

## WIECZNOŚĆ A WSZECHŚWIAT

*Pytaniem otwartym pozostaje, czy ewolucja Wszechświata od chwili obecnej będzie nieskończona. Pytanie to dotyczy osobliwości w przyszłej ewolucji Wszechświata. Według teorii kosmologicznych wykraczających poza standardowy model kosmologiczny i opartych na przykład na teorii superstrun, w przyszłej ewolucji Wszechświata mogą pojawiać się nowe typy osobliwości, na przykład „wielki krach” czy „wielkie rozdarcie”.*

Kontekstem rozważań dotyczących problemu nieskończoności Wszechświata w sensie czasowym są astronomia i kosmologia. Na początku należy jednak dokonać niezbędnych rozróżnień dotyczących tego, czym zajmują się obie te dyscypliny i w jaki sposób to czynią. Kosmologia odnosi się do Wszechświata jako całości, a zatem jej przedmiotem jest jego część obserwowalna i nieobserwowalna. Ze stwierdzeniem tym łączy się pytanie o naukowość kosmologii i o jej związki z metafizyką. Konrad Rudnicki zauważa, że dziedzinę przedmiotową kosmologii można traktować jako wspólny obszar trzech nauk: astronomii, fizyki teoretycznej i filozofii<sup>1</sup>. Częścią Wszechświata, która dostępna jest obserwacjom, zajmuje się astronomia.

Ostatnie kilkadziesiąt lat rozwoju kosmologii pokazuje jednak, że staje się ona w rzeczy samej pełnoprawną dyscypliną fizyczną, która bada Wszechświat, wykorzystując całą znaną nam fizykę. Ta metodologiczna ewolucja dokonuje się dzięki coraz doskonalszym narzędziom obserwacji: nowoczesnym teleskopom, detektorom, a także misjom satelitarnym. Efekty obserwacji naziemnych i satelitarnych dają się przedstawić między innymi w postaci map wielkoskalowej struktury Wszechświata, co pozwala na poznawczą rekonstrukcję najwcześniejszych etapów jego ewolucji. Teoretyczny opis tej ewolucji oparty jest na klasycznej teorii grawitacji Einsteina, przy czym nacisk kładzie się na badanie procesów fizycznych, które zachodziły i zachodzą w trakcie jego ewolucji. W ten sposób, dzięki wykorzystaniu całego widma promieniowania elektromagnetycznego, następuje wzbogacanie bazy empirycznej. Badanie empiryczne dokonuje się naturalnie w teoretycznym kontekście przyjętego modelu (geometrycznego). Dla uproszczenia analizy tak zwanych obserwacji kosmologicznych zakłada się, że w dużej skali Wszechświat jest jednorodny

<sup>1</sup> Por. K. Rudnicki, *Zasady kosmologiczne*, Wyższa Szkoła Ochrony Środowiska, Bydgoszcz 2002, s. 9.

i izotropowy. Przyjęta zasada – nazywana uogólnioną zasadą kopernikańską – sprowadza się do stwierdzenia, że obraz Wszechświata widziany z dowolnego punktu i w dowolnym kierunku przez obserwatora fundamentalnego jest taki sam. Matematyczną konsekwencją jest pojęcie przestrzeni jednorodnej i izotropowej oraz opis ewolucji Wszechświata za pomocą równań różniczkowych zwyczajnych (układu dynamicznego).

Problem nieskończoności czasowej Wszechświata dotyczy zarówno jego przeszłości, jak i przyszłości. Pytanie o początek należy do pytań pierwotnych kosmologii. Wyraża ono problem istnienia początku w postaci alternatywy: Wszechświat albo miał początek, albo jest wieczny.

Współczesna kosmologia ujmuje problem wieczności Wszechświata w odniesieniu do jego czasowej ewolucji. Wszechświat może mieć wieczną przeszłość, ale i wieczną przyszłość. Współczesna kosmologia wysokiej precyzji stwarza też możliwość odpowiedzi na pytanie dotyczące nieskończonej w czasie ewolucji Wszechświata. Za kres tej ewolucji uważa się występowanie osłabienia kosmologicznych interpretowanych klasycznie jako nieprzedłużalne historie cząstek. Pytanie o nieskończoną w czasie ewolucję Wszechświata do niedawna odnoszone było tylko do przeszłej jego ewolucji. Współcześnie jest ono jednak adresowane także do przyszłej ewolucji Wszechświata.

Treściowy plan niniejszych rozważań jest następujący. W pierwszej części zaprezentowana zostanie w skrócie historia kosmologicznych i astronomicznych rozważań skoncentrowanych na kwestii czasowej ewolucji Wszechświata. Część druga – zasadnicza – będzie stanowiła przedstawienie współczesnych dyskusji wokół problemu jego czasowej nieskończoności. Część ostatnia zawierać będzie przegląd kwestii filozoficznych i teologicznych implikowanych przez wyniki badań naukowych.

## TEMPORALNOŚĆ OBRAZU WSZECHŚWIATA W HISTORII ASTRONOMII I KOSMOLOGII

Od początków ludzkiej refleksji nad naturą otaczającej nas rzeczywistości, także tej ujętej jako całość, dominowały pytania o nieskończoność czy też skończoność Wszechświata<sup>2</sup>. Pytano, czy ma on granice, jeśli tak – to

---

<sup>2</sup> Wydaje się, że pojęcie nieskończoności jest matematycznie dobrze sformułowane, chociaż formułowano je na różne sposoby. W teorii mnogości definiowane jest ono przez pojęcie mocy zbiorów, które są reprezentowane przez tak zwane liczby kardynalne (pozaskończone). Na liczbach tych można zbudować arytmetykę. Pojęcie nieskończoności w teorii mnogości pogłębiali Cantor i Bolzano. Zbiór nieskończony (w sensie Dedekinda) to taki zbiór, który jest równoliczny z jakimś swoim podzbiorem właściwym.

co jest poza nimi<sup>3</sup>, jeśli zaś jest bez granic, to w jakim sensie: przestrzennej rozciągłości w nieskończoność czy wieczności bez początku i końca. Kwestie te w naturalny sposób determinowały także ujęcie problemów o charakterze pozanaukowym dotyczących miejsca człowieka poznającego taki, a nie inny Wszechświat lub roli, jaką odgrywa w nim Bóg. Astronomia starożytnych kultur Babilonu, Indii, Chin, Egiptu czy Ameryki Środkowej, sięgająca korzeniami dwu tysięcy lat przed Chrystusem, rozwijała się przede wszystkim w kontekście religijnym i mitycznym (szczególnie istotny był kult boga-słońca) oraz praktycznym (pierwsze kalendarze oparte zostały na obserwacjach Słońca, Księżycy, ich zaćmień oraz ruchów pięciu znanych planet)<sup>4</sup>.

Zmiana myślenia o Wszechświecie dokonała się dopiero w starożytnej myśli greckiej: podejście czysto praktyczne uległo przekształceniu w pogłębioną intelektualnie refleksję naukową. Jest ona widoczna w spekulacjach dotyczących fizycznej natury Wszechświata jako całości, które opierano na danych obserwacyjnych. Chociaż wczesne starożytne modele Wszechświata, na przykład wyobrażenia Talesa z Miletu, który przedstawiał Ziemię jako dysk zanurzony w oceanie otoczonym przez parę, opierały się jeszcze bardziej na mitycznym obrazie świata niż na twardych danych obserwacyjnych, miały już jednak wyraźną konotację filozoficzną – wyrażały pogląd dotyczący podstawowej substancji (w przypadku Talesa chodziło o wodę), z której wszystko inne jest utworzone. Prace poświęcone astronomii matematycznej pokazują, że do trzeciego wieku astronomia grecka miała charakter prawie całkowicie jakościowy<sup>5</sup>. Uczeń Talesa Anaksymander twierdził, że model Ziemi powinien mieć raczej kształt cylindryczny. Szczególnie interesujące jest to, że filozof ten wprowadził do modelu Wszechświata pojęcie powłok czy też warstw, w których znajdują się obiekty widoczne na niebie – tym samym pojawiło się wyraźne zaznaczenie różnych odległości ciał niebieskich od Ziemi. Obserwowane ruchy wsteczne planet prowadziły Greków do wprowadzania coraz większej liczby warstw postrzeganych jako sfery. W modelu opisanym przez Arystotelesa w dwunastej księdze *Metafizyki* było ich pięćdziesiąt pięć<sup>6</sup>.

