

Ileana CHINNICI*

* Obserwatorium Astronomiczne, Palermo

Astronomia i wizje świata

Streszczenie

Ludzie od zawsze obserwowali niebo. Już od czasów starożytnych próbowali zgłębić tajniki praw rządzących ruchem ciał niebieskich oraz ich naturę, starając się zrozumieć i opisać pewien porządek świata. Aby to uczynić, posługiwali się rozmaitymi instrumentami obserwacyjnymi i pomiarowymi, które wciąż udoskonalali, interpretując uzyskane dane i budując różne teorie kosmologiczne.

Słowa kluczowe: astronomia Ptolemusza – rewolucja kopernikańska – model planetarny Tycho Brahe – prawa ruchu planet Keplera – obserwacje Galileusza – doskonalenie badań astronomicznych – „Nowa Astronomia” (astrofizyka) – teoria „Wielkiego Wybuchu” – rewolucja naukowa w astronomii

W niniejszym opracowaniu krótko opiszemy, jak zmieniały się następujące po sobie podstawowe teorie dotyczące nieba i gwiazd. Omawiając po kolei najważniejsze etapy rewolucji naukowej, przedstawimy też instrumenty, zarówno w sensie materialnym, jak i konceptualnym, które pozwoliły na obserwacje nieba. Człowiek we wszystkich epokach zawsze obserwował ruchy gwiazd, usiłując je interpretować i w ten sposób opisać istniejący porządek świata.

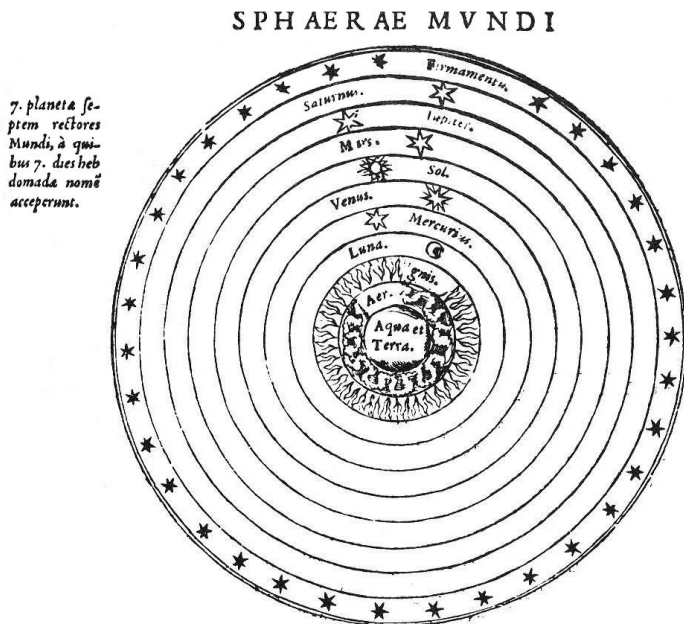
Liczne ślady i pozostałości, również z epoki prehistorycznej, dowodzą, że ludzie już bardzo dawno temu obserwowali podstawowe zjawiska na niebie, czyli wschód i zachód najważniejszych gwiazd. Jak interpretowali te obserwacje? Możemy jedynie domyślać się tego na podstawie rysunków i przedstawień graficznych odnalezionych w wielu miejscach, gdzie prowadzono wykopaliska archeologiczne. Wspomniane rysunki stanowią przedmiot badań dziedziny nauki nazywanej archeoastronomią. Dziedzina ta zasługiwałaby na osobne i pogłębione wyjaśnienia, jednak nie wchodzi to w zakres niniejszego opracowania.

Zachodnia starożytność klasyczna i wizja ptolemejska

Wszelkie bardziej dokładne informacje na temat następujących kolejno po sobie w świecie zachodnim wizji świata zawdzięczamy licznym tekstom, które dotrwały do naszych czasów, oraz znajomości kontekstów filozoficznego i kulturowego, w których powstawały te teksty. Znajdujemy w nich zarówno opis formułowanych teorii, jak również opis przyrządów używanych do obserwacji nieba. Najważniejszym tekstowym punktem odniesienia dotyczącym astronomii starożytnej jest *Almagest* autorstwa Klaudiusza PTOLEMEUSZA (II wiek p.Ch.n.), który nawiązuje do geocentrycznej wizji kosmosu (Rys. 1). Oczywiście jest to tekst z widocznymi silnymi wpływami arystotelizmu, który zakładał, z filozoficznego punktu widzenia, wyraźny podział świata na strefę podksiężycową i nadksiężycową. Tę pierwszą, zmienną i niszczyjącą, stanowiły cztery żywioły (ziemia, woda, powietrze i ogień), które nieustannie tworzyły różne kombinacje między sobą; drugą – wieczną i niezniszczalną – stanowił tylko jeden żywioł, czyli kwintesencja; wyróżniano w niej osiem przezroczystych sfer koncentrycznych, po których poruszały się odpowiednio: Księżyc, Merkury, Wenus, Słońce, Mars, Jowisz i Saturn, zaś ostatnia sfera była przeznaczona dla gwiazd stałych.

Almagest zawiera też opis pewnych instrumentów, już wtedy od dawna stosowanych, jak np. *astrolabium armilarne* oraz instrument paralaktyczny, które pozwalały uzyskać obiektywne dane numerycz-

ne – były więc niezwykle pomocne w prowadzeniu pomiarów pozycji ciał niebieskich.



Rys. 1. Teoria ptolemejska¹.

I właśnie konieczność znalezienia zbieżności między teorią i danymi uzyskanymi z obserwacji prowadziła do ciągłego doskonalenia geocentrycznego modelu świata. Wiązało się z tym wprowadzenie w nim dodatkowych okręgów, co miało wyjaśniać problem pozornego ruchu planet.

System opisany w dziele PTOLEMEUSZA, składający się z deferentów, epicykli i ekwantów (Rys. 2), stanowi najwyższy wyraz tego typu złożonej, a zarazem sprawnie działającej konstrukcji geometrycznej. Dlatego *Almagest*, którego oryginalny grecki tytuł brzmi *Mathematiké Syntaxis* (*Opis matematyczny*), stanowił przez ponad tysiąc lat

¹ Wg FINÉ, *De mundi*.

Właśnie pod takim tytułem dzieło było później tłumaczone z arabskiego na łacinę, po raz pierwszy przez Gerardo da CREMONA (1114–1187) około roku 1175. Potem było wielokrotnie publikowane w rozmaitych wydaniach, m.in. w postaci pełnego wydania oryginału greckiego w roku 1538.

