



Dansk Rumfart

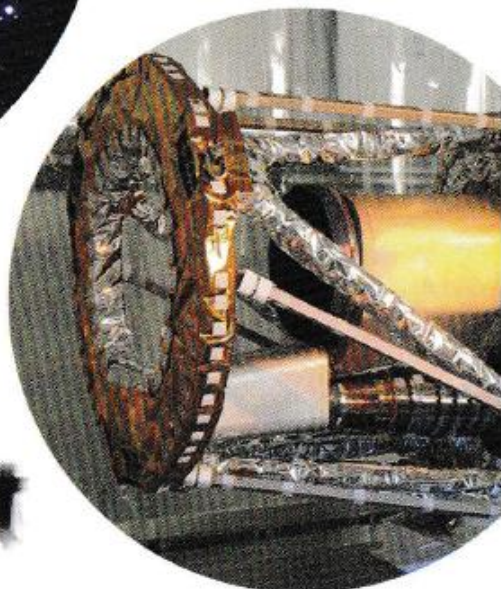
Temannummer ESAs missioner for rumbaseret astronomi



Infrarød
astronomi



Hipparcos
og
GAIA



Indhold

Rumbaseret astronomi med fokus på ESA	2
Infrarød astrofysik fra rummet - Studiet af de fjerneste, koldeste og mest 'beskidte' objekter i universet	4
Gaia - en astronomisk hjørneste	8
COROT: Stjernernes musik og planeternes dans	13
Medlemsundersøgelse	17
Venus er målet	17

Rumbaseret astronomi med fokus på ESA

af Finn Willadsen, Dansk Selskab for Rumfartsforskning, e-mail: finn@rumfart.dk

Det er ikke mere end hundrede år siden, at al vores viden om universet udenfor Jorden stammede fra elektromagnetisk stråling i et tyndt bånd omkring det synlige lys. Senere i 1930-erne kom de første radioteleskoper og efter anden verdenskrig begyndte amerikanerne opsendelser med V2-raketter til forskningsmæssige formål. Det blev indledningen til den rumbaserede astronomi. Rumbaseret astronomi er således kun omkring et halvt århundrede gammel.

At en udvidelse af det tilgængelige spektralområde er gået fra et smalt bånd til hele det elektromagnetiske spektrum, har betydet en eksplosion i mængden af astronomiske data og observationsmuligheder. Så er

udvidelsen af spektralområdet endda ikke hele historien, idet det også er blevet muligt at måle forskellige former for partikelstråling bestående af forskellige atomkerner ikke mindst protoner. Det er en omvæltning i de astronomiske observationsmuligheder, der overgår introduktionen af kikkerten i 1600-tallet.

At anden halvdel af det 20. århundrede har betydet en sand revolution af astronomien, er ingen overdrivelse. Oven i udvidelserne af strålingstyper og det spektrum, som astronomer kan observere, har det yderligere vist sig, at det har været muligt at udvikle og bygge instrumenter, som på sindrig vis

Redaktionelt

Udgiver: Dansk Selskab for Rumfartsforskning
Dansk Rumfart nummer 65, december 2005
Deadline til Dansk Rumfart nr. 66: 1. februar 2006.

Ansvarshavende redaktør

Thim Nørgaard Andersen
Parmagade 44, 3.tv.
2300 København S
Tlf. 32 84 56 37
e-mail: thim@rumfart.dk

Kontakt redaktionen

e-mail: redaktion@rumfart.dk

ISSN 0905-2410

Redaktion

Finn Willadsen & Thim Nørgaard Andersen
(ansvarshavende redaktør)

Forsiden

GAIA-missionen, COROT (foto og illustrationer: ESA)
Plejaderne (foto: John Chumack). Spitzer-teleskopet
(illustration: NASA).

Bagsiden

Venus vil blive undersøgt af Venus Express. Lidt stemningsbilleder fra tidligere missioner. (foto: NASA/ESA).

Tryk

Prinfo Kolding A/S

udnytter forholdene i rummet. Dette vil fremgå af nogle af artiklerne i dette nummer. På figur 1 er det elektromagnetiske spektrum vist. Synligt lys og store dele af radiobølgerne kan iagttages fra jordoverfladen, i hvert fald i princippet. I praksis sætter samfundets brug af elektromagnetisk stråling til kommunikation grænser for astronomernes observationer. Andre dele af spektret såsom f.eks. megen røntgenstråling og infrarødt lys kan kun iagttages fra rummet. De beskrevne missioner dækker kun en lille del af spektret. Andre missioner dækker andre dele af spektret; men at beskrive alle disse observationer ville ikke kunne rummes et enkelt nummer af Dansk Rumfart.

Danmark er kun et lille land både hvad angår areal, økonomi og befolkning, alligevel har danske forskere og teknikere været involveret i centrale dele på en række banebrydende rummissioner med astronomiske formål. Mange af disse missioner er foretaget af ESA, det europæiske rumsamarbejde, og det er kun et lille udsnit, der præsenteres i dette nummer. Bidragene er skrevet af førende danske forskere, der sidder eller har siddet central placeret indenfor missionernes videnskabelige og tekniske del. Så selvom nummeret ikke kan gøre krav på at være dækkende og langt fra alle betydningsfulde missioner og resultater er omtalt, skulle det alligevel give et godt indtryk af de nye opdagelser og den nye viden missionerne har givet og fortsat vil give.

Interessen for videnskabelige resultater fra rummet om rummet har i den store offentlighed ofte været domineret af udforskningen af andre planeter i vores eget Solsystem. Det skyldes uden tvivl, at det appellerer mere til fantasien når man kan fortælle om opdagelser af nye verdener. Det er ligesom de store opdagelsesrejser århundreder tilbage. Imidlertid skulle nærværende nummer fortælle at også på området rumbaseret astronomi er der opnået yderst bemærkelsesværdige resultater.

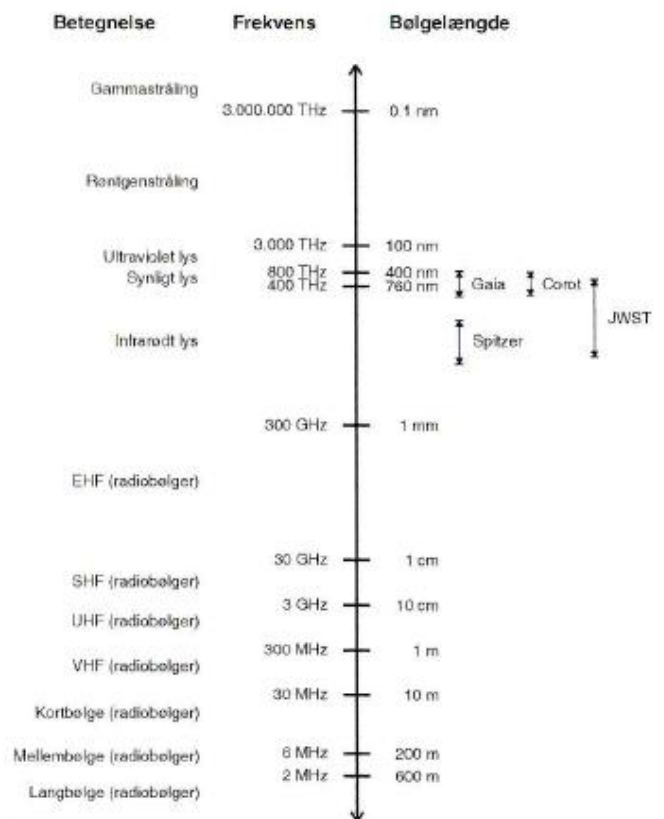


Fig. 1. Det elektromagnetiske spektrum. Til højre ses de område missionerne omtalt i dette nummer ser i.

Studiet af planeterne Mars og Venus var engang en del af astronomien. Nu kan man studere forholdene på stedet og studiet af planeterne kan ikke ubetinget henføres under astronomien. Dog har f.eks. Hubble rumtelesopet foretaget studier af planeter i vores eget Solsystem. Derfor har vi en lille notits om ESAs mission til Venus for ligesom at knytte forbindelsen bagud i tid.

Når man diskuterer en række generelle spørgsmål såsom universets opståen, universets alder, Solsystemets dannelse og muligheden for højere liv andre steder i universet, så er den videnskabelige basis fremkommet ved astronomiske observationer. Mange af de betydningsfulde observationer er i dag fremkommet ved rumbaseret astronomi. Et lille nummer som dette kan ikke gøre krav på at være dækkende og der er også betydningsfulde resultater, der ikke er berørt. Nummeret skulle på den anden side give et godt indtryk af nogle betydningsfulde missioner.

Infrarød astrofysik fra rummet - Studiet af de fjerneste, koldeste og mest 'beskidte' objekter i universet

af Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen, Danmarks Rumcenter

Alle objekter i universet udsender infrarød elektromagnetisk stråling, som jo ligger uden for det område, som vores øjne er følsomme for. Dette betyder f.eks., at også astronomiske kikkerters (spejle, ophængssystemet, detektorer etc.) udsender infrarødt lys, som giver en masse generende støj, når vi vil studere strålingen fra objekter på himlen. For at begrænse denne støjkilde mest muligt er det nødvendigt at køle hele kikkerten ned. Når hertil kommer, at Jordens atmosfære absorberer infrarød stråling meget effektivt, har infrarød astronomi været drevet af mulighederne af at sende instrumenter op med satellit.

Der har derfor været opsendt en lang række satellitter, hvis vigtigste formål har været at undersøge den infrarøde stråling fra kosmiske objekter. De første satellitter f.eks. ANS og IRAS gennemmonstrede hele himlen primært for at finde ud af, hvilke typer af astronomiske objekter der udsender store mængder infrarødt lys. De næste satellitter, f.eks. ESAs ISO, kunne så studere strålingen fra udvalgte kilder i større detalje. Hermed har man fået indblik i, hvor den infrarøde stråling stammer fra, yderst nyttige informationer, som sammenholdt med observationer i andre bølglængdeområder (f.eks. røntgen, ultraviolet, optisk), har givet en lang bedre forståelse for, hvilke fysiske processer der foregår i disse objekter, herunder hvordan de må udvikle sig på en kosmisk tidsskala.

