

Kosmiczny ostrzał Ziemi

Krzysztof ZIOŁKOWSKI

Od dawna wiadomo, że Ziemia jest stale bombardowana materią kosmiczną. Najnowsze oceny, opublikowane w 1992 roku przez czeskiego astronoma Zdenka Ceplechę, wskazują, że – biorąc pod uwagę najszerszy zakres mas od 10^{-21} kg (najmniejsze rejestrowalne cząstki pyłu kosmicznego) do 10^{15} kg (typowe komety i planetoidy mogące zbliżyć się do Ziemi), całkowity strumień materii napływającej na całą powierzchnię naszej planety wynosi $1,7 \times 10^8$ kg na rok. Zasadniczy wkład do niego wnoszą, naturalnie, największe obiekty o rozmiarach rzędu kilometrów. Prawdopodobieństwo uderzenia ich w Ziemię jest jednak bardzo małe. Pomijając je więc, czyli uwzględniając jedynie pył kosmiczny oraz tzw. meteoroidy (czyli bryłki materii o masach – jak przyjęto umownie – do 10^4 kg), oszacowano, że w ciągu doby do atmosfery ziemskiej dostaje się średnio kilkaset kilogramów materii kosmicznej. Niewiele z niej zdoła dotrzeć do powierzchni Ziemi. Ale średnio raz na kilka dni trafia się kilkukilogramowy obiekt, który – jeśli ma stosunkowo niewielką prędkość – może przeżyć przelot przez atmosferę i spaść na powierzchnię Ziemi jako meteoryt. Większość z nich trafia, oczywiście, do oceanów i na tereny nie zaludnione, a więc nic dziwnego, że pozostaje najczęściej nie zauważona. Czasem bywa jednak inaczej.

14 stycznia 1993 r. o godzinie $17^h 59^m 50^s$ UT (czasu uniwersalnego) w Jerzmanowicach koło Krakowa coś niezwykle uderzyło w tamtejszą „Babią Skalę”. Odlamki zostały rozrzucone w promieniu ponad 150 m, zniszczone zostały dachy budynków i wszystko, co było w pobliżu. Potężny impuls elektromagnetyczny przepalił bezpieczniki w domach i odbiornikach telewizyjnych. W odległym o 3,4 km obserwatorium sejsmologicznym zarejestrowano dwa silne wstrząsy. Po drugim zniszczona została antena do odbioru sygnałów czasu i dwa sejsmografy. Na dużym obszarze od Zawoi, Chrzanowa i Krakowa widziano wówczas przelot ogromnej kuli ognistej. Na Rynku Krakowskim przez ułamek sekundy było jasno jak w dzień. . .

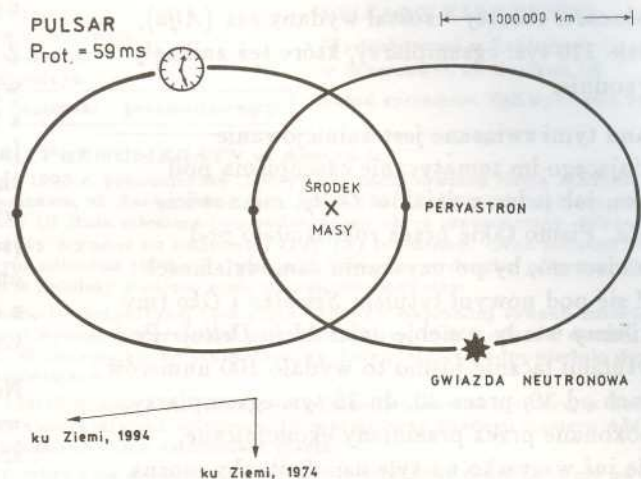
Rewelacyjny pulsar (rówieśnik Delty)

Tadeusz JARZĘBOWSKI

Na imię mu PSR 1913+16. Gdy odnajdywał go na niebie 300-metrowy teleskop z Arecibo, w Warszawie drukowały się pierwsze numery *Delty*. Od śmierci Einsteina mijało już wówczas drugie dziesięciolecie; można tylko wyobrazić sobie, jaką radość sprawiłoby to odkrycie twórcy teorii względności. Ta dostrzeżona podówczas gwiazda neutronowa okazała się wspaniałym laboratorium do badania wynikających z jego teorii subtelnych odstępstw od fizyki Newtona. Sygnały radiowe, nadbiegające od tego pulsara, w pełni potwierdzają przewidywane przez teorię Einsteina zjawiska.

