

# Superbolidy: obiekt czelabiński

Tadeusz J. JOPEK\*

\*Obserwatorium Astronomiczne  
Uniwersytetu Adama Mickiewicza  
w Poznaniu

Bolid tunguski i związana z nim eksplozja miały miejsce w roku 1908 w niezamieszkałym rejonie centralnej Syberii. Pomimo pewnej liczby świadków zjawiska bolidu wiadomość o tym zdarzeniu powoli docierała do świata nauki. Pierwsza naukowa ekspedycja dotarła w rejon katastrofy dopiero po dziewiętnastu latach, w roku 1927. Na to, by wyniki kolejnych wypraw przeniknęły do wiadomości publicznej, potrzeba było kolejnych wielu lat.

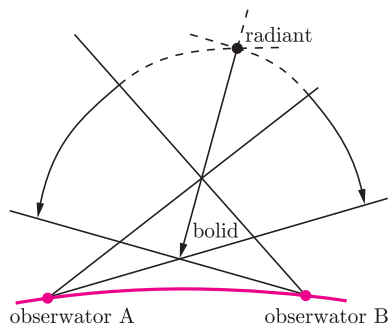
Jakże inaczej miała się sprawa z niedawnym spadkiem meteorytu pod Czelabińskiem w Rosji! 15 lutego 2013 roku o godzinie 9:20 czasu lokalnego (4:20 naszego czasu zimowego), do ziemskiej atmosfery wtargnął blisko dwudziestometrowej średnicy meteoroid, wywołując zjawisko superbolidu (bardzo jasnej „spadającej gwiazdy”). Wiadomość o tym zdarzeniu niemal natychmiast dotarła do opinii publicznej, a niespełna 12 godzin później rejestracje wideo bolidu oglądane były miliony razy na całym świecie. Natychmiast również zainteresowało się nim kilka grup naukowców z całego świata. W badaniach wykorzystano wykonane w różnych miejscach nagrania wideo bolidu, rejestracje wygenerowanych wybuchami fal atmosferycznych oraz obserwacje satelitarne. Poniżej podajemy niektóre rezultaty tych analiz uzyskane przez wytrwałych badaczy spadków meteorytowych z Obserwatorium Astronomicznego w Ondrzejewie w Czechach [1].



Fot. 1. Superbolid zarejestrowany przez przypadkowego obserwatora pod Czelabińskiem.

Moment pojawienia	15 lutego 2013, 03:20 UT
<b>Parametry geocentryczne</b>	
Współrzędne geograficzne początku bolidu	$\phi = 54,508 \text{ N}, \lambda = 64,913 \text{ E}$
Współrzędne geograficzne końca bolidu	$\phi = 54,922 \text{ N}, \lambda = 60,606 \text{ E}$
Azymut trajektorii w punkcie końcowym	$A = 279,5^\circ$
Nachylenie trajektorii do horyzontu w punkcie końcowym	$H = 16,5^\circ$
Radiant geocentryczny: rektascensja i deklinacja	$\alpha = 334,7^\circ, \delta = -1,0^\circ$
Szybkość geocentryczna	$V = 13,2 \text{ km/s}$
<b>Elementy orbity (J2000)</b>	
Półoś wielka	$a = 1,55 \text{ j.a.}$
Mimośród	$e = 0,5$
Argument peryhelium	$\omega = 109,7^\circ$
Długość węzła wstępującego	$\Omega = 326,41^\circ$
Nachylenie do ekliptyki	$i = 3,6^\circ$

Podana wartość azymutu liczona jest od punktu południa na lokalnym horyzoncie w kierunku punktu zachodu. Skala czasu UT odpowiada południkowi o zerowej długości geograficznej. W okresie zimowym momenty czasu na tym południku są przesunięte o +1 godzinę w stosunku do skali czasu obowiązującej w naszym kraju.



Radiant (czyli punkt przecięcia przedłużenia – po linii prostej – trajektorii ze sferą niebieską) bolidu obserwowanego przez dwóch obserwatorów. Płaszczyzny zawierające ślad bolidu i obserwatora przecinają się wzdłuż trajektorii bolidu.

Meteoroid czelabiński nadleciał z kierunku wschodniego, około 10 stopni na południe od punktu wschodu na horyzoncie, i „zapłonął” (początek zjawiska bolidu) 92 km nad powierzchnią Ziemi. Bolid poruszał się na północny zachód po trajektorii nachylonej do horyzontu w Czelabińsku pod kątem  $16,5^\circ$ . Długość obserwowanej trajektorii wynosiła 254 km, bolid przebył ją w 16,2 sekundy. W momencie początkowym szybkość meteoroidu wynosiła 17,5 km/s, w momencie końcowym zmniejszyła się do 4,3 km/s, kiedy to obiekt znajdował się na wysokości 15 km. Zaprezentowane wyniki mają charakter wstępny, jednak są na tyle dokładne, by móc stwierdzić, że meteoroid czelabiński poruszał się wokół Słońca po orbicie typowej dla tej klasy obiektów.

