

## Dr hab. Bronisław KUCHOWICZ

Zwróćmy uwagę, że wiek Wszechświata jest rzędu  $10^{10}$  lat, podczas gdy najdalsze znane nam obiekty kosmiczne (kwazary) są od nas odległe zaledwie o  $10^6$  lat świetlnych. Wiek Wszechświata jest więc znacznie większy niż opóźnienia powstające przy współczesnych obserwacjach astronomicznych. Nie jest zatem pozbawione sensu mówienie o tym wieku (*przyp. red.*).



## Rozwiązanie zadania M 127

Przypuśćmy, że okresami funkcji  $f: R \rightarrow R$

są  $1$  i  $\sqrt{2}$ . Wówczas dla dowolnych liczb całkowitych  $m$  i  $n$  zachodzi równość

$$f(m+n\sqrt{2}) = f(0) \text{ (dlaczego?)}$$

Określmy więc funkcję  $f$  w następujący sposób:

$$f(x) = \begin{cases} 0 & \text{jeżeli } x \text{ jest liczbą postaci} \\ & m+n\sqrt{2} \text{ (} m, n \text{ — liczby} \\ & \text{całkowite),} \\ 1 & \text{dla pozostałych } x. \end{cases}$$

Łatwo jest sprawdzić, że okresami tak określonej funkcji są liczby  $1$  i  $\sqrt{2}$  oraz że  $f$  nie jest stała (bo  $\sqrt{3}$  nie jest liczbą postaci  $m+n\sqrt{2}$  — dlaczego?).

### ROZSTRZYGNIECIE KONKURSU SAMYCH ZWYCIĘZCÓW — DELTA 2/77

Do konkursu przystąpiło 9 uczestników, którzy nadesłali 18 żaróweczek pokrytych częściowo od wewnątrz metale metodą przepuszczania prądu przez szkło. Zgodnie z warunkami konkursu każdy z uczestników otrzymuje nagrodę książkową. Nagroda specjalna — silniczek modelarski — została dodatkowo przyznana w drodze losowania.

A oto lista nagrodzonych:

Artur Chodorowski — silniczek modelarski oraz nagroda książkowa, 93-549 Łódź, ul. Przyszkole 14 m. 3.

Nagrody książkowe otrzymują także: Anna Łuc, 66-400 Gorzów Wlkp., ul. Grottera 2/8,

Sławomir Pacuł, G. Opyrczał, 34-130 Stanisław Dolny 305,

Grzegorz Salkowski, Maków 90, 90-124 Maków,

Beata Wichrowska, 05-500 Piaseczno, ul. Fabryczna 2, m. 2,

Czarek Pawlik, 28-200 Staszów, ul. Rytwińska 32/9,

Jacek Wojtkiewicz, 51-662 Wrocław, ul. Jachowskiego 4,

Piotr Stefanowicz, 51-630 Wrocław, ul. Grottera 13.

Chaos stanowił w mitologii greckiej uosobienie stanu istniejącego przed powstaniem świata, uważano go najpierw za „ziewającą pustkę”, później — za bezładny zbiór załączków tego wszystkiego, z czego składa się świat uporządkowany. Stan podobny istnieć miał kiedyś; zdaniem wielu kosmologów miał to być pierwszy etap ewolucji Wszechświata.

W poprzednim artykule, omawiającym tzw. kosmologię geometryczną rozwijaną na bazie ogólnej teorii względności, przedstawiłem klasę tzw. modeli jednorodnych izotropowych, zwanych też modelami Friedmanna. We wszystkich tych modelach ewolucja Wszechświata trwająca skończony odcinek czasu zaczynała się od chwili  $t = 0$  (umowny początek skali czasu), kiedy wszystkie odległości między punktami materialnymi (wyobrażającymi cząstki) we Wszechświecie równe były zeru. Wszechświat zaczynał więc swoją ekspansję od objętości równej zeru, kiedy gęstość materii była nieskończona. Wskazaliśmy na trudności, jakie się wyłaniają w związku z pojawieniem się owej pierwotnej osobliwości kosmologicznej (tak się bowiem stan ów nazywa). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że istnienie takiej osobliwości mogłoby mieć również pewne atrakcyjne strony. Wtedy bowiem Wszechświat, w początkowej chwili swej ewolucji, jako punktowy, bez struktury, mógłby być całkowicie opisany przez zbiór niewielkiej ilości parametrów. Przyjęcie określonych wartości dla kilku parametrów początkowych wyznaczałoby więc całkowicie przyszły rozwój Wszechświata.

