

STANISŁAW MAZIERSKI

CHARAKTERYSTYKA I KIERUNKI ROZWOJU KOSMOLOGII PRZYRODNICZEJ

Współcześnie rozwijają się dwa rodzaje kosmologii: kosmologia przyrodnicza i kosmologia filozoficzna. Pierwsza wyrosła na gruncie nauk fizykalnych, druga zaś oparta na zrębach filozofii arystotelesowsko-tomistycznej, historycznie rzecz ujmując, powstała w wyniku refleksji filozoficznej nad doświadczeniem potocznym. Problematyce kosmologii filozoficznej poświęcono szereg artykułów i opracowań monograficznych. Natomiast kosmologia przyrodnicza jest mało znana nawet wśród studiujących dyscypliny filozoficzne i fizykalne. Co więcej, nie zawsze odróżnia się wyraźnie te dwa typy nauk. Zachodzi więc potrzeba scharakteryzowania kosmologii przyrodniczej i przedstawienia jej dróg rozwojowych.

Kosmologia przyrodnicza jest stosunkowo młodą dyscypliną naukową, która usiłuje określić swoją domenę zainteresowań, metody badawcze i swój stosunek do innych nauk fizykalnych. Nie stanowi ona jeszcze zwartej, logicznie spójnej gałęzi wiedzy przyrodniczej, o czym świadczą różne, czasem rozbieżne, próby jej zdefiniowania. R. A. Lyttleton w przedmowie do pracy zbiorowej pt. *Rival Theories of Cosmology* określa kosmologię¹ jako teorię fizyczną o pochodzeniu, strukturze i rozwoju wszechświata jako całości. A zatem domeną zainteresowań tej dyscypliny fizykalnej jest wszechświat globalnie wzięty. Termin „wszechświat” wymaga uściślenia, zwłaszcza pod względem zakresowym. Nie ma zgodności wśród autorów w definiowaniu tego terminu. Gdy F. Hoyle² twierdzi, że „wszechświat ze swej natury jest zbiorem wszystkich rzeczy”, to i tak nie wiemy, jak należy rozumieć „zbiór wszystkich rzeczy”. Według H. Bondiego³ wszechświat jest „największym zbiorem wszystkich fizycznie interesujących obiektów”, do których nasze prawa fizyczne mogą być zastosowane w sposób konsystentny tak, żeby można było otrzymać pozytywne wyniki. Zbiory partykularne są przedmiotem

¹ H. Bondi, W. B. Bonnor, R. A. Lyttleton, G. J. Whitrow (eds), *Rival Theories of Cosmology (A Symposium and Discussion of Modern Theories of Structure of the Universe)*, London—Oxford—New York—Toronto 1960.

² *Frontiers of astronomy*, New York 1963, s. 270.

³ *Kosmologia*, tłum. z ang. E. Białas i A. Białas, Warszawa 1965, s. 12.

zainteresowania kosmologii o tyle, o ile są częściami największego zbioru, czyli wszechświata, przy czym nie przesądza się, czy ten największy zbiór jest skończony lub nieskończony⁴. Bondi nie precyzuje, co to znaczy stosować prawa fizyczne w sposób konsystentny i jakie to mają być pozytywne wyniki. W związku z rozważanym przedmiotem interesującą uwagę czyni G. B. Kuzniecowa⁵ twierdząc: „Świat jako całość [...] jest wyrażeniem umownym, oznacza ono tylko, iż mówimy o skalach, w porównaniu z którymi odległości między galaktykami są niezmiernie małe”.

Według A. Pacholczyka⁶ kosmologia jest dyscypliną naukową z pogranicza astronomii, fizyki teoretycznej i filozofii, traktującą o wszechświecie jako całości i o dostępnym dla obserwacji obszarze przestrzeni jako części wszechświata. To, co nazywamy wszechświatem, obejmowałoby wszystkie zdarzenia nie leżące na zewnątrz naszego aktualnego stożka świetlnego przeszłości, mogące oddziaływać na nasz stan obecny, oraz te zdarzenia, które mogą oddziaływać na stan układów materialnych w przyszłości. Niektórzy autorzy, jak np. E. Rybka⁷, utożsamiają kosmologię z tym działem astronomii, który się zajmuje poznawaniem ogólnych prawidłowości zachodzących we wszechświecie.

Nie należy jednak utożsamiać astronomii pozagalaktycznej z kosmologią, chociaż pozostają one z sobą w ścisłym związku. Pierwsza z nich zajmuje się ciałami niebieskimi, które znajdują się poza naszą Galaktyką; bada części wszechświata, dostępne dla metod obserwacyjnych. Natomiast kosmologia współczesna zainteresowana jest wszechświatem jako całością. Słuszną uwagę uczynił W. Zonn⁸, że w starożytności greckiej i rzymskiej astronomia była równocześnie kosmologią. Astronomom ówczesnym wydawało się, że domeną ich badań jest cały wszechświat. Kosmologii również nie powinno się utożsamiać z kosmogonią naukową, aczkolwiek związek pomiędzy tymi dyscyplinami jest bardzo ścisły⁹. Kosmogonia jest dyscypliną przyrodniczą, która w oparciu o prawa fizyki i chemii zmierza do wyjaśnienia sposobu powstawania i rozwoju

⁴ W. Zonn, *Kosmologia współczesna*, Warszawa 1968, s. 6.

