

CECYLIA IWANISZEWSKA

## ETAPY ROZWOJU ASTRONOMII OD KOPERNIKA DO CZASÓW WSPÓŁCZESNYCH

### *Kopernikowski obraz świata*

Powszechnie uważa się, że dzieło Kopernika zapoczątkowało dalszy rozwój nauk ścisłych, a z kolei dalszy rozwój astronomii stał się możliwy właśnie dzięki szybkiemu postępowi matematyki i fizyki. Ciała niebieskie i cały wszechświat stawały się obiektami doświadczalnymi, umożliwiającymi sprawdzanie teorii, do czego tak wielką wagę przywiązywał Kopernik, z obserwacjami, pobudzając do wprowadzania dalszych, bardziej udoskonalonych teorii czy metod badawczych.

Wszechświat Kopernika tak został przez niego przedstawiony w pierwszej księdze „Obrotów”:

*Pierwszą i najważniejszą ze wszystkich jest sfera gwiazd stałych, obejmująca samą siebie oraz cały świat i dlatego nieruchoma. (...) Z kolei idzie pierwsza z planet, Saturn, który obiegu swego dopełnia w ciągu trzydziestu lat. Za nim Jowisz, dokonujący obiegu w dwunastu latach. Następnie Mars, który odbywa obieg w ciągu dwu lat. Czwarte miejsce w tym szeregu zajmuje sfera o rocznym obiegu, w której, jak powiedzieliśmy, mieści się Ziemia ze sferą Księżyca jakby małym epicyklem. Na piątym miejscu Wenus powraca do pierwotnego położenia co dziewięć miesięcy. Szóste wreszcie miejsce zajmuje Merkury, odbywający obieg w ciągu osiemdziesięciu dni. A pośrodku wszystkich ma swą siedzibę Słońce...*

W oparciu o ten znany Kopernikowi obraz świata można prześledzić rozwój naszych wiadomości o coraz to obszerniejszym Wszechświecie.

### *Badania układu planetarnego*

Kopernikańska teoria planet została uzupełniona prawami ruchu planet przez Keplera w latach 1609—1619 i prawami przyciągania przez Newtona w 1687 r. Nasz polski astronom Jan Śniadecki tak o tym pisze:

*Droga od Kopernika do Keplera i Newtona, bieg ziemi i porządek ciał niebieskich, przez Kopernika wskazany, albo prowadził do nowych prawd*

*i wynalazków, albo podsunął trafne i prawdziwe tłumaczenie nowych fenomenów na niebie dostrzeganych, których by niepodobna było pojąć i wytłumaczyć bez tej nowej nauki. Bez niej Kepler byłby praw na biegi ciał niebieskich nie odkrył, a bez praw Keplera nie byłby Newton praw atrakcji wynalazł...*

A zatem zrozumiałe stało się dlaczego i w jaki sposób obiegają planety Słońce. Ale i sama „rodzina słoneczna” z biegiem czasu stawała się coraz liczniejsza. Wprowadzenie do obserwacji pierwszych lunet umożliwiło dokonywanie obserwacji takich ciał niebieskich, których okiem nieuzbrojonym zobaczyć niepodobna. W 1609 r. Galileusz obserwował pierwszą lunetą astronomiczną Jowisza, odkrywając cztery jego księżyce, poruszające się zgodnie z teorią Kopernika.

Ponad sto lat później Herschel rozpoczął systematyczne obserwacje własnoręcznie wykonanym teleskopem zwierciadlanym. W 1781 r. zaobserwował gwiazdę 6 wielkości, a więc taką, jak najśłabsze gwiazdy widziane okiem nieuzbrojonym, odróżniającą się od otoczenia wyglądem rozmytej tarczy. Z dalszych obserwacji, wykonywanych w różnych obserwatoriach wynikało, że obiekt ten nie jest gwiazdą, ani kometą, lecz odległą planetą, nazwaną później Uranem. Wydarzenie to było dlatego wyjątkowe, że zmieniało ustalone już od czasów starożytnych granice systemu planetarnego. Dla astronomów — teoretyków i matematyków zdarzyła się za to okazja wyprowadzenia teoretycznych rozwiązań dla obliczenia dalszej drogi tej planety.

