

MICHAŁ HELLER I KONRAD RUDNICKI

EWOLUCJA ZASADY KOSMOLOGICZNEJ

(STUDIUM KOPERNIKOWSKIE)

O. WSTĘP

Każdy pogląd na budowę Wszechświata opiera się na mniej lub bardziej racjonalnych założeniach. Ponieważ Wszechświat z definicji jest czymś przekraczającym nasze bezpośrednie sąsiedztwo, dlatego przynajmniej niektóre z tych założeń muszą wychodzić poza dane obserwacyjne. Zbiór tego rodzaju założeń, najogólniej biorąc, można nazwać zasadą kosmologiczną. W tym sensie zasada kosmologiczna leży u podstaw jakichkolwiek poglądów dotyczących Wszechświata jako całości. Jest to słuszne zarówno w odniesieniu do przednaukowych poglądów jak i najbardziej zmatematyzowanych, współczesnych teorii kosmologicznych.

Zasada kosmologiczna, która stanowi jedno z podstawowych założeń współczesnej kosmologii (rozumianej jako ścisła nauka empiryczna) niewątpliwie tkwi korzeniami w dziele Mikołaja Kopernika. W związku z 500-leciem urodzin wielkiego astronoma w gronie polskich kosmologów był szeroko dyskutowany metodologiczny, epistemologiczny i fizyczny status zasady kosmologicznej. W niniejszym artykule chcemy dokonać niejako podsumowania tej dyskusji oraz wzbogacić ją o aspekt historyczny sięgając aż do najstarszych spisanych poglądów na temat budowy Wszechświata, to znaczy do poglądów pra-hinduskich. Tak szerokie ramy czasowe ewolucji zasady kosmologicznej niech będą usprawiedliwieniem dużych uproszczeń i selekcji w wyborze materiału historycznego. Nie szło nam bowiem o analityczne opracowanie szczegółów, lecz o naszkicowanie idei wiodących w myśli kosmologicznej, a to celem głębszego zrozumienia dzieła Kopernika.

1. PRA-HINDUSKA ZASADA KOSMOLOGICZNA

Najstarsze pisane ślady poglądów kosmologicznych należą do kultury starohinduskiej. Aczkolwiek są to księgi spisane stosunkowo niedawno, to znaczy około 2,5—3 tysiącleci temu, odzwierciedlają poglądy znacznie starsze, sprzed wkroczenia aryjskiego ludu pra-hinduskiego na Półwysep Indyjski¹, a więc epoki datującej się na circa 7—5 tysiącleci przed Chrystusem. Należy uważać, że treść tych ksiąg była przekazywana ustnie przez tysiąclecia, czemu nie przeczy fakt, że niektóre fragmenty tekstów mogły zostać zredagowane lub ułożone później, niedługo przed okresem ich spisania lub nawet w czasie spisywania. Chronologia spisywania poszczególnych ksiąg nie odpowiada przy tym kolejności powstawania samych utworów²). Poglądy przedstawione w starych zabytkach piśmiennictwa hinduskiego są mieszaniną wyrafinowanej myśli poznawczej, prób spopularyzowania tej myśli dla potrzeb przeciętnego słuchacza (później — czytelnika), a nawet — miejscami — wierzeń ludowych. Jeśli chcemy porównywać pomiędzy sobą nie poglądy ludowe, ani prace popularno-naukowe, lecz poglądy wiodącej kulturalnie czołówki, poglądy elity — a o to idzie nam w tym artykule — należy również przy rozpatrywaniu poglądów prahinduskich wybrać te, które noszą piętno najbardziej podstawowych, najogólniejszych i swoim charakterem świadczą o pochodzeniu od jednostek stojących na najwyższym stopniu rozwoju duchowego rozpatrywanej epoki. Dla naszych celów nie ma też potrzeby zatrzymywania się nad „lokalnymi” poglądami kosmologicznymi, dotyczącymi powstania naszej Ziemi, lecz wyłącznie nad tym, co dotyczy budowy i ewolucji Wszechświata jako całości.

Starożytny, kulturalny Hindus, a raczej pra-Hindus, nie traktował ani swego życia, ani Ziemi na której żył za coś godnego porównania z bezmiarem Bóstwa, lub choćby z bezmiarem całości stworzenia. Aczkolwiek wtórny w stosunku do Bóstwa Wszechświat uważał za posiadający początek w czasie, to jednak odczuwał przede wszystkim niezmierność rozmiarów przestrzennych i czasowych Wszechświata, praktycznie nieskończenie wielkich w porównaniu ze wszystkim, co może być poznane zmysłami człowieka. Ziemia nie pretenduje tu w każdym razie do roli części w jakikolwiek sposób wyróżnionej we Wszechświecie. Może najwyraźniej jest to wyrażone w rozmowie 11 *Bhagawad Gity*³, gdzie mowa jest o wielości światów mierzonej ich „milionami”, co w praktyce oznacza liczbę przekraczającą możliwości naszej wyobraźni. Wyraźnie mówi się też, że obecny byt Wszechświata poprzedzony jest podobnymi bytami w czasie i będzie zastąpiony dalszymi⁴.

¹ Por. S. Radhakrishnan, *Filozofia indyjska*, Warszawa 1958, t. I, 92.

² Radhakrishnan, dz. cyt., 84—85.

³ *Bhagawad Gita*, tłum. polskie: W. Dynowska, Madras 1956.

⁴ Dz. cyt., rozmowa 8, ww. 16—18.

Te najstarsze, zapisane w historii poglądy kosmologiczne pochodzą z czasów sprzed narodzin filozofii, z czasów, gdy człowiek posługiwał się bardziej uczuciem niż logiką w wyrażaniu poglądów na najważniejsze problemy poznawcze. Dlatego mówienie o prahinduskiej zasadzie kosmologicznej jest w pewnej mierze imputowaniem naszego sposobu myślenia kulturze, która z formułowaniem zasad przyrodoznawstwa nic nie miała wspólnego. Można jednak twierdzić, że gdyby współczesny filozof przyrody miał na podstawie poglądów starohinduskich sformułować zasadę kosmologiczną, mógłby powiedzieć: Ziemia wraz z zamieszkującą ją ludzkością nie zajmuje we Wszechświecie miejsca wyróżnionego ani pod względem przestrzeni, ani pod względem czasowego trwania. Należy to rozumieć w ten sposób, że oprócz „świata ziemskiego” istnieją współcześnie i inne światy oraz, że światy takie istniały wtedy, gdy Ziemi jeszcze nie było i będą istnieć, gdy Ziemi już nie będzie. Nie wynika z tego wcale, by te inne światy musiały być co do szczegółów podobne do świata ziemskiego. Wszechświat, jako odbicie Bóstwa, może być niesłychanie różnorodny.