⁵ *Teoria względności*, Warszawa 1962, s. 250—251.

⁶ Por. A. G. Pacholczyk, *Obserwacyjne aspekty kosmologii*, „Postępy Astronomii”, X (1962), z. 1, s. 17. Pacholczyk pojmuje filozofię jako metodologię nauk fizykalnych, która powinna zająć się również stosowaną w kosmologii teorią ekstrapolacji. Jego zdaniem metodologia przyrodnoznanstwa jest jedyną dziedziną, przez którą może dokonywać się ingerencja filozofii w kosmologię. Natomiast ingerencja taka nie może mieć miejsca przez metafizykę. Pogląd ten podzielać również inni autorzy, nawiązujący do filozofii Koła Wiedeńskiego.

⁷ *Astronomia ogólna*, Warszawa 1968³, s. 19.

⁸ Por. op. cit., s. 9.

⁹ Por. Pacholczyk, l. c., s. 16.

ciał niebieskich. Ze względu na obiekty i metody badań w kosmogonii należałoby wyróżnić (1) kosmogonię planetarną, (2) gwiazdową i (3) nukleosyntezę. Ponieważ prędkość światła, jak każdego promieniowania elektromagnetycznego, jest skończona, potrzeba olbrzymich w skali astro-nomicznej okresów czasu, by promieniowanie mogło dotrzeć do nas z najodleglejszych rejonów wszechświata. Docierając do obserwatora światło niesie z sobą informacje o ewolucji różnych obiektów niebieskich. Przy porównywaniu wyników obserwacji obiektów dalekich i bliskich należy więc uwzględniać zmiany, jakie ewentualnie w nich zaszły.

Narodzin kosmologii należy upatrywać w tym czasie, kiedy zaczęto przypuszczać, że istnieją takie rejony wszechświata, które są niedostępne dla naszych obserwacji, a które mogą w jakiś sposób wywierać wpływ na obszary kosmosu będące w zasięgu naszych obserwacji¹⁰. Jako samodzielna dyscyplina przyrodnicza zaczęła się wyodrębniać poczynając od wydania dzieła Kopernika *De revolutionibus orbium coelestium*. Od tego czasu kosmologia poszerzyła niepomiarne zasięg swych zainteresowań dotyczących olbrzymiego zbioru obiektów fizycznych, pozostawiając otwartą kwestię, czy wszechświat jest skończony czy też nieskończony co do swych rozmiarów przestrzennych. Niemniej jednak była ona nadal rozczłonkowana na szereg dyscyplin, które figurowały pod nazwą astronomii pozagalaktycznej. Dopiero A. Einstein usiłował ogarnąć „cały wszechświat” w jego strukturze i ewolucji, konstruując różne modele wszechświata w oparciu o swą ogólną teorię względności.

Termin „wszechświat”, którym się kosmologowie współcześni posługują, ma charakter teoretyczny. W fizyce atomowej terminami teoretycznymi są np. elektron, proton, neutron, atom, cząstka elementarna itp. Charakteryzują się one tym, że nie występują wprost w zdaniach obserwacyjnych, niemniej pozostają z nimi w związkach logicznych i treściowych. Od zdań teoretycznych oczekuje się pośredniego potwierdzenia w doświadczeniu. Mogą one przybierać różną postać: formuł matematycznych, tautologii logicznych, definicji w uwikłaniu, definicji aksjomatycznych, związków definicyjnych i innych czynników konwencjonalnych. Terminy, zdania teoretyczne powinny być powiązane z terminami i zdaniami empirycznymi, ale linia graniczna pomiędzy nimi nie przebiega w sposób ostry. W miarę jak narasta materiał doświadczalny, bogaci się również aparatura pojęć teoretycznych, a w konsekwencji wymieniona linia demarkacyjna ulega modyfikacjom w sensie bądź ściślejszego, bądź luźniejszego zespolenia elementów empirycznych z teoretycznymi. Terminów teoretycznych nie da się określić poza teorią naukową, do której one należą. Każdy termin teorii naukowej, która

¹⁰ Por. Z o n n, op. cit., s. 9.

pretenduje do podporządkowania i wyjaśniania przedmiotów doświadczenia, powinien dać się zdefiniować (przynajmniej pośrednio) przez odwołanie się do doświadczenia.