Pulsar ten wchodzi w skład układu podwójnego (rys. 1); mamy tu do czynienia z małżeństwem dwóch gwiazd neutronowych. Wyjątkowe znaczenie tego układu dla fizyki relatywistycznej wynika z trzech faktów:

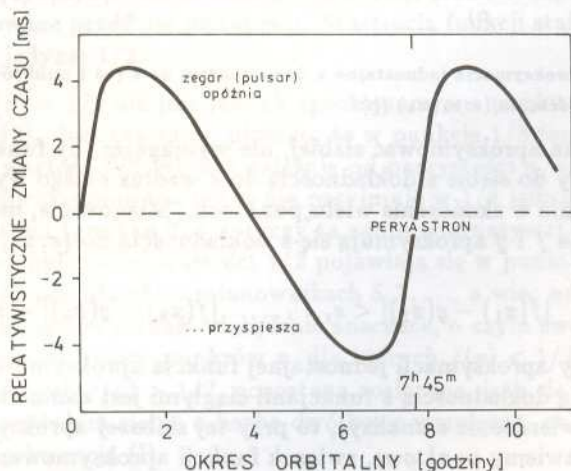
- 1) odległość gwiazd jest bardzo mała,
- 2) z uwagi na znaczny mimośród (0,62) odległość ta podlega dużym wahaniom,
- 3) w układzie znajduje się naturalny, bardzo precyzyjny zegar; jednostką czasu jest tu okres rotacji gwiazdy neutronowej, „tyknięciami” zaś – pulsy rejestrowane przez radioteleskopy.



Rys. 1. Układ podwójny zawierający pulsar PSR 1913+16. Zwróćmy uwagę na małe rozmiary orbity, kilka tysięcy razy mniejsze od rozmiarów Układu Słonecznego. Okres obiegu gwiazd wynosi tu $7^h 45^m$. Strzałki ukazują tempo relatywistycznego obracania się układu w przestrzeni.

W myśl teorii, mierzone interwały czasu zależą od względnej prędkości obserwatora i zegara (efekt szczególnej teorii względności) oraz od względnej pozycji obserwatora i zegara w polu grawitacyjnym (ogólna teoria względności). W przypadku naszego pulsara ujawniają się obydwie te efekty. Pierwszy wiąże się z ruchem obiegowym pulsara na orbicie; nazywamy to dylatacją czasu, którą określa wielkość $(v/c)^2$. Co się zaś tyczy teorii ogólnej, wpływu grawitacji, to chodzi tu, oczywiście, o oddziaływanie tej drugiej gwiazdy; jej pole grawitacyjne modyfikuje rejestrowane przez nas wskazania zegara-pulsara. Wielkość wynikającego stąd relatywistycznego efektu czasowego zależy od masy M tej gwiazdy oraz od odległości r , jaka dzieli tę gwiazdę od pulsara. Charakterystycznym czynnikiem jest w tym przypadku wielkość GM/rc^2 .

Oszacujemy obydwa efekty. Przy tak niewielkich odległościach prędkości orbitalne są znaczne; prędkość v oscyluje tu między 100 a 400 km/s. Mamy zatem $(v/c)^2 \approx 10^{-6}$. Prosty rachunek wskazuje, że czynnik GM/rc^2 jest również tego rzędu wielkości (masa tej gwiazdy wynosi 1,4 masy Słońca, odległość zaś między gwiazdami zmienia się w trakcie obieganania od około 800 000 do 3 300 000 km). Wpływ na jednostkę czasu prędkości i pola grawitacyjnego jest zatem porównywalny. Łatwo też zauważyć, że obydwa efekty działają zgodnie, w tym samym kierunku; największe odstępstwa między pulsami zarejestrujemy, gdy gwiazdy znajdują się najbliżej siebie, tj. w peryastronie. Działania te kumulują się, w sumie owo okresowe przyspieszanie i opóźnianie zegara dochodzi do ponad 4 ms (rys. 2).



Rys. 2. Przebieg wywołanych efektami relatywistycznymi obserwowanych zmian chodu zegara (częstotliwości pulsara). Krzywa przedstawia rejestrowane odstępstwa w stosunku do hipotetycznego pulsara, obiegającego drugą gwiazdę z jednakową prędkością i w niezmienniej odległości.

Zwróćmy uwagę na niezwykle wysoką dokładność tego kosmicznego zegara. Jego okres równy 59 ms to 16,94 obrotów gwiazdy na sekundę. Otóż ta częstotliwość pulsacji wyznaczona tu została z dokładnością do 12. miejsca po przecinku – i w tych granicach nie stwierdzono żadnych nieregularności. Pod względem dokładności pulsar ten może więc konkurować ze współczesnymi zegarami atomowymi.

