

*Marek Szydłowski**

*Adam Krawiec***

* Obserwatorium Astronomiczne
Uniwersytet Jagielloński
** Instytut Ekonomii i Zarządzania
Uniwersytet Jagielloński

* Astronomical Observatory
of the Jagiellonian University
** Institute of Economics and Management
of the Jagiellonian University

IDEA EWOLUCJI WSZECHŚWIATA, JEJ GENEZA, PERCEPCJA I FILOZOFICZNE UWARUNKOWANIA

Idea of Evolution of the Universe Its Genesis, Perception and Philosophical Determinants

Słowa kluczowe: idea ekspansji Wszechświata, kontekst odkrycia, newtonowski i relatywistyczny styl myślowy.

Key words: context of discovery, idea of the expanding Universe, Newtonian and relativistic thinking style.

S t r e s z c z e n i e

Przywiązanie do statycznego obrazu świata było wartością, z której wielu naukowców, w tym Albert Einstein, nie chciało zrezygnować, pomimo że ogólna teoria względności (OTW) burzyła ten porządek. W percepcji OTW pokutuje wciąż myślenie w kategoriach przestrzeni statycznej, uniwersalnego czasu kosmologicznego, a także statycznej czasoprzestrzeni Minkowskiego. Charakterystyczną cechą tego stylu myślenia jest rozumowanie nie tyle w kategoriach autonomicznej fizycznej czasoprzestrzeni, ile w kategorii czasoprzestrzeni rozseparowanej na czas i przestrzeń. Dyskutujemy wynikające z tego niezrozumienie i błędne interpretacje pojęcia ekspansji przestrzeni. Argumentujemy, że odkrycie ekspansji Wszechświata jest dziełem Lemaitre'a, który rozumiał ten efekt i jako pierwszy testował go w oparciu o model. Hubble'owi przypisujemy odkrycie ucieczki galaktyk jako efektu kinematycznego niepowiązanego z żąd-

A b s t r a c t

The many scientists (Hubble, Einstein and others) believed in a static construction of the Universe although they played an important role in the emergence of the idea of expansion of the Universe. We demonstrate the presence of Newtonian weltbild in the relativistic cosmology although the General Relativity theory predicts that the spacetime should be dynamical in a generic case. We illustrate how some errors in a understanding of the cosmological expansion which have come from the nonrelativistic (Newtonian) intuition which imagines the Universe not as a space and time but rather as separate space and time. We demonstrate that cosmological expansion of space is a true physical effect and that treating the spacetime in a Newtonian way may lead to confusion and paradoxes. We pointed out that the Fleck programme of sociological reconstruction history of science in categories of style thinking and collectives may be useful in

nym modelem kosmologicznym. Wskazujemy na to, że program socjologicznej rekonstrukcji historii nauki Flecka może być użyteczny do analizy przejścia od statycznego do dynamicznego Wszechświata.

the reconstruction of transition from a static to dynamic Universe.

Wstęp

Celem pracy jest zbadanie zarówno kontekstu, w którym była obecna idea statycznego Wszechświata, jak i kontekstu odkrycia idei Wszechświata dynamicznego, ewoluującego w uniwersalnym czasie kosmicznym (idea standardowego modelu kosmologicznego Friedmanna-Robertsona-Walkera-Lemaitre'a). Pokazujemy ogromną złożoność procesu emergencji idei ewoluującego Wszechświata i zwracamy uwagę na toczącą się obecnie debatę na temat pierwszeństwa odkrycia prawa Hubble'a. Ilustruje ona podstawowy problem: co należy uznać za istotę odkrycia naukowe – czy istnieją odkrycia teoretyczne, czy też odkrycie dotyczy wyłącznie faktu obserwacyjnego? Pokazujemy, że Hubble w momencie odkrycia relacji odległość–redshift dla obiektów pozagalaktycznych nie posiadał świadomości jego wagi, traktując wynik czysto instrumentalnie i odrzucając jego kosmologiczną interpretację. Rodzi się pytanie: czy w takim razie może być on uważany za odkrywcę tej idei?

Następnie na przykładzie zmieniających się poglądów Einsteina, obciążonych newtonowskim stylem myślowym, ukážemy, jak statyczny obraz świata zostaje odrzucony na rzecz dynamicznego obrazu Wszechświata (tak samo, jak nastąpiło odrzucenie średniowiecznego obrazu świata)¹. Rekonstrukcja przejścia od statycznego do dynamicznego obrazu świata wydaje się być bardziej adekwatnie ujęta w terminach stylu myślowego Ludwika Flecka².

Z pojęciem stylu myślowego Flecka nierozzerwalnie związana jest koncepcja kolektywu badawczego. W rozważanej sytuacji możemy wyróżnić zasadniczo dwa kolektywy: jeden stanowią zwolennicy statycznego Wszechświata, drugi zwolennicy kosmologicznej interpretacji ekspansji Wszechświata. Do pierwsze-

¹ C. S. Lewis, *Odrzucony Obraz*, IW Pax, Warszawa 1986.

² L. Fleck, *Powstanie i rozwój faktu naukowego. Wprowadzenie do nauki o stylu myślowym i kolektywie myślowym*, (w:) Z. Cackowski, S. Symotiuł (red.), *Psychosocjologia poznania naukowego. Powstanie i rozwój faktu naukowego oraz inne pisma z filozofii poznania*, Wyd. UMCS, Lublin 2006, s. 31–163, przedruk: *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv*, Bruno Schwabe und Co. 1935; W. Sady, *Ludwik Fleck – thought collectives and thought styles*, "Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities" 2001, nr 74, s. 197–205; W. Sady, *Ludwick Fleck*, Stanford Encyclopedia of Philosophy 2012.

go stylu można zaliczyć przeciwników Einsteinowskiej teorii grawitacji, np. Edwarda Milne'a i Williama McCrea, ale także środowisko astronomów, które uporczywie obstawało przy interpretacji redshiftów obiektów pozagalaktycznych w terminach efektu Dopplera związanego z ruchami własnymi tych obiektów. Milne i McCrea swój model kosmologiczny oparli na klasycznej mechanice Newtona (problem spójności tej koncepcji będzie rozważany dalej)³. Edwin Hubble, z którym związany jest mit odkrycia fundamentalnego prawa ekspansji Wszechświata, do końca życia nie zaakceptował kosmologicznej interpretacji wyników własnych obserwacji astronomicznych⁴.

Systematyczne ruchy obiektów astronomicznych we Wszechświecie, w którym obowiązuje zasada kosmologiczna, mogą być tylko radialne z prędkością proporcjonalną do odległości. Fakt ten Friedmann i Lemaitre potraktowali jako wynikający z ogólnej teorii względności, którą uznawali za teorię fundamentalną. Ciężkawo, że o ile astronomowie mieli problemy z akceptacją ekspansji przestrzeni, o tyle spokojnie przyjęli to fizycy teoretycy i kosmologowie uznający za wartość teorię Einsteina w konstrukcji relatywistycznego modelu Wszechświata.

Tak wszechświat statyczny Einsteina, jak i wszechświat dynamiczny Friedmanna są opisywane poprzez Lorentzowską geometrię pseudo-Riemannowską, jako że oba modele są zanurzone w tym samym schemacie matematycznym. Taki punkt widzenia nie oddaje podejścia do kosmologii od strony newtonowskiej, która od samego początku bazuje na koncepcji wszechświata statycznego i przestrzeni absolutnej. Wymieńmy świadectwa newtonowskiego stylu myślenia (bliżskiemu koncepcji newtonianizmu⁵) w kosmologii:

1) Wykładanie kosmologii relatywistycznej z zasad pierwszych mechaniki klasycznej, chociaż wiadomo, że koncepcja euklidesowej przestrzeni statycznej z jednorodnym i izotropowym rozkładem materii jest niespójna; innymi słowy – nie jest możliwe zbudowanie konsystentnej newtonowskiej kosmologii.

2) Dokonywanie rozkładu czasoprzestrzeni tak, aby odróżnialne były pojęcia czasu i przestrzeni, tak jak ma to miejsce w modelu kosmologicznym FRWL czy też w tzw. rozkładzie ADM (konstrukcja Arnowitta–Desera–Misnera) oraz myślenie o czasoprzestrzeni w kategoriach czasu wyodrębnionego od przestrzeni (uniwersalnego czasu kosmologicznego), prowadzące do paradoksów i mylnych interpretacji.

³ E. A. Milne, *A Newtonian expanding Universe*, "The Quarterly Journal of Mathematics" 1934, nr 5, s. 64–72; W.H. McCrea, E.A. Milne, *Newtonian Universes and the curvature of space*, ibidem, s. 73–80.

⁴ To przekonanie o statyczności Wszechświata ma swoich zwolenników również dzisiaj – zob. D. F. Crawford, *Observational evidence favours a static universe*, "Journal of Cosmology" 2011, nr 13, cz. I: 3875–3946; cz. II: 3947–3999; cz. III: 4000–4057.

⁵ S. Weinberg, *Newtonianism, reductionism and the art of congressional testimony*, "Nature" 1987, nr 330, s. 433–437.

Generalnym wnioskiem, jaki możemy wyprowadzić z obserwacji odkrycia koncepcji Wszechświata dynamicznego, jest to, że nie istnieje logiczny ciąg wydarzeń składających się na to odkrycie jako efekt finalny (jest to teza zaprzeczająca tej, którą postawił J. Turek w swojej pracy habilitacyjnej)⁶. Można odnaleźć wewnętrzną logikę wydarzeń towarzyszących odkryciu prawa ucieczki galaktyk, ale nie dotyczy to odkrycia samej ekspansji Wszechświata. Co prawda, Hubble korzystał z danych spektroskopowych Sliphera mgławic spiralnych, ale interpretował je zgodnie z przekonaniem dominującego kolektywu, proponując wyjaśnienie dopplerowskie. Pokażemy w pracy, że relacja liniowej zależności Hubble’a nie została uzyskana czystą metodą indukcyjną, ponieważ wykorzystał on wiedzę z modelu kosmologicznego. Można powiedzieć, że połączył dwie metody – tzw. *bottom up* i *top down*.

