

KVANT

Oktober
2010

3

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 21. årgang

- 
- BEBOELIG EXOPLANET?
 - EN LANDMÅLER I HIMLEN
 - HVOR BLIVER SOLPLETTERNE AF?
 - EXOPLANETER FUNDET MED SATELLITTER
 - LASERFYSIK GENNEM EKSPERIMENTER
 - FESTLIGT FYSIKFORSØG
 - GPS OG GALILEO
 - KVANT-NYHEDER

Løssalgspris: 45 kr

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø
Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk

Udgives af

Astronomisk Selskab,
Dansk Fysisk Selskab,
Dansk Geofysisk Forening,
Selskabet for Naturlærens Udbredelse,

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.),
Christianshavns Gymnasium
Torsten Freltoft,
Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Jens Olaf Pepke Pedersen,
DTU Space
Finn Berg Rasmussen,
Ørsted Lab, Københavns Universitet
Svend Erik Rugh

Foreningsrepræsentanter

Lone Djernis Olsen (KIF)
Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Freelancere

Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør),
Aurehøj Gymnasium
Katrine Facius,
Rysensteen Gymnasium

Abonnementspris : 175 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

1/1 side: 3600 kr, 1/2 side: 2400 kr
1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren, tlf. 22 67 26 42.

Oplag: 2200. Tryk: HCB Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893

Produktionsplan

Nr. 4-10 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-11 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

En landmåler i himlen <i>Erik Høg</i>	3
Hvor bliver solpletterne af? <i>Christoffer Karoff</i>	9
Festligt fysikforsøg <i>Michael Cramer Andersen og Svend E. Rugh</i>	13
GPS og Galileo <i>Anna B.O. Jensen</i>	14
Stjernehimlen <i>Michael Cramer Andersen</i>	18
Exoplaneter fundet med Kepler og CoRoT <i>Hans Kjeldsen</i>	20
Telefonstrømme – breddeopgave 39 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	25
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	27
KVANT-nyheder <i>Sven Munk</i>	28
Laserfysik gennem eksperimenter <i>Jes Henningsen</i>	30
Aktuelle bøger <i>Michael Cramer Andersen</i>	35
Beboelig exoplanet? <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser en kunstners indtryk af den lille nye exoplanet, der for nylig blev konstateret i planetsystemet Gliese 581. Læs nærmere om dette på bagsiden.

I dette nummer kan du også læse om hvordan man bestemmer en masse fysiske egenskaber for exoplaneter i Hans Kjeldsens artikel på side 20. Denne artikel og flere af de øvrige artikler inddrager på den ene eller anden måde satellitter.



KVANT udsendes gratis til alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra fysikinstitutterne på Danmarks Tekniske Universitet samt Københavns, Syddansk, Aalborg og Aarhus Universiteter.

En landmåler i himlen

Af Erik Høg, Niels Bohr Institutet

Erindringer om 50 år med astrometrien, der begyndte ved en høstak syd for Holbæk og førte til bygning af to satellitter. Et videnskabeligt højdepunkt er stjerne-kataloget Tycho-2, der nu er helt uundværligt ved styring af satellitter og ved astronomiske observationer.

Der var engang et Astronomisk Observatorium ved Københavns Universitet, men det er der ikke mere. Observatoriet havde endda to afdelinger, en på Østervoldgade i en smuk bygning fra 1861, en anden fra 1953 ved den lille landsby Brorfelde syd for Holbæk, hvor der var teleskoper, værksteder og et aktivt videnskabeligt liv. Men nu om dage foretages astronomiske observationer fra bjergtoppe i Chile og på La Palma og fra satellitter, så for 14 år siden flyttede afdelingen fra Brorfelde sammen med afdelingen fra Østervold til en bygning nær Rigshospitalet, som også huser geofysikere og rumforskere.

Siden er hele astronomien blevet lagt ind i Niels Bohr Institutet, så der slet ikke mere er noget, der hedder Astronomisk Observatorium ved Københavns Universitet. Hermed slutter en epoke, der begyndte i 1642 med indvielsen af Observatoriet på Rundetårn. Vores mest berømte astronom, Tycho Brahe (1546-1601), hørte direkte under kongen og havde ingen tilknytning til Universitetet, der dengang var temmelig forbenet, mens Tychos observatorium på Hven var det mest moderne, der overhovedet fandtes, hvor man målte stjerners og planeters positioner med hidtil uset nøjagtighed.

Astronomi er fysik, siger man, og det er meget rigtigt. Jeg klager ikke over udviklingen. Det kunne også lige passe, når jeg siden 1975 har været med til at finde på to satellitter, Hipparcos og Gaia, og været med i både udvikling og anvendelse, takket være Danmarks medlemskab af ESA, det Europæiske Rumagentur. Det drejer sig om to satellitter, der er specielt konstrueret til at måle stjerners positioner meget nøjagtigere, end nogen tidligere har gjort. Amerikanere og russere har prøvet, men de har endnu ikke kunnet bygge en satellit til astrometri, det kan kun ESA.

Astrometri

Astrometri er den gren af astronomien, som netop Tycho Brahe dyrkede ved at måle stjerners positioner. Ved målinger gennem nogle år får man også stjernernes bevægelser og afstande. Resultaterne anvendes i alle grene af astronomien for at få en fysisk forståelse af hele Universets opbygning af stjerner som glødende gaskugler, af planeter, der kredser om Solen og omkring andre stjerner, af galakser som roterende stjernesystemer osv. osv.

Danske astronomer har leveret to særlige bidrag til astrometrien i de sidste halvtreds år, begge med udgangspunkt i den nye meridiankreds, der blev op-

stillet i Brorfelde i 1953 og begge baseret på den fotoelektriske teknik til astrometri, som jeg udviklede i mine femten år ved observatoriet i Hamborg fra 1958. Det ene astrometriske bidrag består i udvikling af en automatisk meridiankreds og observationer med denne fra 1984 i 2000 meters højde på La Palma, den vestligste af de Canariske Øer. Det andet bidrag begynder i 1975 og angår udvikling og anvendelse af den første astrometriske satellit, Hipparcos, som det følgende handler om.

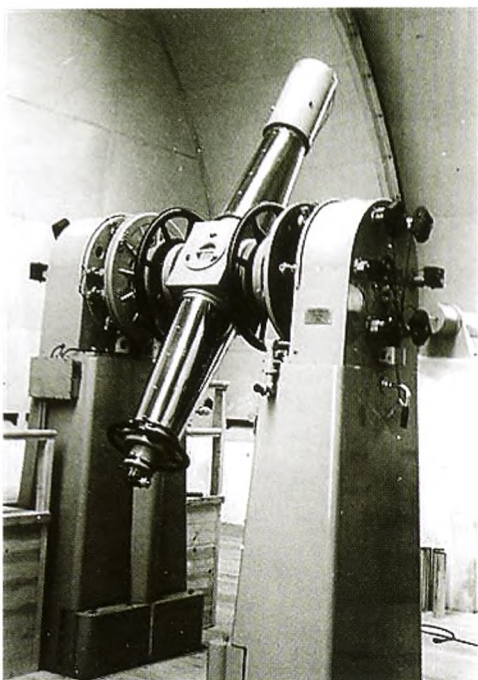
En meridiankreds er en kikkert opstillet på en særlig måde, som blev opfundet af Ole Rømer for 300 år siden, og meridiankredse var længe de nøjagtigste instrumenter til måling af stjerners positioner, lige indtil de blev udkonkurreret af Hipparcos-satellitten. Kikkerten sidder vinkelret på en akse, der hviler på en søjle i øst og en anden søjle i vest, således at man kun kan se stjerner, når de passerer nord-syd retningen. Observatøren ser en stjerne komme ind i synsfeltet og glide igennem på grund af Jordens omdrejning. Han måler det nøjagtige tidspunkt for stjernens passage af meridianen, og han måler kikkertens hældning med vandret ved aflæsning af en nøjagtig delekreds, som er fastgjort på aksens. Disse to målinger giver stjernens position svarende til et steds længde og bredde på Jorden.

Dette var princippet, og i praksis er mange metoder udviklet for at opnå den størst mulige nøjagtighed. Indtil 1950 var det altid en person, der virkelig observerede stjernen under passagen, så forsøgte man en fotografisk metode for eksempel i Brorfelde, men fra 1960 udviklede jeg en automatisk fotoelektrisk metode, hvorved de nødvendige målinger blev skrevet på en hulstrimmel, der derefter kunne læses ind i en computer.

Fra høstak til satellitter – at gøre nytte var det, jeg altid ville

Astrometriens udvikling med Hipparcos-satellitten betød en revolution, som man kun kan forstå omfanget af, hvis man kender den videnskabelige baggrund. Astrometri var hovedsagen i astronomien i århundreder, og en meridiankreds var hovedinstrument i ethvert observatorium i 1800-tallet. Det ændredes med fysikkens udvikling, især med atomfysikken i 1900-tallet, og astrometri blev efterhånden betragtet som ganske vist uundværlig, men dog som kedelig og besværlig, ganske som Peter Naur så drastisk udtrykker det nedenfor. Så de fleste observatorier interesserede sig efterhånden kun for astrofysik. Men der var undtagelser som København, hvor den fremragende astrofysiker

Bengt Strömgren kendte astrometriens værdi og bestilte en ny meridiankreds til sit nye observatorium på en 90 meter høj bakke ved Brorfelde syd for Holbæk.



Figur 1. Meridiankredsen i Brorfelde i 1954, som jeg arbejdede med som student.

Peter Naur arbejdede fra 1955 på det nye observatorium i Brorfelde. Men han var dybt frustreret over arbejdet, som bare gik ud på at udvikle den nye meridiankreds og så lave landmåling på himlen. "Der var ikke for fem flade øre videnskabelighed i det, det var ligesom landmålerarbejde! Der var jo ingenting i det! Det eneste der var, var instrumentudvikling og derefter var det fabriksarbejde!" Sådan siger han i et interview med en historiker [1] halvtreds år efter og bliver derved ganske animeret og vred. Han forlod derfor observatoriet få år efter og blev snart Danmarks første professor i datalogi. I mange år var han den, der altid blev spurgt af radio og aviser om computere. Han var en sand pressens guru dengang.

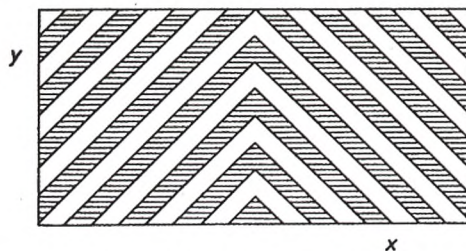
Jeg var den første, der observerede i Brorfelde, allerede fra august 1954, da jeg var 22 år. Jeg var helt alene derude, og sov til tider i en høstak efter observationerne. Jeg var student hos Naur og lærte meget af ham. Vi havde et udmærket samarbejde i de år med udvikling af meridiankredsen, men jeg havde et helt andet syn på dette arbejde end Naur. Det var noget, der lige lå for mig, jeg havde interesse for udvikling af instrumenter, og jeg vidste, at arbejdet var vigtigt for astronomiens udvikling, og at gøre nytte var det, jeg altid ville. Jeg havde bygget kikkerter som dreng, da jeg var 16 år og selv slebet spejlene.

Min interesse og evner for udvikling af instrumenter førte i det lange løb til opsendelse af satellitten Hipparcos, der observerede stjernernes positioner, bevægelser og afstande meget nøjagtigere end nogen før havde gjort. Dertil hører, at jeg i femten år fra 1958 arbejdede ved observatoriet i Hamborg.

Jeg vil tælle fotonerne, lysets mindste dele

Ved observatoriet i Hamborg havde man planer om en ekspedition til Perth i Vestaustralien med en gammel meridiankreds. Men jeg foreslog i 1960 at tælle fotonerne til måling af lyset og at bruge en computer til beregningerne. Man lader stjernen glide hen over nogle smalle spalter, mens man hele tiden måler det lys, der kommer igennem spalterne. Derved måles både stjernens position og dens lysstyrke. Teknikken til elektronisk tælling kendte jeg før andre astronomer, fordi jeg havde mødt den som soldat, idet vi havde målt radioaktivitet i støv fra atmosfæren, som stammede fra stormagternes sprængning af brint- og atombomber.

Direktøren Otto Heckmann var straks med på mine idéer om fotoelektrisk astrometri, og han havde tillid til, at jeg ville holde ud i alle de år, der lå foran med udviklingen, som faktisk tog syv år. Vi købte den bedste computer til formålet, en regnemaskine hed det dengang, og den bedste maskine var den danske GIER, som også kom med til Australien. Det var en stor astronomisk ekspedition efter den tids målestok, idet en stab på seks til ti mennesker foretog observationer og beregninger gennem fem år. Resultaterne for 25.000 stjerner blev udgivet i 1976 af E. Høg og J. von der Heide, idet Leif Helmer udførte de sidste beregninger af kataloget, efter at jeg var kommet tilbage til Brorfelde.



Figur 2. Gitter til fotoelektrisk astrometri, Mit første forslag i 1960, som franske astronomer kaldte 'une grille de Høg'.



Figur 3. GIER i Australien 1970.

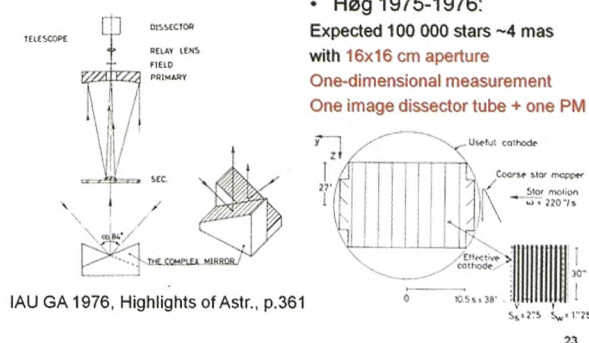
I mellemtiden var udviklingen i Brorfelde gået videre, idet man havde bygget et fotografisk kamera til observation af stjernen. Man indså dog snart, at den fotoelektriske metode, som samtidig blev udviklet i Hamborg, var langt mere effektiv, idet alle observationer kom direkte på hulstrimler, der senere kunne stikkes i regnemaskinen. Derfor blev meridiankredsen i Brorfelde udrustet med fotoelektrisk teknik, da jeg kom tilbage til Brorfelde i 1973, og indstilling på

stjernen blev efterhånden automatiseret. Derefter blev meridiankredsen i 1984 flyttet til La Palma, der har mange stjerneklare nætter, og hvor man i mange år udførte astrometriske målinger, ledet af Leif Helmer i samarbejde med astronomer fra England og Spanien. Imidlertid var dette en parallel udvikling, der ikke havde nogen indflydelse på den udvikling af astrometri fra en satellit, som jeg nu skal beskrive.

Jeg vil bygge en satellit

Jeg skrev artikler og holdt mange foredrag om mine erfaringer med fotoelektrisk astrometri. Så det var meget naturligt, at ESA i 1975 spurgte mig, om jeg ville være med i overvejelserne om en satellit til astrometri. Den franske astronom Pierre Lacroute havde i mange år arbejdet med denne store vision og med planer, som imidlertid forekom mig ganske urealistiske. Jeg havde derfor ingen interesse på forhånd, men jeg måtte jo sige ja til at være med. Allerede ved det første møde i Paris blev jeg faktisk entusiast på sagen, fordi formanden sagde, at vi slet ikke skulle tænke på Lacroutes planer, men kun på hvordan vi bedst kunne udnytte rumfartens tekniske muligheder i vores videnskab. Så kunne jeg pludselig tænke helt frit, og selvom jeg ellers aldrig havde interesseret mig for rumteknologi, lavede jeg på seks uger et nyt design af en astrometrisk satellit.

Design of a scanning satellite

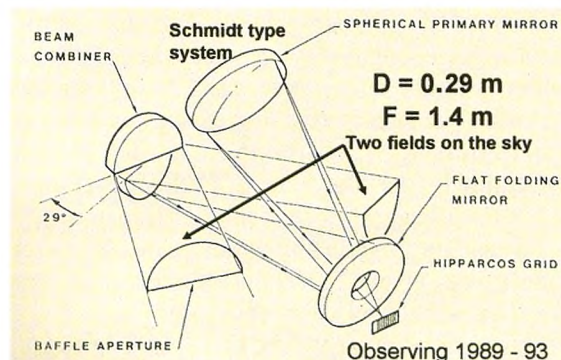


Figur 4. Mit design i 1976 af Hipparcos, kikkert og fokalplan med detektorer og forklaring i billedet.

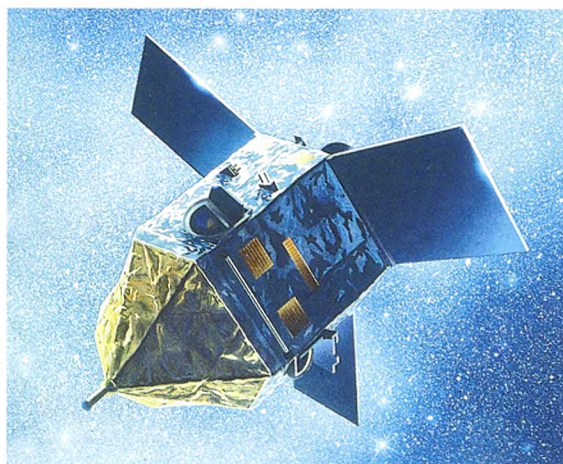
Mit design var helt nyt, men det slog hurtigt igennem. Samarbejdet med astronomer fra alle steder i Europa og med ingeniørerne hos ESA og i industrien var lige noget for mig. Satellitten Hipparcos blev vedtaget i 1980 og opsendt med en Ariane-raket i 1989. Resultaterne blev trykt i 1997 og har siden revolutioneret astronomien på mange områder, hvad der dog ikke er plads til at beskrive her, se f.eks. [2].

Tre år senere kunne vi udgive et katalog kaldet Tycho-2 med 2,5 millioner stjerner. Det er blevet det mest anvendte katalog over himlens klare stjerner til brug i astronomien og ved styring af satellitters bevægelse og drejninger i rummet. Navnet Tycho havde jeg valgt efter Tycho Brahe, da jeg i 1981 fandt på, at man skulle lave nogle ekstra målinger med Hipparcos-satellitten. Mit forslag kom altså et år efter satellittens

vedtagelse, og på det tidspunkt vil man normalt altid sige, at der er du altså bare for sent ude. Men mit forslag vakte sådan tilslutning, at de ekstra millioner blev bevilget, så de nødvendige ændringer i designet kunne indbygges. Også navnet Tycho gik igennem, og det var jeg meget glad for. Jeg var nemlig blevet lidt snydt med navnet på satellitten, som jeg foreslog i 1975. Jeg havde dengang kaldt den Tycho, men det blev senere ændret til Hipparcos på en måde, jeg ikke skal komme ind på. Navnet Hipparcos skal erindre om den græske filosof Hipparchos (190-120 fvt.), der også kaldes astronomiens fader.



Figur 5. Hipparcos' optik i endelig form [3].



Figur 6. Hipparcos-satellitten.

Hipparcos kom i en forkert bane om Jorden

Opsendelsen i august 1989 var en stor begivenhed for os alle efter mange års indsats, for mit eget vedkommende siden 1975. Det foregik i Sydamerika i fransk Guyana, hvorfra de fleste ESA-satellitter opsendes, og under stor bevågenhed med mange hundrede tilskuere. Nogle af os var udvalgt til at flyve derover i en Concorde fra Paris over Dakar i Vestafrika. Det var ret specielt, at Solen ikke ville gå ned, mens vi fløj mod vest sent på eftermiddagen med 2200 km i timen eller mere end to gange lydens hastighed.

Jeg var blandt de begunstigede også under selve opsendelsen, fordi jeg var leder af to konsortier af astronomer, der havde påtaget sig at udføre beregningerne på alle observationer fra satellitten. Det ene var et Hipparcos-konsortium, der skulle beregne meget

nøjagtige positioner, bevægelser og afstande for de 120.000 stjerner, der udgjorde Hipparcos-missionens vigtigste opgave. Det andet var Tycho-konsortiet, der skulle behandle alle Tycho-observationerne for at nå frem til positioner for mindst 400.000 stjerner med noget mindre nøjagtighed, men dog bedre end man kunne måle fra Jorden. Det blev i virkeligheden til en million stjerner med beregningerne for Tycho indtil 1996, og derefter udførte vi nye beregninger med bedre computere, og det blev i år 2000 til Tycho-2 kataloget med de 2,5 millioner lysstærkeste stjerner på himlen. Der var endnu et Hipparcos-konsortium, ledet af Jean Kovalevsky med samme opgave for de 120.000 stjerner for at sikre en uafhængig kontrol af den enorme og enormt vigtige opgave – og det lykkedes for os alle gennem tyve års samarbejde. De 120.000 stjerner var blevet udvalgt af et særligt konsortium på basis af flere hundrede forslag fra astronomer, og det var i sig et kæmpearbejde, der blev ledet af Catherine Turon.

Men nu tilbage til opsendelse af Hipparcos i august 1989. Vi sad og ventede kun to km fra den 58 meter høje Ariane raket. Vi var blevet instrueret om en eventuel ulykke. Hvis hele raketten eksploderede, var vi i fare for forgiftning af den røg, der kunne nå hen til os. Hvis alarmen lød, skulle vi skynde os hen til vort køretøj og straks tage iltmaskerne på. Imidlertid så vi motorerne tænde, røgen vældede op, og raketten begyndte at stige, men til min forundring hørte vi intet! Først efter seks sekunder nåede den stærke brølen hen til os – for lyden tager jo tid.

