

Maślanka, Krzysztof

Dzieje stałej kosmologicznej

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 50/3-4, 239-252

2005

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Krzysztof Maślanka
Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Jagielloński,
Kraków

DZIEJE STAŁEJ KOSMOLOGICZNEJ¹

Stała kosmologiczna jest potrzebna tylko po to, by umożliwić *quasi*-statyczne rozmieszczenie materii.

Albert Einstein (1917)

Jeśli Wszechświat nie jest statyczny, to precz ze stałą kosmologiczną.

Albert Einstein (1923)

Gdyby potraktować ten wynik poważnie, byłaby to niewątpliwie najbardziej imponująca ilościowa niezgodność między teorią a doświadczeniem w całej historii nauki!

Steven Weinberg (1993)

WSTĘP

Wybitny fizyk amerykański, współtwórca modelu standardowego w teorii cząstek elementarnych i laureat nagrody Nobla (1979) Steven Weinberg (ur. 1933) powiedział kiedyś, że „*Physics thrives on crisis*” („Kryzys służy fizyce” lub: „Fizyka rozkwita w kryzysie”)². Niniejszy wykład dotyczy pewnego spektakularnego kryzysu, którego – wciąż bardzo odległe – rozwiązanie rzuci z pewnością

wiele światła zarówno na fizykę procesów fundamentalnych, jak i na globalną strukturę i przyszłą ewolucję Wszechświata.

Takie właśnie, brzemienne w pozytywne skutki, kryzysy dotknęły fizykę na przełomie wieku XIX i XX. Były to ewidentne sprzeczności pomiędzy dotychczasowym opisem świata a doświadczeniem. Za każdym razem ich rozwiązanie zaowocowało nowymi, pełniejszymi teoriami, w ramach których dotychczasowe koncepcje okazały się tylko przybliżonymi, granicznymi przypadkami. To właśnie tak bardzo różni fizykę od innych nauk, np. filozofii czy ekonomii: kryzysy nie bywają dla niej krytyczne, zaś nowe idee nie burzą starego porządku, lecz wbudowują go w nowe, szersze ramy.

Wprowadzając w 1917 r. swą stałą kosmologiczną Albert Einstein stworzył niechcący swoistą „puszkę Pandory”. Pomimo, że potem stanowczo wycofał się ze swej idei, ta uporczywie powracała. Jest niewątpliwie ironią historii, że owe powroty następowały bądź za sprawą mechaniki kwantowej, której on sam nigdy nie lubił, bądź za sprawą faktów obserwacyjnych, których roli z kolei zwykł był nie przeceniać i uważał je za rzecz drugorzędną przy logicznej konstrukcji teorii.

KOSMOLOGIA NEWTONOWSKA I ZMAGANIA Z PARADOKSAMI

Pytania o globalną strukturę Wszechświata, jego pochodzenie, ewolucję oraz przyszłość stawiano od czasów co najmniej Newtona, lecz w ramach klasycznej teorii grawitacji prowadziły one do uciążliwych sprzeczności, znanych pod nazwami: paradoks fotometryczny Olbersa oraz paradoks grawitacyjny Seeliger'a. Z czasem zrozumiano jedno: użyte narzędzie, choć tak dobrze spisuje się w przypadku np. ruchu pocisków czy układu słonecznego, zawodzi gdy je zastosować do całego Wszechświata.

Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (1758–1840) był niemieckim lekarzem okulistą. Żył w tej bezpowrotnie już minionej epoce, gdy astronomowie-amatorzy mogli, po godzinach swej zawodowej pracy, dokonywać wartościowych odkryć. Znany jest jako odkrywca planetoid Pallas oraz Westa, jak również pięciu komet. Paradoks zwany jego imieniem został przezeń spopularyzowany w 1822 r. i zwykle jemu jest przypisywany, chociaż jego śladów można się doszukać jeszcze w pismach Keplera (1610), a później, w XVIII w., w pracach odkrywcy sławnej komety, Edmunda Halley'a (1656–1742) oraz szwajcarskiego astronoma Jean-Philippe-Loys de Chéseaux (1718–1751). Rozumowanie jest następujące: w nieskończonym, euklidesowym, stacjonarnym Wszechświecie, wypełnionym jednorodnie przez długo żyjące gwiazdy, dowolna linia widzenia trafi, prędzej czy później, na powierzchnię jakiejś gwiazdy; stąd niebo, w każdym kierunku, powinno mieć jasność powierzchni gwiazdy, co jednak stoi w jawnej sprzeczności z elementarną obserwacją mówiącą, że nocne niebo jest czarne.

