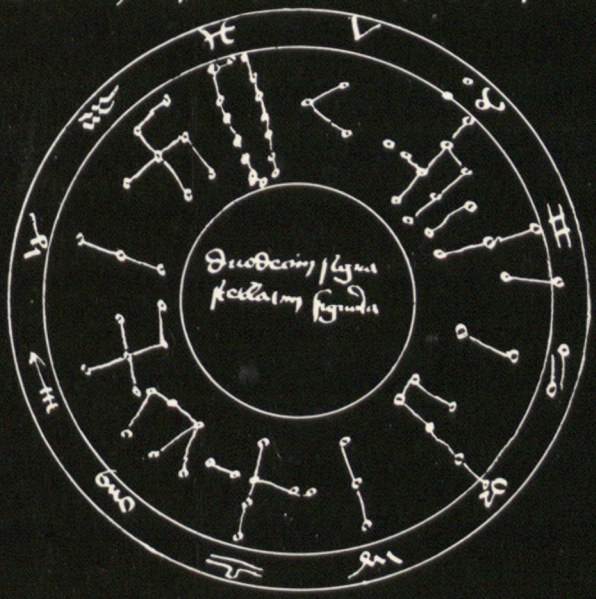
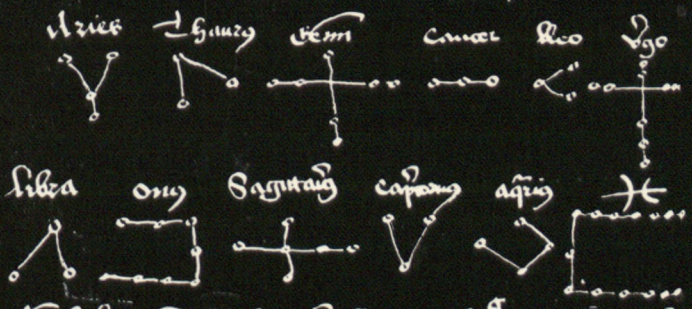
ASTRONOMIA PRZEDKOPERNIKOWSKA





Kolejny tomik „Biblioteczki Kopernikańskiej" omawia dzieła niektórych autorów starożytnych i średniowiecznych, podających w astronomii rozwiązania zbieżne z rozwiązaniami Kopernika.

Przez popularyzację wiadomości o nauce starożytnej i średniowiecznej praca ułatwia zrozumienie istoty i znaczenia dzieła Mikołaja Kopernika.

Niektóre informacje, zwłaszcza o arabskiej astronomii średniowiecznej, nie były dotychczas w piśmiennictwie polskim omawiane.

JERZY DOBRZYCKI

ASTRONOMIA PRZED-KOPERNIKOWSKA

ASTRONOMIA
PRZEDKOPERNIKOWSKA

TOWARZYSTWO NAUKOWE W TORUNIU
PRACE POPULARNONAUKOWE NR 17

BIBLIOTECZKA KOPERNIKAŃSKA

Nr 7

TORUŃ 1971

JERZY DOBRZYCKI

ASTRONOMIA PRZED-KOPERNIKOWSKA

TNT

TORUŃ 1971

Redaktor naczelny wydawnictw TNT
ARTUR HUTNIKIEWICZ

*

Komisja Wydawnictw Popularnonaukowych

Przewodniczący
ANDRZEJ TOMCZAK

Członkowie
JANUSZ GILAS, FRANCISZEK PEPŁOWSKI, WANDA ZABŁOCKA

*

Projekt obwoluty oraz opracowanie graficzne
ZYGFRYD GARDZIELEWSKI

*

Na obwolucie:
Rękopis Piotra Gaszowca
krakowskiego astronoma i lekarza z XV w.
Bibl. Uniw. w Lipsku

WYDANO Z ZASIŁKU
WOJEWÓDZKIEJ RADY NARODOWEJ
W BYDGOSZCZY

Printed in Poland

WSTĘP

Kopernikowskie odkrycie harmonijnego porządku świata, wraz z późniejszymi osiągnięciami wieku rewolucji naukowej, odkryciami Keplera, Galileusza i Newtona, zmieniło utrwalone poglądy na świat, dało początek całej nowożytnej nauce. Z ukazaniem się w 1543 r. sześciu ksiąg *O obrotach* dotychczasowa astronomia miała stać się już tylko przedmiotem historii nauki. Nie stało się to zresztą ani automatycznie, ani nagle, i to nie tylko ze względu na bezwładność myślenia ludzi, przyzwyczajonych przez całe stulecia do uznawania Ziemi za niewzruszone i nieruchome centrum świata, i nie tylko w obliczu oporów, na jakie doktryna heliocentryczna miała jeszcze napotkać. Przeciwstawiając nową astronomię Kopernika starej, układ heliocentryczny układowi Ptolemeusza, pamiętać trzeba, że największe nawet odkrycia nie powstają na pustkowiu, lecz wyrastają w ramach tradycji naukowej, wypracowanej przez poprzednie pokolenia. Tak dzieje się nawet, a może raczej przede wszystkim z odkryciami, które prowadzą do całkowitej przebudowy nauki.

Więzy łączące nową astronomię ze starą nauką były wielorakie. W swej treści przyrodniczej teoria Kopernika dotyczy zagadnień astronomii matematycznej, a więc dyscypliny doprowadzonej już w starożytności do szczególnie wysokiego poziomu i operującej najbardziej zaawansowanym aparatem matematycznym. Geocentryczna astronomia, jakkolwiek niezdolna już do twórczego rozwoju, nie była przecież prymitywnym zbiorem recept rachunkowych, lecz potrafiła przedstawić bieg nieraz trudnych do uchwycenia i zaobserwowania zjawisk niebieskich. Metoda używanego tu rozumowania matematycznego, opartego na geometrii, była wspólna dla Kopernika i jego poprzedników. Podobnie nie zmieniała się strona doświadczalna, metodyka obserwacji astronomicznych.

Z drugiej strony pozostały w samym wykładzie astronomii całe obszary, których dzieło Kopernika nie naruszyło. Były to więc albo ustalone dawniej, trwałe elementy naszej wiedzy o wszechświecie, bądź też te twierdzenia i pojęcia, których obalenie czy uściślenie przypadło następnym pokoleniom uczonych. Może najważniejszym z nich było pojmowanie przez Kopernika praw ruchu ciał niebieskich, jego „mechanika nieba", oparta na panującej od osiemnastu stuleci zasadzie jednostajnych ruchów kołowych. Tak właśnie, według zgodnej przynajmniej od czasów Platona opinii filozofów przyrody, miały poruszać się ciała niebieskie, a sam Platon za podstawowe zadanie astronomii uważał wyjaśnienie dostrzeganych nieregularności biegu ciał niebieskich za pomocą ruchów kołowych. Zasada powyższa pełniła rolę nowożytnych praw mechaniki, a pozwalając na zastosowanie do badań astronomicznych rozwiniętej w starożytności geometrii koła, umożliwiła daleko idącą matematyzację astronomii, i – w konsekwencji – rozwój tej nauki, wyprzedzającej wszystkie inne nauki przyrodnicze. Hołdował jej jeszcze Galileusz, a obaliły dopiero odkrycia Keplera.

Wreszcie odkrycie Kopernika łączy z nauką minionych czasów prekursorska myśl tych uczonych, którzy wyrażali – choć fragmentarycznie i niepełnie – tezy, jakie Kopernik miał rozwinąć i ująć w zwartym systemie nowej astronomii. Wymienił też swych prekursorów w otwierającym dzieło *O obrotach* liście dedykacyjnym:

„...zadałem sobie ten trud, żeby na nowo przeczytać wszystkie dostępne mi dzieła filozofów celem zbadania, czy przypadkiem któryś z nich nie wyraził kiedyś co do ruchów sfer wszechświata zdania odmiennego od założeń przyjmowanych przez wykładowców nauk matematycznych. I rzeczywiście, natrafiłem najpierw u Cycerona na wzmiankę, że Hiketas sądził, iż Ziemia się porusza. Następnie znalazłem kilka dalszych nazwisk ludzi tego samego zapatrywania również u Plutarcha, którego słowa postanowiłem tutaj przytoczyć, aby je wszystkim udostępnić: Według powszechnego mniemania Ziemia stoi w miejscu. Ale pitagorejczyk Filolaos sądzi, że ona krąży dokoła ognia po kole pochyłym, podobnie jak Słońce i Księżyc. A Heraklides z Pontu i pitagorejczyk Ekfantos uznają wprawdzie, że Ziemia odbywa ruch, ale nie postępowy, lecz obro-

towy, na sposób obręczy koła od zachodu ku wschodowi wokół własnego środka".

I dalej, w notatkach brulionowych w księdze pierwszej: „Filolaos spostrzegł ruchomość Ziemi; niektórzy sądzą, że Arystarch Samoańczyk był tego samego zdania...".

Ptolemeusz, Hiketas, Filolaos, Arystarch – wszystkie te imiona przypominają, że obraz świata, jaki poznawał w swych studiach Mikołaj Kopernik, pochodził ze starożytnej Grecji i świata hellenistycznego. Dla przedstawienia astronomii przedkopernikowskiej trzeba więc będzie cofnąć się do czwartego stulecia p.n.e., kiedy to w kręgu ateńskich filozofów obok filozofii przyrody powstały modele geometryczne, mające przedstawiać obserwowane zjawiska niebieskie.

RYS HISTORYCZNY

Początki astronomii sięgają daleko wstecz przed czasy Platona i Arystotelesa. Nie bez słuszności określa się ją jako najstarszą z nauk. Przecież współczesny Arystotelesowi Eudemus pisał, dziś niestety zaginioną, historię astronomii. Wcześniej od nich działało wielu greckich badaczy przyrody, a początki matematycznej astronomii zawdzięczali Grecy w dużej mierze nauce krajów Mezopotamii, Sumeru i Asyrii. Uczeni babilońscy osiągnęli wysoki poziom matematycznej analizy okresowych zjawisk astronomicznych. Jednak dopiero w Grecji IV w. powstaje geometryczna wizja świata w przeciwstawieniu do babilońskich recept rachunkowych nie połączonych, jak się wydaje, z teorią budowy świata. Niedawne odkrycie kulistości Ziemi stało się argumentem dla tezy o sferycznej budowie wszechświata.

Ziemia, domena niestałości, przeciwstawiona była doskonałości Kosmosu, w którym według Platona mógł występować jedynie wieczny jednostajny ruch kołowy. Ten postulat stał się elementem arystotelesowskiej fizyki i był przyczyną trudności pokonywanych przez astronomów przy pomocy pomysłowych konstrukcji matematycznych. Rzeczywisty ruch planet obserwowany z ruchomej Ziemi przedstawia się jako kombinacja ruchu „prostego" z zachodu na wschód i okresowego cofania się planety na niebie w ruchu „wstecznym". Dla opisania tych zjawisk nie wystarcza zwykły ruch kołowy planety. Uczeń Platona i rówieśnik Arystotelesa Eudoksos z Knidos podał rozwiązanie zgodne z postulatem Platona, wyjaśniające nieregularności biegu planet. Wszechświat Eudoksosa był kulisty, ograniczony sferą gwiazd stałych, wewnątrz której mieściły się kolejne współśrodkowe sfery. Zestaw czterech takich sfer, obracających się wokół różnych osi, wystarczał w zasadzie, przynajmniej dla jakościowego opisu pozornych niere-

gularności poszczególnej planety. Chociaż model ten nie uwzględniał zmian odległości planet od Ziemi, stał się – z pewnymi modyfikacjami – podstawą astronomii Arystotelesa, według którego krystaliczne, materialne sfery stanowiły zwarty mechanizm, przekazujący ruch od zewnętrznej sfery gwiazd ku środkowi świata.

Astronomia epoki hellenizmu, dysponująca bogatszym materiałem obserwacyjnym, doprowadziła do nowych rozwiązań, wykorzystując wprowadzone przez Apolloniusza pojęcie epicykli (kół poruszających się po obwodzie innego koła). W tym samym czasie (III stulecie p. n .e.) opracowany został pierwszy katalog gwiazd i podjęto próby zmierzenia Ziemi oraz określenia jej odległości od Słońca i Księżyca.

W II stuleciu p.n.e. działał Hipparch, odkrywca precesji * i twórca nowej teorii ruchu Słońca i Księżyca. Według Hipparcha poruszały się one wokół Ziemi po kołach mimośrodowych, tzn. po obwodzie kół, których środki nie pokrywały się z Ziemią. W wypadku Słońca wyjaśniało to różnice czasu trwania pór roku oraz zmienną szybkość jego ruchu. Odkrycia Hipparcha rozwinął Klaudiusz Ptolemeusz (II w. n.e.), stosując dla opisu wszystkich zjawisk planetarnych odpowiednie zestawy kół mimośrodowych i epicykli. Zewnętrzna, sferyczna powłoka świata nadaje mu ruch dobowy, a znajdująca się wewnątrz niej sfera gwiazd wykonuje powolny ruch precesyjny. Podstawowe dzieło Ptolemeusza *Megale syntaksis* (znane w Europie średniowiecznej jako *Almagest*) zawiera sumę osiągnięć astronomii starożytnej.

Zawarta w *Almageście* konstrukcja i mechanika kosmosu w swych zasadniczych rysach nie różnią się od arystotelesowskich. Zachowana została sferyczna budowa świata, spełniony formalnie (choć nie w szczegółach modeli) postulat jednostajnego ruchu kołowego. Jednakże mechanizm Hipparcha–Ptolemeusza, dogodny jako schemat rachunkowy dla wyznaczania pozycji ciał niebieskich, nie dawał fizycznego, w sensie arystotelowskim, wyjaśnienia zjawisk. Pozbawione materialnego środka koła epicykliczne oraz zwiększające dokładność obliczeń wybiegi w postaci ukrytego odstępstwa od jednostaj-

---

 * Zob. s. 47.

ności ruchu (tzw. ekwant) były odrzucane przez arystotelików. Konflikt między „fizyką" i astronomią, tzn. sprzeczność sfer Arystotelesa i rozbudowanego systemu kół orbitalnych Ptolemeusza, był jednym z zasadniczych czynników formujących historię astronomii w jej dalszym rozwoju. Próba pogodzenia obu systemów, pochodzących od samego Ptolemeusza, polegała na zastąpieniu głównego koła orbity – deferentu – układem dwóch sfer koncentrycznych, ograniczających przestrzeń, w której mieścić się miała cała orbita planety.

