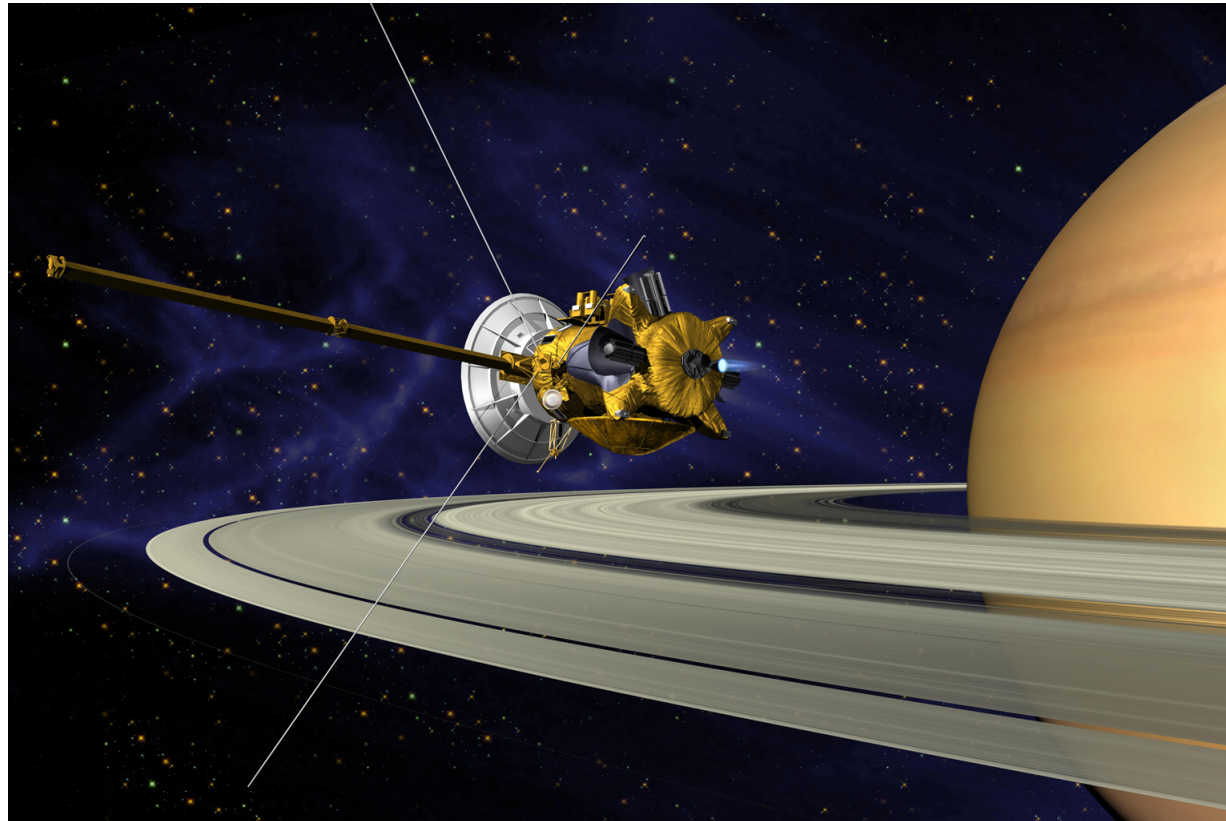


Odkrycia sondy Cassini

Adam Brejnak



Przebieg misji



- 15 października 1997 - start rakiety Titan IVB/Centaur z sondą Cassini

- asysty grawitacyjne:

26.04.1998 - pierwszy przelot obok Wenus

24.06.1999 - drugi przelot obok Wenus

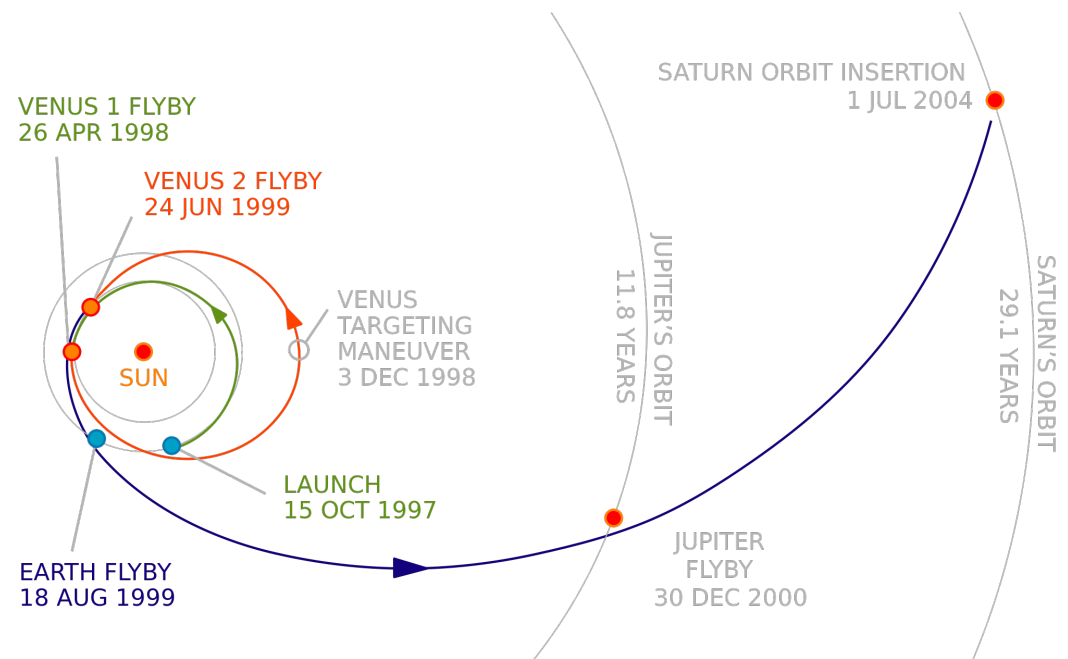
18.08.1999 - przelot obok Ziemi

30.12.2000 - przelot obok Jowisza

- 1 lipca 2004 - wejście na orbitę wokół Saturna

- 14 stycznia 2005 - Huygens ląduje na Tytanie

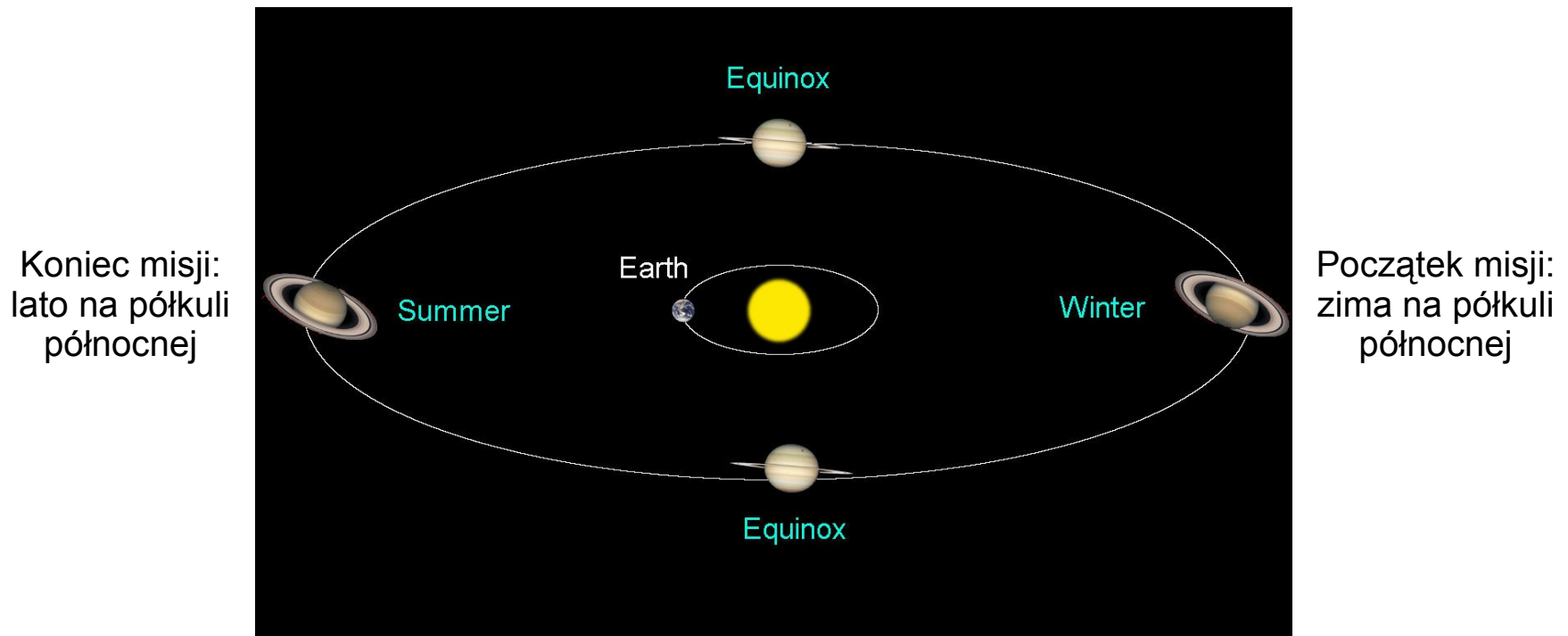
- Planowane zakończenie misji:
15 września 2017



