

ZASADA KOPERNIKA WE WSPÓŁCZESNEJ KOSMOLOGII

We współczesnej kosmologii ważną rolę odgrywa postulat zwany powszechnie zasadą kosmologiczną (ZK). Chcąc zbudować konsystentną teorię opisującą największy układ fizyczny, czyli wszechświat, musimy bądź apriorycznie przyjąć pewne założenia o strukturze tego układu, bądź ustanowić pewne reguły (o charakterze metodologicznym), pozwalające ekstrapolować „fizykę ziemską” na obszary wymykające się bezpośredniej kontroli obserwacyjnej. Obydwie te funkcje — zależnie od typu teorii kosmologicznej — spełnia ZK.

Znane jest mocne i słabe sformułowanie ZK. ZK w słabszym sformułowaniu (tzw. zwykła zasada kosmologiczna), mówiąc najogólniej, przyjmuje, że: (1) w każdym punkcie przestrzeni wszechświata można umieścić obserwatora, (2) wyniki obserwacji poczynionych przez dowolnego obserwatora nie zależą od jego położenia w przestrzeni. Mocniejsze ujęcie ZK (tzw. doskonała lub idealna zasada kosmologiczna) oprócz (1) i (2) przyjmuje, że (3) wyniki obserwacji poczynionych przez dowolnego obserwatora nie zależą od czasu ich dokonania. Zwykła ZK stanowi założenie kosmologii relatywistycznej (ściślej: relatywistycznej kosmologii Friedmanna), natomiast doskonała ZK jest postulatem teorii stanu stacjonarnego (H. Bondiego, T. Golda i Hoyle’a). Ponieważ teoria wszechświata w stanie stacjonarnym przeżywa obecnie okres kryzysu i wydaje się, że idealna ZK nie jest spełniona w rzeczywistym świecie, dlatego w dalszych rozważaniach ograniczymy się do ZK w jej słabszym ujęciu. Odtąd pisząc ZK — o ile inaczej jawnie nie będzie wynikać z kontekstu — zawsze będziemy mieć na myśli zwykłą zasadę kosmologiczną.

Treść, jaka mieści się w ZK, wywodzi się często z dzieła Mikołaja Kopernika, który, przenosząc układ odniesienia z Ziemi na Słońce, potraktował Ziemię jako typową planetę układu słonecznego. Jeżeli ponadto uświadomić sobie, iż w czasach Kopernika kosmologię utożsamiano z teorią układu planetarnego, to istotnie można Kopernikowi przypisać pogląd głoszący, że obserwator ziemski zajmuje typowe położenie we wszechświecie. A to już jest alternatywnym sformułowaniem ZK.

Celem niniejszego artykułu jest dokładniejsze prześledzenie związków pomiędzy podstawową ideą dzieła Kopernika a ZK w jej współczesnym rozumieniu.

I

Od początku rozwoju myśli kosmologicznej poszukiwano we wszechświecie jakiegoś jednoczącego pierwiastka. Jońscy filozofowie przyrody traktowali ten pierwiastek materialnie. Woda Talesa, ogień Heraklita czy atomy Demokryta miały stanowić coś w rodzaju uniwersalnego tworzywa

wszechświata. Pitagorejczycy jedność świata pojmowali bardziej formalnie, pod kątem harmonii liczb.

Inną przewodnią ideą dawnej kosmologii był geocentryzm. Mimo pewnych, dość nieśmiałych, prób zrezygnowania z centralnej pozycji Ziemi (Filolaos, Ekfant, Arystarch z Samos), nie umiano wyzwolić się z antropomorficznego sposobu patrzenia na przyrodę. Zresztą, trzeba przyznać, nie było wówczas żadnych empirycznych powodów zmuszających do odstąpienia od tradycyjnych nawyków myślowych.

Synteza geocentryzmu i idei jedności świata znalazła wyraz w fizyce Arystotelesa i astronomii Ptolemeusza. Fizyka Arystotelesa (będąca, według dzisiejszych pojęć, mieszaniną prymitywnych uogólnień empirycznych z poglądami filozoficznymi) dostarczała jednolitego obrazu świata widzianego z pozycji „ziemskiego obserwatora” i starała się ten obraz wyjaśnić przy pomocy arystotelesowskiej teorii przyczyn. Astronomia Ptolemeusza stanowiła rodzaj skutecznego algorytmu, pozwalającego z dobrą dokładnością wyznaczać położenie Słońca i planet.

