

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

VOL. XXVII, 3

SECTIO D

1972

Zakład Fizyki Jądrowej. Instytut Fizyki Uniwersytetu M. Curie-Skłodowskiej w Lublinie.
Kierownik: prof. dr hab. Włodzimierz Żuk

Longin GŁADYSZEWSKI

Heliocentryczny układ Mikołaja Kopernika

Гелиоцентрическая система Николая Коперника

Nicolas Copernicus's Heliocentric System

1. System Ptolemeusza

Od czasów starożytnych aż do przełomu XV i XVI w., w ciągu czterestu stuleci, powszechnie przyjętym poglądem na budowę świata był system Klaudiusza Ptolemeusza, greckiego astronoma, żyjącego w II w. naszej ery. System ten opisał Ptolemeusz w dziele *Megale Syntaxis*, znanym częściej pod arabskim tytułem *Almagest*. W *Almageście* ujęta została teoria budowy świata i teoria pozornych ruchów ciał niebieskich, tj. ruchów, jakie postrzega mieszkaniec Ziemi obserwując Słońce, Księżyc, planety i gwiazdy.

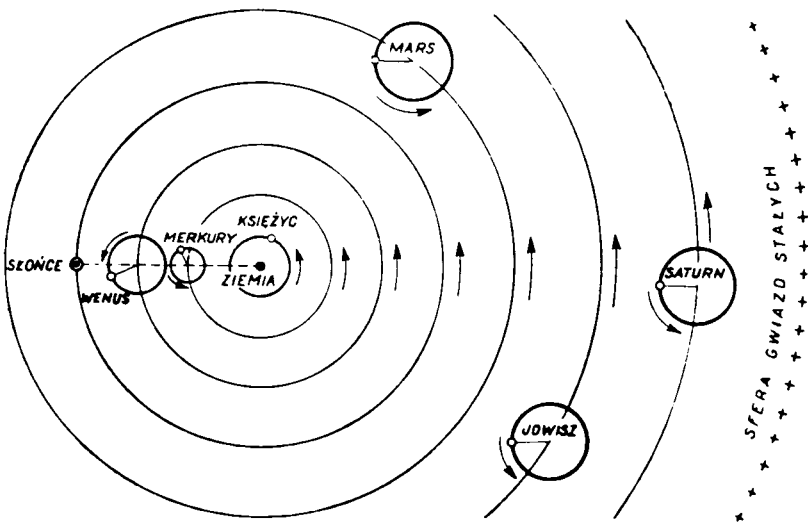
Ptolemeusz wychodząc z podstawowych zasad greckiej filozofii, głoszącej antropocentryzm i doskonałość przyrody, skonstruował dość prosty model budowy świata. Zgodnie z jego zasadami świat był geocentryczny, a ruchy planet były kombinacją jednostajnych ruchów po okręgach. Model ten pozwalał z zadowalającą dokładnością przewidzieć położenie ciał na niebie. Każda planeta poruszała się ruchem jednostajnym po okręgu zwanym epicyklem, a środek epicykla przemieszczał się dokoła Ziemi po obwodzie większego koła zwanego deferentem i też ruchem jednostajnym. Środek całego układu mieścił się w środku nieruchomej Ziemi. Księżyc i Słońce nie miały epicykli i poruszały się wprost po swych deferentach. Środki epicykli Merkurego i Wenus znajdowały się zawsze na prostej łączącej Ziemię ze Słońcem, zatem okres ich obiegu po deferentach wynosił jeden rok ziemski, a po epicyklach

obiegały z okresem charakterystycznym dla danej planety (dziś ten okres nazywamy wprost okresem obiegu planety dokoła Słońca). Mars, Jowisz i Saturn (Saturn był ostatnią znaną planetą za czasów zarówno Ptolemeusza jak Kopernika) obiegały swe epicykle w ciągu jednego roku ziemskiego, a deferenty z okresem charakterystycznym dla każdej planety. Za deferentem Saturna znajdowała się sfera tzw. gwiazd stałych. Ruch jej dokoła Ziemi odbywał się z okresem równym jednej dobie i odtwarzał pozorny ruch dobowy gwiazd (ryc. 1). System Ptolemeusza w porównaniu z ówczesną dokładnością obserwacji dobrze odtwarzał podstawowe zjawiska na sferze niebieskiej: 1) fakt oddalania się Merkurego i Wenus od Słońca na niewielkie odległości kątowe, 2) okresowość zjawisk astronomicznych, 3) zataczanie przez planety charakterystycznych pętli na niebie i 4) postrzegany ruch jednostajny gwiazd ze wschodu na zachód (ryc. 2 i 3).