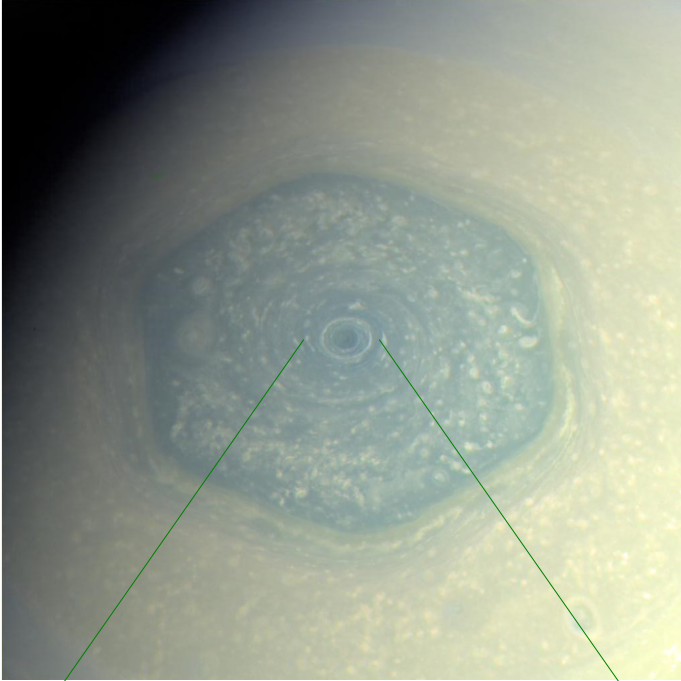
Przebieg misji

- Sonda spędziła na orbicie wokół Saturna 13 lat – prawie pół okresu orbitalnego Saturna. Umożliwiło to zaobserwowanie zjawisk związanych ze zmianami pór roku, a także obserwacje w trakcie równonocy - kiedy światło słoneczne pada dokładnie w płaszczyźnie pierścieni.

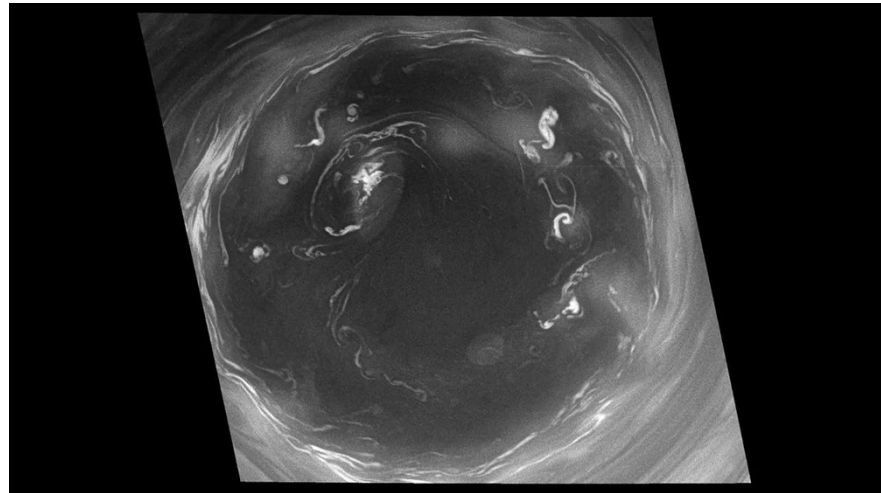
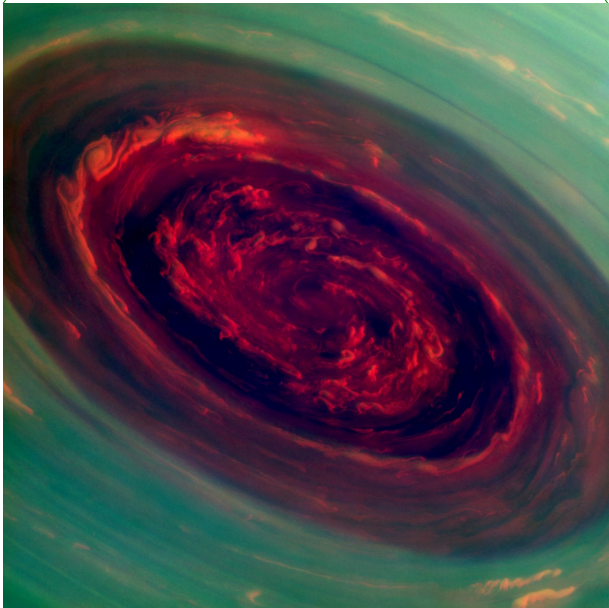
2009 - równonoc



Odkrycia: Saturn

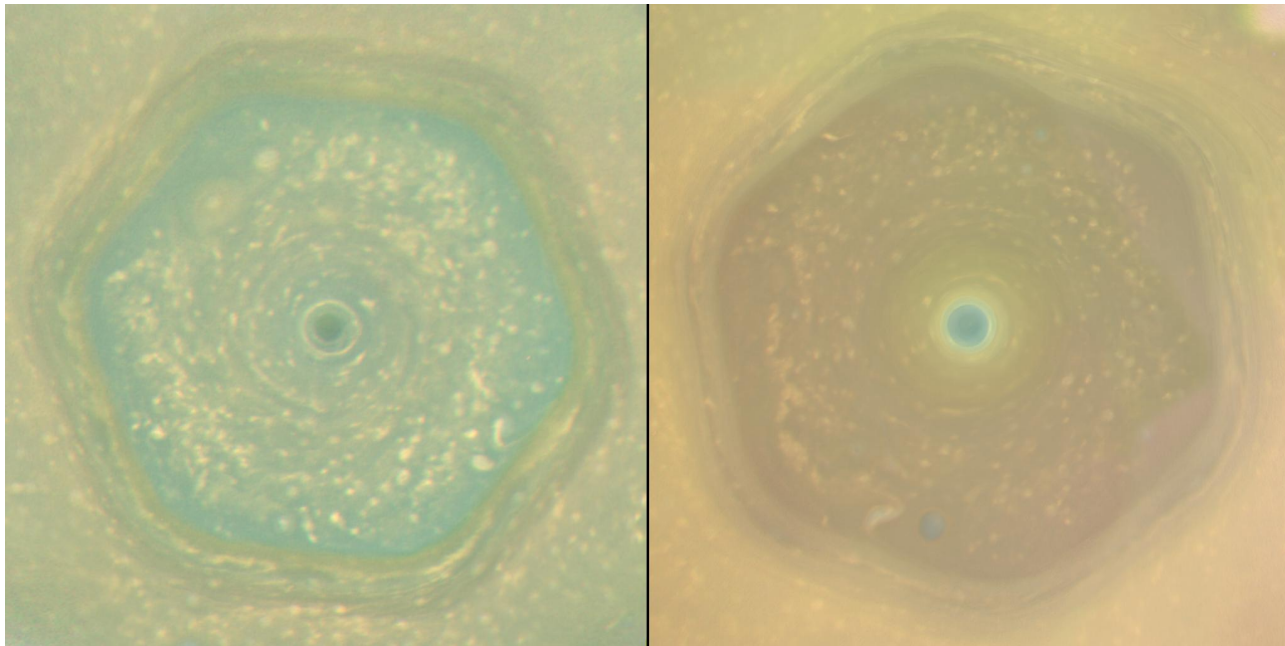


- Pierwsze bliskie obserwacje huraganów na biegunach Saturna
- Oko północnego huraganu ma średnicę ok. 2000 km - 50 razy więcej niż na Ziemi
- Chmury w pobliżu oka poruszają się z prędkością 540 km/h
- Mechanizm powstawania cyklonów jest inny niż na Ziemi bo nie ma pod nimi zbiorników wody



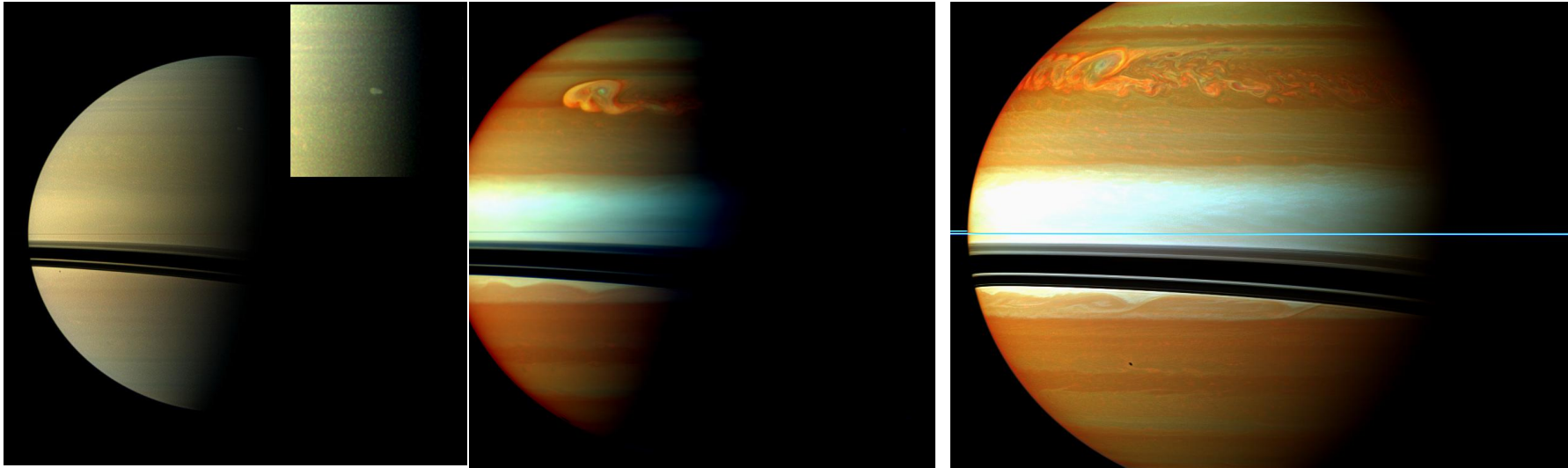
Odkrycia: Saturn

- W czasie trwania misji Cassini „sześciokąt“ na półkuli północnej zmienił barwę z niebieskiej na złotą
- W wyniku zmian pór roku półkula północna otrzymuje coraz więcej światła słonecznego. Światło UV powoduje powstawanie smogu fotochemicznego o żółtej barwie
- Oko polarnego cyklonu pozostaje niebieskie - prawdopodobnie wewnętrzna cyrkulacja powoduje usuwanie cząsteczek smogu



