

Krzysztof MAŚLANKA

KOSMOLOGIA WCZESNEGO WSZECHŚWIATA

- A. D. Dołgow, J. B. Zeldowicz, M. B. Sażim, *Kosmologia rannej Wszechświata*, Wydawnictwo Uniwersytetu Moskiewskiego, Moskwa 1988.

Wzięta po raz pierwszy do ręki, nowa i nieznana jeszcze książka z dziedziny nauk przyrodniczych, kryje w sobie zawsze coś zagadkowego. Czy poszerzy nasze dotychczasowe horyzonty? Czy, dostarczając wzruszeń i satysfakcji z poznania, otworzy umysł na nowe światy? Czy też jej treść jawić się będzie jako otoczona nieprzeniknionym murem niezrozumienia, a ona sama stanie się dla nas jedynie źródłem upokorzenia i zniechęcenia? Zazdrośnie strzegąc swych tajemnic, ukrytych za barierą oszczędnego stylu i nieprzystępnego języka, z czasem zajmie honorowe miejsce na wysokiej półce zbierając kurz i oczekując zmiany nastrojów.

Czym zatem jest *Kosmologia wczesnego Wszechświata* — książka napisana przez A. D. Dołgowa oraz M. B. Sażina na podstawie wykładów prowadzonych przez J. B. Zeldowicza na wydziale fizycznym Uniwersytetu Moskiewskiego?

Zapewne łatwiej jest odpowiedzieć na pytanie, czym książka ta z pewnością nie jest. Nie jest to zatem eleganckie dzieło z pretensjami, by stać się bestsellerem, w rodzaju *Pierwszych trzech minut* Weinberga czy *Krótkiej historii czasu* Hawkinga. Daleko jej do wyrafinowanej precyzji stylu współczesnych monografii, które z czasem stają się standardami i zadowolają wymagających ekspertów szukających usilnie każdej nieprecyzyjnej myśli lub matematycznej nieścisłości. Zadowolają ekspertów i skutecznie odstraszą początkujących.

Książka ta nie jest ani elegancka, ani precyzyjna. Ze względu na szybki rozwój kosmologii fizycznej z pewnością nigdy nie stanie się standardem.

*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.

W zamierzeniu autorów przeznaczono ją „dla astronomów” i dlatego z jedenastu rozdziałów dwa najdłuższe dotyczą wprowadzenia w teorię pola oraz teorię cząstek elementarnych.

Nie jest tajemnicą, że w niepisanej hierarchii nauk przyrodniczych, której wyniosły szczyt okupują fizycy–teoretycy, „astronom” zajmuje niezbyt wysoką pozycję kogoś na ogół niedouczonego, chyba niżej jeszcze od chemika. Jednak może właśnie dlatego książka Zeldowicza bez kompleksów dochodzi tak głęboko i w sposób przystępny pokazuje tak wiele z problemów współczesnej kosmologii. Jest fachowym dziełem ludzi kompetentnych i nie pomija żadnego ważnego zagadnienia. Co więcej, jest to pierwsza monografia tego typu w świecie. Jej lektura pozwoli na wytworzenie rzetelnego obrazu całej współczesnej kosmologii. Opuszczono w niej jedynie, modne ostatnio, teorie wielowymiarowych wszechświatów. Trzeba jednak otwarcie powiedzieć, że, w przeciwieństwie do omówionych w książce zagadnień, modele te zawsze bardziej interesowały fizyków (unifikacja oddziaływań, teoria cząstek elementarnych, superstruny), niż kosmologów; pomimo wielkich nadziei teoretycznych, nie wniosły one niczego nowego do rozwiązania którejś z istotnych trudności modelu standardowego.

Pisanie takich książek, książek o współczesnej kosmologii fizycznej, jest skrajnie ryzykowne i wymaga sporej odwagi. To niewdzięczne zadanie musi iść w parze z założeniem, że w czasie przeraźliwie długiego cyklu wydawniczego nie stanie się w kosmologii nic takiego, co w chwili pojawienia się książki w księgarniach wywołałoby ironiczne uśmiechy i zjadliwe recenzje wspomnianych ekspertów: „jakie to stare i nieaktualne!”

