

## RØNTGENSTRÅLING FRA KOSMOS: GALAKSEDANNELSE SET I ET NYT LYS

Af Lektor, PhD, Kristian Pedersen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

### KOSMISK RØNTGENSTRÅLING

Med det blotte øje kan vi på en klar nat se tusindvis af stjerner på himlen. Stjernerne er adskillige tusinder grader varme på overfladen og udsender det meste energi som synligt lys. Men synligt lys udgør kun en lille del af hele spektret, som strækker sig fra den energifattige, langbølgede radiostråling til den kortbølgede, energirige røntgen- og gammastråling. Millioner af grader varmt stof udsender det meste lys i form af røntgenstråling, men det kan vi ikke observere fra Jordens overflade, da atmosfæren stopper kosmisk røntgenstråling.

### RØNTGENASTRONOMIENS "GULDALDER"

Først fra rumalderen blev det muligt fra teleskoper i rummet at kigge ud på Universet gennem "røntgenvinduet". De senere år har været en veritabel "guldalder" for røntgenastronomi med adskillige røntgenteleskoper i rummet: NASAs *Chandra X-ray Observatory* samt ESAs *XMM-Newton* og *INTEGRAL*. Disse teleskoper har hver på sin måde åbnet helt nye muligheder for at gennemføre røntgenspektroskopi og optage røntgenbilleder af kosmiske objekter. Observationer af himlens objekter gennem disse "røntgenbriller" har både vist nye sider af velkendte objekter og afsløret helt nye fænomener.

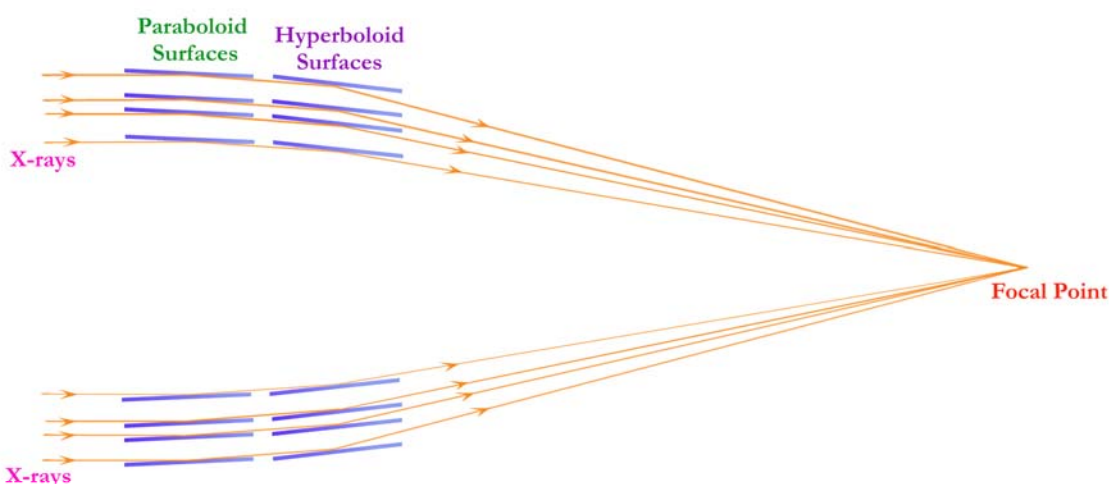


Illustration af princippet for fokusering af røntgenstråling i et røntgenteleskop som *Chandra X-ray Observatory*. Røntgenstrålerne fra himlen kommer ind fra venstre og reflekteres af to sæt spejle, hvorved de fokuseres på et CCD-kamera ca. 8 meter væk. Spejlene er meget præcist slebet glas med en tynd overflade af iridium, som giver totalrefleksion af røntgenstråling, hvis indfaldsvinklen er mindre end ca. 1 grad. Herved optages billeder, hvor det er muligt at skelne lige så fine detaljer som på fotografier af himlen foretaget med kikkerter i synligt lys (NASA).

