



Model Friedmana opisaliśmy w *Delcie* 5/1982.



Parametr  $\Omega$  określa stosunek efektywnej energii potencjalnej  $\epsilon_p$  do energii kinetycznej ekspansji  $\epsilon_k$ :  $\Omega = |\epsilon_p|/\epsilon_k$ .  
 Przy  $\Omega > 1$  W. jest grawitacyjnie związany; ekspansja po pewnym czasie zostaje wyhamowana i rozpoczyna się etap kurczenia. Przy  $\Omega \leq 1$  W. posiada nieujemną energię całkowitą i ekspansja trwa wiecznie. Model  $\Omega = 1$  nosi nazwę „płaskiego”, ponieważ geometria powierzchni stałego czasu w takim modelu jest płaska (euklidesowa). Fakt, że przedział, w którym zawarta jest wartość  $\Omega$ , „zacieśnia” się wokół jedności przy  $t \rightarrow 0$  jest zrozumiały, bowiem z definicji  $|\Omega - 1| = |\epsilon_k + \epsilon_p|/\epsilon_k = \text{const}/\epsilon_k$ . Ekspansja jest hamowana przez grawitację, a zatem przy  $t \rightarrow 0$ ,  $\epsilon_k \rightarrow \infty$  i wobec tego  $\Omega \rightarrow 1$ .

Pierwsze dojrzałe teorie kosmologiczne (mówiące o powstaniu i rozwoju Wszechświata) pojawiły się w latach dwudziestych naszego stulecia. Za swą podstawę miały ogólną teorię względności, a dokładniej modele Friedmana z tej teorii wyprowadzone. Ogromna popularność tematu i wielka ilość odkryć astronomicznych sprawiły, że podstawa taka przestała wystarczać. Zaczęto coraz jawniej postulować, aby kosmologię oprzeć na *całej* fizyce i by za stan, od którego odtwarzamy wstecz minione dzieje Wszechświata aż do jego początku, uznać *całość* naszej wiedzy o Wszechświecie, a więc nie tylko istnienie galaktyk czy gwiazd, lecz także by nie zapominać o tym, że na Ziemi pojawiło się życie. Słowem, zażądano od kosmologii, aby jej modele były na tyle precyzyjne, by przewidywały również zaistnienie kosmologów. Niżej przedstawiamy artykuł o tym, jak ten postulat jest omawiany wśród astronomów.

## Zasada Antropiczna,

lub o tym, co zdaniem niektórych wynika z faktu istnienia życia na Ziemi oraz o braku dowodów na istnienie życia na Marsie i innych ciekawostkach przyrodniczych

Dr Roman JUSZKIEWICZ

### Problem warunków początkowych

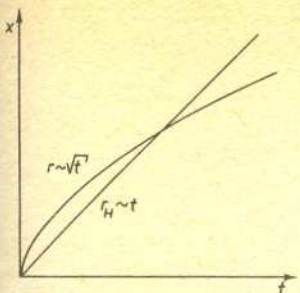
Z obserwacji astronomicznych wnioskujemy, że Wszechświat rozszerza się, tj. że gromady galaktyk oddalają się od siebie z prędkością  $H_0 r$ , gdzie  $r$  oznacza odległość między daną parą gromad, a  $H_0$  — tzw. parametr Hubble’a ( $H$  jest funkcją czasu kosmologicznego  $t$ , a wskaźnik „o” oznacza obecną wartość tego parametru). Wiemy również, że ze wszystkich kierunków na niebie dociera do nas promieniowanie elektromagnetyczne ciała doskonale czarnego o temperaturze 3 K, oraz że Wszechświat składa się w 25% z helu i w 75% z wodoru (pomijając śladowe ilości pierwiastków ciężkich).

