

Hýsilvetrarbrautir gammablossa

Páll Jakobsson og Birgir U. Ásgeirsson

Raunvísindadeild, Háskóli Íslands

Vefútgáfa: 27. október 2009

Ágrip – Eftir að fyrstu hýsilvetrarbrautir gammablossa fundust, komu strax fram vísbendingar um að blossomir tengdust endalokum massamikilla sólstjarna. Þar með mótaðist hugmyndin um tengsl gamma-blossa við þróun vetrarbrauta og stjörnumyndun í alheimi. Í þessari grein verður stiklað á stóru í sögu rannsókna á hýslum. Spurningunni um það hvort hýslar sem safn séu vel skilgreindir verður svarað og eiginleikum þeirra lýst. Skýrt verður frá óhlutdrægu safni tæplega 70 hýsla en gagna um þá var aflað með risasjónaukunum Very Large Telescope (VLT) í Chile. Að lokum verður fjallað um hermireikninga sem lýsa þróun stórgerðar alheims og myndun vetrarbrauta. Þar var reynt að greina vetrarbrautir sem líklegar væru til að hýsa blossa og bera niðurstöður reikninga saman við þekkta eiginleika hýslanna.

1. Inngangur

Almennt er talið að flestir gammablossar kvikni þegar massamikil sólstjarna endar ævi sína.¹ Vetrarbraut þar sem gammablossi kviknar kallast hýsilvetrarbraut eða hýsill blossomans. Upplýsingar um hýslana koma aðallega úr rannsóknum á glæðum blossomanna þegar litrófsgreining á þeim er möguleg. Fyrstu 30 árin eftir uppgötvun blossomanna árið 1967 fundust engar glæður og var því lítið vitað um uppruna þeirra. Með betri mælitækni komu glæður í ljós og rannsóknir á blossomum og hýslum þeirra tóku miklum framförum.

Hér verður fjallað um hýsla langra gammablossa.² Hýslarnir gefa nýjar vísbendingar um þróun alheimsins því erfitt er að finna sambærilegar (daufar) vetrarbrautir með öðrum aðferðum sem eru undantekingarlaust takmarkaðar af birtu vetrarbrautanna. Blossarnir gera rannsóknir á þessum daufu vetrarbrautum mögulegar og opna því enn einar dyrnar í þekkingarleit mannkynsins.

2. Uppgötvun fyrstu hýslanna

Fyrstu sýnilegu glæður gammablossa sáust í febrúar 1997 [25] og sú uppgötvun gjörbylti hýslarannsókn-

um til frambúðar. Þegar hinar skammlíflu glæður tóku að dofna var leitað að stöðugri ljósuppsprettu á sama stað. Um mánuði eftir blossom kom slík uppspretta í ljós innan óvissusvæðisins [22, 25] og þar sem hún leit út fyrir að vera fjarlæg vetrarbraut þá renndi þessi fundur stöðum undir þá kenningu að gammablossar ættu upptök sín í órafjarlægðum geimsins. Ekkert litróf náðist þó af glæðunum og því tókst ekki að ákvarða fjarlægð blossomans.³

Rúmlega tveimur mánuðum seinna sáust glæður blossomans GRB 970508 og þá náðist loks fyrsta glæðulitrófið. Rauðvikið reyndist vera $z = 0,835$ sem samsvarar tæplega 7 milljarða ljósára fjarlægð [18]. Þar með var staðfest að a.m.k. sumir blossomir komu frá fjarlægum vetrarbrautum í ungum alheimi. Smám saman kom í ljós að hýslarnir eru einkum bláleitar vetrarbrautir með hraða stjörnumyndun sem gaf til kynna að blossomir ættu uppruna að rekja til massamikilla sólstjarna [21]. Athuganir á GRB 970508 leiddu einnig í ljós að unnt væri að staðsetja fjarlægðar og daufar dvergvetrarbrautir með glæðum blossomanna, en slíkar stjörnuþokur er erfitt að finna með öðrum aðferðum [19].

Í ágúst sama ár tókst ekki að greina sýnilegar glæður blossomans GRB 970828 þrátt fyrir

¹ Nánari umfjöllun í annarri yfirlitsgrein í þessu hefti; sjá „Gammablossar: Leiftur úr fjarlægri fortíð“ bls 3.

² Gagnasafn stuttra blossa ($t < 2s$) er ennþá of lítið þar sem mælingar á þeim eru erfiðari og fáir hýslar þekktir.

