

Pluton – planeta czy planetoida?

Magdalena KOŻUCHOWSKA



W starożytności wszystkie jasne obiekty na sklepieniu niebieskim, które wędrowały wśród gwiazd, tzn. poruszały się na ich praktycznie niezmiennym tle, nazywano planetami (pomijając komety, które pojawiają się rzadko, oraz meteory, które bardzo długo uważano za obiekty atmosferyczne). Greckie słowo *planeo* znaczy właśnie „błądź, wędruję”. Do planet zaliczano zatem Słońce, Księżyc, Marsa, Merkurego, Jowisza, Wenus i Saturna (wszystkie dobrze widoczne nieuzbrojonym okiem). Było takich obiektów siedem i ta magiczna liczba świetnie pasowała do ówczesnych wyobrażeń o tym, jak być powinno.

Ten porządek został zaburzony w roku 1781, kiedy to William Herschel odkrył wśród gwiazd coś, co początkowo wziął za komętę, a co okazało się nieznaną wcześniej planetą. Odkrycia dokonał za pomocą 6,6-calowego (około 18 cm średnicy) teleskopu, ale obiekt był widoczny także gołym okiem. Tyle że trudno go było wyłowić między licznymi, podobnie słabymi (bo na granicy widzialności gołym okiem) gwiazdami. Planeta otrzymała imię Uran.

Wkrótce jednak stwierdzono, że nowo odkryta planeta nie porusza się dokładnie tak, jak wynikałoby z praw Keplera. W 1835 roku rozbieżność między rzeczywistym a wyliczonym położeniem planety wynosiła już 30"! To zaś sugerowało, że może istnieć dodatkowa planeta, jeszcze bardziej niż Uran odległa od Słońca, i to ona zaburza ruchy poprzedniej. Znając odchylenia położenia Urana na niebie od miejsca przewidywanego, można było pokusić się o wyznaczenie jej położenia. Pierwszy prawidłowo wyliczył pozycję tej nieznannej jeszcze planety młody Brytyjczyk, John Couch Adams – jego obliczenia zlekceważył jednak dyrektor Obserwatorium, George Biddell Airy. Podobne kłopoty miał Francuz Urbain Jean Joseph Le Verrier (czasem pisany Leverrier), ale posłał wyniki swych rachunków do Obserwatorium w Berlinie. Miał tam bowiem przyjaciela-observatora – Johanna Gottfrieda Gallego. Wieczorem tego samego dnia, w którym dotarła do Berlina poczta z listem Le Verriera (23 września 1846), Galle wraz ze swym studentem, Heinrichem Louistem d'Arrestem, za pomocą 9,5-calowego refraktora, odkryli „gwiazdę, której nie ma na mapie!” (tak krzyknął Arrest do Gallego po godzinie pracy polegającej na tym, że Galle podawał pozycje i jasności gwiazd pola, a Arrest sprawdzał dane na mapie nieba).

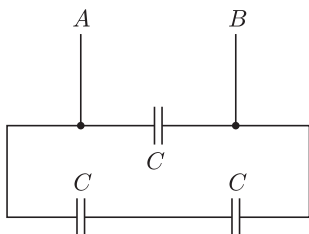
Była to „gwiazda” ósmej wielkości. Le Verrier otrzymał wtedy następującą wiadomość: „Planeta, której położenie wskazałeś, FAKTYCZNIE ISTNIEJE”. Odnaleziono ją w odległości 55' od pozycji wskazanej przez Le Verriera i 1°5' od pozycji wskazanej przez Adamsa (czyli niemal dokładnie „na właściwym miejscu”). Było to wspaniałe potwierdzenie poprawności teorii Newtona. Zgodnie z tradycją Le Verrier (jako odkrywca) miał prawo „ochrzcić” planetę. Zaproponował nazwę Neptun i choć potem było wiele nieporozumień – nazwa pozostała.