Poczynione uwagi w sposób analogiczny dotyczą również terminu „wszechświat”¹¹. Nadaje mu się znaczenia zależnie od teorii kosmologicznej, w której on występuje. A teorie te mogą być różne, jak np. (1) kosmologia newtonowska, (2) kosmologia relatywistyczna, (3) kinematyczna teoria względności (Milne'a), (4) teoria stanu stacjonarnego, (5) teorie A. Eddingtona, P. Diraca i P. Jordana. Spośród nich na szczególną uwagę zasługuje kosmologia relatywistyczna, która usiłuje opisać strukturę i ewolucję wszechświata przy pomocy ekstrapolacji tej ogólnej teorii względności. Zgodnie z wymaganiami współczesnej metodologii nauk przyrodniczych termin „wszechświat”, występujący w teorii Einsteina, był tak określony, żeby z teorii tej, ekstrapolowanej na olbrzymi układ materialny, wynikały zdania obserwacyjne. Podstawą więc, na której buduje się relatywistyczne modele wszechświata, jest ogólna teoria względności, będąca w gruncie rzeczy teorią grawitacji. Jest ona próbą ustalenia związków pomiędzy rozkładem mas a geometrią czasoprzestrzeni. Związki te są określane przez równania pola.

Zagadnienie kosmologiczne, jakie powstaje przy stosowaniu równań pola grawitacyjnego, formułuje się następująco: w jaki sposób wszystkie masy we wszechświecie wpływają na geometrię czasoprzestrzeni? W celu rozwiązania tego zagadnienia przyjmuje się pewne założenia, które odnoszą się do struktury pola grawitacyjnego, ukształtowanego przez wszystkie masy we wszechświecie. W oparciu o te założenia konstruuje się metrykę czasoprzestrzeni i wykorzystuje równania pola w celu ustalenia związków między składowymi tensora metrycznego g_{ik} i składowymi tensora energii T_{ik} . Takie uwarunkowane rozwiązania równań są uważane za modele wszechświata.

Definicję terminu „wszechświat” można uważać za definicję w uwiłkaniu. Warunki i zabiegi wyżej wymienione, prowadzące do skonstruowania modelu kosmologicznego, zawierają w sobie określenie układu, na jaki ekstrapoluje się równanie pola. Ten właśnie układ, objęty ekstrapolacją równań pola, zwie się wszechświatem. A zatem to, co nazywamy wszechświatem, jest skonstruowanym przez kosmologa-relatywistę obrazem teoretycznym, który oczekuje potwierdzenia doświadczalnego swych teoretycznych założeń.

Osobliwy charakter przedmiotu badań kosmologicznych narzuca dobór odpowiednich metod. Osobliwość przedmiotu tkwi w tym, że wszech-

¹¹ Definicji terminu „wszechświat” poświęcony jest artykuł M. Hellera, „Roczniki Filozoficzne”, XVI (1968), z. 3, s. 45—61.

świat jest jeden. W innych dyscyplinach przyrodniczych bada się wspólne, podobne cechy wielu obiektów, należących do określonej klasy przedmiotów, lub też zależności jednych stanów układu materialnego od drugich, ustala się stałe relacje między nimi i wyraża najczęściej w równaniach różniczkowych. Charakterystyki zjawisk (zależność jednych wielkości od drugich) dokonuje się poprzez rozwiązywanie równań w oparciu o określone warunki brzegowe. Nawet prawa ruchu planetarnego wywnioskowano ze znajomości szeregu orbit wielu planet, które to orbity porównywano z sobą. Natomiast w badaniach kosmosu globalnie wziętego nie da się wyróżnić jakichś wspólnych atrybutów, uogólnić zaobserwowanych zależności, odróżnić cech istotnych od przypadkowych. Niemożność bezpośredniego wnioskowania z danych obserwacyjnych wyklucza stosowanie indukcji, pozwalającej przechodzić od zaobserwowanych poszczególnych zjawisk do uogólnień.

Unikalność przedmiotu badań narzuciła kosmologii przede wszystkim metodę ekstrapolacji i metodę aksjomatyczno-dedukcyjną. Metoda ekstrapolacji nie została dotychczas należycie opracowana. Polega ona na tym, że ważność zjawisk, zaobserwowanych w naszych ziemskich warunkach, rozciągamy na cały wszechświat. Łatwo zauważyć, że ten sposób postępowania może być zawodny. Tak np. prawa wzrostu entropii głoszącego, że w układach zamkniętych zdolność energii do wykonania pracy zmniejsza się, czyli że entropia wzrasta, nie możemy zasadnie „rozcigać” na wszechświat globalnie wzięty. Ekstrapolacja tego prawa jest związana z ryzykiem, gdyż nie wiemy, czy kosmos jest układem zamkniętym czy otwartym.

