

John LESLIE

PRZEJAWY DELIKATNEGO DOSTROJENIA

Nasz Wszechświat wygląda tak, jakby był wyraźnie dostrojony do wymagań stawianych przez życie. Małe zmiany natężenia głównych sił przyrody, zmiany mas cząstek elementarnych, stopnia turbulencji we Wszechświecie, prędkości ekspansji we wczesnych stadiach jego rozwoju i wielu innych wartości uczyniłyby Wszechświat nieprzyjaznym dla istot żywych jakiegokolwiek rodzaju. Wszechświat był zagrożony powtórным kolapsem w ciągu ułamka sekundy. Możliwe też było, że jedynym czynnikiem tworzącym go stanęły czarne dziury lub materia zbyt rozproszona, by mogła uformować gwiazdy i planety. Mogło się również stać tak, że Wszechświat złożony byłby jedynie z promieni świetlnych.

Idea specyficznego zaprojektowania świata pojawia się już u Newtona. Poniżej dyskutuję, jak powinien by on ją przeformułować w chwili obecnej.

Newtonowski argument planu

2.1 W wykładzie 7 *Modes of Thought* (1938) A. N. Whitehead atakuje hume'owsko-newtonowski obraz natury jako 'samowystarczalny, nie posiadający żadnego znaczenia zespół faktów'. Cóż za bałamutną wizję newtonowskiego myślenia stwarza ten cytat! To przecież *General Scholium* do *Principiów* Newtona mówi, że 'najpiękniejszy system Słońca, planet i komet może wynikać jedynie z zamiaru i pozostawać pod kontrolą inteligentnej i wszechmocnej Istoty'; że Bóg umieścił gwiazdy 'w olbrzymich odległościach jedną od drugiej', aby kosmos uniknął kolapsu, że 'ślepa metafizyczna konieczność' nie może wyprodukować 'takiej różnorodności naturalnych obiektów, które my znajdujemy dopasowane do różnych czasów i miejsc'. Czyż jest możliwe, żeby Whitehead to wszystko ignorował?

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

Być może w rzeczywistości Whitehead miał na myśli tych ‘newtonistów’, którzy zawsze kierują się następującymi słowami z *General Scholium*: ‘Nie przyjmuję żadnych hipotez [...] Wystarczy, że grawitacja rzeczywiście istnieje i działa zgodnie z prawami, które wyjaśniliśmy’. Tacy ludzie nie zwracają uwagi na fragmenty listów Newtona do Bentleya sąsiadujące z tymi sentencjami i na *Queries*, które dodał on do *Optyki* i które pełne są teistycznych hipotez. (Są tam: hipoteza Boskiego planu, że ‘ten Porządek i Piękno, które widzimy w świecie’ jest odbierane takim organem jak oko¹; hipoteza, że ‘zwykle Prawa Przyrody’ nigdy by nie spowodowały, aby świat ‘powstał z Chaosu’²; hipoteza, że przyczyną tego, iż ‘materia powinna podzielić się na dwa rodzaje’ i tego, że ‘jej część, która ma tworzyć ciało świecące, powinna opaść na jedną masę i stworzyć Słońce’ może być jedynie ‘zamierzenie i pomysłowość świadomego Czynnika’)³. Reputacja Newtona wymaga, aby ta orgia hipotez odeszła zapomniana w ciszy. Ludzie przypominają sobie Leibniza wyszydzającego newtonowską ideę, że Bóg może od czasu do czasu ‘poprawić’, ‘wyczyścić’, ‘zreperować’ kosmos działając impulsami na planety, aby skorygować ich perturbacje⁴. Ale czyż Laplace nie pokazał, że Układ Słoneczny jest stabilny niezależnie od tych perturbacji? Czyż Darwin nie usunął wszelkiej potrzeby Bożej ręki w świecie? Newton wydaje się szukać Boga w brakach naszej wiedzy naukowej, w brakach, które my mamy kłopotliwy zwyczaj zapełniać.

2.2 Postaram się pokazać, że łączenie przez Newtona nauki z teizmem jest znakomicie pomyslane. Nie będę go bronił jednak przed Leibnizem i Darwinem, bo uważa, że Bóg stale interweniuje w funkcjonowanie świata, brzmi rzeczywiście niefortunnie. (Jak powiedział Leibniz, Bóg wydaje się tu być sportretowany jako nie nadający się do swojej pracy robotnik, często zmuszony poprawiać swoje dzieło. Problem zła — pogodzenia światowych katastrof z Boską dobrocią wydaje się być nierozwiązanym, dopóki Bóg nie ma silnych moralnych powodów, aby nie korygować ciągle działania świata.) Dziś można powiedzieć, że zarówno forma praw fizyki, jak również, być może, rozkład materii we wczesnych stadiach Wielkiego Wybuchu, sugerują Boską działalność kreatywną. Kiedy zilustrujemy tę tezę faktami nieznanymi Newtonowi, otrzymamy dokładnie to, czego on sobie życzył mówiąc,

¹I. Newton, *Opticks*, *Query* 28.

²Ibid., *Query* 31.

³I. Newton, pierwszy list do Bentleya.

⁴G. Leibniz, list do księżnej Walii, listopad 1715.

że brakuje mu ‘wymaganej dokładności doświadczenia’ do odpowiedniego rozwinięcia swojego systemu.

Głównie będąc się odwoływał do współczesnych dowodów, często dyskutowanych w związku z tak zwaną zasadą antropiczną. Istnieje wiele sugestii, że podstawowe cechy obserwowanego kosmosu są uderzająco ‘delikatnie dostrojone’ w celu wyprodukowania życia. (a) Na ich podstawie bardzo często wnioskuje się, że istnieje niezliczona liczba ‘wszechświatów’ — częściowo lub całkowicie odseparowanych systemów, być może o olbrzymich rozmiarach — i że natężenia sił, masy cząstek, prędkości ekspansji itd. zmieniają się od wszechświata do wszechświata. Prędzej czy później w pewnym miejscu warunki pozwolą istotom żywym na rozwijanie się. Zasada antropiczna przypomina nam, że oczywiście *tylko takie miejsca może być obserwowane przez istoty żywe*. (b) Można jednak zaoferować alternatywną interpretację. Według niej istnieje tylko jeden Wszechświat, a jeżeli już jest ich wiele, to wszystkie one są do siebie bardzo podobne. Natężenia sił i masy cząstek są wszędzie takie same, zgodnie z sugestią zawartą w drugim *Rule of Reasoning z Principiów*, które Newton zilustrował uwagą, że zarówno ‘światło z ognia naszej kuchenki jak i światło ze Słońca’ powinny być traktowane jako rządzone tymi samymi prawami. Zatem wspomniane siły, masy i z pewnością wiele innych czynników również, zostały tak dobrane, aby uczynić rozwój życia możliwym. Były one wybrane przez Myśl lub przez bardziej abstrakcyjną Zasadę Kreatywną⁵, która ma wystarczające powody, aby nazywać się ‘Bóg’.

Czy nie będzie to w takiej sytuacji ‘Bóg Od Wypełniania Dziur’ (*a God of the Gaps*)? To może zależeć od sensu, jaki nadamy tym niejasnym słowom. Wielu naukowców może powiedzieć, że nie są oni zainteresowani tłumaczeniem, dlaczego Wszechświat w ogóle istnieje, dlaczego jego początkowy stan był taki a taki i dlaczego jest on posłuszny jakimkolwiek prawom fizycznym, a zajmują się tylko systematyzacją takich lub innych sił przyrody. Decydująca o tych sprawach Boskość nie wypełnia żadnych dziur w nauce, jeśli się ją tak rozumie. Wypełniacz dziur, którego nauka odrzuca, to ktoś taki, czyjego gniewem jest piorun lub kto wrzucił pierwszą żywą komórkę do dziewiczego oceanu.

⁵Neoplatońską Zasadę Kreatywną bronię w wielu moich pismach.

Niska turbulencja; dopuszczająca życie prędkość ekspansji

2.3 ‘Ślepa konieczność’, powiedział Newton, nie byłaby nigdy w stanie wyprodukować ‘cudownej jednolitości’ ruchów planet. ‘Grawitacja może być przyczyną ruchu planet, ale bez Boskiego zezwolenia nie mogłaby ona spowodować takiego ruchu obiegowego, jaki planety mają obecnie’⁶. Chociaż ten pogląd w stosunku do planet okazał się błędny, może on być prawidłowy, kiedy dotyczy ładu Wszechświata jako całości. Cofnijmy się w czasie, śledząc model ewolucji Wszechświata — pomimo skrupulatnego rozmieszczenia jego części na skutek ewolucji powstaje chaos. Newton uzasadniał⁷, że jeżeli można się spodziewać chaosu przez śledzenie ewolucji kosmosu wstecz, na przykład przez nadanie ‘materii tworzącej Ziemię, planety i gwiazdy’ ruchu powodującego jej ‘wypływ z nich’, czyli przez próbę odwrócenia procesu, w którym ta materia połączyła się, tworząc ciała niebieskie — to jest potrzebna Boska moc w celu ochrony tegoż kosmosu od chaotycznego rozwoju. Rozumowanie jego znajduje dziś potwierdzenie. Powszechnie twierdzi się, że powinniśmy się spodziewać chaotycznego Wielkiego Wybuchu, ponieważ gdy będziemy cofać przebieg ewolucji przypadkowo wybranego wszechświata powstanie chaos, a chaos wybuchu może ewoluować w kierunku kosmicznej gładkości tylko kosztem wyprodukowania znacznie większych niejednorodności w mniejszej skali — olbrzymiej ilości ciepła lub niezwykle wielu czarnych dziur. (Czarne dziury są systemami bardzo nieuporządkowanymi, o wyjątkowo wysokiej entropii.) Wielki Wybuch miał prawdopodobnie swój początek w osobliwości (region, poza który dotychczasowe historie promieni świetlnych nie mogą docierać), która jest raczej ‘poszarpana’ niż punktowa.

W tym miejscu należy położyć nacisk na fakt, że natychmiastowe działanie na odległość jest niemożliwe. Brak natychmiastowego przekazu informacji oznacza, że obszary wychodzące z Wielkiego Wybuchu nic nie wiedziały o sobie wzajemnie aż do momentu, gdy minęło wystarczająco dużo czasu, by światło mogło przebyć drogę pomiędzy nimi. Tak więc nie można tych obszarów porównać do biegaczy posyłających sobie wzajemnie sygnały i podtrzymujących równomierną ekspansję złożonego z nich pierścienia. Powinniśmy się raczej spodziewać, że ich ruchy będą całkowicie nieskoordyno-

⁶I. Newton, drugi list do Bentleya.

⁷I. Newton, czwarty list do Bentleya.

wane. Pojawiające się w momencie kontaktu między tymi obszarami tarcie może doprowadzić do pewnego rodzaju wielkoskalowej jednorodności; części biegnące najszybciej napotkają najsilniejszy opór, który spowolni ich ruch; można jednak pokazać, że tarcie doprowadzi do temperatur zbyt wysokich, by mogło powstać życie, lub do Wszechświata czarnych dziur. Jest to problem gładkości (*the Smoothness Problem*).

P. C. W. Davies napisał, że wygładzenie przez tarcie nawet drobnej części wcześniejszej chropowatości ‘zwiększyłyby pierwotne ciepło biliony razy’ w sposób katastrofalny. I, ‘jeżeli pierwotny materiał był w ten sposób sprowadzony do stanu uśrednionego, druzgocąco bardziej byłoby prawdopodobne wyprodukowanie czarnych dziur niż gwiazd’: ‘przewaga tego scenariusza nad gwiazdnym kosmosem’ sięga ‘co najmniej jedyński z bilionem bilionów zer’⁸. R. Penrose podobnie obliczył, że przy braku nowych zasad fizycznych, które wyjaśniłyby gładki początek, ‘dokładność celu Kreatora’, kiedy umieszczał on szpilkę, aby wybrać nasz uporządkowany świat z przestrzeni fizycznie możliwych światów, musiała być ‘co najmniej rzędu 1 na $10^{10^{123}}$ ’, co jest niewyobrażalnie gigantyczną liczbą⁹. (Jest to 1 z 10^{123} zerami.)

Problem gładkości ma nadal wielkie znaczenie, nawet gdyby stosunek liczby fotonów (Newtonowskich cząstek światła) do liczby cząstek materii został zredukowany przez mechanizmy działające we wczesnych momentach. Takie mechanizmy bowiem mogłyby działać tylko w bardzo wczesnych chwilach, podczas gdy obszary, które nigdy wcześniej nie oddziaływały ze sobą, mogą wejść w oddziaływanie po bilionach lat.