Jedynym modelem kosmologicznym, który pozwolił wytłumaczyć (i przewidzieć!) te obserwacje, jest model Friedmana, oparty na założeniu, że cała przestrzeń wypełniona jest materią w sposób jednorodny i izotropowy. Zgodność tych przewidywań z obserwacjami przemawia za tym, że nasz Wszechświat rozpoczął swoje istnienie od wielkiego wybuchu  $1/H_0 \approx 20$  miliardów lat temu, oraz że materia rozmieszczona jest w przestrzeni niezwykle równomiernie — o tym, że wielkoskalowy rozkład materii jest rzeczywiście jednorodny świadczą również bezpośrednie obserwacje. Największe zagęszczenia i „dziury” w rozmieszczeniu galaktyk w obszarze o promieniu 10 miliardów lat świetlnych, które udało nam się wykryć, nie przekraczały swymi rozmiarami 200—300 milionów lat świetlnych. Wielkoskalowej symetrii towarzyszą odstępstwa od izotropii i jednorodności w „małej” skali ( $< 300$  mln lat świetlnych) w postaci gromad galaktyk, galaktyk i gwiazd.

Model Friedmana wyjaśnia, skąd wziął się hel, skąd promieniowanie tła oraz dlaczego ekspansja odbywa się zgodnie z prawem Hubble’a, nie tłumaczy jednak *dlaczego* Wszechświat jest jednorodny i izotropowy. Symetria jest jednym z warunków początkowych modelu. Poza tym, w ramach określenia warunków początkowych należy zadać wartości  $H$  oraz tzw. parametru  $\Omega$  w jakiejś ustalonej chwili czasu.

*Problem horyzontu* spowodowany jest tym, że w modelu Friedmana odległość  $r$  pomiędzy dwiema cząstkami rośnie w miarę ekspansji jak  $\sqrt{t}$ , podczas gdy „odległość do horyzontu”  $r_H$ , określająca drogę przebytą przez światło od chwili  $t = 0$  rośnie jak  $t$ . W szczególności, w chwili wybuchu

$$\left. \frac{dr}{dt} \right|_{t=0} = \infty, \quad \left. \frac{dr_H}{dt} \right|_{t=0} = \text{const.}$$



Rys. 1. Wzrost odległości cząstek ( $r$ ) i odległości do horyzontu ( $r_H$ ) w czasie ekspansji

Innymi słowy, ekspansja po wybuchu następowała z „prędkościami nadświetlnymi” (patrz rysunek).

Fizycy nie przepadają za takim sformułowaniem, jako że maksymalną dopuszczalną prędkością jest prędkość światła. Na szczęście nie ma tu żadnej sprzeczności, gdyż w ścisłym ujęciu wielkość  $\frac{dr}{dt}$ , odnosząca się do obszarów większych niż horyzont, nie może być traktowana jak potocznie rozumiana prędkość liniowa. Jednakże do naszych celów takie jej wyobrażenie w zupełności wystarczy.



Zasada przyczynowości mówi, iż żadna informacja ani oddziaływanie nie może być przekazane z jednego punktu w przestrzeni do drugiego z prędkością przewyższającą prędkość światła.

Konsekwencją zachowania się  $r(t)$  i  $r_H(t)$  jest fakt, że np. w chwili  $t = 1$  s każdy z przyczynowo rozłącznych obszarów, biorących udział w globalnej ekspansji, miał masę barionową (protonów i neutronów) nie większą niż  $0,1 M_{\odot}$ ! Naturalnie z upływem czasu  $r_H$  zaczyna dopędzać  $r$ , ale mimo to, jeszcze do chwili obecnej, odległe przestrzenie Wszechświata obserwowane przez nas w jakimś kierunku, nie zdołały skomunikować się z obszarami znajdującymi się w przeciwnym kierunku.

Trudno jest wymyślić proces fizyczny, który mógłby zsynchronizować zachowanie wszystkich tych obszarów nie popadając w konflikt z zasadą przyczynowości. W tej sytuacji wielkoskalowa izotropia i jednorodność Wszechświata (powodująca, iż np. gromada znajdująca się w odległości  $10^{10}$  lat świetlnych nad nami oddala się z dokładnie taką samą co do wartości i przeciwnie skierowaną prędkością, jak równoodległa gromada na antypodach) wygląda dość tajemniczo.



