URZĄD MARSZAŁKOWSKI WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
PEDAGOGICZNA BIBLIOTEKA WOJEWÓDZKA W GDAŃSKU

WSZECHŚWIAT

UKRYTA RZECZYWISTOŚĆ

WSZECHŚWIAT
UKRYTA RZECZYWISTOŚĆ

II Pomorska Uczniowska Konferencja Naukowa *Zdolni z Pomorza*
pod hasłem *Wszechświat. Pomiędzy mikro- a makrokosmosem w nauce oraz sztuce*

URZĄD MARSZAŁKOWSKI WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO
PEDAGOGICZNA BIBLIOTEKA WOJEWÓDZKA W GDAŃSKU

WSZECHŚWIAT
UKRYTA RZECZYWISTOŚĆ

Materiały z naukowej konferencji uczniowskiej

Gdańsk, 22 września 2018

Wydawnictwo bernardinum

2019

Konferencja zorganizowana przez Samorząd Województwa Pomorskiego we współpracy z Pedagogiczną Biblioteką Wojewódzką w Gdańsku i Politechniką Gdańską.

Materiał współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Pomorskiego na lata 2014–2020 – projekt *Zdolni z Pomorza*.

Egzemplarz bezpłatny

Komitet redakcyjny:
dr hab. Krzysztof Kornacki, profesor Uniwersytetu Gdańskiego
dr Anna Niewulis
mgr Artur Eichmann
mgr inż. Dorota Martynow
mgr inż. Aleksander Mroziński
mgr inż. Piotr Winiarz
mgr Justyna Woroń

Redakcja: Małgorzata Kwaśnik

Korekta: Małgorzata Kwaśnik, Arleta Kundera, Ludmiła Kucharska/Manufaktura Pióra

Projekt okładki: Maciej Draws

Zdjęcia: Katarzyna Cichos-Reclaw oraz Arkadiusz Groth z grupy promocyjnej II Pomorskiej Uczniowskiej Konferencji Naukowej Zdolni z Pomorza, w której skład weszli uczniowie ze Szkół Okrętowych i Ogólnokształcących Conradinum w Gdańsku.

© Copyright by Urząd Marszałkowski Województwa Pomorskiego –
Departament Edukacji i Sportu
Gdańsk 2019

ISBN 978-83-8127-296-4

Wydawnictwo „Bernardinum" Sp. z o.o.
ul. Biskupa Dominika 11, 83–130 Pelplin
tel. 58 536 17 57, fax 58 536 17 26
bernardinum@bernardinum.com.pl
www.bernardinum.com.pl

Skład, druk i oprawa:
Drukarnia Wydawnictwa „Bernardinum" Sp. z o.o., Pelplin

Spis treści

Słowo od Marszałka Województwa Pomorskiego 7

Słowo wstępne od redakcji 9

Rozdział I
KU KOSMOLOGICZNYM ROZWAŻANIOM 11

Łukasz Lamża
Wszechświat jest jak... co właściwie? 13

Krzysztof Kornacki
Fotografia jako zapis czasu 21

Tomasz Szarek
O matematyczności przyrody: Kosmos, kosmetyki i fraktale 28

Łukasz Lamża
Chemia, czyli alfabet kosmicznej kreatywności 36

Rozdział II
KU POSZUKIWANIU ŻYCIA WE WSZECHŚWIECIE 39

Stanisław Ołdziej
Milion lat przed powstaniem życia 41

Maria Radtke
Czy pozaziemskie życie we Wszechświecie jest możliwe? 49

Piotr Winiarz
Wszechświat jak szarlotka 63

Dawid Dudek
Kolonizacja Kosmosu – nasza nieunikniona przyszłość 71

Zofia Klata
Życie – kosmiczne wyzwanie 77

Rozdział III
KU ROZWOJOWI NAUKI I TECHNIKI 91

Julia Kalinowska
***Bioplastic is fantastic,* czyli o wykorzystaniu potencjału wytwórczego bakterii** 93

Marek Moszyński
Od Kopernika do geoinformatyka 106

Agnieszka Omernik
Zastosowanie aparatu fotograficznego do wyznaczania masy gwiazd 117

Michał Zdziennicki
Zrozumienie przestrzeni jako klucz do poznania Wszechświata 130

Jakub Cena
Od narodzin do śmierci, czyli o etapach życia czarnych dziur 140

Rozdział IV
KU WSPOMNIENIOM. KONFERENCJA W OBIEKTYWIE 149

Szanowni Państwo, Drodzy Uczniowie i Nauczyciele!

Trudno wyobrazić sobie temat konferencji obszerniejszy niż Wszechświat. Istnieje niezliczenie wiele zagadnień, które mogą wzbudzić ciekawość poznawczą naukowca: począwszy od rozważań natury kosmologicznej, poprzez kwestię życia we Wszechświecie, aż po wyniki bieżących badań naukowych i rozwój techniki. Temat II Pomorskiej Uczniowskiej Konferencji Naukowej *Zdolni z Pomorza* stanowił zatem wyzwanie dla jej uczestników. Wyzwanie to zresztą postawili przed sobą sami, gdyż propozycja wyboru Wszechświata jako problemu badawczego wypłynęła od uczniów – uczestników poprzedniej konferencji. Sądząc po sukcesie konferencji, ale także oceniając jakość tekstów zamieszczonych w niniejszym tomie, wyzwanie to zostało nie tylko ochoczo podjęte, lecz także pomyślnie zrealizowane.

W 2017 roku rozpoczęliśmy cykl pomorskich konferencji uczniowskich. Umożliwiają one uzdolnionej młodzieży, w tym uczestnikom projektu *Zdolni z Pomorza*, zaprezentowanie szerszej publiczności swoich pasji naukowych oraz sprawdzenie się w rolach twórcy referatu naukowego i prelegenta.

Współczesna nauka coraz śmielej wkracza w przestrzenie Kosmosu, próbując zrozumieć rządzące nim prawa. Kosmiczne odkrycia zaś, choćby wyniki

eksperymentów ze stacji orbitalnej, pomagają nam inaczej spojrzeć na ziemskie naukowe problemy… Badania Wszechświata – stanowiącego odwieczny przedmiot zainteresowania człowieka – to przyszłość nauki. A prowadzić je będą ci, którzy dopiero rozpoczynają swoją naukową przygodę. Na przykład uczestnicy projektu *Zdolni z Pomorza*!

Spójrzmy na pasjonującą zagadkę Wszechświata ich oczami, zastanówmy się nad jego prapoczątkiem i przyszłością, poszukajmy różnych form życia, zastanówmy się, na ile nasze „ziemskie" dyscypliny naukowe – biologia, chemia, fizyka, informatyka i matematyka – pomogą nam go poznać oraz zrozumieć. Wreszcie – zachwyćmy się po prostu pięknem Wszechświata będącym niewyczerpaną inspiracją twórców sztuki. Tekstom napisanym przez młodzież towarzyszą artykuły przygotowane przez naukowców, co daje nam szansę na porównanie różnych perspektyw oglądu Wszechświata.

Dla mnie, jako gospodarza regionu, szczególnie ważne jest to, że uczestniczący w konferencji młodzi, zdolni Pomorzanie wykazali się ponadprzeciętną aktywnością: podjęli trud przygotowania referatów, ich wygłoszenia i obrony swoich argumentów podczas dyskusji. Jestem przekonany, że aktywność ta jest zapowiedzią jeszcze większych osiągnięć w przyszłości.

Życzę bogatej w przemyślenia lektury. Raz jeszcze zagłębmy się wspólnie w tajemnice Wszechświata wraz ze *Zdolnymi z Pomorza*.

Marszałek Województwa Pomorskiego

Mieczysław Struk

Samorząd Województwa Pomorskiego wspieranie utalentowanych uczniów rozpoczął już w 2010 roku, a od 2016 roku realizuje – wspólnie z pomorskimi powiatami i siedmioma uczelniami – 26 projektów. W ich ramach wszechstronne wsparcie mogą uzyskać uczniowie uzdolnieni w przedmiotach ścisłych (matematyce, fizyce, informatyce, biologii, chemii), a także w zakresie kompetencji społecznych (np. język polski, historia). Młodzi ludzie mogą brać udział m.in. w zajęciach pozalekcyjnych, spotkaniach akademickich, konkursach i obozach naukowych. Najlepsi zostają objęci indywidualną opieką mentorską.

Słowo wstępne

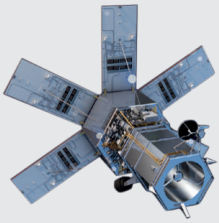
Z każdą dekadą rośnie precyzja, z jaką kosmologia teoretyczna opisuje Wszechświat. Jednak współczesna wiedza kosmologiczna nie pozwala na udzielenie jednoznacznych odpowiedzi na niektóre pytania: Jaki kształt ma Wszechświat? Jest płaski czy też może zakrzywiony? Czy jesteśmy sami we Wszechświecie? Odpowiedzi na te i podobne pytania są trudne. Z tych samych danych różne grupy badaczy wyciągają odmienne wnioski, a nowe interpretacje pojawiają się i znikają. Jaki jest zatem współczesny stan wiedzy o Wszechświecie? Odpowiedzi starali się udzielić uczestnicy II Pomorskiej Uczniowskiej Konferencji Naukowej *Zdolni z Pomorza*, która została zorganizowana przez Samorząd Województwa Pomorskiego i Pedagogiczną Bibliotekę Wojewódzką w Gdańsku we współpracy z Politechniką Gdańską.

Temat konferencji, czyli *Wszechświat. Pomiędzy mikro- a makrokosmosem w nauce oraz sztuce*, został zaprezentowany w różnych ujęciach podczas dwóch sesji w ramach sześciu paneli dziedzinowych z biologii, chemii, fizyki, informatyki, matematyki i nauk humanistycznych. Podczas sześciogodzinnych obrad w murach Politechniki Gdańskiej 22 września 2018 r. czterdziestu czterech prelegentów wygłosiło inspirujące wykłady. Obok uznanych autorytetów w tej dziedzinie i nauczycieli akademickich prelegentami byli najzdolniejsi uczniowie ze szkół podstawowych i ponadpodstawowych z województwa pomorskiego, w tym laureaci i finaliści konkursów i olimpiad. Najbardziej interesujące prelekcje zostały uhonorowane publikacją. Uczniowie przygotowali również starannie opracowane postery związane z hasłem przewodnim konferencji. Ich reprodukcje, a także obszerna fotorelacja z wydarzenia zamykają niniejszą publikację.

Oddajemy w ręce czytelników monografię pokonferencyjną *Wszechświat. Ukryta rzeczywistość*. Dyskutowany w równoległych sesjach temat uniwersum okazał się przestrzenią wspólną zarówno dla nauk humanistycznych, jak i matematyczno-przyrodniczych. Stał się ponadto przyczynkiem do debaty na różnych płaszczyznach, co znalazło wyraz w tytułach rozdziałów tej publikacji. Autorzy

w drodze do kosmologicznych rozważań zastanawiali się nad możliwością pozaziemskiego życia we Wszechświecie i prezentowali potencjał rozwoju nauki i techniki ułatwiający eksplorację przestrzeni kosmicznej. Zebrany materiał pokazuje, że wiele w tej dziedzinie człowiekowi udało się odkryć, a jeszcze więcej pozostaje w sferze tego, co na tyle odległe, że niepoznane, chociaż rzeczywiste. Zapraszamy do lektury.

Redakcja



Rozdział I

KU KOSMOLOGICZNYM ROZWAŻANIOM

Łukasz Lamża[1]

Wszechświat jest jak... co właściwie?

Słowo „metafora" kojarzy się raczej z poezją i literackim szlifowaniem tekstu niż z naukowym, racjonalnym procesem poznawania Wszechświata. Niesłusznie. Dobra metafora pomaga w myśleniu. Zła metafora potrafi wywieść na manowce.

Choć termin **metafora** można rozumieć na różne sposoby, w najprostszej postaci jest to każda struktura językowa w formie „A JEST JAK B". Mówiąc zaś nieco precyzyjniej, z metaforą mamy do czynienia wtedy, kiedy jedną rzeczywistość przekładamy na inną rzeczywistość, stawiając między nimi pomost. Metafory nie występują tylko w literaturze pięknej! „Twoje oczy są jak czarne diamenty" albo „jej piersi są jak młode koźlęta" (to drugie z Biblii) to metafory – jasne – ale również „powierzchnia Marsa jest jak zardzewiała pustynia" albo „początek Wszechświata był jak wybuch". Dobra metafora informuje, pogłębia perspektywę, pozwala zadawać coraz lepsze pytania. Zła metafora to koszmar, z którego trudno się czasem wybudzić. Zacznijmy może od dwóch przykładów złych metafor.

Zła metafora jest jak zły sen

Jak wygląda atom? Większość ludzi wyrabia sobie zdanie na ten temat na podstawie obrazków w podręcznikach chemii i fizyki. Atomy są tam przedstawiane zwykle jako kolorowe kulki połączone pręcikami. To przecież metafora – nawet jeśli nie została wyrażona wprost! Autorzy podręcznika nie muszą pisać wołowymi literami w pierwszym rozdziale podręcznika „Chemia 6": „Atomy są jak małe kolorowe kulki, a wiązania są jak małe sztywne pręciki", aby miliony uczniów każdego roku wyrabiały sobie takie właśnie zdanie na ich temat. Obraz, hasło, slogan działają bowiem znacznie potężniej i trwalej niż długie, subtelne wyjaśnienia, których na pewno w podręcznikach nie brakuje.

[1] Dr Łukasz Lamża, Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, Uniwersytet Jagielloński.

Zastanówmy się teraz, jakie wnioski płyną z tej akurat metafory. Jakie właściwości mają małe kolorowe kulki, na przykład szklane kulki do gry albo, w ostateczności, kule bilardowe? Cóż, przede wszystkim mają kształt kulisty. Są gładkie, twarde, odbijają się od siebie. Mają rozmaite kolory. Okazuje się, że właściwie ŻADNA z tych cech nie przysługuje atomom. Nie są kuliste, nie są gładkie, nie są twarde. Mogą się od siebie odbijać, ale wskutek uderzenia mogą też łączyć się ze sobą, zmieniać swoją postać; w pewnych warunkach nawet przenikać przez siebie nawzajem. Atomy – oczywiście – nie mają też barw, ponieważ kolor wyłania się dopiero w skali tysięcy, jeśli nie milionów atomów, wskutek ich oddziaływania ze światłem.

Czy istnieją jakieś „koszty" złej metafory? W tym konkretnym przypadku jest nim „tylko" kiepska intuicja świata atomowego u milionów ludzi. Bywa jednak, że i naukowcy popadają w złe metafory i trudno jest im się z nich wybudzić. Fizyk duński Niels Bohr opracował na początku XX wieku model atomu przewidujący, że elektrony krążą wokół jądra po orbitach, zupełnie jak planety wokół Słońca. Model ten określa się dziś często jako „model planetarny" i jest to nic innego jak najczystszej postaci metafora. W dodatku fatalna. Przez ładnych kilka lat fizycy, zainspirowani modelem N. Bohra, próbowali zrozumieć właściwości atomów tylko po to, aby za każdym razem natrafiać na mur. Świat nijak nie chciał dać się wytłumaczyć w ramach tej konkretnej metafory. Nie dało się ustalić, z jaką prędkością poruszają się elektrony, w jakiej właściwie odległości; ba, matematyka mówiła wręcz, że elektrony w modelu N. Bohra powinny natychmiast opaść na jądro. Oznaczałoby to w istocie, że atomy nie mogłyby istnieć. Coś było zdecydowanie nie tak.

Rewolucja kwantowa przyniosła odpowiedź na wiele pytań, jednak za cenę dość mało intuicyjnego aparatu matematycznego, w którym nie mówimy już o starych dobrych cząstkach fruwających po jasno wyznaczonych trajektoriach, a raczej o fragmentach przestrzeni, w których mniej lub bardziej prawdopodobne będzie wydarzenie się pewnego typu procesu fizycznego. Po długich zmaganiach z mechaniką kwantową wyłoniła się też nowa metafora: „cząstki są jak chmury". Choć nie jest doskonała, na pewno dużo lepiej informuje i pozwala na zadawanie dużo trafniejszych pytań. Gdy przyjmiemy, że elektrony są jak chmury, naturalnie wyłaniają się rozmaite związane z tą metaforą problemy. Czy chmury takie mogą się na siebie nakładać? Co decyduje o tym, jaki mają kształt? Czy są gęste w jednym miejscu i rzadkie w innym? Z czego są zbudowane? To świetne pytania, których nijak nie dałoby się sformułować w ramach

metafory elektronu-kulki, i godzinna rozmowa z fizykiem, dla której punktem wyjścia byłyby te właśnie pytania, stanowiłaby znakomite wprowadzenie we współczesną wiedzę o świecie atomów i ich składnikach.

Nie ma tu już miejsca na dalsze narzekanie, ale króciutko wspomnę tylko o ostatniej „złej metaforze". Chodzi o Wielki Wybuch. Pierwotnie termin Big Bang pojawił się żartobliwie w wypowiedzi fizyka Freda Hoyle'a. Naukowiec ten stwierdził w 1950 roku, że – wtedy jeszcze hipotetyczny – model, w którym Wszechświat rozpoczął się w stanie bardzo gorącym i gęstym, po czym stopniowo się ochładzał i rozrzedzał, nie satysfakcjonuje go. Hoyle model ów określił, nieco kpiąco, jako Wielkie Bum!, co szybko przyjęło się nie tylko w świecie fizyki, powodując do dziś niezliczone nieporozumienia. (Co było materiałem wybuchowym? A co detonatorem? Czyli wszystko teraz frunie z wielką prędkością, odlatując od miejsca eksplozji? Gdzie właściwie nastąpiła ta eksplozja?) Tego typu pytania również mogłyby być punktem wyjścia do ciekawej rozmowy o Wszechświecie, jednak głównie dlatego, że są tak źle zadane, a rozmowa polegałaby głównie na wyprostowaniu leżących u ich podstaw nieporozumień.

Świat jest jak zegarek. A może jak organizm?

Po tej krótkiej rozgrzewce przejdźmy do rzeczy. Tym, o czym chciałbym dzisiaj napisać, są trzy różne metafory, które mają nam pomóc w zrozumieniu, jaki jest świat. Pierwsza z nich jest stara i sprawdzona: „Świat jest jak zegarek mechaniczny". Druga – nieco młodsza, bardziej kontrowersyjna, ale mająca swoich wielbicieli: „Świat jest jak organizm żywy". Trzecia pojawia się tu i ówdzie w dziejach filozofii i literatury, jednak nikt chyba nie traktuje jej dostatecznie poważnie: „Świat jest jak dzieło sztuki". To o tej trzeciej chciałbym powiedzieć nieco więcej, ale najpierw krótko o dwóch pierwszych.

Zacznijmy od ważnej uwagi. Metafory nie są jak teorie albo hipotezy naukowe. Nie da się ich sprawdzić, zweryfikować, ocenić. Nie są prawdziwe ani fałszywe. Raczej – piękniejsze i brzydsze. Pomocne albo mylące. O konkurencyjnych metaforach nie myślmy więc jak o walczących o to samo miejsce kandydatach, lecz jak o różnych językach albo różnych narzędziach. Im więcej znamy języków i im więcej mamy do dyspozycji narzędzi, tym lepiej dla naszej kreatywności i szerokości horyzontów.

Metafora „Świat jest jak zegarek mechaniczny" została precyzyjnie wyrażona i spopularyzowana w okresie nowożytnym. Jej wielkimi zwolennikami i współtwórcami byli Kartezjusz i Newton, których często wymienia się, gdy w filozofii

pada słowo „mechanicyzm". Kartezjusz interesował się wieloma zagadnieniami, wśród nich – przyczynami ruchu przedmiotów fizycznych, ale też sposobem działania ludzkiego umysłu oraz tajemnicą życia. Przedstawił interesujący model ludzkiej percepcji, opierający się na prostym mechanicznym oddziaływaniu światła na aparat poznawczy człowieka. Światło miałoby najpierw wpadać do oka, które Kartezjusz, opierając się między innymi na wynikach prowadzonych przez stulecia badań świetnych uczonych arabskich, poprawnie zidentyfikował jako aparat optyczny działający dzięki „zamontowanej" w nim soczewce. Następnie wędrowało, zachowując się po prostu jak „świetlisty płyn", nerwem wzrokowym, „uderzając" o odpowiedni obszar mózgu. Dziś nieco inaczej opisujemy proces widzenia, jednak metafora mechaniczna miała niewątpliwą korzyść: pozwoliła bowiem na poszukiwanie konkretnych anatomicznych przystanków na drodze od wpadającego do oka światła do wrażenia wzrokowego.

Newton doprowadził mechanicyzm do prawdziwego rozkwitu, twierdząc – za starożytnymi atomistami – że wszystko w świecie można sprowadzić do małych cząstek oddziałujących ze sobą za pośrednictwem prostych matematycznych praw. Dostarczył też wyjaśnienia znanych już od jakiegoś czasu (a sformułowanych przez Keplera) praw ruchu planetarnego. Nasz Układ Słoneczny – a wraz z nim cały Wszechświat – opisał jako nakręcony przez Boga „idealny zegarek", który chodzi równo, doskonale i bezbłędnie.

Metafora mechaniczna zachwyciła badaczy świata na stulecia i to chyba dzięki niej tak wspaniale rozwinęła się choćby nauka o fizycznych podstawach biologii. Jeśli bowiem przyjmiemy, że organizm ludzki to tak naprawdę olbrzymia konstrukcja wykonana z rozmaitych „kółek, linek i przekładni", naturalnie narzuca się pytanie, jaką mają budowę i jak są ze sobą połączone. Niezaspokojona żądza wiedzy o „ludzkiej maszynie" doprowadziła ostatecznie do poznania struktury komórki, budowy DNA czy białek oraz wspaniałego rozkwitu anatomii.

Nie wszystek świat biologiczny da się jednak łatwo sprowadzić do przekładni i zębatek. Na przełomie XIX i XX wieku biolodzy pracujący z całymi organizmami – nie z ich wypreparowanymi w formalinie cząsteczkami – zauważyli, że są one w istocie niepodzielnymi całościami. Pod pewnymi względami nie da się zrozumieć żadnego organizmu – głosili – tylko na podstawie wiedzy o jego częściach. „Całość jest czymś więcej niż tylko sumą części" stało się *credo* nowego ruchu intelektualnego, który na gruncie filozofii często wiąże się z pojęciem „emergentyzm", a w świecie biologów z „organicyzmem".

Ot, przykład, który spędzał sen z powiek biologom sto lat temu. Prawidłowo rozwijający się embrion większości zwierząt ma część przednią i tylną, część grzbietową i brzuszną. Głowa rozwinie się tylko z komórek części przedniej, nigdy zaś – części tylnej. W duchu mechanicyzmu należałoby więc uznać, że komórki przednie różnią się pod jakimś względem od komórek tylnych, podobnie jak wierzch zegarka zawiera wskazówki, a w jego „brzuchu" tkwi sprężyna – a nie na odwrót. Ku wielkiemu zdziwieniu embriologów, eksperymenty przeprowadzane na szkarłupniach, morskich bezkręgowcach, wykazały, że jeśli odpowiednio wcześnie przetnie się taki embrion na pół, nie powstaną dwa organizmy „połówkowe" – „przedni" i „tylny" – lecz pełnoprawne, w pełni prawidłowo rozwinięte zwierzęta!

Idea, że „całość jest czymś więcej niż sumą części", spodobała się nie tylko biologom. Fizyk James Lovelock uczynił z niej kluczowe założenie swojej hipotezy Gai, zgodnie z którą cała nasza planeta jest w istocie jednym wielkim organizmem, a jej rozmaite „tkanki", jak atmosfera, hydrosfera czy biosfera, współpracują ze sobą dla wspólnego dobra. Za hipotezą tą nie przepadają mechanicyści, dla których jest to tylko niepotrzebny, nadmiarowy naddatek nałożony na normalne, porządne badania naukowe. Nie da się jednak ukryć, że wizja Gai fascynuje i hipnotyzuje – również naukowców. To nigdy nie szkodzi rozwojowi wiedzy!

Wszechświat jako dzieło sztuki

Teraz nadszedł dobry moment, żeby opisać nieco bliżej, jak ja rozumiem ostatnią wspomnianą tu metaforę. W przeciwieństwie do dwóch pozostałych, tę stosunkowo trudno znaleźć w pismach naukowych czy filozoficznych. Jest ona jednak zdecydowanie jednym z moich ulubionych sposobów mówienia o świecie, więc pozwolę sobie opisać ją po prostu z własnej perspektywy filozofa przyrody.

Po pierwsze, musimy od razu wyzbyć się intuicji, że metafora ta oznacza tyle, co „świat jest piękny". Owszem, JEST piękny, jednak nie to stanowi o treści tej metafory! Zauważmy, że dzieło sztuki wcale nie musi być „piękne" w konwencjonalnym znaczeniu. Naszą wrażliwość estetyczną można pobudzić poprzez obrzydzenie (jak choćby niektóre obrazy Francisa Bacona albo abstrakcyjnych ekspresjonistów), niepokój (co robią np. obrazy Giorgia de Chirico), humor (patrz: dadaiści) albo zaskoczenie (w czym celowali choćby surrealiści). Powiedzieć, że świat jest piękny, to jak powiedzieć, że wszystkie eksponaty w Metropolitan Museum w Nowym Jorku są piękne. W praktyce oznacza to równo

nic. Gdy wszystko jest piękne, nic tak naprawdę nie jest piękne; samo to słowo staje się puste treściowo.

Chciałbym zaproponować nieco inny kąt natarcia. Dla mnie metafora ta oznacza przede wszystkim to, że świat ma STYL – charakterystyczny, właściwy sobie styl, który po długim obcowaniu z nim można wychwycić, opisać i próbować zrozumieć. Każdy, kto miał do czynienia z malarstwem, bez trudu odróżni obraz Rembrandta od któregoś z obrazów Salvadora Dalí. Koneserzy i znawcy sztuki mają znacznie większą wrażliwość niż przeciętni ludzie i będą w stanie wykryć fałszerstwo albo manipulację: gdy pokazać im dwa obrazy, z których jeden to fałszywka, po jakimś czasie poprawnie wskażą autentyk.

Zauważmy, że opisana przed chwilą umiejętność „przewidywania", jakie cechy powinno posiadać autentyczne dzieło danego twórcy, jest niczym innym jak fundamentalnym wyznacznikiem naukowości! Naukę, mówi się powszechnie, tym się odróżnia od nie-nauki, że teoria naukowa daje przewidywania, które można później sprawdzać, potwierdzając tym samym (co bywa trudne) lub obalając (co jest znacznie bardziej jednoznaczne) daną teorię. Gdyby więc wyobrazić sobie „konesera świata", który miałby znakomitą orientację w występujących w nim formach, kształtach i procesach, powinien on być w stanie przewidzieć pewne cechy nawet nieznanego mu wcześniej „dzieła".

O jakich cechach mówię? W tym krótkim tekście wspomnę tylko o dwóch, spokrewnionych ze sobą sygnaturach „stylu świata". Pierwszą nazywam „kontur", a drugą „puentylizm" – obie w nawiązaniu do sztuk plastycznych.

Kontur oznacza, że wszelkie duże „plamy" w strukturze świata – obszary z grubsza jednorodne, o zbliżonych parametrach – są okolone cienką powierzchnią, która jest wyraźnie zaznaczona i na której dochodzi do zjawisk innych niż na otaczających ją obszarach. Pięknego przykładu dostarczają gwiazdy, które w pierwszym przybliżeniu są kulami gazu w pustej przestrzeni, przypominają więc wyidealizowaną kulę bilardową Newtona unoszącą się w próżni. W rzeczywistości na cieniutkiej powierzchni oddzielającej wnętrze gwiazdy od przestrzeni kosmicznej dochodzi do setek wspaniałych zjawisk, takich jak powstawanie plam, wirów magnetycznych, wędrujących zaburzeń temperatury czy rozbłysków. Tak naprawdę podobnie ma się sprawa z warstwą oddzielającą wnętrze każdego ciała niebieskiego od przestrzeni kosmicznej: hipotetyczny obserwator, wędrujący od wnętrza dowolnie wybranej planety czy satelity w Układzie Słonecznym na zewnątrz, nie zarejestrowałby, że atomy składające się na skały w pewnym momencie znikają i zaczyna się próżnia Kosmosu. W po-

bliżu powierzchni natrafiłby nagle na coraz gęstszą siatkę pęknięć, finezyjnie poukładane kamyczki i pyłki, często dodatkowo zmodyfikowane chemicznie. Przykłady można by mnożyć. Polecam np. przyjrzeć się szacie roślinnej na granicy lasu i łąki. To nie jest tak, że drzewa znikają, a zaczynają się trawy. Strefa przejściowa jest osobnym, specyficznym biotopem, który na mapie ekologicznej stanowi po prostu wyraźny kontur lasu.

Słowem **puentylizm** określam natomiast występującą w Naturze tendencję do „lokalizowania się". Wydaje się, że praktycznie nie da się utrzymać prawie żadnego układu w stanie jednorodnym, ciągłym, bezkształtnym i świat spontanicznie zacznie dzielić tego typu jednolity „zbiornik" na podstruktury. Jednorodny gaz kosmiczny podzielił się na galaktyki; w nich rzadki ośrodek międzygwiazdowy skupia się lokalnie, tworząc gwiazdy i układy planetarne; w nich zaś płaski początkowo i jednorodny dysk skupia się do postaci planet. Czy zastanawialiście się kiedyś, dlaczego cały Układ Słoneczny nie ma postaci jednego wielkiego pasa asteroid? Dlaczego okruchy skalne lokalnie skupiły się do postaci planet? W wymienionych dotychczas przypadkach odpowiedzialna jest siła grawitacyjna, jednak idea metafory „świata jako dzieła sztuki" zasadza się na tym, że tę samą „funkcję estetyczną" pełnią zupełnie inne prawa fizyki. Bo to wcale nie grawitacja sprawia, że wulkanizm koncentruje się w dobrze zlokalizowanych, odrębnych wulkanach (a nie w postaci jednolitego ciągłego grzbietu wulkanicznego, który „powinien" wznosić się nad liniowymi przecież granicami płyt tektonicznych), podziemne pokłady solne migrują ku powierzchni ziemi w postaci odrębnych wysadów, a życie nie stanowi jednej ciągłej biosfery, lecz zawsze dzieli się do postaci osobnych organizmów.

Obserwacje tego typu można by mnożyć, ale i tak nie do końca dałoby się pewnie przekonać nieufnych, którzy – w zasadzie słusznie – mogliby zauważyć, że w całokształcie obiektów świata przyrody można by w zasadzie znaleźć przykłady na niemal każdą prawidłowość. Odpowiem ostrożnie: być może. Myślę, że niektórych cech nie dałoby się sensownie obronić jako „typowych dla świata". Na przykład, świat alergicznie niemal unika linii prostych i kątów prostych. Niełatwo też go zmusić do autoplagiatu, choć obfituje w nawiązania i aluzje. Zasadnicze pytanie brzmi: Świat jest „dowolny" czy też jest „jakiś", ma jakieś uniwersalne, globalne, powtarzalne „cechy stylistyczne"? Jeśli tak, to omawiana w tej sekcji metafora ma sens. W duchu tego, co pisałem powyżej, można by jednak postawić sprawę nieco inaczej. Metafora ta, jak każda inna, ma sens wtedy, gdy jest płodna: rzeczywiście pomaga nam myśleć o świecie

lepiej, mądrzej, precyzyjniej. Jeśli pobudza (a nie tłumi) pomysłowość i zadawanie dobrych pytań.

Tych czytelników, którzy dobrnęli aż tutaj, zachęcam przede wszystkim do wielkiej czujności. Bardzo pouczającym i niebywale korzystnym ćwiczeniem na co dzień jest zadawanie sobie od czasu do czasu pytania, czy coś, co wydaje mi się, że wiem na pewno, jest naprawdę wiedzą, czy tylko wynika z którejś z moich ukochanych metafor, których nigdy nie przyszło mi do głowy kwestionować. Oto mój ulubiony przykład: jeśli wyznaję metaforę „dyskusja jest jak wojna", będę oczekiwał po każdej dyskusji, że będą w niej zadawane ciosy, że będą atak i obrona, że będzie zwycięzca i przegrany. Jeśli wyznaję metaforę „dyskusja jest jak wspólna wędrówka", to będę oczekiwał współpracy, interesującej trasy, pięknych widoków, przyjemnego spędzenia czasu. A to przecież jedna i ta sama dyskusja! W tym duchu gorąco polecam książkę George'a Lakoffa i Marka Johnsona *Metafory w naszym życiu*. Jest duża szansa, że nowym czytelnikom otworzy ona oczy na wiele zaskakujących prawd o tym, jak widzimy świat. Przede wszystkim zapraszam jednak czytelników do budowania własnych metafor. To zajęcie tyleż intelektualne, co artystyczne, a dobre metafory potrafią zmieniać świat. To rzadka rekomendacja.

Bibliografia

1. JOHNSON Mark, LAKOFF George, *Metafory w naszym życiu*. Aletheia, Warszawa 2010. ISBN 978-83-61182-51-1.
2. LOVELOCK James, *Gaja. Nowe spojrzenie na życie na Ziemi*. Prószyński i S-ka, Warszawa 2003. ISBN 83-7180-252-8.
3. WEINBERG Steven, *Sen o teorii ostatecznej*. Wyd. 2 popr. Zysk i S-ka, Poznań 1998. ISBN 83-7150-116-1.
4. WRÓBLEWSKI Andrzej, *Historia fizyki: od czasów najdawniejszych do współczesności*. Wyd. 1, 6 dodr. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2017. ISBN 978-83-01-14635-1.

Krzysztof Kornacki[1]

Fotografia jako zapis czasu

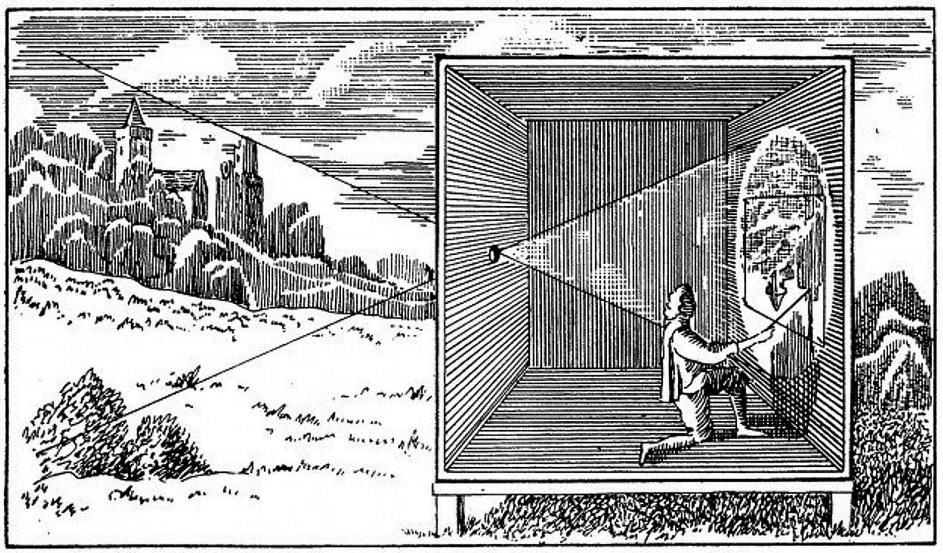
Jako filmoznawca na co dzień zajmuję się obrazem, stąd temat związany z fotografią, która – jak wiadomo – stała się podstawą kina. W krótkim eseju chciałbym spojrzeć na fotografię jako na medium, które utrwala ulotne chwile. Zacznę od kilku zdań komentarza. II Pomorska Uczniowska Konferencja Naukowa odbyła się pod hasłem *Wszechświat. Pomiędzy mikro- a makrokosmosem w nauce oraz sztuce*. Wymienione w tytule konferencji określenia kojarzą się dość jednoznacznie z naukami empirycznymi, stąd takie tematy niemal całkowicie zdominowały konferencyjne wystąpienia. Ale w sekcji nauk humanistycznych możemy sobie pozwolić na używanie tytułowych kategorii w sposób odmienny, charakterystyczny dla nauk filozoficznych, kulturoznawczych czy nauk o sztuce. To też są nauki, choć nie empiryczne. W takiej sytuacji słowo „Wszechświat" lub „makrokosmos" to po prostu wszystko to, co nas otacza (i często przytłacza), a mikrokosmos to np. nasze myśli i doświadczenia. Czasem mówimy przecież o naszym wewnętrznym mikrokosmosie. Warto – choć w jednym konferencyjnym wystąpieniu – przyjąć perspektywę egzystencjalną, od wnętrza człowieka. Ostatecznie Wszechświat fascynuje o tyle, o ile ma znaczenie dla nas jako podmiotów. Z tej perspektywy patrząc, jesteśmy jego centrum.

„Są dwie rzeczy, które napełniają duszę podziwem i czcią, niebo gwiaździste nade mną i prawo moralne we mnie" – w swojej słynnej sentencji Immanuel Kant łatwo zatarł granicę między „gwiaździstym niebem" (Wszechświatem) a wnętrzem człowieka. Na potrzeby wywodu sparafrazuję ten cytat: Są dwie rzeczy, które napełniają duszę lękiem, Wszechświat gwiaździsty nade mną i czas, który płynie we mnie. Jednym ze zjawisk, które wzbudza w człowieku silny lęk, jest właśnie pędzący czas: wraz z przesuwającą się wskazówką zegara zbliżamy się bowiem do śmierci, a ta jest naszym największym wrogiem. Dlatego też

[1] Dr hab. Krzysztof Kornacki, Uniwersytet Gdański. Katedra Kultury i Sztuki Instytutu Filologii Polskiej.

próbujemy znaleźć jakiś sposób na przemijanie. Jednym z nich – oczywiście niedoskonałym, ale lepszym niż bezczynność – jest robienie zdjęć.

Jak wiadomo historycznym poprzednikiem aparatu fotograficznego, a co za tym idzie fotografii, była *camera obscura* (ciemna komnata). Zasada jej funkcjonowania – zaobserwowana jeszcze w starożytności – była prosta: jeśli w ścianie pomalowanej na czarno komnaty zrobimy bardzo malutki otwór, to obraz z zewnątrz odbije się na przeciwległej do otworka w ścianie, tyle że odwrócony. To pozwalało z kolei na dokładne rysowanie tego obrazu. Można więc powiedzieć, że *camera obscura* jako pierwsza pozwoliła na w miarę precyzyjne kopiowanie. Z czasem wystarczyło na przeciwległej ścianie *camery*, już niekoniecznie komnaty, ale pudełka, umieścić materiał światłoczuły, aby obraz dzięki światłu mógł zapisać się na tym materiale. Tak powstała – w największym rzecz jasna uproszczeniu – fotografia. Jako pierwsza bez udziału człowieka, dzięki prawom natury, utrwalała umieszczone w przestrzeni obiekty. Stała się więc najwiarygodniejszym w historii ludzkości obiektem odwzorowującym prawdziwe relacje przestrzenne.

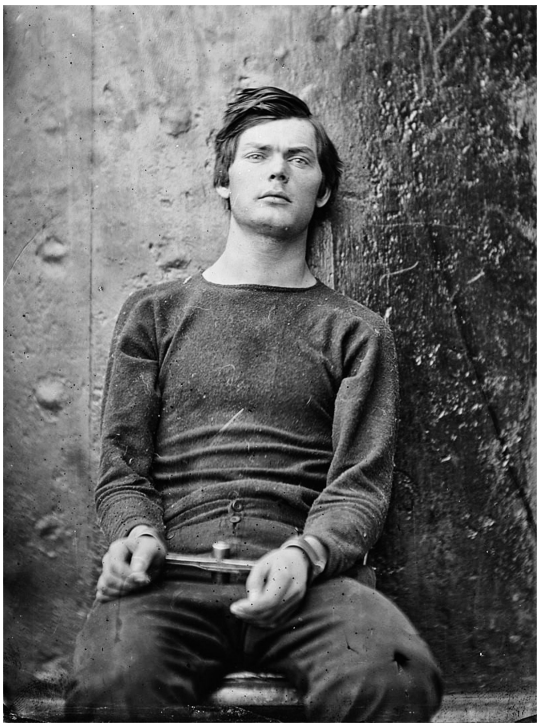


Rys. 1. Mechanizm działania *camery obscury*

Źródło: http://magdagaskar.pl/camera-obscura-stara-rzecz-a-zaskakujaco-ciekawa/.

Należałoby zastanowić się, co z drugą ważną wielkością fizyczną: z czasem. Fotografia jest nieruchoma. Czy mówienie o zapisywaniu czasu nie jest nad-

użyciem? W sensie fizykalnym – tak: do mierzenia czasu służą bowiem zegary. Ale w naukach humanistycznych można sobie pozwolić na inne rozumienie utrwalenia czasu. Jednym z badaczy, który poświęcił tej kwestii uwagę, był wybitny humanista, semiotyk Ronald Barthes. W książce *Światło obrazu. Uwagi o fotografii* pisał o dwóch sposobach odbioru fotografii, które nazwał *studium* i *punctum*. **Studium** to analiza fotografii ze względu na treść, czyli zdobywanie na jej podstawie jakiejś wiedzy o świecie. **Punctum**, które można tłumaczyć z łaciny jako chwila, ostrze, szpic czy punkt, R. Barthes opisywał przy pomocy takich określeń, jak ukłucie, użądlenie, zranienie. „*Punctum*-szczegół" to jakiś detal na fotografii, który dla oglądającego może mieć wyjątkowe znaczenie, pobudzać silną reakcję emocjonalną, podczas gdy inny odbiorca tego szczegółu nawet nie dostrzeże [1]. Nas jednak interesuje najbardziej w myśli R. Barthesa „*punctum*-czas", czyli poczucie „zamrożonego" na fotografii czasu. Gdy patrzymy na fotografię kogoś bliskiego, kogo już nie ma wśród nas, mamy świadomość czasu, który minął (to, co oglądamy, to przeszłość); a jednocześnie osoba ta została uchwycona na zdjęciu w jej czasie teraźniejszym, wyrwana ze strumienia czasu i –w swoisty sposób, oczywiście niedoskonały – unieśmiertelniona. Ten paradoks czasu fotografii (jednoczesne istnienie „było" i „jest") R. Barthes opisywał jako prawdziwe wyzwanie dla ludzkiej świadomości. Jedną z fotografii, której R. Barthes poświęcił dużo uwagi, było zdjęcie autorstwa Alexandra Gardnera prezentujące Lewisa



Rys. 2. Lewis Payne na fotografii Alexandra Gardnera (1865)

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Lewis_Powell_(conspirator)#/media/File:Lewis_Payne_cwpb.04208_(cropped).jpg.

Payne'a (Powella), sprawcę nieudanego zamachu na amerykańskiego sekretarza stanu Williama H. Sewarda w 1865 roku [1]. Zamachowca oglądamy na fotografii krótko przed jego egzekucją. Świadomość, że ten patrzący w obiektyw (na nas!) młody mężczyzna istnieje, egzystuje na fotografii zahibernowany dzięki światłu, ale za chwilę będzie już martwy, sprawia psychiczny ból, nakłuwa, żądli, rani – według określeń R. Barthesa.

Inny wybitny humanista, teoretyk kina i krytyk filmowy André Bazin w swoim słynnym tekście *Ontologia obrazu fotograficznego*, opisując rozwój sztuk plastycznych, głównie rzeźby i malarstwa, postawił tezę, że sztuki plastyczne w całym ich historycznym rozwoju dręczył[2] swego rodzaju kompleks mumii. Sztuki plastyczne – zwłaszcza od renesansu, kiedy naukowo opisano tzw. perspektywę powietrzną, która pozwalała dokładnie odwzorowywać na płótnie rzeczywistość przed sztalugą – coraz silniej zbliżały się do realizmu, mimetyzm stawał się jedną z najważniejszych cech malarstwa. Nie dziwi, że w XIX wieku – w okresie pozytywizmu i empiryzmu w nauce oraz realizmu w sztuce – malarstwo stało się tak silnie realistyczne. Obrazy malarstwa akademickiego dokładnie odwzorowywały proporcje ludzkich ciał i świata, który je otaczał. Ale nic nie przebiło wiarygodności odwzorowania charakterystycznej dla fotografii, robiącej niezwykłą karierę w kulturze drugiej połowy XIX wieku. Żaden obraz malarski nie mógł konkurować ze zdjęciem w zakresie wiarygodności przekazu. W ten sposób fotografia „wyleczyła" sztuki plastyczne z kompleksu mumii, zwalniając je z konieczności stworzenia sobowtóra. Co ciekawe, od tego momentu sztuki plastyczne dryfowały coraz mocniej w stronę malarstwa nierealistycznego: impresjonizmu, kubizmu, a w końcu abstrakcjonizmu [2].

Już na obrazach malarstwa akademickiego (realistycznego) XIX wieku ich twórcy – poprzez nadmiar postaci i wątków – starali się wzbogacać obraz o komponent ruchu, oczywiście domyślnego w odbiorze. By zrozumieć np. *Bitwę pod Grunwaldem* Jana Matejki nie można tylko „rzucić okiem" – trzeba przemieszczać swój wzrok (uwagę) z jednego fragmentu obrazu na drugi. Tym sposobem obraz ma w sobie ukrytą narrację, sugestię ruchu. Kontynuacją narratywizowania treści obrazów były słynne koliste panoramy malarskie, np. *Panorama Racławicka*. Tego właśnie ruchu brakowało fotografii, by w pełni wykorzystać

[2] Faktem jest, że słowo „dręczył" brzmi dziwnie, ale w przyjętej przez A. Bazina kulturoznawczej *de facto* perspektywie takie upodmiotowienie elementów kultury jest dopuszczalne.

swój potencjał do balsamowania czasu, utrwalania już nie tylko „zamrożonych" chwil, ale zapisywania dynamicznych zmian. Z pomocą przyszedł nowy wynalazek – kino, czyli ożywiona fotografia. Warto jednak zwrócić uwagę na pewien paradoks. Aby ożywić fotografię, najpierw należało uśmiercić czas i ruch[3]. Kamera filmowa jest bowiem aparatem do zdjęć momentalnych, który „zamrażał" ruch, tyle tylko, że robił co najmniej kilkanaście zdjęć na sekundę, dlatego też utrwalał precyzyjnie bliskie sobie fazy ruchu. Można więc powiedzieć, że kamera uśmiercała życie w serię małych obrazów, a dopiero projektor filmowy na powrót je ożywiał; mieliśmy więc do czynienia – oczywiście metaforycznie – z cudem ożywienia. Do mechanizmu funkcjonowania kinematografu, tj. najpierw rozłożenia ruchu na czynniki pierwsze poprzez kamerę do zdjęć momentalnych, a następnie ponownego odtworzenia ruchu dzięki projektorowi, porównał działanie ludzkiej świadomości znany filozof Henri Bergson [3]. Warto zauważyć, że w przypadku fotografii ożywionej zwielokrotnione zostało to, na co wskazywał R. Barthes w odniesieniu do fotografii nieruchomej: napięcie pomiędzy czasem przeszłym, gdy patrzymy na zdjęcia świata, którego już nie ma, a czasem teraźniejszym, zatrzymanym na fotografii, jest jeszcze silniejsze. Oglądając po latach jakiś film, rzeczywiście widzimy czas teraźniejszy w jego upływie. Trwa tyle, ile czas trwania ujęcia od jednego cięcia montażowego do drugiego. Kino już nie tylko mumifikuje rzeczywistość, ale ta mumia – by pozostać przy tej metaforze – na dodatek się rusza!

* * *

Zróbmy gwałtowny przeskok w czasie i przestrzeni. Taki sam, jakiego dokonał I. Kant w podanym powyżej cytacie, zestawiając Kosmos i swoje wnętrze. To jest zresztą najszybszy sposób dotarcia do gwiazd – dzięki wyobraźni.

Przez dwieście lat fotografia została rozwinięta tak dalece, że wykorzystywana była na setki sposobów do utrwalania (mumifikowania) milionów zdarzeń i zjawisk. Jedną z najbardziej fascynujących fotografii (astrofotografii) w dziejach ludzkości jest *Ekstremalnie głębokie Pole Hubble'a*. Obraz złożony został z ponad 2 tys. zdjęć i obejmuje bardzo wąski wycinek naszego nieboskłonu, a i tak astrofizycy dopatrzyli się na nim 5,5 tysiąca galaktyk, poszerzyli więc zakres dotychczasowej wiedzy. Ale ta fotografia, którą upubliczniono 25 września 2012 roku, stała się kultowa z innego powodu. Sfotografowano gwiazdy, których

[3] W języku angielskim *shot*, oznacza jednocześnie „strzał" i „zdjęcie".

światło biegło do nas 13,2 miliarda lat, a więc musiało zostać wysłane 500 milionów lat po Wielkim Wybuchu [5]. Dla nas, zwykłych śmiertelników, to oczywiście niewyobrażalna liczba, ale w skali istnienia Kosmosu to niemal początek Wszechświata. Daje to nadzieję, że może uda nam się kiedyś sfotografować Wielki Wybuch. Świadomość, że sfotografowaliśmy ślad tak odległego czasu, przyprawia o „bojaźń i drżenie" (według słów słynnego religioznawcy Rudolfa Otto). Zdjęcie prowokuje do myślenia w kategoriach eschatologicznych: z jednej strony uświadamia niewiarygodną ludzką znikomość wobec bezmiaru czasu, z drugiej zaś pozwala nam – pyłkom w bezgranicznej przestrzeni kosmicznej – spojrzeć na Wszechświat z perspektywy niedostępnej wcześniej żadnemu

Rys. 3. *Ekstremalnie głębokie Pole Hubble'a* – astrofotografia wykonana przez teleskop Hubble'a

Źródło: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html.

śmiertelnikowi. Zobaczyć dzięki temu zdjęciu ogrom Wszechświata tak, jakby przyglądał się mu Ktoś, Kto ocenia wszystko w zupełnie innej, monumentalnej skali. Patrząc bowiem na doskonale zorganizowany Wszechświat, można mieć nadzieję, że nie powstał przez przypadek i jakaś myśl, hiperświadomość (Hiperświadomość?) musiała tym kierować. W każdym razie nie jest to niemożliwe.

Bibliografia

1. BARTHES Roland, *Światło obrazu: uwagi o fotografii*. Wyd. KR, Warszawa 1995. ISBN 83-902653-7-0.
2. BAZIN André, *Ontologia obrazu fotograficznego,* [w:] *Wiedza o kulturze. Część IV: Audiowizualność w kulturze*. BOCHEŃSKA Jadwiga, KISIELEWSKA Alicja, PĘCZAK Mirosław (oprac.). Wydanie 4. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 1998, ss. 224–229. ISBN 83-230-0692-X.
3. BERGSON Henri, *Ewolucja twórcza*. Wyd. Zielona Sowa, Kraków 2004, ss. 222–286. ISBN 83-7389-858-1.
4. HENDRYKOWSKA Małgorzata, *Śladami tamtych cieni: film w kulturze polskiej przełomu stuleci 1895–1914*. Wyd. Book Service, Poznań 1993. ISBN 83-85539-07-7.
5. *Hubble Goes to the eXtreme to Assemble Farthest-Ever View of the Universe,* [w]: *NASA.gov* [dokument elektroniczny]. 25.09.2012 r. Tryb dostępu: https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/xdf.html. Stan z 7.10.2018 r.
6. JEWSIEWICKI Władysław, *Prehistoria filmu*. Filmowa Agencja Wydawnicza, Warszawa 1953.

