

KONCEPCJA  
BUDOWY  
WSZECH-  
ŚWIATA



# KONCEPCJA BUDOWY WSZECH- ŚWIATA

Artykuły zostały opracowane na podstawie referatów  
wygłoszonych podczas XXVII sesji naukowej  
z cyklu „Dwugłos Nauki”  
w dniu 28 listopada 2025 roku

Pod redakcją  
prof. dr. hab. Jerzego Kaczorowskiego

Poznań 2026

Polska Akademia Nauk, Oddział w Poznaniu

*Koncepcja budowy Wszechświata*

Publikacja finansowana przez  
Polską Akademię Nauk

Redakcja: Jerzy Kaczorowski

Projekt okładki: Mirosława Korbańska  
Korekta: Małgorzata Szkudlarska

Polska Akademia Nauk, Oddział w Poznaniu  
61-772 Poznań, Stary Rynek 78/79  
tel.: (61) 641 50 03  
e-mail: [poznan@pan.pl](mailto:poznan@pan.pl), [poznan.pan.pl](http://poznan.pan.pl)

© Copyright by Oddział PAN w Poznaniu, Poznań 2026  
All rights reserved

ISBN 978-83-68418-47-7

Przygotowanie do druku:  
Logoscript Sp. z o.o.  
ul. Dembowskiego 4/54, 02-784 Warszawa

Druk i oprawa:  
SORS Łukasz Chubert  
ul. Morelowa 5, 64-360 Przyprostynia

## SPIS TREŚCI

Wprowadzenie Jerzy Kaczorowski . . . . .	7
Wyzwania współczesnej kosmologii Tomasz Bulik . . . . .	9
Rewolucja w podczerwieni: Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba Michał Michałowski. . . . .	29
U granic antropicznego przywileju. Sztuczna inteligencja w strukturze kosmicznego sensu Wojciech Grygiel . . . . .	39
Astronomia a pytanie o sens życia Wojciech Sady . . . . .	59
Noty o autorach . . . . .	73



## Wprowadzenie

Oddajemy do rąk Czytelników zbiór czterech artykułów prezentujących referaty wygłoszone podczas XXVII sesji naukowej z cyklu „Dwugłos Nauki”, zatytułowanej *Koncepcja budowy Wszechświata*. Sesja została zorganizowana przez Polską Akademię Nauk, Oddział w Poznaniu, i odbyła się w jego siedzibie 28 listopada 2025 r.

Sesje naukowe z cyklu „Dwugłos Nauki” są organizowane w Poznaniu od 1995 r. Ich celem jest prezentacja aktualnych problemów nauki z różnych perspektyw – przedstawicieli nauk ścisłych i przyrodniczych oraz nauk humanistycznych.

Temat tegorocznej sesji dotyczył zagadnień fundamentalnych, które niezmiennie budzą zainteresowanie oraz inspirują do refleksji zarówno filozofów i przyrodników, jak i „poszukiwaczy” wiedzy naukowej. Referaty wygłosili profesorowie: Tomasz Bulik (Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego), Michał Michałowski (Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu), Wojciech P. Grygiel (Wydział Filozoficzny Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie) oraz Wojciech Sady (Instytut Filozofii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach).

Artykuł Tomasza Bulika *Wyzwania współczesnej kosmologii* jest przeglądem aktualnego stanu wiedzy o Wszechświecie. Przełomowym wydarzeniem w historii kosmologii było zastosowanie w 1990 r. Teleskopu Hubble’a. Doprowadziło to do odkrycia rozszerzania się Wszechświata i zmieniło nasze rozumienie kosmosu ze statycznego na dynamiczny. Najciekawsze wydaje się pytanie, z czego zbudowana jest przestrzeń. Znamy jedynie 5% składu kosmosu, pozostałą część stanowią ciemna materia – 25% i ciemna energia – 70%. Ich natury ciągle nie znamy, jest to największa zagadka współczesnej kosmologii i fizyki. Prowadzone badania struktury i ewolucji Wszechświata przedstawiają coraz bardziej spójny i szczegółowy obraz kosmosu. Zrozumienie istoty badanych zjawisk zmienia nasze pojmowanie rzeczywistości, a kolejne odkrycia rodzą następne pytania.

Artykuł Michała Michałowskiego *Rewolucja w podczerwieni: Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba* przedstawia niezwykle możliwości badawcze oraz przełomowe wyniki obserwacyjne teleskopu. Przyrząd ten, wysłany w przestrzeń kosmiczną w 2021 r., jest prawdziwym cudem techniki. Został umieszczony w przestrzeni kosmicznej w odległości ok. 1,5 mln km od Ziemi, cztery razy

dalej niż Księżyc. Teleskop Webba, w przeciwieństwie do Teleskopu Hubble'a, umożliwia prowadzenie obserwacji w szerokim zakresie podczerwieni. Pozwala to na badanie najodleglejszych i najwcześniejszych struktur we Wszechświecie, czyli cofamy się do początku istnienia świata. Teleskop Webba został stworzony głównie w celu badania pierwszych galaktyk, ale okazało się, że ma wiele innych zastosowań. Dzięki niemu dokonuje się niemalże rewolucja w astronomii, badamy nie tylko galaktyki, ale i ewolucję czarnych dziur, strukturę gazu i pyłu, atmosfery planet pozasłonecznych oraz planety i planetoidy naszego Układu Słonecznego.

Artykuł Wojciecha P. Grygiela *U granic antropicznego przywileju. Sztuczna inteligencja w strukturze kosmicznego sensu* ma charakter filozoficzny. Autor próbuje umiejscowić sztuczną inteligencję w procesie ewolucji kosmicznej. Przyjmuje tezę o racjonalnej strukturze Wszechświata, która ujawnia się w kolejnych poziomach organizacji – od prostych struktur fizycznych po refleksyjną świadomość człowieka. Gatunek *Homo sapiens* zostaje przedstawiony jako pośredni etap w rozwoju nauki i technologii, sztuczna inteligencja jest kolejną formą racjonalności. Nie wiemy, czy dalszy rozwój AI spowoduje tylko większą złożoność materii, czy doprowadzi do wytworzenia nowego rodzaju świadomości.

Artykuł Wojciecha Sadego *Astronomia a pytanie o sens życia* przedstawia niezwykle ciekawe rozważania z pogranicza nauk ścisłych i humanistycznych. Autor pokazuje przemiany obrazu świata, od ujęć religijnych po współczesną naukę, oraz ich wpływ na zrozumienie miejsca człowieka we Wszechświecie. Religie, chociaż opierały się na nienaukowych przesłankach, odegrały ważną rolę w poznaniu przednaukowym. Współczesna nauka daje dokładniejszy obraz świata, ale nie odpowiada na pytanie o sens życia. Nauka, filozofia i religia są dopełnieniem naszego spojrzenia na świat.

Mamy nadzieję, że artykuły przyczynią się do zaciekawienia czytelnika badaniami nad Wszechświatem oraz staną się inspiracją do dalszych poszukiwań.

Tekst książki został udostępniony w formie elektronicznej na stronie internetowej Oddziału PAN w Poznaniu: <https://poznan.pan.pl/wydawnictwa/>

*Prof. dr hab. Jerzy Kaczorowski, czł. rzecz. PAN  
Prezes Oddziału PAN w Poznaniu*

# Wyzwania współczesnej kosmologii

PROF. DR HAB. TOMASZ BULIK, CZŁ. KORESP. PAN

ORCID: 0000-0003-2045-4803

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego

## Wstęp

Współczesna kosmologia to rozległa nauka bazująca na obserwacjach kosmosu jako całości. Głównym celem, jaki przyświeca tym badaniom, jest zrozumienie ewolucji Wszechświata, jego początków, a przede wszystkim stworzenie całościowego modelu kosmosu. Tego typu badania mają swoje początki już w starożytności. Pierwsze modele kosmologiczne ukazywały płaską Ziemię w centrum, unoszoną na oceanie przez żółwie czy też przez słonie na grzbietach żółwi. Późniejsze modele kosmologiczne kontynuowały ideę centralnej Ziemi, ale próbowały wyjaśnić obserwacje ruchów Słońca, Księżyca i planet. Tak powstał model Ptolemeusza w II wieku p.n.e. W modelu tym Słońce, Księżyc i planety obiegały Ziemię i otoczone były sferą, na której znajdowały się gwiazdy stałe. Model ten musiał być ulepszany przez wprowadzanie epicykli – czyli kolejnych kręgów, po których poruszały się planety, aby wyjaśnić ich skomplikowany ruch na niebie. Rewolucją stał się model kopernikański, w którym środek Wszechświata został przeniesiony do Słońca. Prawdziwy przełom stanowiło spostrzeżenie, że Ziemia nie jest wyróżnionym ciałem kosmicznym. Dalsze poznawanie Kosmosu doprowadziło do zidentyfikowania Drogi Mlecznej jako struktury złożonej z miliardów gwiazd. Na przełomie XIX i XX wieku wydawało się, że nasza Droga Mleczna stanowi podstawową i jedyną strukturę Wszechświata. Kolejny krok polegał na zrozumieniu, że Wszechświat zawiera wiele galaktyk takich jak Droga Mleczna. Debata nad skalą wielkości Wszechświata miała miejsce w 1920 roku pomiędzy Heberem Curtisem a Harlowem Shapleyem. Ten pierwszy argumentował za Wszechświatem w postaci naszej Drogi Mlecznej o rozmiarze około

300 tys. lat świetlnych. Jego oponent argumentował, że rozmiar Drogi Mlecznej jest 10 razy mniejszy, a mgławica Andromeda jest sąsiednią galaktyką, jakich jest wiele we Wszechświecie, zaś rozmiary Kosmosu są znacznie większe. Debata została wkrótce rozstrzygnięta przez Edwina Hubble'a na korzyść tez Shapleya. Badania Hubble'a stanowiły początek współczesnej kosmologii – nauki, która doprowadziła do powstania teorii Wielkiego Wybuchu, do koncepcji inflacji i która obecnie wyjaśnia większość obserwacji Wszechświata. W poniższym artykule przedstawię podsumowanie obserwacji Wszechświata, ich interpretacje, a w końcowej części omówię problemy, z jakimi boryka się współczesna kosmologia.

## Dlaczego Wielki Wybuch?

### Rozszerzanie Wszechświata

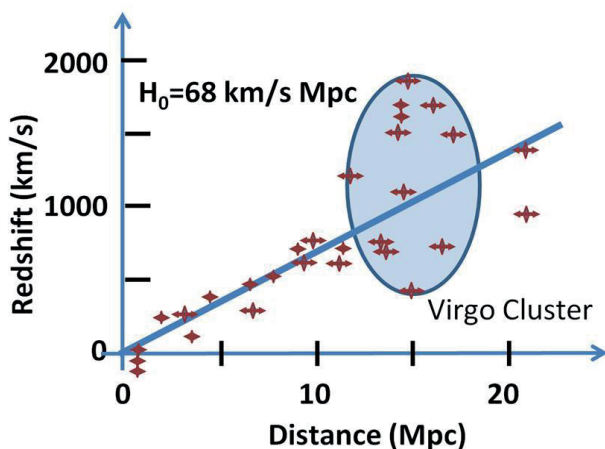
Odkrycie rozszerzania się Wszechświata przez Edwina Hubble'a należy do najważniejszych momentów w historii nauki, gdyż zmieniło nasze rozumienie kosmosu z zasadniczo statycznego na dynamiczny i ewoluujący. W latach 20. XX wieku Hubble, pracując w Obserwatorium Mount Wilson, badał odległe mgławice – obiekty, które wówczas nie były jeszcze jednoznacznie klasyfikowane jako galaktyki.

Kluczowe odkrycie zawdzięczamy Henriecie Leavitt, która wykazała, że okres pulsacji pewnego typu gwiazd zwanych cefeidami jest ściśle powiązany z ich jasnością absolutną (prawo okres-jasność). W praktyce oznacza to, że mierząc okres zmian blasku, astronomowie potrafią wyznaczyć prawdziwą jasność gwiazdy, a porównując ją z jasnością obserwowaną – obliczyć odległość do danej cefeidy i galaktyki, w której się znajduje

Dzięki tym pomiarom Hubble był w stanie określać odległości do tych obiektów i udowodnił, że znajdują się one poza Drogą Mleczną. Tym samym potwierdził istnienie innych galaktyk, rozszerzając skalę Wszechświata. Najważniejszy krok nastąpił jednak, gdy Hubble porównał odległości galaktyk z pomiarami ich przesunięć ku czerwieni, wykonanymi wcześniej przez Vesto Sliphera. Zauważył wyraźną zależność: im dalej znajduje się galaktyka, tym szybciej oddala się od nas. To odkrycie, opublikowane w 1929 roku, stało się podstawą tzw. prawa Hubble'a i zostało zinterpretowane jako dowód na rozszerzanie się przestrzeni. Oznaczało to, że nie tylko galaktyki poruszają się przez kosmos, ale sam kosmos się rozciąga.

Konsekwencje tego wniosku były rewolucyjne. Otworzyły drogę do powstania współczesnej kosmologii i teorii Wielkiego Wybuchu, sugerując, że

Wszechświat miał początek i ewoluuje w czasie. Odkrycie Hubble'a nie tylko poszerzyło nasze horyzonty fizyczne, ale również filozoficzne – pokazało, że rzeczywistość jest dynamiczna, a ludzkie rozumienie kosmosu stale się rozwija dzięki odwadze i docieklivości badaczy. Tempo rozszerzania Wszechświata określa się, mierząc stałą Hubble'a, czyli stałą proporcjonalności pomiędzy odległością a prędkością odległych galaktyk. Odwrotność tej stałej to wiek Wszechświata, który obecnie wyznaczony jest na około 13,7 mld lat. Skoro Wszechświat się rozszerza, to idąc wstecz, musiał być bardzo mały i mieć swój początek – Wielki Wybuch.



Rys. 1. Diagram Hubble'a przedstawiający zależność prędkości od odległości. Zaznaczona jest pobliska gromada galaktyk Virgo. Stała Hubble'a wynosi około 68 km/s/Mpc.

## Odkrycie mikrofalowego promieniowania tła i pomiar jego fluktuacji przez satelitę Planck

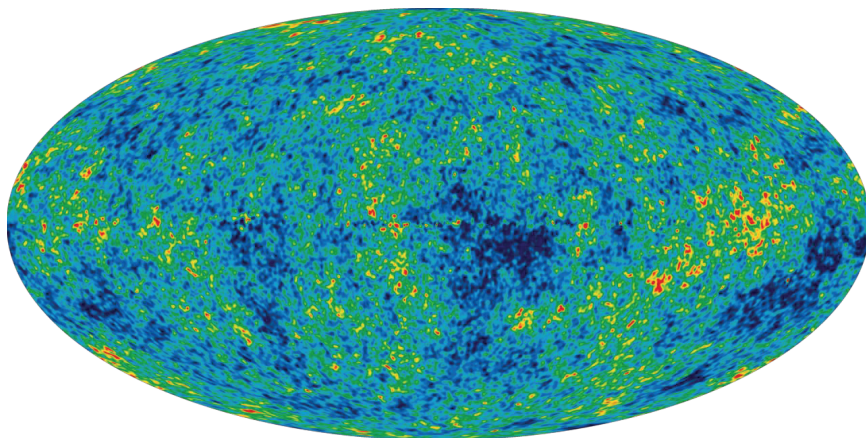
Mikrofalowe promieniowanie tła jest „echem” narodzin Wszechświata – reliktem gorącej, gęstej fazy z okresu około 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu, gdy materia i promieniowanie po raz pierwszy mogły się rozdzielić. Jego przypadkowe odkrycie w 1965 roku przez Arno Penziasa i Roberta Wilsona dostarczyło jednego z najmocniejszych dowodów na słuszność kosmologii Wielkiego Wybuchu.

Choć średnia temperatura mikrofalowego promieniowania tła jest niemal idealnie jednolita (ok. 2,7 K), to zawiera ono mikroskopijne fluktuacje – różnice rzędu milionowych części stopnia – które są zapisem pierwotnych zaburzeń

gęstości materii. To z nich wyrosły później galaktyki i wielkoskalowe struktury. Do ich precyzyjnego pomiaru potrzebne były obserwacje z kosmosu, wolne od zakłóceń atmosfery Ziemi.

Przełomową misją stał się europejski satelita Planck, wystrzelony przez ESA w 2009 roku. Planck sporządził najdokładniejsze do dziś mapy anizotropii mikrofalowego promieniowania tła w szerokim zakresie częstotliwości, co pozwoliło oddzielić sygnał kosmologiczny od emisji pyłu i gazu w Drodze Mlecznej. Dzięki temu zmierzono bardzo dokładnie kształt widma mocy fluktuacji mikrofalowego promieniowania tła.

Wyniki Plancka dostarczyły ścisłych ograniczeń na kluczowe parametry kosmologiczne, takie jak wiek Wszechświata, gęstość materii we Wszechświecie czy krzywiznę przestrzeni. Odkrycie mikrofalowego promieniowania tła i jego precyzyjne pomiary nie tylko potwierdziły obraz kosmicznych początków, ale też uczyniły z kosmologii jedną z najbardziej ilościowych nauk o Wszechświecie.



Rys. 2. Mapa temperatury mikrofalowego promieniowania tła na niebie zmierzona przez satelitę WMAP. Istnienie tego promieniowania potwierdza teorię Wielkiego Wybuchu. Fluktuacje promieniowania pozwalają wyznaczyć stałą Hubble'a oraz skład materii we Wszechświecie.

Teoria Wielkiego Wybuchu jest naturalnym wyjaśnieniem dwóch faktów obserwacyjnych: przesunięcia ku czerwieni oraz obserwacji mikrofalowego promieniowania tła. Przesunięcia ku czerwieni i tempo rozszerzania Wszechświata implikują wiek Wszechświata – około 13,7 mld lat. Ewoluuując, Wszechświat w przeszłości musiał być gęstszy i gorętszy. Mikrofalowe promieniowanie tła pochodzi z epoki, gdy Wszechświat miał około 380 tys. lat, a temperatura spadła do poziomu, w którym powstały atomy wodoru ze zjonizowanego gazu protonów i elektronów.

## Z czego zbudowany jest Wszechświat?

### Pierwotna nukleosynteza a gęstość materii barionowej

Pierwotna nukleosynteza (ang. *Big Bang nucleosynthesis*, BBN) to proces powstawania najlżejszych jąder atomowych w pierwszych minutach po Wielkim Wybuchu, gdy Wszechświat był bardzo gorący i gęsty. Około jednej sekundy po Wielkim Wybuchu temperatura spadła na tyle, że przestały zachodzić reakcje utrzymujące równowagę między protonami i neutronami, a po kilku minutach możliwe stało się łączenie tych cząstek w jądra deuteru, helu i śladowych ilości litu.

Najważniejszym produktem pierwotnej nukleosyntezy jest hel-4, który stanowi około 25% masy materii barionowej, podczas gdy wodór pozostaje składnikiem dominującym. Powstają także niewielkie ilości deuteru, helu-3 i litu-7. Ilości tych pierwiastków zależą przede wszystkim od gęstości barionów w młodym Wszechświecie, ponieważ to ona określa tempo reakcji jądrowych i moment, w którym przestają być one efektywne.

Deuter, czyli jądro wodoru złożone z protonu i neutronu, jest szczególnie czułym wskaźnikiem gęstości materii barionowej we wczesnym Wszechświecie. Wynika to z faktu, że deuter powstaje jako etap pośredni w syntezie helu, ale jest też łatwo niszczone w reakcjach jądrowych. Jeśli gęstość barionów jest duża, reakcje zachodzą szybciej i znaczna część deuteru zostaje przetworzona w hel, co prowadzi do małej końcowej obfitości deuteru. Jeśli natomiast gęstość barionów jest mniejsza, reakcje są mniej efektywne i więcej deuteru pozostaje niezniszczony. Ostateczna ilość deuteru jest więc silnie zależna od stosunku liczby barionów do fotonów.

Aby wyznaczyć tę obfitość obserwacyjnie, astronomowie mierzą zawartość deuteru w bardzo odległych obłokach gazu widocznych w widmach kwazarów. Są to układy o małej zawartości ciężkich pierwiastków, które przeszły niewielką ewolucję chemiczną, dzięki czemu zachowują skład zbliżony do pierwotnego. Deuter rozpoznaje się po niewielkim przesunięciu linii absorpcyjnych względem zwykłego wodoru, wynikającym z różnicy mas.

Porównanie zmierzonej obfitości deuteru z obliczeniami pierwotnej nukleosyntezy pozwala wyznaczyć gęstość barionów w młodym Wszechświecie. Wynik ten jest bardzo precyzyjny i zgodny z niezależnymi pomiarami opartymi na analizie anizotropii mikrofalowego promieniowania tła. Zgodność tych dwóch metod stanowi jedno z najsilniejszych potwierdzeń standardowego modelu kosmologicznego oraz naszego rozumienia fizyki pierwszych minut po Wielkim Wybuchu.

Porównanie teoretycznych przewidywań BBN z obserwowanymi obfitościami deuteru i helu pozwala wyznaczyć średnią gęstość materii barionowej. Wynik

tych analiz wskazuje, że bariony stanowią tylko niewielką część całkowitej gęstości energii Wszechświata – około 4–5%. Niezależne potwierdzenie tej wartości pochodzi z obserwacji mikrofalowego promieniowania tła, którego drobne fluktuacje również zależą od liczby barionów.

## Fluktuacja widma mikrofalowego promieniowania tła

Mikrofalowe promieniowanie tła (CMB) jest reliktowym promieniowaniem pochodzącym z epoki rekombinacji, około 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu, gdy protony i elektrony połączyły się w neutralne atomy, a Wszechświat stał się przezroczysty dla fotonów. Niewielkie fluktuacje temperatury CMB, na poziomie jednej części na sto tysięcy, odzwierciedlają pierwotne zaburzenia gęstości materii i promieniowania. Analiza ich własności pozwala bardzo dokładnie wyznaczyć podstawowe parametry kosmologiczne, w tym gęstość materii.

Kluczową informację niesie widmo mocy fluktuacji CMB, czyli zależność amplitudy anizotropii od skali kątowej. Charakterystyczne maksima, zwane pikami akustycznymi, powstają w wyniku oscylacji fal gęstości w plazmie barionowo-fotonowej przed rekombinacją. Położenie pierwszego pików zależy głównie od geometrii Wszechświata, natomiast względne wysokości kolejnych pików są wrażliwe na gęstość barionów i całkowitą gęstość materii. Większa zawartość barionów wzmacnia kompresyjne fazy oscylacji, zmieniając stosunek wysokości pików nieparzystych do parzystych, podczas gdy całkowita ilość materii wpływa na tempo wzrostu perturbacji i kształt widma na większych skalach.

Dopasowanie teoretycznych modeli do precyzyjnych pomiarów, takich jak wyniki misji WMAP i Planck, pozwoliło określić, że całkowita gęstość materii wynosi około 30% gęstości krytycznej, z czego jedynie około 5% przypada na materię barionową. Oznacza to, że większość materii stanowi ciemna materia, która nie oddziałuje z promieniowaniem, lecz wpływa grawitacyjnie na ewolucję fluktuacji.

