

## **:| HISTORIA ASTRONOMII |:**

*Od czasów starożytnych aż po wiek XVII celem astronomii był jak najdokładniejszy opis ruchów ciał niebieskich, obserwowanych gołym okiem: gwiazd oraz planet wraz ze Słońcem i Księżycem. Wszechświat ograniczał się do orbit planetarnych i sfery gwiazd stałych - Ziemia zajmowała w nim miejsce szczególne.*

*W starożytności najwyraźniej chyba był widoczny podział astronomii na dwa nurty: praktyczny, czyli związany z potrzebami życia codziennego, i naukowy - koncentrujący się na budowie modeli matematycznych, które pozwalałyby precyzyjnie opisywać ruchy planet na sferze niebieskiej i przewidywać ich przyszłe położenia. Pierwszy nurt dominował przede wszystkim w Egipcie, drugi - w Grecji; astronomia starożytnej Mezopotamii stanowiła połączenie obu nurtów.*

### **Astronomia starożytnego Egiptu i Mezopotamii**

Za najtrwalsze osiągnięcia astronomii starożytnego Egiptu można uznać wprowadzenie już około 3000 r. p.n.e. kalendarza opartego na roku liczącym 365 dni oraz ustalenie podziału nocy, a potem i dnia, na 12 części, skąd wzięła się ostatecznie nasza doba, mająca 24 godziny.

W starożytnej Mezopotamii już Sumerowie - którym przypisuje się wynalezienie tuż przed 3000 r. p.n.e. pisma klinowego, odciskanego za pomocą ryłca na glinianych tabliczkach - wnieśli swój wkład do astronomii, nadając gwiazdozbiorom nazwy, z których część dotrwała do czasów współczesnych, na przykład Byk, Lew czy Skorpion (patrz gwiazdozbiory starożytnej Mezopotamii). Najwcześniejsze babilońskie teksty astronomiczne pochodzą z przełomu XVIII/XVII w. p.n.e. - najstarszym zabytkiem jest astrologiczne kompendium "Enuma Anu Enlil", zawierające informacje o położeniach i okresach widoczności Wenus. Ostatni almanach astrologiczny utrzymany w tej tradycji pochodzi z 75 r. i został znaleziony w świątyni w Babilonie. Rozwój astronomii na ziemiach Mezopotamii bardzo ściśle wiązał się z wielką rolą astrologii w życiu społecznym i politycznym, choć najważniejsze osiągnięcia naukowe wyszły daleko poza granice astrologii użytkowej.

Astronomii babilońskiej zawdzięczamy wprowadzenie zodiaku (ok. V w. p.n.e), zarówno jako zbioru konstelacji, jak i koła wielkiego, będącego podstawą ekliptycznego układu współrzędnych na sferze niebieskiej. Z tamtejszej tradycji obliczeniowej wziął się stopień - jako podstawowa jednostka miary kątowej - oraz system sześćdziesiąty. Poza tekstami bogatymi w informacje o obserwowanych zjawiskach astronomicznych (np. lista zaćmień sięgająca połowy VIII w. p.n.e.), astronomia babilońska pozostawiła dokładnie wyznaczone fundamentalne parametry, takie jak miesiąc synodyczny, rok

zwrotnikowy, i stosunki między okresami obiegu planet. Około 500 r. p.n.e. w astronomii babilońskiej pojawiły się modele matematyczne, które umożliwiały obliczanie - na podstawie opracowanych algorytmów i przy użyciu kilku wyznaczonych parametrów - czasu występowania ważnych zjawisk astronomicznych: nowiu i pełni Księżyca, zaćmień, okresów widoczności planet, ich opozycji i stanowisk.