Tomasz Szarek[1]

O matematyczności przyrody: Kosmos, kosmetyki i fraktale

Swoje rozważania rozpocznę niemalże banalnym stwierdzeniem: świat posiada pewną cechę, która sprawia, że potrafimy go zrozumieć i zbadać. Z rozmysłem napisałem, że stwierdzenie to jest niemalże banalne. Uczyniłem tak dlatego, że – jak pokazuje historia filozofii – pojawiali się na przestrzeni wieków myśliciele, na przykład Kant, którzy przypisywali tę cechę nie światu, lecz naszym zdolnościom poznawczym. Oddaję w tym miejscu głos najbardziej znanemu obrońcy racjonalności świata – Albertowi Einsteinowi. W pracy *Doświadczenie a rzeczywistość* zdefiniował on ową **zrozumiałość** świata, pisząc: „Kiedy mówimy o »zrozumiałości«, sens tego wyrażenia jest całkiem prosty. Zawiera on w sobie doprowadzenie do określonego uporządkowania wrażeń zmysłowych przez tworzenie ogólnych pojęć, ustanowienie wzajemnych związków pomiędzy tymi pojęciami a doświadczeniem zmysłowym; związki te bywają ustanawiane wszelkimi możliwymi sposobami". I dalej dodaje: „W tym sensie świat naszego zmysłowego doświadczenia jest zrozumiały. Sam fakt tej zrozumiałości przedstawia się jako cud" [2]. Słowo „cud" użyte przez A. Einsteina ma wyrazić nieoczywistość tego faktu. „Zrozumiałość" to polski odpowiednik angielskiego *comprehensibility*, a termin ten – zdaniem Michała Hellera – zwraca uwagę nie tylko na to, że świat jest zrozumiały, a więc na immanentną cechę świata, ale także sugeruje, iż świat ten faktycznie dzięki wysiłkowi poznawczemu jest przez badacza rozumiany [3]. Słowo „zrozumiałość" zaczęło być zastępowane terminem „badalność". Dziś jednak coraz częściej mówi się o „racjonalności świata" [3]. Przekonanie to wzrasta proporcjonalnie do przyrostu wiedzy, jaką zdobywamy o Wszechświecie. Wiedza ta pośrednio służy „opanowywaniu" przyrody, a dodatkowym psychologicznym efektem tego procesu jest rodzące się u bada-

[1] Prof. dr hab. Tomasz Szarek, Instytut Matematyki Uniwersytetu Gdańskiego, Instytut Matematyczny PAN.

czy, ale także u zwykłych „konsumentów" osiągnięć naukowych, przekonanie o „wydzieraniu światu jego tajemnic".

Racjonalność świata można próbować zrozumieć na dwu płaszczyznach. Pierwsza to płaszczyzna ontologiczna: świat ma pewną cechę, która sprawia, że można go opisywać i badać. Cecha ta znajduje doskonałą egzemplifikację w prawach, które opisują rzeczywistość fizyczną. W tym celu rozpatrzmy na przykład prawo grawitacji:

$$F = \frac{GMm}{r^2},$$

gdzie G to stała grawitacji, m oraz M to masy ciał, natomiast r oznacza odległość między tymi ciałami. W literaturze przedmiotu prowadzi się rozważania, które pokazują, że świat nie istniałby, gdyby w mianowniku wykładnik przy promieniu był równy np. 2,00000001 zamiast 2. Powyższy eksperyment myślowy stanowi próbkę unaocznienia szerszej zasady kosmologicznej, tak zwanej zasady antropicznej. **Zasada antropiczna** to koncepcja filozoficzna, według której fundamentalne stałe fizyczne (stała Plancka, prędkość światła, stała grawitacji) przyjmują dokładnie takie wartości, jakie umożliwiają powstanie życia na Ziemi. Gdyby te wielkości były inne, na Ziemi nie zaistniałoby życie, nie byłoby zatem inteligentnego obserwatora i nikt nie mógłby poznać praw fizyki.

Inny poziom rozumienia racjonalności to płaszczyzna pragmatyczna związana z prowadzonymi badaniami. Racjonalność badań jest równoważna skuteczności, która jest dobrze udokumentowana w historii nauki. Racjonalność świata to hipoteza robocza wielu uczonych. Ma ona jednak swoich przeciwników: filozofów, którzy uważają, że świat sam w sobie nie jest zrozumiały i tylko człowiek w procesie badawczym narzuca mu pewien porządek zgodny z ludzką racjonalnością. Doskonałym przykładem podobnego myślenia są rozważania dotyczące formy zmysłowości i kategorii czystego intelektu w filozofii Immanuela Kanta. Zwolennicy przywołanego poglądu jako jego uzasadnienie przytaczają, częsty u człowieka, proces racjonalizowania całkowicie irracjonalnych postępowań.

Ustaliwszy w powyższym wprowadzeniu, że samo rozumienie Wszechświata nie jest zjawiskiem oczywistym, spróbujmy pochylić się nad fenomenem matematyki, która stanowi narzędzie opisu fizycznej rzeczywistości. Jedną z cech matematyki, w dzisiejszych czasach szczególnie uwypuklaną, jest jej ekspansja do niemal wszystkich dziedzin wiedzy i działalności człowieka. Krótko mówiąc, historia matematyki to historia ekspansji. W starożytności metody matematyczne, nie licząc banalnych obrachunków kupieckich, stosowane były do opisu

ruchu ciał niebieskich, w pomiarach Ziemi oraz w pewnym stopniu w architekturze i konstrukcji machin wojennych. Źródła mówią, że w tej ostatniej sztuce celował Archimedes – twórca słynnego prawa w hydrodynamice.

Platon był zafascynowany matematyką. Nad wejściem do jego akademii umieszczono napis: „Niech tu nie wchodzi ten, kto nie zna geometrii". Geometria była wówczas utożsamiana z matematyką: matematyka – wyraźne są tu wpływy pitagorejskie – była po prostu geometrią. Panuje jednak pogląd – moim zdaniem całkowicie błędny – że Platon zaprzeczał możliwości stosowania matematyki w fizyce. Tkwi w tym, wydaje się, pewne nieporozumienie: matematyka Platona wpisuje się w szerszy kontekst jego ontologii (teorii bytu). Przypomnijmy, że według Platona istnieją dwa rodzaje bytów: niezmienne idee, które istnieją poza czasem, przestrzenią i są niepoznawalne, oraz zmienne rzeczy postrzegane przy pomocy zmysłów. Przedmioty matematyki, takie jak kula, prosta, odcinek, należą do świata idei. Matematyka, która opisuje relacje między tymi obiektami, jest więc nauką o ideach. U Platona znajduje swe źródło przekonanie, że matematyki nie tworzymy, lecz jedynie ją odkrywamy. Nic więc dziwnego, że to stanowisko filozoficzne w odniesieniu do matematyki nazywamy **platonizmem**. Badania statystyczne pokazują, że ponad 80% matematyków wyznaje platonizm. Pozostali matematycy, mówiąc nieprecyzyjnie, sądzą, że matematykę nie tyle odkrywamy, co ją po prostu tworzymy (mam tu na myśli rozmaite prądy konstruktywistyczne). W platonizmie podstawowym narzędziem poznania matematycznego jest rozum, a nie obserwacja, metodą zaś – metoda aksjomatyczna. Matematyka stanowi dla Platona ideał nauki. Platońska teoria idei pozwala też dokonać jasnego i precyzyjnego rozróżnienia na matematykę czystą i matematykę stosowaną. Matematyka stosowana ma o tyle sens, o ile idee stosują się do świata rzeczy. W myśl tej teorii bowiem rzeczy są podobne do idei, które uosabiają. Rzeczy jedynie przybliżają, aproksymują niezmienne wieczne idee, a relacje między nimi opisywane są przez czystą matematykę i jej twierdzenia, dlatego matematyka w przybliżeniu opisuje świat obiektów poznawalnych zmysłowo. To ograniczenie odnosi się do każdego poznania i wcale nie oznacza, że stosowanie matematyki w fizyce nie jest uprawnione.

Uczniem Platona był Arystoteles. Jest to myśliciel o tyle istotny dla mojego wykładu, że w jego ważnym (choć może nie najważniejszym) dziele *Fizyka*[2] pojawiają się rozważania, które upoważniłynas do napisania pierwszego ma-

[2] Za najważniejsze dzieło Platona uchodzi niewątpliwie *Metafizyka*.

tematycznego równania ruchu. Formuła Arystotelesa jest błędna. Oczywiście poprawnie prawo ruchu zapisał dopiero w XX wieku Newton[3]. Modelowanie matematyczne rzeczywistości jest umiejętnością dokonania takiej redukcji, która z jednej strony pozwoli opisać matematycznie jakiś realny fenomen, a z drugiej strony ujmie elementy ważne, rezygnując z tych błahych w jego opisie. Filozofia Arystotelesa rozwija się w opozycji do Platona, a jego matematyka nie jest już nauką o ideach – Arystoteles w *Analitykach wtórych* pisze, że z ideami trzeba się rozstać – ale nauką o obiektach zawartych w ciałach fizycznych, które nasz umysł w jakiś sposób może od ciała oderwać.

Filozofowie starożytni jak diabeł święconej wody unikali pojęcia nieskończoności. Arystoteles jest bodajże pierwszym, który z rozmysłem mówił o nieskończoności, wyróżniając zresztą dwa jej typy: nieskończoność potencjalną i aktualną. Przy czym ta druga, jego zdaniem, w rzeczywistości nie istnieje. Nieskończoność potencjalna to możliwość liczenia w nieskończoność: 1, 2, 3…, a więc po kolei, wymieniając wszystkie liczby naturalne. Natomiast coś takiego jak nieskończoność aktualna czy kolektywna, umożliwiająca ujęcie wszystkich liczb naturalnych w jednym oglądzie, nie istnieje. Nieskończoność stanowiła poważne wyzwanie dla uczonych starożytnych, ponieważ generowała liczne paradoksy. Najbardziej znany to z pewnością paradoks Achillesa i żółwia podany przez Zenona z Elei. Achilles potrafi biegać dwukrotnie szybciej od żółwia, więc na starcie pozwala mu się oddalić o ½ dystansu. Startują w tym samym momencie. Kiedy Achilles dobiega ½ dystansu, żółw jest już w ¾ = ½ + ½ · ½ dystansu. Gdy Achilles dobiegnie do ¾ dystansu, żółw znów mu ucieknie o ½ · ¼ dystansu i tak dalej. Matematyczne, spekulatywne rozważania zdawały się przeczyć codziennym, empirycznym doświadczeniom. Wyobraźnię starożytnych przekraczał matematyczny fakt, że wynik sumowania nieskończonej liczby składników może być skończony. Daleko było jeszcze do stworzenia podstaw teorii szeregów zbieżnych. Zresztą, z pojęciem nieskończoności filozofowie i matematycy zmagali się wielokrotnie. Galileusz, o którym jeszcze wspomnę w swoich rozważaniach, zauważył w dziele *Discorsi,* że liczb kwadratowych, a więc liczb w postaci: 1, 4, 9, 16… jest tyle samo, co liczb naturalnych: 1, 2, 3, 4… Wystarczy tylko przyporządkować każdej liczbie naturalnej jej kwadrat. Tego

[3] Z prawa Arystotelesa wynika, że aby ciało mogło się poruszać, musi na nie stale działać siła. Newton słusznie zauważył, że siła potrzebna jest do przyspieszenia ciała. Błąd tkwi w niezdolności Arystotelesa do abstrahowania od warunków realnych – sił tarcia, oporu powietrza itd. Jest to zdolność, która w zastosowaniach matematyki odgrywa kluczową rolę.

typu rozważania przeczyły powszechnie podzielanej intuicji, że część musi być mniejsza od całości.

W podobnym duchu konstruował swój paradoks wybitny niemiecki matematyk David Hilbert. Wyobraźmy sobie portiera w Grand Hotelu, w którym jest nieskończona liczba pokoi. Hotel jest pełny, nie ma wolnych miejsc. Przychodzi do hotelu kolejny klient chcący wynająć pokój. Okazuje się, że sytuacja portiera nie jest bez wyjścia i wcale nie musi odprawić klienta z kwitkiem. Portier wykonuje sprytny trik. Klienta z pokoju nr 1 przenosi do pokoju nr 2, tego z pokoju nr 2 do pokoju nr 3; ogólnie klienta z pokoju o numerze n portier przekwaterowuje do pokoju n + 1. W ten sposób każdy z dotychczasowych gości zostanie przekierowany, a kolejny klient otrzyma wolny już pokój o numerze 1.

Pośród filozofów przyrody trwa odwieczny spór, do dziś zresztą nierozstrzygnięty, o to, kogo należałoby uznać za twórcę metody empirycznej w badaniach przyrody. W tym kontekście pojawiają się nazwiska: Francisa Bacona, Galileusza i przede wszystkim Izaaka Newtona. F. Bacon uchodzi za teoretyka metody empirycznej, którą jednak całkowicie zaczął utożsamiać z indukcją. Zaproponowana przez niego metoda miała położyć kres nadmiernemu spekulowaniu w filozofii czy – szerzej – w nauce. Jak to często bywa, przesada i jednostronność zaproponowanej metody sprawiły, że okazała się ona nieskuteczna i potomni o F. Baconie zapomnieli.

Galileusz uniknął błędów F. Bacona i nabrał przekonania, że w parze z doświadczeniem winna iść matematyka. Istotnie, miarodajny eksperyment musi wiązać się z pomiarem, który przekłada zaobserwowane zjawisko na język matematyki. Ale dla Galileusza matematyka to nie tylko narzędzie analizy pomiarów. Jego zdaniem „Cała księga przyrody zapisana jest w języku matematyki". Co to oznacza? Znacznie więcej niż to, że matematyka jest użyteczna w wyjaśnianiu zjawisk przyrodniczych. Można bowiem sobie wyobrazić, że istniałyby jakieś alternatywne sposoby wyjaśniania rzeczywistości, a my wybraliśmy matematyczny z jakichś bliżej nieokreślonych powodów. Galileusz twierdził znacznie więcej – inna niż matematyczna metoda opisu rzeczywistości nie istnieje. Struktura świata jest matematyczna. Od czasów Galileusza trwa nieustanny i triumfalny pochód matematyki przez rozmaite dziedziny wiedzy.

Za przełomowe dla zastosowań matematyki w naukach przyrodniczych uważa się dzieło Izaaka Newtona *Matematyczne podstawy filozofii przyrody*[4].

[4] *Philosophie Naturalis Principia Mathematica* uważa się za dzieło przełomowe, a datę jego wydania – rok 1687, uznaje się za początek ery nauk przyrodniczych.

Zapoczątkowało ono erę nauk przyrodniczych, w której ciągle żyjemy. Zauważmy jednak, że twierdzenie, iż wraz z nastaniem Newtona skończyła się filozofia spekulatywna, a zaczęły nauki empiryczne, jest wielkim uproszczeniem. Musiało upłynąć sporo czasu, zanim nauki empiryczne wypracowały własną metodologię.

Już na samym wstępie, w samym wprowadzeniu do *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* I. Newton dokonuje rozróżnienia na mechanikę i geometrię. Pisze on: „(...) i właśnie mechanika tym różni się od geometrii, że to, co jest idealnie dokładne, nazywa się geometrycznym; to zaś, co jest mniej dokładne, nazywa się mechanicznym". W rozważaniach I. Newtona mechanika była synonimem nauk o rzeczywistości, natomiast geometria to matematyka. Dlaczego I. Newton zaczął swoje dzieło od rozważań dotyczących stosunku mechaniki i geometrii? Uczynił tak dlatego, że próbował zrozumieć, uzasadnić, a może potwierdzić przekonanie Galileusza, że *Księga przyrody* zapisana jest w języku matematycznym. Przez to właśnie Kosmos jest piękny. Skojarzenie Kosmosu z kosmetykami nie jest tu przypadkowe; tak jak kosmetyki nieodłącznie związane są z pięknem i urodą, tak Kosmos właśnie ze względu na uporządkowanie i matematyczną naturę cechuje naturalne piękno.

Od czasów I. Newtona trwa triumfalny pochód matematyki stosowanej przez wiele dziedzin nauki. Także i dzisiaj znajdujemy nowe pola zastosowań matematyki. Młodą dyscypliną matematyczną jest powstała niedawno biomatematyka. Profesor Andrzej Lasota, prekursor badań biomatematycznych i zastosowań matematyki w medycynie, uważał jednak, że ekspansja matematyki do nauk o życiu wymagać będzie pojawienia się nowych narzędzi matematycznych i że tymczasem takowymi nie dysponujemy. Osiągnięcia prof. A. Lasoty są ogromne: wspólnie z Marią Ważewską-Czyżewską [por. 4, 5] opracował on matematyczny model pracy szpiku kostnego, dzięki któremu – wskutek wykrycia chaotycznych rozwiązań procesu produkcji erytrocytów (czerwonych krwinek) – udało się zaproponować odpowiednią terapię ratującą ludzkie życie. Aby przybliżyć, na czym polega zjawisko chaotyczności, posłużę się pewnym przykładem z życia codziennego, podanym zresztą przez prof. A. Lasotę. Wyobraźmy sobie mały pojazd poruszający się po szerokiej, pustej drodze i kierowany przez automatycznego kierowcę; kierowca nie zmienia szybkości pojazdu i jedynym jego celem jest utrzymanie go pośrodku drogi. Jeśli z jakichś powodów pojazd znajdzie się daleko od linii, to kierowca przestawia koła tak, aby zbliżył się do linii, przy czym kąt, pod którym to zbliżenie następuje, jest tym mniejszy, im mniejsze jest

odchylenie od linii. Chodzi o to, aby zbliżanie się do linii było gładkie i płynne. Wyobraźmy sobie – mówi A. Lasota – jak zachowuje się nasz układ w zależności od opóźnienia; jeśli będzie ono małe, to pojazd szybko zbliży się do idealnego toru i będzie się poruszać po linii centralnej. Jeśli opóźnienie się zwiększy, to samochód będzie się przybliżał do tego toru w sposób oscylujący. Jeśli opóźnienie zwiększymy powyżej pewnej wartości, to mogą się już pojawiać oscylacje niezanikające. Na koniec, jeśli opóźnienie jeszcze zwiększymy, to pojazd zacznie zachowywać się całkowicie chaotycznie. Okazuje się, że dość podobnie działa układ krwiotwórczy człowieka. A. Lasota wspólnie z M. Ważewską-Czyżewską podali precyzyjny opis matematyczny jego działania: krwinki produkowane są w szpiku kostnym i po przekroczeniu bariery szpikowej dostają się do krwiobiegu. W krwiobiegu wypełniają swoje funkcje (np. czerwone transportują tlen i dwutlenek węgla), nie rozmnażają się i po wyczerpaniu rezerw enzymatycznych wchłaniane są przez ustrój. Mamy więc wyraźnie wyróżnione dwie fazy: okres produkcji (rozmnażania się) w szpiku kostnym i okres funkcjonowania w krwiobiegu. Między tymi fazami istnieje ścisłe sprzężenie: jeśli krwinek w krwiobiegu jest mało, produkcja w szpiku wzrasta, jeśli jest zbyt dużo, produkcja maleje. Układ krwiotwórczy reaguje jednak z pewnym opóźnieniem; jest to na ogół okres od jednego do trzech dni. Można do układu krwiotwórczego zastosować nasz przykład z samochodem i zaobserwować, co dzieje się przy schorzeniach wydłużających czas reprodukcji krwinek (różne typy białaczki). Zgodnie z teorią, powinny pojawić się zachowania chaotyczne i to właśnie one są najbardziej niebezpieczne dla życia pacjenta. Mając matematyczny model procesu, można zacząć nim sterować. M. Ważewska-Czyżewska, wybitny lekarz hematolog, podjęła takie próby, wywracając do góry nogami praktykę lekarską stosowaną przy zwalczaniu pewnych typów białaczki polekowej.

Prof. A. Lasota uważał jednak, że matematycznemu opisowi poddają się jedynie te zachowania naszego organizmu, które są w pewnym sensie mechaniczne. Dlatego być może tak trudno zbudować rzetelne modele opisu zjawisk ekonomicznych, w których dużą rolę odgrywają na przykład ludzkie emocje.

We współczesnej matematyce pojawiają się nowe obiekty dokładniej i głębiej opisujące fenomeny, z którymi zmagamy się w naszych próbach rozumienia natury. Obiektem matematycznym, z którego użytecznością w opisie przyrody wiązane są pewne nadzieje, jest fraktal [por. 1]. Samo pojęcie fraktala powstało na początku ubiegłego wieku. Dziś okazuje się, że może ono służyć do modelowania struktur samopodobnych, które spotykamy w wielu dziedzinach życia.

Matematyka się rozwija, a wraz z nią pogłębia się nasze rozumienie świata, ale to już inna historia.

Bibliografia

1. BARNSLEY Michael, *Fractals everywhere.* Academic Press Professional, Boston 1993. ISBN 0-12-079061-0.
2. EINSTEIN Albert, *Physics and Reality,*[w:] *Ideas and Opinions*. Dell, New York 1978, ss. 283–315.
3. HELLER Michał, *Czy świat jest racjonalny? Zagadnienia filozoficzne w nauce,* 1997, t. XX, ss. 66–78.
4. LASOTA Andrzej, MACKEY Michael C., *Probabilistic Properties of Deterministic Systems*, Cambridge University Press, Cambridge 1985. ISBN 0-521-30248-X.
5. LASOTA Andrzej, WAŻEWSKA Maria, *Matematyczne problemy dynamiki układu krwinek czerwonych. Matematyka Stosowana,* 1976, nr 6, ss. 23–40.

Łukasz Lamża[1]

Chemia, czyli alfabet kosmicznej kreatywności

Moja fascynacja chemią często dziwi rozmówców. Jestem wszak z wykształcenia filozofem i istnieje znany wszystkim podzbiór dyscyplin naukowych, co do których jest to „naturalne", że się nimi interesuję: jest tam kosmologia, jest i fizyka fundamentalna, są neuronauki czy badania sztucznej inteligencji. Ale chemia? Dlaczego chemia?

Doprowadziła mnie do niej kosmologia, którą studiowałem i która stała się moim pierwszym autentycznym zainteresowaniem naukowym. W kosmologii fizycznej rozumie się Wszechświat dość specyficznie i długoletnie obcowanie z tym szczególnym punktem widzenia uczuliło mnie zwłaszcza na zauważanie tego, o czym się w kosmologii NIE mówi.

Pierwszym krokiem, jaki podejmuje się przy konstruowaniu tzw. modeli kosmologicznych – które technicznie można by określić jako kosmologiczne rozwiązania równań pola Einsteina, jakimi są np. rozwiązanie de Sittera czy rozwiązanie FLRW – jest rezygnacja z wszelkich form niejednorodności we Wszechświecie. I rzeczywiście, fundamentalnym założeniem tych modeli, koniecznym do ich poprawnego matematycznego funkcjonowania, jest założenie jednorodności: każde miejsce w przestrzeni Kosmosu miałoby być takie samo. Ponieważ jest jasne, że nie jest tak w rzeczywistości (wnętrze mojej głowy dość silnie różni się jednak od próżni międzygwiazdowej, naprawdę...), w duchu precyzji podaje się zwykle skalę przestrzenną, powyżej której założenie to jest w mocy. Krótko mówiąc, wszystkie struktury poniżej tej skali – a więc gromady galaktyk, galaktyki, gwiazdy, planety, wulkany, chmury, rośliny, zwierzęta... – uważa się za nieistotne dla zrozumienia Kosmosu jako takiego.

Mówiąc obrazowo, Kosmos kosmologa przypomina ten, który nas otacza i który obserwujemy i opisujemy w ramach wszystkich innych nauk tylko wte-

[1] Dr Łukasz Lamża, Centrum Kopernika Badań Interdyscyplinarnych, Uniwersytet Jagielloński.

dy, jeśli zgodzimy się na wrzucenie wszystkiego, co istnieje, do gigantycznego blendera i przekształcenie do postaci jednorodnej papki. Z matematycznego punktu widzenia jest to zrozumiałe; z fizycznego wydaje się uzasadnione. Z nieco szerszego, powiedzmy filozoficznego, jest co najmniej intrygujące: dla najogólniejszej nauki o Kosmosie nie ma bowiem najwyraźniej żadnego znaczenia, czy w tym Kosmosie cokolwiek... JEST. To jednak dość specyficzna perspektywa badawcza, nieprawdaż?

To jednak nie koniec. Gdy zejdziemy do postaci atomowej, również możemy pożegnać się ze znanym nam bogactwem Wszechświata. W kosmologii wszelkie formy materii – ciała stałe, płyny czy gazy, rzeczy barwne i bezbarwne, reaktywne i niereaktywne, związki organiczne i nieorganiczne, metale i niemetale – są obejmowane przez jedną tylko kategorię zwaną materią barionową. Dla kosmologa nie ma znaczenia, w jakich konfiguracjach istnieją atomy, jakie pierwiastki występują w świecie, a w gruncie rzeczy nawet to, czy w ogóle cząstki elementarne są w postaci jąder i atomów, byleby całkowita łączna ilość materii barionowej w „kosmicznej zupie" wynosiła ok. 5% całkowitej gęstości Kosmosu.

Krótko mówiąc, z punktu widzenia kosmologa modelującego Wszechświat nie ma znaczenia praktycznie nic, co czyni nasz Kosmos interesującym.

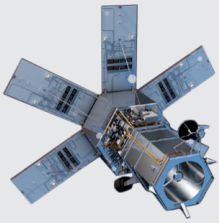
Ważne zastrzeżenie: to nie zarzut! Nauka posuwa się do przodu właśnie dzięki sztuce uproszczeń. Naukowcy, którzy modelują ruch tłumu na stadionie, nie pytają o strój, pracę albo przekonania polityczne osób wchodzących w skład tegoż tłumu. Interesuje ich tylko to, jak zaprojektować stadion, abyśmy mogli czuć się na nim bezpiecznie w przypadku ewakuacji, i jest to możliwe tylko dzięki sztuce uproszczeń. Gdy jednak zdałem sobie sprawę z tego, jaki tak naprawdę jest „Kosmos kosmologii", naturalnie wyłoniło się pytanie: Dlaczego nasz Wszechświat jest inny? Inaczej mówiąc, jakie są pierwsze kroki podjęte przez świat na drodze ku jego obecnej, bujnej, kreatywnej formie? Okazuje się, że są to niemal wyłącznie kroki chemiczne.

Pierwsze reakcje chemiczne we Wszechświecie natychmiast wzbogaciły jego „ofertę" termodynamiczną, działając to jak chłodziwo, to jak źródło ciepła, zwiększając lub zmniejszając przezroczystość gazu, modelując jego zachowanie się w skali galaktycznej. Rozmaite wiązania chemiczne i sposoby zachowania się elektronów wokół atomów decydują o tym, że materiały są miękkie albo twarde, że pękają lub się plastycznie deformują. To zjawiska chemiczne odpowiadają za to, że w świecie rzeczy mają smak i zapach. Związki chemiczne w galaktykach nadają obłokom międzygwiazdowym barwy; w meteorytach i na planetach

rodzą się zaś setki wspaniałych, interesujących związków organicznych, takich jak fenole, węglowodory alifatyczne, aminokwasy czy tzw. heterocykle zawierające azot albo siarkę. To w końcu zjawiska chemiczne, których wciąż nie potrafimy rozszyfrować, spowodowały wyłonienie się pierwszej komórki żywej na naszej planecie ok. 4 miliardów lat temu.

Śledzenie rozwoju „kosmicznej chemii" stało się więc jedną z moich pasji naukowych[2]. Rosnąca złożoność zjawisk chemicznych we Wszechświecie stanowi dla mnie jedną z najbardziej spektakularnych demonstracji ogólniejszego procesu wzrostu złożoności świata. Procesy i struktury chemicznie mają przy tym tendencję do rozwijania się „równolegle" z innymi procesami. Żadna rewolucja geologiczna czy biologiczna nie może dokonać się bez współudziału zjawisk chemicznych – zauważmy chociażby, że każda duża grupa istot żywych ma „swoją chemię": nie byłoby grzybów bez chityny, roślin bez celulozy i lignin, zwierząt bez kolagenu. Zjawiska chemiczne to więc dla mnie wspaniały „termometr", którym mierzę rozwój Wszechświata: w tym zakresie, w którym nie interesuje on już kosmologów, a zarazem w tym, który interesuje nas wszystkich, żyjących tu na Ziemi.

[2] Zob. Lamza L., *Six Phases of Cosmic Chemistry*. „*HYLE–International Journal for Philosophy of Chemistry*" 2014, 20, ss. 165-192. Tryb dostępu: http://www.hyle.org/journal/issues/20-1/lamza.htm.



Rozdział II

KU POSZUKIWANIU ŻYCIA WE WSZECHŚWIECIE

Stanisław Ołdziej[1]

Milion lat przed powstaniem życia

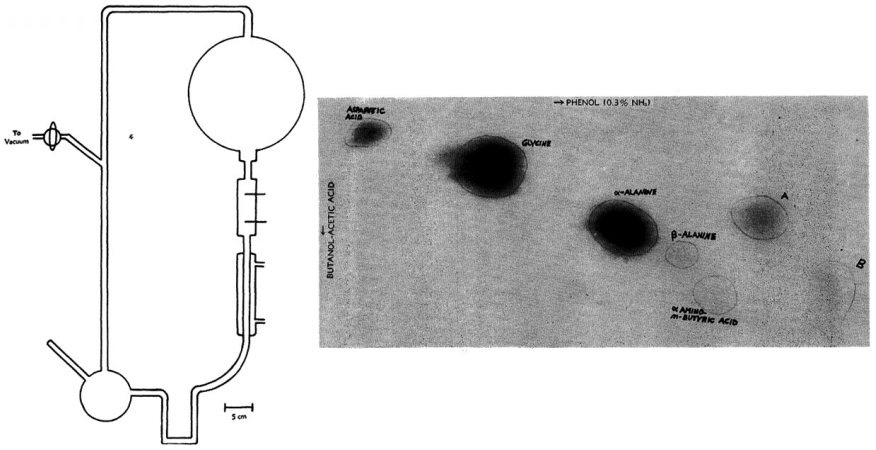
Wyniki wieloletnich badań wskazują, że wiek Ziemi to około 4,5 miliarda lat. Przez pierwszy miliard lat Ziemia stale się ochładzała, jej powierzchnia była bombardowana niezliczonymi rojami meteorów i komet, a jej ciągle nieustabilizowaną i plastyczną powierzchnią wstrząsały erupcje wulkaniczne [1]. W tak obcym i niegościnnym środowisku pojawiły się pierwsze formy życia. Przyjmuje się, że pojawiające się w wielu miejscach skamieliny o strukturze warstwowej, nazywane stromatolitami lub onkoidami, są śladami pierwszych organizmów żywych na Ziemi. Wiek najstarszych stromatolitów lub onkoidów określa się na 3,5–3,8 miliarda lat [1, 2]. W świetle obecnie dostępnych informacji wydaje się, że zarówno wiek Ziemi, jak i wiek pierwszych śladów życia jest określony dość precyzyjnie. Natomiast kwestią dyskusji naukowych są warunki, jakie panowały na młodej Ziemi w okresie tuż przed pojawieniem się pierwszych organizmów żywych. Określenie warunków (temperatury, składu atmosfery) panujących w okresie poprzedzającym pojawienie się pierwszych śladów organizmów żywych jest kluczowe z dwu powodów. Po pierwsze, pozwoli wyjaśnić, jakie procesy odpowiedzialne są za powstanie życia na Ziemi, a po drugie, umożliwi poszukiwanie planet w Układzie Słonecznym oraz poza nim, które mają potencjał do zrodzenia życia na swoich powierzchniach [3].

Eksperyment Stanleya Millera

W roku 1953 młody badacz Stanley Miller z Uniwersytetu w Chicago w USA opublikował pracę naukową, która rzuciła nowe światło na procesy fizyczne i chemiczne, które ewentualnie mogły prowadzić do powstania organizmów żywych na młodej Ziemi. Miller przeprowadził dość prosty eksperyment [4]. W specjalnie zaprojektowanej aparaturze (rys. 1) umieścił mieszaninę gazów:

[1] Dr hab. Stanisław Ołdziej, Międzyuczelniany Wydział Biotechnologii, Uniwersytet Gdański i Gdański Uniwersytet Medyczny.

metanu, amoniaku i wodoru. W naczyniu reakcyjnym znajdowała się również woda, która za pomocą grzałek utrzymywana była w temperaturze wrzenia. Dodatkowo w ściany naczynia reakcyjnego wbudowane były elektrody, które cyklicznie wytwarzały wyładowania elektryczne. Środowisko wewnątrz naczynia reakcyjnego miało symulować atmosferę młodej Ziemi, gorącą i wilgotną, co i raz przeszywaną gwałtownymi wyładowaniami atmosferycznymi. Po wielu dniach utrzymywania wody w naczyniu w temperaturze wrzenia oraz wytwarzania łuku elektrycznego między elektrodami okazało się, że zawartość naczynia zaczyna przybierać barwę żółtą, a w miarę upływu czasu pomarańczową. Po trwającym kilka lub kilkanaście dni eksperymencie mieszaninę poreakcyjną poddano analizie chemicznej.



Rys. 1. Szkic oryginalnej aparatury używanej przez Stanleya Millera (lewy panel); chromatogram bibułowy ukazujący identyfikację aminokwasów z mieszaniny poreakcyjnej (prawy panel)

Źródło: opracowanie na podstawie MILLER Stanley L., *A production of amino acids under possible primitive Earth conditions. Science, New Serie* [dokument elektroniczny], 1953, nr 117, ss. 528–529.
Tryb dostępu: http://faculty.jsd.claremont.edu/dmcfarlane/bio145mcfarlane/PDFs/miller_prebiotic%20souppdf.pdf.

Ku zaskoczeniu S. Millera w mieszaninie poreakcyjnej znajdowała się znaczna ilość aminokwasów, podstawowych składników organizmów żywych. Były tam aminokwasy, które nazywamy aminokwasami kodowanymi przez kod genetyczny, takie jak glicyna, α-alanina, kwas asparaginowy, walina, ale rów-

nież inne aminokwasy, takie jak β-alanina czy kwas α-amino-masłowy i wiele innych cząsteczek organicznych. Publikacja wyników badań S. Millera odbiła się szerokim echem w środowisku naukowym. Eksperyment powtórzono w wielu laboratoriach na świecie, uzyskując praktycznie identyczne wyniki. Zaczęto też przeprowadzać warianty eksperymentu Millera, stosując inne niż oryginalnie mieszaniny gazów, np. metanu, azotu, wodoru i pary wodnej czy dwutlenku węgla, azotu i pary wodnej. Próbowano też stosować inne źródła energii niż wyładowania elektryczne, np. promieniowanie ultrafioletowe czy promieniowanie rentgenowskie. Wyniki tych eksperymentów jednoznacznie wskazywały, że aminokwasy tworzą się dość efektywnie w atmosferze złożonej z mieszaniny gazów (proporcje tych mieszanin mają jedynie wpływ na wydajność reakcji) dostarczających atomy azotu (azot cząsteczkowy, amoniak), gazów dostarczających atomy węgla (metan, dwutlenek węgla) oraz atomy tlenu (para wodna, dwutlenek węgla). Jeśli w użytych mieszaninach gazów występował w zbyt dużej ilości tlen, to reakcje w nich przeprowadzane nie prowadziły do powstawania aminokwasów. Okazało się, że gdy skład mieszaniny gazów użytych do eksperymentów uzupełniono siarkowodorem (gaz ten w dużych ilościach uwalniany jest w czasie erupcji wulkanicznych), to w mieszaninach poreakcyjnych identyfikowano aminokwasy zawierające atomy siarki, takie jak cysteina.

Meteoryt Murchinson

We wrześniu roku 1969 niedaleko miasteczka Murchinson w prowincji Victoria w Australii zaobserwowano upadek kamiennego meteorytu (chondrytu). Dzięki szybkiej akcji mieszkańców i zaalarmowanych naukowców udało się zebrać ponad 100 kg odłamków skalnych pochodzących z meteorytu. Po raz pierwszy w historii nauki zdobyto próbki, które jedynie przez bardzo krótki czas (maksymalnie kilka godzin) miały styczność z glebą. Zebranie tych unikatowych fragmentów dało możliwość przebadania składu kamiennych meteorytów. Jak można było przypuszczać, głównym składnikiem były minerały ze sporą zawartością węgla (dlatego tego rodzaju meteoryty nazywa się chondrytami węglistymi). Wnikliwe badania laboratoryjne wykazały, że meteoryt Murchinson w swoim wnętrzu kryje też całe spektrum związków organicznych, w tym także aminokwasów [5]. O ile odkrycie związków organicznych w meteorycie nie było dużym zaskoczeniem dla naukowców, to zaskakująca była inna obserwacja. W materii organicznej zidentyfikowano głównie cztery aminokwasy: glicynę, α-alaninę, kwas asparaginowy i walinę, występujące w znacznie wyższych stężeniach niż inne

cząsteczki organiczne [6]. Wspomniane cztery aminokwasy były też najczęściej otrzymywane w reakcjach prebiotycznych, takich jak eksperymenty Millera i jego naśladowców [4]. Konkluzje, jakie wysnuto na podstawie przedstawionych badań, były następujące:

a) istnieje wiele możliwych scenariuszy chemicznych/środowiskowych, które mogą prowadzić do syntezy aminokwasów z prostych substancji nieorganicznych,
b) najwięcej znanych do tej pory i przebadanych reakcji prebiotycznej syntezy aminokwasów prowadzi do czterech aminokwasów kodowanych: glicyny, α-alaniny, kwasu asparaginowego i waliny.

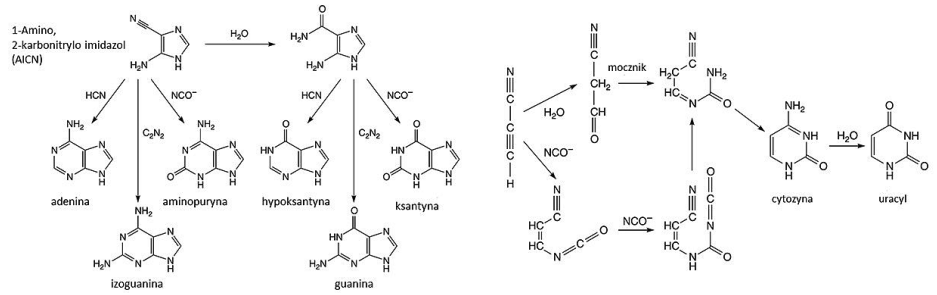
Szerokie spektrum warunków chemicznych, które sprzyjają syntezie tych czterech aminokwasów, doprowadziło do powstania hipotezy GADV[2]. W obecnym kodzie genetycznym do kodowania jednego aminokwasu potrzebne są trzy nukleotydy. Hipoteza GADV zakłada, że pierwotne organizmy na Ziemi składały się z białek zawierających jedynie cztery rodzaje aminokwasów (GADV), a do zakodowania tych czterech aminokwasów można by użyć kodonów składających się jedynie z dwu nukleotydów [7].

Prebiotyczna synteza zasad azotowych

W poprzednich częściach tego artykułu zaprezentowałem, jak relatywnie łatwo zachodzi synteza aminokwasów z prostych związków chemicznych, takich jak metan, dwutlenek węgla, amoniak, azot cząsteczkowy i para wodna w dość szerokim zakresie warunków (ciśnienie, temperatura, źródła energii). Okazało się jednak, że synteza w warunkach prebiotycznych zasad azotowych, występujących w kwasach nukleinowych, nastręcza bardzo dużo problemów, jeśli stosuje się warunki identyczne jak te stosowane do prebiotycznej syntezy aminokwasów [8]. Kluczowym elementem pozwalającym na otrzymywanie zasad azotowych jest niezwykle trujący gaz cyjanowodór o wzorze chemicznym HCN. Pod wpływem promieniowania ultrafioletowego cyjanowodór ulega skomplikowanym procesom polimeryzacji, które w efekcie prowadzą do powstania związku chemicznego 1-amino-2-karbonitryloimidazolu. AICN jest prekursorem prowadzącym poprzez proste reakcje chemiczne do syntezy zasad azotowych z rodziny puryn, takich jak adenina czy guanina (rys. 2).

[2] W biologii i chemii używa się jednoliterowych skrótów nazw aminokwasów, odpowiednio G to glicyna, A – alanina, D – kwas asparaginowy i V – walina, stąd nazwa hipotezy.

Z drugiej strony, polimery HCN mogą łatwo reagować z mocznikiem (produkt kondensacji dwutlenku węgla z amoniakiem) lub izocyjanami, co prowadzi do syntezy zasad azotowych z rodziny pirymidyn (cytozyna i uracyl) (rys. 2). Cyjanowodór jest cząsteczką chemiczną występującą powszechnie w Kosmosie, jak też w atmosferach planet Układu Słonecznego (np. w atmosferze Wenus). Wydaje się zatem, że ten związek chemiczny mógł być też obecny w atmosferze młodej Ziemi i stanowić substancję prekursorową w prebiotycznej syntezie zasad azotowych.



Rys. 2. Mechanizm prebiotycznej syntezy zasad purynowych (lewy panel) i pirymidynowych (prawy panel)

Źródło: opracowanie własne na podstawie ORGEL Leslie E., Prebiotic chemistry and origin of the RNA World. Critical Review in Biochemistry and Molecular Biology, 2004, nr 39, ss. 99–123.

Prebiotyczna synteza cukrów, lipidów i innych budulcowych składników życia

Substratami przedstawionych powyżej reakcji chemicznych, prowadzących do syntezy aminokwasów czy zasad azotowych, były głównie gazy oraz woda, a same reakcje mogły przebiegać w fazie gazowej. Możliwe scenariusze prowadzące np. do syntezy cukrów, lipidów czy nukleotydów musiały przebiegać w roztworze wodnym (tzw. prebiotycznej zupie) albo jako reakcje w fazie stałej [9]. Reakcje, o których mowa, są niezwykle skomplikowane, wieloetapowe i wymagają jako katalizatorów np. minerałów powszechnie występujących zarówno na Ziemi, jak i na innych ciałach niebieskich, które udało się człowiekowi zbadać (Księżyc, Mars). Niniejsze opracowanie jest zbyt krótkie, aby przedstawić nawet przykładowe reakcje chemiczne prowadzące np. do syntezy nukleotydów czy polisacharydów. Jednak propozycje takich reakcji, nawet w wielu wariantach,

bazujących na różnych substratach zostały przez naukowców już przebadane. Wydaje się, że aktualna wiedza pozwala na przedstawienie bardzo prawdopodobnych scenariuszy, w jaki sposób mogły powstać cząsteczki chemiczne będące budulcem życia. Jednak nawet te zakrojone na szeroką skalę badania pozostawiają wiele znaków zapytania. Do tej pory nie opracowano skutecznego scenariusza chemicznego pozwalającego na wydajną syntezę prebiotyczną nawet prostych peptydów, które wykazywałyby jakieś właściwości katalityczne. Zatem jesteśmy w stanie wyobrazić sobie, jak mogłyby powstawać proste elementy budulcowe organizmów żywych, ale już znacznie trudniej, jak te proste cegiełki mogłyby formować bardziej skomplikowane układy, np. polimery, oligosacharydy itp. Być może formowanie takich skomplikowanych układów jest tą cienką czerwoną linią oddzielającą świat nieożywiony od najprymitywniejszych przejawów życia.

Patrząc nocą na rozgwieżdżone niebo, zdajemy sobie sprawę, że wiele z tych gwiazd otaczają planety, a część z tych planet może mieć odpowiednie warunki do tego, aby rozwinęło się na nich życie. Jeszcze do niedawna generalnym wyznacznikiem, czy na jakiejś planecie może występować życie, była obecność na niej wody w stanie ciekłym. Dzięki obecnym wynikom badań, przedstawionym w tym opracowaniu, wiemy, że jeśli na jakiejś planecie mogłoby rozwinąć się życie, to planeta ta oprócz ciekłej wody musi mieć gęstą atmosferę zawierającą metan i/lub dwutlenek węgla oraz azot i/lub amoniak. Ponadto atmosfera ta powinna zawierać cyjanowodór i niewielką ilość siarkowodoru. Wszystkie wymienione składniki pozwalają na syntezę podstawowych składników budulcowych życia: aminokwasów, zasad azotowych i innych prostych cząsteczek organicznych (mocznik, formaldehyd, glikol etylenowy i inne). Stały postęp w astronomii prawdopodobnie pozwoli nam w niedalekiej przyszłości badać skład atmosfery nawet odległych planet poza Układem Słonecznym. Dzięki temu będziemy mogli wytypować planety, na których istnieją warunki do życia albo na których życie właśnie zaczyna się rozwijać. Oczywiście o wiele bardziej intrygujące byłoby odkrycie życia już istniejącego. Sprawa detekcji form żywych na znaczne odległości (jak to ma miejsce w Kosmosie) nie jest jednak prosta. Jednym z możliwych przejawów życia na innej planecie jest obecność tlenu w atmosferze. Jak pokazują dotychczasowe wyniki badań, tlen nie sprzyja reakcjom chemicznym prowadzącym ewentualnie do powstania życia, ale może być widocznym efektem tego, że życie na danej planecie się rozwinęło i kwitnie w najlepsze [3]. Inne chemiczne przejawy obecności życia są o wie-

le trudniejsze do wykrycia, szczególnie na znaczne odległości. Obecnie coraz śmielej zaczynamy eksplorować ciała niebieskie naszego Układu Słonecznego i potrzebujemy jakiegoś prostego testu na obecność form życia – współczesnego lub przeszłego. Jeśli przyjmiemy założenie, że formy życia pozaziemskiego są podobne do tych istniejących na Ziemi, to określono już kilka grup związków chemicznych, których występowania nie jesteśmy w stanie wyjaśnić za pomocą chemii prebiotycznej. Na przykład, jeden z aminokwasów kodowanych występujących w organizmach żywych, histydyna, nie został do tej pory otrzymany w drodze eksperymentów prebiotycznych. Uważa się, że może on powstać jedynie jako produkt funkcjonowania organizmu żywego [3]. Obecnie istnieje lista kilkunastu związków chemicznych, których występowanie jest ściśle związane z funkcjonowaniem organizmów żywych, a nie ze spontanicznymi reakcjami chemicznymi (synteza prebiotyczna). Trwają przygotowania do misji na Marsa w roku 2023, której zadaniem będzie poszukiwanie związków chemicznych (np. histydyny) mogących wskazywać, że życie istniało albo istnieje na Czerwonej Planecie [3]. W ciągu najbliższych lat ruszą podobne misje do innych rejonów Układu Słonecznego w celu znalezienia form życia albo warunków, które umożliwiają powstanie życia.

Bibliografia

1. ALLWOOD Abigail C., WALTER Malcolm R., KAMBER Balz S., MARSCHALL Craig P., Burch Ian W., *Stromatolite reef from the Early Archaean era of Australia*. „Nature", 2006, nr 441, ss. 714–718. ISSN 0028-0836.
2. IKEHARA Kenji, OMORI Yoko, ARAI Rieko, HIROSE Akiko, *A novel theory on the origin of the genetic code: A GNC-SNS hypothesis*. „Journal of Molecular Evolution", 2002, nr 54, ss. 530–538. ISSN 0022–2844.
3. KVENVOLDEN Keith A., LAWLESS James, PERING Katherine, PETERSON Etta, FLORES Jose, PONNAMPERUMA Cyril, KAPLAN Isaac R., MOORE Carleton, *Evidence for extraterrestrial amino-acids and hydrocarbons in the Murchison meteorite*. „Nature", 1970, nr 228, ss. 923–926.
4. MILLER Stanley L., *A production of amino acids under possible primitive Earth conditions*. „Science*",* 1953, nr 117, ss. 528–529.
5. NEVEU Marc, HAYS Lindsay E., VOYTEK Mary A., NEW Michael H., SCHULTE Mitchell D., *The ladder of life detection. Astrobiology,* 2018, nr 8 (10), ss. 1–26. ISSN 1531–1074.

6. NUTMAN Allen P., BENNETT Vickie C., FRIEND Clark R. L., KRANENDONK Martin J. van, CHIVAS Allan R., *Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures,* „Nature", 2016, nr 53, ss. 535–538. ISSN 0028–0836.
7. ORGEL Leslie E., *Prebiotic chemistry and origin of the RNA World.* „Critical Review in Biochemistry and Molecular Biology", 2004, nr 39, ss. 99–123. ISSN 1040-9238.
8. RUIZ-MIRAZO Kepa, BRIONES Carlos, de la ESCOSURA Andres, *Prebiotic systems chemistry: new perspectives for the origins of life.* „Chemical Reviews", 2014, nr 114, ss. 285–366. ISSN 0009–2665.
9. WOLMAN Yecheskel, HAVERLAND William J., MILLER Stanley L., *Non-protein amino acids from spark discharges and their comparison with the Murchison Meteorite amino acids.* „Proc. Natl. Acad. Sci. USA", 1972, nr 69 (4), ss. 809–81. Numer ISSN 0027-8424.

Maria Radtke[1]

Czy pozaziemskie życie we Wszechświecie jest możliwe?

Od wielu lat ludzkość zadaje sobie pytanie, czy gdzieś poza Ziemią istnieje życie. Kosmici zawsze rozbudzają naszą wyobraźnię. Temat ten jest obecny w nauce, sztuce, filmie, literaturze, również w kreskówkach dla najmłodszych. Fani serialu *Z Archiwum X* na całym świecie z wypiekami na twarzy śledzą losy dwojga agentów badających sprawy prawdopodobnie związane z kosmitami. Rekordy popularności biją także książki Ericha von Dänikena o wpływie obcych na losy ludzkości.

Nasuwa się wiele pytań związanych z możliwie istniejącym poza Ziemią życiem. Ludzie zastanawiają się, jak mogłoby ono wyglądać. Snują hipotezy na temat inteligentnych budowniczych piramid lub szarych humanoidów porywających od czasu do czasu ludzi. Być może są to organizmy, które mogą przetrwać w ekstremalnie nieprzyjaznych warunkach. Możliwe, że istniejemy tylko my. Ciągle niewyjaśnione pozostaje, która planeta ma najlepsze warunki do rozwoju życia. Dlaczego w Kosmosie nie spotkaliśmy jeszcze organizmów żywych? Co należałoby zmienić? Zdaniem Stephena Hawkinga „Nadszedł czas, by zaangażować się w szukanie na nie odpowiedzi i rozpocząć zakrojone na szeroką skalę poszukiwania życia poza Ziemią. Jesteśmy żywi. Jesteśmy inteligentni. Musimy to wiedzieć" [13]. S. Hawking twierdził, że warto poszukiwać życia w Kosmosie, skoro naukowcom udało się odkryć już tyle planet pozasłonecznych.

