

Kazimierz Stefek *OSPPE*

GENEZA HORYZONTÓW KOSMOLOGICZNYCH W FIZYCE PRZEDRELATYWISTYCZNEJ *

Historia kosmologii uczy, że w każdej epoce ludzie wierzyli, iż stworzony przez nich model Wszechświata ostatecznie wyjaśnia prawdziwą naturę kosmosu, a tymczasem była to tylko jakby kolejna maska nakładana na twarz wciąż nieznanego Wszechświata¹

Dopóki nie było dostatecznych podstaw obserwacyjnych i teoretycznych, pytania o genezę i ewolucję czasu, przestrzeni i materii stanowiły przedmiot dysput filozoficznych. Z czasem dopiero zagadnienia dotyczące początku i końca wszechrzeczy oraz struktury Wszechświata jako całości i zachodzących w nim procesów stały się domeną nauk ścisłych. Wówczas to do rozważań o wszechświecie zaczęto wprowadzać pojęcia oraz teorie fizykalne i matematyczne.

1. „Brzeg Wszechświata” w starożytnych i średniowiecznym modelach Wszechświata

Starożytni greccy filozofowie przyrody stworzyli wiele różnych systemów (modeli) dotyczące powstania, struktury i składu Wszechświata. Najbardziej dziś znane są dwa spośród nich. Pierwszy pochodzi od pi-

Artykuł stanowi wstępną część przygotowywanej pracy na temat horyzontów kosmologicznych.

¹ Por. E.R. Harrison, *Cosmology: the science of the Universe*, Cambridge University Press, Cambridge [1991], s. 1.

tagorejczyków², Platona (*Timajos*) i Eudoksosa. Dla lepszego uzgodnienia z obserwacjami astronomicznymi został on następnie rozwinięty przez Kallippusa oraz Arystotelesa.

Drugi wielki system Wszechświata starożytnych Greków wywodzi się ze Szkoły Aleksandryjskiej, a swój kształt zawdzięcza przede wszystkim Hipparchowi i Ptolomeuszowi³

a. Wszechświat Arystotelesa, zbudowany na kształt ogromnej, lecz skończonej w swoich rozmiarach kuli, był jeden, samoistny, samowystarczalny, doskonały i geocentryczny w swej strukturze⁴. Nieruchoma kulista Ziemia znajdowała się w jego centrum. Wokół Ziemi krążyły po przezroczystych, krystalicznych i koncentrycznych sferach, 'planety' – Księżyc, Słońce, Wenus, Merkury, Mars, Jowisz i Saturn. Sfery uporządkowane były według obserwowanej prędkości obiegu Ziemi przez planety. Aby ruch planet mógł zachodzić, sfery musiały pozostawać w kontakcie ze sobą. Ruch ciała niebieskiego zależał nie tylko od ruchu jego sfery,

² Pitagoras z Samos (570-512) w mieście Kroton, w południowej Italii, założył bractwo religijne. W V wieku p. Chr. ich wspólnoty były już rozrzucone po całej Grecji. Niektóre ze swoich nauk utrzymywali w tajemnicy przed profanami, co było powodem ich prześladowań. Założyciela uważano za półboga, co sprawiło, iż osobę Pitagorasa spowiła zasłona cudownych legend, spośród której trudno wydobyc jego prawdziwe życie i nauczanie. Por. W.K.C. Guthrie, *Filozofowie Grecy od Talesa do Arystotelesa*, Kraków 1996, ss. 31-33; G. Auzou, *Na początku Bóg stworzył świat*, Warszawa 1990, ss. 230-232.

³ Na temat systemów świata starożytnej Grecji zobacz m.in.: S. Sambursky, *The physical world of the Greeks*, London 1956; J.L.E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*. Revised by W.H. Stal, New York 1953; E.R. Harrison, jw.; N.M. Wildiers, *Obraz świata a teologia*, Warszawa 1985; J.V. Narlikar, *The Primeval Universe*, Oxford 1988; I. Asimov, *Wybuchające gwiazdy. Sekrety supernowych*, Warszawa 1989; G. Auzou, *Na początku Bóg stworzył świat*; J. McLeish, *Cosmology. Science and the meaning of the Universe*, London 1993; J. North, *Astronomy and cosmology*, London 1994; W.K.C. Guthrie, *Filozofowie greccy od Talesa do Arystotelesa*; P. Covey, R. Highfield, *Strzałka czasu*, Poznań 1998, ss. 39-42; G.E.R. Lloyd, *Nauka grecka od Talesa do Arystotelesa*, Warszawa 1998; Tenże, *Nauka grecka po Arystotelesie*, Warszawa 1998.

