



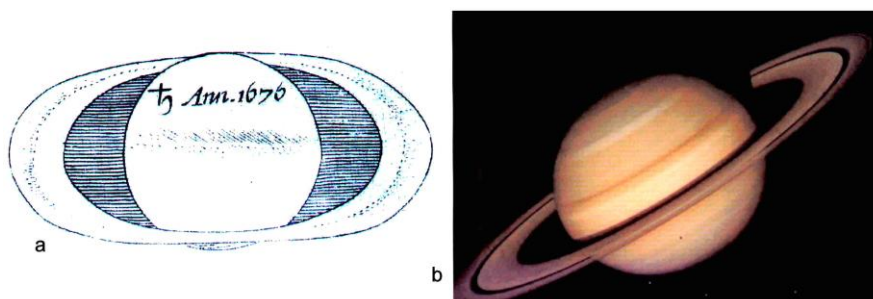
## Kosmiczne peregrynacje statku Cassini

Miłosz Piotr Wnuk

University of Wisconsin Milwaukee, USA  
College of Engineering and Applied Science

Chęć podróżowania to rzecz nie nowa, jest widocznie ukryta w naszych genach. W starożytnej Grecji podróżowali Argonauci, potem włoski kupiec Marco Polo i angielski odkrywca Livingston docierali do najbardziej odległych punktów kuli ziemskiej. W latach 30. tego stulecia kolejne wyprawy na obydwie bieguny Ziemi dowiodły bez cienia wątpliwości, że ludzka ciekawość i żądza odkrywania nie zna granic. Sięga po wciąż nowe terytoria leżące daleko za horyzontem, najczęściej na innych kontynentach, a nawet – jak w przypadku statku kosmicznego Cassini – sięga do planet leżących na zewnątrz orbity Ziemi wokół Słońca. Celem podróży statku Cassini jest planeta Saturn oraz największy z jej osiemnastu księżyców, Tytan.

Saturn widoczny jest na niebie gołym okiem, a za pomocą szkolnego teleskopu można także zobaczyć wąski krążek pierścieni, które nadają temu ciału niebiańskiemu aurę tajemniczości. Imponująca jest też magnetosfera Saturna, niezwykle silna i niewytłumaczalnie niesymetryczna. Do dziś przyczyny tej niesymetrii nie są znane. Jest to jedyna planeta w naszym układzie słonecznym, której towarzyszy zawiły system pierścieni. Galileusz sądził, że to co widzi w swojej lunecie, którą skierował w stronę Saturna, to są... uszy planety. Po kilku latach jednakże „uszy” zniknęły zupełnie, tak jak to widać na Rysunku 1a i 1b.



Rys. 1

Stopniowo nasza wiedza o Saturnie narastała. Jeszcze w XVII wieku włoski astronom Cassini, zamieszkały na stałe we Francji, zrozumiał, że „uszy” to pierścienie, a także dowiódł istnienia dość dużego odstępu pomiędzy wewnętrznymi i zewnętrznymi słojami pierścieni, które otaczają Saturna.

Dzisiaj odstęp ten nosi imię Cassiniego, a statek kosmiczny NASA, również ochrzczone „Cassini”, ma za zadanie przedostać się poprzez tę właśnie pustą przestrzeń między pierścieniami, tak, aby maksymalnie zbliżyć swoją wydłużoną eliptyczną orbitę „parkującą” do powierzchni planety (unikając jednocześnie zderzenia z pierścieniami). W punkcie największego zbliżenia do powierzchni planety statek orbitalny Cassini będzie znajdował się na wysokości równej 3/10 promienia Saturna.

Jakie są parametry tej dalekiej planety? „Dalekiej”, bo znajdującej się w odległości 9,54 jednostek astronomicznych (J.A.) od Słońca. Za jednostkę astronomiczną przyjmuje się średnią odległość Ziemi od Słońca, która wynosi około 150 milionów kilometrów. Natomiast Ziemię od Saturna dzieli odległość 8,54 J.A., czyli „tylko” 1281 milionów kilometrów. Tę odległość statek Cassini przebędzie w czasie siedmiu lat, które upłyną od chwili startu, 15 października 1997 roku, z przylądka Kennedy’ego na Florydzie, do momentu przybycia statku w bezpośrednie sąsiedztwo, 1 lipca 2004.

Aby tam dotrzeć statek Cassini przebędzie odległość nieco większą niż 2562 milionów kilometrów, a zatem drogę ponad dwukrotnie większą niż długość linii prostej łączącej Ziemię z Saturnem. Dlaczego jest to konieczne, wyjaśnimy niżej.