Z punktu widzenia filozofii i historii nauki studiowanie kosmologii daje możliwość śledzenia ewolucji pojęć nauki i emergencji nowych idei naukowych. Argumentujemy, że niewłaściwa popularyzacja nauki, tj. stosowanie uproszczeń dla celów dydaktycznych, może prowadzić do niewłaściwego rozumienia OTW i wyciągania z niej nieuprawnionych wniosków. Dążenie do nadmiernego upraszczania prowadzi do błędnej percepcji rzeczywistości, fałszywego obrazu nauki i interpretacji jej wyników (argumentujemy przeciw zasadzie KISS, a składamy bardziej ku zasadzie *Keep it complex*⁷).

Uwarunkowania akceptacji statycznego obrazu Wszechświata

Statyczny obraz Wszechświata w skali kosmologicznej funkcjonował powszechnie w świadomości uczonych aż do końca lat 20. ub. wieku. Sam Einstein był silnie przekonany o statyczności Wszechświata i z całą ostrością przeciwstawiał się ideom negującym to założenie⁸. Wykład Minkowskiego w Kolonii, gdzie przedstawił on koncepcję czasoprzestrzeni (zwanej dzisiaj czasoprzestrzenią Minkowskiego), spotkał się z bardzo ostrą reakcją Einsteina, który uważał, że geometria euklidesowa całkowicie wystarcza w fizyce⁹. Podobnego zdania

⁶ J. Turek, *Wszechświat dynamiczny. Rewolucja naukowa w kosmologii*, Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1995.

⁷ Reguła KISS – Keep It Short and Simple lub Keep It Simple, Stupid – zob. [online] <[http://pl.wikipedia.org/wiki/KISS_\(reguła\)](http://pl.wikipedia.org/wiki/KISS_(reguła))>, dostęp: 8.10.2012. A. Stirling, *Keep it complex*, "Nature" 2010, nr 468, s. 1029–1031.

⁸ Zob. J. Turek, *Kosmologia Alberta Einsteina i jej filozoficzne uwarunkowania*, Redakcja Wydawnictw KUL, Lublin 1982, s. 37–48.

⁹ K. Volkert, *From Legendre to Minkowski – the history of mathematical space in the 19th century*, (w:) 414th WE-Heraeus, *Space and Time 100 Years after Minkowski*, Bad Honnef, 7–12 September 2008.

byli inni wybitni fizycy obecni na seminarium¹⁰. Taki pogląd na Wszechświat posiadał uzasadnienie w dostępnej wówczas wiedzy empirycznej. W tym czasie powszechne było przekonanie, że cegielkami, z których zbudowany jest Wszechświat, są gwiazdy, a znane mgławice spiralne leżą w granicach naszej Galaktyki. Gwiazdy jednak nie wykazywały systematycznych ruchów wielkoskalowych¹¹. Brak obserwowalnej wielkoskalowej zmiany Wszechświata w czasie wzmacniał funkcjonujący „paradygmat” Wszechświata statycznego.

Lee Smolin twierdzi, że Albert Einstein nie był rzeczywistym geniuszem, ponieważ nie potrafił sobie wyobrazić Wszechświata, który nie byłby wieczny i niezmienny¹². Nasz punkt widzenia jest taki, że Albert Einstein funkcjonował w określonym kolektywie badawczym, który faworyzował styl myślowy obowiązujący od czasów Arystotelesa, według którego Wszechświat jako całość jest niezmienny¹³. Wprowadzone przez Flecka pojęcie kolektywu badawczego i charakterystycznego dla niego stylu myślenia jest adekwatne do opisu dominacji kolektywu i jego stylu myślowego w kontekście rekonstrukcji późniejszego przejścia do nowego stylu myślowego¹⁴.

Uważamy, że można wyróżnić dwa rozłączne style myślowe w rozumieniu Flecka obejmujące zwolenników stanu stacjonarnego i zwolenników Wielkiego Wybuchu. Na tym przykładzie widać dynamizm kolektywu badawczego. Wcześniejsi zwolennicy Wszechświata statycznego odnaleźli się w kolektywie badawczym teorii stanu stacjonarnego, który konkurował ze zwolennikami koncepcji Big Bangu o dominację ich stylu myślowego uprawiania kosmologii. Sukcesy (w sensie gromadzenia nowych faktów) przyciągają młodych naukowców, którzy ucząc się i pracując w ramach danego stylu myślowego, stanowią o wzroście i rozwoju kolektywu oraz dominacji tego stylu myślowego w środowisku naukowym.

Gdy usiłujemy rekonstruować wczesny rozwój kosmologii relatywistycznej w schemacie Fleckowskiej koncepcji kolektywu badawczego i stylu myślowe-

¹⁰ S. Walter, *Hermann Minkowski and the scandal of spacetime*, “ESI News” 2008, nr 3, s. 6–8. D. E. Rowe, *A look back at Hermann Minkowski’s Cologne lecture “raum und zeit”*, “Mathematical Intelligencer” 2009, nr 31, s. 27–39.

¹¹ A. Einstein, *Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie*, Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften, Berlin 1917, s. 142–152.

¹² L. Smolin, *The Trouble with Physics*, Houghton Mifflin, New York 2006.

¹³ Czasoprzestrzeń nazywamy stacjonarną, jeśli metryka tej czasoprzestrzeni jest niezmiennicza względem translacji w czasie $t \rightarrow t + a$, gdzie a jest dowolną stałą. Czasoprzestrzeń nazywamy statyczną, jeśli jest stacjonarna i jej metryka jest niezmiennicza względem symetrii zwierciadlanego odbicia czasu ($t \rightarrow -t$).

¹⁴ Historia kosmologii pozwala na wyróżnienie z dobrze określonym kolektywem badawczym zwolenników stanu stacjonarnego (H. Bondi, T. Gold, F. Hoyle i in.), niezwykle popularnego nawet do lat 60. ub. wieku (odkrycie promieniowania relikowego). Na temat aspektów historycznych kosmologii w latach 1932–1948 zob. G. Gale, *Cosmology: Methodological debates in the 1930s and 1940s*, (w:) E.N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, summer 2011.

go, musimy wpięrow wyróżnić kolektyw naukowców, którzy akceptują hipotezę rozszerzającego Wszechświata oraz kolektyw tych, którzy tę hipotezę wprost odrzucają albo poszukują dla niej alternatywy. W przeszłości członkami te drugiego kolektywu byli Hubble, Tolman, Einstein, Humason i wielu współczesnych im astronomów. Ciekawe, że pomimo nagromadzenia świadectw na rzecz standardowego modelu kosmologicznego, ten kolektyw, choć mniej liczny, przetrwał do dzisiaj. Konrad Rudnicki wspomina o konferencji naukowej, jak ich nazywa, dysydentów naukowych, którzy uważają, że potrzebna jest nowa fizyka dla wyjaśnienia poczerwienienia w widmach galaktyk. Konferencja nt. „Quasi-statyczna kosmologia; kwant i Wszechświat; kosmologia po de Broglie’u” odbyła się w dniach 27–29 czerwca 1990 r. w Paryżu w futurystycznej dzielnicy La Defence. Jego organizatorem było środowisko naukowe skupione wokół kanadyjskiego czasopisma naukowego „Aiperon”. W trakcie konferencji przypomniano historię hipotezy rozszerzającego się Wszechświata i to, że jej ojcowie: Hubble, Humason, Tolman nigdy nie byli jej zwolennikami. Vigier stwierdził, że co prawda Einstein podziwiał prostotę i elegancję tej hipotezy, ale widział dla niej alternatywne wyjaśnienie poprzez efekt „starzenia się fotonów”¹⁵.

Zdaniem J. Turka nie ma tutaj zastosowania pojęcie Kuhnowskiej rewolucji naukowej, oznaczające zmianę paradygmatu naukowego, ponieważ aparat matematyczny i pojęciowy się nie zmienia, czyli takie pojęcia, jak krzywizna przestrzeni, krzywizna Riemanna, idea grawitacji jako efektu geometrycznego, czasoprzestrzennego są analogiczne tak w koncepcji statycznego wszechświata Einsteina, jak Friedmannowskiego rozwiązania ewolucyjnego¹⁶. W tym kontekście adekwatne wydają się słowa samego Flecka: „trzy komponenty aktu poznania są ze sobą nierozłącznie powiązane. Między podmiotem a przedmiotem istnieje coś trzeciego – wspólnota. Jest ona kreatywna – jak podmiot, przekorna – jak przedmiot i niebezpieczna – jak siła żywiołu”¹⁷.

To wspólnota myślowa nie pozwoliła Einsteinowi uznać dynamicznego charakteru czasoprzestrzeni, stanowiącego jej naturę, jeśli tylko opisujemy ją w ramach ogólnej teorii względności. Lee Smolin nie wyklucza również sytuacji, że

¹⁵ K. Rudnicki, *Czy Wszechświat się rozszerza?*, „Urania” 1990, nr 61, s. 274–281.

¹⁶ M. Szydłowski, P. Tambor, *Kosmologia współczesna w schemacie pojęciowym kolektywu badawczego i stylu myślowego Ludwika Flecka* [w druku]. Zauważmy jednak, że rewolucji kopernikańskiej, która jest koronnym przykładem rewolucji naukowej w rozumieniu Kuhna, również nie towarzyszyła zmiana aparatu matematycznego i pojęciowego. Tak więc argument Turka (zob. idem, *Wszechświat dynamiczny...*) nie musi być zasadny i rzecz wymaga głębszego przemyślenia.

¹⁷ L. Fleck, *Kryzys w nauce. Ku nauce wolnej i bardziej ludzkiej*, (w:) Z. Cackowski, S. Symotiuk (red.), *Psychosocjologia poznania naukowego. Powstanie i rozwój faktu naukowego oraz inne pisma z filozofii poznania*, Wyd. UMCS, Lublin 2006, s. 324–329, przedruk *Crisis in Science. Towards a Free and More Human Science*, (w:) *Cognition and Fact – Materials on Ludwik Fleck*, R. S. Cohen, T. Schnelle (ed.), Reidel 1986, s. 153–158.

akceptacja statycznego obrazu Wszechświata była podyktowana brakiem empirycznej ewidencji jego ekspansji. W czasach gdy Einstein budował OTW, Wszechświat był rozumiany jako Droga Mleczna i nic, co pochodziło w tamtym czasie z obserwacji, nie przemawiało za faworyzowaniem koncepcji Wszechświata dynamicznego¹⁸.

