

Nový pohled na krátké záblesky gama

Martin Jelínek

Gama záblesky byly pro astrofyziky záhadou po dlouhých třicet let a i když se podařilo o těchto největších vesmírných explozích v průběhu posledních deseti let zjistit mnohé, rozluštění hlavní otázky krátkých gama záblesků, totiž co je to vlastně za tělesa, která explodují, na vědce stále čeká.

Záblesky gama jsou krátké, ale nesmírně intenzivní spršky záření gama (naposledy jsme o záblescích gama, GRB, psali ve Speciálu 2004). Po dlouhou dobu byl jejich původ a povaha záhadou. Postupně se ukázalo, že záblesků jsou dvě třídy, tzv. dlouhé, trvající cca 2–100 s, které mají souvislost se zánikem velmi hmotných hvězd a je možné je pozorovat v prakticky celém pozorovatelném vesmíru, a tzv. krátké, které trvají většinou 0,1 až 1 s a o kterých se až donedávna vědělo prakticky jen to, že mají statisticky o něco tvrdší spektra než záblesky dlouhé.

Ona „tvrdost“ spektra se posuzuje poněkud nesnadno. Gama záření detekujeme

doslova po jednotlivých fotonech a na postavení opravdového spektra, tak jak je známe z optiky, to jednoduše nestačí. Dá se ale jednoduše rozdělit fotony podle energií a zavést *hardness ratio* – poměr intenzity záblesku ve dvou různých energetických rozsazích. Krátké gama záblesky pak mají o něco větší poměr energetičtějších (tvrdých) fotonů než záblesky dlouhé.

Nedostatek lepších poznatků byl způsoben především faktem, že dvě z družic specializovaných na výzkum těchto jevů, BeppoSAX a HETE-2, nebyly schopny tak krátké pulsy zaznamenat, a tak se v průběhu posledních pěti let tyto jevy nepozorovaly

a i nejvšlejší fyzikům nezbývalo než krčít rameny a konstatovat, že o krátkých záblescích prostě nic nevíme.

Letošní rok přinesl v tomto směru velmi důležitou změnu. Satelit Swift krátké záblesky detekuje a během několika málo minut dokáže pomocí rentgenového dalekohledu určit i velmi přesnou polohu objektu. Hledání optického protějšku (optický protějšek gama záblesku je viditelná část elektromagnetického spektra, které zdroj záblesku vyzařil) se tak omezuje na velmi malou oblast oblohy obvykle o průměru několika úhlových vteřin.

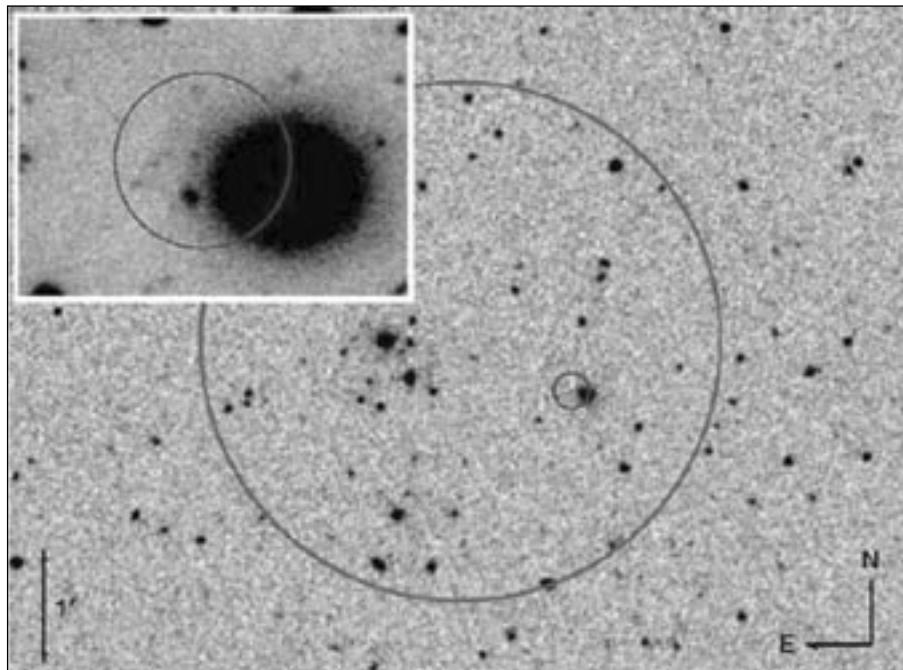
Jak se ale ukázalo, pozorování krátkých záblesků je i při dostupnosti jejich lokalizací nesmírně náročné a nebýt intenzivního „tréninku“ při pozorování dlouhých záblesků, byla by detekce optického protějšku (a tedy přesná lokalizace včetně možnosti určení vzdálenosti) metou stěží dosažitelnou. Optické protějšky krátkých záblesků byly doposud objeveny tři, jsou nesmírně slabé a navíc jsou ve všech případech maskovány galaxiemi, ve kterých nastaly. Aby bylo možné určit jasnost a světelnou křivku (ale i vůbec zjistit, jestli se jedná opravdu o optický protějšek), je třeba z pořízeného obrazu matematicky odečíst obraz mateřské galaxie. To je zcela jiná situace než u dlouhých záblesků, kde optické protějšky jsou tak jasné, že zcela přezáří celou galaxii o 8–15 magnitud, tedy více než tisíckrát až milionkrát.

