

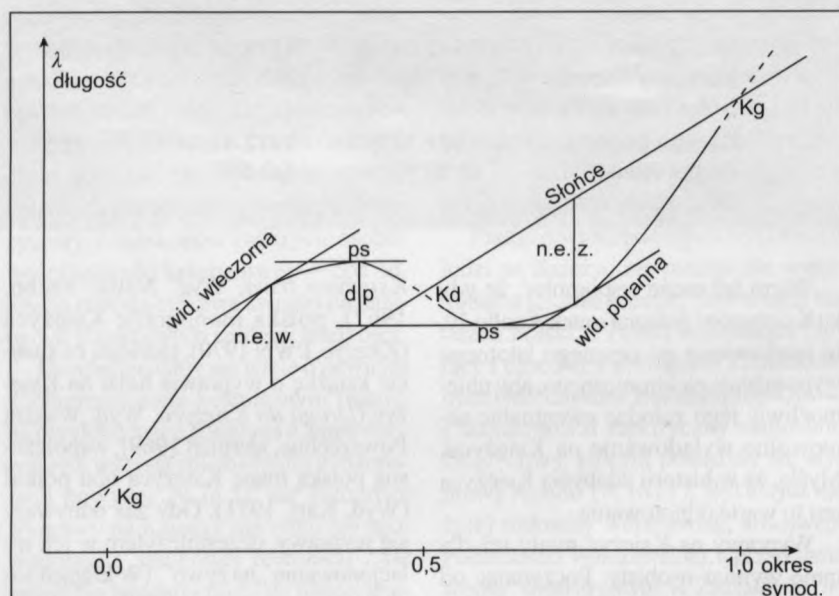
Orbity planet dolnych w heliocentrycznym układzie Kopernika

Obliczanie orbit planet dolnych, Wenus i Merkurego, krążących bliżej Słońca niż Ziemia, sprawiło Kopernikowi dużo kłopotów i nie doprowadziło do pełnego sukcesu. Trudno było uzyskać dokładne pozycje planet widocznych często na tle jasnego porannego lub wieczornego nieba, a czasem znikających w promieniach słonecznych. Ich bliskość powodowała, że założenia Kopernika ruchu jednostajnego po okręgach prowadziły do wykrywalnych różnic między obliczonymi i obserwowanymi pozycjami.

Schematycznie ruch planety dolnej i słońca średniego, znajdującego się w środku orbity Ziemi, można przedstawić następująco, rys. 1.

Przyjmujemy jednostajny, pozorny ruch słońca średniego przedstawiony na rysunku linią prostą. Rzeczywiste Słońce jest w pobliżu słońca średniego. Jego ruch przedstawiałaby linia lekko falista. W momencie koniunkcji górnej planeta znajduje się za Słońcem i jest niewidoczna. Jej długość wzrasta szybciej niż długość Słońca i elongacja, czyli różnica tych długości, powiększa się. Po pewnym czasie planeta staje się widoczna o zmierzchu po zachodzie Słońca. Elongacja rośnie do uzyskania przez planetę największej elongacji wschodniej, n.e.w.

Na rysunku jest to punkt, w którym styczna do linii planety jest równoległa do linii słońca. Dalej następuje zatrzymanie wzrostu długości w punkcie stacjonarnym, w którym styczna jest równoległa do osi czasu, i zmniejszanie się długości. Jest to początek powstawania pętli i szybkie zbliżanie się do Słońca. Planeta staje się niewidoczna i mija Słońce w momencie koniunkcji dolnej, gdy przechodzi między nim a Ziemią. Następnie zjawiska powtarzają się, ale w odwrotnym porządku i ze zmianą strony zachodniej na wschodnią. Planeta pojawia się o świcie przed wschodem Słońca, nad wschodnim horyzontem. Szybko oddala się od Słońca, co wydłuża jej widoczność poranną. W punkcie stacjonarnym pętla osiąga pełną długość