W kontekście niniejszych rozważań szczególnie istotna jest kwestia skończoności czy też nieskończoności tak postrzeganego Wszechświata. W modelu Anaksymandra Ziemia rozciągała się od zachodnich krańców Morza Śródziemnego aż do brzegów Oceanu Indyjskiego. Interesujące jest jego filozo-

<sup>3</sup> Na gruncie ogólnej teorii względności (kosmologii relatywistycznej) pytanie to nie ma sensu.

<sup>4</sup> Zob. H. K r a g h, *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1999.

<sup>5</sup> Por. C.M. L i n t o n, *From Eudoxus to Einstein: A History of Mathematical Astronomy*, Cambridge University Press, New York 2004, s. 15.

<sup>6</sup> Por. J. N o r t h, *Historia astronomii i kosmologii*, tłum. T. Dworak, T. Dworak, Wydawnictwo Książnica, Katowice 1997, s. 64n.

ficzne stanowisko dotyczące esencjalnej podstawy wszystkiego, co istnieje. Otóż według Anaksymandra istotą rzeczy nie jest woda czy jakaś inna jakość fizyczna, ale nieskończoność, postrzegana jako szczególna własność przestrzeni lub czasu. Empedokles uważał z kolei, że Wszechświat otacza i ogranicza przezroczysta sfera o promieniu trzy razy większym niż odległość Księżyca od Ziemi. Gdy próbujemy spojrzeć na te starożytne konstrukcje astronomiczne współczesnym metodologicznym okiem, trudno jest jednoznacznie stwierdzić, czy modele te wyrażały autentyczne przekonania Greków o fizycznym istnieniu sfer otaczających Ziemię, czy pełniły raczej rolę eksplanacyjną bądź heurystyczną.

Zdecydowanie bardziej naukową, opartą na obserwacjach podstawę do stwierdzeń dotyczących nieskończoności Wszechświata stanowiły obserwacje zjawiska paralaksy, czyli zmiany obserwowanego położenia obiektu w zależności od pozycji obserwatora. Obecność takiego przesunięcia w przypadku Słońca, Księżyca czy planet zestawiano z brakiem paralaksy w przypadku gwiazd. Z dwóch możliwych sposobów wyjaśnienia tego faktu – przez uznanie, że położenie Ziemi względem odległych gwiazd nie jest stacjonarne, ale odległość gwiazd od Ziemi jest tak duża, że ich ruch okazuje się zbyt niewielki, by dało się go zarejestrować, bądź przez przyjęcie, że położenie Ziemi w centrum skończonego Wszechświata ma charakter absolutnie stacjonarny – starożytni Grecy wybrali ten drugi<sup>7</sup>.

Niewątpliwie zasługą starożytnej astronomii greckiej było odkrycie sferycznego kształtu Ziemi, wyznaczenie jej rozmiarów, a także – w kilku etapach (w pracach Arystarcha z późniejszymi korektami Hipparcha) – odległości Księżyca od Ziemi. Ogólny obraz Wszechświata, prezentowany w kosmologii Greków, utrwalony został natomiast przez Klaudiusza Ptolemeusza, który w swoim monumentalnym, trzynastotomowym dziele *Almagest* określił pewien stan myśli kosmologicznej na okres około tysiąca pięciuset lat. Według tej wizji w centrum skończonego Wszechświata, zwieńczonego czymś w rodzaju kopuły z utrwaloną pozycją gwiazd, znajdowała się sferyczna Ziemia. Była to reali-

---

<sup>7</sup> Wybór rozwiązania opartego na idei Wszechświata skończonego być może wynikał z pewnego dyskomfortu związanego z postrzeganiem nieskończoności jako takiej, z niezgodnych z intuicją własności obiektów (matematycznych) i modelowanych zjawisk fizycznych (na przykład dokonana przez Zenona z Elei analiza ruchu prowadziła do słynnych aporii, które stanowiły próbę rozumienia nieskończoności). Ks. Jerzy Dadaczyński pisze wprost o lęku przed nieskończonością u starożytnych. Lęk ten związany był przede wszystkim z tym, że pojęcie nieskończoności było nieintuicyjne oraz rozmyte semantycznie. Por. J. D a d a c z y Ń s k i, *Filozofia matematyki w ujęciu historycznym*, Wydawnictwo Biblos, Tarnów 2000, s. 99. Zob. też: M. S t a w a r z, *Starożytnych zmagania z nieskończonością. Od Pitagorasa do Eudoksosa*, „Semina Scientiarum” 7(2008), s. 96-108.

zacja tak zwanej antycznej zasady kosmologicznej, według której Ziemia jest naturalnym środkiem Wszechświata<sup>8</sup>.

Początków zmiany tego obrazu świata należy upatrywać w piętnastowiecznych pismach Mikołaja z Kuzy, a następnie w szesnastowiecznych pracach Giordana Bruna. Obu tych myślicieli łączyło przekonanie o nieskończonej naturze Wszechświata. Kuzańczyk, wyraźnie inspirowany nieskończonością matematyczną, w swoim dziele *De docta ignorantia* pisze o Wszechświecie nieskończonym, który nie ma ani wyróżnionego środka, ani granic. Wypowiedzi Bruna dotyczące natury rzeczywistości miały natomiast charakter wyraźnie inspirowany teologią; Wszechświat jest nieskończony jako wyraz bezgranicznej wszechmocy Bożej. Myśliciele ci byli raczej jednak teologami i filozofami aniżeli badaczami w ścisłym naukowym sensie. Mimo to pamiętać trzeba, że ich rozważania dotyczące natury Wszechświata toczyły się w historycznym kontekście dzieła Mikołaja Kopernika, które miało w istocie charakter naukowy, a dotyczyło astronomii i matematyki.

Już w swojej pierwszej pracy *Commentariolus* Kopernik postawił pierwsze tezy, które radykalnie zmieniły pogląd na astronomię: twierdził, że nie Ziemia, lecz Słońce jest w centrum Wszechświata; że wszystkie planety, w tym Ziemia, krążą wokół Słońca oraz że przyczyną ruchu dobowego nie jest ruch firmamentu wokół Ziemi, ale jej własny obrót wokół osi. Trzeba pamiętać, że system zaproponowany przez Kopernika nie był aż tak rewolucyjny, jak się powszechnie uważa – już bowiem Arystarch z Samos w trzecim wieku przed naszą erą rozważał możliwość heliocentrycznego ujęcia Układu Słonecznego. Ponadto wszechświat Kopernika wciąż stanowił złożony układ sfer i cykli, i wciąż był to wszechświat skończony<sup>9</sup>. Brak obserwowanej paralaksy gwiazd stałych doprowadził Kopernika jedynie do przekonania, że sfera niebieska musi być znacznie dalej oddalona od Słońca traktowanego jako centrum układu: co najmniej tysiąc razy dalej niż odległość Ziemi od Słońca.

Sześciotomowe dzieło Kopernika *De revolutionibus orbium coelestium* było w rzeczy samej traktatem raczej matematycznym niż filozoficznym; zawierało uzupełniony katalog gwiazd Ptolemeusza, wykład trygonometrii sferycznej i teorię zaćmień. Fragmenty nowej teorii znajdujemy jedynie w pierwszym tomie. Uważa się, że pierwszym astronomem i matematykiem, który dokonał istotnej konceptualnej modyfikacji modelu Kopernika w kierunku postrzegania Wszechświata jako nieskończonego był, urodzony w roku śmierci polskiego uczonego, Thomas Digges. Opis ostatniego okręgu na diagramie sfer niebieskich Diggesa brzmiał następująco: „Ten okrąg gwiazd niewzruszony nieskoń-

<sup>8</sup> Por. Rudnicki, dz. cyt., s. 30.

<sup>9</sup> Jakkolwiek prostszy matematycznie i konceptualnie, model Kopernikański paradoksalnie nigdy nie osiągnął precyzji modelu Ptolemeusza (w znaczeniu zgodności z obserwacjami).

czenie rozciąga się na wysokość sferycznie, i dlatego nieruchomy w miejscu szczęśliwości ozdobiony wiecznie świecącym wspaniałym światłem o wiele przewyższającym nasze słońce zarówno w ilości sam dwór niebiańskich aniołów pozbawiony smutku i napełniony doskonałą radością wybranych”<sup>10</sup>.