**Problem „plaskości”.** Nie znamy dokładnej wartości  $\Omega_0$ , obserwacje pozwalają jednak na ustalenie, że  $0,01 < \Omega_0 < 10$ . Oznacza to, że we wczesnym Wszechświecie parametr  $\Omega$  mógł tylko bardzo nieznacznie różnić się od jedności, np. przy  $t = 1$  s było  $|\Omega - 1| < 10^{-15}$ . Innymi słowy, we wczesnym Wszechświecie z całkowicie nieznanymi powodów energia kinetyczna ekspansji była w każdym punkcie przestrzeni dokładnie równa grawitacyjnej energii potencjalnej.

Mogłoby się wydawać, że przedstawione powyżej problemy są czysto akademickie. W końcu zadaniem fizyki powinno być poszukiwanie lokalnych praw, którym podlegają różne wielkości fizyczne. Prawa te zazwyczaj formułowane są w postaci równań różniczkowych i nie jest oczywiste, że teoria fizyczna powinna również ustalać jakieś reguły wyboru warunków początkowych (brzegowych) dla tych równań. Zasady mechaniki Newtona pozwalają np. na wyznaczenie toru kamienia, rzuconego pod kątem  $30^\circ$  do poziomu z prędkością początkową  $10$  m/s, próżno by jednak w ramach mechaniki szukać odpowiedzi na pytanie *dlaczego* warunki początkowe były takie, a nie inne.



**Rozwiązanie zadania M 332**  
 Niech  $n = p_1^{l_1} \cdot \dots \cdot p_m^{l_m}$  będzie rozkładem  $n$  na czynniki pierwsze. Ponieważ zawsze  $p_1 \cdot \dots \cdot p_k | n$ , więc oznaczając przez  $A_j$  zbiór  $\{p_j, 2p_j, \dots, n\}$  mamy  $|A_1 \cap \dots \cap A_k| =$

$$= \frac{n}{p_1 \cdot \dots \cdot p_k}$$

Wynika stąd, że liczb podzielnych przez jedną z liczb  $p_1, \dots, p_m$  jest  $|A_1 \cup \dots \cup A_m| =$

$$= \sum_{k=1}^m \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_k \leq m} (-1)^{k+1} \times$$

$$\times \frac{n}{p_{j_1} \cdot \dots \cdot p_{j_k}}$$

(patrz zadanie M 331). Wystarczy teraz zauważyć, że

$$\left(1 - \frac{1}{p_1}\right) \left(1 - \frac{1}{p_2}\right) \cdot \dots \cdot \left(1 - \frac{1}{p_m}\right) =$$

$$= 1 - \sum_{k=1}^m \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_k \leq m} (-1)^{k+1} \times$$

$$\times \frac{1}{p_{j_1} \cdot \dots \cdot p_{j_k}}, \text{ by uzyskać poszukiwany wzór.}$$

Przy takim podejściu wszystkie pytania dotyczące warunków początkowych, stawiane na gruncie kosmologii, wydają się wykraczać poza obręb tej nauki w sferę metafizyki i religii. Jest to stara pozytywistyczna sztuczka — gdy nie wiesz, jak odpowiedzieć na pytanie, powiedz, że jest źle postawione.

Zdaniem Stevena Hawkinga z Uniwersytetu w Cambridge (W. Brytania) zwolennicy takiego poglądu na problem warunków początkowych podobni są do tych, którzy w minionych stuleciach zwalczali badania naukowe twierdząc, iż wszystkie zjawiska zachodzące w przyrodzie są dziełem Boga i jako takie są niemożliwe do ogarnięcia naszym marnym rozumem. Na szczęście większość kosmologów, podobnie jak Hawking, uważa, że „... początkowy stan Wszechświata jest tak samo odpowiednim obiektem dla badań naukowych, jak lokalne prawa fizyczne i nie będziemy mieli kompletnej teorii dopóty, dopóki nie potrafimy wyjść poza tłumaczenie w rodzaju: rzeczy są takie, jakie są, ponieważ były takie, jakie były”.

