

# Røntgenhimlen

## - på stjernebig med Superman og Lois Lane

Ved at studere Universet gennem "røntgen-briller", åbner der sig en helt ny verden.

Takket være udviklingen af røntgen-astrofysikken ved vi nu, at Universet rummer mange eksotiske fænomener som f.eks. røntgen-stjerner og gamma-glimt.

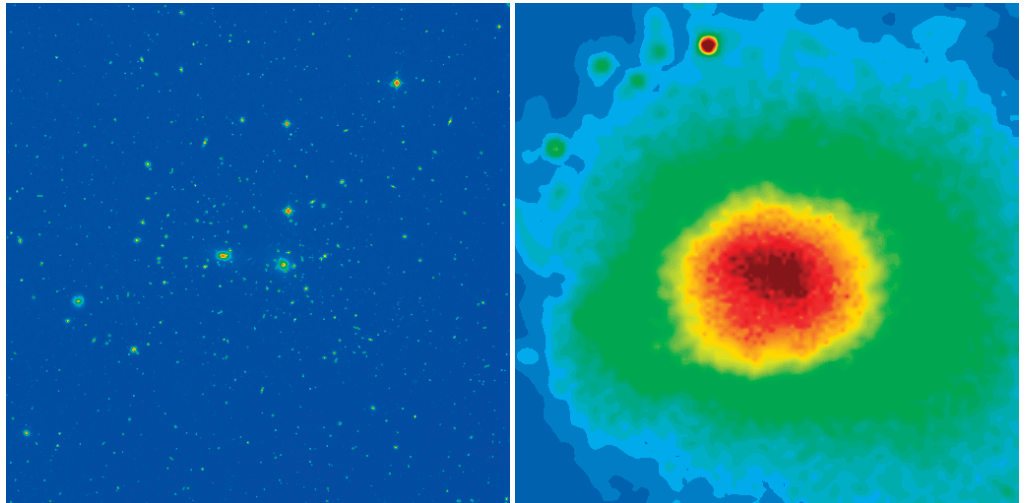
Af Kristian Pedersen

■ Når du en mørk og stjerneklar nat lægger nakken tilbage og kigger op mod himlen, kan du se et par tusinder stjerner med det blotte øje. Men hvis du bevæbner dig med et stjernekort og øver dig lidt, kan du hurtigt lære stjernebilleder nok til at imponere din udkårne en romantisk aften i stjernernes skær. Og fordi stjernehimlen stort set ikke ændrer sig i løbet af din levetid, behøver du bare lære stjernebillederne en gang for alle.

Hvis du i stedet havde Supermans røntgenøjne og var på flyvetur højt over jorden med Lois Lane (udstyret med et par røntgenbriller), ville himlen se helt anderledes ud.

Der ville kun være omkring 20 "røntgenstjerner" på himlen, men de ville til gengæld blinke og finkle voldsomt, og helt nye "stjerner" ville dukke op, mens andre ville forsvinde. Røntgenhimlen er meget mere sprælsk end himlen ser ud i synligt lys, så der er man nødt til at lave nye stjernekort fra aften til aften.

**Med røntgenbrillerne på** Røntgenstråling i Universet udsendes fra millioner af grader varm plasma eller fra stof, der bevæger sig nær lysets hastighed i et kraftigt magnetfelt. Med



Foto/credit: NASA, The Laboratory for High Energy Astrophysics (LHEA)

*Coma galaksehoben: Billede i synligt lys (tv) og røntgenbillede (th) af præcis samme område på himlen, ca 1 grad på hver led. Farverne er lagt kunstigt på for at fremhæve kontraster. Hver udstrakt plet på billedet tv er en galakse. På røntgenbilledet svarer de (mørke-)røde farver til høj intensitet, mens de blå svarer til lav intensitet.*

røntgenbrillerne på får vi indblik i den skoldhede del af Universet, hvor eksplosioner, ultra-relativistisk stof og høj stoftæthed hører til dagens orden.

Udsendelse af røntgenstråling fra stjerner kræver særlige omstændigheder, og de er ikke til stede ret længe sammenlignet med levetiden for en stjerne som Solen. Kun en lille brøkdel af alle stjerner bliver på et tidspunkt "røntgenstjerner" – og kun i en kort del af deres alderdom.