Wróćmy na chwilę do opisu Saturna. W układzie słonecznym jest to prawdziwy olbrzym, drugi co do wielkości po Jowiszu. Masa Saturna przewyższa masę Ziemi blisko stukrotnie, dokładnie mówiąc 95,2-krotnie. Krąży on po swej orbicie wokół Słońca blisko trzykrotnie wolniej niż Ziemia i dlatego też „rok” na tej planecie wynosi 29,46 lat ziemskich. Planeta ta jest jedną wielką bryłą zamrożonych gazów. Gdy podzielimy masę Saturna  $5,69 \times 10^6$  kg przez jej objętość, otrzymujemy średnią gęstość mniejszą niż gęstość wody (podobnie jak gęstość lodu jest mniejsza od gęstości wody). Jeśliby wyobrazić sobie, że Saturn wpadł do oceanu, który byłby na tyle duży, aby pomieścić takich rozmiarów kulistą bryłę, to... pływałby na powierzchni oceanu jak kostka lodu w szklance wody. Jeśli kontynuować tę analogię nieco dalej, to pierścienie Saturna znalazłyby się wówczas pod wodą, na kształt stabilizatorów jakiegoś monstrualnego statku.

Jakie są koszty takiej międzyplanetarnej wyprawy? Suma zainwestowana do chwili obecnej wynosi 3400 milionów dolarów, w tym mieści się około 650 milionów dolarów pochodzących z Europy, mianowicie z Niemiec i z Włoch. Jeśli jednak zważyć astronomiczną odległość jaką ten statek musi przebyć, aby dotrzeć do Saturna, nie jest to suma nadzwyczajna. Weźmy tu pod uwagę 2526 milionów kilometrów, które Cassini musi pokonać, aby 1 lipca 2004 znaleźć się na miejscu przeznaczenia. Jeśli pełny koszt podróży podzielić przez tę odległość, to otrzymamy jedyne 1,33 dolara za każdy kilometr przebytej drogi. Wydawać by się mogło, że to cena rozsądna. A jednak, jak łatwo można dowiedzieć, jest ona ponad dziesięciokrotnie większa od ceny lotu z Warszawy do Chicago samolotem LOTu. Dzieląc cenę w jedną stronę, latem w czasie, kiedy podróże są najdroższe, czyli około

600 dolarów przez odległość 6 tysięcy kilometrów, otrzymujemy tylko 10 centów za kilometr. Gdyby jednak cofnąć się w czasie w nie tak bardzo odległą przeszłość do roku 1912, to okaże się, że cena biletu podróży na Tytaniku z Anglii do Nowego Yorku wynosiła nieco ponad dwa (ówczesne!) dolary za każdy przebyty kilometr. Obliczenie to wykonane zostało dla pasażerów pierwszej klasy. Jest to zatem liczba porównywalna z kosztem realizacji misji Cassiniego. Krótko mówiąc, astronomiczne odległości wymagają astronomicznych inwestycji. Są to liczby niewyobrażalne i tylko takie ekonomiczne imperium jak Stany Zjednoczone może sobie pozwolić na tego rodzaju wydatki.

Ostatnio kongres USA znacznie okroił budżet agencji kosmicznej NASA, nadal jednak sumy przeznaczone na badania kosmosu i kolejne międzyplanetarne „misje” są rzędu miliardów dolarów. Co otrzymujemy w zamian? Odpowiedź jest nieco ezoteryczna, gdyż poza nauką (astronomią i astrofizyką), romantycznie zwanej „Fizyką Głębokiej Przestrzeni”, wydawać by się mogło, że nikt z tych czekających nas w najbliższej przyszłości odkryć korzystać nie będzie. Nie jest to całkowicie prawdą, gdyż postęp techniki, elektroniki i technologii, które są fundamentem całego przedsięwzięcia „Cassini”, jest tak niezwykle, że nawet mały ułamek niezliczonych ulepszeń czy to w nauce o materiałach, czy też w nauce o komputerach, będzie dla nas, zwyczajnych zjadaczy chleba na Ziemi, tak istotny, że trudno wymierzyć płynące stąd korzyści tak po prostu w dolarach. Pewne układy statku „Cassini” są zaprojektowane w ten sposób, że mogą zostać ulepszone w ciągu najbliższych siedmiu lat, gdy już statek znajduje się w kosmosie, jeśli nowe odkrycia technologiczne na to pozwolą.