Ptolemeusz w *Almageście* tak uzasadnia konieczność nieruchomości Ziemi:

Gdyby Ziemia była w ruchu to „wyprzedziłaby wszystkie inne spadające ciała, wszystkie zaś zwierzęta i ciała nie powiązane sztywno z Ziemią zostałyby przez nią wyprzedzone i pływałyby w powietrzu [...] Zaiste przypuszczenie to wymyślono jedynie po to, by wykazać, że jest ono zupełnie śmieszne.”

W miarę jak zwiększała się dokładność obserwacji trzeba było system Ptolemeusza poprawiać i czyniono to przez dodawanie coraz to większej liczby epicykli. Tak postępowali astronomowie arabscy. W XIII wieku liczba wszystkich okręgów (epicykli i deferentów) wynosiła 76.



Ryc. 1. Uproszczony schemat układu geocentrycznego
Simplified schemae of the geocentric system

Król Kastylii Alfons X, późniejszy autor tablic astronomicznych z XIII w., gdy wprowadzono go w tajniki systemu Ptolemeusza, nie chciał wierzyć by budowa świata była tak zawiła. Według legendy miał powiedzieć:

„Gdyby Wszechmocny radził się mnie przed aktem stworzenia, zaproponowałbym coś prostszego.”

Sens matematyczny systemu Ptolemeusza jest bardzo ciekawy. Położenie ciała na niebie, będące zjawiskiem okresowym opisywano przez sumę funkcji dających ruchy po okręgach. Posługiwano się zatem rozwinięciem w szereg Fouriera, jak to dzisiaj określilibyśmy. Formalnie rozwiązania Ptolemeusza są poprawne. Długowieczność tego systemu wynikała z możliwości ciągłego poprawiania przez uwzględnianie coraz to dalszych wyrazów szeregu Fouriera.

2. Mikołaj Kopernik

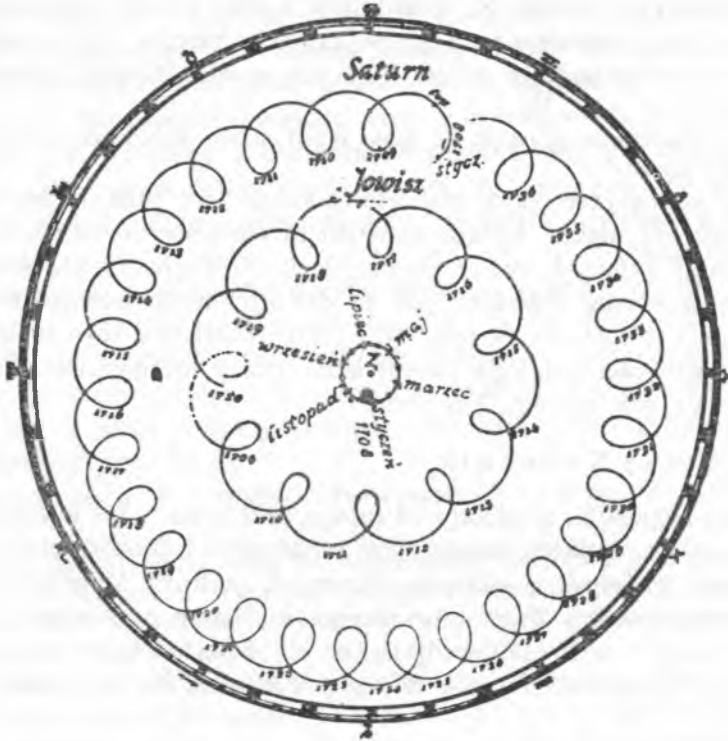
Mikołaj Kopernik, urodzony 19 lutego 1473 roku *, żył w epoce Renesansu, w czasie wielkich przewrotów religijnych i filozoficznych, Reformacji Lutera i Kalwina, odkrycia Ameryki, podróży Magellana. Żył w Polsce złotego wieku Zygmunta, w Polsce o największej wówczas tolerancji — w kraju rozwijających się wszechstronnie nauk. O Uniwersytecie Krakowskim pisał w swej *Kronice Świata Hartmann Schidel*:

„W Krakowie jest słynny uniwersytet, bogaty w wielu znakomitych i bardzo uczonych mężów, gdzie się wyklada liczne sztuki wyzwolone. Najwyżej jednak stoi tam nauka astronomii. W całych Niemczech nie ma słynniejszego uniwersytetu, jak o tym wiem z opowiadania wielu osób.”