Ostateczne uwolnienie się od utrwalonego „paradygmatu epicykli” dokonało się wraz z pojawieniem się prac żyjącego na przełomie szesnastego i siedemnastego wieku Johanna Keplera, który wykorzystując precyzyjne i szczegółowe obserwacje Tychona Brahe, wyraził charakter ruchu eliptycznego w postaci trzech słynnych praw<sup>11</sup>. Kepler w rzeczy samej oparł swoje rozważania na koncepcji Wszechświata skończonego w systemie Kopernika, odrzucając ideę Wszechświata nieskończonego i bez centrum<sup>12</sup>. Prace obserwacyjne Galileusza<sup>13</sup> i Christiana Huygensa oraz rozważania teoretyczne Kartezjusza stanowiły fundamentalny kontekst, w którym ukształtowała się najbardziej dojrzała teoria fizyczna nowożytnej nauki, sformułowana przez żyjącego na przełomie siedemnastego i osiemnastego wieku Isaaca Newtona.

W kontekście niniejszych rozważań szczególnie interesuje nas wkład, jaki do rozumienia nieskończoności przestrzennej i czasowej Wszechświata wniósł ze sobą newtonowski obraz świata fizycznego. Historycy nauki wspominają o niepublikowanym tekście Newtona, który stanowił fragment jego dyskusji z Kartezjuszem dotyczącej nieskończonej natury Wszechświata<sup>14</sup>. Widać w nim wpływ także poglądów religijnych Newtona. Według Kartezjusza brak materii implikuje brak przestrzeni. Dla Newtona zaś uzasadnieniem istnienia pustej (pozbawionej materii) przestrzeni jest obecność w niej przenikającego ją ducha. Zdaniem Kartezjusza materia w przestrzeni rozciąga się do nieskoń-

---

<sup>10</sup> Cyt. za: E. H a r r i s o n, *Cosmology: The Science of the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 39, tłum. fragm. J. Ichnatowicz. Brzmienie oryginalne: „This orbe of starres fixed infinitely up extendeth hit self in altitude sphericallye, and therefore immovable the pallace of feolicitye garnished with perpetuall shininge glorious lightes innumerable farr excellinge our sonne both in quantitye the very court of coelestiall angelles devoyd of greefe and replenished with perfite endlesse joye the habitacle for the elect”.

<sup>11</sup> Sam Tycho Brahe odrzucił heliocentryzm, a stworzony przez niego model był w istocie pewnym kompromisem między systemem Ptolemeusza a Kopernika. W modelu tym pięć planet Układu Słonecznego porusza się wokół Słońca, które z kolei obiega Ziemię.

<sup>12</sup> W roku 1606 Kepler powziął myśl o Wszechświecie nieskończonym, która wywołała w nim skrajne odczucia: „To rozmyślanie [o Wszechświecie nieskończonym – P.T.] niesie w sobie – doprawdy nie wiem jaką – tajemnicę, ukryty horror; w rzeczy samej można się poczuć niczym wędrowiec w tym ogromie bez granic i centrum, i bez miejsc wyróżnionych”. Cyt. za: E. H a r r i s o n, *Cosmology: The Science of The Universe*, Cambridge University Press, Cambridge 2000, s. 40. O ile nie podano inaczej – tłumaczenie fragmentów obcojęzycznych – P.T.

<sup>13</sup> Do jego najważniejszych dokonań należy odkrycie gór na powierzchni Księżyca oraz księżyców Jowisza. Ciekawe, że Galileusz uznał system Kopernikański, natomiast niewiele uwagi poświęcał wynikom badań Keplera.

<sup>14</sup> Por. H a r r i s o n, dz. cyt., s. 56.

czoności, tymczasem Newton utrzymywał, że to przestrzeń jest nieskończona, natomiast wypełnia ją materia o zasięgu skończonym. Ten stoicki w istocie pogląd na naturę Wszechświata (gwiazdy stanowią skończony i ograniczony system w nieskończonej przestrzeni) doczekał się rewizji w poglądach Newtona dopiero w roku 1692, pod wpływem dyskusji z Richardem Bentleyem. W serii listów myśl Newtona przechodzi transformację, którą w kategoriach filozoficznych można by określić jako zwrot epikurejski: dochodzi on do wniosku, że materia jest równomiernie rozłożona w nieskończonej przestrzeni; jej nietrwałą równowagę można przyrównać do równowagi igły stojącej na swoim wierzchołku.

Warto zwrócić uwagę na dwie kwestie, szczególnie istotne w nowożytnej refleksji, która prowadziła do hipotez dotyczących wieku Wszechświata, a mianowicie na odkrycie skończonej prędkości światła oraz efektu Dopplera. W roku 1676 na spotkaniu Paryskiej Akademii Nauk duński astronom Ole Rømer ogłosił wyniki swoich obserwacji dotyczących zaćmienia jednego z księżyców Jowisza (chodziło o księżyc Io i zaćmienie 6 listopada 1676 roku). Rømer utrzymywał, że zaćmienie to zostało zaobserwowane dziesięć minut później, niż zaistniało; różnicę tę astronom tłumaczył względnym ruchem Ziemi i Jowisza – skutkiem tego ruchu był dodatkowy dystans, który musiało pokonać światło. Wyniki Rømera, poprawione później przez Edmunda Halleya, sytuują go w historii astronomii jako odkrywcę skończonej prędkości światła. Pomysł mierzenia prędkości radialnej poruszających się względem Ziemi obiektów w kategoriach zmiany w liniach spektralnych widma światła od nich pochodzącego wspólny jest kilku uczonym: Williamowi Hugginsowi, Armandowi Fizeau oraz Christianowi Dopplerowi. Widmo światła obiektów zbliżających się do obserwatora przesuwa się w stronę barwy niebieskiej; przesunięcie ku czerwieni oznacza oddalanie się obiektu.

Mimo odkryć Rømera powiązanie czasu wędrówki światła w przestrzeni kosmicznej z kwestią wieku trwania samego Wszechświata długo nie mogło się doczekać realizacji. Jego zwiastunami były z pewnością refleksje Williama Herschela, a później jego syna Johna, dotyczące faktu, że obraz dostępny dzięki teleskopom opisuje Wszechświat przeszłości. Dostrzegli oni swoisty „paradoks” poznawczy: im dalej i dłużej obserwujemy, tym wcześniejszy obraz staje się nam dostępny. W roku 1830 John Herschel zapisuje: „Wśród nieprzeliczonej wielości gwiazd, widocznych dzięki obserwacjom teleskopowym, muszą być takie, których światło potrzebowało co najmniej tysiąca lat, by do nas dotrzeć; obserwując przeto ich położenia i zapisując ich zmiany, czytamy właściwie ich dzieje sprzed tysiąca lat, cudownie zapisane”<sup>15</sup>.

<sup>15</sup> Cyt. za: H a r r i s o n, dz. cyt., s. 79.

Rozważania dotyczące nieskończoności Wszechświata, które opierały się na fizyce newtonowskiej, wiążą się bezpośrednio z dwoma słynnymi paradoksami. Otóż próbując budować model kosmologiczny oparty na koncepcji nieskończonej, statycznej przestrzeni, napotykamy na paradoks zwany, od nazwiska jego odkrywcy, paradoksem Olbersa – a także paradoksem ciemnego nieba<sup>16</sup>. Sformułował go w roku 1826 Heinrich Olbers na bazie prostego pytania: „Dlaczego nocą niebo jest ciemne?”. Jeśli modelem naszej przestrzeni fizycznej jest trójwymiarowa przestrzeń euklidesowa w sposób jednorodny wypełniona przez gwiazdy, to niebo nocne powinno jaśnieć światłem wszystkich gwiazd, których liczba jest nieskończona<sup>17</sup>. W analogiczny sposób formułuje się paradoks grawimetryczny de Cheseaux: we wszechświecie Newtona, wypełnionym jednorodnie rozłożoną masą, potencjał grawitacyjny w dowolnym punkcie byłby nieskończony. Oba paradoksy wynikały z obrazu Wszechświata, który nazywamy statycznym: Wszechświat jest nieskończony przestrzennie, jednorodny i izotropowy (czyli wykazuje symetrię przestrzenną ze względu na przesunięcia i obroty). Olbers dodawał do tego jeszcze milczące założenie, że Wszechświat jest nieskończony w sensie czasowym, czyli wieczny.

