ROCZNIKI POLSKIEGO TOWARZYSTWA MATEMATYCZNEGO
Seria II: WIADOMOŚCI MATEMATYCZNE XXVIII (1990)

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

JERZY DOBRZYCKI (Warszawa)

Historycy nauki o obserwacjach astronomicznych Ptolemeusza

W ostatnich dwudziestu latach w historii nauki wyraźnie zwiększyło się zainteresowanie astronomią starożytną, w szczególności aleksandryjską astronomią matematyczną i jej przedstawieniem w dziele Klaudiusza Ptolemeusza. W publikacjach na ten temat nie brak akcentów polemicznych, niekiedy o bardzo wysokiej temperaturze. Stało się tak przede wszystkim za sprawą Roberta R. Newtona, astronoma z Johns Hopkins University w Baltimore. Newton podjął analizę starożytnych obserwacji Słońca i Księżyca ze względu na znaną ich wartość dla współczesnych badań dynamiki układu słonecznego, w szczególności dla określenia wiekowych zmian prędkości ruchu obrotowego Ziemi. Podstawowym źródłem informacji o tych obserwacjach jest właśnie *Almagest* Ptolemeusza. Analiza danych z *Almagestu* doprowadziła Newtona do konkluzji, że w przeważającej mierze cytowane przez aleksandryjskiego uczonego dane nie są w ogóle wynikiem obserwacji, bądź też że wyniki autentycznych obserwacji zostały poddane manipulacji. Z całego cyklu publikacji Newtona na ten temat, zaczętego w roku 1973, wyróżnia się książka z roku 1977, podsumowująca dotychczasowy stan badań([1]).

Newton wystąpił w niej jako bezkompromisowy oskarżyciel i sędzia, rozpatrujący „zbrodnię Ptolemeusza". Zacytujmy tylko jedną z konkluzji (str. 79–80): *equinox and solstice measurements that Ptolemy claims to have made were not made at all, but were fabricated from the very theory which he claims he was testing.* W ogóle operowanie danymi pomiarowymi przez Ptolemeusza Newton określił jako *a crime committed by a scientist against his fellow scientists and scholars, a betrayal of the ethics and integrity of his profession* (tamże, str. XIII). Zarzuty Newtona dotyczyły przede wszystkim sfingowania obserwacji zaćmień (w tym szczególnie ważnych, bo najstarszych obserwacji babilońskich z VIII w.), „poprawiania" obserwacji planet, a wreszcie całego szeregu operacji związanych z wyznaczaniem przez Ptolemeusza współrzędnych gwiazd oraz (błędnie określonej) stałej precesji.

([1]) R. R. Newton, *The Crime of Claudius Ptolemy*, Baltimore–London 1977.

Wątpliwości co do autentyczności danych przytaczanych w *Almageście* nie były czymś nowym. Krytyka Ptolemeusza ma swą historię sięgającą przynajmniej czasów Keplera. Spory na ten temat wzmogły się w XVIII w., gdy nowożytny aparat matematycznej astronomii i osiągana w pomiarach dokładność pozwoliły na krytyczną analizę i ewaluację starych obserwacji. Za i przeciw Ptolemeuszowi występowali wtedy uczeni tej miary, co Laplace i Lalande. Radykalną ocenę krytyczną wyraził wówczas Delambre: *Ptolemeusz wbrew własnym zapewnieniom w ogóle nie wyznaczał sam położenia ani Słońca, ani gwiazd stałych*([2]).

Sąd Delambre'a, autora fundamentalnego dzieła o historii astronomii, dominował długo w literaturze przedmiotu. Jego rewizję przyniósł dopiero w drugiej połowie XIX w. rozwój filologicznej szkoły historii nauki. W szczególności pojawiły się argumenty broniące samodzielności Ptolemeusza jako autora katalogu gwiazd([3]). Na krótko przed badaniami Newtona przeważała już wyraźnie pozytywna ocena działalności obserwacyjnej i rachunkowej Ptolemeusza, podtrzymywana w fundamentalnych opracowaniach dotyczących starożytnej astronomii matematycznej([4]). Po wystąpieniach Newtona dyskusja wyraźnie się ożywiła. Wśród prac opublikowanych w ostatnim okresie zwrócić należy uwagę zwłaszcza na wnikliwe studium Günthera Grasshoffa *Die Geschichte des Ptolemäischen Sternenkatalogs*([5]). W ostatnim czasie emocje nieco opadły; autorzy uczestniczący w dyskusji dość zgodnie unikają epitetów Newtona. Pozostały jednak rozbieżności w konkluzjach co do „czystości" obserwacji.