Niezależnie od przedstawionych tu relatywistycznych zmian czasu w układzie tym równie spektakularnie ujawniają się i dwa inne przewidziane teorią zjawiska. Jednym z nich jest omawiane już na łamach *Delty* (Nr 8, 1991) skracanie orbity, znane pod nazwą ruchu peryhelium (w tym przypadku: peryastronu); ukazane to zostało na rysunku 1. A tym drugim jest emisja fal grawitacyjnych; emisja ta zachodzi na koszt energii ruchu obiegowego, czego następstwem jest kurczenie się orbity o 3,5 metra i skracanie okresu obiegu o prawie 10^{-4} sekundy rocznie.

Sygnaly od tego pulsara radioteleskopy odbierają już od blisko dwóch dziesięcioleci. Analiza danych wskazuje na zgodność przebiegu wymienionych trzech zjawisk z teorią Einsteina w granicach 0,5%.

Dodajmy na koniec, że nasz dwudziestolatek doczekał się już młodszego, trzyletniego braciszka. Jest to bardzo podobny układ podwójny z 38-milisekundowym pulsarem, któremu na imię PSR 1534+12. W układzie tym tak samo ujawniają się wymienione trzy relatywistyczne zjawiska. Ponadto można tu dokładniej badać jeszcze inny, wynikający z krzywizny czasoprzestrzeni efekt: opóźnianie fali elektromagnetycznej przy przechodzeniu w pobliżu masywnego ciała.

Z analizy zniszczeń wynika, że meteoroid miał masę końcową około 2 kg i nie został wyhamowany w atmosferze. Uderzył w skałę z prędkością około 19,5 km/s. Miał najprawdopodobniej średnicę 11 cm i gęstość 3,4 g/cm³. Kula ognista widziana w Krakowie, Chrzanowie, Zawoi, Szklarach i Rudawie osiągnęła maksymalną jasność około -22 mag. W końcowej sekundzie lotu, gdy zmieniała barwę z jasnoczerwonej na ciemnoczerwoną, jasność wizualna przewyższała jasność Księżyca w pełni i wynosiła -15 mag.

Tak opisał niezwykle wydarzenie krakowski astronom dr Krzysztof Włodarczyk w liście do Centrum Badań Kosmicznych. Choć do dziś nie ustalono definitywnie, co się stało w Jerzmanowicach, to jednak całe zdarzenie wydaje się być dobrą ilustracją konsekwencji stosunkowo częstego zjawiska, jakim jest spadek na Ziemię niewielkiej bryłki materii kosmicznej.

Uderzenie w Ziemię większego obiektu, o rozmiarach rzędu kilkudziesięciu metrów, następuje – według najnowszych oszacowań – średnio co kilkaset lat, natomiast spadek na obszary gęsto zaludnione i miejskie – nawet co kilkaset tysięcy lat. Przykładem takiego wydarzenia, które – jak się dziś sądzi – było spadkiem na Ziemię małej planetoidy lub fragmentu komety, jest słynna katastrofa tunguska. Rankiem 30 czerwca 1908 roku w okolicach syberyjskiej rzeki Podkamienna Tunguska, na wysokości około 10 km nad powierzchnią Ziemi, nastąpił wybuch, który zniszczył tajgę na obszarze ponad 2000 km² oraz uszkodził wiele domów w oddalonym około 65 km osiedlu. Stacja seismologiczna, znajdująca się w położonym około 1000 km na południe od miejsca eksplozji Irkucku, zarejestrowała wstrząs o sile 4,5 stopnia; trzęsienie Ziemi w tym dniu odnotowały także obserwatoria w Jenie i w Londynie. W nocy z 30 czerwca na 1 lipca w Europie i w Azji dostrzeżono świecenie nieba. Obserwacje spektroskopowe tego niezwykłego zjawiska wykluły jego podobieństwo do zorsy polarnej. Analiza skutków wydarzenia doprowadziła do wniosku, że w wyniku eksplozji została wydzielona energia równa energii wybuchu około 16 megaton trotylu (TNT), czyli 800 razy więcej niż w przypadku bomby atomowej zrzuconej (wiele lat później) na Hiroszimę (patrz zadanie 371).

Katastrofę tunguską spowodował wybuch nad powierzchnią Ziemi i dlatego jej skutkiem było tylko powalenie tajgi