

Skarżyński, Edmund

Zasada kosmologiczna czyli uogólniona zasada Kopernika

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 15/2, 267-272

1970

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



ZASADA KOSMOLOGICZNA CZYLI UOGÓLNIONA ZASADA KOPERNIKA

Twierdzenie o jednorodności wszechświata, zwane często uogólnioną zasadą Kopernika, stanowi jedną z zasad kosmologii jako nauki o wszechświecie.

W postaci spekulatywnej nauka ta i to twierdzenie zrodziły się w szóstym stuleciu p.n.e., kiedy to filozofowie jońscy zasugerowali ideę, że wszystkie rzeczy są składnikami jednego wszechświata oraz że istnieje jakieś tworzywo, z którego powstały i które wszystkim rzeczom jest wspólne. Jak wiadomo, takim tworzywem była woda dla Talesa, nieokreślona i bezkresna materia — dla Anaksymandra, powietrze lub para — dla Anaksymenesa, ogień — dla Heraklita, atomy — dla Demokryta, liczba — dla Pitagorasa.

Pierwsi filozofowie wysuwali też hipotezy o ogólnej budowie wszechświata. Tak np. według Parmenidesa rzeczywiście istniejący wszechświat — to doskonale zwarta, nieruchoma, wieczna, stała, kulista bryła przejrzystego, jednorodnego i izotropowego materiału kosmicznego, poza którą nie ma nic. W przeciwieństwie do Parmenidesa i eleatów Demokryt uważał, że istnieje próżnia: w niej poruszają się atomy czy też zbiory atomów, tj. ciała. Wszechświat — według greckich atomistów — jest nieskończony tak jak i nieskończona jest liczba światów we wszechświecie.

Jednakże poglądem dominującym w starożytności, wyznawanym przez takie czołowe autorytety, jak Eudoksos, Hipparch, Arystoteles i Ptolemeusz, było przekonanie o skończoności wszechświata. Toteż kosmologia starożytna była jednocześnie — używając wyrażeń nam współczesnych — astronomią układu planetarnego.

Dla Pitagorasa wszechświat był zbudowany z przezroczystych współśrodkowych sfer, uporządkowanych według prędkości wirowania, unoszących ciała niebieskie i otaczających kulistą Ziemię. Najbliższa Ziemi była sfera Księżyca, pozostałe należały do planet, ostatnia zaś na zewnątrz, obracająca się raz w ciągu doby, była sferą, do której umocowane miały być gwiazdy.

Uczeń Pitagorasa Filolaos (V wiek p.n.e.) utrzymywał natomiast, że w środku wszechświata znajduje się nie Ziemia, lecz ogień centralny, a cytowany przez Kopernika w *De revolutionibus* pitagorejczyk Ekfant uzupełnił ten model ruchem obrotowym Ziemi. Później Arystarch z Samos (300—230 r. p.n.e.) wypowiedział pogląd, że Ziemia obiega nieruchome Słońce, lecz ten nie podparty empirycznie pogląd nie znalazł wśród uczonych starożytności — uznania.

Rozwój kosmologii szedł więc po linii geocentryzmu i skończoności wszechświata. Uczeń Platona Eudoksos udoskonalił system Pitagorasa, każdej planecie przypisując kilka koncentrycznych sfer obracających się jednostajnie wokół różnych osi: po trzy sfery dla Słońca i Księżyca, po

cztery dla planet, jedną dla gwiazd stałych. Tą konstrukcją, złożoną z 27 sfer, Eudoksos objaśniał obserwowane ruchy ciał niebieskich. Udoskonalenie tego systemu przez Arystotelesa polegało na dodaniu nowych sfer, rozdzielających pozostałe tak, aby ruch z jednych nie przenosił się w niepożądany sposób na drugie; otrzymał on w ten sposób aż 55 sfer.