[KOMMENTAR: De engelske ord skal oversættes: X-rays -> røntgenstråling,

Paraboloid Surfaces -> Parabolske overflader, Hyperboloid surfaces -> Hyperbolske overflader, Focal Point -> Fokuspunkt.]

Røntgenbillede af et "tilfældigt" sted på himlen optaget med *Chandra X-ray Observatory* ved at eksponere i mere end 11 døgn. De fleste objekter på billedet er sorte huller i fjerne galakser, som afslører sig ved den røntgenstråling som udsendes, når de opsluger omkringliggende stof (*Chandra Deep Field South*, NASA/JHU/AUI/R.Giacconi et al.).

Som på mange af de større kikkerter på jorden udbydes det meste af observationstiden på disse røntgenteleskoper i åben international konkurrence. Observationstid tildeles på baggrund af en videnskabelig evaluering af de indkomne detaljerede projektforslag. Herunder præsenteres et forskningsprojekt, hvor danske astrofysikere har fået tildelt observationstid på *Chandra X-ray Observatory* og *XMM-Newton*. Kombineret med observationer fra jorden samt computersimulationer og teoretiske modeller har røntgenobservationerne givet ny indsigt i, hvordan galakser dannes.

## GALAKSEDANNELSE

Solen er blot én blandt ca. 100 mia. stjerner i vores kosmiske hjemstavn, Mælkevejen. Og i Universet findes milliarder af andre "mælkeveje"; galakser kaldes de. De fjerneste galakser vi kan se er omkring 12 milliarder lysår væk, svarende til at vi ser dem kun lidt over en milliard år efter at Universet blev skabt i Big Bang. Allerede dengang var galakser godt i gang med at blive dannet. Men der er mange komplekse processer involveret i galaksedannelses-processen (tyngdekraft, køling, stråling, turbulens mv.), så detaljerne for dannelsen af galakser som Mælkevejen er derfor ikke velforstået. Billedet kompliceres yderligere af, at mange forskellige typer af observationer viser, at galakser mest består af "mørkt stof", dvs. stof som ikke udsender lys, og derfor kun kan spores indirekte ved dets tyngdepåvirkning af lysende stof. Egenskaberne ved det ukendte mørke stof er derfor helt afgørende for, hvordan galakser dannes og udvikler sig. Da vi ikke kan se det

mørke stof, er vi henvist til at studere det lysende stof, og her kan røntgenobservationer af galakser give afgørende indblik i galaksedannelsesprocessen.



Billede af den Mælkevejs-lignende galakse NGC 5746 optaget i synligt lys. Galaksens udstrækning på himlen er ca. 1/10 grad, og galaksen er godt 100 millioner lysår væk. (Nordic Optical Telescope, Thomas Augusteijn og Brian L. Jensen.)