Pierwsza poważna próba pokonania problemu warunków początkowych podjęta została przez Charlesa Misnera z Uniwersytetu w Maryland (Stany



Ze jest to odwracanie kota ogonem, każdy widzi.



#### Rozwiązanie zadania M 333

Niech  $n = p_1^{k_1} \cdot \dots \cdot p_m^{k_m}$  będzie rozkładem  $n$  na czynniki pierwsze. Każdy dzielnik liczby  $n$  pojawi się dokładnie raz jako składnik sumy otrzymanej przez wykonanie mnożenia

$$s = (1 + p_1 + \dots + p_1^{k_1}) \cdot \dots \cdot (1 + p_m + \dots + p_m^{k_m})$$

i wobec tego

$$\sigma(n) = s = p_1^{l_1} \left( 1 + \frac{1}{p_1} + \dots + \frac{1}{p_1^{l_1}} \right) \cdot \dots$$

$$\dots \cdot p_m^{l_m} \left( 1 + \dots + \frac{1}{p_m^{l_m}} \right).$$

Czyli

$$\sigma(n) = n \cdot \frac{\left( 1 - \frac{1}{p_1^{l_1+1}} \right) \dots \left( 1 - \frac{1}{p_m^{l_m+1}} \right)}{\left( 1 - \frac{1}{p_1} \right) \dots \left( 1 - \frac{1}{p_m} \right)}$$

Ponieważ  $\varphi(n) = n \left( 1 - \frac{1}{p_1} \right) \dots \left( 1 - \frac{1}{p_m} \right)$ , więc mamy stąd nierówność  $\varphi(n) \sigma(n) < n^2$ .

Równocześnie, gdy  $2^k > \frac{1}{e}$ , to  $\varphi(2^k) \cdot \sigma(2^k) > 2^{2k}(1 - e)$ , co kończy dowód drugiej części zadania.

Zjednoczone) przed kilkunastu laty. Zauważył on, iż kłopoty z modelem Friedmana mogą wynikać z nieuzasadnionego ekstrapolowania tego modelu wstecz oraz z przekonania, iż znając obecny stan Wszechświata można ze wszystkimi szczegółami odtworzyć jego stan początkowy. W rzeczywistości nie zawsze jest to możliwe. Wie o tym doskonale każdy, kto w dzieciństwie budował zamki z piasku na brzegu morza. Wygląd brzegu po kilku godzinach jest taki sam niezależnie od tego, jaki był „stan początkowy” układu (tj. od tego, ile zamek miał wież, jak głęboka była fosa itd.). Pięknym przykładem ścierania pamięci w układzie są gwiazdy: ich struktura wewnętrzna jest niezależna od wielu szczegółów związanych z warunkami, w jakich powstają.

Misner doszedł do wniosku, iż niezależnie od tego, czy wczesny Wszechświat był izotropowy i jednorodny czy też nie, wskutek (jakichś) procesów nieodwracalnych (takich jak lepkość neutrinowa czy silne mieszanie) rozkład materii zostałby „wygładzony” — zapanowałyby obserwowana pełna izotropia i jednorodność. Zadanie fizyków polegałoby zatem na odszukaniu takich procesów. Niestety, programu Misnera nie udało się zrealizować, co spowodowało wzrost zainteresowania pomysłem, znanym jako

### Zasada Antropiczna

Około 20 lat temu Robert Dicke z Uniwersytetu w Princeton (New Jersey, Stany Zjednoczone) zastanawiając się nad pytaniem: „Dlaczego Wszechświat jest taki stary?” doszedł do dość nieoczekiwanego wniosku, że jest tak dlatego, ponieważ ... my istniejemy! Rzeczywiście: pierwiastki ciężkie produkowane są we wnętrzu gwiazd, które po upływie czasu rzędu kilku miliardów lat (a więc porównywalnego z  $1/H_0$ ) eksplodują jako supernowe, rozsiewając wkoło tlen, azot i węgiel. Zatem, gdyby wiek Wszechświata był znacznie mniejszy od obserwowanej wartości  $1/H_0$  — nie byłoby pierwiastków ciężkich, bez których powstanie życia byłoby niemożliwe. Gdyby natomiast Wszechświat był znacznie starszy od  $1/H_0$ , cała materia zostałaby zamieniona w beużyteczny żużel i trudno byłoby wykrzesać życie z kosmicznego śmietnika, zawierającego jedynie gwiazdy neutronowe, białe karły i czarne dziury.