Det seneste skud på denne serie af satellitter er den amerikanske SPITZER-satellit, opkaldt efter den kendte amerikanske astrofysiker Lyman Spitzer Jr., som var den første, der foreslog at sende astronomiske instrumenter i kredsløb om Jorden.

Kikkerten på SPITZER (diameter af primærspejlet: 85 cm) bliver kølet ned til 35 K vha. flydende helium, mens detektorsystemernes temperatur er 1,5 K. Med SPITZER kan man både lave billeder i det infrarøde med hidtil uset skarphed og studere den infrarøde stråling i stor detalje. Med denne betydelige forbedring af følsomheden er det naturligvis klart, at SPITZER vil give nye spændende informationer inden for de fleste områder af moderne astrofysik. Her skal kun fremhæves et par stykker.

De fjerneste objekter i universet

På grund af universets udvidelse vil den elektromagnetiske stråling, vi plejer at studere fra nære objekter (så som ultraviolet og synligt lys) blive mere og mere rødforskudt jo længere vi går tilbage i tiden. Et af de vigtigste områder i moderne astrofysik er at finde og undersøge de allerførste stjerner og mælkevejssystemer. Så det er helt naturlig, at SPITZER bliver presset til det yderste for at gå så langt tilbage i tiden som muligt.

HUDEF-JD2 blev først set med Hubble Space Telescope i det optiske og nærinfrarøde



Fig. 1. SPITZER-satellitten

område, men det er først med SPITZERs infrarøde data, at vi er sikre på at denne galakse bliver set ca. 800 millioner år efter Big Bang. Med jordisk standard lyder det selvfølgelig af meget, men når vi tænker på at Big Bang skete for ca. 13 milliarder år siden, så er der tale om en meget ung galakse. Galaksen vejer ca. 8 gange så meget som vores eget Mælkevejssystem. Det er ganske overraskende, at en så stor galakse allerede er dannet på så tidligt et tidspunkt.

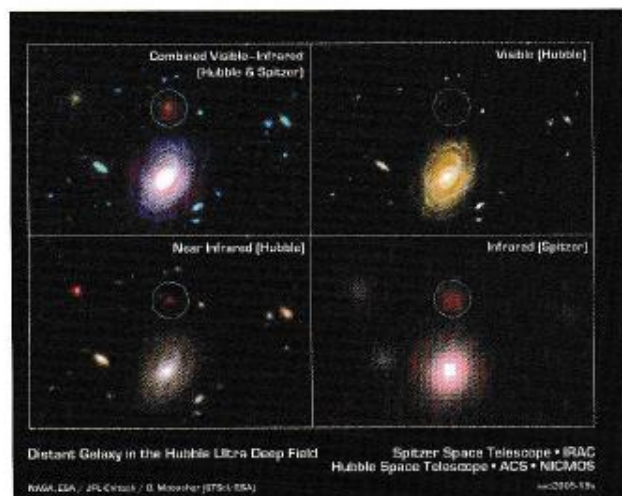


Fig. 2. En af de fjerneste kendte galakser: HUDF-JD2 observeret med SPITZER

De koldeste objekter i universet

Nogle af de koldeste objekter i universet er de såkaldte brune dværge. Det er stjerner, men de er kun fra 10 til 100 gange tungere end Jupiter (Solen vejer omkring 1000 gange mere end Jupiter). Temperaturen i de centrale dele af den brune dværg bliver derfor aldrig høj nok til, at brinten kan blive lavet om til helium og dermed frigive en masse energi. Disse objekter er naturligvis blevet studeret nøje med SPITZER. Med SPITZER er det oven i købet lykkedes at finde brune dværge med skiver omkring. Disse skiver har også meget lave temperaturer og er dannet i sammenfaldet af den oprindelige gassky. SPITZER har vist, at disse skiver indeholder de samme støvkorn og krystaller som skiver omkring mere almindelige stjerner. Ud fra

vores nuværende forståelse af dannelse af støv og krystaller er det overraskende, at de også bliver dannet i forbindelse med dannelse af så små objekter som brune dværge.

De mest 'beskidte' objekter i universet

Mange objekter i universet er gemt bag et tyk lag støv og gas, som absorberer det meste af det udsendte lys, hvilket betyder at vi ikke kan studere dem med vores almindelige kikkerter. Men det absorberede lys bliver genudsendt i det infrarøde område, så herfra kan vi få informationer om de fysiske forhold i kilderne. Mange nydannede stjerner, inklusive skiverne omkring dem, er helt indhyllet i resterne af den oprindelige gassky, og derfor kun observerbare i det infrarøde.

Meget tyder på at der i centrene af de fleste galakser findes sorte huller (kaldet kvasarer) med masser svarende til mere end 100 millioner gange Solens masse.

Selvfølgelig kan vi ikke se de sorte huller direkte, men stof, der er ved at blive opslugt af det sorte hul, vil blive opvarmet og dermed udsende en masse energi i form af elektromagnetisk stråling. Noget bliver udsendt i røntgenområdet, men det meste

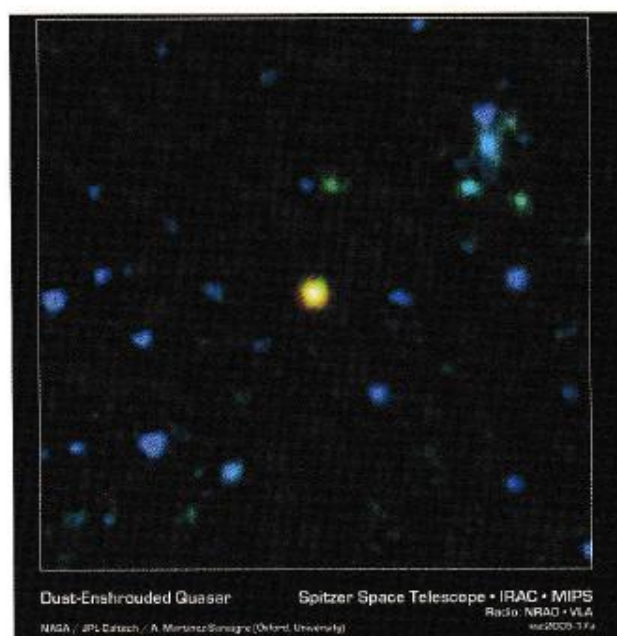


Fig. 3. En kvasar helt indsvøbt i støv og gas detekteret i det infrarøde med SPITZER

bliver udsendt som almindeligt lys. Men lyset fra mange af disse sorte huller bliver stoppet på vejen af støv og gas, enten i skiven omkring det sorte hul, eller i galaksen, hvori det sorte hul ligger. Med SPITZER er det lykkedes at finde en række sorte huller, som man kun har set i røntgenområdet (nogle røntgenstråler kan gå gennem betydelige mængder af støv og gas). Med SPITZERs observationer har vi fået et mere fuldstændigt billede af, hvordan og hvor disse sorte huller bliver dannet i universet.

James Webb Space Telescope

Ingen, der bare har fulgt lidt med, kan være i tvivl om, at Hubble Space Telescope (HST) har haft en kolossal betydning inden for de fleste områder af moderne astrofysik. Men HST er efterhånden gammel og nedslidt, derfor er NASA og ESA allerede i gang med at forberede efterfølgeren. Denne har fået navnet James Webb Space Telescope (JWST), ikke som sædvanlig opkaldt efter en berømt astronom, men efter den hovedansvarlige for hele det amerikanske Apollo-projekt, som jo førte til landsætningen af de første mennesker på Månen.

Som fremhævet ovenfor bliver udviklingen i astrofysikken mere og mere drevet af observationer i det infrarøde område. HST var ikke følsomt i dette område, men efter HSTs flotte resultater er det helt klart, at næste generation af rumteleskoper skal optimeres for dette område.

Primærspejlet på JWST (diameter på ca. 6 m) består af 18 segmenter, og bliver først foldet ud, når satellitten er uden for Jordens atmosfære. Bag ved kikkerten bliver der tre instrumenter: et nærinfrarødt kamera (NIRCam, leveres af NASA), en nærinfrarød spektrograf (NIRSpec, leveres af ESA) og et midtinfrarødt kombineret kamera og spektrograf (MIRI, leveres af et konsortium af europæiske institutter med bidrag fra NASA

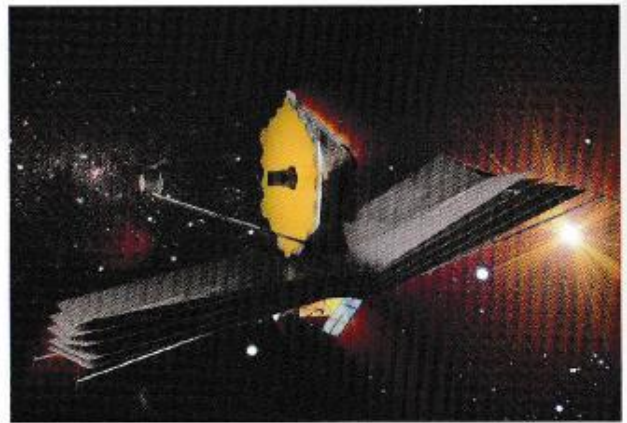


Fig. 4. James Webb Space Telescope

og ESA).

Danmarks Rumcenter deltager i MIRI-konsortiet. Vi er ansvarlige for det avancerede ophængssystem. Dette system skal sørge for at MIRI, under de ekstreme påvirkninger under opsendelsen, bliver hvor den skal være. Det andet hårde krav er, at systemet skal sørge for, at MIRI har en temperatur på under 7 K, mens fastgøringspunkterne har en temperatur på 40 K. Systemet bliver lavet i et optimeret kulfiberdesign i samarbejde med ACE/XPERION, Fredericia.