Wszechświat Arystotelesa zamykał się, zgodnie z tradycją, między sferą Ziemi a dokonującą 24-godzinne obrotu sferą gwiazd stałych. Według jego koncepcji przestrzeń wypełnionej materią, przestrzeń pusta nie istnieje; każde ciało zajmuje miejsce w przestrzeni; „miejsce jest to bezpośrednia i nieruchoma granica ciała otaczającego”¹. Za sferą gwiazd stałych, za którą już nie ma żadnych ciał, nie ma zatem przestrzeni. Skończoność wszechświata Arystoteles rozumiał więc jako skończoność wymiarów sfery gwiazd stałych. Czas zaś nierozzerwalnie związany przezeń z przestrzenią, jest „ilością ruchu ze względu na «wcześniej» i «później» i jest ciągłością”²; czas odmierza trwanie wiecznego wszechświata.

Tworzywem owego Arystotelesowego, niejednorodnego wszechświata jest pięć elementów: ziemia, woda, powietrze i ogień oraz niezmienny, nieważki nie mający początku ani końca, doskonały eter. Najcięższy element, ziemia, zgodnie z Arystotelesową zasadą ciężenia do środka świata, dąży do geometrycznego środka Ziemi; woda, lżejszy element, znajduje się w otoczeniu powierzchni Ziemi; dalszy, jeszcze lżejszy element — to powietrze, które unosi się ponad ziemią i wodą; najlżejszy z pierwszych czterech elementów, ogień, dopływa aż do sfery Księżyca. Sfery natomiast i wokółziemskie kuliste ciała niebieskie zbudowane są z eteru, który wypełnia również obszar między sferami Księżyca a sferą gwiazd stałych.

Kombinacjami elementów wypełniających obszar podksiężycowy i ich ruchami Arystoteles objaśniał wszystkie obserwowane zjawiska, np. zarówno ruch komet, jak zjawisko atmosferyczne. Prawa obszaru podksiężycowego, złożonego z czterech „surowych” żywiołów, są przy tym różne od praw rządzących doskonałymi ruchomymi, lecz niezmiennymi sferami i ciałami niebieskimi, wykonującymi ruch obrotowy. Zgodnie ze swoją biologiczną i teologiczną koncepcją wszechświata implikującą hierarchię poziomów bytu Arystoteles „pierwszej przyczyny ruchu” albo „nieruchomego czynnika poruszającego” i utrzymującego wszechświat w istnieniu dopatrywał się w rozumie czynnym, będącym pozaczasowym, pozaprzestrzennym, bezosobowym, bezcielesnym ekstraktem ludzkiego intelektu³.

Ostateczną matematyczną postać geocentrycznemu systemowi wszechświata — bez poważniejszego naruszenia filozoficznych założeń Arystotelesa — nadał Klaudiusz Ptolemeusz (ok. 120 r. n.e.) w dziele *Megale syntaxis*, które rozpowszechniło się później w Europie pod zniekształconą przez Arabów nazwą *Almagest*. Ptolemeusz wykorzystał wcześniejszy pomysł przedstawienia ruchu planety w układzie geocentrycznym jako ruchu będącego złożeniem dwu ruchów jednostajnych: po okręgu, zwanego deferensem, którego środkiem jest Ziemia, oraz po niewielkim okręgu, zwanym epicyklem, którego środek porusza się ruchem jednostajnym po deferensie. Ptolemeusz dla uzyskania lepszej zgodności z doświadczeniem zmodyfikował nieco tę koncepcję, usuwając Ziemię ze środka deferensu.

Teoria Ptolemeusza miała zatem w istocie charakter empiryczny, była podobną do współczesnych nam teorii jądra atomowego, posługujących

¹ Arystoteles, *Fizyka*. [Warszawa] 1968, s. 109.

² Tamże, s. 137.

³ B. A. G. Fuller, *Historia filozofii*. T. 1. Warszawa 1963, s. 201.

się modelami, tj. była teorią, którą w razie potrzeby można poprawiać dla uzgodnienia z eksperymentem⁴. Tak np. dla Merkurego, którego ruch sprawiał kłopoty nie tylko starożytnym, Ptolemeusz przyjął dodatkowy epicykl.