Ale są przypadki, że ekstrapolację stosujemy bez większej obawy błędzenia. Tak np. prawo grawitacji, ważne w naszych warunkach ziemskich, w systemie słonecznym „rozcigamy” na wszystkie masy rozmieszczone w całym kosmosie. Innymi przykładami ekstrapolacji może być uogólnienie podstawowego faktu obserwacyjnego współczesnej kosmologii, jakim jest poczerwienie widma galaktyk oraz akceptacja izotropowego rozmieszczenia galaktyk. Zaobserwowane przesunięcie widma mgławic ku czerwieni przypisujemy wszystkim mgławicom w kosmosie i uważamy je za wskaźnik, że mgławice oddalają się od obserwatora, czyli że wszechświat się rozszerza. Na podstawie stopnia poczerwienia widma oblicza się odległość i prędkość, z jaką mgławica od nas się oddala. Przyjmuje się również, że galaktyki są izotropowo rozmieszczone we wszechświecie, a w konsekwencji, że przestrzeń jest izotropowa i jednorodna. Izotropowość wskazywałaby na równoważność wszystkich kierunków w kosmosie, czyli na to, że nie ma w nim uprzywilejowanych kierunków, jak np. w kryształach. Izotropowość przestrzeni implikuje jej jednorodność, czyli taką własność, że nie ma w niej (sc. przestrzeni)

uprzywilejowanych punktów czy obszarów, w których procesy fizyczne zachodziłyby inaczej niż w innych obszarach. Izotropowość i jednorodność wszechświata są wyrażone w tzw. zasadzie kosmologicznej, głoszącej, że poznanie fizycznej struktury kosmosu jest niezależne od położenia obserwatora. W koncepcji stacjonarnego wszechświata przyjmuje się jeszcze ściślejszą tzw. doskonałą zasadę, według której „w każdej chwili czasu widzimy ten sam jednorodny i izotropowy rozkład galaktyk”, czyli że poznanie wszechświata jest niezależne nie tylko od położenia, lecz również od czasu obserwacji. Dotychczasowe obserwacje astronomiczne dostatecznie potwierdzają treść zasady kosmologicznej o jednorodności i izotropowości przestrzeni.

Kosmologiczne tezy obserwacyjne, podobnie jak w innych dyscyplinach przyrodniczych teoretycznie zaawansowanych, są powiązane z ogólnymi założeniami teorii. Zdania obserwacyjne, wynikające z kosmologii relatywistycznej, nazwano testami kosmologicznymi. Służą one do potwierdzenia lub obalenia testowanego modelu kosmologicznego. Jeżeli przyjmujemy teorię ekstrapolującego wszechświata, to również musimy uznać fakt, że im bardziej odległe obszary kosmosu będziemy obserwować, tym bardziej cofać się będziemy w czasie. Ta okoliczność prowadzi do wniosku, że na wielkich odległościach astronomicznych powinny dać się zaobserwować takie zjawiska, które są przewidziane przez dany model dla wcześniejszych okresów ewolucji wszechświata. W kosmologii współczesnej dąży się do budowania pomostów, łączących poznane rejony ze zbiorem obiektów największym ze wszystkich możliwych¹². W tym celu kosmologowie korzystają z osiągnięć fizyki (np. fizyki jądrowej, termodynamiki, teorii pola grawitacyjnego, teorii pola elektromagnetycznego), kosmogonii, radioastronomii¹³ itp. One to służą szczególnie do testowania teorii kosmologicznych. Dane obserwacyjne uzyskane przez różne dyscypliny fizykalne wymagają interpretacji, która implikuje konieczność przyjęcia jakiejś teorii kosmologicznej.

Inną metodą badań kosmosu jest metoda dedukcyjna. Rzecznicy tej

¹² Por. Z o n n, op. cit., s. 7.

¹³ Radioastronomia, którą określa się jako „badanie ciał niebieskich przez odbiór wysyłanych przez nie fal radiowych”, powstała w czasie ostatniej wojny światowej w wyniku badań nad radarem. Stanowi ona jeden z najnowszych działów współczesnej astronomii, zajmującej się radiogwiazdami i innymi obiektami niebieskimi, leżącymi niejako na krańcach dostępnego nam wszechświata. Por. F. G. Smith, *Radioastronomia*, tłum. z ang., Warszawa 1966, s. 5. Duże znaczenie dla kosmologii mają również badania z tzw. astrofizyki jądrowej. Zagadnienia syntezy i pochodzenia pierwiastków chemicznych we wszechświecie są ściśle związane z problematyką kosmicznej ewolucji i mogą rzucić wiele światła na wczesne stadia rozwoju kosmosu. Por. G. Burbidge, *Nuclear astrophysics*, tłum. z ros., Moskwa 1964.