2.4 Jakiegokolwiek by było rozwiązanie tego problemu, musi ono pozwolić na sprzyjające życiu lokalne odchylenia od gładkości: galaktyki. Pewne obszary gazu muszą ulec kondensacji w gwiazdy. Ale jeżeli Wszechświat jako całość zachowałby się podobnie kolapsując na samego siebie, spowodować by to mogło szybką katastrofę. Co powstrzymuje gwiazdy od spadku jednych na drugie? Jak widzieliśmy, Newton odpowiedział, że Bóg umieścił je na ‘dużych odległościach’, ale pełniejsza odpowiedź powinna brzmieć, że nasz kosmos od bardzo wczesnych chwil ekspandował z prędkością bardzo bliską wartości dzielącej nieskończoną eksplozję od grawitacyjnej implozji.

⁸P. C. W. Davies, *Other Worlds*, London 1980, 160–1, 168–9.

⁹R. Penrose, w: Ch. Isham, R. Penrose, D. Sciama, *Quantum Gravity 2*, Oxford 1981, 248–9.

Drobne wczesne odchylenia od tej prędkości mogłyby do tej chwili niezwykle wzrosnąć, co podkreślił R. H. Dicke w 1970 roku. Obliczył on, że wzrost prędkości we wczesnych stadiach ekspansji o 0.1 procenta spowodowałby, że dzisiejsza ekspansja byłaby tysiące razy szybsza od obserwowanej¹⁰. Równie znikome zwolnienie ekspansji doprowadziłoby do kolapsu, gdy kosmos był milion razy mniejszy niż dzisiaj.

Od tamtych czasów rachunki zostały poprawione i uzupełnione. W roku 1978 Dicke stwierdził, że zmniejszenie prędkości o jedną milionową w jedną sekundę po Wielkim Wybuchu spowodowałoby kolaps, zanim temperatura spadłaby poniżej 10 000 stopni¹¹; przy równie małym zwiększeniu prędkości 'energia kinetyczna ekspansji tak zdominowałaby grawitację, że drobne nieregularności w gęstości nie byłyby w stanie zebrać się w związane systemy, w których mogłyby się uformować gwiazdy'. S. W. Hawking oszacował, że zmniejszenie prędkości o jedną część na milion milionów, kiedy temperatura wynosiła 10^{10} stopni 'spowodowałoby początek kolapsu Wszechświata, kiedy temperatura wynosiłaby jeszcze 10 000 stopni'¹². Wyraźnie potrzebne delikatne dostrojenie (by Wszechświat zaczął ekspandować ze sprzyjającą życiu prędkością) musi być tym dokładniejsze, im dalej cofamy się w czasie, w którym ma być ono przeprowadzone.

2.5 Innym sposobem na zrozumienie roli delikatnego dostrojenia jest rozważenie gęstości panujących we wczesnym kosmosie, które są bezpośrednio związane z prędkościami ekspansji. Gdy prześledzimy zdarzenia wstecz do czasu Plancka, 10^{-43} sekundy po Wielkim Wybuchu, to gęstość wtedy musi być równa, z dokładnością do jednej części na 10^{60} , 'gęstości krytycznej', która czyni przestrzeń dokładnie płaską (dokładnie Euklidesową), tym samym umieszczając ją dokładnie pomiędzy kolapsem a ciągłą ekspansją¹³. Temperatury (mierzone w jednostkach energii) musiały wtedy wynosić około 10^{19} GeV. W późniejszym stadium, co do którego jesteśmy bardziej pewni,

¹⁰R. H. Dicke, *Gravitation and the Universe*, Philadelphia 1970, 62.

¹¹R. H. Dicke i P. J. E. Peebles, w: S. W. Hawking i W. Israel, *General Relativity*, Cambridge 1979, 514.

¹²S. W. Hawking, w: M. Longair, *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Dordrecht 1974, 285.

¹³B. J. Carr, „Irish Astrophysical Journal”, vol. 15, no. 3, 1982, 244; cf. P. C. W. Davies, *Particle and Nuclear Physics*, vol. 10, wyd. D. Wilkinson, 20 (jest to rozwinięcie argumentów zawartych w książce *The Accidental Universe*, Cambridge 1982, wydanej też w tłumaczeniu rosyjskim jako *Sluczajnaja Wsjeliennaja*, Moskwa 1985); cf. J. Barrow i F. J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford 1986, 411.

kiedy temperatura wynosiła 10^{17} GeV, delikatne dostrojenie powinno nadal być dokładne¹⁴ do jednej części na 10^{55} . Problem prędkości ekspansji (*The Expansion Speed Problem*) może być zatem postawiony jako problem płaskości (*a Flatness Problem*). Dlaczego przestrzeń nie jest bardziej zakrzywiona?

Inflacja i potrzeba jej dostrojenia

2.6 Często dziś przyjmuje się, że problemy gładkości i płaskości mogą zostać rozwiązane przez scenariusz ‘inflacyjny’. A. H. Guth i inni rozwinęli taki scenariusz, aby wytłumaczyć brak monopoli magnetycznych. Sądzi się, że przy bardzo wysokich temperaturach cztery główne siły natury — grawitacja, elektromagnetyzm oraz silne i słabe oddziaływania jądrowe — powinny być aspektami jednej i tej samej siły. Jest również możliwe, że istnieje tylko jeden podstawowy typ cząstki. Gdy temperatury opadły, ta prostota została zniszczona (‘łamanie symetrii’). Siły oddzieliły się od siebie w przejściach fazowych (radykałnych zmianach stanu). Takiego przejścia fazowego doznaje podlegająca zamarzaniu woda, która traci swoją całkowitą symetrię obrotową, czyli właściwość wyglądu tak samo we wszystkich kierunkach dla obserwatora w niej zanurzonego, i przyjmuje bardziej ograniczoną symetrię kryształów lodu. U nas przejścia fazowe mogą zachodzić na różne sposoby. Może być wysoce prawdopodobne, że w obszarach, które były przyczynowo odseparowane, promienie świetlne nie miały wystarczająco dużo czasu, aby powiązać przejścia, które mogły tam zachodzić rzeczywiście inaczej. (Nie jest możliwe, by milion małych pisało ciągle ten sam ciąg liter.) W rezultacie otrzymalibyśmy niezliczone domeny o różnych symetriach i węzły topologiczne w miejscach ich kontaktu. Takie węzły mogłyby być monopolami magnetycznymi. Byłyby one tak ciężkie i tak liczne, że Wszechświat skolapsowałby bardzo gwałtownie¹⁵. Można by jednak uniknąć tej katastrofy, gdyby dowolne przejście fazowe tworzące monopole miało związek z nagłą, szybko przyspieszającą inflacją przestrzeni. Taka inflacja — jak wzrost hodowli królików, w której każdy królik każdej nowej generacji daje początek tuzinowi innych — mogłaby wystąpić w początkowych stadiach Wszechświata. Mogłaby ona wypchnąć monopole i ściany domen daleko poza zasięg jakiegokolwiek teleskopu.

¹⁴A. H. Guth, „Physical Review” D, vol. 23, no. 2, 1981, 348.

¹⁵J. Barrow i F.J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 433; cf. A. H. Guth, op. cit. (przypis 14), 352.

Inflacja może nam dać niezwykle płaską przestrzeń: poddany silnej inflacji balon może mieć bardzo płaską powierzchnię. Również problem gładkości może znaleźć zasadniczo takie samo wytłumaczenie jak problem prędkości ekspansji, czyli płaskości. Przy braku inflacji widzialny Wszechświat powstałby z być może 10^{83} początkowo odseparowanych obszarów i, gdyby weszły one w kontakt, doszłoby do olbrzymiej turbulencji. Inflacja może jednak oznaczać, że horyzont wszystkiego, co obecnie jesteśmy w stanie zobaczyć, leży głęboko wewnątrz takiego pojedynczego obszaru, którego części tworzą skoordynowaną całość, ponieważ oddziaływały ze sobą przed inflacją.

2.7 Wydaje się jednak, że powyższe dwa problemy zostały rozwiązane jedynie przez wprowadzenie innych. Budowniczości modeli Wszechświata mają trudności z zainicjowaniem inflacji, ze zmuszeniem jej do zatrzymania się bez nadwyżki turbulencji (problem łagodnego ujścia — *the Graceful Exit Problem*) i ze spowodowaniem, by dawała ona nieregularności ani zbyt małe ani zbyt duże, ale w sam raz umożliwiające powstanie galaktyk. Nawet gdyby teoria wielkiej unifikacji była zgrabnie dobrana tak, aby sprostać powyższym trudnościom — co mogłoby podejrzanie wyglądać jak ‘delikatne dostrojenie’, które hipoteza inflacyjna miała ambicje uczynić zbytecznym — nadal byłibyśmy zmuszeni do postulowania olbrzymiej przestrzeni zawierającej rzadkie obszary, w których występowałyby właściwa inflacja. Jest możliwe, że obszary te muszą być na przykład wyjątkowo gładkie. W tym przypadku trudno się domagać, by inflacja uwolniła nas od problemu gładkości¹⁶. Zaklasyfikowanie gładkości jako cechy ‘naturalnej’ również nie usuwa naszych trudności. Wyniknąć może bowiem potrzeba bardzo wyjątkowego rodzaju inflacji mogącej uczynić Wszechświat wystarczająco grudkowatym w celu umożliwienia powstania galaktyk. Rzeczywiście, bez tego ryzykuje się brak wyraźnej termodynamicznej ‘strzałki czasu’, a bez niej z kolei życie jakiegokolwiek rodzaju wydaje się być w sposób oczywisty niemożliwe. Jednym z podejść jest spodziewanie się, że wczesne, bardzo drobne nieregularności, zwyczajne fluktuacje kwantowe, zostały wystarczająco rozdmuchane przez inflację, aby dostarczyć wymaganej grudkowatości.

¹⁶Zob. G. W. Gibbons, S. W. Hawking, Siklos (wyd.), *The Very Early Universe*, Cambridge 1983, 271. 393; lub A. D. Mazenko, G. M. Unruh i R. M. Wald, „Physical Review” D, vol. 31, no. 2, 1985, 273–82.

2.8 W najpopularniejszych modelach proces inflacyjny jest zasilany przez odpychanie takiego rodzaju, jaki wprowadził Einstein, gdy nadał niezerową wartość *stałej kosmologicznej*. Chociaż w równaniach ogólnej teorii względności pojawia się ona naturalnie, długo była przyjmowana za równą zeru i tym samym pomijana. Einstein uważał, że użycie przez niego tej stałej było jego największą pomyłką: zamiast posługiwać się nią w celu utrzymania Wszechświata w obrazie statycznym powinien on, jak powiedział, przewidzieć ekspansję kosmiczną. Obecnie miejsce lamigłówki Einsteina, jak utrzymać statyczny kosmos, zajęła inna: jak kosmos mógł uniknąć natychmiastowego kolapsu, jako że dzisiejsza fizyka wypełnia przestrzeń polami o tak wielkiej gęstości energii — w szczególności w postaci kwantowych fluktuacji próżni, w których cząstki otrzymują krótkotrwałe istnienie, że można się spodziewać, iż grawitacja bardzo szybko zebrałaby wszystko w sferę mierzącą 10^{-33} cm. Aby poradzić sobie z tą nową zagadką rozpatruje się dwa składniki stałej kosmologicznej: ‘ λ gołe’ i ‘ λ kwantowe’, które mają się wzajemnie anulować z dokładnością większą niż jedna część na 10^{50} . Pytanie, jak osiągnąć ten piękny rezultat, pozostaje bez odpowiedzi. Gdybyśmy nawet byli w stanie wynaleźć mechanizmy zdolne do wywołania takiego efektu, wydaje się rozsądniejszym potraktować tego rodzaju precyzyjną anulację jako wynik przypadku, to znaczy czegoś, co mogłoby się zdarzyć gdzieś w odpowiednio gigantycznym zbiorze, lub jako wynik Boskiego wyboru. Ponieważ wydaje się, że anulacja nie może być podyktowana przez jakiegokolwiek prawo fundamentalne, bo aktywność kwantowa próżni obejmuje wiele pól, z których każde wnosi swój wkład w sposób zależny od temperatury, więc wynik wydają się determinować masy mnóstwa cząstek skalarnych¹⁷. Anulacji nie można również wytłumaczyć jako rezultatu procesu inflacyjnego, który zaszedł w odpowiedni sposób, ponieważ byłoby to stawianiem karety przed koniem. Inflacja może wystąpić w sposób odpowiedni tylko wtedy, gdy anulacja jest właśnie nadzwyczajnie dokładna¹⁸, chociaż później może być ona jeszcze dokładniejsza. (Dzisiaj stała kosmologiczna jest równa zeru z dokładnością jednej części na 10^{120} .)¹⁹

¹⁷P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 13), 28–30.