Nasz pogląd jest odmienny, ponieważ Einstein był znany z tego, że to właśnie teoria, a nie obserwacja są kluczowe w rozwoju nauki. Gdyby do końca rozumiał wyprowadzone przez siebie równania, to miałby świadomość kosmologicznej ekspansji jako prawdziwego efektu fizycznego w skali kosmologicznej. Przywiązanie do tradycyjnego stylu myślowego było tutaj kluczowe. Pomimo odkrycia przez Friedmanna rozwiązań niestatycznych, Einstein upierał się, że takie rozwiązania nie mogą istnieć i wobec tego teza ta musi zawierać błąd. Trzeba przyznać, że jego wiedza o Wszechświecie obserwowanym przez astronomów była bardzo uboga. Już po odkryciu Hubble'a myślał, że opisuje on prawo ucieczki gwiazd, a nie galaktyk. Einstein był fizykiem teoretykiem, który zmienił nasze wyobrażenia o kategoriach czasu i przestrzeni, a także po raz pierwszy w roku 1917 postawił tzw. problem kosmologiczny, ale obserwacje astronomiczne go nie interesowały, ponieważ wierzył w moc swojej teorii. Tymczasem już w 1912 r. sukcesem zakończyły się kilkuletnie badania przesunięć ku czerwieni linii widmowych w mgławic spiralnych (tak wówczas określano galaktyki) Vesto Sliphera z Obserwatorium Lowella w Flagstaff (Arizona). Einstein dokonał naturalnej dopplerowskiej interpretacji tych wyników, co jednak nie doprowadziło go do sformułowania wniosku o ewolucyjnym charakterze przestrzeni i *de facto* odkrycia zjawiska ucieczki galaktyk, ponieważ nie podjął próby analizy w formie zależności ilościowej, np. prędkość radialna vs. odległość.

Einsteina jako fizyka teoretyka interesowała możliwość geometryzacji zjawiska grawitacji i wyjaśnienia, dlaczego teoria Newtona działa i możemy na niej polegać. Jak wiadomo, w równaniach OTW występuje stała sprzężenia grawitacyjnego pomiędzy geometrią i materią, w której pojawia się właśnie stała grawitacji Newtona, stąd interpretacja S. Weinberga, że OTW wyjaśnia teorię Newtona i daje jej uzasadnienie. Przypomnijmy sobie, jak wyprowadzona została stała grawitacji Einsteina w jego równaniach pola – z Newtonowskiego przybliżenia słabego pola¹⁹. Pewne efekty obserwacyjne zostały przez Einsteina przewidziane teoretycznie. Twierdził on np., że soczewkowanie grawitacyjne, którego efektem są tzw. pierścienie Einsteina, nigdy nie zostanie zaobserwowane. Rzeczywistość pokazuje, że Einstein się mylił – obecnie astronomowie mają wiele pięknych zdjęć soczewek grawitacyjnych, wykonanych dzięki współczesnym technikom obserwacyjnym. Niezależnie od tego dla Einsteina ważna była

¹⁸ L. Smolin, op. cit.

¹⁹ S. Weinberg, *Newtonianism and today's physics*, (w:) S. W. Hawking, W. Israel (eds.), *Three Hundred Years of Gravitation*, Cambridge University Press, Cambridge 1987, s. 5–16.

filozofia w kontekście samego odkrycia teorii. Znana jest heurystyczna rola, jaką w budowie OTW odegrała zasada Macha. Stała się ona jednak mniej ważna po sformułowaniu teorii (w późniejszym okresie Einstein uważał już Macha za miernego filozofa, któremu nie wiadomo o co chodzi).

Einstein jest uważany za autora tzw. zasady kosmologicznej²⁰, która tak naprawdę jest kosmologiczną operacjonalizacją tzw. uogólnionej zasady kopernikańskiej: Wszechświat obserwowany z każdego ciała niebieskiego i w każdym kierunku wygląda z grubsza tak samo²¹ (słowo „planeta” zostało zastąpione przez „ciało niebieskie” i dodano „w każdym kierunku”). W wersji Einsteina zakłada się, że średnie cechy Wszechświata, takie jak gęstość materii, jego temperatura i inne własności fizyczne, pozostają jednakowe we wszystkich jego obszarach dostatecznie dużych dla kosmologicznych uśrednień. Einsteińską zasadę kosmologiczną możemy zatem sformułować niezwykle prosto: „Wszechświat jest z grubsza jednorodny i izotropowy”. W roku 1917 Einstein użył postulatu jednorodności i izotropii przestrzennej jako założenia, co pozwoliło mu na redukcję dopuszczalnych przez równania rozwiązań do podklasy rozwiązań kosmologicznych. Dzięki takiemu założeniu równania pola, które są układem nieliniowych równań różniczkowych cząstkowych, zostały zredukowane do równania różniczkowego zwyczajnego drugiego rzędu. Jego całka pierwsza jest tzw. równaniem Friedmanna – pojedynczym równaniem różniczkowym rzędu pierwszego. Motywacją do użycia tej zasady była bardzo prymitywna²². Twierdził on, że gdy rozważamy Wszechświat w dużej skali, możemy sobie wyobrazić, iż materia jest rozmieszczona na niezmiernych obszarach w sposób równomierny. W swoim rozumowaniu bazował na analogii do kształtu kuli ziemskiej, którą uważamy za elipsoidalny, chociaż w rzeczywistości jest ona geoidą. Innym ważnym dla Einsteina argumentem za przyjęciem tej zasady był fakt, że prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu z prędkością światła.

Według K. Rudnickiego są dwie konsekwencje przyjęcia założenia dla zasady kosmologicznej Einsteina:

1. Istnieje układ współrzędnych (układ odniesienia), w którym materię można uważać za współporuszającą.

2. Skalar średniej gęstości materii może być uważany za stały. Mógłby on teoretycznie zależeć od współrzędnych przestrzennych, ale jeśli założyć, że Wszechświat jest skończony, należy uznać, że średnia gęstość nie będzie zależeć od współrzędnych przestrzennych²³.

²⁰ Ponieważ po raz pierwszy Einstein użył jej w konstrukcji relatywistycznego modelu Wszechświata dla odróżnienia od uogólnionej zasady kopernikańskiej, w literaturze nazywa się ją Einsteińską zasadą kosmologiczną.

²¹ K. Rudnicki, *Zasady kosmologiczne*, Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska, Bydgoszcz 2002, s. 54.

²² Ibidem, s. 58.

²³ Ibidem.

Rudnicki zauważa, że Einstein nie zdawał sobie zupełnie sprawy, jak silny wpływ na wyniki mogą mieć przyjęte założenia, a mówiąc o skończoności Wszechświata, miał zapewne na myśli to, że jest on zamknięty przestrzennie. Jak wiadomo, faworyzował zamknięty model Wszechświata z filozoficznych przekań i w liście do de Sittera Einstein pisał, że nie dopuszcza nietrywialnej topologii (eliptyczny model de Sittera). Twierdził, że Wszechświat jest prosty, ekonomicznie zbudowany, skąd każda zamknięta krzywa na powierzchni może być ściągnięta do punktu (własność jednospójności)²⁴. Rudnicki podkreśla, że Einstein miał na myśli mały zamknięty Wszechświat wypełniony gwiazdami, który wzrok obserwatora może „przenikać dookoła” (analogicznie jak na powierzchni 2-sfery mogą to czynić płaskie twory). Einstein nie dopuszczał możliwości, że galaktyki mogą mieć duże prędkości swoiste (pochodzenia kosmologicznego). Nie posiadał też wiedzy astronomicznej o nieregularnościach w rozmieszczeniu gwiazd we Wszechświecie. Były to dla niego małe obiekty, których grupowania nie przyjmował. Co ciekawe, kiedy już wiedział, że gwiazdy grupują się w galaktyki, które z kolei wykazują przesunięcia widmowe ku czerwieni, podtrzymał wcześniejsze założenia o jednorodności i izotropii²⁵.

Na przykładzie Alberta Einsteina widać *explicite*, jak bardzo rola filozofii jest niedoceniana w kosmologii. Niektórzy filozofowie, jak prof. Woleński, argumentują, że fizyka nie opiera się na żadnych założeniach filozoficznych²⁶. W kosmologii będącej fizyką Wszechświata założenia o charakterze filozoficzno-metodologicznym odgrywają jednak istotną rolę od samego początku i mają wpływ na wyniki badań²⁷. Bazowanie na założeniach o charakterze filozoficzno-metodologicznym zdaniem Kragha prowadzi do kontrowersyjności kosmologii oraz nasuwa wątpliwości co do jej naukowego charakteru²⁸. Einstein przyjął założenie, że Wszechświat jest we wszystkich swoich fragmentach do siebie podobny. Stąd jedynym dopuszczalnym systematycznym ruchem wewnątrz niego może być ekspansja albo kontrakcja, przy czym w tych przypadkach wzajemna prędkość dwu punktów musi pozostawać proporcjonalna do ich odległości. Inne typy ruchów systematycznych nie są dopuszczalne przez przyjętą zasadę kosmologiczną²⁹.

²⁴ M. Realdi, G. Peruzzi, *Einstein, de Sitter and the beginning of relativistic cosmology in 1917*, „Gen. Rel. Grav.” 2009, nr 41, s. 225–247.

²⁵ K. Rudnicki, *Zasady kosmologiczne*, Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska, Bydgoszcz 2002, s. 59.

²⁶ J. Woleński, (w:) S. Butrym (ed.), *Z zagadnień filozofii nauk przyrodniczych*, Instytut Filozofii i Socjologii PAN, Warszawa 1991, s. 7–16.

²⁷ G. F. R. Ellis, *Before the beginning: emerging questions and uncertainties*, “Astrophys. Space Sciences” 1999, nr 269–270, s. 693–720. G. F. R. Ellis, *Issues in the Philosophy of Cosmology*. arXiv:astro-ph/0602280. G. F. R. Ellis, *Major themes in the relation between philosophy and cosmology*, “Memorie della Società Astronomia Italiana” 1991, nr 62, s. 553. H. F. M. Goenner, *What kind of science is cosmology?*, “Annalen Phys.” 2010, nr 522, s. 389–418.

²⁸ H. Kragh, *The controversial universe*, “Physics and Philosophy” 2007, Id 008.

²⁹ H. Bondi, *Cosmology*, Cambridge University Press, Cambridge 1961.

