

8

MOLEKYLER OG STØV

I SUPERNOVA-EKSPLOSIONER

Af

CHRISTA GALL

LEKTOR, PH.D.

DARK COSMOLOGY CENTRE,
NIELS BOHR INSTITUTET,
KØBENHAVNS UNIVERSITET

MODTAGET STØTTE TIL
CARLSBERGFONDETS
POSTDOC-STIPENDIER
I DANMARK:
*HUNTING MOLECULES
IN SUPERNOVAE*

Omkring 180 forskellige molekyler er identificeret i forskellige astrofysiske miljøer. Store mængder af kosmisk støv er blevet observeret i galakser, men dets oprindelse er et mysterium. Supernovaer er potentielle 'støvfabrikker', men vi ved endnu ikke, hvor effektivt de producerer støv og molekyler.

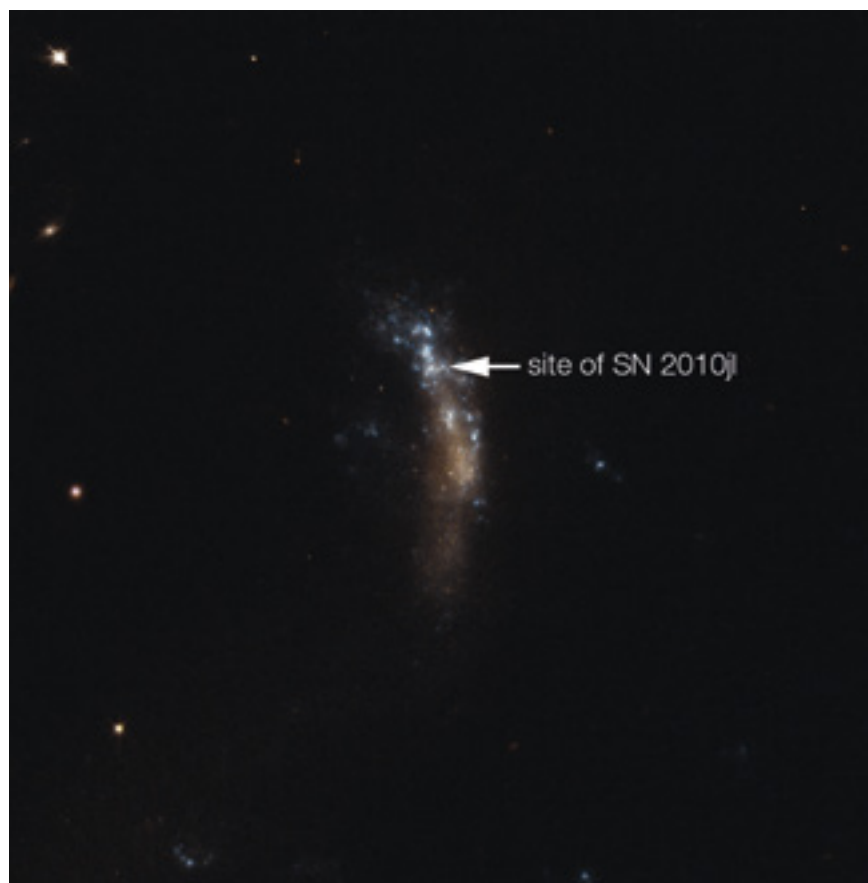
Astrofysik omhandler de store spørgsmål om oprindelsen af universet og livet selv. Der har været mange betagende rummissioner, såsom dem til Månen eller Mars og spændende opdagelser af nye planeter og gravitationsbølger. Disse og andre gennembrud er fascinerende for mange mennesker uanset deres uddannelse, arbejde, alder, køn og etnicitet.

Vi bliver ofte begejstret af tanken om at udforske det endeløse univers eller af at kigge på millioner eller milliarder af stjerner og galakser. At tale om afstande målt i lysår (ca. 9.461 milliarder kilometer) og skalaer, der langt overstiger vores fantasi, er fængslende for os. Vi glemmer let, at universet med alle dets forbløffende objekter er opbygget af de mindste partikler – meget mindre end det blotte øje kan opfange. I astrofysikken refererer vi ofte, i bare én sætning, til størrelsesskalaer, der spænder fra det observerbare univers ned til størrelser så små som atomkerner.

