

LABOCA otevírá nové okno do vesmíru

ESO – European Organisation for Astronomical Research in the Southern Hemisphere, zkráceně European Southern Observatory, Evropská jižní observatoř. Organizace založená v roce 1962, která postavila řadu dalekohledů v Chile. Jde o lokality na La Silla (2 400 m), dalekohled VLT (Very Large Telescope, Velmi velký dalekohled) na Cerro Paranal (2 635 m) a v tuto chvíli se staví radioteleskopická síť ALMA na Llano de Chajnantor (5 100 m).

ALMA – Atacama Large Millimeter Array. Síť 64 radioteleskopů, která se buduje v Chilských Andách ve výšce 5 100 m nad mořem. Jde o projekt ESO, smlouva o stavbě byla podepsána v roce 2002, se stavbou se započalo na podzim 2003 a zcela dokončena by měla být v roce 2012. V únoru 2010 jsou v provozu první tři radioteleskopy.

APEX – Atacama Pathfinder EXperiment, dvanaáctimetrový radioteleskop ESO umístěný v Chile v Atacamské poušti ve výšce 5 100 metrů nad mořem. Do provozu byl uveden v roce 2007, stal se prvním radioteleskopem ze zamýšlené sítě 64 teleskopů ALMA. Apex je také bod na obloze, k němuž směřuje Slunce vzhledem k okolním hvězdám a nachází se v souhvězdí Herkula. Název experimentu byl tedy vybrán s přísně vědeckým entuziasmem.

LABOCA – Large APEX BOLometer CAmera, maticový detektor elektromagnetického záření v submilimetrové oblasti na pomezí radiových vln a infračerveného světla, s excelentní citlivostí. Bolometrické čidlo má 295 pixelů. Umístěn je na radioteleskopu APEX v Atacamské poušti v Chile v nadmořské výšce 5 100 m.

Bolometr – neselektivní detektor tepelného (infračerveného) záření pracující na principu měření změny elektrického odporu v závislosti na změně teploty čidla bolometru v důsledku absorpce optického záření čidlem bolometru. Závislost lze vyjádřit přibližným vztahem $\Delta R/R = \alpha \Delta T$, kde α je teplotní součinitel změny odporu R , jehož velikost je určena použitým materiálem čidla bolometru a pracovní teplotou ($\alpha = 0,5 + 5\,000\,K^{-1}$).

Evropská jižní observatoř staví od roku 2005 v nehostinné Atacamské poušti v Chile, v nadmořské výšce 5 100 metrů, největší radioteleskopickou síť světa ALMA. První z 64 zamýšlených radioteleskopů byl uveden do provozu v roce 2007 pod názvem APEX. Jde o dvanaáctimetrový radioteleskop s pohyblivou anténou, který vznikl ve spolupráci tří evropských institucí, MPIfR (Max-Planck-Institut für Radioastronomie), ESO (Evropská jižní observatoř) a OSO (Onsalská observatoř).

LABOCA

Srdcem prvního radioteleskopu sítě ALMA je unikátní kamera LABOCA (Large Apex BOLometer Camera), která v sobě kombinuje optické prvky spolu s extrémně citlivými čidly pro měření teploty. Nová kamera je unikátním technickým řešením. Spolu s vynikajícím místem pro pozorování lze očekávat nové, dosud nedosažitelné astronomické výsledky. Kamera využívá matici extrémně citlivých bolometrů, čímž se daří pozorovat chladnou mezihvězdnou hmotu prostřednictvím jejího tepelného záření, často dosud jinými metodami nepozorovatelnou. Nové výsledky nám umožní lépe pochopit například procesy při formování chladného mezihvězdného plynu a prachu před vznikem nebo po zániku hvězd, úlohu této látky ve spirálních ramenech galaxií apod.

Konstrukce kamery LABOCA byla vyvinuta vědeckou skupinou pro bolometry pracující v MPIfR a zúčtuje mnohaleté zkušenosti při vývoji bolometrů pro astronomická pozorování v submilimetrovém pásmu. Jde zatím o nejkompexnější pozorovací aparaturu vyvinutou touto skupinou. Všimněme si nyní jejího principu a některých nově vyvinutých unikátních technických řešení.

Nová technika odstranění atmosférického šumu

Největší překážku pro pozorování v milimetrovém a submilimetrovém pásmu je zemská atmosféra, která představuje v tomto pásmu podobnou obtíž, jako kdybychom chtěli provádět astronomická pozorování v optickém oboru za dne, kdy atmosféra září rozptýleným denním světlem. V infračerveném oboru toto způsobuje nejvíce vodní pára obsažená v atmosféře a v menší míře další plyny, jako je například ozón.