⁴ W swoim modelu Wszechświata Arystoteles nie zawarł wielu ważnych osiągnięć wcześniejszych starożytnych filozofów przyrody, a mianowicie: poglądu o nieskończoności Wszechświata głoszonego przez atomistów, sugestii Demokryta, że Droga Mleczna jest skupiskiem gwiazd, twierdzenia Heraklita o dziennym ruchu wirowym Ziemi wokół własnej osi oraz teorii Arystarcha (pierwszy system heliocentryczny) o ruchach Ziemi: rocznym obiegowym wokół Słońca i dziennym wirowym wokół własnej osi obrotu. Por. E.R. Harrison, jw., ss. 75-77.

ale także od ruchu wszystkich sfer znajdujących się powyżej tego ciała. Każda sfera obracała się bowiem wokół osi, której końce umocowane były w specjalnych otworach w sąsiedniej sferze zewnętrznej. Osie różnych sfer miały różne kierunki. Sfery poruszały się wokół Ziemi wykonując „doskonały” dla tworców kulistych, ruch jednostajnym i kulisty. W celu przystosowania ruchu planet do obserwacji wprowadzono z czasem dodatkowe sfery⁵ Dopiero łączny efekt ruchu kilku sfer oraz odpowiedni dobór prędkości i kierunków osi dawał ruch planety zgodny w przybliżeniu z obserwowaną rzeczywistością.

Ponad sferami planetarnymi znajdowała się ostatnia sfera, czy raczej trzy sfery⁶, z których najniższa stanowiła sferę gwiazd stałych. Na zewnątrz ostatniej sfery we wszechświecie Arystotelesa nic już nie istniało, ani przestrzeń, ani próżnia, ani materia, ani czas.⁷

Dla starożytnych astronomów gwiazdy nie były zbyt ważne, stanowiły one jedynie tło, na którym poruszały się planety. Ważne były przede wszystkim planety, a to dlatego, iż powszechnie wierzono, że ich ruch wywiera wpływ na Ziemię i przyszłe losy każdego człowieka. Planety poruszały się na tle gwiazdozbiorów po wąskim pasie nieba, podzielonym na 12 części zodiakalnych.

Sfera Księżyca wytyczała w kosmologii Arystotelesa granicę dwóch światów: wiecznego, doskonałego i niezmiennego świata niebios oraz czasowego i zmiennego, świata ziemskiego. Rzeczy w świecie sublunarnym zbudowane były z czterech pierwiastków-żywiół: ziemi, związanej z suchością, wody, związanej z wilgocia, powietrza, związanego z zimnem, i ognia, związanego z gorącem. Pod pojęciami ‘ziemia’ rozumiano szeroką gamę wszelkich substancji stałych, ‘woda’ – to różnego rodzaju ciecze oraz metale, o których wiadano, że są topliwe, ‘powietrze’ zaś to termin opisujący znane substancje gazowe. A zatem pierwiastki: ziemia, woda i powietrze reprezentowały obserwowaną w życiu codziennym materię w stanie stałym, ciekłym i gazowym. Czwarty

⁵ W systemie Eudoksosa (ok. 370 r. p.Ch.), ucznia Platona, było 27 sfer: po trzy dla Słońca i Księżyca oraz po cztery sfery dla pozostałych planet. Arystoteles natomiast wprowadził jeszcze dodatkowe, oddzielające, tzw. ‘przeciwstawne’ sfery, co dało w sumie aż 55 sfer (lub nawet 56 jeżeli wliczy się sferę gwiazd stałych). Por. G.E.R. Lloyd, *Nauka grecka od Talesa do Arystotelesa*, ss. 86-87, 100-105.

⁶ Te trzy ostatnie sfery w Średniowieczu zostały nazwane: caelum stellatum, caelum crystallinum i caelum empyreum. Por. N.M Wildiers, jw., s. 56.

⁷ „poza niebem, nie ma ani miejsca, ani próżni, ani czasu. Dla tej przyczyny to, co tam się znajduje, nie jest wcale w miejscu, ani czas nie czyni tego starym...” Arystoteles, *O niebie*, 279a [s. 39].

codziennym materię w stanie stałym, ciekłym i gazowym. Czwarty pierwiastek, ogień, uważano nie za proces, lecz za substancję jak pozostałe⁸. Dla ciał ponad sferą Księżyca materiałem był wieczny i doskonały eter. W przeciwieństwie do pierwiastków-żywiołów ziemskich eter nie był substancją złożoną z tzw. pierwotnych przeciwieństw i nie był ani zimny, ani gorący, ani suchy, ani wilgotny. Przekazywał on w sposób doskonały ruch do żywiołów podksiężycowych, nie ulegając jednak przy tym wpływowi z ich strony. W takim kosmosie panował doskonały, niezmienny i hierarchiczny porządek.

Tworząc swój obraz świata greccy myśliciele w sposób szczególny interesowali się zarówno środkiem Wszechświata, jak i jego brzegiem. Według Arystotelesa Wszechświat był skończony w swoich przestrzennych rozmiarach, a zatem jako taki musiał posiadać swoją granicę, czy też brzeg. Istnienie brzegu Wszechświata konieczne było dla wyznaczenia absolutnego układu odniesienia odgrywającego istotną rolę w arystotelesowskiej fizyce i metafizyce.