Kilka liczb wystarczyłoby (przynajmniej w zasadzie, bo w praktyce obliczenie czegokolwiek byłoby i tak niewykonalne) do opisanego całego Wszechświata! Jak zobaczymy dalej, koncepcja taka, choć być może atrakcyjna, jest jednak sprzeczna z prawami fizyki współczesnej, a mianowicie z prawami mechaniki kwantowej. Odwołajmy się do ziarnistej struktury materii, aby wskazać na granice stosowności takich pojęć klasycznych, jak gęstość materii czy też czas w kosmologii. Do opisu struktury ziarnistej materii stosujemy mechanikę kwantową. W skali znanej nam z codziennego doświadczenia fizycznego (z fizyki atomowej, jądrowej lub cząstek elementarnych) mechanika kwantowa jest teorią sprawdzoną, pozwalającą na trafne przewidywania. Zastosujemy za chwilę pewną prostą jej konsekwencję do kosmologii.

Chcąc przejść do owej konsekwencji, wprowadzić musimy do kosmologii cząstki elementarne. W chwili obecnej, gdy Wszechświat dość już się postarzał, istotnymi z punktu widzenia jego struktury globalnej obiektami w nim zawartymi są galaktyki czy może gromady galaktyk. Jednak nie zawsze one istniały. Jak już pisałem w swym artykule „Kosmologia — Fakty. III” (Delta 10/1976), jeśli cofamy się w czasie, to odległości pomiędzy dowolnymi dwoma obiektami we Wszechświecie maleją. Galaktyki więc kiedyś nie było, materia w nich zawarta „stykała” się kiedyś ze sobą, wcześniej jeszcze nie było ani atomów, ani jąder. Istnienie jakichkolwiek oddzielnych (samodzielných) konfiguracji materii wymagałoby pewnego odstępu między nimi, to zaś zgodnie z wyobrażeniami o rozszerzającym się Wszechświecie jest nie do pomyślenia. A więc dostatecznie dawno cała materia była dostatecznie gęsto upakowana.

Takie gęste upakowanie realizuje się dziś w jądrach atomowych. Gdyby wziąć pod uwagę gęstość materii, zawartej w dowolnym jądrze atomowym (w którym skoncentrowane jest przecież ponad 99% masy atomu), otrzymamy wartość rzędu  $10^{17}$ — $10^{18}$  kg/m<sup>3</sup>. Gęstość natomiast materii ziemskiej, mającej strukturę atomową, jest w porównaniu z tym niewielka, wynosi  $10^3$ — $10^4$  kg/m<sup>3</sup>. Promień atomu jest bowiem rzędu  $10^{-10}$  m, podczas gdy promień jądra jak i promień elektronu są rzędu  $10^{-15}$  m. Jeśli zaniedbać masę elektronów atomowych, to można powiedzieć, że objętość przypadająca na tę samą masę równa jest objętości atomu — w przypadku istnienia struktury atomowej, bądź też objętości jądra atomowego, jeśli atom jest rozbity na jądro i elektrony, i wszystkie te jego składowe są poddane takiemu ciśnieniu, iż stykają się ze sobą. Stosunek rozmiarów liniowych jest rzędu  $10^5$ , stosunek objętości — rzędu  $10^{15}$ . Dodajmy, że materia o gęstości większej średnio o ten właśnie czynnik  $10^{15}$  od gęstości materii ziemskiej występuje na skalę makroskopową w dzisiejszym Kosmosie. Są to zgęstki o masie porównywalnej z masą Słońca, a o średnicy nie przekraczającej kilkunastu kilometrów. Zgęstkami tymi są gwiazdy neutronowe, których istnienie podejrzewano już od kilkudziesięciu lat, a których odkrycie — jako pulsarów, stanowi jedną z największych sensacji współczesnej astronomii. Materię występującą w wewnętrznych obszarach pulsarów, składającą się przede wszystkim z neutronów, z niewielką domieszką protonów, elektronów, a być może i innych cząstek elementarnych, nazywa się materią nadgęstą. Materii w tym stanie, uchodzącym za piąty stan skupienia (plazma jest czwartym), na skalę laboratoryjną uzyskać się nie udało i wątpliwe, by udało się w najbliższej przyszłości.