Rozwiązanie tego paradoksu polega na podważeniu co najmniej jednego ze wspomnianych założeń. W szczególności, Kepler argumentował, że liczba gwiazd we Wszechświecie musi być skończona.

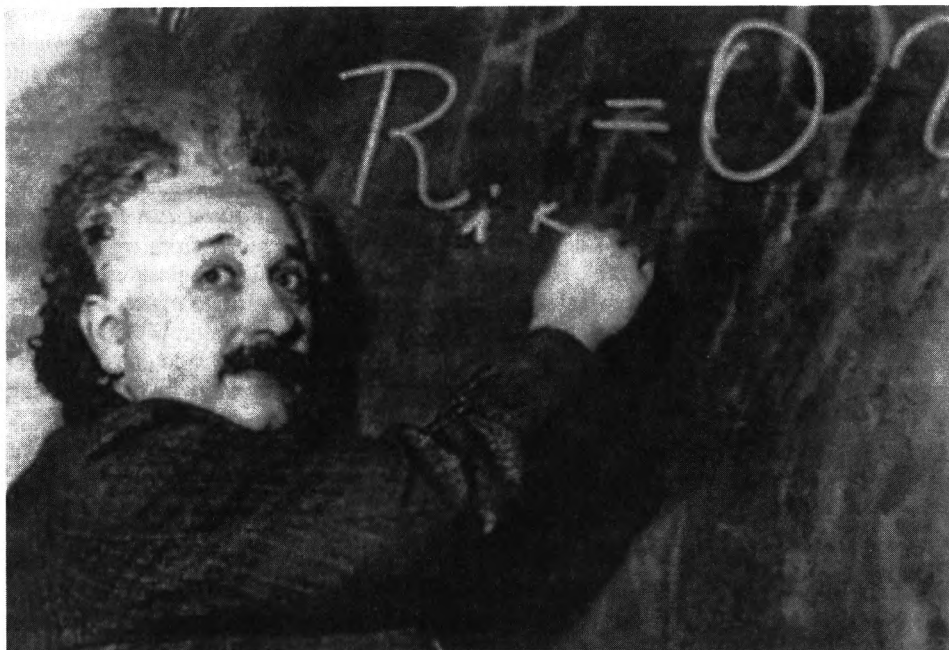
Natomiast wspomniany wyżej Chéseaux w swej książce *Traité de la comète qui a paru en décembre 1743*, wydanej w Paryżu w 1744 r., pisał: „Jeśli ilość gwiazd we Wszechświecie jest nieskończona, to dlaczego całe niebo nie jaśnieje jak powierzchnia pojedynczej gwiazdy? Dlaczego niebo jest ciemne? Dlaczego gwiazdy są oddzielone ciemnymi obszarami?” Proponowana przez niego (błędna z dzisiejszego punktu widzenia) odpowiedź nie pretendowała do oryginalności: „Najpewniej chyba obłoki pyłu kryją przed nami światło odległych gwiazd. Do obserwatorów ziemskich dociera tylko promieniowanie z najbliższych gwiazd”. Chéseaux nie uświadamiał sobie, że taki hipotetyczny pył, podgrzewany dostatecznie długo przez promieniowanie gwiazd, w końcu sam zacząłby intensywnie świecić.

Dzisiaj uważa się, że rozwiązanie paradoksu Olbersa polega głównie na przyjęciu skończonego wieku Wszechświata. Jest rzeczą niezwykłą, że bardzo trafną sugestię wysunął na krótko przed swą śmiercią amerykański pisarz i poeta Edgar Allan Poe (1809–1849), znany głównie jako autor obsesyjnych opowiadań grozy. W swym eseju kosmologicznym pt. *Eureka: A Prose Poem* napisał, iż „odległość niewidzialnego tła jest tak bardzo wielka, że żaden promień stamtąd w ogóle nie mógł jeszcze do nas dotrzeć”. Innymi słowy: Wszechświat nie jest nieskończeniście stary; miał on swój początek. Poe przywiązywał wielką wagę do tej idei. Długo i gorączkowo tłumaczył swemu nowojorskiemu wydawcy George’owi Putnamowi, że teoria grawitacji Newtona to drobiazg w porównaniu z jego odkryciem. Sugerował mu 50 tysięcy nakładu „na początek”; sceptyczny Putnam odbił 500 egzemplarzy *Eureki*. Zjadliwa prasa nie zostawiła na niej suchej nitki. Pół roku później Poe już nie żył.