Odkrycie życia pozaziemskiego dałoby nam niezwykłe możliwości. Pomimo że niektórzy uważają, iż poszukiwanie życia pozaziemskiego nie ma większego sensu, astronauci opuszczają swoje rodziny na miesiące, a nawet lata. Wszystko po to, żeby odkrywać niesamowite rzeczy we Wszechświecie. Warto skupić się na tej tematyce, gdyż jest to coś niepowtarzalnego i fascynującego. Ślady życia pozaziemskiego mogłyby pomóc naukowcom w znalezieniu innych planet,

[1] Maria Radtke, Niepubliczna Szkoła Podstawowa w Pucku.

które w przyszłości, po jakimś kataklizmie na Ziemi, umożliwiłyby przetrwanie naszemu gatunkowi.

Na początek warto odpowiedzieć sobie na pytanie: „Czym jest **życie**[2]?". Jest to pojęcie bardzo trudne do zdefiniowania w kategoriach bezwzględnych. Niewątpliwie wszystkie żywe organizmy cechują: metabolizm i zdolność przetwarzania energii, adaptacja, czyli zdolność dopasowania się, namnażanie się, niektóre formy życia opracowały całe sieci przetwarzania informacji. W co najmniej jednym przypadku życie stało się samoświadome [1].

Życie pozaziemskie we Wszechświecie – jak pisał Joel Achenbach – to największe wyzwanie dla świata nauki w XXI wieku. Autor twierdzi, że życie pozaziemskie stanowi ogromną lukę w naszej wiedzy o przyrodzie [2]. Aby sprostać tym wyzwaniom, powstała dziedzina nauki nazwana **astrobiologią**. Zajmuje się ona powstaniem, ewolucją, rozpowszechnieniem i przyszłością życia poza Ziemią. Ponieważ dotychczas nie wykryto w Kosmosie życia, które nie pochodziłoby z Ziemi, astrobiologia skupia się na badaniach, które mogą zwiększyć szanse jego wykrycia. Bada możliwości przetrwania żywych organizmów w ekstremalnych warunkach, weryfikuje hipotezy dotyczące powstania życia na Ziemi, poszukuje miejsc, w których mogłoby rozwijać się życie w Układzie Słonecznym i poza nim oraz rozwija techniki pozwalające wykryć życie za pomocą obserwacji astronomicznych [18].

Niewątpliwie istnieje planeta we Wszechświecie, na której kipi życie. Oczywiście mam na myśli Ziemię – królową życia. Wszyscy możemy tu obserwować różne jego formy. Życie dosłownie przemyka, warczy, lata w powietrzu lub zwija się na parapecie. Dlaczego możliwe było powstanie życia właśnie na Ziemi? Otóż znajduje się ona wystarczająco daleko od Słońca, by woda nie wyparowała, a jednocześnie dość blisko, by nie zmieniła się w wieczny lód. To właśnie woda w postaci ciekłej i obecność tlenu sprawiły, że na naszej planecie narodziło się życie. Ziemska atmosfera ma średnio 1 000 km grubości i składa się przede wszystkim z azotu. Tlen, którym oddychamy, stanowi 21% objętości powietrza. Na Ziemi źródłem jego uwalniania są organizmy żywe. W procesie fotosyntezy, przeprowadzanym przez rośliny i liczne bakterie, powstaje niezwiązany tlen, który trafia do oceanów i do atmosfery. To z kolei pozwala żyć organizmom me-

[2] Życie (gr. βίος, *bios*) w biologii ma dwie związane ze sobą definicje: zespół procesów życiowych oraz właściwość pewnych układów fizycznych (→ organizmów), w których zachodzą procesy życiowe [18].

tabolizującym tlen, w tym nam i wszystkim innym stworzeniom w królestwie zwierząt. Błękitna Planeta posiada jednego naturalnego satelitę, jest nim Księżyc. Temperatura przy powierzchni Ziemi wynosi średnio 15°C. Są to idealne warunki do rozwoju życia [16, s. 186].

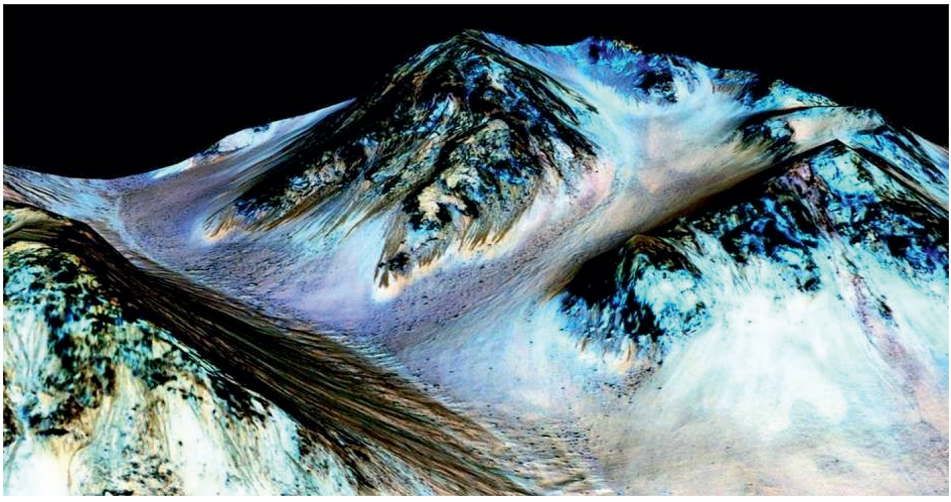
Poprzez wieki odkrycia kosmiczne wielokrotnie dewaluowały nasze wyobrażenie o sobie. Niegdyś Ziemia uznawana była za jedyną w swoim astronomicznym rodzaju, dopóki astronomowie nie dowiedzieli się, że jest tylko jedną z wielu planet krążących wokół Słońca. Potem zakładaliśmy, że Słońce jest wyjątkowe, dopóki nie dowiedzieliśmy się, że niezliczone gwiazdy na niebie też są słońcami. Potem zakładaliśmy, że nasza Galaktyka, Droga Mleczna, jest całym Wszechświatem, dopóki nie ustaliliśmy, że niezliczone rozmyte punkty na niebie to inne galaktyki rozsiane po krajobrazie poznawalnego Wszechświata [4, s. 200].

By rozpocząć poszukiwanie życia we Wszechświecie, trzeba przekroczyć orbitę ziemską. Poszukiwania należy rozpocząć od Układu Słonecznego. Wokół Słońca krąży osiem planet oraz jedna planeta karłowata. Powstały one około 4,6 miliarda lat temu z materii, która wirowała wokół Słońca. Planety Układu Słonecznego to ciała niebieskie, o których wiemy najwięcej, mimo że dotarcie do każdej z nich trwałoby wiele miesięcy lub nawet lat, ponieważ Układ Słoneczny ma przynajmniej 20 mld km szerokości [17, s. 28].

Planetą, która od lat pobudza wyobraźnię poszukiwaczy życia pozaziemskiego, jest Czerwona Planeta lub Żelazny Wojownik – Mars. Najbardziej ze wszystkich przypomina Ziemię. W prawie wszystkich książkach i filmach fantastycznonaukowych to właśnie Mars jest przedstawiany jako obiekt zamieszkany przez różne formy życia. W jego kierunku wysłano najwięcej misji kosmicznych. Niemal pewne jest to, że następną planetą, na której człowiek postawi stopę, będzie Mars. Cienka i niemal przezroczysta atmosfera Czerwonej Planety składa się prawie w całości z dwutlenku węgla. Planeta ta ma dwukrotnie mniejsze rozmiary i dziesięciokrotnie mniejszą masę niż Ziemia. Wokół niej krążą dwa małe księżyce o nieregularnych kształtach: Deimos, który ma 15 km długości i Phobos, który ma 27 km długości. Mars swój przydomek Czerwona Planeta zawdzięcza wysokiej zawartości tlenków żelaza, które nadają skałom skorupy rdzawą barwę. W ciągu doby temperatura na jego powierzchni waha się od niemal –100°C w nocy do 30°C w południe. Wyżłobienia przypominające koryta rzeczne wskazują, że na Marsie płynęła niegdyś woda. W okolicach biegunów planety odkryto czapy lodowe. W krajobrazie Marsa dominują gigantycznych

rozmiarów wulkany, które są najwyższe w całym Układzie Słonecznym, a także kaniony i kratery [7].

Wiele razy NASA podejmowała temat życia na Marsie, szukając śladów marsjańskiego życia. Kilka misji Lander wysłano w celu przekonania się, czy na Marsie było kiedyś życie pod jakąkolwiek postacią i czy nawet obecnie nie kryje w swej glebie mikroskopijnych organizmów żywych [2, s. 94]. Ostatnie badania NASA potwierdziły możliwość istnienia życia na Marsie. Na Czerwonej Planecie wykryto wodę, która – jak wiemy – jest jednym z ważniejszych czynników rozwoju życia. Na razie są to bardzo niewielkie pokłady wody o niskim stopniu zanieczyszczenia, co zwiększa szansę na kolonizację tej planety. Jak mówi Shane Byrne z należącego do NASA Laboratorium Napędu Odrzutowego, astronauci mogliby po prostu wyjść z bazy z łopatą i wiadrem i nabrać tyle wody, ile potrzebują. Źródła wody odkryto dzięki pracy satelity badawczego MRO (*Mars Reconnaissance Orbiter* – JPL). Woda w postaci lodu znajduje się na Marsie pod kilkumetrową warstwą skał i pyłu. Najważniejsze jest jednak to, gdzie ją odnaleziono. Pokłady lodu rozmieszczone są od 55 do 58 stopnia szerokości geograficznej planety na południowej półkuli. To oznacza, że ludzie budujący tam osiedla nie byliby skazani na dalekie i niebezpieczne podróże na bieguny w poszukiwaniu zapasów wody. Obecnie śnieg i lód na powierzchni Marsa występują tylko na dalekiej północy i południu. Jest to spowodowane zmianami

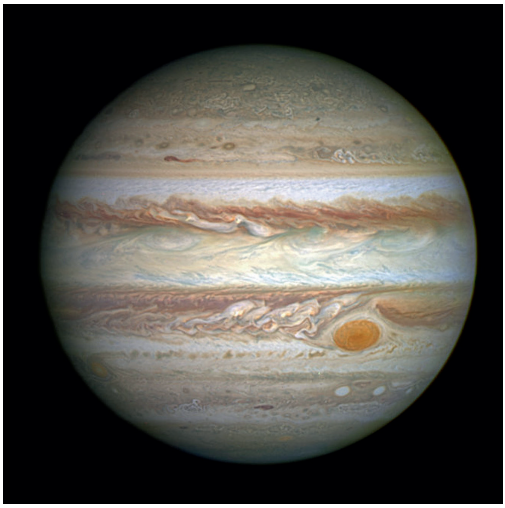


Rys. 1. Ślady wody na Marsie

Źródło: https://www.focus.pl/galeria/nasa-jest-woda-na-marsie/te-smugi-sa-najpewniej-efektem.

klimatycznymi wywołanymi przez zmiany osi obrotu planety. Obserwując powierzchnię i budowę Marsa, naukowcy starają się odtworzyć przebieg ewolucji jego klimatu. Badanie opublikowane w piśmie *Science* będzie pomocne dla tych, którzy planują załogowe misje na Czerwoną Planetę. Ze względu na trudności i olbrzymi koszt transportowania zasobów, każdy surowiec dostępny na miejscu jest bezcenny [5].

Kolejną planetą, której nie można pominąć w tych rozważaniach, jest gigantyczny Jowisz. Dość nieprzychylna wydaje się temperatura na tej planecie, która waha się od –145 do –137°C. Oddziaływanie Jowisza sięga 650 milionów km. Przyciągając komety i planetoidy, chroni m.in. Ziemię przed zderzeniem z nimi. Dlatego Jowisz jest nazywany łowcą księżyców. Jego największym księżycem jest Ganimedes. Posiada on także własne pole magnetyczne. Tego odkrycia naukowcom z NASA dostarczył teleskop Hubble'a. Pod powierzchnią Ganimedesa znajduje się słony akwen, którego głębokość wynosi 100 km. Jest to potencjalne miejsce do istnienia i podtrzymania życia. Dalsze badania oceanu będą głównym celem robota Juice Europejskiej Agencji Kosmicznej, który przybędzie na Ganimedesa w 2030 roku [8].

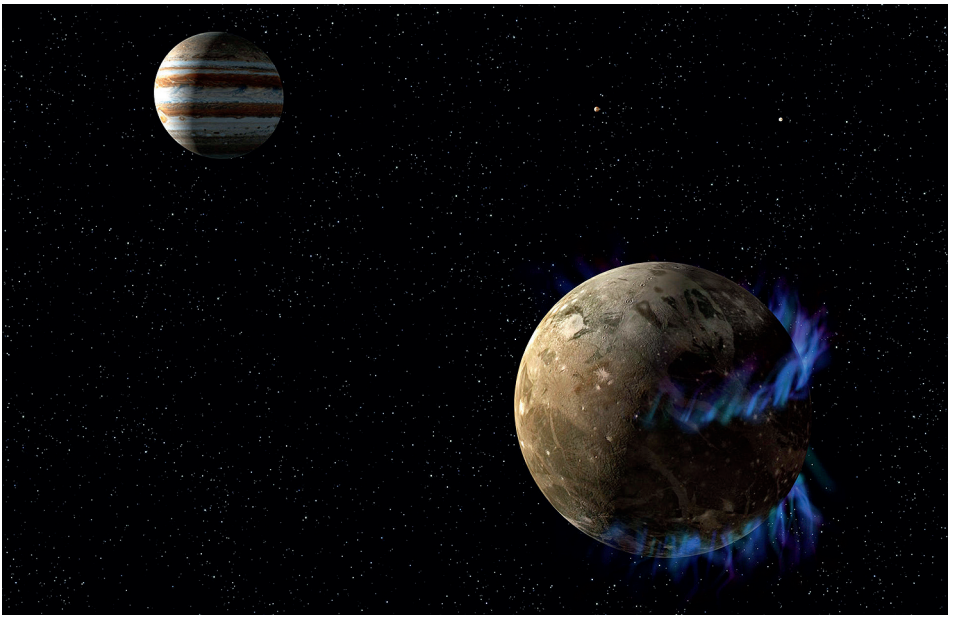


Rys. 2. Jowisz

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Jowisz.

Kolejnym ciałem niebieskim, które może być sprzyjającym miejscem w Układzie Słonecznym, jeśli chodzi o warunki istnienia życia, jest Europa – również księżyc Jowisza. Układ smug ciągnących się poprzez pokrytą lodem powierzchnię Europy przypomina wzór tworzący się na powierzchni zamarzniętych mórz ziemskich [2, s. 187].

Sonda należąca do NASA zarejestrowała na Europie duży obłok pary wodnej, który wystrzelił spod lodowej warstwy i dotarł na wysokość około 100 km. Wzmacnia to nadzieję wśród poszukiwaczy życia w Kosmosie, którą rozbudził już w 1610 roku Galileusz – pionier astronomii, który jako pierwszy odkrył ten księżyc i stwierdził, że są duże szanse, by znaleźć tam coś lub kogoś. W 2020



Rys. 3. Ganimedes – jeden z księżyców Jowisza

Źródło: https://www.focus.pl/artykul/hubble-namierzyl-ocean-na-ksiezycu-jowisza.

roku ma wyruszyć kolejna misja NASA w tym kierunku. Europa Clipper będzie szukał odpowiedzi na pytanie, czy na owym księżycu może przetrwać życie [3].

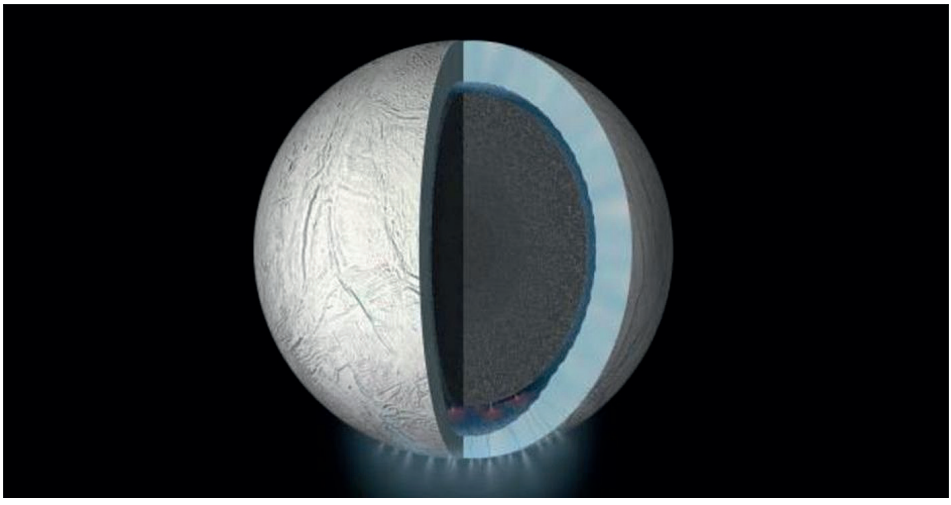
Szóstą z kolei planetą Układu Słonecznego jest Saturn. Jest to jedyna planeta, która posiada tak dobrze rozwinięte pierścienie. Składem i budową niewiele różni się od Jowisza. Atmosfera „władcy pierścieni" składa się głównie z wodoru i niewielkiej ilości helu. Temperatura przy powierzchni planety wynosi około –139°C. Swój żółty kolor zawdzięcza obecności śladowych ilości siarki. Saturn ma dziewięćdziesiąt pięć razy większą masę od Ziemi, a pomimo to jego gęstość jest wielokrotnie mniejsza. Ponad 100 tys. pierścieni zbudowanych głównie z okruchów lodu rozciąga się w odległości od 7 tys. do 420 tys. km od powierzchni planety. Pomimo istnienia pierścieni ogromnej średnicy, nie przekraczają one grubości 10 m. Istnieją przypuszczenia, że pierścienie powstały na skutek rozpadu dużego, zasobnego w lód księżyca. Niewielkie ilości pierwiastków dają im różne kolory. Podobnie jak Jowisz, Saturn posiada liczne księżyce. Największy, Tytan, ma nawet własną atmosferę złożoną, podobnie jak ziemska, głównie z azotu.

Niedawne badania potwierdziły także możliwość istnienia życia na Enceladusie, jednym z księżyców Saturna. Jest to księżyc lodowy. Na początku misji

Rys. 4. Europa – księżyc Jowisza

Źródło: https://www.focus.pl/artykul/tu-mozemy-odnalezc-zycie-w-kosmosie-ksiezyc-jowisza-pokazal-co-potrafi-180515020830.

sondy Cassini odkryto, że Enceladus jest aktywny geologicznie, oraz zaobserwowano fontanny lodu, pary wodnej i związków organicznych rozprzestrzenia-



Rys. 5. Wnętrze Enceladusa

Źródło: https://www.focus.pl/artykul/sonda-cassini-zanurkuje-w-gejzerach-lodowego-ksiezyca-saturna.

jących się nad biegunem południowym. Później ustalono, że pod powierzchnią znajduje się globalny ocean. Obecnie wiadomo, że na jego dnie występuje aktywność hydrotermalna, o czym świadczy obecność gazowego wodoru. To z kolei oznacza, że w oceanie Enceladusa występują składniki potrzebne do istnienia prostych form życia: podobnych do ziemskich bakterii spotykanych w pobliżu kominów hydrotermalnych [12].

Pomimo że Neptun jest ostatnią planetą Układu Słonecznego, nie oznacza to, że dalej rozciąga się próżnia. W przestrzeni kosmicznej krąży wiele obiektów, które dopiero odkrywamy. Na krańcach naszej Galaktyki znajduje się Pas Kuipera, gdzie mieści się Pluton, niegdyś uznawany za planetę. Obecnie jest to kwestia sporna, Pluton uznaje się za planetę karłowatą. Jest on zbudowany z mieszaniny skał i lodu pokrytej skorupą zmrożonego azotu, metanu i wody [16, s. 28]. Najnowsze zdjęcia nadesłane przez amerykańską sondę New Horizons ujawniają rozległe warstwy mgły w atmosferze karłowatej planety i „rzeki" azotowego lodu. Zdaniem naukowców może to oznaczać, że pod powierzchnią Plutona znajduje się ocean. „Lodowe rzeki", których obecność potwierdziły najnowsze zdjęcia, są według badaczy dość młode. Ich wiek oceniono na kilkadziesiąt milionów lat. Temperatura na Plutonie jest bardzo niska i wynosi –229°C. Nie jest to jednak żadną przeszkodą dla lodu azotowego, który w tych warunkach zachowuje się mniej więcej tak, jak lodowce na Ziemi [10].

Rys. 6. Podświetlona Słońcem atmosfera Plutona

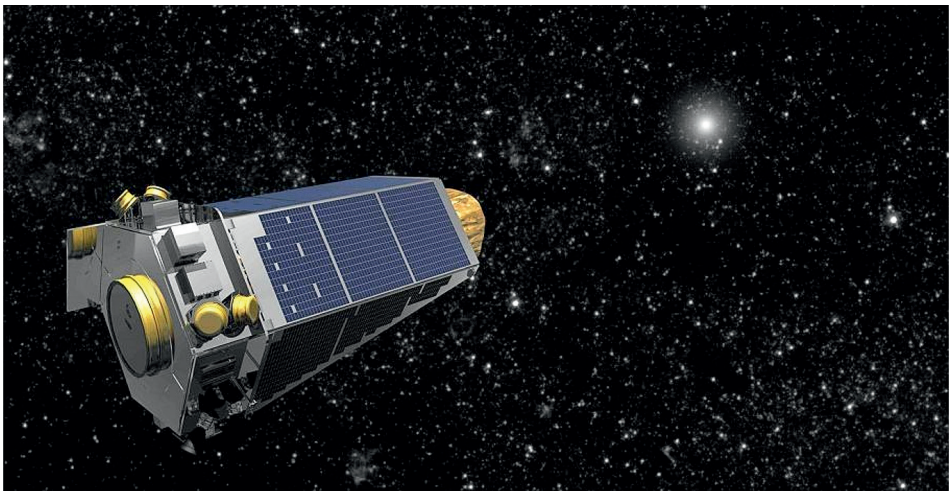
Źródło: https://www.focus.pl/artykul/nasa-azotowe-lodowce-na-plutonie.

Nasze poszukiwania życia we Wszechświecie są motorem poszukiwań egzoplanet; niektóre z nich przypominają Ziemię, oczywiście nie w szczegółach, lecz pod względem ogólnej charakterystyki. Najnowsze szacowania, dokonane metodą ekstrapolacji na podstawie aktualnych katalogów egzoplanet, wskazują, że w Drodze Mlecznej jest czterdzieści miliardów planet podobnych do Ziemi.

Około 40 lat świetlnych od Układu Słonecznego odkryto siedem egzoplanet, które należą do gwiazdy TRAPPIST-1. To bardzo zimny czerwony karzeł, a orbitujące wokół niego planety mogą mieć temperatury na tyle niskie, by dać odpowiednie warunki do występowania wody w stanie ciekłym. To zaś otwiera drogę do marzeń o tym, by gdzieś tam odnaleźć ślady życia. Planety mają rozmiary Ziemi i Wenus lub są nieco mniejsze, przynajmniej sześć jest skalistych. To niezwykły system planetarny, nie tylko dlatego, że odkryliśmy w nim tak wiele planet, ale dlatego, że są one tak zaskakująco podobne do Ziemi – podkreśla kierujący grupą badawczą Michaël Gillon z belgijskiego University of Liège. Metodą tranzytów odkryto istnienie trzech planet wielkości Ziemi, co ogłoszono w maju 2016 r. W dzisiejszych czasach naukowcy dokładają wszelkich starań, aby potwierdzić swoje teorie bądź przypuszczenia. W tym celu wykorzystują najnowocześniejsze sprzęty. Jedną z takich maszyn jest Kepler. „Teleskop Keplera to pierwszy teleskop do wykrywania małych skalistych planet w strefie swoich gwiazd nadającej się do zamieszkania – powiedział Paul Hertz, dyrektor Astrophysics Division w NASA. – Dzięki Keplerowi wiemy, że egzoplanety są powszechne, a większość gwiazd w naszej Galaktyce posiada systemy planetarne, które potencjalnie nadają się do zamieszkania planety. Wiedza ta to pierwszy krok do rozwiązania, czy jesteśmy sami we Wszechświecie" [9]. Teleskop ten odkrył 1284 planety; dziewięć z nich znajduje się na orbitach w takiej odległości od swoich gwiazd, która daje nadzieję na istnienie na nich wody, a prawie 550 to planety skaliste w rozmiarze podobnym do Ziemi. Od początku misji w 2009 roku teleskop Keplera obejrzał ponad 150 tys. gwiazd w jednej części nieba w celu wychwycenia egzoplanet, mierząc niemal niezauważalne odchylenia w jasności gwiazd, które mogły być spowodowane przesuwaniem się przed ich powierzchnią planet. Celem misji było sprawdzenie, czy istnieje w Kosmosie więcej planet podobnych do Ziemi lub takich, na których możliwe jest życie dzięki obecności wody.

Aby sprawdzić, czy odkryte obiekty można zakwalifikować jako planety, naukowcy poddali dogłębnej analizie statycznej każdy z nich, często przy użyciu

teleskopów naziemnych lub ustalając prędkość radialną służącą do określenia masy obiektu. „Kandydatów na planety można traktować jak bułkę tartą" – powiedział Timothy Morton, naukowiec na Uniwersytecie Princeton w stanie New Jersey i główny autor pracy naukowej opublikowanej w *The Astrophysical Journal*. „Jeśli spadnie kilka dużych okruszków na podłogę, można je zebrać jeden po drugim. Ale jeśli wysypie się cały worek drobnych okruchów, będzie potrzebna miotła" [6].



Rys. 7. Teleskop Keplera

Źródło: https://www.tvp.info/25281095/teleskop-kepler-zaskoczyl-naukowcow-odkryl-ponad-1200-nowych-planet.

Coraz więcej jest też badań innych rodzajów ciał niebieskich, m.in. meteorytów, komet.

Naukowcy odkryli w warkoczu komety Lovejoy 21 różne cząstki organiczne, wśród nich alkohol etylowy i cukier prosty. Odkrycie jest potwierdzeniem hipotezy, według której to komety były źródłem złożonych cząstek organicznych niezbędnych do powstania życia na Ziemi. Daje nam to kolejną nadzieję, która wielu ludzi z pewnością mogłaby przyprawić o radość, na rozwój życia poza Ziemią. Kometa wypuszcza mniej więcej tyle alkoholu, że można by nim wypełniać ok. 500 butelek co sekundę! Jest to pierwszy przypadek w historii, gdy alkohol etylowy, ten sam, który jest składnikiem alkoholowych drinków, odnaleziono na powierzchni komety. Odkrycia dokonali naukowcy z Institut de Radioastro-

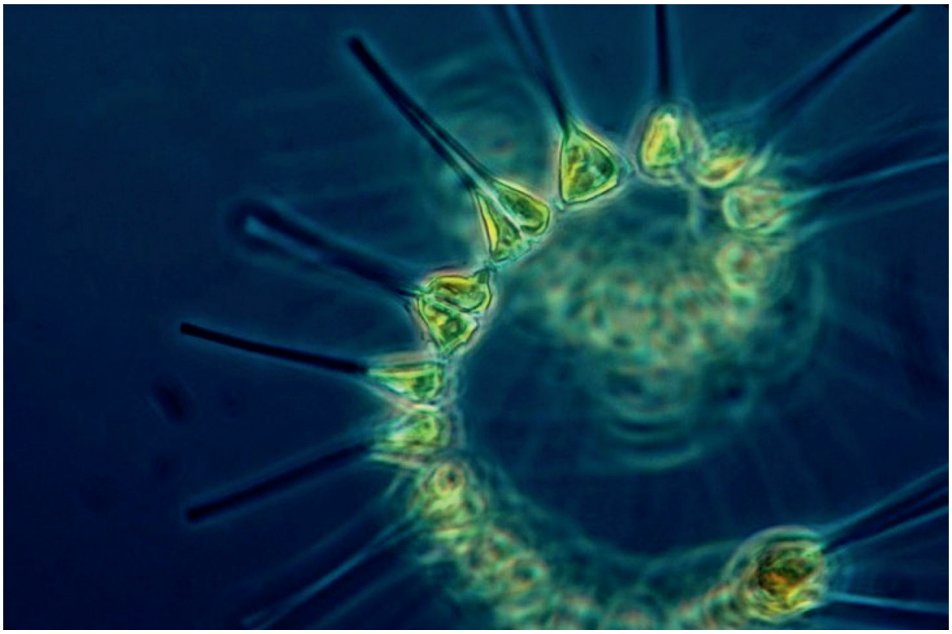
nomie Millimetrique, którzy wykorzystali 30-metrowy teleskop zlokalizowany w górach Sierra Nevada w Hiszpanii.

Rys. 8. Kometa Lovejoy

Źródło: https://www.focus.pl/artykul/kometa-lovejoy-z-cukrem-i-morzem-alkoholu.

Zagadkę o możliwości istnienia pozaziemskich organizmów żywych potęgują organizmy niesporczaki *Tardigrades*. Jest to rodzaj morskiego planktonu, który został odkryty podczas kosmicznego spaceru. Naukowcy nie są w stanie dokładnie określić, jak się tam znalazły, ale część z nich uważa, że za sprawą unoszących się prądów powietrznych. Jeżeli organizm utrzymał się przy życiu, oznacza to, że mogą istnieć ku temu odpowiednie warunki. Organizmy te są tysiąc razy bardziej odporne na promieniowanie jonizujące niż jakikolwiek inny znany nam organizm. Potrafią przetrwać w temperaturach od prawie zera bezwzględnego do blisko 150 °C, znoszą ciśnienie 6 tys. atmosfer i bez wody mogą obejść się nawet 100 lat. Ponadto potrafią się rozmnażać bez udziału samca [15].

Ostatnie badania wykazały, że w przyszłości może nastąpić kolonizacja planety Mars – najbardziej przystosowanego obiektu do życia we Wszechświecie. Jest on najbardziej podobny do Ziemi, a co najważniejsze, temperatura i ślady wody występującej w stanie ciekłym sprzyjają rozwojowi życia.



Rys. 9. *Tardigrades*

Źródło: https://www.google.pl/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwifwNHN5rjdAhXBjiwKHU1vCT0QjB16BAgBEAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.robertdee.pl%2Fznaleziono-zywy-organizm-w-przestrzeni-kosmicznej%2F&psig=AOvVaw1FQakvNsrEjZDRliG4d9Y2&ust=1536956315939609.

W 2020 roku zostanie wysłany na Marsa łazik, który będzie szukał śladów życia na tej planecie, ale jego dodatkową funkcją będzie zbieranie skał, które następnie zostaną zbadane na Ziemi. „Misja marsjańska 2020 nie zakłada, że życie kiedykolwiek istniało na Marsie – mówi Jack Mustard, profesor z Uniwersytetu Brown. – Jednak biorąc pod uwagę osiągnięcia misji Curiosity, obecność życia na Marsie wydaje się prawdopodobna. Niezależnie od tego, jakie efekty przyniesie misja, możemy dokonać znacznego postępu w zrozumieniu pierwotnych warunków życia na Ziemi i możliwości życia na innych planetach" [7].

Podsumowując: nie można założyć, że życie pozaziemskie na pewno nie istnieje, ani też że na pewno istnieje. Mamy w tej dziedzinie wiedzy ogromną lukę. Naukowcy dokładają wszelkich starań, aby to się zmieniło. Obiekt badań, Wszechświat, jest ogromny i wciąż się rozszerza. Pole do badań jest imponujące i nieprzeniknione. Co wydarzy się za kilka lat? Jak będzie wyglądał nasz Wszech-

świat? Może dojdzie do odkrycia nowych organizmów? Może warto zagłębić się i poszukać odpowiedzi na nurtujące nas pytania? Wszechświat jest tajemniczy i nieprzewidywalny; z pewnością warto poświęcić mu uwagę.

Bibliografia

1. ACHENBACH Joel, *Dlaczego jeszcze tu nie przylecieli? A może jesteśmy zupełnie sami? Poszukiwania życia w kosmosie* [w:] „National Geographic" [dokument elektroniczny], 2018. Tryb dostępu: http://www.national-geographic.pl/national-geographic/kosmos/zycie-pozaziemskie. Stan z 24.04.2018 r.
2. DUNCAN John, *Gwiazdy i planety. Przewodnik kieszonkowy*. Parragon Books, Bath 2007. ISBN 978-1-4075-0233-5.
3. GRYGIEL Błażej, *Tu możemy odnaleźć życie w kosmosie. Księżyc Jowisza pokazał, co potrafi* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2018. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/tu-mozemy-odnalezc-zycie-w-kosmosie-ksiezyc-jowisza-pokazal-co-potrafi-180515020830. Stan z 15.05.2018 r.
4. LUBKA Mariusz, *Kosmos. Poznaj jego sekrety i tajemnice.* Damidos, Warszawa 2013. ISBN 978-83-7887-586-4.
5. Redakcja Focus.pl. *Curiosity znalazł wodę na Marsie* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2013. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/curiosity-znalazl-wode-na-marsie. Stan z 27.09.2013 r.
6. Redakcja Focus.pl. *Kosmiczna sensacja: tu będziemy szukać życia! 7 nowych egzoplanet w jednym układzie* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2017. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/kosmiczna-sensacja-tu-bdziemy-szuka-ycia-7-nowych-egzoplanet-w-jednym-ukadzie. Stan z 23.02.2017 r.
7. Redakcja Focus.pl. *Nowy łazik poszuka śladów życia na Marsie* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2013. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/nowy-lazik-poszuka-sladow-zycia-na-marsie. Stan z 10.07.2013 r.
8. Redakcja NASA. *Hubble namierzył ocean na księżycu Jowisza* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2015. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/hubble-namierzyl-ocean-na-ksiezycu-jowisza. Stan z 13.03.2015 r.
9. Redakcja NASA. *Kosmiczny Teleskop Keplera odkrył 1284 nowe planety!* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.focus.

pl/artykul/1284-nowe-planety-kosmiczny-teleskop-keplera-odkryl-1284-nowe-planety. Stan z 27.07.2015 r.
10. Redakcja NASA. *Lodowe azotowce na Plutonie?* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2015. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/nasa-azotowe-lodowce-na-plutonie. Stan z 27.07.2015 r.
11. Redakcja NASA. *Naukowcy z NASA odkryli, że w warkoczu komety C/2011 W3, znanej jako Lovejoy znajduje się m.in. alkohol etylowy* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2015. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/kometa-lovejoy-z-cukrem-i-morzem-alkoholu. Stan z 26.10.2015 r.
12. Redakcja PAP. *Sonda Cassini zanurkuje w gejzerach lodowego księżyca Saturna* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2015. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/sonda-cassini-zanurkuje-w-gejzerach-lodowego-ksiezyca-saturna. Stan z 27.10.2015 r.
13. Redakcja Polskie Radio. *Rosyjski miliarder chce szukać życia w kosmosie* [w:] *Focus.pl* [dokument elektroniczny] 2015. Tryb dostępu: https://www.focus.pl/artykul/rosyjski-miliarder-chce-szukac-zycia-w-kosmosie. Stan z 21.07.2015 r.
14. RILEY Peter, *Układ Słoneczny*. RTW, Warszawa 1996. ISBN 83-86822-48.
15. SZOZDA Andrzej, *Niesporczaki w kosmosie* [w:] *PolskieRadio.pl* [dokument elektroniczny] 2009. Tryb dostępu: https://www.polskieradio.pl/23/266/Artykul/189137,Niesporczaki-w-kosmosie. Stan z 14.10.2009 r.
16. TYSON Neil de Grasse, *Astrofizyka dla zabieganych*. Insignis Media, Kraków 2017. ISBN 978-83-65743-53-4.
17. WILLIAMS Brian, *Kosmos*. Wyd. 2. SBM, Warszawa 2010. ISBN 978-83-7632-177-6.
18. *Życie* [w:] *Wikipedia.pl* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/%C5%BBycie. Stan z 27.10.2015 r.

Piotr Winiarz[1]

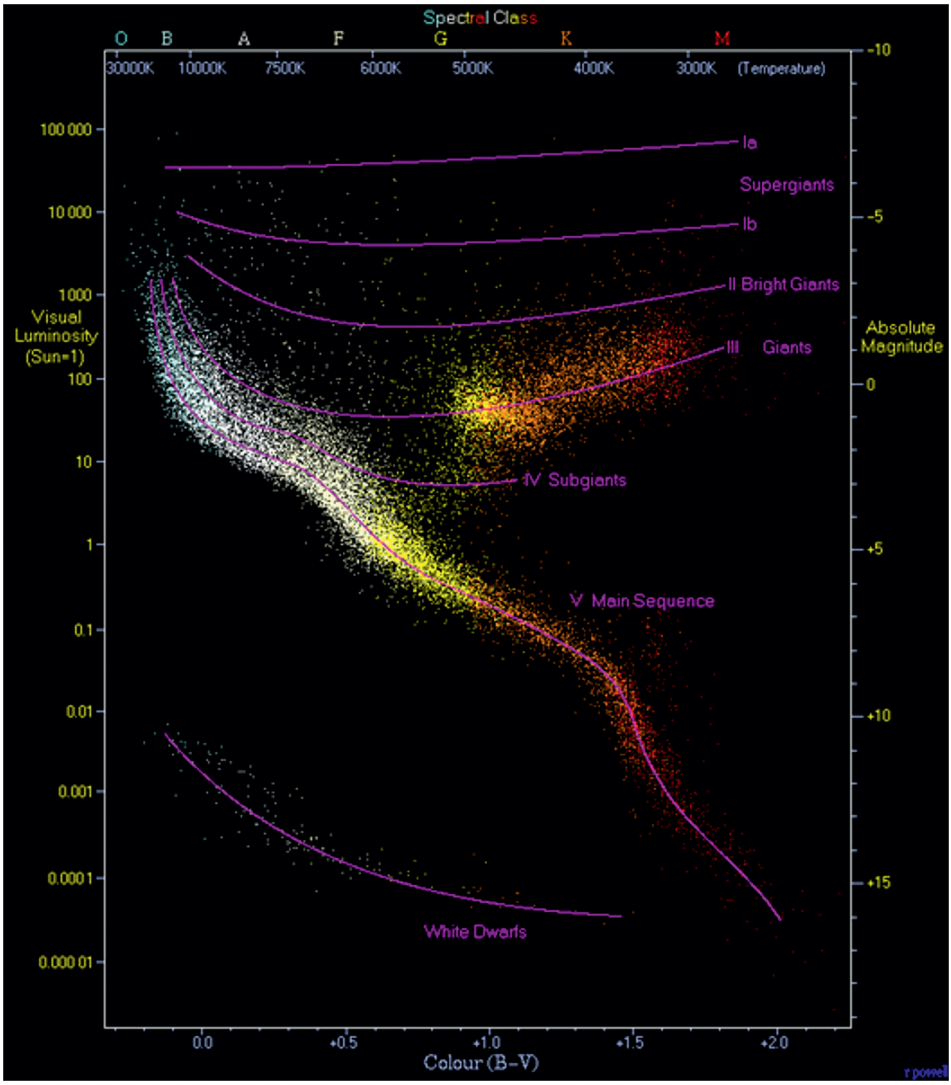
Wszechświat jak szarlotka

Jeśli chcesz stworzyć szarlotkę od podstaw, musisz wpierw stworzyć Wszechświat[2] – powiedział kiedyś Carl Sagan. Był on wybitnym profesorem astronomii i nauk kosmicznych oraz pionierem w dziedzinie egzobiologii. Miał olbrzymi wpływ na rozwój NASA (ang. *National Aeronautics and Space Administration*), której był doradcą chociażby w sprawach lotu na Księżyc. Jako naukowiec rozwiązał wiele zagadek, takich jak wysoka temperatura na planecie Wenus, okresowe zmiany na Marsie lub czerwone mgły na Tytanie (największy księżyc Saturna) [1]. Jako jeden z najlepszych popularyzatorów nauki XX wieku był współautorem trzynastoczęściowej serii programów *Cosmos: A Personal Voyage*, w której mówił widzom o potencjalnym życiu pozaziemskim i zabierał ich w kosmiczną podróż, opowiadając o planetach i gwiazdach. Zainspirowany obcymi cywilizacjami, które według niego na pewno istnieją, wspierał inicjatywę SETI (ang. *Search for Extraterrestrial Intelligence*). Niewątpliwie więc C. Sagan nie tylko przyczynił się do rozwoju nauki, ale również zaszczepił w nas chęć poznania Wszechświata.

O co tak naprawdę chodziło Saganowi w jego pięknej frazie o szarlotce? Zaczynając jakikolwiek projekt, mały lub duży, potrzebujemy zdobyć coś lub dostać coś od kogoś. I tak na ciasto potrzebna jest mąka, ale jeśli chcemy mieć mąkę, to musimy mieć pszenicę. Mało tego, nie obejdziemy się też bez sprzętu do mielenia i oddzielania ziarna, więc musimy mieć również farmę, a na niej żyzną glebę. Najlepiej jakby była bogata w minerały, np. żelazo. A skąd się bierze żelazo? Z gwiazdy, która wyprodukowała żelazo z innych lekkich pierwiastków, a żeby stworzyć gwiazdę… Kontekst wypowiedzi jest oczywisty, a my nie zdajemy sobie sprawy z tego, jak skomplikowane są proste rzeczy, które nas na co

[1] Mgr inż. Piotr Winiarz, Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej, Politechnika Gdańska.

[2] W oryginale: *If you wish to make an apple pie from scratch, you must first invent the universe.*



Rys. 1. Diagram Hertzsprunga-Russela

Źródło: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HRDiagram.png.

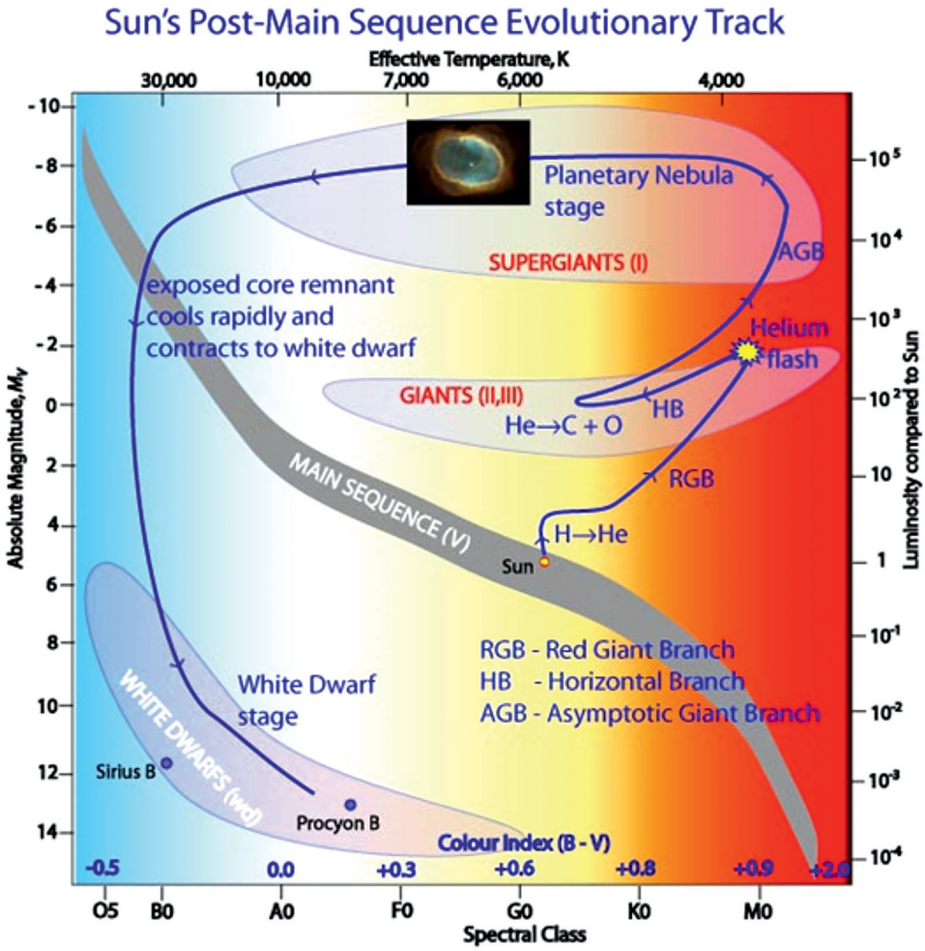
dzień otaczają. Pieczenie szarlotki wymaga nie lada wprawy, ponieważ muszą być dobrane idealne proporcje mąki, cukru, proszku do pieczenia. Jabłka nie mogą być za słodkie ani za kwaśne, muszą być dobrze pokrojone. Forma do pieczenia również ma znaczenie, nie mówiąc już o nastawieniu odpowiedniej temperatury piekarnika i czasu. Dlatego też najprawdopodobniej Sagan chciał

podkreślić istotę prostych rzeczy, nie zapominając o tym, że wszystkie mają swój początek tam nad nami, w gwiazdach, we Wszechświecie.

Obserwując nocne niebo, spoglądając w górę, widzimy miliony gwiazd. Dwóch astronomów, Ejnar Hertzsprung i Henry Russel, zastanawiało się nad uporządkowaniem i sklasyfikowaniem gwiazd. Ich celem było przypisanie jakichś konkretnych, mierzalnych i fizycznych parametrów w zależności od np. temperatury gwiazdy. Ku olbrzymiemu zaskoczeniu, pomyślne zestawienie utworzyło piękny „obraz" nazwany diagramem Hertzsprunga-Russela. Z perspektywy matematyki jest to wykres punktowy z czterema osiami: dwie osie X i dwie osie Y (rys. 1).

Co ciekawe, na diagramie wyróżnia się kilka głównych skupisk gwiazd. Najważniejszy i najobszerniejszy jest tzw. ciąg główny, który rozmieszczony jest niemal po przekątnej całego wykresu. Chłodniejsze i jasne gwiazdy znane są jako czerwone olbrzymy, te jaśniejsze można przypisać do gwiazd Wolfa Rayeta. Gorące, ale ciemne gwiazdy zaliczamy do tzw. białych karłów. Białe karły są niezwykłe, ponieważ ich materia jest tak bardzo gęsta, że kostka materii o wielkości 1 cm x 1 cm x 1 cm waży mniej więcej tyle, co miliard opancerzonych czołgów bojowych! Warto podkreślić, że diagram H-R jest również narzędziem do śledzenia ewolucji danej gwiazdy. Na przykładzie naszego Słońca – obecnie znajduje się ono w „centrum" ciągu głównego, ponieważ jego temperatura na powierzchni osiąga ponad 6000°C, co przypisuje się klasie widmowej G2. Dla wygody skalę jasności na diagramie ustalono tak, aby odnosić jasność gwiazd względem Słońca, dzięki czemu na skali jasności Słońce osiąga wartość 1 (co odpowiada absolutnej wielkości gwiazdowej $4{,}83^{m}$ na drugiej osi pionowej). Słońce w wyniku wypromieniowywania olbrzymich ilości energii w ciągu każdej sekundy traci swoją masę. Znając wartość mocy promieniowania emitowanego przez Słońce, ubytek masy $\Delta\Delta m$ można wyliczyć ze słynnej relacji równoważności masy i energii: $\Delta\Delta E=\Delta\Delta mc^2$. Podstawiając wartości, otrzymujemy ponad miliard kilogramów – tyle Słońce traci na wadze co sekundę! W związku z ubytkiem spalanego paliwa, czyli wodoru, Słońce zacznie spalać hel. Gdy hel jako spalane paliwo będzie się kończył, spadnie ciśnienie promieniowania, a Słońce zacznie się ochładzać. Korzystając z równania Clapeyrona, gdzie $pV=nRT$, widać, że równość zostanie zachowana, gdy również objętość będzie malała. Zgodnie z tym Słońce zacznie się kurczyć. Kurczenie się jądra gwiazdy spowoduje spalanie wodoru w powłoce i spalanie helu w jądrze. Ogromna ilość wypromieniowanej energii zjonizuje powłokę gwiazdy, powodując świecący

obłok. Następnie w ciągu około 100 lat (na skali czasu życia gwiazd jest to mniej więcej tyle czasu, co dla nas pstryknięcie palcem) Słońce wypromieniuje około 90% energii i skończy swoją ewolucję, stając się białym karłem. Schematycznie ścieżkę rozwoju na diagramie H-R zobrazowano na rys. 2.

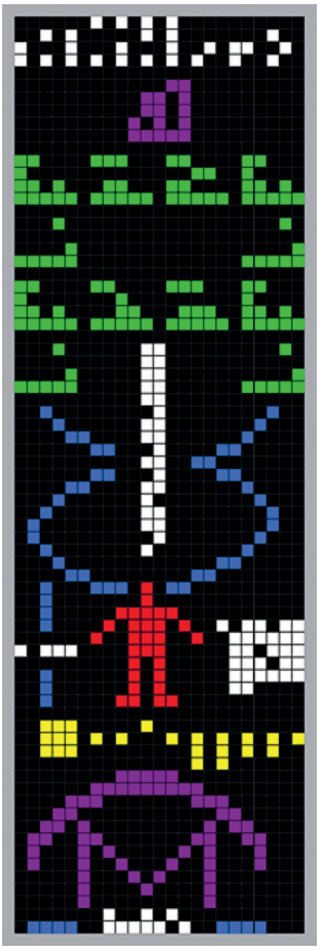


Rys. 2. Ewolucja Słońca

Źródło: https://www.atnf.csiro.au/outreach//education/senior/astrophysics/stellarevolution_deathlow.html.

Obecnie największą znaną gwiazdą we Wszechświecie jest UY Scuti. Ciężko sobie wyobrazić jej rozmiary, więc można skorzystać z dobrego porównania. Gdyby Ziemia była kulą o średnicy 20 cm, Słońce miałoby 22,25 m średnicy (wy-

sokość siedmiopiętrowego budynku), a rozmiary UY Scuti przekroczyłyby 38 km. Dysponując najszybszym samochodem na Ziemi (produkowanym na skalę masową), potrzebowalibyśmy około 1013 lat na okrążenie UY Scuti po obwodzie! Ale skoro na niebie jest tak dużo gwiazd, to gdzie są ONI? Gdzie są obce cywilizacje? Życie pozaziemskie? W poszukiwaniu odpowiedzi na to pytanie w roku 1974 wysłano z Ziemi wiadomość *Arecibo* radioteleskopem w miejscowości o tej samej nazwie w północnej części Portoryko nad Atlantykiem. Sygnał nadawano przez 3 minuty z nadzieją, że dotrze kiedyś do kogoś, kto będzie w stanie ją odczytać, zrozumieć i – oby – odpowiedzieć. Zaszyfrowaną wiadomość można przedstawić graficznie (rys. 3). Są na niej charakterystyczne i podstawowe informacje o nas, o naszej cywilizacji. Kolejno od góry: liczby od 1 do 10 zapisane w systemie binarnym; podstawowe pierwiastki organiczne (ich liczby atomowe zapisane binarnie): wodór, węgiel, azot, tlen i fosfor; nukleotydy, tj. deoksyryboza, adenina, tymina, fosforan, cytozyna i guanina; struktura DNA; człowiek i liczba mieszkańców Ziemi w zapisie binarnym; Układ Słoneczny (co ciekawe, wówczas Pluton był zaliczany do planet naszego Układu, więc widać Słońce i 9 żółtych planet); radioteleskop. Jak daleko ta wiadomość już doleciała? Od jej wysłania minęły już 44 lata, a sygnał przemieszcza się w przestrzeni z prędkością światła, więc pokonał drogę 44 lat świetlnych (co daje około miliarda miliardów km). W skali Wszechświata jest to tyle co nic, ponieważ średnica Drogi Mlecznej to około 100 tys. lat świetlnych, a rozmiary obserwowalnego Wszechświata to około 93 miliardów lat świetlnych.



