

## UKŁAD PLANETARNY A WSZECHŚWIAT

**Streszczenie.** Praca jest krótkim przeglądem rozwoju nowoczesnej astronomii od czasów Kopernika do chwili obecnej. Zaakcentowano w niej doniosłość odkrycia Kopernika dla dalszego poznawania wszechświata. Każde odkrycie w zakresie astronomii oraz z nią sprzężonych nauk matematyczno-fizycznych staje się nowym tytułem do wciąż rosnącej chwały naszego wielkiego rodaka. Jego imię jest nie tylko postacią historyczną, lecz żyje w żywiołowym rozwoju nauki i techniki współczesnej.

Wszechświat, jaki znamy obecnie, to setki miliardów galaktyk, z których najdalsze - kwazary są odległe od nas o dziesiątek miliardów lat światła. Galaktyki są skupiskami setek miliardów gwiazd i materii rozproszonej. Wokół gwiazd mogą istnieć układy planetarne. Wszechświat się rozszerza, galaktyki uciekają od nas z prędkościami tym większymi, im dalej od nas się znajdują, najdalsze mają prędkości ucieczki bliskie prędkości światła - 0,6 c. Jesteśmy więc już niezbyt daleko od granic poznawalnego wszechświata, ponieważ galaktyk uciekających z prędkościami większymi od prędkości światła nie będziemy mogli obserwować.

Znając odległości galaktyk i prędkości ich ucieczki, możemy obliczyć ile czasu potrzebowaly na przebycie tych odległości. Okazuje się, że dziesięć miliardów lat temu ( $10^{10}$  lat) galaktyki wyruszyły z jednego "punktu" raczej z niewielkiego obszaru. Mówimy, że wtedy nastąpił wielki wybuch wszechświata. Co było przed tą osobliwością, nie wiemy. Być może, obecna faza ekspansji wszechświata była poprzedzona fazą kontrakcji, podczas której wszechświat się kurczył pod działaniem własnej grawitacji, aż doszedł do bardzo małych rozmiarów i bardzo wysokiej gęstości. Stany supergęstej materii są obecnie w centrum zainteresowań astronomii w związku z wykryciem pulsarów - gwiazd neutronowych o gęstościach rzędu  $10^{14}$  g/cm<sup>3</sup>. Podejrzewa się istnienie jeszcze gęstszych form materii, tzw. "czarnych dołów" w jądrach galaktyk. Te ekstremalne zagadnienia, a więc budowa i ewolucja wszechświata, jak i stany supergęstej materii są rozważane na gruncie ogólnej teorii względności.

Taki wszechświat bada dzisiejsza astronomia, uzbrojona w potężne teleskopy i jeszcze potężniejsze radioteleskopy, korzystająca z pojazdów międzyplanetarnych. Tempo rozwoju i ekspansja tej nauki są obecnie bardzo szybkie. Cofnijmy się myślą wstecz i poszukajmy początku tej ekspansji. Zobaczymy, że i tu zdarzył się "wielki wybuch" około 500 lat temu, gdy w

Jedną z setek miliardów galaktyk, koło jednej z setek miliardów gwiazd na małej planecie pojawił się człowiek, który przy pomocy pary własnych oczu z niezwykle sprawnego umysłu zdołał zrozumieć, że jego planeta nie jest śródkiem wszechświata i że wszechświat nie zamyka się sferą gwiazd stałych, leżącą tuż za granicami jego układu planetarnego; że gwiazdy, których mógł naliczyć gołym okiem około 6 tysięcy, leżą bardzo daleko, nieporównywalnie dalej niż ciała jego układu planetarnego. Przed Kopernikiem - bo o nim tu mowa - istniały na naszej małej planecie wysoko rozwinięte kultury i cywilizacje od kilku tysięcy lat. Zostały po nich wspaniałe dzieła architektury, rzeźby, literatury, filozofii i prawa. Były to jednak cywilizacje zamknięte w kręgu ziemia-człowiek, ślepe na ogrom otaczającego wszechświata, niezdolne do poznawania praw przyrody i do ich wykorzystania w technice.

