

# Gammablossar: Leiftur úr fjarlægri fortíð

Páll Jakobsson og Birgir U. Ásgeirsson

Raunvísindadeild Háskóla Íslands

Vefútgáfa: 11. ágúst 2009

**Ágrip** – Gammablossar, orkumestu sprengingar alheimsins, eru hrinur háorkugeislunar sem berast utan úr geimnum að jafnaði einu sinni á sólarhring. Hver hrina er skammlíf og getur varað allt frá þúsundasta úr sekúndu upp í allmargar mínútur. Talið er að blossomir eigi upptök sín við myndun svarthola í fjarlægum vetrarbrautum, annars vegar í gríðarlega öflugum sprengistjörnum og hins vegar við samruna tveggja ofurþéttra fyrirbæra. Með sífellt öflugri tækni hefur þekking á blossomum stóraukist á undanförunum áratug og vegna mikilla fjarlægða þeirra gefa rannsóknirnar einnig mikilvægar vísbendingar um stjörnumyndunarsögu alheimsins í árdaga. Í þessari grein verður stiklað á stóru í mælingasögu gammablossa. Greint verður frá helstu kenningum um orsakir þeirra ásamt gerð vetrarbrautanna sem þeir kvikna í. Nokkrum þýðingarmiklum blossomum verður lýst sérstaklega sem og áhrifum mögulegs blossa í Vetrarbrautinni. Að lokum verður fjallað um ný mælitæki og nýjar áherslur í rannsóknum á þessum orkumiklu fyrirbærum.

## 1. Vela gervitunglin: Óvænt uppgötvun

Það er í raun kalda stríðinu að þakka að gammablossar uppgötvuðust, orkumestu sprengingar sem þekktar eru í hinum sýnilega alheimi. Á 7. áratug síðustu aldar skutu Bandaríkjamenn á loft *Vela* gervitunglunum sem m.a. innihéldu gammageisla mælitæki. Tilgangur þeirra var að fylgjast með Sovétmönnum, að þeir brytu ekki milliríkjasamninga um bann við tilraunum með kjarnorkuvopn í geimnum. Gervitunglin voru á mjög víðri braut um jörðu, í rúmlega 100.000 km hæð, svo þau gætu einnig skyggst á bak við tunglið. Bandaríkjamönnum þótti ekki ólíklegt að andstæðingarnir væru að þukrast með slíkar tilraunir fyrir aftan okkar eina fylgihnött.

Þann 2. júlí 1967 urðu tvö gervitunglanna vör við hrinu gammageisla sem líktist ekkert geislun sem búast mátti við frá kjarnorkusprengingu. Leitað var skýringa í sólgosum og sprengistjörnum en hvorugt fyrirbæranna hafði átt sér stað þennan dag. Þar sem þetta atvik þótti ekki sérlega mikilvægt var það geymt til seinni tíma rannsókna. Vonast var til að nýrri og næmari gerð *Vela* tunglanna myndi hjálpa til við að leysa gátuna (mynd 1). Fjöldi tunglanna var aukinn til að staðsetja blossana á himinhvelfingunni með meiri

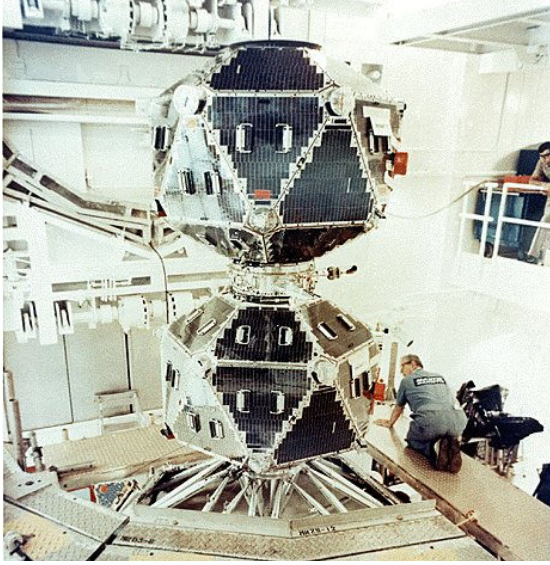
nákvæmni. Fyrsta<sup>1</sup> gammablossagreinin var birt árið 1973 [29]. Handahófskennd staðsetning 16 blossa sýndi að þeir ættu ekki uppruna að rekja til sólarinnar, tunglsins eða annarra reikistjarna í sólkerfinu.

## 2. BATSE mælitækið: Þúsundir blossa

Til að komast til botns í ráðgátunni um uppruna þessara atburða varð smám saman ljóst að finna þurfti útgeislun frá þeim á öðru tíðnisviði, sér í lagi sýnilegu ljósi, þar sem mjög takmarkaðar upplýsingar fást frá gammageislunum einum. Mælingar á slíkri geislun, svonefndum glæðum, krefjast mun meiri nákvæmni í staðsetningu blossa á hvelfingunni en *Vela* hnettirnir gáfu. Ástæðan er einfaldlega sú að sjónsvið dæmigerðs sjónauka á jörðu niðri er mun minna en óvissusvæðið í *Vela* mælingunum. Óvissusvæði eru svæði á hvelfingunni, t.d. hringlaga eða rétthyrnt, þar sem vitað er að blossaatburður er upprunninn (á mynd 7 má sjá dæmi). Í þeim tilfellum þar sem þetta óvissusvæði er hringlaga verður geisli þess framvegis táknadur með  $\Delta\theta$ .

Blossarnir höfðu verið gróflega staðsettir með hornamælingum en til að bæta nákvæmni þurfti að

<sup>1</sup> Til gamans má geta þess að frá 1973 til 2001 voru birtar 5300 ritýndar greinar um gammablossa.



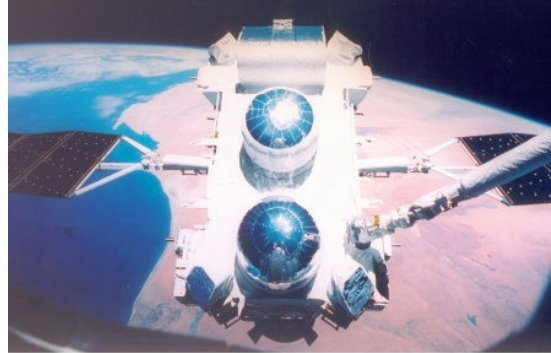
**Mynd 1.** Tvö *Vela* gervitunglanna (*Vela-5A/B*) föst saman áður en þeim var skotið á loft. Er þau voru komin á braut um jörðu voru þau aðskilin.

auka fjarlægð á milli mælitækjanna. Árið 1978 var tilbúið net gervihnatta sem nefnt var Inter-Planetary Network (IPN), myndað af fimm nýjum geimkönn-um. Þó svo að óvissuvæðið minnkaði talsvert við þetta og yrði í sumum tilfellum sambærilegt við sjónsvið sjónauka<sup>2</sup>, tók það að jafnaði nokkra daga að reikna stærð þess út og dreifa til þeirra sem el-ust við glæðurnar. Eins og kemur fram síðar í grein-inni þá dofna glæðurnar tiltölulega hratt og olli þessi tímaseinkun því að aldrei fannst neitt áhugavert innan þeirra leitarsvæða sem IPN gat af sér (sjá t.d. [55]).

Fremur litlar framfarir urðu í mælitækni næstu árin. Það stöðvaði hins vegar ekki kenningasmiðina í að setja fram fjölda líkana til að útskýra bloss-ana. Vinsælustu líkönin innihéldu nifteindastjörnur í Vetrarbrautinni þó svo að einnig væru viðráðar hug-myndir um að blossomir kæmu frá fjarlægum vetrar-brautum; slíkar kenningar birtust fyrst árið 1975 [48, 53, 64].

Stórum áfanga í mælitækni var náð árið 1991 þeg-ar *Compton Gamma Ray Observatory (CGRO)* var skotið á loft (mynd 2). Um borð var m.a. Burst and Transient Source Experiment (BATSE), mjög næmt

<sup>2</sup> Dæmigert sjónsvið spannar um 5–10 bogamínútur. Hver gráða á himinhvelfingunni skiptist í 60 bogamínútur (') sem skiptist svo hver í 60 bogasekúndur ("). Til saman-burðar er sýndarþvermál tunglsins um 30 bogamínútur.



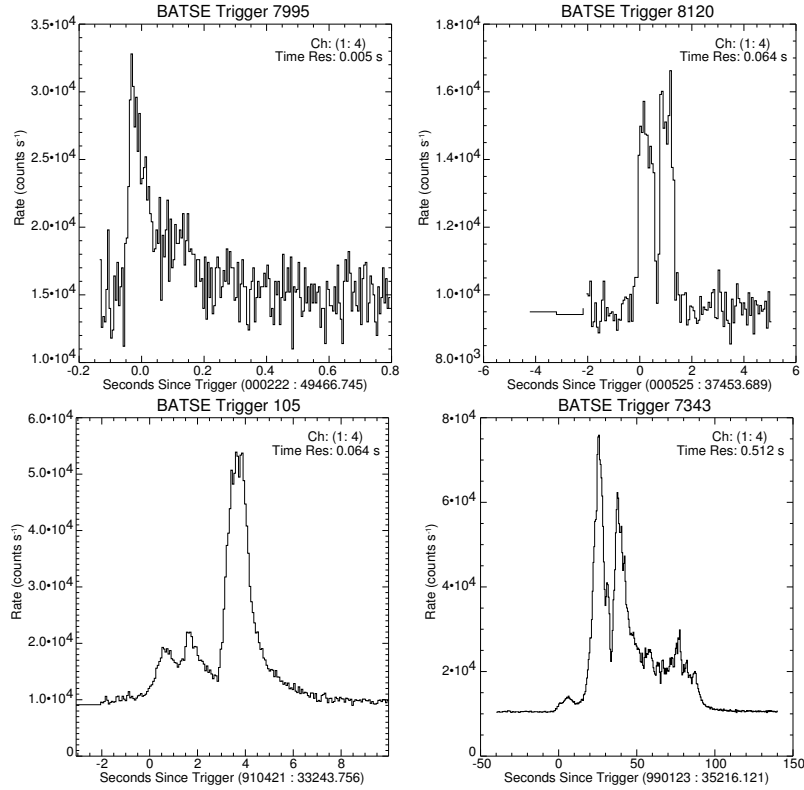
**Mynd 2.** Mikilvægasta mælitækið um borð í *Compton Gamma Ray Observatory*, sem hér sést, var BATSE. Það samanstóð af átta nemum, einum á hverju horni gervitungls-ins; fjórir nemanna sjást á myndinni.

