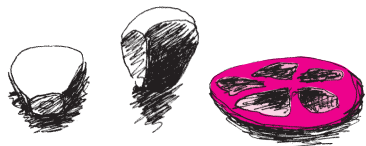


Od Galileusza do misji Galileo

Krzysztof ZIOŁKOWSKI



Jowisz – największa planeta Układu Słonecznego, a po Słońcu, Księżycu i Wenus czwarty pod względem jasności obiekt na niebie – intryguje ludzi „od zawsze”. Ale dopiero w 1610 roku Galileusz pierwszy skierował na Jowisza skonstruowaną przez siebie lunetę. Dokonane wtedy odkrycie czterech księżyców, zwanych do dziś galileuszowymi, nie tylko wzbogaciło wiedzę o Układzie Słonecznym, ale wpłynęło na rozwój nauki w ogóle. We wrześniu 2003 roku sonda kosmiczna o nazwie Galileo zakończyła wieloletnie badania Jowisza, rozpoczęte w XVII wieku przez tego prekursora nowożytnej nauki.

Misja Galileo jest dziełem amerykańskiej agencji NASA oraz współpracujących z nią naukowców i techników z Francji, Kanady, Niemiec, Szwecji i Wielkiej Brytanii. Jej przygotowania rozpoczęto w roku 1977, start sondy nastąpił jednak dopiero 18 X 1989 (jedną z przyczyn opóźnienia była katastrofa Challengeera). Optymalna pod względem energetycznym trasa sondy, wykorzystująca grawitacyjne oddziaływania planet, wymagała wtedy zbliżenia do Wenus (II 1990) i dwukrotnego zbliżenia do Ziemi (XII 1990 i XII 1992). W ten sposób po sześciu latach, w grudniu 1995 roku, Galileo osiągnął Jowisza, stając się jego sztucznym satelitą. Oddzielony od sondy kilka miesięcy wcześniej próbnik, przeznaczony do badań atmosfery, osiągnął Jowisza 7 XII 1995 i opadając na spadochronie, przekazywał wyniki pomiarów. Było to pierwsze „dotknięcie” tej wielkiej planety przyrządem skonstruowanym przez człowieka. Przez następne osiem lat Galileo 34 razy okrążył Jowisza po różnie zorientowanych orbitach eliptycznych, wielokrotnie przelatując w pobliżu jego satelitów.

Galileo poleciał do Jowisza pozbawiony głównej anteny. Miała nią być składana czasza o średnicy 5 m, jednak nie udało się jej otworzyć podczas obu zbliżeń do Ziemi. Dlatego wszystkie informacje zebrane przez przyrządy musiały być przekazywane na Ziemię za pomocą anteny przeznaczonej pierwotnie tylko do sterowania pracą sondy. Zaszła przy tym potrzeba przeprogramowania systemu kompresji danych oraz włączenia do ich odbioru trzech, a nie jednej, jak pierwotnie planowano, stacji odbiorczych (w Kalifornii, Australii i Hiszpanii).

Między pierwszym i drugim przelotem koło Ziemi Galileo zbliżył się do planetoidy Gaspra, mijając ją 29 X 1991 roku ze względną prędkością 8 km/s w minimalnej odległości 1600 km. Otrzymane wtedy pierwsze obrazy planetoidy z bliska potwierdziły, że planetoidami są nieregularne bryły pokryte kraterami uderzeniowymi. Rozmiary Gaspry oceniono na $19 \times 12 \times 11$ km. Nie udało się, niestety, oszacować jej masy (a więc i gęstości), gdyż odległość sondy od niej była zbyt wielka. Stwierdzono natomiast istnienie pola magnetycznego Gaspry. 28 VIII 1993 sonda przeleciała koło drugiej planetoidy, Idy, z prędkością 12,4 km/s w minimalnej odległości 2400 km. Ida okazała się także nieregularną i pokrytą kraterami bryłą o rozmiarach $55 \times 20 \times 24$ km. Największą sensacją

było odkrycie satelity tej planetoidy. Księżyc Idy, nazwany Daktylem, jest bryłą o rozmiarach około 1,5 km i okrąża planetoidę po prawdopodobnie kołowej orbicie o promieniu 100 km.