Paradoksy te rodzą się na gruncie przyjętej koncepcji przestrzeni. W naszym ich przedstawieniu przyjęte zostało założenie, że przestrzeń jest statyczna. Najprostszym sposobem wyjścia z tej paradoksalnej sytuacji jest odrzucenie tego założenia. Z metodologicznego punktu widzenia można powiedzieć, że paradoksy rodzące się w konstruowanej teorii mają istotną heurystycznie naturę dualną, z jednej strony są bowiem źródłem pewnej sytuacji kryzysowej, a z drugiej ich rozwiązanie może prowadzić do zmiany paradygmatu lub stylu myślenia. W przypadku kosmologii jest to przejście do myślenia w terminach ekspandującej przestrzeni fizycznej w skalach kosmologicznych<sup>18</sup>.

W odniesieniu do czasu i paradoksów z nim związanych należy zauważyć, że opierają się one na istotowym dysonansie między dwoma podstawowymi aspektami, w których próbujemy uchwycić czas: byciem (trwaniem) w czasie (mam na myśli starożytne pojęcie czasu w sensie Parmenidejskim) oraz stawaniem się (w kategoriach Heraklityjskiej koncepcji zmian). Słynne paradoksy Zenona z Elei sprowadzają się do wyboru aspektu trwania jako podstawowego;

---

<sup>16</sup> Zob. M. Szydłowski, A. Maciąg, *Epistemologiczne znaczenie paradoksów w kosmologii na przykładzie paradoksu fotometrycznego Olbersa*, „Zagadnienia Naukoznawstwa” 47(2011) z. 4(190), s. 185-204.

<sup>17</sup> Wyjaśnienie paradoksu, które zaproponował Olbers, koncentrowało się na tezie, że przestrzeń między gwiazdami wypełniona jest ciemnymi obłokami pyłu kosmicznego, który częściowo absorbuje światło. Naturalnie wyjaśnienie to nie było wystarczające.

<sup>18</sup> Zob. M. Szydłowski, P. Tambor, *Kosmologia współczesna w schemacie pojęciowym kolektywu badawczego i stylu myślowego Ludwika Flecka*, „Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska” 35(2010) z. 2, s. 101-132.



stawanie się jest wówczas iluzją. Mało znane próby rozwiązania tych paradoksów, dotyczące rozumienia natury czasu, związane są z koncepcją tak zwanej atomistycznej idei czasu. Zgodnie z nią czas jako taki ma strukturę atomową, a zatem interwał czasowy może być dzielony do pewnej granicy, po której nie podlega już podziałowi. Implikuje to postrzeganie ruchu nie jako zjawiska z natury ciągłego, ale składającego się z serii elementów.

#### PROBLEM WIEKU I CZASOWEJ EWOLUCJI WSZECHŚWIATA W KOSMOLOGII WSPÓŁCZESNEJ

Cechą szczególną kosmologii współczesnej jest to, że przeszła ona swoistą ewolucję od dziedziny rozważań o charakterze matematycznym do dziedziny będącej fizyką Wszechświata, który opisywany jest za pomocą parametrów podlegających pomiarom. Za moment powstania kosmologii współczesnej uważa się rok 1917 – rok publikacji pierwszej pracy kosmologicznej Alberta Einsteina, w której podał on statyczne rozwiązania swoich równań. W roku 1928 Edwin Hubble wyznaczył korelację między prędkością ucieczki galaktyk a odległością od nich (przesunięcie ku czerwieni). Tym niemniej Hubble do końca życia nie był zwolennikiem koncepcji ekspandującego Wszechświata, chociaż odkryte przez niego prawo miało duży wpływ na narodziny nowoczesnej kosmologii.

Można z dużą pewnością stwierdzić, że szczególnie ważnym momentem dla kosmologii współczesnej był rok 2003<sup>19</sup>. Opublikowano wówczas wyniki uzyskane przez satelitę Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP), które stworzyły możliwości obserwacyjnego „związania” parametrów kosmologicznych. Bodźcem do poszukiwania dwóch podstawowych parametrów w kosmologii był pogląd Allana R. Sandage’a, że podstawowy problem w kosmologii stanowi wyznaczenie dwóch parametrów: parametru Hubble’a i parametru spowolnienia<sup>20</sup>.

W kosmologii zbudowanej na ogólnej teorii względności za modele Wszechświata uznaje się rozwiązania równań Einsteina. Standardowa kosmologia oparta na teorii względności stanowi środowisko teoretyczne dla konstruowania większości modeli, które tłumaczą obecność ciemnej energii traktowanej jako płyn doskonały o gęstości energii  $\rho$  i ciśnieniu  $p$ . Z dzisiaj-

<sup>19</sup> Zob. D.N. Spergel i in., *First Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Determination of Cosmological Parameters*, „The Astrophysical Journal. Supplement Series” 148(2003) nr 1, s. 175-194.

<sup>20</sup> Zob. A.R. Sandage, *Cosmology: A Search for Two Numbers*, „Physics Today” 23(1970) nr 2, s. 34-41.

szych obserwacji odległych gwiazd supernowych typu Ia wynika, że Wszechświat znajduje się w fazie przyspieszonej ekspansji. Jeśli przyjąć założenie, że równania Einsteina poprawnie opisują jej obecną fazę, to Wszechświat wypełniony jest materią bezciśnieniową ( $p = 0$ ). Fakt ten można wyjaśnić, jeśli przyjmujemy założenie obecności dodatniej stałej kosmologicznej w równaniach Einsteina. Formalnie stała kosmologiczna może być traktowana jako spełniająca prawo Pascala ciecz doskonała (o gęstości  $\rho$  i ciśnieniu  $p$ ). Dla zapewnienia przyspieszonej ekspansji Wszechświata spełniony musi być tak zwany silny warunek energetyczny  $\rho + 3p \geq 0$ . Materię o takich własnościach nazywa się ciemną energią. Dodatnia stała kosmologiczna w równaniach pola pozwala na złamanie tego warunku i wyjaśnienie zagadki przyspieszającego Wszechświata. Dynamikę Wszechświata opisują w kosmologii klasycznej Einsteinowskie równania pola, które wiążą geometrię (lewa strona równań) z materią (prawa strona równań, zawierająca tensor energii-pędu, który reprezentuje składniki Wszechświata). Tensor ten ma składowe  $(-\rho, p, p, p)$ , gdzie  $\rho(t)$  i  $p(t)$  to odpowiednio gęstość energii i ciśnienie cieczy doskonałej.

Równania te w istocie nie odzwierciedlają dwóch głównych założeń, które postawił sobie Einstein, aplikując teorię względności do kosmologii, to znaczy założenia, że przestrzeń jest globalnie zamknięta – miało to czynić zadość zasadzie Macha, która stwierdza, że metryczna struktura pola ( $g_{\mu\nu}$ ) określona jest wzajemnie jednoznacznie przez tensor energii-pędu oraz że Wszechświat jest statyczny (krzywizna przestrzeni musi być niezależna od czasu). W roku 1917 holenderski fizyk i matematyk Willem de Sitter znalazł rozwiązanie równań pola bez materii i okazało się, że Einstein nie zrealizował swoich założeń. Rozwiązanie de Sittera przewiduje wieczną ekspansję Wszechświata od  $t = -\infty$  do  $t = +\infty$ . Rozwiązanie to zostało przyjęte jako podstawa dla teorii stanu stacjonarnego: Wszechświat jest wieczny i stacjonarny, chociaż ekspanduje. Teoria stanu stacjonarnego upadła jednak z chwilą odkrycia promieniowania reliktowego, którego istnienia nie przewidywała<sup>21</sup>.

W celu zachowania opisu Wszechświata ze statycznym rozkładem materii Einstein wprowadza do oryginalnych równań pola tak zwany człon kosmologiczny ( $\Lambda$ ). Obecność  $\Lambda$  oznacza dodatkowe założenie, że między galaktykami ujawnia się nowy rodzaj siły o charakterze odpychającym. Einstein traktował stałą kosmologiczną w ramach teorii względności jako nieusuwalne zakrzywienie czasoprzestrzeni, pozostające po usunięciu całej materii. Kłopoty z utrzymaniem statycznego obrazu Wszechświata zaczęły się nawarstwiać wraz z pojawieniem się prac rosyjskiego matematyka Aleksandra Friedmana, który znalazł rozwiązanie równań Einsteina opisujące rozszerzający się

<sup>21</sup> Zob. H. K r a g h, *Quasi-Steady-State and Related Cosmological Models: A Historical Review*, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1201/1201.3449.pdf>.