³ Löngu síðar kom í ljós að rauðvik hýsilsins er $z = 0,7$ sem samsvarar um 6,3 milljarða ljósára fjarlægð [1].

yfirgrípsmiklar mælingar sem hófust stuttu eftir blossaatburðinn [10]. Þetta gaf til kynna að sumir blossar kviknuðu á svæðum í vetrarbrautum með mikilli ljósdeyfingu, þ.e. þar sem mikið er um ryk. Næsta rauðvik sem náðist var gífurlega hátt, $z = 3,42$, fyrir GRB 971214 [16]. Þar með varð ljóst að með blossunum var unnt að rannsaka stjörnumyndun í sýnilegum alheimi [27]. Í apríl 1998 fannst svo í fyrsta skipti blossi sem tengdist sprengistjörnu [9]. Hann var í nálægri dvergvetrarbraut í um 120 milljón ljósára fjarlægð ($z = 0,0085$). Var blossinn um þremur stærðarþrepum orkuminni en dæmigerðir langir blossar.

Það er eftirtektarvert að innan árs frá uppgötvun fyrstu sýnilegu glæðanna, voru mikilvægustu niðurstöður blossarannsóknna komnar fram: Gammablossar tengjast endalokum massamikilla stjarna og verða gjarnan í dvergvetrarbrautum með örri stjörnumyndun. Glæður sumra blossa dofna umtalsvert vegna ryks og einnig virðist til hópur daufra blossa aðeins mælanlegt í okkar nánasta umhverfi.

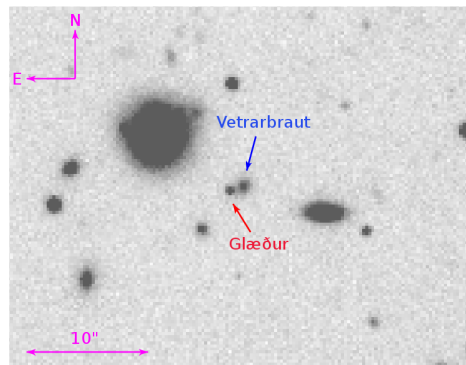
3. Eru hýslar vel skilgreindir ?

Vetrarbraut sem greinist innan óvissusvæðis blossa er almennt talin vera hýsill hans. Nákvæmni í staðsetningu blossa er því lykilatriði; meiri nákvæmni minnkjar líkurnar á að aðrar ótengdar vetrarbrautir finnist innan óvissusvæðisins (sjá t.d. [3]). Í velflestum tilvikum þar sem sýnilegar glæður hafa mælst og verið staðsettar með bogasekúndu nákvæmni, hefur vetrarbraut síðar fundist innan óvissusvæðisins séu mælingarnar nógu víðtækar [2, 7].

Líkurnar á að slíkt gerist fyrir tilviljun, þ.e. að um ótengda vetrarbraut sé að ræða, ráðast af birtustigi vetrarbrautarinnar. Meðalfjöldi vetrarbrauta á ferbogamínútu hefur verið vel ákvarðaður út frá „djúpu“ myndum frá Hubble geimsjónaukanum, um 2, 6 og 13 vetrarbrautir á ferbogamínútu þegar „dýptin“ er $R = 24$, 26 og 28 birtustig.⁴ Þar með verða líkurnar á að finna $R = 24$ ($R = 28$) vetrarbraut innan óvissusvæðis með $0,5''$ radíus um 4×10^{-4} (3×10^{-3}). Ef óvissusvæðið byggist á röntnglæðunum, þar sem radíusinn er í besta falli um $2''$, aukast líkurnar á fundi ótengra vetrarbrauta í 0,6% ($R = 24$) og 5% ($R = 28$).

Af ofanrituðu sést að svo lengi sem óvissusvæði blossa er lítið ætti handahófskennd staðsetning ótengdra vetrarbrauta ekki að valda mælanlegri

⁴ Hér er R ákveðin ljóssía sem hleypir einungis í gegn bylgjulengdum á bilinu 550–750 nm.



Mynd 1. Nánasta umhverfi blossans GRB 030429. Myndin er tekin 3,5 dögum eftir blossaatburðinn. Vetrarbraut í um $1,2''$ fjarlægð frá glæðunum er greinilega sýnileg. Rauðvik blossans mældist $z = 2,66$ en vetrarbrautarinnar $z = 0,84$. Myndin er fengin og uppfærð frá [13].