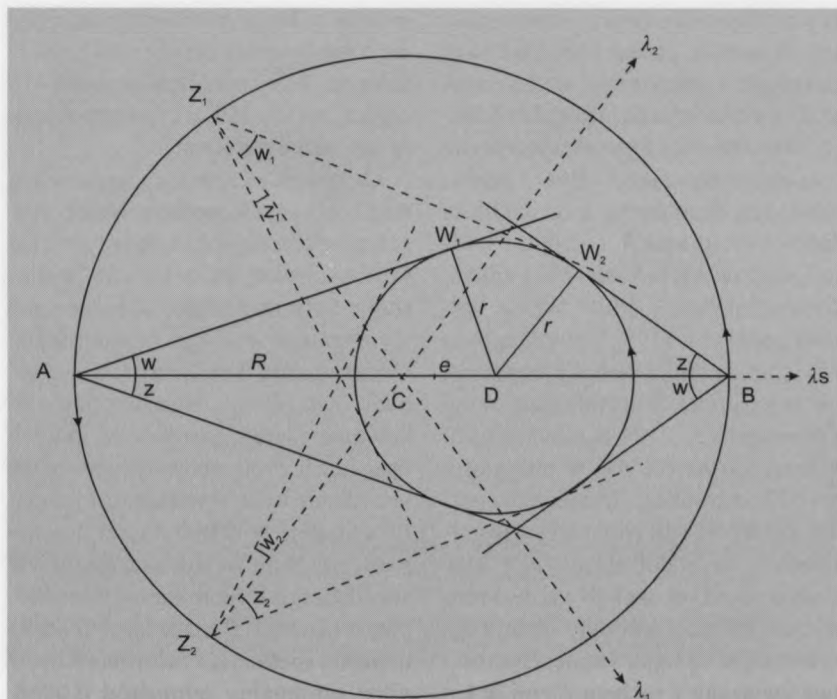


Rys. 1. Zmiany długości słońca średniego i planety dolnej w jej okresie synodycznym. Kg – koniunkcja górna, Kd – koniunkcja dolna, new – największa elongacja wschodnia, nez – największa elongacja zachodnia, ps – punkt stacjonarny, dp – długość pętli.

i zaczyna się jej zamykanie lub kreślenie „zygzaku”, zależnie od równoczesnych zmian szerokości planety. Potem następują kolejno: największa elongacja zachodnia, n.e.z., po której planeta zaczyna zbliżać się do Słońca, koniec widoczności porannej i powrót do koniunkcji górnej. Cały ten cykl zjawisk przebiega w jednym okresie synodycznym. W tym czasie zmieniają się również fazy planety: od pełni w koniunkcji górnej, przez kwadry w największych elongacjach do nowiu podczas koniunkcji dolnej. Zależnie od faz i odległości od Słońca i od Ziemi przebiegają zmiany jasności planety.

Zajmiemy się teraz orbitą Wenus. Tabela zawiera dane liczbowe zjawisk występujących w ruchu tej planety podczas jej okresu synodycznego trwającego 584 dni. Z powodu eliptyczności orbit Wenus i Ziemi oraz nachylenia płaszczyzny orbity planety do ekliptyki, $3^{\circ}24'$, występują odchylenia od średnich wielkości liczbowych podanych w tabeli.

Kopernik rozpoczął obliczanie orbity Wenus od prostego modelu okręgu ekscentrycznego, rys. 2. Orbita Ziemi o środku C i promieniu R otacza mniejszą orbitę Wenus o promieniu r. Środek tej orbity D jest odsunięty od C o odcinek $CD = e$. Te dwa punkty wyznaczają średnicę AB, której końcami są apogeum A i perygeum B. Przy obliczeniach Kopernik korzystał głównie z największych elongacji. Zjawiska te powstają, gdy kierunek z Ziemi do planety przechodzi stycznie do jej orbity. Wtedy kierunki od planety do Ziemi i do środka D tworzą kąt prosty. Z rysunku widać, że gdy Ziemia znajduje się w punktach A lub B, to największe elongacje, wschodnia i zachodnia są jednakowe, n.e.w. = n.e.z., ale widoczne z apogeum A są mniejsze niż z perygeum B. Natomiast widoczne z punktów Z_1 i Z_2 , leżących symetrycznie względem linii AB, największe elongacje są na przemian równe: $n.e.w_1 = n.e.z_2$ i $n.e.z_1 = n.e.w_2$. Kopernik wybierał ze starożytnych obserwacji takie pary równych największych elongacji, wschodniej i zachodniej, przy których podane były równoczesne długości słońca średniego, λ_1 i λ_2 . Z tych wielkości wynikał kierunek średni, który był kierunkiem linii AB. W ten sposób ustalił długość kierunku z A do B $\lambda_s = 48^{\circ}20'$. Kopernik



Rys. 2. Największe elongacje, w – wschodnia, z – zachodnia. Orbita Ziemi: A – apogeum, B – perygeum, C – środek, R – promień. Orbita Wenus: D – środek, r – promień. Rozstaw środków $CD = e$. Długość $\lambda_s = 48^{\circ}20'$ jest średnią długości λ_1 i λ_2 . Trójkąty prostokątne ADW_1 i BDW_2 .

opisuje to następująco (polskie tłumaczenie „O obrotach”, 1976 r.):

„I najpierw o Wenus, która pozwalała na łatwiejsze i bardziej oczywiste... wyjaśnienie swego ruchu, jeśli tylko nie zabraknie niezbędnych obserwacji pewnych miejsc. Jakoż jeżeli jej największe odległości, poranna i wieczorna od średniego miejsca Słońca okazują się po obydwu stronach sobie równe, mamy już tę pewność, że w środku tych właśnie dwóch miejsc Słońca znajduje się najwyższa lub najniższa absyda koła ekscentrycznego Wenus, które rozpoznaje się z tego, że takie jednakowe oddalenia stają się mniejsze przy apogeum, większe po przeciwnej stronie.”