Dyskusje nad tym – ideowo tak prostym – paradoksem trwały bardzo długo: niemal 400 lat! Jego niezgrabna, choć historycznie sprawiedliwa nazwa powinna brzmieć: paradoks Keplera-Halleya-de Chéseaux-Olbersa. W najnowszych czasach naukowcem, który, jak się wyraził, „wyruszył na prywatną krucjatę w celu definitywnego zakończenia sporów wokół paradoksu Olbersa”, był amerykański kosmolog Paul Wesson³.

Autor drugiego paradoksu, Hugo von Seeliger (1849–1924), urodził się w austriackim wówczas Bielitz (obecnie Bielsko-Biała). Był wybitnym astronomem, dyrektorem obserwatorium monachijskiego. Metodami statystycznymi badał rozkład przestrzenny gwiazd w otoczeniu Słońca. Jego prace nad paradoksem grawitacyjnym ukazały się w latach 1895–1896. Ideowo jest on analogiczny do poprzedniego paradoksu Olbersa. Zamiast promienia światła rozważa się siłę grawitacyjną działającą na daną masę, a pochodzącą od wszystkich pozostałych mas we Wszechświecie. Przy wspomnianych powyżej założeniach siła ta powinna być w każdym kierunku nieskończona, co oczywiście jest niepożądane

(prowadzi np. do trudności ze zdefiniowaniem układu inercyjnego, z którego to pojęcia korzysta mechanika Newtona).



Ryc. 1. Albert Einstein wyjaśniający w czasie wykładu równania pola grawitacyjnego: $R_{ik} = 0$, rok 1931. (zdjęcie: The MacTutor History of Mathematics archive, University of St. Andrews, Scotland).

ALBERT EINSTEIN I KOSMOLOGIA RELATYWISTYCZNA

Dopiero dzięki ogólnej teorii względności Einsteina (1915) można było konstruować takie modele Wszechświata, które były wolne od wspomnianych paradoksów; co więcej – dawały się efektywnie testować przy użyciu obserwacji astronomicznych. Rewolucyjna koncepcja ewoluującej, zakrzywionej czasoprzestrzeni, której dynamikę określa jej materialna zawartość pozwoliła na nowo postawić pytanie o globalną strukturę Wszechświata.

Już dwa lata po powstaniu swej teorii Einstein opublikował pierwszą w dziejach pracę na temat kosmologii relatywistycznej⁴. Próbował też skonstruować matematyczny model Wszechświata – model zgodny z ówczesnymi poglądami, tj. *statyczny*. („Obserwowane prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu z prędkością światła” – napisał.) Jednak na gruncie oryginalnej wersji jego teorii okazało się to niemożliwe i wtedy Einstein, wykorzystując pewną swobodę równań, wprowadził tzw. człon kosmologiczny, który oznaczył grecką literą Λ (*lambda*). Miał on interpretację uniwersalnej siły odpychającej, która równoważyła przyciągające ciężenie powszechne. Zabieg ten niewątpliwie zepsuł

pierwotną prostotę teorii, niemniej pozwolił na uzyskanie rozwiązania statycznego. Choć rozwiązanie to okazało się niestabilne (dowolnie małe zaburzenie prowadziło bądź do szybkiego kolapsu, bądź też do wiecznej ekspansji), zadanie konstrukcji realistycznego modelu Wszechświata zostało w zasadzie uznane za rozwiązane.

Dla historycznej ścisłości warto dodać, że jedną z idei wiodących była dla Einsteina w tym okresie tzw. zasada Macha – od nazwiska Ernesta Macha (1838–1916), austriackiego fizyka i opiniotwórczego filozofa. Mówi ona, że bezwładność każdego ciała nie jest wbrew pozorom jego cechą wewnętrzną, ale zależy od wszystkich innych mas we Wszechświecie. Zasada ta, choć filozoficznie atrakcyjna, jest fizycznie (do dzisiaj) dość mętna. Sam Einstein nabrał później dystansu nie tylko do tej zasady, ale nawet i do samego Macha, niegdyś idola swojej młodości. Nic dziwnego: z upływem lat Mach okazał się uczonym o nader konserwatywnych poglądach, który otwarcie nie życzył sobie, aby uważano go za prekursora relatywistów; równie niezrozumiałe było jego zerwanie z „kościołem atomistów” – jak to sam ujął (1913). Naiwnym pretekstem dla tego ostatniego stanowiska był niewątpliwym fakt, że atomów nie można rejestrować zmysłami; byłyby zatem tworam i fikcyjnymi, a wiara w nie stanowiłaby przejaw dogmatyzmu!

