

Jarosław WŁODARCZYK

Instytut Historii Nauki PAN
WarszawaKILKA UWAG O OBSERWACJACH I TEORIACH
ASTRONOMICZNYCH W CZASACH GALILEUSZA

Astronomia matematyczna końca XVI i pierwszej połowy XVII wieku funkcjonowała w kontekście trzech podstawowych modeli Układu Słonecznego: mającego ponad tysiącletnią tradycję układu geocentrycznego, nowego, rozwijającego się układu heliocentrycznego oraz najmłodszego z nich — układu geo-heliocentrycznego Tychona Brahego. Przed każdym z tych modeli stało wyzwanie uwiarygodnienia swych konstrukcji teoretycznych, lecz podstawową trudnością na tej drodze był pomiar paralaksy Słońca — jej wartość, wynosząca około 9", pozostawała poza granicą możliwości ówczesnych metod i instrumentów obserwacyjnych. W ten sposób fundamentalny parametr każdego z modeli — wartość promienia orbity Ziemi — był znany ze znaczącym błędem. Niemniej parametr ten stanowił tylko jeden z czynników decydujących o dokładności tablic astronomicznych, które były konstruowane na podstawie wymienionych modeli w celu przewidywania położen planet na sferze niebieskiej. A astronomia XVII wieku zaczęła przywiązywać wielką wagę do obserwacyjnej weryfikacji tablic astronomicznych, tym bardziej że dzięki zastosowaniu lunety stały się możliwe obserwacje bodaj najbardziej spektakularnych koniunkcji: przejść planet wewnętrznych na tle tarczy Słońca.

*UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (obi@opoka.org). Tekst elektroniczny posiada odrębną numerację stron.

OD ‘DE REVOLUTIONIBUS’ DO ‘TABULAE RUDOLPHINAE’

Często za moment przełomowy dla renesansowej astronomii pozycyjnej przyjmuje się listopad 1563 rok i ówczesną koniunkcję Jowisza z Saturnem, kiedy to młody Brahe stwierdził, że *Tabulae Alfonsinae* mylą się w przewidywaniu tego zjawiska o miesiąc, *Pruenicar tabulae coelestium motuum* zaś — o 2 dni. Powszechnie wówczas używane *Tablice alfonsyńskie* miały całkowicie geocentryczny rodowód; zostały opracowane w XIII wieku (epoka tablic to południe 31 maja 1252) na podstawie modelu Klaudiusza Ptolemeusza, z niewielkimi tylko modyfikacjami jego liczbowych parametrów. *Tablice pruskie*, zestawione przez Erasmusa Reinholda w 1551 roku według modelu przedstawionego w *O obrotach*, miały w intencji autora upamiętnić Mikołaja Kopernika, „którego wysiłki i badania na nowo odrodziły naukę o ruchach ciał niebieskich, bliską zapaści”. Reinhold uczynił dla modelu heliocentrycznego to, o czym marzył wydawca *O obrotach*, umieszczając na stronie tytułowej pierwszego wydania dzieła zachętę:

Znajdziesz tutaj również bardzo użyteczne tablice, za pomocą których będziesz mógł łatwo prowadzić obliczenia [położenia planet] dla dowolnego czasu. Dlatego kup, czytaj, używaj¹.

W *Tablicach pruskich* parametry liczbowe oraz tablice ruchów średnich i poprawek zostały podane *explicite* i w łatwej do wykorzystania w obliczeniach formie, czego nie można powiedzieć o dziele Kopernika. Odtąd żadne efemerydy, układane w drugiej połowie XVI wieku na podstawie teorii heliocentrycznej fromborskiego uczonego, nie wywodziły się bezpośrednio z *O obrotach*, lecz z *Tablic pruskich*². Niemniej tablice astronomiczne budowane na podstawie modelu Kopernika nie przyniosły istotnej poprawy dokładności przewi-

¹*Habes etiam Tabulas expeditissimas, ex quibus eosdem ad quoduis tempus quam facillime calculare poteris. Igitur eme, lege, fruere.*

²Tablice astronomiczne zawierają zestaw parametrów i metod rachunkowych, wywodzących się z określonej teorii i pozwalających obliczać położenia ciał niebieskich dla dowolnej epoki. Efemerydy to zestawienie geocentrycznych położenia ciał niebieskich, podawanych w niewielkich odstępach czasu (dzień lub dni) dla kilku zazwyczaj lat. Pierwsze drukowane efemerydy zostały obliczone i wydane ok. 1474 roku

dywań miejsc planet na sferze niebieskiej: wciąż, tak jak w przypadku *Tablic alfonsyńskich*, błędy maksymalne sięgały kilku stopni.