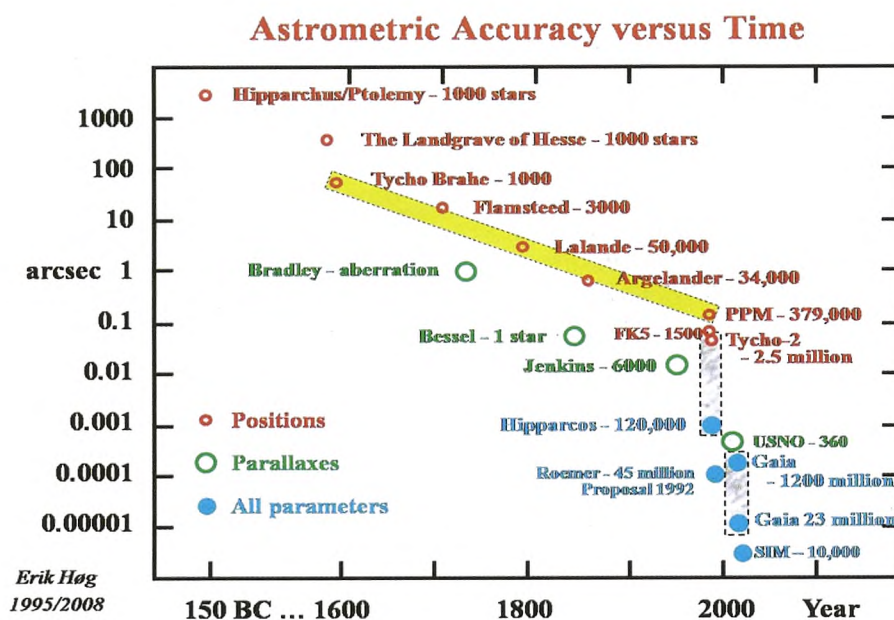
Vi kunne nu følge raketten på vej op, og efterhånden så vi kun ilden fra raketten, mens jeg stod og snakkede med mine kolleger Turon, Kovalevsky og andre. Vi troede at alt gik godt, idet både andet og tredje trin af raketten havde tændt, som de skulle.

Da jeg var tilbage på hotellet, prøvede jeg at ringe til min gamle mor i Danmark, og det viste sig at

være meget besværligt, fordi det skulle gå over den franske ø Martinique. Mor ville sikkert blive glad for en opringning fra Sydamerika, det havde hun aldrig fået før, og hun blev glad. Da jeg lagde røret, var det som en spænding udløstes, for pludselig stod tårerne ud af hovedet på mig, af glæde selvfølgelig.

Men to dage senere hørte vi om en meget alvorlig fejl. Satellitten blev først skudt ind i en langstrakt elliptisk bane, hvor den ene ende er et par hundrede kilometer over Jordens overflade, mens den anden ende er 36.000 km oppe. I denne bane tager et omløb cirka 11 timer, og der bliver den i nogle omløb, mens man afprøver, at alt er i orden. Når man er klar, og satellitten er i det højeste punkt, tænder man en raket, som sidder inde i satellitten og har en ladning brændstof på 500 kg. Det skal brænde i nogle minutter for at give satellitten en større hastighed, så den kommer ind i en cirkulær bane om Jorden, hvor et omløb tager 24 timer. Så vil satellitten til stadighed stå lige over et punkt på Jordens ækvator, idet Jorden også drejer en omgang på 24 timer. Det betyder, at radioforbindelsen hele tiden kan varetages af en eneste parabolantenne på Jorden, som står et sted i nærheden af Darmstadt, hvor ESAs kontrolcenter ligger.

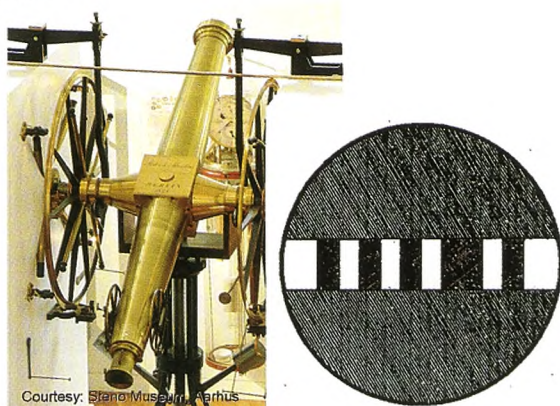
Sådan skal det normalt ske, men denne gang ville raketmotoren ikke tænde, så banen blev ved med at være elliptisk, og det var en katastrofe. Satellitten vil fire gange i døgnet passere nogle strålingsbælter, som indeholder partikler, der hurtigt vil ødelægge elektronikken, og man kan ikke længere nå den med antennen ved Darmstadt. Sådan var situationen, da jeg nåede hjem til Danmark. En ulykke er jo altid en god nyhed for pressen, så jeg var gæst i aftennyhederne i begge fjernsynskanaler. Jeg sagde, at Hipparcos nok kun kunne give observationer i nogle måneder, og at de allerede ville være en stor gevinst for astronomien, men vi måtte have en ny satellit.



Figur 7. Astrometrisk målenøjagtighed gennem 2000 år. Tycho Brahe formindskede målefejlene til en femtedel. Derefter gik det gradvis i 400 år, indtil Hipparcos gjorde et spring på en faktor 100, og Gaia vil fortsætte.

Da jeg var til en konference i Leningrad i september og holdt foredrag om Hipparcos og Tycho, var der enorm interesse blandt astronomerne og stor medfølelse med os. En distingveret russisk herre blev præsenteret for mig som kommende fra videnskabernes akademi og fra russisk rumfart, og han tilbød at sende en ny satellit op med en russisk raket. I ESA var der selvfølgelig stor aktivitet for at redde missionen, og det lykkedes virkelig at få gode observationer i tre år, det tidsrum der oprindeligt var planlagt. Nøjagtigheden blev faktisk meget bedre, end vi havde regnet med på forhånd, og var vi kommet i den rigtige bane, havde vi sikkert kunnet få gode observationer i fem år i stedet for tre, men i historisk perspektiv ville det ikke have gjort den store forskel. Hipparcos blev også under de givne omstændigheder en milepæl i astronomiens historie.

Elektronikken blev beskadiget af partiklerne i strålingsbælterne, men meget langsommere end frygtet, og vore data blev hentet ned med fire radioantenner efter tur på Hipparcos' vej omkring Jorden. Jeg er blevet spurgt, hvordan jeg følte det, om jeg havde nedture under de største genvordigheder. Men jeg havde nok at tage mig til, så jeg var altid ved godt mod, det ligger simpelthen til mig. Du skal leve hver dag, som om det er den vigtigste i dit liv. Ikke den sidste dag, men den vigtigste.



Figur 8. Meridiankredsen i København, som Bengt Ström-gren arbejdede med i 1925. Til højre ses de spalter, som stjernen gled hen over.

Om seks astronomer og om at have heldet med sig

Udviklingen indtil vedtagelsen af Hipparcos i 1980 var meget afhængig af ganske få astronomer. Denne udvikling begyndte faktisk i 1925, med at Bengt Ström-gren lavede nogle eksperimenter på den gamle meridiankreds i København. Han var teenager, bare 17 år, da han påviste, at stjerners positioner kan måles, når man lader en stjerne glide hen over nogle spalter. Man opfanger stjernens lys med en fotocelle, der omsætter lyset til en elektrisk strøm. Ström-grens fotoelektriske teknik var den bedste på hans tid, men alligevel så primitiv, at den ikke duede i praksis. I 1960 kunne jeg omsætte Ström-grens ide til en tælling af fotonerne, og det virkede fint på meridiankredse og senere også i Hipparcos-satellitten.

Seks astronomer spillede hver deres helt afgørende rolle i udviklingen. Bare een af dem havde manglet,

ville denne udvikling være gået i stå. Der ville ikke være blevet vedtaget nogen astrometrisk satellit i 1980, og formentlig aldrig. Disse kritiske år fra 1925 til 80 har jeg skrevet om i en række historiske artikler, som bl.a. ligger på min hjemmeside. To af de seks astronomer var danske, Bengt Ström-gren og jeg selv.

Når jeg selv kom til at spille en rolle i disse kritiske år, skyldes det selvfølgelig både talent og held. Hvor stor en rolle heldet har spillet for mig, vil jeg gerne have lov at fortælle. I 1958 tog jeg på et ophold i Hamborg, som var planlagt til at vare 10 måneder, og det var især Peter Naur, der tilskyndede mig til at rejse. Jeg selv syntes ellers ikke jeg var dygtig nok endnu, men Naur sagde, at jeg jo netop skulle rejse for at blive dygtigere. Hamborg var en af mulighederne, men ikke på grund af den gamle meridiankreds, der dog kom til at spille en meget stor rolle. Nej, jeg ville arbejde med astrofysik, og begyndte med spektre, som vi optog med observatoriets store Schmidt-kikkert. Det gik så godt, at opholdet blev forlænget ud over de første 10 måneder. Så skete det i 1960, at jeg fik den gode ide om fotoelektrisk astrometri, som passede i planerne om ekspeditionen til Australien. Det var et held, og det var et held, at direktøren troede på mig og disse nye idéer. Det var bestemt ikke nogen selvfølge, så Otto Heckman er en af de seks astronomer. Pierre Lacroute og Jean Kovalevsky, der altid støttede Lacroute, er to franske blandt de seks astronomer. Den sjette må nævnes her, Lennart Lindegren fra Sverige, langt den yngste af os alle, født 1950, og uden hvem vi ikke kunne have mestret dataanalysen for Hipparcos lige fra starten. Uden Lindegrens tidlige indsats ville Hipparcos-satellitten ikke være blevet vedtaget i 1980 i den hårde konkurrence med de astrofysiske projekter.

Lindegren var ung student, da jeg i 1973 første gang mødte ham i Lund, hvor han arbejdede med en gammel meridiankreds. Mine kolleger sagde senere rosende, at jeg "fandt Lennart". Jeg fik gjort ham interesseret i nogle observationer af planeter fra meridiankredsen i Perth. Han lavede en fremragende analyse af målingerne og fik sin grad fra universitetet i 1976. Jeg havde så et møde med ham, hvor jeg fortalte om mine planer for en satellit og beskrev den enorme regneopgave, som bestod i at løse ti millioner ligninger med en halv million ubekendte. Kun fire uger senere sendte Lennart mig en nøjagtig beskrivelse på ti sider af den matematiske metode, som vi faktisk udviklede og anvendte på de virkelige observationer fra Hipparcos. Det blev til den største samlede beregning af observationer i astronomiens historie. Lindegren har fortsat i samme tempo lige siden, og i 1992 overtog han rollen fra mig som leder af det ene Hipparcos-konsortium.

Hvis jeg var blevet i Danmark i 1958 eller var kommet tilbage efter et ophold til Hamborg, ville jeg have haft et stadigt problem med den nye direktør, professor Anders Reiz, som tiltrådte i 1958 som Bengt Ström-grens efterfølger. Reiz og jeg havde forskellig kemi, det mærkede jeg i alle vore samtaler i mange år. Han var ikke positiv over for mine nye idéer, men

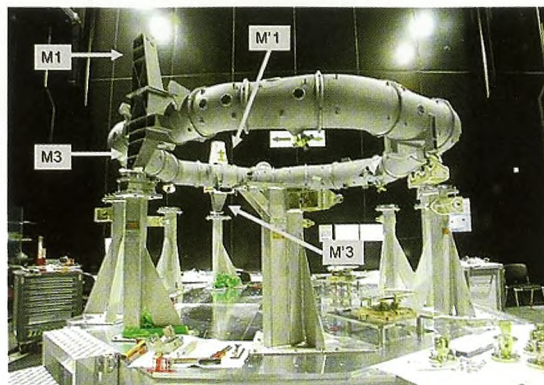
han kom til at betyde meget for dansk astronomi ved at fostre en hel generation af astrofysikere. Reiz var også astrometriker og havde arbejdet med meridiankredsen i Lund, så han var bestemt ekspert på området. Han var helt opsat på at udvikle den fotografiske metode til observation af stjernen med meridiankredsen, en udvikling der var begyndt i Lund, og som han var enig med Strömgren i. Hvis jeg var kommet med min fotoelektrisk metode, ville Reiz aldrig have kunnet gå ind på den, også fordi han var nødt til hurtigst muligt at få instrumentet i Brorfelde, observatoriets hovedinstrument, til at producere observationer. Det lykkedes for Svend Laustsen i begyndelsen af tresserne. Svend sagde for nylig til mig, at han godt kunne se dengang, at den fotoelektriske metode til observation af stjernen, som jeg samtidig udviklede i Hamburg, måtte være fremtiden, men på det tidspunkt var han naturligvis nødt til at fortsætte med den fotografiske metode. Men han udviklede en metode til registrering af delekredsen på hulstrimler, ganske som vi også gjorde i Hamburg, og det var et kæmpe fremskridt.

Da jeg kom tilbage til Brorfelde i 1973, var professorvældet forbi i Danmark, og jeg kunne nu se frem til, at man ville følge mine idéer. Faktisk blev jeg hentet hjem fra Hamburg, hvor jeg på det tidspunkt for længst havde fået en livstidsstilling som tysk tjenestemand, og hvor jeg havde hus og hjem med en dansk kone og tre børn. På Hamborg Observatoriet var betingelserne for astrometri blevet meget ugunstige fra ledelsens side, så det var mit held, at jeg blev hentet væk på det tidspunkt. I Brorfelde var der et velfungerende videnskabeligt og teknisk miljø, skabt ved Anders Reiz' talent for at udnytte de "gyldne tressere" til en stor udvidelse af hele observatoriet. Her må jeg, især hvad det tekniske angår, nævne lederen af det mekaniske værksted, Poul Bechmann, og lederen af det elektroniske værksted, Ralph Florentin Nielsen, som begge kom til at spille en meget stor rolle for mit arbejde. Bechmann kunne designe mekanik meget bedre end jeg havde kendt i Hamburg, og det var en vigtig forudsætning for mit samarbejde med ham om et nyt fotoelektrisk mikrometer, mere raffineret end det vi havde sendt til Perth, og en forudsætning for den efterfølgende success med den automatiske meridiankreds på La Palma, som især Leif Helmer stod for, idet jeg havde andre jern i ilden. Florentin var den, der hjalp mig for eksempel i 1975, da jeg lavede det nye design af en satellit, som blev til Hipparcos, og i 1992, da jeg skulle lære om CCD-detektorer for at designe den nye Roemer-satellit, der blev til Gaia.

Ny satellit i 2012

Udviklingen af astrometrien er ikke gået i stå efter Hipparcos, idet ESA bygger en ny satellit med navnet Gaia, der skal opsendes i 2012, og som er en million gange bedre end Hipparcos. Jeg har i september 2010 besøgt Gaia-satellitten i den fabrik i Toulouse, hvor den bygges sammen, og jeg holdt et historisk foredrag for ingeniørerne om udviklingen af astrometri fra rummet. Dertil hører eventyret om Roemer/Gaia-projektet, men den historie skal vente til en anden gang.

Min gamle lærer og kollega fra tiden i Brorfelde, Peter Naur, hørte for nylig mit foredrag om alt dette og sagde bagefter: "Det er utroligt, hvad du har nået, Høg". Jeg skylder Københavns Universitet tak for en god uddannelse, og Astronomisk Observatorium gav gennem årene husly til min forskning, der blev støttet af mange offentlige og private midler. Mit videnskabelige arbejde er blevet belønnet med en medalje fra ESAs direktør for videnskab og med en medalje fra det russiske videnskabernes akademi, og den Internationale Astronomiske Union har givet en asteroide navnet *ErikHøg*.



Figur 9. Denne torus på tre meter diameter skal bære al optikken i Gaia. Materialet er siliciumcarbid (SiC), der har en termisk udvidelseskoefficient på nul.



Figur 10. Peter Naur og Erik Høg mødtes i 2010.

Litteratur

- [1] Peter Naur citeres i Weekendavisen 3. sept. 2010, s. 12 i en artikel af Thore Bjørnvig og Karin Tybjerg om Brorfelde Observatorium og 50 års astrometri. Den 10. september fortsættes artiklen.
- [2] C. Turon (2009), The Tycho-2 Catalogue, *Astronomy & Astrophysics* vol. **500**, p. 583,
- [3] Information om Hipparcos (og link til Gaia), <http://www.rssd.esa.int/Hipparcos>



Erik Høg, dr. scient i astronomi. Har arbejdet ved Hamborg Observatoriet 1958-73 og ved Københavns Universitet 1953-58 og 1973-2002, hvor han gik på pension. Hans videnskabelige arbejde har været koncentreret indenfor måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision. Han har bl.a. bidraget med design af to astrometriske satellitter: Hipparcos og Roemer/Gaia.

Hvor bliver solpletterne af?

Af Christoffer Karoff, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

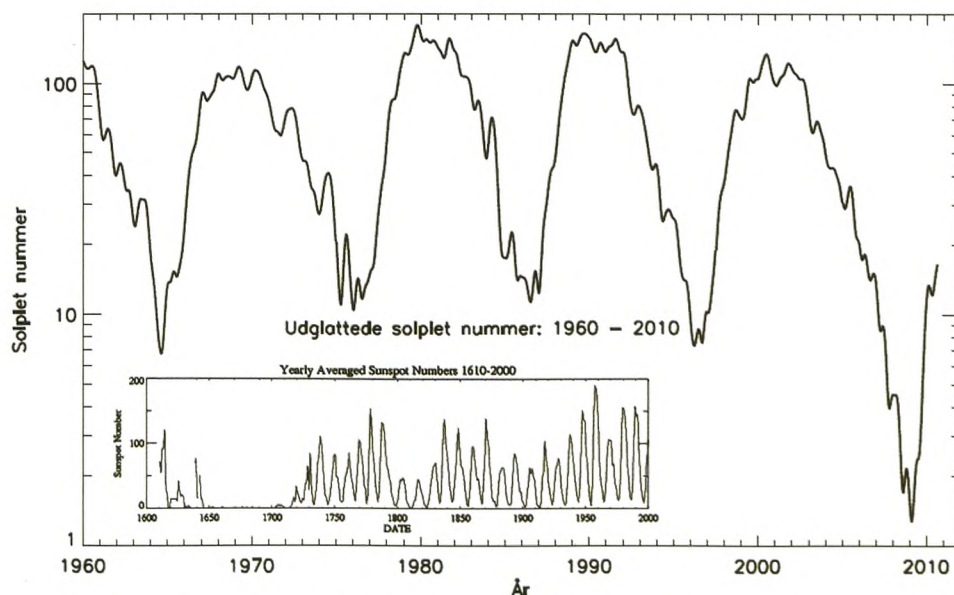
Siden 2007 har der, til stor undren for solfysikere verden over, stort set ingen solpletter været på Solens overflade. Nu er der dog begyndt at komme solpletter igen. En konsekvens er bl.a., at man natten til den 5. august kunne opleve nordlys i Danmark, men det er endnu for tidligt at påstå, at Solen opfører sig normalt. I stedet diskuterer solfysikere verden over, hvad det er, der har fået Solen til at opføre sig unormalt.

Siden Galileo i 1612 for første gang rettede sit teleskop mod Solen, har vi lavet daglige observationer af Solens overflade. Til at begynde med var der dagligt pletter på Solens overflade; nogle gange var der mange, nogle gange var der få, men efter et halvt hundrede år forsvandt pletterne stort set fra Solens overflade i en periode på 60 til 70 år. Denne periode har siden fået navnet Maunder-minimummet. En interessant observation er, at Maunder-minimummet falder sammen med en periode, hvor det var ualmindelig koldt på Jorden, specielt i Nordeuropa. Professor ved DTU, Henrik Svensmark, har de sidste 20 år arbejdet intenst med at forstå årsagen til denne sammenhæng. I denne artikel vil vi dog ikke se på, om pletterne på Solens overflade kan have nogen effekt på Jordens klima, men i stedet undersøge, hvad der kan få antallet af pletter på Solens overflade til at variere.

Den mest markante variation i antallet af pletter på Solens overflade er en 11-års cyklus. Selvom det kun til dels er internationalt kendt, så blev denne 11-års cyklus faktisk først opdaget i 1776 af direktør ved Rundetårn Christian Horrebow. Grunden til, at dette kun til dels er internationalt kendt er, at Horrebow valgte at offentliggøre sin opdagelse på dansk i Historisk Almanak og ikke, som det selv på den tid var kutyme

med sådanne opdagelser, i et international tidsskrift.

Siden Horrebow opdagede Solens 11-års cyklus har antallet af pletter på Solen overflade stort set opført sig som et urværk. Med 11-års mellemrum var der mange pletter på Solens overflade og med 11-års mellemrum var der få pletter på Solens overflade. Det vil altså sige lige indtil for et par år siden. Solen havde sidste solplet maksimum omkring år 2001 og skulle derfor omkring år 2007 befinde sig i solplet minimum, med en ny cyklus lige om hjørnet. Den nye cyklus lod dog vente på sig og antallet af pletter på Solens overflade fortsatte med at falde. I 2008 og 2009 havde vi henholdsvis 266 og 260 dage uden pletter på Solens overflade, hvilket er rekord for to sammenhængende år, hvis man ser på de sidste 100 år. Rigtig mange solfysikere kom uforvarende til at påtage sig rollen som spåkoner, når de blev spurgt om, hvordan Solens cyklus ville udvikle sig. I starten holdt mange fast i, at den nye cyklus var lige rundt om hjørnet, og at vi i løbet af nogle måneder ville begynde at se pletter piple frem på Solens overflade. I takt med, at der gik længere og længere tid uden pletter, begyndte flere og flere solfysikere dog at tale om muligheden for et nyt Maunder-minimum og at der måske ville gå 50 år, før vi igen ville se rigtig mange pletter på Solens overflade.



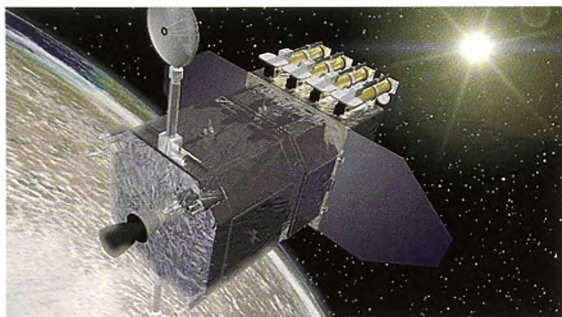
Top-10 pletfri dage siden år 1900

Year	Days
1913	311
2008	266
2009	260
1912	253
1954	241
1933	240
1923	200
1911	200
1996	185
2007	163

Figur 1. Den store graf viser en udglattet version af det internationale antal solpletter, der er afbildet på en logaritmisk skala for bedre at vise dybden af minimummet i 2009. Det internationale solplettnummer registreres hver måned af Royal Observatory of Belgium. Indsat graf: Solpletantal (vist med lineær skala) tilbage til 1600-tallet, hvor Maunder-minimummet tydeligt ses. Under meget dybe aktivitetsminima kan Solens aktivitet også måles vha. antallet af dage uden solpletter. Tabellen til højre viser en top-10 for år med flest pletfri dage. Det ses, at det minimum vi nu er på vej ud af indtager tre af pladserne på denne top-10.