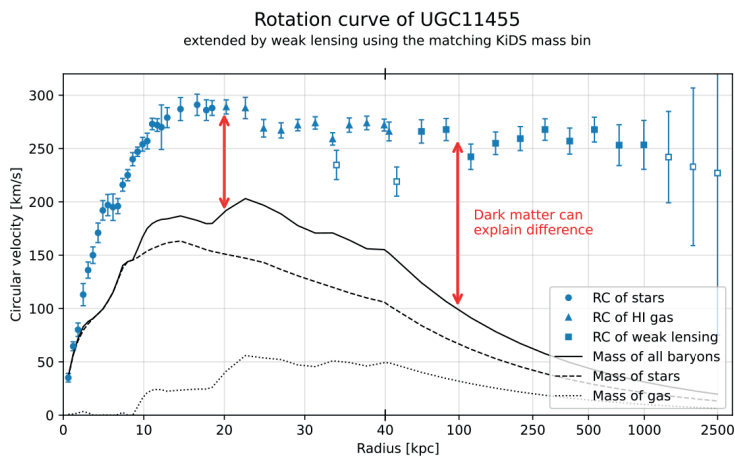
Ograniczenia wynikające z CMB są szczególnie wiarygodne, ponieważ opierają się na dobrze zrozumianej fizyce liniowych perturbacji i procesów zachodzących w jednorodnym, gorącym Wszechświecie. Zgodność wartości gęstości barionów wyznaczonych z fluktuacji CMB z wynikami pierwotnej nukleosyntezy stanowi jedno z najważniejszych potwierdzeń standardowego modelu kosmologicznego oraz spójności naszego opisu wczesnych etapów ewolucji Wszechświata.

## Ciemna materia

Idea ciemnej materii narodziła się z prób wyjaśnienia zjawisk, których nie dało się pogodzić z widoczną zawartością materii we Wszechświecie. Jej początki sięgają lat 30. XX wieku, kiedy szwajcarski astronom Fritz Zwicky badał ruchy galaktyk w gromadzie galaktyk Abell 1656 w gwiazdozbiornie Warkocz Bereniki. Zastosował prawo grawitacji Newtona, by oszacować masę całej gromady, i odkrył, że widoczna materia – gwiazdy i gaz – stanowi jedynie niewielki ułamek masy potrzebnej do utrzymania galaktyk razem. Aby wytłumaczyć brakującą masę, Zwicky zaproponował istnienie ciemnej materii, której nie można zobaczyć, ale która oddziałuje grawitacyjnie.

Przez kolejne dekady idea ta pozostawała na marginesie, aż do lat 70. XX wieku, kiedy Vera Rubin i Kent Ford przeprowadzili precyzyjne pomiary krzywych rotacji galaktyk spiralnych. Oczekiwano, że prędkości gwiazd będą spadać wraz z odległością od centrum galaktyki, zgodnie z rozkładem widocznej masy. Ku zaskoczeniu astronomów prędkości te pozostawały niemal stałe. To sugerowało, że galaktyki otoczone są rozległymi, niewidocznymi halo materii, której masa wielokrotnie przewyższa masę gwiazd i gazu.

Stopniowo ciemna materia stała się jednym z kluczowych elementów współczesnej kosmologii. Modele ewolucji struktury kosmicznej, obserwacje soczewkowania grawitacyjnego oraz pomiary mikrofalowego promieniowania tła potwierdziły, że większość masy we Wszechświecie występuje w formie niewidocz-



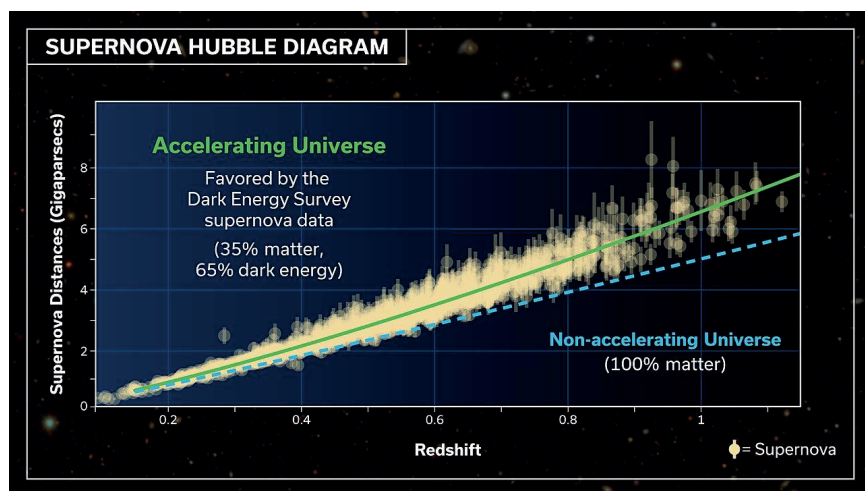
Rys. 3. Przykładowa krzywa rotacji galaktyki, czyli zależność prędkości gwiazd od odległości od centrum. Niebieskie punkty to obserwacje, zaś czarne krzywe pokazują oczekiwaną wielkość prędkości rotacji, biorąc pod uwagę przyciąganie gwiazd (linia przerywana), gazu (linia kropkowana) czy też wszystkich barionów gwiazd i gazu. Różnica może być wyjaśniona istnieniem ciemnej materii.

nej, nieemitującej światła substancji. Pomiar wskazuje, że ciemna gęstość ciemnej materii we Wszechświecie jest około 5 razy większa od gęstości materii barionowej i stanowi około 25% całej gęstości Wszechświata. Ciemna materia odegrała zasadniczą rolę w procesie powstawania galaktyki wielkoskalowych struktur kosmosu.

## Ciemna energia

Idea ciemnej energii wyłoniła się z prób zrozumienia przyspieszonego rozszerzania się Wszechświata – zjawiska, które na przełomie XX i XXI wieku okazało się jednym z największych zaskoczeń dla kosmologii. Do lat 90. naukowcy zakładali, że ekspansja kosmosu, zapoczątkowana Wielkim Wybuchem, powinna stopniowo zwalniać pod wpływem grawitacji. Oczekiwano, że obserwacje bardzo odległych supernowych typu Ia pozwolą określić tempo tego spowalniania. Jednak wyniki dwóch niezależnych zespołów badawczych – Supernova Cosmology Project oraz High-Z Supernova Search Team – pokazały coś zupełnie innego: Wszechświat nie tylko się rozszerza, ale robi to coraz szybciej.

To odkrycie, ogłoszone w 1998 roku, wymagało nowego wyjaśnienia. Widoczna materia, ciemna materia ani żadna znana forma energii nie mogły powodować przyspieszania ekspansji. Aby opisać to zjawisko, wprowadzono pojęcie „ciemnej energii” – formy energii wypełniającej przestrzeń i wywierającej ujemne ciśnienie, które działa jak siła odpychająca na kosmiczną skalę. W pewnym sensie była to reinterpretacja stałej kosmologicznej  $\Lambda$ , wprowadzonej do



Rys. 4. Diagram Hubble’a dla supernowych typu Ia bardzo mocno wskazuje na przyspieszone rozszerzanie Wszechświata – linia zielona, a nie na Wszechświat wypełniony materią.

równań Einsteina już w 1917 roku i pierwotnie odrzuconej jako błąd. Teraz okazało się, że jej obecność może mieć fundamentalne znaczenie.

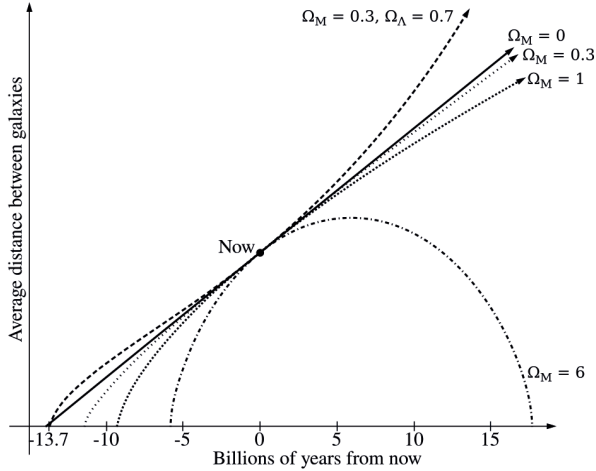
Połączenie danych z supernowych, mikrofalowego promieniowania tła i wielkoskalowej struktury kosmosu doprowadziło do powstania tzw. modelu  $\Lambda$ CDM – standardowego modelu kosmologicznego. Wynika z niego, że ciemna energia stanowi około 70% całkowitej zawartości energii Wszechświata. Choć wciąż nie znamy jej natury, idea ta stała się kluczem do współczesnego opisu kosmosu i jego przyszłości, sugerując, że Wszechświat jest napędzany przez głęboko ukrytą, dominującą siłę, która kieruje jego ewolucją.

Wszechświat wypełniony jest trzema komponentami: materia barionowa to około 5% jego gęstości, ciemna materia stanowi około 25%, zaś ciemna energia to 70% jego składu. Razem gęstość Wszechświata jest bardzo bliska gęstości krytycznej, to znaczy takiej, która odpowiada Wszechświatowi płaskiemu, a krzywiznie bliskiej zero. Stosunek gęstości do gęstości krytycznej oznaczamy jako  $\Omega$ .

## Standardowy model Wszechświata

Model  $\Lambda$ CDM (*Lambda Cold Dark Matter*) to obecnie standardowy model kosmologiczny opisujący ewolucję i strukturę Wszechświata. Średnia gęstość Wszechświata wynosi dziś około  $9.9 \times 10^{-30}$  g cm<sup>-3</sup>, co odpowiada gęstości Wszechświata płaskiego. Model ten zakłada, że zawartość Wszechświata zdominowana jest przez dwa niewidoczne składniki: **ciemną energię** ( $\Lambda$ ) – **69%**, odpowiedzialną za przyspieszone rozszerzanie się przestrzeni, oraz **zimną ciemną materię** (CDM) – **26%**, która grawitacyjnie kształtuje powstawanie galaktyk i wielkoskalowych struktur.

W modelu tym zwykła materia barionowa stanowi jedynie niewielką część całkowitej gęstości Wszechświata – około 5%.  $\Lambda$ CDM z dużą dokładnością opisuje obserwacje mikrofalowego promieniowania tła, rozkład galaktyk i ewolucję kosmicznych struktur w czasie. Jednakże pozostaje wciąż otwarte pytanie dotyczące fizycznej natury ciemnej materii i ciemnej energii.



Rys. 5. Historia i przyszłość ekspansji Wszechświata. Nasz Wszechświat opisany jest linią przerywaną, inne krzywe opisują, jak rozszerzałby się Wszechświat, gdyby jego zawartość była inna.

## Problemy płaskości i inflacja

### Problem płaskości Wszechświata

Problem płaskości Wszechświata dotyczy pytania, dlaczego geometria kosmosu jest tak bliska „płaskiej”, czyli euklidesowej. W ogólnej teorii względności krzywizna przestrzeni zależy od całkowitej gęstości materii i energii. Jeśli jest ona dokładnie równa wartości krytycznej, Wszechświat jest płaski; jeśli większa – zamknięty, a jeśli mniejsza – otwarty. Obserwacje wskazują, że rzeczywista gęstość różni się od krytycznej nieznacznie, co z punktu widzenia wczesnego Wszechświata wydaje się zaskakujące.

Sedno problemu polega na „niestabilności” płaskości w standardowym scenariuszu bez dodatkowych mechanizmów: nawet mikroskopijne odchylenia od gęstości krytycznej powinny z czasem gwałtownie narastać. Aby dziś obserwować tak niewielką krzywiznę, początkowe warunki musiałyby być dostrojone z precyzją taką, że tuż po Wielkim Wybuchu gęstość Wszechświata była równa gęstości krytycznej z dokładnością lepszą niż  $10^{-61}$ . To właśnie ta potrzeba skrajnego wyrubowania warunków początkowych nazywana jest problemem płaskości.

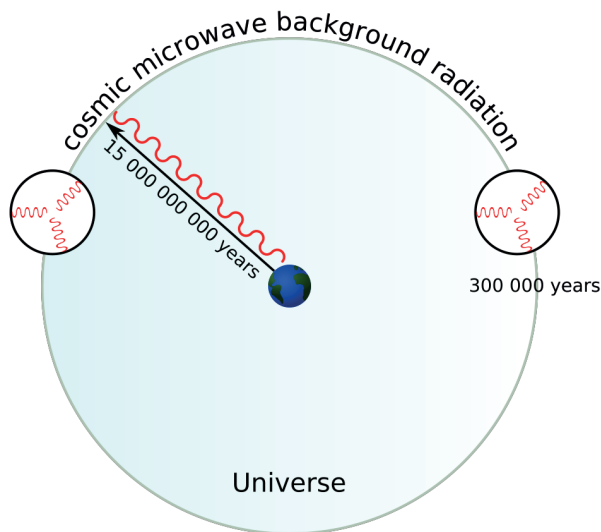
Silnym wsparciem dla obrazu niemal płaskiego kosmosu są pomiary mikrofalowego promieniowania tła dokonane przez europejską misję Planck, zrealizowaną przez ESA. Widmo fluktuacji CMB jest zgodne z geometrią bliską euklidesowej, a najnowsze oszacowania krzywizny są zgodne z zerem w granicach błędów.

## Problem horyzontu – jednorodności Wszechświata

Problem horyzontu jest jednym z klasycznych problemów standardowego modelu Wielkiego Wybuchu. Wynika on z obserwacji, że mikrofalowe promieniowanie tła (CMB) ma niemal identyczną temperaturę we wszystkich kierunkach na niebie, z dokładnością do jednej części na sto tysięcy. Oznacza to, że odległe obszary Wszechświata znajdowały się w bardzo podobnych warunkach fizycznych w chwili rekombinacji.

W standardowym modelu kosmologicznym, bez dodatkowych założeń, obszary te nie mogły jednak pozostawać w kontakcie przyczynowym. Istnieje bowiem skończona prędkość rozchodzenia się sygnałów (prędkość światła), a czas od Wielkiego Wybuchu do rekombinacji był zbyt krótki, aby światło lub jakikolwiek inny sygnał mógł wyrównać temperaturę między regionami oddalonymi dziś o duże kąty na niebie. Każdy z tych obszarów miał własny „horyzont cząstek”, czyli maksymalną odległość, z której mogła dotrzeć informacja, i horyzonty te obejmowały tylko niewielkie fragmenty dzisiejszego widzialnego Wszechświata.

Problem polega więc na tym, dlaczego regiony, które według prostego modelu nigdy nie oddziaływały ze sobą, mają tak niemal identyczne właściwości.



Rys. 6. Problem horyzontu, czy też problem jednorodności Wszechświata, polega na tym, że temperatura mikrofalowego promieniowania tła jest prawie dokładnie taka sama na całym niebie. Jednakże poszczególne obszary nieba nie były ze sobą związane przyczynowo, a zatem nie mogły wyrównać temperatur, gdyż nawet światło nie miało czasu na podróż między tymi regionami.

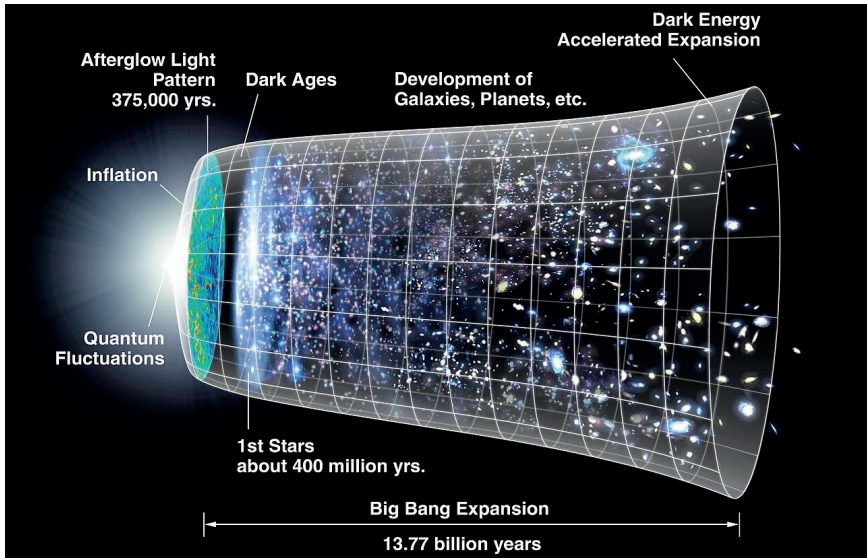
## Inflacja

Idea inflacji kosmologicznej narodziła się na początku lat 80. XX wieku jako odpowiedź na powyższe dwa fundamentalne problemy klasycznego modelu Wielkiego Wybuchu. W tradycyjnym ujęciu Wszechświat rozszerza się od niezwykle gorącego i gęstego stanu początkowego. Jednak obserwacje wskazywały na problemy, których ten model nie potrafił wyjaśnić: dlaczego kosmos jest tak jednorodny w dużych skalach, skoro odległe obszary nie miały czasu na wzajemny kontakt? Dlaczego geometria Wszechświata jest niemal idealnie płaska? I wreszcie – skąd wzięły się drobne, lecz istotne fluktuacje, które później uformowały galaktyki?

W 1981 roku amerykański fizyk Alan Guth zaproponował rozwiązanie tych zagadek: w bardzo wczesnym etapie istnienia Wszechświata miała miejsce krótka, lecz niezwykle gwałtowna faza przyspieszonej ekspansji, nazwana inflacją. W jej trakcie przestrzeń sama w sobie rozciągała się wykładniczo, powiększając rozmiary Wszechświata o czynnik co najmniej 10<sup>26</sup> w 10-32 sekundy. Taki proces naturalnie tłumaczy obserwowaną jednorodność: obszary, które dziś wydają się od siebie oddzielone, przed inflacją były blisko, co pozwalało im osiągnąć wspólną temperaturę. Inflacja „wygładziła” również zakrzywienia przestrzeni, prowadząc do jej niemal idealnej płaskości.

Co więcej, teoria przewiduje istnienie minimalnych kwantowych fluktuacji pola odpowiedzialnego za inflację. Po rozciągnięciu przez inflację stały się one zalążkami struktury kosmicznej – drobnymi różnicami gęstości, z których później powstały galaktyki i całe kosmiczne sieci. Pomiary mikrofalowego promieniowania tła, szczególnie te dokonane przez sondy WMAP i Planck, dostarczyły silnych dowodów wspierających kluczowe przewidywania inflacji.

Choć wiele szczegółów – zwłaszcza natura samego pola inflacyjnego, czyli czynnika, który ją wywołał – pozostaje nieznanych, koncepcja inflacji jest centralnym elementem współczesnej kosmologii. Inflacja powinna po sobie pozostawić obserwowalny ślad – tła fal grawitacyjnych. Takie tło może być wykrywalne poprzez badanie polaryzacji mikrofalowego promieniowania tła albo też bezpośrednio za pomocą detektorów fal grawitacyjnych. Wykrycie tego tła pozwoliłoby na obserwacje Wszechświata już 10<sup>-32</sup> sekund po Wielkim Wybuchu!



Rys. 7. Historia rozszerzania Wszechświata: po Wielkim Wybuchu mamy epokę inflacji, po około 370 tys. lat powstaje mikrofalowe promieniowanie tła. Obecnie jesteśmy w fazie ponownego przyspieszania ekspansji Wszechświata.

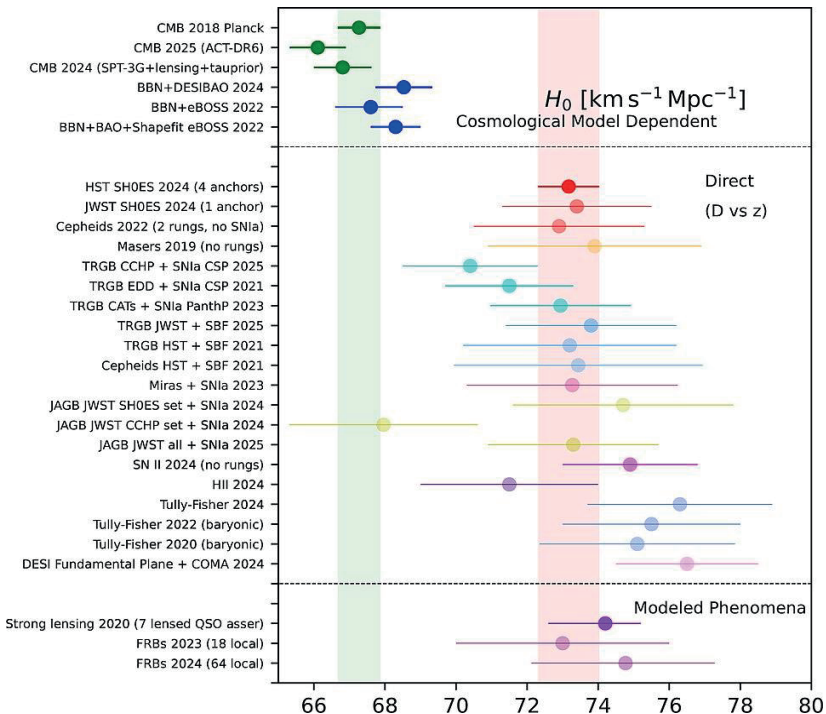
Standardowy model Wielkiego Wybuchu wiąże się z dwoma poważnymi problemami – problemem płaskości i problemem horyzontu. Problem płaskości polega na tym, że aby Wszechświat dziś był taki, jaki jest, to tuż po Wielkim Wybuchu jego własności musiały być wyjątkowo precyzyjnie określone i jego gęstość musiała być bliska krytycznej z niesamowitą dokładnością. Problem horyzontu związany jest z faktem, że obserwujemy obszary niezwiązane przyczynowo, których własności są praktycznie takie same. Rozwiązaniem tych dwóch problemów jest inflacja – epoka bardzo szybkiego eksponencjalnego rozszerzania Wszechświata w okresie, gdy jego wiek liczył około sekundy.

## Czy wszystko jest wyjaśnione?

### *Hubble tension* – spór o tempo rozszerzania się Wszechświata

*Hubble tension* to nazwa jednego z najciekawszych problemów współczesnej kosmologii: rozbieżności między różnymi pomiarami stałej Hubble’a, czyli tempa rozszerzania się Wszechświata. Z jednej strony mamy oszacowania „lokalne”, oparte na drabinie odległości z użyciem cefeid i supernowych typu Ia; z drugiej – wartości wywnioskowane z obserwacji wczesnego Wszechświata, zwłaszcza z mikrofalowego promieniowania tła (CMB).

Najdokładniejsze pomiary z epoki „niemowlęcej” kosmosu pochodzą z obserwatorium satelitarnego Planck, zbudowanego przez ESA. Analiza fluktuacji CMB w ramach standardowego modelu kosmologii ( $\Lambda$ CDM) prowadzi do



Rys. 8. Pomiary stałej Hubble’a za pomocą metod lokalnych – pas różowy oraz metodami dla dużych odległości – pas zielony. Te dwie grupy pomiarów prowadzą do różnych wyników, choć w modelu standardowym powinny dawać ten sam rezultat. Co powoduje tę rozbieżność?

wartości stałej Hubble'a około 67 km/s/Mpc. Tymczasem pomiary lokalne, rozwijane m.in. przez zespół SH0ES, wykorzystują obserwacje z *Hubble Space Telescope* oraz innych instrumentów i wskazują na wyższą wartość – bliską 73 km/s/Mpc.

Różnica jest na tyle duża, że przekracza granice przypadkowych błędów statystycznych. To rodzi pytanie, czy gdzieś w „drabinie odległości” kryją się subtelne systematyki, czy też standardowy model wymaga rozszerzenia. Proponowane wyjaśnienia obejmują m.in. istnienie dodatkowych form energii w bardzo wczesnym Wszechświecie („wczesna ciemna energia”), niezerową masę czy oddziaływania neutrin albo inne modyfikacje dynamiki kosmicznej.