Universet er støvet

Udover de store bestanddele af vores univers – planeter, stjerner og galakser – er der en masse materiale i en galakse, det 'interstellare medium', og mellem galakser, det 'intergalaktiske medium'. Materialet består af grundstoffer fra brint til jern og tungere molekyler og faste partikler, der er ca. en mikrometer store, de såkaldte 'kosmiske støvkorn'. Typisk er materialet temmeligt diffust og indeholder maksimalt et par snese atomer pr. cm^3 . De tætteste steder i rummet kaldes 'molekylskyer' og indeholder op til 1.000.000 molekyler pr. cm^3 (sammenlign dette med luftens massefylde ved havoverfladen som er 10.000.000.000.000.000.000 molekyler pr. cm^3).

Molekyler er byggestenene i kosmisk støv, der udgør kimen for planet-, stjerne- og galaksedannelse, og er i sidste ende vigtige for livets opståen. På den anden side letter støvkorn også dannelsen af molekyler, såsom for eksempel molekylært brint, H_2 . Dette molekyle virker som kølemiddel ved dannelsen af stjerner. Både molekyler og kosmisk støv består af grundstoffer. Kort efter Big Bang blev de lette grundstoffer som brint og helium dannet. Men de primære tungere bestanddele af molekyler og kosmisk støv, specielt kulstof, kvælstof, magnesium og ilt, er imidlertid syntetiseret af stjerner, der vejer ti til hundrede gange mere end Solen. Disse tunge stjerner har en relativt kort levetid (på en kosmisk tidsskala). Når de dør, eksploderer de og bliver til supernovaer (Figur 1). I løbet af denne katastrofale



proces bliver de nyligt syntetiserede stoffer slynget ud i rummet og bliver tilgængelige for dannelsen af nye molekyler, støv, stjerner og planeter i et enormt kosmisk kredsløb.

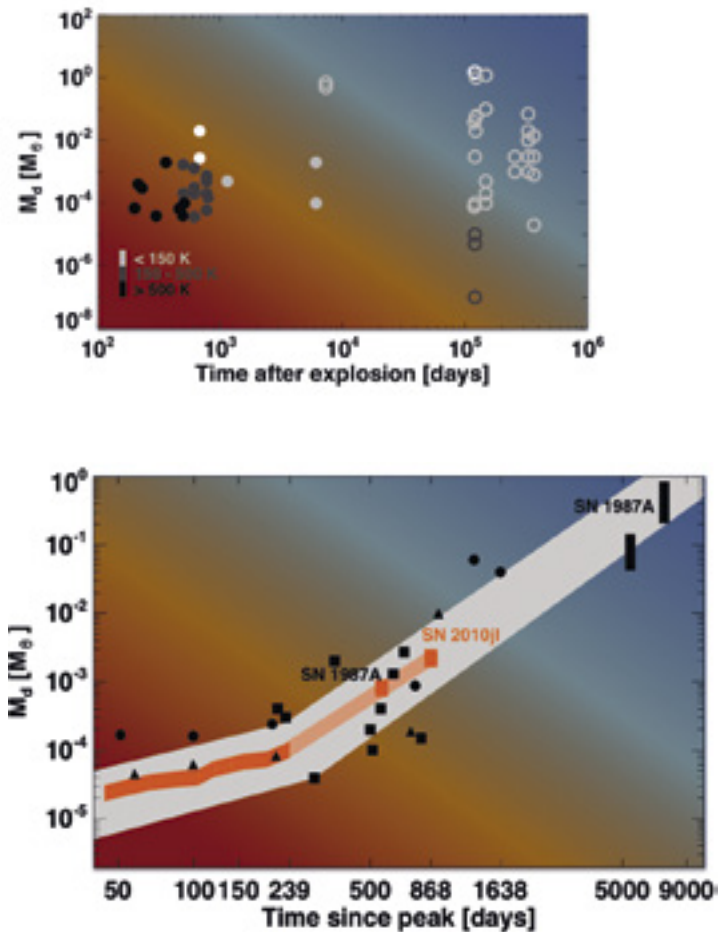
Kosmisk støv i galakser har en vigtig indvirkning på de mange processer, der bestemmer den fysiske, kemiske og termiske tilstand af det interstellare medium. Den spektrale energifordeling af kosmiske lyskilder ændres, hvis objekterne er indhyllet i støv. Lys ved ultraviolet til optiske bølgelængder vil blive spredt og absorberet af støvkornene, som derved varmes op. Denne effekt er ansvarlig for, at lyskilderne kan blive meget svage eller forsvinde helt i det synlige lys. Men varmestrålingen fra støvkorn vil imidlertid afsløre lyskilderne igen i det infrarøde eller submillimeter-bølgelængdeområde (fra få til nogle få hundrede mikrometer). Store mængder af støv er blevet opdaget gennem infrarøde og submillimeter observationer i galakser i det tidlige univers¹. Disse galakser dannes i et 'kosmisk øjeblik' mindre end et par hundrede millioner år efter Big Bang. Hvad giver anledning til så store støvreservoirer i disse galakser?