¹⁸Zob. J. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 413; lub G. W. Gibbons et al., op. cit. (przypis 16), 6. 26. 475–6.

¹⁹S. W. Hawking, w: W. H. McCrea i M. Rees (wyd.), *The Constants of Physics*, vol. A310, 1983, 304, „Philosophical Transactions of the Royal Society, London”.

Czy teorie ‘supersymetryczne’ mogłyby usunąć tę trudność? Jeżeli pola mające przyczynę do λ kwantowej mogłyby być traktowane jako silnie związane (‘włączone w multiplet’), to zważenie ich w całkiem prosty sposób mogłoby doprowadzić do anulacji. Dziś jednak jest to jedynie bardzo pobożne życzenie. Dodatkowy problem stanowi fakt, że anulacja zbyt dokładna mogłaby przeszkodzić raczej niż pomóc, gdyż jak było powiedziane wcześniej, niezerowa stała kosmologiczna jest zwykle uważana za potrzebną do sterowania procesem inflacyjnym.

Zmiana obecnego natężenia grawitacji albo słabej siły jądrowej o czynnik tak mały, jak jedna część na 10^{100} , mogłaby całkowicie zniszczyć anulację²⁰, nakazując przestrzeni opętańczą ekspansję lub kolaps. Wydaje się, że inflacja mogła się zakończyć fluktuacjami gęstości zdolnymi wyprodukować galaktyki tylko wtedy, gdy siła wielkiej unifikacji miałyby stałą sprzężenia (miarę tego, jak mocno ta siła wpływa na cząstki) rzędu jedynie 10^{-7} , która może być uważana za ‘nienaturalnie małą’²¹.

2.9 Niemniej jednak przy założeniu, że pokierowałyby ona inflacją w odpowiedni sposób, kosmos mógłby być wystarczająco rozproszony, aby uniknąć kolapsu przez biliony lat potrzebnych życiu inteligentnemu do rozwoju, jak również wystarczająco gładki, aby dopuścić do sprzyjających życiu niskich temperatur. Nie byłoby to żadnym nadzwyczajnym osiągnięciem. J. A. Wheeler podkreślił, że ‘żaden wszechświat nie może dostarczyć kilku bilionów lat czasu gdy, zgodnie z ogólną teorią względności, nie rozciąga się na kilka bilionów lat świetlnych’²², a to może być osiągnięte jedynie, gdy jego średnia gęstość jest nie większa od około dziesięciu atomów wodoru na metr sześcienny.

Bardzo rozrzedzonego kosmosu potrzeba również do rozwiązania paradoksu Olbersa: *dłaczego niebo w nocy jest ciemne, a nie gorące tak, że mogłoby nas usmażyć*, ponieważ można się spodziewać, że każdy kierunek, w którym patrzymy, ma swój koniec w jakiejś gwiazdzie lub cząsteczce pyłu ogrzanej przez gwiazdę? Wiele książek błędnie odwoływało się do faktu, że Wszechświat ekspanduje, ale to, jak pokazał E. R. Harrison, nie wpro-

²⁰P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 13), 28.

²¹J. Barrow i F.J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 434. Ogólny przegląd zagadnień związanych z inflacją w: T. Rothman i G. F. R. Ellis, „Astronomy”, February 1987, 6–22. Ponadto Ellis dowodzi („Classical and Quantum Gravity”, vol. 5, 1988, 891), że inflacja w żaden sposób nie gwarantuje płaskości przestrzeni.

²²J. A. Wheeler, „American Scientist”, vol. 62, no. 6, 1974, 689.

wadza żadnej większej zmiany do problemu. Poprawna odpowiedź brzmi, że materia jest na tyle rozproszona, iż nawet gdyby została ona w całości zamieniona na promieniowanie, niebo nie stałoby się gorące. Znacznie poważniejsze niebezpieczeństwo pochodzi od niszczylielskich promieni kosmicznych i możemy jedynie dziękować za to, że ich źródła są rozproszone daleko od nas.

We wnętrzu każdej galaktyki występują gęstości o wiele większe od dotychczas rozpatrywanych i nie powoduje to katastrofy. Ale nawet wtedy gwiazdy nie mogą być upakowane o wiele gęściej niż w naszej Galaktyce w celu uniknięcia częstych zblizeń, które oznaczałyby zniszczenie ich układów planetarnych i galaktyki jako całości, bo jej kolaps jest napędzany zawsze, gdy występują zderzenia²³. (Jest to jedna z uwag poczynionych przez G. M. Iddisa we wcześniejszej jego wypowiedzi na temat obecnie uważany za zasadę antropiczną.) Również gdyby galaktyki grupowały się w sposób zbyt gęsty, ich zderzenia mogłyby spowodować warunki niesprzyjające życiu.

2.10 Trudności związane z przejściem od prostej chemii do czegoś w rodzaju biochemii DNA mogą być tak duże, że potrzeba 10^{22} gwiazd z widocznej części Wszechświata, aby uzyskać zadowalającą szansę na wystąpienie życia mniej więcej raz. Obecnie era inflacyjna może być scharakteryzowana przez mechanizmy produkujące materię, które spowodowałyby powstanie tych 10^{22} gwiazd. Mechanizmy te mogłyby wykorzystać fakt, że energia grawitacyjna, tak jak wszystkie fizyczne energie wiązania, jest *energiją ujemną*. Może ona zrównoważyć dodatnią energię olbrzymiej ilości nowo stworzonej materii²⁴.

Gwiazdy, planety i natężenia sił; (A): siły jądrowe

2.11 ‘Ruch’, jak zauważył Newton, ‘zawsze podlega rozpadowi’: istnieje potrzeba jego zachowania przez ‘działające zasady’, na przykład takie, ‘przez które Słońce nie przestaje być gorące’. Szczegóły jednak były wtedy ‘jeszcze nie odkryte’²⁵.

²³F. Dyson, „Scientific American”, September 1971, 51–9; G. M. Iddis, „Izvestiya Astrofizicheskogo Instituta Akademii Nauk Kazakhshoi SSR”, vol. 7, 1958, 39–54, w szczególności 47.

²⁴P. C. W. Davies, *Superforce*, New York 1984, 183–205.

²⁵I. Newton, *Opticks*, *Query* 31.

Czyśmy je dzisiaj odkryli? Obecnie wiemy, że energia nigdy nie może być całkowicie stracona. Jeśli, zgodnie z przykładem Newtona, zderzają się dwie masy gliny, stają się one gorętsze. Chociaż ciepło samo w sobie jest energią w formie ‘nieuporządkowanej’, ‘o wysokiej entropii’, to różnice ciepła mogą wytworzyć uporządkowanie przedmiotów żywych. Pęd świata w kierunku nieuporządkowania zachodzący z różnymi prędkościami w różnych miejscach tworzy zawirowania i w ten sposób lokalne uporządkowanie często wzrasta.

Mimo to ciągle pozostaje pytanie, co dało początek różnicom wykorzystywanym w ten sposób, jeśli Wielki Wybuch nie miał żadnego zimnego obszaru, w który mogłyby ekspandować, ponieważ wypełniał całą przestrzeń? Na ratunek może przyjść entropia grawitacyjna. Co najmniej w dużych skalach wszystko mogło wystartować z niezwykle uporządkowaniem grawitacyjnym — to fakt, w którym współczesny Newton mógłby widzieć rękę Boską. W skalach mikroskopowych natomiast mogło istnieć skrajne nieuporządkowanie, które znosiłoby się po uśrednieniu w skali nieco mniej mikroskopowej (tak jak kolorowy gaz w stanie wysokiej entropii może wydawać się spokojny dla oglądającego). Jednak przy braku Boskiego planu może pozostać trudnym do zrozumienia, dlaczego w coraz to większych skalach Wybuch był raczej grawitacyjnie gładkim procesem, a nie poszarpanym chaosem dającym początek kosmosowi czarnych dziur lub temperaturom nieprzerwanie prażącym wszystko przez biliony lat. Jeżeli jednak przez dokładne umieszczenie boskiej szpilki (2.3) lub w jakikolwiek inny sposób może zostać osiągnięta wielkoskalowa grawitacyjna gładkość, to może ona dać początek gwiazdom, które generują ciepło w sposób stacjonarny. Jest tak dlatego, że gdy entropia termodynamiczna wzrasta przez dyssypację, kiedy gaz ekspanduje, to entropia grawitacyjna wzrasta przez koncentrację, gdy duża masa gazu opada na samą siebie tworząc gwiazdę²⁶.

2.12 Newton był w błędzie spodziewając się, że materia mogłaby potrzebować ‘rozdzielenia na dwa rodzaje’, z których jeden tworzy planety, a drugi Słońce lub słońca. (Nasze Słońce składa się głównie z wodoru, ale tak samo jest w przypadku Jowisza.) Miał on jednak rację widząc w olbrzymim rozmiarze Słońca klucz do jego długotrwałej aktywności²⁷. Miał również rację w swojej dziwacznej spekulacji (jego przekonanie, że Stwórca mógł ustalić

²⁶R. Penrose, w: Ch. Isham et al., op. cit. (przypis 9), 244–72; P. C. W. Davies, *God and the New Physics*, London 1983, 50–4, 177–81.

²⁷I. Newton, *Opticks*, *Query* 11.

w sposób absolutny jakiegokolwiek prawa fizyczne, musiało mu pomóc w jej zaakceptowaniu) o ‘zamianie ciała w światło’²⁸, o której obecnie wiemy, że jest źródłem energii słonecznej.

Można zauważyć, że słońca i planety zależą od bardzo wielu innych rodzajów delikatnego dostrojenia, których Newton nie mógł się domyślać. Na początek Wielki Wybuch musiał dostarczyć atomów przydatnych do wykorzystania w reakcjach fuzji zachodzących w gwiazdach, a nie takich, które już podległy fuzji. Dwa fakty mają tu zasadnicze znaczenie: duża prędkość ekspansji w momencie formowania się atomów — atomy zostały odrzucone od siebie zanim mogły wejść w fuzję — i *ekstremalna słabość słabego oddziaływania jądrowego*. Oddziaływanie słabe kontroluje fuzję protonowo-protonową, reakcję 10^{18} razy wolniejszą od reakcji wykorzystujących inną siłę jądrową — oddziaływanie silne. Gdyby tak nie było, ‘zasadniczo cała materia we Wszechświecie spaliłaby się na hel, zanim zaczęłyby się kondensować pierwsze galaktyki’²⁹ tak, że nie byłoby ani wody, ani długo żyjących stabilnych gwiazd, które spalają wodór. (Gwiazdy spalające hel pozostają stabilne przez czas stanowczo za krótki na ewolucję istot żywych takich, jakie znamy.)

Ponadto słabość oddziaływania słabego pozwala naszemu Słońcu ‘spalać swój wodór spokojnie przez biliony lat, a nie wybuchnąć jak bomba’³⁰.

Gdyby oddziaływanie słabe było znacząco silniejsze, to spalanie jądrowe w Wielkim Wybuchu musiałyby przejść poza stadium helu i przemierzyć całą drogę aż do żelaza. W tej sytuacji napędzane przez fuzję gwiazdy nie mogłyby istnieć.

2.13 Zauważmy jednak, że oddziaływanie słabe nie mogłoby być też znacznie *słabsze*, bo wtedy ponownie otrzymalibyśmy Wszechświat składający się wyłącznie z helu. (Mamy zatem *dwa* zagrożenia istnienia wodoru: jedno ustanawiające górną, a drugie dolną granicę na wartości oddziaływania słabego tak, żeby pasowały one do życia w znanej nam formie.) We wczesnym Wszechświecie neutrony występowały prawie tak samo często jak protony, ponieważ wszystko było na tyle gorące, że większa masa neutronów, która zazwyczaj utrudnia ich wytworzenie, grała tym razem małą rolę. Oddziaływanie słabe może jednak spowodować rozpad neutronów na protony.

²⁸Ibid., *Query* 30.

²⁹F. Dyson, op. cit. (przypis 23), 56.

³⁰Ibid.

Oddziaływanie to było wystarczająco silne aby w czasie, gdy formowały się pierwsze atomy, wystąpiła wystarczająca nadwyżka protonów prowadząca z grubsza do utworzenia 70 procent wodoru. Bez nadwyżki protonowej powstałby jedynie hel³¹.

Ponadto osłabienie oddziaływania słabego zniszczyłoby cykle protonowo–protonowy (p–p) i węglowo–azotowo–tlenowy (CNO), które powodują, że gwiazdy są źródłami ciepła, światła i ciężkich pierwiastków (wszystkich cięższych od helu) potrzebnych do życia³².

