

Mystiske Gamma Glimt

Holger Pedersen

Niels Bohr Institut for Astronomi, Fysik og Geofysik
Astronomisk Observatorium, Øster Voldgade 3, 1350 København K.

Der er nu registreret omkring 1400 kortvarige glimt af røntgen- og γ -stråling, kommende fra vilkårlige steder af himlen. Disse *Gamma Glimt* varer typisk mellem 0,1 og 100 s. Hverken optiske objekter, radiokilder, vedvarende røntgenkilder eller noget andet har kunnet påvises som årsag. Afstandene er ukendte; processer nær kanten af det observerbare univers har været foreslået, såvel som fænomener i solsystemets umiddelbare nærhed. Uden sammenligning er Gamma Glimt dermed blevet astrofysikkens største mysterium.

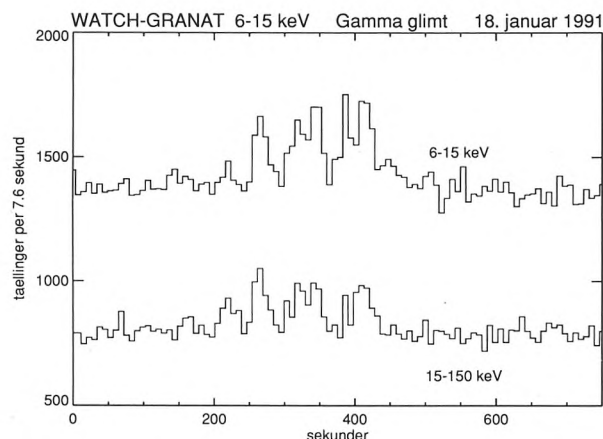
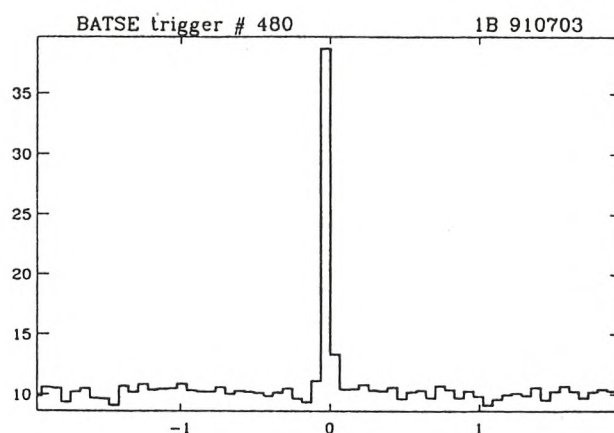
Det var det amerikanske tidsskrift *Astrophysical Journal*, som i 1973 bragte den første rapport. Forskere ved Los Alamos National Laboratory fortalte om deres iagttagelse af 16 usædvanlige begivenheder registreret med nogle satellitter kaldet *Vela*. Disse satellitter var sendt i kredsløb om Jorden i ret høje baner for at overvåge Sovjetunionens overholdelse af en traktat fra 1963 mod atombombeprøvesprængninger i atmosfæren. Ray Klebesadel og medarbejdere kunne ikke få målingerne til at stemme med det forventede: de 16 glimt stammede ikke fra Jorden, ej heller fra Solen, de kom efter alt at dømme fra det dybe Univers.

Allerede i 1968 havde Stirling Colgate fremsat en teori, at supernovaeksplosioner kunne give anledning til udsendelse af γ -stråler. Ideen var, at supernovaskallens hurtige bevægelse mod os skulle blåforskyde synligt lys ind i det højenergetiske område. Klebesadel checkede de kendte supernovaer, men de stemte ikke i tid og sted, så indtil videre måtte Colgate's hypotese lægges på hylden. På omtrent samme måde er det gået 134 teorier, publiceret siden da: ingen har kunnet bevises at være korrekte, og kun få har kunnet modbevises. Nogle astronomer har derfor overvejet et frivilligt moratorium mod nye modeller, indtil bedre eksperimentelle data kan indskrænke valgmulighederne. Omvendt mener andre at fantasien skal have frit løb; der er stadig plausible processer, som ingen har "sat sig på".