Pozorování

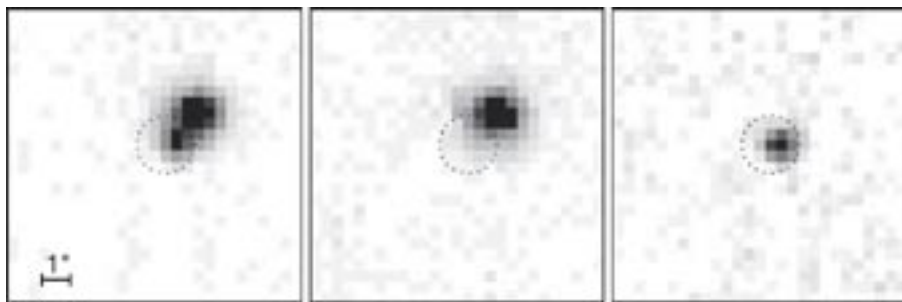
Všechny případy optických protějšků gama záblesků, u nichž známe vzdálenost, nastaly v nedalekých (tedy alespoň v oblasti gama záblesků – rudý posuv je kolem 0,2, zatímco u dlouhých záblesků je běžně větší než 1), ale typově zcela rozdílných galaxiích: jeden ve velké eliptické galaxii, druhý ve spirální a třetí v nepravidelné galaxii s velkou tvorbou hvězd. Navíc dalších několik přesných lokalizací krátkých záblesků ukazuje na blízké galaxie. Výskyt záblesků zřejmě není vázán na oblasti s intenzivní tvorbou hvězd (jako je tomu v případě dlouhých záblesků).

Mgr. Martin Jelínek (*1975) vystudoval astronomii a astrofyziku na MFF UK v Praze. Nyní se v Instituto de Astrofísica de Andalucía ve Španělsku zabývá fotometrií optických do-
svitů GRB robotickými dalekohledy.

© STScI Digitized Sky Survey, AURA, Inc.



První Swiftem lokalizovaný krátký gama záblesk – GRB050509b – nastal 9. května 2005. Sestával z jediného impulsu délky 40 ms. Rentgenový dalekohled na Swiftu našel slabý zdroj a lokalizoval jej s přesností 6" do blízkého okolí velké eliptické galaxie s rudým posuvem 0,225. Snaha nalézt optický protějšek ale nebyla úspěšná.



GRB050709 trval 70 ms a byl následován slabší rentgenovou emisí vzdáleně připomínající pozdější část emise exploze na soft gamma repeateru. Pro tento záblesk se jako pro první krátký gama záblesk podařilo objevit optickou emisi jako slabý mizivý objekt na pozadí galaxie. Obrázek vlevo ukazuje zachycený optický protějšek dva dny po záblesku, prostřední ukazuje mateřskou galaxii devět dní po záblesku, kdy již optický protějšek zmizel, a obrázek vpravo představuje rozdíl mezi prvními dvěma obrázky. Všechny tři snímky pocházejí z dánského 1,5metrového dalekohledu na observatoři La Silla, kružnice znázorňují oblast, ve které se s 95% pravděpodobností nachází optický protějšek gama záblesku.

Relativní blízkost hostitelských galaxií má několik důležitých důsledků – v této vzdálenosti není problém detekovat supernovu na místě výbuchu gama záblesku, ale pro žádný z krátkých záblesků taková supernova objevena nebyla. Navíc pokud jsou jevy tak blízko, je jejich uvolnění energie podstatně menší než energie dlouhých záblesků.

