil si, "prosessen drar seg selv opp etter håret". Dette gir seg til syne gjennom hvordan sprekker ser ut (deres morfologi): Det viser seg at sprekkoverflater kan karakteriseres gjennom visse parametere som er uavhengig av materialet som sprekker opp. Vi har studert dette fenomenet gjennom mange år, men allikevel mangler mengder av viktige spørsmål svar.

### **Ferrouske materialer – effekter av temperatur, trykk, elektrisk felt eller størrelse (Mo):**

Ferrouske forbindelser omfatter en rekke forskjellige materialer som er i stand til å svitsje mellom to (eller flere) stabile egenskapstilstander under påvirkning av et eksternt felt eller kraft. Vi undersøker ferrouske forbindelser ved røntgendiffraksjon bl.a. for å karakterisere strukturendringer som inntreffer ved en faseovergang. Det har vært antatt at trykk, temperatur og sammensetning er de eneste variablene av betydning for å bestemme en stabil fase. I de seinere år er det blitt klart at også den fysiske størrelsen av

prøven (på nanometerskala) er en kritisk parameter både for stabilitet og egenskaper. Vi har startet arbeider for å studere effekter av størrelse, trykk, temperatur og elektrisk felt på forskjellige ferrouske systemer. For arbeidene med elektrisk felt har vi utviklet en gasstrøm termostat prøvecelle med kontroll av relativ fuktighet. Cella inneholder en roterbar kondensator som gjør det mulig å legge et permanent elektrisk DC-felt over krystallprøven. De eksperimentelle arbeidene blir utført med synkrotron røntgenstråling ved Swiss-Norwegian Beam Lines (SNBL), ESRF i Grenoble. Der finnes prøveceller for diffraksjonsstudier under trykk opp til 50 GPa og forskjellige kryostater og ovner for temperaturområdet 5 K – 1100 K.

### **Nanostrukturerte og komplekse prosesser på overflater (Raaen):**

Materialers vekselvirkning med omverdenen foregår via overflaten. Det er derfor viktig å kartlegge og forstå egenskapene til ulike overflater. Hvordan vekselvirker atomer og molekyler med rene overflater, og hvordan resulterer vekselvirkninger mellom atomer på rene overflater i selv organiserte komplekse strukturer? Hvordan kan en overflates elektroniske og strukturelle egenskaper endres ved dannelse av nanostrukturerte overflatelegeringer? Hvordan kan en overflate skreddersys for at en gitt kjemisk reaksjon på overflaten skal være mest mulig effektiv (heterogen katalyse)? Likeledes kan en katalysator brukes til å redusere uønskede miljøskadelige reaksjonsprodukter.

### **Utvalgte emner inne teoretisk fysikk (Skagerstam):**

Se detaljer nedenfor.

For å kartlegge og forstå disse og andre fysiske fenomener, anvender vi blant andre følgende verktøy:

- Teoretiske beregninger stort sett basert på statistisk fysikk
- Numerisk modellering (numerisk fysikk)
- Eksperimentelle teknikker som f.eks.:
  - Rheologiske teknikker for studier av myke materialers makroskopiske oppførsel.
  - Videomikroskopi og annen makroskopisk visualisering og analyse.
  - Mikrokolorimetrisk metode for studier av nanopartikkelvekselvirkning (binding) og strukturelle endringer inne i nanopartikler (f.eks. biopolymerers konformasjon) eller organiseringen av slike partikler relativt hverandre (f.eks. ulike typer væskekrystaller).
  - Statisk og dynamisk lysspredning, og elektro-optiske metoder for kartlegging og analyse av struktur og dynamikk på nano- og mikrometerskala .
  - Røntgendiffraksjon og lavvinkel røntgenspredning (Nytt toppmoderne utstyr nylig anskaffet ved instituttet).
  - Synkrotron røntgenspredning ved ESRF i Frankrike og ved andre synkrotronkilder for kartlegging og analyse av strukturer og dynamikk på nanometerskala.
  - Nøytronspredningsteknikker ved IFE, Kjeller, for komplementær kart-legging og analyse av strukturer og dynamikk på nanometerskala.
  - Nanopartikkelkontroll og analyseteknikker, f.eks. fraksjonering og kraftmikroskopi (AFM).
  - Elektrondiffraksjon (LEED), og XPS og UPS (røntgen- og UV-fotoemisjon) for overflatestudier.
  - Termisk desorpsjon (TPD) av gasser fra faste overflater.
  - Fotoemisjonsmikroskopi (PEEM) for blant annet å studere tidsoppløste overflatereaksjoner.

**Seksjonen tilbyr hovedoppgaver/diplomoppgaver innenfor alle punktene ovenfor, og tilbyr både fysikkoppgaver, rene instrumenteringsoppgaver inkludert instrument-programmering, og kombinasjoner av dette. Noen aktuelle oppgaver for 2006 er som følger (organisert alfabetisk etter navn på professor):**



## Teori, simuleringer og eksperimenter:

### Nanopartikler: Biologiske partikler (proteiner, DNA/RNA, polysakkarider, lipid/vesikler).

Professor Arnljot Elgsæter, professor Arne Mikkelsen og post.doc. Stine Nalum Næss.

#### Kontaktadresser:

- Professor Arnljot Elgsæter; Arnljot.Elgsaeter(kralfa)ntnu.no, tlf. 735 93431; rom E3-129 Realfagbygget, NTNU.
- Professor Arne Mikkelsen; Arne.Mikkelsen(kralfa)ntnu.no, tlf. 735 93433; rom E3-135 Realfagbygget, NTNU.
- Post.doc. Stine Nalum Næss; Stine.Nass(kralfa)ntnu.no, tlf. 735 93435; rom D3-198 Realfagbygget, NTNU.

### Dynamiske egenskaper til biologiske nanopartikler studert vha. statisk og dynamisk lysspredning

Studier av statisk og dynamisk lysspredning fra nanopartikler er viktige metoder for bestemmelse av slike partiklers struktur og dynamikk. For tiden er oppmerksomheten fokusert mot det kjedeformede strukturelle proteinet spektrin og dets komponenter og visse spesialiserte lipidvesikkelsystemer. For slike målinger disponerer vi et state-of-the-art kommersielt instrument fra ALV, Tyskland.

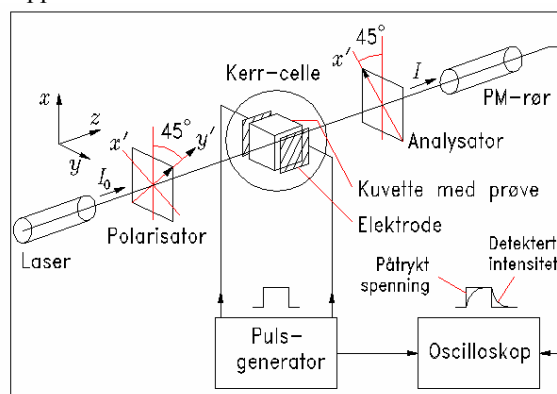


Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.

Medveiledere: Arne Mikkelsen og Stine Nalum Næss.

### Elektro-optiske egenskaper til nanopartikkelsystemer

Måling av elektro-optiske egenskaper gir først og fremst informasjon om rotasjonsdynamikken til nanopartiklene. Fokus for tiden er delvis knyttet til nanopartikler av biologisk opphav.



Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.

Medveiledere: Arne Mikkelsen og Stine Nalum Næss.

### Mikrokalorimetri av nanopartikkelsystemer

Den atomære strukturen til proteiner er generelt temperaturavhengig. Disse strukturelle endringene kan studeres vha. differensiell scanning kalorimetri (DSC). Spesifikke bindinger mellom proteiner kan studeres vha. isotermisk

kalorimetri (ITC). Vi har et topp moderne instrument til denne bruk (se bildet) og det brukes bl.a. til studier av egenskapene til de ulike formene av spektrin og vekselvirkningene mellom disse.



Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.  
Medveiledere: Arne Mikkelsen og Stine Nalum Næss.

### **Fryse-etse elektronmikroskopi av vesikulære nanopartikler**

Karotenfosfolipider (antioxidant mot mutagen kreft) og astaxanthin-derivat (mulig hjertemedisin) danner vesikulære nanopartikler. Kartlegging av i hvilken grad disse vesiklene består av multilag eller singellag vesikler er viktig for forståelsen av de funksjonelle mekanismene til disse stoffene. Fryse-etse elektronmikroskopi er eksepsjonelt vel egnet for slike studier. Seksjon for komplekse materialer har lang erfaring med bruk av denne teknikken og disponerer det eneste instrument i landet for denne typen prøvepreparering.



Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.  
Medveiledere: Arne Mikkelsen og Stine Nalum Næss og Vassilia Partali, Institutt for kjemi, NTNU

### **Numerisk modellering av nanopartikkelsystemers dynamikk**

De karakteristiske relaksasjonstidene for middels store nanopartikler ligger i tidsområdet 1 – 1000  $\mu$ s. Dette innebærer at det i praksis kun er mulig å modellere dynamikken til slike systemer numerisk ved hjelp av Brownsk dynamikk simuleringer. Detaljerte studier av de fleste nanopartikler krever at partiklene modelleres som ikke-sfæriske. Det er her av stor interesse å finne fram de mest effektive algoritmene for studier av nanopartikler med og uten holonomiske (stive) føringer. Store deler av den nødvendige programkoden er ferdigutviklet. Koden er laget i FORTRAN og er skrevet av AE. Oppgaven vil i hovedsak bestå av en videreføring av dette arbeidet.

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.  
Medveiledere: Arne Mikkelsen og Stine Nalum Næss.

### **TEM-karakterisering av karbon-nanokjegler**

Karbon-nanokjegler er mindre kjent enn karbon-nanorør, og består av karbonlag i flate disker og kjegler med forskjellige vinkler. Slike kjegler er foreslått som et egnet medium for hydrogenlagring. TEM-studier (transmisjonselektroskopi) av disse kjeglene skal koples opp mot produksjonsparametere og målinger av egenskaper.

Interessante parametere som kan finnes ved hjelp av TEM er størrelse, vinkler og morfologi. Prosjektet er et samarbeid med Institutt for Energiteknikk (IFE) og Seksjon for kondenserte mediers fysikk, Institutt for fysikk.

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Arnljot Elgsæter.  
Medveiledere: Stine Nalum Næss, Randi Holmestad, John Walmsley.

## **Eksperimenter:**

### **Professor Jon Otto Fossum**

#### **Nanostrukturerte myke og komplekse materialer**

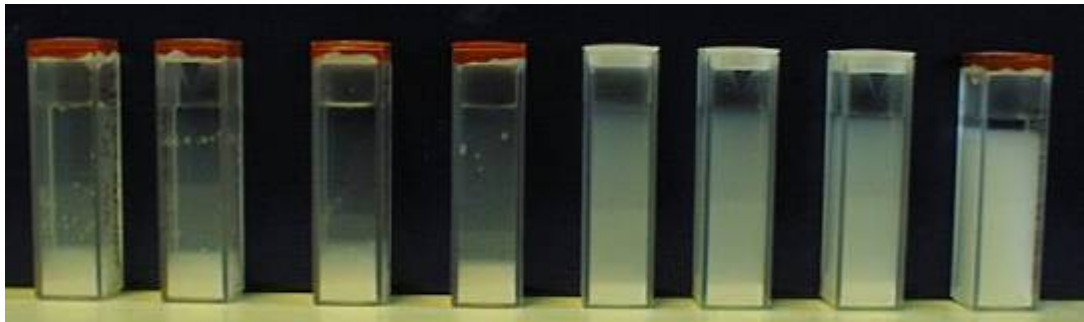
(Gruppe ved NTNU, IFY: Prof. Jon Otto Fossum, forskere Yves Meheust og Ahmed Gmira, stip. Davi Fonseca og Kanak Parmar)

##### *Kontaktadresser:*

- Professor Jon Otto Fossum, epost: jon.fossum(kralfa)ntnu.no, tel. 73593482, rom E3-160 Realfagbygget NTNU.
- Forsker Yves Meheust, epost: yves.meheust(kralfa)ntnu.no.
- Forsker Ahmed Gmira, epost: ahmed.gmira(kralfa)ntnu.no.

#### **Nanovitenskap: Delprosjekt innen studier av væskekrystallfaser i systemer av anisotrope nanopartikler**

Dette prosjektet omhandler eksperimentelle studier av fysikken forbundet med ordning av skiveformede nanopartikler (lagdelte silikatpartikler, eller leire) i vann i strukturer tilsvarende dem som danner grunnlaget for moderne LCD flatskjermer. Det følgende bildet viser hvordan slike væskekrystallfaser manifesterer seg makroskopisk, som et resultat av hvordan vekselvirkningen mellom ladete plateformede nanopartikler i vann kan "tunes" ved hjelp av ioneinnhold i vannet. Prosjektet har relevans for nanoteknologi og selvorganiserte nanostrukturer.



##### **KONKRET OPPGAVE FOR HØSTEN 2006:**

Forskningsgruppen har nylig anskaffet en nytt småvinkel røntgenspredningsapparat (SAXS). SAXS måler strukturer på lengdeskala fra ca 1 nanometer til ca 500 nm. Gruppen har også nylig bygget et oppsett for småvinkel lysspredning (SALS). SALS er prinsipielt helt tilsvarende SAXS mht. prinsipp, men SALS opererer med lysbølgelengde i det synlige området, dvs. med SALS kan en se på strukturer på lengdeskalaer fra ca 500 nm til ca 20 mikrometer. Ved å kombinere SAXS of SALS kan en dermed studere strukturer på lengdeskalaer fra ca 1 nanometer til ca 20 mikrometer. Slik kan man studere både translasjonsorden og orienteringsorden av vekselvirkende anisotrope nanopartikler innefor disse lengdeskalaene, og en kan studere ordnede fraktalstrukturer med porestørrelser innefor det eksperimentelt tilgjengelige vinduet (1nm-20 mikrometer). Konkret går prosjektet ut på å studere slike strukturer for de forskjellige fasene som er vist i bildet ovenfor ved hjelp av SAXS og SALS.

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Professor Jon Otto Fossum. Medveileder Forsker Yves Meheust.

#### **Nanovitenskap: Delprosjekt innen studier av komplekse elektrorheologiske eller magnetoreologiske fenomener i systemer av nano-lagdelte silikatpartikler**

Dette prosjektet omhandler eksperimentelle studier av fysikken forbundet med ordning av skiveformede nanopartikler (lagdelte silikatpartikler, dvs. leire) i olje i strukturer når elektriske felt påtrykkes. Dette er et eksempel på et såkalt smart materiale basert på design av nanopartikler, med mange mulige anvendelser i moderne materialteknologi Bildene nedenfor viser videomikroskopi av strukturell kjededannelse for et slikt system: Påtrykt elektrisk felt var ca 1kV og "prøvehøyden" var 1 mm. Fra venstre til høyre var tiden henholdsvis 0 sek, 40 sek og 80 sek. Utvikling av kjededannelse med tiden kan ses tydelig.

Slike systemer er karakterisert ved at en kan gå fra væske tilstand til faststofftilstand og tilbake ved å skru elektrisk spenning på/av. Aktiviteten omfatter derfor også omfattende rheologistudier ved NTNU. Det studeres også analoge magnetorheologiske systemer i samarbeid med universitetet i Brasilia, Brasil. Prosjektet har relevans for mikrofluidfysikk og for nanoteknologi innen smarte materialer.



