

Ks. MICHAŁ HELLER

GRANICZNY CHARAKTER KOSMOLOGII (Prolegomena do filozofii kosmologii)

WPROWADZENIE

Współczesna kosmologia utrwaliła swoją pozycję w rodzinie nauk empirycznych. Przestała być teoretycznym luksusem, za jaki można ją było uważać jeszcze kilkanaście lat temu. Stała się niezbędnym „laboratorium” dla fizyki oddziaływań fundamentalnych, w którym ta ostatnia może poddawać swoje hipotezy krytycznym testom. Z drugiej jednak strony kosmologia zachowała swój niemal filozoficzny charakter, kreśląc wielkoskalowy obraz Wszechświata, niezbędny przecież do wszelkich bardziej odpowiedzialnych poszukiwań przez człowieka jego miejsca w rzeczywistości.

Wszystko to stwarza konieczność filozoficznej refleksji nad samą kosmologią i jej osiągnięciami. Tym bardziej, że w istniejącej literaturze tego rodzaju refleksja zajmuje raczej skromne miejsce. Wolę w tym kontekście mówić raczej o filozofii kosmologii niż o jej metodologii. Metodologia kojarzy się z bardziej technicznymi szczegółami badań nad nauką, podczas gdy wyrażenie „filozofia nauki” kieruje myśl ku poznawczym horyzontom i zagadnieniom granicznym. A te właśnie aspekty współczesnej kosmologii pragnę poruszyć w niniejszym studium. Mam nadzieję, że w dalszym ciągu pełniej uzasadnię, dlaczego kosmologię uważam za *naukę graniczną*.

Obecne studium stanowi tylko początek badań, jakie należałoby podjąć nad filozofią kosmologii. Poruszam w nim jedynie trzy zagadnienia, a mianowicie: 1. wyróżnienie rozmaitych znaczeń „filozofii kosmologii” i bliższe określenie obszaru dalszych dociekań; 2. próbę odpowiedzi na pytanie, co współczesna kosmologia rozumie pod nazwą „wszechświat”; jest to pytanie kluczowe, pozwala ono bowiem przybliżyć się do uchwycenia o czym właściwie jest mowa w kosmologii; 3. refleksja nad nie-lokalnym charakterem twierdzeń kosmologicznych. Zespół tych zagadnień można by nazwać *prolegomeną do filozofii kosmologii*.

Niniejsze studium powstało w oparciu o cykl wykładów, jakie wygłosiłem w wiosennym semestrze roku akademickiego w 1984/85 na Papieskim Wydziale Filozoficznym w Krakowie. W postaci, którą obecnie oddaję do publikacji, zdecydowałem się zachować literacki kształt wykładów. Mam nadzieję, że nie obniży to naukowej wartości pracy, a może przyczynić się do jej przyjemniejszego czytania.

Kosmologia później niż inne nauki wyłoniła się z uprzednio wszechobejmującej filozofii. Jeszcze w naszym stuleciu, w podręcznikach, zawierających w tytule wyraz „kosmologia”, można było natrafić na następujący argument: Gdyby wszechświat był nieskończony, musiałby zawierać bądź jedno ciało nieskończonych rozmiarów, bądź nieskończenie wiele ciał skończonych rozmiarów. Pierwsze jest sprzeczne z doświadczeniem, potocznym (widzimy wiele ciał), drugie jest sprzeczne wewnętrznie (aktualna nieskończoność jednostkowych ciał jest pojęciem sprzecznym). A więc wszechświat musi być skończony. — Nie idzie o naiwność tego argumentu. Idzie o to, że trudne zagadnienie kosmologiczne usiłowano rozstrzygnąć przy pomocy czysto spekulatywnych argumentów.

Wiek XX stał się areną dramatycznego rozwoju kosmologii, rozumianej jako nauka empiryczna. Spekulatywne argumenty całkowicie ustąpiły miejsca matematycznym formom rozumowania, wychodzącym od empirycznie uzasadnionych założeń i kończących się empirycznym testowaniem. Ale przedmiot dociekań kosmologicznych pozostał ten sam: świat w największej możliwej skali. I przedmiot ten, niejako sam z siebie, nakłania do filozofii. Współczesna kosmologia z filozofii wyszła i do filozofii prowadzi.

Ta naturalna tendencja kosmologii jest dobrze widoczna w wielu publikacjach o tematyce kosmologicznej, zwłaszcza w książkach popularno-naukowych. Ale bywa to różnego gatunku filozofia. Niedawno czytałem filozoficzno-kosmologiczną pracę, której autor zachęcał do kultu Big Bangu, ale przestrzegał, że „nowa religia” nie powinna wtrącać się do spraw moralności. Chociaż oczywiście z podtekstów, międzylinii i niekiedy dość szerokich marginesów różnych prac kosmologicznych można by zebrać dość pokaźny zestaw odpowiedzialnych rozważań filozoficznych. Coś takiego chcę zrobić w niniejszym cyklu wykładów. Postaram się w to wszystko wprowadzić nieco systematyzacji i, w razie potrzeby, uzupełnień własnymi przemyśleniami.

Obecny wykład nosi tytuł „Filozofie kosmologii”. Filozofie (w liczbie mnogiej), gdyż chcę, na wstępie, dokonać pewnego uporządkowania tego, co się rozumie przez filozofię w szeroko pojmowanym kontekście kosmologicznym. Będziemy tu mieli do czynienia z silną wieloznacznością, co w pełni usprawiedliwia liczbę mnogą.

Łatwiej wyjaśnić drugie słowo użyte w tytule. Przez kosmologię będę cały czas rozumiał *kosmologię relatywistyczną*. Nie suponuję, że mówię do specjalistów. Jeżeli wśród moich słuchaczy znajdują się specjaliści, zrozumieją oni więcej i, być może, będą mogli sami rozwijać niekiedy niedokończone, czy nie do końca domyślane przeze mnie, myśli. Ale moją ambicją jest, by także niespecjaliści, którzy kosmologię relatywistyczną znają z mniej lub bardziej popularnej strony, również mogli z pożytkiem pofilozofować nad pytaniami stawianymi przez wszechświat.

Jak można rozumieć wyrażenie „filozofia kosmologii”? Z pewnością na wiele sposobów. Oto niektóre z nich (jeżeli jakieś pominąłem, to mam nadzieję, że nie te najczęściej spotykane):

1. *Metodologia kosmologii*. W podobnym sensie jak metodologię nauk nazywa się niekiedy filozofią nauki. Rozróżniłbym tu metodologię zewnętrzną i metodologię wewnętrzną. Pierwszą uprawiają filozofowie nauki; rozważają oni takie zagadnienia jak: charakter kosmologii jako nauki, co to jest model kosmologiczny? czy rewolucje w kosmologii za-

chodzą w sposób ciągły czy nieciągły?... Drugą, często nieświadomie, tworzą sami kosmologowie; jest im potrzebna do rozwiązywania konkretnych zagadnień; z reguły wymaga ona głębokiej wiedzy kosmologicznej¹.

