

# Cassiniekspedisjonen

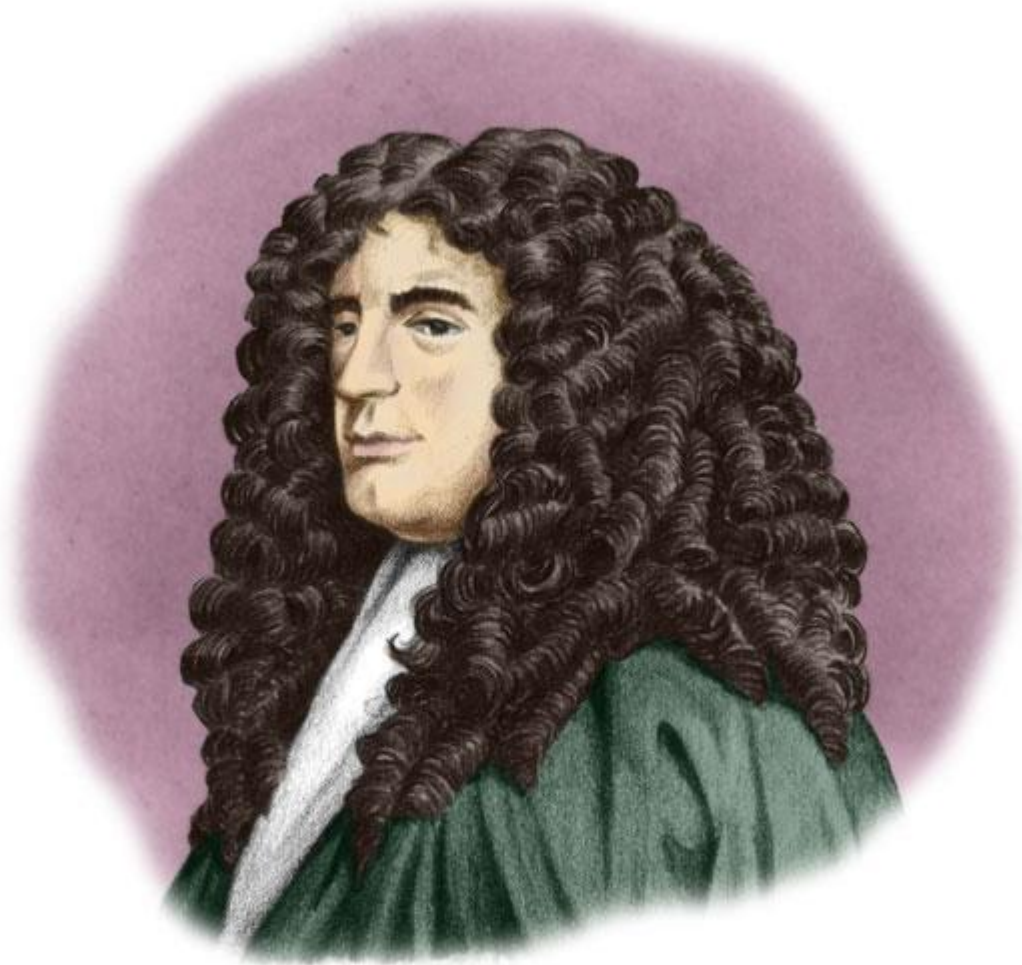
Øyvind Grøn

Bergen Astronomiske Forening

6. April 2018

## Jean Dominique Cassini

Jean Dominique Cassini (1625-1712) oppdaget Saturn's måner Lapetus, Rhea, Tethys og Dione. I 1675 oppdaget Cassini at Saturn's ringer er adskilt i to deler av en åpning som nå kalles Cassinigapet.



## Christiaan Huygens

Christiaan Huygens (1629-1695) oppdaget Saturn's måne Titan.  
Huygens-sonden som landet på Titan, er oppkalt etter ham.



Cassini-Huygens ekspedisjonen er en av NASAs mest ambisiøse.

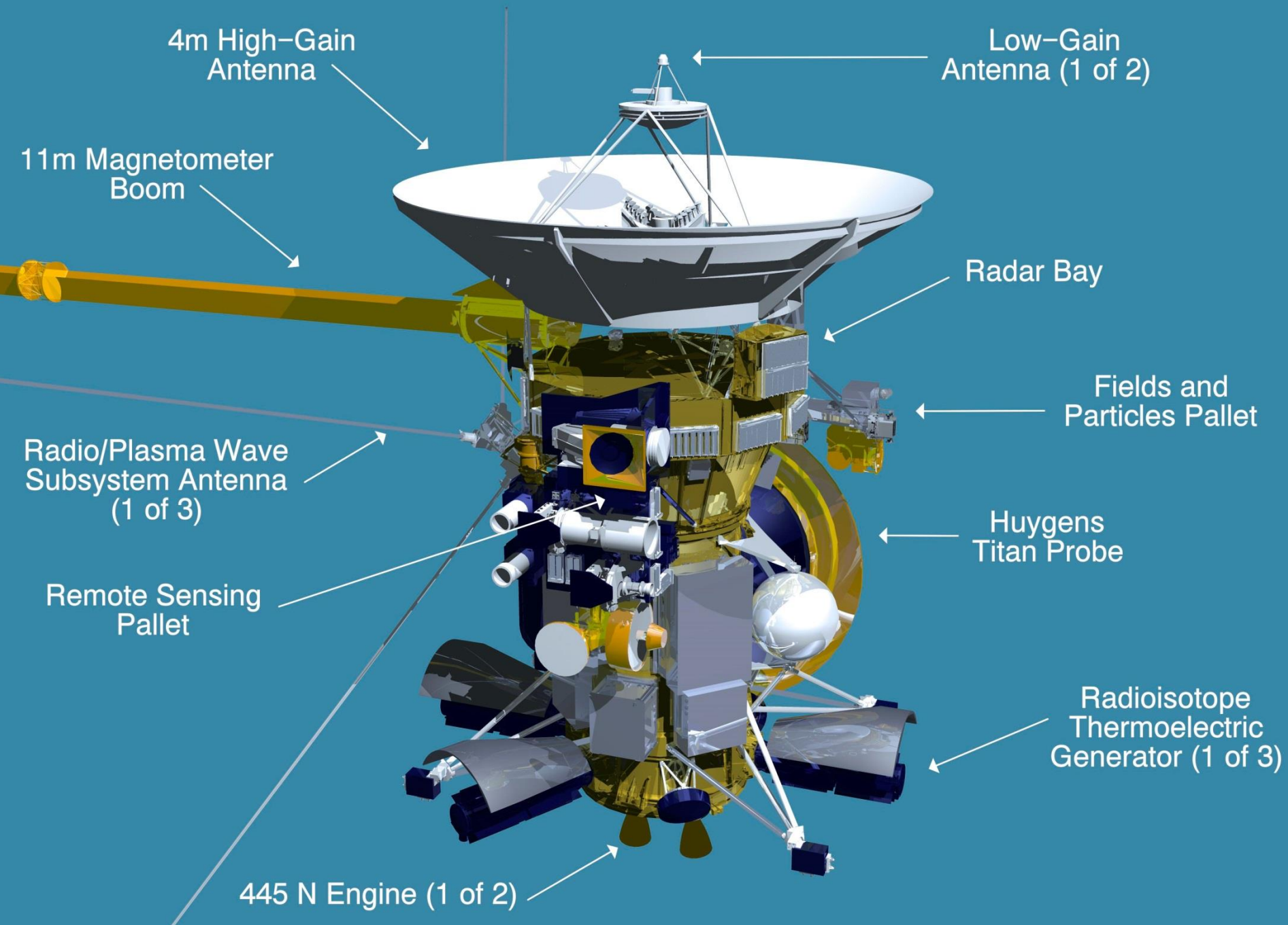
Den besto av to hoveddeler:  
Cassini-satelitten og Huygens-sonden.

Cassini-Huygens ble skutt ut fra jorda i 1997,  
kom frem til Saturn i juli 2004,  
og begynte umiddelbart å sende observasjonsdata tilbake til jorda.

Huygens ble sendt inn i atmosfæren til Saturns største måne, Titan.  
Den landet så på Titan ved hjelp av en fallskjerm.

.

# CASSINI SPACECRAFT



# Cassini 10 Years at Saturn

## BY THE NUMBERS

**2** MILLION  
COMMANDS  
executed

**2** BILLION  
MILES TRAVELED  
since arrival

**514**   
SCIENCE DATA  
collected

**3039**  
SCIENCE PAPERS  
published

**7** MOONS  
discovered

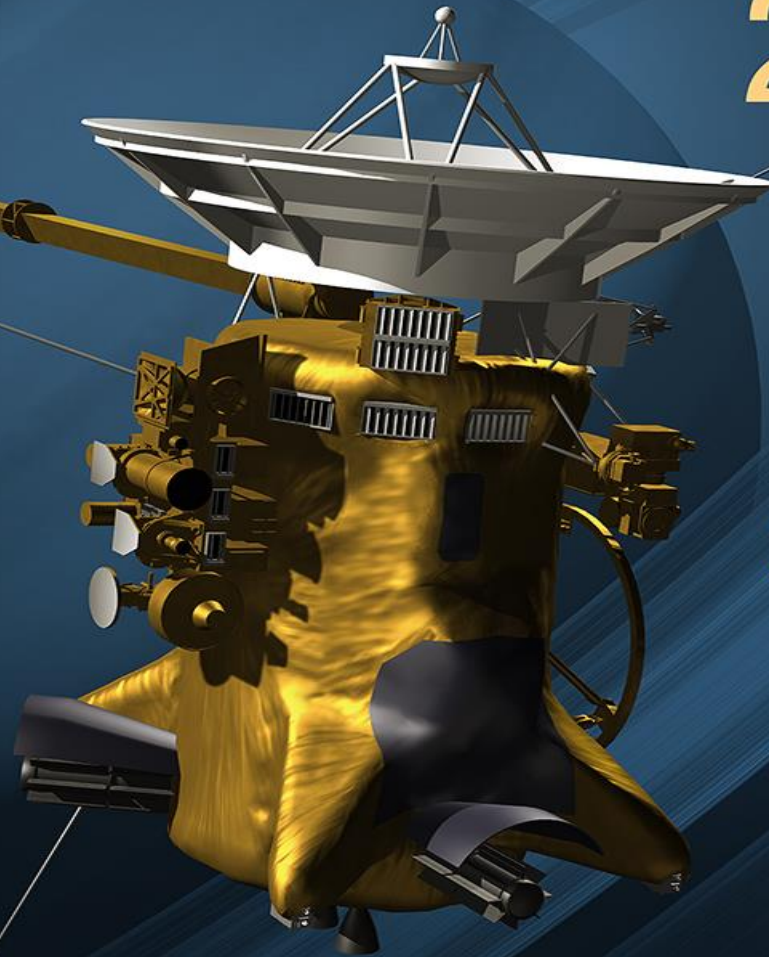
**206** ORBITS  
completed

**132** CLOSE  
FLYBYS  
of Saturn's moons

**332,000**  
images taken

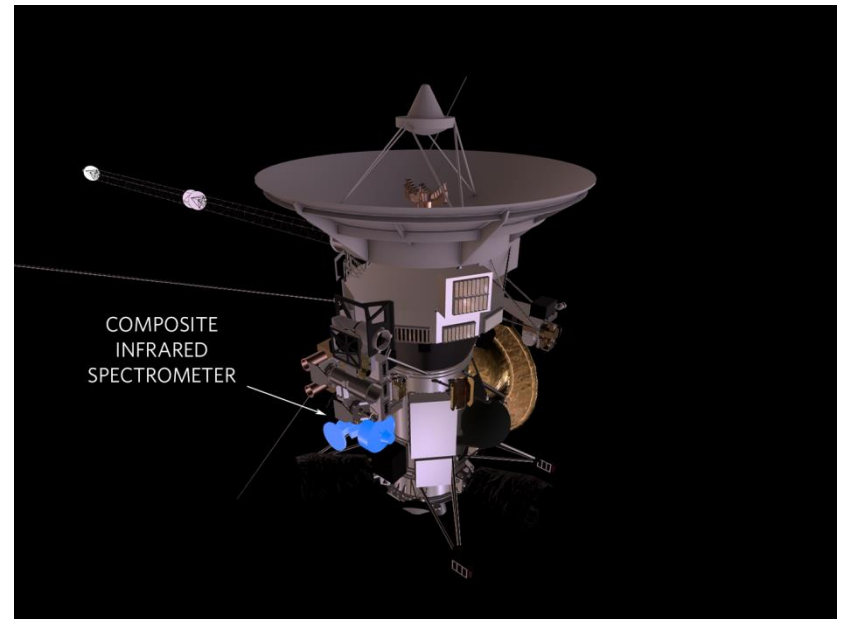
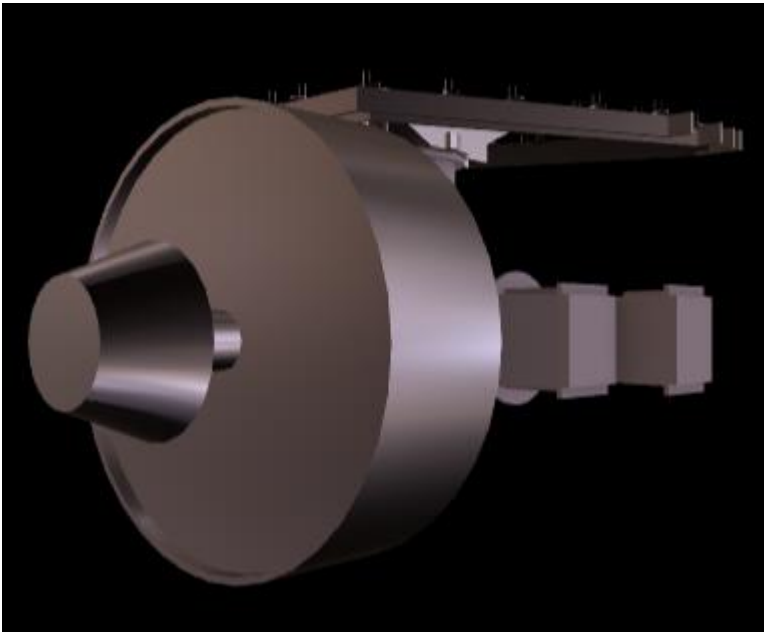
scientists from  
**26** NATIONS  
participating