Compton Observatoriet

Kort tid efter opdagelsen blev det besluttet at bygge udstyr til eftersøgning af flere udbrud. Min optælling viser, at mindst 58 rumsonder og 18 stratosfæreballeroner har haft held dertil. Blandt de mest kendte er *Apollo 16*, *Venera 11-12*, *Pioneer Venus Orbiter* og *Ulysses*. Det mest prementtøse projekt er *Compton Gamma Ray Observatory*, som blev opsendt med rumfærgen i 1991. Instrumenterne ombord hedder BATSE, COMPTEL, OSSE og EGRET, og har forskellige karakteristika, med hensyn til synsfelt, spektralt følsomhedsområde, energiopløsning og evne til

at bestemme fotonernes ankomstretninger. Kun BATSE er specielt designet til opdagelse af transiente kilder. Den består af otte meget store scintillations-detektorer, placeret i satellittens hjørner. Så snart et udbrud er påbegyndt, sendes besked til de andre instrumenter, som så indsamler og videregiver data med ekstra høj tidsopløsning.

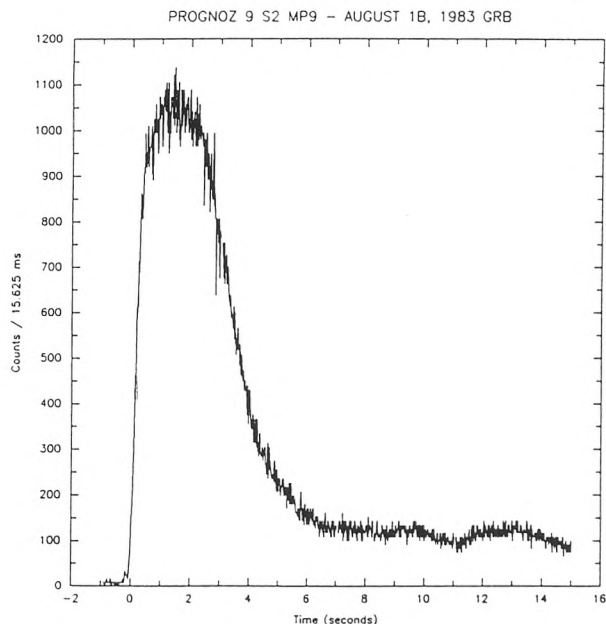


Figur 1. a) Et kort glimt, 128 ms, detekteret 3. Juli 1991 med BATSE. I sit maksimum nåede begivenheden over 35000 tællinger pr. 64 millisekunder.

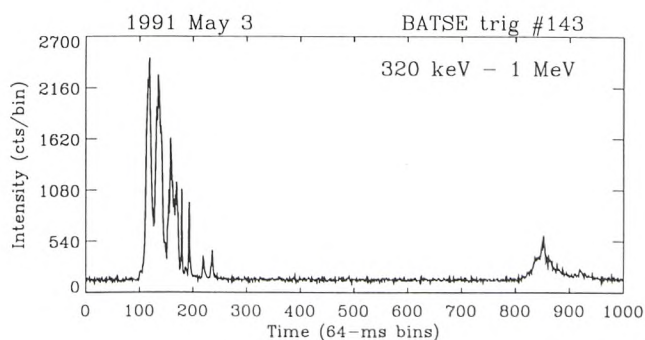
b) Et 280 sekunder langt Gamma Glimt, detekteret 18. Januar 1990 med den danskbyggede WATCH detektor, ombord på satellitten Granat.

Med BATSE måles i gennemsnit 0,85 Gamma Glimt pr. dag. Når der korrigeres for detektorens synsfelt, bliver

den ideelle hyppighed 800 ± 40 begivenheder pr. år. Målingerne antyder en mangel på svage begivenheder; det er med andre ord, som om vi nu er i stand til at registrere næsten alle glimt, som forekommer i det observerbare univers, indenfor $\sim 10^{26}$ m. Hvis det er rigtigt, er Gamma Glimt de mest mest lysstærke objekter, 10^{44} W, og astrofysikken har dermed fået et uventet og meget kærkomment redskab til studiet af universets store dybder.