Tymczasem pochodnię kultury przejęły od Hindusów inne narody. Nie zważając na pewne kontrowersje dotyczące szczegółów możemy z grubsza przyjąć, że w ciągu następujących po sobie tysiącleci centrum kultury przemieszczało się coraz bardziej na zachód tworząc kolejno kultury pra-perską, egipsko-chaldejsko-babilońską i wreszcie grecko-rzymską⁵, którą też można nazwać antyczną. Podobnie jak kultura prahinduska, również kultury pra-perska i egipsko-chaldejsko-babilońska znane są z zabytków piśmiennictwa zredagowanych znacznie po okresie świetności.

O ile dla kulturalnego Hindusa samodzielne, istotne znaczenie miał wyłącznie świat duchowy, a świat materialny był w zasadzie pozorem, „mają”, mogącą mieć znaczenie co najwyżej jako przejaw duchowości, o tyle w kulturze pra-perskiej świat materialny jest odczuwany już jako równorzędny duchowemu. Dla Hindusa zło przestaje być złem, jeśli spojrzymy na nie z perspektywy świata duchowego, stąd byt zła jest znacznie mniej realny niż byt dobra. W poglądach pra-perskich istnienie zła jest równie realne, jak istnienie dobra. W dalszym ciągu byt materii i związanego z nią odczucia zła podporządkowuje jednak Pers światu duchowemu, jako bardziej wzniosłemu. Kultura egipsko-chaldejsko-babilońska, to dalsze stadium w drodze do materialnego pojmowania świata. Ważny jest dla niej przede wszystkim świat materialny. Światowi duchowemu nadal w teorii przypisuje się prymat. W praktyce jednak ceni się świat ducha przede wszystkim jako źródło wiedzy do

⁵ Por. np. R. Steiner, *Die Geheimwissenschaft im Umriss*, Dornach 1962²⁷, 273—294.

opanowania świata zmysłowego, zwłaszcza do wpływania na niego za pośrednictwem zabiegów magicznych. Przeciętny, kulturalny Babilończyk w religii i wiedzy tajemnej widzi przede wszystkim pomoc w wygodnym urządzeniu się na Ziemi.

2. ANTYCZNA ZASADA KOSMOLOGICZNA

Mówiąc o poglądach hinduskich i pra-hinduskich, operowaliśmy dość dowolnie terminami „duch”, „duchowy”, „materia”, „materialny”. Jest to o tyle usprawiedliwione, że nasz współczesny język nie dysponuje wyrazami, które by jednoznacznie — lub przynajmniej dość dokładnie — oddawały treść staro-wschodnich pojęć. Nasze pojęcia „duch”, „materia” skryształizowały się stopniowo, swoją obecną „zawartość” zawdzięczają one w dużej mierze filozofii greckiej (powstawanie tych pojęć i ich odpowiedniki w najstarszej kulturze Wschodu — to tematy nadające się do odrębnego studium).

Jeśli nawet samo słowo „materializm” jest tworem znacznie późniejszym, to faktyczny materializm (zarówno metodologiczny, jak i ontologiczny) pojawia się już w starożytnej Grecji. Wprowadzie pojęcie Bytu Duchowego znajduje się wśród wtajemniczeń najwyższych stopni, a nawet coraz bardziej „wyostrza się” pod piórem niektórych filozofów „apeiron” Anaksymandra, „logos” Heraklita, „nous” Anaksagorasa — to tylko pierwsze ogniwa tego procesu), w zasadzie jednak przeciętny, kulturalny Grek interesuje się otaczającym go, materialnym światem. Jeśli nawet pierwotnie poszukuje uzasadnienia świata materialnego w mitach o takiej, czy innej fizycznej działalności bogów (ograniczonych przestrzennie i czasowo, w zasadzie podległych prawom fizyki, można by rzec — bogów materialnych), to dość szybko zastępują tę działalność po prostu siłami przyrody. Już w atomistycznym systemie Leukipposa i Demokryta wszechświat fizyczny pojęty jako zbiorowisko niezniszczalnych atomów znajduje uzasadnienie sam w sobie.

Te tendencje doprowadziły do powstania metodologicznej zasady (po raz pierwszy wyraźnie sformułowanej prawdopodobnie przez Ockhama w postaci jego sławnej „brzytwy”) domagającej się, by świat badać bez odwoływania się do przyczyn pozaświatowych. W tym sensie można mówić o metodologicznym materializmie, czy metodologicznym ateizmie nauki⁶.

Przeciętny Grek nie przeczy istnieniu innych światów poza fizycznym. Jeśli te światy jednak istnieją, to jedynym ich celem jest wpływanie, jeśli nie użyć wyrazu „służenie” światu ziemskiemu, materialnemu.

⁶ W całym artykule terminem „nauka” określamy wyłącznie ściśle nauki empiryczne. W szczególności tego terminu nie używamy w odniesieniu do filozofii. Jest to rozróżnienie robocze, wprowadzone wyłącznie na użytek tego artykułu.

Do tego obrazu świata miesza się tu czynnik mający podstawowe znaczenie dla antycznej kosmologii. Przez świat fizyczny Grek rozumie przede wszystkim to, co podlega doświadczeniu zmysłowemu, a więc to, co jest na Ziemi, lub w przestrzeni bezpośrednio ją otaczającej. Świat ciał niebieskich jest niedotykalny, a więc nie fizyczny w ścisłym sensie. Jest to świat niebieski — reprezentujący w jakiś sposób w odczuciu Greka świat duchowy. Ale ten świat duchowy ma znaczenie tylko jako „służebny” w stosunku do fizycznego. Stąd tylko krok do uznania, że sens istnienia ciał niebieskich nadaje im Ziemia. Ziemia jest centralnym ciałem Wszechświata. Bardziej usystematyzowanym wyrazem tego rodzaju przekonań są poglądy Arystotelesa na „architektonikę” Wszechświata z jego podziałem na sferę podksiężycową i nadksiężycową.