metody utrzymują, że założenia poszczególnych nauk fizykalnych mają swój sens tylko wtedy, gdy przypiszemy przestrzeni i czasowi pewne ogólne właściwości, o których wspomniano przy omawianiu ekstrapolacji. Dopiero wówczas jesteśmy uprawnieni twierdzić, że zjawiska przebiegają jednakowo w różnych obszarach wszechświata. Wspomniany postulat jest równoważny przyjęciu ogólnych założeń, dotyczących wszechświata jako całości. W ten sposób fundamentalne prawa kosmologii stają się bezpośrednią konsekwencją dokonanych a priori założeń, które tkwią u podstaw każdej dziedziny fizyki. Te podstawowe prawa odgrywają rolę aksjomatów, które kosmologowie wyrażają w postaci równań matematycznych. Dla postępu wiedzy kosmologicznej trzeba nieraz uzupełnić zasadnicze postulaty innymi, mniej podstawowymi. W wyborze tych dodatkowych aksjomatów kosmolog inspirowany jest osiągnięciami fizyki ziemskiej. Wyprowadzone w sposób dedukcyjny wnioski z ogólnych założeń (aksjomatów) powinny być ważne nie tylko dla kosmologii, ale i dla całej fizyki. Zgodnie z tym punktem widzenia kosmologia jest najbardziej fundamentalna ze wszystkich dziedzin wiedzy, właściwym punktem wyjścia dla wszystkich rozważań przyrodniczych.

Typowym przykładem metody dedukcyjnej stosowanej w kosmologii jest ta, którą posługują się twórcy relatywistycznych modeli wszechświata. A oto jak, według A. Einsteina, dochodzi się do uchwycenia najogólniejszych zasad kosmologicznych, na których opiera się matematyczna konstrukcja kosmologii: „Najważniejszym zadaniem fizyki jest odnalezienie najogólniejszych, najprostszych praw, z których można uzyskać obraz świata, uciekając się do czystej dedukcji. Do tych najprostszych praw nie dochodzi się drogą logiczną, lecz tylko intuicją, opartą na wczuwaniu się w doświadczenie. Wobec takiej niepewności metody robi się przypuszczenie, że obok siebie może istnieć dowolna ilość równorzędnych systemów fizyki teoretycznej. Pogląd taki jest w zasadzie słuszny”¹⁴. Fizyk-teoretyk musi najpierw znaleźć te ogólne zasady, aby mógł z nich wyprowadzić wnioski. Einstein zaznacza, że w poszukiwaniu tych zasad „nie rozporządzamy tu żadną odpowiednią do systematycznego stosowania metodą, której byśmy mogli się nauczyć, a która by doprowadziła nas do pożądanego celu. Badacz musi tu raczej podpatrzeć niejako u natury owe ogólne zasady i przez obserwację większych zespołów faktów, uzyskanych na drodze doświadczałnej, ustalać pewne rysy ogólne, które można sformułować w sposób dokładny [...]. Rozum daje konstrukcję systemu; treści doświadczenia i ich stosunki wzajemne winny znaleźć swój obraz przy pomocy wniosków należących do teorii. Nie podpadające dalszej dedukcji logicznej pojęcia podstawowe

¹⁴ E. Einstein, *Mój obraz świata*, tłum. S. Łukowski, Warszawa 1935, s. 181.



i prawa podstawowe stanowią nieuniknioną, nie dającą się racjonalnie ująć część teorii'¹⁵. Dodajmy, że aczkolwiek mogą istnieć obok siebie różne systemy fizyki teoretycznej, różne teorie kosmologiczne, to jednak z biegiem czasu zwycięża ta, która najlepiej zdaje egzamin przed trybunałem doświadczenia.

Dla ilustracji tych wywodów nawiążmy raz jeszcze do wypowiedzi Bondiego, który postawił podstawowe zagadnienie kosmologiczne w sposób następujący: „Jaki jest największy zbiór obiektów, do których nasze prawa fizyczne mogą być stosowane, [...] aby otrzymać pozytywne wyniki? Jaki jest zbiór wszystkich fizycznie interesujących obiektów?”. Każdy z tych dwóch zbiorów nazywa się nieraz wszechświatem. Początkowo nie odróżniano tych pojęć. Jeden ze sposobów odpowiedzi na postawione pytania polega na konstruowaniu różnych modeli wszechświata. Na pytanie, który z tych możliwych wszechświatów-modeli jest naprawdę zrealizowany, mogą dać odpowiedź wyniki obserwacji, gdyż nie ma teoretycznych podstaw do wyróżnienia któregokolwiek z tych modeli. W języku technicznym kosmologów za modele wszechświata uważa się różne rozwiązania równań pola grawitacyjnego przy jednoczesnej akceptacji tzw. zasady kosmologicznej. A oto przykład równania, wynikającego z równań pola grawitacyjnego,

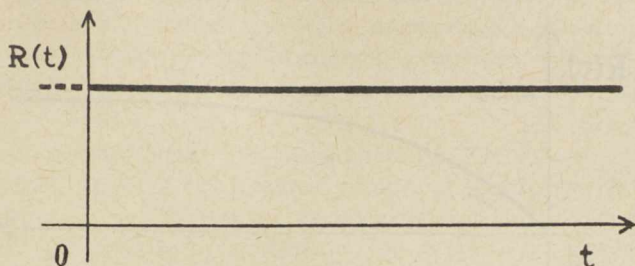
$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = \frac{C}{R} - k + \frac{1}{3} c^2 \lambda R^2$$

w którym C oznacza stałą proporcjonalną do masy zawartej w kuli o jednostkowym promieniu, c — prędkość światła, λ — stałą kosmiczną o wymiarze cm^{-2} , k — parametr o wymiarze sek^{-2} , określający krzywiznę przestrzeni.