Figur 2. Et kraftigt Gamma Glimt med jævnt forløbende tidsudvikling. Glimtet ioniserede kortvarigt Jordens stratosfære hvorved kortbølgetransmission blev forstyrret. Det er dermed det første eksempel på, at en begivenhed udenfor Solsystemet har påvirket forholdene her.



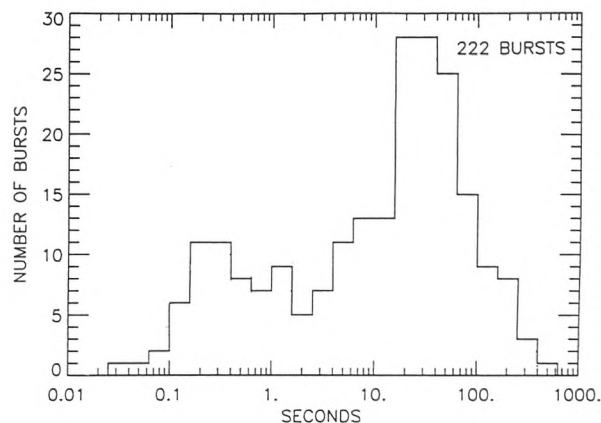
Figur 3. Et Gamma Glimt med kompliceret tidsudvikling. Begivenheden består af to dele, adskilt med 35 s. Gennem den første del varierer intensiteten meget, medens den sidste del kun består af en enkelt top.

Både glatte og takkede

Gamma Glimt er vanskelige at beskrive; rigdommen på kurveformer er meget stor. Nogle varer så kort som 5 ms, andre over 10 minutter. Nogle har en jævn udvikling i

lysstyrke, med et enkelt maksimum, medens andre svinger voldsomt i lysstyrke. Figur 1 - 3 viser eksempler.

Data fra flere satellitter antyder, at kurverne kan skilles i to grupper, primært i afhængighed af deres varighed (Figur 4) og deres "takethed". Der er også antydning af spektrale forskelle mellem de to grupper. Efterhånden som BATSE materialet vokser, vil det blive muligt, at undersøge om sådanne delmængder af Gamma Glimt har en fordeling over himlen, som er konsistent med kendte objekttyper. Hovedparten af Gamma Glimt benævnes *klassiske*, medens tre aparte kilder betegnes som "repeatere" (se senere).



Figur 4. Fordelingen af varigheden af Gamma Glimt. Den logaritmiske tidsskala viser en markant mangel på begivenheder af varighed mellem 0,5 og 5 s.

Ingen klassiske glimt viser tegn på periodicitet. Strålingen er således ikke moduleret, som det er kendt fra radiopulsarer. Heller ikke næsten-periodiske svingninger er påvist med sikkerhed, som det kendes fra plasmabevægelser over polerne af flere magnetiske neutronstjerner i dobbeltstjernesystemer.

De klassiske Gamma Glimt kommer fra stadig nye retninger og på uforudsigelige tidspunkter. Disse to forhold i forening gør fænomenet vanskeligt at studere i stor detalje. Hvis en detektor skal dække alle retninger må glimtet dominere over mange faste og variable kilder, såsom Solen, pulsarer og kvasarer, og også en variabel partikelbaggrund. Hvis synsfeltet, og hermed baggrundssignalet begrænses (man siger, at detektoren *kollimeres*), bliver hyppigheden af registreringer tilsvarende lav.

Linser og spejle duer ikke

γ -stråler afbøjes ikke i optik og reflekteres ikke af spejle. Man kan derfor ikke bestemme positioner for Gamma Glimt, som for andre astronomiske objekter. Den bedste metode benytter sig af glimtets forskellige ankomsttider ved vidt adskilte rumfartøjer. Hvis man antager at Gamma Glimtet stammer fra en så stor afstand at bølgefronten gennem solsystemet kan regnes for plan, kan man ud fra tidsforskellen let bestemme ankomstretningen. Bestemmelsen kræver tre eller flere detektorer og er altid behæftet med en vis usikkerhed. Statistisk støj, usikkerhed



Figur 5. WATCH instrumentet fra Dansk Rumforskningsinstitut. Instrumentets fulde navn er Wide Angle Telescope for Hard Cosmic X-rays. Det cirkulære gitter med en diameter på 25 cm roterer en gang i sekundet under hele flyvningen. Gitteret danner et røntgenlys-skyggemønster på detektoren. En analyse af mønsterets tidlige forløb angiver røntgenkildernes placering paa himlen. Instrumentet vejer 11 kg og bruger 12 W.