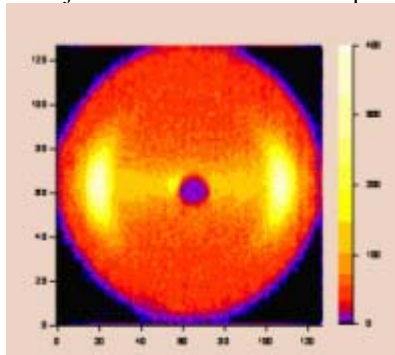
#### KONKRETE OPPGAVER FOR HØSTEN 2006:

- 1) En oppgave for studier av slike fenomener som vist i figuren ovenfor ved hjelp av rheometri, dvs. studere flytegenskaper (viskositet) og elastisitet til slike kjedestrukturer som funksjon av påtrykte mekaniske krefter og påtrykt ytre elektrisk felt. Gruppen har forholdsvis nylig anskaffet et state-of-the-art rheometer til dette formålet.
- 2) En oppgave for studier av magnetorheologiske systemer i samarbeid med Universitetet i Brasilia i Brasil. Denne oppgaven vil hovedsakelig skje ved NTNU, men også delvis i Brasilia, og også et kortere opphold for småvinkel nøytron sprednings (SANS) studier ved nøytronreaktoren ved IFE, Kjeller.

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Professor Jon Otto Fossum. Medveileder: Forsker Yves Meheust.

#### Miljøfysikk/ Nanovitenskap: Småvinkel røntgen spredning (SAXS) studier av porestrukturer og vanntransport i nano-lagdelte silikatpartikler

Dette prosjektet er i samarbeid med COMPLEX-gruppen ved fysikkavdelingen ved IFE, Kjeller, og ved UiO, samt med Universitetene i Brasilia og Recife i Brasil, og er en fortsettelse av prosjekter som har gått over de siste årene. Prosjektet omhandler studier av nanoporøsitet i makroskopiske systemer av syntetisk leire, samt diffusjon/transport av vann i slike systemer. Forståelse av slik problematikk har anvendelser innen membranteknologi og ikke minst innefor kontroll av transport av forurensninger i leirebaserte bakkeformasjoner. Dette siste er viktig både i forbindelse med oljereservoarer i til havs, og i forbindelse med lagring av radioaktivt avfall.. Det følgende bildet viser et eksempel et 2-dimensjonalt SANS diffraksjonsopptak fra nylige studier ved IFE. Slike diffraksjonsmønstre som likner på dem man får fra SAXS, gir informasjon om vanninnhold i nanoporer i materialer.



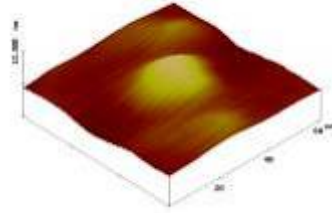
#### KONKRETE OPPGAVER FOR HØSTEN 2006:

SAXS, SANS studier av vanntransport i nanoporøst materiale kombinert med makroskopiske målinger på de samme prøvene studert vha SAXS og SANS. Makroskopiske målinger vil i hovedsak være TGA (Thermal Gravitational Analysis) som er en metode for måling av totalt vannopptak/frigjøring i prøver. Gruppen har en state-of-the-art TGA for dette formålet. Vi vil også bruke og DSC (Differential Scanning Calorimetry), dvs. varmekapasitetsmålinger for å se på de samme prøvene. Poenget med oppgaven (det er plass til to studenter her), er å se på sammenhenger mellom målinger på nanoskala (SANS og SAXS) og på makroskala (DSC of TGA).

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Professor Jon Otto Fossum. Medveiledere: Forsker Yves Meheust, forsker Ahmed Gmira, professor II, seniorforsker Kenneth Knudsen <[knudsen\(kralfa\)ife.no](mailto:knudsen(kralfa)ife.no)> ved IFE, Kjeller og professor Knut Jørgen Måløy ved UiO.

#### Nanovitenskap: Kraftmikroskopi (AFM)

Gruppen har nylig anskaffet state-of-the-art et kraftmikroskop (AFM: Bildet til venstre nedenfor). Vi har flere prosjekter på dette instrumentet. Bildet til høyre nedenfor viser en nanopartikkel (syntetisk diskosformet leirepartikkel, 25 nanometer diameter, 1 nanometer tykk) avbildet av oss:



#### KONKRET OPPGAVE FOR HØSTEN 2006:

Videreføring av et prosjekt vi har påbegynt for å se på korrelasjoner mellom 3-dimensjonale strukturer og ruheten til overflater laget ved å la 3-d strukturer kollapse, for eksempel ved å tørke ut geler med fraktalstruktur. Noen uordnede 3-d strukturer er fraktale. Når ru overflater dannes ved å tørke ut slike fraktalnettverk, hvor mye informasjon overføres da til overflateruheten om den opprinnelige fraktalstrukturen? Det er mange uløste spørsmål innenfor denne problemstillingen.

Kontaktperson og hovedveileder for dette prosjektet: Professor Jon Otto Fossum og forsker Ahmed Gmira.

### **Teori og simuleringer:**

#### **Professor Alex Hansen:**

#### **Utvalgte emner innen teoretisk fysikk**

(prof Hansen, med flere postdocs og stipendiater)

Jeg har ledige prosjektoppgaver innen ikke-lineære vekstprosesser, sammenbrudd, granulære mediers dynamikk eller strøm i porøse medier studert ved numeriske og teoretiske metoder.

*Ta kontakt for detaljer:*

Professor Alex Hansen, alex.hansen(kralfa)ntnu.no, tel. 73 593649, rom E3-137, Realfagbygget, NTNU.

### **Eksperimenter:**

#### **Professor Frode Mo**

#### **Ferroidske materialer**

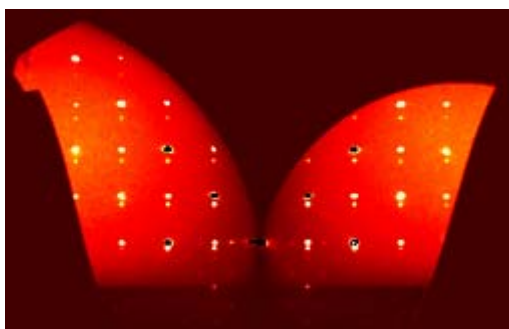
(prof. F. Mo, forsker J.A. Beukes)

*Kontaktadresse:*

Professor Frode Mo, fmo(kralfa)ntnu.no, tel. 73 593585, rom E3-164 Realfagbygget, NTNU.

