Kokowski, Michał

Dzieje epicykliczo-deferencjalnej teorii ruchu Księżyca a hipotetyczno-dedukcyjna metoda myślenia korespondencyjnego

Kwartalnik Historii Nauki i Techniki 45/3-4, 77-108

2000

Michał Kokowski
(Kraków)

DZIEJE EPICYKLICZNO-DEFERENCJALNEJ TEORII RUCHU KSIĘŻYCA, A HIPOTETYCZNO-DEDUKCYJNA METODA MYŚLENIA KORESPONDENCYJNEGO[1]

WSTĘP

W ciągu ostatniego ćwierćwiecza w różnych nurtach filozofii, historii oraz socjologii nauki (wiedzy naukowej) dwa twierdzenia nabrały niemal charakteru dogmatów:

Twierdzenie 1. Nie istnieje żadna jednolita metoda rozwijania tzw. nauk ścisłych.

Twierdzenie 2. W dziejach nauki nie istnieje nic takiego, co w jakimkolwiek uzasadnionym sensie można by określać mianem „rewolucja naukowa".

W uzasadnieniu obydwu tych twierdzeń poczesne miejsce odegrała z jednej strony:

(a) krytyka dedukcyjnego modelu redukcji Nagla i dedukcyjnego modelu wyjaśniania Hempela-Oppenheima oraz idea niewspółmierności teorii (Kuhn [1962], Fayerabend [1962]);

(b) krytyka idei rewolucji naukowej wzorowanej na rewolucji politycznej (Cohen [1985], Lindberg, Westman (red.) [1990, 1991, 1994]);

a z drugiej strony:

(c) krytyka przedstawiania procesów historycznych określanych (do niedawna jeszcze) mianem „rewolucja kopernikowska", „rewolucja naukowa XVII wieku" (Cohen [1985], Lindberg, Westman (red.) [1990, 1991,1994]), Shapin [1996]).

Od wielu już lat uważam, że obydwa powyższe twierdzenia są błędne i wynikają z niewystarczającej znajomości praktyki badawczej i historii tzw. nauk ścisłych, w szczególności z nietrafnego rozumienia zjawiska „rewolucji naukowej" i „rewolucji kopernikowskiej"[2].

Współcześni krytycy idei rewolucji naukowych w dziejach nauki (z reguły humanistycznie nastawieni filozofowie, historycy oraz socjologowie nauki) przeoczyli w ogóle fakt, iż wybitni przedstawiciele tzw. nauk ścisłych (np. Heisenberg, Einstein) są zwolennikami tej idei. Ta polaryzacja stanowisk nie jest przypadkowa i ma swoje racjonalne uzasadnienie. Otóż ujęcia rewolucji naukowej przez filozofów, historyków oraz socjologów nauki, będących krytykami tej idei, i przez wybitnych reprezentantów tzw. nauk ścisłych, będących jej rzecznikami, mają w istocie niewiele ze sobą wspólnego. Mówiąc w wielkim skrócie: u tych pierwszych obraz rewolucji naukowej jest zdominowany przez socjologiczną analogię rewolucji naukowej i rewolucji politycznej (taką interpretację przedstawili np. Koyré [1943a-c], Butterfield [1949], Hall [1954], Kuhn [1962], i właśnie tego rodzaju interpretację negują współcześni krytycy idei rewolucji naukowej, np. Cohen [1985], Lindberg, Westman (red.) [1990, 1991, 1994]) czy Shapin [1996]). Według tej interpretacji rewolucja naukowa jest to epokowe, nieodwracalne przejście w rozwoju nauki, które polega na radykalnym zerwaniu z przeszłością: stary porządek (starą ontologię, metodologię) zastępuje – nowy (nowa ontologia, nowa metodologia). Natomiast według naukowców rewolucje w nauce wiążą się z następującymi kwestiami:

(a) odkryciem nowych faktów empirycznych nie przewidywanych przez dotychczasowe teorie; odkrycia te często są wynikiem skonstruowania nowych, dokładniejszych przyrządów obserwacyjno-pomiarowych;
(b) sformułowaniem nowej teorii (modelu), które po raz pierwszy prowadzi do zmatematyzowania jakiejś grupy faktów empirycznych;
(c) sformułowaniem nowej teorii (modelu), która, zachowując moc predyktywną starej, poprzednio obowiązującej teorii, bądź to usuwa jakieś jej błędy czy sprzeczności natury formalnej, bądź też odrzuca starą ontologię świata na rzecz nowej ontologii; sformułowanie takiej teorii musi być metodologicznie owocne, prowadząc do rozwoju postępowego empirycznie programu badawczego (w sensie Lakatosa);
(d) sformułowaniem nowej teorii (modeli), która jest tak skonstruowana, że łączy się ona ze starą (wcześniej obowiązującą) teorią przy pomocy pewnych uogól-nionych zasad korespondencji (typu zasady korespondencji Bohra); uogólniona zasada korespondencji, łącząca nową i starą teorię, nie prowadzi, w sensie logicznym, ani do redukcji starej teorii do nowej teorii, ani też do dedukcji starej teorii

z nowej; dzięki zaś istnieniu uogólnionych zasad korespondencji nowa teoria imituje zależności funkcyjne i, szerzej, struktury pojęciowe starej teorii[3]. Toteż, według samych naukowców, rewolucje naukowe choć wprowadzają radykalne zmiany w postulowanych ontologiach teorii, są częściowo konserwatywne w kwestii struktur pojęciowych i aspektu empirycznego.

To, że rewolucja kopernikowska była rewolucją naukową w naszkicowanym powyżej sensie, dowodziłem już we wcześniejszych mych pracach, m.in. na przykładach analizy takich kwestii, jak: niejednostajnie zmienna precesja, niejednostajnie zmienne nachylenie równika Ziemi, tzw. usunięcia ekwantu oraz pozycja Ziemi we Wszechświecie[4].

W tym artykule skupię swą uwagę na kwestii rozwoju modelu ruchu Księżyca od czasów Hipparcha po czasy Kopernika. Temat ten ze swej istoty jest najmniej rewolucyjnym wątkiem rewolucji kopernikowskiej, gdyż zarówno według astronomii geocentrycznej, jak i heliocentrycznej (czy heliostatycznej) ruch Księżyca odbywa się wokół centrum Ziemi. Gdyby więc udało się w tym przypadku dowieść istnienia jakiejkolwiek rewolucji naukowej (w sensie nadawanym temu pojęciu przez naukowców), powinno to być traktowane jako ostateczny argument na rzecz istnienia rewolucji kopernikowskiej pojmowanej jako rewolucja w nauce.

Uznaję następujących pięć tez.

Teza 1. Obserwacje ruchu Księżyca (i zapewne próby ich teoretycznego wyjaśniania) były przedmiotem badań astronomicznych już w czasach prehistorycznych (ok. 3000 –1000 r. przed Chr.)[5].

Teza 2. Teoria Księżyca zawiera wszystkie idee przewodnie dla obliczeń zjawisk astronomicznych. W szczególności, od teorii ruchu Księżyca rozpoczął się proces rozbudowywania prostego modelu ruchu epicyklicznego, do jego bardziej rozwiniętej formy. Tutaj też leżą początki rozwiniętej teorii ruchu planet. Analogiczny proces miał miejsce w szkole z Maragha, u Kopernika oraz, na długo przed Ptolemeuszem, w astronomii babilońskiej.

Teza 3. W badaniach ruchu Księżyca – przynajmniej od starożytności (czego dowodem są istniejące pisane źródła historyczne) – świadomie i konsekwentnie stosowano hipotetyczno-dedukcyjnę metodę myślenia korespondencyjnego (HDMMK). Strategia ta, została np. jasno ukazana przez Ptolemeusza w *Almageście* w kontekście rozwijania Hipparchowskiego modelu ruchu Księżyca. Metodą tą posłużyli się również np. Ibn ash-Shatir i Kopernik, odrzucając Ptolemeuszowski model ruchu Księżyca.

Teza 4. Model sformułowany przez Kopernika w *Commentariolus*, a nieznacznie tylko zmodyfikowany w *De revolutionibus*, nie był modelem w pełni wykończonym w świetle rozwijanego przez niego programu badawczego. Nie postulował bowiem długookresowego ruchu Księżyca, który wyjaśniałby odstępstwa od obserwacji Ptolemeusza w czasach Kopernika. Było to spowodowane faktem, iż Kopernik, w zgodzie z większością kompetentnych astronomów po Ptolemeuszu, w tym Ibn ash-Shatirem, uznał, iż wartość maksimum równania argumentu (anomalii) w syzygiach i kwadraturach wynosiło **niezmiennie** odpowiednio 4;56° (a nie 5;01° jak u Ptolemeusza) i 7;40°.

Teza 5. W dziejach rozwoju modelu ruchu Księżyca w czasach od Hipparcha do Kopernika wydarzyło się kilka rewolucji naukowych, m.in.: Ptolemeusza, Ibn ash-Shatira oraz Kopernika; przy tym rewolucja Ibn ash-Shatira nie wydarzyłaby się bez wcześniejszego zajścia rewolucji al-Tusiego. We wszystkich tych rewolucjach posługiwano się hipotetyczno-dedukcyjną metodą myślenia korespondencyjnego w szczególności formułowano uogólnione zasady korespondencji, które łączą kolejne teorie.

Tez **T1** i **T2** nie trzeba tutaj specjalnie argumentować, gdyż są one uznane przez ogół specjalistów[6]. Szerszego omówienia wymagają jednak tezy **T3–T5**, które są mojego autorstwa[7].

MODEL RUCHU KSIĘŻYCA: HIPPARCH, PTOLEMEUSZ I HDMMK

Jak dobrze wiadomo historykom astronomii (por. np. Pedersen [1974], Neugebauer [1975]), w księdze czwartej *Almagestu* Ptolemeusz, za Hipparchem, w celu wytłumaczenia tzw. pierwszej anomalii ruchu Księżyca, posłużył się prostym modelem epicyklicznym (tzn. układem stosownie dobranych, poruszających się jednostajnymi ruchami obrotowymi kół: deferentu i epicykla). Model ten podawał zgodny z obserwacjami zaćmień Księżyca szkic jego pozycji w i blisko syzygiów. Ale nie był on jednak dokładny w pozycjach pośrednich, w kwadraturach. Wiedział o tym już Hipparch, ale nie potrafił, niestety, zrozumieć mechanizmu obserwowanych nieregularności, odstępstw od przewidywań tego prostego modelu. Udało się to natomiast Ptolemeuszowi, który podjął się systematycznych badań tego problemu, i w ich rezultacie odkrył wzór tych zaburzeń prostego modelu Hipparcha. Wymagało to z jego strony połączenia umiejętności zarówno teoretyka, jak i obserwatora. Ptolemeusz musiał bowiem dysponować odpowiednią ilością rzetelnych obserwacji i dokonać ich matematycznej analizy. To drugie zadanie wiązało się z koniecznością dokonania wielkiej pracy rachunkowej, obliczeniowej, gdyż nie sformułowałby on swoich matematycznych konkluzji bez obliczania, dla każdej obserwacji średniej odległości Słońca i Księżyca, anomalii Księżyca i efektu składowej paralaksy Księżyca.

