

Astronomernes kæmpe-teleskoper

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

Noget af det som gør astrofysikken speciel er, at man på grund af de studerede objekters fjernhed næsten udelukkende får målinger via anvendelse af teleskoper. Idet såvel følsomheden som opløsningen forbedres, når teleskopets størrelse forøges, har forskernes videnskabelige krav om forbedret følsomhed og opløsning, ført til en kolossal udbygning af astronomiske teleskoper. I denne artikel vil jeg beskrive nogle af de teleskoper som danske astronomer deltager i opbygningen og brugen af og beskrive enkelte af de videnskabelige resultater, som er knyttet til disse faciliteter.

Astrofysikernes vigtigste værktøj

Astrofysikken er som andre specialiserede forskningsdiscipliner dybt afhængig af måleudstyr, og udviklingen af forskningen er derfor tæt knyttet til den teknologiske udvikling. I tråd med dette foregår der udvikling af nye teknologier, som i første omgang tjener til at forbedre de astrofysiske målemetoder, men som viser sig også at kunne anvendes andre steder i forskningen og i samfundet. Et godt eksempel på dette er brugen af den lysfølsomme CCD-detektor, som i dag findes i alle digitale kameraer.

Den første CCD-detektor blev udviklet til brug i astrofysikken og blev testet på et teleskop i 1974. I 1980'erne skete en sand revolution i astrofysikken, takket være CCD-detektoren. Det specielle ved astrofysikken er, at man på grund af de studerede objekters fjernhed næsten udelukkende får målinger via brugen af teleskoper. Ser vi bort fra vort eget solsystem, er stort set alt observationsmateriale indhentet via studiet af det elektromagnetiske spektrum. Astrofysikkens vigtigste værktøj er derfor teleskopet og de tilknyttede spektrografer, kameraer og detektorer. De teleskoper, som i tidens løb er blevet udviklet til studiet af universets objekter, er blevet konstrueret, så de fungerer optimalt til den del af det elektromagnetiske spektrum, det pågældende instrument skal dække. Mange teleskoper står på Jordens overflade, men astronomerne har også mange teleskoper i verdensrummet med henblik på at kunne studere den del af det elektromagnetiske spektrum, som ikke når ned gennem Jordens atmosfære.



Figur 1. På bjergtoppen Cerro Paranal i Chile har ESO opstillet kæmpe-teleskopet, VLT. (ESO).

I det følgende vil jeg udelukkende beskæftige mig med de jordbundne teleskoper og den forskning, som er forbundet hermed. Fokus vil være på de kæmpe-teleskoper, som danske og europæiske astronomer deltager i brugen og udviklingen af. Jeg vil først beskrive det såkaldte Very Large Telescope (VLT) som det Europæiske Sydobservatorium (ESO) har bygget og til stadighed udbygger på bjerget Paranal i Chiles Atacamaørken. Sidst i artiklen vil jeg se på de fremtidige kæmpe-teleskoper som kaldes ALMA, E-ELT og SKA.

Følsomhed og opløsning

Det astronomiske teleskop har to hovedfunktioner. For det første skal teleskopet tjene til at detektere de svage signaler fra objekterne i Universet. Og her gælder det simple forhold, at følsomheden forøges med arealet af teleskopet (hovedspejlets areal, eller antennens areal – hvis vi taler om mikrobølgestråling eller radiostråling). Ønsket om at kunne måle signaler fra fjernere og svagere objekter har i hele astrofysikkens historie ført til bygningen af større og større teleskoper. Denne udvikling fortsætter den dag i dag, hvor teleskoperne har nået en størrelse som nødvendiggør internationalt samarbejde, som det f.eks. finder sted inden for rammerne af det Europæiske Sydobservatorium (ESO).

Teleskopets anden hovedfunktion handler om at forbedre opløsningen af de objekter, man studerer. I princippet kan man forstørre billedet i et teleskop blot ved at ændre på optikken nær teleskopets fokus, men der er en fundamental grænse for, hvor små detaljer man kan opløse på himlen, en grænse som er bestemt af lysets fysiske egenskaber, og som afhænger af teleskopets størrelse (diameter) og bølgelængden af den elektromagnetiske stråling, man observerer.

Hvis teleskopet har diameter D og bølgelængden af den elektromagnetiske stråling er givet ved λ , er den mindste vinkel (diffraktionsgrænsen), man kan adskille i teleskopets fokus, givet ved

$$d\theta \simeq \frac{\lambda/500 \text{ nm} \cdot 1''}{(D/10 \text{ cm})} \quad (1)$$

Ovenstående formel er normaliseret til en bølgelængde på 500 nm og en teleskop-diameter på 10 cm. I dette tilfælde vil de mindste vinkelafstande, man kan opløse, have en udstrækning på et buesekund (").

Anvender vi ligning (1) for forskellige bølgelængder og teleskopstørrelser, kan værdierne i tabel 1 findes. Den første linje i tabellen angiver en diameter på 0,5 cm svarende til det menneskelige øje. Det ses, at øjet ikke kan opløse detaljer på under 0,3 bueminutter (20").