Granice (brzeg) Wszechświata w systemie Arystotelesa stanowiła nieprzeźroczysta i czarna sfera gwiazd stałych. Ona to wyznaczała maksymalnie możliwy obszar obserwacji i pozwalała widzieć tylko skończony obszar Wszechświata, a przez to gromadzić informacje jedynie o zdarzeniach zachodzących w jego wnętrzu. Była to nieprzekraczalna granica poznania, bariera dla ludzkiej wiedzy o kosmosie.

Idea skończonego Wszechświata związana była z pewnego rodzaju trudnością. Ponieważ każdy brzeg ma drugą stronę, zrodziło się pytanie o to, co dzieje się na samej granicy; co stanie się np. z dzidą rzuconą poza (w kierunku) ostatnią sferę, poza brzeg Wszechświata⁹? Pytanie to nurtowało nie tylko pitagorejczyków, Arystotelesa, czy stoików, ale również – dzięki pismom Cyserona – średniowiecznych filozofów przyrody.

W zamkniętym i ograniczonym wszechświecie Arystotelesa każdy przedmiot materialny wyrzucony z Ziemi bądź to wracał na nią z powrotem ruchem prostoliniowym (tzw. ruch naturalny), dążąc do zajęcia swojego miejsca naturalnego, bądź też tworzące go ziemskie elementy przeobrażały się w kosmiczny doskonały eter i przedmiot taki pozostawał w kosmosie na zawsze, poruszając się odtąd wiecznym i doskonałym ruchem kolistym. Gdyby jednak w jakiś cudowny sposób dzida dotarła (byłby to ruch wymuszony) do ostatniej sfery gwiazd stałych musiałaby

⁸ Por. G.E.R. Lloyd, *Nauka grecka od Talesa do Arystotelesa*, s. 43.

⁹ Postawienie takiego pytania przypisuje się pitagorejczykowi Archytasowi z Tarentu (V wiek przed Chr.); por. E.R. Harrison, jw., s. 104.

się odbić od niej, jak od ściany, i wrócić w niższe regiony, a to z tego powodu, że poza tą ostatnią sferą absolutnie nic nie istniało.

b. Stoicy¹⁰ przyjmowali system kosmologiczny Arystotelesa z tym jednak wyjątkiem, że poza skończonym przestrzennie kosmosem Arystotelesa, nazywanym przez nich kosmosem wewnętrznym, umieszczali jeszcze rozciągającą się w nieskończoność próżnię (kosmos zewnętrzny). Ich Wszechświat był otwarty. Materia go wypełniająca była substancją nieskończenie podzielną. Czas i przestrzeń rozumiano jako kontinua. Przestrzeń Wszechświata tworzyła elastyczne środowisko dla wszystkich poruszających się w niej ciał, a sam ruch w takiej przestrzeni jest jakby „przekazem zakłócenia w elastycznym ośrodku”¹¹ Dzida rzucona poza ostatnią sferę kosmosu wewnętrznego powiększała ten kosmos, rozszerzając jego zewnętrzny brzeg¹²

c. W Średniowieczu (XIII-XVI w.) model kosmosu Arystotelesa został ubogacony o chrześcijańską wizję nieba znajdującego się właśnie poza sferą gwiazd stałych. Próżnię, która według stoików otaczała skończony kosmos zastąpiono miejscem świętym, w którym mieszkają istoty duchowe, święci, aniołowie i Bóg. Rzucenie dzidy poza sferę gwiazd stałych oznaczałoby wtargnięcie w zupełnie inną rzeczywistość, w świat niematerialny, w którym znane nam prawa fizyki nie obowiązują.

2. Fizyka newtonowska a idea horyzontu kosmologicznego

Podstawową składową jakiegokolwiek fizykalnego wyjaśnienia genezy i ewolucji Wszechświata jest działanie grawitacji w wielkiej skali. Przyjęcie siły grawitacji jako immanentnego zaburzenia przestrzeni oraz uznanie prędkości światła za maksymalną prędkość rozchodzenia się oddziaływań w przyrodzie doprowadziło do pojawienia się już w przedrelatywistycznych teoriach grawitacji koncepcji horyzontów zdarzeń, czyli przepuszczających tylko w jednym kierunku ‘błon’ wokół ciężkich i gęstych obiektów astronomicznych.

¹⁰ Kierunek filozoficzny, który powstał i rozwinął się na przełomie IV i III w. p. Chr. za sprawą trzech osób: Zenona z Kition, Kleantesa z Assos i Chryzypa z Soloi.

¹¹ G.E.R Lloyd, *Nauka grecka po Arystotelesie*, s. 40.

¹² Por. E.R. Harrison, jw., s. 106.

