



När snön ligger på Chajnantor tycks teleskopet vara effektivt kamouflerat.



APEX i närbild.

APEX visar vägen på hög nivå

Klockan är strax efter fem på morgonen och solen kommer snart att börja gå upp över Anderna. Temperaturen ligger på minus fem, lufttrycket på 555 millibar och det är stilla i luften. Himlen är fortfarande tillräckligt mörk så att man kan se några stjärnor och Jupiter, men snart kommer deras ljus att drunkna i dagsljuset från himlen. Vi har just anlänt till teleskopet och håller på att fylla mottagaren LABOCA med flytande helium och kväve. Om några minuter skall vi klättra ner från teleskopet och fortsätta observationerna. Återigen ser det ut att bli en bra dag med låg luftfuktighet.

APEX, som står för *Atacama Pathfinder Experiment*, är ett radioteleskop i norra Chile, som drivs av Max-Planck-institutet för radioastronomi (50%), organisationen Europeiska Sydobservatoriet (ESO, 27%) och svenska Onsala rymdobservatorium (23%). APEX står 5 100 meter över havet på Chajnantor, en högplatå i den chilenska Atacama-öknen. Teleskopet invigdes officiellt 25 september 2005 och har sedan dess genomfört reguljära observationer. APEX är anpassat för att emot radiovågor i våglängder mellan cirka 0,2 och 2,0 mm och är därmed vad man kallar ett millimeter- och submillimeterteleskop. Denna typ av teleskop är relativt ovanlig, eftersom elektromagnetisk strålning i dessa våglängder släcks ut av vattenångan i atmosfären i normala miljöer. I mycket tunn och torr luft, som på Chajnantor, går det dock att utföra observationer av yppersta kvalitet.

En testbänk för instrumentteknik och höghöjdsarbete

Teleskopets parabolantenn har en diameter av 12 meter, hela teleskopet väger 125 ton, och det är byggt av Vertex Antennentechnik i tyska Duisburg. Namnet anspelar på att det tänktes vara en "vägvisare" åt det betydligt större submillimeter- och millimeterteleskopprojektet ALMA (*Atacama Large Millimeter Array*) som håller på att byggas upp på samma högplatå. APEX har fungerat som en testbänk för både ALMA:s mjukvara och hårdvara; teleskopet är en modifierad kopia av en av ALMA-teleskopprototyperna och använder ALMA:s kontrollsystem. APEX har också öppnat upp ett tidigare stängt fönster i atmosfären och har hittat ett stort antal intressanta strålningskällor, vilka ALMA kan studera i högre upplösning när det börjar observera under nästa år.

Vårt projekt har också byggt upp en kunskapsbas om hur människor och maskiner fungerar på dessa höjder; APEX är en av världens högst belägna arbetsplatser där arbete pågår alla dagar om året. Dagtid kontrolleras teleskopet från ett kontrollrum som står intill teleskopet, men nattetid sköter vi observationerna från basstationen Sequitor, som ligger 2 500 meter över havet i närheten av San Pedro de Atacama och cirka 65 km från teleskopet. Basstationen hyser utöver kontrollrummet även bostäder, restaurang, kontor och laboratorium.

Sedan några år förser experimentteleskopet APEX högt uppe i Anderna forskare världen över med fascinerande data om bland annat stjärnbildningsområden, gamla stjärnor och unga galaxer.

Text och foto: Andreas Lundgren

Varför är det då så viktigt att observera i våglängdsområdet runt en millimeter? Normala optiska teleskop observerar ljus som kommer från varma strålningskällor som stjärnor och varm (>2000 K) interstellär materia, men kan bara observera den kalla (<100 K) interstellära materian om det ligger varma källor bakom: då ser vi den som ett "hål" på himlen, där antalet objekt är färre än i kringliggande områden. För instrumenten på APEX är situationen den motsatta, vi kan inte se stjärnorna, men de mörka molnen framträder som starka strålningskällor.