Epistemiczna rola zasady kosmologicznej jest zagadnieniem wymagającym osobnego omówienia. Nasz pogląd jest taki, że zasada ta usuwa pewną niedookreśloność w kosmologii, jest hipotezą dotyczącą struktury Wszechświata. Po to, aby móc prolongować nasze badania w obszary obserwacyjnie nieosiągalne, największe możliwe skale kosmologiczne, także poza horyzont etc., postulujemy pewne zasady, których słuszność podlega empirycznemu testowaniu w przyszłości. W kosmologii z filozoficzno-metodologicznego punktu widzenia ogromnie ważny jest problem ekstrapolacji znanych nam praw fizyki laboratoryjnej na skale kosmologiczne. Wybór zasady kosmologicznej jest również podyktowany przez pragmatyzm. Z OTW chcielibyśmy uczynić teorię fizyczną Wszechświata, dzięki której możliwe będzie prowadzenie rachunków, obliczeń umożliwiających predykcje modeli. Dzisiaj powiedzielibyśmy, że zasada kosmologiczna umożliwia skonstruowanie prostego relatywistycznego modelu Wszechświata, który jest teorią efektywną, podobną do innych teorii występujących w fizyce. Einstein i jego kontynuatorzy traktowali zasadę kosmologiczną jako pewne „niewinne” uproszczenie teorii, umożliwiające rozwiązanie skomplikowanych równań³⁰.

Pomiędzy przyjętą przez Einsteina zasadą kosmologiczną a tym, co dzisiaj nazywamy prawem Hubble’a, istnieje ścisły związek. Wielkoskalowa ekspansja Wszechświata pozostaje w zgodzie z prawem Hubble’a.

Kontekst odkrycia dynamicznej struktury Wszechświata

Dodatnia korelacja pomiędzy odległością galaktyk a przesunięciem ich widm ku czerwieni była znana, zanim Hubble dokonał pierwszych pomiarów odległości galaktyk³¹. Względne odległości do obiektów pozagalaktycznych mierzył on poprzez pomiary rozmiarów kątowych lub wielkości gwiazdowych mgławic pozagalaktycznych. Poszukując tej, dzisiaj powiedzielibyśmy, fundamentalnej relacji, Hubble nie wiązał z nią żadnych głębszych prawidłowości. W rzeczywistości zajmował się prozaicznym zagadnieniem dopasowania krzywej do danych obserwacyjnych³². Poszukiwał wielomianowej postaci krzywej regresji przesunięć ku czerwieni jako funkcji odległości galaktyk. Dopiero wówczas zapoznał się z pierwszymi modelami kosmologicznymi i pojęciem metryki Robertsona-Walkera, następnie odrzucił człony z wyższymi potęgami odległości i – tak jak to wynika z samych modeli – przyjął zależność liniową, czyli poszukując złożonej relacji, wziął pierwsze liniowe przybliżenie jako rozwiązanie problemu.

³⁰ K. Rudnicki, *Zasady kosmologiczne...*, s. 11.

³¹ Ibidem, s. 59.

³² Ibidem.

Widzimy na tym przykładzie, że w kontekście odkrycia liniowego prawa Hubble'a istotne były teoretyczne predykcje samych modeli kosmologicznych, ponieważ z samej postaci metryki Robertsona-Walkera można w łatwy sposób wyprowadzić taką liniową zależność. Miało to też wpływ na samego Einsteina, który dowiedziawszy się o odkryciu liniowej zależności, wycofał się z umieszczenia stałej kosmologicznej w swoich równaniach pola. Jak wiadomo, wprowadził tę stałą w celu uzyskania rozwiązania statycznego zgodnego z jego przekonaniami. Dla Einsteina znaleziona korelacja pomiędzy przesunięciem ku czerwieni i odległością stała się argumentem za powrotem do pierwotnej koncepcji poszukiwania rozwiązania statycznego równań pola. Był to jednak moment, który należy uznać za pozytywny w tym sensie, że Einstein zainteresował się po raz pierwszy astronomią. Dużą rolę w percepcji wyników obserwacji astronomicznych odegrał jego bliski współpracownik R. C. Tolman.

Bezpośredni impuls do odrzucenia członów wyższego rzędu niż liniowe względem odległości pochodził z teorii, tj. modelu kosmologicznego, a dokładniej z metryki czasoprzestrzeni, którą znaleźli Robertson i Walker. W tej metryce czasoprzestrzeni ma strukturę topologiczną produktu kartezjańskiego osi rzeczywistej (wzdłuż której odmierzany jest parametr czasu kosmologicznego) oraz trójwymiarowych przestrzeni jednorodnych i izotropowych. Czyli ewolucję modelu kosmologicznego możemy sobie wyobrażać jako ewolucję chwilowych przestrzeni stałego czasu ortogonalnych do osi czasu. Jednorodne i izotropowe przestrzenie Riemanna matematycznie są w sposób jednoznaczny określane jako tzw. przestrzenie o stałej krzywiznie. Te z kolei są wyznaczone przez parametr krzywizny i mamy dopuszczalne tylko trzy typy takich przestrzeni: przestrzenie zamknięte, przestrzenie płaskie oraz przestrzenie otwarte (hiperboliczne).

Następnie w konstrukcji relatywistycznego modelu czasoprzestrzeni wybierana jest parametryzacja metryki czasoprzestrzeni (wybór tzw. współporuszającego się układu współrzędnych). W tym układzie galaktyki są nieruchome, natomiast zmienia się skala na powierzchniach przestrzennopodobnych. Zwykle zakłada się współrzędne sferyczne (χ, θ, φ) , w których umocowana jest galaktyka, oraz czas kosmologiczny t , który jest czasem własnym odmierzanym przez zegary w układzie własnym galaktyk³³. Z metryki Robertsona-Walkera wynika, że metryczna odległość własna r do galaktyki z ustalonymi współrzędną kątową χ od obserwatora zlokalizowanego na tej powierzchni w punkcie $\chi = 0$ jest dana przez $r = a(t) \chi$, gdzie $a(t)$ jest czynnikiem skali (promieniem 3-sfery zanurzonej w płaskiej przestrzeni euklidesowej (x, y, z)). Z powyższej zależności możemy w prosty sposób otrzymać (pamiętając, że χ jest stałe) prawo Hubble'a.

³³ Zob. C. H. Lineweaver, T. M. Davis, *Misconceptions about the big bang*, "Scientific American" 2005, s. 36–45.

W tym celu różniczkujemy powyższą formułę względem czasu t i dla danej galaktyki prędkość

$$V = dr/dt = da(t)/dt \chi = H(t) r,$$

gdzie $H(t) = (da/dt)/a$ jest tzw. funkcją Hubble'a.

Czyli prędkość ucieczki galaktyk jest proporcjonalna do ich względnej odległości, zaś współczynnik proporcjonalności – funkcja Hubble'a dla obecnej epoki – będzie wielkością stałą. To *explicite* pokazuje, że liniowa zależność wynika bezpośrednio z konstrukcji metryki Robertsona-Walkera. Zależność ta może być bezpośrednio interpretowana obserwacyjnie jako redshift–odległość – prawo Hubble'a.

Z czasami w książkach popularnych prawo Hubble'a jest przedstawiane jako potwierdzenie ogólnej teorii względności. Jednak tak nie jest, bo uzyskaliśmy je, zakładając jedynie zasadę kosmologiczną (albo równoważnie metrykę Robertsona-Walkera). Zasada kosmologiczna implikuje prawo Hubble'a, nie odwrotnie. Z prawa Hubble'a, które pojawia się w modelu, nie wynika Einsteinowska zasada kosmologiczna. Hubble i jego współpracownicy uważali, że odkryta przez nich zależność ma charakter empiryczny. Innymi słowy – nie traktowali prawa Hubble'a jako testu dla modelu kosmologicznego. We wspólnej pracy Edwina Hubble'a i Richarda C. Tolmana³⁴ czytamy, że najłatwiejszym wyjaśnieniem otrzymanej przez Hubble'a zależności jest interpretacja efektu jako ruchu związanego z ucieczką mgławic. Nie wykluczali też oni innej interpretacji – że jest ona związana z ruchem w lokalnym spoczywającym układzie współrzędnych, jak to przykładowo ma miejsce w modelu Milne'a, gdzie przesunięcie ku czerwieni jest efektem kinematycznym. Tych dwóch zasadniczo różnych efektów długo nie odróżniano i obie przyczyny mogły prowadzić do poczerwienienia w widmach galaktyk.

W rozróżnieniu tych dwóch efektów i wskazaniu tego, który ma znaczenie kosmologiczne, kluczową rolę odegrał Georges Lemaitre³⁵. Od Lemaitre'a pochodzi termin „pozorny efekt Dopplera”. Jego praca została opublikowana dwa lata przed pracą Hubble'a. Niewątpliwą zasługą Lemaitre'a było skojarzenie tego efektu z ekspansją Wszechświata, ponieważ Humason, Hubble i Tolman nie widzieli powodu łączenia go z teorią względności Einsteina i nawet wtedy, gdy redshift byłby interpretowany kosmologicznie, to raczej w ramach kosmologii Milne'a³⁶ jako zjawisko czysto kinematyczne³⁷. Rudnicki wspomina wypowiedź

³⁴ E. Hubble, R. C. Tolman, *Two methods of investigating the nature of the nebular redshift*, „Astrophysical Journal” 1935, nr 82, s. 302–337.

³⁵ G. Lemaitre, *Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques*, „Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles” 1927, nr A47, s. 49–59.

³⁶ E. A. Milne, *Stellar kinematics and the K-effect*, „Monthly Notices of the Royal Astronomical Society” 1935, nr 95, s. 560–561.

³⁷ K. Rudnicki, *Zasady kosmologiczne...*, s. 62.

H. Arpa na konferencji Apeironu w Paryżu w 1990 r., że Hubble, pomimo namawiania przez pewnych fizyków, nie dał się przekonać i wzbraniał się przed przyjęciem interpretacji kosmologicznej³⁸. Dopiero rozwijanie podstaw teoretycznych kosmologii, pojęcia relatywistycznych modeli Wszechświata przyczyniło się do akceptacji interpretacji kosmologicznej, chociaż jest wiele jeszcze pytań.

