

Edmund Skarżyński

## IDEA JEDNORODNOŚCI W DZIEJACH KOSMOLOGII

### 1. Idea jednorodności w kosmologii starożytnej

Teza o jednorodności wszechświata, zwana dzisiaj zasadą kosmologiczną, stanowi podstawowe założenie kosmologii jako nauki o wszechświecie. W postaci spekulatywnej nauka ta oraz to twierdzenie, zrodziły się w szóstym stuleciu p.n.e., kiedy to filozofowie jońscy wyrazili ideę, że wszechświat jest zbudowany z jednorodnego tworzywa. Takim tworzywem była woda dla Talesa, nieokreślona i bezkresna materia dla Anaksymandra, powietrze lub para dla Anaksymenesa, ogień dla Heraklita, atomy dla Demokryta.

Według Parmenidesa rzeczywiście istniejący wszechświat stanowi - zbudowaną z jednorodnego i izotropowego, przejrzystego materiału kosmicznego - kulę, poza którą nie ma nic. Jednorodność materiału w ujęciu Parmenidesa oznaczała, iż jest on taki sam wszędzie, zaś izotropowość tworzywa kosmicznego znaczyła, że posiada on te same cechy we wszystkich możliwych kierunkach. W owym czasie jednorodność wszechświata oznaczała więc jednorodność budulca, z którego zbudowany był wszechświat. Jednak już w V wieku p. n. e. Empedokles z Agrigentu utrzymywał, iż tworzywo wszechświata nie jest jednorodne. Według tego myśliciela wszechświat miał być zbudowany z czterech żywiołów: ziemi, wody, powietrza i ognia. Podobnie rzecz się miała z niejednorodnym wszechświatem Arystotelesa. Dla Arystotelesa /384-322 r. p. n. e./ tworzywem wszechświata jest pięć elementów: ziemia, woda, powietrze i ogień oraz niezmienny, nieważki, nie mający początku ani końca doskonały eter. Wszechświat Arystotelesa składał się z pięćdziesięciu pięciu sfer. Zamykał się on zgodnie z tradycją pitagorejską, między sferą Ziemi a dokonującą 24-godzinny obrotu sferą gwiazd stałych. Według Arystotelesowej koncepcji przestrzeni wypełnionej materią, przestrzeń pusta nie istnieje; każde ciało zajmuje miejsce w przestrzeni: "miejsce to bezpośrednia i nieruchoma granica ciała otacza-

jącego"<sup>1</sup>. Za sferą gwiazd stałych, za którą nie ma już żadnych ciał, nie ma zatem przestrzeni. Skończoność wszechświata Arystoteles rozumiał więc jako skończoność wymiarów sfery gwiazd stałych. Czas zaś, nierozdzielnie związany z przestrzenią, jest "ilością ruchu ze względu na «wcześniej» i «później» i jest ciągłością"<sup>2</sup>. Czas odmierza trwanie wiecznego wszechświata. Obszar podksiężycowy jest złożony z czterech elementów Empedoklesa, natomiast obszar nadksiężycowy jest zbudowany z eteru. Prawa rządzące obszarem podksiężycowym - według Arystotelesa - są różne od praw rządzących doskonałymi, ruchomymi, lecz niezmiennymi sferami i ciałami niebieskimi, jakie są położone powyżej sfery Księżyca. Wszechświat Arystotelesa jest więc niejednorodny w dwu aspektach: po pierwsze - ze względu na niejednorodność tworzywa, po drugie - ze względu na niejednorodność fizyki, tj. odmienną fizykę obszaru podksiężycowego od fizyki sfer niebieskich. Arystoteles był ostatnim wielkim kosmologiem starożytności, podobnie jak żyjący około pięćset lat później Ptolemeusz, był jej wielkim astronomem. Pisma tych dwu uczonych dominowały w kosmologicznej i astronomicznej myśli europejskiej aż do 1543 roku. Zatem dla starożytności i średniowiecza charakterystyczna jest idea niejednorodności wszechświata.

