

Krzysztof Rochowicz

ŚWIATŁA KOSMOSU

Człowiek od niepamiętnych czasów wpatrywał się w niebo. W ciągu dnia jego oczy przykuwał blask słońca, w nocy intrygowały światła księżyca i gwiazd. Im więcej uwagi im poświęcał, tym więcej ciekawych spostrzeżeń gromadził. Najprawdopodobniej to właśnie te tajemnicze światła były przyczyną zainteresowania zewnętrznym światem w największej skali – odkąd ludzie zaczęli zadawać sobie pytania, co może znajdować się za widnokregiem, jak zbudowana jest Ziemia i skąd się na niej wzięliśmy. Ciekawość i spostrzegawczość, a wreszcie próby systematyzowania i wykorzystywania w praktyce poczynionych obserwacji dały już naszym dalekim przodkom sposobność formułowania pierwszych reguł i prostych praw rządzących światem – tak rodziła się wiedza.

W niniejszej pracy chciałbym pokazać, jak dosłownie rodziło się w ludzkich umysłach oświecenie. W świecie praktycznie pozbawionym sztucznego oświetlenia widok rozgwieżdżonego nieba z pewnością robił na wyposażonych w zdolność refleksji istotach wielkie wrażenie. Początkowo miały one niewielkie możliwości ogarnięcia rozumem zjawisk dziejących się dokoła, na które – jak im się zresztą wydawało – nie mogły mieć żadnego wpływu. Stopniowo jednak gromadzone spostrzeżenia oswajały ludzi z regularnym następstwem określonych procesów, a taka powtarzalność rozwijała chęć i potrzebę przewidywania i sprawdzania stawianych hipotez – tak rodziła się nauka.

Milowe jej kroki i znaczące przełomy wiązały się z wielkimi odkryciami. Trudno przecenić wpływ umiejętności określania czasu i wprowadzenie kalendarza na rozwój gospodarki człowieka i jego życie. Dziś, dzięki technice, uniezależniliśmy się niejako od nieba i astronomii w jej praktycznych zastosowaniach. Nauki o kosmosie pozostają jednak fundamentem, próbującym udzielić w sposób racjonalny odpowiedzi na podstawowe, określające nasz byt pytania – skąd przychodzimy, kim jesteśmy i dokąd zmierzamy. Póki co, w oparciu o kosmologię i astrofizykę, możemy jak się wydaje dość sensownie, a na pewno niezwykle frapująco i niebanalnie odpowiedzieć na pierwsze z nich – w dużej mierze pochodzimy bowiem z gwiazd...

Oto krótki i nieco subiektywny przegląd kosmicznej menażerii. Nie będziemy przesadnie zagłębiać się w meandry historii ludzkiej myśli. Wspomnimy dawne ślady i wierzenia, świadczące o zainteresowaniu niebem i pojawiającymi się na nim obiektami. Zwrócimy uwagę na kluczowe odkrycia i przełomy w badaniu kosmosu. Skorzystamy z doświadczeń i ustaleń wielu pokoleń obserwatorów, badaczy i pasjonatów, oddanych potrzebie wyjaśniania otaczającego nas Wszechświata, by przede wszystkim pokazać, jak jest on ogromny i jak niezwykle piękny.

*Barwy ze słońca są. A ono nie ma
Żadnej osobnej barwy, bo ma wszystkie.
I cała ziemia jest niby poemat,
A słońce nad nią przedstawia artystę*
[Miłosz 2011].

GDY SŁOŃCE BYŁO BOGIEM...

Słońce było przedmiotem kultu w wielu społecznościach w historii ludzkości. W najbardziej podstawowym rozumieniu Słońce jest świetlistym dyskiem na niebie, którego obecność nad horyzontem tworzy dzień i którego brak powoduje noc. W wielu kulturach prehistorycznych i starożytnych, Słońce uważano za boga lub zjawisko nadprzyrodzone. Kult Słońca stanowił centrum życia religijnego kilku cywilizacji, takich jak starożytny Egipt, Imperium Inków w Ameryce Południowej oraz Azteków zamieszkujących dzisiejszy Meksyk [Kosidowski 1969]. W niektórych religiach, takich jak hinduizm, Słońce jest nadal uważane za boga. W prehistorii ludzie stworzyli liczne zabytki z myślą o obserwacji zjawisk związanych ze Słońcem; przykładowo megality bywały używane do dokładnego oznaczenia letnich lub zimowych przesileń – takie megality znajdują się m.in. w Nabta Playa w Egipcie, w zespole Mnajdra na Malcie i w Stonehenge w Anglii [Aveni 2002]; także dużo późniejsza Piramida Kukulkana w Chichén Itzá w Meksyku została zbudowana tak, aby w dniach równonocy wiosennej i jesiennej cienie na ścianach piramidy przybierały kształty wijących się węży (il. 1).

Starożytni Egipcjanie przedstawiali Ra (= Słońce) jako boga prowadzonego przez niebo w barce słonecznej, w towarzystwie pomniejszych bogów; u Greków bóg Helios, uosobienie Słońca, jechał przez niebo w rydwanie zaprzężonym w ogniste konie [Kubiak 1997]. Cesarz Heliogabal, a później Aurelian wprowadzili kult Słońca w cesarstwie rzymskim; od Aureliana urodziny Słońca było obchodzone jako święto *Sol Invictus* (dosłownie „Słońce niezwyciężone”) wkrótce po przesileniu zimowym, co wpłynęło na ustalenie daty, w której chrześcijanie obchodzą Boże Narodzenie (Kubiak 2003). Słońce każdego roku przemieszcza się na tle gwiazd stałych wzdłuż ekliptyki, przez znaki zodiaku; z tego powodu greccy astronomowie uznali, że jest to jedna z siedmiu planet (greckie *πλανήτης*, *planetes*, oznacza „wędrowiec”), od których pochodzą nazwy siedmiu dni tygodnia w niektórych językach. Dopiero Mikołaj Kopernik w sposób szczególny wyróżnił naszą Dzienną Gwiazdę, przenosząc ją do centrum układu planetarnego: *A w środku wszystkich ma swą siedzibę Słońce. Czyż bowiem w tej najpiękniejszej świątyni moglibyśmy umieścić ten znicz w innym albo lepszym miejscu niż w tym, z którego on może wszystko równocześnie oświetlać?* [Kopernik 1976].

Choć następcom Kopernika trudno było pogodzić się z utratą szczególnego miejsca Ziemi w kosmosie i przez jakiś czas w sposób naturalny lokowano Słońce w centrum Wszechświata (którym na dobrą sprawę przez kilka stuleci pozostawała tylko nasza Droga Mleczna), w końcu badania astronomiczne pokazały jednoznacznie, że jest ono niewyróżniającą się gwiazdą, raczej na obrzeżach Galaktyki (pisanej dużą literą – dla odróżnienia od innych tego typu obiektów, których naturę uzgodniono na dobre niespełna sto lat temu). Można więc stwierdzić, że ostatecznym rezultatem ogłoszenia teorii heliocentrycznej było przyjęcie w nauce i filozofii zasady kopernikańskiej, wedle której sytuacja Ziemi we wszechświecie nie jest w żaden sposób wyróżniona. Zasada ta ma daleko



Il. 1. Cień w kształcie węża rzucony na ścianę piramidy w czasie równonocy [ATSZ56 2009]

idące konsekwencje poznawcze, doprowadziła do znaczących zmian w sposobie myślenia o świecie, jego relacjach do człowieka i religii.