Rozwiązanie to podał Ptolemeusz w księdze piątej *Almagestu*. Postulowany przez Ptolemeusza model jest bardziej skomplikowany niż model Hipparcha i składa się z ruchomego ekscentryka i epicykla, które odpowiadały za ruch pozycji Księżyca w kwadraturach i redukowały się do prostszego modelu w syzygiach. Model ten tłumaczył tzw. pierwszą anomalię ruchu Księżyca, a również tzw. drugą anomalię tego ruchu (zależną od elongacji Księżyca od Słońca). Anomalia ta jest równa zeru w syzygiach i dlatego prosta teoria z księgi czwartej nadal dobrze stosuje się (pozostaje prawdziwa) w przypadku predykcji zaćmień Księżyca. Ostateczny model ruchu Księżyca u Ptolemeusza, tzw. trzeci model, był wzbogacony jeszcze o odkrycie tzw. prosneusis.

W podanej powyżej historii skrywa się bardzo ważna strategia postępowania przedstawiciela tzw. nauk ścisłych, a ujawnia się ona z chwilą, gdy po dokonaniu algebraizacji modeli geometrycznych ruchu Księżyca sformułowanych przez Hipparcha, Ptolemeusza i skierujemy naszą uwagę na matematyczne szczegóły tych modeli.

Model Hipparcha, czyli tzw. prosty model epicykliczny, który ujmuje tzw. pierwszą anomalię Księżyca, jest złożony z dwóch obracających się kół: deferentu i epicykla. Model ten opisują następujące wzory:

$$\lambda(t) = \lambda_m(t_0) + \omega_t(t - t_0) + p(a), \qquad \text{(wz. 1)}$$

$$a(t) = a(t_0) + \omega_a(t - t_0), \qquad \text{(wz.2)}$$

$$\operatorname{tg} p(a) = -\frac{r \sin(a)}{R + r\cos(a)}, \qquad \text{(wz. 3)}$$

$$\Delta(a) = \sqrt{(r\sin(a))^2 + (R + r\cos(a))^2} = \sqrt{r^2 + R^2 + 2rR\cos(a)}, \qquad \text{(wz. 4)}$$

gdzie

$\lambda(t)$ – długość ekliptyczna Księżyca,

$\lambda_m(t_0)$ – tzw. radix, czyli wartość początkowa długości ekliptycznej Księżyca dla obranej chwili zerowej t_0,

$\omega_t(t - t_0)$ – ruch średni, wywołany jednostajnym obrotem deferentu z prędkością kątową ω_t; jest to liniowa funkcja czasu,

p(a) – prostefereza długości, z łaciny *aequatio argument* – równanie argumentu, równanie anomalii,

a(t) – anomalia, po łacinie *argumentum*, Księżyca, wywołana jednostajnym obrotem epicykla z prędkością kątową ω_a; jest to liniowa funkcja czasu,

$\Delta(a)$ – odległość (środka kuli) Księżyca od (środka kuli) Ziemi,

R, r – promienie deferentu i epicykla (w konwencjonalnie obranych jednostkach).

Według Ptolemeusza[8], wartości promieni kół w modelu Hipparcha powinny wynosić:

$$R = 60 \qquad \text{oraz} \qquad r = 5;15^{9} = 5{,}25. \qquad \text{(wz. 5)}$$

Przy przyjętych wartościach promieni tych kół, odległość Księżyca od Ziemi zmienia się w modelu Hipparcha w następujący sposób:

$$\Delta(a = 0°) = R + r = 65;15 = 65{,}25, \qquad \text{(wz. 6)}$$

$$\Delta(a = 180°) = R - r = 54;45 = 54{,}75. \qquad \text{(wz. 7)}$$

Stąd maksymalny stosunek odległości (MSO) według modelu Hipparcha wynosi:

$$\mathrm{MSO} = \frac{R+r}{R-r} = \frac{65;15}{54;45} \approx \frac{1{,}19}{1}, \qquad \text{(wz.8)}$$

a maksymalna zmiana kątowa wielkości tarczy Księżyca (MZK), będąca kwadratem powyższej wielkości,

$$\mathrm{MZK} = \left(\frac{R+r}{R-r}\right)^2 = \left(\frac{65;15}{54;45}\right)^2 \approx \frac{1{,}42}{1}. \qquad \text{(wz.9)}$$

Ekstremalne wartości równania anomalii osiągane są dla kątów spełniających poniższe warunki:

$$\cos a_{eks} = -\frac{r}{R}, \qquad \text{(wz. 10)}$$

$$\mathrm{tg}\, p_{eks} = \mathrm{tg}\, p(a_{eks}) = \mp \frac{\frac{r}{R}}{\sqrt{1-\left(\frac{r}{R}\right)^2}}, \qquad \text{(wz. 11)}$$

stąd, dla zadanych wartości promieni,

$$a_{\min} = 95;01° \approx 95{,}02°,\ a_{\max} = 264;59° \approx 264{,}98°, \qquad \text{(wz. 12)}$$

$$\mathrm{tg}\, p_{\min} = -0{,}0878,\ \mathrm{tg}\, p_{\max} = 0{,}0878, \qquad \text{(wz. 13)}$$

$$p_{\min} = -5;01° \approx -5{,}02°,\ p_{\max} = 5;01° \approx 5{,}02°. \qquad \text{(wz. 14)}$$

Model Ptolemeusza, który ujmuje tzw. pierwszą i drugą anomalią Księżyca i prosneusis, złożony jest z dwóch obracających się kół: ekcentryka i epicykla. Model ten opisany jest następującymi wzorami:

$$\lambda(t) = \lambda_m(t_0) + \omega_t(t - t_0) + p(2\eta, a_v), \qquad \text{(wz. 15)}$$

$$a_v(t) = a_m(t) + q(2\eta), \qquad \text{(wz. 16)}$$

$$a_m(t) = a_m(t_0) + \omega_a(t - t_0), \qquad \text{(wz. 17)}$$

$$\operatorname{tg} p(2\eta, a_v) = -\frac{r\sin(a_v)}{\rho(2\eta) + r\cos(a_v)}, \qquad \text{(wz. 18)}$$

$$\rho(2\eta) = \sqrt{(R-e)^2 - e^2\sin^2(2\eta)} + e\cos(2\eta), \qquad \text{(wz. 19)}$$

$$\Delta(2\eta, a_v) = \sqrt{(r\sin(a_v))^2 + (\rho(2\eta) + r\cos(a_v))^2}, \qquad \text{(wz. 20)}$$

$$\operatorname{tg} q(2\eta) = \frac{e\sin(2\eta)}{\rho(2\eta) + e\cos(2\eta)}, \qquad \text{(wz. 21)}$$

gdzie

$p(2\eta, a_v)$ – prostefereza długości, z łaciny *aequatio argument* – równanie argumentu, równanie anomalii,
η - elongacja, różnica średniej długości ekliptycznej Księżyca i średniej długości ekliptycznej Słońca,
$a_v(t)$ – prawdziwy argument (*argumentum verum*), czyli odległość kątowa promienia wodzącego (środka kuli) Księżyca od prawdziwego apogeum,
$a_m(t)$ – średni argument, czyli odległość kątowa promienia wodzącego (środka kuli) Księżyca od średniego apogeum; jest to liniowa funkcja czasu zwana anomalią, po łacinie *argumentum* Księżyca,
$\rho(2\eta)$ – odległość środka epicykla od (środka kuli) Ziemi,
$\Delta(2\eta, a_v)$ – odległość (środka kuli) Księżyca od (środka kuli) Ziemi,
$q(2\eta)$ – prostefereza anomalii, czyli równanie środka.

Parametry modelu Ptolemeusza przyjmują następujące wartości:

$$R = 60, \quad r = 5;15 = 5{,}25 \quad \text{oraz} \quad e = 10;19 \approx 10{,}32. \qquad \text{(wz. 22)}$$

Dla 2η = 0°, tg q(0°) = 0, stąd

$$\Delta(0, a_v) = \sqrt{r^2 + R^2 + 2rR\cos a_m} \qquad \text{(wz. 23)}$$

W konsekwencji, dla przyjętych wartości parametrów, otrzymujemy:

dla $a_v = 0°$, $\Delta(0°,0°) = R + r = 65;15$, (wz. 24)

dla $a_v = 180°$, $\Delta(0°,180°) = R - r = 54;45$. (wz. 25)

Dla 2η = 180°, tg q(0°) = 0, stąd

$$\Delta(180°, a_v) = \sqrt{(R-2e)^2 + r^2 + 2r(R-2e)\cos a_m}\,. \qquad \text{(wz. 26)}$$

W konsekwencji, dla przyjętych wartości parametrów, otrzymujemy:

dla $a_v = 0°$, $\Delta(180°,0°) = R - 2e + r = 44;37$, (wz. 27)

dla $a_v = 180°$, $(180°,180°) = R - 2e - r = 34;7$. (wz. 28)

Stąd maksymalny stosunek odległości (MSO) według modelu Ptolemeusza wynosi:

$$\text{MSO} = \frac{R+r}{R-2e+r} = \frac{65;15}{34;7} \approx \frac{1{,}91}{1}, \qquad \text{(wz.29)}$$

a maksymalna zmiana kątowa wielkości tarczy Księżyca (MZK), będąca proporcjonalna do kwadratu powyższej wielkości,

$$\text{MZK} = \left(\frac{R+r}{R-2e+r}\right)^2 = \left(\frac{65;15}{34;7}\right)^2 \approx \frac{3{,}66}{1}. \qquad \text{(wz.30)}$$

Według modelu Ptolemeusza, tangens równania anomalii dla syzygiów (2η=0°) spełnia następujące równanie:

$$\operatorname{tg} p(2\eta = 0, a_v) = -\frac{r\sin(a_m)}{R + r\cos(a_m)}. \qquad \text{(wz. 31)}$$

Ma ono zatem taką samą postać jak według modelu Hipparcha. W konsekwencji, ekstremalne wartości równania anomalii osiągane są dla kątów spełniających warunki (wz. 10-14) dla modelu Hipparcha.