Za takiż algorytm można uważać system Kopernika. Pod tym względem spór między Ptolemeuszem a Kopernikiem dotyczy jedynie osiągalnego stopnia rachunkowej dokładności. *De revolutionibus* stanowi krok naprzód w stosunku do *Megale syntaxis* pod innym względem. Jeżeli potraktować dzieło Kopernika nie jako rachunkowy algorytm, lecz jako modelowy obraz świata, to natychmiast widać, że zrezygnowanie z geocentryzmu wzmocniło jedność (wewnętrzną spójność) tego modelu. Bo, w rzeczy samej, geocentryzm, przypisując położeniu Ziemi inność w stosunku do pozostałych „miejsz” we wszechświecie, w istotny sposób narusza jedność kosmicznego obrazu. Rezygnacja z geocentryzmu sprawia, że wszystkie obserwacje przeprowadzone na Ziemi przestają być czymś wyjątkowym, lecz stają się regułą dla każdej planety, a w jeszcze dalszej perspektywie nabierają ogólnej ważności dla wszystkich „miejsz” wszechświata¹.

Gwoli naukowej uczciwości należy uczynić tu dwie uwagi. Po pierwsze, Kopernik nie odważył się jeszcze całkowicie zrezygnować ze środka wszechświata; sądził tylko, że w środku wszechświata należy umieścić nie Ziemię, lecz Słońce. Po drugie, proces równouprawniania wszystkich miejsc we wszechświecie nie został dokonany przez Kopernika; proces ten został przez Kopernika jedynie zapoczątkowany. Dokonał go dalszy postęp astronomii. Możemy jednak — godząc się na pewną stylizację historyczną — mówić o kopernikańskim świecie z Ziemią jako t y p o w ą planetą i o kopernikańskiej jedności tego świata. Jest to tym bardziej dopuszczalne, że przyjmowanie Słońca w środku świata nie stanowiło założenia istotnego dla rewolucji, jakiej dokonał Mikołaj Kopernik.

Od czasów Kopernika nasze horyzonty ogromnie się rozszerzyły. Przede wszystkim rozwój astronomii wykazał, że wszechświat znacznie wykracza poza ramy układu planetarnego. Tym samym system Kopernika przestał być kosmologią, stał się teorią lokalną. Natomiast kopernikańska jedność obrazu świata nabrała nowego znaczenia. Teraz należy ją traktować jako zasadę metodologiczną umożliwiającą badanie wielkiego wszechświata. Jeżeli nie przyjmujemy, że wszechświat, średnio rzecz biorąc, jest wszędzie

¹ Prehistorią zasady kosmologicznej obszerniej zajmuje się E. Skarżyński: *Zasada kosmologiczna czyli uogólniona zasada Kopernika. Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* 1970 nr 2, s. 267—272.

taki sam (lub nie zgodzimy się na jakąś rozsądną modyfikację tego założenia) i wszędzie obowiązują w nim te same prawa przyrody, to nie będziemy dysponować żadnymi sensownymi źródłami informacji o regionach świata w największej skali. W tym sensie mówi się nie o jedności, lecz o jednostajności (*uniformity*) świata.

Nowy etap w badaniu wszechświata zapoczątkowały prace Alberta Einsteina. Zastosowanie ogólnej teorii względności do największego z możliwych fizycznego układu — *ex definitione* zwanego wszechświatem — stworzyło tzw. kosmologię relatywistyczną. Z chwilą ukazania się artykułu Einsteina *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie* (1917)² kosmologia przestała być mniej lub bardziej ścisłym uogólnianiem danych obserwacyjnych na obszary bezpośrednio niedostępne obserwacjom, lecz stała się nauką teoretyczną we współczesnym rozumieniu tego słowa.