Vi skal helt frem til august i år før der virkelig begyndte at komme pletter på Solens overflade. Nu er alle enige om, at den nye solcyklus er startet. Hvad solfysikerne dog ikke er enige om er, hvornår den gik i gang. Gik den faktisk i gang i slutningen af 2008, og er det vi oplevede i august 2010 faktisk noget nær det maksimale antal pletter vi vil opleve? Eller er cyklussen først rigtig gået i gang nu og vil antallet af pletter derfor fortsætte med at stige de næste par år?

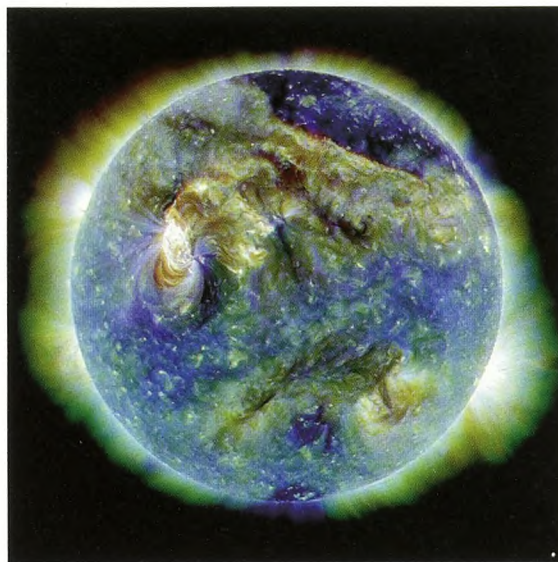
Vi har de sidste par år oplevet det dybeste minimum i Solens aktivitet, som vi har været vidner til i flere hundrede år (se figur 1). Selvom vi de sidste par måneder har observeret lidt aktivitet på Solens overflade, så er det stadig ikke mere aktivitet end, hvad vi ville forvente at se under et normalt minimum. Det spørgsmål som optager alverdens solfysikere i disse måneder er, om Solens aktivitet vil blive ved med at stige over de kommende måneder således, at vi når op på et maksimum på niveau med andre maksima de sidste par hundrede år, eller om den aktivitet vi har oplevet de sidste par måneder, faktisk er det maximum vi når i denne cyklus.



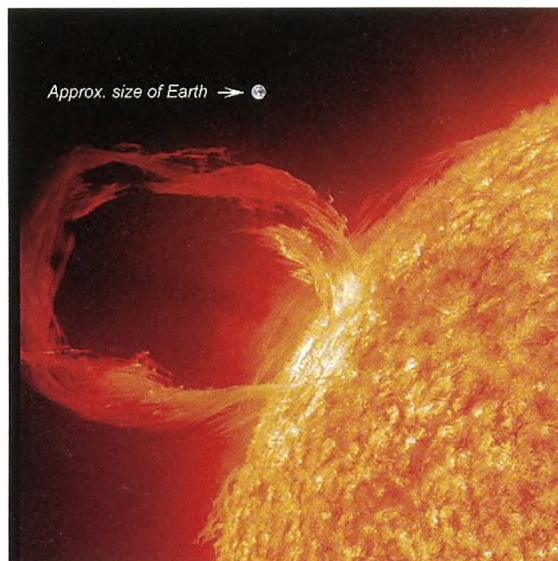
Figur 2. NASA's nye satellit Solar Dynamics Observatory (SDO) blev opsendt 11. februar 2010 fra Cape Canaveral og vil over de næste år studere Solens aktivitet i stor detalje. Flere danskere har været dybt involveret i arbejdet med SDO, bl.a. Jesper Schou fra Stanford Universitet og Jørgen Christensen-Dalsgaard fra Aarhus Universitet. Det var observationer af Solens overflade fra SDO der gjorde, at det var muligt at forudsige muligheden for nordlys over Danmark natten til den 5. august.

En af måderne som vi forventer at finde svar på dette, er ved at benytte observationer fra NASA's nye satellit Solar Dynamics Observatory (SDO), se figur 2. SDO blev sendt op i februar i år og er netop nu i gang med at levere observationer af hidtil uset kvalitet af aktiviteten på Solens overflade og i dens indre. SDO var således grunden til, at det nordlys man natten til den 5. august kunne se over store dele af Danmark kunne forudsiges med stor nøjagtighed. SDO observerede de udbrud på Solens overflade, der var skyld i nordlyset flere dage, før nordlyset fandt sted. Da SDO først havde observeret udbruddet på Solens overflade, var de to STEREO-satellitter i stand til at følge de store mængder plasma, der var blevet skudt ud fra Solens overflade. STEREO-satellitterne er to satellitter, der kredser rundt om Solen sammen med Jorden. Den ene befinder sig bare et godt stykke foran Jorden, mens den anden befinder sig bagved. Dette gør, at STEREO-satellitterne, så at sige, ser Solen fra siden. På den

måde var SDO og STEREO i samarbejde i stand til at bestemme retning og hastighed på den plasma, der blev skudt ud fra Solen, og det var på den måde, at nordlyset kunne forudsiges.



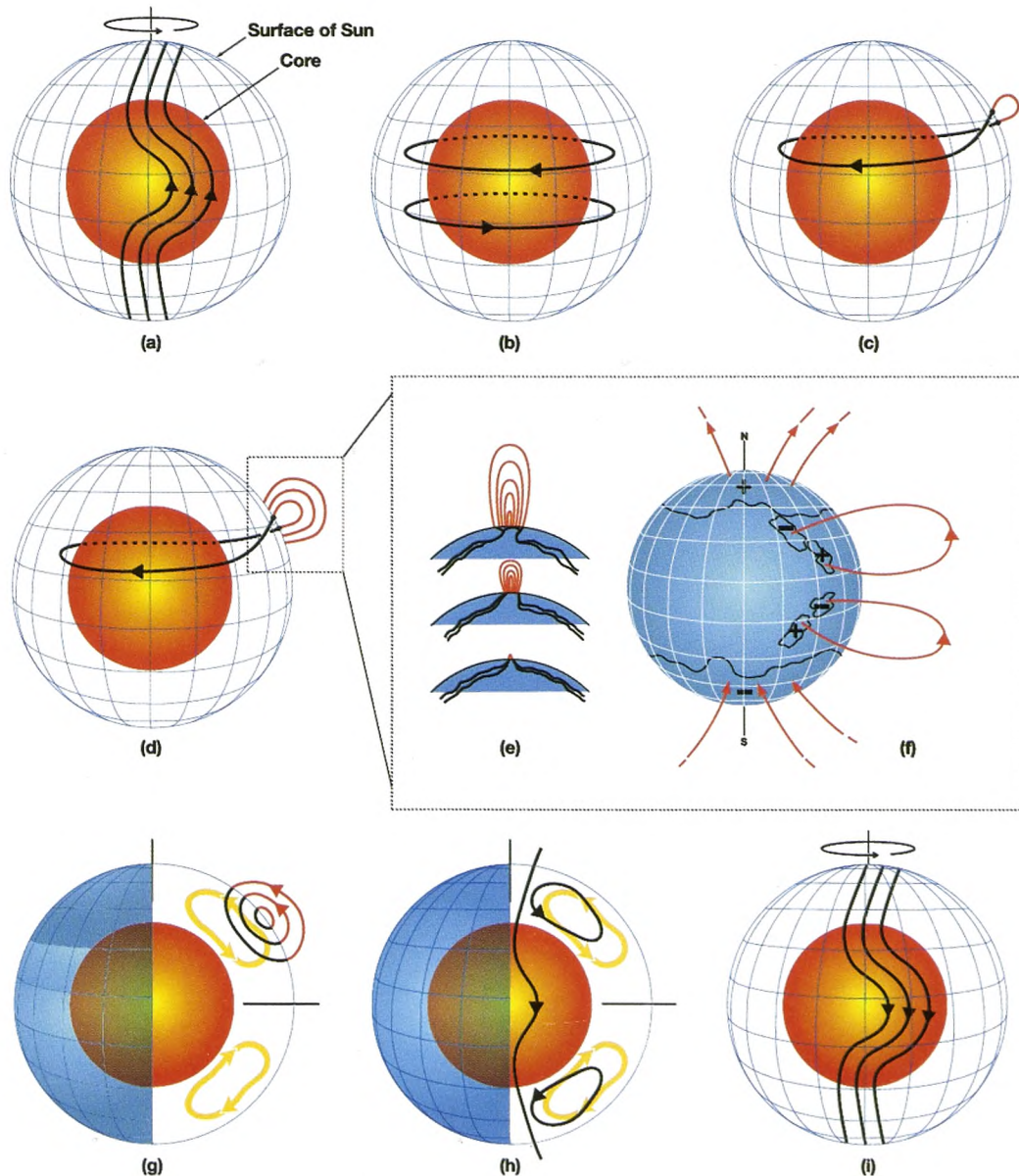
Figur 3. Først i august observerede SDO den største aktivitet på Solens overflade vi har set i flere år. Det blev bl.a. observeret enorme eksplosioner på overfladen, de såkaldte solfakler og store mængder plasma der blev slynget mod Jorden i såkaldte koronale masseudkastninger ('coronal mass ejections'). Da dette plasma ramte Jorden førte det til at man kunne observere nordlys over Danmark. Billedet er taget i det ekstreme ultraviolette område. De forskellige farver i billedet viser gas med forskellige temperaturer fra omkring en og op til to millioner kelvin (NASA/SDO).



Figur 4. Aktivitet på Solens overflade. Magnetiske feltlinier bryder igennem Solens overflade og danner solpletter. I dette tilfælde danner magnetfelterne også et såkaldt korona loop. Det er loops som disse, der kan danne enorme eksplosioner på Solens overflade hvorefter store mængder af plasma slynges mod Jorden. På billedet er også vist et billede af Jorden i rigtig størrelsesforhold, for at vise hvor store fænomenerne på Solens overflade er. Billedet, der er taget i ekstrem ultraviolet, er taget af SDO den 30. marts 2010 (NASA/SDO).

En anden ting som SDO skal bruges til er, at den skal kigge ned under Solens overflade. Dette har vi gjort før både fra Jorden og med den nu 15 år gamle SOHO-satellit og på den måde har vi bl.a. meget præcist bestemt, hvad Solen består af, og hvor gammel den er.

Det som SDO specielt skal kigge på er dog, hvordan Solens rotation ændrer sig inden i Solen, og hvordan strømninger i Solens indre ændrer sig. Disse ændringer er meget vigtige for Solens dynamo, som er den der skaber Solens cyklus.



Figur 5. Det er Solens dynamo, der er årsag til Solens cyklus. Solfysikerne er stadig ikke helt enige om præcis, hvordan Solens dynamo fungerer. En af de mest brugte dynamomodeller er den såkaldte Babcock-Leighton dynamo, der er beskrevet på denne figur. Den indre røde kugle viser Solens strålingszone, mens det blå gitter viser Solens overflade. Imellem strålingszonen og overfladen findes Solens konvektionzone. Meget enkelt fortalt skal Solens dynamo ændre Solens globale magnetfelt fra at være et polært felt, der løber fra den ene pol til den anden til at være et torusformet felt der løber rundt langs ækvator og tilbage igen. I Babcock-Leighton dynamoen bliver de polære feltlinier spundet op omkring Solens ækvator, fordi Solen roterer hurtigere omkring ækvator end nær polerne således, at Solen har differentiell rotation (billede a og b). Dermed ændres Solens globale magnetfelt fra at være et polært til at være et torusformet felt. Når det torusformede felt er stærkt nok vil magnetiske loops begynde at drive mod overfladen, da trykket i dem er mindre. På vej mod overfladen vil disse loops blive twistede pga. Solens differentielle rotation, således at de vil begynde at vende Solen's magnetfelt tilbage i polær retning (billede c og d). Der hvor de magnetiske felter bryder igennem overfladen vil der dannes solpletter. Placeringen af disse pletter kan derfor give os information om tilstanden af magnetfeltet (billede e og f). Strømninger i Solens indre kaldet 'meridional circulations' (gule linjer) vil transportere magnetisk flux op mod polerne langs overfladen og herefter ned mod bunden af konvektionszonen (billede g og h). Herefter vil en ny cyklus være klar til at begynde (billede i). I Babcock-Leighton dynamoen er det derfor ikke bare antallet og konfigurationen af pletter på Solens overflade der er vigtig for at kunne forudsige Solen's cyklus, men også strømningerne i Solens indre og den differentielle rotation. Figur fra [1].



Figur 6. Natten til den 5. august tog Jesper Grønne fra Silkeborg dette billede af nordlys. Nordlys dannes, når plasma fra Solens overflade rammer Jordens magnetfelt så det afbøjes. Når Jordens magnetfelt derefter skal finde tilbage til sin normale konfiguration dannes nordlyset. Nordlyset over Danmark natten den 5. august var præcist forudsagt på baggrund af observationer fra SDO-satellitten.

Der findes et hav af modeller for Solens dynamo. De fleste er dog variationer over Babcock-Leighton dynamoen, som er beskrevet i figur 5. To af de vigtigste komponenter i Babcock-Leighton dynamoen er Solens differentielle rotation og strømningerne i Solens indre, der løber i cykeltempo fra ækvator mod polerne lige under Solens overflade og tilbage igen dybt inde i Solens indre (de gule pile på figur 5). At Solen har differentiell rotation betyder, at den ikke roterer lige hurtigt over det hele. Vi siger, at den ikke roterer som et stift legeme. Således tager det Solen omkring 25 dage at rotere en gang rundt om sig selv langs ækvator, mens det tager over 30 dage, når man kommer tættere på polerne. Men Solens rotation ændrer sig ikke kun på overfladen, men også når man bevæger sig ind i Solen. Således sker der meget store ændringer i Solens rotation, når man nærmer sig det, man kalder Solens strålingszone. Den ses som den gule kugle på figuren.

Solfysikere verden over har de sidste par år meget intenst studeret ændringer både i Solens differentielle rotation og i strømningerne i Solens indre for at se om de ad den vej kunne finde en forklaring på den lave solaktivitet. Det er også lykket at finde ændringer i både den differentielle rotation og i strømningerne, der følger Solens cyklus, men spørgsmålet er bare, hvad der er skyld i hvad? For strømningerne i Solens indre påvirker rotationen, som påvirker magnetfeltet, som igen påvirker strømningerne osv. Således blev det for nyligt vist, hvordan de ændringer, man havde målt i strømningerne i Solens indre kunne stamme fra det faktum, at der stort set ikke havde været nogle pletter på Solens overflade.

Selvom det stadig er uklart, hvad der er skyld i hvad, så har det faktum, at de fleste af Solens egenskaber lige

pludselig ændrer sig markant anderledes og kraftigere end, hvad vi har været vant til de sidste 100 år, givet os en unik mulighed for at studere og prøve at forstå, hvilke sammenhænge der måtte være mellem disse forskellige egenskaber. For vi har netop endnu ikke forstået alle sammenhængene, hvilket meget tydeligt kan ses ved, at ingen af de utallige dynamo modeller var i stand til at forudsige at pletterne ville forsvinde fra Solens overflade i næsten 2 år.

Litteratur

- [1] M. Dikpati og P.A. Gilman (2007), Global solar dynamo models: simulations and predictions of cyclic photospheric fields and long-term non-reversing interior fields, *New J. Phys.*, **9**, 297.



Christoffer Karoff er Carlsberg-stipendiat ved Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet. Han arbejder med at forstå aktiviteten i Solen og andre stjerner. Specielt bruger han observationer af sollignende stjerner, fra NASAs Kepler-satellit, til at øge vores forståelse af Solen og Solens aktivitet. Han har en blog på www.videnskab.dk hvor han skriver om Solen og andre stjerner.

Festligt fysikforsøg – Løft lyset uden at røre det

Af Michael Cramer Andersen og Svend E. Rugh, KVANT

Der findes mange festlige fysikforsøg, der kan udføres med simple hjælpemidler, og som kan inspirere til en diskussion om fysik. Ofte optræder der modsatrettede effekter, som skal analyseres, før man har fat i en korrekt forklaring. Læserne inviteres til at udføre det omtalte forsøg og indsende deres forklaring.

Vandet suges op i glasset

Med nogle få ting, der findes til enhver fest, kan man lave et festligt lille forsøg:



Figur 1. Tallerken, glas, lidt vand, fyrfadsllys og ild.



Figur 2. Vandet hældes i tallerkenen og lyset placeres i midten og tændes. Det tomme glas placeres over lyset.



Figur 3. Efter få øjeblikke slukker lyset og noget af vandet suges ind i glasset.

Lyset hæves op

Hvis man benytter en kolbe eller et glas med en diameter kun lidt større end fyrfadslights diameter, hæves lyset op med vandet, der suges ind. Man kan introducere dette forsøg som en tryllekunst, hvor man vil løfte lyset uden at røre det.



Figur 4. Til venstre: Tallerken med lidt vand og et tændt fyrfadsllys samt en glaskolbe. Til højre: Glaskolben placeres over lyset.



Figur 5. Når lyset er slukket, og noget af vandet er suget ind i glasset, er lyset hævet flere centimeter op fra tallerkenen.

- Hvorfor suges vandet ind i glasset?
- Hvor meget kan glasset fyldes med vand?
- Hvor højt op i glasset kan lyset løftes?

Indsend din forklaring til kvant@kvant.dk, gerne ledsaget af beregninger. Svaret bringes i et kommende nummer. Send også gerne forslag til nye forsøg – med eller uden din egen forklaring.

GPS og Galileo

Af Anna B.O. Jensen, AJ Geomatics og DTU-Space

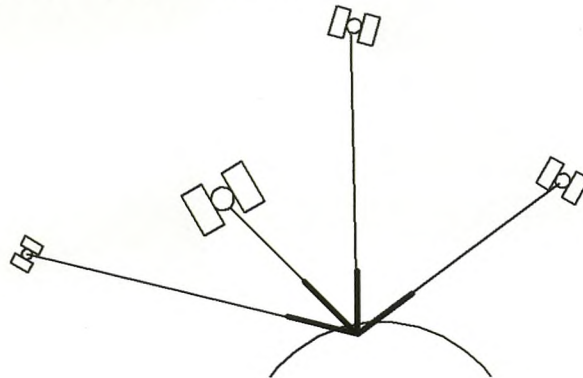
GPS er i dag meget udbredt til positionering og navigation, og langt de fleste kender det amerikanske system. EU og det europæiske rumagentur, ESA, er godt i gang med udviklingen af Galileo, et lignende europæisk system. Artiklen beskriver indledningsvis princippet for positionering med GPS. Herefter beskrives Galileo, forskelle og ligheder mellem Galileo og GPS, og afslutningsvis oprises nogle af de naturvidenskabelige forskningsområder hvor Galileo forventes at bidrage.

De fleste kender i dag GPS (Global Positioning System) som et system af satellitter, der anvendes til positionering, navigation og til time tagging og tidsbestemmelse overalt på jorden.

GPS er et amerikansk system, der drives af US Air Force. GPS består i det oprindelige design af 24 satellitter der kredser om jorden i næsten cirkulære baner ca. 20.200 km over jordoverfladen. GPS satellitterne

udsender signaler på tre forskellige frekvenser i "L-båndet" (se figur 3). Signalerne modtages af en GPS-modtager, der ud fra signalerne bestemmer transmissionstiden fra satellit til modtager, omregner denne til en afstand mellem satellit og modtager og bestemmer derfra positionen for modtageren, hvis der modtages signaler fra et tilstrækkeligt antal satellitter (se boks).

Grundlæggende princip for GNSS positionering



Figur 1. Principskitse for positionering med GNSS [1].

GNSS-modtageren opfanger signaler fra GNSS satellitter med bl.a. information om prædikterede satellitpositioner og modeller for satelliternes urdrift.

PRN-koder fra signalerne anvendes til bestemmelse af transmissionstid fra satellit til modtager med inddragelse af modeller for satelliternes urdrift.

Transmissionstid omregnes til en såkaldt pseudoafstand (ikke den geometriske afstand men en tilnærmet værdi). Ved anvendelse af modeller korrigeres pseudoafstande for atmosfæriske effekter.

Modtagerens position bestemmes ud fra satelliternes prædikterede positioner, de målte og korrigerede pseudoafstande og et estimat for modtagerens urfejl. Det hele samles i nedenstående observationsligning.

$$r_m^i = \sqrt{(X_m - X_i)^2 + (Y_m - Y_i)^2 + (Z_m - Z_i)^2} + c \cdot dT_m \quad (1)$$

Hvor r er korrigeret pseudoafstand mellem modtager, m og satellit, i , (X_m, Y_m, Z_m) er modtagerens ukendte koordinater, (X_i, Y_i, Z_i) er satellit i 's kendte koordinater, c er lysets hastighed, dT_m er modtagerens ukendte urfejl.

Med observationer til mindst fire satellitter opstilles et ligningssystem med mindst fire ligninger og de fire ubekendte. Dette kan lineariseres og løses f.eks. med mindste kvadraters princip. Se [2] for en beskrivelse af dette.

Med observationer fra 7-8 satellitter og ovennævnte relativt enkle fremgangsmåde er det muligt at bestemme en position med 5-10 meters nøjagtighed. Bedre nøjagtighed opnås med mere avancerede beregningsrutiner, filtrering, differentiell GPS med inddragelse af eksternt bestemte korrektionsværdier eller ved fase-positionering hvor observationer af fasen af selve bæreboigen inddrages i beregningen.

Herefter kan hastighed og retning beregnes fra en tidsrække af positioner hvorved det er muligt at navigere.

GPS bæreølgerne i L-båndet har påmoduleret en række PRN koder (Pseudo Random Noise), forenklet sagt et binært mønster, der gør det muligt for GPS modtageren at bestemme transmissionstiden. Signalerne indeholder endvidere den såkaldte navigationsbesked med information om prædikterede satellit positioner, koefficienter til modeller for urdrift og ionosfæaktivitet samt servicemeddelelser til GPS modtageren om eksempelvis de enkelte satellitters aktuelle driftstilstand. For en mere detaljeret gennemgang af GPS henvises til [1].