Diameter	Bølgelængde	Vinkelopløsning
0,5 cm	500 nm: synligt lys	0,3'
10 cm	500 nm: synligt lys	1"
10 m	500 nm: synligt lys	0,01"
100 m	500 nm: synligt lys	0,001"
10 m	2 μ m: infrarødt	0,04"
42 m	2 μ m: infrarødt	0,01"
10 m	10 μ m: infrarødt	0,2"
10 m	1 mm: mikrobølger	20"
10 km	1 mm: mikrobølger	0,02"
300 m	21 cm: radiobølger	2'
40 km	21 cm: radiobølger	1"
500 km	21 cm: radiobølger	0,1"

Tabel 1. Opløsning ved forskellige λ og D . ' angiver bueminut (1/60 grad) og " angiver buesekund (1/3600 grad).

Seeing og scintillation

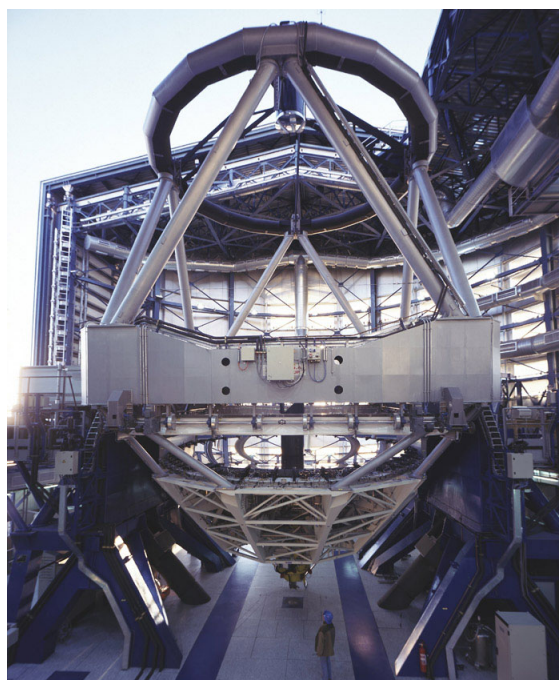
De i tabel 1 anførte værdier for vinkelopløsningen er ikke nødvendigvis relevante for observationer fra Jordens overflade. På grund af brydning i Jordens atmosfære vil synligt lys blive delvist udtværet, og en del af lyset vil blive spredt i atmosfæren og derved ikke ramme teleskopet, hvorfor lyset vil udvise variabilitet. At lyset udtværes betyder, at de mindste detaljer, vi kan opløse, ikke nødvendigvis når den teoretiske grænse angivet i tabel 1. Astronomerne beskriver denne effekt som *seeing*, og den aktuelle værdi af seeingen angiver, hvor meget objekterne udtværes. Seeingen i synligt lys er selv under de bedste observationsbetingelser typisk 0,5"-1". Det er således svært umiddelbart at udnytte den store opløsning, man opnår ved brug af teleskoper med en diameter på flere meter. At objekter udviser variabilitet p.g.a. spredning, kaldes for *atmosfærisk scintillation*. Denne effekt får stjernerne til at blinke og afhænger af, hvor højt stjernen står på himlen, og hvor stort et teleskop, man anvender. For store teleskoper er scintillationen normalt ikke en begrænsende faktor, selv for svage objekter.



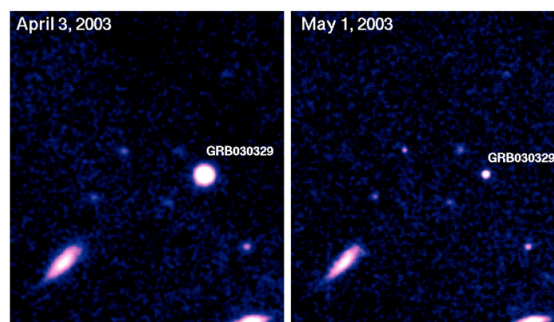
Figur 2. Very Large Telescope består af fire teleskoper på hver 8,2 m (diameter). De fire teleskoper er forbundet med hinanden via en serie underjordiske tunneller, som samtidigt forbinder dem med en række mindre teleskoper (ESO).

Very Large Telescope (VLT)

Det Europæiske Sydobservatorium, som Danmark er aktivt medlem af, byggede i gennem 1990'erne et teleskop af imponerende dimensioner. Teleskopet består af fire uafhængige teleskoper, hver med en diameter på 8,2 m. Det er konstrueret, så det kan benyttes til observation af elektromagnetisk stråling fra 300 nm til 24 μ m. I slutningen af maj måned 1998 stod det første af de 4 teleskoper klar til at modtage lys fra rummet, og knapt et år senere begyndte de reelle observationer med dette superteleskop. En fornemmelse af teleskopets dimensioner kan man få ved at sammenligne personen på figur 3 med teleskopet.