## 2. Kosmologia kopernikańska i newtonowska

Rewolucyjne zmiany w poglądach na wszechświat dokonuje w 1543 roku Mikołaj Kopernik. Od tej pory w kosmologii toruje sobie drogę idea jednorodności wszechświata. Założenia heliocentrycznej teorii Kopernika dają się streścić w czterech twierdzeniach: planety poruszają się ruchem jednostajnym, kołowym dookoła ciała centralnego, tj. Słońca; Ziemia jest jedną z planet, która obraca się dookoła własnej osi i obiega Słońce ruchem jednostajnym kołowym; w ograniczonej sferze gwiazd stałych wszechświecie obowiązują te same zasady fizyki; układem odniesienia jest nieruchoma sfera gwiazd stałych. Centralnym założeniem teorii polskiego uczonego, posiadającym aspekt kosmologiczny, jest stwierdzenie, że Ziemia nie znajduje się w jakiejś specjalnie wyróżnionej pozycji we wszechświecie. Inaczej mówiąc, Kopernik traktował wszystkie planety jako zbiór jednorodny. Stwierdzenie to H. Bondi nazywa zasadą Kopernika<sup>3</sup>. Kosmologiczna koncepcja Kopernika została rozwinięta przez jego następców. I tak Tomasz Digges oraz Giordano Bruno wskazywali, iż nie istnieje sfera gwiazd

<sup>1</sup> Arystoteles, *Fizyka*, Warszawa 1968, s. 109.

<sup>2</sup> Tamże, s. 137.

<sup>3</sup> Bondi H., *Kosmologia*, Warszawa 1965, s. 24.

stałych i ciała niebieskie zasiedlają cały nieskończony wszechświat. Brakowało jednak wówczas teorii fizycznej, którą by można zastosować do nieskończonego wszechświata. Stworzenie takiej teorii było dziełem Newtona. Uczony ten, ekstrapolując swoją teorię na cały wszechświat, doszedł do wniosku, że wszystkie gwiazdy we wszechświecie powinny być rozmieszczone równomiernie /jednorodnie/, a ich ilość powinna być nieskończona. Idea jednorodności wszechświata nabiera u Newtona ścisłego wyrazu. Oznacza ona, po pierwsze, że prawa mechaniki powinny być czasoprzestrzennie niezmiennie, uniwersalne, po drugie - że rozkład materii jest jednorodny. Jednak w dwieście lat później Seeliger /1895/ pokazał, że zastosowanie prawa ciężkości powszechnego do nieskończonego wszechświata, w którym materia jest rozmieszczona równomiernie prowadzi do absurdalnych wniosków. W każdym punkcie takiego wszechświata<sup>4</sup> pojawiają się nieskończenie duże siły. Wyjście z tego paradoksu pierwszy znalazł A. Einstein, kiedy w 1917 roku zastosował swoją ogólną teorię względności do rozważań kosmologicznych. W ten sposób powstała nowoczesna kosmologia.

### 3. Idea jednorodności w kosmologii nowoczesnej

Podstawowym założeniem nowoczesnej kosmologii jest zasada kosmologiczna. Termin "zasada kosmologiczna" /cosmological principle/ został użyty po raz pierwszy przez E. A. Milne przed 35 laty<sup>5</sup>. Zasada ta w najogólniejszym sformułowaniu oznacza stwierdzenie o jednorodności wszechświata: "wszechświat jest taki sam w każdym punkcie, jeżeli nie uwzględniamy lokalnych nieregularności"<sup>6</sup>. Ową zasadę traktuje się jako rozszerzenie zasady Kopernika, ta ostatnia zaś stwierdza, że Ziemia nie znajduje się w specjalnie wyróżnionej pozycji we wszechświecie. Bertrand Russell, mając w pamięci zasadę Kopernika, tak charakteryzuje 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 galaktyk do następnej. Wyciągamy stąd wniosek, że wszechświat jest jednorodny w dużej skali"<sup>7</sup>. Jak widać B. Russell

<sup>4</sup>Skarżyński E.: "O paradoksach kosmologicznych" Studia Filozoficzne, Nr 6, 1969, s. 171-177.

