

# Skåda stjärnor med kilometerstora teleskop

Universum är stort. Våldigt stort. För att tydligt se avlägsna objekt krävs stora teleskop. Våldigt stora. Och för att i synligt ljus lyckas se något på ytan av närbelägna stjärnor krävs system av optiska teleskop hopkopplade över kilometerlånga avstånd.

av Dainis Dravins och Colin Carlile

**M**ycket av astronomins framsteg möjliggörs tack vare allt skarpere avbildning. De största teleskopen placeras på höga bergstoppar där dämpad atmosfärisk turbulens garanterar skarpa bilder. Kvalitén förbättras ytterligare med datorstyrda och böjbara optiska speglar som kompenserar störningarna i lufthavet. Teleskop i rymden undviker förstas atmosfären helt.

För att få bättre bildskärpa än vad som är möjligt med enstaka teleskop kan flera länkas ihop i så kallade interferometrar. Genom att pussla ihop signalerna parvis från två teleskop kan man få ut bildinformation som annars

skulle ha krävt ett jätteteleskop. I en större anläggning kan signaler kombineras ihop från teleskop på olika inbördes avstånd och placerade i olika väderstreck. Genom att matematiskt sätta ihop signalerna i en dator återskapas en bild med en skärpa som annars bara varit möjlig med ett enda perfekt jätteteleskop, stort som avståndet mellan de yttersta teleskoperna i gruppen.

Trots att sådana metoder varit kända sedan lång tid tillbaka, kan det praktiska genomförandet vara ganska utmanande. Läget för de olika teleskopen måste nämligen hållas konstant med en noggrannhet på en bråkdel av våglängden för den

strålning som mäts. Radiovåglängder är långa: millimeter, centimeter eller till och med flera meter, vilket gör det möjligt att uppfylla kravet på noggrannhet även över långa avstånd. Detta har möjliggjort den senaste tidens radiobild av ett avlägset svart hål, vilket erhöles av ett nätverk av teleskop som spänner över hela jorden.

I synligt ljus försvaras sådana hopkopplingar av teleskop av det synliga ljusets mycket kortare våglängder på mindre än en tusendels millimeter. Luftoron gör det i praktiken omöjligt om man vill placera teleskopen mer än ett par hundra meter från varandra.

Interferometrar som Esos VLTI och liknande komplex i Kalifornien

Den största gruppen av teleskopen för Cherenkov Telescope Array uppförs inom Esos område i Atacamaöknen i Chile. Närmast syns berget Paranal med sina fyra stora kupoler för VLT, Very Large Telescope. Byggplatsen för ELT, Extremely Large Telescope, ligger på berget Armazones, cirka 20 km upp till vänster. Cherenkov Telescope Array kommer att täcka många kvadratkilometrar i dalgången mellan dessa berg.

fungerar genom att utnyttja ljusets vågnatur. Alla teleskop observerar samma stjärna, och ljuset från olika teleskop samlas och mäts i specialiserade instrument. Spännande resultat har avslöjat att vissa stjärnor är avplattade eller deformerade på grund av sin snabba rotation, medan andra är omslutna av skal, täckta av fläckar eller kringgärdade av skymmande moln. Det är dessa instrument som har följt hur lägena ändrats för stjärnor som snabbt svingats runt det svarta hålet mitt i vår Vintergata. För att få vettiga bilder av ytan på mer normala ljusa stjärnor såsom solen, skulle det dock krävas att placera ut grupper av teleskop över flera

kilometer, men luftens störningar tillåter inte nödvändig precision över så stora avstånd. I princip skulle man förstas kunna tänka sig att undvika atmosfären genom att med extrem noggrannhet formationsflyga svärmar av teleskop i rymden, men detta förblir orealistiskt under åtminstone överskådlig framtid.

För att kringgå dessa begränsningar har man hittat ett annat tillvägagångssätt, som inte utnyttjar ljusets vågnatur utan i stället dess extremt snabba fluktuationer i intensitet, ett optiskt fenomen som kommer från kvantmekaniken. Konceptet utvecklades redan för länge sedan, gavs så småningom en teoretisk förståelse

som ett fenomen inom kvantoptiken (vilket gav ett Nobelpris) och har nu blivit praktiskt tillämpbart tack vare utvecklingen inom en helt annan gren av astronomin. Metoden kallas intensitetsinterferometri. Egentligen är det ingen interferometri alls, men det har fått namnet på grund av metodens likheter med de klassiska metoderna.

