

Molekyler i galaxer

Astrokemi i andra galaxer är ett forskningsområde som växer explosionsartat – och med det nya ALMA-teleskopet kommer det att genomgå ett fullständig revolution.

av Susanne Aalto

V arför är det intressant med molekyler i astronomin? Stjärnor föds ur jättelika kalla molekylnmoln och stjärnbildning är en mycket viktig aspekt av galaxernas – och hela universums – utveckling. Stjärnbildningen stimuleras av kollisioner och störningar mellan galaxer: molekylgasen koncentreras mot centrum och/eller i spiralarmar och ”utbrott” av stjärnbildning blir följden. I dessa utbrott (eller *starbursts*) verkar det som om stjärnor bildas med högre effektivitet (det vill säga en större andel än normalt av gasen omvandlas till stjärnor) – och dessutom verkar det som om man får en annan

massfördelning av stjärnor än normalt. En större andel tunga stjärnor verkar födas i en starburst.

Tyst vätgas

Ett molekylnmoln består till största delen av vätgas. Andra molekyler återfinns i låga halter. Den näst vanligaste molekylen är kolmonoxid, CO, som är 10 000 gånger mindre förekommande än vätgas. Ändå är det till denna molekyl vi främst lutar när det gäller att studera dessa moln och

beräkna deras massa. Orsaken är att vätemolekylen är ”tyst” i kalla molekylnmoln. Temperaturen i dessa moln är oftast mycket låg – bara ca 10 grader över absoluta nollpunkten, alltså kring $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vid dessa temperaturer kan molekyler sända ut radiostrålning genom att rotera. Man får vad man kallar dipolstrålning. För att detta skall var möjligt måste molekylen bestå av två olika atomer – om atomerna är lika (som t.ex. väte i gasform, H_2) så utsänds ingen strålning när molekylen roterar, eftersom ingen laddningsförskjutning sker. Vi kan bara få strålning från vätgasen när den börjar vibrera och för det måste temperaturen vara minst tio gånger högre. Vi måste alltså

Den numera klassiska Hubblebilden av ett molekylnmoln där intensiv stjärnbildning pågår, Skapelsens pelare i Örnnebulosan i Ormen

FOTO: ESA / NASA



Spiralgalaxen NGC 1232, där många nybildade heta stjärnor ligger längs spiralarmarna.



lita till ”spår molekyler” för att kunna studera kalla molekylmoln. De vanligast förekommande är, förutom CO, olika isotopiska varianter av CO som t.ex. ^{13}CO , HCN (vätecyanid), CN (cyanid), HCO^+ (formyljon), H_2CO (formaldehyd), HC_3N (cyanoacetylen), NH_3 (ammoniak), H_2O (vatten) etc. På våren 2006 hade man räknat in 149 olika molekyler som hittats i Vintergatan. Av dessa skulle många inte kunna existera på jorden, utan behöver ”nästan-vakuum” för sin fortlevnad. Det fiffiga med dessa molekyler är att man kan använda deras linjestrålning som diagnostiska redskap för att ta reda på molekylmolnens fysikaliska egenskaper, som t.ex. temperatur, täthet, struktur, storlek, massa, och undersöka deras kemi. Med det sistnämnda menas hur molekyler bildas, om de behöver stoftkornen (som är uppblandade med gasen) för att kunna bli till, hur gammalt molnet är, vilken typ av stjärnor som fötts ur det osv.

Molekylmoln i andra galaxer

Att studera molekylmoln i andra galaxer är mycket viktigt eftersom vi kan lära oss hur starburstfenomenet fungerar: Hur startar det? Varför upphör det? Vilken effekt har utbrottet av stjärnbildning på sin omgivning? Beter sig alla sådana utbrott på samma sätt – eller varierar det och varför? Ett annat fenomen som molekylgasen har en av nycklarna till är de aktiva galaxkärnorna, eng. *Active Galactic Nuclei* (AGN). Den höga aktiviteten i dessa galaxkärnor, som yttrar sig som kraftig energifrigörelse, drivs troligen av ett svart hål som döljer sig i galaxens centrum. När materia faller in i det svarta hålet frigörs stora mängder energi och strålning i ett mycket brett våglängdsområde sänds ut. För många galaxer med mycket ljusstarka, kompakta och stoftinsvepta kärnor är det ibland mycket svårt att utreda om den kraftiga strålningen kommer från en kompakt in-