Popatrzmy na problem interpretacji z punktu widzenia kryterium prostoty, które wielokrotnie okazywało się skuteczne. W środowisku astronomów obserwowany efekt wzrostu prędkości radialnej (redshiftu) galaktyk wraz z ich odległością został utożsamiony z ucieczką galaktyk w przestrzeni statycznej. Dużo trudniej było im zaakceptować prawo Hubble'a jako efekt rozszerzającej się przestrzeni. To proste wyjaśnienie mogło być docenione tylko przez relatywistów (to samo zresztą dotyczy znanych paradoksów, jakie pojawiły się przy próbach zastosowania teorii Newtona do budowy modelu kosmologicznego, np. paradoksu fotometrycznego i grawitacyjnego).

Dla dzisiejszej kosmologii, która stała się głównie kosmologią obserwacyjną, ekspansja Wszechświata jest zjawiskiem fizycznym i oczywistym, zrozumiałym w kontekście bardzo wielu ustalonych faktów obserwacyjnych. Obecnie, interpretując nowe obserwacje, nikt nie próbuje negować ekspansji przestrzeni – stała się ona już dobrze ugruntowaną częścią modelu standardowego Wszechświata.

Pomimo że Einstein dokonał rewolucji w naszym rozumieniu pojęć czasu i przestrzeni, pokazując, że sens fizyczny posiada czasoprzestrzeń unifikująca obie te kategorii (w opinii filozofów nauki przejście od koncepcji Newtona do koncepcji Einsteina ma charakter rewolucji naukowej w sensie Kuhna), ludzki umysł (intuicja fizyczna) separuje je od siebie. Ponieważ nasza intuicja jest tworzona z doświadczenia, którego nabieramy podczas obserwacji świata nierelatywistycznego, w naszych umysłach gości newtonowski obraz świata, w którym zjawiska fizyczne rozgrywają się na nieruchomej scenie, a ich przebieg w żaden sposób od niej nie zależy. Fizyka posiada jasną i jednoznaczną ontologię. Newton i jego kontynuatorzy podali nam metodę, jak badać świat cząstek, na które działają siły. W takim poukładanym świecie od początku do końca można czuć się komfortowo, ponieważ wiemy, jak go badać w oparciu o metodologię, którą nakreślił Newton³⁹. W czasoprzestrzeniach kosmologicznych niestacjonarnych z płaskimi sekcjami przestrzennymi (przestrzennymi przekrojami stałego czasu), jak ma to miejsce w modelach z metryką Robertsona-Walkera (modelach Friedmanna), ekspansja przestrzeni jest prawdziwym fizycznym efektem, tymczasem nasza intuicja obciążona newtonowskim stylem myślowym każe nam myśleć o ekspansji Wszechświata jako ruchu materii w nieekspandującej przestrzeni płaskiej. W sytuacji, w której galaktyki poruszają się względem siebie

³⁸ Ibidem, s. 63.

³⁹ Zob. S. Weinberg, *Newtonianism and today's physics*, (w:) S. W. Hawking, W. Israel (eds.), op. cit., s. 5–16.

w nieekspandującej przestrzeni płaskiej, kosmologiczny redshift może być wyjaśniony w terminach efektu Dopplera. Natomiast w drugiej sytuacji galaktyki pozostają nieruchome (układ współporuszający), a sama przestrzeń się rozszerza. Pozornie oba obrazy wydają się być równoważne. To bowiem zgadza się z naszą nierelatywistyczną intuicją, która nie bierze pod uwagę czasoprzestrzennej natury problemu.

Innymi słowy – jak długo nie będziemy myśleć w kategoriach czasoprzestrzeni i w tym schemacie pojęciowym rozważać problemy, tak długo będziemy narażeni na paradoksy, nieporozumienia, błędne interpretacje. Źródło popełnianych błędów leży bowiem w naszej intuicji, która pojęciom czasu i przestrzeni nadaje odmienne znaczenia. Nasz punkt widzenia ciąży w kierunku myślenia, że istnieje uniwersalny czas kosmologiczny, którym odmierzamy historię zjawisk fizycznych. W podobny sposób, chcąc przejść od opisu klasycznego grawitacji do kwantowego, stosujemy tzw. formalizm ADM (Arnowitta-Desera-Misnera), który pozwala na pofoliowanie czasoprzestrzeni na rodziny przestrzennopodobnych hiperpowierzchni. Dzięki takiemu założeniu możemy aplikować teorie kwantowego opisu, wykorzystując skonstruowany hamiltonian układu klasycznego.

Rothman i Ellis zaprezentowali pewną interpretację równań Einsteina opartą na zasadzie akcja–reakcja, co naszym zdaniem jest nawiązaniem do trzeciej zasady Newtona. Ta interpretacja jest bardzo interesująca, bo tłumaczy, dlaczego Einstein nie akceptował stałej kosmologicznej w swoich równaniach pola⁴⁰.

Jeśli spojrzeć na równania Einsteina, to stała kosmologiczna Λ jest mnożona przez metrykę g_{ab} . Oprócz stałej Λ przez metrykę jest mnożony skalar Ricciego R , mamy bowiem w tensorze Einsteina człon $R g_{ab}$. Zasada akcji i reakcji w wydaniu OTW może być wypowiedziana następująco: procesy fizyczne modelują krzywiznę i na odwrót – krzywizna wpływa na przebieg samych procesów fizycznych. Jeśli więc spojrzeć na $R g_{ab}$, to rzeczywiście, jeżeli R się zmienia, to i prawa strona równań Einsteina T_{ab} też się zmienia. Z drugiej strony jeśli T_{ab} się zmienia, to i skalar Ricciego R . W przypadku, gdy stałą kosmologiczną umieścimy po lewej stronie równań pola, tak nie jest i cokolwiek nie działałoby się we Wszechświecie i jak nie zmieniałby się T_{ab} , to Λ pozostaje stałą! Tak więc T_{ab} nie wpływa na Λ , ale Λ poprzez równania Einsteina wpływa na T_{ab} . Reasumując – obecność stałej kosmologicznej łamie zasadę akcja–reakcja, którą Einstein chciał mieć spełnioną w jego interpretacji OTW⁴¹.

⁴⁰ T. Rothman, G. F. R. Ellis, *Metaflacja*, „Postępy Fizyki” 1987, nr 38, s. 511–534.

⁴¹ Istnieje też inna interpretacja równań Einsteina. Na stałą grawitacji Einsteina w tych równaniach można patrzeć, jak na stałą sprzęgającą to co po lewej stronie (geometrię) z tym co po prawej stronie (materią). Czyli nadajemy interpretację tej stałej jako stałej sprzężenia. Rozważmy przypadek bez źródeł (próżniowy). Wówczas dostaniemy $R_{ab} = \Lambda g_{ab}$, czyli teraz jest tak, że stała kosmologiczna w równaniach łamie zasadę akcja–reakcja, ponieważ człon Λg_{ab} związany z geometrią determinuje samą geometrię. A nie jest tak, jak życzyłyby sobie tego Einstein, że to tylko materia i jej rozkład determinują geometrię.

Ponieważ współrzędna χ jest wielkością stałą i $r = a\chi$, to jeśli pominiemy ciśnienie w równaniu akceleracji i podstawimy za a wielkość r , dostaniemy równanie analogiczne do równania otrzymanego w podejściu newtonowskim. Pomijamy tutaj zagadnienie bardziej fundamentalnej natury: czy na gruncie teorii Newtona da się skonstruować w sposób konsystentny model kosmologiczny. Równania Friedmanna, które są równaniami pierwszego rzędu, będą zawierały stałą całkowania, która w teorii względności odpowiada efektowi krzywizny, czyli dla przypadku materii pyłowej przestrzeni płaskiej formalnie uzyskujemy identyczne równania, jeśli czynnik skali $a(t)$ zastąpimy przez $r(t)$, w której to odległości od ustalonego centrum $r = 0$ znajduje się galaktyka.

Tę analogię wykorzystali McCrea i Milne, aby obejść się bez pomocy Einsteińskich równań pola w wyprowadzeniu modelu kosmologicznego i jego ewolucji⁴². Milne znany był z odwagi, z jaką występował przeciwko teorii Einsteina. Sam zaproponował inne podejście do kosmologii z zasad pierwszych, które przyjął do zbudowania modelu kosmologicznego, który okazał się też być szczególnym rozwiązaniem równań Friedmanna. Wielu autorów podkreślało walory dydaktyczne wyprowadzenia standardowego modelu kosmologicznego z teorii Newtona⁴³. Wielu też wyrażało swoje zastrzeżenia co do konsystentności konstrukcji modelu kosmologicznego na gruncie newtonowskiej teorii grawitacji⁴⁴. Analogia jest czysto formalna i antycypuje wyniki teorii względności. Jeśli wiemy, do czego mamy dojść (standardowy model kosmologiczny), to poprzez odpowiednią interpretację stałych całkowania możemy uzyskać formalną analogię równań. Poza tym w newtonowskim podejściu do kosmologii istnieje centrum Wszechświata dla $r = 0$ będące środkiem sfery, na powierzchni której znajduje się rozważana galaktyka, grawitacyjnie oddziałująca z masą $M(r)$ wypełniającą kulę o promieniu r . Wkład ciśnienia jest efektem relatywistycznym, co oznacza, że nie istnieje wpływ żadnego ze składników materii na ewolucję Wszechświata poza pyłem. Innymi słowy – nie istnieje żaden sposób wprowadzenia ciśnienia, poza ciśnieniem pyłu, do teorii Newtona.

Już w 1919 r. zauważono, że w takim podejściu pojawia się paradoks, nazywany paradoksem Friedmanna-Holtsmarka⁴⁵. Zgodnie z newtonowskim odpo-

⁴² W. H. McCrea, E. A. Milne, *Newtonian Universes and the curvature of space*, "The Quarterly Journal of Mathematics" 1934, nr 5, s. 73–80.

⁴³ Np. D. S. Lemons, *A Newtonian cosmology Newton would understand*, "American Journal of Physics" 1988, nr 56, s. 502–504; F. J. Tipler, *Rigorous Newtonian cosmology*, "American Journal of Physics" 1996, nr 64, s. 1311–1315.

⁴⁴ L. M. Sokołowski, *Elementy kosmologii*, ZamKor, Kraków 2005; D. B. Malament, *Is Newtonian Cosmology Inconsistent?*, "Philosophy of Science" 1995, nr 62, s. 489–510; P. Vickers, *Was Newtonian cosmology really inconsistent?*, "Stud. in Hist. & Phil. of Mod. Phys." 2009, nr 40, s. 197–208.