Jeśli nawet ma jakiś sens pytanie, jak wyglądają ruchy ciał niebieskich oglądane spoza Ziemi, to niewątpliwie wyjaśnienie tych ruchów, ich cel znajduje się na Ziemi. Opis tych ruchów z Ziemi jest najbardziej naturalny. Mówiąc współczesnym językiem, Ziemia stanowi naturalny, wyróżniony układ odniesienia dla opisu ruchów ciał niebieskich. Ziemia jest ciałem wyróżnionym, jedynym w swoim rodzaju zarówno w czasie, jak i przestrzeni. To ostatnie zdanie można uważać za sformułowanie antycznej zasady kosmologicznej, która rządziła w nauce około dwa tysiące lat.

Ponieważ jednocześnie z metodologicznym materializmem rozwinęła się w starożytnej Grecji logika i wynikająca z niej matematyka⁷, antyczna zasada kosmologiczna mogła szybko przyjąć konkretną zmatematyzowaną postać. System będący matematyczną realizacją antycznej zasady kosmologicznej stworzył Hipparch, a Ptolomeusz nadał temu systemowi postać wykończoną⁸. Dalsze wieki mogły się zadowolić tylko niewielkimi retuszami i poprawkami.

Jak wiadomo, system Ptolemeusza w ostatecznej postaci był dość skomplikowany. Ziemię, leżącą nieruchomo w środku, opasywały koła — deferensy. Po deferensach przemieszczały się środki epicykli z niejednostajną prędkością kątową. Istniał jednak punkt zwany ekwansem (leżący poza Ziemią), z którego obserwowany ruch środka epicyklu wydawał się jednostajny kątoowo. Po epicyklu poruszał się z określoną prędkością kątową epicykl wyższego rzędu itd., aż wreszcie na którymś z kolejnych epicykli znajdowała się planeta⁹. Ziemia w systemie hipparchowsko-

⁷ Matematyka jako znajomość pewnych związków wielkościowych, m. in. dotyczących arytmetyki i geometrii, istniała już dawniej, np. w starożytnym Egipcie. Umiejętność dowodzenia matematycznego powstała dopiero w epoce kultury greckiej i należy ją uważać za początek matematyki w jej współczesnej treści.

⁸ Por. M. Kamiński i J. Wasiutyński, *Astronomia ogólna*, Warszawa 1936, t. I., cz. II, 1—28.

⁹ Por. np. M. Kamiński i J. Wasiutyński, dz. cyt., w szczególności 13—25.

-ptolemeuszowskim spoczywa. Inne ciała wykonują ruchy. Spoczynek Ziemi wynika tu z uprzywilejowania jej miejsca we Wszechświecie i to uprzywilejowanie jest podstawową cechą systemu.

3. ŚWIATOPOGŁĄDOWE TŁO PRZEWROTU KOPERNIKOWSKIEGO

Średniowiecze odziedziczyło po starożytności pogląd o dualizmie „świata ziemskiego” (sfera podksiężycowa) i „świata niebieskiego” (sfera nadksiężycowa). Dlatego też proces wiodący do unifikacji świata, do podporządkowania ciał niebieskich ziemskiemu prawom fizyki oznaczał drastyczne przesunięcie akcentów w uznanym obrazie świata. Gdy ponadto uświadomimy sobie, że w potocznym odczuciu „świat niebieski” mógł być uznany za reprezentujący w jakimś sensie świat duchowy (por. charakterystyczne skojarzenie: *caelum* — niebo w sensie astronomicznym i *caelum* — niebo w sensie religijnym), to silny opór, jaki wywołała teoria Kopernika, staje się w pełni zrozumiałą. Zresztą sam Kopernik w dalszym ciągu korzystał z pojęć fizyki Arystotelesa i nie wiedział nic o prawach przyrody, jakie rządzą „światem niebieskim”. Dopiero Newton, formułując prawo powszechnej grawitacji, potraktował Wszechświat jako jeden układ fizyczny. Kopernik ten proces jedynie zapoczątkował przez uznanie Ziemi za jedno z wielu ciał niebieskich.

Byłoby rzeczą interesującą w dalszym ciągu kontynuować rozważania historyczne na temat uwarunkowań i światopoglądowych konsekwencji panującego w danej epoce obrazu świata, jednakże wraz z pojawieniem się dzieła Kopernika rozpoczyna się okres rozwoju nowożytnej nauki i pora przejść od raczej ogólnych refleksji do bardziej systematycznych analiz. Postaramy się teraz spojrzeć na dzieło Kopernika, jednak nie cofając się wstecz do jego czasów, lecz z dzisiejszej perspektywy, postaramy się oczami współczesnego kosmologa ocenić znaczenie i rozmiar kopernikowskiego przewrotu.

4. ISTOTA PRZEWROTU KOPERNIKOWSKIEGO — KOPERNIKOWSKA ZASADA KOSMOLOGICZNA

Treść tzw. przewrotu kopernikowskiego przyjęło się wyrażać w lapidarniej formułce: „zatrzymał Słońce, poruszył Ziemię”. Nawet w skądinąd solidnie napisanych pracach mówi się o „rzeczywistym ruchu Ziemi” i „pozornym ruchu Słońca”¹⁰. Tymczasem od chwili powstania ogólnej teorii względności dobrze wiadomo, że za równouprawnione należy uważać wszystkie (a nie tylko inercjalne) układy odniesienia. Wprawdzie

¹⁰ Por. np. rozdział *Rzeczywiste ruchy Ziemi* w książce C. Iwaniszewskiej, *Astronomia Mikołaja Kopernika*, Toruń 1971, 7—12.

swojego czasu V. A. Fock wysuwał postulat uprzywilejowania tzw. harmonicznego układu odniesienia (warunek harmonicznego plus pewne założenia o warunkach brzegowych w nieskończoności¹¹), jednakże jego późniejsza dyskusja z innymi fizykami — relatywistami¹² wykazała bezpodstawność tego rodzaju ograniczeń względności. Mikołaj Kopernik nie udowodnił, że „Ziemia się porusza, a Słońce spoczywa”, wykazał jedynie, że wszystkie zjawiska obserwowane za jego czasów na niebie (a więc ruchy Księżyca, Słońca, planet i sfery gwiazd stałych) z dobrą dokładnością można wyjaśnić przyjmując prostsze (od ptolemejskiego) założenie o spoczynku Słońca i potrójnym (dziennym, rocznym precesyjnym) ruchu Ziemi. Przeniesienie układu odniesienia z Ziemi na Słońce było zabiegiem prerelatywistycznym. Znaczenie „przewrotu kopernikowskiego” polegało nie na „zatrzymaniu Słońca i poruszeniu Ziemi” lecz na pierwszym kroku w kierunku fizycznej relatywizacji zjawiska ruchu¹³.