W międzyczasie badanie natury światła Słońca otworzyło niezwykle płodny i równie bogaty w konsekwencje obszar badań naukowych, jakim stała się spektroskopia i astrofizyka. Wróćmy jednak do czasów znacznie bardziej odległych i przypomnijmy, jak inne światła kosmosu przyczyniły się do budowania naszej wiedzy o świecie.

KSIĘŻYC

*Kolego śpiących – szanowny Księżycu!
 Poeci robią marzyciela z ciebie.
 A ty zwykłe litery
 piszesz wciąż na niebie
 [Twardowski 2007].*

Księżyc był tematem wielu dzieł sztuki i literatury, a także inspiracją dla niezliczonej rzeszy twórców. Jest często pojawiającym się motywem w malarstwie, poezji i dramacie, a także w prozie i muzyce. W jaskini Blanchard (płd. Francja) odnaleziono fragment kości renifera, który pokryty był swoistymi wgłębieniami, a te stanowiły być może pewnego rodzaju kalendarz zmian faz Księżyca – wiek kości oszacowano na około 30 tysięcy lat [Wróblewski 2006]. Za pierwsze realistyczne przedstawienie Księżyca w sztuce Zachodu uważa się tarczę Srebrnego Globu namalowaną na dziennym niebie na dyptyku *Ukrzyżowanie i Sąd Ostateczny* Jana van Eycka (ok. 1430). Księżyc jest też powszechnie obecny w mitologii i astrologii [Włodarczyk 2012].

Pierwszej próby opisanie Księżyca w sposób naukowy dokonał filozof grecki Anaksagoras, który – na podstawie obserwacji zaćmień oraz badań spadających na Ziemię meteoroidów – wysunął hipotezę głoszącą, że Księżyc i Słońce są w rzeczywistości ogromnymi skalistymi obiektami, i że ten pierwszy odbija światło pochodzące od drugiego z ciał. Jego ateistyczne poglądy na zagadnienia związane z niebem stały się główną przyczyną uwięzienia i, ostatecznie, banicji.

Arystotelesowski opis Wszechświata umiejscawiał Księżyc na granicy pomiędzy obszarem zmiennych żywiołów (ziemi, wody, powietrza i ognia) a sferami planet i gwiazd stałych, zbudowanych z eteru. Podział ten był utrzymywany jako jeden z aksjomatów fizyki przez wiele wieków po Arystotelesie.

Zanim wynaleziono teleskop, a więc do czasów późnego średniowiecza, rozpowszechniał się obraz Księżyca jako idealnie gładkiej sfery. W roku 1609 Galileusz wykonał jeden z pierwszych szkiców Księżyca, opartych na obserwacjach teleskopowych. Zamieścił go w swojej książce *Sidereus nuncius* wraz z komentarzem, iż powierzchnia ziemskiego satelity urozmaicona jest licznymi pasmami górskimi oraz kraterami. Nieco później Księżyc jako ciało niebieskie pokrewne Ziemi opisał w dziele *Selenographia* (1647) Jan Heweliusz (il. 2). Heweliusz zaproponował nawet, by nazewnictwo powierzchni Księżyca wzorować na ziemskiej geografii, lecz ostatecznie utrwaliła się nomenklatura, którą w 1651 roku na swojej mapie nanieśli Giovanni Battista Riccioli i Francesco Maria Grimaldi (przede wszystkim nazwy kraterów i mórz).

Pierwsi kartografowie tworzący mapy Księżyca nazwali ciemniejsze fragmenty jego powierzchni „morzami” (łac. *maria*), zaś jaśniejszym obszarom nadali nazwę „wyżyn” (łac. *terrae*) lub kontynentów. Istnienie życia na Księżycu rozważał m.in. Johannes Kepler w rozprawie *Sen* (1630–1634) i William Herschel w początkach swojej kariery astronomicznej. Możliwość istnienia życia na Księżycu była poddawana poważnej dyskusji jeszcze w pierwszej połowie XIX wieku. Podobnie rzecz się miała z naturą księżycowych kraterów: przez długi czas dyskutowano, czy mają pochodzenie wulkaniczne czy uderzeniowe; kwestię tę rozstrzygnięto na korzyść tej ostatniej w pierwszej połowie XX wieku.



Il. 2. Mapa księżyca autorstwa Jana Heweliusza z dzieła *Selenographia* [Heweliusz 1645]

Oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy Ziemią a Księżycem wywołuje pływy morskie na naszej planecie. To samo oddziaływanie spowodowało spowolnienie rotacji Księżyca, wskutek czego satelita jest obecnie w obrocie synchronicznym: okres obrotu Księżyca wokół własnej osi równy jest okresowi obiegu wokół Ziemi. Wskutek tego, zwrócony jest on do planety stale tą samą stroną.

Według niektórych artykułów naukowych, Księżyc miał duży wpływ na rozwój życia na Ziemi poprzez łagodzenie klimatu planety. Dowody paleontologiczne i symulacje komputerowe wykazują, że oddziaływanie pływowe z satelitą stabilizuje nachylenie ziemskiej osi obrotu. Bez tej stabilizacji przeciwko momentom siły aplikowanym przez Słońce i inne planety, oś Ziemi mogłaby podlegać chaotycznym zmianom w skali setek milionów lat, co ma miejsce w przypadku Marsa. Zrównanie się osi obrotu z płaszczyzną ekliptyki doprowadziłoby do występowania skrajnych pór roku – jeden biegun znajdowałby się na wprost Słońca w okresie letnim, a drugi w okresie zimowym. W rezultacie wyginęłyby większe zwierzęta i część roślinności.



Il. 3. Całkowite zaćmienie Słońca z 20 marca 2015 roku [Nesvold 2015]

Średnica Słońca jest ok. 400-krotnie większa niż średnica naszego naturalnego satelity, zaś odległość Ziemi od Słońca jest 400-krotnie większa w porównaniu do Księżyca. Wskutek tego, rozmiar kątowny (pozorny rozmiar) obu ciał jest niemal jednakowy, a na Ziemi dochodzi do całkowitego lub obrączkowego zaćmienia Słońca. Ta kosmiczna koincydencja skutkuje jednym z najpiękniejszych zjawisk na niebie, które od zamierzchłych czasów fascynowało ludzi (il. 3).

Zaćmienie Słońca zaskoczyło króla Władysława Jagiełłę podczas jednej z wypraw (czerwiec 1415), miało też przerwać starożytną bitwę między Medami a Lidyjczykami w 585 roku przed Chr. Znane z przeszłości zaćmienia Słońca nawet dziś pomagają w ustaleniu dat odległych historycznych wydarzeń.

Warto też przy okazji wspomnieć, że analiza światła, barw, a nawet stanu fal w zatoce na słynnym obrazie Moneta *Impresja, wschód słońca* umożliwiła ostatnio astronomom bardzo precyzyjne określenie miejsca i chwili jego powstania – 13 listopada 1872, godzina 7:35 [Gannon 2014].