ALEKSANDER A. FRIEDMAN
– TEN, KTÓRY „PORUSZYŁ WSZECHŚWIAT”.

Nieco później zdolny matematyk i meteorolog rosyjski, Aleksander Aleksandrowicz Friedman (1888–1925) z ówczesnego Piotrogradu (już nie Sankt-Petersburga, ale jeszcze nie Leningradu), jako jeden z pierwszych zapoznał się z ogólną teorią względności Einsteina i znalazł obszerną klasę rozwiązań, w których jednorodna i izotropowa przestrzeń mogła się rozszerzać. Wynik ten wysłał do „Zeitschrift für Physik”, które stanowiło wtedy główne forum relatywistów; do redakcji dotarł on 29 czerwca 1922 r.

Tymczasem Einstein, mocno przywiązany do idei statycznego kosmosu, uznał te rozwiązania za błędne, czemu dał wyraz w krótkim komentarzu zamieszczonym w tymże czasopiśmie 18 września 1922 r.: „Wyniki dotyczące niestacjonarnego świata zawarte w pracy [Friedmana] wydają mi się podejrzane. W rzeczywistości okazuje się, że podane w niej rozwiązanie nie spełnia równań pola [ogólnej teorii względności].”

Przekonany o poprawności swych rachunków Friedman wysłał 6 grudnia 1922 r. obszerny list do Einsteina. Ten jednak przebywał wtedy w Japonii. W liście tym Friedman pisał m. in.: „Zakładając, że możliwość istnienia niestacjonarnego świata mogłaby być interesująca, pozwałam sobie przestawić wykonane przeze mnie obliczenia [...] w celu ich sprawdzenia oraz krytycznej oceny. [Tu



Ryc. 2. Aleksander Aleksandrowicz Friedman. (zdjęcie: Cambridge University Press)

Friedman podaje szczegółowe rachunki.] Gdyby podane w tym liście obliczenia okazały się poprawne, proszę uprzejmie poinformować o tym wydawców „Zeitschrift für Physik” oraz ewentualnie opublikować sprostowanie do pańskiego wcześniejszego oświadczenia, lub też zaproponować opublikowanie fragmentów niniejszego listu.”

Po powrocie z Japonii Einstein nie miał najwyraźniej czasu (a może po prostu ochoty), by wczytać się uważnie w głęboką treść matematycznych wywodów nieznanego mu Friedmana. Wówczas nieustępliwy Friedman wysłał do Einsteina swego przyjaciela Jurija Aleksandrowicza Krutkowa. Do spotkania doszło dopiero w marcu 1923 r. w Lejdzie, w domu znanego fizyka Paula Ehrenfesta. (Friedman znał dobrze Ehrenfesta jeszcze z czasów, gdy ten mieszkał w Petersburgu w latach 1907–1912.) Misja Krutkowa odniosła natychmiastowy skutek: przekonał on Einsteina co do matematycznej poprawności niestacjonarnych rozwiązań Friedmana. Einsteinowi nie pozostało więc nic innego, jak wysłać do redakcji „Zeitschrift für Physik” stosowne sprostowanie, co też natychmiast uczynił: „W mojej poprzedniej notatce skrytykowałem [pracę Friedmana na temat niestacjonarnych modeli Wszechświata]. Niemniej, krytyka ta była oparta na błędzie w moich obliczeniach, o czym przekonał mnie list Friedmana przekazany mi przez p. Krutkowa. Uważam, że wyniki p. Friedmana są poprawne i rzucają nowe światło [na równania pola].”

Chociaż ewentualna przydatność niestacjonarnych rozwiązań do opisu realnego Wszechświata budziła wciąż wątpliwości – i to nawet samego Friedmana, on sam zyskał natychmiast w Związku Radzieckim niemały rozgłos, jako ten, który „wykazał, że Einstein się myli!”



