

Krzywe zmian blasku SN 2017iuk po rozbłysku gamma GRB 171205A

Wiktoria Kluba, Oleh Ryzhov, Olgierd Jastrzębski

January 2025

1 Temat: Fotometria aperturowa SN2017iuk w filtrach R i V z obserwacji RBT/PST2 w Arizonie, 8-29 grudnia 2017.

2 Streszczenie

Rozbłyski gamma (GRB) o długich okresach (long-period GRBs) występują rzadko we Wszechświecie i ich szczegółowa natura pozostaje dla nas wciąż nieznaną. Stworzenie krzywych blasku i dopasowanie ich do różnych modeli tych zjawisk jest niezbędnym krokiem do wyznaczania ich natury. W tej pracy, za pomocą fotometrycznych obserwacji pochodzących z teleskopu RBT w Arizonie, uzyskano jasność supernowej SN2017iuk (bezpośrednio powiązanej z GRB 171205A, Izzo et al. (2019)) w filtrach V i R przy użyciu fotometrii aperturowej różnicowej/porównawczej). Korzystając z wyników, przedstawiono krzywe blasku w poszczególnych filtrach, które mogą zostać użyte do modelowania tych zjawisk. Krzywe blasku w obu filtrach potwierdzają szczególne wyjaśnienia obiektu z 14 do 19 grudnia 2017 r., jak i również wolne zanikanie obiektu w paśmie widzialnym, co jest najprawdopodobniej spowodowane relatywnie szybkim stygnięciem otoczki supernowej.

3 Wstęp

Rozbłyski gamma (GRB), występujące w lokalnym Wszechświecie, stanowią interesującą podklasę rodziny GRB, ponieważ ich jasność jest średnio niższa od ich kosmologicznych odpowiedników. Całkowite zrozumienie tego specyficznego zagadnienia wciąż nie jest możliwe, ponieważ obserwacji GRB o niskim przesunięciu ku czerwieni jest niewiele, a właściwości poszczególnych obiektów są zbyt różnorodne. Ponadto, ich bliskość (a co za tym idzie, wysokie strumienie) sprawia, że te źródła są idealnymi celami do szczegółowych obserwacji nawet przy użyciu małych teleskopów, zwłaszcza że te GRB są jednoznacznie powiązane z wybuchami supernowych (SN) (D’Elia et al. (2018)).

Przedmiotem analizy pracy jest rozbłysk gamma GRB 171205A, który po raz pierwszy wykryto 5 grudnia 2017 r. przy pomocy instrumentu BAT (Burst Alert Telescope) na satelicie Swift. Krótco po detekcji rozbłysku potwierdzono jego źródło jako supernowa SN 2017iuk (D’Elia et al. 2018). Rozbłysk zlokalizowano w miejscu o współrzędnych ICRS (J2000) $DEC = -12^{\circ}35'08.5''$, $RA = +11^h09^m39.46^s$ w galaktyce 2MASX J110 93966-1235116. Na podstawie późniejszych obserwacji spektroskopowych SN 2017iuk zidentyfikowano jako supernową typu Ic (Wang et al. 2018).