Figur 1
Galaksen UGC 5891A med supernovaen SN 2010jl.
Credit: European Southern Observatory (ESO).



Hvor kommer molekylerne og det kosmiske støv fra, og hvordan bliver det dannet? Store mængder af støv og molekyler er blevet observeret i galakser. Men oprindelsen og udviklingen af disse er stadigvæk et af de store mysterier i moderne astrofysik.





Figur 2
 Øverste panel: Unge supernovaer med varmt støv (rødt til orange område) og gamle supernovarester med koldt støv (blåt område). Nederste panel: Massen af nydannet støv i SN 2010jl (rødt bredt bånd og firkanter)⁴. Efter 240 dage stiger støvmassen dramatisk. Det lysegrå bånd illustrerer støvmassen i en række supernovaer (sorte symboler) og forbinder de tidlige og sene stadier af støvproduktion.

I mit forskningsprojekt finansieret af Carlsbergfondet søger jeg efter hidtil updagede molekyler i supernovaer. Blandt andet vil jeg bruge X-shooter-spektrografen (delvist finansieret af Carlsbergfondet) monteret på det Europæiske Syd Observatoriums Very Large Telescope i Chile for at søge efter signaturer af molekyler i spektre, der strækker sig fra det ultraviolette til det nærinfrarøde bølglængdeområde (fra 300 nanometer til 2 mikrometer). Det er afgørende at finde andre molekyler, hvis vi skal svare på, om supernovaer er de længe eftersøgte kosmiske molekyl- og støvfabrikker, der producerer byggestenene i det makroskopiske univers, som vi kender det.

Støvets oprindelse

Man har længe troet, at størstedelen af støvet i Mælkevejen blev dannet af stjerner karakteriserede ved at tilhøre den såkaldte asymptotiske kæmpegren (stjerner der er ca. 1 til 8 gange tungere end Solen). Men dette er en langsom proces. Disse stjerner kan kun producere støv over lange tidshorisonter, da de lever meget længe (op til mange milliarder af år). Vi ved nu, at de kun er ansvarlige for omkring 10 procent af det interstellare støv. Dette fører til et 'manglende støvkildeproblem' i Mælkevejen. Et tilsvarende problem eksisterer for galakser i det tidlige univers.²

En anden mulighed er, at støvkorn vokser sig store i tætte molekylskyer, enten gennem tilvækst af kondenserbart materiale på forudeksisterende korn eller via koagulation med andre støvkorn.³ Hvis støvkorn bliver større, så øges den samlede mængde af støv i en galakse. Muligvis findes der nok frie atomer og molekyler til denne proces, men de nødvendige kim skal produceres et andet sted.

Ny forskning peger på, at mekanismen for støvdannelse skal være hurtig og effektiv. Dette leder os til at betragte supernovaer som støvkilder på grund af deres korte levetid og effektive kernesyntese af grundstoffer.^{1,4}

Molekyl- og støvproduktion i supernovaer

Teoretiske modeller for støvudviklingen i galakser indikerer, at supernovaer skal producere lige så meget støv som massen af Solen, hvis de skal være eneansvarlige for de store mængder af støv observeret i galakser. Teoretiske modeller for supernova støvdannelse har vist, at så store støvmasser i supernovaer godt kan nås,¹ men indtil for nylig eksisterede der ingen observationelle beviser herfor.

De første observationer af unge supernovaer viste således, at kun mindre end en tusindedel af en solmasse af støv blev dannet.¹ Men da jeg tog et nærmere kig, viste det sig, at de fleste observerede supernovaer havde varmt støv, når de blev undersøgt i en ung alder.¹ Derimod viste observationer af gamle supernovarester, at de har koldt støv med store masser (illustration i Figur 2, øverst). Tendensen var tankevækkende: Kunne molekyler og i sidste ende støv dannes over længere tidsskalaer end foreslået af teoretiske modeller? Hvorvidt den observerede tendens er et resultat af ufuldstændige observationer, eller om de observerede gamle supernovarester er ekstraordinære, var imidlertid et åbent spørgsmål.