W czasach nowożytnych pierwszymi, którzy zajmowali się koncepcjami wysoce skondensowanej materii oraz związanymi z tym zagadnieniami, określanymi dzisiaj w kosmologii mianem problemu osobliwości i horyzontu, byli John Michell, Johann Georg von Soldner, Pierre Simone Laplace oraz Johann Heinrich von Mädler.

a. W roku 1772 Joseph Priestley opublikował rozważania **Johna Michella**¹³ na temat mas i rozmiarów gwiazd oraz odległości między nimi, które ten uzyskał dzięki obserwacjom opóźnienia prędkości światła wysyłanego z gwiazd.

Michell był wielkim zwolennikiem mechaniki Newtona, którą uważał za model ścisłej nauki. Wierzył, że celem filozofii przyrody jest odkrywanie matematycznych praw opisujących siły przyciągania i odpychania działających pomiędzy cząstkami ciał materialnych. Swój obraz fizycznej rzeczywistości kształtował na newtonowskiej teorii grawitacji.

Opierając się na dwóch podstawowych zasadach mechaniki Newtona, prawie powszechnej grawitacji i korpuskularnej teorii światła, Michell twierdził, że siła grawitacji działa na cząsteczki światła (fotony) tak samo jak na wszystkie inne znane nam ciała¹⁴. Fotony poruszają się

¹³ Michell John (1724-1793), duchowny angielski i filozof przyrody; (dokładna data oraz miejsce jego urodzenia nie są znane) pochodził z Nothinghamshire; był nauczycielem w Cambridge, a później rektorem w Thornhill, Yorkshire; pozostawał w bliskiej przyjaźni z Henry Cavendishem, który podzielał jego wiarę w wielkość mechaniki Newtona zachęcał go i wspomagał w prowadzeniu badań nad grawitacją. Por. J. Gribbin, *Companion to the Cosmos*, ss. 240-241; W Izrael, *Dark stars: the evolution of an idea*, ss. 201-203, a także *Black Holes: Selected Reprints*, s. 1.

Wyniki swoich badań, o których pisał J. Priestley w 1772 r., J. Michell dyskutował w liście do Henry Cavendisha z 26 maja 1783 roku. Zostały one opublikowane w *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. LXXIV za rok 1784, ss. 35-57.

¹⁴ „Let us now suppose the particles of light to be attracted in the same manner as all other bodies with which we are acquainted; (...) gravitation being, as far as we know, or have any reason to believe, a universal law of nature.” J. Michell, *On the Means of Discovering the Distance, Magnitude, &c. of the Fixed Stars*, w: *Black Holes: Selected Reprints*, dz. cyt., s. 11; zob. też J.D. Barrow, J. Silk *The left hand of creation*, ss. 47-48; S.W. Hawking, *Newton's Principia*, s. 2; W Izrael, *Dark stars: the evolution of an ideas*, s. 202 oraz J. North, *Astronomy and cosmology*, s. 477; C.A. Pickover, *Black Holes. A traveler's guide*, s. 9; M. Rees, *Before the Beginning*, s. 88; J.D. Barrow, *The World within the World*, ss. 311-313; I. Nowikow, *Czarne dziury i Wszechświat*, ss. 18-20; J.V. Narlikar, *Lżejsza strona grawitacji. Wprowadzenie do teorii grawitacji*, s. 117; J. Gribbin, M. Rees, *Kosmiczne zbiegi okoliczności*, ss.150-151; Krasiński Andrzej, *Jeszcze o soczewkach grawitacyjnych*, w: "Postępy Astronomii" 3 (1995), s. 124.

zgodnie z newtonowskimi równaniami ruchu. Pocisk może opuścić pole grawitacyjne Ziemi, tylko wtedy, gdy zostanie wystrzelony z odpowiednio dużą prędkością. Podobnie i światło jest w stanie opuścić Słońce tylko wtedy, gdy ma odpowiednio dużą – możliwą do obliczenia¹⁵ – prędkość. Dla gwiazdy dużo większej od Słońca, prędkość ucieczki musiałaby być większa od prędkości światła i gwiazda taka nie mogąc emitować fal świetlnych, pozostawałaby niewidzialna. Można obliczyć promień obszaru, wewnątrz którego pole grawitacyjne gwiazdy jest już tak silne, że nie pozwala na ucieczkę nawet promieniom światła¹⁶. Powierzchnia wokół gwiazdy, której ekstremalnie skondensowana materia jest źródłem grawitacji o takiej sile, że nie pozwala na ucieczkę z nawet fotonów została później określona mianem ‘granicy’ [boundary] lub ‘horyzontu’ czarnej dziury.

