

Michał HELLER

ZASADY EKSTRAPOLACJI — UWAGI NA  
MARGINESIE KOSMOLOGII

Można dziś jeszcze wątpić w to, czy Wszechświat się rozszerza, ale nie można wątpić w ekspansję kosmologii. Z roku na rok gwałtownie rosnąca liczba artykułów naukowych z kosmologii i dziedzin pokrewnych jest doświadczalnym tego dowodem. W takiej sytuacji pojawia się potrzeba metodologicznej refleksji i uściśleń.

Nowopowstałe nauki zwykle nie troszczą się o swoją metodologię. Świeżo odkryte dziedziny są tak bogate i tak obiecujące, że ważne wydają się sukcesy, a nie metody przy pomocy których dochodzi się do nich. Badania prowadzi się bardziej instynktownie niż w sposób zorganizowany. Metodologia dojrzewa powoli wraz ze wzrostem trudności w dochodzeniu do dalszych sukcesów. Uwagi metodologiczne pojawiają się coraz częściej na marginesach czysto naukowych prac. Następny etap polega na przetworzeniu się marginesów w opasłe tomy. Autorzy tych tomów zwykle nie są przedstawicielami danej dziedziny nauki, lecz zawodowymi metodologami. Metodologia przestaje być narzędziem, staje się sztuką dla sztuki. Historia fizyki i jej metodologii jest najlepszym przykładem takich prawidłowości.

Uważam, że właściwym miejscem metodologii są marginesy nauki, ale marginesy wystarczająco szerokie i „teoretycznie zorganizowane”. Tego rodzaju marginesy będę nazywać „wewnętrzną metodologią” danej nauki. Niniejsze studium jest przyczynkiem do wewnętrznej metodologii kosmologii<sup>1</sup>.

---

\*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

<sup>1</sup>Program „wewnętrznej metodologii kosmologii” naszkicowałem w artykule przygotowanym do publikacji w „Rocznikach Filozoficznych” KUL.

## 2. Formalizm i tekst

Jeżeli zgodzimy się z Bertrande Russelllem, że nauki ścisłe, w takim stopniu, w jakim czynią one użytek z matematyki, mówią nie wiadomo o czym, a jeśli w ogóle o czymś mówią, to nie wiadomo, czy to coś jest prawdziwe czy fałszywe, to musimy uznać kosmologię za naukę ścisłą. W każdej ścisłej nauce empirycznej są dwie warstwy: warstwa formalizmu i warstwa tekstu, czyli komentarza do formuł matematycznych. Wzory bez komentarza byłyby czystą formą, bez żadnego odniesienia do rzeczywistości. Tekst bez matematyki nie jest nauką ścisłą, lecz co najwyżej zbiorem refleksji.

Tekst nadaje empiryczną interpretację matematycznym symbolom, wybór takiego a nie innego tekstu jest sugerowany przez eksperymenty. Można powiedzieć, że istnieje pewna „odległość” dzieląca formalizm od rzeczywistości. Tekst ma za zadanie pokonać tę „odległość”, przerzucić pomost pomiędzy wzorami a doświadczeniem. Metodologowie mówią tu o *definicjach przyporządkowujących* matematycznym symbolom znaczenie empiryczne, ale w praktyce tego rodzaju „definicje” przyjmują raczej postać długich dyskusji i analiz.

W kosmologii „odległość” pomiędzy formalizmem teorii a wynikami obserwacji astronomicznych jest jeszcze większa niż w pozostałych dziedzinach fizyki. Z tej racji tekst ma tu do spełnienia ważną funkcję. Ale też jest on narażony na większe niebezpieczeństwo przekształcenia się w subiektywne rozważania, niekontrolowane ani bliskością matematyki, ani bliskością eksperymentu. Metodologia musi stać się istotną częścią nauki o Wszechświecie jako całości. W przeciwnym razie kosmologia grzęźnie w paradoksach<sup>2</sup>. Ponadto, do istoty zagadnienia kosmologicznego wchodzi problem ekstrapolacji a jest to ze swej natury problem metodologiczny.

Duża odległość pomiędzy formalizmem a empirią w kosmologii jest — powiedzmy logicznej natury; zagadnienie ekstrapolacji wiąże się z odległościami (zarówno w czasie jak i w przestrzeni) w dosłownym znaczeniu. Jesteśmy skazani na dokonywanie obserwacji na Ziemi i w jej najbliższym astronomicznym otoczeniu a chcemy poznać strukturę Wszechświata w największej skali. Dotychczas nie istnieje zadowalająca teoria ekstrapolacji. Kosmolog teoretyk musi liczyć raczej na intuicję niż na metodologiczne reguły.