Dicke zauważył również, że w podobny sposób można „wytłumaczyć” początkową wartość  $\Omega$  oraz izotropię i jednorodność Wszechświata. Okazuje się przy tym, że gdyby w chwili  $t = 1s$  było  $1 - \Omega \geq 10^{-6}$ , czyli inaczej mówiąc, gdyby energia kinetyczna była zaledwie o jedną milionową większa od potencjalnej, to w epoce odpowiadającej  $T = 4000$  K energia kinetyczna ekspansji zdominowałaby energię potencjalną tak dalece, iż uniemożliwiłoby to powstanie galaktyk, ponieważ całkowita energia obłoków będących „zarodkami” galaktyk byłaby dodatnia. W takim modelu również gwiazdy nigdy nie mogłyby powstać i nie zostałyby wytworzone pierwiastki ciężkie, bez których nie jesteśmy w stanie wyobrazić sobie życia.

Gdyby natomiast w chwili  $t = 1s$  parametr  $\Omega$  był większy od 1 zaledwie o jedną milionową, to Wszechświat zacząłby się kurczyć już po upływie 100 tysięcy lat od wielkiego wybuchu. Ekspansja zostałaby zatrzymana przy temperaturze rzędu  $10^4$  K, po czym rozpoczęłby się etap kurczenia i ponownego wzrostu temperatury. W takim Wszechświecie byłoby nam zdecydowanie za gorąco, a poza tym również nie mogłyby w nim powstać gwiazdy i pierwiastki ciężkie.

Wszechświat silnie niejednorodny i anizotropowy byłby również nieprzyjazny życiu: w okolicy roiłoby się od czarnych dziur o wielkich masach, fal uderzeniowych i strumieni twardego promieniowania gamma.

Problem wyboru warunków początkowych zbliżony jest do problemu wyboru odpowiednich wartości dla stałych fizycznych. W obu przypadkach znane obecnie prawa fizyki nie dostarczają kryteriów wyboru. Nie wiadomo na przykład, dlaczego stała struktury subtelnej  $\alpha = e^2/\hbar c$  (gdzie  $e$  oznacza ładunek elektronu, a  $\hbar$  — stałą Plancka) określająca siłę oddziaływań elektromagnetycznych, jest rzędu  $10^{-2}$ . Oddziaływania grawitacyjne opisać można przy pomocy analogicznej „stałej sprzężenia”  $\alpha_G = G m_p^2/\hbar c$  (gdzie  $m_p$  oznacza masę



protonu, a  $G$  — stałą grawitacyjną) równej  $10^{-38}$ . Oddziaływania grawitacyjne są znacznie słabsze od elektromagnetycznych: stosunek siły grawitacji do siły kulombowskiej działającej pomiędzy dwoma protonami wynosi  $\alpha_G/\alpha = 10^{-36}$ . Czy można to „wyjaśnić” posługując się Zasadą Antropiczną? Okazuje się, że odpowiedź na to pytanie jest twierdząca. Wykazał to na początku lat siedemdziesiątych Brandon Carter z Uniwersytetu w Cambridge (W. Brytania). Otóż nasze Słońce zajmuje na diagramie H-R położenie pomiędzy błękitnymi olbrzymami (które żyją krócej) a czerwonymi karłami (żyjącymi dłużej). Jedyne gwiazdy typu Słońca spełniają jednocześnie dwa warunki, które wydają nam się niezbędne do tego, aby w ich otoczeniu mogło rozwinąć się życie: posiadają tempo ewolucji bardziej powolne od tempa ewolucji biologicznej (przynajmniej nam znanej) i świecą dostatecznie jasno, aby planeta znajdująca się na stabilnej (a więc dostatecznie odległej) orbicie mogła być ogrzana na tyle, aby umożliwić spontaniczne tworzenie się cząsteczek organicznych.

