

Gamma astronomi med INTEGRAL

Niels Lund, Dansk Rumforskningsinstitut.

Vi ser skarpere nu ...

Med opsendelsen af den Europæiske INTEGRAL satellit i oktober 2002 har astronomerne fået et fantastisk nyt redskab i hænderne til at studere kompakte objekter overalt i Universet. Men ikke nok med det, INTEGRAL medbringer også det bedste og mest nøjagtige spektrometer med hvilket fordelingen af radioaktive grundstoffer i vores galakse kan kortlægges [1].

Det er ikke længere nogen nyhed at moderne astronomi betjener sig af observationer i alle dele af det elektromagnetiske spektrum – fra radio- til gamma-kvanter. Det brede spektrum af bølgelængder – op mod 20 dekaner – gør det muligt at studere himlens objekter på mange skalaer i temperatur, tryk, magnetfelt, udstrækning ...

Men nogle områder af det elektromagnetiske spektrum byder på større udfordringer end andre når opgaven er at konstruere en god kikkert, et godt kamera eller en god spektrograf.

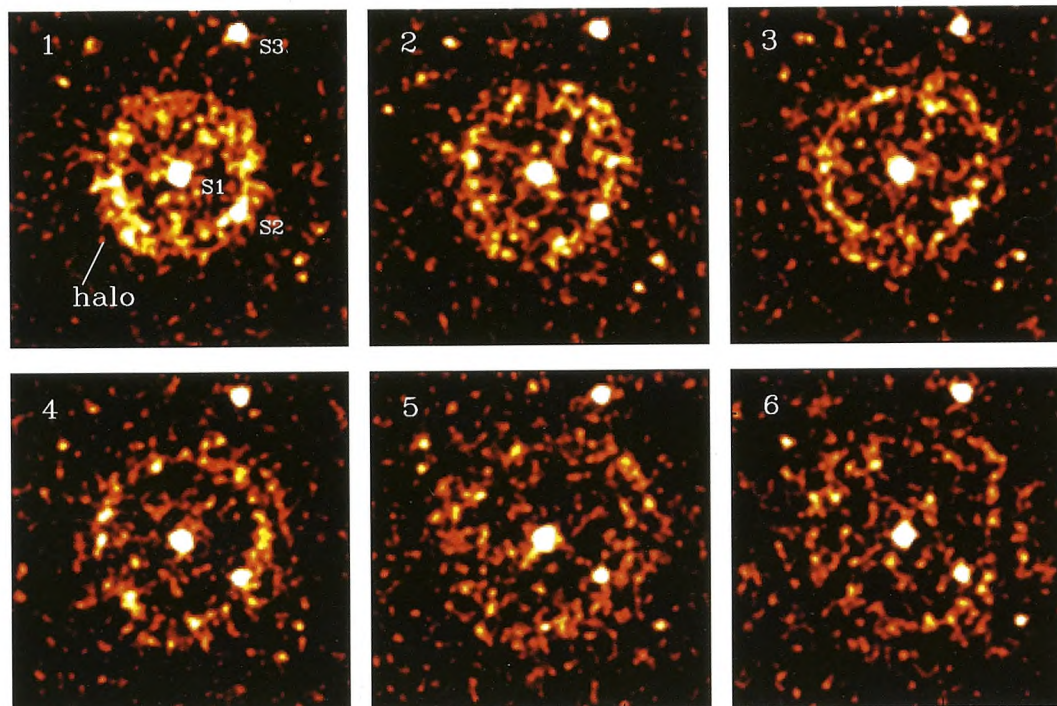
Hård Røntgenstråling og lavenergi gammastråling i energiområdet mellem 10 keV og 30 MeV er et sådan vanskeligt område. Røntgenspejle fungerer fint for energier under 10 keV, men bliver hurtigt ineffektive ved højere energier. Og gammakvanternes store gennemtrængningsevne – som netop betinger gamma-



Figur 1. INTEGRAL-satellitten medfører to hovedinstrumenter til gamma-astronomi. Dertil kommer et sæt af mindre Røntgenteleskoper og en optisk monitor. Alle Røntgen- og gammainstrumenter benytter de såkaldte "kodede masker" til at tage billeder af gammakilderne på himlen.

områdets anvendelighed til studier af objekter som i synligt lys er skjult bag støv- og gasskyer – gør det vanskeligt at bygge effektive detektorer, og også vanskeligt at afskærme og definere detektorernes synsfelt.