Jeżeli $k = -1$, przestrzeń jest hiperboliczna. Jeżeli $k = 0$, przestrzeń jest Euklidesowa. Jeżeli $k = +1$, przestrzeń jest eliptyczna. Z przytoczonego równania wyprowadzamy (dla różnych wartości k i λ) modele wszechświata, mieszczące się w ramach kosmologii relatywistycznej i obrazujące ewolucję kosmosu. Ewolucja ta przebiega w określony sposób. Wobec tego możemy ją matematycznie opisać przy pomocy funkcji zależnej od czasu. Jeżeli na osi odciętych odmierzać będziemy okresy czasu t , to na osi rzędnych otrzymamy wartości określonej funkcji $R(t)$, gdzie R oznacza promień wszechświata. A oto niektóre charakterystyczne modele kosmosu w postaci graficznej:

¹⁵ Por. Przemówienie powitalne Einsteina, wygłoszone w Pruskiej Akademii Umiejętności w 1914 r.

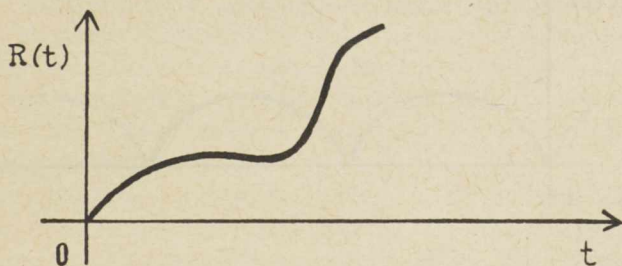
Statyczny model wszechświata bez ekspansji



Rys. 1

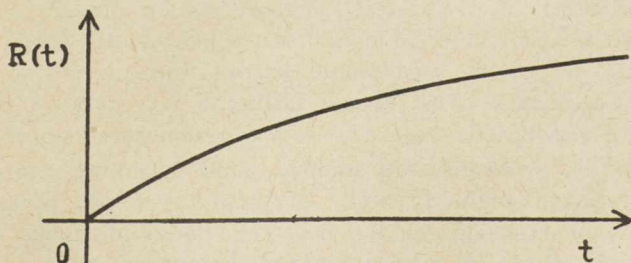
Monotoniczne ekspandujące modele z osobliwym punktem początkowym 0 (tzn. dla $t = 0$ $R = 0$)

a) Model, w którym ekspansja zmniejsza się do pewnego minimum, po czym znowu wzrasta:



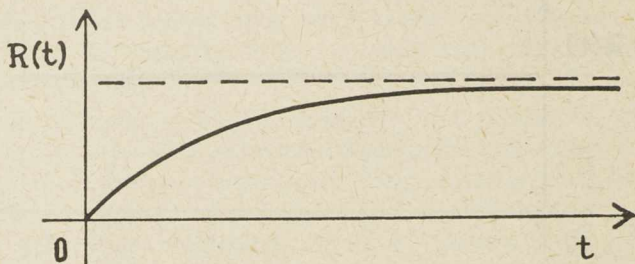
Rys. 2

b) Model, w którym tempo ekspansji jest malejącą funkcją czasu:



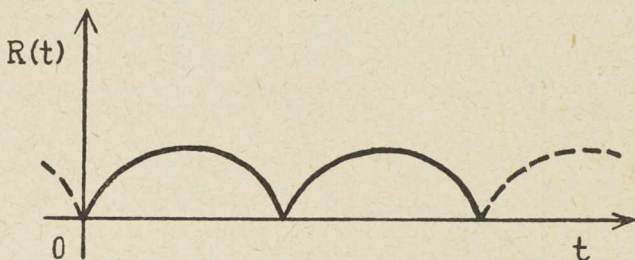
Rys. 3

c) Model, w którym ekspansja zmierza do granicy, gdy $t \rightarrow \infty$:



Rys. 4

d) Model, w którym ewolucja oscyluje pomiędzy $R(t) = 0$ i skończoną maksymalną wartością $R(t)$. Według tego modelu wszechświat rozwija się cyklicznie:



Rys. 5

Naszkicowane modele stanowią tylko niektóre przypadki spośród wielu możliwych rozwiązań przytoczonego wyżej równania. Jeżeli wszechświat podlega ewolucji, to światło, które przychodzi do obserwatora z ogromnych odległości kosmicznych, powinno zawierać informacje o wczesnej historii kosmosu. Jeżeli takiej ewolucji nie ma, światło powinno zawierać informacje o nieobecności tej ewolucji. Wśród kosmologów wyłania się zatem zagadnienie bardzo kontrowersyjne początku i ewolucji wszechświata. Na uwagę zasługują trzy typowe odpowiedzi będące próbą rozwiązania tego od wieków pasjonującego problemu.

