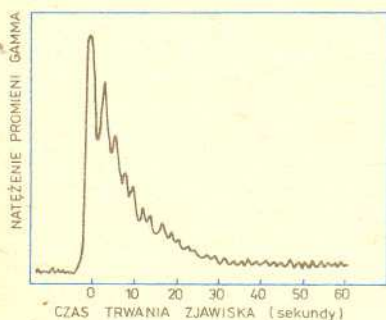
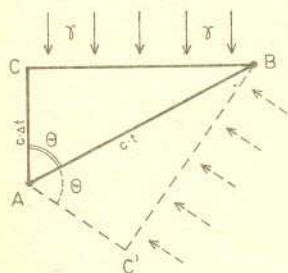


Doc. dr Tadeusz JARZĘBOWSKI



Rys. 1. Przebieg rozbłysku z 29 października 1977 roku.

Od redakcji: rozbłysk ten nastąpił dokładnie w dniu 50. rocznicy urodzin Autora artykułu.



Rys. 2

W majowym numerze *Delty* pisałem o promieniowaniu gamma z kosmosu. Omówiłem tam ważniejsze źródła tego promieniowania z pominięciem dość intrygującego tematu, jaki stanowią sporadyczne rozbłyski. Dla ilustracji – przebieg jednego z takich rozbłysków przedstawia rysunek 1.

Historia odkrycia tego zjawiska jest osobliwa. Pod koniec lat sześćdziesiątych Stany Zjednoczone umieściły na orbitach okołoziemskich satelity w celu prowadzenia kontroli nad przestrzeganiem układu o zakazie prób jądrowych w atmosferze i przestrzeni kosmicznej. Na satelitach zainstalowana była aparatura do rejestrowania promieniowania gamma, które zawsze powstaje przy eksplozjach jądrowych. Otóż rozbłyski takiego promieniowania rzeczywiście wykryto, ale okazało się, iż nie pochodzą one .....znad Kazachstanu, lecz skądś z głębin Wszechświata. Sprawa przestała więc być tajemnicą wojskową; w 1973 roku ukazał się w *Astrophysical Journal* artykuł pod znamienym tytułem: *Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin*. Zjawiskiem zajęli się odąd astronomowie.

Lokalizację takich rozbłysków przeprowadza się w sposób względnie prosty, chociaż trochę nietypowy, stosując swego rodzaju triangulację. We wspomnianym artykule pisałem, że kierunek, z którego dochodzi do nas promieniowanie gamma, określa się przy użyciu „teleskopu” wyposażonego w komorę iskrową (gdzie kwant gamma materializuje się w postaci pary pozyton – elektron). Ale w przypadku, gdy źródło nie świeci w sposób ciągły, lecz jest tylko krótkotrwałym rozbłyskiem, jego pozycję można określić za pomocą bardziej prozaicznych detektorów, nie wyróżniających kierunków. Istota zagadnienia polega tu jednak na tym, iż musimy dysponować kilkoma takimi detektorami, możliwie jak najbardziej od siebie oddalonymi.

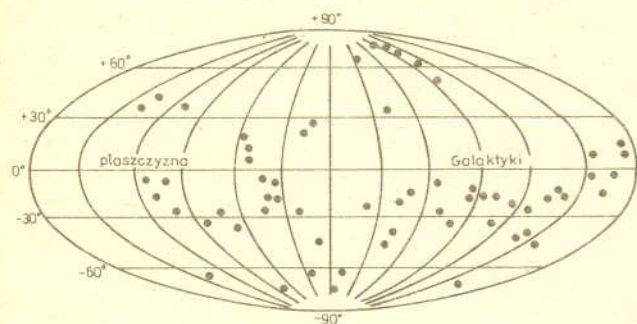
Spójrzmy na rysunek 2. Strzałki wyznaczają kierunek, z którego nadbiega promieniowanie. W punktach A i B znajdują się detektory. Nadejście rozbłysku zarejestruje najpierw detektor B, a po upływie czasu  $\Delta t$  detektor A. Można tu zatem określić kąt  $\theta$ , zawarty między prostą łączącą oba detektory a kierunkiem biegu promieni:

$$\cos \theta = \frac{AC}{BC} = \frac{c\Delta t}{ct} = \frac{\Delta t}{t},$$

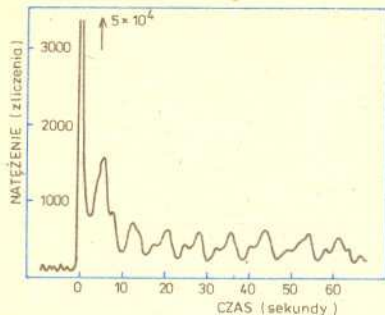
gdzie  $c$  jest prędkością światła, a  $t$  czasem, w ciągu którego światło przebiegłoby odległość dzielącą detektory A i B. Zwróćmy jednak uwagę, że tę samą wartość kąta otrzymamy, gdyby promieniowanie nadchodziło np. z kierunku oznaczonego przerywanymi strzałkami czy też z każdego innego kierunku tworzącego kąt  $\theta$  z prostą łączącą detektory. Za pomocą dwóch detektorów lokalizujemy zatem źródło rozbłysku na pewnym okręgu na sferze niebieskiej.

