

Michał HELLER

Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych w Krakowie

KOSMOLOGIA WCZORAJ I DZIŚ — PRZEŻYWANIE KAWAŁKA HISTORII*

Podczas moich studiów (pierwsza połowa lat sześćdziesiątych) kosmologii nie było w żadnych programach. Zapoznawałem się z nią — bo trudno to nazwać studiowaniem — dorywczo z wszystkich wzmianek i artykułów, jakie udało mi się zdobyć. Pierwszą bardziej systematyczną lekturą była książka Hermana Bondiego *Cosmology*. Najpierw (o ile pamiętam) udało mi się ją kupić za ciężkie pieniądze w jakimś Klubie Międzynarodowej Książki, ale wkrótce potem została ona przetłumaczona na język polski przez Elżbietę i Andrzeja Białasów (do dziś mam obydwie wersje tej książki w swojej bibliotece). Książka ta jest właściwie przeglądem różnych teorii (może lepiej — hipotez) kosmologicznych, które — wobec braku danych empirycznych — mogły pretendować do wiarygodności. Rozdział o kosmologii relatywistycznej sprowadza się właściwie do przeglądu znanych wówczas jednorodnych i izotropowych rozwiązań równań Einsteina.

Gdy wyraziłem chęć pisania rozprawy doktorskiej z kosmologii relatywistycznej, mój ówczesny profesor fizyki gorąco mi to odradzał. Ogólna teoria względności, mówił, sprowadza się do trzech niewielkich odchyień od przewidywań fizyki Newtona. Nie warto się tym zajmować. Ale nie przeszkadzał mi, gdy się uparłem przy swoim. Trzeba go zrozu-

*Odczyt wygłoszony na Sympozjum zorganizowanym przez Instytut Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego z okazji 70-tych urodzin Prof. Marka Demiańskiego, Warszawa, 23 października 2009 r.

mieć. Kosmologia była uważana wówczas za czystą spekulację (podobnie jak dziś koncepcja wielu wszechświatów). Nawet Einstein do końca życia miał do niej poważne zastrzeżenia. Ostre ataki zwolenników kosmologii stany stacjonarnej przeciw teorii Wielkiego Wybuchu (nazwa ta przyjęła się dopiero nieco potem) kompromitowały kosmologię w oczach poważnie myślących fizyków i astronomów. Nawet Lemaître pod koniec życia wycofał się z badań kosmologicznych w bezpieczny obszar rodzących się metod numerycznych i maszyn cyfrowych (nazwa „komputer” opanowała rynek znacznie później).

W Polsce sytuacja była jeszcze gorsza. Wprawdzie w Związku Radzieckim bijał już okres bezwzględnego zakazu uprawiania kosmologii (w dużej mierze dzięki sprytnemu chwytowi Zelmanowa, który głosił, że kosmologia zajmuje się tylko „metagalaktyka”, pozostawiając „Wszechświat” materializmowi dialektycznemu), ale nadzór urzędowej filozofii nad interpretacją badań był ciągle duży. Naczytałem się wówczas prac radzieckich „urzędowych filozofów” (także tłumaczonych na język polski), przekonujących czytelnika, że kosmologia jednoznacznie dowodzi materialistycznej filozofii. Ponieważ dostęp do zagranicznej literatury był wówczas bardzo ograniczony, była to często jedyna okazja, by się zapoznać z poglądami, z jakimi ci autorzy polemizowali i z tytułami zagranicznych publikacji, jakie cytowali.

A kosmologia na Zachodzie rozwijała się coraz szybciej. Nie twierdzę, że „miałem nosa”; po prostu moja pasja prowadziła mnie w dobrym kierunku. W 1965 r. odkryto mikrofalowe promieniowanie tła i prawie równocześnie kwazary. Stało się to możliwe dzięki postępom radioastronomii, której rozwój już nieco wcześniej zaczął nabierać przyspieszenia. Pierwsze radiowe przeglądy nieba (katalogi z Cambridge i Australii), jeszcze przed rewelacjami wyczytanymi z promieniowania tła, wskazywały przeciwko kosmologii stanu stacjonarnej i wyraźnie sugerowały, że interpretacja obiektów znajdujących się w dużych odległościach, nie może obejść się bez udziału teorii kosmologicznych. Nauka o Wszechświecie, stopniowo ale zdecydowanie, wkraczała w okres szybkiego rozwoju.