## GALAKSEDANNELSE OG RØNTGENSTRÅLING

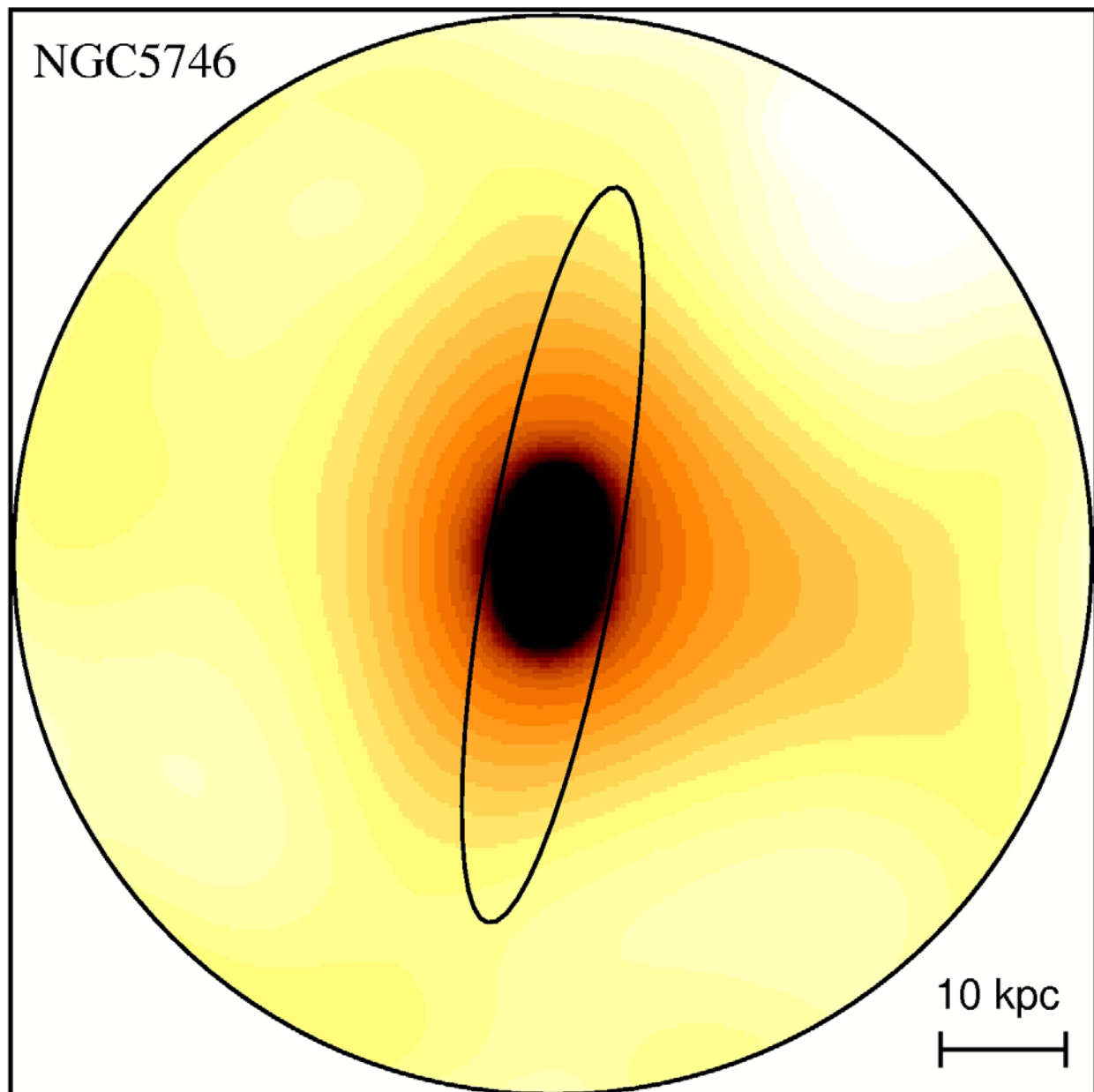
Det har i 50 år været forudsagt fra modeller for galaksedannelse, at galakser som Mælkevejen i dag har en udstrakt "atmosfære" af en tynd, millioner af grader varm gas. Den varme atmosfære er stof, som er for varmt og diffust til endnu at have kunnet dannet stjerner. I modsætning til stjernerne, der er koncentreret i en relativt tynd skive, skulle gassen være nogenlunde sfærisk fordelt og koncentreret ind mod skiven af stjerner. Galakseatmosfæren er bundet af galaksens tyngdekraft; helt ligesom Jordens atmosfære fastholdes af Jordens tyngdekraft. Den varme atmosfære mister langsomt sin energi ved udstråling af røntgenstråling, hvorved gassen afkøles og falder ind mod galaksens skive af stjerner. Den indfaldende gas leverer således materiale, hvoraf nye stjerner kan dannes, og er derfor vigtig for udviklingen af stjerner i galaksen. Men først og fremmest er det essentielt at vise, at den varme atmosfære findes, for overhovedet at forstå de basale processer i galaksedannelse.