Science med JWST

Ligesom med SPITZER vil JWST også betyde mere end en størrelsesorden forbedring i følsomhed i den infrarøde område og dermed naturligvis give nye spændende resultater inden for de fleste områder af moderne astrofysik.

En af hovedbegrundelserne for JWST overfor NASA og ESA har været udsigten til at opdage de første stjerner og mælkevejssystemer i universets udvikling. Der er derfor ingen tvivl om, at JWST vil blive presset til det yderste for at finde disse objekter. Til at afgøre om det, JWST har fundet, rent faktisk drejer sig om de første stjerner, vil observationer med MIRI være helt afgørende. Et andet meget vigtigt område er naturligvis eftersøgningen efter planeter og skiver omkring stjerner, hvor også MIRI vil spille en central rolle.

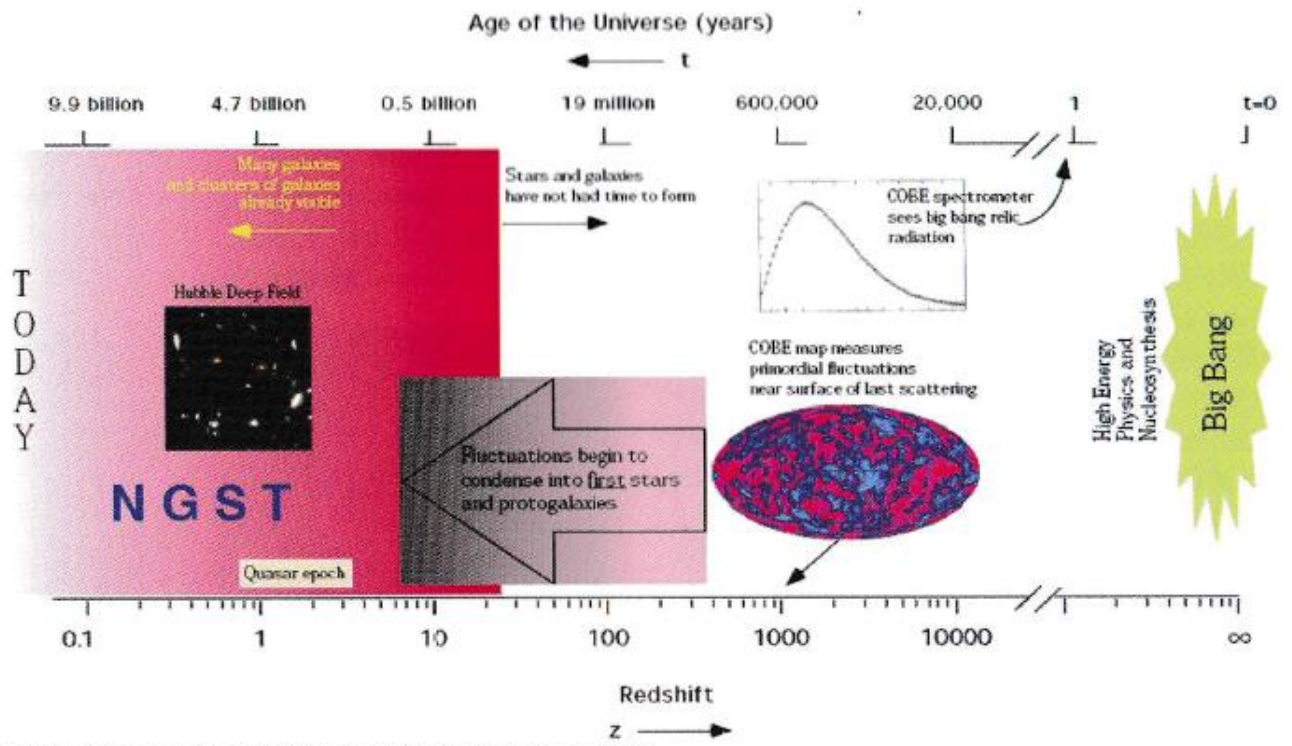


Fig. 5. En skitse over universets udvikling, hvor JWSTs arbejdsområde er angivet

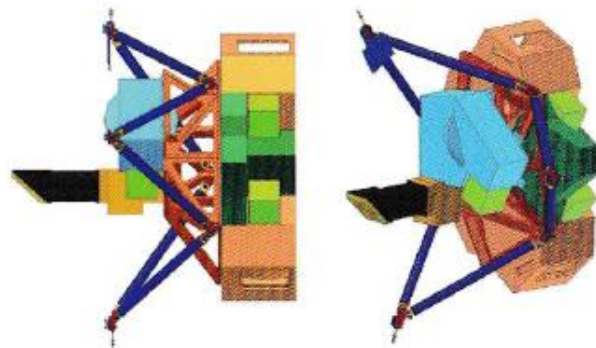


Fig. 6. Mid Infrared Instrument

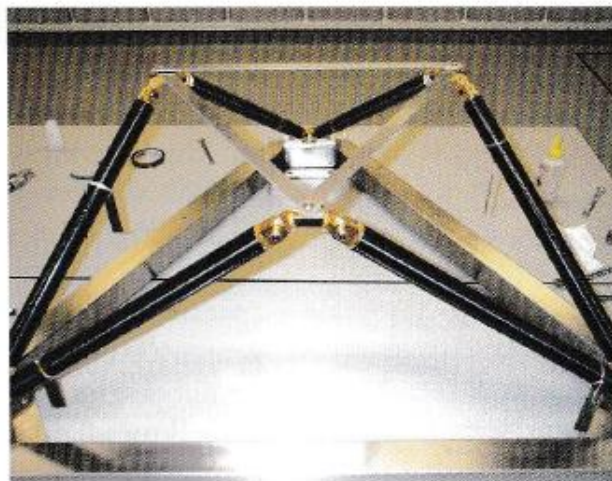


Fig. 7. MIRI Primary Support Structure

Gaia - en astronomisk hjørnesteen

af Erik Høg, dr. scient., Emeritus, Niels Bohr Institutet. Medlem af Gaia Science Team og formand for arbejdsgruppen for fotometri

Rumbaseret astrometri med Hipparcos og Gaia

Med opsendelsen af Hipparcos satellitten i 1989 åbner ESA et nyt videnskabeligt område for anvendelse af rumteknologi. Astronomiske målinger fra rummet havde ellers altid handlet om stråling, der ikke kan trænge igennem Jordens atmosfære: gamma, røntgen ultraviolet og infrarød stråling og kosmisk partikelstråling. Hipparcos derimod skulle detektere optisk stråling, det traditionelle område for astronomi, idet den skulle udføre astrometri. Det betyder at måle nøjagtige retninger til stjernerne, af astronomer kaldet positioner. Måles positionerne for en stjerne i nogle år, kan man beregne dens bevægelse på himlen og dens afstand. I 2011 vil ESA opsende en ny astrometrisk satellit, Gaia, som vil give meget større nøjagtighed for mange flere stjerner end Hipparcos og desuden måle stjernernes rumhastighed og astrofysiske egenskaber.

Ideen med Hipparcos var især, at måling uden for Jordens atmosfære ville kunne undgå de variationer i retningen til en stjerne, som lysets passage gennem atmosfæren giver. Denne lufturo er årsag til fejl i astrometri med selv de nøjagtigste teleskoper på Jorden.

En anden fordel er, at man fra en satellit kan måle hele himlen, mens man fra et observatorium på Jorden kun kan nå en del af himlen. Til gengæld for fordelene har man andre udfordringer med en satellit: Fx byder den ikke på en stabil basis for et teleskop, som Jordkloden gør, og den befinder sig i fuldt sollys det meste af tiden. Så der var teknologiske udfordringer at overvinde, før man kunne erobre rummet for astrometri.

Astrometri var hovedsagen i astronomi siden oldtiden lige indtil for et hundrede år siden, da astrofysik tog over gennem anvendelse af

den dengang nye atomfysik. Satellitten blev kaldt Hipparcos efter den græske astronom Hipparchos, men navnene skrives med henholdsvis -cos og -chos.

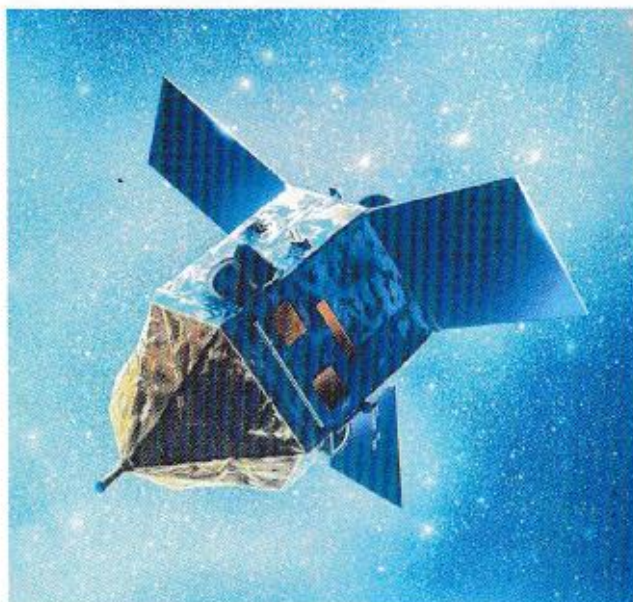


Fig. 1. Hipparcos – den første astrometriske satellit – 1989-1993. Måler på tre år afstande til 120.000 stjerner op til 1000 lysår. Satellitten leverer 2,5 millioner stjerner til Tycho-2 kataloget, der indeholder positioner, egenbevægelser og lysstyrker i to farvebånd, B og V, svarende til blåt og grønt.