gammageisla mælitæki, sem gat staðsett blossa með nákvæmni upp á um  $\Delta\theta \sim 1^\circ$ . Að meðaltali nam það einn blossa á dag áður en það var látið brenna upp í andrúmslofti jarðar árið 2000 vegna snúðsbilunar. Greining á BATSE gögnum leiddi fljótlega í ljós að blossomunum mátti skipta í tvo flokka: stutta ( $t < 2$  s) og langa ( $t > 2$  s) [31]. Að auki innihélt orkuróf þeirra stuttu mun fleiri orkuríkari ljóseindir að meðaltali; hlutfall ljóseinda með orku á bilunum 100–300 keV og 50–100 keV var hærra en fyrir löngu blossana.<sup>3</sup> Mynd 3 sýnir birtuferla fjögurra BATSE blossa, þeir efri eru flokkaðir sem stuttir en þeir neðri eru langir. Margbreytileiki birtuferlanna er einnig athyglisverð-ur, þeir eru nánast jafnfjölbreyttir og þeir eru margir.<sup>4</sup>

Enn þýðingarmeiri var niðurstaðan sem fékkst er dreifing blossanna á himinhvelfingunni var skoðuð. Eins og sést greinilega á mynd 4 er dreifing þeirra rúmlega 2700 blossa sem BATSE fann á níu ára tíma-bili stefnusnauð. Þetta bendir til gífurlegra fjarlægða og er í raun mjög sterk óbein sönnun þess. Hins vegar mátti einnig útskýra dreifinguna á annan hátt, þ.e. að uppspretturnar væru nær og dreifðar kúlusamhverft með okkur í miðjunni. Þrír tiltölulega nálægir staðir voru mögulegir: (i) Oortsskýið sem liggur umhverfis sólkerfið og er forðabúr halastjarna. Þetta þótti frek-ar fjarstæðukennd kenning því engum hafði dottið í hug hvernig halastjörnur gætu myndað gammablossa.

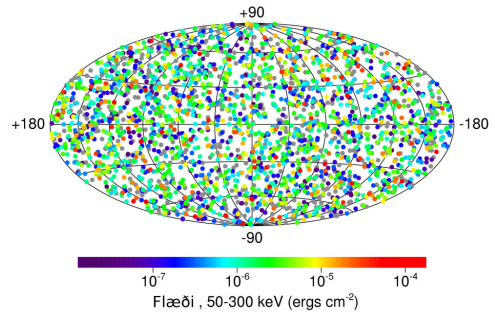
<sup>3</sup> Rafeindarvolt, eV, jafngildir þeirri hreyfiorku sem óbundin rafeind í lofttæmi fær þegar henni er hraðað yfir eins volts spennunum.

<sup>4</sup> Enda er oft haft á orði að „þegar þú hefur séð einn gammablossa, hefur þú séð einn gammablossa.“



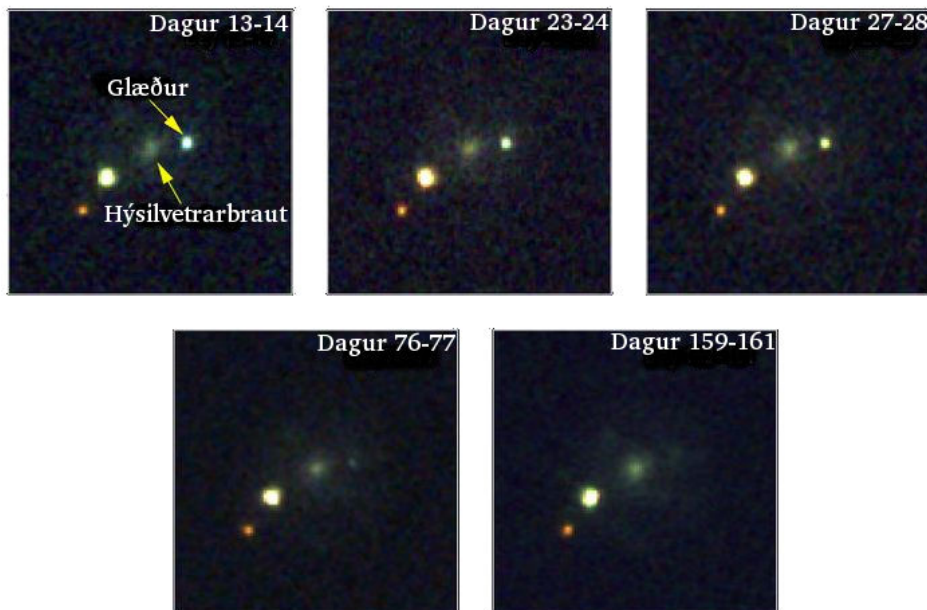
**Mynd 3.** Birtuferlar fjögurra BATSE gammablossa. Myndin sýnir hversu fjölbreyttir birtuferlarnir eru, þ.e. þeir fylgja ekki einhverri almennri lögun. Lengd blossanna er einnig mjög mismunandi. Ferlarnir er fengin frá heimasíðu BATSE.

(ii) Næsta nágrenni sólarinnar, þ.e. fjarlægðir miklu minni en skífubýkkt Vetrarbrautarinnar (u.þ.b. 1000 ljósár). T.d. var stungið upp á líkani þar sem hala-stjarna rekst á nifteindastjörnu [22] og gammablossi er afurð árekstrarins. Ekki verður farið í smáatriði hér en helsti vandi þessa líkans var að útskýra mælda eiginleika blossanna, þ.e. mismunandi birtuferla og orkuróf. (iii) Hjúpur Vetrarbrautarinnar. Fjarlægðirnar yrðu að vera nógu miklar til að hjámiðjustaðsetning okkar í Vetrarbrautinni yrði lítt merkjanleg. Of miklar fjarlægðir hefðu þó í för með sér að við yrðum vör við blossa frá nálægum vetrarbrautum, t.d. Andrómedu, sem væntanlega hefðu sams konar hjúp. Þetta var alls ekki glórulaus hugmynd; á undanförunum áratugum hafa menn uppgötvað að því sem næst allar vetrarbrautir innihalda miklu meira af ósýnilegu efni, svokölluðu hulduefni, heldur en efni sem tilheyrir stjörnunum. M.a. var sýnt fram á að hulduefni þyrilþoka, staðsett í hjúpi þeirra, væri mun meira en hið lýsandi efni og innihéldi meirihluta massa vetrarbrautarinnar [13, 44]. Þó svo að allt væri á huldu um gerð og eðli



**Mynd 4.** Kortið sýnir staðsetningu 2704 gammablossa á hvelvingunni í vetrarbraugshnitum; plan Vetrarbrautarinnar liggur eftir láréttu línunni í miðju. Blossarnir eru litakvarðaðir eftir mældu orkuflæði þeirra. Áður en fjarlægð fyrsta gammablossans var mæld gaf þetta kort sterklega til kynna að uppspretturnar væru í fjarlægum vetrarbrautum frekar en innan okkar Vetrarbrautar. BATSE mælitækið staðsetti blossana. Myndin er fengin frá heimasíðu BATSE.

þessa huldufnis, var sannarlega möguleiki á að orsök gammablossa mætti finna þar (sjá t.d. [33]).



**Mynd 5.** Þann 21. nóvember 2001 kviknaði dæmigerður gammablossi. Myndasýrpan er frá *Hubble* geimsjónaukanum og spannar tímabilið frá 4. desember 2001 til 5. maí 2002 (13–161 daga eftir sprengingu). Glæðurnar, sem dofna tiltölulega hratt, eru staðsettar hægra megin við daufa fjarlægga vetrarbraut sem að öllum líkindum er hýsil blossans. Ljósdeplarnir tveir vinstra megin við hýsilinn eru stjörnur í Vetrarbrautinni og því miklu nær okkur en glæðurnar. Myndin er fengin og uppfærð frá S. Kulkarni, J. Bloom og P. Price.

### 3. *BeppoSAX* gervitunglið: Órafjarlægðir

Eftir staðfestingu stefnusneyðu blossadreifingarinnar, beindist athyglin að því að koma staðsetningu stakra atburða til vísindamanna eins fljótt og auðið var. Til þess var notað hið nýja GRB Coordinates Network (GCN) sem sendir út nokkurs konar internet dreifi-bréf um nýjustu mælingar á blossum á mjög öruggan og hraðvirkan hátt. En þó svo að BATSE gerði vísindasamfélaginu viðvart um blossa nokkrum sekúndum eftir að hann átti sér stað var  $\Delta\theta$  allt of stórt til að byrja með; tugir gráða. Nánari gagnauðrvinnsla eftir sérhvern blossa betrubætti  $\Delta\theta$  niður í u.þ.b. gráðu ef blossinn var bjartur. Eins og áður hefur komið fram reyndist þetta leitarsvæði allt of stórt og því vonlaust fyrir sjónauka að eltast við glæðurnar.

Árið 1996 var *BeppoSAX* gervitunglinu skotið á loft en það gat staðsett gammablossa með töluvert meiri nákvæmni en BATSE og innihélt að auki nokkur röntgenmælitæki. Þann 28. febrúar 1997 nam hnötturinn blossa og gat staðsett hann tiltölulega

nákvæmlega,  $\Delta\theta \sim 3'.$ <sup>5</sup> Átta klukkustundum síðar sá *BeppoSAX* röntgenglæður, þær fyrstu sem mælst höfðu, og gat staðsett þær með nákvæmni upp á  $50''$  [12]. Staðsetningarnar voru strax tilkynntar með GCN-skeytum sem leiddi til þess að fyrstu sýnilegu glæður gammablossa fundust [65].

Ekkert litróf náðist þó af glæðunum og tókst því ekki að ákvarða fjarlægð blossans. Nokkrum mánuðum seinna, þegar glæðurnar höfðu dofnað umtalsvert, kom þó í ljós daufur og óskýr hlutur á sama stað með fast birtustig [54]. Nokkuð ljóst þótti að þetta væri vetrarbraut og nú var aðeins tímaspursmál hvenær beinar mælingar sýndu ótvírætt að um órafjarlægðir var að ræða. Það varð líka raunin því á svipuðum tíma, þann 8. maí 1997, tókst að mæla fyrsta glæðulitrófið. Rauðvikið reyndist vera  $z = 0,835$  sem samsvarar tæplega 7 milljarða ljósára fjarlægð [41]. Á mynd 5 má sjá dæmigerðar glæður gammablossa ásamt hýsilvetrarbraut hans.

<sup>5</sup> Til samanburðar má nefna að sjónsvið Norræna sjónaukans (NOT) er u.þ.b.  $7' \times 7'$ .

