



Prof. dr hab. Marek Sarna

ORCID: 0000-0003-4745-3923

E-mail: sarna@camk.edu.pl

Od Kopernika do ESO, jak dziś astronomowie obserwują Wszechświat?

Streszczenie

Astronomiczne techniki obserwacyjne pokonały długą i skomplikowaną drogę rozwoju od czasów Kopernika do współczesności. Dla Mikołaja Kopernika i jego współczesnych, a później Galileusza czy Heweliusza, podstawowym obserwacyjnym przyrządem optycznym i detektorem było oko. Współcześnie budujemy coraz większe i bardziej skomplikowane teleskopy, rozwijamy bardzo precyzyjne techniki rejestracji, w bazach danych gromadzimy terabajty informacji o otaczającym nas Wszechświecie. Obserwacjami sięgamy od naszego układu planetarnego, poprzez centrum Galaktyki do najodleglejszych krańców Wszechświata. Podstawowe pytanie pozostaje jednak niezmiennie: Skąd i jak wzięliśmy się w tym przepastnym świecie i czy rozumiemy go?

Kopernik i jego instrumenty

Dla wielu może być zaskoczeniem, że uczonego w dobie Kopernika zarówno „analogizator” jak i podstawowy przyrząd optyczny miał cały czas przy sobie. Posługiwał się umysłem-analizatorem wytrenowanym na trivium i quadrivium, o co dbał średniowieczny uniwersytet, a głównym instrumentem, jak za Ptolemeusza, było oko.

Umysł miał wspomaganie wiedzą i logiką oraz był zanurzony w obowiązujących wzorcach pracy badawczej oraz obowiązującym arystotelesowskim modelem wszechświata.

Przyrządy, które określamy jako instrumentarium Kopernika były protezami, które wspomagały oko i umysł. Trzeba sobie zdać sprawę, że Kopernik był specjalistą w określonej dyscyplinie. Zajmował się astronomią matematyczną. Głównym motywem jego pracy jako astronoma było poprawienie i uproszczenie tablic cyfrowych Ptolemeusza, które były wykorzystywane przy określaniu położenia planet.

Jakimi instrumentami w tym celu posługiwał się Kopernik? Były to proste ręcznie wykonane przyrządy służące głównie do pomiarów kątów. Nie odbiegały one od ówczesnie używanych, a Kopernik ich opisy zawarł w O obrotach sfer niebieskich. Stanowiły one kopie przyrządów z Almagestu Ptolemeusza. Były to: kwadrant, astrolabium, trójkąt paralaktyczny (triquetrum) oraz astrolabium. Zestawu dopełniał zegar słoneczny. Pokróćce omówimy je.

Kwadrant

Prostokątna płytką z podziałką kątową, służąca do pomiaru wysokości ciał niebieskich nad horyzontem. Instrument trzeba było ustawić dokładnie w płaszczyźnie miejscowego południka na podstawie starannie wyrównanej i położonej ściśle w płaszczyźnie horyzontu. Za pomocą kwadrantu astronom wyznaczał nachylenie ekliptyki do równika, czyli odległość równika od zwrotników. Mógł też wyznaczyć szerokość geograficzną miejsca obserwacji, czyli Fromborka. (Ryc. 1.)



Ryc. 1. Kwadrant słoneczny: używany w pomiarach wysokości słońca i inklinacji (nachylenia) ekliptyki – orbity Ziemi – w stosunku do równika niebieskiego.

Trójkąt paralaktyczny (triquetrum)

Trójkąt paralaktyczny (trikwetrum) stosował Kopernik do wyznaczania paralaksy Księżyca, czyli do pomiaru jego odległości od Ziemi. Przyrząd ten składa się z trzech listew, połączonych śrubami w taki sposób, że tworzą trójkąt równoramienny. Na pierwszej listwie umieszczono dwa metalowe przezierniki, na drugiej podziałkę, trzecia listwa, do końców której umocowano ruchomo pozostałe, przymocowana jest do drewnianego słupa, na zawiasach umożliwiającą obrót listew wokół słupa. (Ryc. 2.)