Do fundamentalnych założeń astronomii należała antropocentryczna * struktura świata, z nieruchomą Ziemią spoczywającą w środku wszechświata. Charakterystyczna była też poważna rola wierzeń astrologicznych. Właśnie w kulturze hellenistycznej nastąpiło rozwinięcie najprostszych elementów astrologii w obszerny system wiążący losy ludzkie ze zjawiskami w kosmosie (astrologii poświęcił Ptolemeusz oddzielne dzieło).

Almagest jest ostatnim słowem hellenistycznej tradycji astronomicznej. W ogólnym upadku życia umysłowego w świecie zachodnim jedyną pozostałością astronomii matematycznej pozostała wczesnośredniowieczna rachuba kalendarza kościelnego. Na wschodzie odrodzenie astronomii rozpoczęło się w krajach islamu w VIII stuleciu. Podboje Arabów zetknęły ich z reliktami starożytnej myśli naukowej w Iranie i Indiach.

Na początku IX w. nauka arabska dysponowała już tłumaczeniem *Almagestu*, pojawiły się także nowe tablice astronomiczne. Przez kilka stuleci uczeni krajów islamu podtrzymywali spadek po starożytności, wzbagacając astronomię przez udoskonalanie techniki obserwacji i rozwinięcie aparatu matematycznego. Podstawy kosmologii pozostały jednak niezwruszone, a teoretyczne prace astronomów orientalnych dotyczyły jedynie zmian w szczegółach budowy świata. Obok licznych traktatów astrologicznych opracowywano często tablice ruchu ciał niebieskich, poszukując, w ramach geocen-

* Antropocentryzm – pogląd występujący w różnych systemach filozoficznych i religijnych, według którego wszystko, co istnieje, istnieje dla człowieka, uważanego za centrum i cel wszechświata.

trycznej teorii, optymalnego liczbowego przedstawienia zjawisk. Z długiej listy astronomów islamu wymienimy Al-Battaniego i Thabita w IX w. Pierwszy z nich poprawiał dane Ptolemeusza dotyczące ruchu precesyjnego gwiazd, drugi był autorem nowej teorii tego ruchu (tzw. trepidacji *). Al Bitrudżi (XI w.) próbował rozwinąć koncepcję współśrodkowych sfer, mających zapewnić filozoficzną poprawność teoriom astronomicznym. Interesujące były też próby poprawienia modeli Ptolemeusza, podejmowane w Iranie przez Nasir-ad-Dina i jego uczniów (XIII–XIV w.).

Począwszy od X w. Europa chrześcijańska zapoznaje się z dorobkiem astronomii arabskiej i za jej pośrednictwem z dziedzictwem antyku. Szczególnie silnym ośrodkiem transmisji stała się Kastylia w XII i XIII w. Przetłumaczono tu na łacinę wiele dzieł starożytnych i arabskich, a powstałe w Toledo *Tablice astronomiczne króla Alfonsa* stały się podstawowym narzędziem praktyki astronomicznej w Europie na kilka stuleci. Tablice te podawały reguły rachunku i wartości liczbowe bez uzasadnienia teoretycznego i oparte były na modelu Ptolemeusza, przekazanym przez tradycję arabską. Istotną nowością było rozbudowanie teorii ruchu sfery gwiazd (precesji) przez połączenie koncepcji Ptolemeusza, a więc jednostajnego ruchu sfery gwiazd, z okresową oscylacją tej sfery, postulowaną przez teorię trepidacji.

Pierwsze astronomiczne dzieła autorów europejskich, oddziałujące na dalszy rozwój tej nauki, oparte zresztą ściśle na wzorach arabskich, powstały w XIII w. Podstawy kosmografii zawierał niezwykle w następnych stuleciach popularny traktat *O sferze* Jana z Holywood; teorię orbit przedstawiały tzw. *Teoryki planet* Gerarda Sabionetty i Jana Campano. Teoretyczna astronomia odziedziczyła z nauki arabskiej dylemat obu kosmologii: Ptolemeusza i Arystotelesa. W programach uniwersyteckich odbijało się to w postaci swoistego dualizmu. Wykład filozofii opierał się na tekstach Arystotelesa, budowę świata przedstawiał więc jako idealny system sfer współśrodkowych, w astronomii i astrologii natomiast panowała sprawniejsza matematycznie teoria Ptolemeusza z układami deferentów i epicykli.

---

 * Zob. s. 47–48.

Uprawianie astronomii w średniowiecznej Europie związane było przede wszystkim z ośrodkami uniwersyteckimi, a więc Oksfordem i Paryżem. W XIV w. w Paryżu rozwinęła się jeszcze szkoła filozoficzna, krytykująca podstawy mechaniki Arystotelesa, ale stopniowo wzrastało znaczenie ośrodków włoskich i nowo powstających uniwersytetów środkowej Europy. W pierwszej połowie XV w. wyróżnia się uniwersytet wiedeński. Wywodzący się z tej uczelni Jerzy Peurbach (1423–1461) oraz jego uczeń i współpracownik Jan Müller (Regiomontanus, 1436–1476) tworzyli dzieła o najwyższym wówczas poziomie kompetencji matematycznej. Peurbach był autorem *Teoretyki planet,* która wyparła stopniowo wcześniejsze dzieła tego rodzaju. Dążąc do ustalenia poprawnego łacińskiego tekstu *Almagestu* na podstawie greckiego oryginału, przygotowywał skrót *Almagestu: Epitome in Almagestum Ptolemaei,* dzieło ukończone po śmierci uczonego przez Regiomontana. Ten ostatni rozwijał studia matematyczne i astronomiczne, wydał też drukiem wiele dzieł astronomicznych w prowadzonej przez siebie oficynie drukarskiej w Norymberdze. W ostatnich dziesięcioleciach XV w. europejską sławę zyskał krakowski ośrodek astronomiczny. Właśnie uczeń Akademii Krakowskiej miał dokonać największego odkrycia w dziejach astronomii i otworzyć drogę dla nowożytnego poznania świata.

ASTROLOGIA

Nowożytna nauka charakteryzuje się wyodrębnianiem dyscyplin naukowych i coraz większą specjalizacją uczonych. W czasach przedkopernikowskich nie oddzielano astronomii od nauk pokrewnych; nie było też właściwie astronomów w nowożytnym znaczeniu, a więc wyspecjalizowanej grupy uczonych, poświęcających cały swój czas, trud i zdolności badaniom astronomicznym. Gdy w dawnych wiekach uczony rozważał budowę, rozmiary i prawa rządzące światem astronomicznym, był filozofem, łączącym w wielki system wszystkie fakty dostrzegane w przyrodzie; zajmując się zaś astronomią matematyczną stawał się równocześnie matematykiem. Astronomia na uniwersytetach średniowiecznej Europy była jednym z przedmiotów należących do programu studiów ogólnych (sztuk wyzwolonych), ściśle powiązanych z matematyką. Badanie ruchu ciał niebieskich było jedyną dziedziną nauki, w której znajdowały zastosowanie najwyżej rozwinięte twierdzenia i prawa geometryczne. Jeszcze w XVI w. rozróżniano więc uniwersyteckie katedry niższej i wyższej matematyki: pierwsza obejmowała elementy arytmetyki i geometrii, druga właściwą astronomię.

Badania astronomiczne powiązane były z potrzebami społecznymi, praktycznymi. Z jednej strony stanowiły bowiem niezbędny warunek utrzymania rachuby czasu, stworzenia kalendarza. Bodajże właśnie potrzeba kalendarza dała w Mezopotamii początek systematycznym obserwacjom zjawisk niebieskich, które doprowadziły do odkrycia pierwszych prawidłowości wśród wydarzeń rozgrywających się na sferze niebieskiej. Istniało jeszcze drugie powiązanie astronomii z praktyką, czyniące z niej niezbędny składnik wykształcenia całych grup zawodowych. Była ona bowiem niezbędnym wprowadzeniem, pomocniczym narzędziem astrologii, a więc tej umie-

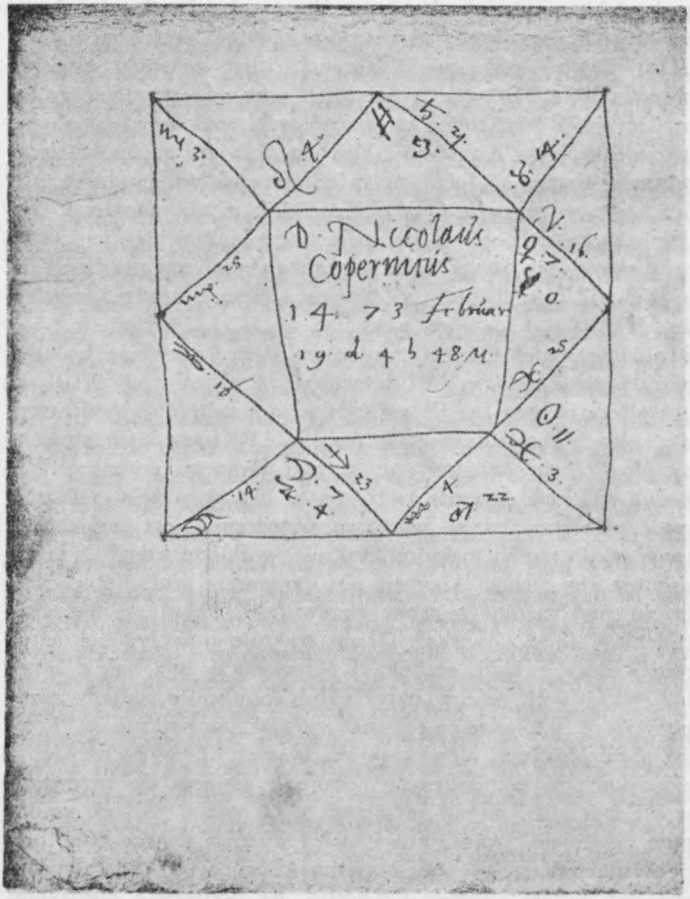
jętności, która klamrą wspólnych losów łączyła makrokosmos wszechświata z mikrokosmosem człowieka, pozwalała przewidzieć przyszłość całych krain i poszczególnych ludzi, która wreszcie była niezbędnym narzędziem lekarza, z konfiguracji ciał niebieskich wnioskującego o przyczynach i sposobie leczenia choroby. Ta więź, a nawet służebna rola astronomii wobec astrologii trwała przynajmniej od późnej starożytności i – praktycznie biorąc – wszyscy astronomowie średniowiecza byli również, jeśli nie przede wszystkim, astrologami. Nie próbując tu wyśledzić początków wiary w przyczynowy związek zjawisk astronomicznych i ziemskich, stwierdzimy jedynie, że sięga ona niewątpliwie wczesnych dziejów ludzkości, czerpiąc pożywkę zarówno z poczucia słabości i strachu przed groźnymi zjawiskami przyrody, jak i z uogólnienia elementarnych spostrzeżeń nad dominującą przecież rolą Słońca w przyrodzie czy choćby związku Księżyca z przypływami morza. Przez całe stulecia prymitywnej astrologii jej wróżby i wnioski były ostrożne i ogólnikowe: najstarsze zachowane teksty astrologiczne z Mezopotamii (na tabliczkach klinowych z II tysiąclecia p.n.e.) są jakby raportami ekspertów dla władcy, ostrzegającymi przed możliwością niepomyślnych wydarzeń: „Jeśli Isztar [= Wenus] ... przybliży się do gwiazdy z prawej strony, w państwie zapanuje dobrobyt, jeśli z lewej – kraj nawiedzą nieszczęścia". Późniejsza tradycja przypisała „Chaldejczykom", a więc uczonym Mezopotamii, stworzenie i rozwinięcie astrologii wróżbiarskiej. Ale dopiero z V w p.n.e. pochodzi najstarszy, a przy tym jedyny egzemplarz horoskopu na tabliczce klinowej, zawierający przepowiednię losów pojedynczego człowieka na podstawie konfiguracji ciał niebieskich w momencie urodzenia. Dopiero w okresie hellenistycznym nastąpiło rozwinięcie astrologii i jej rozpowszechnienie, a skomplikowane reguły przepowiadania przyszłości na podstawie położenia planet względem gwiazd i w odniesieniu do horyzontu zaczęły wypełniać całe traktaty astrologiczne.

Przyjęta bez zastrzeżeń przez średniowieczny islam, przeniknęła astrologia do Europy, wzbogacona o dzieła całych pokoleń orientalnych astrologów. W Europie średniowiecznej zdobyła trwałe miejsce mimo poważnych trudności ideologicz-

nych, jakie sprawiała konieczność pogodzenia determinizmu astrologicznej prognozy z postulowaną przez teologów chrześcijańskich wolnością woli człowieka, decydującego przecież o swym losie i o swych postępkach oraz odpowiadającego za te decyzje. Rozróżnienie poszczególnych poziomów astrologii, uznanie wpływu ciał niebieskich na zjawiska ziemskie, przy odrzucaniu tego wpływu na świadome działanie ludzkie, pojawia się w pismach Ojców Kościoła: „Ciała na ziemi rządzone są przez Boga za pośrednictwem ciał niebieskich, [ale] te ostatnie nie mogą być przyczyną świadomego działania ludzkiego" (św. Tomasz z Akwinu, *Summa contra Gentiles*, ks. III).

Rozróżnienie takie spotykamy również w werdykcie biskupa paryskiego Tempiera. W latach siedemdziesiątych XIII w. potępił on szereg tez filozoficznych, a wśród nich podstawowe założenia astrologii wróżbiarskiej. W następnym stuleciu astrologia była przedmiotem krytyki słynnego uczonego Mikołaja Oresme. Oresme wyróżnia w niej trzy działy: Pierwsza część astrologii, tj. właściwa astronomia, jest „szlachetną i wspaniałą nauką, o której traktują wnikliwe księgi" i która zajmuje się ruchem konstelacji i pomiarem ciał niebieskich; dzięki niej można z tablic przewidzieć układy planet, zaćmienia i inne zjawiska. Druga traktuje o wpływie i naturalnej mocy gwiazd, zodiaku i planet; uczy ona, jak planeta lub jakaś część nieba określa lub powoduje zmiany temperatury, suszę, opady oraz inne zjawiska w przyrodzie. Trzecia część astrologii mówi o powracających okresowo na niebie zjawiskach, o koniunkcjach * planet i zmierza do przewidywania wielkich, nieraz katastroficznych wydarzeń, jak epidemie, powodzie, wojny, powstanie i upadek państw. Jest ona pomocna lekarzowi stawiającemu diagnozę i obierającemu sposoby leczenia, wreszcie określa, na podstawie horoskopu w chwili urodzenia, losy poszczególnych ludzi. Oresme nie neguje przydatności astrologii dla medycyny, występuje natomiast zdecydowanie przeciwko stawianiu prognostyków, i to zarówno wychodząc z przesłanek filozoficznych, jak i korzystając z argumentów czysto przyrodniczych. Jak uczy

* Koniunkcja – pozorne połączenie się, zbliżenie do siebie planet na sferze niebieskiej.