#### **Perovskittmaterialer**

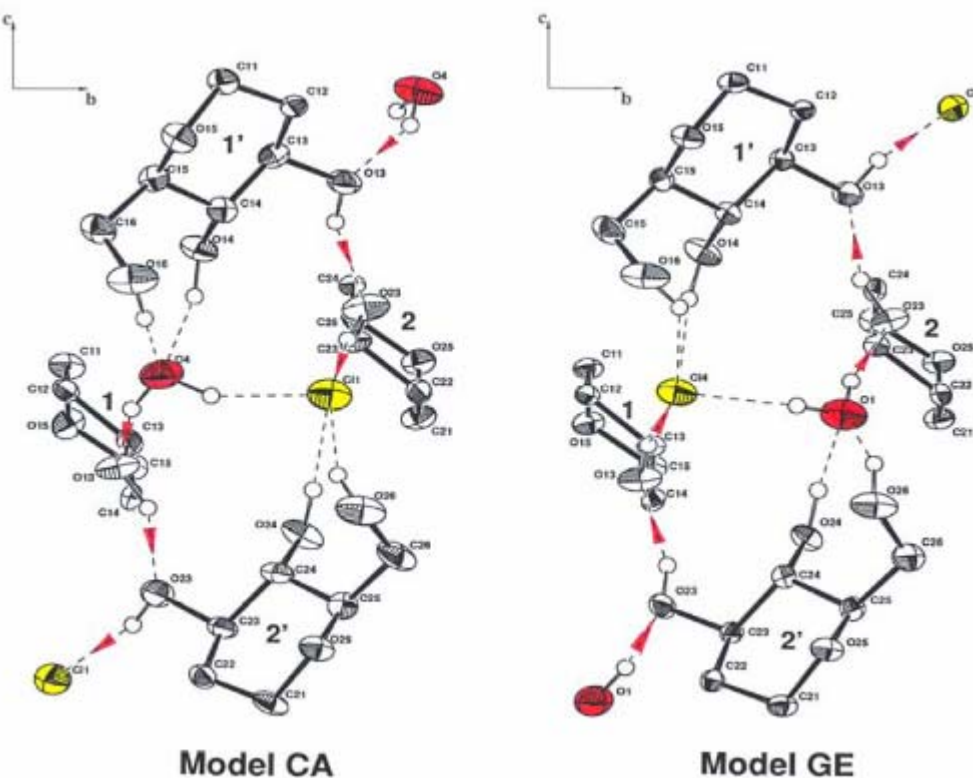
Perovskittene utgjør en svært viktig gruppe av ferroidske materialer med en ekstrem variasjon i elektroniske egenskaper som omfatter f. eks. ferroelektrisitet, dielektrisitet, høg- $T_c$  superledning og kolossal magnetoresistivitet. Interessen for disse materialene er knyttet både til fundamentale problemstillinger og teknologiske anvendelser. I de seinere år er det blitt klart at de fysiske egenskapene av perovskittmaterialer også kan påvirkes sterkt av størrelsen. Størrelse i nanoområdet kan derfor få stor betydning for bruken av slike materialer i mikromekanikk/mikroelektronikk. En type materialer for røntgenstudier er epitaksiale filmer av ferroelektriske materialer med tykkelse i området typisk 2 – 20 nm. Her ønsker vi å undersøke effekter både av tykkelse og et påsatt elektrisk felt, og av tilpasning til det underliggende substratet. En annen type aktuelle materialer er partikler av et tungmetalloxid med størrelse 2 – 60 nm. Oxidpartiklene er av stor interesse både som materiale i gass-sensorer, i optiske regulatorer og som katalysatormateriale. For disse prøvene vil vi undersøke effekter av størrelse, trykk og temperatur på stabilitet og egenskaper. De to prosjektene er samarbeider med prof. T. Tybell, NTNU og prof. V. Dmitriev, SNBL, ESRF.



Rekonstruksjon av  $0\ k\ \ell$  – planet som viser reflekser for substrat av  $\text{SrTiO}_3$  (sterke) og av en 42 nm tykk epitaksial film av  $\text{PbTiO}_3$  (svakere). Aksene  $c^*$  i substrat og i film er sammenfallende, men er  $0.015\ \text{\AA}^{-1}$  kortere i  $\text{PbTiO}_3$ .

## Organiske hydrater

Den mest aktuelle forbindelsen for en prosjekt- eller hovedoppgave er et organisk hydrat som vi antar er ferroelastisk. Ved faseovergangen skjer en reversering av polariteten som kan forklares ved et ombytte i posisjon av relativt store atomgrupper. Det skjer uten forandring av krystalsymmetrien. Dette er en sjelden og interessant strukturell faseovergang som vi ønsker å beskrive fra nøyaktige diffraksjonsdata. Figuren viser ombytte av Cl og vann i komplekset som medfører en reversering av polaritet langs den polare c-aksen.



For begge prosjektene må en sette seg inn i noe krystallografi og røntgendiffraksjon som er hovedmetoden for å studere struktur på atomnivå, videre å delta i diffraksjonsarbeider på prøver som vi har. For det organiske hydratet vil prosjektet by på arbeider med datasett for enkrystaller og raffinering av strukturene fra disse settene for å beskrive i detalj hva som skjer ved faseovergangen. Programmer for analyser av data, raffinering av struktur og diverse grafikk finnes.

### Ekspirer og simuleringer:

#### Professor Steinar Raaen

#### Overflatefysikk

(prof. Steinar Raaen, sip. Henrik Tollefsen, stip. Mari Juel)

*Kontaktadresse:*

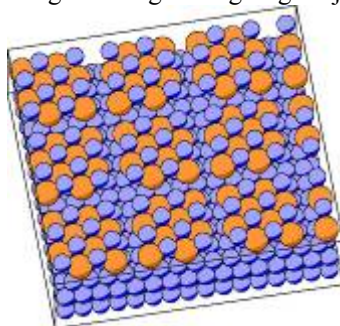
Professor Steinar Raaen. steinar.raaen@ntnu.no, tel. 73593635, rom E3-174, Realfagbygget NTNU.

Virksomheten består i eksperimentelle studier ved bruk av fotoemisjon (XPS, UPS), energidiffraksjon (LEED), fotoemisjonsmikroskopi (PEEM), og termisk desorpsjon (TPD). I tillegg gjøres numeriske (Monte-Carlo) simuleringer av overflateprosesser. Noen mulige hovedoppgaver er skissert i det følgende.



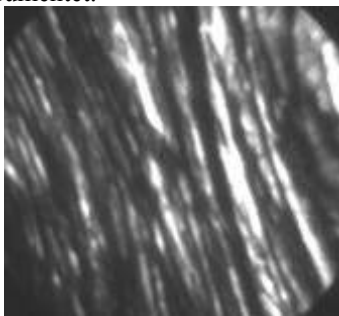
### **Elektroniske egenskaper av nano-strukturerte metalloverflater**

De elektroniske egenskapene til overflaten til et materiale kan modifiseres ved innlegering av andre elementer. Dette kan gjøres ved pådamping av monolag-tykke skikt som deretter varmes. På grunn av lavt frigjøringsarbeid og lav overflate-energi er sjeldne jordart overlag av spesiell interesse. Dette er systemer med ufylte 4f-skall med interessante fysiske egenskaper. Først blir ca. ett monolag med f.eks. samarium deponert på overflaten til en krystall. Deretter blir systemet varmebehandlet for å lage en velordnet overflatelegering. Adsorpsjon av ulike enkle gasser som f.eks.  $O_2$ ,  $CO$ ,  $C_2H_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $N_2O$  studeres deretter. Elektronisk struktur, geometrisk struktur og desorpsjonsparametre undersøkes ved ulike eksperimentelle metoder. Målet er å oppnå fundamental kunnskap som er relevant for katalysatorsystemer som er teknologisk viktig i energi- og miljøsammenheng.



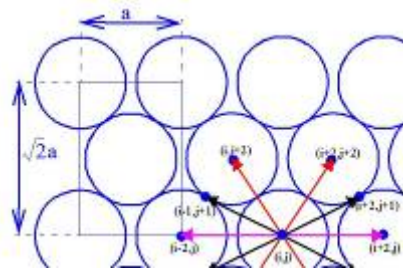
### **Fotoelektronmikroskopi av overflateprosesser**

Mange kjemiske reaksjoner av både teknologisk og miljømessig betydning foregår på overflaten av faste materialer. Det er derfor viktig å oppnå fundamental forståelse av slike reaksjoner. Elektroniske bindinger på atomær skala spiller en avgjørende rolle, men også fenomener som foregår på større lengdeskala må tas i betraktning. Dette gjelder for eksempel transport av atomer og molekyler langs overflaten. Et fotoemisjon elektronmikroskop (PEEM) kan brukes til å studere topografiske variasjoner såvel som variasjoner i overflatepotensial (frigjøringsarbeid) på overflater. Tidsvariasjoner av overflateprosesser kan observeres i "real time". Andre metoder som XPS, UPS og LEED vil brukes sammen med PEEM instrumentet.



### **Monte-Carlo simulering av adsorpsjon av CO fra Pt(111)**

Tolkning av termisk desorpsjonsdata for adsorberte molekyler på en overflate er komplisert av flere grunner. Et adsorbent molekyl kan sitte på ulike steder på en flate (f.eks. rett over et substrat-atom eller mellom to atomer) som har ulik adsorpsjonsenergi. Likeledes vil vekselvirkning mellom adsorberte molekyler ha stor betydning. Slike prosesser kan simuleres på et overflategitter hvor det kan tas hensyn til nabovekselvirkninger og forskjellig desorpsjonsenergi for ulike gitterposisjoner. Et mål for prosjektet er å reprodusere eksperimentelt observerte overflatestrukturer for CO adsorbent på Pt(111) overflaten, samt reprodusere termisk desorpsjonsspektra for dette systemet. En statistisk tilnærming ved bruk av Monte Carlo simuleringer er vel egnet for slike studier.