Ryc. 2. Linijka paralaktyczna lub triquetrum: przyrząd stosowany w pomiarach wysokości astronomicznej Słońca (pozornej zmianie jego pozycji w wyniku ruchu osoby prowadzącej obserwację z Ziemi).

Astrolabium

Astrolabium – sfera armiralna to najbardziej skomplikowane narzędzie obserwacyjne Kopernika. Służyła do wyznaczania położenia na niebie Księżyca i planet (ich wysokości kątowej). Przyrząd składa się z koncentrycznych drewnianych obręczy, zaopatrzonych w podziałki kątowe i przezierniki. Pierwszą zewnętrzną obręcz ustawia się nieruchomo na słupie w płaszczyźnie południka. Inne zaś przedstawiają ekliptykę, równik, koło godzinne i południki. Przy pomocy tego instrumentu można wyznaczyć szerokość i długość ekliptyczną obserwowanego ciała niebieskiego. (Ryc. 3.)

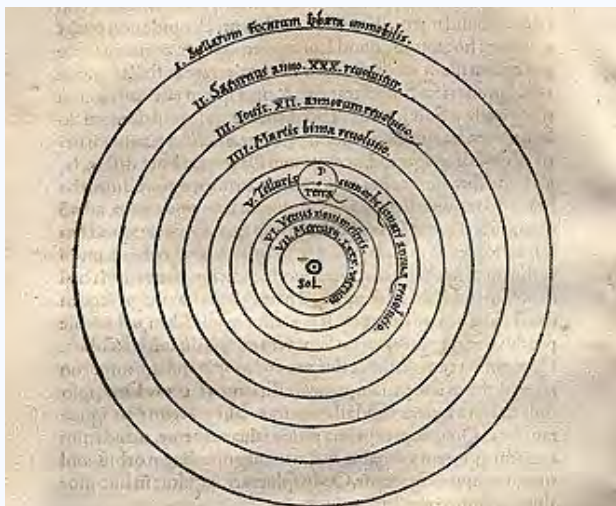


Ryc. 3. Astrolabium sferyczne: najbardziej zaawansowany instrument astronomiczny starożytności wykorzystywany do określania ekliptycznych i równikowych współrzędnych ciał niebieskich.

Jak wyglądał Wszechświat Kopernika

W czasach Kopernika obowiązywały kanony filozofii przyrody Arystotelesa, geometrii Euklidesa i Biblii. Ruchy ciał niebieskich powinny być doskonałe, po okręgach (ruch pozbawiony początku i końca) jednostajnie bez przyśpieszeń i opóźnień. Centrum stworzenia jest Ziemia i wokół niej odbywa się ów ruch. Kopernik nie podważał prawd teologicznych choć przemieścił centrum z Ziemi do Słońca. Ziemia i wszystkie planety krążą wokół Słońca po orbitach kołowych. Dzięki temu założeniu opis ruchu planet stał się prostszy, ale aby wszystko pasowało nie odrzucił koncepcji deferensów i epicykli.

Mikołaj Kopernika używając prostych przyrządów pomocniczych nie był w stanie pewnie zweryfikować proponowanego modelu. Upraszczał zdecydowanie model Wszechświata Ptolemeusza, ale była to przez długi czas jedynie hipoteza, która wymagała dowodowej weryfikacji. Jego pomiary wskazywały, ale ani nie obalały modelu geocentrycznego, ani nie dowodziły poprawności modelu heliocentrycznego. (Ryc. 4.)



Ryc. 4. Model heliocentryczny Mikołaja Kopernika – De revolutionibus orbium coelestium.

Kto pomiędzy Kopernikiem a współczesnością?