Kromě toho je rušivé atmosférické pozadí časově proměnné a tvoří tak jakýsi pozorovací šum, přehlášující záření všech astronomických objektů s výjimkou Slunce, Měsíce, Venuše, Marsu a Jupiteru se Saturnem. Nejrozšířenější metodou, jak detekovat záření s intenzitou pod hladinou šumu je tzv. přepínací technika, realizovaná nejčastěji sekundárním zrcadlem nazývaným woobler (rozmitací zrcadlo), které přepíná obraz pozorované oblasti s obrazem atmosférického pozadí na frekvenci vyšší než je frekvence atmosférického šumu.

Tato metoda je použitelná s jistým omezením i pro matici detektorů, nejlépe však pracuje ve spojení s jednopixelovými detektory. Pro detektor LABOCA byla pro eliminaci šumového pozadí použita odlišná technika, vyvinutá speciálně pro maticové detektory. V této technice nazvané Fast Scanning (rychlé snímání) se využívá skutečnosti, že v poli snímačů jsou vždy snímány pro každý jednotlivý bolometr také okolní části oblohy sousedními bolometry. Rozmítání signálu se tedy nahrazuje pohybem celé aparatury po pozorované oblasti oblohy a obraz se zkonstruuje až ve fázi počítačového vyhodnocení pozorovaných dat. Šumový příspěvek atmosféry a podobně i přístrojový šum, u nichž obou se předpokládá, že v sousedních snímačích jsou v čase do jisté míry korelovány, lze tak částečně odečíst.

Tato technika byla poprvé testována v roce 2000 na matici o 37 bolometrech umístěných na 30metrovém radioteleskopu IRAM (Instituto de Radioastronomía Milimétrica) v Pico Veleta ve Španělsku a od té doby na některých dalším radioteleskopech. Získané zkušenosti posloužily při vývoji bolometrického snímače LABOCA, ve kterém byla použita zcela nově vyvinutá metoda „rychlého snímání“ za použití nových algoritmů pro zpracování dat.

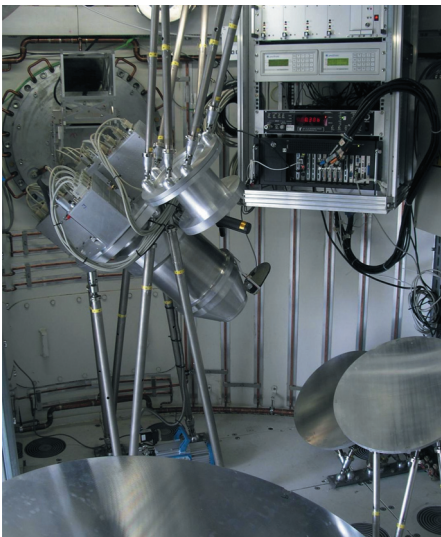
Dosud největší matice bolometrů

V čem nový detektor naprosto zřejmě vyniká v porovnání se staršími detektory, je použitý počet 295 pixelů v poli snímačů. Detektory vytvořené z 0,4 μm silné vrstvičky nitridu křemíku jsou pokryté titanovým filmem sloužícím jako absorbér detekovaného záření. K němu jsou připájeny germaniové termistory, které detekují nepatrné změny teploty snímače v důsledku pohlceného záření. Celé pole je umístěno v kryostatu využívajícího k předchlazení kapalný dusík a helium. Konečného zchlazení na teplotu 0,285 K je dosaženo dvoustupňovým sorpčním chladičem. Sada studených filtrů, oddělujících dusíkovou

RCW – katalog H II oblastí z roku 1960, který obsahuje 182 objektů. Jeho tvůrci jsou Alex Rodgers, Colin Campbell a John Whiteoak (RCW jsou počáteční písmena autorů) z australské observatoře na Mt. Stromlo. V katalogu je mnoho tzv. „hvězd v bublině“. Jde o rozpinající se obálku plynu a prachu, jejíž rozpinání přičítáme tlaku hvězdného větru žhavých hvězd uvnitř bubliny. Vnitřní stěny bubliny, tvořené prachem, se zahřívají světlem hvězdy a následně vydávají takto získanou energii v infračervené oblasti. Na snímcích v IR tyto oblasti vypadají jako duté jeskyně nasvícené zevnitř.

Radioteleskop APEX je prvním dalekohledem z rozsáhlé sítě 64 radioteleskopů ALMA. V plném počtu by antény měly pracovat v roce 2012. APEX je postaven na planině Chajnantor v chilské poušti Atacama. Parabola antény má průměr 12 m a teleskop pracuje v intervalu vlnových délek od 0,2 do 1,4 mm. ESO/MPI/IR/OSO.