4 Obserwacje

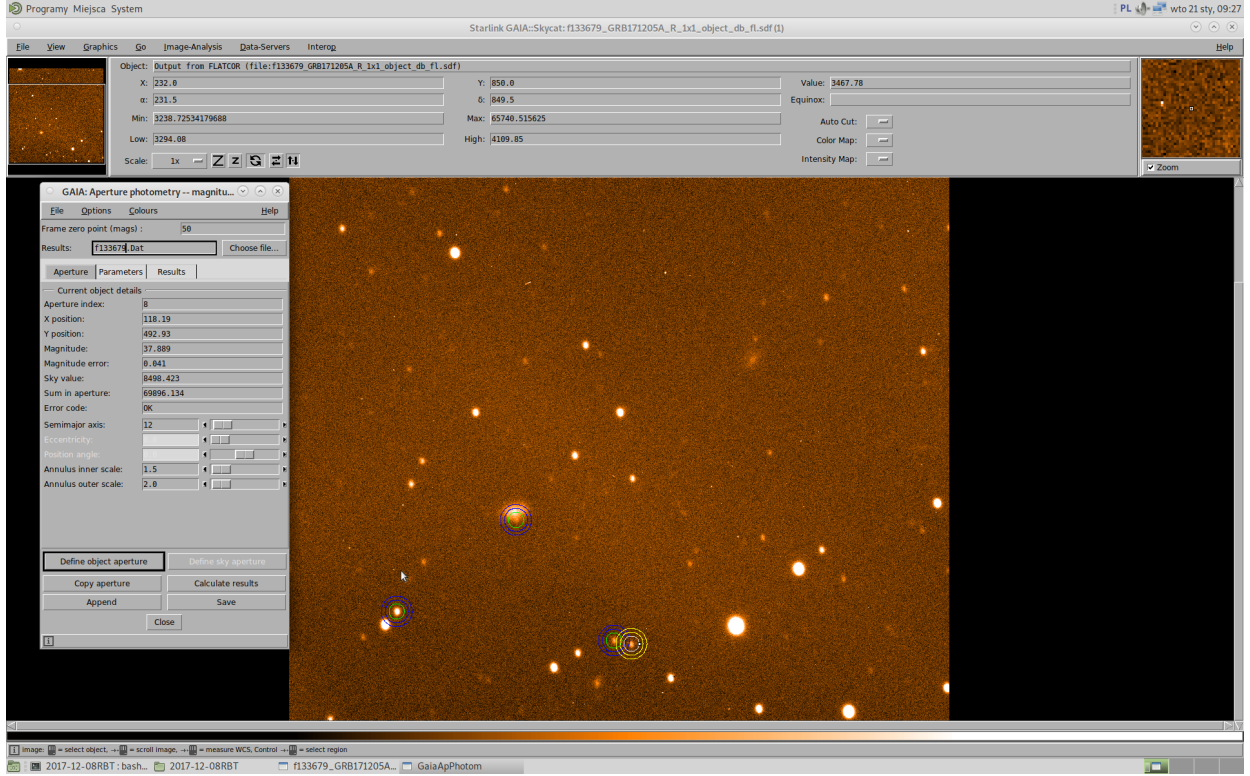
Szczegółowe parametry teleskopu przedstawiono w linku¹. Wykonano również obserwacje w filtrach B i I, a dla każdego filtra przygotowano ramki dark, flat, i bias w celu dalszej redukcji danych. Dodatkowo w tym samym czasie zaobserwowano standardy fotometryczne Landolta w innym polu widzenia, natomiast grupa badawcza, dla uproszczenia procesu obróbki danych, wybrała standardy znajdujące się bezpośrednio w pobliżu supernowej ($d < 5'$). Do tego celu wykorzystano trzy gwiazdy z katalogu PanSTARRS PS2²: gwiazdę 1 (PSO J167.4407-12.6161), gwiazdę 2 (PSO J167.3848-12.6141) oraz gwiazdę 3 (PSO J167.3803-12.6142). Dane dotyczące tych gwiazd przedstawiono w Tabeli 1. Na Rysunku 1 zaprezentowano typową zredukowaną klatkę CCD, na której oznaczono gwiazdy porównawcze oraz badany obiekt.

Ze względu na fakt, że obserwacje poprowadzono z Ziemi, konieczne było określenie typowego *seeing*’u dla uzyskanych ramek CCD w celu precyzyjnego wyznaczenia rozmiaru apertur fotometrycznych. Za pomocą

¹<https://www.astro.amu.edu.pl/~chris/gats/index.php?n=PST2.Description>

²<https://catalogs.mast.stsci.edu/panstarrs/>

funkcji *View Object* w programie GAIA (*Graphical Astronomy and Image Analysis Tool*) dokonano pomiarów pełnej szerokości połowy maksimum (FWHM - *full width at half maximum*) profili gwiazd porównawczych. Aplikacja Gaia to zbiór narzędzi pozwalający przeglądać i analizować ramki CCD (Draper et al. (2014)). Jako miarę *seeing*'u przyjęto średnią arytmetyczną z tych pomiarów, wynoszącą 5.5 pikseli. Na tej podstawie rozmiar apertury ustalono jako 2.2-krotność tej wartości, co daje 12.0 pikseli.