Założenia systemu wyłożonego w *Megale syntaxis*⁵ były następujące: niebo jest sferyczne i porusza się jak sfera; Ziemia jako całość jest sferyczna; Ziemia jest centrum wszechświata; Ziemia w stosunku do sfery gwiazd stałych może być uważana za obiekt punktowy; Ziemia jest nieruchoma; formalnie obowiązuje platońska zasada jednostajnego ruchu kołowego.

W interpretacji Ptolemeusza dobowy obrót sfery gwiazd stałych jest przekazywany kolejno innym sferom, aż do sfery księżycowej. Ruch epicykli był uważany za ruch dysku umieszczonego między sferami i przytworzonego do nich. Ptolemeusz, zakładał zatem⁶, że planety same się nie poruszają, a ich ruch powodowany jest ruchem sfer.

Układ z *Megale syntaxis*, poparty filozoficznymi tezami Arystotelesa, m. in. tezą o zasadniczej odmienności praw rządzących w obszarze podksiężycowym od praw rządzących w obszarze sfer niebieskich, został (po zmodyfikowaniu twierdzenia Arystotelesa o wieczności wszechświata na zgodne z Biblią twierdzenie o stworzeniu wszechświata przez Boga z niczego) zaaprobowany przez Kościół w okresie średniowiecza i był panującą teorią kosmologiczną przez blisko półtora tysiąca lat. Pod koniec średniowiecza wraz z narastaniem nowych danych obserwacyjnych system ten stawał się coraz mniej sprawny w wyjaśnianiu ruchów planet. Mnożyły się zatem jego negatywne krytyki, m. in. jedna z nich pochodzi od Awerroesa. Twórczą krytykę tego systemu przeprowadził jednakże dopiero Mikołaj Kopernik.

Dla obalenia założenia Ptolemeusza o nieruchomości Ziemi i jej centralnej pozycji we wszechświecie Kopernik w *De revolutionibus* po raz pierwszy zastosował sformułowaną już w średniowieczu zasadę względności ruchu. Założenie heliocentrycznej teorii Kopernika dają się — jak wiadomo — streścić w czterech twierdzeniach: planety poruszają się ruchem jednostajnym po orbitach kołowych dookoła ciała centralnego, tj. Słońca; Ziemia jest jedną z planet, która obraca się wokół własnej nieruchomej osi i obiega Słońce ruchem jednostajnym kołowym; w ograniczonej sferą gwiazd stałych wszechświecie w każdym punkcie obowiązują zasady fizyki układem odniesienia jest nieruchoma sfera gwiazd stałych.

Kopernik uzyskał teorię posiadającą mniej założeń, niż teoria Ptolemeusza, dającą prostszy opis oraz wyjaśnienie znanych faktów astronomicznych, a także przewidującą nowe zjawisko: istnienie rocznych paralaks gwiazd, tj. występowanie zmian kątowych w położeniu gwiazd na niebie, wywołanych ruchem rocznym Ziemi dookoła Słońca. Uwzględniając współczesne wymagania, jakie wysuwa się pod adresem teorii fizycznej⁷, należy stwierdzić, że teoria Kopernika była pierwszą tego typu teorią, jaka powstała w dziejach ludzkości. Centralnym założeniem teorii

⁴ Wyjaśnienie faktów w tej teorii polegało jednak na konwencjonalnym doborze parametrów i w tym sensie model Ptolemeusza różni się od modeli jądrowych.

⁵ Por.: Claudius Ptolemy. *The Almagest*. W: *Theories of the Universe*. Pod redakcją M. K. Munitza. New York 1965, ss. 104—114.

⁶ Por. np.: E. Rybka, *Four Hundred Years of the Copernican Heritage*. Kraków 1964, ss. 37—38.

⁷ Por.: R. Harrie, *Philosophical Aspects of Cosmology*. „The British Journal for the Philosophy of Science”, t. 13, 1962, s. 106.

