

Łukasz Mścisławski

Metodologiczny status modelu inflacyjnego

„Standardowe” problemy

Model¹ inflacyjny powstał jako swego rodzaju hipoteza pomocnicza do modelu standardowego. Owa hipoteza miała za zadanie udzielić odpowiedzi na kilka pytań²:

1. *Płaskość przestrzeni.* Obserwowany dzisiaj wszechświat jest zaskakujący — jego geometria, determinowana przez parametr gęstości Ω jest, w ramach dokładności pomiaru, jest płaska. Oznacza to, że parametr ten musiał zostać wybrany z zadziwiającą dokładnością (rzędu 10^{-15}) już w fazie nukleosyntezy.
2. *Izotropowość promieniowania relikowego* i związany z nią *problem horyzontu*. Pomiary promieniowania tła, dostarczone przez satelity COBE i WMAP wskazują, że promieniowanie tła jest niemal identyczne w każdym kierunku obserwacji. Można zatem sugerować, że w przeszłości dowolne dwa punkty Wszechświata pozostawały ze sobą w równowadze

¹Czy też modele – gdyż kategoria modeli inflacyjnych nie obejmuje tylko i wyłącznie jednego modelu, o czym dalej.

²Oczywiście, pytań tych sformułowano więcej, te jednak wydają się kluczowe.

termodynamicznej (co zakłada kontakt kauzalny). Tymczasem bardzo proste obliczenia pokazują (zakładając, że wiek Wszechświata jest skończony – jak to ma miejsce w modelu standardowym), iż bez trudu można znaleźć dwa takie punkty, dla których wymiana informacji w ramach znanych obecnie procesów fizycznych jest niemożliwa. Znajdują się od siebie zbyt daleko, by w czasie wieku Wszechświata światło mogło przebyć drogę między nimi.

3. *Nieobecność* (czy też *nieobserwowalność*) *monopoli magnetycznych*. Kolejny problem pojawia się przy łączeniu modelu standardowego z teoriami unifikacyjnymi. Model standardowy przewiduje, że w ramach procesu unifikacji (który miałby mieć miejsce, gdy Wszechświat osiągnął wiek 10^{-35} s), powinno dać się zaobserwować wielkie ilości relatywistycznych cząstek elementarnych (wśród których miałby się znajdować np. monopole magnetyczne). Pomimo jednak przewidywanej ich obfitości nie zaobserwowano ich dzisiaj.

W ramach dotychczasowej obowiązującej *teorii* – czyli kosmologicznego³ modelu standardowego, zagadnienia te nie doczekały się rozwiązania, jakkolwiek sama teoria w zadowalającym stopniu opisywała samą obecną strukturę areny zjawisk kosmologicznych (czasoprzestrzeń) wraz ze składem chemicznym wszechświata. Wymagało to wprowadzenia dodatkowej hipotezy, która z czasem urosła do rangi „modelu wewnątrz modelu”. W roku 1981 A. Guth zaproponował mechanizm, który okazał się wielce użyteczny w tłumaczeniu takiego a nie innego stanu rzeczy. Najogólniej rzecz ujmując, we wczesnym okresie kształtowania się wszechświata (10^{-35} s) miało miejsce gwałtowne rozszerzanie się wszechświata, które sprawiło, że jego rozmiary wzrosły o czynnik co najmniej

³Przymiotnik *kosmologiczny* został użyty ze względu na fakt, że w dziedzinie cząstek elementarnych także istnieje *model standardowy*, który dotyczy podstawowych składników materii. W dalszym ciągu niniejszej pracy przymiotnik ten będzie pomijany.

10^{25} (czasem sugeruje się, że w grę wchodzi nawet czynnik rzędu 10^{60}). Powodem takiej „eksplozji” rozmiarów wszechświata, według Gutha, miałyby być dominacja pola Higgsa w okresie oddzielania się silnych oddziaływań jądrowych od elektroślabych. Konsekwencją takiego przebiegu wydarzeń było pojawienie się gigantycznego, ujemnego ciśnienia, które stało się głównym motorem inflacji.

Hipoteza, model, teoria

Do określenia statusu metodologicznego modelu inflacyjnego pożyteczne będzie poczynienie kilku ważnych określeń, które nie są oczywiste, a jednocześnie często bywają używane zamiennie. Nie stanowi wprawdzie wielkiego problemu, niemniej warto wiedzieć, jak używane określenie jest rozumiane w danym kontekście.