(i) „Początek” wszechświata stanowi punkt osobiwy, który leży na linii zainteresowań wielu dyscyplin przyrodniczych. Na pytania, dotyczące faktów poprzedzających ten początek, nauki nie mogą dać odpowiedzi. Zresztą nie są to właściwe dla nich pytania, gdyż znajdują się poza zakresem ich możliwości badawczych.

(ii) „Początek” był stanem szczególnie prostym, najbardziej harmonijnym i najbardziej trwałym. Początek ten zawierał w sobie załóżki ewolucji, które — nie wiadomo, w jakim momencie i z jakiego powodu — zapoczątkowały łańcuch skomplikowanych procesów. Filozofia chrześcijańska upatruje w tym punkcie osobliwym ingerencję Bożą, która zapoczątkowała ewolucję.

(iii) Wiek wszechświata jest nieskończony. Nie można więc mówić zasadnie o jego „początku”. Kosmos w skali nieporównywalnej z wielkościami fizycznymi, z jakimi mamy do czynienia, albo się nie zmienia, albo — jeśli się zmienia — podlega odwiecznym, cyklicznym zmianom (rys. 5).

Nawiązując do poczynionych uwag w tym artykule, dotyczących przedmiotu, metod badań i stawiania problemów kosmologicznych, przedstawimy w zakończeniu schematycznie i ogólnie tylko tendencje rozwoju współczesnej kosmologii, idące w następujących kierunkach.

1° Badania teoretyczne. W pierwszej fazie rozwoju kosmologii tworzono modele wszechświata znacznie uproszczone. Uproszczenie polegało przede wszystkim na zakładaniu wysokiego stopnia symetrii przestrzeni: początkowo badano prawie wyłącznie modele z przestrzenią jednorodną, izotropową, w których obowiązuje tzw. zwykła zasada kosmologiczna¹⁶. Obecnie zachodzi konieczność badania modeli o mniejszym stopniu symetrii, dlatego rozpatruje się odchylenia od jednorodności i izotropii. A. Raychaudhuri¹⁷, jako jeden z pierwszych, badał modele z odchyleniami od jednorodności.

A. Einsteina teoria względności (łącznie z kosmologią relatywistyczną) stwarza nowe problemy matematyczne. Co roku ukazuje się wiele prac dotyczących matematycznej struktury teorii względności, a zatem fizyka relatywistyczna przyczynia się do rozwoju matematyki. Ale i odwrotnie, rozwój matematyki stwarza nowe zadania w teorii względności, tak np. teoriomnogościowe przedstawienie różnych działów matematyki szczególnie dobrze nadaje się do uściślenia geometrycznego aparatu (łącznie z rachunkiem tensorowym) teorii względności i kosmologii¹⁸. Nadal aktualnym terenem badań w fizyce relatywistycznej jest zagadnienie

¹⁶ Z tego etapu badań kosmologicznych zdają sprawę prace H. Bondiego (*Kosmologia*, Warszawa 1965) i R. C. Tolmana (*Relativity, Thermodynamics and Cosmology*, Oxford 1934).

¹⁷ Por. *Relativistic Cosmology*, „The Physical Review”, 4 (1955) 1123—1126. Przegląd prac dotyczących modeli anizotropowych i izotropowych, ale niejednorodnych, można znaleźć u J. Merleau-Ponty (*Cosmologie du XX^e siècle*, [b.m.w.] 1965, s. 286—296).

¹⁸ Por. A. Trautman, *Foundations and Current Problems of General Relativity*, New Jersey 1964.

kwantowania pola. Przewiduje się, że ta problematyka prędzej czy później trafi również na grunt kosmologii relatywistycznej¹⁹.

2° Wielką wagę przywiązuje się do osiągnięć astronomii pozagalaktycznej, która zajmuje się badaniem obiektów astronomicznych, leżących poza granicami naszej Galaktyki. Z natury rzeczy badania te graniczą z problematyką struktury i ewolucji wszechświata. Według niektórych autorów tego rodzaju „kosmologia obserwacyjna” może skutecznie zastąpić np. kosmologię relatywistyczną, zbudowaną przez ekstrapolację ogólnej teorii względności. W każdym razie znaczenie badań pozagalaktycznych dla kosmologii jest bezsporne. Obserwacje powinny dostarczyć kosmologom wiadomości o gęstości i rozkładzie mas we wszechświecie. Obecnie coraz większe zainteresowanie budzą wyniki badań nad ewolucją galaktyk i gromad galaktyk, gdyż zagadnienie to jest istotne dla ewolucji wszechświata jako całości. Przyszłość przed sobą mają zapoczątkowane badania radioźródeł i kwazarów, a w szczególności w centrum uwagi przyrodników znajduje się problem kosmologicznego czy niekosmologicznego pochodzenia kwazarów²⁰.