**291** ENGINE  
burns



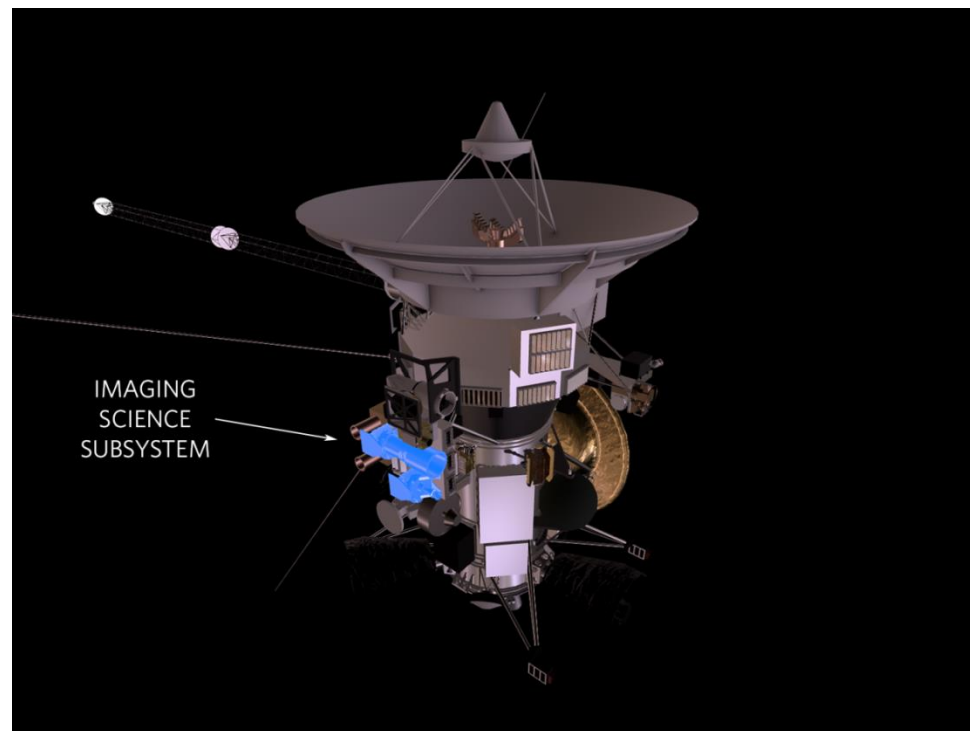
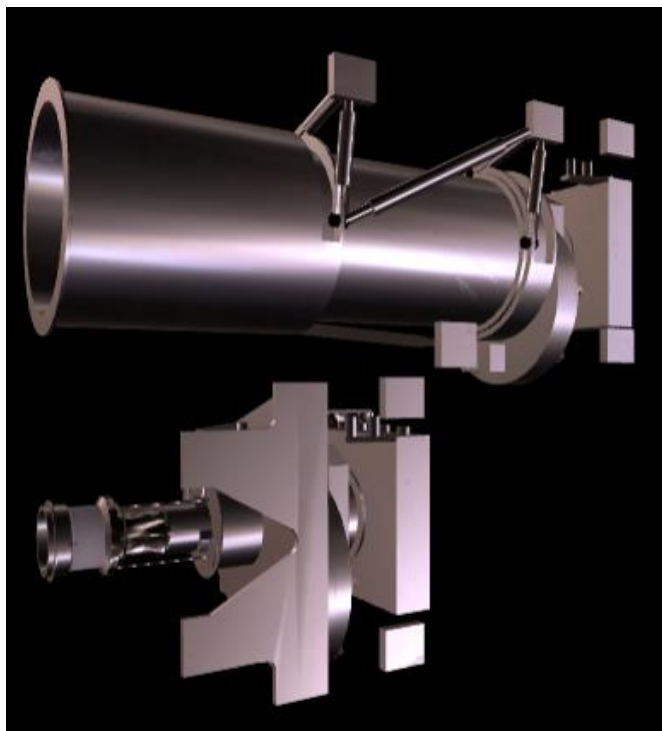
# Cassini hadde 12 vitenskapelige instrumenter

Et spektrometer som registrerte infrarød stråling (CIRS)



Composite InfraRed Spectrometer, CIRS, målte temperatur – blant annet overflatetemperaturen til Saturns måne Mimas. Månen viste seg å ha en uventet temperaturfordeling.

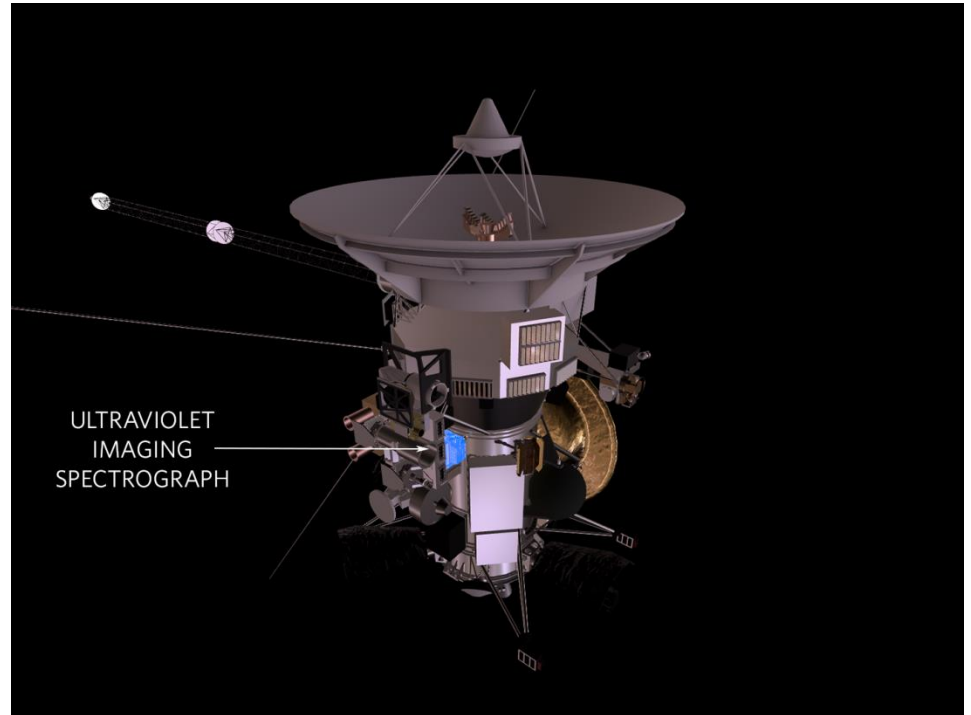
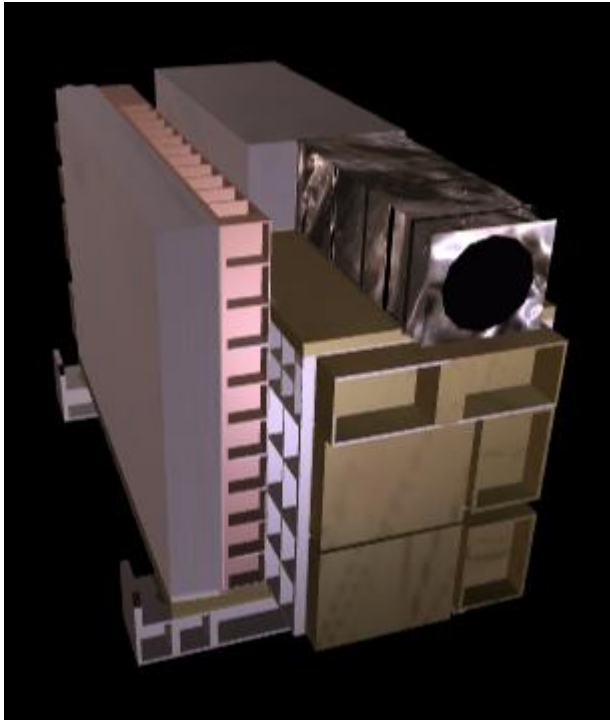
# To kameraer kalt Infrared Science Subsystem, ISS



ISS besto av to digitale kameraer med ulike åpningsvinkler. De var sensitive først og fremst for synlig lys, men også for de nærmeste delene av infrarød og ultrafiolett stråling. Begge kameraene hadde filtre som gjorde at man kunne velge i hvilke bølgelengder de skulle fotografere.

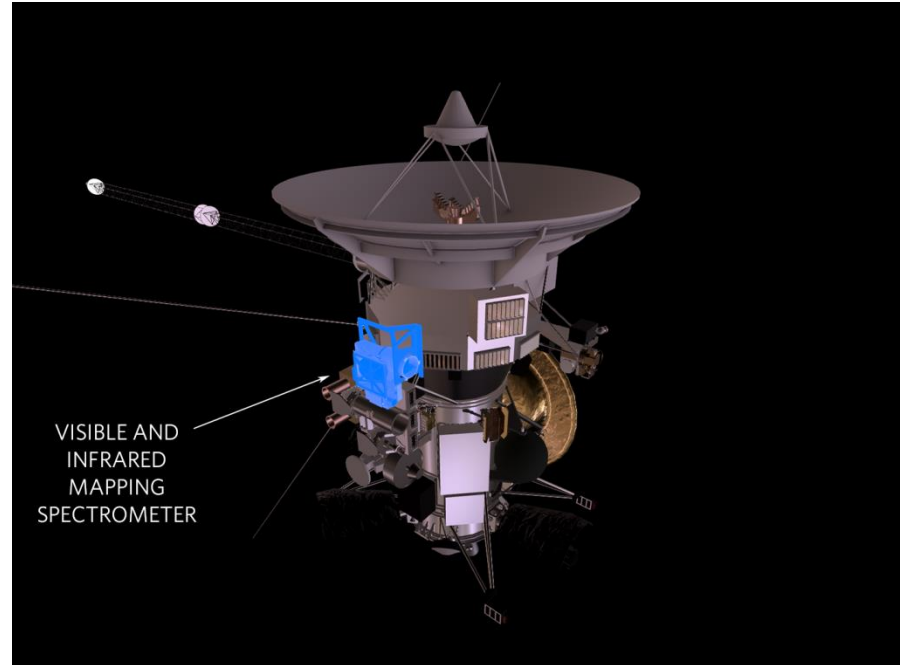
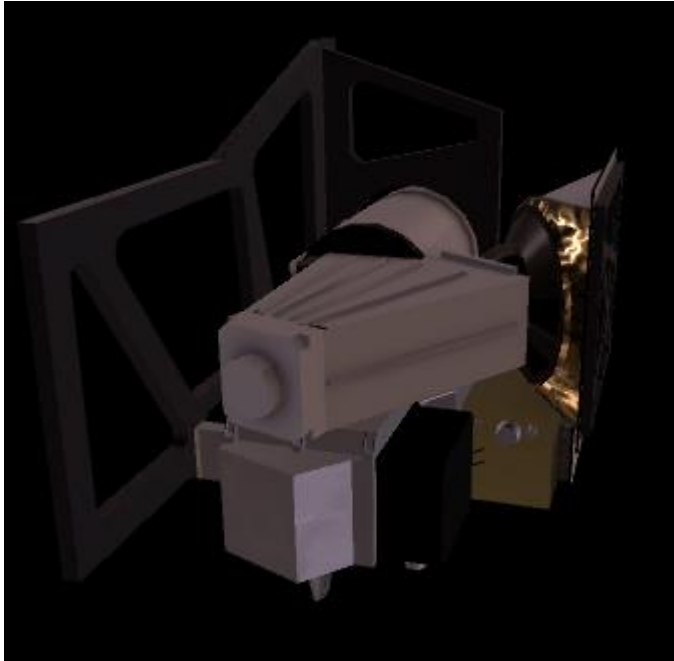