Powróćmy jeszcze do materiału dowodowego, a więc do samych obserwacji będących przedmiotem analizy Newtona. Rozróżnić trzeba tu kilka zarzutów, dotyczących różnego rodzaju manipulacji:

1. *Selekcja materiału obserwacyjnego dla potwierdzenia oczekiwanego teoretycznie rezultatu.* W sytuacji takiej cytowana w tekście obserwacja na ogół dobrze odpowiada prognozie teoretycznej (przy czym prognoza ta wcale nie zawsze zgodna była z rzeczywistością). Inne obserwacje nie spełniające powyższego warunku są jedynie wspomniane lub przytaczane bez wyjaśnienia ich rozbieżności. Klasycznym przykładem do dyskusji nad obserwacjami Ptolemeusza są obserwacje deklinacji gwiazd z czasów Hipparcha i Ptolemeusza. Z osiemnastu takich obserwacji wybrano w *Almageście* sześć potwierdzających przyjętą ostatecznie w *Almageście* stałą precesji (1° na stulecie, tj. 36 sekund na rok). Dwanaście nie wykorzystanych informacji prowadzi do dużo bliższej rzeczywistości stałej równej około 56″.

([2]) J. B. Delambre, *Histoire de l'astronomie ancienne*, Paris 1817, tom 2, str. 252.

([3]) M.in. F. Boll, Bibl. Math. 3. Folge, tom 2, 1901, str. 185; H. Vogt, Astr. Nachrichten, tom 224, 1925, str. 17.

([4]) O. Pedersen, *A Survey of the Almagest*, Odensee 1974; O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, 3 tomy, Berlin–New York 1975.

([5]) Rozprawa doktorska, Hamburg 1985. Tłum. ang., w druku.

2. *Dopasowywanie danych liczbowych, również pochodzących z obserwacji, dla uzyskania zgodności z teorią.* Wiele uwagi w dyskusji ostatnich lat poświęcono badaniu tego typu obserwacji i danych, a zwłaszcza dużego zbioru współrzędnych ponad tysiącą gwiazd w katalogu Ptolemeusza. Kilka przesłanek, dyskutowanych w literaturze przedmiotu już od dawna, skłania do zaprzeczenia autorstwa Ptolemeusza i do uznania, że – przynajmniej w znacznej części – dane katalogu są wynikiem obserwacji wykonanych prawie trzy wieki wcześniej przez Hipparcha i zredukowanych do epoki Ptolemeusza przez dodanie do długości ekliptycznej gwiazd stałej, skądinąd błędnej, poprawki (2°40′). Charakterystyczny jest właśnie rozkład końcówek wartości liczbowych wykazujących maksimum częstości dla 40′; rozkład dla „czystych" obserwacji, jak wiadomo z wiekowych doświadczeń metrologii, miałby maksimum dla końcówki 0′, tj. dla całych stopni. Dobór poprawki miał według krytyków służyć do potwierdzenia ptolemeuszowskiej wartości ruchu precesyjnego.

Dodajmy, że niektórzy autorzy, zwłaszcza R. R. Newton, byli skłonni w ogóle obserwacje gwiazd włączyć do trzeciej kategorii: obserwacji fikcyjnych. Jednakże wydzielanie takiej kategorii nie wydaje się ani dostatecznie uzasadnione, ani też nie jest praktycznie do przeprowadzenia.

Spojrzenie na polemikę wokół wystąpień R. R. Newtona skłania do rozważenia, już bez zbędnego angażowania emocji, pytań o historyczne uwarunkowania funkcji i znaczenie samego pomiaru oraz instrumentów pomiarowych w nauce starożytnej i średniowiecznej.

Wartość aparatury pomiarowej dla postępu badań teoretycznych była bardzo ograniczona. Nie brak głosów historyków nauki, traktujących instrumentarium pomiarowe – bodajże aż do połowy XVI w. – jako pomoc dydaktyczną, urządzenia mające uzmysłowić funkcjonowanie geometrycznego modelu; inną funkcją, jakiej można domyślać się poznając artystyczne bogactwo form zachowanych przyrządów, była ich wartość prestiżowa. Wykonany z wartościowych materiałów i artystycznie wykończony przyrząd świadczył o kulturze intelektualnej i artystycznej zamawiającego go fundatora. Inaczej rzecz się miała z praktyczną rolą instrumentu; tak np. sferyczne *astrolabium*, klasyczny przyrząd późnostarożytnej astronomii, wzbudza wątpliwości co do funkcjonalności złożonego mechanizmu odtwarzającego w jednym instrumencie trzy układy odniesienia. Jak wykazały niedawne pomiary kontrolne, świadome i staranne posługiwanie się przyrządem może dać godną uznania zgodność wewnętrzną pomiarów(6), jednakże już w samym instrumencie wbudowane są elementy „teoretyczne", jak np. nachylenie ekliptyki, warunkujące i ograniczające precyzję uzyskanych wartości liczbowych. Zgoła już tylko demonstracyjne, dydaktyczne znaczenie mogła mieć średniowieczna konstrukcja *torkwetum*, niemal programowo nieprzydatna do wykonania kon-