W czasach Galileusza (1564-1642) astronomia obserwacyjna, przede wszystkim za sprawą Tychona Brahego, osiągnęła w określaniu położenia Słońca, Księżyca i planet dokładność kilku minut kątowych, co wystawiło na szwank dobre imię uczonych konstruujących tablice astronomiczne. Zapoczątkowany przez Brahego program odnowy astronomii zakładał, że na podstawie długich ciągów obserwacyjnych o najwyższej dostępnej precyzji jest możliwe wyznaczenie parametrów modelu geo-heliocentrycznego, a następnie — obliczenie dokładnych tablic astronomicznych³, co najmniej o rząd wielkości dokładniejszych od będących wówczas w użyciu. W tym celu Brahe sprowadził w 1600 roku, do Pragi Johanna Keplera.

Kepler wykorzystał obserwacje Brahego, chociaż nie do końca w zgodzie z intencjami Duńczyka. Będąc bowiem zwolennikiem teorii Kopernika, poszukiwał najbardziej odpowiedniego kształtu dla orbit planet w systemie heliocentrycznym. Pierwszą kulminację tych badań przyniosła *Astronomia nova*, wydana w 1609 roku. W traktacie tym zostały sformułowane dwa pierwsze prawa Keplera ruchu planet. Trzecie prawo Keplera zawierało dzieło *Harmonice mundi*, które ujrzało światło dzienne w 1619 roku. Ale ani *Astronomia nova*, ani *Harmonice mundi* nie zyskały znaczącej popularności wśród astronomów tamtej epoki. Natomiast sukces odniósł wykład heliocentrycznej astronomii elips, *Epitome astronomiae Copernicanae*, opublikowany przez Keplera w trzech częściach w latach 1618-1621. Ów „skrót” w siedmiu księgach zawierał też sformułowanie równania Keplera

$$E - e \sin E = M,$$

wiążącego anomalię mimośrodkową E z anomalią średnią M ruchu planety po eliptycznej orbicie o mimośrodku e . W latach 1630-1650 *Epitome* były bodaj najpowszechniej studiowanym podręczni-

w Norymberdze przez Johanna Regiomontanus; za ich podstawę posłużyły *Tablice alfonsyńskie*.

³Brahe miał nawet dla nich odpowiedni tytuł, upamiętniający jego ostatniego projektora, cesarza Rudolfa II: *Tabulae Rudolphinae*.

kiem astronomii teoretycznej w Europie Zachodniej. A stało się tak po części za sprawą kolejnej pracy Keplera: wydanych w 1627 roku *Tabulae Rudolphinae*. Przez lata po śmierci duńskiego astronoma Kepler miał w pamięci daną obietnicę zestawienia tablic, które precyzyjnie przewidywałyby położenia planet. *Tablice rudołfińskie* obietnicę tę spełniały. Zanim jednak przyjrzymy się bliżej możliwościom predyktywnym tych tablic i ich wpływowi na astronomię XVII wieku, powiedzmy kilka słów o ich strukturze.