# En spektrograf for ultrafiolett stråling (UVIS)



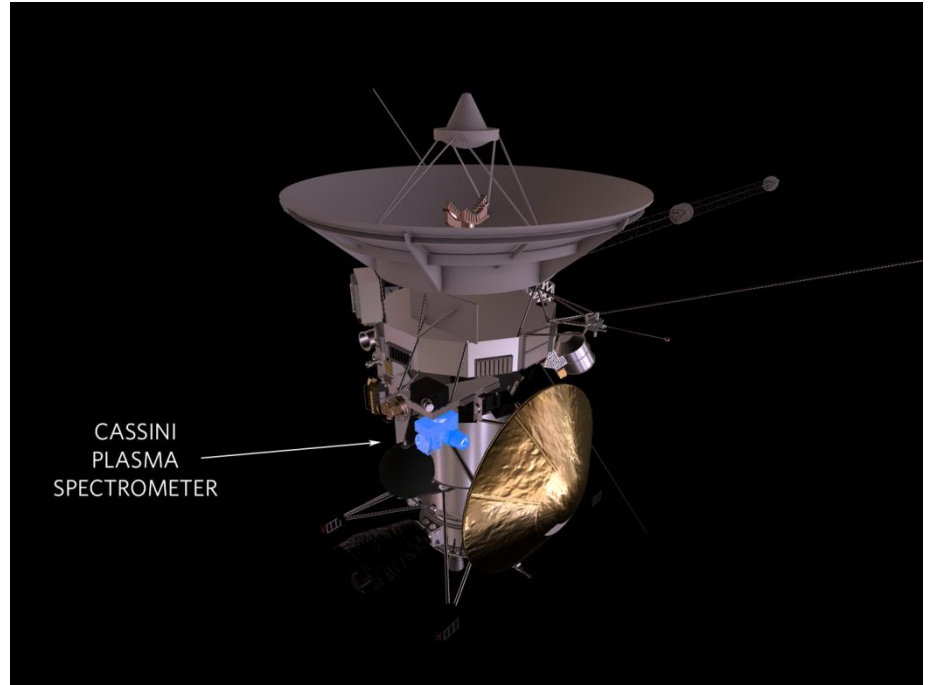
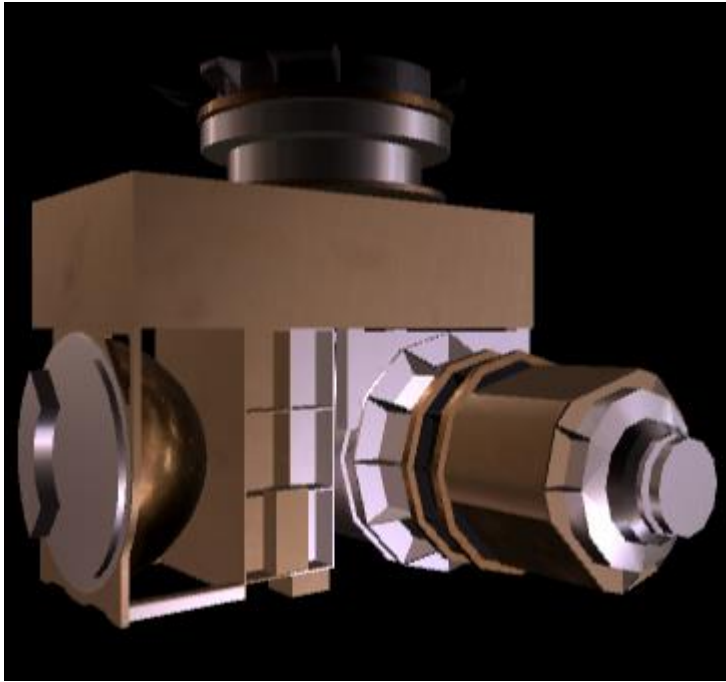
UVIS, UltraViolet Imaging Spectrograph, besto av 4 teleskoper som registrerte ultrafiolett stråling.

# Et spektrometer for synlig lys og infrarød stråling (VIMS)



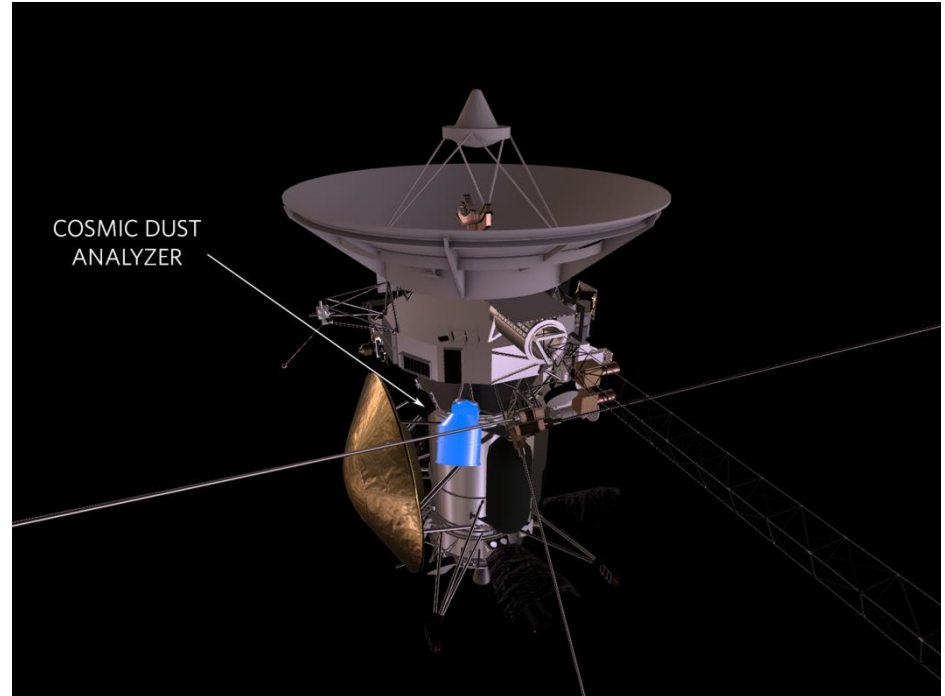
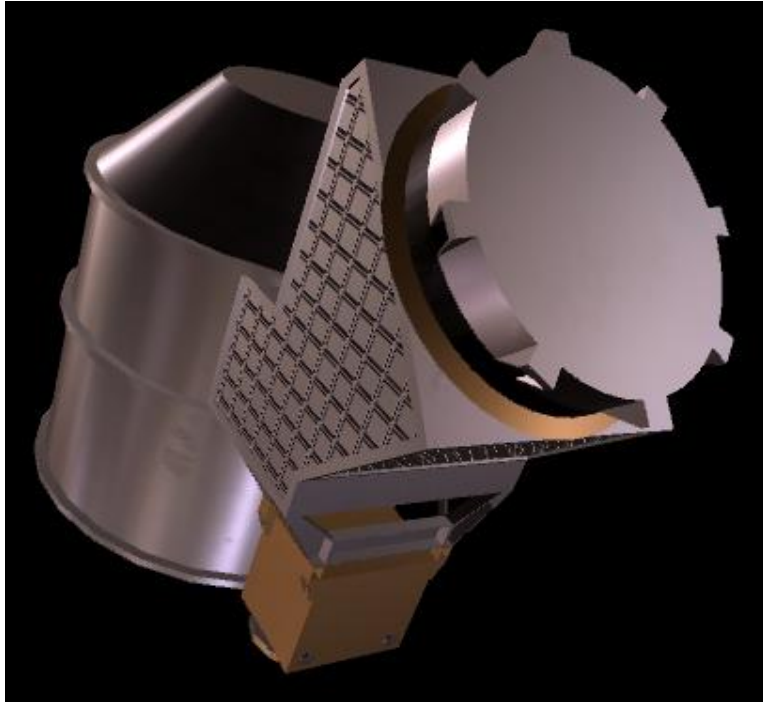
Visible and Infrared Mapping Spectrometer, VIMS  
målte forskjellen i intensitet av infrarød stråling  
sendt ut fra Saturn og den måner ved ulike bølgelengder.

# Cassini Plasma Spectrometer (CAPS)



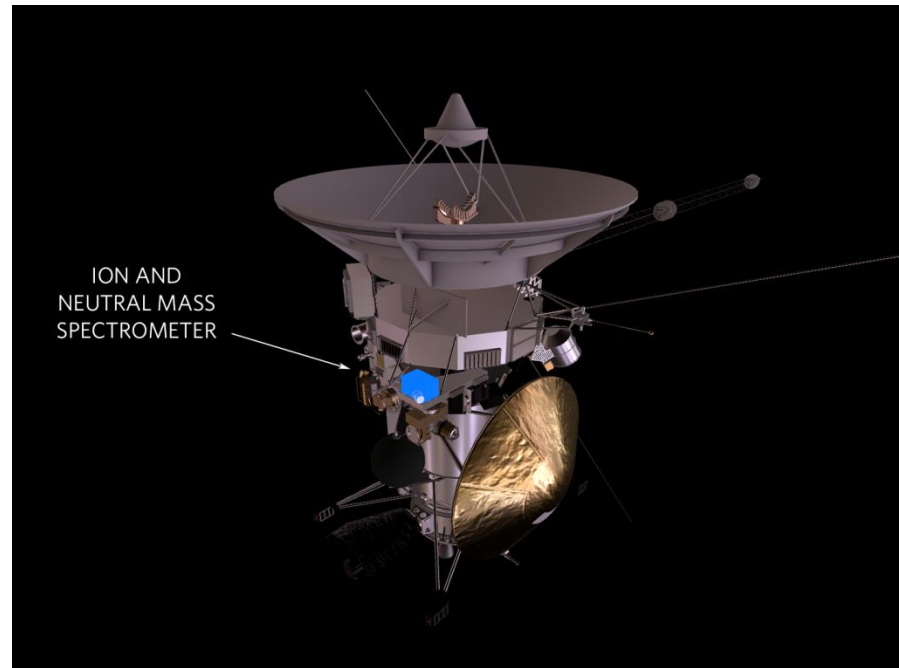
Partikler som treffer CAPS, kan gå inn i en av tre sensorer:  
en som måler antall elektroner, et massespektrometer,  
og en sensor som måler ladningen til ionene som entrer den.  
Alle tre sensorene målte også hastigheten og bevegelsesretningen  
av partiklene som traff dem.

# Et apparat for registrering og analyse av kosmisk støv



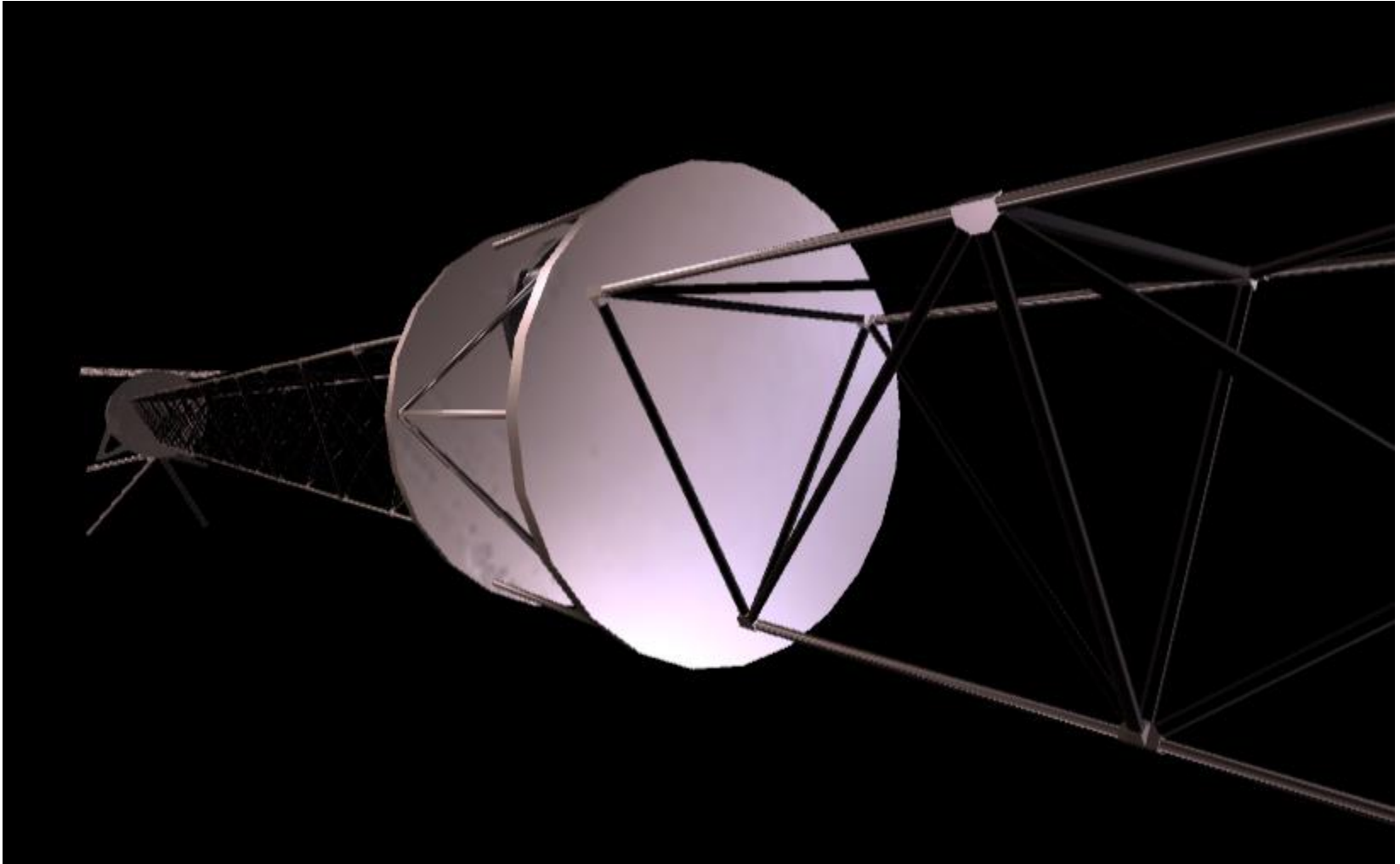
Cosmic Dust Analyzer, CDA, registrerte støvpartikler med størrelse fra en tusendels millimeter typisk for partikler i røyk) til en milliontedel av en millimeter (mindre enn en virus). Partiklenes ladning, størrelse, sammensetning, fart og bevegelsesretning ble målt.