Hipparcos missionen blev vedtaget af ESA i konkurrence med andre forslag til satellitter på møder i ESAs rådgivende komiteer i 1980. Hipparcos stødte naturligt nok på modstand fra nogle forskere, der mente at deres område af det elektromagnetiske spektrum stadig fortjente den største opmærksomhed. Men de mest fremsynede vandt med et knapt flertal, og Hipparcos observationerne fra 1989-93 overgik alle forventninger, både med hensyn til nøjagtighed og antal af målte stjerner. Der blev målt positioner, bevægelser og afstande (parallakser) for 120.000 stjerner mod forventet 100.000, med en typisk nøjagtighed på 1 millibuesekund; 1 buesekund = $1/3600$ grad = 5 mikroradian. Desuden blev 2,5 millioner stjerner målt i Tycho eksperimentet, som slet ikke var planlagt ved missionens vedtagelse i

1980. Tycho blev foreslået af forfatteren året efter, idet det kunne udføres på Hipparcos, hvis man indførte nogle små ændringer i konstruktionen, og det blev hurtigt godkendt af ESA. Tycho gav en typisk nøjagtighed på 30 millibuesekunder, altså bedre astrometri end observationer fra Jorden, dog ikke så nøjagtig som for de 120.000 Hipparcos stjerner.

Videnskabelige publikationer på basis af Hipparcos og Tycho katalogerne omfatter de fleste astronomiske emner. Det blev til over 1000 publikationer alene i de første tre år, fx om den kosmiske afstandsskala, aldersparadokset (Universet er ældre og stjernerne yngre end man før troede), mælkevejens struktur og udvikling, dobbeltstjerner, kvasarer, referencesystemet, variable stjerner og asteroider.

Ledende dansk deltagelse i Hipparcos begyndte i 1975 med syv forslag fra forfatteren til satellittens konstruktion, som senere blev implementeret, og deltagelsen fortsatte til publikationen af resultaterne i 1997, finansieret af Rumudvalget og Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd. Det første Tycho katalog blev publiceret i 1997 og indeholdt "kun" 1 million stjerner, men med den større regnekraft, vi efterhånden rådede over, og med støtte fra Velux-fonden kunne vi få endnu mere ud af de samme observationer. I 2000 kunne vi derfor publicere Tycho-2 kataloget med positioner, bevægelser og lysstyrker i de to spektralområder B og V for himlens 2,5 millioner lysstærkeste stjerner.

Universets indhold

Himlens - Universets - indhold af stjerner, planeter, galakser, kvasarer osv. må gøres op, katalogiseres, som en nødvendig forudsætning for efterfølgende undersøgelser af de enkelte objekters bevægelser, afstande og fysiske egenskaber. Den græske astronom Hipparchos, den videnskabelige astronomis grundlægger, lavede et katalog

med 1000 stjerner omkring 150 f.Kr. Tycho Brahe stilede 1700 år senere også mod at måle nøjagtige positioner for netop 1000 stjerner. Det lykkedes strålende, som man ser i diagrammet, der viser nøjagtigheden af de bedste astrometriske kataloger gennem 2000 år. Tycho Brahes måling af planeternes positioner fik enestående nøjagtighed, fordi han benyttede de 1000 stjerner som referencepunkter på himlen. Nøjagtigheden og de stadige observationer fra Hven over den lange periode på 20 år, 1576-1596, var afgørende for Johannes Keplers opdagelse af lovene for planeternes bevægelse og for Isaac Newtons arbejde.

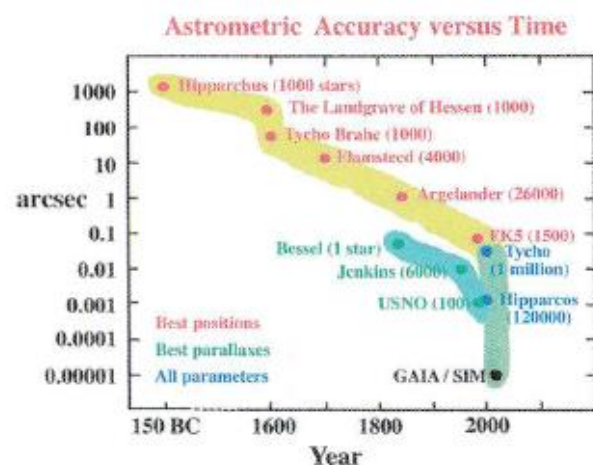


Fig. 2. Målefejl for positioner i de nøjagtigste stjernekataloger. Tycho Brahe forbedrer nøjagtigheden med et spring. Efter fire århundreder med en mere gradvis forbedring opnås et meget større spring i nøjagtighed med ESAs satellit, der giver os Hipparcos og Tycho-2 katalogerne med i alt 2,5 millioner stjerner. Afstande (parallakser) måles af Hipparcos og Gaia med samme nøjagtighed som positioner. (Udarbejdet af forfatteren i 1995, farvelagt hos ESA.)

Nutidens kataloger indeholder op til 1000 millioner stjerner baseret på fotografiske optagelser fra hele 1900-tallet. Som referencesystem tjener Tycho-2 kataloget med 2,5 millioner stjerner, men nøjagtigheden af de store kataloger ligger alligevel kun omkring et buesekund, fordi de er jordbaseret, mens den typiske nøjagtighed for Hipparcos og Tycho som nævnt er henholdsvis 1 og 30 millibuesekunder.

Nøjagtigheden af de rumbaserede observationer med Gaia satellitten vil være



Fig. 3. Gaia satellitten til astrometri og fotometri af 1000 millioner stjerner.

størrelsesordener bedre, for stjerner klarere end 15. størrelsesklasse typisk 0,01 millibuesekund, og for svagere stjerner typisk 0,1. Desuden måles lysstyrken af alle stjerner i mange udvalgte områder af spektret fra omkring 330 til 1000 nanometer, således at alle stjerner kan karakteriseres astrofysisk, alene gennem Gaia observationer.

Gaia, en ESA hjørnestensmission

Når en satellit opsendes, bygger den på teknik, der allerede er delvis forældet, eftersom der er gået mange år, siden konceptet blev fastlagt. Således også med Hipparcos. Allerede i 1990 begyndte forfatteren at overveje en ny astrometrisk satellit med større ydeevne. Det førte i 1992 til forslag om Roemer satellitten med anvendelse af CCD detektorer. Det ville give en effektivitetsforbedring på en faktor 100.000, fordi en CCD kan måle mange stjerner samtidig, mens Hipparcos kun målte een stjerne af gangen, og fordi en CCD har 10 gange højere kvanteeffektivitet end de fotomultiplikatorer og image dissectorer, der blev anvendt i Hipparcos. En gruppe fra Hipparcos foreslog dette koncept som ESA M3, dvs. en middelstor mission i 1993. Det blev særdeles godt modtaget, men blev alligevel ikke vedtaget som projekt, da man mente, det var for tidligt efter Hipparcos missionen, som faktisk på det tidspunkt endnu ikke var afsluttet.

Vi fortsatte arbejdet på design, samtidig med at vi gennemførte analyserne af observationerne for Hipparcos og Tycho katalogerne. Da de var færdige i 1997, havde vi mere tid til Gaia, som projektet blev kaldt. En kontrakt med industrien, Matra Marconi Space, gav et grundigt projektstudie, der forelå i juli 2000. I konkurrence med andre forslag til satellitter godkendtes Gaia som en ESA hjørnestensmission, altså en meget bedre mission end den, vi havde foreslået i 1993. Hjørnestensmissioner er ESAs største, alligevel koster Gaia mindre end Hipparcos i omregnede kroner: Man har virkelig lært at gøre meget mere for færre penge!

Gaia – teknisk set

Gaia rummer to teleskoper, hver med et primært spejlareal på $1,4 \times 0,5$ kvadratmeter. Satellitten roterer en gang på seks timer, således at de to teleskoper sigter mod det samme bånd på himlen. Stjernerne i et bånd af 0,7 graders bredde vandrer hen over synsfeltet, hvor de detekteres og måles af CCDer som beskrevet ved figur 4. Hele himlen måles mange gange, idet hver stjerne passerer synsfeltet henved 100 gange i løbet af de 5 år, missionen skal vare.

Ud over de to nævnte teleskoper rummer Gaia et tredje mindre teleskop, som dels

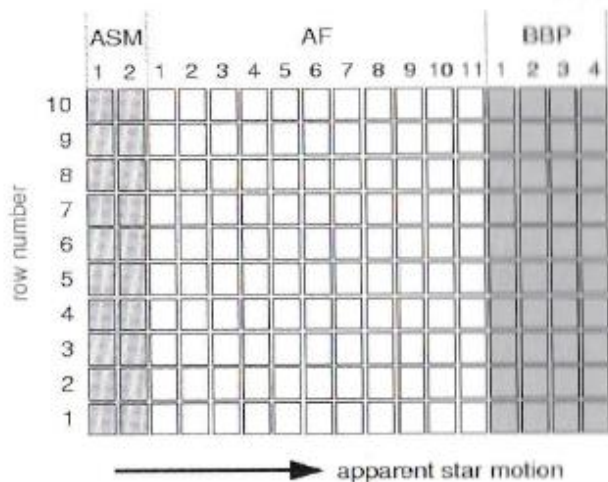


Fig. 4. Fokalplan i Gaia med en mosaik af 150 store CCD'er, hver med 4500 × 1966 pixel, dækkende et totalt areal på 0,4 kvadratkilometer. Stjernerne detekteres på en af de første CCD'er (ASM). Alle stjerner klarere end 20. størrelsesklasse måles derefter i 3,3 sekunder under passagen af hver af de følgende 11+4 CCD'er. 11 CCD'er bruges til astrometri og 4 giver fotometri i tvende bånd, som defineres af farvefiltre anbragt foran hver CCD.

skal udføre fotometriske målinger i mange farvebånd af alle stjerner, dels ved hjælp af en spektrograf observere et lille område af spektret omkring 860 nanometer. Området indeholder især tre kraftige calciumlinier, hvorved radialhastigheden af de klare stjerner kan bestemmes. Farvebåndene til fotometri er blevet fastlagt gennem grundige studier i arbejdsgruppen for fotometri. Her må nævnes et pionerarbejde for 50 år siden af Bengt Strömberg i samarbejde med Dave Crawford, Kjeld Gyldenkerne og Charles Perry, to danske og to amerikanske astronomer, som fandt frem til de bedste placeringer af farvebåndene i spektret før observationer med den tids teknik. Med den nye teknik, ny viden om spektrene og flere farvebånd kan Gaia løse flere astrofysiske problemer for flere stjernetyper.