## HAR GALAKSER SOM MÆLKEVEJEN EN VARM ”ATMOSFÆRE”?

Adskillige forsøg på at se røntgenstrålingen fra den varme galakseatmosfære har været forgæves, og det har sået tvivl om vores forståelse af, hvordan galakser dannes. I løbet af de seneste år har vi udviklet nye og mere realistiske modeller for galaksedannelse baseret på hydrodynamiske computer simulationer. Disse forbedrede modeller viser, at galaksernes atmosfærer forventes at udsende langt mindre røntgenstråling end tidligere, simple modeller har forudsagt. For at udføre en detaljeret test af galaksedannelsesmodeller, fik vi tid på NASAs *Chandra X-ray Observatory* og på ESA's *XMM-Newton* til at forsøge at detektere den varme atmosfære fra de to nære galakser, som var mest oplagt til dette formål. Dels er galakserne ret tæt på, så vi kan studere dem i detaljer, og dels ser vi deres stjerneskiver ”fra kanten”, så røntgenstråling fra deres atmosfære ikke forveksles med røntgenstråling fra stjerner og gas i galaksernes skiver. Endelig er galakserne relativt tunge, da tunge galakser forventes at være i stand til at holde på en større, tættere og varmere atmosfære, som udsender mere kraftig røntgenstråling.

## OPDAGELSEN AF EN VARM ”GALAKSEATMOSFÆRE”

For den tungeste galakse fandt vi faktisk røntgenstråling fra en meget udstrakt atmosfære af varm gas. Og endnu mere interessant: Lysstyrken af røntgenstrålingen og temperaturen af gassen, som vi afledte af røntgenobservationerne, stemte helt overens med forventningen fra vores computer-simulationer. Denne første detektion af en atmosfære omkring en galakse af samme type som Mælkevejen viser, at vores grundlæggende forståelse af, hvordan galakser dannes er nogenlunde korrekt. Samtidig viser det også at de tidligere simple modeller overestimerede røntgenstrålingen fra atmosfærerne med mere end en faktor 10. I lyset af denne opdagelse, er det ikke overraskende, at tidligere forsøg på at detektere den varme atmosfære fra Mælkevejs-lignende galakser har fejlet. Selv med de nuværende kraftige røntgenteleskoper kan vi kun forvente at detektere atmosfæren fra de allertungeste Mælkevejs-lignende galakser.