Arkitekturen for GPS blev vedtaget i 1973 og den første satellit blev opsendt i 1978, så GPS er et halvgammelt system i dag. Men anvendelsen af GPS er stigende, der kommer stadig nye applikationer, og der er et økonomisk set meget stort marked for GPS-relaterede services, hardware og software. Det er den primære grund til at GPS nu får konkurrence fra lignende satellitbaserede systemer.

GNSS

Begrebet GNSS (Global Navigation Satellite System) anvendes som en fællesbetegnelse for GPS og alle lignende systemer. Det russiske GNSS, der hedder Glonass, er næsten fuldt operationelt. Glonass bygger på de samme principper som GPS dog med den primære forskel at hvor GPS-satellitterne alle sender på de samme frekvenser med forskellige koder, så sender Glonass satellitterne på forskellige frekvenser men med samme koder. Kina har offentliggjort planer om at etablere et GNSS som på engelsk kaldes Compass. Der er endnu kun en smule tilgængelig information om Compass, men det bliver et system der vil minde meget om GPS. Endelig er der os selv, EU, der er godt i gang med at udvikle Galileo, som bliver beskrevet mere detaljeret nedenfor.

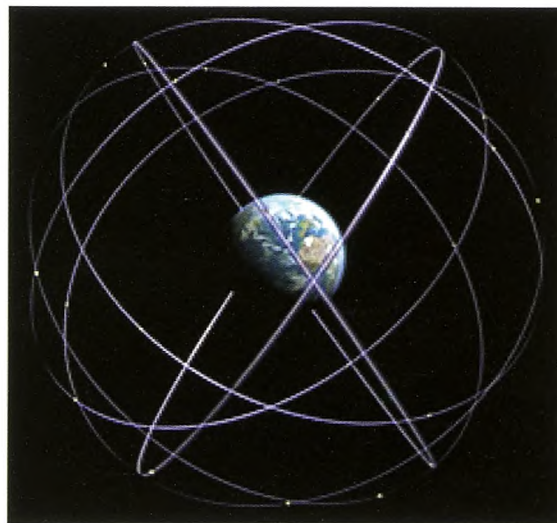
Yderligere findes der forskellige satellitbaserede differentielle hjælpesystemer, f.eks. det europæiske EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) og det amerikanske WAAS (Wide Area Augmentation System). De er begge udviklet til luftfarten, men anvendes også til marin navigation. Både EGNOS og WAAS er offentlige systemer. Satellitbaserede hjælpesystemer der drives af private virksomheder eksisterer også og de anvendes bl.a. i offshore olie- og gassektoren.

Galileo – satellitter og signaler

Det er det Europæiske Rumagentur (ESA) der på vegne af EU står for den tekniske udvikling af Galileo. Galileo vil i den fulde konstellation bestå af i alt 30 satellitter, 27 operationelle satellitter med faste pladser i konstellationen og tre reserver, der placeres i konstellationen efter behov. Satellitbanerne ligger i en højde af ca. 23.200 km over jordoverfladen. Det bliver stort set

cirkulære baner, der ligner GPS-satellitbanerne. Inklinationsvinklen mellem baneplanet og Ækvatorplanet bliver dog 56° for Galileo mod 55° for GPS. Det giver en smule bedre positionsnøjagtighed på høje breddegrader.

En væsentlig forskel mellem GPS og Galileo ligger i de atomure der installeres i Galileo-satellitterne. Hvor GPS-satellitterne i dag har cæsium og rubidium atomure, får Galileo satellitterne rubidium og hydrogen baserede atomure. Den passive hydrogenmaser¹ der p.t. er ombord på en af Galileo test satellitterne har vist sig at være det mest stabile ur der hidtil har opereret i rummet. En stabil og forudsigbar tidsreference er vigtig for at opnå stabil og robust positionering med Galileo.



Figur 2. Illustration af Galileo-satellitbaner [3].

For brugere af Galileo betyder de bedre ure i satellitterne at transmissionstiden fra satellit til modtager kan bestemmes mere præcist, hvormed afstanden til satellitterne kan bestemmes mere præcist, og dermed bliver en Galileo-baseret position i sidste ende mere præcis end en GPS-position.

Galileo-satellitterne skal udsende signaler på fem forskellige frekvenser, hvor GPS i dag sender på tre frekvenser. Den ene Galileo-frekvens er dog forbeholdt en *search and rescue* funktion, hvor transpondere, der kan modtage og videresende et radiosignal, monteres i satellitterne, så de kan bruges til at videresende nødsignaler på den aktuelle frekvens. Det er således ikke et navigationssignal, men naturligvis en vigtig egenskab ved Galileo-satellitterne.

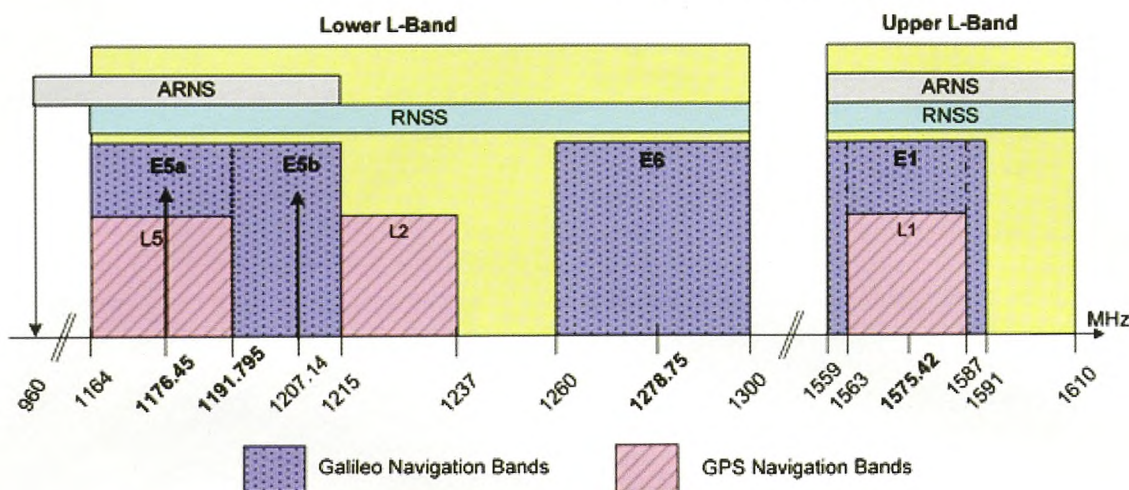
De øvrige fire Galileo-frekvenser skal anvendes til navigation, og der udvikles forskellige binære koder, således at slutresultatet bliver 10 forskellige navigationssignaler (kombinationer af koder og frekvenser), tilpasset forskellige brugergrupper.

Hver satellit får, ligesom GPS, sin egen kodestruktur, så modtageren kan skelne mellem satellitterne via koderne. Det hedder CDMA (Code Division Multiple Access) og er modsat Glonass der bruger FDMA (Frequency Division Multiple Access). Endvidere er

¹ En maser producerer kohærent stråling, meget lig en laser, bare i mikrobølgeområdet.

der mellem Europa og USA opnået enighed om en fælles signalstruktur for Galileo og GPS på E1/L1-frekvensen 1575,42 MHz (se figur 3). Det betyder at begge systemer på sigt vil sende det samme signal, så

det bliver relativt let at udvikle kombinerede Galileo-GPS modtagere. Fra russisk side er der planer om at ændre signalerne fra FDMA til CDMA, så det vil blive lettere at integrere alle tre systemer i en samlet Galileo-GPS-Glonass modtager.



Figur 3. Frekvensplan for Galileo og GPS [3].

Galileo – status og anvendelsesområder

Der er i dag to Galileo-testsatellitter i kredsløb opsendt i henholdsvis 2005 og 2008. Testsatellitterne har været anvendt til udvikling af de første Galileo-modtagere, der nu anvendes af både forskning og industri til test og udvikling af modeller og software til optimeret positionsbestemmelse med Galileo.

De første forsøg udført med egentlig positionering baseret på Galileo-testsignalerne ved Delft Tekniske Universitet i Holland viste, at de Galileo-signaler der p.t. udsendes er mere robuste og har et lavere støjniveau end tilsvarende GPS-signaler [4].

Det er planen at to nye testsatellitter skal opsendes i starten af 2011, og de sidste to testsatellitter i slutningen af 2011.

Produktionen af de første 14 'rigtige' Galileo-satellitter er gået i gang, og den første af disse opsendes i 2012. Herefter er planen at Galileo skal være operationel i en første fase fra 2014 med 14 + 4 satellitter i kredsløb. Den fulde konstellation forventes tidligst klar i 2018. Følgende Galileo services er planlagt:

- *Open Service* – gratis og tilgængelig for alle, som vi kender GPS i dag. Denne service vil blive tilgængelig som det første i 2014.
- *Commercial Service* - service med højere kvalitet, bedre nøjagtighed og en service-garanti til professionelle brugere.
- *Safety of Life* – høj kvalitet og integritet f.eks. til marin navigation i kystnære områder og til luftfart.
- *Public Regulated Service* – krypteret og modstandsdygtig overfor jamming f.eks. til politi og beredskab.

- *Search and Rescue* – modtagelse og videre-sendelse af nødsignaler til brug ved redningsaktioner f.eks. efter snekred i alperne eller uheld til søs.

De forskellige services vil gøre brug af forskellige signaler. Open Service vil primært være baseret på E1-frekvensen. Commercial Service bliver derimod baseret på data fra flere frekvenser for at opnå mulighed for korrektion for ionosfæreeffekten på signalerne, ved at anvende linearkombinationer af observationer fra de forskellige frekvenser i positionsberegning.

Fordele ved Galileo for slutbrugere

Alle der bruger GPS i dag vil fremover få mulighed for at bruge kombinerede Galileo-GPS-modtagere. Det betyder, at man kan få signaler fra dobbelt så mange satellitter og det giver en hurtigere og mere nøjagtig positionering primært i by- og skovområder, hvor mange satellitsignaler er blokeret af bygninger eller træer.

Der er også andre grunde til at Galileo-positionering vil blive mere robust end GPS som vi kender det i dag. Galileo-signalerne bliver designet så de er mere modstandsdygtige overfor jamming og interferens, og de nye frekvenser med Galileo giver bedre mulighed for at håndtere den ionosfæriske effekt på satellittsignalerne.

Galileo og forskning

I dag bliver både GPS og Glonass anvendt til mange forskellige former for forskning. Det vil også blive tilfældet med Galileo. ESA har nedsat en *GNSS Scientific Advisory Committee* der arbejder både for at sikre at den naturvidenskabelige forsknings ønsker til Galileo når frem til ESA, og for at sikre at Galileo bliver brugt til forskning. Arbejdet har blandt andet resulteret i et *Galileo Science Opportunity Document* udgivet af ESA [3].

En af de store forskningsmæssige anvendelser for Galileo forventes at blive geodynamik, hvor Galileo, sammen med GPS og Glonass, kan anvendes til monitorering og analyse af bevægelser i jordoverfladen, hvilket på sigt vil lede til en bedre forståelse for processerne, og i sidste ende give forbedrede varslingsystemer for jordskælv og tsunamier.

Ud fra analyse af de modtagne satellitsignaler vil Galileo også blive anvendt til troposfære- og ionosfærefysik. Det er forskningsområder som allerede i dag anvender GPS-signaler, men med kombinationen af GPS og Galileo kan man nå langt videre f.eks. indenfor meteorologi med modellering af vanddamp i atmosfæren, så vi kan få bedre vejrudsigter, eller indenfor rumfysik med modellering af elektrisk aktivitet i ionosfæren, så vi på sigt kan få en bedre forståelse for processerne bag f.eks. nordlys.

Den nye generation af atomure der anvendes i Galileo-satellitterne er interessant som baggrund for yderligere metrologisk forskning i retning af bedre ure, dels for udvikling af mindre og bedre enheder med samme egenskaber, men også for udvikling og forbedring af ny teknologi som f.eks. de optiske atomure.

Afslutningsvis bør det nævnes at der selvfølgelig også forskes i hvordan beregningerne, der ligger til grund for positionsbestemmelse med Galileo, kan forbedres med det formål at opnå mere robuste og mindre støjfølsomme algoritmer. Der forskes også i hvordan GPS, Galileo og Glonass bedst muligt kan kombineres via bl.a. nye metoder til positionsberegning og signalbehandling.

Litteratur

- [1] Dueholm, K., Laurentzius, M., og Jensen, A.B.O. (2005), GPS, 3. udgave, Nyt Teknisk Forlag. København, 2005. Både papirbog og e-Bog.
- [2] Nielsen, A.A. (2009), Least Squares Adjustment: Linear and Nonlinear Weighted Regression Analysis. DTU Lecture Notes. <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/-p.php?2804>
- [3] European Space Agency, Galileo Science Opportunity Document ver. 2.0, 2010-04-23. http://egep.esa.int/egep-public/file/GSOD_v2.0.pdf
- [4] de Bakker, P.F., Marel, H.v.d., Tiberius, C.C.J.M. (2009), Geometry-free undifferenced, single and double differenced analysis of single frequency GPS, EGNOS and GIOVE-A/B measurements. GPS Solutions, 13:305-314. <http://www.springerlink.com/content/y2q6wn3j8p131123/>
- [5] For mere information om Galileo se evt.: <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>



Anna B.O. Jensen er tidligere lektor ved DTU og arbejder i dag med GNSS relaterede udviklings- og forskningsopgaver ved AJ Geomatics. Underviser desuden fortsat på DTU.

PFEIFFER VACUUM

Trinos Vacuum
nu en del af Pfeiffer Gruppen



Kan rekvireres ved henvendelse:

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vacuum.dk

KVANT søger frivillige til faglig og pædagogisk korrekturlæsning

Hvis du kan svare ja til nogle af nedenstående punkter kan du overveje at blive tilknyttet KVANT-redaktionen.

- Du har en uddannelse indenfor de fysiske fag
- Du er bredt interesseret i fysik
- Du er interesseret i at fysik formidles på dansk
- Du har erfaring med at læse og rette andres tekster
- Du er god til at formulere dig skriftligt og god til retstavning og grammatik.

Har du tid og lyst til at præge KVANT, kan du sende en e-mail til kvant@kvant.dk eller ringe på 22672642, og høre nærmere om opgavernes art og omfang hos redaktøren Michael Cramer Andersen.

Stjernehimlen

Enhjørningens hemmelighed

Det nedenstående billede, offentliggjort den 6. oktober, viser det stjernedannende område "Monoceros R2", i stjernebilledet Enhjørningen. Billedet er optaget med ESOs VISTA teleskop, som bruges til kortlægning af himlen i infrarødt lys.

I synligt lys (øverst til højre) er området næsten helt indhyllet i mørkt støv. En gruppe meget tunge og varme stjerner oplyser dog gassen med deres blå lys og danner de såkaldte reflektionståger.

I infrarødt lys (herunder) ses varmen fra de nydannede stjerner og de meget smukke mønstre gassen danner. Man ser både mørkt støv, der strømmer ud og jets fra meget unge stjerner. I molekylskyer som denne er tætheden høj nok og temperaturen lav nok til, at der kan dannes molekylært brint (H_2), der udsender stråling som er rødt og lyserødt.

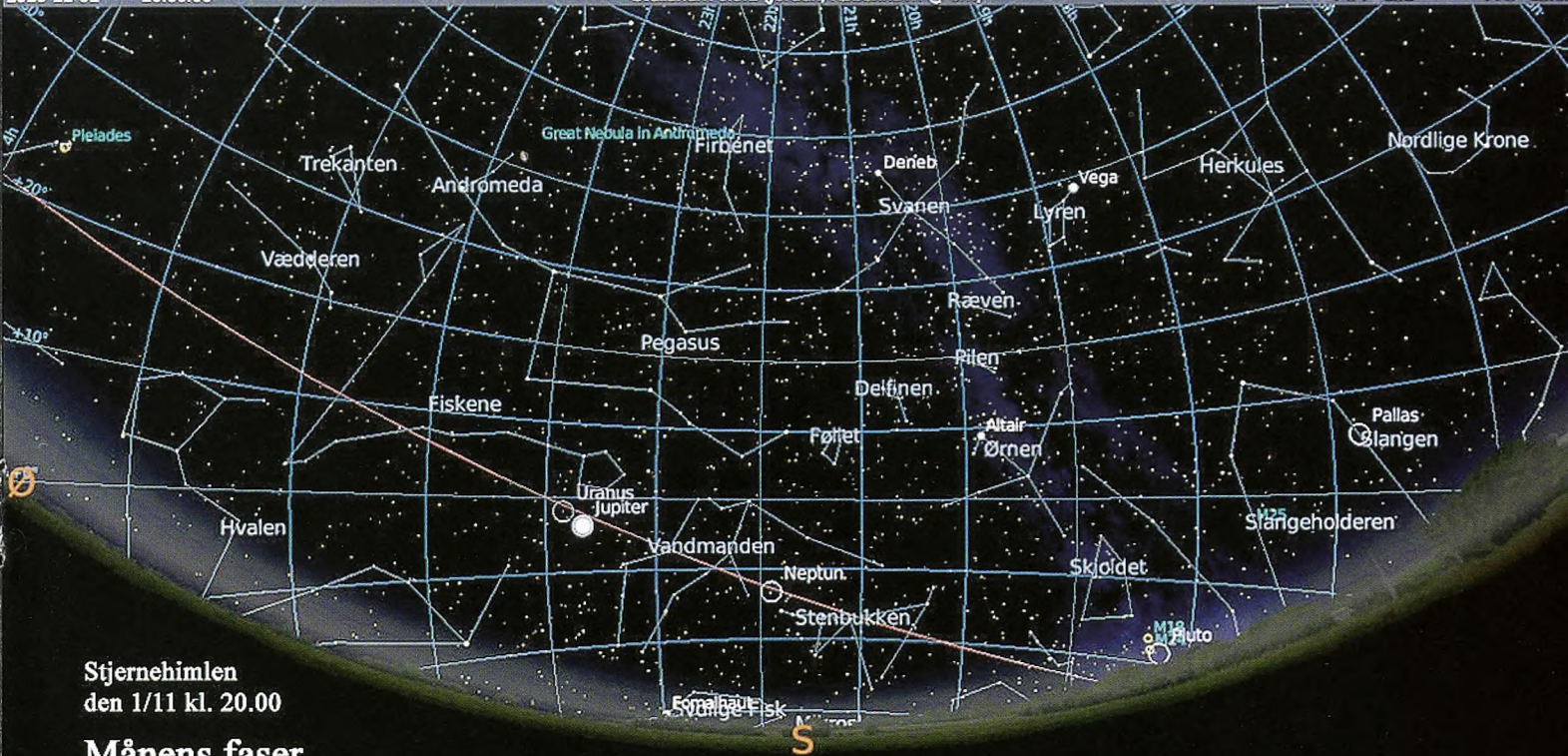
Monoceros R2 minder på mange måder om Orion-tågen, men er med sine 2700 lysår fra Jorden næsten dobbelt så langt væk (ESO).



Synligt lys



Infrarødt lys



Stjernehimlen
den 1/11 kl. 20.00

Månens faser



På *morgenhimlen* ses Venus og Saturn.
På *aftenhimlen* ses Merkur, Mars og Jupiter.

Solsystemet ca. 1. november

Kun planeter synlige med det blotte øje er vist nedenfor.
Udenom planetbanerne ses Dyrekredsens 12 stjernebilleder.
Den røde streg markerer Ekliptika - Solsystemets baneplan.

Astronomiske begivenheder

- 23/9 Efterårsjævndøgn
- 21/10 Stjerneskudssværmen *Oriniderne* kulminerer
- 17/11 Stjerneskudssværmen *Leoniderne* kulminerer
- 13/12 Stjerneskudssværmen *Geminiderne* kulminerer
- 21/12 Total måneformørkelse fra kl. 7.32. Totalitet kl. 8.40
- 22/12 Vintersolhverv



Exoplaneter fundet med Kepler og CoRoT

Analyse af data fra to forskningssatellitter

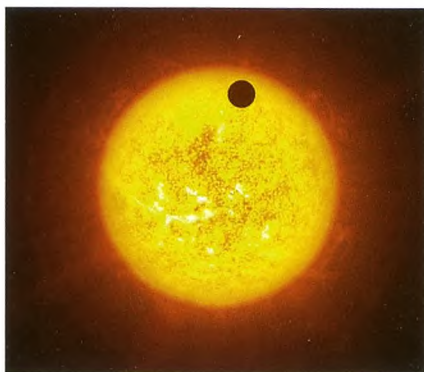
Af Hans Kjeldsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

I denne artikel demonstreres det hvordan man kan bestemme væsentlige parametre for en planet i kredsløb om en anden stjerne, hvis den passerer ind foran stjernen sådan at planeten absorberer en del af lyset fra stjernen.

Exoplaneter

Exoplaneter betyder planeter omkring andre stjerner end Solen. I 1995 blev den første planet opdaget i kredsløb omkring en anden stjerne end Solen. Stjernen (hvis navn var 51 Pegasi) er omkredset af en planet af Jupiters størrelse, som fuldfører sin bane i løbet af 4,23 døgn. Denne epokegørende opdagelse var starten på en lang række opdagelser af exoplaneter (planeter i kredsløb omkring andre stjerner end Solen) og antallet af kendte exoplaneter er nu tæt på 500. Hvor undersøgelserne af exoplaneter i begyndelsen primært var fokuseret på at opdage nye planeter, er fokus i dag flyttet til opdagelse af mindre planeter (f.eks. planeter med masser og størrelser som Jordens) samt karakteristik af de fundne planeter og deres atmosfærer og skysystemer. Der findes flere metoder til opdagelse og undersøgelse af exoplaneter.