W tym to uniwersytecie studiował w 1491 r. osiemnastoletni Mikołaj Kopernik. Studia jego trwały najprawdopodobniej do 1495 r. W Krakowie Kopernik słuchał wykładów z astronomii prowadzonych według podręcznika Wojciecha Brudzewskiego przez uczniów Wojciecha. W latach 1496—1500 Mikołaj i jego brat Andrzej studiują w Bolonii, wysłani tam przez swego wuja biskupa Waczenrode. Mikołaj Kopernik studiuje prawo kościelne i astronomię. W czasie drugiego pobytu w Italii (Padwa, Ferrara), w 1503 r. otrzymuje dyplom doktora prawa kanonicznego.

W czasie pobytu w Italii Kopernik znalazł w wielu pracach wypowiedzi o możliwości ruchu Ziemi (Arystarch). Filozofowie ci rzucali te myśli jako błyskotliwe pomysły, żaden jednak nie szukał potwierdzenia swych idei filozoficznych na drodze ścisłych obserwacji i obliczeń, jak to czynił Kopernik.

* wg kalendarza juliańskiego (zmarł 24 V 1543). Zgodnie z kalendarzem dziś obowiązującym data narodzin i śmierci Kopernika jest następująca: ur. 28 II 1473, zm. 3 VI 1543. Rocznice urodzin i śmierci należy zatem święcić wg tych ostatnich dat.

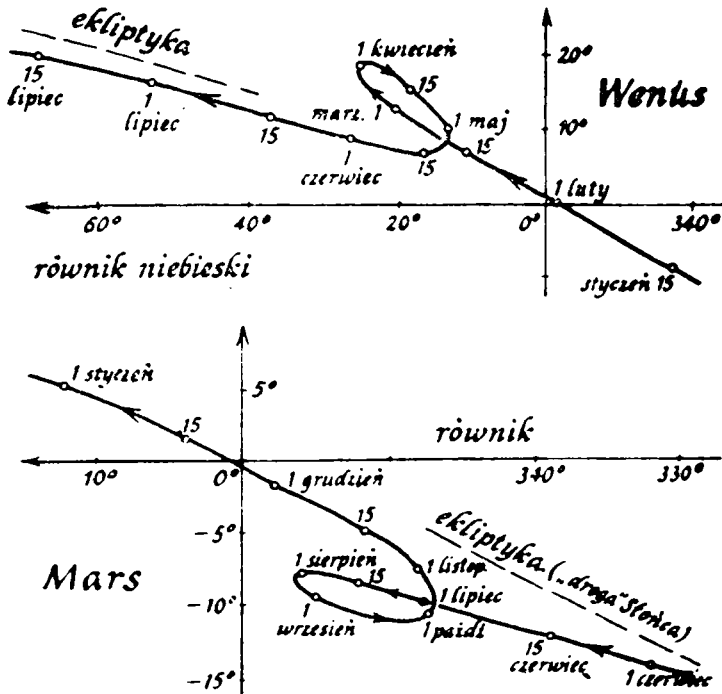


Ryc. 2. Drogi planet obserwowanych przez wiele lat przez obserwatora związanego z Ziemią, ale znajdującego się od niej dostatecznie daleko
Multi-year planet paths seen by the observer in the reference system connected with the Earth, but lying at a sufficient distance

Już w czasie studiów krakowskich Kopernik, na drodze analizy logicznej poznaje błędność teorii geocentrycznej. Prawdopodobnie w latach 1506—1515 Kopernik opracowuje na podstawie licznych obserwacji astronomicznych swój system i powstają fundamenty dzieła *De Revolutionibus*. Między 1507 i 1510 rokiem powstaje *Commentariolus* — *Komentarzyk* zawierający główne idee systemu heliocentrycznego. Pełny tytuł tej kilkustronicowej pracy brzmi: *Nicolai Copernici de hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus* — *Komentarzyk krąży w licznych odpisach wśród przyjaciół Kopernika i astronomów.*

Na wiosnę 1539 r. przybywa z Witembergi do Fromborka młody matematyk Jerzy Joachim von Lauchen zwany Retykiem. W czasie trzyletniego pobytu u Kopernika zaznajamia się z niezłatwym dziełem *De Revolutionibus*. Ten jedyny uczeń Kopernika namawia swego „Mistrza i Pana Nauczyciela” do wydrukowania dzieła.