A teraz założmy, że dysponujemy większą liczbą detektorów. Jeżeli moment nadejścia rozbłysku zarejestrują trzy detektory, będziemy mogli skonstruować dwa okręgi, a z ich przecięcia otrzymamy dwa punkty. Trzy detektory redukują zatem możliwe miejsce rozbłysku do dwóch punktów na sferze niebieskiej. No i samo nasuwa się już zdanie ostatnie, że o tym, z którego z tych dwóch punktów nadeszło promieniowanie, rozstrzygnie czwarty detektor.

Pierwotnie detektory, jeszcze tamte wojskowe, umieszczane były na satelitach obiegających naszą planetę w odległości około 120 tysięcy kilometrów (około 1/3 drogi do Księżycy). Była to seria satelitów o nazwie Vela. Ponieważ lokalizacja rozbłysku jest tym dokładniejsza, im większa jest odległość między detektorami, zaangażowano następnie do tego programu również i dalsze sondy.



Rys. 3. Rozmieszczenie rozbłysków na sferze niebieskiej. Liczby podają odległość kątową od płaszczyzny Galaktyki.



Rys. 4. Przebieg rozbłysku z 5 marca 1979 roku. Główne maksimum wybiega poza skalę osiągając wartość wskazaną przez strzałkę.



**Rozwiązanie zadania M 561.** Jeśli zaszło zdarzenie, o którym mowa w zadaniu, to pierwsza reszka pojawia się najpóźniej w trzecim rzucie, tj. ciąg rozpoczyna się od R, OR lub OOR. Wzór na prawdopodobieństwo całkowite daje wtedy

$$(*) \quad p_n = \frac{1}{2}p_{n-1} + \frac{1}{4}p_{n-2} + \frac{1}{8}p_{n-3},$$

przy czym  $p_0 = p_1 = p_2 = 1$ . Podobnie jak w zadaniu M 559 znajdujemy wzór na  $f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n z^n$  (tutaj  $|z| < 1$ , gdyż

$p_n \leq 1$ ): po pomnożeniu obu stron (\*) przez  $z^n$  i wzięciu sumy dla  $n = 3, 4, \dots$  otrzymamy

$$\begin{aligned} f(z) - 1 - z - z^2 &= \\ &= \frac{z}{2}(f(z) - 1 - z) + \\ &+ \frac{z^2}{2}(f(z) - 1) + \frac{z^3}{8}f(z), \end{aligned}$$

skąd

$$f(z) = \frac{2z^2 + 4z + 8}{8 - 4z - 2z^2 - z^3}.$$

Wielomian w mianowniku ma jeden pierwiastek rzeczywisty  $a \approx 1,087$  oraz dwa zespolone,  $b$  i  $c$ . Ze wzorów Viète'a  $|a| |b| |c| = 8$ , ponadto  $|b| = |c|$ , zatem  $|b| = |c| > |a|$ . Metoda, zastosowana w zadaniu M 560, daje

$$f(z) = \frac{A}{z-a} + \frac{B}{z-b} + \frac{C}{z-c}$$

i

$$p_n = -\frac{A}{a^{n+1}} - \frac{B}{b^{n+1}} - \frac{C}{c^{n+1}}.$$

Ponieważ  $|a| < |b| = |c|$ , pierwszy wyraz jest dominujący dla dużych  $n$  i otrzymujemy

$$\frac{p_{n+1}}{p_n} \rightarrow \frac{1}{a} < 1, \quad \text{c.n.d.}$$

**Uwaga.** Można wykazać, że

$p_n \approx \frac{1,237}{(1,087)^{n+1}}$ . Dokładność jest dobra nawet dla niedużych  $n$ , np.  $p_4 = 0,8125$ , podczas gdy nasze przybliżenie daje 0,814.

Na przykład rozbłysk z 5 marca 1979 roku (rys. 4) został zarejestrowany przez detektory dziewięciu różnych statków kosmicznych. Była wśród nich zdrażająca ku Słońcu sonda Helios, był satelita planety Wenus (Pioneer Venus Orbiter), były sondy Wenus 11 i Wenus 12, był też znajdujący się na orbicie International Sun-Earth Explorer. Pozycja tego rozbłysku została określona z dokładnością do około 1'.