Stosowanie takiego czy innego układu odniesienia pozostaje w zasadzie kwestią wyboru. Wybór ten powinien być kierowany zasadami ekonomii myślenia. Podstawą okazuje się tu następująca reguła: należy wybierać taki układ odniesienia, w którym dane zagadnienie osiąga maksymalną symetrię. Wyróżnione przez Focka układy harmoniczne istotnie w dużej ilości zagadnień prowadzą do maksymalnej symetrii, jednakże istnieją i takie zadania, do których układów harmonicznego w ogóle nie da się zastosować (np. w kosmologii)¹⁴.

W opisie systemu planetarnego największy stopień symetrii uzyskuje się umieszczając początek układu odniesienia w środku ciężkości systemu. Tego rodzaju układ odniesienia jest współczesny w stosunku do tego, jakim posługiwał się Kopernik. Jak wiadomo, w środku świata umieszczał on Słońce, jednakże musiał wprowadzić ekwanty, dzięki którym środki orbit poszczególnych planet nie pokrywały się ze sobą nawzajem i nie pokrywały się ze środkiem Słońca. Prostotę kopernikowskiego „obrazu świata” psuły ponadto tzw. małe epicykle. Faktycznie wprowadzały one dla orbit różny od zera mimośród, chociaż dopiero Kepler zdał sobie sprawę z eliptyczności torów planetarnych. Przewrót kopernikowski pokazał, że bardziej symetryczny obraz „świata” można uzyskać kosztem pozbawienia Ziemi jej wyróżnionej pozycji. Ziemia została zdegradowana

¹¹ V. A. Fock, *Teorija prostranstwa, wriemienija, tjadgotjenija*, Moskwa 1961.

¹² Por. L. Infeld, *On the Motion of Bodies in General Relativity Theory*, „Acta Physica Polonica” 12 (1954) 187—204; tenże, *Kilka uwag o teorii względności*, w: *Zagadnienia filozoficzne mechaniki kwantowej i teorii względności*, Warszawa 1954, 188—204; A. Trautman i W. Tulczyjew, *Grawitacja i niezmienniczość*, „Postępy fizyki” 9 (1958) 3—25; T. Trautman, *Teoria względności*, „Postępy fizyki” 17 (1966), 129—141.

¹³ Por. M. Heller, *Kopernik jako relatywista*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 17 (1972) 235—242.

¹⁴ Por. M. Heller, *Układy kopernikowskie w ogólnej teorii względności*, „Roczniki Filozoficzne” (w druku).

do roli typowej planety. Jeśli użyte w tym kontekście słowo „Ziemia” zastąpimy słowem „ziemski obserwator”, to otrzymamy sformułowanie, które zwykło się dziś nazywać zasadą kopernikowską. Ziemi obserwator zajmuje typową pozycję we Wszechświecie. Zasady tej Kopernik nigdzie wprost nie wypowiedział, wynika ona raczej z ducha jego systemu.

Wszechświat dla Kopernika sprowadzał się do układu planetarnego „okrytego” sferą gwiazd stałych. Dziś przez Wszechświat (używa się również wyrazu Metagalaktyka) rozumiemy, mówiąc najogólniej, zbiór galaktyk i gromad galaktyk¹⁵. Pociągnęło to za sobą zmianę treści, jaką wiążemy z zasadą kosmologiczną. Standartowe — aczkolwiek niezbyt precyzyjne — współczesne sformułowanie zasady kosmologicznej brzmi: obserwator związany z daną gromadą galaktyk (tzw. obserwator fundamentalny) widzi — średnio rzecz biorąc — taki sam obraz Wszechświata jak obserwator związany z dowolną inną gromadą galaktyk. Przez „obraz Wszechświata” należy rozumieć gęstość i rozkład przestrzenny gromad galaktyk, absolutne jasności, wymiary liniowe, masy, typy morfologiczne itp. galaktyk; z tym, że pojedynczych galaktyk nie traktuje się „indywidualnie”, lecz jako typowe przedstawicielki gromady, do której należą. W dalszym ciągu dla uniknięcia nieporozumień, zasadę kopernikowską rozumianą współcześnie będziemy nazywać uogólnioną zasadą kopernikowską¹⁶.

5. MODELE WSZECHŚWIATA

Podobnie jak dzięki zdegradowaniu pozycji Ziemi (pierwotna zasada kopernikowska) Kopernik uzyskał bardziej symetryczny opis układu planetarnego, równouprawnienie wszystkich obserwatorów fundamentalnych (uogólniona zasada kopernikowska) prowadzi do daleko idących symetrii w uzyskiwanych przez współczesną naukę modelach kosmologicznych. Tak daleko idące symetrie na pewno stanowią znaczną idealizację rzeczywistości, niemniej jednak każde obniżenie stopnia postulowanych symetrii powoduje duży wzrost trudności rachunkowych. Praktycznie poniżej pewnego stopnia symetrii równania opisujące model stają się nierozwiązalne.

W oryginalnym, kopernikowskim schemacie budowy świata centralną pozycję zajmowało Słońce. Wszechświat współczesnej kosmologii, na mocy uogólnionej zasady Kopernika, nie posiada środka. Wszystkie punkty przestrzeni są równouprawnione; tę własność przestrzeni nazywa

¹⁵ Por. M. Heller, *Definicja terminu „Wszechświat” w kosmologii relatywistycznej*, „Roczniki Filozoficzne” 16 (1968, z. 3) 45—61.

¹⁶ Por. E. Skarżyński, *Zasada kosmologiczna czyli uogólniona zasada Kopernika*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 15 (1970) 267—272.

się jej jednorodnością. Niekiedy postulat jednorodności utożsamia się z zasadą kosmologiczną¹⁷. Można również przyjąć, że każdy punkt przestrzeni jest środkiem Wszechświata. Otrzymujemy wówczas wzrost symetrii: nie tylko wszystkie punkty są równouprawnione, ale ponadto względem każdego punktu obowiązuje centralna symetria. Odpowiada to jednorodności (brak wyróżnionych punktów) i izotropowości (brak wyróżnionych kierunków) przestrzeni. Powszechniej uważa się, że treść zasady kosmologicznej stanowią (łącznie) postulaty jednorodności i izotropowości.

