

STANISŁAW BUTRYN
IFiS PAN

EPISTEMOLOGICZNE PRZESŁANKI KOSMOLOGII EINSTEINA

Albert Einstein — najwybitniejszy fizyk naszego stulecia — był przekonany, że istnieje ścisły i istotny związek wzajemny między filozofią a nauką. Jego zdaniem, wszystkie uogólnienia filozoficzne muszą opierać się na wynikach badań naukowych. Jednakże z chwilą gdy zostaną już sformułowane i przyjęte, często same z kolei wpływają na dalszy rozwój myśli naukowej, wskazując jedną z wielu możliwych dróg postępowania badawczego. Swoje stanowisko w kwestii związku między filozofią a nauką Einstein sformułował w sposób szczególnie dobitny, charakteryzując relację między nauką a epistemologią. W tej sprawie Einstein pisał: „związek wzajemny między nauką a epistemologią ma istotny charakter. Są one od siebie uzależnione. Epistemologia bez kontaktu z nauką staje się pustym schematem. Nauka bez epistemologii — o ile daje się w ogóle pomyśleć — jest prymitywna i mętna”¹.

W artykule niniejszym chciałbym przedstawić aspekt związku filozofii i nauki — znaczenie idei filozoficznych dla teorii naukowych — skonkretyzowany do ujawnienia epistemologicznych przesłanek kosmologii Einsteina i pokazania ich wpływu na jej charakter.

Sformułowanie przez Einsteina ogólnej teorii względności i zastosowanie jej zasad do opisu globalnej struktury i ewolucji wszechświata było niewątpliwie przysłowiowym milowym krokiem naprzód w procesie rozwoju kosmologii. Teorię tę Einstein stworzył w 1917 roku. Jest to bardzo ważna data w historii kosmologii, albowiem w tym roku pojawił się nowy jej rodzaj — kosmologia relatywistyczna. Zapoczątkował ją artykuł Einsteina *Kosmologische Betrachtungen zur Relativitätstheorie*². W artykule tym oraz w napisanej w tym samym roku książce *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*³, Einstein zbadał kosmologiczne trudności teorii Newtona i uznał, że nie dają się one przezwyciężyć w ramach newtonowskiej teorii grawitacji oraz skonstruował nowy model struktury wszechświata. Był to pierwszy relatywistyczny model kosmologiczny.

¹ A. Einstein: *Remarks concerning the essays brought together in this co-operative volume*. W: *Albert Einstein: philosopher-scientist*. Ed. by P. A. Schilpp, New York 1957, s. 683-684.

² A. Einstein: *Kosmologische Betrachtungen zur Relativitätstheorie*. „Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaft”, 1917, 1, s. 142-152.

³ A. Einstein: *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. Braunschweig 1917.

Einstein wskazywał, że równanie Poissona opisujące potencjał pola grawitacyjnego w połączeniu z równaniem ruchu punktu materialnego, nie może w pełni zastąpić teorii oddziaływania Newtona. Niezbędne jest jeszcze dodanie warunku, że potencjał ten w nieskończoności dąży do zera. Przy rozpatrywaniu problemów związanych z zachowaniem się układu planetarnego można wybrać warunki brzegowe zakładając, że istnieje taki układ współrzędnych, w którym wszyskie potencjały grawitacyjne przybierają w nieskończoności wartości stałe. Jednakże nie jest rzeczą *a priori* oczywistą, że przy rozpatrywaniu znacznie większych części wszechświata można posługiwać się tymi samymi warunkami brzegowymi. Jak wiadomo newtonowskie warunki brzegowe w postaci istnienia stałej granicy dla potencjału pola grawitacyjnego prowadzą do tego, że gęstość materii w nieskończoności staje się równa zeru. W istocie, wyobraźmy sobie, że we wszechświecie istnieje miejsce, wokół którego pole grawitacyjne materii ma symetrię sferyczną (środek). Wówczas z równania Poissona wynika, że średnia gęstość materii wraz ze wzrostem odległości r od środka powinna dążyć do zera szybciej niż $1/r^2$, jeżeli chcemy żeby potencjał pola grawitacyjnego dążył do określonej granicy.