Odkrycia: Saturn

Wielka burza na północnej półkuli Saturna

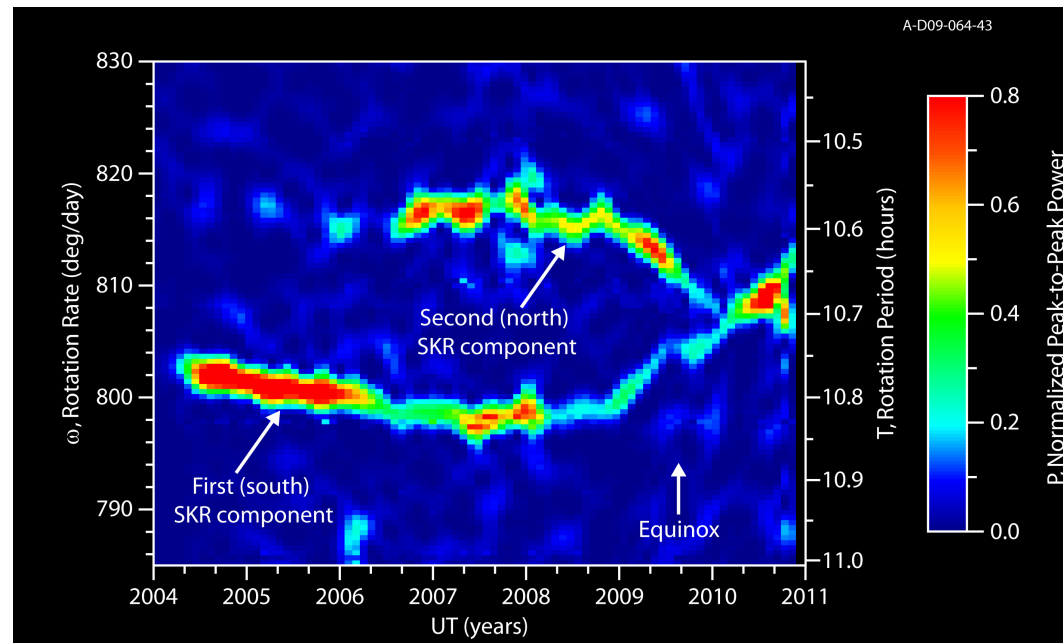


- Na zdjęciu z 5 grudnia 2010 r. widać niewielki jasny obszar na szerokości ok. 35°N . Jednocześnie zarejestrowano aktywność elektryczną spowodowaną przez wyładowania atmosferyczne
- W krótkim czasie burza rozrosła się, aż w końcu owinęła się dookoła planety
- Zarejestrowano podwyższone temperatury w stratosferze i duże ilości amoniaku, wyniesione z głębszych warstw atmosfery
- Wyładowania atmosferyczne widoczne w ciągu dnia



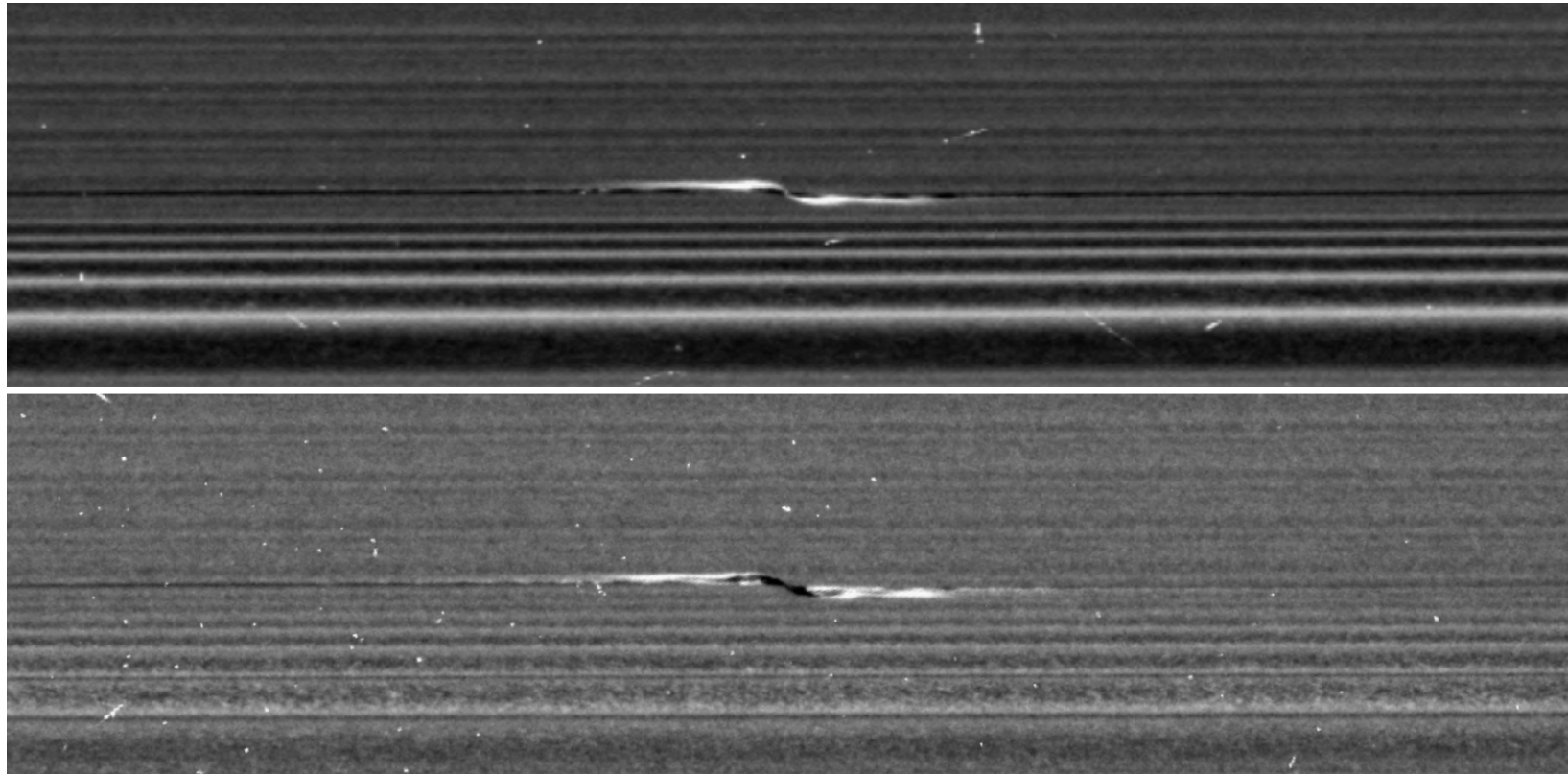
Odkrycia: Saturn

- Saturn emituje fale radiowe o długości rzędu kilometrów (Saturn Kilometric Radiation). Okres zmian intensywności tego promieniowania jest związany z okresem obrotu planety wokół własnej osi.
- Dane z instrumentu Radio and Plasma Wave Science pokazują różne okresy na półkuli północnej i południowej. Co więcej okresy zmieniają się wraz z porami roku: na początku dłuższy był okres na półkuli południowej, niedługo po równonocy nastąpiło zrównanie się okresów, a następnie zamiana.
- Prawdopodobną przyczyną różnic są zmiany prędkości wiatrów w wysokich warstwach atmosfery
- W dalszym ciągu nie znamy dokładnej wartości okresu obrotu jądra Saturna