XVI-wieczny horoskop Kopernika. Bawarska Bibl. Państw. w Monachium (wg J. Wasiutyński, *Kopernik twórca nowego nieba*, Warszawa 1938, s. 496)

pierwsza część astrologii, ciała niebieskie mają niewspółmierne okresy obiegu, nie może więc nigdy wystąpić idealne powtórzenie wzajemnego układu wszystkich planet, o mylności zaś prognostyków świadczy rozbieżność charakterów i losów ludzi

urodzonych w tym samym czasie, a więc przy tej samej konfiguracji ciał niebieskich. Od takich „przesądnych dziwactw" należy odwodzić ludzi, opierając się na trzech argumentach: autorytetach (Ojców Kościoła), rozumie i doświadczeniu.
Jeszcze w latach młodości Kopernika krytykę astrologii kontynuował Jan Pico della Mirandola. Autor ten, którego dzieła znał nasz astronom, ostro rozprawiał się z astrologią wróżbiarską: „obserwowałem przez całą zimę dokładnie codziennie pogodę, porównując ją z prognozami astrologów. [...] w ciągu 130 dni nie więcej niż 6–7 razy sprawdziła się ich przepowiednia".
Krytyka, a nawet potępienie teologów nie powstrzymywały rosnącej popularności astrologii wróżbiarskiej; horoskopy, nieliczne jeszcze w XIV w., mnożą się w ciągu następnego stulecia. Największe rozpowszechnienie praktyk astrologicznych miało zresztą nastąpić później, bo w XVI w., a dopiero sto lat po Koperniku astrologia straciła, w skali społecznej, poparcie warstw wykształconych i spadła stopniowo do rangi zabobonu.
Astrolog, przystępując do ułożenia horoskopu, obliczał położenie sfery niebieskiej i rozmieszczenie na niebie planet i Słońca w momencie urodzin człowieka. Cała sfera niebieska dzielona była przy tym za pomocą obliczeń, ułatwionych przez odpowiednie tablice, na dwanaście części. Każda taka część, czyli „dom", miała znaczenie dla przepowiedni innego aspektu życia i działalności osoby, której horoskop układano. Pomyślne prognozy zależały od wzajemnego położenia planet oraz ich rozmieszczenia w różnych „domach". Samo obliczenie horoskopu wymagało jedynie biegłości w operowaniu tablicami astronomicznymi (dawały ją studia na ogólnym kursie uniwersyteckim) i niewiele miało wspólnego z uprawianiem czystej astronomii lub z rzeczywistym stanem nieba. Prawdziwe trudności zaczynały się dla astrologa dopiero po sporządzeniu samego horoskopu, tzw. „thema nativitatis", przy jego interpretacji. Astrolog musiał doszukiwać się znaczenia różnych konfiguracji planet i gwiazd w starożytnych i arabskich traktatach astrologicznych, rozstrzygając ich sprzeczności i unikając niepożądanych prognoz, zwłaszcza gdy klient był możnym władcą, mogącym wyrazić dotkliwie swe niezadowolenie z niepomyślnej wróżby. Tak np. współczesny Kopernikowi astronom i astrolog, późniejszy biskup Łukasz Gau-

rico miał chłostą i więzieniem odpokutować śmiałość, z jaką przepowiedział panującemu w Bolonii Janowi II wygnanie z księstwa.

Szeroko rozpowszechnione było stawianie wróżb dotyczących katastroficznych wydarzeń społecznych i klimatycznych na podstawie wzajemnego ruchu planet. Oto wyjątkowo zresztą jaskrawy przykład takiej przepowiedni (Jana Stoefflera), wieszczącej powszechną powódź w r. 1524: „W lutym nastąpi dwadzieścia koniunkcji małych, średnich i wielkich. Szesnaście będzie miało miejsce w znaku wodnistym, co oznacza dla całego prawie świata, wszystkich królestw, państw i prowincji odmiany tak wielkie, że na całej ziemi rodzić się będą potwory morskie..." (tymczasem luty 1524 r. odznaczył się w Europie wyjątkowo małą ilością opadów). Przepowiednie tego typu, oparte na koniunkcjach, a więc pozornym zbliżeniu na sferze niebieskiej dwóch lub więcej planet, odegrały pozytywną rolę, pobudzając badania, a przynajmniej obserwacje astronomiczne. Niedokładność tablic astronomicznych, którymi posługiwali się astrologowie, powodowała bowiem, że koniunkcje następowały w innym terminie niż zapowiedziany. Uwidaczniało to potrzebę opracowania na nowo lub poprawienia tablic, a więc zwracało uwagę na zagadnienia czysto astronomiczne.

ZIEMIA

Dla krakowskich nauczycieli Kopernika, jak i astronomów wielu poprzednich stuleci, kulistość Ziemi nie ulegała wątpliwości i stanowiła jeden z elementów zwartego systemu filozofii przyrody. Późniejsza tradycja przypisywała odkrycie kształtu Ziemi Pitagorasowi w VI w. p.n.e. Jeśli nawet nie byłoby to prawdą, to w każdym razie szkoła pitagorejska ugruntowała pogląd o kulistej Ziemi, nie wymagającej żadnej podpory i wiszącej swobodnie w przestrzeni. W arystotelesowskim systemie filozoficznym kształt Ziemi, jej nieruchomość i centralne położenie we wszechświecie powiązane były z innymi założeniami nauki. Arystoteles, tak jak niektórzy wcześniejsi filozofowie, wyróżniał cztery podstawowe elementy (ziemia, woda, powietrze i ogień), które skupiając się w swym naturalnym, przyrodzonym miejscu, w środku świata, tworzą nieruchomą Ziemię, otoczoną wodami, powietrzem i najwyższą strefą elementu ognia. Ziemia jest nieruchoma, ponieważ ruch każdego elementu ustaje z chwilą zajęcia przezeń „naturalnego miejsca" w kosmosie. Potwierdzają to proste spostrzeżenia: rzucony kamień spada na ziemię, płomienie ulatują w górę. Świat ziemski rozciągający się aż do sfery Księżyca odznacza się przy tym zmiennością, wynikającą z tworzenia i rozpadu, narodzin i śmierci.

Ta nietrwałość i przemijanie nie obejmuje już ciał niebieskich. Ich doskonała niezmienność i regularny ruch kołowy wynikają z przymiotów tworzywa – „piątego elementu, eteru". Nic więc dziwnego, że wszelkie obserwowane na niebie nietrwałe zjawiska przypisywali arystotelicy atmosferze ziemskiej. Tu tylko mogły powstawać i ginąć zarówno gwiazdy spadające (gorące suche opary unoszące się aż do strefy ognia), jak i komety – powstające w ten sam sposób, lecz świecące dłużej i unoszone w ruchu dobowym przez najwyższe warstwy strefy ognia, której udziela się ruch eterycznych sfer planetarnych.

Wszechświat według poglądu arystotelików (repr. z: Ch.-A. Reichen, *Histoire de l'astronomie*, Lausanne 1963)

Przeciwstawienie Ziemi i Kosmosu, zbudowanych z odmiennego tworzywa, podległych innym prawom przyrody, należy do podstawowych cech nauki przedkopernikowskiej.

Po IV w. p.n.e. anachroniczny już pogląd o płaskiej Ziemi podtrzymywany był w starożytnym świecie cywilizowanym jedynie w pismach filozoficznej szkoły epikurejczyków. Kulistość Ziemi odrzucali również niektórzy pisarze chrześcijańscy wczesnego średniowiecza, jak Laktancjusz (III/IV w.), o którym wspomni jeszcze Kopernik w skierowanym do papieża Pawła III liście dedykacyjnym, poprzedzającym słynne dzieło *O obrotach:* „Laktancjusz, sławny zresztą pisarz, ale słaby matematyk, mówi o kształcie Ziemi zupełnie jak dziecko,

szydząc z tych, którzy podali, że Ziemia ma kształt kuli". Ostatnimi głośniejszymi obrońcami płaskiej Ziemi byli kosmografowie z VI i VII stulecia: aleksandryjski mnich Kosmas Indikopleutes i anonimowy autor z Rawenny.

Rozmiary Ziemi starali się określić różni uczeni w starożytności przynajmniej od czasów Arystotelesa, ale najbardziej znane było wyznaczenie długości obwodu naszej planety dokonane przez Eratostenesa (276–194 p.n.e.). Na podstawie pomiaru kątowej wysokości Słońca w dwóch miejscowościach Egiptu, Siene (Assuan) i Aleksandrii, określił różnicę ich szerokości geograficznych równą 1/50 okręgu Ziemi. Ponieważ odległość między Aleksandrią i Siene ustalona została przez mierników państwowych jako 5000 stadiów, wynikało stąd oczywiście, że obwód Ziemi wynosi $50 \times 5000 = 250\,000$ stadiów, czyli przy stadium równym 157,5 m – około 39 400 km, bardzo blisko rzeczywistej wartości.

Jedyny pomiar Ziemi znany z wieków średnich pochodził z IX w., kiedy to astronomowie kalifa Al-Mamuna mierzyli długość łuku południka na pustyni syryjskiej.

W XV w. nadszedł okres praktycznego wykorzystania pitagorejskiego odkrycia kształtu Ziemi. Podjęte zostały próby opanowania drogi morskiej do Indii w kierunku zachodnim, przez Atlantyk. Do szukania takiej drogi zachęcała pochodząca jeszcze ze starożytności błędna ocena stosunku wielkości znanych i nie zbadanych jeszcze części globu ziemskiego. Wynikała ona stąd, że wyznaczanie długości geograficznych (w przeciwieństwie do szerokości geograficznej, dającej się określić za pomocą prostych obserwacji astronomicznych) było zadaniem nie do rozwiązania z zadowalającą ścisłością, nawet jeszcze w ciągu XVI w. W rezultacie Ptolemeusz, którego *Geografia* była przez całe stulecia podstawowym dziełem w tej dziedzinie, błędnie określił rozciągłość (w kierunku wschód–zachód) znanego Grekom świata na 180° długości geograficznej. W rzeczywistości obejmował on poniżej 130°. Odkrywcy epoki renesansu wyruszali więc na oceany przekonani, że nieznane obszary, które trzeba przepłynąć, są prawie o połowę większe niż to było w rzeczywistości.

Jak już wspominaliśmy, z zasad arystotelesowskiej fizyki wynikała nieuchronnie nieruchomość Ziemi, a więc i stwierdzenie, że sklepienie niebieskie i wszystkie planety wraz ze Słoń-

cem obiegają ją w ciągu doby. Uznanie ruchu obrotowego naszej planety miało stać się jednym z najważniejszych elementów nowej astronomii Kopernika. Nie znaczy to jednak, że nie było wcześniej myślicieli, którzy taki obrót dopuszczali. Imiona kilku z nich już wymieniliśmy we wstępie, cytując Kopernika: byli to pitagorejczycy Filolaos, Hiketas i Ekfantos, którzy jeszcze w V w. p.n.e. głosili ruchomość Ziemi. Przesłanki, na jakich się opierali, miały zresztą charakter czysto spekulatywny. Otóż doktryna pitagorejska, przypisująca liczbom (całkowitym) dominującą rolę w urządzeniu świata, postulowała istnienie dziesięciu ciał niebieskich, zgrupowanych wokół mieszczącego się w środku świata centralnego ognia, „strażnicy Zeusa". Okrążały go Ziemia, Księżyc, Słońce, 5 planet i sfera gwiazd; listę tę do liczby dziesięciu uzupełniała „antyziemia", znajdująca się stale między ogniem centralnym i naszą Ziemią. Swój obieg wokół środka świata Ziemia wykonywała w ciągu doby, zwracając przy tym stale tę samą (nie zamieszkaną) półkulę ku ogniowi centralnemu, podobnie jak Księżyc zwraca tę samą część swej tarczy ku Ziemi.

Tezy powyższe, głoszone przez Filolaosa, uległy zdaje się pewnemu uproszczeniu w następnych pokoleniach i zarówno późniejszy od Filolaosa Hiketas, jak i jego uczeń Ekfantos głosili po prostu, że Ziemia obraca się raz na dobę wokół własnej osi. Spekulacje pitagorejczyków odrzucone zostały wraz z całym bagażem ognia centralnego i antyziemi przez klasyczną astronomię grecką. Od panującego poglądu o nieruchomości Ziemi odstąpili jeszcze dalsi prekursorzy Kopernika: Heraklides z Pontu (ok. 388–310 p.n.e.) oraz jeden z najsłynniejszych astronomów starożytnych Arystarch z Samos (ok. 310 – ok. 230 p.n.e.), głoszący również śmiałe poglądy o strukturze układu słonecznego. Ostatni chyba wśród starożytnych wyznawców „wstrzymania świata, ruszenia Ziemi" był babilończyk Seleukos (II w. p.n.e.), astronom znany z badań nad przypływami morskimi. Ich opinie, znane jedynie z późniejszych relacji, nie zwyciężyły jednak wobec sumy argumentów filozoficznych i „zdrowego rozsądku". Pamiętajmy przy tym, że aż do czasów nowożytnych nie były znane żadne dane obserwacyjne lub doświadczenia, mogące przemawiać za lub

przeciwko ruchomości Ziemi. Zdawali sobie z tego sprawę astronomowie średniowiecznej Europy, jak wspomniany już Mikołaj Oresme, który w rozprawie z 1377 r. wykazywał, że obserwowane zjawiska astronomiczne mogą równie dobrze wynikać z obrotu Ziemi (z zachodu na wschód), jak i z wirowania całego świata (ze wschodu na zachód). Oresme bynajmniej jednak nie zamierzał odstępować od „zgodnej opinii filozofów". Sygnałem zapowiadającym uwalnianie się od ich autorytetu była rozprawa *O uczonej niewiedzy* Mikołaja z Kuzy (1401–1464), matematyka, filozofa i dostojnika kościelnego. Kuzańczyk, głosząc nieskończoność świata, stwierdza, że nieskończony obszar nie może posiadać środka, a więc żadne ciało, m.in. Ziemia, nie może się w takim środku znajdować. Wszystkie one poruszają się ruchem kołowym i tylko świat widziany z dowolnego ciała niebieskiego zdaje się obracać wokół niego. Ów ruch kołowy Ziemi, wynikający z założeń kosmologicznych autora, nie wytrzymuje jednak bliższej analizy i nie jest znanym z astronomii dobowym obrotem naszego globu. W ogóle wśród innych pism piętnastowiecznych hipoteza Kuzańczyka jest sygnałem izolowanym, a prawie współczesny mu czołowy astronom stulecia Jan Regiomontanus osobną rozprawę poświęcił argumentom przemawiającym za nieruchomością Ziemi. Kopernik zastał więc Ziemię nieruchomą, mocno utwierdzoną w centralnym punkcie świata.