Ustalenie kierunku osi AB umożliwiło dalsze obliczenia. Znowu ze starożytnych obserwacji Kopernik ustalił, że największe elongacje, obserwowane z apogeum A wynosiły $\alpha = 44^{\circ},8$, a z perygeum B $\beta = 47^{\circ},3$. Rys. 2 przedstawia trójkąty prostokątne, które w tych sytuacjach tworzą punkty A i B oraz Wenus i środek jej orbity. Zachowując poprzednio wprowadzone oznaczenia otrzymamy związku:

$$\sin \alpha = \frac{r}{R+e}, \quad \sin \beta = \frac{r}{R-e}.$$

Przyjmując za Kopernikiem $R = 10\,000$, otrzymujemy: promień orbity Wenus $r = 7196$, rozstęp środków orbit $e = 213$. Kopernik rozwiązał te równania, stosując swoją tabelę cięciw w kole i obliczył $r = 7193$ i e prawie 208. Jeżeli użyjemy jednostek astronomicznych, $R = 1$ j.a., to promień orbity Wenus $r = 0,7193$ j.a., co jest w dobrej zgodności z rzeczywistą wielkością $0,7233$ j.a. Rozstaw środków orbit wynosił $e = 0,0208$ j.a. Z tych danych wynika również, że największe elongacje zmieniają się w granicach od $44^{\circ}18'$ do $47^{\circ}44'$. Te ekstremalne wielkości występują, gdy podczas największej elongacji Wenus znajduje się na linii AB. Należy jeszcze zwrócić uwagę, że praca Kopernika wyszukiwania w starożytnych obserwacjach największych elongacji o potrzebnej wielkości nie była łatwa. Zjawiska te nie są zbyt częste. Pojawiają się w odstępach czasu: n.e.z. – 433 dni – n.e.w. – 151 dni – n.e.z. Więc w ciągu roku mogą być najwyżej dwie, n.e.w. i n.e.z., ale są też lata bez takiego zjawiska.

Uzyskane rozwiązanie nie zadowoliło Kopernika. Wśród starożytnych obserwacji znajdował również takie, które wyraźnie różniły się od przewi-

dywanych zgodnie z przyjętym modelem. Kopernik podjął próby udoskonalenia go i zdecydował się na zmianę, która nam wydaje się bardzo dziwna. Wprowadził „koło ekscentryczne koła ekscentrycznego”. Rys. 3 przedstawia ten poprawiony model. Orbita Ziemi o promieniu $R = 10\ 000$ i środku C oraz oś AB pozostały bez zmian. Również promień orbity Wenus wynosił nadal $r = 7193$. Nowością było przyjęcie, że orbita Wenus porusza się, tak że jej środek D opisuje mały okrąg o promieniu $e_1 = 104$ dookoła punktu N leżącego na osi AB w odległości $e_2 = 312$ od środka C. Dzięki temu rozstęp środków orbit zmienił się w granicach $e_2 - e_1 = 208$ do $e_2 + e_1 = 416$. Ruch środka D dookoła N był dwa razy szybszy niż ruch orbitalny Ziemi i odbywał się w tę samą stronę. Był również związany z ruchem Ziemi w ten sposób, że gdy Ziemia znajdowała się w punktach A lub B, rozstęp między środkami orbit był najmniejszy i wynosił $e_2 - e_1$. Natomiast, gdy Ziemia zajmowała pozycję pośrednią, czyli gdy jej promień wodzący był prostopadły do osi AB, rozstęp środków był największy, $e_2 + e_1$. Dzięki temu rozszerzyły się granice największych elongacji, które mogły przyjmować wartości od $43^\circ 40'$ do $48^\circ 10'$. Dalsze rozbieżności między wynikami obserwacji a tym „ulepszonym” modelem Kopernik tłumaczył zmiennością parametrów e_1 i e_2 .