Chciałbym tu przytoczyć dwie racje, dla których metodologia wewnętrzna odgrywa w kosmologii szczególnie doniosłą rolę. *Po pierwsze*, kosmologia posługuje się ekstrapolacją (zwłaszcza ekstrapolacją do odległych obszarów czasu i przestrzeni) bardziej niż inne teorie fizyczne. Porównanie z empirią zwykle ma miejsce dopiero na samym końcu zabiegów badawczych i „zdrowa metodologia” jest niezmiernie pożyteczna do „pilnowania ekstrapolacji”. Ujawnianie założeń, czynionych (niekiedy milcząco) w trakcie ekstrapolowania, i ich logiczna kontrola, mogą przynieść doraźne efekty. *Po drugie*, każda teoria fizyczna wymaga interpretacji, czyli przekładu teoretycznej struktury na język dostępnych nam „danych wyobraźni”. Wyobraźnia ta jest wyszkolona na doświadczeniu i karmiona doświadczeniem, choć nie koniecznie doświadczeniem potocznym: do wyników doświadczeń, nawet najbardziej wyrafinowanych, wyobraźnia z czasem przyzwyczaja się. (Można by tu rozwinąć dyskusję, czy tego rodzaju przekład struktur na dane wyobraźni nie jest sednem rozumienia naukowych teorii.) W teoriach, dla których „odległość” między strukturą a możliwościami wyobraźni jest mała, mamy do czynienia z *interpretacją naturalną*. Ponieważ wyobraźnia kształci się doświadczeniem, „odległość”, o jakiej tu mowa, jest w gruncie rzeczy odległością między strukturami teoretycznymi a wynikami doświadczeń. I tak na przykład istnieje jedna, bo naturalna, interpretacja mechaniki klasycznej. Nie ma tu sporów interpretacyjnych, bo każdy wie o co chodzi. Inaczej w przypadku mechaniki kwantowej. Odległość między formalizmem, który opisuje „wewnętrzny świat cząstek elementarnych”, a językiem zawsze makroskopowych pomiarów jest duża. Brak naturalnej interpretacji powoduje wielość stanowisk interpretacyjnych. Dobra interpretacja staje się tu niemal częścią samej teorii. W kosmologii odległość między językiem teorii a językiem doświadczenia jest także duża (choć odległość ta ma inny charakter niż w przypadku mechaniki kwantowej) i też może powodować spory interpretacyjne (por. np. różne interpretacje przesunięcia ku czerwieni w widmach galaktyk, spór o odległości kwazarów, interpretacje osobliwości początkowej, itp.).

2. Fizycy bardzo często określają mianem filozofii *to, co* — w ich mniemaniu — *wychodzi poza fizykę*. W ich mniemaniu, gdyż — jak każdemu metodologowi dobrze wiadomo — określenie ostrej granicy między fizyką a nie-fizyką jest rzeczą niezmiernie trudną, o ile w ogóle możliwą. Ogólnie rzecz biorąc, za filozoficzne fizycy uważają wszystkie stwierdzenia lub postulaty, które są „empirycznie nieweryfikowalne”. Niełatwy problem bliższego określenia, co to znaczy „empirycznie nieweryfikowalne” odłożymy na później.

W kosmologii możliwe są dwie strategie:

A. Wywodząca się od Hubble’a², obecnie intensywnie badana przez G. F. R. Ellisa i jego grupę³. Zgodnie z tym programem, w kosmologii należy ograniczyć się tylko do tego, co można wydedukować z obserwacji. Oczywiście

¹ Por. mój art. *Uwagi o metodologii kosmologii*, Roczniki Filozoficzne (KUL) 26, z. 3, 1978, 65—75.

² Por. jego: *Observational Approach to Cosmology*, Clarendon Press, Oxford 1937.

³ G. F. R. Ellis, *Relativistic Cosmology: Its Nature, Aims and Problems*, w: *General Relativity and Gravitation*, red.: B. Bertotti, F. de Felice, A. Pascolini, Reidel, Dordrecht 1984, ss. 215—288. — Artykuł ten jest niejako przeglądem dotychczasowych wyników grupy Ellisa i programem dalszych badań. Zawiera on wiele pionierskich analiz z dziedziny, którą można by uznać za filozofię kosmologii.

nie ma „nagich faktów”, trzeba wszakże posługiwać się naturalną interpretacją tego, co się mierzy (naturalną tzn. zgodną z paradygmatem). W nowszych wersjach programu używa się równań modelu kosmologicznego, ale warunki początkowe dla nich usiłuje się określić — jeżeli to tylko możliwe — wyłącznie na podstawie obserwacji.

B. Powszechna praktyka kosmologiczna nie specjalnie troszczy się o obserwacje w punkcie wyjścia. Czyni się zasadniczo dowolne założenia (podyktowane dotychczasową wiedzą, iskrą geniuszu lub polowaniem na oryginalność) i na ich podstawie buduje się model. Sprawdzanie odbywa się (lub powinno odbywać się) za pośrednictwem przewidywań empirycznych wydedukowanych z modelu. Trzeba przyznać, że ogromna większość osiągnięć współczesnej kosmologii została uzyskana tą drogą.

W obydwu podejściach nie można uniknąć „nieweryfikowalnych empirycznie założeń”. I tak na przykład trzeba zakładać, że metodę wypracowaną przez „fizykę ziemską” można stosować poza obszarem, na którym została sprawdzona, że prawa przyrody są takie same w całym wszechświecie, lub że należy tak badać wszechświat jakby prawa przyrody były w nim wszędzie takie same jak na Ziemi, o ile coś przeciwnego nie zostanie zasygnalizowane sprzecznościami w wynikach⁴. Ponadto w ujęciu (B) musi się przyjąć (często czyni się to milcząco) dodatkowe założenia sterujące ekstrapolacją. Niekiedy nazywa się je zasadami. Ellis⁵ wymienia (przykładowo) pięć takich zasad:

a) *Zasada Kopernika* (zwana także *zasadą kosmologiczną*): wszechświat jest przestrzennie jednorodny i izotropowy.

b) *Zasada prostoty*: wybiera się najprostsz model zgodny z obserwacjami (ale problem, co to jest prosty model, nie jest wcale taki prosty).

c) *Zasada prawdopodobieństwa*: model opisujący wszechświat powinien być prawdopodobny w zbiorze wszystkich modeli (tzn. nie powinien należeć do podzbioru modeli miary zero). Często mówimy, że model powinien być typowy.

d) *Zasada Macha* (w którejś ze swoich wersji), najogólniej: wszechświat sam powinien określać warunki brzegowe dla opisujących go równań.

e) *Zasada antropiczna*: w swojej najbardziej „metodologicznej” wersji domaga się, by model kosmologiczny dopuszczał istnienie rozumnego obserwatora (czyli żeby nie wykluczał a priori warunków koniecznych do biologicznej ewolucji).

Ponieważ założeń nieweryfikowalnych empirycznie nie da się wykluczyć z kosmologii, tę ostatnią należałoby określić jako naukę nie tylko o wszechświecie w jego największej skali, lecz także o założeniach, jakie należy uczynić, by taka nauka stała się możliwa. W tym sensie badania filozoficzne stają się częścią kosmologii. Należy podkreślić, że nieweryfikowalne empirycznie założenia są czynione przez wszystkie nauki empiryczne. W kosmologii jedynie ich działanie staje się bardziej widoczne.