Okazało się jednak niebawem, że odkrycie Neptuna nie tłumaczy wszystkich niejasności w ruchach Urana. Rozpoczęto zatem poszukiwania dalszej, dziewiątej tym razem, planety. Zajmowali się tym głównie Percival Lowell i William H. Pickering. Obliczali domniemane położenia nowej planety na niebie (potem je korygowali), ale... nie dawało się jej odnaleźć. Czas upływał, przeglądano – bez rezultatów – niebo w podejrzanych okolicach. Entuzjazm słabł. Ale Lowell nie poddawał się. Wraz z żoną Konstancją ufundował Obserwatorium we Flagstaff (Arizona), gdzie poszukiwania prowadzono najintensywniej i zarządził w testamencie (zmarł w 1916 r.) kontynuację poszukiwań dziewiątej planety.

1



Rozwiązanie zadania F 577.
Dany układ przewodzących płyt jest równoważny układowi trzech kondensatorów o pojemności $C = \epsilon_0 S/d$ każdy.

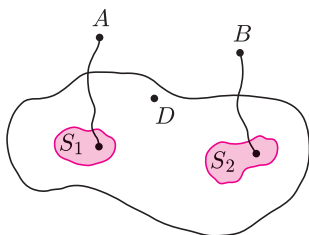


Zatem

$$C_{AB} = C + \frac{C}{2} = \frac{3\epsilon_0 S}{2d}.$$



Rozwiązanie zadania F 578.
Między punktami A i B na poniższym rysunku



mamy dwa kondensatory o pojemnościach $C_1 = \epsilon_0 S_1/d_1$ i $C_2 = \epsilon_0 S_2/d_2$ połączone równolegle.

Zatem:

$$C_{AB} = \epsilon_0 \frac{S_1 S_2}{S_1 d_1 + S_2 d_2}.$$

Między punktami A i D – D leży na metalowej powierzchni – mamy układ o pojemności C_1 , a między punktami B i D o pojemności C_2 .

Sześć stopni na niebie to dwanaście tarcz Księżyca. Jak się udało odnaleźć obiekt tak daleko od podejrzanego miejsca? Clyde był bardzo pracowity i bardzo sprytny. Wymyślił urządzenie zwane komparatorem (ang. *blink comparator*). Pozwalało ono obserwować naprzemiennie dwie klisze tego samego rejonu nieba naświetlone w dwu różnych momentach. Obiekty stałe widać wtedy nieustannie, takie zaś, których wcześniej nie było (bo np. planeta weszła w pole widzenia teleskopu), migają – raz je widać a raz nie. Dziś całą tę pracę robią za ludzi komputery (przy technice CCD jest to standard).

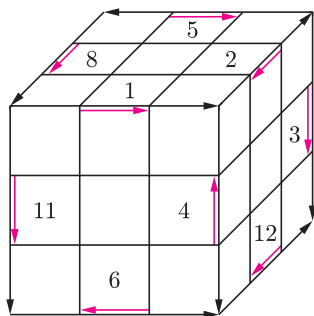
Odkrycie Urana było przypadkiem, Neptuna – sukcesem mechaniki nieba, a Plutona – wynikiem inteligencji i pracowitości Clyde'a Tombaugh.



Rozwiązanie zadania M 998.

Możemy założyć, że 6 centralnych klocków jest nieruchomych, a ruszają się jedynie „ściany”

Na każdym z klocków na środku krawędzi rysujemy strzałkę (w dowolny sposób). Każdej z krawędzi sześciianu nadajemy zwrot (rysunek).



Klockom na środku krawędzi przypisujemy liczby (orientacje)

$$\alpha_i = \begin{cases} 1 & \text{jeśli strzałka na } i\text{-tym} \\ & \text{klocku ma ten sam zwrot} \\ & \text{co krawędź sześciianu} \\ -1 & \text{w przeciwnym przypadku} \end{cases}$$

dla $i = 1, 2, \dots, 12$. Na przykład:

$$1 = \alpha_1 = \alpha_3 = \alpha_8 = \alpha_{11}.$$

Zauważmy, że przy obrocie o 90° górnej lub dolnej ściany żadna z liczb α_i się nie zmienia, a przy obrotach ścian bocznych dokładnie dwie spośród liczb α_i zmieniają znak. Zatem iloczyn

$$\prod_{i=1}^{12} \alpha_i$$

nie ulega zmianie.

Przy nieprawidłowym włożeniu klocka jego orientacja, a zatem i nasz iloczyn, zmienia się. Nie da się więc takiej kostki ułożyć.