(6) J. Włodarczyk, Journal for the History of Astronomy 18 (1987), str. 173.

trolowanego procesu pomiarowego, natomiast unaoczniająca relacje pomiędzy różnymi systemami współrzędnych astronomii sferycznej.

W świetle tych uwag nie będzie dziwić stwierdzenie, że możliwe jest wyznaczanie subtelnych nawet parametrów (za pomocą obserwacji bez użycia aparatury) z dokładnością przewyższającą możliwości pomiarów instrumentalnych. Możliwości te zilustrować może przykład serii obserwacyjnej wzorowanej w swej metodyce na najwcześniejszych próbach rejestracji zjawisk w astronomii planetarnej w krajach Mezopotamii. Przedmiotem obserwacji jest zarejestrowanie położenia Marsa na tle nieba gwiaździstego, w wybranej konfiguracji względem Słońca, np. w opozycji. Mars znajduje się wtedy po przeciwnej stronie nieba niż Słońce i wschód planety zbiega się z zachodem Słońca, a sama planeta porusza się na tle gwiazd ze wschodu na zachód, opisując charakterystyczną pętlę „ruchu wstecznego". W okresie około opozycji (sama data jest tu nieważna!) notujemy położenie planety w bardzo nieostro określonym układzie: wystarczy bowiem podział sfery niebieskiej, a ściślej pasa zodiakalnego, na sześć stref, obejmujących każda w przybliżeniu (bo podział nie musi być wcale precyzyjny) dwa gwiazdozbiory zodiaku. Oznaczywszy „megagwiazdozbiory" liczbami rzymskimi, możemy zacząć rejestr kolejnych opozycji Marsa, przypadających średnio co 2,2 roku: V, VI, I, II, II, III, IV, IV, VI,...([7]). Kilka pokoleń pilnych, choć nieprecyzyjnych obserwatorów wystarczy, by stwierdzić, że nasz cykl powtarza się po 37 opozycjach([8]). Przy tym wyraźna jest asymetria rozkładu opozycji w poszczególnych gwiazdozbiorach; w naszym przykładzie przedstawia się on następująco:

I	II	III	IV	V	VI
4	4	7	8	8	6

Interpretacja tych danych okaże się możliwa (i poznawczo wartościowa!) dopiero dzięki przyjęciu założeń, geometryzujących zjawiska kosmiczne: Mars obiega Ziemię po orbicie kołowej, jednostajnym ruchem kołowym; asymetria jest rezultatem mimośrodowego położenia orbity, co powoduje, że opozycje planety zagęszczone są po stronie apogeum. Ich rozkład jest za to symetryczny względem linii absyd, linii łączącej kierunki apogeum i perigeum planety. Przypisując znaczenie liczbowe poszczególnym gwiazdozbiorom traktowanym jako łuki ekliptyki o długości 60°, przyjmując wreszcie jednostajny rozkład opozycji wewnątrz każdego gwiazdozbioru, możemy ustalić kierunek linii absyd, a więc i położenie na sferze niebieskiej środka orbity Marsa, z błędem poniżej 10° (w pobliżu granicy IV i V gwiazdozbioru).

([7]) „Dane obserwacyjne" zaczerpnięto z tablic B. Tuckermana, *Planetary, Lunar, and Solar Positions A.D. 2 to A.D. 1649*, Philadelphia 1964.

([8]) Obieg synodyczny Marsa wynosi 2,135 lat. Rozwinięcie na ułamek łańcuchowy daje kolejne przybliżenia współmierności obiegu planety i Słońca: 7 obiegów Marsa = 15 lat, 15 obiegów Marsa = 32 lata, 22 obiegi Marsa = 47 lat, 37 obiegów Marsa = 79 lat.