W kosmologii relatywistycznej izotropowość wyklucza obrót (rotację) Wszechświata. A zatem klasa modeli kosmologicznych spełniających zasadę kosmologiczną rozumianą jako postulat jednorodności jest istotnie bogatsza (o modele rotujące, ale nie tylko) od klasy modeli spełniających zasadę kosmologiczną rozumianą jako postulat jednorodności i izotropowości.

Z postulatami jednorodności i izotropowości łączy się czasem postulat stacjonarności (Wszechświat jest stacjonarny, jeżeli wszyscy obserwatorzy fundamentalni zawsze widzą taki sam jego obraz). Daje to tzw. doskonałą (idealną, mocną) zasadę kosmologiczną. Zasada ta prowadzi do bardzo wąskiej klasy modeli (tzw. stacjonarna kosmologia w wersji Hoyle'a lub Bondiego-Golda).

6. SUBSTRAT I GEOMETRIA

Zasadnicza idea ogólnej teorii względności sprowadza się do postulowania pewnej odpowiedniości między rozkładem materii (mas-energii, pędów, etc.) a geometrią czasoprzestrzeni. Według pierwotnych zamierzeń Einsteina odpowiedniość ta miała być wzajemnie jednoznaczna. Postulat wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości między rozkładem materii a geometrią czasoprzestrzeni często nazywa się zasadą Macha. Ogólna teoria względności — jak już dziś dobrze wiadomo — w pewnym stopniu realizuje tę odpowiedniość, jednakże nie jest to odpowiedniość jednoznaczna. Brak tej wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości przenosi się automatycznie na kosmologię relatywistyczną, która jest tylko „zastosowaniem” ogólnej teorii względności do Wszechświata jako największego z możliwych układu fizycznego. W innych, znanych dziś teoriach kosmologicznych, nie korzystających wprost z równań pola ogólnej teorii względności, tak czy inaczej pojętą odpowiedniość między rozkładem materii a geometrią wprowadza się jako odrębny postulat, jednakże żadna ze znanych dziś teorii nie realizuje w pełni zasady Macha (wzajemnie jednoznacznej odpowiedniości między rozkładem materii a geometrią).

Niewyróżnioność pozycji żadnego spośród obserwatorów fundamentalnych można rozumieć bądź fizycznie (ze względu na obserwowany rozkład materii), bądź geometrycznie. Zbiór gromad galaktyk idealizowanych do postaci punktu materialnego każda (przy dodatkowym założeniu, iż rozpatruje się tak duże obszary, że w porównaniu z ich liniowymi rozmiarami odległości pomiędzy „środkami” dwu sąsiednich gromad można zaniedbać jako znikomo małe) przyjęło się nazywać w kosmologii substratem. Można zatem mówić o dwu odrębnych założeniach: pierwsze postuluje symetrie w rozkładzie i ruchach substratu, drugie — geometryczne symetrie czasoprzestrzeni. W ten sposób zasada kosmologiczna rozkłada się na zasadę kosmologiczną dla substratu oraz na zasadę kosmologiczną dla geometrii. Wobec faktu, że ogólna teoria względności (ani żadna inna znana obecnie teoria) nie realizuje w pełni zasady Macha, zasadę kosmologiczną dla substratu i zasadę kosmologiczną dla geometrii należy traktować jako dwa, logicznie niezależne założenia¹⁸.

7. ZASADA KOSMOLOGICZNA A REALNY WSZECHŚWIAT

Zagadnienie, czy Wszechświat w największej skali spełnia (statystycznie) zasadę kosmologiczną dla substratu, w zasadzie podlega bezpośredniemu testowaniu obserwacyjnemu. W tym sensie obserwacje stanowią podstawę (bazę obserwacyjną) kosmologii.¹⁹ Zasada kosmologiczna dla geometrii jest natomiast założeniem teoretycznym i podlega sprawdzaniu tylko przez swoje konsekwencje.

Jest rzeczą oczywistą, że Wszechświat może spełniać zasadę kosmologiczną tylko statystycznie i tylko wtedy, gdy się go rozważa w największej skali. Wyspowy rozkład materii (grupowanie się materii w galaktyki i gromady galaktyk) powoduje, że Wszechświat w mniejszej skali odznacza się dużą niejednorodnością. Stąd tendencja we współczesnej kosmologii do budowania modeli z odstępstwami od zasady kosmologicznej w kierunku niejednorodności. Matematyczne trudności są tu znacznie większe niż w przypadku odstępstw od izotropowości. Dlatego też w konstruowaniu modeli niejednorodnych poczyniono dopiero pierwsze kroki²⁰.

¹⁷ O. Heckman, E. Schücking, *Handbuch der Physik*, Bd 53 (przekład rosyjski) Moskwa 1962, 615.

¹⁸ Por. E. Skarżyński, *Założenia kosmologii* (rozprawa doktorska przedłożona na Wydziale Fil. UJ) Kraków 1970; M. Heller, *Konstrukcja relatywistycznego modelu Wszechświata*, „Postępy Astronomii” 19 (1971) 45—56.

¹⁹ Por. K. Rudnicki, *Fakty obserwacyjne będące podstawą założeń kosmologicznych*, „Roczniki Filozoficzne” (w druku).

²⁰ Por. O. Heckman, E. Schücking, dz. cyt.

Ciekawą próbą zmierzającą w tym kierunku są tzw. światy strefowe²¹. Stosunkowo duża prostota matematyczna została tu okupiona mało realistycznym założeniem o rozkładzie materii. Dlatego światy strefowe są interesujące przede wszystkim z teoretycznego punktu widzenia.

Wszechświat strefowy składa się z koncentrycznych stref na przemian pustych i wypełnionych materią. W strefach pustych obowiązuje geometria Schwarzschilda, w strefach wypełnionych materią — geometria Friedmanna. Strefy są ze sobą gładko zszyte. Konstrukcja jest tego rodzaju, że średnia gęstość materii w dużej skali pozostaje stała. Zasada kosmologiczna jest zatem spełniona (w pewnym sensie) globalnie, lokalnie natomiast świat nie podlega zasadzie kosmologicznej.