## Gammastrålning i synligt ljus

Gammastrålning är strålning av den högsta energi som når oss utifrån kosmos. För livet på jorden är det lyckosamt att dess energirika flöde inte tränger igenom atmosfären,

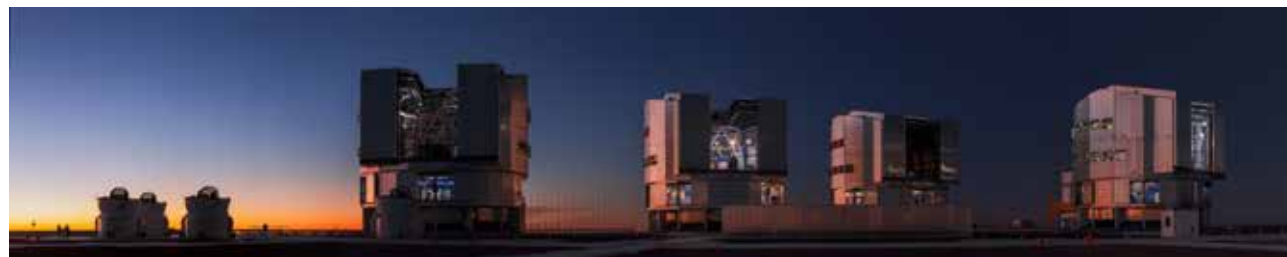


BILD: ESO

Med interferometern VLTI vid Europeiska sydobservatoriet i Chile kan man koppla ihop teleskop-par på ett par hundra meters avstånd.

detta innebär också att direkta mätningar måste utföras utifrån rymden. Olika rymdfarkoster har genomsökt himlen i gammastrålning, men deras vidare utveckling begränsas av behovet av allt tyngre detektorer. Gammastrålning kan inte samlas in och fokuseras som vanligt ljus och kräver åtskilligt med tung massa för att alls stoppas och mätas. För att slippa på allt tyngre satelliter har en ny gren av gammaastronomi utvecklats, där man i stället använder luften i jordens atmosfär som en enorm detektor.

När gammastrålning stoppas av atmosfären efterlämnar den spår av sitt ursprung allt eftersom den avger sin energi i de övre luftlagren. Detta är en ganska komplicerad process där ett kvantum av gammastrålning först träffar någon syre- eller kväveatom på cirka tio kilometers höjd, varvid det i kollisionen skapas och slungas ut några elektroner eller andra elementarpartiklar. Dessa bär med sig energin från den ursprungliga gammastrålningen och flyger iväg med

hastigheter mycket nära ljusets innan de krockar med ytterligare atomer, och det hela breder ut sig i en stor partikelskur ner mot marken.

Här kommer fenomenet Tjerenkovstrålning in, uppkallat efter den ryske fysikern Pavel Tjerenkov (på engelska transkriberas hans namn som "Cherenkov", vilket ibland även förekommer på svenska) som upptäckte fenomenet och fick Nobelpriset 1958. Ljusets hastighet i material som luft, vatten eller glas är långsammare än i vakuum. Fastän skillnaden mellan hastigheterna i luft och vakuum är mycket liten, bara 0,03 %, är den ändå tillräcklig för att orsaka lysande chockvågor genom den så kallade Tjerenkoveffekten.

Detta uppstår när något rör sig genom ett medium med en hastighet som är snabbare än vad vågor kan utbreda sig. Till exempel uppstår det ljudbangar från överljudsplan, och en snabb motorbåt sprider skarpa och genomträngande vågor. I luft skapas "ljusbangar" från partiklar som flyger

snabbare än ljusets hastighet i luft (även om de förstås är långsammare än ljusets hastighet i vakuum). Mot en mörk himmel kan dessa observeras som extremt korta blåaktiga blixtrar som inte varar längre än några miljarddelar av en sekund.

Förekomsten av sådana blixtrar insågs redan för länge sedan, men först ganska nyligen blev det möjligt att utnyttja dem för gammaastronomi. Svårigheten var inte att upptäcka blixterna i sig, utan snarare det matematiska och datortekniska problemet med att skilja de sällsynta skurar som orsakas av gammastrålar från de mycket vanligare händelserna som skapas av tunga partiklar i den kosmiska strålningen, främst protoner, alltså vätekärnor, som hela tiden träffar jordens atmosfär. Skillnaden är att gammastrålning skapar renare partikelskuror och smäckrare spår i luften än vad de tunga protonerna gör.