*Hubble tension* jest więc czymś więcej niż techniczną niezgodnością liczb: może być wskazówką na istnienie nowej fizyki.

## Topologia Wszechświata

Topologia Wszechświata bada jego „globalny kształt” – to, czy przestrzeń jest nieskończona, czy też skończona, lecz pozbawiona krawędzi, oraz jak może się „zawijać” sama w sobie. W odróżnieniu od geometrii, która opisuje lokalną krzywiznę przestrzeni, topologia pyta o własności całości: czy da się wyruszyć w jednym kierunku i – teoretycznie – wrócić do punktu wyjścia z przeciwnej strony kosmosu? Odpowiedź wcale nie musi być oczywista, nawet jeśli geometria jest niemal płaska.

Jedną z ikon wyobraźni topologicznej jest „torus kosmiczny”: Wszechświat jest płaski jak kartka, ale sklejony krawędziami, niczym powierzchnia pączka. Taka przestrzeń byłaby skończona, a jednocześnie nie miałaby brzegu. Wszechświat o takiej nietrywialnej topologii zatem może mieć skończoną energię, co jest wielką zaletą tego modelu. Inne modele dopuszczają bardziej złożone identyfikacje punktów, prowadząc do powtórzeń obrazów odległych galaktyk na niebie lub specyficznych wzorów w mikrofalowym promieniowaniu tła. Taki obraz Wszechświata ma jedną zaletę – Wszechświat może być skończony, a zatem Wielki Wybuch mógł być fluktuacją czegoś pierwotnego o skończonej energii.

Testy obserwacyjne poszukują właśnie takich sygnałów. Misja Planck, o której już wspomniałem powyżej, dostarczyła najdokładniejszych map fluktuacji CMB, umożliwiając poszukiwanie charakterystycznych „kręgów na niebie” – potencjalnych śladów wielokrotnych obrazów tego samego obszaru w przestrzeni o niebanalnej topologii. Dotąd jednak nie znaleziono jednoznacznych dowodów na skończoną topologię z identyfikacjami na skalach mniejszych niż obserwowalny horyzont.

Topologia Wszechświata pozostaje więc otwartym pytaniem. Może się okazać, że żyjemy w przestrzeni nieskończonej, ale równie dobrze w subtelnie „za-

winiętej” – skończonej, lecz bez krawędzi. Niezależnie od rozstrzygnięcia wiemy, że nawet gdy znamy lokalną geometrię, prawdziwy kształt całości może być nietrywialny.

## Poszukiwanie ciemnej materii

Ciemna materia to jedna z największych zagadek współczesnej kosmologii. Choć nie świeci i nie pochłania światła, zdradza swoją obecność grawitacją: decyduje o ruchach gwiazd w galaktykach, wiąże gromady galaktyk i kształtuje sieć wielkoskalowych struktur Wszechświata. Jej istnienie zasugerował już w latach 30. XX wieku Fritz Zwicky, a później potwierdziły je krzywe rotacji galaktyk mierzone m.in. przez Verę Rubin.

Poszukiwania ciemnej materii idą dziś trzema głównymi torami. Detekcja bezpośrednia próbuje zarejestrować rzadkie zderzenia cząstek ciemnej materii z jądrami atomów w ultraczułych detektorach, umieszczanych głęboko pod ziemią, by osłonić je przed promieniowaniem kosmicznym. Detekcja pośrednia szuka produktów anihilacji lub rozpadu takich cząstek w kosmosie – nadmiaru promieni gamma, pozytonów czy neutrin. Produkcja w akceleratorach próbuje wytworzyć kandydatów na ciemną materię w kontrolowanych zderzeniach o wielkich energiach. Równoległe astronomowie wykorzystują zjawisko soczewkowania grawitacyjnego, by „zobaczyć” rozkład niewidzialnej masy w galaktykach i gromadach galaktyk.

Mimo intensywnych badań wciąż nie znamy natury tej substancji. Rozpatrywane są różne możliwości – od masywnych cząstek WIMP (*weakly interacting massive particles*) po ultralekkie aksjony – a nawet śmiałe alternatywy w postaci modyfikacji grawitacji. Poszukiwanie ciemnej materii to dziś jedno z nielicznych przedsięwzięć, które jednocześnie testują fundamenty fizyki cząstek i kosmologii, obiecując odkrycie, które może kompletnie zmienić nasze rozumienie Wszechświata.

## Ewolucja gęstości ciemnej energii

Jednym z kluczowych pytań współczesnej kosmologii jest to, czy gęstość ciemnej energii zmienia się w czasie, czy też pozostaje stała. Od odpowiedzi zależy nasz obraz przeszłości i przyszłości Wszechświata – a nawet jego ostateczny los. Obserwacje wskazują, że dziś ciemna energia dominuje w bilansie kosmosu i odpowiada za przyspieszoną ekspansję.

W najprostszym modelu  $\Lambda$ CDM ciemna energia utożsamiana jest ze stałą kosmologiczną, czyli energią próżni. W tym ujęciu jej gęstość nie zmienia się mimo rozszerzania się przestrzeni, w przeciwieństwie do materii i promieniowa-

nia, których gęstości maleją wraz z objętością Wszechświata. Ta osobiwa własność sprawia, że z biegiem czasu ciemna energia coraz wyraźniej dominuje i „wygrywa” z grawitacją materii.

Alternatywą są modele dynamiczne, zbiorczo nazywane kwintesencją, w których ciemna energia jest polem fizycznym o gęstości zmieniającej się w czasie. W takich teoriach tempo ewolucji ekspansji nie jest stałe: Wszechświat mógł przyspieszać szybciej lub wolniej w przeszłości, a w przyszłości może czekać go jeszcze bardziej dramatyczna faza, jak w scenariuszu „Wielkiego Rozdarcia” (*Big Rip*).

Danych do testowania tych hipotez dostarczają obserwacje supernowych typu Ia, struktury wielkoskalowej oraz mikrofalowego promieniowania tła, zmierzone m.in. przez satelitę Planck. Wyniki te – jak dotąd – są zgodne z modelem stałej gęstości, ale marginesy niepewności wciąż pozostawiają miejsce dla subtelnej ewolucji.

Badania gęstości ciemnej energii to poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, czy próżnia jest naprawdę „pusta”, czy też skrywa dynamikę, której dopiero zaczynamy się domyślać. Od tej odpowiedzi zależy, czy przyszłość Wszechświata będzie spokojnym rozproszeniem w nieskończoność, czy będzie wyglądać zupełnie inaczej.

## Przyszłość rozszerzania Wszechświata

W standardowym modelu kosmologicznym przyspieszenie napędza ciemna energia w postaci stałej kosmologicznej. Jeśli jej gęstość pozostanie niezmienna, Wszechświat będzie rozszerzał się wiecznie, a galaktyki coraz bardziej się od siebie oddalą. Z czasem nocne niebo stanie się niemal puste: odległe obiekty znikną za horyzontem obserwowalnym, a kosmos stanie się zimny i rozproszony. Ten scenariusz bywa nazywany „Wielkim Wychłodzeniem”.

Istnieją jednak alternatywy. Jeśli ciemna energia okaże się zjawiskiem dynamicznym, tempo ekspansji może się w przyszłości zmienić. W skrajnych modelach prowadzi to do „Wielkiego Rozdarcia” (*Big Rip*), w którym przyspieszenie stanie się tak silne, że rozerwie nawet galaktyki, gwiazdy, a w końcu atomy. Z drugiej strony, gdyby natura ciemnej energii uległa zmianie lub gdyby zadziały nowe efekty grawitacyjne, ekspansja mogłaby wyhamować, a Wszechświat – teoretycznie – zmierzać ku „Wielkiemu Kolapsowi”.

Kluczem do rozstrzygnięcia są coraz dokładniejsze obserwacje kosmologiczne. Dane z mikrofalowego promieniowania tła oraz wielkie przeglądy galaktyk dostarczają parametrów opisujących ekspansję w przeszłości. Porównując je z dzisiejszym tempem, można próbować poznać naturę ciemnej energii. Przyszłość kosmosu zależy od natury ciemnej energii – a jej zrozumienie pozostaje jednym z największych wyzwań nauki XXI wieku.

## Problem pochodzenia czarnych dziur przy dużych przesunięciach ku czerwieni

Jednym z najbardziej intrygujących problemów współczesnej astrofizyki jest istnienie bardzo masywnych czarnych dziur już w młodym Wszechświecie, obserwowanych przy dużych przesunięciach ku czerwieni. Widzimy je jako niezwykle jasne kwazary w epoce, gdy kosmos miał kilkaset milionów lat, a mimo to ich masy sięgają miliardów mas Słońca. Jak mogły urosnąć tak szybko? Obserwacje prowadzone przez James Webb Space Telescope pozwalają zajrzeć głębiej w kosmiczną przeszłość niż kiedykolwiek wcześniej. Jego dane sugerują, że aktywne jądra galaktyk pojawiają się bardzo wcześnie we Wszechświecie,

W klasycznym scenariuszu czarne dziury powstają jako pozostałości po masywnych gwiazdach. Jednak „nasiona” o masach kilkunastu-kilkudziesięciu Słońc miałyby zbyt mało czasu, by przez akrecję osiągnąć rozmiary supermasywne. Dlatego rozważa się inne drogi: zapadanie się ogromnych, pierwotnych obłoków gazu bezpośrednio w czarną dziurę o masie od  $10^4$  do  $10^6$  Słońc, narodziny wyjątkowo masywnych gwiazd w pierwszych galaktykach, a nawet powstawanie pierwotnych czarnych dziur we wczesnym Wszechświecie na skutek fluktuacji gęstości.

Problem pochodzenia wczesnych czarnych dziur dotyka fundamentów kosmologii: formowania pierwszych gwiazd, ewolucji galaktyk i fizyki w ekstremalnych warunkach. Jego rozwiązanie pokaże, czy natura wybrała ścieżkę „powolnego wzrostu” czy raczej „błyskawicznych narodzin” gigantów kosmosu. Pochodzenie masywnych czarnych dziur musi być związane z ewolucją wczesnego Wszechświata i stanowi wyzwanie współczesnej astrofizyki.

## Podsumowanie

Współczesna kosmologia przedstawia spójny i coraz bardziej precyzyjny obraz historii Wszechświata, który pozwala wyjaśnić bardzo wiele obserwowanych zjawisk. Opiera się on na połączeniu teorii ogólnej względności z rozległym zestawem danych obserwacyjnych, pochodzących między innymi z pomiarów mikrofalowego promieniowania tła, obserwacji odległych galaktyk oraz badań składu chemicznego materii w kosmosie.

W szczególności model kosmologiczny z dużą dokładnością opisuje istnienie i własności mikrofalowego promieniowania tła, które stanowi „echo” gorącej i gęstej fazy wczesnego Wszechświata. Pozwala także wyjaśnić obserwowany skład chemiczny materii, w tym proporcje najlżejszych pierwiastków, takich jak wodór, hel i lit, powstałych w pierwszych minutach po Wielkim Wybuchu.

Dodatkowo model ten opisuje ogólny skład Wszechświata, wskazując, że zwykła materia stanowi jedynie niewielką część jego całkowitej zawartości, obok dominujących składników w postaci ciemnej materii i ciemnej energii.

Jednocześnie ten obraz stawia przed nauką poważne wyzwania. Do najważniejszych z nich należy problem płaskości, czyli pytanie, dlaczego geometria przestrzeni jest tak bliska płaskiej, oraz fakt, że gęstość Wszechświata okazuje się bardzo bliska gęstości krytycznej, oddzielającej scenariusze wiecznego rozszerzania się i ponownego zapadania. Kolejnym istotnym zagadnieniem jest jednorodność Wszechświata: odległe obszary, które w przeszłości nie mogły się ze sobą komunikować przyczynowo, wykazują niemal identyczne własności fizyczne, takie jak temperatura promieniowania tła.

Proponowanym rozwiązaniem tych problemów jest teoria inflacji – krótka, ale niezwykle gwałtowna faza bardzo szybkiej ekspansji Wszechświata we wczesnym etapie jego istnienia. Inflacja prowadzi do „wypłaszczenia” geometrii przestrzeni oraz wyjaśnia obserwowaną jednorodność i izotropię kosmosu. Odbywa się to kosztem wprowadzenia nowego składnika energetycznego, związanego z polem o własnościach podobnych do ciemnej energii, który dominuje w odpowiednim momencie historii Wszechświata i napędza tę gwałtowną ekspansję.

Mimo ogromnych sukcesów obecny obraz i obserwacje Wszechświata nadal zawierają szereg wyzwań i nierozwiązanych problemów. W szczególności, zdaniem autora, do najważniejszych należą:

- natura ciemnej energii i jej rola w przyspieszonym rozszerzaniu się Wszechświata,
- pytanie, czym jest ciemna materia i jakie cząstki ją tworzą,
- problem stałej Hubble’a, czyli rozbieżności pomiędzy różnymi metodami wyznaczania tempa ekspansji kosmosu,
- istnienie rozwiniętych struktur w bardzo wczesnym Wszechświecie, które wydają się powstawać szybciej, niż przewidują standardowe modele,
- pochodzenie masywnych czarnych dziur obserwowanych na dużych przesunięciach ku czerwieni,
- czy inflacja rzeczywiście miała miejsce, jak dokładnie przebiegała i co ją wywołało,
- czy istnieje tło fal grawitacyjnych pochodzących z epoki inflacji,
- problem topologii Wszechświata, a w szczególności kwestia, czy Wszechświat jest skończony czy nieskończony.

Te problemy stanowią wyzwania dla współczesnych badań kosmologicznych i pokazują, że mimo imponujących postępów wciąż stoimy wobec fundamentalnych pytań dotyczących całego Wszechświata.

## Ilustracje

stała Hubble'a

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble\\_constant.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_constant.JPG)

hubble flow

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedmann\\_universes.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Friedmann_universes.svg)

CMB map

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WMAP\\_2012.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WMAP_2012.png)

Krzywa rotacji galaktyki

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotation\\_Curve\\_UGC11455.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rotation_Curve_UGC11455.svg)

Supernova Hubble diagram

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Supernova\\_Hubble\\_Diagram\\_\(noir-lab2401c\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Supernova_Hubble_Diagram_(noir-lab2401c).jpg)

problem horyzontu (jednorodności)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizon\\_problem.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Horizon_problem.svg)

Hubble tension

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-s2.0-S221268642500158X-gr1\\_lrg.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1-s2.0-S221268642500158X-gr1_lrg.jpg)

Rozszerzania, inflacja

[https://en.wikipedia.org/wiki/File:CMB\\_Timeline300\\_no\\_WMAP.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:CMB_Timeline300_no_WMAP.jpg)

# **Rewolucja w podczerwieni: Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba**

DR. HAB. MICHAŁ MICHAŁOWSKI, PROF. UAM

ORCID: 0000-0001-9033-4140

Instytut Obserwatorium Astronomiczne, Wydział Fizyki i Astronomii  
Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

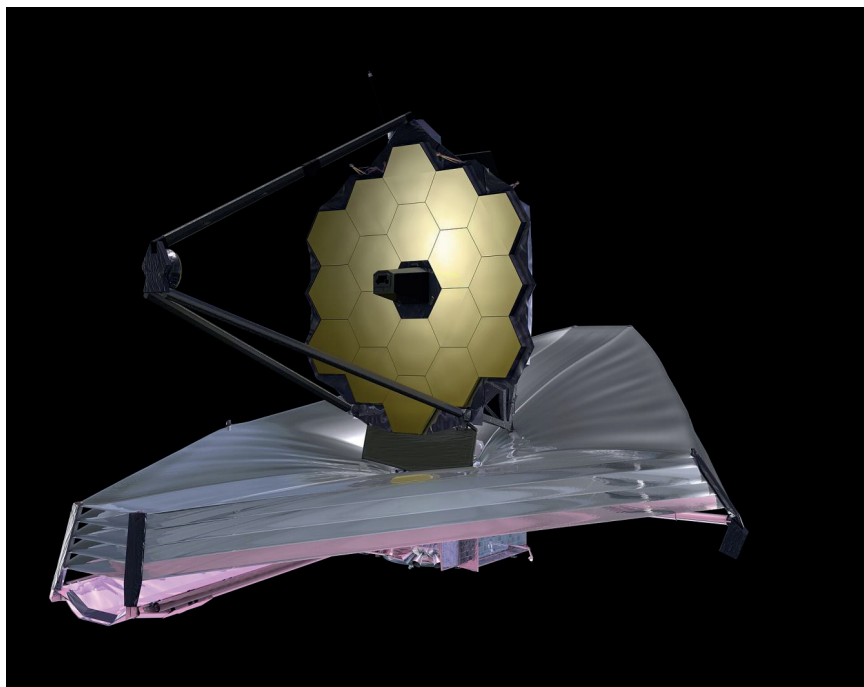
## **Spojrzyć dalej niż kiedykolwiek: co odkrywa Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba**

25 grudnia 2021 roku ludzkość wysłała w kosmos jeden z najbardziej zaawansowanych instrumentów naukowych w historii – Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba. Warty około 10 mld dolarów, budowany przez dekady przez tysiące inżynierów i naukowców, nie jest po prostu większą wersją wcześniejszych teleskopów. To zupełnie nowe narzędzie, które pozwala nam zobaczyć Wszechświat w sposób wcześniej niemożliwy. Został wysłany około 1,5 mln km od Ziemi, około 4 razy dalej niż Księżyc. Z powodu tej odległości nie da się go naprawić i pozostanie on tam na zawsze. Ta odległość umożliwia wybranie orbity, dla której Ziemia i Słońce są zawsze w tym samym kierunku z punktu widzenia teleskopu. To zaś umożliwia skierować tarcze cieplne w kierunku Ziemi i Słońca, co pozwala zatrzymywać ciepło i utrzymywać bardzo niską temperaturę  $-233$  stopni. Jest to niezbędne do wykonywania precyzyjnych obserwacji.

## Teleskop, który widzi niewidzialne

Największą zaletą Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba nie jest tylko jego rozmiar, choć jego zwierciadło o średnicy 6,5 m jest ponad dwa razy większe niż w Kosmicznym Teleskopie Hubble'a. Kluczowa różnica polega na tym, jakie światło potrafi rejestrować.

Nasze oczy oraz teleskopy optyczne widzą jedynie bardzo wąski fragment promieniowania elektromagnetycznego – światło widzialne. Tymczasem różne obiekty we Wszechświecie emitują fale o bardzo różnych długościach: od wysokoenergetycznego promieniowania gamma po długie fale radiowe. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba został zaprojektowany głównie do obserwacji promieniowania podczerwonego, czyli fal o długości większej niż światło widzialne ludzkim okiem. To właśnie tam kryje się ogromna część informacji o kosmosie – szczególnie o jego najstarszych i najbardziej odległych obiektach. Jest to spowo-

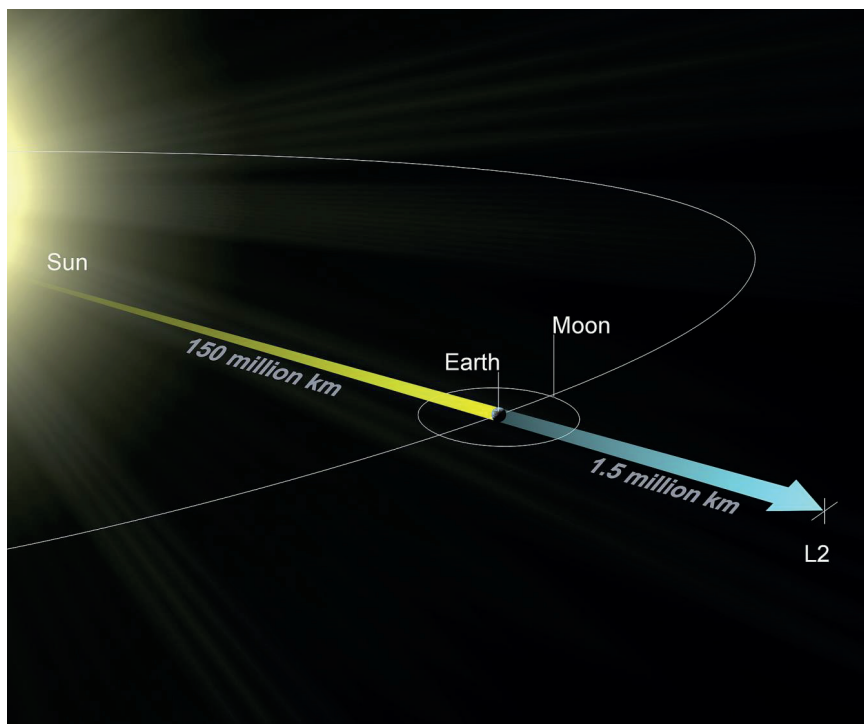


Ryc. 1. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba. U góry jest widoczne 6,5-metrowe lustro złożone z segmentów, a pod nim tarcze cieplne umożliwiające utrzymywanie aparatury w bardzo niskiej temperaturze.

Źródło: NASA

dowane tym, że światło od bardzo odległych galaktyk ulega rozciągnięciu wskutek rozszerzania się Wszechświata. Zjawisko to, zwane przesunięciem ku czerwieni, powoduje, że światło mające pierwotnie mniejszą długość fali (światło widzialne) dociera do nas już jako podczerwone. Dodatkowo promieniowanie podczerwone przenika przez kosmiczny pył, który blokuje światło widzialne. W efekcie to, co dla Hubble'a jest niewidoczne, dla Webba staje się wyraźne.

Rozmiar teleskopu pozwala też pozyskiwać obrazy kosmosu z niemożliwą wcześniej ostrością. Bardzo słabe obiekty, które zlewały się w jeden na obrazach pochodzących z poprzednich teleskopów, można teraz obejrzeć ze szczegółami.



Ryc. 2. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba znajduje się w punkcie L2, 1,5 mln km od Ziemi. Z jego perspektywy Ziemia i Słońce są zawsze w tym samym kierunku, co ułatwia chłodzenie teleskopu i komunikację z Ziemią.

Źródło: ESA

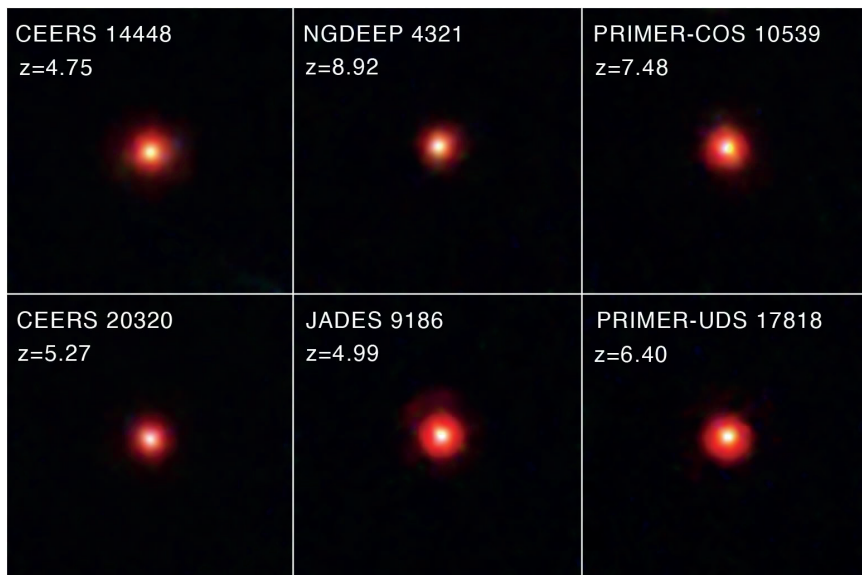
## Im dalej patrzymy, tym dalej w przeszłość

Jednym z głównych celów Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba jest badanie pierwszych galaktyk we Wszechświecie. Po Wielkim Wybuchu Wszechświat był gorący i gęsty, a następnie się ochładzał. Nastąpił okres tzw. ciemnych wieków, kiedy nie istniały jeszcze gwiazdy. Dopiero po około 100–300 mln lat zaczęły powstawać pierwsze gwiazdy i galaktyki. Ponieważ światło potrzebuje czasu, aby do nas dotrzeć, obserwując bardzo odległe obiekty, widzimy je takimi, jakimi były miliardy lat temu. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba pozwala nam zajrzeć niemal do początków istnienia Wszechświata.