Na dzieło to składa się 120 stron tekstowego wprowadzenia i niemal tyle samo stron tablic, wśród których znajdują się: tablice planetarne, słoneczne i księżycowe, tablice logarytmów Keplera, katalog tysięcy gwiazd Brahego, tablica chronologiczna oraz lista miejscowości ze współrzędnymi geograficznymi (niektóre egzemplarze *Tablic rudołfińskich* zawierały mapę świata w formacie 40×65 cm). Konstrukcja tablic planetarnych różniła się pod wieloma względami od używanych przed Keplerem. Na przykład po raz pierwszy w historii astronomii dla ułatwienia obliczeń zostały wykorzystane logarytmy. Nie to jednak było najważniejsze. Otóż tablice miały służyć do rozwiązywania równania Keplera na dowolny moment w przeszłości lub przyszłości (co stanowiło również pewną słabość, gdyż równanie to jest równaniem przestępnym). Przy tym proces obliczania położenia planet nieustannie przypominał o teoretycznej podstawie *Tablic rudołfińskich*, należało bowiem najpierw znaleźć heliocentryczne położenie planety na jej orbicie oraz, podobnie, Ziemi i dopiero z tych dwóch wartości otrzymać geocentryczną pozycję tej pierwszej. Ten rewolucyjny sposób konstrukcji tablic miał swe uzasadnienie we wspomnianym wprowadzeniu, które konstytuowało — w porównaniu z wcześniejszymi teoriami i w ramach astronomii elips — m.in. zmianę punktu odniesienia dla ruchu planet ze Słońca średniego na Słońce prawdziwe, którego miejsce znajdowało się w płaszczyźnie orbity, zachowującej stałe nachylenie do płaszczyzny ekliptyki, czy zmniejszenie o połowę mimośrodę orbity Ziemi.

TABLICE I EFEMERYDY

Tablice rudolfskie sprawiły, że do połowy XVII wieku astronomia Keplera zdominowała większość ośrodków naukowych w Europie. Przede wszystkim wsparła w sposób praktyczny obecne od kilku lat *Epitome*. W 1629 roku Peter Crüger, nauczyciel Jana Heweliusza, pisał do Philipa Müllera, profesora matematyki na Uniwersytecie Lipskim:

Jestem teraz pochłonięty, na ile inne mniej szlachetne zajęcia pozwalają, próbami zrozumienia podstaw, na których oparte zostały zasady *Tablic rudolfskich* i one same, i posługuję się w tym celu *Skrótem astronomii*, wcześniej opublikowanym przez Keplera — jako wprowadzeniem do tablic. *Skrót* ów, czytany wcześniej przeze mnie tyle razy i tak słabo rozumiany, zajął mnie ponownie i studiuję go z większymi sukcesami, widząc, że został pomyślany do użycia razem z tablicami i że znajduje w nich wytłumaczenie⁴.

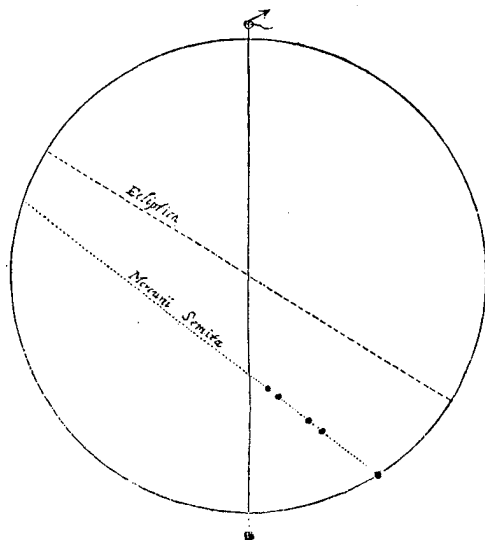
Ale wsparcie to nie byłoby tak skuteczne, gdyby nie bezdyskusyjna przewaga *Tablic rudolfskich* nad innymi tego rodzaju pracami w przewidywaniu zjawisk niebieskich.

Pierwszy spektakularny sukces tablic Keplera wiąże się z dość rzadkim i nigdy wcześniej w dziejach astronomii nie obserwowanym zjawiskiem przejścia Wenus i Merkurego na tle tarczy Słońca. Zjawisko to zostało zapowiedziane w niewielkim druku, prezentującym obliczenia przeprowadzone na podstawie *Tablic rudolfskich* i opublikowanym w 1630 roku przez Jacoba Bartscha pod tytułem *Johannis Kepleri [...] admonitio ad astronomos, rerumque coelestium studiosos, de raris mirisque anni 1631 phaenomenis, Veneris puta et Mercurii in Solem incursa*. O ile w przypadku przejścia Wenus warunki