De omkring 20 kendte "rønt-

genstjerner" er meget kompakte (sorte huller eller neutronstjerner), og de udsender røntgenstråling, fordi stof med høj fart falder ind imod dem og undervejs pga. gnidning bliver varmet op til millioner af grader.

Røntgenhimlen er derfor fattig på stjerner, men de blinker til gengæld så meget mere lystigt, at jeg er sikker på Lois Lane ikke bliver skuffet. Og hvis Superman og Lois tager en røntgenkikkert i brug, vil de både opdage helt nye objekter, og nye sider af kendte objekter:

Gamma-glimt, plasma i galaksehobe, sorte huller og meget mere.

### Udforskning af røntgenuniverset

Atmosfæren er ikke gennemtrængelig for røntgenstråling (heldigvis – det er ikke sundt at gå og bliver røntgenfotograferet hele tiden!), så røntgenstråling fra rummet kan kun observeres med instrumenter placeret udenfor atmosfæren. "Røntgenvinduet" til Universet blev derfor først åbnet i 1960'erne med

rumalderens begyndelse. De første simple røntgendetektorer blev sendt op med raketter, som i nogle få minutter var højt nok oppe til at få et kig på røntgenhimlen.

En af pionererne var Riccardo Giacconi, som i år har modtaget halvdelen af nobelprisen for sin pionerindsats inden for røntgenastrofysikken.

Giacconi var med til at udvikle metoder til at fokusere røntgenstråling (se boks), og han var en af initiativtagerne til NASAs Chandra røntgenteleskop, der blev opsendt i 1999. I dag leverer Chandra røntgenbilleder, der er lige så skarpe som billeder taget med "almindelige" kikkerter på Jorden, der ser synligt lys.

Den europæiske rumorganisation, ESA, har i 2000 opsendt røntgenobservatoriet XMM-Newton, der har et meget stort lyssamlende areal og derfor kan lave gode spektre af røntgenkilder i Universet, men knap så skarpe billeder.

Chandra og XMM-Newton supplerer hinanden godt, og de er tidligere røntgenteleskoper langt overlegne. Med en forventet levetid på 10 år for Chandra og XMM-Newton har vi nu netop indledt en veritabel "guldalder" inden for røntgenastrofysikken.

### Universets røntgenapparater

Røntgenstråling har ca. 1000 gange kortere bølgelængde end synligt lys, og den type røntgenstråling, Chandra og XMM-Newton måler, er sammenlignelig med røntgenstråling, der anvendes til medicinsk brug hos f.eks. tandlægen og på skadestuen.

Astrofysikeren analyserer især røntgenstråling fra Universets objekter for at få indblik i de fysiske forhold, som producerer røntgenstrålingen. Lægen derimod er ligeglad med, hvordan hendes røntgenapparat laver strålingen. Hun udnytter, at knoglerne er meget bedre til at absorbere røntgenstråling end kød og blod, så hun kan se ind til skelettet. Men også astrofysikeren bruger røntgenstrålingens

gennemtrængende egenskaber til bl.a. at se ind i tætte gasskyer. Hvert grundstof, der er til stede i en gassky, vil absorbere røntgenstråling ved en energi, der er karakteristisk for det bestemte grundstof. Røntgenobservationer afslører på den måde gasskyernes grundstofsammensætning.

### Galaksehobe - ikke det rene gas

En af de største overraskelser fra en systematisk kortlægning af objekter på røntgenhimlen var, at samlinger af galakser, galaksehobe, udsender meget røntgenstråling. Galakser klumper sig sammen i klynger med op til flere tusinder galakser, og fra det tilsyneladende tomme rum mellem galakserne findes en tynd millionen grader varm plasma, en slags "atmosfære" for galaksehobene, holdt på plads af hele galaksehobens tyngdefelt. Fordelingen af plasmaen giver et klart visuelt indtryk af dynamikken i galaksehoben, og ud fra temperaturen og den rumlige fordeling af plasmaen kan galaksehoben vejes.

Røntgenobservationer af mange galaksehobe viser, at galakserne kun er "toppen af isbjerget" i galaksehobe: De udgør kun ca. 5% af den samlede masse, mens plasmaen rummer ca. 25%. Det lader så omkring 70% "mørkt stof" tilbage, som ikke udsender noget lys, men via sin tyngdepåvirkning af galakser og plasma holder sammen på galaksehobene – ellers ville galakserne suse hvert til sit og "atmosfæren" af plasma fordampe.