---

<sup>2</sup>Dobrym przykładem jest tu paradoks powstający, gdy bez szczególnej troski metodologicznej rozważa się powstawanie galaktyk lub gromad galaktyk metodą małych zaburzeń jednorodnego i izotropowego modelu kosmologicznego; por. mój art.: *On the Interpretative Paradox in Cosmology*, „Acta Cosmologica”, 2: 1974, 37–41.

Niektóre teorie kosmologiczne unikały tej metodologicznej trudności zastępując ekstrapolację dedukcją. Idea jest następująca: najpierw przyjąć układ aksjomatów wyrażający pewne *globalne* własności Wszechświata, a potem wydedukować z nich własności obserwowalne *lokalnie*. Do teorii kosmologicznych, które przyjęły tę taktykę należały kosmologia Milne'a<sup>3</sup> i kosmologia stanu stacjonarnego<sup>4</sup>. Wprawdzie przez takie postawienie zagadnienia unika się wszystkich problemów związanych z ekstrapolacją, ale rodzą się inne trudności. Kosmologiczna dedukcja odbywa się według schematu: globalne założenia  $\Rightarrow$  własności lokalne. Na mocy logicznych własności implikacji następnik może być prawdziwy nawet jeśli poprzednik okazałby się fałszywy. Metoda dedukcyjna mogłaby dostarczyć pewnej wiedzy o Wszechświecie tylko wówczas, gdyby udało się wykazać, iż istnieje jeden i tylko jeden zbiór aksjomatów o globalnych właściwościach Wszechświata, z którego dałoby się wydedukować obserwowane własności lokalne. Większa od jeden liczba różnych dedukcyjnych systemów kosmologicznych dowodzi czegoś przeciwnego.

Do około 1960 r. metoda dedukcyjna cieszyła się w kosmologii dość szerokim uznaniem, w każdym razie stanowiła ona poważną konkurencję w stosunku do metody ekstrapolacyjnej. Potem sytuacja uległa zmianie. Napływ nowych danych obserwacyjnych — związanych głównie z odkryciem promieniowania tła — stworzył klimat pomyślny do rozwoju teorii typu ekstrapolacyjnego.

### 3. Pierwsza i druga zasada ekstrapolacji

Przyjrzyjmy się procesowi ekstrapolacji w kosmologii. „Tu — teraz” obserwatora określa zdarzenie w czasoprzestrzeni (por. rysunek). Dla zaciepienia uwagi, mówiąc o obserwatorze, możemy myśleć o obserwatorze ziemskim.

Znajomość fizyki czerpiemy z doświadczeń wykonywanych w bezpośrednim otoczeniu pewnej czasopodobnej krzywej, będącej naszą historią (linią świata). W dalszym ciągu będziemy zakładać, że krzywa ta jest geodetyką, a wiedzę fizyczną zdobytą w oparciu o doświadczenia wykonywane w „sąsiedztwie” tej krzywej będziemy nazywać *lokalną fizyką*.

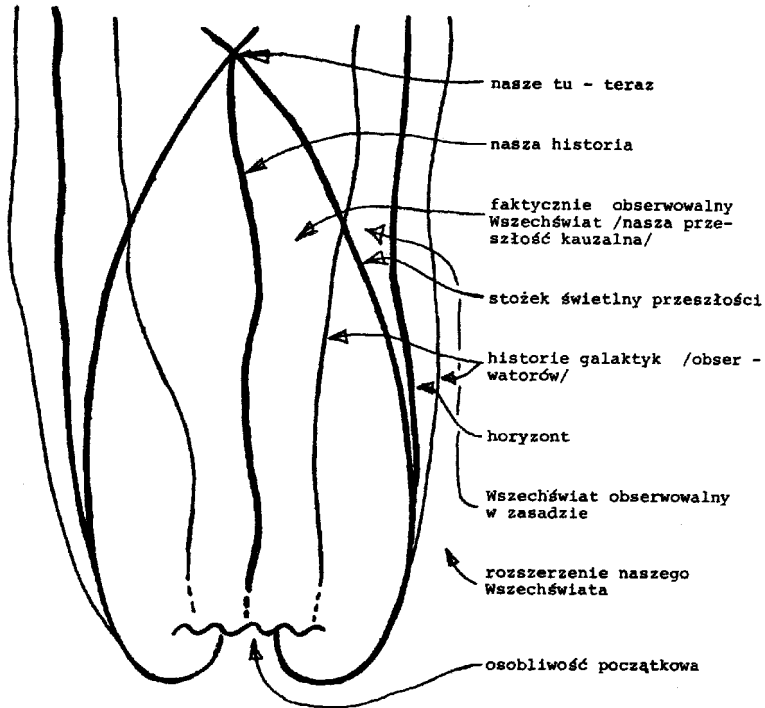
Wszystkie informacje o znaczeniu kosmologicznym uzyskujemy przez obserwacje obszarów czasoprzestrzeni zawartych w naszej *kausalnej prze-*