PLANETY

*Pora spadania jabłek jeszcze liście się bronią
rankiem mgły coraz cięższe tysieje powietrze
[...]
słyszał teraz wyraźnie jak planety się toczą
wschodzi wysoki księżyc przyjm na oczy bielmo
[Zbigniew Herbert 2008].*

Gdy tylko ludzie oswajając się z widokiem nocnego nieba spostrzegli, że pewne układy gwiazd zachowują swój układ i kształt, zauważyli też, że kilka punkcików (oraz Księżyc i Słońce) przemieszcza się na ich tle. Te obiekty nazwano od greckiego słowa *πλανήτης* (*planétes*) – wędrowiec.

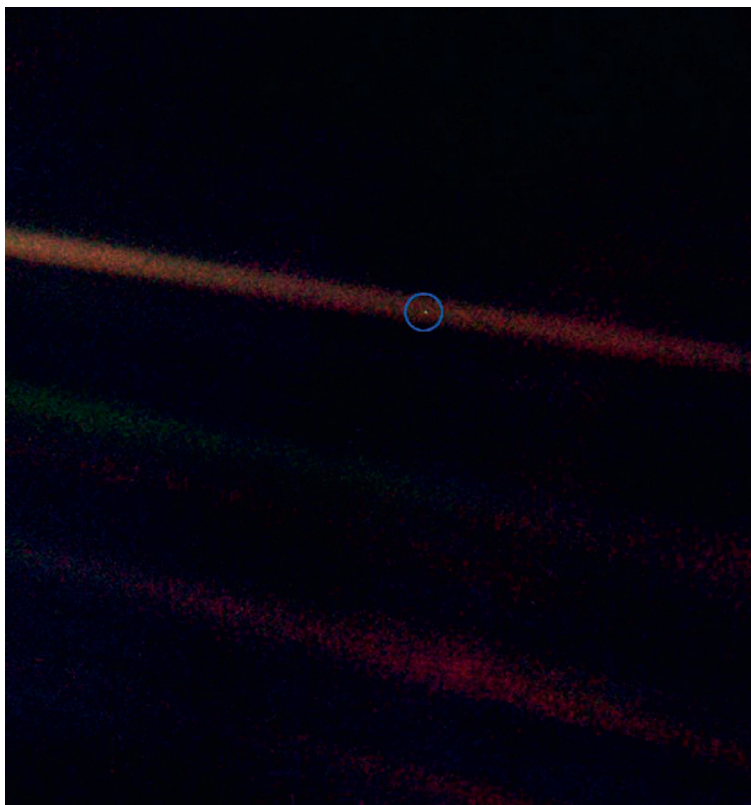
W starożytności terminem „planeta” określano siedem jasnych ciał: Merkurego, Wenus, Marsa, Jowisza, Saturna, a także Słońce i Księżyc. W czasach nowożytnych, wraz z rozpowszechnieniem się poglądu heliocentrycznego, wykluczono z tego grona dwa ostatnie obiekty, natomiast naturę planety przypisano Ziemi (il. 4), co łącznie dawało sześć planet.

W 1781 r. odkryto siódmą planetę – Urana. Odkrywane od początku XIX wieku obiekty krążące między orbitami Marsa i Jowisza również zaliczano do planet. Po 1851 roku, kiedy znanych było już piętnaście takich obiektów, zdecydowano się na zmianę klasyfikacji. Ciała takie jak Ceres, Pallas, Juno i Westa, zaliczono do osobnej kategorii: planetoid, bowiem wyraźnie różniły się one od dotychczas poznanych planet – wszystkie były znacznie mniejsze i wszystkie poruszały się po zbliżonych orbitach, współtworząc większą populację ciał (pas planetoid). Przez następnych kilkadziesiąt lat uznawano istnienie ośmiu planet (łącznie z odkrytym w 1846 roku Neptunem).

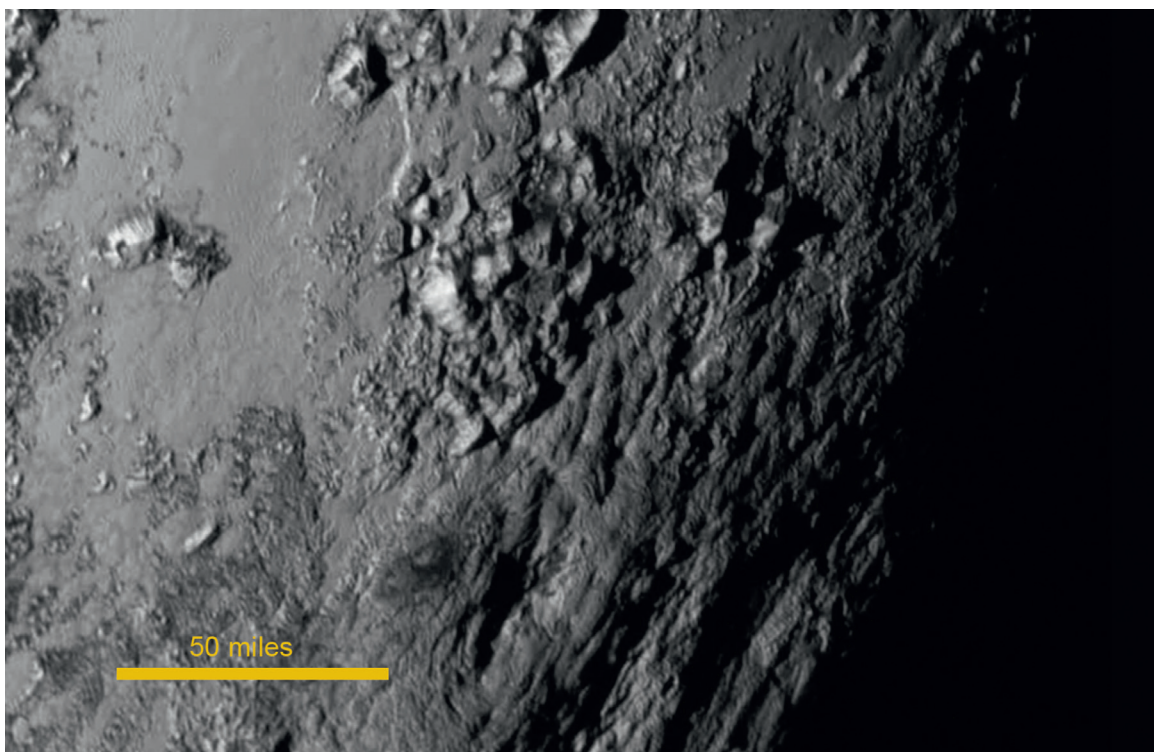
Kiedy w 1930 roku za orbitą Neptuna odkryto Plutona, pierwsze obserwacje sugerowały, że jest on większy od Ziemi, został więc powszechnie uznany za kolejną, dziewiątą planetę. Dalsze badania ujawniły wprawdzie, że jest on znacznie mniejszy, niż początkowo sądzono, jednak ponieważ był większy niż wszystkie planetoidy i zdawał się nie być częścią większej populacji, na długo zachował status planety (il. 5).