Michell przewidział też sposób, w jaki można by takie gwiazdy wykryć. „Jeżeli rzeczywiście w przyrodzie istniałyby jakies ciała, których gęstość jest nie mniejsza niż gęstość Słońca, a średnica ponad 500 razy większa od średnicy Słońca, ponieważ ich światło nie mogłoby dotrzeć do nas (...), nie moglibyśmy mieć żadnych informacji wzrokowych; ale, jeżeli zdarzyłoby się, że jakieś inne ciała świecące krążyłyby wokół nich, moglibyśmy być może jeszcze z ruchu tych krążących ciał wnioskować o istnieniu ciał centralnych z pewnym stopniem prawdopodobieństwa, gdyż to dostarczyłoby wskazówki dla pewnych widocznych nieregularności w obiegających ciałach...”¹⁷

Istnienie takich bardzo masywnych gwiazd nie było sprzeczne z prawami XVIII-wiecznej fizyki, dlatego Michell sądził, iż we Wszechświecie istnieje bardzo dużo takich „czarnych gwiazd” niewidocznych z Ziemi, gdyż korpuskuły światła z nich wysyłane są nieubłagane ściągane

¹⁵ Prędkość ucieczki v z powierzchni ciała o masie M i promieniu r – zgodnie z mechaniką Newtona – wynosi: $v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ Michell błędnie wyliczył, że prędkość ucieczki promieni świetlnych ze Słońca jest 497 razy większa niż w rzeczywistości.

¹⁶ Wzór Michella: $r = \frac{2GM}{c^2}$, gdzie G jest Newtonowska stałą grawitacji, c – prędkością światła, r i M – to promień i masa gwiazdy. Por. S. Hawking, *Black Holes and Baby Universes and other essays*, s. 105.

¹⁷ W. Israel, *Dark stars: the evolution of an idea*, s. 203; E.R. Harrison, jw., s. 203; K.S. Thorne, jw., s. 122; J.V. Narlikar, *Lżejsza strona grawitacji*, s. 117.

na ich powierzchnię przez siły grawitacji. Taka „czarna gwiazda” była XVIII-wieczną wersją późniejszych czarnych dziur.

b. Pierre Simon Laplace¹⁸, pracując nad wyznaczeniem orbit i ruchami planet, znacznie ulepszył system Newtona precyzując podane przez niego prawa i obliczenia. Wszechświat traktował jako układ punktów materialnych, których położenia i prędkości zmieniają się pod wpływem działania sił mechanicznych. Przyjmował hipotezę, że grawitacja jest wytwarzana przez impuls fluidu, wypełniającego cały Wszechświat, skierowany w kierunku centrum ciała przyciągającego. Początkowo sądził, iż rozchodzenie się grawitacji odbywa się ze skończoną prędkością. Próbuąc dowieść skończonej prędkości propagacji grawitacji, porównał teoretyczne obliczenia sekularnego przyśpieszenia Księżyca z wynikami obserwacyjnymi. Ostatecznie doszedł do wniosku, że „Matematycy [chodzi tu o astronomów] mogą zakładać, jak to czynili dotychczas, że prędkość grawitacji jest nieskończona”¹⁹ Wszelkie zjawiska w tak rozumianym wszechświecie Laplace wyjaśniał przy pomocy mechaniki klasycznej (newtonowskiej), próbując przy tym nieco zmodyfikować Newtonowskie prawo grawitacji. W swojej książce (z roku 1796) zatytułowanej *Exposition du système du monde*²⁰, opierając się na teorii grawitacji

¹⁸ Laplace Pierre Simone markiz de (1749-1827), francuski matematyk, fizyk i astronom, urodził się w Normandii. Wykładał w szkole artyleryjskiej w Beaumont oraz w École Normale w Paryżu. Był członkiem Francuskiej Akademii Nauk. Za Dyrektoriatu pełnił funkcje ministra spraw wewnętrznych i senatora. Zajmował się mechaniką nieba, kalorymetrią równaniami różniczkowymi, rachunkiem prawdopodobieństwa. Zastąpił z hipotezy powstania Układu Słonecznego z pierwotnej mgławicy pyłu i gazu pod wpływem sił powszechnego ciężenia (ta jego hipoteza z 1796 r. została nazwana „hipotezą mgławicową” ze względu na wykorzystanie mgławicy Andromedy w roli przykładu; hipoteza ta była podobna do hipotezy I. Kanta z 1755 r.), pierwszej teorii wyjaśniającej zjawisko włoskowatości. W 1804 r. sformułował tezy skrajnego mechanicystycznego determinizmu („demon Laplace’a”). W latach 1799-1825 wydał 5-tomowe dzieło pt. *Mécanique Céleste*, porównywane do *Almagestu* Ptolomeusza, będące ukoronowaniem matematyczno-astronomicznych wysiłków XVIII wieku. Por. np. J. V Narlikar, *Lżejsza strona grawitacji*, ss. 39-40; J. Gribbin, *Companion to the cosmos*, ss. 116-117; *On the shouldiers of giants. The History of Science in the XVII century*, ed. by Ray Spangenberg, Diane K. Moser, [New York 1993] ss. 23-25.

¹⁹ Por. J. North, *The measure of the universe*, ss. 44-45.

²⁰ Przy końcu tej książki, będącej popularnym wykładem astronomii, Laplace przedstawił hipotezę powstania naszego układu planetarnego z pierwotnej rozszarzonej mgławicy otaczającej Słońce. Wkrótce po wydaniu książki hipoteza Laplace’a zyskała duże uznanie i była aprobowana przez większość astronomów XIX wieku. Por. np.