Figur 3. VLT Unit Telescope, KUEYEN – et af de fire teleskoper som indgår i ESO'S Very Large Telescope. Bemærk størrelsen af teleskopet i forhold til personen på billedet (ESO).



Figur 4. Lyset fra den eksplosion som forårsagede gammastrålingsglimt GRB 030329. Astronomer fra Københavns Universitet deltog i disse observationer, som er udført med VLT [3]. (ESO Pressemeddelelse 16/03).

Hvert af de fire 8,2 m teleskoper anvendes fra solnedgang til solopgang 365 nætter om året – hvis det er skyfrit – til et væld af forskelligartede observationer. Teleskopet benyttes af astronomer i alle de europæiske lande, og desuden tildeles observationstid til astronomer fra bl.a. Chile, USA og Australien.

Danske astronomer har, siden teleskopet blev taget i brug, anvendt dets unikke muligheder til et væld af observationer. Som eksempel har forskere ved Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet benyttet VLT til observationer, som kan belyse egenskaberne ved det såkaldte mørke stof og den mørke energi [1,2]. Disse studier inkluderer bl.a. observationer af de såkaldte gammastrålingsglimt, som opstår, når stjerner eksploderer (de fleste i afstande på milliarder af lysår). VLT benyttes her til studiet af det optiske signal fra afkølingen af den varme gas i eksplosionen. Et eksempel på en sådan eksplosion ses i figur 4.

Astronomerne fra Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet har anvendt VLT til at foretage de til dato mest nøjagtige målinger af bevægelserne på stjernernes overflade. Ved at nå en målepræcision på 1,5 cm/s har de Århusianske astronomer i samarbejde med kollegaer fra Australien og USA fundet svingninger i stjernerne alfa Centauri A og B, som kan benyttes til detaljerede seismologiske studier af stjernernes indre [4,5,11].

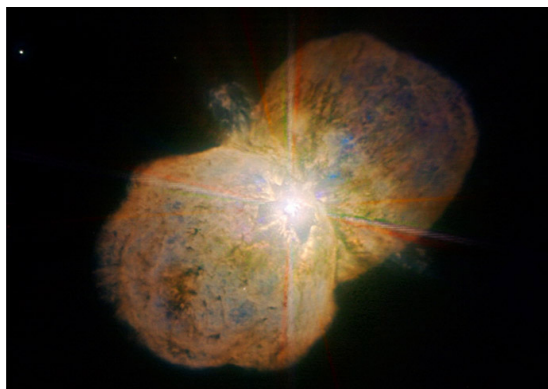
Adaptiv optik og laserguidestjerner

VLT kan anvendes til meget andet end at søge efter det svage signal fra eksploderende stjerner i det fjerne univers eller præcisionsmålinger af stjernernes overfladebevægelser. Som det fremgår af tabel 1, kan teleskopet i princippet opløse detaljer på himlen, som er langt mindre end den grænse på omkring 0,5 buesekund, som er sat af Jordens atmosfære (seeingen). Da påvirkningen af stjernelyset, som giver anledning til udtværingen, er forårsaget af afbøjning af de individuelle lysstråler, som rammer teleskopets hovedspejl, er det i princippet for hver enkelt lysstråle muligt at bestemme nøjagtigt, hvor meget den er afbøjet. Hvis man derfor kan korrigere lysets afbøjning for de individuelle lysstråler, er det muligt at fjerne en stor del af udtværingen og derved komme tæt på de teoretiske grænser, som er angivet i tabel 1. Den metode, man anvender for at måle og korrigere lysets afbøjning for hver enkelt del af spejlet, kaldes for *adaptiv optik*, og den bygger grundlæggende på en servostyring med to hovedelementer:

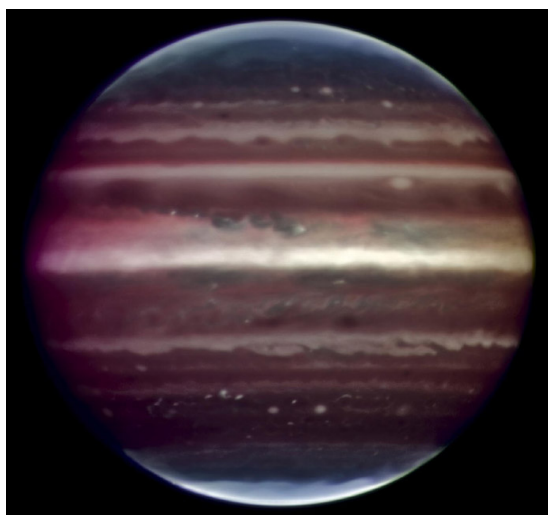
- En sensor, som kan måle variationerne (såvel de tidslige som de rumlige variationer). Dette gøres ved at måle på en klar (og punktformet) stjerne, som befinder sig nær de interessante objekter, man ønsker at måle på.
- Et variabelt spejl som for hvert enkelt del af hovedspejlet kan korrigere den afbøjning, lyset har været udsat for ved passagen gennem atmosfæren.