Odkrycie w marcu 1993 roku komety Shoemaker-Levy 9, która w lipcu 1994 zderzyła się z Jowiszem, stało się dla sondy Galileo nie lada wyzwaniem. Okazało się bowiem, że jest ona jedynym narzędziem obserwacyjnym zdolnym bezpośrednio zobaczyć to niecodzienne zjawisko (fragmenty komety spadały na niewidoczną z Ziemi stronę planety). Sprostanie temu zadaniu wymagało zmiany programu funkcjonowania sondy, co było niełatwe przy braku głównej anteny i niemożliwości dokładnego przewidzenia momentów zderzeń i spodziewanych efektów. Wysiłek się jednak opłacił. Galileo dostarczył jedynych wiadomości o przebiegu pierwszej minuty spektakularnego zjawiska wtargnięcia czterech fragmentów komety z prędkością 60 km/s w atmosferę Jowisza.

Ponad rok później do atmosfery Jowisza wpadł próbnik sondy. Przez prawie godzinę opadał na spadochronie, pokonując 200 km, zanim uległ zniszczeniu na głębokości, gdzie panowało ciśnienie 23 atm. Dokonane przezeń obserwacje wykazały m.in., że atmosfera Jowisza jest gorętsza i bardziej sucha niż dotychczas sądzono. Potwierdziły się informacje o wielkoskalowych ruchach materii (których spektakularnym przykładem jest obserwowana od ponad 300 lat Wielka Czerwona Plama, będąca najprawdopodobniej ogromnym wirami atmosferycznym). Maksymalna prędkość wiejących tam wiatrów (do 600 km/h) okazała się dużo większa, niż oczekiwano. Zjawisk tych nie da się wytłumaczyć jedynie ogrzewaniem planety przez Słońce, musi w nich brać udział jej wewnętrzne źródło energii, ale co może je stanowić, pozostaje nadal zagadką.

Wśród najdonioślejszych wyników pracy sondy Galileo na pierwszym miejscu trzeba wymienić dostarczenie wielu wiarygodnych danych świadczących o istnieniu kilkudziesięciokilometrowej warstwy płynnej wody pod niezbyt grubą lodową powierzchnią Europy. Liczne zdjęcia tego satelity, wykonane podczas 13 zbliżeń sondy (największe na odległość zaledwie 201 km od powierzchni), ukazały aktywną geologicznie, spękaną skorupę lodu pokrytą licznymi nierównościami świadczącymi o istnieniu cieplejszych warstw podpowierzchniowych. Przemawiają też za tym

nieliczne kratery uderzeniowe, płytkie i na ogół z gładkim wnętrzem oraz pomiary pola magnetycznego Jowisza w pobliżu tego satelity. Wskazują one na istnienie wewnątrz jego globu przewodnika elektryczności, odpowiadającego na zmianie pole magnetyczne Jowisza własnym polem indukowanym. Tym przewodnikiem może być słona woda podpowierzchniowa. O jej zasoleniu świadczą obserwowane plamy oraz różnice barw w pęknięciach skorupy lodowej, do których mogła napłynąć woda z rozmaitymi domieszkami. Odkrycie słonej wody pod powierzchnią Europy rodzi też podejrzenia o możliwości występowania tam prostych form życia.

Drugim równie frapującym dokonaniem sondy Galileo było zbadanie wulkanizmu Io, odkrytego dzięki sondom Voyager kilkanaście lat wcześniej. Io krążąc blisko Jowisza, znajduje się stale w obszarze bardzo silnej radiacji wewnątrz magnetosfery Jowisza. Aby więc nie narażać elektronicznych urządzeń sondy na możliwe uszkodzenia, zbliżenia do Io zaplanowano na koniec misji, gdy warto już było podjąć ryzyko nawet zniszczenia sondy. Od października 1999 roku Galileo sześć razy znalazł się w pobliżu Io; największe zbliżenie, na odległość zaledwie 102 km od powierzchni, nastąpiło w styczniu 2002 roku. Mimo kłopotów technicznych sonda przeżyła. Na Io znaleziono około 80 wulkanów, ale najważniejszym wynikiem okazało się stwierdzenie bardzo wysokiej – sięgającej aż 2000 K – temperatury materii wydobywającej się z wnętrza tego księżycy. Temperatura lawy ziemskich wulkanów nie przewyższa dziś na ogół 1400 K, ale w odległej przeszłości była zapewne wyższa. Dzięki Io można więc jak gdyby spojrzeć w geologiczną młodość Ziemi.