### **Astronomia średniowieczna i renesansowa w Europie**

W Europie po powstaniu "Almagestu" uprawianie astronomii zgodnie z tradycją nauki greckiej uległo zahamowaniu. W następnych wiekach niewiele prac napisanych na Zachodzie nawiązywało do osiągnięć astronomii starożytnej. Chalcydusz (IV lub V w.) przełożył na łacinę kosmologiczny mit Platona - "Timajosa" - i opatrzył go obszernym komentarzem. Dzięki rzymskiemu pisarzowi Martianusowi Kapelli (ok. 365-440) zachowała się informacja o odkryciu Heraklidesa z Pontu (IV w. p.n.e.), który przypuszczał, iż Merkury i Wenus krążą wokół Słońca i dopiero z nim - dokoła Ziemi. Inny rzymski pisarz, Makrobiusz (IV/V w.), napisał komentarz do "Snu Scypiona" Cycerona, zawierający popularny wykład kosmologii sfer planetarnych i podstawowych wiadomości z astronomii. Substytutem astronomii matematycznej była komputystyka kościelna, która zajmowała się ustalaniem daty Wielkanocy. Traktat, zawierający odpowiednie reguły obliczeniowe, napisał w 725 r. św. Beda Czcigodny (ok. 672-735).

Odrodzenie nauki astronomii w Europie Zachodniej wiąże się z przyswajaniem wiedzy arabskiej (arabskich przekładów autorów greckich i oryginalnych dzieł uczonych islamu) w XI i XII w. w ośrodkach hiszpańskich (m.in. Toledo, Kastylia). Na podstawie przekładu traktatu al-Farghaniego Jan Sacrobosco (Jan z Holywood) napisał na początku XIII w. "Traktat o sferze" - dzieło popularyzujące w czterech księgach podstawy astronomii Ptolemeusza. W drugiej połowie XIII w. pod protektoratem Alfonsa X Mądrego, króla Kastylii i Leonu, powstały "Tablice alfonsyńskie" (ich ostateczną redakcję przypisuje się środowisku naukowemu Paryża), które zgodnie z modelami Ptolemeusza podawały sposoby obliczania położenia planet. Zastąpiły one "Tablice toleańskie" i na długie lata zyskały popularność wśród astronomów i astrologów.

Znaczący postęp, porównywalny z drogą prowadzącą od pierwszych ilościowych modeli sfer współśrodkowych do systemu Ptolemeusza, przyniósł okres od końca XV do początku XVII w. W pierwszym etapie powstania nowego modelu Wszechświata najważniejszą rolę odegrały dwa ośrodki: wiedeńsko-norymberski i krakowski. Z pierwszym z nich związane są nazwiska dwóch uczonych: Georga Peurbacha (1423-1461) i Johannes Müllera (1436-

1476), zwanego Regiomontanem. Peurbach, zgodnie z wytyczonym przez siebie planem odnowy astronomii poprzez studiowanie dzieł autorów starożytnych, przedstawił w "Nowych teoriach planet" skrót astronomii Ptolemeusza i jego arabskich krytyków. Zaczął również pisać streszczenie "Almagestu" ("Epitoma in Almagestum"), które po jego śmierci dokończył i wydał Regiomontanus. Oba dzieła cieszyły się wielką popularnością. "Nowym teoriom planet" towarzyszyły tablice astronomiczne, podające położenia ciał niebieskich w okresie 1475-1506, i jeden egzemplarz tej książki wziął ze sobą w swą czwartą podróż (1502-1504) Krzysztof Kolumb.

Mikołaj Kopernik zawdzięczał podstawy swej wiedzy astronomicznej szkole krakowskiej, związanej z uniwersytetem. Wykładał tam m.in. Wojciech z Brudzewa, autor komentarza do "Nowych teori planet" Peurbacha. Uzupełniwszy swe wykształcenie we Włoszech, na początku XVI w. Kopernik sformułował założenia nowego systemu świata - Słońca okrążanego przez planety - w niewielkim traktacie, noszącym tytuł "Commentariolus". Nie zawierał on jeszcze modelu matematycznego, który został przedstawiony, zgodnie z najlepszymi zasadami starożytnej astronomii greckiej, w "De revolutionibus" ("O obrotach"), dziele opublikowanym w 1543 r.