Næsta rauðvik sem mældist var  $z = 3,42$  fyrir GRB 971214<sup>6</sup> [32]. Þessi sprenging varð í 12 milljarða ljósára fjarlægð þegar alheimsins var einungis 14% af núverandi gildi. Með ólíkindum þótti að þessi fjarlæggi atburður sæist frá jörðu: orkan, sem losnaði á aðeins hálfri mínútu, var mörg hundruð sinnum meiri en sólin mun gefa frá sér á allri sinni 10 milljarða ára ævi. Í dag hefur rauðvik verið mælt fyrir rúmlega 170 gammablossa og er meðaltalið um  $z \sim 2$  sem þýðir að meirihluti blossanna kviknar í fjarlægum vetrarbrautum í hinum unga alheimi [27]. Það kemur þó fyrir að þessar sprengingar verði mun nær okkur; sú nálægasta var í 120 milljón ljósára fjarlægð ( $z = 0,0085$ ) sem er um 60 sinnum lengra í burtu en nágranni okkar, þyrillpokan Andrómeda.

#### 4. Forsprengi blossanna

Mikill fjöldi mælinga er að sjálfsögðu nauðsynlegur og af hinu góða en nánast tilgangslaus ef ekki eru til líkön til að bera saman við. Frá árinu 1973, þegar fyrsta blossagreininin birtist, fram til 1991, þegar BATSE hóf mælingar, urðu engin tímamótakref í mælingum. Þetta gaf líkanasmiðum ríkulegt frelsi og leiddi á tímabili til þess að fjöldi líkana varð sambærilegur við fjölda þekktra blossa. Helsti munur á líkönunum var tegund þeirrar orku sem umbreyttist yfir í gammablossa (t.d. þyngdarstöðuorka, snúningsorka, rafsegulorka og kjarnorka) og þau fyrirbæri sem voru viðriðin ferlið (t.d. svarthol, nifteindastjörnur, hvítir dvergar, halastjörnur og andefni). Mikill fjöldi líkana er til vandræða en svo lengi sem hægt er að máta líkan við einfalda mæliniðurstöðu, þ.e. styrkja það eða útiloka, er það skref í rétta átt. Sú mæliniðurstaða sem veitti meirihluta líkananna náðarhögggið var staðfestingin á hinum feiknamiklu fjarlægðum. Þessi kaffi fjallar um forsprengi (e. progenitor) blossanna, þau fyrirbæri sem í dag eru talin líklegust til að orsaka þá.

##### 4.1. Langir blossar

Nú er almennt talið að langir blossar kvikni þegar mjög massamikil sólstjarna endar ævi sína. Í hamförum, sem verða þegar kjarni slíkrar stjörnu fellur saman og myndar svarthol, losnar gríðarleg orka,

<sup>6</sup> Blossar eru nefndir eftir kvikunardagsetningu; GRB 971214 kviknaði 14. desember 1997. Mælist fleiri en einn blossi á dag bætist bókstafurinn 'A' við nafn þess fyrsta, 'B' þess næsta o.s.frv.

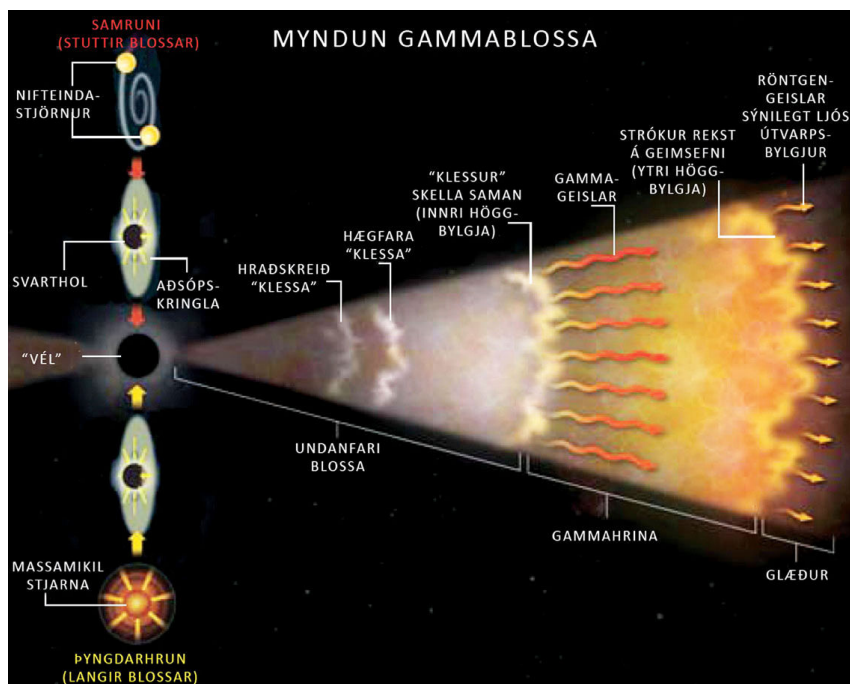
allt að hundradföld orka sem losnar í hefðbundinni sprengistjörnu. Þegar svartholið hefur myndast inni í miðju stjörnunnar soga þá ytri lög hennar til sín og myndast þá svonefnd aðsópskringla umhverfis svartholið. Við það losnar þyngdarstöðuorka sem brýtur sér leið út úr stjörnunni í strókum sem æða svo að segja með hraða ljóssins út í geiminn í gagnstæðar stefnur. Um þessa stróka verður nánar fjallað í 5. kafla en einfalda skýringarmynd má sjá á mynd 6.

Minnst þrjú skilyrði eru nauðsynleg til þess að stjarna hljóti þau örlög sem lýst er að ofan. Hún verður að vera meira en 20 sinnum massameiri en sólin [35] og snúast tiltölulega hratt svo aðsópskringla geti mótað og komið strókunum af stað. Þá má þungefna-magn<sup>7</sup> hennar ekki vera of mikið. Að öðrum kosti myndast öflugur stjörnuvindur sem flytur með sér hverfipunga og hægir um of á snúningi stjörnunnar [68]. Þessi skilyrði hafa augljóslega í för með sér að gammablossar eru mun sjaldgæfari en sprengistjörnur. Talið er að þær síðarnefndu kvikni að meðaltali fjórum sinnum á öld í dæmigerðri vetrarbraut á meðan gammablossar kvikni á um  $10^5$ – $10^6$  ára fresti [47].

Það eru einkum tvö atriði sem renna stöðum undir þessa tilgátu. Í fyrsta lagi kvikna langir blossar undantekningarlaust í eða nálægt stjörnumyndarsvæðum í hýslum sínum (sjá t.d. [8, 14]). Þessi svæði eru ná-tengd massamestu stjörnunum sem þróast og enda ævi sína á nokkrum tugum milljóna ára. Blossarnir kvikna aldrei á svæðum þar sem stjörnumyndun hefur stöðvast. Í öðru lagi hefur merki um sprengistjörnu sést í kjölfar nokkurra blossa. Annars vegar er um að ræða óvænt ris í birtuferlum glæðanna nokkrum dögum eftir blossana sjálfa (sjá t.d. [4, 6, 7]), sem er nákvæmlega það sem búast má við af sprengistjörnu. Einnig þróast sum litróf með tíma frá því að vera tiltölulega einföld glæðulitróf yfir í að vera frekar flókin og dæmigerð fyrir sprengistjörnur [23, 37, 46]. Mikilvægt er að átta sig á því að mælingar á ummerkjum sprengistjörnu í blossaatburði eru sjaldgæfar; blossarnir eiga sér að meðaltali stað í það mikilli fjarlægð að núverandi mælitæki eiga varla möguleika á að greina hina tiltölulegu veiku útgeislun sprengistjörnunnar. Það er aðeins í undantekningartilvikum sem slíkt hefur heppnast, þegar  $z \lesssim 0,5$ . Mjög gott og ítarlegt yfirlit um tengsl gammablossa og sprengistjarna má finna í [67].

<sup>7</sup> Öll frumefni með hærri sætistölu en vetni og helín eru í stjörnufræði kölluð málmar eða þungefni.



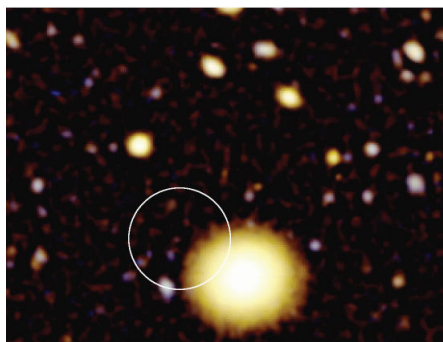


**Mynd 6.** Myndun gammablossa. Tvær atburðarásir eru taldar líklegastar. Annars vegar þyngdarhrun massamikillar stjörnu og hins vegar samruni tveggja nifteindastjarna (eða nifteindastjörnu og svarthols). Hvort tveggja myndar svarthol umvafið aðsópskringlu sem kemur af stað svokölluðum strókum er æða nánast með hraða ljóssins út í geiminn í gagnstæðar stefnur. Höggbylgjur innan stróksins valda að endingu gammablossanum sjálfum. Myndin er fengin og uppfærð frá [18].

#### 4.2. Stuttir blossar

Aðeins hefur tekist að staðsetja glæður um 30 stuttra blossa á röntgensviðinu og innan við 15 í sýnilegu ljósi. Þar af leiðandi er þekking okkar á fjarlægðum þeirra og hýslum frekar takmörkuð. Sú vitneskja sem við höfum aflað okkur hingað til bendir samt sem áður til þess að forsprengi stuttu blossanna séu töluvert frábrugðin þeim löngu. Margir þeirra virðast tengjast gömlum vetrarbrautum þar sem stjörnumyndun hefur nánast stöðvast, t.d. sporvöluþokum (sjá mynd 7), þó annars konar hýslar þekkist einnig (sjá t.d. [3, 49]). Aldrei hefur tekist að mæla rauðvik stuttra blossa út frá gleypilnum í litrófi glæðanna; hins vegar hafa mælst um 15 rauðvik byggð á ljómlinum frá hugsanlegum hýslum. Rauðvikin eru í öllum tilvikum frekar lítil ( $z \lesssim 1$ ). Að auki má nefna að þrátt fyrir litlar fjarlægðir og miklar og skipulagðar mælingar, hafa vísbendingar um sprengistjörnur aldrei fundist í gögnum stuttra blossa (sjá t.d. [24]).