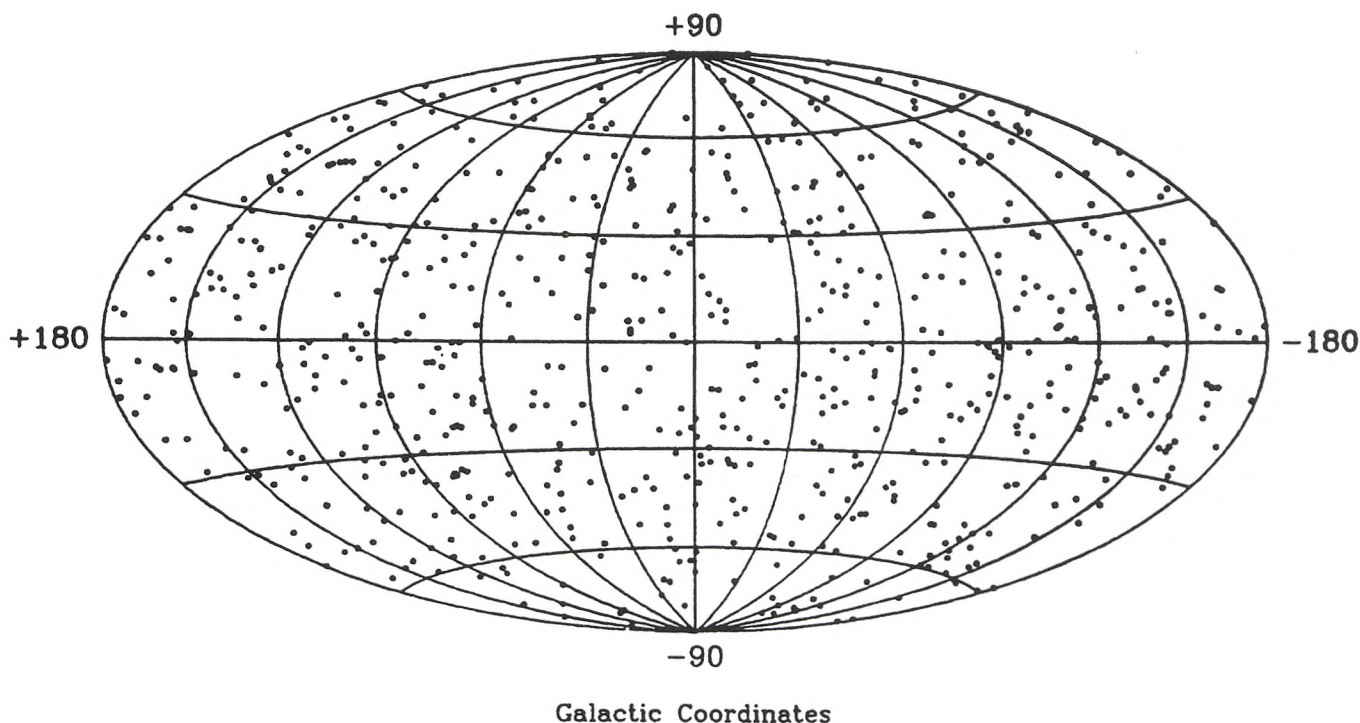
i kendskabet til rumsonderne positioner, fejl i deres tidsregning og forskelle i spektral følsomhed er af betydning. Bølgefrontens krumning, og dermed afstanden til kilden, kan undersøges hvis man har flere detektorer i sving. Det er kun lykkedes i et enkelt tilfælde hvor det viste sig at bølgefronten var plan indenfor måleusikkerheden. (SGR 0526-66, se senere).

Efter tabet af *Mars Observer* består det nuværende interplanetare netværk af Gamma Glimt detektorer kun af to: Compton i lav bane om Jorden, og *Ulysses*, som er på vej fra Jupiter mod Solens poler, højt over ekliptika. Et fjerde medlem, *Pioneer Venus Orbiter*, faldt fornyligt ned i Venus atmosfære, efter 14 års tjeneste. Med kun to detektorer kan et givet glimt ligge hvorsomhelst på et smalt bånd omkring en lille cirkel af vilkårlig diameter.