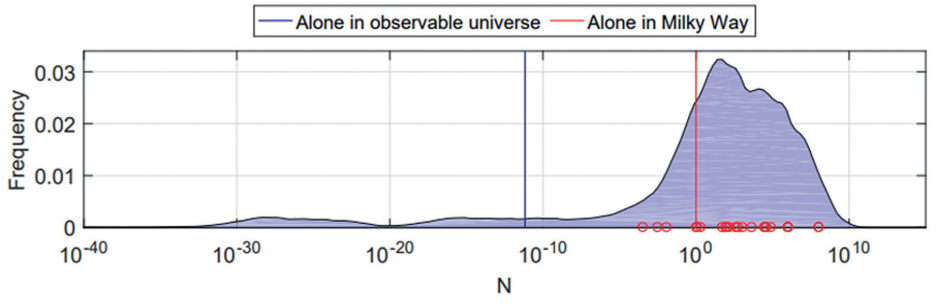
Rys. 3. Graficzna reprezentacja wiadomości *Arecibo*

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Wiadomo%C5%9B%C4%87_Arecibo#/media/File:Arecibo_message.svg.

Frank Drake, twórca wiadomości *Arecibo*, wybitny astronom i astrofizyk oraz założyciel SETI, zaproponował więc równanie (nazwane równaniem Drake'a), które pozwala na oszacowanie liczby cywilizacji pozaziemskich, z którymi możemy się skontaktować. Liczba tych cywilizacji N jest iloczynem 7 czynników, są to kolejno: szybkość tworzenia gwiazd w ciągu roku, jaki odsetek z nich to gwiazdy z planetami, ułamek planet „zamieszkiwalnych" (ziemiopodobnych), na ilu z nich może być życie, jaki odsetek z nich stanowi życie inteligentne, ułamek tych planet, z którymi można nawiązać rzeczywisty kontakt, długość życia planet w latach.

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

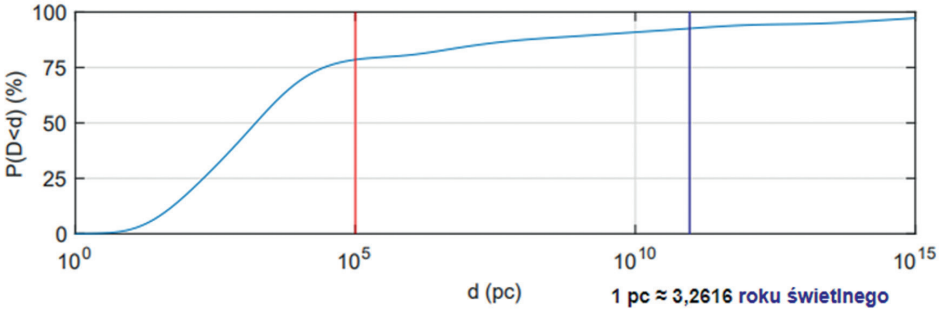
Osoby sceptyczne mogą powiedzieć, że podstawiając wartości liczbowe, mamy dwa skrajne rozwiązania, tj. $N \approx L$ lub $N \approx 1$, w zależności od naszego optymizmu lub pesymizmu. Ponadto rozrzut może sięgać nawet 8 rzędów wielkości. Z jednej strony to prawda, chociaż od strony naukowej wygląda to bardziej imponująco. Autorzy artykułu *Dissolving the Fermi Paradox* zastosowali metodę modelowania Monte Carlo, aby rozwiązać to równanie numerycznie [2]. Co ciekawe, przy podaniu warunków brzegowych i określeniu parametrów z dobrą dokładnością symulacje pokazały, że jest większe prawdopodobieństwo na to, że NIE jesteśmy sami, niż że jesteśmy sami we Wszechświecie (rys. 4).



Rys. 4. Wynik symulacji N otrzymany metodą Monte Carlo

Źródło: SANDBERG Anders, DREXLER Eric, ORD Toby, Dissolving *the Fermi Paradox. Proceedings of the Royal Society of London A*. Czerwiec 2018. Tryb dostępu: arXiv:1806.02404v1 [physics.pop-ph].

Znając wartość N, można zastosować prawdopodobieństwo warunkowe i policzyć, jak daleko są obce cywilizacje. Rysunek 5 przedstawia tę zależność, która szacuje, że z 50% prawdopodobieństwem istnieje inteligentna cywilizacja w odległości 1 tys. parseków od nas. Czy 50% to dużo? Najważniejsze jest to, że jest to prawdopodobieństwo niezerowe.



Rys. 5 Prawdopodobieństwo napotkania innych cywilizacji w funkcji odległości od Ziemi
Źródło: SANDBERG Anders, DREXLER Eric, ORD Toby, *Dissolving the Fermi Paradox. Proceedings of the Royal Society of London A.* [dokument elektroniczny]. Czerwiec 2018. Tryb dostępu: arXiv:1806.02404v1 [physics.pop-ph]. Stan z 12.10.2018 r.

Obecnie naukowcy z SETI pracują nad rozwiązaniem równania Drake'a w taki sposób, aby jak najbardziej zmniejszyć niepewności pomiarowe. Przypatrując się każdemu składnikowi równania, zastanawiają się, jak np. uzależnić liczbę gwiazd „ziemiopodobnych" np. od ich gęstości, atmosfery, składu i innych parametrów. Co ciekawe, rezultaty są coraz bardziej dokładne i interesujące. Jesteśmy chyba coraz bliżej poznania rozwiązania.

Wszechświat jest niewątpliwie skomplikowany jak pieczenie domowej szarlotki, tak jak powiedział C. Sagan. Olbrzymie rozmiary Wszechświata przekraczają granice naszej wyobraźni. Przy obecnym stanie zaawansowania nauki i techniki prawdopodobnie nigdy nie będziemy w stanie zwiedzić wszystkich zakątków Kosmosu. Ale na szczęście i bez tego możemy wyruszyć w kosmiczną podróż, spoglądając w nocne niebo. Z pewnością istnieje niezerowe prawdopodobieństwo, że kiedyś zobaczymy lub usłyszymy odpowiedź na wiadomość *Arecibo*.

Bibliografia

1. SAGAN Carl, *Founder and First President of The Planetary Society*[w:] *The Planetary Society* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: http://www.planetary.org/about/our-founders/carl-sagan.html. Stan z 12.10.2018 r.
2. SANDBERG Anders, DREXLER Eric, ORD Toby, *Dissolving the Fermi Paradox. Proceedings of the Royal Society of London A*. [dokument elektroniczny]. Czerwiec 2018. Tryb dostępu: arXiv:1806.02404v1 [physics.pop-ph]. Stan z 12.10.2018 r.

Dawid Dudek[1]

Kolonizacja kosmosu – nasza nieunikniona przyszłość

Jedna z pierwszych cywilizacji pojawiła się około 3000 lat p.n.e. w starożytnej Mezopotamii. Od tamtego czasu zaszły ogromne zmiany, które dotknęły większość dziedzin życia, począwszy od technologii, przez sposoby pozyskiwania energii, komunikowanie się, na sposobie postrzegania czasu kończąc. Przez tysiące lat ludzkość budowała świat, jaki teraz znamy. Należałoby postawić pytanie, czy jesteśmy w stanie przewidzieć, w jakim kierunku będzie rozwijał się dalej. Artykuł jest próbą przedstawienia wizji świata przyszłości, którego granice obejmą inne planety. Do takiej prognozy niezbędne jest spojrzenie w przeszłość. W tym celu należałoby się udać drogą rozwoju cywilizacji.

Rys. 1. Droga rozwoju cywilizacji

Źródło: opracowanie własne.

[1] Dawid Dudek, I Liceum Ogólnokształcące w Starogardzie Gdańskim.

Wszystko od czegoś się zaczyna, czyli ma swój początek. Pragnę w tym miejscu przedstawić koncepcję futurologa Alvina Tofflera, który podzielił dzieje ludzkości na trzy fale cywilizacyjne. Fala pierwsza, zwana agrarną, zaczęła się kształtować około 10 tys. lat temu i związana była z rozwojem umiejętności rolniczych oraz upowszechnianiem się osiadłego trybu życia. Druga fala, zwana przemysłową, pojawiła się około XVIII wieku wraz z wynalezieniem maszyny parowej. Ponadto przyniosła elektryczność, nowe środki transportu i stopniowo zaczęła wypierać pierwszą falę. Na przestrzeni około 300 lat cywilizacja drugiej fali zdominowała prawie cały glob. Cywilizację trzeciej fali, w której obecnie żyjemy i która związana jest z powstawaniem nowych technologii, na potrzeby tej pracy zdefiniujmy jako społeczeństwo błyskawicznej informacji [3]. Jest to o tyle istotne, że droga rozwoju cywilizacji zostanie przedstawiona w odniesieniu do koncepcji Tofflera.

Kolejnym przystankiem na rzeczonej trasie jest energia. Jest ona niezbędna każdej cywilizacji i zależna od poziomu jej rozwoju: im bardziej zaawansowana cywilizacja, tym więcej energii potrzebuje. Cywilizacja pierwszej fali energię pozyskiwała z tzw. żywych baterii, czyli pracy rąk ludzkich oraz siły mięśni zwierząt. Zapotrzebowanie na energię drugiej fali było już dużo większe. Zaczęto wtedy wykorzystywać paliwa kopalne, takie jak gaz ziemny czy ropa naftowa. W czasach współczesnych zrozumiano jednak, że nie jest to źródło, z którego możemy czerpać w nieskończoność. W związku z czym zaczęto stawiać na zdecentralizowane źródła energii, takie jak energia odnawialna wiatru czy elektrownie wodne.

W tym miejscu należy zastanowić się, czy cywilizacji podbijającej Kosmos wystarczy to, czym ludzkość dysponuje obecnie. Dla wyjaśnienia posłużono się **skalą Kardaszowa**, która określa poziom zaawansowania cywilizacji na podstawie zużywanej energii. Współczesna cywilizacja ziemska w tej klasyfikacji jest cywilizacją typu zerowego. Obecnie szacuje się, że stoimy na poziomie 0,7. Zakłada się, że około roku 2100 uzyskamy typ pierwszy, co oznacza, że będziemy zużywać energię porównywalną do tej, jaką Słońce dostarcza Ziemi. W przypadku cywilizacji typu drugiego podróże międzygwiezdne nie są już problemem. Nasuwa się pytanie, jak pozyskać tak znaczne ilości energii. Futurolodzy snują różne koncepcje na ten temat. Jedną z nich jest konstrukcja przypominająca **pierścień Nivena**. Jest to pas satelitów słonecznych orbitujących wokół gwiazdy. Megastrukturą, która w swoisty sposób rozwija ten zamysł, jest **sfera Dysona**, która nie jest już jedynie pasem satelitów, a całym płaszczem wokół gwiazdy.

Niektórzy naukowcy w ten sposób poszukują w Kosmosie bardzo rozwiniętych cywilizacji. Gwiazda bowiem otoczona takim płaszczem powinna emitować mniej światła niż wynika z obliczeń.

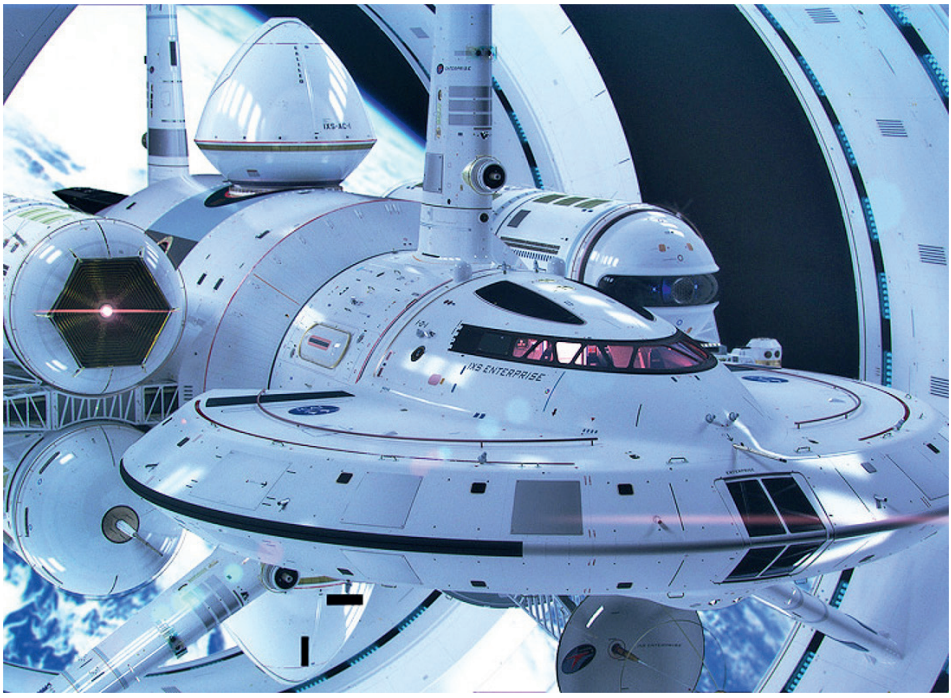
Kolejnym etapem rozwoju cywilizacji jest technologia. Jest to jedna z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin, bez której nie wyobrażamy sobie życia. Dla wielu z nas dzień bez korzystania z telefonu czy laptopa jest abstrakcją. Czy technologia pozwoli nam stworzyć w przyszłości cywilizację międzyplanetarną? W chwili obecnej wydaje się to niemożliwe z różnych powodów.

Pierwszym powodem jest napęd. Dzisiejsza technologia nie pozwala na pokonywanie bardzo dużych odległości w relatywnie krótkim czasie. Sonda Voyager na opuszczenie Układu Słonecznego potrzebowała około 36 lat, co stanowi połowę średniej długości życia człowieka. Naukowcy starają się rozwiązać ten problem. Jednym z pomysłów jest stworzenie tzw. napędu *warp*. Byłaby to technologia wykorzystująca hipotetyczne zagięcie czasoprzestrzeni, co pozwoliłoby pokonywać ogromne odległości w bardzo krótkim czasie.

Powód drugi to wytworzenie atmosfery podobnej do ziemskiej, która pozwoliłaby swobodnie oddychać i chronić się przed promieniowaniem kosmicznym. Takie zjawisko nazywamy terraformowaniem, jest ono jednak zbyt słabo zbadane, aby można było zastosować je w praktyce.

Trzeci problem stanowi siła grawitacji. Przez miliony lat ewolucji organizmy dostosowały się do panujących na Ziemi warunków. Życie na planecie z inną wartością siły grawitacji mogłoby oddziaływać bardzo źle na ludzkie mięśnie: mogłyby one zacząć zanikać, w konsekwencji nie być w stanie pracować dość mocno, by można było zaczerpnąć powietrza. Istnieje zatem potrzeba wykorzystania sztucznej grawitacji. Dokonanie jednak zmiany jej wartości w skali całej planety jest praktycznie niewykonalne przy naszym obecnym zaawansowaniu technologicznym.

Jeśli uda się rozwiązać wymienione wyżej problemy, ludzkość znajdzie się na kolejnym etapie rozwoju – cywilizacji międzyplanetarnej. Perspektywa rozwoju cywilizacji w skali całego Wszechświata stwarza nowe problemy. Nierówności oraz wyzysk będą prawdopodobnie najważniejszymi problemami cywilizacji międzyplanetarnej. Może się zdarzyć, że w przyszłości przestępcy będą odbywali karę zesłania na asteroidę lub inną planetę, na której będzie panowała przemoc powodowana atawistyczną chęcią przetrwania. Możliwe, że w przyszłości niebezpieczne i wykańczające fizycznie zajęcia przypadną nie tylko przestępcom, ale także najbiedniejszym. Skala możliwej przepaści pomiędzy



Rys. 2. Wizja statku kosmicznego z napędem *warp*

Źródło: https://nt.interia.pl/raporty/raport-kosmos/informacje/news-warp-drive-nowy-projekt-statku-kosmicznego-od-nasa,nId,2390062.

planetami naszej cywilizacji, rozwijającymi się w różnym tempie, może być olbrzymia. Możemy sobie wyobrazić, że bogata i rozwinięta technologicznie planeta A potrzebuje surowców, aby dalej się rozwijać. Ich wydobyciem zajmują się mieszkańcy biednej i zniszczonej planety B, która ma nikłe szanse na rozwój bez pomocy z zewnątrz, więc jest niebezpiecznie eksploatowana w zamian za technologie do wytwarzania tlenu, uzdatniania wody i produkcji innych niezbędnych rzeczy.

Kolejnym etapem jest komunikacja, która wymaga głębszego przemyślenia, gdy mówimy o rozwoju w przyszłości. Komunikujemy się za pomocą języka. W sytuacji, gdy chcemy porozumieć się z kimś, kto mówi innym językiem, jest to również możliwe ze względu na wspólny zbiór pojęć. Osoba posługująca się np. językiem polskim jest w stanie przekazać osobie mówiącej po angielsku, że patrzy na drzewo, ponieważ pojęcie drzewa jest zdefiniowane w języku angielskim. Natomiast w sytuacji, gdy będziemy chcieli porozu-

mieć się z mieszkańcem jakiejś biednej afrykańskiej wioski, prawdopodobnie pojawi się bariera związana z brakiem pojęć charakterystycznych dla innego poziomu rozwoju cywilizacyjnego. Tego typu sytuacja może wystąpić w przyszłości na dużo większą skalę. Opisuje ją w jednej ze swoich książek Stanisław Lem [1]. Pisze on o kosmonaucie z załogi statku „Prometeusz", która badała okolice dalekiej gwiazdy. Z powodu dylatacji czasu załoga zestarzała się biologicznie tylko o 10 lat. Hal Bregg, bo tak nazywa się bohater, wraca na Ziemię po upływie 127 lat. Spotyka więc zupełnie inne społeczeństwo, z którym komunikacja jest niemalże niemożliwa. Ziemianie używają pojęć, które dla niego są jedynie zbitkami neologizmów, a prócz mowy zmienił się także ich sposób patrzenia na świat. Bariera komunikacji może zatem okazać się w przyszłości bardzo trudna do pokonania.

Przedostatnim postojem na drodze rozwoju są „kierowcy obok nas", czyli przedstawiciele obcej rozwiniętej cywilizacji. Można podzielić ich na dwa rodzaje: kosmitów kreowanych przez popkulturę oraz tych z wizji futurologów.

Przedstawiciel pierwszej grupy to humanoidalny stwór, którego cywilizacja przewyższa naszą technologicznie, lądujący wielkim statkiem UFO gdzieś nad Ameryką i rozpoczynający eksterminację rasy ludzkiej. Ostatecznie jakiś samotny bohater powstrzymuje kosmicznych najeźdźców i ratuje świat. Wizja ta jest jednak mało prawdopodobna. Przybysz z obcej planety nie musi przypominać człowieka pod żadnym względem – ani fizycznym, ani psychicznym. Również szansa na pokonanie o wiele lepiej rozwiniętej cywilizacji wydaje się nikła. Można ją porównać do walki Indian posiadających łuki z kolonizatorami używającymi broni palnej.

Przedstawicieli drugiej grupy można spotkać w twórczości futurologów. W jednej ze swoich książek S. Lem opisał pozaziemską cywilizację jako ocean pokrywający obcą planetę. Rodzą się pytania: Czy można uznać ów ocean za świadomy? Czy jest to istota żywa i rozumna? Jeden z bohaterów komentuje dylematy człowieka słowami: „Nie szukamy nikogo oprócz ludzi. Nie potrzeba nam innych światów. Potrzeba nam luster" [2]. Jeżeli jednak spotkamy inną, lepiej rozwiniętą cywilizację i uda się przełamać barierę komunikacji, i nie doprowadzić do sytuacji, w której obcy będą chcieli nas zniszczyć, będzie to przełomowe wydarzenie w historii ludzkości. Możliwe, że dzięki pomocy kosmicznych sąsiadów dzisiejsza technologia „przeskoczy" o kilka dekad do przodu.

Ostatnim przystankiem na drodze do rozwoju cywilizacji jest utopia. Proces tworzenia utopii zawsze będzie krzywdzący dla jakiejś grupy i może okazać

się bardzo niebezpieczny, jak np. w powieściach Aldousa Huxleya lub George'a Orwella. Uważa się, że tego etapu ludzkości nie uda się osiągnąć. Nie oznacza to jednak, że ludzie mają się poddać i przestać dążyć do stworzenia świata idealnego. Ludzie nie powinni zaprzestać poszukiwań okazji do rozwoju cywilizacji. Jednak jest to temat wymagający pogłębionych badań.

Bibliografia

1. LEM Stanisław, *Powrót z gwiazd*. Agora, Warszawa 2008. ISBN 978-83-7552-411-6.
2. LEM Stanisław, *Solaris*. Agora, Warszawa 2008. ISBN 978-83-7552-403-1.
3. TOFFLER Alvin, *Trzecia fala*. Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa 1997. ISBN 83-06-02594-6.

Zofia Klata[1]

Życie – kosmiczne wyzwanie

Obecny poziom rozwoju technologii oraz stan wiedzy na temat wpływu na organizm wielokomórkowy mechanizmów działających we Wszechświecie nie pozwala nam jeszcze na osiedlanie się poza Ziemią. Z pomocą przychodzą nam jednak mniejsze od człowieka zwierzęta wielokomórkowe oraz organizmy jednokomórkowe. Wysłanie niektórych z nich w przestrzeń kosmiczną w celu skolonizowania obcych ciał niebieskich wdaje się bardzo prawdopodobne. Warto jednak przyjrzeć się nie tylko organizmom dobrze nam znanym, z udziałem których były już przeprowadzane badania, ale również tym, co do których pochodzenia wciąż mamy wątpliwości. Jednym z najważniejszych obowiązków agencji kosmicznych jest badanie reakcji organizmów na ekstremalne warunki środowiska, czyli takie, z którymi musimy zmierzyć się podczas misji kosmicznych, np. promieniowanie słoneczne i galaktyczne, próżnia, mikrograwitacja oraz niska temperatura [3, s. 1].

Do tej pory badania nad przystosowaniem zwierząt do życia w przestrzeni kosmicznej oraz ich reakcjami na środowisko pozaziemskie prowadzono głównie na organizmach jednokomórkowych lub na komórkach pobranych z organizmu wielokomórkowego. Jednakże jasne jest, że komórki to tylko pierwszy poziom organizacji życia [3, s. 1]. W związku z koniecznością przeprowadzenia badań na organizmach o bardziej skomplikowanej budowie autor *What can we learn from the toughest animals of the Earth? Water bears (tardigrades) as multicellular model organisms in order to perform scientific preparations for lunar exploration* proponuje kryptobiotyczne gatunki niesporczaków jako dobry model do badań przestrzeni kosmicznej [3, s. 2]. Dlaczego właśnie niesporczaki? Otóż dzięki niespotykanej odporności na trudne warunki środowiska, która zapewniła im miano najbardziej wytrzymałych zwierząt na Ziemi [3, s. 3], wydają się one potencjalnymi kandydatami do zasiedlenia planety innej niż Ziemia. Żeby jednak omawiać cechy przystosowujące niesporczaki do przebywania

[1] Zofia Klata, Społeczne Liceum Ogólnokształcące w Lęborku.

w przestrzeni kosmicznej, należy przedstawić najpierw podstawowe informacje o tym typie zwierząt.

Rys. 1. Niesporczak z rodzaju Milnesium; powiększenie 120-krotne

Źródło: archiwum prywatne.

Niesporczaki to grupa bezkręgowców zbliżona do stawonogów i pratchawców (pazurnic) [2, s. 183]. Większość ich cech wskazuje na to, że powstały jako boczna gałąź linii prowadzącej do stawonogów [6, s. 629]. W jamie gębowej niesporczaków znajdują się dwie wapienne igły, zwane sztyletami, wysuwane przez otwór gębowy [2, s. 183]. Zwierzęta te odżywiają się roślinami, grzybami, mikroalgami, pierwotniakami, drobnymi bezkręgowcami, takimi jak wrotki [3, s. 2], bakteriami, detrytusem, a niektóre z nich wbijają sztylety w ciała nicieni, wysysając ich płyny tkankowe [6, s. 627].

Niesporczaki potrafią zafascynować już samą budową organizmu! Większość gatunków cechuje **eutelia**[2]. Jest to zjawisko występujące niezwykle rzadko. Ciało zwierzęcia pokryte jest siedmiowarstwowym oskórkiem, który przez całe życie osobnika okresowo linieje, co pozwala na pozbycie się zbędnych produktów metabolizmu gromadzonych w oskórku oraz stwarza środowisko

[2] Występowanie stałej liczby komórek somatycznych w organizmie.

rozwoju młodych niesporczaków: jajorodne samice składają jaja do wylinki [6, s. 626-628]. Dzięki temu młode mogą rozwijać się praktycznie wszędzie. Niektóre gatunki są partenogenetyczne, co pozwala na stworzenie linii klonalnych [3, s. 3]. Zjawisko to jest bardzo przydatne podczas badań nad wpływem warunków panujących w Kosmosie na materiał genetyczny tych zwierząt.

Nie sposób zaprzeczyć, że środowiska kosmiczne charakteryzują się trudnymi warunkami, jeżeli jednak spojrzymy na miejsca, w których niesporczaki żyją na Ziemi, być może okaże się, że znalezienie dla nich nowego domu nie jest wcale zadaniem trudnym. Występują one bowiem we wszystkich strefach klimatycznych i na wszystkich kontynentach. W górach można je spotkać nawet na wysokości 6600 m [2, s. 184]. Istnieją gatunki lądowe, które żyją w glebie, na mchu, porostach i innych roślinach, oraz wodne, bytujące w wodach słodkich, morskich, a nawet w gorących źródłach. Część jest **komensalami**[3] równonogów i małży morskich lub ślimaków lądowych. Nieliczne gatunki pasożytują na pąklach i strzykwach [2, s. 184]. Są to zwierzęta powszechnie występujące, co ułatwiłoby zebranie odpowiednio dużej grupy, mającej stworzyć nową populację „gdzieś we Wszechświecie". Na metrze kwadratowym mchu można naliczyć do ok. 300 tys., a na metrze kwadratowym gleby do 2 milionów osobników. Co więcej, do tej pory opisano około 4 tys. gatunków tych zwierząt [6, s. 625].

Zwróćmy uwagę na fakt, że niesporczaki potrafiły na Ziemi przystosować się do różnorodnych warunków środowisk, w których żyją, co daje nam nadzieję na taką samą ich ewolucję w Kosmosie. Jako przykład można przedstawić gatunki występujące u wybrzeży Grenlandii, które wykazują zmiany w wielkości ciała i wykształceniu szczecinek w lecie i w zimie, a ich gonady są aktywne tylko w lecie [6, s. 626]. Z kolei niesporczaki żyjące na biegunach mają zdecydowanie więcej ciemnego barwnika, co pozwala im na lepszą ochronę przed promieniowaniem UV [15]. Jeżeli jednak niesprzyjające warunki pojawiłyby się nagle lub występowały w taki sposób, że niesporczaki nie byłyby w stanie się do nich przystosować, wówczas mogą one wejść w **stan kryptobiozy**, czyli życia utajonego, w którym są w stanie przetrwać niezwykle długo. Naukowcom udało

[3] Komensalizm – typ zależności o charakterze symbiozy między dwoma lub więcej gatunkami, przy czym jeden z gatunków czerpie z tej zależności wyraźne korzyści, nie szkodząc pozostałym.

się uaktywnić niesporczaki wysuszone i encystowane[4], występujące na mchu zasuszonym około 120 lat temu, znalezionym w starym zielniku [6, s. 626]. W laboratorium wysuszone niesporczaki (w stanie anhydrobiozy) są najczęściej przetrzymywane przez dekady w temperaturze –80°C, bez utraty późniejszej zdolności do życia [3, s. 3].

Oczywisty wydaje się jednak fakt, że przed umieszczeniem niesporczaków na obcej planecie musiałyby zostać przeprowadzone badania z ich udziałem na Ziemi oraz w przestrzeni kosmicznej. Niesporczaki są zwierzętami małymi (o długości ciała 0,02–1,2 mm), więc do badań nie potrzeba dużo miejsca ani sprzętu. Co więcej, niesporczaki nie są patogenne dla ludzi [3, s. 3]. Zapewniłoby to bezpieczeństwo podczas badań lub późniejszego ewentualnego nadzoru nad tworzącą się „kosmiczną" populacją. Mają krótki cykl życiowy, co pozwala na zaobserwowanie wpływu przestrzeni kosmicznej na wiele pokoleń w ograniczonym czasie [3, s. 3], więc badania nie musiałyby trwać długo.

Załóżmy, że po zakończeniu badań będziemy w stanie wysłać niesporczaki do nowego „domu". Podczas pewnych badań okazało się, że niesporczaki powinny tolerować warunki środowiska panujące na Marsie [3, s. 4]. Przeanalizujmy więc warunki panujące na planetach Układu Słonecznego.

Jest wiele czynników mających wpływ na to, czy w danym miejscu organizmy mogą przetrwać. Skupmy się w pierwszej kolejności na temperaturze. I tutaj również mamy do czynienia z niezwykłą odpornością wyróżniającą niesporczaki spośród innych zwierząt. Żeby móc się rozmnażać, niesporczaki potrzebują temperatur, w których mogą przetrwać w formie niekryptobiotycznej, to znaczy od –196°C do 38°C [3, s. 3]. Oczywiście zakładamy, że przez pewien okres niesporczaki mogą znajdować się również w stanie kryptobiozy, co pozwoli im na przetrwanie wyższych oraz niższych temperatur. Do tej pory podczas badań zwierzęta te były zdolne przetrwać zanurzenie w skroplonym powietrzu (–90°C) przez 21 miesięcy, w ciekłym azocie (–253°C) – przez 26 godzin, w ciekłym helu (–272°C) – przez 8 godzin. Jeżeli chodzi o wysokie temperatury, niesporczaki przeżyły w stanie anabiozy w temperaturze dochodzącej do około 60°C, a przez 15 minut przeżyły nawet w 151°C [2, s. 3]. Jeżeli przyjmiemy kryterium temperatury, to – oprócz Ziemi – ze wszystkich planet Układu Słonecznego do życia

[4] Encystacja – proces fizjologiczny polegający na wykształceniu przez organizm cysty. Podczas tego procesu dochodzi do zmian morfologicznych i fizjologicznych polegających najczęściej na obniżeniu tempa metabolizmu i wytworzeniu grubych osłon zewnętrznych pozwalających przetrwać niekorzystne warunki środowiskowe (temperatura, susza itp.).

Tab. 1. Warunki panujące na poszczególnych planetach Układu Słonecznego

Nazwa planety	Średnia odległość od Słońca [km]	Powierzchnia [km^2]	Temperatura minimalna / maksymalna	Ciśnienie atmosferyczne	Obecne pierwiastki	Obecność wody
Merkury	57 909 176	$7{,}5\times10^7$ (0,147 pow. Ziemi)	-173,15°C / 426,85°C	ok. 10^{-10} Pa	O – 42% Na – 29% H – 22% He – 6% K – 0,5% Ar, CO_2, H_2O, N, Xe, Kr, Ne	Obecna w stanie ciekłym i stałym [12]
Wenus	108 208 926	$4{,}6\times10^8$ (0,9 pow. Ziemi)	437°C / 500°C	92 000 hPa	CO_2 – ok. 96,5%, N, SO_2, Ar para wodna, CO, He, Ne, COS, HCl, HF	Śladowe ilości pary wodnej
Mars	227 936 637	$1{,}448\times10^8$ (0,284 pow. Ziemi)	-140°C / 20°C (śred. -63°C)	śred. 636 Pa	CO_2 – 95,32 % O – 0,13%, N, Ar, CO, para wodna, NO, Ne, Kr, Xe, ozon, metan	Para wodna – 0,03%; lód
Jowisz	778 412 020	$6{,}22\times10^{10}$ (120,5 pow. Ziemi)	-161°C / -108 °C	śred. 70 kPa	H – 86% He – 14% metan, para wodna, amoniak, etan, HF, H_2S	Para wodna – 0,1%
Saturn	1 426 725 413	$4{,}27\times10^{10}$ (83,7 pow. Ziemi)	-189°C / -130°C	140 kPa	H – 93% He – 6% metan, para wodna, amoniak, etan, PH_3	Para wodna – 0,1%
Uran	2 870 972 220	$8{,}1\times10^9$ (15,9 pow. Ziemi)	-226°C / -216°C	120 kPa	H – 83% He – 15% metan, amoniak, etan, acetylen, CO, H_2S	Brak danych
Neptun	4 498 252 900	$7{,}6\times10^9$ (14,9 pow. Ziemi)	-218°C / -201°C	100-300 kPa	H, He, metan, amoniak, etan, acetylen	Obecna

Źródło: opracowanie własne na podstawie BUDAKOWSKI Andrzej, PETRYLA Piotr, *Planety Układu Słonecznego* [w:] *Astronomia24* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.astronomia24.com/viewpage.php?page_id=28. Stan z 11.09.2018 r.

dla niesporczaków nadawałby się najbardziej Mars. Temperatury panujące na tej planecie (od –140°C do 20°C) umożliwiłyby niesporczakom życie w stanie nawodnionym. Co więcej, na Marsie występuje zarówno para wodna, jak i lód, czyli jest tam woda [7, s. 191], element niezbędny niesporczakom do aktywnego życia (poruszania się, wzrostu, rozmnażania) [3, s. 3].

Skoro omówiliśmy już temperaturę, warto teraz zwrócić uwagę na ciśnienie, które na Marsie ma wartość 636 Pa. Wysuszonym niesporczakom nie szkodzi ciśnienie hydrostatyczne, sięgające od ok. 0,0001 hPa do nawet 1200 Mpa, a nawodnione zwierzęta mogą znieść wartości dochodzące do 100 MPa [3, s. 3][5]. Na podstawie tych wartości niektórzy naukowcy wysnuli fascynującą hipotezę, że niesporczaki mogłyby podróżować przez kosmos na meteorze [3, s. 3].

Jednak oprócz Marsa warto poświęcić uwagę innym zakątkom Kosmosu. Aby potwierdzić hipotezę, że omawiane zwierzęta mogłyby przeżyć w Kosmosie, sprawdźmy, czy jeszcze gdzieś we Wszechświecie panują odpowiednie dla nich warunki. Zastanówmy się, czy niesporczaki mogłyby zamieszkać na księżycach Jowisza czy Saturna. Europa to jeden z księżyców Jowisza. Badania wykazały, że pod warstwą lodu znajduje się ocean. Najnowsze badania wykazują, że ocean prawdopodobnie jest dobrze wymieszany, a zawartość soli może być porównywalna z tą, która cechuje ziemskie oceany. Promieniowanie słoneczne i naładowane cząstki z magnetosfery Jowisza rozbijają cząsteczki wody z lodowej powierzchni księżyca na wodór i tlen. Wodór ulatuje w przestrzeń międzyplanetarną, podczas gdy tlen zostaje na pewien czas zatrzymany przez siłę grawitacji Europy. Niesporczaki miałyby więc na Europie dostęp do wody i tlenu. Musiałyby jednak zadowolić się życiem w oceanie, ponieważ ciśnienie na Europie wynosi 1 mikropaskal [13, s. 12], czyli jest zbyt niskie dla niesporczaków.

Enceladus to jeden z księżyców Saturna. Występuje na nim **zjawisko kriowulkanizmu** – z bieguna południowego wyrzucane są w przestrzeń kosmiczną cząsteczki lodu. Wyziewy gazowe to głównie para wodna. Wyrzucany lód to przede wszystkim zamarznięta woda, kryształy soli i krzemionki. Obserwacje tych związków wskazują na obecność wody pod powierzchnią lodu. Na dnie zbiornika woda może teoretycznie osiągać temperaturę 90°C [13, s. 12; 13]. Niesporczaki miałyby więc na Enceladusie zarówno dostęp do wody, jak i odpowiednią temperaturę.

[5] Dla porównania: na dnie Rowu Mariańskiego ciśnienie wynosi 113 MPa [6].

Nie będziemy zastanawiać się, jaką technologię należy stworzyć, żeby przetransportować niesporczaki na księżyce Jowisza i Saturna i umieścić je w oceanach pod lodem, ponieważ to problem do rozwiązania dla fizyków i inżynierów. Jednak istnienie oceanów zdecydowanie daje nam nadzieję na możliwość stworzenia nowej „kosmicznej cywilizacji".

Ogromną zaletą niesporczaków jest wspomniana już niezwykła odporność. Okazało się, że wysuszone niesporczaki są w stanie przetrwać kontakt z dwutlenkiem węgla, siarkowodorem i heksanolem oraz etanolem, nie zabije ich nawet traktowanie bromoetanem [3, s. 3], co jest zjawiskiem zdecydowanie rzadkim wśród zwierząt. Ponadto ponad 80% wysuszonych niesporczaków było w stanie przetrwać promieniowanie UV w dawkach do 23 kJ/m^2. Niektóre okazy były nawet zdolne do przetrwania dawek pomiędzy 75 i 88 kJ/m^2. Nawodnione niesporczaki wykazują podobną do wyschniętych zwierząt tolerancję na napromieniowanie [3, s. 3]. Jak wiadomo, w Kosmosie dawki promieniowania UV są niezwykle duże, więc odporność na ten właśnie rodzaj promieniowania może otworzyć niesporczakom furtkę do podboju obcych ciał niebieskich.

Skąd w ogóle pomysł, że niesporczaki byłyby zdolne do przetrwania trudnych warunków panujących w Kosmosie? Otóż z ich udziałem, na Ziemi oraz w przestrzeni kosmicznej, były już przeprowadzane badania, które dały zadziwiające wyniki.

Niesporczaki nawodnione i znajdujące się w stanie anhydrobiozy były wystawione na promieniowanie gamma (1000–7000 Gy). Po 48 godzinach od napromieniowania śmiertelna dawka wynosiła 5000 Gy (promieniowanie gamma) i 6200 Gy (jony ciężkie) w nawodnionych organizmach oraz 4400 (gamma) i 5200 Gy (jony ciężkie) u zwierząt w stanie anhydrobiozy [5][6]. Promieniowanie gamma skróciło jednak średnią długość życia zwierząt [5]. 400 wysuszonych niesporczaków z gatunku *Milnesium tardigradum* wysłano w dwunastodniową podróż kosmiczną w trzyczęściowej komorze. Kiedy osiągnęły orbitę okołoziemską, fragment modułu zawierający niesporczaki został otwarty. Organizmy w górnej części komory były poddane całkowitemu napromieniowaniu, te w drugiej części nie były poddane działaniu promieniowania UVB. Zwierzęta w trzeciej, najniższej części były wystawione na działanie próżni, ale nie promieniowania. Po zbadaniu fragmentów jądra komórkowego metodą elektroforezy okazało się, że nie pojawiły się w nim żadne zniszczenia [10]. Wyniki tych badań mówią nam

[6] Przykładowo, dawka śmiertelna dla człowieka wynosi 5 Gy [13].

wprost, że niesporczakom nie szkodzą warunki kosmiczne, a promieniowanie (dochodzące do wysokiej wartości) nie uszkadza ich jądra komórkowego.

Zwierzęta były również wystawiane na trudne warunki panujące w niskiej orbicie okołoziemskiej podczas misji FOTON-M3 w trzech różnych projektach: TARDIS, TARSE, RoTaRad, a także podczas misji STS-134 w ramach projektu TARDIKISS [3, s. 4].

Podczas projektu *TARDigrada in Space*[7] (TARDIS) okazało się, że niesporczaki bardzo dobrze znoszą wystawienie na próżnię, lecz gdy połączy się próżnię z promieniowaniem słonecznym, to niestety przeżycie jest znacznie mniejsze, proporcjonalnie do poziomu promieniowania [3, s. 4].

Naukowcy uczestniczący w projekcie *The Tardigrade Resistance to Space Effects*[8] (TARSE*)* testowali wpływ promieniowania i mikrograwitacji zarówno na aktywne, jak i wysuszone niesporczaki. Po locie kosmicznym obie grupy organizmów wykazały wysoki współczynnik przeżycia. Co więcej, niesporczaki złożyły jaja, z których wykluły się zdrowe zwierzęta, rozmnażające się prawidłowo [3, s. 4]. Wyniki tego projektu dają nam nadzieję na to, że organizmy te będą zdolne do rozmnażania się w przestrzeni kosmicznej (nawet pomimo promieniowania), a tym samym zasiedlenia nowego środowiska[9]. W trakcie zaś projektu *Tardigrades In Space*[10] (TARDIKISS) okazało się, że mikrograwitacja i promieniowanie kosmiczne nie wpływają znacząco na przeżycie niesporczaków podczas lotu [3, s. 4].

Warto dodać, że pod względem technicznym przetransportowanie niesporczaków do nowego siedliska wydaje się niezwykle łatwe. W przypadku dużych zwierząt musi być zapewniona chociażby odpowiednio duża przestrzeń życiowa. Niesporczaki nie potrzebują do życia tyle miejsca. Setki niesporczaków można wysuszyć i umieścić na małym kawałku papieru (np. 5 mm x 5 mm) [3, s. 3]. W ten sposób można przetransportować wiele osobników w tym samym czasie, co byłoby niemożliwe w przypadku większych zwierząt. Niesporczaki można wysuszyć, a po dotarciu do celu przywrócić do życia poprzez nasączenie

[7] Pol. *Niesporczak w Kosmosie*.

[8] Pol. *Odporność niesporczaków na warunki panujące w Kosmosie*.

[9] Podczas innego eksperymentu nawodnione i napromieniowane (2000 Gy gamma) zwierzęta z gatunku *Milnesium tardigradum* złożyły 3 jaja, z których nie wykluło się potomstwo. Okazało się, że napromieniowanie >1000 Gy nie pozwala im się rozmnażać [5]. Oznacza to, że w nowym „kosmicznym domu" promieniowanie nie mogłoby przekraczać dawki 1000 Gy.

[10] Pol. *Niesporczaki w Kosmosie.*

papieru wodą. Najpóźniej po upływie godziny będą aktywne. Jeżeli zwierzęta będą przechowywane w warunkach o niskim stężeniu tlenu, niskiej wilgotności i niskiej temperaturze, mogą żyć przez kilkadziesiąt lat [3, s. 3]. Zniszczenia spowodowane niskim stężeniem tlenu w powietrzu są bardzo małe. Jeżeli zostałby wysłany bezzałogowy statek, z aparaturą specjalnie przystosowaną do „ożywiania" niesporczaków i utrzymywania odpowiednich warunków podczas lotu, podróże mogłyby trwać nawet setki lat. Gdyby lot miał trwać zbyt długo dla jednego pokolenia, wystarczyłoby nawodnić zwierzęta, pozwolić im się rozmnożyć i ponownie wysuszyć młode niesporczaki. Przykładowo u niesporczaków z gatunku *Milnesium tardigradum* okres pomiędzy złożeniem jaj a wykluciem się młodych trwa tylko pięć dni. W wieku trzech tygodni młode zdolne są do reprodukcji [10]. Czynność wysuszania i nawadniania mogłaby być powtarzana do momentu przybycia w miejsce oferujące dogodne warunki do życia niesporczaków.

Gdyby wyżej opisana metoda transportu wydawała się zbyt skomplikowana, można również przetransportować nawodnione niesporczaki w stanie **kriobiozy**[11] [3, s. 4].

Wykazaliśmy, że niesporczaki to stworzenia, które w określonych warunkach mogłyby przetrwać w Kosmosie. Dowodem na życie w Kosmosie mogłyby być również organizmy, które z przestworzy dotarły na Ziemię. Czy były nimi tak zwane komórki z Kerali [8, s. 3] i czy przekonały one naukowców, że życie poza Ziemią jest możliwe[12]?

25 lipca 2001 roku w indyjskim stanie Kerala spadł zabarwiony na czerwono deszcz [8, s. 3; 9, s. 1]. Intensywne opady obserwowano przez kilka kolejnych dni, zjawisko to pojawiało się jeszcze przez dwa miesiące [8, s. 3]. Ludzie żyjący w tym regionie twierdzili, że czerwony deszcz poprzedzały bardzo głośny grzmot i błysk światła [9, s. 2]. Burze nie zdarzają się podczas tej pory roku, zwłaszcza gdy monsun jest najsilniejszy. Co więcej, burze nie zaczynają się i nie

[11] Tworzenie cyst przetrwalnikowych podczas narażenia na niską temperaturę.

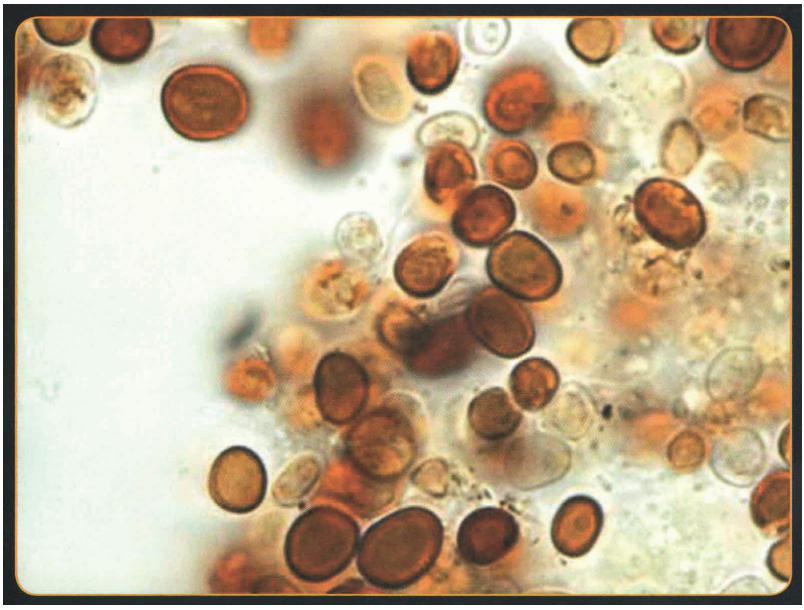
[12] Teoretycznie organizmami można nazwać tylko stworzenia posiadające materiał genetyczny [11, s. 2], którego według wyników badań z Uniwersytetu Gandhiego tzw. komórki z Kerali nie posiadają [8, s. 3]. Nie do końca wiadomo więc, jak te struktury nazywać ani za co je uważać. Nie można ich nazwać organizmami według obecnego stanu wiedzy, jednak dla ułatwienia posłużymy się tym terminem stosowanym przez niektórych autorów [8, s. 3; 9, s. 3]. Również rozmnażanie polega na przekazywaniu materiału genetycznego [11, s. 5], skoro więc komórki go nie posiadały, nie mogły rozmnażać się w standardowym tego słowa znaczeniu.

kończą na jednym błysku. Tak głośny dźwięk można wytłumaczyć tylko w ten sposób, iż powstał on wskutek poruszania się jakiegoś obiektu z prędkością ponaddźwiękową. Prawdopodobne wydaje się, że meteor przeleciał ponad głowami mieszkańców, powodując odgłos przypominający grzmot i błysk jasnego światła [9, s. 7].

Keralę odwiedzili naukowcy z CESS (*Centre for Experimental Social Science*) i zebrali próbki wody [9, s. 1]. W okolicznych domach również pobrano próbki do czystych plastikowych butelek. pH wody wynosiło około 7, czyli tyle, ile normalne pH wody deszczowej. Po wyschnięciu zawiesinę obserwowano pod mikroskopem. Wyglądała jak czerwonawobrązowy pył [9, s. 2]. Pojawiły się spekulacje, czy tajemniczy czerwony barwnik nie pochodzi z rozpadu meteoru, który zabarwił deszczowe chmury [8, s. 3].

Pomimo przypuszczeń mieszkańców, po badaniach metodą spektometrii mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej, okazało się, że materiał nie mógł pochodzić z meteoru. Gdy obserwowano próbki pod mikroskopem, okazało się, że zawierają one małe, okrągłe, zabarwione na czerwono struktury. W celu zidentyfikowania organizmów pozwolono wyrosnąć zarodnikom na odżywce stwarzającej środowisko życia algom i grzybom [9, s. 3]. Według oficjalnego rządowego raportu były to zarodniki alg rozwijających się w tamtym rejonie. Pojawiające się próby badawcze świadczą o dużym zainteresowaniu tematem. Organizmy zostały zidentyfikowane jako algi należące do rodzaju *Trentopohlia*, tworzące porosty. Porost taki powstaje jako wynik symbiozy grzyba z algą lub cyjanobakterią. Porosty potrafią przetrwać ekstremalnie wysokie temperatury, zimno i susze. Są organizmami pionierskimi. Suchy porost może pochłonąć wodę ważącą od 3 do 35 razy tyle, co sam porost. Porosty zdolne są do wchłaniania wody z rosy, mgły, a nawet z powietrza [9, s. 4]. Cechy te na pewno znacząco ułatwiłyby im egzystowanie w warunkach pozaziemskich. Jednak co do tego, czym były tajemnicze komórki, nadal pozostają wątpliwości. Normalnym mechanizmem transportu zarodników alg do atmosfery jest przenoszenie ich przez wiatr. Żeby przenieść zarodniki na wysokość chmur, musi powstać pionowa cyrkulacja powietrza. Taka cyrkulacja nie pojawia się w normalnych warunkach w nocy. Skoro kolorowy deszcz pojawił się rano, zarodniki mogły być przeniesione tylko w nocy. Co więcej, dziwne zjawiska pojawiały się w stanie Kerala w niedługim odstępie czasowym od opadów czerwonego deszczu. Zaobserwowano między innymi zawalenie się studni, zniknięcie wody ze studni czy też dźwięki z nich dobiegające. Ludzie zastanawiali się, czy mogły one mieć

związek z czerwonym deszczem, jednak zostało to wykluczone [9, s. 7, 8]. Naukowcy nie zaprzestali badań. Badania na uniwersytecie Mahatmy Gandhiego w Kottayam w Kerali ujawniły, że łączna waga komórek przekraczała 50 ton. Zawierały one głównie węgiel i tlen. Wiele poszlak wskazuje na to, że „komórki z Kerali" mogą być pochodzenia pozaziemskiego, jednak nie ma na to żadnych dowodów [8]. Nie będziemy się rozwodzić nad tym, co by było, gdyby komórki faktycznie pochodziły z Kosmosu. Zastanówmy się nad tym, do czego moglibyśmy je wykorzystać, gdyby miały ziemskie pochodzenie. Żeby przekonać się, jak „komórki z Kerali" reagują na warunki kosmiczne, należałoby przeprowadzić odpowiednie badania. Jednak niezwykła odporność na temperaturę może otworzyć dla tych organizmów drogę do życia w miejscach zbyt gorących dla ludzi. Być może w przyszłości organizmy takie jak „komórki z Kerali" mogłyby z naszą pomocą stworzyć nową cywilizację w Kosmosie.



Rys. 2. „Komórki z Kerali"

Źródło: RATAJCZAK Milena, *Czerwony deszcz w Kerali* [w:] „Kosmos: tajemnice Wszechświata" 2011, nr 11, s. 3.

