A R T Y K U Ł Y

ROCZNIKI FILOZOFICZNE
Tom XLI, zeszyt 3 – 1993

JÓZEF TUREK
Lublin

CZYNNIK EMPIRYCZNY W TEORIACH KOSMOLOGICZNYCH[1]

I. WPROWADZENIE

Współczesna kosmologia w swym rozwoju osiągnęła na tyle wysoki stopień dojrzałości, że pragnie w sposób bardziej samodzielny określić swój status nauki przyrodniczej[2]. Chce ona, mimo pewnego zróżnicowania kierunków i odmian[3], być

[1] Artykuł dotowany przez MEN w ramach programu badawczego (18 VII 1990 r.).

[2] Dyskusje nad przyrodniczym charakterem współczesnej kosmologii podejmowane są m.in. w następujących pracach: A. G. P a c h o l c z y k, *Obserwacyjne aspekty kosmologii*, „Postępy Astronomii", 10(1962), z. 1, s. 15-44; K. R u d n i c k i, *Zagadnienie rozstrzygalności hipotez kosmologicznych w świetle możliwości współczesnych obserwacji astronomicznych*, „Studia Filozoficzne", 41(1965), s. 195-211; t e n ż e, *Podstawy obserwacyjne teorii kosmologicznych*, „Roczniki Filozoficzne", 21(1973), s. 5-21; W. Z o n n, *Obserwacyjne aspekty współczesnej kosmologii*, „Roczniki Filozoficzne", 18(1970), z. 3, s. 5-11; M. H e l l e r, Z. K l i m e k, K. R u d n i c k i, *Observational Foundations for Assumptions in Cosmology*, [w:] M. S. L o n g a i r (Ed.), *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data* (IAU Symposium No 63), Reidel, Dordrecht-Boston 1974, s. 3-11; G. F. R. E l l i s, *Cosmology and Verifiability*, „Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society", 16(1975), s. 245-264; t e n ż e, *Limits to Verification in Cosmology*, „Annals of the New York Academy od Sciences", 336(1980), s. 130-160; M. H e l l e r, *Uwagi o metodologii kosmologii*, „Roczniki Filozoficzne", 26(1978), z. 3, s. 65-75; L. S o k o ł o w s k i, *Czy kosmologia jest nauką empiryczną?*, „Studia Filozoficzne", 6(1978), s. 65-71; J. S t o c k, *The Empirical Basis of Cosmology*, [w:] *Proceedings of the Einstein Centennal Symposium on Fundamental Physics*, Bogota 1981, s. 193-202; J. Ż y c i ń s k i, *Rola zasad dedukcjonizmu i indukcjonizmu w kosmologii przyrodniczej*, „Analecta Cracoviensia", 12(1980), s. 81-136; t e n ż e, *Metoda przybliżeń w kosmologii przyrodniczej*, [w:] M. L u b a ń s k i, Sz. W. Ś l a g a (red.), *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody*, t. VI, ATK, Warszawa 1984, s. 61-94.

[3] O różnych koncepcjach, odmianach i kierunkach rozwoju współczesnej kosmologii piszą m.in.:

nauką przyrodniczą. Znaczy to, że chce realizować funkcjonujący w powszechnym przekonaniu uczonych model tej nauki.

W myśl postulatu tzw. empiryzmu metodologicznego[4] istotnym elementem tego modelu winien być czynnik empiryczny, który zapewniałby teoriom naukowym kontakt z rzeczywistością. Jeśli bowiem – mówi się – teorie te mają opisywać, tłumaczyć i wyjaśniać otaczający nas świat, to muszą w jakiś sposób mieć ten kontakt zapewniony. Dane empiryczne jawią się więc jako ważny czynnik naukotwórczy decydujący o postępie wiedzy ludzkiej[5]. Dlatego rozważania na ich temat wydają się być uzasadnione względami nie tylko bezpośredniego sprawdzania teorii, ale również dochodzenia do nich, ich akceptacji oraz zastępowania jednych teorii drugimi. Wszystko to, jak wiadomo, wchodzi w zakres szeroko rozumianej problematyki rozwoju nauki[6].

W odniesieniu do kosmologii jest to tym bardziej aktualne i godne uwagi, że jest ona dyscypliną stosunkowo młodą i ciągle jeszcze poszukującą najlepszego odniesienia do swojej bazy empirycznej[7]. Łatwiej jest więc na jej przykładzie dostrzeć

H. B o n d i, *Kosmologia*, Warszawa 1965; J. D. N o r t h, *The Measure of the Universe. A History of Modern Cosmology*, Oxford 1965; M. H e l l e r, *Przemiany współczesnej kosmologii*, [w:] *Studia i materiały z dziejów nauki polskiej*, seria C, z. 20, Warszawa 1975, s. 107-140; t e n ż e, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, Warszawa 1983.

[4] Por. np. S. K a m i ń s k i, *Pojęcie nauki i klasyfikacja nauk*, Lublin 1981, s. 81; J. Ż y c i ń s k i, *Język i metoda*, Kraków 1983, s. 201-203.

[5] Różne stanowiska odnośnie do roli czynnika empirycznego w procedurach naukotwórczych omawiają m.in.: S. A m s t e r d a m s k i, *Między doświadczeniem a metafizyką*, Warszawa 1973; Z. H a j d u k, *Tradycyjny i deskryptywny sposób rekonstruowania teorii empirycznych*, „Roczniki Filozogiczne", 26(1978), z. 3, s. 21-37; t e n ż e, *Rekonstrukcja i ocena teorii empirycznych w uhistorycznionej filozofii nauki*, „Roczniki Filozoficzne", 27(1979), z. 3, s. 33-101; t e n ż e, *Struktura i ocena teorii empirycznych w neopopperowskiej filozofii nauki*, [w:] K. K ł ó s a k (red.), *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody*, t. IV, ATK Warszawa 1982, s. 5-82; A. M o t y c k a, *Relatywistyczna wizja nauki*, Warszawa 1984.

[6] Por. np. W. K r a j e w s k i, E. P i e t r u s k a, J. Ż y t k o w (red.), *Relacja między teoriami a rozwój nauki*, Wrocław 1978; E. P i e t r u s k a – M a d e j, *W poszukiwaniu praw rozwoju nauki*, Warszawa 1980; Z. H a j d u k, *Uwarunkowania postępu poznawczego w teoriach rozwoju nauki, I*, „Roczniki Filozoficzne", 37-38(1989-1990), z. 3, s. 83-160; t e n ż e, *Uwarunkowania postępu poznawczego w teoriach rozwoju nauki, II*, „Roczniki Filozoficzne", 3(1991-1992), z. 3, s. 83-160.

[7] Przykładem tego rodzaju poszukiwań są m.in. następujące prace: G. F e l d, H. A r p, J. N. B a h c a l l, *The Redshift Controversy*, London 1973; E. S c h a t z m a n n (Ed.), *Observational Cosmology. Cargese Lectures in Physics*, New York 1973; M. S. L o n g a i r (Ed.), *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data* (IAU Symposium No 63), Reidel, Dordrecht-Boston 1974; J. G. G u n n, M. S. L o n g a i r, M. J. R e e s (Eds.), *Observational Cosmology*, Geneva 1978; R. B a l i a n, J. A u d o u z e, D. S c h r a m m (Eds.), *Cosmologie Physique. Physical Cosmology, Les Houches. Session XXXII 2-27 Juillet 1979*, North Holland Publishing Company, Amsterdam–New York–Oxford 1980; H. A. B r ü c k, G. V. C o y n e, M. S. L o n g a i r (Eds.), *Astrophysical Cosmology. Proceedings of the Study Week on Cosmology and Funda-*

mechanizmy zarówno funkcjonowania czynnika empirycznego w teoriach przyrodniczych, jak i jego wpływu na rozwój wiedzy ludzkiej.

Rozważania nad bazą empiryczną kosmologii, podobnie zresztą jak w każdej innej nauce przyrodniczej, mogą być prowadzone z wielu punktów widzenia. Można ograniczyć się tylko do zaprezentowania tej bazy i równoczesnej oceny jej wartości poznawczej. Zwracałoby się wtedy uwagę głównie na treściowe aspekty przyjmowanych w kosmologii danych obserwacyjnych z jednoczesnym uwzględnieniem sposobów ich zdobywania oraz ocen ich adekwatności, wiarygodności i zasadności w odniesieniu do realnego świata. Badania takie są w przypadku kosmologii szczególnie ważne. Wszechświat bowiem będący przedmiotem jej rozważań jest rozumiany jako coś jednego, niepowtarzalnego i bardzo trudnego do wyczerpującego określenia. Stąd dane obserwacyjne o takim Wszechświecie muszą rodzić wiele pytań i dyskusji[8].

Zakładając istnienie takiej bazy w kosmologii i pewną jej adekwatność w stosunku do Wszechświata jako całości, omawiane byłyby przejawy jej obecności w poszczególnych teoriach kosmologicznych. Chodziłoby zatem o pokazanie, w jaki sposób i na podstawie jakich konkretnych danych empirycznych przebiega charakterystyka oraz wybór tych teorii.

Można też patrzeć na problematykę czynnika empirycznego bardziej jeszcze abstrakcyjnie, tzn. próbować dokonywać ocen, głównie logiczno-epistemologicznych, roli tego czynnika w procedurach naukotwórczych. Chodziłoby wtedy o podanie stopnia konfirmacji, korroboracji, czy też dyskonfirmacji poszczególnych teorii kosmologicznych przez istniejące dane obserwacyjne. Dawałoby to empiryczną podstawę do uznawania lub odrzucania tych teorii jako nienaukowych[9].

Można wreszcie podejść do zagadnienia obecności czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych z nieco innego jeszcze punktu widzenia. A mianowicie

---

mental Physics. September 28 – October 2, 1981, Pontificia Academia Scientiarum Scripta Varia 48, Città del Vaticano 1982; W. R. S t o e g e r (Ed.), *Theories, and Observational Limits in Cosmology. Proceedings of the Vatican Observatory Conference Held in Castel Gandolfo July 1-9, 1985*, Specola Vaticana 1987.

[8] Na temat dyskusji nad Wszechświatem jako przedmiotem kosmologii zob. np. w: B o n d i, *Kosmologia*, s. 19-20; M. H e l l e r, *Definicja terminu „Wszechświat" w kosmologii relatywistycznej*, „Roczniki Filozoficzne", 16(1968), z. 3, s. 45-61; W. W. K a z j u t y ń s k i j, *Poniatie „Wsielienaja"*, [w:] W. W. K a z j u t y ń s k i j, G. J. N a o n, M. E. O m e l j a n o w s k i j, J. M. C h a ł a t n i k o w, S. A. J a n o w s k a j a (red.), *Bieskoniecznost i Wsieliennaja*, Moskwa 1969, s. 116-126; B. R o k, *Próby analizy współczesnej koncepcji przedmiotu kosmnologii przyrodniczej*, [w:] K. K ł ó s a k (red.), *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody*, s. 83-123.

[9] O kryteriach oceny roli czynnika empirycznego w procedurach naukotwórczych piszą m.in.: K. A j d u k i e w i c z, *Logika pragmatyczna*, Warszawa 1965, s. 118-180; J. S u c h, *Problemy weryfikacji wiedzy*, Warszawa 1978, s. 129-200; H a j d u k, *Struktura i ocena teorii empirycznych w neopopperowskiej filozofii nauki*, s. 5-82.

spojrzeć na tę obecność przez pryzmat pewnych wzorców czy też postulatów wysuwanych przez współczesną filozofię nauki odnośnie do roli tego czynnika w ustalaniu przyrodniczego charakteru teorii naukowych. Dokonane w tym względzie porównania czy też konfrontacje wskazywałyby, na ile współczesna kosmologia realizuje wspomniane wzorce, a więc na ile można ją uważać za naukę przyrodniczą. Jeżeli natomiast potraktuje się funkcjonowanie czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych jako przykład faktycznego uprawiania nauki, to rozważania w tym względzie mogą dostarczyć pewnego zobrazowania, unaocznienia, a nawet przetestowania wypracowanych przez filozofię stanowisk. Mówi się wtedy o tzw. *case studies* w ramach filozofii nauki[10].

Podjęte rozważania nawiązują głównie do drugiej z wymienionych możliwości, tj. koncentrują się przede wszystkim na samym funkcjonowaniu czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych. Zazwyczaj kosmolog patrzy na posiadaną bazę empiryczną pod kątem jej powiązań treściowych z teoriami, do których jest odnoszona. Nie wchodzi natomiast w głębsze analizy logiczno-metodologiczne, a tym bardziej epistemologiczne i psychologiczne tych odniesień. Stąd niniejsze wysiłki, by nie tracąc z oczu perspektywy treściowej, dać w miarę wyczerpujący przegląd metaprzedmiotowych aspektów funkcjonowania powszechnie przyjmowanych testów kosmologicznych. Zyskuje się w ten sposób nie tylko pewne rozeznanie w samej bazie empirycznej kosmologii, ale również w sposobach faktycznej jej obecności w konkretnych teoriach. Rozeznanie takie wydaje się być nieodzowne we wszelkiego rodzaju próbach oceny roli testów w kształtowaniu przyrodniczego charakteru współczesnej kosmologii.

Praktyczna zatem realizacja podjętego zadania sprowadzać się będzie do w miarę systematycznego przeglądu szeroko rozumianych związków teoretycznej warstwy kosmologii z tym wszystkim, co w powszechnym przekonaniu uczonych jest przyjmowane jako jej baza empiryczna. Oczywiście nie bez znaczenia będą tu również wypowiedzi i opinie kosmologów. Ponieważ jednak wspomniane związki mogą być bardzo różnorodne, zarówno co do charakteru, jak i elementów strukturalnych, więc rodzi się potrzeba pewnych uściśleń i wyraźnych ustaleń, by uniknąć ewentualnych niejasności i błędnych interpretacji. Z pomocą przychodzi tu filozofia nauki. Za podstawowe kategorie naukotwórczego organizowania doświadczenia z jednej strony oraz analiz metodologicznych z drugiej uważa ona już nie tyle prawa naukowe, co raczej całe teorie rozpatrywane nawet łącznie z fragmentami określonej dyscypliny

[10] O znaczeniu badań historycznych nad nauką dla filozofii nauki piszą m.in.: L. M. L i n d h o l m, *Is Realistic History of Science Possible? A Hidden Inadequacy in the New History of Science*, [w:] J. A g a s s i, R. S. C o h e n (Eds.), *Scientific Philosophy Today. Essays in Honour of Mario Bunge*, Dordrecht 1982, s. 167-186; T. K u h n, *Dwa bieguny,* Warszawa 1985, s. 29-52; M. P e r a, *Narcissus at the Pool: Scientific Method and the History od Science*, „Organon", 22-23(1986-87), s. 77-98.

naukowej[11]. Zatem rozważane tu związki odnoszone będą głównie do teorii kosmologicznych, chociaż w poszczególnych przypadkach mogą być uwzględnione również odniesienia do praw lub twierdzeń. Pominięte będą natomiast rozważania nad problematyką terminów naukowych, zwłaszcza związków terminów teoretycznych z czynnikiem empirycznym. Problematyka ta przestała bowiem odgrywać dominującą rolę w większości kierunków współczesnej filozofii nauki, a samo wydzielenie tych terminów okazuje się zrelatywizowane do teorii[12].

Odnośnie zaś do charakteru rozpatrywanych tu związków, najbardziej interesujące będą te, które zaznaczają swoją obecność w podstawowych procedurach naukotwórczych. Jak wiadomo, za procedury takie uważa się sposoby dochodzenia do wiedzy i zabiegi zmierzające do jej uzasadnienia, czyli to, co od czasów Hansa Reinchenbacha zwykło się nazywać kontekstem odkrycia i uzasadnienia[13]. Zatem, mimo wysuwanych obecnie zastrzeżeń odnośnie do zbyt wyraźnego przeciwstawiania tych kontekstów[14], wydaje się zasadne i zgodne z ogólnym odczuciem filozofów nauki rozpatrywanie funkcjonowania czynnika empirycznego zarówno w procedurach dochodzenia do praw i teorii kosmologicznych, jak i w procedurach ich sprawdzania[15]. Podejście takie winno zapewnić szeroki zakres prezentacji sposobów obecności czynnika empirycznego we współczesnych teoriach kosmologicznych.

II. CZYNNIK EMPIRYCZNY W PROCEDURACH DOCHODZENIA DO WIEDZY KOSMOLOGICZNEJ

Podjęta próba przedstawienia funkcjonowania czynnika empirycznego w procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej stanowi pewne uszczegółowienie ogólniejszej, a żywo obecnie dyskutowanej problematyki odkrycia naukowego[16].

---

[11] H a j d u k, *Tradycyjny i deskryptywny sposób rekonstrukcji teorii empirycznych*, s. 21.

[12] Por. np. M. P r z e ł ę c k i, *Teorie empiryczne w ujęciu logiki współczesnej*, [w:] *Fragmenty filozoficzne*, *Księga pamiątkowa ku czci Tadeusza Kotarbińskiego w 80 rocznicę urodzin*, seria III, Warszawa 1967, s. 75-101; Z. H a j d u k, *Podstawy podziału terminów naukowych*, „Roczniki Filozoficzne", 22(1974), z. 3, s. 59-70.

[13] H. R e i c h e n b a c h, *Experience and Prediction. An Analysis of the Foundations and the Structure of Knowledge*, Chicago 1938, s. VIII.