W 1540 r. Retyk opublikował w Gdańsku, w formie listu do astro-



Ryc. 3. Droga Wenus i Marsa wśród gwiazd (Rogers: *Astronomia*, PWN, Warszawa 1972)

Venus and Mars paths on a background of stars (Rogers: *Astronomy*, PWN, Warsaw 1972)

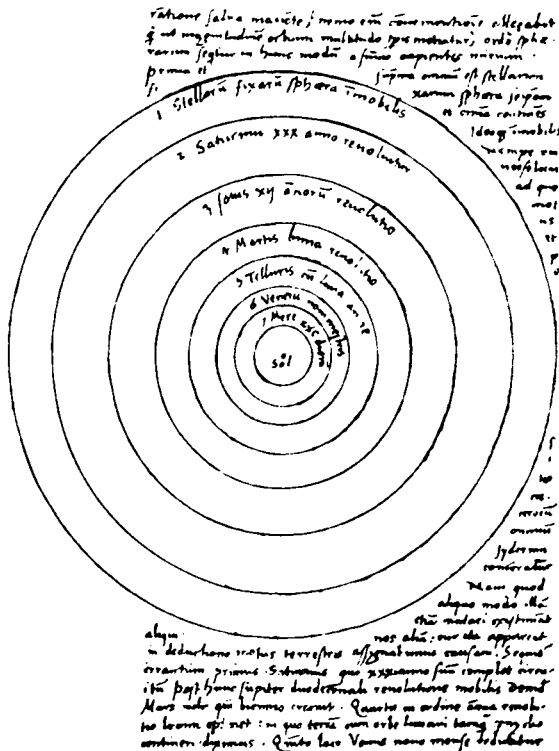
noma Jana Schonera pracę pt.: *Ad clarissimum virum Dominum Joannem Schonerum de libris revolutionum eruditissimi viri et Mathematici excellentissimi, Reverendi Domini Doctoris Nicolai Copernici Torunnaei, Canonici Varmiensis, per quendam Iuvenem, Mathematicae studiosum Narratio Prima*. Opowiadanie pierwsze Retyka jest pierwszą drukowaną informacją o teorii Kopernika.

3. *Nicolai Copernici Revolutionum libri VI*

Ostateczna wersja dzieła powstawała w latach 1515–1533. Za namową przyjaciół: Mikołaja Schonberga i Tidemana Giese oraz ucznia Retyka, Kopernik zdecydował się na druk dzieła (ryc. 4). W 1541 r. Retyk wykonał dokładny odpis i udał się z nim do Norymbergi, gdzie sprawą wydania zajął się teolog Andrzej Osjander i astronom Jan Schoner, drukował natomiast Jan Petreius. Retyk przygotował rękopis, ale z powodu objęcia wykładów w Lipsku nie mógł osobiście dopilnować druku. Osjander zaopatrzył dzieło w swoją przedmowę: *Ad Lectorem De Hypo-*

thesibus Huius Operis, nie podpisując jej swoim nazwiskiem. W przedmowie tej pisał o teorii heliocentrycznej jako o jednej z możliwych hipotez, ułatwiającej jedynie obliczenia. Dziełu nadał tytuł: *Nicolai Copernici, Torinensis De Revolutionibus Orbium coelestium libri VI* — (ryc. 5).