I praksis fungerer teknikken bedst i den nære infrarøde del af det elektromagnetiske spektrum. De instrumenter på VLT, hvor den adaptive teknik er blevet anvendt, har i praksis været i stand til at nå en opløsning, som overstiger, hvad man kan nå fra teleskoper i verdensrummet ved de bølgelængder, hvor VLT har benyttet den adaptive optik. Et eksempel på anvendelse

af adaptiv optik ses på figur 5 og 6, hvor opløsningen af det 8,2 m store spejl bliver fuldt udnyttet.



Figur 5. Observationer i den nære infrarøde del af det elektromagnetiske spektrum ved brug af VLT (og NA-CO instrumentet). Billedet viser stjernen Eta Carinae som befinder sig 9.000 lysår fra Jorden. Stjernen er formentlig i den sidste fase af sin udvikling, og den gennemløber udbrud fra sin overflade, hvor jets og stjernevinde forårsager en ekspanderende materialeskal [6]. (ESO Pressemeddelelse 17/08).



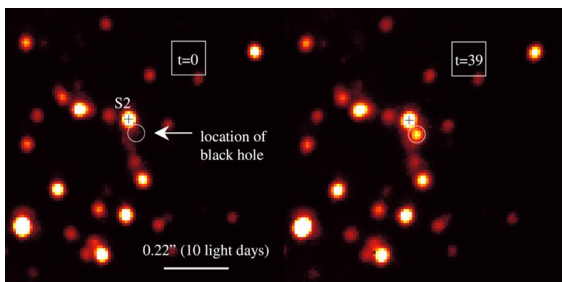
Figur 6. Observationer i den nære infrarøde del af det elektromagnetiske spektrum ved brug af VLT (og MAD instrumentet). Billedet viser Jupiter ved en bølgelængde på godt 2 μm og opløsningen er ca. 0,09" (ESO).

Problemet med anvendelse af den adaptive optik er, at det kræver, at der findes et relativt klart objekt nær det svagere objekt, man evt. ønsker at observere. Hvis der ingen klare stjerner er i nærheden, vil servostyringen ikke kunne tilsluttes, fordi målingerne af lysets afbøjning ikke bliver nøjagtige. Dette findes der dog en løsning på. Ved at anvende en Natrium-laser med en bølgelængde på 589,2 nm er det muligt at få de naturligt forekommende Natriumatomer i Jordens ydre atmosfære (Mesosfæren) i ca. 90 km højde til at lyse, og set fra VLT bliver dette lys til en kunstig stjerne, som kan anvendes til den adaptive optik. Denne type lasersystem kaldes for en laserguidestjerne, og idéen er simpelthen at sætte en kunstig stjerne op på himlen i nærheden af det objekt, man ønsker at undersøge. Ved at analysere lyset fra den kunstige stjerne, kan servostyringen fungere og man kan skabe de nødvendige skarpe

billeder. Det er dog en kostbar og kompliceret affære at anvende laserguidestjerner, og man må naturligvis tage visse forholdsregler, bl.a. i relation til evt. fly, som måtte passere hen over observatoriet i løbet af natten. Brugen af laserguidestjerner har dog været en stor succes, og observationer af det sorte hul i Mælkevejens centrum er bl.a. udført ved brug af denne teknik. På figur 7 herunder ses VLT under observation af Mælkevejens centrum ved brug af en laserguidestjerne. Figur 8 viser målinger af stjerner, som befinder sig i nærheden af Mælkevejens store sorte hul.



Figur 7. Laserguidestjerne anvendt til observation af Mælkevejens centrum ved brug af adaptiv optik (ESO).

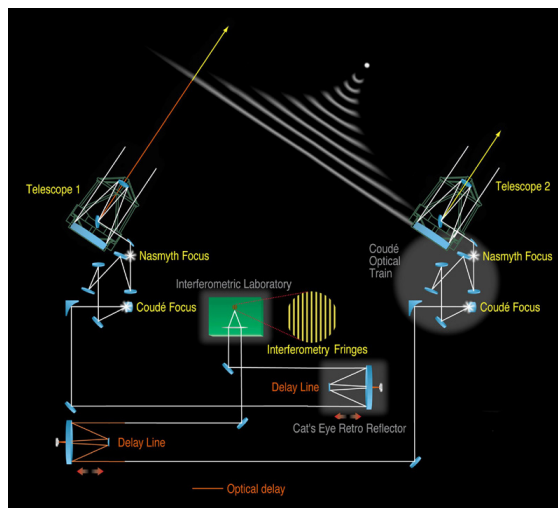


Figur 8. Stjernerne i Mælkevejens centrum observeret med VLT (og NACO). Opløsningen er $0,04''$ og billedet viser en situation hvor materiale formentligt falder ind i det sorte hul, hvilket forårsager en kortvarig opblussen af lys (et lysglimt fra det sorte hul). De to billeder er taget med 39 minutters mellemrum. Uden den adaptive optik ville atmosfæren udtvære hele billedet og det ville være umuligt at se de enkelte stjerner og lysglimtet fra det sorte hul (ESO).