[14] J. W o l e ń s k i, *W sprawie odróżnienia między kontekstem odkrycia a kontekstem uzasadnienia*, „Zeszyty Naukowe AGH. Zagadnienia Społeczno-Polityczne", 20(1980), s. 19-25; Z. H a j d u k, *Metanaukowe tendencje badawcze w problematyce odkrycia naukowego*, „Roczniki Filozoficzne", 33(1985), z. 3, s. 27-31; S. Z a m e c k i, *Pojęcie odkrycia naukowego a historia dziedziny nauki*, Wrocław 1989, s. 49-127.

[15] Por. S u c h, dz. cyt., s. 11-23; P i e t r u s k a – M a d e j, dz. cyt., s. 25-28.

[16] Problematykę odkrycia naukowego poruszają m.in. następujący autorzy: A m s t e r d a m s k i,

W początkach lat sześćdziesiątych naszego stulecia zaczęły pojawiać się zdecydowanie krytyczne głosy wobec pozytywistycznych tendencji zawężania filozoficznej refleksji nad nauką tylko i wyłącznie do kontekstu uzasadniania. Skoro bowiem – mówiono – dokonują się odkrycia naukowe, to otwarte pozostaje pytanie: na podstawie jakiej metody tak się dzieje? Wbrew temu, co głosi metodologia neopozytywistyczna procedury heurystyczne oraz procedury uzasadniające są ze sobą ściśle powiązane, a nawet częściowo się zazębiają lub pokrywają. Tworzenie się nowej wiedzy nie jest operacją całkowicie nieuchwytną, realizującą się za sprawą niczym nie skrępowanego aktu intuicji. Stanowi, jak się wydaje, nierozerwalny związek twórczej intuicji i metod krytycznej analizy i jako taki może być, do pewnego przynajmniej stopnia, uchwycony w kategoriach logicznej analizy. Mimo że winniśmy porzucić nadzieję na znalezienie algorytmu odkryć, to jednak nie należy rezygnować z wszelkiego rodzaju opisu, wyjaśniania, a nawet odtwarzania procedur odkrywczych[17].

Uzasadnione zatem stają się rozważania nad funkcjonowaniem czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej, zwłaszcza jeśli przywoła się na myśl znane powiedzenie Alberta Einsteina, że wszystko, co wiemy o rzeczywistości, zaczyna się i kończy na doświadczaniu[18]. Rozważania takie wymagają z jednej strony bezpośrednich badań historycznych nad konstruowaniem poszczególnych praw, twierdzeń czy całych teorii kosmologicznych, ze szczególnym uwzględnieniem wypowiedzi i opinii samych kosmologów. Z drugiej zaś strony konieczne są analizy logiczno-metodologiczne zarówno zebranego materiału historycznego, jak również konkretnych teorii kosmologicznych w kontekście ich powiązań z danymi empirycznymi.

Wszystko to wskazuje na znaczną rolę czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej, i to pod wieloma względami. Oczywiście, nie pozostaje to bez wpływu na status kosmologii jako nauki przyrodniczej, chociaż szczegółowe oceny w tym względzie są z wielu przyczyn bardzo trudne do przeprowadzenia.

Przystępując zatem do prezentacji interesującej nas obecności czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej, należy w pierwszym rzędzie zwrócić uwagę na osobliwą i wyjątkową – w porównaniu z innymi naukami – rolę tego czynnika w kształtowaniu samej koncepcji uprawiania kosmologii. Istnieją, jak wiadomo, zasadniczo dwa podstawowe podejścia do kosmologii, dwie koncepcje lub

---

dz. cyt.; P i e t r u s k a – M a d e j, dz. cyt. oraz *Odkrycie naukowe. Kontrowersje filozoficzne*, Warszawa 1990; H a j d u k, *Metanaukowe tendencje badawcze w problematyce odkrycia naukowego*; Z a m e c k i, dz. cyt.; W. S a d y, *Racjonalna rekonstrukcja odkryć naukowych*, Lublin 1990.

[17] S u c h, dz. cyt., s. 9; P i e t r u s k a – M a d e j, *W poszukiwaniu praw rozwoju nauki*, s. 34-35; Z a m e c k i, dz. cyt., s. 49.

[18] A. E i n s t e i n, *O metodzie fizyki teoretycznej*, [w:] *Mój obraz świata*, Warszawa 1935, s. 189.

dwa kierunki jej uprawiania. Kierunek „w dół" – nazywany też globalnym lub dedukcyjnym – polega na tym, że przyjmuje się aprioryczne założenia dotyczące struktury Wszechświata i z nich – drogą dedukcyjną – wyprowadza się całą naszą wiedzę lokalną o otaczającym nas świecie. Podejście zaś „w górę", które zdobyło sobie prawo obywatelstwa w kosmologii XX w., nazywane też podejściem ekstrapolacyjnym lub obserwacyjnym, za punkt wyjścia rozważań kosmologicznych bierze naszą wiedzę lokalną o świecie. Jest to wiedza empiryczna, można powiedzieć w sensie ogólniejszym, tzn. stanowią ją nie tylko bezpośrednie dane obserwacyjne, ale i całe teorie mające mocne potwierdzenie empiryczne. Wspólną jej cechą jest fakt, że odnosi się ona tylko i wyłącznie do świata bezpośrednio nas otaczającego. Nie mówi więc nic o Wszechświecie jako całości. Dopiero w rozważaniach kosmologicznych wiedza ta jest ekstrapolowana na wielkoskalowe obszary Wszechświata, by otrzymać informację o ich geometrycznej strukturze i zachowaniu się w czasie[19]. Mówiąc ogólnie, w podejściu tym widzi się potrzebę przyjęcia czynnika empirycznego jako punktu wyjścia dla rozważań kosmologicznych. Jeżeli chcemy orzekać o Wszechświecie jako całości, opisywać jego geometryczną strukturę, jego ekspansję i ewolucję, to musimy w punkcie wyjścia dysponować już pewną wiedzą o tym Wszechświecie. W podejściu ekstrapolacyjnym wiedzę tę ma stanowić szeroko rozumiany czynnik empiryczny zaczerpnięty z bezpośrednio otaczającego nas świata. Jest on z kolei poddawany zabiegom uogólniającym w celu uzyskania możliwie najpełniejszej informacji o Wszechświecie jako całości. Sprawa zasadności tego rodzaju zabiegów, chociaż bardzo ważna, nie musi się w tym kontekście wysuwać na pierwszy plan. Tak zatem uprawianą kosmologię można by w pewnym sensie traktować jako swoiście rozumiane uogólnienie indukcyjne naszej wiedzy lokalnej o świecie na możliwie największe obszary przestrzenne i przedziały czasowe. Nie jest to w ścisłym tego słowa znaczeniu indukcja jako metoda zdobywania wiedzy. Jest to raczej pewna koncepcja uprawiania kosmologii, w której uwzględnienie czynnika empirycznego jako punktu wyjścia dla rozważań kosmologicznych wyznacza ich orientację, metody i kierunki badawcze.

W praktyce podejście takie ma wiele odcieni, z których najbardziej optymistyczny reprezentują kosmologowie wywodzący się ze środowisk astronomicznych. Zgodnie z ich postawą badawczą nie należy dążyć od razu do poznania Wszechświata w jego całości. Znaczy to, że nie należy rozpoczynać badań nad Wszechświatem od konstruowania jego modeli teoretycznych, lecz od obserwacji możliwie najdalej

[19] Por. np. S. M a z i e r s k i, *Elementy kosmologii filozoficznej i przyrodniczej*, Lublin 1972, s. 78-85; G. F. R. E l l i s, *Relativistic Cosmology: Its Nature, Aims, and Problems*, [w:] B. B e r t o t t i, F. d e F e l i c e, A. P a s c o l i n i (Eds.), *General Relativity and Gravitation. Invited Papers and Discussion Reports, Padua, July 3-8, 1983*, Reidel, Dordrecht-Boston 1984, s. 215-227; M. H e l l e r, *Teoretyczne podstawy kosmologii*, Warszawa 1988, s. 92-97.

położonych obiektów astronomicznych. Uczeni ci skłonni są uważać kosmologię za część tzw. astronomii pozagalaktycznej, a nawet ją z tą astronomią utożsamiać[20]. Mówią bowiem, „że gruntowne i wszechstronne poznanie stosunkowo małej nawet części Wszechświata, jaką jest otoczenie naszej Galaktyki, doprowadzi nas wcześniej czy później do wysnucia wniosków bardziej ogólnych, dotyczących całego Wszechświata; do wniosków tych nie dążymy jednak bezpośrednio, jak to się robi w kosmologii, lecz pośrednio, w miarę coraz to gruntowniejszego poznawania naszego bezpośredniego otoczenia. Idziemy zatem od szczegółów ku uogólnieniom, a więc właściwie w kierunku przeciwnym niż kosmologowie, którzy interesują się szczegółami tylko o tyle, o ile mogą one służyć za testy ogólnych teorii kosmologicznych. Taki kierunek „marszu" może dawać nie gorsze wyniki niż próby traktowania pewnych dziedzin od razu jako całości"[21].

Za podobnie ścisłym powiązaniem kosmologii z astronomią opowiadali się w większości kosmologowie radzieccy, motywowani dodatkowo racjami natury filozoficzno-światopoglądowej[22]. Pozostawiając filozofii badanie Wszechświata – w jego nieskończoności czasowej, przestrzennej i mnogościowej – uczeni ci uważali, że kosmologia winna ograniczyć swoje zainteresowania jedynie do tej części Wszechświata, która jest dostępna obserwacjom astronomicznym. Stąd wypowiadana często opinia, że przedmiotem badań kosmologicznych nie jest cały Wszechświat, lecz tzw. Metagalaktyka rozumiana jako zbiór galaktyk poruszających się w dostępnej dla naszych obserwacji części Wszechświata[23].

Uprawianie kosmologii drogą tak prostego uogólnienia obserwacji astronomicznych, nawet na podstawie różnego rodzaju teorii fizykalnych, spotyka się jednak z wieloma trudnościami. Wynikają one z jednej strony z pytania o prawomocność

---

[20] M. H e l l e r, *Wobec Wszechświata*, Kraków 1971, s. 73

[21] W. Z o n n, *Kosmologia*, [w:] *Astronomia popularna*, Warszawa 1965, s. 395.

[22] Zwolennikiem ścisłego wiązania rozważań kosmologicznych z obserwacjami już w punkcie wyjścia był w Związku Radzieckim znany astronom B. A. Ambarcumian. Por. np. *Problemes de Cosmogonie Contemporaine*, Moscou 1971, s. 344-356. Racje natomiast filozoficzno-światopoglądowe polegały na tym, że mniej więcej do połowy lat pięćdziesiątych naszego stulecia w Związku Radzieckim nie wolno było uprawiać kosmologii jako nauki o całym Wszechświecie, a zwłaszcza Wszechświecie z osobliwością początkową. W przekonaniu decydentów kolidowało to z filozofią marksistowską, której przypisywano jedyne kompetencje do badań nieskończoności Wszechświata we wszystkich możliwych aspektach. Kosmologia nie miała więc racji bytu, tak jak i wiele innych dyscyplin naukowych. Chcąc jednak zapewnić jej egzystencję, niektórzy przyrodnicy ograniczali przedmiot jej zainteresowań do tej części Wszechświata, która jest dostępna obserwacjom. Stąd winna się ona zajmować tylko Metagalaktyką, a nie całym Wszechświatem. Por. np. A. L. Z e lm a n o w, *Metagałaktika i Wsieliennaja*, [w:] *Nauka i cziełowiczіestwo*, Moskwa 1962; K a z j u t y ń s k i j, dz. cyt., s. 118-126; E. A. T r o p p, B. J. F r e n k e l, A. D. C z e r n i n, *Aleksander Aleksandrowicz Fridman. Żizn i diejatielstwo*, Moskwa 1988, s. 254-258.

[23] J. S. S z k ł o w s k i, *Wszechświat, życie, myśl*, Warszawa 1965, s. 31, 116.

rozciągania lokalnej wiedzy fizycznej na cały Wszechświat. Z drugiej zaś strony właściwe zinterpretowanie i zrozumienie dokonywanych obserwacji bardzo odległych obszarów Wszechświata zależne jest w znacznym stopniu od geometrycznej struktury czasoprzestrzeni Wszechświata, którą chcemy dopiero, opierając na tych obserwacjach, określić[24]. Stąd główny nurt, jakim poszła dwudziestowieczna kosmologia, jest pewnym kompromisem pomiędzy skrajnym podejściem dedukcyjnym i ekstrapolującym[25]. Polega on na tym, że przyjmuje się mimo wszystko pewne bardzo ogólne założenia odnośnie do struktury Wszechświata. Traktuje się je jednak nie jako podstawowe zasady, z których można wydedukować wszystkie inne własności Wszechświata, lecz jako konieczne uzasadnienie dokonywanych ekstrapolacji – zarówno naszej wiedzy fizycznej, jak i lokalnych obserwacji astronomicznych – na możliwie największe obszary Wszechświata. Nie bez znaczenia są tu również względy prostoty i w ogóle możliwości konstruowania teorii kosmologicznych. Szuka się przy tym bezpośrednich i pośrednich sposobów empirycznego potwierdzenia tych zasad[26]. Widać więc, że w ramach tego nurtu czynnik empiryczny przestał odgrywać dominującą rolę w procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej. Zyskał natomiast na znaczeniu w zabiegach sprawdzeniowych. Uważa się, że nie jest ważne to, z jakich pozycji wychodzi się przy konstruowaniu teorii kosmologicznych, ale to, że konieczna jest ich empiryczna testowalność. W konsekwencji opis funkcjonowania czynnika empirycznego uległ znacznemu skomplikowaniu. Przez długi okres czasu „metodologia testowania modeli kosmologicznych była oparta bardziej na intuicji i wielu milczących założeniach uważanych za oczywiste, niż na solidnej analizie matematycznej zagadnienia”[27].

Próbą wyjścia naprzeciw tym trudnościom jest między innymi zapoczątkowany przez Kristiana i Sachsa[28], a wyraźnie wyartykułowany i rozwijany przez Ellisa i współpracowników[29], tzw. program kosmologii obserwacyjnej. Chodzi w nim o systematyczne przebadanie podstaw funkcjonowania czynnika empirycznego w kosmologii, a więc o odsłonięcie pewnych głębszych uwarunkowań uprawiania kosmologii w ścisłym powiązaniu z danymi obserwacyjnymi. Istotnym bowiem

---

[24] H e l l e r, *Teoretyczne podstawy kosmologii*, s. 127.

[25] Por. np. B o n d i, dz. cyt., s. 14-16.

[26] Por. uprawianie kosmologii np. przez G. Lemaître' a, R. Tolmana, H. P. Robertsona, S. Weinberga i innych.

[27] H e l l e r, *Teoretyczne podstawy kosmologii*, s. 105.

[28] J. K r i s t i a n, R. K. S a c h s, *Observation in Cosmology*, „Astrophysical Journal”, 143(1966), nr 2, s. 397-399.

[29] G. F. R. E l l i s, *Observational Cosmology after Kristian and Sachs*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 43-72; G. F. R. E l l i s, S. D. N e l, R. M a a r t e n s, W. R. S t o e g e r, A. P. W h i t m a n, *Ideal Observational Cosmology*, „Physical Report”, 124(1985), s. 315-412.

problemem tego programu jest poszukiwanie odpowiedzi na pytanie: jak maksymalnie dużo informacji kosmologicznych można wydobyć bezpośrednio z obserwacji astronomicznych naszego zerowego stożka przeszłości? Chodziłoby więc tu głównie o maksimum możliwych informacji o geometrii czasoprzestrzeni uzyskanych bezpośrednio z obserwacji astronomicznych przy minimalnych założeniach, a zwłaszcza bez przyjmowania jakiejkolwiek formy zasady kosmologicznej. Gdyby bowiem udało się otrzymać, jak to autorzy nazywają, idealne obserwacje astronomiczne, tzn. przy założeniu, że wszystkie pomiary mogą być dokonywane z każdą dokładnością i bez korzystania z jakichkolwiek równań dynamicznych, i określić za ich pomocą w sposób bezpośredni czasoprzestrzenną strukturę Wszechświata, to słusznym i jedynie poprawnym podejściem do uprawiania kosmologii byłby kierunek „w górę". U podstaw takiego podejścia stałby czynnik empiryczny w postaci idealnych obserwacji astronomicznych.

Jak należało się jednak spodziewać, idealne obserwacje astronomiczne nie tylko nie wystarczają do jednoznacznego określenia struktury czasoprzestrzeni w naszym stożku świetlnym przeszłości, ale w ogóle są niemożliwe do uzyskania[30]. A zatem nie można mieć nadziei na wyłącznie obserwacyjny punkt wyjścia dla kosmologii. Trzeba się więc pogodzić z tym, że już w punkcie wyjścia rozważań kosmologicznych czynnik obserwacyjny jest wymieszany z teoretycznym[31]. Niemniej analizy prowadzone w ramach tego programu rzucają wiele światła na samą koncepcję uprawiania kosmologii. Eliminują przy tym wiele założeń i niejasności dotyczących obecności czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych.

Oprócz tej nieco wyjątkowej roli, jaką czynnik empiryczny odegrał w kształtowaniu się samej koncepcji uprawiania kosmologii, istnieje wiele konkretnych przykładów funkcjonowania tego czynnika w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej. Na pierwszy plan wysuwają się tutaj procedury indukcyjnego zdobywania takiej wiedzy, a więc wyprowadzanie ogólnych twierdzeń lub prawidłowości na podstawie obserwacji konkretnych zjawisk astronomicznych.