Jednym z pierwszych zaskakujących wyników było odkrycie bardzo dużej liczby jasnych galaktyk we wczesnym Wszechświecie (kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu). Początkowo wydawało się, że są one zbyt masywne, jak na tak krótki czas. Niektórzy sugerowali nawet, że może to oznaczać konieczność zmiany naszego rozumienia fizyki, w tym ogólnej teorii względności jako teorii grawitacji. Jednak na podstawie obiektów tak chaotycznych jak galaktyki trudno jest testować teorię grawitacji. Faktycznie, dokładniejsze analizy pokazały, że wiele z tych galaktyk zawiera aktywne supermasywne czarne dziury. Materia krążąca wokół takich obiektów emituje ogromne ilości energii, co sprawia, że galaktyki wydają się jaśniejsze, niż wynikałoby to tylko z liczby gwiazd w nich się znajdujących. Po uwzględnieniu tego efektu okazało się, że obserwacje są zgodne z dotychczasowymi modelami i z ogólną teorią względności (teorią grawitacji). To dobry przykład tego, jak ważna jest ostrożność w interpretacji nowych danych.

## Nowa klasa obiektów: „małe czerwone kropki”

Nie wszystkie odkrycia dało się przewidzieć. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba ujawnił nową klasę obiektów, nazwanych „małymi czerwonymi kropkami”. Na obrazach przesyłanych przez teleskop są to źródła o bardzo małych rozmiarach i o niezwykle czerwonym kolorze. Analiza ich widm pokazała, że są to jedne z pierwszych galaktyk, tylko kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu. Gaz w ich wnętrzu porusza się z ogromnymi prędkościami – rzędu tysięcy kilometrów na sekundę. Takie warunki wskazują, że mamy do czynienia z materią krążącą wokół supermasywnych czarnych dziur. Oznacza to, że takie obiekty mogły powstawać bardzo wcześnie w historii Wszechświata. Nie jest jeszcze do końca jasne, jak w takim krótkim czasie mogły powstawać takie supermasywne czarne dziury.

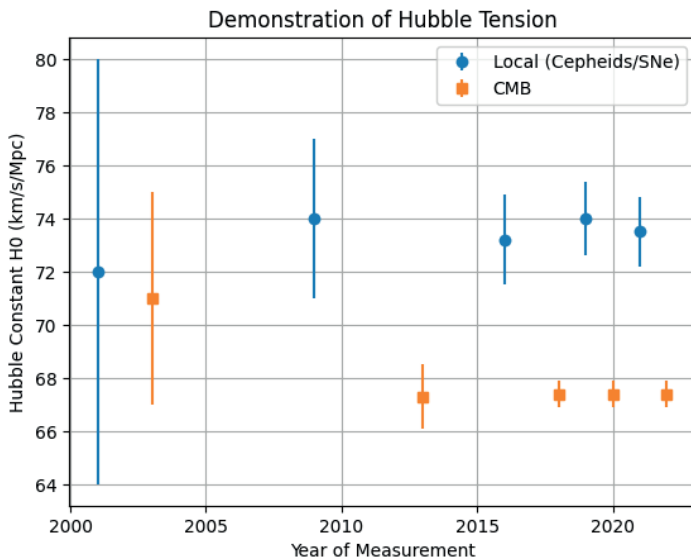


Ryc. 3. Obrazy „małych czerwonych kropek”, odległych supermasywnych czarnych dziur.

Źródło: NASA, ESA, CSA, STScI, Dale Kocevski (Colby College)

## Tempo rozszerzenia Wszechświata

Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba przyczynił się również do badań nad tzw. niezgodnością Hubble’a – niezgodności w pomiarach tempa rozszerzania się Wszechświata wyliczonej na podstawie obserwacji gwiazd zmiennych zwanych cefeidami oraz supernowych i na podstawie kosmicznego promieniowania tła. Ta różnica może być spowodowana problemami z jednym (lub obiema) pomiarami albo z tym, że w naszym opisie praw fizycznych brakuje jakiegoś istotnego elementu. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba, dzięki swojej precyzji, pozwolił zweryfikować możliwość, że to wcześniejsze pomiary pochodzące z obserwacji gwiazd były obarczone błędami. Jego najnowsze dane są zgodne z wcześniejszymi pomiarami, więc napięcia Hubble’a nie da się wyjaśnić niedokładnościami w pomiarach gwiazd. Problem pozostaje nierozwiązany.

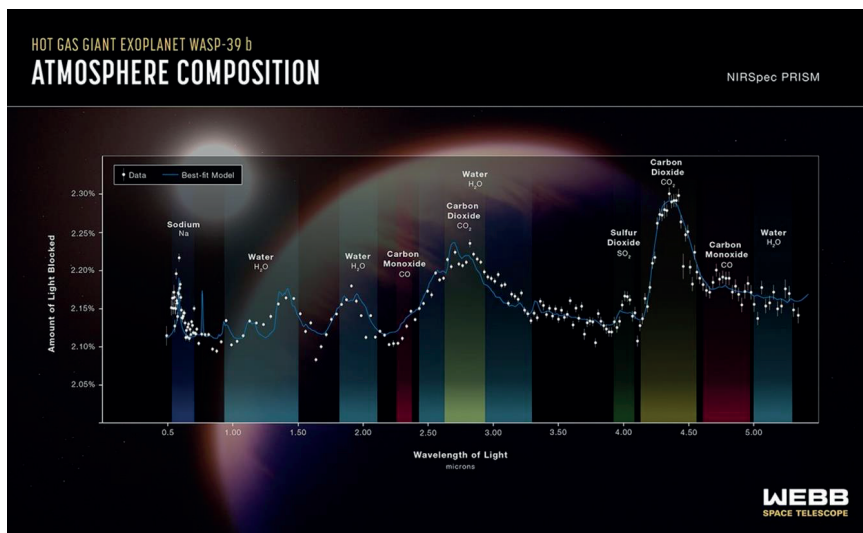


Ryc. 4. Pomiar tempa rozszerzania Wszechświata (stała Hubble'a,  $H_0$ ) jako funkcja roku pomiaru. Pomiarzy na podstawie lokalnych metod (cefeidy, supernowe) i kosmicznego promieniowania tła (CMB) są pokazane jako niebieskie i pomarańczowe symbole. Wczesne pomiary były zgodne ze sobą, ale w miarę zwiększania precyzji pomiarów (zmniejszenie błędów pomiarowych) okazało się, że te dwie metody dają niezgodne wyniki. Nazywa się to niezgodnością Hubble'a.

Źródło: opracowanie własne

## Atmosfery planet pozasłonecznych

Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba bada także znacznie bliższe rejony kosmosu. Potrafi analizować skład atmosfer planet krążących wokół innych gwiazd. Jest to możliwe dla planet, które przechodzą przed tarczą swojej gwiazdy macierzystej. Zostały wykryte dzięki temu zjawisku, ponieważ w czasie zasłonięcia małej części gwiazdy macierzystej stawała się ona trochę ciemniejsza, co można było zauważyć. Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba obserwował te gwiazdy w momencie, kiedy ich planety zakrywały je częściowo i kiedy były z innej strony. Różnica dochodzącego do nas promieniowania w tych dwóch przypadkach pokazuje, jaki jest skład chemiczny atmosfery planety. Dzięki temu wykryto w atmosferach m.in. dwutlenek węgla i metan. Nie jest to jeszcze dowód na istnienie życia, ale wskazuje na potencjalne istnienie związków przedorganicznych, z których może tworzyć się życie podobne do tego na Ziemi.

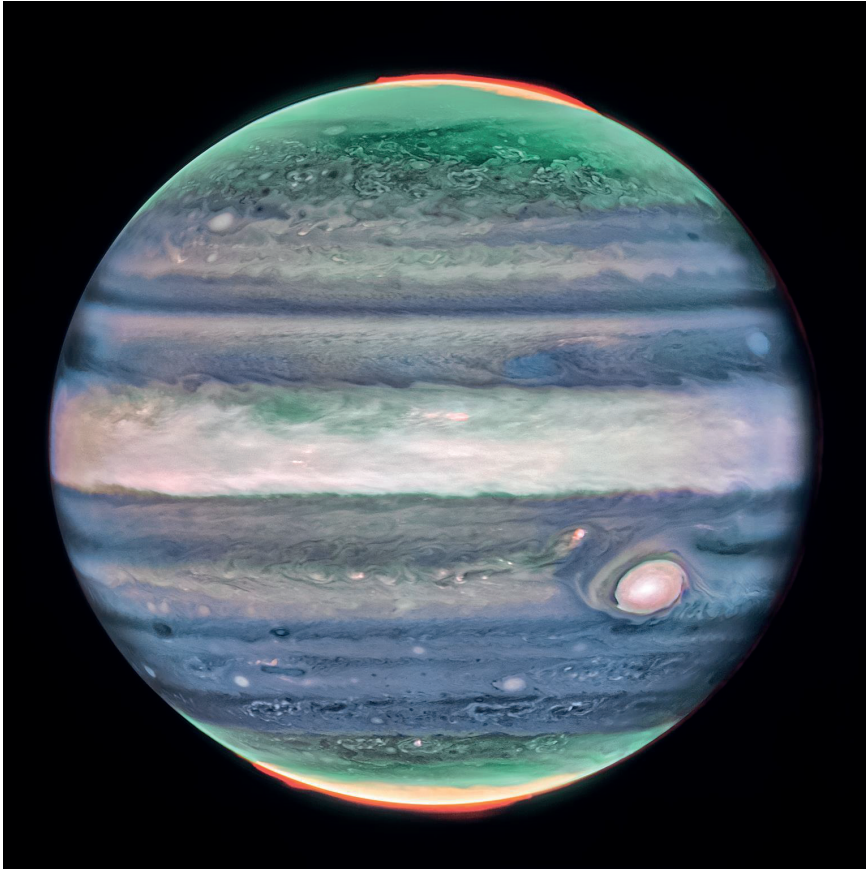


Ryc. 5. Ilość światła z macierzystej planety zablokowana przez atmosferę planety. Charakterystyczne maksima odpowiadają różnym związkom chemicznym.

Źródło: NASA, ESA, CSA, J. Olmsted (STScI)

## Układ Słoneczny

Teleskop bada także ciała naszego Układu Słonecznego. Uchwycił szczegóły atmosfery dużych planet, ich zorze polarne i pierścienie. Potrafi nawet wykrywać bardzo małe planetoidy z ogromnych odległości. Jednym przykładem jest planetoida o średnicy 100 m, która została zauważona przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba z odległości 100 mln km (dwie trzecie odległości Ziemi do Słońca). Jest to najmniejsza znana planetoida, która krąży tak daleko Ziemi. Co ciekawe, ta planetoida została wykryta przypadkowo, kiedy Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba wykonywał obserwację innej, większej planetoidy.



Ryc. 6. Obraz Jowisza otrzymany przez Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba. Widoczne są liczne fronty burzowe i zorze polarne przy biegunach.

Źródło: NASA, ESA, CSA, STScI, Ricardo Hueso (UPV), Imke de Pater (UC Berkeley), Thierry Fouchet (Observatory of Paris), Leigh Fletcher (University of Leicester), Michael Wong (UC Berkeley), Joseph DePasquale (STScI)

## Rewolucja w wielu gałęziach astronomii

Kosmiczny Teleskop Jamesa Webba zmienia niemal każdą dziedzinę astronomii. Pozwala badać:

- pierwsze galaktyki,
- ewolucję czarnych dziur,
- strukturę gazu i pyłu,

- atmosfery planet,
- obiekty Układu Słonecznego.

Teleskop nie tylko daje odpowiedzi na stare pytania – pomaga odpowiedzieć też na zupełnie nowe pytania, których wcześniej nie potrafiliśmy nawet sformułować. Z każdym kolejnym obrazem uczymy się więcej o Wszechświecie i jednocześnie odkrywamy, jak wiele wciąż pozostaje do zrozumienia.



# U granic antropicznego przywileju. Sztuczna inteligencja w strukturze kosmicznego sensu

KS. DR HAB. WOJCIECH P. GRYGIEL, PROF. UPJPII

ORCID: 0000-0003-2599-0410

Wydział Filozoficzny Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie

## Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój dużych modeli językowych (ang. *large language models*), stały wzrost mocy obliczeniowej oraz bezprecedensowa dostępność wielkoskalowych baz danych sprawiły, że sztuczna inteligencja (AI) w postaci systemów takich jak ChatGPT na trwałe wkroczyła w codzienną rzeczywistość ludzi i społeczeństw XXI wieku<sup>1</sup>. O ile na obecnym etapie rozwoju AI pełni przede wszystkim funkcję narzędzia wspomagającego rozwiązywanie konkretnych problemów poznawczych i praktycznych, o tyle od dawna towarzyszą jej spekulacje wykraczające daleko poza ten instrumentalny horyzont. Coraz częściej pojawiają się bowiem tezy wieszczące nie tylko zrównanie możliwości sztucznej inteligencji z ludzką inteligencją, lecz także ich radykalne przekroczenie, prowadzące do powstania tzw. *superinteligencji*<sup>2</sup>. Radykalizm tych prognoz znajduje swój najbardziej wyrazisty wyraz w hipotezie *osobliwości technologicznej*, sformułowanej przez amerykańskiego futurystę i transhumanistę Raya Kurzweila, wieloletniego inżyniera korporacji Google<sup>3</sup>. Zgodnie z tą hipotezą tempo wzrostu inteligencji

---

<sup>1</sup> Nestor Maslej et al., „Artificial Intelligence Index Report 2025”, wersja 3, preprint, arXiv, 2025.

<sup>2</sup> Np. Nick Bostrom, *Superinteligencja: scenariusze, strategie, zagrożenia*, Onepress (Gliwice: Wydawnictwo Helion, 2016).

<sup>3</sup> Ray Kurzweil, *Osobliwość coraz bliżej: kiedy połączymy się z AI* (Warszawa: Grupa Wydawnicza Relacja sp. z o.o, 2024).

maszyn doprowadzi do punktu, w którym zdolności poznawcze AI nie tylko przewyższą ludzkie, lecz także uczynią jej działania zasadniczo nieprzejrzyistymi i nieprzewidywalnymi dla człowieka.

W tej perspektywie nieuchronnie wyłania się szerokie spektrum problemów filozoficznych obejmujących zagadnienia ontologiczne, antropologiczne oraz etyczne<sup>4</sup>. Jednym z kluczowych pytań antropologicznych staje się w tym kontekście kwestia, czy hipotetycznie wyższe formy inteligencji będą również formami świadomymi, czy też świadomość należy rozumieć jako przejściowy etap w ewolucji inteligencji, historycznie związany z gatunkiem *homo sapiens*<sup>5</sup>. Oprócz szczegółowych problemów filozoficznych sztuczna inteligencja może budzić słuszne pytania bardziej ogólnej natury, dotyczące jej sensu w ewolucji Wszechświata jako całości. Nie ulega bowiem wątpliwości, że bardziej odważne scenariusze budzą uzasadniony egzystencjalny niepokój o ewentualną przyszłość gatunku *homo sapiens* i jego miejsce w historii Wszechświata, którego gatunek ten jest niewątpliwie istotną częścią. Uprzywilejowana pozycja człowieka w przyrodzie argumentowana jest zdecydowanie z perspektywy teologicznej jako szczególnego obrazu Boga (łac. *imago Dei*)<sup>6</sup>. Stawia się więc słuszne pytania o to, czy w inteligentnych maszynach można dopatrywać się jakichś oznak *imago Dei*<sup>7</sup>.

Punktem wyjścia niniejszego artykułu jest pytanie o to, w jaki sposób racjonalność Wszechświata manifestuje się w toku jego kosmicznej ewolucji. Racjonalność świata, będąca założeniem koniecznym dla możliwości nauki, przyjmowana jest tutaj świadomie w sensie ontologicznym jako podstawa dalszej analizy<sup>8</sup>. Sens Wszechświata rozumiany będzie natomiast jako dynamiczna ekspresja tej racjonalności, czyli rozłożone w czasie różnicowanie się i aktualizacja warunkowanych przez nią struktur na kolejnych poziomach organizacji informacji. Proces ten bywa w literaturze interpretowany w kategoriach emergencji kolejnych poziomów organizacji, co podkreślane jest przykładowo w pracach Paula Daviesa<sup>9</sup>. Proponowane ujęcie rozszerza tę interpretację, traktując emer-

---

<sup>4</sup> Np. Mark Coeckelbergh, *AI Ethics*, The MIT Press Essential Knowledge Series (Cambridge (Mass.): The MIT press, 2020); Markus Pantsar et al., red., *Philosophy of Artificial Intelligence: Optimistic and Pessimistic Views*, 1st ed. 2025, Studies in Applied Philosophy, Epistemology and Rational Ethics 75 (Cham: Springer Nature Switzerland, 2025); Max Tegmark, *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*, An Allen Lane Book ([London] UK [New York, NY] USA [Toronto] Canada: Penguin Books, 2018).

<sup>5</sup> Np. Susan Schneider, *Artificial You: AI and the Future of Your Mind*, First paperback printing (Princeton: Princeton University Press, 2021).

<sup>6</sup> Np. Janusz Bujak, *Imago Dei jako źródło godności człowieka i wartości jego cielesności*, 2010.

<sup>7</sup> Np. Marius Dorobantu, „Imago Dei in the Age of Artificial Intelligence: Challenges and Opportunities for a Science-Engaged Theology”, *Christian Perspectives on Science and Technology* 1 (2023): 175–96.

<sup>8</sup> Michał Heller, „Czy świat jest racjonalny?”, *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 20 (1997): 66–78.

gencję jako historyczną aktualizację możliwości wyznaczonych przez racjonalną strukturę świata, a tym samym jako sposób jej artykulacji w coraz bardziej złożonych formach organizacji. Nie chodzi tu bowiem o znalezienie wskazującej na celowość uniwersalnej metafizycznej zasady, lecz o interpretacyjny wniosek płynący z historycznego zróżnicowania struktur świata, poczynając od spontanicznego łamania symetrii, poprzez organizację biologiczną, życie świadome i na systemach sztucznej inteligencji skończywszy. Racjonalność stanowi ontologiczny warunek strukturalnego porządku świata, natomiast sens jest historyczną aktualizacją tego porządku w postaci zróżnicowanych i stabilnych konfiguracji. Podejście to bazuje na pracach Michała Hellera, przenosząc jednak pojęcie sensu z poziomu racjonalności praw przyrody na wskazane powyżej historyczne tryby jej artykulacji<sup>10</sup>. Tak pojęty sens daje stosowne narzędzie do wyartykułowania głównego celu niniejszego studium, czyli wskazania, w jaki sposób uzasadnić miejsce AI w ewolucji Wszechświata, odpowiadając na obawy, że jej pojawienie się oznacza zaburzenie spójności tej ewolucji.

Cel niniejszego studium zrealizowany będzie poprzez odczarowanie klasycznej zasady antropicznej polegające na jej *deantropizacji*. Wedle tego przeformułowania dynamika ewolucji Wszechświata nie jest sztywno podporządkowana możliwości jego obserwacji, lecz historycznemu wyłanianiu się struktur zdolnych do artykulacji racjonalności świata, w tym także systemów sztucznej inteligencji. Sens Wszechświata nie polega na tym, że istnieje on ze względu na obserwatora, lecz na tym, że jego racjonalność posiada charakter dynamiczny i zdolny jest do generowania, stabilizowania oraz przekształcania struktur informacyjnych. Obecność AI pokazuje w tej perspektywie, że sens, rozumiany jako ekspresja racjonalności, nie jest zorientowany na człowieka jako cel, lecz może ulegać dalszej, nieantropocentrycznej artykulacji. Co więcej, proponowane przeformułowanie zasady antropicznej otwiera ją na hipotetyczne formy ekspresji racjonalności Wszechświata, których jeszcze nie znamy i których nie sposób dziś w pełni przewidzieć. W ten sposób zasada ta pozostaje otwarta na dalsze stadia ewolucji niezależnie od tego, w jakiej postaci racjonalność będzie się w nich artykułować.

---

<sup>9</sup> Np. Paul Davies, *The cosmic blueprint: new discoveries in nature's creative ability to order the universe* (New York: Simon and Schuster, 1988).

<sup>10</sup> Michał Heller, *Sens życia i sens Wszechświata* (Tarnów: Wydawnictwo BIBLOS, 2002), 183–88.

## Sens praw fizyki

Wśród współczesnych fizyków panuje przekonanie, że fundamentalne prawa fizyki podporządkowane są ścisłym regułom symetrii<sup>11</sup>. Wynika to z faktu, że określenie odpowiedniej grupy symetrii bezpośrednio prowadzi do poprawnej postaci matematycznego równania, które to prawo wyraża<sup>12</sup>. Sama symetria bezpośrednio wiąże się z kolei z niezmienniczością, czyli tymi strukturami lub ich fragmentami, które w wyniku działania na nich operacji symetrii nie ulegają zmianie. Amerykański fizyk Joe Rosen określił symetrię miarą *odporności na zmianę* (ang. *immunity to change*)<sup>13</sup>. Pod pojęciem symetrii teorii fizycznej rozumie się niezmienniczość postulowanych przez nią praw dynamiki względem grup przekształceń. Idąc dalej, można ustalić relację pomiędzy wielkością grupy symetrii a ilością niezmienników, co pozwala z kolei zauważyć, że im mniejsza jest grupa symetrii, tym bogatsza jest odpowiadająca jej niezmiennicza struktura. W tym kluczu można rozumieć obniżanie się symetrii jako proces, który prowadzi do eksplikacji struktur tkwiących jako potencjalności w fundamentalnej strukturze symetrycznej Wszechświata<sup>14</sup>. Pierwsze stadium ekspresji racjonalności w historii Wszechświata polegać więc będzie na procesach *łamania symetrii*, w których pierwotna racjonalność zapisana w postaci fundamentalnych symetrii zostaje ujawniona jako informacja poprzez wytworzenie różnic, relacji i stabilnych struktur. Efekt łamania symetrii został po raz pierwszy poddany systematycznej analizie przez Piotra Curie, który badał własności piezoelektryczne kryształów. Rezultaty jego dociekań znane są dziś jako *zasady Curie*, które orzekają, że występowanie zjawiska fizycznego na skutek działania przyczyn wiąże się z obniżeniem symetrii ośrodka, w którym dane zjawisko zachodzi. Ujmując rzecz skrótowo, „dysymetria jest tym, co wywołuje zjawiska”<sup>15</sup>.