Carter zauważył, że gdyby wartość  $\alpha$  była o 1% większa od wartości obserwowanej, wszystkie gwiazdy byłyby czerwonymi karłami, gdyby natomiast była o tyle mniejsza — Wszechświat wypełniony byłby jedynie błękitnymi olbrzymami. Podobny efekt wystąpiłby, gdyby wartość  $\alpha$  była równa obserwowanej, natomiast  $\alpha_G$  byłaby odpowiednio mniejsza o rząd wielkości od wartości obserwowanej (czerwone karły) lub większa (błękitne olbrzymy).

Szczęśliwych koincydencji, takich jak obserwowany stosunek  $\alpha/\alpha_G$ , jest więcej. Na przykład, gdyby stała sprzężenia dla oddziaływań jądrowych była nieco słabsza od obserwowanej, okazałaby się niewystarczająca do tego, aby związać protony i neutrony. Istnienie pierwiastków cięższych od wodoru byłoby wówczas niemożliwe. Stabilne pierwiastki ciężkie nie istniałyby również, gdyby różnica mas neutronu i protonu nie była w przybliżeniu równa podwojonej masie elektronu. Tak precyzyjne dostrojenie warunków początkowych oraz stałych fizycznych, umożliwiające powstanie życia stwarzają poczucie celowego działania. Z wrażeniem tym Carter poradził sobie tak, jak Darwin poradził sobie z Lamarckiem. Wprowadził on pojęcie „zespołu statystycznego” wszechświatów, które Dicke i Peebles interpretują następująco:

„Proszę sobie wyobrazić zabawę w rosyjską ruletkę, w której bierze udział bardzo duża liczba osób używających losowo rozdanych nabitych i nie nabitych rewolwerów. Pod koniec tej morderczej zabawy znakomity probabilista po dokonaniu wyczerpującej analizy statystycznej dojdzie do wniosku, że prawdopodobieństwo przypadkowego wyciągnięcia nie nabitych rewolwerów przez pozostałych przy życiu graczy jest bardzo wysokie. A teraz proszę sobie wyobrazić zespół wszechświatów wszystkich rodzajów. Nie powinno nas dziwić, że nasz Wszechświat nie jest „typowy”, ponieważ uśrednione po zespole cechy takiego wszechświata z powodzeniem mogą okazać się wrogie życiu. Możemy być obecni jedynie w takim wszechświecie, który czyni zadość naszym potrzebom”.

Inaczej mówiąc, gdyby warunki początkowe i stałe fizyczne nie były dobrane w sposób właściwy, to nie miałby kto zadać pytania: „dlaczego Wszechświat jest taki, jakim go widzimy?”.

Wygląda na to, że posługując się Z. A. (Zasadą Antropiczną) można udzielić odpowiedzi na wszystkie kłopotliwe pytania. Czy rzeczywiście? Wróćmy do rozumowania Dicke’go, przedstawionego na początku tego rozdziału. Z rozumowania tego wynika, że wiek Wszechświata nie może być dowolny. Zmniejszanie stopnia dowolności w wyjaśnianiu zjawisk przyrody zawsze było celem nauki, i w tym sensie w takim rozumowaniu nie ma nic niezwykłego; tym co odróżnia jego sposób myślenia od konwencjonalnego jest struktura logiczna jego argumentów.

Dicke nie wyprowadza swoich wniosków z żadnej fundamentalnej teorii ani nie przewiduje wyników przyszłych doświadczeń, lecz przeciwnie, „odwraca kota ogonem”, używając naszej wiedzy o obecnym stanie Wszechświata (istnienie życia) jako wyjaśnienia faktów związanych z jego przeszłością (wartość  $H_0$ ). Jest to zatem rodzaj przewidywania przeszłości, opartego na przyszłości tej przeszłości. Wygląda to bardziej na błędne koło, niż na wyjaśnienie czegokolwiek.