---

<sup>3</sup>E. A. Milne, *Relativity, Gravitation and World Structure*, Oxford 1935.

<sup>4</sup>H. Bondi, T. Gold, *The Steady-State Theory of the Expanding Universe*, „Mon. Not. Roy. Astron. Soc.”, 108: 1948, 252–270; F. Hoyle, *A New Model for the Expanding Universe*, „Mon. Not. Roy. Astron. Soc.”, 108: 1948, 372–382.

szłości, dlatego też naszą kauzalną przeszłość będziemy także nazywać *faktycznie obserwowanym Wszechświatem*.



Rys. 1. Obszary czasoprzestrzeni

Różne obszary czasoprzestrzeni posiadają różną „moc obserwacyjną”; zostało to przejrzyście przedyskutowane przez G. F. R. Ellisa<sup>5</sup>.

Nasza znajomość faktycznie obserwowanego Wszechświata nie pochodzi wyłącznie z obserwacji lecz z obserwacji splecionych z ekstrapolacją ziemskiej fizyki i z założeniami, które w żaden sposób nie dadzą się zweryfikować empirycznie. Pierwsze tego rodzaju założenie, które będziemy nazywać *pierwszą zasadą ekstrapolacji*, można sformułować następująco:

*Prawa lokalnej fizyki można ekstrapolować do obszarów czasoprzestrzeni, poza którymi zostały one sformułowane, o ile to tylko możliwe. Jeżeli zaś okazuje się to niemożliwe, tzn. jeśli tego rodzaju ekstrapolacja prowadzi do przewidywań niezgodnych z doświadczeniem, to do praw*

<sup>5</sup>G. F. R. Ellis, *Unverifiable Assumptions in Cosmology*, „Quart. J. Roy. Astron. Soc.”, 16: 1975, 245.

lokalnej fizyki należy wprowadzić małe (tak małe jak to tylko możliwe) poprawki. Poprawki takie mogłyby dotyczyć np. uzmienniania niektórych stałych fizycznych (potrzeba taka do dziś nie zaistniała).

*Druza zasada ekstrapolacji* jest milcząco przyjmowana przez wszystkie nauki empiryczne, stwierdza ona, że *jeśli tylko prawa fizyki ziemskiej da się stosować lub ekstrapolować do danej dziedziny rzeczywistości, to poprawnie przewidują one strukturę tej dziedziny rzeczywistości*. Na mocy tego założenia słoje w drzewach czy skamienieliny w skałach świadczą rzeczywiście o wieku drzew czy skał, a nie zostały one, na przykład w dniu wczorajszym, stworzone przez Boga wraz z całym „gotowym” Wszechświatem. Zasadę tę Ellis<sup>6</sup>. nazywa *założeniem lokalnej przewidywalności*, jest ona jedną z postaci słynnej „brzytwy Ockhama”.

#### 4. Zasady kosmologiczne

Następnym etapem kosmologicznej ekstrapolacji jest próba rozciągnięcia wiedzy uzyskanej w obrębie rzeczywistości obserwowanego Wszechświata poza jego granice. Obszar czasoprzestrzeni zawarty wewnątrz naszego obecnego horyzontu (cząstek) będziemy nazywać *Wszechświatem obserwowalnym w zasadzie*.