To były lata sześćdziesiąte, ciekawe lata sześćdziesiąte. Nie tylko odkrycie mikrofalowego promieniowania tła i kwazarów, ale rewolucja Rock and Rolla, ruchy młodzieżowe; jak się potem okazało, wyraźna mutacja w kulturowych genach Zachodu. Przypadkowe koincydencje, czy jakieś ukryte prawo historii? W każdym razie także wtedy dokonywały się szybkie przemiany w matematycznych metodach teorii względności i kosmologii. Przedtem wszystko liczyło się we współrzędnych, a umiejętne operowanie wskaźnikami tensorów było główną metodą rachunkową. Wprowadzenie rachunku form różniczkowych Cartana było małą rewolucją. Wielu technik trzeba się było uczyć od nowa. Ale były to tylko zewnętrzne przejawy głębszych przemian. Licząc we współrzędnych (niezależnie od tego, czy były to tensory czy formy różniczkowe), otrzymywało się obraz lokalny, a przecież kosmologia jest *par excellence* teorią globalną. Przejście od metod lokalnych do globalnych, od myślenia „w mapie” do myślenia strukturami, nie było natychmiastowe. Zwiastunem tego przejścia była niewielka książka Schrödingera *Structure of Space-Time*, a już całkiem wyraźnym krokiem w tym kierunku referaty młodego Rogera Penrose’a na konferencjach w Jabłoncej i Spale, na których po raz pierwszy pojawiły się słynne potem „diagramy Penrose’a”. Pamiętam z jakimi wypiekami na twarzy usiłowałem zrozumieć prace prof. Trautmana, w których stosował on wiązki włókniste do klasyfikacji czasoprzestrzeni i do globalnego ujęcia teorii cechowania. Pamiętam też jego wykłady z teorii względności, które ukazały się w *Lecture on General Relativity* (Brandeis Summer Institute in Theoretical Physics, 1964). Była to książka zrobiona techniką powielania z wydruku sporządzonego na elektrycznej maszynie do pisania — technika u nas wówczas prawie nieosiągalna. Sfotografowałem tę książkę strona po stronie i studiowałem z odbitek pocztówkowego formatu. Dziś poczerniałe, są już prawie nieczytelne. Wykład teorii względności w tej książce był prowadzony w znacznej mierze już metodami globalnymi. Metody te były syntetycznie przedstawione w pierwszej części książki. Zapamiętałem jeden cytat. Prof. Trautman wyznawał (było to jeszcze przed odkryciem promieniowania tła), że dla niego nie jest ważne, czy kosmologia relatywistyczna modeluje świat, czy nie; wystarczającym

motywy jej studiowania jest jej matematyczne piękno. Dziś dla nas to piękno jest jeszcze bardziej wymowne, bo niezwykle skuteczne w zastosowaniach.

Zawsze interesowały mnie filozoficzne zagadnienia kosmologii. Bo czy się nam to podoba, czy nie w kosmologii jest sporo filozofii. Samo stawienie czoła Wszechświatowi — prawdę powiedziawszy, wszystko jedno czy w jego największej, czy najmniejszej skali — ma w sobie posmak metafizyki. Ale w latach sześćdziesiątych nie bardzo było można o tym głośno mówić. W naszym obszarze wyłączność na filozofię miał marksizm i cenzura ostro działała (granie z nią w uniki należało do dobrego tonu). Ale wydaje się, że jeszcze skuteczniej działała autocenzura pochodzenia zachodniego. Był to okres panowania ideologii pozytywistycznej i świat nauki poddał się jej wpływowi. Dobremu uczonemu po prostu nie wypadało wypowiadać się publicznie na tematy światopoglądowe lub filozoficzne. Być może także dlatego kosmologia tak długo miała kłopoty z wpisaniem się na listę nauk empirycznych. Wprawdzie neopozytywiści często cytowali marksizm jako przykład „filozoficznego bełkotu”, ale to wcale nie przeszkadzało marksistom „naszego obozu” odwoływać się do pozytywistycznych argumentów przeciwko filozofii (oczywiście innej niż marksizm).

Patrząc wstecz, dostrzegam, że ten stan rzeczy działał na moją korzyść. Korzystając z tej niewielkiej „przestrzeni wolności”, jaką miał Kościół Katolicki w Polsce, mogłem czasem opublikować coś z pogranicza kosmologii i filozofii (nie bez przeszkód ze strony Departamentu do Spraw Wyznań). Ponieważ dzięki tym mechanizmom nie miałem wówczas konkurencji, moje książki i artykuły były czytane jak nigdy potem.