Ekki hefur enn náðst alger sátt í stjarnvísindasamfélaginu um uppruna stuttra blossa. Líklegasta líkan-



**Mynd 7.** Nánasta umhverfi sporvöluþokunnar sem talið er að hafi hýst stutta blossann GRB 050509B. Ekki tókst að staðsetja röntgenglæður blossans með mikilli nákvæmni (hvítu hringurinn) og því er mögulegt að ein daufu vetrarbrautanna innan hringsins sé hýsillinn. Myndin er fengin og uppfærð frá [9].

ið er þó talið það sem byggir á samruna tveggja ofurþéttra fyrirbæra: tveggja nifteindastjarna (t.d. [34]) eða nifteindastjörnu og svarthols (t.d. [5]). Slík tvístirni eru talin vera sjaldgæf í alheiminum; vítað er

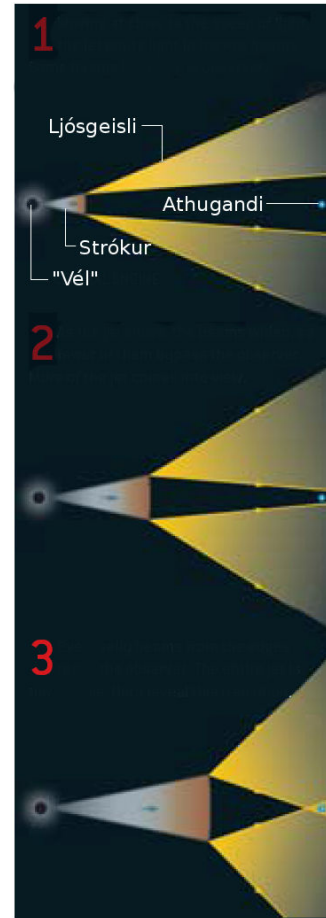
um nokkur af fyrri gerðinni í Vetrarbrautinni og talið er að það seinna fyrirfinnist þar einnig. Samkvæmt afstæðiskenningu Einsteins geisla slík kerfi frá sér þyngdarbylgjum og tapa því smám saman orku. Afleiðingin er sú að stjörnurnar nálgast hvora aðra þar til flóðkraftar tæta nifteindastjörnuna (eða nifteindastjörnurnar) í sundur og heljarmikil orka losnar er efnið sogast ofan í svarthol úr aðsópskringlu sem hvort tveggja myndast við samrunann. Þetta er svipað ástand og þegar mjög massamikil sólstjarna endar ævi sína eins og lýst er hér að framan fyrir löngu blossana (sjá einnig mynd 6). Ólíkt þeim, er ekki búist við að sprengistjarna kvikni á sama tíma og stuttir blossar sem er í fullu samræmi við mælingar.

Að lokum er rétt að minnst á gríðarlega segulmagnaðar tífstjörnur sem nefnast ofursegjur. Talið er að af og til geti segulsviðið brotið upp yfirborð/skorpu tífstjörunnar og valdið svokölluðum „stjörnuskjálftum“ sem leysa gífurlega orku úr læðingi. Ef hægt væri að mæla slíkan skjálfa á hefðbundnum Richterskvarða yrði stærðin rúmlega 30 (öflugasti jarðskjálfti sem mælt hefur á jörðinni var 9,5). Líklegt þykir að slíkar hamfarir valdi stuttum gammablossum sem væru mælanlegir í allt að 100 milljón ljósára fjarlægð [59]. Mjög gott og ítarlegt yfirlit um stutta blossa er í [43].

## 5. Strókalíkanið

Þessi kafli fjallar um hið svokallaða strókalíkan sem talið er að best lýsi uppruna og orsökum gammablossa og glæða þeirra (sjá t.d. [28]); mynd 6 skýrir líkanið í mjög grófum dráttum. Hinar feikilegu fjarlægðir blossanna ollu strax ákveðnu vandamáli, nokkurs konar „orkukreppu“: Mæld gammageislun gaf mat á orkulosun á bilinu  $10^{45}$ – $10^{47} \times (\Omega_\gamma/4\pi)$  J, þar sem  $\Omega_\gamma$  er rúmhorn útgeislunarinnar. Slík orka samsvarar því að kyrrstöðumassi sólarinnar umbreyttist í hreina orku (í formi gammageisla) með fullkominni orkunýtni, ef gert er ráð fyrir jafnri orkulosun í allar áttir ( $\Omega_\gamma = 4\pi$ ). Útreikningar gáfu til kynna að þessir atburðir samsvöruðu því að á einu augnabliki hafi massa sem samsvaraði massa sólarinnar verið breytt í geislunarorku. Þarna leystist því úr læðingi óheyrileg orka.

Ef afstæðilega efnið/orkan berst hins vegar frá upptökunum í grönnum keilustrók [52] með topphorni  $\theta_{\text{jet}}$  dregur verulega úr heildarorku blossans. Ummerki um slíka afstæðilega stróka má sjá sem brot í birtuferlum glæðanna, þær fara skyndilega að dofna hraðar. Á mynd 8 er ástæðu brotsins lýst í grófum



**Mynd 8.** Afstæðiskenningin hefur mikil áhrif á hvernig athugandi sér útgeislun stróksins. Er strókurinn æðir áfram út í geiminn, nánast með hraða ljóssins, beinist útgeislunin fram á við eftir örmjóum ljóskeilum (efsta mynd). Í raun geislar allt yfirborð stróksins; einungis ljósgeislar frá jöðrunum eru sýndir til að yfirfylla ekki skýringarmyndina. Þegar strókurinn hægir á sér víkka ljóskeilurnar og færri beinast framhjá athugandanum, þ.e. stærri hluti stróksins er í sjónmáli athugandans (mynd í miðju). Um síðir verða ljóskeilurnar frá jöðrunum stróksins sýnilegar; allur strókurinn er í augnsýn (neðsta mynd). Þessi umskipti eru mælanleg, þau valda broti í birtuferli glæðanna. Myndin er fengin og uppfærð frá [18].

dráttum. Afstæðileg áhrif valda því að athugandi sér smám saman stærri hluta stróksins þegar hann hægir meira á sér. Þetta orsakast af því að staðbundinni geislun er geislað út í útbreiðslustefnuna með topphorni  $1/\Gamma$ , þar sem  $\Gamma$  er Lorentz-stuðullinn og  $\Gamma \equiv (1 - (v/c)^2)^{-1/2} \sim 1000$  í upphafi (t.d. [36]). Hér er

$v$  hraði efnisins sem geislar frá sér og  $c$  er ljóshraði. Þegar strókurinn hægir á sér, minnkar  $\Gamma$  og útgeislun-  
arhornið stækkar. Þegar  $\Gamma \sim \theta_{\text{jet}}^{-1}$  sér athugandi allan  
strókinn og birtan tekur að dofna hraðar eftir það. Á  
mynd 8 er sjónlína athugandans samsíða ás stróksins.  
Fyrir slíkan athuganda verður brotið í birtuferlinum  
skarpara og sést fyrr en hjá athuganda sem ekki er á  
samhverfuás stróksins en samt innan  $\theta_{\text{jet}}$  [20].

Hægt er að reikna  $\theta_{\text{jet}}$  út frá tímasetningu brotsins  
í birtuferli glæðanna og er algengt gildi nokkrar gráður.  
Eins og fram kom hér að framan minnkar reikn-  
uð heildarorka blossans talsvert við það gera ráð fyrir  
strókalögun (í gagnstæðar stefnur). Í því tilviki er

$$\frac{\Omega_{\gamma}}{4\pi} = 1 - \cos \theta_{\text{jet}} \approx \frac{\theta_{\text{jet}}^2}{2} \approx 3,8 \times 10^{-3} \quad (\theta_{\text{jet}} = 5^\circ).$$

Einnig eykst tíðni gammablossa í alheiminum um  
sama hlutfall þar sem aðeins þeir blossar sem beina  
strók sínum að okkur sjást frá jörðinni. Er talið að hin  
raunverulega tíðni sé um 500 sinnum hærrí en sú sem  
áætluð er út frá jafnáttu útgeislun.

Hvaða eðlisfræðilegu ferli í strókunum liggja að  
baki myndun gammablossa og glæða þeirra? Hér  
verður einungis stiklað á stóru; rannsóknir og mæling-  
ar síðustu áratuga hafa smám saman varpað ljósi á at-  
burðarásina. Fljótlega varð ljóst að strókurinn verður  
að vera afstæðilegur, annars sleppa gammageislarnir  
ekki út, þeir myndu rekast hver á annan og mynda  
pör rafeinda og jáeinda [11, 56]. Með árunum betrum-  
bættu líkanasmíðirnir strókalíkanið: Fyrst var einungis  
kannað hvað myndi gerast ef gríðarleg orka losnaði  
úr læðingi í rúmmáli á stærð við nifteindastjörnu  
(um 10 km radíus) [19, 45]. Því næst var efni, raf-  
eindum og róteindum, bætt í líkanið [57]. Slíkt þótti  
rökrétt skref fram á við ef blossarnir væru afleiðing  
stjörnusprenginga eða samruna ofurþéttra fyrirbæra.  
Rafeindirnar auka hraðann við Compton-dreifingu og  
fljótlega nálgast efnið/rafgasíð í stróknum hraða ljóss-  
ins. Þegar hér er komið sögu hefur nærri öll orkan  
umbreyt í hreyfiorku; einungis smávægilegur hluti er  
til aflögu til geislunar.

Þegar út í geiminn er komið rekst strókurinn á  
þunnt geimefni fyrir utan stjörnuna. Geimefnið getur  
verið leifar þokunnar sem stjarnan myndaðist úr eða  
upprunnið í stjörnuvindinum sem stjarnan blés frá sér  
[40, 50]. Strókurinn ýtir þunnu geimefninu á undan  
sér og við það myndast í því höggbylgja (t.d. [42]),  
þar sem rafeindirnar taka að geisla frá sér samhraðals-

geislun sem til að byrja með nær hámarki í röntgen-  
hluta rófsins. Strókurinn hleður á sig geimefni, hægir  
á sér og tíðni ljóssins sem frá honum kemur lækkar.  
Fljótlega getur hann orðið mjög bjartur í sýnilegu  
ljósi og getur það skeið varað í allmarga daga. Toppur  
útgeislunarrófsins flyst að lokum yfir á útvarpssviðið  
og útvarpsglæður koma fram þegar hraði stróksins er  
orðinn nægjanlega lítill eftir 1–2 vikur í viðmiðunar-  
kerfi athugandans. Heildarútgeislunin dofna svo með  
tíma samhliða öllu þessu.