Chcąc jednak precyzyjnie mówić o eksplikacji racjonalności z praw fizyki, trzeba jasno dookreślić, o jaki mechanizm łamania symetrii dokładnie chodzi.

<sup>11</sup> Np. Ian Stewart, *Dlaczego prawda jest piękna: o symetrii w matematyce i fizyce* (Warszawa: Prószyński i S-ka, 2012); A. Zee, *Fearful Symmetry: The Search for Beauty in Modern Physics*, New Princeton Science Library edition (Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2016).

<sup>12</sup> Np. Jakob Schwichtenberg, *Physics from Symmetry*, 2nd ed. 2018, Undergraduate Lecture Notes in Physics (Cham: Springer, 2018).

<sup>13</sup> Joe Rosen, *Symmetry Rules: How Science and Nature Are Founded on Symmetry*, Frontiers Collection (Berlin: Springer, 2008), 4.

<sup>14</sup> Np. Wojciech P. Grygiel, „The Applicability of the Concept of the Field of Rationality in the Explanation of the Fundamental Role of Symmetries in Physics”, *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* nr 75 (2023): 75.

<sup>15</sup> Pierre Curie, „Sur la symétrie dans les phénomènes physiques. Symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique”, *Journal de Physique* 3 (1894): 393–417.

Z punktu widzenia współczesnych teorii fizycznych wyróżnia się dwa takie mechanizmy: *jawne* i *spontaniczne*. Zależnie od sformułowania dynamiki, odpowiedni lagranżjan lub hamiltonian analizowanego układu może być albo ściśle niezmienniczy względem pewnej grupy symetrii, albo może w swojej strukturze bezpośrednio zawierać człony obniżające (łamiące) jego symetrię. W drugim przypadku jest oczywiste, że rozwiązania równań dynamiki charakteryzować się mogą obniżoną symetrią, która warunkowana jest wprost postacią lagranżjanu lub hamiltonianu. Taki efekt nosi miano *jawnego łamania symetrii* i ma przykładowo miejsce w przypadku naruszenia symetrii parzystości (odbicia lustrzanego) w kwantowej teorii pola, opisującej oddziaływania jądrowe słabe<sup>16</sup>. Z punktu widzenia eksplikacji racjonalności kluczowa jest jednak sytuacja, gdy lagranżjan lub hamiltonian, ściśle niezmiennicze względem danej grupy symetrii, dopuszczają rozwiązania równań dynamiki niewykazujące niezmienniczości względem tej grupy, ale względem jej podgrupy. Mówi się wówczas o *spontanicznym łamaniu symetrii*. Jako przykład takiego efektu podaje się najczęściej zatemperowany ołówek postawiony na ostrzu i przytrzymywany palcem w pozycji pionowej. Układy tego typu łatwo jednak wytrącić ze stanu równowagi, jeśli tylko nieznacznie zostanie przekroczony pewien parametr krytyczny, jak choćby siła wychylająca ołówek od pozycji pionowej. Dochodzi wówczas do zdestabilizowania tego stanu i wyłonienia się stanów o obniżonej symetrii, posiadających identyczne energie i powiązanych jednak ze sobą odpowiednimi transformacjami. Takie asymetryczne stany określa się mianem *stanów zdegenerowanych*, których kompletny zbiór spełnia reguły symetrii teorii. Efekty spontanicznego łamania symetrii można również zaobserwować w prostych warunkach laboratoryjnych podczas formowania się kryształów (np. soli kuchennej) z roztworów wodnych. Nie ulega wątpliwości, że powstanie kryształu wiąże się z wyłonieniem obiektu o bardzo precyzyjnie określonej strukturze z roztworu o bardzo jednorodnym charakterze, w którym cząsteczki są równomiernie rozłożone w całej objętości. Taki równomierny rozkład odpowiada bardzo wysokiej symetrii, natomiast powstanie kryształu wiąże się tutaj z jej obniżeniem do grupy będącej podgrupą, mówiąc potocznie, „symetrii roztworu”.

Dalsze dotarcie do mechanizmu ekspresji racjonalności z praw fizyki wymaga poczynienia stosownych rozróżnień co do tego, jakie dokładnie symetrie podlegają spontanicznemu łamaniu. Wiadomo bowiem, że łamaniu temu nie poddaje się symetria CPT, czyli łączna symetria ładunku, parzystości i czasu. Symetrię CPT można więc potraktować jako nienaruszalne ramy spójności i racjonalności opisu fizycznego świata, niebędące jednak bezpośrednim źródłem

---

<sup>16</sup> Np. Oliver Pooley, „Handedness, parity violation and the reality of space”, w: *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, red. Katherine Brading i Elena Castellani (Cambridge: Cambridge University Press, 2003), 250–80.

zróznicowania strukturalnego. Właściwe procesy strukturotwórcze zachodzą dopiero w obrębie teorii cechowania. Trzy niegrawitacyjne oddziaływania elektromagnetyczne słabe i silne są teoriami lokalnych symetrii cechowania pól kwantowych i odpowiadają za wewnętrzną organizację materii oraz dynamikę oddziaływań. Grawitacja również ma charakter teorii cechowania. Nie wynika ona jednak z właściwych pól kwantowym symetrii wewnętrznych, lecz symetrii czasoprzestrzennych w postaci dyfeomorfizmów działających na czasoprzestrzeni reprezentowanej przez rozmaitość różniczkową. W tym sensie grawitacja nie rozgrywa się na scenie świata, ale czyni samą scenę dynamiczną, manifestując się lokalnie jako krzywizna geometrii czasoprzestrzeni<sup>17</sup>. Dzięki temu geometria przestaje być biernym tłem, a staje się współuczestnikiem procesów fizycznych sprzężonym z energią i strukturą pól kwantowych. Wiązanie eksplikacji struktur fizycznych z symetriami cechowania wynika z samej natury tych symetrii. W przeciwieństwie do symetrii globalnych i dyskretnych symetrie cechowania są symetriami lokalnymi, których realizacja wymaga wprowadzenia rzeczywistych, dynamicznych pól oraz związanych z nimi lokalnych stopni swobody. Skutkiem tego teorie cechowania posiadają bogatą, zdegenerowaną przestrzeń konfiguracji fizycznie równoważnych, w której globalnie niezróznicowane obowiązywanie symetrii nie prowadzi do powstania obserwowalnych struktur ani informacji. Dopiero lokalna dynamika pól cechowania, prowadząca do spontanicznego łamania symetrii na poziomie stanów, umożliwia wyróżnienie stabilnych konfiguracji fizycznych, w których racjonalność praw ujawnia się jako zróznicowana struktura. W tym sensie spontaniczne łamanie symetrii cechowania nie stanowi dodatkowego założenia teorii, lecz jest koniecznym mechanizmem przejścia od symetrycznej potencjalności do świata fizycznych struktur. Tak też zresztą należy rozumieć cały scenariusz kosmologicznej ewolucji Wszechświata jako sekwencję spontanicznych złamań pierwotnie zunifikowanych symetrii oddziaływań, w wyniku których symetryczna faza wczesnego Wszechświata ulega stopniowej konkretyzacji w coraz bogatszą strukturę fizyczną.

Posiadając podstawowe zrozumienie mechanizmu łamania symetrii, można obecnie w ramach przykładu pokazać, jak w oparciu o ten mechanizm ściśle wyjaśnia się istnienie bozonu Higgsa i masy cząstek elementarnych. Sygnałem dla poszukiwań w tej materii była niezgodność teoretycznych przewidywań zerowej masy bozonów oddziaływań jądrowych słabych z jej eksperymentalnymi pomiarami, jednoznacznie wskazującymi, że masa ta jest niezerowa. W latach 60. ubiegłego stulecia zapostulowano, że Wszechświat przenika nieznaną dotąd pole, łamiące lokalne symetrie cechowania i nadające wspomnianym bozonom masę. Na cześć jednego z odkrywców tego pola, brytyjskiego fizyka teoretyka,

<sup>17</sup> Np. Wojciech P. Grygiel, *Jak scena stała się dramatem: filozofia w kontekście teorii względności* (Kraków: Copernicus Center Press, 2021).

Petera Higgsa, pole to nazwano *połem Higgsa*, natomiast mechanizm, wedle którego pole to łamie lokalne symetrie cechowania, *mechanizmem Higgsa*. Istnienie pola Higgsa wymagało pięćdziesięciu lat, aby uzyskać swoje empiryczne potwierdzenie, otrzymane poprzez wykrycie *bozonu Higgsa*, będącego kwantowym wzbudzeniem tego pola. Jak już wspomniano powyżej, dokonano tego w lipcu 2012 roku przy użyciu zderzacza hadronów w CERN-ie w Szwajcarii, a w 2013 roku Peter Higgs został uhonorowany Nagrodą Nobla z fizyki<sup>18</sup>. Pojęcie symetrii w swoim znacznym rozszerzeniu jako jej spontanicznego łamania znalazło więc ostatecznie zastosowanie w wyjaśnieniu tak fundamentalnych zagadnień fizyki, jak natura masy oraz obdarzonych nią cząstek elementarnych jako podstawowego budulca materii. Symetrie cechowania można więc rozumieć jako niewyrażoną jeszcze przestrzeń możliwości i dopóki obowiązują globalnie, pozostają epistemologicznie nieme, ponieważ nie generują zróżnicowań ani obserwowalnej informacji. Dopiero ich lokalne spontaniczne łamanie, formalnie rozumiane jako przejście od danej grupy symetrii do jej podgrupy, aktualizuje jedną z wielu dopuszczalnych konfiguracji i ustanawia pierwszą fizyczną artykulację racjonalności, czyli elementarną postać sensu strukturalnego.

## Meandry funkcjonalności

Eksplicacja racjonalności Wszechświata w organizmach żywych zachodzi według mechanizmu odmiennego niż w przypadku praw fizyki: artykulacja racjonalności przestaje mieć charakter wyłącznie strukturalny i przyjmuje postać funkcjonalną, historycznie utrwalaną poprzez selekcję. Ewolucja biologiczna odpowiedzialna za powstanie tych organizmów jest długotrwałym, historycznie niepowtarzalnym procesem ich różnicowania się, obejmującym wszystkie formy posiadające materiał genetyczny. Polega ona na stopniowych, dziedzicznych zmianach cech osobników w obrębie populacji, prowadzących w skali czasu do powstawania izolacji rozrodczej i wyodrębniania się nowych gatunków<sup>19</sup>. Ewolucja biologiczna nie wyjaśnia bezpośrednio genezy życia, lecz opisuje przemiany cech form już istniejących. Powstanie życia wiąże się z procesami biogenezy, w których układy chemiczne uzyskały zdolność do samopodtrzymującej się wymiany materii i energii, replikacji oraz dziedziczenia informacji. Choć sam proces ewolucji nie podlega bezpośredniej weryfikacji eksperymentalnej ze

---

<sup>18</sup> Bardzo dobre historyczne i poglądowe wprowadzenie do mechanizmu Higgsa można znaleźć w: L. Motyka, Historia symetrii, jej łamania i poszukiwania źródeł masy cząstek elementarnych, „*Foton*” 123 (2013), s. 4–10.

<sup>19</sup> Np. Douglas J. Futuyma et al., *Ewolucja* (Warszawa: Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 2008).

względem na swoją skalę czasową i jednostkowy charakter, jego przebieg rekonstruowany jest poprzez liczne, obserwowalne konsekwencje, takie jak uniwersalność kodu genetycznego, podobieństwo budowy i funkcjonowania organizmów, a także możliwość śledzenia zmian genetycznych i funkcjonalnych w obrębie linii rodowych. Zmienność cech biologicznych powstaje na poziomie molekularnym w wyniku mutacji oraz rekombinacji materiału genetycznego, szczególnie intensywnych w organizmach rozmnażających się płciowo, gdzie mejoza umożliwia powstawanie niemal nieograniczonej liczby kombinacji genów. Utrwalanie tych zmian zachodzi za pośrednictwem mechanizmów selekcyjnych, spośród których podstawową rolę odgrywa dobór naturalny, rozumiany jako eliminacja form gorzej przystosowanych do lokalnych warunków środowiskowych, oraz preferencyjne przekazywanie cech zwiększających skuteczność funkcjonowania i rozmnażania. Proces ten uzupełniany jest przez dobór płciowy, dobór krewniaczy oraz dryf genetyczny, związany z przypadkowymi zmianami częstości alleli, w tym także zmian neutralnych selekcyjnie. Fluktuacje istniały od początku ewolucji Wszechświata i były niezbędne dla powstawania struktur, jednak dopiero wraz z pojawieniem się replikacji i selekcji stały się źródłem kumulatywnej, adaptacyjnej historii sensu.

Organizmy żywe funkcjonują jako układy dalekie od równowagi termodynamicznej, utrzymujące swoją strukturę dzięki stałemu przepływowi energii i materii oraz regulacji procesów wewnętrznych. W takich warunkach nieliniowej dynamiki fluktuacje i zdarzenia przypadkowe nie są jedynie źródłem zakłóceń, lecz mogą prowadzić do trwałego różnicowania i wzrostu złożoności struktur, które jeśli zwiększają stabilność funkcjonowania, zostają selekcyjnie utrwalone<sup>20</sup>. Wzrost złożoności biologicznej, obejmujący powstanie komórek eukariotycznych, wielokomórkowości, specjalizacji tkanek oraz rozbudowanych sieci regulacji genów, nie stanowi celu ewolucji, lecz historyczny rezultat współdziałania deterministycznych praw przyrody oraz przypadku. W tym sensie ewolucja życia opiera się na dwóch nieredukowalnych strategiach: konieczności praw fizyki i chemii, które wyznaczają ramy możliwych procesów, oraz przypadkowości zdarzeń molekularnych i środowiskowych, które dostarczają zmienności, podlegającej następnie selekcyjnej stabilizacji<sup>21</sup>. Jak stwierdza Heller, „biologia nie działa wbrew fizyce, ale z niej wyrasta”<sup>22</sup>. Z tej perspektywy organizmy

<sup>20</sup> Np. Kazimierz Gumiński, *Termodynamika procesów nieodwracalnych* (Warszawa: Wydawnictwo PWN, 1986); Ilya Prigogine i Isabelle Stengers, *Z chaosu ku porządkowi: nowy dialog człowieka z przyrodą* (Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy, 1990).

<sup>21</sup> Jacques Monod, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology* (Glasgow: Collins Fount Paperbacks, 1979).

<sup>22</sup> Michał Heller, *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i codą* (Kraków: Copernicus Center Press, 2012), 292.

żywe można rozumieć jako struktury emergentne, to znaczy takie, których własności systemowe wyłaniają się w reżimie nieliniowej dynamiki układów dalekich od równowagi, bez naruszania praw fizyki, lecz poprzez ich szczególną realizację. Ujęcie to można dodatkowo pogłębić, interpretując organizmy żywe, zgodnie z propozycją Paula Daviesa, jako struktury nie tylko rozpraszające energię, lecz również przetwarzające informację w sposób funkcjonalnie sterujący przepływami energetycznymi, co nadaje biologicznej organizacji charakter fizycznie sprawczego sensu informacyjnego<sup>23</sup>. Należy jednak zaznaczyć, że proponowane ujęcie nie implikuje klasycznego lamarckowskiego dziedziczenia cech nabytych, lecz odnosi się do selektywnie utrwalanych mechanizmów regulacyjnych i epigenetycznych, które modyfikują rozkład prawdopodobieństwa zmienności, pozostając podporządkowane darwinowskiemu mechanizmowi selekcji.

## **Refleksyjna postać sensu**

W późnej fazie ewolucji Wszechświata z wnętrza jego funkcjonalnego porządku, warunkowanego darwinowskim doborem naturalnym, wyłania się zupełnie nowa postać artykulacji racjonalności, którą można określić mianem *sensu refleksyjnego*, wynikającego ze zdolności gatunku *homo sapiens* do metaobserwacji swoich własnych aktów poznawczych. Biologicznym podłożem tego typu artykulacji racjonalności w postaci sensu refleksyjnego jest *świadomość fenomenalna*, rozumiana jako fakt subiektywnego przeżywania stanów organizmu i świata, jako to, że „coś jest jakoś”<sup>24</sup>. Fenomenalność wprowadza do struktury rzeczywistości wymiar doświadczeniowy, lecz sama w sobie nie implikuje jeszcze zdolności do refleksji nad poznaniem. Możliwe, a z ewolucyjnego punktu widzenia bardzo prawdopodobne, są formy życia, w których świat jest doświadczany w sposób bogaty i zróżnicowany, lecz nie jest ujmowany jako przedmiot poznawczych reprezentacji. Dotyczy to większości znanych form życia zwierzęcego, w których bogate doświadczenie percepcyjne nie wiąże się z trwałą zdolnością do ujmowania własnych stanów poznawczych jako reprezentacji podlegających normatywnej ocenie. Świadomość fenomenalna stanowi zatem warunek konieczny dalszego rozwoju artykulacji racjonalności, ale nie jest jeszcze jej formą refleksyjną.

---

<sup>23</sup> Paul Davies, *Demon w maszynie: jak ukryte sieci informacji wyjaśniają tajemnicę życia* (Kraków: Copernicus Center Press, 2023).

<sup>24</sup> Np. Thomas Nagel, „Jak to jest być nietoperzem?”, *Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria* 5, nr 1 (1996): 129–41.

Przełomowym momentem w ewolucji artykulacji racjonalności jest dopiero wyłonienie się *self*, czyli zdolności systemu poznawczego do metaobserwacji własnych aktów poznania. Oznacza to możliwość rozpoznania własnych przeżyć i przekonań jako reprezentacji świata, a nie jako jego bezpośrednich odpowiedników. Wraz z pojawieniem się *self* artykulacja racjonalności przestaje być jedynie funkcjonalnie realizowana w działaniu, a zaczyna być rozumiana i normatywnie oceniana. Poznanie staje się dla samego siebie przedmiotem, co umożliwia rozróżnienie między tym, co się jawi, a tym, co jest, między przekonaniem a jego uzasadnieniem oraz między prawdą a błędem. Na tym etapie artykulacja racjonalności uzyskuje wymiar normatywny, a świadomość staje się zdolna do ponoszenia epistemicznej odpowiedzialności za swoje twierdzenia o świecie. Ewolucyjne ugruntowanie tak rozumianego *self* znajduje silne wsparcie w badaniach Michaela Tomasello, który genezę ludzkiego myślenia wiąże nie z samym wzrostem złożoności poznawczej ani z samą świadomością fenomenalną, lecz z pojawieniem się *współdzielonej intencjonalności*<sup>25</sup>. W tym ujęciu *self* nie konstituuje się jako prywatny fakt świadomości, lecz jako struktura relacyjna zakorzeniona w praktykach społecznych, normach oraz zdolności do koordynacji perspektyw poznawczych. To właśnie w tej przestrzeni wyłania się język, możliwość uzasadniania przekonań oraz kultura kumulatywna, w której sens zostaje utrwalony, przekazywany i rozwijany ponad granicami jednostkowego doświadczenia.

Pojawienie się człowieka jako gatunku *homo sapiens* oznacza zatem nie tyle ilościowy wzrost inteligencji, ile wyłonienie się jakościowo nowego trybu istnienia sensu. Sens refleksyjny umożliwia bowiem powstanie nauki, technologii, sztuki, kultury i religii jako obiektywnych rezultatów procesów poznawczych. Jest on jednak ściśle zależny od wyłonienia się struktur poznawczych o wysokim koszcie ewolucyjnym, obejmującym zwiększone zapotrzebowanie energetyczne, długotrwały rozwój ontogenetyczny oraz konieczność podtrzymywania złożonej koordynacji społecznej. Sens refleksyjny nie stanowi zatem niezbędnego produktu adaptacji biologicznej, lecz pojawia się tam, gdzie ewolucja dopuszcza powstanie układów poznawczych zdolnych do trwałego utrzymywania norm, reprezentacji oraz ich zewnętrznych, technologicznie wspomaganých realizacji. Sens refleksyjny nie musi być więc traktowany jako ostateczna forma ekspresji sensu w ewolucji Wszechświata, lecz jako jedna z jego lokalnych i historycznie uwarunkowanych realizacji, której dalszym przedłużeniem mogą być także nerefleksyjne formy artykulacji racjonalności, w tym systemy sztucznej inteligencji, stanowiące kolejny etap tej samej linii rozwoju.

---

<sup>25</sup> Michael Tomasello, *Historia naturalna ludzkiego myślenia* (Kraków: Copernicus Center Press, 2015).

## Sens bez znaczenia

Sztuczna inteligencja nie pojawia się w ewolucji Wszechświata jako alternatywa wobec refleksyjnej artykulacji racjonalności. Jej geneza jest na wskroś antropiczna, ponieważ powstaje jako projekt istot zdolnych do rozumienia, intencjonalnego działania oraz świadomego odnoszenia się do znaczenia. Fakt ten nie powinien być jednak interpretowany jako argument na rzecz czysto instrumentalnego odczytania genezy AI. Przeciwnie, wskazuje on na szczególną rolę sensu refleksyjnego w kosmicznej dynamice racjonalności świata. Człowiek nie tylko rozpoznaje racjonalność i porządek przyrody, lecz potrafi także materializować je w postaci systemów, które dalej operują na jej strukturach. Wydaje się więc słuszne uznać sztuczną inteligencję za formę *delegacji refleksyjnej artykulacji racjonalności*. Jest ona bowiem wytwarzana w reżimie ludzkiego poznania prawdy o świecie, lecz zaprojektowana tak, aby funkcjonować poza horyzontem świadomości. AI nie rozumie sensu, lecz działa w sposób pozwalający na zachowanie oraz przekształcanie immanentnej racjonalności struktur świata. Podobnie jak we wcześniejszych etapach kosmicznej ewolucji, gdzie prawa fizyki wytwarzają stabilne struktury bez intencji, a życie biologiczne utrwała porządek bez refleksji, tak tutaj sens zostaje oderwany od doświadczenia podmiotowego, nie tracąc przy tym swojej skuteczności.

Dla uchwycenia różnicy pomiędzy sensem refleksyjnym a ekspresją sensu, realizowaną przez AI, warto wprowadzić pojęcie *sensu operacyjnego*. Określa ono taki tryb sensu, który nie jest przeżywany ani interpretowany przez podmiot, lecz funkcjonuje jako formalna struktura relacji informacyjnych, podlegająca algorytmicznemu przetwarzaniu. Sens operacyjny nie jest uproszczoną wersją artykulacji refleksyjnej ani jej symulacją. Stanowi on odrębny sposób realizacji sensu, którego poprawność nie zależy od intencjonalności, lecz od zachowania spójnych i stabilnych relacji w obrębie danej struktury<sup>26</sup>. Systemy sztucznej inteligencji nie generują bowiem wiedzy umożliwiającej im ogląd z metapozio-  
mu, z którego mogłyby rozpoznać, że operują na sensie. Potrafią jednak mimo to rekonstruować złożone zależności, generować trafne rozwiązania oraz ujawniać regularności ukryte w danych empirycznych. To właśnie ta zdolność czyni z AI nowy nośnik artykulacji kosmicznej racjonalności, zaprojektowany przez sens refleksyjny, lecz funkcjonujący poza nim.