## **Teori:**

### **Professor Bo-Sture Skagerstam:**

#### **Utvalgte emner innen teoretisk fysikk**

*Ta kontakt for detaljer:*

Professor Bo-Sture Skagerstam, bo-sture.skagerstam(kralfa)ntnu.no, tel. 73 591866, rom E3-120, Realfagbygget, NTNU.

Man kan få göra vad man vill inom teoretisk fysik och jag kan hjälpa dem så gott jag kan.

Om nu någon vill veta vad jag gör just nu och om det finns något intressant där så kan man ju alltid nämna: granulära medier och modeller för trafikköer; kollektiva effekter i mikroskopiska kvantsystem; dekoherenseffekter i Josephson junctions; superstarka magnetfält och kvantelektrodynamik; termodynamik för icke-abelska gaser och så allt möjligt inom modern kvantoptik (kvantmekaniska fotonpulser; modeller för detektion av impulsmoment för fotonpulser; koherenseffekter i kavitetslektrodynamik;...).

## 1.3 Seksjon for teoretisk fysikk

### 1.3.1 Faseovergangar i QCD

Professor Jens Andersen ([jens.andersen@ntnu.no](mailto:jens.andersen@ntnu.no))

Kvantekromodynamikk (QCD) er teorien for dei sterke vekselvirkningane som beskriv kvarkar og gluonar. I vakuum er QCD "confining" - det vil seie at det ikkje eksisterer frie kvarkar eller gluonar. Kvarkane er bundne i "kvark-atom" som består av tre kvarkar eller ein kvark og ein antikvark. Eksempel på tre-kvark system er protonar og nøytronar. Eksempel på kvark-antikvark system er Pi-meson og K-meson. Desse elemæntarpartiklane som ein studerer ved dei store akselartorane på f.eks. CERN kallast hadronar.

Dersom ein varmar opp ein gass av hadronar til ein temperatur som tilsvarear ca 150MeV, vil dei "smelte" og danne eit kvark-gluon plasma. I dette plasmaet bevegar kvarkane og gluonane seg frit analogt til eit elektron-ione plasma som ein kjenner frå vanleg plasmafysikk. Denne faseovergangen frå ein hadrongass til eit kvark-gluon fann heilt sikkert stad i det tidlege univers då temperaturen var høg. Faseovergangen og eigenskapane til dette plasmaet er difor interessant for kosmologi og for å forstå utviklinga av universet.

Dersom ein utsett kjernematerie for eit høgt trykk vil tettheiten auke. Når tettheiten er ca 5 gangar vanleg tettheit for kjernematerie, vil ein få ein faseovergang til kvarkmaterie. I kvarkmaterie er kvarkane igjen frie, men nå er temperaturen essensielt lik null. Dette er altså ein degenerert Fermigass som har andre eigenskapar enn kvark-gluon plasmaet. Det kan blant anna vere i ulike fargesuperleiande fase (analogt til vanleg superleiing i metallar) med eksotiske eigenskapar (f.eks med eksitasjonar utan eit massegap). Desse fasane er interessante i samband nøytronstjerner: Dersom tettheiten i sentrum av nøytronstjerna er høg nok, kan det vere ein overgang til kvarkmaterie.

Eg kan tilby ulike oppgaver innafor fasediagrammet for QCD der ein studerer ulike kvantefeltteoriar som beskriv ymse aspekt ved faseovergangane. Oppgavene er ein kombinasjon av analytisk og numerisk arbeid og krev bakgrunn i kvantefeltteori, partikkelfysikk og statistisk fysikk.

### 1.3.2 Elektronstrukturberegningar

#### Elektronstrukturberegningar

Vi ønsker å gjøre elektronstrukturberegningar basert på tetthetsfunksjonalteori for å belyse enkelte problemstillinger knyttet til instituttets eksperimentelle aktiviteter innenfor kondenserte mediers fysikk, eksempelvis adsorbater på overflater, ferroelektriske tynnfiler eller halvledere for nye typer solceller.

#### Molekylmodellering med anvendelser innen polymerisasjon og katalyse

Molekylers elektronstruktur og vibrasjonsspektra, samt ulike kjemiske reaksjoner, studeres ved hjelp av tetthetsfunksjonalteori, eventuelt metoder basert på en kombinasjon av klassisk mekanikk og kvantemekanikk. Beregningene tar fortrinnsvis utgangspunkt i problemstillinger knyttet til polymerisasjon og katalyse, f.eks. polyolefiner og polylaktider, men andre systemer kan også være aktuelle.

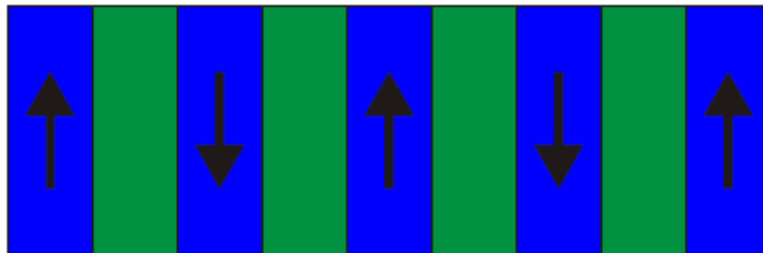
**Kontakt:** Jon Andreas Støvneng, E5-130, 93663, [stovng@phys.ntnu.no](mailto:stovng@phys.ntnu.no)

### 1.3.3 Kvantetransport i nanostrukturer

Professor Arne Brataas, E5-116, arne.brataas@phys.ntnu.no

Et nytt forskningsfelt har de siste årene fått stor oppmerksomhet fordi det er banebrytende og samtidig teknologisk viktig: Nanoteknologi og mesoskopisk fysikk. Mesoskopisk kommer fra det greske ordet “mesos” som betyr noe imellom. Små systemer som er mellom de typiske mikroskopiske og makroskopiske størrelsene blir kalt mesoskopiske. Forskning og utvikling innen nano-teknologi gjør det mulig å skape elektroniske strukturer som er mindre enn 10 nm i diameter. For å kunne nyttiggjøre seg disse revolusjonerende nye mesoskopiske strukturene er det viktig å forstå de fysiske egenskapene gjennom en økt innsats på grunnforskning. Forskere over hele verden prøver derfor å forklare de fysiske egenskapene til strukturer som er mye større enn et atom, men allikevel tilstrekkelig små slik at de oppfører seg helt annerledes enn makroskopiske systemer. De fysiske egenskapene til mesoskopiske systemer er ofte svært forskjellig fra hva vi er vant til, og det er nødvendig med fundamentalt nye innfallsvinkler og teoretiske modeller for å kunne forstå dem. For en fysiker er mesoskopiske strukturer idelle laboratorier for hvordan elektronene i en struktur beveger seg og for hvordan de vekselvirker med hverandre og med andre frihetsgrader.

Et elektron har et indre magnetisk moment, et “spinn”. Spinn angir en retning og er ikke bare en tallverdi som elektronets elektriske ladning. I normale metaller er det like mange elektroner med spinn i en bestemt retning som i den motsatte. Elektronets spinn har i disse systemene derfor liten betydning. I en ferromagnet er det et overskudd av elektroner med et spinn i en retning og systemet har et netto spinn, eller et total magnetisk moment. Målinger av transport-egenskapene mellom ferromagneter og vanlige metaller har vist at elektronene som beveger seg også til en viss grad er spinn-polarisert. Det betyr at de bærer med seg et netto magnetisk moment. Det fører til at ikke-magnetiske metaller kan få spesielle magnetiske egenskaper når de er i kontakt med ferromagneter og systemet ikke er i likevekt. Dette fenomenet kalles spinn-innjisering.