Czym natomiast jest książka Zeldowicza? Z bardzo wąskiego i technicznego punktu widzenia, odpowiedź na to pytanie jest prosta i zwięzła: książka ta jest monografią na temat właściwie jednej tylko szczególnej formuły, równania stanu $p = -\epsilon$; jest jedną wielką pochwałą roli i znaczenia tej zależności w kosmologii wczesnego Wszechświata.

Informacja taka nie wydaje się zachęcać do dalszej lektury. Dodajmy więc, że ta prosta, i równie łatwa do zapamiętania jak sławne $E = mc^2$, relacja¹ stanowi lapidarny opis własności najbardziej fundamentalnego, a jednocześnie skomplikowanego i tajemniczego tworu, jakim jest próżnia kwantowa. To coś, co — z braku lepszego określenia — stanowi „substan-

¹Pisząc tak, nic chcę bynajmniej sugerować jednakowej wagi obu wymienionych formuł (jeśli w takiej dziedzinie jak fizyka dopuszczalne jest w ogóle jakieś wartościowanie).

cję” Wszechświata. Próźnia kwantowa²: z niej to wyłonił się kiedyś młody Wszechświat; w niej mają swe źródło konkretne, mierzone przez nas obecne wartości stałych sprężenia dla rządzących Wszechświatem sił; w niej wreszcie należy doszukiwać się pochodzenia mas wszelkich zaludniających Wszechświat cząstek elementarnych. Twór z egzotycznym równaniem stanu o ujemnym ciśnieniu, realizujący marzenia autorów *science fiction* o antygravitacji. Przyczyna inflacji, która rozwiązuje zagadki klasycznej kosmologii. Siła napędowa początkowej eksplozji naszej części kosmosu, tego wybuchu tradycyjnie zwanego Wielkim. Czy to nie dosyć?

Być może (czy też raczej: z pewnością?) kiedyś będzie inaczej; tak się jednak skrada, że obecnie nasze najgłębsze rozumienie mechanizmów rządzących Wszechświatem mówi, iż kierują nim równania Einsteina. Kierują zaś nim w sposób, jaki nakazuje ich „prawa strona”, źródła pola, czyli po prostu szeroko rozumiana „materia”. Tę ostatnią zaś w sposób lapidarny charakteryzuje jej „równanie stanu” — związek (na przykład) pomiędzy ciśnieniem a gęstością energii. Oto dłaczego równanie stanu pustej przestrzeni, egzotyczna relacja $p = -\epsilon$, zajmuje tak ważne miejsce w monografii Zeldowicza.

Omówiono w niej zagadnienia nie podlegające już dyskusji, „standardowe”: ekspansja Wszechświata, promieniowanie reliktowe i gorący model, nukleosynteza pierwotna. Przedyskutowano teorie w zasadzie uznane za poprawne, mimo, że nie wolne jeszcze od kontrowersji (bariogeneza, inflacja kosmiczna). Nie pominięto także pewnych hipotez jawnie spekulatywnych i bardzo jeszcze prowizorycznych, jak np. teoria inflacji chaotycznej Lindego czy kwantowa kreacja Wszechświata z niczego. W szczególności ta ostatnia budzi wiele wątpliwości i niedosytu.

Czy naiwne przenoszenie (skądinąd i tak niejasnych) praw zwykłej mechaniki kwantowej na Wszechświat jako całość, czyli traktowanie go jak cząstki a w zjawisku tunelowym, nie jest zbyt rażącym i jawnym przekstrapolowaniem? Czy rachunki takie mamy prawo nazwać „stwarzaniem z niczego”, chociaż ową rzekomą „nicością” jest obiekt tak bardzo skomplikowany, jak próźnia kwantowa? Ostatecznie za zwykłą mechaniką kwantową stoi nie intuicja czy satysfakcjonująca „filozofia”, lecz (powtarzalne) doświadczenie. W przypadku Wszechświata możliwości takiej nie ma.