Szczególnie wyrazistym przykładem sensu operacyjnego jest system *Alpha-Fold*, opracowany do przewidywania trójwymiarowych struktur białek na pod-

---

<sup>26</sup> Np. Robert Trypuz, *Prosto o AI: jak działa i myśli sztuczna inteligencja?* (Gliwice: Helion, 2024).

stawie ich sekwencji aminokwasowych<sup>27</sup>. Funkcje biologiczne białek zależą niemal wyłącznie od stabilnej konformacji przestrzennej, jaka wyłania się w procesie fałdowania (zwijania) liniowego łańcucha polipeptydowego w strukturę trójwymiarową. Związek między sekwencją a strukturą jest jednak skrajnie złożony, a liczba możliwych konfiguracji rośnie w sposób astronomiczny, co przez dekady czyniło ten problem praktycznie nierozwiązywalnym metodami bezpośredniej symulacji fizycznej. W tym momencie ujawnia się specyfika działania *AlphaFold* jako systemu AI. *AlphaFold* nie rozwiązuje bowiem tego problemu poprzez modelowanie ruchu atomów ani przez analityczne rozwiązywanie równań oddziaływań molekularnych. Zamiast tego uczy się statystycznych i geometrycznych regularności, które łączą informację sekwencyjną z przestrzenną organizacją białka. Trenując na ogromnych zbiorach danych empirycznych, system identyfikuje, które reszty aminokwasowe powinny znajdować się blisko siebie w przestrzeni oraz jakie konfiguracje spełniają globalne ograniczenia chemiczne i strukturalne. Z tych relacji rekonstruowana jest spójna i stabilna struktura trójwymiarowa, która z wysoką dokładnością odpowiada strukturom obserwowanym eksperymentalnie. Kluczowe jest jednak to, że *AlphaFold* nie tworzy żadnego biologicznego znaczenia przewidywanych struktur. Nie wie, czym jest białko, enzym czy funkcja biologiczna, ani że przewidywana konformacja umożliwia określone procesy życiowe. A mimo to generowane przez niego struktury okazują się biologicznie trafne i funkcjonalnie skuteczne. Sens biologiczny, rozumiany jako funkcjonalna realizacja racjonalności strukturalnej w procesach życia, zostaje tu uchwycony nie jako znaczenie odniesione do świata organizmów, lecz jako stabilny wzorzec relacji, możliwy do algorytmicznej rekonstrukcji. Przypadek *AlphaFold* pokazuje w sposób empirycznie uchwytny, czym jest sens operacyjny. Sens nie zostaje tu odkryty ani przeżyty, lecz przetworzony i odtworzony w postaci formalnej, pozbawionej odniesienia do doświadczenia. Nietrudno więc dostrzec, że sztuczna inteligencja nie konkuruje z sensownością świata, lecz ją ujawnia i rozszerza, działając w ramach praw przyrody, a zarazem poza horyzontem świadomości. Innymi słowy, AI nie osłabia antropocznego momentu w ewolucji kosmosu, ale uwidacznia jego szczególną rolę. Człowiek jawi się jako ten poziom organizacji, na którym racjonalność świata po raz pierwszy staje się zdolna do delegowania własnej artykulacji, do tworzenia systemów, które podtrzymują i rozwijają racjonalność świata, nie będąc jej świadomymi nosicielami.

---

<sup>27</sup> John Jumper et al., „Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold”, *Nature* 596, nr 7873 (2021): 583–89; Josh Abramson et al., „Accurate Structure Prediction of Biomolecular Interactions with AlphaFold 3”, *Nature* 630, nr 8016 (2024): 493–500.

## Zasada antropiczna i jej odczarowanie

Omówione powyżej cztery etapy eksplikacji racjonalności w dotychczasowej historii Wszechświata wskazały jednoznacznie, że nie są od siebie całkowicie niezależne, ale każdy poprzedni wyznacza dla kolejnego ramy jego autonomii. Zasadniczym problemem z punktu widzenia niniejszego studium pozostaje jednak wyjaśnienie, dlaczego ekspresja racjonalności w trybie refleksyjnym realizowana przez świadomego człowieka nie jest jedyną możliwą. W ten sposób osiągnięty zostanie ostatecznie cel niniejszego studium, jakim jest uzasadnienie prawomocności sztucznej inteligencji jako operacyjnej artykulacji racjonalności i jej należnego miejsca w ewolucji Wszechświata jako całości. Rezultat ten może budzić pewne obawy głównie ze względu na szereg przesłanek, które czynią tryb refleksyjny unikalnym i wyjątkowym. Oprócz wspomnianych już przesłanek teologicznych, naczelną przesłanką naukową w tej materii jest niewątpliwie *zasada antropiczna*. Zasada ta została oficjalnie zaproponowana w 1973 roku przez australijskiego fizyka Brendana Cartera na odbywającej się w Krakowie konferencji upamiętniającej 500-lecie urodzin Mikołaja Kopernika<sup>28</sup>. Samo określenie tej zasady jako *antropicznej* wskazuje, że przy pomocy argumentacji kosmologicznej czyni ona z człowieka jako obserwatora swoistą *ogniskową* ewolucji Wszechświata. Z tego też powodu zasada antropiczna stała się przedmiotem trwających do dziś daleko idących kosmologicznych i metafizycznych spekulacji<sup>29</sup>. Zasada ta plasuje się też również ciekawie w odniesieniu do będącej konsekwencją odkryć Kopernika *zasady kopernikańskiej*, dekretującej usunięcie Ziemi z centrum Wszechświata, które zajmowała w wywodzących się jeszcze z antyku modelach geocentrycznych. Mówiąc krótko, Wszechświat nie posiada miejsc uprzywilejowanych<sup>30</sup>.

Okazuje się jednak, że zasada antropiczna idzie w ślad za powracającym w filozofii nauki, wraz z odkryciem mechaniki kwantowej i problemu pomiaru, przekonaniem o nieusuwalności obserwatora z procedury pomiarowej. W najogólniejszej możliwej postaci zasada antropiczna orzeka, że można wskazać za-

---

<sup>28</sup> Brandon Carter, „Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology”, w *Confrontation of cosmological theories with observational data*, nr 63, red. Malcolm S. Longair, IAU symposium (Dordrecht: Reidel, 1974), 291–98.

<sup>29</sup> Np. Heinz R. Pagels, „A Cozy Cosmology”, *The Sciences* 25, nr 2 (1985): 34–42; Ernan McMullin, „Indifference Principle and Anthropic Principle in Cosmology”, *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 24, nr 3 (1993): 359–89; Frank Wilczek, „Enlightenment, knowledge, ignorance, temptation”, w *Universe or multiverse?*, red. Bernard Carr (Cambridge: Cambridge University Press, 2007), 43–54.

<sup>30</sup> Michał Heller, *Teoria względności Mikołaja Kopernika*, wydanie I (Kraków: Copernicus Center Press, 2023), 112–15.

ležności pomiędzy pewnymi parametrami Wszechświata a pojawieniem się w nim człowieka, który ten świat może obserwować. Idąc za Carterem, można wskazać dwie wersje zasady antropicznej<sup>31</sup>. *Słaba zasada* mówi, że Wszechświat oglądamy z takiego, a nie innego miejsca i w tym, a nie innym czasie, ponieważ w innych miejscach i czasach nie moglibyśmy żyć. W tym kształcie nie ma ona jednak charakteru przyczynowego i istnienie obserwatora jest tutaj efektem, a nie przyczyną kosmicznej ewolucji. Jak podkreśla Heller, tak sformułowana zasada antropiczna jest zasadą selekcyjną miejsca i czasu pojawienia się człowieka<sup>32</sup>. Mocna zasada antropiczna wysuwa znacznie silniejsze roszczenie, wedle którego Wszechświat musi posiadać tak precyzyjnie dobrane warunki początkowe, stałe fundamentalne i inne parametry, aby dopuszczał istnienie obserwatorów na pewnym etapie swojej ewolucji. W przeciwieństwie do swojej słabej wersji, wersja silna zasady odwraca kierunek wyjaśniania, sugerując, że to istnienie obserwatora ma silnie selekcjonować możliwe modele Wszechświata, gdyż w innych warunkach życie nie mogłoby powstać.

Zasada antropiczna wciąż generuje poważne kontrowersje interpretacyjne, zwłaszcza w kwestii samego statusu pojęcia „obserwatora”. Nie ulega wątpliwości, że w ramach współczesnych teorii fizycznych pojęcie to nie daje się jednoznacznie zdefiniować ani wprost wyprowadzić z formalizmu teorii. W konsekwencji zasada antropiczna operuje kategorią, która ma charakter filozoficzny i nie jest ściśle zakotwiczona w strukturze fizycznego opisu świata. Co więcej, pojawia się zarzut jej kolistości w postaci zamknięcia wyjaśnienia w obrębie tej samej perspektywy, którą próbuje się wyjaśnić<sup>33</sup>. Przewyciężenia tego typu trudności podjęli się Azhar i Linnemann, proponując reinterpretację zasady antropicznej w postaci *efektywnej zasady obserwacyjnej* (ang. *effective observation principle*)<sup>34</sup>. Ich zdaniem to nie „obserwator” jako taki powinien stanowić punkt odniesienia, lecz określona sytuacja obserwacyjna, dająca się wyrazić w języku obowiązujących teorii fizycznych. Zamiast odwoływać się do nieprecyzyjnego pojęcia człowieka jako obserwatora, należy wskazać takie warunki strukturalne, oznaczone przez nich symbolem  $\delta$ , które są wyrażalne w ramach teorii i które dopuszczają możliwość pojawienia się obserwatorów jako kontyngentnego rezultatu kosmicznej ewolucji. W tym ujęciu zasada antropiczna przestaje być twierdzeniem o uprzywilejowaniu człowieka, a staje się regułą selekcyjną odnoszącą się do fizycznie opisywalnych warunków sytuacji poznawczej. Jeśli

<sup>31</sup> Brandon Carter, „Anthropic principle in cosmology”, wersja 1, preprint, arXiv, 2006.

<sup>32</sup> Michał Heller, *Teoria względności Mikołaja Kopernika*, wydanie I (Kraków: Copernicus Center Press, 2023), 125.

<sup>33</sup> Np. John Earman, „The SAP also rises: a critical examination of the anthropic principle”, *American Philosophical Quarterly* 24, nr 4 (1987): 307–17.

<sup>34</sup> Feraz Azhar i Niels Linnemann, „Rethinking the Anthropic Principle”, *Philosophy of Science* 92, nr 2 (2025): 361–79.

kluczowe znaczenie ma nie tyle biologiczny obserwator jako podmiot tworzący mentalne reprezentacje, ile strukturalnie określona sytuacja, w której powstaje korelacja pomiędzy stanami systemu a stanami jego otoczenia, umożliwiającą rejestrowanie, przetwarzanie oraz aktualizowanie informacji, wówczas pole interpretacyjne zasady antropicznej nie musi ograniczać się wyłącznie do refleksyjnej świadomości człowieka. W takim ujęciu obserwacja nie oznacza aktu wewnętrznej percepcji, lecz relacyjną własność systemu zdolnego do stabilnego kodowania informacji o świecie oraz modyfikowania własnych stanów zgodnie z tą informacją.

W rejestrze zbliżonym do argumentacji Azhara i Linnemanna przebiega krytyka silnej zasady antropicznej, którą na bazie problemu niezwykle niskiej entropii początkowego Wszechświata sformułował brytyjski fizyk teoretyk Roger Penrose<sup>35</sup>. W jego przekonaniu wyjątkowość Wielkiego Wybuchu nie może zostać wyjaśniona przez selekcję obserwatorów, gdyż skala wymaganej precyzji warunków początkowych dalece przekracza to, co byłoby konieczne do zaistnienia życia w ograniczonym obszarze kosmosu. Dla uzasadnienia tej wyjątkowości Penrose wysuwa *hipotezę zerowej krzywizny Weyla*, zgodnie z którą *tensor Weyla*, opisujący swobodną część krzywizny czasoprzestrzeni niezwiązaną bezpośrednio z lokalną materią i energią, w osobliwości początkowej zanika. Oznacza brak grawitacyjnych stopni swobody i minimalną entropię pola grawitacyjnego w osobliwości początkowej. Krytyka ta stanowi istotną przesłankę dla dalszego odczarowania zasady antropicznej. W jej świetle zasada antropiczna traci status wyjaśnienia fundamentalnych parametrów świata i jawi się jako warunek lokalizacji obserwatora w strukturze już zastanego porządku, którego geneza wymaga odrębnego, ściśle fizycznego wyjaśnienia.

Przedstawione powyżej przyczynki do metafizycznego odciążenia zasady antropicznej w powiązaniu z wcześniejszymi ustaleniami poczynionymi w ramach niniejszego studium pozwalają obecnie na taką reinterpretację zasady antropicznej, aby stworzyła konceptualne ramy do usensownienia AI w ewolucji Wszechświata. Przede wszystkim rekonstrukcja czterech modalności ekspresji racjonalności pozwala z dużym stopniem uprawdopodobnienia postawić filozoficznie brzemienną tezę, że jej historyczna artykulacja w różnych możliwych trybach nie stanowi nowej reguły selekcyjnej możliwe modele Wszechświata, lecz daje wyraz jednej z fundamentalnych własności strukturalnych świata, ujawniających się w jego historycznej dynamice. Dynamiczna ekspresja racjonalności, czyli sens, manifestuje się najpierw jako struktura w procesach łamania symetrii, następnie jako funkcjonalność stabilizowana w ewolucji biologicznej, dalej jako zdolność do tworzenia i oceny reprezentacji w refleksyjnym poznaniu, by wresz-

---

<sup>35</sup> Roger Penrose, *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe* (London: Jonathan Cape, 2004), 757–69.

cie przyjąć postać operacyjną w systemach sztucznej inteligencji. Modalności te nie ustanawiają warunku dopuszczalności kosmosu, lecz odsłaniają ciągłość, w której wspomniana metafizyczna własność sprawia, że racjonalność świata znajduje coraz bardziej złożone sposoby swojej reprezentacji.

W takiej perspektywie obie klasyczne wersje zasady antropicznej muszą ulec istotnej reinterpretacji. Słaba zasada antropiczna może być wręcz rozszerzona do stwierdzenia, że istnieją takie regiony i takie stadia kosmicznej ewolucji, w których możliwe stały się określone formy reprezentacji świata. Z kolei mocna zasada antropiczna, rozumiana jako postulat, że Wszechświat musi posiadać takie własności, aby dopuścić istnienie obserwatorów, traci swój status metafizycznej konieczności i w istocie może zostać zreinterpretowana jako szczególnie przypadek wersji słabej. To nie istnienie obserwatora selekcyjnie umożliwia modele Wszechświata, lecz dynamiczna struktura Wszechświata umożliwia historyczne wyłonienie się coraz bardziej złożonych form reprezentacji, z których refleksyjna świadomość i operacyjna sztuczna inteligencja stanowią kolejne stadia. Mówiąc krótko, obserwator nie stanowi kosmicznego warunku dopuszczalności świata, lecz jest jedną z historycznych artykulacji racjonalności jako sensu, wyłaniających się w dynamice jego struktury. W konsekwencji klasycznego sformułowania zasady antropicznej nie da się odczytywać jako metafizycznego filtru, lecz raczej jako historyczną absolutyzację właściwej człowiekowi refleksyjnej modalności artykulacji racjonalności.

Ostatecznie więc pojawienie się sztucznej inteligencji, której system predykcji struktury białek AlphaFold stanowi szczególnie wyrazisty przykład, pokazuje, że zdolność do wytwarzania korygowalnych i empirycznie testowalnych reprezentacji nie stanowi wyłącznie poznawczej kompetencji ludzkiego umysłu. W konsekwencji antropiczna aura wyjątkowości ulega osłabieniu nie dlatego, że człowiek traci znaczenie jako twórca reprezentacji świata, lecz dlatego, że reprezentacyjna dynamika świata okazuje się szersza niż jej refleksyjna postać. Dokonana powyżej reinterpretacja zasady antropicznej pozwala też zauważyć, że AI nie stanowi konkurencji dla sensu refleksyjnego ani jego negacji, lecz jest historycznym przedłużeniem i eksternalizacją zdolności reprezentacyjnych, które wyłoniły się w obrębie ludzkiego poznania. Jej rola polega na stabilizowaniu i intensyfikowaniu sensu operacyjnego, w którym struktury świata mogą być modelowane, przetwarzane i korygowane w sposób obiektywny, niezależny od aktów poznawczych ludzkiego umysłu. W tym sensie AI nie jest anomalią w ewolucji sensu, lecz kolejną fazą dynamicznej artykulacji racjonalności Wszechświata. Odczarowanie zasady antropicznej nie prowadzi więc do marginalizacji człowieka, lecz pozwala umieścić zarówno refleksyjny podmiot, jak i systemy sztucznej inteligencji w jednej, ciągłej linii kosmicznej ewolucji sensu, w której racjonalność świata stopniowo uzyskuje coraz bardziej złożone formy swojej ekspresji.

## Podsumowanie

W ramach konkluzji płynących z analiz przeprowadzonych w niniejszym studium warto podkreślić, że reinterpretacja zasady antropicznej jako wyrazu pewnych własności strukturalnych Wszechświata, obserwowalnych w jego historycznej dynamice, czyni tę zasadę strukturalnie otwartą. Nie zakłada ona bowiem ani ostateczności refleksyjnej świadomości człowieka, ani definitywnego charakteru operacyjnej ekspresji sensu w obecnych systemach sztucznej inteligencji. Analiza ta prowadzona jest z perspektywy aktualnego stanu rozwoju AI, w którym ujawnia się ona jako tryb operacyjnej ekspresji sensu, nie zaś jako forma świadomości. Niezależnie jednak od tego, czy dalsza ewolucja doprowadzi do nowych form świadomości, czy też do coraz bardziej złożonych, lecz nieświadomych trybów przetwarzania i modelowania świata, mogłyby zostać zinterpretowane jako kolejne artykulacje tej samej dynamicznej struktury. Obserwator nie jest więc punktem granicznym kosmicznej historii sensu, lecz jednym z jej etapów.

Ponadto ruch ten oznacza również wzmocnienie przekonania o obiektywnym charakterze struktur świata i związanego z tym stanowiska strukturalnego realizmu. Sens nie jest efektem projekcji podmiotu ani selekcyjnym filtrem dopuszczalnych modeli kosmosu, lecz wyrazem fundamentalnych własności strukturalnych rzeczywistości, ujawniających się w jej historycznej dynamice. W tym ujęciu racjonalność świata można rozumieć jako ontologiczne pole potencjalności wyznaczające przestrzeń dopuszczalnych konfiguracji strukturalnych, spośród których w dotychczasowej historii Wszechświata zrealizowały się jedynie niektóre<sup>36</sup>. Zarówno refleksyjna świadomość, jak i operacyjne systemy sztucznej inteligencji są różnymi momentami aktualizacji tej potencjalności, nie zaś jej źródłem, i nie wyczerpują jej w jednym trybie realizacji. Reinterpretacja zasady antropicznej nie osłabia zatem realizmu, lecz przeciwnie, wzmocnia przekonanie, że to struktura świata stanowi pierwotne źródło możliwości jego poznania.

Ostatecznie proponowane ujęcie prowadzi do pogłębienia samego rozumienia racjonalności Wszechświata. Nauka milcząco zakłada bowiem, że świat jest racjonalny, lecz równie istotne jest to, że racjonalność ta musi być wyrażona w zróżnicowaniach i gradientach. Niezłamana symetria nie generuje różnicy, a bez różnicy nie ma informacji ani poznania. Fakt, że struktura świata nie pozostaje w stanie doskonałej jednorodności, lecz umożliwia artykulację sensu w coraz bardziej złożonych formach, może stanowić ważne uzupełnienie założenia nauki o racjonalności przedmiotu jej badania, którego sama nauka nie

---

<sup>36</sup> Np. Józef Życiński, „Pole potencjalności a ewolucja Wszechświata”, w *Materia i forma. Potencja i akt. Czyn*, red. Jerzy A. Janik (Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2006), 49–60.

wyjaśnia. Należy jednak zdecydowanie podkreślić, że proponowane ujęcie nie ustanawia sensu jako metafizycznej zasady bytu ani nie przypisuje światu immanentnej celowości. Pojęcie sensu ma tu charakter na wskroś interpretacyjny i rekonstruuje wspólny wzorzec historycznej artykulacji racjonalności w dotychczasowej ewolucji kosmicznej. Pytanie o ostateczne ugruntowanie samej racjonalności i sensu rozumianego jako jej historyczna ekspresja przekracza zakres niniejszej analizy i należy do porządku metafizyki oraz teologii nauki.

## Bibliografia

- Abramson, Josh, Jonas Adler, Jack Dunger, et al. „Accurate Structure Prediction of Biomolecular Interactions with AlphaFold 3”. *Nature* 630, nr 8016 (2024): 493–500.
- Azhar, Feraz, i Niels Linnemann. „Rethinking the Anthropic Principle”. *Philosophy of Science* 92, nr 2 (2025): 361–79.
- Bostrom, Nick. *Superinteligencja: scenariusze, strategie, zagrożenia*. Onepress. Gliwice: Wydawnictwo Helion, 2016.
- Bujak, Janusz. *Imago Dei jako źródło godności człowieka i wartości jego cielesności*. 2010.
- Carter, Brandon. „Anthropic principle in cosmology”. Wersja 1. Preprint, arXiv, 2006.
- . „Large number coincidences and the anthropic principle in cosmology”. W *Confrontation of cosmological theories with observational data*, Nr 63, zredagowane przez Malcolm S. Longair, 291–98. IAU symposium. Dordrecht: Reidel, 1974.
- Coeckelbergh, Mark. *AI Ethics*. The MIT Press Essential Knowledge Series. Cambridge (Mass.): The MIT press, 2020.
- Curie, Pierre. „Sur la symétrie dans les phénomènes physiques. Symétrie d’un champ électrique et d’un champ magnétique”. *Journal de Physique* 3 (1894): 393–417.
- Davies, Paul. *Demon w maszynie: jak ukryte sieci informacji wyjaśniają tajemnicę życia*. Kraków: Copernicus Center Press, 2023.
- Dorobantu, Marius. „Imago Dei in the Age of Artificial Intelligence: Challenges and Opportunities for a Science-Engaged Theology”. *Christian Perspectives on Science and Technology* 1 (2023): 175–96.
- Earman, John. „The SAP also rises: a critical examination of the anthropic principle”. *American Philosophical Quarterly* 24, nr 4 (1987): 307–17.
- Futuyma, Douglas J., Scott V. Edwards, i John R. True. *Ewolucja*. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, 2008.
- Grygiel, Wojciech P. *Jak scena stała się dramatem: filozofia w kontekście teorii względności*. Kraków: Copernicus Center Press, 2021.