Newtona, Laplace przewidywał, że odpowiednio masywny i gęsty obiekt (np. gwiazda o promieniu 250 razy większym od Słońca i o gęstości równej gęstości Ziemi) będzie niewidzialny, gdyż prędkość ucieczki na jego powierzchni byłaby większa od prędkości światła. Cząstka światła (foton) wysłana z powierzchni takiego obiektu nie potrafi oprzeć się przyciąganiu i wrócił z powrotem do miejsca emisji²¹

Laplace, podobnie jak Michell uważał, że taki czarny obiekt (gwiazda) zbudowany jest z materii o ziemskiej gęstości, prawie takiej samej jak woda, ziemia, skała, czy też Słońce, a więc ok. 1 g/cal^3 . Przy tej gęstości gwiazda, żeby być czarną (tzn. mieć rozmiary mniejsze od swojego promienia krytycznego) musiałaby mieć masę ok. 400 razy większą od masy Słońca i obwód 3 razy większy od obwodu ziemskiego. Gwiazda taka, podlegała prawom newtonowskiej mechaniki, byłaby obiektem raczej niezwykłym i egzotycznym w tamtych czasach, lecz jej ewentualne istnienie nie stało w sprzeczności z Laplace'a poglądami na naturę Wszechświata.

Obserwator na planecie położonej najbliżej czarnej gwiazdy Laplace'a mógłby obserwować korpuskuły światła podnoszące się z powierzchni gwiazdy, a potem z powrotem gwałtownie na nią spadające.

Promień krytyczny czarnego obiektu (horyzont) dwudziestowiecznej czarnej dziury powoduje, że z żadnej odległości (nawet najbliższej) poza horyzontem obserwator nie może zobaczyć emitowanego z powierzchni gwiazdy światła. Cokolwiek przekroczy horyzont, nie może już spoza niego powrócić i jest stracone dla naszego świata. Obowiązanie prawa zachowania masy i energii staje w tym miejscu pod znakiem zapytania, co stanowi to poważny problem i zagadkę dla współczesnej fizyki²²

Odkrycie przez Thomasa Younga w 1801 r. zjawiska interferencji światła spowodowało porzucenie przez filozofów przyrody korpuskularnej koncepcji światła i zastąpienie jej opisem falowym zaproponowanym przez Christiaana Huygensa. Nie potrafiono jednak wtedy falowej koncepcji światła połączyć z Newtonowskim prawem grawitacji na tyle, by

R. Spangenburg, D.K. Moser, *The history of science in eighteenth century*, ss. 23-25; S.L. Jaki, *Bóg i kosmologowie*, ss. 22-23.

²¹ „the attractive force of a heavenly body could be so large that light could not flow out of it” Cyt. za E.R. Harrison, jw., s. 203. Zobacz też: J.T. Cushing, *Philosophical Concepts in Physics*, s. 269; J. North, *Astronomy and cosmology*, ss. 475-476; S.W. Hawking, *Newton's Principia*, s. 2; R. Penrose, *Black holes*, s. 210; I. Nowikow, *Czarne dziury i Wszechświat*, ss. 16-20.

²² Por. K.S. Thorne, jw., ss. 138-139.

można było obliczyć wpływ, jaki grawitacja gwiazdy wywiera na światło, które emituje. Uznano więc, że nie ma racji by w dalszym ciągu wierzyć, iż grawitacja oddziałuje na światło.

Trudność powyższa, a także sprzeczność pomiędzy przekonaniem, że prędkość światła jest wielkością stałą (nieskończoną) a rozumowaniem, że cząsteczki światła, podobnie jak wszystkie inne ciała materialne, po wyemitowaniu z ciała grawitującego powinny tracić z czasem prędkość, spowodowała, że Laplace w od trzeciego wydania swojej książki (w 1808 r.) nie podejmował już tego zagadnienia²³

c. Koncepcją gwiazdy, która nie może emitować promieni świetlnych z powodu zbyt silnego pola grawitacyjnego, jakie powstało w wyniku dużej koncentracji jej masy, zajmował się również niemiecki astronom, **Johann Georg von Soldner**. W swojej pracy z roku 1801 podał on obliczenia newtonowskiego ugięcia korpuskuł światła przy przechodzeniu w pobliżu gwiazdy. Spekulował też na temat możliwości okrążania przez gwiazdy naszej Galaktyki centralnego i bardzo masywnego ciemnego obiektu²⁴

d. Ponad 50 lat przed powstaniem ogólnej teorii względności **Johann Heinrich von Mädler**²⁵ w 1861 r. w swojej popularnej książce na temat astronomii, zatytułowanej *Der Wunderbau des Weltfalls, oder Po-*

²³ Por. K.S. Thorne, jw., s. 123; M. Rees, *Before the Beginning*, s. 46; J. Gribbin, M. Rees, *Kosmiczne zbiegi okoliczności*, s. 151.

²⁴ Por. W. Israel, *Dark stars*, s. 203-204; E.R. Harrison, jw., s. 180.