Kopernika, posiadającym aspekt kosmologiczny, jest stwierdzenie, że Ziemia nie znajduje się w jakiejś specjalnie wyróżnionej pozycji we wszechświecie. Stwierdzenie to H. Bondi nazywa zasadą Kopernika⁸.

Rozszerzeniem zasady Kopernika jest zasada kosmologiczna, stanowiąca podstawowe założenie współczesnej kosmologii. W najogólniejszym sformułowaniu oznacza ona stwierdzenie o jednorodności wszechświata: „wszechświat jest taki sam w każdym punkcie, jeśli nie uwzględniamy lokalnych nieregularności”⁹. Często używanego obecnie terminu „zasada kosmologiczna” (*cosmological principle*) użył po raz pierwszy E. A. Milne przed 35 laty¹⁰.

Bertrand Russell, mając w pamięci zasadę Kopernika, tak scharakteryzował zasadę kosmologiczną: „Idea, że wszechświat jako całość jest jednorodny, która była sugerowana znacznie wcześniej i która jest zgodna z obserwacjami astronomicznymi, ma obecnie status fundamentalnego postulatu. Jest ona zazwyczaj nazywana zasadą kosmologiczną i jest w istocie jedynie rozszerzeniem idei Kopernika [...]. Nie ma empirycznego dowodu, że prawa fizyki zmieniają się od jednej gromady galaktyki do następnej. Wyciągamy stąd wniosek, że wszechświat jest jednorodny w dużej skali”¹¹. Zasada kosmologiczna jest w światowej literaturze nazywana również: zasadą rzetelnej próbki¹², zasadą ekstrapolacji¹³, postulatem jednorodności¹⁴, zasadą Mikołaja z Kuzy¹⁵, postulatem kosmologicznym oraz uogólnioną zasadą Kopernika¹⁶, zasadą względności¹⁷, einsteinowską zasadą kosmologiczną¹⁸, światowym postulatem¹⁹. Najśluszniej jest jednak, kierując się sugestiami Bondiego, Russella, Naana, a także uznając historyczne zasługi Kopernika dla całej nauki nowożytnej, nazwać zasadę kosmologiczną uogólnioną zasadą Kopernika.

We współczesnej kosmologii teoretycznej zasada ta jest zbiorem czterech założeń:

- 1) jednorodności nomologicznej świata²⁰, tj. tezy o słuszności praw odkrytych na Ziemi w każdym czasie i miejscu wszechświata; założenie to przez metodologów fizyki bywa też nazywane zasadą Maxwella;
- 2) istnienia uniwersalnego czasu kosmicznego; założenie to jest znane pod nazwą postulatu Weyla;

⁸ H. Bondi, *Kosmologia*. Warszawa 1965, s. 24.

⁹ Tamże, s. 21.

¹⁰ E. A. Milne, *Relativity, Gravitation and World Structure*. Oxford 1935.

¹¹ B. Russell, *The ABC of Relativity*. New York 1959, s. 102.

¹² Por.: E. A. Milne, *op. cit.*, s. 123.

¹³ Por.: G. I. Naan, *Problemy i tendiencje relatywistycznej kosmologii*. W: *Einsteinowskiy sbornik 1966*. Moskwa 1966, s. 347; E. M. Czudinow, *Logiczeskije osnovanija problemy biezkonecznosti w relatywistycznej kosmologii*. W: *Einsteinowskiy sbornik 1968*. Moskwa 1968, s. 86.

¹⁴ Por. m. in.: G. J. Whitrow, *The Structure and Evolution of the Universe*. New York 1959, s. 132.

¹⁵ Por.: R. Harrie, *op. cit.*, s. 112.

¹⁶ Por.: G. I. Naan, *Grawitacija i biezkonecznost*. W: *Filosofskije problemy teorij tiagotienija Einsteina i relatywistycznej kosmologii*. Kijew 1965, s. 273.

¹⁷ H. P. Robertson, *The Theoretical Aspects of the Nebular Redshift*. „Publications of the Astronomical Society of the Pacific”, nr 395, 1955, s. 83.

¹⁸ E. A. Milne, *op. cit.*, s. 68.