⁴*Ego jam, quantum per alias occupationes minus liberales possum, totus in eo sum, ut Rudolphinorum praeceptorum ae tabularum fundamenta penitus intelligere discam, idque ex Epitome Astronomica antehac prodromi loco a Keplero edita. Illam inquam toties ante publicatas tabulas lectam, parum intellectam, saepe a manibus abjectam, nunc resumam tractoque paulo felicius, utpote ad Tabulas componatam iisque illustratam.* Wg W. van Dyck, M. Caspar (red.): *Nova Kepleriana 4: Die Keplerbriefe auf der Nationalbibliothek und auf der Sternwarte in Paris*, „Abh. der Bayerischen Akad. d. Wiss., math.-naturwiss.” t. 31 (1927), s. 108.

dla europejskich obserwatorów nie były sprzyjające, o tyle przejście Merkurego pozostawało w ich zasięgu. I rzeczywiście, 7 listopada 1631 roku wędrówkę Merkurego na tle słonecznej tarczy zaobserwował Pierre Gassendi, w doskonałej zgodności z efemerydami Keplera⁵. Jak się okazało, przewidywania tego ostatniego, dotyczące zejścia planety z tarczy Słońca, były błędne w długości ekliptycznej o 14', podczas gdy *Tablice alfonsyńskie* myliły się o 4°25', *Tablice pruskie* o 5°, natomiast tablice Longomontanusa, skonstruowane na podstawie modelu geo-heliocentrycznego, aż o 7°13'.

Discus Solis cum trajectory Mercurio, prout intra obscuram Scenam se intravit in Circulo citra Telescopium objecto exhibuit.



Ryc. 1. Przejście Merkurego (linia kropkowana, z zaznaczonymi pięcioma położeniami planety) na tle tarczy Słońca (okrąg) według obserwacji Gassendiego z 7 listopada 1631 roku. Wg P. Gassendi: *Institutio astronomica* (1656).

⁵Gassendi opisał swe obserwacje w dwóch (opublikowanych) listach do Wilhelma Schickharda z Tybingi: *Mercurius in sole visus et Venus invisus Parisiis MDCXXXI* (Paryż 1632).

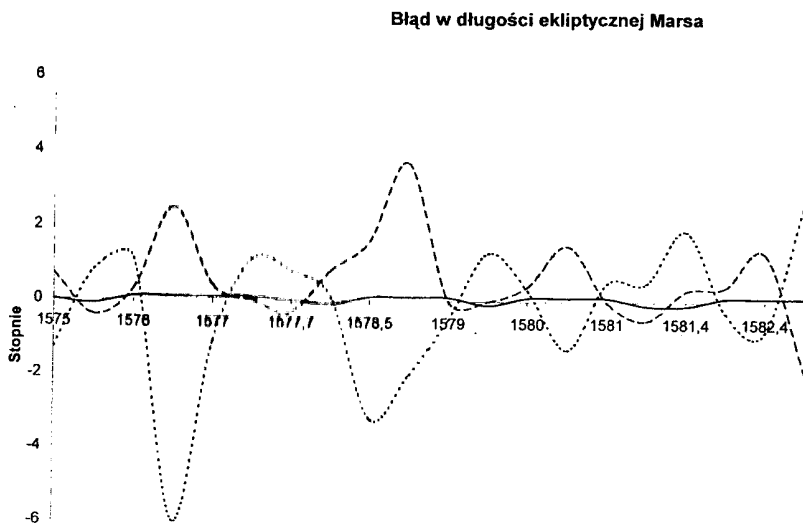
O innych próbach uzyskania zgodności między teorią a obserwacjami ruchu Merkurego donosił w swym dziele *Astronomia philolaica* (1645) Ismael Boulliau:

[...] w latach 1624-1631 wykonałem liczne obserwacje Merkurego i podejmowałem próby skorygowania błędów *Tablic pruskich*, podtrzymujących hipotezę Kopernika; nigdy jednak moje obserwacje nie zgadzały się z obliczeniami, jeśli w wyższej części orbity Merkurego nie spowolniłem jego ruchu, w dolnej zaś części nie przyspieszyłem. Ale moje wysiłki nie dały dobrego rezultatu, albowiem czyniłem tę nierówność ruchu współmierną z ruchem Ziemi, podczas gdy w rzeczywistości powinna zostać odniesiona do ruchu Merkurego po jego własnej orbicie. Nie wpadły mi jeszcze wówczas w ręce tablice Keplera oraz jego *Uwagi o ruchach Marsa*⁶ i miałem skrupuły, by zarzucić hipotezę kół; nie zdawałem sobie wtedy sprawy, że orbita planety może być elipsą, a bez tego każdy, kto spróbuje opisać ruchy planet po ich orbitach, [...] będzie tracił czas i męczył się, jakby toczył kamień Syzyfa⁷.