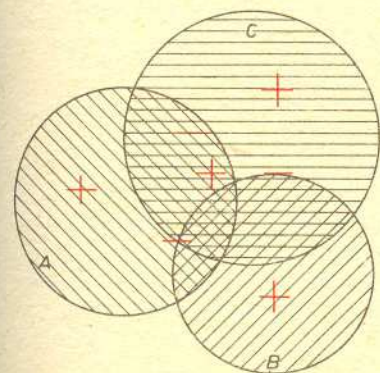
Rozwiązanie zadania M 331  
Zachodzi następujący wzór

$$(*) \quad |A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n| = \\ = \sum_{k=1}^n \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_k \leq n} (-1)^{k+1} |A_{j_1} \cap \dots \cap A_{j_k}|,$$

gdzie drugie sumowanie jest po wszystkich takich układach wskaźników  $j_1, \dots, j_k$ , że  $1 \leq j_1 < j_2 < \dots < j_k \leq n$ , przy czym przecięcia nieparzystej liczby podzbiorów bierzemy ze znakiem plus, a parzystej ze znakiem minus. Dla  $n = 3$  wzór (\*) wygląda tak

$$|A \cup B \cup C| = |A| + |B| + |C| - |A \cap B| - |B \cap C| - |A \cap C| + |A \cap B \cap C|,$$

p. rysunek. Łatwy (indukcyjny) dowód wzoru (\*) opuścimy.



Zamiast powiedzieć „rzeczy są takie, jakie są, ponieważ były takie, jakie były” mówimy, że rzeczy są takie, jakie są”. Czy zatem nie są to po prostu, jak mawiał Kubuś Puchatek, ...

### Wielkie myśli o niczym?

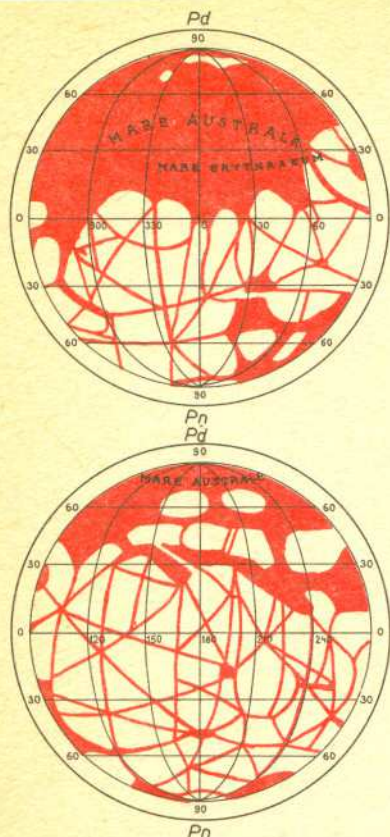
Liczba zarzutów, które można skierować pod adresem Z. A. jest doprawdy imponująca. Po pierwsze, są to zarzuty, o których była mowa przed chwilą (metodologiczne). Po drugie, lwia część argumentów, którymi posługują się zwolennicy Z. A. oparta jest na wątpliwym założeniu, iż znamy ogólne warunki, niezbędne do powstania życia, podczas gdy w rzeczywistości cała nasza (bardzo skromna!) wiedza na ten temat dotyczy jedynie możliwości powstania życia tu, na Ziemi. Wreszcie, po trzecie, Z. A. (a zwłaszcza jej najbardziej radykalne wersje) oparta jest na założeniu, że istnieje wzajemnie jednoznaczna odpowiedniość pomiędzy istnieniem świadomych obserwatorów a warunkami początkowymi oraz stałymi fizycznymi. O tym, że tak nie jest, można się przekonać wymyślając wszechświaty, które powinny wyprodukować takich samych obserwatorów, mimo iż różnią się od siebie pod względem warunków początkowych lub stałych fizycznych. Jeden z takich modeli został zaproponowany przez Peeblesa i Dicke'go, którzy doszli do wniosku, że jak na wymagania Z. A. „... Wszechświat jest przesadnie rozbudowany; właściwie pojedyncza galaktyka zanurzona w asymptotycznie płaskiej przestrzeni powinna wystarczyć”.