Ryc. 3. Jurij Aleksandrowicz Krutkow, emisariusz Friedmana do Einsteina (w kaszkiecie), w rozmowie z fizykami: Waltherem Bothe (po lewej) i Arnoldem Sommerfeldem (w środku), Odessa 1930 r. (zdjęcie: American Institute of Physics)

Oczywiście wspomniany sceptycyzm Friedmana nie umniejsza wagi jego odkrycia, które w jakimś sensie przypomina np. fakt teoretycznego przewidzenia przez Paula A. M. Diraca istnienia nowej cząstki elementarnej, pozytonu (1926). Sam Dirac także nie wierzył w realność swego odkrycia – do czasu gdy Carl David Anderson zobaczył ślady pozytonów na kliszach (1932). Można powiedzieć, że „Friedman odkrył „końcem pióra” zjawisko rozszerzania się Wszechświata”⁵. Niestety, on sam nie doczekał chwili, gdy realizm jego rozwiązań potwierdził sam kosmos. Zmarł w 1925 r. w czasie epidemii tyfusu, wkrótce po powrocie z podróży poślubnej z Krymu.

Większość uczniów i współpracowników Friedmana nie przeżyła stalinowskich czystek tragicznego roku 1937 – z wyjątkiem fizyka George’a Gamowa (1904–1968), który w 1934 r. zdołał wyemigrować do USA, gdzie aktywnie uczestniczył w rozwoju koncepcji gorącego wczesnego Wszechświata (1948). W samym ZSRR, w warunkach represji oraz izolacji, chlubne tradycje Friedmana kontynuował wybitny astrofizyk Jakow Borysowicz Zeldowicz wraz z grupą swych uczniów.

Na temat największego osiągnięcia Friedmana, tj. jego ewoluujących modeli Wszechświata, mówią dziś wszystkie podręczniki kosmologii. Rozwiązania te stanowią obecnie podstawę tzw. standardowego, gorącego modelu kosmologicznego. Natomiast na temat odkrywcy tych równań do niedawna nie było wiadomo praktycznie nic. Krótki hołd złożył mu akademik Piotr L. Kapica na posiedzeniu Oddziału Nauk Matematyczno-Fizycznych AN (byłego) ZSRR w Moskwie w roku 1963 z okazji 75-tej rocznicy jego urodzin.

Dopiero w setną rocznicę urodzin Friedmana, u schyłku radzieckiego imperium, opublikowano jego w miarę pełną biografię⁶, nie wolną jednak od pewnych pozostałości stylu, jaki powszechnie dominował w epoce komunizmu. Zwłaszcza jeden aspekt jest szczególnie irytujący: chociaż większa część naukowej działalności Friedmana przypada na czasy Rosji carskiej i choć on sam nie był szczególnie entuzjastą bolszewickiego reżimu, autorzy biografii konsekwentnie nazywają go „uczonym radzieckim”. Niemniej, dzięki tej książce świat poznał wreszcie jedyną w swym rodzaju postać tego wszechstronnego uczonego: matematyka, meteorologa, specjalistę od balistyki pocisków artyleryjskich, pioniera balonowych lotów w stratosferę.

EDWIN P. HUBBLE – ODKRYWCA KOSMICZNEJ EKSPANSJI

Dzięki zastosowaniu analizy spektralnej światła astronomia zyskała skuteczne narzędzie do badania składu chemicznego odległych obiektów, a także sposób dokładnego pomiaru ich prędkości radialnych. Jednym z pierwszych, który technikę tę zastosował do galaktyk (zwanych wówczas „mgławicami”, ponieważ nie znano ich prawdziwej natury) był amerykański astronom Vesto Melvin Slipher (1875–1969) pracujący w Lowell Observatory, Flagstaff, Arizona. Odkrył on w szczególności, że Wielka Mgławica Andromedy zbliża się do nas z prędkością 300 km/s. Z czasem systematyczne obserwacje Sliphera prowadzone w latach 1912–1925 potwierdziły zaskakującą tezę, że galaktyki na ogół uciekają od Drogi Mlecznej.

Pod koniec lat 20. ubiegłego wieku, dzięki systematycznym badaniom amerykańskiego astronoma Edwina Powella Hubble’a (1889–1953), prowadzonych na największym dostępnym wtedy przyrządzie (100 calowym teleskopie na Mount Wilson w Kalifornii), zjawisko ucieczki galaktyk zinterpretowano jako globalną ekspansję kosmiczną (1929). Dysponując dostateczną ilością danych, Hubble odkrył prosty związek ilościowy pomiędzy odległością do danej galaktyki a prędkością jej oddalania się od nas. Z czasem, w miarę wykonywania dokładniejszych obserwacji, poprawiono stałą proporcjonalności w tym związku, ale jego istota nie uległa zmianie.