Kopernik przedstawia następująco wprowadzenie ruchomej orbity Wenus. („O obrotach”, 1976):

„Jeżeli, na przykład, dookoła środka N, a odległością DN nakerślimy małe koło, wokół którego krążyłaby orbita Wenus i zmieniałaby się według tego prawa, że ilekroć Ziemia wpada na średnicę ACB, na której znajduje się najwyższa i najniższa absyda koła ekscentrycznego, środek orbity planety jest zawsze w najmniejszej odległości, to jest w punkcie M, a gdy na średnią absydę, jaką jest G, środek orbity osiąga punkt D i największą odległość CD. Dzięki temu daje się zrozumieć, że w tym czasie, w którym Ziemia raz obiega swoją orbitę, środek orbity planety dokonuje dwóch obrotów dookoła środka N i w te same strony, co Ziemia... To zaś wszystko, co dotąd zostało powiedziane o Wenus, okazuje się zgodne z naszymi również czasami,

mi, tyle tylko, że mimośród zmniejszył się o jedną szóstą prawie część, tak iż teraz on, który przedtem wynosił 416 części, ma ich 350, o czym przekonują nas liczne obserwacje.”

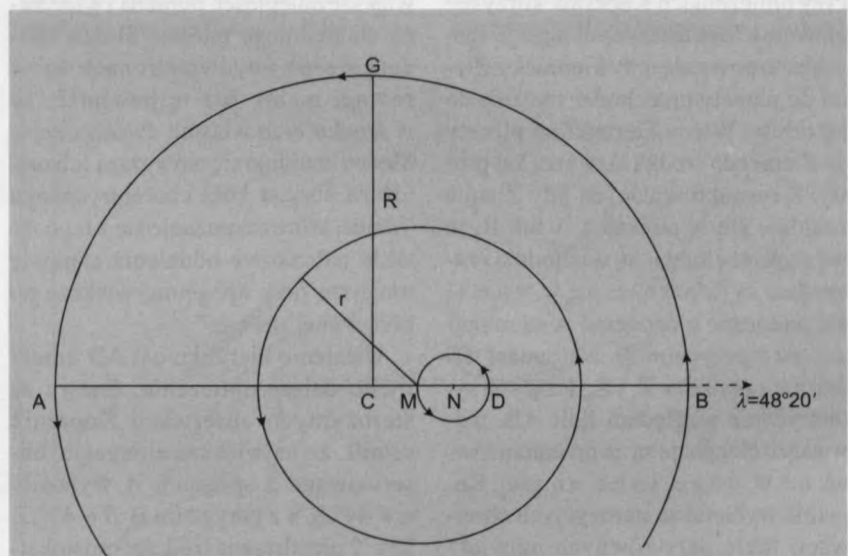
Oczywiście jesteśmy zadziwieni taką koncepcją Kopernika. Należy jednak uświadomić sobie, że w tych czasach wszystkie ruchy kołowe, jednostajne były doskonałe, wieczne i nie wymagające żadnego uzasadnienia. Umieszczenie Wenus na ruchomej orbicie było równie naturalne, jak ulokowanie planet górnych na małych epicyklach. Problemów dynamicznych jeszcze nie było, wystarczała kinematyka zgodna ze starożytnymi dogmatami. Spróbujmy jednak zastanowić się, dlaczego Kopernik miał takie kłopoty z tą orbitą. Przecież jest to orbita najlepiej spełniająca założenia Kopernika: minimalny mimośród 0,0068, a więc orbita prawie okrągła, ruch planety zbliżony do jednostajnego, Słońce blisko środka. A jednak obserwacje nie potwierdzały wyników obliczeń i narzuciły model zależny od ruchu Ziemi. Może nie uwzględniona przez Kopernika eliptyczność orbity Ziemi i jej niejednostajny ruch dały znać o sobie. Mimośród orbity ziemskiej, 0,0167, przy bliskich odległościach planety, mógł już powodować mierzalne różnice między obliczonymi i obserwowanymi pozycjami We-

nus. Ale Kopernik wolał poruszyć orbitę Wenus niż wprowadzić jakiegokolwiek zmiany w orbicie ziemskiej, która przy obiektach dalszych wykazała swoją poprawność.

Druga planeta dolna, Merkury, okazała się przy wyznaczaniu orbity trudniejsza od Wenus. Zjawiska występujące w czasie jej okresu synodycznego, wynoszącego 116 dni, przebiegają zasadniczo zgodnie z podanym schematem. Ale wszystkie parametry wykazują zmienność w szerokich granicach:

- największe elongacje, n.e. $18^\circ - 28^\circ$
- czas między koniunkcją dolną a największą elongacją 15–29 dni
- czas między punktami stacjonarnymi 24–29 dni
- elongacje punktów stacion. $15^\circ - 20^\circ$
- długość pętli $9^\circ - 16^\circ$

Wyjaśnienie takiej zmienności wymagało skomplikowanego modelu orbity. Do tego dochodziły trudności z uzyskaniem odpowiednich danych obserwacyjnych. Kopernik nie podaje żadnej swojej obserwacji tej planety, natomiast, po przedstawieniu wyników astronomów starożytnych, żali się na warunki obserwacyjne we Fromborku: „Ten właśnie sposób sprawdzenia biegu tej gwiazdy wskazali nam starożytni, lecz wspomagało ich pogodniejsze niebo, a mianowicie tam,