<sup>5</sup>Milne E. A.: *Relativity, Gravitation and World structure*, Oxford 1935.

<sup>6</sup>Bondi H.: *op. cit.* 3, s. 21.

<sup>7</sup>Russell B.: *The ABC of Relativity*, New York 1959, s. 102.

utrzymuje, że zasada Maxwella - czyli twierdzenie o słuszności praw odkrytych na Ziemi w każdym czasie i miejscu wszechświata, zawiera się w treści zasady kosmologicznej. Jednak większość kosmologów na ogół nie wspomina o takiej okoliczności i przyjmuje, że zasada kosmologiczna jest zbiorem trzech założeń:

1. istnieje czas kosmiczny; założenie to jest znane pod nazwą postulatu Weyla,

2. rozkład materii we wszechświecie jest jednorodny i izotropowy, co oznacza, że funkcja gęstości materii we wszechświecie - oczywiście pomijając lokalne niejednorodności - nie zależy od współrzędnych przestrzennych, może być tylko funkcją zależną od czasu kosmicznego,

3. przestrzeń jest jednorodna i izotropowa, co oznacza, że geometryczna struktura przestrzeni w różnych punktach i kierunkach jest taka sama.

Nasuwa się pytanie, czy zasada Maxwella, co do której nie powinno być wątpliwości, że jest ona metatwierdzeniem fizyki, posiada charakter empiryczny? Otóż zdaniem M. K. Munitza<sup>8</sup> i H. Margenau<sup>9</sup> zasada Maxwella nie ma charakteru empirycznego. Ci autorzy uważają, że jest ona zdaniem analitycznym, ponieważ już w samej definicji prawa fizyki zawarta jest jego uniwersalna niezmiennosc w czasie i przestrzeni. Przeciw tak pojętemu konwencjonalizmowi występują zwolennicy empiryzmu. S. Schweber<sup>10</sup> uważa np., że zasada Maxwella została ustanowiona eksperymentalnie i w związku z tym może ona mieć ograniczony zakres stosowalności.

Wracając do założeń, które najczęściej się wymienia w związku z zasadą kosmologiczną, to pierwsze założenie ogranicza ruch materii we wszechświecie. Jest ono równoważne twierdzeniu, że historia galaktyk daje się w przestrzeni Riemanna odwzorować na wiązkę geodetyk rozchodzącą się z pewnego punktu w skończonej lub nieskończonej odległej przeszłości<sup>11</sup>. Przy tym założeniu prędkość dowolnej galaktyki staje się określoną funkcją jej położenia, co pozwala zsynchronizować zegary czyli wprowadzić czas kosmiczny.

Założenie jednorodności i izotropowości rozkładu materii we wszechświecie jest dość dobrze potwierdzone przez bezpośrednie obserwacje astronomiczne. Za lokalne nieregularności, o których mowa w sformułowaniu zasady kosmologicznej, należy brać obszary większe od objętości jednej gromady galaktyk, tj. około  $10^{23}$  parseków sześciennych.

<sup>8</sup>Munits M. K.: Space, time and Creation, New York 1961, s. 146-147.

<sup>9</sup>Margenau H.: Open Vistas, New York - New Haven - London 1964, s. 84-85.

<sup>10</sup>Schweber S. S.: An introduction to relativistic quantum field theory /przekład rosyjski/, Moskwa 1963, s. 24.

<sup>11</sup>Bondi H.: op. cit. 3, s. 131.