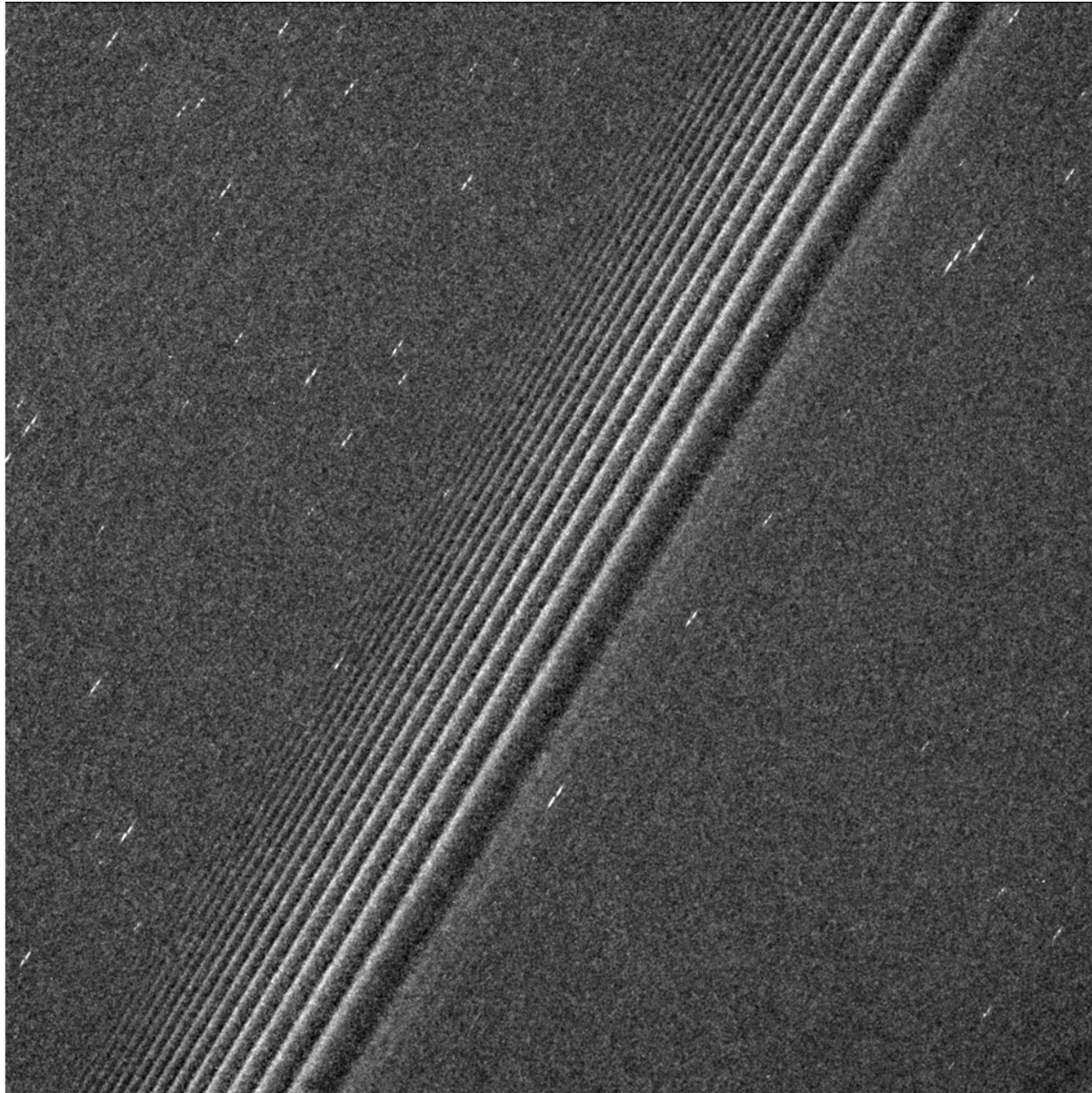


Odkrycia: Pierścienie Saturna

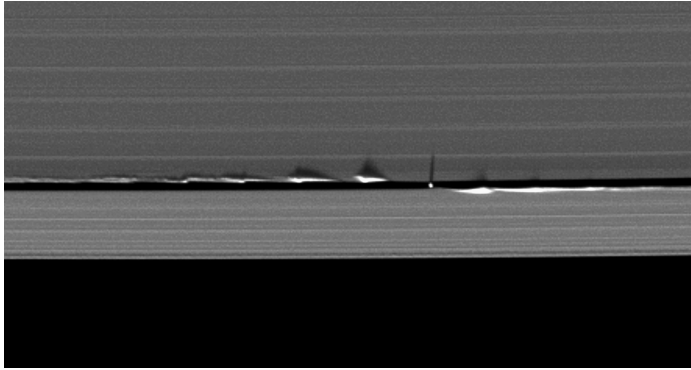
- Sonda Cassini odkryła struktury przypominające kształtem śmigła („propellers“) w pierścieniu A
- Są to fale materii wywołane oddziaływaniem grawitacyjnym małych księżyców formujących się wewnątrz pierścieni



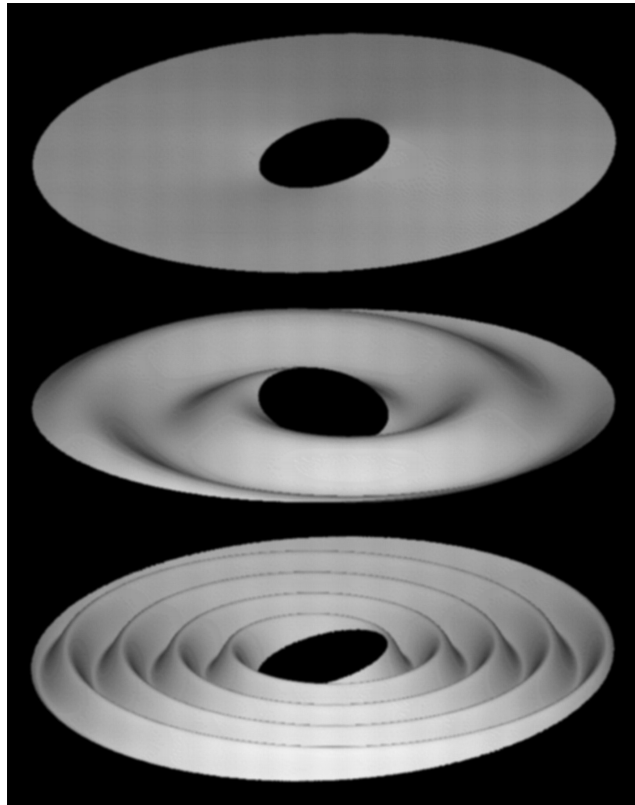
Odkrycia: Pierścienie Saturna



Odkrycia: Pierścienie Saturna



- Obserwacje wykonane w okolicy równonocy ujawniają występowanie zaburzeń o wysokościach nawet do 4 km ponad płaszczyznę pierścieni (przy grubości pierścieni rzędu 10 m)
- Jedne z najwyższych fal są generowane przez księżyc Daphnis, odkryty w 2005 r.

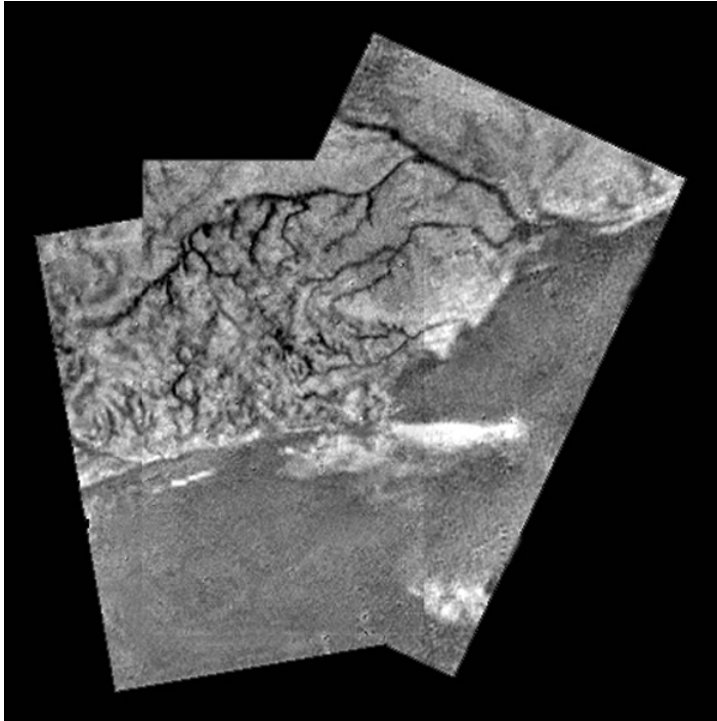


- Pofałdowanie pierścieni C i D o amplitudzie 2-20 m i długości fali 30-80 km
- Obliczono, że struktura została zapoczątkowana w 1983 r., kiedy chmura kosmicznych odłamków o masie 10^{11} - 10^{13} uderzyła w pierścieni, powodując ich wychylenie
- Następnie różnicowa precesja wychylonych orbit doprowadziła do powstania ciasnej spirali