Figur 1: Lagdelt nano-skala ferromagnetisk/normal metallstruktur. Lengden til hvert lag er så liten som 10 atomer. De blå lagene er ferromagneter med innbyrdes anti-parallele magnetiseringsretninger. De grønne lagene er normale metaller. Et eksternt magnet-felt kan vende alle magnetene i samme retning og forandre den elektriske motstanden til strukturen.

Egenskapene til spinn kan brukes i nye elektroniske kretser. Det såkalte “giant magneto resistance (GMR)” -fenomenet i lagdelte ferromagnetiske-normal metall systemer ble oppdaget for litt over 10 år siden og er nå den ledende teknologien i lese-hoder for data-lagrings-medier. Elektroniske kretser som bruker elektronets spinn istedenfor elektronets ladning har blitt døpt “spintroniske” kretser etter modell av “elektroniske kretser”. Spintroniske kretser kan også brukes i magnetiske RAM brikker og muligens i framtiden i kvantedatamaskiner, datamaskiner som er basert på kvantemekaniske logiske prinsipper.

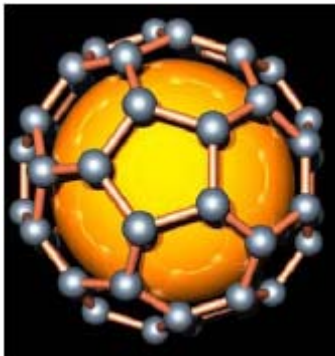
Denne prosjekt-oppgaven er en teoretisk studie av spinnets rolle i kondenserte medier og dets innvirkning på fundamentale transport-prosesser. Dette er en del av min forskningsaktivitet hvor tre post-doc forskere og fire stipendiater arbeider med transport-teori i nanostrukturer:

- 1) Anh Kiet Nguyen: Transport i ferromagnetiske halvledere
- 2) Daniel Huertas-Hernando: Spinn dynamikk i grafen.
- 3) Egor Babaev: Spinn-dynamikk og virvelløkker i ferromagneter
- 4) Jan Petter Morten: Spinn-transport i superledere.
- 5) Roman Shchelushkin: Transport i ferromagnetiske halvledere.
- 6) Jørn Foros: Spinn-dynamikk og transport i ferromagnet-normal metaller.
- 7) Hans Joakim Skadsem: Demping av magnetiserings-dynamikk i ferromagneter.

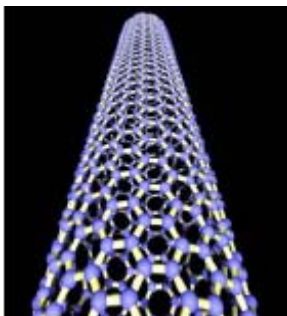
6 av 7 av disse forskningsprosjektene er finansiert eksternt ved bevilgninger fra Norges Forskningsråd gjennom NANOMAT, STORFORS og YFF programmene. Ett prosjekt er støttet av interne midler ved NTNU. Tre aktuelle problemstillinger for prosjekt-oppgaver er beskrevet i mer detalj nedenfor.

### 1) Dirac-fermioner i to dimensjoner

De fleste kjenner til at karbon kan forekomme som diamant eller grafitt. Undersøker man karbon nærmere helt ned på nano-skala kan man se at det også kan forekomme som karbon nanorør eller som nano-skala fotballer, se figurene nedenfor.

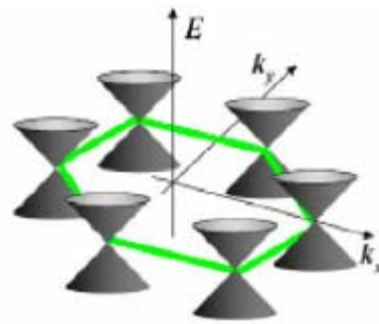
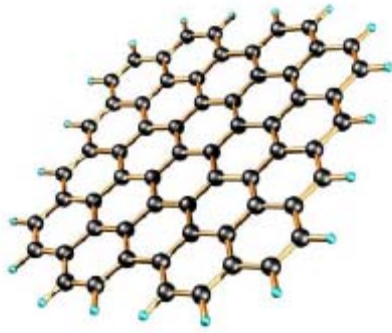


Figur 2: nano-skala fotball



Figur 3: Karbon nanorør

Begge strukturene kan lett lages og integreres i kretser med metaller og halvledere, der strøm og spenning kan kontrolleres helt ned på molekyl nivå. Et enkelt todimensjonalt (2D) lag av karbon i et heksagonalt gitter, grafen, har nylig dukket opp som en ny lovende kandidat i forskningsfeltet, se figuren nedenfor



Ladnings-partiklene (elektroner og hull) i grafen er ikke beskrevet med den vanlige Schrödinger-ligningen men med Dirac-ligningen for relativistiske fermioner. Transport i grafen er derfor identisk med transporten av Dirac fermioner i to dimensjoner. I tillegg til disse eksotiske elektronkegenskapene er grafen veldig rent slik at en strøm flyter lett og kan kontrolleres over lange avstander ( $\sim 1$  mikron) uten spredning.

Hittil har det vært mest fokus på ladningstransport i grafen. Lite er kjent om hvordan spinn beveger seg i grafen. Forståelsen av dette er hovedmålet i dette prosjektet. Transporten av spinn er i hovedsak påvirket av spinn-bane-koplingen. Dette betyr partiklenes dreieimpuls også påvirker dynamikken til deres spinn gjennom koplingen. Noen eksempler på viktige størrelser som skal studeres er: 1) Styrken av spinnbanekopling på grunn av topologiske defekter eller vekselvirkningen med urenheter og dislokasjoner. 2) avstanden som elektroner/hull kan bevege seg gjennom systemet med deres spinn bevart. Daniel Huertas-Hernando forsker innen dette feltet. En til to studenter kan arbeide på dette prosjektet.

## 2) Magnetisk domenevegg og Berry fasen

Et kvantemekanisk partikkel kan tilegne seg en gaugeinvariant fase, den såkalte Berry fasen eller den geometriske fasen. Dette er en fundamental egenskap med kvantesystemer oppdaget beskrevet relativt nylig av Sir Michael Berry i 1984! Eksempler på fysiske realisasjoner av Berry fasen er Aharonov-Bohm effekten og kvantisering av magnetisk fluks i superledere. Berry fasen avhenger ikke av dynamikken til kvantesystemet men av den geometriske banen systemet har tilbakelagt.

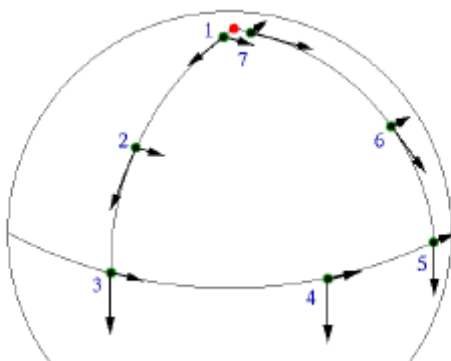


Figure 4: Eksempel på en klassisk Berry fase. Endringen på den horisontale vinkelen på vektoren avhenger kun av banen vektoren har tilbakelagt.

**Oppgaven:** Partikler som går i gjennom en magnetisk domenevegg får en Berry fase. Det er nylig oppdaget i vår gruppe at magnetiske domenevegger har en indre motstand mot adiabatisk transport av

partikler med spinnbane kopling. Oppgaven består i å relatere den indre domenevegg motstanden med Berry fasen.

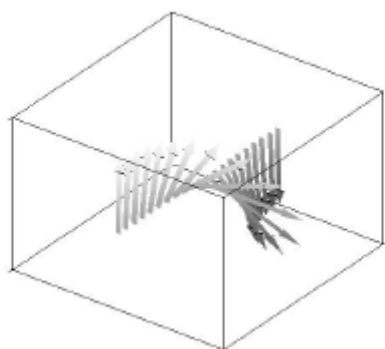
Anh Kiet Nguyen forsker på dette temaet. Antall studenter (1-2).

