

TÆT PÅ STJERNERNE

SONG - Robotteleskopet på Tenerife



Astronomiske teleskoper til forskning bliver stadig større og dyrere.

Men med SONG-teleskopet er en gruppe danske forskere gået i en anden retning. De satser på små, billige robotstyrede teleskoper, som i et verdensomspændende netværk kan bruges til at studere stjerner og exoplaneter.

Om forfatterne



Mads Fredslund Andersen er ansvarshavende for SONG-teleskopet på Tenerife
madsfa@phys.au.dk



Ole J. Knudsen, Kommunikationsmedarbejder
ojk@phys.au.dk



Jørgen Christensen-Dalsgaard Professor
jcd@phys.au.dk

På bjergryggen Izaña med udsigt til vulkanen Teide på Tenerife står et lille dansk, topmoderne teleskop. Det jagter exoplaneter og opdager grundlæggende nyt om stjernernes indre ved at følge ændringer i lyset fra de klare stjerner. Der er ikke astronomer ved teleskopet, for det hele kan fjernstyres hvor som helst fra i Verden – endda med en tablet. Ikke bare forskere, men også danske gymnasieelever kan være med til

at indsamle og bearbejde data fra robotteleskopet.

SONG står for *Stellar Observations Network Group* og er navnet på et internationalt projekt, som i dag bliver ledet af forskere fra Aarhus og Københavns Universitet. Idéen opstod i 2006, hvor forskere fra de to universiteter diskuterede tendensen indenfor nye teleskopprojekter, som går mod at bygge større og større teleskoper. Med størrelse følger også pris. Og store og dyre teleskoper har

betydning for, hvor meget observationstid man kan få tildelt.

Som forsker tør man sjældent i en ansøgning bede om observationstid i mere end en uge i træk på et teleskop, og da slet ikke mere end to uger. Når man så får tildelt tid til sine observationer, er man som oftest nødt til selv at rejse hen, hvor teleskopet står placeret (hvilket sjældent er i Danmark) for at udføre observationerne. Af alle disse grunde opstod ideen om SONG.



Fotos: Mads Fredslund Andersen



Hvorfor Teide-observatoriet?

Det mest oplagte valg ville måske være at placere det første teleskop i SONG-netværket i Danmark. Det var her idéen blev grundlagt, og projektet ledes af danske forskere. At placere prototypen i Danmark ville have den klare fordel, at man hurtigt kunne komme til teleskopet. Med en prototype sker der løbende udvikling i både hardware og software, og derfor er hyppige besøg ved teleskopet påkrævet. De fleste ved dog også, at vi i Danmark ikke kan prale af klart og godt vejr. Der er faktisk i gennemsnit ikke mere end ca. 50 klare nætter på et år set fra Danmark. Mange af disse klare nætter falder endda i sommermånederne, hvor Solen aldrig kommer langt under horisonten, og det derfor ikke bliver rigtig mørkt. Derfor er Danmark ikke et oplagt sted at placere et teleskop til videnskabeligt brug. Faktisk er der ikke mange rigtig gode steder at placere et observatorium i Europa. Det nærmeste rigtig gode sted er De Kanariske Øer, og specielt La Palma og Tenerife er tæt på perfekte steder at

placere et teleskop. Disse vulkanøer er høje og stikker dermed toppen op gennem skyerne. Teide-observatoriet ligger i ca. 2400 meters højde, hvilket giver mange flere skyfrie nætter end fx i Danmark. I gennemsnit er der ca. 250-300 klare nætter om året på toppen af Tenerife.

At vi er oppe i højderne gør også, at lyset fra stjernerne skal igennem mindre af atmosfæren, og lyset bliver derfor forstyrret mindre. Atmosfæren over De Kanariske Øer er også meget stabil og stjernerne "blinker" derfor lidt mindre end set her fra Danmark. På Teide-observatoriet findes der allerede mange andre teleskoper, og der er derfor en god infrastruktur, som inkluderer højhastigheds-internet og en stabil strømforsyning. Desuden er der personale, som kan håndtere akutte problemer, som kan og vil opstå en gang imellem. Med disse mange argumenter var valget klart: SONG-prototypen skulle placeres på Tenerife.