KSIĘŻYC

Teoria ruchu satelity Ziemi oczywiście niezależna była od wyniku sporów kosmologicznych, nie ulegało bowiem wątpliwości, że Księżyc krąży właśnie wokół Ziemi. Miesięczny cykl faz Księżyca, łatwy do zaobserwowania i dogodny dla rachuby czasu, był podstawowym elementem zarówno kalendarzy ludów pierwotnych, jak i rozwiniętych kalendarzy księżycowo-słonecznych, a także kalendarza gregoriańskiego, którym się do dziś posługujemy. Ta użytkowa rola naszego satelity przyczyniła się do rozwinięcia jeszcze w starożytności szczegółowej teorii jego ruchu. Przyjmowany w czasach przedkopernikowskich model orbity Księżyca pochodził od Ptolemeusza. Jego rozwiązanie, będące rozwinięciem badań Hipparcha, przedstawiało z powodzeniem rzeczywistą pozorną drogę Księżyca, krążącego przecież w rzeczywistości po orbicie eliptycznej i podlegającego przy tym zakłócającym wpływom Słońca. Zgodnie z postulatem platońskim wyjaśnienie ruchu opierało się na kombinacji jednostajnych ruchów kołowych. Dla Księżyca przyjął Ptolemeusz trzy kręgi. Środek głównego koła, deferentu, obiegał Ziemię w ciągu miesiąca ze wschodu na zachód. Na unoszonym tak deferencie poruszał się, z tą samą szybkością, z zachodu na wschód, środek trzeciego koła – epicykla, po obwodzie którego dopiero obiegał Księżyc. Takie połączenie uwzględniało zarówno eliptyczny kształt orbity Księżyca (w granicach dokładności starożytnych obserwacji!), jak i zakłócenia ruchu, osiągające swe maksimum w kwadraturach (gdy Księżyc znajduje się w pierwszej lub ostatniej kwadrze). Pewna komplikacja w ruchu satelity po obwodzie epicykla, jaką wprowadził Ptolemeusz, sprawiała jednak, że rzeczywista szybkość Księżyca po epicyklu nie była jednostajna, a więc zgodność z postulatem Platona jedynie formalna. Innym, z nowożytnego punktu widzenia bardziej istotnym bra-

kiem teorii Ptolemeusza, było błędne przedstawienie odległości Księżyca od Ziemi. Aby osiągnąć jednak odpowiednie oddalenie (na sferze niebieskiej) Księżyca od położenia średniego w kwadraturach, Ptolemeusz wprowadził właśnie owo wewnętrzne koło, na obwodzie którego krążył dopiero środek właściwej orbity. W rezultacie najmniejsza odległość Księżyca od Ziemi w kwadraturach mogła być niekiedy aż dwukrotnie mniejsza od odległości średniej, a więc widoma tarcza satelity byłaby w kwadraturach prawie dwukrotnie większa niż w czasie pełni. Jeżeli ten oczywisty fałsz nie powodował odrzucenia całej konstrukcji Ptolemeusza w czasach przedkopernikowskich, to przede wszystkim dlatego, że była ona dobrym narzędziem do obliczania położenia Księżyca na niebie, ważnego zwłaszcza przy przewidywaniu zaćmień; ponadto występujący tu rozdźwięk między geometrycznym modelem, służącym do przedstawiania zjawisk, a rzeczywistością był tylko jedną z całego szeregu zasadniczych rozbieżności, jakie napotykano w podstawowych zagadnieniach astronomicznych. Podobnie jak w odniesieniu do orbit planetarnych i ruchu gwiazd, astronom średniowieczny mógł zawsze odwołać się do arystotelesowskiej koncepcji sfer unoszących planety, a więc i Księżyc, ograniczając stosowalność matematycznej teorii Ptolemeusza do celów praktycznych, do obliczania położenia na sferze niebieskiej.

Pewnych kłopotów nastręczała, i to przez całe stulecia, kwestia obrotu Księżyca i stałe zwracanie się tej samej części jego powierzchni ku Ziemi. Otóż obieg – czy to deferentu, czy też sfery wraz ze znajdującym się na obwodzie Księżycem – odbywa się w fizyce arystotelesowskiej tak, jakby Księżyc był przytwierdzony trwale do tego obwodu. Orbita składająca się z jednego tylko deferentu wyjaśniałaby od razu fakt, że widzimy stale tę samą stronę Księżyca. Skoro jednak według Ptolemeusza Księżyc krąży po obwodzie epicykla, to zwracać musi stale tę samą część tarczy ku jego środkowi, a zarys widocznych z Ziemi części Księżyca winien ulegać zmianie w zależności od tego, jakie jest jego położenie na epicyklu. Trudność tę starało się rozwiązać wielu uczonych średniowiecza, jak np. prekursor nowożytnych metod badawczych, Roger Bacon, postulując bądź to dodatkowy obrót Księżyca wokół

własnej osi, bądź też (jak Wojciech z Brudzewa) dodatkowy epicykl, który unosiłby po swym obwodzie cały glob księżycowy.

Średnią odległość wyznaczył Ptolemeusz na podstawie obserwacji odległości zenitalnych Księżyca jako równą 59 promieniom Ziemi. Znając widomy kątowy promień tarczy Księżyca, mógł stąd obliczyć stosunek wielkości Ziemi i jej satelity, określając go na $3^2/_5 : 1$. Wartości te nie odbiegają w istotnej mierze od rzeczywistych.

Gdy w początkach XVI stulecia Kopernik podjął dzieło odnowienia astronomii, swą teorię ruchu Księżyca skonstruował tak, aby usunąć zarówno metodologiczne (ruch niejednostajny), jak i rzeczowe (błędne zmiany odległości) braki teorii Ptolemeusza. Dopiero w połowie bieżącego stulecia odkryto, że miał przy tym prekursora w osobie damasceńskiego astronoma Ibn as-Shatira (XIV w.). Astronom ten, którego pisma zostały dopiero niedawno zbadane, zachowując w pełni geocentryczny punkt widzenia, opracował modele orbit planetarnych zgodne z postulatem jednostajności ruchów kołowych i doszedł do rozwiązań geometrycznych identycznych z kopernikowskimi. Tak stało się też w wypadku Księżyca. Na orbitę Księżyca u as-Shatira (a więc i u Kopernika) składają się trzy kręgi: współśrodkowy z Ziemią deferent i unoszone kolejno, jeden na drugim, dwa epicykle; na obwodzie najmniejszego porusza się dopiero Księżyc. Nie wchodząc w szczegóły tej konstrukcji, stwierdzimy tylko, że postulat Platona-Arystotelesa został ściśle zachowany: wszystkie kręgi oraz Księżyc poruszają się jednostajnie względem punktów centralnych, przy tym skrajne odległości satelity od Ziemi, równe odpowiednio 52 i 68 promieniom ziemskim, nie stoją już w jawnej sprzeczności z obserwacjami. Brak jakichkolwiek przesłanek, by móc dopatrywać się pośredniego nawet wpływu na Kopernika pism as-Shatira, które do dnia dzisiejszego pozostają w arabskich rękopisach. Identyczne (bo niewielkie różnice wartości liczbowych można pominąć) rozwiązanie tego samego zagadnienia w XIV w. w Azji Mniejszej i w XVI w. w Polsce stanowi przykład, jak wspólne założenia metodologiczne prowadzą do takiego samego rozwiązania. Podobnie, jak zobaczymy niżej, stało się w odniesieniu do geometrycznych szczegółów teorii planet.

SŁOŃCE

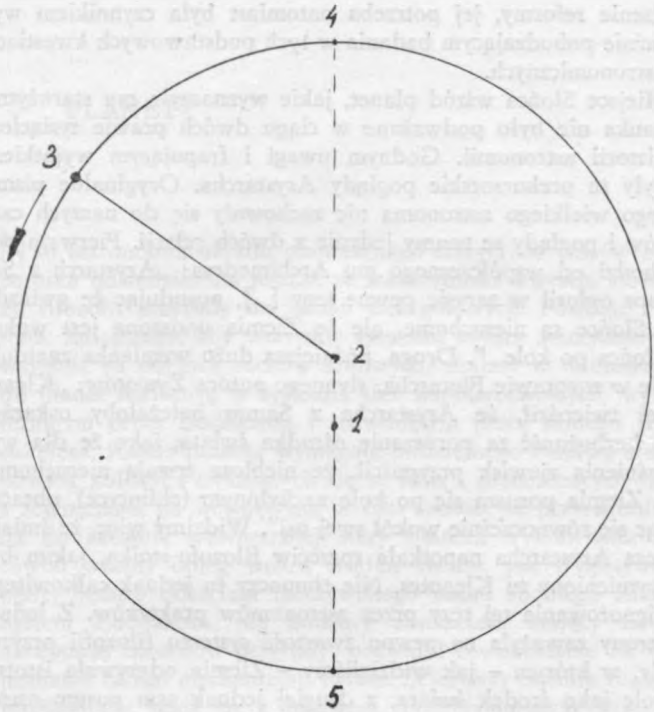
Mimo uprzywilejowania Ziemi jako głównego, centralnego ciała w geocentrycznym Kosmosie, Słońce odgrywało rolę wyjątkową, przede wszystkim jako źródło światła i ciepła, ożywiające Ziemię w rytmie dnia i nocy, lata i zimy. Pochodzą stąd powtarzające się w pismach platończyków i filozofów „hermetycznych" (od imienia mitycznego Hermesa Trójwielkiego, rzekomego autora wielu pism magicznych i astrologicznych) określenia Słońca jako ogniska świata, jako bóstwa widzialnego, wreszcie uznanie Słońca za króla i rządcę innych planet. To ostatnie określenie miało swą rację w astronomii matematycznej i dla astronomów XV w. stanowiło wprost regułę rachunkową, a nie ukryty klucz do rzeczywistej budowy świata.

Oczywiście, nadanie Słońcu ruchu wokół niewzruszonej z posad Ziemi nie zmienia w niczym formalnego opisu zjawisk wywołanych jej rzeczywistym rocznym biegiem, musi natomiast odbić się w opisie ruchu planet, które obserwowane z naszej poruszającej się planety przemierzają na sklepieniu niebieskim drogi, będące kombinacją rzeczywistego, w przybliżeniu kołowego ruchu własnego i ruchu po epicyklu, odzwierciedlającym zmienne położenie Ziemi względem Słońca. Położenie planety na dodatkowym kole epicykla zależało wprost od usytuowania Słońca względem Ziemi i aby przewidzieć rachunkiem, gdzie znajdzie się w danym momencie planeta, trzeba było zacząć od obliczenia położenia Słońca, „rządzącego" w ten sposób pozostałymi planetami.

Świadomość ogromu bryły słonecznej rozwinęła się wraz z postępem matematycznej astronomii. Jeszcze w V w. p.n.e. filozofowie oceniali jego rozmiary „na oko", jak np. Anaksagoras, według którego miało być ono „większe od Peloponezu". Dwieście lat później wspomniany już Arystarch z Samos

podjął pierwszą chyba próbę zmierzenia odległości Słońca. Metoda, jaką zastosował – określenie kąta na sferze niebieskiej między Słońcem i Księżycem podczas kwadry – była teoretycznie poprawna, ale w praktyce musiała zawieść i w konkluzji Arystarch stwierdził, że odległość Słońca od Ziemi jest 19 razy większa niż od Księżyca. Wprawdzie późniejsze badania Hipparcha doprowadziły go do wniosku, że wartość tę należałoby mniej więcej podwoić, to jednak w dalszych dziejach astronomii zaważyła opinia Ptolemeusza, który w *Almageście* oparł się na danych zbliżonych do wartości Arystarcha: przyjął mianowicie (przy średniej odległości Księżyca równej 59 promieni) promień orbity Słońca równy 1210 promieniom ziemskim. Ta liczba, prawie dwadzieścia razy za mała, utrzymała się w astronomii aż do XVI w.

Orbitę Słońca wyznaczył prawie 300 lat przed Ptolemeuszem jego wielki poprzednik Hipparch. Stosując ujmujące trafnością i prostotą rozumowanie geometryczne do faktu, że pory roku nie trwają jednakowo długo, doszedł on do stwierdzenia, że Słońce obiega Ziemię ruchem jednostajnym po kole, którego środek nie pokrywa się z Ziemią. Ta mimośrodowa orbita powoduje, że Słońce, znajdując się na połowie swej orbity, wewnątrz której mieści się Ziemia, widziane jest z mniejszej odległości i przez to zdaje się poruszać szybciej. W stosunku do rzeczywistego ruchu po orbicie keplerowskiej błąd położenia Słońca przy odpowiednim doborze wartości wyjściowych nie przekracza jednej minuty łuku. W praktyce oczywiście wiele brakowało do takiej dokładności, a wyznaczenie wielkości i kierunku mimośrodu orbity, jak i długości roku stanowiło stały przedmiot uwagi astronomów wykonujących obserwacje. Kierunek linii absyd (prostej przechodzącej przez Ziemię i środek orbity i łączącej punkty, w których Słońce jest najbliżej i najdalej od Ziemi) uważany był za stały w odniesieniu do gwiazd. Jedynie arabski astronom az-Zarqali w XI w. przyjął istnienie okresowej oscylacji Słońca, co podtrzymał później Kopernik, oczywiście w odniesieniu do orbity Ziemi. Długość roku zwrotnikowego określił jeszcze Ptolemeusz jako 365 dni 5 godzin 55 minut 12 sekund. Późniejsze wyznaczenia przyniosły wartości odmienne: według Al-Battaniego $365^d5^h46^m24^s$, natomiast *Tablice króla Alfonsa* dawały wartość najpoprawniejszą $365^d5^h49^m$.