Przyjęcie i rozpowszechnienie teorii Ptolemeusza w Europie średniowiecznej

Almagest, traktat o wyjątkowej złożoności matematycznej, okazał się niezwykle trudny do czytania i zrozumienia dla astronomów europejskich epoki Średniowiecza. Dlatego Georg PEURBACH (1423–1461) opracował na nowo jego treść, wprowadzając pewne uaktualnienia i uproszczenia oraz nadając interpretację fizyczną stosowanym w traktacie modelom matematycznym. Dzieło PEURBACHA *Theoricæ novæ planetarum*, opublikowane po raz pierwszy w 1454 roku, w średniowiecznym i późniejszym nauczaniu uniwersyteckim stanowiło podstawowy tekst astronomiczny powszechnie studiowany aż do XVII wieku. Uczeń PEURBACHA, Johannes MULLER z Königsberg, znany raczej pod zlatynizowanym imieniem REGIOMONTANO (1436–1476), chcąc wnieść pewien wkład w badania swego mistrza, dokończył niektóre jego ważne prace, wśród których wymieńmy słynne *Epitoma in Almagestum Ptolemaei*, opublikowane w roku 1496. Dzieło to ułatwiło rozpowszechnianie treści tekstu PTOLEMEUSZA wśród uczonych tamtej epoki, zwracając jednocześnie uwagę na pewne jego ograniczenia.

W oparciu o teorię geocentryczną zawartą w *Almageście*, mniej więcej w połowie XIII wieku, na dworze króla ALFONSA X Kastylijskiego zwanego Mądrym (1221–1284), opracowano tablice alfonsyńskie, które zawierały efemerydy podstawowych ciał niebieskich i stanowiły uzupełnienie ptolemejskich tablic astronomicznych. Znaczenie takich tablic miało wtedy charakter ściśle praktyczny. Wśród najważniejszych zastosowań astronomii w tamtych czasach należy więc wymienić – oprócz pomiaru czasu i wynikającego stąd opracowania kalendarzy – nawigację i astrologię. W tych właśnie dziedzinach wiedzy tablice stanowiły praktyczny i szybki sposób uzyskiwania wyni-

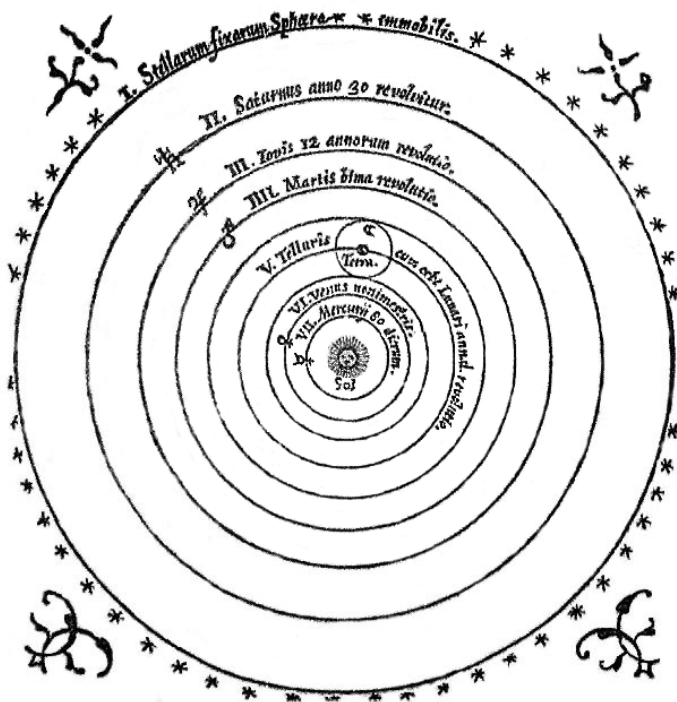
ków z pominięciem długich, żmudnych i skomplikowanych obliczeń. Tablice alfonsyńskie opublikowane po raz pierwszy w 1483 roku zastąpiono w roku 1551 tablicami pruskimi, które opracował Erasmus REINHOLD (1511–1553) na bazie teorii heliocentrycznej opisanej w roku 1543 przez Mikołaja KOPERNIKA (1473–1543) w dziele pod tytułem *De revolutionibus orbium cœlestium*. Następnie, w roku 1627, wydano jeszcze bardziej dokładne tablice rudolfińskie, które zredagował Johannes KEPLER (1571–1630) w oparciu o skrupulatne badania naukowe słynnego duńskiego astronoma Tycho BRAHE (1546–1601).

Znaczenie dzieła Mikołaja Kopernika

Publikacja dzieła *De revolutionibus* oznaczała początek stopniowej degradacji systemu ptolemejskiego. Właśnie wtedy bowiem zwrócono szczególną uwagę na jego liczne ograniczenia oraz na fakt, że system ptolemejski niedokładnie wyjaśniał problem poruszania się ciał niebieskich. Podjęto więc bardzo ostrożne próby – mając na uwadze ewentualne skutki natury filozoficznej i religijnej – opracowania systemów alternatywnych, które mogłyby prowadzić do wniosków bardziej zgodnych z danymi uzyskanymi na podstawie obserwacji. W ten sposób powstał heliocentryczny system KOPERNIKA (Rys. 3), który ostrożność nakazywała przedstawić jako czysty twór matematyczny, co z kolei ułatwiło jego rozpowszechnianie w środowiskach katolickich i protestanckich tamtych czasów. System ten ciągle jeszcze przedstawiał kosmos jako skończony i ograniczony sferą gwiazd stałych, jednak nie było w nim już arystotelejskiego podziału na strefę podksiężycową i nadksiężycową.

Próbę pogodzenia tych dwóch systemów: geocentrycznego i heliocentrycznego podjął Tycho BRAHE, opracowując system „hybrydowy” (Rys. 4), który opisał w roku 1588 w dziele *De mundi ætherei*. W myśl tego systemu, centrum wszechświata stanowi nieruchoma Ziemia, wokół której krążą jedynie Księżyc i Słońce, podczas gdy wszystkie inne planety krążą wokół Słońca. Przyczyną, dla której BRAHE, podobnie jak jego poprzednicy, nadal uważał Ziemię za środek wszechświata, nie była jedynie chęć pozostania w zgodności z tekstami biblijnymi; uczony ten był ponadto przekonany, o słuszności fi-

zyki arystotelesowskiej, gdyż żaden z przeprowadzonych dotychczas eksperymentów nie wskazywał na jakies ruchy Ziemi, które, gdyby istniały, powinny być wykrywalne. Przypomnijmy też, że to właśnie jemu zawdzięczamy budowę Uraniborga, słynnego obserwatorium, gdzie umieścił imponujące instrumenty, które sam zbudował i opisał w dziele z 1602 roku *Astronomiæ Instauratæ Mechanica*.