Chcąc zastosować równania pola grawitacyjnego do największego układu fizycznego, Einstein musiał poczynić jakieś założenia odnośnie rozkładu mas w tym układzie. W swojej pierwszej pracy kosmologicznej za niesprzeczne z obserwacjami a teoretycznie najprostsze uznał on założenie, że, średnio rzecz biorąc, gęstość materii jest wszędzie taka sama. W późniejszej pracy *Zum kosmologischen Problem der allgemeinen Relativitätstheorie* (1931)³ Einstein sformułował to założenie bardziej ogólnie: „Wszystkie miejsca wszechświata — pisał — są równouprawnione, w szczególności średnia gęstość materii gwiazdowej winna być także wszędzie jednakowa”. Tę właśnie wypowiedź E. A. Milne po raz pierwszy nazwał „einsteinowską zasadą kosmologiczną”⁴. Niektórzy uważają, że ze względu na związki tej idei z dziełem Kopernika słuszniej mówić nie o einsteinowskiej zasadzie kosmologicznej, lecz wprost o zasadzie Kopernika lub o uogólnionej zasadzie Kopernika⁵.

W kosmologicznych pracach A. Friedmanna⁶ einsteinowskie założenie o równouprawnieniu wszystkich miejsc we wszechświecie przybrało formę geometrycznego postulatu stwierdzającego, że przestrzeń wszechświata powinna posiadać stałą (dodatnią, ujemną lub równą zero) krzywiznę; natomiast w pracach H. P. Robertsona i A. G. Walkera⁷ ten sam postulat wyraża się żądaniem jednorodności (brak wyróżnionych punktów) i izotropowości (brak wyróżnionych kierunków) w rozkładzie materii w przestrzeni, a co za tym idzie, jednorodności i izotropowości w geometrycznej strukturze samej przestrzeni. Z powyższego widać, że ZK można sformułować na wiele różnych sposobów⁸. Dziś wiadomo, iż ściśle rzecz biorąc

² Albert Ejnsztiejn: *Sobranije naucznych trudow*. T. I. Moskwa 1965 s. 601—612.

³ Tamże, T. II, Moskwa 1966 s. 349—352.

⁴ E. A. Milne: *Relativity, Gravitation and World Structure*. Oxford 1935 s. 68.

⁵ Por. E. Skarżyński, jw.

⁶ H. Friedmann: Über die Krümmung des Raumes. *Zeitschrift für Physik* 1922 10, s. 377—386. Tenże: Über die Möglichkeit einer Welt mit konstanter negativer Krümmung des Raumes. *Zeitschrift für Physik* 1924 21, s. 326—332.

⁷ H. P. Robertson: Kinematics and World-Structure, I. *The Astrophysical Journal* 1935 82, s. 284—301. A. G. Walker: On Milne's Theory of World-Structure. *Proceedings of the London Mathematical Society* 1936 (2) 42, s. 90—127.

⁸ Zestawienie różnych sformułowań ZK, por. M. Heller: Zasada kosmologiczna w kosmologii friedmannowskiej. *Roczniki Filozoficzne* r. 1972, z. 3.

należy rozróżnić ZK dla rozkładu materii (dla substratu) i ZK dla geometrii jako dwa odrębne założenia⁹.

Kosmologię relatywistyczną opierającą się na ZK dość często nazywa się kosmologią friedmannowską lub kosmologią Robertsona-Walkera.

II

ZK można wyrazić domagając się: (aa) by rozkład materii dla ziemskiego obserwatora był izotropowy oraz (ab) by ziemski obserwator nie zajmował wyróżnionej pozycji we wszechświecie. Z postulatów (aa) i (ab), na podstawie twierdzenia Walkera wynika: b) izotropowość rozkładu materii w każdym punkcie przestrzeni. Natomiast ze stwierdzenia (b), na podstawie twierdzenia Schura, wynika: (c) jednorodność przestrzeni w każdym punkcie. We wszystkich wypadkach wynikanie zachodzi w obie strony i wypowiedzi (a), (b) i (c) należy uważać za równoważne sobie sformułowania ZK.

Powyższe sformułowania dotyczą wprost rozkładu materii, ale analogiczne można podać również dla geometrycznej struktury przestrzeni¹⁰.