Z biegiem czasu okazało się jednak, że obserwowana droga Urana coraz bardziej różni się od obliczonej, co wytłumaczyć by można tylko działaniem przyciągającym następnej, nieznannej dotąd planety, leżącej poza orbitą Urana. Położenie tego nowego obiektu zostało obliczone niemal równocześnie przez Adamsa i Leverriera w 1845 r., a w 1846 r. ta nowa planeta, Neptun, została odszukana na niebie w odległości tylko  $1^\circ$  od położenia przewidywanego.

Dla Neptuna również rozpoczęto dokładne obliczanie położenia i stwierdzono zakłócenia w jego ruchu. Systematyczne obliczenia i obserwacje fotograficzne prowadził w początku XX wieku Lowell, ale dopiero asystent obserwatorium Lowella — Tombaugh w 1930 r. znalazł na kliszy obiekt stosunkowo szybko zmieniający swe położenie w stosunku do gwiazd — nową planetę Plutona. Rodzina planet była już kompletna, ale oprócz planet i ich księżyców, których z czasem znajdowano przy planetach coraz więcej, do układu słonecznego zaliczono też komety i planetoidy.

Choć obserwowano je już od czasów starożytnych, komety zostały do układu słonecznego zaliczone dopiero w początku XVII wieku przez Brahego, zaś później wyliczono już dokładne orbity komet. Zgodnie z obliczeniami i przewidywaniami Halleya, kometa z 1683 r. ukazała się po wtórnie w 1759 i 1835 r., poruszała się zatem po zamkniętej orbicie

eliptycznej z okresem obiegu 76 lat. Była to pierwsza kometa rozpoznana jako okresowa. Co roku obserwuje się kilka komet, wiele z nich powraca w sąsiedztwo Ziemi okresowo.

Ostatnia wreszcie grupa obiektów z naszego najbliższego otoczenia to małe planety, albo planetoidy czy asteroidy. Zaobserwowana przez Piazziego w 1801 r. pierwsza planetoida — Ceres, została ponownie odszukana na niebie dzięki wprowadzeniu przez Gaussa metody obliczania orbit ciał niebieskich na podstawie paru zaobserwowanych położeń. Z biegiem czasu odkrywano coraz więcej planetoid, dziś znamy ich ponad 1600, ich średnice dochodzą do paruset kilometrów, ich orbity leżą w większości między orbitami Marsa i Jowisza, choć zdarzają się i bliżsi sąsiedzi Ziemi. Takim przybyszem była planetoida Eros, która w 1900 r. zbliżyła się do Ziemi na odległość tylko około 15% odległości Ziemia—Słońce (150 milionów kilometrów), co posłużyło zresztą do dokładniejszego wyznaczenia tej wielkości.

Tak zatem, w ciągu paruset lat wypełnia się coraz bardziej przestrzeń dokołasłoneczna, rozszerzają się granice układu słonecznego i wzrasta ilość członków grupy, wśród której, jak pisał Kopernik w Księdze pierwszej: *...Słońce jakby na tronie królewskim zasiadając, kieruje rodziną planet, krążącą się dokoła...*

### Badania gwiazd

Jak przebiegały badania tych obiektów, które przez Kopernika i innych astronomów zwane były „gwiazdami stałymi”? Nazwa ta miała je różnić od planet, błędzących po niebie. Ale w początku XVIII wieku Halley zaobserwował, że i te ciała niebieskie wykonują pewne ruchy. Stwierdził to, porównując obserwacje Hipparcha z obserwacjami z XVII wieku. Mając dostatecznie dokładne mapy nieba — lub w czasach późniejszych — zdjęcia tej samej części nieba, wykonane w odstępach kilkudziesięciu lat, można zaobserwować pozorne zmiany położenia gwiazd bliższych wobec dalszych, można wyznaczyć tak zwany ruch własny gwiazd. Wykrycie przez Dopplera w 1842 r. zjawiska zmian położenia prążków w widmie obiektu zbliżającego się lub oddalającego od obserwatora — pozwoliło w końcu XIX wieku na opracowanie metody wyznaczania składowej radialnej ruchu gwiazdy.