Detekční část zařízení LABOCA v Cassegrainově ohnisku radioteleskopu. Stříbřité talíře ve spodní části snímku jsou odrazná zrcadla směřující optický svazek přicházející z primární antény do detektoru. Detektor sestávající z 295 bolometrů je ukryt ve stříbřitém válci (kryostatu), který je umístěn uprostřed.

OSO – Onsala Space Observatory, švédská národní radioastronomická observatoř umístěná 45 kilometrů jižně od Gothenburgu v Onsale. Vlastní dva radioteleskopy pracující na milimetrových a centimetrových vlnách. Observatoř byla založena v roce 1949.

MPIfR – Max Planck Institute for Radioastronomy. Součást největšího německého komplexu 80 vědeckých ústavů MPI. Ústav pro radioastronomii byl založen v roce 1966 společností Maxe Plancka. Sídlo ústavu je v Bonnu. Ústav se zabývá radioastronomií a astronomií v infračerveném oboru.

a heliovou část kryostatu od okolí, je navržena na propustné pásmo se středem 870 μm (345 GHz) a 150 μm (2 000 GHz).

Zařízení je po vstupu do kamery soustředěno k jednotlivým bolometrům – monolitickým polem trychtýřovitých antén. Úhlová šířka oblasti odpovídající jednomu pixelu odpovídá 18,6 úhlovým vteřinám a celé matici odpovídá oblast oblohy o velikosti 11,4 úhlových minut.

Mechanismus „rychlého snímání“ může probíhat ve více režimech. V prvním režimu snímání oblohy probíhá po spirále s konstatní úhlovou rychlostí vztaženou ke středu spirály, takže úhlová rychlost po obloze (vztažená ke středu teleskopu) roste s poloměrem spirály. Další je kombinace spirálového pohybu s pohybem rastrovým. Třetí režim se nazývá One–The–Fly (OTF) mapování, při kterém se snímá obloha při pohybu dalekohledu po obloze jedním směrem. Volba režimu se řídí podle velikosti snímáné oblohy a podle typu pozorovaného objektu. Pro malé kompaktní objekty se hodí spirálový režim, pro větší části oblohy se používají další dva z uvedených režimů. Typická úhlová rychlost snímání oblohy je kolem 30"/s a závisí mimo jiné také na momentálních vlastnostech oblohy, přičemž maximální úhlová rychlost je omezena maximální možnou rychlostí zpracování dat, která činí přibližně 4"/s.

Výzkumný program

Výše popsaná experimentální aparatura se hodí na širokou škálu pozorování nejružnějších, hlavně chladných objektů. Hlavní náplní programu kamery je

- výzkum formování planetárních disků,
- výzkum chladné hmoty v naší Galaxii,
- výzkum chladné hmoty ve spirálních ramenech sousedních galaxií,
- pozorování kosmologických objektů s extrémním červeným posuvem.

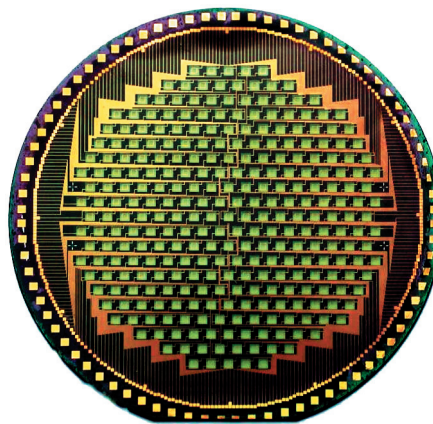
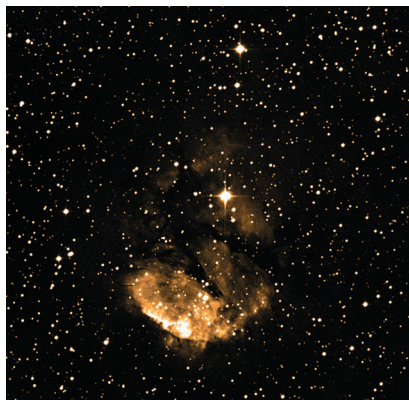
Ač by bylo lépe provádět pozorování v infračerveném oboru dalekohledem umístěným ve vesmíru a vyhnout se tak rušivému vlivu atmosféry, mají pozemní dalekohledy i přes obtížnější pozorovací podmínky některé jiné výhody, které mohou v konečné bilanci převážet. Je to zejména nesrovnatelně nižší cena a také možnost použít dalekohledy s většími průměry paraboly a bezproblémová oprava poruch přímo na místě. Přístroje umístěné ve vesmíru jsou buď závislé na servisních misích, a nebo mají velmi omezenou životnost.