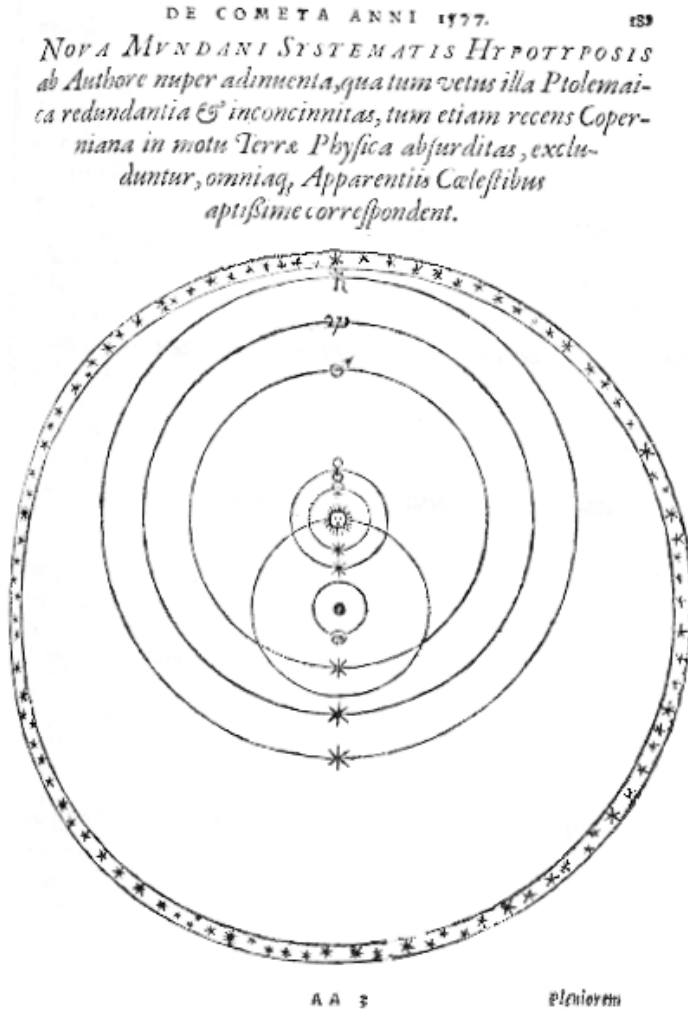


Rys. 3. System kopernikański³.

Instrumenty te pozwoliły uzyskać dane obserwacyjne o bardzo wysokim — jak na owe czasy — stopniu precyzji. Solidność i dokładność danych zebranych przez BRAHE miały później stanowić podstawę, w oparciu o którą wielki geniusz matematyczny Johannes KEPLER

³ Wg LONGOMONTANUS, *Astronomia danica*.

sformułował trzy słynne prawa dotyczące ruchu planet, z których dwa pierwsze zostały opublikowane w *Astronomia nova* w roku 1609, trzecie zaś w *Harmonice mundi* w roku 1619.



Rys. 4. System Tycho Brahe⁴.

⁴ Wg BRAHE, *De Mundi Aetherei*.

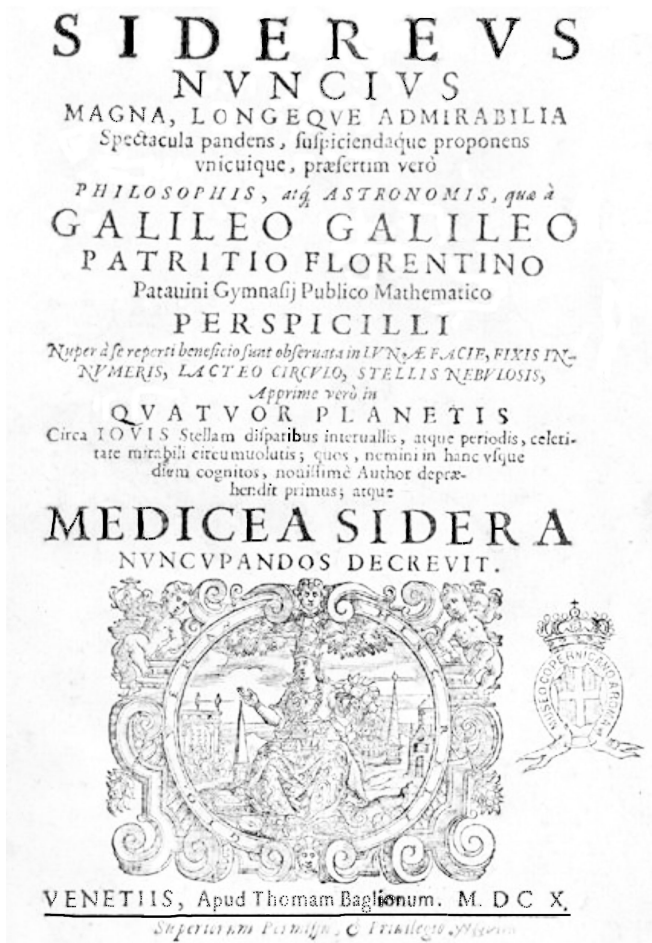
Nowy przyrząd, czyli luneta astronomiczna

Zastosowanie przez GALILEUSZA (1564–1642) lunety astronomicznej w znacznej mierze zmieniło dotychczasowy sposób obserwacji nieba. Instrument ten wynaleziony w 1608 roku przez optyków holenderskich został użyty po raz pierwszy do celów astronomicznych właśnie przez GALILEUSZA, który dzięki niemu odkrył, że kosmos ma zupełnie inną budowę niż dotychczas sądzono. Okazało się więc, że powierzchnia Księżyca jest podobna do powierzchni Ziemi, Droga Mleczna składa się z niepoliczalnej ilości gwiazd, a wokół Jowisza krążą cztery małe satelity (co stanowiło argument na poparcie hipotezy heliocentrycznej). Wszyscy wiemy, jak ówczesne środowiska filozoficzne i naukowe przyjęły rozpowszechnianie tych „naukowych nowinek” i ich publikację w roku 1610 w dziele *Sidereus Nuncius* (Rys. 5).

Do osiągnięć GALILEUSZA należą również: odkrycie plam słonecznych, o czym napisał publikację w roku 1613, oraz odkrycie faz Wenus (z czego wynika, że krąży ona wokół Słońca), opisane w roku 1623 w dziele noszącym tytuł *Il Saggiatore*. Powyższe odkrycia spowodowały, że ostatecznie obalono oparte na arystotelizmie poglądy o niezniszczalności nieba, jak też poglądy o samej strukturze wszechświata.

Wydarzenia te zapoczątkowały również debatę, która następnie przerodziła się w spór pomiędzy uczonymi głoszącymi różne teorie mające na celu wyjaśnienie obserwowanych zjawisk. I tak GALILEUSZ miał rację, gdy sprzeciwiał się poglądom Christopha SCHEINERA (1573–1650) i twierdził, że plamy słoneczne to zjawiska rzeczywiście występujące na Słońcu, co zresztą nieco później, w 1630 roku, nawet sam SCHEINER uznał za słuszne, publikując *Rosa Ursina*. GALILEUSZ natomiast mylił się, utrzymując, że komety to zjawiska meteorologiczne i polemizując z poglądem Orazia GRASSIEGO (1583–1654), który w dziele *De tribus cometis* (1619) popiera tezę wysuniętą przez Tycho BRAHE i twierdzi, że komety krążą po orbitach wokół Słońca. Zaczęły też powstawać pierwsze mapy Księżyca, na których przedstawiano rozmaite zaobserwowane na Księżycu struktury i nadawano im nazwy. Jedną z takich map to dobrze znana astronomom mapa Księżyca opublikowana przez Giovanniego Battistę RICCIOLIEGO (1598–1671)

w 1651 roku w *Almagestum Novum*, gdzie zastosował on nomenklaturę, która zachowała się aż do naszych czasów.