Millimeter- och submillimeterstrålningen från rymden utgörs till stor del av värmestrålning från dessa kalla, gigantiska molekylnoln. Dessa består mestadels av molekylär vätgas, men också av stoftpartiklar och andra molekyler som till exempel kolmonoxid och metanol. Stoftpartiklarna avger kontinuumemission, vilken vi kan observera med våra bolometrisk mottagare LABOCA och SABOCA. Utöver denna bredbandiga emission emitterar molekylerna spektrallinjer, som vi kan observera med våra heterodyn-mottagare, till exempel den på Chalmers byggda SHeFI (*Swedish Heterodyne Facility Instrument*).

Genom att sätta samman all information som vi får från dessa mottagare kan vi bestämma molekylnolnens beskaffenhet (densitet, temperatur, kinematik, etc.) och kemiska sammansättning. Vissa av dessa moln är passiva och kalla, medan andra av dem har förtätats och hettats upp, vilket

ibland leder till att nya stjärnor bildas. Kunskap om dessa moln är en viktig pusselbit för förståelsen hur stjärnor och galaxer bildas och utvecklas.

Gamla stjärnor och unga galaxer

En annan typ av objekt som studeras vid APEX är kolstjärnor. Vissa stjärnor börjar mot slutet av sin livstid tillverka kol. Dessa typer av stjärnor kallas kolstjärnor. Kolet stiger från de centrala delarna, där det bildas, upp till ytan där det ansamlas och med jämna mellanrum stiger det väders och trycks bort från stjärnan med hjälp av stjärnvind och fotontryck. Detta skal av kol kan man, när det har svalnat, observera med APEX, och man kan bestämma hur mycket kol det innehåller och med vilken fart det rör sig. Kolet tvingas med tiden allt längre bort från stjärnan för att till slut blandas upp med det interstellära mediet. Denna anrikning av den interstellära gasen påverkar hur gasen bildar nästa generation stjärnor och eventuella planetsystem. Flera svenska forskare arbetar med dessa typer av objekt, däribland Hans Olofsson, Fredrik Schöier, Sofia Ramstedt och Matthias Maercker.

En liten del av strålningen kommer från varmare källor och har ursprungligen haft betydligt kortare våglängder, men kommer till jorden som submillimeter- och millimeter-



Fullmånen höjer sig bakom APEX. Ser den uppochner ut? Vi är på södra halvklotet.

terstrålning på grund av rödförskjutning. Dessa i sig själva mycket ljusstarka och avlägsna objekt kan till exempel vara unga och mycket aktiva stjärnbildande galaxer eller så kallade gammablixtar som kan uppkomma när tunga stjärnor kollapsar eller när två mycket kompakta objekt (neutronstjärnor eller svarta hål) kolliderar.

Mest bara luft ...

En stor utmaning för submillimeterteleskop är att lejonparten av den strålning som mottagaren registrerar kommer från atmosfären, med visst bidrag från instrumentet och teleskopet själva. Denna kontamination uppgår till i runda tal 200 K (strålningstemperaturen i K, eller kelvin, ger den intensitetsskala som vi använder för att mäta emissionen), medan källorna som vi observerar kan ligga på intensiteter ner till 0,1 mK, alltså runt en miljontedel av den totala intensiteten. För att minimera bidraget från instrumentet hålls detta vid en så låg temperatur som möjligt. Kylningen av instrumenten görs både passivt, med hjälp av flytande kväve (73 K) och flytande helium (3,4 K), och även aktivt med hjälp av kylmaskiner ner till i vissa

fall temperaturer under 0,3 K.

Men natt- och daghimlen är i stort sett lika starka i submillimeterstrålning, vilket gör att vi kan observera 24 timmar om dygnet. Därför är det vetenskapliga arbetet på APEX uppdelat i tre skift. Varje skift är i regel bemannat med minst två personer, varav minst en är astronom. På nattsiftet sitter vi vanligtvis i kontrollrummet nere i Sequitor, men under morgon- och eftermiddagspassen sköts teleskopet från kontrollrummet på Chajnantor. Detta för att vi inte skall riskera att tappa kontakten med teleskopet; om det skulle ställa sig riktat mot solen kan solljuset skada delar av teleskopet. Morgonpasset börjar klockan 5 på morgonen, och vi sätter oss i bilen för att köra de 65 kilometrarna från basstationen till observatoriet. Eftermiddagspasset byter av vid 13 och kör observationerna till solnedgången, då nattsiftet tar över i Sequitor.