Kedeligt nok må vi altså indrømme, at vi ikke kan se, hvad den vigtigste byggesten i galaksehobene er. Og vi ved ikke heller ikke, hvad det "mørke stof" består af.

Og hvad værre er: Mængden af "mørkt stof" i galaksehobene er formentlig repræsentativ for hele Universet: Så vi lever i en verden domineret af ikke-lysende stof!

Et af de vigtigste spørgsmål i astrofysikken i dag er derfor, hvad det mørke stof er. De bedste bud er, at det er en eller flere elementarpartikler produceret

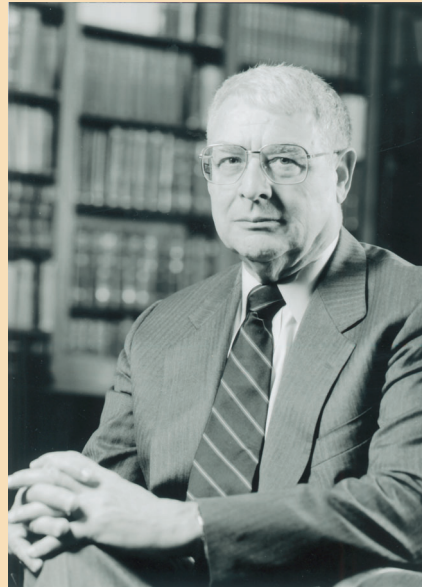
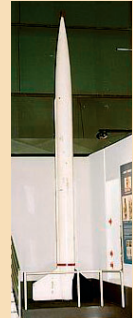
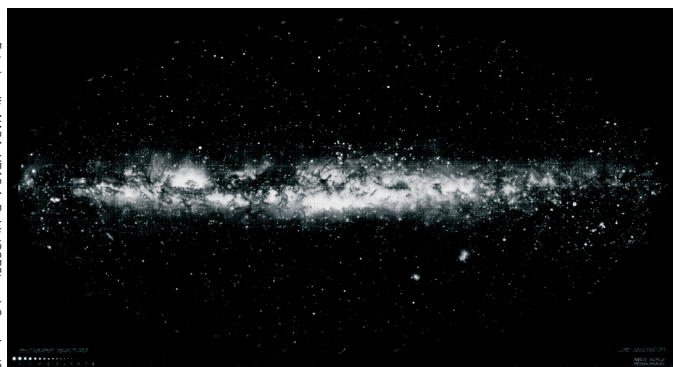


Foto: The Chandra X-ray Observatory Center, the Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics, U.S.

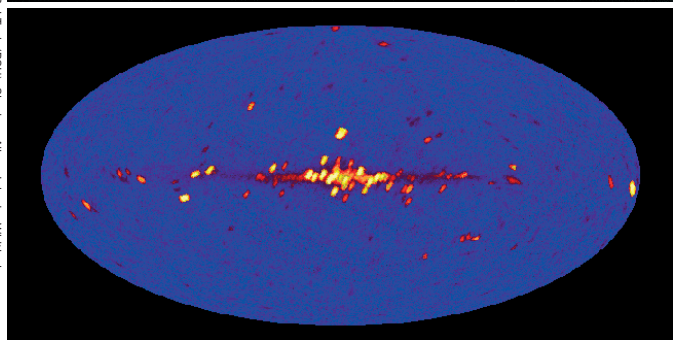


## Nobelprisen 2002

Den allerførste nobelpris i fysik blev i 1901 tildelt William Röntgen for opdagelsen af røntgenstråling. Halvdelen af 2002 nobelprisen i fysik går til Riccardo Giacconi for hans pionerindsats inden for røntgenastrofysik. Giacconi opdagede bl.a., at der kommer røntgenstråling fra andre objekter end Solen og han var en af drivkræfterne i udviklingen af de første røntgenteleskoper. Foto (th) af Giacconis Aerobee raket, der blev sendt op i 1962, og som opdagede den første røntgenkilde udenfor for Solsystemet, Sco-X1.