Mam wrażenie, że przytoczone w rozdziale dziewiątym „Kwantowe narodziny Wszechświata”, rachunki dowodzą, z jednej strony, odwagi współcze-

² „Definicja” próźni kwantowej wg amerykańskiego fizyka A. Zee: „[...] mętne morze kwantowych fluktuacji, topologicznych wzbudzeń i kto wie czego tam jeszcze”.

snych kosmologów i pełnego determinacji zaufania do sprawdzonego gdzie indziej formalizmu; z drugiej jednak strony, wzbudzają szczere współczucie ze względu na nieadekwatność prymitywnych narzędzi, które — z braku głębszego zrozumienia — muszą oni stosować.

Przyjrzyjmy się bliżej stosowanej metodzie. Oto, wyposażony w aparat „ziemskiej” mechaniki kwantowej kosmolog, bez kompleksów wkracza w skrajnie egzotyczny krajobraz wczesnego Wszechświata i cały ten Wszechświat degradowuje do roli cząstki α , której preenikanie preez barierę potencjału można opisać stosownym równaniem Schrödingera. Równanie to oczywiście „wynika” z równań Friedmana po odpowiednich manipulacjach. Otrzymanie pędu uogólnionego jest już zadaniem dla studentów fizyki. Z kolei trzeba napisać reguły komutacji dla tego pędu i czynnika skali R jako współrzędnej uogólnionej (bo coś innego mogłoby nią być w tak prostym, jednoparametrowym modelu?). Całość wieńczy pełen erudycji komentarz i radosne stwierdzenie: przecież te zabiegi prowadzą w prosty sposób do inflacji, wszystko zatem jest w porządku!

Co więcej, wszystko to można by zrobić ambitniej: na modłę teorii funkcji falowej Hawkinga–Hartlego, czyli przy użyciu całek po trajektoriach Feynmana i intensywnie reklamowanej filozofii dobudowanej do matematycznego algorytmu. Ale czy świadomość używania bardziej wyrafinowanego formalizmu³ może dać, choćby namiastkę, zrozumienia? Czy zastąpi proste i głębokie idee wiodące, które w fizyce zawsze były źródłem prawdziwego postępu, i których najwyraźniej brak w tym przypadku?

Podkreślmy też z naciskiem jeden aspekt problemu. Kosmolog „stwarzający Wszechświat *ex nihilo*” korzysta przy tym z praw fizyki i jest zadowolony, że udaje mu się wykreować całą materię Wszechświata z niczego — bez pogwałcenia zasady zachowania energii, której słuszność — z wyrażoną satysfakcją — cały czas uznaje. Niemniej, pełna i dosłowna „nicność”, to nie tylko brak wyjściowego „półproduktu” w postaci próżni kwantowej, to także brak wszelkich praw fizyki. Czy kiedykolwiek ktoś odważy się na „stworzenie” praw fizyki, tym razem już z absolutnej nicności?

Słusznie zauważa Zeldowicz, że dotychczas wszelkie nierozwiązane problemy kosmologii pakowano z konieczności w „pewne szczególne warunki początkowe” oraz w dość nieokreśloną „osobliwość” (tzn. określoną tylko

³Przytoczmy tu stanowcze stwierdzenie Hawkinga (1988): „[...] wszyscy już teraz wiemy, że kwantowa grawitacja musi być budowana w formalizmie Euklidesowym. Tam zaś nie ma problemu [...]”. Budzący wręcz zazdrość brak wątpliwości, graniczy niemal z demagogią.

matematycznie). Trzeba jednak otwarcie dodać, że o ile wiele ze szczególnych warunków początkowych udało się wyjaśnić w ramach rzetelnej fizyki (bariogeneza i inflacja), to „osobliwość” zastąpił chyba nawet bardziej tajemniczy, a tak często spotykany, zwrot: „stan, gdzie klasyczne pojęcia czasu i przestrzeni, takie, jakie znamy z doświadczenia, tracą sens”.