3. Przez filozofię kosmologii można także rozumieć „zagadnienia graniczne” kosmologii. Granica, o jakiej tu mowa, może przyjmować conajmniej trojakie znaczenie. Po pierwsze, granica w sensie załamywania się pola stosowalności rozpatrywanej teorii. W tym znaczeniu granicznymi byłyby zagadnienia osobliwości początkowej lub końcowej, brzegów czasoprzestrzeni,

⁴ Por. G. F. R. Ellis, *Cosmology and Verifiability*, Quarterly Journal of the Royal Astron. Soc. 16, 1975, 245—264.

⁵ *Relativistic Cosmology: Its Nature...*, ss. 259—262.

końcowych stadiów kolapsu grawitacyjnego. *Po drugie*, wyrażenie „granica” może odnosić się do samej metody dociekania. Granicznymi byłyby więc te problemy, z którymi metoda empiryczna nie potrafi sobie do końca poradzić. ale które w jakiś sposób powstają na terenie nauk empirycznych. W kosmologii problemami takimi są m. in.: pochodzenie praw przyrody, korzenie czasu i jego nieodwracalności, czy wszechświat sam określa swoje warunki brzegowe? co jest ostatecznym twórcyem wszechświata? (możliwe odpowiedzi: struktura czyli sieć relacji, czasoprzestrzeń, elementarne zjawisko kwantowe⁶; pierwsza z tych odpowiedzi jest inspirowana przez filozofię Whiteheada, dwie ostatnie były kolejno głoszone przez Wheelera). *Po trzecie*, „zagadnienia graniczne” można rozumieć w sensie nadawanym temu wyrażeniu przez filozofię egzystencjalną. Granicznymi byłyby takie zagadnienia, które oświetlają ostateczny los człowieka. Samych źródeł kosmologii można by się dopatrywać w tego typu motywach dociekania. Problemy takie jak: poszukiwanie miejsca człowieka we wszechświecie, mocniejsze wersje zasady antropicznej (dopatrujące się w człowieku i jego poznaniu racji istnienia wszechświata), są często inspirowane przez kosmologię a rozważane w kontekście filozoficznym mają one wyraźnie wydźwięk zagadnień granicznych.

4. Badania kosmologiczne często bywają *inspirowane przez rozmaite filozofie*. W tym ujęciu filozofia znajdowałaby się w kontekście odkrycia kosmologicznego, choć nie koniecznie w kontekście kosmologicznych uzasadnień. Typowym przykładem są filozoficzne poglądy Einsteina, które doprowadziły go do pierwszej pracy kosmologicznej (1917). Kosmologia Einsteina była — jak wiadomo — inspirowana filozofią Spinozy i Macha⁷.

5. Można także mówić o *metafizyce kosmologii*. Mam na myśli zbiór zagadnień, które wprawdzie nie należą do kosmologii, ale które bardzo często stawia się w związku z kosmologią. Idzie o zagadnienia takie jak: istnienie czy nieistnienie Boga? panteizm, stworzenie świata czy jego wieczność? Problemy te wiążą się bardziej z zagadnieniami granicznymi (w sensie egzystencjalnym) niż z kosmologią, ale kontemplacja wszechświata, często za pośrednictwem naukowych teorii, wielu ludziom takie zagadnienia nasuwa.

Do tego typu filozofii kosmologii można by zaliczyć także rozmaite spory światopoglądowe, jakie niekiedy toczą się wokół kosmologii (np. materialistyczna czy spiritualistyczna interpretacja teorii kosmologicznych). Jedynym, co można by — i trzeba — tu zrobić, to wykazać, przy pomocy dobrej analizy metodologicznej, że kosmologia nie ma w tych sprawach niczego do powiedzenia, że jest wobec tych zagadnień neutralna.

CO TO JEST WSZECHŚWIAT?

Wykład II

Przede wszystkim trzeba sobie zdać sprawę, o czym mówimy. Kosmologia jest nauką o wszechświecie. Ale co to znaczy? czyli: co to jest wszechświat? „Wszechświat jest Jednością, która ogarnia różnorodność” — pisze Har-

⁶ „The elementary quantum phenomenon is typified by the photon or electron that enters an apparatus through a slit and unpredictably triggers one counter or another”. J. A. Wheeler, *Highlights of the Conference*, w: *General Relativity and Gravitation*, red.: B. Bertotti et al., ss. 501—509.

⁷ Por. np. J. Turek, *Kosmologia Alberta Einsteina i jej filozoficzne uwarunkowania*, Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1982.

rison⁸, jednakże ten pięknie brzmiący zwrot niewiele znaczy, dopóki nie zrozumie się wszystkich innych słów, jakie w nim stoją po wyrazie „wszechświat”. Co innego „wszechświat” znaczy dla teologa, co innego dla poety, a jeszcze co innego dla astronoma. Żeby złagodzić tę wieloznaczność, Harrison⁹ proponuje wprowadzić rozróżnienie pomiędzy Wszechświatem (duże W) i wszechświatami (małe w). Termin „Wszechświat” ma z założenia pozostać nieokreślony, wszechogarniający, intuicyjny. Różne „wszechświaty” to różne wcielenia, ale równocześnie różne zubożenia, Wszechświata. A więc będziemy mieli wszechświat religii buddyjskiej, wszechświat poezji Byrona, wszechświat Arystotelesa czy wszechświaty kosmologii współczesnej.

W dalszym ciągu nie będziemy zajmować się Wszechświatem, lecz tylko wszechświatami, i to przede wszystkim wszechświatami współczesnej kosmologii.

Ale zanim do tego przejdziemy, jeszcze jedna refleksja zaczerpnięta od Harrisona¹⁰. Po osiągnięciach nowoczesnej filozofii i metodologii nauk jest rzeczą oczywistą, że wszystko, co o różnych wszechświatach możemy powiedzieć, jest zabarwione naszym sposobem myślenia i doznawania, albo po prostu — wszystkie wszechświaty są wytworami ludzkimi i, chcąc poprzez wszechświaty dowiedzieć się czegoś o Wszechświecie, musimy — w miarę możliwości — kontrolować pochodzące od nas tworzywo, które zainwestowaliśmy w konstrukcję naszych wszechświatów. Harrison obrazowo wyróżnia trzy strategie konstruowania wszechświatów. W wyniku tych strategii może powstać:

1 *wszechświat antropomorficzny*, czyli wszechświat stworzony „na obraz i podobieństwo” człowieka; takimi wszechświatami są różne kosmologie mitologiczne;

2 *wszechświat antropocentryczny* — jako przykłady mogą tu służyć wszechświaty Platona, Arystotelesa, Ptolemeusza; ludzka perspektywa (zawsze jestem w środku własnego horyzontu) zostaje uznana za cechę wszechświata;

3 *wszechświat antropometryczny* — procedury pomiarowe, tłumaczące subiektywne doznania na liczby, mają nas wyzwolić z „ludzkiej perspektywy” i przenieść do „królestwa obiektywności”. Ale jest to oczywiście złudzeniem. „Człowiek jest miarą wszystkiego” (Protagoras). Metodą mierzenia nie można osiągnąć obiektywizmu, można co najwyżej zdobyć się na intersubiektywność. Do tej kategorii należą wszechświaty nowożytnych nauk empirycznych.