Przykładem tego rodzaju procedury indukcyjnej jest proces formowania znanego prawa Hubble'a ustalającego liniowość relacji pomiędzy prędkościami ucieczki galaktyk a ich odległościami. Wiadomo, że pierwszych pomiarów przesunięć linii widmowych galaktyk ku czerwieni dokonał w 1912 r. Slipher z Obserwatorium Lowella w Arizonie. Podał on – zgodnie z dopplerowską interpretacją tych pomiarów – prędkości ucieczki obserwowanych galaktyk[32]. Oznaczało to, że obiekty astrono-

[30] E l l i s, *Observational Cosmology after Kristian and Sachs*, s. 57-59; t e n ż e, *Relativistic Cosmology. Its Nature, Aims and Problems*, s. 220-227.

[31] H e l l e r, *Teoretyczne podstawy kosmologii*, s. 108-109.

[32] V. S l i p h e r, *The Radial Velosity of the Andromeda Nebula*, „Lowell Observatory", 1913, nr 58, s. 56-57.

miczne, których linie widmowe wykazują przesunięcia ku czerwieni, muszą się od nas jako obserwatorów oddalać i to, jak wykazały pomiary, z ogromnymi prędkościami. Takie było w tym względzie stanowisko Sliphera, który zajęty pomiarami coraz to nowych mgławic spiralnych nie wyprowadzał na ich podstawie żadnych ogólniejszych wniosków co do zachowania się całego Wszechświata. Można powiedzieć, że postąpił jak typowy obserwator całkowicie pochłonięty dokonywanymi pomiarami i nie zwracający uwagi na ich ogólniejszy wydźwięk czy teoretyczne wyjaśnienie. Protestował nawet przeciw próbom wykorzystywania tych pomiarów do wyznaczenia prędkości Słońca względem mgławic spiralnych uważając, że stanowią one zbyt małą próbkę statystyczną do tego rodzaju obliczeń[33].

To, czego nie zrobił sam Slipher, dokonali inni astronomowie i kosmologowie. Zestawiając mierzone prędkości radialne mgławic spiralnych z takimi ich charakterystykami, jak średnica wizualna, jasność czy odległość, usiłowali oni wyprowadzić stąd pewne ogólne wnioski co do natury nie tylko samej ucieczki mgławic, ale i zachowania się całego Wszechświata. Wysiłki te nie dawały jednak początkowo spodziewanych rezultatów. Niemniej – wspierane przewidywaniami teoretycznymi wyprowadzanymi na podstawie modelu de Sittera – wskazywały na istnienie głębszych związków pomiędzy prędkościami i odległościami mgławic spiralnych. Z braku jednak dokładnych pomiarów odległości do mgławic nie udawało się określić na drodze empirycznej natury tych związków[34]. Dopiero opracowane przez Hubble'a metody wyznaczania odległości do galaktyk zadecydowały o pełnym sukcesie w tym względzie. Zestawiając na wykresie pomiary prędkości i odległości dla poszczególnych galaktyk w liczbie 46, dostrzegł on przybliżoną liniowość relacji tych wielkości. Posłużyło mu to za punkt wyjścia do sformułowania ogólnego prawa o liniowej zależności między prędkościami i odległościami dla wszystkich galaktyk Wszechświata, zwanego później prawem Hubble'a[35]. Bezpośrednią konsekwencją tego prawa było, jak wiadomo, nie tylko uznanie samego faktu ekspansji Wszechświata, ale również wyprowadzenie pewnych wniosków co do sposobu i długości trwania tej ekspansji[36].

Widać więc, że droga prowadząca do sformułowania tego prawa była zabiegiem typowo indukcyjnym, przebiegającym niejako w dwóch etapach. Najpierw została

---

[33] R. W. S m i t h, *The Origins of the Velocity-Distans Relation*, „Journal for the History of Astronomy", 10(1979), nr 29, s. 136.

[34] Historię prób powiązania przesunięć ku czerwieni z innymi wielkościami, w tym z odległością, które zostały uwieńczone sformułowaniem prawa Hubble'a podają m.in.: N o r t h, dz. cyt., s. 142-145; S m i t h, dz. cyt., s. 134-155.

[35] E. H u b b l e, *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extragalactic Nebulae*, „Proceedings of the National Academy of Sciences", 15(1929), s. 168-173.

[36] Por. np. J. S i l k, *The Big Bang. The Creation and Evolution of the Universe*, San Francisco 1980, s. 61-63.

przyjęta liniowość relacji dla tych galaktyk, których prędkości ucieczki i odległości udało się zmierzyć, chociaż pomiary te jednoznacznie tej liniowości nie przesądzały. Hubble dokonał tu jednak pewnego uogólnienia czy też idealizacji, kierując się zapewne przekonaniem, że istniejące odstępstwa mieszczą się w ramach błędów pomiarów. Idealizacja taka wydaje się czymś normalnym, jeśli weźmie się pod uwagę pionierski charakter tego rodzaju pomiarów. Drugie uogólnienie polegało na rozciągnięciu ustalonych relacji dla kilkudziesięciu galaktyk na wszystkie pozostałe, a więc na cały Wszechświat. Podstawą takiego zabiegu było mocne przekonanie Hubble'a o jednolitości Wszechświata, o tym, że dostępna do obserwacji próbka Wszechświata jest wystarczająco reprezentatywna dla całości. Można więc, opierając się na niej, orzekać o własnościach całego Wszechświata. Oczywiście Hubble nie zadowolił się jedynie takim uzasadnieniem sformułowanego prawa, ale szukał dalszego jego potwierdzenia na drodze systematycznych pomiarów odległości coraz to nowych galaktyk. Sformułował do dzisiaj jeszcze aktualny program badawczy mający na celu systematyczne pomiary odległości i przesunięć ku czerwieni coraz to odleglejszych obiektów astronomicznych. Pozytywne wyniki tych pomiarów utwierdzały Hubble'a coraz bardziej w słuszności przyjętego prawa, co do którego i dzisiaj nie ma wyraźnych wskazań, aby poddawać go w wątpliwość[37].

Oceniając wartość poznawczą tego prawa należy zaznaczyć, że jest ono, podobnie jak większość praw fizyki, typowym uogólnieniem indukcyjnym. Stwierdza ono stałość wzajemnej relacji pomiędzy dwiema wielkościami astronomicznymi, tj. prędkością ucieczki i odległością galaktyk, wyrażoną prostym wzorem algebraicznym:

$$v = Hl,$$

gdzie v – prędkość ucieczki, l – odległość do galaktyk, a H – współczynnik proporcjonalności, zwany stałą Hubble'a.

Jest to więc prawo w bardzo wąskim tego słowa znaczeniu, w przeciwieństwie do podstawowych zasad fizyki stwierdzających stałość najogólniejszych właściwości otaczającego nas świata, np. zasady termodynamiki czy zachowania[38].

---

[37] Zob. A. S a n d a g e, G. A. T a m m a n n, *H_0, q_0 and the Local Velocity Field*, [w:] *Astrophysical Cosmology*, s. 23-55.

[38] Na temat charakteru praw przyrodniczych zob. np. : S. M a z i e r s k i, *Prawa przyrody jako uogólnienia indukcyjne*, „Roczniki Filozoficzne", 11(1963), z. 3, s. 15-50; t e n ż e, *Współczesne koncepcje praw przyrody*, „Zeszyty Naukowe KUL", 10(1967), nr 2, s. 25-36; t e n ż e, *Mario Bungego klasyfikacja praw przyrody*, „Roczniki Filozoficzne", 20(1972), z. 3, s. 5-19; B. G a w e c k i, *Zagadnienie przyczynowosci w fizyce*, Warszawa 1969; J. S u c h, *O uniwersalności praw nauki. Studium metodologiczne*, Warszawa 1972; W. K r a j e w s k i, *Prawa nauki. Przegląd zagadnień metodologicznych*, Warszawa 1982.

Zgodnie z istotą praw indukcyjnych czynnik empiryczny był nieodzowny do sformułowania prawa Hubble'a, ale nie zapewniał mu pełnej weryfikowalności. Prawa bowiem przyrody nie są wynikiem prostego wyliczenia poszczególnych zdarzeń zbadanych, lecz obejmują również zdania o zdarzeniach przyszłych. Są więc uogólnieniami tworzącymi otwartą klasę jednostkowych faktów[39]. Stąd potrzeba wyszukiwania nowych danych empirycznych w celu potwierdzenia już sformułowanych praw. Rozumiał to dobrze Hubble, który po opublikowaniu swojego prawa wzmógł jeszcze bardziej wysiłki w celu dostarczenia możliwie najwięcej pomiarów potwierdzających zauważoną prawidłowość.

Współczesna filozofia nauki jest jednak świadoma, że ze względu na swoją ogólność i odniesienie do przyszłości nie da się do końca zweryfikować praw przyrody. Mówi się więc o stopniu ich empirycznej potwierdzalności, a także wskazuje na inne, pozaempiryczne sposoby ich uzasadniania, np. przez włączenie ich do rozleglejszych systemów teoretycznych, czyli logiczne powiązanie z innymi prawami i hipotezami[40].

Innym przykładem wyraźnie indukcyjnych procedur w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej jest otrzymanie tzw. uniwersalnej krzywej rozpowszechnienia pierwiastków w przyrodzie. Na podstawie żmudnych i drobiazgowych pomiarów ilości poszczególnych pierwiastków chemicznych w otaczającym nas świecie wyznacza się tego rodzaju krzywą. Staje się ona tym bardziej wiarygodna, im większa jest liczba dokonywanych pomiarów zarówno co do poszczególnych pierwiastków, jak i miejsc ich występowania[41].

Znów jest to typowa wiedza indukcyjna będąca najpierw pewnym usystematyzowaniem i uporządkowaniem danych obserwacyjnych, a później wyraźnym ich uogólnieniem. Uogólnienia takie nie stanowią z pewnością same w sobie rozwiniętych teorii kosmologicznych i trudno dostrzec, by w ramach kosmologii takie teorie pojawiły się na drodze czysto indukcyjnej. Niemniej są to prawa lub stwierdzenia znacznie ogólniejsze niż bezpośrednio dokonywane obserwacje lub pomiary. Dzięki jednak swym powiązaniom z bezpośrednimi danymi obserwacyjnymi zaliczane są również do empirycznej bazy kosmologii.

To samo odnosi się do wielu innych stwierdzeń kosmologicznych otrzymanych na drodze indukcyjnej. Należą tu między innymi zliczanie galaktyk, radioźródeł i innych obiektów astronomicznych, wyznaczanie ich rozkładu we Wszechświecie, oraz ustalanie ilościowych relacji: przesunięcie ku czerwieni – jasność galaktyk lub

[39] M a z i e r s k i, *Prawa przyrody jako uogólnienie indukcyjne*, s. 18-19.

[40] S u c h, *Problem weryfikacji wiedzy*, s. 178-179.

[41] Por np. B. K u c h o w i c z, *Kosmochemia*, Warszawa 1979, s. 166-176.

ich średnica. Wszystkie one traktowane są jako empiryczna baza współczesnej kosmologii, mimo że zostały otrzymane na drodze indukcyjnego uogólnienia[42].

Mówiąc zatem o funkcjonowaniu czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej na drodze indukcyjnej należy zaznaczyć, że jest to raczej przechodzenie od jednej wiedzy empirycznej do innej, bardziej ogólnej, bo ustalającej stałość pewnych związków we Wszechświecie. Dalej jest ona traktowana jako wiedza empiryczna i jako taka wykorzystywana do sprawdzania istniejących teorii kosmologicznych. Nie obserwuje się natomiast w ramach kosmologii wyraźnych prób formułowania na drodze indukcyjnej podstawowych zasad służących za punkt wyjścia do konstruowania poszczególnych teorii kosmologicznych, tak jak to miało miejsce w przypadku szczególnej czy też ogólnej teorii względności[43]. Powszechnie przyjmowana w kosmologii tzw. zasada kosmologiczna została wprowadzona jako postulat głównie prostoty i trudno byłoby okazać jej indukcyjne pochodzenie. Inna rzecz, że po jej sformułowaniu wciąż szuka się sposobów możliwie najpełniejszej jej weryfikacji, o czym będzie mowa w drugiej części niniejszych rozważań.

Nie można dopatrywać się też zwykłych procedur indukcyjnych w fakcie, że wiele teorii fizycznych, a zwłaszcza ogólna teoria grawitacji, stanowi punkt wyjścia dla rozważań kosmologicznych. Wprawdzie teorie te są uznawane za empiryczne, ale ich stopień uteoretyzowania jest nieporównywalny z najbardziej nawet ogólnymi prawami przyrody, a związki z teoriami kosmologicznymi mają najczęściej charakter dedukcyjny.

Na koniec wydaje się słuszne wspomnieć, że przyjmowane przez Einsteina w początkowym etapie tworzenia się kosmologii relatywistycznej założenie statyczności Wszechświata miało również indukcyjny charakter. Zostało ono przyjęte między innymi dlatego, że nie obserwowano jeszcze wtedy we Wszechświecie wielkoskalowych ruchów. Einstein otwarcie do tego się przyznaje w swej pierwszej pracy kosmologicznej mówiąc, że „najważniejsze ze wszystkiego, co nam jest znane z doświadczenia o rozkładzie materii, polega na tym, że względne prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu z prędkościami światła. Dlatego przypuszczam, że na początek, za podstawę naszych rozważań można przyjąć następujące przybliżone założenie: istnieje układ współrzędnych, względem którego materię można rozpatry-

[42] P. J. E. P e e b l e s, *Physical Cosmology*, Princeton 1971, s. 31-115; S. W e i n b e r g, *Grawitacija i kosmołogija*, Moskwa 1975, s. 432-500; M. S. L o n g a i r, *Radio Astronomy and Cosmology*, w: *Observational Cosmology*, s. 127-257; L. W o l t j e r, G. S e t t i, *Quasars in the Universe*, w: *Astrophysical Cosmology*, s. 293-314.

[43] Jak wiadomo, u podstaw szczególnej teorii względności Einstein przyjął dwie podstawowe zasady, tj. stałość prędkości światła i zasadę względności dla STW. Ogólna teoria względności natomiast opiera się na zasadzie równoczesności, ogólnej względności, ogólnej kowariantności i zasadzie Macha. Przynajmniej niektóre z nich mają pochodzenie indukcyjne.

wać jako znajdującą się przez długi czas w spoczynku”[44]. Założenie to okazało się, jak wiadomo, błędne, gdyż błędne były dane obserwacyjne stojące u jego podstaw. W miarę bowiem doskonalenia technik obserwacyjnych zdobywane były coraz to nowe dane świadczące w sposób bardziej lub mniej bezpośredni o istnieniu we Wszechświecie ruchów wielkoskalowych. Idea jednak świata dynamicznego pojawiła się na gruncie kosmologii zasadniczo niezależnie od danych obserwacyjnych, chociaż w przypadku G. Lemaître'a czynnik empiryczny odegrał pewną rolę. Natomiast bez tego czynnika nie można byłoby wyobrazić sobie procedur weryfikacyjnych tej idei[45].

Widać więc, że indukcyjne zabiegi poznawcze stanowią dosyć częstą praktykę zdobywania wiedzy w kosmologii. Jednak realne efekty tych zabiegów nie zawsze są decydujące zarówno w dochodzeniu do teorii kosmologicznych, jak i w samej ich strukturze. Wymagane są dodatkowo nie tylko procedury sprawdzeniowe, ale również czynniki teoretyczne. Można więc powiedzieć, że zasadnicze zręby wiedzy kosmologicznej zostały otrzymane na drodze pozaindukcyjnej. Decydującą rolę odgrywa tu metoda hipotetyczno-dedukcyjna, a także zwykłe wpadanie na pomysł.

Oprócz tych wyraźnie poznawczych funkcji czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej należy również zwrócić uwagę na ich aspekty subiektywno-psychologiczne. W wielu bowiem przypadkach czynnik empiryczny inspirował czy też motywował kosmologów do podejmowania problematyki badawczej, a nawet naprowadzał na właściwe jej rozwiązania. Widać to bardzo wyraźnie na przykładzie Lemaître'a. W prowadzonych badaniach kosmologicznych stanął on przed dylematem wyboru ich kierunku. Znane były ówcześnie dwa modele Wszechświata: statyczny, ale wypełniony materią model einsteinowski, oraz pusty, lecz przejawiający własności dynamiczne model de Sittera. Należało z czterech własności tych modeli wybrać te, które najbardziej odpowiadałyby realnemu światu[46]. Lemaître nie miał wątpliwości co do obecności materii w poszukiwanym modelu. Wahał się natomiast, czy podjąć badania nad modelem statycznym, czy też dynamicznym. Inspiracja w tym względzie przyszła właśnie ze strony czynnika empirycznego. Biorąc udział w posiedzeniu Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego, wysłuchał w dniu 31 grudnia 1924 r. przygotowanego przez Hubble'a spra-

[44] A. E i n s t e i n, *Zagadnienia kosmologii i ogólna teoria względności*, [w:] W. K r u c z e k (red.), *Literatura źródłowa do kursu „Podstawy Fizyki” na Politechnice Warszawskiej*, t. III, Warszawa 1981, s. 207.

[45] Por. H e l l e r, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, s. 30-77.

[46] G. L e m a î t r e, *Note on de Sitter's Universe*, „Journal of Mathematics and Physics”, 4(1925), nr 3, s. 37-46; t e n ż e, *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, „Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles”, 47A(1927), s. 49-59.

wozdania z prowadzonych przez niego badań nad mgławicami spiralnymi[47]. W trakcie tego wykładu idea świata ekspandującego w postaci rozbiegających się mgławic spiralnych wydała się Lemaître'emu czymś możliwym i realnym. Podjął więc próby skonstruowania modelu dynamicznego i równocześnie wypełnionego materią. Efektem tych prac były nie tylko dynamiczne rozwiązania równań pola OTW, ale również pierwszy w historii kosmologii wybór ekspandującego modelu Wszechświata na podstawie danych empirycznych. Oznaczało to tym samym zapoczątkowanie uprawiania kosmologii jako nauki przyrodniczej[48]. Widać więc, że czynnik empiryczny odegrał w przypadku Lemaître'a bardzo istotną rolę inspirującą. Nie tylko zasugerował, ale i niejako „podpowiedział" kierunek badań kosmologicznych, który okazał się później bardzo owocny.