SONG skal skille sig ud ved at være et netværk af forholdsvis små teleskoper med en spejldiameter på 1 meter, som dedikeres til at se på de klareste stjerner på nattehimmelen i lang tid ad gangen. Groft sagt er det de stjerner, man kan se med det blotte øje fra et mørkt sted på en klar aften her i Danmark.

Med et netværk af ens teleskoper fordelt passende steder rundt på Jordkloden vil man ikke bare have flere teleskoper at obser-

vere med, man vil også kunne kombinere teleskoperne, sådan at man kan observere én stjerne 24 timer i døgnet – alle ugens dage. Det vil sige, at når Solen står op et sted, og man dermed ikke kan observere mere derfra, så vil et andet teleskop i netværket kunne tage over. På den måde kan man observere enkelte stjerner i så lang tid, som det kræver at få nok data til, at astronomerne kan analysere stjernerne i så høj en detaljeringsgrad, som de gerne vil. Det er el-

lers normalt kun muligt fra rummet med dyre satellitteleskoper.

Prototypen på Teide

Det første teleskop i netværket blev officielt indviet på Teide-observatoriet på Tenerife den 25. oktober 2014. *Hertzprung SONG teleskopet*, som prototypen kaldes, er et robotteleskop, hvor bemanding ikke er nødvendig om natten for at udføre observationerne. SONG-observatoriet består af selve teleskopet, som er placeret i

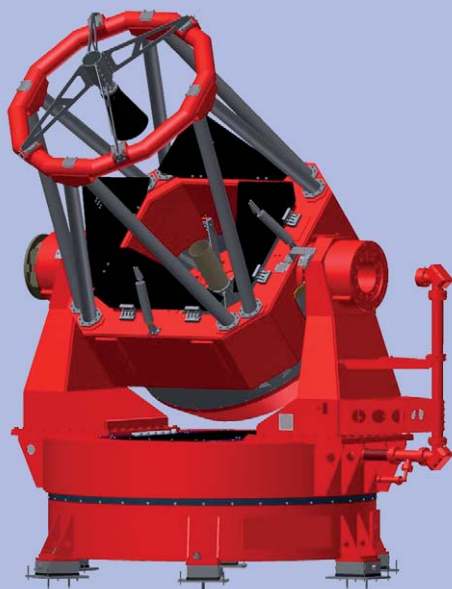


Frank Grundahl
Lektor
fgj@phys.au.dk

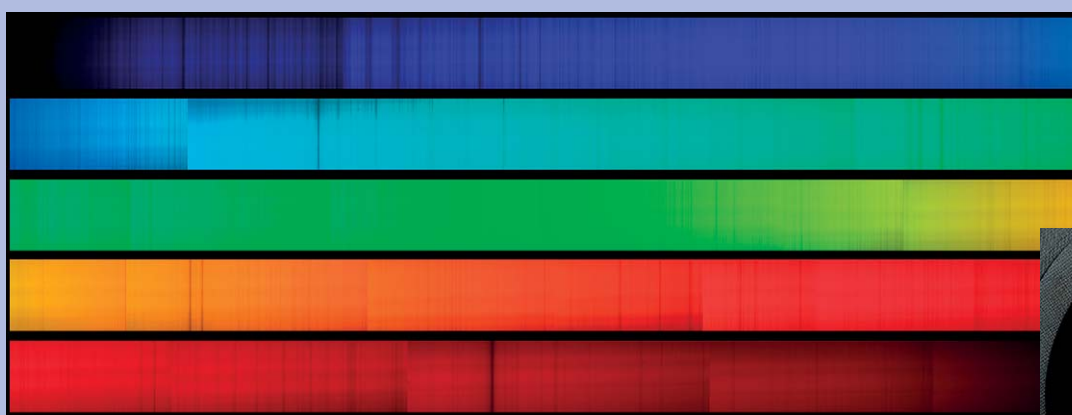
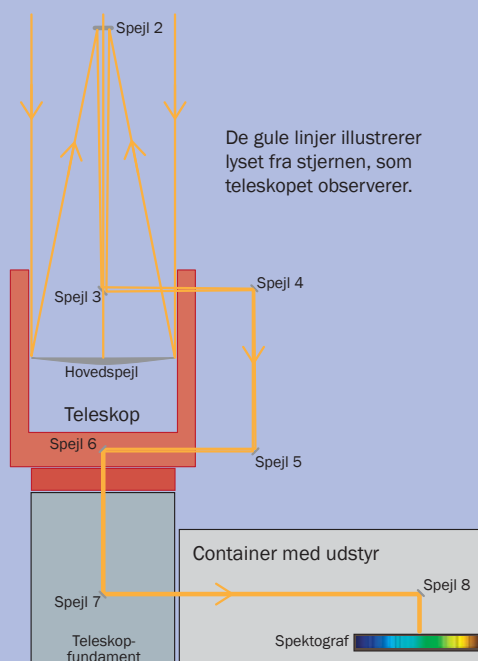