Orbita Słońca według Hipparcha i Ptolemeusza
1 – Ziemia, 2 – środek deferentu, 3 – Słońce, 4–3–5 – deferent

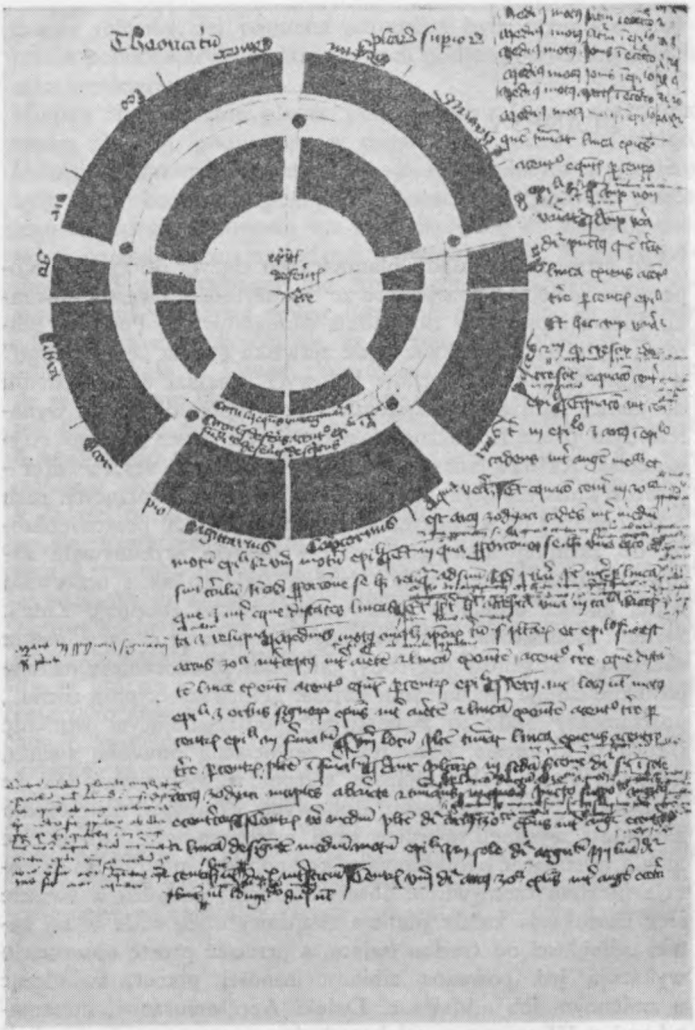
Długość roku zwrotnikowego miała zasadnicze znaczenie dla ustalenia poprawnego kalendarza. Panujący w chrześcijańskiej Europie kalendarz juliański oparty był na znanej już w starożytnym Egipcie wartości 365 dni i 6 godzin. Różnica z rzeczywistą długością roku narastała do jednego dnia w ciągu 128 lat. Data równonocy wiosennej przyjęta na soborze nicejskim (325 r.): 21 marca, w XV stuleciu przypadała już na 11 marca. Projekty reformy kalendarza przygotowywane były parokrotnie z inicjatywy zainteresowanego nią Kościoła rzymskiego. Niepewność co do faktycznej długości roku i nieznajomość praw wpływającej na tę długość precesji uniemożliwiały przeprowa-

dzenie reformy, jej potrzeba natomiast była czynnikiem wyraźnie pobudzającym badania w tych podstawowych kwestiach astronomicznych.

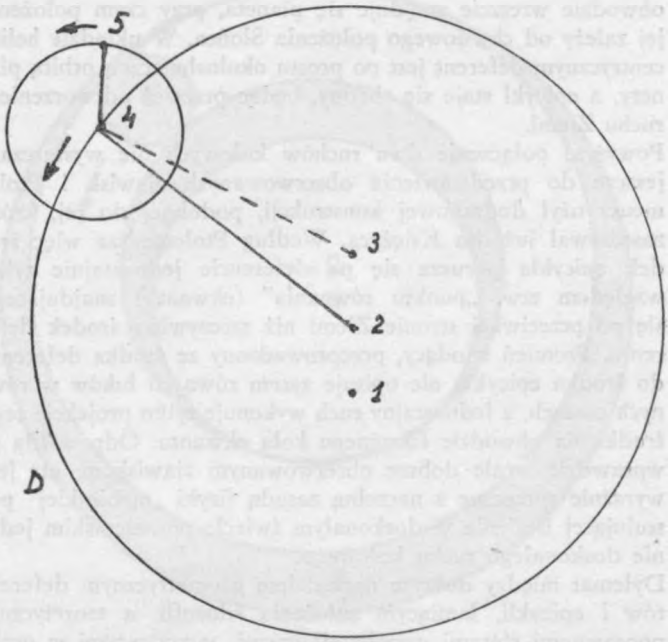
Miejsce Słońca wśród planet, jakie wyznaczyła mu starożytna nauka nie było podważane w ciągu dwóch prawie tysiącleci historii astronomii. Godnym uwagi i frapującym wyjątkiem były tu prekursorskie poglądy Arystarcha. Oryginalne pisma tego wielkiego astronoma nie zachowały się do naszych czasów i poglądy te znamy jedynie z dwóch relacji. Pierwsza pochodzi od współczesnego mu Archimedesa: „Arystarch z Samos ogłosił w zarysie pewne tezy [...], postulując że gwiazdy i Słońce są nieruchome, ale że Ziemia unoszona jest wokół Słońca po kole...". Druga, późniejsza dużo wzmianka znajduje się w rozprawie Plutarcha, słynnego autora *Żywotów*: „Kleantes twierdził, że Arystarcha z Samos należałoby oskarżyć o bezbożność za poruszanie ośrodka świata, jako że dla wyjaśnienia zjawisk przypuścił, że niebiosa trwają nieruchome, a Ziemia porusza się po kole nachylonym (ekliptyce), obracając się równocześnie wokół swej osi". Widzimy więc, że śmiała teza Arystarcha napotkała sprzeciw filozofa-stoika, jakim był wymieniony tu Kleantes. Nie tłumaczy to jednak całkowitego zignorowania tej tezy przez astronomów praktyków. Z jednej strony zaważyła na pewno zwartość systemu filozofii przyrody, w którym – jak widzieliśmy – Ziemia odgrywała istotną rolę jako środek świata, z drugiej jednak sam postęp astronomii, która musiała wyjaśniać „cały szereg zjawisk", jak odkrywane stopniowo coraz subtelniejsze niejednostajności ruchu Słońca, Księżyca i planet, sprawiał, że ogólnikowa przecież teza Arystarcha traciła wśród jego następców atrakcyjność jako narzędzie poznawcze. U Kopernika ta sama idea stała się podstawą stworzenia całego systemu astronomicznego, opracowanego w najdrobniejszych szczegółach w dziele *O obrotach*.

PLANETY

Nad astronomią układu planetarnego ciążyła do czasów Kopernika odziedziczona jeszcze ze starożytności kwestia stosunku filozofii przyrody do badań szczegółowych. Postulat Platona, żądającego, aby wszystkie zjawiska świata „eterycznego" wyjaśnić za pomocą ruchów kołowych, znalazł w odniesieniu do planet realizację w systemie sfer współśrodkowych, wynalezionym przez Eudoksosa i rozwiniętym przez samego Arystotelesa. Każda planeta wymagała oddzielnego zestawu sfer – powłok kulistych stykających się ze sobą i przenoszących ruch z zewnętrznej na wewnętrzną w taki sposób, że przytwierdzona do skrajnej wewnętrznej sfery planeta wykonywała zarówno własny obieg wokół środka świata, jak i opisywała pętle, będące odbiciem rzeczywistego ruchu rocznego Ziemi. System Eudoksosa, nie budzący zastrzeżeń, mający nawet akceptację filozofów przyrody, pozwalał równocześnie na wyjaśnienie całego mechanizmu świata. „Pierwszy czynnik ruchu", utożsamiany bądź to z bóstwem, podtrzymującym istnienie i ruch w kosmosie, bądź też z zewnętrzną powłoką świata, nadawał swój ruch kolejnym sferom wewnętrznym, tak że uczestniczyły one w ruchu dobowym. Poważne zastrzeżenia natomiast wysunęli wkrótce sami astronomowie, którym nie mogła wystarczać ogólnikowa tylko zgodność modelu Eudoksosa z biegiem rzeczywiście obserwowanym; ponadto w świecie sfer Eudoksosa każda planeta znajdowała się stale w tej samej odległości od środka świata, a przecież proste obserwacje wykazują już poważne zmiany jasności planet, świadcząc o zmiennym ich oddaleniu. Dzięki Apolloniuszowi, matematykowi z III w. p.n.e., aleksandryjscy astronomowie uzyskali dużo precyzyjniejsze narzędzie badawcze w postaci dodatkowych kół – epicykli, które pozwoliły na dokładniejsze przewidywanie położenia planet i wyjaśniały ich ruch przestrzen-



Schemat orbity planetarnej. W centralnej części zaznaczono środki ekwantu, deferentu i Ziemi. Rkp. BJ 552, I poł. XV w.



Orbita planety według Ptolemeusza
1 – Ziemia, 2 – środek deferentu D, 3 – punkt równania (ekwant), 4 – środek epicykla E, 5 – planeta

ny, zbliżanie i oddalanie się od Ziemi. Epicykliczna teoria doprowadzona do najwyższego poziomu matematycznego przez Ptolemeusza była aż do początków nowożytnego przyrodoznawstwa jedyną wartościową drogą rozwiązywania zadań praktycznej astronomii.

Pominąć tu musimy szczegółowe zagadnienia, jak np. wymagającą specjalnych rozwiązań orbitę Merkurego lub ruch planet w szerokości, wynikający z różnego nachylenia orbit planetarnych.

W najprostszym ujęciu – dla planet górnych (Mars, Jowisz i Saturn) rozwiązanie Ptolemeusza polega na wprowadzeniu deferentu (koła orbitalnego), którego środek nie pokrywa się z Ziemią, analogicznie jak w wypadku mimośrodowej orbity Słońca. Po deferencie porusza się środek epicykla. Na jego

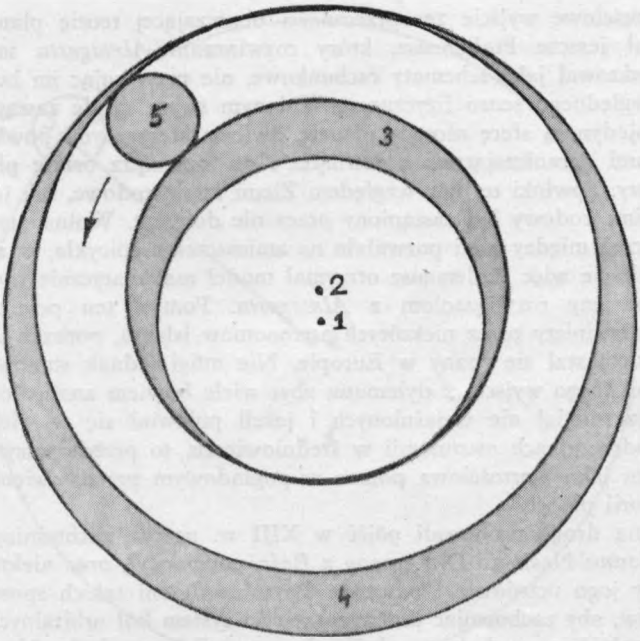
obwodzie wreszcie znajduje się planeta, przy czym położenie jej zależy od chwilowego położenia Słońca. W układzie heliocentrycznym deferent jest po prostu okołosłoneczną orbitą planety, a epicykl staje się zbędny, będąc przecież odtworzeniem ruchu Ziemi.

Powyższe połączenie dwu ruchów kołowych nie wystarczało jeszcze do przedstawienia obserwowanych zjawisk i Ptolemeusz użył dodatkowej konstrukcji, podobnej do tej, którą zastosował już dla Księżyca. Według Ptolemeusza więc środek epicykla porusza się po deferencie jednostajnie tylko względem tzw. „punktu równania" (ekwantu) znajdującego się po przeciwnej stronie Ziemi niż rzeczywisty środek deferentu. Promień wiodący, przeprowadzony ze środka deferentu do środka epicykla nie opisuje zatem równych łuków w równych czasach, a jednostajny ruch wykonuje tylko projekcja tego środka na obwodzie fikcyjnego koła ekwantu. Odpowiada to wprawdzie wcale dobrze obserwowanym zjawiskom, alę jest wyraźnie sprzeczne z naczelną zasadą fizyki „niebieskiej" postulującej istnienie w doskonałym świecie pozaziemskim jedynie doskonałego ruchu kołowego.

Dylemat między dobrym narzędziem geometrycznym deferentów i epicykli, łamiącym założenia filozofii, a teoretycznie poprawnymi sferami współśrodkowymi, zawodzącymi w praktycznym zastosowaniu, trwał jeszcze w nauce europejskiej do czasów Kopernika. Uniwersyteckie wykłady filozofii, oparte na pismach Arystotelesa, nie odstępowały od kosmologicznych tez filozofa, mimo że zawiodły próby zreformowania astronomii zgodnie ze ścisłą doktryną arystotelesowską, podjęte przez dwunastowiecznych awerroistów *, a średniowieczni astronomowie posługiwali się w praktyce tablicami opracowanymi za pomocą aparatu geometrycznego Ptolemeusza. Czołowy przedstawiciel krakowskiej szkoły astronomicznej XV w. stwierdzał w swym komentarzu do teorii planet: „Ekwant jest kołem zmyślonym", „Nie można nic znaleźć w księgach astronomów, co by dowodziło istnienia ekcentryków ** i epicykli". Sfery Eudoksosa-Arystotelesa miały jedną

* Awerroiści – zwolennicy filozofii arabskiego uczonego Awerroesa, komentatora dzieł Arystotelesa.