To zaś z kolei prowadzi do wniosku, że część promieniowania emitowanego przez ciała niebieskie opuszcza świat Newtona i znika bez śladu w nieskończoności. Z założenia o istnieniu w nieskończoności skończonej granicy dla potencjału pola grawitacyjnego wynika, że mające skończoną energię kinetyczną ciało niebieskie może osiągnąć nieskończoność pokonawszy newtonowskie siły przyciągania.

Jest to bardzo poważna trudność. Można byłoby próbować ją obejść zakładając, że potencjał brzegowy ma w nieskończoności bardzo dużą wartość. Niestety, jest to nie do przyjęcia, albowiem zmiany potencjału grawitacyjnego są uwarunkowane przez samo ciało niebieskie. Dochodzimy więc w sposób nieuchronny do wniosku, że istnienie znacznych różnic potencjałów pola grawitacyjnego przeczy faktom. Różnice te powinny być tak małe, aby określone przez nie prędkości gwiazd nie przekraczały tych prędkości, które faktycznie obserwujemy.

Jeżeli do gwiazd zastosujemy prawo rozkładu Boltzmanna określające rozkład prędkości gazu doskonałego w przestrzeni w polu sił zewnętrznych w stanie najbardziej prawdopodobnym i potraktujemy układ gwiazdny jako gaz znajdujący się w stacjonarnym ruchu cieplnym, to okaże się, że wszechświat Newtona w ogóle nie mógłby istnieć z tego względu, że skończona różnica potencjałów między środkiem a nieskończonością odpowiada skończonemu stosunkowi gęstości. Wynika stąd, że zerowa gęstość w nieskończoności implikuje także zerową gęstość w środku.

Punktem wyjścia mechaniki newtonowskiej jest twierdzenie, że punkty materialne oddalone dostatecznie od wszelkich innych mas poruszają się ruchem jednostajnym i prostoliniowym bądź też pozostają w spoczynku. Okazuje się, że twierdzenie to prowadzi do kolejnej trudności. Jest ono bowiem ważne tylko w określonym układzie odniesienia, w którym ciała poruszają się względem siebie ruchem jednostajnym i prostoliniowym. W innych układach odniesienia twierdzenie to jest nieważne. Pojawia się więc pytanie, dlaczego pewne układy odniesienia są wyróżnione w stosunku do innych układów odniesienia? Mechanika klasyczna nie daje odpowiedzi na to pytanie. Nie można w niej znaleźć niczego realnego, co pozwoliłoby wyjaśnić różne zachowanie się ciał względem różnych układów odniesienia.

Jak można usunąć te trudności? Einstein pokazał, że jest to możliwe na gruncie nowej teorii fizycznej — ogólnej teorii względności. Zgodnie z tą teorią, krzywizna czterowymiarowego kontinuum czasoprzestrzennego jest określona w każdym punkcie przez znajdującą się w tym punkcie materię. Gęstość materii we wszechświecie i jej rozkład mogą być takie, że zakrzywione kontinuum czasoprzestrzenne będzie zamknięte, a więc skończone. Gdyby tak było, to, zdaniem Einsteina, nie byłoby w ogóle konieczności wyboru jakichkolwiek warunków brzegowych dla potencjału pola grawitacyjnego. Wyjaśniając tę myśl Einsteina, M. Heller pisze: „Idea jest prosta: jeśli przestrzeń wszechświata jest skończona i zamknięta, tak jak skończona i zamknięta jest na przykład powierzchnia kuli, to nie ma żadnych «nieskończenie odległych» punktów w przestrzeni, a co za tym idzie nie ma żadnych problemów z wyborem warunków brzegowych. Sama zamkniętość przestrzeni zastępuje, w pewnym sensie, warunki brzegowe”⁴.

Tak więc przyjęcie, że wszechświat jest skończony, usuwa trudność związaną z wyborem warunków brzegowych. Drugą z wymienionych wyżej trudności — problem wyróżnionych układów odniesienia, likwiduje też ogólna teoria względności. Podstawową zasadą tej teorii jest ogólna zasada względności, a równania teorii fizycznej opartej na tej zasadzie są ważne dla każdego układu odniesienia bez względu na charakter jego ruchu.