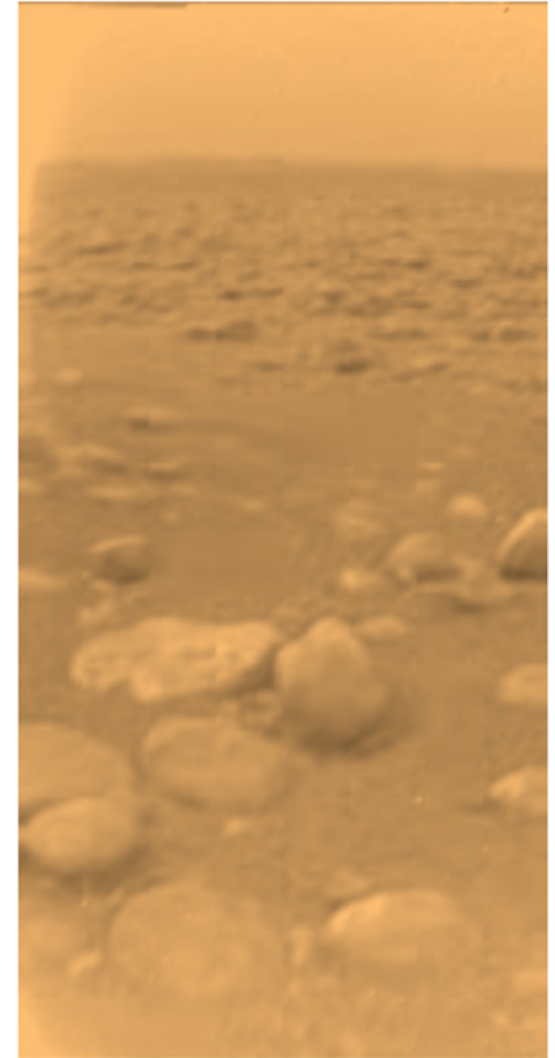
Odkrycia: Tytan

Dane z lądownika Huygens:

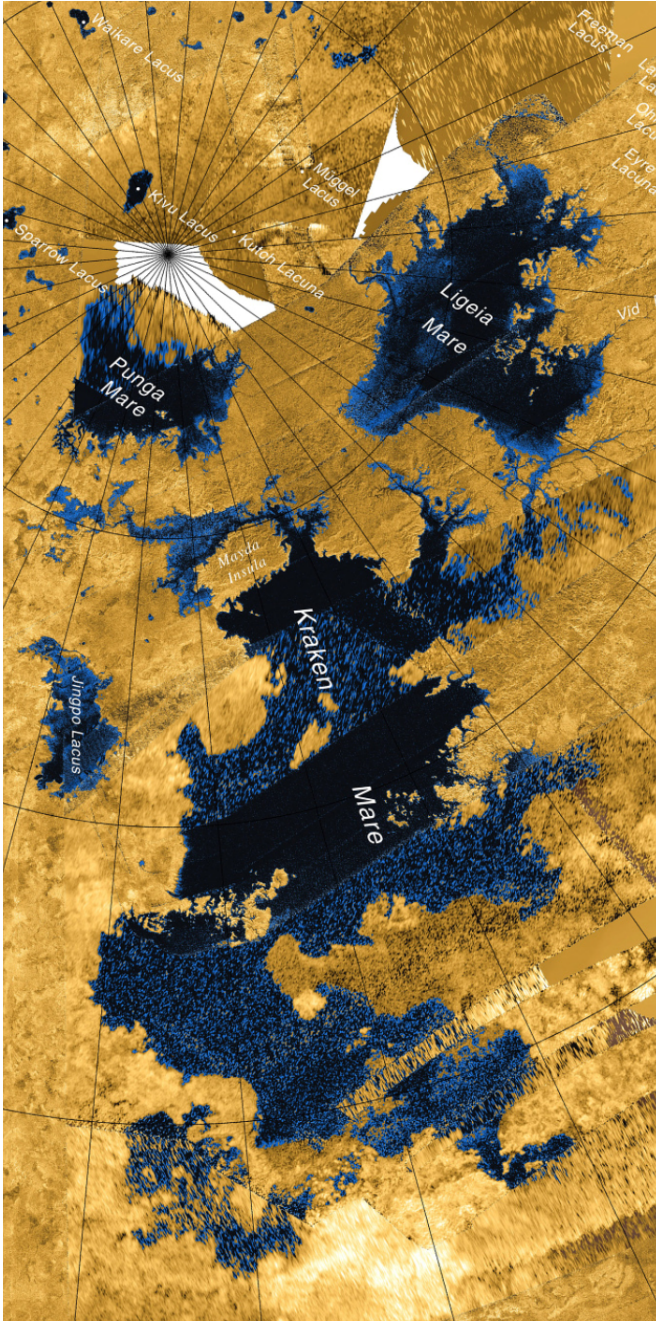
- Temperatura na powierzchni -180°C
- Ciśnienie na powierzchni 1467 hPa
- Powierzchnia pokryta lodowymi „otoczakami“ o średnicach $< 15\text{cm}$
- Natężenie światła w ciągu dnia takie, jak na Ziemi około 10 min. po zachodzie słońca



- Zdjęcia wykonane podczas opadania na powierzchnię pokazują struktury przypominające koryta rzek i wybrzeża

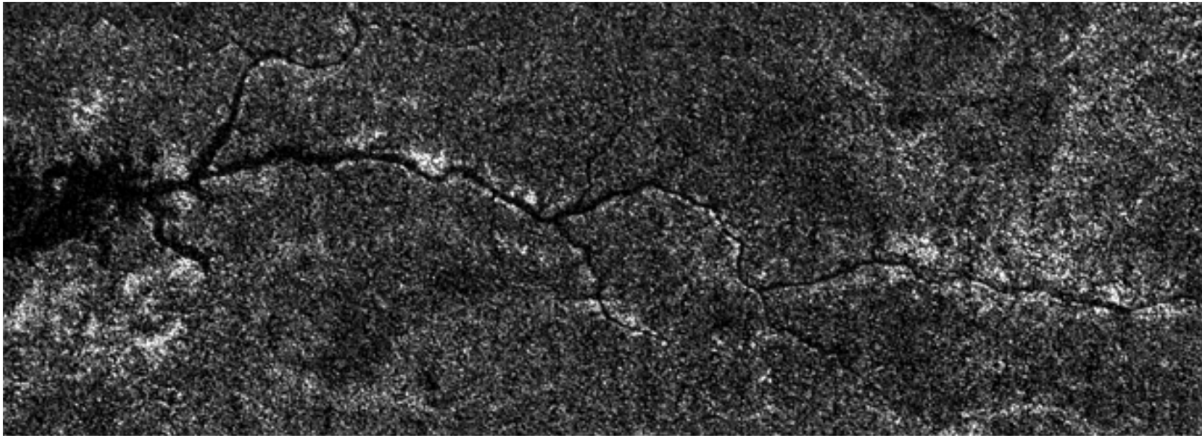


Odkrycia: Tytan



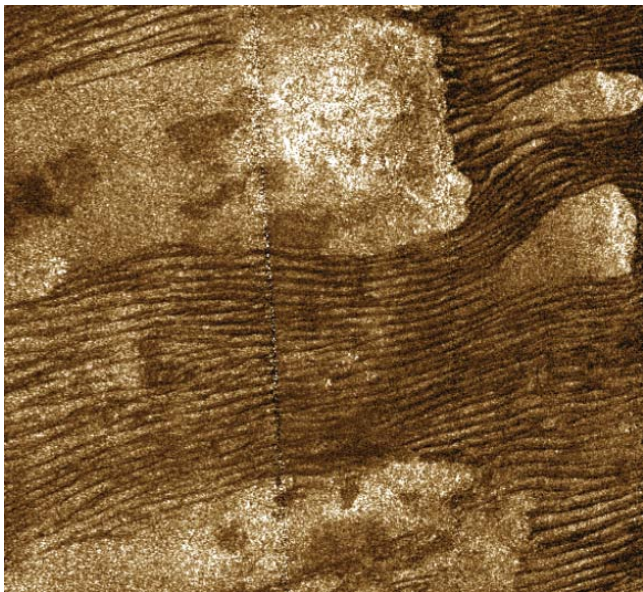
- Lata 80-te - dane z sond Voyager ujawniają gęstą atmosferę i temperatury odpowiednie do podtrzymania zbiorników ciekłego metanu na powierzchni
- 1995 - dane z Teleskopu Hubblea wskazują na istnienie takich zbiorników
- 2006 - Obserwacje przy pomocy radaru sondy Cassini pokazują ciemne (gładkie) obszary w okolicach okołobiegunowych Tytana
- 2008 - VIMS (Visible and Infrared Mapping Spectrometer) potwierdza istnienie ciekłego etanu w jednym z „jezior“.
- Powierzchnia jezior jest bardzo gładka (różnice wysokości < 3mm). Może być to spowodowane dużą lepkością cieczy lub bezwietrzną pogodą
- 2014 - prawdopodobne fale na powierzchni jednego z jezior ($v=0,7$ m/s, $h=1,5$ cm), spowodowane zmianą pór roku (?)
- Głębokość jezior: Ontario Lacus < 8 m, Ligeia Mare, Kraken Mare - prawdopodobnie > 160m

Odkrycia: Tytan



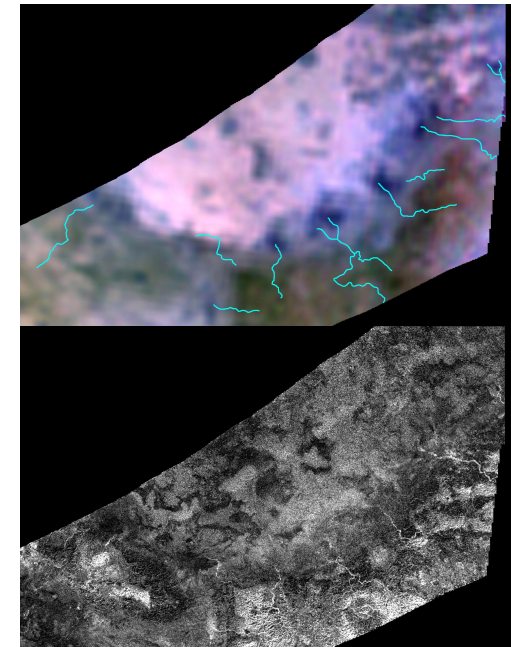
- Rzeki i kaniony wypełnione ciekłym metanem, wpadające do jezior