2.14 Jak to się stało, że te ciężkie pierwiastki znalazły się poza gwiazdami i uformowały planety i twory ożywione? W wyjaśnieniu pomocne okazuje się oddziaływanie słabe. Kiedy gwiazdy wybuchają jako supernowe typu II, tracą swoje warstwy zewnętrzne bogate w pierwiastki ciężkie. (Również pierwiastki cięższe od żelaza, grające ważną rolę w ziemskich organizmach, mogą powstać jedynie w syntezie zachodzącej przy wybuchach supernowych.) Warstwy te są wypychane przez neutrino, które oddziałują z nimi jedynie za pośrednictwem oddziaływania słabego. Skrajna słabość tego oddziaływania, która pozwala przejść neutronom przez naszą planetę znacznie łatwiej niż pociskowi przez powietrze, pozwala im również uciec z zapadającego się jądra supernowej. Nadal jednak oddziaływanie to jest wystarczająco silne, aby odrzucić w przestrzeń atomy z warstwy zewnętrznej potrzebne do utworzenia astronomów! Jest ono również wystarczająco silne, aby połączyć elektrony z protonami podczas kolapsu jądra i w ten sposób umożliwić kontynuowanie tegoż kolapsu. W rezultacie otrzymujemy implozję, której gwałtowność — jądro kurczy się tysiące razy w ciągu sekundy — powoduje z kolei gigantyczną eksplozję.

Często przyjmuje się, że powstanie naszego układu słonecznego, a przypuszczalnie również wielu lub wszystkich innych takich układów gwiazd i planet, było zainicjowane przez pobliski wybuch supernowej. Meteority zawierają izotop tlenu, który daje się wytworzyć jedynie w takim wybuchu.

Chociaż obliczenia są skomplikowane, wydaje się być pewnym, że osłabienie oddziaływania słabego o czynnik dziesięć mogłoby doprowadzić do Wszechświata składającego się głównie z helu, w którym tworzące życie wybuchy nie mogłyby wystąpić³³.

³¹P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 8), 176–7.

³²J. Demaret i Ch. Barbier, „Revue des Questions Scientifiques”, October 1981, 500.

³³M. J. Rees, w: W. H. McCrea i M. J. Rees, op. cit. (przypis 19), 317.

2.15 Również *silne oddziaływanie jądrowe* nie może być ani za silne ani za słabe, aby gwiazdy mogły działać w sposób sprzyjający życiu. ‘Wzrost tak mały jak jedynie o 2 procent’ w jego natężeniu ‘mógłby zablokować tworzenie się protonów z kwarków’, uniemożliwiając nawet istnienie atomu wodoru³⁴, nie mówiąc już o innych atomach. Gdyby tak się nie stało, to równie mały wzrost mógłby spowodować kolejną katastrofę przez związanie protonów w diprotony: wszystkie wodór zamieniłby się w hel we wczesnym Wybuchu³⁵ i spalanie w gwiazdach zachodziłoby przez oddziaływanie silne³⁶, które, jak zauważono powyżej, jest reakcją 10^{18} razy szybszą od oddziaływania słabego, sprawującego kontrolę nad naszym Słońcem. Nieco delikatniejszy wzrost, powiedzmy o 1 procent, mógłby tak zmienić jądrowe poziomy rezonansowe, że prawie wszystkie węgiel spaliłby się na tlen³⁷. Nieco większy wzrost, o około 10 procent, mógłby ponadto zniszczyć gwiazdową syntezę węgla, tym razem tak zmieniając poziomy rezonansowe, że proces spalania nie wyszedłby daleko poza hel, poprzednik węgla³⁸. Gdyby mimo to udało się dojść dalej, to otrzymalibyśmy ‘jądra o prawie nieograniczonych rozmiarach’³⁹, a nawet małe ciała stające się ‘mini-gwiazdami neutronowymi’⁴⁰. Wszystko to jest prawdą pomimo bardzo krótkiego zasięgu oddziaływania silnego. Gdyby oddziaływanie to było długozasięgowe, Wszechświat zostałby ‘ściągnięty do pojedynczej kropli’⁴¹.

2.16 Równie destrukcyjne mogłoby być lekkie *osłabienie* oddziaływania silnego. Deuteron, podstawowa dla gwiazdnej nukleosyntezy kombinacja neutronu i protonu, jest zaledwie lekko związany: osłabienie oddziaływania silnego ‘jedynie o około pięć procent’ nie pozwoliłoby na to wiązanie⁴², prowadząc do Wszechświata składającego się tylko z wodoru. Nawet osłabienie

³⁴J. D. Barrow i J. Silk, „Scientific American”, April 1980, 127–8.

³⁵P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 13), 8; i I. L. Rozental, *Elementary Particles and the Structure of the Universe*, Moskwa 1984, (w jęz. rosyjskim), 85.

³⁶F. Dyson, op. cit. (przypis 23), 56.

³⁷F. Hoyle, „The Astrophysical Journal Supplement Series”, vol. 1, 1954, 121; E. E. Salpeter, „Physical Review”, vol. 107, 1957, 516.

³⁸I. L. Rozental, *Structure of the Universe and Fundamental Constants*, Moskwa 1981, 8.

³⁹B. J. Carr i M. J. Rees, „Nature”, 12 April 1979, 611.

⁴⁰B. Carter, w: Sanders i Wapstra (wyd.), *Atomic Masses and Fundamental Constants*: 5 (New York, 1976), 652.

⁴¹P. W. Atkins, *The Creation*, Oxford 1981, 13.

⁴²P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 13), 7.

o 1 procent mogłoby zniszczyć⁴³ ‘szczególny rezonans w jądrze węgla, który pozwala węglowi powstać z ^4He i ^8Be pomimo niestabilności tego ostatniego. (^8Be jest wystarczająco stabilny, aby mieć czas życia ‘anomalnie długi’, co sugeruje delikatne dostrojenie.)⁴⁴. ‘Osłabienie o 50% mogłoby przeciwnie wpłynąć na stabilność wszystkich pierwiastków zasadniczych dla żywych organizmów’⁴⁵: jakikolwiek węgiel na przykład, który w jakiś sposób by powstał, byłby szybko rozszczepiony.

I. L. Rozental szacuje, że oddziaływanie silne musiało mieścić się w przedziale od 0.8 do 1.2 swojej obecnej wartości, aby mógł powstać deuter i wszystkie pierwiastki o masie atomowej większej niż cztery⁴⁶.

Gwiazdy, planety i natężenia sił; (B): elektromagnetyzm i grawitacja

2.17 Siły jądrowe nie były znane Newtonowi. A jak się ma sprawa z siłami, z którymi był on bardziej obeznany: z elektromagnetyzmem (którego oczywiście nie traktował jako pojedynczej siły) i z grawitacją?

Okazuje się, że również *elektromagnetyzm* musi zawierać się w ciasnych granicach, jeżeli gwiazdy mają sprzyjać życiu takiemu, jakie znamy. Z jednej strony natężenie oddziaływania silnego w porównaniu z elektromagnetyzmem (jest ono kilkaset razy silniejsze) stanowi zasadniczy problem w czynionych powyżej uwagach o syntezie węglowej i o tym, że deuter jest szczęśliwie ledwo związany, gdy diproton jest równie szczęśliwie ledwo niezwiązany. Ponadto elektromagnetyczne odpychanie między protonami nie dopuszcza w większości zderzeń do protonowo–protonowej fuzji, dzięki czemu gwiazdy mogą palić się tak powoli: w każdej sekundzie nasze Słońce generuje tyśiące razy mniej energii w przeliczeniu na gram niż ciało ludzkie. Natężenie elektromagnetyzmu w porównaniu z siłą grawitacji odgrywa tutaj kluczową rolę.

2.18 Przyjrzyjmy się dalszym szczegółom. Po pierwsze temperatura powierzchni gwiazdy musi być odpowiednio dopasowana do energii wiązania reakcji chemicznych, z których korzystają organizmy: temperatura ta musi

⁴³M. J. Rees, „Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society”, vol. 22, 1981, 122; cf. F. Hoyle, op. cit., i E. E. Salpeter, op. cit. (przypis 37).

⁴⁴J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 252–3.

⁴⁵Ibid., 327.

⁴⁶I. L. Rozental, *On Numerical Values of Fundamental Constants*, Moskwa 1980, str. 9; na temat mas atomowych rzędu czterech Rozental cytuje Salpetera, „Astrophysical Journal”, vol. 140, 1964, 796.

być wystarczająco wysoka, aby sprzyjać tworzeniu się nowych związków chemicznych, jak to jest w fotosyntezie, ale również wystarczająco niska, aby ograniczyć destrukcję, jaka powstaje w wyniku działania światła nadfioletowego. (Nie można skompensować zmian temperatury gwiazdy przez umieszczenie zasiedlonej przez życie planety bliżej lub dalej. Zasadniczą rolę odgrywa tu twórcza lub destruktywna siła pojedynczych, ‘skwantowanych’ pakietów energii; dla porównania można przywołać przykład z ciemni fotograficznej, gdy żadna ilość światła czerwonego nie ma wpływu na film, ponieważ każdy pojedynczy foton posiada zbyt małą energię. Ta energia nie zmienia się z odległością.) W. H. Press i A. P. Lightman pokazują, że wymagana jest tu interesująco delikatna równowaga między elektromagnetyzmem a grawitacją⁴⁷.

Jak w przypadku innych rodzajów równowagi, tak i w tym przypadku włączają się również dalsze czynniki: nie bez znaczenia pozostają masy protonu i elektronu. Nawet gdyby elektromagnetyzm i grawitacja opierały się na różnych relacjach, to jeśliby w dowolny sposób zmieniać masy tych cząstek, wyobrażalna byłaby możliwość utrzymania delikatnej równowagi. Tutaj jednak wyobraźnia może nas wywieść w pole. Zabezpieczanie się przed jakąkolwiek katastrofą przez manipulowanie takimi czy innymi czynnikami może jedynie doprowadzić do nowej katastrofy, ponieważ każdy czynnik wchodzi w bardzo wiele istotnych relacji⁴⁸. Nawet jeśli teoretycznie można uniknąć katastrofy, rzeczywiste jej uniknięcie — zrównoważenie zmian jednego czynnika przez odpowiednie zmiany gdzie indziej — może samo w sobie być bardzo przemawiającym do wyobraźni przykładem delikatnego dostrojenia.

2.19 B. Carter zwraca z kolei uwagę na to, jak gwałtownie spadłaby jasność naszego Słońca, gdyby elektromagnetyzm był silniejszy⁴⁹. Temperatury powierzchni Słońca bliskie są temperaturom jonizacji, która znacząco zwiększa nieprzeźroczystość. Jeśli elektromagnetyzm byłby bardzo nieznacznie silniejszy (we wzorze Cartera jego natężenie występuje w dwunastej potęgce) to wszystkie gwiazdy ciągu głównego byłyby czerwone: nie mogłyby one wybuchnąć jako supernowe potrzebne do rozproszenia ciężkich pierwiastków (2.14), a ciepło traciłyby głównie przez konwekcję i dzięki temu

⁴⁷W. H. Press i A. P. Lightman, w: W. H. McCrea i M. J. Rees, op. cit. (przypis 19), 323–36.

⁴⁸V. Trimble, „American Scientist”, vol. 65, 1977, 85; I. L. Rozental, „Soviet Physics”: Uspekhi, vol. 23, 1980, 293–305, szczególnie str. 303.

⁴⁹B. Carter, w: Longair, op. cit. (przypis 12), 296–8.

byłyby, niesprzyjająco życiu, zimne. Planeta wystarczająco bliska, by uzyskać odpowiednie ciepło, prawdopodobnie zostałaaby zmieciona przez olbrzymie rozbłyski podobne do pojawiających się czasami u czerwonych karłów w naszym obecnym Wszechświecie. Podlegałaby ona również siłom pływowym redukującym jej obrót aż do chwili, gdy byłaby ona zwrócona ciągle jedną i tą samą stroną do swojej gwiazdy, a znajdujące się na niej ciecze i gazy, skupiłyby się po jej przeciwnej stronie i tam zamarły⁵⁰.

Gdyby dla odmiany elektromagnetyzm był bardzo nieznacznie *slabszy*, wszystkie gwiazdy ciągu głównego byłyby niebieskie: bardzo gorące, promieniste i krótko żyjące. Nawet w obecnych warunkach gwiazdy o masach równych około 1.2 masy Słońca palą się prawdopodobnie zbyt krótko, aby podtrzymać ewolucję inteligencji na swoich planetach⁵¹, jeżeli takowe posiadają, a gorące niebieskie olbrzymy pozostają stabilne jedynie przez parę milionów lat.