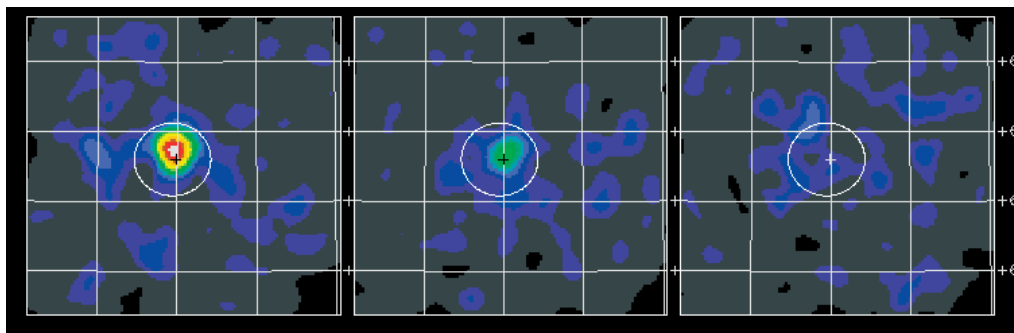


Foto/credit: NASA, HEAO-1, Bodeit (GSTC) and Gemini (Cal Tech./JSTU), Skyview, Allen, Japoda, Whitlock



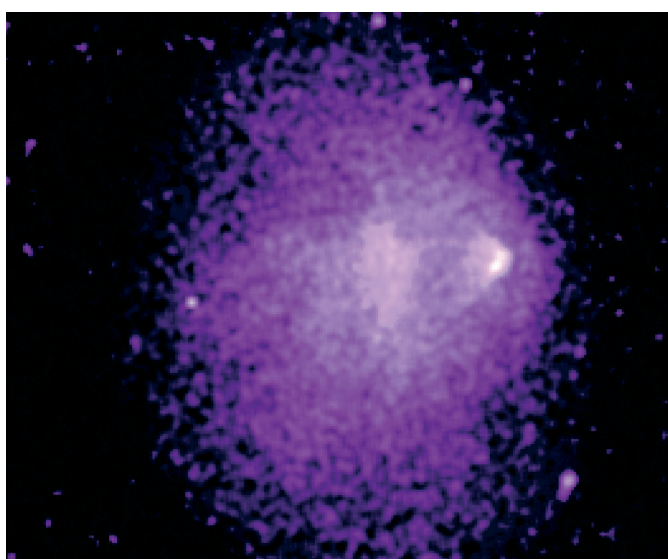
Hele himlen set i synligt lys og set med "røntgenøjne". Projektion af hele himlen lavet på samme måde som et fladt landkort gengiver den runde Jord. Røntgenbilledet viser ca. 20 "røntgenstjerner" (de gule udflydende pletter) vi ville kunne se på himlen, hvis vores øjne havde samme følsomhed for røntgenstråling som for synligt lys. På billedet i synligt lys er der ca. 7.000 stjerner, som man kan se med det blotte øje.

Illustration: BeppoSAX Team



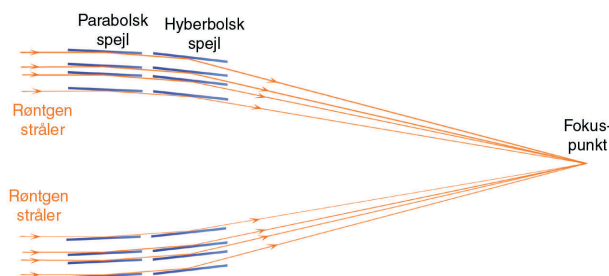
Røntgenefterglød af gamma-glimt. De tre røntgenbilleder er taget godt 6, 12 og 54 timer efter gamma-glimtet den 17. december 1997, og det ses tydeligt, hvordan røntgeneftergløden bliver svagere. Selve gamma-glimtets position ligger inden for den hvide cirkel.

Foto: NASA/SAO/CXC/M. Markevitch et al.



Røntgenbilleder afslører dynamikken i galaksehobe. Galaksehoben 1E0657-56, der er i færd med at opløse en mindre galaksehob. Den hvide plet til højre i billedet er resterne af den mindre galaksehob, der pga. dens høje fart pløjer sig gennem den varme og laver "kølvandsstriber" efter sig.