- Vid Flumina - 400 km długości, wpada do Ligeia Mare



- W okolicach równika występują podłużne wydmy o wysokości do 100 m, szerokości kilometra i długości dziesiątek-setek kilometrów

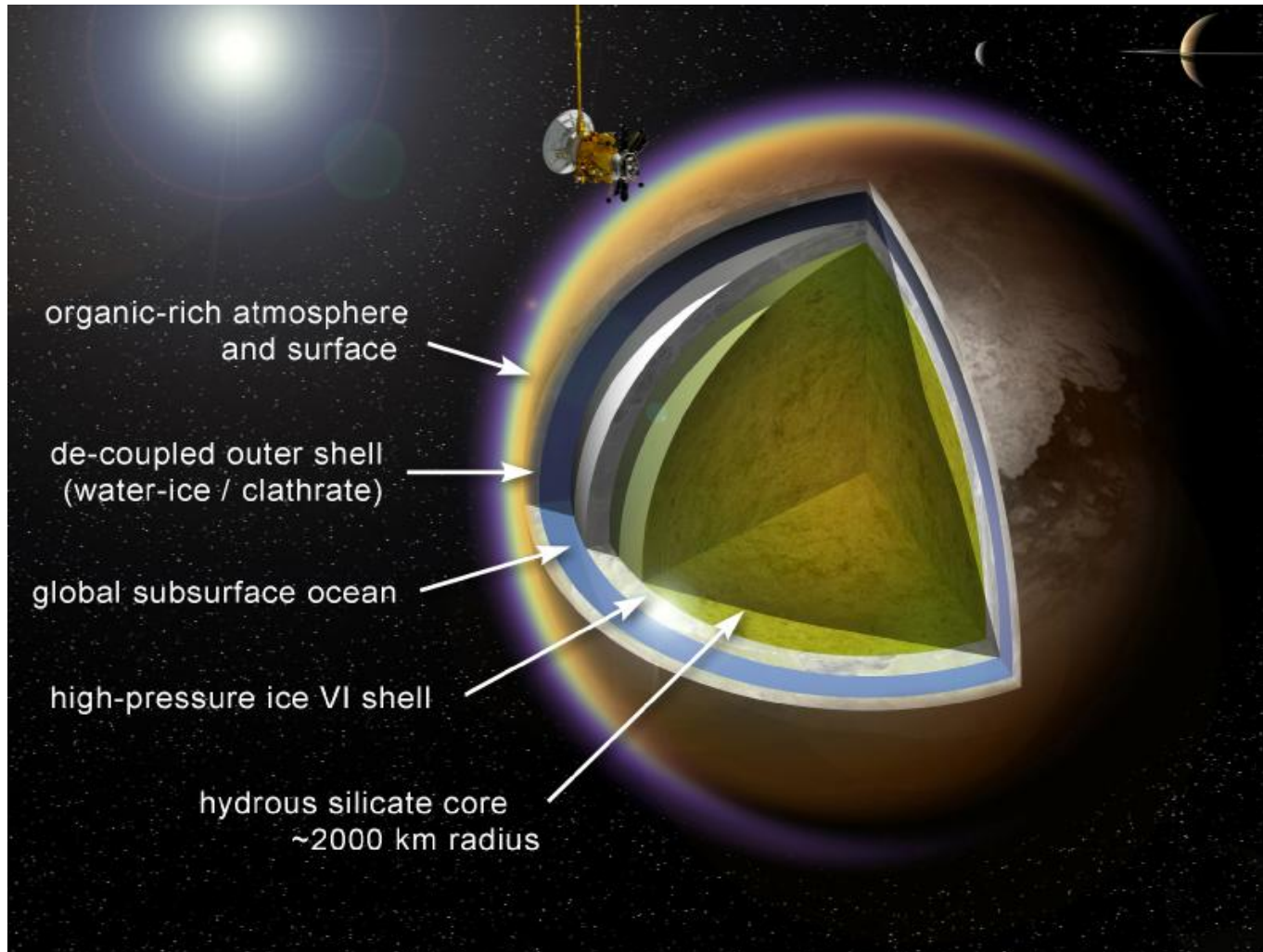
- Zbudowane są z ziarenek organicznej „sadzy“ powstałej z materiału opadającego z atmosfery.



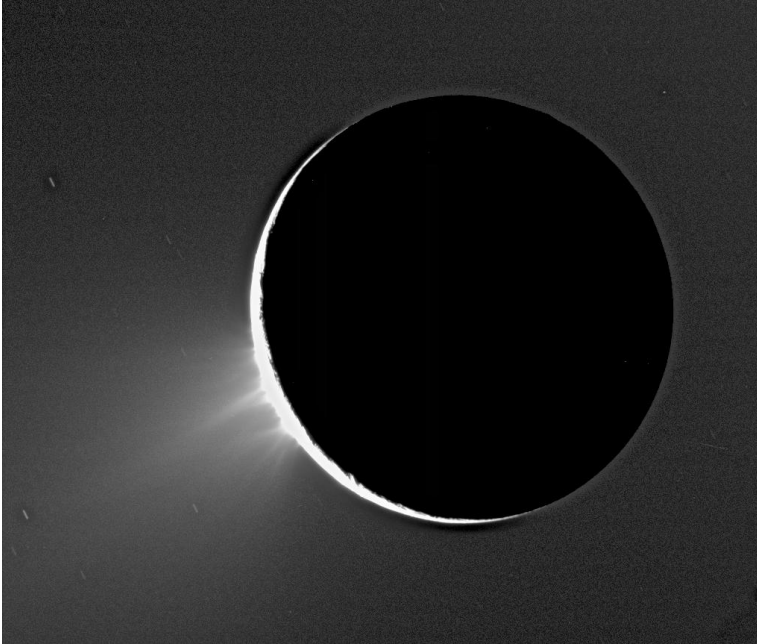
- Podejrzewa się występowanie kriowulkanizmu, który mógłby być źródłem metanu w atmosferze

Odkrycia: Tytan

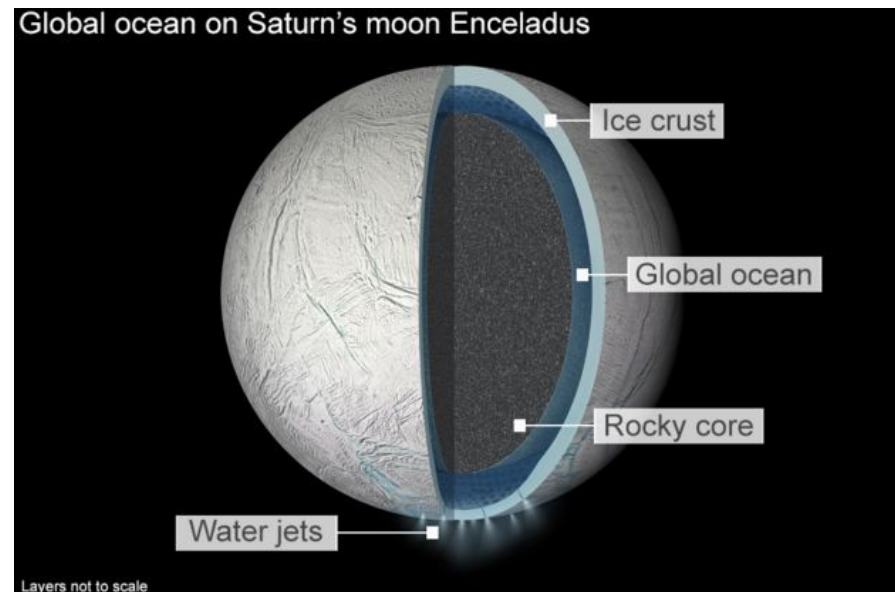
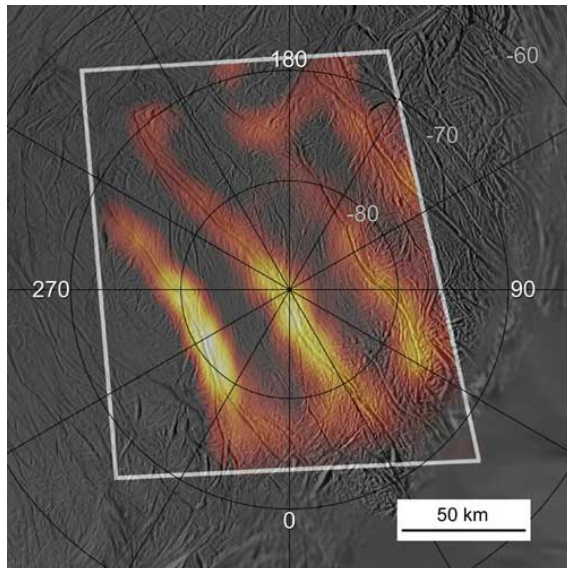
- Pomiar zmian kształtu Tytana w wyniku pływów wskazuje na istnienie globalnego wodnego oceanu < 100 km pod powierzchnią