Stosunkowo trudnymi do określenia wielkościami okazały się odległości gwiazd, które próbował wyliczyć już Kopernik. Jednakże udało się tego pomiaru dokonać dopiero w trzysta lat później, w 1837—1838 r., kiedy niezależnie od siebie Bessel i Struve zmierzili odległości dwóch gwiazd. Okazało się, że najbliższa gwiazda znajduje się w takiej odległości od nas, że światło z niej, biegnąc z prędkością 300 tys. km/sek dotrze do nas dopiero po upływie 4,3 lat.

W XIX wieku dalsze zdobywanie informacji o gwiazdach umożliwił rozwój fizyki i wprowadzenie dalszych nowych technik obserwacyjnych, powstała nowa gałąź astronomii — astrofizyka. Zajmuje się ona m. in. badaniem ilości i jakości promieniowania, przychodzącego z gwiazd; ilości — przez pomiar jasności gwiazd, jakości — przez badanie rozszczepionego światła gwiazd, tak zwanych widm gwiazd.

Skala jasności gwiazd znana już od czasów starożytnych została w połowie XIX wieku związana z fizycznym pojęciem natężenia światła. Zgodnie bowiem z wprowadzonym przez Fechnera psycho-fizycznym prawem — równym stosunkom natężeń odpowiadają równe zmiany wrażenia jasności, a więc równe różnice w skali jasności. Przyjęto, że stosunek natężeń 100 : 1 odpowiada różnicy pięciu klas jasności gwiazd. Dokładne sprecyzowanie punktu zerowego tej skali umożliwiło określenie jasności gwiazd w sposób obiektywny. Jasności gwiazd określano początkowo na podstawie obserwacji wizualnych, wykonywanych przez astronomów. Tak powstają podstawowe spisy, czyli katalogi gwiazd. Katalog dla 1025 gwiazd, oparty na „Almageście” Ptolemeusza znajduje się w drugiej księdze „Obrotów”. Poszczególne gwiazdy były tam określane opisowo, a więc np. gwiazda „na plecach Wielkiej Niedźwiedzicy”, lub gwiazda „pierwsza z trzech na ogonie”.

Podstawowy katalog wizualny powstał w końcu XIX wieku w Bonn na bazie obserwacji Argelandera i współpracowników, obejmując około 320 tys. gwiazd na północnej półkuli do 9 wielkości gwiazdowej. Ten katalog do dziś stanowi podstawę w wielu obserwacjach, w których jako punkty odniesienia podaje się gwiazdy jaśniejsze, opatrzone numerami z tego spisu.

Obok obserwowanych jasności gwiazd wprowadzono też pojęcie jasności absolutnych, tj. jasności gwiazd odniesionych do pewnej umownej odległości, wynoszącej 300 bilionów km ( $300 \times 10^{12}$  km). Różnice między jasnościami absolutnymi dwóch gwiazd są więc wynikiem wyłącznie różnic w ich budowie fizycznej, a nie różnej ich odległości od obserwatora.

W miarę rozwoju technik obserwacyjnych, a więc np. wprowadzeniu fotografii, którą w astronomii zaczęto stosować szeroko w latach osiemdziesiątych zeszłego wieku, udoskonalano metody obserwacji gwiazd. Wyznaczenie jasności z pomiaru na kliszy może być dokonywane dla gwiazd znacznie mniej jasnych, nadto pomiar ten mógł być wykonywany nawet w dłuższym czasie po wywołaniu kliszy. Jednak tak otrzymane jasności fotograficzne gwiazd nie były równe jasnościom wizualnym. Tłumaczy to wprowadzona przez Plancka w 1908 r. zależność między natężeniem promieniowania, emitowanym w pewnej długości fali (związanym z jasnością gwiazdy), temperaturą obiektu i długością fali. Oko ludzkie jest uczulone na inny zakres długości fali niż np. klisza fotograficzna, czy jeszcze inny odbiornik promieniowania, a zatem jasności otrzymane dla tego samego obiektu przy użyciu różnych odbiorników będą różne. Stosowanie nato-

miast różnych odbiorników promieniowania pozwala na uzyskiwanie jasności tej samej gwiazdy w różnych długościach fali, skąd można mieć informacje o jej temperaturze.