W powyższym przykładzie zaznaczyło się wyraźnie znaczenie czynnika teoretycznego w wykorzystaniu danych doświadczalnych: dysponując „dobrą" teorią, odpowiedź uzyskać można było z „kiepskich" obserwacji. „Dobra" teoria oznacza tu przede wszystkim model dający się opisać matematycznie, spójny, choć niekoniecznie ściśle przylegający do rzeczywistości. W takiej sytuacji sens i wartość empirycznych ustaleń i obserwacji określała nadrzędna doktryna filozofii nauki. Dla astronomii matematycznej okresu późnej starożytności i średniowiecza doktryną taką była arystotelesowska filozofia przyrody. Arystotelizm łączył w synkretycznym systemie jońską naukę o elementach, platońską mechanikę jednostajnego, idealnego ruchu kołowego ciał niebieskich i sferyczną budowę Wszechświata. Budując obraz świata, arystotelicy odwoływali się do doświadczenia zmysłowego, przy czym każdy indywidualny fakt miał podrzędne znaczenie wobec ogólnych, w znacznym stopniu aprioricznych założeń systemu.

Dobitnym przykładem silnego zróżnicowania wartości badawczej teorii i pomiaru może być w astronomii ocena odległości Słońca. Jeszcze w III w. p.n.e. Arystarch z Samos stworzył metodę pozwalającą na zmierzenie względnych odległości Słońca i Księżyca od Ziemi. Choć teoretycznie poprawna, metoda ta nie mogła praktycznie doprowadzić do godnego zaufania wyniku, wymagała bowiem ścisłego określenia nieuchwytnego w praktyce momentu pierwszej lub ostatniej kwadry Księżyca. Ostatecznie Arystarch określił odległość Słońca od Ziemi na około 1200 promieni Ziemi, a więc mniej więcej dwudziestokrotnie za mało. Co innego jest tu jednak warte podkreślenia, a mianowicie fakt, że zbliżona do Arystarchowej wartość, potwierdzona jeszcze przez Ptolemeusza, utrzymała się w astronomii aż po koniec XVI w. mimo szybkiego postępu techniki obserwacyjnej w Europie czasów nowożytnych.

O wartości pomiarów decydowała więc przede wszystkim interpretacja ich wyników wewnątrz teorii, spełniającej elementarny kanon „poprawności", a więc w miarę spójnej i — co w odniesieniu do astronomii jest zapewne oczywiste — odwołującej się do matematycznego modelu. Rola obserwacji w tak wielkim systemie jak matematyczna astronomia ptolemejska nie mogła więc z natury rzeczy dotyczyć weryfikacji (współcześnie lepiej zapewne brzmi: *falsyfikacji*) całej teorii. Co więcej, rola obserwacji wyraźnie ograniczała się do dydaktycznej i demonstracyjnej — jako konkretny przykład zastosowania (skutecznego) teorii. Zapis obserwacji mógł po prostu oznaczać, że istnieje możliwość jej potwierdzenia. Może więc już nazbyt ahistoryczne jest wydawanie wartościujących sądów potępiających starożytnego autora, który — dokonawszy (lub choćby stwierdziwszy możliwość wykonania) obserwacji — nadaje *ex post* wielkościom mierzonym wartości niepokojąco zgodne z wynikającymi z teorii.

Supremacja modelu teoretycznego i jego odporność na weryfikację doświadczalną ugruntowana była niezwykle trwale. Cytowane już (str. 222)

studium Grasshoffa kończy się apologetyczną konkluzją: Ptolemeusz *pragnął rozwinąć szerokie teoretyczne podstawy astronomii gwiazdowej, a przy tym zmuszony był wykroczyć poza metodologiczne ograniczenia, jakie astronomii narzucał empiryzm Hipparcha.* Według dokonanej przez Grasshoffa rekonstrukcji stanowiska poznawczego zawartego *implicite* w dziele Ptolemeusza, teoretyczny model nie może być zakwestionowany (falsyfikowany) w swych poszczególnych elementach, a więc przez pojedyncze obserwacje. Dla takiej negacji potrzebne byłoby stwierdzenie, że nie ma żadnej obserwacji zgodnej z prognozą teoretyczną. Tak więc obserwacja zasługuje na zaufanie, jeśli jest zgodna z poświadczonym już skądinąd „pewnym modelem teoretycznym". W przeciwnym razie mamy do czynienia z niedokładną obserwacją.

Funkcjonowanie takiego programu potwierdzać może późniejszy okres. W krajach średniowiecznego Islamu zasób danych obserwacyjnych wzrósł w skali nie spotykanej uprzednio w dziejach nauki. Nie wynikły jednak stąd żadne istotne modyfikacje modelu teoretycznego. Podobnie miała się rzecz w Europie jeszcze u schyłku XV w., kiedy to dała się zaobserwować bardzo już nowożytna moda wykonywania całych serii obserwacji i gromadzenia powstałego tak materiału liczbowego. Właściwie wypada wymienić Kopernika jako pierwszego wykorzystującego i przeprowadzającego obserwacje dla potrzeb teoretycznych. Ale i tu mamy do czynienia z (dobrą) teorią, zestawianą z niedobrymi obserwacjami. Niedobrymi, bo oto powtarza się w dziele Kopernika służebna rola materiału obserwacyjnego; najjaskrawszym przykładem jest ingerencja w zapis obserwacji Merkurego, wykorzystanych w V księdze *De revolutionibus* czy dobór obserwacji Marsa pod kątem zgodności z (nie najlepszą w tym przypadku) prognozą teorii.

