

# Uran, Neptun i Wulkan – trzy planety, z których jedna nigdy nie istniała, cz. I

Mateusz DEMBNY\*, Grzegorz ŁUKASZEWICZ\*,  
Igor PALUSIŃSKI\*\*

\*Instytut Matematyki Stosowanej  
i Mechaniki UW  
\*\* Wydział MIM UW



William Herschel (1738–1822)



2,1-metrowy (7-stopowy) reflektor Herschela.

Źródło: Science Museum Group



## Rozwiązanie zadania M 1758.

Niech  $O$  będzie środkiem obrotu o kąt  $90^\circ$ , względem którego  $\mathcal{F}$  się nie zmienia. Oznaczmy przez  $R$  największą z odległości punktu  $O$  do wierzchołków wielokąta  $\mathcal{F}$  i niech  $A_1$  będzie jednym z wierzchołków takich, że  $OA_1 = R$ . Po obrocie o kąt  $90^\circ$  wokół punktu  $O$  punkt  $A_1$  przechodzi w punkt  $A_2$ , punkt  $A_2$  w  $A_3$ , natomiast punkt  $A_3$  w  $A_4$ . Oczywiście  $A_1A_2A_3A_4$  jest kwadratem o środku w punkcie  $O$ , który w całości leży w  $\mathcal{F}$ .

Zauważmy teraz, że stosunek promieni kół wpisanego i opisanego na  $A_1A_2A_3A_4$  wynosi  $\sqrt{2}$ , przy czym pierwsze leży w  $\mathcal{F}$ , a drugie zawiera  $\mathcal{F}$  na podstawie definicji  $R$ .

Zwornikiem tego trzyczęściowego artykułu jest odkrycie Neptuna przez Urbaina Le Verriera. Pisząc o Neptunie, nie sposób jednak pominąć problemów z Uranem. Z kolei pisząc o Le Verrierze, nie można pominąć problemów z Merkurem oraz związanego z tym epizodu z Wulkanem. Cała historia jest nie tylko bardzo ciekawa, ale też niezwykle pouczająca. Zaczniemy więc od początku.

**Odkrycie Urana.** William Herschel odkrył nową planetę 13 marca 1781 roku w trakcie swojego szeroko zakrojonego, wieloletniego projektu przeczesania całego nieba. W jego ramach badacz zebrał i sklasyfikował setki gwiazd podwójnych i tysiące mgławic. O odkryciu Urana wspominał później, że gdyby nie dostrzegł go 13 marca, to z pewnością zrobiłby to podczas jednej z następnych planowych obserwacji nieba [Hoskin]. Znaleziony nowy obiekt zachowywał się inaczej niż gwiazdy stałe przy zmianach „mocy” (tzn. powiększenia) teleskopu oraz poruszał się na ich tle. Odkrytą planetę Herschel początkowo uważał za kometę lub mglistą gwiazdę (ang. *nebulous star*). Prawdopodobnie obiekt ten obserwował już Galileusz, a jego położenia były notowane od roku 1690, poczynając od Johna Flamsteeda, pierwszego Astronoma Królewskiego i założyciela obserwatorium astronomicznego w Greenwich. Pomimo siedmiokrotnych obserwacji i pomiarów, w latach 1690, 1712, 1714 i 1715, Flamsteed nie zauważył, że obiekt ten jest planetą, i uznał go za gwiazdę (34 Tauri w konstelacji Taurus). Swoim prostym teleskopem (z soczewką o średnicy dwóch cali) raczej nie mógł rozpoznać bardzo wolno poruszającej się planety [Blitzstein].

Co ciekawe, w 1781 roku William Herschel zarabiał na życie jako nauczyciel i wykonawca muzyki, a astronomię z wielką pasją uprawiał jako amator. Budował też własne znakomite przyrządy astronomiczne. Dość powiedzieć, że teleskop, którym posłużył się przy odkryciu Urana, był zdecydowanie lepszy – zarówno co do mocy powiększenia, jak i do rozdzielczości obrazu – od tych, którymi dysponowano w Obserwatorium Królewskim czy gdziekolwiek indziej. Rzeczywiście, uzyskiwane wtedy około 200-krotne powiększenia uważano za bardzo dobre, a Herschel utrzymywał, że jego reflektor (o ogniskowej 2,1 metra i sześciocalowym lustrze) pozwala na uzyskanie powiększeń 270-, 460-, 932-, 1563-, 2010-krotnych, a nawet jeszcze większych.