Rys. 5. Strona tytułowa dzieła *Sidereus Nuncius* i obserwacje Księżyca za pomocą lunety astronomicznej⁵.

⁵ Wg GALILEI, *Sidereus Nuncius*.

Znaczenie rewolucji naukowej XVII wieku i rozwój oprzyrządowania astronomicznego

Rewolucja naukowa zapoczątkowana publikacją dzieła *De revolutionibus* Mikołaja KOPERNIKA i trwająca prawie przez cały wiek XVII miała zakończyć się w roku 1687, kiedy to Isaac NEWTON (1642–1727) opublikował *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, dzieło uważane za najbardziej przekrojową syntezę tego, co wniosła rewolucja naukowa. Chodzi mianowicie o wprowadzenie pojęcia grawitacji, które miało umożliwić interpretację fizyczną obserwowanych ruchów ciał niebieskich i jednocześnie logiczny i ścisły opis tych ruchów z matematycznego punktu widzenia.

Stawało się też coraz bardziej jasne, że obserwacja (a zatem również interpretacja) wszechświata zależy w najwyższym stopniu od jakości stosowanych instrumentów. Logiczną konsekwencją tego faktu był rozwój badań w dziedzinie optyki. W roku 1611 Johannes KEPLER (1642–1727) opracował, a następnie w dziele zatytułowanym *Dioptrice* opublikował optyczną teorię teleskopu, dzięki której można było konstruować przyrządy o coraz większych możliwościach.

Dlatego właśnie w XVII-wiecznych Włoszech wielu optyków konkurowało ze sobą, jeśli chodzi o jakość budowanych przez nich instrumentów. Wspomnijmy tu chociażby neapolitańczyka Francesca FONTANĘ (ok. 1585–1656), któremu zawdzięczamy rozpowszechnienie teleskopu typu keplerowskiego, oraz Eustachia DIVINIEGO (1610–1685), u którego składali zamówienia nawet klienci z Francji i Anglii. Jednakże największym osiągnięciem tamtych czasów okazały się wielkie teleskopy budowane przez Giuseppe CAMPANIEGO (1635–1715). Właśnie za pomocą tych przyrządów Gian Domenico CASSINI (1625–1712) zaobserwował na powierzchni Jowisza cień satelitów medycejskich oraz wielką czerwoną plamę, co pozwoliło mu na obliczenie okresu obrotu tej planety. Nie przez przypadek w 1669 roku, kierując wyposażeniem *Observatoire de Paris*, CASSINI zamówił instrumenty właśnie u CAMPANIEGO. Te przyrządy bowiem umożliwiły mu w latach 1671–1684 uzyskanie wielu istotnych wyników obserwacji, m.in. odkrycie czterech satelitów Saturna oraz odkrycie złożonej budowy jego pierścieni.

Kolejne etapy postępu w konstrukcji teleskopów to wprowadzenie achromatycznego obiektywu dwusoczewkowego oraz zastosowanie luster jako elementu skupiającego światło wysyłane przez ciała niebieskie. Rozwiązania te, które opracowali głównie uczeni angielscy drugiej połowy XVIII wieku, James GREGORY (1638–1675), Robert HOOKE (1635–1703), a także sam Isaac NEWTON, pozwoliły zmniejszyć lub nawet całkowicie wyeliminować pewne efekty optyczne pogarszające jakość obserwacji astronomicznych. Podobnie ulepszenie techniki gwintowania powierzchni metalowych pozwoliło konstruować coraz dokładniejsze instrumenty astrometryczne. W XVIII wieku zaczęły ponadto powstawać liczne obserwatoria astronomiczne, czyli miejsca przeznaczone wyłącznie do badań naukowych w dziedzinie astronomii, fundowane przez instytucje polityczne lub kulturalne, wyposażone w wysokiej klasy instrumenty i wykwalifikowany personel. Dzięki temu uczeni dysponowali już odpowiednim zapleczem i oprzyrządowaniem, które pozwalały im na obserwację i interpretację nowych zjawisk, takich jak aberracja światła (1729) oraz nutacja osi obrotu Ziemi (1748).

W tych latach odnotowano też trwający do początków XIX wieku znaczny rozwój mechaniki astronomicznej, co z kolei przyczyniło się do rozwoju nauk o niebie na gruncie teoretycznym. Nowoczesne oprzyrządowanie umożliwiło ponadto odkrycie nowych planet; przykładem tego jest Uran, pierwsza planeta odkryta za pomocą teleskopu w roku 1781 przez Williama HERSCHELA (1738–1822).

Kosmos „zapełnia się” nowymi obiektami

Charakterystyczne dla XVIII wieku jest również tworzenie i publikowanie katalogów i atlasów gwiazd. Największym osiągnięciem w tej dziedzinie jest wydany w roku 1776 wspaniały *Atlas coelestis* autorstwa Johna FLAMSTEEDA (1646–1719). Okazuje się zresztą, że opracowania katalogów gwiazd są stałym elementem astronomii, pojawiającym się już wielokrotnie w jej wcześniejszej historii. Nawet sam *Almagest* zawiera przecież katalog gwiazd, który obejmuje i rozszerza pochodzący z II wieku a.Ch.n. inny katalog nieba autorstwa HIPPARCHA z Nikei. Katalog ten przetrwał do naszych czasów w nie-

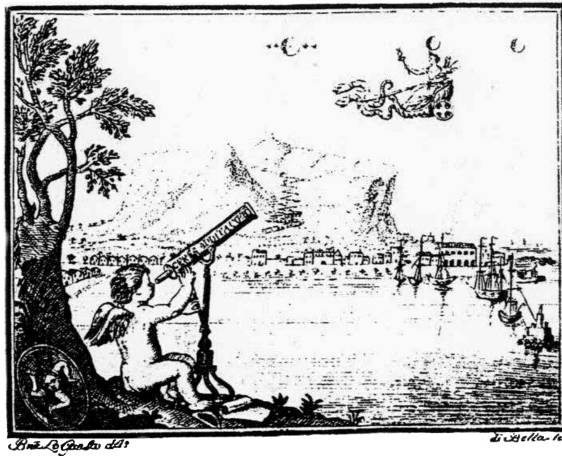
zmienionej wersji i zawiera opis 48 głównych konstelacji nieba oraz ich nazwy, które przetrwały do naszych czasów i jeszcze dziś są stosowane przez uczonych.