Kolejne potwierdzenie dokładności *Tablic rudolfskich* przyniosły m.in. obserwacje Merkurego, prowadzone przez Gassendiego w latach 1632-1634, oraz Marsa, w wykonaniu Noëla Durreta, kosmografa króla Francji. W ten sposób rozpoczął się okres supremacji tablic Keplera, mimo że z ich wykorzystywaniem wiązały się, oprócz konkurencji ze strony innych tego rodzaju zestawień, dwa problemy techniczne: jednym z nich były wspomniane już logarytmy, stanowiące dla niektórych zbytnią nowość, drugim, znacznie poważniejszym — stosowanie drugiego prawa Keplera do wyznaczania pozycji planet, czyli rozwiązywania równania Keplera.

⁶Tak powszechnie nazywano *Astronomia nova* Keplera.

⁷Cyt. za C. Wilson: *The Inner Planets and the Keplerian Revolution*, „Centaurus” t. 17 (1973), s. 243.



Ryc. 2. Błędy (oś pionowa) w położeniach Marsa dla lat 1575-1582 (oś pozioma) podawanych przez tablice astronomiczne, obliczone na podstawie teorii Ptolemeusza, Kopernika i Keplera.

Oprócz wymienionych już i wcześniejszych względem *Tablic rudołfińskich* tablic wywodzących się z astronomii geocentrycznej oraz heliocentrycznej kilka słów należy się dwóm pracom niemal równoczesnym publikacji Keplera. Chronologicznie pierwsza to *Astronomia danica* (1622, drugie wydanie w 1640) ucznia Brahego, Christiana Sřrensena Longomontanusa, zwanego także Christianem Severinem. Longomontanus, chociaż podobnie jak Kepler oparł się na obserwacjach Tychona, odrzucił heliocentryzm oraz elipsy, próbując oddać ruchy planet w systemie geo-heliocentrycznym za pomocą mimośrodkowych deferentów i epicykli. Jak już wcześniej wspominaliśmy, tablice z *Astronomia danica* nie wytrzymały konkurencji z *Tabulae Rudolphinae* przy opisanu przebiegu przejścia Merkurego na tle tarczy Słońca i pewną popularnością cieszyły się przede wszystkim na północy Europy.

Pięć lat po tablicach Keplera ujrzały światło dzienne *Tabulae motuum coelestium perpetuae* (1632) Philipa van Lansberge'a. Zyskały popularność za sprawą kilku czynników: były prostsze w użyciu od *Ta-*

blic rudolfskich; u ich podstaw leżały wprawdzie heliocentryczne, ale kołowe orbity; autor utrzymywał, że są niezwykle dokładne. To ostatnie twierdzenie zostało jednak dość szybko zdyskredytowane przez Johannesa Phocylidesa Holwarda, który najpierw w swym *Dissertatio astronomica* (1640), a następnie w *Epitome astronomiae reformatae* (1642) wskazał nie tylko liczne słabości *Tabulae perpetuae* — łącznie z manipulowaniem danymi obserwacyjnymi w celu lepszego ich dopasowania do teorii, leżącej u podstaw tablic — lecz przeciwstawił im głębię wiedzy Keplera i jego naukową odpowiedzialność.