Wobec fiaska starań obserwacyjnych w 1929 roku rodzina Lowella dostarczyła do Flagstaff nowy, 13-calowy refraktor do dalszych badań. Zawodowi astronomowie z tego Obserwatorium, znudzeni żmudną i bezowocną pracą nad poszukiwaniem kolejnej planety, wynajęli do niej młodego wówczas miłośnika astronomii – Clyde'a Tombaugh (wcześniej pracującego po prostu na rodzinnej farmie w Kansas). I – o zgrozo! – 18 lutego 1930 roku, w odległości 6° od pozycji wyliczonej 15 lat wcześniej przez Lowella, świeżo zatrudniony amator odkrył to, czego zawodowcy poszukiwali od wielu lat! Obiekt miał jasność 13,6 mag!

Można sądzić, że w Obserwatorium Flagstaff fetowano sukces. Niestety – zawiść jest uczuciem bardzo silnym! Gdy w 75. rocznicę urodzin Percivala Lowella, 13 marca 1930 roku, ogłoszono odkrycie, nie podano, kto personalnie go dokonał. „W Obserwatorium Flagstaff odkryto dziewiątą planetę w miejscu przewidzianym przez Percivala Lowella” – tak mniej więcej brzmiał komunikat wysłany do Biura Telegramów Międzynarodowej Unii Astronomicznej. Potem zaczęły się kłopoty z nazwą. Wdowa po Percivalu Lowellu do tego stopnia poczuła się „właścicielką” planety, że proponowała, by planetę nazwać... Konstancja. Na szczęście odkrywca przekonał ją, że w słowie „Pluton” pierwsze dwie litery to inicjały jej śp. męża. No i tak już zostało!

Wyznaczenie orbity nowej planety bardzo szybko ujawniło wiele jej nietypowych własności (patrz tabelka na str. 4):

- orbita Plutona jest bardzo ekscentryczna; jej aphelium znajduje się w odległości 7,4 mld km od Słońca, perihelium zaś 4,5 mld km,
- orbita jest znacznie nachylona do płaszczyzny ekliptyki,
- rzuty orbit Plutona i Neptuna na płaszczyznę ekliptyki przecinają się,
- czasami Pluton bywa bliżej Słońca niż Neptun.

Mimo to Pluton dołączył do Układu Słonecznego jako najbardziej oddalona od Słońca planeta. Nie było co prawda wiadomo, jak jest duża i jak masywna. Pierwsze przymiarki w XIX wieku robiono dla masy rzędu 10 mas Ziemi. W roku 1915 Lowell przewidywał, że dziewiąta planeta jest 6,6 razy cięższa od naszej. Jednak odkryty Pluton okazał się znacznie słabszy niż oczekiwano – stąd spodziewano się, że będzie też lżejszy. Ciągłe jednak mówiło się o kilku masach Ziemi. W 1955 roku Pluton „ważył” już tylko 0,8 masy Ziemi, w 1968 – zaledwie 0,18. Na początku lat 70. XX wieku okazało się (z badań w podczerwieni), że Pluton znów kilkakrotnie „schudł”. Masę szacowano wtedy z jasności obiektu, nie wiedząc, że powierzchnia jest pokryta doskonale odbijającym światło metanem, zatem ponownie uzyskano wynik zawyżony. Dziś wiadomo, że masa Plutona to zaledwie 0,03 masy Ziemi. Podobnie trudno było z szacowaniem rozmiarów Plutona. Pierwsze oszacowania były autorstwa Gerarda Kuipera, który w 1950 roku za pomocą 200-calowego teleskopu na Mount Palomar (wówczas największego na świecie) porównywał rozmiary tarczki Plutona z tarczками rozmaitych ciał niebieskich i doszedł do wniosku, że Pluton ma średnicę kątową około $0,23''$, co odpowiadało mniej więcej połowie średnicy Ziemi (6114 km). Biorąc pod uwagę fakt, że atmosferyczne rozmycie obrazu (ang. *seeing*) to efekt rzędu $1''$ – sam autor ostrożnie podchodził do swego wyniku.