"De revolutionibus" było przede wszystkim pracą wielkiego teoretyka, który potrafił skonstruować nowy model świata, posługując się nielicznymi, niezbędnymi obserwacjami - w równej mierze swoich poprzedników, co własnymi. W drugiej połowie XVI w. inny astronom, Duńczyk Tycho Brahe (1546-1601) sprawił, że o dalszych losach modeli astronomicznych zaczęły decydować coraz dokładniejsze obserwacje. W 1576 r. Tycho rozpoczął budowę dużego obserwatorium na wyspie Hven, gdzie do 1597 r. z wielką dokładnością rejestrował położenia planet i gwiazd. Obserwując w 1577 r. komety, odkrył, że porusza się ona w obszarze zastrzeżonym przez model Ptolemeusza dla planet, a zatem wątpliwe stało się istnienie sfer, unoszących planety.

Ostatnie lata życia Brahe spędził w Pradze, na dworze cesarza Rudolfa II. W opracowywaniu danych obserwacyjnych pomagał mu od 1600 r. Johannes Kepler (1571-1630), zdolny matematyk niemiecki, zwolennik teorii Kopernika. Dokładne obserwacje położenia planet, zwłaszcza Marsa, wykonane przez Brahego, pozwoliły Keplerowi odkryć naturę planetarnych orbit - ich eliptyczność - i sformułować trzy prawa ruchu planet. Dwa pierwsze prawa ukazały się drukiem w "Nowej Astronomii", wydanej w 1609 r., tym samym, w którym człowiek po raz pierwszy skierował ku niebu teleskop.

## **Astronomia XX Wieku**

W XX stuleciu astronomia nabrała nieoczekiwanego tempa, koncentrując się na dwóch tematach: powstawaniu i ewolucji gwiazd oraz systemów gwiazdnych z jednej strony, a galaktyk i gromad galaktyk z drugiej. Okazało się, że do badania ewolucji gwiazd szczególnie dobrze nadaje się wykres Hertzsprunga - Russella, zaprezentowany po raz pierwszy w roku 1913, a później nieco zmodyfikowany. Autorami tego wykresu, czyli graficznego przedstawienia zależności między pewnymi parametrami gwiazd, byli duński astronom Ejnar Hertzsprung (1873-1967) i amerykański astrofizyk Henry Norris Russell (1877-1957). Na wykresie tym przedstawia się temperaturę powierzchniową albo typ widmowy gwiazd w funkcji ich jasności absolutnych. Wykres ten stał się kluczem do zrozumienia ewolucji gwiazd. Każda gwiazda ma swoją własną historię, którą można śledzić na tym wykresie. Droga ewolucyjna gwiazdy zależy bowiem od jej masy, a ponieważ na różnych etapach ewolucji gwiazda ma inną temperaturę efektywną i rozmiary, ciąg położzeń ewolucyjnych tworzy na wykresie Hertzsprunga - Russella swoistą "ścieżkę ewolucyjną".

Ciąg położzeń ewolucyjnych gwiazdy przebiega, w dużym uproszczeniu, w następujący sposób: gwiazda powstaje, prawdopodobnie zawsze razem z innymi gwiazdami, wskutek kurczenia się gazowo-pyłowego obłoku. Energia grawitacyjnego przyciągania, która jest uwalniana podczas kurczenia się obłoku, prowadzi do zapoczątkowania reakcji termojądrowych w jądrze gwiazdy. Gwiazda wstępuje wtedy w ciąg główny wykresu Hertzsprunga - Russella. Synteza jądrowa (przekształcanie wodoru w hel) dostarcza gwiazdzie potrzebnej energii. "Pobyt" na ciągu głównym jest najważniejszym okresem życia gwiazdy. Jego długość jest ograniczona i ma związek z masą gwiazdy: im większa jest jej masa początkowa, tym krótsze jest życie gwiazdy na ciągu głównym. Gwiazdy o małej masie, takie jak nasze Słońce, przebywają na ciągu głównym około 10 miliardów lat. Gdy zapas wodoru ulegnie wyczerpaniu, w jądrze gwiazdy zaczynają zachodzić reakcje syntezy coraz cięższych pierwiastków. Gwiazda rozdyma się, stając się "czerwonym olbrzymem", który ma dużo większą moc promieniowania niż gwiazda ciągu głównego, i wędruje na wykresie Hertzsprunga - Russella do gałęzi olbrzymów, znajdującej się w prawym górnym rogu tego wykresu.