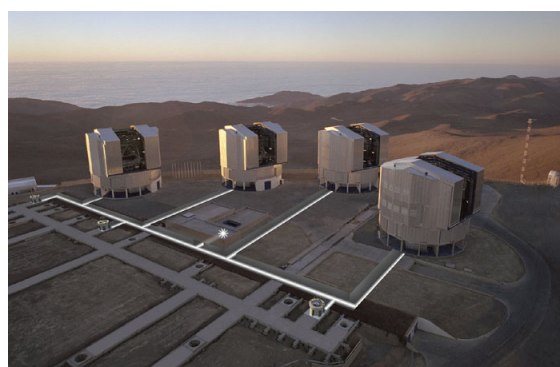
Interferometriske målinger med VLT

Tallene for vinkelopløsningsevnen i tabel 1 bygger på lysets bølgeegenskaber. Antagelsen bag vinkelopløsningsevnen er dog ikke, at der rent faktisk er tale om et enkelt teleskop med et hovedspejl eller en antenne, men at der er tale om lys, der kombineres fra områder, som har en given rumlig udstrækning. En given opløsning kan derfor i princippet opnås ved at kombinere lys fra to teleskoper, som befinder sig i en vis afstand fra hinanden. Denne type af observationer kaldes for interferometri og idéen er netop at kombinere lys fra to teleskoper og herved opnå en opløsning svarende til afstanden mellem de to teleskoper. Det er vigtigt at huske på, at selvom man ved denne teknik kan opnå superopløsning, er der ikke tale om, at man kan danne direkte billeder af et givent objekt. Interferometri

bygger derimod på, at man ved en serie af målinger kan genskabe et billede af det observerede objekt. Det er også væsentligt at minde om, at interferometri kræver en del lys, og derfor virker teknikken kun for relativt klare objekter. Figur 9 illustrerer princippet bag VLTI (Very Large Telescope Interferometer).



Figur 9. Princippet bag VLTI. Lyset fra et givent objekt bringes via underjordiske tunneller fra to eller flere teleskoper. I teleskopets laboratorium interfererer lyset og via interferensmønstret kan astronomerne opløse strukturer i de observerede objekter (ESO).



Figur 10. Tunnellerne på Cerro Paranal som sikrer at teleskoperne kan anvendes til interferometriske målinger (ESO).



Figur 11. I tunnellerne skal lyset kunne stabiliseres til en brøkdel af lysets bølgelængde for at man reelt kan kombinere lyset fra flere teleskoper (ESO).

VLTI handler ikke alene om at observere ved brug af de store 8,2 m teleskoper. Interferometret er udstyret,

så det tillige kan udnytte lyset fra en serie mindre teleskoper, der kan flyttes rundt på bjerget, og som derved kan danne interferensretninger, der kan optimere muligheden for at opløse detaljerne i de objekter, man studerer. På figur 10 vises strukturen af de underjordiske tunneller, som findes på Cerro Paranal. Desuden vises på figur 11 et billede fra tunnellerne, og endelig ses på figur 12 et af de mindre (1,8 m teleskoper), som VLTI kan udnytte.



Figur 12. To af de mindre teleskoper på 1,8 m som kan indgå i observation med de store 8,2 m VLT teleskoper (ESO).

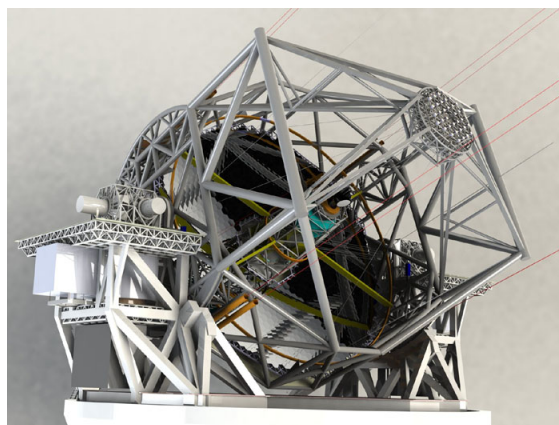
VLTI har bl.a. været anvendt til studiet af stjernernes egenskaber og stjernernes form. Et nyt instrument med navnet GRAVITY er under konstruktion og forventes færdigt i 2014. Kombinationen mellem GRAVITY og VLT Interferometeret vil give en nøjagtighed for bestemmelsen af positioner, der er så stor, at det vil være muligt at følge bevægelsen af det materiale, som falder ind i det sorte hul i Mælkevejens centrum (se figur 8). GRAVITY vil således kunne måle og teste forhold omkring Einsteins generelle relativitetsteori. Som det fremgår af tabel 1, kan VLTI med en afstand mellem de enkelte teleskoper på op over 100 m nå en vinkelopløsningsevne i det nære infrarøde på under 1/1000 buesekund. Nøjagtigheden ved at måle positionen af lyset er dog meget større. GRAVITY forventes at nå en nøjagtighed på omkring 1/100.000 buesekund, når vi taler om at måle f.eks. lysende materiale som falder ind i Mælkevejens centrale sorte hul. GRAVITY vil derfor i princippet nøjagtigt kunne følge materiale, som falder i tyngdefeltet gennem de sidste minutter, inden det forsvinder ned i det sorte hul i Mælkevejens centrum.