För att observera dessa Tjerenkovskurar har speciella teleskop konstruerats. Eftersom det mesta av ljuset är



BILD: DAINIS DRAVINS

Ett av flera Tjerenkovteleskop vid VERITAS-anläggningen på Mount Hopkins, söder om Tucson i Arizona, inte långt från Kitt Peak-observatoriet. Varje teleskop är 12 meter i diameter och dess enda spegel består av ett stort antal sexkantiga segment. Den kvadratmeterstora kameran finns i den fyrkantiga lådan som också syns reflekterad i spegeln. Sedan 2018 nyttjas dessa teleskop även för intensitets-interferometri.

BILD: DAINIS DRAVINS



blåaktigt måste teleskopen reflektera i synligt ljus, och eftersom ljusblixterna är svaga måste teleskopen vara stora. För att kunna bestämma riktningen varifrån ljusblixterna kommit behöver man observera spåret av ljus ur olika vinklar, vilket betyder att teleskopen måste vara flera. Ljusspåret från partikelskuren är dock något diffust och behöver inte avbildas med hög skärpa, vilket gör att teleskopens optiska kvalitet inte behöver vara särskilt hög, och därför kan även enkla teleskop med en enda huvudspegel användas. Allt detta innebär också att teleskopen kan vara billiga och inte heller behöver vara utrustade med skyddande kupoler.

### Högsta noggrannhet med de simplaste teleskop

Metoden för intensitets-interferometri har den viktiga fördelen att den är praktiskt taget okänslig för både luftens turbulens och optiska fel i teleskopet. Att man alls kan göra extremt exakta observationer i turbulent luft med teleskop av dålig optisk kvalitet kan låta konstigt, och när idén först presenterades möttes den

också av mycket misstro. Även om metoden faktiskt tolererar turbulent luft och knaggliga teleskop är den i stället krävande i andra avseenden. Man lyckas kringgå de tuffa kraven på perfekt optisk kvalitet i en stilla atmosfär genom att ersätta dessa med andra krav, som kanske inte är mindre strikta, men som är lättare att möta med dagens teknik, nämligen elektronik för snabba mätningar samt signalbehandling i datorer.

Varje teleskop är självständigt, men alla observerar samma stjärna samtidigt. De mäter oavbrutet stjärnans

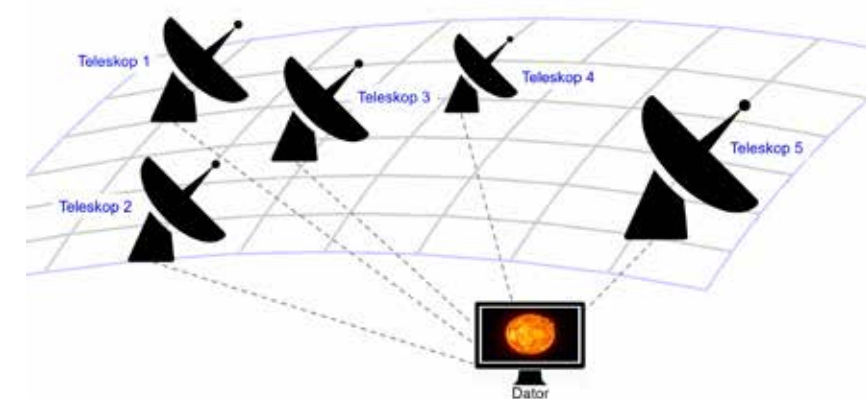


BILD: DAINIS DRAVINS

I intensitets-interferometri observerar skilda teleskop samma stjärna. Ljusstyrkan mäts varje bråkdel av en sekund och mätningarna kombineras sedan i datorn för att återskapa en bild av stjärnan.

Ett Tjerenkovteleskop vid observatoriet Serra La Nave på sluttningen av vulkanen Etna på Sicilien. Nio sådana teleskop kommer att placeras på kanarieön Teneriffa. Teleskopets namn, "ASTRI-Horn", hedrar en italiensk pionjär inom segmenterade teleskopspeglar, Guido Horn d'Arturo, som redan 1935 byggde ett teleskop med 61 spegelsegment. Stående från Lundagruppen: Dainis Dravins, Colin Carile, Tiphaine Lagadec.