⁴⁵ Y. V. Baryshev, *Expanding Space: The Root of Conceptual Problems of the Cosmological Physics*. arXiv: gr-qc/0810.0153.

wiednikiem równania akceleracji, w równaniu na przyspieszenie współrzędnej r pojawia się wielkość siły działającej na galaktykę znajdującą się w odległości r ze strony innej galaktyki w centrum. Tu tkwi zasadnicza sprzeczność z rezultatem ustalonym przez Holtsmarka, a dotyczącym gęstości prawdopodobieństwa siły działającej pomiędzy cząstkami w przestrzeni euklidesowej w przypadku oddziaływań typu $1/r^2$. Podobny wynik otrzymał Chandrasekhara w roku 1941.

Znaczenie kosmologii i jej historii dla rozumienia roli idei naukowych

W rozdziale tym rozważymy, jak doszło do odkrycia prawa ekspansji Wszechświata oraz podważymy popularny pogląd, że to właśnie Hubble jest jego odkrywcą. Nasza teza bierze się z faktu, że Hubble nigdy nie wierzył w ekspansję Wszechświata, co było powszechne w konserwatywnym środowisku astronomicznym. Przypadek Hubble'a nasuwa analogię do późniejszego, równie kluczowego dla kosmologii odkrycia dokonanego przez Penziasa i Wilsona⁴⁶. Znaczące jest to, że ich praca w istocie dotyczyła anteny i dokonanej przez nią obserwacji, więc nie zdawali sobie sprawy, jakie znaczenie będzie miał zaobserwowany przez nich efekt dla kosmologii. Odpowiedzi na pytanie, jak to się ma do Wszechświata, w pracy tych badaczy nie odnajdziemy, bo dopiero dyskusja w środowisku astronomów doprowadziła do obecnej interpretacji uzyskanych przez nich wyników. Naszym zdaniem historia odkrycia ekspansji Wszechświata mówi nam coś o naturze odkryć naukowych i ich emergencji w nauce.

Historia wielu odkryć naukowych pokazuje, że nie byłyby one możliwe bez wkładu całej społeczności naukowców. Nasz pogląd na temat odkryć naukowych w kosmologii jest taki, że są one udziałem pojedynczych ludzi, ale wspartych przez dokonania innych naukowców. Ich wyniki tworzą pewną układankę, którą należy ułożyć w odpowiedni sposób lub dodać do niej jakiś brakujący element. Bez wkładu środowiska nie byłoby interpretacji obserwacji Penziasa i Wilsona jako promieniowania reliktoowego czy też przesunięcia ku czerwieni w widmach galaktyk nie jako efektu Dopplera, ale ekspansji przestrzeni. Na tym polega – o czym mówił Fleck – kreatywna rola środowiska.

Prowadzone na początku XX wieku obserwacje obiektów mgławicowych pozwoliły na stwierdzenie, że niektóre z nich znajdują się poza naszą Drogą Mleczną. Wśród astronomów, którzy zajmowali się tymi obserwacjami, w sposób szczególnie wyróżniał się Edwin Hubble. W 1929 r. wykazał, że prędkości radialne pozagalaktycznych obiektów mgławicowych są proporcjonalne do ich

⁴⁶ A. A. Penzias, R. W. Wilson, *A Measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s*, "Astrophysical Journal" 1965, nr 142, s. 419–421.

odległości, czyli odkrył tzw. ucieczkę galaktyk⁴⁷. Jednakże czy Hubble, który nie wierzył w ekspansję Wszechświata, rzeczywiście był odkrywcą fundamentalnego prawa, które nim rządzi? A jeśli nie on, to kto?

Śledząc wydarzenia prowadzące do odkrycia naukowego, możemy zwrócić uwagę na różne idee, wyniki eksperymentów i przypisywać jednym lub drugim decydującą rolę. Inaczej będzie spoglądał na odkrycie i ludzi go dokonujących historyk, a inaczej filozof nauki. Dla historyka istotna jest odpowiedź na pytanie: „Kto pierwszy?”, analizuje on zatem daty publikacji i korespondencje uczonych, stara się ustalić, jak, kto i kiedy znalazł szczególne rozwiązanie jakiegoś równania lub przeprowadził z sukcesem eksperyment. Aby zrekonstruować ścieżkę czasową zdarzeń prowadzących do odkrycia, bada idee i pracę tych, którzy przyczynili się do ostatecznego sukcesu uczonego-odkrywcy. Dla filozofa nauki ważna jest natomiast struktura nowej teorii: co i jak ona wyjaśnia?; czy nowe odkrycie rozszerza starą teorię, czy czyni ją przestarzałą?; w jakim stopniu idee i praca innych uczonych wywarły wpływ na kształt odkrycia, jego formalizm matematyczny lub interpretację? Wydaje się, że oba podejścia uzupełniają się.

Z tych dwóch punktów widzenia można patrzeć na odkrycie rozszerzania się Wszechświata. Dla nas ważniejsze jest podejście filozofa nauki, a nie historyka, lecz nie możemy nie wspomnieć w tym miejscu o dyskusji na temat pierwszeństwa odkrycia rozszerzania się Wszechświata, która ostatnio pojawiła się srodowisku: Lemaitre czy Hubble?⁴⁸ Podwaliny pod to odkrycie położyli od strony teoretycznej przede wszystkim Einstein ze swoją ogólną teorią względności oraz Friedmann, który pokazał, że Wszechświat ze swej natury jest dynamiczny, ale także wielu innych teoretyków: de Sitter, Lanczos, Weil⁴⁹. Z drugiej strony bez rozwoju technik obserwacyjnych, pozwalających na coraz dokładniejsze wyznaczanie odległości, mierzenie widm obiektów astronomicznych, jak również naukowców, których dziełem był ten postęp, nie byłoby możliwe testowanie hipotez, które wyprowadzano w ramach nowej wtedy ogólnej teorii względności.

Początkowo dwa nurty badań biegły niezależnie od siebie. Pierwszy z nich prowadzili astronomowie zajmujący się obserwacjami obiektów mgławicowych. Mierzyli m.in. radialną prędkość takich gromad. Pewna grupa obiektów (mgławice spiralne) oddalała się z bardzo dużymi prędkościami, co nie znajdowało wytłumaczenia.

⁴⁷ E. Hubble, *A Relation between Distance and Radial Velocity among Extra-Galactic Nebulae*, “Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America” 1929, t. 15, s. 168–173.

⁴⁸ S. v. d. Bergh, *Discovery of the Expansion of the Universe*, arXiv:1108.0709[physics.hist-ph].

⁴⁹ H. Nussbaumer, L. Bieri, *Who discovered the expanding universe?*, arXiv:1107.2281 [physics.hist-ph].

Drugim nurt kształtowany był przez dyskusję teoretyków nad charakterem rozwiązań równań Einsteina. Sam Einstein znalazł rozwiązanie statyczne, które było zgodne z jego myśleniem o Wszechświecie. To rozwiązanie było jednak sprzeczne z dynamicznymi rozwiązaniami Friedmanna, które opisywały Wszechświat rozszerzający się lub kurczący. Lemaitre znalazł nowe dynamiczne rozwiązanie równań Einsteina w jednorodnym Wszechświecie i wyprowadził zależność odległość–prędkość radialna, następnie w oparciu o dane Hubble’a i Sliphera oszacował stałą Hubble’a (dwa lata przed ukazaniem się pracy Hubble’a) i stwierdził, że obserwacje nie falsyfikują teoretycznych wyników. Mimo to pracę swą opublikował po francusku w mało znanym czasopiśmie. Hubble w tym czasie zajmował się obserwacjami mgławic pozagalaktycznych, jak wtedy nazywano galaktyki. W 1929 r., korzystając z udoskonalonych metod wyznaczania odległości, wyznaczył liniową zależność odległość–prędkość radialna i potwierdził obserwacyjnie ucieczkę galaktyk⁵⁰. Zarówno ta praca, jak i następne w istotny sposób przyczyniły się do potwierdzenia hipotezy rozszerzającego się Wszechświata, chociaż Hubble nigdy nie wysunął takiego wniosku ze swoich badań.

Z punktu widzenia obserwacji astronomicznych niepodważalną zasługą Hubble’a było eksperymentalne oszacowanie prędkości ucieczki galaktyk oraz wyznaczenie dla odległych galaktyk liniowej relacji odległość–prędkość radialna. Ale dla kosmologa istotna jest natura naszego Wszechświata. Dlatego dojsście przez Lemaitre’a do idei rozszerzającego się Wszechświata w oparciu o teoretyczne osiągnięcia Einsteina i Friedmanna oraz obserwacje Hubble i Sliphera stanowiło olbrzymi krok naprzód. Dzisiaj własność rozszerzania Wszechświata i obserwowaną ucieczkę galaktyk utożsamia się, zapominając, że ucieczka galaktyk jest tylko widocznym efektem rozszerzenia się Wszechświata. Być może dlatego, że ucieczka galaktyk jest łatwiejsza do zrozumienia niż kwestia rozszerzania się Wszechświata (o tym dokładniej w następnym rozdziale) albo dlatego, że rozszerzanie Wszechświata wizualizujemy w naszym umyśle poprzez oddalające się od siebie galaktyki zasługi zostały przypisane Hubble’owi.

Odkrycie ekspansji Wszechświata dokonało się wtedy, gdy zinterpretowano dane obserwacyjne ucieczki galaktyk w ramach modelu Friedmanna. Jak mawiał Immanuel Kant: „Doświadczenie bez teorii jest ślepe, ale teoria bez doświadczenia jest czysto intelektualną grą”. Innymi słowy – filozofowie nauki uczą nas, że nie istnieją nagie fakty. Wydaje się, że astronomowie często zapominają o tym, sądząc, że rzeczywistość badają w sposób bezpośredni. Operowanie obrazem, zdjęciami sprawia wrażenie, że elementy teoretyczne zostały sprowadzo-

⁵⁰ Hubble zauważył, że w modelu Einsteina–de Sittera zależność pomiędzy prędkością radialną i odległością jest liniowa, czyli wykorzystał wiedzę teoretyczną do ustalenia funkcji regresji.

ne do minimum. Często w pracach naukowych pojawia się stwierdzenie o analizie empirycznej „niezależnej od modelu”. Każdy, kto zajmuje się kosmologią, doskonale wie, ile teorii jest upakowanych w interpretacji danych obserwacyjnych, np. w mapach promieniowania mikrofalowego tła uzyskanych dzięki obserwacjom z satelity WMAP.