Wiek XVII daje wiele nowych rozwiązań technicznych w tym lunetę. Galileusz używając lunety odkrywa góry na Księżycu, obserwuje fazy Wenus dowodzi, że ta planeta obiega Słońce a nie Ziemię, odkrywa cztery największe księżyce Jowisza oraz widzi, że Droga Mleczna jest skupiskiem wielu gwiazd. Jest to znaczący przełom w spojrzeniu na nieboskłon. Następny milowy krok dokonuje Kepler proponując, że ruchy planet odbywają się po elipsach ruchem zmiennym. Potwierdził to na podstawie obserwacji ruchu Marsa wykonanych przez Tycho Brahe. Izaak Newton formułując prawo ciążenia powszechnego zakotwiczył te ruchy w Słońcu. Heliocentryczna hipoteza Kopernika doprowadziła do rewolucji i zmiany paradygmatu: **Położenie Ziemi we Wszechświecie nie jest w żaden sposób wyróżnione – Przewrót Kopernikański dokonał się.**

Współczesny paradygmat i metody weryfikacji

Oko i umysł w dalszym ciągu są podstawą. Sytuacja niewiele zmieniła się przez wieki choć dzisiaj umysł-analizator jest wspomagany przez komputery, a protezą dla naszych oczu są przyrządy współczesnej astronomii dostępne m.in. w Europejskim Obserwatorium Południowym – ESO.

Runęła bariera sfery gwiazd stałych, a Wszechświat zaczął niebezpiecznie rozszerzać się i rzednąć, ogranicznikiem przekazu informacji okazała się prędkość światła, a z mgławic lokalnych zrodziły się galaktyki i kwazary. Współczesna kosmologia zafundowała nam Wielki Wybuch i promieniowanie reliktowa jako dowód, ale wygenerowała nowe problemy: początkową niestabilność, ciemną materię i energię. Tak więc rozwój nowych technik i technologii obserwacyjnych okazał się niezbędny.

Lizanie Wszechświata

Wracając do podstawowego aparatu obserwacyjnego człowieka czyli oka, warto zauważyć, że zakres w którym oko rejestruje promieniowanie elektromagnetyczne jest szalenie ograniczony. To tzw. zakres optyczny, a więc wszystkie kolory tęczy. W jedną i drugą stronę rozciągają się przestrzenie: promieniowania Gamma, rentgenowskiego i ultrafioletowego czy dalekiej podczerwieni, mikrofal i radiowego. Tutaj bez protezy nie poradzimy sobie. Czasy Herschela czy Heweliusza, gdy indywidualny obserwator konstruował i używał teleskop czy lunetę szybko minęły. W XIX i XX wieku zaczęto łączyć wysiłki i powstawały obserwatoria finansowane przez uniwersytety a z czasem ze względu na rosnące koszty, coraz bardziej skomplikowanej aparatury, powstawały konsorcja skupiające wiele podmiotów naukowych i technicznych. Bardzo szybko uświadomiono sobie również, że aparatura umieszczana na powierzchni ziemi nie może być jedyna, że trzeba wyrwać się w kosmos powyżej ziemskiej atmosfery. Powstały dwa rodzaje organizacji Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO), której główne

przrzędu obserwacyjne znajdują się w Andach chilijskich oraz Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) zajmująca się konstrukcją i eksploatacją satelitów na orbicie. W obu tych organizacjach Polska jest członkiem rzeczywistym, korzystającym z całej infrastruktury naukowej.

W obecnym omówieniu skoncentrujemy się jedynie na ESO do którego Polska przystąpiła w 2015 roku. Główna siedziba organizacji mieści się w niemieckiej miejscowości Garching niedaleko Monachium. Pełna nazwa organizacji brzmi Europejska Organizacja do Badań Astronomicznych na Półkuli Południowej. Jest to naukowe, techniczne i administracyjne centrum ESO. Organizacja posiada także biuro w Santiago w Chile. Większość urządzeń obserwacyjnych znajduje się w Andach. (Ryc. 5.) Do ESO należą trzy działające obserwatoria oraz jedno w budowie, w rejonie tamtejszej pustyni Atakama:

1. Obserwatorium La Silla (teleskopy 2,2 m, 3,6 m oraz 3,58-metrowy New Technology Telescope – NTT);
2. Obserwatorium Paranal (2,5 m, 4 m oraz Very Large Telescope Interferometer – VLTi);
3. Obserwatorium Atacama Large Millimeter Array – ALMA (zespoły radioteleskopów);
4. Extremely Large Telescope – ELT – w trakcie budowy, który ze zwierciadłem o średnicy 39,3 m będzie największym teleskopem optycznym/podczerwonym na świecie.