** Ekcentryki – koła mimośrodowe.



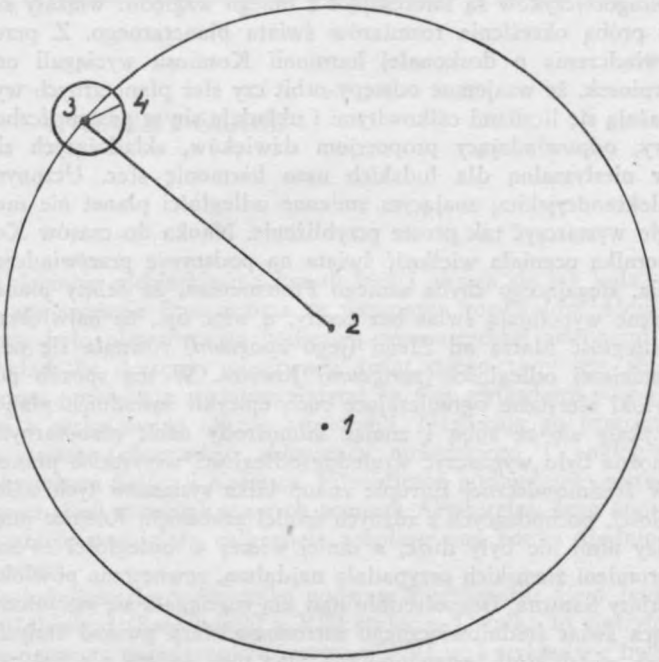
Orbita słoneczna w systemie sfer współśrodkowych
1 – Ziemia, *2* – środek sfer słonecznych, *3* – sfera wewnętrzna, *4* – sfera zewnętrzna, *5* – Słońce

zasadniczą zaletę: dawały wyjaśnienie mechanizmu świata. Sposób działania tego mechanizmu był przedmiotem dyskusji nie pozbawionej głębszej treści historyczno-naukowej. Jeżeli bowiem rozpowszechniony był pogląd, że ruch każdej sfery podtrzymywany jest przez indywidualną, niematerialną inteligencję (jak w pismach św. Tomasza z Akwinu), to w paryskim ośrodku naukowym XIV w. rozwinięto teorię pędu (*impetus*), czyli właściwości sfer, polegającej na tym, że po otrzymaniu pierwszego impulsu miały się one, już bez ingerencji czynników zewnętrznych, poruszać wiecznie niezakłóconym ruchem. Trzysta lat później teoria impetu stała się w dojrzałej już postaci pojęcia bezwładności jednym z podstawowych pojęć nowożytnej fizyki.

Częściowe wyjście ze sprzeczności obarczającej teorię planet dał jeszcze Ptolemeusz, który rozwiązania *Almagestu* sam traktował jako schematy rachunkowe, nie przypisując im bezwzględnego sensu fizycznego. W innym swym dziele zastąpił pojedynczą sferę niosącą planetę dwiema sferycznymi powłokami ograniczającymi z zewnątrz i od wewnątrz orbitę planety. Powłoki te były względem Ziemi mimośrodowe, tak jak mimośrodowy był zastąpiony przez nie deferent. Wolna przestrzeń między nimi pozwalała na zmieszczenie epicykla, w rezultacie więc Ptolemeusz otrzymał model matematycznie równoważny rozwiązaniom z *Almagestu*. Pomysł ten przejęty i rozwinięty przez niektórych astronomów islamu, poprzez ich dzieła stał się znany w Europie. Nie mógł jednak stanowić szukanego wyjścia z dylematu, zbyt wiele bowiem szczegółów pozostawiał nie wyjaśnionych i jeżeli pojawiał się w wielu podręcznikach astronomii w średniowieczu, to przede wszystkim jako wartościowa pomoc w poglądowym przedstawieniu teorii planet.

Inną drogą próbowali pójść w XIII w. uczeni wschodniego islamu: Nasir ad-Din (znany z *Baśni 1001 nocy*), oraz niektórzy jego uczniowie i następcy. Poszukiwali oni takich sposobów, aby zachowując ptolemeuszowski system kół orbitalnych, uwolnić go od konstrukcji ekwantu. Próby szkoły Nasir ad-Dina dały kilka interesujących geometrycznie rozwiązań, a wspomniany już w związku z teorią Księżyca Ibn as-Shatir zaproponował konstrukcję, która miała pojawić się niezależnie od niego w pismach Kopernika przy heliocentrycznych już orbitach: ruch po deferencie jest jednostajny, a dodatkowy mały epicykl (obiegany również jednostajnie) powoduje okresowe odchylenia planety z równym powodzeniem, jak czynił to kwestionowany z przyczyn metodologicznych ekwant Ptolemeusza.

W geocentrycznym świecie przedkopernikowskim nie istniało jednoznaczne uszeregowanie planet pod względem ich odległości od środka świata. Intuicyjne uporządkowanie planet według malejącej szybkości własnego ruchu pozwoliło na stwierdzenie, że najbliższy Ziemi jest Księżyc, najdalsze zaś Mars, Jowisz i Saturn. Nie wyjaśniało to jednak miejsca planet tzw. wewnętrznych, krążących wokół Słońca bliżej niż Ziemia – Merkurego i Wenus, które w geocentrycznym świecie zdają się obiegać Ziemię w ciągu tego samego okresu, co



Orbita planety bez ekwantu
1 – Ziemia, 2 – środek deferentu, 3 – środek epicykla, 4 – planeta

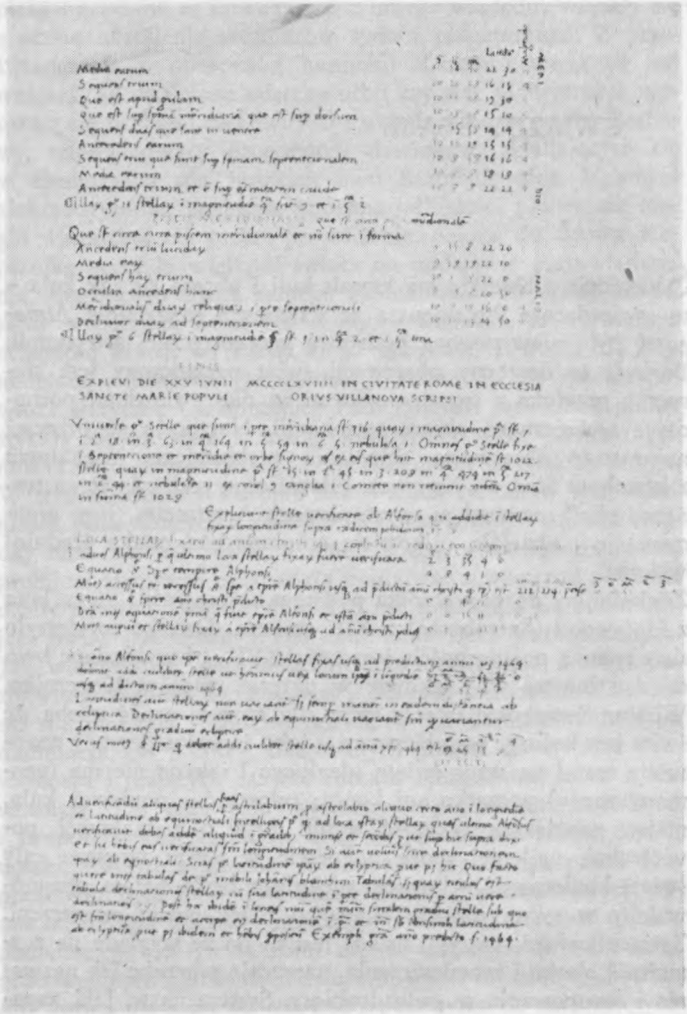
i Słońce, oddalają się przy tym od niego na wschód i na zachód o kilkadziesiąt najwyżej stopni. Powszechnie, przynajmniej od czasu rozkwitu aleksandryjskiej astronomii, uznawany był klasyczny porządek planet: Księżyc, Merkury, Wenus, Słońce, Mars, Jowisz, Saturn. Znany był, co najmniej od czasów Heraklidesa, i inny układ, mylnie określany jako system „egipski", w którym Merkury i Wenus obiegały Słońce jakby po epicyklach i wraz z nim dopiero wykonywały roczny obieg wokół Ziemi. Wspomnieć trzeba o wcześniejszych jeszcze przypuszczeniach pitagorejczyków, podtrzymywanych również przez Platona, według których Słońce miało swe miejsce bezpośrednio nad Księżycem, a więc poniżej wszystkich planet. Poglądy

pitagorejczyków są interesujące z innego względu: wiązały się z próbą określenia rozmiarów świata planetarnego. Z przeświadczenia o doskonałej harmonii Kosmosu wyciągali oni wniosek, że wzajemne odstępy orbit czy sfer planetarnych wyrażają się liczbami całkowitymi i układają się w postęp liczbowy, odpowiadający proporcjom dźwięków, składających się w niesłyszalną dla ludzkich uszu harmonię sfer. Uczonym aleksandryjskim, znającym zmienne odległości planet nie mogło wystarczyć tak proste przybliżenie. Nauka do czasów Kopernika oceniała wielkość świata na podstawie przeświadczenia, sięgającego chyba samego Ptolemeusza, że orbity planetarne wypełniają świat bez reszty, a więc np., że największa odległość Marsa od Ziemi (jego *apogeum*) równała się najmniejszej odległości (*perigeum*) Jowisza. W ten sposób powłoki sferyczne ograniczające ruch epicykli sąsiednich planet stykały się ze sobą i znając mimośrody orbit planetarnych można było wyznaczyć względne odległości wszystkich planet. W średniowiecznej Europie znano kilka systemów tych odległości, pochodzących z różnych źródeł arabskich. Różnice między nimi nie były duże, a mniej więcej w odległości 20 000 promieni ziemskich przypadała najdalsza, zewnętrzna powłoka orbity Saturna. Bezpośrednio nad nią rozciągała się ograniczająca świat średniowiecznego astronoma sfera gwiazd stałych. Jak widzieliśmy, astronomiczny opis tego świata nie był pozbawiony zagadek i sprzeczności. Słabość astronomii planetarnej nie polegała – choć nieraz się ją tak charakteryzuje – na nadmiarze kół i kółek, dodawanych jakoby do systemu Ptolemeusza i mających usuwać rosnącą niezgodność teorii z obserwacją. Do tego celu wystarczało poprawianie wielkości i proporcji poszczególnych kręgów, jak to też nieraz czynili uczeni, zwłaszcza islamu. Astronomia planetarna przed Kopernikiem była natomiast bezsilna wobec podstawowych pytań o fizyczną budowę mechanizmu świata i zamiast układu planetarnego opisywała zbiór nie powiązanych ze sobą orbit poszczególnych ciał niebieskich. Kopernik, mówiąc o „harmonii" świata mógł już odwoływać się nie tylko do racji estetycznych. Teoria heliocentryczna bowiem wiązała planety w system słoneczny i dała klucz do ustalenia porządku i odległości planet.

GWIAZDY STAŁE

Sklepienie niebieskie ma kształt kuli i obraca się jak kula – to stwierdzenie Ptolemeusza ze wstępnych rozdziałów *Almagestu* było niewzruszoną podstawą geocentrycznej astronomii. Pogląd, że dostępny obserwacji świat ograniczony jest sferyczną powłoką z rozmieszczonymi na niej gwiazdami pochodzi z archaicznego okresu astronomii. Narzucają go przecież najprostsze obserwacje sklepienia niebieskiego i analogia z kształtem Słońca i Księżyca. Filozoficzną podbudowę „astronomii sfer" rozwinął w swych pismach Arystoteles. Jego argumentację podzielała całkowicie scholastyczna nauka średniowieczna.

Zaglądnijmy do podręcznika podstaw kosmografii: *Sfery* Jana z Holywood (Sacrobosco) z XIII stulecia. Dziełko to cieszyło się ogromną popularnością jeszcze w XVI w. i wykładane było między innymi w Krakowie w okresie studiów Kopernika. Według Sacrobosco są trzy racje, dla których uznać trzeba, że świat jest kulisty: podobieństwo – jako że świat fizyczny stworzony został na wzór świata idealnego i jak on nie ma (geometrycznego) początku ani końca; celowość – ponieważ kula, mając największą objętość wśród brył o jednakowej powierzchni, najlepiej może pomieścić w swym wnętrzu cały świat; konieczność – bowiem niekulista bryła świata obejmowałaby w swym obrocie okresowo różne partie przestrzeni. Tysiące gwiazd, którymi usiane jest niebo ze względu na rozmaitość blasku i rozmieszczenia, narzucają potrzebę ich nazwania i zgrupowania w gwiazdozbiory. System nazw, jaki zapanował w europejskim kręgu kulturowym, jest dziedzictwem po kulturach starożytnej Azji Mniejszej i basenu Morza Śródziemnego. Całe niebo widoczne z wybrzeży Morza Śródziemnego astronomowie hellenistyczni dzielili na 48 gwiazdozbio-



Fragment katalogu gwiazd z *Tablic astronomicznych króla Alfonsa*. Poniżej obliczenia współrzędnych gwiazd (ruchu ósmej sfery), dokonane przez „Grzegorza Polaka z Krakowa". Rkp. BJ 556, II poł. XV w.

rów, część nazw przejąwszy (jak np. większość gwiazdozbiorów Zodiaku) z astronomii babilońskiej. Ostateczne rozgraniczenia poszczególnych konstelacji pochodziły od Ptolemeusza. Wykorzystując wcześniejsze pomiary, przede wszystkim Hipparcha, określił on współrzędne ponad tysiąca gwiazd. Ich położenie na sferze niebieskiej określone zostało również za pomocą opisu miejsca gwiazdy w figurze gwiazdozbioru. Rozpoczynająca więc katalog gwiazd w *Almageście* gwiazda Polarna nazwana jest gwiazdą „Na końcu ogona [Małej Niedźwiedzicy]".

Do Europy średniowiecznej nazwy gwiazd i gwiazdozbiorów dotarły za pośrednictwem nauki arabskiej, niejednokrotnie poprzez całe łańcuchy tłumaczeń. Niektóre z nich uległy przy tym skażeniu, inne ustąpiły miejsca nazwom orientalnym. W ten sposób klasyczna Lyra zamieniła się w Spadającego Sępa. Dopiero w czasach Kopernika wysiłkiem humanistów przywrócona została terminologia antyczna. Trwalsze okazały się nazwy poszczególnych gwiazd nadane przez astronomów islamu i przejęte w piśmiennictwie europejskim, używane i dzisiaj, a brzmiące egzotycznie i tajemniczo, jak Algenib, Betelgeuze czy Mizar. Tylko nieliczne spośród najjaśniejszych gwiazd noszą nazwy pochodzące ze starożytności, np. Regulus i Kłos (*Spica*). Ewolucję nazewnictwa można zilustrować na przykładzie najjaśniejszej gwiazdy w konstelacji Byka (*alfa Tauri*). Katalog Ptolemeusza określił ją jako „Czerwonawą, jasną, w południowym oku", natomiast oparte na pierwowzorach arabskich trzynastowieczne *Tablice króla Alfonsa* podają nazwę: „Jasna, sprawiająca pogodę, i jest z grupy piątej, i jest żółtawa, i zowią ją Aldebaran, to jest oko lub serce Byka". Sferę gwiazd oddzieloną od Ziemi przez siedem sfer planet określano jako "ósmą sferę". Jej powierzchnia stanowiła odniesienie dla wszelkich pomiarów astronomicznych, przy których używane były (i są nadal) trzy podstawowe układy współrzędnych. W pierwszym z nich kołem odniesienia na sferze niebieskiej jest równik, będący w istocie projekcją równika ziemskiego, a prostopadła do niego oś świata wyznacza bieguny układu. Drugi system współrzędnych, układ ekliptyczny, wyznaczony jest przez płaszczyznę orbity Słońca. Słońce w swym rocznym ruchu na tle gwiazdozbiorów Zodiaku opisuje na niebie koło wielkie ekliptyki. Płaszczyzny ekliptyki i równika na-

chylone są względem siebie pod kątem około 23,5°, zwanym nachyleniem ekliptyki. Dla wykonującego obserwacje istotne znaczenie ma wreszcie układ trzeci, związany z miejscem obserwacji, oparty na płaszczyźnie horyzontu miejscowego.