To ciekawe, jak nieraz dużo czasu musi upłynąć zanim zrozumie się jakieś bardziej skomplikowane równanie. Znane są kłopoty pierwszych relatywistów z rozróżnieniem prawdziwych efektów relatywistycznych od tych, które zależą od wyboru układu współrzędnych (co dzisiaj jest ćwiczeniem dla studentów). W końcu lat sześćdziesiątych w dość dużych bólach rodziło się (3+1)-ujęcie ogólnej teorii względności (dzisiaj jest to podstawą kanonicznego kwantowania pola grawitacyjnego). Cią-

gle żywe były jeszcze spory w sprawie tzw. Zasady Macha. Czy równania pola da się odczytać w takim sensie, że ich prawa strona („materia”) całkowicie determinuje ich lewą stronę („Geometrię”)? Dziś, w miarę potrzeby potrafimy odwołać się do struktury rozwiązań, przyjrzeć się zagadnieniu Cauchy’ego i rozłożyć wszystko na hierarchię struktur (metrycznych, afinicznych, konforemnych...) i niejako zobaczyć, co się „tam naprawdę dzieje”. W tamtych czasach wiele z tych technik dopiero się rodziło i braki w wiedzy trzeba było uzupełniać niekiedy subtelnymi rozważaniami i analizowaniem przykładów. Być może dlatego zainteresowała mnie zasada Macha (stanowiła ona przedmiot mojej rozprawy habilitacyjnej). Pochłonąłem całą masę prac i artykułów na ten temat. Do dziś w prywatnym archiwum przechowuję kilka klaserów notatek, reprintów i wyblakłych pierwszych odbitek kserograficznych na temat zasady Macha. Jest wśród nich odbitka pracy (nie pamiętam, jak ją zdobyłem) pt. *Zasada Macha* autorstwa Stanisława Bazańskiego i Marka Demiańskiego. Przestudiowałem tę pracę wielokrotnie. Wtedy po raz pierwszy zetknąłem się z nazwiskiem „Demiański”. Bazańskiego znałem już jako autora skryptu o rachunku spinorowym.

Chciałbym odnotować jeszcze jedną specyfikę ówczesnej „sytuacji kosmologicznej” w Polsce. Wkrótce po odkryciu promieniowania tła zaczęły także narastać dane obserwacyjne dotyczące świata galaktyk i gromad galaktyk. Miały one oczywiste znaczenie dla kosmologii. Na jakiś czas uwagę kosmologów i astronomów pozagalaktycznych przyciągnął *Katalog Jagielloński*, najgłębszy wówczas przegląd nieba, obejmujący niewielki jego wycinek. Katalog powstał z klisz przywiezionych przez Konrada Rudnickiego z Mount Palomar. Pamiętam jak na dużym stole w Obserwatorium Astronomicznym w Krakowie (jeszcze w Ogrodzie Botanicznym) przez wiele tygodni leżały rozpięte mapy, na które ręcznie, z mozołem przenoszono dane z klisz. Wkrótce oczywiście *Katalog Jagielloński* został zdystansowany przez głębsze i rozleglejsze przeglądy nieba (Konrad Rudnicki miał jeszcze więcej klisz z Palomar, ale nikt nie chciał się podjąć ich „ręcznego” opracowania). Era elektroniki nieodwracalnie wkraczała do astronomii, ale u nas nie było pieniędzy na kosztowne urządzenia.

Z obserwacyjnych i teoretycznych prac zaczął się powoli wyłaniać standardowy model kosmologiczny (nazywano go wówczas modelem gorącego Wszechświata). Duży wkład do jego opracowania wniosła Szkoła Moskiewska pod przewodnictwem Yakova Zeldowicza. Przeniósł on do kosmologii głęboką znajomość fizyki wysokich energii, którą się przedtem zajmował i postawił sobie za cel zrekonstruowanie fizyki Wszechświata od pierwszych chwil po Wielkim Wybuchu, poprzez erę promienistą, aż do powstawania galaktyk i gromad galaktyk. I cel ten konsekwentnie realizował.