Na koniec zastanówmy się, czy podobnie jak niesporczaki i „komórki z Kerali" również człowiek mógłby zamieszkać w Kosmosie. Oczywiście wyprawy kosmiczne są już od dawna możliwe, jednak co począć w sytuacji, gdy podczas

lotu lub w miejscu, do którego chcielibyśmy dotrzeć, panują trudne warunki? Wówczas z pomocą może nam przyjść inżynieria genetyczna i pewne geny omawianych wcześniej niesporczaków. Niektóre biochemiczne składniki odpowiedzialne za niezwykłą odporność, takie jak cukry, białka szoku cieplnego, białka LEA, zostały już zidentyfikowane [3, s. 4]. Naukowcy badali genom gatunku *Ramazzottius varieornatus*. Podczas badań odkryto kilka rodzin genów, takich jak SOD czy MRE11, związanych z reakcją na warunki stresowe. SOD odpowiadają za detoksykację, hamują wolne rodniki i najprawdopodobniej chronią organizm niesporczaków podczas odwodnienia. U niesporczaków występuje aż 16 SOD, podczas gdy u innych zwierząt ich liczba nie dochodzi nawet do 10. MRE11 odgrywają ważną rolę w naprawie DNA. Najczęściej u zwierząt występuje jedna kopia MRE11, lecz u niesporczaków zaobserwować można aż cztery kopie tego genu. Niesporczaki produkują w warunkach stresowych specyficzne białka z grup CAHS i SAHS, niespotykane u żadnego innego zwierzęcia, związane z ochroną biomolekuł podczas wysychania niesporczaka. Japońscy naukowcy wykazali w artykule opublikowanym w *Nature Communication*, że możemy „nauczyć się" od niesporczaków ochrony przed promieniowaniem. Specyficzne białka Dsup chronią *Ramazzottius varieornatus* przed wysokimi dawkami promieniowania. Okazało się, że białka te hamują uszkodzenia DNA także w ludzkich komórkach, zapewniając im jednocześnie dłuższą żywotność podczas promieniowania. Zwykle promieniowanie X w dawkach 3–7 Gy uszkadza DNA u ssaków. Naukowcy napromieniowywali linie komórkowe z białkami i bez białek Dsup dawką 4 Gy. Wyniki eksperymentu były dosyć oczywiste: komórki z ekspresją białek DSUP znacznie lepiej znosiły promieniowanie [14].

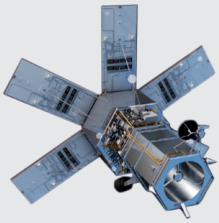
Naukowców zainteresował również pewien cukier – trehaloza, który pomaga niesporczakom podczas okresu mrożenia oraz przesuszenia. „Dzięki takim badaniom powoli uczymy się, jak lepiej chronić własne DNA, co w przyszłości pozwoli na skuteczniejszą walkę z chorobami, ułatwi podróże kosmiczne i umożliwi kolonizację innych planet czy księżyców" – mówi dr Łukasz Kaczmarek, zoolog i astrobiolog z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu [14].

Jeżeli wprowadzimy gen Dsup do ludzkich komórek, będą one produkowały to samo białko co niesporczaki, zyskując jednocześnie większą odporność [4]. Ludzie z tak zmodyfikowanym DNA być może byliby w stanie znieść trudniejsze niż do tej pory warunki podczas lotów w Kosmos i dotrzeć w miejsca do tej pory nieosiągalne.

Bibliografia

1. BUDAKOWSKI Andrzej, PETRYLA Piotr, *Planety Układu Słonecznego* [w:] *Astronomia24.com* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.astronomia24.com/viewpage.php?page_id=28. Stan z 11.09.2018 r.
2. CHRZANOWSKI Zbigniew (red.), *Mały słownik zoologiczny. Bezkręgowce*. Wyd. Wiedza Powszechna, Warszawa 1976.
3. GUIDETTI Roberto [et al.], *What can we learn from the toughest animals of the Earth? Water bears (tardigrades) as multicellular model organisms in order to perform scientific preparations for lunar exploration* [w:] *Planetary and Space Science* [dokument elektroniczny] 2012, nr 74, ss. 97–102. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1016/j.pss.2012.05.021. Stan z 11.09.2018 r.
4. HORIKAWA Daiki D. [et al.], *Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein* [w:] *Nature Communications* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.nature.com/articles/ncomms12808. Stan z 11.09.2018 r.
5. HORIKAWA Daiki [et al.], *Radiation tolerance in the tardigrade Milnesium tardigradum* [w:] *International Journal of Radiation Biology* [dokument elektroniczny] 2006, nr 82:12, ss. 843-848. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1080/09553000600972956. Stan z 11.09.2018 r.
6. JURA Czesław, *Bezkręgowce. Podstawy morfologii funkcjonalnej, systematyki i filogenezy*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005. ISBN 83-01-14595-1.
7. McSWEEN Harry Y. Jr., *Od pyłu gwiezdnego do planet*. Prószyński i S-ka, Warszawa 1996. ISBN 83-86868-92-9.
8. RATAJCZAK Milena, *Czerwony deszcz w Kerali* [w:] *Kosmos: Tajemnice Wszechświata,* 2011, nr 11, s. 3.
9. SAMPATH S. [et al.], *Coloured rain. A report on the Phenomenon* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.bibliotecapleyades.net/ciencia/ciencia_kerala12.htm. Stan z 14.09.2018 r.
10. SCHILL Ralph O., *Tardigrades are back to Earth* [w:] *BIOPRO Baden-Württemberg GmbH* [dokument elektroniczny] 2007. Tryb dostępu: http://web.archive.org/web/20080420141659/www.bio-pro.de/en/region/stern/magazin/04196/index.html. Stan z 11.09.2018 r.
11. SOLOMON Eldra P., BERG Linda R., MARTIN Diana W., *Biologia*. MULTICO Oficyna Wydawnicza Sp. z o.o., Warszawa 2007. ISBN 978-83-7073-412-1.

12. STANISŁAWSKI Piotr., *Na Merkurym odkryto wodę!* [w:] *Crazynauka.pl* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.crazynauka.pl/na-merkurym-odkryto-wod-w-a-nie-zako-czy-a-si/. Stan z 05.09.2018 r.
13. ZAWIERUCHA Krzysztof, *Co lód morski i jego mieszkańcy mogą nam powiedzieć o życiu na innych planetach?* [w:] „Biologia w Szkole", 2017, nr 5, ss. 11–15. ISSN 0137-8031.
14. ZAWIERUCHA Krzysztof, *Ludzie mają szansę nauczyć się „*superodporności*" od najtwardszych zwierząt świata* [w:] *Crazynauka.pl* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.crazynauka.pl/ludzie-maja-szanse-nauczyc-sie-superodpornosci-od-najtwardszych-zwierzat-swiata/. Stan z 11.09.2018 r.
15. ZAWIERUCHA Krzysztof, *What lives on glaciers and perennial snow?* [w:] *YouTube.com* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.youtube.com/watch?v=kgjPK_UK60c. Stan z 11.09.2018 r.



Rozdział III

KU ROZWOJOWI NAUKI I TECHNIKI

Julia Kalinowska[1]

Bioplastic is fantastic, czyli o wykorzystaniu potencjału wytwórczego bakterii

„Alucia" wypływa w kolejny rejs. Na jej pokładzie David Attenborough z załogą filmową będą kręcić finalny odcinek serialu przyrodniczego *Blue Planet II*. Bohaterem zbiorowym tej niezwykłej serii dokumentalnej są morskie stworzenia, a w ostatnim odcinku pojawi się prawdziwy czarny charakter – plastik. W spektakularny sposób, poruszając serca milionów widzów na całym świecie, Attenborough pokaże, w jaki sposób plastik, bezrefleksyjnie wyrzucany przez ludzi, wpływa na faunę oceanów [26].

Czym właściwie jest plastik? Według definicji Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej **plastik** jest terminem ogólnym, stosowanym w przypadku materiału polimerowego, który może zawierać również inne substancje w celu poprawy działania i/lub zmniejszenia kosztów produkcji [33]. Za **polimer** uznaje się cząsteczkę o wysokiej względnej masie cząsteczkowej, której struktura zasadniczo obejmuje wielokrotne powtarzanie jednostek o niskiej względnej masie cząsteczkowej (monomerów) [20].

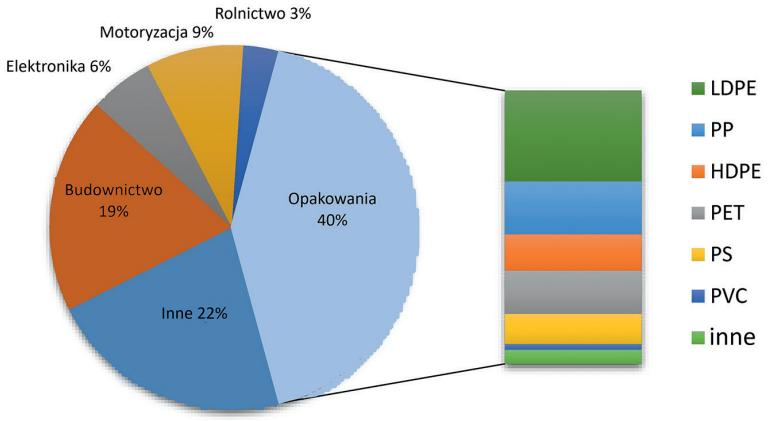
Polimery mogą występować w środowisku naturalnym. Wchodzą w skład ścian komórkowych (u roślin jest to głównie celuloza – polimer, którego monomerem jest cząsteczka glukozy), tworzą nici jedwabiu, oskórki stawonogów (zbudowane są z chityny – jej monomerami również są cząsteczki glukozy, jednak sposób połączenia jest inny). Do polimerów zaliczamy również kwasy nukleinowe, takie jak DNA i RNA [24].

Pierwszym syntetycznym masowo produkowanym polimerem był bakelit [23]. W 1907 roku uzyskał go chemik Leo Baekeland, który został zapamiętany jako ojciec przemysłu tworzyw sztucznych [18]. Od tamtego czasu opracowano

[1] Julia Kalinowska, II Liceum Ogólnokształcące z Oddziałami Dwujęzycznymi im. Adama Mickiewicza w Słupsku.

wiele metod masowego otrzymywania syntetycznych materiałów polimerowych. Zaliczamy do nich m.in. poliacetylen [PA, PAC], który można uzyskać w wyniku polimeryzacji acetylenu, polipropylen [PP], którego monomer ma wzór $-[CH_2CH(CH_3)]_n-$ i poli(tereftalan etylenu) [PET], który można zapisać za pomocą wzoru ($C_{10}H_8O_4$).

W przemyśle szerokie zastosowanie znalazł polipropylen [PP] – jest jednym z najczęściej wykorzystywanych tworzyw sztucznych – oraz poli(tereftalan etylenu) [PET]. Oba charakteryzują się lekkością, trwałością i plastycznością w odpowiednich temperaturach [4]. Co więcej, mogą być w stosunkowo tani sposób produkowane na masową skalę [12]. Ich zalety są jednak źródłem problemów – plastiki są produkowane masowo, tanio, a na dodatek są bardzo trwałe. Co się dzieje, gdy plastik z fantastycznego materiału zmienia się w śmieci?



Rys. 1. Wykres kołowy przedstawiający rozkład procentowy udziału tworzyw sztucznych w różnych gałęziach przemysłu oraz udział poszczególnych rodzajów plastiku w przemyśle opakowaniowym

Źródło: https://res.mdpi.com/recycling/recycling-03-00001/article_deploy/html/images/recycling-03-00001-g001.png.

40% plastiku służy do produkcji jednorazowych opakowań [14] (rys. 1). W związku z tym, że plastiki są tak trwałymi materiałami, proces ich rozkładu trwa od 10 do nawet 1000 lat [17]. Od początków masowej produkcji plastiku wyprodukowano już ponad 8,3 mld ton tego tworzywa [8]. Od 1907 roku ponad 6,3 mld ton plastiku stało się odpadkami [8].

Co zatem zrobiliśmy z taką ilością śmieci? 9% zostało wykorzystane ponownie, 12%. – spalone, a 79% wciąż znajduje się w środowisku [8]. Około 8 mln ton trafia każdego roku do oceanów [11] – w tym tempie do 2050 roku plastik znajdujący się w oceanach będzie ważył więcej niż ryby [25].

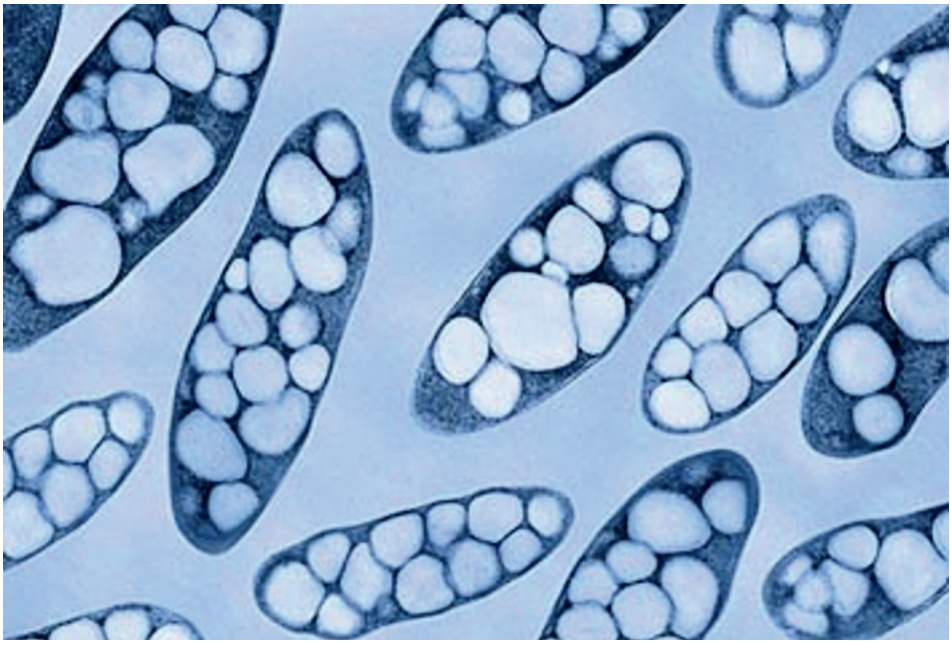
Plastik krąży w całym łańcuchu pokarmowym również w formie **mikroplastiku** – odłamków mających mniej niż 5 mm długości [7]. Szacuje się, że w samych oceanach znajduje się około 51 bln takich kawałków [35]. Mikroplastik został już odnaleziony w miodzie [19], w morskiej soli, w piwie i w wodzie z kranu [15]. Niewątpliwie plastik jest genialnym dzieckiem technologii materiałowej, jednak wymknął się ludzkości spod kontroli.

Wygląda na to, że Ziemia staje się coraz mniej przyjaznym miejscem do życia i to – w znacznej części – z winy naszego gatunku. Zanieczyszczenie środowiska jest przecież zjawiskiem antropogenicznym. Gdy słyszymy o pomysłach kolonizowania innych planet Wszechświata, pomyślmy, czy nagłe i masowe zainteresowanie makrokosmosem nie bierze się z chęci ucieczki z naszej rodzimej planety, którą zanieczyściliśmy, działając krótkowzrocznie (produkcja plastiku jest masowa, tania, a sam materiał długowieczny)?

Niezależnie od chęci wyprowadzki na nowe, czyste planety, musimy poradzić sobie z kryzysem na Ziemi dla dobra wszystkich zamieszkujących ją organizmów (do których człowiek też przecież należy). Oczywiste kroki, które należy podjąć, to zbieranie i utylizacja plastiku zalegającego w środowisku. Jednak co zrobimy z kolejnymi jego partiami? Całkowite wycofanie plastiku z produkcji nie jest dobrym rozwiązaniem, ponieważ powrót do starych materiałów jest praktycznie niewykonalny. Poza tym odwrót od plastiku również miałby ogromny negatywny wpływ na środowisko. Musimy pomyśleć o sposobach produkcji nowego plastiku. Materiału, którego produkcja będzie stosunkowo tania, nie będzie wpływała negatywnie na środowisko, a przede wszystkim sam materiał będzie biodegradowalny.

Z pomocą w porządkowaniu naszego świata przychodzi mikrokosmos: bakterie – jednokomórkowe prokarionty, które można znaleźć wszędzie. W ciele przeciętnego człowieka (ważącego 70 kg) liczba komórek bakterii przekracza liczbę jego komórek, mimo że ważą razem jedynie 0,2 kg [29]. Dla tych małych zróżnicowanych mikrobów sami jesteśmy swoistym makrokosmosem. Do różnorodnej gamy ich niezwykłych zdolności zaliczamy syntezę biopolimerów, czyli naturalnych polimerów. Dzięki rozwojowi takich nauk, jak mikrobiologia i biotechnologia, możliwe stało się wykorzystanie tych niezwykłych organizmów

do produkcji biopolimerów. Takie biopolimery, które zostaną zmodyfikowane chemicznie, są rodzajem **bioplastiku** [33]. Niektóre bakterie w niekorzystnych warunkach środowiska zaczynają produkować polimery. „Kiedy popatrzymy na taką bakterię pod mikroskopem, widzimy w jej wnętrzu perełki. To jest właśnie bioplastik. Takie granulki mogą stanowić nawet 90% masy bakterii" – opowiada mikrobiolog dr Maciej Guzik z Instytutu Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie, który zajmuje się uzyskiwaniem biopolimerów z bakterii (rys. 2). Znamy już 150 gatunków bakterii, które mają tę właściwość. Większość wytworzonych przez nie tworzyw jest biodegradowalna i biozgodna, znajduje więc szerokie zastosowanie w przemyśle medycznym do produkcji opatrunków i nawet implantów [31].



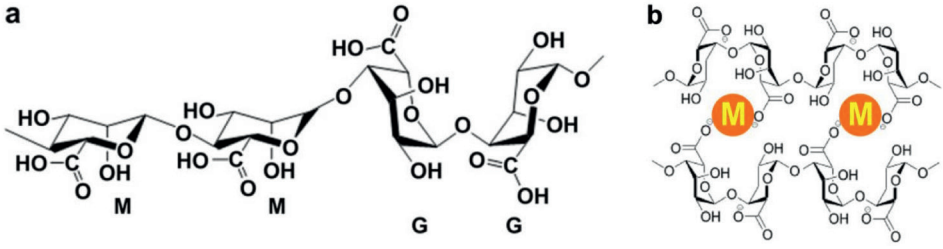
Rys. 2. Zdjęcie bakterii *Ralstonia eutropha* spod mikroskopu elektronowego. Białe kompleksy, przypominające „perełki" to granulki PHA – polihydroksyalanin, które są naturalnymi polimerami

Źródło: http://www.plastix.it/al-via-la-partnership-tra-gammarad-italia-e-bio-on/.

Pierwszym biopolimerem, który omówię, jest **kwas alginowy**. To liniowy polisacharyd o wzorze $(C_6H_8O_6)_n$ i masie cząsteczkowej od 10 tys. do 600 tys.

unitów. Składa się głównie z liniowego łańcucha kopolimerów – kwasu D-mannuronowego i kwasu -L-guluronowego w różnych proporcjach. Alginian ma ładunek ujemny i może przyjmować strukturę żelową [34]. Zaletą alginianu jest to, że strukturę jego żelu można zmieniać, stosując jony wapnia. W obecności kationów wapnia łańcuchy alginianu łączą się ze sobą, tworząc charakterystyczną strukturę molekularną, nazywaną modelem *eggs-in-box*. Materiał ten można chemicznie modyfikować, co prowadzi do powstania odmian o szczególnych właściwościach [27].

Alginiany mają szerokie zastosowanie: są używane w przemyśle spożywczym do produkcji środków zagęszczających, stabilizatorów, środków żelujących i emulgatorów, w przemyśle tekstylnym i papierniczym oraz jako czynnik mikrokapsułkujący probiotyki. Ze względu na swoją biozgodność, a zarazem biodegradowalność, alginiany znajdują zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym i medycznym [34].

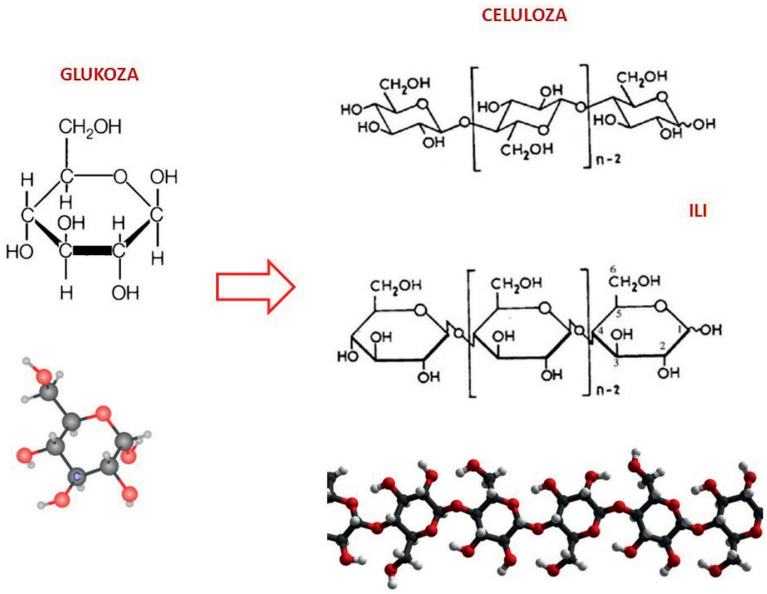


Rys. 3. Struktura alginianu a) łańcucha polimerowego, b) charakterystycznej struktury molekularnej – model *eggs-in-box*

Źródło: https://res.mdpi.com/materials/materials-06-01285/article_deploy/html/images/materials-06-01285-g001.png.

Obecnie wszystkie komercyjne alginiany są ekstrahowane z glonów, jednak rozwija się i wprowadza metody otrzymywania ich z bakterii. Gatunek *Azotobacter vinelandii* jest jednym z najlepszych kandydatów do przemysłowej produkcji alginianów. Jest bakterią Gram-ujemną wiążącą azot atmosferyczny z powietrza i zwykle występuje w glebie [27, 3]. Inną bakterią, która ma duży udział w wytwarzaniu alginianów, jest *Pseudomonas aeruginosa* (pałeczka ropy błękitnej) będąca bakterią Gram-ujemną i niebezpiecznym patogenem oportunistycznym. Zazwyczaj infekuje ona płuca, a przeżycie wewnątrz umożliwia jej nadprodukcja egzopolisacharydu – właśnie alginianu [5].

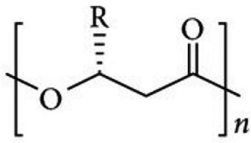
Celuloza bakteryjna jest sztandarowym polimerem pochodzenia bakteryjnego. Przemysłowo jest uzyskiwana z bakterii z rodzaju *Acetobacter* (głównie gatunek *Acetobacter xylinum*, który produkuje najwięcej celulozy wysokiej jakości, ponieważ wytwarza czystą celulozę jako produkt zewnątrzkomórkowy; *A. xylinum* to bakteria glebowa, Gram-ujemna, należąca do bakterii kwasu octowego [2]), jednak mogą ją syntetyzować również bakterie z rodzajów *Agrobacterium*, *Pseudomonas* i *Rhizobium* [34]. Celuloza ma prostą strukturę składającą się z glukozy monosacharydowej w połączeniach 1 → 4-β-glikozydowych (rys. 4). Celuloza bakteryjna charakteryzuje się wysoką czystością i ze względu na swoje właściwości jest bardziej ceniona od celulozy roślinnej [34]. Jest wykorzystywana w przemyśle jako matryca spożywcza, źródło błonnika, dodatek do żywności, stanowi różnorodne membrany i emulgator do farb [34, 32]. Celuloza bakteryjna znajduje szerokie zastosowanie w medycynie, gdzie służy jako matryca do produkcji sztucznej skóry, tkanki chrzęstnej, naczyń krwionośnych oraz wyspecjalizowanych opatrunków i systemów dostarczania leków [22, 32]. Prowadzi się również badania nad opracowaniem metody drukowania w technologii 3D, gdzie materiałem byłaby właśnie bakteryjna celuloza [9].



Rys. 4. Struktura monomeru – glukozy i polimeru celulozy

Źródło: http://svet-biologije.com/biologija/biologija-celije/biljna-celija/hemijske-osobine-celijskog-zida/.

Wiele gatunków bakterii, zarówno Gram-dodatnich, jak i Gram-ujemnych, takich jak *Alcaligenes latus*, *Bacillus megaterium*, *Comamonas testosteroni*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas guezennei*, *Thermus thermophilus*, genetycznie modyfikowane *Cupriavidus necator* i *Escherichia coli* [13], gromadzi rezerwy energii i węgla w formie wewnątrzkomórkowych granulek polihydroksyalkanianów (PHA) [13], które są pochodnymi β-hydroksykwasów (rys. 5). PHA są termoplastami idealnymi. Ulegają degradacji enzymatycznej, są przyjazne dla środowiska i charakteryzują się biozgodnością [21].



Poly(3-hydroxyalkanoates) [PHA]

R group		
$-CH_3$	Poly(3-hydroxyalkanoates)	PHA
$-CH_2\text{-}CH_3$	Poly(3-hydroxyvalerate)	PHV
$-(CH_2)_2-CH_3$	Poly(3-hydroxyhexanoate)	PHHex
$-(CH_2)_4-CH_3$	Poly(3-hydroxyoctanoate)	PHO
$-(CH_2)_6-CH_3$	Poly(3-hydroxydecanoate)	PHD
$-CH_2-C_6H_5$	Poly(3-hydroxy-5-phenylvalerate)	PHPV

Rys. 5. Ogólna struktura PHA i przykładowe podstawniki PHA, gdzie R może stanowić boczny łańcuch alifatyczny o różnej strukturze

Źródło: https://www.researchgate.net/profile/Young-Rok_Kim/publication/256187204/figure/fig1/AS:202648889368588@1425326668567/General-structure-of-polyhydroxyalkanoates-PHAs-and-examples-of-their-structural.png.

Mogą być stosowane w czystej postaci lub jako dodatki do tworzyw sztucznych. Ponieważ koszt ich produkcji jest wciąż relatywnie wysoki, stosuje się je głównie tam, gdzie tańsze materiały nie mogą ich zastąpić [16]. PHA są immunologicznie obojętne i w tkance ludzkiej ulegają bardzo powolnej degradacji. Trwają badania

nad stworzeniem nowych form PHA, bardziej atrakcyjnych komercyjnie [13]. Najczęściej PHA są używane do produkcji podłoża do hodowli komórkowych, w systemach dostarczania leków, w przeszczepach naczyniowych i nerwowych lub jako zastawki serca. Wykorzystuje się je również w rolnictwie i kosmetologii [16]. Pod kątem wytwarzania PHA najdokładniej zbadany został *Cupriavidus necator.* Jest on gatunkiem, który wytwarza PHA najwydajniej i to właśnie jego geny są wykorzystywane w genetycznym modyfikowaniu innych bakterii [16].

W XXI wieku nie musimy ograniczać się do materiałów produkowanych naturalnie przez bakterie. Wykorzystując ich zdolności produkcyjne oraz zdobycze inżynierii genetycznej, możemy wytwarzać na skalę masową polimery, które naturalnie syntetyzowane są tylko w małych ilościach lub metoda ich ekstrakcji jest mało wydajna i nieopłacalna. To właśnie przy pomocy bakterii powstał supermateriał Qmonos.

Pajęczy jedwab fascynował naukowców od dawna, nie tylko ze względu na sposób jego powstawania, ale też z uwagi na zadziwiające właściwości [1]. Naturalny polimer, z którego składa się nić pajęcza, jest polimerem białkowym złożonym z monomerów spidroin [10]. Jest mocniejszy niż stal i kevlar, zachowuje przy tym wysoką elastyczność. Co więcej, jest tworzywem naturalnym, jego produkcja nie wiąże się z dostarczaniem wielkiej nieekologicznej ilości ciepła. Głównym celem założonej przez Kazuhide Sekiyamę w 2007 roku firmy Spiber jest komercjalizacja przemysłowa syntetycznego jedwabiu pajęczego (i innych wysokowydajnych materiałów białkowych). W 2015 roku po raz pierwszy udało się opracować technologię produkcji syntetycznego jedwabiu pajęczego. Nowy materiał opatentowano pod nazwą Qmonos (nić pajęcza). Firma nie ogranicza się do produkcji włókien. Qmonos występuje również w formie membran, gąbek, żelów i nanowłókien. Spiber zamierza stworzyć samochód nowej generacji, który nie uszkodzi pieszego nawet przy silnym uderzeniu, odzież ochronną, bezpieczne narty i deski snowboardowe, mocne i zarazem lekkie łopaty wiatraków oraz wszelkiego rodzaju udoskonalenia w statkach kosmicznych i kombinezonach astronautów [28].

Aby wytworzyć syntetyczną pajęczą nić, należy najpierw zsekwencjonować geny odpowiedzialne za produkcję jedwabiu w genomie pająka. Następnie sztucznie zsyntetyzowany gen trzeba wprowadzić przy wykorzystaniu technik inżynierii genetycznej do genotypu bakterii, którą hoduje się na specjalnie dobranych pożywkach. Białko pajęczego jedwabiu oddziela się wówczas od bakterii, po czym poddaje się rafinowaniu i formowaniu we włókno [30, 6].

Tworzywa sztuczne są niezwykłymi materiałami, jednak ich szeroka produkcja i krótkotrwałe wykorzystywanie doprowadzają do zaśmiecenia naszej planety. Nic więc dziwnego, że naukowcy poszukują tanich, ekologicznych metod produkowania plastiku. Jedną z dróg jest wykorzystanie potencjału wytwórczego bakterii. Wiele z nich naturalnie syntetyzuje polimery, inne nabywają tę cechę w procesach biotechnologicznych. Ponieważ koszt produkcji polimerów bakteryjnych w porównaniu do polimerów syntetycznych jest dość wysoki, nie są to jeszcze materiały popularne, jednak wymogi środowiska i możliwości biotechnologii sprawią, że przekonamy się, iż *bioplastic is fantastic*.

Bibliografia

1. BROWNELL Blaine, *Transmaterial Next: A Catalog of Materials that Will Redefine Our Future. New York: Princeton Architectural Press*, 2017. ISBN 9781616895600.
2. CANNON Robert E., *Acetobacter xylinum — Biotechnology and Food Technology* [w:] EYNARD N., TEISSIÉ J. (red.), *Electrotransformation of Bacteria* [dokument elektroniczny]. Springer, Berlin, Heidelberg, 2000, ss. 104–107. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1007/978-3-662-04305-9_12. Stan z 14.09.2018 r.
3. CLEMENTI Franceses, *Alginate production by Azotobacter vinelandii* [w:] *Critical Reviews in Biotechnology* [dokument elektroniczny], 1997, vol. 17, nr 4, ss. 327–361. Tryb dostępu: https://doi.org/10.3109/07388559709146618. Stan z 14.09.2018 r.
4. *Conflicts in Chemistry: the Case of Plastics* [w:] *Science History Institute* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.sciencehistory.org/the-history-and-future-of-plastics. Stan z 14.09.2018 r.
5. DAMRON F. Heath, GOLDBERG Joanna B., *Proteolytic regulation of alginate overproduction in Pseudomonas aeruginosa* [w:] *Molecular Microbiology* [dokument elektroniczny], 2012, vol. 84, nr 4, ss. 595–607. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2012.08049.x. Stan z 14.09.2018 r.
6. *Endeavor. Spiber* [w:] *Spiber.jp* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.spiber.jp/en/endeavor. Stan z 14.09.2018 r.
7. GESAMP. *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment (Part 1)* [w:] *Journal Series GESAMP Reports and Studies* [dokument elektroniczny], 2015. Tryb dostępu: http://www.gesamp.org/publications/reports-and-studies-no-90. Stan z 14.09.2018 r.

8. GEYER Roland, JAMBECK Jenna R., LAW Kara Lavender, *Production, use, and fate of all plastics ever made* [w:] *Science Advances* [dokument elektroniczny], 2017, vol. 3, br 7. Tryb dostępu: http://advances.sciencemag.org/content/3/7/e1700782.full. Stan z 14.09.2018 r.
9. GRECA Luiz G., LEHTONEN Janika, TARDY Blaise L., GUOA Jiaqi, ROJAS Orlando J., *Biofabrication of multifunctional nanocellulosic 3D structures: a facile and customizable route* [w:] *Materials Horizons* [dokument elektroniczny], 2018, nr 3. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1039/c7mh01139c. Stan z 14.09.2018 r.
10. GRIP S., JOHANSSON J., HEDHAMMAR M., *Engineered disulfides improve mechanical properties of recombinant spider silk* [w:] *Protein Science* [dokument elektroniczny], 2009, vol. 18, s. 1012–1022. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1002/pro.111. Stan z 14.09.2018 r.
11. HARDESTY Britta Denise, WILCOX Chris, *Eight million tonnes of plastic are going into the ocean each year* [w:] *TheConversation.com* [dokument elektroniczny]. 12.02.2015. Tryb dostępu: https://theconversation.com/eight-million-tonnes-of-plastic-are-going-into-the-ocean-each-year-37521. Stan z 14.09.2018 r.
12. *How plastics are made* {w:] *PlasticsEurope.org* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.plasticseurope.org/en/about-plastics/what-are-plastics/how-plastics-are-made. Stan z 14.09.2018 r.
13. JIUN-YEE Chee, SUGAMA-SALIM Yoga, NYOK-SEAN Lau, SIEW-CHEN Ling, RAEID M. M. Abed, KUMAR Sudesh, *Bacterially Produced Polyhydroxyalkanoate (PHA): Converting Renewable Resources into Bioplastics* [w:] *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: http://www.formatex.info/microbiology2/1395-1404.pdf. Stan z 14.09.2018 r.
14. KAISER Katharina, SCHMID Markus, SCHLUMMER Martin, *Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review* [w:] *Recycling* [dokument elektroniczny], 2018, vol. 3, nr 1, 1. Tryb dostępu: https://doi.org/10.3390/recycling3010001. Stan z 14.09.2018 r.
15. KOSUTH Mary, MASON Sherri A., WATTENBERG Elizabeth V., *Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt* [w:] *Plos One* [dokument elektroniczny]. 2018. Tryb dostępu: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0194970. Stan z 14.09.2018 r.
16. KURCOK Piotr, KAWALEC Michał, SOBOTA Michał, MICHALAK Michał, KWIECIEŃ Michał, JURCZYK Sebastian, *Polihydroksyalkaniany – zastosowa-*

nie i recykling [w:] *Polimery* [dokument elektroniczny], 2017, t. 62, nr 5, ss. 364–370. Tryb dostępu: dx.doi.org/10.14314/polimery.2017.364. Stan z 14.09.2018 r.
17. LEBLANC Rick, *How Long Does It Take Garbage to Decompose?* [w:] *The balance small business* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.thebalancesmb.com/how-long-does-it-take-garbage-to-decompose-2878033. Stan z 14.09.2018 r.
18. *Leo Baekeland* [w:] *Wikipedia.org* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://en.wikipedia.org/wiki/Leo_Baekeland. Stan z 14.09.2018 r.
19. LIEBEZEIT Gerd, LIEBEZEIT Elisabeth, *Non-pollen particulates in honey and sugar* [w:] *Food additives & contaminants. Part A* [dokument elektroniczny], 2013, vol. 30, nr 12, ss. 2136–2140. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1080/19440049.2013.843025. Stan z 14.09.2018 r.
20. *Macromolecule (polymer molecule)* [w:] *IUPAC Gold Book* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://goldbook.iupac.org/html/M/M03667.html. Stan z 14.09.2018 r.
21. MALINOWSKI Rafał, *Biotworzywa jako nowe materiały przyjazne środowisku naturalnemu* [w:] *Inżynieria i ochrona środowiska* [dokument elektroniczny], 2015, t. 18, nr 2. Tryb dostępu: http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/ bwmeta1.element.baztech-48b49a9a-8816-4720-89ad-e21b3f6abc6e. Stan z 14.09.2018 r.
22. MAS KESHK Sherif, *Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications* [w:] *Bioproces Biotechniques* [dokument elektroniczny], 2014, vol. 4, nr 2. Tryb dostępu: https://www.researchgate.net/publication/260286643_Bacterial_Cellulose_Production_and_its_Industrial_Applications. Stan z 14.09.2018 r.
23. MIODOWNIK Mark, *W rzeczy samej. Osobliwe historie wspaniałych materiałów, które nadają kształt naszemu światu*. Karakter, Kraków 2016. ISBN 978-83-65271-08-2.
24. *Natural Polymers* [w:] *ChemistryExplained.com Fundations and Applications* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu http://www.chemistryexplained.com/Pl-Pr/Polymers-Natural.html. Stan z 14.09.2018 r.
25. *New Plastics Economy report offers blueprint to design a circular future for plastics* [w:] *EllenMacArthurFoundation.com* [dokument elektroniczny], 19.01.2016. Tryb dostępu: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/news/new-plastics-economy-report-offers-blueprint-to-design-a-circular-future-for-plastics. Stan z 14.09.2018 r.

26. PARKER James, *The Beauty and Horror of Blue Planet II*. [w:] *TheAtlantic.com* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.theatlantic.com/magazine/archive/2018/04/david-attenborough-blue-planet-ii/554051/. Stan z 14.09.2018 r.
27. SABRA W., ZENG A.-P., LÜNSDORF H., DECKWER W.-D., *Effect of Oxygen on Formation and Structure of Azotobacter vinelandii Alginate and Its Role in Protecting Nitrogenase* [w:] *Applied and Environmental Microbiology* [dokument elektroniczny], 2000, vol. 66, nr 9, ss. 4037–4044. Tryb dostępu: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC92256/. Stan z 14.09.2018 r.
28. SEKIYAMA Kazuhide, クモの糸で変わる世界*:* 関山 和秀 *at TEDxTokyo* [w:] *YouTube.com* [Dokument elektroniczny – zapis wykładu]. Tryb dostępu: https://www.youtube.com/watch?v=jzDwcNliXV8&t=459s. Stan z 14.09.2018 r.
29. SENDER Ron, FUCHS Shai, MILO Ron, *Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body* [w:] *Plos One* [dokument elektroniczny], 2016. Tryb dostępu: https://journals.plos.org/plosbiology/article?id=10.1371/journal.pbio.1002533. Stan z 14.09.2018 r.
30. *Spiber* [w:] *KISCO Ltd.* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.kisco-net.com/spiber/. Stan z 14.09.2018 r.
31. TOMALA Ludwika, *Bioplastik z zestresowanych bakterii – do rany przyłóż!* [w:] *pap.pl* [dokument elektroniczny], 2018. Tryb dostępu: http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C28109%2Cbioplastik-z-zestresowanych-bakterii-do-rany-przyloz.html. Stan z 14.09.2018 r.
32. ULLAHLN Hanif, SANTOS Hélder A., KHAN Taous, *Applications of Bacterial Cellulose in Food, Cosmetics and Drug Delivery* [w:] *Cellulose* [dokument elektroniczny], 2016, 23(4), ss. 2291–2314. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1007/s10570-016-0986-y. Stan z 14.09.2018 r.
33. VERT Michel, DOI Yoshiharu, HELLWICH Karl-Heinz, HESS Michael, HODGE Philip, KUBISA Przemyslaw, RINAUDO Marguerite, SCHUÉ François, *Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012)* [w:] *Pure and Applied Chemistry* [dokument elektroniczny], 2012, vol. 84, nr 2, ss. 377–410. Tryb dostępu: https://doi.org/10.1351/PAC-REC-10-12-04. Stan z 14.09.2018 r.
34. VU Barbara, CHEN Miao, CRAWFORD Russell J., IVANOVA Elena P., *Bacterial Extracellular Polysaccharides Involved in Biofilm Formation* [w:] *Molecules* [dokument elektroniczny], 2009, vol. 14, nr 7. Tryb dostępu: http://www.mdpi.com/1420-3049/14/7/2535/htm. Stan z 14.09.2018 r.

35. WILCOX Chris, VAN SEBILLE Erik, HARDESTYLN Britta Denise, *Threat of plastic pollution to seabirds is global, pervasive, and increasing* [w:] *pnas.org* [dokument elektroniczny], 2015. Tryb dostępu: http://www.pnas.org/content/pnas/early/2015 /08/27/1502108112.full.pdf. Stan z 14.09.2018 r.

Marek Moszyński[1]

Od Kopernika do geoinformatyka

Wprowadzenie

Gwałtowny rozwój technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych (ang. *Information and Communication Technologies*, ICT) w ostatnich dekadach, a w szczególności rozwój technologii związanych z wykorzystaniem informacji skojarzonej z lokalizacją geograficzną, przyczynił się do powstania licznych rozwiązań innowacyjnych, które stały się kołem zamachowym dla rozwoju wielu sektorów gospodarki. Również w rozwoju technologii kosmicznych i satelitarnych można zauważyć nowe trendy będące tego efektem.

Obecny trend w sektorze kosmicznym, określany mianem *New Space* lub *Space 4.0*, związany jest też z komercjalizacją przestrzeni kosmicznej będącej nie tylko obiektem badań astronomów, ale środowiskiem, w którym budowane są systemy i realizowane są różnorodne aplikacje. Warto wspomnieć, że poprzednie epoki w takim ujęciu to: epoka obserwacji Kosmosu z Ziemi, czyli epoka rozwoju astronomii (*Space 1.0*), epoka rozwoju technologii wynoszenia zakończona lądowaniem człowieka na Księżycu (*Space 2.0*) oraz epoka rozwoju badań naukowych w przestrzeni kosmicznej (epoka wahadłowców i stacji kosmicznych).

W niniejszym artykule przedstawiono wybrane aspekty związane z rozwojem koncepcji opracowywania map, począwszy od przywołania mniej znanych osiągnięć rozpoznawalnego na całym świecie Mikołaja Kopernika, a skończywszy na technologiach przygotowania specjalizowanych map cyfrowych wykorzystujących zobrazowania satelitarne.

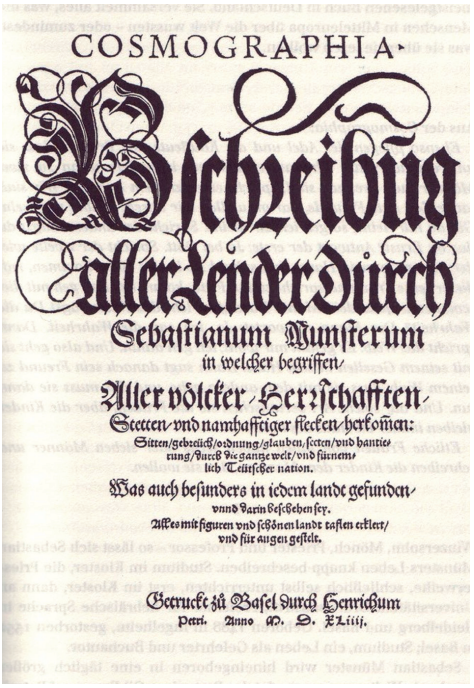
[1] Dr hab. inż. Marek Moszyński, Polska Agencja Kosmiczna, Katedra Systemów Geoinformatycznych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej.

Działalność kartograficzna Mikołaja Kopernika

Najstarsze polskie mapy powstawały w związku ze sporami terytorialnymi z zakonem krzyżackim, służąc udokumentowaniu praw Królestwa Polskiego do Pomorza [1]. Pierwsza z map przygotowana przez M. Kopernika przedstawiała Warmię oraz zachodnie granice Prus Królewskich, a wykonana została na zlecenie Łukasza Watzenrodego w związku ze zbliżającym się zjazdem poznańskim w 1510 r., na którym strona krzyżacka zmierzała do rewindykacji granic z 1466 r. Mapa ta, podobnie jak inne mapy M. Kopernika, nie zachowała się. Wiadomo natomiast, że z aktywności naszego astronoma w kosmografii, bo tak nazywano wówczas kartografię, skorzystali twórcy znanych i rozpowszechnionych w całej Europie atlasów map, tj. Sebastian Münster i Gerard Merkator. Ten ostatni kojarzony jest współcześnie z projekcji kartograficznej UTM (ang. *Universe Transverse Mercator*), stosowanej na mapach morskich, oraz projekcji nazywanej popularnie *Web Mercator* albo sferyczny Merkator, wykorzystywanej w internetowych mapach cyfrowych spopularyzowanych przez serwis Google Maps. Na rysunku 1 przedstawiono stronę tytułową *Kosmografii* S. Münstera wydanej w 1544 r. z przykładową mapą Europy. Warto zwrócić uwagę, że mapy z początku XVI w. niekoniecznie były orientowane północą do góry. Kopernik uczestniczył także w tworzeniu mapy Prus, którą przygotował w 1542 r. jeden z jego towarzyszy podróży po Prusach – Henryk Zell. Mapa ta opublikowana została w drugiej połowie XVI w. w atlasie Abrahama Orteliusa wydanym w 1573 r. w Antwerpii (rys. 2). Przygotowanie takich map w owym czasie było zatem możliwe jedynie poprzez wielomiesięczne podróżowanie po obszarze, który miał zostać na nich przedstawiony. Stąd twórcy atlasów wykorzystywali najczęściej mapy przygotowywane przez podróżników.

Nie ulega wątpliwości, że działalność M. Kopernika związana z głównym jego dziełem *O obrotach sfer niebieskich* stała się przełomowym wydarzeniem w historii nauki. Jego następcy obserwując kosmos z Ziemi, zaczęli najpierw wykorzystywać zawarte tam spostrzeżenia do formułowania nowych praw empirycznych (np. Johannes Kepler – trzy prawa Keplera), by potem dopiero je wyjaśnić w formie praw fizycznych (np. Izaak Newton – prawo powszechnego ciążenia).

Współcześnie w nauce nadal stosowane są zdefiniowane przez Keplera parametry orbit ciał niebieskich. Wykorzystywane są na przykład w transmitowanych przez globalne systemy nawigacyjne informacjach o położeniu każdego satelity wchodzącego w skład konstelacji. W rozgłaszanej depeszy nawigacyjnej



Rys. 1. *Kosmografia* Sebastiana Münstera z mapą Europy przedstawioną w formie mitologicznej postaci Europy

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmographia_(Sebastian_Münster).

są one zakodowane w postaci parametrów pozwalających określić położenia satelitów w dowolnym momencie, co jest konieczne do określenia aktualnej pozycji użytkowników wyposażonych w odbiorniki tych sygnałów, nazywane popularnie GPS-ami.

Warto w tym momencie przywołać rycinę Elwira Andriollego *Mikołaj Kopernik, jego poprzednicy i następcy*, która ukazała się na łamach czasopisma *Kłosy* w 1872 r. Można na niej znaleźć wspomnianych naukowców: J. Keplera i I. Izaaka Newtona, a także innych znanych astronomów: Tychona de Brahe, Galileusza, Jana Heweliusza czy Jamesa Bradleya, których odkrycia zmieniały oblicze nauki i były wkładem w rewolucję naukową w kolejnych wiekach.

Należy tu również podkreślić, że J. Kepler zredagował swoje trzy prawa na podstawie obserwacji własnych oraz obserwacji swych nauczycieli na zasadzie wnioskowania, mimo że nie potrafił ich wyjaśnić. Czyż jego metodyka pracy nie przypomina działania współczesnych systemów ekspertowych, które analizując

Rys. 2. Mapa Prus z atlasu Abrahama Orteliusa wydanego w Antwerpii w 1573 r.

Źródło: http://copernicus.torun.pl/nauka/kartografia/2/.

różnorodne dane, stosują metody klasyfikacji, pozwalając na wydobywanie informacji? Można więc pokusić się o stwierdzenie, że to J. Kepler był pierwszym geoinformatykiem.

Rys. 3. Elwiro Andriolli, *Mikołaj Kopernik, jego poprzednicy i następcy*, 1872 r.

Źródło: zdjęcie własne autora wykonane w Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku.

Elementy współczesnej geoinformatyki

Geoinformatyka jako specjalność naukowa nie figuruje w polskim systemie dyscyplin naukowych. Można zdefiniować ją, wzorując się na definicji informatyki i rozszerzając o aspekt geograficzny, jako specjalność naukowo-techniczną zajmującą się metodami przedstawiania, przechowywania, przesyłania i przetwarzania informacji o Ziemi oraz środkami technicznymi służącymi temu celowi. W specjalności tej można wyróżnić obszary takie jak: systemy informacji przestrzennej (ang. *Geographic Information Systems,* GIS), obserwacja Ziemi (ang. *Earth Observation*), telemonitoring (ang. *Remote Sensing*), mapowanie, pozyskiwanie danych o Ziemi (ang. *Surveying*), geowizualizacja czy fotogrametria.

Nie ulega wątpliwości, że obecnie dostępne dane satelitarne to jedno z kluczowych źródeł informacji wykorzystywanych we wszystkich wspomnianych obszarach. W tym zakresie, z punktu widzenia technologii pozyskiwania da-

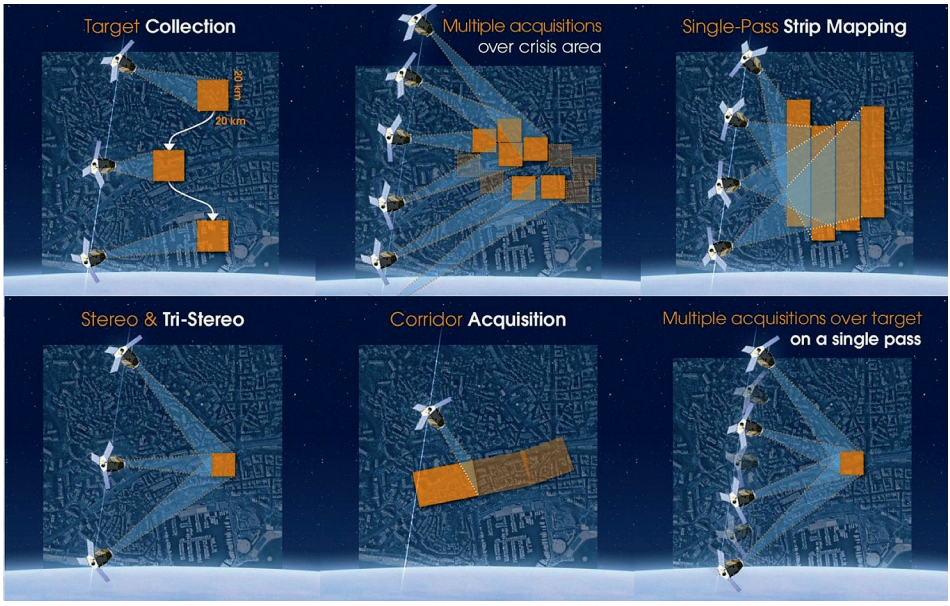
nych o Ziemi, niezwykle wymagające są konstrukcje systemów satelitarnych do obserwacji Ziemi prowadzonych w pasmach widzialnych (obrazy optyczne) i niewidzialnych (obrazy radarowe, obrazy mikrofalowe). Coraz częściej słyszymy o dostępności obrazów optycznych o rozdzielczości poniżej 1 m na piksel. Na przykład komercyjny system firmy DigitalGlobe o nazwie WorldView-4 dostarcza zobrazowań o rozdzielczości 31 cm w paśmie monochromatycznym. Jak uzyskać taką rozdzielczość, obserwując Ziemię z obiektu poruszającego się na orbicie na określonej wysokości rzędu kilkuset kilometrów? Aby odpowiedzieć na to pytanie, wystarczy skorzystać z prostego wzoru inżynierskiego opartego na twierdzeniu Talesa, który definiuje **rozdzielczość przestrzenną** (ang. *Ground Spatial Distance*, GSD) jako:

$$GSD = \frac{h}{f} r$$

gdzie h to wysokość orbity, f ogniskowa teleskopu umieszczonego na satelicie, a r to rozdzielczość optoelektronicznej matrycy w detektorze teleskopu. Gdyby zatem zaprojektowano system do pracy na wysokości h = 690 km nad Ziemią, to – aby uzyskać rozdzielczość przestrzenną 0,69 m na piksel, dysponując matrycą CCD o rozdzielczości r = 13 μm – należy wykonać teleskop o ogniskowej 13 m. Teleskop o takiej ogniskowej realizuje się w systemach satelitarnych w postaci konstrukcji z trzema zwierciadłami, co pozwala zredukować najdłuższy wymiar obudowy do wartości poniżej 2 m. Drugi wymiar warunkowany jest rozmiarem największego zwierciadła, które dla rozważanego przykładu można zaprojektować tak, by nie przekroczyć wraz z konstrukcją mocującą średnicy 1 m.

