

WYNALEZKI XXI  
WIEKU;

KROWA  
WYSOKOMLECZ-  
NA



A oto, jak się zabrał do rzeczy prorocy dwudziestego stulecia: wybierali sobie takie lub inne zdarzenie, które rzeczywiście miało miejsce w ich czasach, i twierdzili, że to samo będzie się działo później w coraz większym i większym stopniu, aż stanie się coś nadzwyczajnego. A bardzo często dodawali, że już... gdzieś... w jakimś dziwacznym miejscu zdarzyło się to coś nadzwyczajnego i że jest bardzo znamienne dla swoich czasów.

Do takich proroków należał na przykład H.G. Wells (i inni), który sądził, że nauka zapanuje nad przyszłością i tak jak na przykład samochód jest o wiele szybszy od powozu, tak potem zjawi się jakiś wspaniały wehikuł, który będzie jeszcze daleko szybszy od samochodu, i tak dalej, i dalej w nieskończoność. Z popiółów ludzi tak myślących powstał dr Quilp, który twierdził, że kiedyś będzie można wysłać człowieka na maszynie krążącej z taką szybkością dookoła świata, iż będzie on w stanie prowadzić długą rozmowę z kimś siedzącym w jakiejś starożytniejszej zapadłej wiosce, a to w ten sposób, że za każdym razem przelatując koło niego, powie jedno słowo z całego zdania. Mówiono nawet, że pewien stary apoplektyczny major został użyty do tego eksperymentu, a szybkość jaką osiągnął była tak wielka, iż mieszkańcy jednej z gwiazd widzieli dokoła Ziemi niby wyraźną obręcz z siwych bokobrodów, czerwonych policzków i brązowego tweedu – coś jakby pierścień Saturna.

Wszyscy ci mądrzy ludzie przepowiadali więc z wielką pomysłowością, co ukrótce stanie się na świecie i wszyscy brali się do rzeczy w jednakowy sposób, gdyż obierali sobie jeden z popularnych prądów współczesnych, który rozszerzali i przedłużali, jak tylko pozwalała im na to wyobraźnia. Był to według nich sposób najprostsz i najpewniejszy, jedynie skuteczny, by poznać zawczasu przyszłość. „Tak samo – pisł doktor Pelkins w subtejnym swym traktacie – tak samo, jak widząc w jednym miocie prosię większe niż inne prosięta, wiemy, że na mocy jakiegoś niezmiennego prawa Nieznanej Siły stanie się ono większe niż słoń, tak samo, jak widząc zielska i żółte mlecze, zagłuszające ogród, wiemy, że pomimo wszystkich naszych wysiłków przerosną one kiedyś kominy i zasłonią cały dom, tak samo wiemy i przyznajemy z uszanowaniem, że jeżeli jakaś siła okazała się w sprawach polityki bardzo czynna podczas pewnego przeciagu czasu, to siła ta będzie nadal się tak rozwijać, że kiedyś dosięgnie nieba”.

G.K. Chesterton, *Napoleon z Notting Hill*, 1904

## Wielki Wybuch czy wielka ekstrapolacja?

Prof. dr  
Marek DEMIAŃSKI

Nikt zapewne nie zaprzeczy, że pytanie o to, jak powstał Wszechświat i jak przebiegała jego późniejsza ewolucja, należy do najbardziej fascynujących i jednocześnie do najtrudniejszych.

Nie sposób w krótkim artykule przedstawić wszystkich danych obserwacyjnych i założeń teoretycznych, które są potrzebne, aby zbudować akceptowany współcześnie model kosmologiczny. Warto zdać sobie jednak sprawę z trudności i znikomej ilości danych obserwacyjnych, z których można skorzystać.

Już proste na pozór pytanie, postawione w 1826 roku przez wiedeńskiego lekarza Heinricha Olbersa, dlaczego w nocy jest ciemno, wymaga zadumy nad strukturą całego Wszechświata. Gdyby bowiem Wszechświat był statyczny, nieskończony i jednorodnie wypełniony gwiazdami, to – zgodnie z zasadami termodynamiki – w nocy powinno być tak samo jasno jak w dzień. Istnieje kilka możliwości wyjaśnienia paradoksu Olbersa. Wszechświat może być skończony lub rozszerzać się, materia świecąca może być w odpowiedni sposób pogrupowana itp. Kiedy Olbers stawiał swoje pytanie, dominował pogląd, że Wszechświat jest nieskończony, ale statyczny, a cała materia tworzy jedno ogromne zgrupowanie – Drogi Mlecznej.