Ponieważ w dalszym ciągu będziemy zajmować się przede wszystkim wszechświatami antropometrycznymi, warto to nieco poetyczne określenie przetłumaczyć na język współczesnej metodologii nauk. W metodologii od dawna dyskutuje się status tzw. *terminów teoretycznych*. Przykładami takich terminów są: „atom”, „proton”, „cząstka elementarna”, „krzywizna czasoprzestrzeni”. Terminem takim jest również „wszechświat”. Dla celów uwypuklenia myśli, o którą mi chodzi, przyjmijmy nieco uproszczoną, wykontrastowaną metodologię. Jak wykazała dyskusja z neopozytywizmem, poprawna metodologia jest bardziej wyrafinowana i mniej pewnie kreśląca czarno-białe kontury, ale sądzę, że zasadnicza idea tego, co powiem, pozostaje nadal słuszna.

Otóż w teoriach naukowych bezpośrednio określa się znaczenia tylko tych terminów, które występują w zdaniach, stwierdzających zaobserwowany stan

⁸ „The Universe is the Unity that embraces the diverse”, E. R. Harrison, *Cosmology — The Science of the Universe*, Cambridge University Press, 1981, s. 10.

⁹ Ibid. ss. 10—11.

¹⁰ Ibid. ss. 13—18.

rzeczy (tzw. zdania i terminy obserwacyjne), przy czym treść obserwacji ma nadawać sens tym zdaniom. Terminy, występujące w zdaniach obserwacyjnych otrzymują takie znaczenia, aby całe zdanie miało sens wyznaczony treścią obserwacji lub eksperymentu. Terminom nie występującym wprost w zdaniach obserwacyjnych, czyli właśnie terminom teoretycznym, przypisuje się takie znaczenia, aby ze zdań, w których zostały użyte, dało się wyprowadzić zdania obserwacyjne¹¹. W imię ścisłości: to dość proste rozróżnienie pomiędzy zdaniami (terminami) obserwacyjnymi i teoretycznymi, przyjmowane kiedyś bezkrytycznie, należy zaciemnić stwierdzeniem, że nie ma czystych zdań (a więc i terminów) obserwacyjnych i że każda obserwacja jest prześląknięta jakąś teorią. Ale obserwacje czy eksperymenty wartościowe dla wyżej rozwiniętych nauk empirycznych to zawsze takie obserwacje czy eksperymenty, które prowadzą do pomiarów. W tym sensie wszystkie terminy, występujące w tych naukach to — przynajmniej pośrednio — terminy metryczne.

Trzeba sobie jednak uświadomić, że zdań teoretycznych nie da się po prostu przetłumaczyć na zdania obserwacyjne (czy też zdania „najbardziej obserwacyjne”). W miarę wznoszenia się ku górze po stopniach uteoretyzowania, coraz więcej w teorii znajduje się abstrakcyjnej struktury wnoszonej tam przez człowieka. W tym sensie wszystkie terminy występujące w naukach to terminy antropometryczne¹².

Takim terminem jest również „wszechświat”. Ale wypowiedzi teoretyczne, w jakich pojawia się ten termin, są zawsze bardzo „odległe” od zdań, stwierdzających wyniki jakichś obserwacji. Niekiedy tak odległe, iż zaczynamy się obawiać, że metoda właściwa naukom empirycznym już się załamuje. W takich wypadkach należałoby powiedzieć, że „wszechświat” staje się pojęciem (terminem) granicznym (por. wykład I, rozumienie filozofii kosmologii (3.b)). Sytuacji takich nie da się uniknąć prostym zakazem w stylu pozytywistycznej metodologii. Świadczy o tym powszechna praktyka naukowa. Co więcej, właśnie w tego rodzaju sytuacjach granicznych rozgrywają się obecnie najbardziej aktualne badania fizyki podstawowej, takie jak na przykład badania dotyczące oddziaływań fundamentalnych i unifikacji fizyki. Wydaje się więc, że nie ma innego wyjścia, jak tylko staranną analizą metodologiczną wspomóc badania fizyki i kosmologii.

* * *

Dla ułatwienia naszej wyobraźni przyjrzyjmy się kilku określeniom wszechświata, zaczerpniętym z marginesów różnych rozważań kosmologicznych.

„Dlaczego jednak mówimy o krzywiznie «świata jako całości»?” — pyta G. B. Kuzniecowa¹³ i odpowiada: „Rzecz w tym, że jest to wyrażenie umowne, oznacza ono tylko, iż mówimy o skalach, w porównaniu z którymi odległości między galaktykami są niezmiernie małe.” By przekonać się, jak bardzo tego rodzaju „uwagi na marginesie” są zabarwione pozanaukowymi poglądami¹⁴ lub typem zagadnień, na marginesie których są wypowiedzane, zacytujmy H. P. Robertsona¹⁵; sądzi on, że „obszar o rozmiarach liniowych dużych

¹¹ Por. mój art.: *Definicja terminu „Wszechświat” w kosmologii relatywistycznej*, *Roczniki Filozoficzne (KUL)*, 16, s. 3, 1968, 45—61; zwłaszcza s. 47.

¹² Zwrot o „wznoszeniu się ku górze po stopniach uteoretyzowania” należy uważać za wygodną metaforę. I nic ponadto. Teorie naukowe na ogół nie mają żadnych pięter abstrakcji. Mają tylko pewną globalną strukturę, tzn. strukturę, którą należy rozpatrywać jako całość.

¹³ *Teoria względności — wykład popularny* PWN, Warszawa 1962, ss. 250—251.

¹⁴ Rzecz charakterystyczna, że autorzy inspirowani przez filozofię marksistowską wykazują wyraźną tendencję minimalizowania obiektu badań kosmologii.

¹⁵ *Relativistic Cosmology*, *Reviews of Modern Physics* 5, 1933, 65.

w porównaniu ze średnimi odległościami między galaktykami” jest określeniem nie wszechświata, lecz... naszego sąsiedztwa.

Na początku swojej znanej, choć już dziś nieco podstarzałej, książki H. Bondi¹⁶ stawia dwa pytania: „Jaki jest największy zbiór obiektów, do których nasze prawa fizyczne mogą być zastosowane w sposób konsystentny i tak, aby otrzymać pozytywne wyniki?” oraz „Jaki jest największy zbiór wszystkich fizycznie interesujących obiektów?” Odpowiedź na te pytania ma wyznaczyć badawczy horyzont kosmologii czyli określić rozumienie „wszechświata”.¹⁷ Widzimy, że oba pytania Bondiego mają ambicję sięgnięcia znacznie dalej niż zezwalałaby na to minimalistyczna definicja Kuzniecowa. Można w nich wyczuć „graniczność” pojęcia „wszechświat”.