Hvað með gammahrinuna sjálfa? Þar sem lengd  
undirpúlva þeirra getur verið styttri en millisekúnda  
(sjá t.d. mynd 3 og [38]), þá er uppspretta geislun-  
arinnar ekki stærri en sú vegalengd sem ljósið ferð-  
ast á þeim tíma. Þetta samsvarar u.þ.b. 100 km. Í dag  
er talið að svartholið og aðsópskringlan geti viðhald-  
ið tímaháðu útstreymi efnisskelja með mismunandi  
hraða sem síðan rekast hver á aðra innan í stróknum  
og framkalla höggbylgjur [51]. Tölulegir reikningar  
og tölvulíkön [30] hafa sýnt að slíkar innri höggbylgjur  
geta framkallað hina mjög svo tímaháðu hegðun  
hrinanna og að fylgnin milli árekstra skeljanna og há-  
marka mældu birtuferlanna sé nánast eintæk.

## 6. *Swift* gervitunglið: Bylting

Miklar framfarir hafa orðið á þekkingu manna á  
gammablossum og glæðum þeirra frá því *Swift* gervi-  
tunglinu var skotið upp árið 2004 (mynd 9) en það  
hefur þegar fundið fleiri en 400 blossa og staðsetur  
að meðaltali tvo í hverri viku. *Swift* var hannað sér-  
staklega til að finna blossana og beina sjónaukum sín-  
um að þeim á sem skemmstum tíma. Um borð eru  
þrjú mælitæki sem hvert um sig er sérhæft á ákveð-  
inni bylgjulengd eins og sést á mynd 10. Miklu skipt-  
ir að atburðarásin gangi hratt fyrir sig þegar mæla á  
blossa og glæður hans þar sem geislunin er skammlíf  
og dofna hratt.

Sá hluti *Swift* sem skynjar blossa kallast Burst  
Alert Telescope (BAT). BAT getur skynjað gamma-  
geislun frá einum sjötta himinhvelfingarinnar í einu  
og notar tækni sem byggir á skuggamynstri til að  
staðsetja uppsprettur. BAT finnur staðsetninguna  
sjálfvirkt með  $\Delta\theta \approx 5'$  um tíu sekúndum eftir blossa  
og sendir þær upplýsingar nær samstundis til jarð-  
ar. *Swift* stýrir um leið röntgensjónaukanum X-Ray  
Telescope (XRT) og spegilsjónaukanum The Ultra-  
Violet/Optical Telescope (UVOT) fyrir sýnilegt og út-  
blátt ljós í rétta átt og eru þeir tilbúnir til mælinga um

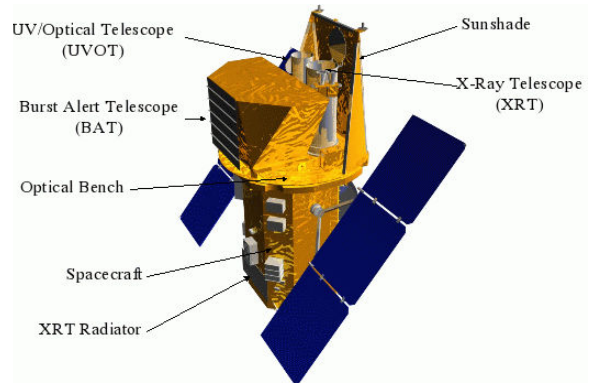




**Mynd 9.** *Swift* gervitunglinu var skotið á loft 20. nóvember 2004 um borð í Delta II eldflaug frá Canaveral höfða á Flórída. Tæplega tveimur mánuðum seinna, 17. janúar 2005, nam *Swift* fyrsta gammablossann sem það gat beint sjónaukum sínum að innan nokkurra sekúndna.

hálfri mínútu eftir blossann. Þar sem auðveldara er að staðsetja upptök röntgengeisla en gammageisla þá nær XRT að staðsetja blossa með  $\Delta\theta \approx 5''$  nákvæmni og er staðsetningin send til vísindamanna innan við mínútu eftir fyrstu ummerkin. Ef sýnilegu glæðurnar eru nógu bjartar þá getur UVOT náð  $\Delta\theta \approx 0,3''$  nokkrum mínútum síðar. Á næstu klukkustundum og dögum er ljósi safnað bæði með XRT og UVOT sem og með sjónaukum á jörðu niðri til að greina ljósstyrk og litróf glæðanna.

Nauðsynlegt er að viðbúnaður sé ávallt með besta móti þegar beina á sjónaukum í átt að glæðum blossanna eftir að upplýsingar frá *Swift* berast. Tækni nútímans gerir skjót viðbrögð möguleg, bæði í gervitunglinu sem og í samskiptum vísindamanna á jörðu niðri. *Swift* hefur með snerpu sinni og nákvæmni opn- að nýjar leiðir að upplýsingum um gammablossa sem gera vísindamönnum kleift að rannsaka þá í enn meiri smáatriðum en áður. *Swift* mun að öllum líkindum starfa áfram á næstu árum og veita enn frekari innsýn í þessi merkilegu fyrirbæri.



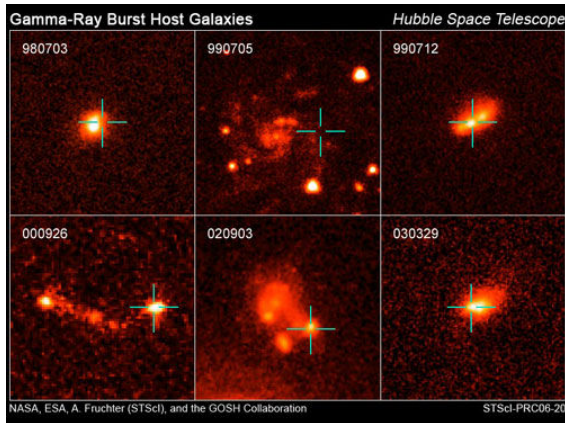
**Mynd 10.** Um borð í *Swift* eru þrjú mælitæki sem hvert um sig er sérhæft á ákveðinni bylgjulengd. Burst Alert Telescope (BAT) nemur gammageislu og fylgist með u.þ.b. 1/6 af himinhvelfingunni á hverjum tíma. Um leið og BAT verður vart við blossa, snýr *Swift* sér snarlega í átt að honum til mælinga á röntgensviðinu með X-ray Telescope (XRT) og sýnilegu ljósi með Ultraviolet/Optical Telescope (UVOT).

## 7. Hýsilvetrarbrautir

Ekki er mikið vitað um hýsla stuttra blossa þar sem einungis hefur tekist að staðsetja örfáar glæður þeirra. Þær vetrarbrautir sem þó hafa fundist eru mismunandi, bæði með og án stjörnumyndunar. Slíkt er í fullu samræmi við samrunalíkanið, þ.e. samruni tveggja nifteindastjarna eða nifteindastjörnu og svarthols getur átt sér stað í vetrarbrautum af öllum gerðum.

Hýslar langra blossa eru mjög líklega af öðrum toga eins og mynd 11 sýnir. Þeir kvikna eingöngu í vetrarbrautum með mjög virkri stjörnumyndun og þá helst í daufum, litlum og óreglulegum vetrarbrautum. Í sumum tilfellum er talið líklegt að óregluleg lögun hýslanna sé afleiðing áreksturs vetrarbrauta sem undantekningarlaust veldur mikilli stjörnumyndun. Að auki, þegar mælingar eru mögulegar, hefur komið í ljós að blossarnir eru einatt staðsettir í björtustu svæðunum í hýslunum (sjá [14] og grænu krossana á mynd 11). Heimkynni massamestu stjarnanna, sem lifa og deyja hratt, er einmitt að finna þar.

Það hefur smám saman komið í ljós að langir gammablossar eru eitt besta verkfæri sem við höfum til að rannsaka myndun og þróun vetrarbrauta í alheiminum. Sem dæmi má nefna að (i) blossana er hægt að nema og mæla við mjög hátt rauðvik; nýlega (á sumardaginn fyrsta, 23. apríl 2009) var fjarlægðarmetið slegið þegar GRB 090423 mældist með  $z = 8,3$ . Þetta er fjarlægasta fyrirbæri sem nokkurn

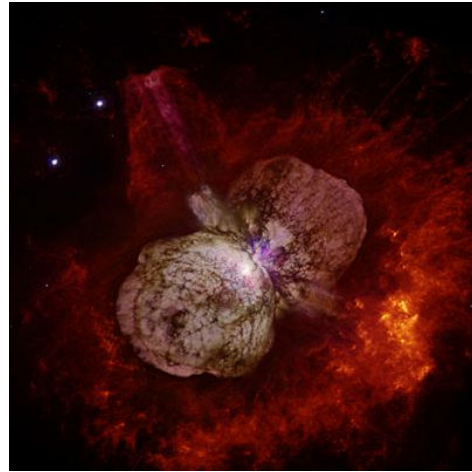


**Mynd 11.** Dæmi um hýsilvetrarbrautir langra gammablossa á myndum frá *Hubble* geimsjónaukanum. Hver lítil mynd spannar  $3,75'' \times 3,75''$  og grænn kross sýnir staðsetningu glæðu. Rauði liturinn hefur ekkert með raunverulegan lit vetrarbrautanna að gera. Mynd gerð af A. Fruchter.

tíma hefur sést í alheimi (sjá [60] og 9. kafla). (ii) Gammablossi er einnig algerlega óháður birtu hýsils síns þar sem aðeins ein stjarna þarf að springa til þess að hann kvikni. Þetta er mjög þýðingarmikill kostur því um leið og glæðurnar hafa verið staðsettar er vit að þar er vetrarbraut að finna, hversu dauf sem hún kann að vera. Það þarf því aðeins að bíða í nokkra mánuði á meðan glæðurnar hverfa þar til hægt er að mynda hýsilinn. Þetta er ólíkt öðrum rannsóknaraðferðum á safni vetrarbrauta sem allar eru takmarkaðar af birtu þeirra. Einnig má nefna að (iii) ryk og gas hafa því sem næst engin áhrif á gamma- og röntgengeisla. Þar af leiðandi hjálpa blossar og röntgenglæður þeirra við að staðsetja mjög rykugar vetrarbrautir sem erfitt er að finna með öðrum aðferðum þar sem ryk veldur talsverðri ljósdeyfingu. Nánar er fjallað um hýslana í annarri grein í þessu hefti (sjá „Hýsilvetrarbrautir gammablossa“ á bls. 33).