Budowanie modeli Wszechświata z odchyleniami od zasady kosmologicznej nie stanowi zaprzeczenia idei Kopernika o typowości położenia ziemskiego obserwatora. Idzie tylko o to, żeby typowość położenia ziemskiego obserwatora uczynić bardziej zgodną z przypadkowym rozkładem materii w rzeczywistym świecie.

8. ZASADA KOSMOLOGICZNA JAKO PRAWO PRZYRODY

Z poprzednich rozważań można by wnosić, że uogólniona kosmologiczna zasada kopernikowska odgrywa rolę pewnego „tła filozoficznego”, lub może pewnego schematu ułatwiającego rachunki dotyczące modeli Wszechświata. Okazuje się jednak, że rzecz ma się inaczej. Zasada kosmologiczna posiada w sobie bogatą treść fizyczną.

Z pierwszych rachunków dotyczących modeli Wszechświata opartych o teorię względności Einsteina wynikały wszechświaty bądź statyczny (poszczególne cząstki substratu nieruchome względem siebie) bądź posiadające wzajemny ruch cząstek substratu tego rodzaju, że poszczególne cząstki przesuwają się wzajemnie wzdłuż linii je łączącej, to znaczy oddalając się lub zbliżając z prędkościami proporcjonalnymi do odległości (w pierwszym przybliżeniu) przy wyłączeniu wszelkich innych ruchów takich jak wzajemne przesunięcia kątowe. Sądono, że wynik ten jest następstwem budowania modeli w oparciu o ogólną teorię względności. Ponieważ okazało się, że rzeczywiście galaktyki wykazują zjawisko widmowego przesunięcia ku czerwieni, które można interpretować jako wzajemne przesuwanie się galaktyk wzdłuż łączących je linii geodezyjnych, uważano to za obserwacyjne potwierdzenie teorii względności.

W ciągu następnych dziesięcioleci, korzystając z opracowanego już przez relatywistów matematycznego aparatu kosmologicznego, udało się opracować modele kosmologiczne oparte o klasyczną, newtonowską teo-

²¹ A. Zięba, *On the Zone-Universe*, „Acta Cosmologica” (w druku).

rię grawitacji. I tu ku zaskoczeniu wszystkich otrzymano modele posiadające tę samą cechę — wzajemne ruchy cząstek substratu mogą się odbywać tylko po liniach je łączących, przy czym prędkości są proporcjonalne do odległości. W szczególności prędkość może być zerowa (świat statyczny).

Bliższe badania wykazały, że otrzymana cecha, wspólna dla modeli newtonowskich i einsteinowskich była wynikiem nie założenia tych teorii, ale założenia uogólnionej zasady kopernikowskiej, to znaczy nałożenia daleko idącej symetrii na modele. Zjawisko ucieczki galaktyk można więc traktować jako obserwacyjne potwierdzenie zasady kopernikowskiej, natomiast nie stoi ono w bezpośrednim związku z tą, czy inną teorią grawitacji. Okazało się w szczególności, że można uzyskać zarówno na gruncie teorii Einsteina jak i Newtona modele dopuszczające inne ruchy prócz wzajemnego oddalania lub zbliżania z prędkościami proporcjonalnymi do odległości, jeżeli usunąć spośród założeń rygorystycznie pojętą zasadę kosmologiczną, to znaczy jeśli umniejszyć liczbę symetrii.

Należy zauważyć, że ogólny obraz Wszechświata dany przez obserwację jest bardziej zgodny z modelami opartymi o uogólnioną kopernikowską zasadę kosmologiczną niż z modelami bardziej dowolnymi, wprowadzającymi mniej symetrii. Również zacieśnienie zasady kosmologicznej do postaci zasady idealnej daje w wyniku modele niezbyt zgodne z obserwacjami. Wydaje się więc, że uogólniona kosmologiczna zasada Kopernika jest w zasadzie zgodna w rzeczywistość.

Jeżeli pod zasadami filozoficznymi rozumieć takie, które pomagają tylko porządkować materiał nagromadzony przez nauki szczegółowe, lub pomagają ustawiać badania naukowe bez wpływu jednak na treść wyników, to widać, że uogólniona zasada kosmologiczna Kopernika nie jest po prostu zasadą filozoficzną. Przedstawia ona raczej związki pomiędzy częściami Wszechświata, bardziej ogólne niż te, które wynikają ze szczegółowych teorii fizycznych. Jest więc sama zasadą fizyczną i to zasadą bardzo ogólną.

9. ZASADA KOSMOLOGICZNA JAKO MODEL WSZECHŚWIATA

Pokażemy teraz, jak z zasady kosmologicznej (bez korzystania z jakichkolwiek równań dynamicznych, w rodzaju równań pola ogólnej teorii względności) wynika pewien prosty model Wszechświata²².

W charakterze zasady kosmologicznej dla substratu przyjmujemy założenie jednorodności i izotropowości rozkładu materii w przestrzeni.

²² Por. M. Heller, *Zasada kosmologiczna w kosmologii Friedmannowskiej*, „Roczniki Filozoficzne” (w druku).

W myśl tego założenia średnia gęstość materii w przestrzeni może być tylko funkcją czasu, ale nie współrzędnych przestrzennych. Jeśli zatem świat nie jest statyczny, średnia gęstość materii może służyć za rodzaj zegara odmierzającego uniwersalny czas kosmologiczny. Jest rzeczą charakterystyczną, że z zasady kosmologicznej (zwykłej, nie doskonałej) wynika istnienie uniwersalnego czasu.

Zakładając dalej odpowiedniość między rozkładem mas, a geometrią czasoprzestrzeni, postulujemy — jako zasadę kosmologiczną dla geometrii — że czasoprzestrzeń da się rozłożyć (w pewnym, tzw. współporuszającym się układzie współrzędnych) na zbiór hiperpowierzchni $t = \text{const}$ ortogonalnych do wiązki geodetyk $x^0 = t$. Parametr t wzdłuż każdej geodetyki należącej do tej wiązki odmierza czas własny pewnego obserwatora fundamentalnego. Hiperpowierzchnie $t = \text{const}$ spełniają rolę przestrzeni chwilowych.