W 1965 r. oczekiwano zakrycia gwiazdy przez Plutona i chociaż tego zjawiska nie było widać – udało się z całą pewnością stwierdzić, że Pluton musi mieć średnicę nie większą niż 5790 km. Szacowana wówczas masa Plutona i jego rozmiary pozwalały na wyliczenie średniej gęstości obiektu. I tu niespodzianka – wynik zbliżony był do gęstości... ołowiu! Trudno było dać temu wiary, próbowano więc innymi metodami znaleźć podstawowe parametry planety. Tymczasem Pluton nie tylko chudł i kurczył się, ale w dodatku dziwnie – z okresem 6,4 dnia – zmieniał swą jasność. Uznano więc, że przyczyną tego musi być obrót niejednorodnie świecącej planety, ale okazało się, że zmienia się zarówno całkowita jasność absolutna obiektu, jak i amplituda zmian jasności!

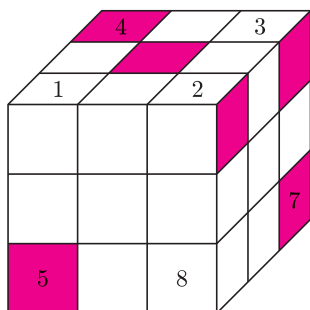
W 1976 r. zbadano na Ziemi lody metanu, po czym wykryto (w podczerwieni, spektrograficznie) obecność zestalonego metanu na powierzchni Plutona.



Rozwiązanie zadania M 999.

Zakładamy, że kolor ściany jest wyznaczony przez kolor jej centralnego klocka, który jest nieruchomy. Przyjmijmy, że górna i dolna ściana mają odpowiednio kolory czerwony i niebieski. Zauważmy, że każdy z narożnych klocków ma dokładnie jedną ścianę koloru niebieskiego lub czerwonego. Dokonując obrotu narożnego klocka wokół głównej przekątnej sześciangu o kąt 0° , 120° lub 240° , można doprowadzić do sytuacji, w której górna lub dolna ściana klocka jest niebieska lub czerwona. Umawiamy się, że obracamy zawsze w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara, patrząc w kierunku środka sześciangu. Ów kąt obrotu i -tego klocka oznaczmy przez β_i , $i = 1, 2, \dots, 8$. Na przykład:

$$\begin{aligned}\beta_4 = \beta_8 = 0^\circ, \\ \beta_2 = \beta_7 = 120^\circ, \\ \beta_1 = \beta_3 = \beta_5 = 240^\circ.\end{aligned}$$



Zauważmy, że

- przy obrocie o 90° górnej lub dolnej ściany liczby β_i nie zmieniają się,
- przy obrocie o 90° ściany bocznej dwie z liczb β_i zmieniają się o 120° (tj. $\beta_i := \beta_i + 120^\circ \pmod{360^\circ}$), a dwie pozostałe o 240° .

Zatem

$$\sum_{i=1}^8 \beta_i \pmod{360^\circ}$$

nie zmienia się. Należy więc wpasować brakujący klocek tak, by

$$\sum_{i=1}^8 \beta_i \equiv 0 \pmod{360^\circ}.$$

Już wtedy spodziewano się, że może on sublimować pod wpływem ciepła od Słońca i tworzyć cieniutką atmosferę (ciśnienie milion razy niższe niż na Ziemi). W 1978 roku James W. Christy zauważył, że obraz Plutona systematycznie, na wszystkich zdjęciach, wyglądał jak bałwanek, a nie kółko. Głowa bałwanek wystawała na kliszy raz na północ, raz na południe. Co więcej, wyrzucenie regularnie przemieszczało się z okresem ponad 6 dni (wcześniej, jak pamiętamy, ten okres zmian uważano wyłącznie za okres obrotu planety wokół osi). Szybko uznano jednak, że Pluton po prostu ma satelitę. Separacja tych dwu obiektów na niebie to maksymalnie $0,9''$ (odkrycia dokonano przy $0,75''$). Czyż można więc dziwić się, że satelita tak długo ukrywał się? Christy nadał księżycowi imię Charon, na cześć swej żony Charlene. Ale poza tym Charon to mitologiczny przewoźnik dusz zmarłych do Hadesu – królestwa Plutona. Warto dodać, że Christy odkrył Charona w Naval Observatory w Arizonie, niecałe 7 km od miejsca, gdzie Clyde Tombaugh odkrył Plutona! I że odkrycia dokonano za pomocą średnich rozmiarów instrumentów naziemnych – wystarczyło mieć wyobraźnię!