Dopiero pod koniec XX wieku za orbitą Neptuna zaczęto odkrywać obiekty podobne do Plutona, niektóre z nich zbliżone do niego także rozmiarem. Astronomowie zdali sobie sprawę, że Pluton jest tylko jednym z wielu obiektów pasa Kuipera. Odkrycie w 2005 roku Eris, obiektu transneptunowego większego od Plutona, zmusiło astronomów do zrewidowania klasyfikacji – w 2006 roku wypracowano definicję, która pozostawiała w Układzie Słonecznym osiem planet, zaś Pluton został zaliczony do nowej kategorii planet karłowatych.

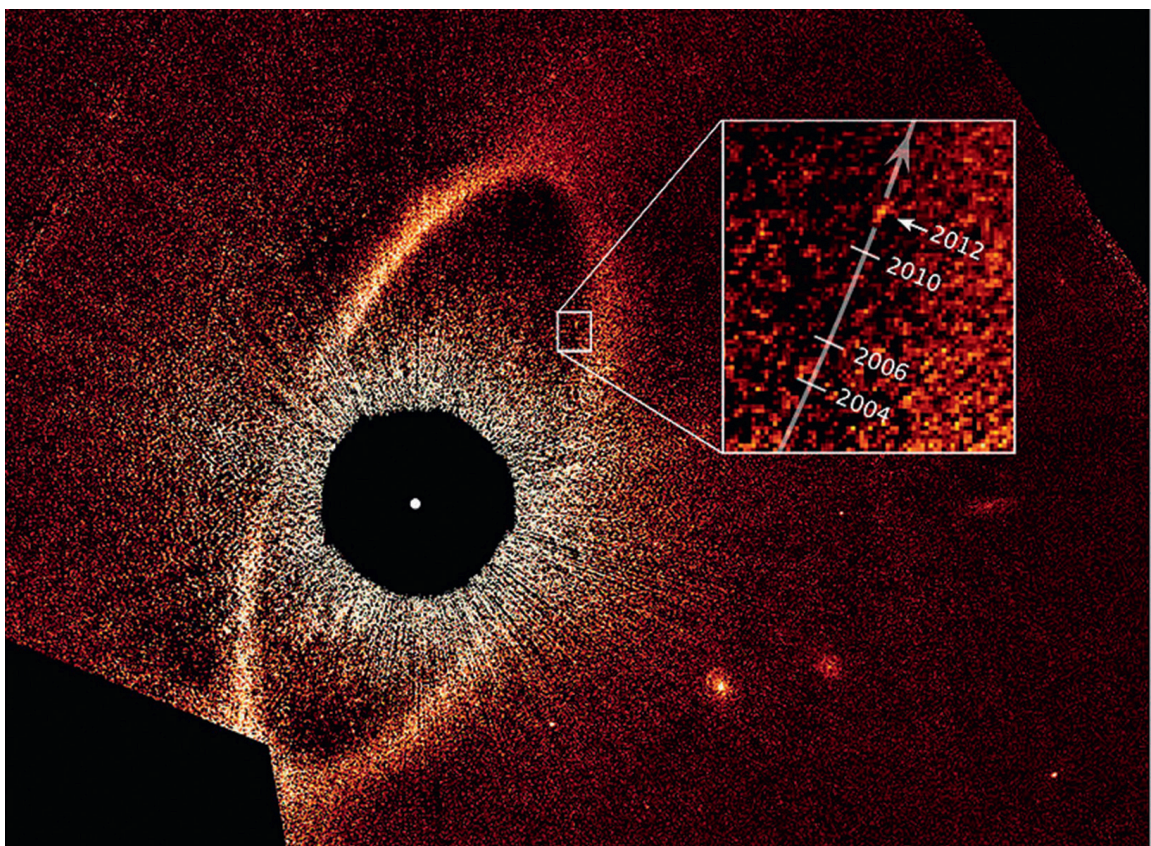
Naukowcy od dawna przypuszczali, że oprócz planet Układu Słonecznego istnieją także planety pozasłoneczne. Już w XVI wieku Giordano Bruno pisał o niezliczonych ziemiach krążących wokół niezliczonych słońc. Bardzo długo jednak nie udawało się znaleźć dowodów na istnienie takich planet. Dopiero w 1992 roku ogłoszono odkrycie pierwszych planet krążących wokół pulsara [Wol-



Il. 4. Błada, błękitna kropka (ang. *pale blue dot*) – tak prezentuje się nasza planeta na zdjęciu uzyskanym przez sondę Voyager z odległości ok. 6 mld km w roku 1990. Jak to określił Carl Sagan – „cała historia ludzkości rozegrała się na tym mikroskopijnym pikselu, który jest naszym jedynym domem” [NASA 1990]



Il. 5. Zdjęcie powierzchni Plutona wykonane podczas przelotu sondy New Horizons 14 lipca 2015 roku z odległości ok. 27 tys. km [NASA 2015]



Il. 6. Kolejne położenia planety Fomalhaut b w latach 2004–2012 (wstawka na tle dysku pyłowego wokół gwiazdy Fomalhaut) sfotografowanej przy pomocy Teleskopu Hubble’a [NASA 2013]

szczan, Frail 1992]. W kolejnych latach odkryto wiele innych planet obiegających odległe gwiazdy. Ich bezpośrednia obserwacja nie jest łatwa – słabe światło odbijane od powierzchni planety ginie w blasku jej macierzystej gwiazdy i tylko niektóre możemy po zastosowaniu specjalnych technik zobaczyć na zdjęciu (il. 6).

Na dzień dzisiejszy (29 listopada 2017 roku) znamy 3710 planet w 2780 układach wokół innych gwiazd. Liczba ta rośnie i już tylko co jakiś czas słyszymy o nowych odkryciach, w szczególności gdy dotyczą one globów zbliżonych do Ziemi i krążących wokół swych słońc w tzw. ekosferze, czyli w odległości nie za małej i nie za dużej, umożliwiającej ewentualną obecność na ich powierzchni ciekłej wody. Mamy też powoli pierwsze wskazówki dotyczące składów atmosfer w kilku przypadkach i nadzieje na przyrost tego rodzaju wyników badań, w szczególności po umieszczeniu na orbicie następcy teleskopu Hubble’a – Kosmicznego Teleskopu Jamesa Webba, prawdopodobnie w roku 2019.

GWIAZDY

*Odkryto nową gwiazdę,
co nie znaczy, że zrobiło się jaśniej
i że przybyło czegoś czego brak*
[Wisława Szymborska 1986].

Gwiazdy odgrywały dużą rolę w rozwoju cywilizacji na całym świecie. Stanowiły istotny element wierzeń religijnych oraz znajdowały liczne zastosowania praktyczne. Wielu starożytnych astronomów sądziło, że zostały one na trwałe umieszczone na sferze niebieskiej i że są niezmiennie. Według wczesnych europejskich astronomów czasów nowożytnych, takich jak Tycho Brahe oraz jego uczeń Johannes Kepler, identyfikowane na niebie „nowe gwiazdy” przeczyły idei niezmienności niebios. Obaj dostrzegli na nocnym niebie gwiazdy dotychczas niewidoczne, Brahe jako pierwszy nazwał je „gwiazdami nowymi”, myśląc, że są to obiekty nowo powstające. W rzeczywistości badali oni supernowe, potężne eksplozje wieńczące żywoty masywnych gwiazd (Brahe obserwował SN 1572, Kepler zaś SN 1604).