Nie sądzę wszakże, by tego rodzaju polemika między opiniami wyrwanymi z różnych kontekstów miała jakikolwiek głębszy sens. Sygnalizuję ją tu tylko dla celów ilustracyjnych i dydaktycznych. Chcąc poprawnie wyekstrahować znaczenie terminu „wszechświat”, należałoby podjąć się dokładnej metodologicznej analizy jednej, ściśle określonej, teorii kosmologicznej. W wyniku otrzymalibyśmy zestaw recept znaczeniowych, który mógłby zainteresować logika języka, ale który kosmologowi prawdopodobnie nie ujawniłby niczego nowego¹⁸. W dalszym ciągu posłużę się nieco inną metodą: sięgnę do przykładów, zaczerpniętych z różnych kontekstów kosmologicznych, by ukazać, jak w nich funkcjonuje pojęcie „wszechświat”. Moim celem nie będzie ujawnianie metodologicznych szczegółów, jako rodzaju sztuki dla sztuki, lecz zbliżenie się — przy pomocy rozsądnej metodologii — do odpowiedzi na zasadnicze pytanie: o czym właściwie mówi kosmologia?

* * *

Tę część wykładu zaczniemy od spostrzeżenia historycznego: w miarę rozwoju kosmologii wszechświat rozrastał się; to, co poprzednio było wszechświatem, z czasem stawało się tylko lokalnym szczegółem w nowym wszechświecie¹⁹. Wszechświat kosmologów starożytnych był zamknięty kryształową sferą gwiazd stałych, a nawet krążące po epicyklach planety znajdowały się, praktycznie rzecz biorąc, „na granicach metody”. Wszechświat Kopernika był zapowiedzią znacznego poszerzenia horyzontów. Przez przeniesienie środka wszechświata z Ziemi do Słońca stało się możliwym sformułowanie przypuszczenia o typowości położenia Ziemi we wszechświecie, który dzięki temu przestał być zaściankiem Ziemi. Wprawdzie wszechświat Newtona był zanurzony w teoretycznie nieskończonym absolutnym czasie i nieskończonej absolutnej przestrzeni, ale w praktyce także ograniczał się tylko do układu planetarnego. Dalsze „rozszerzanie się wszechświata” było dziełem astronomii obserwacyjnej. Kolejne etapy to: przejście od świata planet do świata gwiazd, odkrycie struktury Galaktyki, rozstrzygnięcie sporu o „wyspawy rozkład materii” czyli o istnienie innych galaktyk. To ostatnie miało miejsce już wtedy, gdy zaistniała i zaczęła się rozwijać kosmologia relatywistyczna²⁰. A potem zrozumiano, że galaktyki wykazują tendencję do skupiania się

¹⁶ *Kosmologia*, PWN, Warszawa 1965, ss. 11—12.

¹⁷ Por. także uwagi Bondiego na s. 20 jego książki.

¹⁸ Tego rodzaju analizę dla przypadku tzw. kosmologii Friedmana wykonałem w art. cytowanym w przyp. 11. Okazało się, że nawet w tym, stosunkowo wąskim, systemie kosmologicznym, termin „wszechświat” ma kilka znaczeń.

¹⁹ Spostrzeżenie to jest jednym z głównych tematów książki: A. G. Pacholczyk, *The Catastrophic Universe. An Essay in the Philosophy of Cosmology*, Pachart, Tucson 1984.

²⁰ Por. M. Heller, *Ewolucja kosmosu i kosmologii*, PWN, Warszawa 1983, rozdziały początkowe.

w gromady. Spór o gromadzenie się wyższego rzędu wydaje się prowadzić do rozwiązania stwierdzającego, że istnieje poziom tak wielkich rozmiarów, iż na nim rolę odgrywają już tylko przypadkowe fluktuacje rozkładu materii.

I tak oto mniej więcej wyobrażamy sobie wszechświat współczesnej kosmologii: bezgranicznie rozciągające się w przestrzeni zbiorowisko gromad, lub może gromad gromad, galaktyk. Podkreślam słowo *bezgranicznie*; może ono kryć w sobie dwa znaczenia: 1° średnio taki sam obraz rozkładu galaktyk rozciąga się do nieskończoności (przestrzenna objętość wszechświata jest nieskończona), albo 2° przestrzeń wszechświata „zamyka się w sobie”, jak powierzchnia kuli (objętość wszechświata może być skończona). Istotne jest to, że w obu przypadkach wszechświat nie posiada granic czyli brzegów²¹. Postulat taki nie jest oczywiście nakazem obserwacji, lecz raczej wynikiem trudności filozoficznych i paradoksów, rodzących się przy wszelkich próbach wyobrażenia sobie brzegów wszechświata.

Ale pojęcie wszechświata jest samo w sobie pojęciem granicznym. Przy końcu swojej książki „*The Realm of the Nebulae*” Edwin Hubble²² napisał: „W ten sposób badania przestrzeni kończą się akcentem niepewności. I to nieuniknienie. Z definicji znajdujemy się w samym środku obserwowalnego obszaru. Nasze bezpośrednie sąsiedztwo znamy raczej dokładnie. Wraz ze wzrostem odległości nasza wiedza osłabia się, i to osłabia się gwałtownie. Aż wreszcie sięgamy do mrocznych krańców — do granicznych możliwości naszych teleskopów. Tam mierzymy już tylko cienie, wśród mglistych błędów pomiarowych poszukujemy bardziej rzeczywistych punktów odniesienia.” Można by zaryzykować twierdzenie, że wszechświat każdej epoki jest określony przez takie obszary, na których „mierzymy już tylko cienie”. Ale mierzymy nie wyłącznie przy pomocy naszych teleskopów, mierzyć możemy także przy pomocy naszej teorii. Wszechświat ma tę właściwość, że przy swoich granicach jest zawsze — i pomiarowo, i teoretycznie — rozmyty, wynurzający się z niepewności. Niepewność ta, właśnie ona, zapowiada dalszą ekspansję wszechświata.

* * *

Postawmy teraz to pytanie, które dość nieudolnie ukrywało się w ostatnich rozważaniach. Czy wszechświat naszej wiedzy kiedyś nie rozszerzy się do tego stopnia, że świat obecnej kosmologii zredukuje się do rozmiarów lokalnego szczegółu? Owszem są tego zapowiedzi we współczesnych badaniach kosmologicznych. Tak na przykład w niektórych wersjach inflacyjnego modelu wszechświata (który wydaje się być wymuszany na kosmologii przez teorię wielkiej unifikacji fizyki) nasz obecny świat powstał z rozděcia jednego „bąbla” pierwotnej plazmy podczas trwania fazy wczesnej, gwałtownie przyspieszonej ekspansji²³. Inne bąble dały początek innym wszechświatom (innym, w dosłownym tego słowa znaczeniu, bo charakteryzującym się odmiennymi parametrami kosmologicznymi niż nasz wszechświat). Wszechświaty te są hermetycznie oddzielone od siebie, to znaczy wykluczony jest pomiędzy nimi jakikolwiek przepływ informacji.

Dla udokumentowania powyższego zacytujmy konkluzję jednego spośród

²¹ W obecnym kontekście wyrazy te zostały użyte intuicyjnie, w kosmologii mają one ściśle określone znaczenia.

²² Dover Publ., New York 1958, ss. 201—202.