W przypadku zaś kwadratur ($2\eta = 180^\circ$), według modelu Ptolemeusza, tangens równania argumentu (anomalii) spełnia poniższe równanie:

$$\operatorname{tg} p(2\eta = 180^\circ, a_v) = -\frac{r \sin(a_m)}{R - 2e + r\cos(a_m)}. \qquad \text{(wz. 32)}$$

Ekstremalne wartości tego równania osiągane są dla kątów spełniających następujące warunki:

$$\cos a_{eks} = -\frac{r}{R-2e}, \qquad \text{(wz. 33)}$$

$$\operatorname{tg} p_{eks} = \operatorname{tg} p(a_{eks}) = \mp\frac{\frac{r}{R-2e}}{\sqrt{1-\left(\frac{r}{R-2e}\right)^2}}. \qquad \text{(wz. 34)}$$

Widzimy więc, że dla kwadratur wzory Ptolemeusza (32–34) różnią się od wzorów Hipparcha (3, 10–11) (i Ptolemeusza dla syzygiów) jedynie w wielkości efektywnego promienia deferentu. Dla kwadratur wynosi on R-2e, a dla syzygiów – R. Stąd, dla zadanych (warunkiem 22) wartości promieni, otrzymujemy:

$$a_{\min} = 97;40^\circ \approx 97{,}66^\circ, a_{\max} = 262;20^\circ \approx 262{,}34^\circ, \qquad \text{(wz. 35)}$$

$$\operatorname{tg} p_{\min} = -0{,}1345, \operatorname{tg} p_{\max} = 0{,}1345, \qquad \text{(wz. 36)}$$

$$p_{\min} = -7;40^\circ \approx -7{,}66^\circ, p_{\max} = 7;40^\circ \approx 7{,}66^\circ. \qquad \text{(wz. 37)}$$

Ponadto ekstrema funkcji równania środka spełniają następujące warunki:

$$\cos 2\eta_{eks} = -2e\sqrt{\frac{(R-e)^2 - e^2}{(R-e)^4 - 4e^4}}, \qquad \text{(wz. 38)}$$

$$\operatorname{tg} q_{eks} = \operatorname{tg} q(2\eta_{eks}) = \pm\frac{e(R-e)}{\sqrt{(R-e)^2 - 4e^2}\sqrt{(R-e)^2 - e^2}} \begin{Bmatrix} +\max \\ -\min \end{Bmatrix} \qquad \text{(wz. 39)}$$

stąd, dla zadanych (warunkiem 22) wartości parametrów,

$$\cos 2\eta_{eks} = -0{,}4078, \qquad \text{(wz. 40)}$$

$$2\eta_{max} = 114{,}06° \approx 114;04°, \quad 2\eta_{min} = 245{,}94° \approx 245;56°, \qquad \text{(wz. 41)}$$

$$\operatorname{tg} q_{max} = 0{,}2334, \quad \operatorname{tg} q_{min} = -0{,}2334, \qquad \text{(wz. 42)}$$

$$q_{max} = 13{,}13° \approx 13;08°, \quad q_{min} = -13{,}13° \approx -13;08°. \qquad \text{(wz. 43)}$$

Porównanie modeli Hipparcha i Ptolemeusza w świetle klasycznej logiki, prowadzi do wniosku, iż modele te są wzajemnie sprzeczne – stosują bowiem różne hipotezy, używają różnych układów kół (i w efekcie modele te opisują różne wzory (funkcje) matematyczne). W tym też znaczeniu są one (w sensie Kuhna) niewspółmierne pojęciowo i ontologicznie. Ale pomimo tych istotnych różnic modele te łączy coś niezwykle ważnego dla badacza tzw. nauk ścisłych, a mianowicie pewne uogólnione zasady korespondencji (typu zasady korespondencji Bohra). Jest to o tyle ważne stwierdzenie, że użycie tego narzędzia metodologicznego wcześniejsi badacze wiązali wyłącznie z tzw. nauką nowożytną, w szczególności z nazwiskiem Bohra, Plancka, Einsteina czy ewentualnie już Newtona (w tym ostatnim przypadku chodzi o tzw. wyprowadzenie praw Keplera z mechaniki newtonowskiej). By zobaczyć to wyraźnie, spójrzmy uważniej na wzory opisujące modele Hipparcha i Ptolemeusza. Otóż w przypadku ogólnym modele te są geometrycznie i obserwacyjnie nierównoważne. Jednakże w granicy dla warunków:

$$\eta \to 0 \quad \text{lub} \quad \frac{e}{R} \to 0 \Leftrightarrow \frac{2\eta}{R/e} \to 0 \qquad \text{(wz. 44)}$$

równania modelu Ptolemeusza przechodzą w równania modelu Hipparcha. Ten prosty fakt staje się zupełnie nietrywialny, gdy zauważymy jeszcze, że powyższe wyrażenie jest np. analogiem warunku

$$\beta = \frac{v}{c} \to 0 \qquad \text{(wz. 45)}$$

zdefiniowanego w kontekście STW. Toteż parametr **R/c** i kąt **2η** pełnią w modelu Ptolemeusza rolę analogiczną, jak prędkość światła **c** i prędkość **v** zdefiniowane w kontekście STW.

Widzimy więc, że, zgodnie z przyjętymi warunkami wystarczającymi zajścia rewolucji naukowej, sformułowanie modelu ruchu Księżyca przez Ptolemeusza było rewolucją naukową.

MODEL RUCHU KSIĘŻYCA: IBN ASH-SHATIR I KOPERNIK, A HDMMK

Kolejny ważki krok w rozwoju teorii Księżyca dokonany został przez Ibn ash-Shatira, który, pozostając nadal zwolennikiem geocentryzmu i geostatyzmu, wyrugował proto-ideę ekwantu z modelu Księżyca Ptolemeusza[10].

Analogiczną procedurę powtórzył po dwustu latach Kopernik w swej teorii Księżyca. Jednakże modele Ibn ash-Shatira i Kopernika różnią się w istotny sposób na gruncie ontologii: geo-statyczno-centrycznej i heliostatycznej. Zauważmy bowiem, iż według Kopernika, Księżyc porusza się wokół Ziemi, która z kolei porusza się wokół (średniego) Słońca[11]. Innymi słowy, w teorii Kopernika Księżyc utracił status samodzielnej planety, poruszającej się (jak zgodnie twierdziły teorie geocentryczne) samodzielnie wokół nieruchomej Ziemi - centrum systemu, a stawał się w systemie Kopernika tylko towarzyszem Ziemi, która, z kolei, krążąc wokół (średniego Słońca, stawała się teraz planetą. Różnica ta nie jest wcale bez znaczenia, bo prowadzi do konieczności rozwijania odmiennych fizyk, co w przyszłości zaowocowało powstaniem fizyki np. Keplera i Newtona[12].

Modele Ibn ash-Shatira i Kopernika (pomijając w ostatnim przypadku roczny ruch Księżyca razem z Ziemią wokół (średniego) Słońca są złożone z trzech obracających się kół: deferentu i dwóch epicykli. Modele te opisują następujące wzory:

$$\lambda(t) = \lambda_m(t_0) + \omega_t(t - t_0) + p(2\eta, a_v), \qquad \text{(wz. 46)}$$

$$\operatorname{tg} p(2\eta, a_v) = -\frac{r(2\eta)\sin(a_v)}{R + r(2\eta)\cos(a_v)}, \qquad \text{(wz. 47)}$$

$$r(2\eta) = \sqrt{r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos(2\eta)}, \qquad \text{(wz. 48)}$$

$$\Delta(2\eta, a_v) = \sqrt{(r(2\eta)\sin(a))^2 + (R + r(2\eta)\cos(a))^2}, \qquad \text{(wz. 49)}$$

$$a_v(t) = a_m(t) + q(2\eta), \quad \text{(wz. 50)}$$

$$a_m(t) = a_m(t_0) + \omega_a(t - t_0), \quad \text{(wz. 51)}$$

$$\operatorname{tg} q(2\eta) = \frac{r_2 \sin(2\eta)}{r_1 - r_2 \cos(2\eta)}, \quad \text{(wz. 52)}$$

gdzie

$p(2\eta, a_v)$ – prostefereza długości lub z łaciny *aequatio argument* – równanie argumentu, równanie anomalii,

η - elongacja, różnica średniej długości ekliptycznej Księżyca i średniej długości ekliptycznej Słońca,

$r(2\eta)$ – odległość (środka kuli) Księżyca od środka pierwszego epicykla,

$\Delta(2\eta, a_v)$ – odległość (środka kuli) Księżyca od (środka kuli) Ziemi,

a_v (t) – prawdziwy argument (*argumentum verum*), czyli odległość kątowa promienia wodzącego (środka kuli) Księżyca od prawdziwego apogeum,

a_m (t) – średni argument, czyli odległość kątowa promienia wodzącego (środka kuli) Księżyca od średniego apogeum; jest to liniowa funkcja czasu zwana anomalią, po łacinie *argumentum* Księżyca,

$q(2\eta)$ – prostefereza anomalii, czyli równanie centrum,

R, r_1, r_2 – promienie kół: deferentu, pierwszego i drugiego epicykla.

Parametry modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika, wyznaczone przez Ibn ash-Shatira i Kopernika dla współczesnych im danych, przyjmują następujące wartości:

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*)

$$R=60, \quad r_1 = 6;35 \approx 6{,}58, \quad r_2 = 1;25 \approx 1{,}42, \quad \text{(wz. 53)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$R=60, \quad r_1 = 6;33 \approx 6{,}55, \quad r_2 = 1;23 \approx 1{,}38. \quad \text{(wz. 54)}$$

Zmiana odległości Księżyca od Ziemi w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika w następujących szczególnych przypadkach wyraża się wzorami:

Dla $2\eta = 0°$, $\operatorname{tg} q\,(0°) = 0$, stąd

$$\Delta(0°, a_v) = \sqrt{R^2 + (r_1 - r_2)^2 + 2R(r_1 - r_2)\cos(a_m)}\,. \quad \text{(wz. 55)}$$

W konsekwencji:

$$\text{dla } a_v = 0°,\ \Delta(0°,0°) = R + r_1 - r_2, \quad \text{(wz. 56)}$$

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*Comm.*, *De rev.*)

$$\Delta(0°,0°) = 65;10 \qquad \text{(wz. 57)}$$

dla $a_v = 180°$, $\Delta(0°,180°) = R - r_1 + r_2$, (wz. 58)

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*Comm.*, *De rev.*)

$$\Delta(0°,180°) = 54;50 \qquad \text{(wz. 59)}$$

Dla $2\eta = 180°$, tg $q(0°) = 0$, stąd

$$\Delta(180°, a_v) = \sqrt{R^2 + (r_1 + r_2)^2 + 2R(r_1 + r_2)\cos(a_m)}\,. \qquad \text{(wz. 60)}$$

W konsekwencji:

dla $a_v = 0°$, $\Delta(180°,0°) = R + r_1 + r_2$, (wz. 61)

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*)

$$\Delta(180°,0°) = 68;00, \qquad \text{(wz. 62)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$\Delta(180°,0°) = 67;56, \qquad \text{(wz. 63)}$$

dla $a_v = 180°$, $\Delta(180°,180°) = R - r_1 - r_2$, (wz. 64)