Hans Kjeldsen
Professor
hans@phys.au.dk

Alle ved Stellar Astrophysics Centre, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

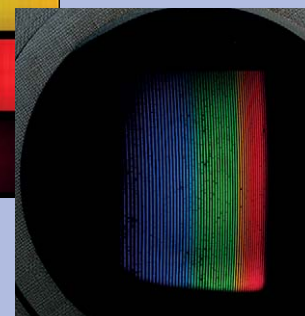


Tegning af SONG-teleskopet med en spejldiameter på 1 meter. Til højre ses en princip-tegning, som viser lysets vej fra hovedspejlet til spektrografen, der er placeret i den tilstødende container



↑ Solens spektrum observeret med en mobil spektrograf. Man ser tydeligt en masse absorptionslinjer, som afslører tilstedeværelsen af bestemte atomer eller molekyler. Princippet med at skære spektret i stykker og ligge delene ved siden af hinanden eller over hinanden bruger vi i SONG-spektrografen

for at få så meget af spektret med på vores detektor, samtidig med at vi har en høj opløsning. Det ser man på det andet billede, som er taget af udgangen af SONG-spektrografen, hvor vores CCD-detektor plejer at sidde. →



en forholdsvis lille kuppel, og ved siden af en almindelig skibscontainer med måleinstrumenterne og al elektronikken, som er nødvendig til observationer og til fjernstyringen. Teleskopet har et roterbart tredje spejl, hvilket betyder at man kan have to instrumenter monteret på samme tid. Det ene er et fotometrisk instrument installeret til at måle på stjerners lysstyrke. Det andet, som er placeret i den tilstødende container, er en spektrograf, som opdeler det hvide lys fra stjernerne i dets forskellige farver. Sagt på en anden måde spreder den lyset ud i et spektrum, så man kan måle intensiteten af lyset ved forskellige bølgelængder (farver).

SONG's instrumenter

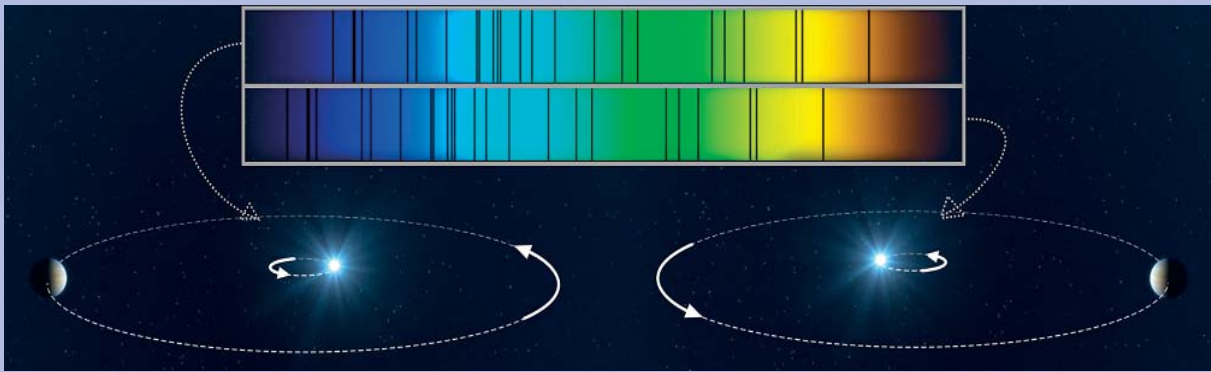
Spektrografen giver blandt andet radialhastigheder for stjernerne, og det er to fluer med ét astronomisk smæk. Radialhastighederne giver astronomerne oplysninger om svingninger på stjernernes overflade og om hele stjernens bevægelse i forhold til os.