En anden teknik benytter et antal pladeformede detektorer ombord på en enkelt rumsonde. Ideen er, at sig-

nalet i den enkelte detektor vil afhænge af indfaldsvinklen, og være størst for vinkelret indfald. BATSE er af denne type, og dens positioner kan nu beregnes til 3° nøjagtighed, kun få minutter efter begivenheden. For meget energirige gammastråler kan de enkelte fotoners ankomstretninger bestemmes, og data fra både COMPTEL og EGRET har givet positioner af præcision som BATSE. Kombineret med de nys omtalte lille cirkler kan "fejlområderne" indskrænkes betydeligt.

Gode positioner kan opnås i Røntgenområdet, under 100 keV, ved anvendelse af passende kollimatorer. Det bedste eksempel herpå er WATCH detektoren fra Dansk Rumforskningsinstitut. Denne benytter stavformede scintillatorer af to typer, NaI og CsI, bag et roterende gitter, og kan bestemme Gamma Glimt positioner med en præcision på omkring $0,3^\circ$. Fire enheder flyver med den Sovjet-



Figur 6. Fordeling over himlen af 687 Gamma Glimt. Kortet er i galaktiske koordinater, og viser alle BATSE glimt, som er stedfæstet med acceptabel nøjagtighed. Der er ikke tegn på, at kilderne til er koncentreret i Mælkevejens plan. Desuden viser en analyse af glimtenes intensiteter en påfaldende mangel på svage begivenheder. Det synes dermed, som om nuværende detektorer er følsomme nok til at registrere omtrent alle Gamma Glimt, som ikke (p.g.a. Universets udvidelse) er rødforskudte og tidsstrakte til ukendelighed.

tisk opsendte *Granat* satellit, og een var med på den 10 måneder lange *Eureca* mission. Niels Lund og medarbejdere har nu registreret mere end fyrre transiente kilder og har dermed givet et væsentligt bidrag til kendskabet til Gamma Glimt i det lavenergetiske spektralområde.

687 positioner

Figur 6 viser positionerne for 687 Gamma Glimt, registreret med BATSE. Hvis kilderne hører til Mælkevejen vil man forvente at se en koncentration langs dens plan, eller i retning af dens centrum (figurens midte). Dette er ikke tilfældet. Problemet kan omgås ved at antage en fordeling af hypotetiske kilder i en meget stor halo omkring Mælkevejen (radius over $\sim 10^{21}$ m), men så skulle man have tilsvarende fordelinger omkring retnin- gen til Mælkevejens naboer, specielt Andromedagalak- sen, og også det er dårligt foreneligt med observationer. Heller ikke galakseho- be, som f.eks. Coma-hoben, træder frem på kortet. Den simpleste forklaring er, at de ob- serverede glimt er jævnt fordelt gennem universet, ud til af- stande hvor kosmologisk rødforskydning og tidsstrækning

bringer signalet under detektionsgrænsen. En nylig ana- lyse af BATSE materialet antyder faktisk at de svage glimt er strakt i tid med en faktor ~ 2 , sammenlignet med de klare. Som en konsekvens af rummets udvidelse og den generelle relativitetsteori anses denne opdagelse anses for særdeles vigtig.

Ingen synlige objekter

Flere Gamma Glimt positioner er blevet sædeles grundigt studeret med CCD optagelser fra jordbaserede kikkerter, med røntgenteleskoper og med store radioteleskoper, men uden at man har fundet noget, som påkaldte opmærksomheden. Benyttelse af Hubble-rumteleskopet vanskeliggøres af, at kun en snes positioner har sandsyn- lige fejl under $0,03^\circ$.