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*)

$$\Delta(180°,180°) = 52;00, \qquad \text{(wz. 65)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$\Delta(180°,180°) = 52;04. \qquad \text{(wz. 66)}$$

Stąd maksymalny stosunek odległości (MSO) w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika wynosi:

$$\mathrm{MSO} = \frac{R + r_1 + r_2}{R - r_1 - r_2}, \qquad \text{(wz. 67)}$$

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*)

$$\mathrm{MSO} = \frac{68;00}{52;00} \approx \frac{1{,}31}{1}, \qquad \text{(wz. 68)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$\mathrm{MSO} = \frac{67;56}{52;04} \approx \frac{1{,}30}{1}, \qquad \text{(wz. 69)}$$

a maksymalna zmiana kątowa wielkości tarczy Księżyca (MZK), będąca kwadratem tej wielkości,

$$\mathrm{MZK} = \left(\frac{R + r_1 + r_2}{R - r_1 - r_2}\right)^2. \qquad \text{(wz. 70)}$$

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*)

$$\mathrm{MZK} = \left(\frac{68;00}{52;00}\right)^2 \approx \frac{1{,}71}{1}, \qquad \text{(wz. 71)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$\mathrm{MZK} = \left(\frac{67;56}{52;04}\right)^2 \approx \frac{1{,}70}{1}. \qquad \text{(wz. 72)}$$

Według modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika, tangens równania argumentu (anomalii) dla syzygiów ($2\eta = 0°$) i kwadratur ($2\eta = 180°$) spełnia następujące równanie:

$$\operatorname{tg} p_{\mp}(a_v) = -\frac{(r_1 \mp r_2)\sin(a_m)}{R + (r_1 \mp r_2)\cos(a_m)} \begin{cases} (-) & 2\eta = 0° \\ (+) & 2\eta = 180° \end{cases}. \qquad \text{(wz. 73)}$$

Ekstremalne wartości równania anomalii osiągane są dla kątów spełniających poniższe warunki:

$$\cos a_{eks\mp} = -\frac{r_1 \mp r_2}{R}, \qquad \text{(wz. 74)}$$

$$\operatorname{tg} p_{eks\mp} = \operatorname{tg} p(a_{eks\mp}) = -\frac{\frac{r_1 \mp r_2}{R}}{\sqrt{1-\left(\frac{r_1 \mp r_2}{R}\right)^2}}. \qquad \text{(wz. 75)}$$

Stąd, dla przyjętych przez Ibn ash-Shatira i Kopernika wartości promieni kół wyznaczonych ze współczesnych im obserwacji, dla syzygiów ($2\eta = 0$) mamy:

Ibn ash-Shatir i Kopernik (Comm., *De rev.*):

$$a_{min-} = 94{,}94° \approx 94;56°, \quad a_{max-} = 265{,}06° \approx 265;04° \qquad \text{(wz.76)}$$

$$\operatorname{tg} p_{min-} = -0{,}086, \quad \operatorname{tg} p_{max-} = 0{,}086, \qquad \text{(wz. 77)}$$

$$p_{min-} = -4{,}94° \approx -4{,}56°, \quad p_{max-} = 4{,}94° \approx 4{,}56°, \qquad \text{(wz. 78)}$$

dla kwadratur zaś ($2\eta=180°$):

Ibn ash-Shatir i Kopernik (*De rev.*):

$$a_{min+} = 97{,}66° \approx 97;34°, \quad a_{max+} = 262{,}34° \approx 262;20° \qquad \text{(wz.79)}$$

$$\operatorname{tg} p_{min+} = -0{,}1334, \quad \operatorname{tg} p_{max+} = 0{,}1334 \qquad \text{(wz. 80)}$$

$$p_{min+} = -7{,}66° \approx -7;40°, \quad p_{max+} = 7{,}66° \approx 7;40°, \qquad \text{(wz. 81)}$$

Kopernik (*Comm.*):

$$a_{min+} = 97{,}60° \approx 97;36°, \quad a_{miax+} = 262{,}40° \approx 262;24°, \qquad \text{(wz.82)}$$

$$\operatorname{tg} p_{min+} = -0{,}1339, \quad \operatorname{tg} p_{max+} = 0{,}1339, \qquad \text{(wz. 83)}$$

$$p_{min+} = -7{,}60° \approx -7;36°, \quad p_{max+} = 7{,}60° \approx 7;36°. \qquad \text{(wz. 84)}$$

Widzimy stąd, iż dla syzygiów ($2\eta=0°$) i kwadratur ($2\eta=180°$) ekstremalne różnice wartości równania anomalii (ERA), według Ptolemeusza i Ibn ash-Shatira oraz Kopernika, wyznaczone ze współczesnych tym astronomom obserwacji, wynoszą odpowiednio:

syzygia ($2\eta = 0°$):

Ibn ash-Shatir i Kopernik (*Comm.*, *De rev.*)

$$\mathrm{ERA} = \pm(5;01° - 4;56°) = \pm 0;05° \approx \pm 0{,}083°, \qquad \text{(wz.85)}$$

kwadratury ($2\eta=180°$):

Ibn ash-Shatir i Kopernik (*De rev.*)

$$\mathrm{ERA} = \pm(7;40° - 7;40°) = 0° \qquad \text{(wz. 86)}$$

Kopernik (*Comm.*)

$$\mathrm{ERA} = \pm(7;40° - 7;36°) = \pm 0;04° \approx \pm 0{,}067°. \qquad \text{(wz.87)}$$

Ponadto w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika ekstrema funkcji równania środka spełniają następujący warunek:

$$\cos 2\eta_{eks} = \frac{r_2}{r_1}, \qquad \text{(wz. 88)}$$

$$\mathrm{tg}\, p_{eks\mp} = \mathrm{tg}\, p(a_{eks\mp}) = \pm\frac{\frac{r_2}{r_1}}{\sqrt{1-\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2}}. \qquad \text{(wz. 89)}$$

Stąd, dla zadanych (warunkiem 53, 54) wartości parametrów,

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*):

$$\cos 2\eta_{eks} = 0{,}2152, \qquad \text{(wz. 90)}$$

$$2\eta_{max} = 77{,}57° \approx 77;34°, \quad 2\eta_{min} = 257{,}57° \approx 257;34°, \qquad \text{(wz. 91)}$$

$$\mathrm{tg}\, q_{max} = 0{,}2203, \qquad \mathrm{tg}\, q_{min} = -0{,}2203, \qquad \text{(wz. 92)}$$

$$q_{max} = 12{,}43° \approx 12;26°, \quad q_{min} = -12{,}43° \approx -12;26°, \qquad \text{(wz. 93)}$$

Kopernik (*Comm.*):

$$\cos 2\eta_{eks} = 0{,}2112, \qquad \text{(wz. 94)}$$

$$2\,\eta_{max} = 77{,}81° \approx 77;49°, \quad 2\,\eta_{min} = 257{,}81° \approx 257;49° \qquad \text{(wz. 95)}$$

$$\mathrm{tg}\, q_{max} = 0{,}2161, \quad \mathrm{tg}\, q_{min} = -0{,}2161, \qquad \text{(wz. 96)}$$

$$q_{max} = 12{,}19° \approx 12;12°, \quad q_{min} = -12{,}19° \approx -12;12°. \qquad \text{(wz. 97)}$$

Stąd, między innymi, ektsremalne różnice wartości tangensa równania środka (ERTRŚ) i samego równania (ERRŚ) według modelu Ptolemeusza i Ibn ash-Shatira i Kopernika (dla czasów obserwacji współczesnych Ibn ash-Shatirowi i Kopernikowi) wynoszą:

$$\text{ERTRŚ} = \pm\,(\mathrm{tg} q_{\max Pt} - \mathrm{tg} q_{\max Sh-K}), \qquad \text{(wz. 98)}$$

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*):

$$\text{ERTRŚ} \approx \pm 0{,}13, \qquad \text{(wz. 99)}$$

Kopernik (*Comm.*):

$$\text{ERTRŚ} \approx \pm 0{,}17, \qquad \text{(wz. 100)}$$

$$\text{ERRŚ} = \pm\,(q_{\max Pt} - q_{\max Sh-K}), \qquad \text{(wz. 101)}$$

Ibn ash-Shatir, Kopernik (*De rev.*):

$$\text{ERRŚ} \approx \pm 0{,}71° \approx \pm 0;42°, \qquad \text{(wz. 102)}$$

Kopernik (*Comm.*):

$$\text{ERRŚ} \approx \pm 0{,}94° \approx \pm 0;57°. \qquad \text{(wz. 103)}$$

W świetle powyżej podanych wzorów widać wyraźnie, że teorie Księżyca zaproponowane przez Hipparcha, Ptolemeusza oraz Ibn ash-Shatira i Kopernika są geometrycznie i obserwacyjnie nierównoważne, a przy tym - niewspółmierne (w sensie Kuhna), gdyż przyjmują różne, wzajemnie sobie zaprzeczające i wzajemnie niesprowadzalne, wzajemnie nieredukowalne hipotezy ontologiczne (quasi-byty teorii: deferent + epicykl (Hipparch), ruchomy ekcentryk + epicykl

(Ptolemeusz) oraz deferent + dwa epicykle (Ibn-ash-Shatir i Kopernik) i stowarzyszone z nimi funkcje (ruchy wypadkowe układów kół)), modelujące zjawiska astronomiczne. Zasadnicze jakościowe i ilościowe różnice zachodzą pomiędzy teorią Ptolemeusza z jednej strony, a teorią Ibn ash-Shatira i Kopernika z drugiej. Na przykład teoria Ptolemeusza wykorzystuje proto-ideę ekwantu, a rezygnują z tego modele Ibn ash-Shatira i Kopernika, które wspólnie też odmiennie od teorii Ptolemeusza opisują zmianę długości ekliptycznych Księżyca, zmianę odległości Księżyca od Ziemi i w efekcie również zmienną kątową wielkość tarczy Księżyca[13].

Pomimo tych istotnych różnic modele te łączy bardzo wiele i związek ten nie jest bynajmniej przypadkowy.

By się o tym przekonać, wyznaczmy parametry modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika dla czasów Ptolemeusza, przyjmując (za poprawnie wyznaczone) dane Ptolemeusza[14].

Otóż według Ptolemeusza maksimum równania argumentu (anomalii) w syzygiach i kwadraturach wynosiło odpowiednio 5;01° (wz. 14) i 7;40° (wz. 37). Uznanie tych danych i wzorów 11 i 75(–) oraz 34 i 75(+), pociągnęłoby za sobą spełnienie następujących warunków:
gdzie wartości R, r i e zadane są warunkiem 22.