Wszechświat. Jest to Wszechświat z jednorodnym i izotropowym rozkładem materii w postaci cieczy doskonałej, w którym krzywizna i gęstość materii pozostają zależne od czasu. Są to rozwiązania bez członu kosmologicznego. Te odkrycia o charakterze analiz teoretycznych doprowadziły twórcę ogólnej teorii względności do wycofania stałej z równań i uznania jej za swoją największą pomyłkę<sup>22</sup>.

Aby uzyskać analityczne rozwiązania równań pola grawitacyjnego Einsteina, można przyjąć i założyć istnienie ogólnych idealizacji i symetrii<sup>23</sup>. Wykorzystuje się w tym celu na przykład metrykę Friedmana–Robertsona–Walkera, która zbudowana jest w oparciu o zasadę kosmologiczną zawierającą założenie, że Wszechświat jest jednorodny i izotropowy w dużych skalach. W zrozumieniu metodologicznej specyfiki kosmologii współczesnej istotne jest uchwycenie faktu, że dokonujemy teoretycznego przejścia od badania możliwych rozwiązań równań Einsteina do wyznaczania tak zwanych parametrów kosmologicznych. Wymaga to ustalenia, co nazywamy *standardowym modelem* Wszechświata, przy czym model ten traktujemy jako standardowy z uwagi na to, że istnieje powszechne przekonanie, iż jest on dobrym przybliżeniem rzeczywistości. Zakłada się zatem, że Wszechświat w dużej skali jest jednorodny i izotropowy, a więc przestrzeń jest przestrzenią o stałej krzywiznie.

Na potrzeby naszych rozważań, koncentrujących się szczególnie na kwestii możliwości nakładania ograniczeń na wiek Wszechświata, zwrócimy uwagę na kilka najważniejszych narzędzi teoretycznych; w szczególności na tak zwaną stałą (parametr) Hubble’a<sup>24</sup> i na parametr spowolnienia. Parametr Hubble’a ( $H_0$ ) jest stałym współczynnikiem proporcjonalności w prawie Hubble’a, określającym względną prędkość ucieczki galaktyk  $v$  odległych o  $d$ :  $v = H_0 d$ . Wartość wielkości  $H_0 = 73,8 \pm 2,4$  km/sMpc<sup>25</sup>. Odwrotność parametru Hubble’a jest tak zwanym czasem hubblowskim. Zatem za pomocą  $H_0$  możemy podać gór-

<sup>22</sup> Na temat ciekawej, także z historycznego punktu widzenia, sytuacji w kosmologii pierwszej połowy dwudziestego wieku, kiedy to do świadomości uczonych przedzierało się przekonanie o dynamicznej strukturze ewolucji Wszechświata zob. M. S z y d ł o w s k i, P. T a m b o r, *Albert Einstein i stała kosmologiczna*, „Kwartalnik Historii Nauki i Techniki” 53(2008) nr 3-4, s. 343-361.

<sup>23</sup> Stanowią one dość skomplikowany układ dziesięciu cząstkowych równań różniczkowych drugiego rzędu.

<sup>24</sup> Określenie „stała Hubble’a” nie jest w istocie trafne, ponieważ w kosmologicznej skali czasu wielkość ta podlega zmianom. Zamiast mówić zatem o stałej, będziemy się posługiwać bardziej adekwatnym określeniem „parametr”.

<sup>25</sup> Zob. A.G. R i e s s i n., *A 3% Solution: Determination of the Hubble Constant with the Hubble Space Telescope and Wide Field Camera 3*, „The Astrophysical Journal”, t. 730 (2011) nr 2(119), [http://iopscience.iop.org/0004-637X/730/2/119/pdf/0004-637X\\_730\\_2\\_119.pdf](http://iopscience.iop.org/0004-637X/730/2/119/pdf/0004-637X_730_2_119.pdf).

ne ograniczenie wieku  $t_0 < 1/H_0$  (14 mld lat)<sup>26</sup>. Badanie możliwych modeli ewolucji Wszechświata, które wiąże się bezpośrednio z zagadnieniem jego przeszłości i przyszłości, zależy naturalnie od określenia jego materialnej zawartości. Praktycznie przeprowadza się to przez ustalenie związku między gęstością materii  $\rho$  a ciśnieniem  $p$ , który nazywamy równaniem stanu<sup>27</sup>. Choć Wszechświat w dużej skali posiada pewne struktury, w pierwszym przybliżeniu zakładamy, że materia, która go wypełnia, ma własności nieoddziałującego pyłu. Czasem mówi się potocznie, że kosmologia ewoluującego Wszechświata to w istocie poszukiwanie dwóch liczb: obecnej wartości parametru Hubble'a oraz wartości parametru gęstości  $\Omega$ , który wyraża stosunek obecnej wartości gęstości Wszechświata do tak zwanej gęstości krytycznej dla materii<sup>28</sup>.

W ogólnej teorii względności w rozwiązaniach równań pola dla przestrzeni jednorodnej i izotropowej pojawia się ważny w kontekście niniejszych rozważań element: stała krzywizny  $k$ . W tym przypadku geometria przestrzeni jest geometrią przestrzeni o stałej krzywiznie. Ważnym założeniem przyjmowanym w modelowaniu kosmologicznym jest warunek jednorodności i izotropowości. Okazuje się, że założenie to realizują trzy typy geometrii, a w związku z tym trzy wartości stałej krzywizny: geometria płaska (Wszechświat o takiej geometrii nazywany jest płaskim), gdzie  $k = 0$ ; geometria sferyczna, gdzie  $k > 0$  (Wszechświat o takiej geometrii nazywamy zamkniętym, ma on skończone rozmiary, a przestrzeń jest nieograniczona) i geometria hiperboliczna, gdzie  $k < 0$  (Wszechświat nazywamy wówczas otwartym, a przestrzeń jest nieskończona i nieograniczona). Za pomocą znaku parametru  $k$  możemy więc dokonać klasyfikacji geometrycznej różnych wariantów geometrii Wszechświata, a zatem również jego czasowej ewolucji.

Obok parametru Hubble'a wyrażonego w terminach pochodnej czynnika skali<sup>29</sup>, który określa względne tempo ekspansji Wszechświata, użytecznym parametrem opisu ewolucji Wszechświata, związanym z drugą pochodną czynnika skali, jest tak zwany parametr spowolnienia  $q$ <sup>30</sup>. W latach 1998-1999

<sup>26</sup> W modelowaniu Wszechświata ekspandującego bardzo wygodne okazuje się posługiwanie parametrami wyrażonymi w kategoriach tak zwanego czynnika skali Wszechświata ( $a(t)$ ), który będąc funkcją tylko czasu, mierzy tempo powszechnej ekspansji. Parametr Hubble'a w terminach czynnika skali określa się jako  $H = \frac{\dot{a}}{a}$ , gdzie kropka nad  $a$  oznacza różniczkowanie po czasie.

<sup>27</sup> Na przykład dla tak zwanej materii pyłowej:  $p=0$ ; dla Wszechświata wypełnionego promieniowaniem  $p = \frac{1}{3}\rho$ .

<sup>28</sup> Por. J. B a r y s z e w, P. T e e r i k o r p i, *Wszechświat. Poznawanie kosmicznego ładu*, tłum. K. Włodarczyk, WAM, Kraków 2005, s. 162n. Naturalnie współczesna kosmologia nie polega na wyznaczeniu tylko tych dwóch liczb, lecz na określeniu tak zwanych parametrów standardowego modelu kosmologicznego.

<sup>29</sup> Zob. przypis 25.

<sup>30</sup> Mierzy on tempo hamowania ekspansji. Na temat analiz czasowych ograniczeń nakładanych na trwanie Wszechświata zob. J.A.S. L i m a, *Age of the Universe, Average Deceleration Parameter*

intensywnie przystąpiono do wyznaczania parametru  $q_0$  (dla obecnej epoki) i okazało się, że Wszechświat przyspiesza  $q_0 < 0$ . Badania przeprowadzały dwa konkurujące zespoły obserwatorów Supernova Cosmology Project oraz High-Z Supernova Search Team. Pierwszą grupą kierował Saul Perlmutter, drugą zaś Adam G. Riess. Badania objęły około stu supernowych, wśród których około pięćdziesięciu posiadało parametr określający przesunięcie linii widma światła ku czerwieni  $z > 0,4$ <sup>31</sup>. Analiza statystyczna, na którą składają się wyniki obserwacji gwiazd supernowych, szacowanie wartości parametrów kosmologicznych określających zawartość materialną Wszechświata (tak zwanych parametrów gęstości) oraz obserwacje promieniowania relikтового doprowadziły do wyznaczenia parametrów kosmologicznych, a wśród nich wieku Wszechświata, który oszacowano na  $13,72 \pm 0,12$  miliarda lat<sup>32</sup>.