Również elementarne obserwacje nocnego nieba usianego gwiazdami odegrały pewną rolę inspirującą w rozwoju kosmologii i niejako wstępnie wyznaczały zakres i możliwości jej badań. To właśnie chęć uniknięcia paradoksów kosmologii newtonowskiej była jednym z bodźców skłaniających do powstania kosmologii relatywistycznej[49]. Każda zaś nowopowstająca teoria musiała się liczyć z tym tak oczywistym faktem, że niebo w nocy jednak nie świeci pełnym światłem słonecznym[50].

Pojawienie się natomiast nowych, często zupełnie niespodziewanych obserwacji astronomicznych o wydźwięku kosmologicznym stawiało często przed kosmologami wyzwanie czy wręcz obligowało ich do poszukiwania nowych, wyjaśniających te obserwacje teorii. Tak było w przypadku odkrycia tzw. promieniowania tła. Wprawdzie zostało ono przewidziane stosunkowo wcześnie na drodze teoretycznej[51], ale jego niespodziewane odkrycie bez jakiejkolwiek sugestii ze strony tego przewidywania zapoczątkowało owocne badania w tym zakresie. Nie tylko zapoznano się z już istniejącymi wyjaśnieniami, ale dążono do ich uściślenia oraz przebadania różnych właściwości tego promieniowania[52]. Wszystko to w znaczący sposób poszerzyło naszą wiedzę o mikrofalowym promieniowaniu tła i sprawiło, że jego obserwacje stały się jednym z najważniejszych testów kosmologicznych[53].

---

[47] E. H u b b l e, *Cepheids in Spiral Nebulae*, „Popular Astronomy", 33(1925), nr 2-3, s. 252-255.

[48] H e l l e r, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, s. 71.

[49] E i n s t e i n, *Zagadnienia kosmologii i ogólna teoria względności*, s. 199-202.

[50] H e l l e r, *Wobec Wszechświata*, s. 95.

[51] R. A. A l p h e r, H. A. B e t h e, G. G a m o w, *The Origin of the Chemical Elements*, „Physical Review", 73(1948), s. 803-804.

[52] P. J. E. P e e b l e s, D. T. W i l k i n s o n, *The Primeval Fireball*, „Scientific American", 216(1967), nr 6, s. 28-37.

[53] M. D e m i a ń s k i, *Astrofizyka relatywistyczna*, Warszawa 1978, s. 275-277; W e i n b e r g, dz. cyt., s. 549-566.

Podobnie też prace nad teoriami kosmicznej i gwiazdowej nukleosyntezy były inspirowane potrzebą wyjaśnienia genezy i rozpowszechnienia pierwiastków w przyrodzie. Chemiczne badania skorupy ziemskiej, meteorytów, a także spektroskopowe analizy składu chemicznego gwiazd i obłoków gazowych pozwoliły ustalić nie tylko tożsamość pierwiastków we Wszechświecie, ale również ich ilościowe rozpowszechnienie w postaci tzw. krzywej uniwersalnej. Obserwacje te są w miarę dokładne i od samego początku domagały się wyjaśnienia. Chodziło nie tylko o podanie mechanizmów powstawania pierwiastków we Wszechświecie, ale również o wyjaśnienie takiego, a nie innego ich rozpowszechnienia ilościowego. Rozwinęły się więc w związku z tym szeroko zakrojone badania nad skonstruowaniem takich teorii. Najbardziej znane i powszechnie akceptowane współcześnie teorie powstawania pierwiastków to teoria kosmicznej nukleosyntezy pierwiastków lekkich i tzw. teoria B^2 HF lokująca powstawanie pierwiastków cięższych od litu we wnętrzu gwiazd[54].

Wydaje się, że ważną funkcję motywacyjno-inspirującą do podejmowania badań kosmologicznych spełniają również obserwacje wielkoskalowych struktur Wszechświata, takich jak gwiazdy, galaktyki i gromady galaktyk. Sam fakt ich obserwacji rodzi pytania natury kosmologicznej o ich genezę, rozkład, mechanizmy powstawania itp. Szukanie odpowiedzi na wszystkie te pytania stanowi istotną część współczesnych badań kosmologicznych. Są one jednak dalekie od ostatecznych rozstrzygnięć, co nie przestaje mobilizować i inspirować do nowych wysiłków badawczych coraz to większych rzesz uczonych[55].

Reasumując powyższe uwagi co do roli czynnika empirycznego w procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej należy powiedzieć, że samo oddzielenie tych procedur od zabiegów uzasadniających ma raczej sens heurystyczny, a nie ściśle merytoryczny. Jeśli bowiem rozważa się dochodzenie do wiedzy naukowej, to nie można pomijać faktu, że ma to być wiedza uzasadniona. Stąd trudno w sposób wyraźny obie te procedury naukotwórcze od siebie oddzielić. Mówi się raczej o ich wzajemnym wymieszaniu. Widać to zwłaszcza w przypadku zabiegów indukcyjnych. W powszechnym przekonaniu zabiegi te stanowią sposób zdobywania wiedzy o świecie. Równocześnie jest to już wiedza w jakimś stopniu uzasadniona. Procedury zatem uzasadniające przeplatają się ściśle z zabiegami odkrywania. Oczywiście wiedza ta z reguły jest poddawana dalszemu uzasadnianiu w miarę pojawiania się nowego materiału obserwacyjnego lub racji teoretycznych.

---

[54] Por. np. K u c h o w i c z, dz. cyt., s. 224-292; E. M. B u r b i d g e, G. R. B u r b i d g e, *Nukleosintez w gałaktikach*, [w:] G. A. B a r n e s, D. D. C l a y t o n, D. N. S c h r a m m (red.), *Jadernaja astrofizika*, Moskwa 1986, s. 22-32.

[55] Por. np. M. J. G e l l e r, *Large-Scale Structure in the Universe: Some Clues from Optical Data*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 231-254.

Odnośnie zaś do znaczenia czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej, przeprowadzone rozważania podkreślają dosyć ważną – ale nie wyłączną – jego rolę. Częściej, jak się wydaje, w punkcie wyjścia tej wiedzy były lub współuczestniczyły przesłanki teoretyczne. Tak działo się głównie wtedy, gdy tworzone były całe teorie kosmologiczne. Trudno bowiem znaleźć przykłady bezpośredniego konstruowania tych teorii wyłącznie na podstawie dostępnych materiałów empirycznych. To samo odnosi się do ogólnych zasad lub założeń wchodzących w skład tych teorii. Czynnik empiryczny pełnił tu najczęściej funkcję inspiracyjno-motywacyjną. Bez udziału jednak założeń teoretycznych nie powstałyby ogólne teorie kosmologiczne.

W przypadku natomiast dochodzenia do niektórych praw czy ogólnych stwierdzeń kosmologicznych widać wyraźną zależność od danych obserwacyjnych. Są to bowiem głównie procedury indukcyjnego dochodzenia do wiedzy i jako takie nie mogły obejść się u swego źródła bez konkretnych danych empirycznych w postaci jednostkowych zdań obserwacyjnych. Zgodnie więc z indukcyjnym charakterem tej wiedzy ma ona walor wiedzy aproksymatywnej o różnym stopniu prawdopodobieństwa w poszczególnych przypadkach.

Osobliwością w funkcjonowaniu czynnika empirycznego w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej jest rola, jaką mu się przypisuje przy wyborze koncepcji uprawiania kosmologii. W przypadku na przykład fizyki nie ma większych wątpliwości, że doświadczenie ma stanowić ostateczną podstawę naszej wiedzy o świecie. W odniesieniu natomiast do kosmologii – która wciąż jeszcze jest w stadium tworzenia się i w dodatku zajmuje się bardzo osobliwym przedmiotem, jakim jest Wszechświat – sprawa nie jest wcale taka oczywista. Stąd dyskusje i rozważania nad możliwościami wykorzystania czynnika empirycznego w tworzeniu naszej wiedzy o Wszechświecie.

Należy zatem powiedzieć, że poza powyższym przypadkiem wpływu czynnika empirycznego na samą koncepcję uprawiania kosmologii, rola tego czynnika w dochodzeniu do wiedzy kosmologicznej nie odbiega w sposób zasadniczy od podobnych zabiegów w innych dyscyplinach przyrodniczych. Dosyć istotne jednak różnice wydają się tkwić w adekwatności danych empirycznych i zakresie czynionych uogólnień. Ze zrozumiałych względów samo przeprowadzenie obserwacji w astronomii pozagalaktycznej obarczone jest wieloma błędami. Ich natomiast uogólnienie na cały Wszechświat wymaga nie tylko zwykłych zabiegów indukcyjnych, lecz także procedur ekstrapolacyjnych. Nie pozostaje to, oczywiście, bez wpływu na wiarygodność tych danych.

Śledzenie zatem funkcjonowania czynnika empirycznego już w procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej ma kilka istotnych zalet. Przede wszystkim pokazuje nieraz bardzo zawiłe drogi tworzenia się tej wiedzy. Pozwala to z kolei na lepsze zrozumienie podstawowych treści istniejących teorii kosmologicznych.

Wzięte zaś razem daje realne podstawy do metodologiczno-epistemologicznych ocen tych teorii i tym samym do bardziej adekwatnego orzekania o przyrodniczym charakterze kosmologii jako nauki.

III. CZYNNIK EMPIRYCZNY W PROCEDURACH SPRAWDZENIOWYCH

Zgodnie z powszechnym przekonaniem filozofów nauki o ważności zabiegów uzasadniających w procedurach naukotwórczych[56] podjęte próby ukazania funkcjonowania czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych nie mogą pominąć roli tego czynnika we wszelkiego rodzaju zabiegach sprawdzeniowych. W samej procedurze sprawdzania wyróżnia się zazwyczaj cztery podstawowe kroki: 1) postawienie pytania dotyczącego rozstrzygnięcia: czy dane prawo (dana teoria) jest prawdziwe?; 2) wyprowadzenie z prawa (teorii) pewnych następstw (konsekwencji) obserwacyjnych; 3) uznanie lub odrzucenie tych następstw na podstawie ich konfrontacji z doświadczeniem; 4) wnioskowanie prowadzące od uznania bądź odrzucenia następstw do uznania lub odrzucenia zdania sprawdzanego[57].

Z punktu widzenia podjętych rozważań istotny jest krok trzeci, czyli konfrontacja konsekwencji obserwacyjnych – nazywanych też implikacjami testowymi – z danymi empirycznymi. Sama już analiza logiczna tej konfrontacji wskazuje na ogromne jej zróżnicowanie i znaczną wieloaspektowość. Znajduje to odbicie w wyraźnie niejednoznacznym charakterze logiczno-metodologicznych ocen tej konfrontacji. Przede wszystkim porównywanie implikacji testowych z danymi obserwacyjnymi może wskazać na ich wzajemną zgodność. Mamy wtedy do czynienia ze sprawdzaniem pozytywnym. Może ono być całkowite, nazywane weryfikacją, lub częściowe, nazywane potwierdzeniem, konfirmacją lub korroboracją. Brak natomiast tej zgodności stanowi tzw. sprawdzanie negatywne, które również może być całkowite i jest wtedy nazywane falsyfikacją, lub częściowe – nazywane dyskonfirmacją[58].

W procesie sprawdzania – zarówno pozytywnego, jak i negatywnego – teoretycznych twierdzeń ogólnych w grę wchodzą relacje logiczne zachodzące między następstwem (wnioskiem obserwacyjnym, przewidywaniem) a racją (teorią lub prawem)[59]. Z logiki wiadomo, że w przypadku tego rodzaju związków istnieje tylko jedna niezawodna reguła wnioskowania, zwana *modus tollens*, w której z fałszywego

[56] Por. np. K. A j d u k i e w i c z, *Zagadnienie uzasadniania*, [w:] *Język i metoda*, t. XXII, Warszawa 1965, s. 374; C. G. H e m p e l, *Podstawy nauk przyrodniczych*, Warszawa 1968.

[57] S u c h, *Problemy weryfikacji wiedzy*, s. 77.

[58] Tamże, s. 90.

[59] Tamże, s. 94.

następstwa możemy wnioskować o fałszywości racji[60]. Znaczy to, że jeżeli implikacje testowe danego prawa lub teorii okażą się fałszywe w konfrontacji z doświadczeniem, to w sposób niezawodny wynika stąd fałszywość również tego prawa lub teorii. Nie ma natomiast takiej samej niezawodnej reguły wnioskowania w przypadku, gdy następnik jest prawdziwy. Ponieważ zdanie prawdziwe wynika z dowolnego zdania lub ze zdania fałszywego wynika dowolne zdanie, więc z faktu prawdziwości następstwa nie możemy jednoznacznie rozstrzygnąć tego, czy racja jest prawdziwa, czy też fałszywa. Zatem niemożliwa jest całkowita weryfikacja twierdzeń ogólnych poprzez weryfikację ich konsekwencji (chyba że są one równoważne sprawdzanemu twierdzeniu). Trzeba byłoby zbadać wszystkie konsekwencje logiczne danego prawa lub teorii, wszystkie wnioski dające się z nich wyprowadzić, w tym wszystkie konsekwencje empiryczne, czyli przewidywania testowe. Wobec uniwersalności (ścisłej ogólności) praw i teorii jest to praktycznie nieosiągalne. Stąd pełna weryfikacja praw i teorii okazuje się – w odróżnieniu od falsyfikacji – niemożliwa. W praktyce musimy się więc zadowolić weryfikacją częściową, a więc konfirmacją lub korroboracją twierdzeń uniwersalnych, w tym praw i teorii.

Ta już i tak bardzo złożona sytuacja sprawdzeniowa ulega dalszej jeszcze komplikacji w faktycznych zabiegach testowych. W praktyce bowiem żadne prawo czy teoria nie występują pojedynczo, a więc samodzielnie, lecz wchodzą w skład całych zespołów, z których dopiero są wyprowadzane implikacje testowe. Zatem potwierdzenie lub negacja takich implikacji stanowi potwierdzenie lub negację całych zespołów, a nie konkretnej teorii czy prawa, o które chodzi. Trzeba więc dokonywać wielu dodatkowych zabiegów, które pozwoliłyby na dookreślenie procedur sprawdzeniowych tych właśnie teorii czy praw, o które chodzi. Należy ponadto pamiętać, że owe zespoły sprawdzeniowe stanowią nieraz bardzo złożone koniunkcje wielu zdań o zróżnicowanej ogólności. Mogą również wchodzić w ich skład zdania jednostkowe dotyczące warunków początkowych lub brzegowych, a więc warunków, w jakich przewidywane zjawiska mają się pojawić, o których często nie mamy pojęcia, czy są prawdziwe, czy też fałszywe. W dodatku, zwłaszcza w przypadku falsyfikacji, można zawsze znaleźć hipotezę *ad hoc*, która nie pozwoli na jednoznaczne i ostateczne odrzucenie sprawdzanego prawa lub teorii.

Dodatkową komplikacją w procedurach empirycznego sprawdzania jest fakt, że wiele praw naukowych ma charakter statystyczny. Znaczy to, że wyznaczają one jedynie prawdopodobieństwo zajścia określonych zjawisk, dopuszczając tym samym „fluktuacje" i „wyjątki". Stąd niemożliwe jest definitywne obalenie danej hipotezy statystycznej, gdyż prawa te nie wyznaczają ostatecznych konieczności czy też

[60] Z. Z i e m b i ń s k i, *Logika praktyczna*, Warszawa 1974, s. 204.

niemożliwości zachodzenia zjawisk. Podobnie konfirmacja czy też korroboracja takich praw jest bardzo utrudniona[61].

Wreszcie należy pamiętać, że sam materiał empiryczny służący do sprawdzania jest z reguły bardzo niejednolity pod względem epistemologicznym. Chodzi tu nie tylko o jego prawdziwość, ale również o stopień ogólności i właściwą jego interpretację.

Wszystko to, jak widać, ogromnie komplikuje wszelkie procedury sprawdzeniowe. Jeśli w dodatku uwzględnimy trwające w ramach filozofii nauki dyskusje nad kryteriami oceny poszczególnych procedur sprawdzeniowych, dyskusje nad rolą tych procedur w formułowanie kryteriów naukowości, a także wpływ tych dyskusji na kształtowanie się i wybór określonych stanowisk w ramach filozofii nauki, to otrzymamy – przynajmniej w przybliżeniu – ogromnie złożony i nie zawsze do końca przejrzysty obraz problematyki dotyczącej sprawdzania empirycznego.