Po usunięciu tych trudności Einstein przystąpił do konstruowania relatywistycznego modelu struktury wszechświata. Jako punkt wyjścia przyjął epistemologiczny postulat, że model powinien być zgodny z doświadczeniem. Zaczął więc poszukiwać danych doświadczalnych na temat rozkładu materii we wszechświecie. W wyniku tych poszukiwań doszedł do wniosku, że: „Najważniejsze ze wszystkiego, co nam jest znane z doświadczenia o rozkładzie materii, polega na tym, że względne prędkości gwiazd są bardzo małe w porównaniu z prędkością światła. Dlatego przypuszczam, że na początek za podstawę naszych rozważań można przyjąć następujące przybliżone założenie: istnieje układ współrzędnych, względem którego materię można rozpatrywać jak znajdującą się przez długi czas w spoczynku”⁵.

Ale jaki jest rozkład tej nieruchomej materii, jaka jest struktura wszechświata? Zdaniem Einsteina, jeśli rozpatrujemy strukturę przestrzeni wszechświata jako całości, to możemy sobie wyobrazić, że materia jest rozłożona równomiernie na bardzo dużym obszarze przestrzeni, tak że gęstość jej rozkładu jest niezmiernie wolno zmieniającą się funkcją położenia. Z założenia o równomierności rozkładu mas, które wytwarzają pole oraz o ich spoczynku, wynika, że krzywizna przestrzeni też powinna być stałą. W ten sposób przy zadanym rozkładzie mas zamknięte kontinuum powinno być przestrzenią sferyczną⁶. Mówiąc o tej przestrzeni, Einstein podkreślał, że ze wszystkich przestrzeni zamkniętych wyróżnia się ona prostotą, ponieważ wszystkie jej punkty są równoważne⁷.

⁴ M. Heller: *Ewolucja kosmosu i kosmologii*. Warszawa 1983, s. 19.

⁵ A. Einstein: *Kosmologische Betrachtungen zur Relativitätstheorie*. Przekład polski: *Zagadnienia kosmologii i ogólna teoria względności*. W: *Literatura źródłowa do kursu „Podstawy fizyki” na Politechnice Warszawskiej*. T. 3, *Grawitacja. Ogólna teoria względności*. Warszawa 1981, s. 207.

⁶ *Ibidem*, s. 207-208.

⁷ A. Einstein: *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*. Przekład polski: *O szczególnej i ogólnej teorii względności*. W: *Literatura źródłowa do kursu „Podstawy fizyki” na Politechnice Warszawskiej*. T. 1, *Szczególne teoria względności*. Warszawa 1981, s. 203.

Tak więc Einstein chciał uzyskać statyczny model wszechświata. Okazało się jednak, że aktualnie znane równania pola grawitacyjnego nie dawały rozwiązania statycznego. „W ten sposób — pisał Einstein — gdybyśmy byli przekonani o tym, że tylko równania pola, które na razie wykorzystałem — są zgodne z ogólną teorią względności — to z tego wynikałby oczywiście wniosek, że teoria względności jest niespójna z hipotezą o przestrzennej zamkniętości świata”⁸. Pojawiła się zatem konieczność zmiany równań pola. Einstein dokonał jej, wprowadzając do lewej strony równania pola pewne wyrażenie zawierające stałą uniwersalną λ o nieznanym na razie wartości. Wyrażenie to nazywa się dziś członem kosmologicznym, a stałą λ — stałą kosmologiczną.

Człon kosmologiczny wyrażał istniejącą rzekomo obok siły przyciągania grawitacyjnego przeciwstawną jej siłę „odpychania kosmicznego”, a jego wartość była tak dobrana, że powstał słynny model statycznego, wypełnionego równomiernie materią, mającego niezmienny promień, skończonego, ale nieograniczonego wszechświata Einsteina.