Na wiadomość o odkryciu nowego obiektu na niebie astronomiczny świat wycelował teleskopy w jego stronę. Jednocześnie w Londynie znaleźli się sceptycy i niedowiarkowie niemogący pogodzić się z tym, że jakiś samouk z Bath miałby zobaczyć to, czego nie dostrzegli znakomici astronomowie, ani też z tym, co opowiadał o mocy swoich teleskopów (jeden z astronomów zasugerował nawet, że Herschel musi być kompletnym wariatem, i ofiarował się odstawić go do domu dla obłąkanych). Z drugiej strony chodziło też o pośpiech i nadanie obiektowi nazwy, aby na przykład rywale z Paryża nie przywłaszczyli sobie tego odkrycia. Na szczęście piąty Astronom Królewski Nevil Maskelyne i prezes Towarzystwa Królewskiego James Banks stanęli na wysokości zadania. Herschel został wezwany do Londynu i przyjęty tam z honorami, a chętni mogli spojrzeć przez jego teleskop. Wskazany przez Herschela obiekt został powszechnie uznany za planetę w ciągu około pół roku, a w listopadzie 1781 roku Herschel otrzymał za jej odkrycie Złoty Medal Copleya, nagrodę przyznaną przez Towarzystwo Królewskie (ówczesny odpowiednik Nagrody Nobla), a także został przedstawiony królowi Jerzemu III i królowej. Było jasne, że w tej sytuacji należało zatrudnić Herschela na jakimś godnym stanowisku jako astronoma i uwolnić go od muzykowania. Pewna chwilowa trudność wynikała z tego, że Herschel jako muzyk zarabiał około 400 funtów rocznie, czyli więcej

niż sam Astronom Królewski z zaledwie 300 funtami. Po pertraktacjach Jerzy III mianował Herschela nadwornym astronomem królewskim w Winsdorze, zatrudniając go na specjalnie utworzonym dla niego stanowisku.

Nasz amator stał się w jednej chwili sławny w całym naukowym świecie i w 1782 roku miał swoje ostatnie wystąpienie muzyczne. A muzykiem był znakomitym. Jego symfonie i koncerty są również dziś wykonywane i nagrywane (nie trudno je odszukać w serwisie YouTube). Fascynującą historię muzycznej i astronomicznej rodziny Williama Herschela, w tym jego siostry, Karoliny Herschel – pierwszej kobiety na królewskiej posadzie astronoma (z pensją 50 funtów rocznie), oraz syna, Johna Herschela – wybitnego uczonego i kontynuatora astronomicznego dzieła ojca, można znaleźć w [Holmes] (patrz też [Lemonick], [Hoskin], [Lubbock]).



Anders Johan Lexell (1740–1784)

1 AU (astronomical unit, w języku polskim czasem stosowany jest skrót j.a. – jednostka astronomiczna) jest to jednostka używana w astronomii. Odpowiada średniej odległości Ziemi od Słońca równej 149 597 870 700 m.

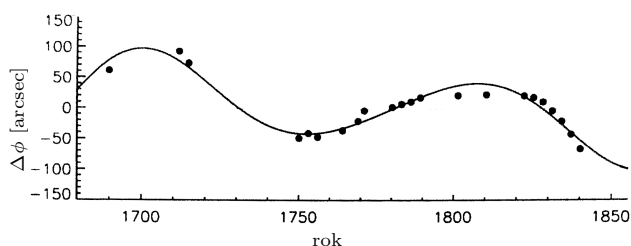
### Problemy z trajektorią Urana i postulowanie istnienia nieznannej planety.

W 1781 roku do Londynu przybył wybitny matematyk Anders Johan Lexell (1740–1784), przyjaciel Leonharda Eulera z czasów pobytu w Petersburgu. Na podstawie dostępnych mu danych z obserwacji Urana obliczył, że orbita kołowa dobrze do nich pasuje, jakoby matematycznie potwierdzając przyjętą powszechnie tezę o odkryciu nowej planety. Jednak istniała też inna, przemilczana wtedy możliwość, że orbita nowego obiektu jest parabolą. Lexell ją odrzucił dopiero w 1783 roku, dysponując kolejnymi danymi z dawniejszego katalogu gwiazd i z przekazów obserwacyjnych. W artykule z tego roku Lexell definitywnie udowodnił, że nowy obiekt porusza się po orbicie eliptycznej i jest planetą, jak też ustalił jej odległość od Słońca na około 19 AU. Zauważył również, jako pierwszy, że orbita Urana jest zaburzona i że inne, jeszcze nieznanne planety mogą zakłócać jego orbitę [Stén].



