

O paradoksach w astronomii

Michał BEJGER

Ciemność nocnego nieba jest paradoksalna, gdy założymy, że Wszechświat jest *wieczny* i *nie skończony* – patrząc w dowolnym kierunku, powinniśmy wtedy zawsze zobaczyć *jakąś* gwiazdę.

Sprzeczność w paradoksie bliźniąt wynika z błędnego zrozumienia założeń szczególnej teorii względności, tj. niewyróżniania układów odniesienia (bliźniak-podróżnik łamie tę zasadę).

Ciąg główny to pierwsza faza ewolucji gwiazdy, podczas której w jądrze „palony” jest wodór.

Paradoksem w naukach przyrodniczych nazywa się najczęściej zaskakujący wynik hipotezy, która okazuje się nieprawdziwa z powodu zbyt odważnie, a często nieświadomie czynionych założeń. Historia astrofizyki dostarcza wielu znanych przykładów, wśród nich np. paradoks Olbersa (dlaczego nocne niebo jest ciemne?) czy paradoks bliźniąt (czemu jeden z braci po powrocie z podróży relatywistyczną raketą jest młodszy od tego, który został na Ziemi, skoro poruszali się względem siebie z tą samą prędkością?). Poniżej zamieściliśmy kilka innych astronomicznych sprzeczności, podając również wytłumaczenie, gdy jest to możliwe.

Gwiazdy podwójne typu Algola

Większość gwiazd, które widzimy na nocnym niebie, znajduje się w układach podwójnych. Rozdzielone zaćmieniowe układy podwójne, w których krzywa zmian blasku składa się głównie z niezaćmionego światła obu gwiazd, przerywanego czasami ostrym zaćmieniem, nazywa się układami zaćmieniowymi typu Algola (pierwowzorem tej klasy jest Algol, β Persei, znany jako gwiazda zmienna od XVII w.). Zachowanie się układów podwójnych umożliwia badanie ewolucji gwiazd i tempa zachodzących w nich zmian. Zmiany te zależą np. od początkowej masy gwiazdy (im większa masa na ciągu głównym, tym szybsza ewolucja). Jako że gwiazdy układu powstały w tym samym czasie, mniej masywna gwiazda ewoluowała wolniej niż jej bardziej masywny towarzysz. Bardzo często zdarza się natomiast, że jest odwrotnie – masywna gwiazda znajduje się wciąż na ciągu głównym, podczas gdy mniej masywna jest już na gałęzi olbrzymów, rozpoczynając palenie helu w jądrze. Obserwowana sprzeczność z „regułami sztuki” jest spowodowana *transferem masy* z obecnie mniej masywnej do bardziej masywnej gwiazdy. Gwiazdowy *lifting* sprawia, że oszacowanie tempa ewolucji (a zatem wieku) składników układu „zamienia się” miejscami.

Paradoks Fermiego

„Gdzie Oni są?”, pytanie zadane w połowie poprzedniego stulecia przez słynnego fizyka Enrico Fermiego jest zwięzłym podsumowaniem dotychczasowego braku sukcesu prób nawiązania kontaktu z pozaziemskimi cywilizacjami (a przynajmniej stwierdzenia, czy w ogóle istnieją). Wciąż aktualne pytanie, zwane również problemem *Silentium Universi*, można zilustrować także za pomocą *równania Drake’a*, które w najprostszej formie liczbę okolicznych cywilizacji szacuje następująco:

$$N = R f_p n_e f_i T,$$

gdzie R to liczba nowych gwiazd powstających w Galaktyce w ciągu roku, f_p – procent gwiazd, wokół których powstają planety, n_e – średnia liczba planet w danym układzie, na których może powstać życie, f_i – prawdopodobieństwo powstania na umożliwiającej życie planecie inteligentnej i technologicznie zaawansowanej cywilizacji, zdolnej do nawiązania kontaktu, T – czas, w którym taka cywilizacja wysyła sygnały w Kosmos. Dla $R = 10$, $f_p = 1/2$, $n_e = 2$, $f_i = 10^{-4}$ oraz $T = 10^4$ lat Drake otrzymał dość optymistyczne $N = 10$. Oczywiście, diabeł tkwi w szczegółach i nie znając niektórych parametrów (n_e , f_i), nie jesteśmy w stanie udzielić miarodajnej odpowiedzi. Zakładając jednak, że w naszej Galaktyce istnieją obce cywilizacje o tempie rozwoju podobnym do naszego (tzn. takie, które są bądź wkrótce będą zdolne podróżować między gwiazdami z prędkością dużo mniejszą od prędkości światła), wydaje się dziwne, że cała Galaktyka nie została jeszcze skolonizowana – szacowany czas kolonizacji nawet przy „powolnych” metodach transportu wynosi około 50 mln lat, czyli mgnienie oka w gwiazdowej skali czasu. Czy zatem czas życia cywilizacji jest na tyle krótki, że zwykle nie jest ona w stanie wydostać się z macierzystej planety? A może Obcy są tak odmienni od nas, że w ogóle



Wiadomość wysłana w 1974 r. z teleskopu Arecibo w kierunku gromady Herkulesa (M13). Frank Drake zawarł w niej m.in. schemat struktury DNA, układu planetarnego oraz wizerunek człowieka.