Założenie jednorodności i izotropowości przestrzeni oznacza, że do opisu wszechświata wybieramy takie przestrzenie Riemanna, które są jednorodne i izotropowe, czyli przestrzenie o stałej krzywiznie<sup>12</sup>. Owo założenie jest założeniem geometrycznym i w tym stopniu może mieć charakter empiryczny w jakim stopniu geometria wszechświata może być wyznaczona empirycznie. Co się tyczy geometrii wszechświata to nadmienimy, że po przyjęciu pewnych konwencji /np. definicja kongruencji/ ustala się ją empirycznie.

Zachodzi pytanie, jaki jest związek założenia jednorodności i izotropowości przestrzeni z założeniem równomiernego rozkładu materii we wszechświecie? Otóż te dwa założenia posiadałyby identyczną treść, wówczas, gdyby zachodziła jednoznaczna odpowiedniość między rozkładem materii a strukturą czasoprzestrzeni, co postuluje zasada Macha. Jednak wiadomą jest rzeczą, że owa zasada nie jest zrealizowana na gruncie ogólnej teorii względności<sup>13</sup>. Oznacza to, że z logicznego punktu widzenia wyżej wymienione założenia należy przyjmować oddzielnie.

Zdaniem O. Heckmanna i E. Schückinga<sup>14</sup> istnieje związek między założeniem pierwszym a drugim. Ci autorzy bowiem, wykorzystując ostatnie z wyżej wymienionych założeń, wprowadzają założenie pierwsze. Ich zabieg polega /pomijając szczegóły/ na skonstatowaniu, że czas kosmiczny jest funkcją odwrotną do funkcji gęstości. Jednak faktem jest, że w modelach K. Gödla, w których gęstość materii we wszechświecie jest funkcją stałą, nie daje się wprowadzić czasu kosmicznego. Dlatego też założenie pierwsze oraz założenie drugie należy postulować oddzielnie. Powyższe ustalenie wraz z ustaleniem co do związku założenia drugiego z trzecim prowadzi do wniosku, że założenia 1, 2, 3 są z logicznego punktu widzenia niezależne i należy je postulować oddzielnie. Te trzy założenia posiadają matematyczny charakter i w tym sensie zasadniczo różnią się od postulatu jednorodności - postulatu jednorodności co do rzeczywistego wszechświata przyjmowanego przez starożytnych. Owe założenia nie mają związku żadnego z zasadą Maxwella, którą również przyjmuje się oddzielnie.

Na zakończenie nadmienimy, że najlepszym dowodem słuszności zasady kosmologicznej jest empiryczna prawdziwość jej logicznych konsekwencji. Otóż opierając się na owej zasadzie możemy matematycznie wyprowadzić prawo Hubble'a - Humasona, czyli prawo ucieczki galaktyk. Prawo to jest dość dobrze potwierdzone przez obserwacje astronomiczne. Zatem ów fakt stanowi o słuszności zasady kosmologicznej.

<sup>12</sup>Pietrow A. Z.: *Novyje metody w obszczej teorii otnositelnosti*, Moskwa 1966.

<sup>13</sup>Heller M.: *Acta Physica Polonica*, B1, 131, 1970; Heller M.: *Postępy astronomii*. Zeszyt 1, 1971.

<sup>14</sup>Heckmann O.; Schucking E.: *Handbuch der Physik*, Vol. 53, /przekład rosyjski/, Moskwa 1962, s. 616.

Edmund Skarżyński

#### THE IDEA OF HOMOGENEITY IN THE HISTORY OF COSMOLOGY

The paper contains a description of the principles of ancient cosmology and testifies to the modifications introduced into them by Copernicus. Further on the idea of homogeneity is explained on the basis of Newton's cosmology, the essence of so-called cosmological principle is specified and its epistemological status is examined.

Эдмунд Скаржински

#### ИДЕЯ ОДНОРОДНОСТИ В ИСТОРИИ КОСМОЛОГИИ

В работе описаны основы, на которые опиралась древняя космология, охарактеризована модификация этих основ, осуществленная Н. Коперником. Затем объясняется понятие однородности на основе ньютоновской космологии, уточняется смысл так называемого космологического принципа и исследуется его эпистемологическое значение.