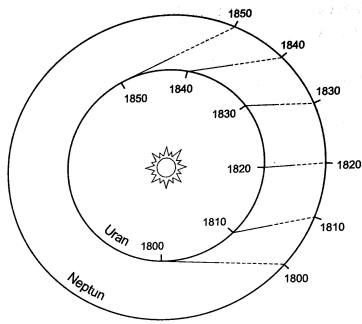
Pierre-Simon Laplace (1749–1827)

W początku drugiej dekady XIX wieku, korzystając z nowych obserwacji, ustalono, że orbita Urana wymyka się rachunkom sformułowanym przez Laplace'a, a którym podlegały inne znane wówczas planety (problemy z orbitą Merkurego zostały zauważone dopiero w 1859 roku, o czym opowiemy w trzeciej części artykułu). Przypomnijmy, że planety naszego Układu Słonecznego poruszają się po keplerowskich elipsach tylko w przybliżeniu, gdyż ich orbity podlegają zaburzeniom spowodowanym obecnością pozostałych planet układu. Laplace w swoim wielkim dziele *Traité de mécanique céleste*, opublikowanym w latach 1798–1825, podał matematyczne wzory na wzajemne zaburzenia wywoływane przez planety w wyniku ich przyciągania grawitacyjnego. Wzory te służyły do tablicowania położenia planet w czasie. Laplace był dyrektorem Bureau des Longitudes (Biura długości geograficznych) i zlecał obliczenia podległym mu pracownikom. Wśród nich był Alexis Bouvard, któremu przypadły trzy wielkie planety: Jowisz, Saturn i Uran; zaczął badać ich orbity w 1821 roku. Z pierwszymi dwiema planetami nie miał problemów, gdyż ich obserwowane trajektorie dobrze zgadzały się z obliczeniami. Jednakże obserwowane od 1690 roku położenia Urana nie dawały się dopasować do teorii Newtona. Bouvard stwierdził, że obliczenia oparte na danych sprzed odkrycia Urana, z okresu 1690–1781, nie pasują do tych z okresu po jego odkryciu, 1781–1821. Próbował złożyć to na karb niedokładności wcześniejszych obserwacji, ale musiałyby one być bardzo duże, aby to wyjaśniało sprawę.



Obserwowana długość heliocentryczna Urana (w punktach) i dopasowany do niej model (linią ciągłą). Ruch bez zaburzeń (czyli ruch jednostajny po okręgu) odpowiadałby linii prostej na poziomie 0.

Zresztą same obserwacje z okresu po odkryciu Urana także wskazywały na niewytłumaczalne zaburzenia jego orbity. Inne pomysły na wyjaśnienie zakładały domniemane uderzenie komety w Urana, istnienie jakiegoś ośrodka w przestrzeni spowalniającego ruch Urana czy też istnienie jego masywnego księżyca. Zaproponowano jeszcze dwa bardzo śmiałe wyjaśnienia. Pierwsze dotyczyło wątpliwości co do wzoru Newtona na grawitację w przypadku dużych odległości (w czym można dostrzec analogię z dzisiejszą sytuacją związaną z ruchem galaktyk niezgodnym z teorią Einsteina i postulatem istnienia ciemnej materii).



Położenia Urana i Neptuna w latach 1781–1843



Urbain Jean Joseph Le Verrier (1811–1877)

Wyjaśnienie to byłoby jednak uderzeniem w sam fundament obrazu świata i ta hipoteza po rozważaniach została w końcu zarzucona. Łatwiejszym do przyjęcia było ostatecznie logiczne wyjaśnienie: istnienie nieznaną dotąd planety zaburzającej ruch Urana.

Odkrycie Neptuna wisiało już w tym czasie w powietrzu. Astronomowie i inni uczeni pisali o tym w listach, rozmawiali na spotkaniach, a znakomity matematyk Friedrich Wilhelm Bessel, który od 1830 roku podejrzewał istnienie nieznaną planety, dał nawet na ten temat publiczny wykład.