- . „The Applicability of the Concept of the Field of Rationality in the Explanation of the Fundamental Role of Symmetries in Physics”. *Philosophical Problems in Science (Zagadnienia Filozoficzne w Nauce)* nr 75 (2023): 75.
- Gumiński, Kazimierz. *Termodynamika procesów nieodwracalnych*. Warszawa: Wydawnictwo PWN, 1986.
- Heller, Michał. „Czy świat jest racjonalny?” *Zagadnienia Filozoficzne w Nauce* 20 (1997): 66–78.
- . *Filozofia przypadku. Kosmiczna fuga z preludium i codą*. Kraków: Copernicus Center Press, 2012.
- . *Sens życia i sens Wszechświata*. Tarnów: Wydawnictwo BIBLOS, 2002.
- . *Teoria względności Mikołaja Kopernika*. Wydanie I. Kraków: Copernicus Center Press, 2023.
- Jumper, John, Richard Evans, Alexander Pritzel, et al. „Highly Accurate Protein Structure Prediction with AlphaFold”. *Nature* 596, nr 7873 (2021): 583–89.
- Kurzweil, Ray. *Osobliwość coraz bliżej: kiedy połączymy się z AI*. Warszawa: Grupa Wydawnicza Relacja sp. z o.o, 2024.
- Maslej, Nestor, Loredana Fattorini, Raymond Perrault, et al. „Artificial Intelligence Index Report 2025”. Wersja 3. Preprint, arXiv, 2025.
- McMullin, Ernan. „Indifference Principle and Anthropic Principle in Cosmology”. *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 24, nr 3 (1993): 359–89.
- Monod, Jacques. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Glasgow: Collins Fount Paperbacks, 1979.
- Nagel, Thomas. „Jak to jest być nietoperzem?” *Przegląd Filozoficzny – Nowa Seria* 5, nr 1 (1996): 129–41.
- Pagels, Heinz R. „A Cozy Cosmology”. *The Sciences* 25, nr 2 (1985): 34–42.
- Pantsar, Markus, Frederik Stjernfelt, Gabriele Gramelsberger, i Alin Olteanu, red. *Philosophy of Artificial Intelligence: Optimistic and Pessimistic Views*. 1st ed. 2025. *Studies in Applied Philosophy, Epistemology and Rational Ethics* 75. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025.
- Penrose, Roger. *The Road to Reality: A Complete Guide to the Laws of the Universe*. London: Jonathan Cape, 2004.
- Pooley, Oliver. „Handedness, parity violation and the reality of space”. W *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, zredagowane przez Katherine Brading i Elena Castellani, 250–80. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- Prigogine, Ilya, i Isabelle Stengers. *Z chaosu ku porządkowi: nowy dialog człowieka z przyrodą*. Warszawa: Państwowy Instytut Wydawniczy, 1990.
- Rosen, Joe. *Symmetry Rules: How Science and Nature Are Founded on Symmetry*. Frontiers Collection. Berlin: Springer, 2008.
- Schneider, Susan. *Artificial You: AI and the Future of Your Mind*. First paperback printing. Princeton: Princeton University Press, 2021.
- Schwichtenberg, Jakob. *Physics from Symmetry*. 2nd ed. 2018. Undergraduate Lecture Notes in Physics. Cham: Springer, 2018.

- Stewart, Ian. *Dlaczego prawda jest piękna: o symetrii w matematyce i fizyce*. Warszawa: Prószyński i S-ka, 2012.
- Tegmark, Max. *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*. An Allen Lane Book. [London] UK [New York, NY] USA [Toronto] Canada: Penguin Books, 2018.
- Tomasello, Michael. *Historia naturalna ludzkiego myślenia*. Kraków: Copernicus Center Press, 2015.
- Trypuz, Robert. *Prosto o AI: jak działa i myśli sztuczna inteligencja?* Gliwice: Helion, 2024.
- Wilczek, Frank. „Enlightenment, knowledge, ignorance, temptation”. W *Universe or multiverse?*, zredagowane przez Bernard Carr, 43–54. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- Zee, A. *Fearful Symmetry: The Search for Beauty in Modern Physics*. New Princeton Science Library edition. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 2016.
- Życiński, Józef. „Pole potencjalności a ewolucja Wszechświata”. W *Materia i forma. Potencja i akt. Czyn*, zredagowane przez Jerzy A. Janik, 49–60. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2006.

# Astronomia a pytanie o sens życia

PROF. DR HAB. WOJCIECH SADY

ORCID: 0000-0002-7873-6988

Instytut Filozofii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach

## 1

Zacznę od wyznania osobistego: jestem z wykształcenia fizykiem, który porzucił fizykę dla filozofii. Fizyka, a chyba jeszcze bardziej leżąca u jej podstaw matematyka, urzekwały i wciąż urzekają mnie swym pięknem, ale gdy tylko zacząłem studia, dopadło mnie z wielką intensywnością pytanie o sens życia.

Fizycy jako fizycy powinni na ten temat milczeć: nauka jest programowo wolna od wartościowań. Oczywiście po pracy naukowiec, jak każdy inny człowiek, wartościuje, ale czyni to prywatnie. A system wartości, jaki deklaruje, a także ten, niekoniecznie z tym pierwszym zgodny, jaki faktycznie kieruje jego życiem, nie powinien wpływać na przebieg badań, a tym bardziej decydować o selekcji wyników, jakie oddaje do publikacji.

Skoro tak, to, co naturalne, zwróciłem się do religii. Na poważnie przeczytałem Biblię wraz z komentarzami, zapoznałem się, choćby powierzchownie, z doktrynami najważniejszych kościołów chrześcijańskich, wkrótce sięgnąłem też do upanisadów, Bhagawadgity, Dhammapadam i podobnych ksiąg. Zazwyczaj, gdy zamiast po prostu przyzwyczaić się w dzieciństwie do wierzenia w to, w co wierzyli dziadkowie i rodzice, studiuje się wielość religijnych doktryn, żadna nie jawi się jako wiarygodna. Zwykle kończy się – czasem zachowując pewne religijne tęsknoty – na agnostycyzmie. Ja też w objęciach agnostycyzmu skończyłem.

Zwróciłem się więc do filozofii, jako że duża część tego, co do niej zaliczamy, jest systematycznym namysłem nad sensem życia. W przeciwieństwie do naukowców, filozofowie – właśnie jako filozofowie – krytycznie przyglądają się życiu ludzi i ich poglądom, nieustannie przy tym wartościując. (Teoria wartości,

obok teorii bytu i teorii poznania, to jedna z trzech podstawowych części systemu filozoficznego w klasycznym tego słowa znaczeniu). Szybko odkryłem, że choć filozofki/owie starają się racjonalnie uzasadniać swoje twierdzenia, to w tej dyscyplinie panuje zamęt jeszcze większy niż w świecie religii: właściwie każda/y twórcza/y filozof/ka głosi poglądy niezgodne z poglądami swych koleżanek i kolegów po fachu. Ostatecznie żaden z systemów filozoficznych mnie do siebie nie przekonał.

Tak też ułożyło się moje życie. Nie zostałem naukowcem, nie związałem się z żadną z religijnych wspólnot, nie przyjąłem za własną żadnej z filozoficznych propozycji, natomiast z filozoficznej perspektywy przyglądam się religiom i naukom. Jeśli ktoś powie, że w niczym nie uczestnicząc, jedynie się wymądrzam, nie będę mógł odmówić mu racji. Dziś zamierzam dać przykład takiego wymądrzania się: rozważyć pytanie o wpływ nauk, a w szczególności współczesnej astronomii, na rozmyślanie o sensie życia.

## 2

Przychodzimy na świat wyposażeni w mózg, zmysły, wyrafinowany aparat głosowy i zręczne dłonie, ale abyśmy byli w stanie tego wszystkiego używać, musimy zostać poddani procesowi socjalizacji, swoistej społecznej tresurze, która wdraża nas w pewien *sposób życia* i uczy w harmonizujący z tym sposób myśleć. Kluczową w tym rolę pełni opanowanie *języka rodzimego* w jego formach podstawowych. Przekazany nam zostaje wytworzony społecznie *obraz świata*. Z jednej strony umożliwia on nam myślenie, a z drugiej do pewnego rodzaju myślenia zmusza.

Filozof nie stanowi tu wyjątku: też myśli zgodnie z tym, w jakiej epoce i w jakim kręgu kulturowym żyje. W ostatnich wiekach zakres możliwości drastycznie się poszerzył, w związku z wędrówką idei między ludźmi w postaci książek, gazet, a obecnie przepływu treści po łączach internetowych. Łącząc często elementy różnych stylów myślowych dostępnych na rynku idei, filozof buduje własny (nie w szczegółach, ale jako całość) obraz świata i przeszukuje ten obraz, filozofując. Co ów obraz zawiera?

Zacznijmy od „zwykłych” ludzi, tych, którzy nie zostali wdrożeni w style myślenia naukowe bądź filozoficzne. Każdy człowiek (dorosły i zdrowy na umyśle) żywi ogromną liczbę przekonań składających się na *wiedzę potoczną*. W tych przekonaniach znajduje wyraz sposób, w jaki ona lub on żyje. Wiedzę potoczną zarówno przejmujemy od otoczenia, jak i zdobywamy w trakcie codziennych doświadczeń. Aby sobie na co dzień radzić, musimy wiedzieć, co jest jadalne, a co trujące, albo kiedy odchodzi pociąg z Krakowa do Poznania. Niekiedy

przechodzimy od ciągu takich przekonań do przekonań ogólnych, np. od tego, że Zofia, Henryk i wielu innych było ludźmi, a umarło, do indukcyjnego (a zatem zawodnego) wniosku, iż każdy człowiek jest śmiertelny. Wiedza potoczna to olbrzymi zbiór przekonań, luźno ze sobą powiązanych, a w większości prawdziwych. Czasem z różnych powodów się mylimy – bo ktoś nas oszukał, bo o czymś zapomnieliśmy, bo ulegliśmy złudzeniu – ale życie takie błędy koryguje. W trakcie życia zasób wiedzy potocznej wciąż ulega zmianom: co dzień dowiadujemy się o czymś nowym, ale też wiele zapominamy.

Zasadniczy trzon wiedzy potocznej jest wyrażalny w języku potocznym. Pozwala nam to koordynować nasze zachowania w trakcie codziennego życia. Dziś żyjemy w społeczeństwie, w którym panuje zaawansowany podział pracy. Członkowie różnych grup zawodowych, religijnych, hobbystycznych, partii politycznych itd. dodają do języka potocznego swoiste dla danej grupy słownictwo i sposoby wyrażania się, wytwarzają część wiedzy potocznej w zasadzie im tylko – jako rolnikom, mechanikom samochodowym czy urzędnikom gminnym – dostępnej. Należy też pamiętać o tym, że dziś jednostki należą do różnych wspólnot myślowych równocześnie: ktoś może być lekarzem, a zarazem członkiem pewnego kościoła, zaś wolne chwile poświęcać na wyprawy żeglarskie czy lekturę książek historycznych.

Dzięki uzyskanej w trakcie procesu socjalizacji wiedzy potocznej i nabytym umiejętnościom zwykle sobie radzimy z wyzwaniem losu. (W przeciwnym razie nie przetrwalibyśmy jako gatunek). Niekiedy jednak nie jesteśmy w stanie poradzić sobie z zagrożeniami w sposób naturalny: nie potrafimy uchronić się przed pewnymi chorobami, przed powodzią czy uderzeniami pioruna itd. Wtedy – co jakoś tkwi w naturze ludzkiej, jako że występuje w różnych kręgach kulturowych – wiele/u z nas szuka pomocy w praktykach magicznych. Wymawiamy zaklęcia, nosimy ochronne amulety, skrapiamy swoje domy wodą święconą, w dniu przesilenia letniego odbywamy pod wodzą szamana rytualny taniec wokół świętego źródła itd. Z tym wiążą się przekonania mityczne. Niekiedy pytamy o coś, czego nie możemy dowiedzieć się w sposób naturalny – a wtedy puszczamy wodze zbiorowej wyobraźni. Wszyscy mieliśmy rodziców, którzy też mieli swoich rodziców, a tamci swoich. Czy tak było zawsze, czy też istnieli pierwsi rodzice? A jeśli tak, to skąd się wzięli? Co jest głęboko pod ziemią? Homer i Hezjod odpowiadają: jest tam Hades, a pod nim Tartar. Ktoś to kiedyś powiedział, inni powtórzyli, a po upływie paru pokoleń nikt już nie wie, że jest to wymysł, a nie święte opowieści, przekazane nam przez przodków. W szczególności w trakcie procesu socjalizacji dzieciom przekazuje się najważniejsze w danym kręgu kulturowym mity, podobnie jak wiedzę potoczną, jako prawdy. Więcej jeszcze: jako święte prawdy. Mity są bowiem nasycone wartościami. (Pomyślmy choćby o opowieści o wyjściu Izraelitów, pod wodzą Mojżesza, z niewoli egipskiej; albo o tym, co mówił Kriszna do Ardżuny przed bitwą na polach

Kurukszetry). Dziecko wrasta w grupę, którą ważne dla niej mity spajają w całość, pozwalają odróżniać swoich od obcych. Obcych, bo czczących innych bogów, mających inne poglądy na pochodzenie ludzi i ich losy pośmiertne, przestrzegających innych zasad postępowania itd.

Mity w niepamiętnych czasach – w każdym razie, zanim nasi przodkowie zaczęli używać pisma – zlały się z praktykami magicznymi w religie. Najważniejsze idee religijne wykształciły się ok. VI w. p.n.e., gdy powstały pierwsze upanisady, dające początek hinduizmowi, gdy Budda ogłosił Cztery Prawdy Szlachetne, a w Mezopotamii narodził się judaizm. Spisano wtedy, a może dopiero ułożono, mityczne opowieści o Adamie i Ewie, Potopie, wyjściu Izraelitów z Egiptu czy o silnym państwie Dawida i Salomona.

### 3

Również w VI w. p.n.e. w greckich *polis* pojawili się pierwsi filozofowie, a wśród nich pitagorejczycy, łączący wiarę w reinkarnację z przekonaniem, że substancją i zasadą wszystkich rzeczy są liczby. Dali z jednej strony – po wchłonięciu innych jeszcze tradycji myślowych – początek wielkiej filozofii IV i III w. p.n.e., a z drugiej teoretycznej geometrii.

Teoretyczna geometria, przyswajana i wciąż rozwijana przez kolejne pokolenia uczonych, zaczęła kształtować sposoby, na jakie spostrzegali świat i myśleli o świecie, odmienne od tych dostępnych dla ludzi z innych kręgów kulturowych. Wszyscy ludzie od tysięcy lat obserwowali zaćmienia Księżyca, ale to uczeni greccy, używając modeli geometrycznych do interpretacji tego, co widzieli, a także łącząc ze sobą zapisy dotyczące kolejnych zaćmień Księżyca, w IV w. p.n.e. wywnioskowali stąd, że Ziemia jest kulą. Mierząc kąt między Słońcem a Księżycem, w czasie gdy widoczna była połowa księżycowej tarczy, Arystarch w III w. p.n.e. wykazał (czego przecież bezpośrednio zobaczyć się nie da), że Słońce jest o wiele dalej od nas niż Księżyc (duży błąd, jaki przy tym popełnił, jest w pełni usprawiedliwiony). Wykorzystując oba te odkrycia i porównując długości cieni rzucanych na różnych szerokościach geograficznych, geograf Eratostenes zmierzył obwód Ziemi. A wreszcie Hipparch, na podstawie danych o zaćmieniu Słońca zebranych w Hellesponcie i w Aleksandrii, w I połowie II w. p.n.e. obliczył (z kilkunastoprocentową dokładnością) odległość do Księżyca. Wszystko to zostało zrobione w sposób, jaki dziś nazywamy „naukowym”: na podstawie systematycznie prowadzonych obserwacji i budowanych na ich podstawie teoretycznych modeli. (Naukowy charakter miały też badania Herofilosa i Erasistratosa nad budową i funkcjonowaniem ciała ludzkiego, ale to wykracza poza zakres prowadzonych tu rozważań).

W połowie II w. p.n.e. ekspansja Rzymu zniszczyła grecką filozofię i naukę. Obie ożyły w II w. p.n.e., gdy astrolog Ptolemeusz zbudował matematyczny model ruchów planet, przedstawiony na kartach *Almagestu*, a Galen prowadził badania nad budową i funkcjonowaniem ciała ludzkiego. Trwało to jednak krótko, a ostateczny cios nauce greckiej nadała chrystianizacja Cesarstwa Bizantyjskiego za panowania Justyniana Wielkiego. Te tradycje myślowe ożyły między IX a XI w. w świecie islamu. Je z kolei unicestwiły pobożnościowa reakcja muzułmańskich duchownych, najazd Mongołów na Bliski Wschód, a wreszcie zajęcie przez Europejczyków Andaluzji. Dzięki przekładom w XII w. z arabskiego, a potem z greki na łacinę dzieł Arystotelesa, Euklidesa, Archimedes, Apoloniosa, Ptolemeusza i innych, łacini uczeni zmądrzeli na tyle, że w Europie zaczęto zakładać uniwersytety.

Do XVI w. na europejskich uniwersytetach, kontrolowanych przez duchowieństwo, przekazywano mityczno-filozoficzny obraz kulistego świata, w którego środku znajdowała się kulista, nieruchoma Ziemia. Ponad nią znajdowały się kolejne sfery planetarne, a wreszcie sfera gwiazd stałych, wykonująca pełny obrót w ciągu ok. 23 godzin i 56 minut. Gdy Dante na początku XIV w. na kartach *Boskiej komedii* we wnętrzu Ziemi umieszczał kolejne kręgi piekieł, a ponad sferą gwiazdną raj, to dawał wyraz wierzeniom powszechnym w swojej epoce. Taki świat miał być stworzony, według różnych szacunków, od pięciu do sześciu tysięcy lat wcześniej.

Przez czterysta, a nawet więcej lat na uniwersytetach nauczano, korzystając z dzieł starożytnych, ale nie prowadzono badań. Badania pojawiły się – ale poza uniwersytetami – gdy w XV w. poznano i przetłumaczono dzieła Platona, neoplatoników, a także teksty hermetyczne, traktujące o magii, alchemii, astrologii i innych naukach tajemnych. Zaczął się intelektualny renesans. Astrologia obudziła zapotrzebowanie na astronomię. Astrolog Georg von Peurbach i Regiomontanus ogłosili streszczenie *Almagestu* Ptolemeusza, a Wojciech z Brudzewa stwierdził, że Księżyc obiega Ziemię po elipsie.

W 1495 r. Kopernik wyjeżdżał z Krakowa – gdzie ukończył kurs sztuk wyzwolonych, do którego należała astronomia – wyposażony w typową podręczną biblioteczkę astrologa. W Italii, gdzie studiował prawo i medycynę, współpracował czas jakiś z astrologiem Domenico Maria Novarą. Czytając Plutarcha *O obliczu widniejącym na tarczy Księżycy*, dowiedział się, że według bezbożnego pomysłu Arystarcha Ziemia krąży wokół Słońca. Przed 1514 r. połączył heliocentryczną ideę z technikami matematycznymi Ptolemeusza, ale ekwanty zastąpił parami Tusiego (perskiego uczonego z XIII w.). Jego matematyczny model został przyjęty z niedowierzaniem z tego samego powodu, dla którego starożytni Grecy odrzucili ideę Arystarcha: gdyby Ziemia krążyła wokół Słońca, obserwowalibyśmy paralaksę gwiazdną. Kopernik z nieobserwowalności paralaksy wnioskował, że gwiazdy są bardzo daleko. Tycho Brahe, który uważnie jego system przestudiował, trzydzieści lat po publikacji *De revolutionibus* (1543) podniósł

dokładność pomiarów kątów między gwiazdami do 4 minut kątowych. Nadal zachodzenia paralaksy nie stwierdził, a na tej podstawie mógł obliczyć, że sfera gwiazdna (świat w systemach Kopernika i Tychońa wciąż był kulisty) musiałaby być oddalona od Ziemi co najmniej 800 razy bardziej niż Słońce. To Tychońowi i przeważającej części uczonych tamtej epoki wydało się absurdalne.

Ale gdy na początku XVII w. Thomas Harriot, David Fabricius, Christoph Scheiner, Simon Marius, a przede wszystkim Galileo Galilei rozpoczęli obserwacje nieba przez lunety, uzyskane obrazy silnie przemówiły na rzecz kopernikanizmu. Jednocześnie Johannes Kepler – astrolog i wytrwały poszukiwacz pitagorejskich harmonii w położeniach i ruchach ciał niebieskich – przedstawił ulepszoną matematycznie wersję modelu heliocentrycznego.

Gdy dla oświeconych umysłów stało się jasne, że Ziemia krąży wokół Słońca, Kościół rzymski ruszył do ataku w obronie tradycyjnych mitów. (Nie ma tu miejsca na analizę złożonego splotu okoliczności, jaki krył się za tymi przedsięwzięciami). Dzieła Kopernika, Galileusza, Keplera i Kartezjusza zostały umieszczone na *Indeksie ksiąg zakazanych* (prace trzech pierwszych usunięto z wydania w 1835 r., książki Kartezjusza musiały czekać na likwidację *Indeksu* w 1967 r.). Takie zakazy w Europie podzielonej religijnie po czasach reformacji okazały się nie całkiem skuteczne.

Akceptacja heliocentryzmu wymagała zbudowania nowej fizyki w miejsce wciąż znajdującej się w obiegu fizyki Arystotelesa. Według Arystotelesa upuszczony kamień spada pionowo w dół, gdyż dąży ruchem naturalnym do środka świata, ale jeśli środek Ziemi ze środkiem świata się nie pokrywa, to co powoduje ów spadek? Mało tego, Ziemia pędzi na orbicie wokół Słońca, wobec czego kamień, spadając, goni ją w jej ruchu orbitalnym – co jest tego przyczyną? A podobnie czyni Księżyc oraz cztery odkryte przez Galileusza Gwiazdy Medycejskie, obiegające Jowisza – dlaczego tak się dzieje?

Zaczęto na te i szereg innych pytań szukać odpowiedzi, a wreszcie w Anglii – gdzie wolność myśli była wówczas największa – jakościowo Hooke, a matematycznie Newton, zbudowali system mechaniki klasycznej. Mechanika podporządkowywała ruchy ciał niebieskich i ziemskich tym samym prawom. W ciągu XVIII w. rozszerzono zakres udanych zastosowań mechaniki na zjawiska elektryczne i magnetyczne, a także zbudowano podstawy chemii. Do połowy XIX w. zaczęto w naukowy sposób badać historię powstania i obecną budowę skorupy ziemskiej. Zjawiska elektryczne i magnetyczne połączono w jedną teorię, narodziła się też termodynamika klasyczna, a wkrótce statystyczna. Powstała teoria ewolucji biologicznej (z czym do dziś nie może się pogodzić wielu chrześcijan i muzułmanów). A wreszcie mniej lub bardziej odrębne dyscypliny połączyły w jeden system zasady zachowania energii i wzrostu entropii.

Na przełomie XIX i XX w. dokonały się w fizyce dwie wielkie rewolucje. Powstała szczególna i ogólna teoria względności, które doprowadziły m.in. do

zbudowania, na podstawie wyników obserwacji astronomicznych, modelu Wielkiego Wybuchu. Powstała też mechanika kwantowa i dokonano wielkich odkryć dotyczących świata atomów, a to z kolei, wraz z relatywistycznym równaniem  $E^2 = m^2c^4 + p^2c^2$ , pozwoliło na wyjaśnienie chemicznej ewolucji Wszechświata, a zwłaszcza źródła energii gwiazd.