Z kolei atlasy gwiazd to obrazy nieba, które przedstawiają w sposób przestrzenny współrzędne gwiazd podane w katalogach. Np. atlas opracowany przez Alessandra PICCOLOMINIEGO (1508–1579), wydany po raz pierwszy w roku 1540 i uznany za pierwszy nowoczesny atlas nieba, opisuje konstelacje gwiazd w oparciu o dane zawarte w katalogu sporządzonym przez PTOLEMEUSZA. Niestety, nie ma w nim jeszcze graficznych przedstawień konstelacji, które pojawiają się dopiero w atlasach wydanych później; w tych ostatnich, oprócz wspomnianych rysunków, widać też coraz większą przejrzystość i czytelność, a jednocześnie dbałość o estetykę. Można zatem powiedzieć, że łączą one w sobie ścisłość naukową z wrażliwością artystyczną. Wspaniałym tego przykładem jest wydany w 1603 roku atlas zatytułowany *Uranometria* autorstwa Johanna BAYERA (1572–1625). Przedstawiając pozycje gwiazd, czerpie on precyzyjne dane z katalogu Tycho BRAHE, opublikowanego w tablicach rudolfińskich, a ponadto dodaje do nich nowe konstelacje widoczne z półkuli południowej, opisane w XVI wieku przez żeglarzy holenderskich: Pietera KEYSERA (ok. 1540–1596) i Fredericka de HOUTMANA (1571–1627). I właśnie rozszerzenie i doprecyzowanie owych atlasów i katalogów gwiazd miało doprowadzić do odkrycia planetoid. Pierwszą z nich, Cerere Ferdinanda (Rys. 6), zaobserwował po raz pierwszy w roku 1801 z obserwatorium w Palermo Giuseppe PIAZZI (1746–1826), gdy opracowywał swój słynny katalog gwiazd, którego pierwsze wydanie opublikowano w roku 1803. Niedługo potem zaobserwowano inne planetoidy, jak Pallas (1802), Junona (1804) i Westa (1807). To tylko najważniejsze z długiej listy mniejszych ciał niebieskich, których wiele odkryto w drugiej połowie XIX wieku, kiedy to przemysł optyczny, przede wszystkim w Niemczech, był już w stanie produkować bardzo wysokiej klasy refraktory o wyjątkowych możliwościach optycznych i obserwacyjnych. W XIX wieku miało też miejsce odkrycie planety Neptun (1846). Na jej istnienie wskazywały już wcześniej wyniki odpowiednich obliczeń matematycznych, które w połączeniu z rzeczywistym odkryciem

planety za pomocą przyrządów obserwacyjnych oznaczały niezaprzeczalny sukces mechaniki nieba.

DELLA SCOPERTA
DEL NUOVO PIANETA
CERERE FERDINANDEA

OTTAVO TRA I PRIMARJ DEL NOSTRO SISTEMA
SOLARE.



P A L E R M O

1 8 0 2

NELLA STAMPERIA REALE.

Rys. 6. Strona tytułowa opracowania na temat odkrycia Cere⁶.

⁶ Wg PIAZZI, *Della scoperta del nuovo pianeta*.

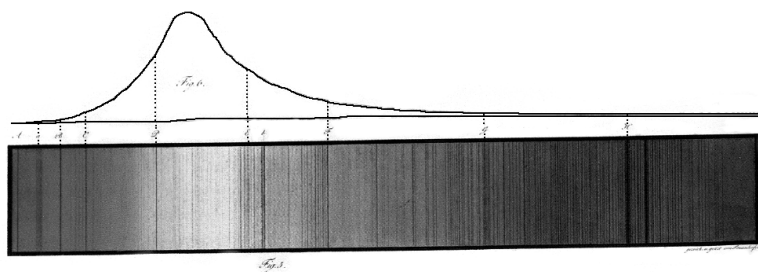
W ten sposób wszechświat stopniowo zapełniał się nowymi, zaobserwowanymi obiektami, które dodawano do jego wcześniejszego obrazu zbudowanego na gruncie teorii heliocentrycznej. Obraz ten wciąż jeszcze przedstawiał kosmos jako ograniczony do Układu Słonecznego, którego powstanie tłumaczono za pomocą terminologii mechanicznej, opierając się na sformułowanej pod koniec XVIII wieku hipotezie KANTA-LAPLACE’A o pierwotnej mgławicy słonecznej.

Okres „Nowej Astronomii”

Nieoczekiwane poszerzenie horyzontów astronomicznych nastąpiło w drugiej połowie XIX wieku wraz z wprowadzeniem spektroskopów astronomicznych. Spektroskop pozwalał bowiem na rozszczepienie światła emitowanego przez gwiazdy oraz na analizę pojawiających się w ich widmie linii absorpcyjnych lub emisyjnych. Obecność takich linii w świetle rozszczepionym przez szklany pryzmat zaobserwowano już na początku XIX wieku, zaś Joseph von FRAUNHOFER (1787–1826) w roku 1817 opublikował opis i klasyfikację pewnej liczby tego typu linii (Rys. 7), mimo że nie był on w stanie wyjaśnić do końca ich natury.

Poprawną interpretację widmowych linii absorpcyjnych i emisyjnych podał w roku 1859 Gustav KIRCHHOFF (1824–1887), formułując prawa dotyczące promieniowania, dzięki czemu linie te można było traktować jako odpowiedniki substancji chemicznych zawartych w gwiazdach. W ten sposób obalono kolejną barierę ograniczającą poznanie wszechświata. Rozgłos wzbudziło więc zdementowanie idei przewodniej pozytywistycznego nurtu filozofii, który rozpowszechnił się w pierwszej połowie XIX wieku i stał się niezwykle popularny w środowiskach naukowych. Nurt ten zakładał niepoznawalność natury chemiczno-fizycznej gwiazd, ograniczając badania astronomiczne do astrometrii i mechaniki nieba. Pierwsze wyniki badań w zakresie „Nowej Astronomii”, jak na początku nazywano astrofizykę, pozwoliły odsłonić obraz nieba, który stawał się coraz bardziej podobny do obrazu Ziemi. Okazało się bowiem, że w gwiazdach rzeczywiście zawarte są nie tylko te same pierwiastki chemiczne, z których składa się Ziemia, lecz także inne, nieznanne dotąd pierwiastki takie

jak hel, *nebulium* i *coronium*. Pierwszy z nich został uzyskany w warunkach laboratoryjnych w 1895 roku podczas badań materiałów radioaktywnych⁷. Jeśli chodzi o dwa pozostałe hipotetyczne pierwiastki (*nebulium* i *coronium*), to późniejsze badania spektralne wykazały, że odpowiadające im widma emisyjne są liniami przejść (pasm) wbronionych promieniowania silnie zjonizowanych atomów, m.in. tlenu i żelaza, czyli pierwiastków występujących również na Ziemi⁸. Termin „przejścia wzbronione” oznacza przejścia możliwe do zaobserwowania w przestrzeni kosmicznej, ale niemożliwe do zaobserwowania w warunkach laboratoryjnych, ponieważ w przestrzeni kosmicznej materia znajduje się w warunkach, których nie potrafimy odtworzyć na Ziemi.



Rys. 7. Linie widma słonecznego, które zaobserwował Fraunhofer⁹.