Według Daviesa, Carter pokazał, że zmiany albo w elektromagnetyzmie albo w grawitacji ‘tylko o jedną część na 10^{40} mogłyby spowodować katastrofę wśród gwiazd takich jak Słońce’⁵².

2.20 Ponadto Rozental zauważa, że wszystkie kwarki — a stąd wszystkie protony, niezbędne zarówno dla gwiazd jak i dla pojedynczych atomów — mogłyby być zamienione w lepiony przez superciężkie bozony, których masa jest związana z siłą elektromagnetyczną, jeśliby tę siłę wzmocnić jedynie o czynnik 1.6. Jeżeli ten argument by upadł, to trzykrotny wzrost ładunku elektrycznego kwarków spowodowałby, że protony odpychałyby się wzajemnie wystarczająco mocno, aby zapobiec istnieniu, w gwiazdach lub gdziekolwiek indziej, jąder z masami atomowymi większymi niż trzy⁵³.

Przy dziesięciokrotnym wzroście nie mogłyby istnieć stabilne atomy. Protony wciągnęłyby elektrony do wnętrza jądra.

2.21 Uwagi o tym, jak osłabienie silnego oddziaływania jądrowego może wpłynąć na przykład na protony — mogłyby one przestać być zmuszone do łączenia się w jądra atomowe tak, że wodór byłby jedynym pierwiastkiem — mogą być przeformułowane jako argumenty na katastrofalność sytuacji, w której elektromagnetyzm stałby się nieco silniejszy.

⁵⁰G. Gale, „Scientific American”, December 1981, 1954–71, w szczególności 155.

⁵¹R. T. Rond i J. S. Trefil, *Are We Alone?*, New York 1982, 21.

⁵²P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 24), 242.

⁵³I. L. Rozental, op. cit. (przypis 48), 303. 298.

2.22 Podobne uwagi można poczynić na temat *gravitacji*. Na niektóre z nich możemy spojrzeć jako na odmienne potraktowanie stwierdzeń Cartera i innych, że elektromagnetyzm musi być odpowiednio silny w stosunku do grawitacji, albo uwag, że słabe oddziaływanie jądrowe musi być bardzo nikle, aby z Wybuchu powstał jakikolwiek wodór.

Niektóre uwagi ponadto mogą być innym podejściem do problemu, że prędkość ekspansji kosmicznej musi być dokładnie taka, jaka jest, aby mogły powstać galaktyki. Tak więc, aby kosmos mógł podlegać inflacji, potrzebne może być odpowiednie natężenie siły grawitacji. Możliwe jest również, że inflacja jest fałszywą hipotezą i prędkość musiała pozostawać delikatnie dostrojona od samego początku przez niezwykle dokładne dostrojenie stałej grawitacyjnej. Ponadto grawitacja musi być skrajnie słaba, aby Wszechświat uniknął kolapsu w bardzo krótkim czasie.

Jednakże inne kwestie są co najmniej po części nowe.

2.23 Oto przykłady:

(a) Jedną z przyczyn, dla których gwiazdy żyją tak długo, są ich olbrzymie rozmiary (oprócz zapewnienia mnóstwa materiału do spalania, duże średnice gwiazd spalanie to spowalniają, gdyż podróż światła do powierzchni gwiazdy zabiera średnio miliony lat) i lekkie sprężenie przez grawitację. Mimo zmian proporcji w zależności od tego, czy rozważamy oddziaływania elektronowo–elektronowe czy protonowo–protonowe, z grubsza możemy powiedzieć, że grawitacja jest zadziwiająco słaba, 10^{39} razy słabsza od elektromagnetyzmu. Gdyby była ona wyraźnie silniejsza niż jest obecnie, gwiazdy powstałyby z mniejszych ilości gazu, i/lub paliłyby się bardziej gwałtownie (E. Teller w 1948 roku obliczył, że promieniowanie gwiazdy wzrosłoby jak siódma potęga stałej grawitacyjnej⁵⁴, a Dicke w 1957 roku powiązał to z tezą, jak zmiany zbliżające nieco grawitację w sile do elektromagnetyzmu mogłyby spowodować, że dawno temu ‘wszystkie gwiazdy stałyby się zimne. To wykluczyłoby istnienie człowieka⁵⁵), i/lub skolapsowałyby one znacznie łatwiej tworząc białe karły, gwiazdy neutronowe lub czarne dziury. Jeśliby była ona milion razy silniejsza — co nadal by ją pozostawiało 10^{33} razy słabszą od elektromagnetyzmu, a nam ciągle brakuje jakiegokolwiek dobrze rozwiniętej teorii mówiącej, że powinna ona pozostawać właśnie taka słaba — to gwiazdy okazałyby się milion razy mniej masywne i paliłyby się mi-

⁵⁴E. Teller, „Physical Review”, vol. 73, 801.

⁵⁵R. H. Dicke, „Reviews of Modern Physics”, vol. 29, no. 3, 1957, 375–6.

lion razy szybciej⁵⁶. Nawet po dziesięciokrotnym wzmocnieniu grawitacji gwiazda z taką ilością materii, jak nasze Słońce, paliłaby się jedynie milion lat⁵⁷.

(b) Z drugiej strony, co by się stało, gdyby grawitacja była dziesięć razy słabsza? Tym razem niepewne byłoby, czy gwiazdy i planety mogłyby się w ogóle utworzyć⁵⁸. Jakiegokolwiek wyraźne osłabienie grawitacji mogłoby znaczyć, że ‘wszystkie gwiazdy stałyby się chemicznie jednorodne na skutek mieszania konwektywnego i nie można by się było spodziewać cebulastej struktury otoczki, która charakteryzuje modele pre-supernowych’⁵⁹: stąd wydaje się, że nie mogłoby być supernowych rozpraszających ciężkie pierwiastki.

(c) Przy grawitacji mającej natężenie takie jak obecnie, obłoki o rozmiarach odpowiednich do utworzenia gwiazd mogą się chłodzić wystarczająco szybko, aby uniknąć fragmentacji⁶⁰. Majstrowanie przy jej natężeniu może zniszczyć to szczęśliwe zjawisko.

(d) Jeżeli protogalaktyki utworzyły się przez fragmentację z większych obłoków, to jak uzasadniał J. Silk, wymagałoby to siły grawitacji interesująco bliskiej swojej aktualnej wartości⁶¹.

(e) Jądra wielu galaktyk — gdzie grawitacja umieszcza gwiazdy blisko siebie, być może wokół wielkiej czarnej dziury — są bardzo aktywne. Z tego powodu na przykład Cygnus A jest galaktyką zanurzoną w ‘twardym, jonizującym promieniowaniu, setki tysięcy razy intensywniejszym niż na powierzchni Ziemi’ i przypuszczalnie śmiertelnym dla wszystkich wyższych form życia⁶². Wzmocnienie grawitacji może uczynić każdą galaktykę tak niedostępną.

Różnica masy między neutronem a protonem

2.24 Jednym z ostatnich czynników leżących u podstaw istnienia gwiazd i nie tylko gwiazd jest *różnica masy między neutronem a protonem*. Jak to mówi S. W. Hawking, gdyby ‘nie była ona około dwa razy większa od

⁵⁶W. H. McCrea i M. J. Rees, op. cit. (przypis 19), 312.

⁵⁷R. Breuer, *Das Anthropische Prinzip*, Monachium 1983, 228.

⁵⁸Ibid.

⁵⁹B. J. Carr i M. J. Rees, op. cit. (przypis 39), 611.

⁶⁰J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 339.

⁶¹J. Silk, „Nature”, vol. 265, 1977, 710.

⁶²I. S. Szklowski i C. Sagan, *Intelligent Life in the Universe*, New York 1966, 124.

masy elektronu, nie dałoby się otrzymać paruset stabilnych jąder, które tworzą pierwiastki, będące podstawami chemii i biologii⁶³. A oto przyczyny⁶⁴.

(i) Z dwu powyższych cząstek neutron jest cięższy o około jedną tysięczną. Jeśli w protonie była związana mniejsza energia, to rozpady neutronów na protony groziłyby doprowadzeniem do Wszechświata składającego się jedynie z protonów z wodorem w roli jedyne go dopuszczalnego pierwiastka. (Neutrony są potrzebne do utworzenia wszystkich pozostałych pierwiastków, ponieważ będąc obojętnymi elektrycznie, mogą dodawać do siebie oddziaływanie silne, które utrzymuje złożone jądra w całości, bez jednoczesnego zwiększania odpychania elektromagnetycznego mogącego rozsadzić je na części.) Wielki Wybuch na szczęście ochłodził się wystarczająco szybko, by pozwolić neutronom związać się z protonami w atomach, gdzie obecność elektronów i zakaz Pauliego uniemożliwiają ich rozpad. Tak by się jednak nie stało, gdyby rozpatrywana różnica masy była nieznacznie większa. Gdyby zaś była ona *mniejsza* — jedna trzecia swojej obecnej wartości — to neutrony *na zewnątrz* atomów *nie* rozpadałyby się. W ten sposób wszystkie protony zmieniłyby się nieodwracalnie w neutrony podczas Wybuchu, bo jego gwałtowność produkowała częste zamiany protonu na neutron i odwrotnie. Nie mogłyby wtedy być atomów: Wszechświat składałby się z gwiazd neutronowych i czarnych dziur.

(ii) Rola *masy elektronu* w przedstawionym powyżej obrazie polega na tym, że jeżeli masa neutronu nie przewyższałaby masy protonu o nieco więcej niż masę elektronu, to atomy zapadłyby się, ich elektrony połączyłyby się z ich protonami, dając neutrony. (Masa protonu: 938.28 MeV. Elektron: 0.51. Suma: 938.79. Neutron zaś waży 939.57.)

Obecnie różnica mas między neutronem a protonem jest wystarczająco duża, by zapewnić Wybuch prowadzący za ledwie do jednego neutronu na każde siedem protonów. Nadwyżka protonów umożliwiła utworzenie wodoru potrzebnego dla długowiecznych, stabilnych gwiazd, wody i węglowodanów.

Zauważmy przy okazji, że gwiazdy wodorowe palą się, produkując neutrony. Pomimo że neutron jest cięższy od protonu, jest on *tak niewiele cięższy*, że proces, podczas którego dwa protony łączą się dając deuter — który, jak pamiętamy, składa się z protonu i neutronu (2.16) — jest energetycznie korzystny, bo w grę wchodzi porównywalnie mała energia wiązania. (Można

⁶³S. W. Hawking, „Physics Bulletin”: Cambridge, vol. 32, 1980, 15.

⁶⁴J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 371 i 399–400; Davies, op. cit. (przypis 13), 9–10 i *The Forces of Nature*, Cambridge 1979, 100–2. 172; I. L. Rozental, op. cit. (przypis 35), 78–83.

dodać, że wzrost stałej Plancka o ponad 15 procent uniemożliwiłyby istnienie deuteru.)⁶⁵.

2.25 Inny sposób potraktowania tego zagadnienia to stwierdzenie, że za duża masa elektronu może być przyczyną katastrofy. Rozental czyni uwagę, że elektron jest zadziwiająco lekki: z grubsza dwieście razy lżejszy od kolejnej w skali ciężkości cząstki, mionu, i parę tysięcy razy lżejszy od średniej obliczonej dla znanych obecnie cząstek⁶⁶. To, że elektron jest leptonem, nie wystarcza do wytłumaczenia tego faktu, ponieważ lepton τ jest cięższy od protonu. W dodatku różnica mas między protonem a neutronem jest drobna w porównaniu z różnicami znalezionymi w prawie wszystkich pozostałych przypadkach ‘multipletów izotopowych’.

2.26 Neutrony i protony różnią się swoją zawartością kwarkową, więc szczęśliwa w skutkach różnica pomiędzy ich masami może być wytłumaczona tym, że kwark górny (‘up’) jest nieco lżejszy od dolnego (‘down’). Takie wytłumaczenie powoduje jednak tylko przesunięcie zagadki na głębszy poziom: obecnie pytanie przybierze formę, dlaczego masy kwarków są tak pomyślnie dobrane? Jasne jest, że teista *nie musi* sądzić, iż każde zjawisko sprzyjające życiu jest *bezpośrednim* skutkiem Boskiego wyboru i nie posiada żadnych innych przyczyn. Newton wpadł w artystyczny i religijny zachwyt, jak bardzo natura jest harmonijna i jak bardzo prosta, gdy urzeczywistnia wszystkie wielkie ruchy ciał niebieskich przez przyciąganie grawitacyjne i prawie wszystkie małe ruchy swoich cząstek przez inne przyciągające i odpychające siły⁶⁷.