I denne artikel vil jeg fokusere på den såkaldte passagemetode (eller transitmetode, som den også kaldes). Idéen i passagemetode er at finde og undersøge planeter ved at måle den effekt, der opstår, når exoplaneten står i synslinien mellem moderstjernen og Jorden, sådan at planeten absorberer en del af lyset fra stjernen. Metoden virker naturligvis kun, hvis planetens baneplan ligger orienteret således, at den i sin omkredsning overhovedet kan komme til at befinde sig foran moderstjernen. I de tilfælde, hvor det kan finde sted, vil passagemetoden tillade ikke alene en detektion af planeten, men tillige en måling af planetens diameter og i visse tilfælde også af atmosfæren, der omgiver exoplaneten. I det følgende vil data fra to satellitmissioner, nemlig Kepler og CoRoT blive undersøgt og originale satellitdata stillet til rådighed for brug i bl.a. undervisningen.



Figur 1. En exoplanet befinder sig i synslinien mellem den stjerne, den kredser om, og Jorden. I denne situation er det muligt at undersøge exoplaneten. (Grafik: CoRoT (CNES)).

Kepler- og CoRoT-satellitterne

I december 2006 og marts 2009 blev hhv. CoRoT og Kepler opsendt bl.a. med henblik på at finde planeter med diametre meget mindre end dem, Jupiter og Saturn har. Fra Jordens overflade er det umuligt at finde relativt små planeter ved passagemetoden, fordi stjernelyset på vejen gennem Jordens atmosfære bliver påvirket af den atmosfæriske scintillation. Dette gør det umuligt at måle med den nøjagtighed, som kræves for at se lyssvækkelsen, når en lille planet står i synslinien mellem Jorden og stjernen. For at finde planeter af Jordens størrelse fordres f.eks., at den relative målenøjagtighed er bedre end 1/10.000.



Figur 2. CoRoT-satellitten har siden december 2006 kredset omkring Jorden og bl.a. søgt efter exoplaneter blandt Mælkevejens stjerner. (Grafik: CoRoT (CNES)).

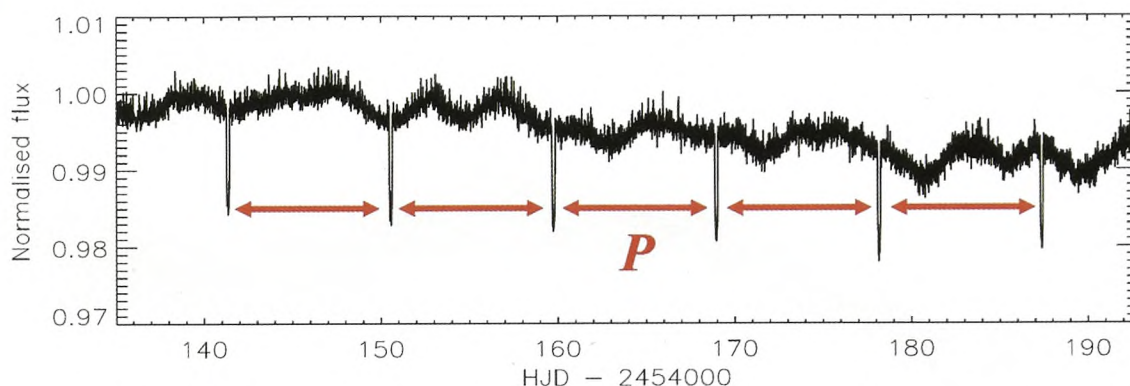


Figur 3. På Launch Pad 17-B på Cape Canaveral Air Force Station er en Delta-2 raket i november 2008 ved at blive gjort klar til opsendelsen af Keplersatellitten. Siden marts 2009 har Kepler i sin bane omkring Solen fundet 7 planeter og næsten 1000 potentielle planetkandidater (Foto: NASA).

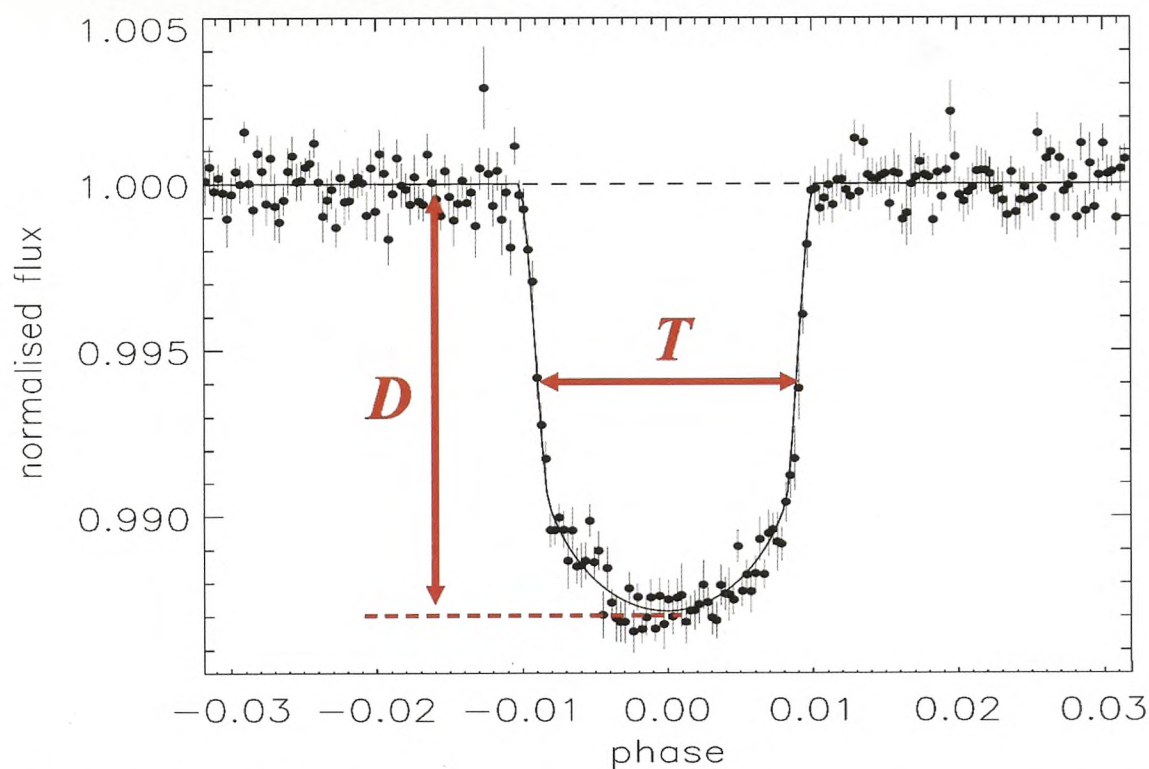
Med den franske CoRoT-satellit (se figur 2) og NASA's Kepler-satellit (se figur 3) er det muligt at måle nøjagtigt nok til at finde planeter med diametre væsentligt mindre end Saturns.

Data fra Kepler og CoRoT Siden opsendelsen har de to satellitter leveret et stort antal fantastiske målinger af mange tusinde stjerner, og antallet af planeter opdaget med de to satellitter er hastigt stigende (indtil september 2010 har Kepler fundet 7 planeter og CoRoT 14 planeter). Ikke alle data er endnu offentlige, men i det følgende beskrives data for 8 planeter (4 fra CoRoT og 4 fra Kepler), som er tilgængelige for alle interesserede for en nærmere analyse. Alle

data er i original form, svarende til de målinger som kommer ned fra CoRoT og Kepler. Som det er tilfældet med rigtige data, er der også enkelte af målingerne som indeholder fejl (f.eks. er der målepunkter med intensitet lig nul). Alle data kan hentes via følgende webside: <http://astro.phys.au.dk/KASC/kvant> En nærmere beskrivelse af indholdet af denne webside findes senere i artiklen. I det følgende vil jeg først gennemgå en del af den teori, som ligger til grund for anvendelsen af Kepler og CoRoT data og herefter beskrive den baggrundsinformation, som er nødvendig for at foretage hele den beskrevne analyse.



Figur 4. Tidsserien for en af de stjerner, hvor CoRoT har fundet en planettransit. Planetens omløbsperiode P ses tydeligt. Figur fra [1].



Figur 5. Tidsserien (zoom af passagen) for en af de stjerner, hvor CoRoT har fundet en planettransit. Passagen starter, når planetens skive "rammer" stjernens rand og slutter, når den sidste del af planetskiven "forlader" stjernens skive. På figuren er vist passagedybden, D og passagetiden, T . Figur fra [1].

Analyse af en tidsserie med exoplanet passager

Ud fra en analyse af tidsseriedata, som vist i fig. 4 og 5, er det muligt at bestemme flg. tre størrelser:

1. Omløbsperioden for planeten, P
2. Passagegybden (mængden af lys som absorberes af planeten), D
3. Passagetiden (den tid det tager planeten at krydse stjernen), T

I det følgende antager vi, at vi foruden passageparametrene også via en analyse af stjernernes lys har bestemt stjernens masse, lysstyrke og overfladetemperatur

1. Stjernens masse, M_s
2. Stjernens radius, R_s
3. Stjernens overfladetemperatur, T_{eff}

Værdierne for disse tre størrelser for de 8 Kepler og CoRoT tidsserier findes i tabellen sidst i denne artikel.

Vi anvender i det følgende Newtons version af Keplers tredje lov, som fortæller at

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(m_1 + m_2)} \cdot a^3 \quad (1)$$

hvor P er planetens omløbsperiode, m_1 og m_2 er massen af stjernen, og planeten og a er den halve storakse af banen for planeten i forhold til stjernens tyngdepunkt (svarende til middelfstanden mellem planeten og stjernen).

Hvis vi antager, at planetens masse er meget mindre end stjernens masse, finder vi:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{GM_s} \cdot a^3 \quad (2)$$

hvilket kan omskrives til

$$a = \left(\frac{GM_s P^2}{4\pi^2} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Kender vi således stjernens masse og planetens omløbsperiode, kan vi umiddelbart beregne planetens banehastighed:

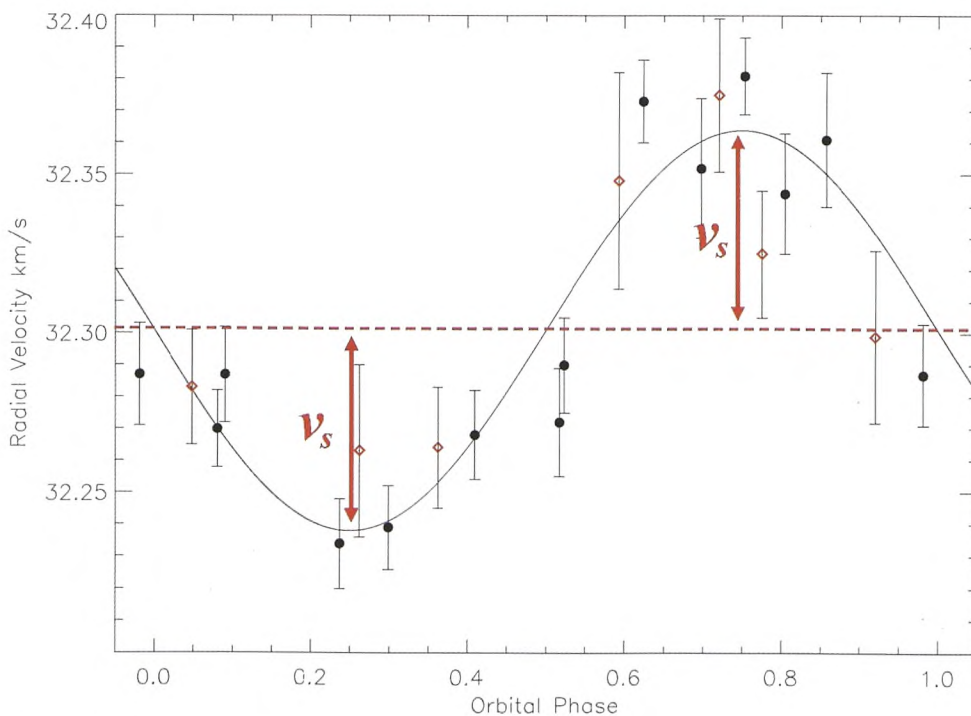
$$v_p = \frac{2\pi \cdot a}{P} = \left(\frac{2\pi \cdot GM_s}{P} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Da stjernen og planeten kredser om deres fælles tyngdepunkt vil der ske en flytning af stjernen såvel som planeten. Vi kan således via en observation af stjernens hastighedsvariation (radialhastigheden) under omløbet af planeten, bestemme banehastigheden af stjernen; v_s (se figur 6). Dette kan nu bruges til en bestemmelse af planetens masse:

$$\frac{m_p}{M_s} = \frac{v_s}{v_p} \quad (5)$$

hvilket kan omskrives til

$$m_p = v_s \left(\frac{P \cdot M_s}{2\pi \cdot G} \right)^{1/3} \quad (6)$$



Figur 6. Måling af en stjernes radialhastighed som funktion af planetens fase giver mulighed for at bestemme stjernens banehastighed v_s . Figur fra [2].

Planetens radius kan bestemmes ud fra passagedybden (angivet som den procentvise svækkelse af lyset, se figur 5):

$$\frac{r_p}{R_s} = \sqrt{D} \quad (7)$$

Ud fra viden om planetens radius og masse er det nu muligt at bestemme middeldensiteten af planeten:

$$\bar{\rho}_p = \frac{3 \cdot m_p}{4\pi \cdot r_p^3} \quad (8)$$

Passagetiden T og planetens banehastighed og stjernens radius kan herefter anvendes til at bestemme baneplanens hældning i forhold til synsretningen (inklinationen, i):

$$\sin(i) = \frac{\sqrt{4R_s^2 - (v_p T)^2}}{2a} \quad (9)$$

Og sluttelig kan stjernens overfladetemperatur, banens halve storakse a og stjernens radius samt en antagelse om den mængde af lys, som reflekteres fra planeten, albedoen A , bruges til at give et bud på den gennemsnitlige overfladetemperatur af planeten, T_p :

$$T_p = T_{\text{eff}} \cdot \sqrt{\frac{R}{2a}} \cdot \sqrt{1 - A} \quad (10)$$

Data på websiden

På den webside, som er oprettet for at tillade adgang til CoRoT- og Keplerdata (i stort set samme form som det er blevet leveret fra satellitterne); <http://astro.phys.au.dk/KASC/kvant> [3] er det muligt at hente data for følgende 8 planeter; CoRoT-1b, CoRoT-2b, CoRoT-3b, CoRoT-4b, Kepler-4b, Kepler-5b, Kepler-7b, Kepler-8b. Det er tanken løbende at give adgang til flere data fra disse missioner i takt med at de bliver offentliggjort.

Data findes i følgende former (alle som tekst-filer):

1. **“Download data”** giver data i to søjler (tid i døgn og intensitet i absolutte fotontællinger)
2. **“Tids data”** og **“Intensitets data”** giver data i to filer (med angivelse af decimalbrøker via “.”)
3. **“Tids data (DK)”** og **“Intensitets data (DK)”** giver data i to filer (med angivelse af decimalbrøker via “.”)

Desuden findes plot af radialhastighederne for de 8 moderstjerner og angivelse af stjernernes masse, radius og overfladetemperatur (den effektive temperatur). Værdierne af disse størrelser findes også i tabellen herunder:

Stjerne	Radius/ R(sol)	Masse/ M(sol)	Effektiv temperatur
Solen	1,000	1,000	5778 K
CoRoT-1	1,11	0,95	5950 K
CoRoT-2	0,90	0,97	5625 K
CoRoT-3	1,56	1,37	6740 K
CoRoT-4	1,17	1,16	6190 K
Kepler-4	1,65	1,28	5855 K
Kepler-5	2,05	1,45	6295 K
Kepler-7	1,90	1,37	5935 K
Kepler-8	1,50	1,12	6215 K

Solens masse er $1,989 \cdot 10^{30}$ kg og Solens radius er 695.500 km.

Analysen af disse data kan ske ved at hente en af de omtalte datafiler, fx filen for Kepler-7b, som ses herunder (tid i døgn i første søjle)

```
4.01099 16912.9\\
4.03143 16915.7\\
4.05186 16914.4\\
4.07229 16913.1\\
4.09273 16912\\
4.11316 16912.3\\
4.1336 16911.5\\
4.15403 16913.4\\
4.17446 16913.9\\
4.1949 16915\\
4.21533 16915.6\\
4.23576 16915.2\\
...
```

Ved at plotte de to søjler mod hinanden kan planetpassagerne lokaliseres som de systematiske svækkelser i lysintensiteten, der ses gennem tidsserien. Når de enkelte passager er lokaliseret, kan de basale passageparametre P , D og T umiddelbart bestemmes.

Omløbsperioden findes bedst ved at finde tidspunkterne $t(n)$ for alle de enkelte planetpassager og samtidigt nummerere de enkelte passager; $n = 1, 2, 3, \dots, N$. Omløbs-perioden P findes nu ved lineær regression:

$$t(n) = t_0 + P \cdot n \quad (11)$$

D og T bestemmes bedst som middelværdien af de enkelte målinger for hver enkelt passage.

Eksempel

I det følgende vises et eksempel på brugen af ovenstående formler. Vi antager først, at vi på baggrund af en tidsserie har målt følgende størrelser for en exoplanet.

1. $P=3,67$ døgn
2. $D=0,87$ %
3. $T=0,104$ døgn

Samtidig antager vi, at en analyse af stjernens lysstyrke og spektrum giver:

1. $M_s=1,14 M_{\text{solen}}$
2. $R_s=1,21 R_{\text{solen}}$
3. $T_{\text{eff}}=5960$ K

Ved indsættelse i formlerne finder vi nu den halve storakse for planeten (AE er den astronomiske enhed = Jordens middelf afstand fra Solen):

$$a = 7,2810^9 \text{ m} = 0,0486 \text{ AE} \quad (12)$$

Ud fra dette kan vi bestemme planetens banehastighed:

$$v_p = 144 \text{ km/s} \quad (13)$$

Vi antager nu, at en måling af radialhastigheden af moderstjernen giver en banehastighed for stjernen på 123 m/s. Hermed kan vi bestemme massen af planeten til: $1,93 \cdot 10^{27} \text{ kg}$.

Planetens radius findes fra passagedybden til: 78.780 km.

Ved indsættelse i formel (8) finder vi middeldensiteten til: 942 kg/m^3 .

Ved indsættelse i formlen for inklinationen (9) finder vi at systemet hælder omkring 4 grader i forhold til synsretningen mod Jorden,

$$\sin(i) = 0,0745 \text{ og dermed } i = 4,3^\circ. \quad (14)$$

Sluttelig kan vi finde et udtryk for middeltemperaturen for overfladen (vi antager i dette tilfælde en albedo på 10 %): $T_p = 1398 \text{ K}$.

Litteratur

- [1] Aigrain et al. (2008), *Astronomy & Astrophysics* **488**, L43-L46
- [2] Moutou et al. (2008), *Astronomy & Astrophysics* **488**, L47-L50.
- [3] Data til analyse af exoplaneters egenskaber, <http://astro.phys.au.dk/KASC/kvant>



Hans Kjeldsen er lektor i astrofysik ved Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet. Han har i sin forskning benyttet teleskoper over alt på Jorden og i rummet og har udviklet teknikker til observation og analyse af stjernesvingninger med meget lav amplitude. Han deltager i øjeblikket i to satellitprojekter (NASA's Kepler-projekt og det franske CoRoT-projekt).

Få tre årgange af KVANT for 200 kr. inkl. forsendelse (i Danmark)

Denne pakke indeholder årgang 2007-2009, bortset fra enkelte udsolgte numre.

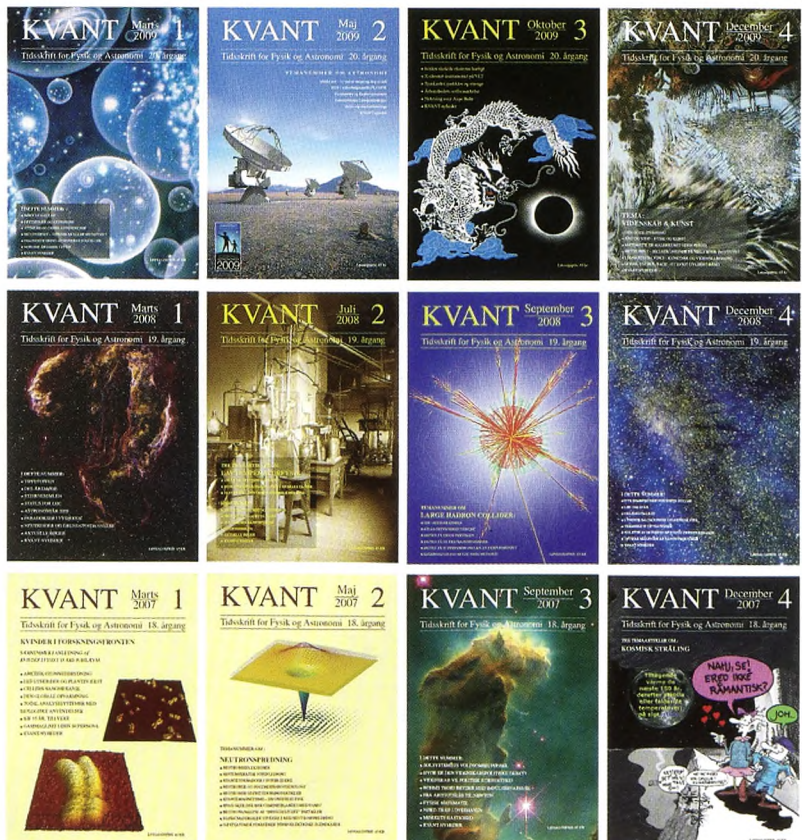
Der er 7 temanumre om bl.a.:

- "Videnskab og kunst"
- "Astronomi" (astronomiår 2009)
- "Large Hadron Collider"
- "Kvinder i forskningsfronten".

Derudover er der artikler om bl.a.:

- Istiden sluttede ekstremt hurtigt
- Totale solformørkelser
- Sorte huller
- Kulstof-14 datering
- Paradoxer i fysikken
- Tippetoppen
- Fra Aristoteles til Newton
- Solsystemets voldsomme fødsel
- Fysisk matematik
- Den globale opvarmning
- Gammaglimt uden supernova.