Nową kulturę i cywilizację, opartą na rozwoju nauk ścisłych, zapoczątkował Mikołaj Kopernik swym dziełem "De revolutionibus orbium coelestium" ogłoszonym w roku 1543, roku jego śmierci. W tym dziele wykazał, że obserwowane ruchy Słońca, planet i "sfery" gwiazd stałych można zinterpretować logiczniej, dokładniej i znacznie prościej niż dotychczas, przyjmując potrójny ruch Ziemi: roczny obieg dokoła Słońca, dzienny obrót dokoła własnej osi i precesyjne zataczanie się osi ziemskiej w okresie około 26 000 lat. Idee o ruchomości Ziemi i heliocentrycznym układzie planetarnym były wypowiedzane przez niektórych filozofów i matematyków starożytnych. Kopernik znał te wypowiedzi i przytacza je w swoim dziele. Aby jednak idea stała się teorią naukową, musi być poparta argumentami i skonfrontowana z rzeczywistością. Tego właśnie dokonał Kopernik, w ciągu kilkudziesięciu lat wytrwałej pracy badawczej, wykonywanej zresztą poza zawodem, którym były zajęcia administracyjne i praktyka lekarska, wykonywanej w oderwaniu od środowisk naukowych, w zupełnej samotności.

Najpoważniejszym dziełem astronomicznym, napisanym przed Kopernikiem, był "Almagest" Klaudiusza Ptolemeusza, astronoma aleksandryjskiego z II w. n.e. Jest to systematyczny wykład ruchów ciał geocentrycznego układu planetarnego. Kopernik, cytując to dzieło z całym szacunkiem, podaje w swoim dziele wykład ruchów ciał heliocentrycznego systemu planetarnego, zachowując podobny do Ptolemeuszowego układ treści. W pierwszej księdze podaje opis systemu heliocentrycznego i ogólną argumentację swojej tezy. W następnych pięciu księgach wyprowadza szczegółowo konsekwencje swego założenia w odniesieniu do ruchów Słońca, Księżycy i planet, jakie powinniśmy obserwować z ruchomej Ziemi. Wykazuje zgodność swych wywodów z obserwowanymi ruchami tych ciał, przy czym wykorzystuje obserwacje swych poprzedników jak i swoje własne, wykonywane przy pomocy prostych narzędzi własnej konstrukcji. Aparat matematyczny, którym posługuje się Kopernik w swoich wywodach, to geometria Euklidesa i proste rachunki trygonometryczne.

Dzieło Kopernika wyprzedzało swoją epokę w tym sensie, że nie było w owym czasie możliwe przeprowadzenie rozstrzygającego testu słuszności jego teorii wobec uboższego stanu techniki obserwacyjnej. Lunet nie było i dopiero Galileusz w XVII w. mógł zobaczyć przez skonstruowaną przez siebie lunetę, że fazy Wenus przebiegają tak, jak gdyby okrążała ona Słońce, a nie Ziemię, a wokół Jowisza krążą cztery jego księżyce, stanowiąc jak gdyby miniaturę układu heliocentrycznego planet. Dopiero w w. XVIII i XIX dzięki konstrukcji bardziej precyzyjnych narzędzi zdołano wykryć zjawiska aberacji światła i paralaksy gwiazd, będące wynikiem orbitalnego ruchu Ziemi. Zjawisko paralaksy polega na tym, że na skutek rocznego obiegu Ziemi dokoła Słońca bliższe gwiazdy zdają się przesuwać na tle dalszych, zakreślając koła lub elipsy tym większe, im są bliżej nas. Takie oscylacje, będące odbiciem rocznego ruchu Ziemi, wykonują planety w dużych amplitudach. Najdalsza ze znanych planet w czasach Kopernika, Saturn, zakreśla pętle w granicach ok.  $7^{\circ}$ . Najcięższym zarzutem przeciw teorii Kopernika był ten, że gwiazdy nie wykazują oscylacji paralaktycznych, chociaż znajdują się, jak sądzono, tuż za orbitą Saturna, na tzw. sferze gwiazd stałych. Odpowiedź Kopernika była genialnie trafna: gwiazdy znajdują się nieporównywalnie dalej niż planety i dlatego ich ruchy paralaktyczne są niedostrzegalnie małe. Dopiero w r. 1838 udało się Besselowi i Struvenemu zmierzyć paralaksy najbliższych gwiazd; okazały się one mniejsze od jednej sekundy łuku! Na pomiarze paralaks gwiazd oparła się później metoda wyznaczania ich odległości. Swą trafną odpowiedzią Kopernik uchylił główny zarzut podważający słuszność jego teorii, a zarazem wskazał, że wszechświat ma rozmiary nieporównywalnie większe niż układ planetarny.