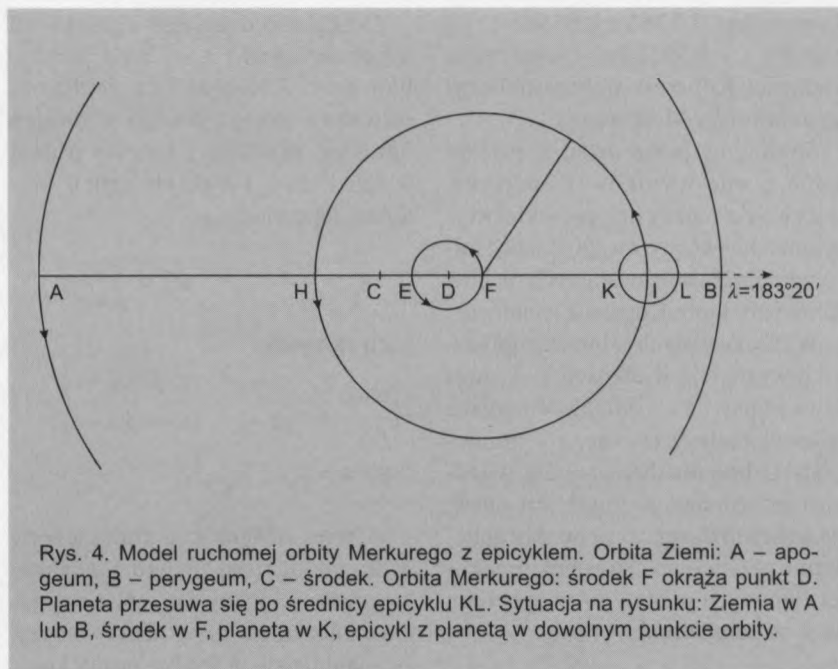


Rys. 3. Model ruchomej orbity Wenus. Orbita Ziemi: A – apogeum, B – perygeum, C – środek, R – promień. Orbita Wenus: M – środek, r – promień. Sytuacja na rysunku: Ziemia w A lub B, środek orbity Wenus w M. Gdy Ziemia jest w G lub po przeciwnej stronie, środek z M przesunie się po okręgu do D. Wenus może być w dowolnym punkcie orbity.

gdzie Nil — jak powiadają — nie wydaje takich oparów, jakie u nas Wisła. Nam bowiem zamieszkującym surowszą krainę, gdzie cisza powietrza jest rzadsza, natura odmówiła tej wygody, a ponadto z powodu znacznej ukośności sfery rzadziej pozwala widzieć Merkurego, chociażby był w największej odległości od Słońca... Dlatego ta gwiazda kosztowała mnie wiele okrężnych dróg i trudu, aby zbadać jej błędzenia.” Kopernik często nazywa planety gwiazdami, a za Jego czasów Wisła oznaczała nie tylko rzekę, ale i Zalew Wiślany.

Kopernik rozpoczął obliczenia od wyznaczenia punktów apogeum i perygeum Merkurego na orbicie ziemskiej, stosując tę samą metodę, jak w przypadku Wenus. Stwierdził, że Ziemia jest w apogeum, gdy długość słońca średniego wynosi $\lambda = 183^{\circ}20'$. Następnie wprowadził ruchomą orbitę planety, której środek zataczał mały okrąg. Powtórzył więc zabieg zastosowany przy orbicie Wenus, ale z pewną modyfikacją. Środek orbity przebiegał okrąg w okresie półrocznym, tak że rozstaw środków orbity Ziemi i Merkurego był maksymalny, gdy Ziemia była w apogeum lub perygeum i minimalny, gdy była w pozycjach pośrednich. W modelu Wenus było odwrotnie. Dalszą nowością było umieszczenie małego epicyklu na końcu promienia orbity Merkurego. Planeta poruszała się po średnicy epicyklu, powodując skracanie i wydłużanie promienia. Odbywało się to ruchem wahadłowym w okresie półrocznym. Kopernik poprzednio wyjaśnił, jak taki ruch po linii prostej powstaje z dwóch ruchów kołowych. Ale lepiej będzie, jeżeli zacytujemy tekst Kopernika i przedstawimy Jego rysunek, rys. 4 (O obrotach str. 275):

„Lecz aby wyraźniej pojąć to założenie, niech AB będzie wielką orbitą Ziemi, C jej środkiem, a ACB średnicą, na której obrawszy między punktami B i C środek D, nakreślmy odległością trzeciej części linii CD małe koło EF, tak aby w F była największa odległość od punktu C, a w E najmniejsza. Ponadto nakreślmy dookoła środka F krąg Merkurego, którym niech będzie HI. Następnie obrawszy środek w największej absydzie I dodajmy jeszcze epicykl, po którym przebiegałaby planeta. Niech krąg HI, będący