## 8. Slæmur dagur í Vetrarbrautinni?

Áhugavert er að skoða hver áhrif gammablossa í Vetrarbrautinni gætu orðið ef strókurinn beindist að jörðinni en slíkt var fyrst ígrundað árið 1995 [63]. Ef gert er ráð fyrir meðalblossa í 10.000 ljósára fjarlægð (sjá mynd 12:  $\eta$  Carinae sem hugsanlega endar líf sitt með gammablossa) þá myndi aflþéttleiki hans á yfirborði jarðarinnar jafngilda aflþéttleika kjarnorkusprengingarinnar í Hiroshima í 7 km fjarlægð. Í fyrstu yrðu áhrifin mest á þeirri hlið jarðar sem sneri að



**Mynd 12.** Stjarnan  $\eta$  Carinae, í 8000 ljósára fjarlægð frá jörðu, er talin ein massamesta stjarna Vetrarbrautarinnar, meira en 100 sólmassar. Árið 1843 urðu þar gífurlegar hamfarir sem ollu því að stjarnan varð ein sú bjartasta á suðurhvelinu. Þó hún gæfi frá sér jafnmikið sýnilegt ljós og dæmigerð sprengistjarna, lifði  $\eta$  Carinae hamfarirnar af. Sprengingin feykta frá sér gasi og ryki meðfram snúningsás stjörnunnar; sjá hinar mikilfenglegu „kúluskeljar“ á myndinni.  $\eta$  Carinae sjálf er hvíti flekkurinn fyrir miðri mynd þar sem kúluskeljarnar mætast. Myndin er tekin með *Hubble* geimsjónaukanum.

blossanum en svo myndu þau dreifast um alla jörð. Skaðinn frá þess háttar gammablossa yrði aðallega á ósonlaginu. Nitur,  $N_2$ , í andrúmsloftinu getur klofnað ef sameindin verður fyrir háorkugeislun og færir klofnunin aðallega fram í miðju heiðhvolfinu í um 30 km hæð. Súrefni,  $O_2$ , hvarfast við nitrið og myndar niturmónoxíð,  $N + O_2 \rightarrow NO + O$ , sem myndi fljótlega eyðast aftur:  $N + NO \rightarrow N_2 + O$  [63]. Myndunarhraði niturmónoxíðs er meiri en eyðingarhraðinn og því mun það safnast upp [39]. Þessi uppsöfnun veldur eyðingu ósons,  $O_3$ , í tveimur skrefum:  $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$  og  $NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$ . Eins og sjá má eyðist niturmónoxíðið ekki í þessu ferli heldur leiðir til keðjuverkunar [62].

Stærsti hluti ósonmyndunar jarðarinnar á sér stað í heiðhvolfinu á svæðum nálægt miðbaug. Óson er mikilvægt þar sem það gefur 90% vörn gegn UVB geislun sólar (280–320 nm) sem er skaðleg lífverum. Gammablossi líkur þeim sem nefndur var hér að framan gæti valdið að meðaltali um 40% ósoneyðingu [61]. Mikil útblá geislun í skamman tíma í einu sem orsakar bruna eykur hættu á sortuæxli. Ef það er ekki

fjarlæggt nógu snemma og nær að vaxa dýpra í húðina þá er mun meiri hættu á að það dreifi sér í önnur líffæri og valdi lífshættulegum veikindum og jafnvel dauða. UVB geislun skaðar að auki DNA erfðaeftni sem getur haft alvarlegar afleiðingar fyrir plöntusvif sem er grunnur fæðukeðju sjávarins ásamt því að sjá um stóran hluta súrefnisframleiðslu jarðarinnar. Talið er að það tæki ósonlagið um 10–12 ár að ná fyrri styrk.

Hítastigið á jörðinni myndi einnig lækka. Þar sem niturmónoxíð safnast upp myndast brúnleitt niturtvíoxíð:  $\text{NO} + \text{O} \rightarrow \text{NO}_2$ . Niturtvíoxíð gleypir í sig sýnilegt ljós og því veldur aukið magn þess kólnun jarðarinnar. Það hvarfast einnig við hýdroxíð ( $\text{OH}^-$ ) og myndar saltpéturssýru ( $\text{HNO}_3$ ) sem er mjög ætandi. Hún fellur út í súru regni sem getur verið skaðlegt lífríkinu en getur þó fljótt virkað sem áburður [61].

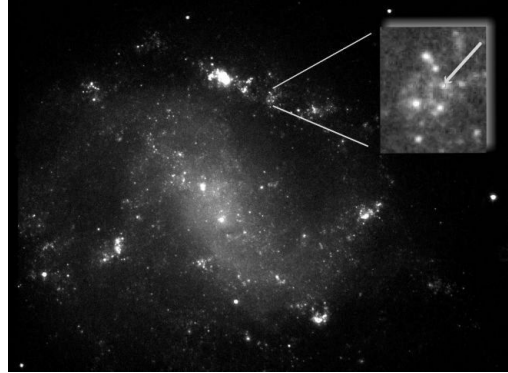
Talið er líklegt að fjöldi gammablossastróka sem beinast að jörðu sé um einn á hverjum 10–100 milljónum árum í Vetrarbrautinni [69]. Einn stærsti fjöldautdauði jarðsögunnar<sup>8</sup> varð seint á Ordóvisíumtímabilinu fyrir um 440–450 milljónum ára. Á þessum tíma kólnaði nokkuð og útblá geislun varð meiri en áður. Þær lífverur sem lifðu af virðast hafa komið úr hafinu og frá öðrum svæðum þar sem skaðinn varð minni. Aukning landgróðurs bendir einnig til frjósamari jarðvegs sem rekja mætti til útfellingar saltpéturssýru. Ýmislegt bendir því til þess að gammablossi gæti hafa valdið fjöldautdauða í jarðsögunni þó aðrar ástæður gætu einnig legið að baki [39, 61]. Að lokum er þó rétt að ítreka það sem rætt var um í kafla 4.1, að þungefnamagn þarf almennt að vera frekar lítið í vetrarbraut til þess að blossi geti kviknað þar. Þungefnamagn Vetrarbrautarinnar er tilþörlulega mikið sem gæti komið í veg fyrir að blossar kvikni þar yfirleitt.

## 9. Nokkrir athyglisverðir blossar

Nokkrir atburðir hafa markað þáttaskil í blossarannsóknunum. Hér verður stuttlega fjallað um þá sem annaðhvort hafa varpað skæru ljósi á uppruna sinn eða einfaldlega ruglað vísindamenn í ríminu.

GRB 980425. Nálægasti blossi sem mælt hefur ( $z = 0,0085$ ) og sá fyrsti sem tengdist sprengistjörnu [17]. Ekki var hægt að staðsetja blossann nákvæmlega

<sup>8</sup> Sá fjöldautdauði sem flestir kannast við varð fyrir um 65 milljónum ára þegar risaeðlurnar dóu út vegna áreksturs smástirnir við jörðina (sjá t.d. [58]).

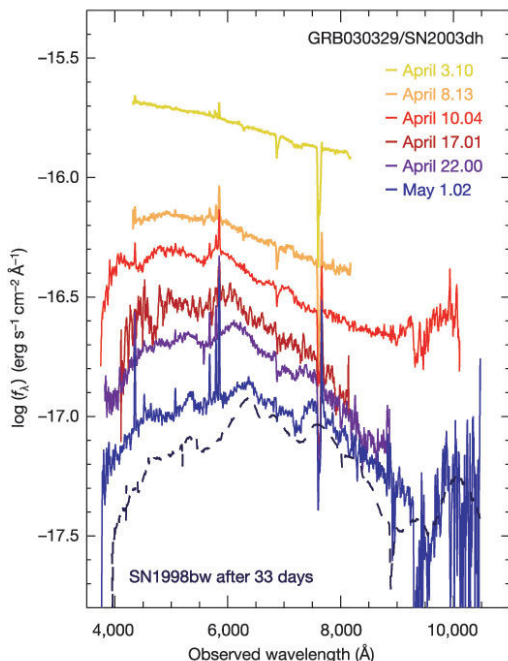


**Mynd 13.** Þessi mynd frá *Hubble* geimsjónaukanum sýnir þyrilpokuna ESO 184–G82 sem inniheldur fjölda bjartra stjörnumyndarsvæða. Innfellda myndin, þar sem hver hlið er um 300 ljósár, sýnir stækkað svæði af einu slíku. Örin bendir á orkumikla sprengistjörnu sem fyrst sást frá jörðu 25. apríl 1998. Á sama tíma kviknaði gammablossi og var staðsetning hans í fullu samræmi við staðsetningu ESO 184–G82. Mynd gerð af S. Holland, J. Hjorth og J. Fynbo.

en þó fundust tvær röntgenuppsprettur innan óvissu-svæðis blossans. Með tímanum dofnaði önnur þeirra og var þar með staðfest að um glæður var að ræða. Á sama stað fannst svo falleg bjálkapoka (þyrilvetrarbraut þar sem armarnir hringast út frá endum miðlægs stafs, sjá mynd 13) og innan hennar sprengistjarna (SN 1998bw) sem sprakk á svipuðum tíma og gammablossinn. Vert er að taka fram að blossinn var um margt óvenjulegur, m.a. um þremur stærðarþrepum orkuminni en dæmigerðir langir blossar.

GRB 990123. Öflugasta sprenging sem mælt hafði í alheimi á þeim tíma; sýnilegu glæðurnar voru svo bjartar að þær hefðu verið sýnilegar með litlum handsjónauka ef menn hefðu vitað hvar og hvenær þeirra var að vænta. Þetta var einnig í fyrsta skipti þar sem sýnilegu glæðurnar sáust á sama tíma og gammahrinin sjálf [2]. Rauðvik blossans var  $z = 1,60$ .

GRB 030329. Nálægasti hefðbundni langi blossinn ( $z = 0,17$ ). Litróf sýnilegu glæðanna þróaðist smám saman úr því að vera einfalt veldisfall (dæmigert fyrir glæður) yfir í litróf sem svipaði mjög til sprengistjörnu SN 1998bw (sjá [23] og mynd 14). Glæður þessa blossa, frá röntgen- yfir á úrtarpssviðið, eru þær sem mest hafa verið rannsakaðar til þessa.

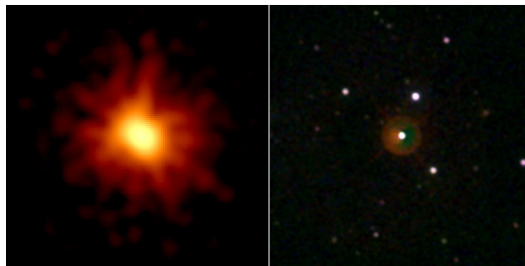


**Mynd 14.** Þróun litrófs glæða GRB 030329 með tíma. Eftir u.þ.b. mánuð umbreyttist það í róf keimlíkt rófi SN 1998bw (sýnt neðst með svörtum brotaferli). Myndin er frá [23].