Rysunek 1: Lokalizacja SN 2017iuk oraz gwiazd porównawczych na jednej zbadanych ramek CCD (w oknie aplikacji Gaia).

5 Transformacja i Wyniki

Szczegółowy opis procedury obróbki otrzymanych plików ".dat" zawierających wyniki fotometrii aperturowej przeprowadzonej za pomocą programu GAIA dla każdego bloku obserwacyjnego zostały przedstawione w pliku *pipeline.ipynb*³. Poniżej przedstawiono kroki algorytmu:

1. **Tworzenie wspólnego katalogu obserwacji.** Na początku odczytano katalogi plików ".dat" z poszczególnych dni obserwacyjnych, przypisując każdej obserwacji unikalny identyfikator (ID) utworzony na podstawie daty obserwacji oraz numeru obiektu. Numery krótności $1 + 4n$ odpowiadają wierszom supernowej, numery krótności $2 + 4n$ - wierszom dotyczącym gwiazdy 2, itd. Po połączeniu dwóch katalogów (*R_RBT.csv* oraz *V_RBT.csv*) utworzono pojedynczy *DataFrame* (*RV.csv*), który zawierał wspólne wiersze obserwacyjne w pasmach R i V dla tych samych unikalnych ID.
2. **Transformacja jasności z systemu filtrów SDSS do systemu JC dla gwiazd porównawczych.** Ze względu na to, że gwiazdy porównawcze pochodzą z katalogu PanSTARRS i zawierają tylko jasności w systemie filtrów SDSS⁴ (system fotometryczny ugriz), to dokonano transformacji jasności do systemu JC (Lupton & Ivezić 2005), a następnie wprowadzono te dane do *DataFrame*:

$$V_{JC_PS} = g_{SDSS} - 0.5784 \cdot (g_{SDSS} - r_{SDSS}) - 0.0038; \sigma = 0.0054 \quad (1)$$

$$R_{JC_PS} = r_{SDSS} - 0.2936 \cdot (r_{SDSS} - i_{SDSS}) - 0.1439; \sigma = 0.0072 \quad (2)$$

3. **Transformacja jasności gwiazd porównawczych z systemu RBT do systemu JC.** W celu przekształcenia uzyskanych z plików ".dat", na magnitudo w systemie JC (V_{JC} i R_{JC}) dla poszczególnych gwiazd

³https://github.com/ASTROMNSTR/univ_codes/blob/main/2024_2025/RaportSNe/pipeline.ipynb

⁴<https://skyserver.sdss.org/dr1/en/proj/advanced/color/sdssfilters.asp>

porównawczych, zastosowano wzory dostępne na stronie [link]. Masa powietrza została przyjęta jako $X = 1.2$:

$$V_{JC_RBT_1} = a + b \cdot (V_{JC_PS} - R_{JC_PS}) + cX + V_{RBT} \quad (3)$$

$$R_{JC_RBT_1} = d + e \cdot (V_{JC_PS} - R_{JC_PS}) + fX + R_{RBT} \quad (4)$$

gdzie współczynniki $a = -23.698$, $b = -0.102$, $c = -0.158$, $d = -23.578$, $e = -0.144$, $f = -0.195$.