Warunki określone wzorami 104–105 nazywam warunkami korespondencji modeli Ptolemeusza oraz Ibn-al-Shatira i Kopernika, gdyż ich uznanie spowodowałoby geometryczną, ścisłą równoważność równania anomalii tych modeli

$$\frac{r_1 - r_2}{R} = \frac{r}{R}, \qquad \text{(wz. 104)}$$

$$\frac{r_1 + r_2}{R} = \frac{r}{R - 2e}, \qquad \text{(wz. 105)}$$

dla syzygiów ($2\eta = 0°$) i kwadratur ($2\eta = 180°$) (gdyż, odpowiadające w takim przypadku sobie funkcje Ptolemeusza i Ibn ash-Shatira i Kopernika miałyby tę samą postać i wartości parametrów).

Stąd, dla danych Ptolemeusza (w czasach Ptolemeusza) parametry modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika powinny przyjąć następujące wartości:

$$R = 60, \qquad r_1 = 6;38, \qquad r_2 = 1;18. \qquad \text{(wz. 106)}$$

Jednak pomimo spełnienia warunku korespondencji (wz.104-105), modele równania środka nadal są nierównoważne geometrycznie. Ekstremalne różnice wartości tangensa równania środka (ERTRŚ) i samego równania (ERRŚ), według modeli Ptolemeusza i modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika (dla czasów obserwacji współczesnych Ptolemeuszowi), wynosiłyby odpowiednio:

$$\text{ERTRŚ} = \pm(\operatorname{tg} q_{\max Pt} - \operatorname{tg} q_{\max Sh - K}) \approx \pm 0{,}033, \quad \text{(Ibn ash-Shatir, Kopernik)} \quad \text{(wz.107)}$$

$$\text{ERRŚ} = \pm(q_{\max Pt} - q_{\max Sh - K}) \approx \pm 1{,}83^\circ \approx \pm 1;50^\circ \quad \text{(Ibn ash-Shatir, Kopernik)} \quad \text{(wz. 108)}$$

Podobnie, nadal globalnie nierównoważne byłyby modele zmiany odległości Księżyca od Ziemi. Dla parametrów Ptolemeusza (dla czasów Ptolemeusza), zmiana odległości Księżyca od Ziemi w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika w szczególnych, następujących przypadkach wynosiłaby:

$$\Delta(0^\circ,0^\circ) = R + r_1 - r_2 = 65;15, \quad \text{(wz. 109)}$$

$$\Delta(0^\circ,180^\circ) = R - r_1 + r_2 = 54;45, \quad \text{(wz. 110)}$$

$$\Delta(180^\circ,0^\circ) = R + r_1 + r_2 \approx 73;27, \quad \text{(wz. 111)}$$

$$\Delta(180^\circ,180^\circ) = R - r_1 - r_2 \approx 46;45 \text{ [15]}. \quad \text{(wz. 112)}$$

Stąd też maksymalny stosunek odległości (MSO) w modelu Ibn ash-Shatira – Kopernika dla czasów Ptolemeusza wynosiłby:

$$\text{MSO} = \frac{R + r_1 + r_2}{R - r_1 - r_2} \approx \frac{73;27}{46;45} \approx \frac{1{,}57}{1}, \quad \text{(wz. 113)}$$

a maksymalna zmiana kątowa wielkości tarczy Księżyca (MZK), będąca kwadratem tej wielkości,

$$\text{MZK} = \left(\frac{R + r_1 + r_2}{R - r_1 - r_2}\right)^2 \approx \left(\frac{73;27}{46;45}\right)^2 \approx \frac{2{,}46}{1} \quad \text{(wz. 114)}$$

Te wartości maksymalne różnią się od wartości maksymalnych przyjmowanych przez Ptolemeusza, ale nie jest to wcale dziwne po odrzuceniu fundamentalnych założeń modelu Ptolemeusza.

Porównanie, w świetle logiki klasycznej, modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika (wyznaczonych dla parametrów (czasów) Ptolemeusza) z modelem Ptolemeusza, prowadzi do analogicznych wniosków, jak wcześniej już dokonane porównanie modeli Ptolemeusza i Hipparcha. Modele te są ze sobą sprzeczne – stosują bowiem różne hipotezy, używają różnych układów kół (i w efekcie modele te opisują różne wzory (funkcje) matematyczne). W tym też znaczeniu są one w sensie Kuhna (globalnie) niewspółmierne pojęciowo i ontologicznie. Ale pomimo tych istotnych różnic modele te łączy coś niezwykle ważnego dla badacza tzw. nauk ścisłych, a mianowicie pewne uogólnione zasady korespondencji (typu zasady korespondencji Bohra). Otóż w przypadku ogólnym modele te są niewątpliwie geometrycznie i obserwacyjnie nierównoważne. Jednakże dla czasów Ptolemeusza, przy spełnieniu warunku określonego wz. 104-105, w granicy dla:

$$\eta \to 0^\circ, \qquad \text{(wz. 115)}$$

równania modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika przechodzą w równania modelu Hipparcha.

Na podstawie powyższych rozważań, w tym przyjętych warunków zajścia rewolucji w nauce, dochodzimy do następujących wniosków:

Teorie ruchu Księżyca Ibn ash-Shatira i Kopernika połączone są z teorią ruchu Księżyca Ptolemeusza, a także Hipparcha, przy pomocy pewnych zasad korespondencji, określonych warunkami 22, 104–105. Toteż, zgodnie z przyjętym warunkiem (e) zajścia rewolucji naukowej, z nazwiskami Ibn ash-Shatira i Kopernika należy powiązać zaistnienie w dziejach rozwoju modelu ruchu Księżyca rewolucji naukowej[116].

Pozostaje teraz rozsądzić, na ile głęboka była, lub potencjalnie mogła być, rewolucja Kopernikowska względem rewolucji Ibn ash-Shatira w rozwoju modelu ruchu Księżyca.

KOPERNIK I IBN ASH-SHATIR, A KWESTIA REWOLUCJI NAUKOWEJ

Do rdzenia programu badawczego rozwijanego przez Kopernika (co najmniej) od czasów pisania *Commentariolus* należało przekonanie, iż obserwacje dokonane przez Ptolemeusza były poprawne, i w konsekwencji wartości parametrów teorii Ptolemeusza należało uznać jako właściwie wyznaczone w czasach Ptolemeusza. Odnosić się to powinno do wszystkich modeli zjawisk astronomicznych formułowanych w kontekście teorii Ptolemeusza, w tym i ruchu Księżyca. Ponadto, wszelkie odstępstwa od wartości parametrów modeli teorii Ptolemeusza, wyznaczonych przez kompetentnych astronomów w czasach po Ptolemeuszu musiały być wynikiem faktycznych zmian w przebiegu samych zjawisk astronomicznych, które należało uwzględnić w tworzeniu nowych, ogólniejszych ich modeli. Otóż z danych zawartych w *Tablicach Alfonsa* wynikało, iż niektóre parametry modeli ruchu Księżyca uległy od czasów Ptolemeusza pewnym niewielkim zmianom: według Ptolemeusza maksimum równania argumentu w syzygiach i kwadraturach wynosiło odpowiednio 5,01° i 7,40°, a według *Tablic Alfonsa* odpowiednio 4,56° i 7,36°. Kopernik zaakceptował te dane w *Commentariolus* i wyznaczył dla nich parametry swojego modelu ruchu Księżyca (por. powyżej odpowiednie wzory). W konsekwencji model ruchu Księżyca Kopernika jest obserwacyjnie i globalnie geometrycznie nierównoważny z modelem Ptolemeusza, a tylko obserwacyjnie nierównoważny z modelem Ibn ash-Shatira. W kolejnym kroku, tak jak Kopernik czynił to analizując zagadnienie ruchu ósmej sfery (w jego terminologii – precesji) czy nachylenia ekliptyki (w jego terminologii – równika Ziemi)[17], powinien on podać powód odmiennych wartości parametrów wyznaczonych dla (współczesnych mu niemal) obserwacji przez twórców *Tablic Alfonsa* i dla czasów Ptolemeusza.

Kopernik zrobiłby to z pewnością, gdyby dysponował godnymi zaufania danymi obserwacyjnymi, które dowodziłyby systematycznej zmiany wartości pierwotnych parametrów modelu Ptolemeusza od czasów Ptolemeusza po współczesne Kopernikowi. Wówczas to, zgodnie ze swym programem badawczym, stworzyłby on długokresowy model ruchu Księżyca[18]. Model ten (pomijając nawet dodatkowy roczny ruch Księżyca wykonywany wraz z Ziemią dookoła średniego Słońca) byłby ogólniejszy od modelu Ibn ash-Shatira, globalnie obserwacyjnie i geometrycznie z nim nierównoważny, i tak skonstruowany, że pewna uogólniona zasada korespondencji łączyłaby go z nim (a także z modelami Ptolemeusza i Hipparcha). Wówczas, zgodnie z warunkiem (d) zajścia rewolucji naukowej, zrealizowałaby się w pełni rewolucja Kopernikowska w dziejach rozwoju modelu ruchu Księżyca. Jednak Kopernik nie zbudował takiego ogólniejszego modelu, bowiem uznał za słuszne przekonanie większości astronomów po Ptolemeuszu, w tym Ibn ash-Shatira, iż maksimum równania argumentu w syzygiach i kwadraturach **niezmiennie** wynosiło, odpowiednio, 4;56° (a nie 5,01° jak u Ptolemeusza) i 7,40° (jak u Ptolemeusza).

W konsekwencji tej decyzji modele Ibn ash-Shatira i Kopernika (*De revolutionibus*), (pomijając u Kopernika kwestię odmiennej kosmologii, w tym dodatkowy ruch Księżyca wykonywany wraz z Ziemią dookoła średniego Słońca) są w sensie matematycznym identyczne, będąc (a) **globalnie** nierównoważne obserwacyjnie i geometrycznie z modelem Ptolemeusza, i (b) (dla równania anomalii w kwadraturach) **lokalnie** równoważne obserwacyjnie w sensie matematycznym identyczne z modelem Ptolemeusza. Uznanie zaś ptolemeuszowskich wartości maksymalnych równania argumentu w syzygiach i kwadraturach spowodowałoby, że modele Ibn ash-Shatira – Koper-nika i Ptolemeusza byłyby **lokalnie** równoważne obserwacyjnie i geometrycznie dla równania anomalii w syzygiach i kwadraturach oraz dla równania odległości w syzygiach.

Toteż model ostatecznie przyjęty przez Kopernika w *De revolutionibus* nie traci mocy predykcyjnej poprzedniego modelu Ibn ash-Shatira.