Gdy w 1916 roku Albert Einstein sformułował relatywistyczną teorię grawitacji – ogólną teorię względności, od razu przystąpił do sprawdzenia, czy równania tej teorii dopuszczają możliwość istnienia statycznego Wszechświata. Wiara Einsteina w statyczność Wszechświata była tak głęboka, że kiedy okazało się, iż równania ogólnej teorii względności nie dopuszczają takiej możliwości, zmodyfikował je wprowadzając tak zwaną stałą kosmologiczną.

W końcu lat dwudziestych Edwin Hubble dokonał zadziwiających odkryć, które spowodowały radykalne zmiany w poglądach na strukturę i ewolucję Wszechświata. Korzystając z największego wówczas teleskopu Hubble zauważył, że niektóre mgławice, które uważano za część składową Drogi Mlecznej, składają się z gwiazd i znajdują się daleko poza obszarem Drogi Mlecznej. W ten sposób Hubble wykazał, że Wszechświat składa się z bardzo wielu galaktyk.

WYJDZIE JUZ.  
WUJEK WAM  
OPOWIE JAK  
POWSTAŁ  
WSZECHSWIAT





**Rozwiązanie zadania M 544.**

Udowodnimy przez indukcję, że  $n! \geq (n+1)^n \cdot e^{-n}$ . Dla  $n=1$  nierówność jest oczywista ( $1 \geq \frac{2}{e}$ ). Zauważmy, że przy zwiększeniu  $n$  o 1 lewa strona nierówności zwiększa się  $n+1$  razy. Do dowodu kroku indukcyjnego wystarczy więc wykazać, że prawa strona zwiększy się nie więcej niż  $n+1$  razy, tzn. że zachodzi nierówność

$$\frac{(n+2)^{n+1} \cdot e^{-(n+1)}}{(n+1)^n \cdot e^{-n}} \leq n+1.$$

Przepisując tę nierówność w postaci równoważnej otrzymujemy nierówność

$$\left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{n+1} \leq e,$$

co jest nierównością prawdziwą, gdyż

$$\left(\frac{n+2}{n+1}\right)^{n+1} = \left(1 + \frac{1}{n+1}\right)^{n+1}$$

a ciąg  $\left(1 + \frac{1}{k}\right)^k$  jest zbieżny, rosnąc, do  $e$ .

Podczas badania galaktyk Hubble stwierdził, że linie widmowe światła dalekich galaktyk są przesunięte ku czerwieni i im dalej położona jest galaktyka, tym przesunięcie linii widmowej jest większe. Jeżeli przesunięcie linii widmowych interpretować jako przejaw efektu Dopplera i kojarzyć je ze względny ruchem źródła i obserwatora, wówczas prowadzi to do wniosku, że galaktyki oddalają się od Drogi Mlecznej i prędkość oddalania się jest wprost proporcjonalna do odległości.

Jeszcze zanim Hubble odkrył, że Wszechświat się rozszerza, radziecki matematyk, Aleksander Friedman wykazał, że równania Einsteina dopuszczają model Wszechświata jednorodnie wypełnionego materią, który nie jest stacjonarny i z biegiem czasu ewoluuje.

Od czasów Hubble'a dość dokładnie spenetrowano nasze najbliższe otoczenie kosmiczne. Z obserwowanego sposobu rozszerzania się Wszechświata i ze skończonej prędkości rozchodzenia się światła wynika, że istnieje naturalna granica - horyzont wyznaczający obszar dostępny obserwacjom. Odległość do horyzontu szacuje się na około dziesięć miliardów lat świetlnych. Za pomocą teleskopów znajdujących się obecnie na Ziemi udało się zbadać rozmieszczenie galaktyk, które są położone nie dalej niż miliard lat świetlnych. Kula zawierająca te galaktyki stanowi zaledwie jedną tysięczną obszaru znajdującego się wewnątrz horyzontu. Dopiero od kilkunastu lat prowadzi się systematyczne badanie przestrzennego rozkładu galaktyk. Nie ma już żadnej wątpliwości co do tego, że galaktyki zgrupowane są w gromady galaktyk, a gromady galaktyk tworzą supergromady. Istniejące obecnie dane obserwacyjne nie pozwalają stwierdzić, czy hierarchia struktur kończy się na supergromadach i supergromady galaktyk rozmieszczone są we Wszechświecie przypadkowo, czy też grupowanie się materii następuje również w większej skali. Rozstrzygnięcie tego problemu ma ogromne znaczenie dla poznania struktury Wszechświata. Gdyby grupowanie się materii występowało we wszystkich skalach, nie można byłoby przyjmować, że Wszechświat w dużej skali jest jednorodny i izotropowy. Obecnie uważa się, że w skalach większych od supergromady galaktyk materia rozłożona jest równomiernie. Nie są z tym sprzeczne dane dotyczące źródeł promieniowania radiowego, których rozkład w obszarach większych od miliarda lat świetlnych jest jednorodny z dokładnością do kilku procent.