GRB 050709. Fyrsti stutti blossinn þar sem sýnilegar glæður sáust [25]. Staðsetninguna bar saman við útjaðar blárrar dvergvetrarbrautar ( $z = 0,16$ ). Eiginleikar röntgen- og sýnilegu glæðanna voru mjög svipaðir og hjá löngum blossom (samhrafalsgeislun). Var það talið renna stöðum undir þá hugmynd að afstæðilegur strókur framkalli einnig stutta blossa.

GRB 060505 og GRB 060614. Þessir nálægu löngu blossom ( $z = 0,09$  og  $z = 0,13$ ) urðu með rúmlega mánaðar millibili og var búist við að sprengistjörnur sæjust í báðum tilvikum. Þrátt fyrir gaumgæfilegar mælingar fundust engin slík ummerki; ef um sprengistjörnur var að ræða voru þær mun daufari en daufasta sprengistjarna sem nokkurn tíma hefur sést [16]. Ein möguleg skýring er sú að þegar kjarni stjörnu fellur saman getur nýmyndað svartholið gleypt afgang stjörnnunnar í heilu lagi áður en hamfarirnar ná að brjóta sér leið út. Er þá talað um „misheppnaða“ sprengistjörnu [15].

GRB 080319B. Sýnilegar glæður þessa blossa voru svo bjartar að mögulegt var að sjá þær með berum



**Mynd 15.** Ef einhver hefði starað í átt að stjörnuumerkinu Hjarðmanninum rétt eftir klukkan sex að morgni miðviku-dagsins 19. mars 2008, hefði sá hinn sami átt möguleika á að sjá glæður gammablossans GRB 080319B með berum augum. Uppspretta blossans var sprenging í um 7,5 milljarða ljósára fjarlægð, þegar alheimsins var einungis 45% af núverandi gildi. Þetta er fjarlægasti atburður sem mannkynið hefur átt möguleika á að sjá með berum augum. Það var *Swift* sem nam og staðsetti blossann og sjónaukar á jörðu niðri sem mældu fjarlægðina. Glæður blossans eru hér sýndar á röntgenmynd (vinstri) og í sýnilegu ljósi (hægri).

augum í um hálfa mínútu (mynd 15). Það var fjarlægð blossans,  $z = 0,94$ , sem gerði þetta að einstæðum atburði því aldrei fyrr hafði svo fjarlægt fyrirbæri, ljós sem lagði af stað áður en sólkerfið myndaðist, verið mönnum sýnilegt án hjálpar sjónauka. Ljósafli glæðanna við hámark var 2,5 milljón sinnum meira en frá björtustu sprengistjörnu sem sést hefur. Slík var birtan að glæðurnar hefðu verið sýnilegar í tiltölulega litlum sjónauka hefðu þær orðið við rauðvík  $z = 16$ , þegar fyrstu stjörnur voru að myndast í alheiminum [10].

GRB 080916C. Orkumesti blossi sem sést hefur og sá fyrsti þar sem GeV ljóseindir mældust [1]. Slíkt kom nokkuð á óvart vegna gífurlegrar fjarlægðar blossans ( $z = 4,35$ ); líkön spáðu að slík háorkugeislun myndi víxlverka við bakgrunnsgeislun alheimsins og ekki ná til jarðar. Einnig var hægt að setja neðri mörk á Lorentz-stuðul stróksins:  $\Gamma > 1100$  (um 99,9999% af hraða ljóssins) sem staðfesti öfgakennda eiginleika blossans [21].

GRB 090423. Atburður sem varð fyrir 13 milljörðum ára ( $z = 8,3$ ), einungis 600 milljónum árum eftir Miklahvell [60]. Þetta er fjarlægasta fyrirbæri sem nokkurn tíma hefur sést í alheimi og enn ein sönnun þess hversu mikilvægir gammablossar eru í rannsóknunum á hinum unga alheimi. Blossinn var mun lengra í

burtu en fjarlægasta þekkta vetrarbrautin ( $z = 6,96$ : [26]) og dulstirnið ( $z = 6,43$ : [66]). Líta má á blossann sem beina sönnun þess að alheimurinn var fullur af massamiklum stjörnum í dauðateygjum og nýfæddum svartholum einungis nokkur hundruð milljónum ára eftir Miklahvell.

## 10. Lokaorð

Einkar athyglisvert er að gammablossarannsóknir varpa ljósi á margar undirgreinar stjarnvísindanna, svo sem þróun stjarna, myndun ofurþéttra fyrirbæra, eiginleika miðgeimsefnisins, rykmyndun, ljósdeyflingu sem fall af tíðni, þróun þungefnamagns í alheimi, fjarlægjar vetrarbrautir og lýsifall þeirra. Undanfarinn áratug hafa orðið gríðarlegar framfarir á sviði blossarannsókna. Er það aðallega að þakka öflugum alþjóðlegu átaki sem beinist að því að finna og fylgja eftir glæðum sem og að rannsaka hýsilvetrarbrautirnar. Aftur á móti er ekki búið að fullnýta þá möguleika sem eru fyrir hendi í gammablossamælingum til að efla enn frekar framfarir í þeim sérgreinum sem minnst er á að ofan.

Með hjálp nýrra mælitækja og gervitungla sem tekin verða í gagnið á næstu árum er þó öruggt að ekki þarf að bíða lengi eftir næstu byltingu á sviði blossarannsókna. Nokkur helstu tæki og tungl sem vænta má mikils af á næstu árum eru þessi (listinn er alls ekki tæmandi):

*Fermi.* Þessu gervitungli var reyndar skotið á loft í júní árið 2008 og hefur það þegar skilað athyglisverðum niðurstöðum; GRB 080916C sem lýst er hér að framan. Um borð eru tveir sjónaukar sem nema allt frá röntgengeislum upp í háorkugammageisla (100 GeV). Vonast er til að eftir nokkur ár, þegar gervitunglið hefur mælt tugi blossa, verði hægt að setja ýmsar skorður á útgeislunarlíkön blossanna út frá fjölda og dreifingu þeirra GeV ljóseinda sem mælast.

*X-shooter.* Þetta er litrófsriti sem verður tekinn í notkun á haustmánuðum 2009. Hann er fyrsta annarrar kynslóðar mælitækið á 8-metra risasjónaukanum Very Large Telescope (VLT) í Chile. Hann mun geta mælt samfelld litróf samtímis í hárra uplausn í einni atrennu, þ.e. frá útbláu yfir í innrautt (300–2400 nm). X-shooter býður upp á möguleika sem er einstæður meðal annarra tækja á stórum sjónaukum þar sem áður

þurfti mismunandi tæki á mismunandi sjónaukum og margar mælingar til að ná yfir svo stórt bylgjulengdarbil. Þetta þýðir einnig að ekki þarf neina vísbendingu um fjarlægð blossa áður en byrjað er að mæla til að velja hentugasta litrófsritann; X-shooter eyðir þessu milliskrefi. Slíkt er mjög svo mikilvægt fyrir gammablossa því þeir dofna hratt og hver mínúta er dýrmæt í eltingarleik við glæðurnar. Mjög líklegt þykir að X-shooter slái fjarlægðarmet GRB 090423 fyrr en seinna.

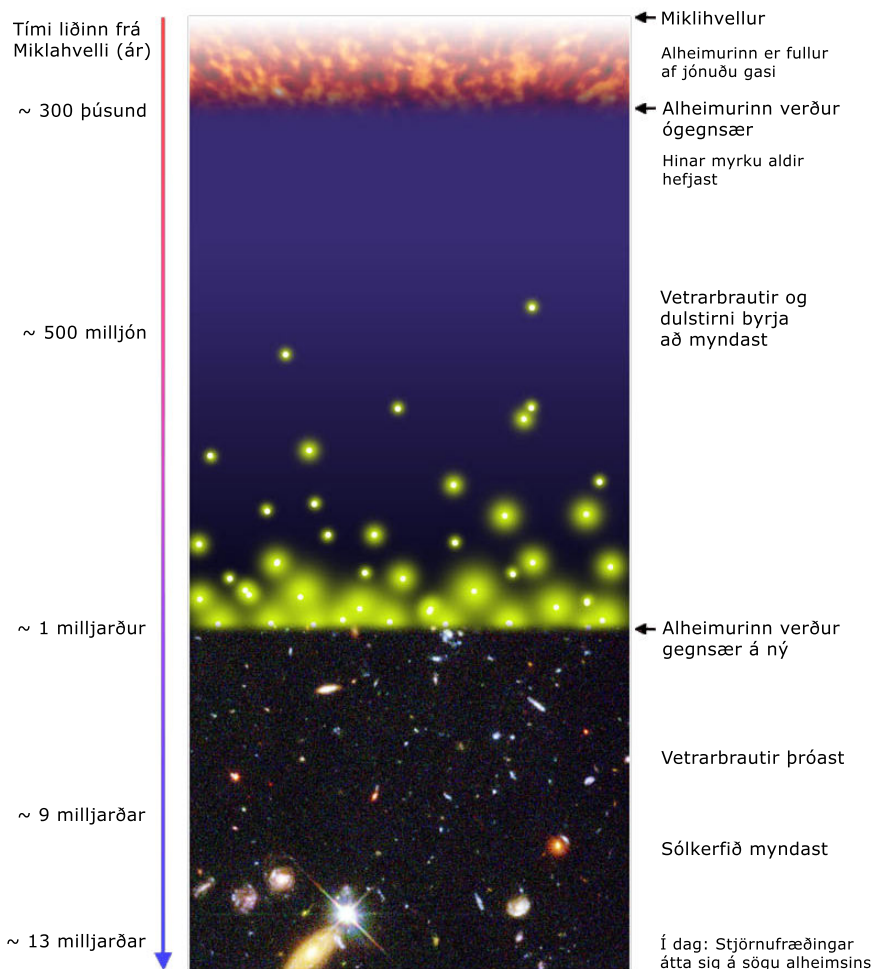
*James Webb Space Telescope (JWST).* Árið 2014 verður arftaka *Hubble* geimsjónaukans skotið á loft. *JWST* er innrauður sjónauki með um 6,5 metra spegillþvermál, nærri þrefalt stærra en *Hubble*. Eitt af meginmarkmiðum hans er að mæla stjörnumyndunarsögu alheimsins við hátt rauðvik og rannsaka hinar myrku aldir, þ.e. þegar fyrstu stjörnurnar og vetrarbrautirnar mynduðust (sjá mynd 16). Við hátt rauðvik hliðrast sýnilegt ljós yfir í innrautt og því er nauðsynlegt að *JWST* vinni aðallega á því bylgjulengdar sviði. Ekki þarf að efast um að *JWST* muni leggja sitt af mörkum til rannsókna á gammablossum og hýslum þeirra; margar af myndunum í þessari grein eru komnar frá forvera hans, *Hubble*, og hafa gjörbylt sýn okkar á þessum öflugustu sprengingum alheimsins.

*Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA).* Í um 5 km hæð í Atacama eyðimörkinni í Chile mun ALMA rísa á svipuðum tíma og *JWST* verður skotið á loft. ALMA mun samanstanda af 64 tólf metra loftnetum og mæla þá geislun sem kemur frá köldustu fyrirbærum alheimsins. Er slík geislun með bylgjulengd í kringum millimetra, mitt á milli innrauðs ljóss og útvarpsbylgna. Upptök geislunarinnar er m.a. að finna í sameindaskýjum yngstu og fjarlægustu vetrarbrautanna en þar myndast nýjar stjörnur úr miklu magni af gasi og ryki. Þessi svæði hleypa ekki miklu af sýnilegu ljósi í gegn en geisla sterklega frá sér á millimetrasviðinu. Að auki mun ALMA veita innsýn í orkuróf glæða á svo til ókönnuðu bylgjulengdarbili.

*European Extremely Large Telescope (E-ELT).* Stærstu sjónaukar heims, Keck I og II, eru um 10 metrar í þvermál og lauk byggingu þeirra 1993 og 1996. Eitt af forgangsverkefnum stjarnvísindamanna



## Saga alheimsins



**Mynd 16.** Teikning sem lýsir sögu alheimsins í grófum dráttum. Athugið að aldur alheimsins er nú talinn vera u.þ.b. 13,7 milljarðar ára. Gammablossa má m.a. annars nota sem tæki til að skyggjast inni í hinar myrku aldir og finna þar nýmyndaðar vetrarbrautir. Myndin er fengin og uppfærð frá S. Djorgovski et al. og Digital Media Center.

síðasta áratug hefur verið að hanna og þróa hugmyndir um næstu kynslóð stærstu sjónaukanna. Þeir munu efla þekkingu okkar á hinum ýmsu sviðum stjörnufræðinnar, t.d. reikistjörnum svipuðum jörðinni utan sólkerfisins og myndun og þróun fyrstu vetrarbrautanna. E-ELT, með 42 metra spegilþvermál og næstum tuttugufalt spegilflatarmál Keck sjónaukanna, verður að öllum líkindum tilbúinn eftir áratug. Til viðbótar þeim nýju uppgötvunum á gammablossum og hýslum þeirra sem sjónaukinn mun vafalaust stuðla að, er nærri ómögulegt að spá fyrir um hvaða óvæntu

og ófyrirsjáanlegur fyrirbæri líti dagsins ljós. Tíminn einn mun leiða það í ljós.

Sérstakar þakkir fær Sævar Helgi Bragason fyrir að íslenska textann á myndum 6 og 16. Við þökkum einnig ítarlegan yfirllestur og gagnlegar ábendingar frá Gunnlaugi Björnssyni og Einari H. Guðmundssyni. Verkefni þetta er styrkt af Rannsóknasjóði Háskóla Íslands, Öndvegisstyrk Rannsóknasjóðs Vísinda- og tækniráðs og Marie Curie styrk frá Evrópusambandinu.

**Heimildir**

- [1] Abdo, A. A., et al. 2009, *Science*, 323, 1688.
- [2] Akerlof, C., et al. 1999, *Nature*, 398, 400.
- [3] Berger, E. 2009, *ApJ*, 690, 231.
- [4] Björnsson, G., et al. 2001, *ApJ*, 552, L121.
- [5] Blinnikov, S. I., et al. 1984, *Soviet Astronomy Letters*, 10, 177.
- [6] Bloom, J. S., et al. 1999, *Nature*, 401, 453.
- [7] Bloom, J. S., et al. 2002, *ApJ*, 572, L45.
- [8] Bloom, J. S., et al. 2002, *ApJ*, 123, 1111.
- [9] Bloom, J. S., et al. 2006, *ApJ*, 638, 354.
- [10] Bloom, J. S., et al. 2009, *ApJ*, 691, 723.
- [11] Cavallo, G. & Rees, M. J. 1978, *MNRAS*, 183, 359.
- [12] Costa, E., et al. 1997, *Nature*, 387, 783.
- [13] Einasto, J., et al. 1974, *Nature*, 250, 309.
- [14] Fruchter, A., et al. 2006, *Nature*, 441, 463.
- [15] Fryer, C. L., et al. 2006, *ApJ*, 650, 1028.
- [16] Fynbo, J. P. U., et al. 2006, *Nature*, 444, 1047.
- [17] Galama, T. J., et al. 1998, *Nature*, 395, 670.
- [18] Gehrels, N., et al. 2002, *Scientific American*, 536, 84.
- [19] Goodman, J. 1986, *ApJ*, 308, L47.
- [20] Granot, J., et al. 2001, in *Proceedings of the Gamma-Ray Bursts in the Afterglow Era*, 312.
- [21] Greiner, J., et al. 2009, *A&A*, 498, 89.
- [22] Harwit, M. & Salpeter, E. E. 1973, *ApJ*, 186, L37.
- [23] Hjorth, J., et al. 2003, *Nature*, 423, 847.
- [24] Hjorth, J., et al. 2005, *ApJ*, 630, L117.
- [25] Hjorth, J., et al. 2005, *Nature*, 437, 859.
- [26] Iye, M., et al. 2006, *Nature*, 443, 186.
- [27] Jakobsson, P., et al. 2006, *A&A*, 447, 897.
- [28] Jóhannesson, G., et al. 2004, *Raust*, 2, 81.
- [29] Klebesadel, R. W., et al. 1973, *ApJ*, 182, L85.
- [30] Kobayashi, S., et al. 1997, *ApJ*, 490, 92.
- [31] Kouveliotou, C., et al. 1993, *ApJ*, 413, L101.
- [32] Kulkarni, S., et al. 1998, *Nature*, 393, 35.
- [33] Lamb, D. Q. 1995, *PASP*, 107, 1152.
- [34] Lattimer, J. M. & Schramm, D. N. 1976, *ApJ*, 210, 549.
- [35] Levan, A. J., et al. 2007, *MNRAS*, 376, 1285.
- [36] Lithwick, Y. & Sari, R. 2001, *ApJ*, 555, 540.
- [37] Malesani, D., et al. 2004, *ApJ*, 609, L5.
- [38] McBreen, S. et al. 2001, *A&A*, 380, L31.
- [39] Melott, A. L., et al. 2004, *IJAsB*, 3, 55.
- [40] Mészáros, P. & Rees, M. J. 1993, *ApJ*, 405, 278.
- [41] Metzger, M. R., et al. 1997, *Nature*, 387, 878.
- [42] Mitra, A. 1996, *A&A*, 313, L9.
- [43] Nakar, E. 2007, *PhR*, 442, 166.
- [44] Ostriker, J. P., et al. 1974, *ApJ*, 193, L1.
- [45] Paczyński, B. 1986, *ApJ*, 308, L43.
- [46] Pian, E., et al. 2006, *Nature*, 442, 1011.
- [47] Podsiadlowski, P., et al. 2004, *ApJ*, 607, L17.
- [48] Prilutski, O. F. & Usov, V. V. 1975, *Ap&SS*, 34, 387.
- [49] Prochaska, J. X., et al. 2006, *ApJ*, 642, 989.
- [50] Rees, M. J. & Mészáros, P. 1992, *MNRAS*, 258, 41.
- [51] Rees, M. J. & Mészáros, P. 1994, *ApJ*, 430, L93.
- [52] Rhoads, J. E. 1999, *ApJ*, 525, 737.
- [53] Ruderman, M. 1975, in *Proceedings of the New York Academy Sciences, Volume 262 (Seventh Texas Symposium on Relativistic Astrophysics)*, 164.
- [54] Sahu, K. C., et al. 1997, *Nature*, 387, 476.
- [55] Schaefer, B. E., et al. 1987, *ApJ*, 313, 226.
- [56] Schmidt, W. K. H. 1978, *Nature*, 271, 525.
- [57] Shemi, A. & Piran, T. 1990, *ApJ*, 365, L55.
- [58] Sigurðsson, H. 1993, *Náttúrufræðingurinn*, 62, 45.
- [59] Tanvir, N. R., et al. 2005, *Nature*, 438, 991.
- [60] Tanvir, N. R., et al. 2009, *Nature*, in press (arXiv:0906.1577).
- [61] Thomas, B. C., et al. 2005, *ApJ*, 634, 509.
- [62] Thomas, B. C., et al. 2005, *ApJ*, 622, L153.
- [63] Thorsett, S. E. 1995, *ApJ*, 444, L53.
- [64] Usov, V. V. & Chibisov, G. V. 1975, *Soviet Astronomy*, 19, 115.
- [65] van Paradijs, J. et al. 1997, *Nature*, 386, 686.
- [66] Willott, C. J., et al. 2003, *ApJ*, 587, L15.
- [67] Woosley, S. E. & Bloom, J. S. 2006, *ARA&A*, 44, 507.
- [68] Woosley, S. E. & Heger, A. 2006, *ApJ*, 637, 914.
- [69] Zhang, B. & Mészáros, P. 2004, *IJMPA*, 19, 2385.

**Summary:** Gamma-ray bursts (GRBs) are short-lived bursts of gamma-ray photons, the most energetic form of light. Lasting anywhere from a few milliseconds to several minutes, GRBs shine hundreds of times brighter than a typical supernova and about a million trillion times as bright as the Sun, making them briefly the brightest sources of cosmic gamma-ray photons in the observable Universe. GRBs are detected roughly once per day from random directions on the sky. This article gives a short overview of the history of GRB observations and discusses the central engine and progenitors of these powerful phenomena. Their host galaxies are briefly examined and what effect a Galactic GRB would have on the atmosphere and life on Earth. Finally, future satellites and telescopes are presented and how they might illuminate our understanding of these extremely energetic explosions.

**Um höfundana:** Páll Jakobsson er dósent í stjarnfræði við Háskóla Íslands. Birgir U. Ásgeirsson er BS-nemi í eðlisfræði við Háskóla Íslands.

---

Raunvísindadeild Háskóla Íslands  
Hjarðarhaga 2–6, 107 Reykjavík  
pja@raunvis.hi.is  
Móttekin: 14. júlí 2009