Hvis der kredser én eller flere exoplaneter om stjernen, vil påvirkningerne fra tyngdekraften fra planeterne på stjernen få den til at bevæge sig lidt frem og tilbage i forhold til os på Jorden. Vi kan altså ikke se exoplaneterne direkte, men med SONG-teleskopet kan vi opdage påvirkningen fra planeter

omkring klare, nære stjerner.

Der er monteret to spektrografer på SONG. Den ene giver målinger i meget høj opløsning, og den anden er specielt følsom overfor spektrallinjerne fra grundstoffet calcium. Sidstnævnte er et nyt instrument monteret i efteråret 2016, og det skal primært bruges til at undersøge stjerners magnetiske aktivitet.

Fotometeret måler lysstyrker, dvs. det samlede lys fra udvalgte stjerner i et fast bølgelængdeområde. Det er specielt interessant i tilfælde, hvor to stjerner i kredsløb omkring hinanden, et såkaldt dobbeltstjernesystem, er orienteret



Radialhastighedsmålinger

Det ene SONG-instrument er en spektrograf, hvormed bl.a. stjerners radiale hastighed kan måles. Det gøres ud fra dopplereffekten af absorptionslinjerne i en given stjernes spektrum. Absorptionslinjer opstår pga. atomer og molekyler i stjerners yderste lag, og disse linjer ligger ved meget bestemte bølgelængder afhængigt af, hvilket atom eller molekyle de stammer fra. Alle stjerner bevæger sig relativt til os. Nogle mere, andre mindre, og alle i vidt forskellige retninger. Den komponent af deres bevægelse, som er i samme retning som synslinjen fra Jorden til stjernen, kaldes for den radiale hastighedskomponent. Denne radiale hastighed kan man måle som

en flytning af absorptionslinjerne i stjernens spektrum. Forskydningen kan beskrives med Dopplereffekten, som de fleste kender. Det er den, der bevirker ændringen af tonen en politibils sirene udsender, når bilen bevæger sig imod en i forhold til, når den bevæger sig væk fra en.

Med SONG-spektrografen kan man måle stjerners radiale hastighed på ned til en meter i sekundet. Dvs., at en stjernes "overflade" bevæger sig i retningen mod eller væk fra os med en hastighed, der svarer nogenlunde til den hastighed, et menneske går med. Og det kan man måle på en stjerne, der er mange lysår væk!

Figuren illustrerer to situationer hvor en planet i kredsløb om en stjerne er to forskellige steder i sit kredsløb. Til venstre vil planetens tyngdepåvirkning på stjernen bevirke, at stjernen vil bevæge sig væk fra observatøren, og det tilsvarende spektrum er vist øverst. Her er absorptionslinjerne i spektret være forskudt mod den røde del af spektret ("rødforskydning"). I den anden situation påvirkes stjernen, så den vil være på vej imod observatøren, og absorptionslinjerne i det tilsvarende spektrum vil være forskudt mod den blå del ("blåforskydning").

Se en video med Mads Fredslund Andersen, der forklarer radialhastighedsmetoden: <https://youtu.be/OblrTBadps0>

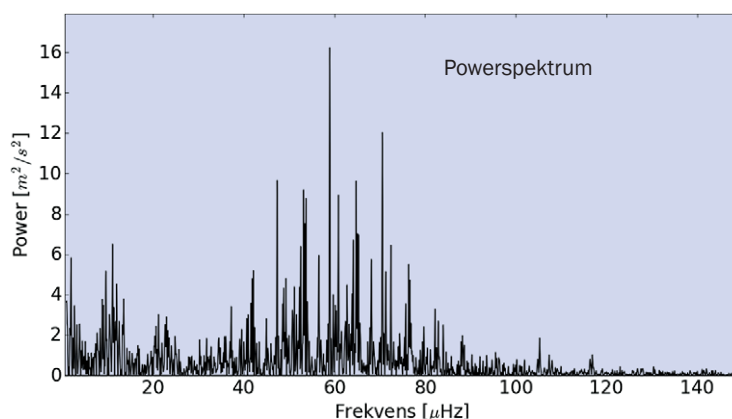
sådan, at de to stjerner vil passere ind foran hinanden set her fra Jorden. Det gælder også, hvis den ene stjerne skiftes ud med en planet. Ved sådanne formørkelser, hvor en planet eller en svaglysende stjerne passerer ind foran en klar stjerne, vil man kunne få en masse vigtige oplysninger om bl.a. størrelse og afstand til hovedstjernen.