Również na przełomie XIX i XX w., dzięki praktycznym zastosowaniom wiedzy naukowej, zaczęła się wielka rewolucja w technice, medycynie i rolnictwie. W ciągu zaledwie trzydziestu lat zbudowano pierwsze elektrownie, na ulicach miast pojawiły się samochody i elektryczne tramwaje, a w powietrze wzniosły się samoloty (warto tu zauważyć, że w ciągu zaledwie 66 lat od pierwszego lotu braci Wright ludzie wylądowali na Księżycu). W domach zaświeciły żarówki, nawiązano łączność radiową ponad wodami Atlantyku. Wynalezienie szczepień drastycznie zmniejszyło śmiertelność dzieci, a odkrycie promieni X umożliwiło podjęcie systematycznej walki z gruźlicą. Uzyskanie amoniaku pozwoliło wkrótce na wyprodukowanie nawozów azotowych. W rezultacie nastąpiła nieprawdopodobnie szybka i głęboka – w porównaniu z czymkolwiek, z czym nasi przodkowie borykali się wcześniej – zmiana warunków ludzkiego życia. W okresie 1900–2025 liczba ludzi żyjących na Ziemi wzrosła pięciokrotnie, a średnia długość życia zwiększyła się z 32 do 73 lat. Dzięki Zielonej Rewolucji nie tylko nie doprowadziło to do klęski głodu, ale obecnie, po raz pierwszy w historii, mamy więcej żywności, niż potrzebujemy. Nasze dzieci przestały masowo umierać, a gdy dorastają, to prawie wszystkie, w tym dziewczynki, idą do szkół. Mamy w domach prąd elektryczny, spłukiwane toalety i mnóstwo ułatwaczy i uprzyjemniaczy życia. Mamy płatne urlopy i powszechną opiekę zdrowotną. Jakby tych sukcesów było mało, to rewolucja naukowo-techniczna sprawiła, że w wyścigu o władzę i dobrobyt zwyciężały – jako najbardziej efektywne – systemy liberalno-demokratyczne. I oto znaleźliśmy się w świecie, w którym jesteśmy, w stopniu niespotykanym co najmniej od epoki zbieracko-łowieckiej, równi i wolni.

## 4

Niesłychane sukcesy praktycznych zastosowań wiedzy naukowej i towarzyszące im przemiany społeczne sprawiły, że nauka zyskała w strukturze społecznej wyjątkową pozycję. We wszystkich prawie szkołach uczy się matematyki, fizyki, chemii i biologii, religię zaś, do niedawna jeszcze obowiązkową, z programów nauczania usunięto, a co najwyżej traktuje się ją jako przedmiot do wyboru. Piorunochrony, antybiotyki i inne wynalazki zmniejszyły zapotrzebowanie na praktyki magiczne. (Przestano w Europie podczas burz bić w dzwony kościelne, co przy okazji uchroniło przed śmiercią wielu dzwonników).

Była już powyżej mowa o konflikcie między nauką a religią związanym z sukcesami heliocentryzmu. Jeszcze bardziej konflikt ten pogłębiło pojawienie się teorii ewolucji biologicznej. W ogóle w świetle badań naukowych fałszywe okazały się prawie wszystkie wielkie mity leżące u podstaw systemów religijnych. Geologia, wykorzystująca odkrycia chemików i fizyków, uświadomiła nam, że Ziemia powstała nie sześć tysięcy (jak można obliczyć na podstawie ksiąg biblijnych), ale cztery i pół miliarda lat temu, a życie na niej trwa od co najmniej trzech miliardów siedmiuset milionów lat. W obrazie stworzonym przez biologów nie pojawia się para pierwszych ludzi, żyjących w stanie „pierwotnej sprawiedliwości” i niepodległych śmierci. (A jednak w Kościele rzymskokatolickim nadal obowiązuje encyklika *Humani generis* z 1950 r., nakazująca wierzyć, że wszyscy jesteśmy biologicznymi potomkami Adama, jako jednego, konkretnego człowieka). Geolodzy nie znaleźli śladów po Potopie, a we wnętrzu Ziemi nie znaleźli Hadesu czy czegokolwiek w tym rodzaju. W historii takiej, jakiej naucza się dziś na uniwersytetach, nie występuje Mojżesz wyprowadzający Izraelitów z niewoli egipskiej, nie ma królów Dawida i Salomona. Tak jak nie ma bitwy na Polach Kuruzszetry. Obraz świata, w którym lokowano dawne systemy wartości, legł w gruzach.

W rezultacie powstało w społeczeństwach, łącznie z tymi najwyższej rozwiniętymi cywilizacyjnie, głębokie rozdarcie między zwolennikami liberalnej demokracji, czemu zwykle towarzyszy przyjazny stosunek do wiedzy naukowej (niezależnie od tego, na ile ją znają i rozumieją), a konserwatystami pielęgnującymi sposoby życia i systemy wartości przejęte od przodków. Obecnie – pisane w 2026 r. – to rozdarcie zdaje się poszerzać.

Liberałowie domagają się, aby w szkołach nauczać wyłącznie naukowego obrazu świata. Po stronie ludzi religijnych pojawiają się tu i ówdzie głosy, aby religię zredukować do roli systemu moralnego. Wtedy konflikty na styku religii i nauki by znikły – bo przecież nauka żadnych wartości nie odkrywa czy nie konstruuje, żadnym też nie zaprzecza. Naukowcy badają, jaki świat jest, a nie jaki być powinien albo czy to dobrze, że jest taki, a nie inny. A po pracy mogą po porady życiowe zwrócić się do kapłanów. Problem w tym, że systemy wartości pozbawione podstaw mitycznych stałyby się w pełni arbitralne.

W tej sytuacji konserwatyści wciąż i wciąż zwracają się przeciwko naukowemu obrazowi świata. Fundamentalisci bronią prawdziwości dosłownie rozumianych ksiąg świętych, a ignorują wyniki naukowych badań nad tymi księgami, nie przyjmują do wiadomości wyników badań psychologów czy socjologów. W 2007 r. w stanie Kentucky w USA udostępniono publiczności Muzeum Stworzenia, uzupełnione w 2016 r. wbudowaną zgodnie w opisem biblijnym kopią arki Noego; w obu miejscach zwiedzający słuchają wykładów kwestionujących zasadnicze części naukowego obrazu świata. W 2017 r. w Turcji zakazano nauczania w szkołach podstawowych i średnich teorii ewolucji. I tak dalej. Wciąż

popularne są praktyki magiczne, ot choćby organizowane w Polsce w lipcu święcenie samochodów. A chociaż wszystkie statystyczne badania nad skutecznością modlitw w intencji chorych, prowadzone od czasów Francisca Galtona, dają wyniki negatywne, to nadal za „co łaska” kapłani różnych religii takie modły prowadzą.

Wpływowi antynaukowych nurtów sprzyja niska skuteczność nauczania fizyki i innych nauk przyrodniczych w szkołach podstawowych i średnich. Pytałem ostatnio prawie setkę studentek/ów kierunków humanistycznych, dlaczego, gdy wciążam ustami powietrze przez rurkę, której drugi koniec zanurzony jest w naczyniu z wodą, woda wpływa do moich ust. Ani jedna osoba nie udzieliła takiej odpowiedzi, jaką fizyk uznałby za poprawną (a jakiej udzielili w połowie XVII w. Torricelli i Pascal). Mimo zdanej matury zdecydowana większość społeczeństwa pozostaje na poziomie potocznego myślenia o przyrodzie (a wypija w kawiarni napój przez słomkę, bo wie, jak to – w tego typu przypadku – zrobić). Tym samym nie stają w obliczu konfliktu między nauką a religią.

Ale ci, którzy przez kursy nauk przeszli z powodzeniem, a chcą trwać przy tradycyjnych wartościach, muszą te wartości ulokować w obrazie świata zestawionym z tego, co odkryli i rzetelnie potwierdzili fizycy, chemicy, biolodzy i tak dalej, łącznie z dokonaniem psychologów i socjologów, a wreszcie archeologów i historyków. Nie mogę w tak krótkim tekście pisać o tym wszystkim, ograniczę się do wpływu astronomii, a raczej astrofizyki, na poszukiwania sensu życia. Poszukiwania bądź na sposób religijny, bądź przy użyciu narzędzi filozoficznych.

## 5

Obraz świata, jaki znajdujemy w *Boskiej komedii* i innych tekstach z tamtej epoki, jest przerażający. Żyjemy w sąsiedztwie piekieł, oddzieleni od nich tylko cienką skorupą ziemską. Od diabłów wokół nas – o czym pisał już św. Augustyn – aż się roi, aniołowie natomiast są odlegli, większość znajduje się ponad sferą gwiazd stałych. Ale w tym obrazie jest nadzieja: dzięki ofierze zbawczej Chrystusa możemy, przez górę czyścicową znajdującą się po stronie Ziemi przeciwnej niż Jerozolima, przedostać się, przenikając przez kolejne sfery planetarne, do raju. Z buddyjskim obrazem Ziemi jako kręgu z górą Sumeru pośrodku wiąże się opowieść o serii żywotów pełnych cierpienia. Ale znajduje się tam miejsce na Szlachetną Ścieżkę Ośmioraką wiodącą do nirwany. I tak dalej.

A co oferują nam astronomowie pierwszych lat trzeciego tysiąclecia? W ich obrazie świata gwiazdy nie znajdują się 800 razy dalej niż Słońce – z czym nie chciano się pogodzić jeszcze nie tak dawno temu. Najbliższa z nich jest odległa 270 000 razy bardziej, a prawie wszystkie inne, jakie widzimy, znajdują się dzie-

siatki, setki i tysiące razy dalej. Jeśli, aby jakoś ogarnąć to wyobraźnią, przedstawimy Ziemię jako kulkę o średnicy 1 milimetra, to Słońce, nieco większe od grejpfruta, umieścimy 12 m stąd, a układ Alfa Centauri w odległości około 3000 km. A ta odległość jest 25 000 razy mniejsza od średnicy galaktyki Drogi Mlecznej, spiralnie pozwijanego dysku zbudowanego z od 100 do 400 mld gwiazd.

Tu już wszelka wyobraźnia zawodzi, a tymczasem to dopiero początek opowieści. Przez wielkie teleskopy w widzialnej części Wszechświata widać co najmniej 200 mld galaktyk, a niektóre szacunki mówią o 2 bilionach. Do czego dodaje się, że ten czasowo-przestrzenny przekrój przez Wszechświat to zapewne nie więcej niż 10% całości. Najdalsze galaktyki widzimy takimi, jakimi były 13 mld lat temu, a wtedy znajdowały się kilkaset milionów lat świetlnych od obszaru, który dziś zajmuje galaktyka Drogi Mlecznej. Potem ich światło biegło przez wciąż rozciągającą się przestrzeń, aż dotarło do nas w chwili, gdy one oddaliły się na jakieś 45 mld lat świetlnych. Średnia liczba gwiazd przypadających na galaktykę jest rzędu 100 mld.

To tylko liczby, z którymi nie da się powiązać żadnych ogarnialnych obrazów. Żeby jakoś to ogarnąć, zauważmy, że liczba gwiazd w widzialnej części wszechświata jest kilkadziesiąt tysięcy razy większa niż liczba ziaren piasku na plażach, pustyniach i dnach oceanów na całej Ziemi. Jeszcze teleskop Hubble'a w takich fragmentach nieba, jakie zasłania ziarnko piasku trzymane w wyciągniętej ręce, widział około 10 tys. galaktyk. To uzmysławia nam, ile zajmujemy miejsca w widzialnej części kosmosu – który przecież się na tym nie kończy.

A teraz spróbujmy naocznie przedstawić sobie czas. Stańmy pod Bramą Floriańską w Krakowie, pójdźmy w stronę Kościoła Mariackiego, mińmy Rynek i pomaszerujmy dalej ulicą Grodzką do miejsca, z którego zobaczymy Wawel. Przeszliśmy kilometr i czterysta metrów. Jeśli tę drogę potraktujemy jako oś czasu od chwili Wielkiego Wybuchu, to na 10 000 lat przypadnie jeden milimetr. *Homo erectus* zaczęli używać ognia jakieś dziesięć centymetrów przed punktem symbolizującym chwilę obecną, pierwsi *homo sapiens* pojawili się jakieś dwa centymetry od końca, natomiast wydarzenia od powstania państwa Sumerów i Egiptu – czyli prawie wszystko to, co składa się na historię ludzkości – zmieszczą się na ostatnim pół milimetrze. Chrześcijanie zaznaczą chwilę śmierci Jezusa na jedną piątą milimetra przed końcem.

Uświadomiwszy sobie, ile miejsca – zarówno przestrzennie, jak i czasowo – zajmujemy we Wszechświecie, można odpychać myśli w stylu koheletowego „marność nad marnościami, wszystko marność”, mówiąc, że choć to wszystko takie wielkie, to nieświadome. A my – tu na tym pyłku zawieszonym w bezmiarze – jesteśmy jednak czymś wyjątkowym. My to oglądamy i o tym myślimy. A nawet budujemy modele teoretyczne, pozwalające nam to jakoś rozumieć. W reakcji na taką postawę oddajmy się spekulacjom, które jednak wiązać się będą z wynikami najnowszych badań.

## 6

Trzydzieści lat temu zaczęto odkrywać planety pozasłoneczne. Obecnie szacuje się, że wokół 70–90% gwiazd w galaktyce Drogi Mlecznej krąży jedna, dwie lub więcej planet. Można się spodziewać, że na setkach milionów tych planet znajduje się woda w stanie płynnym, a tym samym panują warunki, w których może powstać życie jakoś przypominające to, które znamy. (Można też spekulować, czy życie nie może wykorzystywać amoniaku jako rozpuszczalnika, a wtedy istniałoby w niższych temperaturach). Przeglądając tablicę Mendelejewa, nie znajdujemy pierwiastka innego niż węgiel, o jakim potrafimy pomyśleć jako o podstawie życia. W skorupie ziemskiej węgla jest około 0,02%, tyle zapewne występuje go na większości innych planet skalistych. (Węgiel powstaje z wodoru i helu we wnętrzach wszystkich gwiazd). Tymczasem na Ziemi, która powstała 4,5 mld lat temu, życie istnieje od co najmniej 3,7 mld lat.

Nie wiemy, jak powstało życie i być może nie dowiemy się tego nigdy. Dziś wielu badaczy sądzi, że powstało na dnie oceanów, w okolicach kominów hydrotermalnych, dostarczających zarówno energii, jak i składników chemicznych stanowiących budulec żywych komórek. Skorupa ziemska pod oceanami ulega wymianie średnio co 200 mln lat, jest więc niesłychanie mało prawdopodobne, aby gdzieś zachowały się jakieś ślady z okresu, w którym powstawały pierwsze żywe komórki. Ale fakt, że życie pojawiło się na Ziemi najpóźniej 800 mln lat od jej powstania, silnie świadczy o tym, że nie było w tym nic nadzwyczajnego.

A zatem, gdybym jakimś cudem dowiedział się, że w widzialnej części kosmosu życie istnieje na tysiącu miliardów planet, to bym się nie zdziwił. Wypadłoby po kilka planet na galaktykę, a może – według innych wspomnianych szacunków – po jednej planecie na dwie galaktyki. Życie powstałoby na jednej na, powiedzmy, dwustu milionach czy dwóch miliardach planet, na których mogłoby powstać. Są to grube szacunki, ale przecież odwołujące się do wyników badań astronomów, wspartych badaniami fizyków, chemików, biologów i geologów. No, to może życie istnieje na milionie miliardów (czyli na biliardzie) planet? A może na tysiącu miliardów jest to życie rozumne? Nie istnieją obecnie wyobrażalne sposoby, aby się tego dowiedzieć, a tym bardziej nawiązać jakiegokolwiek kontakty z innymi kosmicznymi cywilizacjami, niemniej takie obrazy wydają się całkiem prawdopodobne.

Z tym wiążą się kolejne pytania, na jakie nie znamy odpowiedzi. Co to znaczy „życie rozumne”? Czy inne istoty rozumne używałyby tej samej logiki i matematyki co my? Wiąże się to z wielkim filozoficznym pytaniem: czy logicy i matematycy są konstruktorami czy odkrywcami? Gdyby używały tej samej matematyki, to moglibyśmy porównać nasze zdolności intelektualne. Trudno sobie

wyobrazić, aby wśród miliardów „gatunków” tych innych istot nie znalazły się takie, które intelektualnie nad nami nie górują.

Tu znów warto przywołać poglądy i spory sprzed wieków. Gdy Giordano Bruno – który z myśleniem naukowym nic wspólnego nie miał – snuł wizje nieskończenie wielu układów planetarnych, rozrzuconych w nieskończonej przestrzeni i zamieszkałych przez nieskończenie wiele istot rozumnych, wiązał to z wiarą w nieskończonego pod każdym względem Boga. Ale zaraz wielu zaczęło dopytywać, czy wystarczyło, że Syn Boga raz poniósł męczeńską śmierć, a jego ofiara rozlała się na cały Kosmos, czy też musi nieskończenie wiele razy umierać, po kolei na każdej z zamieszkałych planet? Dziś często się mówi „Jezus zbawił świat” (por. np. Jarosław Zych, *Jezus zbawił świat: opowieść o odkupieniu*, Rafael 2021). Ale w ramach naukowego obrazu świata rodzi to poważne pytania. Po pierwsze, na naszej osi czasu długiej na prawie 1400 m ofiara zbawcza Jezusa wypada na 0,2 mm przed końcem, a ma miejsce na niewyobrażalnie małym pyłku unoszącym się wśród kosmicznych bezmiarów. I trzeba zadać pytanie o znaczenie Jego śmierci dla innych epok i innych planet, których miliardy mogą być zamieszkane. Można też pytać, jak rozumieć twierdzenie, że Mahomet był „pieczęcią proroków” (Koran 33.40). I tak dalej.

## 7

Wróćmy do tytułowego pytania: jakie możliwości poszukiwaniu sensu życia daje obraz świata współczesnej astronomii, wspartej wynikami badań innych nauk?

Tu znów musimy odwołać się do pewnych intuicji. Potocznie myślimy często w kategoriach potrzeb – bo sami wciąż takowe odczuwamy. I miewamy wrażenie, że nasze życie ma sens, o ile jesteśmy komuś lub czemuś do czegoś potrzebni. W obrazie świata, dostarczonym nam przez naukę, nie jesteśmy Ziemi i życiu na niej do niczego potrzebni. Można wręcz twierdzić, że jesteśmy szkodnikami: unicestwiliśmy dotąd sto kilkadziesiąt gatunków dużych ssaków, a biomasa tych, które jeszcze trwają, stanowi parę procent biomasy naszej i zwierząt przez nas hodowanych. Wprowadzamy wielkie zmiany w stanie skorupy ziemskiej, aby wydobywać surowce służące zaspokajaniu nie tyle naszych potrzeb, co zachcianek lub produkcji broni.

Odkąd w 1980 r. pojawiła się, a wkrótce potem została potwierdzona teoria o tym, że dinozaury wyginęły wskutek uderzenia w Ziemię planetoidy, nakręcono mnóstwo filmów o podobnej katastrofie, która zagrozi istnieniu ludzkości. Oglądamy na ekranach sceny heroizmu, czyny tych, którzy oddają życie za innych, czemu zwykle towarzyszy gra cynizmu i obłudy ze strony innych. Ale

jeśli uderzenie planetoidy nas unicestwi, to w naukowym obrazie świata nie ma nikogo, kto by po nas łzę uronił. Tym bardziej nie jesteśmy do niczego potrzebni galaktyce Drogi Mlecznej czy Wszechświatowi jako całości. I tak ci z nas, których proces edukacji zmusił do myślenia naukowego, znaleźli się w świecie, w którym żyć jest łatwo i ciekawie, tyle że nie warto.



## NOTY O AUTORACH



### PROF. DR HAB. TOMASZ BULIK

Profesor, dyrektor Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego, członek korespondent PAN. W 1988 r. ukończył studia na Wydziale Fizyki UW, następnie w 1993 r. uzyskał stopień doktora w Penn State University, a potem kontynuował pracę w University of Chicago. W 1996 r. przeniósł się do Polski, gdzie rozpoczął pracę w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN. Od 2005 r. pracuje na Uniwersytecie Warszawskim. Zajmował się astrofizyką teoretyczną, w tym badaniem źródeł rentgenowskich, fizyką silnych pól magnetycznych, błyskami gamma oraz strukturą i własnościami gwiazd neutronowych. Zainicjował badania nad populacją układów podwójnych i astronomią fal grawitacyjnych. Prace te, wykonane wraz z prof. Krzysztofem Belczyńskim, doprowadziły do przewidywania, że najczęstsze źródła fal grawitacyjnych to zlewianie czarnych dziur, co zostało potwierdzone przez obserwacje LIGO i VIRGO. Profesor Bulik jest członkiem współpracy VIRGO i uczestniczył w odkryciu fal grawitacyjnych. Ponadto prof. Bulik brał udział w obserwacjach wysokoenergetycznych teleskopem HESS w Namibii. Był koordynatorem prac poszukiwania i charakteryzacji miejsc na budowę teleskopu CTA. Obecnie bierze udział w przygotowaniach do budowy Teleskopu Einsteina – nowego obserwatorium fal grawitacyjnych. Zajmuje się badaniem własności źródeł promieniowania grawitacyjnego oraz redukcją szumów na niskich częstotliwościach w VIRGO.



### DR HAB. MICHAŁ MICHAŁOWSKI, PROF. UAM

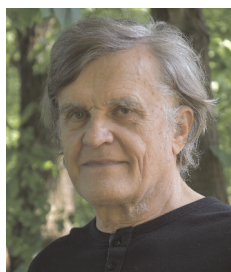
Jest astronomem w Instytucie Obserwatorium Astronomiczne na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jego badania koncentrują się na tzw. materii międzygwiazdowej w odległych galaktykach, czyli na gazie i pyłe znajdującym się pomiędzy gwiazdami. Jest to ważny składnik galaktyk, ponieważ jest to paliwo do formowania nowych gwiazd. Z tego powodu ilość i własności materii międzygwiazdowej determinują to, jak galaktyki ewoluują. Dr hab. Michał Michałowski ukończył

doktorat w Centrum Ciemnej Kosmologii na Uniwersytecie Kopenhaskim pod kierownictwem Jensa Hjortha i Darach Watsona. Pierwszy staż podoktorski odbył w Instytucie Astronomii na Uniwersytecie Edynburskim z Jamesem Dunlopem. Potem uzyskał grant Pegasus Marie Curie na Uniwersytecie w Gandawie z Maartenem Baesem. Po jego zakończeniu wrócił do Edynburga, skąd przyjechał do Poznania.



KS. DR HAB. **WOJCIECH P. GRYGIEL**, PROF. UPJPII

Profesor Uniwersytetu Papieskiego Jana Pawła II w Krakowie (Wydział Filozoficzny), profesor Uniwersytetu Opolskiego (Wydział Teologiczny), wiceprzewodniczący Komisji Filozofii Nauk Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie, członek Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, kapłan diecezji opolskiej. Jego prace badawcze koncentrują się na epistemicznym i ontologicznym statusie symetrii w sformalizowanych teoriach fizycznych, filozofii sztucznej inteligencji, a w dziedzinie relacji między nauką a teologią rozwija nowatorski kierunek zwany teologią ewolucyjną. Jest autorem wielu publikacji naukowych w renomowanych czasopismach oraz monografii, w tym *Jak scena stała się dramatem* (CCPress 2021) oraz we współautorstwie z Damianem Wąskiem *Teologia ewolucyjna* (CCPress 2022).



PROF. DR HAB. **WOJCIECH SADY**

W 1977 r. ukończył fizykę na Uniwersytecie Warszawskim, po czym doktorat, habilitację i tytuł profesora uzyskał na podstawie prac z filozofii nauki. Za swoją najważniejszą książkę w tym zakresie uważa *Strukturę rewolucji relatywistycznej i kwantowej w fizyce* (2022). Ogłosił dotąd cztery tomy z serii *Dzieje religii, filozofii i nauki*, piąty, obejmujący okres 1650–1750, lada dzień trafi do wydawcy. Obecnie wykłada na Uniwersytecie Śląskim w Katowicach.

Prowadzi kanał na YouTube, wykaz jego wykładów dostępnych w Internecie znajduje się w witrynie internetowej [dzieje.us.edu.pl](http://dzieje.us.edu.pl).