Nie jest więc celem niniejszych rozważań szczegółowa charakterystyka, a tym bardziej logiczno-metodologiczna ocena funkcjonowania czynnika empirycznego w procedurach sprawdzeniowych. Nie jest też celem pełna ocena empirycznej zasadności przyjmowanych teorii kosmologicznych. Nie chodzi też o pewnego rodzaju testowanie wypracowanych na gruncie filozofii nauki stanowisk odnośnie do roli zabiegów sprawdzeniowych w procedurach naukotwórczych. Chodziło będzie w pierwszym rzędzie o zaprezentowanie wszystkich podstawowych dla kosmologii testów wraz z ukazaniem faktycznego ich funkcjonowania w odniesieniu do poszczególnych twierdzeń czy teorii kosmologicznych. Oczywiście tego rodzaju analizy mogą służyć za punkt wyjścia do głębszych refleksji nad logiczno-metodologiczną wartością tych procedur i tym samym być wykorzystywane jako kryterium naukowego charakteru współczesnej kosmologii. Zatem w przypadkach, gdy takie wartościowanie nie będzie sprawiało większych kłopotów, zwłaszcza nie wymagałoby szacowań ilościowych, to może ono być podejmowane. Z pewnością jest to interesujące uzupełnienie dokonywanych rozważań. W efekcie problematyka empirycznego sprawdzania teorii kosmologicznych zyskuje nie tylko prezentację treściową, ale i ujęcie metaprzedmiotowe. To ostatnie jest nieodzowne do oceny przyrodniczego charakteru współczesnej kosmologii.

W toku realizacji tak sformułowanych zadań jawi się pewien dylemat co do sposobu dokonania podjętej prezentacji funkcjonowania czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych. Można to zrobić według wspomnianych typów sprawdzania pozytywnego i negatywnego. Miałoby to tę zaletę, że procedury te są na gruncie filozofii nauki w miarę jasno określone. W praktyce jednak akcentowałoby się bardziej metodologiczne podejście do problemu. Ponadto w wielu przypadkach prezentacja taka byłaby bardzo trudna do konsekwentnego przeprowadzenia. Jak

[61] S u c h, *Problemy weryfikacji wiedzy*, s. 92-200.

było wspomniane, nie ma w zasadzie na gruncie nauki ani ostatecznych falsyfikacji, ani tym bardziej ostatecznych weryfikacji. Wszelki więc podział na testy ostatecznie falsyfikujące czy weryfikujące nosiłby cechę znacznej dowolności.

Można też owej prezentacji dokonywać według posiadanych przez współczeną kosmologię testów empirycznych. Byłaby to kolejna prezentacja tych testów i omówienie sposobów potwierdzania lub falsyfikacji poszczególnych teorii lub twierdzeń kosmologicznych. Można też postępować odwrotnie, tzn. wyliczyć ważniejsze teorie lub twierdzenia funkcjonujące w ramach współczesnej kosmologii i ukazać, w jaki sposób i za pomocą jakich testów są one sprawdzane. Pierwsza możliwość wydaje się lepiej eksponować sam czynnik empiryczny i jego rolę w procedurach sprawdzeniowych. Odsuwa jednak niejako na dalszy plan sprawdzane teorie lub prawa. Druga natomiast prowadzi do sytuacji wyraźnie odwrotnej.

Ponieważ w pracy chodzi o omówienie obecności czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych, wydaje się więc, że najlepiej zostanie to osiągnięte przez realizację pierwszej możliwości. Zostaną więc zaprezentowane kolejno poszczególne testy i omówione ich funkcje sprawdzeniowe w odniesieniu do konkretnych teorii czy twierdzeń kosmologicznych.

Historycznie pierwszym i równocześnie jednym z najważniejszych testów kosmologicznych są pomiary przesunięć linii widmowych odległych galaktyk ku czerwieni. Ich istota sprowadza się do tego, że dokonując pomiarów długości fal odpowiadających poszczególnym liniom absorpcyjnym lub emisyjnym w widmach odległych galaktyk, astronomowie dostrzegają przesunięcie tych linii w kierunku fal długich, a więc ku czerwieni, w stosunku do długości tych samych linii widmowych mierzonych w laboratorium. Wielkość takiego przesunięcia wyrażana jest tzw. parametrem przesunięcia (z). Definiowany jest on jako stosunek różnicy długości fali promieniowania obserwowanego (λ_0) i emitowanego (λ_1) do długości fali emitowanej. Określenie to zapisywane jest w postaci wzoru:

$$z = \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_1}$$ [62]

Tego rodzaju pomiary – zapoczątkowane przez Sliphera i kontynuowane przez jego następców – wraz z szerszą ich interpretacją stały się podstawowym testem za ekspansją Wszechświata. Same pomiary przesunięć ku czerwieni pojawiły się kilka lat wcześniej niż rozważania teoretyczne na ten temat. Nie było więc tak, że najpierw istniała gotowa już teoria ekspandującego Wszechświata, a później dopiero

[62] R. A d l e r, M. B a z i n, M. S c h i f f e r, *Introduction to General Relativity*, Mc Graw-Hill, New York 1965, s. 350; B. P a c z y ń s k i, B. M u c h o t r z e b, *Granice Wszechświata*, Warszawa 1981, s. 27-33.

dokonane zostały pomiary przesunięć ku czerwieni. Niemniej wyniki tych pomiarów interpretowane były po dopplerowsku, a więc dynamicznie. Wydawało się to ówcześnie tak oczywiste, że mierzone wielkości przesunięć zapisywano nie w wielkościach parametru przesunięcia, lecz w prędkościach ucieczki galaktyk[63]. Oczywiście taka interpretacja wskazywała, że przynajmniej te galaktyki, których przesunięcia linii widmowych zostały zaobserwowane i zmierzone, musiały się od obserwatorów oddalać. Kolejne pomiary przesunięć ku czerwieni dla coraz to nowych galaktyk utwierdzały w przekonaniu o powszechności tego zjawiska. W konsekwencji przyczyniało się to do stopniowego uświadamiania, że zjawisko to może dotyczyć całego Wszechświata. Widać więc, że droga do Wszechświata ekspandującego rozpoczęła się właściwie od dopplerowskiej interpretacji obserwowanych przesunięć linii widmowych odległych galaktyk ku czerwieni. Nie oznacza to jednak, że był to jedyny czynnik wyznaczający tę drogę. Należy przy tym zaznaczyć, że wspomniana interpretacja dopplerowska nie musiała być w ówczesnych czasach interpretacją jedyną, chociaż w praktyce tak się stało. Od 1911 r. znane było bowiem już tzw. przesunięcie grawitacyjne[64]. Znana była też dobrze stała Plancka[65], której zmiana mogłaby tłumaczyć obserwowane przesunięcia. Funkcjonowało również w ówczesnej fizyce pojęcie fotonu[66], którego na przykład starzenie się mogłoby powodować obserwowane przesunięcia ku czerwieni. O wyborze jednak interpretacji dopplerowskiej zadecydowała ówcześnie, jak się wydaje, przede wszystkim znajomość i powszechna akceptowalność przez fizyków zjawiska Dopplera. W porównaniu z mało znanym i tajemniczym na owe czasy przesunięciem grawitacyjnym – czy jeszcze bardziej niejasnym statusem innych sposobów tłumaczenia przesunięć – interpretacja dopplerowska musiała jawić się jako zabieg najprostszy, oczywisty i nie podlegający dyskusji. Każda więc nowa obserwacja przesunięć linii widmowych coraz bardziej odległych galaktyk traktowana była jako kolejny przejaw zjawiska Dopplera i w konsekwencji następstwo ucieczki galaktyk.

To wzrastające w miarę gromadzenia danych obserwacyjnych przekonanie o ekspansyjnym charakterze Wszechświata raczej przypadkowo zbiegło się w czasie z podejmowanymi przez powstającą kosmologię relatywistyczną dyskusjami na temat wyboru właściwego modelu opisującego rzeczywisty Wszechświat. Jak wiadomo, dyskusja taka toczyła się pierwotnie wokół statycznego modelu Einsteina i stacjonarnego, ale pustego, modelu de Sittera. Model de Sittera cieszył się więk-

---

[63] Por. np. H u b b l e, *A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae*, s. 169.

[64] A. E i n s t e i n, *O wlijaniji siły tjażiesti na razprostranienije swieta*, [w:] *Sobranije nauczynych trudow*, t. I, Moskwa 1965-1967, s. 170-172.

[65] M. v o n L a u e, *Historia fizyki*, Warszawa 1962, s. 204.

[66] A. E i n s t e i n, L. I n f e l d, *Ewolucja fizyki*, Warszawa 162, s. 230.

szym zainteresowaniem właśnie dlatego, że przewidywał zjawisko przesunięcia linii widmowych ku czerwieni, czego nie można powiedzieć o modelu Einsteina[67].

De Sitter znał jednak początkowo tylko wyniki pierwszego pomiaru Sliphera z 1912 r., a więc prędkości ucieczki tylko dwóch galaktyk i prędkość zbliżania się trzeciej. Było to zbyt mało, aby mógł potraktować te pomiary jako test rozstrzygający na korzyść swojego modelu Wszechświata[68]. Dopiero wtedy, kiedy – z jednej strony – liczba pomiarów przesunięć ku czerwieni w widmach mgławic spiralnych wyraźnie wzrosła, i fakt ucieczki tych mgławic stał się dla astronomów czymś oczywistym, a z drugiej strony Lemaître wyprowadził prosty wzór na parametr przesunięcia w ramach zaproponowanego przez siebie modelu ekspandującego, istniejące pomiary przesunięć ku czerwieni zaczęły być traktowane z całą powagą jako istotny test potwierdzający modele ekspandujące, a zarazem falsyfikujący statyczny model Einsteina. Rzeczywiście, zakładając dynamiczny charakter Wszechświata, można w bardzo prosty sposób wyprowadzić znany wzór na parametr przesunięcia o postaci:

$$z = \frac{R(t_0)}{R(t_1)} - 1$$

gdzie $R(t_0)$ – promień Wszechświata w chwili odbioru sygnału świetlnego, $R(t_1)$ – promień Wszechświata w chwili emisji sygnału świetlnego.

Ze wzoru tego wynika, że jeśli $z = 0$, to $R(t_0) = R(t_1)$, a więc świat nie zmienia z czasem swojego promienia, czyli jest statyczny. Jeśli zaś $z > 0$, to $R(t_0) > R(t_1)$, co oznacza, że Wszechświat ekspanduje. W przypadku natomiast przeciwnym, tzn. gdy $z < 0$, wtedy $R(t_0) < R(t_1)$, Wszechświat się kurczy. Słuszne są również zależności odwrotne[69].

Mamy tu więc istotnie do czynienia z sytuacją sprawdzania empirycznego. Sam jednak proces formowania się teorii testowanej nie nastąpił według schematów podawanych przez filozofów nauki. Teoria ekspandującego Wszechświata pojawiła się raczej jako wynik współdziałania wielu, często przypadkowych przyczyn i wychodziła naprzeciw oczekiwaniom ze strony istniejących już obserwacji przesunięć ku czerwieni. Traktowana więc była początkowo raczej jako teoria wyjaśniająca istniejące obserwacje, a nie jako teoria oczekująca z ich strony na sprawdzenie. Właściwie wybór dopplerowskiej interpretacji obserwowanych przesunięć ku czerwieni przesądzał niejako w punkcie wyjścia o Wszechświecie ekspandującym. Trzeba było jednak okazać, że istnieje model Wszechświata ekspandującego przewidują-

[67] Por. np. N o r t h, *The Measure of the Universe*, s. 81-109.

[68] W. d e S i t t e r, *On Einstein's Theory of Gravitation and its Astronomical Consequences. Third Paper*, „Monthly Notices of the Royal Astroinomical Society", 78(1917), nr 1, s. 26.

[69] W e i n b e r g, dz. cyt., s. 443-444.

cy zjawisko przesunięcia linii widmowych odległych galaktyk ku czerwieni. Oznaczało to konieczność postępowania według kolejnych kroków wspomnianego już schematu sprawdzania empirycznego. Miało więc miejsce wyprowadzenie implikacji testowalnej w postaci parametru *z*, porównanie tej implikacji z danymi obserwacyjnymi i wnioskowanie na podstawie dostrzeżonej zgodności o słuszności modelu ekspandującego.

Bliższa analiza operacji porównywania implikacji testowalnej z danymi obserwacyjnymi wskazuje, że oprócz zasadniczej zgodności zachodzi tu pewna niewspółmierność treściowa. Obserwacje wskazują nie tylko na fakt istnienia w widmach odległych galaktyk przesunięć linii ku czerwieni, ale podają również wielkości tych przesunięć. Implikacja natomiast mówi jedynie o konieczności występowania w modelach ekspandujących parametru przesunięcia, bez wyraźnego określenia jego wielkości. Ponadto w toku obserwacji wiązano parametr przesunięcia z prędkościami ucieczki galaktyk, podczas gdy implikacja odnosi ten parametr bezpośrednio do zmiany tzw. promienia Wszechświata. Z tej więc racji odchodzi się współcześnie od dopplerowskiej interpretacji obserwowanych przesunięć na rzecz tzw. interpretacji ekspansyjnej. Łączy ona bezpośrednio fakt przesunięcia linii widmowych z przestrzennym rozszerzaniem się Wszechświata. W konsekwencji galaktyki nie poruszają się względem przestrzeni, lecz są przez tę przestrzeń unoszone[70].

Dostrzeżona zatem zgodność danych obserwacyjnych i implikacji testowalnej prowadzi jedynie do wniosku o ekspansyjnym charakterze realnego Wszechświata. Nie możemy natomiast wnioskować stąd ani o tempie ekspansji, ani o czasie jej trwania, sposobie przebiegu czy też jakiejkolwiek innej charakterystyce ilościowej. Niemniej była to pierwsza w dziejach ludzkiego poznawania świata informacja empiryczna wskazująca na ekspansyjny charakter naszego Wszechświata. Zapoczątkowany więc został wyraźny proces odchodzenia od utrzymującego się przez wieki statycznego obrazu Wszechświata na rzecz jego wizji dynamicznej. Wszechświat jako całość podlega systematycznemu ruchowi wielkoskalowemu. Teza o ekspansji Wszechświata zyskała empiryczne potwierdzenie, a z nią wszystkie te modele, które tę ekspansję opisują. Jak wiadomo, w ramach kosmologii Friedmana–Lemaître'a są to modele monotoniczne (M_1 i M_2), modele aproksymatywne (A_1 i A_2) oraz modele oscylujące w fazie ekspansji[71].

Należy jednak pamiętać, że powyższe potwierdzenie teorii ekspandującego Wszechświata przez obserwacje przesunięć ku czerwieni linii widmowych odległych galaktyk wcale nie przesądza o całkowitej pewności tej teorii. Zgodnie bowiem ze wspomnianym już schematem empirycznego potwierdzania praw czy teorii nie istnieją praktyczne możliwości całkowitego dokonania takiego zabiegu. Stąd można

[70] E. H a r r i s o n, *Cosmology. The Science of the Universe*, Cambridge 1981, s. 235-238.

[71] R. T o l m a n, *Otnositielnost, tiermodinamika i kosmołogija*, Moskwa 1974, s. 367-422.

mówić jedynie o częściowym potwierdzeniu tezy o ekspansji Wszechświata. Stopień zaś tego potwierdzenia zależy z jednej strony od ilości wyprowadzonych implikacji testowych, a z drugiej – od różnych interpretacji przytaczanego za ekspansją materiału obserwacyjnego. Decydujące znaczenie ma tu jednak walor poznawczy tego materiału, tj. jego prawdziwość, oryginalność, ogólność czy też zróżnicowanie[72]. W przypadku obserwacji przesunięć linii widmowych ku czerwieni przez długi okres czasu dominowała niepodważalnie interpretacja dopplerowska. Dopiero w ostatnich latach zaczęły pojawiać się głosy negujące nie tylko interpretację dopplerowską tych przesunięć, ale również ich ekspansyjne wyjaśnianie. Głosy takie pojawiły się w związku z wieloma obserwacjami astronomicznymi dotyczącymi kwazarów, podwójnych galaktyk i innych układów stowarzyszonych, których przesunięcia ku czerwieni linii widmowych wydają się trudne do wyjaśnienia faktem ekspansji Wszechświata. Mówi się więc w związku z tym o tzw. niekosmologicznych wyjaśnieniach tych przesunięć, co podważałoby ich walor testu potwierdzającego ekspansję Wszechświata[73]. Uznanie wyłączności takich wyjaśnień pociąga za sobą daleko idące konsekwencje natury poznawczo-metodologicznej. Chodzi bowiem o konieczność włączenia i dopasowania tych nowych wyjaśnień do całego korpusu powszechnie przyjętej w tym względzie wiedzy. Uznanie na przykład zmienności stałej Plancka czy starzenia się fotonów wymagałoby znacznych zmian i przewartościowań w całej dotychczasowej wiedzy fizycznej i kosmologicznej[74]. Stąd większość kosmologów pozostaje przy tradycyjnej interpretacji obserwowanych przesunięć i przypisuje im walor testu za ekspansją Wszechświata. Inne zaś interpretacje traktują oni jako hipotezy *ad hoc*. Niemniej przyznają, że w niektórych przynajmniej przypadkach może mieć miejsce nakładanie się na efekt kosmologiczny tych przesunięć ich składowych niekosmologicznych. Zachodziłaby wtedy potrzeba wydzielenia tych składowych, co nie jest jednak rzeczą łatwą do przeprowadzenia.

Obserwacje przesunięć linii widmowych ku czerwieni nie są jedynym testem za ekspansją Wszechświata. Przytacza się bowiem jeszcze kilka innych możliwości w tym względzie. Jedną z nich jest znane prawo Hubble'a, które – jak wiadomo – ostatecznie przeważyło szalę na korzyść dynamicznej wizji Wszechświata. Stało się to dlatego, że prawo to nie tylko zakłada ekspansję Wszechświata, ale równocześnie wskazuje na pewne jej własności, które pozwalają na dodatkowe możliwości testowania tej prawdy.

---

[72] Zob. S u c h, *Problemy weryfikacji wiedzy*, s. 152-200.

[73] Por. np. H. A r p, *Evidence for Non-Velocity Redshifts*, [w:] *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, s. 61-67; K. R u d n i c k i, *Czy przełom w kosmologii? Kolokwium No 37 Międzynarodowej Unii Astronomicznej. Przesunięcie ku czerwieni a rozszerzanie się Wszechświata. Paryż 6-9 września 1976*, „Postępy Astronomii", 25(1977), z. 1, s. 3-47.