Ryc. 5. Obraz platformy **Paranal**. Jej cztery teleskopy gotowe są do rozpoczęcia obserwacji.

Główną misją ESO jest tworzenie Europejskiego Obszaru Badań (European Research Area) dla astronomii i astrofizyki. Co roku wielu polskich astronomów prowadzi badania, korzystając z danych zebranych w obserwatoriach ESO. Astronomowie często tworzą międzynarodowe zespoły, a uzyskane wyniki są publikowane w artykułach naukowych. Porównując to z formami pracy sprzed wieków widzimy, że jest to praca zespołowa. Kopernik pracował sam i miał jednego jedynego ucznia Redyka.

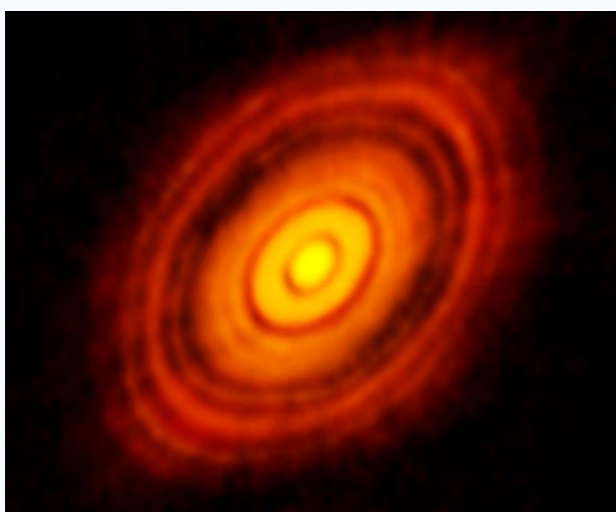
Wysiłek wielu specjalistów pracujących w ESO przyczynił się do szybkiego rozwoju nowoczesnych technik obserwacyjnych takich jak:

- 1. Aktywna Optyka:** jest to technika używana w nowoczesnych teleskopach, a polega na korygowaniu kształtu cienkiego lustra, w czasie rzeczywistym podczas obserwacji.
- 2. Adaptacyjna Optyka:** korekta ostrości obrazu. Im większe zwierciadło tym więcej gromadzi fotonów, ale nawet w przypadku najlepszych z punktu widzenia astronomii obserwatoriów, w zakresie widzialnym, nie można osiągnąć większej ostrości obrazów niż przy pomocy 20–40 cm teleskopu. Dzieje się tak z powodu ruchów atmosfery – turbulencji atmosferycznych. Adaptacyjna optyka koryguje te ruchy.
- 3. Interferometria Optyczna i Mikrofalowa:** za pomocą kombinacji światła rejestrowanego z dwóch lub więcej teleskopów uzyskuje się bardzo dokładny, rozdzielony obraz, niemożliwy do otrzymania jednym przyrządem. ESO jest pionierem tej technologii, którą z sukcesem wdrożono w VLTi w Paranal.

Przy użyciu tych technik obserwacyjnych oraz teleskopów ESO w ostatnich dziesięcioleciach dokonano wielu znaczących odkryć:

- **Dyski protoplanetarne.** Pierre Simon de Laplace pod koniec XVIII w. zaproponował, że Układ Słoneczny powstał z wirującego, sferycznego obłoku gazu, który na skutek grawitacji miał zapadać się do środka i,

zgodnie z zasadą zachowania momentu pędu, wirować coraz szybciej i ulec spłaszczeniu względem swojej osi obrotu. Pośrodku z większości materii obłoku miała ukształtować się gwiazda centralna, zaś wokół niej pozostały wirujące pierścienie materii. Z tych pierścieni w podobny sposób, choć na mniejszą skalę, miały ukształtować się planety i ich księżyce. Obserwacje zarówno teleskopem kosmicznym Hubla jak i teleskopami ALMA, pokazały, że tak jest odkrywając obiekt o nazwie HL Tau o rozmiarach 180 AU (jednostek astronomicznych) położony w odległości 140 pc od Ziemi (Ryc. 6. – HL Tau)