Pozostawimy filozofom rozstrzygnięcie kwestii, czy powyższe odkrycia zasługują na miano prawdziwej rewolucji naukowej, w takim sensie, w jakim zdefiniował ją Thomas KUHN (1922–1996), sami zaś w dalszej części niniejszego opracowania ograniczymy się do podsumowania i wskazania niektórych elementów charakteryzujących rodzinę „Nowej Astronomii”.

⁷ Przez wiele lat uważano, że hel nie występuje na Ziemi, a jedynie na Słońcu. 26 marca 1895 roku William RAMSAY otrzymał hel podczas badań rudy uranowej (kleweitu).

⁸ Badania z lat 30. XX wieku dowiodły, że linie emisyjne w spektrum widma korony słonecznej są pasami zabronionymi także takich zjonizowanych atomów, jak nikiel i argon.

⁹Wg HENTSCHEL, *Mapping the Spectrum*.

Nowa wizja kosmosu: Nagle możliwe stało się to, co dotąd uważano za niemożliwe, czyli poznanie natury fizycznej i składu chemicznego gwiazd. Wcześniej, przez ponad sto lat królowania, jak mówił KUHN, „normalnej” nauki, astronomia była zdominowana przez astrometrię i mechanikę nieba. Dowodem tego są trwające przez cały wiek XVIII i aż do połowy wieku XIX odkrycia nowych ciał niebieskich w Układzie Słonecznym oraz opracowania katalogów gwiazd. Dopiero w drugiej połowie XIX wieku astronomowie mogli rozszerzyć zakres prowadzenia badań, bowiem rozwój fizyki zapewnił im środki, zarówno w zakresie oprzyrządowania, jak i wiedzy teoretycznej, które pozwoliły im dowieść, że gwiazdy w dużej mierze są zbudowane z substancji chemicznych znanych od dawna i występujących również na Ziemi. Stąd wniosek, że fizyka i chemia wszechświata pozostają identyczne zarówno na Ziemi, jak i poza nią.

Nowy przyrząd obserwacyjny (czyli spektroskop): Jego wynalezienie zmieniło sposób obserwacji nieba, zaś budowę tradycyjnych teleskopów zaczęto łączyć z budową spektroskopów i spektrografów. Przyrządy te, wynalezione do laboratoryjnej analizy widmowej, wprowadzono również w badaniach astronomicznych, udoskonalając je i dostosowując do potrzeb obserwacji nieba.

Nowa nomenklatura: Dla określenia nowej nauki związanej z zastosowaniem spektroskopii na gruncie astronomii zostały wprowadzone terminy „Nowa Astronomia” i „Astrofizyka”. Wprowadzono również pojęcie „widmowej klasyfikacji gwiazd”, aby pogrupować je na podstawie spektralnych charakterystyk emitowanego przez nie światła. Nadano również nazwy nowym pierwiastkom, takim jak hel, *coronium* i *nebulium* (jak wiemy, na początku XX wieku fizyka atomowa nie potwierdziła istnienia tych dwóch ostatnich „pierwiastków”). Reasumując, słownik astronomiczny wzbogacił się o nowe pojęcia, które odzwierciedlają nowości, jakie astrofizyka wniosła do astronomii.

Doszło też do rozłamu wśród naukowców. Po jednej stronie stali obrońcy tradycji, czyli astronomowie posiadający wykształcenie matematyczne, którzy z nieufnością i poczuciem wyższości spoglądali na próby wprowadzenia elementów fizyki do astronomii. Po przeciwnej

stronie stali entuzjaści, czyli astronomowie amatorzy, ale wysokiej klasy, bądź astronomowie profesjonaliści z wykształceniem w dziedzinie fizyki lub inżynierii, którzy z nadzieją patrzyli na możliwości, jakie niesła nowa metoda obserwacji nieba. Elitarny dotąd świat astronomii, nauki czystej i teoretycznej, zarezerwowanej wyłącznie dla matematyków, zaczynał się chwiać, wobec stającej mu naprzeciw „astronomii fizycznej”, dostępnej również dla fizyków i chemików, uważanych dotąd za ludzi zamkniętych w laboratorium i zajmujących się tam „brudną robotą”. Owo „wtargnięcie” fizyki i chemii na grunt astronomii zostało odebrane jako prawdziwe skażenie tego, co dotąd pozostawało czyste. Dlatego w Europie, która była matką astronomii klasycznej, przez długi czas uważano astrofizykę za zajęcie „niegodne prawdziwego uczonego”, za swego rodzaju przejściową modę, nowinkę, uprawianą dla rozrywki, pozbawioną ścisłości naukowej, za sposób spędzania czasu, któremu nawet nie przyznano statusu dyscypliny naukowej.

Nie zahamowało to jednak osiągnięć na polu badań astrofizycznych. Wobec takiej „rewolucji” w sposobie prowadzenia badań astronomicznych, reakcją środowisk naukowych był podział przestrzeni i zasobów, co z kolei doprowadziło do stworzenia nowych obserwatoriów astronomicznych, przeznaczonych specjalnie do badań astrofizycznych. W krótkim czasie, w latach 1870–1880, powstawały obserwatoria astrofizyczne w Poczdamie (w pobliżu Berlina), w Meudon (niedaleko Paryża), w South Kensington (na przedmieściach Londynu), gdzie w porównaniu z tradycyjnymi badaniami astronomicznymi, badania astrofizyczne zajęły miejsce uprzywilejowane. Zupełnie inna sytuacja panowała za oceanem, gdzie „Nowa Astronomia” znalazła podatny grunt do rozwoju i postępu, ponieważ nie było tam skostniałych tradycji dawnej astronomii, było za to wsparcie finansowe ze strony prywatnych fundacji, szybki rozwój ekonomiczny i technologiczny kraju oraz konkurujące ze sobą różne gałęzie przemysłu.

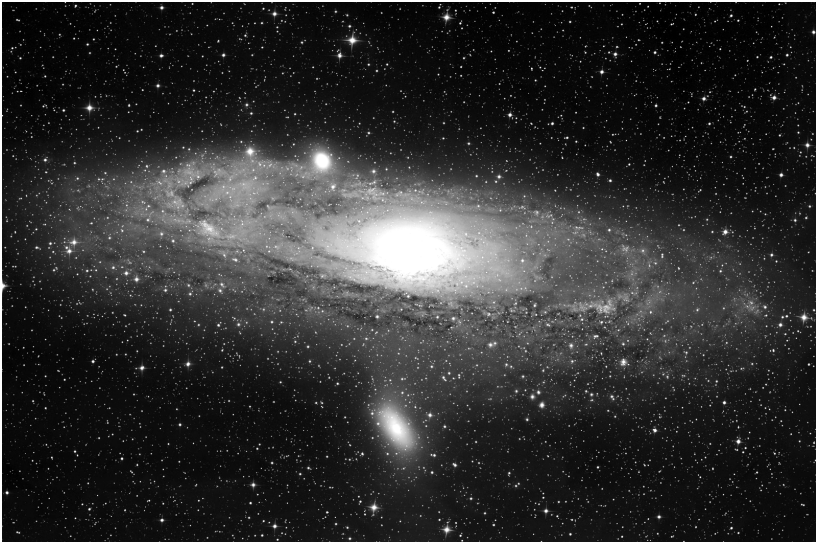
„Wielka Debatą”: mgławice czy wszechświaty wyspowe?