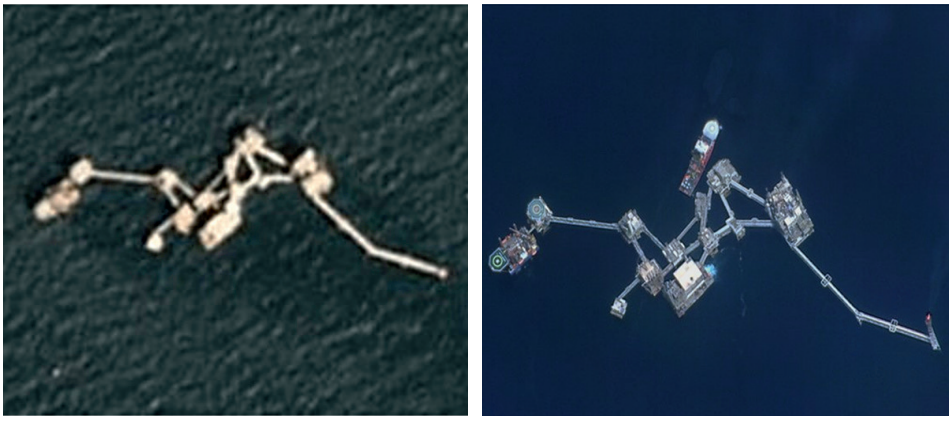
Teleskop o podobnej konstrukcji stosowany jest we francuskich satelitach serii Plejady i waży ok. 200 kg. System projektowany był od roku 2001 przez 10 lat, a pierwszy z dwóch satelitów obecnie funkcjonujących wyniesiony został w roku 2011. Dzięki specjalizowanemu sterowaniu orientacją umożliwia on akwizycję w kilku trybach pracy, które przedstawione zostały na rysunku 4. Tryby pracy ustalane są z jednodniowym wyprzedzeniem, w zależności od zamówień pochodzących z rynku, i pozwalają dokonać rejestracji różnych obszarów w trakcie jednego przelotu. Cały satelita z wszystkimi komponentami to obiekt o masie ok. 1 tony.

Rysunek 5 przedstawia dla porównania dwa zobrazowania wykonane przez systemy o różnej rozdzielczości przestrzennej. Nie ulega wątpliwości, że już zobrazowanie o rozdzielczości 70 cm na piksel otwiera szereg nowych możliwości związanych z wydobywaniem informacji z obrazu. Kolejny przykład



Rys. 4. Metody tworzenia obrazów satelitarnych w trakcie jednego przelotu

Źródło: http://www.cscrs.itu.edu.tr/assets/downloads/PleiadesUserGuide.pdf.



Rys. 5. Przykład zobrazowań satelitarnych platformy wiertniczej w Zatoce Perskiej wykonanych w dwóch różnych rozdzielczościach GSD = 3 m (po lewej) i GSD = 70 cm (po prawej)

Źródło: Archiwum ProGea 4D.

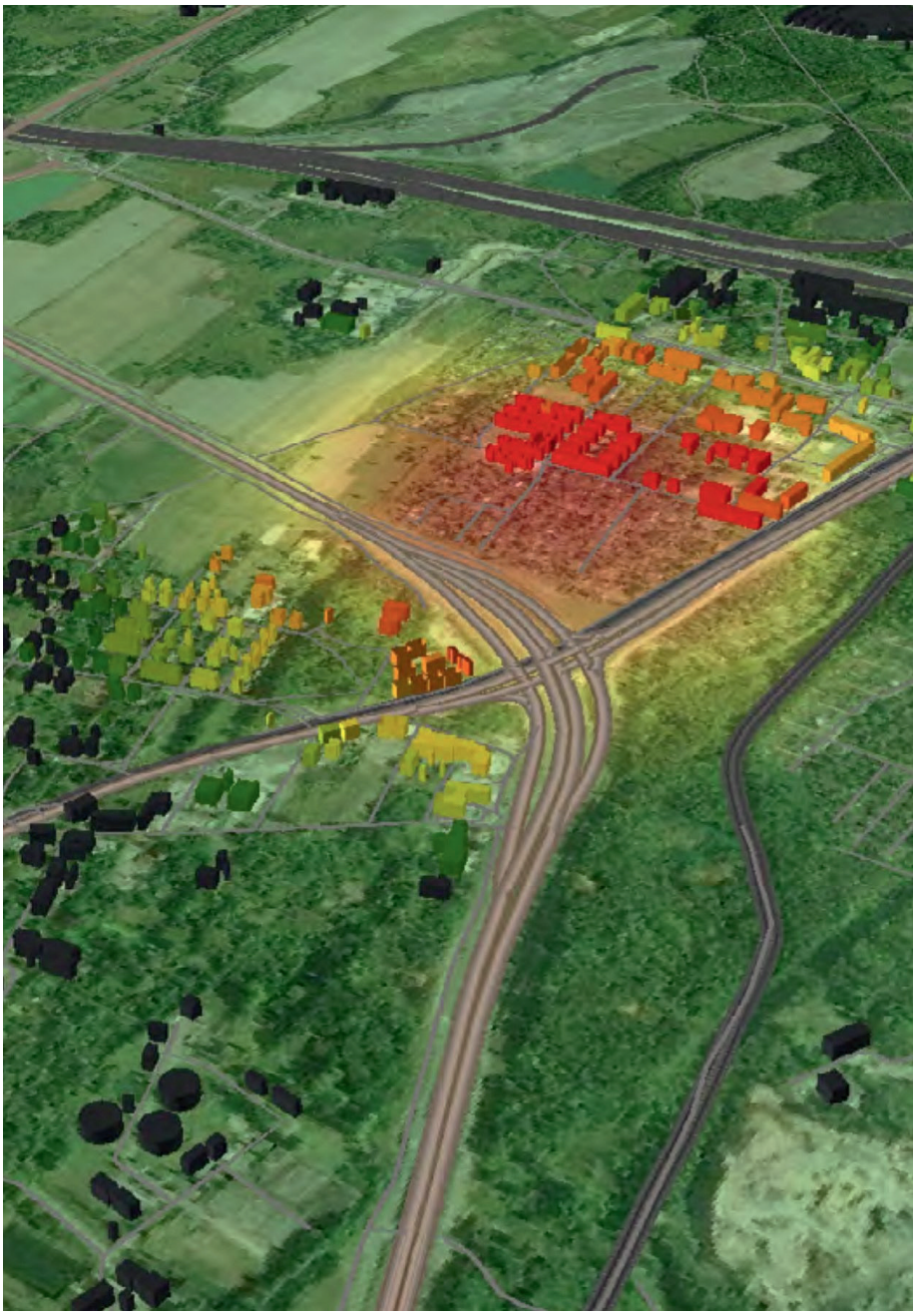
przedstawiony na rysunku 6 to jeden obraz z ciągu kolejnych zobrazowań wykonanych techniką tri-stereo. Sondowany obszar to farma zbiorników z ropą naftową i z serii zdjęć można ocenić na podstawie cienia w zbiornikach ilość ropy naftowej.

Rys. 6. Przykład zobrazowania tri-stereo

Źródło: Archiwum Planet Labs Inc.

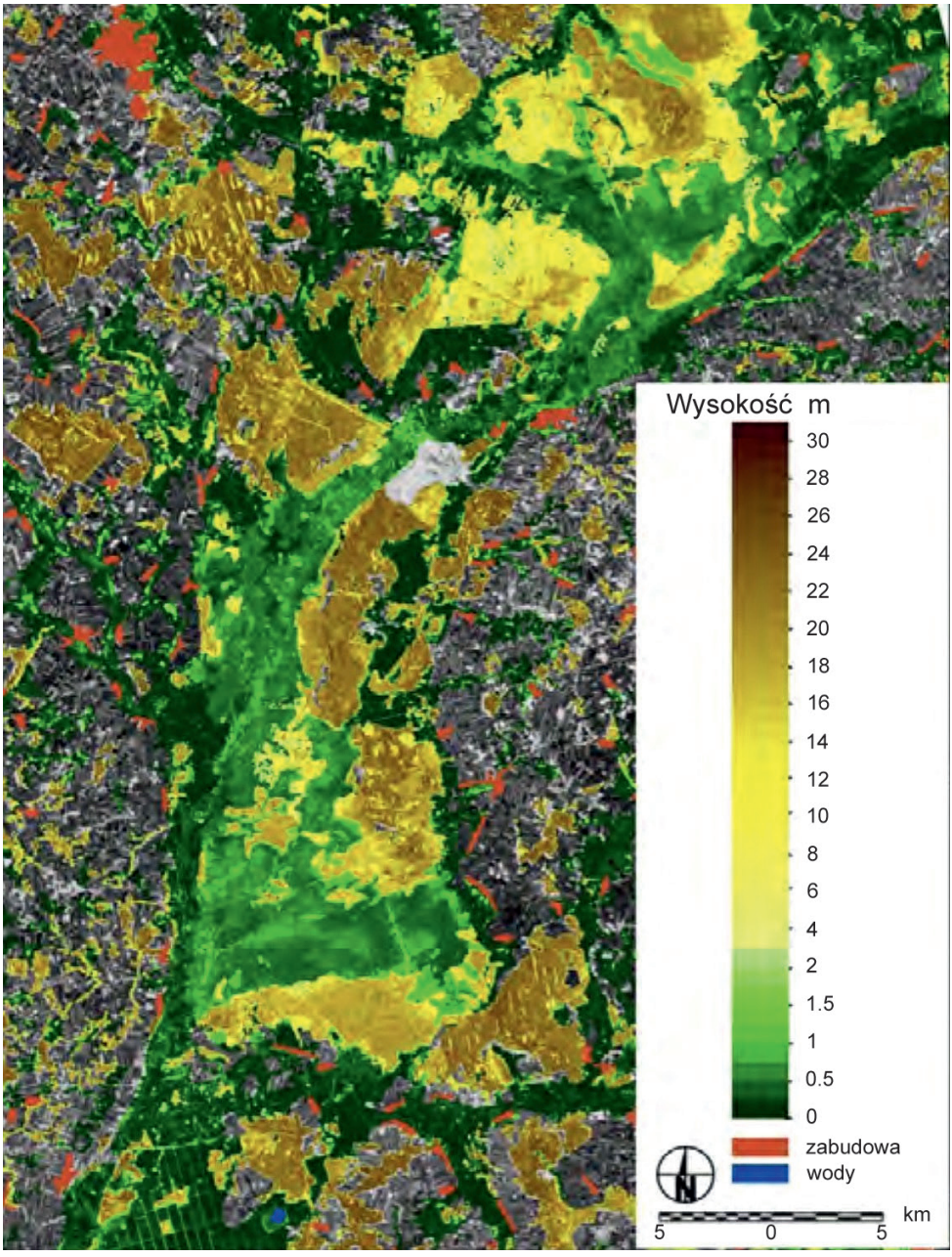
Warto nadmienić, że obecne trendy we wspomnianej erze *Space 4.0* to wykorzystanie zdobyczy technologii do minimalizacji wagi satelity i zwiększanie liczby satelitów znajdujących się w konstelacji. Niech jako przykład posłuży system firmy Planet Labs Inc., którego konstelacja zawiera ponad 200 nanosatelitów Dove o rozmiarze 30 cm x 10 cm x 10 cm i wadze 5 kg wyposażonych w kamery o rozdzielczości 3,125 m. System taki posiada dużo większe możliwości mapowania aktualnej sytuacji w obszarach zainteresowań i dostarcza zobrazowania w krótkim czasie po akwizycji.

Szerokie zastosowania praktyczne posiadają także zobrazowania otrzymane z satelitów radarowych, których dane wynikowe są niezależne od obecności warstw chmur, często zakłócających obiekty naziemne obserwowane przez systemy pracujące w paśmie widzialnym. Z racji wykorzystania aktywnej anteny nadawczo-odbiorczej w paśmie promieniowania mikrofalowego systemy te gromadzą dane także niezależnie od pory dnia. Przykład przetworzonego obrazu radarowego prezentującego fragment terenu w nienaturalnych kolorach (ang. *false colour scale*) pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Przykład przetworzonego satelitarnego zobrazowania radarowego

Źródło: Archiwum SATIM Monitoring Satelitarny Sp. z o.o.



Rys. 8. Mapa wysokości roślin opracowana na podstawie danych satelity ikrofalowego ALOS PALSAR

Źródło: Archiwum Instytutu Geodezji i Kartografii.

Gromadzone obrazy satelitarne zebrane przez wiele funkcjonujących systemów, pracujących w różnych pasmach częstotliwości, to materiał do budowy specjalizowanych map – tzw. map tematycznych. Na ich potrzeby budowane są platformy informatyczne udostępniające mapy o charakterze globalnym lub też regionalnym. Mapy te umożliwiają monitoring ukierunkowany (ciągły monitoring wielu powierzchni), monitoring wielkoobszarowy dużych powierzchni czy też monitoring wysokorozdzielczy wybranych obszarów wykonywany ze stałą częstotliwością (zależną od liczby satelitów konstelacji). Ich warstwowa konstrukcja umożliwia nanoszenie dedykowanych warstw tematycznych na mapy bazowe, konstruowane z zobrazowań rejestrowanych w paśmie widzialnym. Rysunek 8 przedstawia przykład mapy tematycznej uzyskanej z satelity pracującego w paśmie mikrofalowym.

Dzięki wykorzystaniu tematycznych cyfrowych map satelitarnych geoinformatyka tworzy naukę o informacji geograficznej (ang. *Geographic Information Science*) i umożliwia analizę ogromnych ilości danych, aby lepiej zrozumieć procesy zachodzące na Ziemi, pośrednio wpływając na wiele dziedzin życia człowieka, a w szczególności poprawiając jego kondycję ekonomiczną i jakość środowiska.

Bibliografia

1. BORAWSKA Teresa, *Mapy ziem polskich i pruskich a działalność kartograficzna Kopernika* [w:] *Nicolaus Copernicus Thorunensis* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: http://copernicus.torun.pl/nauka/kartografia/2/. Stan z 19.11.2018 r.

Agnieszka Omernik[1]

Zastosowanie aparatu fotograficznego do wyznaczania masy gwiazd

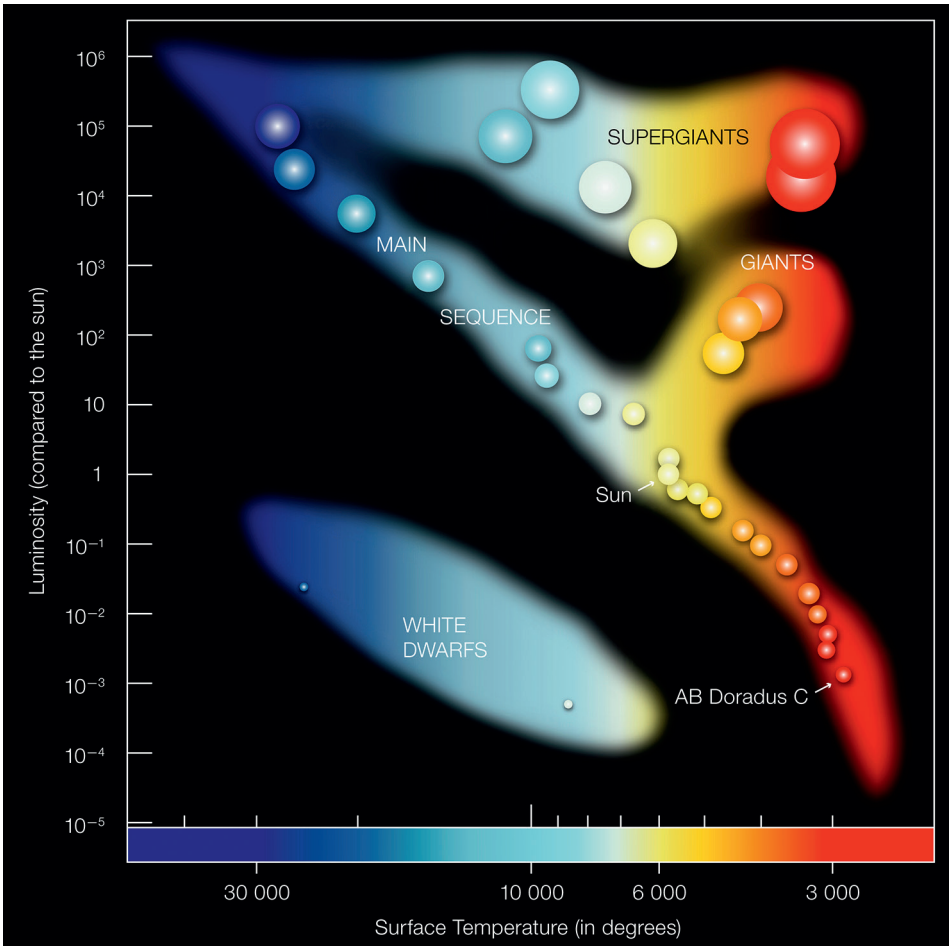
Wstęp

W celu klasyfikacji gwiazd w latach 1905–1913 został stworzony diagram Hertzsprunga-Russella (rys. 1) przedstawiający zależność mocy promieniowania gwiazdy od jej typu widmowego [5]. Wykres został skonstruowany niezależnie przez Ejnara Hertzsprunga w 1911 r. i udoskonalony przez Henry'ego Norrisa Russella w 1913 r. Na diagramie tym gwiazdy gromadzą się w ściśle określonych grupach, najwięcej z nich rozciąga się wzdłuż przekątnej, którą nazwano **ciągiem głównym gwiazd**. Dla gwiazd ciągu głównego prawdziwa jest zależność pomiędzy mocą promieniowania a masą gwiazdy (ang. *mass luminosity relations,* MLR) [9]. Zależność ta opisana jest wzorem: $L = aM^x$, gdzie:

L – względna moc promieniowania gwiazdy (w odniesieniu do Słońca),
M – względna masa gwiazdy,
a, x – szukane współczynniki.

W przeszłości wiele osób podejmowało próby wyznaczenia wartości tych współczynników, jednak najnowsze wyniki, do których udało się dotrzeć, pochodzą z 1951 roku [8]. Stąd w artykule podjęto próbę ponownego ich wyznaczenia dla najnowszych danych obserwacyjnych. Głównym celem pracy było wyznaczenie wartości dwóch współczynników w zależności masa–moc promieniowania gwiazdy: potęgowego x i proporcjonalności a oraz weryfikacja otrzymanych wyników w praktyce. Projekt badał weryfikowalność jednej z ważniejszych własności gwiazd ciągu głównego, określających ścisłą zależność między ich masą a jasnością powierzchni (fotosfery). W dostępnej literaturze podaje się, że moc promieniowania gwiazdy jest proporcjonalna do potęgi w zakresie 3–4 [9].

[1] Agnieszka Omernik, I Liceum Ogólnokształcące w Tczewie.

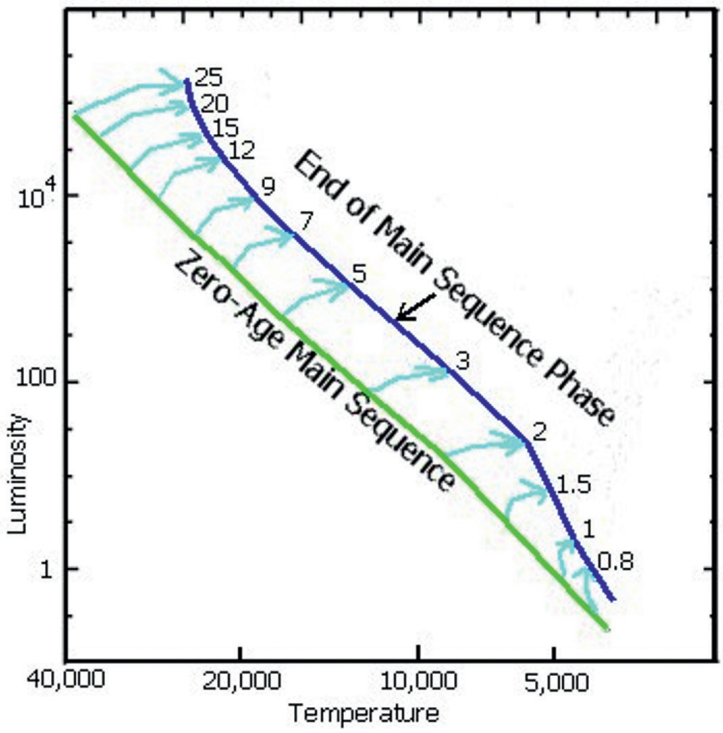


Rys. 1. Diagram H-R

Źródło: https://www.eso.org/public/images/eso0728c.

Gwiazdy ciągu głównego

Gwiazdy te (zgodnie z twierdzeniem Vogta-Russella) mają identyczny skład chemiczny (łącznie z jądrami) oraz spełniają warunki równowagi hydrostatycznej (ciśnienie gazu i ciśnienie promieniowania zrównoważone przez siły grawitacji). Każda gwiazda podczas swojej ewolucji przechodzi przez ciąg główny, co stanowi najdłuższy etap jej życia wyznaczany na około 90% jego długości [11]. Ciąg główny nie jest wąską linią, lecz ma charakter rozmyty (rys. 2), ponieważ ewolucja gwiazdy zależy nie tylko od jej masy, lecz także od dodatkowych pa-



Rys. 2. Przesunięcie ciągu głównego

Źródło: https://sites.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/zams.jpg.

rametrów, takich jak prędkość obrotowa, pole magnetyczne, skład chemiczny [4]. Za szerokość ciągu głównego przyjmuje się odległość między dwoma prostymi otrzymanymi w wyniku symulacji numerycznych dla gwiazd, które rozpoczynają proces termosyntezy wodoru w wieku zero (**ZAMS** – *Zero Age Main Sequence*) i kończą go w wyniku wyczerpania wodoru. Podczas swojej ewolucji gwiazdy nieznacznie przesuwają się ku niższym temperaturom, tworząc charakterystyczne „rozmycie" ciągu głównego.

Metody wyznaczania masy gwiazdy

Masa, będąc najważniejszym parametrem opisującym budowę i ewolucję gwiazd, jest jednocześnie wielkością bardzo trudną do wyznaczenia. Natomiast uzyskanie dokładnych pomiarów masy odgrywa kluczową rolę w zrozumieniu ewolucji gwiazdy. Najczęściej stosowane metody wyznaczania masy zostały zestawione w poniższej tabeli.

Tab. 1. Informacje o poszczególnych metodach wyznaczenia masy gwiazdy

Metoda	Opis	Potrzebne parametry	Dokładność metody	Uwagi
Wyznaczanie mas z układów podwójnych gwiazd	Wykorzystuje prawa ruchu Newtona	Parametry orbit	Brak danych	Dla układów podwójnie wizualnych ze znaną paralaksą i prędkościami radialnymi w ciągu pełnego obiegu lub podwójnych zaćmieniowych i dwuliniowych (mało układów podwójnych)
Fotometryczna	Klasyfikuje gwiazdy według koloru i jasności	Kolor, jasność	100%	Bardzo ogólna
Asterosejsmologia	Mierzy fluktuacje światła, powodowane przez impulsy dźwiękowe przechodzące przez wnętrze gwiazdy	Natężenie światła	Bardzo dokładna	Możliwe tylko dla najbliższych, najjaśniejszych gwiazd
Na podstawie ruchu planet	Wykorzystuje prawa Keplera (prawo powszechnego ciążenia)	Parametry orbity (*T*, *a*)	Brak danych	Brak
Metoda mieszana	Wyznaczanie masy i promienia gwiazdy przy pomocy satelitów TESS i GAIA	Paralaksa, jasność, temperatura	10–25% (zależna od danych wejściowych)	Rozwinięcie dwóch metod opracowanych przez Stassun (empiryczna metoda określenia średnicy gwiazdy) i Bastien (metoda określająca grawitację powierzchniową gwiazdy)
Masa–jasność (M–L)	Wyznaczenie masy gwiazdy na podstawie zależności pomiędzy masą a mocą promieniowania gwiazdy	Jasność (temperatura efektywna, promień)	Brak danych	Stosowalne tylko dla gwiazd ciągu głównego

Źródło: opracowanie własne na podstawie NOWAK Agnieszka, Lepszy sposób na zważenie milionów samotnych gwiazd [w:] Vega – astronotki. Astronomia wokół nas [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu:http://agnieszkaveganowak.blogspot.pe/2017/12/lepszy-sposob-na-zwazenie-milionow.html. Stan z 21.09.2018 r.; oraz SZULC Marcin, Wyznaczanie mas gwiazd. Gwiazdy podwójne i wielokrotne [w:] Astrovision.pl [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.astrovision.pl/index.php?post=40. Stan z 21.09.2018 r.

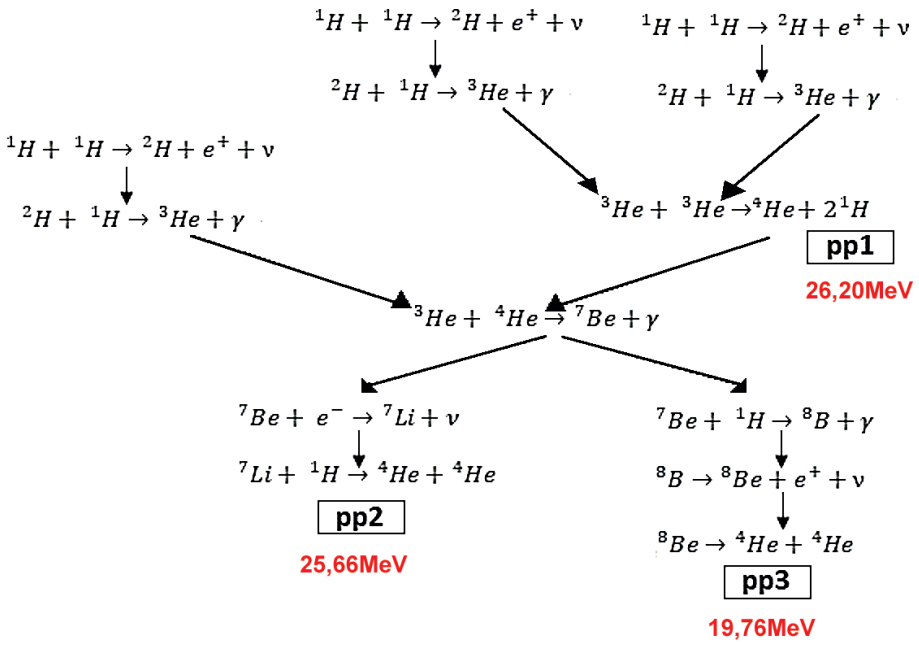
Podstawy naukowe zależności M–L

Historia zależności M–L

1911 – pierwsze dane potwierdzające MLR;
1924 – ustalenie MLR przez A.S. Eddingtona;
1939 – uzupełnienie MLR o temperaturę gwiazdy przez N. Lwowa;
1940 – potwierdzenie MLR przez H.N. Russella i C.E. Moore'a (1053 gwiazdy jako zależności liniowej;
1951 – potwierdzenie MLR przez P. Parenago i A. Masewicza (118 gwiazd) jako zależności liniowej–łamanej.

Reakcje zachodzące we wnętrzach gwiazd ciągu głównego

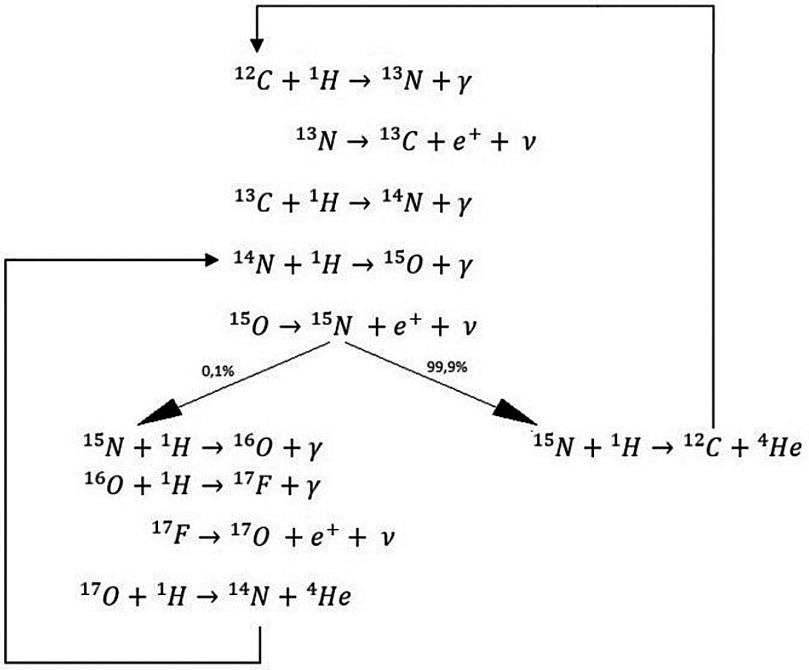
W jądrach gwiazd ciągu głównego zachodzą reakcje termosyntezy wodoru w hel. Możliwe są tylko dwa typy takich reakcji. W gwiazdach o masach do 1,3 mas Słońca (Ms) decydującym źródłem energii jest reakcja zwana **cyklem protonowo-protonowym (pp)** (rys. 3) [2].



Rys. 3. Cykl protonowo-protonowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie Cykl protonowy [w:] Wikipedia. Wolna encyklopedia [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_protonowy. Stan z 21.09.2018 r.

Z kolei w gwiazdach o masach M > 1,3 Ms, w których obecne są jądra C, N, O, a temperatura jest odpowiednio wysoka, decydujący jest cykl Bethego – **cykl węglowo-azotowo-tlenowy (CNO)** (rys. 4) [3].



Rys. 4. Cykl węglowo-azotowo-tlenowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie *Cykl węglowo-azotowo-tlenowy* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_węglowo-azotowo-tlenowy. Stan z 21.09.2018 r.

Sposób transportu energii we wnętrzach gwiazd ciągu głównego

Wewnątrz gwiazd zachodzą dwa sposoby transportu energii: konwekcja i promieniowanie. Dla gwiazd o masach mniejszych od 0,43 Ms energia transportowana jest z jądra na powierzchnię tylko poprzez konwekcję, zatem materia cały czas krąży. Dla gwiazd o średnich masach od 0,43 do 1,5 Ms przy jądrze dominuje promieniowanie, a wyżej konwekcja, dlatego na ich powierzchni nie ma produktów syntezy termojądrowej. W gwiazdach cięższych (powyżej 1,5 Ms) warstwa konwekcyjna prawie nie istnieje, a transport energii odbywa się przez promieniowanie.

Współczynnik nieprzezroczystości (stopień jonizacji atomu):

- jest funkcją zależną od temperatury (maleje wraz ze wzrostem temperatury);
- obejmuje absorpcję (na swobodnych elektronach – przejścia swobodno-swobodne, fotojonizacja atomów – przejścia swobodno-związane, na liniach widmowych – przejścia związano-związane, dysocjacja molekuł T < 4 000 K) i rozpraszanie (na elektronach – efekt Comptona);
- zależy od drogi swobodnej fotonów (na drodze swobodnej nie oddziałują z materią): im mniejsza droga swobodna, tym mniej przeźroczysty jest ośrodek;
- jest obliczany numerycznie;
- zależy od składu chemicznego gwiazdy, głównie od cięższych pierwiastków (Z).

Średni ciężar cząsteczkowy gwiazdy

Ciężar cząsteczkowy gwiazdy (c.c.) jest ilorazem masy gwiazdy przez liczbę budujących ją cząstek. Każdy pierwiastek chemiczny ma określony c.c. (c.c. wodoru wynosi ½, ponieważ jego masa cząsteczkowa wynosi 1 u, a składa się z jądra i elektronu). Dlatego o średnim ciężarze cząsteczkowym gwiazdy decyduje jej zawartość procentowa [wodór (X), hel (Y) i cięższe (Z)] [8].

Metoda badań

W celu wyznaczenia współczynników równania masa–moc promieniowania wykorzystano astrofizyczne bazy danych o egzoplanetach, zakładając, że w większości planety te krążą wokół gwiazd ciągu głównego. Z baz tych pobrano niezbędne parametry 877 gwiazd (temperatura efektywna i promień) i ich planet (okres obiegu i wielką półoś orbity). Wiedząc, że badana zależność dotyczy tylko gwiazd ciągu głównego, dokonano selekcji spośród 877 gwiazd. Przy wykorzystaniu diagramu H-R oraz na podstawie określonych parametrów gwiazdy, tj. masy, temperatury, promienia i typu widmowego, określono, czy dana gwiazda leży w ciągu głównym. Ostatecznie do analizy zostało wytypowanych 527 gwiazd. Na podstawie temperatur efektywnych i promieni wyznaczono moc promieniowania wszystkich gwiazd, wykorzystując prawo Stefana-Boltzmana. Dalej wyliczono masę gwiazdy z parametrów orbit egzoplanet, wykorzystując III prawo Keplera. Stosując metodę linearyzacji, przekształcono zależność:

ML ($L = aM^x$) do postaci logarytmicznej $logL = loga + xlogM$, aby otrzymać zależność liniową opisaną równaniem $\boldsymbol{y = \beta + \alpha x}$.

Z porównania wynika, że współczynnik ***x*** odpowiada współczynnikowi kierunkowemu funkcji liniowej ***α***, natomiast współczynnik ***a*** równy jest 10 β. Następnie dla zbioru 527 gwiazd wyznaczono wartości współczynników ***a, x***.

Kolejnym etapem mojej pracy było określenie zależności pomiędzy jasnością absolutną gwiazdy a jej mocą promieniowania przy wykorzystaniu wzoru [10]:

$$M_g^* - M_s^* = -2{,}5log_{10}\frac{L_g}{L_s}, \quad \text{gdzie:}$$

L_g, L_s – moc promieniowania odpowiednio badanej gwiazdy i Słońca

M_g^*, M_s^* – jasność absolutna kolejno gwiazdy i Słońca.

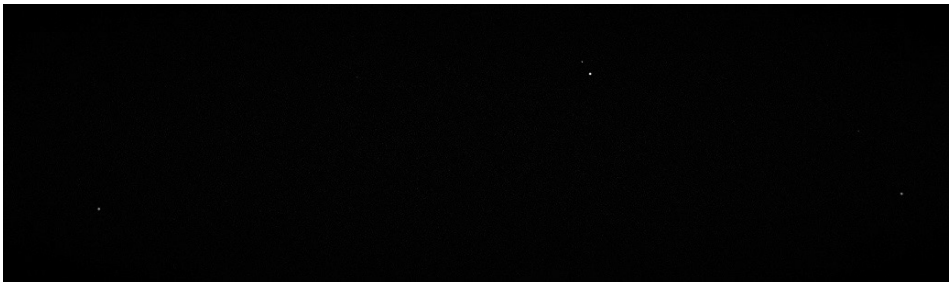
Po przekształceniu: $L = 10^{\frac{M_S^* - M_g^*}{2{,}5}}$, gdzie $M^* = m - 5\log_{10} r + 5$, jasność absolutna, zaś

m – jasność obserwowalna,

r – odległość gwiazdy od Ziemi w parsekach.

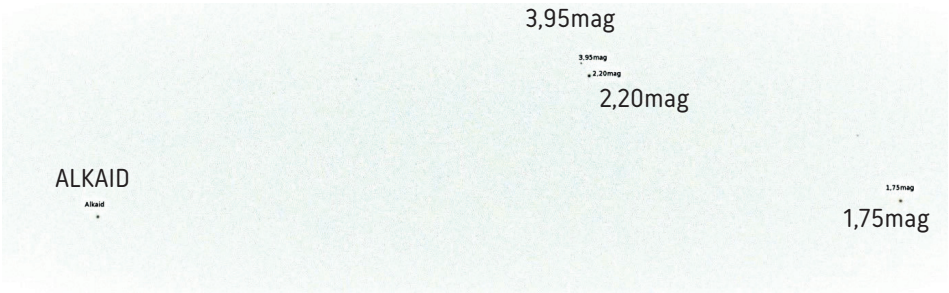
Powyższe obliczenia oraz samodzielnie wykonane aparatem fotograficznym zdjęcia pozwoliły wyznaczyć moc promieniowania i masę dwóch gwiazd (metoda NBA wyznaczania gwiazd).

Następnie były prowadzone obserwacje gwiazd. Pierwsza badana przeze mnie gwiazda Alkaid (η Ursae Majoris) to jedna z najjaśniejszych gwiazd z gwiazdozbioru Wielkiej Niedźwiedzicy [1].



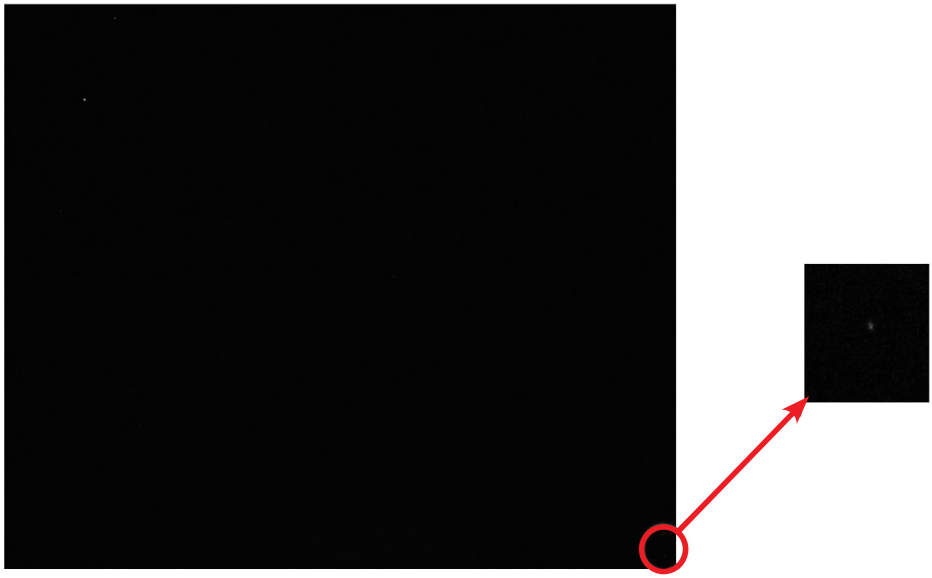
Rys. 5. Alkaid oraz gwiazdy porównywane: Mizar (ζ Ursae Majoris) i Alioth (ε Ursae Majoris)
Źródło: archiwum własne. Aparat Canon EOS 700D, ISO 12800, czas naświetlania 2,5 s, obiektyw 50 mm, 29.09.17, 20.16.

Na podstawie zdjęcia (rys. 5) przygotowano jego negatyw (rys. 6), a następnie wyznaczono jasność obserwowaną badanej gwiazdy – 1,86 mag.



Rys. 6. Negatyw fotografii gwiazd Alkaid oraz Mizar (ζ Ursae Majoris) i Alioth (ε Ursae Majoris).
Źródło: opracowanie własne.

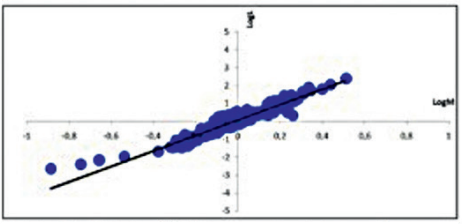
Analogiczne postępowanie zastosowano dla kolejnej gwiazdy – Al Thalimain Prior (λ Aquilae) [7] w gwiazdozbiorze Orła (rys. 7). Jej jasność obserwowana – 3,43 mag.



Rys. 7. Al Thalimain Prior oraz gwiazdy porównywane: Alshain (β Aquilae) i Altair (α Aquilae)
Źródło: archiwum własne. Aparat Canon EOS 700D, ISO 6400, czas naświetlania 1,3 s, obiektyw 50 mm, 07.09.18, 20.42.

Otrzymane wyniki

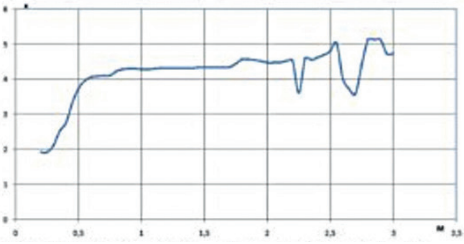
Ostatecznie uzyskaną zależność M–L przedstawiono na wykresie (wyk. 1). Na jego podstawie można potwierdzić, że zależność ta jest liniowo-łamana. Aby określić, jakie parametry gwiazdy mają wpływ na postać zależności, badano różne przedziały mas gwiazdy (tab. 2). Ponadto sprawdzono, jak zmieniają się wartości współczynników w zależności od masy gwiazdy (wyk. 2, wyk. 3).



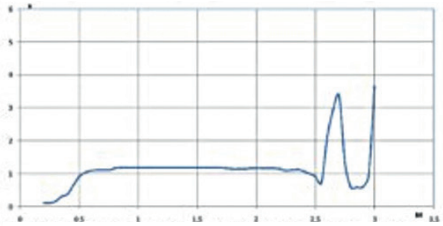
(Wyk. 1). Zależność M-L dla zwiazd ciągu głównego

M	a	Sa	x	Sx	R	N
0,13-0,43	0,11	0,01	1,88	0,09	0,99	7 !
0,43-3,25	1,14	0,02	4,56	0,05	0,94	520
2,00-3,25	2,93	0,76	3,72	0,24	0,87	14 !
0,43-1,30	1,18	0,03	4,70	0,09	0,89	317
0,43-1,50	1,15	0,02	4,61	0,06	0,93	408
1,80-3,25	0,71	0,38	5,04	0,49	0,85	21
1,30-1,80	1,10	0,18	4,63	0,36	0,48	181
0,13-3,25	1,19	0,02	4,33	0,05	0,94	527

(Tab. 2). Wartości współczynników w zależności M-L
w zależności od przedziału mas
R - współczynnik korelacji,
N - liczba badanych gwiazd w danym zakresie mas.
Sa, Sx - odchylenie standardowe dla odpowiedniego współczynnika a, x



(Wyk. 2.). Zmiany wartości współczynnika 'x' w zależności od masy gwiazdy.



(Wyk. 3.). Zmiany wartości współczynnika 'a" w zależności od masy gwiazdy.

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki uzyskane dla własnych danych obserwacyjnych następnie zestawiono w tabelach (tab. 3, tab. 4).

Tab. 3. Porównanie wartości rzeczywistych i obliczonych masy i mocy promieniowania dla gwiazdy Alkaid

Wartości z literatury		*Wynik obliczeń*		*Błąd względny*	
Masa	Moc promieniowania	Masa	Moc promieniowania	Masa	Moc promieniowania
$5M_s$	$580L_s$	$3M_s$	$154L_s$	**40,00%**	**73,45%**

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 4. Porównanie wartości rzeczywistych i obliczonych masy i mocy promieniowania dla gwiazdy Al Thalimain Prior

Wartości z literatury		*Wynik obliczeń*		*Błąd względny*	
Masa	Moc promieniowania	Masa	Moc promieniowania	Masa	Moc promieniowania
$3{,}1M_s$	$\sim 55L_s$	$2{,}2M_s$	$52L_s$	**28,90%**	**5,45%**

Źródło: opracowanie własne.

W dalszej kolejności obliczono średni błąd względny metody wyznaczenia mocy promieniowania gwiazdy z jej jasności absolutnej, który wynosi 24,51%. Dla masy błąd względny wynosi: 8,88%, jednak może być to zaniżona wartość, ponieważ wyprowadzona zależność masa–moc promieniowania opierała się na danych, dla których została sprawdzona dokładność metody.

Wnioski z badań

Wyznaczone wartości współczynników w zależności M–L przyjmują wartości średnie z przedziału (wynikającego z rozmycia ciągu głównego gwiazd).

Wartości średnie współczynników w zależności M–L dla wszystkich gwiazd ciągu głównego wynoszą $a = 1{,}19$ i $x = 4{,}33$.

Wartości współczynników w zależności M–L są określone przez przedziały mas gwiazd ciągu głównego. Pierwszy przedział dotyczy gwiazd małomasywnych (do 0,43 Ms), drugi – gwiazd „typowych" (od 0,43 Ms do 2 Ms) i trzeci przedział – gwiazd masywnych (powyżej 2 Ms).

Zauważalny jest wpływ na wartość współczynników w zależności M–L sposobu transportu energii i typu zachodzących w gwieździe reakcji termojądrowych, przypuszczalnie metaliczność i średni ciężar cząsteczkowy gwiazdy także mają wpływ na te wartości (jednak nie zostały one sprawdzone).

W związku z przyjętą metodyką postępowania otrzymana zależność M–L opisuje jedynie gwiazdy ciągu głównego populacji pierwszej.

Gwiazdy o małych masach, wolno ewoluujące i pochodzące tylko z I populacji, mają stały stosunek czwartej potęgi średniego ciężaru cząsteczkowego do nieprzeźroczystości.

Współczynniki w zależności M–L dla gwiazd masywnych (powyżej 2 Ms) nie są wyznaczone z odpowiednio małym odchyleniem standardowym z powodu małej liczby gwiazd.

Nie jest możliwe dokładne wyznaczenie masy gwiazdy przy użyciu zbadanej zależności, dlatego że na nocnym niebie obserwuje się głównie gwiazdy masywne o dużej jasności. Dane przyjęte w badaniu nie obejmowały gwiazd o masach większych niż 3,25 masy Słońca.

Aby możliwe było wyznaczenie masy gwiazdy metodą obserwacyjną, należałoby dopracować zależność masa–moc promieniowania oraz moc promieniowania–jasność gwiazdy dla gwiazd bardziej masywnych.

Praktyczne wykorzystanie zależności M–L

Możliwe jest obliczanie parametrów fizycznych gwiazdy, takich jak masa i moc promieniowania (w tym promień i temperatura efektywna gwiazdy).

Możliwe jest określenie przynależności gwiazdy do ciągu głównego, jeżeli wyznaczone współczynniki będą prawidłowe dla określonych zakresów mas (duże odchylenie od normy dla danego ciała niebieskiego będzie oznaczać, że znajduje się ono poza ciągiem głównym, zatem nie spala już w swoim wnętrzu wodoru).

W wyniku obserwacji tranzytu konkretnej egzoplanety dla danej gwiazdy (w zdecydowanej większości krążą wokół gwiazd ciągu głównego), znając masę gwiazdy, można określić promień orbity tej planety.

Możliwe jest określanie odległości do obserwowanych gwiazd: nowa metoda niewykorzystująca świec standardowych (cefeid, supernowych).

Mając dobrze wyznaczone współczynniki, można wyznaczyć wartość iloraz czwartej potęgi średniego ciężaru cząsteczkowego przez nieprzeźroczystość i porównać z wartościami wyznaczonymi numerycznie.

Bibliografia

1. *Alkaid* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Alkaid. Stan z 21.09.2018 r.
2. *Cykl protonowy* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_protonowy. Stan z 21.09.2018 r.
3. *Cykl węglowo-azotowo-tlenowy* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Cykl_węglowo-azotowo-tlenowy. Stan z 21.09.2018 r.

4. *Gwiazda* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Gwiazda. Stan z 21.09.2018 r.
5. *Hertzsprung-Russell diagram* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://en.wikipedia.org/wiki/ Hertzsprung–Russell_diagram. Stan z 21.09.2018 r.
6. *Jasność (astronomia)* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Jasność_(astronomia). Stan z 21.09.2018 r.
7. *Lambda Aquilae* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Lambda_Aquilae. Stan z 21.09.2018 r.
8. MASEVICH Alla, PARENAGO Pavel, *Issledovanie zavisimosti massa-svetimost'-radius. Chast' 2, Teoreticheskai͡a͡ interpretat͡s͡ii͡a͡ empiricheskikh zavisimosteĭ. Trudy Gosudarstvennogo astronomicheskogo instituta im. P.K. Shternberga,* 1951, t. 20, nr 81, ss. 130–146. ISSN 0371–6791. Cyt. za: OPOLSKI Antoni, *Masy gwiazd. Postępy Astronomii, 1953,* t. 1, z. 2, ss. 55–68.
9. *Mass–luminosity relations* [w:] *Wikipedia. Wolna encyklopedia* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://en.wikipedia.org/wiki/ Mass–luminosity_relation. Stan z 21.09.2018 r.
10. NOWAK Agnieszka, *Lepszy sposób na zważenie milionów samotnych gwiazd* [w:] *Vega – astronotki. Astronomia wokół nas* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: http://agnieszkaveganowak.blogspot.pe/2017/12/lepszy-sposob-na-zwazenie-milionow.html. Stan z 21.09.2018 r.
11. *Stellar Birth and Middle Age* [w:] *University of Northern Iowa* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://sites.uni.edu/morgans/astro/course/Notes/section2/new7.html. Stan z 21.09.2018 r.
12. SZULC Marcin, *Wyznaczanie mas gwiazd. Gwiazdy podwójne i wielokrotne* [w:] *Astrovision.pl* [dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: https://www.astrovision.pl/index.php?post=40. Stan z 21.09.2018 r.

Michał Zdziennicki[1]

Zrozumienie przestrzeni jako klucz do poznania Wszechświata

„Wyobraźnia bez wiedzy może stworzyć rzeczy piękne.
Wiedza bez wyobraźni najwyżej doskonałe".

Albert Einstein

Pojęcie **przestrzeni** zmieniało się wielokrotnie w ciągu wieków. Już ludzie starożytni dostrzegli jej istnienie w rozumieniu środowiska egzystencji i relacji między obiektami. Arystoteles uważał obecność przestrzeni w naszym świecie za konieczność, ze względu na możliwość ruchu ciał. Miała być ona inna od znajdujących się w niej „podobiektów". Wraz z kolejnymi wielkimi odkryciami i upływem czasu spojrzenie na przestrzeń nieco się zmieniało.

Rewolucji w tej dziedzinie dokonał Izaak Newton wraz z wydaniem swojego *magnum opus Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Matematyczne zasady filozofii naturalnej*). W tym przełomowym dla dziejów fizyki dziele Newton opisał przestrzeń i czas jako absolutne i niezależne od siebie. Miało to oznaczać, że czas jest jeden i płynie w tym samym tempie w każdej części Wszechświata. Sama przestrzeń miała być trójwymiarowym układem euklidesowym, w którym istnieją obiekty materialne i zachodzą zjawiska fizyczne.