Końcowy okres życia gwiazd, związany z gigantycznymi katastrofami, może wyglądać bardzo różnie. Gwiazda typu naszego Słońca kończy jako "biały karzeł", gwiazda sto do tysiąckrotnie mniejsza od Słońca, lecz o ogromnej gęstości, która po "wypaleniu" helu powoli wystygła. Gwiazdy o masie końcowej większej niż 1,4 masy Słońca mogą się zapaść jeszcze bardziej. Kończą one jako gwiazdy neutronowe o średnicach równych zaledwie 10-100 km i gęstości rzędu 1-10 mln t/cm<sup>3</sup>. Białe karły i gwiazdy neutronowe znajdują się w lewym dolnym rogu wykresu Hertzsprunga - Russella. W końcu, gwiazdy o masach końcowych większych niż 2,2 masy Słońca zapadają się (kolapsują) i stają się tak zwanymi czarnymi dziurami. Podczas zapadania się wydzielana jest

tak wielka energia, że zewnętrzne warstwy gwiazdy zostają odrzucone (wybuch gwiazdy supernowej). Czarna dziura (ang. Black hole), obiekt, którego istnienia nie można wykryć ani za pomocą obserwacji optycznych ani radiowych, jest pozostałością po takim wybuchu gwiazdy. Siła przyciągania w otoczeniu czarnej dziury jest tak wielka, że nie może jej opuścić żadne promieniowanie. Ponadto, cała materia z jej otoczenia spada na nią i jest pochłaniana.

Z teorii budowy gwiazd wynika, że temperatura we wnętrzu Słońca i podobnych gwiazd na ciągu głównym wykresu Hertzsprunga - Russella wynosi około 20 milionów stopni C. Według niemieckiego fizyka Hermanna von Helmholtza (1821-1894) źródłem energii we wnętrzu gwiazdy była początkowo wyłącznie kontrakcja (kurczenie się i wzrost gęstości jako źródło ciepła i promieniowania) kuli gazowej. Oblicza się, że nasze Słońce mogłoby w ten sposób świecić jako gwiazda przez około 100 mln lat. Radioaktywna metoda badania wieku skał skorupy ziemskiej wskazuje jednak, że najstarsze formacje na naszej planecie liczą ponad 2 mld lat. Wobec tego, że Słońce a także inne gwiazdy powinny być starsze niż Ziemia, energia kontrakcji nie jest w stanie wyjaśnić zjawiska świecenia gwiazd. Musiano więc szukać innych źródeł energii gwiazd.

Rozwój fizyki jądrowej doprowadził do rozwiązania tego problemu. Niemiecki fizyk Hans Bethe (ur. 1906) i Carl Friedrich von Weizsacker znaleźli niezależnie od siebie, na przełomie lat 1937/1938, jego rozwiązanie. Głównym źródłem energii Słońca okazały się procesy jądrowe w jego wnętrzu. W jądrze Słońca łączą się cztery jądra wodoru w jedno jądro helu, przy udziale węgla, azotu i tlenu. Nadwyżka masy zostaje zamieniona podczas tego procesu w promieniowanie i w ten sposób zabezpiecza bilans energetyczny Słońca.