I forhåbning om at nogle kilder repeterer har man end- videre gennemset talrige gamle vidvinkeloptagelser, for at efterspore fortidige optiske udbrud. Resultaterne af disse arbejder er stadig omdiskuteret: ingen af de påståede op- tiske udbrud har ført til nogen dybere forståelse. I kun få tilfælde er der samtidighed mellem et Gamma Glimt

og en tilsvarende jordisk observation i den "rigtige" retning. Intet optisk udbrud blev registreret, og den energi, som udsendes i optisk lys kunne beregnes at være højst en procent af γ -strålingen. Tilsvarende negative resultater er opnået i radioområdet, i det infrarøde, og ved ultrahøje energier, 10^{12} - 10^{14} eV. Heller ikke neutrino- eller gravitationsbølgedetektorer har vist signaler.

Spektroskopiske undersøgelser

Spektroskopi er normalt den bedste måde til at få indsigt i astronomiske objekters fysiske natur. De mest anvendte γ -strålingsspektrometre består af proportional- eller scintillationstællere og har så lille energiopløsning, $\sim 10\%$, at eventuel spektral struktur kun ses udvisket. Halvleder-spektrometre, f.eks. af germanium, er meget bedre, men de skal helst køles kryogenisk, hvilket hidtil har givet dem en begrænset levetid, omkring et år.

Gamma Glimt-spektre strækker sig over et meget bredt energiinterval, fra røntgenområdet ved 1 keV, til 10 GeV, et spænd på ti millioner. Der er enighed om, at nogle Gamma Glimt taber hårdhed under forløbet og danner en hale af røntgenstråling. Derimod er forekomsten af spektrallinier stadig kontroversiel. De fleste rapporter drejer sig om en emissionslinie ved ~ 400 keV. Den kunne svare til e^+e^- annihilationsenergien 510 keV, rødforskudt gennem en typisk neutronstjernes gravitationsfelt. Andre spektre viser antydning af absorptionslinier omkring 40 keV, som kunne stamme fra cyclotronstråling i et meget kraftigt magnetfelt, 10^{12} Gauss. Denne process skulle danne spektrallinier ved multipla af den mindste frekvens, og man har derfor gjort meget ud af at studere to spektre, optaget med den japanske satellit *Ginga*. Disse spektre viser to absorptionslinier med det indbyrdes energiforhold 1:2, præcis som forventet, og er et yderligere argument for at nogle Gamma Glimt, men ikke nødvendigvis alle, skal forklares som processer nær overfladen af stærkt magnetiske neutronstjerner. Problemet er, at de målte linie-spektre kun i få tilfælde har kunnet bekræftes fra andre rumsonder. Således har satellitten *Solar Maximum Mission* observeret 144 Gamma Glimt uden at finde linier en eneste gang, og det til trods for at detektoren udmærket var i stand til det, i betragtning af dens observationer af solfakler. Også BATSE måler udelukkende strukturløse spektre, men om dette er inkonsistent med *Ginga*'s resultater er endnu ikke bevist.

Tre bløde gengangere

Mange undersøgelser har søgt at påvise repeterende kiler. Blandt de ~ 1400 glimt hidtil registreret synes kun tre kilder at have vist sig mere end en gang. Alle tre ses i retning af områder med stor stjernetæthed. Positionen af den mest velkendte, SGR 0526-66, svarer nøje til en ung (~ 10000 år) supernovarest, N49, i den Store magellanske Sky. Den har udsendt 16 Gamma Glimt. Serien startede med et gigantisk udbrud 5. Marts 1979, som blev set fra ni rumsonder. I et kort øjeblik nåede energistrømmen ved Jorden 10^{-6} W/m², omtrent ti gange fluxen af synligt lys

fra Sirius. Herefter registreredes en 2 minutter lang hale af mindre intens stråling, moduleret med en 8 s periode. Dette sidste tages som tegn på, at et kompakt objekt, formentlig en neutronstjerne, er involveret. Tre optiske glimt, som blev registreret flere år senere fra La Silla, kan muligvis stamme fra denne kilde; det ene lignede til forveksling den impulsive fase fra 5. Marts 1979.

