

Na čem pracujeme: Gama záblesk s přesvědčivou detekcí zpětné rázové vlny

23.9.2025 - Martin Jelínek | Astronomický ústav AV ČR

Záblesky gama (GRB - gamma-ray bursts) patří mezi nejenergetičtější procesy ve vesmíru. Vznikají při mimořádných jevech, například při zhroucení velmi hmotné hvězdy do černé díry nebo při srážce neutronových hvězd. Trvají od zlomků vteřiny po několik minut a vyzařují obrovské množství energie v podobě gama záření. Po samotném záblesku následuje tzv. dosvit - postupně slábnoucí záření v rentgenové, optické či rádiové oblasti, vznikající při interakci rychle se šířícího proudu hmoty (nejčastěji se používá model tzv. relativistické ohnivé koule neboli fireballu) s okolním prostředím. V rámci tohoto procesu hrají klíčovou roli dvě rázové vlny: dopředná rázová vlna, která se šíří do mezihvězdného prostředí, a zpětná rázová vlna, která je důsledkem odrazu vyvržené látky od okolního prostředí. Zpětná vlna se vrací zpět k místu původu, trvá ale jen velmi krátce - minuty až desítky minut - a je obtížně zachytitelná. Přitom nese cenné informace o struktuře výtrysku a podmínkách v místě exploze.

Výzkum zpětných rázových vln byl dlouho limitován technickými možnostmi: k jejich detekci je třeba zahájit pozorování doslova okamžitě po zaznamenání GRB. Až v posledních letech umožnily rychlé robotické dalekohledy a automatické reakce na výstražné signály družic získat kvalitní data z těchto raných fází. Jejich analýza pomáhá testovat modely GRB a odlišit příspěvky různých fyzikálních mechanismů k pozorovanému záření.

GRB 200131A, zaznamenaný 31. ledna 2020, představuje učebnicový příklad. Záblesk byl detekován družicí Swift a zároveň družicí Wind. Během první minuty se do pozorování zapojil i robotický Small Binocular Telescope (SBT) na observatoři v Ondřejově, který pořídil sérii snímků, jež zachytily velmi strmý pokles optické jasnosti.

Tým vedený Martinem Jelínkem z ASU tak získal k analýze unikátní materiál. Klíčovým momentem byla extrémně rychlá reakce - první snímek byl pořízen 57 sekund po detekci na družici, přičemž zpracovaná fotometrie začíná 63 vteřin po záblesku. Série 39 snímků z hlavních kamer a 48 z pomocné kamery SBT byla doplněna o pozdější data z teleskopu TLS v Tautenburgu, z dalších pozorovacích stanic a z družice Swift.

Fotometrická kalibrace nebyla jednoduchá, protože velká část snímků byla pořízena bez filtru. Bylo nutné pozorování transformovat na standardní fotometrický systém, přičemž byly využity barevné indexy objektu z pozdějších měření. Série snímků byla posčítána (binována) do výsledné fotometrické série tak, aby se zlepšil poměr signálu k šumu a současně se zachovalo rozumné časové rozlišení.

Analýza světelné křivky odhalila počáteční velmi strmý útlum, který se vymykal prostému chování dopředné rázové vlny. Autoři proto uvažovali dva scénáře: prodlouženou aktivitu centrálního zdroje, nebo přítomnost zpětné rázové vlny. Druhý pohled ukázal, že pozorování velmi dobře odpovídají interpretaci se zpětnou rázovou vlnou v tenké slupce expandující do mezihvězdného prostředí s konstantní hustotou. Do modelu zahrnuli i pozdější fázi, kdy dominuje dopředná vlna, a také pozorovanou změnu sklonu světelné křivky (tzv. jet break), která souvisí s otevřením výtrysku.

Naměřená data byla použita i k posouzení červeného posuvu a tedy vzdálenosti objektu, i když přímé spektrum k dispozici nebylo. Využili k tomu kombinaci údajů z ultrafialových pozorování z družice

Swift, jasnost hostitelské galaxie z archivních snímků Pan-STARRS a empirické vztahy z literatury, které propojují energetické vlastnosti záblesku s jeho vzdáleností. Analýza ukázala dvě možné oblasti: $0,38 < z < 0,56$ a $0,8 < z < 1,2$. Na základě všech indicií – zejména shody s modely a obvyklého rozložení vzdáleností GRB – dali přednost hodnotě kolem $z \approx 0,9$ (to odpovídá vzdálenosti asi 7 miliard světelných let). To odpovídá tomu, že hostitelská galaxie není extrémně jasná a že vlastnosti dosvitu jsou typické pro vzdálenější, ale nikoli extrémně vzdálené GRB.

Celkově výsledky podporují scénář, kdy GRB 200131A proběhl v prostředí s rovnoměrnou hustotou, a raná optická data nesou jasný podpis krátkodobé, ale intenzivní zpětné rázové vlny. Fotometrická analýza mezihvězdné extinkce také zanechává jen velmi malý prostor pro výskyt prachu v hostitelské galaxii.

M. Jelínek a kol. *Early steep optical decay linked to reverse shock for GRB 200131A*. Acta Polytechnica, 65 (2025), 33–39.

<https://www.asu.cas.cz/articles/2472/19/na-cem-pracujeme-gama-zablesk-s-presvedcivou-detekci-zpetne-razove-vlny>