W najprostszej teorii wielkiej unifikacji, ‘minimalnej SU(5)’, uwidacznia się usterka objawiająca się błędnym przewidywaniem liczby rozpadów protonów⁶⁸. Fakt ten powinien przeciwstawiać się idei, że jakaś zasada prostoty jest jedynym czynnikiem rządzącym wyborem praw Natury. Obecnie o uwagę fizyków zabiega olbrzymia liczba alternatywnych teorii wielkiej unifikacji. Teiści mogą powiedzieć, że Bóg miał dużą swobodę wyboru.

⁶⁵I. L. Rozental, op. cit. (przypis 48), 298.

⁶⁶I. L. Rozental, op. cit. (przypis 35), 78–83.

⁶⁷I. Newton, *Opticks*, *Query* 31.

⁶⁸P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 24), 137–8.

Cząstki materialne, twardość, stabilna przestrzeń, etc.

2.27 Dla Newtona materia składała się z ‘twardych, nieprzenikalnych, ruchomych cząstek o takich rozmiarach i kształtach i takich innych właściwościach’, aby jak najlepiej służyć pożądanym celom⁶⁹. Twardość grała tu kluczową rolę. ‘Podstawowe cząstki’ miały być ‘nawet aż tak twarde, że nigdy nie mogłyby się zużyć ani rozpaść na części’, bo w przeciwnym wypadku ‘natura rzeczy, które od nich zależą, zmieniałyby się. Woda i ziemia, zbudowane ze starych, zużytych cząstek i fragmentów cząstek, nie miałyby obecnie tej samej natury i tekstury w porównaniu z wodą i ziemią złożonymi z nienaruszonych cząstek tak, jak to było na początku’⁷⁰.

2.28 Newton był po części w błędzie. Atomy mogą być uszkodzone (zjonizowane) nawet przez potarcie zapalki. Nie można również identyfikować newtonowskich twardych, nie zmieniających się cząstek z tworamii *podatomowymi*, których jeden typ często przechodzi w inny. Obecnie twierdzi się, że proton podlega rozpadowi, co może być faktem dogodnym, gdyż jego uwzględnienie prawdopodobnie odpowiada za to, że z *Wybuchu materia wyszła w jakiegokolwiek ilości zamiast zanihilować z antymaterią i wyprodukować Wszechświat składający się ze światła*. Scenariusz przedstawia się następująco. Superciężkie bozony mogą przekształcać kwarki w lepiony, z czego wynika, że protony — które składają się z kwarków — nie są wieczne. Przy obecnych temperaturach bozony te tworzone są rzadko i odpowiednio rzadko zachodzą rozpady protonów, ale we wczesnym Wybuchu superciężkie bozony występowały powszechnie, a efektem ich działania, bardzo pomyślnym dla nas, było powstanie różnej liczby kwarków (do utworzenia protonów) i antykwarków (do utworzenia antyprotonów).

Weźmy jednak pod uwagę następujące kwestie.

(i) Nie jesteśmy pewni szczegółów tego scenariusza. Nawet ‘znak’ nierówności — czy powinno powstać więcej kwarków, czy więcej antykwarków — może zostać jak na razie określony tylko przy pomocy czysto werbalnej zasady, że to, co wyszło, nazwiemy raczej ‘materią’, a nie ‘antymaterią’⁷¹. Stąd roszczenia, że scenariusz ten ‘tłumaczy nadwyżkę materii’ ryzykują zwodniczość.

⁶⁹I. Newton, *Opticks, Query 31*.

⁷⁰Ibid.

⁷¹J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 403–7; G. G. Ross, w: Ch. Isham et al., op. cit. (przypis 9), 304–22.

(ii) Dla podtrzymania słuszności scenariusza muszą zostać złamane prawa zachowania ładunku i parzystości ładunkowej, co oznacza konieczność istnienia dwu dodatkowych generacji kwarków i leptonów ponad te, które istnieją przy niskich energiach typowych w naszym świecie⁷².

(iii) Realizacja scenariusza wymaga nie tylko ekspandującego Wszechświata, ale i bardzo szybkiej ekspansji, której dostarcza inflacja⁷³.

(iv) W dodatku, w celu uniknięcia *nierównowagi ładunku*, potrzeba czynika gwarantującego, że nadmiar protonów nad antyprotonami posiada analogię w dokładnie równym nadmiarze elektronów nad pozytonami. Nierównowaga ładunku może utrudnić zagęszczanie się materii we Wszechświecie otwartym, a w zamkniętym, skończonym Wszechświecie może mieć jeszcze gorsze skutki, ponieważ linie sił będą wtedy owijać się wokół niego, tworząc pole elektryczne o nieskończonym natężeniu⁷⁴.

(v) Również wyprodukowanej materii nie powinno być ani za dużo ani za mało — a jest to czułe na bardzo drobne zmiany mas superciężkich bozonów. Z grubsza biorąc, nadmiar materii wynosił w rzeczywistości jeden proton na każde sto milionów par protonowo-antyprotonowych. Dodajmy zbyt wiele protonów, a Wszechświat szybko skolapsuje (przy założeniu, że jego tempo ekspansji odzwierciedla liczbę fotonów przypadających na jeden proton) lub stanie się zbiorem gwiazd neutronowych i czarnych dziur, albo co najmniej wszędzie zamiast wodoru znajdować się będzie hel. Ujmijmy ich zbyt wiele, a otrzymamy gwałtowną ekspansję sprzężoną z ciśnieniem promienistym uniemożliwiającą kondensację protogalaktyk i gwiazd: jakiegokolwiek związane masywne systemy, które by się uformowały pomimo ekspansji, uwięziłyby promieniowanie, co by zatrzymało ich rozpad na mniejsze ciała, od których istnienia zależy życie⁷⁵. Co więcej, rozpad protonu powinien być skrajnie powolny. Gdyby czas życia tej cząstki wynosił 10^{16} lat, około milion razy więcej od obecnego wieku Wszechświata, oznaczałoby to

⁷²J. Demaret i Ch. Barbier, op. cit. (przypis 32), 489.

⁷³H. Pagels, *Perfect Symmetry*, New York 1985, 275–9.

⁷⁴J. Demaret i Ch. Barbier, „Revue des Questions Scientifiques”, vol. 152, no. 2, 1981, 199; S. Weinberg, *The First Three Minutes*, London 1983², 87 (wydanie polskie: *Pierwsze Trzy Minuty*, Iskry, 1980).

⁷⁵B. J. Carr i M. J. Rees, op. cit. (przypis 39), 610; J. Demaret i Ch. Barbier, op. cit. (przypis 32), 478–80. 500; D. V. Nanopoulos, „Physics Letters”, vol. 91B, no. 1, 1980, 67–71; P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 13), 24–7; J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 418.

nadal, jak twierdzi M. Goldhaber, że rozpady występujące w *Tobie* zabiłyby Cię swoim promieniowaniem⁷⁶.

2.29 Z powyższych stwierdzeń wynika, że masy superciężkich bozonów muszą zawierać się w interesujących granicach. Cząstki te muszą być co najmniej sto milionów milionów razy cięższe od protonu, aby protony pozostawały wystarczająco stabilne⁷⁷.

Poza tym przypisanie stałej struktury subtelnej wartości większej niż $1/85$ spowodowałoby tak wiele rozpadów protonów, że nie mogłyby istnieć długowieczne stabilne gwiazdy, zaś teorie wielkiej unifikacji sugerują dolną granicę na tę wartość równą $1/180$ ⁷⁸. Ale ponieważ wysokie natężenia promieniowania są śmiertelne w skutkach, to i $1/85$ stanowi wartość zbyt dużą, jako że stabilność żywych organizmów powinna być bardziej czuła od stabilności gwiazd.

2.30 To, że Newton częściowo był w błędzie, nie może pomniejszać faktu, jak bliski był on prawdy pisząc, iż ‘zmiany rzeczy materialnych’ są jedynie ‘nowymi związkami i ruchami niezmiennych cząstek’⁷⁹. Przeciętny proton będzie żył dłużej niż 10^{31} lat. Do tego cząstki dzielą się na nie podlegające zmianom rodzaje: cząsteczka DNA przesyła informację równoważną dziesięciu tysiącom stron, ponieważ cząstki (a więc i atomy, które one tworzą) wchodzą w jej skład pod niezmiennymi postaciami. Obecnie, nawet w latach siedemdziesiątych, Wheeler mógł napisać, że ‘cudowna nieodróżnialność cząstek tego samego rodzaju musi być traktowana jako centralna tajemnica fizyki’. Według niego geometria Riemanna jest owocna w fizyce jedynie dzięki wysuwanej przez nią sugestii — która ‘wystawia ją na zniszczenie na stu frontach’ — dotyczącej *gauge symmetry*, bez której ‘elektrony przeniesione po różnych drogach do tego samego atomu żelaza w środku Ziemi powinny mieć różne własności’. Zachwianie symetrii oznaczałoby, że ‘atom żelaza — jak również centrum Ziemi — zapadłyby się’, ponieważ nie byłby już spełniony zakaz Pauliego⁸⁰.

⁷⁶M. Goldhaber, w: H. Pagels, op. cit. (przypis 73), 275–9.

⁷⁷S. Weinberg, op. cit. (przypis 74), 157.

⁷⁸J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 358–9.

⁷⁹I. Newton, *Opticks*, *Query* 31.

⁸⁰Ch. W. Misner, K. S. Thorne i J. A. Wheeler, *Gravitation*, San Francisco 1973, 1215; i G. Toraldo di Francia (wyd.), *Problems in the Foundations of Physics*, Amsterdam 1979, 441.

Zgodnie z wyjaśnieniami W. T. Weisskopfa zakaz Pauliego pod wieloma względami pełni funkcję klasycznej koncepcji nieprzenikalności i twardości. Ponieważ trzyma on z dala od siebie wszystkie cząstki materii tego samego rodzaju, zapobiega on kolapsowi atomów. Weisskopf jednak dodaje, że chciałoby się wiedzieć, dlaczego elektrony i inne cząstki materii (fermiony) dzielą się *na wyraźnie wyodrębnione rodzaje*. ‘Bardzo niewiele można powiedzieć na temat, dlaczego elektron ma takie własności, jakie obserwujemy’; problem staje się jeszcze trudniejszy przez to, że Natura ‘zaopatrzyła nas w drugi rodzaj elektronu, mion’, który na pozór ‘różni się od zwykłego elektronu jedynie masą’⁸¹.

2.31 Zakaz Pauliego ‘rozmazujący’ atom przez utrzymywanie elektronów w ustalonej hierarchii orbit należy przyjąć jak wybawienie, bo gdyby elektrony mogły zajmować dowolną orbitę, to (i) zaburzenia termiczne byłyby w stanie natychmiast wypchnąć je na nowe orbity niszcząc w ten sposób ustalone własności atomów, które leżą u podstaw kodu genetycznego i korzystnego faktu, że atomy różnych rodzajów zachowują się na bardzo różne sposoby oraz (ii) atomy szybko by skolapsowały, ich elektrony opadłyby na centra po spirali, czemu towarzyszyłoby gwałtowne promieniowanie.

Na zakaz Pauliego może nam dać pewien wgląd ‘korpuskularno-falowa’ natura cząstek atomowych. Rozważmy fale dźwiękowe. Powietrze w rurze organowej drga z określoną częstością lub z jej prostą wielokrotnością. Jednakże chociaż *bozony* również mają naturę korpuskularno-falową, nie są ograniczone przez zakaz Pauliego. Gdyby elektrony zachowywały się jak bozony, to wszystkie mogłyby zajmować najniższą możliwą orbitę, a wtedy chemia nie mogłaby istnieć.

2.32 Jak elektron z najniższej orbity unika wchłonięcia przez przeciwnie naładowane jądro atomowe? Teoria kwantowa odpowiada, że zasada nieoznaczoności Heisenberga, wiążąca położenie i pęd, przyspiesza elektron, gdy zbliża się on do jądra: w ten sposób atomy unikają zapadnięcia się. Oczywista doniosłość tego faktu dla przedmiotów z naszego otoczenia — wraz z niezapadaniem się białych karłów i gwiazd neutronowych, podtrzymywanym przez podobną ‘heisenbergowską agitację’ — wydaje się wskazywać, że łączenie zasady nieoznaczoności jedynie z niemożnością dotarcia istot rozumnych do wszystkich szczegółów zdarzeń w skalach podmikroskopowych jest pozbawione podstaw. Zasada nieoznaczoności z pewnością musi

⁸¹ „CERN Bulletin” 65–26, 2 July 1965, 2–3, 12.

być ‘spoza’ rzeczywistości. Jest tak dlatego, że korzyści z niej płynące dorównują niezwykłości jej sformułowania. Elektry nie mogą, dzięki Bogu, zostać na zawsze wchłonięte przez jądra atomowe.