Przy omawianiu statusu metodologicznego wypada zwrócić uwagę na trzy określenia: **hipoteza**, **model**, **teoria**. Znaczenia tych pojęć często są umiejscawiane blisko siebie i są ze sobą ściśle powiązane (zwłaszcza jeśli chodzi o rzeczywistość uprawiania fizyki). Niemniej zachodzą między nimi pewne znaczące różnice. Wychwycenie tych różnic pomoże w dość precyzyjnym określeniu, jak należy traktować to, co kryje się pod znanym określeniem *modelu inflacyjnego*.

Pierwsze pojęcie, które w tym kontekście wymaga jaśniejszego określenia, to niewątpliwie pojęcie *hipotezy*. Niewątpliwie jest to pojęcie dobrze znane. Tu przyjęte zostanie jako określenie, że *hipoteza* to pewien sąd (zespół sądów) dotyczący zjawisk lub zależności, który pozwala wyjaśnić niewytłumaczony dotąd problem i domaga się weryfikacji.

Drugim ważnym pojęciem jest pojęcie *modelu*. Pojęcie to, jakkolwiek podobnie do poprzedniego, jest również dość dobrze znane, jednakże – z racji swej wieloznaczności – wymaga pewnego dookreślenia na potrzeby tej pracy. *Modelem* (w fizyce) zatem będzie określany pewien uproszczony, matematyczny zarys przyszłej,

bardziej rozbudowanej teorii, lub jakiś wyodrębniony z danej teorii element strukturalny (np. jedno z rozwiązań równań teorii)⁴.

Ostatnie pojęcie, którego wprowadzenie wydaje się być pożyteczne, to pojęcie *teorii*. W nawiązaniu do przedstawionego już pojęcia modelu, można by stwierdzić, że teoria to szereg modeli powiązanych ze sobą w jedną spójną strukturę. Takie określenie jest jednak niewystarczające, zważywszy, że elementów składających się na teorię (fizyczną) jest znacznie więcej i redukcja jej tylko do zespołu modeli jest niewystarczająca. Wśród ważnych elementów teorii fizycznej niewątpliwie wymienić trzeba jej założenia, modele, hipotezy pomocnicze, definicje różnych wielkości, procedury pomiarowe, procedury testowania teorii. Niekiedy dodaje się jako element konstytutywny teorii *prawa przyrody*, lecz ze względu na fakt, że współcześnie granica między pojęciami: *prawo przyrody* a *teoria* jest dość płynna, bezpieczniej jest raczej mówić o fakcie związania z innymi teoriami fizycznymi⁵.

⁴Więcej o niejednoznacznościach związanych z pojęciem modelu można znaleźć w: HELLER M., *Filozofia nauki. Wprowadzenie*, s. 35-36 oraz 46-47. Warto tu także wspomnieć o często wykorzystywanych w fizyce tzw. *toy models* (dosł. modeli zabawowych). Określenie to odnosi się do wyjątkowo uproszczonych zbiorów obiektów i równań opisujących relacje między nimi. Są one używane w celach zrozumienia mechanizmów, które mogą być także użyteczne później, w znacznie bardziej złożonych modelach czy też pełnych teoriach. Przykładem takich *toy models* są np.: opis mechaniki ruchu orbitalnego Ziemi (zakładający, że jest ona połączona ze Słońcem długą, elastyczną liną), model promieniowania Hawkinga w pobliżu czarnej dziury (opisywanego jako konwencjonalne promieniowanie pochodzące z fikcyjnej membrany o określonym promieniu) itd. Z matematycznego punktu widzenia, *toy models* zwykle konstruuje się przez zredukowanie liczby wymiarów bądź zmniejszenie liczby uwzględnianych pól (lub zmiennych), czy też ograniczenie się do jakichś ich wyróżnionych postaci tych ostatnich (np. o jakiejś szczególnej, łatwej w opisie symetrii). Na poziomie opisu, w modelach zabawowych używa się przykładów z potocznego doświadczenia, aby przez analogię zilustrować jakieś skomplikowane zjawisko, czyniąc je tym samym łatwiejszym do zrozumienia.

⁵Ciekawe rozróżnienie teorii proponuje R. Penrose, dzieląc teorie fizyczne na trzy kategorie: teorie doskonałe, użyteczne i próbne. Por. PENROSE R., *Nowy umysł cesarza*, PWN, Warszawa 1995, s. 176-180.