W czerwcu 1996 roku, podczas drugiego okrążenia Jowisza, sonda przeleciała w odległości 835 km od powierzchni Ganimedesa, największego księżycy w Układzie Słonecznym. Okazało się, że ma on własne, stosunkowo silne pole magnetyczne, a jego magnetosfera zanurzona jest w magnetosferze Jowisza. Niezwykłość tej struktury, trochę lepiej poznanej podczas następnego zbliżenia sondy do Ganimedesa, spowodowała powstanie pytania, co może być źródłem magnetyzmu satelity. Pojawiły się sugestie, że pierwotną przyczyną może

być rezonans orbitalny Io, Europy i Ganimedesa. Okres obiegu Ganimedesa jest w przybliżeniu równy okresowi 2 obiegów Europy i 4 Io. Ta współmierność może prowadzić do okresowych wzmocnień oddziaływań grawitacyjnych, w tym również pływowych, które powodują rozgrzanie wewnątrz globów tych księżyców. Ponieważ Ganimedes ma stosunkowo duże żelazne jądro (czego dowodzi analiza sygnałów radiowych wysyłanych z przelatującej koło niego sondy), to wzmacniane przez rezonanse grzanie pływowe podtrzymuje w nim konwekcję, która z kolei generuje pole magnetyczne.

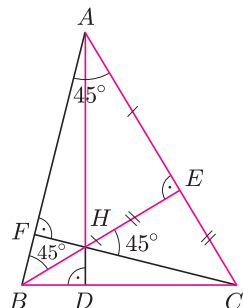
Siły pływowe pochodzące od masywnego Jowisza i pozostałych księżyców galileuszowych są także źródłem energii powodującej aktywność wulkaniczną Io oraz stopienie podpowierzchniowych lodów Europy. Za pomocą sondy Galileo odkryto, że podobnie jak Ganimedes również Io i Europa mają żelazne jądra otoczone płaszczem skalnym. W przeciwieństwie do nich Kallisto – najbardziej oddalony od Jowisza księżyc galileuszowy – ma wewnątrz wypełnione stosunkowo jednorodną mieszaniną skalno-lodową. Pomiary zmian pola magnetycznego Jowisza w pobliżu Kallisto sugerują natomiast obecność w globie tego satelity – analogicznie jak w przypadku Europy – podpowierzchniowej warstwy słonej wody o grubości kilkudziesięciu kilometrów.

Praca sondy Galileo w układzie Jowisza przewidziana była pierwotnie na dwa lata. Po tym czasie okazało się, że sonda jest ciągle w dobrym stanie i ma zapas paliwa. Oczywiście więc przedłużono jej służbę. Zużywszy paliwo, sonda mogłaby jeszcze długo krążyć wokół Jowisza jako nieczynny sztuczny satelita. Zachodziło jednak niebezpieczeństwo, że w przyszłości dojdzie do jej zderzenia z Europą i tym samym dostarczenia na jej powierzchnię ziemskich zanieczyszczeń, których obecności na pokładzie sondy nie dało się przecież wykluczyć (mimo jej sterylizacji przed startem). A to mogłoby zagrozić życiu, którego możliwość istnienia na Europie pokazał właśnie Galileo. Resztkę paliwa wykorzystano więc na wykonanie ostatniego manewru kierującego sondę ku Jowiszowi. 21 IX 2003 roku sonda wpadła do atmosfery Jowisza z prędkością 48 km/s, kończąc w ten sposób swój pracowity żywot. Od startu z Ziemi do zderzenia z Jowiszem przebyła 4632 mln km.



Rozwiązanie zadania M 1054.

Niech AD , BE , CF będą wysokościami w trójkącie ABC (rys. 1). Z równości $\sphericalangle BAC = 45^\circ$ wynika, że $\sphericalangle ABE = 45^\circ$, a to z kolei daje $\sphericalangle CHE = 45^\circ$. Zatem trójkąty ABE i CHE są prostokątne i równoramienne, czyli $AE = BE$ oraz $HE = CE$. Stąd wynika, że trójkąty prostokątne AHE i BCE są przystające, a więc $AH = BC$.



Rys. 1

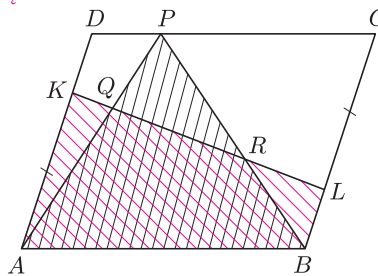
Rozwiązanie zadania M 1055.

Prosta KL rozcina równoległobok $ABCD$ na dwie przystające figury (rys. 2). Zatem pole czworokąta $ABLK$ jest równe połowie pola

równoległoboku $ABCD$. Również pole trójkąta ABP jest równe połowie pola równoległoboku $ABCD$. Stąd otrzymujemy

$$\text{pole czworokąta } ABLK = \text{pole trójkąta } ABP.$$

Odejmując od obu stron powyższej równości pole czworokąta $ABRQ$ uzyskujemy tezę.



Rys. 2