Afgørende for opnåelse af den store astrometriske nøjagtighed er, at vinklen mellem de to store teleskopers synsretninger er meget konstant. Over tidsrum på nogle timer må variationen ikke overstige et mikrobuesekund. Dette opnås ved at spejlene og disses ophængning fremstilles af siliciumkarbid (SiC), der har meget

lille udvidelseskoefficient, og ved at temperaturerne i hele payload ikke varierer mere end 30 mikrokkelvin. Satellitten opsendes, så den bevæger sig omkring librationspunkt L2 i en afstand af 1,5 millioner km fra Jorden, og den er udrustet med et skjold, så ingen stråling fra Solen, Jorden eller Månen på noget tidspunkt kan ramme selve payload med teleskoperne og derved få temperaturen til at variere.

Selve vinklen mellem de to synsretninger skal være ca. 100 grader, men der kræves ikke, at den har en ganske bestemt værdi, kun at den er meget stabil. De astrometriske målinger med CCD'erne AFI-AFII er en-dimensionale langs med skanderingens retning. Den store stabilitet er afgørende for at måle vinklen mellem stjernerne. Hermed er et af de vigtigste måleprincipper beskrevet, som gør det muligt at måle nøjagtige vinkler mellem stjerner fra en satellit, og som blev afprøvet så grundigt med Hipparcos.

De astrometriske målinger af en milliard stjerner med henved 100 passager af feltet i løbet af 5 år skal analyseres. Denne dataanalyse skal betragtes som en helhed, der skal give de fem astrometriske parametre for hver stjerne: 2 komponenter for positionen, 2 for egenbevægelsen og 1 for parallaksen. Det vil blive en enorm beregningsopgave, den største i astronomiens historie, når man husker, at den skal udføres som en helhed, der egentlig ikke kan deles op. Forberedelserne er for længst begyndt. Satellit og opsendelse finansieres af ESAs videnskabelige budget, mens beregningerne skal finansieres direkte af ESAs lande til de forskningsgrupper, der deltager. Der er ikke udsigt til nogen massiv dansk deltagelse, som der var ved Hipparcos og Tycho. Prioriteterne er ændret, men danske astronomer ser frem til at udnytte resultaterne.

Gaia – den videnskabelig opgave

Gaia bygges efter de principper, der bestod deres prøve i Hipparcos missionen, for at løse en fundamental opgave i moderne astronomi: At skabe et meget præcist tre-dimensionalt billede af omkring en milliard stjerner i vor egen Galakse og dens omegn. Gaia vil kortlægge stjernernes bevægelser i rummet, der sammen med deres alder og kemiske sammensætning indeholder nøglen til Galaksens dannelse og udvikling. Bevægelserne vil også være påvirket af tyngdekraften fra det mystiske mørke stof, hvis fordeling i Galaksen således kan udredes. Gennem omfattende fotometrisk klassifikation vil Gaia give os de fysiske egenskaber af hver stjerne, dvs. karakterisere dens luminositet (absolut lysstyrke) samt temperatur, tyngdekraft og kemisk sammensætning af stjernens overflade. For at kunne det skal der korrigeres for effekten af det interstellare stof, der påvirker stjerne-lyset, når det passerer. Dels svækkes lyset, dels ændres dets farve, så klassifikationen bliver forkert uden korrektion. Korrektionens størrelse er proportional med mængden af stof, og den store mængde af målepunkter (stjerner) vil bidrage afgørende til, at et pålideligt kort over den tre-dimensionale fordeling af stof i Mælkevejen kan tegnes. Samlet set vil databasen med Gaia resultat-

erne blive en astronomisk hjørnesteen, en kilde til information, som ikke kan overgås af nogen anden mission de næste 40-50 år.

I den nyeste officielle plan for dansk astronomi udarbejdet af Astronomisk Udvalg hedder det således: "From around 2011 (with complete datasets by 2018), ESA's ambitious astrometric satellite project GAIA (providing also photometric and spectroscopic data for up to a billion [1.000.000.000] point sources) will impact a wide range of fields within Galactic and stellar astrophysics. In the 1990's, Danish astronomers played an important role in the GAIA "progenitor" mission HIPPARCOS. The research program outlined in the present report will provide a good background for Danish astronomy in the interpretation of this rich future mine of information."

Ledende dansk deltagelse i Hipparcos begyndte dog allerede i 1975 som nævnt ovenfor, og der har været afgørende dansk deltagelse i udformningen af hele Gaia missionen. Det er således glædeligt, at også kommende danske forskningsprogrammer vil bidrage til udnyttelsen af Gaia resultaterne.

Læs mere om Hipparcos, Tycho-2 og Gaia:

<http://www.rssd.esa.int/Hipparcos>,

<http://www.astro.ku.dk/~erik/Tycho-2/>,

<http://www.rssd.esa.int/Gaia> og <http://gaia.esa.int>.

Dansk astronomi: <http://www.astro.ku.dk>, <http://astro.phys.au.dk>

og afsnit 2.1 i www.nbi.ku.dk/forskning/side50034.htm.

Nyheder om rumfart

Hvor tit holder du øje med de mange nyheder om rumfart skrevet på dansk, f.eks. på Rummet.dk, Planetariets hjemmeside eller Ingeniøren|Net? Hvor tit holder du øje med nyheder fra den europæiske rumfartsorganisation ESA?



Dansk Selskab for Rumfartsforskning har nu gjort det nemmere for dig at følge nyhederne. Vi har oprettet en side med links til udvalgte nyheder om rumfart, som opdateres dagligt.

Prøv siden på

rumfart.dk/nyheder

og se om den ikke kunne blive din portal til rumfartsnyheder.

COROT: Stjernernes musik og planeternes dans

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

COROT-satellitten skal fra 2006 både "se" ind i stjernerne og samtidigt finde planeter i kredsløb omkring fremmede stjerner. COROT er et fransk rumprojekt, men gennem ESA er der etableret en samarbejdsaftale, som bl.a. tillader danske forskere at tage del i dette fascinerende projekt.

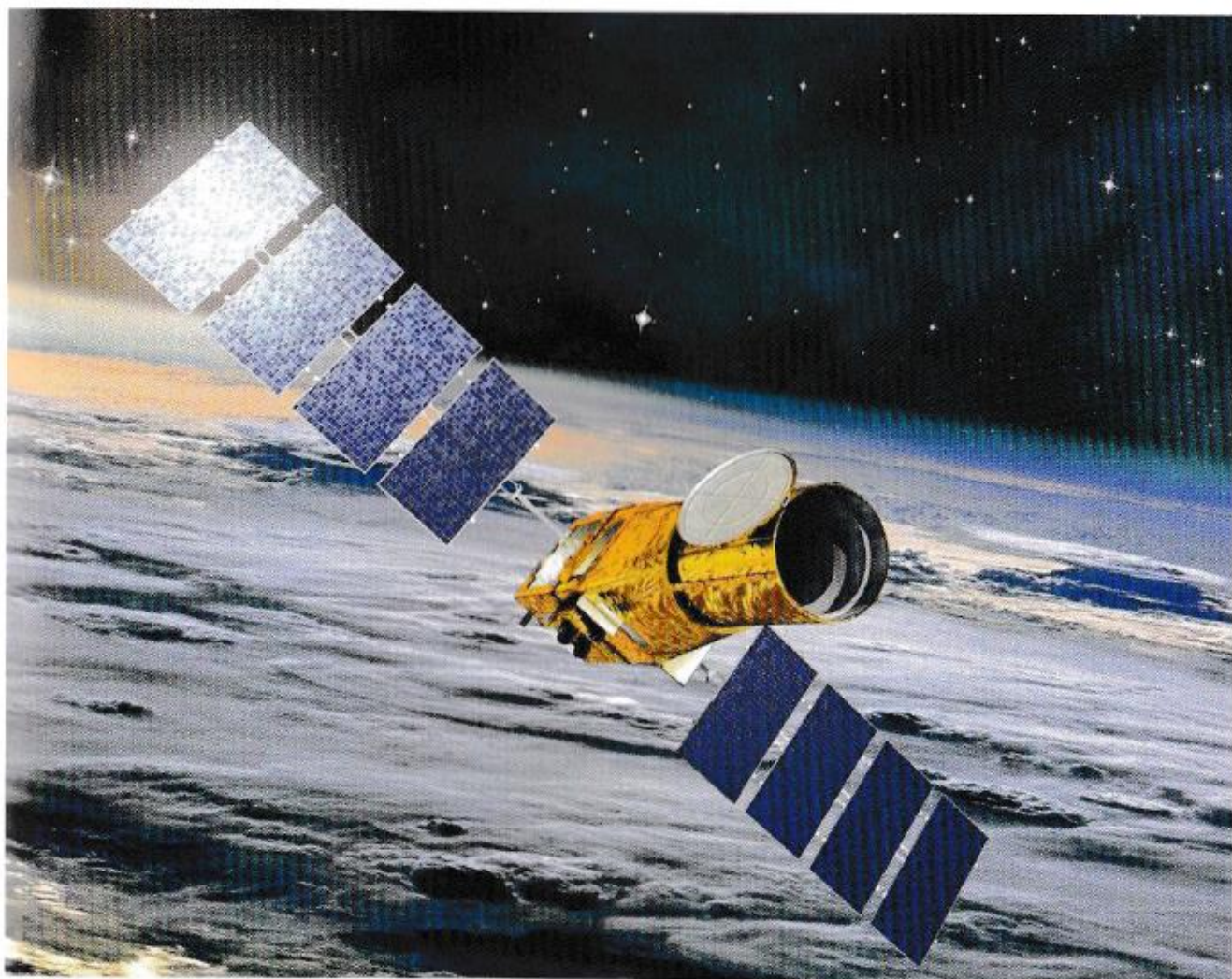


Fig. 1. COROT (illustration: CNES/ESA).