Zapytajmy teraz, dlaczego Einstein stworzył taką właśnie koncepcję statycznej, jednorodnej, skończonej struktury wszechświata? Oczywiście, taki element tej koncepcji, jak pogląd o statycznym charakterze wszechświata ugruntowany był przede wszystkim na danych empirycznych. W pierwszym dwudziestolecu naszego wieku dane astronomiczne wskazywały, że wszystkie mierzone prędkości obiektów kosmicznych są małe w porównaniu z prędkością światła. Nie ujawniały też żadnych systematycznych ruchów obszarów wszechświata o skali kosmologicznej. Takie dane empiryczne uzasadniały pogląd, że struktura wszechświata jako całości jest niezmienna. Pogląd ten podzielał również Einstein.

Chciałbym teraz jednakże pokazać, że u podstaw tego poglądu leżały także pewne przesłanki epistemologiczne, które przyjmował Einstein. Otóż uważał on, że „... punktem wyjścia wszelkiej wiedzy o rzeczywistości jest doświadczenie, które stanowi też jej ujście”⁹. Zarazem jednak twierdził, że czysta myśl jest zdolna ująć rzeczywistość. Zestawienie tych dwóch przekonań zdaje się ujawniać pewną antynomię w epistemologii Einsteina. Spróbuję pokazać na konkretnym przykładzie, jak te epistemologiczne idee Einsteina rzutowały na jego koncepcje kosmologiczne i jak rozstrzygał on tę antynomię gdy przybierała postać jawnego konfliktu między wiedzą doświadczalną a konstrukcjami teoretycznymi, czyli wytworami czystej myśli. Przykładem tym będzie problem ewolucji wszechświata, zmienności jego struktury.

Einstein jako fizyk chciał stworzyć taki model struktury wszechświata, który byłby opisem, odzwierciedleniem zasadniczych cech rzeczywistego wszechświata. Narzędziem, za pomocą którego chciał opisać ów wszechświat, był formalizm ogólnej teorii względności — owego wytworu czystej myśli zdolnej ująć rzeczywistość. Ale gdy formalizm sugerował zmienność struktury wszechświata, co wydawało się sprzeczne z faktami, Einstein zmienił formalizm (wprowadzając człon kosmologiczny), aby tę sprzeczność usunąć.

Przykład ten pokazuje dobitnie, jak wielki wpływ wywierały epistemologiczne idee Einsteina na jego teorie kosmologiczne. Opierając się na założeniu, że czysta myśl jest

⁸ A. Einstein; *Zagadnienia kosmologii i ogólna teoria względności*. Op. cit., s. 210.

⁹ A. Einstein; *Mój obraz świata*. Warszawa 1935, s. 192.

w stanie trafnie ująć rzeczywistość, Einstein zastosował równania ogólnej teorii względności do opisu wszechświata i zbudował model kosmologiczny. Jednakże budując ten model podporządkował go innej idei epistemologicznej, a mianowicie pogładowi, że doświadczenie jest końcem wszelkiej wiedzy o rzeczywistości, to znaczy wszelkie wnioski wyprowadzone z teorii za pomocą rozumowania dedukcyjnego muszą być zgodne z doświadczeniem. W przypadku gdy wnioski te okażą się sprzeczne z doświadczeniem, trzeba wprowadzić odpowiednie zmiany do teorii. Tak więc w przypadku konfliktu czystej myśli z doświadczeniem, Einstein opowiadał się po stronie doświadczenia.

Można pokazać, że u podstaw einsteinowskiego modelu statycznego wszechświata leżały inne jeszcze przesłanki epistemologiczne. Jak wskazuje M. Heller¹⁰, inspiracji tego modelu można dopatrywać się także w racjonalistycznej filozofii Spinozy. Od Spinozy Einstein przejął epistemologiczny pogląd, że wszechświat powinien być systemem logicznie zamkniętym, co sugerowało także jego zamkniętość geometryczną. „Logiczna zamkniętość świata... miałaby polegać na tym, że każda własność świata nie powinna być dana *a priori*, lecz powinna wynikać ze wszystkich innych własności świata. Geometryczna zamkniętość — według Einsteina—jest następstwem i niejako obrazem jego logicznej zamkniętości”¹¹.