Nepřítomnost supernov na pozicích gama záblesků poměrně spolehlivě vylučuje možnost, že jsou krátké záblesky jakousi variantou dlouhých, tedy kolabujících hvězd (viz rámeček na následující straně).

Soft Gamma Repeatery

Hledání původce, mechanismu, který vede ke vzniku krátkého gama záblesku, dostalo nového kandidáta v podobě obří erupce *soft gamma repeateru* (SGR; tento termín bychom mohli volně přeložit jako zdroj opakovaného měkkého záření gama). Tyto eruptivní proměnné hvězdy (v Galaxii jich známe zatím pět) jsou význačné polopravidelnou činností v tvrdém oboru spektra.

Otázka jejich charakteru není dodnes zcela dořešená. Shoda ovšem panuje v tom, že se jedná o těsný pár neutronové hvězdy – magnetaru – s hvězdným obrem.

Obří erupce pravděpodobně nastává tak, že neutronová hvězda rotuje, ale netočí se rovnoměrně, nýbrž (stejně jako např. i naše Slunce) diferencially – tj. rovníkové oblasti rotují odlišnou rychlostí než polární. To vede ke vzniku silného magnetického pole, které se „namotává“ kolem neutronové hvězdy. Při dosažení nějaké kritické hodnoty „navinutí“ pole se pak systém dostane do nestabilního stavu, v němž

stačí malá porucha, která způsobí, že se pole „roztrhne“ a jeho energie se uvolní do prostoru. Z velké vzdálenosti to pak vypadá jako krátký záblesk gama.

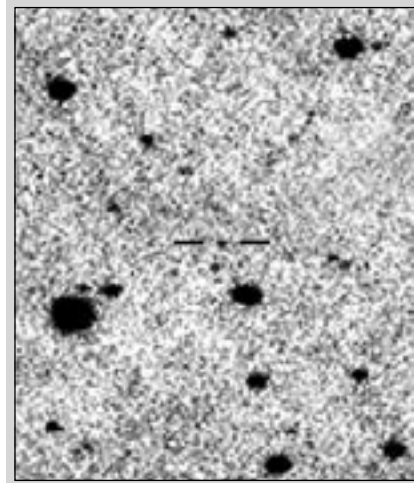
Klasická fyzika ale trhání polí striktně zakazuje a vůbec není snadné ukázat (počítačovým modelováním relativistických magnetohydrodynamických polí), že je možné takovým způsobem energii uvolnit.

27. prosince 2004 došlo na SGR1802-20 k erupci (viz rámeček na této straně), která překonala všechny předchozí o několik řádů. Byla tak intenzivní, že satureovala všechny gama detektory na oběžné dráze až na jeden (Swift) a intenzita hlavního vzplanutí se dala měřit i z intenzity odrazu od měsíčního povrchu. Co se vlastně na SGR1802-20 stalo, je zatím předmětem

První GRB pozorovaný z Čech

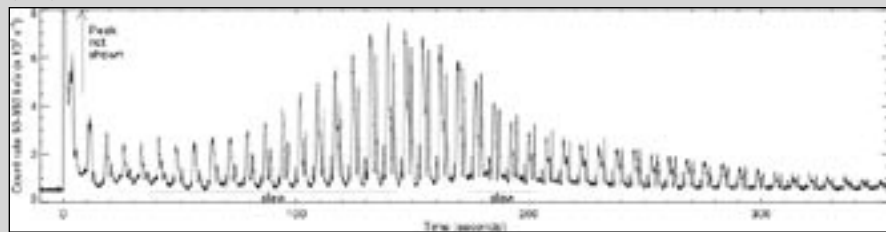
Letos 22. září se poprvé podařilo pozorovat optický dosvit (dlouhého) gama záblesku z území naší republiky. Tým pozorovatelů na brněnské Kraví Hoře pozoroval gama záblesk 050922c pomocí obou hlavních dalekohledů jejich hvězdárny. Na třicetiminutové expozici z 65cm dalekohledu pořízené 1,8 h po explozi se dosvit jeví jako hvězdička 17. magnitudy, která v průběhu pozorování (během cca hodiny) zeslábla o magnitudu.

Na prvních snímcích, které byly pořízeny robotickým dalekohledem BOOTES-1B již čtyři minuty po záblesku, má dosvit jasnost asi 14,5 magnitudy a během několika dnů zmizel z dosahu i těch největších dalekohledů.