W dziele *Sidereus Nuncius* (1610) GALILEUSZ, w oparciu o swoje obserwacje prowadzone za pomocą lunety astronomicznej, twierdził,

że Droga Mleczna jest zbudowana z olbrzymiej, niepoliczalnej ilości gwiazd. Mgławice zaobserwowano już dużo wcześniej, jednak nie były one nigdy przedmiotem szczególnego zainteresowania i badań. Wyjątek stanowią nieznane prawie nikomu studia, które prowadził Giovan Battista HODIerna (1597–1660). Uczony ten pokusił się o klasyfikację mgławic w oparciu o pogląd GALILEUSZA, że mgławice to nierozszczepialne skupiska gwiazd. W roku 1785 William HERSCHEL opisał strukturę Drogi Mlecznej i opracował kilka katalogów mgławic. Wciąż jednak istniały wątpliwości odnośnie do ich natury, w szczególności, czy są to faktycznie nierozszczepialne skupiska gwiazd. I tu po raz kolejny spektroskopia przyniosła tak długo oczekiwaną odpowiedź, co z kolei pozwoliło podzielić mgławice na podstawie ich widma i wyróżnić dwa ich typy, czyli: grupy gwiazd (grupy galaktyk) oraz mgławice właściwe, składające się z rozproszonego gazu i pyłu międzygwiazdowego.

Niektórzy astronomowie wysunęli hipotezę, że mgławice pierwszego typu (czyli galaktyki spiralne) stanowią rodzaj odrębnych wszechświatów (wszechświaty wyspowe), czyli skupisk gwiazd porównywalnych — pod względem wielkości — do Drogi Mlecznej. Wobec tej hipotezy najtrudniejszym zadaniem stało się określenie, w jakiej odległości znajdują się te obiekty. Dlatego w latach 1920–1923 odbyła się na ten temat słynna debata naukowa, w której wzięli udział: Harlow SHAPLEY (1885–1972) oraz Heber D. CURTIS (1872–1942). Pierwszy z nich, twierdząc, że galaktyki znajdują się wewnątrz obszaru Drogi Mlecznej, opierał się m.in. na dostępnych wówczas danych dotyczących rotacji M101 (galaktyka Wiatraczek) oraz na pomiarach jasności pewnej gwiazdy nowej zaobserwowanej w M31 (galaktyka Andromedy). Drugi uczony utrzymywał natomiast, że galaktyki to raczej „wszechświaty wyspowe” leżące poza obszarem Drogi Mlecznej i że dane uzyskane przez SHAPLEYA mogły okazać się błędne. I właśnie tak było: pogląd SHAPLEYA, mimo że bardziej uzasadniony naukowo, okazał się mylny. Przeprowadzone na nowo pomiary wykazały istnienie błędów w danych uzyskanych poprzednio. Poza tym w roku 1923 Edwin HUBBLE w galaktyce Andromedy zdołał zaobserwować Cefeidę (jest to szczególny typ gwiazdy o powtarzalnych,

okresowych zmianach jasności) (Rys. 8), a następnie, stosując znaną zależność pomiędzy okresem i jasnością absolutną cefeid, odkrytą przez Henriettę LEAVITT (1868–1921), uzyskał niepodważalny wynik obliczeń wskazujący na to, że odległość cefeidy od Drogi Mlecznej wynosi około dwóch milionów lat świetlnych, a więc znajduje się ona zupełnie poza obszarem Drogi Mlecznej, której średnica jest szacowana na około 100 tysięcy lat świetlnych. A zatem galaktyki to obiekty znajdujące się poza obrębem Drogi Mlecznej i w dodatku bardzo daleko od niej.



Rys. 8. Galaktyka Andromedy¹⁰.

Stajemy zatem wobec innej, zasadniczej zmiany wizji kosmosu, którego rozmiary okazują się o wiele większe niż przewidywano, a nawet o wiele większe niż człowiek jest w stanie sobie wyobrazić. Trwa równocześnie swoisty proces decentralizacji: okazuje się, że Ziemia nie jest środkiem Układu Słonecznego, Układ Słoneczny nie jest centralnym punktem Drogi Mlecznej, zaś Droga Mleczna bynajmniej nie

¹⁰ Wg <http://apod.nasa.gov/apod/ap051222.html>.

stanowi całego wszechświata czy chociażby jego centralnego punktu. Człowiek czuje się coraz bardziej „rzucony gdzieś” w kosmos, w którym istnieje przynajmniej 1010 widzialnych galaktyk, często tworzących gromady lub supergromady. Kolejnym krokiem była próba zrozumienia i naukowego wyjaśnienia struktury i pochodzenia wszechświata, tak bardzo rozległego i złożonego.

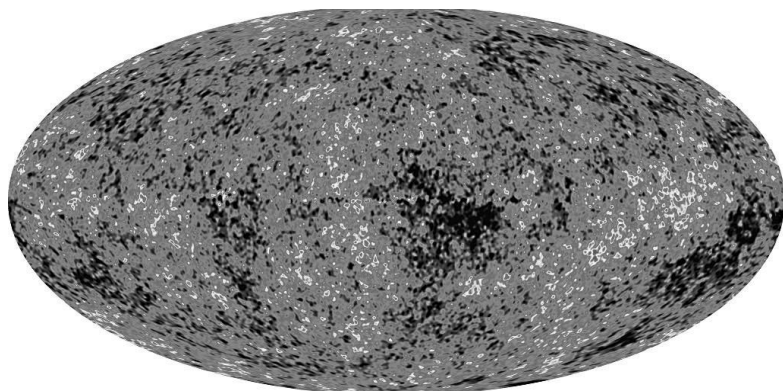
Teoria Wielkiego Wybuchu (Big Bang)

W roku 1922 fizyk Aleksandr FRIEDMANN (1888–1925), wychodząc z ogólnej teorii względności, opracował pewne równania, w oparciu o które przewidywał, że wszechświat nie jest nieruchomy, lecz pozostaje w nieustannej ekspansji, czyli nieustannie się rozszerza. Kilka lat później w roku 1927 Georges LEMAITRE (1894–1966), niezależnie od FRIEDMANNA, doszedł do tych samych wniosków dotyczących ekspansji wszechświata. Zakładając hipotetyczne kurczenie się wszechświata i cofając się w czasie, ogłosił hipotezę, że cała materia we wszechświecie wzięła się z pojedynczego, silnie skondensowanego protoatomu, który dziś moglibyśmy określić jako załączek teorii Wielkiego Wybuchu. A zatem, w myśl idei przewodniej tej hipotezy, wszechświat bierze swój początek od jednego obiektu fizycznego, który w wyniku rozmaitych przemian osiągnął obecny stan organizacji materii, z której zbudowany jest kosmos.