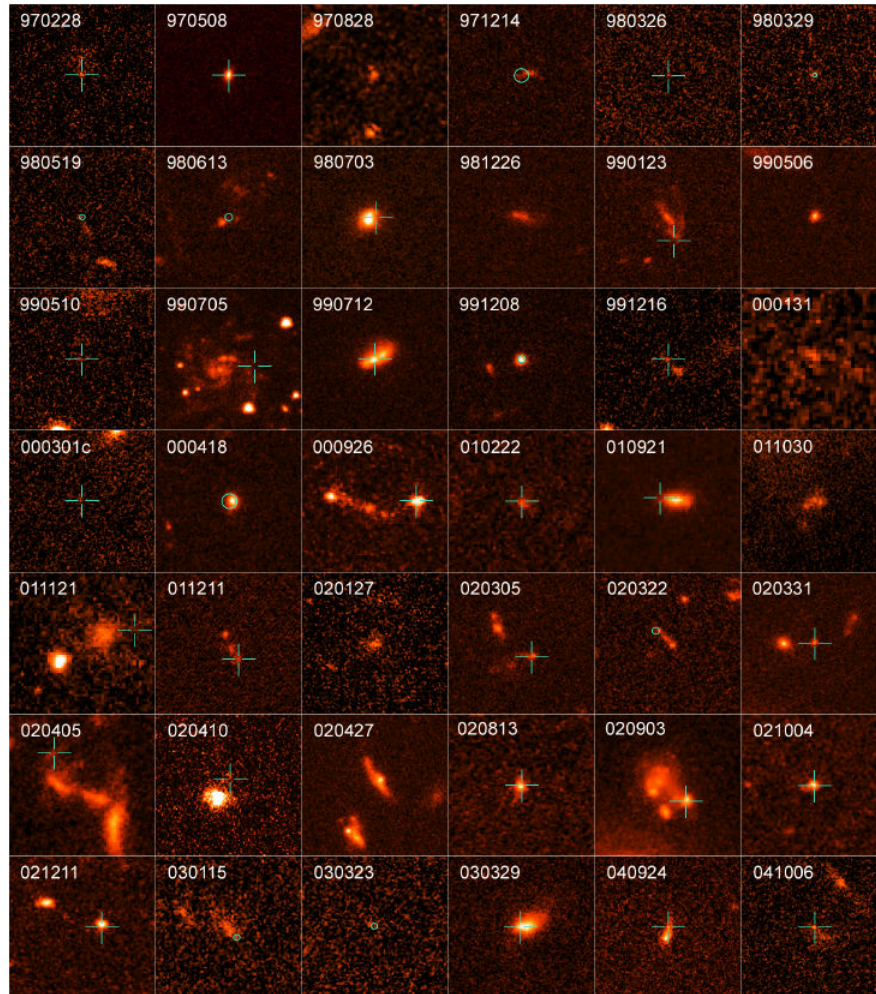
skekkju á eiginleikum tilsvareandi hýsla í stóru safni. Líkurnar eru til að mynda um 99.9% á að vetrarbraut, sem finnst innan þess óvissusvæðis sem gervitunglið *Swift* metur fyrir sýnilegar glæður, sé hýsill blossans. Í einstaka tilvikum er unnt að útiloka ótengdu vetrarbrautina með því að bera saman rauðvik glæðanna og rauðvik hins líklega hýsils (sjá t.d. mynd 1). Slíkt telst þó til undantekninga þar sem almennt er erfitt er að mæla rauðvik daufra vetrarbrauta.

4. Staðan fyrir daga *Swift* gervitunglsins

Eftir því sem safn blossa með greinanlegar glæður stækkaði benti margt til þess að þeir tengdust *málm-snaudum* massamiklum stjörnum. Þessu var reyndar spáð í einu vinsælasta blossalíkaninu, hrunstirninu, þar sem nifteindastjarna eða svarthol myndast við það að kjarni risastórrar stjörnu fellur saman [29].

Fyrstu vísbendingarnar um uppruna blossanna komu í ljós þegar hýslarnir reyndust daufari og bláleitari en búist var við af þeim vetrarbrautum sem leggja mest til stjörnumyndunar í alheimi [17]. Að auki voru hýslarnir nánast ósýnilegir á svokölluðu sub-mm sviði⁵ en búast mátti við talsverði geislun þar ef hýslunum svipar til annarra stjörnumyndunarvetrarbrauta [23].

⁵ Þetta er tiltölulega ný grein innan stjörnufræðinnar þar sem útgeislun á örbylgjusviðinu 0,1–1,0 mm (300–3000 GHz) er rannsökuð. Er bilið staðsett á milli fjarinnrauðs og útvarpsbylgna.