W ten sposób w pierwszej połowie XVII wieku utrwalała się przewaga predyktywnej astronomii heliocentrycznej, i to w wersji zaproponowanej przez Keplera. Widać to wyraźnie także wtedy, gdy śledzimy źródła zestawianych wówczas najpopularniejszych efemeryd. Tak więc pierwsze efemerydy⁸ Andrei Argoliego na lata 1621-1640 zostały obliczone na podstawie *Tablic pruskich*, ale kolejne, o osiem lat późniejsze, podające położenia planet w okresie 1620-1670, już według *Tablic rudolfskich*⁹. Oczywiście, efemerydy Keplera i Bartscha opierały się na astronomii elips¹⁰. Swe szeroko znane efemerydy Lorenz Eichstadt konstruował najpierw bezpośrednio na podstawie *Tablic rudolfskich*¹¹, a następnie według własnych keplerowskich *Tabulae harmonicae coelestium motuum* z 1644 roku¹². Miarą popularności prac Eichstadta i jego kontynuatora (już w Gdańsku), Johanna Heckera¹³, jest to, że po śmierci Heckera w 1675 roku w Obserwatorium Paryskim podjęta zostaje decyzja o kontynuacji jego efemeryd — tak oto pojawił się periodyk „Connoissance des temps”. Wcześniej w Pa-

⁸*Ephemerides ad longitudinem almae urbis Romae ab anno 1621 ad annum 1640 ex Prutenicis tabulis supputatae* (Rzym 1621).

⁹*Novae coelestium motuum ephemerides...* (Rzym 1629).

¹⁰*Ephemeridum [...] pars secunda, ab anno 1621 ad annum 1628* (Żagań 1630); *Ephemeridum [...] pars tertia, complexa annos a 1629 in 1636* (Żagań 1630).

¹¹*Ephemerides coelestium motuum ab anno 1636 ad annum 1640* (Szczecin 1634); *Ephemerides continuatae ab anno 1641 ad annum 1650* (Szczecin 1636).

¹²*Ephemerides coelestium motuum ab anno 1651 ad annum 1675* (Gdańsk 1644).

¹³*Ephemerides motuum coelestium ab anno 1666 ad annum 1680, ex observationibus correctis Tychonis Brahe, et Jo. Kepleris hypothesibus physicis, Tabulisque Rudolphinis ad meridianum Uraniburgicum* (Gdańsk 1662).

ryżu ukazały się efemerydy Durreta — najpierw, na lata 1637-1652, według tablic Lansberge'a¹⁴, później jednak na ten sam okres, ale w wersji przeliczonej na podstawie *Tablic rudolfskich*¹⁵. Inny ważny cykl efemeryd pojawił się w Bolonii za sprawą Francisco Montebruniego, tym razem obliczanych wyłącznie z tablic Lansberge'a¹⁶.

PROBLEMY ASTRONOMII ELIPS

Lata trzydzieste, czterdzieste i pięćdziesiąte XVII wieku stanowiły więc okres rozwoju astronomicznych tablic i efemeryd, konstruowanych dość powszechnie na podstawie *Tablic rudolfskich*, jawnie propagujących heliocentryczną astronomię keplerowską. Nawet Giambattista Riccioli, nie będący zwolennikiem teorii heliocentrycznej, czuł się zobowiązany podać w swym *Almagestum novum* (1651) dokładny opis praw Keplera, a w *Astronomia reformata* (1665) wykorzystywał już elipsy do opisu ruchów planet, stwierdzając, że jest to powszechny zwyczaj wśród uznających naukę Kopernika. Niemniej w astronomii elips przed Izaakiem Newtonem wciąż pozostawało do rozwiązania kilka istotnych problemów.

Z jednym z nich zmierzył się Jeremiah Horrocks, gdy w latach 1633-1637 przekonał się o niedoskonałości tablic Lansberge'a i stał się w wyniku tego zwolennikiem teorii Keplera. Horrocks zakwestionował jednak wartość paralaksy Słońca, przyjmowanej w *Tablicach rudolfskich*, i początkowo — na podstawie niemożności wyznaczenia paralaksy Marsa, która podczas opozycji planety powinna być około 2-3 razy większa od słonecznej — określił jej górną granicę jako 1'. Zmagając się z ruchem Wenus, wykorzystał do obliczania średnich

¹⁴*Nouvelle théorie des planètes [...] avec les tables Richeliennes et Parisiennes exactement calculées...* (Paryż 1635).

¹⁵*Novae motuum coelestium ephemerides Richelianae annorum 15, ab anno 1637 incipientes, ubi sex anni priores e fontibus Landsbergianis, reliqui vero e numeris Tychoni Keplerianis cruuntur* (Paryż 1641).