Niespełna 300 lat później w 1905 roku młody absolwent fizyki Albert Einstein rozpoczął pracę nad teorią, w której określił czas jako względny od przestrzeni, a samo pojęcie przestrzeni zamienił na czasoprzestrzeń. Einsteinowi nie podobała się teoria istnienia **eteru**, który miał być rzekomym ośrodkiem rozchodzenia się fal elektromagnetycznych i wypełniać całą przestrzeń kosmiczną. Sformułował więc własne twierdzenie na ten temat. Według niego czas mógł płynąć w różnym tempie w zależności od prędkości układu. Teorię tę nazwano

[1] Michał Zdziennicki, I Liceum Ogólnokształcące im. Henryka Sienkiewicza w Malborku.

później szczególną teorią względności, a wydarzenie to diametralnie zmieniło pogląd na otaczający nas świat i położyło podwaliny pod powstawanie fizyki relatywistycznej. Mimo wielkiego odkrycia A. Einsteina pytanie o naturę i powstanie przestrzeni nadal pozostaje bez odpowiedzi. Fizyka naszych czasów próbuje znaleźć ją w najprostszy możliwy sposób: zaczynając poszukiwania od początku.

„I stała się przestrzeń"

Istnieje wiele teorii i legend dotyczących powstania świata, jednak na ich tle zdecydowanie dominuje hipoteza Wielkiego Wybuchu (ang. *Big Bang*). To właśnie ten model, stworzony w XX w. przez Georgesa Lemaître'a i zakwestionowany przez A. Einsteina, wydaje się najbardziej prawdopodobnym opisem genezy Wszechświata. Teoria Wielkiego Wybuchu jest też ściśle związana z powstaniem samej przestrzeni. Według niej Wszechświat powstał z nieskończenie małego punktu, osobliwości o temperaturze rzędu 10^{32} K. W momencie wybuchu nie istniały oddziaływania podstawowe, a cząstki elementarne nie zostały jeszcze uformowane. W czasie 10^{-36} s od początku istnienia świata nastąpił okres gwałtownego rozszerzania się przestrzeni. Do 10^{-33} s po wybuchu objętość Wszechświata, a tym samym przestrzeni, wzrosła co najmniej 10^{78} razy. Oznacza to, że prędkość rozchodzenia się przestrzeni najprawdopodobniej przewyższyła prędkość światła w próżni. Zdarzenie to nazywamy **inflacją kosmologiczną**, a nad jej skutkami do dziś debatują rzesze fizyków. Najciekawsza jednak dla nas jest domniemana przyczyna tego dziwnego zjawiska. Miało ono powstać w związku z ujemnym ciśnieniem próżni, spowodowanym najprawdopodobniej ogromną temperaturą. Na rzecz owego ciśnienia powstała hipotetyczna siła odwrotna do siły grawitacji. Tak właśnie z małego punktu wyłoniła się znana nam dzisiaj przestrzeń kosmiczna [2, ss. 187–189].

Trzy hipotezy przestrzenne

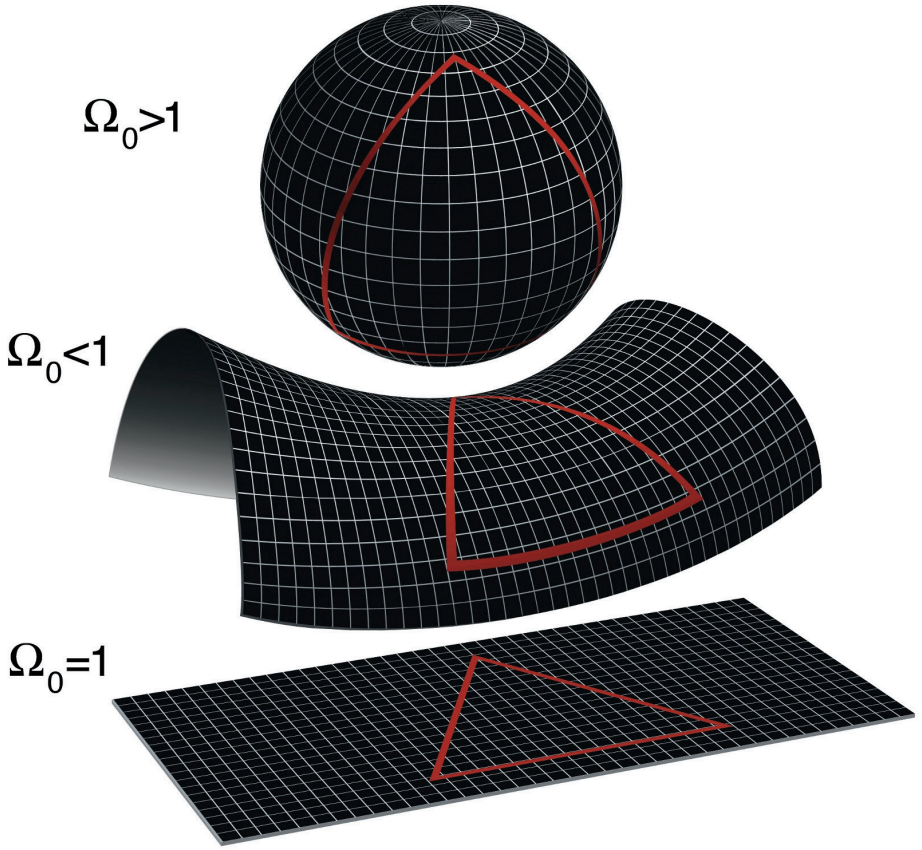
Skoro znamy już pochodzenie obiektu naszych rozważań, możemy się w końcu zastanowić nad jego naturą. Chyba każdy jako dziecko uznawał za pustkę otaczające nas powietrze. Było to założenie bardzo intuicyjne, oparte na doświadczeniu bodźców zmysłowych. Niestety takie właśnie wnioskowanie oparte na subiektywnych odczuciach często okazuje się błędne. Doskonałym przykładem może być tutaj pierwotne (a może jednak nie takie pierwotne?) przekonanie ludzi, że Ziemia jest płaska. Było to oczywiście założenie błędne, wynikające

z iluzji doskonałości naszych zmysłów. Patrząc prosto przed siebie na równinę raczej nie dostrzeżemy krzywizny kuli ziemskiej, jednak można udowodnić ją na wiele innych sposobów. Dlatego właśnie w metodologii fizycznej używa się obiektywnych sposobów badań, które nie opierają się na ludzkich zmysłach. Taki błąd interpretacyjny możemy popełnić, próbując wyobrazić sobie przestrzeń. Pierwszą, a za razem najbardziej intuicyjną koncepcją jest wizja pudełka. Według niej Wszechświat jest czymś w rodzaju pustego pudełka, w którym znajduje się materia. Na pierwszy rzut oka to wyobrażenie wydaje się zbieżne z rzeczywistością. Cytując klasyka: „Nic bardziej mylnego!". Błędem takiego sposobu myślenia jest nieuwzględnienie przestrzeni jako obiektu fizycznego. Technicznie rzecz biorąc, przestrzeni nie ma w tym wyobrażeniu w ogóle [3, ss. 112–113].

By móc jakkolwiek mówić o przestrzeni, musimy się zastanowić nad jej związkiem z materią. Ktoś mógłby w tym momencie trafnie domyślić się, że przestrzeń jest tak naprawdę zależna od materii, i miałby rację. Gdyby nie istniała materia, nie istniałaby też przestrzeń, gdyż jest ona tak naprawdę „czymś", co wypełnia pustkę między obiektami. No właśnie, „czymś". Oznacza to, że jest obiektem fizycznym. Jest to fakt potwierdzony przez niezależne od siebie, obiektywne badania prowadzone przez instytuty naukowe na całym świecie[2]. Ich wyniki dowodzą, że przestrzeń może się zakrzywiać, a nawet falować. Mogą ją zakrzywiać duże ilości energii, najczęściej pod postacią masy. To właśnie dzięki temu zjawisku Ziemia krąży wokół Słońca. W związku z tą konkretną właściwością nasuwa się pytanie: Czy przestrzeń jest naturalnie zakrzywiona, czy może raczej jej natura jest płaska? Tutaj z pomocą przychodzi nam wszystkim matematyka, a dokładnie jej dział zwany geometrią przestrzenną. Jak się okazuje, zakrzywienie obiektów trójwymiarowych można zmierzyć poprzez zsumowanie miary kątów w trójkącie wyznaczonym przez trzy punkty w euklidesowym, trójwymiarowym układzie współrzędnych[3]. Jeżeli suma ta jest większa od 180 stopni, oznacza to dodatnie zakrzywienie przestrzeni, jeżeli jest mniejsza, to zakrzywienie jest ujemne, a jeżeli równa 180 stopniom – przestrzeń nie jest zakrzywiona.

[2] Przykładem mogą być tutaj badania prowadzone przez interferometr LIGO, o których można przeczytać na https://www.ligo.caltech.edu/.

[3] Link do badań w języku angielskim – https://arxiv.org/abs/astro-ph/0004404.



Rys. 1. Rodzaje geometrii Wszechświata: sferyczna, hiperboliczna i płaska

Źródło: https://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_shape.html.

Zakrzywienie czasoprzestrzenne można zobrazować poprzez wyginanie płaszczyzn w układzie trójwymiarowym. Tym samym poprzez dodatnie zakrzywienie kartki otrzymamy kształt przypominający pączka donut lub – przy mniejszych wartościach czynnika – kulę. Zgodnie z takim modelem poruszając się odpowiednio daleko w dowolnym kierunku ruchem prostoliniowym, w końcu znajdziemy się w tym samym miejscu. Ujemne odchylenie spowoduje ułożenie się kartki w kształt siodła bądź, jak kto woli, chipsa typu pringles. Średnie zakrzywienie bliskie zeru oznacza, że makroskopowo nie występuje zakrzywienie, co nie zmienia faktu, że można je zaobserwować w poszczególnych miejscach. Przypomina to kartkę, która z daleka wydaje się płaska, lecz gdy przyjrzymy się bliżej, możemy dostrzec nierówności [3, ss. 124–127].

Jak się okazuje, współczynnik średniego zakrzywienia przestrzeni w naszym Wszechświecie wynosi ok. 0,4%[4]. Zostało to zmierzone poprzez obliczenie średniej ilości energii na m^3 przestrzeni kosmicznej. Z obliczeń wynikło, że liczba ta wynosi ok. 5 atomów wodoru na m^3. Oczywiście nikt nie poleciał w Kosmos, by liczyć atomy wodoru w każdym skrawku Wszechświata (swoją drogą byłby to bardzo kosztowny, nudny i trudny proces). Wynik ten został otrzymany poprzez oszacowanie całkowitej masy znanego nam świata, po obserwacji zachowania grawitacyjnego widzialnych galaktyk. W obliczeniach uwzględniono też oddziaływania ciemnej materii i ciemnej energii, mimo braku wiedzy o ich pochodzeniu. Pominięcie tych elementów mogłoby spowodować ogromne błędy w wyniku końcowym, gdyż stanowią one aż 95% całego Wszechświata.

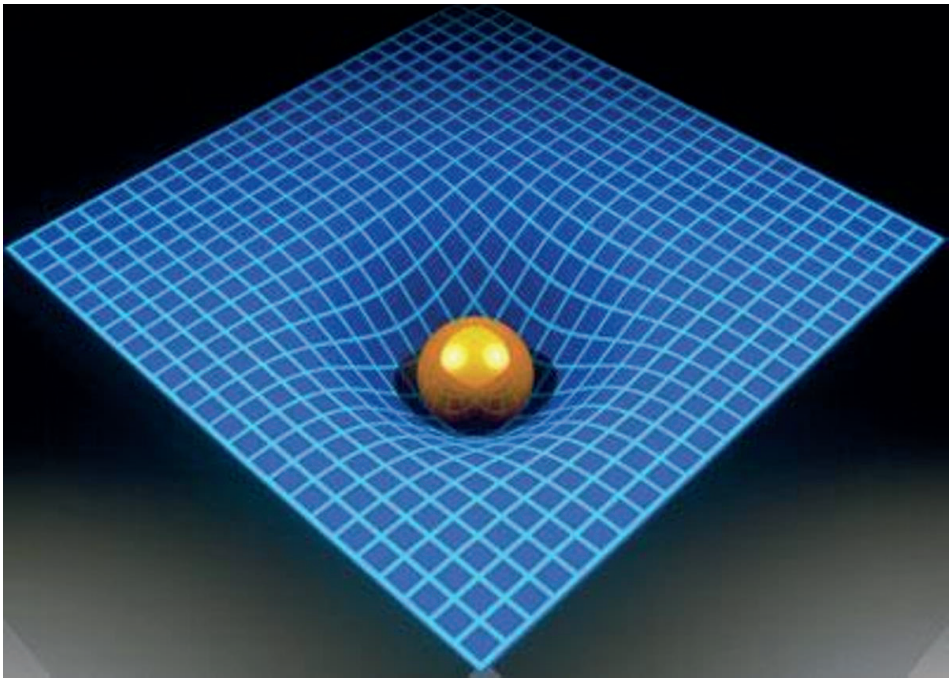
Podsumowując: do całkowitego rozumienia przestrzeni brakuje nam tylko 95% nieznanego Wszechświata i przyczyny jego ogólnej równowagi. To dużo, biorąc pod uwagę fakt, że uczeni w XIX w. twierdzili, iż w dziedzinie fizyki pozostało niewiele do odkrycia.

O co tu chodzi, panie Einstein?

W uproszczeniu można używać zamiennie pojęcie masa i energia. Otóż wzięło się to stąd, że A. Einstein był miłośnikiem tak zwanych eksperymentów myślowych. W jednym z nich rozważał ciało emitujące światło i poruszające się z pewną prędkością względną wobec pewnego układu odniesienia. Sformułował na tej podstawie równanie uwzględniające dwa układy odniesienia: ruchomy i nieruchomy[5]. Po użyciu sprytnych, a zarazem dosyć podstawowych przekształceń otrzymał najsłynniejsze równanie fizyki: $E=mc^2$. Mówi nam ono, że energia jest wprost proporcjonalna do iloczynu masy i kwadratu prędkości światła w próżni. Oznacza to, że masa kryje w sobie tak naprawdę wielkie, skumulowane pokłady energii [1, ss. 224–225]. Energia ta w dużych ilościach może powodować zakrzywienie czasoprzestrzeni (rys. 2), przyciągając do siebie inne obiekty. Zjawisko to nazywamy **oddziaływaniem grawitacyjnym**. Okresowe występowanie takiego zakrzywienia przejawia się pod postacią fal grawitacyjnych (rys. 3), których istnienie niedawno potwierdzono. Powstanie fal grawitacyjnych może być spowodowane przez wzajemne, bardzo szybkie orbitowanie wokół siebie dwóch

[4] Na podstawie badań WMAP 2013 – http://map.gsfc.nasa.gov/universe/uni_shape.html.

[5] Eksperyment ten został dobrze wytłumaczony na kanale minutephysics: https://www.youtube.com/watch?v=hW7DW9NIO9M&list=PL908547EAA7E4AE74&index=42.



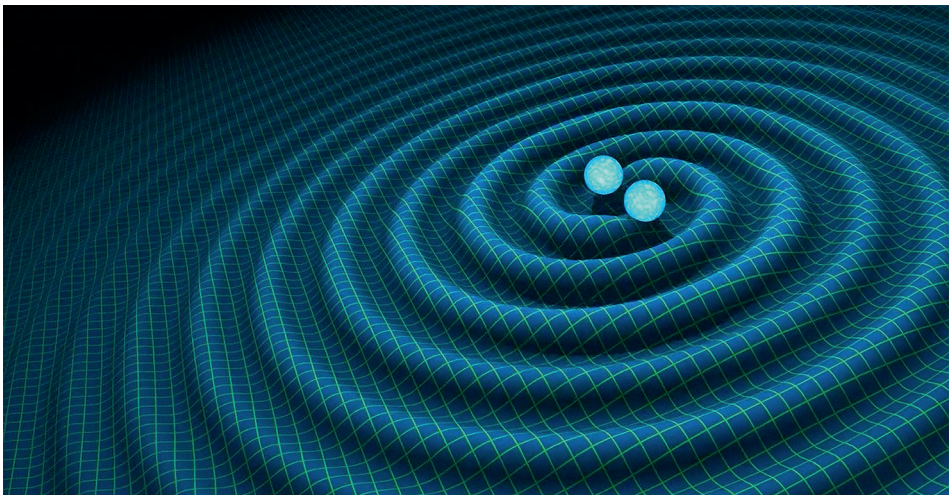
Rys. 2. Zakrzywienie czasoprzestrzeni

Źródło: https://physics.stackexchange.com/questions/155547/visualizing-gr-spacetime-distortion-in-11d-spacetime-instead-of-2d-space.

obiektów o gigantycznej masie, takich jak czarne dziury i gwiazdy neutronowe. Takie zderzenie dwóch gwiazd neutronowych spowodowało pierwszą zaobserwowaną w nowożytnej historii kilonową[6].

Drugą ciekawą właściwością przestrzeni, tym razem nieodkrytą przez A. Einsteina, ale użytą przez niego w szczególnej teorii względności, jest nieprzekraczalność przez obiekty masowe prędkości światła w próżni [1, ss. 231–233]. Nie wiem, dlaczego prędkość ta jest równa $3x10^8 m/s^2$, ale możemy się domyślać, że wynika to z samej natury przestrzeni. Dokonując sporego uogólnienia, można to zjawisko porównać do osiągania prędkości granicznej podczas poruszania się w pewnej substancji. Oczywiste jest, że prędkość będzie mniejsza dla ośrodka wypełnionego rtęcią, a większa dla wypełnionego wodorem. Trzeba tu jednak

[6] Więcej na ten temat: *Urania,* 2018, t. 793, ss. 10-18.



Rys. 3. Fala grawitacyjna

Źródło: http://time.com/4217820/gravitational-waves-history/.

zapamiętać, że czasoprzestrzeń jest nadrzędna dla obiektów znajdujących się w niej (takich jak rtęć i wodór), więc wcale nie musi zachowywać się podobnie.

Ciemno wszędzie, głucho wszędzie...

Kolejnym zagadnieniem, które postaram się omówić, jest istnienie ciemnej materii i ciemnej energii. Zacznijmy od ciemnej materii. Technicznie rzecz biorąc, nie wiemy o niej prawie nic. Nikt jej nigdy nie widział, nie słyszał i nie posmakował. Nie wiemy nawet, czy jest w ogóle ciemna (!). Wiemy jedynie, że oddziaływa grawitacyjnie i to zupełnie mocno. Okazuje się, że gdyby nie ona, nasza Galaktyka nie byłaby w stanie utrzymać związanej ze sobą tak dużej liczby gwiazd. Zasada jest prosta: tam, gdzie znajduje się dużo ciemnej materii, możemy znaleźć też dużo zwykłej materii (można to zaobserwować w gromadzie galaktyk zwanej Warkoczem Bereniki). Mimo takiego stanu rzeczy zwykła materia nie może integrować z ciemną materią, a ciemna materia ze sobą samą. Doprowadza to do sytuacji, w której przy zderzeniu dwóch galaktyk ich pokłady ciemnej materii jak gdyby nigdy nic podróżują dalej w przyjętym wcześniej kierunku[7].

[7] Zderzenie w gromadzie pocisk https://arxiv.org/abs/astro-ph/0608407 i https://arxiv.org/abs/astro-ph/0309303.

Jak w takim razie przewidziano istnienie ciemnej materii? Naukowcy próbowali kiedyś oszacować całkowitą masę naszej Galaktyki poprzez policzenie mas układów gwiezdnych, które się w niej zawierają[8]. Jak się okazało, była ona mniejsza niż można zaobserwować na podstawie jej zachowania. Jak wiadomo, w fizyce dopuszcza się małe nieścisłości i zaokrąglenia, jednak tutaj mamy do czynienia z kilkoma rzędami wielkości! W tej sytuacji fizycy uznali, że nie mogli się aż tak pomylić, więc to z Galaktyką musi być coś nie tak.

Pomówmy teraz o ciemnej energii. W tej kwestii wiemy naprawdę niewiele. Tak naprawdę jedynie to, że jest czymś tajemniczym, co powoduje coraz szybsze oddalanie się od siebie obiektów w przestrzeni. To trochę dziwne, z jednej strony mamy dobrze wszystkim znaną grawitację, która stara się przyciągać całą materię do siebie, z drugiej zaś enigmatyczną siłę, która powoduje postępujące oddalanie się od siebie obiektów. Wydaje się, że te dwie siły powinny się równoważyć, a Wszechświat zachowywać charakter statyczny. Jest jednak inaczej, ciemna energia wygrywa w tej walce i to zdecydowanie. W rzeczywistości gwiazdy im dalej od Ziemi się znajdują, z tym większą prędkością się oddalają. Okazuje się, że ta prędkość w długiej perspektywie czasu może być większa od prędkości światła (z tym że jest to prędkość rozszerzania się przestrzeni, więc nie są łamane prawa fizyki), co oznacza, że w dalekiej przyszłości niebo może nie być już tak rozświetlone.

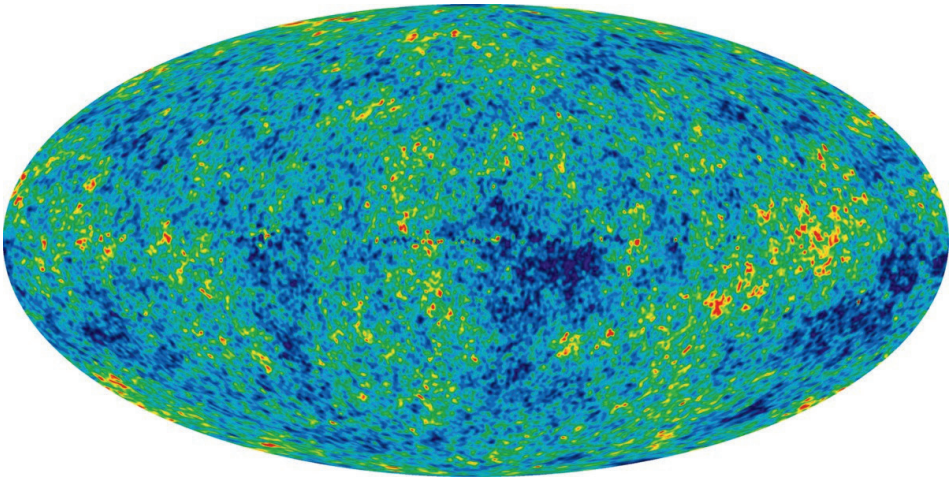
Ciemna energia została poniekąd wymyślona przez A. Einsteina. On to w swoim równaniu grawitacyjnym, w myśl złotej zasady matematyki: „Możesz wstawić do obliczeń coś bezsensownego, ale jeżeli wyjdzie ci to w wyniku, to robisz coś źle", zastosował czynnik Λ (gr. *lambda*). Grecka litera *lambda* miała oznaczać tak zwaną stałą kosmologiczną, A. Einstein zaś przy założeniu, że świat jest statyczny, manipulował obliczeniami tak, aby wszystko się zgadzało. Przez lata stała kosmologiczna była uważana za błąd popełniony przez A. Einsteina, jednak dziś okazuje się, że może ona mieć coś wspólnego z ciemną energią. Ponadto może być też związana z inflacją kosmologiczną [3, ss. 21–55].

Na koniec świata i jeszcze dalej!

W rozważaniach o przestrzeni każdy po pewnym czasie zada pytanie: co znajduje się poza nią? Czy istnieje w ogóle świat poza echem Wielkiego Wybuchu?

[8] Badania V. Rubina, R. Thonarda i K. Forda Jr. *The Astrophisycal Jurnal,* 1980, t. 238, ss. 471–487.

Granicą widzialnego dla nas Wszechświata jest tak zwane mikrofalowe promieniowanie tła (ang. *Microwave Background Radiation*, w skrócie MBR lub MPT, rys. 4). Jest to swojego rodzaju pozostałość po „gorących" erach Wszechświata. Ze szczególnej teorii względności wiemy, że spoglądając przed siebie, tak naprawdę patrzymy w przeszłość, więc najdalsze zakątki Wszechświata są też najstarsze. 13 miliardów lat świetlnych od Ziemi możemy dostrzec początki istnienia Wszechświata. Był on wtedy na tyle gęsty, że fotony nie mogły poruszać się swobodnie, cały czas wpadając na inne cząstki i wzbudzając ich elektrony. MPT jest granicą uwolnienia fotonów z tej pułapki. Na podstawie tego zjawiska można określić temperaturę panującą przy początkach Wszechświata i średnią energię oraz zakrzywienie przestrzeni. Z promieniowania reliktowego można też dowiedzieć się wiele na temat samej natury Wszechświata. Na podstawie takich badań oszacowano, że znana nam materia stanowi 5% całej masy i energii, ciemna materia zaś i energia odpowiednio 27% i 68%[9].



Rys. 4. Obraz WMAP 2013 mikrofalowego promieniowania tła

Źródło: https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_microwave_background.

Jednak co znajduje się za MPT? Hipoteza inflacji kosmologicznej mówi nam, że przez pewien czas przestrzeń rozszerzała się szybciej od światła, później spo-

[9] Badania Planck Collaboration https://arxiv.org/abs/1303.5062.

walniając swoją ekspansję do prędkości prawdopodobnie równej *c*. Oznacza to, że są rejony graniczne, które nie doświadczyły jeszcze obecności światła powstałego w Wielkim Wybuchu. A co poza tym? Tego nie wie nikt. Możemy jedynie się domyślać. Po części sprawę tę tłumaczy **teoria wieloświatów**. Opisuje ona nieskończony wieloświat, w którym znajdują się mniejsze wszechświaty w postaci baniek przestrzeni powstałych w licznych Wielkich Wybuchach. Każda bańka przestrzeni ma inne właściwości i tym samym inne prawa fizyki. Gdyby teoria ta była prawdziwa, a wieloświat był nieskończony, istniałaby stuprocentowa szansa, że gdzieś istnieją dwie identyczne osoby, czytające w tym momencie ten artykuł w tych samych okolicznościach. Ponadto działoby się to nieskończoną liczbę razy (wyjaśnia nam to, dlaczego matematycy tak bardzo nie lubią nieskończoności). Niestety, teoria wieloświatów jest teorią niefalsyfikowalną, co znaczy, że nie da się jej potwierdzić ani obalić w naukowy sposób. Niech to jednak nie zniechęca nas do zgłębiania tajników przestrzeni i czasu, bo być może kiedyś uda nam się nad nimi zapanować i poznać Wszechświat taki, jaki jest naprawdę. Któż z nas może to wiedzieć? Fizyka jest przecież nauką marzycieli.

Bibliografia

1. FEYNMANN Richard, LEIGHTON Robert, SANDS Matthew. *Feynmana wykłady z fizyki*. T. 1, cz. 1. Warszawa: Państwowe Wydaw. Naukowe, 1968.
2. HAWKING Stephen. *Krótka historia czasu*. Warszawa: Wydaw. Alfa, 1990. ISBN 83-7001-373-2.
3. WHITESON Daniel, CHAM Jorge. *Nie mamy pojęcia*. Kraków: Wydaw. Insignis Media, 2017. ISBN 978-83-65743-46-6.

Jakub Cena[1]

Od narodzin do śmierci, czyli o etapach życia czarnych dziur

Wstęp

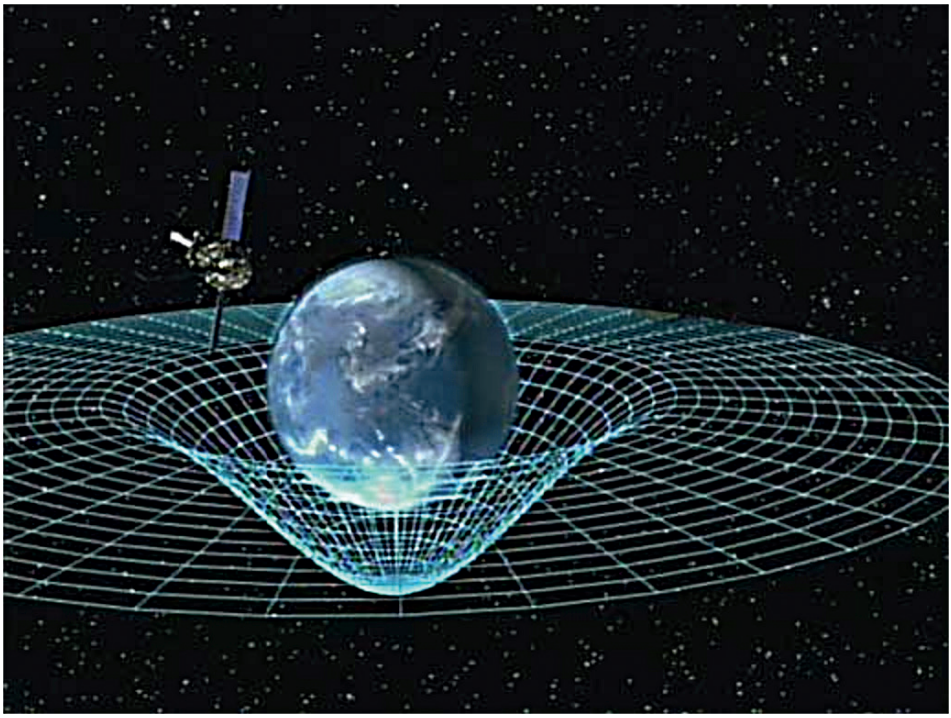
Nocne niebo zawsze zadziwiało człowieka. Już starożytni mieszkańcy Ziemi podczas nocy prowadzili amatorskie obserwacje nieba, nawet nie zdając sobie sprawy z jego różnorodności. Nadawali konstelacjom gwiazd nazwy powiązane z bóstwami, w które wierzyli, oraz przedmiotami, z których na co dzień korzystali. Dzięki rozwojowi nauki cuda duchowe widziane na niebie ustąpiły miejsca tym, które możemy zmierzyć oraz zaobserwować. Z badań i obliczeń Mikołaja Kopernika wynika**,** że Ziemia krąży wokół Słońca. Zrozumieliśmy również, że Słońce jest gwiazdą i praktycznie każda świecąca „plamka" na nocnym niebie również jest gwiazdą, nieraz nawet podobną do naszego Słońca, a wokół niej często orbitują różne planety. Jednak dopiero wynalazek Galileusza (teleskop) pozwolił nam na poznanie natury Wszechświata i udowodnienie, że widoczne na niebie planety i gwiazdy są materialnymi obiektami [4]. Dzięki temu odkryciu coraz bardziej zaczęła się rozwijać astronomia. Od tego momentu odkryliśmy wiele fascynujących obiektów, aż doszliśmy do miejsca, w którym możemy mówić o czarnych dziurach.

Budowa czarnej dziury

Ze względu na to, że czarne dziury nie odbijają światła, nikt jeszcze nie zdołał wykonać ich zdjęcia. Pierwotnie czarne dziury postrzegane były jako model matematyczny. Teraz jesteśmy w stanie zaobserwować ich wpływ na otoczenie. W dzisiejszych czasach wręcz nie możemy wyobrazić sobie funkcjonowania Wszechświata bez ich obecności. **Czarna dziura** jest to obszar czasoprzestrzeni, którego – z powodu działania grawitacji – nic, nawet światło, nie jest w stanie opuścić.

[1] Jakub Cena, Zespół Szkolno-Przedszkolny nr 3 w Gdyni.

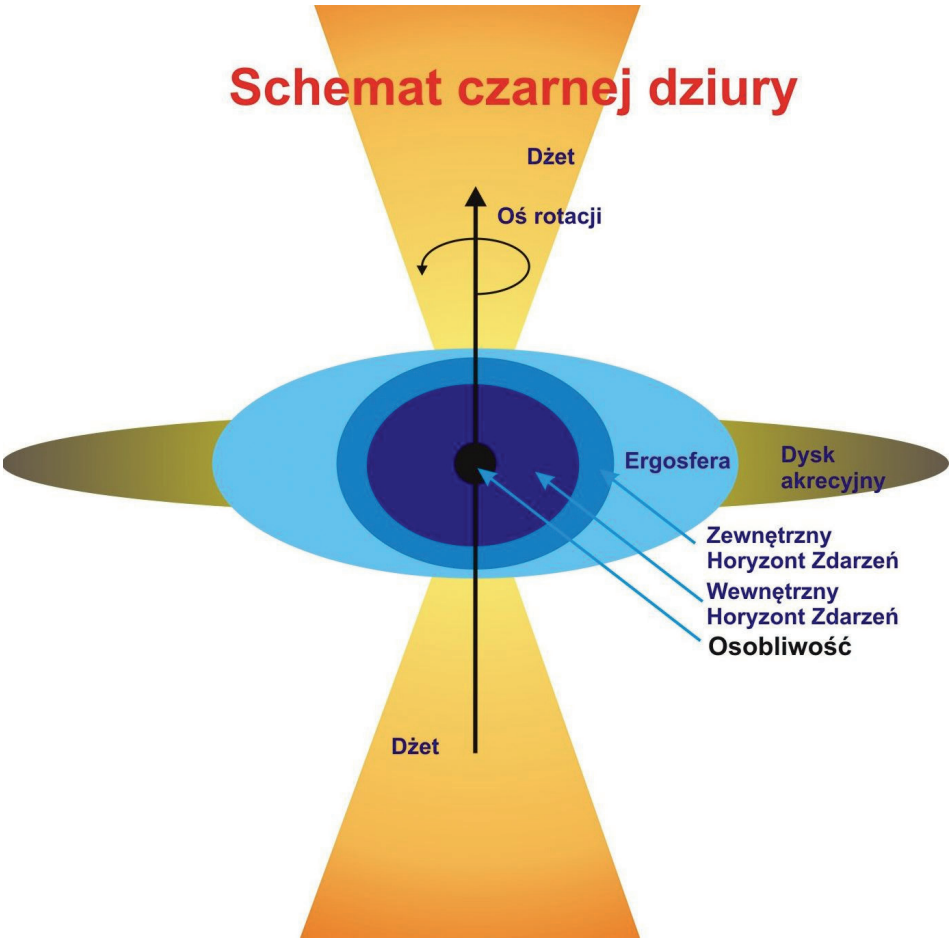
Po raz pierwszy z opisem obiektu przypominającego czarną dziurę mieliśmy do czynienia w liście Johna Mitchella z 1784 r. do brytyjskiego Royal Society. Jednak w tamtych czasach była to zbyt śmiała teoria. Musiała ona poczekać do XX wieku, kiedy jeden z najbardziej znanych i utalentowanych fizyków opracował ogólną teorię względności. Mowa tu oczywiście o Albercie Einsteinie. Jednym z najbardziej przełomowych aspektów powyższej teorii jest postrzeganie grawitacji jako geometrii czasoprzestrzeni (rys. 1) [3].



Rys. 1. Geometria czasoprzestrzeni

Źródło: https://www.nasa.gov/mission_pages/gpb/gpb_012.html.

Czarne dziury na zewnątrz i wewnątrz siebie są najprawdopodobniej bardzo podobne. Różnią się masą, prędkością obrotu wokół własnej osi oraz ładunkiem elektrycznym. Składają się z osobliwości, horyzontu zdarzeń i czasami również z dżetów oraz dysku akrecyjnego (rys. 2). **Osobliwość** to taki punkt lub linia w czasoprzestrzeni, gdzie przyspieszenie grawitacyjne lub gęstość materii są nieskończone. **Horyzont zdarzeń** jest jak płaszcz, który okrywa czarną



Rys. 2. Budowa czarnej dziury

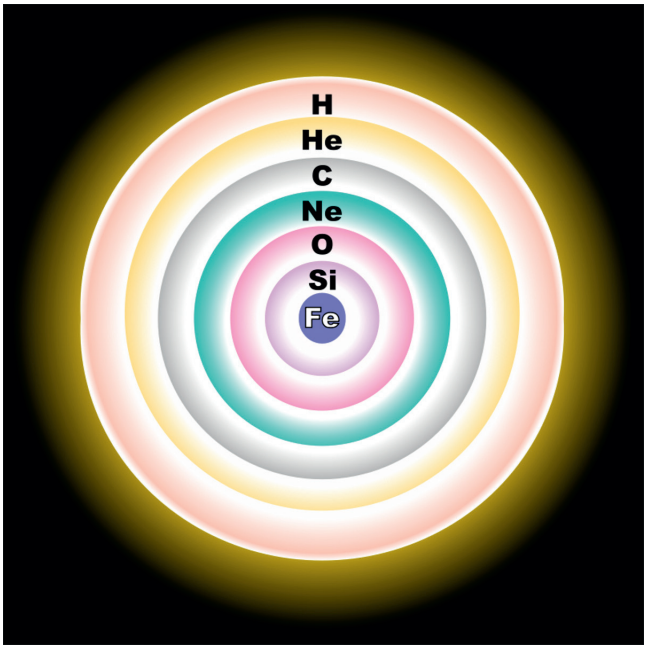
Źródło: http://encyklopediafantastyki.pl/index.php/Plik:Czarna_dziura(science).jpg.

dziurę i nie pozwala zajrzeć do jej środka. Ponieważ jest to strefa oddzielająca obserwatora zdarzenia od samego zdarzenia, otacza ona osobliwość. **Dyskiem akrecyjnym** nazywamy natomiast wirującą strukturę pyłów oraz gazów wokół czarnej dziury. Jest on stworzony z rozerwanych przez czarną dziurę gwiazd, planet lub innego kosmicznego gruzu. Jego temperatura osiąga milion kelwinów. Zaprezentowane na poniższym rysunku strumienie materii wystrzeliwane przez supermasywną czarną dziurę z relatywistycznymi prędkościami w okolicy biegunów nazywamy **dżetami**. Dżety emitują promieniowanie w całym zakresie widma od radiowego przez optyczne po rentgenowskie i gamma [2].

Powstawanie czarnej dziury

Nie każda gwiazda może zostać czarną dziurą, ponieważ aby do tego doszło, musi ona osiągać odpowiednie parametry. By to lepiej zrozumieć, należy bliżej przyjrzeć się budowie atomu.

Wyobraźmy sobie model atomu wodoru w powiększeniu 10^{15} (milion miliardów) razy. Wówczas jądrem byłaby kulka o średnicy około 1 m, kulka zaś modelująca elektron krążyłaby po okręgu o promieniu 100 km. Zatem łatwo można stwierdzić, że w atomie dużą przestrzeń stanowi próżnia. Młoda gwiazda składa się prawie w całości z wodoru. W jej środku zachodzą procesy, dzięki którym w jej wnętrzu mogą powstawać cięższe atomy, tj. hel, tlen, węgiel, magnez (rys. 3). Proces ten nazywamy **fuzją jądrową** [5].



Rys. 3. Budowa strukturalna gwiazdy

Źródło: https://pl.wikipedia.org/wiki/Supernowa#/media/File:Evolved_star_fusion_shells.svg.

Różne jądra atomowe mają różną energię wiązania przypadającą na nukleon[2]. Największą energię wiązania przypadającą na jeden nukleon ma

[2] Nukleon – wspólna nazwa protonów i neutronów, czyli podstawowych cząstek tworzących jądro atomu.

żelazo, dlatego w procesie fuzji termojądrowej nie może wytworzyć się żaden pierwiastek cięższy od żelaza. Aby rozumieć to zjawisko, musimy wiedzieć, że energia całkowita ciała równa jest sumie energii kinetycznej i potencjalnej wszystkich cząstek znajdujących się w danym ciele. Wewnątrz gwiazd panują ogromne ciśnienie oraz wysoka temperatura.

Gwiazdy czerpią energię z fuzji termojądrowej. Jest ona zjawiskiem egzoenergetycznym. Żeby mogło do niej dochodzić, atomy muszą mieć ogromne energie kinetyczne, aby pokonać opór elektrostatyczny, jaki wywierają na siebie wewnątrz atomu np. dwa protony. Jeżeli owe protony zbliżą się odpowiednio, to „zwiąże" je ze sobą silne oddziaływanie jądrowe, które jest bardzo krótkodystansowe. Gwiazdy są obiektami obojętnymi elektrycznie, więc każdemu protonowi będzie musiał towarzyszyć elektron. Powyższe zjawisko nazywane jest **cyklem protonowo-protonowym**. W wyniku fuzji dwóch jąder wodoru 1H (dwóch protonów) powstaje jądro deuteru 2D, pozyton i neutrino elektronowe. Pozyton anihiluje z elektronem, dzięki czemu zostaną wypromieniowane 2 kwanty promieniowania gamma. Następnie jądro deuteru 2D łączy się z jądrem wodoru 1H, tworząc jądro helu 3He. Dodatkowo zostaje wyemitowany kwant promieniowania gamma. Cykl protonowo-protonowy pierwszy (ppI) kończy reakcja fuzji dwóch jąder helu 3He, w której efekcie powstają jądro helu 4He i dwa jądra wodoru 1H. Zachodzi on głównie w przedziale temperatur $107<T<1{,}4107$ K.

W temperaturze mniejszej od T gwiazda zmniejsza się, produkuje coraz mniej energii, ciśnienie wewnątrz niej zaczyna spadać [5]. W ten sposób gwiazda przechodzi w stan agonalny i zaczyna się proces jej umierania. Gdy żelazowe jądro osiągnie masę większą niż około 1,4 masy Słońca, czyli osiągnie **granicę Chandrasekhara**, to zaczyna się zapadać wskutek działania sił grawitacji. W zwyczajnych warunkach ciśnienie wywierane przez gwiazdę równoważy siłę grawitacji, która próbuje ją „zgnieść". Jednak kiedy ciśnienie gwiazdy zaczyna spadać, to równowaga sił zostaje zaburzona, przez co grawitacja „zgniata" gwiazdę i zaczyna się ona zapadać grawitacyjnie, jednocześnie zmieniając swoją średnicę. Właśnie tak wygląda **kolaps grawitacyjny gwiazdy** (zapadnięcie grawitacyjne). Kiedy gwiazda podczas kolapsu osiągnie pewną masę krytyczną, tj. jej jądro żelazowe osiągnie 1,4 masy Słońca, to dochodzi do wybuchu supernowej typu II. Wskutek kolapsu grawitacyjnego jądra atomowe są rozbijane na pojedyncze nukleony, a następnie elektrony są wtłaczane do protonów, w wyniku czego powstaje materia neutronowa

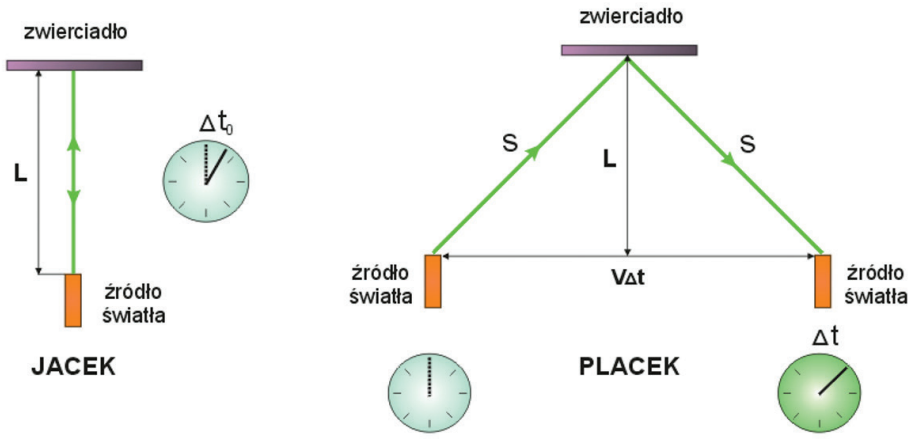
i neutrina. Jednocześnie zewnętrzne warstwy opadają z dużą szybkością na sprężyste jądro i ulegają gwałtownemu odbiciu na zewnątrz. Właśnie ten moment jest nazywany **wybuchem supernowej**. Wskutek szybkiej zmiany wymiarów, w czasie gdy odbite warstwy materii poruszają się z prędkością relatywistyczną, gwiazda bardzo jasno świeci. Gwiazda, w zależności od swojej początkowej masy, po wybuchu supernowej kończy jako gwiazda neutronowa lub czarna dziura [5].

Kolizje gwiazd neutronowych można zaliczyć do jednych z najpotężniejszych zjawisk obserwowanych przez astronomów. Silna grawitacja prowadzi do deformacji obiektów, a tworząca je materia jest skompresowana nawet 100 mln razy bardziej niż na Ziemi. Dla porównania, jedna łyżeczka gwiazdy neutronowej ważyłaby na Ziemi 4 miliardy ton! Przy zderzeniu dwóch gwiazd neutronowych gwiazda o słabszej grawitacji rozpada się, a jej szczątki są absorbowane przez bardziej masywną gwiazdę. Niestety „zachłanna" gwiazda neutronowa staje się zbyt ciężka, by istnieć, i w ten sposób tworzy się czarna dziura. Podczas kolizji gwiazd neutronowych często dochodzi do rozbłysków gamma, które trwają zaledwie 1–2 sekundy. W tym czasie jest emitowane więcej energii, niż cała nasza Galaktyka wytwarza przez cały rok [4].

Czarna dziura a dylatacja czasu

Dla obserwatora zdarzenia przebywającego w okolicach czarnej dziury czas płynie wolniej. To zjawisko zostało nazwane **dylatacją czasu**[3]. Szczegółowo opisują je dwie teorie Alberta Einsteina: ogólna teoria względności (OTW) i szczególna teoria względności (STW). Ta pierwsza opisuje zjawisko grawitacyjnego spowolnienia czasu, ta druga – zjawisko dylatacji czasu na skutek przemieszczenia się ciała. Najpierw omówimy szczególną teorię względności. Jest ona oparta na dwóch zasadach. Pierwsza zasada mówi, że jeżeli mamy dwa obiekty i nic więcej, to niemożliwe jest stwierdzić, który z nich się porusza, a który pozostaje w spoczynku. Z perspektywy jednego ciała wygląda to tak, jakby drugie ciało się poruszało i na odwrót. Żaden eksperyment wykonany na danym ciele nie pomoże nam w określeniu, które ciało stoi, a które się porusza. Podsumowując, żaden obserwator nie może się uważać za nieruchomy obiekt. Druga zasada mówi, że prędkość światła jest stała dla każdego obserwatora (rys. 4) [3].

[3] Dylatacja czasu – zjawisko różnicy w pomiarze czasu dokonywanym w dwóch różnych układach odniesienia.



Rys. 4. Szczególna teoria względności

Źródło: http://efizyka.net.pl/wzglednosc-czasu_2878.

Część powyższego rysunku po lewej stronie przedstawia zwierciadło prostopadłe do źródła światła (lasera), a wektory poruszania się obu ciał są takie same. Widać, że wiązka światła porusza się po linii prostej, a następnie wraca dokładnie tym samym torem ruchu. Na rysunku po prawej widać źródło światła oddalone o taką samą odległość od zwierciadła jak w pierwszym przypadku, lecz porusza się ono względem obserwatora z inną prędkością. Na części rysunku po prawej stronie tor lotu fotonów przypomina literę „V". Droga w kształcie litery „V" jest dłuższa od drogi po linii prostej. Skoro prędkość światła jest taka sama dla wszystkich obserwatorów, to z punktu widzenia obserwatora, który zaobserwował tor lotu w kształcie litery „V", powrót wiązki światła lasera trwał dłużej. Na zegarze widać różnicę pomiaru czasu. Właśnie tę różnicę nazywamy dylatacją czasu. Czas dla ciał poruszających się względem siebie płynie inaczej. Przelatując obok czarnej dziury odpowiednio blisko, zostalibyśmy rozpędzeni do sporych prędkości i doświadczylibyśmy owego zjawiska. Czas dla nas płynąłby wolniej [4].

Ogólna teoria względności nie jest już tak prosta pod względem matematycznym, jak szczególna teoria względności. Jednak założenia zawarte w niej są równie proste. Wyobraźmy sobie dwa samochody jadące od równika w linii prostej do bieguna północnego po powierzchni globusa. Samochody, pomimo że nie skręcają, zmieniły pomiędzy sobą odległości, chociaż były równolegle do siebie

położone i jechały po linii prostej. Z ich perspektywy może to wyglądać, jakby coś przyciągało auta do siebie. Tak naprawdę to efekt tego, że nie poruszają się po płaszczyźnie, lecz po zakrzywionej powierzchni. To zjawisko można porównać z ogólną teorią względności. A. Einstein mówi, że grawitacja nie jest jakąś siłą działającą w przestrzeni. To sama czasoprzestrzeń ulega zakrzywieniu, a tym, co zakrzywia czasoprzestrzeń, jest obecność materii. Ten efekt spotykany jest w codziennym życiu, np. gdyby satelity GPS nie uwzględniały owego efektu, to co 2 minuty myliłyby się o 10 m. W pobliżu czarnych dziur efekt byłby olbrzymi, ze względu na ich masę. Z obliczeń bowiem wynika, że wewnątrz czarnej dziury czas może w ogóle nie płynąć, co więcej – nie da się tam odróżnić czasu od przestrzeni [1].

A co by się stało, gdyby astronauta postanowił wlecieć do czarnej dziury? Aby nie zginąć na samym początku horyzontu zdarzeń, musiałby wybrać sobie czarną dziurę większych rozmiarów, ponieważ siły pływowe rozchodziłyby się po większej powierzchni. W innym przypadku zostałby rozerwany na części. Proces ten nazywa się **spagettyfikacją**. Przyglądając się astronaucie przybliżającemu się do czarnej dziury, zauważylibyśmy, że zamiast przyspieszać, zwalnia (czas płynie dla nas szybciej niż dla astronauty) i jednocześnie staje się coraz bardziej czerwony. To dlatego, że światło byłoby przesunięte w kierunku dłuższych fal, czyli właśnie barwy czerwonej. Nie zauważylibyśmy, jak astronauta przekracza horyzont zdarzeń, w którymś momencie zatrzymałby się, a potem zacząłby stawać się coraz bardziej ciemny, aż w końcu stałby się dla nas niewidoczny. Lecąc dalej, z pewnością ciało astronauty zostałoby rozerwane na strzępy, później do pojedynczych atomów, a one również uległyby zniekształceniu do postaci nieznanej dzisiejszej fizyce [2].