[74] Por. np. H a r r i s o n, dz. cyt., s. 240-242.

Jak wiadomo, prawo to zostało sformułowane przez Hubble'a na drodze empirycznej. Autor zestawiał mierzone prędkości ucieczki poszczególnych galaktyk z odpowiadającymi tym galaktykom odległościami. W efekcie otrzymał przybliżoną liniowość relacji pomiędzy tymi wielkościami. Stanowi to istotne rozszerzenie samych tylko pomiarów przesunięć ku czerwieni. Uwzględnia bowiem ilościowe wartości mierzonych przesunięć i wiąże je z wartościami innej wielkości mierzalnej, jaką są odległości do galaktyk. Współcześnie, w celu uniknięcia nakładania się błędów pomiarowych związanych z wyznaczaniem odległości do galaktyk i nie eksponowania dopplerowskiej interpretacji obserwowanych przesunięć linii widmowych ku czerwieni, zestawia się ze sobą nie „prędkość–odległość", lecz „parametr przesunięcia–jasność wizualna lub średnica wizualna" galaktyk.

Prawo to w swym sformułowaniu empirycznym porównywalne jest z podobną relacją, wyprowadzaną na drodze dedukcyjnej z założeń ekspansji Wszechświata i jego izotropowości oraz jednorodności[75]. Zauważana zgodność jest zatem potwierdzeniem obu tych założeń, gdyż koniunkcja jest prawdziwa, gdy wszystkie jej człony są prawdziwe[76]. Jest to więc pewnego rodzaju weryfikacja również zwykłej zasady kosmologicznej, przyjętej w pierwszym podejściu do kosmologii głównie z racji prostoty rozważań.

Oczywiście moc konfirmująca prawa Hubble'a zależy w pierwszym rzędzie od jego prawdziwości w odniesieniu do całego Wszechświata. Dzisiejsze obserwacje zdają się potwierdzać tę prawdziwość tylko w bardzo niewielkiej skali. Dotyczą bowiem stosunkowo bliskich obszarów Wszechświata i dlatego nie ma empirycznych podstaw, by sądzić, że prawo to musi obowiązywać w całym Wszechświecie. Ponadto ustalana teoretycznie relacja „parametr przesunięcia–odległość" wskazuje, że na bardzo dużych odległościach może mieć miejsce odejście od liniowości tego związku[77]. W konsekwencji prawo to, przynajmniej na obecnym etapie rozwoju kosmologii obserwacyjnej, nie stanowi zbyt mocnego potwierdzenia empirycznego zasady kosmologicznej. Nie ma bowiem pewności, że w bardzo wielkiej skali Wszechświata liniowość wspomnianych relacji jest zachowana. Bez niej natomiast, jako wniosku dedukcyjnego z powyższej zasady, nie można mówić o prawdziwości tej zasady.

Inaczej nieco jest w przypadku tezy o ekspansji Wszechświata. Odstępstwo od liniowości prawa Hubble'a na bardzo dużych odległościach nie musi w sposób bezpośredni zaprzeczać tej ekspansji. Świadczyłoby ono tylko o tym, że ekspansja nie przebiega w sposób jednostajny. Zatem z punktu widzenia potwierdzalności tej tezy prawo Hubble'a wnosi pewien dodatkowy element. Zakładając fakt ekspansji

[75] W. Z o n n, *Kosmologia współczesna*, Warszawa 1968, s. 64-65.

[76] A. G r z e g o r c z y k, *Logika popularna*, Warszawa 1955, s. 65-67.

[77] W e i n b e r g, dz. cyt., s. 470-478.

Wszechświata, wskazuje na sposób jej przebiegu. Podaje pewną jej charakterystykę, której poprawność nie może pozostawać bez wpływu na stopień potwierdzalności tej tezy. Oczywiście bez ekspansyjnej interpretacji mierzonych przesunięć linii widmowych ku czerwieni nie byłoby ani tezy o ekspansji Wszechświata, ani prawa Hubble'a.

Oprócz tych podstawowych przejawów testowalności dotyczących zasady kosmologicznej i ekspansji Wszechświata prawo Hubble'a jest wykorzystywane również w procedurach sprawdzeniowych w nieco inny sposób. Związane jest to ze stałą Hubble'a. Jej wartość wyznaczona empirycznie przyjmowana jest jako warunek brzegowy dla ilościowego określenia wyprowadzonych na podstawie niektórych modeli kosmologicznych przewidywań obserwacyjnych.

Dotyczy to w pierwszym rzędzie wieku Wszechświata. Wiadomo, że na gruncie ekspandujących od osobliwości początkowej modeli Wszechświata wyprowadza się zależność między czasem, jaki upłynął od tej osobliwości, zwanym wiekiem Wszechświata, a stałą Hubble'a. Związek ten polega na tym, że wiek Wszechświata stanowi w przybliżeniu odwrotność stałej Hubble'a[78]. Widać zatem, że znając wartość stałej Hubble'a można wyznaczyć aktualny wiek Wszechświata. Jak wiadomo, wynosi on przy obecnych wartościach stałej Hubble'a około 15–20 miliardów lat[79]. Wiek ten można z kolei porównać z wartościami otrzymanymi innymi sposobami, np. na drodze badań geologicznych, na gruncie teorii tworzenia się kondensacji czy teorii ewolucji gwiazd[80]. Przynajmniej ogólna zgodność w tym względzie – polegająca na tym, że wiek elementów składowych Wszechświata nie jest większy od wieku całego Wszechświata – stanowi pewne potwierdzenie modeli ekspandujących od osobliwości początkowej. Oznacza tym samym widoczny krok na drodze wyboru najbardziej prawdopodobnego modelu Wszechświata. Zasadnicza wartość tego kroku tkwi nie tyle w bezpośrednim potwierdzeniu modeli z osobliwością, ile raczej w ustrzeżeniu ich przed falsyfikacją. W przypadku bowiem niezgodności przewidywań kosmologicznych i pozakosmologicznych wieku Wszechświata (przy uznaniu poprawności tych ostatnich) negatywny musi być również przynajmniej jeden człon koniunkcji, z której wyprowadzany jest na gruncie kosmologii wiek Wszechświata. Ponieważ z reguły większym zaufaniem darzy się wyniki empiryczne niż całe teorie, więc istniejąca w początkowym okresie rozwoju kosmologii relatywistycznej niezgodność w tym względzie doprowadziła do bardzo poważnego kryzysu w kosmologii, zwanego paradoksem wieku Wszechświata[81]. Zakładając popraw-

[78] S i l k, dz. cyt., s. 61-63.

[79] S a n d a g e, T a m m a n, dz. cyt., 53-61.

[80] Por. np. O p i k, *The Age of the Universe*, „The British Journal for the Philosophy of Science", 5(1954), nr 19, s. 203-214.

[81] N o r t h, dz. cyt., s. 223-245.

ność wartości stałej Hubble'a wyznaczonej na drodze empirycznej, przyczyn istniejącej niezgodności zaczęto dopatrywać się w teoriach kosmologicznych, a pośrednio i w ogólnej teorii względności. Zaczęto więc albo wprowadzać dodatkowe hipotezy *ad hoc*, albo modyfikować istniejące teorie, albo myśleć nawet o całkowitym ich odrzuceniu. Dopiero przeskalowanie stałej Hubble'a rozwiązało paradoks wieku Wszechświata i przywróciło pełne zaufanie do uprawianej kosmologii relatywistycznej[82].

Innym przykładem podobnej funkcji stałej Hubble'a w teoriach kosmologicznych jest powiązanie tej stałej na gruncie ekspandujących modeli Wszechświata ze średnią gęstością materii we Wszechświecie. Pozwala to z kolei orzekać o znaku krzywizny przestrzeni i tym samym o geometrycznych właściwościach całego Wszechświata. Wspomniany wzór ma postać:

$$\rho_{kr} = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

gdzie ρ_{kr} nosi nazwę gęstości krytycznej.

Nazwa „gęstość krytyczna" pochodzi stąd, że zgodnie z przeprowadzonymi rozważaniami przy tej gęstości Wszechświat posiada zerową krzywiznę przestrzeni. W konsekwencji Wszechświat mający średnią gęstość materii większą od gęstości krytycznej będzie miał dodatnią krzywiznę przestrzeni, a przy gęstości mniejszej – krzywizna ta będzie ujemna. Dokładne wyznaczenie stałej Hubble'a pozwala więc na określenie gęstości krytycznej i tym samym na podanie ścisłej wartości, przy której krzywizna przestrzeni Wszechświata ma wartość zerową. Przyjmując według współczesnych danych, że wartość stałej Hubble'a $H_0 = 50$ km/s Mps otrzymujemy gęstość krytyczną $\rho_k = 10^{-30}$ g/cm^3, co równa się w przybliżeniu około 3 nukleonom na 1 m^3. Znaczy to, że przy tej wartości średniej gęstości materii przestrzeń Wszechświata winna mieć zerową krzywiznę. Wyznaczając następnie metodą na przykład zliczania obiektów astronomicznych średnią gęstość materii aktualnego Wszechświata, można tym samym orzekać o krzywiźnie jego przestrzeni[83].

Oceniając wartość tego testu, tzn. jego moc potwierdzającą, należy uświadomić sobie dwa możliwe źródła nieścisłości, jakie w związku z nim się pojawiają. Pierwsze z nich to dosyć znaczne niedokładności w wyznaczaniu zarówno stałej Hubble'a, jak i średniej gęstości materii aktualnego Wszechświata. Są to niedokładności wynikające głównie z ograniczeń technicznych i żywi się nadzieję, że w przyszłości mogą być one w dużym stopniu usunięte. Znacznie więcej kłopotu sprawiają ograni-

[82] Historię przeskalowania stałej Hubble'a przedstawia W. B a a d e, *Ewolucija zwiezd i gałaktik*, Moskwa 1966.

[83] Por. P e e b l e s, dz. cyt., 15-17.

czenia natury teoretycznej związane z wieloma założeniami i uproszczeniami poczynionymi przy wyprowadzaniu owych implikacji testowych. W konsekwencji implikacje te są zbyt abstrakcyjne i wyidealizowane, a więc odbiegające od warunków panujących w rzeczywistym Wszechświecie. Nakładanie się więc na siebie owych nieścisłości teoretycznych i obserwacyjnych w istotny sposób ogranicza wartość konfirmującą tego testu, chociaż nikt nie kwestionuje samej metody jego konstruowania.

Istnieje jeszcze jeden sposób wykorzystania stałej Hubble'a w procedurach testowania teorii kosmologicznych. Chodzi tu o sugerowaną przez rozważania teoretyczne zmianę w czasie tej stałej. Zmiana ta wskazywałaby na zróżnicowane tempo ekspansji Wszechświata w przeszłości. Wielkością, która określałaby tę zmianę jest tzw. parametr hamowania q. Rozważania teoretyczne wskazują, że wielkość zmiany tego parametru, a więc i tempa ekspansji, jest ściśle powiązana z określonym typem modeli kosmologicznych. Związki te są na tyle wyraźne, że można ustalić – przynajmniej dla modeli o zerowej stałej kosmologicznej – bezpośrednie relacje między wartością parametru hamowania a znakiem krzywizny przestrzeni Wszechświata. Jak wiadomo, relacje te mają następującą postać:

$$q = 1/2 \rightarrow k = 0$$
$$q > 1/2 \rightarrow k = +1$$
$$q < 1/2 \rightarrow k = -1$$[84]

W bardziej złożonej sytuacji, gdy na przykład stała kosmologiczna jest różna od zera, powyższe zależności znacznie się komplikują. Nie przekreśla to jednak możliwości wnioskowania na podstawie wartości parametru hamowania o znaku krzywizny przestrzeni Wszechświata. Gdyby zatem udało się w miarę dokładnie wyznaczyć na drodze empirycznej wartość q, to można by w sposób bardzo prawdopodobny rozstrzygać o krzywiźnie aktualnego Wszechświata. W praktyce istnieją tu jednak bardzo wyraźne ograniczenia techniczne. Związane są one z brakiem odpowiednich przyrządów i metod do badania Wszechświata w bardzo wielkich rozmiarach. Stąd faktyczna wartość tego testu nie jest zbyt wielka. Kosmologowie mają jednak nadzieję, że rozwój technik obserwacyjnych może wiele tu zmienić na lepsze.

Z powyższych rozważań widać wyraźnie, że pomiary przesunięć ku czerwieni linii widmowych odległych galaktyk stanowią powszechnie przyjęty w kosmologii test empiryczny. Przejawia on zróżnicowany sposób funkcjonowania i różnorodne powiązania treściowe ze sprawdzanymi teoriami kosmologicznymi.

---

[84] Ch. M i s n e r, K. S. T h o r n e, J. A. W h e e l e r, *Gravitation,* Freeman, San Francisco 1973, s. 771-774.

Same tylko obserwacje tych przesunięć potwierdzają w sposób bezpośredni teorię Wszechświata ekspandującego. Oznacza to równocześnie odrzucenie świata statycznego. Odrzucenie to jest całkowite tylko przy ekspansyjnej interpretacji dostrzeganych przesunięć. Każde inne stanowisko w tym względzie pozbawia te obserwacje możliwości ostatecznego sfalsyfikowania Wszechświata statycznego.

Powiązanie natomiast liczbowych wielkości pomiarów owych przesunięć ku czerwieni z innymi wielkościami mierzalnymi, jak na przykład odległościami do galaktyk czy średnią gęstością materii Wszechświata, pozwala na dodatkowe wykorzystanie tych pomiarów w procedurach testowania teorii kosmologicznych. Szkoda tylko, że istniejące ograniczenia techniczne w przeprowadzaniu obserwacji w istotny sposób pomniejszają moc konfirmującą tych testów. Niemniej sama możliwość wyprowadzania implikacji testowych z poszczególnych teorii kosmologicznych ma dla tych teorii ważny aspekt poznawczy. Ukazuje bowiem szeroki kontekst ich możliwych odniesień empirycznych, co nie tylko poszerza zakres merytoryczny tych teorii, ale dla wielu praktykujących kosmologów jest wystarczającym kryterium ich naukowego charakteru[85].

Dziś, z perspektywy pewnego przedziału czasowego, z całą pewnością można powiedzieć, że pomiary przesunięć linii widmowych ku czerwieni wraz z prawem Hubble'a odegrały zasadniczą rolę w kształtowaniu przyrodniczego charakteru współczesnej kosmologii. One bowiem stały się pierwszym testem empirycznym, dzięki któremu kosmologia przestała być traktowana jako dyscyplina czysto teoretyczna czy nawet spekulatywna. Odegrały one zasadniczą rolę w kształtowaniu się i akceptacji dynamicznej wizji Kosmosu, przekonując ostatecznie między innymi Einsteina do odejścia od przyjmowanego przez wieki statycznego obrazu Wszechświata[86]. Z tego punktu widzenia test ten, mimo wspominanych ograniczeń, zajmuje ważne miejsce wśród pozostałych testów, jakimi dysponuje współczesna kosmologia.

Podobne znaczenie w procedurach sprawdzeniowych współczesnych teorii kosmologicznych przypisuje się innemu testowi, nazywanemu powszechnie mikrofalowym promieniowaniem tła. Promieniowanie to, uważane za najważniejsze odkrycie naszego stulecia, dzięki swojej osobliwości i wyjątkowej dokładności pomiarów, stało się ważnym czynnikiem rozwoju kosmologii. Mimo że zostało ono przewidziane na drodze teoretycznej, i to z dużą dokładnością co do wartości swojej tempe-

---

[85] H e l l e r, *Definicja terminu „Wszechświat" w kosmologii relatywistycznej*, s. 59; A. S a n d a g e, *Cosmology: a search for two numbers*, „Physics Today", February 1970, s. 34; M. A. H. M a c C a l l u m, *Strengths and Weakness of Cosmological Big Bang Theory*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 121-141.

[86] A. E i n s t e i n, *Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitatstheorie*, „Sitzungsber. preuss. Akad. Wiss., phys.-math. Klasse", 1931, s. 235-237; J. T u r e k, *Kosmologia Alberta Einsteina i jej filozoficzne uwarunkowania*, Lublin 1982, s. 47-48.

ratury, już w latach czterdziestych naszego stulecia, i mimo systematycznych poszukiwań jego obecności we Wszechświecie w początkach lat sześćdziesiątych, odkryto go zupełnie przypadkowo. Istotą tego promieniowania jest jego mikrofalowy charakter, bardzo niska temperatura rzędu $2{,}7^0$K, niemal idealna izotropowość i planckowski rozkład natężenia[87].

Potraktowanie tego promieniowania jako testu kosmologicznego przedstawia typową sytuację sprawdzeniową, opisywaną przez filozofów nauki. Była teoria kosmicznej nukleosyntezy zakładająca Wszechświat ekspandujący od osobliwości początkowej; teoria wyłoniona w drodze wyboru spośród kilku możliwości[88]. Były implikacje testowe wyprowadzone z tej teorii przewidujące zarówno istnienie tego promieniowania, jak i wartość jego temperatury. Były też podejmowane próby znalezienia tego promieniowania we Wszechświecie. Pojawiło się wreszcie samo promieniowanie odkryte wprawdzie przypadkowo, ale już w momencie publikacji o jego odkryciu podane zostało jego kosmologiczne wyjaśnienie[89]. Tym samym stało się ono bardzo mocnym potwierdzeniem teorii ekspandującego od osobliwości początkowej Wszechświata, rozbudowanej obecnie do tzw. modelu Wszechświata gorącego[90].