²⁵ Mädler Johann Heinrich von, urodził się 29.05.1794 r. w Berlinie, a zmarł 14.03.1874 r. w Hanoverze. W wieku 23 lat został nauczycielem. Zainteresowanie astronomią wzbudziła w nim kometa, jaka pojawiła się na niebie w roku 1811. W latach 1834-1836 opublikował (wraz z Wilhelmem Beer) w 4 tomach najbardziej kompletną w owych czasach mapę Księżyca (*Mappa Selenographica*). Jakiś czas uczył w seminarium w Berlinie, by później (od 1840 roku) objąć stanowisko dyrektora Obserwatorium Astronomicznego Dorpat (obecnie Tartu) w Estonii, gdzie pracował aż do przejścia na emeryturę. W roku 1865 powrócił do Niemiec, gdzie aż do śmierci prowadził się badania astronomiczne. Oprócz obserwacji astronomicznych głównie Księżyca i Marsa oraz gwiazd podwójnych, zajmował też się popularyzowaniem astronomii poprzez pisywanie artykułów do dzienników i periodyków. Jego książka *Der Wunderbau des Weltfalls, oder Populäre Astronomie* (pierwsze wydanie ukazało się w roku 1841) doczekała się kilku wydań. Za kopalnię informacji historycznych z astronomii uznawana jest jego książka z roku 1873 *Geschichte der Himmelskunde*. Por. *The New Encyclopædia Britannica. Micropaedia*, 15th edition, Chicago 1994, vol. 7, s. 658; *Dictionary of inventions and discoveries*, ed. E.F. Carter, F. Muller, London 1969, s.109.

populäre Astronomie, omawiając paradoks Olbersa²⁶, dyskutował idee początkowej osobliwości kosmologicznej i horyzontu czasstek. Na stronie 466 pisał:

„W każdym razie, istnieje odległość (z której światło już nigdy do nas nie może dotrzeć), ale przyczyna tego jest zupełnie inna. [Niż argument Olbersa, według którego absorpcja światła jest odpowiedzialna za taką odległość, a w następstwie jest odpowiedzialna za ciemne niebo]. Prędkość światła jest skończona; od początku stworzenia do naszych dni upłynęła skończona ilość czasu, i dlatego możemy być tylko świadomi niebieskich ciał do odległości, którą światło przebyło w tym skończonym czasie! (...) Zamiast mówić, że światło z tych odległości *nie* dotarło do nas, należy mówić: że *jeszcze nie* dotarło do nas [podkreślenie Mädlera].”²⁷

Mädler uważał, iż prawdziwe wyjaśnienie paradoksu Olbersa należy zostawić metafizykom, ponieważ astronomowie zawsze, z różnych podstawowych powodów, są ograniczeni do prowadzenia obserwacji jedynie do skończonych odległości. Świat został stworzony skończoną ilością czasu temu – twierdził Mädler – i nie będzie trwał wiecznie, stąd żaden ruch, w tym również ruch promieni świetlnych, we Wszechświecie również nie będzie odbywał się w nieskończoność. Światło, zanim dotrze do naszych oczu, może podróżować tylko skończoną ilością czasu i przebyć skończoną odległość w skończonej przestrzeni. Gdybyśmy wiedzieli ile czasu upłynęło od początku świata, moglibyśmy obliczyć, jak daleko od nas znajduje się jego ‘brzeg’²⁸

²⁶ Na temat rozwiązań paradoksu Olbersa w kolejnych wydaniach książki Mädlera *Der Wunderbau des Weltalls, oder Populäre Astronomie* pisze F.J. Tipler, *Johann Mädler's Resolution of Olbers' Paradox*. "Q. Jl. R. Astr. Soc." {Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society} 29(1988), ss 313-325.

²⁷ J.H. Mädler, *Der Wunderbau des Weltalls, oder Populäre Astronomie*, 5th ed. Carl Heymann, Berlin 1861, s. 466; cytuję za F.J. Tipler, C.J.S. Clarke, G.F.R. Ellis, *Singularities and Horizons - A Review Article*, s. 99; por też F.J. Tipler, *Johann Mädler's Resolution of Olbers' Paradox*, s. 316.

²⁸ "The world is created, and hence is not eternal. Thus no motion in the universe can have lasted for infinite time; in particular this applies to a beam of light. In the finite amount of time it could travel before it reached our eyes, a light beam could pass through only finite space no matter how large the speed of light. If we knew the moment of creation, we would be able to calculate its boundary." J. Mädler, *Der Fixsternhimmel*, Lipzig 1858, s. 87, cyt. za F.J. Tipler, *Johann Mädler's Resolution of Olbers' Paradox*, s. 320.