# Ione- og Nøytral Masse Spektrometer (INMS)



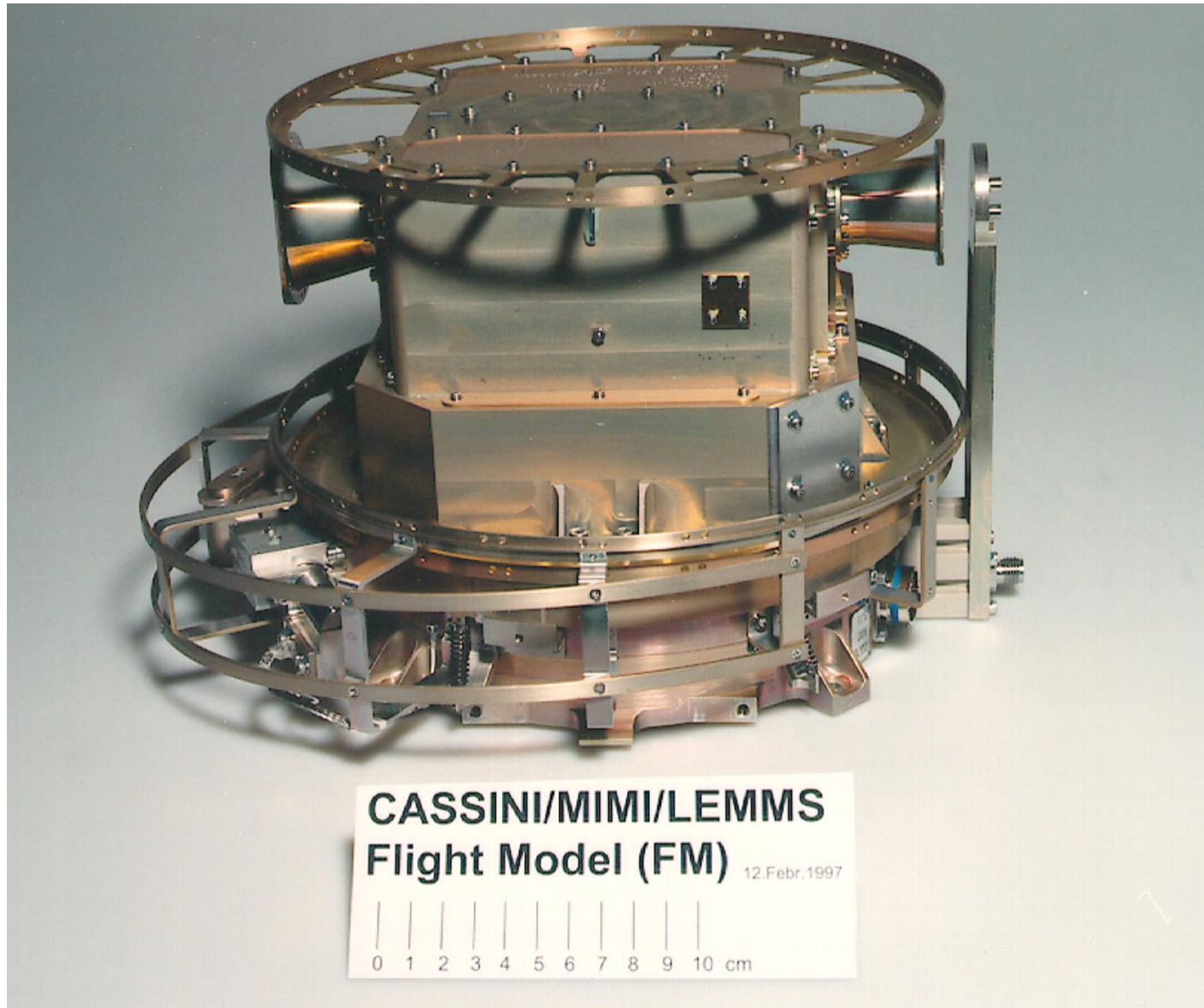
INMS bestemte den kjemiske sammensetning av partikler og gass i atmosfæren til Titan, i magnetosfæren til Saturn og i Saturns ringer.

# Magnetometer (MAG)



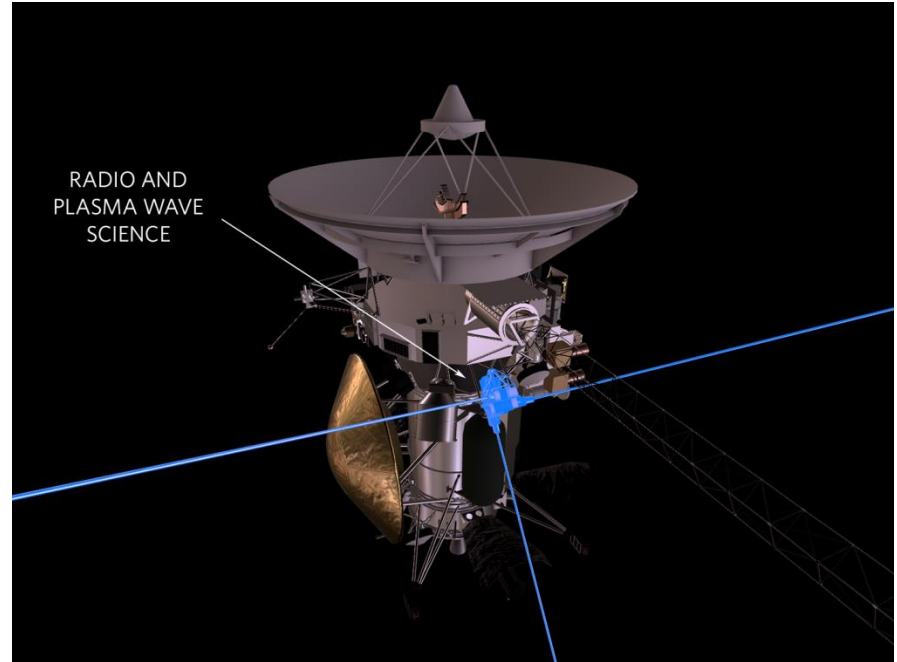
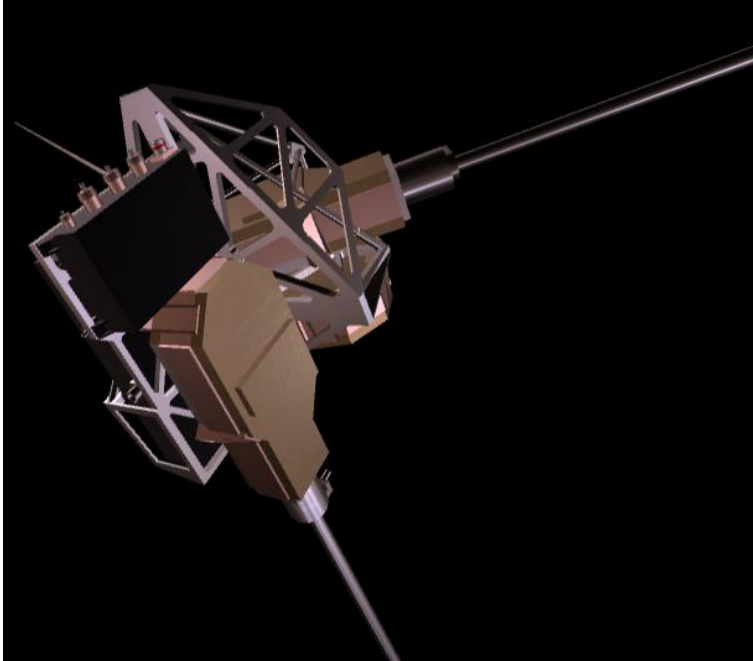
Cassinis magnetometer registrerte retningen og styrken av det magnetiske feltet rundt satelitten.

# Magnetospheric IMaging Instrument (MIMI)



Dette instrumentet målte egenskapene til ladde partikler i Saturns magnetosfære.

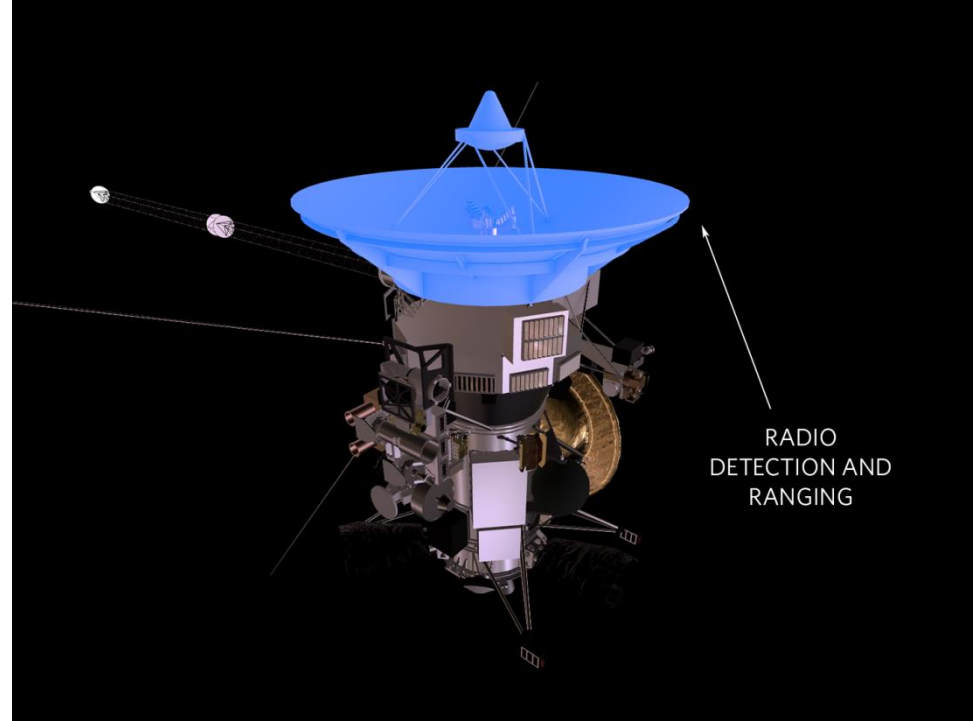
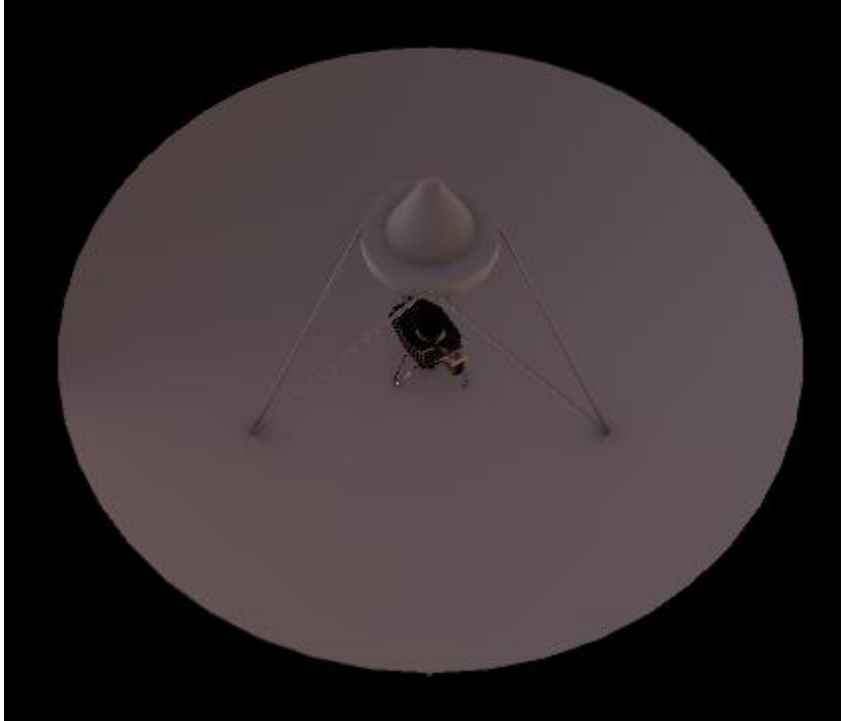
# Radio og Plasma Wave Science (RPWS)



RPWS-instrumentet registrerte radio- og plasmabølger som passerte Cassini.