Znane w geometrii różniczkowej twierdzenie Schura głosi, że jeśli jakaś przestrzeń jest izotropowa w każdym punkcie (tzn. izotropowa i jednorodna), to jest ona przestrzenią o stałej krzywiznie. Jeżeli zatem na podstawie zasady kosmologicznej dla substratu, przyjęliśmy jednorodność i izotropowość rozkładu mas, to jest rzeczą naturalną przyjąć, iż przestrzenie chwilowe $t = \text{const}$ są przestrzeniami o stałej krzywiznie. A zatem w modelu kosmologicznym zbudowanym tylko w oparciu o zasadę kosmologiczną, przestrzeń może być płaska (zerowa krzywizna), otwarta (ujemna krzywizna) lub zamknięta (dodatnia krzywizna).

Założeniu jednorodności i izotropowości rozkładu substratu nie przeczy izotropowe (równomierne we wszystkich kierunkach) rozszerzanie się lub kurczenie Wszechświata. Stan statyczny jest, rzecz jasna, także dopuszczalny. Charakter tego kurczenia się względnie ekspansji można w pewnym stopniu określić precyzując jeszcze bliżej symetrie wynikające z zasady kosmologicznej²³.

Jeszcze H. P. Robertson²⁴ pokazał, że jeśli się przyjmie dodatkowo kilka prostych założeń (zapożyczonych z ogólnej teorii względności) dotyczących ruchu cząstek materialnych i promieni świetlnych, to z zasady kosmologicznej można wyprowadzić prawo Hubble'a (zależność przesunięcia ku czerwieni od odległości) oraz znane zależności między kosmologicznymi obserwablami.

Tak więc uogólniona zasada kosmologiczna Kopernika posiada bezpośrednią treść fizyczną. Jest prawem przyrody, lub może zasadą ogólniejszą, stojącą ponad szczegółowymi prawami przyrody. Jest zasadą, z któ-

²³ Por. M. Heller, *Kosmologia Friedmanna a kosmologia Robertsona-Walkera*, „Postępy Astronomii” 20 (1972) 241—250.

²⁴ H. P. Robertson, *Teoreticzeskije aspekty krasnogo smieszczeniija galaktik*, w: *Nabludatielnyje osnovy kosmologii* (prac. zbiorowa), Moskwa 1965, 28—45.

rej wynikają konkretne przewidywania przyrodnicze, jest więc falsyfikowalna obserwacyjnie.

10. ZAKOŃCZENIE

Czy zasada kopernikowska nie jest tylko powtórzeniem tego, co można by nazwać pra-hinduską zasadą kosmologiczną, również nie przypisującą Ziemi wyróżnionego miejsca? Niewątpliwie między obiema zasadami jest wiele punktów zbieżnych i posługując się tylko powierzchownymi cechami, można by rozwój zasady kosmologicznej ująć w ten sposób, że poglądy pra-hinduskie na budowę Wszechświata po okresie wypaczenia antycznego znów przyszły w pełni do głosu. Byłoby to jednak bardzo powierzchowne potraktowanie zagadnienia. Pra-hinduska zasada kosmologiczna wynikała z inspiracji religijnych: doszło tu do pewnego rodzaju rzutowania czasowo-przestrzennej nieograniczoności Bytu Duchowego na świat materialny (por. wyżej wszystkie zastrzeżenia co do znaczenia terminów „duchowy” i „materialny”). Z (pra)hinduskiej zasady kosmologicznej nie wynika — i nie może wynikać — żaden określony model budowy Wszechświata. Ziemia jest wprawdzie niczym nie wyróżniona, nie mówi się jednak nigdzie, że jest typowa lub choćby przeciętna. Kosmologiczna zasada pra-hinduska „leży” na płaszczyźnie poznania religijno-mistycznego i dlatego nie sposób tu wprowadzić substratu i innych pojęć tak istotnych dla współczesnej kosmologii. Pra-hinduska zasada kosmologiczna nie jest wprawdzie sprzeczna z takimi pojęciami, jednak dla uzyskania konkretnych modeli Wszechświata trzeba przyjąć dodatkowo założenia o istniejących symetriach, czyli nie tylko przejść z języka religijnego na język naukowy, ale wprowadzić nowe, dodatkowe elementy. Założenia symetrii maksymalnej lub minimalnej są logicznie niezależne od pra-hinduskiej zasady kosmologicznej, a więc równoprawnione wobec siebie. Dla dawnych poglądów hinduskich jest zupełnie dopuszczalne, że obserwator z każdego ciała niebieskiego może widzieć Wszechświat zupełnie inaczej.

Okres antyczny, wbrew pozorom, stanowił krok naprzód. Przede wszystkim dlatego, że rozważania kosmologiczne „postawił na Ziemi”, a formułując metodologiczną zasadę wyjaśniania świata przez sam świat umożliwił powstanie nauki we współczesnym znaczeniu tego słowa.

Kosmologiczna zasada Kopernika (zarówno oryginalna, jak i współczesna, uogólniona) jest już zasadą w pełni naukową: opiera się na bogatym materiale obserwacyjnym, jest płodnym narzędziem nadającym się do ekstrapolacji praw fizyki lokalnej na Wszechświat jako całość. Wynika z niej określony model kosmologiczny, który — przynajmniej w zasadzie — można testować odserwacyjnie.

Dopiero na tle ewolucji poglądów dotyczących budowy Wszechświata można właściwie ocenić znaczenie dzieła Mikołaja Kopernika.

O ile oryginalny, kopernikowski system heliocentryczny oparty wciąż jeszcze o ruchy kołowe, deferensy i epicykle nie odgrywa już w dzisiejszej nauce żadnej roli, a to, co do dziś w tym systemie pozostało ważne, ma znaczenie przede wszystkim przez wpływ, jaki wywarło na dalszy rozwój astronomii i fizyki, ze względu na impuls jaki dało dalszym badaniom Keplera, Newtona i innych, o tyle kosmologiczna zasada Kopernika w nieco tylko uogólnionej formie należy do aktualnych podstaw kosmologii.

Niewątpliwie właśnie w dziedzinie kosmologii — którą, rzecz paradoksalna, Kopernik nie zajmował się wprost, geniusz wielkiego astronoma przyniósł najbardziej trwałe owoce, co często jest nie zauważane przez historyków nauki. Tu właśnie, w dziedzinie kosmologii, Kopernik przyczynił się do odkrycia zasady, która w świetle obecnych obserwacji astronomicznych należy do podstawowych zasad ładu w otaczającej nas rzeczywistości fizycznej.