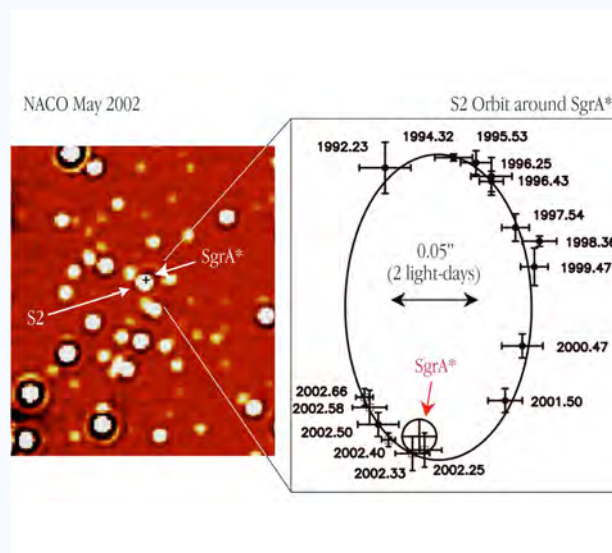


Ryc. 6. Wykonany przez ALMA obraz **dysku protoplanetarnego** otaczającego HL Tauri.

• **Planety Pozasłoneczne i układy planetarne.**

Następnym wielkim sukcesem astronomii, łamiącym przekonanie że nasz układ słoneczny jest jedyny było odkrycie planet pozasłonecznych. Pierwsze planety pozasłoneczne wokół pulsara PSR 1257+12 odkrył w roku 1992 polski astronom Aleksander Wolszczan. W 1995 roku znaleziono pierwszą planetę wokół normalnej gwiazdy 51 Pegasi. Odkrycia tej egzoplanety dokonali dwaj szwajcarscy astronomowie: Michel Mayor i Didier Queloz, którzy w 2019 roku zostali uhonorowani Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki. Obaj są członkami Akademii Kopernikańskiej. Obecnie według doniesień NASA znanych jest ponad 5000 planet pozasłonecznych, oraz ponad 880 gwiazd z więcej niż jedną planetą.

- Czarna dziura w naszej Galaktyce. Galaktyka spiralna na której obrzeżach znajduje się Układ Słoneczny możemy nazywać Naszą. Jest to zbiorowisko miliardów gwiazd o różnym wieku i masie tworzących spłaszczony dysk. W centralnej części wśród rojowiska gwiazd i pyłu znajduje się centralny supermasywny obiekt oznaczany Sgr A*. Dzięki teleskopom ESO z aktywną i adaptywną optyką dla ponad 6000 gwiazd zawartych w promieniu 1 pc zbadano ruch własny. Korzystając z prawa Keplera w oparciu o ruch 28 najlepiej zbadanych gwiazd krążących w centralnej części, wyznaczono masę centralnej czarnej dziury na: $4,31 \pm 0,06$ milionów mas Słońca. (Ryc. 7.)



Ryc. 7. Ruch gwiazdy wokół **Sgr A*** – czarnej dziury zlokalizowanej w centrum Drogi Mlecznej.

Czy jesteśmy bliżej zrozumienia Wszechświata? Podane powyżej przykłady pokazują, że być może zrozumieliśmy już coś więcej w porównaniu z czasami Kopernika. Rozwój nauki w XX i XXI wieku pokazuje, że model deterministyczny przestał działać. Ale czy nasz kreowany obecnie jest dynamiczny? Czy jesteśmy w stanie przekroczyć „horyzont zdarzeń Wszechświata”? Czy zrozumiemy co to jest/czym jest początkowa niestabilność i czy to zrozumienie jest dla nas „imperatywem kategorycznym”?