Odkrycia: Enceladus

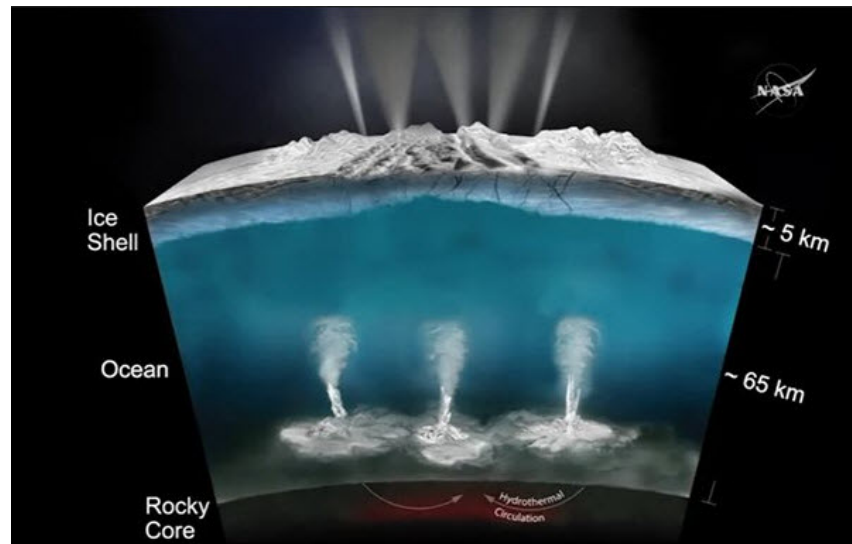


- 2005 - odkrycie gejzerów pary wodnej na południowej półkuli na podstawie analizy zdjęć z sondy Cassini
- Materiał wydobywa się ze szczelin („tiger stripes“) - temperatury w szczelinach do 180 K, dużo wyższe niż oczekiwane 60 K
- Pomiar grawitacji wykonany podczas bliskich przelotów wskazuje na istnienie zbiornika ciekłej wody pod południowym biegunem
- Analiza libracji Enceladusa wskazuje na globalny charakter podpowierzchniowego oceanu. Głębokość oceanu 26-31 km pod skorupą lodową o grubości 30-40 km

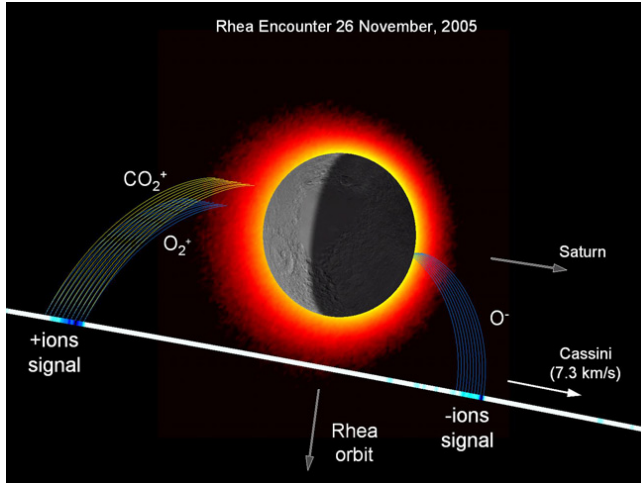


Odkrycia: Enceladus

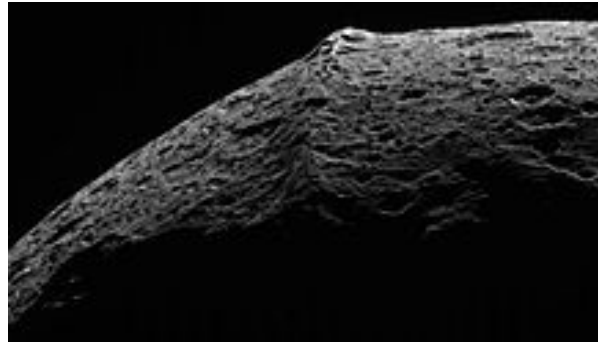
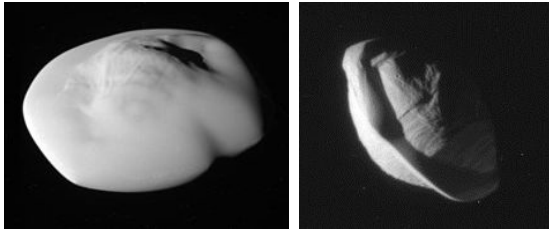
- W materiale wyrzucanym przez gejzery wykryto nanocząsteczki krzemionki (SiO_2) (detektor Cosmic Dust Analyzer) i molekuły wodoru (H_2) (detektor Ion Neutral Mass Spectrometer)
- Wodór jest najprawdopodobniej produkowany w reakcjach zachodzących na styku skalistego jądra i podpowierzchniowego oceanu - aktywny system hydrotermalny podtrzymywany przez dysypację energii pływów w jądrze Enceladusa
- W oceanie Enceladusa prawdopodobnie panują odpowiednie temperatury i występują źródła energii chemicznej umożliwiające istnienie form życia
- Niektóre z najprymitywniejszych ziemskich mikroorganizmów (archeony) uzyskują energię w procesie produkcji metanu z H_2 i CO_2
- Wokół kominów hydrotermalnych na Ziemi istnieją ekosystemy, dla których pierwotnym źródłem energii są związki nieorganiczne rozpuszczone w wodzie



Odkrycia: inne księżyce



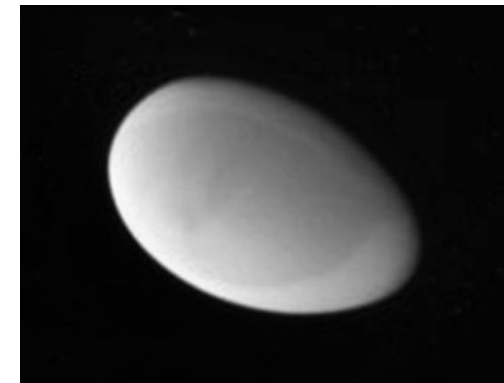
- Odkrycie bardzo rzadkiej atmosfery wokół księżycy Rhea, złożonej z tlenu i dwutlenku węgla
- Wysokoenergetyczne cząstki uwięzione w polu magnetycznym Saturna wchodzą w reakcje z powierzchnią Rhei powodując uwolnienie tlenu.



- Odkrycie grzbietu (13 km wysokości, 20 km szerokości i 1300 km długości) wokół równika księżycy Japet
- Pozostałość pierścieni okrążających Japeta?

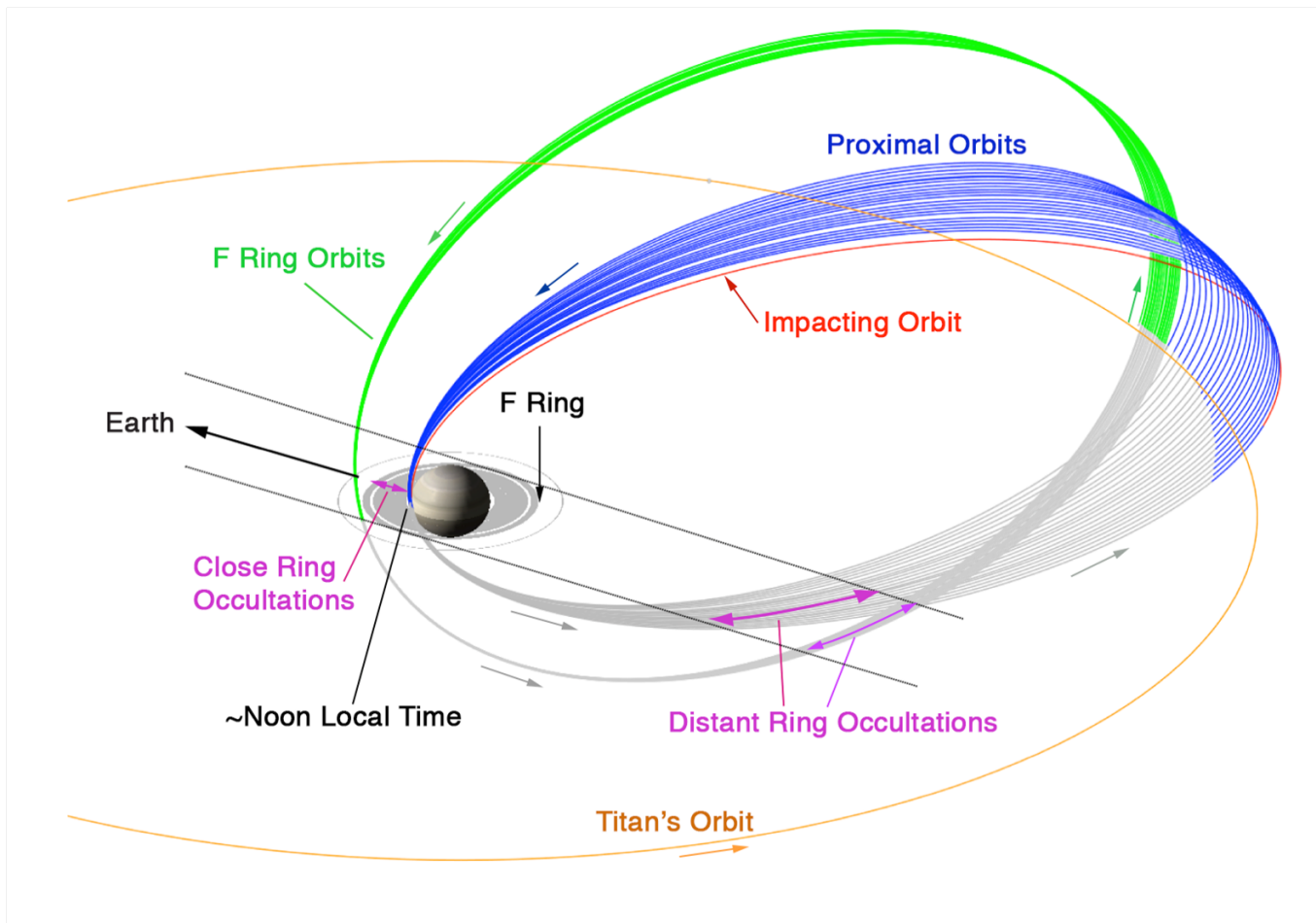
- Niewielkie księżyce krążące między pierścieniami Saturna posiadają równikowe grzbiety powstałe przez akrecję materiału pierścieni