Dzieło Kopernika rozpatrywane z tego punktu widzenia można więc traktować jako niezmiernie ważny krok w rozwoju materializmu metodologicznego. (Jeden z autorów woli mówić o pozytywizmie metodologicznym). (Uogólniona) zasada kosmologiczna Kopernika umożliwia badanie struktury Wszechświata materialnego w oderwaniu od przyczyn niematerialnych. Powierzchni biorąc mogłoby się wydawać, że dzieło Kopernika, niezależnie od intencji jego twórcy, implikuje również materializm ontologiczny. Taki wniosek jest jednak niczym nie umotywowany. Dokładne, oparte o doświadczenie i logikę, poznanie świata materialnego, wyeliminowanie naiwnych wyobrażeń o zależnościach tego świata od przyczyn pozaprzyrodniczych jest koniecznym etapem w szcze-gółowym poznaniu całej, nie tylko materialnej, rzeczywistości²⁵.

EVOLUTION OF THE COSMOLOGICAL PRINCIPLE

(A COPERNICAN STUDY)

SUMMARY

Most generally speaking, one may understand by a Cosmological Principle a set of assumptions concerning the construction of the model of the Universe, reaching partly beyond observational conclusions. In this sense any comprehension of the

²⁵ Por. K. Rudnicki, *Głos w dyskusji nad artykułem W. Zonna*, „Res Facta” (w druku); M. Heller, *Bóg fizyków*, „Znak” 188—189 (1970) 177—186.

world as a whole (scientific or pre-scientific), must be based on some Cosmological Principle. In this article an attempt is presented to follow the evolution of concepts which enter the contents of the Cosmological Principle.

1. Pre-Hindu Cosmological Principle. If a contemporary philosopher of science were to formulate the Cosmological Principle on the basis of pre-Hindu concepts (7 — 5 thousand years B.C.), he would say: Earth with inhabitants does not occupy any distinguished position in the Universe, both with respect to space and time duration. Apart from the „earthly world” there exist other worlds which existed before Earth, and other worlds will exist when Earth no longer exists. „Earthly existence” is treated as completely irrelevant in comparison with the „spiritual existence”. Only later, in the pra-Persian culture is the material world felt to be equally important as the spiritual one.

2. Antique Cosmological Principle. In antique Greece the methodological principle was born (formulated for the first time probably by Ockham in his famous „razor”), demanding to study the world without referring to extra-worldly reasons. By the physical world the average Greek understood primarily everything subject to sensory perception, that is every thing which may be found on Earth. These tendencies were somewhat expressed by the belief that Earth is the central body of the Universe. This is seen in the view of Aristotle, with his division into spheres of below and above Moon. A mathematical model of such Universe was constructed by Hipparchius and Ptolemei.

3. Philosophical Background of the Copernican Revolution. The Middle Ages inherited the dual concept of „earthly world” and „celestial world” after Antiquity. A process of unification of these „worlds” must have met with strong opposition. Copernicus had believed Earth to be one of the planets but, at the same time, he still used the physics of Aristotle. Only later Newton had treated the Universe as one physical set.

4. Fundamental Issue of the Copernicus Revolution — Copernican Cosmological Principle. Copernicus had not „stopped the Sun and moved the Earth”. The attempt to interpret in such a way the work of Copernicus, evolved by Fock and his school, has not withstood discussion. Copernicus had only moved the frame of reference from the Earth to the Sun. This was a prerelativistic operation. This operation had led to the formulation of the following Cosmological Principle: an earthly observer occupies a position typical in the Universe. Such a sentence was never formulated by Copernicus himself, however it follows from the spirit of his system. Nowadays the Universe differs from that of Copernicus, and this has led to differences in the text introduced into the Cosmological Principle. In the contemporary sense we speak of the Generalized Principle of Copernicus.

5. Models of the Universe. The Generalized Copernican Principle leads to far-reaching symmetries in the models of Universe evolved with the aid of contemporary science. Some authors (Heckman, Schücking) understand the Cosmological Principle as the postulate of the homogeneity of the Universe („no centre”), more often however, by the Cosmological Principle one understands the simultaneous postulates of homogeneity and isotropy. The cosmological Principle thus understood, excludes rotation of the Universe. The so-called perfect (strong) Cosmological Principle includes with the postulates of homogeneity and isotropy of the Universe also the postulate of stationarity.

6. Substratum and Geometry. The General Theory of Relativity, as it is well known, does not realize the postulate of one-to-one correspondence between the distribution of matter and the geometry of space-time. Owing to this fact, one must

distinguish in relativistic cosmology between the Cosmological Principle for the Substratum (distribution of matter) and the Cosmological Principle for the Geometry, as two logically independent assumptions.

7. Cosmological Principle and the Real Universe. The Cosmological Principle for the Substratum is subject to direct observational testing, whereas the Cosmological Principle for the Geometry only through its consequences. The Cosmological Principle is fulfilled only statistically; locally, it is not true. Hence the tendencies to build cosmological models which diverge from homogeneity. An interesting example of such worlds is the zone model of Zięba (Zone-Universe). It is composed of concentric spheres alternating between empty ones (Schwarzschild geometry), and spheres filled with matter (Friedmannian geometry). The spheres are joined smoothly. In attempts of this kind, it is aimed to make the typicality of the earthly observer agree with the accidental distribution of matter in the real world.

8. Cosmological Principle as a Law of Nature. Both Newtonian and relativistic cosmologies lead to Hubble's law. It turns out that this follows not from the „inner” assumptions of these cosmologies, but from the Cosmological Principle. If one were to remove from the cosmologies of Newton and Einstein the rigorously understood Cosmological Principle, one obtains non-Hubblean motions of galaxies. Hence one should understand the phenomenon of the expansion of the Universe as an observational test of the correctness of the Generalized Principle of Copernicus. Thus, this is not a philosophical assumption, but has a general physical meaning.

9. The Cosmological Principle as a Model of the Universe. A way is shown in which, from the Cosmological Principle, one may build a simple model of the Universe, without assuming any dynamical equations whatsoever.

The work of Copernicus should be understood as an extremely important step in the development of scientific thought. It has also implications concerning the philosophical outlook on the world. The exact knowledge of the material world, basing on experiment and logic, elimination of naïve concepts about the dependence of this world on extra-natural reasons, is necessary stage in recognizing the total, not only material, reality.