3° Od kosmologii jako dyscypliny przyrodniczej oczekujemy potwierdzenia doświadczalnego jej tezy. Temu ma służyć testowanie modeli kosmologicznych, pozostające w ścisłym związku z astronomią pozagalaktyczną. Kosmologowie spodziewają się doświadczalnych, konkretnych wyników w związku z możliwością kosmologicznej genezy kwazarów. Odkrycie izotropowego promieniowania tła²¹, praktycznie rzecz biorąc, już wyeliminowało kosmologię Bondiego i Hoyle’a. Istnienie tego promieniowania preferuje modele ewolucyjne, zakładające punktowe źródła promieniowania. Pochodzenie promieniowania tła wiąże się z su-

¹⁹ Przegląd zagadnień matematycznych związanych z kwantowaniem w mechanice relatywistycznej można znaleźć u J. E. Segala (*Mathematical Problems of Relativistic Physics*, Providence 1963).

²⁰ Astronomowie, pracujący na Mount Palomar w latach 1960—1961, odkryli cztery bardzo intensywne radioźródła. Analiza spektralna tych radioźródeł ujawniła istnienie widma o liniach emisyjnych dotychczas nie spotykanych, które naprowadziły astronomów na myśl, że mają do czynienia z nowym rodzajem ciał niebieskich. Ze względu na to, że obiekty te są podobne do gwiazd, astronom amerykański J. L. Greenstein nadał im nazwę quasi-stars, czyli quasi-gwiazdowych radioźródeł, stąd skrótowa nazwa polska — kwazary. Widma kwazarów są jeszcze bardziej poczerwienione niż widma dotąd znanych galaktyk. Fakt ten wskazuje na to, że kwazary są najbardziej odległymi ciałami niebieskimi spośród dotychczas odkrytych. Por. również Rybka, op. cit., s. 503—527.

²¹ Przedmiotem badań kosmologicznych są również własności kinematyczne wyidealizowanego ośrodka ciągłego, zwanego kosmologicznym substratem-tłem. Przyrodnicy dopatrują się analogii pomiędzy stosunkiem pojedynczych galaktyk do tego substratu a stosunkiem molekuł gazu do gazodynamicznego ośrodka ciągłego.

per-gęstymi stadiami w ewolucji kosmosu²². Kosmologowie oczekują obserwacyjnych wyników w tej dziedzinie. Niewątpliwie możliwość obserwacji astronomicznych czy radioastronomicznych z pokładów sztucznych satelitów lub z powierzchni Księżyca zwiększy szanse wykonalności testowania modeli kosmologicznych.

Jedną z najbardziej palących spraw, od której zależy rozwój kosmologii przyrodniczej, jest metodologiczne opracowanie tej dyscypliny. Metodologia kosmologii współczesnej jest dziedziną prawie nie tkniętą. Problemy o charakterze metodologicznym (np. zagadnienie ekstrapolacji), jak w żadnej innej nauce, wiążą się tu istotnie z fizyczną treścią samej kosmologii. Analizy języka tej dyscypliny są niezwykle pożądane. Brak precyzji pojęć odbija się bardzo niekorzystnie na konstrukcji teorii kosmologicznych, które grzeszą nieraz swą fikcyjnością.

CHARACTERISATION AND DIRECTIONS OF DEVELOPMENT IN THE SCIENTIFIC COSMOLOGY

Summary

Two kinds of cosmology develop today: the scientific and the philosophical one. This last, dating from the times of Aristotle, arised as a result of philosophic reflection and current experience. Whereas the scientific cosmology is „a physical theory of the origin, structure and development of the universe as a whole.”

The term „universe” is laden with ambiguity. It gets its significance according to the cosmological theory, in which it appears. It has another significance in the Newtonian cosmology, and another one in the relativistic cosmology, in Milne's kinematic relativity, in the steady — state theory, and still another one in the theory of A. Eddington, P. Dirac and Jordan. We must regard the definition of the term „universe” as a contextual definition.

The object of cosmology has a peculiar character, because the universe, which it explores, is one. The unic object of exploration has imposed on the cosmology the method of extrapolation and the axiomatical — deductive method. The first of these methods has not yet been duly elaborated till now.

The cosmologists, diverging from the common cosmological principle, give more attention to the exploration of models with a smaller degree of symmetry.

At present a greater and greater interest is aroused by the results of the researches in the domain of the evolution of nebulae and the clusters of nebulae, because these results are closely connected with the evolution of the universe. The future belongs to the exploration of radio stars and quasi-stars. In the focus of attention of the scientists is the problem of cosmologic or unc cosmologic provenience of the quasi-stars.

²² Por. P. J. E. Peebles, D. T. Wilkinson, *The Primeval Fireball*, „Scientific American”, 6 (1967) 28—37.

A condition of the development of cosmology is the elaboration of the methodology of this scientific branch. The methodologic problems are substantially connected with the physical content of cosmology itself. The lack of precision of conceptions has an unfavourable influence upon the construction of cosmologic theories.