Gdy już widzimy, że materia nadgęsta nie jest tylko wymysłem teoretyków, a rzeczywiście występuje dziś we Wszechświecie, przywyknąć możemy łatwiej do myśli, że kiedyś cały Wszechświat występować musiał w stanie nadgęstym. A jeśli cofać się w czasie, to może jeszcze w stanie nadnadgęstym, i tak dalej. Można się zapytać, czy jest jakiś kres, z punktu widzenia współczesnej fizyki, temu przechodzeniu do coraz wyższych gęstości? Z trzech podstawowych stałych fizycznych: stałej grawitacyjnej ( $G$ ), prędkości światła w próżni ( $c$ ) i stałej Plancka ( $\hbar$ ) —



Krytyczne wartości niektórych wielkości fizycznych:

$$\text{masa } m_0 = \sqrt{\hbar c/G} \approx 10^{-8} \text{ kg}$$

$$\text{długość } L_0 = \sqrt{G\hbar/c^3} \approx 10^{-35} \text{ m}$$

$$\text{czas } t_0 = \sqrt{G\hbar/c^5} \approx 10^{-44} \text{ s}$$

$$\text{gęstość } \rho_0 = c^5/G^2 \hbar \approx 10^{98} \text{ kg/m}^3.$$

Ponieważ rozwiązania równań teorii fizycznych nie zwykły same z siebie zawierać zbyt dużych ani zbyt małych liczb, więc tego rzędu powinny być wielkości charakterystyczne dla takiej teorii, która posługiwałaby się stałą grawitacji, prędkością światła i stałą Plancka.



#### Rozwiązanie zadania M 128

Przypuśćmy, że istnieją takie dwa wielomiany  $f(x)$  i  $g(x)$  o współczynnikach całkowitych stopnia mniejszego od  $n$ , że zachodzi równość

$$(x-a_1)(x-a_2) \dots (x-a_n) - 1 = f(x)g(x).$$

Podstawiając do tej równości  $x = a_i$  otrzymujemy, że

$$-1 = f(a_i)g(a_i) \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Ponieważ  $f(a_i)$  oraz  $g(a_i)$  są liczbami całkowitymi, więc dla ustalonego  $i$  jest  $f(a_i) = 1$  oraz  $g(a_i) = -1$  lub  $f(a_i) = -1$  i  $g(a_i) = 1$ .

Dla każdego  $i$  zachodzi więc równość  $f(a_i) + g(a_i) = 0$ , a więc równanie  $f(x) + g(x) = 0$  stopnia mniejszego od  $n$  ma co najmniej  $n$  pierwiastków:

$a_1, a_2, \dots, a_n$ . Wynika stąd, że wielomian  $f(x) + g(x)$  jest tożsamościowo równy zeru, czyli  $f(x) = -g(x)$ , a więc  $(x-a_1)(x-a_2) \dots (x-a_n) - 1 = -[g(x)]^2$ .

Równość ta jest niemożliwa, gdyż współczynnik przy  $x^n$  po stronie lewej równy jest 1, po prawej zaś ujemny. Przy założeniu, że istnieją wielomiany  $f(x)$  i  $g(x)$ , doprowadziło więc do sprzeczności. Wynik ten pochodzi od matematyków niemieckich: I. Schura i W. Flügl.