François Arago, dyrektor Obserwatorium Paryskiego zaproponował dokładne zbadanie problemu Urana i ewentualnej nowej planety młodemu, błyskotliwemu astronomowi z École Polytechnique, Urbainowi Le Verrierowi, który wcześniej zajmował się problemem stabilności układu słonecznego oraz orbitami komet. W samym Obserwatorium Paryskim Arago w tak ważnej sprawie nie miał zaufania do nikogo. Le Verrier podjął rękawicę – w listopadzie 1845 roku opublikował artykuł, w którym przeanalizował dotychczasowe dane dotyczące orbity Urana i odrzucił zarzuty Bouvarda, że pomiary położenia Urana sprzed jego odkrycia były niewystarczająco precyzyjne, oraz pokazał, że znaczne różnice pomiędzy obserwowaną i przewidywaną orbitą Urana występują również po uwzględnieniu wpływu Jowisza i Saturna. Wskazywało to na fakt, że ewentualne niedoskonałości pomiarów w obrębie znanych danych nie są wystarczające dla wyjaśnienia tak znacznych anomalii orbity Urana.

W czerwcu 1846 roku Le Verrier opublikował następny artykuł, w którym odrzucił wszystkie dotychczasowe próby wyjaśnienia anomalii ruchu Urana, i pokazał, że wprowadzając do rozważań nową planetę, można rozwiązać problem na gruncie mechaniki newtonowskiej. Wykazał, że nowa planeta nie może być planetą wewnętrzną względem orbity Urana; przyjął, że leży ona w płaszczyźnie ekliptyki oraz że zgodnie z prawem Titiusa–Bodego jej odległość od Słońca wynosi 38 AU.

Przy tych założeniach podał położenie nowej planety na dzień 1 stycznia 1847 roku z dokładnością do 10 minut kątowych. Później, w sierpniu 1846 roku, podał położenie nowej planety z błędem zaledwie jednego stopnia kąтового na dzień odkrycia [Krajnović], [Lequeux].

Astronomiczny świat był pod dużym wrażeniem czerwcowego artykułu. Astronom Królewski George Biddle Airy napisał: *Myślę, że niemożliwe jest przeczytanie tego listu [zawierającego wyniki Le Verriera, przesłane do Greenwich w czerwcu 1846 roku] bez porażenia jego jasnością wyjaśnienia, niezwykłą znajomością autora nie tylko fizycznych teorii perturbacji, ale także geometrycznych teorii dedukcji orbit z obserwacji, jak również jego przekonaniem, że jego teoria powinna wyjaśniać wszystkie zjawiska związane z miejscem planety.*

Rzeczą bardziej niewytłumaczalną niż anomalie orbity Urana jest fakt, że przy tym wszystkim nikt nie kwapił się spojrzeć w niebo, w szczególności nie podjęły się tego natychmiast najznakomitsze obserwatoria astronomiczne. Chodziło przecież o odkrycie na miarę stulecia. Inna rzecz, że wtedy obserwatoria były w pierwszym rzędzie centrami obliczeniowymi użyteczności publicznej, a nie centrami naukowymi.

W drugiej części artykułu opowiemy dokładniej o odkryciu Neptuna i związanych z tym odkryciem kontrowersjach obecnych na międzynarodowym forum przez następne ponad 150 lat.

## Bibliografia

[Holmes] Richard Holmes, *Wiek Cudów*, Prószyński i S-ka, Warszawa 2010.

[Blitzstein] William Blitzstein, *The seven identified observations of Uranus made by John Flamsteed using his mural arc*, The Observatory, 219–222, Vol. 118, 1998.

[Hoskin] Michael Hoskin, *Discoverers of the Universe. William and Caroline Herschel*, Princeton University Press, 2011.

[Krajnović] Davor Krajnović, *The contrivance of Neptune*, arxiv.org/abs/1610.06424, 2016.

[Lequeux] James Lequeux, *Le Verrier – Magnificent and Detestable Astronomer*, Springer, 2013.

[Lemonick] M.D. Lemonick, *The Georgian Star. How William Herschel and Caroline Herschel Revolutionized Our Understanding of the Cosmos*, W. W. Norton and Company, New York London 2009.

[Lubbock] *The Herschel Chronicle: The Life-Story of William Herschel and his Sister Caroline Herschel*, Ed. by his Granddaughter Constance A. Lubbock, Cambridge University Press (first published 1933), 2013.

[Stén] Johan C.-E. Stén, *A Comet of the Enlightenment, Anders Johan Lexell's Life and Discoveries*, Birkhäuser, 2014.