### 3) Hull transport i magnetiske halvledere

Ladningsbærere i moderne halvledere kan være hull med positiv ladning og  $3/2$  spinn. Transportegenskaper for disse hullene i ferromagnetisk halvledere er av stor interesse siden ferromagnetiske halvledere har potensialet til å både lagre informasjon (magnetisering opp og ned) og endre på informasjonen, dvs forandre magnetiseringsretningen og de kan integreres med mer konvensjonelle halvledere.

Opgaven består i å studere kvantetransporten av hull gjennom en domenevegg i ferromagnetiske halvledere. Domenevegger er topologiske defekter som skiller regioner med forskjellige magnetisering, se figuren nedenfor. Hull-transporten skal studeres i forskjellige transportområder: diffusjon, ballistikk og adiabatisk.

Anh Kiet Nguyen forsker innen dette feltet. Antall studenter: 1-4.



Figur: Domenevegg i ferromagnetisk halvleder

#### **Kontaktpersoner:**

Professor Arne Brataas  
Email: [Arne.Brataas@ntnu.no](mailto:Arne.Brataas@ntnu.no)  
Telefon: 73 59 36 47  
Kontor: Realfagbygg\*E5-116

Postdoktor Anh Kiet Nguyen  
Email: [kiet.nguyen@ntnu.no](mailto:kiet.nguyen@ntnu.no)  
Telefon: 73551093  
Kontor: Realfagbygg\*D5-180

Postdoktor Daniel Huertas-Hernando  
Email: [danielhh@ntnu.no](mailto:danielhh@ntnu.no)  
Telefon: 73591870  
Kontor: Realfagbygg\*E5-147

## **1.4 Seksjon for biofysikk og medisinsk teknologi**

### **1.4.1 Studier av elektromagnetiske felts påvirkning av kreftcellebehandling**

**Veiledere:** Anders Johnsson, Thor Bernt Melø, Ståle Ramstad, Gunnhild Oftedal, Catharina Davies

#### **Bakgrunn:**

Vi er interessert i mekanismene for lysindusert inaktivering av kreftceller. Ved å tilføre et stoff, forkortet ALA, kan man i kreftceller øke konsentrasjonen av fotopigmenter. Etter belysning starter fotopigmentmolekylene en rekke reaksjoner som fører til celledød. Metoden blir nå brukt klinisk, bl.a. for å lysbehandle enkelte former av tumor på hud. Behandlingen blir kalt PDT (Photo Dynamic Therapy).

Vi studerer slike nedbrytingsprosesser i kreftcelle-linjer hvor de pigmentmolekylene som blir generert er såkalte porfyriner.

I litteraturen er det rapportert at magnetfelt (for eksempel 100 Hz, sinusformet) kan påvirke celleopptaket av stoffer som i cellen skal produsere de aktuelle pigmentmolekylene. Disse opptaksmekanismene er svært sentrale i cellefysiologi og kreftbehandling.

#### **Oppgave:**

Oppgaven er å studere og sammenligne cellereaksjonene med og uten magnetfelt. Studiene gjelder cellenes opptak av ALA og evt. andre stoffer, lysinduserte reaksjoner i cellene samt celledød etter PDT behandling av cellene.

#### **Metoder:**

Lysspektroskopi (for eksempel fluorescens-spektroskopi), mikroskopi, eksponering i veldefinerte elektromagnetiske felt, flow cytometri.

## 1.5 Seksjon for anvendt fysikk og fagdidaktikk

### 1.5.1 Fysikk fagdidaktikk

Fagdidaktikk dreier seg om fagets egenart som undervisningsfag; dets historie, innhold, metoder og begrunnelser. En masteroppgave i fysikk fagdidaktikk kan innebære innsamling og analyse av data fra spørreskjema eller intervjuer, utvikling, utprøving og evaluering av undervisningsopplegg eller analyse av læremidler og læreplaner. Dette legger grunnlag for yrkesmuligheter innen undervisning, læremiddelutvikling, forvaltning i utdanningssektoren eller formidling av faget gjennom for eksempel vitensentra, forlag og media. Masteroppgavene kan tilpasses i omfang slik at de egner seg både for studenter på masterprogram i fysikk og studenter på LUR-programmet.

En del av oppgavene formulert her tar utgangspunkt i at det skal iverksettes nye læreplaner for grunnskole og videregående skole i løpet av 2006 og 2007. Dette gir mulighet for studenter til å gi et genuint bidrag til skolens undervisning i nye emner gjennom arbeidet med masteroppgaven. De nye læreplanene finnes på Utdanningsdirektoratets hjemmesider: <http://www.utdanningsdirektoratet.no/>

Studenter som ønsker å formulere oppgave etter egne ideer utover det som er foreslått her, har mulighet for dette i samarbeid med veileder.

#### 1. Detektorer og sensorer i videregående skole.

I nye læreplaner for videregående opplæring inngår detektorer og sensorer i programfaget Fysikk 1 (tilsvarende nåværende 2FY). Læreplanene vil være operative fra høsten 2007, og behovet for undervisningsmateriell i nye emner er stort.

Oppgaven går ut på å utvikle, prøve ut, dokumentere og evaluere et undervisningsopplegg om detektorer og/eller sensorer for elever i Fysikk 1. Opplegget skal prøves ut med elever på dette nivået. Studenten vil få hjelp til å få kontakt med aktuelle skoler.

Undervisningsopplegget må være i overensstemmelse med kompetansemålene i den nye læreplanen og tilpasset det faglige nivået elevene er på. Det må være godt faglig fundert slik at det formidler sentrale egenskaper ved detektorer og sensorer, og pedagogisk tilrettelagt slik at det aktiviserer, engasjerer og motiverer elevene. Kostnader må være innenfor hva som er realistisk for skoler å betjene. Dokumentasjonen på undervisningsopplegget skal være slik at det er til nytte for fysikklærere som skal undervise emnet.

Det er en fordel om studenten som skal gjøre oppgaven har emnet FY2006 (Målesensorer og transducere), og har interesse for elektronikk og formidling av emnet til elever.

Veileder: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no)

#### 2. Modellering i fysikkfaget

I nye læreplaner for videregående opplæring, som iverksettes høsten 2007, er 'Å beskrive naturen med matematikk' definert som et eget hovedområde i fysikk. Elevene skal her bruke, og selv formulere, matematiske modeller for fysiske fenomener. Dette representerer et nytt fokus i fysikkundervisningen på dette nivået, og det er derfor behov for kunnskap som kan bidra til utvikling av god undervisning i emnet.



Oppgaven går ut på å prøve ut og evaluere undervisningsopplegg om matematisk modellering i fysikk med elever i videregående skole, og undersøke hvordan elever forholder seg til modellering fra empiriske målinger. Undervisningsopplegg skal være i samsvar med kompetansemål i nye læreplaner, og de kan utvikles av studenten selv eller tilpasses fra eksisterende materiale. I oppgaven skal studenten på grunnlag av egne undersøkelser beskrive hvilke utfordringer elevene møter ved modellering i fysikk og hva slags kunnskaper og strategier de gjør bruk av for å møte utfordringene. Som datamateriale kan brukes elevers skriftlige arbeider, intervjuer og lydopptak av undervisningssituasjoner.

Studenten vil få hjelp til å få kontakt med aktuelle skoler for arbeidet med oppgaven. Selv om de nye læreplanene er operative først fra høsten 2007, er det mulig å gjennomføre undersøkelsen innenfor rammene av eksisterende læreplaner skoleåret 2006/2007.