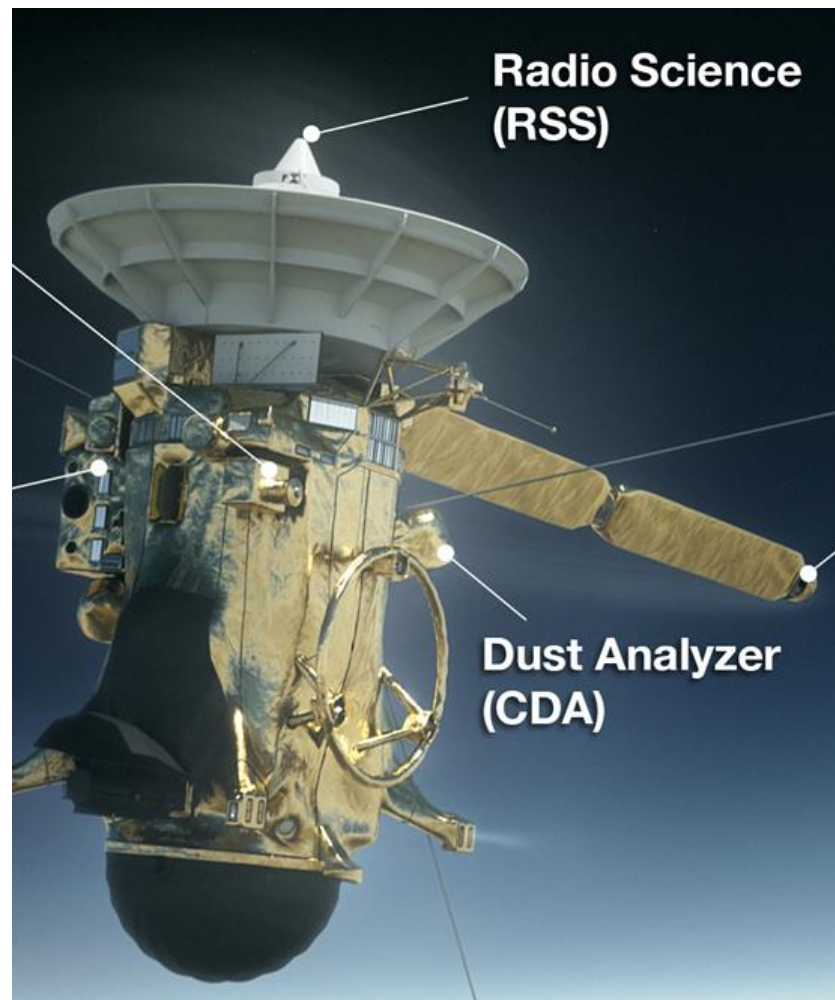
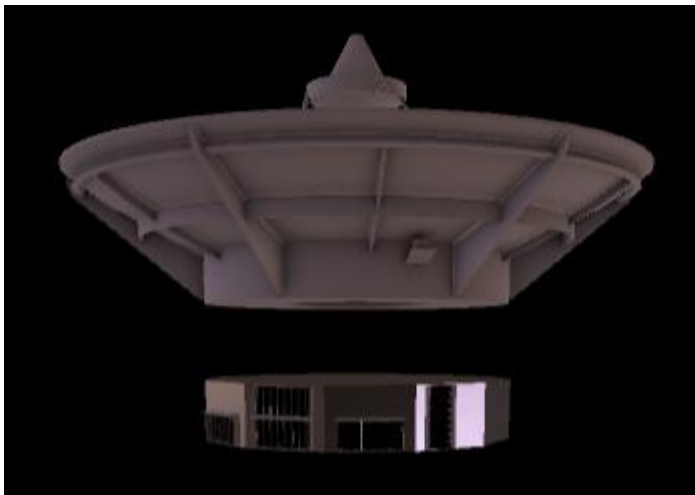


# Cassinis RADAR



Radaren registrerte radiobølger.  
De kan trenge gjennom en del materiale eller de kan reflekteres.  
Dette ble benyttet til å kartlegge blant annet Titans overflate.

# Radio Science Subsystem (RSS)



Radiobølger endres når de passerer gjennom en gass, reflekteres fra en overflate eller passerer nær et massivt legeme. Dette ble utnyttet til å kartlegge flere av Saturns måner.

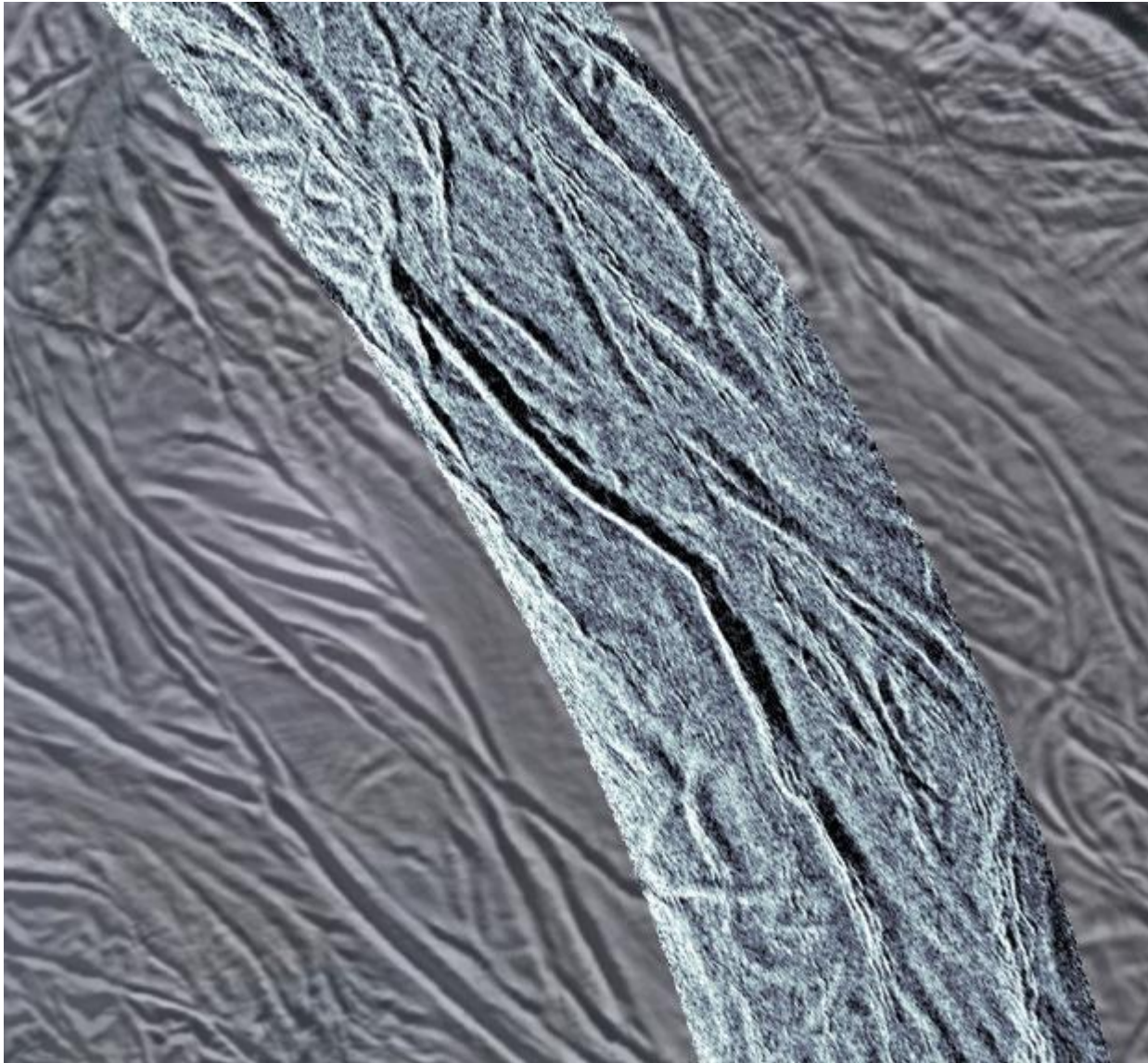
# HUYGENS PROBE ✕



The European Space Agency's Huygens probe landed on Titan in 2005.

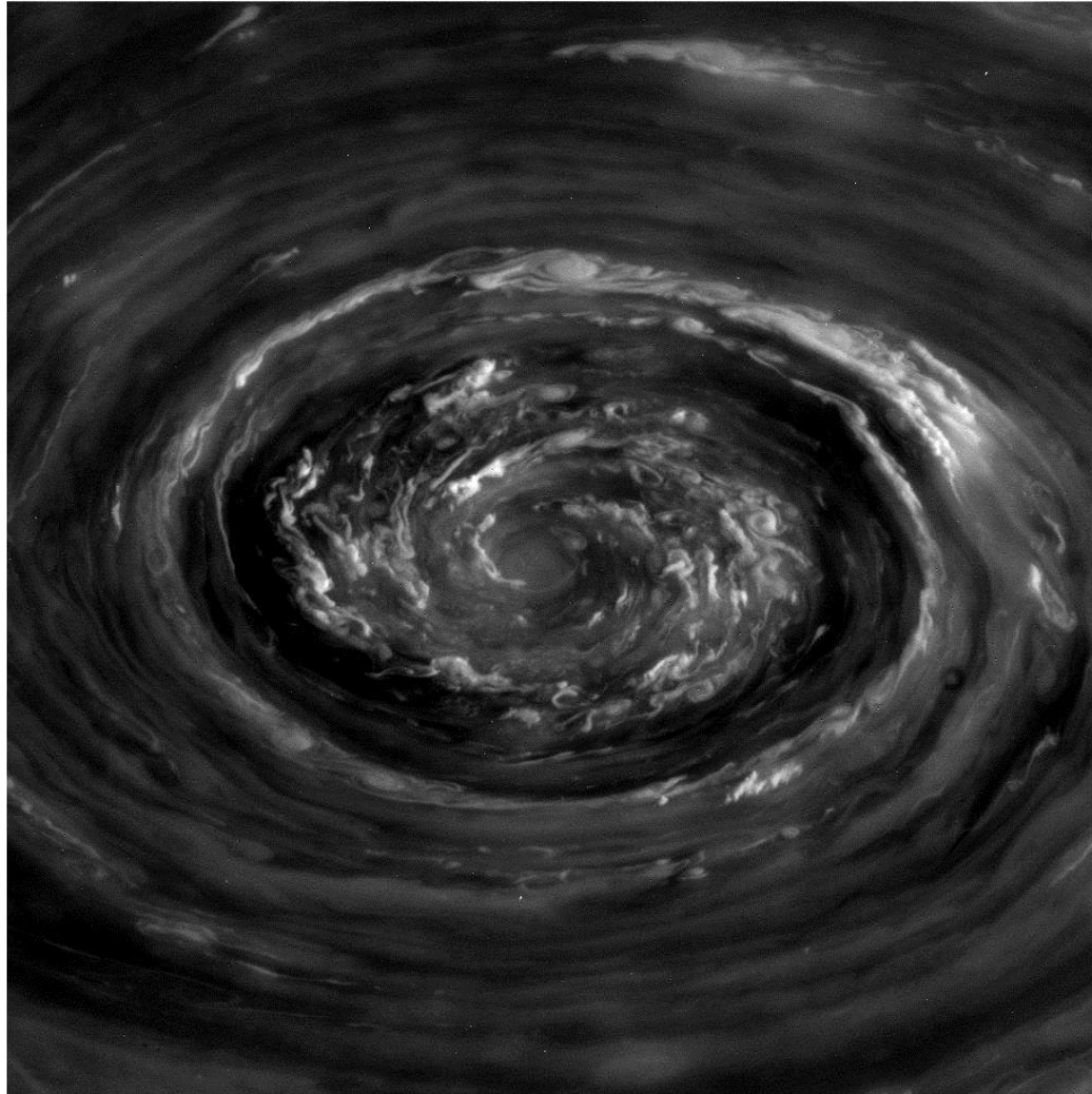
[EXPLORE](#)

## Topp bilde 2011



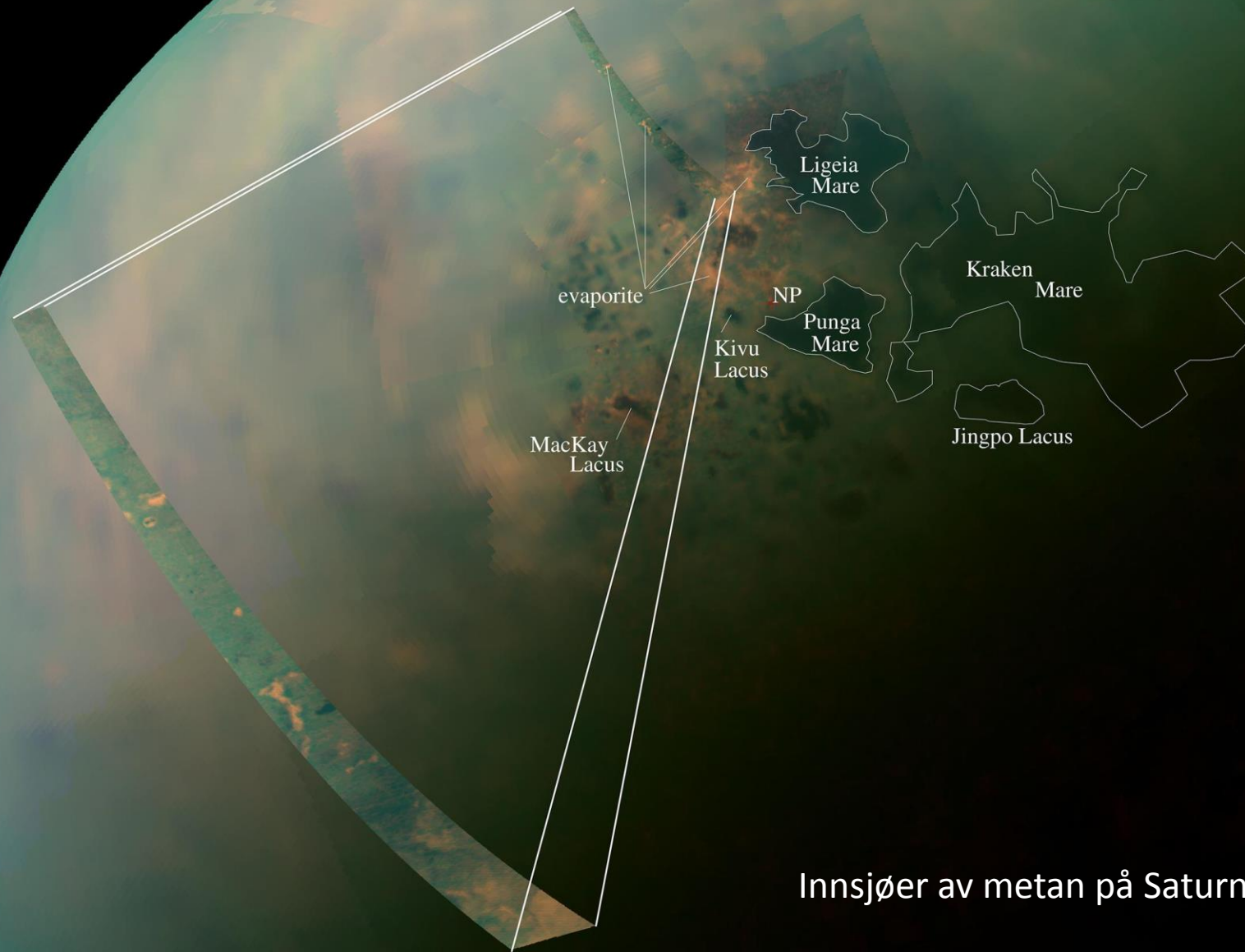
Fotografi av overflatestruktur på Saturns måne Enceladus