Pakken kan bestilles ved at sende en e-mail til kvant@kvant.dk, hvor du opgiver navn og adresse. Betaling sker via netbank eller girokort, som medfølger.



Telefonstrømme – breddeopgave 39 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave fra RUC (nr. 39 i rækken her i KVANT):

39. Telefonstrømme

Et harmonisk signal vil i en telefonledning forplante sig svarende til formlen:

$$I(x, t) = I_0 e^{-\beta x} \cos(\omega t - \frac{\omega}{v} x) \quad (1)$$

hvor β og v i almindelighed afhænger af signal-frekvensen ω . I telefonledninger med forsvindende lækstrømme til omgivelserne og store selvinduktionskoefficienter afhænger β og v imidlertid kun af ledningens selvinduktionskoefficient pr. længdeenhed, ledningens modstand pr. længdeenhed og ledningens kapacitet pr. længdeenhed. Hvordan afhænger β og v i denne (forvrængningsfri) grænse af de nævnte størrelser? Begrund svaret.

Løsning

Opgaven løses ved dimensionsanalyse: Elektrisk spændingsforskel, U , har dimension af energi per ladning. Det vil sige $[U] = (M \cdot L^2 \cdot T^{-2}) / (S \cdot T) = M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot S^{-1}$, hvor $[]$ læses "dimensionen af", og hvor M står for massedimensionen, L for længdedimensionen, T for tidsdimensionen og S for dimensionen elektrisk strømstyrke, de fire grunddimensioner, der indgår i problemet. Heraf kan dimensionerne af henholdsvis selvinduktionskoefficient pr. længdeenhed, l , modstand pr. længdeenhed, r , og kapacitet pr. længdeenhed, c , aflæses til at være:

$$\begin{aligned} [l] &= L^{-1} [U / (dI / dt)] \\ &= L^{-1} (M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot S^{-1}) / (S \cdot T^{-1}) \\ &= M \cdot L \cdot T^{-2} \cdot S^{-2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} [r] &= L^{-1} [U / I] \\ &= L^{-1} (M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot S^{-1}) / S \\ &= M \cdot L \cdot T^{-3} \cdot S^{-2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} [c] &= L^{-1} [Q / U] \\ &= L^{-1} (S \cdot T) / (M \cdot L^2 \cdot T^{-3} \cdot S^{-1}) \\ &= M^{-1} \cdot L^{-3} \cdot T^4 \cdot S^2. \end{aligned} \quad (4)$$

I den forvrængningsfri grænse angives β og v alene at afhænge af l , r og c . Da l , r og c ses ikke at kunne

kombineres til et dimensionsløst tal, er de eneste måder β og v kan afhænge af l , r og c produktfunktioner af potenser af l , r og c :

$$tal \times l^\alpha \cdot r^\gamma \cdot c^\delta \quad (5)$$

Da β har dimensionen L^{-1} kan α , γ og δ i tilfældet β bestemmes ved kravet om at funktionen skal have dimensionen L^{-1} . Af kravet følger: $\alpha + \gamma - \delta = 0$ (β har massedimensionen 0); $\alpha + \gamma - 3\delta = -1$ (β har længdedimensionen -1); $-2\alpha - 3\gamma + 4\delta = 0$ (β har tidsdimensionen 0) og $-2\alpha - 2\gamma + 2\delta = 0$ (β har den elektriske strømdimension 0). Da ligningssystemet entydigt har løsningen: $\alpha = -1/2$, $\gamma = 1$ og $\delta = 1/2$, er formelen for β som funktion af l , r , og c derfor af dimensionsgrunde nødvendigvis:

$$\beta = tal \times \sqrt{r^2 \cdot c / l} \quad (6)$$

Da v har dimensionen $L \cdot T^{-1}$, og α , γ og δ i tilfældet v derfor tilsvarende kan bestemmes ud fra ligningssystemet: $\alpha + \gamma - \delta = 0$, $\alpha + \gamma - 3\delta = 1$, $-2\alpha - 3\gamma + 4\delta = -1$, $-2\alpha - 2\gamma + 2\delta = 0$, med den entydige løsning: $\alpha = -1/2$, $\gamma = 0$, $\delta = -1/2$, er formelen for v på tilsvarende måde nødvendigvis:

$$v = tal \times \sqrt{1 / (l \cdot c)} \quad (7)$$

Kommentar

Opgaven er en god illustration af, at det ikke kun er i forbindelse med hydrodynamiske problemer, at dimensionsanalyse kan være et kraftfuldt redskab. Men det er langt fra at være en ideel breddeopgave.

Hovedformålet med breddeopgaverne er, at de studerende ved arbejdet med dem trænes i at kunne bringe matematik og fysik i anvendelse ved problemløsning. Og det formål understøtter opgaven ikke. Løsning af opgaven kan give anledning til en øget forankring af begreberne selvinduktion, modstand og kapacitet i forhold til spændingsforskel hos de studerende. Arbejdet med den kan også være med til at træne dimensionsanalyse som teknik. Og opgaven illustrerer på udmærket vis, at matematik og fysik har tekniske anvendelser, f.eks. beregning af telefonstrømme. Men hverken repetitionen af fysikbegreber, udviklingen af dimensionsanalysefærdigheder eller orienteringen om anvendelsessammenhænge giver umiddelbart afsæt for træning i matematisk-fysisk formaliserende problemløsning på universitetsniveau.

Når jeg trækker denne pointe frem ved valget af telefonstrømsopgaven til kommentering her i KVANT, er det, fordi der også bredere tilsyneladende er behov for at pointere den afgørende forskel imellem at undervise i matematik og fysik knyttet til anvendelser og at undervise i at kunne anvende matematik og fysik.

Ved foredrag for STX gymnasieelever har jeg spurgt dem om, hvad de mente om påstanden: "Man kan ikke blive til noget uden matematik". Den har de umiddelbart været uenige i indtil jeg gjorde dem opmærksom på, hvor stor en del af dem, der valgte matematik på højt niveau. Så, OK, det var der måske noget om. Derefter har jeg spurgt dem om, hvad de mente om påstanden: "Man kan ikke bruge matematik til noget." Den var de også i første omgang uenige i indtil jeg bad dem om at give et eksempel på, at de havde brugt matematik til noget. For det kunne de ikke. Det ser således ud til, at eleverne er sat i et uforløst paradoks: på samfundsplanet og for karrieren er matematik åbenbart en vigtig sag samtidigt med at matematik ikke opleves at kunne bruges til noget.

Jeg går ud fra, at det er denne og tilsvarende paradokstilstande, der forsøges forløst, når der slås på tromme for anvendelsesorientering af fysik- og matematikundervisning ved uddannelsesreformer, f.eks. ved den sidste gymnasiereform. Min pointe er så, at man i forhold hertil serverer stene for brød, når anvendelsesorienteringen forstås således, som det udbredt er tilfældet, at det ved undervisningstilrettelæggelsen drejer sig om at de internt matematiske og fysiske øveproblemer skal søges i tilknytning til anvendelser. Som det er tilfældet med breddeopgaven her.

Anvendelsesorienteringen kommer så alene til at tjene det – i øvrigt ok – formål at illustrere, at den abstrakte og tilsyneladende skolestiske matematik og fysik har praktiske anvendelser. Hvorimod en egentlig forløsning af paradokstilstandene først opnås, når elever og studerende oplever selv at kunne bringe matematik/fysik i anvendelse ved problemløsning. Sådan som ambitionen er i sammenhæng med den typiske breddeopgave.

Breddeopgave 40. Elektrostatisk vægt

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra sommereksamen 1997, nr. 40 i rækken her i KVANT):

Figuren viser en principskitse af en såkaldt elektrostatisk vægt:



Hvordan er sammenhængen mellem massen på vægtskålen og ladningerne på kondensatorpladerne, når vægten er i balance? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i et kommende nummer.

KVANT udgives af:

Astronomisk Selskab (AS)
www.astronomisk.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre
Tlf. 36723634 (privat)
43386947 (arbejde)
mq@spacecenter.dk

Inge Frederiksen
(kasserer og medlemmer)
Tlf. 21294354
inge.frederiksen@mail.dk

Dansk Fysisk Selskab (DFS)
dfs.nbi.dk

Ian Bearden (formand)
Niels Bohr Institutet
Københavns Universitet
Blegdamsvej 17
2100 København Ø
Tlf. 35325323
bearden@nbi.dk

Helge Knudsen (kasserer)
hk@phys.au.dk

Dansk Geofysisk Forening (DGF)
www.geofysiskforening.dk

Andreas Lemark (formand)
Is og klima, Niels Bohr Inst.
Tlf. 35320571
alemark@gfy.ku.dk

Henveldeiser til:
Bo Vinther (kasserer)
Tlf. 35320518
bo@gfy.ku.dk

Lars Stenseng (web)
Tlf. 35325792
stenseng@space.dtu.dk

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU)
www.naturvidenskab.net

Dorte Olesen (formand)
UNI-C, Vermundsgade 5
2100 København Ø
Tlf. 29926300
Dorte.Olesen@uni-c.dk

Bente Egaa (sekretær)
Tlf. 35878804
bente.egaa@uni-c.dk

Lene Körner (bogholder)
Tlf. 35320762
koerner@math.ku.dk

Nordiske Fysikmøde i Helsinki 29-31 marts 2010

Mødet arrangeret af de Nordiske Fysiske selskaber, er det andet i en række, der blev startet med det Nordiske møde i juni 2009 på DTU.

Dette møde organiseres af Det Finske Fysiske Selskab i et conferencecenter i Helsinki. Mødet vil i lighed med det forrige møde have en række fremragende, internationale foredragsholdere, sessioner med foredrag og posters. Af foredragsholderne kan specielt nævnes CERN's generaldirektør Rolf Heuer, Alain Aspect fra Paris om kvanteteori og Ewine van Dishoek i astrofysik. Mere om arrangementet kan læses på DSF's hjemmeside www.dfs.nbi.dk.

Til dækning af rejseudgifter og conferenceafgift for kandidatstuderende har Dansk Fysisk Selskab afsat omkring 10 stipendier á 3000 kr. Disse stipendier kan søges med en motiveret ansøgning inden den 15. nov. af alle studerende, der ikke har påbegyndt et ph.d. stipendium. Ansøgningen skal inkludere et abstrakt til det nordiske møde (deadline 14. jan. 2011) og man skal være medlem af Dansk Fysisk Selskab.

Nærmere oplysninger kan fås hos formanden Ian Bearden, (e-mail: bearden@nbi.dk) eller Jørgen Schou (e-mail: josc@fotonik.dtu.dk)

Foreningsnyt – foredrag i efteråret

Foredragskalender

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
6/9	19.15	Stjernedannelse med ALMA	<i>Christian Brinch</i>	AS (Kbh)
13/9	19.00	Stjernedannelse med ALMA	<i>Christian Brinch</i>	AS (Årh)
13/9	19.30	ESO – Astronomy made in Europe	<i>Claus Madsen</i>	SNU
14/9	17.00	Det antropiske multivers – Fysik eller metafysik?	<i>Helge Kragh</i>	VHS
Okt.				
4/10	19.15	Lys i mørket: Observationer af de yngste stjerner	<i>Jes Jørgensen</i>	AS (Kbh)
4/10	19.30	Mod en ny forståelse af naturens mindste byggesten	<i>John Renner Hansen</i>	SNU
11/10	19.00	Lys i mørket: Observationer af de yngste stjerner	<i>Jes Jørgensen</i>	AS (Årh)
12/10	17.00	Udviklingen af konvektionsbegrebet og matematisk programmering i det 20. århundrede: Sære forbindelser, videnskabelig mobilisering og personlige møder på kryds og tværs	<i>Tinne Hoff Kjeldsen</i>	VHS
25/10	19.30	Indblik i materialers struktur og bevægelse: Neutronspreddning nu og i fremtiden	<i>Kim Lefmann</i>	SNU
26/10	17.00	“Wir sind alle Afrikaner”: Abstraktion og tingsliggørelse af 'race' i historisk belysning	<i>Rasmus Grøndfeldt Winther</i>	VHS
Nov.				
1/11	19.15	Numeriske simulationer af stjerne- og planetdannelse	<i>Åke Nordlund</i>	AS (Kbh)
8/11	19.00	Numeriske simulationer af stjerne- og planetdannelse	<i>Åke Nordlund</i>	AS (Årh)
15/11	19.30	EMBL – European Molecular Biology Laboratory	<i>Lars Juhl Jensen</i>	SNU
22/11	19.15	Formørkende exoplaneter og Kepler-missionen	<i>Lars Buchhave</i>	AS (Kbh)
29/11	19.00	Formørkende exoplaneter og Kepler-missionen	<i>Lars Buchhave</i>	AS (Årh)
Dec.				
6/12	19.15	Hvordan opstår planeter?	<i>Anders Johansen</i>	AS (Kbh)
15/11	19.30	Røntgenlaseren – fra drøm til virkelighed	<i>Robert Feidenhans'l</i>	SNU
13/12	19.00	Hvordan opstår planeter?	<i>Anders Johansen</i>	AS (Årh)

AS (Kbh): Astron. Selskab (København), Auditoriet, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk).

AS (Årh): Astron. Selskab (Århus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygn. 1530, Aud. D2, 8000 Århus C.

SNU: Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (www.naturvidenskab.net).

VHS: Videnskabshist. Selskab, H.C. Ørsted Inst., aud. 10, Universitetsparken 5, 2100 Kbh Ø (www.math.ku.dk/videnskabshistorie).

Astronomisk Selskab

Temaet for efterårets foredragsrække er *Dannelse af stjerner og planeter*. I rummet mellem stjernerne findes kæmpestore skyer af gas, hvoraf nye stjerner og planeter dannes. Det sker, når dele af skyen bliver så tæt, at den begynder at falde sammen under sin egen masse. Stjernen dannes i midten og planeterne opstår i en skive af gas og støv uden om stjernen. I grove træk kan man sige, at planetdannelse sker ved at støvkorn støder sammen og danner små faste klumper, kaldet planetesimaler. Når en planetesimal er et par kilometer i diameter, vil tyngdekraften trække yderligere materiale til. Planeten vil vokse, så længe der er materiale i skiven omkring stjernen. Når stjernen i midten af skiven begynder at lyse, vil det gas og støv, som ikke har klumpet sig sammen i skiven, blive blæst væk. Dermed stopper planetdannelsen. Hele processen forløber på under 100.000 år, og der er mange detaljer, som vi endnu ikke helt forstår.

Foredragsrækken vil belyse udfordringerne ved at observere stjerne- og planetdannelse der foregår skjult inden i de interstellare skyer, hvordan man kan observere planeter omkring andre stjerner og hvor langt vi er nået i vores teoretiske forståelse af hvilke fysiske processer der spiller hovedrollen under stjerne- og planetdannelse.

Foredragene afholdes i samarbejde mellem Astronomisk Selskab, Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet. De er tilrettelagt af Anja Andersen, Christoffer Karoff, Frank Grundahl og Torben Arentoft.

Videnskabshistorisk Selskab

Foredragene afholdes på H.C. Ørsted Institutet i København. Kl. 16.30 byder selskabet på kaffe, te og frugt i Institut for Matematiske Fags frokoststue, rum 04.4.19 på 4. sal. Man er velkommen til at gå med ud at spise med foredragsholderen efter foredraget, på egen regning.

Af Sven Munk, KVANT

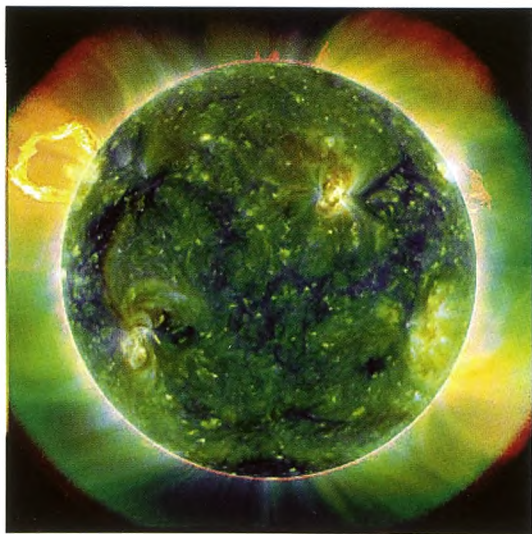
Den spruttende sol

ASTROFYSIK. Solen er den eneste stjerne, som astronomerne kan studere i detaljer. Alligevel er der fortsat mange processer på overfladen og i det indre, der kun er kendt i grove træk. Hvordan er det nu lige, at magnetfelter, solpletter og strålingsaktiviteten hænger sammen? For at få et bedre indblik i de dynamiske processer på Solen er der for nylig opsendt et nyt rumobservatorium, "Solar Dynamics Observatory" (SDO).

Med et CCD-kamera kan Solen fotograferes med intervaller på 10 s. Strålingen opdeles i 10 områder – et til synligt lys og ni UV-intervaller. CCD kameraet har en opløsning på 4096×4096 pixel, hvormed der opnås en billedopløsning af Solens overflade på ca. 700 km.

Med et andet instrument, "Helioseismic Magnetic Imager" registreres de mekaniske bevægelser, som optræder i Solens gasser. Man kan her forestille sig, at de ret turbulente processer frembringer bredspektret støj, som man kan opleve, når en flamme brænder. Da dette udspiller sig i en gigantisk "akustisk" resonator – nemlig hele Solen – vil der være visse frekvenser som fremhæves og andre som undertrykkes. Ved således at måle de mekaniske/akustiske svingninger på Solens overflade kan forskerne sige noget om Solens indre.

Et tredje instrument "EUV variability experiment" skal måle stråling i det ekstremt ultraviolette område. Dette instrument har en tidlig opløsning på 10 sek. og en spektral opløsning på under 0,1 nm. Strålingsmæssigt er det i EUV-området, at man finder den største dramatik. Intensiteten kan i løbet af sekunder ændre sig flere størrelsesordener.



Solen er her gengivet med falske farver, hvor hvert bølgelængdeinterval er tildelt sin egen farve. Den røde farve repræsenterer temperaturen 60.000 K og den blå mere end 1 mio. K. Selv om Solen i det optiske område forekommer at være af nogenlunde samme styrke overalt, vil der i UV-området optræde betydelige variationer. Observatoriet er effektivt til at generere måledata, idet der hver dag frembringes 1500 Gbyte.

Kilde: NASA.

Stof vokser under belysning

FASSTOFFYSIK. Fænomenet, at stof udvider sig, når det belyses, er ikke helt ukendt. Det gælder for visse kunststoffer baseret på organiske molekyler. Imidlertid er det første gang, at noget lignende er iagttaget i en krystal af vismutferrit. Den halvledende metaloxid reagerer på samme måde, hvad enten det er kortvarige laserlys-impulser eller lys fra en glødelampe.

Forskeren Bohdan Kundys fra Centre de Saclay i Paris beskriver vismutferrit som et overordentlig interessant stof, fordi magnetisme, polarisation, lys og mekaniske effekter vekselvirker med hinanden.

I det forsøg, som beskrives i *Nature Materials*, blev en lille krystal (tykkelse 0,1 mm) anbragt under mikroskop. Under belysning med f.eks. rødt laserlys udvidede materialet sig med nogle nanometer. Slukkes lyset skrumper materialet til den oprindelige størrelse.

Da virkningen sker relativt hurtigt (under 1/10 sekund), er der ikke tale om en opvarmningseffekt. I stedet må man forestille sig, at der via den fotoelektriske effekt skabes frie ladningsbærere, som så opbygger et elektrisk felt. Dette felt vil omlejre atomer (elektrostriktion) i vismutferriten, så de mekaniske dimensioner forandres. Den samlede virkning er døbt fotostriktion.

Om dette vismutferrit, der er æresmedlem af materialeklassen multiferroika, så også, som forskerne forestiller sig, kan bruges til lysaktiverede mikro/nano motorer, må tiden vise. Under alle omstændigheder er stoffet så specielt, at nogen må kunne få noget praktisk anvendeligt ud af det.

Kilder: "Light-induced size changes in BiFeO₃ crystals", B. Kundys et al.; *Nature Materials*, doi: 10.1038/nmat2807 URL: <http://www.nature.com/nmat/journal/vaop/ncurrent/abs/nmat2807.html>; Forskningscenter CEA de Saclay URL, <http://www-centre-saclay.cea.fr>.

Metalliske glasser

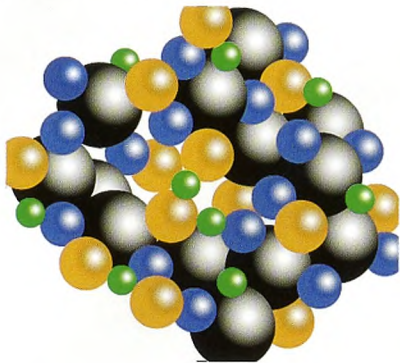
FASTSTOFFYSIK. Som overordnet karakteristik bliver metalliske glasser beskrevet som sande supermaterialer. De kan laves hårdere end stål, korrosionsbestandige og kan bruges til mange tekniske formål.

Med lidt mere velkendte termer kan metalliske glasser beskrives som amorfe legeringer, som ikke har fået en krystallinsk struktur ved afkølingen fra flydende tilstand. Herved ligner de det, der i daglig tale bare er glas. De metalliske glasser forskes der en del i, bl.a. fordi det er ret enkelt at formgive emner med stor præcision. Nærmest som var det et plastmateriale. Der er også teoretiske problemer, som har fanget forskernes opmærksomhed, såsom (egen)diffusion af atomer i en sådan underafkølet "væske".

Imidlertid er selve fremstillingen af sådanne metalliske glasser kompliceret og derfor ikke billig. Med de normalt anvendte metaller dannes der krystaller ved overgangen fra flydende til fast form. Disse kan være store, så de ses med det blotte øje, eller så små, at man først får øje på dem i et mikroskop. Centralt for fremstillingen af metalliske glasser er derfor at få frembragt så meget uorden, at krystaldannelsen blokeres. Hidtil har man savnet en teoretisk forståelse af, hvad der mere konkret skal til for at lave metallisk glas.