2.33 Mając dane ‘twarde, nieprzenikalne’ cegiełki jako budulec, można chcieć zbudować *szttywne struktury*. Jednak, jak powiedział G. Wald, ‘gdyby proton nie miał masy aż tak bardzo większej od masy elektronu, to wszelka materia byłaby cieczą’, ponieważ wtedy we wszystkich ruchach uczestniczyłyby od razu obydwie rodzaje cząstek i nic nie mogłoby pozostać niezmiennym⁸². W naszym świecie tak nie jest jedynie dlatego, że ciężkie jądra atomów są zamknięte wewnątrz chmur z lekkich elektronów i chociaż chmury te podlegają skomplikowanym oddziaływaniom, to poszczególne atomy mogą zachować stałe położenia.

Również F. D. Kahn zauważył, że cząsteczki wody, pierścienie benzenu, molekuly DNA, etc. posiadają struktury, które ‘utrzymują się dzięki wielkiej różnicy pomiędzy masą elektronu, a masą jądra atomowego’⁸³. W przeciwnym wypadku zagrożone byłoby ‘istnienie chemii (jak również chemików)’, ponieważ chemia potrzebuje atomów ‘z mnóstwem pustej przestrzeni i z dobrze zdefiniowanymi centralnymi jądrami’⁸⁴. Do tego dochodzi względna słabość elektromagnetyzmu, a elektrony nie mogą poczuć setki razy mocniejszego oddziaływania silnego. Kalin dodaje, że takie rozważania rodzą duże wątpliwości co do możliwości istnienia nie-chemicznego życia mającego swe podstawy raczej w oddziaływaniu silnym niż w elektronach i elektromagnetyzmie. Protony i neutrony, podstawowe cząstki rządzone przez oddziaływanie silne, mają prawie takie same masy, więc ‘nie ma szans na precyzyjne ich ulokowanie’.

T. Regge pokazał, że ‘cząsteczki o długich łańcuchach atomowych będące podstawą zjawisk biologicznych’ zostałyby zagrożone przez ‘najdrobniejszą zmianę’ różnicy mas między protonem a elektronem⁸⁵.

2.34 Ważne jest również, że *elektron i proton mają ładunki przeciwne co do znaku, lecz równe co do wartości*. Gdyby było inaczej, zachwianie równowagi ładunku spowodowałoby katastrofę podobną do omówionej wcze-

⁸²G. Wald, w: J. Oro, D. C. Miller, C. Ponnampuram i L. B. Young (wyd.), *Cosmochemical Evolution and the Origins of Life*, Dordrecht 1974, 7.24.

⁸³F. D. Kahn, w: Saslaw i Jacobs (wyd.), *The Emerging Universe*, Charlottesville 1972, 79.

⁸⁴J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 297.

⁸⁵T. Regge, *Atti del Convegno Mendeleeviano*, Turin 1971, 398.

śniej (2.28). Wald to skomentował słowami: ‘gdyby spowodować początek Wszechświata zawierającego elektrycznie naładowany wodór, to taki Wszechświat by ekspandował i prawdopodobnie nic więcej’. (R. A. Lyttleton i H. Bondi rozważali w 1959 roku sytuację, w której ładunki protonu i elektronu różnią się od siebie o około dwie części na miliard miliardów, a ta drobna różnica miałyby odpowiadać za ekspansję kosmiczną.) Rzeczywista równowaga ładunku wydaje się być dla Walda szczególnie tajemnicza, ponieważ proton osiąga ‘około 1840 mas spoczynkowych elektronu’. Istnieją inne pary przeciwnie naładowanych cząstek, na przykład proton i antyproton, których ładunki są dokładnie równe, ale one ‘mogą zostać wygenerowane jako pary cząstka–antycząstka z fotonów’, które są pozbawione ładunku i wtedy równowaga jest ‘jedynie aspektem zasady zachowania ładunku’. Tutaj żadne takie wytłumaczenie nie ma zastosowania. To prawda, że protony można utworzyć z kwarków o ładunkach jedna trzecia lub dwie trzecie ładunku elektronu; prawdą być może również, że kwarki zamieniają się w leptony, do której to klasy należą elektrony. Jak jednak zauważył Wald, to może jedynie przesunąć potrzebę wytłumaczenia na inny poziom, ponieważ teraz ładunki różnych rodzajów kwarków powinny być ‘równe lub być prostą wielokrotnością jeden drugiego’ z nadzwyczajną dokładnością⁸⁶.

Wald pisał to zanim powstały bardzo śmiałe teorie lat osiemdziesiątych mogące rzucić pewne światło na tę kwestię. Jednak, jak już było powiedziane wcześniej (2.26), teiści nie powinni się zbyt przeciwstawiać idei zasad fundamentalnych, które przewidują takie czy inne korzystne zjawisko, ponieważ chociaż takie zasady mogą być stosunkowo proste, w rzeczywistości pozostaną one imponująco skomplikowane i bardzo dalekie od logicznej nieuchronności. Nawet najprostsza współczesna teoria wielkiej unifikacji, pochodząca od H. Georgi i S. Glashowa, dziś uważana za zbyt pobieżną, wymaga dwudziestu czterech pól sił⁸⁷. Obecnie o uwagę fizyków zabiegają teorie o ogromnie większym stopniu skomplikowania. Doniesienia, że się otrzymało tę lub inną fundamentalną wartość ‘z podstawowych zasad’ zazwyczaj koloryzują rzeczywistość, bo jakaś inna wartość, często masa przenoszącej siłę ‘cząstki-gońca’ takiej jak pion, musi być wcześniej ‘włożona rękoma’ z zewnątrz.

⁸⁶G. Wald, w: J. Oro et al., op. cit. (przypis 82), 23–4.

⁸⁷P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 24), 131.

2.35 Rozental szacuje, że przy różnicy ładunku pomiędzy elektronem a protonem większej niż jedna część na dziesięć bilionów żadne ciało stałe nie powinno ważyć więcej niż jeden gram⁸⁸.

Ponadto, jak twierdzi, jeśli zredukujemy ładunek elektronu o dwie trzecie, to nawet przy niskich temperaturach przestrzeni międzygwiazdowej wszystkie nienaładowane atomy zostaną rozerwane⁸⁹.

2.36 J. D. Barrow i F. J. Tipler zauważają, że w każdym przypadku *różnica pomiędzy rzeczami materialnymi a falami* jest utrzymywana jedynie dzięki małej wartości stałej struktury subtelnej. Stała ta powinna być niewielkim ułamkiem — wynosi on około $1/137$ — aby zapewnić ‘odróżnialność materii od promieniowania’, z powodów skoncentrowanych na tym, w jaki sposób elektron jest jednocześnie uważany ‘za falę elektromagnetyczną’. (Istnieje stała możliwość, że elektron połączy się z jednym z krótkożyjących pozytonów otaczających go i powstanie krótkożyjąca fala elektromagnetyczna. Nie jest tu naruszona zasada zachowania ładunku, ponieważ ‘wirtualny’ elektron, powstały w tym samym momencie co pozyton, staje się ‘rzeczywisty’, tzn. długożyjący.) Gdyby ten ułamek znacznie zwiększyć, stany atomowe i molekularne stałyby się bardzo niestabilne⁹⁰.

Czy nie dałoby się oprzec jakiegoś specjalnego rodzaju biologii na falach zamiast na cząstkach? Precyzyjniej: czy nie byłoby możliwe oparcie jej na bozonach tworzących fale świetlne zamiast na fermionach (elektronach, protonach, neutronach, etc.)? Niestety, wzorom stworzonym przez bozony brakuje własności o znaczeniu, które wydaje się być zasadnicze. Tak jak fale oceanu, fale bozonowe wydają się przenikać swobodnie jedna przez drugą. Nie mogą one zatem posłużyć za niezmiennie cegielki wchodzące w skład nie podlegających zmianom rodzajów i możliwe do precyzyjnego zlokalizowania, z których mogłyby zostać zbudowane na przykład informacje genetyczne. Jest prawdą, że są one w specyficznym znaczeniu złożone z cząstek, cząstek, które mogą ze sobą oddziaływać. Lecz kiedy one oddziałują, czynią to na sposób podobny do światła laserowego. Szybko tracą swoją indywidualność, tworząc wzory działania kolektywnego.

2.37 Na koniec dodajmy, że *długo żyjące cząstki materialne istnieją jedynie dzięki topologicznym i metrycznym własnościom przestrzeni*. Przestrzeń

⁸⁸I. L. Rozental, op. cit. (przypis 46), 14.

⁸⁹I. L. Rozental, op. cit. (przypis 48), 298.

⁹⁰J. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 298.

wyduje się na przykład być trójwymiarowa, chociaż nie jest to topologicznie nieuniknione. Popularne dzisiaj teorie sugerują, że czasoprzestrzeń ma co najmniej dziesięć wymiarów, z których wszystkie oprócz czterech są teraz niewykrywalne, ponieważ każdy z nich jest bardzo ciasno zwinięty (*compactified*). Trudno jednak wyobrazić sobie, jak pozostałe z nich były w stanie pozostać *niezwinięte* wobec niezwyklej gęstości energii ‘próżni’ wypełnionej fluktuacjami kwantowymi: porównaj to z dyskusją Problemu Płaskości (2.4–5).

Gdyby w formie niezwinętej występowały więcej niż trzy wymiary przestrzenne, istnienie atomów lub cząstek elementarnych mogłoby być niemożliwe z następujących powodów:

(a) Dyskusje fizyków o ‘solitonach’ sugerują, że cząstki mogą być pętlami, które dlatego trwają w czasie, że trójwymiarowa przestrzeń jest jedynym rodzajem przestrzeni, gdzie rzeczywiste pętle daje się związać⁹¹.

(b) Wielokrotnie rozwijano argument P. Ehrenfesta, że stabilność atomów i orbit planetarnych, złożoność żywych organizmów i możliwość propagacji fal bez dystorsji (być może fundamentalna w systemie nerwowym i wszędzie indziej) są możliwe jedynie w trzech wymiarach. S. W. Hawking dodaje do tego, że ‘Słońce’ (tzn. jego analog w większej liczbie wymiarów) ‘albo rozpadłoby się na części, albo zapadłoby się tworząc czarną dziurę’ w jakiegokolwiek przestrzeni o liczbie wymiarów przewyższającej trzy⁹².

(c) J. A. Wheeler sugerował, że jedynie trójwymiarowa przestrzeń jest wystarczająco skomplikowana dla potrzeb życia będąc jednocześnie prostą na tyle, by uniknąć totalnego rozpadu na skutek efektów kwantowych, które całkowicie pozbawiają sensu termin ‘bliskiego sąsiedztwa’ punktów⁹³.

2.38 Obecnie czasami dopuszcza się, że przestrzeń może mieć ‘wymiar ułamkowy’, a nawet, że może to mieć podstawowe znaczenie dla złożoności życia i myśli. Fraktale, nieskończenie złożone krzywe, częściowo wypełniają pewną więcej-wymiarową przestrzeń, w której związają się, dążąc do przyjęcia *własnej* wymiarowości. Gdyby nasza przestrzeń mogła mieć — lub

⁹¹P. W. Atkins, op. cit. (przypis 41), 86–7; C. Rabbi, „Scientific American”, vol. 240, no. 2, 1979, 76–91; Z. Parsa, „American Journal of Physics”, vol. 47, 1979, 56–62.

⁹²P. Ehrenfest, „Proceedings of the Amsterdam Academy”, vol. 20, 1917, 200; dyskusowane przez wielu autorów, zob.: J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 258–76; S. W. Hawking, *A Brief History of Time*, Toronto i New York 1988, 163–5 (wydanie polskie *Krótką historia czasu*, Warszawa 1990).

⁹³J. A. Wheeler, w: Ch. W. Misner et al., op. cit. (przypis 80), 1205.

jeśli ma — wymiar w rodzaju 2.99999998 lub 3.00000001, to mielibyśmy do czynienia z większym zakresem działania delikatnego dostrojenia.

2.39 Gdyby topologia przestrzeni (sposób powiązania ze sobą punktów tej przestrzeni) była zmienna — a istnieją sugestie, że zmienia się ona przy każdym Wielkim Zgnieceniu (*Big Squeeze*) nieustannie oscylującego kosmosu — to odpowiedź na pytanie, czy istnieją prawa zachowania parzystości, zmieniałyby się również. Pod nieobecność tych praw Bóg jeden wie, czy jakakolwiek forma życia byłaby możliwa⁹⁴.