Studiowanie ogólnej teorii względności wymaga niemałego wysiłku. Należy najpierw poznać elementy geometrii różniczkowej, potem nauczyć się rachunku tensorowego i dopiero wówczas przystąpić do studiowania samej relatywistycznej teorii pola. Istnieje pokusa krótszej drogi bezpośrednio od teorii Newtona⁵¹. Powód jest prosty – nie rozumiejąc teorii względności, możemy małym nakładem sił przeskoczyć do tego, co jest sednem wykładu, a mianowicie kosmologii. Problem polega na tym, że analogia do pewnych równań nie oznacza korespondencji obu teorii. Teoria Newtona i teoria Einsteina odnoszą się do zasadniczo różnych układów pojęciowych, formalizmu matematycznego etc. Pojęcie krzywizny, które jest kluczowe w OTW, jak już to wielokrotnie pokazywaliśmy, nie posiada swojego odpowiednika w teorii Newtona. Jako że obie teorie posługują się równaniami różniczkowymi, pojawiają się pewne stałe, ale ich interpretacja jako członów krzywiznowych jest absurdalna, ponieważ jest to antycypacja teorii Einsteina i swobodna interpretacja stałych całkowania, a wszystko po to, aby uzyskać analog równań Friedmanna i dalej nie przejmować się już ogólną teorią względności.

Naszym zdaniem taki dydaktyczny punkt widzenia jest błędny, gdyż rozważając jakieś problemy i próbując zrozumieć ich naturę, wcześniej czy później będziemy zmuszeni myśleć w kategoriach zjawisk rozgrywających się w czasoprzestrzeni, żeby nie popaść w paradoksy i sprzeczności. Zamiast tego typu skrótów, autorzy powinni argumentować, dlaczego nie jest możliwe zbudowanie statycznego modelu Wszechświata, zakładając jednorodny i izotropowy rozkład materii w nieskończonej przestrzeni Euklidesa. A jest to niemożliwe z zasadniczych powodów fizycznych. W tym kontekście ważną rolę dydaktyczną odegrać może szczegółowa analiza paradoksów: fotometrycznego i grawitacyjnego.

Jest jeden sposób otrzymania Wszechświata statycznego, w którym jednorodny rozkład gwiazd będzie zgodny z założeniem statyczności i euklidesowości przestrzeni. Historycznie był rozważany taki model statyczny, w którym wszystkie gwiazdy zostały umieszczone na wierzchołkach sześciątów, którymi wypełniliśmy nieskończoną przestrzeń. Model jest konstrukcją statyczną, ponieważ

⁵¹ Milne uważał OTW za filozoficzne i matematyczne monstrum, ponieważ według niego jej matematyczny formalizm zaciemnia wewnętrzną naturę zjawiska (H. Kragh, S. Rebsdorf, *Before cosmophysics: E. A. Milne on mathematics and physics*, „Studies in History and Philosophy of Modern Physics” 2002, nr 33, s. 45). Milne był inspirowany przez konwencjonalizm Poincarégo i jego koncepcję przestrzeni, a jego zdaniem koncepcja fizycznej przestrzeni, która jest zakrzywiona w OTW, jest błędna (ibidem, s. 47).

zadaliśmy, żeby tak masy, jak odległości pomiędzy gwiazdami były identyczne, bo tylko wtedy zachowana zostanie równowaga. Czyli istnieje teoretycznie możliwość, ale wymaga ona tzw. szczególnego dostrojenia parametrów – masy i odległości do gwiazd muszą być identyczne. Przy tej okazji warto wspomnieć, że zasada szczególnego dostrojenia być może jest zadowalającym wyjaśnieniem problemu z filozoficznego punktu widzenia, ale nie spełnia warunków wyjaśnienia fizycznego.

W relatywistycznym modelu wszechświata Friedmanna (czasami nazywa się go też FRW dla podkreślenia wkładu, jaki w jego budowę wnieśli Robertson i Walker) obok równania akceleracji mamy warunek znikania dywergencji tensora energii-pędu, który otrzymujemy z tzw. tożsamości Bianchiego. Jest to równanie, którego treść fizyczna jest analogiczna do prawa zachowania energii w laboratoryjnej termodynamice: $dE + pdV = 0$, gdzie V jest objętością współporuszającą się, a więc jej wielkość będzie proporcjonalna do czynnika skali w trzeciej potęgze. Jednakże – jak słusznie zwrócił na to uwagę Harrison⁵² – istnieje zasadnicza różnica w interpretacji tej zasady w teorii względności (kosmologii) i termodynamice, gdzie posługujemy się w wyjaśnieniu gadżetem – gazem zamkniętym w naczyniu pod tłokiem. W termodynamice, która opisuje sytuację laboratoryjną, energia układu wzrośnie, jeśli zostanie wykonana praca przez tłok. W przypadku, gdy układ (gaz zamknięty pod tłokiem) wykonuje pracę, energia będzie tracona. Zwróćmy jednak uwagę, że w kosmologii nie istnieje sytuacja, by badany układ był zanurzony w szerszej przestrzeni (analogonu laboratorium). Wszechświat nie jest nam dany w żadnej zewnętrznej scenie jak obiekty klasyczne w przestrzeni Newtona. Nie istnieje sytuacja, w której jeśli wewnątrz skończonego naczynia energia maleje, to pojawia się ona na zewnątrz naczynia jako wynik pracy wykonanej przez ciśnienie (np. działając na tłok, powoduje wzrost objętości naczynia). Dzieje się tak, ponieważ ciśnienie (efekt relatywistyczny) nie wykonuje pracy! To właśnie zauważył Harrison – w jednorodnym nieograniczonym ekspandującym wszechświecie FRW możemy sobie wyobrażać, że cały Wszechświat jest podzielony na makroskopowe komórki, każda o tej samej objętości współporuszającej się z układem, każda o tej samej zawartości w identycznych stanach. Strata energii pdV nie może się ponownie pojawić w sąsiadującej komórce, ponieważ wszystkie komórki doznają identycznych strat.

Reasumując – idea ekspandujących komórek wykonujących pracę nad jego otoczeniem nie może być aplikowana do przypadku kosmologicznego. W kosmologii mamy możliwości wyliczenia z zasady zachowania ($dE + pdV = 0$), jak

⁵² E. Harrison, *Cosmology: The Science of the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge 1981; idem, *The redshift-distance and velocity-distance laws*, "Astrophysical Journal" 1993, nr 403, s. 28–31.

zmienia się energia wewnątrz skończonej objętości współporuszającej się, natomiast nie możemy się dowiedzieć, skąd energia jest doprowadzana i dokąd jest odprowadzana. Trafnie to ujął Harrison: „Wniosek, czy nam się on podoba, czy nie, jest oczywisty: energia we wszechświecie nie jest zachowana”⁵³.

Od Richarda Feynmana pochodzi znane powiedzenie „Czego nie potrafimy stworzyć, tego nie rozumiemy”. Problem w tym, że w kosmologii pewnych rzeczy nie możemy sobie wyobrazić. Bazujemy na możliwości konstrukcji obiektów, których nie możemy zobaczyć (nasza percepcja jest związana z ich widzeniem jako obiektów zanurzonych w trójwymiarowej przestrzeni euklidesowej). Możemy sobie wyobrażać konstrukcję trójprzestrzeni sferycznej jako powierzchnię kuli zanurzonej w przestrzeni euklidesowej czterowymiarowej, ponieważ taka konstrukcja jest możliwa. Oczywiście istnieje wiele różnych możliwości konstrukcji, żeby wykreować trójwymiarową przestrzeń sferyczną, bo taka jest natura matematyki⁵⁴.

Od czasów Riemanna nauczyliśmy się rozumować w kategoriach przestrzeni wewnętrznej bez odwoływania się do sztucznej przestrzeni zewnętrznej, która nie jest żadną realnością, tylko elementem konstrukcji. Myślenie w kategoriach metaprzestrzeni jest myśleniem, które powinno być stanowczo wyeliminowane z kosmologii, chyba że jest to element konstrukcji. Istnieje w nas skłonność do widzenia rzeczy w pewnej wyżej wymiarowej przestrzeni, ale to jest nasz ludzki sposób patrzenia na świat. Przykładowo, chcemy sobie wyobrazić przestrzeń o ujemnej krzywiznie, wtedy przychodzi nam do głowy obrazek siodłowej powierzchni dwuwymiarowej. Wyobrażanie sobie już dwuwymiarowej przestrzeni o stałej, ale ujemnej krzywiznie wymaga od nas wyobrażenia sobie takiej przestrzeni, która w otoczeniu każdego punktu jest siodłowa. Niestety kształtu tego obiektu nie da się wyobrazić, ponieważ jest to przestrzeń niezauważalna w R^3 .

Francis i in., komentując koncepcję ekspandującej przestrzeni w kategoriach galaktyk, które się względem siebie oddalają, piszą w streszczeniu artykułu: „koncepcja ekspandującej przestrzeni, mająca wyjaśnić wzrastające odległości między galaktykami, znalazła się ostatnio w ogniu krytyki jako niebezpieczna idea prowadząca do zamętu i powstania błędnych wyobrażeń [...]. Rozwinęliśmy ideę ekspandującej przestrzeni, która jest całkowicie uzasadniona w ramach konstrukcji powstałej do opisu ewolucji Wszechświata i której zastosowania pozwalają nam na intuicyjne zrozumienie powszechnej ekspansji”⁵⁵. Dlaczego to jest takie dla nas ważne? Barnes, James i Lewis poszukiwali odpowiedzi na pytanie

⁵³ E. Harrison, *Cosmology...*, s. 276.

⁵⁴ A. Pelczar, *O możliwości konstrukcji w matematyce*, „Prace Komisji Filozofii Nauk Przyrodniczych PAU”, Kraków 2010, s. 33–46.