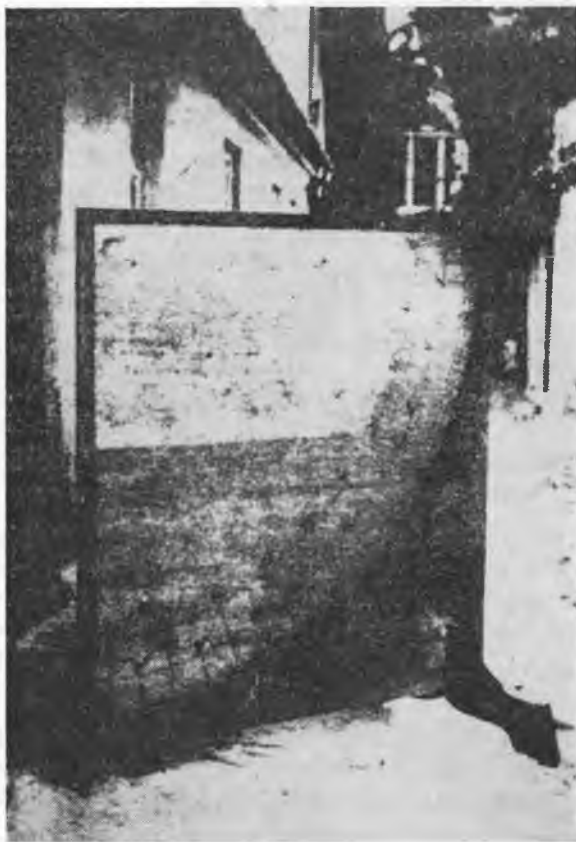
Nie wiadomo dokładnie, jaki tytuł chciał swemu dziełu nadać sam Kopernik. Z notatek i listów można sądzić, że miał on być następujący: *Nicolai Copernici Revolutionum libri VI*. Potwierdzeniem tej tezy jest fakt, że po śmierci Kopernika, rozsyłając dzieło Retyk skreślał w tytule słowa *orbium coelestium*. Oryginalny rękopis Kopernika po niezliczonych wędrownkach po wojnie znalazł się w Pradze i w 1953 r. został zwrócony Polsce. Obecnie znajduje się w Bibliotece Jagiellońskiej w Krakowie.



Ryc. 4. Stronica rękopisu *Obrotów* ze schematem układu heliocentrycznego
A page of the *De Revolutionibus* manuscript with the schemae of the heliocentric system

między innymi do określenia szerokości geograficznej miejsca obserwacji. Sfera armillarna (*armilla* — obręcz) pozwalała określać współrzędne ciał niebieskich względem ekliptyki. *Triquetrum*, składające się z trzech długich listew umożliwiało pomiar kątów między pionem a prostymi prowadzonymi od oka obserwatora ku badanym gwiazdom i planetom. Wymienione przyrządy zostały zrekonstruowane przez F. i T. Przypkowskich w 1948 r. (ryc. 6, 7 i 8).

Do chwili obecnej zachowały się notatki z danymi uzyskanymi przez Kopernika z 63 obserwacji: 9 dotyczy obserwacji z Italii, 3 z Krakowa i 51 z Warmii, głównie z Fromborka. Wielką wagę przykładał Kopernik do obserwacji zaćmień; notatki zawierają dane z pięciu obserwacji zaćmień Księżyca i dziewięciu obserwacji zaćmień Słońca. Do obserwacji tych ostatnich zastosował oryginalną metodę: w okiennicy swej pracowni wywiercił mały otwór, przez który wpadały do komnaty promienie



Ryc. 6. *Quadrant* (wg T. Przypkowski)
Quadrant (according to T. Przypkowski)

słoneczne, tworząc na przeciwległej ścianie obraz Słońca zasłanianego przez tarczę Księżyca. Metoda stosowana przez „sarmackiego astronoma” była potem stosowana przez innych. Wszystkie swe obserwacje, poczynione w różnych miejscowościach przeliczał Kopernik dla południka przechodzącego przez Kraków, wprowadzając w ten sposób po raz pierwszy do obserwacji astronomicznych południk polski, ponieważ przedtem obowiązywało podawanie danych dla południka aleksandryjskiego.

Liczne wizje lokalne we Fromborku i konfrontacje z notatkami Kopernika zdają się wskazywać na to, że obserwacje zaćmień i koniunkcji planet były przeprowadzane z okien znanej wieży Kopernika, natomiast pomiary kątów wykonywane przy pomocy *triquetrum*, wymagające większej przestrzeni i solidnej podstawy były najprawdopodobniej przeprowadzane z oktogonu — szerokiej wieży do której przechodził Kopernik po gankach obronnych. Niestety, w 1685 r. na oktogonie zbudowano olbrzymią dzwonnice, niszcząc wszelkie ślady obserwatorium.