²³ Por. np. S. W. Hawking, *Quantum Cosmology*, w: *Relativity, Groups and Topology II*, red.: B. S. DeWitt, R. Stora, North Holland, Amsterdam, Oxford..., 1984, ss. 334—379.

wielu artykułów, ukazujących się ostatnio na ten temat. T. Banks²⁴ pisze: „Znaleźliśmy więc klasę modeli, które produkują miliardy bąbelkowych wszechświatów; niektóre z nich przypominają nasz własny wszechświat”. W kosmologii termin „wszechświat” bardzo często był używany zamiennie z terminem „model” lub „model kosmologiczny”. Zauważmy, że w wypowiedzi Banksa „model” oznacza już „miliard wszechświatów”. Wszechświaty te są zasadniczo nieobserwowalne, ale są postulowane jako „byty teoretyczne” przez teorię, która legitymuje się przewidywaniami empirycznymi.

By wskazać na tendencję współczesnej kosmologii do wychodzenia poza jej „dotychczasowy wszechświat”, nie trzeba odwoływać się do aż tak bądź co bądź egzotycznych modeli jak świat inflacyjny. Idea nieskończoności światów pojawiła się u Ellisa w całkiem ortodoksyjnym kontekście. Autor ten w swoich ciekawych rozważaniach metodologicznych na temat, dlaczego obserwowany wszechświat jest jednorodny i izotropowy²⁵, zwrócił uwagę na pewną, w zasadzie nie dającą się empirycznie obalić, możliwość, która nie wydaje się wcale niedorzeczna. Możemy sobie mianowicie wyobrazić, że — w pewnym sensie — wszystkie modele kosmologiczne opisują wszechświat równocześnie. W jednych obszarach świat się kurczy, w innych rozszerza, w jeszcze innych rotuje, tu jest przestrzennie zamknięty, tam otwarty, itp., itp. Do różnych obszarów świata pasują różne modele. Pozostaje do wyjaśnienia, dlaczego my żyjemy akurat w „podświecie” jednorodnym, izotropowym i ekspandującym. Ale tu na pomoc można by przywołać zasadę antropiczną i przypuszczać, że tylko w takim obszarze istnieją warunki dla ewolucji biologicznej. W innych „podświatach” nie ma obserwatorów, którzy mogliby uprawiać kosmologię.

Ellis nie twierdzi, że taka jest struktura rzeczywistego wszechświata; rozważa ją jedynie dla celów analizy metodologicznej. W niczym to jednak nie zmienia sytuacji: współczesna kosmologia wykazuje tendencję do poszerzania granic swojego wszechświata. Należy przypuszczać, że tendencja ta będzie się z czasem coraz bardziej nasilać.

* * *

Pora na zebranie czegoś w rodzaju wniosków. Myślę, że są dwa. Pierwszy ma charakter raczej negatywny: w przeciwieństwie do zwyczajów panujących w tekstach metodologicznych, nie ustaliliśmy różnych definicji wszechświata. Po zasygnalizowaniu wieloznaczności terminu „wszechświat”, pozostawiliśmy jego znaczenie otwarte. Należy po prostu uczulić się na różne znaczenia tego terminu i umieć je wydobyć z kosmologicznego kontekstu. Metodologiczne katalogi definicji na nic się nie przydadzą temu, kto nie zna kosmologii, a temu, kto ją zna, będą po prostu zbędne.

Drugi wniosek ma charakter bardziej pozytywny: wszechświat jest pojęciem granicznym. Ilekroć mówimy o wszechświecie, zawsze mamy na myśli taką wiedzę, która na swoich krańcach ulega rozmyciu. Wydaje się to być wspólną cechą wszystkich „wszechświatów”. A ponieważ nasza wiedza idzie naprzód, wszechświat się rozszerza.

²⁴ TCP, *Quantum Gravity, The Cosmological Constant and All That...*, Nuclear Physics B 249, 1985, 332—360. „We have therefore found a class of models which will produce a myriad of bubble universes, some of which resemble our own.”

²⁵ G. F. R. Ellis, *The Homogeneity of the Universe*, GRG 11, 1979, 281—289.

Kosmologia jest nauką o wszechświecie. Widzieliśmy, ile problemów nasuwa usiłowanie, by zrozumieć, co to znaczy „wszechświat”. Ale naukę charakteryzuje nie tylko jej przedmiot, lecz także metody, język, specyficzny punkt widzenia (w dużej mierze określany zresztą przez język i metody), itp. Jakkolwiek rozumielibyśmy „filozofię kosmologii”, nie sposób uniknąć zagadnienia metodologicznego statusu kosmologii.

Typowym stwierdzeniem ze wstępu do podręcznika kosmologii jest określenie, że kosmologia jest to nauka o wszechświecie jako całości, znajdująca się na pograniczu fizyki teoretycznej i astronomii pozagalaktycznej²⁶. Wyrażenie „o wszechświecie jako całości” zostało skomentowane w poprzednim wykładzie. Wyrażenie „z pogranicza” zwiastuje interdyscyplinarny charakter nauki o wszechświecie. Spośród wielu nauk powyższe określenie wymienia fizykę teoretyczną (często wymienia się po prostu ogólną teorię względności lub teorię grawitacji) i astronomię pozagalaktyczną. Zwykle podkreśla się, że fizyka dostarcza kosmologii „bazę teoretyczną” a astronomia — „bazę eksperymentalną”.

W obecnym wykładzie nie chciałbym ograniczyć się do komentowania dość trywialnych określeń (w rodzaju przytoczonego powyżej). Moim celem jest spojrzenie na kosmologię — w jej codziennym, roboczym warsztacie — przez okulary wiedzy metodologicznej po to, by głębiej zrozumieć jej wyniki. Wyniki są produktem, a nie ma wiedzy o produkcie bez wiedzy o tym, jak go zrobiono. Nacisk położę na teoretyczne aspekty kosmologii, odkładając omówienie jej strony obserwacyjnej do innej okazji. Chociaż trzeba od początku uświadomić sobie, że teoria i obserwacja są w kosmologii (podobnie jak i w innych naukach empirycznych) „zmieszane nieliniowo” i nie sposób ich od siebie jednoznacznie oddzielić.

* * *

Wszystkie (przynajmniej makroskopowe) teorie fizyczne, odznaczające się pewnego rodzaju ogólnością, zakładają model czasoprzestrzeni jako *rozmaitości różniczkowej*²⁷. Powiadamy, że zbiór M jest wyposażony w *strukturę rozmaitości różniczkowej*, jeżeli

1° M można pokryć rodziną U zbiorów U ,

2° na każdym zbiorze $U \in U$ można wprowadzić lokalny układ współrzędnych,

3° jeżeli dwa zbiory U_1 i U_2 , należące do rodziny U , przecinają się, to na ich części wspólnej $U_1 \cap U_2$ można, w sposób gładki, przechodzić od jednego układu współrzędnych do drugiego, i z powrotem.