⁵⁵ M. J. Francis, L. A. Barnes, J. B. James, G. F. Lewis, *Expanding Space: the Root of all Evil?*, „Publ. Astron. Soc. Austral.” 2007, nr 24, s. 95–102.

filozoficzne: jaka jest ontologia „ekspansji przestrzeni” w standardowym modelu kosmologicznym, w którym złamana została zasada zachowania energii przez ekspandującą przestrzeń? Baryshev podkreśla, że we współczesnym rozumieniu standardowego modelu kosmologicznego termin „ekspansja przestrzeni” oznacza, że każdy współporuszający sześcian w ekspandującym wszechświecie w sposób ciągły zwiększa swoją objętość⁵⁶. Fizycznie ekspansja Wszechświata oznacza kreację przestrzeni razem z próżnią fizyczną. Jednakże realny Wszechświat nie jest jednorodny i izotropowy, lecz zbudowany ze struktur w różnych skalach, począwszy od atomów, planet, gwiazd do galaktyk. Bondi, zakładając sferyczną symetrię, pokazał, że wewnątrz takich układów grawitacyjnie związanych przestrzeń ekspanduje bardzo wolno⁵⁷. A to oznacza, że wewnątrz tych obiektów kreacja jest praktycznie zaniedbywana. Kreacja przestrzeni jest absolutnie nowym efektem fizycznym, który nie może być przetestowany w laboratorium, ponieważ w takich skalach przestrzeń nie jest kreowana.

Baryshev, komentując pracę Francisca i in., potwierdza ich uwagi, że rozważanie wzrostu odległości między galaktykami bez pojęcia galaktyki jest szczególnie konsekwencją pojawiających się paradoksów. On sam natomiast twierdzi, że istnieją pewne conceptualne problemy standardowego modelu kosmologicznego i wśród nich wymienia złamanie zasady zachowania energii dla lokalnej objętości współporuszającej się oraz brak ograniczenia na prędkość ucieczki, która może przekraczać prędkość światła⁵⁸.

Harrison podkreśla, że zjawisko kosmologicznego redshiftu dzięki ekspansji Wszechświata jest nowym zjawiskiem fizycznym w skali kosmologicznej, które nie posiada swojego odpowiednika w laboratorium, gdzie też jest mierzony efekt Dopplera⁵⁹.

Francis i in.⁶⁰ przypominają sprzeczność stanowisk, cytując Reesa i Weinberga: „jak to możliwe, by przestrzeń, która jest całkowicie pusta, rozszerzała się? Jak nic może ekspandować? Odpowiedź jest taka, że przestrzeń nie ekspanduje. Kosmologowie czasem mówią o ekspandującej przestrzeni, ale oni powinni wiedzieć lepiej”⁶¹ oraz Harrisona: „zwiększanie się redshiftów jest wynikiem ekspansji przestrzeni pomiędzy ciałami, które są stacjonarne w przestrzeni”⁶².

Przytoczenie tej dyskusji po pierwsze, rozjaśnia rosnący zamęt związany z koncepcją rozszerzania oraz szeroko rozpowszechnione w literaturze pewne

⁵⁶ Y. V. Baryshev, op. cit.

⁵⁷ H. Bondi, *Spherically symmetrical models in general relativity*, “Monthly Notices of Royal Astronomical Society” 1947, nr 107, s. 410.

⁵⁸ Y. V. Baryshev, op. cit.

⁵⁹ E. Harrison, *Cosmology...*; idem, *The redshift-distance...*, s. 28–31.

⁶⁰ M. J. Francis, L. A. Barnes, J. B. James, G. F. Lewis, op. cit., s. 95–102.

⁶¹ M. J. Rees, S. Weinberg, “New Scientist” 17 April 1993, s. 32.

⁶² E. Harrison, *Cosmology...*

błędne wyobrażenia o wielkim wybuchu. Po drugie, potwierdza aktualność pytania o status ontologiczny pojęcia przestrzeni ekspandującej, a nie tylko eksplikuje jego znaczenie w teorii względności. Po trzecie, pokazuje, że sam standardowy model kosmologiczny posiada pewne koncepcyjne problemy związane z pojęciem energii, które prowadzą do paradoksów – jak to pokazał Peebles, kiedy badał stratę energii gazu fotonowego wewnątrz współporuszającej się kuli gazu fotonowego. Peebles pisze: „rozwiązaniem tego pozornego paradoksu jest to, że podczas gdy zachowanie energii jest lokalną koncepcją, [...] nie istnieje globalne zachowanie energii w ogólnej teorii względności”⁶³, a Baryshev dodaje: „Ale co więcej, nie istnieje lokalne zachowanie energii w każdej współporuszającej się komórce i źródło tej zagadki leży w geometrycznym opisie grawitacji”⁶⁴.

Wnioski

W pracy badaliśmy genezę i uwarunkowania emergencji idei przestrzeni dynamicznej we współczesnej kosmologii. Poświęciliśmy uwagę eksplikacji pojęcia przestrzeni dynamicznej i wskazaliśmy na nieporozumienia i fałszywe rozumienia tego pojęcia. Ekspansja przestrzeni jest nowym zjawiskiem fizycznym pojawiającym się w skali kosmologicznej i należy ją odróżnić od efektu ucieczki galaktyk, który może mieć miejsce w przestrzeni statycznej (stacjonarnej). Paradoksy pojawiające się w kontekście błędnej interpretacji ekspansji Wszechświata mogą być w prosty sposób usunięte, jeśli nasze rozumowania będziemy prowadzić w czasoprzestrzeni, a nie osobno w czasie i przestrzeni. Relatywistyczny punkt widzenia został tu przeciwstawiony newtonowskiemu – prowadzącemu do nieporozumień.

W kosmologii istotną rolę odgrywają nowe idee fizyczne. Taką ideą jest idea Wszechświata dynamicznego na gruncie relatywistycznej teorii grawitacji Einsteina. Badamy zatem percepcję tej idei w środowisku naukowym i pokazujemy, że istnieją do dzisiaj trudności z jej akceptacją w środowisku zawodowych astronomów, a sam Hubble nigdy jej nie zaakceptował, interpretując uzyskaną korelację pomiędzy redshiftami i prędkością radialną galaktyk jako standardowy efekt Dopplera.

W pracy użyliśmy pojęcia kolektywu badawczego i stylu myślowego Flecka dla pokazania percepcji idei Wszechświata dynamicznego. Wyróżniliśmy dwa odmienne kolektywy badawcze w początkach kosmologii współczesnej. Pierw-

⁶³ P. J. E. Peebles, *Principles of Physical Cosmology*, Princeton University Press, Princeton 1993, s. 13.

⁶⁴ Y. V. Baryshev, op. cit.

szy jest związany z próbami konstrukcji statycznego lub stacjonarnego modelu kosmologicznego, drugi ze stylem myślenia w duchu teorii względności Einsteina w kategoriach pojęcia czasoprzestrzeni. Rekonstrukcja tych stylów myślowych wskazuje na użyteczność socjologicznej rekonstrukcji nauki w duchu Flecka dla lepszego rozumienia ewolucji pojęć idei w nauce. Zakreśliliśmy dość wyraźnie kolektyw zwolenników Wszechświata statycznego i stacjonarnego oraz argumentowaliśmy, że dla rozwoju kosmologii w kierunku jej współczesnego obrazu jako fizyki Wszechświata kluczowe znaczenie miał rozwój kolektywu relatywistów i sformułowany przez nich standardowy model kosmologiczny.

Takie spojrzenie z punktu widzenia Fleckowskiej rekonstrukcji daje nam podstawy do sformułowania ogólnej tezy o tym, że rozwój kosmologii nie jest uporządkowanym, logicznym ciągiem zdarzeń, ale środowisko naukowe i style myślowe odgrywają istotną rolę w percepcji nowych idei naukowych.

W pracy skrótkowo przedstawiliśmy kontekst odkrycia ekspansji Wszechświata. Podkreśliliśmy, że G. Lemaitre był tym uczonym, który rozumiał znaczenie idei ekspansji kosmologicznej i przewidział ją teoretycznie na gruncie modelu kosmologicznego. Poszukujący zależności redshift–odległość dla obiektów pozagalaktycznych Hubble i jego współpracownicy próbowali dopasować do danych relację wielomianową i dopiero sugestia, że w modelach teoretycznych występuje relacja liniowa, doprowadziła do zastosowania regresji liniowej przy zachowaniu interpretacji wyników jako efektu Dopplera – tak jak to było powszechne w środowisku astronomicznym, któremu idea dynamicznej przestrzeni była obca.

Na zakończenie spróbujmy zastanowić się nad filozoficznymi uwarunkowaniami idei wszechświata dynamicznego. W kontekście emergencji idei naukowej pośród determinantów jej wyłonienia się wymienia się tzw. determinanty epistemologiczne (poznawcze) oraz inne – pozapoznawcze (zewnętrzne czynniki filozoficzne, kulturowe, socjologiczne, ekonomiczne, religijne i inne)⁶⁵. W genezie idei ewolucji przestrzeni istotną rolę odegrały oba rodzaje czynników. Dominujący wpływ miały czynniki poznawcze: empiryczne i teoretyczne. Wynik uzyskany przez Hubble nie był *experimentum crucis*, ale miał kluczowe znaczenie dla uznania ekspansji Wszechświata za efekt fizyczny w skalach kosmologicznych. Również kontekst społeczny tego odkrycia jest widoczny. Hubble nie robił swoich badań sam i korzystał z danych m.in. Sliphera. Wycofywanie się zwolenników dopplerowskiej interpretacji zależności Hubble’a na rzecz interpretacji kosmologicznej było charakterystyczne dla społeczności uczonych. Z chwilą pojawienia się pierwszych rozwiązań niestatycznych modeli kosmologicznych zaczęto w sposób bardziej szczegółowy analizować ich własności. Einstein może

⁶⁵ Zob. L. Ryk, *Metodologiczne modele powstawania teorii w fizyce*, Wrocław 1984.

być przykładem uczonego, który przechodzi drogę od akceptacji modelu statycznego do modelu z ewolucją, wypełnionego materią pyłową (model Einsteina-de Sittera). Tym, co stało się *experimentum crucis* w kwestii akceptacji idei dynamicznego Wszechświata, było odkrycie promieniowania relikтового, a następnie zaobserwowanie jego anizotropii przez satelitę COBE⁶⁶.

⁶⁶ M. Szydłowski, A. Krawiec, *Modelling the science evolution as dynamical systems*, (w:) *Volume of Abstracts: 11th International Congress of Logic "Methodology and Philosophy of Science"*, August 20–26 1999, Cracow, Poland, J. Cachro, K. Kijania-Placek (red.), Instytut Filozofii UJ, Kraków 1999, s. 469.