Ryc. 7. Sfera armillarna (wg E. Rybka)
Armillar sphere (according to E. Rybka)

5. Treść Obrotów

Dzieło zawiera przedmowę-list dedykacyjny do papieża Pawła III. Po przedmowie następuje sześć ksiąg. W przedmowie, napisanej w 1542 r. wyjaśnia Kopernik genezę powstania dzieła, przyczyny opóźnienia druku i istotę swej teorii:

„Otóż w ten sposób ja, przyjąwszy ruchy, które poniżej w dziele tym przypisuję Ziemi, po wielu długoletnich obserwacjach przekonałem się wreszcie, że jeżeli ruchy pozostałych planet odniesie się do krążenia Ziemi i ujmie w liczby w stosunku do obiegu każdej oddzielnej planety, to stąd nie tylko dadzą się wywieść ich zjawiska, lecz że nadto porządek i rozmiary, odnoszące się do wszystkich planet i ich sfer, a także samo niebo tak ściśle się z sobą powiążą, że w żadnej jego części niczego przestawić się nie da bez zamieszania w pozostałych częściach i w całym wszechświecie. A zatem i w układzie tego dzieła taką przyjąłem kolejność, że w pierwszej księdze opisuję położenia wszystkich sfer wraz z ruchami Ziemi, które jej przypisuję, tak że ta księga zawiera jak gdyby ogólny system wszechświata. W pozostałych zaś księgach zestawiam z kolei ruchy innych planet i wszystkich sfer z ruchem Ziemi, tak że stąd można zrozumieć, jak dalece ruchy i zjawiska pozostałych planet i ich sfer da się wyjaśnić, jeżeli się je odniesie do ruchów Ziemi.”*

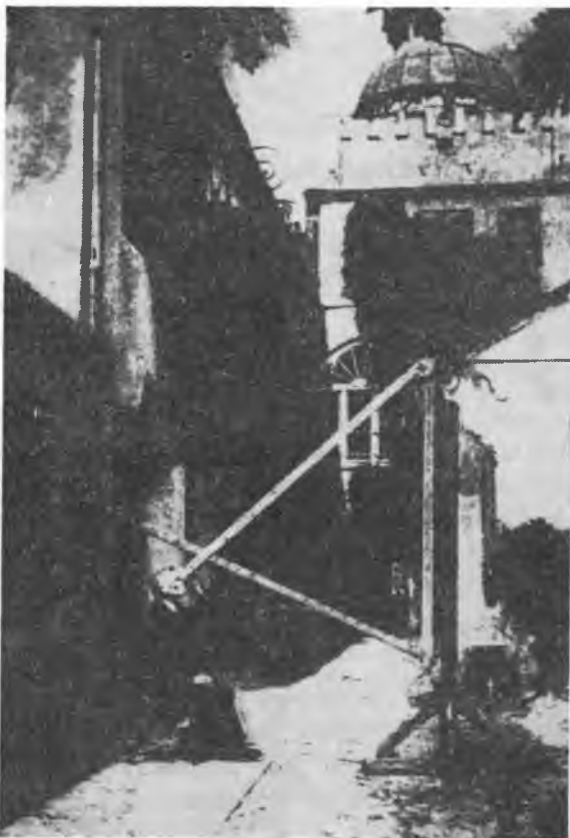
Kopernik przewidywał, że jego dzieło spotka się z potępieniem:

„Być może, że znajdują się tacy, co lubiąc bredzić i mimo zupełnej nieznamośności nauk matematycznych roszcząc sobie przecież prawo do wypowiedzania o nich sądu, na podstawie jakiegoś miejsca w Piśmie św., tłumaczonego źle i wykrętnie odpowiednio do ich zamierzeń, ośmielią się potępić i prześladować tę moją teorię. O tych jednak zupełnie nie dbam, do tego stopnia, że sąd ich mam nawet w pogardzie jako lekkomyślny. [...] Nie powinno więc dziwić ludzi nauki, jeżeli tacy jacyś i mnie będą wyśmiewać. Dzieła matematyczne pisane są dla matematyków [...]”