Co więcej, przyjęcie przez Kopernika kosmologii ruchomej Ziemi, owocne w sensie naukowym, było empirycznie postępowe, doprowadziło bowiem w przyszłości do powstania m.in. fizyki keplerowskiej, a później newtonowskiej, w tym teorii grawitacji Newtona; z kolei, użycie fizyki newtonowskiej do opisu modelu ruchu Księżyca doprowadziło m.in. do (a) wyjaśnienia - dotąd przypadkowego faktu - zależności modeli ruchu Księżyca Ptolemeusza, Ibn ash-Shatira i Kopernika od elongacji od Słońca jako wyniku perturbacji grawitacyjnych Księżyca przez Słońce, (b) dalszego uszczegółowienia modelu tego ruchu[19], w tym (c) do odkrycia w latach dziewięćdziesiątych XX wieku zjawiska chaosu deterministycznego w ruchu układu Ziemia – Księżyc (co w istotny sposób skorygowało wcześniejsze wyobrażenia o tym ruchu)[20].

Tym samym spełniony został warunek wystarczający (c) zajścia rewolucji naukowej[21].

ZAKOŃCZENIE

W świetle powyższych rozważań pozwolę sobie stwierdzić, że wspomniane na początku tego artykułu dwa fundamentalne twierdzenia różnych nurtów filozofii, historii oraz socjologii nauki (wiedzy naukowej) ostatniego ćwierćwiecza (przypomnijmy: **Twierdzenie 1.** Nie istnieje żadna jednolita metoda rozwijania tzw. nauk ścisłych; **Twierdzenie 2.** W dziejach nauki nie istnieje nic takiego, co w jakimkolwiek uzasadnionym sensie można by określać mianem „rewolucja naukowa") są **jedynie mitami**.

Wynikły one z przypisania zbyt wielkiej wagi warsztatowi humanisty (filozofa, historyka oraz socjologa nauki (wiedzy naukowej)) kosztem warsztatu naukowca. Błąd to jest wielki, bowiem astronomia, która należy do tzw. nauk ścisłych, była już w pełni dojrzałą dyscypliną naukową w starożytności. Stąd doprawdy niewiele można zrozumieć z dziejów astronomii bez znajomości badanych przez nią problemów, które od dawien dawna były pełne technicznych szczegółów. Nie znaczy to oczywiście, że w badaniach rozwoju astronomii w szczególności, a tzw. nauk ścisłych w ogólności, mamy prawo zupełnie pominąć warsztat humanisty. W tego rodzaju badaniach musimy zachować swoisty umiar, obrać właściwą miarę i pamiętać o *harmonia mundi*.

Przypisy

[1] Przedstawiany artykuł jest moją odpowiedzią na zaproszenie do podjęcia tematu historii rozwoju modelu ruchu Księżyca, z którym publicznie wystąpił dr Zenon E. R o s k a l (Wydział Filozofii KUL) na początku swego referatu pt. „Kontekst odkrycia i uzasadnienia epicykliczno-deferencjalnego modelu ruchu Księżyca", wygłoszonego w Instytucie Historii Nauki PAN w Warszawie 18.02.2000 r. na posiedzeniu seminaryjnym pt. *Kontekst odkrycia w dziejach dziedziny nauki* prowadzonym przez prof. dr hab. Alinę Motycką (IFiS PAN) i prof. dr hab.Stefana Zameckiego (IHN PAN).

[2] Tego typu kwestie poruszałem m.in. na ostatnich dwóch światowych kongresach historii nauki (22–29.08.1993 r., Saragossa (Hiszpania), 20–26.06.1997 r., Liège (Belgia)) i dwóch światowych kongresach logiki, metodologii i filozofii nauki (19–25.08.1995 r., Florencja, Włochy, 20–26.08.1999 r., Kraków).

[3] Podane tu warunki mają charakter warunków koniecznych i wystarczających zajścia rewolucji w nauce.

[4] Zob. K o k o w s k i [1996a], 1996b], [1996c], [1997a], [1998a], [1999a], [1999c].

[5] Przyjmuję klasyczny, na gruncie metodologii historii, podział dziejów na *czasy prehistoryczne* i *czasy historyczne*. U podstaw tego podziału leży (a) fakt pojawienia się pisma na pewnym (stosunkowo późnym) etapie rozwoju ludzkości i (b) odróżnieniu prehistorii – jako tej części dziejów ludzkości, o której nie posiadamy źródeł pisanych od historii – znacznie krótszego okresu dziejów ludzkości, o którym posiadamy już jakieś źródła pisane.

[6] W kwestii **T1** por. np. J. N o r t h [1997], s.7–8, 13, a w kwestii **T2** zob. np. N e u - g e b a u e r [1975] s.86.

[7] Nie będą tu jednak wyjaśniać, co rozumiem przez hipoteteyczno-dedukcyjną metodę myślenia korespondencyjnego. W tej kwestii patrz np. K o k o w s k i [1996a], [1998b], [1999c].

[8] Sam Hipparch przyjmował dwa zbiory parametrów (a) R = 60 i r = 6;15 oraz (b) R = 60 i r = 4;46), wyznaczonych odpowiednio z modelu ekscentrycznego i epicyklicznego (P t o l e m e u s z , *Almagest* IV, 6). Jak pokazał jednak Ptolemeusz wartości promienia epicykla powinny być takie same, co wiąże się z błędnym ich wyznaczeniem przez Hipparcha. Zob. P t o l e m e u s z , *Almagest* (IV, 11).

[9] Zwracam uwagę, że jest to zapis sześćdziesiątkowy, tzn. 5;15 = 5 + 15/60 = 5,25.

[10] Czasem twierdzi się niezbyt ściśle, że w modelu ruchu Księżyca Ptolemeusz zastosował ideę ekwantu, którą z kolei miał wyrugować z tego modelu Ibn ash–Shatir. W rzeczywistości w pełni rozwinięta postać ekwantu pojawiła się u Ptolemeusza w teorii takich planet, jak Merkury, Mars, Jowisz oraz Saturn. Z kolei astronomowie ze szkoły z Maragha, w tym np. Ibn al-Tusi, Ibn ash-Shatir, usunęli Ptolemeuszowski ekwant z teorii planet, zastępując go przez tzw. mechanizm Tusiego. Czyniąc to, posłużyli się HDMMK, w tym zasadą korespondencji typu Bohra. Aspekt ten omówiłem np. w K o - k o w s k i [1998a].

[11] „Średnie Słońce" jest to abstrakcyjny punkt, środek koła (sfery) ruchu Ziemi wokół (prawdziwego, fizycznego) Słońca. Liczona od tego punktu odległość Ziemi jest

stałą, niezmienną w czasie wielkością, podczas gdy odległość Ziemi a (prawdziwym) Słońcem jest wielkością periodycznie zmienną..

[12] Przeoczył tę subtelność P e d e r s e n [1974], wedle którego: „[t]eoria Księżyca ma szczególną pozycję w każdym systemie astronomicznym, gdyż **z konieczności musi być ona geocentryczna, niezależnie od geocentrycznego czy heliocentrycznego charakteru całego systemu**" (P e d e r s e n [1974] s.159, podkreślenie – *M.K.*).

[13] W ten właśnie sposób usunięte zostały podstawowe braki Ptolemeuszowkiego modelu ruchu Księżyca: logiczny, polegający na sprzeczności z tzw. aksjomatem Platona, i obserwacyjny, polegający na niezgodności modelu z obserwowanymi zjawiskami.

[14] Takie podejście nie jest wcale jakoś specjalnie wydumane, gdyż stosował je sam K o p e r n i k . Zob. *De revolutionibus* Ks. IV rozdz. 8.

[15] Widzimy więc, że pomimo globalnej nierównoważności tych modeli dla parametrów Ptolemeusza modele Ptolemeusza oraz Ibn ash-Shatira i Kopernika przewidywałyby w syzygiach ($2\eta = 0°$) dokładnie te same odległości, co model Hipparcha (wz. 6–7).

[16] Odnieśmy się w tym miejscu do interpretacji rozumienia przez Kopernika modelu ruchu Księżyca przedstawionej przez S w e r d l o w a [1973] i S w e r d l o w a, N e u g e b a u e r a [1984].

Badacze ci stwierdzają m.in.:

„Model Księżyca Kopernika (przedstawiony w *Commentariolus – M.K.*) jest, z wyjątkiem jego parametrów, **identyczny z modelem Księżyca Ibn ash-Shatira**" (S w e r d l o w [1973] s. 456, podkreślenie – *M.K.*).

„Maksymalna wartość φ (równanie środka – *M.K.*) i 2η, dla której się to dzieje, zależy od względnych wielkości r_1 i r_2. **Ponieważ r_1 i r_2 są wybrane jedynie po to, by odtworzyć właściwe maksimum równań anomalii w syzygiach i kwadraturach, związek między wartością φ z wartością 2η a prosneusis Ptolemeusza jest przypadkowy**" (S w e r d l o w [1973] s. 457, podkr. – *M.K.*).

„[R]ównanie środka produkowane przez dwa epicykle jedynie z grubsza i przypadkowo przybliża prosneusis Ptolemeusza. Różnice mogą sięgać aż około 4,5° w równaniu środka, a to może wywołać różnicę trochę ponad 0,25° w równaniu anomalii. **Ponieważ jednak te różnice nie mogą się zdarzyć w koniunkcjach lub opozycjach, Kopernik, który tylko mgliście rozumiał prosneusis, mógł czuć się bezpieczny w ich ignorowaniu**" (S w e r d l o w [1973] s.460, podkr. – *M.K.*).

„Księga IV (poświęcona Księżycowi – *M.K.*) jest bardzo interesująca jako wysoce syntetyczny, wysoce średniowieczny wykład metod a nawet parametrów liczbowych z greckich, hinduskich, arabskich oraz średniowiecznych łacińskich źródeł, które weszły do *Tablic Alfonsa* i *Epitome*, a później do dzieła (chodzi o *De revolutionibus – M.K.*), o którym zwykło się mówić, iż wyznacza rewolucję w astronomii" (S w e r d l o w, N e u g e b a u e r [1984] s.193).

Na podstawie przedstawionych w tym artykule rozważań twierdzę, że przedstawiona przez S w e r d l o w a [1973] i S w e r d l o w a, N e u g e b a u e r a [1984] krytyka rozumienia przez Kopernika modelu ruchu Księżyca jest nietrafna.

Po pierwsze, analogiczną krytykę należałoby odnosić również do Ibn ash-Shatira, czego jednak nie czynią ci badacze.

Po drugie, model Księżyca Kopernika nie jest do końca identyczny z geocentrycznym modelem Księżyca Ibn ash-Shatira, gdyż u Kopernika, niezgodnie z tezą geocentryzmu i geostatyzmu, Księżyc porusza się wokół **ruchomej** Ziemi, znajdującej się **poza centrum** Wszechświata, którym jest Słońce (lub średnie Słońce).