Vores kendskab til Universets udstråling i et dette vanskelige bånd har derfor indtil for nyligt været man-



Figur 2. De ekspanderende "røgringe" omkring eftergløden fra et gammaglimt er en optisk illusion fremkaldt af det meget kortvarige og intense lysglimt der ledsager selve gammaglimtet. Man kan forestille sig det korte lysglimt som et antal tynde skaller af lys, der udvider sig i rummet. Der hvor skallerne skærer igennem nogle tynde støvlag i vore Mælkevej ser vi en ring hvis diameter vokser med tiden.

gelfuld. Med simple, instrumenter – blot afskærmet for at begrænse synsfeltet til nogle få kvadratgrader – har vi kunnet studere nogle få af de allerstærkeste kilder på himlen, og vores forståelse af kildernes natur har derfor i mange tilfælde været rudimentær.

Men med INTEGRAL flytter grænserne for de gennemførlige observationer sig dramatisk. Vi kan nu stille skarpt på gamma-kilderne både i retning og i energi. I det følgende vil INTEGRALs instrumenter og nogle eksempler på de nye resultater blive gennemgået.

Instrumenterne på INTEGRAL

INTEGRAL medbringer fire instrumenter: to store gammastrålings instrumenter og to mindre monitorinstrumenter, et til Røntgenstråling og et optisk kamera.

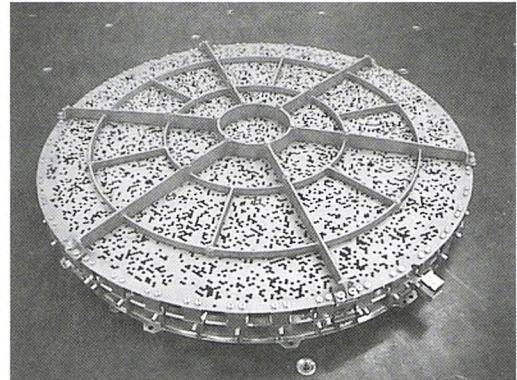
Gamma-spektrometeret, SPI, er det tungeste af de fire instrumenter og tegner sig med sine 1300 kg alene for godt 60 % af den samlede payloadvægt. SPI indeholder 19 store germaniumdetektorer kølet til ca. 90°K. Den spektrale opløsningsevne af disse detektorer er ca. 2 keV ved 511 keV og denne opløsningsevne vedligeholdes ved halvårslige annealingprocesser. SPI dækker et bredt energinterval, fra ca. 20 keV og op til 8 MeV [2].

Det andet store instrument på INTEGRAL er "imager"-instrumentet, IBIS, som optager 35 % af payloadvægten. IBIS indeholder mere end 16.000 halvlederdetektorer baseret på cadmium-tellurid krystaller, disse detektorer kan, i modsætning til SPI's germaniumkrystaller, arbejde ved stuetemperatur og stadig præstere en særdeles god spektralopløsning. De mange detektorpixels giver IBIS et usædvanligt skarpt "syn" i det energiområde mellem 15 og 500 keV, som dækkes af CdTe-krystallerne. IBIS har også en højenergisektion med 4000 CsI-krystaller, disse dækker energintervallet mellem 300 keV og 10 MeV. Desværre er denne del af instrumentet plaget af en meget høj baggrund og har ikke helt kunnet leve op til forventningerne. Men dette forhold er kompenseret i kraft af de meget velfungerende CdTe-krystaller [3,4].

Endelig er der de to monitorinstrumenter som må deles om de resterende 4 % af payloadvægten. Røntgenmonitoren, JEM-X, påkalder sig særlig interesse her i landet fordi instrumentet er udviklet i Danmark. Dansk Rumforskningsinstitut har stået i spidsen for et stort konsortium, der i fællesskab har bygget instrumentet og udviklet tilhørende software. JEM-X er følsom i intervallet mellem 3 og 35 keV. Detektoren er en gasfyldt billedetektor af ny konstruktion med 50.000 pixels [5-7]. Den optiske monitor er bygget i Spanien og den betjener sig af en CCD-detektor med en million pixels [8].