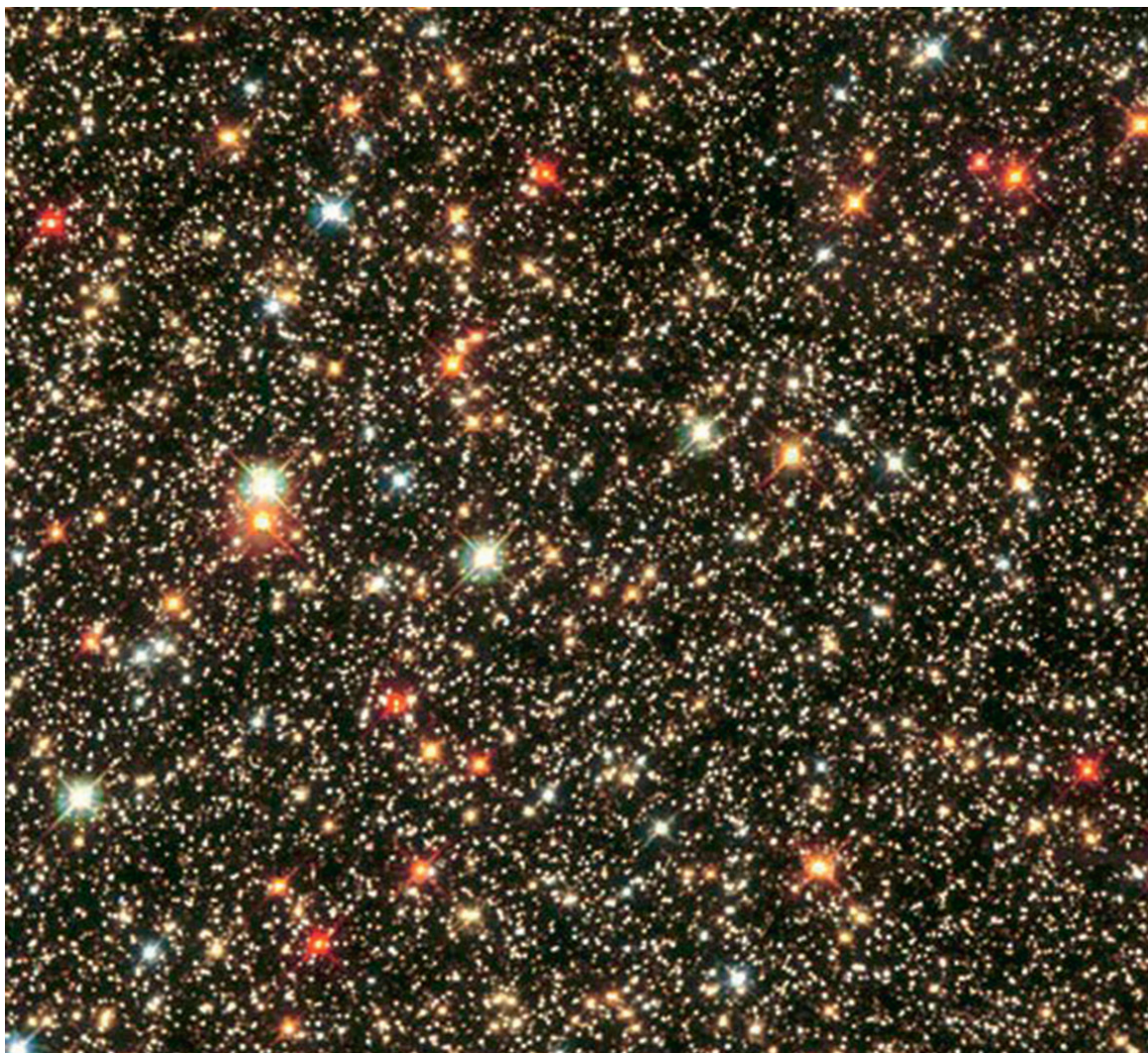
W historii napotykamy wielu filozofów, poetów, malarzy, a nawet muzyków, którzy znajdowali natchnienie w rozgwieżdżonym niebie. W wielu przypadkach osobiście interesowali się oni astronomią, czego świadectwa noszą ich dzieła.

Wiele odniesień do gwiazd znajdujemy w dziełach pisarzy starożytnej Grecji i Rzymu. Według astronoma Kennetha Glyna Jonesa, pierwszą znaną wzmianką o Plejadach, słynnej gromadzie otwartej w gwiazdozbiornie Byka, jest fragment z dzieła Hezjoda, którego powstanie datuje się na IX wiek p.n.e., Homer wspomina o nich także w *Odysei*, w Biblii zaś pojawiają się trzykrotnie. W *Boskiej Komедii* Dante Alighieri zawarł kilka aspektów wiedzy swojej epoki, w szczególności astronomicznej, trzy części dzieła kończą się zaś słowem „gwiazdy”; jako że są one siedzibą Nieba, według Dantego stanowią ostateczny cel człowieka, a jego pragnienie wiedzy może być zaspokojone dzięki kierowaniu wzroku w górę.

Malarze tacy jak Giotto di Bondone, Vincent van Gogh czy Joan Miró, po prostu ulegali urokowi nocnego nieba i pragnęli je przedstawić na płótnie bądź innym materiale, w którym tworzyli.

Pierwszym naukowcem, który próbował doświadczalnie określić rozkład gwiazd w przestrzeni, był William Herschel. W latach 80. XVIII wieku wykonał on serię 600 pomiarów, zliczając gwiazdy w różnych kierunkach. Okazało się, że ilość dostrzeganych gwiazd systematycznie rośnie w miarę zbliżania się do części nieba zawierającej jądro Drogi Mlecznej. Na podstawie swoich badań Herschel opracował schemat Galaktyki, błędnie przy tym zakładając, że Słońce znajduje się w pobliżu jej centrum. Do osiągnięć Williama Herschela należy także odkrycie, że niektóre gwiazdy nie poruszają się samotnie w kosmosie, lecz tworzą układy podwójne. Większość gwiazd jest tak odległa od Ziemi, że są one widoczne jedynie jako punkty światła, choć w rzeczywistości osiągają średnice rzędu milionów kilometrów (il. 7).

Astronomowie mogą ustalić masę, wiek, skład chemiczny oraz wiele innych cech gwiazdy, badając jej widmo, jasność oraz drogę, jaką przebywa w przestrzeni kosmicznej. Najbliższą Ziemi, nie licząc



Il. 7. Obfitujące w gwiazdy obszary nieba w kierunku centrum Drogi Mlecznej, w konstelacji Strzelca [Hubble Heritage 1998]

Słońca, gwiazdą jest Proxima Centauri, znajdująca się prawie 40 bilionów kilometrów (4,2 roku świetlnego) od Ziemi. Pomimo bliskości nie da się jej dostrzec gołym okiem. Jej światło potrzebuje 4,2 roku, aby dotrzeć do Ziemi, podróż do niej z prędkością orbitującej stacji kosmicznej (8 kilometrów na sekundę, prawie 30 tysięcy kilometrów na godzinę) trwałaby 150 000 lat...