Zaobserwowano już około tysiąca rozbłysków promieniowania gamma. Detektory na sondach kosmicznych rejestrują każdego roku około setki nowych. Z jakich rejonów Wszechświata te rozbłyski pochodzą? Czym są, jaka jest ich natura? Pewne wskazówki w odniesieniu do pierwszego pytania wynikają z miejsc ich pojawiania się na niebie. Na rysunku 3 przedstawiona jest sfera niebieska, gdzie zaznaczono miejsca ponad 60 rozbłysków (tych dokładniej zlokalizowanych). Jest to w układzie współrzędnych galaktycznych, gdzie płaszczyzną odniesienia jest płaszczyzna naszej Galaktyki. Otóż nie dostrzega się żadnej wyraźnej koncentracji punktów wokół tej płaszczyzny. Nasuwa się stąd dość logiczny wniosek, że zjawiska te powstają albo bardzo blisko nas, albo też źródła tych rozbłysków usytuowane są daleko poza naszą Galaktyką.

Wybór – bliskie czy dalekie – pociąga za sobą bardzo istotne wnioski natury energetycznej, gdyż im dalszy obiekt, tym więcej musiałby emitować energii. Wykonajmy proste obliczenie. Energia, jaką odbieramy tu, w pobliżu Ziemi, od bardziej intensywnych rozbłysków, wynosi około  $10^{-3}$  erg/cm<sup>2</sup>. Gdyby źródło rozbłysku znajdowało się w odległości takiej, jak najbliższa gwiazda, tj. parę lat świetlnych, czyli około  $10^{18}$  cm, to oświetlałoby powierzchnię kulistą o takim promieniu. Musiałoby zatem wyemitować energię  $4\pi(10^{18})^2 \cdot 10^{-3}$ , czyli około  $10^{34}$  ergów. Jest to spora energia, jeśli zauważymy, że nasze Słońce, we wszystkich zakresach fal, emituje łącznie  $4 \cdot 10^{33}$  ergów na sekundę.

Jeżeli natomiast źródło rozbłysku miało być w odległościach równych najbliższym galaktykom, czyli byłoby odległe o jakieś  $10^6$  lat świetlnych, to podobny rachunek wskazuje, iż rozbłysk niósłby energię rzędu  $10^{46}$  ergów. A takie ilości energii emituje nasza gwiazda w ciągu setek tysięcy lat! Dodajmy jeszcze w tym miejscu, iż wysuwane są też sugestie, że źródła tych rozbłysków są na odległościach kosmologicznych, a to pociągałoby za sobą emisję energii rzędu  $10^{51}$  ergów w czasie rzędu sekundy. Byłyby to zatem obiekty jaśniejsze nawet od kwazarów.

A teraz to drugie pytanie. Jaka jest natura tych obiektów, czym są? Jedno można stwierdzić od razu, iż muszą to być ciała o niewielkich rozmiarach. Taka odpowiedź nasuwa się ze spojrzenia na przebieg zjawiska (rys. 1 i 4). Cały rozbłysk trwa krótko, a na krzywej blasku pojawiają się bliski trwające zaledwie ułamki sekundy. Tego typu krótkotrwałe zjawiska zamazałyby się, gdyby to był obiekt o rozmiarach np. normalnej gwiazdy. Powinien to być zatem jakiś obiekt skondensowany – może biały karzeł, może gwiazda neutronowa? Raczej to drugie. Obserwowane przez nas rozbłyski mogłyby być zatem jakimiś poważniejszymi zdarzeniami zachodzącymi na gwiazdach neutronowych.

Za gwiazdą neutronową przemawia m.in. wspomniany już rozbłysk z 5 marca 1979 roku (rys. 4). Z przebiegu zjawiska widzimy, iż po pierwszym intensywnym maksimum na krzywej blasku pojawia się kilka kolejnych pojaśnień, następujących z okresowością około 8 sekund. Nasuwa się tu taka oto interpretacja: na obracającej się w okresie 8 sekund gwiazdzie neutronowej nastąpił jakiś wybuch i zjawisko to było widoczne przez kilka kolejnych obrotów. Obserwowaliśmy więc coś w rodzaju krótkotrwałego pulsara.

Ten marcowy rozbłysk wniósł coś jeszcze. Jak wspomnieliśmy, jego pozycja została wyznaczona bardzo dokładnie. Otóż w tym miejscu na niebie, skąd doszło promieniowanie gamma, znajduje się pozostałość po wybuchu supernowej w Wielkim Obłoku Magellana. Jeżeli ta zgodność pozycji nie jest przypadkowa, byłby to jedyny rozbłysk o znanej odległości. I, jak z tego wynika, znajdowałby się w sąsiedniej galaktyce.

Na koniec pytanie dość zasadnicze. Jakie zjawisko byłoby źródłem energii rozbłysku? Co działałoby się na takiej gwiazdzie skondensowanej? Teorii było i jest bardzo dużo – na przykład wybuch jądrowy na powierzchni, upadek planetoidy czy komety na gwiazdę neutronową itp. Przed paroma laty ktoś napisał, że liczba teorii przekracza liczbę znanych rozbłysków. Dziś już tak nie jest, niemniej problem pozostaje otwarty.