Zupełnie niespodziewanie nowych argumentów świadczących o tym, że Wszechświat w dużej skali jest jednorodny i izotropowy, dostarczyło odkrycie dokonane w 1965 roku przez amerykańskich radioastronomów Arno Penziasa i Roberta Wilsona. Badając antenę przeznaczoną do odbioru fal radiowych o długości kilku centymetrów stwierdzili, że odbiera ona stały sygnał (szum), który mógłby być wywołany przez promieniowanie cieplne o temperaturze zaledwie 3 stopni powyżej absolutnego zera. Odkrycie Penziasa i Wilsona zostało bardzo szybko potwierdzone przez innych radioastronomów. Zbadano też widmo tego promieniowania i potwierdzono, że ma ono charakter cieplny.

W drugiej połowie lat czterdziestych George Gamow wysunął hipotezę, że wszystkie pierwiastki występujące w przyrodzie powstały bardzo dawno, wówczas gdy Wszechświat był bardzo gęsty i bardzo gorący. Model Wszechświata przyjmujący, że początkowo Wszechświat był bardzo gęsty i bardzo gorący, nazwano modelem Wielkiego Wybuchu. Wprawdzie hipoteza Gamowa okazała się fałszywa, gdyż w procesie pierwotnej nukleosyntezy nie można wyprodukować pierwiastków cięższych od litu, zwróciła ona jednak uwagę na to, że we wczesnych fazach ewolucji Wszechświata mógł być nie tylko bardzo gęsty, ale i bardzo gorący. Gamow przewidział nawet, że po tym gorącym okresie ewolucji Wszechświata pozostanie ślad w postaci mikrofalowego tła promieniowania termicznego i oszacował temperaturę tego promieniowania na 5 K.

Kiedy Penzias i Wilson odkryli promieniowanie reliktywne, przypomniało sobie o hipotezie Gamowa i zaczęto dokładniej analizować informacje, jakie są zawarte w rozkładzie temperatury tego promieniowania na sferze niebieskiej. Okazało się, po pierwsze, że temperatura tego promieniowania jest niemal dokładnie stała i wykazuje jedynie małe wahania, nie przekraczające 0,1%. Po drugie, promieniowanie reliktywne nie może być wytwarzane przez lokalne źródła i musiało powstać dostatecznie wcześniej, choć niekoniecznie w początkowych fazach ewolucji Wszechświata. Po trzecie wreszcie, izotropia temperatury tego promieniowania świadczy o tym, że wówczas kiedy promieniowanie to po raz ostatni oddziaływało ze zjonizowaną materią, materia była rozłożona niemal jednorodnie.

Powiązanie modelu Friedmana z faktem występowania promieniowania reliktywego doprowadziło do powstania tak zwanego standardowego modelu kosmologicznego. Korzystając z obserwacyjnych oszacowań gęstości świecącej materii oraz znając

**Rozwiązanie zadania F 270.**

Na orbicie kołowej o promieniu  $R$  całkowita energia  $E$ , energia potencjalna  $U$  i kinetyczna  $T$  związane są relacją:

$$E = \frac{U}{2} = -T = -G \frac{mM}{2R},$$

gdzie  $G$  jest stałą grawitacji.

Po wybuchu gwiazdy centralnej całkowita energia  $E'$  jest równa:

$$E' = T + U(1 - q) = -\frac{GmM}{R} \left(\frac{1}{2} - q\right).$$

Przy  $q > 1/2$  energia ta jest większa od zera i ciało o mniejszej masie oddali się po torze hiperbolicznym. W przypadku  $q = 1/2$  energia jest równa zeru i mniejsza gwiazda zacznie poruszać się po torze parabolicznym. Dla  $q < 1/2$  będziemy mieli do czynienia z ruchem po orbicie eliptycznej, w ognisku której znajdować się będzie pozostałość gwiazdy centralnej.