Najbardziej „obserwacyjny” sens posiada sformułowanie (a). Postulat (aa), wyrażając go nieco inaczej, stwierdza symetrycznie sferyczny rozkład materii wokół ziemskiego obserwatora i w zasadzie jest zgodny z astronomicznymi obserwacjami. Postulat (ab) nie może być wprost potwierdzony (ani obalony) empirycznie, ale — jak już wiemy — od czasów Kopernika jest powszechnie uznawany jako podstawowy aksjomat kosmologiczny. Z tych racji niekiedy rozróżnia się ZK od zasady Kopernika, zasadą kosmologiczną nazywając postulaty (aa) i (ab) łącznie, natomiast miano zasady Kopernika rezerwując jedynie dla postulatu (ab) (typowość położenia Ziemi¹¹). Jednakże w *De revolutionibus* można znaleźć ślady obydwu postulatów.

Mikołaj Kopernik uważał sferyczną symetrię nie za własność względną (względem ziemskiego obserwatora), lecz za absolutną własność wszechświata (względem centralnego punktu wszechświata, który to punkt — wedle poglądów Kopernika — zajmuje nie Ziemia, lecz Słońce). Racje, jakie Kopernik przytacza na poparcie tezy o „kulistości świata” świadczą, że nie traktował tej tezy jako postulatu, lecz jako zdanie, które domaga się uzasadnienia. Jest rzeczą charakterystyczną, że w uzasadnieniu Kopernik nie powołuje się na dane obserwacyjne.

„Przede wszystkim musimy zwrócić uwagę na to — czytamy w pierwszej księdze *De revolutionibus* — że świat jest kulisty, czy to dlatego, że ten kształt jest ze wszystkich najdoskonalszy i nie potrzebuje żadnego spojenia, tworząc zamkniętą w sobie całość, której niczego ani dodać nie można, ani też odjąć, czy też dlatego, że ta postać jest najpojemniejsza, a taka właśnie najbardziej przystoi temu, co ma wszystko objąć i wszystko zachować, czy również dlatego, że wszystkie, zamknięte w sobie części świata, takie jak Słońce, Księżyc i planety, w tym kształcie przed-

⁹ M. Heller: Konstrukcja relatywistycznego modelu Wszechświata. *Postępy Astronomii* 1971 19 45—56.

¹⁰ Por. M. Heller: Zasada kosmologiczna, jw.

¹¹ Por. H. Bondi. *Kosmologia*. Warszawa 1965 s. 24.

stawiają się naszym oczom, czy wreszcie dlatego, że wszystko dąży do zamknięcia się w takim właśnie kształcie, co można dostrzec na kroplach wody i na innych ciałach ciekłych, gdy same z siebie usiłują zamknąć się w odrębną całość”¹².

Wedle poglądów Kopernika Ziemia nie znajduje się w środku wszechświata, ale jej odległość od środka wszechświata (Słońca) jest tak mała w porównaniu z odległością do sfery gwiazd stałych, że absolutna sferyczność świata jest również sferycznością względem ziemskiego obserwatora.

Czy fakt, że Ziemia — według poglądów Kopernika — znajduje się blisko środka świata nie niszczy typowości jej położenia? Wyżej zaznaczyliśmy, że nie jest wielką nieścisłością historyczną wiązać zasadę typowości położenia Ziemi z nazwiskiem Kopernika. Tu dodajmy jeszcze za B. G. Kuzniecowa, że absolutna nieruchomość Słońca znajdującego się w centrum wszechświata dla Kopernika „nie była bynajmniej aprioryczną zasadą, ani nawet intuicyjnym stwierdzeniem. Kopernik ograniczał swój problem do kinematyki układu słonecznego i nie szedł dalej, nie poruszał on problemu ruchu Słońca i postulat nieruchomości Słońca nie był granicą idei, lecz granicą zadania”¹³.

III

Rację bytu dla przyjmowania ZK stanowi polityka ekonomii myślenia. ZK domagająca się równomiernego rozkładu materii w przestrzeni jest założeniem najprostszym z możliwych. Na zasadę prostoty powoływał się również Kopernik, argumentując na rzecz swojego modelu kosmologicznego.

„I mam wrażenie — pisał — że łatwiej się zgodzić na to niż łamać sobie rozum na nieskończonej prawie ilości kół, jak to muszą robić ci, którzy w środku świata zatrzymali Ziemię. Tu trzeba iść raczej za mądrością natury, która podobnie jak się pilnie ustrzegła tego, by nie stworzyć czegoś zbędnego i nieużytecznego, tak też niejednokrotnie raczej wyposażała jedną rzecz w wielorakie skutki”¹⁴.