Rys. 4. Model ruchomej orbity Merkurego z epicyklem. Orbita Ziemi: A – apogeum, B – perygeum, C – środek. Orbita Merkurego: środek F okrąża punkt D. Planeta przesuwa się po średnicy epicyklu KL. Sytuacja na rysunku: Ziemia w A lub B, środek w F, planeta w K, epicykl z planetą w dowolnym punkcie orbity.

ekscentrycznym kołem koła ekscentrycznego, stanie się ekscentroepicyklem. Po ułożeniu w ten sposób figury niech te wszystkie po kolei punkty padną na linię prostą AHCEDFKILB. Tymczasem zaś umieścimy planetę w K, to jest w najmniejszej odległości, którą jest KF, od środka F. Ustaliwszy już taki początek obrotów Merkurego, wyobraźmy sobie, że środek F dokonuje dwóch obrotów na jeden obrót Ziemi, i to w te same strony, to jest w kierunku sekwencji, i podobnie też planeta na KL, lecz po samej średnicy w górę i w dół w stosunku do środka okręgu HI. Z tego bowiem wynika, że skoro tylko Ziemia znajdzie się w A lub B, środek kręgu Merkurego jest w F, czyli miejscu najbardziej oddalonym od C, kiedy natomiast Ziemia znajdzie się w środkowych ćwiartkach, on jest w najbliższym miejscu E,... Na tej także zasadzie Merkury przebiegając średnicę epicyklu KL, znajdzie się najbliżej środka koła unoszącego epicykl, który jest w K, kiedy Ziemia wchodzi na średnicę AB, a gdy jest w środkowych miejscach po obydwu stronach, gwiazda dojdzie do najodleglejszego miejsca L. W ten sposób powstają dwa bliźniacze, wzajemnie sobie równe i z rocznym okresem Ziemi współmierne obroty: środka koła po okręgu małego koła EF oraz gwiazdy po średnicy LK. Tymczasem zaś epicykl lub linia FI, oraz jego środek porusza się równomiernie swoim własnym ruchem po

kręgu HI, kończąc w 88 prawie dniach jeden obrót w prostym ruchu i w odniesieniu do sfery gwiazd stałych. Lecz w tym ruchu, o który przewyższa ruch Ziemi i który nazywamy ruchem paralaksy, powraca do niej w 116 dniach,...” A teraz dwie uwagi w związku z zacytowanym tekstem. Kopernik przedstawił ten model wyjątkowo dokładnie. Widocznie uważał, że tak skomplikowana konstrukcja wymaga szczegółowego opisu. Poprzednio spotkaliśmy opisy skrótowe, wymagające dodatkowych wyjaśnień. Drugą uwagę wywołuje podanie pierwszy raz dwóch okresów: gwiazdowego 88 dni i synodycznego, zwanego okresem paralaksy, 116 dni. Dla nas okresy te są podstawowymi parametrami ruchu planety. Ale przy pozostałych czterech planetach Kopernik nie podawał tak bezpośrednio odpowiednich danych.

Dane liczbowe modelu orbity Merkurego są następujące:

Jeżeli promień orbity Ziemi $AC = CB = 10\,000$, to
 średni promień orbity Merkurego $FI = 3763$,
 promień epicyklu $KI = IL = 190$,
 średni rozstęp środków $CD = 736$,
 promień małego okręgu $DE = DF = 212$.

Używając jednostek astronomicznych stwierdzimy, że półos wielkiej rzeczywistej orbity Merkurego, wynosząca 0,3871 j.a. mieści się w granicach zmienności promienia według danych

Kopernika: $0,3763 \pm 0,0190$, czyli $0,3573$ j.a. – $0,3953$ j.a. A więc mimo trudności Kopernik dobrze obliczył rozmiar orbity Merkurego.

Spróbujmy przeprowadzić jeszcze jedną ocenę wyników Kopernika. Oczywiście należy przyjąć jakieś kryterium takiej oceny, uwzględniając fałszywe założenia jednostajnych ruchów kołowych, które Kopernik zachował.