Wszelkie przyrządy służące do kątowych pomiarów astronomicznych zawierają w swej konstrukcji odtworzenie jednego lub kilku tych układów. Starożytne instrumenty do obserwacji Słońca służyły do wyznaczenia czasu bądź do pomiaru jego kątowej wysokości nad horyzontem. Zegary słoneczne, w których pręt, zwany gnomonem, rzucający cień na płaską lub sferyczną powierzchnię wskazuje godzinę, są chyba najstarszymi instrumentami pomiarowymi w ogóle. Dla wyznaczania kątowej wysokości Słońca, a stąd zarówno szerokości geograficznej miejsca obserwacji, jak i kąta nachylenia ekliptyki, Ptolemeusz i jego poprzednicy stosowali kwadrant słoneczny. Na pionowej, ustawionej w południku płaszczyźnie instrumentu cień prostopadłego do niej pręta pozwalał zmierzyć kąt padania promieni słonecznych. Dla wyznaczania czasu w nocy wystarczał przyrząd prostej konstrukcji, „trójkąt paralaktyczny", używany do obserwacji gwiazd i Księżyca. Pomiaru dokonywano przez przezierniki na ruchomym ramieniu przyrządu. Bardziej skomplikowane instrumenty służyły już raczej celom dydaktycznym. Należy do nich sfera armilarna, za której wynalazcę uchodzi Hipparch, odtwarzająca wzajemne położenie dwóch układów współrzędnych: współrzędnych geograficznych, związanych z miejscem obserwacji, oraz współrzędnych ekliptycznych, w których przedstawiany jest ruch Słońca i planet.

U schyłku starożytności zbudowano nowy przyrząd, astrolabium płaskie, rozpowszechniony i rozwinięty dopiero w astronomii arabskiej. Przyrząd ten stanowił połączenie narzędzia do pomiarów wysokości kątowej z ruchomą mapą nieba, pozwalającą na szybkie, przybliżone rozwiązanie wielu zadań z astronomii matematycznej.

Astronomia średniowieczna wzbogaciła to instrumentarium o ciekawy w pomyśle przyrząd, torkwetum, którego najstarszy opis dał Franko z Polski, działający w Paryżu w XIII w. Torkwetum stanowiło połączenie trzech układów odniesienia. Do-
 dać należy, że jeden z dwóch zachowanych do dziś egzempla-

rzy tego przyrządu znajduje się w Uniwersytecie Jagiellońskim. Torkwetum to dostało się do Krakowa wraz z innymi instrumentami, zapisane w spadku Akademii Krakowskiej przez Marcina Bylicę, współpracownika Jana Regiomontana. Uroczyste przekazanie przyrządów Akademii miało miejsce w 1494 r., a więc w okresie studiów krakowskich Kopernika. Relacje między poszczególnymi układami odniesienia na sferze nie dają się oddzielić od jednego z najtrudniejszych zagadnień astronomii teoretycznej starożytności i średniowiecza, a mianowicie problemu ruchu „ósmej sfery". Chodzi tu o zjawisko precesji, tj. powolny, jednostajny ruch osi ziemskiej, opisującej powierzchnię stożkową wokół osi ekliptyki. W astronomii geocentrycznej, w której oś ziemska (a ściślej oś świata) i równik niebieski są nieruchome, precesyjny ruch Ziemi zastąpiony jest przez obrót sfery gwiazd wokół biegunów ekliptyki w kierunku przeciwnym niż rzeczywisty ruch precesyjny Ziemi. Ruch ósmej sfery uwidacznia się w zmianie współrzędnych gwiazd (które wraz ze swą sferą obracają się powoli w odniesieniu do nieruchomego równika) oraz w różnicy między rokiem gwiazdowym, tj. czasem, w którym Słońce powraca do tego samego punktu na ósmej sferze, i rokiem zwrotnikowym. Odkrycie zjawiska precesji przypisywane jest Hipparchowi.

Teoria ruchu ósmej sfery Ptolemeusza obarczona była błędnie wyznaczonymi przez niego współczynnikami liczbowymi. Interpretacja fizyczna samego zjawiska, zgodna z koncepcją sfer współśrodkowych, polegała na przyjęciu istnienia jeszcze jednej, zewnętrznej (dziewiątej) sfery, obarczonej ruchem dobowym. W punktach odpowiadających biegunom ekliptyki mieściły się bieguny sfery ósmej, niosącej na sobie gwiazdy stałe, i wykonującej wspomniany już ruch precesyjny.

Astronomowie islamu wraz z rozwojem działalności obserwacyjnej w IX w. stanęli wobec konieczności zrewidowania teorii Ptolemeusza przynajmniej pod względem ilościowym. Niektóre arabskie wyznaczenia szybkości ruchu ósmej sfery odznaczały się dużą dokładnością. Inne rozwiązanie dał Thabit ibn Qurra, zastępując jednostajny ruch sfery gwiazd okresową oscylacją, tzw. trepidacją. O ile w rzeczywistym ruchu precesyjnym pełny obieg sfery trwa około 26 000 lat, według Ptolemeusza zaś 36 000 lat, to według Thabita współrzędne

gwiazd mogły ulec zmianie najwyżej o ± 11° w okresie około 4000 lat. Teoria Thabita wpłynęła na rozwój pojęć astronomów europejskich poprzez *Tablice króla Alfonsa*. Tablice te narzuciły astronomii europejskiej nową teorię ruchu precesyjnego, będącą połączeniem ruchu ósmej sfery Ptolemeusza i trepidacji Thabita. W ten sposób ratowano koncepcję ruchu jednostajnego według Ptolemeusza, a przyspieszenia i opóźnienia powodowane przez trepidację wyjaśniać miały rozbieżne wartości liczbowe otrzymane w różnych epokach. Taka kombinacja ruchów, przyjęta przez astronomów europejskich mimo niezadowalającej stale zgodności teorii z obserwacjami, wymagała odpowiedniego zwiększenia ilości sfer nadgwiezdnych i przypisania poszczególnym sferom ruchu dobowego, ruchu precesyjnego i trepidacji. W astronomii XV w. przyjmowany był schemat następujący: *primum mobile* (pierwszy ruch) przeniesione zostało do zewnętrznej, dziesiątej sfery. Wokół biegunów ekliptyki obraca się wewnątrz niej – z zachodu na wschód – sfera dziewiąta, dokonując pełnego obrotu w ciągu 49 000 lat. Z kolei sfera ósma wykonuje oscylacje trepidacyjne w granicach ±9° w okresie 7000 lat.

Gotową receptę rachunkową według powyższego schematu dawały *Tablice króla Alfonsa*. W fizycznej interpretacji panowała jednak niepewność co do rzeczywistego stanu rzeczy. Charakterystyczne może być przedstawienie rywalizujących teorii ruchu ósmej sfery w *Komentarzu* Wojciecha z Brudzewa. Krakowski astronom, nauczyciel Kopernika, unika zajęcia stanowiska wobec sprzecznych wypowiedzi różnych autorytetów: „Sposób [Alfonsa] chociaż przez niektórych zwalczany i krytykowany, to jednak prawdopodobny jest nie mniej niż sposób Thabita i ma swych zwolenników [...]. Pogląd Thabita o ruchu ósmej sfery niektórzy uważają za dostatecznie rozumny i odpowiadający widocznemu ruchowi gwiazd...".

Stanowisko to, zgodne ze stanowiskiem ogółu astronomów późnego średnowiecza, nie pochodziło wyłącznie z niemożności rozstrzygnięcia, która z wielu opinii jest słuszna. Kryzys w podstawowej kwestii astronomii miał głębsze jeszcze podłoże. Żadna bowiem z wysuwanych hipotez nie była w stanie połączyć poprawnego ilościowego przedstawienia zjawisk precesyjnych z zadowalającym teoretycznym ich wyjaśnieniem.

 Również powiększanie liczby sfer nadgwiezdnych nie rozwią-

zywało problemu, gdyż nie udało się, mimo wielu prób, uzyskać poprawnego geometrycznie powiązania poszczególnych sfer w sprawny mechanizm. Dyskusja nad tym zagadnieniem, istotnym dla coraz bardziej aktualnej reformy kalendarza, zajmowała czołowe miejsce w astronomii jeszcze w XVI w. i dopiero trzecie wielkie odkrycie Kopernika, odkrycie prawdziwej przyczyny precesji w ruchu osi ziemskiej, wyzwoliło kosmologię spod ciężaru fikcyjnych sfer nadgwiezdnych. Rozpoczęła się era nowożytnej astronomii.

TABLICE ASTRONOMICZNE

Ostatecznym rezultatem rozważań teoretyków były zbudowane na ich podstawie tablice astronomiczne, podstawowe narzędzie pracy astronoma średniowiecznego. Astrologowie, wykorzystujący najczęściej wyniki badań astronomicznych, mogli w zasadzie zrezygnować zupełnie z obserwacji, byle tylko istniał sposób ustalenia, dla dowolnego momentu, wzajemnego położenia ciał niebieskich. Służyły temu celowi właśnie tablice. Ich użycie nie wymagało już znajomości teorii, z której wynikały. Mniej biegłym w rachunkach wystarczały nawet uproszczone tablice, tzw. *tabulae resolutae,* będące prototypem obecnych roczników astronomicznych i podające dla wielu dat bezpośrednio szukane współrzędne ciał niebieskich.

Zajrzyjmy do najbardziej w Europie XV w. rozpowszechnionych *Tablic astronomicznych króla Alfonsa.* O ich popularności świadczy kilkadziesiąt rękopisów zachowanych w bibliotekach europejskich. Od r. 1483, gdy ukazało się pierwsze wydanie książkowe *Tablic,* były one przedrukowywane jeszcze 11 razy.

Egzemplarz czwartego wydania, z 1492 r., był od czasów studiów krakowskich własnością Kopernika. Zaglądnijmy do tej książki, przechowywanej obecnie w bibliotece uniwersyteckiej w Uppsali (s. 53). W książce liczącej ponad 200 stron przeszło $^1/_3$ zajmują objaśnienia, kanony. Rozmiary i drobiazgowość kanonów są zupełnie zrozumiałe: wobec braku zapisu algebraicznego każdą operację, choćby to było nawet najprostsze dodawanie, trzeba było wyrazić słowami.

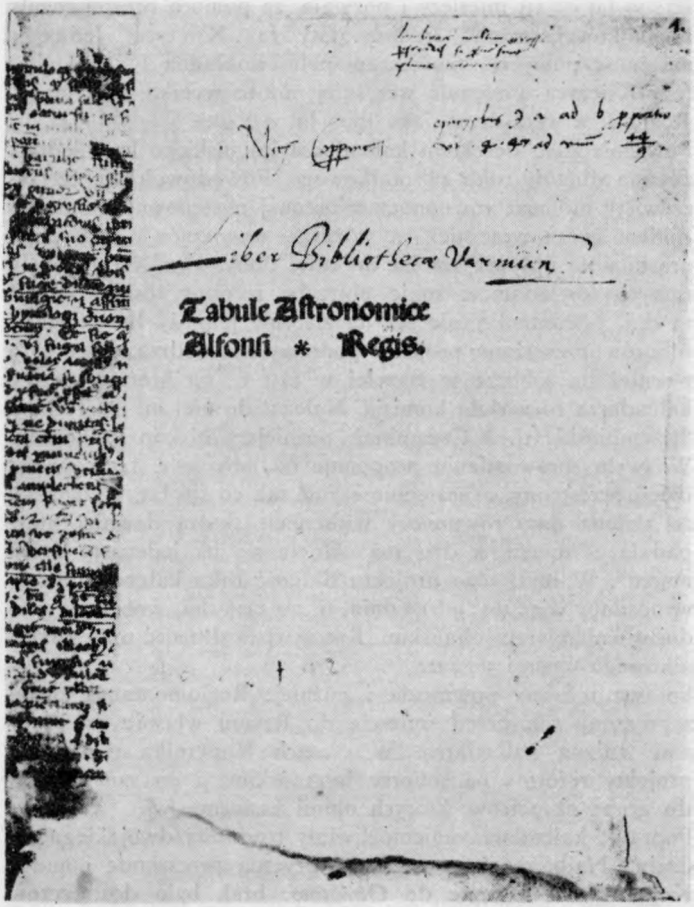
Część liczbową otwiera szereg tablic chronologicznych, mających ułatwić przeliczanie dat wyrażonych w różnych systemach kalendarzowych. W rozwiązywaniu zagadnień chronologicznych astronom XV w. stawał wobec dwóch trudnych proble-

mów: powiązania kalendarza juliańskiego z innymi oraz poprawy tegoż kalendarza.

Naukowa chronologia późnej starożytności opierała się na kalendarzu egipskim o niezmiennej długości roku, wynoszącej 365 dni. Rok taki, prawie o 1/4 doby krótszy od rzeczywistego roku zwrotnikowego, oderwany był oczywiście od potrzeb życia praktycznego, ale nadawał się do rachunków astronomicznych dużo lepiej niż księżycowe i księżycowo-słoneczne kalendarze ludów kultur starożytnych. Dodatkową zaletą był regularny podział roku na 12 miesięcy, liczących po 30 dni. Po ostatnim miesiącu roku następowało 5 dni nadliczbowych. Liczone kolejno lata panowania władcy służyły do określenia roku. Ten właśnie kalendarz stosował w *Almageście* Ptolemeusz. Ptolemeusz jest też autorem *Kanonu królów* – listy władców, począwszy od asyryjskiego Nabonassara (rok 747 p.n.e.) do cesarza rzymskiego Antonina (137–160).