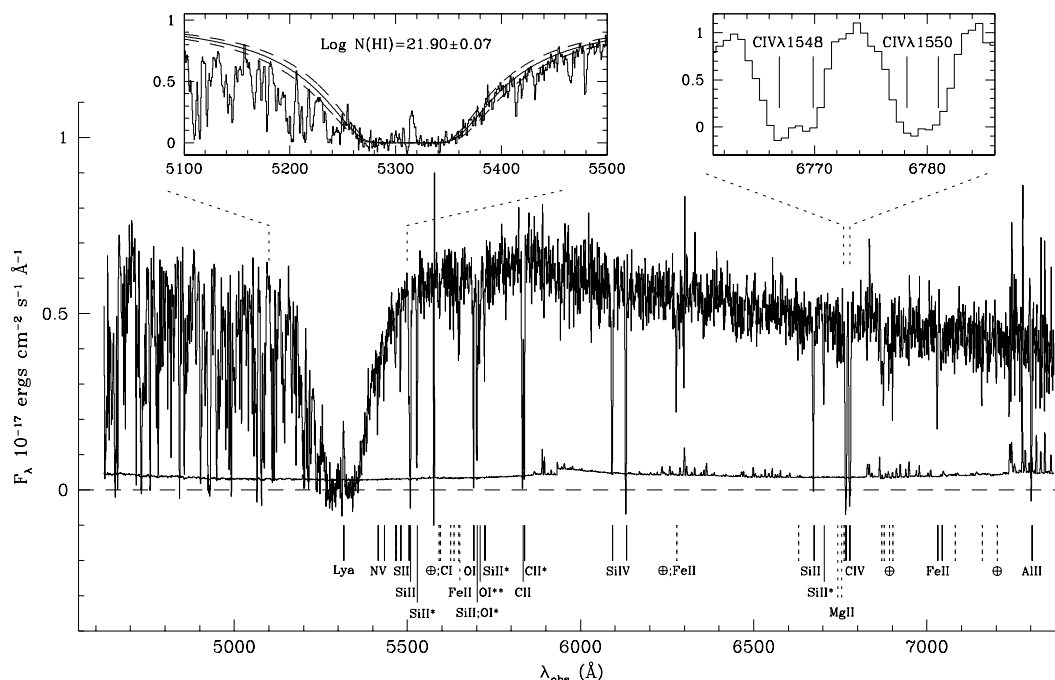
Mynd 2. Samsett mynd frá *Hubble* geimsjónaukanum af hýsilvetrarbrautum gammablossa. Rauði liturinn hefur ekkert með raunverulegan lit vetrarbrautanna að gera. Myndirnar spanna $3,75'' \times 3,75''$. Staðsetning sýnilegra glæða er sýnd með grænum krossi eða hring. Myndirnar eru teknar með ljóssíu sem hleypir einungis bylgjulengdum á bilinu 500–600 nm í gegn. Vegna rauðvicks hýslanna er því verið að kanna blátt eða útblátt ljós í kyrrstöðukerfi þeirra. Það ljós er góður mælikvarði á stjörnumyndun stórra sólstjarna. Myndin er fengin frá [7].

Einnig var sýnt fram á að nánasta umhverfi sprengistjarna⁶ og blossa væri mjög ólíkt (sjá [7] og mynd 2). Blossarnir kvikna almennt á björtustu svæðunum í hýslum en þar er að finna massamestu stjörnur hvernar vetrarbrautar. Að auki voru hýslar blossanna mun daufari og óreglulegri í lögun en hýslar sprengistjarnanna. Talið er að því daufari sem vetrarbrautir

⁶ Hér er átt við sprengistjörnur af gerð II, Ib og Ic þar sem kjarni massamikillar stjörnu fellur saman. Gerð Ia er af allt öðrum toga og tengist gammablossum ekki á neinn hátt svo vitað sé.

eru þeim mun massaminni séu þær og sýnt hefur fram á að slíkar vetrarbrautir eru málmshauðar [6]. Bein afleiðing er sú að blossar eru sjaldgæfari í vetrarbrautum eins og okkar eigin.

Það er mikilvægt að leggja áherslu á að hýslar gammablossa hafa einstakan kost umfram aðrar vetrarbrautir sem valdar eru á ólíkan hátt: Glæðurófgreining gefur nákvæmar upplýsingar um efnið og gasið í hýslinum, allt frá því svæði sem næst er forsprengrinu og út í hjúp hýsilins. Gott dæmi þar sem glæðurnar gefa gnótt upplýsinga um hýsilinn



Mynd 3. Glæðulitróf GRB 030323 ásamt skekkjulitrófi (rétt fyrir ofan brotalínuna). Fjölmargar gleypilínur eru sjánlegar við rauðvik $z = 3,37$. Innfellda myndin til vinstri sýnir svæðið í kringum $\text{Ly}\alpha$ og mátnu þess. Innfellda myndin til hægri sýnir C IV línutvenndina þar sem hvor lína skiptist upp í tvo þætti. Myndin er fengin frá [26].

er GRB 030323 með rauðvik $z = 3,37$ [26]. Hýsill GRB 030323 er einn sá daufasti sem fundist hefur með birstustig $R = 28$ (sjá mynd 2). Litróf glæðanna er sýnt á mynd 3. Mest áberandi er gleypilína vetnis ($\text{Ly}\alpha$) sem gefur til kynna að feikimikið af frumefninu er til staðar, mun meira en í vetrarbrautum sem valdar eru á annan hátt (sjá t.d. [28]). Slík risavetnisský eru nánast undantekningalaust til staðar í hýslum [14] enda er talið að velflestar stjörnur alheimsins myndist á slíkum svæðum. Fjöldi annarra gleypilína er einnig til staðar í litrófinu og nánari athugun á þeim sýnir að hýsill GRB 030323 innihaldur málmsnautt gas og lítið af ryki.