E-ELT: Et 42 m teleskop

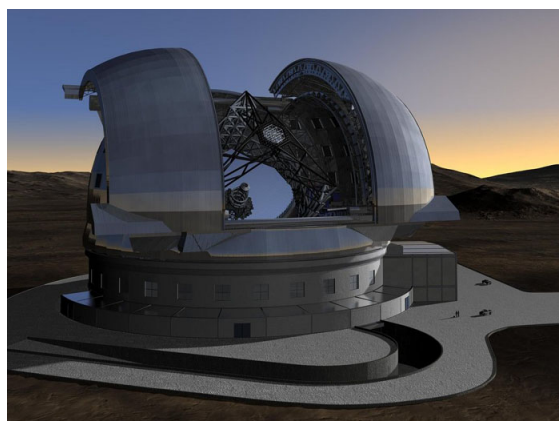
Som det fremgår af ovenstående er VLT og det tilhørende Interferometer (VLTI) et instrument som konstant udbygges og hele tiden optimeres med de nyeste teknologier og dermed leverer de bedst mulige observationsmuligheder for danske og europæiske astronomer. Det betyder dog ikke at man ikke kan bygge endnu bedre faciliteter. Et teleskop med endnu større spejl og endnu bedre vinkelopløsning end VLT's 8,2 m diameter, vil kunne give svar på en serie af helt fundamentale videnskabelige spørgsmål omkring kosmologien, kompakte objekter (sorte huller og objekter som via deres tyngdefelt tiltrækker materiale fra andre

stjerner), stjernernes overfladestruktur og dannelsen af stjerne- og planetsystemer.

I flere lande har ønsket om at finde svar på disse videnskabelige spørgsmål ført til et arbejde med at designe teleskoper med diametre på over 30 m. Det Europæiske Sydobservatorium arbejder i relation til dette med design og udvikling af det såkaldte European Extremely Large Telescope (E-ELT) – et gigantisk teleskop med en diameter på 42 m. Teleskopet vil, hvis det bygges, opnå en opløsning som nærmer sig den vi kan lave med VLTI. Men opløsningen vil – i modsætning til VLTI – kunne opnås for meget svage objekter i de meget fjerne egne (og tidlige faser) af Universet. Den endelige vedtagelse af E-ELT forventes i 2010 og det forventes at teleskopet kan begynde de første observationer i 2018. Design af teleskopet [7] er så fremskredet at det er muligt at begynde en detaljeret undersøgelse af de videnskabelige muligheder, man kan forvente ved brug af dette superteleskop.



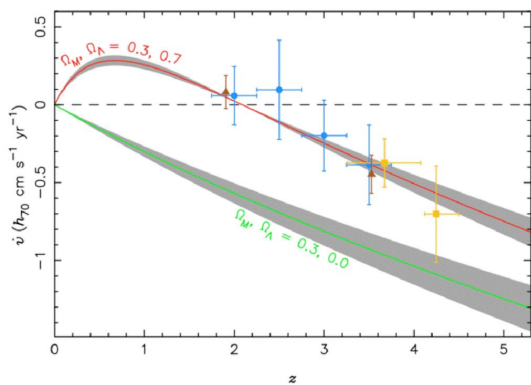
Figur 13. Den seneste version af E-ELT designet (november 2008). Hovedspejlet er 42 m i diameter og sekundærspejlet er på 6 m og er ophængt ca. 60 m over teleskopets fundament (ESO).



Figur 14. En tegners opfattelse af E-ELT teleskopet (42 m diameter) installeret i en gigantisk kuppel (ESO).

Som det fremgår af tabel 1 vil teleskopet kunne opløse detaljer ned til under 0,01" – hvis det kan lykkes at nå diffraktionsgrænsen. Dette vil i lighed med VLT kræve udstrakt brug af laserguidestjerner. Med et lysopsamlende areal på 1350 m² vil teleskopet åbne for en række nye muligheder, som på afgørende vis

kan ændre vores forståelse af Universet. Astronomerne har identificeret studiet af planeter om andre stjerner (exo-planeter) som et af de felter hvor E-ELT åbner helt nye muligheder. Det gælder bl.a. studiet af Jord-lignende planeter, undersøgelsen af atmosfærene for exo-planeter og undersøgelsen af planeter under dannelse. Et andet vigtigt område er studiet af galaksernes dannelse og udvikling. Som et eksempel på hvor afgørende E-ELT kan vise sig at blive for astrofysikken, kan nævnes den såkaldte CODEX-spektrograf, som vil nå en nøjagtighed, der er stor nok til at kunne måle, ikke blot den kosmologiske rødforskydning (Universets udvidelse) som en konsekvens af Big Bang, men også dens variation med tiden. Over en årrække på 20-30 år vil E-ELT (med CODEX-spektrografen) via nøjagtige målinger af fjerne aktive galakser bevægelse kunne måle ændringen i udvidelseshastigheden, som en konsekvens af de fundamentale egenskaber af universet. Det vil således være muligt at undersøge sammensætningen og mængden af universets grundbestanddele (almindeligt stof, mørkt stof og mørk energi) [8].