På grund af den implicerede høje luminositet, 10^{38} W, nægtede mange forskere at tro, at kilden var så langt væk som i den Store magellanske Sky, $2 \cdot 10^{21}$ m væk. Man mente, at den kun ved et tilfælde sås i retning af N49. Baseret på observationer kunne afstanden være så ringe som $5 \cdot 10^{13}$ m; denne værdi blev bestemt ved måling af bølgefrontens (manglende) krumning. SGR-begivenhedernes tilknytning til supernovarest er imidlertid på det seneste blevet kraftigt bestyrket. Den repeterende kilde SGR 1806-20 udsendte omtrent 100 glimt i perioden fra 1978-1986, hvilket dog ikke tillod at positionen blev bedre bestemt end $\sim 1^\circ$. En ny aktivitetsperiode startede 30. September 1993, og ved en stor indsats fra Compton Observatoriet, radioobservatoriet Very Large Array, og den Japanske satellit ACSA, blev fejlområdet indsnævret til en lille radiokilde, benævnt G10.0-0.3, som nu vides at udsende bløde Gamma Glimt. Tågen ligger i Mælkevejens plan, 10° fra retningen til centrum, og dobbelt så langt væk. Det er formodentlig en *plerion*, d.v.s. en ung supernovarest, som drives ved energi tappet fra pulsarens rotation. Men til trods for denne identifikation er energikilden til γ -strålingsudbruddene stadig ukendt; den skal klare 10^{35} W.

Vi skal nu vende tilbage til de klassiske, ikke-repeterende, og hårde Gamma Glimt, for hvilke der endnu ikke er nogen forklaring.

Nær eller fjern

Nogle teoretikere har foreslået, at kilderne kan have noget at gøre med kometer i Oort skyen (som i sig selv er hypotetisk). Hvis det er rigtigt vil de være $\sim 10^{13}$ gange tættere på os, end forudset i andre scenarier. Tilsvarende er forholdet i energiudsendelse altså en faktor 10^{26} . Det er klart at et sådant manglende empirisk kendskab til kildernes energiudsendelse er en hindring for udarbejdelsen af plausible modeller.

Det hurtige forløb af visse Gamma Glimt skulle antyde noget om kildernes udstrækning. Det er almindeligt antaget, at en lysgiver, som stråler lige meget i alle retninger (er isotrop), ikke kan variere hurtigere end at lys (og dermed γ -stråling) kan passere på tværs af objektet i samme tid. Da nogle Gamma Glimt har tidsstruktur under $200 \mu s$, må deres dimensioner altså være under 60 km. Kendte objekter af denne størrelse indbefatter kometer, asteroider, meteoritter, neutronstjerner og de stadig hypotetiske sorte huller. Ved i tankerne at lade objekterne kollidere på passende vis, er det let at frembringe den nødvendige energimængde. Men om modellen er realistisk og om energien kan komme ud som γ -stråling, er en anden sag.

Umiddelbart før opsendelsen af Compton Observatoriet var den fremherskende mening, at Gamma Glimt var galaktiske i natur og havde deres oprindelse i magnetiske neutronstjerner. Enkelte teoretikere, heriblandt Bohdan Paczyński, havde dog konstrueret afvigende modeller, som placerede Gamma Glimt i ekstragalaktiske afstande, svarende til en tid da Rummet kun fyldte 10^{-9} af nu. Elektromagnetiske fænomener fra superledende kosmiske strenge kan måske være årsagen, og da de ikke er knyttet til galakser, vil der ikke være noget at se, hverken før eller efter begivenheden. Teorien er derfor vanskelig at verificere.

Paczyński har senere foreslået, at Gamma Glimt skyldes sammensmeltning af neutront dobbeltstjerner. Sammensmeltningen skyldes parrets vedvarende udsendelse af gravitationsstråling, med påfølgende mindske af afstanden mellem stjernerne (det var påvisningen af denne proces, som i 1993 gav nobelprisen i fysik til Russell Hulse and Joseph Taylor). I vor egen galakse kendes tre neutron-dobbeltstjerner, og de vil smelte sammen i løbet af 10^8 - 10^9 år. Indenfor en det observerbare univers skulle der dermed være tilstrækkelig mange til at forklare den observerede hyppighed af Gamma Glimt 800 pr. år. Energikilden synes således at være tilstede, men teorien lider under den mangel, at det meste af energien formodentlig vil undslippe som neutrinoer, snarere end γ -stråler. Alligevel er det modeller af denne type, som efter de overraskende resultater fra BATSE nu har størst gehør.