### Fokusering af røntgenstråling.



Røntgenstråling er meget kortbølget og kan ikke fokuseres af linser og almindelige spejle. I stedet anvendes spejle med f.eks. guldoverflader, som reflekterer røntgenstrålingen, hvis indfaldsvinklen er under en grad – som en sten, der slår

smut på vandoverfladen. For at få et skarpt billede må man reflektere røntgenstrålingen to gange: Først i et parabolsk spejl og derefter i et hyperbolsk spejl. For Chandra røntgenteleskopet er der ca. 8 meter fra spejlene til fokuspunktet.

i store mængder i Big Bang og som i dag ikke bare fylder rummet mellem galakserne, men også er til stede i store mængder inde i galakserne. Ved hjælp af røntgenobservationer af galakser og galaksehobe kan vi bestemme egenskaber ved "mørkt stof", som kan konfronteres med teoretiske forudsigelser fra f.eks. partikelfysikken. Med tiden kan vi på den måde indkredse, hvad det mørke stof er, og hvilken rolle det spiller i dannelsen og udviklingen af galakser og galaksehobe.

### Astrofysikere med gamma-glimt i øjet

Under den kolde krig i 1960'erne byggede amerikanerne et sæt satellitter, VELA satellitterne, der skulle registrere gamma-stråling fra evt. russiske atombombesprængninger.

Men de opdagede noget helt andet: Sekundlange "glimt" af gamma-stråling fra tilfældige steder på himlen, hvor der tilsyneladende ikke var hverken galakser eller stjerner.

I næsten 30 år var det et stort mysterium, hvad der lavede "gamma-glimtene". Problemet var, at gamma-glimt kun varer nogle sekunder, og at det ikke er muligt at fokusere gammastråling, så man kan bestemme en præcis position på himlen. Men i 1997 skete et afgørende gennembrud: Nogle timer efter et gamma-glimt blev opdaget, rettedes det hollandsk-italienske røntgenteleskop BeppoSAX mod positionen himlen, og der viste sig røntgenstråling med

aftagende lysstyrke fra samme sted.

Positionen fra den aftagende røntgenkilde var så præcis, at kikkerter på Jorden hurtigt også fandt aftagende synligt lys fra kilden og senere også den fjerne galakse, gamma-glimtet blev udsendt fra.

Galaksens spektrum afslørede, at den var adskillige milliarder lysår borte, så for at vi overhovedet kunne se gamma-glimtet og den efterfølgende "efterglød" af røntgenstråling og synligt lys, måtte det være en ufattelig stor lysudsendelse.

I dag kender vi afstanden – og dermed lysudsendelsen – for mere end 20 gamma-glimt, og det ser ud til, at lysudsendelsen kommer fra de største eksplosioner vi kender i Universet: "Hypernovaer". Det er meget tunge stjerner, som slutter deres korte liv med en enorm eksplosion, som kan ses i hele Universet. Gamma-glimt kommer derfor fra nogle af de allerførste dannede stjerner i Universet, og det giver os mulighed for at studere de fysiske forhold i det tidlige Univers. Samtidig er gamma-glimt så kraftige "lamper", at de kan lyse gennem skyer langs synslinien. Røntgenspektre og spektre af synligt lys kan derfor afsløre grundstofsammensætning, temperatur og tæthed af absorberende stof undervejs – hvad enten det befinder sig lige omkring gamma-glimtet eller et sted på den lange rejse til os. Gamma-glimtene giver os derved mulighed for at studere, hvad der er i rummet mellem galakserne og galaksehobene.

### Røntgenastrofysik: Fra niche til main-stream

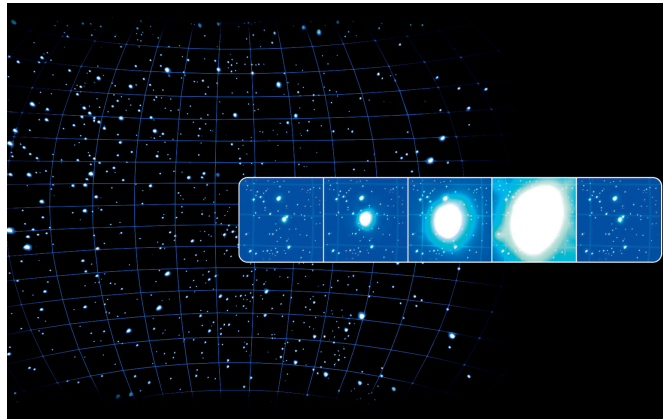
Røntgenastrofysikken har udviklet sig fra at være en niche til at være en naturlig del af studiet af alle typer objekter på himlen.

Nogle fænomener (f.eks. plasma i galaksehobe) kan kun observeres med røntgenteleskoper, mens hele forskningsområder har fået et gevaldigt skub fremad vha. røntgenobservationer (f.eks. gamma-glimt).