Figur 15. Simulering af 20-30 års observation med CODEX-spektrografen på E-ELT. Figuren viser hvordan ændringen i udvidelsen af Universet vil kunne anvendes til at skelne mellem forskellige sammensætninger af universets energityper [8].

ALMA: Det kolde Univers

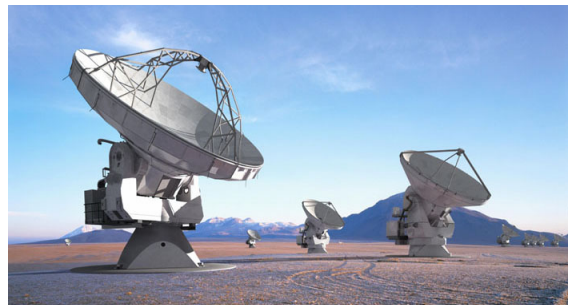
I tabel 1 fremgår det at opløsningsevnen for et teleskop, som observerer i mikrobølger (f.eks. ved en bølgelængde på 1 mm) ikke ved brug af et enkelt teleskop (med en diameter på f.eks. 10 m) vil kunne nå under det, som kan opløses af det menneskelige øje. For astronomerne er mikrobølger særdeles interessante, da denne type stråling udsendes fra objekter med en lav temperatur svarende til den temperatur som findes i Universets store støv- og molekylskyer. Ønsker vi at undersøge de detaljerede forhold i forbindelse med de tidligste faser af stjernernes og planeterne dannelse, og vil vi udforske egenskaberne ved støv og gas i Universet og undersøge forekomsten af molekyler og atomer imellem stjernerne (og i de interstellare gasskyer), kan dette primært gøres ved at observere mikrobølger fra universet. Vi er dog ikke nødt til at acceptere den dårlige opløsning, som vi kan opnå ved brug af en enkelt antenne. Kombineres mikrobølgesignalerne fra en række teleskoper kan man på samme måde som

for VLTI (beskrevet ovenfor) nå en superopløsning, som svarer til den, vi kan nå med VLT og E-ELT i synligt lys. Dette kræver dog, at antennerne spredes med kilometers afstand. For at skabe egentlige billeder og samtidigt kunne foretage observationer af relativt svage objekter, kræves mange mikrobølge-teleskoper. Det er præcist det, som er tanken bag ALMA: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array [9].

ALMA er et samarbejdsprojekt mellem Europa, Japan og Nordamerika (samt Chile). Projektet består af 50 antenner hver med en diameter på 12 m. Antennerne opstilles i øjeblikket i Chiles Atacameørken på Chajnantor beliggende i 5000 meters højde. ALMA forventes taget i brug i 2012.



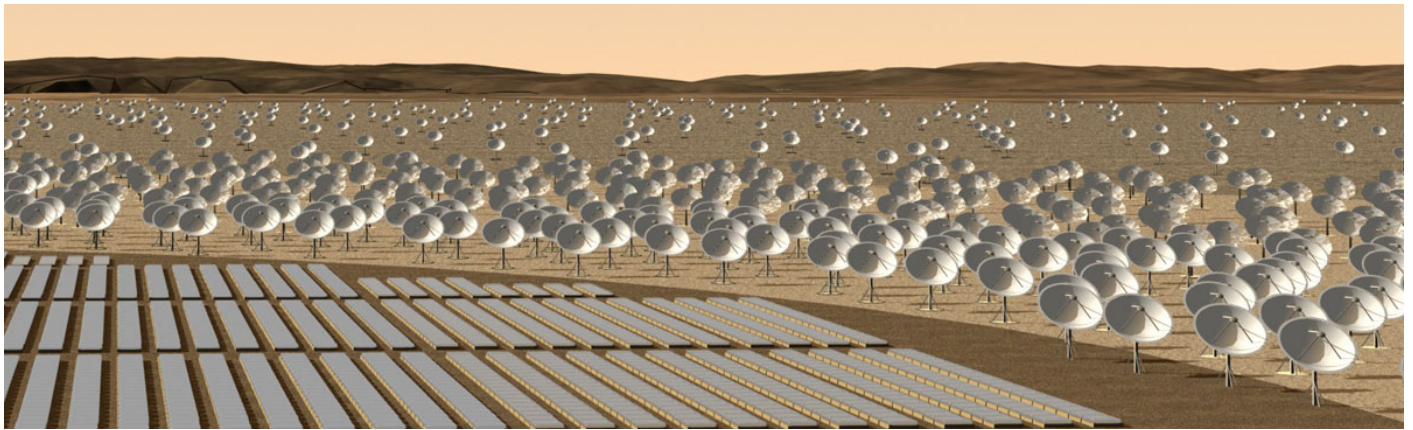
Figur 16. Stedet hvor ALMA opstilles i Chiles Atacameørken på Chajnantor beliggende i 5000 meters højde (ESO).