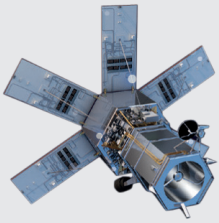
Zakończenie

Mimo że czarne dziury wydają się wszechmocne, to wcale takie nie są. Ostatecznie nawet one pogrążą się w wiecznej ciemności. To za sprawą promieniowania Hawkinga. Sprawia ono, że czarne dziury, co prawda bardzo powoli, ale jednak tracą swoją masę. Okazuje się, że przestrzeń kosmiczna wcale nie jest taka pusta, jak nam się wcześniej wydawało. Nieustannie pojawiają się w niej i znikają cząstki zwane cząstkami wirtualnymi. Nie wiemy dokładnie, skąd się biorą ani dokąd się udają, ale podobno są to jakiegoś rodzaju fluktuacje na poziomie kwantowym. Kiedy para takich cząstek (elektron i pozyton) pojawi się na granicy horyzontu zdarzeń, dochodzi do dziwnego zjawiska: cząstki

zostają rozdzielone i jedna z nich wpada pod horyzont zdarzeń do środka czarnej dziury, druga natomiast wyrzucana jest w przestrzeń. Z racji zasady zachowania energii całkowita energia czarnej dziury musi ulec zmianie, a co za tym idzie, masa również się zmniejszy ($E=mc^2$). Wartości te są ze sobą nierozerwalnie złączone. Czarna dziura, która nie pochłania żadnej nowej materii, musi z czasem wyparować i zniknąć. Im będzie mniejsza, tym większa będzie jej temperatura, a promieniowanie Hawkinga silniejsze. Finalnie za biliony lat ostatnie czarne dziury wyparują, a wraz z nimi Wszechświat, jaki znamy [3; 4]. Może za sto, może za tysiąc lat będziemy w stanie zajrzeć do wnętrza tych „potworów", jednak teraz nie pozostaje nam nic innego niż patrzeć w niebo.

Bibliografia

1. BURKETT-HARTLE James, *Grawitacja. Wprowadzenie do ogólnej teorii względności Einsteina*. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2018. ISBN 978-83-235-0476-4.
2. HAWKING Stephen, *Czarne dziury*. Zysk i S-ka, Poznań 2016. ISBN 978-83-65521-94-1.
3. HAWKING Stephen, *Jeszcze krótsza historia czasu*. Zysk i S-ka, Poznań 2015. ISBN 978-83-7785-296-5.
4. HAWKING Stephen, *Krótka historia czasu. Od Wielkiego Wybuchu do czarnych dziur*. Zysk i S-ka, Poznań 2015. ISBN 978-83-7785-791-5.
5. KARWASZ Grzegorz, WIĘCEK Magdalena, *Fizyka współczesna*. Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2012.



Rozdział IV

KU WSPOMNIENIOM

KONFERENCJA W OBIEKTYWIE

Krzysztof Trawicki, wicemarszałek województwa pomorskiego (fot. Arkadiusz Groth).

Dr hab. inż. Marek Dzida, prorektor Politechniki Gdańskiej (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Konferencję poprowadzili uczniowie Szkół Okrętowych i Ogólnokształcących *Conradinum* w Gdańsku (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Wykład inauguracyjny wygłosił dr Łukasz Lamża (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Sesje dziedzinowe rozpoczynały wykłady pracowników naukowych. Dr hab. Krzysztof Kornacki zgłębił zagadnienie fotografii jako zapisu czasu (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Prof. dr hab. inż. Tomasz Szarek zastanawiał się nad matematycznością przyrody: od fraktali przez kosmetyki po Kosmos (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Daniel Cieślak opowiedział o tandemie człowieka i komputera, który może podbijać coraz dalsze zakamarki Kosmosu (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Michał Zdziennicki przekonywał, że kluczem do poznania Wszechświata jest poznanie przestrzeni (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Alicja Piasecka zreferowała, jakie zjawiska chemiczne zachodzą w Kosmosie (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Uczniowie z IX Liceum Ogólnokształcącego w Gdyni przedstawili kreację przestrzeni kosmicznej w twórczości braci Strugackich (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Centrum Hewelianum w Gdańsku (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Centrum Nauki Experyment w Gdyni (fot. Arkadiusz Groth).

Koło Naukowe Ochrony Środowiska Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Naukowe Koło Chemików Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Koło Naukowe Fizyków Medycznych *Siwert* Uniwersytetu Gdańskiego i Koło Naukowe *Robomaniacs* (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Koło Naukowe Studentów Fizyki Politechniki Gdańskiej (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Naukowe Koło Studentów Automatyki Politechniki Gdańskiej – drukarka 3D (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Studenckie Koło Naukowe CHIP Politechniki Gdańskiej oraz Studenckie Koło Stowarzyszenia Elektryków Polskich Politechniki Gdańskiej (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Podsumowania konferencji *Zdolni z Pomorza* dokonała kierownik referatu aktywizacji zawodowej i społecznej Departamentu Edukacji i Sportu w Urzędzie Marszałkowskim Województwa Pomorskiego Dorota Granoszewska-Babiańska (fot. Arkadiusz Groth).

Od lewej: dyrektor Pedagogicznej Biblioteki Wojewódzkiej w Gdańsku Małgorzata Kłos, prowadzący imprezę Małgorzata Kunicka i Krzysztof Obara, opiekun naukowy konferencji dr Anna Niewulis (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu biologicznego z moderatorem mgr. Arturem Eichmannem (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu chemicznego (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu fizycznego z moderatorem mgr. inż. Piotrem Winiarzem (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu informatycznego z moderatorem mgr. inż. Aleksandrem Mrozińskim (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu nauk humanistycznych z moderatorem dr. hab. Krzysztofem Kornackim (fot. Arkadiusz Groth).

Prelegenci panelu matematycznego z moderator mgr Justyną Woroń (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Losowanie nagród wśród głosujących w wyborze tematu kolejnej uczniowskiej konferencji w ramach projektu *Zdolni z Pomorza* (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

Wspólne zdjęcie pamiątkowe (fot. Katarzyna Cichos-Reclaw).

JAK POWSTAŁ WSZECHŚWIAT?

Autor: Aleksander Lala

Teoria #2

Wyobraźcie sobie stół bilardowy.

Dwa trójwymiarowe światy toczą się po nim i w pewnym momencie zderzają się ze sobą. Teraz pomyślcie jakie pokłady energii są produkowane. Dla tych światów są ogromne. (Dla porównania, gdyby ziemia doznała kolizji z planetą jej wielkości, pędzącą w przeciwnym kierunku, można sobie wyobrazić skutki.)

Czy Wielki Wybuch był efektem takowej kolizji?

Teoria #1

Czy to możliwe, że nasz wszechświat przypomina balon, który pęcznieje, by potem wejść w fazę kurczenia się, zmniejszając swoją objętość do malutkiego punktu o wielkości jednej długości Plancka?
Czy to możliwe, że gdy nie będzie już mógł się kurczyć, zacznie znowu pęcznieć, tworząc kolejny Wielki Wybuch?
Albo raczej Wielkie Odbicie?

Teoria #3

Od zawsze twierdzono, że istnieje tylko jeden, niepowtarzalny wszechświat. Pytanie: dlaczego? Możliwe jest, że nasze uniwersum jest malutką kroplą w oceanie odmiennych światów. Możliwe, że co chwilę w innych, niedostępnych dla nas miejscach występują Wielkie Wybuchy, Początki Wszystkiego. Gdyby ta teoria była prawdą, a ludzkość mogłaby zobaczyć inne światy i Wielkie Wybuchy, dostałaby odpowiedź na wiele ciężkich pytań dotyczących przeszłości naszego Wszechświata i nas samych.

Wielki Wybuch i inne teorie powstania Wszechświata

Istnieje wiele teorii dotyczących powstania Wszechświata (np. Wielki Wybuch). W swoim plakacie skupię się na dokładniejszych oględzinach kilku z nich. Napiszę na jakiej podstawie są stawiane i jaki pokazują Wszechświat. Każdy się kiedyś zastanawiał od czego się to wszystko zaczęło. Niektórzy opierają się na zdrowym umyśle, inni na wierzeniach, a jeszcze inni na własnej wyobraźni. Skupmy się raczej na tym pierwszym. Codziennie ludzie odkrywają nowe, zaskakujące fakty. Za jakieś 50 lat będziemy prawdopodobnie bliżej do rozwiązania tej zagadki. Ale nie wybiegajmy w przyszłość. Najważniejsze jest pytanie: **„Kto ma rację?"**. Może jesteśmy o krok od znalezienia odpowiedzi na pytania nurtujące ludzkość od zarania dziejów.

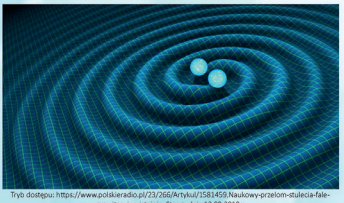
Zmarszczki czasoprzestrzeni

Jan Kapica Kamil Kozakiewicz

II Liceum Ogólnokształcące im. Stanisława Wyspiańskiego w Kwidzynie

Według Ogólnej Teorii Względności grawitacja nie jest siłą newtonowską, lecz wynikiem samej geometrii czasoprzestrzeni. Oznacza to, że np. ruch obiegowy Ziemi wokół Słońca jest spowodowany zakrzywieniem „sceny", na której on się odbywa, a Ziemia za to porusza się po tzw. krzywej geodezyjnej, czyli najkrótszej (lub najdłuższej) możliwej drodze. Oczywiście, źródłem tego zakrzywienia jest rozkład mas czy energii we Wszechświecie i otrzymujemy swoiste sprzężenie - materia zakrzywia czasoprzestrzeń, co powoduje, że zmienia się ruch materii.

Możemy to sobie wyobrazić jako gumową, rozpiętą, płaską powierzchnię, na której mamy „dołek" wytworzony przez leżącą ciężką kulę. Teraz zapytajmy - co się stanie, jeśli będziemy podnosić i opuszczać tę kulę? Wtedy pojawi się na tej gumowej powierzchni zaburzenie, podobne do fali, zależne od napięcia powierzchni i innych czynników. Co prawda nie możemy tak zrobić we Wszechświecie, ale jeśli będziemy bardzo szybko zmieniać położenie skupiska masy lub energii, wtedy uda się nam wytworzyć coś analogicznego.



Tryb dostępu: https://www.polskieradio.pl/23/266/Artykul/1581459,Naukowy-przelom-stulecia-fale-grawitacyjne-istnieja. Stan z dnia 12.09.2018r.

Symulacja łączenia się czarnych dziur – jedno ze zjawisk, które wytwarza najsilniejsze fale grawitacyjne

Po co nam te fale?

Ze względu na ich bardzo słabe oddziaływanie z materią fale grawitacyjne przechodzą bez strat przez obszary kosmosu niedostępne dla fal elektromagnetycznych. Tylko one są w stanie umożliwić obserwację zlewania się czarnych dziur oraz innych możliwych egzotycznych zjawisk w odległych częściach Wszechświata. Takie przypadki nie mogą być zbadane przy pomocy tradycyjnych przyrządów obserwacyjnych, takich jak teleskopy optyczne czy radiowe. Dzięki temu astronomia fal grawitacyjnych ma bardzo duży potencjał w poszerzaniu naszej wiedzy o Wszechświecie. Pozwala ona m.in. kosmologom spojrzeć w historię formowania się Wszechświata najdalej, jak to tylko możliwe. Ponadto dzięki falom grawitacyjnym da się jeszcze dokładniej sprawdzać ogólną teorię względności oraz testować jej przewidywania.

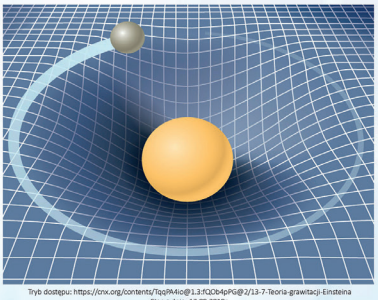
Bibliografia:

Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger, "Physical Review Letters", nr 116, 12 II 2016

Thorne K. , *Czarne dziury i krzywizny czasu. Zdumiewające dziedzictwo Einsteina*, przeł. D. Czyżewska, Warszawa 2004

Lasota J. , *Czy wielki wybuch był głośny?*, Warszawa 2017

Golfard C., Wszechświat w twojej dłoni, Wydawnictwo Otwarte, Warszawa 2017

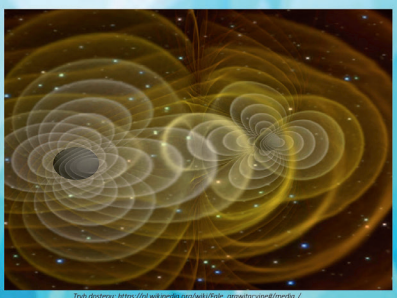


Tryb dostępu: https://cnx.org/contents/TqqPA4io@1.3:fQDb4pPG@2/13-7-Teoria-grawitacji-Einsteina Stan z dnia: 12.09.2018r.

Tak w przeglądowy sposób można przedstawić koncepcję fal grawitacyjnych.

Co może wyemitować falę grawitacyjną?

Każde ciało o niezerowej masie może stać się źródłem fali grawitacyjnej. Wystarczy tylko, żeby ruch tych ciał był zmienny oraz żeby nie był sferycznie symetryczny lub symetryczny osiowo, tzn. jednakowy we wszystkich możliwych kierunkach. Z tego powodu równo rozszerzająca się kula nie emituje fal grawitacyjnych. Ostatni warunek bierze się stąd, że nie istnieje ujemna masa (a w każdym razie nie została jeszcze odkryta) oraz stąd, że nie można skonstruować dipola grawitacyjnego, czyli pary „masa dodatnia - masa ujemna", podobnie jak w przypadku ładunków elektrycznych.



Tryb dostępu: https://pl.wikipedia.org/wiki/Fale_grawitacyjne#/media / File:This_visualization_shows_what_Einstein_envisioned.jpg Stan z dnia: 12.09.2018r.

"Fizycznie o problematyce eksploracji kosmosu"

Sandra Mucha

„GO!?"

Powodzenie misji kosmicznej zagrożone jest w każdym momencie od początku jej planowania, aż po moment całkowitego jej rozwiązania. Zatem jakie warunki muszą zostać spełnione, aby w dniu startu na platformie startowej mogła paść komenda ***GO!*** Centrum kontroli lotów ma nie lada zadanie, aby zadbać o załogę, statek kosmiczny, samą platformę, wszelkie formalności , a także odpowiedni moment i warunki, aby lot był możliwy. Wszystkie te czynniki, niezależne od siebie, warunkują nie tylko samą możliwość startu, ale także powodzenie całej dalszej misji. Dodatkowo niezwykle istotną rolę odgrywa człowiek, bez którego żadne z marzeń o odległych podróżach nie zostałoby zrealizowane. To właśnie ogromna wiedza inżynierów jest podstawą do dalszych działań. Wszystko musi być dokładnie zaplanowane, a wtedy "Porażka nie wchodzi w grę".

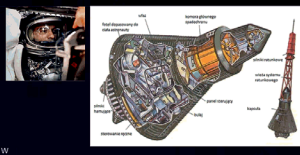
Przed startem – czyli budujemy rakietę

Żeby do startu mogło dojść najpierw skonstruować trzeba pojazd który zostanie ustawiony na platformie. Rakieta musi nie tylko mieć odpowiednio stosunek uzyskanego przyspieszenia do jej masy czyli siły ciągu rakiety, uwzględniając oczywiście przyciąganie grawitacyjne, ale także w odpowiedni sposób zbudowany musi być korpus samej rakiety. Kiedy mówimy o starcie i wystrzeleniu statku w przestrzeń kosmiczną jego kształt powinien być jak najbardziej opływowy aby minimalizować opory powietrza, kiedy będzie odrywać się od Ziemi. Odwrotna sytuacja jest jeżeli pod lupę bierzemy drogę do domu.

Podczas powrotu na Błękitną planetę energia kinetyczna modułu załogowego jest spora i nieustannie rośnie w skutek działania grawitacji, zatem energia ta musi zostać wytracona, aby możliwe było bezpieczne wodowanie. W tym celu stosuje się tępa krawędzie, gdyż zgodnie z teorią Harry'ego Allen'a w ten sposób energia kinetyczna przekształcona w ciepło powraca do statku jedynie w niewielkim odsetku, a pozostała część jest oddawana do otoczenia. Wnen sposób rakieta , a właściwie moduł załogowy jest odporny na nagrzewanie aerodynamiczne i może spokojnie upaść do oceanu z prędkością około 32, a nie 400km/h.

Starty rakiet, jak tych wykorzystywanych w programie Apollo, są niezwykle kosztowne. Przy 7 osobowej załodze kwota na jednego astronautę to nawet około 90 mln $. Wynika to głównie z tego, że są to jednorazowe systemy startowe, więc odrzucane w trakcie startu kolejne stopnie ulegają zniszczeniu i albo spadają do oceanu, albo spalają się w atmosferze. Świetnym rozwiązaniem jest technologia zaproponowana przez amerykańskiego biznesmana Elona Muska. SpaceX oferuje loty w cenie już około 7 mln $ za jednego astronautę przy tej samej załodze. Fenomen polega na tym, że pierwszy człon rakiety tuż po jego odrzuceniu wraca na ziemię i bezpiecznie ląduje w wyznaczonym miejscu. Cała operacja od zapłonu do lądowania pierwszego członu to około 10 minut, dzięki czemu po kilku dniach, po serwisie może on wynieść w przestrzeń kosmiczną kolejny moduł załogowy bądź ładunek .

Moduł załogowy w porównaniu do całej rakiety jest zmikomych rozmiarów, a to tam przeciez astronauci muszą pracować, wypoczywać i ćwiczyć w trakcie misji. Od początku szukalimy możliwości, aby zapewnić komfortowe warunki tym, którzy tak na prawdę ryzykują najbardziej, lecz na początku nie było tak łatwo. Podczas programu Mercury , kiedy w przestrzeń wysyłano pierwszego amerykanina Alan'a Shepard'a całkowita długość kapsuły wraz z wieżą systemu ratunkowego i silnikami hamującymi wynosiła niecałe 8 metrów. I choć był to zaledwie lot suborbitalny to astronauta praktycznie nie miał jak się ruszyć w fotelu. Z kazej strony otoczony był czujnikami, modułami dowodzenia i komputerami, a jak wiadomo w tamtych czasach były one niezwykle obszerne. Dlatego podczas selekcji astronautów do udziału w misji odrzucane były nie tylko osoby z problemami zdrowotnymi, ale także o wzroście poza przedziałem między 157cm a 190 cm .



„Houston! Mamy problem..."

Wtatch 60' komunikacja była o wiele trudniesza niż obecnie. Technologie satelitarne dopiero "raczkowały", a dane telemetryczne przekazywane były za pomocą dalekopisów. W celu zmniejszenia luki komunikacyjnej zakładano pozamiejscowe stacje śledzenia, skąd dane były dostarczane do Centrum Goddarda, gdzie je przetwarzano i odsyłano do centrum kontroli gdzie na ich podstawie była nakreślana pozycja statku. Wten sposób przekazywano dane od momentu startu, przez cały lot orbitalny , aż do ponownego wejścia w atmosferę. Wtrzynastu stacjach śledzenia na całym świecie obsadzano trzyosobowe zespoły operacyjne, miały one zapewniać nieustanne monitorowanie lotu, przesył danych z czujników, a także samej komunikacji głosowej z Centrum Kontroli Programu Mercury. Z czasem technika *Spacecraft Tracking and Data Acquisition Network* w której wykorzystywano anteny parabolicznie oraz systemy telefoniczne pozwalała na utrzymanie komunikacji pomiędzy Ziemią, a urządzeniem w kosmosie przez około piętnaście z trwającego dziewięciodniejt minut okrążenia Ziemi. Później w czasach wahadłowców wyniesiono na orbitę satelity, a wtedy łączność była realizowana bezpośrednio między statkiem, a stacją naziemną, zaś kiedy ten znikał z zasięgu stacji komunikacja zachodziła za pomocą satelity, który przesyłał sygnał otrzymany od załogi. Opisany system TDRSS pozwalał jednak na przesył danych z prędkością maksymalną zależwie 72kbit/s, co z czasem wzrastało, lecz obecnie NASA stosuje system EDRS, który pozwala na przesył danych z prędkością nawet 1,8 gigabita na sekundę. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu światłowodu, czyli przesyłu za pomocą wiązki lasera. Dodatkowym atutem tego rozwiązania jest fakt, że praktycznie niemożliwe staje się podsłuchanie, czy też przechwycenie danych przesyłanych w ten sposób. Ale co z luką komunikacyjną podczas wchodzenia w atmosferę? Nagrzewanie aerodynamiczne, a konkretnie naładowana elektrycznie plazma wytwarzana wokoło kapsuły skutecznie ekranizuje fale radiowe, przez co następuje przerwa w komunikacji, ale i na to mamy już sposób. Stworzone urządzenia składa się z ostony cieplnej i umieszczonego za nim nadajnika, a w jego pobliżu nadajnika pola ujemnego. Zjonizowany strumień plazmy jest odchylany i otwierane jest okno dla fal radiowych. Napięcie podawane jest pulsacyjnie dzięki czemu możliwy jest przesył danych nawet w krytycznym momencie wejścia w atmosferę.

Na co nie mamy wpływu?

Tak jak do startu samolotu potrzebne są odpowiednie warunki atmosferyczne, tak samo przy starcie wahadłowca czy rakiety kosmicznej pogoda nie może płatać figli. Wgęstość powietrza, ciśnienie, wiatry, zachmurzenie to wszystko ma bezpośredni wpływ na to czy start się odbędzie czy nie. Ze wszystkich odwołwanych lotów większość niestety powodowana jest przez pogodę, nad którą panować nie możemy. Jesteśmy wobec niej bezradni. Wraz ze wzrostem wilgotnosci powietrza spada jego gęstość i ciśnienie, co moze powodować anomalie w prawidłowym przebiegu startu. Dodatkowym czynnikiem jest pogoda kosmiczna. Jest ona konsekwencją procesów zachodzących na Słońcu. Zmieniające się warunki geomagnetyczne mogą spowodować zmiany w gęstości atmosferycznej powodując znaczną degradację orbity pojazdu kosmicznego poruszającego się po niskiej orbicie okołoziemskiej. Burze geomagnetyczne, wywołane zwiększoną aktywnością słoneczną, mogą wpływać na działanie pokładowej elektroniki i wiarygodność odczytów czujników. Zrozumienie warunków środowiska kosmicznego jest także ważne przy projektowaniu osłon i systemów podtrzymywania życia na załogowych pojazdach kosmicznych.

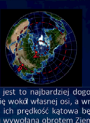
Kolonizację czas zacząć!

Podróż na odległą planetę by ją skolonizować i tam założyć niezależną cywilizację? Brzmi zachęcająco, ale jak człowiek ma przeżyć lot trwający np. 500 lat świetlnych? Tutaj właśnie kończy się większość marzeń o eksploracji dalekiego kosmosu. Nie mamy technologii rakietowych które mogłyby pozwolić na zminimalizowanie czasu potrzebnego na pokonanie takiej odległości. Naukowcy szukają recepty na perpetuum mobile, które wystarczająco mogłoby przyśpieszyć dalekie wojaże. Nadzieję pokładają w tunelu czasoprzestrzennym, bądź napędach plazmowych, jądrowych, czy też antygrawitacyjnych. A może za kilka lat opanujemy technikę teleportu?

Utrzymanie człowieka przy życiu w przestrzeni kosmicznej to nie lada wyzwanie i to nie tylko ze względu na jego wyżywienie. Podstawową potrzebą jest tlen i woda , które nie są w kosmosie tak łatwo dostępne jak na Błękitnej Planecie. Alternatywą jest budowanie generatorów, które mogłyby wytwarzać takowe substancje. Dodatkowo trzeba byłoby zapewnić osadnikom odpowiednie ciśnienie poprzez budowanie hermetycznych obiektów.

Gdzie i kiedy?

Start musi się odbyć w ściśle określonym czasie tak zwanego okna startowego. Jest to nic innego jak sprzyjające ustawienie ziemskiego globu względem celu do którego ma zmierzać statek, a także odpowiedniego ustawienia płaszczyzny orbit – jeżeli chcemy dotrzeć na inne ciało niebieskie. Po wystrzeleniu pojazdu, orbity są położone na względnie stałych płaszczyznach, pod stałym kątem do osi Ziemi, a Ziemia obraca się w swoistym tej orbity. Na przykład w czasie misji Apollo 11 okno startowe trwało około 2 godzin, natomiast Elon Musk ze swoimi planami wysłania misji na Marsa będzie musiał poczekać prawdopodobnie do 2031 roku , gdyż to właśnie wtedy Czerwona Planeta ma znaleźć się najbliżej naszego globu , start jest najbardziej opłacalny, podróż krótsza i przede wszystkim możliwa .



Platforma na której chcemy ustawić swą pojazd powinna także znajdować się w odpowiednim miejscu, a konkretnie najbliżej równika, gdyż jest to najbardziej dogodna lokalizacja zarówno kiedy chcemy odbyć podróż międzyplanetarną , jak i wtedy, kiedy mówimy tylko o locie orbitalnym. Dlaczego? Ziemia cały czas obraca się wokół własnej osi, a wraz z nią obraca się wszystko na niej. Rakieta ustawiona na platformie w punkcie A będzie miała zatem mniejszą prędkość liniową niż w punkcie B, mimo iż ich prędkość kątowa będzie taka sama. Konstruktorzy postanowili wykorzystać ten "bonus" i dlatego platformy startowe buduje się jak najbliżej równika , gdzie prędkość liniowa punktu wywołana obrotem Ziemii wynosi około 1667 km/h. Żeby wykorzystać tę prędkość rakietę kieruje się właśnie w kierunku wschodnim, generuje to oszczędność paliwa, czyli cięcie kosztów samego oderwania się od Ziemii i znalezienia się na orbicie. Statek aby po niej krążyć i na niej pozostać np. na wysokości 200km potrzebuje prędkości w kierunku poziomym w granicach 28 000 km/h czyli 1 prędkości kosmicznej. Kiedy zaś chcemy całkowicie uciec od ziemskiej grawitacji musimy wyraźnie przekroczyć tą wartość, osiągając 2. prędkość kosmiczną tzw. prędkość ucieczki.

Kiedy pył opadnie...

Kiedy już wszystko pójdzie zgodnie z planem i astronauta po lądowaniu np. na Marsie, bądź po dokowaniu do Międzynarodowej Stacji Kosmicznej , będzie mógł oddać się codziennym czynnościom i swojej pracy pojawia się kolejny problem. Trzeba go wyżywić, zapewnić części do naprawy statku, instrumentów naukowych, a także same narzędzia. Wszystko to było niegdyś dostarczane na ISS przez kolejne misje, lecz dzisiaj w dobie drukarek 3D coraz więcej przedmiotów astronauta jest w stanie wytworzyć sobie sam, właśnie dzięki drukowi przestrzennemu. Głowica drukarki nagrzewa specjalny polimer tak, że staje się on plastyczny, a komputer steruje głowicą według wirtualnego schematu części bądź porządanego przedmiotu. Zdobywcy kosmosu mogliby w ten sposób uniezależnić się od dostaw z Ziemii chociażby części zaopatrzenia, podobnie mogliby hodować warzywa tak, aby nie były potrzebne misje zaopatrzeniowe. Niestety scenariusz ten mógłby się sprawdzić jedynie w przypadku misji międzyplanetarnych, kiedy czas dostawy towarów z Macierzystej Planety byłby wydłużony i nie zawsze możliwy (okno startowe), a do tego okropnie kosztowny. Inaczej ma się sytuacja ze stacją orbitalną, na którą lot to około 6 godzin, a w porównaniu z brakiem miejsca na prowadzenie farmy jest to najrozsądniejsze rozwiązanie.

Co nieważkość robi z człowiekiem?

Ludzki organizm przywykł także do ziemskiej grawitacji. Jak zatem zachowałby się w stanie nieważkości? Wmijające zmysły przez pierwsze kilka dni doprowadzają człowieka do ciągłych wymiotów i ogólnego złego samopoczucia, do momentu, aż mózg zacznie ignorować błędnik. Od początku osiągnięcia stanu nieważkości już po kilku sekundach odporność człowieka spada, gdyż komórki są dyrt zajęte walką z nieważkością. Przez pierwsze 5-11 dni dramatycznie spada masa tkanki mięśniowej, bo przecież teraz już nie muszą one trzymać równowagi, a każdy ruch nie kosztuje nas tyle wysiłku. Człowiek w przestrzeni kosmicznej mniuga o wiele częściej, gdyż brak grawitacji uniemożliwia spływanie filmu łzowego, nie usuwa on także pyłków i zanieczyszczeń, dodatkowo są one narażone nawet na dziesięciokrotnie silniejsze promieniowanie niż na Ziemi. Po około pół rocznej misji człowiek wręcz traci około 4 cm wzrostu z powodu braku ucisku kręgów, pod ciężarem własnego ciała. Do tego wielu astronautów twierdzi, że po powrocie na Ziemię od nowa musza nauczyć się utrzymywać równowagę i balansować ciałem. Ogólnie w przestrzeni kosmicznej organizm starzeje się jakies 17 razy szybciej, tfi.

Lecieć czy nie lecieć ?

Do podróży kosmicznych ciągnie nas wiele. Chcemy poznawać wszechświat, podziwiać go z bliska, zdobywać nowe terytoria, czy tez zasoby naturalne i rozwijać kosmiczne gornictwo , ale wszystkich nas łączy jedno spoglądając w gwieździste niebo- świadomość tego jak wiele trudu, wysiłku, pieniędzy i ofiar pochłonęła już przestrzeń kosmiczna. Jednak nadal szukamy klucza jak zdobywać te nieznane i niezbadane regiony. Pokonujemy grawitację walczymy z technicznymi problemami dokonując coraz to większych i donioślejszych odkryć. Staramy się poznać sam wszechświat, aby może stał się bardziej przyjaznym celem... Lecz nadal stawia on nam zbyt duże wymagania, zbyt dużo przeciwności jest do pokonania, aby spacer po orbicie był dostępny dla każdego. Stan zdrowia, koszty, miliony śmiałków... Nawet w XXI wieku imponować powinien dzień 24 lipca 1969 roku, kiedy to z powodeniem przeprowadzono od A do Z pierwszą w historii misję podczas której człowiek stanął na innym ciele niebieskim niż Ziemia. Było to tak dawno temu, a jednak do tej pory nie możemy dokonać śmielszych wyczynów, choć nieustannie do tego dążymy.

Gwiazdy – narodziny i ich ewolucja

Dagna Szwaba
Kl. VIII, Szkoła Podstawowa,
Towarzystwo Edukacyjne Vizja w Gdańsku

Wprowadzenie

Gwiazdy to inne słońca, a nasze Słońce to po prostu jedna z wielu gwiazd. Ciepło, które do nas dociera z jego wnętrza skutkuje tym, że gwiazda traci energię. Dzieje się tak wskutek reakcji termojądrowych nieustannie zachodzących w jego wnętrzu, ale nie mogą one trwać w nieskończoność. W końcu Słońce podobnie jak i inne gwiazdy podlegają ewolucji i w rezultacie wyczerpania paliwa jądrowego zakończą dotychczasowy stan istnienia i przejdą w kolejną fazę rozwoju.
Gwiazdy ogromnie różnią się od siebie pod względem rozmiarów, jasności, temperatury powierzchni. Co się stanie, gdy gwiazda zużyje swoje zasoby paliwa? Skąd o tym wszystkim wiemy, przecież nie możemy badać bezpośrednio gwiazd, możemy je tylko obserwować, a czas życia gwiazdy w porównaniu do naszego jest ogromny. Za to możemy badać jednocześnie miliony gwiazd (rys.1), jak różnią się między sobą, obserwować je w różnych fazach rozwoju i wyciągać w ten sposób odpowiednie wnioski.

Początek

Przestrzeń, czas i energia miały początek w "Wielkim Wybuchu", około 13,7 miliarda lat temu. Energia, materia, przestrzeń i czas w tym momencie były nie do odróżnienia. Przez pierwszych kilkaset tysięcy lat Wszechświat pozostawał skrajnie gorący, temperaturą sięgała miliarda stopni i była za wysoka by powstały atomy. Takie warunki utrzymywały się przez 300 do 400 tysięcy lat, ostatecznie gorąca plazma ochłodziła się na tyle, że mogły utworzyć atomy wodoru oraz helu. Następnie Wszechświat wypełnił się gazem, ciemną materią i przede wszystkim - wszechobecną grawitacją. Wszechświat był środowiskiem jednorodnym. Drobne fluktuacje gęstości w rozszerzającej i ochładzającej się plazmie mogły prowadzić do lokalnych zagęszczeń w pierwotnym rozkładzie materii we Wszechświecie, która mniej więcej w 9/10 składała się z ciemnej materii [2].

***Rys. 1** Gromada kulista gwiazd NGC 362, w obrazie z nierzeczywistymi kolorami z Galaxy Evolution Explorer, źródło NASA [3]*

Grawitacja spowodowała, że z „zalążków" ciemnej materii uformowała się sieć włókien i wstęg. Podczas gdy sieć ta rosła dzięki grawitacji ciemnej materii, z wodoru i helu powstawały gigantyczne skupiska gazu, które później dzieliły się na olbrzymie obłoki o masach od około 100 do miliona mas Słońca i rozmiarach w przedziale od 30 do 100 lat świetlnych, zawierające wiele ciemnej materii. Chmury gazu zapadały się pod wpływem własnej grawitacji, a temperatura sprężonego gazu stopniowo wzrastała, aż w pewnym momencie przekroczyła wartość krytyczną i ostatecznie kolaps grawitacyjny doprowadził do ukształtowania pierwszych gwiazd. Pierwsze gwiazdy były ogromne, nasze Słońce jest potomkiem tych olbrzymów.

Pierwsze gwiazdy

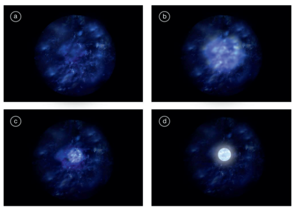
Pierwsze gwiazdy zaistniały w przedziale czasu od 100 do 250 milionów lat po Wielkim Wybuchu, były większe i bardziej gorące od obserwowanych obecnie, produkowały energię w taki sam sposób jak czyni to Słonce, za pomącą reakcji termojądrowych, w których lżejsze cząstki łączą się i tworzą cięższe cząstki uwalniając w momencie syntezy porcję energii. Pierwsze gwiazdy miały stosunkowo krótki czas życia – zaledwie kilka milionów lat, wypromieniowywały tyle energii, że ich paliwo nuklearne szybko się wyczerpywało i następowała eksplozja. Eksplozja gwiazdy powodowała, że ciężkie pierwiastki, wytworzone w reakcjach syntezy termojądrowej, zachodzących we wnętrzu gwiazdy, zostały wyrzucane w przestrzeń, a w przyszłości to właśnie na nich będzie opierał się proces budowania **następnego pokolenia gwiazd**. Znacznie skuteczniej od atomów wodoru cięższe pierwiastki chłodzą obłoki materii, ułatwiając obłokom przekształcenie się w gwiazdę wskutek zapadania się materii. Wydajniejsze chłodzenie pozwalało na formowanie gwiazd o mniejszych masach i wpływało też na ogólne przyspieszenie procesu tworzenia nowych gwiazd. Tak oto wszechświat został przygotowany na pojawienie się Słońca [2].

Ewolucja gwiazdy

Pierwsze gwiazdy powstały z zagęszczeń pierwotnej materii w najwcześniejszych epokach rozwoju Kosmosu. Obłoki pozostałe po tych gwiazdach umożliwiły powstanie następnego pokolenia – gwiazd II populacji. W czasie swojego życia „wyprodukowały" one znaczne ilości jąder atomowych wszystkich znanych nam pierwiastków, w tym węgla, niezbędnego do powstania życia na Ziemi. Węgiel w połączeniu z wodorem tworzy bowiem olbrzymią różnorodność związków organicznych – budulcem wszystkich żywych organizmów.
Najmłodsze gwiazdy III populacji (należy do nich Słońce) zawierają do 3% pierwiastków ciężkich (dla porównania gwiazdy II populacji – ok. 1%). Obserwowane przez nas obecnie gwiazdy należą do II i III populacji. Mogą się one znacznie różnić masą. Najlżejsze mają masę nieco mniejszą od 0.1 masy Słońca, największe są około 150 razy bardziej masywne niż Słońce. Różnią się między sobą także składem chemicznym. Gwiazdy III populacji nadal powstają we wnętrzach olbrzymich obłoków materii międzygwiazdowej [2].

Narodziny gwiazdy

Obecnie uważa się, że w procesie powstawania gwiazdy można wyróżnić charakterystyczne etapy – przedstawiono je na rys. 2. Wszystko zaczyna się, gdy chmura gazu i pyłu kosmicznego (obłok - gęstość rzędu kilkudziesięciu atomów w 1 cm^3), w której dominujący udział ma wodór, gromadzi się wokół lokalnego zagęszczenia (rys. 2a). Takie zagęszczenie może być wywołane strumieniem materii wyrzuconej z innej gwiazdy, która wybuchła. Na skutek grawitacji obłok kurczy się i wzrasta jego temperatura (rys.2b). Powstaje dysk z kulistą centralną częścią – protogwiazdą (rys. 2c). Cała chmura gazowo-pyłowa obraca się wokół własnej osi początkowo wolno, a w miarę kurczenia się – coraz szybciej (zasada zachowania krętu). Proces kurczenia się obłoku i powstawania protogwiazdy może trwać kilkaset tysięcy lat [4].

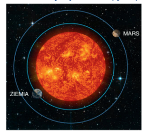


***Rys. 2** Narodziny typowej gwiazdy, a) początek procesu: chmura powolnie rotująca, b) pod wpływem grawitacji cząstki tworzą zagęszczenie w centrum, c) dysk z centralną częścią kulistą – protogwiazdą, d) rozpoczął się proces syntezy jąder wodoru w centrum gwiazdy – gwiazda jasno świeci, [4]*

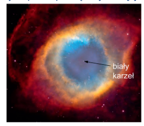
Gdy temperatura protogwiazdy osiągnie odpowiednio wysoką wartość (≈10 mln K), w jej centralnej części rozpoczyna się proces syntezy (łączenia) jąder wodoru w jądra helu. Gwiazda zaczyna jasno świecić (rys. 2d). W taki sposób rozpoczyna się stabilny i najdłuższy okres, bo stanowiący około 90% całego czasu jej życia, tzw. ciąg główny gwiazdy. Czas stabilnego życia gwiazdy zależy przede wszystkim od jej masy. Najbardziej masywne gwiazdy żyją „najszybciej" – zaledwie kilkadziesiąt milionów lat; najmniej masywne gwiazdy mogą istnieć nawet kilkadziesiąt miliardów lat.

Co czeka nasze Słońce

Nasze Słońce należy do najmłodszych gwiazd, jest ono gwiazdą średniej wielkości i ma za sobą mniej więcej połowę swego stabilnego życia, które potrwa jeszcze około 4÷4.5 mld lat. Gdy zapasy wodoru się wyczerpią, wówczas rdzeń Słońca zacznie się zapadać, przez co wzrośnie ciśnienie i temperatura w jego wnętrzu. Gdy temperatura będzie dostatecznie duża, rozpocznie się kolejna reakcja syntezy termojądrowej, polegająca na zamianie helu w węgiel. Ten przejściowy etap w życiu Słońca nazywamy błyskiem helowym. Energia wydzielona w błysku helowym spowoduje przede wszystkim rozciągnięcie zewnętrznych warstw Słońca, a co za tym idzie, obniżenie temperatury jego powierzchni. Słońce stanie się czerwonym olbrzymem o rozmiarach tak dużych, że obejmie orbitę Wenus i zbliży się do Ziemi (rys. 3) i zajmie prawie połowę horyzontu [4].



***Rys. 3** Słońce czerwonym olbrzymem, [4]*



***Rys. 4** Końcowy etap ewolucji Słońca, [4]*

Przez około 100 mln lat w centrum Słońca będzie trwała synteza jąder helu. Po wyczerpaniu zapasu helu w jądrze nastąpi powtórna faza zapadania się jądra Słońca – powstanie biały karzeł, który będzie stygł przez kolejne miliardy lat. Zewnętrzne warstwy Słońca zostaną odrzucone i utworzą mgławicę planetarną, a w środku biały karzeł (rys. 4).

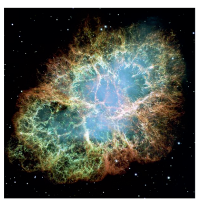
Końcowe stadia ewolucji gwiazd

Biały karzeł

Biały karzeł jest ostatnim etapem ewolucji niezbyt dużej gwiazdy porównywalnej pod względem rozmiaru i masy do naszego Słońca. Po wyczerpaniu się zapasu helu, gdy rdzeń gwiazdy wypełniają jądra węgla i tlenu, synteza jądrowa ustaje i niezrównoważone siły grawitacji ponownie powodują zapadnięcie się jądra wnętrza gwiazdy i utworzenie białego karła. W tym procesie odrzucone zostają zewnętrzne warstwy gwiazdy, które tworzą tzw. mgławice planetarne (rys. 4). Biały karzeł to gwiazda o rozmiarach podobnych do rozmiaru Ziemi i gęstości rzędu 10^6 g/cm^3, w której ustały procesy syntezy termojądrowej. Biały karzeł początkowo ma wysoką temperaturę i dlatego świeci białym światłem. W ciągu kolejnych miliardów lat stopniowo stygnie, świecąc coraz słabiej. Tak kończą swój żywot gwiazdy niewielkie, których masy zawierają się w przedziale 0.4 do ok. 2.5÷3 mas Słońca [4, 5].

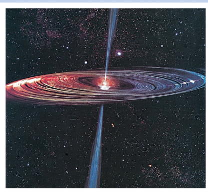
Gwiazdy neutronowe i pulsary

Wewnątrz gwiazd bardziej masywnych temperatura osiąga wartość umożliwiającą syntezę jąder cięższych niż węgla i tlenu. Powstają jądra magnezu, krzemu, siarki i w końcu jądra żelaza. Na jądrach żelaza kończy się proces nukleosyntezy w gwiazdach. W momencie ustania syntezy jądrowej w dużej gwieździe wydarzenia przybierają bardzo dynamiczny charakter – gwiazda wybucha jako tzw. supernowa (rys. 5). Otoczka gwiazdy zostaje gwałtownie odrzucona, zaś rdzeń, o masie zbliżonej do masy Słońca i składający się głównie z jąder żelaza, kurczy się gwałtownie, zgniatany gigantyczną siłą grawitacji. W ułamkach sekund promień rdzenia zmniejsza się od kilku tysięcy do około 10 kilometrów. Gęstość materii osiąga wartości charakterystyczne dla jąder atomowych. W tym stanie elektrony i jądra atomowe nie mogą istnieć niezależnie.



***Rys. 5** Mgławica Krab. Wybuch supernowej, którego pozostałością jest tzw. mgławica, jasnoniebieska centralna część została zaobserwowana za pomocą teleskopu rentgenowskiego. W centrum mgławicy znajduje się pulsar [4]*

Atomy rozpadają się, a elektrony łączą się z protonami, tworząc neutrony. W reakcji tej emitowane są także neutrina – obojętne elektrycznie cząstki, o masie znacznie mniejszej niż masa elektronu, które niemal swobodnie ulatują z wnętrza zapadającej się gwiazdy. Powstaje gwiazda neutronowa: kula o wnętrzu składającym się prawie całkowicie z neutronów, otoczona cienką żelazną skorupą. Można ją porównać do gigantycznego jądra atomowego zawierającego 99,5% neutronów i tylko 0,5% protonów. Gwiazdy neutronowe wirując wokół własnej osi stają się źródłem promieniowania elektromagnetycznego, pulsujące okresowo i dlatego nazwano je pulsarami. Promieniowanie pulsara dociera do nas w postaci impulsów o okresie od milisekund do ok. 4 s [4].



***Rys. 6** Jądro galaktyki spiralnej NGC 4528, w środku znajduje się czarna dziura o masie aż 36 milionów mas słońca. Radioastronomowie zaobserwowali dysk ok. 1 roku świetlnego (wizualizacja na rysunku) utworzony z wirującego gazu, który jest wciągany do czarnej dziury wytwarzając energię oraz wyrzut strumieni materii (dżet) na zewnątrz z prędkością bliską prędkości światłą. [1]*

Czarna dziura

Gwiazdy o największych masach, przewyższających kilkanaście razy masę Słońca [1], kończąc swój żywot, wybuchają jako supernowe, ale w przeciwieństwie do gwiazd neutronowych, zapadają się do czarnej dziury. To obiekt wytwarzający tak wielkie siły grawitacji, że nic, nawet światło, nie może się z niego wydostać. Nie potrafimy opisać wnętrza czarnej dziury, bo nie ma odpowiedniej teorii, która opisywałaby ogromne siły grawitacji na mikroskopowych odległościach.
Z teorii grawitacji (ogólnej teorii względności) wynika, że każde ciało ściśnięte do odpowiednio małej objętości może stać się czarną dziurą. Jeśli ciało o masie ściśniemy w kuli o promieniu nie większym niż, zwanym promieniem Schwarzschilda, to zapadnie się ono do czarnej dziury [1, 4].

Bibliografia

1. Begelman M., Rees M., Ta siła fatalna. Czarne dziury we wszechświecie, Prószyński i S-ka, Warszawa 1999
2. Whitehouse D., The Sun. A biography, John Wiley & Sons, Ltd., 2006
3. https://images.nasa.gov
4. Kozielski M., Wosińska K., Duda P., E-Fizyka – TOM 1, Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, 2015
5. Walczak P., Wojewoda G. F., Fizyka i astronomia, zakres podstawowy, podręcznik, cz. 3, wyd. OPERON, Gdynia 2007

JAKIM CUDEM WSZECHŚWIAT MA 10 WYMIARÓW?

Iga Rozbicka, Paulina Rogaczewska

Abstrakt

W naszej prezentacji opowiemy o dziesięciu wymiarach we Wszechświecie. Pewnie dużo osób zapyta czym są te wymiary. Kiedy słyszymy tę słowo kojarzy się nam z filmami science fiction i równoległymi wszechświatami. Tak naprawdę wymiary służą fizykom do poukładania różnych wizerunków naszego Wszechświata.

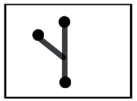
Człowiek przez długi okres czasu próbował wymyślić teorię, która wyjaśniałaby wszystkie zjawiska w Wszechświecie. Jedną z najlepszych jest teoria strun, która zakłada, że jesteśmy w świecie, przez który przenika 10 wymiarów. Na pewno wszyscy słyszeli, że żyjemy w świecie trójwymiarowym. To znaczy, że każdy przedmiot ma szerokość, wysokość i głębokość. Fizycy wprowadzili czwarty wymiar – czas. Dzięki niemu możemy dokładniej określić ruch ciał we Wszechświecie. To są pierwsze cztery wymiary, które doświadczamy, inaczej zwane otwartymi. My chciałybyśmy opowiedzieć o pozostałych sześciu, które są dla nas niedostępne i których nie możemy obserwować w naszym codziennym życiu.

Pierwszy Wymiar

Aby uzyskać pierwszy wymiar należy połączyć dwa punkty ze sobą, nazywamy to odcinkiem. Obiekt w jednowymiarowym świecie ma tylko długość.

Drugi Wymiar

Jeżeli drugim odcinkiem przetniemy pierwszy wymiar, wtedy obiekt posiada długość i szerokość. Istoty żyjące w tym wymiarze są płaskie tak jak figury na kartach do gry.



Trzeci Wymiar

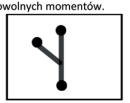
Żyjemy w trzecim wymiarze, który posiada długość, szerokość i głębokość. Inny sposób opisania trzeciego wymiaru to wyobrażenie sobie biedronki poruszającej się po otwartym czasopiśmie. W momencie, kiedy złożymy dwa końce czasopisma w rulon, biedronka przeskoczy z jednego miejsca do innego świata. Trzeci wymiar to ZAGJĘCIE.

Czwarty Wymiar

Czwarty wymiar określa czas, pozwala na pokazanie czynności ciał w wszechświecie, to ODCINEK, który możemy narysować od siebie w teraźniejszości do siebie za jedną minutę, szerzej powiedziawszy odcinek, który łączy Wielkiego Wybuchu z końcem naszego świata.

Piąty Wymiar

Jeżeli chcielibyśmy wrócić do swojego dzieciństwa i spotkać się ze sobą w dzieciństwie, moglibyśmy zagiąć czwarty wymiar do piątego i skoczyć w tył w czasie. Piąty wymiar to wielokrotność różnych ścieżek, które można rozgałęzić do dowolnych momentów.



Podsumowanie

Teoria strun tłumaczy sposób, w którym wszystkie siły wszechświata się łączą i jak działają inne wszechświaty. Teoria strun ukazuje wydarzenia, które mogły być przed wydarzeniem uważanym za początek naszego świata. Ta teoria daje nam do myślenia, czy Wielki Wybuch był tak naprawdę ogromnym wydarzeniem?

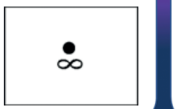
Jeśli teoria strun miała by być teorią wszystkiego, trzeba by było znaleźć nowe poglądy na „stare" tematy. Z tych powodów jest to tylko Hipotetyczna teoria, a nie rzeczywistość. Fizycy nie mają dokładnych dowodów na istniejące we wszechświecie struny.

Szósty Wymiar

Szósty wymiar zbiera wszystkie wszechświaty, które zaczęły się od tego samego wydarzenia, w naszym przypadku od Wielkiego Wybuchu; podróżując po szóstym wymiarze możemy oglądać alternatywne przeszłości i przyszłości.

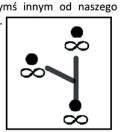
Siódmy Wymiar

Siódmy wymiar uważa cały szósty wymiar za pojedynczy punkt, jest wszystkimi możliwymi liniami czasu, inaczej powiedziawszy nieskończonością.



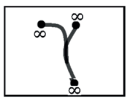
Ósmy Wymiar

Ósmy wymiar udostępnia nam inne nieskończoności, które przez warunki początkowe zaczynałyby się od zupełnie innego zdarzenia i kończyłyby się czymś innym od naszego świata.



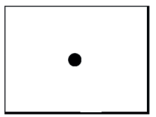
Dziewiąty Wymiar

Dziewiąty wymiar pozwala nam przenieść się, przez zagięcie, z jednej nieskończoności w ósmym wymiarze do drugiej, tutaj możemy poznać historię światów od początku różnych od naszego.



Dziesiąty Wymiar

W dziesiątym wymiarze musimy sobie wyobrazić każdą możliwą linię czasu i każdy możliwy istniejący wszechświat jako jeden punkt.



Bibliografia: https://sekretynauki.pl/fizyka/dlaczego-wszechswiat-ma-10-wymiarow/, http://dobrewiadomosci.net.pl/16759-zyjemy-swiecie-ktory-10-wymiarow/, https://www.youtube.com/watch?v=lY-Zv7hpsm0 , https://www.odkrywamyzakryte.com/teoria-strun/

Fundusze Europejskie Program Regionalny

URZĄD MARSZAŁKOWSKI WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO

Unia Europejska Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego

ORGANIZATORZY KONFERENCJI

SAMORZĄD WOJEWÓDZTWA POMORSKIEGO

PBW PEDAGOGICZNA BIBLIOTEKA WOJEWÓDZKA W GDAŃSKU

POLITECHNIKA GDAŃSKA

PATRONAT HONOROWY

POLSKA AGENCJA KOSMICZNA

KO Gdańsk

RZECZNIK PRAW DZIECKA

PARTNERZY KONFERENCJI

centrum nauki EXPERYMENT Gdynia

Copernicus Center PRESS

CENTRUM HEWELIANUM

Microsoft

BIPRORAF

PATRONAT MEDIALNY

Dziennik Bałtycki

trojmiasto.pl

Radio Gdańsk

KOSMONAUTA.net

Egzemplarz bezpłatny

Wydawnictwo bernardinum

ISBN 978-83-8127-296-4

www.zdolnizpomorza.pomorskie.eu