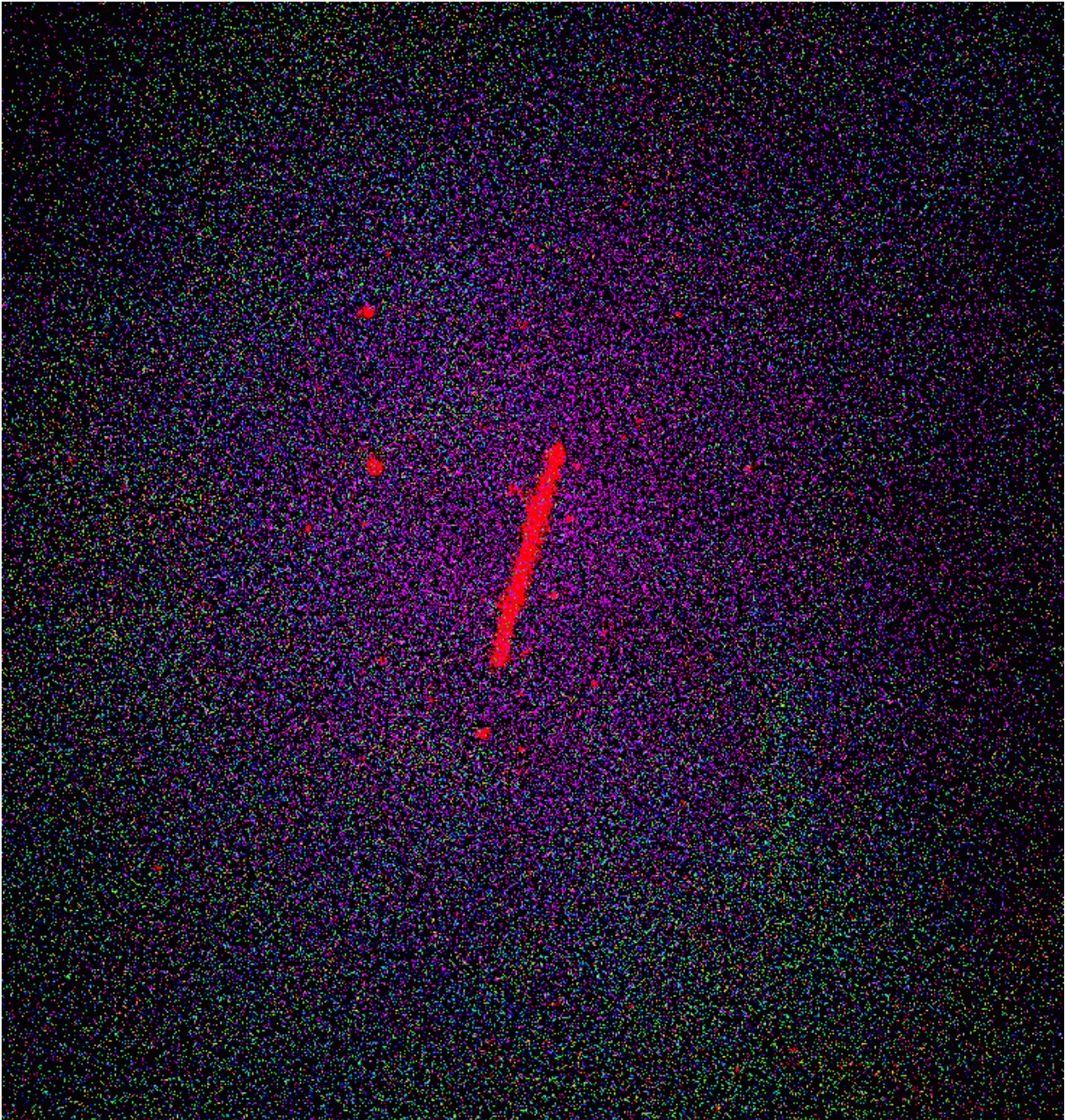


Røntgenbillede af galaksen NGC 5746 og dens varme "atmosfære" optaget med *Chandra X-ray Observatory*. Røntgenstrålingen er repræsenteret ved sorte, gule og røde nuancer og er glattet ud for bedre at give indtryk af den varme "galakseatmosfæres" udstrækning. Sort svarer til størst intensitet og lysegul til mindst intensitet. Ellipsen midt i billedet angiver udstrækningen af lyset fra galaksens stjerner set på billedet optaget i synligt lys. Den yderste cirkel viser, hvor langt fra galaksen dens varme "atmosfære" er detekteret (Jesper Rasmussen).  
 [KOMMENTAR: NGC 5746 og 10 kpc + "pinden" maskes ud af billedet.]

#### GALAKSER UNDER STADIG DANNELSE

Vores røntgenobservationer og computersimulationer viser, at galakser som Mælkevejen stadig er under dannelse: Gas fra den varme atmosfære afkøles og falder ned på galaksens skive og leverer

derived gas, som kan blive til nye stjerner. For Mælkevejen vil i øjeblikket omkring en solmasse pr. år "regne" ned på skiven, og i tidligere tider var det endnu mere. Summeret over hele Mælkevejens historie kan det meste af stoffet i Mælkevejens stjerner stamme fra gas, som er "regnet ned" fra atmosfæren. Det er en betydningsfuld brik i galaksedannelses-puslespillet, der her er faldet på plads. Den viser, at vi er på rette spor i forståelsen af, hvordan galakser som vores egen Mælkevej bliver til og udvikler sig.



Computersimulation af galakse af samme type som galaksen NGC 5746 og "observeret" under samme synsvinkel. Gas og "mørkt stof" er i simulationen repræsenteret ved godt én million partikler, hvis udvikling fra kort efter Big Bang til i dag er beregnet under indflydelse af de vigtigste fysiske processer. Farve-kodningen viser gassens temperatur. Rød svarer til lav-temperatur gas, der kan danne stjerner, og som ligger i en skive meget lig stjerneskinden set på billedet af

galaksen NGC 5746 optaget i synligt lys. Lilla svarer til flere millioner grader varm gas, som udsender røntgenstråling, og er fordelt omkring skiven nogenlunde som på røntgenbilledet af galaksen NGC 5746 (Jesper Sommer-Larsen).