

# Mikrofalowe promieniowanie tła

Mikrofalowe promieniowanie tła zostało wykryte przypadkiem (choć odkrycie to było oczekiwane) w roku 1965 przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona (Nagroda Nobla 1978) z Bell Labs jako niemożliwy do usunięcia szum ograniczający możliwości obserwacji radioastronomicznych. Szybko wykryto, iż natężenie mikrofal niezwykle słabo zależy od kierunku i wykazuje jedynie małe maksimum w kierunku południowej części gwiazdozbioru Lwa i minimum w kierunku wschodniej części Ryb. Odpowiada za to ruch obserwatora w przestrzeni i efekt Dopplera: Układ Słoneczny zmierza właśnie w kierunku Lwa z prędkością 370 km/s. Możliwe jest określenie układu odniesienia, w którym promieniowanie tła byłoby izotropowe z dokładnością do  $10^{-5}$ , a takiej izotropii nie spotyka się w rozkładzie żadnych znanych obiektów astronomicznych.

Widmo mikrofalowego promieniowania tła okazało się widmem ciała doskonale czarnego o temperaturze 2,7 K. Potwierdziło to przewidywania, że jest ono pozostałością (reliktem) po początkowych fazach ewolucji Wszechświata, gdy wypełniała go bardzo gęsta i gorąca materia oraz będące z nią w równowadze promieniowanie o widmie Plancka. W przybliżeniu 300 000 lat po Wielkim Wybuchu promieniowanie przestało oddziaływać z materią, a do dziś wskutek nieustannej ekspansji Wszechświata temperatura promieniowania spadła do poziomu 2,7 K.

Obiekty astronomiczne powstały w początkowo jednorodnym Wszechświecie, jeszcze w epoce, gdy materia i promieniowanie wzajemnie oddziaływały, jako efekt niestabilności grawitacyjnej. Zgęszczenia i rozrzedzenia materii, jako miejsca gorętsze i chłodniejsze, powinny zostawić swoje ślady w rozkładzie promieniowania relikтового. I rzeczywiście, drobne fluktuacje jego rozkładu na niebie wykrył satelita COBE (*Cosmic Background Explorer*), wystrzelony w 1989 r. Satelita ten wykazał też, że widmo promieniowania odpowiada z wysoką dokładnością funkcji Plancka.

Rozwój technik obserwacyjnych (zwłaszcza wystrzelenie nowych wyspecjalizowanych sztucznych satelitów) pozwolił uczynić obserwacje promieniowania mikrofalowego podstawowym narzędziem weryfikacji modeli kosmologicznych. Mianowicie podstawowe właściwości modelu, takie jak skład materii, natura ciemnej materii, mechanizm powstania pierwotnych zaburzeń gęstości itd., mają wpływ na przebieg formowania się obiektów, a co za tym idzie – na rozkład fluktuacji promieniowania na niebie. Dzięki temu wkroczyliśmy w epokę „precyzyjnej kosmologii”.

Michał JAROSZYŃSKI

## Okres trzy wywołuje chaos

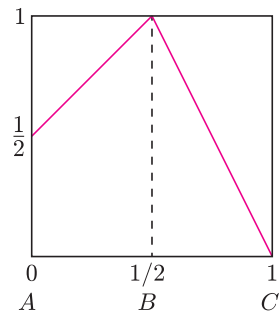
W 1975 roku Tien-Yien Li oraz James Yorke opublikowali pracę o wdzięcznym tytule „Okres trzy wywołuje chaos”. Zawarty w niej wynik był częściowo łatwym wnioskiem z ogólniejszego (choć wtedy mało znanego) twierdzenia Szarkowskiego z 1962 roku, ale w swej istocie dotyczył zjawiska chaosu i właśnie na fali zainteresowania chaosem deterministycznym wypłynął na szersze wody, stając się – obok atraktora Lorenza, stałej Feigenbauma i fraktali – ulubioną maskotką popularyzatorów „nowej matematyki”. Sens twierdzenia Li–Yorke’a można wyrazić następująco. Stwórzmy ciąg iteracji pewnej ciągłej funkcji  $f: [a, b] \rightarrow [a, b]$  tzn. ciąg  $a_1, a_2 = f(a_1), a_3 = f(a_2), \dots$ . Jeśli można tak dobrać  $a_1$ , że ciąg składa się z powtarzających się okresowo trzech różnych liczb, to istnieje bardzo duży zbiór punktów

startowych  $a_1$ , których kolejne iteracje (tj.  $a_2, a_3, \dots$ ) chaotycznie biegają po odcinku (w szczególności jest olbrzymia liczba par punktów  $a_1$  oraz  $a'_1$ , które początkowo są blisko siebie, a potem rozjeżdżają się na duże odległości tak, że ich dalsze ewolucje nie mają ze sobą nic wspólnego). Dlaczego tak jest? Otóż liczby tworzące okres trzy to niejako karuzela, na jaką wskakują kolejne liczby. Zabawa ta z kolei nieuchronnie prowadzi do chaosu. Spójrzmy bowiem na rysunek 1. Funkcja  $f$  działa następująco: odcinek  $AB$  przesuwa na miejsce  $BC$ , zaś  $BC$  rozciąga dwukrotnie i odwraca. Punkty  $A, B$  i  $C$  to karuzela:

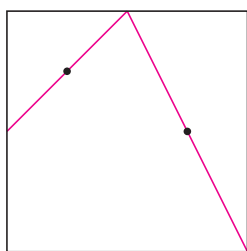
$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow \dots$$

Kolejne obrazki przedstawiają punkty wskazujące w kolejnych etapach na trzy siedzenia karuzeli. Czytelnik zechce sobie wyobrazić, dlaczego prowadzi to do chaosu.

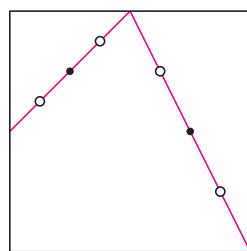
Rys. 1  
 $f(0) = \frac{1}{2}, f(\frac{1}{2}) = 1, f(1) = 0.$



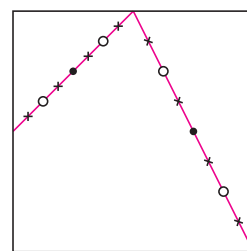
Rys. 2  
 $f(\frac{1}{4}) = \frac{3}{4}, f(\frac{3}{4}) = \frac{1}{2}.$



Rys. 3  
 $f(\frac{7}{8}) = \frac{1}{2}, f(\frac{5}{8}) = \frac{3}{4}, \dots$



Rys. 4



W. S.