Ponadto P. C. W. Davies i S. D. Unwin dowodzą, że przestrzenie posiadające 'nietrywialne' topologie mogą narzucać ekstremalnie powolne zmiany stałej kosmologicznej. Skręcone (*twisted*) pola skalarne mogą spowodować, że stała ta przybierze różne wartości w różnych obszarach. Wszystko dostępne naszym teleskopom może znajdować się wewnątrz jednego takiego obszaru. Dlaczego zatem odkryliśmy, że obszar ten wydaje się mieć stałą kosmologiczną dokładnie równą zero? Bo, gdziekolwiek stała przyjęłaby możliwą do zmierzenia wartość niezerową, istoty żywe nie mogłyby istnieć⁹⁵. Jednak ta ostatnia kwestia może sugerować alternatywną, teistyczną przyczynę tego, że wartość stałej kosmologicznej jest obserwowana taka, jaka jest.

2.40 A. D. Linde dowodzi, że życie zależy od posiadania przez przestrzeń właściwej sygnatury, zaś A. D. Sakharov pokazał, iż możliwe było wyjście przestrzeni z Wybuchu z inną sygnaturą niż obecnie. Rzeczywistość może być podzielona na domeny o różnych sygnaturach. Sygnatura obserwowana jest postaci $+++-$ (co oznacza, że zamiast twierdzenia Pitagorasa $d^2 = x^2 + y^2$ mamy $d^2 = x^2 + y^2 + z^2 - (ct)^2$, gdzie t jest czasem, zaś c prędkością światła). Z sygnatury $++++$ wynikałoby na przykład, że 'życie byłoby niemożliwe z powodu nieistnienia stanów odpowiadających cząstkom'⁹⁶.

2.41 Można również wspomnieć o aktualnej idei, że przestrzeń, którą zasiedlamy, jest jedynie metastabilna, podobna do posągu balansującego do góry nogami: jest ona wypełniona polem, które może — z pełną nieprzewidywalnością zjawiska kwantowego — nagle 'przetunelować' do stanu o niższej wartości. Powstały w ten sposób bąbel stabilnej przestrzeni będzie ekspandował z prędkością światła, niszcząc obserwatora w momencie zde-

⁹⁴J. D. Barrow i F. J. Tipler, op. cit. (przypis 13), 248–9. 283 n. 95.

⁹⁵P. C. W. Davies i S. D. Unwin, „Proceedings of the Royal Society of London”, vol. 1377, 1981, 147–9.

⁹⁶A. D. Linde, „Reports on Progress in Physics”, vol. 47, no. 8, 974.

zenia. Jeżeli kwark górny ma masę rzędu 125 GeV, to mamy szczęście, że nasz świat przetrwał tak długo⁹⁷. Gdyby jego masa znacznie przekraczała 125 GeV, świat nasz prawie na pewno nie mógłby być tak długotrwały.

Ograniczenie i równowaga; powolne zmiany; złożone powiązania

2.42 ‘Ślepa konieczność metafizyczna’, powiedział Newton, ‘nie może wyprodukować żadnej różnorodności rzeczy’⁹⁸. Być może dałoby się znaleźć w materii *vis inertiae*, ale Bóg wyposażył materię w ‘ pewne działające zasady’ takie jak: siły ‘grawitacji, magnetyzmu i elektryczności’ i prawdopodobnie ‘inne, które sięgają na małe odległości i dotychczas umykają obserwacjom’. Takie fakty jak ‘utrzymywanie się w połączeniu dwu kawałków wypolerowanego marmuru *w próżni*’ sugerowały, że cząstki ‘przyciągają się wzajemnie na skutek pewnej siły, która przy ścisłym kontakcie zwiększa swe natężenie, a na małych odległościach zarządza przemianami chemicznymi’. ‘Najmniejsze cząstki materii mogą być utrzymywane razem przez najsilniejsze przyciągania i tworzyć większe cząstki o mniejszej mocy (*weaker Virtue*); wiele z nich może być nadal utrzymywanych razem i tworzyć jeszcze większe cząstki o jeszcze mniejszej mocy i tak dalej’. Podobnie do tego ‘jak jest w algebrze: gdzie dodatnie wartości zanikają i kończą się, tam zaczynają się wartości ujemne, jest i w mechanice — gdzie przyciąganie zanika, tam moc odpychająca powinna zająć jego miejsce’⁹⁹.

To było trafne odgadnięcie. Oprócz grawitacji i elektromagnetyzmu naturą rządzą dodatkowo co najmniej dwie główne siły — silne i słabe oddziaływanie jądrowe. Wszystkie cztery siły są podstawowego znaczenia dla form życia opartych na ciepłe, światło, atomach, gwiazdach i chemii¹⁰⁰. Różnią się one znacznie w zasięgu i natężeniu, przy czym bardzo krótkozasięgowo silne oddziaływanie jądrowe jest najsilniejsze. To, co się wydaje być jedną i tą samą siłą, może przyciągać przy jednej odległości, a odpychać przy innej.

2.43 A oto kilka szczegółów¹⁰¹:

⁹⁷M. G. Turner i F. Wilczek, „Nature”, vol. 298, 1982, 633; Wilczek, w: G. W. Gibbons et al., op. cit. (przypis 16), 27.

⁹⁸I. Newton, *General Scholium*.

⁹⁹I. Newton, *Opticks, Query 31*.

¹⁰⁰P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 64), 229–30; I. L. Rozental, op. cit. (przypis 48), 301.

¹⁰¹Zaczerpnięte po części z klasycznych prac: V. F. Weisskopf, *Knowledge and Wonder*, New York 1962 i H. F. Blum, *Time’s Arrow and Evolution*, Princeton 1968.

(i) Elektrony są ‘ekranowane’ przez chmury ‘wirtualnych’ pozytonów, krótko żyjących tworów powstałych z pustki przez fluktuacje kwantowe. Efekt ten neutralizuje nieograniczony wzrost oddziaływania elektronu w miarę zbliżania się do niego — żeby uczynić elektron niezwykle destrukcyjnym, należałoby przede wszystkim wyobrazić go sobie jako cząstkę punktową. Natomiast kwarki w jądrze atomowym utrzymują swoją tożsamość dzięki ‘antyekranowaniu’ przez gluony rozmazującym międzykwarkowe ‘oddziaływanie kolorowe’ (*colour force*) tak, że zanika ono na krótkim dystansie. Tak samo zanika grawitacja w centrum Ziemi, gdzie przyciąganie jest jednakowe ze wszystkich kierunków.

(ii) Silne oddziaływanie jądrowe, prawdopodobnie będące jedynie skomplikowanym złożeniem oddziaływań kolorowych, jest odpychające na ekstremalnie krótkich odległościach i przyciągające na nieco większych. Przez *odpychanie* pomaga ono protonom i neutronom w złożonych atomach uniknąć kolapsu jednych na drugie, natomiast przez *przyciąganie* wiąże je silniej ze sobą: daje to atomowi bardzo precyzyjnie zlokalizowane centrum wraz z płynącymi z tego korzyściami wspomnianymi wcześniej (2.33). Przy odległościach jeszcze większych (ale ciągle bardzo małych) siła szczęśliwie spada do zera: cząstki–posłańcy ją przynoszące nie mogą podróżować dalej, ponieważ muszą zwrócić energię, którą ‘pożyczyły’, by zaistnieć. Jak było zauważone w 2.15, oddziaływanie silne mogłoby spowodować gwałtowne zapadnięcie się Wszechświata, gdyby było długozasięgowe.

(iii) W przeciwieństwie do powyższego, elektromagnetyzm jest przenoszony przez fotony z zerową masą spoczynkową. Nie muszą zwrócić pozyczonej energii fotony mogą podróżować bez ograniczeń, ale nie stanowi to problemu, ponieważ ze wzrostem obszaru materia dąży do nie wywierania siły elektrycznej. Ładunki dodatnie są zrównoważone przez ujemne, więc nie tworzy się żadne pole prowadzące do zapadnięcia się lub eksplozji kosmosu.

(iv) Dochodzimy do tego, że Wszechświat w wielkich skalach jest rządzony przez znacznie słabszą siłę grawitacji. Układy planetarne i galaktyczne bronią się przed własnym przyciąganiem przez rotację (na którą już Newton zwrócił uwagę) lub, w przypadku pewnych galaktyk, jedynie przez ruchy przypadkowe.

2.44 W rezultacie otrzymujemy wielce złożony korowód cząstek materialnych. Posłuszny jest on zagadkowym zasadom, jak *zasada zachowania liczby barionowej*, która może się wydawać szczególnie dziwna, jako że nie

jest związana z jakimkolwiek polem sił, gdy na przykład elektromagnetyczna zasada zachowania ładunku jest. Bez zachowania liczby barionowej ‘cała materialna zawartość Wszechświata mogłaby zniknąć w ognistej kuli promieniowania gamma, bo protony rozpadłyby się na pozytony i anihilowałyby z elektronami’¹⁰².

Zbadajmy ograniczenia i równowagi utrzymujące równy ruch tego koro-
wodu przez biliony lat. Rozpatrzmy na przykład równowagę w jądrze atomo-
wym pomiędzy przyciąganiem przez oddziaływanie silne a odpychaniem
elektromagnetycznym, które prawie że rozdmuchuje dowolny atom o dwu
lub więcej protonach. Po uwzględnieniu zakazu Pauliego, małej masy elek-
tronu, faktu, że elektrony nie odczuwają oddziaływania silnego i tak dalej,
ta równowaga pozwala istnieć około setce tak różnych rodzajów atomów-
cegiełek. Ich elektrony czynią je bardziej użytecznymi od sprężystych kulek
wyobrażanych przez wczesną fizykę. Jak to skomentował A. Szant-Gyorgyi:
‘Przekonasz się, że raczej trudne jest zbudowanie jakiegokolwiek mechnizmu
z kamieni’.

2.45 Zarówno w jądrach atomowych, jak i w całych atomach, takie ogra-
niczenia i równowagi prowadzą do ‘progów’ w polach sił, które są trudne do
przeniknięcia przez cząstki próbujące dostać się do środka lub przez inne,
usiłujące się wydostać. Przyczynia się to do dużej stabilności, niemniej jed-
nak progi mogą być penetrowane na przykład w wysokoenergetycznych zde-
zeniach wewnątrz gwiazd — stąd gwiazdy mogą się spalać.

Atomy są ponadto w bardzo skomplikowany sposób grzaskie. Dodatnio
naładowane jądro jednego z nich może przyciągać elektrony innego tak, że
dwa atomy zbliżają się do siebie, dopóki chmury elektronowe nie zaczną
ich odpychać. W ten sposób powstaje słabe oddziaływanie van der Wa-
alsa utrzymujące ciecze w stanie ciekłym. Atomy mogą wymieniać elektron,
mieć wspólne pary elektronowe lub wchodzić w powikłane oddziaływania
elektronowo–elektronowe i elektronowo–protonowe — aż do włączenia in-
nych atomów, jak to jest w wiązaniu wodorowym. W ten sposób może po-
wstać bardzo wiele dalszych wiązań fizycznych i chemicznych. Najslabsze
z nich leżą u podstaw *reakcji łatwo odwracalnych*. Są one wykorzystywane
przez życie podczas fotosyntezy, podczas ruchu mięśni (wiązania wodorowe
są tu wielokrotnie tworzone i niszczone), podczas tworzenia lub spalania
paliwa komórkowego ATP (tworzone i niszczone wiązania fosforanów) lub

¹⁰²P. C. W. Davies, op. cit. (przypis 64), 160.

podczas transportowania nowej materii do komórek. Te ostatnie przypominają płomień świecy: ich formy trwają nieustannie, chociaż atomy w nie wchodzące są ciągle wymieniane.

2.46 W większej skali odnajdujemy rodzaj stabilności polegający na ‘powstrzymaniu’ wypływu energii, na co zwrócił uwagę F. Dyson¹⁰³. Dysonowskie ‘powstrzymanie termojądrowe’ może przemówić do wyobraźni chyba najszybciej: pozwoliło ono naszemu Słońcu podtrzymać ewolucję życia przez czas, który dla Lorda Kelvina był nedorzecznie dłuższy od czasu spalania się jakiegokolwiek słońca. (W miarę jak gwiazdy stają się gorętsze, ruchy cieplne ich cząstek przeciwdziałają dalszej kompresji grawitacyjnej. Gwiazda pozostaje rozciągnięta w przestrzeni, a reakcje zachodzą w niej powoli.) Kiedy jednak chcemy zrozumieć problem płaskości (2.4–5), wtedy ‘powstrzymanie rozmiarów’ — fakt, że galaktyki i cały kosmos są wystarczająco wielkie, aby uniknąć kolapsu grawitacyjnego i innych uniemożliwiających życie scenariuszów rozwoju, może zadziwić nas jeszcze bardziej.

John Leslie

tłum. Witold Maciejewski

¹⁰³F. Dyson, op. cit. (przypis 23).