Framtida stjärnor och unga galaxer

Med observationer 24 timmar om dygnet under en stor del av året så är APEX en fantastiskt effektiv maskin och levererar massor med unika data till astronomer runt om i världen. För att beskriva bredden på den vetenskap som

BILD: MPI/APEX (LABOCA); ADAM BLOCK, MIT LEMMON SURVEY CENTER, U. ARIZONA (SYNLIKT)



Hästhuvudnebulosan i Orion har som andra områden med stjärnor i vardande också avbildats med APEX kamera LABOCA. Den mörka stoftnebulosan lyser på sina ställen kraftigt i de våglängder APEX studerar.

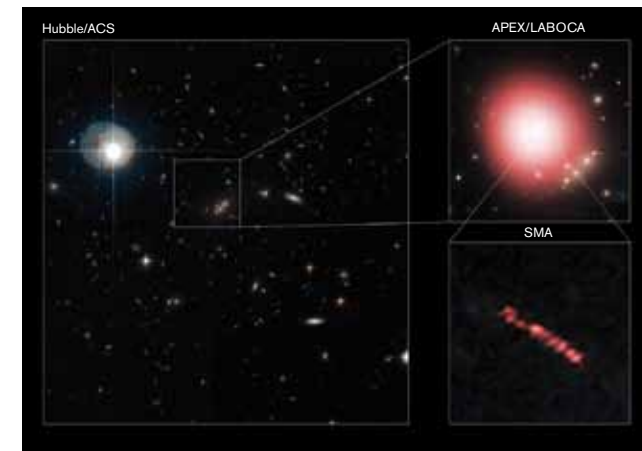


BILD: ESO/APEX/ SWINBANK ET AL / NASA/ESA HUBBLE SPACE TELESCOPE / SMA

För tio miljarder år sedan pågick kraftig stjärnbildning i "submillimetergalaxen" SMM J2135-0102, vars ljus förstärks av gravitationslinsning i den framförliggande galaxhopen MACS J2135-010217.

görs med våra data har jag valt ut några områden som avkastat artiklar under det gångna året:

Projektet *ATLASGAL – The APEX telescope large area survey of the galaxy at 870 μm* – lett av Frederic Schuller på MPIfR i Bonn – presenterade nyligen en karta över stoftpartiklars fördelning i Vintergatan. Kartan täcker 95 kvadratgrader av det galaktiska planet och visar runt 6000 kompakta källor, varav de flesta var hittills okända. Två tredjedelar av källorna visar ingen emission i infrarött och är sannolikt protostjärnor.

Axel Weiss, också på MPIfR i Bonn, leder projektet *The Large Apex Bolometer Camera Survey of the Extended Chandra Deep Field South*, som med hjälp av LABOCA har kartlagt ett område på himlen som kallas ECDFS (*Extended Chandra Deep Field South*). Det är ovanligt fattigt på källor i det optiska våglängdsområdet. Här har forskarna hittat 126 "submillimetergalaxer" (SMGs), en typ av galaxer som man vet mycket lite om, annat än att de existerade enbart i det unga universum. Den mest avlägsna SMG man har hittat ligger på en rödförskjutning av $z = 4,76$.

Nils Halverson vid Boulderuniversitetet i Colorado studerar Sunyaev-Zeldovich-effekten (SZE) i olika hopar

av galaxer. SZE beror uppkommer när fotoner från den kosmiska bakgrundsstrålningen rör sig genom områden med högenergetiska elektroner. Dessa elektroner förvränger fotonernas energifördelning, och med hjälp av denna information kan man beräkna massan och temperaturen på det elektronmoln som fotonerna färdats genom. Nils arbetar tillsammans med flera svenska forskare, däribland Cathy Horellou och Daniel Johansson vid Onsala rymdobservatorium och Martin Nord, som är verksam i Bonn.