Wraz z nowymi odkryciami, dającymi wyobrażenie o rzeczywistej wielkości i budowie Wszechświata, nastąpił decydujący zwrot w badaniach mgławic spiralnych (galaktyk). W roku 1924, amerykański astronom Edwin Powell Hubble (1899-1953) zdołał rozdzielić obszary brzegowe Mgławicy Andromedy na pojedyncze gwiazdy za pomocą największego teleskopu zwierciadlanego Obserwatorium Mount Wilson. Dzięki temu potwierdzono optyczne podobieństwo Drogi Mlecznej i Mgławicy Andromedy. W tym czasie odkryto i skatalogowano wiele nowych galaktyk leżących daleko we Wszechświecie. Wniosek z tych obserwacji był taki, że za pomocą dużego teleskopu można by odkryć setki milionów nowych galaktyk.

W roku 1930, wykorzystując prawo Dopplera do pomiaru prędkości radialnej (tj. składowej prędkości wzdłuż kierunku obserwator - obiekt) galaktyk, udało się Hubble'owi wyznaczyć odległość do galaktyk. Był to ten sam rok, w którym amerykański astronom Clyde William Tombaugh (ur. 1906) odkrył w Obserwatorium Lowell planety Pluton. Wynik Hubble'a wywołał sensację i

wiele dyskusji. Okazało się bowiem, że prędkości radialne odległych galaktyk są dodatnie, czyli że galaktyki te oddalają się od nas, i to z tym większą prędkością, im dalej znajduje się galaktyka. Zjawisko to otrzymało nazwę ekspansji (rozszerzania się) Wszechświata, podczas której materia i galaktyki rozlatują się jak odłamki eksplodującego granatu. Aby to wyjaśnić, potrzeba jednak obserwacji i obliczeń, które zweryfikują wymyślone wcześniej teorie i wyobrażenia. Obserwacja zjawiska rozszerzenia się Wszechświata nasuwa wiele bardzo istotnych pytań: Czy cała materia Wszechświata była przed 15-20 miliardami lat skupiona w jednym punkcie? Kiedy nastąpiła godzina "zero"? Czy stworzenie rozpoczęło się od "Wielkiego Wybuchu" (ang: Big Bang), czy też Wszechświat istniał wcześniej w innej formie? Czy rozszerzanie się Wszechświata ma jakiś koniec, czy też proces ten ulegnie odwróceniu? Taki pulsujący, rozszerzający się i kurczący na przemian Wszechświat nie jest bowiem obcy współczesnej myśli naukowej.

Wielkie znaczenie dla współczesnej kosmologii miała ogólna teoria względności opublikowana w 1916 roku przez Alberta Einsteina (1879-1955). Postulowała ona istnienie zakrzywionej przestrzeni, która wprawdzie jest bez granic, ale nie jest nieskończona (tak jak powierzchnia kuli nie ma granic, ale da się ją policzyć). Einstein opracował model Wszechświata, który wręcz wymusza ekspansję i w ten sposób dawał ucieczkę galaktyk, obserwowanej przez Hubble'a, podstawy teoretyczne. Rok 1965 przyniósł odkrycie kosmicznego promieniowania tła. Było to dziełem dwóch Amerykanów: Roberta Woodrowa Wilsona i Arno Penziasa, a odkrycie to zostało dokonane za pomocą radioteleskopu w Holmden (USA). Zgodnie z poglądami większości naukowców kosmiczne promieniowanie tła jest promieniowaniem, które powstało w bardzo wczesnej fazie ekspansji Wszechświata i stanowi dowód słuszności teorii Wielkiego Wybuchu.

Zagadką dla współczesnych astronomów są tak zwane kwazary (nazwa pochodzi od angielskiej nazwy: quasi-stellar radio sources = niby-gwiazdowe radioźródła). Zostały one odkryte w roku 1963. Niezwykła jest ogromna energia emitowana przez te obiekty, które obserwuje się nawet w odległości 18 miliardów lat świetlnych, oraz olbrzymia prędkość ucieczki (ponad 270000 km/s, czyli ponad 9/10 prędkości światła). Wiek kwazarów wydaje się być starszy niż wiek galaktyk.