* * *

Spoglądając na ów niewielki szkic historyczny na temat idei horyzontów kosmologicznych, łatwo zauważyć, że w starożytności i w średniowieczu kosmologia nie miała charakteru naukowego (w dzisiejszym rozumieniu tego słowa). Stanowiła raczej swego rodzaju układ odniesienia, względem którego wyznaczano status tego, co naturalne, doskonałe, uporządkowane i proste, a także tego, co nieznanne i tajemnicze. Tłumaczenie obserwacji i czynienie przewidywań nie było jej *raison d'être*, lecz pozostawało w służbie ówczesnych struktur społeczno-ustrojowych, w pewnym sensie uzasadniając ich 'filozofię'

Granica poznawalności Wszechświata wyznaczona była jego modelem wyobrażeniowym. Ponieważ większa część ówczesnej nauki związana była z filozofią, główną rolę odgrywały argumenty abstrakcyjne (zależne od filozoficzno-teologicznych przekonań). Pewne podstawowe zagadnienia epistemologiczne traktowano jako pierwotne w stosunku do pytań z dziedziny fizyki i astronomii²⁹. Chociaż w starożytności i w średniowieczu eksperymenty i obserwacje ograniczały możliwości poznawcze filozofów przyrody (w dużo większym stopniu niż obecnie), to jednak ich aspiracje teoretyczne wydały się być (podobnie jak ludzi nauki w dzisiejszych czasach) nieograniczone.

Wczesne kosmologie przedstawiały Wszechświat, którego właściwości zmieniały się wraz z odległością od nas, ale on sam pozostawał niezmienny w czasie. Wszechświat Greków i średniowiecza nie był ani izotropowy ani równomierny. Ziemi obserwator, ze względu na szczególne położenie Ziemi, patrząc w niebo w różnych kierunkach, za każdym razem widział co innego. Nieskończona przestrzeń podlegająca prawom geometrii Euklidesa i nieskończony czas, rozciągający się od minus nieskończoności do plus nieskończoności, dostarczały sceny, na której materialne ciała odgrywały swoje role ściśle według scenariusza napisanego przez prawa mechaniki arystotelesowskiej.

Stopniowo teorie filozofów przyrody i astronomów stawały się coraz bardziej abstrakcyjne, a tym samym coraz bardziej odległe od przetwórczych możliwości ludzkiej wyobraźni. W miarę teoretycznego rozwoju fizyki i astronomii oraz postępu w gromadzeniu danych obserwacyjnych Wszechświat szybko wypełniał się gwiazdami i układami gwiazdnymi, stając się coraz bardziej 'światem astronomicznym'

²⁹ Por. G.E.R. Lloyd, *Nauka grecka od Talesa do Arystotelesa*, s. 127; A. Drzewiński, J. Wojtkiewicz, *Opowieści z historii fizyki*, s. 9-31.

Powstały w XVII w. system Newtona okazał się niezwykle płodny i aż do końca XIX wieku uważano go za ostateczną teorię fizyczną. Mechanika Newtona nie tylko pozwalała przewidzieć nawet najdrobniejsze szczegóły ruchu ciał niebieskich, ale również umożliwiała teoretyczny opis ruchu punktów materialnych, brył sztywnych i ośrodków ciągłych. Jednakże od czasów Galileusza i Newtona aż do narodzin kosmologii relatywistycznej nie powstała żadna naukowa konsystentna teoria Wszechświata jako całości. Odkrycie teorii względności i mechaniki kwantowej radykalnie zmieniło nasze rozumienie Wszechświata – od Wszechświata, który jest pozaczasowy i niezmienny do Wszechświata, który jest dynamiczny i ewoluujący.

Zaprezentowane przemyślenia należą, rzecz jasna, do historii kosmologii, która sama jest historią poszerzania horyzontów ludzkiej wiedzy, historią stałego wzrostu rozumienia przez człowieka fizycznej natury Wszechświata jako całości.

Dziś ów horyzont kosmologicznych badań znacznie się przesunął; idee, pojęcia i problemy, które początkowo miały charakter domysłów, śmiałych przypuszczeń i czystych hipotez weszły w zakres poważnych rozważań naukowych. Niemniej nurtujące ludzkość od wieków pytania, co było początkiem wszystkiego i co będzie końcem, czy Wszechświat jest skończony, czy nieskończony (w przestrzeni i w czasie), czym jest czas i przestrzeń, wciąż nie znajdują na gruncie kosmologii ostatecznej odpowiedzi. Wszelkie interpretacje naukowe mają bowiem to do siebie, że tak naprawdę nigdy się nie kończą. Zawsze muszą liczyć się z jakimś kolejnym wyjaśnieniem, które stanowi nowość w stosunku do dotychczasowych dociekań nad tajemnicą Wszechświata.

GENESIS OF COSMOLOGICAL HORIZONS IN PRE-RELATIVISTIC PHYSICS

Summary

Many ideas, concepts, notions and problems which in our days function in science come from Ancient Greek Philosopher of Science. The article presents genesis of cosmological horizons in pre-relativistic physics. This subject was presented in two chapters: 1. *“Boundary of the Universe” in ancient and mediaeval models of the Universe*; 2. *Newtonian physics and idea of horizon*. A reflection on the development of cosmology in methodological context concludes the article.