Charon krąży wokół Plutona podwójnie synchronicznie – nie tylko księżyc stale zwraca się ku planecie tą samą stroną, ale i planeta robi to samo! Wyglądają jak obracające się hantle bez łącznika. Co zabawne – środek masy układu planeta-księżyc znajduje się 1200 km nad powierzchnią Plutona. Jest to jedyny taki przypadek w Układzie Słonecznym (środek masy układu Ziemia-Księżyc znajduje się w odległości $3/4$ promienia Ziemi od jej środka, a więc głęboko pod jej powierzchnią). Zmierzony okres obiegu księżyca wokół planety pozwolił dokładnie wyznaczyć masę Plutona (z Charonem) – okazało się, że znów schudł. Co dowcipniejsi przewidywali wówczas, że w latach 80. XX wieku Pluton zniknie zupełnie. Oczywiście się stało, że obiekt tak mały i lekki nie może być odpowiedzialny za perturbacje w ruchu dwu dużych planet, Urana i Neptuna. Ta brutalna prawda uruchomiła, rzecz jasna, poszukiwaczy dziesiątej planety, ale to już inna historia.

W układzie planeta-księżyc mogą się oczywiście zdarzać zaćmienia, ale nie muszą być widoczne dla obserwatora na Ziemi. Jednak los sprzyjał tu astronomom: co 125 lat następują serie zaćmień układu Pluton-Charon, a najbliższa miała się zacząć tuż po odkryciu samego Charona, w latach 1985–1990. Gdy seria już się zaczęła, szczęście sprzyjało astronomom podwójnie – Pluton był tak blisko Ziemi, że znalazł się w zasięgu fotometrii średnich teleskopów wyposażonych w detektory CCD. (Po prostu w latach 1987–1989 to Neptun, a nie Pluton, był najbardziej oddaloną od Słońca planetą! Pluton poruszał się wtedy akurat w pobliżu swego peryhelium, które minął 5 września 1989.) Analiza uzyskanych podczas zaćmień krzywych blasku pozwoliła na dokładne wyznaczenie promieni i Plutona, i Charona. I znów okazało się, że Pluton (i Charon) są znacznie mniejsze niż sądzono wcześniej. Przy okazji stwierdzono, że satelita jest znacznie ciemniejszy niż planeta i wnosi niewielki wkład do ogólnej jasności między zaćmieniami. Gdy sam zakrywa planetę – blask układu maleje, a gdy planeta zakrywa Charona – nie widać znaczącego spadku jasności. Udało się też odtworzyć albedową mapę Plutona. Wiemy z niej, że jest to glob niejednorodnie jasny, z wyraźnymi jasnymi czapami polarnymi. Ze spektroskopowych badań wiemy, że Pluton jest bardziej czerwony (pokryty metanem), a Charon – szary (lodowy). Na następną serię zaćmień ziemscy obserwatorzy muszą poczekać do XXII wieku.

Zaćmienia to ciągle nie koniec miłych niespodzianek ze strony Plutona.

W 1988 roku została odkryta (bezpośrednio) jego atmosfera! Stało się to, gdy astronomowie znów czekali na zakrycie gwiazdy przez planetę. Zamiast jednak gwałtownego zniknięcia gwiazdy zaobserwowano stopniowy spadek jej blasku. Gwiazda (dla obserwatora) zanurzała się najpierw w atmosferze planety, a po czasie zakrycia – podobnie, stopniowo się wyłaniała. Dziś już wiadomo, że atmosfera Plutona jest tworem sezonowym – pojawia się podczas plutońskiego lata, a potem zamarza. Dla północnej półkuli Plutona równonoc wiosenna następuje praktycznie wtedy, gdy planeta jest w peryhelium. Taki układ