charakterystycznej jednostki, za pomocą której wyraża się wielkości kwantowe — utworzyć można jednostki wielkości o wymiarze masy, długości, czasu i gęstości. Wielkości te podajemy obok (wraz z przybliżonymi wartościami liczbowymi). Tego właśnie rzędu powinny być odpowiednie parametry materii, do opisu której trzeba stosować równocześnie prawa ogólnej teorii względności, jak i prawa mechaniki kwantowej. Teorie te są w swej obecnej postaci wzajemnie sprzeczne. Fizycy mają nadzieję, że gdy uda się w przyszłości stworzyć teorię, będącą syntezą ogólnej teorii względności i relatywistycznej teorii kwantowej, będzie ona mogła opisywać stany bliskie granicznej gęstości, jaką ma być gęstość  $\rho_0$ . W chwili obecnej podane tu wartości długości  $L_0$  i gęstości  $\rho_0$  stanowią odpowiednio minimalną odległość między cząstkami elementarnymi oraz maksymalną gęstość materii, których nie wolno przekroczyć przy wprowadzaniu cząstek elementarnych i praw mikroświata do modeli kosmologicznych, jeśli procedura ta ma przynieść sensowne wyniki. Tym wartościom maksymalnym odpowiada w modelach Friedmanna czas  $t_0$ . Dla chwil wcześniejszych, tj. od teoretycznie wyobraźalnej chwili  $t = 0$  (początek liczenia czasu) do chwili  $t = t_0$  załamują się klasyczne wyobrażenia o czasie i przestrzeni. Zobaczymy, jak do tego dochodzi. Skorzystajmy z zasady nieoznaczoności Heisenberga, podstawowej zasady mechaniki kwantowej. Wiąże ona charakterystyczny dla układu fizycznego czas rozwoju układu (czyli czas, po jakim układ zmienia się w sposób dostrzegalny przez jakikolwiek pomiar)  $\Delta t$  z nieokreślonością jego energii  $\Delta E$ :  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ . Znając nieokreśloność energii  $\Delta E$  wyznaczamy stąd niepewność określenia czasu  $\Delta t$ . W pobliżu granicznej gęstości  $\rho_0$  charakterystyczna elementarna masa jest rzędu  $m_0 \approx 10^{-8}$  kg i tego samego rzędu może być niepewność jej określenia. Odpowiada temu nieokreśloność energii  $\Delta E = \Delta mc^2 \approx 10^9$  J. Z zasady nieoznaczoności wynika teraz, że czasu nie sposób wyznaczyć z dokładnością większą niż  $\Delta t \approx 10^{-43}$  s. Jakie więc może mieć znaczenie fakt, że jakaś sytuacja powinna odpowiadać chwili  $t_0 = 10^{-44}$  s, skoro niedokładność oznaczenia czasu przewyższać może wtedy wiek Wszechświata? Czas  $10^{-44}$  s jest oczywiście bardzo krótki. Jest on jednak wystarczająco długi na to, żeby stan Wszechświata w tym wieku zupełnie nie przypominał owej pierwotnej osobliwości, jeżeli nawet ona istniała. Zgodnie z prawami mechaniki kwantowej nie możemy nic o tym początkowym okresie powiedzieć. Nie wolno nam też do tego okresu stosować pojęć i podejścia, wypróbowanych przy analizie okresów późniejszych. Osobie, która w dawnych czasach pytała, co robił Bóg przed stworzeniem świata, zwykle się odpowiadało, że stwarzał on piekło dla tych, co zadają takie pytania. W kosmologii na pytanie, co było przed chwilą  $t_0$ , odpowiada się, że był chaos pierwotny. Piekło zaś było później. Było to nadgęste piekło, wypełnione wszelkimi możliwymi rodzajami cząstek elementarnych. Skład owej pierwotnej nadgęstej materii był znacznie bogatszy niż skład materii nadgęstej w jądrach atomowych a nawet w centrach pulsarów. Czegóż tam nie było! Oprócz wszystkich znanych dziś cząstek elementarnych były tam na pewno i takie, które może dopiero nasze wnuki poznają, a może i takie, których ludzkości nigdy się nie uda sztucznie wytworzyć. Może to był więc raczej raj utracony niż piekło, raj dla fizyków? „Wszechświat w dość odległej fazie swych narodzin odznaczał się nader wysoką temperaturą i dużą gęstością materii. Gdyby nie te dwie okoliczności, byłby to raj dla badaczy cząstek elementarnych” — tymi słowami zaczął w swoim czasie odczyt o gorącym Wszechświecie fizyk radziecki Jakow B. Zeldowicz. O raju tym czy też piekło pierwotnym, o jego ewolucji do stanu dzisiejszego mowa będzie w ostatnim artykule naszego cyklu.



30 marca 1977 roku w Uniwersytecie Warszawskim, w sali im. Brudzińskiego odbyła się uroczystość nadania doktoratu honorowego prof. Marianowi Danyszowi. Na zdjęciu rektor Uniwersytetu Warszawskiego, prof. Zygmunt Rybicki wręcza dokument promocyjny doktorantowi. Po lewej stronie stoi promotor, prof. Andrzej Wróblewski, a po prawej dziekan wydziału fizyki, prof. Jerzy Pniewski. Prof. Danysz jest współodkrywcą pojedynczego i podwójnego hiperfragmentu, o czym pisaliśmy w „Delcie”, w numerze 1 i 10 z 1974 roku. W okresie międzywojennym wraz z Michałem Żywym odkrył izotop fluoru ( $^{19}\text{F}$ ). Historię tego odkrycia zamieściliśmy w numerze 1 z 1975 roku. Prof. Marian Danysz jest jednym z głównych twórców polskiej szkoły eksperymentalnej fizyki cząstek elementarnych.