En Hubblebild av de inre delarna av det kolliderande galaxpar som kallas Antennerna, NGC 4038 och NGC 4039 i stjärnbilden Korpen. Man ser hur tunga, blåvita stjärnor har fötts i armliknande strukturer i de båda galaxskivorna.

tensiv starburst eller från en AGN. Molekylgasen kan här ge avgörande information, eftersom dess radiostrålning inte absorberas av det omgivande stoftet. Ny forskning visar att en starburst och en AGN påverkar den omkringliggande molekylgasen på olika sätt från kemisk synpunkt. Röntgenstrålning från det svarta hålet kan tränga igenom stora mängder stoft och gas och skapa ett område där molekylgasen är mycket varm och där molekyler, joner och kosmisk strålning samexisterar. Vissa molekyler, som t.ex. cyanid och vatten, trivs extra bra i dessa områden. Vi kan alltså kombinera information om temperatur och täthet med den astrokemiska informationen för att få en bild av vad som försiggår i dessa kompakta områden där extrema fysikaliska förhållanden råder.

Molekylgasen reagerar starkt på en störning i tyngdkraften orsakad av att två galaxer närmar sig varandra. Denna "galaxdans" kan leda till att gas som ligger ut-

spridd i galaxernas skivor börjar samla sig in mot centrum. Ofta sker detta via en stavliknande struktur (på engelska *bar*) längs vilken gasen kan röra sig mot centrum. "Matningen" kan också ske via spiralarmar som skapas av växelverkan. Genom den höga hastighetsupplösning som den radioastronomiska tekniken bjuder på kan vi studera dessa fenomen genom att observera hur gasen rör sig. Oftast använder man sig då av strålning från CO-molekylen för att den är så vanligt förekommande – och eftersom det krävs ganska litet för att excitera molekylen – dvs. strålning kommer även från mindre täta delar av molnen. Andra molekyler kräver större gastäthet för att de ska kunna avge strålning. Man använder den s.k. dopplereffekten för att att få fram hastighetsinformation ur spektrallinjer, alltså att spektrallinjerna förskjuts i våglängd beroende på strålningskällans rörelse.

När gasen väl samlats mot centrum har den släpat med sig så mycket stoft att strålning i det optiska området (dvs. vanligt synligt ljus) inte kan tränga ut från kärnan. För att kunna studera hur gasen rör sig i centrum är nu linjestrålningen från CO mycket viktig. Ofta kan man också få information från atomärt väte (där de två väteatomer som sitter ihop i vätemolekylen har skiljts från varandra) som strålar vid våglängden 21 cm – betydligt längre än de 3 mm som CO-linjestrålningen ligger på. Oftast syns 21 cm-linjen i absorption mot den starka kontinuumstrålning som ofta finns hos aktiva galaxer. Dessa båda dynamikspårare kompletterar varandra.

ALMA-teleskopet och astrokemi i andra galaxer

ALMA (*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array*, se nyhetsartikel på sidan 10) kommer att bestå av 50 stycken tolvmeters radioteleskop som kommer att placeras på 5000 meters höjd i de chilenska Anderna i Atacamaöknens norra del. Dessa teleskop kan tillsammans ”simulera” ett betydligt större teleskop. Ju större radioteleskop, ju mindre detaljer kan man se. Stora enskilda radioteleskop får dock lätt problem med hållfasthet och styrning. Därför kan man istället välja att bygga flera mindre teleskop som man kopplar samman genom s.k. interferometriteknik. (I s.k. långbasinterferometri samkör man teleskop placerade över hela jordytan för att få så hög upplösning som möjligt.) ALMA kommer dessutom att kunna sammankopplas med ACA – *Atacama Compact Array* – som består av fyra stycken tolvmetersteleskop och 12 stycken sju metersteleskop och kommer att placeras alldeles invid ALMA.