Weźmy chociażby osłonę termiczną sondy Huygensa, która zostanie zrzucona z macierzystego statku „Cassini” na powierzchnię księżycy Tytan (odłączenie tej sondy od statku zaplanowano na 6 listopada 2004, a jej wejście w atmosferę, spowodowane gigantycznym spadochronem, nastąpi 27 listopada 2004). Płytki osłony termicznej sondy Huygensa zbudowane są z włókna krzemowego wytrzymującego temperaturę rzędu 12 tysięcy stopni Celsjusza, która dwukrotnie przewyższa temperaturę powierzchni Słońca! Jednocześnie strukturalna powłoka sondy Huygensa musi być tak zaprojektowana, aby wytrzymać temperaturę powierzchni Tytana, największego z osiemnastu księżyców Saturna, gdzie sonda ta będzie lądować. Jest to temperatura minus 200 stopni Celsjusza... Do tejże powłoki niosącej przyczepiona jest osłona termiczna, która pracować będzie przez jedyne 30 sekund, kiedy to szybkość opadającej sondy zmniejszy się od Mach<sup>1</sup> 1,5 do Mach 0,6. Ciekawostką jest fakt, że masa samej tylko osłony termicznej stanowi 1/3 całej masy sondy wynoszącej 300 kg.

Atmosfera Tytana składa się głównie z azotu z niewielką ilością metanu i argonu. Próbkę tej atmosfery zostaną pobrane i zbadane przez sondę Huygensa. Sonda ta została zaprojektowana przez inżynierów niemieckich i włoskich. Zauważ-

---

<sup>1</sup> Liczba Macha – stosunek prędkości obiektu poruszającego się w cieczy do prędkości dźwięku w tej cieczy (w takich samych warunkach fizycznych).

my, że Niemcy miały swojego Keplera a Włosi mieli Cassiniego, tak więc to co obecnie się dzieje jest po prostu kontynuacją tradycji nauki o Wszechświecie, rozpoczętej jeszcze w Średniowieczu! Sonda została zmontowana w Europie i już jako całość przewieziona na przylądek Kennedy'ego na Florydzie. Tutaj sonda Huygensa została „zintegrowana” ze statkiem kosmicznym Cassini, który łącznie z sondą ważył w chwili startu 5,6 ton. Całość została umieszczona na szczycie dwóch najlepszych rakiet wojskowych Stanów Zjednoczonych. Jedną z nich jest rakietę Tytan IVB, natomiast druga, mniejsza, zwana rakieta Centaur, jest połączona z Tytanem IVB szeregowo (zob. zdjęcie na okładce). Wysokość tego kolosa, obydwu rakiet i statku Cassini wynosiła w dniu startu 15 października 1997 roku 56 metrów, wysokość porównywalna z wysokością 20-piętrowego budynku. Łączna masa wszystkich urządzeń w momencie startu równała się nieprawdopodobnej liczbie 1038 ton. Łatwo stąd wyliczyć, że stosunek masy statku Cassini, wraz z sondą Huygensa, do masy całego urządzenia przy starcie wynosił jedynie mały ułamek, mianowicie 6 tysięcznych. Innymi słowy, aby wyrzucić w przestrzeń 1 kg masy urządzeń Cassiniego, potrzebne było około 1000 kg masy urządzeń startowych, takich jak rakiety, paliwo, konstrukcja nośna etc. Może się to wydać bardzo nieefektywnym sposobem „jet propulsion”, czyli napędu odrzutowego, ale lepszego obecnie nie mamy.

Po trzystopniowym odpaleniu, dwa stopnie rakiety Tytan IVB oraz trzeci otrzymany z rakiety Centaur, statek Cassini został wyniesiony na orbitę parkingową wokół Ziemi, o kształcie wydłużonej elipsy, dla której apogeum wyniosło 445 km, natomiast perigeum było 170 km. Po opuszczeniu orbity parkingowej Cassini udał się w siedmioletnią podróż do Saturna. Aż cztery manewry przyspieszenia grawitacyjnego zostały zaprogramowane na trasie jego lotu. Dwa pierwsze wykonano w pobliżu Wenus, trzecie, 18 sierpnia tego roku, uzyskano w pobliżu naszej własnej planety, Ziemi. Aby uzyskać bezsilnikowe przyspieszenie statku, Cassini przeleciał bardzo blisko Ziemi, dokładnie na wysokości 1171 km, a więc w odległości równej ułamkowi promienia Ziemi, mianowicie 0,173, osiągniętej o godzinie 3:28 czasu uniwersalnego mierzonego na zerowym południku, który przechodzi przez Królewskie Obserwatorium Astronomiczne w Greenwich w Anglii. Statek kosmiczny widać było wówczas gołym okiem z małych wysp na Południowym Pacyfiku, a fotografia jego toru poprzez ziemskie niebo została wykonana przez Gordona Garradda z Australii i każdy posiadacz komputera może ją obejrzeć w internecie.