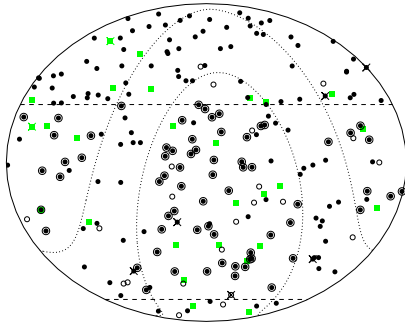
Rétt er að halda því til haga að niðurstöðurnar hér að ofan eru byggðar á ófullkomnu safni hýsla. Það merkir að yfirgripsmiklar upplýsingar um hýsilinn fást einungis þegar sýnilegu glæðurnar eru nógu bjartar. Ef mikil ljósdeyfing á sér stað myndum við að öllum líkindum ekki sjá glæðurnar og því getur safn hýsla sem fundist hefur vegna sýnilegra glæða verið talsvert hlutdrægt. Nýlega hefur þó verið ráðin bót á þessu vandamáli, eins og lýst er í næsta kafla.

5. Óhlutdrægt safn *Swift* hýsla

Um borð í *Swift*, gervitungli sem sérstaklega var hannað til að finna blossa og beina sjónaukum sínum að þeim á sem skemmstum tíma, er röntgenmælitæki sem getur staðsett glæður með mikilli nákvæmni. Árangursrík leit að hýslum er því vel möguleg án þess að sýnilegar glæður séu mælanlegar. Tilgangur nýlegs verkefnis okkar og samstarfsmanna við VLT var að skilgreina og rannsaka stórt óhlutdrægt hýslasafn byggt á rannsóknum *Swift*; mælingunum er nú lokið og hafa safnast dýrmæt gögn um nærri 70 hýsla sem nú er unnið úr.

Lögð var áhersla á að velja blossa sem voru vel sýnilegir að nóttu til frá VLT en glæður slíkra blossa eru að jafnaði rannsakaðar í þaula. Eftirfarandi skilyrði voru því sett:

- Valdir voru langir blossar sem *Swift* mældi frá mars 2005 til ágúst 2007.
- Ljósdeyfing í Vetrarbrautinni í átt til blossa varð að vera lítil eða minni en hálf birtustig.
- Fjarlægð blossa á himni frá sólinni varð að vera nægjanlega mikil eða meiri en 55° .

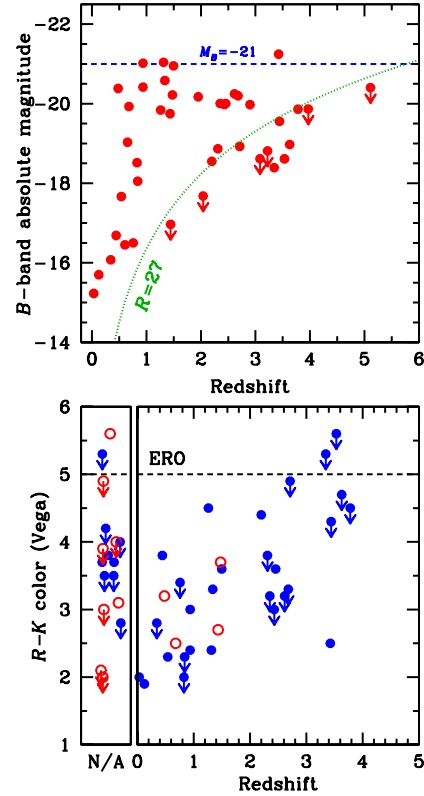


Mynd 4. Kortið sýnir staðsetningu 238 *Swift* blossa á hvelfingunni, sem kviknuðu frá 1. mars 2005 til 10. ágúst 2007. Fylltir (auðir) hringir tákna blossa með (án) röntgenglæðum. Blossar í VLT-safninu eru umluktir aukahring. Grænir ferningar tákna stutta blossa. Krossar tákna blossa sem *Swift* fann ekki sjálfkrafa (nánari gagnaúrvinnslu á jörðu niðri þurfti til). Einnig er sýnt stjörnuþreiddarbilið $-70^\circ < \delta < +27^\circ$ (brotalínur) sem samsvarar því svæði himinsins sem VLT getur rannsakað, og vetrarbaugsbreiddin $|b| > 20^\circ$ (punktalínur) sem samsvarar tiltölulega lítilli ljósdeyfingu ($A_V < 0,5$). Myndin er fengin frá [12].

- Blossarnir urðu að vera vel sýnilegur frá VLT.
- Staðsetning röntgenglæðanna þurfti að berast frá *Swift* til vísindamanna innan tólf klukkustunda.
- Lítið óvissusvæði (radíus $\leq 2''$).