¹⁹ O. Heckmann, E. Schücking, *Handbuch der Physik*. T. 53: *Astrophysik IV. Stern-Systeme*. Berlin—Göttingen—Heidelberg 1959, s. 504.

²⁰ Wyrażenie „izotropia nomologiczna” spotykamy w pracy A. Grünbauma *Philosophical Problems of Time*. New York 1963, wyrażenie zaś „jednorodność nomologiczna” w artykule Z. Augustynka, *Homogeneity of Time*. „American Journal of Physics”, nr 2/1968.

- 3) jednorodności i izotropowości rozkładu materii we wszechświecie, co oznacza, że funkcja gęstości materii we wszechświecie — oczywiście pomijając lokalne niejednorodności — nie zależy od współrzędnych przestrzennych, może zatem co najwyżej być funkcją zależną tylko od czasu kosmicznego;
- 4) jednorodności i izotropii przestrzeni, tj. tezy o identyczności geometrycznej struktury przestrzeni w różnych jej punktach i kierunkach (w języku matematycznym znaczy to, że istnieje taka tranzytywna, sześcioparametrowa grupa ruchów, która przekształca przestrzeń w siebie).

Czy założenie pierwsze ma charakter empiryczny? Według M. K. Munitza²¹ i H. Margenaua²² założenie to nie ma charakteru empirycznego, lecz jest zdaniem analitycznym, ponieważ — jak twierdzą wspomniani autorzy — już w samej definicji prawa fizyki zawarta jest jego uniwersalna niezmienniczość w czasie i przestrzeni. Również J. G. Kemeny²³ uważa, że założenie to jest konieczne dlatego, aby prawa fizyki miały prostą postać matematyczną, a zatem w istocie nie zawiera w sobie treści empirycznej. Przeciw tak pojętemu konwencjonalizmowi występują zwolennicy empiryzmu, wskazując na niezależność wymienionego założenia od praw fizyki, a zatem na możliwość jego eksperymentalnej weryfikacji. Można też mniemać, że tkwi ono już w samej definicji wszechświata; można bowiem określić wszechświat jako zbiór obiektów, do którego mogą być zastosowane prawa fizyki; takie stanowisko jednak niewiele różniłoby się od stanowiska Parmenidesa. Należy zatem przyjąć, że założenie jednorodności nomologicznej jest ekstrapolacją wyników uzyskanych w dostępnej człowiekowi części wszechświata, a sprawą przyszłości jest wykazanie, czy jest ono prawdziwe, czy fałszywe. Na razie marksistowskie kryterium prawdy każe uznać to założenie za względnie prawdziwe.

Założenie drugie ogranicza w pewien sposób ruch materii we wszechświecie. Jest ono równoważne twierdzeniu, że historia galaktyk daje się w przestrzeni Riemanna odwzorować na wiązkę geodetyk rozchodzących się z pewnego punktu w skończonej lub nieskończonej odległej przeszłości²⁴. Przy tym założeniu prędkość galaktyk jest określoną funkcją ich położenia, co umożliwia zsynchronizowanie zegarów, czyli wprowadzenie czasu kosmicznego. Czas ten jest oczywiście pojęciem statystycznym, takim np. jak temperatura gazu, gdyż nie bierze się pod uwagę lokalnych ruchów galaktyk.

Trzecie założenie — jak sądzi obecnie wielu astronomów — jest dość dobrze potwierdzone przez bezpośrednie obserwacje astronomiczne. Nasuwa się tu jednak pytanie, jak wielkie są lokalne nieregularności rozkładu materii we wszechświecie. Wydaje się, że ma rację G. I. Naan²⁵, gdy przyjmuje, że są one rzędu objętości jednej gromady galaktyk, tj. ok. 10^{20} parseków sześciennych. Wydaje się też, że gdyby odkryto twory rzędu wyższego niż gromady galaktyk, to założenie jednorodności rozkładu można by zachować na tym wyższym poziomie. Według D. W. Sciamy²⁶, sprawa jednorodności przestrzennego rozkładu materii powinna być wy-

²¹ Por.: M. K. Munitz, *Space, Time and Creation*. New York 1961, ss. 146—147.