W latach dwudziestych naszego wieku zastosowano do badania jasności gwiazd fotometry fotoelektryczne, przyrządy, w których prąd elektryczny był wytwarzany wskutek wyrzucania elektronów z powierzchni metalu wystawionej na światło pochodzące z gwiazd. Fakt, że te elektrony wyrzucają z kolei dodatkowe elektrony, jeśli uderzą na odpowiednią powierzchnię metalową wykorzystano w latach późniejszych w fotopowielaczach, które umożliwiły pomiar jasności bardzo słabych obiektów.

Umieszczenia na drodze promienia świetlnego w teleskopie urządzenia rozszczepiającego światło — pozwala na badanie jakości promieniowania. Masowe obrazy rozszczepione gwiazd, tak zwane widma gwiazd, zaczęto badać, a dalej fotografować w końcu ubiegłego wieku. Okazało się, że wyróżnić można pewne typy uzyskiwanych widm gwiazd, zależne od temperatury badanego obiektu. Pionierska praca w tej dziedzinie wykonana na przełomie XIX i XX wieku, to katalog, dający położenia, jasności i typ widma dla ponad 225 tys. gwiazd wykonany pod kierunkiem pani Cannon w Obserwatorium Harvardzkim. Mimo, że ta lista gwiazd obejmowała tylko obiekty jaśniejsze, do około 9 wielkości, to jednak astronomowie nawiązują jeszcze do niej w wielu pracach dzisiejszych.

Dalsze badania widm gwiazd szły w parze z rozwojem fizyki: nauki o atomie, cząsteczce, z badaniem materii w różnych stanach i warunkach w laboratoriach ziemskich, których przedłużeniem są przecież gwiazdy. A zatem jeśli w początku XX wieku pani Cannon określała z widma gwiazdy tylko jej temperaturę, to w latach trzydziestych określano już oprócz tego jej ciśnienie i jasność absolutną, a w latach pięćdziesiątych — parametry związane ze składem chemicznym, wiekiem, pochodzeniem, wreszcie całą strukturę kuli gazowej, jaką jest gwiazda.

Kulami gazowymi nazwał gwiazdy Emden w 1907 r. w pierwszej książce poświęconej budowie wnętrza gwiazd. Szybki rozwój tej budowy zapoczątkowały prace Eddingtona z lat dwudziestych, który tak pisał w 1926 r.: *Nie badamy wnętrza gwiazdy tylko z czystej ciekawości ze względu na warunki tam panujące. Wydaje się, że zrozumienie mechanizmu wnętrza rzuca światło na zewnętrzne własności gwiazdy i w ten sposób całą teorię można konfrontować z obserwacjami. Przynajmniej jest to cel, do którego dążymy.* Stopniowo zatem wyłania się obraz rzeczywistej gwiazdy, opracowuje się mechanizmy wytwarzania ich energii dzięki procesom przemian jądrowych, mechanizmy przenoszenia energii.

Pomiędzy jasnością absolutną gwiazdy a rodzajem jej widma została w początku XX wieku znaleziona empiryczna zależność, zgodna zresztą z teorią budowy wnętrza. Niezależnie od siebie zaobserwowali taki związek, przedstawiany zazwyczaj graficznie, Hertzsprung i Russell. Nie jest

to zależność jednoznaczna, wyróżnić można w tym wykresie wiele grup gwiazd, jaśniejszych i słabszych, gorętszych i chłodniejszych. Pośrednio jest to również zależność między innymi wielkościami fizycznymi gwiazd: temperaturą, masą, rozmiarami, co więcej na tle istniejących zależności prześledzić można różne stadia ewolucji gwiazd.

Okres szczególnie intensywnego badania Słońca rozpoczął się około 1890 r., dzięki pracom Hale'a i Deslandres'a. Uzyskanie przez nich obrazów Słońca w świetle wybranej linii widmowej, a także badanie przesunięć linii — umożliwiło uzyskanie szeregu informacji o strukturze powierzchni Słońca. Oto jak Hale wspomina swe prace: *Nic nie mogło przewyższyć entuzjazmu, z jakim obserwowałem widmo słoneczne i mierzyłem główne w nim linie. (...) Nauczyłem się też traktować Słońce jako typową gwiazdę, jedyną, leżącą blisko Ziemi...*