Flest þessara skilyrða byggja ekki á eiginleikum blossanna og því komu þau ekki með mælihlutdrægni inn í safnið. Einungis síðasta skilyrðið gæti leitt til hlutdrægni gagnvart daufum blossaatburðum því þá er almennt erfiðara að staðsetja. Í raun útilokar þetta þó innan við 10% atburða. Nákvæmlega 68 blossar uppfylla skilyrðin að ofan og eru þeir merktir með aukahringjum á mynd 4. Rúmlega 80% þeirra hafa sýnilegar glæður og 54% hafa mælt rauðvik ($0,033 < z < 6,295$). Athyglisvert er að bera þessar tölur saman við safn allra *Swift* blossa en einungis 33% þeirra hafa mælt rauðvik.

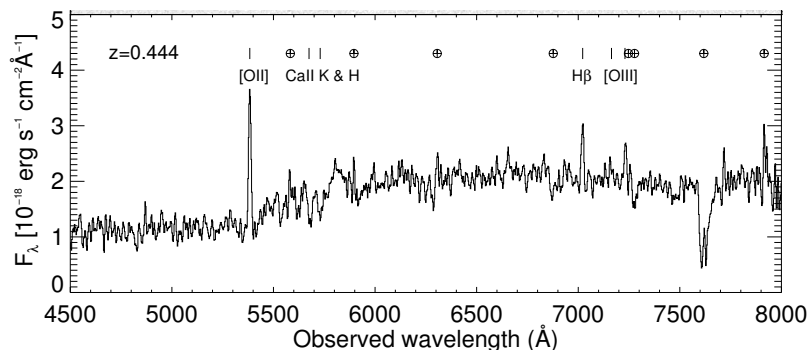
Fyrsta verkefnið var einfaldlega að leita að og mæla birtustig hýslanna. Til að byrja með voru tiltölulega djúpar myndir teknar í gegnum R síu (30 mínútur) sem fylgt var eftir með enn dýpri mynd (tvær klukkustundir) ef enginn hýsill fannst. Þessi aðferð heppnaðist mjög vel og fundust hýslar í 80% tilfella. Mynd 5 (efri) sýnir dreifingu birtustiganna. Þar er búið að nota fjarlægð blossanna til að reikna út reyndarbirtustigið og sést greinilega að hýslarnir eru fremur daufir miðað við meðalbirtu annarra vetrarbrauta (bláa, brotna, lárétta línun). Þessar niðurstöður eru í



Mynd 5. *Efri:* Reyndarbirtustig sem fall af rauðviki fyrir hýslana í VLT-safninu með þekkt rauðvik. Vegna rauðviks mælir R sían ljós sem er blátt eða útblátt í kyrrstöðukerfi hýslanna. Því er reyndarbirtustigið sýnt með B ljóssfunni (350–500 nm). Græna punktalinan tákna vetrarbraut með sýndarbirtustig $R = 27$. *Neðri:* Litvísirinn $R - K$ sem fall af rauðviki. Vinstri hlutinn sýnir hýsla með óþekkt rauðvik. Fylltu (auðu) hringirnir tákna blossa með (án) mældra sýnilegra glæða. Myndirnar eru fengnar frá [12].

fullu samræmi við það sem áður var vitað og byggt var á mun ófullkomnari safni hýsla. *Hubble* geimsjónaukinn verður seinna notaður til að finna þá hýsla sem eru of daufir fyrir VLT.

Mun færri hýslar fundust á myndum teknum í innrauðu (í gegnum K síu). Ástæðan er annars vegar minni næmni mælitækjanna á þessari bylgjulengd og hins vegar blár litur hýslanna. Litvísir hýslanna liggur á bilinu $2 < R - K < 4,5$ en þó er mögulegt að einn hýsillinn hafi mjög rauðan lit eða $R - K = 5,6$. Engar sýnilegar glæður fundust hjá viðkomandi blossa sem gefur vísbendingu um að talsvert magn ryks sé til staðar í hýslinum. Mynd 5 (neðri) sýnir dreifingu litvísra hýslanna; merkt er sérstaklega hvort blossi í viðkomandi hýsli mældist með eða án sýnilegra glæða.