Uczeni radzieccy nie byli wówczas łatwo wypuszczani na Zachód, ale mogli od czasu do czasu przyjeżdżać do „bratniej” Polski. W ten sposób Polska stała się miejscem spotkań kosmologów z Zachodu i z Rosji. Pamiętam kilka takich spotkań: w Warszawie, Krakowie, Na Świętym Krzyżu. Zeldowicz był żywą i bogatą osobowością. Kilka razy miałem okazję porozmawiać z nim, niekoniecznie na kosmologiczne tematy. Kiedyś przyszedł do mnie na rozmowę w nocy...

Historycy i filozofowie nauki piszą grube tomy i dziesiątki artykułów, w których starają się zrekonstruować mechanizmy powstawania nauk. Ja miałem to szczęście, że w czasie mojego życia mogłem obserwować na własne oczy, jak kosmologia ze zbioru luźnych hipotez przeobrażała się w dojrzałą naukę empiryczną.

Po odkryciu mikrofalowego promieniowania tła i jego dalszych badaniach przy pomocy różnego rodzaju sond, stosunkowo szybko zaczął się ustalać standardowy model kosmologiczny. Oczywiście nie znaczy to, że wszyscy naukowcy, zajmujący się kosmologią, doszli do takich samych poglądów, ale znaczy to, że poglądy istotnie odbiegające od standardowych, znalazły się na marginesach. Pisanie dalszej historii kosmologii, nawet typu skrótowo-wspomnieniowego, jest znacznie trudniejsze. W okresie pionierskim nie tylko dzieje się mniej rzeczy godnych odnotowania, ale są one w jakimś sensie znacznie bardziej osobiste. Gdy kosmologia zaczęła wkraczać w swój wiek dojrzały, pojawiało się coraz więcej wątków badawczych, coraz więcej odległych od siebie specjalizacji, standardowe metody zaczęły wypierać intuicje i pomysły.

W czasach, w których zacząłem zajmować się kosmologią, w zasadzie dało się opanować całą naukę o Wszechświecie. W r. 1983 napisałem książkę *Ewolucja kosmosu i kosmologii*. Były to popularnie ujęte dzieje kosmologii od początku XX wieku do odkrycia promieniowania tła. Przygotowując tę książkę przeczytałem (lub przynajmniej uważnie przeglądałem) wszystkie ważniejsze prace kosmologiczne tego okresu. Nie dałoby się tego zrobić w odniesieniu do historii kosmologii po odkryciu promieniowania tła. Można by się co najwyżej pokusić (choć się na to nie odważyłem) o historię ograniczoną do kilku wybranych wątków. Przedsięwzięcie takie w odniesieniu do kosmologii współczesnej byłoby beznadziejne i to nie tylko dlatego, że do pisania historii potrzebna jest pewna perspektywa czasowa. Kosmologia współczesna jest zbiorem teorii i modeli tak różnorodnych, że może być dziełem jedynie wysoko wyspecjalizowanych zespołów badaczy.

Kosmologię współczesną można porównać do wielkiego obszaru, którego nie da się pokryć jedną podstawową teorią fizyczną. Różne teorie i modele pokrywają jej różne podobszary. Jedną z głównych technik stosowanych w kosmologii jest umiejętność „sklejanie” teorii i modeli na podobszarach, na których się one przecinają. Należy jednak uważać, by tej analogii nie posuwać zbyt daleko w kierunku upodobniania jej do pokrycia różnorodności różniczkowej mapami współrzędnościowymi. Trzeba ją bowiem uzupełnić metaforą nadbudowywania jednych modeli nad drugimi lub wkładania jednych modeli w drugie. Mówi się, że kosmologia jest zbiorem teorii efektywnych, czyli takich, które nie roszczą sobie pretensji do bycia teoriami podstawowymi, ale dobrze sobie radzą z interpretacją danych obserwacyjnych.

Jest jeszcze jedna ważna różnica między kosmologią dawną a współczesną. Jest to raczej różnica perspektywy niż jakichś rzucających się w oczy własności. W dawnej kosmologii fizyka lokalna była punktem wyjścia do ekstrapolacji kosmologicznych. W kosmologii współczesnej ta rola fizyki lokalnej nadal obowiązuje, ale jest przyćmiewana przez odmienną perspektywę — fizyka lokalna staje się rzeczywiście lokalna; dzieje się tylko w pewnym miejscu w Kosmosie —

w miejscu, którego lokalne parametry są określone przez strukturę całości.

SUMMARY

*COSMOLOGY YESTERDAY AND TODAY—WITNESSING A PIECE
OF HISTORY*

Short recollections of an author who with his own eyes witnessed the development of cosmology from purely theoretical speculations to the mature experimental science.