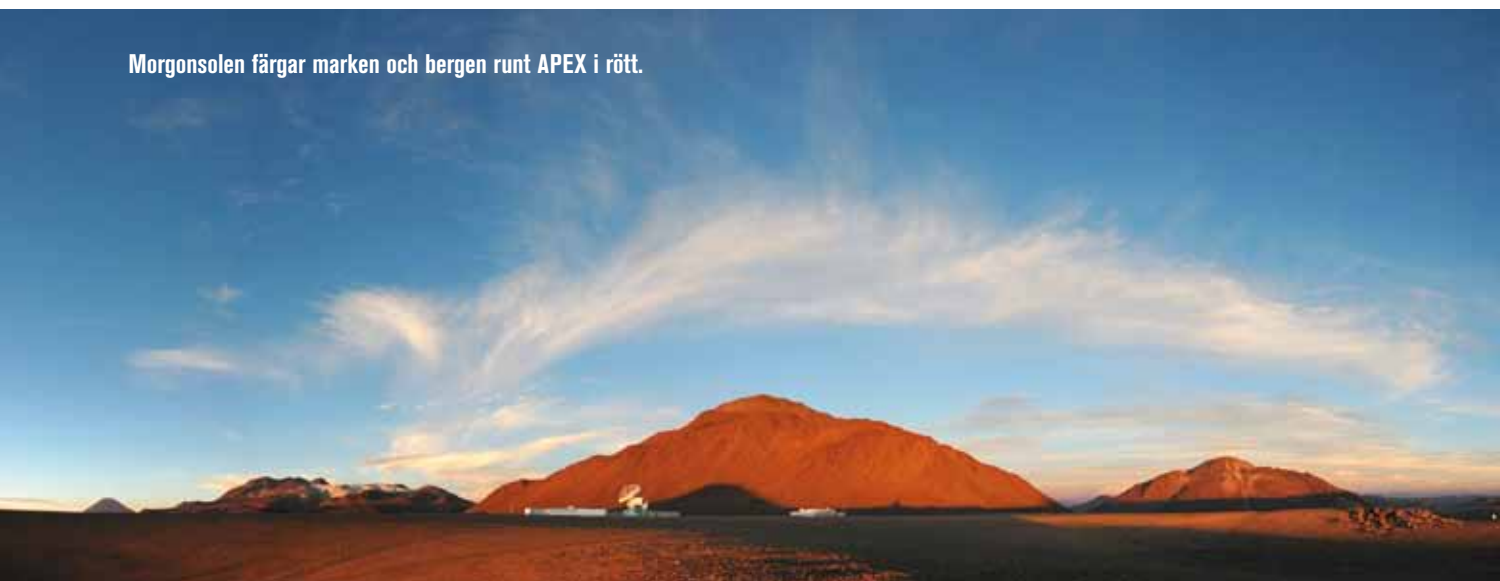
Vincent Minier, som tog sin doktorsexamen vid Onsala rymdobservatorium men arbetar vid CEA i Paris, studerar galaktiska stjärnbildningsområden med hjälp av bolometern P-ArTéMiS, som är utvecklad vid CEA i Paris. En region som studerades i detalj var G327.3-0.6, i vilken forskarna fann tio kraftiga kärnor av stjärnbildning. Genom att jämföra sina data med andra informationskällor, som arkivdata från APEX/LABOCA, APEX-2A, Spitzer/IRAC och MIPS, kunde de visa att de stjärnor som håller på att bildas är mycket tunga.

Carlos de Breuck (ESO Garching) och Mark Swinbank (University of Durham) fann under observationer av en galaxhop med LABOCA något de inte hade väntat sig: det var en mycket stark källa som helt saknade optisk motsvarighet. De antog att det rörde sig om en SMG vars ljus kraftigt fokuserades och förstärktes genom att det passerade genom den gravitationslins som uppstår runt den tunga galaxhop som studerades. Forskarna kontaktade genast kolleger vid andra teleskop runt om i världen, och med hjälp av teleskop i USA, på Hawaii (*Submillimeter Array*, SMA) och i Frankrike kunde forskarna fastställa att det var en mycket aktiv, ung galax, som tre miljarder år efter Stora smällen bildade 250 stjärnor om året. Ljuset från denna stjärnbildningsaktivitet färdades genom universum i tio miljarder år tills det kom att träffa LABOCA:s hornantennner. ★

Andreas Lundgren framför de snötäckta bergen vid Chajnantor.



ANDREAS LUNDGREN är astronom vid ESO och chef för den vetenskapliga driften på APEX



Morgonsolen färgar marken och bergen runt APEX i rött.