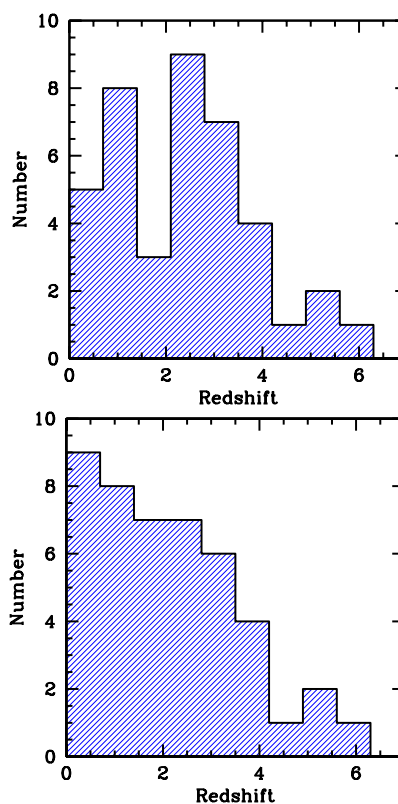


Mynd 6. Dæmigert litróf hýsils í VLT-safninu. Ljómlínurnar [O II], H β og [O III] eru merktar, sem og gleypilínurnar Ca II (K & H) við rauðvik $z = 0,444$. Jarðneskar litrófslínur, upprunnar í lofthjúpi jarðar, eru merktar með krossi umluktum hring.

Athyglisvert er að báðir hóparnir hafa svipaða dreifingu litvísá. Niðurstaðan er því, jafnvel þegar blossar án sýnilegra glæða eru teknir með, að hýslar eru að meðaltali frekar bláleitir. Þetta útilokar þó ekki að ryk sé til staðar í hýslunum, sjá t.d. [15, 24], en þar yrði það þó mjög staðbundið nálægt ungum massamiklum stjörnum.

Reynt var að mæla rauðvik þeirra hýsla þar sem ekki náðist að mæla glæðulitróf. Í nokkrum tilfellum var hægt að setja mikilvægar skorður á rauðvikið, þrátt fyrir að ekki reyndist mögulegt að tryggja áreiðanlegt rauðvik þar sem vel kunnar ljómlínur sáust ekki. Allmargir blossar tilheyra því hinni svokölluðu „rauðvikseyðimörk“ ($1 \lesssim z \lesssim 2$), en þar hafa ljómlínurnar hliðrast yfir á bylgjulengdarbil sem erfitt er að mæla. Í einstaka tilfalli var þessi tilgáta staðfest með því að nota greiðustrending (e. grism) með næmni upp að 1000 nm sem gerir kleift að mæla ljómlínurauðvik upp að $z \approx 1,7$. Hýslar með óljósu eða ómældu rauðviki verða rannsakaðir aftur með nýjum litrófsrita á VLT (svokölluðum X-shooter). Hann getur í einni atrennu mælt samfellt litróf í hárrí uplausn frá útbláu yfir í innrautt (300–2400 nm).

Í heildina tókst að mæla níu ný rauðvik og voru fimm þeirra glæný (sjá dæmi á mynd 6). Nokkuð óvænt þá mældust einnig fjögur rauðvik sem stönguðust á við áður birt gildi. Í átta öðrum tilfellum tókst að setja $1 \lesssim z \lesssim 2$ skorður á rauðvikið. Á mynd 7 sést rauðviksdreifing fyrir safn gammablossa sem uppfylla áðurnefnd skilyrði; framlag VLT-verkefnisins sést þar greinilega. Helsti árangur þess verkefnis var að fylla upp í „rauðvikseyðimörkina“ og sýna fram á að meðalrauðvik blossanna, \bar{z} , er lægra en áður var talið eða um $\bar{z} = 2,2$. Allmargir höfundar hafa haldið því fram að rauðviksdreifing gammablossa hallist of mikið í átt



Mynd 7. Rauðviksdreifing VLT-safnsins. *Efri:* Áður birt rauðvik. *Nedri:* Hér er búið að bæta við niðurstöðum úr VLT-verkefninu. Myndirnar eru fengnar frá [12].

að háum rauðvikum þegar miðað er við stjörnumyndunarsögu alheimsins. Líklegt er að enn stærra og fullkomnara safn hýsla sé nauðsynlegt áður en úr þessu fæst skorið með viðunandi hætti.

6. Hýslar í hermilkönunum

Líkön af gerð og þróun vetrarbrauta með örri stjörnu-myndun og dreifingu þeirra í alheimi eru í stöðugri þróun. Hins vegar hefur reynst erfitt að taka með í reikninginn víxlverkun stjörnumyndunar og miðgeimsefnis. Ýmsar leiðir hafa verið reyndar en vandasamt er að meta hversu raunhæfar niðurstöðurnar eru.

Hýslar gammablossa, þar sem mikil stjörnumyndun á sér stað, eru mikilvægir þegar sannreyna á slík líkön. Fyrir gefið líkan, er tiltölulega auðvelt að spá fyrir um eiginleika safns hýsla (m.a. ljósafli, magn málma og umhverfi). Slíkar rannsóknir eru frekar nýjar af nálinni og miklir möguleikar enn fyrir hendi á því sviði. Fyrstu brautryðjendarannsóknirnar má finna í [4, 5] sem sýndu fram á að vetrarbrautir með svipuð sérkenni og hýslar eru til staðar í líkönunum. Einnig spáði [20] fyrir um eiginleika hýsla að því gefnu að blossomir kvikni einungis í málmsnaudum stjörnum. Hermireikningarnir voru gerðir í fremur litlum sýndarheimi, með um 10 Mpc radíus, en var samt sem áður mikilvægt skref fram á við.