Mer om modellering finner du på Skolelaboratoriet i Fysikk ved UiO og prosjektet FYS21:  
<http://www.fys.uio.no/skolelab/FYS21/>

Veileder: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no)

### **3. "Forskerspiren" i læreverk for grunnskole og videregående opplæring**

I nye læreplaner for grunnskole og videregående opplæring er "forskerspiren" formulert som et eget hovedområde innenfor naturfag. Arbeid med hovedområdet skal gi elevene innsikt i vitenskapelig tenkning og hvordan forskning foregår.

De nye læreplanene iverksettes høsten 2006, og nye læreverk er under utarbeidelse fra ulike forlag. Oppgaven går ut på å analysere hvordan "Forskerspiren" er representert i nye læreverk i naturfag for aktuelle klassetrinn i grunnskole og videregående skole. Hva slags bilde skapes her av naturvitenskap og forskning? Hvilke sider av vitenskapelig virksomhet blir det fokusert på for ulike årstrinn, og er det forskjell på ulike læreverk? Analysene skal sees i sammenheng med formål formulert i læreplanen og ulike syn på kunnskap og vitenskap i aktuell litteratur.

Veileder: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no)

### **4. Lærebøkers tolkninger av teknologi**

I de nye læreplanene som innføres høsten 2006 er *Teknologi og design* definert som et emne som skal inngå i fagene matematikk, kunst- og håndverk og naturfag på alle trinn i grunnskolen. Spesielt i naturfag er emnet synlig i læreplanene ved at Teknologi og design er formulert som et eget hovedområde.

Lærebøker og andre læremidler er av stor betydning for hvordan et emne i læreplanen tolkes og realiseres av lærere, spesielt vil dette gjelde for et emne som mangler tradisjon i skolen.

Oppgaven går ut på å analysere hvordan Teknologi og design framstår i lærebøker i naturfag som utgis i forbindelse med de nye læreplanene. Hvordan følges emnets intensjoner opp innenfor faget? Hvilke tolkninger av teknologi er framtreddende? Resultatene skal sammenholdes med syn på teknologi fra litteraturen og aktuelle perspektiver på teknologi som undervisningsemne. Oppgaven kan også gis et komparativt element ved å sammenlikne med læremidler fra andre land.

Veileder: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no)



## 5. Spektroskopi for fysikkelever

Institutt for Fysikk har stor pågang fra skoler som ønsker tilbud til sine fysikkelever. Eksperimentelt arbeid er viktig i fysikkundervisningen, men skoler mangler ofte relevant utstyr og materiell til å gjøre spennende og lærerike forsøk. Denne oppgaven går ut på å bygge opp, dokumentere og prøve ut elevforsøk innen spektroskopi som besøkende elever fra videregående skole kan utføre ved instituttet.

Oppgaven har to komponenter, en utviklingskomponent og en utprøvingskomponent.

Utviklingskomponenten består i utarbeidelse og dokumentasjon av elevforsøk og bakgrunnsmateriale i spektroskopi. Dette inkluderer også utprøving og vurdering av ulike typer utstyr for formålet. Elevforsøkene skal være tilpasset nye læreplaner for Fysikk 1 (tidligere 2FY) i videregående skole. De skal være solid faglig fundert og pedagogisk lagt opp for elever på dette nivået. Bakgrunns materialet skal gi nødvendig faglig bakgrunn for elever for å kunne forberede, gjennomføre og tolke eksperimentene. For lærer skal det være forslag til for- og etterarbeid.

I utprøvingskomponenten skal forsøkene prøves ut med elever på det aktuelle nivået, og evalueres med tanke på faglig nivå, relevans og elevers utbytte av opplegget. Utprøvingen skal gi dokumentert grunnlag for forbedring av opplegget.

Veiledere: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no) , Thor Bernt Melø, [thor.melo@phys.ntnu.no](mailto:thor.melo@phys.ntnu.no)

## 6. "Alle tiders fysikk i lærebøker"

Et skolefag er ikke statisk, men endrer seg i form av innhold, vinkling og målsettinger over tid. Hva som er framtreddende i faget er et resultat av oppfatning av kunnskap og oppfatning av hvilken hensikt utdanning i faget har i samfunnet. Slike oppfatninger vil synliggjøres i lærebøker og andre læremidler som utvikles i faget.

Oppgaven går ut på å dokumentere og analysere hvordan ett emne av fysikken har utviklet seg over tid i lærebøker på et valgt nivå. Studenten vil få tilgang til samlinger av eldre lærebøker i forbindelse med arbeidet, og gjør et utvalg av disse for å dekke et spekter av tidsepoker. Aktuelle emner å analysere er materiens byggesteiner, elektrisitet eller vitenskapelig arbeidsmetode. Masteroppgaven begrenses til ett av disse emnene, slik at det her er grunnlag for mer enn en oppgave. Resultatene sammenholdes med utviklingstrekk i fysikk som vitenskap, ulike kunnskapssyn og perspektiver på fagets innhold, hensikt og målsettinger fra fagdidaktisk litteratur.

Veileder: Berit Bungum, [berit.bungum@ntnu.no](mailto:berit.bungum@ntnu.no)

## 1.5.2 Optikk

**Veileder: Morten Kildemo, [Morten.Kildemo@ntnu.no](mailto:Morten.Kildemo@ntnu.no)**

### **1. Optical Coherence Tomography (OCT)**

Mye instrumentering, og en god del bakgrunnsmatematikk

### **2. Mueller matrise ellipsometer**

Modulasjonsteknikker og kalibreringsteori. Her trenger vi noen som ikke blir skremt av en god del matematikk og litt heftig instrumentering.

“Optical instrumentation project, theory+practical. Study of Mueller matrix calibration method. Optimal design of Mueller matrix ellipsometer, evaluation of different modulation methods. Application of formalism towards visible and FTIR-ellipsometry and towards complete Mueller matrix ellipsometers. In the initial part, the project will be of a theoretical nature, while it requires a good insight into practical operation of optical components. A continuation of the project will deal with the realisation of a Mueller matrix ellipsometric set-up.“

### **3. Mikro-optikk, Diffraktive optical elements**

Dette blir en samarbeidsprosjekt med SINTEF og blir rundt instrumentering og måleteknikk, CO gas sensor basert rundt Fabry Perot.

### **4. SiO<sub>2</sub>/Ce<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/SiC MOS diode karakterisering**

Ex-situ reoksidasjon, Elektrisk karakterisering og ex-situ FTIR-Raman. Muligens også noe bruk av UHV på damping, XPS, og oksidasjonskammer.

## **2 Generelt om masteroppgaven**

### **2.1 Om oppgavevalg**

Oppgavene nevnt ovenfor er forslag fra enkelte av Institutt for fysikk vitenskapelig ansatte. Instituttet har forskningsaktiviteter innen flere områder, og det kan være muligheter for å ta masteroppgaven i samarbeid med andre enn de som har sendt inn forslag. Studenter som er interessert i andre typer oppgaver, kan ta direkte kontakt med de vitenskapelig ansatte for å inngå avtale. Informasjon om instituttets forskning finnes på våre hjemmesider, <http://www.phys.ntnu.no/>.

### **2.2 Mastergradsavtale**

Alle studenter ved det toårige mastergradsprogrammet i fysikk (MFY) må fylle ut en Mastergradsavtale i samarbeid med sin ansvarlige veileder. Dette skjemaet ligger ute på nettsiden [http://www.phys.ntnu.no/instdef/arkiv/hoved\\_real/index.html](http://www.phys.ntnu.no/instdef/arkiv/hoved_real/index.html).

### **2.3 Masteroppgaven**

Masteroppgaven i det toårige mastergradsprogrammet veier 60 studiepoeng. Studieplanen er lagt opp slik at studentene skal komme i gang med masteroppgaven allerede i høstsemesteret det første året. Arbeidet skal tilsvare 7,5 studiepoeng de to første semestrene, dvs. i "fjerdeklasse". I det siste året skal masteroppgaven tilsvare 22,5 studiepoeng i hvert semester. Se for øvrig studiehandboka for realfagstudier, <http://www.ntnu.no/studieinformasjon/serving/studiehandbok.html>.