I sommeren 2006 vil en Soyuz-raket bringe en ny videnskabelig satellit i kredsløb om Jorden. Satellitten, som bærer navnet COROT, er bygget af CNES i Frankrig med delvis hjælp fra ESA og en række af ESAs medlemslande, heriblandt forskere fra Aarhus Universitet.

Satellittens nyttelast består af et vidvinkelteleskop med en diameter på 27 cm. I teleskopets fokus er anbragt et følsomt CCD-kamera, som med meget høj præcision er i stand til at måle lysstyrken af et stort antal

stjerner. COROT bliver herved i stand til at undersøge variationer i stjernernes lysstyrke til en præcision, som overgår alt, hvad man hidtil har præsteret fra Jordens overflade og fra satellitter i rummet. Selve teleskopet og dets instrument er konstrueret, så det på samme tid kan arbejde på to uafhængige videnskabelige programmer.

Seismologi på stjernerne

Det ene program går ud på at måle mikroskopiske variationer i lysstyrken for

et antal klare stjerner. Ved at lade teleskopet være ude af fokus kan man måle meget præcise lysstyrker og samtidigt undgå at overbelyse det lysfølsomme CCD-kamera. Man vil derfor være i stand til at måle variationer i lysstyrken, som udgør nogle få milliontedele af stjernernes lysstyrke, hvorved man f.eks. vil kunne registrere svingninger og skælv på stjernernes overflader. Det er målet med dette forskningsprogram at benytte disse svingninger og skælv til at foretage en seismologisk undersøgelse af stjernernes indre. Da de seismiske svingninger fremkommer på grund af lydbølger i stjernens indre, kan man godt sige, at COROT skal lytte til stjernernes musik og via tonerne i denne "musik" bestemme, hvordan stjernernes indre er opbygget.

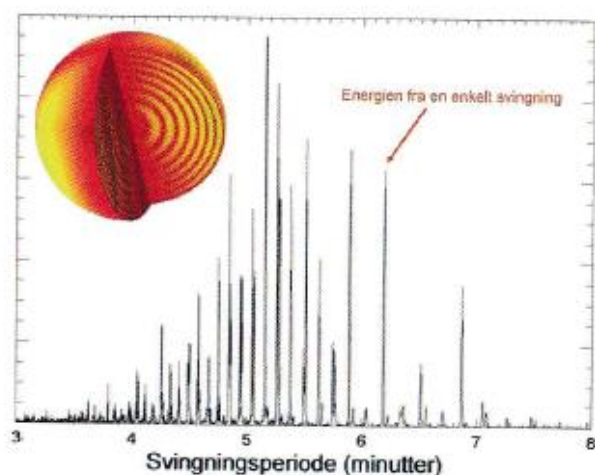


Fig. 2. Svingningsspektrum for Solen. Hver af de angivne toppe (peaks) angiver en periode (frekvens) hvori Solen svinger. Det er tilsvarende svingningsspektre COROT skal måle for andre stjerner. Indsat er et eksempel på en af de svingninger (toner), som Solen udfører. (illustration: Aarhus Universitet, Institut for Fysik og Astronomi).

Detektion af planeter

Det andet videnskabelige program går ud på at overvåge mange tusinde stjerners lysstyrke simultant og på baggrund af disse målinger lede efter stjerner, hvor lyset kortvarigt (i nogle timer) svækkes en smule, som følge af en planetpassage foran stjernen. Ved denne metode vil COROT formentligt finde et meget stort antal planeter i kredsløb omkring andre stjerner – altså planeter, som "danser" rundt

om deres moderstjerne. Da COROT kan måle stjernernes lysstyrke meget præcist, vil missionen være i stand til at finde planeter, som har en meget lille udstrækning, og som derfor kun afstedkommer et minimalt dyk i stjernernes lysstyrke. Man regner med, at COROT vil kunne finde planeter, som har en størrelse mellem Jordens diameter og diameteren af Uranus. Vi kender allerede i dag ca. 140 planeter i kredsløb omkring fremmede stjerner. Stort set alle disse planeter er opdaget ved at registrere planeternes tyngdekraft via deres påvirkning af den stjerne, de omkredser. Denne metode er kun velegnet til detektion af tunge planeter (på størrelse med Jupiter og Saturn i vort eget solsystem), og derfor ved vi stadig meget lidt om hvor mange planeter af Jordens størrelse, der findes i kredsløb omkring Mælkevejens stjerner. COROT vil derfor åbne et helt nyt forskningsområde, og vi vil med COROT komme nærmere svaret på et af de mest fundamentale spørgsmål i astronomien. Findes der andre planeter som Jorden i Universet?

COROT kan "se" ind i stjernerne

Ved direkte målinger har vi kun mulighed for at studere stjernernes overflade. Imidlertid kan vi ved anvendelse af seismologi få endog meget detaljerede målinger af de fysiske forhold langt under overfladen på stjernerne og Solen. Seismiske studier af stjernernes og Solens indre bygger på observationer af soloverfladens bevægelse – det har bl.a. vist sig, at Solen svinger. Seismiske studier har været udført på Solen de sidste 30 år, og hele den disciplin, som er opbygget omkring udnyttelsen af solsvingninger, kaldes for helioseismologi. I de seneste 20 år har forskergrupper i flere lande (heriblandt forskere fra Aarhus Universitet) søgt efter tilsvarende svingninger i stjernerne med det håb at udføre undersøgelser af stjernerne på samme måde, som det er sket på Solen. Denne nye disciplin, som er kaldt asteroseismologi, har lidt under mangel på data (specielt for

soltypestjerner), et forhold som bunder i, at stjernesvingningerne kun udviser en meget lille amplitude og derfor er særdeles vanskelige at detektere. Dette vil COROT komme til at ændre radikalt. Målenøjagtigheden for COROT er så høj, at satellitten vil kunne levere seismiske signaler, som vil bringe os et stort skridt videre i arbejdet på at besvare nogle af følgende. spørgsmål:

1. Hvor gamle er de forskellige stjerner? Hvad er alderen på de ældste stjerner, og hvornår blev vores galakse, Mælkevejen, egentlig dannet?
2. Hvordan udvikler vores egen stjerne Solen sig sammenlignet med andre stjerner? Er Solen en typisk stjerne og kan vi forvente, at Solens energiproduktion vil være konstant på såvel kort som lang sigt?
3. Hvordan er de detaljerede forhold i det indre af stjernerne? Er der fysiske love og sammenhænge, som vi i dag ikke har kendskab til, men som har betydning for stjernerne og Solen?
4. Hvordan er andre stjerner opbygget? Hvordan roterer de, både i kernen og på overfladen? Hvordan strømmer stoffet rundt i stjernernes indre, og i hvor høj grad sker der diffusion af tunge grundstoffer i stjernernes indre?

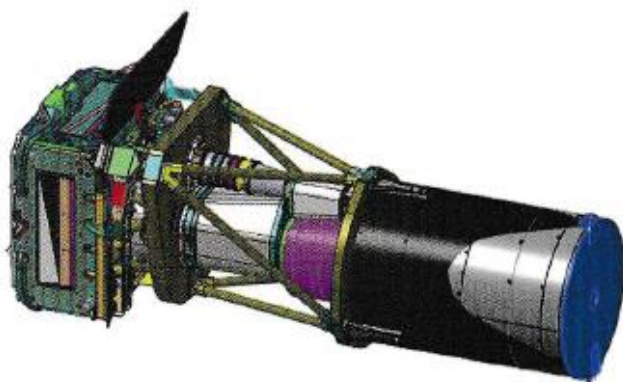


Fig. 3. Opbygningen af COROT-satellitten. Satellitten er udstyret med et off-axis teleskop med en diameter på 27 cm. Til højre ses teleskopets såkaldte baffle som skal sikre at de lysfølsomme CCD-kameraer i teleskopets fokus ikke påvirkes af forstyrrende lys. Til venstre ses satellittens platform (PROTEUS). (foto: CNES/COROT).

Observationsteknikken for COROT

At COROT har to videnskabelige mål – stjerneseismologi og detektion af planeter – er ikke tilfældigt. De målinger som er nødvendige for at kunne foretage seismiske studier af stjernernes indre, er nemlig stort set identiske med de målinger, som kræves for at finde planeter omkring andre stjerner. Det forskerne kræver af COROT, er at den kan foretage meget nøjagtige målinger af stjernernes lysstyrke og følge lysvariationerne i tidens løb. Variationer som finder sted i løbet af minutter og timer vil primært skyldes stjernesvingninger, mens signaler fra planetformørkelserne vil finde sted med uger og måneders mellemrum. Det geniale ved COROT satellitten er derfor at de samme målinger kan bruges til både at finde stjernesvingninger og finde planeter.