Figur 17. En tegners opfattelse af ALMA teleskopet når det står færdigt i 2012 (ESO).

SKA: Verdens største teleskop

ALMA, som opstilles i Chile, er optimeret til observation i mikrobølgeområdet. Der findes dog fysiske processer i universet som danner elektromagnetisk stråling med endnu længere bølgelængde (fra cm til km). Neutral brint udsender f.eks. stråling ved en bølgelængde på ca. 21 cm, og et teleskop, som er konstrueret til observation ved denne bølgelængde, vil derfor kunne anvendes til kortlægning og observation af neutral brint i Mælkevejen og i andre galakser. Som det fremgår af tabel 1, vil selv store antenner (f.eks. et teleskop med en diameter på 300 m) ved en bølgelængde på 21 cm end ikke kunne opløse detaljer svarende til det, et øje kan se. Derfor vil studiet af strukturdetaljer i fordelingen af neutral brint kræve et stort antal antenner fordelt over et stort areal (gerne i afstande på flere hundrede kilometer). For samtidigt at kunne detektere svage signaler vil det dog være nødvendigt at opstille mange antenner.



Figur 18. En tegning af den centrale del af SKA. Radioteleskopet består af flere tusinde antenner med et samlet areal på 1 km² [10].

Det har ført til det såkaldte SKA-projekt – et stort antal radioantenner spredt over et stort areal med et samlet antenneoverladeareal på 1 km² – heraf navnet: Square Kilometre Array (SKA) [10]. Det videnskabelige mål med SKA dækker studiet af de tidligste faser af Universets udvikling efter den varme del af Big Bang, studiet af magnetisme i universet, sorte huller, kompakte stjerner og galaksedannelse. Projektet er endnu ikke endeligt vedtaget, men den grundlæggende idé er at bygge flere tusinde antenner og opstille dem i store og mindre grupper fordelt over et stort område. Der er to oplagte steder at placere SKA. Det ene er i Australien, det andet i Sydafrika. Teleskopet forventes ikke at være helt færdigt før om 20 år.

Litteratur

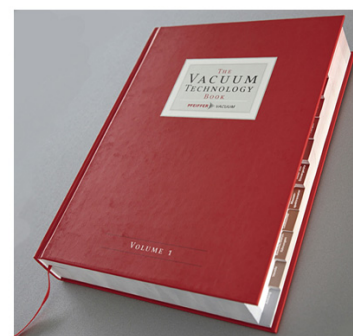
- [1] Kristian Pedersen, Anja C. Andersen, Johan P.U. Fynbo, Jens Hjorth og Jesper Sollerman, Det Mørke Univers, Naturens Verden, side 34, 1 / 2004.
- [2] Johan P.U. Fynbo, Anja C. Andersen, Steen H. Hansen, Jens Hjorth, Kristian Pedersen, Jesper Sollerman og Darach Watson, Galaksernes oprindelse og universets "Dark ages", Naturens Verden, side 26, 1/2008.
- [3] ESO Press Release 16/03: Cosmological Gamma-Ray Bursts and Supernovae Conclusively Linked. Se URL: <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2003/pr-16-03.html>
- [4] Hans Kjeldsen og Tim Bedding, Observation af stjerneskælv: Seismiske undersøgelser af stjernernes indre, KVANT nr. 3, November 2003.
- [5] ESO Press Release 33/05: Allo, Allo? A Star is Ringing, <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2005/pr-33-05.html>
- [6] ESO Press Release 17/08: The Little Man and the Cosmic Cauldron, <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2008/phot-17-08.html>
- [7] <http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/>
- [8] Luca Pasquini et al.: CODEX: the high resolution visual spectrograph for the E-ELT. Se URL: <http://www.vt-2004.org/sci/libraries/SPIE2008/7014-52.pdf>
- [9] <http://www.eso.org/sci/facilities/alma/>
- [10] <http://www.skatelescope.org/>
- [11] Torben Arentoft, Jørgen Christensen-Dalsgaard, Hans Kjeldsen, Frank Grundahl, Søren Frandsen og Pierre-Olivier Quirion, Helio- og asteroseismologi, KVANT nr. 2, 2009 (dette nummer)
- [12] Steen H. Hansen et al (2009), Mørkt stof – vi ved så meget og dog så lidt, KVANT nr. 2, 2009 (dette nummer)

Hans Kjeldsen 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). Hans Kjeldsen har tidligere været ansat ved Nordisk Optisk Teleskop på La Palma og ved det Europæiske Sydobseratorium, ESO og har som medlem af ESO's Scientific Technical Committee i en årrække deltaget i prioriteringerne af ESO's fremtidige udvikling.



PFEIFFER  **VACUUM**

**Vi udstiller på
DFS årsmøde**



På gensyn 16. til 18. juni

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