W świetle tak poczynionych rozróżnień wypada przyjrzeć się problemowi określenia metodologicznego statusu tego, co zwykle określa się mianem *modelu inflacyjnego*. Wprowadzone rozróżnienia wskazują, że rozwiązanie tego problemu wcale nie musi być jednoznaczne. Wskazuje na to chociażby fakt, że zasadniczo jest mowa o *modelu wewnątrz modelu*, *modelu poprawiającym model*. Wydaje się też, że nie jest do końca jasne, czy jest to tylko sprawa uściśleń terminologicznych – czy, gdy mówi się o *modelu standardowym* i *modelu inflacyjnym*, jest mowa o podobnych, bądź – choćby zbliżonych metodologicznie rzeczywistościach. Być może pomocne będzie tu mówienie o modelu standardowym jako teorii, przy czym należałoby zastrzec, że nie chodzi jeszcze o teorię tak dobrze sprawdzoną i ugruntowaną, jak np. ogólna teoria względności czy teoria kwantów, względnie ich pochodne (kwantowa teoria pola). W związku z tym także status modelu inflacyjnego – jako modelu właśnie – wydaje się być nieco inny niż modelu standardowego. Niewątpliwie sama koncepcja inflacji spełnia warunki bycia pomocną hipotezą i widać, że ze względu na wagę problemów, które mogą być dzięki niej rozwiązane, może nawet być czymś więcej, niż tylko hipotezą. Często wręcz mówi się o *inflacyjnym paradygmacie*⁶ – lecz nie jest jasne, w jakim znaczeniu używa się tutaj słowa *paradygmat*⁷. Zazwyczaj termin ten używany jest bardziej na określenie pewnego podejścia do rozwiązywania problemów związanych z początkowymi etapami ewolucji wszechświata, niż jakiegoś znacznie szerszego podejścia do teorii fizycznych.

⁶Por. np. GARCIA-BELLIDO J.: *Cosmology and astrophysics*, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0502139>.

⁷Samo pojęcie paradygmatu już od początku swego powszechnego funkcjonowania w literaturze, zwłaszcza filozoficznej, obciążone wieloznacznością (por. T. Kuhn *Struktura rewolucji naukowych*, zwykle jednak używając tego sformułowania zakłada się, że „wiadomo, o co chodzi”).

Problemy teoretyczno–metodologiczne

Wydaje się, że jest jeszcze nieco za wcześnie, by jednoznacznie rozstrzygnąć o ostatecznym statusie modelu inflacyjnego. Sytuacja taka jest spowodowana choćby faktem, że wciąż za mało jest danych obserwacyjnych, by jednoznacznie ocenić ten model. Wyniki obserwacji przeprowadzanych przy pomocy satelity WMAP, opracowane w oparciu o wyniki z ostatnich trzech lat, wydają się dobrze go potwierdzać w jego wersji podstawowej – stanowią także silny test samego modelu standardowego, który ten ostatni przeszedł zaskakująco pomyślnie. Wśród teoretyków także model inflacyjny cieszy się sporym uznaniem, stanowiąc⁸ ważną część obecnie panującego sposobu ujmowania problemów kosmologicznych.

Samo zagadnienie inflacji także nastrocza spore trudności. Do najbardziej newralgicznych punktów w tym modelu należy problem zakończenia epoki inflacyjnej, dotyczący nieznanego mechanizmu, który spowodował zakończenie wykładniczej ekspansji wszechświata i doprowadził do gładkiego przejścia do ewolucji według standardowych równań. Podnoszone są także zastrzeżenia co do słuszności motywacji wprowadzania kosmologii inflacyjnej⁹, w szczególności argumentacji estetyki obrazu fizycznego, zwłaszcza w odniesieniu do problemu płaskości przestrzeni. Jeszcze poważniejszym zarzutem jest wprowadzanie dodatkowego pola skalarnego (bądź kilku pól) do modelu, w zasadzie tylko po to, by samo zjawisko inflacji mogło mieć miejsce¹⁰. Innym problemem jest fakt istnienia wielu podejść inflacyjnych – od stosunkowo prostych modeli pierwotnych, zbliżonych do koncepcji Gutha, po modele chaotycznej inflacji, proponowane przez Lindego.