Posługując się słowami bohatera książki pt. *Kontakt* Carla Sagana (nb. również twórcy wiadomości z Arecibo), byłoby to okropne marnotrawstwo miejsca.

nie mamy szans nawiązać z nimi kontaktu? Przeciętą galaktyka, podobna do naszej, zawiera około 10^{11} gwiazd; szacuje się, że galaktyk we Wszechświecie jest również około 10^{11} , co daje 10^{22} gwiazd – wydaje się co najmniej podejrzane, iż inteligentne życie, zdolne do stworzenia cywilizacji technicznej, powstało jedynie na Ziemi. Wydaje się jednak, że współczesne misje satelitarne (np. teleskop Kepler), odkrywające coraz bardziej podobne do Ziemi planety, umożliwią w końcu odpowiedź na postawione przez Fermiego pytanie.

Relatywistyczne dżety

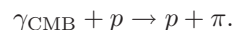
Każda z aktywnych galaktyk (kwazarów, z ang. *quasi-stellar objects*) zawiera w swym jądrze supermasywną czarną dziurę, która akreując okoliczną materię, jest bardzo wydajnym źródłem energetycznego promieniowania. Czarne dziury są (tak się przynajmniej obecnie uważa) odpowiedzialne również za „produkowanie” relatywistycznych strug plazmy, wyrzucanych ponad powierzchnię dysku galaktyki na odległości kilo-, a nawet megaparseków. Pomiar prędkości tych strug (dżetów, z ang. *jets*) przynosi czasami zaskakujące rezultaty – prędkość propagacji większą od prędkości światła w próżni! Fenomen ten wyjaśnia się na podstawie geometrii zjawiska w następujący sposób: rzut prędkości dżetu na sferę niebieską (składową prędkości prostopadłą do kierunku obserwacji) można zapisać jako

$$v_p = \frac{\beta c \sin \theta}{1 - \beta \sin \theta},$$

gdzie $\beta = v/c$ jest prawdziwą prędkością dżetu w jednostkach prędkości światła c , a θ jest kątem pomiędzy osią dżetu i kierunkiem do obserwatora. Maksymalna prędkość $v_{p,\max} \sim c\gamma$ (gdzie γ jest czynnikiem Lorentza, $\gamma = 1/\sqrt{1 - \beta^2}$) może być dużo większa od c ! Paradoksalny pomiar nadświatlnych prędkości dżetów jest w rzeczywistości potwierdzeniem ich relatywistycznych prędkości, $v \approx c$. Pozornie sprzeczny ze zdrowym rozsądkiem efekt został przewidziany teoretycznie przez Martina Reesa w latach 60. XX wieku. Nadświatne prędkości wypływu strug wykryto od tego czasu w przypadku wielu aktywnych jąder galaktyk, a także obiektów bliższych Ziemi, jak w przypadku *mikrokwazara* GRS 1915+105 (układu podwójnego z czarną dziurą o masie ok. $15 M_\odot$).

Energetyczne promieniowanie kosmiczne

Na co dzień nie zdajemy sobie z tego sprawy, ale nasza planeta jest nieustannie bombardowana wysokoenergetycznymi cząstkami, zwanymi *promieniowaniem kosmicznym*. Cząstki te (głównie protony) oddziałują z atomami atmosfery, produkując efektowne pęki krótkożyjących mionów, obserwowanych następnie przez detektory typu AGASA czy Auger. Pochodzenie promieniowania kosmicznego jest wciąż owiane tajemnicą; przy założeniu, że pochodzi ono z odległych źródeł, można jednak otrzymać górne ograniczenie na ich energię – nie może być ona większa od energii granicznej, przy której cząstki zaczynają oddziaływać z fotonami promieniowania relikтового tła, γ_{CMB} , produkując piony



Teoretyczna granica energii (granica GZK, Greisena–Zatsepina–Kuzmina) wynosi $5 \cdot 10^{19}$ eV; w ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat, za pomocą różnych urządzeń obserwowano natomiast zjawiska wielokrotnie bardziej energetyczne ($3 \cdot 10^{20}$ eV; taką energię kinetyczną ma piłka tenisowa lecąca z prędkością 150 km/h!). Proponuje się kilka wytłumaczeń „dziwnych” obserwacji; od prozaicznego błędu pomiarowego (wadliwej interpretacji danych detektora) poprzez założenie, że cząstki są przyspieszane przez *lokalne* źródło energii, aż do rozważenia bardziej masywnych od protonów cząstek, np. cięższych jąder atomowych.

Przedstawione powyżej paradoksy pełnią bardzo szczególną rolę w rozwoju astrofizyki. Krytyczne studiowanie założeń prowadzących do – często pozornie – sprzecznych ze zdrowym rozsądkiem wyników przyczynia się bowiem do ulepszenia istniejących teorii i pełniejszego zrozumienia praw fizyki rządzących obserwowanym przez astronomów Wszechświatem.

Akeno Giant Air Shower Array w Japonii, Pierre Auger Observatory w Argentynie.

Promieniowanie reliktowe tła powstało w momencie oddzielenia się światła od materii we wczesnym Wszechświecie; obecnie jest bardzo niskoenergetyczne – jego temperatura wynosi około 2,7 K.