²² Por.: H. Margenau, *Open Vistas*. New York—New Haven—London 1964, ss. 84—85.

²³ Por.: J. G. Kemeny, *Nauka w oczach filozofa*. Warszawa 1967, ss. 63—65.

²⁴ Por.: H. Bondi, *op. cit.*, s. 131.

²⁵ Por.: G. I. Naan, *Woprosy kosmogonii*. T. 6. Moskwa 1958, s. 322.

²⁶ Por.: D. W. Sciamy, *The Unity of the Universe*. London 1959, s. 1939.

jaśniona w fizycznych kategoriach procesów rządzących wszechświatem; na razie jednak teorie kosmologiczne tego nie robią. Były też próby potwierdzenia trzeciego założenia metodami fizyki jądrowej: G. Cacconi i E. Salpeter²⁷, przyjmując zasadę Macha (bezwładność dowolnego ciała we wszechświecie jest całkowicie zdeterminowana przez pozostałe masy zawarte we wszechświecie), otrzymali tą drogą wynik pozytywny. Ich eksperymenty, prowadzone w oparciu o efekt Mössbauera, pokazują przy tym, że względna zmiana anizotropii masy, związana z kierunkiem w naszej galaktyce, jest mniejsza od 10^{-22} .

Gdy do opisu wszechświata stosujemy mechanikę Newtona, to założenie czwarte jest tym samym spełnione, ponieważ mechanika Newtona oparta jest na geometrii euklidesowej, a przestrzeń euklidesowa jest jednorodna. Przy zastosowaniu zaś ogólnej teorii względności, co ma miejsce w kosmologii relatywistycznej, zachodzi jakościowy związek między założeniami trzecim a czwartym poprzez równania Einsteina.

Najlepszym dowodem słuszności uogólnionej zasady Kopernika jest empiryczna prawdziwość logicznych jej konsekwencji. W oparciu o uogólnioną zasadę Kopernika możemy, czy to w kosmologii neonewtonowskiej (odkrytej przez E. A. Milne'a i W. Mc Cree w 1934 r., a uściślonej przez O. Heckmanna w latach 1942 i 1955), czy to w kosmologii relatywistycznej, wyprowadzić prawo Hubble'a-Humasona, tj. prawo, które w kategoriach obserwacyjnie mierzalnych charakteryzuje ucieczkę galaktyk. Uniwersalna słuszność tego prawa, dosyć dobrze potwierdzona w części wszechświata dostępnej obserwacjom astronomicznym, stanowi zatem potwierdzenie uogólnionej zasady Kopernika.

КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ИЛИ ОБОБЩЕННЫЙ ПРИНЦИП КОПЕРНИКА

Автор излагает в сжатой форме историю космологии, описывает Вселенную Аристотеля и систему мира Птолемея. Дальше автор останавливается на системе Коперника, исследуя проблему: в какой степени идеи великого астронома содержатся в том, что мы называем современной космологией. Вместо термина „космологический принцип” в работе употребляется термин „обобщенный принцип Коперника”, поскольку последний более адекватен. Автор анализирует содержание обобщенного принципа Коперника и вопрос об его проверке.

COSMOLOGICAL PRINCIPLE OR GENERALISED COPERNICUS'S PRINCIPLE

The author briefly discusses the history of cosmology; he describes Aristotle's universe and Ptolemy's system. He then presents the following problem concerning Copernicus's system: to what extent do Copernican ideas participate in what we call contemporary cosmology. In the article the expression „cosmological principle” was changed to „generalised Copernicus's principle” which seemed more adequate. Further on the author discusses the contents of the generalised Copernicus's principle and the problem of verifying it.

²⁷ Por.: G. Cacconi, E. Salpeter, *Upper Limit for the Anisotropy of Inertia from the Mössbauer Effect*. „Physical Review Letters”, nr 4/1960, ss. 176—177.