Żywość statycznego modelu wszechświata Einsteina nie był długi. W 1924 roku E. Hubble odkrył zjawisko ucieczki galaktyk świadczące o rozszerzaniu się wszechświata, a w 1929 roku sformułował prawo określające przebieg tego zjawiska. Statyczny model wszechświata trzeba było odrzucić jako sprzeczny z faktycznym stanem rzeczy i zastąpić go modelem wszechświata ewoluującego, rozszerzającego się.

Einstein długo nie mógł zaakceptować tego modelu. Teoria rozszerzającego się wszechświata budziła jego sprzeciw od samego początku, już wówczas, gdy Friedman w swojej pierwszej pracy kosmologicznej¹² traktował rozszerzanie się wszechświata jako wyłącznie możliwość czysto teoretyczną, jedną z matematycznych konsekwencji równań pola ogólnej teorii względności. Einstein był tak przekonany o fałszywości teorii Friedmana, że skrytykował ją i uznał za wynik pomyłki w obliczeniach¹³. Odpowiadając na tę krytykę, Friedman wysłał do Einsteina list, w którym wyjaśnił swoje stanowisko. Po zapoznaniu się z tym listem Einstein przekonał się, że to jego krytyka teorii Friedmana opierała się na błędzie w obliczeniach. Odwołał więc swą krytykę, przyznał, że wyniki Friedmana są poprawne i rzucają nowe światło na problemy kosmologiczne¹⁴, ale w dalszym ciągu nie zaakceptował niestatycznego modelu wszechświata.

Jeszcze w 1927 roku Einstein, w dyskusji z Lemaitrem nazywał teorię rozszerzającego się wszechświata odrażającą z fizycznego punktu widzenia. Teoria ta była dla niego

¹⁰ M. Heller: op. cit., s. 24-26.

¹¹ M. Heller: *Dyskusje kosmologiczne Einstein-Lemaitre*. „Roczniki Filozoficzne”. 1980, t. XXVIII, zeszyt 3, s. 38.

¹² A. Friedman: *Über die Krümmung des Raumes*. „Zeitschrift für Physik”, 1922, t. 10, s. 377-386.

¹³ A. Einstein: *Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann*, „Über die Krümmung des Raumes”. „Zeitschrift für Physik”, 1922, t. 11, s. 326.

¹⁴ A. Einstein: *Notiz zu der Bemerkung zu der Arbeit von A. Friedmann*, „Über die Krümmung des Raumes”. „Zeitschrift für Physik”, 1923, t. 16, s. 228.

odrażająca, gdyż burzyła cały jego filozoficzny obraz struktury i własności wszechświata. Gwałtowny wybuch zapoczątkowujący proces ekspansji wszechświata przekreślił zarówno koncepcję statycznego charakteru jego struktury, jak i oparte na zasadzie Macha przekonanie, że wszechświat jest układem samoregulującym się. Stawiał też pod znakiem zapytania przestrzenną zamkniętość wszechświata. Występująca w teorii rozszerzającego się wszechświata kosmologiczna osobliwość początkowa, a więc taki stan wszechświata, w którym jego promień był równy zeru, a gęstość materii, jej ciśnienie i temperatura miały wartości nieskończone, podważała wywodzące się z filozofii Spinozy przekonanie Einsteina o logicznej zamkniętości wszechświata i jednoznacznym zdeterminowaniu własności i zachowania się wszystkich jego elementów.

Jednakże przekonanie to nie było jedyną przesłanką epistemologiczną, która powstrzymywała Einsteina przed akceptacją idei kosmologicznej osobliwości początkowej. Inną tego rodzaju przesłanką motywującą sprzeciw Einsteina wobec tej idei było jego przekonanie o zasadniczej poznawalności świata. Tymczasem osobliwość to stan wszechświata absolutnie niepoznawalny. Wprowadza on do kosmologii ogromną dozę nieokreśloności. Ponieważ jest to stan, którego własności są nieznanne, zatem teoretycznie może z niego wyłonić się dosłownie wszystko. I dlatego też Einstein podkreślał, że osobliwość występująca w danej teorii fizycznej prowadzi do takiej dowolności, która czyni tę teorię zupełnie beztreściową¹⁵.