Alle de tre "højenergi-instrumenter", SPI, IBIS og JEM-X, benytter sig af "kodede" masker til at skabe billeder af Røntgen- og gammahimlen. Spejle og linser har ingen effekt på hård Røntgen- og gammastråling. Så hulkameraet er en af de få resterende muligheder –

og et "kodet-maske-kamera" er et avanceret hulkamera med mange huller for at opnå høj følsomhed. JEM-X masken, som er den mest komplekse har mere end 24.000 huller arrangeret i et velovervejede mønster, som på en gang sikrer gennemsnitlig ensartethed og maksimal variation af mønsterets detaljer mellem forskellige områder af masken.



Figur 3. Den kodede maske der anvendes i det danske JEM-X instrument på INTEGRAL. Masken består af godt 24.000 sekskantelementer hvoraf ca. 25% er åbne. Hvert element har en diameter på ca. 3,5 mm.

Resultater fra INTEGRAL missionens første år

Et af de vigtigste resultater fra det første års observationer er opdagelsen af en hidtil ukendt klasse af højenergiobjekter i vores Mælkevej. Det drejer sig tilsyneladende om dobbeltstjernesystemer bestående af en kæmpestjerne med en usædvanlig kraftig "stjernevind" og en neutronstjerne i kredsløb om hinanden. Den kraftige stjernevind giver neutronstjernen gode muligheder for at opsuge nyt stof, og i denne proces opstår en kraftig Røntgenstråling. På trods af dette er disse systemer hidtil blevet overset, fordi det allermeste af Røntgenstrålingen er blevet absorberet af gas og støv i kæmpestjernens vind. Kun ved energier over 20 keV kan strålingen begynde at trænge igennem, og ved disse energier har spejteleskoperne næsten ingen følsomhed længere [9].

Opdagelsen af disse "indhyllede" kilder har på en naturlig måde givet forklaringen på et gammelt mysterium: oprindelsen af den hårde røntgenstråling fra vores galakse. Tidlige instrumenter til studiet af den hårde Røntgenstråling (energier over 20 keV) har tydeligt kunnet registrere stråling i dette energiområde fra galaksens plan men kunne ikke afgøre om strålingen var diffus i sin oprindelse (altså opstod i rummet mellem stjernerne) eller den var knyttet til et stort antal relativt svage punktkilder. For den diffuse model talte at eksistensen af diffus stråling allerede var veletableret både ved lavere (< 10 keV) og ved højere (> 100 keV). Imod talte at de mekanismer, der kunne skabe diffus stråling under 10 eller over 100 keV ikke var effektive i mellemenergiebåndet. En punktkildemodell havde ikke den slags vanskeligheder – men der var tilsyneladende bare ikke nok punktkilder til at forklare den samlede

udstråling fra Galaksen. Med opdagelsen af de "indhyllende" kilder falder brikkerne på plads, disse udstråler netop i mellemenergiebåndet og har hidtil været overset [10].

Et meget aktivt forskningsfelt, også i Danmark, er studiet af de kosmiske gammaglimt. Dette er meget intense sekund- til minutlange glimt af hård Røntgen og gammastråling, der observeres kommende fra tilsyneladende tilfældige punkter på himlen. Glimtene forekommer ret sjældent – et meget følsomt instrument med frit udsyn til hele himlen ville måske se et eller to glimt om dagen. Det, der gør gamma-glimt så interessant, er opdagelsen af at de stammer fra umådeligt fjerne galakser, de signalerer de voldsomste eksplosioner vi endnu har observeret, og de fysiske processer der må udspille sig i disse eksplosioner foregår under forhold som vi ikke kender til noget andet sted i Universet. Lægger man dertil, at de stjerner, der eksploderer, er de ældste enkeltstjerner vi har mulighed for at observere (fra disse afstande kan vi ellers kun se det samlede lysskær fra milliarder af stjerner i en hel galakse), og desuden at lysglimtet fra eksplosionen har gennemlyst det meste af Universet og bærer på oplysninger om grundstofferne i gasskyerne på vejen, så vil man forstå at gammaglimt både er et fascinerende mysterium – og et herligt værktøj.