Burzliwy rozwój astronomii w bieżącym stuleciu ma przede wszystkim trzy źródła. Po pierwsze, astronomowie mieli do dyspozycji skuteczne instrumenty badawcze. Do nich należy od niedawna największy na świecie, 5-metrowy teleskop na Mount Palomar w Kalifornii, który ostatnio "wyprzedził" sześciometrowy teleskop umieszczony w Specjalnym Obserwatorium Astrofizycznym w Zelenczuku (Kaukaz).

Drugim krokiem był początek radioastronomii, zupełnie nowej dziedziny badań, która powstała z dala od tradycyjnej astronomii i otworzyła nowe okno do badań promieniowania pochodzącego ze Wszechświata. W 1931 roku, amerykański inżynier i technik Karl Guthe Jansky (1905-1950), podczas badań nad rozchodzeniem się promieniowania radiowego w atmosferze, odkrył kosmiczne promieniowanie radiowe, pochodzące przede wszystkim z gwiazdozbioru Strzelca, gdzie znajduje się centrum Galaktyki. Systematyczne obserwacje radioastronomiczne rozpoczęto jednak dopiero po II wojnie światowej. Dziś nie ma dziedziny badań astrofizycznych, na którą radioastronomia nie miała wpływu. Informacji z Kosmosu dostarcza więc nie tylko światło, ale także promieniowanie radiowe.

Bardzo owocny okazał się oczywiście rok 1957, w którym wystrzelono "Sputnika". Fakt ten stanowił przełomowy moment w rozwoju lotów kosmicznych (astronautyki). Astronomia zyskała bowiem bardzo wiele dzięki obserwacjom prowadzonym przez sztuczne satelity Ziemi i sondy badawcze. Lądowanie załogi "Apollo 11" 20 lipca 1969 roku na księżycowym Morzu Spokoju (Mare Tranquillitatis) urzeczywistniło po raz pierwszy to, o czym ludzkość marzyła od stuleci: człowiek stanął na powierzchni innego ciała niebieskiego. Neil Armstrong wypowiedział wtedy historyczne zdanie: To mały krok dla człowieka, lecz wielki skok dla ludzkości. Po raz pierwszy człowiek własnymi rękami pobrał próbki gruntu innego ciała niebieskiego i przeprowadził na miejscu wiele pomiarów i badań.

W ramach amerykańskich i rosyjskich programów księżycowych i satelitarnych liczne sondy do badań planet i przestrzeni międzyplanetarnej (amerykańskie sondy "Mariner", "Pionier", "Viking" i przede wszystkim "Voyager") dostarczyły wielu wyników naukowych. Przekazały one zarówno obrazy, jak i dane fizyczne i atmosferyczne oraz poprawiły i poszerzyły nasze wyobrażenie o planetach Układu Słonecznego, czego nie mogły już dokonać teleskopy naziemne. W bieżącym stuleciu dowiedzieliśmy się o Kosmosie więcej niż w ciągu wszystkich poprzednich stuleci.

Sama astronomia optyczna zyskała także bardzo wiele dzięki technice astronautycznej. W kwietniu 1990 roku na pokładzie wahadłowca "Discovery" wyniesiony został na orbitę okołozemską pierwszy teleskop kosmiczny (Space Telescope, teleskop Hubble'a). Pomimo poważnego błędu w kształcie głównego lustra teleskopu o średnicy 2,4 m, obrazy otrzymywane przez ten teleskop były o wiele lepsze niż te, które dawały teleskopy naziemne. Błąd optyki teleskopu został skorygowany podczas kolejnych misji wahadłowca "Endeavour" w grudniu 1993 roku. Obrazy otrzymywane obecnie mają wyjątkową rozdzielczość i praktycznie każdy miesiąc przynosi nowe odkrycia dokonane na podstawie obserwacji teleskopem Hubble'a.