

Lądowanie na Tytanie

Krzysztof ZIOŁKOWSKI*



Tytan jest największym księżycem Saturna i jednym z najbardziej intrygujących ciał Układu Słonecznego. Odkryty został w 1655 roku przez holenderskiego fizyka i matematyka (a także prawnika) Christiaana Huygensa (1629–1695) jako dwunasty obiekt poruszający się wokół Słońca (w połowie XVII wieku znano jedynie 6 planet od Merkurego do Saturna, ziemski Księżyc i 4 księżyce galileuszowe Jowisza). Podobno doskonałość liczby 12 ciał niebieskich, należących do rodziny Słońca, powstrzymywała Huygensa od poszukiwań dalszych satelitów Saturna; następny został dostrzeżony dopiero w 1671 roku przez Cassiniego. Tytan obiega Saturna w okresie prawie 16 dni po niemal kołowej orbicie położonej w płaszczyźnie jego równika w średniej odległości od środka 1,2 mln km (około 20 promieni planety). Rozmiarami przewyższa nasz Księżyc, a nawet Merkurego; jego kulisty glob o promieniu 2575 km ma średnią gęstość 1,88 g/cm³. Podobnie jak w przypadku ziemskiego Księżyca okres rotacji Tytana jest równy okresowi obiegu wokół Saturna. Jako jedyny ze znanych satelitów planetarnych otoczony jest grubą atmosferą, ponad półtora raza gęstszą od ziemskiej.

Pierwszych podstawowych wiadomości o Tytanie dostarczyły przede wszystkim przelatujące koło Saturna sondy kosmiczne: Pioneer 11 (wrzesień 1979), Voyager 1 (12 listopada 1980 r. zbliżył się do Tytana na odległość zaledwie 4500 km) i Voyager 2 (sierpień 1981). Uzyskane dzięki nim informacje wydawały się wskazywać, że warunki panujące dziś na tym księżycu mogą być podobne do warunków panujących na Ziemi kilka miliardów lat temu, czyli w czasach, gdy powstawało na niej życie. W atmosferze składającej się głównie z azotu (95%) odkryto aerozole utworzone z cząsteczek organicznych, które, pochłaniając światło słoneczne, blokują optyczny dostęp do powierzchni. Niedająca się zaobserwować nawet przez największe teleskopy powierzchnia Tytana pozostała więc niewidoczna także i dla sond, które znalazły się w stosunkowo niewielkiej odległości od tego intrygującego obiektu.

Nic więc dziwnego, że w programie misji kosmicznej Cassini, poświęconej kompleksowym, kilkuletnim badaniom Saturna, poczesne miejsce przypadło Tytanowi. Na pokładzie sondy Cassini (wystrzelonej z Ziemi 15 października 1997 r.) umieszczony został – zbudowany przez Europejską Agencję Kosmiczną – próbnik o nazwie Huygens (upamiętniającej odkrywce Tytana), który po odłączeniu od okrążającej planetę sondy w końcu grudnia 2004 r. opadł na spadochronie na powierzchnię Tytana i 14 stycznia 2005 r. łagodnie na niej osiadł. Próbnik miał masę 373 kg, z czego na aparaturę naukową przypadały 43 kg i około 100 kg na mającą kształt dysku o średnicy 2,7 m osłonę termiczną, która miała go chronić podczas przelotu przez atmosferę. Ponieważ o powierzchni Tytana prawie nic nie wiadomo, więc próbnik został tak skonstruowany, aby mógł osiąść zarówno na twardej powierzchni, jak i w ewentualnym oceanie ciekłego metanu, którego istnienia nie można było wykluczyć. Na pokładzie

próbnika znajdowało się 6 zestawów przyrządów: kamera i radiometr spektralny, urządzenie radarowe do dopplerowskich pomiarów prędkości wiatru, przyrząd do analizy aerozoli, chromatograf gazowy oraz dwa komplety czujników do badań atmosfery i pomiarów fizykochemicznych na powierzchni. Elementem jednego z nich był czujnik do pomiaru temperatury i przewodnictwa cieplnego zaprojektowany i zbudowany w Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Urządzenie skonstruowane przez polskich naukowców i techników oparte zostało na prostej zasadzie działania termometru oporowego, ale warunki, w których taki termometr musiał funkcjonować, wymagały zastosowania skomplikowanych rozwiązań technicznych.