## Topp bilde 1912



Orkan på Saturns Nordpol i sentrum av den polare sekskant

Topp bilde 2013

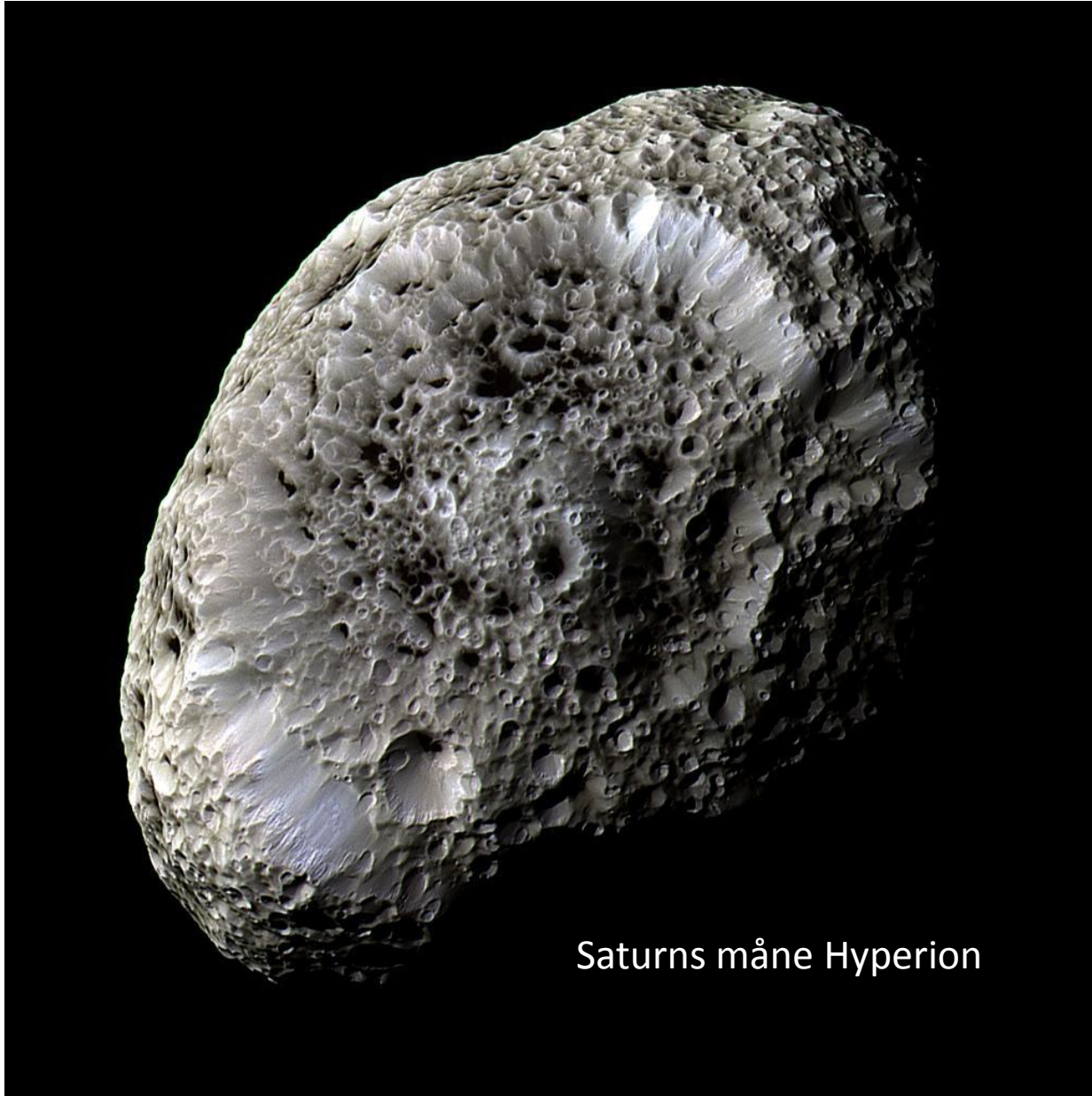


Innsjøer av metan på Saturns måne Titan



**Titan**

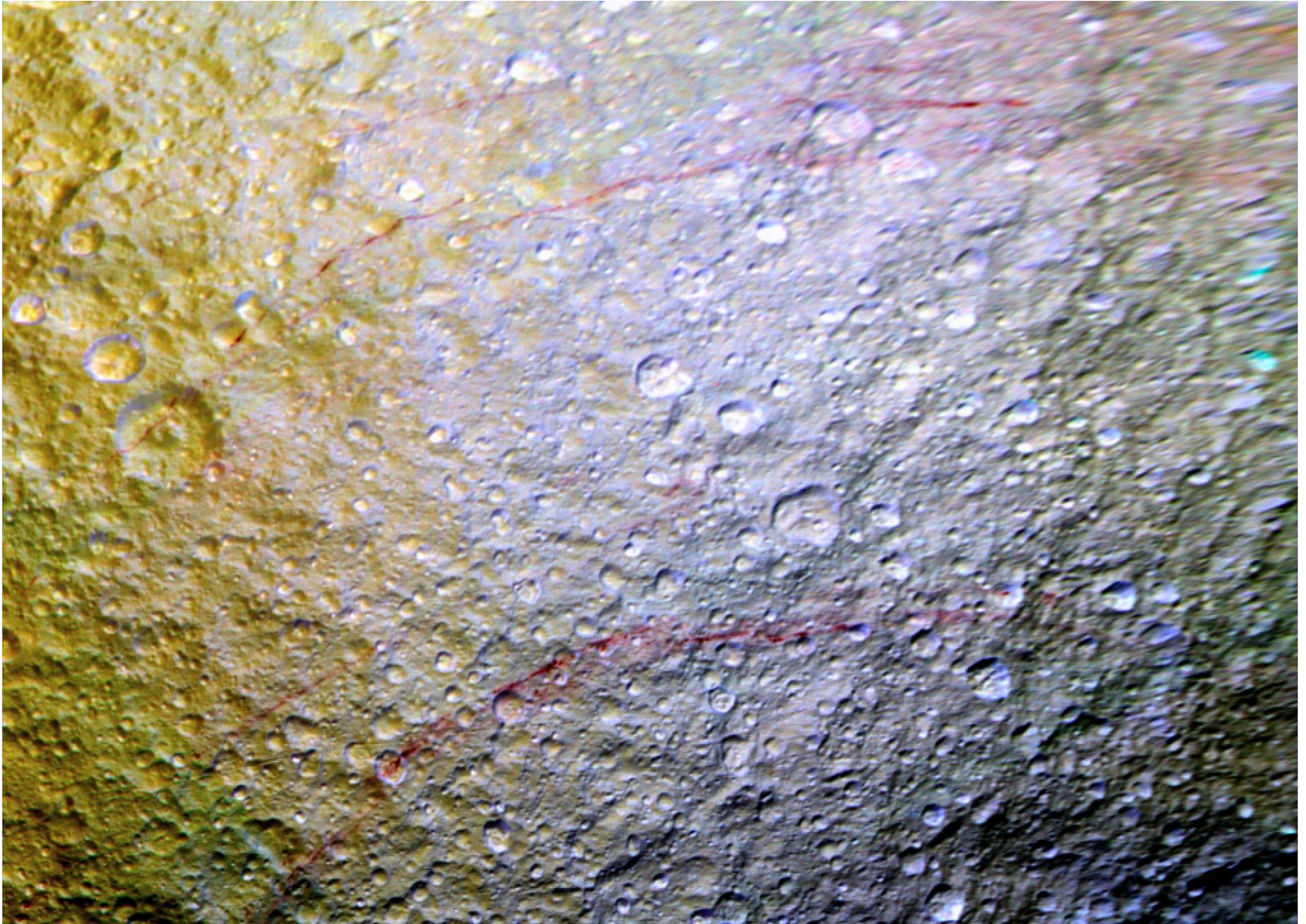
Topp bilde 2014



Saturns måne Hyperion

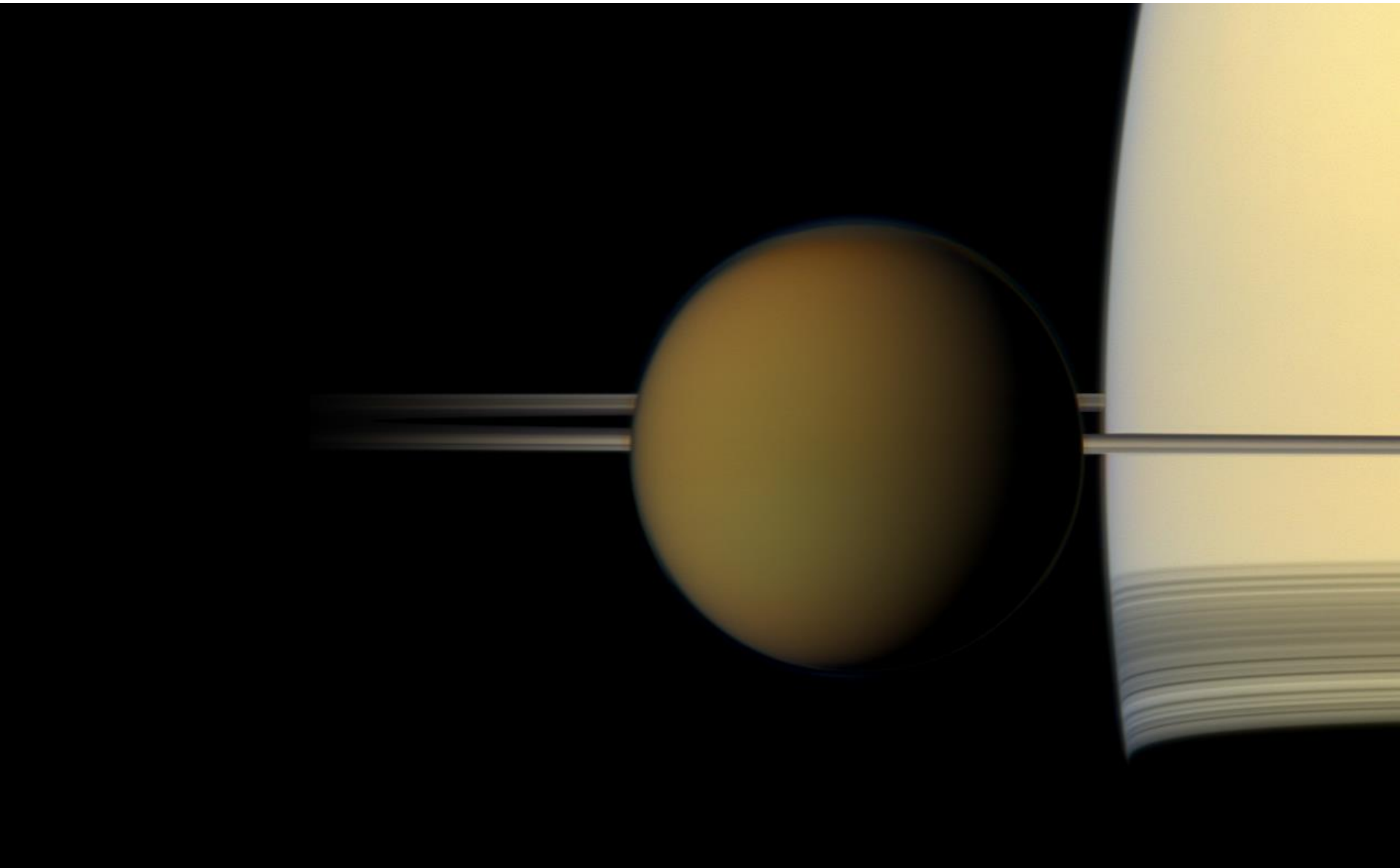


Topp bilde 2015



Røde strukturer på Saturns måne Tethys

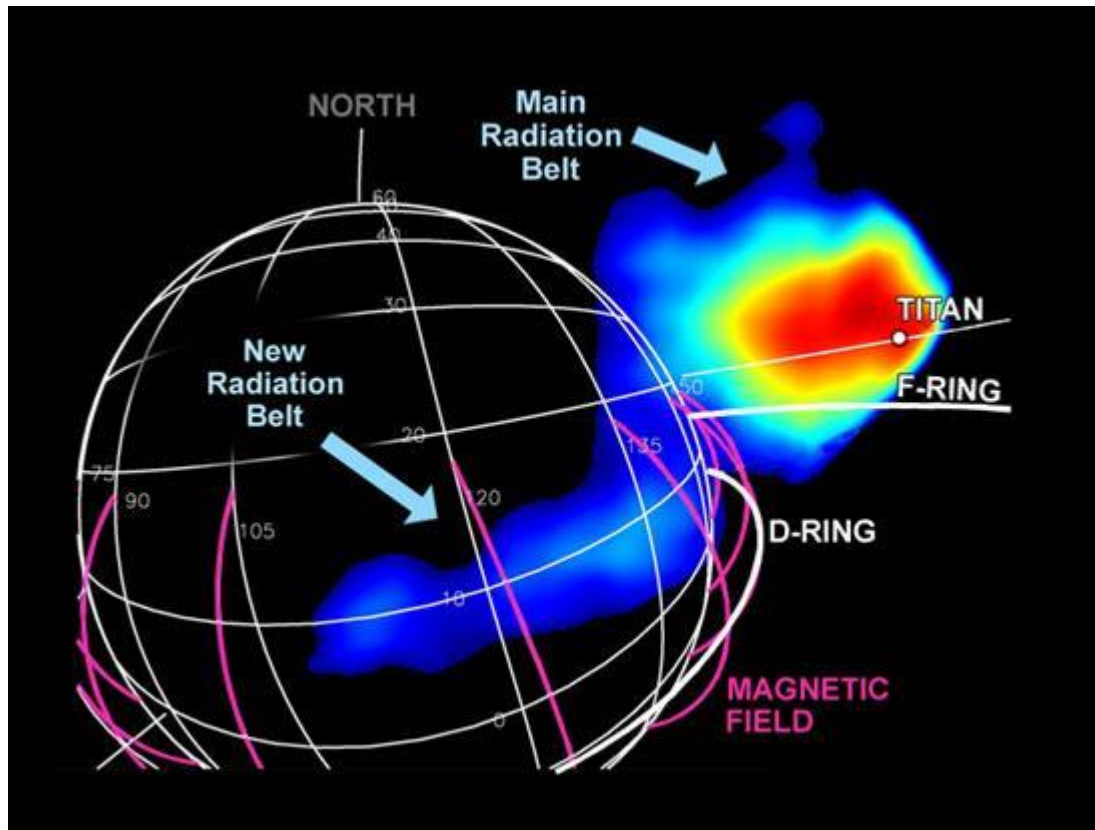
2015



Titan fotografert foran Saturn og dens ringer

# Det vitenskapelig mest viktige resultat 2004

Oppdagelse av et tidligere ukjent strålingsbelte over Saturn



5. august 2004:

Cassinis magnetometer registrerte et strålingsbelte rett over toppen av Saturns skyer.