Poglądy Kopernika nie były łatwe do przyjęcia. Świadectwo zmysłów zdawało się w sposób oczywisty przeczyć słuszności jego teorii. Antropocentryzm, ciężący na nauce, filozofii, religii i powszechnym mniemaniu, narzucał przekonanie, że człowiek jest najważniejszą istotą, celem i racją bytu całego wszechświata. Ziemia, siedziba człowieka, musi być centrum świata. Kopernik doskonale zdawał sobie sprawę z tego, że teoria jego napotka na opór. Nie spieszył się z publikowaniem swego dzieła, sprawdzał je i poprawiał wykonywał dalsze obserwacje, aby podnieść dokładność wyników. Nie chciał ogłaszać drukiem swego dzieła, przeznaczając je, podobnie jak pierwszy szkic swej teorii, Commentariolus (Komentarzyk), napisany około r. 1515, do wiadomości niewielkiej liczby osób, obeznanych z matematyką. Szczęśliwym zrzędzeniem losu, Retyk, młody profesor matematyki z Wittembergi, przybył w ostatnim momencie - na 4 lata przed śmiercią Kopernika, aby z pomocą kilku jego światłych przyjaciół skłonić go do wydania dzieła. Dwa lata trwała wspólna wytężona praca nad ostateczną redakcją, dwa dalsze lata trwał druk dzieła w oficynie Jana Petrejusza w Norymberdze.

Chociaż Kopernik zdawał sobie sprawę z rewolucyjności swej teorii, nie mógł on jednak przewidzieć ogromu jej następstw - lawinowego rozwoju nauk ścisłych, który to dzieło zapoczątkowało, a który dziś nazywamy rewolucją



naukowo-techniczną. Wywikłani z gmatwaniny potrójnego ruchu Ziemi, następcy Kopernika zaczęli dostrzegać prawidłowości w ruchach ciał układu planetarnego i związki, sformułowane następnie przez Keplera; z tych związków w sto lat z górą po Koperniku Izaak Newton odczytał podstawowe prawa dynamiki i prawo ciążenia powszechnego. Sprawdził je na ruchu Księżyca. Jest oczywiste, że wykrycie tego prawa w jego ilościowej formie nie mogło się dokonać w laboratoriach ziemskich, potrzebna była do tego większa scena, przynajmniej taka, jaką prezentuje układ planetarny. Tak się zaczęła mechanika. Zaabsorbowała ona astronomów na przeciąg dwóch wieków XVIII i XIX: wyznaczano orbity planet planetoid, księżyców i komet, wyliczano położenia tych ciał na setki i tysiące lat wstecz i naprzód, odkryto wreszcie rachunkiem istnienie dwóch nieznanych przedtem planet: Neptuna i w. XX - Plutona. W czasach obecnych mechanika nieba odżyła na nowo w zastosowaniu do sztucznych ciał niebieskich: sztucznych satelitów Ziemi i raket międzyplanetarnych. Nie potrzeba wyjaśniać, jak wielkie znaczenie dla fizyki i techniki miało odkrycie praw dynamiki i prawa ciążenia powszechnego. W ślad za mechaniką powstały i rozwinęły się inne działy fizyki, które z kolei stymulowały dalszy rozwój astronomii. Na przełomie wieku XX powstała astrofizyka.