INTEGRAL var oprindeligt slet ikke tænkt som en mission til at studere gammaglimt. Faktisk var projektet langt inde i byggefasen da det i 1997 for første gang blev erkendt at gammaglimt også var ledsaget af (meget svage) lysglimt. Ikke blot er lysglimtene så svage at de normalt overses i stjernemylderet, men de dør også bort i løbet af få timer eller dage. Så en præcis position på himlen og en meget hurtig reaktion på Jorden er alfa og omega i disse studier. Og ved den første nøgleparameter: en øjeblikkelig bestemmelse af glimtets position på himlen har INTEGRAL sin styrke. I modsætning til de fleste andre satellitter har INTEGRAL ikke en båndoptager om bord som lagrer målingerne indtil satellitten passerer over en modtagestation. INTEGRAL går i en meget elliptisk bane, og den kan altid sende sine data direkte til modtagestationerne i Belgien og i USA. Så observationerne er tilgængelige i analysecenteret i Geneve indenfor et sekund fra deres registrering på satellitten. INTEGRAL har i dag ubestridt rekorden for præcision og hurtighed i forhold til gammaglimt. Desværre er raten af glimt indenfor INTEGRAL's begrænsede synsfelt meget lav – ca. 10 glimt om året, men kvaliteten af data er høj og der er store forventninger til at den rigtige kombination af glimtets position, kikkerternes tilgængelighed og de lokale meteorologiske forhold vil tillade at fange et lysglimt tidligt i forløbet, med en stor kikkert udstyret med en god spektrograf [11].

En overraskende observation, der fint illustrerer at gammaglimt kan udnyttes som "værktøj" i helt andre områder af astrofysikken er observationen af en hurtigt voksende "røgring" omkring et gammaglimt observeret i et samarbejde mellem INTEGRAL og den anden stor

ESA satellit, XMM, i december 2003. "Røgringen" viste sig at være Røntgenstråling som var spredt ved passagen gennem nogle store støvskyer i vores Galakse. Observationen gjorde det muligt at bestemme mængden af støv i skyen og afstanden til skyen meget nøjagtigt [12].

Fremtidsperspektiver

INTEGRAL missionen vil fortsætte i endnu mindst fire år. Vi forventer i løbet af denne tid at observere et antal voldsomme udbrud af Røntgen- og gammastråling fra dobbeltstjernesystemer med sorte huller i vores Mælkevej. Den slags udbrud forekomme typisk en gang om året – så vi føler allerede at det er på høje tid at det næste kommer. Det vil her være af særlig interesse at udnytte SPI instrumentets enestående energiopløsning til at foretage præcise målinger af de nydannede radioaktive elementer vi forventer vil spredes i rummet i forbindelse med et sådan udbrud. SPI instrumentet er også i gang med en detaljeret kortlægning af langlevende radioaktive stoffer der er spredt rundt i Mælkevejen som resultat af nova- og supernovaeksplosioner gennem den sidste million år. Resultaterne af disse undersøgelser kan først ventes om nogle år. Men vi regner med at gammaglimt og andre mere kortvarige fyrværkeriepisoder vil holde os godt beskæftiget indtil da. Og for det længere perspektiv arbejdes der, også på Dansk Rumforskningsinstitut med nye generationer af følsomme teleskoper og detektorer til studiet af højenergiuniverset.

Referencer:

- [1] Winkler m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L1.
- [2] Vedrenne m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L63.
- [3] Ubertini m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L131.
- [4] Lebrun m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L141.
- [5] Lund m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L231.
- [6] Budtz-Jørgensen m.fl. (2004) *Proc. of SPIE*, bind **5165**, side 139.
- [7] Brandt m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L243.
- [8] Mas-Hesse m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L261.
- [9] Walter m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L427.
- [10] Lebrun m.fl. (2004) *Nature*, bind **428**, side 293.
- [11] Mereghetti m.fl. (2003) *A&A*, bind **411**, side L291.
- [12] Vaughan m.fl. (2004) *Ap.J.*, bind **603**, side L5.



Niels Lund er afdelingsleder på Dansk Rumforskningsinstitut. Han har beskæftiget sig med højenergi-astrofysik siden 1963 og har arbejdet med instrumentudvikling til både amerikanske, russiske og europæiske satellitter. Har specielt interesseret sig for oprindelsen af den kosmiske partikkelstråling og af de kosmiske gammaglimt.