¹⁶*Ephemerides novissimae motuum coelestium [...] ex Lansbergii tabulis 1640-1645* (Bolonia 1640); *Ephemerides novissimae motuum coelestium...* (Bolonia 1650), te ostatnie w dwóch częściach, na lata 1641-1650 i 1651-1660.

odległości od Słońca trzecie prawo Keplera i przewidział przejście tej planety na tle Słońca 4 grudnia (24 listopada) 1639 roku. Przeprowadziwszy pierwszą w historii astronomii obserwację tego zjawiska¹⁷, na jej podstawie obniżył wartość słonecznej paralaksy do 15". Bliższa prawdziwej wartość paralaksy Słońca pozwoliła Horrocksowi poprawić parametry orbit planet zewnętrznych w modelu Keplera. *Nota bene*, po śmierci Horrocksa w 1641 roku jego odkrycia i pomysły były znane i przekazywane przede wszystkim w kręgu astronomów angielskich i uczonych kontynentalnych, utrzymujących z nimi kontakty. W postaci drukowanej pojawiły się w 1661 roku w *Astronomia Carolina: A New Theorie of the Celestial Motions* Thomasa Streete'a, dziele, z którego astronomii matematycznej uczył się Newton.

Równoległe z Horrocksem i niezależnie od niego redukcję paralaksy Słońca do czwartej części minuty kątowej zaproponował Gottfried Wendelin. I podobnie jak Horrocks, Wendelin poprawił wartości średnich odległości od Słońca niektórych planet, zawarte w *Tablicach rudołfrńskich*. Propozycje Belga rozpowszechnił w Europie Riccioli w *Almagestum novum*.

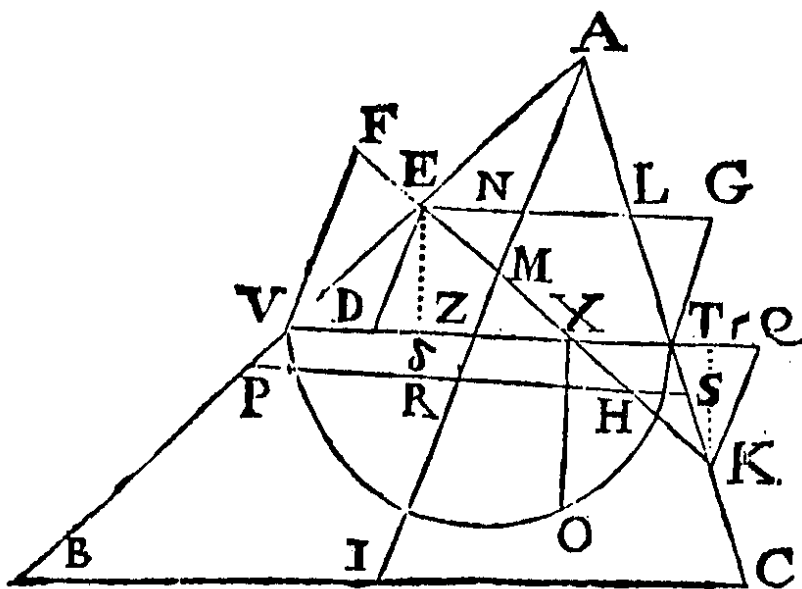
Z całą pewnością porażką astronomii pierwszej połowy XVII wieku była teoria Księżyca — mimo że skomplikowana, wciąż źle opisująca ruch naturalnego satelity Ziemi, i to niezależnie od przyjętego modelu matematycznego. I choć ówczesni astronomowie wybierali przede wszystkim między teorią Brahego i Keplera, najdokładniejszy opis ruchu Księżyca powstał pod koniec lat trzydziestych tamtego stulecia za sprawą Horrocksa. Teoria ta została w latach 1672-1673 opublikowana, w zmodyfikowanej wersji, przez Johna Flamsteeda.