27. prosince 2004 nastal nesmírně silný výbuch soft gamma repeateru SGR1806-20. Výbuch překonal stonásobně i nejsilnější do té doby pozorovaný výbuch SGR1900+14 z roku 1998. Sestával z intenzivního pulsu délky přibližně 0,25 s, následovaného měkkí (dlouhovlnnější), pomalejší a slabší částí, která trvala po následujících 300 s. Lze snadno nahlédnout, že takový jev pozorovaný z velké vzdálenosti by se jevil jako krátký gama záblesk a pozdější ne tolik intenzivní emise by nebylo možné změřit. Výbuch byl neobvyklý nejen z hlediska své intenzity, ale také tím, že na rozdíl od vši předchozí aktivity, tento byl doprovázen poměrně silnou radiovou emisí. Pozemská pozorování nebyla možná, jelikož se tou dobou nacházel pouhých pět stupňů od Slunce, nicméně bylo zaznamenáno zeslabení zemské ionosféry v důsledku tohoto výbuchu.

Následující graf ukazuje světelnou (přesněji řečeno gama) křivku výbuchu – na vodorovné ose je vyznačen čas v sekundách, na svislé intenzita signálu z detektoru. Úzký vysoký vrchol v čase 0 jsme museli oříznout, neboť by na grafu měl maximum ve výšce přes 300 metrů (sic!).



Dlouhé gama záblesky

Pozorují se z oběžné dráhy jako velmi intenzivní pulsy gama záření kosmického původu, které trvají zhruba 10 až 100 s. Od roku 1997, kdy byl objeven první rentgenový a optický dosvit, se jich pozorovaly desítky. Pro mnohé z nich se podařilo spektroskopicky určit vzdálenost a díky tomu víme, že máme tu čest s pravděpodobně nejenergetičtější třídou jevů ve vesmíru.

Předpokládá se, že podobně jako v případě supernov typů Ib, Ic a II je původcem kolabující hvězda na konci svého života; pokud je ale hmotnost hvězdy větší než asi 40 hmotností Slunce, může dojít k ještě mnohem drastičtější explozi, než je výbuch supernovy. Energie při výbuchu gama záblesku je asi stokrát větší než energie supernovy, ale díky tomu, že se většina energie vyzáří jen v malém kuželu kolem rotační osy objektu, jeví se pozorovateli ještě stokrát jasnější. (Zato pak pozorujeme stejně tolikrát méně záblesků, než jich opravdu nastává.)

V průběhu výzkumu dlouhých gama záblesků pozorovatelé vysledovali jejich souvislost s oblastmi tvorby hvězd. To jen podporuje teorii o jejich původu z obřích hvězd, jelikož tak velké hvězdy žijí jen velmi krátce a z oblasti svého vzniku nemají čas utéci.

Byl nalezen vztah (mezi některými pozorovatelnými veličinami a celkovou energií), podle kterého je možné zjistit skutečnou intenzitu v místě výbuchu. Gama záblesky jsou proto vítaným novým „měřítkem“ vzdáleností ve vesmíru. Díky své velké vzdálenosti od nás tak umožňují sledovat samotnou geometrii vesmíru porovnáním spektroskopického rudého posuvu se vzdáleností určenou zeslabením jejich světla.

Také nám umožňují sledovat intenzitu tvorby hvězd v různých vzdálenostech (tj. v různých časech), protože svým světlem prozáří svou mateřskou galaxii a všechen prostor cestou k nám, takže získáme-li spektrum optického protějšku, máme vlastně záznam o chemickém složení vesmíru po celé cestě mezi námi a místem, kde k výbuchu došlo.

zkoumání, nicméně jev jako takový se stal kandidátem na krátké gama záblesky – předpokládá se, že by bylo možné ztotožnit gama záblesky ze vzdálených galaxií se SGR, které jsou v těchto galaxiích a při jiných projevech je nevidíme, protože jsou pro nás příliš slabé.

Pro některé pozorované krátké gama záblesky ovšem známe jejich vzdálenost a víme, že energie jejich výbuchu byla až stokrát větší než energie uvolněná ze SGR1802-20 v prosinci loňského roku. I v ostatních aspektech se chovají vzdálené krátké záblesky poněkud jinak než tenhle náš „místní“, a proto v identifikaci krátkých gama záblesků se SGR panuje jistá zdrženlivost.