13 listopada 2015 roku w czasopiśmie „Nature” ukazał się artykuł o ważnym odkryciu opartym na badaniach polskich astronomów pracujących w projekcie OGLE [Howes, Casey, Asplund i in., 2015]. Po kilku latach precyzyjnych analiz udało się pozytywnie zweryfikować w centralnych obszarach Drogi Mlecznej obecność (na razie) 23 (z około 500 wyselekcjonowanych wcześniej) bardzo starych gwiazd, które powstały zaledwie kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu. Świadczy o tym niezwykle mała zawartość pierwiastków ciężkich w ich składzie chemicznym, około tysiąckrotnie mniejsza niż w materii słonecznej (w rekordowym przypadku nawet 10 tysięcy razy mniejsza).

DROGA MLECZNA I INNE GALAKTYKI

*jesteśmy z Drogi Mlecznej
z prawd duszy tej odwiecznej
i mimo wahań sprzecznych
wśród zdań tych ostatecznych
my międzygwiazdni
tylko przyjezdni
chwilowo ziemscy
całkiem współcześni*
[Moczulski 2017].

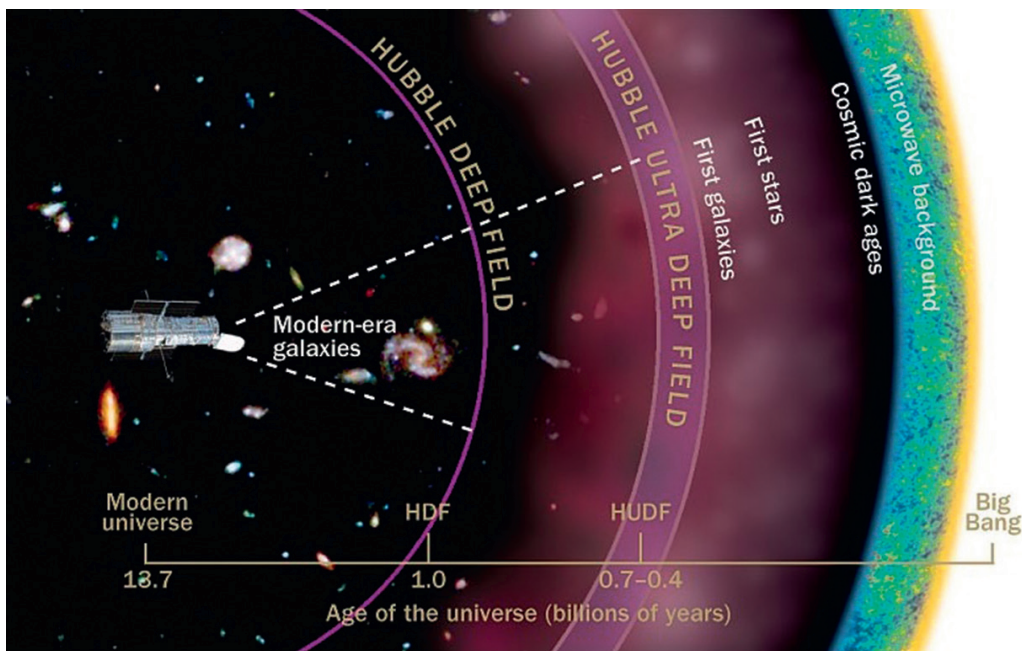
Niespełna sto lat temu narodziła się astronomia pozagalaktyczna. Wcześniej astronomowie nie zdawali sobie sprawy z tego, że część obserwowanych na niebie mgławic to rzeczywiście mgławice gazowe należące do naszej Galaktyki – Drogi Mlecznej, natomiast część to bardzo odległe galaktyki. Argumenty za istnieniem dalekich galaktyk pojawiały się stopniowo i jeszcze w 1920 roku (Wielka Debata między Shapleyem a Curtisem) nie było to oczywiste. Decydujące rozstrzygnięcie przyszło w wyniku obserwacji. W roku 1923 Edwin Hubble wykonał obserwacje Galaktyki Andromedy, zaobserwował w niej pojedyncze gwiazdy typu cefeid i to pozwoliło mu na wyznaczenie odległości do tej galaktyki. Odległość ta wielokrotnie przekraczała rozmiary Drogi Mlecznej.

Wówczas obowiązywał jeszcze powszechnie uznawany pogląd, że Wszechświat jest niezmiennym i nieporuszającym się układem galaktyk. Pogląd ten wyrażał także Albert Einstein. Obserwatorzy zauważyli co prawda nieco wcześniej, że większość „mgławic spiralnych” oddala się od Ziemi, ale nie byli jeszcze świadomi kosmologicznych implikacji tego faktu (ani tego, że te „mgławice spiralne” to w rzeczywistości galaktyki).

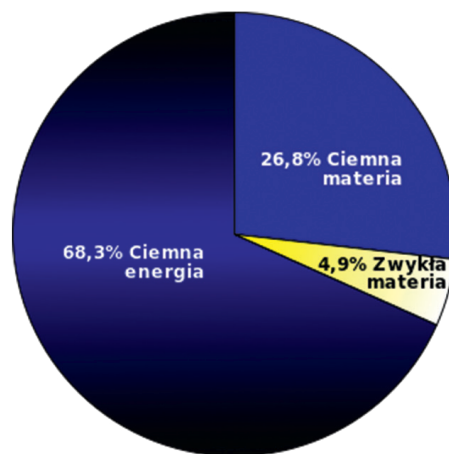
W 1922 roku Aleksander Friedmann wyprowadził na podstawie ogólnej teorii względności równania postulujące rozszerzanie się Wszechświata. Niezależnie od niego, w 1927 roku wyprowadził je również Georges Lemaître, co doprowadziło go do wysunięcia hipotezy pierwotnego atomu. Jego prace zostały w 1929 roku potwierdzone przez obserwacje Edwina Hubble’a. Zaobserwował on, że galaktyki wykazują przesunięcie ku czerwieni wprost proporcjonalne do ich odległości od Ziemi – fakt ten znany jest obecnie jako prawo Hubble’a. Jeśli wziąć pod uwagę zasadę kosmologiczną, która stanowi, że Wszechświat jest jednorodny i izotropowy, z prawa Hubble’a wynika, że cały Wszechświat rozszerza się.

Odkrycie mikrofalowego promieniowania tła w latach 60. ubiegłego wieku potwierdziło teorię Wielkiego Wybuchu. W tej chwili badania kosmologiczne skupiają się na próbach zrozumienia, jak formowały się pierwsze gwiazdy i galaktyki oraz co działo się w pierwszych momentach istnienia Wszechświata (il. 8).