Inny problem astronomii elips wiązał się z wykorzystywaniem w niej, chociażby tylko w metodach rachunkowych, drugiego prawa Keplera. Powstało kilka uproszczonych procedur geometrycznych, wśród których znajdował się pomysł traktowania drugiego ogniska planetarnej elipsy — bez Słońca — jako ekwantu. Ale za pojawiającymi się geometrycznymi podejściami do drugiego prawa Keplera kryła się

¹⁷Traktat Horrocksa na ten temat został wydany drukiem przez Heweliusza w 1662 roku. Do tego czasu funkcjonował w postaci kopiowanego rękopisu.

głębsza niż tylko rachunkowa przyczyna. Wciąż bowiem proponowany przez Keplera powód, dla którego orbity planet miałyby być elipsami — fizyczne oddziaływanie między planetą a Słońcem — wzbudzał obiekcje.

Najbardziej spójny program znalezienia geometrycznego uzasadnienia dla keplerowskiej astronomii elips przedstawił Boulliau w *Astronomia philolaica*. Uczony ten przyjmował, że każda z planet jest obdarzona wewnętrzną tendencją do poruszania się po elipsie, która musi pozostawiać doskonałą w sensie geometrycznym *per se*. Konstrukcję Boulliau przedstawia rycina 3.



Ryc. 3. Konstrukcja eliptycznej orbity planety z *Astronomia philolaica* (Paryż 1645).

Na rycinie tej mamy przekrój stożka ABC. Ruch planety według Boulliau jest wynikiem obrotu AB po powierzchni stożka wokół osi AI. W każdej chwili położenie planety określa przecięcie AB z płaszczyzną EK, wybraną tak, że kąt AME jest równy kątowi AIC. Zauwa-

żając, że trójkąt MXZ i podobne do niego są równoramienne, można udowodnić, iż M jest ogniskiem elipsy wyciętej przez EK. W ten sposób w każdej chwili planeta, wędrując po elipsie, porusza się po okręgu równoległym do podstawy stożka, ze stałą chwilową prędkością, odpowiadającą danemu okręgowi.

Warto na koniec zauważyć, że teleskop zaczął odgrywać istotną rolę w weryfikowaniu dokładności pozycyjnych przewidywań teorii astronomicznych dopiero w drugiej połowie XVII wieku, dzięki udoskonaleniu wynalazku mikrometru i zastosowaniu lunet w instrumentach astrometrycznych.

WYBRANA LITERATURA

M. Caspar i in. (red.)

[1938-] *Johannes Kepler Gesammelte Werke*, Monachium T. 1-

A. Chapman

[1990] Jeremiah Horrocks, the transit of Venus, and the 'New Astronomy' in early seventeenth-century England, „The Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society” t. 31, 333-357.

J.R. Christianson

[2000] *On Tycho's Island. Tycho Brahe and His Assistants, 1570-1601*. Cambridge.

J.L.E. Dreier (red.)

[1913-1929] *Tycho Brahe Dani Opera Omnia*. Kopenhaga. T. 1-15.

O. Gingerich

[1978] *Early Copernican Ephemerides*. [W:] *Studia Copernicana*. T. XVI. Wrocław.

O. Gingerich, B.L. Welther

[1983] *Planetary, Lunar and Solar Positions A.D. 1650-A.D. 1800*. Memoirs of the American Philosophical Society. Filadelfia.

Y. Maeyama

[1971] *Hypothesen zur Planetentheorie des 17. Jahrhunderts*. Frankfurt a. M.

Y. Maeyama

[1974] The Historical Development of Solar Theories in the Late Sixteenth and Seventeenth Centuries, „Vistas in Astronomy” t. 16, 35-60.

V.E. Thoren

[1974] Kepler’s Second Law in England, „The British Journal for the History of Science” t. 7, 243-256.

A. Van Helden

[1976] The Importance of the Transit of Mercury of 1631, „Journal for the History of Astronomy” t. VII, 1-10.

C. Wilson

[1970] From Kepler’s Laws, So-called, to Universal Gravitation: Empirical Factors, „Archive for History of Exact Sciences” t. 6, 89-170.

C. Wilson

[1989] Predictive astronomy in the century after Kepler. [W:] *Planetary astronomy from the Renaissance to the rise of astrophysics. Part A: Tycho Brahe to Newton*. Pod. red. R. Tatona i C. Wilsona. Cambridge.