COROT satellitten

COROT er en overvejende franskbygget (CNES) satellit, og den oprindelige idé til COROT blev også født blandt astronomer i Frankrig. Den videnskabelige leder af projektet er Annie Baglin fra Observatoriet i Paris. Siden projektet startede, er ESA blevet knyttet til COROT, og en række forskere og teknikere i ESAs medlemslande er nu involveret i udviklingen af satellitten. Når COROT sendes i rummet i sommeren 2006, vil der således også være en række forskere i Danmark, som vil være klar til at udnytte dette enestående instrument. I Danmark er det forskere fra Aarhus Universitet som deltager i COROT (Det drejer sig om professor Jørgen Christensen-Dalsgaard, lektor Hans Kjeldsen, forskningslektor Torben Arentoft og ph.d.-studerende Christoffer Karoff). Aarhus Universitet har påtaget sig vejledningsopgaver i relation til dataanalysen. Det drejer sig specielt om dataanalyse med henblik på korrektion for detektorstøj med det mål at undgå instrumentelle fejl, som vil hindre COROT i at måle de uhyre små variationer i lysstyrken, som er nødvendige for

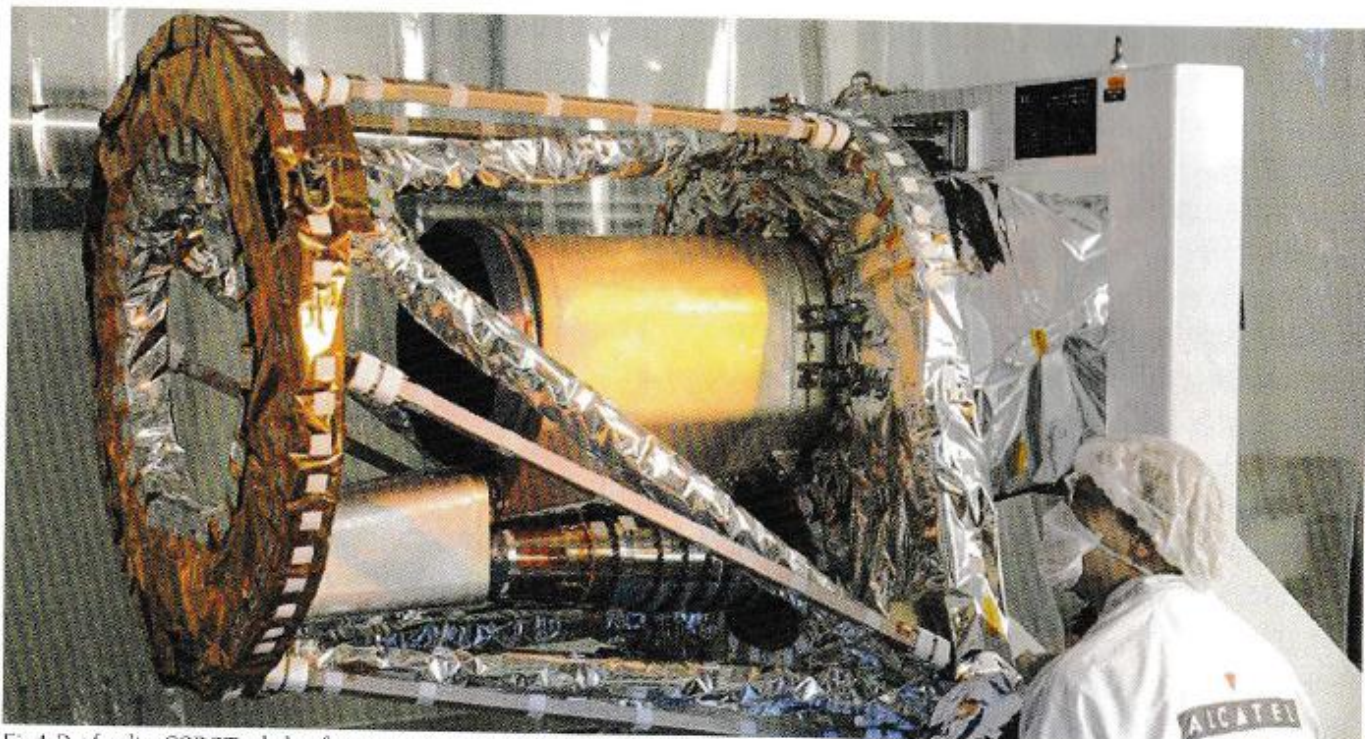


Fig 4. Det færdige COROT-teleskop før monteringen på selve satellitten. Teleskopet er udstyret med et hovedspejl med en diameter på 27 cm. (foto: CNES/COROT).

at kunne detektere de seismiske signaler fra stjernerne. At Aarhus Universitet er special-ist i netop dette område, skyldes det arbejde, man her udførte med henblik på at bygge den danske Rømersatellit, hvis formål ligger tæt på COROT-satellitens videnskabelige program. Den danske Rømersatellit blev desværre aldrig bygget færdig på grund af manglende finansiering. Aarhus Universitet forventer desuden at deltage aktivt i den videnskabelige analyse af de data, vi vil modtage fra COROT. Det drejer sig specielt om beregning af teoretiske modeller for stjerner, som vil muliggøre en fortolkning af de seismiske signaler fra COROT.

Når COROT er i rummet, vil den observere de samme stjerner i perioder på omkring 5 måneder. Dette muliggør nøjagtige bestemmelser af svingningsfrekvenserne for de klare stjerner, og samtidigt vil COROT finde planetpassager i måske 100 stjerner. Da missionen forventes at forløbe over flere år, vil COROT kunne observere forskellige felter på himlen, og således finde flere hundrede planeter.

I teleskopets brændplan monteres fire følsomme CCD-detektore. To af disse be-nyttes til planetprogrammet, og de to øvrige skal benyttes til måling af stjernessvingnin-ger. På billederne ses selve CCD-detektorene.

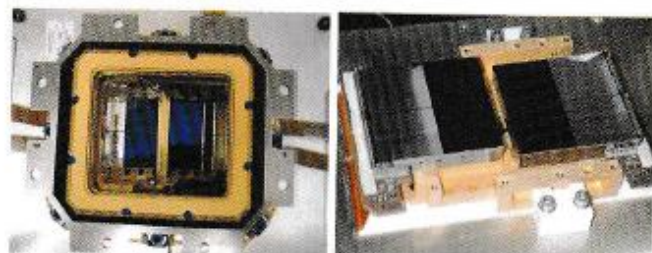


Fig 5. I teleskopets brændplan monteres fire følsomme CCD-detektore. To af disse benyttes til planetprogrammet, og de to øvrige skal benyttes til måling af stjernessvingninger. På billederne ses selve CCD-detektorene. (foto: CNES/COROT).

Keplersatellitten

Selvom COROT forventes at revolutionere vores viden omkring stjernernes indre ved at detektere "stjernernes musik", og samtidigt vil være en fabelagtig god planetjæger ved at checke, om der "danser" planeter rundt omkring de stjerner, som COROT vil holde et vågent øje med, så er der stadig mange detaljer omkring stjernerne, vi ikke kan få svar på. Derfor vil der efter COROT være en række andre missioner, som vil bygge videre på de

resultater, som COROT forventes at opnå. USA forventes i 2008 at opsende en super-COROT ved navn Kepler.

Dette satellitprojekt, som Aarhus Universitet også deltager i, ligner meget COROT på overfladen, men Kepler indeholder et teleskop, som opsamler 12 gange så meget lys som COROT, og Kepler vil desuden foretage observation af et meget større område af stjernehimlen (og derfor mange flere stjerner)

Medlemsundersøgelse

Er der ting som kunne være bedre eller anderledes? Kunne du tænke dig at få nogle andre tilbud? Hvor finder du information om rumfart og rumfartsforskning? I bestyrelsen vil vi gerne høre medlemmernes mening om de tilbud, Dansk Selskab for Rumfartsforskning giver medlemmerne. Derfor vil vi gerne opfordre medlemmerne til at deltage i en undersøgelse. Spørgeskemaet finder du på

Venus er målet

af Finn Willadsen, Dansk Selskab for Rumfartsforskning, e-mail: fmn@rumfart.dk

Venus er næst efter Solen og Månen det klareste lysende objekt på himlen og har derfor naturligt nok været kendt siden antikken. Opfindelsen af kikkerten i 1600-tallet bragte dog ikke så meget ny viden om Venus, idet overfladen viste sig at være dækket af et tæt permanent skydække. Derfor var Venus et oplagt mål for de første rumsonder og den første vellykkede rumsonde til en anden planet i Solsystemet - Mariner 2 havde da også Venus som mål. Mariner 2 passerede Venus den 14. december 1962.

Mariner 2 betød en sand revolution i opfattelsen af forholdene på Venus. Før havde Venus stået meget højt på listen over mulige steder for liv udenfor Jorden og den havde stået højt på listen over mål for kommende bemandede rummissioner. Før Mariner 2 havde mange forskere troet at temperaturen

i en periode på 4 år (mod COROTs 5 måneder). Det vil sætte Kepler i stand til at finde Jordstørrelse-planeter i kredsløb omkring andre stjerner, og samtidigt vil Kepler kunne bestemme svingningsfrekvenser til brug ved seismologi, som langt overstiger det, COROT kan nå. Så studiet af stjernernes musik og planeternes dans vil fortsætter, også efter COROT om nogle år stopper med at sende data ned fra sit kredsløb omkring Jorden.

Selskabet hjemmeside på

rumfart.dk/spoergeskema

Der kan svares frem til den 1. februar 2006 og blandt de indsendte svar vil der blive trukket lod om tre flasker rødvin. På baggrund af resultatet af undersøgelsen vil der komme et oplæg til nye tiltag i Selskabets arbejde ved generalforsamlingen den 14. februar 2006.

på overfladen var et sted mellem 20 og 50 grader Celsius, efter Mariner 2 blev det over 300 grader og siden er man blevet enige om en temperatur på over 500 grader Celsius.

Efter Mariner 2 forsvandt den fra begge lister. Mariner 2 blev fulgt op af en perlerække

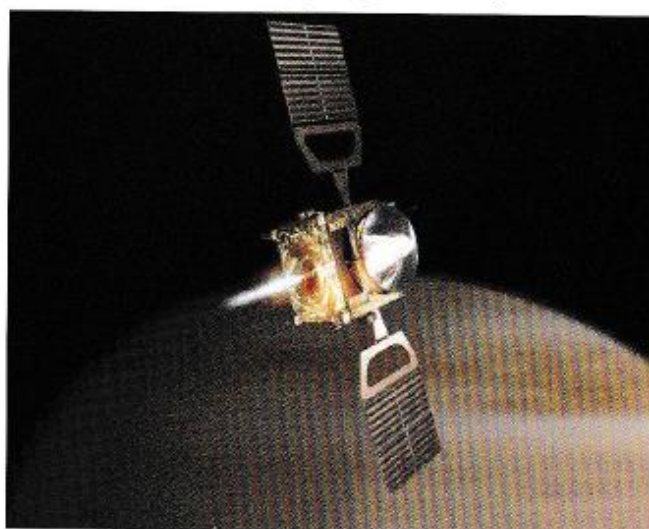


Fig. 1. Venus Express på vej i kredsløb om Venus. Sonden er magen til Mars Express på mange punkter. (illustration: ESA).

af vellykkede rummissioner til Venus både foretaget af NASA og det daværende Sovjetunionen. Der er således foretaget flere vellykkede landinger på Venus end på Mars; men interessen for Venus i den store offentlighed svandt kraftigt ind efter Mariner 2.