Ljusstyrka med elektroniska detektorer i en extremt hög tidsupplösning. Ljusets hastighet är 300 000 km/s. Snabba elektronikkretsar har en tidsupplösning på ungefär en miljarddel sekund, under vilken ljuset hinner röra sig 30 cm. Den precision för teleskopen och deras inbördes placering som krävs för att mäta så snabba fluktuationer motsvarar dessa tidsskalor, under vilka ljuset flyger några tiotals centimeter. Eftersom noggrannheten inte längre, som i klassiska system, behöver vara en bråkdel av ljusets egen våglängd (mindre än en tusendels millimeter) kan teleskopspeglarna vara förvrängda med till och med centimeter utan att märkbart påverka precisionen.

Nu kan man undra varför stjärnans ljusstyrka fluktuerar överhuvudtaget? Egentligen är det inte stjärnan som blinkar, utan istället är det själva ljuset i sig. Fenomenet kan förklaras genom ljusets kvantmekaniska natur och är analogt med fluktuationerna i grupper av vissa andra elementarpartiklar. Även om man kan skapa konstgjorda ljuskällor, till exempel lasrar, som inte fluktuerar alls, så flimrar varje naturlig ljuskälla på vissa typiska tidsskalor.

Men vad har detta att göra med avbildning av stjärnor? Jo, om två teleskop är tillräckligt nära varandra mäts praktiskt taget samma fluktuationer nästan samtidigt i båda teleskopen. Teleskop längre ifrån varandra mäter också samma typ av fluktuationer men dessa sker inte längre exakt samtidigt.

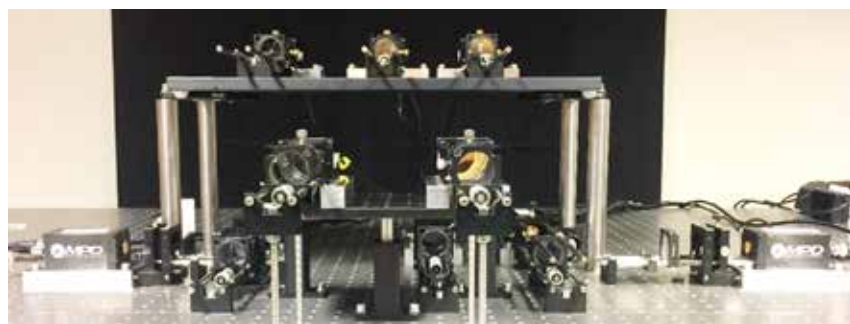
Här kommer nu beroendet på det observerade objektet in. Om stjärnan är mycket liten i vinkelstorlek och mest bara syns som en prick, förblir fluktuationerna nästan samtidiga också i teleskop på ett visst avstånd från varandra. Ljus från större stjärnor fluktuerar på samma sätt, men nu sker svängningarna i olika teleskop inte längre samtidigt. Om man skulle betrakta gruppen av teleskop som en kör av sångare, sjunger de alla rent och i fas när de observerar en liten stjärna men tappar tonen och börjar sjunga falskt när de observerar en stor stjärna. Om stjärnan är mer komplex, kanske avplattad i formen, med mörka fläckar på ytan, eller blåser ut en stjärnvind, blir signalerna i de olika teleskopen mer komplicerade och osammanhängande, men körens missljud innehåller då information om stjärnans utseende.