Zestaw czujników do badań własności termicznych Tytana składa się z czterech cylindrycznych kapsułek wykonanych z metalu zwanego tytanem. Wzdłuż osi każdej z nich rozpięty jest bardzo cienki drucik platynowy (o grubości rzędu kilku mikronów), przez który przepuszczany jest prąd elektryczny o stałym natężeniu. Pomiar oporu elektrycznego drutu dostarcza informacji o jego temperaturze, a tym samym o temperaturze otoczenia. Ale przepływ prądu rozgrzewa drucik, a to z kolei powoduje ogrzewanie zawartości kapsułki. Szybkość, z jaką rośnie temperatura drutu, pozwala określić przewodnictwo cieplne materii znajdującej się w kapsułce, a więc zarówno atmosfery Tytana, jak i ewentualnej cieczy znajdującej się na jego powierzchni. Jednym z najtrudniejszych do pokonania problemów konstrukcyjnych była konieczność zagwarantowania kapsułkom takiego systemu wlotu i wylotu analizowanej substancji, który eliminowałby konwekcje w ich wnętrzu wymuszoną ruchem próbnika np. podczas jego opadania w atmosferze Tytana. Inną poważną trudnością było umocowanie kapsuł w całym urządzeniu, zapewniające wytrzymanie przez cieniutkie druciki przeciążeń i wstrząsów podczas startu sondy.

*Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie

Drugim wkładem polskiej myśli technicznej do misji Cassini było zaprojektowanie układów elektroniki analogowej, obsługujących pięć czujników do badań własności fizycznych. Szczególnie wysokie wymagania stwarzał akcelerometr, który generował bardzo duży strumień danych pomiarowych w bardzo krótkim czasie, a także czujnik termiczny, od którego oczekiwano dokładności absolutnej pomiaru temperatury rzędu 0,01 stopnia, a względnej nawet na poziomie 0,0001 stopnia.

Operacja lądowania na Tytanie rozpoczęła się, gdy Huygens znajdował się w odległości ok. 1300 km od jego powierzchni, zbliżając się do niej z prędkością około 6200 m/s. Opór górnych warstw atmosfery wyhamował go w ciągu niespełna 5 minut do prędkości ok. 400 m/s (osłona termiczna rozgrzała się wtedy do temperatury ok. 1700°C). Na wysokości ok. 155 km otworzył się spadochron (o średnicy 9 m), odrzucona została osłona termiczna, a odsłonięte przyrządy pomiarowe rozpoczęły pracę. Kilkanaście minut później, na wysokości ok. 120 km, gdy prędkość próbnika zmalała do ok. 80 m/s, nastąpiła zamiana spadochronu na mniejszy, tzw. spadochron stabilizacyjny, który doprowadził do zmniejszenia prędkości opadania do 4,6 m/s w momencie zetknięcia się z powierzchnią. Lądowanie nastąpiło o godzinie 11:38 UT. Wszystkie dane pomiarowe były przekazywane w czasie rzeczywistym drogą radiową do sondy Cassini przelatującej w tym czasie koło Tytana (minimalna odległość między nimi wyniosła ok. 65 tys. km), a następnie zostały retransmitowane na Ziemię. Podczas opadania próbnika w atmosferze przyrządy działały przez 2 godziny i 27 minut, a po wylądowaniu prawdopodobnie jeszcze przez ponad 2 godziny; sonda Cassini mogła jednak odbierać wyniki ich pomiarów tylko przez 69 minut od wylądowania Huygensa, gdyż potem skryła się za horyzontem i kontakt radiowy z próbnikiem znajdującym się na powierzchni został przerwany. Czas funkcjonowania przyrządów wynikał także z ograniczonego czasu życia baterii zaopatrujących w energię wszystkie urządzenia Huygensa.