První výsledky – hvězdná líheň a hvězdy v bublinách

V listopadu 2008 byl oznámen objev hvězdné líhně, oblasti RCW 120, vzdálené od Země 4 200 světelných roků ve směru souhvězdí Štíra. V jádru oblasti se nachází velmi horká (35 000 K) a velmi hmotná hvězda spektrální třídy O8V, jejíž maximální zářivý výkon je v UV oblasti spektra. Svým ultrafialovým světlem ionizuje okolní plyn, vytrhává elektrony z vodíkových atomů a je tak příčinou charakteristického červeného záření známého jako H_α emise. Na submilimetrových vlnových délkách pozorovaných špičkovou aparaturou LABOCA můžeme rozeznat, jak v okolí hvězdy vzniká dutina, na jejíž periferii materiál zřetelně kolabuje do zhustků, v nichž se následně rozžínají nové hvězdy. Zdá se, že může jít o předhvězdnou fázi hvězdného vývoje, tzn. období, kdy hvězdy ještě nezačaly svítit.

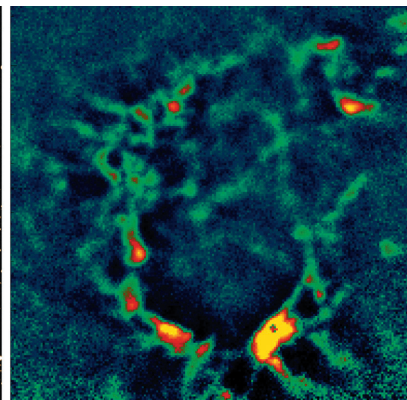
Díky pozorování v rozdílných spektrálních pásmech můžeme spatřit různé druhy mezihvězdného prostředí. V nejbližším okolí hvězdy je plyn ionizován a svítí ve viditelném světle. Centrální hvězda intenzivně září v ultrafialovém oboru a tlak tohoto záření vytlačuje okolní plyn do prostoru. Rázová vlna ionizovaného plynu před sebou tlačí materiál, který není ionizovaný v takové míře jako centrální oblast. Tento neutrální materiál tvoří přechod do mezihvězdného prostředí (prozatím není rozpínající se bublinou ovlivněno) a září v infračerveném oboru. Neutrální materiál se ale rozpíná spolu s bublinou a tvoří vlastně její obálku. Třetím prostředím je pak okolní galaktická látka, uvnitř které se celé představení odehrává. Vnitřní hrana neionizovaného materiálu se pohybuje na čele rázové vlny rozpínající se bubliny a jeho vnější

hrana je brzděna stykem s okolním galaktickým prostředím. A tato mezivrstva je právě klíčová při očekávané tvorbě nových hvězd. Může se stát gravitačně nestabilní a roztrhat se do fragmentů, které se následně začnou smršťovat. Pozorované fragmenty oblasti RCW 120, do nichž se mezivrstva rozpadá, mají hmotnost více než $500 M_\odot$. Koncentrace rozpadající se mezivrstvy se, podle měření na vlnové délce 1,2 mm, odhaduje na 1 500



Pole 295 bolometrických snímačů použité v kameře LABOCA. Průměr křemikové destičky je 102 mm. MPIfR.

Snímky galaktické $H II$ oblasti RCW 120. Levý obrázek je pořízen ve viditelném světle (R-band; ESO Schmidt Telescope), pravý pomocí aparatury LABOCA v submilimetrovém pásmu. K pořízení pravého snímku bylo zapotřebí tři hodin expozičního času. Zdroj zobrazovaného světla má teplotu 23 K. ESO.





Kompozitní snímek oblasti RCW 120. Submilimetrová emise je zde zobrazena jako modře svítící oblaka obklopující červenavě zářící ionizovaný plyn. SuperCosmos Halfa Survey, SGDSS.

atomů na cm^3 . V prachové části obálky byly podle emise na $8 \mu\text{m}$ rozpoznány polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH). Vlivem ionizovaného plynu se tyto molekuly na vnitřní straně obálky rozpadají.

Velmi hmotné hvězdy, jakou je hvězda v centru oblasti RCW 120 (alespoň $10 M_{\odot}$), jsou rozhodující pro celý galaktický vývoj. Svým extrémním zářivým výkonem ovlivňují pohyb a koncentraci mezihvězdné látky ve svém bezprostředním okolí až do vzdálenosti několika desítek světelných roků a zároveň jsou schopny měnit její chemické složení. V závěrečných fázích svého hvězdného života, který u tak hmotných hvězd trvá jen několik desítek miliónů let, většinu své hmoty rozmetají do okolního prostoru a obohatí tak galaktické prostředí o prvky, které vytvořily ve svém nitru. Astronomové proto věnují velkou pozornost právě galaktickým H II oblastem, jako je RCW 120, za jejichž svit jsou často obří hvězdy odpovědné.

■ Martin Žáček, Ivan Havlíček, 5. 12. 2008, AB 48/2008, 50/2008