W ramach tego modelu zakłada się ekspansję Wszechświata rozpoczynającą się od tzw. osobliwości początkowej. W przeszłości więc materia Wszechświata odznaczała się bardzo wysokimi gęstościami, stanowiąc mieszaninę cząstek elementarnych i fotonów. W toku ekspansji miał miejsce stan równowagi termodynamicznej między promieniowaniem a materią korpuskularną. W efekcie rozkład natężenia tego promieniowania był podobny do rozkładu promieniowania ciała doskonale czarnego. Jak wiadomo, rozkład taki jest opisywany wzorem Plancka. Postępująca ekspansja Wszechświata powodowała obniżanie się temperatury, a to z kolei prowadziło do istotnych zmian stanu materii Wszechświata. Z chwilą rekombinacji dającej lekkie pierwiastki istniejące promieniowanie elektromagnetyczne zaczęło żyć własnym życiem, niezależnym od materii korpuskularnej. Efektem ekspansji Wszechświata jest stałe obniżanie się temperatury tego promieniowania według wzoru:

$$T_0 = T_1 \frac{R(t_1)}{R(t_0)}$$

---

[87] S. W e i n b e r g, *Pierwsze trzy minuty*, Warszawa 1980, s. 73-85.

[88] Teoria nukleosyntezy kosmicznej, na podstawie której przewidziano promieniowanie tła, została wybrana spośród wielu teorii konkurencyjnych. Por. np. B. K u c h o w i c z, J. T. S z y m c z a k, *Dzieje materii przez fizyków odczytane*, Warszawa 1978, s. 290-298.

[89] A. A. P e n z i a s, R. W. W i l s o n, *A Measurement of Excess Antena Temperature at 4080 MCS*, „Astrophysical Journal", 142(1965), s. 419-421; R. D i c k e, P. J. E. P e e b l e s, P. G. R o l l, D. T. W i l k i n s o n, *Cosmic Black Body Radiation*, „Astrophysical Journal", 142(1965), s. 414-419.

[90] D e m i a ń s k i, dz. cyt., s. 277-289.

gdzie T_1 – temperatura promieniowania w chwili wcześniejszej, np. w momencie rekombinacji, a T_0 – temperatura w chwili pomiaru.

Ze wzoru tego wynika, że znając temperaturę promieniowania tła w danym momencie w przeszłości i stosunek promienia Wszechświata w chwili emisji i obserwacji tego promieniowania, można dokładnie określić jego temperaturę w chwili obecnej.

Przewidywanie istnienia mikrofalowego promieniowania tła o ściśle określonej temperaturze jest wnioskiem dedukcyjnym z koniunkcji kilku przesłanek, a mianowicie: 1) założenia ekspansji Wszechświata od bardzo gęstych stanów materii, nazywanych stanem osobliwości początkowej; 2) przejścia materii pierwotnej Wszechświata przez stan równowagi termicznej, w efekcie czego rozkład promieniowania elektromagnetycznego opisywany jest wzorem Plancka; 3) liczbowej wartości temperatury tego promieniowania w momencie rekombinacji i 4) wartości czynnika $R(t_1)/R(t_0)$.

Dwie ostatnie przesłanki są zwykłymi wielkościami liczbowymi określającymi wartość zmiennych w przyjętych warunkach brzegowych. Dlatego też podstawowymi założeniami dla przewidywania samej obecności mikrofalowego promieniowania tła we Wszechświecie są dwa pierwsze założenia, a zwłaszcza założenie o ekspansji Wszechświata od osobliwości początkowej.

Zgodność wyprowadzonej na podstawie powyższych założeń implikacji testowej z obserwacjami – i to z tak znaczną dokładnością, jeśli chodzi o wartość temperatury tego promieniowania – wskazuje na słuszność przyjętych założeń. Najmocniej wydaje się być potwierdzone założenie o ekspansji Wszechświata od osobliwości początkowej. Bez niego bowiem nie można byłoby przewidywać jakiegokolwiek promieniowania mikrofalowego o charakterze kosmologicznym. Stopień jednak potwierdzalności tego założenia zależy od tego, czy obserwowane promieniowanie jest rzeczywiście pochodzenia kosmologicznego. Chodzi o to, czy istnieją inne niekosmologiczne możliwości wyjaśnienia obecności tego promieniowania we Wszechświecie. Jak wiadomo, wysuwa się takie teorie[91], ale sprawiają one wrażenie hipotez *ad hoc* i nie są w stanie przewidywać w sposób tak dokładny i bezpośredni wszystkich właściwości tego promieniowania. W tym kontekście teoria ekspandującego od osobliwości początkowej Wszechświata wydaje się być najbardziej prawdopodobnym wyjaśnieniem istnienia we Wszechświecie tego promieniowania i tym samym mieć największy spośród innych teorii konkurencyjnych stopień konfirmacji. Przemawia za tym również fakt, że na kilka lat przed odkryciem tego promieniowania teoria ta przewidywała jego obecność we Wszechświecie wraz z

[91] Por. np. G. F. R. E l l i s, *Is the Universe Expanding?*, „General Relativity and Gravitation", 9(1978), nr 2, s. 87-94; M. R o w a n – R o b i n s o n, *Is the Microwave Background Primordial?*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 197-201.

bardzo zbliżonymi wartościami temperatury. Jak wiadomo z filozofii nauki, fakt taki zwiększa stopień potwierdzalności teorii[92].

Przypisanie promieniowaniu tła tak znacznego stopnia konfirmacji teorii ekspandującego od osobliwości początkowej Wszechświata stanowi równoczesną dyskonfirmację wszystkich teorii z nią sprzecznych. Chodzi tu w pierwszym rzędzie o modele ekspandujące, ale bez wyróżnionego punktu w przeszłości. Zatem odkrycie promieniowania tła zawęża klasę modeli opisujących realny Wszechświat jedynie do modeli ekspandujących od osobliwości początkowej.

Ponadto odkrycie to w bardzo poważnym stopniu podważyło zaufanie do powszechnie akceptowanej w latach pięćdziesiątych teorii stanu stacjonarnego. Teoria ta nie może wyjaśnić obecności tego promieniowania we Wszechświecie i dlatego została obecnie prawie powszechnie odrzucona. Całkowita jednak falsyfikacja tej teorii nastąpiłaby tylko wtedy, gdyby można było mieć niepodważalną pewność o kosmologicznym pochodzeniu promieniowania tła. Jak wiadomo, takiej pewności nie ma i dlatego mówi się raczej o bardzo dużym stopniu dyskonfirmacji teorii stanu stacjonarnego niż całkowitej jej falsyfikacji[93].

Uderzająca zgodność przewidywań z obserwacjami odnośnie do temperatury promieniowania tła stanowi również mocne potwierdzenie empiryczne założenia o przejściu przez stan równowagi termodynamicznej pierwotnej materii Wszechświata. Założenie to tkwi bowiem u podstaw tego przewidywania. Zgodnie bowiem z prawami fizyki własności promieniowania w stanie równowagi termicznej zależą tylko od temperatury. Znając więc te własności promieniowania, można określać jego temperaturę. Innym przejawem empirycznego potwierdzenia tego założenia jest stwierdzenie planckowskiego rozkładu obserwowanego współcześnie mikrofalowego promieniowania reliktowego. Ponieważ rozkład planckowski promieniowania nie zmienia się podczas ekspansji Wszechświata i zakłada, że promieniowanie to było kiedyś w stanie równowagi termodynamicznej z materią korpuskularną, wynika stąd słuszność założenia, że Wszechświat przeszedł kiedyś przez stan równowagi termicznej. W efekcie założenie to, jak się wydaje, ma charakter dobrze uzasadnionego zdania empirycznego, stanowiącego jeden z istotnych składników tzw. modelu gorącego Wszechświata[94].

---

[92] Przy ocenie mocy potwierdzającej testu empirycznego wskazuje się na to, czy był on przewidziany przez teorię, czy też był znany już przed pojawieniem się teorii. Zob. np. H e m p e l, dz. cyt., s. 32-40.

[93] Metodologiczne problemy testów krzyżowych szeroko omawia J. Such w książce *Czy istnieje experimentum crucis?* (Warszawa 1975). Natomiast o procedurach falsyfikacyjnych w kosmologii pisze m.in. Życiński w pracy *Rola zasad dedukcjonizmu i indukcjonizmu w kosmologii przyrodniczej* (s. 112-125).

[94] P e e b l e s, dz. cyt., s. 134-142.

Pozostałe dwa założenia w postaci konkretnych wartości liczbowych zostały wyprowadzone zarówno na podstawie współczesnej wiedzy fizycznej – głównie z zakresu fizyki cząstek elementarnych, fizyki jądrowej i termodynamiki – jak i pewnych teorii kosmologicznych. Istniejąca zatem zgodność co do przewidywanej i obserwowanej wartości temperatury wspomnianego promieniowania świadczy w jakimś stopniu o poprawnym wyznaczeniu przyjętych wartości brzegowych, a również o niesprzeczności proponowanych teorii kosmologicznych z przyjętą i dobrze funkcjonującą wiedzą fizykalną. Ma więc tu miejsce pewnego rodzaju zgodność nowopowstałych teorii kosmologicznych z dotychczasowym korpusem wiedzy fizykalnej, co stanowi dodatkowe potwierdzenie tych teorii.

Oprócz tej, jak widać, wieloaspektowej funkcji konfirmującej model ekspandującego i ewolującego Wszechświata promieniowanie tła przytaczane jest jako bezpośredni test potwierdzający zwykłą zasadę kosmologiczną. Związane jest to z faktem, że obserwacje wskazują na bardzo wysoki stopień izotropowości tego promieniowania w bezpośrednio dostępnym obserwacji obszarze Wszechświata[95]. Wnioskuje się stąd, że jeżeli promieniowanie to ma charakter kosmologiczny, a więc jest pozostałością po wielkim wybuchu i ma tak wysoki stopień izotropowości, to należy wnioskować, że Wszechświat w swych wielkoskalowych wymiarach winien być jednorodny i izotropowy, mimo lokalnych niejednorodności. W przeciwnym razie wszelkie wielkoskalowe niejednorodności Wszechświata musiałyby znaleźć odbicie również w tym promieniowaniu.

W świetle wielkiej dokładności pomiarów izotropowości promieniowania moc potwierdzająca tego testu wydaje się bardzo duża. Tak też traktują go niektórzy kosmologowie[96]. Z drugiej jednak strony należy zdawać sobie sprawę, że mimo znacznego postępu w technikach obserwacyjnych pomiary natężenia tego promieniowania są pomiarami lokalnymi. Dokonuje się je właściwie w jednym punkcie Wszechświata i nie ma pewności, że w innych miejscach pomiary te byłyby takie same. Zatem wszelkie uogólnienia i ekstrapolacje w tym względzie muszą budzić pewną ostrożność w ocenach. Ponadto obserwacje bezpośrednio otaczających nas wielkoskalowych struktur Wszechświata wskazują na wyraźnie anizotropowy i niejednorodny ich rozkład. Tłumaczy się to lokalnym charakterem tej anizotropowości i niejednorodności utrzymując, że w wielkiej skali rozkład ten rzeczywiście spełnia wymogi symetrii. Sprawia to jednak wrażenie hipotezy *ad hoc*. Nie ma bowiem właściwie wymiernej granicy między lokalnością a wielkoskalowością badanego obszaru Wszechświata. Gdyby więc w przyszłości okazało się, że podstawową „cegiełką" Wszechświata są gromady galaktyk, i że przejawiają one rozkład anizotropowy

[95] E l l i s, *Observational Cosmology after Kristian and Sachs*, s. 53-57.

[96] Por. np. P e e b l e s, dz. cyt., s. 39-40; J. D. B a r r o w, J. S i l k, *Structure of Early Universe*, „Scientific American", 242(1980), nr 4, s. 98-99.

i niejednorodny, to można by przesunąć granicę lokalności właśnie do rozmiarów tych gromad. Izotropowość i jednorodność przysługiwałaby wtedy dopiero obszarom Wszechświata przynajmniej o rząd większym niż wspomniane gromady[97].

Zatem, mimo znacznego początkowego optymizmu, promieniowanie tła nie może być traktowane jako test ostatecznie potwierdzający zwykłą zasadę kosmologiczną. Niemniej w świetle tego testu zasada ta nabrała mimo wszystko pewnego wymiaru empirycznego[98].

Istnieje jeszcze jeden sposób wykorzystywania promieniowania tła do potwierdzenia teorii kosmologicznych. Chodzi tu o teorie powstawania wielkoskalowych struktur Wszechświata, a zwłaszcza galaktyk. Wykorzystuje się tu pewne pośrednie związki między niektórymi właściwościami tego promieniowania a mechanizmami powstawania wielkoskalowych struktur Wszechświata[99]. Pozwala to na pewnego rodzaju wstępną selekcję tych teorii, które nie uwzględniałyby konsekwencji wynikających z faktu istnienia promieniowania tła ze wszystkimi jego właściwościami. Nie jest to bezpośrednie potwierdzenie tej czy innej teorii tworzenia się wielkoskalowych struktur Wszechświata, lecz raczej sytuacja rozstrzygania pomiędzy tym, co można, a czego nie można przyjmować w toku konstruowania tych teorii, jeśli chce się pozostać w zgodzie z faktem istnienia promieniowania tła.

Kolejnym testem stosowanym w kosmologii jest tzw. parametr gęstości σ bezpośrednio powiązany ze średnią gęstością materii ρ. Podstawą jego stosowania jest fakt, że gęstość ta bezpośrednio wchodzi do równań pola i jako taka wpływa zarówno na zachowanie się promienia Wszechświata, jak i na krzywiznę jego przestrzeni. Wpływ ten nie jest jednak łatwy do określenia ze względu na ingerencję innych wielkości, zwłaszcza stałej kosmologicznej. Niemniej zależności między krzywizną przestrzeni Wszechświata a średnią gęstością materii są ustalane poprzez tzw. gęstość krytyczną, o czym była już mowa przy omawianiu stałej Hubble'a. Problemem jest jednak w miarę dokładne wyznaczenie liczbowej wartości średniej gęstości materii Wszechświata, co przy obecnych technikach obserwacyjnych nie jest realizowane. Zatem na obecnym etapie rozwoju bazy empirycznej kosmologii nie ma praktycznych możliwości przeprowadzenia zadowalających procedur sprawdzeniowych za pomocą parametru gęstości. Dotyczy to zarówno krzywizny przestrzeni, jak i dynamicznego charakteru Wszechświata.

---

[97] J. A. T y s o n, *Limits to Large Scale Isotropy*: *Galaxies as Traces*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 211-214.

[98] Por. np. H e l l e r, K l i m e k, R u d n i c k i, dz. cyt., s. 4-5.

[99] Zob. np. J. S i l k, *Fundamental Tests of Galaxy Formation Theory*, [w:] *Antrophysical Cosmology*, s. 465-468.

Opierając się bowiem na równaniu ruchu materii w układzie współporuszającym się, otrzymuje się prosty związek pomiędzy średnią gęstością materii a tzw. promieniem Wszechświata w postaci wzoru:

$$\rho(t_1) = \rho(t_0) \frac{R(t_0)^{100}}{R(t_1)}$$

Znając zatem średnią gęstość materii w dwóch różnych momentach Wszechświata, można orzekać o tym, czy jest on statyczny, czy też ekspandujący lub kontrahujący. Problemem jest jednak możliwość dokładnego wyznaczenia liczbowych wartości średniej gęstości materii Wszechświata nie tylko w obecnym momencie jego ekspansji, ale również w odległej przeszłości. Zatem znów jest to oczekiwanie na rozwój technik obserwacyjnych w tym względzie, a możliwości teoretyczne są interesujące.

Wyznaczanie średniej gęstości materii Wszechświata jest realizowane poprzez zabiegi zliczania obiektów astronomicznych i bezpośrednio związane z nimi badanie rozkładu tych obiektów we Wszechświecie. Chodzi tu o systematyczne zliczanie takich obiektów, jak galaktyki, kwazary, radioźródła na jednostkę objętności, a ściślej do pewnej granicznej jasności gwiazdowej. W efekcie otrzymuje się obserwacyjne wykresy rozkładu obiektów astronomicznych w zależności od jasności gwiazdowych, które z kolei porównuje się z wykresami teoretycznymi wyprowadzanymi zazwyczaj przy założeniu izotropowości i jednorodności rozkładu oraz z uwzględnieniem krzywizny przestrzeni i ekspansji Wszechświata. Ewentualna zgodność tych krzywych prowadziłaby do potwierdzenia zwykłej zasady kosmologicznej i rozstrzygnięć odnośnie do dynamiki Wszechświata i jego krzywizny. Ustalane związki są tu jednak bardzo skomplikowane, a praktyczne możliwości niezbyt duże, więc i efekty testowania bardzo ograniczone[101]. Trudno bowiem uznać za zadowalający test kosmologiczny obserwacje Hubble'a stwierdzające zgodność empirycznej krzywej rozkładu galaktyk do wielkości wizualnej $m = 19$ z krzywą teoretyczną, wyprowadzoną przy założeniu jednorodnego i izotropowego rozkładu galaktyk w statycznej przestrzeni euklidesowej. Galaktyki te są bowiem położone zbyt blisko, aby mógł się zaznaczyć w sposób widoczny wpływ zarówno ekspansji Wszechświata, jak i krzywizny jego przestrzeni. Zresztą może zachodzić tu taka sytuacja, że otrzymana zgodność jest efektem znoszenia się wzajemnego odchyleń spowodowanych równocześnie ekspansją i krzywizną przestrzeni[102]. Widać więc, że ostateczne rozstrzygnięcia w tym względzie są ograniczane nie tylko znacznym skompliko-

[100] D e m i a ń s k i, dz. cyt., s. 261.