## FIZYCZNE NOWINKI

Redaguje dr hab. Andrzej KENNEL

### KSENON — METAL BEZ POLYSKU

Dlaczego metale są błyszczące? Dlaczego nawet cienka warstwa metalu praktycznie nie przepuszcza światła, a za to całkowicie odbija padające na nią promieniowanie? Za te wszystkie własności odpowiedzialny jest wypełniający kryształy metali gaz swobodnych elektronów zwany plazmą. Padająca na metal fala elektromagnetyczna jest bardzo skutecznie od niego odbijana, dopóki częstota drgań tej plazmy jest większa bądź równa częstotliwości fali. Jest to tzw. krawędź plazmowa. Dla typowych metali częstota plazmowa wypada w obszarze nadfioletu i dlatego jesteśmy przyzwyczajeni do ich metalicznego połysku. Jednakże w 1968 roku w dwóch konkurujących ze sobą grupach amerykańskich [Laboratorium Lymana z Uniwersytetu Harvarda (Cambridge, Massachusetts) i Laboratorium Lawrence'a Uniwersytetu Kalifornijskiego w Livermore] otrzymano po raz pierwszy metaliczny ksenon, który nie ma połysku. Przejście doskonałego izolatora, jakim jest kryształ ksenonu, w metal uzyskano poprzez poddanie badanych próbek ogromnemu ciśnieniu hydrostatycznemu w kowadłach diamentowych. Jako ciśnienie przejścia grupa kalifornijska podała 150 GPa (czyli półtora miliona atmosfer), grupa harwardzka w dokładniejszym eksperymencie otrzymała  $132 \pm 5$  GPa. Dlaczego jednak metaliczny ksenon słabo odbija światło? Otóż przejście pod ciśnieniem do stanu metalicznego następuje w ten sposób, że pasmo walencyjne ksenonu, powstające z elektronowej powłoki 5p, zbliża się do całkowicie pustego pasma przewodnictwa. W ten sposób przy ciśnieniu wynoszącym około miliona atmosfer przerwa energetyczna ksenonu wynosi już tylko około 2 eV, przy około 115 GPa maleje do 1 eV, by wreszcie zmniejszyć się do zera przy około 132 GPa. Przy dalszym zwiększaniu ciśnienia pasma walencyjne i przewodnictwa przekrywają się i pojawiają się swobodne elektrony tworzące plazmę. Ich liczba jest początkowo niewielka i dopiero rośnie z ciśnieniem. Ponieważ częstota plazmowa, czyli położenie krawędzi plazmowej jest proporcjonalne do pierwiastka z koncentracji swobodnych elektronów, więc zaobserwowano przesunięcie się tej krawędzi do wyższych energii w miarę wzrostu ciśnienia. W omawianych eksperymentach otrzymane maksymalne ciśnienie wyniosło 2 miliony atmosfer (200 GPa), co odpowiada położeniu krawędzi plazmowej w obszarze bliskiej podczerwieni przy około  $1,25 \mu\text{m}$  (czyli przy energii 1 eV). Dopiero wyższa wartość ciśnienia może "wprowadzić" krawędź plazmową w obszar widzialny i nadać ksenonowi metaliczny połysk. Warto dodać, że koncentrację elektronów w ksenonie przy 200 GPa można oszacować na około  $3 \times 10^{21}$  w centymetrze sześciennym, co odpowiada zaledwie 1% koncentracji elektronów w typowych metalach. Można zatem stwierdzić, że ksenon w tym obszarze ciśnienia jest raczej półmetalem.

temperaturę promieniowania relikтового i przyjmując, że dynamika Wszechświata jest poprawnie opisywana za pomocą modelu Friedmana, można odtworzyć całą przeszłą historię Wszechświata. Trzeba przy tym skorzystać z zasady zachowania energii i masy oraz przyjąć, że ewolucja Wszechświata odbywa się adiabaticznie. Nie czas tutaj na przedstawienie pełnego blasku modelu standardowego. Warto jednak wspomnieć o dwóch ważnych wnioskach wynikających z tego modelu.

Wielkim sukcesem modelu standardowego było pełne wyjaśnienie składu chemicznego materii, z której powstały pierwsze gwiazdy (około 25% helu i 75% wodoru). Przewidywania modelu są bardzo dobrze zgodne z danymi obserwacyjnymi i, co więcej, pozwalają na wyznaczenie średniej gęstości materii świecącej. Jak się okazuje, ilość produkowanego helu jest bardzo czuła na tempo rozszerzania się i gdyby na przykład Wszechświat początkowo rozszerzał się anizotropowo, to ilość powstającego helu mogłaby znacznie różnić się od obserwowanej. Okazuje się, że model standardowy, choć opiera się zaledwie na kilku danych obserwacyjnych, jest wewnętrznie bardzo spójny. Ta „sztywność” modelu jest jego ogromną zaletą.