Księga pierwsza zawiera krótki wstęp i czternaście rozdziałów. Poświęcona jest ogólnemu wykładowi teorii heliocentrycznej. Wywody zawarte w niej są zarówno typu filozoficznego, jak i matematycznego. Nie mogę oprzeć się chęci zacytowania dwu pierwszych zdań z pięknego wstępu do *Księgi pierwszej*:

„Spośród licznych i różnorodnych sztuk i nauk, budzących w nas zamięłowanie i będących dla umysłów ludzkich pokarmem, tym — według mego zdania — przede wszystkim poświęcać się należy i te z największym uprawiać zapałem, które obracają się w kręgu rzeczy najpiękniejszych i najbardziej godnych poznania. Takimi zaś są nauki, które zajmują się cudownymi obrotami we wszechświecie i biegami gwiazd, ich rozmiarami i odległościami, ich wschodem i zachodem oraz przyczynami wszystkich innych zjawisk na niebie, a w końcu wyjaśniają cały układ świata.”

* Wszystkie cytaty z *De Revolutionibus* zaczerpnięto z tłumaczenia wydanego przez PWN w 1953 r.



Ryc. 8. *Triquetrum* (wg T. Przytkowski)
Triquetrum (according to T. Przytkowski)

Treść zawartą w księdze pierwszej dobrze charakteryzują tytuły poszczególnych rozdziałów:

rozdział I — *Świat jest kulisty,*

rozdział II — *Ziemia jest również kulista,*

rozdział III — *Jak Ziemia wraz z wodą tworzy jedną kulę,*

rozdział IV — *Ruch ciał niebieskich jest jednostajny i kulisty, nieustanny, lub z ruchów kolistych złożony,*

rozdział V — *Czy Ziemi przysługuje ruch po kole i gdzie jest jej miejsce,*

rozdział VI — *Ogrom nieba w stosunku do wielkości Ziemi,*

rozdział VII — *Dlaczego starożytni sądzili, że Ziemia spoczywa bez ruchu w środku wszechświata jakby jego punkt centralny?,*

rozdział VIII — *Odparcie przytoczonych dowodów i ich niewystarczalność,*

rozdział IX — *Czy Ziemi można przypisać większą ilość ruchów i o środku wszechświata,*

rozdział X — *Porządek sfer niebieskich,*

rozdział XI — *Uzasadnienie trojakiego ruchu Ziemi.*

Ostatnie trzy rozdziały księgi pierwszej stanowiły początkowo osobną księgę, w ostatecznej redakcji weszły w skład omawianej księgi. Księga druga zawiera wykład astronomii sferycznej, w którym Kopernik definiuje szereg podstawowych pojęć astronomicznych. Księga trzecia poświęcona jest rocznemu ruchowi Ziemi dookoła Słońca, w księdze czwartej została podana teoria ruchu Księżyca, a w piątej i szóstej opisuje Kopernik ruch planet wokół Słońca.

Na podstawie swej teorii Kopernik oblicza okresy obiegu planet dookoła Słońca i odległości od Słońca, podając te ostatnie w postaci stosunku odległości danej planety do odległości Ziemi od Słońca. Wprowadzenie ruchu orbitalnego Ziemi rozwiązało zagadnienie pozornego ruchu Słońca na tle gwiazd, zagadnienie ruchu planet i wyjaśniło efekt pozornego cofania się planet; ruch własny planety nakłada się na ruch Ziemi, dzięki temu obserwator znajdujący się na Ziemi zauważa pętle zataczane przez planety.

Obraz naszego układu planetarnego podany przez Kopernika traktujemy obecnie jako pierwsze przybliżenie rzeczywistości. Orbity planet nie są okręgami, a ruch ich nie jest jednostajny. W 1604 r. Johann Kepler w swych słynnych trzech prawach rozwiązał zagadnienie orbit planet od strony kinematycznej, a w 1687 r. Izaak Newton włączył to zagadnienie do swych dynamicznych praw rządzących mechaniką świata.

6. Znaczenie dzieła Kopernika dla dalszego rozwoju nauk

Kopernik jako pierwszy z astronomów twierdził, że teoria nie może być abstrakcyjna, musi być zgodna z realną rzeczywistością, postulował istnienie obiektywnego, niezależnego od człowieka porządku rzeczy. Dzięki genialnej wnikliwości wysunął przypuszczenie, że wszystkie ciała niebieskie są kuliste i obdarzone są siłą ciężkości. Utrzymywał, że komety nie są zjawiskami atmosferycznymi lecz ciałami kosmicznymi. Przewidział fazy Wenus i Merkurego i pozorne zmiany rozmiarów tarcz planet odkryte później przez Galileusza.