Jej rozmiary są półtora razy większe od orbity Ziemi, z mimośrodem (eliptycznością) dużo większym od mimośrodu orbity ziemskiej; w porównaniu z kometami orbita meteoroidu czelabińskiego nie jest jednak bardzo wydłużona. Podobnie do orbit innych superbolidów, jej nachylenie

do płaszczyzny orbity Ziemi jest niewielkie. Dwudziestometrowy obiekt, który wpadł do atmosfery, miał stosunkowo niewielką wytrzymałość mechaniczną, przez co w efekcie oddziaływania z atmosferą ulegał silnemu rozdrabnianiu. Towarzyszyły temu eksplozje atmosferyczne. Najsilniejszy rozbłysk i gwałtowna fragmentacja miały miejsce na wysokości 32 km. Były one wywołane ciśnieniem dynamicznym około 4 MPa. Zdaniem badaczy z Ondrzejowa największy fragment, który wpadł do Jeziora Czembarkulskiego, ma masę 200–500 kg. Inne, mniejsze odłamki w formie deszczu meteorytów rozproszone zostały wzdłuż rzutu trajektorii bolidu na obszarze  $65 \times 6$  km.



Fot. 2. Stugramowy odłamek meteorytu czelabińskiego.

Na odłamku pokazanym na fotografii 2 widzimy ślady po ablacji, czyli powierzchniowym topieniu i wydmuchiowaniu materii z powierzchni meteoroidu. Widoczne są zaokrąglone krawędzie, a także ciemna skorupka o grubości 0,2–0,5 mm utworzona w wyniku ablacji. Na egzemplarzach, które powstały w trakcie fragmentacji głównej masy po ustaniu świecenia bolidu, czyli w trakcie ciemnej fazy przelotu, skorupka jest znacznie cieńsza lub niewidoczna. Według wstępnej klasyfikacji mineralogicznej [5] meteoryt czelabiński jest meteorytem kamiennym, tzw. chondrytem zwyczajnym z grupy chemiczno-petrograficznej LL5. (Więcej szczegółów na temat klasyfikacji meteoroidów można odnaleźć w książce [6].) Jeśli chodzi o skład mineralogiczny oraz parametry orbitalne, meteoroid czelabiński niczym szczególnym się nie wyróżnia. Jednak jest na drugim miejscu po obiekcie tunguskim co do skutków eksplozji. Przyjmując podane wyżej rozmiary meteoroidu, jego szybkość w punkcie początkowym zjawiska bolidu, oraz zakładając gęstość około  $3 \text{ g/cm}^3$ , możemy oszacować energię kinetyczną obiektu. Jest ona równoważna energii eksplozji około 460 kT trotylu (TNT), czyli 20–30 razy więcej niż ilość energii uwolnionej podczas eksplozji bomby atomowej nad Hiroszimą. Podobnego oszacowania dokonano na podstawie infradźwięków wygenerowanych przelotem i eksplozją obiektu, a rejestrowanych przez czujniki umieszczone w różnych miejscach globu. Ciekawe, że wywołane eksplozją fale ciśnienia zdołały obieć dookoła całej Ziemi. Energia obiektu czelabińskiego nie została uwolniona w całości w jednym momencie: znaczną część zaabsorbowała atmosfera. Niemniej pośród obserwowanych superbolidów jedynie w trakcie katastrofy tunguskiej uwolniona została większa ilość energii. W rezultacie w Czelabińsku i okolicy fala uderzeniowa wywołana ruchem i eksplozją obiektu dokonała znacznych zniszczeń. Były to głównie wybite szyby okienne, a niekiedy uszkodzenia budynków. Jednak w następstwie tych zniszczeń ponad tysiąc osób zostało rannych. Nigdy wcześniej nie obserwowano bolidu, któremu towarzyszyłyby tak tragiczne wydarzenia. Na nasze szczęście obiekty podobne do meteoroidu czelabińskiego zderzają się z Ziemią niezbyt często, bo raz na około 75 lat [3].



#### Rozwiązanie zadania F 844.

Załamane promienia przy wejściu do kuli przy kącie padania  $\alpha$  i kącie załamania  $\beta$  spowoduje jego odchylenie od kierunku padania o kąt  $\alpha - \beta$ . Każde odbicie wewnątrz kuli spowoduje odchylenie jego kierunku o kąt  $\pi - 2\beta$ , zawsze w tę samą stronę. Wreszcie przy wyjściu z kuli promień w wyniku załamania odchyli się o kąt  $\alpha - \beta$ . Stąd całkowita kąt odchylenia po  $k$  odbiciach będzie równy:

$$\begin{aligned} d &= 2(\alpha - \beta) + k(\pi - 2\beta) = \\ &= k\pi + 2\alpha - 2(k + 1)\beta. \end{aligned}$$

Dodatkową i bardzo ważną konsekwencją superbolidu czelabińskiego jest zmiana, jakiej to wydarzenie dokonało w opinii publicznej (a także u niektórych naukowców) na temat konieczności uruchomienia intensywnych badań i projektów pozwalających na przewidywanie i zapobieganie przyszłym tego rodzaju zdarzeniom.

#### Literatura

- [1] J. Borovicka, P. Spurny, L. Shrbeny, 2013, C.B.A.T., Electronic Telegram No 3423.
- [2] J.I. Zuluaga, I. Ferrin, 2013, arXiv:1302.5377v1 [astro-ph.EP] 21 Feb. 2013.
- [3] P. Brown, 2013, WGN, Journal of the IMO, 41:1, 22.
- [4] NASA news, [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/asteroids/news/asteroid20130215.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/asteroids/news/asteroid20130215.html).
- [5] Svend Buh, [http://www.meteorite-recon.com/en/Meteorite\\_Chelyabinsk.1.html](http://www.meteorite-recon.com/en/Meteorite_Chelyabinsk.1.html).
- [6] B. i H. Hurnik, *Materia kosmiczna na Ziemi, jej źródła i ewolucja*, UAM Wyd. Naukowe, 2005.