Model standardowy przewiduje, że początkiem Wszechświata był Wielki Wybuch, czyli stan, w którym gęstość materii oraz temperatura były nieskończone i początkowe tempo rozszerzania się Wszechświata też było nieskończone. Taki stan, oczywiście, nie jest realistyczny i jego pojawienie się świadczy o tym, że zbyt daleko ekstrapolowaliśmy nasze rozwiązanie. W rzeczywistości zanim osiągniemy stan osobliwy (początek Wszechświata), istotną rolę zacząć odgrywać efekty fizyczne, które w modelu standardowym zostały pominięte. Przy bardzo dużych gęstościach dominującą rolę zacząć odgrywać efekty kwantowe i to nie tylko związane z faktem występowania materii, ale zacząć się również przejawiać kwantowe własności czasoprzestrzeni. Standardowy model kosmologiczny opiera się na klasycznej koncepcji czasoprzestrzeni. Najwcześniejsze fazy ewolucji Wszechświata powinny być opisywane przez kwantową teorię czasoprzestrzeni. Jednak pomimo intensywnych badań nie udało się do tej pory zbudować kwantowej teorii czasoprzestrzeni i wobec tego nie można odpowiedzieć na pytanie, jak przebiegały najwcześniejsze fazy ewolucji Wszechświata. Problem nie polega tylko na rozgoryczeniu, że nie możemy zaspokoić swojej ciekawości, ale ma głębszy sens. Może się bowiem okazać, że procedura cofania się w przeszłość załamuje się znacznie wcześniej niż przypuszczamy.

Poważnym argumentem potwierdzającym ten punkt widzenia były wnioski, do jakich doprowadziło powiązanie programu unifikacji wszystkich oddziaływań elementarnych z rozważaniami kosmologicznymi. W 1981 roku Alan Guth zauważył, że wczesne etapy ewolucji Wszechświata mogły przebiegać inaczej, niż to przewiduje model standardowy. Mógł mianowicie istnieć taki okres, kiedy Wszechświat rozszerzał się wykładniczo z czasem, czyli znacznie szybciej, niż to przewiduje model standardowy. Ten wykładniczy okres rozwoju Wszechświata można opisać przez wprowadzenie efektywnej stałej kosmologicznej, która determinuje tempo rozszerzania się Wszechświata. Wszechświat nie rozszerza się jednak wykładniczo nieskończenie długo i po pewnym czasie dominującą rolę zaczyna znowu odgrywać materia. Ten nowy model nazwano modelem inflacyjnym. Dokładniejsze badania wykazały, że kosmiczna inflacja może występować nawet wówczas, gdy początkowo Wszechświat nie był ani izotropowy, ani jednorodny. Jeżeli okres wykładniczego rozszerzania się trwa dostatecznie długo, to wszystkie początkowe niejednorodności zostaną wygładzone i Wszechświat „zapomina” o swojej początkowej ewolucji. Zatem jeżeli zachodzi inflacja, to nie można dowiedzieć się, jakim był Wszechświat przed inflacją, chyba że bylibyśmy w stanie wyznaczyć wartości wszystkich podstawowych parametrów kosmologicznych z nieograniczoną dokładnością.

Warto na zakończenie wspomnieć o tym, że jeżeli zaszła inflacja, to stało się to bardzo wcześnie w historii Wszechświata, wówczas, gdy średnie energie cząstek były około dziewiętnastu rzędów wielkości większe od energii masy spoczynkowej protonu. W laboratoryjnych warunkach zbadano własności cząstek mających energię tysiąc razy większą od energii masy spoczynkowej protonu. Teoria unifikacji oddziaływań elementarnych nie została jeszcze potwierdzona doświadczalnie ani bezpośrednio, ani pośrednio. Podobnie nie przeprowadzono dotychczas, z zasadniczych powodów, żadnych doświadczeń nad materią, której gęstość byłaby większa od gęstości materii jądrowej, czyli  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>. Cofając się ku bardzo wczesnym okresom historii Wszechświata często zapominamy o tym. Trzeba sobie jednak zdawać sprawę z tego, że nie jest to spowodowane naszą ignorancją, ale desperacją. Trudno bowiem powstrzymać się od dociekania nad tym, jak przebiegały pierwsze fazy ewolucji Wszechświata.