Duże postępy w tym zakresie zostały poczynione w latach 90. XX i w pierwszej dekadzie XXI wieku. Dzięki zaawansowanym teleskopom oraz danym z satelitów COBE, WMAP i kosmicznego tele-



Il. 8. Obserwacje kosmicznego teleskopu Hubble’a pozwoliły sięgnąć do epoki ok. 400–700 mln lat po Wielkim Wybuchu. O wcześniejszych warunkach i procesach wnioskujemy na podstawie badań mikrofalowego promieniowania tła z epoki ok. 370 tys. lat po Wielkim Wybuchu [NASA 2003–2004]



Il. 9. Szacowany udział ciemnej energii i ciemnej materii w bilansie energii Wszechświata: prawie 70% to ciemna energia, przeszło 25% to ciemna materia, niespełna 5% to międzygalaktyczny gaz, galaktyki oraz gwiazdy [Szcureq 2013]

skopu Hubble’a możliwe stały się pomiary o niespotykanej wcześniej precyzji, które doprowadziły do odkrycia, że tempo rozszerzania się Wszechświata wydaje się przyspieszać. Jednocześnie ostatnie szacunki rozkładu materii-energii we Wszechświecie sugerują, że znana nam materia (łącznie z nieświecącą i niewidoczną) stanowi niespełna 5% ogólnego wkładu.

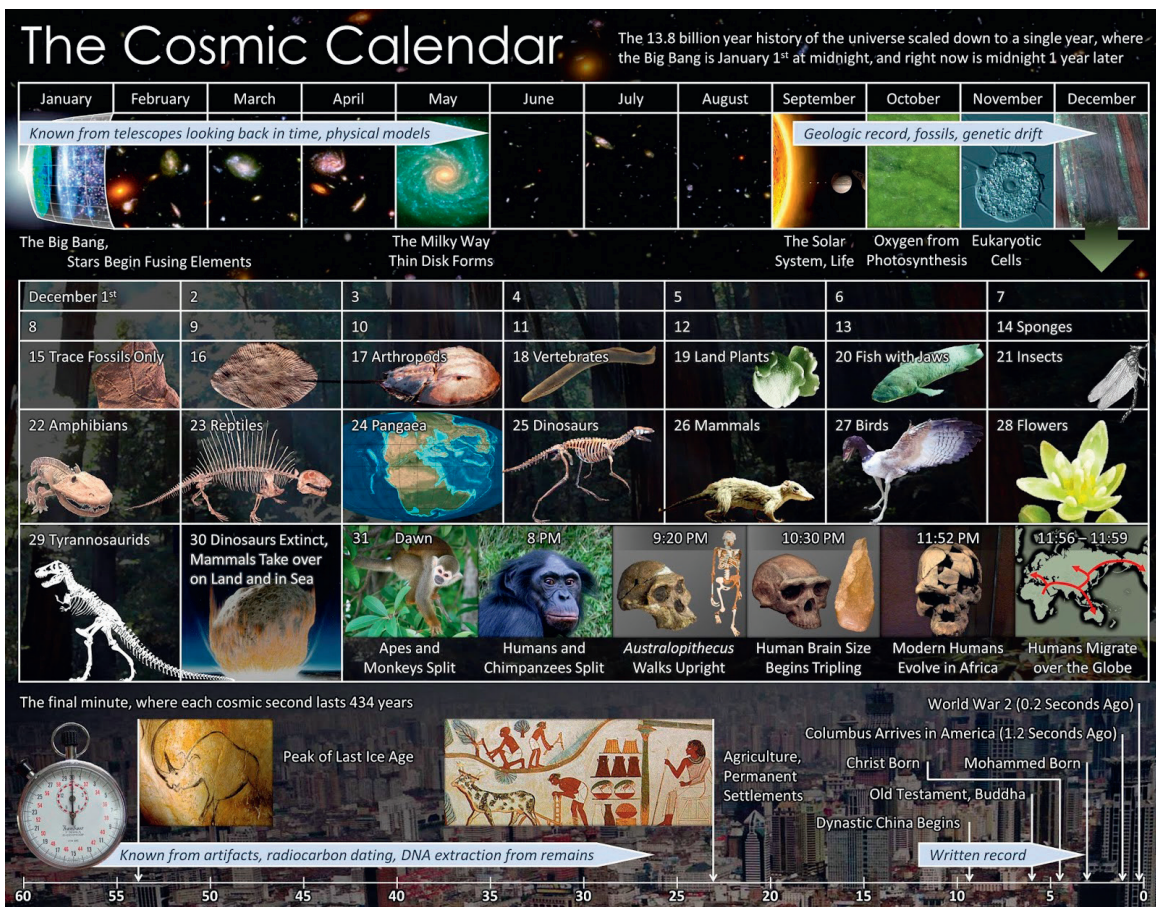
PODSUMOWANIE

Światła kosmosu dostarczyły nam niezwykłych odkryć, na podstawie których zbudowaliśmy naszą dotychczasową wiedzę. Wszechświat powstał niespełna 14 miliardów lat temu. Wypełniony był bardzo gęstą i bardzo gorącą plazmą, w której panowała równowaga termodynamiczna pomiędzy elementarnymi składnikami materii i promieniowaniem (fotonami). W wyniku Wielkiego Wybuchu cały Wszechświat zaczął się rozszerzać. Wskutek tej kosmicznej ekspansji temperatura i gęstość zarówno materii, jak i promieniowania malały. Umożliwiło to pojawienie się w ułamkach pierwszej sekundy znanych nam dziś cząstek elementarnych, takich jak protony i neutrony. W czasie pomiędzy mniej więcej pierwszą sekundą a pierwszymi trzema minutami po Wielkim Wybuchu powstawały jądra izotopów lekkich pierwiastków, takich jak wodór, hel i lit. Szybkie obniżanie gęstości i temperatury uniemożliwiło formowanie się cięższych pierwiastków (mogły one powstawać dopiero w gwiazdach). Po upływie około 300 tysięcy lat możliwa stała się rekombinacja kosmicznej plazmy – elektrony zostały przyłączone do jąder lekkich izotopów, utworzyły się neutralne atomy, a Kosmos stał się przezroczysty dla fotonów. To z tej epoki pochodzi promieniowanie termiczne, obserwowane dziś jako mikrofalowe promieniowanie tła o temperaturze około 2,7 K. Dopiero po dalszych kilkuset milionach lat, w wyniku narastania początkowych, niewielkich nierównomierności w rozkładzie materii, zaczęły powstawać pierwsze galaktyki i gwiazdy. Tworzyła się także wielkoskalowa struktura rozkładu materii: gromady galaktyk, supergromady, wielkie kosmiczne pustki. A za sprawą nukleosyntezy zachodzącej w gwiazdach postępowała chemiczna ewolucja galaktyk.

Trudno ogarnąć umysłem przestrzeń Wszechświata i otchłanie czasu, w których rodził się nasz kosmiczny rodowód. Posługując się prostymi przeliczeniami możemy dla ułatwienia stworzyć na przykład rodzaj kalendarza, w którym na skali jednego roku odnotujemy podstawowe fakty ustalone w wyniku badań naukowych (il. 10).