W końcu jednak pod naciskiem faktów, Einstein zaakceptował teorię rozszerzającego się wszechświata, ale jednak nigdy nie zaakceptował występującej na gruncie tej teorii idei kosmologicznej osobliwości początkowej jako odzwierciedlającej rzeczywisty stan, w którym kiedykolwiek znalazł się wszechświat. Uważał, że osobliwość ta ujawnia fakt epistemologiczny, a mianowicie wskazuje na ograniczoność zakresu stosowalności aktualnej wersji ogólnej teorii względności. Pojawienie się osobliwości świadczy o tym, że za pomocą ogólnej teorii względności usiłujemy opisać taki obszar rzeczywistości fizycznej, do którego teoria ta już się nie stosuje.

Einstein wysuwał nawet przypuszczenie na temat tego, jaka to konkretna, specyficzna cecha epistemologiczna, a ściślej mówiąc, epistemologiczną wadą ogólnej teorii względności jest odpowiedzialna za wystąpienie kosmologicznej osobliwości początkowej. „Obecna teoria względności — pisał — opiera się na podziale rzeczywistości na: pole metryczne (grawitację) z jednej strony, oraz pole elektromagnetyczne i materię z drugiej strony. Prawdopodobnie w rzeczywistości przestrzeń posiada charakter jednorodny, a obecna teoria słuszna jest tylko jako przypadek graniczny. Przy dużych gęstościach pola i materii równania pola, a nawet wchodzące w nie zmienne, tracą wszelki sens. Nie możemy więc przyjmować, że równania pola są słuszne przy bardzo dużych gęstościach pola i materii, a więc również nie możemy twierdzić, że «początek rozszerzania się Wszechświata» oznacza osobliwość w sensie matematycznym. Jedyne co możemy powiedzieć, to że równania pola nie stosują się do takich obszarów”¹⁶.

¹⁵ A. Einstein and N. Rosen: *The particie problem in the general theory of relativity*. „The Physical Review”, 1935, vol. 48, second series, No 1, s. 73.

¹⁶ A. Einstein: *Istota teorii względności*. Warszawa 1962, s. 150.

Einstein był przekonany, że struktura jest nieodłączną cechą wszechświata. A skoro tak, to wszechświat nigdy nie mógł znajdować się w stanie osobliwym, punktowym i pozbawionym jakiejkolwiek struktury. Uważał, że przyszła teoria grawitacji przewycięży ograniczoność ogólnej teorii względności i będzie wolna od osobliwości.

Rozważania powyższe pokazują, że u podstaw kosmologii Einsteina usytuowane są przesłanki epistemologiczne wpływające w sposób istotny na jej charakter. Fakt ten można potraktować jako swoiste potwierdzenie słuszności przytoczonego na początku niniejszych rozważań poglądu Einsteina, że idee filozoficzne mogą oddziaływać na rozwój nauki poprzez wskazywanie określonej drogi badań. Jak widzieliśmy, określone przesłanki epistemologiczne skłoniły Einsteina do wstąpienia na drogę prowadzącą do skonstruowania statycznego modelu kosmologicznego, wyznaczyły jego zasadnicze rysy oraz określiły stosunek jego twórcy do innych teorii kosmologicznych.

Na zakończenie warto dodać, że ujawnienie tych przesłanek ma istotne znaczenie poznawcze, pozwala bowiem wyjaśnić jedną z przyczyn wielkiej różnorodności teorii kosmologicznych. Pokazuje, że obok przyczyn natury matematycznej (nieskończona ilość możliwych rozwiązań różniczkowych równań pola grawitacyjnego) oraz fizycznej (wielość i różne wartości wyjściowych parametrów fizycznych), ważną przyczyną różnicującą teorie kosmologiczne są założenia filozoficzne przyjmowane przez twórców tych teorii. Okazuje się zatem, że wbrew wypowiedyanym często opiniom minimalizującym znaczenie filozofii dla współczesnych nauk przyrodniczych, przykład kosmologii Einsteina pokazuje, że zasady i twierdzenia filozoficzne odgrywają nadal ważną rolę w konstruowaniu teorii przyrodniczych.