Badanie najbardziej zewnętrznej warstwy Słońca — korony, poza zaćmieniami całkowitymi Słońca, umożliwiło zastosowanie przez Lyota w 1931 r. sztucznej przesłony zasłaniającej obraz samej tarczy słonecznej, przy czym obserwacje takie wykonuje się w obserwatoriach górskich, gdzie rozpraszanie światła w atmosferze nie jest tak poważną przeszkodą. Po ostatniej wojnie rozwinęła się nowa dziedzina astronomii — radioastronomia, przy zastosowaniu nowych technik obserwacyjnych otrzymuje się obecnie szereg nowych danych o Słońcu z pomiarów jego promieniowania na falach metrowych i centymetrowych.

\*  
\* \* \*

Osobną dziedzinę badań stanowią gwiazdy osobliwe, a więc zmienne (zmieniające swoją jasność w sposób mniej lub więcej regularny), nowe (wybuchające), wielokrotne czy inne. Niektóre wyniki uzyskane z badań tych gwiazd stają się pomocne i w innych badaniach. I tak np. w 1912 r. pani Leavitt stwierdziła korelację między okresem zmian jasności a samą jasnością dla grupy gwiazd zmiennych. Znając odległości gwiazd — można było zależność uogólnić na związek okresu z jasnością absolutną, stosowany później szeroko przez Shapleya do określania odległości gromad gwiazdnych i galaktyk.

### *Badania Galaktyki*

Kopernikowski wszechświat zamykał się sferą gwiazd: cóż możemy o ich rzeczywistym rozmieszczeniu powiedzieć? Już Galileusz obserwując niebo swą lunetą zdołał rozdzielić części świecącego pasa Drogi Mlecznej na pojedyncze gwiazdy. Ale dopiero w połowie XVIII wieku Wright, a potem Kant wprowadzają układ Drogi Mlecznej jako obejmujący wszystkie gwiazdy nieba wraz ze Słońcem. Kant tłumaczył przy tym, że dla obserwatora znajdującego się wewnątrz tego silnie spleśzczonego,

soczewkowatego systemu, światło odległych gwiazd leżących w płaszczyźnie największego zgęszczenia układu — zlewa się, tworząc na niebie świecące pasmo, zwane właśnie Drogią Mleczną. A słabe, mgliste obiekty, obserwowane na niebie wśród gwiazd — jedni uważali za olbrzymie ciała niebieskie, inni zaś słusznie za odrębne układy, galaktyki, podobne do naszej Drogi Mlecznej.

Jaka była struktura układu Drogi Mlecznej, naszej Galaktyki? Już Herschel próbował się tym zajmować przy okazji swoich przegladów nieba, zliczając ilości gwiazd różnej jasności zaobserwowane na niebie w różnych kierunkach. Poza ogólnym kształtem układu nie dały te zliczenia gwiazd bliższych informacji, m. in. z powodu niedokładnie ustalonej skali jasności.

Bardziej dokładne zliczenie gwiazd, oparte na badaniu jasności pozornych, typów widmowych, ruchów gwiazd zaproponował w początku XX wieku Kapteyn, uzyskując pewien model Galaktyki. Stopniowo model ten ulegał przeobrażeniom, stwierdzono m. in. dużą koncentrację gwiazd w kierunku gwiazdozbioru Strzelca, z czego słusznie wnioskowano, że Słońce wraz z Ziemią leży na peryferiach układu.

W latach dwudziestych naszego wieku Lindblad i Oort stwierdzili rotację całego układu Drogi Mlecznej, dzięki której Słońce wraz z całym układem planetarnym wykonuje jeden obrót wokół centrum w ciągu 250 milionów lat.

W 1929 i 1930 r. zrozumiałym stał się fakt, dlaczego tak trudno było znaleźć właściwe rozmieszczenie gwiazd w układzie. Oto okazało się, że obserwowana w Galaktyce materia pyłowa nie uformowana w gwiazdy absorbowała światło gwiazd. Wobec wyników z prac Schalena i Trumplera należało poprawić wszystkie odległości gwiazd oceniane z ich jasności, uwzględniając wpływ materii absorbującej. Do tego jednak trzeba było znać dokładne rozmieszczenie tej materii w Galaktyce. Zajmuje się tym szereg prac jeszcze i obecnie.