Trzeba podkreślić, że określenie odległości do galaktyki M31 było możliwe dzięki odkryciu w niej przez Hubble'a gwiazdy należącej do tzw. cefeid. Dla cefeid istnieje prosty związek pomiędzy częstością ich pulsacji (którą łatwo zmierzyć) a jasnością absolutną (z której można wnioskować o odległości). Dzięki takim badaniom, w 1924 r. przekonano się, że owe „mgławice” leżą daleko poza naszą Galaktyką i są w istocie innymi galaktykami, wielkimi zbiorowiskami gwiazd.



Ryc. 4. Edwin P. Hubble w swoim gabinecie (z lewej) oraz przy teleskopie (zdjęcia: The MacTutor History of Mathematics archive, University of St. Andrews, Scotland)

W ten sposób stała Λ okazała się, przynajmniej w swej oryginalnej interpretacji, niepotrzebna, a sam Einstein w liście do wybitnego matematyka Hermana Weyla uznał ją za zbędną. W latach 30. określił ją jako „największy błąd swego życia”. Z punktu widzenia historii nauki trzeba podkreślić, że Einstein nie poddał się łatwo: jeszcze w 1927 r. wyznał belgijskiemu kosmologowi Georgesowi Lemaître'owi (1894–1966), że nie wierzy w ekspansję Wszechświata – wbrew ewidentnym już wtedy obserwacjom astronomicznym. Zmienił zdanie dopiero w 1930 r., po rozmowie z największym autorytetem w dziedzinie obserwacji odległych galaktyk – Edwinem Hubble'm.

Nie jest z pewnością dobrą manierą przytaczanie anegdot w pracach historycznych; niemniej pozwolę sobie tu na jedną, którą przed laty opowiedział mi Michał Heller. W czasie spotkania w 1927 r. Lemaître i Einstein dyskutowali spacerując. W trakcie fachowej rozmowy padło określenie „little lambda” (mała lambda, tj. stała kosmologiczna). Podsluchujący tę rozmowę dziennikarze

(Einstein był już od paru lat gwiazdą mediów) usłyszeli „little lamb” (małe jagnię). W swej fantazji sądzili, że była to aluzja do starej ballady o małym baranku!

NIESPOKOJNA PRÓŻNIA

W klasycznej fizyce Newtona próżnia była synonimem absolutnej pustki, swoistym, być może nieskończonym „naczyniem na przedmioty”, zaś jej matematycznym modelem była geometria Euklidesa. Podobnie rozumieją próżnię współcześni astronomowie – jako przestrzeń pozbawioną materii. Natomiast współcześni fizycy, szczególnie specjaliści od cząstek elementarnych, przez próżnię rozumieją tzw. „stan podstawowy” (ang. ground state), tj. stan o najniższej energii w teorii. Z rozważań teoretycznych wynika, że tak rozumiana próżnia jest równoważna pewnej specyficznej „substancji” posiadającej określoną i wszędzie stałą gęstość energii oraz ujemne ciśnienie równe tejże energii ze znakiem minus. (Ujemne ciśnienie wykazuje np. zwykła guma, ale tylko podczas jej rozciągania).

Na gruncie teorii kwantowej można w sposób jakościowy zrozumieć pochodzenie tej energii. Każde z pól występujących w teorii ma swój własny wkład do niej, bowiem każde z nich można przestawić jako sumę oscylatorów harmonicznych, a najniższa energia kwantowego oscylatora nie jest równa zeru. (W przeciwnym razie byłoby to sprzeczne z zasadą nieoznaczoności Heisenberga, jedną z fundamentalnych zasad teorii kwantów.)

W przypadku każdego zagadnienia fizycznego – za wyjątkiem grawitacji – energia stanu podstawowego, choćby dowolnie wielka, jest w praktyce bez znaczenia; zawsze bowiem można ją tak przeskalować, by uczynić równą zeru. W fizyce niegravitacyjnej liczy się wyłącznie gradient energii potencjalnej, który określa siłę. Jednak grawitacja sprzęga się z każdym rodzajem energii. Innymi słowy: każdy rodzaj energii ma wpływ na krzywiznę i ewolucję przestrzeni.