Po trzecie, wbrew opinii Swerdlowa i Neugebauera, równanie środka produkowane przez dwa epicykle jest całkiem udanym i nie przypadkowym przybliżeniem prosneusis Ptolemeusza. Ekstremalne różnice między tymi równaniami nie sięgają bynajmniej aż około ± 4,5°, a tylko ± 0,71° (Ibn ash-Shatir, K o p e r n i k (*De revolutionibus*), ± 0,94° (K o p e r n i k (*Commentariolus*) lub ewentualnie ± 1,83° (dla parametrów (dla czasów) Ptolemeusza)).

Po czwarte, względne wartości promieni r_1 i r_2 w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika nie są wcale wybrane jedynie po to, by odtworzyć właściwe maksimum równań anomalii w syzygiach i kwadraturach, ale również po to, by w syzygiach i kwadraturach postać równania anomalii była taka sama jak u Ptolemeusza.

Po piąte wreszcie, ewentualną krytykę modeli Ibn ash-Shatira i Kopernika ruchu Księżyca należałoby odnosić do całości tego modelu, a nie tylko do jego części składowych jak czynią to Swerdlow i Neugebauer. Przecież Ibn ash-Shatir i Kopernik, doskonale zdając sobie sprawę z tego, że model Ptolemeusza łamał aksjomat Platona (tzn. zasadę jednostajności ruchów kołowych) i błędnie przewidywał odległość Księżyca od Ziemi oraz wielkość kątową tarczy Księżyca, usunęli te wady w swoich bardzo podobnych (w sensie matematycznym) modelach ruchu Księżyca. W tych trzech modelach funkcja odległości Księżyca od Ziemi jest ściśle związana z równaniem anomalii i równaniem środka. Ibn ash-Shatir i Kopernik szczególną uwagę poświęcili temu, by uzgodnić zależność odległości Księżyca od Ziemi z obserwacjami i zachować postać równania anomalii modelu Hipparcha dla syzygiów (również dobrze potwierdzoną obserwacyjnie), ale nie przypisywali oni dużej roli do równania środka Ptolemeusza (w tym i prosneusis), jako wielkości pośrednio wyznaczanej z obserwacji i teorii. Ponieważ zaś w modelach Ibn ash-Shatira i Kopernika były dwa wolne parametry (promienie epicykli), należało sformułować dwa równania o dwóch niewiadomych. Co też się stało. Ibn ash-Shatir i Kopernik wyznaczyli je ze wzorów (zależnych od wielkości promieni epicykli i znanej wartości deferentu R) na wartości maksimum równania argumentu (anomalii) w syzygiach i kwadraturach oraz współczesnych Ibn ash-Shatirowi i Kopernikowi danych obserwacyjnych.

[17] Zob. np. K o k o w s k i [1996a].

[18] Bo, zgodnie z innym aksjomatem ówczesnej astronomii, zjawiska astronomiczne są albo niezmienne, albo periodycznie niezmienne.

[19] Por. N e u g e b a u e r [1975] s. 89.

[20] Por. B a r r o w [1998] s. 196–199.

[21] Toteż nie ma wątpliwości, iż w modelu ruchu Księżyca wydarzyły się trzy rewolucje naukowe: Ptolemeusza, Ibn ash-Shatira i Kopernika. Nie wyczerpuje to jednak pełnej listy rewolucji naukowych, jakie wydarzyły się w rozwoju modelu ruchu Księżyca

w czasach od Hipparcha do Kopernika. Taką była też np. rewolucja Nasir al-din al-Tusiego (1201–1274).

Co więcej, ponieważ rozwój modelu ruchu Księżyca jest potencjalnie najmniej rewolucyjnym wątkiem procesu historycznego określanego mianem „rewolucja kopernikowska" (gdyż Księżyc porusza się wokół Ziemi), przedstawione tu wyniki należy traktować jako ostateczny argument na rzecz istnienia rewolucji kopernikowskiej, pojmowanej jako rewolucja w nauce.

Literatura

B a r r o w, John D.: *Wszechświat a sztuka. Fizyczne, astronomiczne i biologiczne źródła estetyki*. Przekład Janusz Sklimowski. 1998 Amber.

B u t t e r f i e l d Herbert: [1949]: *The Origins Of Modern Science*, London: 1949 G.Bell and Sons, Ltd. A revised edition (wihout major changes) [1957]. Przekład polski [1963]: (z wyd. [1957]) *Rodowód współczesnej nauki 1300–1800*. Warszawa: PWN.

C o h e n , I. Bernard: *Revolution in Science*. Cambridge, Massachusetts, and London, England 1985: The Belknap Press of Harward University Press.

H a l l , A. Rupert: *The Scientific revolution 1500–1800: The formulation of the modern scientific attitude*. New York 1954: Longmans, Green and Company; Beacon Paperback Edition, Boston: Beacon Press.

H e m p o l i ń s k i , Michał: *Empiryzm*. W: *Filozofia a nauka. Zarys encyklopedyczny*. Wrocław, Warszawa, Kraków, Gdańsk, Łódź 1987 Zakład Narodowy im. Ossolińskich, s.150–160.

J o d k o w s k i , Kazimierz: *Wspólnoty uczonych, paradygmaty i rewolucje naukowe*. „Realizm, Racjonalność, Relatywizm" t. 22, Wydawnictwo UMCS, Lublin 1990.

K o k o w s k i , Michał:

[1993b]: *Próba uniknięcia podstawowego błędu filozofii fizyki Kuhna*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce", 1993, XV, s.77–98.

[1995c]: *Copernicus'astronomical works – A remarkable case of the applying the methodological idea of correspondence*.10th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science (19–25.08.1995, Florencja, Włochy). Volume of Abstracts p.236.

[1995d]: *Przeciwko mitycznym interpretacjom tzw. nauk ścisłych: Kopernik, hipotetyczno-dedukcyjna metoda myślenia korespondencyjnego oraz kilka zasad korespondencji łączących teorie Kopernika i Ptolemeusza*. VI Zjazd Filozoficzny. Abstrakty. (Toruń 5–9 Września 1995), s. 106–107.

[1996a]: *Copernicus and the hypothetico-deductive method of correspondence thinking. An introduction*, „Theoria et Historia Scientiarum" 5, (1996), s.7–101.

[1996b]: *Uwagi dotyczące poglądów Kopernika, Ptolemeusza, Tycho Brahe, Keplera i metodologii nauk określanych mianem ścisłych*. W: H e l l e r , U r b a n i e c

(red.) [1996]: *Otwarta nauka jej zwolennicy*. Kraków: OBI and Tarnów: BIBLIOS, ss. 40–48.
[1996c]: *To Avoid Triteness: Some difficulties in Teaching the History and Philosophy of Physics*, W: J. S e b e s t a , (ed.) International Conference on History and Philosophy of Physics in Education (August 21–24, 1996, Bratislava, Slovakia), pp.173–178.
[1996d]: *O kontekście kontekstów uzasadnienia i odkrycia*, „Zagadnienia Naukoznawstwa" 3 (129) 1996 ss.371–375.
[1997a]: *Defending Copernicus'Scientific Method*, W: Opsomer C. (ed.) XXth International Congress of History of Sciences, June 20–26, 1997, Liège (Belgium). Book of Abstracts – Scientific Sections, p.139.
[1997b]: *Krytyka Kuhnowskiej interpretacji rewolucji kopernikowskiej w świetle hipotetyczno-dedukcyjnej metody myślenia korespondencyjnego*. Rozprawa Doktorska (Instytut Historii Nauki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie).
[1998a]: *How, in what sense, and why did Copernicus discover the motions of the earth?*, International Congress on Discovery and Creativity (Gent, Belgium, May 14-16 1998) pp.101–102.
[1998b]: *Czy Darwinizm jest programem badawczym czy teorią naukową?*, „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce" 1998 XXII ss.105–113.
[1999a]: *In Defence of the Method of Physics: The Hypothetico-Deductive Method of Korrespondenzdenken*, 11-th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, August 20–26 1999 – Cracow, Poland, *Volume of Abstracs p.315*.
[1999b]: *Między historią a nauką. Wstęp krytyczny do metodologii historii nauki*, „Prace Komisji Historii Nauki Polskiej Akadamii Umiejętności" 1999 t. I ss. 73–86.
[1999c]: *Fizyka nauką prawd ostatecznych? Uwagi do referatu Prof. Staruszkiewicza pt. „Absolutność prawdy odkrywanej przez fizykę" czynione w kontekście Popperowskiego falsyfikacjonizmu i autorskiej hipotetyczno-dedukcyjnej metody myślenia korespondencyjnego*. „Zagadnienia Filozoficzne w Nauce" XXIV 1999, s.106–128.
[2000a]: *Tomasz S.Kuhn a rewolucja kopernikowska. Geneza, treść i krytyka interpretacji*. (Rozszerzona wersja rozprawy doktorskiej [1997c].) „Studia Copernicana" (w przygotowaniu do druku).
[2000b]: *Dzieje epicykliczno-deferencjalnej teorii ruchu Księżyca a hipotetyczno-dedukcyjna metoda myślenia korespondencyjnego*.
K o y r é , Alexandre:
[1943a]: *Nicolaus Copernicus*, W: *The Quadricentennial Celebration of the Polish Institute of arts and Sciences in America*. New York, p.20–45.
[1943b]: *Galileo and Plato*, „Journal of the History of Ideas", IV (1943) p.131–152.
[1943c]: *Galileo and the scientific revolution of the seventeenth century*, „The Philosophical Review", III (1943) p. 333–348.

Kuhn, Thomas Sammuel:
[1957]: *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought.* Cambridge, Mass: Harvard University Press. Przekład polski [1966]: *Przewrót Kopernikański. Astronomia planetarna w dziejach myśli.* Z języka angielskiego tłumaczył S.Amsterdamski. Warszawa PWN.
[1962]: *The Structure of Scientific Revolutions.* Chicago: The University of Chicago Press. Przekład polski [1968]: *Struktura rewolucji naukowych.* Tłumaczenie H.Ostromęcka. Tłumaczenie przejrzał, zredagował i posłowiem zaopatrzył S.Amsterdamski. Warszawa: PWN.
[1976]: *Theory-Change as Structure-Change: Comments on the Sneed Formalism*, „Erkenntnis" 10 (1976), s.179–199.
[1982 wyd. 1983]: *Commensurability, Comparability, Communicability*, PSA 1982, p.669–688.*
Lindberg, David C., Westman, Robert S.: *Reappraisals of the Scientific Revolution.* Printed in the USA. Cambridge University Press (eds.) [1990, 1991, 1994].
Neugebauer, Otto: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975.
Pedersen, Olaf: *A Survey of Almagest*, Odense University Press 1974, Denmark.
Roberts, Victor: *The Solar and Lunar Theory of Ibn ash-Shatir: A Pre-Copernican Copernican Model*, ISIS 1957 48, 428–432.
Swerdlow, Noel M.: *The Derivation and First Draft of Copernicus's Planetary Theory. A translation of the Commentariolus wih Commentary*, „Proc. Amer. Phil. Soc." 1973 117, pp.423–512.
Swerdlow, Noel M., Neugebauer, Otto: *Mathematical astronomy in Copernicus's De revolutionibus (Studies in the history of mathematics and physical sciences; 10)* Springer-Verlag New York Inc., 1984.