Na zakończenie zwróćmy uwagę jeszcze na dwa momenty związane z historycznymi uwarunkowaniami, jakim podlegało operowanie materiałem liczbowym pochodzącym z obserwacji.

Pierwszy z nich dotyczy dokładności, z jaką mierzona jest dana wielkość. Otóż w porównaniu z absolutną precyzją wiecznego ruchu jednostajnego kołowego (uwidocznionego już choćby w dobowym obrocie sfery niebieskiej z Słońcem, Księżycem i gwiazdami) cały rejestr odchyłek od tego idealnego modelu, a więc efekty wynikające czy to z ruchu Ziemi, czy to z ruchu planet ma znaczenie drugorzędne. Σώξειν τα φαινόμενα (*apparentia salvare*, ratować, wyjaśniać zjawiska, tj. pozory) w programie ateńskiej filozofii już od czasów Platona oznaczało to właśnie ustalenie szczegółowych zasad owego idealnego ruchu kołowego wydobytego z pozornej nieregularności biegu ciał niebieskich.

Jak już zauważyliśmy, stopień pewności musiał być nieporównanie wyższy dla ustaleń liczbowych dotyczących jednostajnego ruchu kołowego niż dla owych odchyłek od położenia średniego. Odbicie tego faktu łatwo dostrzec np. w tablicach astronomicznych, używanych i opracowywanych w późnym średniowieczu w Akademii Krakowskiej, i w ogóle w Europie średniowiecznej. Wartości liczbowe odnoszące się do *motus medii* odnotowywane były

w zasadzie z formalną dokładnością, przekraczającą znacznie możliwości weryfikacji empirycznej i potrzeby praktyczne. Tak oto w rękopisie Biblioteki Jagiellońskiej nr 570 odnotowano położenie chwilowe średniego Słońca dla południka krakowskiego z dokładnością do 60^{-7} stopnia, co odpowiada określeniu położenia Krakowa z dokładnością około 1 milimetra. Bywały zresztą zapisy jeszcze bardziej skrupulatne (długość geograficzna Pragi określana do 60^{-9} stopnia). Z jednej strony dane takie ilustrują znaną skądinąd skłonność rachmistrzów średniowiecznych do uprawiania działań arytmetycznych jako celu samego w sobie, jakby dla zabawy; z drugiej jednak przeciwstawić im można powściągliwe przedstawianie, w tych samych tablicach, wartości innych danych, już nie ruchów średnich, ale np. okresowych poprawek, *aequationes*: z zasady notuje się je najwyżej do sekund, o których to sekundach pisał w połowie XV w. Marcin z Żórawicy: *residuum non curetur* (należy odrzucić).

Drugi moment, który miał jeszcze odgrywać rolę aż do drugiej połowy XVIII wieku, to brak teorii i rachunku błędów, a więc brak procedur odrzucania, uśredniania i ważenia danych obserwacyjnych. Próby usystematyzowania materiału liczbowego pochodzącego z obserwacji, od głębokiej starożytności do czasów nowożytnych, doprowadziły jedynie do stwierdzenia braku prawidłowości([9]). Obok sporadycznie występującej i stosowanej zgoła intuicyjnie techniki operowania wartością średnią napotyka się nieraz u tego samego autora i w tym samym dziele operację wybierania „pewnych" obserwacji spośród całego ich zestawu i redukowania w ten sposób danych nadliczbowych. Taką też operację z zasady napotykamy u Ptolemeusza. Reguły takiej gry ustalał sam uczony, czerpiąc je z subiektywnej oceny jakości pomiaru. Oczywiście argumentem *ex post* mogła być zgodność pomiaru z oczekiwanym rezultatem. Ostatecznie obserwacja redukowała się do dowodu istnienia sprawdzającego pomiaru. Takie zapewne było tło owej niepokojącej zgodności obserwacji Ptolemeusza z teorią, choćby niezbyt precyzyjnie przylegającą do rzeczywistości.

([9]) O. B. Sheynin, *Mathematical Treatment of Astronomical Observations*, Archive for History of Exact Sciences 11, 1973, str. 97.