Jak widać z tej wypowiedzi, Kopernik — idąc za duchem współczesnych sobie poglądów — prawo ekonomii myślenia ujmował bardziej ontologicznie. Był skłonny sądzić, że nie tyle my w myśleniu, ile raczej sama natura w „produkowaniu skutków” korzysta z brzytwy Ockhama.

Filozoficzne poglądy Kopernika były ściśle związane z czasami, w jakich żył. Tylko jako naukowiec Kopernik przerastał swoje czasy. Toteż w naukowej praktyce zasadę prostoty traktował na sposób dzisiejszy, jako metodologiczną regułę uzasadnioną rezultatami, do jakich dochodzi się przy jej pomocy. W przedmowie (a raczej dedykacji swojego dzieła papieżowi Pawłowi III) czytamy:

„Ci zaś, którzy wymyślili koła mimośrodkowe, choć przy ich pomocy dali, jakby się zdawało, stosowne dane liczbowe dla przeważnej części dostrzeganych ruchów, przyjęli jednak przy tym dużo takich założeń, które stoją w oczywistej sprzeczności

¹² M. Kopernik: *O obrotach sfer niebieskich*. Księga I. Przeł. M. Brożek. Warszawa 1953, s. 53.

¹³ B. G. Kuzniecowa: *Otnositelnost'*. Moskwa 1969 s. 37.

¹⁴ M. Kopernik, jw., s. 70.

z podstawowymi zasadami jednostajności ruchu. Nie zdołali też odkryć albo z nich wyprowadzić rzeczy najważniejszej, mianowicie układu wszechświata i ustalonego porządku jego części..."¹⁵.

Dokładnie tak samo w dzisiejszej kosmologii. Usprawiedliwieniem ZK są modele kosmologiczne zbudowane w oparciu o tę zasadę (należące do klasy modeli friedmannowskich), które — jak wykazują obserwacje — z dobrą dokładnością wydają się opisywać aktualną rzeczywistość wszechświata.

IV

Modele kosmologiczne zbudowane w oparciu o ZK są jednak tylko „pierwszym przybliżeniem” rzeczywistości. W aktualnym świecie materia nie jest rozłożona dokładnie jednorodnie i izotropowo i dlatego kolejnym krokiem w kosmologii teoretycznej są próby skonstruowania modeli wszechświata z odstępstwami od jednorodności i izotropowości. Budowanie takich modeli stanowi modny dziś kierunek badań teoretycznych.

Konstruowanie modeli niefriedmannowskich (niejednorodnych i anizotropowych) jest zadaniem matematycznie skomplikowanym. Można tu postępować dwojako: albo jednorodność i izotropowość przyjmuje się jako tło i bada się odchylenia od tego tła, albo wprowadza się rozkład materii z naruszeniem jakiejś symetrii (np. z wyróżnionym jednym kierunkiem w przestrzeni) i próbuje się go opisać matematycznie. W pierwszym wypadku ZK jest potrzebna do skonstruowania tła, w drugim można mówić o „niesymetrycznej zasadzie kosmologicznej”. Tak czy inaczej założenie odgrywające rolę ZK jest niezbędne do stworzenia relatywistycznego modelu wszechświata¹⁶.

Konstruowanie modeli niefriedmannowskich nie prowadzi do zarzucenia kopernikańskiej zasady typowości ziemskiego obserwatora. Idzie raczej o to, żeby tę typowość uczynić bardziej zgodną z przypadkowym (a więc niedokładnie jednorodnym i izotropowym) rozkładem materii panującym w rzeczywistym świecie.

Używając słów Kopernika możemy stwierdzić, że tylko dzięki założeniu zwanemu zasadą kosmologiczną jesteśmy w stanie opisywać „układ wszechświata i ustalony porządek jego części”.

THE PRINCIPLE OF COPERNICUS IN CONTEMPORARY COSMOLOGY

ABSTRACT

The paper presents historical connections between so-called cosmological principle demanding homogeneity and isotropy in the distribution of matter throughout the space and the principle of Copernicus stating position of the Earth as typical in the Universe.

¹⁵ Tamże, s. 47.

¹⁶ M. Heller: Zasada kosmologiczna, jw.