## Vitenskapelig høydepunkt 2005

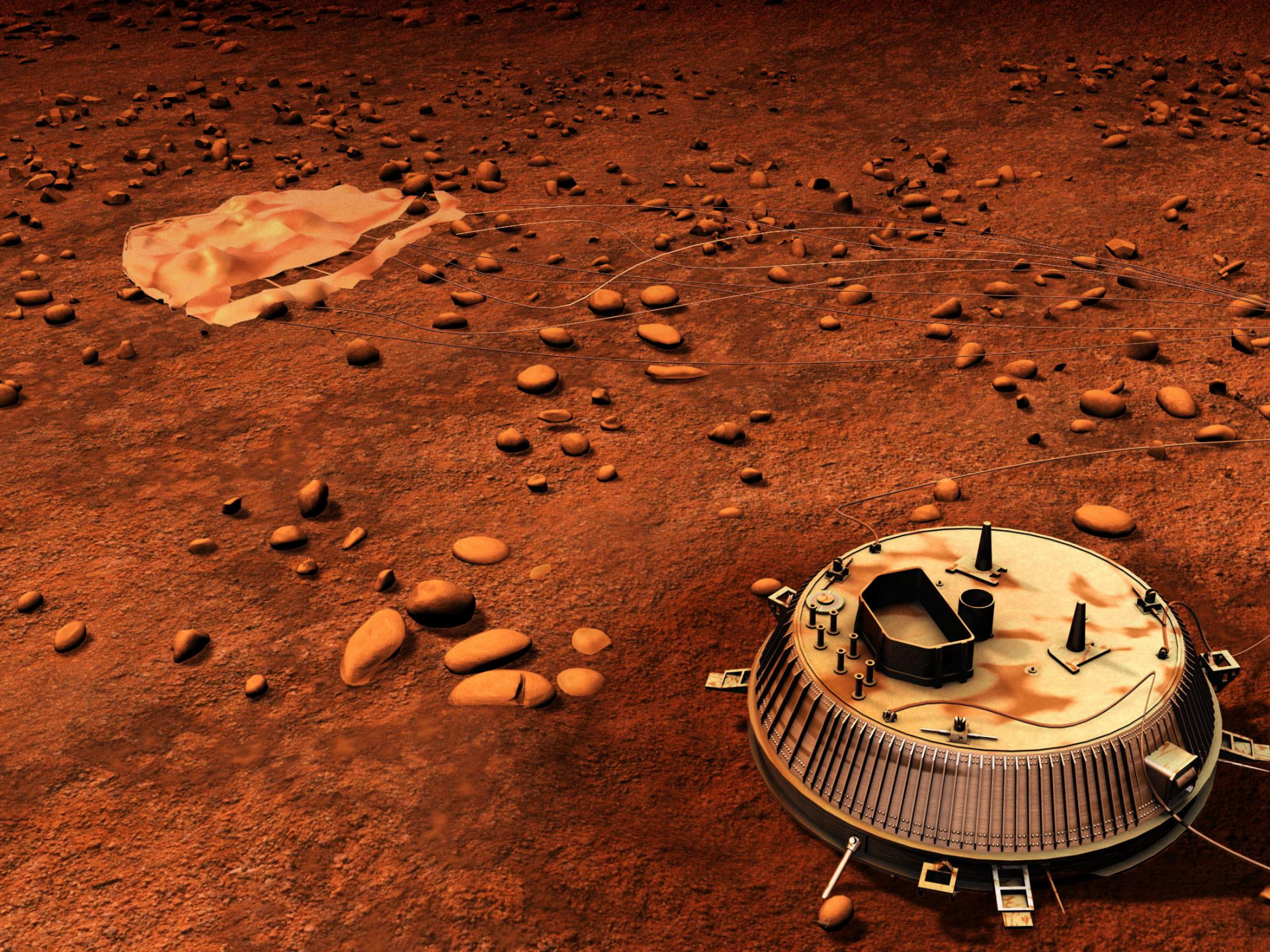
**Huygens-sonden gjorde den første landing på en måne (Titan) utenfor solsystemet.**

Sonden gjorde observasjoner fra overflaten i en time – så lenge dens batterier varte. Gennomsnittlig overflatetemperatur på Titan er 180 kuldegrader. Det er hovedårsaken til batterienes korte levetid når de ikke lenger kunne lades ved hjelp av solcellepaneler.

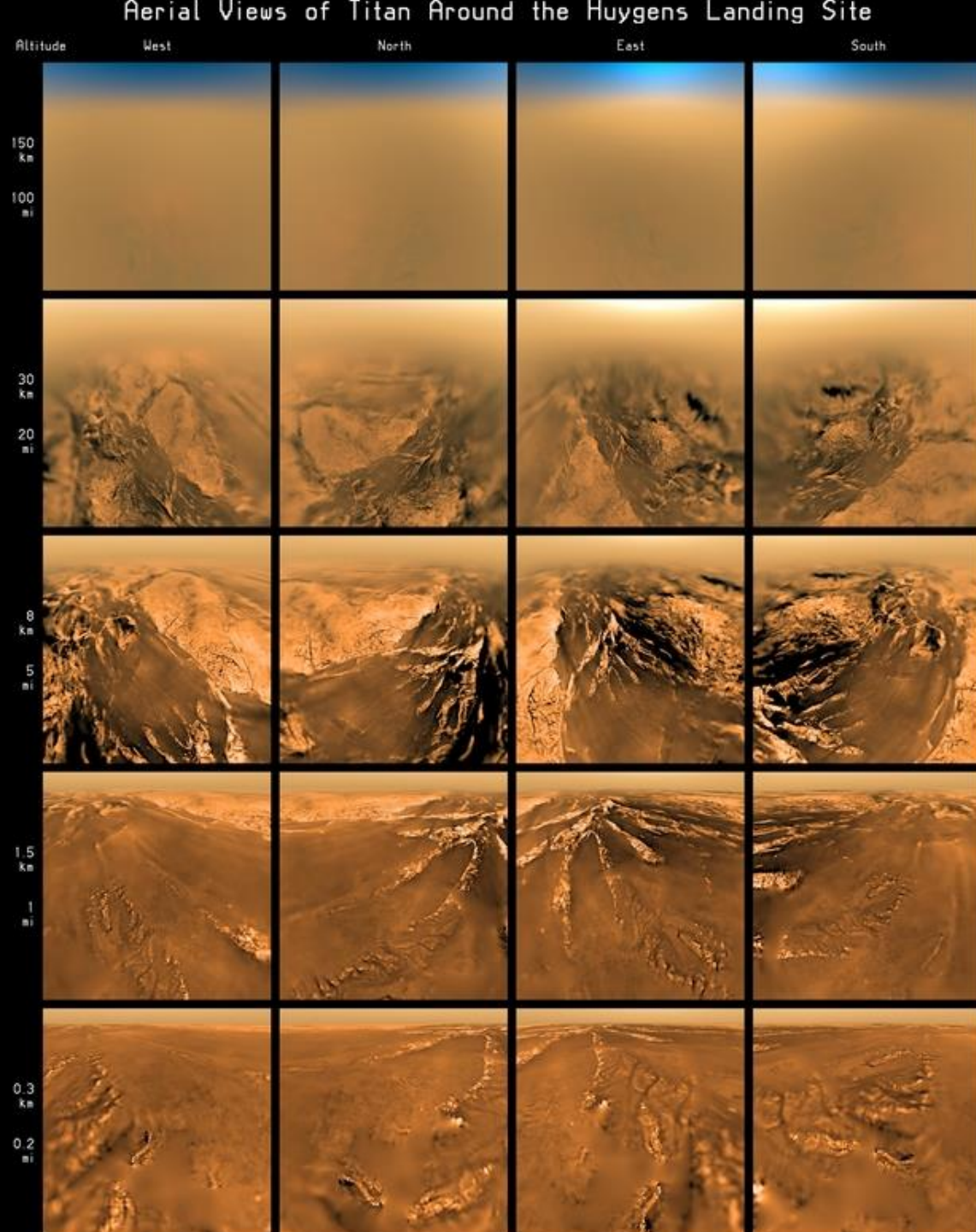
Landingsstedet så ut som et uttørket elveleie med steiner som typisk hadde diametre på mellom 10 og 15 cm.



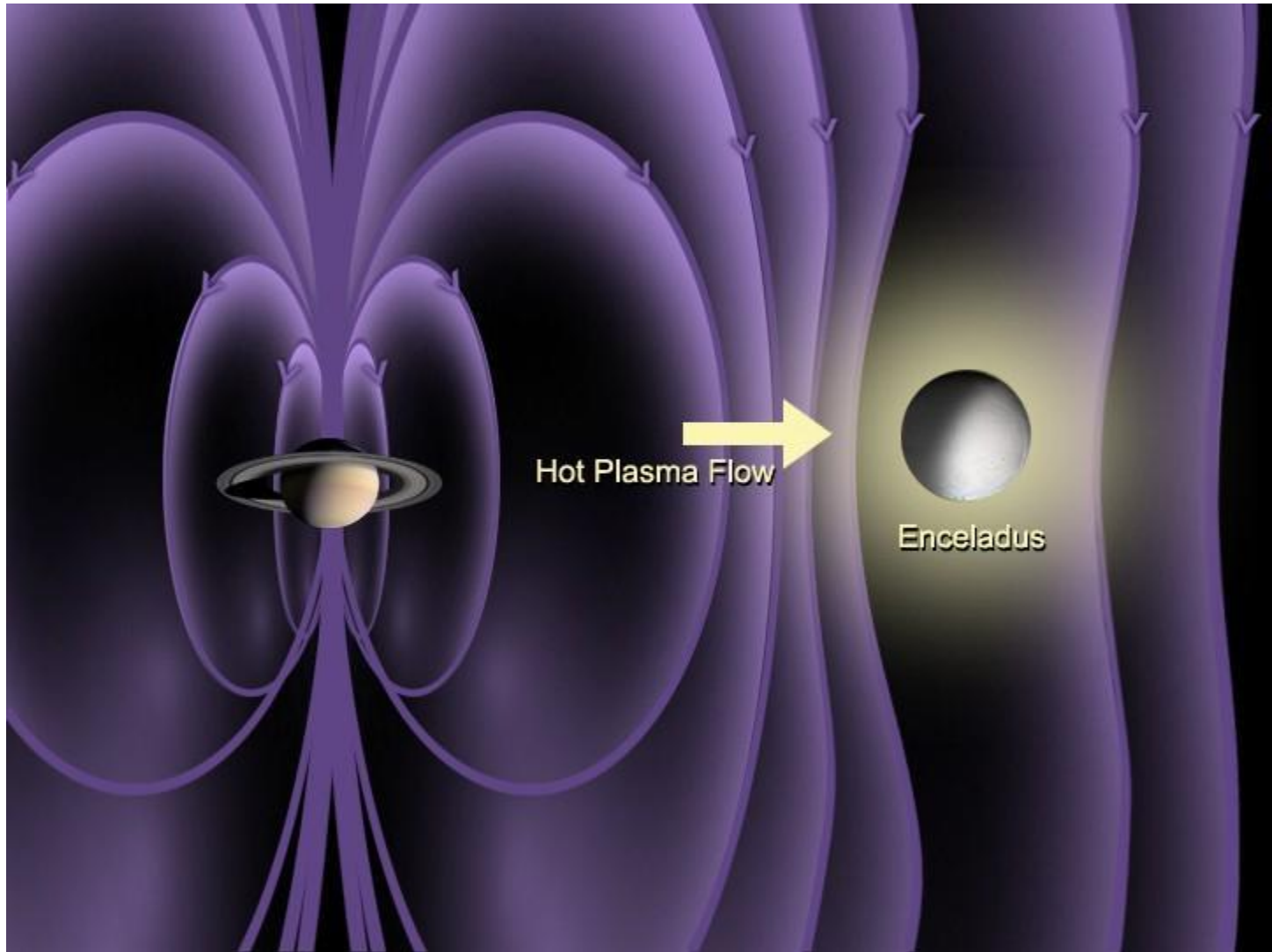




Fotografier tatt fra Huygens-sonden under landingen, øverst fra 150 km høyde, så 30 km, dernest 8 km, så 1,5 km og nederst fra 300 meters høyde.