Jak pokazuje Helge Kragh, postrzeganie Wszechświata jako czasowo skończonego, w pierwszych dziesięcioleciach dwudziestego wieku okazało się swoistą rewolucją pojęciową<sup>33</sup>. Pierwszą trudnością było już zestawienie wieku poszczególnych składników Wszechświata: gwiazd czy układów planetarnych. Konceptualne powiązanie parametru Hubble'a jako wartości mierzalnej z czasem także rodziło trudności dotyczące niezgodności czasu hubblowskiego z wiekiem najstarszych obiektów we Wszechświecie. Klimat tej debaty, toczonej wokół problemu skali wieku Wszechświata, oddaje wypowiedź Richarda Tolmana z roku 1934: „Różnica między skalą czasu obiektów we Wszechświecie a czasem jego ekspansji wskazuje, że żaden rodzaj skończoności nie może zostać na dzień dzisiejszy przypisany temu, co nazywamy początkiem fizycznego Wszechświata. W rzeczy samej trudno jest oprzeć się wrażeniu, że zakres czasu dla zjawisk we Wszechświecie może być właściwie określany jako rozciągający się od minus nieskończoności w przeszłości

---

*and Possible Implications for the End of Cosmology*, <http://arxiv.org/pdf/0708.3414v1.pdf>; D.S.L. Soares, *The Age of the Universe, the Hubble Constant and the Accelerated Expansion*, <http://arxiv.org/pdf/0908.1864.pdf>.

<sup>31</sup> Parametr ten w terminologii kosmologicznej określa się za pomocą angielskojęzycznego terminu „redshift”; w niniejszych rozważaniach posługujemy się polskim określeniem: „kosmologiczne przesunięcie ku czerwieni”. Wartość tego parametru można określać w terminach długości fal zarówno w punkcie emisji ( $\lambda_{em}$ ), jak i w punkcie obserwacji ( $\lambda_{obs}$ ):  $z = (\lambda_{obs} - \lambda_{em}) / \lambda_{em}$ . Kosmologiczne przesunięcie ku czerwieni ( $z$ ), łączące się z ekspansją Wszechświata, związane jest z czynnikiem skali w chwili obserwacji ( $t_0$ ) i w chwili emisji ( $t$ ) zależnością:  $z = \frac{a(t_0)}{a(t)} - 1$ .

<sup>32</sup> Zob. S. Perlmutter i in., *Discovery of a Supernova Explosion at Half the Age of the Universe and its Cosmological Implications*, „Nature” 1998, nr 391, s. 51-54 (zob. też: <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/9712212v1.pdf>); A.G. Riess i in., *Observational Evidence from Supernovae for an Accelerating Universe and a Cosmological Constant*, „The Astronomical Journal” t. 116 (1998) nr 3, s. 1009-1038 (zob. też: [http://iopscience.iop.org/1538-3881/116/3/1009/pdf/1538-3881\\_116\\_3\\_1009.pdf](http://iopscience.iop.org/1538-3881/116/3/1009/pdf/1538-3881_116_3_1009.pdf)).

<sup>33</sup> Por. Kragh, *Cosmology and Controversy*, s. 73.

do plus nieskończoności w przyszłości”<sup>34</sup>. Dopiero prace George’a Gamowa, które stanowiły swoistą rewizję modelu Wielkiego Wybuchu, wypowiedzianą nie tylko w kategoriach kosmologicznych równań Friedmana, ale i fizyki atomowej, stały się krokiem milowym w kierunku traktowania kosmologii jako pełnoprawnej dyscypliny fizycznej.

Stworzone przez Friedmana modele ewoluującego Wszechświata pozwalają na rozwiązanie paradoksów Olbersa i de Cheseaux, ale generują nowe, na przykład paradoks euklidesowy oraz paradoks izotropii. Pierwszy z nich dotyczy modelu płaskiego – z przestrzenią Euklidesa (gdzie stała krzywizny równa się 0) – i wiąże się z wartością parametru gęstości  $\Omega$  bliską jedności (jeśli parametr gęstości na początku byłby nieznacznie różny od 1, wraz z ewolucją różnica stałaby się znacząca). Drugi paradoks związany jest z izotropią cieplnego promieniowania kosmicznego. Jurij Baryszew i Pekka Teerikorpi przedstawiają go w następujący sposób: „Rozważmy dwa dowolne przeciwległe kierunki. Fotony promieniowania kosmicznego pochodzące z tych kierunków powstały około 15 miliardów lat temu, więc w przybliżeniu rzecz biorąc, są obecnie oddzielone w czasie o 30 miliardów lat. Gdy fotony te powstawały, Wszechświat był 1500 razy mniejszy niż obecnie, więc te dwa miejsca były oddalone od siebie o 20 milionów lat. W tym czasie Wszechświat liczył zaledwie 300000 lat! Dokładne obliczenia, oparte na modelu Friedmana, wykazują, że fotony promieniowania kosmicznego pochodzące z kierunków różniących się o ponad trzy stopnie powstały w obszarach, które nigdy nie kontaktowały się ze sobą. Dlaczego więc temperatura na całym niebie jest taka sama z dokładnością do  $10^{-5}$ ?”<sup>35</sup>. Hipotezę, która wychodziła naprzeciw tym trudnościom, był model inflacyjny, zaproponowany w latach osiemdziesiątych dwudziestego wieku przez Alana Gutha. Zdaniem Gutha Wszechświat w bardzo wczesnej fazie ewolucji przeszedł etap bardzo szybkiej ekspansji (czynnik skali wzrastał wykładniczo)<sup>36</sup>.

W modelach Friedmana–Robertsona–Walkera, które opisują obecny Wszechświat, przewidywane są trzy możliwe scenariusze jego przyszłej ewolucji. W dwóch z nich Wszechświat ewoluuje do nieskończonych rozmiarów w nieskończonym czasie (jest to Wszechświat płaski lub otwarty). W trzecim scenariuszu Wszechświat po osiągnięciu maksymalnych rozmiarów zaczyna się kurczyć do osobliwości końcowej (ang. Big Crunch). Osobliwość ta jest nieunikniona w przyszłej ewolucji Wszechświata, a oznacza jego „wielkie

<sup>34</sup> R.C. Tolman, *Effect on Inhomogeneity in Cosmological Models*, cyt. za: Kragh, *Cosmology and Controversy*, s. 75.

<sup>35</sup> Baryszew, Teerikorpi, dz. cyt., s. 169n.

<sup>36</sup> Zob. W.H. Kinney, *Cosmology, Inflation, and the Physics of Nothing*, <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0301448v2.pdf>; P.J. Steinhardt, *The Inflation Debate: Is the Theory at the Heart of Modern Cosmology Deeply Flawed?*, „Scientific American”, kwiecień 2011, s. 36-43 (zob. też: <http://www.physics.princeton.edu/~steinh/0411036.pdf>).

zgniecenie” do zerowych rozmiarów. Należy podkreślić, że obecny stan kosmologii nie pozwala jednoznacznie stwierdzić, który ze scenariuszy faktycznie się zrealizuje<sup>37</sup>.

W standardowym modelu kosmologicznym Lambda-CDM (ang. Lambda-cold dark matter – LCDM) ewolucja Wszechświata rozciąga się od chwili Wielkiego Wybuchu do nieskończoności. Jeśli krzywizna przestrzeni nie jest duża, obowiązuje stale ten sam scenariusz. W przypadku gdy efekty dodatniej krzywizny są znaczące, Wszechświat ewoluuje od osobliwości, osiąga maksymalne rozmiary i „rekolapsuje” do osobliwości – wiek takiego Wszechświata jest skończony.

W rozwiązaniach równań Einsteina, na przykład tych z ujemną stałą kosmologiczną, mogą pojawić się rozwiązania oscylacyjne. Ewolucja takiego Wszechświata składa się z nieskończonej serii faz ekspansji i kontrakcji<sup>38</sup>.