Kilkadziesiąt lat po odkryciu ekspansji Wszechświata, wraz z rozwojem kwantowej teorii pola, przekonano się, że wspomniana gęstość energii kwantowej próżni, tj. pewnej specyficznej „substancji” o egzotycznym równaniu stanu z ujemnym ciśnieniem, ma interpretację analogiczną do wprowadzonej przez Einsteina stałej kosmologicznej Λ . Jako taka, stała kosmologiczna nie powinna być „wkładana ręcznie” do równań, aby uzyskać zamierzony efekt; powinna ona być obliczona w ramach np. kwantowej teorii pola. Obliczenia te, czy też raczej pewne naiwne oszacowania, dają olbrzymią wielkość, a porównanie ich z faktycznie mierzoną wartością prowadzi do rozbieżności o ok. 120 rzędów wielkości! Jest to z pewnością największa rozbieżność pomiędzy teorią a doświadczeniem w całej historii fizyki.

NAJNOWSZE DZIEJE STAŁEJ KOSMOLOGICZNEJ,
WYBUCHY GWIAZD SUPERNOWYCH TYPU IA

Dzięki najnowszym obserwacjom gwiazd supernowych typu Ia, pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia, odkryto zjawisko kosmicznej akceleracji⁷. W odkryciu tym kluczowy okazał się przybliżony związek pomiędzy jasnością absolutną danej gwiazdy supernowej a tempem zaniku krzywej jej blasku, skąd, w elementarny sposób, można określić odległość. Określanie odległości w astronomii, kluczowe dla testowania modeli, było zawsze trudnym wyzwaniem.

Tak więc Wszechświat rozszerza się szybciej, niż dotąd sądzono. W celu wyjaśnienia tego zjawiska raz jeszcze przywołano oryginalną koncepcję stałej kosmologicznej Einsteina – jako globalnej siły odpychającej. W ten sposób suma obu stałych kosmologicznych (oszacowanej z teorii kwantów oraz oryginalnej einsteinowskiej) kasuje się niemal do zera – zgodnie z obserwacjami astronomów. Zabieg taki (ang. fine-tuning, subtelne dostrojenie [wartości]), choć formalnie poprawny, nie ma w fizyce teoretycznej dobrej reputacji, bowiem nie tłumaczy fizycznego mechanizmu takiego nieprawdopodobnego kasowania się dwu olbrzymich członów o przeciwnych znakach.

Zupełny brak zrozumienia tego efektu na poziomie fundamentalnym wypełniono tym razem zabiegiem natury czysto formalnej; wprowadzono efektywną nazwę na określenie tajemniczej „ciemniej energii” związanej z egzotyczną substancją manifestującą się jako stała kosmologiczna: *kwintesencja*. Oczywiście nie jest to nazwa nowa. Pochodzi ona od słów *quinta essentia*, co u starożytnych filozofów oznaczało piąty żywioł – składnik ciał niebieskich, doskonałe dopełnienie czterech żywiołów ziemskich: ziemi, wody, powietrza i ognia.

W celu wyjaśnienia zagadki wspomnianego kasowania się niektórzy badacze powołują się na tzw. *zasadę antropiczną*, która bez wnikania w szczegóły fizyczne „wyjaśnia” wiele problemów – i to nie tylko w kosmologii. Dlaczego w zbiorze wszelkich możliwych do pomyślenia wszechświatów, zaistniał Wszechświat jedyny w swym rodzaju, o szczególnie dobranych parametrach, a zatem nieprawdopodobny? Odpowiedź jest zaskakująco prosta i w jakimś sensie sprytna: obserwowany Wszechświat jest właśnie taki, jaki jest, bowiem gdyby był inny, nie mogłyby w nim zaistnieć struktury typu galaktyk, a zwłaszcza planety sprzyjające rozwojowi opartego na tlenie i węglu życia; jest oczywiste, że wtedy też nie byłoby nikogo, kto stawiałby pytania. Warto dodać, że zasada ta ujrzała światło dzienne podczas wykładu Brandona Cartera na nadzwyczajnym kongresie Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Krakowie zorganizowanym w 1973 r. z okazji 500. rocznicy urodzin Kopernika. Trzeba jednak wyraźnie podkreślić, że „wyjaśnienie” to, metodologicznie zupełnie obce filozofii fizyki konsekwentnie uprawianej m. in. przez Einsteina oraz Diraca, jest jawnie tymczasowe.

*

Zreasumujmy to wszystko w nieco lżejszym stylu. W swej pierwotnej postaci stała kosmologiczna pełniła rolę niepozornego Kopciuszka. Wszak powołano ją do istnienia w celu wykonania prostego, choć dość niewdzięcznego zadania, jakim było powstrzymanie zapadania się Wszechświata pod wpływem własnego przyciągania. Rolę tę spełniała, ale w sposób dość niezadany – rozwiązanie było statyczne, ale nie było stabilne. Co gorsze, psuła początkową estetykę teorii; wydawała się także psuć jedną z wiodących idei Einsteina, tj. zasadę Macha. Jakby i tych rozczarowań było mało, na koniec nadszedł cios ostateczny: te wszystkie zabiegi były po prostu niepotrzebne. Wszechświat nie jest statyczny, rozszerza się. Nastąpiła konsternacja i potępienie całego pomysłu przez samego twórcę, który, niczym zła macocha, przepędził nieprzydatną służącą.