Sformułowane powyżej zasady ekstrapolacji w obrębie rzeczywistości obserwowanego Wszechświata są konieczne do ekstrapolowania poza granice tego obszaru czasoprzestrzeni. Są konieczne, ale nie wystarczają; niezbędne są dodatkowe założenia przyjmujące odpowiedzialność za prawomocność ekstrapolacji sięgającej poza obszary kontrolowane aktualnymi obserwacjami. Bardzo często tego rodzaju dodatkowe założenia przyjmują postać tzw. *zasad kosmologicznych*. Najczęściej spotykana w literaturze zasada kosmologiczna przyjmuje, że *uśredniony obraz Wszechświata otrzymywany przez obserwatora wyposażonego w standardowe instrumenty astronomiczne nie zależy od jego pozycji w przestrzeni*. Założenie to okazuje się bardzo mocne i niekiedy postuluje się jego osłabione wersje.

#### 5. Granice ekstrapolacji

Żaden kosmolog–teoretyk nie urywa procesu ekstrapolowania na granicy Wszechświata obserwowalnego w zasadzie. Należy wszakże podkreślić, że ekstrapolacja poza tę granicę nie może być kontrolowana przez żadne zabiegi empiryczne. Kontrolę przyjmują tu zasady estetyki i ekonomii myślenia. I tak na przykład można sformułować *zasadę ciągłości*,

---

<sup>6</sup>Tamże.

która głosi, że w procesie ekstrapolacji a w szczególności przy przejściu horyzontu (granica między Wszechświatem obserwowalnym w zasadzie a „rozszerzeniem” naszego Wszechświata) *własności Wszechświata zmieniają się w sposób ciągły*. Zasada ta obowiązuje i na poprzednich etapach ekstrapolacji, teraz jednak — wobec bezradności innych środków kontroli — zaczyna odgrywać wiodącą rolę.

Powstaje pytanie: gdzie ekstrapolacja powinna się zatrzymać? Odpowiedź jest prawie natychmiastowa: nigdzie, jeżeli to możliwe. Należy konstruować modele kosmologiczne, „rozciągające się” maksymalnie, poza wszelkiego typu horyzonty. Ideę tę można sformułować, przyjmując tzw. *zasadę nieprzedłużalności czasoprzestrzeni*, według której *czasoprzestrzeń Wszechświata winna być nieprzedłużalną różnorodnością*. Czasoprzestrzeń jest nieprzedłużalną różnorodnością, jeśli — mówiąc obrazowo — posiada maksymalną rozciągłość, żadna jej część nie została sztucznie usunięta<sup>7</sup>.

Nawet jeśli czasoprzestrzeń jest różnorodnością nieprzedłużalną, niekiedy w sposób matematycznie ścisły można zdefiniować jej brzeg<sup>8</sup>. Jeśli da się to zrobić, możemy sformułować ostatnią zasadę ekstrapolacji, domagającą się, *by o ile możliwości — wszystkie struktury zdefiniowane na czasoprzestrzeni gładko rozciągnąć także na jej brzeg*. Postulat ten nazwijmy *zasadą gładkiego rozciągania na brzeg*. Wydaje się, że jest to ostatni przewodnik najdalej posunięty ekstrapolacji.

Warto jeszcze podkreślić, że w zasadzie istnieje wiele możliwych przedłużeń aktualnie obserwowanego Wszechświata lub Wszechświata obserwowalnego w zasadzie. Wybór jednego przedłużenia stanowi mocną hipotezę kosmologiczną w zasadzie nie mającą obserwowalnych konsekwencji<sup>9</sup>.

Zwróćmy także uwagę, że niektóre z wyróżnionych przez nas zasad ekstrapolacji mają charakter hipotez lub hipotez roboczych (np. zasada kosmologiczna, § 4) inne zaś mają charakter „reguł gry” (np. druga zasada ekstrapolacji, § 3).

<sup>7</sup>Ścisła definicja por. S. W. Hawking, G. F. R. Ellis, *The Large Scale Structure of Space-Time*, Cambridge 1973.

<sup>8</sup>Definicja por. tamże.

<sup>9</sup>Por. M. Heller, *Local-Large Scale — Global: On Certain Methodological Questions of Cosmology*, „Acta Cosmologica”, 7: 1978, 83–99.

## 6. Wniosek

Kosmologia jest nie tylko nauką o strukturze–ewolucji Wszechświata, lecz także o założeniach, jakie należy poczynić, by taka nauka stała się możliwa.

21 V 1969

Michał Heller  
Papieski Wydział Teologiczny  
Kraków