### Utprovning och laboratorieexperiment

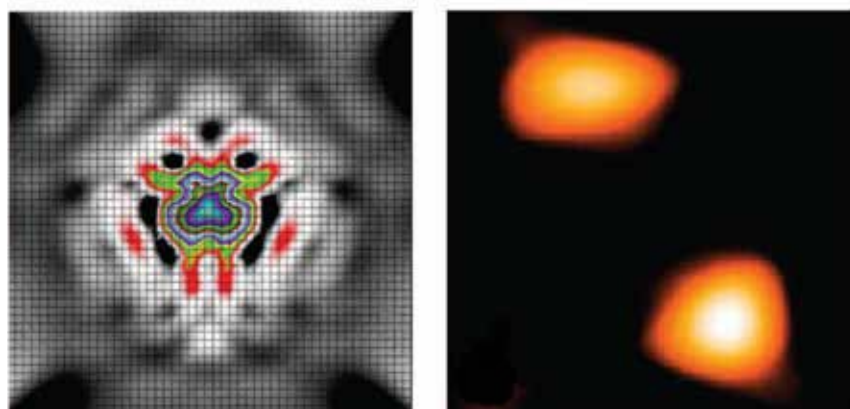
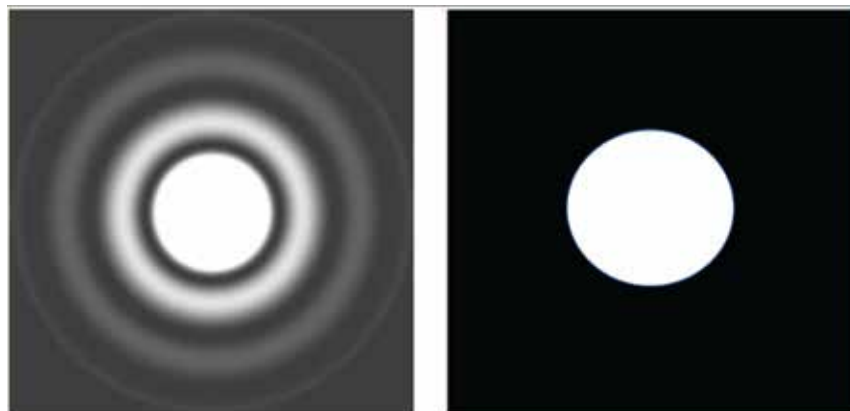
Det kommer ännu att dröja någon tid innan större anläggningar blir färdigbyggda, men innan dess måste instrumentering och datorrutiner provas ut genom experiment med små teleskop i laboratoriet.

Ur sådana mätningar kan man inte omedelbart utläsa en bild av stjärnan, utan man erhåller stjärnans så kallade diffraktionsmönster. Detta är ett böjningsmönster som kan skapas genom ljusets vågnatur när ljuset passerat genom en bild och böjts av.

Om man med ögat observerar en ljus stjärna genom ett litet teleskop, kan man ibland se ett mönster i form av koncentriska ringar runt stjärnan i mitten. Detta är ett böjningsmönster som i det här fallet avslöjar den runda formen av teleskopöppningen. Om öppningen istället hade varit tre- eller fyrkantig, skulle mönstret kring stjärnan varit annorlunda. Mönstret som registreras av en grupp teleskop



I optiklaboratoriet vid Lunds observatorium blickar vi in i tio små teleskop, grupperade för att motsvara stora teleskop i Chile, utspridda över ett par kilometer. De riktar alla mot en ljuskälla utformad som en konstgjord stjärna. Data från deras detektorer strömmar till en dator i närheten.



Böjningsmönster (vänster) och motsvarande bilder (höger). Överst till vänster är vad man kan se runt en ljus stjärna när man tittar genom ett litet teleskop. Det här stammar från teleskopets runda öppning. En rund stjärna som observeras med en interferometer skapar ett liknande mönster. Ett mer komplext mönster uppmätt i laboratoriet för en konstgjord osymmetrisk dubbelstjärna (nere till vänster) gör det möjligt att återskapa dess riktiga bild nere till höger.

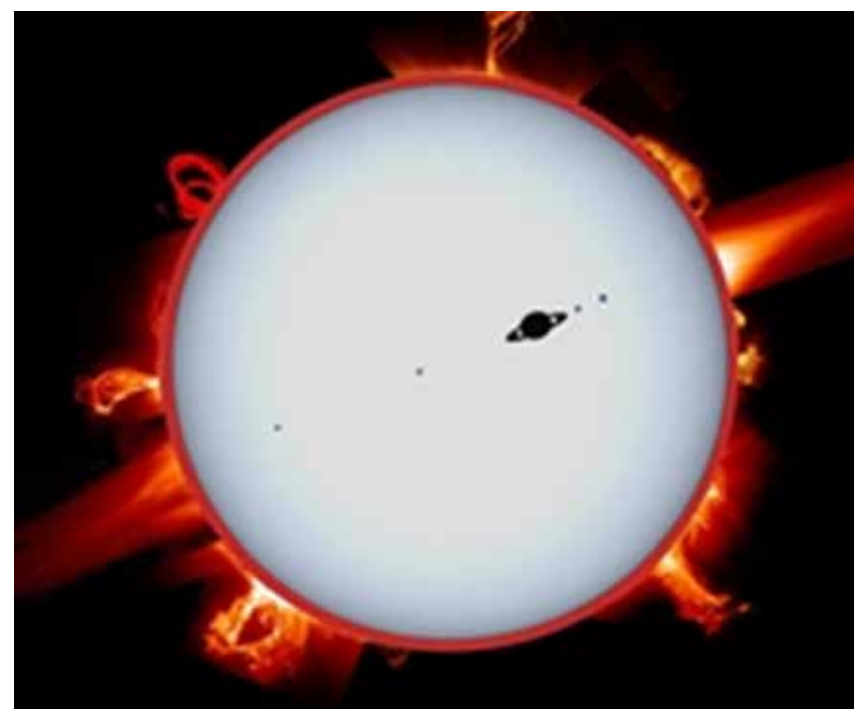
avslöjar motsvarande information om den stjärna som observeras. Det krävs dock vissa matematiska beräkningar för att omvandla mönstret till en vanlig bild. Genom laboratorieexperiment har man kunnat visa att skarpa bilder kan erhållas i synligt ljus med vitt åtskilda optiska teleskop, endast kopplade till datorer, något som tidigare bara var möjligt för radioområdets långa våglängder.