Dwa lata później w roku 1929 Edwin HUBBLE (1889–1953) sformułował, w oparciu o dane empiryczne, znane prawo dotyczące prędkości ucieczki galaktyk. Prawo to stanowiło istotny argument potwierdzający teorię wszechświata pozostającego w ciągłej ekspansji.

W roku 1948 zajmujący się fizyką teoretyczną George GAMOW (1904–1968) zasugerował, że jeśli prawdziwa jest hipoteza wszechświata pozostającego w nieustannej ekspansji, to we wszechświecie powinien istnieć jakiś ślad początkowego wybuchu (tak zwane promieniowanie reliktowe), a następnie wyliczył, że obecną temperaturę kosmosu (w konsekwencji tego promieniowania) można szacować na około 3°K. Promieniowanie reliktowe zostało odkryte zupełnie przez przypadek w roku 1964 przez dwóch inżynierów pracujących dla Bell Company: Arno PENZIASA (ur. 1933) i Roberta W. WILSONA (ur. 1936),

którzy uruchamiali system anten o dużej mocy do celów telekomunikacji. Za pomocą tych anten wykryli oni pewien słaby, lecz niemożliwy do wyeliminowania sygnał pochodzący z tła kosmicznego. W roku 1978 otrzymali za to Nagrodę Nobla, zaś obecnie istnienie kosmicznego mikrofalowego promieniowania tła (Rys. 9), w połączeniu z prawem HUBBLE’A, stanowi zasadniczy argument potwierdzający teorię Wielkiego Wybuchu, czyli Big Bang, jak w roku 1949 nazwał ją pogardliwie jej słynny przeciwnik Fred HOYLE (1915–2001). Mimo tej nazwy teoria Wielkiego Wybuchu stanowi podstawę modelu kosmologicznego, który dominuje aktualnie w środowisku naukowym.



Rys. 9. Mapa fluktuacji temperatury w kosmicznym mikrofalowym promieniowaniu tła¹¹.

Wnioski

XX wiek to początek ery przestrzeni kosmicznej. Najnowsze osiągnięcia naukowe pozwalają rozszerzać coraz bardziej granice tego, co można zaobserwować w naszym wszechświecie, aby spróbować zrozumieć, skąd on pochodzi, jaką ma strukturę i w jaki sposób się zmienia. Odkrywanie tajemnic wszechświata to proces, który wciąż trwa

¹¹ Wg NASA-WMAP Science Team

i który jest owocem wspólnego wysiłku ludzi nauki i ludzi zajmujących się technologią. Oni wszyscy wspólnie próbują budować pewne teorie i szukać ich potwierdzenia za pomocą odpowiednio skonstruowanych przyrządów.

Aktualny obraz świata, jaki posiadamy dzięki naszym instrumentom, to wizja wszechświata, który przyspiesza własną ekspansję, jednakże pozostaje przed nami jeszcze daleka droga do pełnego zrozumienia tej ekspansji i wyjaśnienia jej mechanizmów oraz zachodzących przemian. Brakuje nam bowiem zbyt wielu elementów tej „układanki”, a dzisiejsza technologia, mimo iż bardzo zaawansowana, wciąż jeszcze nie jest w stanie skonstruować takich przyrządów, które pozwoliłyby uczynić następny, zdecydowany krok naprzód, dzięki któremu moglibyśmy dodać nowe elementy do naszej naukowej wiedzy na temat wszechświata i być może stworzyć jego kolejną nową wizję.

Możemy być jednak pewni, że chociaż zmienia się obraz świata oraz środki badawcze, za pomocą których próbujemy odkryć tajemnice kosmosu, to, co pozostaje niezmiennie, to pragnienie poznania, które zachęca do dalszych poszukiwań i które właściwe jest człowiekowi, niezależnie od czasów, w jakich żyje.

Przekład z języka włoskiego: Anna KOWNACKA

Summary

People have always observed the sky. Ever since ancient times they have tried to fathom the secrets of the laws governing the motions of the celestial bodies, and their nature, trying to understand and describe the order present in the world. To do so, they have used a variety of instruments for observation and measurement, that have been subject to constant improvement. The interpretation of the data acquired has become the basis for the creation of a variety of cosmological theories.

In this paper, we briefly describe how the historical sequence of basic theories concerning the sky and the stars have changed over time, and we present the instruments – both material and conceptual – which have allowed the sky to be observed. On the way, we shall turn our attention to the most important of

the many successive steps that have gone to make up the scientific revolution.

Key words: Ptolemaic astronomy – Copernican revolution – Tycho Brahe’s planetary model – Kepler’s laws of planetary motion – Galileo’s observations – Improvements to astronomical research – “New Astronomy” (astrophysics) – “Big Bang” theory – Scientific revolution in astronomy

Literatura

- BRAHE, T., *De Mundi Aetherei recentioribus Phaenomenis*, Hven : Typographus Christophorus Vveida, 1588.
- FINÉ, O., *De mundi Sphaera sive cosmographia: libri V*, Lutetiae : Apud Michaëlem Vascosanum, 1555.
- GALILEI, G., *Sidereus Nuncius: magna, longeque admirabilia spectacula pandens, suspiciendaque proponens unicuique praesertim vero philosophis, atque astronomis...* Venetiis : Apud Thomam Baglionum, 1610.
- HENTSCHEL, K., *Mapping the Spectrum: Techniques of Visual Representation in Research and Teaching*, Oxford, New York : Oxford University Press, 2002.
- LONGOMONTANUS, C.S., *Astronomia danica*, Amsterdam : Ex Officina Typographica G.I. Caesii, 1622.
- PIAZZI, G., *Della scoperta del nuovo pianeta Cerere Ferdinandea ottavo tra i primarj del nostro sistema solare*, Palermo : Nella stamperia reale, 1802.
- PTOLEMAEUS, C., *Magnae constructionis, idest Perfectae coelestium motuum pertractationis, lib. XIII (Almagestum)*, [red.] J. CAMERARIUS, Basileae : Apud Ioannem Walderium, 1538.

Literatura uzupełniająca

- CHINNICI, I., [red.] *Astrum 2009: Astronomy and Instruments. Italian Heritage four Hundred Years after Galileo*, Vatican City : Edizioni Musei Vaticani & Sillabe, 2009.

- CHINNICI, I., «Il cielo stellato sopra di noi». Osservazione e rappresentazione del cielo nei testi astronomici del passato, *La Berio* 2 (2009), s. 17–23.
- HEARNSHAW, J.B., *The analysis of starlight*, Cambridge : Cambridge University Press, 1986.
- HOSKIN, M., *The Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Cambridge : Cambridge University Press, 1996.
- MEADOWS, A.J., *The New Astronomy*, [w:] *Astrophysics and Twentieth-century Astronomy to 1950: Part A*, [red.] O. GINGERICH, (The General History of Astronomy, Vol. 4), Cambridge : Cambridge University Press, 1984, s. 59–72.
- SHU, F., *The Physical Universe: An introduction to Astronomy*, Oxford : Oxford University Press, 1982.