- Małe księżyce Methone, Anthe, Pallene są prawdopodobnie zbudowane z lodowego „puchu” uformowanego przez grawitację Saturna w kształt wydłużonej elipsoidy

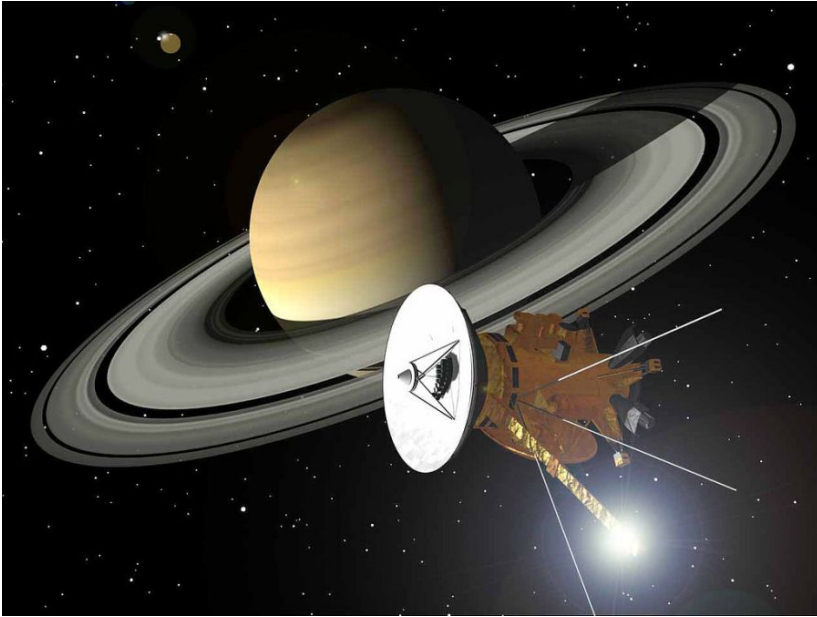


Końcowa faza misji

- 30.11.2016 - 22.04.2017 - orbity muskające pierścieni („Ring-Grazing Orbits“)- perycentrum 10000 km poza pierścieniem F
- 23.04.2017 - 15.09.2017 - orbity proksymalne („proximal orbits“) - perycentrum 3000 km ponad szczytami chmur Saturna

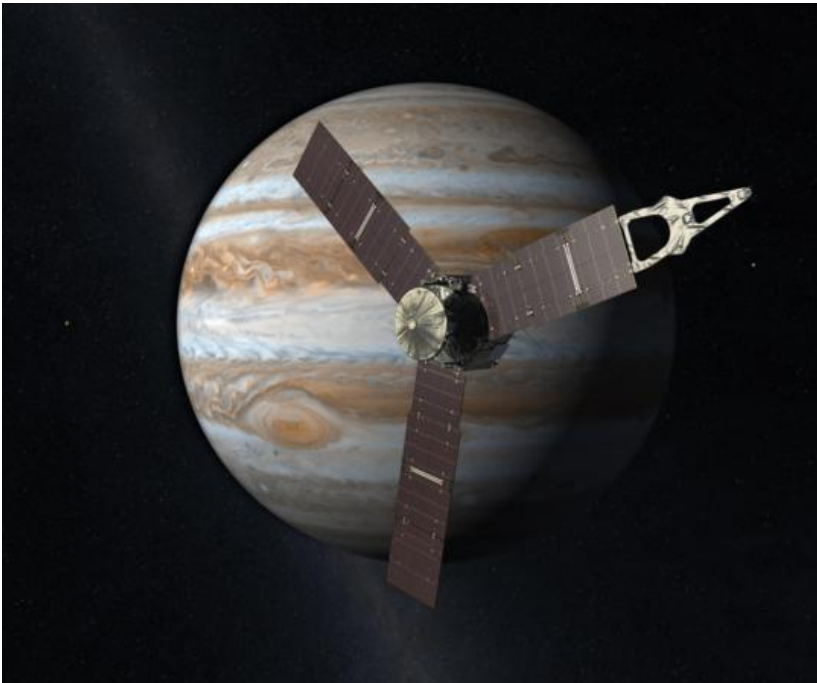


Końcowa faza misji

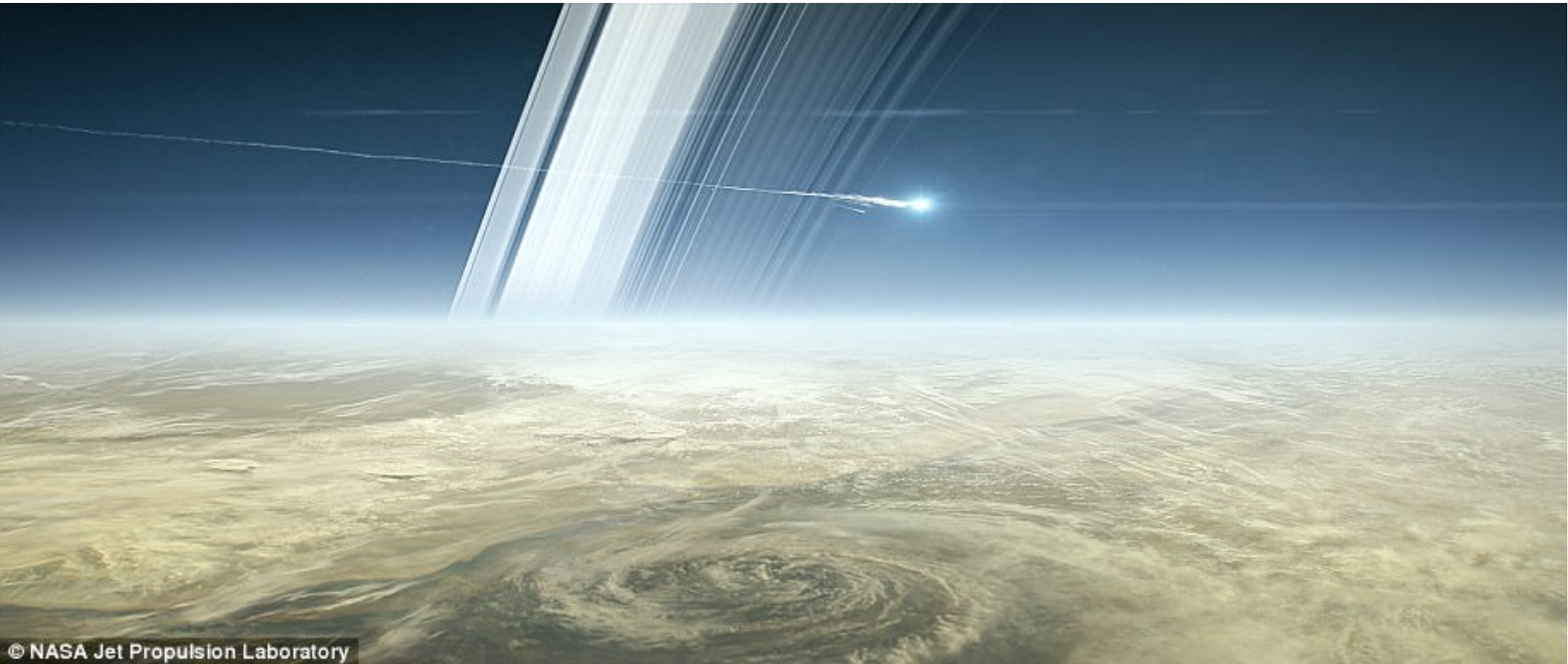


„Grand Finale“ - orbity proksymalne:

- Dokładne mapy pola grawitacyjnego Saturna pozwolą na zbadanie struktury wewnętrznej planety
- Pomiary pola magnetycznego mogą pomóc w ustaleniu prędkości rotacji Saturna
- Pomiary masy pierścieni
- Badania składu chemicznego górnych warstw atmosfery i cząstek pierścieni
- Najlepsze zdjęcia pierścieni i atmosfery Saturna
- W tym samym czasie wokół Jowisza krąży po bardzo podobnych orbitach sonda Juno. Umożliwi to równoczesne badania oddziaływań magnetosfer i atmosfer tych planet z wiatrem słonecznym



Końcowa faza misji



Źródła:

- <http://saturn.jpl.nasa.gov/>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Cassini-Huygens>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Titan_\(moon\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Titan_(moon))
- <http://science.sciencemag.org/content/332/6030/708>