Próbnik Huygens osiadł na twardej powierzchni, ale o konsystencji mokrego piasku, o czym świadczyło m.in. kilkumilimetrowe zagłębienie się lądownika. Dokładny pomiar temperatury przy powierzchni dał wartość $93,65 \pm 0,25$ K, a ciśnienia 1467 ± 1 hPa. Składająca się przede wszystkim z lodu wodnego powierzchnia w miejscu lądowania okazała się być pokryta niewielkimi bryłkami lodu podobnymi do ziemskich otoczków. Na zdjęciu wykonanym tuż po wylądowaniu naliczono ich co najmniej 50 o rozmiarach od 0,3 do 15 cm; większych nie zauważono. Obrazy powierzchni uzyskane ze zdjęć zrobionych z wysokości kilku, kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu kilometrów ukazują zróżnicowanie na tereny pofałdowane i zerodowane z licznymi wyżłobieniami przypominającymi koryta rzeczne, oraz obszary płaskie, pozbawione jakichś wyraźnych struktur. Rozdzielająca je ostra granica wydaje się jakby linią

brzegową łądę stałego i jeziora metanowego (być może wyschniętego). Istnienie takich jezior potwierdziły późniejsze sondowania radarowe powierzchni wykonane z pokładu sondy Cassini podczas jej kolejnych przelotów koło Tytana.

Atmosfera Tytana, złożona głównie z azotu (N_2), okazała się bogata w związki organiczne. Oprócz najobficiej występującego metanu (CH_4) zaobserwowano węglowodory, których molekuly zawierają aż do 7 atomów węgla (m.in. etan C_2H_6 , acetylen C_2H_2 , propan C_3H_8 , cyjanowodor HCN). Azot i metan tworzą złożone węglowodory w reakcjach wywołanych nadfioletowym promieniowaniem Słońca oraz wysokoenergetycznymi cząstkami pochodzącymi z magnetosfery Saturna. Zbadana *in situ* atmosfera Tytana okazała się być wielkim, naturalnym laboratorium chemii organicznej, w którym można testować różne koncepcje i modele oraz śledzić procesy, które prawdopodobnie doprowadziły do powstania materii organicznej w pierwotnie beztlenowej atmosferze Ziemi w początkowym okresie jej istnienia.

Wielką niewiadomą pozostaje jednak pochodzenie na Tytanie metanu, którego czas życia nie przekracza 20 mln lat. Pewnym tropem wiodącym ku rozwiązaniu tej zagadki jest, być może, odkrycie w atmosferze Tytana izotopu argonu ^{40}Ar (w atmosferze Ziemi jest on produktem rozpadu radioaktywnego potasu w skorupie ziemskiej), którego obecność wydaje się świadczyć, że wewnątrz Tytana w przeszłości było, a może nawet i obecnie jest aktywne geologicznie. Późniejsze sondowania radarowe Tytana pokazały, że wśród różnych utworów na jego powierzchni da się wyodrębnić kołowe struktury o średnicy ok. 30 km, których nie zaobserwowano na żadnym innym księżycu lodowym Saturna i które, być może, są wulkanami, zasilającymi atmosferę Tytana w metan.

W atmosferze Tytana wieją wiatry. Opadający na powierzchnię próbnik Huygens zmierzył ich prędkość, dzięki czemu wiemy, że najsilniejsze poddmuchy, aż do 450 km/h, występują na wysokościach ok. 120 km i wieją w tym samym kierunku, w którym obraca się glob księżycy. Im bliżej powierzchni, tym są słabsze; po wylądowaniu przyrządy Huygensa zarejestrowały już tylko lekki powiew – 3,6 km/h. Warstwa atmosfery Tytana odległa od powierzchni mniej więcej od 40 do 140 km pełni rolę jonosfery, w której głównym źródłem jonizacji cząstek wydaje się promieniowanie kosmiczne.

Podsumowując, można powiedzieć, że na Tytanie dostrzeżono takie same procesy geofizyczne, jakie zachodzą na Ziemi, ale chemia biorącej w nich udział materii jest zupełnie inna: wodę zastąpił płynny metan; ziemią są osady cząstek węglowodorów; rolę skał i kamieni pełni lód wodny; zamiast lawy wulkany na Tytanie wyrzucają bryłki lodu. Misja Huygens pokazała, że badania tego odległego od Słońca obiektu mogą wiele powiedzieć o przeszłości naszej planety i powstaniu na niej życia.