Med ALMA kommer vi att kunna i detalj studera molekylgasens egenskaper i mycket kompakta galaxkärnor. Idag har vi en bästa upplösning kring 500 ljusår med de bästa millimetervågsteleskopen (t.ex. *SubMillimeter Array*, SMA, på Hawaii). Med ALMA kommer vi att bli upp till 50 gånger bättre, vilket gör att vi kommer att kunna se vad som händer med enstaka moln i dessa extrema miljöer. Molnen kan slitas sönder av starka tidvattenkrafter nära det svarta hålet eller tryckas ihop av chockvågor och bilda stjärnor. Vi kan se hur långt det svarta hålets inflytande sträcker sig – och var stjärnbildningen tar över (om den nu gör det). Vi kommer att för första gången kunna studera hur starburst- och AGN-fenomenen samverkar genom att studera molekylgasens egenskaper.

Genom att studera kortvägig radiostrålning från närbelägna och avlägsna galaxer kan vi förstå hur stjärnbildningen utvecklats allt eftersom universum åldrats. Vi kommer också att kunna kartlägga vad som händer i de extrema, kompakta miljöer som omger tunga svarta hål i galaxers kärnor. Vilka processer leder till att galaxkärnor kan lysa med 1 000 gånger Vintergatans hela ljusstyrka från ett område på bara några hundra ljusårs diameter? Hur kan komplexa molekyler överleva i dessa intensiva strålningsfält – och trots den ogästvänliga tillvaron bilda nya stjärnor? ALMA:s överlägsna upplösning och känslighet kommer att hjälpa oss att finna svaren på dessa frågor. ★

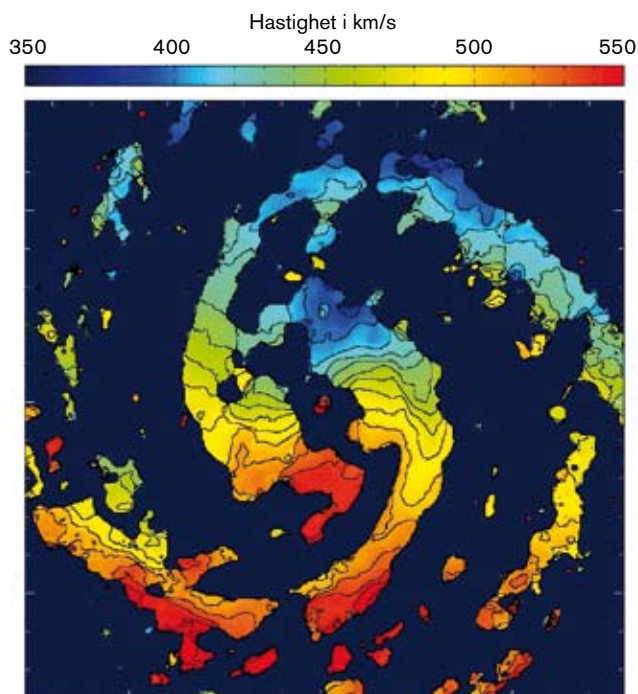


BILD: S. AALTO M.F.L. / OWENS VALLEY RADIO OBSERVATORY

Spiralgalaxen M51 observerad i CO-strålning med interferometertechnik vid Owens Valley Radio Observatory. Färgkodningen är gjord så att blått visar delar som rör sig mot oss relativt galaxens centrum, rött delar som rör sig bort från oss. Det observerade området är ungefär 150 bågsekunder i fyrkant.

Faktaruta:

Dopplereffekten

Den österrikiske fysikern Christian Doppler (1803–1853) upptäckte att en lyssnare uppfattar ljudvågors frekvens som förändrade om ljudkällan och lyssnaren rör sig relativt varandra; om de närmar sig varandra tycks ljudet få högre frekvens, och tvärtom om de avlägsnar sig från varandra. Den franske fysikern Hippolyte Fizeau (1819–1896) visade att samma effekt också uppträder för elektromagnetiska vågor som ljus. I den klassiska formuleringen är förändringen i frekvens dividerad med frekvensen vid källan direkt proportionell mot den relativa hastigheten mot eller från varandra, men inom relativitetsteorin inverkar även att ljusets ändliga hastighet är den största som kan uppnås, vilket medför vissa korrigeringar. Även om den från början tolkades så är faktiskt den kosmologiska rödförskjutningen till följd av universums expansion ingen äkta dopplereffekt.

SUSANNE AALTO är universitetslektor vid Chalmers i Göteborg och intervjuas på sidorna 26–29 i detta nummer