W oparciu o postępy fizyki, w szczególności o metody analizy widmowej zaczęto badać stan fizykochemiczny gwiazd, planet i materii międzygwiazdowej. Stwierdzono, że dominującym pierwiastkiem we wszechświecie jest wódór, że Słońce i gwiazdy czerpią energię na pokrycie swego promieniowania z reakcji jądrowych - spalania wodoru w hel i z dalszych syntez lekkich pierwiastków. Wiemy obecnie z dużym stopniem wiarygodności, jak powstają i ewoluują gwiazdy. Chmury materii rozproszonej kondensują się pod działaniem własnej grawitacji, przy czym temperatura w ich wnętrzu rośnie kosztem energii grawitacyjnej. Gdy w centralnych regionach takiej protogwiazdy temperatura osiągnie wartości rzędu 10 milionów stopni, zaczynają zachodzić samorzutnie reakcje termojądrowe - przemiany wodoru w hel. Gwiazda stabilizuje się na długi okres czasu, aż wszystkie wódór w jej jądrze zostanie spalony na hel. Słońce znajduje się obecnie w takiej właśnie fazie swego życia. Po wyczerpaniu wodoru w centralnych regionach gwiazda ponownie zaczyna się kurczyć, temperatura w jej wnętrzu wzrasta i, gdy osiągnie wartości rzędu stu milionów stopni, zapala się hel, dając jako produkty węgiel i tlen. Po wyczerpaniu helu gwiazda ponownie się kurczy aż do chwili uzyskania temperatur rzędu miliarda stopni, gdy z kolei zapalają się węgiel, a następnie tlen. Tak więc historia gwiazd i Słońca polega na grawitacyjnej kontrakcji z mniej lub więcej długimi okresami postojów podczas spalania kolejnych paliw jądrowych. Końcowym stanem jest gwiazda gęsta lub supergęsta: biały karzeł o gęstości rzędu tony na  $\text{cm}^3$ , lub gwiazda neutronowa o gęstości rzędu stu milionów ton na  $\text{cm}^3$  ( $10^{14} \text{ g/cm}^3$ ). Przejście do tych stanów odbywa się bądź drogą powolnej ewolucji, bądź drogą wybuchu w postaci gwiazdy nowej lub supernowej, gdy zewnętrzne

warstwy gwiazdy zostają odrzucone w przestrzeń, a jądro zapada się w głąb. Którą z tych dróg wybierze gwiazda, zależy to przede wszystkim od jej masy: bardziej bezpieczne są masy mniejsze i, jeśli chodzi o Słońce, to wobec niewielkiej jego masy mamy duże szanse na to, że przejdzie ono w stan białego karła drogą względnie spokojnej ewolucji, aczkolwiek i na tej drodze wątpliwe jest przetrwanie życia na Ziemi aż do tej fazy. Nie musimy jednak już teraz tym się martwić, ponieważ mamy jeszcze przed sobą dobrych kilka miliardów lat spokojnego życia na Ziemi, dopóki Słońce nie wypali swoich zasobów wodoru w centralnych obszarach. Zauważmy przy okazji, że czynnikiem kierującym ewolucją gwiazd jest również prawo grawitacji, którego odkrycie wywodzi się w prostej linii od Kopernika.

Równocześnie z badaniami fizyki gwiazd rozpoczęła się w drugim dziesiętku bieżącego stulecia ekspansja astronomii w coraz dalsze obszary wszechświata - poza granice naszej Galaktyki ku innym, coraz dalszym galaktykom. Stało się to możliwe dzięki konstrukcji coraz większych teleskopów. Największym do niedawna był teleskop o średnicy lustra 5 m, znajdujący się na MtPalomar w St. Zjednoczonych obecnie uruchamia się teleskop 6-metrowy na Kaukazie w Związku Radzieckim. Zastosowanie wzmacniających urządzeń elektronicznych w postaci przetworników obrazu, które transformują obraz optyczny w obraz elektronowy, zwiększa znakomicie zasięg teleskopów, tak że w rezultacie dochodzimy obecnie do owej odległości 10 miliardów lat światła w odniesieniu do najjaśniejszych obiektów, jakimi są kwazary.

Awangardową rolę w badaniach astronomicznych objęła od połowy obecnego stulecia radioastronomia, nowy dział astrofizyki, zajmujący się badaniem promieniowania radiowego pochodzącego z kosmosu. Atmosfera ziemska, a raczej jonosfera, przepuszcza krótkie fale radiowe o długościach od cm do kilkudziesięciu metrów. Dzięki konstrukcji coraz większych anten parabolicznych i coraz czulszych odbiorników, radioastronomia dotrzymuje kroku astronomii optycznej, a nawet ją prześciga, jeśli chodzi o zasięg w przestrzeni. Nie dorównywała natomiast do niedawna w zdolności rozdzielczej, ponieważ fale radiowe, dłuższe około miliona razy od optycznych uginają się tyleż razy silniej. Jednakże i tę trudność zdołano przezwyciężyć, stosując interferometry - zespoły dwóch lub większej liczby radioteleskopów, ustawionych w dużej odległości od siebie. Efekty uginania się fal radiowych maleją w miarę powiększania odległości, czyli tzw. bazy interferometru. Stosuje się obecnie interferometry o bazach transkontynentalnych gdy jeden radioteleskop znajduje się np. w St. Zjednoczonych, a drugi - w Związku Radzieckim. Radioastronomia "widzi" na ogół inne obiekty, inne ośrodki materii niż astronomia optyczna, znakomicie uzupełniając jej zakres badań. W szczególności radioastronomia wykrywa wszelkie emisje nietermicznego promieniowania, towarzyszące obecności szybkich cząstek w ośrodku emitującym co zdarza się m.in. podczas wybuchów wszelkiego rodzaju, poczynając od erupcji zachodzących na Słońcu, poprzez wybuchy gwiazd