[101] P e e b l e s, dz. cyt., s. 56-120.

[102] Z o n n, dz. cyt., s. 73-77; K u c h o w i c z, S z y m c z a k, dz. cyt., s. 88-92.

waniem teoretycznych wzorów, ale i potrzebą badania rozkładu w bardzo odległych obszarach Wszechświata, a to jest obecnie rzeczą praktycznie niemożliwą.

Wreszcie ostatnim liczącym się w kosmologii testem empirycznym jest tzw. obfitość czy też rozpowszechnienie pierwiastków chemicznych we Wszechświecie, zwłaszcza pierwiastków lekkich, tj. wodoru, helu i litu. Stanowi go tzw. uniwersalna krzywa rozpowszechnienia pierwiastków, sporządzona na podstawie bardzo żmudnych obserwacji ilościowego występowania poszczególnych pierwiastków zarówno na Ziemi, w meteorytach, jak i w dostępnej do obserwacji, głównie spektroskopowej, części Wszechświata. Testowanie polega tu na porównaniu owej obserwacyjnej krzywej rozpowszechnienia z analogiczną krzywą teoretyczną, sporządzoną na podstawie proponowanej teorii nukleosyntezy. Ewentualna zgodność tych krzywych stanowi potwierdzenie proponowanej teorii wraz z ogólniejszymi jej założeniami. Brak natomiast takiej zgodności musi prowadzić albo do całkowitego, albo przynajmniej do częściowego jej odrzucenia.

Proponowana współcześnie teoria nukleosyntezy z racji przejętych z fizyki mechanizmów powstawania jąder atomowych lokuje powstawanie pierwiastków lekkich w bardzo wczesnym etapie ewolucji Wszechświata, natomiast pierwiastków ciężkich we wnętrzu gwiazd. Powstawanie więc pierwiastków lekkich stanowi integralną część wspomnianego już modelu standardowego i zachodzi pod koniec ery radiacyjnej, kiedy to temperatura materii Wszechświata była na tyle niska, że istniejące tam promieniowanie elektromagnetyczne nie było w stanie rozbijać powstałych atomów. W efekcie nastąpiło oddzielenie się promieniowania elektromagnetycznego od materii korpuskularnej, która w postaci obłoków wodorowo-helowych przechodziła dalsze etapy ewolucji. Zatem teoria kosmicznej nukleosyntezy, zakładając systematyczny spadek temperatury Wszechświata w następstwie jego ekspansji oraz istnienie we wczesnej bardzo fazie tej ekspansji w odpowiednich ilościach cząstek elementarnych, usiłuje – opierając się na znanych z fizyki mechanizmach syntez poszczególnych jąder atomowych – przewidzieć ilościowe rozpowszechnienie we Wszechświecie pierwiastków lekkich.

Okazuje się, że istnieje duża zbieżność tych przewidywań z danymi obserwacyjnymi[103], co traktowane jest jako potwierdzenie nie tylko samej teorii nukleosyntezy, ale i pośrednio modelu standardowego, a zwłaszcza ekspansji Wszechświata i warunków panujących we wczesnych jego stadiach. Zgodność ta jest również potwierdzeniem zasadności ekstrapolowania naszej wiedzy fizycznej na wczesne etapy ewolucji Wszechświata, tak że powiedzenie, iż „stopień wniknięcia fizyki współczesnej w głąb mikroświata warunkuje jednocześnie możliwość odpowiednio

[103] G. S t e i g m a n, *Modern Cosmology: The Particle Physics Connection*, [w:] *Theory and Observational Limits in Cosmology*, s. 149-171.

głębokiego cofnięcia się w czasie przy otwarzaniu historii Wszechświata"[104], nabiera w świetle tego testu swojej słuszności. Z tych więc racji test ten odegrał ważną rolę w tworzeniu modelu standardowego, a tym samym i współczesnej kosmologii. Nie oznacza to jednak, że jest to potwierdzenie ostateczne, gdyż sam model standardowy zawiera wiele niejasności i wymaga dalszych prac. Niemniej, na obecnym etapie rozwoju kosmologii model ten wydaje się najlepiej opisywać zachowanie się Wszechświata we wczesnym jego rozwoju[105].

Na koniec należałoby chociaż krótko wspomnieć również o tak oczywistym i znanym fakcie jak ciemność nocnego nieba. Fakt ten sam z siebie nie stanowi ostatecznie rostrzygającego testu kosmologicznego, gdyż może być bardzo różne wyjaśniany. Jednym z bardzo prawdopodobnych jest teoria ekspandującego Wszechświata, według której światło pochodzące od odległych galaktyk ulega systematycznemu przesuwaniu się ku czerwieni, w efekcie czego nastanie chwila, kiedy galaktyki przestaną być widoczne[106]. Jest to o tyle proste tłumaczenie, że nie potrzebuje żadnych innych założeń, takich jak skończonego czasu trwania galaktyk, niejednorodnego ich rozmieszczenia, skończoności przestrzennej Wszechświata czy jeszcze innych[107]. Tak więc prosty fakt ciemności nocnego nieba ma również walor testu kosmologicznego, z którym musi się liczyć każda naukowa teoria dotycząca struktury i ewolucji Wszechświata[108].

*

Przeprowadzone rozważania stanowią niewielki, ale – jak się wydaje – bardzo istotny wycinek ogólniejszej problematyki związanej z bazą empiryczną współczesnej kosmologii. Zgodnie z zapowiedzią, główny nacisk w tych rozważaniach został położony nie tyle na samej prezentacji różnorodnych danych empirycznych, jakimi dysponuje współczesna kosmologia, co raczej na ich obecność i funkcjonowanie we współczesnych teoriach kosmologicznych. Zyskało się w ten sposób zarówno ogólny przegląd bazy empirycznej kosmologii, jak i jej wymiar metodologiczny. Zostały bowiem ukazane bardzo różnorodne sposoby funkcjonowania wszystkich najważniejszych danych obserwacyjnych, jakimi dysponuje współczesna kosmologia w podstawowych procedurach naukotwórczych, tj. dochodzeniu do poszczególnych teorii kosmologicznych oraz ich sprawdzaniu. Są to więc analizy z pewnego pogranicza

[104] K u c h o w i c z, S z y m c z a k, dz. cyt., s. 96.
[105] H e l l e r, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, s. 192-198.
[106] H a r r i s o n, dz. cyt., s. 258-260.
[107] B o n d i, dz. cyt., s. 30-37.
[108] H e l l e r, dz. cyt., s. 95.

między treściową tylko prezentacją bazy empirycznej a czysto metodologiczną nad nią refleksją; analizy trudne do przeprowadzenia z pozycji wyłącznie empiryka czy filozofa nauki, a wydające się nieodzownymi przy wszelkiego rodzaju próbach oceny przyrodniczego statusu współczesnej kosmologii.

Przede wszystkim analizy te ukazują ogromne zróżnicowanie zarówno treściowe, jak i funkcjonalne czynnika empirycznego w procedurach naukotwórczych współczesnej kosmologii. Zróżnicowanie to jest w niektórych przypadkach tak duże, że wykracza poza wszelkiego rodzaju schematy proponowane w tym względzie przez filozofię nauki. Faktyczne bowiem funkcjonowanie nauki jest znacznie bardziej skomplikowane niż daje się to ująć w rozważaniach filozoficznych. Niemniej, z racji heurystycznych, prezentacja obecności owego czynnika empirycznego w teoriach kosmologicznych została przeprowadzona osobno w ramach procedur dochodzenia do wiedzy kosmologicznej i osobno w odniesieniu do zabiegów tę wiedzę usasadniających.

W procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej czynnik empiryczny przejawia swoją obecność przynajmniej w trzech podstawowych aspektach. W wymiarze bardzo ogólnym jego uwzględnienie lub odrzucenie decyduje w pewnym sensie o koncepcji uprawiania kosmologii. Jeśli bowiem potraktuje się go jako pewnego rodzaju punkt wyjścia dla rozważań kosmologicznych, to równocześnie jest to opowiedzenie się za tzw. ekstrapolacyjną koncepcją kosmologii. Kosmologia jest wtedy nauką, która swoją wiedzę o wielkoskalowych własnościach Wszechświata buduje na podstawie naszej wiedzy lokalnej. Czynnik empiryczny jawi się więc jako warunek konieczny do jakiegokolwiek orzekania o Wszechświecie jako całości.

Bardzo wyraźnie zaznacza się również obecność czynnika empirycznego w dość często występujących na gruncie kosmologii indukcyjnych procedurach zdobywania wiedzy. Procedury te prowadzą zazwyczaj do pewnych ogólnych twierdzeń lub praw mających jednak w powszechnym przekonaniu wciąż jeszcze charakter zdań empirycznych. Brak natomiast wyraźnych przejawów indukcyjnego dochodzenia do ogólnych teorii kosmologicznych – przynajmniej poprzez indukcyjne formułowanie ogólnych zasad stojących u podstaw tych teorii, tak jak to miało miejsce w przypadku wielu teorii fizykalnych.

Trzeci natomiast przejaw obecności czynnika empirycznego w procedurach dochodzenia do wiedzy kosmologicznej polega na funkcji inspiracyjno-motywacyjnej. Można bowiem wskazać na wiele przypadków w dziejach kosmologii, w których czynnik empiryczny bezpośrednio inspirował, wyznaczał odpowiednią problematykę badawczą czy też motywował poszczególnych uczonych do jej podejmowania i kontynuowania badań.

Analizy natomiast procedur sprawdzeniowych dokonywanych w kosmologii wskazują, że dysponuje ona bogatym i treściowo zróżnicowanym materiałem empirycznym, wykorzystywanym zarówno do falsyfikacji zazwyczaj częściowej, jak i

potwierdzania teorii kosmologicznych. Procedury falsyfikacyjne w ramach kosmologii dokonywane są stosunkowo rzadko i właściwie nie ma takiej teorii kosmologicznej, o której można by powiedzieć, że została całkowicie sfalsyfikowana. Główną przyczyną takiego stanu rzeczy jest fakt, że wszystkie testy, jakimi dysponuje kosmologia, mają zazwyczaj różnorodną interpretację, z których kosmologiczna wydaje się być najbardziej prawdopodobna. W konsekwencji dostrzeżone niezgodności danej teorii z doświadczeniem mogą być jedynie następstwem przyjętej interpretacji dokonywanych obserwacji, a nie faktycznego stanu rzeczy. Stąd możliwości jedynie częściowej obalalności teorii kosmologicznych i w konsekwencji częściowego ich odrzucenia. Nie znaczy to jednak, że w praktyce nie odrzuca się niektórych teorii kosmologicznych traktując je jako całkowicie sfalsyfikowane. Ma to miejsce zwłaszcza w przypadku świata statycznego lub tzw. teorii stanu stacjonarnego. Chociaż wiadomo, że przytaczane w tym względzie obserwacje nie spełniają warunków testu krzyżowego.

Częstym źródłem ograniczenia zabiegów falsyfikacyjnych danej teorii kosmologicznej jest fakt, że teoria ta stanowi jeden z członów koniunkcji wraz z innymi teoriami, założeniami, a nawet warunkami brzegowymi, z której dopiero wyprowadza się implikacje testowe. W przypadku zatem niezgodności tych implikacji z obserwacjami jednoznacznie nie wiadomo, który człon koniunkcji jest fałszywy. Przykładem takiego stanu rzeczy może być tzw. paradoks wieku Wszechświata, gdzie przyczyna niezgodności z obserwacjami tkwiła nie w teorii, a właśnie w źle oszacowanym warunku brzegowym w postaci wartości stałej Hubble'a.

Podstawą do odrzucenia niektórych teorii kosmologicznych lub tylko pewnych ich części jest również ich niezgodność z całą dotychczas przyjmowaną wiedzą, głównie fizyczno-astronomiczną. Widać to na przykładzie teorii nukleosyntezy kosmicznej, która w odniesieniu do pierwiastków ciężkich popadła w sprzeczność nie tylko z obserwacjami, ale i z przyjmowanymi teoriami fizycznymi. W następstwie tego została zastąpiona teorią lokalizującą powstawanie pierwiastków ciężkich we wnętrzu gwiazd.

Ogólnie należy zaznaczyć, że w przypadku faktycznego uprawiania kosmologii stosunkowo rzadko zdarzają się procedury celowego dążenia do sfalsyfikowania istniejących teorii kosmologicznych. Te bowiem, które miały miejsce dokonywane były w następstwie pojawienia się – często nieoczekiwanie – nowych danych empirycznych albo nowych teorii fizykalnych lub astronomicznych, z którymi dotychczasowe teorie kosmologiczne wyraźnie się nie zgadzały. Częściej natomiast obserwuje się zabiegi zmierzające do potwierdzenia istniejących teorii, a nawet podtrzymania teorii obalanych. Tłumaczyć to można z jednej strony tym, że proponowane teorie w trakcie ich tworzenia przeszły już etap nieraz bardzo ostrej rywalizacji z hipotezami konkurencyjnymi i jako takie budziły wystarczający stopień zaufania, aby zająć się ich weryfikacją, a nie obalaniem. Z drugiej natomiast strony niektóre z wysuwa-

nych teorii kosmologicznych okazywały się jedynymi teoriami w danej kwestii i jako takie były za wszelką cenę podtrzymywane – do czasu pojawienia się teorii konkurencyjnych.

Wśród prezentowanych przez współczesną kosmologię testów empirycznych największym zaufaniem cieszą się trzy z nich. Są to pomiary przesunięć linii widmowych odległych galaktyk ku czerwieni wraz z prawem Hubble'a, promieniowanie tła i krzywa rozpowszechnienia pierwiastków chemicznych. Znaczna ich moc konfirmująca zasadza się z jednej strony na dokładności pomiarów, a z drugiej – na bardzo małym prawdopodobieństwie interpretacji konkurencyjnych wobec wyjaśnienia kosmologicznego. W konsekwencji potwierdzane przez te testy teorie odznaczają się znacznym stopniem konfirmowalności i w efekcie dużą akceptowalnością. Odnosi się to w szczególności do tezy o ekspansji Wszechświata, która w większym lub mniejszym stopniu jest potwierdzana przez wszystkie powyższe testy.

Mniejsza natomiast moc konfirmująca pozostałych testów, jakimi dysponuje współcześnie kosmologia, ma swoje źródło głównie w małej dokładności ich pomiarów. W niektórych przypadkach, jak np. odnośnie do rozkładu obiektów astronomicznych, dochodzi dodatkowo złożoność sytuacji testowej. Takie same implikacje mogą być wyprowadzone z różnych teorii i to w ten sposób, że mogą się one wzajemnie znosić. Przykładem jest tu przewidywanie odchylenia od równomiernego rozkładu galaktyk we Wszechświecie. Odchylenie to może być przejawem faktycznie niejednorodnego rozkładu galaktyk, następstwem ekspansji Wszechświata, krzywizny przestrzeni lub wszystkich razem. Może również zachodzić taka sytuacja, że w praktyce odchylenia te się znoszą wskutek tego, że mają równe, ale przeciwne wartości.

Oceniając zatem rolę czynnika empirycznego w procesie unaukowienia kosmologii, należy zaznaczyć, że w przypadku samego tylko funkcjonowania tego czynnika jego rola zasadniczo nie odbiega od tej, jaka ma miejsce w innych naukach przyrodniczych, np. w fizyce. Dane bowiem empiryczne zaznaczają swoją obecność zarówno w procedurach dochodzenia, jak i uzasadniania wiedzy kosmologicznej. Dość wyraźnie jednak różni się kosmologia, gdy chodzi o efekty tych procedur. Spowodowane to jest przede wszystkim samą bazą empiryczną, jaką dysponuje. Stan tej bazy uwarunkowany jest z jednej strony zaawansowaniem technik obserwacyjnych wielkoskalowych obszarów Wszechświata, a z drugiej – swoistością przedmiotu kosmologii, jakim jest Wszechświat. W efekcie baza ta jest w większości przypadków bardzo niedokładna, jeśli chodzi o wartości liczbowe. Ponadto odznacza się znacznym uteoretyzowaniem, a także nosi znamię ekstrapolacji wiedzy lokalnej na wielkoskalowe obszary Wszechświata.

Oczywiście wszystko to ogranicza zaufanie do naukotwórczej funkcji czynnika empirycznego w kosmologii, ale wcale go nie przekreśla. Samo bowiem wskazanie na możliwości odniesień empirycznych stanowiło znaczny postęp w kosmologii w

stosunku do czysto spekulatywnych tendencji lat minionych. Bardziej natomiast adekwatne wypowiedzi w tym względzie wymagają wnikliwych ocen samej bazy empirycznej kosmologii, co może być przedmiotem nowych rozważań.

EMPIRICAL FACTOR IN COSMOLOGICAL THEORIES

S u m m a r y

The article shows different ways of the functioning of the empirical factor in cosmological theories.

In the proceeds of achieving af the cosmological knowledge the empirical factor appears at least in three essential aspects: deciding the conception of practicing in cosmology, taking a part in inductive procedures of acquiring the knowledge and acting the inspirational functions.

In the testibility procedures whereas the empirical factor is used for verification as well as for falsification of the cosmological knowledge. Three tests, that is: redshift of the spectral lines emitted by the galaxies with Hubble's law, cosmic microwave radiation and curve of the element abundances are the most important in cosmology.

The other data, however, have less testibility power mainly because of the small precision of their measurements.

Generally, there are no fundamental differences between cosmology and the other empirical sciences, for example physics, in the ways of the functions of the empirical factor. These differences are visible, however, in the effects of its acrivity, mainly because of the quality of the cosmological tests.