I oto po upływie pół wieku dawny Kopciuszek powraca. Nie nazywa się już stałą kosmologiczną; nosi teraz dumne imię: energia próżni kwantowej. Jest swoistą ironią historii nauki, że wszystko to dzieje się za przyczyną mechaniki kwantowej, tej samej, której twórca teorii względności w tak jawny sposób nie lubił. Tak oto, obrażona w swej dumie, teoria kwantów po latach „odpłaca” mu za tę niechęć. Zgodnie ze swoimi najbardziej podstawowymi prawami usiłuje napęlić próżnię niespokojnym szumem, kwantową kotłowaną, kosmiczną pianą (ang. spacetime foam), odwiecznym, nigdy nie zanikającym ruchem, energią. Ta właśnie energia, według naszych naiwnych obliczeń niepokojąco wielka – poprzez równania grawitacji Einsteina! – sugeruje zupełnie inny obraz Wszechświata niż ten, który rzeczywiście widzimy. Dlaczego? – tego, jak dotąd, nie wie nikt.

Miarą geniuszu oraz niezrównanej intuicji Alberta Einsteina jest to, że nawet jego rzekome „błędy” okazały tak bardzo brzemiennie w skutki. Jeszcze dziś, pół wieku po jego śmierci⁸ (1955), dają nam one wiele powodów do twórczego niepokoju oraz nadzieję na postęp w zrozumieniu praw przyrody.

Przypisy

¹ Niniejszy tekst jest rozszerzoną wersją wykładu wygłoszonego na kolokwium habilitacyjnym w Instytucie Historii Nauki PAN w Warszawie 14 kwietnia 2005 r.

² S. Weinberg: *The cosmological constant problem*. „Reviews of Modern Physics” 1989 t. 61 s. 1. Jest to nieczęsty przykład pracy znakomitej zarówno od strony treści fizycznej, jak i bardzo odpowiedzialnej z punktu widzenia historii nauki.

³ Paul Wesson: *Olbers' paradox and the spectral intensity of the extragalactic background light*. „The Astrophysical Journal” 1991 t. 367 s. 399-406.

⁴ A. Einstein: *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*. „Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Phys.-Math” 1917 t. 1 s. 142-152.

⁵ P. L. Kapała: *Eksperyment, teoria, praktyka*. Warszawa 1987.

⁶ E. A. Tropp, V. Ya. Frenkel, A. D. Chernin: *Alexander A. Friedmann: the man who made the universe expand*. Cambridge University Press 1993. Jest to rozszerzone tłumaczenie wspomnianego w tekście wydania rosyjskiego. W literaturze zachodniej spotyka się różne transliteracje nazwiska Фридман (Fridman, Friedman, Friedmann).

⁷ A. G. Riess et al.: *Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant*, arXiv:astro-ph/9805201 v1 15 May 1998. Artykuł ten podpisało 20 autorów. Jest to pierwsza z serii prac na temat projektu badania wysokich przesunięć ku czerwieni na podstawie obserwacji gwiazd supernowych, odnosząca o odkryciu nieoczekiwanej akceleracji w rozszerzaniu się Wszechświata.

⁸ 18 kwietnia br. minęło dokładnie 50 lat od śmierci Einsteina; w bieżącym roku, ogłoszonym Rokiem Fizyki, minęło też dokładnie sto lat od opublikowania szczególnej teorii względności. Okrągłe rocznice tego typu są zwykle dobrym pretekstem do rozmaitych podsumowań i deklaracji na przyszłość. Por. seria artykułów w „Nature” 2005 t. 433 s. 213-260.

Krzysztof Maślanka

THE HISTORY OF THE COSMOLOGICAL CONSTANT

The paper discusses the history of the cosmological constant – a history that has been long, full of unexpected turns and one that is far from being conclusively resolved. The problem of the constant, which initially appeared to be just a simple mathematical device, has gradually become a major source of distress to cosmologists. A prospective solution of the problem is very likely to give rise to major qualitative advances in our understanding of the universe – both in physics and in cosmology.