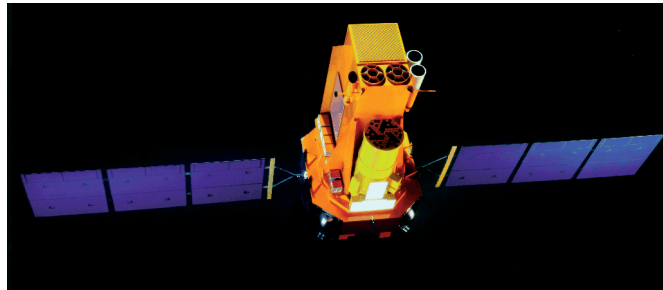
I løbet af de næste 10 år vil XMM-Newton og Chandra få

selskab af adskillige specialiserede røntgenobservatorier, der fokuserer på hvert sit område af røntgenastrofysikken. I dette efterår er den europæiske INTEGRAL satellit blevet sendt op for at observere gammastråling og hård røntgenstråling fra især stof, der falder ind mod sorte huller eller neutronstjerner. Til næste efterår opsendes Swift satellitten, der skal opdage svage gamma-glimt og lynhurtigt studere synligt lys og røntgenstråling fra deres efterglød. Rent teknisk er det nu muligt at fokusere selv hård røntgenstråling, så flere mindre test-teleskoper vil fremover give billeder af meget energi-rige fænomener – især områderne omkring tunge sorte huller i centrum af galakser. Udviklingen af røntgeninstrumenter til at studere Universet med vil også på længere sigt komme os til gode i de røntgenapparater, der bliver brugt på vores hospitaler.

På den teoretiske front udvikles nye modeller og detaljerede computersimulationer af dannelsen af galaksehobe og gamma-glimt. Samtidig kan der nu i laboratorier på Jorden skabes nogenlunde samme forhold som i den varme plasma, der udsender røntgenstråling i Universet. Det vil give et solidt grundlag for at forstå de mange observationer og på den måde give dybere indsigt i Universets struktur og udvikling. "Røntgenvinduet" er nu åbent på vid-



Udsnit af himlen, hvor der er zoomet ind på eftergløden i synligt lys fra et gamma-glimt. Rækken af billeder viser, hvordan eftergløden blusser op og derefter bliver svagere i løbet af et par dage.



Den europæiske INTEGRAL satellit, som blev sendt op oktober 2002. INTEGRAL observerer gamma-stråling og røntgenstråling fra især sorte huller og neutronstjerner. Dansk Rumforskningsinstitut har bygget to røntgenkameraer til INTEGRAL.

gab, og der vil være fuld fart på røntgenastrofysikken de næste mange år.

Det mest spændende er naturligvis de uventede opdagelser, som ingen kan forudse. Så

hvem ved: Det kan være, Superman og Lois Lane gør en stor opdagelse næste gang, de skal på "røntgen-stjernekeg". ■



Om forfatteren  
Kristian Pedersen er astrofysiker ved Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet  
Juliane Maries Vej 30  
2100 København  
Tlf.: 35 32 59 32  
E-post: kp@astro.ku.dk  
www.astro.ku.dk/~kp

#### Mere information

- Røntgenastrofysik i Danmark, incl. nyhedsseite: [www.astro.ku.dk/xcosmos](http://www.astro.ku.dk/xcosmos)
- "Det vilde Univers" i Principia, DR P1 radioudsendelse: [www.dr.dk/p1/principial/352002\\_prin\\_arkiv.html](http://www.dr.dk/p1/principial/352002_prin_arkiv.html)
- Galakser og galaksehobe, generel info og interaktiv øvelse på internettet, hvor man bla. kan gætte galaksetyper og veje en galaksehob: [www.gammel.rummet.dk/3\\_undervisning/Galakser/ga-indledning/body\\_ga-indledning.html](http://www.gammel.rummet.dk/3_undervisning/Galakser/ga-indledning/body_ga-indledning.html)
- Røntgenastrofysik og Chandra observatoriet, internetsider med basal intro: <http://chandra.harvard.edu/edu/chandra101.html>
- X-ray Deep Fields, Jesper Rasmussen, *Kvant*, nr. 1 2002.

NB: Du kan også bestille bladet via hjemmesiden: [www.aktuelnat.au.dk](http://www.aktuelnat.au.dk)