Nie przywiązujemy większej wagi do tych narzekania. Mimo wszystko łatwiej jest krytykować, niż podać rozwiązanie. Można jednak wskazać na jedno usprawiedliwienie dla wszelkich poczynań w rodzaju dość topornego stosowania mechaniki kwantowej do kreacji świata. Jest nim prosta analiza wymiarowa. Dzięki niej np. już Laplace uzyskał poprawną formułę na grawitacyjny promień ciała (zwany później promieniem Schwarzschilda), które, ze względu na swą masywność, nie wypuszcza żadnego promieniowania. A przecież Laplace stosował, nieadekwatną z natury, teorię Newtona; nie znał metryki czarnej dziury i ogólnej teorii względności. Ilość możliwości naiwnego założenia, z kilku fizycznych wielkości, poprawnej formuły nie jest duża, ze względu na konieczność dopasowania odpowiednich jednostek. Niewykluczone zatem, że historia powtórzy się i któryś ze wzorów przytaczanych przez Zeldowicza w modelu kreacji świata jako efektu tunelowego znajdzie swój odpowiednik w przyszłej, pełnej teorii, w której też zyska lepsze zrozumienie.

Dokładnie w takim samym sensie zasługuje wciąż na pełną pobłażliwość pokraczny mieszaniec znany pod nazwą „kwantowej teorii pola w czasoprzestrzeniach zakrzywionych”. Jest bowiem niewykluczone, że pewne formuły przyszłej, eleganckiej i „rasowej”, tak upragnionej kwantowej teorii grawitacji (np. promieniowanie czarnej dziury Hawkinga) okażą się po prostu tożsame z dotychczas stosowanymi wzorami.

Niewątpliwym niedosyt wywołuje w książce brak komentarzy. W naturze autorów leży, by prosto i dość beznamytnie mówić o sprawach głębokich i nie dodać nawet jednego zdania podsumowania na zakończenie.

I jeszcze jeden mały drobiazg, wspólny właściwie dla wielu prac radzieckich autorów i tak powszechny, że prawie przysłowiowy lub niezauważalny. Czytając *Kosmologię wczesnego Wszechświata*, można mieć wrażenie, że nauka ta jest dziełem głównie Friedmana, Gamowa, Zeldowicza, Nowikowa, Lifszycy, Sokolowa, Sacharowa, Markowa, Szwarzman, Lindego. Może ewentualnie jeszcze Gutha i Peeblesa. Warto np. wspomnieć, iż wspaniała rozkwit kosmologii, poprzez jej ścisłe sprzężenie z fizyką wysokich energii, zaczął się właściwie od pracy S. Weinberga oraz B. W. Lee z roku 1973, nawet jeśli pomysł, by wykorzystać kosmologię jako praktyczne źródło ograniczeń dla

wielkości mikroświata oraz, ogólnie, że warto uprawiać te dwie, tak zdawałoby się różne, dziedziny jednocześnie — wyraził jeszcze w roku 1968 B. F. Szwarcman.

*

Jakow Borysowicz Zeldowicz zmarł nagle na atak serca w dniu 2 grudnia 1987 r. Był postacią o rzadko spotykanej wszechstronności. W latach trzydziestych pracował intensywnie nad teorią wybuchu. Nie był to jeszcze „Wielki Wybuch”, lecz dużo mniejsze i daleko mniej konstruktywne wybuchy. I chociaż własności krystalizacji nitrogliceryny nie przypominają własności próżni kwantowej, to zapewne liczne intuicje wyniesione z tej pracy, przeszczepione na grunt astrofizyki, stały się pomocne w późniejszych zainteresowaniach Zeldowicza. Wcześniej jednak pracował w samym centrum radzieckich projektów badawczych nad syntezą termojądrową i bombą wodorową.

Krzysztof Maślanka