Binární neutronová hvězda

Evergreenem při hledání jevu, kterým by se daly vysvětlit gama záblesky je binární neutronová hvězda. Dvě obíhající neutronové hvězdy totiž zvolna vyzařují rotační energii v podobě gravitačních vln a to po velmi dlouhé době vede k jejich kolizi a vzniku černé díry. Při tom se kolem černé díry zformuje disk, který je zčásti pohlcen a zčásti je jeho hmota vyvržena v podobě relativistického výtrysku podél rotační osy systému.

Ve prospěch tohoto modelu svědčí nezávislost na oblastech tvorby hvězd, která z pozorovaných dat nevyplývá (na rozdíl od dlouhých gama záblesků). Binárnímu systému trvá postupné ztrácení energie nesmírně dlouhou dobu, navíc musí systémem dvakrát projít explozí supernovy, aby

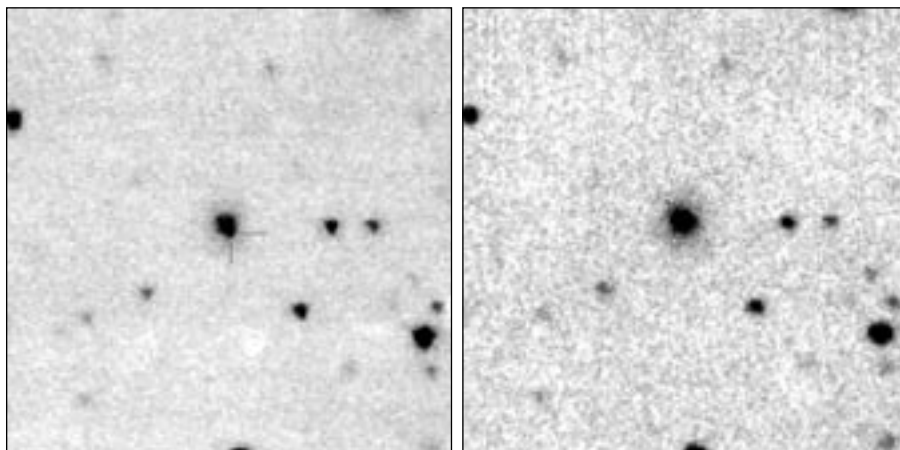
vznikly dvě neutronové hvězdy, a při tom může dojít k silnému urychlení jeho rotace („dostane kopanec“). Výsledkem je jednak to, že krátký gama záblesk může nastat prakticky kdekoli v blízkosti galaxie, jednak to, že se dá stěží očekávat nějaké zhuštění mezihvězdné hmoty v okolí výbuchu a nemůžeme tedy předpokládat ani pozorovatelný dosvit (pokud by se v okolí systému nějaká hmota vyskytovala, byla by vymetena dvojí explozí supernovy).

Jak už bylo napsáno, u krátkých gama záblesků se optický a rentgenový dosvit pozoroval. To představuje nepříjemnou trhlinu tohoto jinak velmi slibného modelu, neboť dosvity jsou považovány za záření rázové vlny, která vysokou rychlostí proniká okolním prostředím po explozi původce záblesku.

Závěr

Zdá se, že se nám (lidem) podařilo dosáhnout nečekaného pokroku při výzkumu krátkých gama záblesků. Za poslední rok se podařilo zjistit jejich vzdálenosti, charakter jejich domovských galaxií, viděli jsme první optické a rentgenové dosvity. Jsme si prakticky jisti, že krátké záblesky nemají nic společného s výbuchem supernovy.

Neutronové hvězdy jsou velmi pravděpodobně zodpovědné přinejmenším za část krátkých gama záblesků. Ukázalo se ovšem, že některé pozorované záblesky jsou do té míry odlišné od ostatních, že je možné, že se jedná o zcela samostatnou rodinu jevů.



GRB050724 zachytila družice HETE, trval 3 s, pozoroval se v galaxii s rudým posuvem 0,16 a byl pozorován rentgenový a optický dosvit (obr. vlevo ukazuje optický protějšek, vpravo je mateřská galaxie po zeslábnutí optického dosvitu). Rentgenový dosvit ale vykazoval chování podobné dlouhým zábleskům, takže není jisté, kam vlastně tento záblesk zařadit. Ani svou délkou, ani chováním nesplňuje kodex „dobrého vychování“ krátkého gama záblesku, ale uvolněná energie je malá na to, aby šlo o obvyklý záblesk dlouhý.

© Coppiet