W rzeczywistych orbitach eliptycznych występują wielkości: a — duża półoś elipsy i c — odległość ogniska od środka elipsy, ($c = ae$, e — mimośród). Orbita ma dwa ogniska, w jednym jest Słońce, a drugie jest puste. Na końcach dużej osi są punkty aphelium i peryhelium. Stosunek prędkości liniowych planety v_a w aphelium do v_p w peryhelium wynosi:

$$\frac{v_a}{v_p} = \frac{a-c}{a+c}$$

Odległość drugiego ogniska od aphelium wynosi $a-c$, a od peryhelium $a+c$. Z tego wynika, że dla obserwatora umieszczonego w drugim ognisku, prędkości kątowe planet w aphelium u_a i w peryhelium u_p wynoszą odpowiednio:

$$u_a = \frac{v_a}{a-c}, \quad u_p = \frac{v_p}{a+c},$$

a ich stosunek:

$$\frac{u_a}{u_p} = \frac{v_a}{v_p} \cdot \frac{a+c}{a-c} = \frac{(a-c)(a+c)}{(a+c)(a-c)} = 1$$

czyli $u_a = u_p$.

A więc obserwator umieszczony w drugim ognisku stwierdzi jednakowe prędkości kątowe planet, co zgodnie z założeniem Kopernika świadczy, że znajduje się w środku orbity kołowej. Możemy więc przyjąć, że Kopernik wyznaczył poprawnie orbity, jeżeli

ich środki pokrywały się z drugimi ogniskami orbit eliptycznych. Tu możemy przypomnieć, że omawiane poprzednio rozstawy środków orbit Ziemi i planet górnych, (*Urania* 4/99) ok. dwa razy większe od odpowiednich wielkości c należy interpretować jako efekt odsunięcia środków orbit do drugich ognisk. Teraz sprawdzimy odpowiednie dane dla planet dolnych.

Tabela 2 podaje kierunki do apheliów Wenus i Merkurego w skali długości używanej przez Kopernika: współczesne długości ekliptyczne zredukowane na epokę 1520 r. i zmniejszone o ówczesną długość ekliptyczną gwiazdy γ Ari, od której Kopernik wyznaczał swoje długości λ . Na rys. 5 kierunki te poprowadzono od Słońca i oznaczono na nich położenia drugich ognisk. W ten sposób określono również drugie ognisko orbity Ziemi. Z tego punktu poprowadzono kierun-

Tabela 1. Wenus — zjawiska w okresie synodycznym 584 dni.

Koniunkcja górna. Planeta niewidoczna za Słońcem. Długość rośnie. Pełnia. Średnica tarczy $10''$.

40 dni

Początek widoczności Gwiazdy Wieczornej nad zachodnim horyzontem po zachodzie Słońca. Elongacja wschodnia ok. 8° . Jasność $-3.^m8$.

180 dni

Największa elongacja wschodnia, n.e.w. $45^\circ-47^\circ$. Ostatnia kwadra. Średnica tarczy $25''$.

36 dni

Największa jasność $-4.^m6$.

15 dni

Punkt stacjonarny. Elongacja w. 29° . Początek zmniejszania się długości i powstawania pętli.

17 dni

Koniec widoczności Gwiazdy Wieczornej. E. w. 8° .

5 dni

Koniunkcja dolna. Planeta niewidoczna między Słońcem a Ziemią. Nów. Średnica tarczy $60''$.

5 dni

Początek widoczności Gwiazdy Porannej nad wschodnim horyzontem przed wschodem Słońca.

17 dni

Punkt stacjonarny. Początek wzrostu długości. Zamykanie pętli rozciągniętej na 16° .

15 dni

Największa jasność $-4.^m6$.

36 dni

Największa elongacja zachodnia, n.e.z. $45^\circ-47^\circ$. Pierwsza kwadra. Średnica tarczy $25''$.

180 dni.

Koniec widoczności gwiazdy polarnej.

40 dni

Koniunkcja górna.

Uwaga. Jeżeli w czasie koniunkcji dolnej Wenus jest blisko ekliptyki, to może być widoczna jako czarny krążek przechodzący przez tarczę słoneczną. Najbliższe takie przejście w 2004 r.

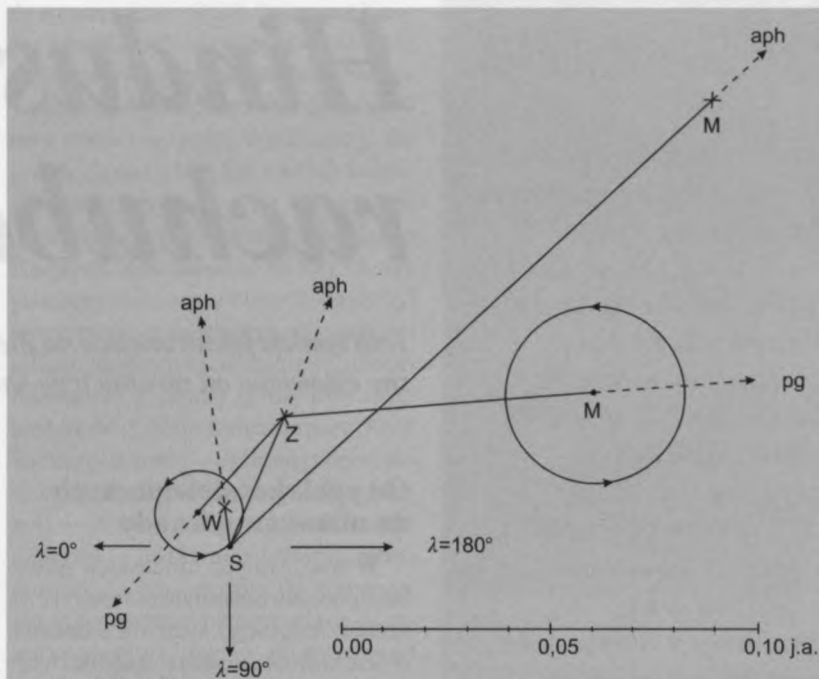
Tabela 2. Zredukowane długości apheliów Ziemi, Wenus i Merkurego, $\lambda = \lambda(1520) - 25^\circ 37'$ i odległości od Słońca drugich ognisk ich orbit, $2c$.