4. **Wyliczanie jasności supernowej w systemie JC.** Dla każdego bloku obserwacyjnego, obejmującego obserwacje czterech obiektów, obliczono magnitudę supernowej w systemie JC jako średnią z trzech wartości, uzyskanych przy użyciu trzech różnych gwiazd porównawczych. Wyniki zapisano w katalogu *SNe.csv*, które zawierały trzy różne wartości V i R dla każdego bloku oraz uśrednione wartości wspólnie z SEM.

$$V_{JC_SNe_i} = (V_{RBT_SNe} - V_{RBT_i}) + V_{JC_RBT_1} \quad (5)$$

$$\overline{V_{JC_SNe}} = \sum_{i=1}^3 V_{JC_SNe_i} \quad (6)$$

$$R_{JC_SNe_i} = (R_{RBT_SNe} - R_{RBT_i}) + R_{JC_RBT_1} \quad (7)$$

$$\overline{R_{JC_SNe}} = \sum_{i=1}^3 R_{JC_SNe_i} \quad (8)$$

5. **Tworzenie krzywej jasności widzialnych.** Po obliczeniu średnich wartości magnitud z uśrednionych wyników dla każdego bloku obserwacyjnego danego dnia, skonstruowano krzywą zmian blasku. Wyniki zostały przedstawione na Rysunku 2, a szczegółowe wartości jasności znajdują się w Tabeli 3. Krzywą trzeciego rzędu do wyprodukowanych danych zostały dopasowane za pomocą pakietu *curve_fit* z *scipy.optimize*.
6. **Wyznaczanie jasności absolutnej.** Na podstawie poniższego wzoru, z uwzględnieniem ekstynkcji międzygwiazdowej A_v , obliczono jasności absolutne, które zestawiono w Tabeli 3.

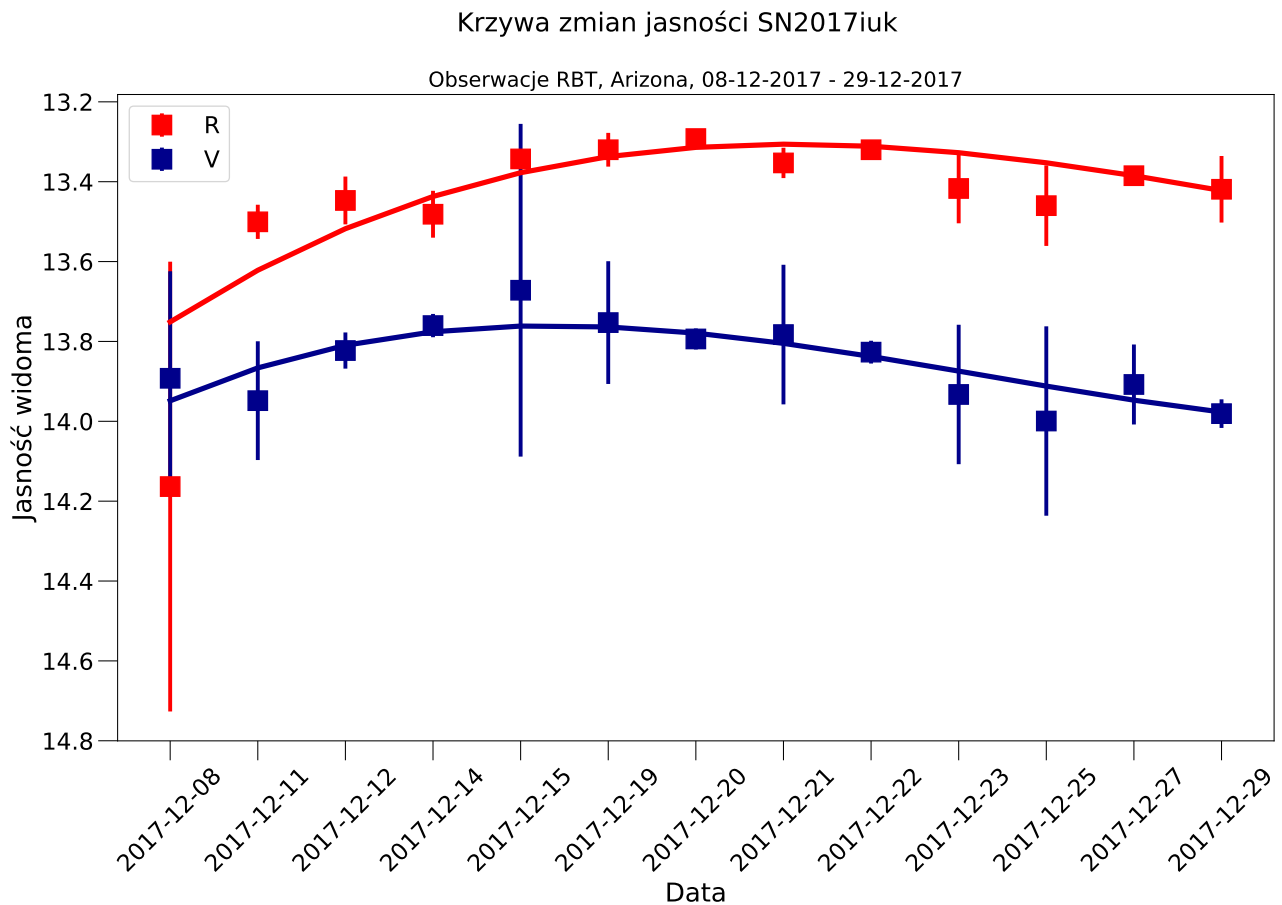
$$M_v = m_v - 5 \cdot \lg r + 5 - A_{V_GAL} - A_{V_MW} \quad (9)$$