W kosmologii relatywistycznej, opartej na ogólnej teorii względności, postawiono pytanie, czy przeszłość Wszechświata (w sensie czasu jego przeszłej ewolucji) była skończona, czy też przeszła ewolucja rozciągała się do  $t \rightarrow -\infty$ . Hawking, Penrose i Ellis udowodnili serię twierdzeń, zwanych twierdzeniami o osobliwości, w których wyraźnie pokazali, że Wszechświat w swojej przeszłości „przeżywał” osobliwość początkową – stan, w którym gęstość energii była nieskończona i w którym załamywały się prawa fizyki. Założenia tych twierdzeń zostały sformułowane w postaci warunków energetycznych, które są spełniane przez znane nam formy materii fizycznej. W tym kontekście Wszechświat ma skończony wiek, będący czasem, jaki upłynął od osobliwości, w której  $t = 0$ .

Pytaniem otwartym pozostaje, czy ewolucja Wszechświata od chwili obecnej będzie nieskończona. Pytanie to dotyczy osobliwości w przyszłej ewolucji Wszechświata. Według innych teorii kosmologicznych, wykraczających poza standardowy model kosmologiczny i opartych na przykład na teorii superstrun, w przyszłej ewolucji Wszechświata mogą pojawiać się nowe typy osobliwości, na przykład „wielki krach” czy „wielkie rozdarcie” (ang. Big Rip). W pewnej skończonej chwili czasu ( $t = t_0$ ) rozmiary Wszechświata, podobnie jak gęstość materii-energii, staną się wówczas nieskończone. Jedynym sposobem rozstrzygnięcia kwestii wystąpienia takich osobliwości jest przetestowanie samej ich hipotezy przez obserwacje astronomiczne. Obecnie możliwości takie stwarza kosmologia wysokiej precyzji<sup>39</sup>.

<sup>37</sup> Zob. *The Far-Future Universe: Eschatology from a Cosmic Perspective*, red. G.F.R. Ellis, Templeton Foundation Press, Vatican City 2002.

<sup>38</sup> Zob. M. S z y d ł o w s k i, P. T a m b o r, *Koncepcja Wszechświata oscylacyjnego w kosmologii – krytyczny punkt widzenia*, „Roczniki Filozoficzne” 59(2011) nr 2, s. 299-321.

<sup>39</sup> Zob. M.P. D ą b r o w s k i, T. D e n k i e w i c z, M.A. H e n d r y, *How Far Is It to a Sudden Future Singularity of Pressure?*, „Physical Review D” 75(2007) nr 12, s. 123524; T. D e n k i e w i c z, M.P. D ą b r o w s k i, H. G h o d s i, M.A. H e n d r y, *Cosmological Tests of Sudden Future Singularities*, <http://arxiv.org/pdf/1201.6661v2.pdf>.

FILOZOFICZNE IMPLIKACJE KOSMOLOGICZNYCH ANALIZ  
NATURY SKOŃCZONEGO (NIESKOŃCZONEGO) WSZECHŚWIATA

Kosmologia jest zapewne tą dziedziną nauk fizycznych, która pozostaje najbardziej interesująca filozoficznie. Składa się na to kilka kwestii: tak zwany problem horyzontu (obecny w pytaniu, dlaczego rozkład materii i energii we Wszechświecie jest w każdym kierunku prawie jednakowy), rola zasad kosmologicznych, sam przedmiot kosmologii, czyli Wszechświat jako całość, a nade wszystko kategorie czy też rodzaje problemów, które kosmologia podejmuje. Można by postawić metodologiczną hipotezę, że w przypadku kosmologii istnieje swoiste „sprzężenie metaprzmiotowe” między filozofią nauk przyrodniczych (w tym wypadku kosmologii) a – uznawaną za kontrowersyjną – filozofią przyrody (która w tym wypadku staje się mniej „kontrowersyjna”).

Rozważania o charakterze filozoficznym mogą mieć na przykład postać rekonstrukcji dokonywanych na dwa sposoby: historyczny lub systematyczny. Pierwsza część niniejszych rozważań, ze względu na specyfikę kosmologii, miała taki właśnie charakter. W części ostatniej skoncentrujemy się na ukazaniu złożoności problemów dotyczących kwestii czasu w kosmologii. Ks. Zygmunt Hajduk dokonuje użytecznego w naszym kontekście rozróżnienia filozofii przyrody uprawianej autonomicznie w stosunku do nauk przyrodniczych (zarówno w kwestii konstrukcji teoretycznych, jak i wyników), filozofii drugiego rzędu, która w sensie heurystycznym i metodologicznym opiera się na aktualnych teoriach przyrodniczych, oraz filozofii przyrody typu mieszanego, który łączy oba podejścia. W przypadku tego ostatniego „obok wyników nauk przyrodniczych w uzasadnianiu są angażowane explicite tezy określonego systemu filozoficznego, jego ontologii, epistemologii”<sup>40</sup>. W kontekście kosmologii, i to zarówno w aspekcie historycznym, jak i systematycznym, najbardziej odpowiednia wydaje się filozofia przyrody typu mieszanego. W tym kontekście zagadnienie wieczności Wszechświata zaliczyłbym właśnie do jej obszaru.

Rozważania dotyczące znaczenia pojęcia „czas” w kosmologii warto zacząć od tradycyjnego kontekstu operacyjnego lub relacyjnego, w którym dokonują się próby definiowania czasu. Ogląd kosmologii współczesnej pozwala na wniosek, że debata nad czasem w kosmologii to nie tylko kwestia dyskusji nad prawdziwością standardowego modelu kosmologicznego w literaturze przedmiotu określanego w języku angielskim jako standard Big Bang cosmology. Debata ta dotyka bowiem także istotnych kwestii filozoficznych, a mianowicie ontycznych problemów, które ujawniają się w pytaniach, czy

<sup>40</sup> Z. Hajduk, *Rekonstrukcja filozofii przyrody Izaaka Newtona*, w: *Oblicza filozofii XVII wieku*, red. ks. S. Janeczek, Wydawnictwo KUL, Lublin 2008, s. 428.



Wszechświat miał początek oraz czy czas miał początek?<sup>41</sup>. Henrik Zinkernagel rozróżnia trzy sposoby rozumienia czasu (właściwie sposoby „posiadania” czasu) w kontekście hipotezy Wielkiego Wybuchu: (1) hipoteza ta jest nieprawdziwa i w związku z tym kwestia korespondującego z tym wydarzeniem początku czasowego zostaje zniesiona (sam Zinkernagel wyklucza taką możliwość); (2) standardowy model Wielkiego Wybuchu jest czymś w rodzaju teorii efektywnej, teoretycznie „zanurzonej” w bardziej fundamentalnej teorii kosmologicznej, której realizacją może być na przykład seria cyklicznych wielkich wybuchów lub wielkich krachów – opcja taka dopuszcza istnienie czasu przed Wielkim Wybuchem; (3) czas jako parametr fizyczny (związany z danym modelem teoretycznym) należy odróżniać od czasu jako bardziej fundamentalnego pojęcia o charakterze metafizycznym. Zwróćmy uwagę, że analizy prowadzą do pytań o charakterze wyraźnie ontologicznym. Filozoficzną ontologię czasu można budować oczywiście na różnych fundamentach: albo traktując czas jako parametr i na tej podstawie budując analizy – jest tak, gdy czas zostaje matematycznie ujęty w równaniach (na przykład w przypadku matematycznych podstaw pojęcia czasoprzestrzeni jako różniczkowalnej); albo ujmując go jako swoisty „pojemnik”, w którym dzieją się wydarzenia – tu dyskutuje się kwestię niezależności czasu od zawartości Wszechświata, a nawet od samego Wszechświata; albo wreszcie utrzymując, że czas związany jest z naszym światem, co nie wyklucza jednak rozważań o multiwersum, które było niejako „zaprzeszłe” w znaczeniu „wieczne” – takie rozumienie czasu jest nazywane kontrfaktualnym<sup>42</sup>.

Mimo że czas jawi się jako pojęcie poznawczo fundamentalne, nieredukowalne, w naukach fizycznych wskazuje się na relację czas–zegar jako definiującą czas w sensie operacyjnym. Z uwagi na to, że prawa natury ujmują się w postaci równań dynamicznych, pewne układy fizyczne mogą pełnić funkcje zegarów. Jedno z klasycznych ujęć natury czasu, szczególnie związane z pytaniem o to, co znaczy, że czas „jest” (jeśli pytanie takie jest w ogóle dobrze postawione), da się wyrazić w zdaniu: „O czasie nie można powiedzieć, że jest, jeśli się nie doda, że zmierza on do tego, by go nie było”. Ontologia czasu ujętego w relacji do zegara, którym jest układ fizyczny, pozwala uniknąć kłopotliwych pytań o sposób istnienia czasu, uzależniając go od istnienia zegara. Trzeba koniecznie zwrócić uwagę, że tak ujęta relacyjna natura czasu różna jest w istocie od tak samo nazwanej propozycji Leibniza: relacja czas–zegar

<sup>41</sup> Zob. H. Z i n k e r n a g e l, *Did Time Have a Beginning?*, „International Studies in the Philosophy of Science” 22(2008) nr 3, s. 237-258.