W życiu społecznym starożytnego Rzymu obowiązywał inny kalendarz, również pochodzenia egipskiego. Właśnie aleksandryjski astronom Sozygenes był autorem kalendarza wprowadzonego przez Juliusza Cezara. Nowy kalendarz, znany od imienia Cezara jako juliański, porządkował rachubę czasu w Rzymie, a średnia długość roku, wynosząca 365 1/4 doby, zapewniała wówczas praktyczną zgodność rocznego cyklu życia społecznego i zjawisk słonecznych. Kalendarz juliański przejęty został przez chrześcijańską Europę. Liczenie lat od narodzenia Chrystusa zapoczątkowane zostało w VI w., ale rozpowszechniło się kilkaset lat później. Powiązanie nowej chronologii ze starożytną, zwłaszcza gdy obserwacje antyczne dostępne były jedynie za pośrednictwem niedoskonałych przekładów, sprawiało wiele kłopotu. Jeszcze współczesny Kopernikowi astronom Jan Werner z Norymbergi mylił się o jedenaście lat przy określaniu daty obserwacji Ptolemeusza!

Drugim problemem, którego znaczenie wykraczało poza kwestie czysto astronomiczne, była poprawa kalendarza. Jak już wspominaliśmy, w IV w. ustalono datę równonocy wiosennej na 21 marca. Data równonocy wiosennej ważna jest w kalendarzu kościelnym ze względu na związaną z nią datę świąt Wielkanocy. Dla ustalenia tej ostatniej niezbędna jest znajomość dat faz Księżyca. W komputystyce, nauce o obliczaniu



Karta tytułowa *Tablic astronomicznych króla Alfonsa* (egzemplarz z biblioteki Kopernika). Bibl. Uniw. w Uppsali

kalendarza, wykorzystano do tego celu znany jeszcze w astronomii babilońskiej i wprowadzony w Atenach w V w. p.n.e. cykl Metona, tj. określenie współmierności roku słonecznego i miesiąca księżycowego. Cykl Metona opiera się na równo-

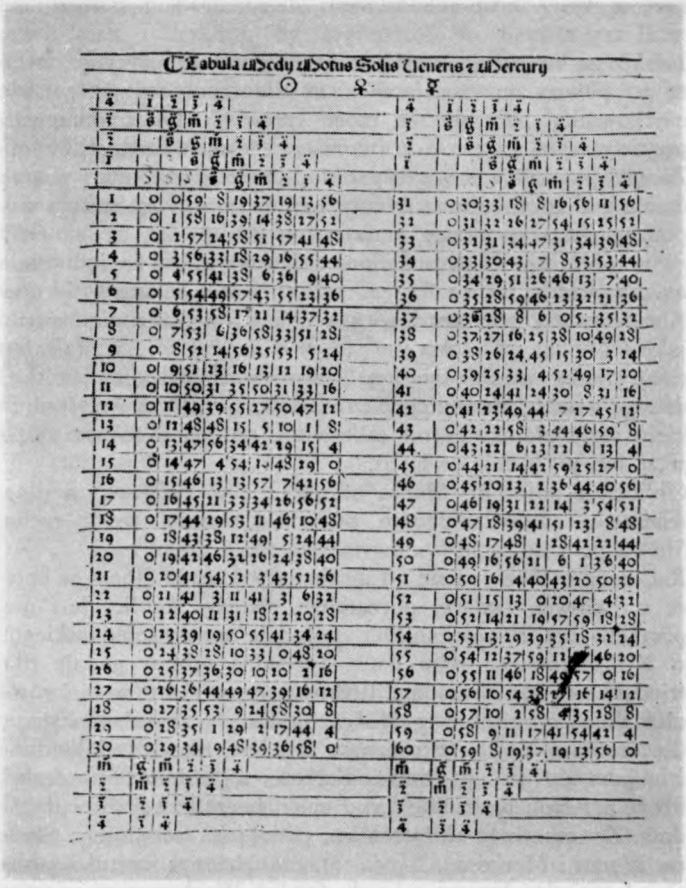
ści: 19 lat = 235 miesięcy i pozwala, za pomocą prostej reguły rachunkowej, ustalić średnie daty faz Księżyca. Jednakże zależność powyższa nie jest w pełni dokładna i rzeczywiste fazy Księżyca występują wcześniej, niż to wynika z rachunku. Różnica ta wzrasta w ciągu 1000 lat o 3 dni.

Poważniejszym defektem kalendarza juliańskiego była jednak zbytnia długość roku zwrotnikowego. Powodowało to, że rzeczywisty moment równonocy wiosennej następował z każdym rokiem coraz wcześniej, a różnica, wynosząca 0,0078 dnia, urastała po upływie 128 lat do całej doby, a w XIII w., gdy zaczęto uświadamiać sobie potrzebę reformy, osiągnęła już 10 dni. Niejednokrotnie też na zlecenie papieży lub z okazji soborów rozważano projekty poprawy kalenadrza. Tak było również na soborze w Bazylei w 1435 r., na którym sprawę kalendarza rozważała komisja. Należał do niej m. in. Tomasz Strzempiński (tj. z Czempina), późniejszy biskup krakowski. W swym sprawozdaniu proponuje on, aby w r. 1436 opuścić dzień przestępny, a następnie czynić tak co 136 lat, w związku ze zmianą daty równonocy wiosennej, „która dawniej przypadała 21 marca, a dziś już cofnęła się na jedenasty dzień marca". W myśl tego projektu długość roku kalendarzowego wynosiłaby więc $365^1/_4 - ^1/_{136}$ dnia, tj. 365,2426 dni, wobec 365,2500 dni w kalendarzu juliańskim. Rzeczywista długość roku zwrotnikowego wynosi 365,2422.

Sprawa reformy powracała i później: Regiomontanus został zaproszony rok przed śmiercią do Rzymu właśnie do pracy nad zmianą kalendarza. W czasach Kopernika rozważano projekty reformy na soborze laterańskim, a on sam należał do grona ekspertów, których opinii zasięgano.

Poprawę kalendarza uniemożliwiały trudności dwojakiego rodzaju. Najbardziej istotną merytoryczną przeszkodę omawia Kopernik we wstępie do *Obrotów:* brak było dostatecznie pewnych teorii ruchu Słońca i Księżyca do ustalenia podstawowych wielkości kalendarzowych. Inne przeszkody miały charakter praktyczny, nie związany z zagadnieniami astronomicznymi. Rozwiązanie problemu kalendarza przyniosła gregoriańska reforma dopiero w końcu XVI w., kiedy już można było, m. in. dzięki pracom Kopernika, określić długość roku zwrotnikowego z dostateczną pewnością.

 Powróćmy do *Tablic astronomicznych króla Alfonsa* i spró-



Tablice astronomiczne króla Alfonsa: średni ruch Słońca, Wenus i Merkurego

bujmy wykorzystać je do prostej operacji rachunkowej – obliczenia położenia Słońca na ekliptyce. Określa je tzw. długość ekliptyczna, czyli odległość kątowa od punktu równonocy wiosennej. Aby uniknąć kłopotów chronologicznych, jakie były udziałem wielu dawnych astronomów, wybierzemy

datę z kalendarza juliańskiego: dzień urodzin Kopernika, 19 II 1473 r.

Tablice wykorzystują sześćdziesiątkowy układ pozycyjny. Było to na pewno dużym ułatwieniem dla średniowiecznego ich użytkownika, lecz obecnie może sprawiać kłopot, ponieważ przyzwyczajeni jesteśmy do liczenia w układzie dziesiątkowym. Znamy przecież i stosujemy układ sześćdziesiątkowy w podziale godziny i kąta na minuty i sekundy. *Tablice* stosują ten podział konsekwentnie, mamy więc $1^\circ = 60'$, $1' = 60''$, $1'' = 60'''$ itd. Większe jednostki, tworzymy z 60 jednostek niższego rzędu. 60° tworzy jednostkę, zwaną *signum physicum*. Kąt pełny 360° zapiszemy więc w układzie sześćdziesiątkowym jako 6^s0°, kąt 179° jako 3^s19° ($= 3 \times 60^\circ + 9^\circ$). W dalszym ciągu liczby sześćdziesiątkowe zapisywać będziemy krótko, dzieląc poszczególne miejsca przecinkami i oddzielając średnikiem część ułamkową od całkowitej, np. $338^\circ26'49'' = 5{,}38^\circ$; 26,49 lub $365^1/_4$ dnia = 6,5;15.

Obliczenie położenia Słońca odbywa się w *Tablicach* według schematu, odpowiadającego ptolemeuszowskiej teorii ruchu Słońca po kole mimośrodowym względem Ziemi.

Rachunek rozpoczyna się od ustalenia położenia Słońca w epoce wyjściowej, będącej początkiem rachuby *Tablic*. Jest nią początek ery chrześcijańskiej, południe czasu toledańskiego, 31 XII pierwszego roku p.n.e. Specjalna tablica podaje dla tej daty najważniejsze dane liczbowe. Znajdujemy w niej również długość ekliptyczną Słońca, podaną z charakterystyczną dla średniowiecznej astronomii, zupełnie fikcyjną dokładnością jako $4{,}38^\circ$;21,0,30,28. Do wielkości tej należy teraz dodać drogę przebytą przez Słońce od epoki początkowej do żądanej daty. Do tego celu służy tablica, podająca „średni ruch Słońca, Wenus i Merkurego" (ryc. 10). Sześćdziesiąt wartości tablicy odpowiada okresom od 1 do 60 dni. W pierwszym wierszu znajdujemy więc dobową szybkość ruchu Słońca: 0°;59,8,19,37, 19,13,56. Dodajmy tu, że szybkość ta odpowiada długości roku zwrotnikowego 365,2425 dni, a więc takiej właśnie, jaką przyjęli później autorzy kalendarza gregoriańskiego.

Nasze obliczenie wymaga jednak wyrażenia odstępu dzielącego daty 31 XII pierwszego roku p.n.e. i 17 II 1473 w dniach, i to liczbą wyrażoną w układzie sześćdziesiątkowym. Odpowiednie tablice pomocnicze, uwzględniające różne kalenda-

rze, ułatwiają obliczenie. Wystarczy zsumować liczby w odpowiednich rubrykach, by stwierdzić, że interesujący nas okres 1472 lata 50 dni zamieniony na dni wyraża się liczbą 2,29,21,38, tj. $2 \times 60 \times 60 \times 60 + 29 \times 60 \times 60 + 21 \times 60 + 38$ dni.

Z tablicy „średniego ruchu Słońca", dowiemy się, że w 38 dniach ruch Słońca wynosi w zaokrągleniu 37°;27,16. Dla 21 dni wartość ta wynosi 20°;41,55. Dla 21 sześćdziesiątek dni będzie ona 60 razy większa, wystarczy więc liczbę 20;41,55 pomnożyć przez 60, przesuwając średnik o jedno miejsce w prawo, by otrzymać rezultat: dla 21,0 dni 20,41°;55. Podobnie otrzymamy dla 29,0,0 dni – 28, 35,1°;29, dla 2,0,0,0 dni – 1,58,16,39°;15.

Pamiętając, że 6 jednostek drugiego rzędu (6,00°) tworzy pełny kąt 360°, możemy przy sumowaniu pominąć jednostki wyższych rzędów.

	4 38°;21	(wartość wyjściowa)
	37°;27	
	20,41°;55	
+	35, 1°;29	
	16,39°;15	
	5 38°;27	

Otrzymaliśmy w ten sposób dla daty 19 II 1473 r. „średnie miejsce Słońca", czyli określony w stopniach i minutach punkt ekliptyki, w którym jest ono widoczne dla obserwatora, znajdującego się w środku orbity. Ponieważ Ziemia nie znajduje się w środku koła drogi słonecznej, konieczne jest uwzględnienie poprawki (*aequatio*), zależnej od położenia Słońca względem linii łączącej Ziemię i środek orbity. Poprawka ta wymaga nieco dłuższych obliczeń przy użyciu dalszych czterech tablic. Odnotujemy tu tylko otrzymaną jej wartość, równą +2°;2, i po dodaniu do miejsca średniego stwierdzimy, że 19 II 1473 r. długość ekliptyczna Słońca wynosiła 5,38°;27 + 2°;2 = 5,40°;29, czyli 340°29'. Do punktu równonocy wiosennej (360°) pozostawało jeszcze prawie 20°, na których przebycie Słońce potrzebuje 20 dni. Pierwsza kalendarzowa wiosna w życiu Kopernika rozpoczęła się więc 11 III 1473 r.

NOTKA BIBLIOGRAFICZNA

Spośród ogólnych historii astronomii, jakie ukazały się w różnych językach w ostatnich dziesięcioleciach, w języku polskim dostępna jest tłumaczona z czeskiego książka: Z. Horský i Z. Plavec, *Człowiek poznaje wszechświat*, Warszawa 1966. Wiele zagadnień dotyczących astronomii średniowiecznej omawia A. Crombie, *Nauka średniowieczna i początki nauki nowożytnej*, Warszawa 1957. Wartościowe omówienie arystotelesowskiej koncepcji świata podaje T. S. Kuhn, *Przewrót kopernikański*, Warszawa 1966.

Bliższe dane o rozwoju astronomii w Polsce w czasach przedkopernikowskich przyniesie zbiorowa *Historia astronomii w Polsce* (w przygotowaniu). Krakowska szkoła astronomiczna XV w. była przedmiotem studium A. Birkenmajera, ogłoszonego m. in. w zbiorowym dziele *Odrodzenie w Polsce*, t. 2, *Historia nauki*, cz. 2, Warszawa 1956.

SPIS TREŚCI

PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE
ODDZIAŁ W POZNANIU, 1971

Wydanie I. Nakład 9000+150 egz. Ark. wyd. 2,75. Ark. druk. 3,75. Papier ilustr. III kl. 80 g. 82×104. Podpisano do druku 27 X 1971 r. Druk ukończono w listopadzie 1971 r. Zam. 1200. D-12.
Cena zł 10,-

ZAKŁADY GRAFICZNE W TORUNIU

W ramach „Biblioteczki Kopernikańskiej", wydawanej przez Towarzystwo Naukowe w Toruniu dla uczczenia pięćsetnej rocznicy urodzin Mikołaja Kopernika, ukazały się już:

KAROL GÓRSKI
Dom i środowisko rodzinne Mikołaja Kopernika

BOHDAN RYMASZEWSKI
Toruń w czasach Kopernika

WALDEMAR VOISÉ
Mikołaj Kopernik – dzieje jednego odkrycia

STEFAN CACKOWSKI
Mikołaj Kopernik jako ekonomista

MARIAN BISKUP
Działalność publiczna Mikołaja Kopernika

LEONARD JARZĘBOWSKI
Biblioteka Mikołaja Kopernika

W najbliższej przyszłości ukażą się m.in.:

CECYLIA IWANISZEWSKA
Astronomia Mikołaja Kopernika

ZENON NOWAK
Kultura Prus Królewskich w czasach Kopernika

Astronomia w Toruniu – mieście rodzinnym M. Kopernika
pod red. C. Iwaniszewskiej