Za odległość d przyjęto wynik otrzymany w parsekach dla przesunięcia ku czerwieni $z = 0.037$ powiązanej galaktyki (D'Elia et al. 2018) przy użyciu kalkulatora kosmologicznego Ned'a Wright'a ($H = 69.6$; $\Omega_M = 0.286$; $\Omega_{vac} = 0.000$)⁵: $r = 156.1 \text{ Mpc} = 1.56 \cdot 10^8 \text{ pc}$. Jako ekstynkcje wewnątrz Drogi Mlecznej przyjęto parametry: $A_{VMW} = R_{MW} \cdot E(B - V) = 0.154^m$, gdzie $R_{MW} = 3.08$, a natomiast poczerwienie wewnątrz (DM) $E(B - V) = 0.05^m$. Analogicznie, za ekstynkcje galaktyki supernowej założono $A_{V_GAL} = 0.03^m$. Dla filtru R te poprawki nie aplikują się, gdyż filtr R i filtr I są mniej wrażliwe na ekstynkcje międzygwiazdową.

6 Dyskusja i Podsumowanie

Na Rysunku 2 pokazano, że SN2017iuk pojaśniła się w paśmie widzialnym w okresie od 14 do 19 grudnia 2017 roku. Po tym czasie jasność zaczęła stopniowo maleć, co można wyjaśnić powolnym rozszerzaniem i ochładzaniem się materii wyrzuconej przez supernową. Zjawisko to powoduje przesunięcie maksimum emisji w kierunku fal podczerwonych oraz zmniejszenie jasności, co jest typowe dla tego rodzaju obiektów. Otrzymane niepewności wskazują na rozrzut jasności supernowej zarówno pomiędzy poszczególnymi blokami obserwacyjnymi, jak i w obrębie tych bloków. Może to wynikać z niepewności związanych z kolejnymi transformacjami i fotometrią aperturową, jak również z błędów w procesie redukcji danych oraz przyjętych założeń, takich jak na przykład współczynnik masy powietrznej. Należy również zauważyć, że SN 2017iuk znajduje się w galaktyce, co wymaga uwzględnienia jej jasności powierzchniowej jako potencjalnego źródła dodatkowych niepewności.