Zdajemy sobie sprawę z naszej małości i naszych ograniczeń. Jesteśmy świadomi ogromu obszarów wiedzy, które zaledwie dotknęła nasza naukowa eksploracja. Trudno jednak nie poddać się wrażeniu, że przebyliśmy już wielką drogę poznania w naszych umysłach.

A jednocześnie mamy pełną świadomość, jak bardzo nam potrzebny i jak niezwykle wyjątkowy jest nasz kosmiczny dom – planeta Ziemi (il. 11).



Il. 10. Kosmiczny kalendarz, w którym na skali jednego roku zaznaczone są z zachowaniem skali czasu wydarzenia z historii Wszechświata, Ziemi i życia. Kilkanaście tysięcy lat dziejów ludzkości to zaledwie 15 ostatnich sekund roku w tej perspektywie [Efrazil-commonswiki 2013]



Il. 11. Zdjęcie zrobione przez astronautów 7 grudnia 1972 roku, tzw. *blue marble*, jest prawdopodobnie jednym z najbardziej rozpowszechnionych obrazów w historii. Fotografia ta jest jedną z niewielu, które pokazują w pełni oświetloną Ziemię, gdyż w momencie wykonywania zdjęcia Słońce znajdowało się za Apollo 17. W oryginale wykonane w tej właśnie pozycji – odwrotnej do zwykle prezentowanej. Tym bardziej uświadamia nam, że nie powinniśmy patrzeć tylko z jednego punktu widzenia... [NASA 1972]

BIBLIOGRAFIA

ATSZ56

- 2009 *Kukulkan at its finest during the March Equinox. Chichen Itza Equinox March 2009. The famous descent of the snake at the temple* [fot.], dostęp z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ChichenItzaEquinox.jpg> [6.12.2017].

Aveni A.

- 2002 *Schody do gwiazd*, Poznań.

Efbrazil~commonswiki

- 2013 *The Cosmic Calendar* [fot.], dostęp z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/archive/9/99/20130522210131%21Cosmic_Calendar.png [6.12.2017].

Gannon M.

- 2014 *Astronomy Detectives Reveal Origin of Monet's 'Impression' Painting*, dostęp z: www.space.com/27007-astronomy-sleuths-monet-painting.html [16.09.2014].

Herbert Z.

- 2008 *Późnojesienny wiersz Pana Cogito przeznaczony dla kobiecych pism*, [w:] *Pan Cogito*, Kraków.

Heweliusz J.

- 1645 *Mapa księżycowa autorstwa Jana Heweliusza z dzieła „Selenographia”* [fot.], dostęp z: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Selenographia_\(Jan_Heweliusz\)#/media/File:Moon_by_Johannes_hevelius_1645.PNG](https://pl.wikipedia.org/wiki/Selenographia_(Jan_Heweliusz)#/media/File:Moon_by_Johannes_hevelius_1645.PNG) [6.12.2017].

Hubble Heritage Team

- 1998 *Sagittarius Star Cloud* [fot.], dostęp z: <http://heritage.stsci.edu/1998/30/index.html> [6.12.2017].

Howes L.M., Casey A.R., Asplund M. i in.

- 2015 *Extremely Metal-Poor Stars in the Milky Way Bulge from the Cosmic Dawn*, *Nature*, nr 527.

Kopernik M.

- 1976 *O obrotach*, Warszawa.

Kosidowski Z.

- 1969 *Gdy Słońce było bogiem*, Warszawa.

Kubiak Z.

- 1997 *Mitologia Greków i Rzymian*, Warszawa.
2003 *Dzieje Greków i Rzymian*, Warszawa.

Miłosz Cz.

- 2011 *Słońce*, [w:] *Wiersze wszystkie*, Kraków.

Moczulski L.

- 2010 *Międzygwiazdni*, [w:] *Fabryka klamek* (płyta Grzegorza Turnaua), Cyfrowa Biblioteka Polskiej Piosenki, dostęp z: www.bibliotekapiosenki.pl/utwory/Międzygwiazdni/tekst [15.12.2017].

NASA

- 1972 *The Blue Marble from Apollo 17* [fot.], dostęp z: www.earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=1133 [6.12.2017].

- 1990 „Pale Blue Dot” – Ziemia z odległości około 6,4 mld km [fot.], dostęp z: www.pl.wikipedia.org/wiki/Pale_Blue_Dot#/media/File:PaleBlueDot.jpg [6.12.2017].
- 2003–2004 *Hubble Ultra Deep Field diagram. It shows the 1995 Hubble Deep Field and the Hubble Ultra Deep Field from 2003 and 2009* [fot.], dostęp z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubble_Ultra_Deep_Field_diagram.jpg [6.12.2017].
- 2013 *Kolejne położenia planety Fomalhaut b w latach 2004–2012 (wstawka na tle dysku pyłowego wokół gwiazdy Fomalhaut) sfotografowanej przy pomocy Teleskopu Hubble’a* [fot.], dostęp z: www.pl.wikipedia.org/wiki/Planeta_pozas%C5%82oneczna#/media/File:NASA%27s_Hubble_Reveals_Rogue_Planetary_Orbit_For_Fomalhaut_B.jpg [6.12.2017].
- 2015 *Zdjęcie powierzchni Plutona zrobione podczas największego zbliżenia sondy 14 lipca 2015 roku* [fot.], dostęp z: www.pl.wikipedia.org/wiki/New_Horizons#/media/File:15-152-Pluto-NewHorizons-HighResolution-20150714-IFV.jpg [6.12.2017].
- Nesvold J.O.**
- 2015 *A total solar eclipse is seen in Longyearbyen on Svalbard March 20, 2015. On Aug. 21, a total solar eclipse will darken a large swath of the U.S.* [fot.], [w:] Mortillaro N., *When day turns into night: Canadians, Americans prepare for total solar eclipse*, *Karwanonline*, dostęp z: www.karwanonline.com/top-stories/when-day-turns-into-night-canadians-americans-prepare-for-total-solar-eclipse/ [6.12.2017].
- Szczureq**
- 2013 *Szacowany udział ciemnej energii i ciemnej materii w energii Wszechświata: 68,3% to ciemna energia, 26,8% to ciemna materia, 4,9% to międzygalaktyczny gaz oraz gwiazdy* [fot.], dostęp z: https://pl.wikipedia.org/wiki/Ciemna_energia#/media/File:DM-Pie_2013_pl.svg [6.12.2017].
- Szymborska W.**
- 1986 *Nadmiar*, [w:] *Ludzie na moście*, Kraków.
- Twardowski J. ks.**
- 2007 *Księżyc*, [w:] *Dziecięcym piórem*, t. 3, Kraków.
- Włodarczyk J.**
- 1999 *Wędrowniki niebieskie, czyli Wszechświat nie tylko dla poetów*, Warszawa.
- 2012 *Księżyc w nauce i kulturze Zachodu*, Poznań.
- Wolszczan A., Frail D.A.**
- 1992 *A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12*, *Nature*, nr 355.
- Wróblewski A.K.**
- 2006 *Historia fizyki*, Warszawa.

Dr Krzysztof Rochowicz
Zakład Dydaktyki Fizyki
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
ul. Grudziądzka 5
87-100 Toruń
kroch@fizyka.umk.pl