pór roku tłumaczy też opisywane wcześniej zmiany jasności Plutona. Jak wiadomo, oś obrotu planety zachowuje w przestrzeni swój kierunek – na eliptycznej orbicie w 1954 r. Pluton ustawiony był tak, że promienie słoneczne padały niemal prostopadle na jego biegun północny (Słońce było tam w zenicie). W 1973 r. było w zenicie na plutońskim równiku. Zatem w 1954 r. widzieliśmy Plutona od strony bieguna, a w 1973 r. ustawił się do nas równikiem. Dlaczego jego średnia jasność w tym czasie malała? (Wiadomo, że Pluton faktycznie ciemniał przez ostatnie 30 lat.) Po prostu w pobliżu perihelium metanowe śniegi w okolicach równikowych przemieniają się w atmosferę i odkrywa się ciemna, bogata w węglowodory powierzchnia globu. Atmosfera, choć cienka, ma ponadto decydujący wpływ na klimat Plutona – stały cykl sublimacji metanu po stronie nasłonecznionej i jego zestalanie się po nocnej wyrównują temperatury na całej powierzchni Plutona. Wreszcie z jego gęstości (2 g/cm^3 , podobnej do gęstości dużych satelitów dużych planet jowiszowych) można wnosić, że około 75% jego masy stanowią skały – zatem obserwowany metan stanowi drobny ułamek całej masy.



Reasumując – okres obiegu Plutona wokół Słońca wynosi około 250 lat. Od momentu odkrycia – 1930 r. – upłynęło zatem raptem trochę ponad ćwierć plutońskiego roku, a już w tym czasie dostarczył on bardzo wielu niespodzianek i do samego końca XX wieku nie dawał spocząć astronomom. Zaczął mianowicie... tracić tożsamość! Poczynając od wczesnych lat 90. zaczęto odkrywać na niebie (bardzo wydajną techniką CCD) coraz więcej obiektów na podobnych do plutonowej orbitach i o podobnych rozmiarach. Pod koniec roku 2001 znano ich już około 400. To, rzecz jasna, nie mógł być przypadek. Wydaje się dzisiaj, że na skraju Układu Słonecznego, za orbitą Neptuna, nie krąży jedna planeta, ale cały rój drobnych (jak Pluton) obiektów. Nazwano je planetoidami lodowymi (te dobrze znane planetoidy bliższe są skalne) albo obiektami pasa Kuipera (od nazwiska uczonego, który pierwszy przewidywał, iż w odległych rejonach Układu istnieje „lodowy rezerwuuar” komet).



Czymże zatem jest Pluton? Czy planetą – choć mniejszy od wielu księżyców (w tym od naszego)? Nie pasuje do schematu: planety ziemopodobne lub jowiszowe. Wpływa mniej na ruchy innych planet niż planetoida Ceres. I porusza się po nietypowej dla planet orbicie. Wiele wskazuje na to, że jest właśnie lodową planetoidą z pasa Kuipera, może i największą, ale na pewno nie jedyną. Natomiast spór o nazwę przypomina dylemat „czym różni się maleńki kamyk od dużego ziarna piasku”. Międzynarodowa Unia Astronomiczna – jedyny organ mogący „formalnie” rozstrzygnąć spór – postanowiła (jak do tej pory) nie wypowiadać się na ten temat. Natomiast budujące jest w tej sprawie stanowisko nieżyjącego już Clyde’a Tombaugh’a. Wydawać by się mogło, że będzie mu przykro, gdy pod koniec długiego życia okaże się, iż nie odkrył planety, lecz tylko jedną z kilkuset drobnych planetoid na skraju Układu Słonecznego. Tymczasem on cieszył się do końca swoich dni, że „jego” Pluton stale znajduje się w centrum zainteresowania astronomów!

Parametry układu Pluton-Charon

	Pluton	Charon
Promień	1151 km	591 km
Jasność absolutna	-0,648 mag	1,350 mag
Albedo	0,618	0,372
Nachylenie równika do płaszczyzny orbity	$90,^{\circ}7$	
Temperatura	58 K	
Masa układu	$1,47 \times 10^{22} \text{ kg}$	
Średnia gęstość ciał	$2,032 \text{ g/cm}^3$	
Okres obiegu (gwiazdowy)	6,387 d	



Rozwiązanie zadania M 997.
Pionki zajmujące białe pola powinny znaleźć się na czarnych. Ale białych pól jest więcej niż czarnych!