Kopernika należy uważać za odkrywcę zasady względności ruchów. Zasadę tę stosuje przede wszystkim do dziennego, pozornego obrotu sfery niebieskiej:

„Bo gdy okręt płynie po spokojnym morzu, wszystko, co jest na zewnątrz, widzą płynący na nim ludzie tak, jakby się właśnie to poruszało na podobieństwo ruchów okrętu, a — na odwrót — zdaje im się, że sami wraz ze wszystkim, co jest z nimi, stoją w miejscu. Tak samo bez wątplenia może się mieć rzecz w przypadku ruchu Ziemi i sprawiać wrażenie, że to cały obraca się świat.”

Z rozdziału VI wynika, że Kopernik wiedziony wielką intuicją zdawał sobie sprawę z ogromu przestrzeni otaczającej Ziemię i z olbrzymich odległości do gwiazd:

„I istotnie, na podstawie tego dowodzenia wystarczająco ja no stwierdzamy, że niebo jest niezmiernie w porównaniu z Ziemią i przedstawia się jako coś nieskończenie wielkiego, ale Ziemia, według oceny naszych zmysłów, ma się tak do wielkości nieba, jak punkt do bryły i jak skończoność do nieskończoności. I niczego więcej to nie dowodzi. Nie wynika stąd mianowicie, że Ziemia musi spoczywać bez ruchu w środku wszechświata. Przeciwnie nawet, dziwilibyśmy się tym bardziej, gdyby w przeciągu 24 godzin miał dokonywać swego obrotu raczej taki ogrom wszechświata niż znikoma jego część, jaką jest Ziemia.”

Na drodze poznawania obiektywnej prawdy o wszechświecie, Kopernik uczynił krok najważniejszy, krok pierwszy.

„Wielkość Kopernika nie tyle leży w proponowanym przez niego układzie planetarnym, ile w fakcie, że te propozycje zapoczątkowały wielką rewolucję w fizyce, związaną z takimi nazwiskami, jak Galileo Galilei, Johann Kepler i Izaak Newton” — pisał I. B. Cohen w książce *The Birth of a New Physics*.

Jan Śniadecki tak charakteryzuje dzieło Mikołaja Kopernika: „starzał zasłone błędu i omamienia, wprowadził rozum ludzki na drogę prawdy, wytłumaczył rzetelny układ świata, rzucił pierwsze fundamenta i zarody tych wielkich prawd i wynalazków, które dziś astronomię postawiły w rzędzie najdoskonalszych z nauk fizycznych umiejętności, a rozum ludzki okryły rozległą chwałą i zaszczytem”.

PIŚMIENNICTWO

1. Kopernik M.: *De Revolutionibus Orbium coelestium*, PWN, 1953.
2. Kuhn T. S.: *Przewrót kopernikański*, PWN, Warszawa 1966.
3. Dobrzycki J.: *Astronomia przedkopernikowska*, PWN, Poznań 1971.
4. Iwaniszewska C.: *Astronomia Mikołaja Kopernika*, PWN, Poznań 1971.
5. Rybka E.: *Mikołaj Kopernik*, Wyd. „Polonia”, Warszawa 1967.
6. Rybka E.: *Nikołaj Kopernik (ros.)*, AN ZSRR, Moskwa 1955.
7. Cohen I. B.: *Od Kopernika do Newtona*, WP, Warszawa 1964.
8. Przytkowski T.: *O Mikołaju Koperniku*, PWN, Warszawa 1953.
9. „Urania”, PTMA, Kraków, roczniki z lat: 1953, 1954, 1963, 1965, 1971. Otrzymano 12 VI 1972.

РЕЗЮМЕ

В работе представлен исторический фон коперниковской революции, создание, опубликование и содержание произведения *De Revo-*

lutionibus. Описана техника работы и приборы, которыми пользовался Коперник. Подчеркивается значение произведения Николая Коперника для дальнейшего развития науки.

S U M M A R Y

The article treats of the historical back-ground of the Copernician revolution, the origin and publication of *De Revolutionibus* and its contents. The author describes the instruments used by Nicolas Copernicus and his experimental technique. He also discusses the influence of the Copernican theory on the further development of sciences.