De mange vellykkede missioner til Venus har betydet, at man nemt kunne få den opfattelse, at der ikke var mere at komme efter. Det er da også mere en 10 år siden, at Venus har været hovedmålet for en rummission. Dog har ESA fundet nogle områder, hvor en sonde i bane om Venus kunne studere hidtil ukendte detaljer i atmosfæren på Venus. Dette er blevet udmøntet i missionen "Venus Express".

Venus Express skal studere atmosfæren på Venus med sensorer udviklet i det 21. århundrede og den blev opsendt den 9. november 2005 med en Soyuz-raket. Det forventes at Venus Express når frem til Venus den 11. april 2006.



Fig.2 Venus set fra Hubble teleskopet den 24. januar 1995. Billedet er taget i det ultraviolette spektrum og derefter kunstigt farvelagt. Skyerne er dannet af svovl i modsætning til de vandige slyer vi kender fra Jorden. (foto: L. Esposito (University of Colorado, Boulder), og NASA/ESA)



Fig. 3. I 1982 landede den russiske sonde Venera 13 på Venus og tog bl.a. dette billede. Som det ses har overfladen en ørkenagtig struktur. (foto: Det Sovjetiske Rumforskningsinstitut med bearbejdning af Don P. Mitchell)

Rettelse

I Dansk Rumfart nr. 64 har der indfundet sig et par uheldige fejl. På side 3 fik vi ved en fejl placeret ESAs hovedkvarter i Strassbourg i billedeteksten. Den korrekte lokalitet er Paris.

I artiklen om de store ESA øjeblikke er der på side 9 en mindre misforståelse. Her står at der har være diskussion om de afstande Hipparcos-satelitten målte. Der har kun være diskussion om afstanden til Plejaderne. Denne uklarhed er nu afklaret. Årsagen var at den daværende udviklede dataanalyse ikke var gearet et at håndtere det store antal tætliggende stjerner som Plejaderne udgør. Redaktionen vil gerne sige tak til Erik Høg for denne præcisering.

Længere fremme i samme artikel har Røvsing fået tildelt æren for at levere udstyr til Mars Express til optimering af energiudnyttelse. Udstyret er leveret af Terma Space.

Redaktionen beklager disse fejl.



Dansk Selskab for Rumfartsforskning

Foreningen for alle med interesse i rumfarten og dens anvendelser.

Selskabet har som hovedformål at udbrede kendskabet til danske rumfarts-aktiviteter. Dette søges først og fremmest opnået ved:

- Afholdelse af *offentlige møder*, hvor danske rumfartsprofessionelle fortæller om deres arbejde med rumfartsteknologi eller de mangeartede anvendelser af rumfarten.
- Udgivelse af bladet *Dansk Rumfart*. Bladet udkommer mindst en gang pr. kvartal, og indeholder – udover beskrivelser af Selskabets arrangementer – en række artikler om fortrinsvis danske rumfartsprojekter.
- Drift af hjemmeside *rumfart.dk* på Internettet. Hjemmesiden indeholder information om Selskabet og dets aktiviteter, nyheder om rumfartsprojekter med dansk deltagelse, masser af faktasider med baggrundsinformation om rumfart samt en lang række links til andre rumfartsrelevante hjemmesider.

Herudover afholder Selskabet firmabesøg og udarbejder plancheudstillinger, der turnerer rundt til skoler og biblioteker i hele landet.

Som medlem får man tilsendt bladet *Dansk Rumfart*, med fokus på danske rumfartsaktiviteter. Desuden får man det norske blad *Romfart*, der udkommer fire gange årligt. Dette blad er mere orienteret mod den internationale rumfart, f.eks. med udførlige beskrivelser af de amerikanske rumfærgemissioner.

Årskontingenter er: Ordinært medlem: 300 kr., studerende: 175 kr., unge under 18 år: 60 kr. Bestil girokort via menupunktet "Bliv medlem" på *rumfart.dk*.

Kontaktpersoner

Formand: Michael Lumholt, tlf. 38 10 09 79, e-mail: michael@rumfart.dk

Næstformand: Steen Eiler Jørgensen, tlf. 44 48 30 07, e-mail: sej@rumfart.dk

Sekretær: Bjarne M. Johansen, tlf. 35 84 08 55, e-mail: bjarne@rumfart.dk

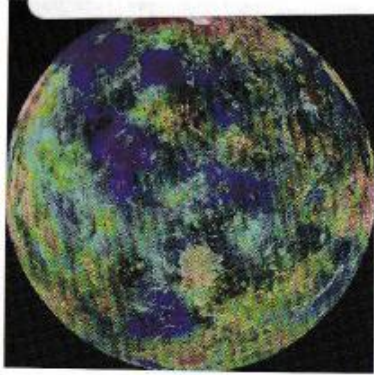
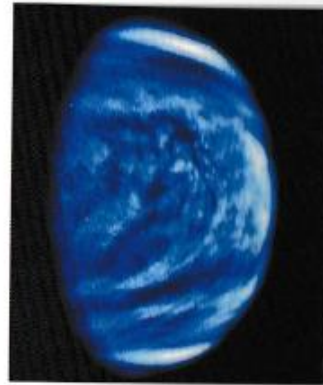


Fig. 1. (t.v.) Den amerikanske sonde Magellan kortlagde Venus i perioden 1990 til 1994. Kortlægningen skete med radar og billedet her er en mosaik af alle de data som blev optaget i perioden. Op imod 98% af overfladen er kortlagt med en opløsning på 100 m. Visse dele af billedet stammer dog fra radaroptagelser udført af Arecibo radioteleskopet. (illustration: NASA/USGS).



Den amerikanske sonde Magellan kortlagde Venus i perioden 1990 til 1994. Kortlægningen skete med radar og billedet her er en mosaik af alle de data som blev optaget i perioden. Op imod 98% af overfladen er kortlagt med en opløsning på 100 m. Visse dele af billedet stammer dog fra radaroptagelser udført af Arecibo radioteleskopet. (illustration: NASA/USGS).

Fig. 3. Venera 13 tog i 1982 dette billede af overfladen. Dette originalbillede er ubehandlet, men som det tydeligt ses er Venus' overflade en tør ørkenlette. På side 18 ses et bearbejdet billede hvor ørkenlandskabet træder tydeligt frem. (foto: Den Sovjetiske Rumfartsorganisation).

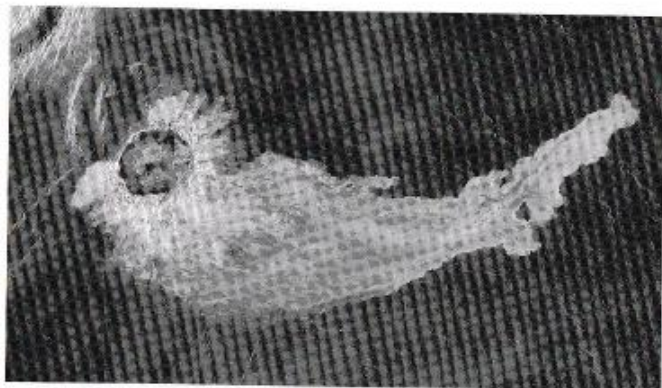
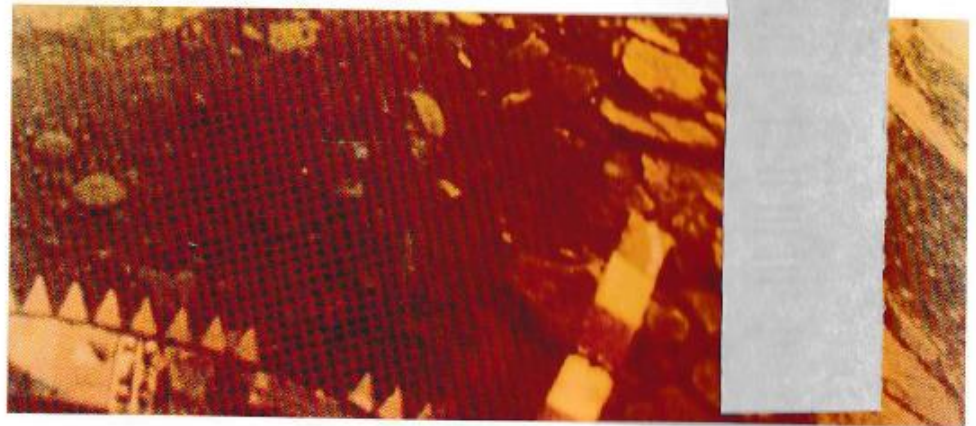


Fig. 4. Addams Krater. Dette radarbillede stammer fra Magellan-sonden. Addams krater er 90 km i diameter og den udflydning man ser strækker sig 600 km i østlig retning (foto: NASA/JPL/USGS)

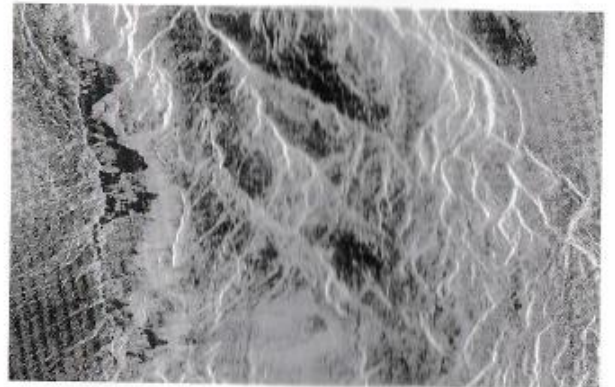


Fig. 5. Jordskred i Devana Chisma. Disse formationer er opstået pga. jordskred. Det har samlet bunker af sten og klippemateriale ved foden af forkastningerne. (foto: NASA/JPL/USGS)