Zbiór U wraz z układem współrzędnych na nim nazywa się *mapą* na M . Zbiór wszystkich map na M nazywa się *atlasem* na M i oznacza się przez A . Do atlasu A dołączamy zwykle nie tylko te mapy, które wystarczą do tego, by pokryć M , lecz także te wszystkie mapy, które gładko przechodzą (na obszarach przecięcia) w inne mapy należące do A .

Struktura rozmaitości jest z natury strukturą globalną. Za ten fakt od-

²⁶ Jeszcze bardziej typowym dla podręczników kosmologii jest całkowite pominięcie milczeniem zagadnień metodologicznych związanych z naturą kosmologii jako nauki.

²⁷ Por. D. J. Raine, M. Heller, *The Science of Space-Time*, Pachart, Tucson 1981.

powiedziana jest obecność atlasu w definicji rozmaitości: atlas A (podobnie jak atlas geograficzny) informuje o całym globie M . Jednakże w tradycyjnym podejściu do fizyki zwykle wykorzystuje się jedynie lokalną strukturę rozmaitości. Tradycyjnego fizyka interesuje „poprawne zachowanie się” rozmaitości w małym otoczeniu punktu $p \in M$, w którym przeprowadza on swoje obserwacje lub eksperymenty. W praktyce fizyk jest zainteresowany tylko tym, w jaki sposób „przetłumaczyć stwierdzenia o tworach geometrycznych na stwierdzenia o liczbach rzeczywistych”²⁸, a do tego spośród całej struktury rozmaitości wystarczy zrobić użytek tylko z jednej mapy.

Czy zatem fizyk może ograniczyć się do swojego „małego otoczenia” i powiedzieć, że cała reszta struktury rozmaitości go po prostu nie obchodzi? W praktyce wielu fizyków tak postępuje, ale oznacza to milczące przyjęcie założenia, że lokalne otoczenie może być bezkarnie wyizolowane z całej globalnej struktury, czyli, że jakiegokolwiek globalne czynniki pochodzące z globalnej struktury nie wpływają na lokalny przebieg zjawisk. Jest to bardzo silne założenie i to założenie o charakterze globalnym. O charakterze globalnym — ponieważ stwierdza coś na temat czynników pochodzących od struktury globalnej, to mianowicie, że czynniki te nie wpływają na lokalny przebieg zjawisk.

W języku fizyki współczesnej (współczesnej teorii pola) cały powyższy wywód znaczy po prostu tyle, że jakiegokolwiek lokalne przewidywania empiryczne są wiarygodne tylko wtedy, gdy wyklucza się taką sytuację, w której jakaś nieoczekiwana perturbacja mogłaby zakłócić badany proces w przyszłości objętej przewidywaniem. Ażeby przewidzieć stan pola w pewnej chwili w przyszłości, musimy znać warunki początkowe, tzn. stan pola na pewnej (przestrzennopodobnej) powierzchni w przeszłości. Chcąc przewidzieć przyszłe zdarzenie, musimy więc założyć, że żaden niespodziewany sygnał nie zaburzy badanego procesu, czyli wśród „odległych” danych początkowych musimy wykluczyć zdarzenie, polegające na wysłaniu zaburzającego sygnału. A to zakłada wiedzę o stanie pola na odległej (w przeszłości) powierzchni. W tym sensie w każdym lokalnym przewidywaniu empirycznym są zawarte pewne założenia o charakterze globalnym (nie-lokalnym).

Rozważania te miały przygotować do wypowiedzenia centralnej tezy obecnego wykładu. Oto ona: *Wszechświat posiada pewną strukturę (lub może lepiej: jest pewną strukturą). Strukturę tę można badać bądź przy pomocy metod lokalnych, bądź nie-lokalnych (globalnych). Pierwsze jest zadaniem fizyki, drugie — kosmologii.*

(Wyrażeń „nie-lokalny” i „globalny” używam na razie zamiennie; w dalszych wykładach ich znaczenia zostaną dopracowane.)

Moja teza zawiera pewien podtekst filozoficzny, którego nie chciałbym pominąć milczeniem. Mówi ona mianowicie, że wszechświat posiada pewną strukturę, lub nawet, że jest pewną strukturą. Został tu dotknięty stary problem: co jest tworzywem (arche) świata? Dzięki temu, że fizyka posługuje się metodą budowania modeli matematycznych różnych obszarów badanej rzeczywistości, chwytła ona jedynie strukturę tej rzeczywistości. Matematyka jest nauką formalną i jedynym tworzywem czy treścią, do jakiej może docierać, jest tylko kształt (czyli forma, czyli struktura). Fizyka oczywiście nie twierdzi, że rzeczywistość nie ma tworzywa materialnego.

²⁸ M. Friedman, *Foundations of Space-Time Theories*, Princeton University Press, 1983, s. 33.

Jest to dla niej obojętne. Dla matematycznej fizyki jedynym tworzywem jest struktura ²⁹.

Tak rozumianą strukturę można badać metodami (matematycznymi) bądź globalnymi, bądź lokalnymi. W pierwszym wypadku mamy fizykę, w drugim — kosmologię. W tym ujęciu fizyka i kosmologia różnią się tylko punktem widzenia a nie przedmiotem. W obydwu przypadkach przedmiot jest ten sam — struktura wszechświata; punkt widzenia zaś zostaje spolaryzowany metodami: lokalnymi dla fizyki, globalnymi dla kosmologii.

* * *

Należałoby teraz zastanowić się nad rozróżnieniem metod lokalnych i globalnych we współczesnej matematyce. Wyrażenia „lokalny” i „globalny” są w matematyce używane coraz częściej, ale ich znaczenia pozostają ciągle dosyć mgliste. Zdaniem Smale'a ³⁰, „globalna analiza jest po prostu badaniem równań różniczkowych, zarówno zwykłych, jak i cząstkowych, na rozmaitościach i wektorowych wiązках włóknistych”. Jest to jedna z możliwych wersji rozumienia globalności. Dla zilustrowania problemu zatrzymamy się przy niej nieco dłużej.

Różniczkowanie jest ze swej natury operacją lokalną („dzieje się” w małym otoczeniu punktu). Pociąga to za sobą lokalny charakter równań różniczkowych. Typowe twierdzenie o istnieniu i jednoznaczności rozwiązań równania różniczkowego zawiera następujący zwrot: przy takich to a takich założeniach, w otoczeniu punktu x_0 , równanie posiada (w zakresie funkcji danej klasy) dokładnie jedno rozwiązanie, spełniające zadane warunki początkowe. Tradycyjna teoria równań różniczkowych na ogół nie wychodziła poza to „otoczenie punktu”. Podejście takie zaspokajało również potrzeby tradycyjnej fizyki.

Nowoczesne metody matematyczne uczą, jak różniczkować i całkować na (całych) rozmaitościach, tzn. w jaki sposób różniczkując lub całkując na „lokalnych otoczeniach” wyniki można „zlepić” tak, by miały sens globalny ³¹. To samo dotyczy równań różniczkowych ³². To właśnie Smale ma na myśli, gdy mówi o analizie globalnej.