Kolejnym problemem jest, wspomniane już, terminologiczne zamieszanie, w ramach którego nieustannie przewijają się pojęcia modelu i teorii, używane zamiennie. W świetle, być może niedo-

⁸Por. PENROSE R.: *The road to reality...*, s. 753

⁹Często oprócz określenia *model inflacyjny*, można spotkać także określenie *kosmologia inflacyjna*. Por. tamże.

¹⁰Tamże, s. 754-756

skonałego, ale porządkującego rozróżnienia przedstawionego wyżej, wydaje się, że jednak da się jakoś ustalić, kiedy coś teorią jest, a kiedy nie. W związku z tym, możliwe jest takie podejście, iż mówiąc o *modelu inflacyjnym*, należałoby to rozumieć w ten sposób, że byłoby to coś więcej niż tylko hipoteza w ramach dosłownie rozumianego *modelu* standardowego. Coś więcej niż hipoteza, ale też nieco mniej niż dosłownie rozumiany *model* w sensie przedstawionym wyżej. Wówczas jednak rodzi się pytanie o status *modelu standardowego* – czy jest to tylko model, czy też może już samodzielna teoria? I jak wówczas należałoby rozumieć hipotezy pomocnicze, które można wprowadzać do modelu lub teorii? Być może zatem najbezpieczniej będzie określić model inflacyjny jako coś w rodzaju pomocniczego, hipotetycznego modelu w ramach modelu standardowego. To pozwoli z jednej strony zachować jednak charakter modelowy – czyli opis bardzo wąskiego wycinka w ramach szerszej teorii (modelu), a jednocześnie zachować charakter hipotetyczny tego swoistego „dodatku” do modelu standardowego. Spoglądając na problem z innej strony, może jest sensownym, by mówić o *modelu inflacyjnym* (całej kategorii modeli inflacyjnych) jako o pewnym rodzaju projektu badawczego, tak jak widziałby to Lakatos. Tu jednak pojawia się kolejne pytanie, czy nie należałoby raczej mówić o czymś w rodzaju gałęzi projektu badawczego, gdyż sam model (modele) inflacyjne nie stanowi samodzielnej całości lecz jest ściśle związany z modelem standardowym (założywszy oczywiście, że nadal traktuje się ten ostatni jako model) oraz innymi fundamentalnymi teoriami fizycznymi (ogólną teorią względności, oraz pochodnymi teorii kwantów). Wydaje się więc, że aby nadać modelom inflacyjnym (by mówić o całej kategorii) status projektu badawczego, są one za mało „samodzielne”, stanowią zbyt małe jednostki¹¹. Ostatecznie okazuje się, że rzeczywistość rozwo-

¹¹Zwłaszcza zważywszy na fakt, że Lakatos, zdaje się, jako jednostki metodologiczne traktuje nawet nie same teorie, lecz pewien ciąg następujących po sobie teorii, które określa właśnie mianem programu badawczego. Można także dopatrywać się w tym miejscu przykładu zmiany jądra programu badawczego. Nie wydaje się jednak, aby w tym przypadku zachodziła taka okoliczność.

ju i uprawiania fizyki (kosmologii) po raz kolejny wymyka się metodologicznym ustaleniom i jedynym czynnikiem, który umożliwi właściwą ocenę, jest czas.

Bibliografia

- (1) HELLER M., *Filozofia nauki. Wprowadzenie*, OBI, Kraków 1992
- (2) HELLER M., *Granice kosmosu i kosmologii*, Wydawnictwo Naukowe Scholar, Warszawa 2005
- (3) PENROSE R., *The road to reality. A complete guide to the laws of the universe*, Alfred A. Knopf, New York 2005
- (4) SPERGEL D.N., BEAN R., DORE O., *Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Three Year Results: Implications for Cosmology*, <http://arxiv.org/abs/astro-ph/0603449>

Jeżeli bowiem przyjąć, że za program badawczy będzie się tutaj uważać kosmologiczny model standardowy, to wówczas za twardy rdzeń tego programu należałoby uznać ogólną teorię względności oraz mechanikę kwantową, a to sprowadza „element inflacyjny” do roli hipotezy pomocniczej i wprowadza dodatkowe zamieszanie pod względem metodologicznym. Więcej – wydaje się, iż rzeczywiście z tą właśnie hipotezą są problemy, a jednocześnie w jakiś sposób, przynajmniej przy obecnym stanie wiedzy, trudno się bez niej obejść.