supernowych, aż do wybuchów całych galaktyk. Toteż odkrycia pulsarów - produktów wybuchów supernowych i kwazarów - przypuszczalnych wybuchów jąder galaktyk, zawdzięczamy radioastronomii. Również ośrodki rozrzedzonej materii międzygwiazdowej są jej domeną. Seria odkryć linii i pasm atomów, jak wodór, i związków wieloatomowych, jak woda, amoniak, kwas mrówkowy, alkohol etylowy pozwoliły lepiej określić skład chemiczny materii międzygwiazdowej i stwierdziły obecność w niej związków organicznych. Rzuca to nowe światło na zagadnienie istnienia i przenoszenia się życia we wszechświecie, wskazuje bowiem, że budulec do tkanki żywej w postaci związków organicznych istnieje wszędzie. Z drugiej strony chcemy widzieć w kondensacjach materii międzygwiazdowej emitujących linie wciąż nowych odkrywanych związków - protogwiazdy.

Wreszcie wspomnimy krótko, o czym na codzień informują prasa, radio i telewizja, o badaniach tzw. przestrzeni kosmicznej, przy użyciu rakiet balistycznych, sztucznych satelitów Ziemi i pojazdów międzyplanetarnych. Ta nowa technika ma na celu bezpośrednie badanie ciał układu planetarnego, jak również obserwacje pozaatmosferyczne gwiazd, galaktyk i materii międzygwiazdowej przy pomocy teleskopów i radioteleskopów umieszczanych na stacjach orbitujących. Chodzi o obserwacje w tych zakresach długości fali, których nie przepuszcza atmosfera ziemska, jak z jednej strony promieniowanie nadfioletowe, promienie Rentgena, zwane promieniami X i promienie gamma, z drugiej - podczerwień i długie fale radiowe. Widmo Słońca zostało zaobserwowane w całym zakresie długości fali aż do fal radiowych dekametrowych. W zakresie fal krótkich wykryto gwiazdy rentgenowskie, czyli źródła promieni X: są to gwiazdy lub chmury plazmy bardzo gorące. W podczerwieni bada się gwiazdy bardzo chłodne i otoczki pyłowe wokół nich istniejące. Na styku podczerwieni i krótkich fal radiowych wykryto bardzo interesujące zjawisko tzw. promieniowania relikтового o rozkładzie natężeń takim, jaki miałyby promieniowanie termiczne ciała doskonale czarnego o temperaturze  $3^{\circ}\text{K}$ . Promieniowanie to jest izotropowe, to znaczy ma jednokowe natężenie we wszystkich kierunkach, a ilość kwantów tego promieniowania jest wielokrotnie większa niż ilość kwantów promieniowania wszystkich gwiazd łącznie. Nazywamy to promieniowanie reliktowym, ponieważ według wszelkiego prawdopodobieństwa jest ono pozostałością po wielkim wybuchu wszechświata.

Tak przeszliśmy w tym krótkim i bardzo uproszczonym przeglądzie rozwoju nowoczesnej astronomii od Kopernika do chwili obecnej. Równoległe z astronomią, na zasadzie sprzężenia zwrotnego rozwijała się fizyka i inne nauki matematyczno-przyrodnicze. Stopniowo, naprzód powoli, potem coraz szybciej potoczyła się historia nauk ścisłych, a za nią historia nowoczesnej techniki, przeobrażając nie tylko nasze wyobrażenia o wszechświecie, ale i nasze życie codzienne, struktury gospodarcze, społeczne i politycz-

ne. Powstała nowa kultura i nowa cywilizacja, oparte na naukach ścisłych. Sądząc z tempa rozwoju tych nauk, jesteśmy jeszcze na gałęzi wstępującej tej epoki, którą otworzył Mikołaj Kopernik. W ten sposób nasz wielki rodak nie jest tylko postacią historyczną, on żyje w żywiołowym rozwoju nauki techniki współczesnej. Każde nowe odkrycie i każde osiągnięcie w tych dziedzinach staje się nowym tytułem do jego wciąż rosnącej chwały.