7. Lokaorð

Hýsilvetrarbrautir gammablossa virðast annarrar gerðar og hafa aðra eiginleika en vetrarbrautir almennt. Þær eru flestar fremur smáar, óreglulegar í lögun og mjög bláleitar. Þetta bendir til þess að þær séu frekar ungar og að stjörnumyndun í þeim sé virk. Vísbendingar eru einnig um að málmminnihald hýslanna fari minnkandi með vaxandi rauðviki. Niðurstaðan er þó ekki óyggjandi, enda er fjöldi hýsla með þekkt málmminnihald enn hlutfallslega lítill.

Það er þó ef til vill áhugaverðast að hýslarnir eru flestir svo litlir og daufir að þeir hefðu aldrei fundist ef ekki hefði orðið í þeim gammablossi. Það má því líta svo á að blossomir séu ný leið til að kortleggja dreifingu efnis í alheimi sem ekki væri annars unnt að kanna með þeim aðferðum sem nútímastjarnvísindi hafa yfir að ráða.

Við þökkum gagnlegar ábendingar frá Gunnlaugi Björnsyni og Einari H. Guðmundssyni. Verkefni þetta er styrkt af Rannsóknasjóði Háskóla Íslands, Öndvegissstyrk Rannsóknasjóðs Vísinda- og tækniráðs og Marie Curie styrk frá Evrópusambandinu.

Heimildir

- [1] Bloom, J. S., et al. 2001, ApJ, 554, 678.
- [2] Bloom, J. S., et al. 2002, AJ, 123, 1111.
- [3] Campisi, M. A. & Li, L.-X. 2008, MNRAS, 391, 935.

- [4] Courty, S, et al. 2004, MNRAS, 354, 581.
- [5] Courty, S, et al. 2007, MNRAS, 376, 1375.
- [6] Erb, D. K., et al. 2006, ApJ, 644, 813.
- [7] Fruchter, A., et al. 2006, Nature, 441, 463.
- [8] Fynbo, J. P. U., et al. 2009, ApJS, in press.
- [9] Galama, T. J., et al. 1998, Nature, 395, 670.
- [10] Groot, P. J., et al. 1998, ApJ, 493, L27.
- [11] Grupe, D., et al. 2007, AJ, 133, 2216.
- [12] Hjorth, J., et al. 2010, ApJ, submitted.
- [13] Jakobsson, P., et al. 2004, A&A, 427, 785.
- [14] Jakobsson, P., et al. 2006, A&A, 460, L13.
- [15] Jaunsen, A. O., et al. 2008, ApJ, 681, 453.
- [16] Kulkarni, S., et al. 1998, Nature, 393, 35.
- [17] Le Floch, E. 2003, A&A, 400, 499.
- [18] Metzger, M. R., et al. 1997, Nature, 387, 878.
- [19] Natarajan, P., et al. 1997, NewA, 2, 471.
- [20] Nuza, S. E., et al. 2007, MNRAS, 375, 665.
- [21] Paczyński, B. 1998, ApJ, 494, L45.
- [22] Sahu, K. C., et al. 1997, Nature, 387, 476.
- [23] Tanvir, N. R., et al. 2004, MNRAS, 352, 1073.
- [24] Tanvir, N. R., et al. 2008, MNRAS, 388, 1743.
- [25] van Paradijs, J. et al. 1997, Nature, 386, 686.
- [26] Vreeswijk, P. M., et al. 2004, A&A, 419, 927.
- [27] Wijers, R. A. M. J., et al. 1998, MNRAS, 294, L13.
- [28] Wolfe, A. M., et al. 2005, ARA&A, 43, 861.
- [29] Woosley, S. E. 1993, ApJ, 405, 273.

Summary: Long-duration gamma-ray bursts (GRBs) are produced by the death of young and massive stars. GRBs thus provide a precious cosmological tool, since they pinpoint locations in the Universe where active star formation is ongoing. In this article we first briefly discuss some basic observational issues related to what a GRB host galaxy is (whether they are operationally well defined as a class) and sample completeness. We then describe some of the early GRB host studies, the first host detection and leading up to the current *Swift* era. Finally, we discuss the status of efforts to construct a more complete sample of GRBs based on *Swift*.

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

Raunvísindadeild, Háskóli Íslands
Hjarðarhaga 2–6, 107 Reykjavík
pja@raunvis.hi.is

Móttékin: 6. október 2009