Michał Kokowski

THE HISTORY OF THE EPICYCLE-DEFERENT THEORY OF LUNAR MOTION AND THE HYPOTHETICO-DEDUCTIVE METHOD OF CORRESPONDENCE-ORIENTED THINKING

Two theses of an almost dogma-like nature have become widespread in various currents of the philosophy, history and sociology of science (of scientific knowledge) over the last quarter of a century. The two theses can be formulated as follows:

Thesis 1. There is no uniform method of development for the so-called exact sciences.

Thesis 2. In the history of science there has been nothing that could in any justified sense be referred to as a „scientific revolution".

It has been my belief for several years now that those two theses are false and that they stem from an insufficient knowledge of the research praxis and the history of the so-called exact sciences, and in particular from the failure to conceive correctly of the phenomenon of „scientific revolution" and „Copernican revolution" (I had an opportunity to raise such issues during the latest two congresses of the history of science – in Saragossa, 1993, and in Liège, 1997, as well as at two world congresses of the logic, methodology and philosophy of science, in Florence,1995, and in Kraków, 1999).

Contemporary critics of the idea that scientific revolutions do occur in the history of science, usually philosophers, historians and sociologists of science with a background in the humanities – have overlooked the fact that eminent figures in the world of the so-called exact sciences (e.g. Heisenberg, Einstein) have been in favour of such an idea. The polarisation of positions on that matter is not incidental and has a rational basis.

The problem is that the conceptions of scientific revolution presented, on the one hand, by philosophers, historians and sociologists of science who criticize the idea, and, on the other, by eminent figures in the so-called exact sciences, have really very little in common. To put it in most general terms: the former have a view of scientific revolutions that is dominated by the sociological analogy between a scientific and a political revolution (such an interpretation was presented by Koyré [1943a–c], Butterfield [1949], Hall [1954], Kuhn [1962] and it this type of revolution that is negated by contemporary critics of the idea of scientific revolutions, e.g. Swerdlow, Neugebauer [1984], Cohen [1985], Lindberg, Westman (eds.) [1990, 1991, 1994] or Shapin [1996]). According to this interpretation a scientific revolution is an epoch-making, irreversible change in the evolution of science that consists in a radical breach with the past, whereby the old order (old ontology, old methodology) is replaced by a new order (new ontology, new methodology). According to scientists, however, scientific revolutions are connected with one of the following events:

(a) the discovery of new empirical facts, which were not predicted by the existing theories; such discoveries are frequently the result of devising new, more accurate instruments for observation and measurement;

(b) the formulation of a new theory (model), which for the first time makes it possible to give a mathematical expression to a group of empirical facts;

(c) the formulation of a new theory (model), which – while preserving the predictive power of the old, formerly binding theory – either removes the some of the old theory's errors and/or formal contradictions, or rejects the old ontology of the world for a new ontology; the formulation of such a theory must be methodologically fruitful and must lead to an empirically progressive development of the research programme (in the sense used by Lakatos).

(d) the formulation of a new theory (model), which is constructed in such a way as to be connected with old (previously binding) theory by means of some generalized principles of correspondence (of the Bohr type of correspondence principle); the generalized principle of correspondence which links the old and the new theories does not lead, in the logical sense, either to reducing the old theory to the new one, nor does it imply deducing the old theory from the new one; thanks to the existence of the generalized principles of correspondence, the new theory emulates the functional dependencies and, more broadly, the conceptual structures of the old theory.

(The conditions given above are the necessary and sufficient conditions for a scientific revolution.)

Thus, according to the scientists themselves, scientific revolutions, while introducing radical changes in postulated ontologies of the theories, are partly conservative with respect to the conceptual structures and the empirical aspects of the theories.

That the Copernican revolution was indeed a scientific revolution in the sense outlined above is something I have proved in my earlier works, e.g. in my analyses of such issues as the non-uniformly variable precession, the non-uniformly variable inclination of the Earth's equator, the so-called equant removal and the position of the Earth in the universe (cf. Kokowski [1996a], [1996b], [1996c], [1997a], [1998a], [1999a], [1998c]).

In the present article I have concentrated on the question of the model of the Moon's motion evolved from the time of Hipparchus until those of Copernicus. The topic is, in its essence, the least revolutionary point in the Copernican revolution, for both according to geocentric and heliocentric (heliostatic) astronomy, the motion of the Moon is that of revolving round the centre of the Earth. Hence, if it could be proved in this case that any scientific revolution (in the sense of the term used by scientists) had taken place, it would be the ultimate argument for the occurrence of a Copernican revolution understood as revolution in science.

I adopt the following five theses:

Thesis 1. Observations of the lunar motion (and probably also the attempts to account for them in theoretical terms) were the subject of astronomical research already in prehistoric times (circa 30,000–10,000 years BC).

Thesis 2. The theory of the Moon contains all the principal ideas necessary for calculations of astronomical phenomena. In particular, the theory of the Moon provided the starting point for the process of elaborating a simple model of epicyclical motion, towards a more sophisticated form. Comparable processes could be observed at the Maragha school, in Copernicus' work, and long before Ptolemy, in Babylonian astronomy.

Thesis 3. In research on the lunar motion, astronomers have, at least from ancient times (which is testified by written records), consciously and consistently used the hypothetico-deductive method of correspondence-oriented thinking. This strategy was clearly shown by Ptolemy in his *Almagest*, when he elaborated on the Hipparchian model of lunar motion. The method was also used e.g. by Ibn ash-Shatir and Copernicus, when rejecting the Ptolemaic model of lunar motion.

Thesis 4. The model formulated by Copernicus in *Commentariolus*, which was only slightly modified in the *De Revolutionibus* was not a model that was fully complete in light of the research programme that he was following. The model did not postulate long-term lunar motion, which would account for the departures from Ptolemy's observations in the times of Copernicus. This was due to the fact that Copernicus, in line with the majority of competent astronomers after Ptolemy, including Ibn ash-Shatir, concluded that the maximum value of the argument (anomaly) equation in syzygies and quadratures amounted **invariably** to, respectively, 4;56° (and not 5;01° as in Ptolemy's approach) and 7;40°.

Thesis 5. In the history of the evolution of the model of lunar motion from the time of Hipparchus until those of Copernicus, there have been a number of scientific revolutions: they included the scientific revolution of Ptolemy, Ibn ash-Shatir and Copernicus; it must be said that ash-Shatir's revolution would not have been possible without the revolution of al-Tusi. In all those revolutions use was made of the hypothetico-deductive model of correspondence-oriented thinking; in particular generalized principles of correspondence (of the Bohr type of correspondence principle) were formulated which provided a link between the successive theories.

I have not provided any argument for theses T1 and T2, for they are accepted by a vast majority of specialists (on T1 see e.g. J. North [1997], pp.7–8, 113, and on T2 see e.g. Neugebauer [1975], p. 86), but I have provided proofs for theses T3– T5, which I have formulated myself.

In order to prove theses T3–T5, I have presented mathematical models of lunar motion according to Hipparchus (formulae 1–14), Ptolemy (formulae 15-43), Ibn ash-Shatir and Copernicus (formulae 46-103), and I have compared the properties of the successive models (see, inter alia, formulae 44-45 and 104-115).

In the light of the formulae presented, it can be clearly seen that the theories of the Moon proposed by Hipparchus, Ptolemy and Ibn ash-Shatir and Copernicus are geometrically and observationally non-equivalent and at the same time incommensurable (in Kuhn's sense), as they accept different mutually contradictory and mutually irreducible ontological hypotheses (quasi-entities of the theories: deferent + epicycle (Hipparchus), eccentric + epicycle (Ptolemy), and deferent and two epicycles (Ibn ash-Shatir and Copernicus) and the functions associated with those (the resultant motions of systems of circles), which modelled astronomical phenomena). The fundamental quantitative and qualitative differences hold between Ptolemy's theory on the one hand, and the theory of Ibn ash-Shatir and Copernicus on the other. For instance, the theory of Ptolemy makes use of the proto-idea of equant, while the models of Ibn ash-Shatir and Copernicus abandon it. Also, the models of Ibn ash-Shatir and Copernicus differ from Ptolemy's theory in their description of the changes in the ecliptic longitude of the Moon, the changes in the distance of the Moon from the Earth, and in effect also the variable angular size of the Moon's face (In this way, the basic deficiencies of the of the Ptolemaic model of lunar motion were eliminated: the logical deficiency, consisting in the contradiction with the so-called basic axiom of Plato, and the observational deficiency, consisting in the incongruity of the model with the phenomena observed).

Despite those significant differences, the models are connected by something very important for a researcher of the so-called exact sciences - namely, they share some generalized principles of correspondence (of the Bohr type of correspondence principle).

Hence, on the basis of the discussion above, including the pre-conditions foot he occurrence of a scientific revolution, we can arrive at the following conclusions:

The theory of lunar motion developed by Ptolemy is linked to Hipparchi' theory of lunar motion through certain principle of correspondence, defined by conditions 22 and 44. Analogously, the theories of lunar motion developed by Ibn ash-Shatir and Copernicus are linked to Ptolemy's (and Hipparchus') theory of lunar motion through certain principles of correspondence, defined by conditions 22, 104–105. Hence, according to condition (c) for the occurrence of a scientific revolution, it is the names of Ptolemy, Ibn ash-Shatir and Copernicus that should be associated with the occurrence of a scientific revolution regarding the evolution of the model of lunar motion.

I would also like to argue that the critique of Copernicus' understanding of lunar motion presented by Swerdlow [1973] (pp. 456, 457, 460) and Sverdlov and Neugebauer [1984] (p.193) is misplaced.

In the light of the above discussion, I feel entitled to argue that the two fundamental theses of various currents in the philosophy, history and sociology of science (of scientific knowledge) over the last quarter of a century (namely: „Thesis 1. There is no uniform method of development for the so-called exact sciences" and „Thesis 2. In the history of science there has been nothing that could in any justified sense be referred to as a 'scientific revolution'") are nothing but a myth.

The two these have resulted from ascribing too significant a role to the conceptual apparatus used in the humanities (by philosophers, historians and sociologists of science (scientific knowledge)) at the cost of the apparatus used in science. This is a serious error, for astronomy, which belongs to the so-called exact sciences, was already a fully mature scientific discipline in antiquity. Hence, it is really difficult to understand much in the history of astronomy without a knowledge of the problems it investigates, as such problems have long been full of technical details. This is not say, of course, that in research on the evolution of astronomy in particular, and the so-called exact science in general, one should neglect altogether the apparatus of the humanities. It is only that we have to exercise some restraint, adopt a proper gauge, and remember about the harmonia mundi.