Planeta	λ	$2c$
Ziemia	$249^\circ 5'$	0,033 j.a.
Wenus	$279^\circ 11'$	0,010 j.a.
Merkury	$224^\circ 23'$	0,159 j.a.

ki do perygeów wyznaczone przez Kopernika i na nich oznaczono małe okręgi, po których miały się poruszać środki orbit. Z rysunku widać, że okrąg Wenus pokrywa drugie ognisko jej orbity. Możemy więc ocenić, że mimo trudności, ta orbita została poprawnie wyznaczona. Natomiast środek orbity Merkurego znalazł się daleko od drugiego ogniska. W tym przypadku możemy mówić tylko o jakościowej zgodności: duża odległość i ogólny kierunek. Widocznie wyjątkowy mimośród 0,206 i brak odpowiednich obserwacji uniemożliwiły Kopernikowi dokładniejsze umiejscowienie środka tej orbity, chociaż jej promień został obliczony poprawnie. Wydaje się, że sam Kopernik nie był zadowolony z uzyskanego wyniku. Naszkicował jeszcze zupełnie inny model orbity Merkurego, złożony z dużych ruchomych okręgów, ale szczegółowo go nie opracował.

Literatura:

Polska Akademia Nauk, Mikołaj Kopernik, *Dzieła Wszystkie*, II O obrotach, PWN, Warszawa 1976.



Rys. 5. Centralny obszar układu planetarnego. Na kierunkach do apheliów, aph, poprowadzonych od Słońca S, oznaczono krzyżykami drugie ogniska orbit Ziemi – Z, Wenus – W i Merkurego – M. Od punktu Z narysowano kierunki do perygeów, pg, i okręgi, po których w modelach miały się poruszać środki orbit Wenus i Merkurego.

C.W. Allen, *Astrophysical Quantities*, University of London The Athlone Press, 1955.

A. Opolski, *Urania-PA*, 4/99

Prof. Antoni Opolski jest astrofizykiem, emerytowanym dyrektorem Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego i byłym prezesem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego.

Sprostowanie

W poprzednim artykule autorstwa prof. Opolskiego (*Urania-PA* 4/99) znalazło się kilka błędów: str. 157. (ramka i w tekście) zamiast $\delta\lambda_1$ i $\delta\lambda_2$ winno być $\Delta\lambda_1$ i $\Delta\lambda_2$; podpis pod rys. 1. — zamiast „środku Ziemi D” winno być „środku orbity Ziemi D” str. 158. u góry — zamiast „7 lub 12 sześćdziesiątych” winno być „7 i 12 sześćdziesiątych” str. 159. w połowie pierwszej kolumny — zamiast „kierunek planety do Ziemi” winno być „kierunek od planety do Ziemi”

Poprawna postać wzoru na stronie 160. wygląda następująco:
$$\frac{u_{ph}}{u_{ah}} = \left(\frac{a+c}{a-c} \right)^2$$

Autora i Czytelników serdecznie przepraszamy. *Redakcja*

INFORMACJE O PRENUMERACIE URANII-PA

Prenumerata na rok 1999 (6 zeszytów) kosztuje 36 zł (zagraniczna 50 zł). Cena pojedynczego zeszytu 7.50 zł. Wpłaty prosimy kierować na konto:

Polskie Towarzystwo Astronomiczne
BIG Bank Gdański S.A. o/Toruń
Nr 11601612-6347-132

Wszelkich informacji o prenumeracie i zakupie numerów archiwalnych „Postępów Astronomii” i „Uranii-PA” udziela:

Barbara Gertner
Centrum Astronomii UMK
ul. Gagarina 11, 87-100 Toruń
E-mail: basia@astri.uni.torun.pl
tel/fax (0-56) 611 30 14 / 611 30 08