⁵<https://www.astro.ucla.edu/~wright/CosmoCalc.html>



Rysunek 2: Krzywa zmian blasku supernowej SN2017iuk w filtrach V (niebieski) i R (czerwony) dla poszczególnych dni obserwacji. Niektóre dni nie zostały przedstawione w związku z problemami technicznymi lub pogodowymi podczas obserwacji. Do istniejących danych z poszczególnych filtrów zostały dopasowane krzywe trzeciego rzędu (niebieska i czerwona).

Literatura

- D'Elia, V., Campana, S., D'Ai, A., et al. 2018, , 619, A66, doi: 10.1051/0004-6361/201833847
- Draper, P. W., Gray, N., Berry, D. S., & Taylor, M. 2014, GAIA: Graphical Astronomy and Image Analysis Tool, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1403.024
- D'Elia, V., Campana, S., D'Ai, A., et al. 2018, Astronomy and Astrophysics, 619, A66, doi: 10.1051/0004-6361/201833847
- Izzo, L., de Ugarte Postigo, A., Maeda, K., et al. 2019, , 565, 324, doi: 10.1038/s41586-018-0826-3
- Lupton, R., & Ivezić, Ž. 2005, in Astronomical Society of the Pacific Conference Series, Vol. 338, Astrometry in the Age of the Next Generation of Large Telescopes, ed. P. K. Seidelmann & A. K. B. Monet, 151
- Wang, J., Zhu, Z. P., Xu, D., et al. 2018, , 867, 147, doi: 10.3847/1538-4357/aae6c3

7 Supplement

Tabela 1: Lokalizacje oraz jasności w filtrach SDSS badanego obiektu oraz gwiazd porównawczych.

Typ obiektu	Główny obiekt	Wspierający obiekt 1
Nazwa obiektu	SN2017iuk	PSO J167.4407-12.6161
RA	167.41442	167.44073

Kontynuacja na następnej stronie

Tabela 1 – *Kontynuacja na poprzedniej stronie*

DEC	−12.58570	−12.61610
g	~ 19 – 21	17.134 ± 0.004
r	~ 19 – 21	16.794 ± 0.003
i	~ 19 – 21	16.662 ± 0.003
z	~ 19 – 21	16.642 ± 0.004

Table 2: Kontynuacja Tabeli 1

Typ obiektu	Wspierający obiekt 2	Wspierający obiekt 3
Nazwa obiektu	PSO J167.3848-12.6141	PSO J167.3803-12.6142
RA	167.38478	167.38029
DEC	−12.61407	−12.61423
g	18.594 ± 0.011	18.243 ± 0.008
r	18.056 ± 0.008	17.886 ± 0.004
i	17.832 ± 0.006	17.759 ± 0.004
z	17.770 ± 0.015	17.779 ± 0.005

Table 3: Tabela jasności widomych, ich niepewności pomiarowych oraz jasności absolutnych w systemie JC dla SN2017iuk

date	m _V	m _R	σ _V	σ _R	M _V	M _R
2017-12-08	13.892	14.163	0.268	0.563	-22.232	-21.804
2017-12-11	13.948	13.5	0.149	0.043	-22.176	-22.467
2017-12-12	13.823	13.447	0.045	0.06	-22.301	-22.52
2017-12-14	13.76	13.481	0.029	0.059	-22.364	-22.486
2017-12-15	13.672	13.343	0.417	0.018	-22.452	-22.624
2017-12-19	13.753	13.32	0.154	0.042	-22.371	-22.647
2017-12-20	13.794	13.292	0.026	0.009	-22.33	-22.675
2017-12-21	13.783	13.353	0.175	0.038	-22.341	-22.614
2017-12-22	13.827	13.32	0.029	0.022	-22.297	-22.647
2017-12-23	13.933	13.417	0.175	0.087	-22.191	-22.55
2017-12-25	13.999	13.46	0.237	0.101	-22.125	-22.507
2017-12-27	13.908	13.385	0.1	0.021	-22.216	-22.582
2017-12-29	13.981	13.419	0.036	0.083	-22.143	-22.548