Kameraerne, som er monteret på SONG, tager billeder, som dækker et større synsfelt end teleskopet. Dermed kan disse bruges til at kontrollere, om teleskopet peger korrekt, men de kan samtidig bruges til at analysere lysstyrken af stjerner i nærheden af det primære observationsobjekt.

Stjerneskælv og exoplaneter

Vi kan ikke se ind i stjernerne, men næsten alle stjerner vibrerer. Disse vibrationer eller svingninger kan beskrives som lydbølger, der bevæger sig ind gennem stjernen. På den måde bringes der informationer om stjernens indre ud til overfladen, hvor astronomerne kan observere dem. At analysere svingninger i stjerner minder meget om geologers analyser af jordskælv – seismologi. Derfor kaldes denne måde at se på stjernerne på for "asteroseismologi". I stjerner som Solen er der mange svingninger til stede på samme tid, og ud fra simpel inspektion er det ganske kompliceret at bestemme, hvilke

svingninger der er tale om. Til at finde ud af, hvilke frekvenser svingningerne i stjernerne har, bruger astronomerne et matematisk værktøj kaldet fourieranalyse. Det har dog en ulempe, når der er huller i dataserien. Huller opstår, når man kun har ét observatorium, hvorfra man ikke kan observere om dagen. Det er her, netværket kommer ind og spiller den afgørende rolle i SONG-projektet. Ved at anvende fourieranalyse på en observationsserie (tidsserie) fremkommer det, der kaldes for et powerspektrum. Heri vil svingninger i en stjerne fremstå som toppe ved en bestemt frekvens (svingningsfrekvensen). Én svingning observeret i en stjerne vil



Figuren viser et powerspektrum af stjernen 46LMi. Toppene mellem 30 og 90 mikroHertz viser tilstedeværelsen af periodiske svingninger i stjernen. I denne stjerne er der en god håndfuld svingninger til stede på én gang, men huller i observationerne (pga. dagtimerne) giver falske toppe, og analysen af denne stjerne er meget kompliceret derfor. At stjernen svinger med frekvenser omkring 60 mikroHertz fortæller os dog med det samme, at stjernen er en "rød kæmpestjerne" og altså en stjerne som minder om det, Solen vil udvikle sig til om nogle milliarder år.

fremstå som 3 - 5 toppe, hvis der er regulære huller i tidsserien pga. Jordens rotation (daglige cyklus). De "forkerte" toppe, som opstår, kan komplicere analysearbejdet enormt og til tider gøre analysen helt umulig. Ved at fylde hullerne i data-serien ud med observationer fra et andet teleskop i netværket undgår man altså disse problemer med toppe, der fremkommer pga. dag- og natrytmen, og astronomernes måde

at analyse observationerne på.

Exoplaneter vil få deres stjerne til at svinge en anelse både til siderne og frem og tilbage i forhold til os. Med observationer af den samme stjerne over lange tidsrum vil man kunne se disse ændringer i radialhastigheden for hele stjernen. Ud fra forløbet af ændringerne kan man så beregne exoplanetens størrelse, afstand fra stjernen og et væld af andre detaljer.

SONG-teleskoperne vil kunne måle disse periodiske bevægelser for selv forholdsvis små planeter i tæt kredsløb om deres stjerne og for de klareste stjerner på himlen. De første resultater er allerede indhøstet, men venter på en bekræftelse.

Observationsprocedure

Når vi planlægger vores observationer med teleskopet en given nat, starter vi med at taste en liste af

SONG på gymnasiet

Det er ikke alle i hele verden der kan søge om tid på SONG teleskopet. Man skal have en tilknytning til projektet for at få lov til at søge om observationstid. To gange årligt er der ansøgningsrunde, hvor forskere kan indsende gode idéer til projekter, de gerne vil have udført. Et panel af repræsentanter fra de forskellige institutioner, der er med i projektet, evaluerer derefter projekterne og udvælger de bedste til at blive observeret det efterfølgende halve år.