For alle kosmologiske modeller gælder det, at hvis et Gamma Glimt undervejs passerer en gravitationslinse, vil det ankomme til os i flere versioner og fra lidt forskellige retninger. Man holder derfor nøje udkig efter glimt, som ligner hinanden.

Fremtidsudsigter

Der er ikke noget, som tyder på, at gåden om Gamma Glimt står foran en snarlig løsning. Mere end een proces kan let være på spil, og observationsmaterialet forbliver sparsomt. Drastisk reducerede fejl i positionsbestemmelsen er én vej frem. Ved en "workshop" i Huntsville, Alabama, i Oktober 1993, diskuterede man bl.a. et forslag om at sende en ganske lille detektor (kun 0,4 kg) ud til en afstand af $3 \cdot 10^{13}$ m fra Solen (Jordens afstand er $1,5 \cdot 10^{11}$ m). Dette ville kunne bestemme positioner til omkring $1''$ ($=1^\circ/3600$) udstrækning, en stor gevinst for optiske identifikationer.

En anden idé bygger på formodningen om detekterbare mængder af glimtende stråling også i andre bølgelængdeområder. Simultanobservationer er derfor blevet sagen, og indgår nu i planlægningen af flere rumeksperimenter. ESA's INTEGRAL mission vil således indbefatte en γ -strålingsdetektor, en kollimeret røntgenmonitor og et CCD baseret "Optical Transient Camera", med åbning $32^\circ \times 32^\circ$. INTEGRAL ventes opsendt 2001.

Den amerikanske HETE mission (op 1994/1995) vil

også studere Gamma Glimt i tre bølgelængdeområder, γ , røntgen, og ultraviolet. Hvis den trinvis identifikation lykkes, vil positionerne kunne bestemmes ombord på satellitten, til omkring $10''$. Det er planen at radiotransmittere koordinaterne til Jorden i "real-time". Professionelle og amatører vil da kunne lytte med og hurtigt rette deres kikkerter ind. Positionerne vil formodentlig også blive rundsendt via Internet.

Men hvorfor vente

Det har fornyligt vist sig, at man kan komme igang endnu tidligere. Dette skyldes (besyderligt nok) et teknisk uheld ombord på Compton Observatoriet: BATSE skulle normalt aflevere sit signal til båndoptagere, som med mellemrum tappes fra Jorden. Men da båndoptagerne er brudt sammen, må signalet transmitteres løbende, via geostationære satellitter. Det giver Goddard Space Flight Center mulighed for at beregne en approximativ position (nøjagtighed 5 - 10°), i det øjeblik et nyt Gamma Glimt er under udvikling. Processen, er lynhurtig: kun 4,4 s efter glimtets start kan positionen være undervejs til de samarbejdende observatorier. For nærværende undersøger forfatteren, sammen med kolleger fra København og Toulouse, hvordan denne information bedst kan udnyttes. Vi forestiller os opstillet to store CCD kameraer på La Silla og La Palma, d.v.s. et på hver halvkugle. Via et transatlantisk kabel og endnu en satellit kan GSFC signalet nå frem så betids til disse observatorier, at kameraerne kan blive indstillet og en eksponering starte kun 7,5 s efter begyndelsen af et Gamma Glimt. Da mange begivenheder varer længere, skulle denne teknik være berettiget. Kameraerne tænkes forsynet med en CCD mosaik på ialt 4098×4098 billedelementer, som udlæses til en kraftig PC. Hver pixel vil måle $20'' \times 20''$. Et billede af et Gamma Glimt kan derfor stedsbestemmes til $\sim 5''$, hvilket muliggør opfølgningsarbejder med langt større kikkerter, og dermed måske en afklaring af kildernes tilknytning til nære stjerner eller fjerne galakser. For de svageste optiske glimt, som i løbet af eet år kan detekteres med dette *Rapid Response Camera*, kan vi forvente at bestemme et luminositetsforhold $L_{optisk}/L_{gamma} \sim 10^{-5}$. Dette er nok til at skelne mellem forskellige teoretiske modeller for lysudsendelsen.



Holger Pedersen er cand.scient. og har beskæftiget sig med optiske studier af astrofysiske højenergikilder, siden 1980, bl.a. under sit arbejde for European Southern Observatory og Nordic Optical Telescope Scientific Association.