Wykrycie w latach czterdziestych naszego wieku promieniowania ciał niebieskich w dziedzinie fal radiowych umożliwiło astronomom wprowadzenie nowej techniki przy badaniu Galaktyki. W 1951 r. prawie równocześnie w Australii i w Holandii zaobserwowano promieniowanie galaktycznych chmur wodorowych na fali 21 cm, co umożliwiło badanie rozkładu tego gazu w Galaktyce. Wkrótce też wykryto tą drogą spiralną strukturę naszej Galaktyki, co potwierdzają już dziś również optyczne badania rozkładu gwiazd. A zatem nasza Galaktyka składa się z części bardziej skondensowanej — tak zwanego jądra, oraz części peryferyjnych, ramion, zwiniętych spiralnie wokół części centralnej. Ramiona te mają jednak budowę jakby „poszarpaną”, posiadają szereg odgałęzień. Słońce wraz z układem planetarnym znajduje się na brzegu ramienia spiralnego.

Strukturę spiralną obserwuje się także u innych galaktyk, u których niekiedy można wydzielić pojedyncze gwiazdy. Niedawno, w latach pięć-

dziesiątych, trzeba było powiększyć skalę odległości galaktyk, wprowadzoną na podstawie badania gwiazd zmiennych i wspomnianej już zależności Shapleya. Baade stwierdził bowiem, że należy wyróżnić w obrębie tej grupy dwie „rodziny” gwiazd, zwane populacjami, o różnych właściwościach fizyko-chemicznych, a przede wszystkim różnych jasnościach. Stąd też używany do wyznaczenia odległości galaktyk związek musi mieć inną postać dla każdej populacji.

A skoro mowa tu o odległościach może warto zestawić parę danych liczbowych. A zatem promień świetlny dochodzi do Ziemi:

- ze Słońca — po 8 min.,
- z Saturna — najodleglejszej planety systemu Kopernika — po 1 godz. i 15 min.,
- z Plutona — ostatniej planety systemu — po około 5 godz.,
- z najbliższej gwiazdy — po 4,3 latach,
- z centrum Galaktyki — po 30 tys. lat,
- z galaktyki M 31 w gwiazdozbiornie Andromedy, jednej z najbliższych naszych „sąsiadek” — po 1,5 miliona lat,
- z dalszych galaktyk — po setkach milionów lat.

Do najdalszych obiektów należą radiogalaktyki, wysyłające niezwykle silne promieniowanie radiowe, obserwowane radioteleskopami na takich odległościach, do których nie sięgają już badania optyczne.

Nową technikę badań wprowadzono wreszcie w 1957 r. wystrzeleniem w Związku Radzieckim pierwszego sztucznego satelity. Odtąd badania otaczającego świata przeprowadza się również poza Ziemią, z pokładów sztucznych satelitów i stacji kosmicznych, w czasie ich lotów załogowych i bezzałogowych.

\*

\* \* \*

Przedstawiając w tak fragmentaryczny sposób proces dostarczania przez naukę coraz to nowych informacji o otaczającym nas świecie — na jedno szczególnie należy zwrócić uwagę. Wszelkie sukcesy odnoszone przez astronomów były możliwe nie tylko dzięki współdziałaniu matematyki, fizyki i wreszcie techniki z astronomią, lecz przede wszystkim dzięki żmudnym, nieraz pozornie nieefektywnym badaniom wielu ludzi, a raczej całych zespołów ludzi. Bo podobnie jak na przykład z wielu pojedynczych obserwacji, prowadzonych na całej kuli ziemskiej, dotyczących rozmieszczenia gwiazd i chmur wyłania się wreszcie coraz pełniejszy kształt struktury spiralnej naszej Galaktyki, tak rzecz ma się też i w innych dziedzinach astronomii. I dlatego tym bardziej słuszne zdają się te słowa Newcomba: *...W historii astronomii nie mamy drugiej takiej postaci, któraby wzbudzała tak wielki i powszechny szacunek. Nie znamy przykładu, by jakakolwiek praca była do tego stopnia wyłącznym dorobkiem jednego człowieka, jak układ heliocentryczny był pracą odosobnioną mędrca z Fromborka...*