Mimo tych wszystkich zarzutów trudno jest uznać rozważania oparte na Z. A. za całkowicie jałowe. Nawet gdyby cała „ideologia” dorabiana do tej zasady okazała się w końcu fałszywa, pozostaną zagadkowe koincydencje, na które jej zwolennicy zwrócili uwagę i które tak czy owak wymagają uzasadnienia. Dalsze losy Z. A. będą zależały od tego, czy i w jakim stopniu koincydencje te uda się wytłumaczyć wychodząc od „pierwszych zasad” jakiejś (nieznanej obecnie) fundamentalnej teorii. Jeżeli program taki się powiedzie, to udziałem Z. A. będzie to samo, co stało się udziałem koncepcji vis vitalis, eteru, flogistonu, cieplika itd ...

Istnieją już pierwsze oznaki przemawiające za tym, iż tak właśnie się stanie. Mam tu na myśli między innymi prace Jakuba B. Zeldowicza z Uniwersytetu Moskiewskiego (ZSRR), poświęcone badaniu procesów kreacji cząstek, zachodzących w silnie anizotropowym Wszechświecie w tzw. erze Plancka,  $t_{ep} \geq 10^{-43}$  s. Według Zeldowicza energia zgromadzona w anizotropowym polu grawitacyjnym jest tak wydajnie przekazywana produkowanym cząstkom, iż anizotropia zanika już po upływie czasu tego samego rzędu wielkości, co  $t_{ep}$ .

Przed rokiem pojawiła się również niezwykle interesująca praca Alana Gutha (Uniwersytet w Stanford, Stany Zjednoczone). Zauważył on, że odstępstwo od adiabatycznej ekspansji w epoce  $t \geq 10^{-35}$ s, spowodowane przez przemianę fazową (której fizycy spodziewają się na podstawie teorii Wielkiej Unifikacji) doprowadzi do „rozęcia” horyzontu (w czasie przejścia fazowego odległość do horyzontu będzie rosła wykładniczo,  $r_H \sim \exp(t/10^{-35})$ , a nie potęgowo, jak w modelu standardowym). Efekt ten pozwala rozwiązać problem horyzontu, choć nie podaje konkretnego mechanizmu izotropizującego. Najciekawszą konsekwencją przemiany fazowej zachodzącej w epoce Wielkiej Unifikacji jest „wypłaszczenie” Wszechświata — po przejściu  $\Omega = 1$  z konieczną dokładnością przy „dowolnych” (tj.  $|\Omega - 1|$  rzędu 1) odstępstwach od jedności przed przejściem. W ten sposób problem horyzontu i problem „płaskości” Wszechświata zostałyby rozwiązane „za jednym zamachem”!

Aby wszystko, co zostało tutaj powiedziane o konsekwencjach istnienia życia na Ziemi nie zostało potraktowane poważniej, niż na to zasługuje, pozwolę sobie zakończyć ten artykuł żartem wymyślonym przez pewnego złośliwca (mógł to być G. B. Shaw, ale głowy nie daję), który zastanawiając się nad pytaniem: „czy fakt, że włoskiemu astronomowi Schiaparelliemu udało się zaobserwować kanały na Marsie dowodzi istnienia życia na tej planecie?” doszedł do wniosku, że chyba nie. Tym natomiast, czego odkrycie kanałów dowodzi jego zdaniem z całą pewnością jest ... istnienie włoskiego astronoma Schiaparelliego.



Rys. 2. „Kanały” na Marsie



Teoria Wielkiej Unifikacji przewiduje, że w dostatecznie wysokiej temperaturze ( $kT > 10^{15}$  GeV, gdzie  $k$  jest stałą Boltzmanna) oddziaływania słabe, elektromagnetyczne i silne mają jednakową stałą sprzężenia, tj. ulegają „ujednoczeniu”. Temperatury takie panowały przy  $t < 10^{-35}$ s.