W dzień manewru przyspieszającego, 18 sierpnia br., trajektoria Cassiniego została zakrzywiona w pobliżu Ziemi, do jego prędkości względem Słońca doszło dodatkowe 5,5 km/s. Obawy o spalenie w ziemskiej atmosferze okazały się bezpodstawne. Jak dotąd wszystko postępuje według planu, jak w szwajcarskim zegarku. Ów historyczny moment uczczono lampką wina (i ja tam byłem...) w Laboratorium Napędu Odrzutowego, czyli Jet Propulsion Laboratory, które jest częścią najbardziej elitarniej uczelni technicznej w Stanach, California Institute of Technology, mieszczącym się w Pasadenie, przedmieściu Los Angeles.

W ciągu siedmioletniej podróży do Saturna statek Cassini wykona cztery takie manewry przyspieszenia grawitacyjnego, wykorzystując „efekt procy”, jaki ma miejsce ilekroć trajektoria statku, lecącego z wyłączonymi silnikami, ulega zakrzywieniu w pobliżu obiektu o znacznej masie. Już trzy takie manewry Cassini ma za sobą. Następny tego rodzaju manewr został wykonany w pobliżu Jowisza 30 grudnia roku 2000, ale w dość znacznej odległości od tej ogromnej planety, tak aby zsynchronizować przybycie do celu zgodnie z wyznaczonym przez komputer harmonogramem obliczonym według ścisłych reguł Mechaniki Orbitalnej. W sumie, te cztery manewry przyspieszające zaoszczędzają silnikom pomocniczym Cassiniego 75 ton paliwa (to nie bagatela!). Co prawda, podróż trwa wówczas dłużej, lecz oszczędność jest ewidentna.

Statek utrzymuje stałą łączność z Ziemią za pomocą sygnałów radiowych przechwytywanych przez trzy anteny, jedna umieszczona w Canberra w Australii, druga w Goldstone w Kalifornii oraz trzecia w Madrycie, w Hiszpanii. Takie rozłożenie anten zapewnia stałą łączność radiową z Ziemią. Łączność ta stanie się szczególnie istotna, kiedy statek dotrze już w pobliże Saturna i „zaparkuje” na orbicie eliptycznej przenikającej pierścienie Saturna. Wówczas sygnał nadany ze statku Cassini w kierunku Ziemi z szybkością 300 000 km/s potrzebuje na dotarcie do niej od 68 minut do 84 minut (w jedną tylko stronę), w zależności od punktu położenia statku na orbicie parkingowej wokół Saturna. Oznacza to, że w przypadku awarii, lub też jakiegokolwiek sytuacji wymagającej interwencji centrali dowodzenia statkiem w Pasadenie, upłynie około trzech godzin, zanim sygnał-odpowiedź dotrze do komputera pokładowego statku.

Łączność radiowa między centralą dowodzenia a statkiem trwa bezustannie w czasie siedmioletniej podróży i trwać jeszcze będzie przez następne cztery lata, potrzebne dla zebrania danych z powierzchni Tytana i Saturna. Potem moc elektrowni pokładowej Cassiniego zmaleje tak bardzo, że statek nie będzie już w stanie nadawać ani przyjmować sygnałów z Ziemi. Ciekawostką jest zastosowanie naturalnego rozpadu promieniotwórczego izotopu plutonu 238 jako źródła energii zasilania nadajnika Cassiniego. Wbrew wielu pogłoskom nie jest to reaktor jądrowy, lecz raczej tradycyjna elektrownia, w której radioaktywny pluton jest źródłem ciepła.

Na zakończenie kilka słów o podróżach naziemnych, wykonywanych przez autora niewielkim samochodem produkcji amerykańskiej „Saturn”, rocznik 1996. Samochód ten daje przeciętnie 40 mil z galona, a zatem całe 70 tysięcy mil, jakie dotąd przebył, kosztowało nie więcej niż 2 275 dolarów, licząc tylko koszt paliwa (średnio dolar i trzydzieści centów za galon). Daje to koszt jednostkowy około trzy centy za milę. Jeśli jednak dodać koszt zakupu wehikułu, około 14 000\$, oraz policzyć tzw. amortyzację w sumie około dwóch tysięcy dolarów na rok, pełny koszt wszystkich podróży w ostatnich trzech latach wyniesie 22 275\$ – co daje 32 centy za każdą przebytą milę (lub też 20 centów za kilometr). Jest to więc koszt 6,65 razy mniejszy niż koszt przebycia jednego kilometra statkiem kosmicznym Cassini. Różnica polega na tym, że – po pierwsze – mój srebrny Saturn stoi przed domem, tak więc nie muszą przemierzać miliardów kilometrów aby do niego się dostać, a po drugie, ten sympatyczny wehikuł nie odbywa podróży kosmicznych. A jednak ów skromny Saturn posiada swój własny komputer na pokładzie, nieomal jak Cassini.