### Lovande Tjerenkovteleskop

Mycket av förväntan inför möjligheterna med intensitets-interferometri kommer från pågående arbeten med att uppföra stora anläggningar med Tjerenkovteleskop. Det största projektet är Cherenkov Telescope Array (CTA). I ett brett internationellt samarbete håller teleskop på att uppföras på dels kanarieön La Palma för norra

halvklotet och vid Esos observatorium kring bergen Paranal och Armazones i Chile. Den södra gruppen ska få bortåt 100 teleskop utplacerade över flera kvadratkilometer. Med inbördes avstånd mellan teleskopen på mer än 2 kilometer kommer detta att vara en utmärkt anläggning för interferometri. Sådana observationer är tänkta att företrädesvis göras under nätter med starkt månljus, då de ljussvaga Tjerenkovblixarna från gammastrålning är svåra att upptäcka. Härigenom kan man bäst fördela nyttjandet av teleskopen mellan gamma- och synligt ljus.

När flera teleskop kopplats ihop över avstånd på två eller tre kilometer uppgår den möjliga vinkelupplösningen till cirka 30 miljondelar av en bågsekund. Detta kommer att vara utan motstycke inom optisk astronomi och nästan tusen gånger bättre än rymdteleskopet Hubble. Vad detta kan betyda visas bättre med en bild än med bara siffror. En "begriplig" typ av objekt är en stjärna som någotsånär liknar solen. Låt oss ta en ganska närliggande stjärna som Sirius (med en vinkeldiameter på sex tusendelar av en bågsekund). Vi antar också att det finns en exoplanet som passerar över stjärnan. Denna får samma storlek och avplattning som Jupiter och vi förser den med en Saturnusliknande ring och fyra månar. Och så antar vi att stjärnan omger sig med en aktiv yttre atmosfär ungefär som solen. Vad skulle man då observera om man använder CTA som en optisk inter-



En simulerad bild av en tänkt planet som passerar framför en relativt närliggande stjärna (Sirius), illustrerar den vinkelupplösning och bildskärpa som kommer att bli möjlig genom intensitets-interferometri med teleskopen i den planerade CTA, Cherenkov Telescope Array.

ferometer?

Att skåda universum med allt tydligare skärpa är en av astronomins drivkrafter, och vår förståelse av kosmos har ständigt tilltagit när vi kunnat skönja allt finare detaljer. För synligt ljus lovar intensitets-interferometri att kunna uppnå ett i princip enkelt, men hittills svåråtkomligt mål: att avslöja hur solens närmsta grannar egentligen ser ut – inte bara små prickar av ljus utan solar med egna och säkert fascinerande personligheter. Det är dessa ännu föga kända stjärnor som är

solens och våra närmsta grannar och följeslagare i Vintergatans. ★

*DAINIS DRAVINS är professor emeritus i astronomi vid Lunds Universitet. Hans forskning innefattar analyser av solens och stjärnors spektra samt utvecklingen av olika metoder för noggranna observationer i synligt ljus. Liksom Colin Carlile är han aktiv inom CTA:s arbetsgrupp för intensitets-interferometri.*

*COLIN CARLILE har sin bakgrund inom neutronforskningen och var ledare för ESS (European Spallation Source) under dess etablering i Lund. Under senare år har han arbetat med intensitets-interferometri i laboratoriet samt medverkat i arbetet med att utveckla CTA-observatoriet.*



CTA, Cherenkov Telescope Array, kommer att fördelas mellan två platser, en i norr, en i söder. Illustrationen visar den större anläggningen med bortåt 100 teleskop som kommer att ligga i Chile, varifrån Vintergatans centrum med sina många källor för gammastrålning är väl synligt.