Forskere på Christian-Albrecht-Universitetet, Kiel, har nu med en blanding af palladium, kobber, nikkel og fosfor

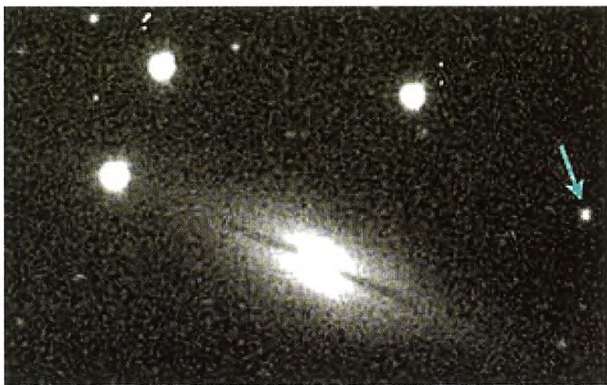
lavet noget, der giver bedre forståelse af de fundamentale mekanismer, der er i spil, når målet er metallisk glas. Her spiller atomernes størrelse en vigtig rolle. Palladium-atomerne er ret store i forhold til de tre andre nævnte grundstoffer. De er så store, at de nærmest forhindres i at flytte sig af de andre mindre atomer. I en vis forstand kan det fortolkes som om palladium-atomerne danner et netværk, som ikke er krystallinsk, men udgør en tilfældig struktur. Billedet søger at illustrere situationen. Denne gitterstruktur forhindrer omvendt de små atomer i at finde sammen og danne (mikro)krystaller. Slutresultatet er altså en amorf struktur – en metallisk glas.



Kilder: "Dynamic Arrest in Multicomponent Glass-Forming Alloys", A. Bartsch et al., *Physical Review Letters*, DOI: 10.1103/PhysRevLett.104.195901, 2010. URL: <http://prl.aps.org/abstract/PRL/v104/i19/e195901>; Institut for materialevidenskab, Universitet i Kiel URL: <http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/matv/index.php>.

Utraditionel supernova

ASTROFYSIK. I 2005 observerede astronomer en relativ svag supernova (SN2005E) i galaksen NGC1032, som befinder sig i en afstand på 117 mio. lysår fra Jorden. Mange teleskoper blev rettet mod denne supernova, hvorved det blev klart, at hverken mængden af udspjttet stof eller den kemiske sammensætning af dette, passer med hidtil kendte teorier for stjerneeksplosioner. Baseret på computersimuleringer anser forskere det for mest sandsynligt, at det oprindeligt var to om hinanden roterende hvide dværge, som på et tidspunkt smeltede sammen. Man antager endvidere, at der i den ene stjerne – eller begge – befandt sig ret meget helium. Når mængden af dette overstiger et vist niveau sker eksplosionen.



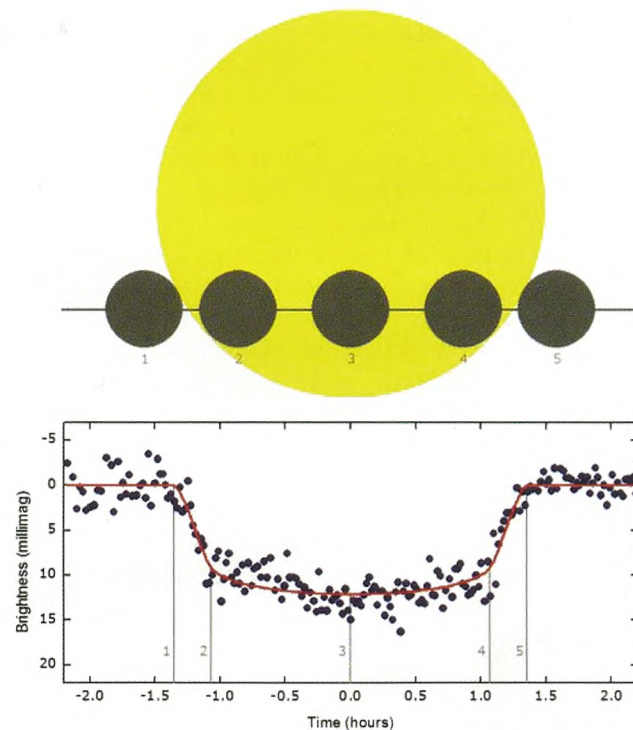
I et større perspektiv er den nyfundne supernova-type interessant derved, at den illustrerer hvordan fusion af heliumkerner kan føre til dannelse af grundstofferne kalcium og

titan. Disse stoffer kan ikke dannes af kulstof og ilt, som man traditionelt anser for at udgøre det indre af en hvid dværg.

Kilde: *Nature* **465**, 322 (2010).

Lille exoplanet fundet

PLANETFYSIK. Med den såkaldte transitmetode, har man afsløret en ny lille planet omkring stjernen WASP-3. Stjernen befinder sig i stjernebilledet Lyren i en afstand af 700 lysår. Man ved i forvejen, at der findes en gaskæmpe WASP-3b i bane om denne stjerne. Når planeten befinder sig direkte mellem Jorden og stjernen afskærmer den noget af lyset fra stjernen. Her på Jorden opleves dette som en skygge. Ved at registrere intensiteten af strålingen over tid, kan man fastslå planetens omløbstid. Denne metode blev benyttet da WASP-3b blev opdaget i 2008.



Leder man efter exoplaneter på størrelse med Jorden slår denne fremgangsmåde ikke til, fordi skyggevirkningen er alt for ringe. I stedet for at lede direkte efter småplaneter, undersøgte forskerne om den store planet påvirkes målbart af sådanne drabanter. Det skete gennem måling af transittider for WASP-3b, og der blev fundet sådanne variationer, at en mulig forklaring kunne være tilstedeværelse af en langt mindre planet. De fysiske omstændigheder kan illustreres med følgende: En Jord kan give en Jupiter omløbsvariationer på omkring 1 minut.

Da man ikke på forhånd har nogen konkret viden om, hvor den nye småplanet faktisk befinder sig, må man se at få sat turbo på lommeregneren – for her skal regnes. Forskerne har været så flittige med dette, at de føler sig overbevist om at der findes en småplanet (skal vist hedde WASP-3c) i bane om WASP-3. Forskerne, som ikke skjuler, at der skal laves flere målinger, vover alligevel at sætte tal på opdagelsen: Planetens masse er $15 \times$ Jordens, og omløbstiden er 3,75 dage, hvilket er nøjagtig det dobbelte af det, WASP-3b må bruge. De to planeter danner dermed en resonans.

Kilde: Transit timing variation in exoplanet WASP-3b, G. Maciejewski et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (accepted), 2010. URL: <http://xxx.lanl.gov/abs/1006.1348>.

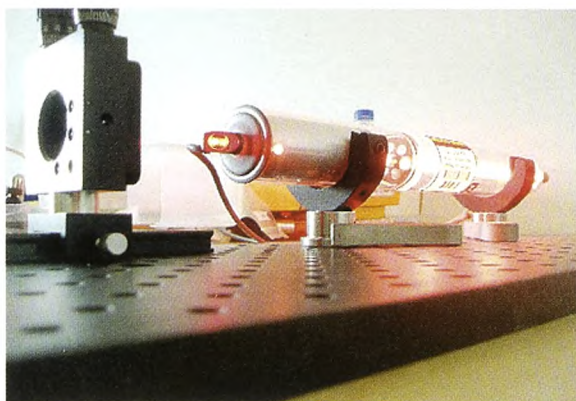
Laserfysik gennem eksperimenter

Af Jes Henningsen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Artiklen beskriver en serie eksperimenter der kan udføres med den samme helium-neon laser, og som kan danne ryggraden i et undervisningsforløb i laserfysik hvor teori og eksperiment er fuldt integreret.

Baggrunden

Der er enighed om at eksperimenter spiller en central rolle i fysikken, men det kommer sjældent til udtryk i undervisningen. Kernen i et kursus vil i regelen være forelæsninger og problemløsning, mens eventuelle eksperimenter finder sted i andre lokaler, på andre tidspunkter, og oftest med andre lærere – med den distance det indebærer. Det følgende er et bud på et undervisningsforløb hvor man med udgangspunkt i en række eksperimenter kommer igennem de vigtigste elementer af laserfysikken. Alle eksperimenter udføres med den samme helium-neon laser, opbygget af et udladningsrør af typen Melles Griot 05-LHB-670, med et internt spejl og et Brewster vindue, samt et eksternt spejl monteret på en skinne, så det er nemt at variere resonatorlængden (figur 1). De beskrevne eksperimenter er udvalgt fra en mere omfattende artikel, der er under udgivelse i American Journal of Physics [1]. Supplerende beskrivelser med gennemgang af den bagved liggende teori, samt alle resultater, vil blive tilgængelige fra tidsskriftets bibliotek for supplerende materiale [2] eller kan fås direkte fra forfatteren.



Figur 1. Hjertet i eksperimenterne.

Laserlyset

Laserlyset adskiller sig fra andet lys ved sin høje grad af *rumlig* og *tidslig* kohærens. Rumlig kohærens er et udtryk for kendskab til fasen af lyset et sted i rummet hvis den er kendt et andet sted på samme tidspunkt. Tidslig kohærens er et udtryk for kendskab til fasen af lyset på et givet tidspunkt hvis den er kendt på et andet tidspunkt det samme sted i rummet. Det er disse to principielt helt uafhængige egenskaber der er baggrunden for alle laserens anvendelser.

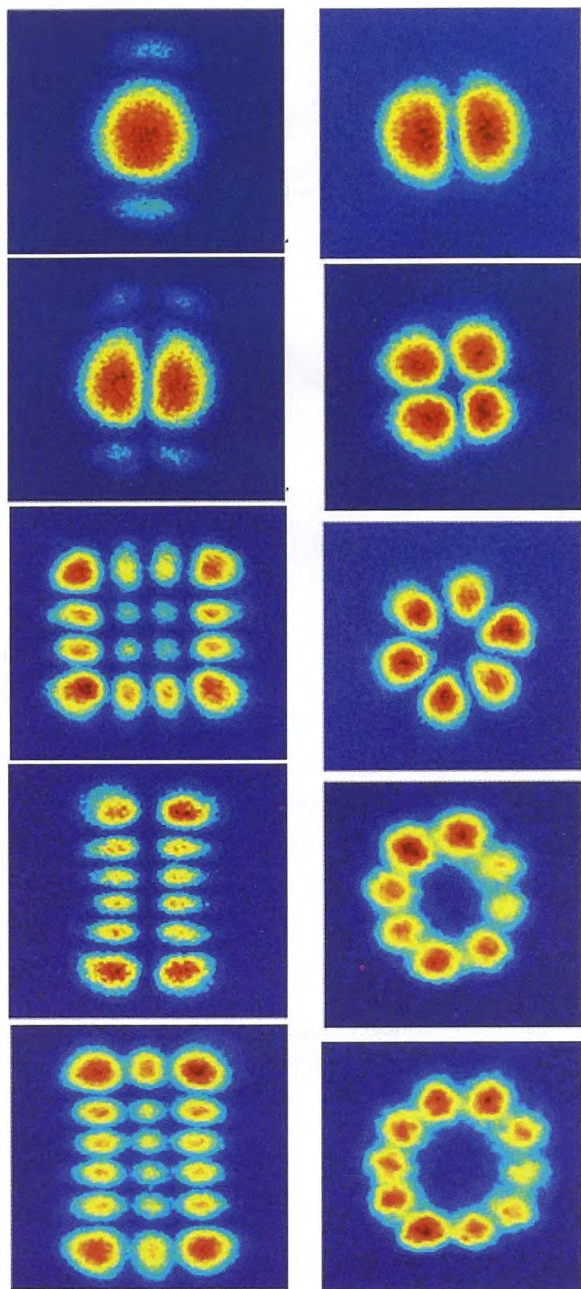
Den rumlige kohærens betyder at laserstrålen kan fokuseres til en pletstørrelse, der ultimativt er af udstrækning som lysets bølgelængde med heraf følgende mulighed for ekstremt høj effekttæthed. Alternativt kan strålen kollimeres så godt at den kan benyttes til at sigte med cm præcision over afstande på mange km. Den tidslige kohærens er et mål for hvor veldefineret frekvensen er. For ideelt monokromatisk lys er sammenhængen mellem fasen på to forskellige tidspunkter kendt, uanset hvor stor afstanden er i tid. I praksis vil der altid være en vis frekvensspredning, men selv den mest primitive laser er langt mere monokromatisk end en spektrallampe. Den tidslige kohærens er baggrund for en lang række anvendelser, der rækker fra spektroskopi til manipulation af atomer i atomure.

Modestrukturen

Løsningerne til Maxwells ligninger med randbetingelser som dikteret af spejlene er en familie af funktioner, der kaldes *gaussiske bølger*. Med z -akse i laserens længderetning vil feltet være koncentreret om aksen, med gaussisk transversal variation, og for enhver værdi af z er feltets rumlige karakter beskrevet ved to parametre, stråleradius $w(z)$ der måler bredden i den transversale feltfordeling, og krumningsradius $R(z)$ for de sfæriske fasefronter. I retvinklede koordinater er den transversale feltfordeling yderligere moduleret med et produkt af Hermite polynomier, og de individuelle familiemedlemmer betegnes Hermite-Gauss modes HG_{nm} . Vælger man i stedet at løse Maxwells ligninger i cylinderkoordinater får man en anden familie af løsninger, Laguerre-Gauss modes LG_{nm} , hvor den transversale feltfordeling er moduleret med et Laguerre polynomium [3].

Til mange formål ønsker man at laseren svinger i den fundamentale mode med $m = n = 0$. Her reduceres de modulerende polynomier til konstanter således at man får en ren gaussisk transversal variation. Det er samtidig den mode hvor feltet er mest koncentreret om z -aksen, og den kan realiseres ved at dimensionere udladningsrøret med så lille indre diameter at kun denne mode kan udbrede sig med tilstrækkelig små tab. Vor laser har en væsentlig større rørdiameter, hvilket tillader os at kontrollere modestrukturen med en variabel blænder der er indskudt i resonatoren. Figur 2 viser en række svingningsmønstre der kan realiseres ved gradvis åbning af blænderen, kombineret med omhyggelig justering af spejlene og indførelse af tab på strategiske steder i resonatortværsnittet. Modebillederne er med en

linse projiceret på en skærm og fotograferet med et almindeligt digitalkamera. De resulterende billeder i jpg format er derefter behandlet i Matlab der gengiver dem med en farvekode, der afspejler intensitetsfordelingen. De anvendte programmer kan findes i [2].

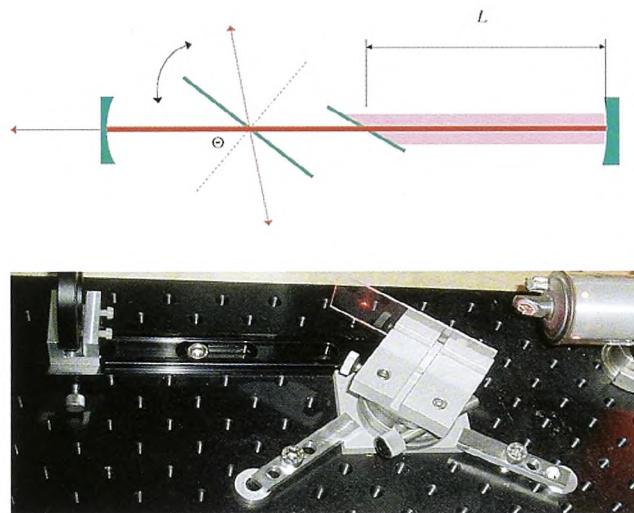


Figur 2. Eksempler på laser modes. Til venstre Hermite-Gauss modes HG_{00} , HG_{10} , HG_{33} , HG_{15} , HG_{25} . Til højre Laguerre-Gauss modes LG_{mn} med $|n - m|=1$ til 5. Mønstrene svarer til samtidig oscillation af de degenererede modes LG_{nm} og LG_{mn} .

Model for laseren

En simpel, men yderst brugbar model for laseren får man ved at betragte den som en optisk forstærker med positiv tilbagekobling. Forstærkningen sker ved elektroniske overgange i neonatomet, men vi behøver ikke at bekymre os om detaljerne og betragter blot udladningen som en sort kasse, der er karakteriseret ved to

parametre. Den første er forstærkningskoefficienten pr længdeenhed for små signaler, g_0 . Hvis udladningen har længden L vil betingelsen for at laseren overhovedet går i gang være at forstærkningen for en dobbelt-passage af resonatoren, $2Lg_0$, overstiger de samlede tab $t + a$, hvor t er den brøkdelen, der transmitteres gennem udkoblingsspejlet, og a er alle øvrige tab. Hvis nettoforstærkningen $2Lg_0 - t - a$ var konstant ville resultatet være ubegrænset vækst. Forstærkningen må derfor aftage efterhånden som intensiteten vokser, og for at beskrive det kræves yderligere en parameter, der kaldes mætningsintensiteten, I_s . Ligevægt opstår når forstærkningen er faldet til det niveau hvor den lige netop kompenserer for tabene, og det leder frem til et udtryk for laserens udgangseffekt. Modellen indeholder tre ukendte parametre g_0 , I_s og a , og for at bestemme dem indskyder vi i resonatoren en drejelig glasplade, som vist på figur 3. Vi udnytter her at en del af lyset bliver reflekteret ved overgangen fra luft til glas, og igen når det forlader glasset – en effekt der kan iagttages når man fra et oplyst rum ser ud i mørket gennem et vindue. Dette ekstra refleksionstab afhænger af glaspladens orientering, og kan beregnes ved hjælp af Fresnels formler [4]. Analysen af udgangseffekten som funktion af drejningsvinkelen Θ giver en nøjagtig og robust bestemmelse af de tre parametre, og modellen kan herefter benyttes til at forudsige effekten af ændringer, fx af udkoblingsgraden t .



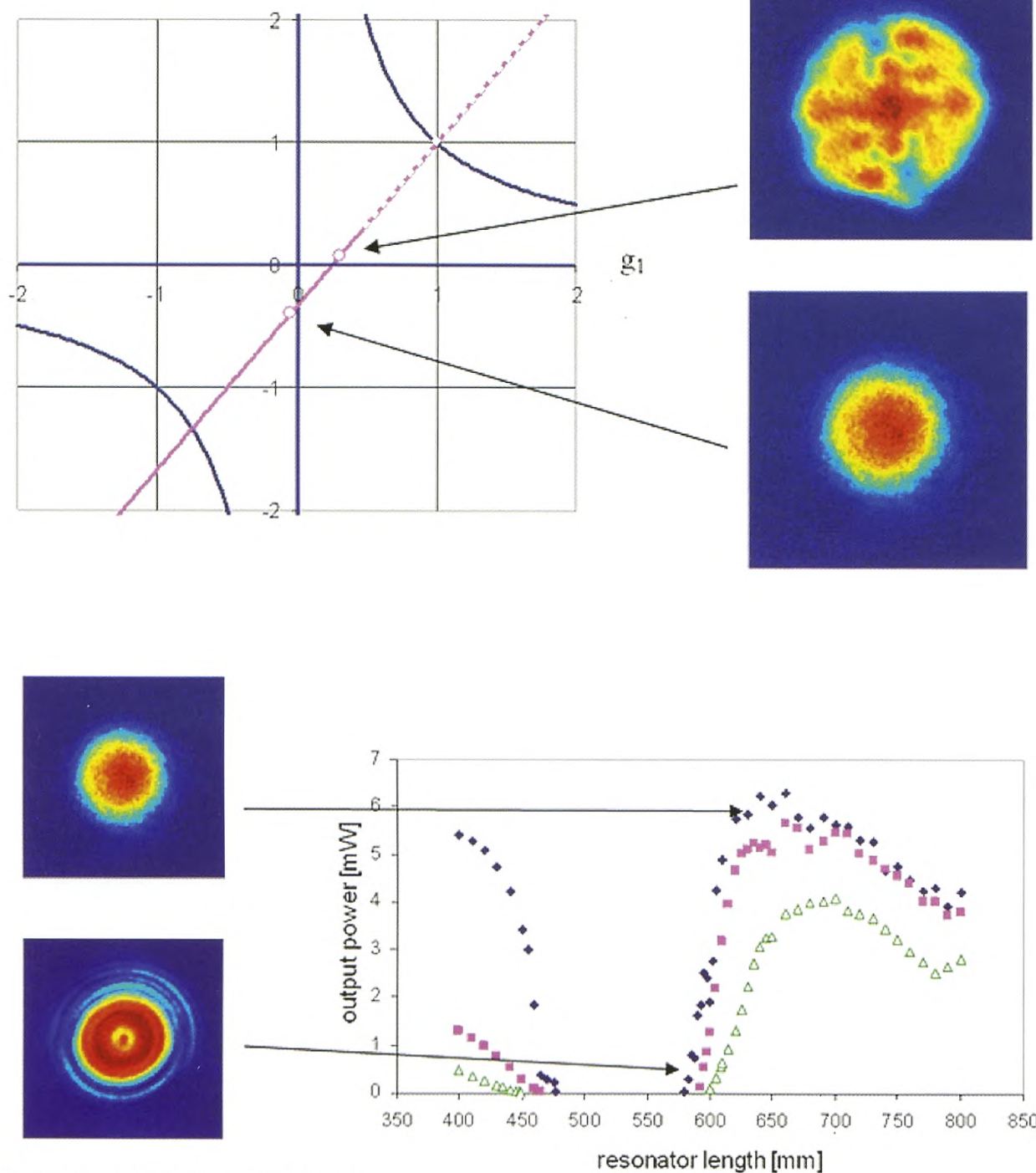
Figur 3. Bestemmelse af modelparametre ved indførelse af kontrollerede tab.

Resonatoren

To sfæriske spejle med krumningsradier R_1 og R_2 i indbyrdes afstand d giver en brugbar laserresonator hvis konfigurationen er stabil, således at en lysstråle der udbreder sig mellem spejlene, forbliver nær akse. Hvis man definerer to parametre $g_1 \equiv 1 - d/R_1$ og $g_2 \equiv 1 - d/R_2$ kan stabilitetsbetingelsen skrives $0 \leq g_1 g_2 \leq 1$, og i et $g_1 g_2$ koordinatsystem giver det et stabilitetsområde der afgrænses af to hyperbelgrene og akserne, som vist på den øverste del af figur 4. I vor laser har de to spejle krumningsradier 0.45 m og 0.6 m,

og ændrer vi d , bevæger vi os langs den fuldt optrukne del af den røde linie i diagrammet. Bredden af de gaussiske løsninger for feltet i resonatoren afhænger af spejlkonfigurationen. I første kvadrant er den så lille at

mange højere ordens modes kan oscillere, og resultatet er en kompliceret multimode oscillation. I 3. kvadrant er bredden så stor at kun den fundamentale mode kan oscillere.