<sup>42</sup> Zob. L. S u s s k i n d, *Is Eternal Inflation Past-Eternal? And What if It Is?*, <http://arxiv.org/pdf/1205.0589v1.pdf>.

nie ma charakteru definicji w znaczeniu operacyjnym („czas jest tym, co jest mierzone przez zegar”), ponieważ zegar nie d e f i n i u j e czasu.

Z drugiej strony, gdy rozważamy metafizyczne aspekty czasu określanego za pomocą struktur matematycznych, musimy pamiętać, że matematyczny sposób reprezentacji czasu nie implikuje relacji esencjalnej jego konstytucji przez matematykę (na przykład przez ustalanie izomorficznego odwzorowania czasu na zbiór liczb rzeczywistych). W kontekście ogólnej teorii względności reprezentacja czasu stowarzyszona jest z czymś więcej niż matematycznym pojęciem różnicowości czy tensora metrycznego. W kontekście pojęciowym standardowego modelu kosmologicznego – jakkolwiek model Friedmana–Lemaître’a–Robertsona–Walkera to model matematyczny zawierający parametr czasu – interpretacji istotowej czasu dokonuje się przez jego stowarzyszenie z czasem mierzonym przez tak zwany zegar standardowy spoczywający w układzie współporuszającym się (a zatem model kosmologiczny jest w istocie f i z y c z n y m modelem Wszechświata zawierającym czas).

Po tych uwagach dotyczących sposobu ujęcia i rozumienia pojęcia „czas” warto przeanalizować specyfikę argumentacji filozoficznych i filozoficzno-naukowych dotyczących kwestii możliwości nieskończonego trwania Wszechświata<sup>43</sup>. Interesującym historycznie kontekstem tego problemu był konkurs ogłoszony przez Karla Poppera w roku 1953 na łamach pisma „British Journal for the Philosophy of Science” na esej zatytułowany „The Logical and Scientific Meaning of the Age of the Universe” [„Logiczny i naukowy status pojęcia czasowego początku Wszechświata”]<sup>44</sup>. Nagroda główna przypadła wspólnie filozofowi Michaelowi Scrivenowi, który zaprzeczał możliwości naukowej weryfikacji tezy o skończoności lub nieskończoności Wszechświata, oraz chemikowi fizycznemu, J.T. Daviesowi, którego podejście było podobnie niekonkluzywne, chociaż nie w sensie ostatecznym, lecz czasowym, co wynikało z niedostępności poznawczej eksperymentu falsyfikującego jedną z konkurujących hipotez (ujawniał się tu wyraźny wpływ popperyizmu).

Typy argumentacji za nieskończonością Wszechświata można więc ująć w dwie grupy: pierwszy, zbierający argumentacje opierające się na logiczno-filozoficznych sposobach ukazania na przykład niemożliwości istnienia nieskończonej przeszłości<sup>45</sup> czy konieczności wiecznego istnienia Wszechświata

---

<sup>43</sup> Ujęcie to traktuję jako reprezentujące filozofię przyrody typu mieszanego w sensie ujmowania relacji między filozofią a naukami przyrodniczymi.

<sup>44</sup> Trwał wówczas spór między teorią stanu stacjonarnego a teorią Wielkiego Wybuchu. Teoria stanu stacjonarnego, ogłoszona w roku 1948 przez matematyka z Cambridge Freda Hoyle’a, opierała się na stwierdzeniu, że Wszechświat mimo ekspansji jest stacjonarny, zasadniczo niezmienny w czasie.

<sup>45</sup> Zob. G.J. W h i t r o w, *On the Impossibility of an Infinite Past*, „British Journal for the Philosophy of Science” 29(1978) nr 1, s. 39-45.

wydaje się logiczną konsekwencją rozumowania odwołującego się do słynnego problemu wyrażonego w pytaniu: „dlaczego istnieje raczej coś niż nic?”<sup>46</sup>. Struktura argumentu Lyndsa, odnoszącego się do istoty problemu wyrażonego przez Leibniza, jest następująca: (1) Tylko wiecznie istniejący Wszechświat może być odpowiedzią na pytanie: „Dlaczego Wszechświat raczej istnieje, niż nie istnieje?” – jeśli bowiem Wszechświat nie jest wieczny, przed tak zwanym początkiem Wszechświata nic nie istniało. Wszechświat wszak istnieje, a fakt ten nie daje satysfakcjonującej odpowiedzi na drugą część dylematu: „a dlaczego raczej nic?”. (2) Ponieważ tylko wieczny Wszechświat może być odpowiedzią na pytanie, dlaczego Wszechświat raczej istnieje, niż nie istnieje, a pytanie to musi mieć odpowiedź, Wszechświat musi być wieczny. Struktura argumentacji Lyndsa przypomina błędne koło, gdy definiuje on znaczenie terminu „wieczny Wszechświat”, by potem z pojęcia tego wywodzić wieczność Wszechświata. Poza tym warto zauważyć, że tego rodzaju współczesne argumentacje a priori odzwierciedlają rozumowania na rzecz jednej z tez pierwszej z czterech słynnych antynomii Kanta lub dają się do nich sprowadzić<sup>47</sup>.

Drugi typ argumentacji za nieskończonością Wszechświata akcentuje dotyczące nauk ścisłych konotacje pytań o skończoność czasową Wszechświata i prowadzi do rozumowań, które szacują weryfikowalność lub falsyfikowalność stawianych w tych naukach tez w kontekście ontologicznym lub epistemologicznym. Ten ostatni kontekst, jako bardziej adekwatny i efektywny filozoficznie w odniesieniu do metaprzmiotowego studium problemów kosmologii infinitystycznej (finitystycznej), wyraźnie faworyzuje Jacek Wojtysiak w studium dotyczącym pytania, które Adolf Grünbaum określił jako odwieczne (archetypiczne) pytanie dotyczące istnienia (ang. *primordial existential question*)<sup>48</sup>.

\*

Pytanie o wieczność Wszechświata na gruncie kosmologii przyjmuje formę pytania o czas jego ewolucji. Stawiamy je z punktu widzenia obserwatora, który w chwili obecnej dokonuje pomiarów fizycznych parametrów Wszechświata. Problemy dotyczące czasowej ewolucji Wszechświata są dobrze stawiane do-

<sup>46</sup> Zob. P. L y n d s, *Why There Is Something Rather Than Nothing: The Finite, Infinite And Eternal*, <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1205/1205.2720.pdf>.

<sup>47</sup> Por. G. O p p y, *Philosophical Perspectives on Infinity*, Cambridge University Press, New York 2006, s. 116-120.

<sup>48</sup> Por. J. W o j t y s i a k, *Dlaczego istnieje raczej coś niż nic?*, Towarzystwo Naukowe KUL, Lublin 2008, s. 357-366. Zob. A. G r ü n b a u m, *The Poverty of Theistic Cosmology*, „British Journal for the Philosophy of Science” 55(2004) nr 4, s. 561-614.

piero od czasów Einsteina. Wszechświat traktowany jest jako tożsamy z czasoprzestrzenią, która podlega ewolucji.

W koncepcji Wszechświata, która wyrasta z teorii grawitacji Einsteina, naturalne jest pytanie o skończony czas, który upłynął od Wielkiego Wybuchu – o wiek Wszechświata. Dyskusja filozoficzna pokazuje, że problem wieczności Wszechświata należy do tego rodzaju zagadnień filozoficznych, które okazują się niezwykle płodne w kontekście kosmologii relatywistycznej.

W niniejszych rozważaniach wskazano na wagę kontekstu kosmologicznego dla Leibnizańskiego pytania: „Dlaczego istnieje raczej coś niż nic?”. W odpowiedzi na postawiony przez Leibniza problem nie możemy bowiem abstrahować od kosmologii i jej rozstrzygnięć. W przypadku zagadnienia wieczności (skończoności) Wszechświata rozstrzygnięcia nauki mogą wpływać na kształt tez formułowanych przez filozofię.