Derudover udskrives der hvert år en konkurrence, hvor danske klasser på gymnasieniveau kan indsende projekter på samme måde som ved de videnskabelige SONG-ansøgningsrunder. Klasserne skriver en ansøgning, hvori de beskriver hvad og hvordan de vil observere, samt angiver hvad de efterfølgende vil bruge disse data til. Denne konkurrence annonceres hvert år lige efter skolernes sommerferie



Foto: Varde Gymnasium

Vinderne af konkurrencen 2016 blev Varde Gymnasium og HF's astronomi c hold.

med deadline lige før efterårsferien. Førstepræmien i konkurrencen er, at vinderklassen selv foretager observationerne beskrevet i deres projekt. Det kan gøres fra et kontrolrum, som er opsat på Ole Rømer-Observatoriet i Aarhus, og herfra kan SONG-teleskopet styres på Tenerife.

I foråret 2017 offentliggøres endnu en konkurrence, hvor præmien er en guidet tur på Teide-observatoriet på Tenerife i foråret 2018. Tenerife er et oplagt mål for tværfaglige studieture i gymnasieskolen, og SONG-gruppen stiller en astronom til rådighed som guide på observatoriet for en dag.

objekter ind i en database i Aarhus via en hjemmeside. Det kan foregå samme dag eller flere dage før observationerne skal foretages. Listen bliver derefter automatisk kopieret ned til observatoriet på Tenerife. Her tjekkes listen igennem, og når det kort efter solnedgang er mørkt nok til at starte observationerne, går teleskopet selv i gang. I løbet af natten vil listen på normalt mellem 10 og 30 stjerner blive observeret til vidt forskellige formål. Nogle projekter kræver et spektrum af 100 stjerner, som kan være fordelt over mange nætter, andre kræver 100 spektre af én stjerne fordelt på 100 nætter og så videre.

Flere noder i sangen om SONG

En af SONG's vigtigste fordele er muligheden for at observere noget i meget lang tid. Det har haft betydning for, hvor hurtigt data fra prototypen kunne analyseres og offentliggøres. De første resultater er allerede sendt til udgivelse, og flere vil følge efter, men alle disse resultater er baseret på observationer udelukkende gjort med prototypen på Tenerife. Et nyt teleskop

i netværket er nu blevet bygget og placeret på det tibetanske plateau i det centrale Kina. Dette teleskop samt instrumenterne dertil er baseret på tegninger og specifikationer fra SONG-teleskopet på Tenerife.

Selvom teleskopet og spektrografen i Kina står færdig, er samspillet mellem de to komponenter, som styres af et utal af elektroniske dele, ikke lige til, og den sidste fase med robotiseringen af observatoriet er endnu ikke færdiggjort.

De første manuelle observationer fra det kinesiske SONG-teleskop er dog blevet udført, og resultaterne ser lovende ud.

Det er håbet, at SONG-netværket med tiden kan udbygges til mindst syv eller otte ens teleskoper, og gerne flere. Det vil sikre, at der kan foretages observationer døgnet rundt, og at der er reserver, hvis et enkelt af teleskoperne har dårligt vejr eller må tages ud af drift for en tid. Med ens teleskoper og ens måleudstyr bliver analysen af data og muligheden for at låne reserveud-



Logoet for SONG viser forskernes ønskeliste for et netværk af teleskoper. Foreløbig er der placeret et på Tenerife og et i det centrale Kina.

styr fra hinanden også langt lettere. Desuden kan programmeringen af software til styring genanvendes. Flere observatorier har vist interesse for at huse et SONG-teleskop, og vi glæder os til at byde nye samarbejdspartnere velkommen i projektet. ■

Yderligere information

song.au.dk

Youtube-kanalen: "Astronomi - Aarhus Universitet": www.youtube.com/channel/UCOhBhaKzmYG4ApUCF01M06w

SONG-teleskopet på Tenerife er Sponsoreret af:
VILLUM FONDEN, Carlsbergfondet, Det Frie Forskningsråd, Det Europæiske Forskningsråd og Danmarks Grundforskningsfond.

Annonce