Ale Smale mówi także o równaniach różniczkowych na *wektorowych wiązках włóknistych*. Przykładem wiązki włóknistej jest następująca konstrukcja. Rozważmy n -wymiarową rozmaitość różniczkową M i zbiór $L(M)$ wszystkich możliwych reperów (tzn. n liniowo niezależnych wektorów; reper taki fizyk mógłby uważać za lokalny układ odniesienia) zaczepionych we wszystkich punktach rozmaitości M . Zbiór wszystkich możliwych reperów zaczepionych w jednym punkcie $x \in M$ nazywa się *włóknem* nad x . Okazuje się, że zbiór $L(M)$ jest też rozmaitością różniczkową. Cała ta konstrukcja nosi nazwę *wiązki włóknistej reperów* nad M . Wiązka reperów jest przykładem ogólniejszego pojęcia wiązki włóknistej. Jeżeli ponadto wiązka ma (w pewnym sensie) cechy przestrzeni wektorowej, mówi się o wektorowej wiązce włóknistej. Ponieważ w naszym przykładzie $L(M)$ jest rozmaitością, można określić na niej równania różniczkowe. To ma Smale na myśli, gdy

²⁹ Dość obszernym studium na temat eliminacji pojęcia materii ze współczesnej fizyki jest mój art.: *Ewolucja pojęcia masy*. *Analecta Cracoviensia* 14, 1982, 79—91.

³⁰ *What is Global Analysis*, w: S. Smale, *The Mathematics of Time*, Springer, New York — Heidelberg — Berlin, 1980, s. 84.

³¹ Por. np. M. Spivak, *Analiza na rozmaitościach*, PWN, Warszawa 1977.

³² Por. np. W. I. Arnold, *Równanie różniczkowe zwyczajne*, PWN, Warszawa 1975.

mówi o teorii równań różniczkowych na wektorowych wiązkach włóknistych. Globalność jest tu jakby silniejsza niż w poprzednim znaczeniu: rozważamy nie tylko całą rozmaitość, lecz także zbiór wszystkich możliwych obiektów (np. reperów) na rozmaitości.

Przykład z wiązką reperów jest tym wymowniejszy, że ma on ogromne zastosowanie w fizyce teoretycznej, a zwłaszcza w ogólnej teorii względności. Po utożsamieniu reperów z lokalnymi układami odniesienia, wiązka reperów staje się zbiorem wszystkich możliwych lokalnych układów odniesienia we wszystkich punktach czasoprzestrzeni. Ogólną teorię względności można przedstawić jako „dziejącą się” właśnie na takiej wiązce włóknistej³³.

By przekonać się, w jakim sensie kosmologię interesują globalne rozwiązania kosmologicznych równań różniczkowych, warto otworzyć książkę S. W. Hawkinga i G. F. R. Ellisa pt. „The Large-Scale Structure of Space-Time”³⁴ na stronie 117 i dokładnie przestudiować rozdział zatytułowany „Exact Solutions” (ściśle rozwiązania). Z reguły jest tak, że równania kosmologiczne (równania pola grawitacyjnego) same nie określają jednoznacznie globalnych własności rozwiązania. Niekiedy równania trzeba uzupełniać dodatkowymi założeniami o charakterze topologicznym. Zagadnienie „przedłużenia” rozwiązania z „małego otoczenia” do całej rozmaitości czasoprzestrzennej jest trudnym zagadnieniem matematycznym. Stanowi ono część problemu ekstrapolacji w kosmologii; zajmiemy się nim w jednym z następných wykładów.

* * *

Współczesna astronomia sięga do tak odległych obszarów czasoprzestrzeni, że interpretacja tego, co się obserwuje, jest zupełnie niemożliwa bez teorii czasoprzestrzeni, po której rozprzestrzenia się sygnał niosący informację. To zaś oznacza, że w tego rodzaju analizach nie da się uniknąć całkowania po dużych (nie-lokalnych) obszarach czasoprzestrzeni. Innymi słowy: należy stosować analizę globalną. Okoliczność ta jest często zaciemniana przez fakt, że na potrzeby astronomii zwykle używa się modeli kosmologicznych, przypisujących czasoprzestrzeni wysoki stopień symetrii (np. modele Robertsona-Walkera). Ponieważ w takich modelach przestrzeń jest „wszędzie taka sama”, automatycznie zakłada się, że na dużych odległościach jest „tak samo” jak w naszym otoczeniu, co pozwala uniknąć kłopotliwych całkowań po dużych obszarach³⁵. To wygodne założenie nie powinno jednak przesłaniać faktu, że współczesna astronomia zmusza do analiz globalnych, czyli — innymi słowy — nie może się obejść bez pomocy kosmologii.

Zwróćmy wreszcie uwagę na fakt, że w bardzo wczesnych, supergęstych fazach kosmicznej ewolucji samo rozróżnienie na własności lokalne i globalne ulega rozmyciu. Drobna, pozornie „lokalna”, zmiana scenariusza pierwszych chwil może pociągać za sobą drastyczne zmiany w całym dramacie. W szczególności sama osobliwość początkowa (zresztą końcowa również) jest globalną własnością czasoprzestrzeni. Widać to na przykładzie słynnych twierdzeń o osobliwościach³⁶. Wymieniają one warunki wystarczające do tego, by dana czasoprzestrzeń posiadała osobliwość. Wśród tych warunków zawsze są warunki globalne. Od charakteru osobliwości zależą także nie-

³³ Por. M. Heller, *Teoretyczne podstawy kosmologii*, rozdz. 4 (w druku).

³⁴ Cambridge University Press, 1973.

³⁵ Por. G. F. R. Ellis, D. W. Sciama, *Global and Non-Global Problems in Cosmology*, w: *General Relativity — Papers in Honour of J. L. Synge*, red.: L. O’Reifeartaigh, Clarendon Press, Oxford 1972, s. 35.

³⁶ Por. monografię Hawkinga i Ellisa cytowaną w przyp. 34.

wątpliwie globalne cechy wszechświata takie jak występowanie czy niewystępowanie horyzontów i ich rodzaj, brzegi czasoprzestrzeni i ich rodzaj, itp.³⁷

* * *

Podsumowanie: W tym wykładzie starałem się pokazać nie tylko, że kosmologia jest nie-lokalną fizyką, ale także, że tradycyjna fizyka i astronomia nie mogą się obejść bez rozważań o charakterze nie-lokalnym, czyli bez współpracy z kosmologią.

SUMMARY

Three lectures present some methodological problems of cosmology in the following order: Lecture I: Different meanings of the term „philosophy of cosmology” are analysed. Philosophically the most interesting problems are the so-called frontier problems, i. e. problems which originate at the very borders of empirical method applicability. Lecture II: What does it mean the „universe”? Evidently, the term has many meanings. A common feature of all of them seems to be the following circumstance. Frontiers of what is called, at a given epoch, the universe are always fuzzy: observations reach limits of measurement errors, theoretical concepts break down. However, the science goes on, and what once was a frontier becomes a „local detail” within a new world. The universe of our knowledge expands. Lecture III: There is a certain structure called „universe”. This structure may be investigated either with the help of local methods or with the help of non-local ones. In the first case, one has the traditional physics, in the second case — cosmology. It turns out that even the traditional physics and astronomy tacitly presuppose some global assumptions. Cosmology cannot be avoided.

³⁷ Por. tamże.