Mine studier af den lysstærke supernova SN 2010jl⁴ viste for første gang en sammenhæng mellem små tidlige støvmasser og stigende masser, som tiden gik (Figur 2, nederst). Jeg fandt, at accelereret støvdannelse sætter ind efter omkring 240 dage efter eksplosionen. Hvis det fortsætter på samme



måde i de næste 25 år, vil supernovaen have produceret, hvad der svarer til ca. halvdelen af Solens masse i støv. Den samme mængde blev for nylig observeret i den berømte supernova, SN 1987A.⁵ Denne supernova eksploderede i vores nabogalakse, den Store Magellanske Sky, og blev opdaget d. 23. februar 1987, hvoraf dens navn. I SN 2010jl fandt jeg desuden, at de nydannede støvkorn er betydeligt større, end hvad der er blevet antaget hidtil⁵ (Figur 3). Store støvkorn er robuste mod ødelæggelse, og dermed kan det meste af støvet overleve efterfølgende destruktive processer i det interstellare medium. Andre nyere undersøgelser støtter min konklusion om, at store støvkorn produceres i store mængder i supernovaer.⁵ Disse nye resultater leder til mange nye spørgsmål om dannelsen og overlevelsesmekanismen for både støv og molekyler i supernovaer.

Nitrogen-bærende molekyler i det tidlige univers?

Omkring 180 forskellige molekyler er identificeret i det interstellare medium i Mælkevejen og andre galakser. De er dannet i en bred vifte af astrofysiske miljøer, eksempelvis omkring stjerner, i planetariske tåger, i kometer eller i tætte molekylskyer. Eftersøgning af molekyler i supernovaer har hidtil kun ført til påvisning af en håndfuld forskellige molekyler. De bedst observerede og modellerede molekyler er CO og SiO. Begge molekyler har deres mest prominente spektrale signaturer ved infrarøde bølglængder, mellem nogle få mikrometer til millimeter. Andre molekyler er blevet forudsagt i komplekse

teoretiske modeller, men ingen endeligt påvist, bortset fra ArH.⁶

Det er derfor vigtigt at søge efter andre molekyler i supernovaer. Mulige kandidater kan være nitrogen-bærende molekyler, som findes overalt i astrofysiske miljøer, herunder atmosfæren i Solen, i kometer og i galakser i det tidlige univers. Typiske molekyler kan omfatte CN, N₂, HCN eller mere komplekse strukturer. Detektion eller manglende opdagelse af sådanne molekyler kan give os ny viden om dannelsesmekanismer af molekyler og støv. For eksempel er der tre måder at danne CN. Det kan dannes direkte ud af gasfasen, det kan dannes på overfladen af støvkorn, eller det kan dannes gennem fotodissociation af mere komplekse molekyler såsom HCN.

Referencer

- 1 Gall, C., et al., 2011, *Astronomy and Astrophysics Review*, 19, 43: Production of dust by massive stars at high redshift.
- 2 Matsuura, M., et al. 2009, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 396, 918: The global gas and dust budget of the Large Magellanic Cloud: AGB stars and supernovae, and the impact on the ISM evolution.
- 3 Michalowski, M.J., et al. 2010, *Astronomy and Astrophysics*, 522, A15: Dust grain growth in the interstellar medium of $5 < z < 6.5$ quasars.
- 4 Gall, C., et al., 2014, *Nature*, 511, 326: Rapid formation of large dust grains in the luminous supernova 2010jl.
- 5 Wesson, R., et al., 2015, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 2089: The timing and location of dust formation in the remnant of SN 1987A.
- 6 Barlow, M.J. et al., 2013, *Science* 342: Detection of a Noble Gas Molecular Ion, ³⁶ArH⁺, in the Crab Nebula.

Figur 3
Kunstnerisk illustration af støvdannelse i en supernova.
Credit: European Southern Observatory (ESO).



Omkring 180 forskellige molekyler er identificeret i det interstellare medium i Mælkevejen og andre galakser. De er dannet i en bred vifte af astrofysiske miljøer, eksempelvis omkring stjerner, i planetariske tåger, i kometer eller i tætte molekylskyer.