Figur 4. Undersøgelse af resonatorstabilitet.

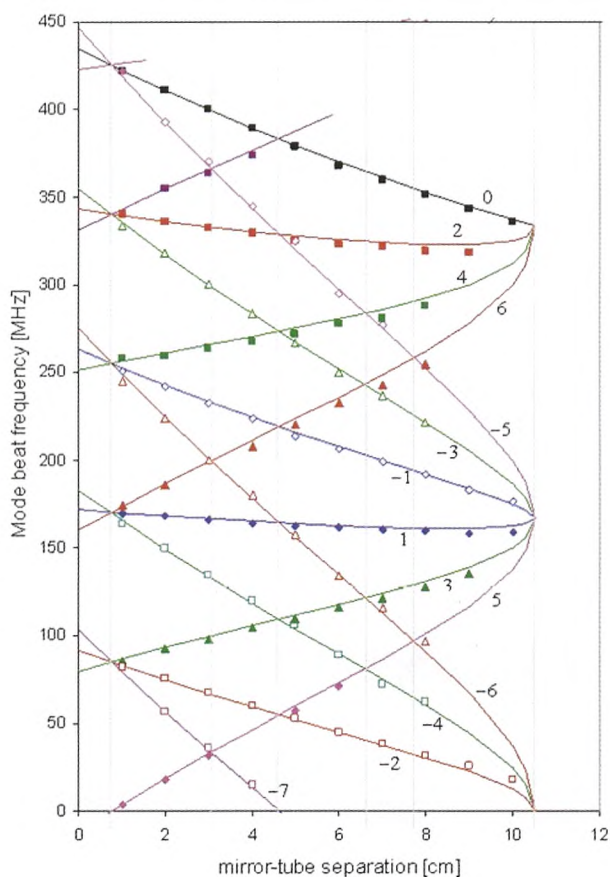
I nederste del af figur 4 følger vi laserens output mens vi ændrer d , og området mellem ca 0.45 m og 0.6 m svarer til at vi krydser igennem 2. kvadrant hvor resonatoren er ustabil. De tre farver svarer til forskellig åbning af blænderen, der er helt åben for de blå symboler. En interessant detalje er at laserens faktisk kan oscillere lidt inde i det ustabile område, men i et ringformet intensitetsmønster, der er langt fra gaussisk. Forklaringen er at udladningsrøret her virker som en hul

dielektrisk bølgeleder således at teorien for gaussiske bølger ikke kan bruges.

Laserfrekvensen

Mens laserlysets rumlige egenskaber kan studeres med det blotte øje, er det noget vanskeligere med dens tidslige egenskaber. De kommer til udtryk i frekvensen, der er så veldefineret at selv det bedste spektrometer ikke yder den retfærdighed. Frekvensen er bestemt af

forstærkningsprofilen for den atomare overgang, med den yderligere betingelse at faser af det optiske felt skal ændre sig med et helt multiplum af 2π for en dobbelt passage af resonatoren. Det sker hver gang frekvensen ændrer sig med $c/2d$ hvor c er lyshastigheden, og betingelsen kan opfyldes flere gange indenfor forstærkningsprofilen. Det betyder at laseren som regel vil oscillere samtidig på to-tre frekvenser, og hvis man sender signalet ind på en fotodetektor vil den respondere på differensfrekvensen $c/2d$. Hvis laserens blænder åbnes helt kan laseren svinge i et stort antal højere ordens modes (jf. figur 2). Det leder til yderligere et antal forskellige differensfrekvenser, og kortlægger man dem som funktion af d , får man et mønster som vist på figur 5, hvor de angivne tal er $n - m$ for modes der giver den pågældende differensfrekvens relativt til den fundamentale mode med $m = n = 0$. De fuldt optrukne kurver er beregnet teoretisk.

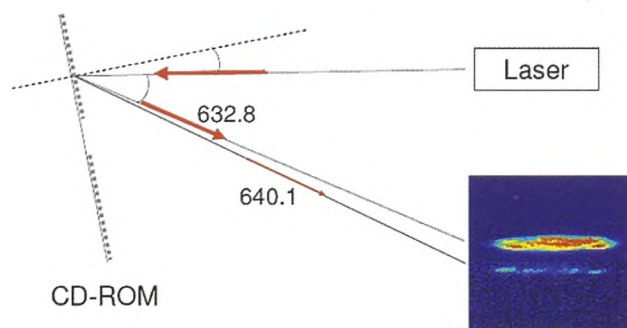


Figur 5. Målte og beregnede differensfrekvenser som funktion af resonatorlængden d .

Andre farver

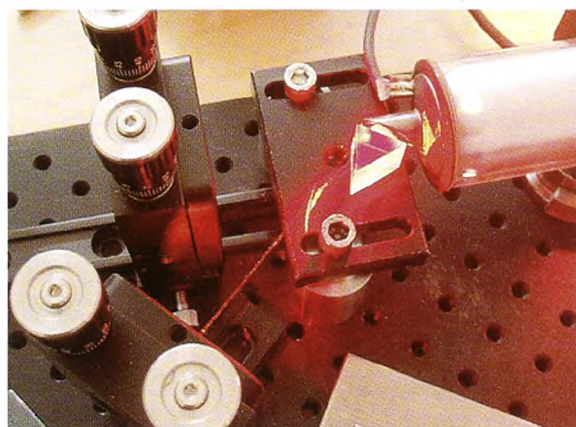
Vi er vant til at en helium-neon laser oscillerer på 632.8 nm. Det skyldes at det er den stærkeste af en familie af mulige laserovergange i Ne atomet, og at den derfor bliver vinder i en "survival of the fittest". Den nærmeste konkurrent har bølgelængden 640.1 nm, og for at få den til at oscillere reducerer vi udkoblingstabene ved at benytte et næsten totalreflekterende udkoblingsspejl. Farveforskellen fra 632.8 nm er for lille til at 640.1 nm kan observeres direkte, men

tager man en CD til hjælp som diffraktionsgitter er den relativt let at finde, som vist på figur 6.



Figur 6. Observation af 640.1 nm med CD som reflektionsgitter.

Næste mulighed er den endnu svagere orange linie på 611.8 nm. Den er for svag til at klare sig i konkurrencen med 632.8 nm, som derfor må undertrykkes. For at opnå det indskyder vi et prisme i resonatoren, således at den kun kan være justeret korrekt for en bølgelængde ad gangen. Konfigurationen er vist i figur 7, hvor laseren dog er justeret til 632.8 nm da den orange linie er for svag til at give synlig lysspredning fra strålegangen i resonatoren.

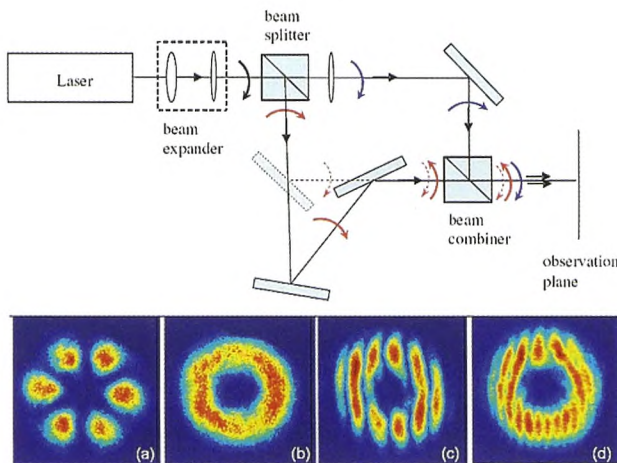


Figur 7. Bølgelængdeselektion med prisme i resonatoren.

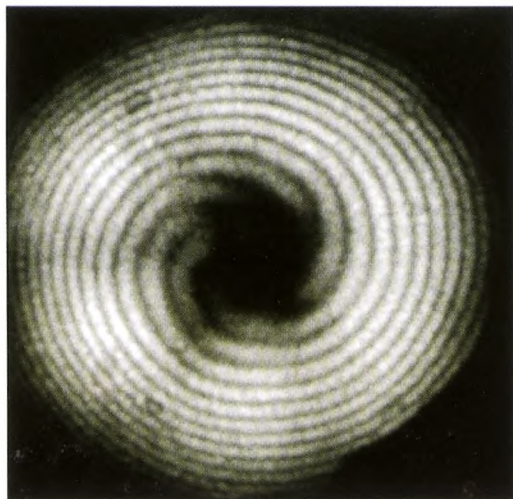
Lys med skrue

Materielle partikler kan have to væsensforskellige typer af impulsmoment, knyttet til henholdsvis spin og banebevægelse. For fotoner er det almindelig kendt at en cirkulært polariseret foton har et impulsmoment på $\pm\hbar$ for henholdsvis venstre- og højre polarisering, i analogi til en partikels spin. Mindre kendt er det at fotoner også kan have et impulsmoment der er analogt til et baneimpulsmoment. I cylinderkoordinater har feltet for en Laguerre-Gauss mode LG_{nm} en fasefaktor $\exp[-i\ell\phi]$, der giver fotonen et impulsmoment på $\ell\hbar$, hvor $\ell \equiv n - m$. Feltet er lineært polariseret, men intensiteten følger en skruelinie i udbredelsesretningen. Til visualisering af denne fasefaktor benytter vi et Mach-Zehnder interferometer som vist i figur 8, hvor strålen er ekspanderet så fasefronterne er næsten plane. Først må vi sikre at kun en enkelt LG mode oscillerer,

og det er ikke så simpelt idet modes med $\pm\ell$ er degenererede og har en tendens til at oscillere samtidig som i (a) hvor $\ell = \pm 3$. Med lidt finjustering kan den ene mode undertrykkes, og man får det ringformede mønster (b) fra en enkelt LG mode. I den normale konfiguration af interferometeret, der er vist punkteret på figur 8, vil de to interfererende signaler have samme helicitet. Når det er tilfældet forsvinder effekten af ℓ og interferensen giver et sæt af parallelle striber (c). Ved hver refleksion i et spejl vendes heliciteten, og hvis vi derfor indfører et ekstra spejl i den ene gren, opnår vi at de to interfererende signaler får forskellig helicitet. Herved ændres interferensmønsteret til (d), hvor faserne fra $\exp[-i\ell\phi]$ adderes til referencefasen foruden, og subtraheres foroven. Udfra forskellen i antallet af striber kan man bestemme ℓ , i det aktuelle tilfælde som $\ell = 0.5(11 - 5) = 3$. Alternativt kan man med en linse gøre fasefronterne i den ene gren sfæriske. I det normale Mach-Zehnder giver det et interferensmønster af koncentriske cirkler hvor igen effekten af ℓ er fraværende. Men indskyder vi det ekstra spejl viser ℓ sig gennem et mønster af 2ℓ sammenflettede spiraler, som det ses i figur 9.



Figur 8. Mach-Zehnder interferometer til visualisering af LG modes med resultater for LG₃₀.



Figur 9. Spiralformet interferensmønster fra LG₃₀.

Kommentar

Ideelt forudsætter det skitserede forløb et miljø hvor de studerende kan arbejde parallelt i grupper på 3-4 på hver sin arbejdsplads, og hvor indretning og AV udstyr tillader momentane skift mellem eksperimentelt arbejde og gennemgang af den bagved liggende teori, uden at de studerende behøver at flytte sig. Den nuværende opsplitning af teoretiske og eksperimentelle elementer i undervisningen er i stor udstrækning dikteret af undervisningsformerne som de var for et halvt århundrede siden. Det nye Niels Bohr Institut der tegner sig i horisonten, giver en oplagt mulighed for nytænkning. Og set i forhold til de sidste mange års investeringer i forskningsfaciliteter vil omkostningerne være minimale.

Sluttelig vil jeg gerne kreditere Monika Kovacic og Morten A. Medici, der i et førsteårs projekt afprøvede nogle af eksperimenterne, og Bjørn Friis Johannsen for værdifuldt input fra didaktikken.

Litteratur

- [1] Jes Henningsen, Teaching laser physics by experiments, *Am. J. Phys.* **78** (11), November 2010 (planlagt).
- [2] <http://dx.doi.org/10.1119/1.3488984>
- [3] Murray R. Spiegel and John Liu, Mathematical handbook of formulas and tables, Schaum's outlines, McGraw-Hill.
- [4] E. Hecht, *Optics*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1987.



Jes Henningsen har arbejdet med forskning og undervisning i fysik siden 1963, fra 1972-1990 ved daværende Fysisk Laboratorium I ved HCØ, hvor han blev dr.scient. i 1984. Fra 1990-2006 arbejdede han med optisk metrologi ved Dansk Fundamental Metrologi på DTU, og siden 2006 har han igen været tilknyttet KU, nu NBI hvor han bl.a. har varetaget undervisningen i atomfysik. Email: jes.henningsen@get2net.dk.

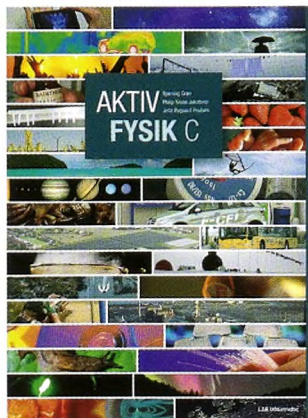
Aktuelle bøger

Af Michael Cramer Andersen

Ny bog til fysik C

Af: *Bjarning Grøn, Philip Kruse Jakobsen og Jette Rygaard Poulsen*
"Aktiv Fysik C"

L&R Uddannelse 2010
211 sider, illustreret
300 kr. (288 kr. online)
<http://www.lru.dk>.



Denne lærebog er skrevet til fysikundervisningens obligatoriske niveau (C) i det almene gymnasium. Som titlen afslører, understøtter bogen en undervisning hvor eleverne arbejder aktivt med eksperimentelle undersøgelser både i fysiklaboratorierne i skolen, men også i dagligdagen. Der er således 36 små problemorienterede artikler som dækker det almindelige krav i faget. Det bærende i bogen er dog de tre dele af kernestoffet: 1) Energi og stof 2) Lys og lyd og 3) Fysikkens verdensbillede.

Bogen er opbygget med det udgangspunkt, at der indenfor hvert hovedområde er en begrænset mængde begreber og teorier, der til gengæld kan anvendes på et utal af problemstillinger. Anvendelserne kommer først og derefter teorien.

Indenfor emnet "Energi og stof" er der således 67 sider om bl.a. energiomdannelse, kolde og varme ting, temperaturskalaer, varmestråling, klimaændringer, vand på Mars, vedvarende energi, brintbiler, strålingsbehandling, Tjernobylulykken og meget meget mere. Derefter kommer der 12 sider med "Fysikken bag – Energi og stof". Her er alle formlerne samlet meget overskueligt, med forklaring af begreber som: Densitet, Energi, Effekt, Temperatur, Tilstandsformer og Ioniserende stråling.

Hvis man begynder at læse bogen fra start til slut kan man altså godt blive ret forvirret. Det kunne have været en fordel at indlede hele emnet med en kort oversigt over hvilke begreber der er centrale samt hvilke typer af problemer der kan behandles med disse begreber. Man kan ikke nå at gennemgå alle opslagene, som både har tænke- og regneopgaver og mange små forsøg. Der skal altså udvælges relevante artikler og aktiviteter og eleverne skal styres om til samlingen af formler, så de centrale begreber trænes.

Under hovedområdet "Lys og lyd" findes mange spændende artikler og aktiviteter om bl.a. CD'en, laseren, lyslederen, glødepæren, solbadning og nordlys. Der er en ligeså varieret række af anvendelser indenfor lyd. I "Fysikken bag – Lys og lyd", er der 14 sider med formler for: Bølger, Interferens, Brydning og spejling, Det elektromagnetiske spektrum, Lys og energi, Bohrs atommodel, Wiens forskydningslov, Dopplereffekt, Stående bølger og Overtoner.

De første to hovedemner kan godt virke lidt rodede – primært fordi der er så mange forskellige anvendelser af henholdsvis Stof og energi og Lys og lyd. Det virker derfor helt befriende, at der i det tredje hovedemne "Fysikkens verdensbillede" er en indbygget kronologi. Emnet indledes med en gennemgang af Atomets historie, hvor der over 6 sider fortælles om mange vigtige opdagelser: Fra Røntgenstråler, Radioaktivitet og Elektronen over Bohrs atommodel, Schrödinger-ligningen og Neutronen til Kvarker. Det er imponerende at Schrödinger-ligningen har fået lov til at komme med, med alle dens mærkelige symboler uforklaret. Hatten af for det! Emnet fortsættes med Rumfart, Månen, Den nære astronomi, Historiske (geocentriske/heliocentriske) modeller for Solsystemet, Jordens alder, Supernova, Universets udvidelse og Large Hadron Collider. Konspirationsteorierne om hvorvidt der har været astronauter på Månen bliver beskrevet og får mere plads end egentlige fysiske detaljer om Månen. Det er helt på sin plads, da mange elever kommer med fordomme af denne art som først skal bearbejdes før de er parat til at lære om de resultater der blev opnået ved månemissionerne (hvis de altså har fundet sted :-).

En ting man savner er forslag til lidt større rapportforsøg, som er nødvendige for at træne elever der vælger at gå videre på B-niveauet. Der er masser af små elevaktiverende øvelser, men man må også starte på fagets mere formelle træning i systematisk eksperimentelt arbejde og rapportering af dette allerede på C-niveauet. Dette skal altså tænkes ind i undervisningen.

Det er en imponerende samling af viden, der er presset ned på de 211 sider. Bagest er der foruden et register en nyttig oversigt over præfixer, fysiske størrelser og enheder samt konstanter. Bogen er rigt illustreret hele vejen igennem.

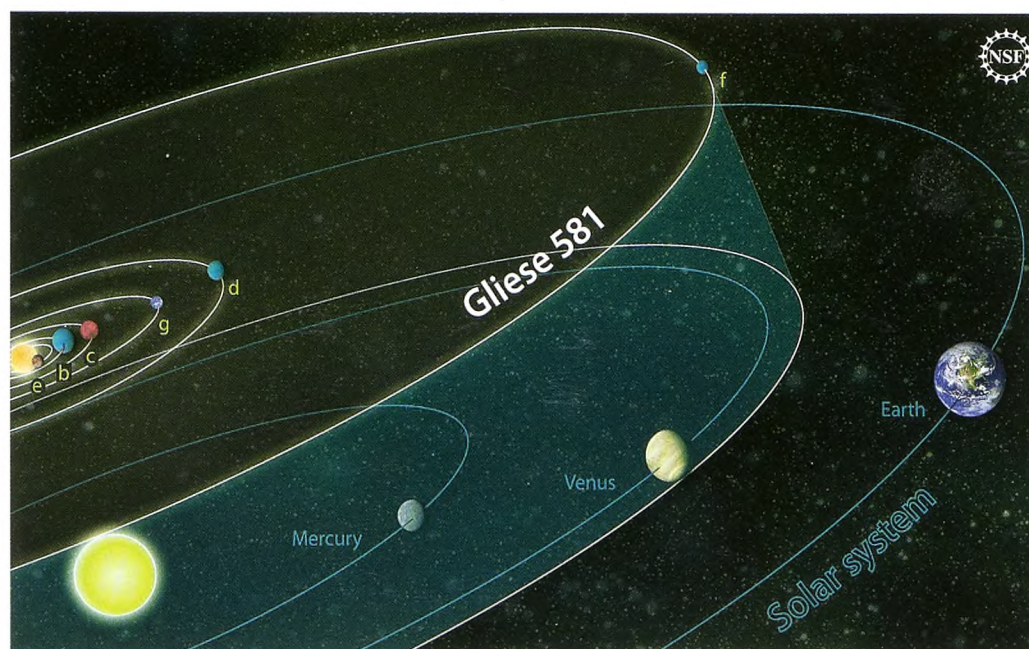
Bortset fra, at man savner en introduktion til hvert af de tre hovedområder i bogen og der mangler forslag til rapportøvelser, virker indholdet meget spændende og inspirerende både for læreren og forhåbentlig også eleverne.



Beboelig exoplanet?

Astronomer har fundet tre planeter, der kredser omkring en anden stjerne. Det er måske ikke en stor nyhed, hvis det ikke var fordi en af planeterne er på størrelse med Jorden og ligger i værtsstjernens beboelige zone. I denne zone er der mulighed for forekomsten af flydende vand på exoplanetens overflade. Stjernen hedder Gliese 581 og er en rød dværgstjerne, hvilket gør den væsentlig koldere end Solen. Den ligger i Solsystemets umiddelbare nærhed i en afstand af 20,4 lysår. Exoplaneten har fået navnet Gliese 581g, og den er omkring tre gange tungere end

Jorden. Dens vægt betyder at den kan holde på sin atmosfære. Det er dog ikke sikkert, at Gliese 581g har en tilstrækkelig tæt atmosfære. Er der ikke en tæt nok atmosfære, vil lufttrykket være lavt, og da vands kogepunkt afhænger af lufttrykket, vil der ikke være noget flydende vand. Af de seks planeter, der kredser omkring Gliese 581, er Gliese 581g den mest interessante, da den er potentielt hjemsted for liv. Det er dog kun en mulighed, og jagten på liv udenfor Jorden er stadig i gang. Se forsiden af bladet for en kunstners indtryk af planeten.



Nye observationer, der er udført over 11 år med Keck-teleskopet på Hawaii, har resulteret i opdagelsen af en potentiel beboelig planet. Opdagelsen er gjort ved at analysere den radiale hastighed af stjernen Gliese 581 i stjernebilledet Vægten. De radiale hastigheder er fundet med HIRES spektrometeret. Figuren viser en tegning af planetsystemet omkring Gliese 581 (øverst) sammenlignet med de inderste tre planeter i vores eget solsystem (nederst).