## Vitenskapelige høydepunkter 2005



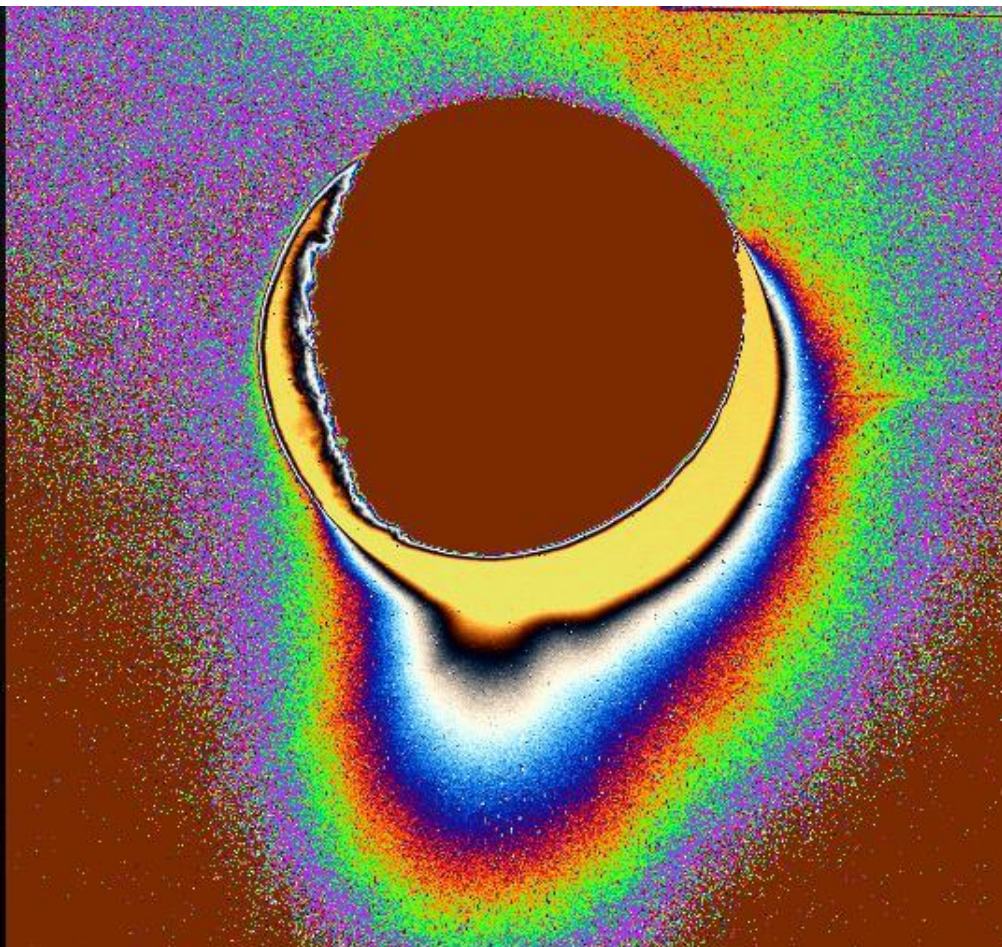
Saturns magnetfelt og det deformasjon på grunn av Enceladus er blitt kartlagt



# Vitenskapelige høydepunkter 2006

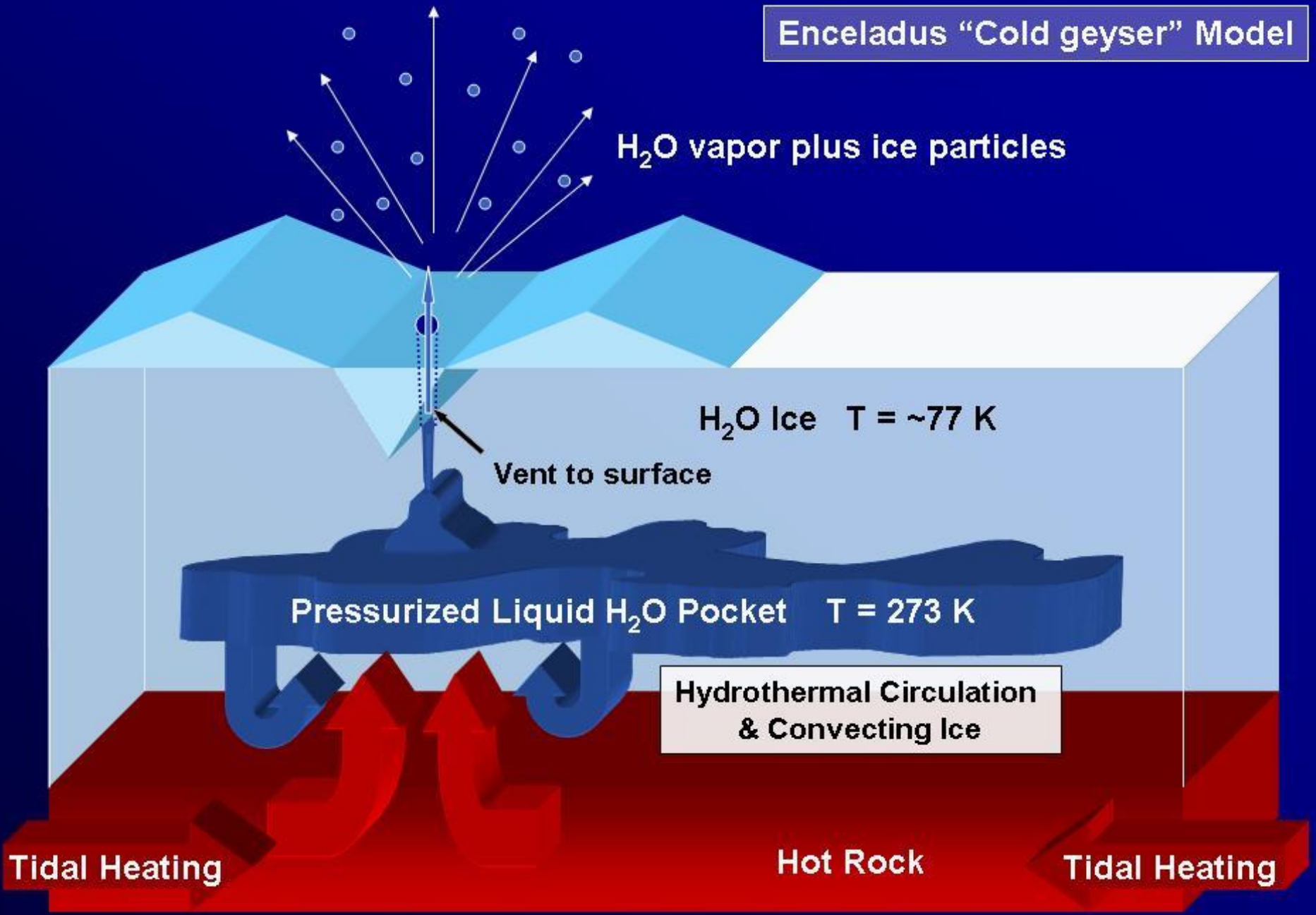


Feb 17



Måleinstrumenter i Cassini registrerte tegn til vann som kom fra geysirer på Saturns måne Enceladus.

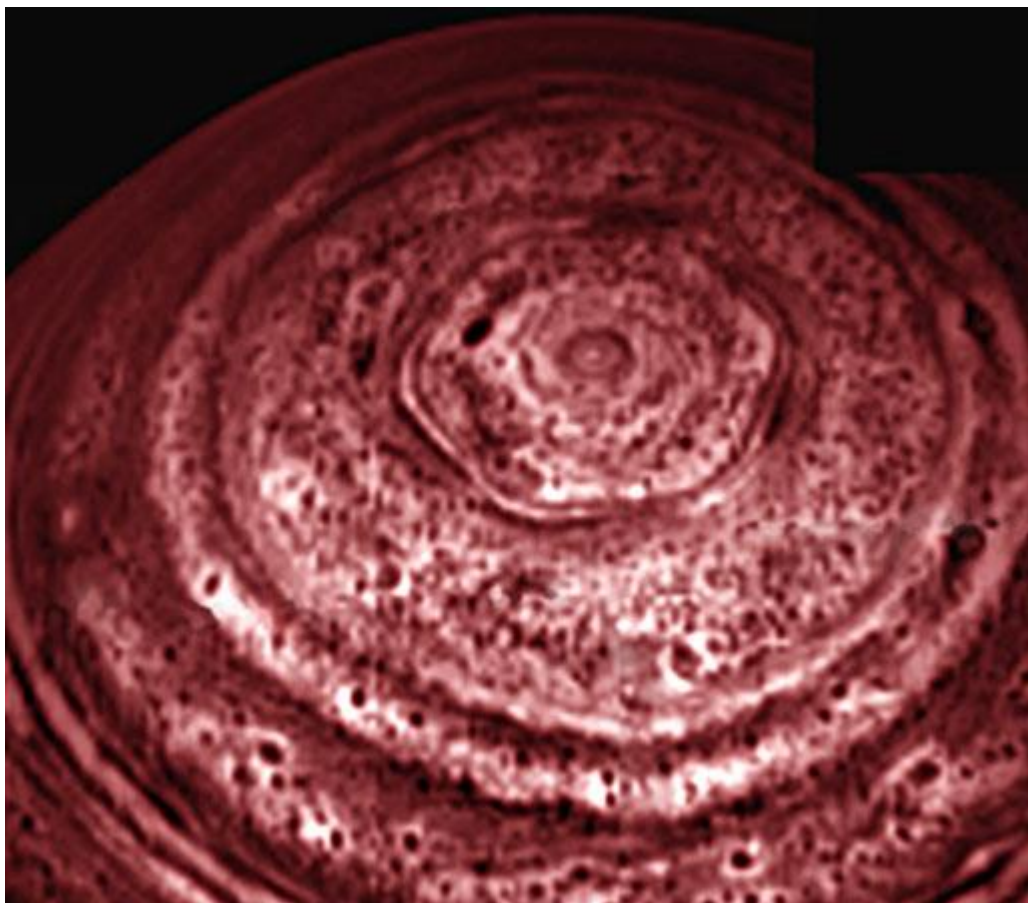
Enceladus "Cold geyser" Model



Cassini oppdaget en ny ring rundt Cassini – E-ringen  
i et fotografi tatt 17. september 2006



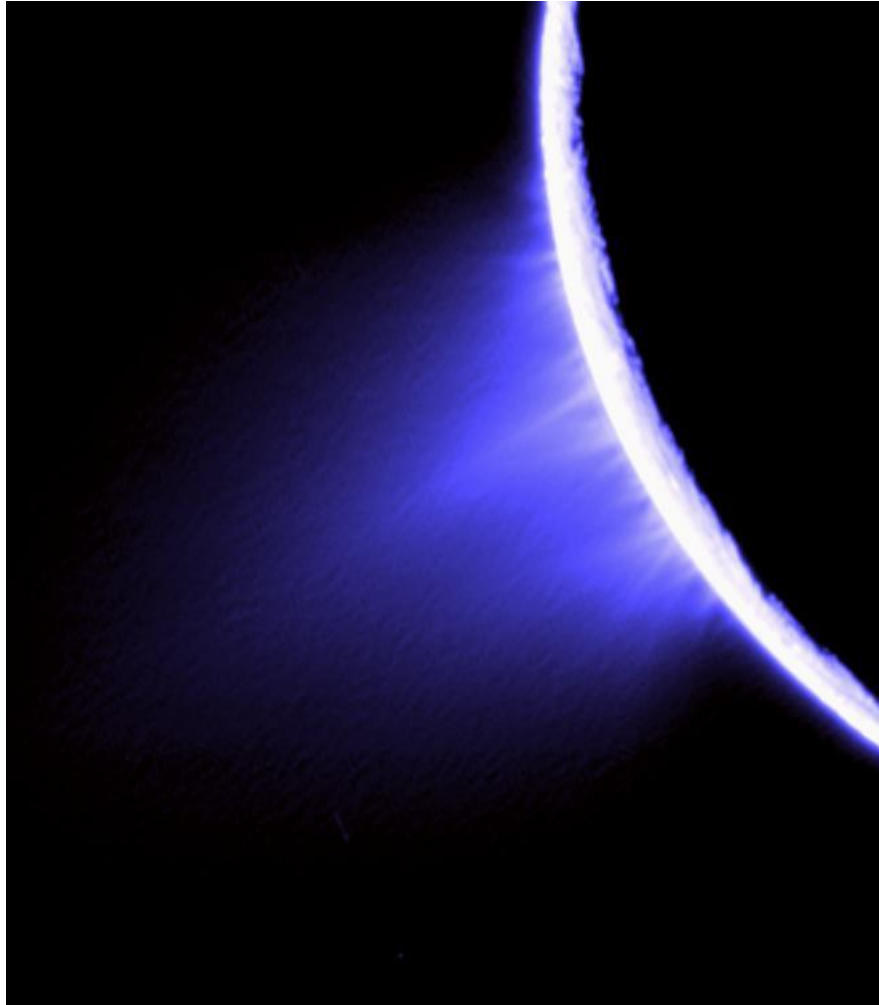
Enceladus i Saturns E-ring



Den polare sekskant ved Saturns Nordpol ble oppdaget da Voyager passerte Saturn i 1980-årene. Bildet over er satt sammen av en serie fotografier tatt over en 12-dagers periode fra 30. oktober til 11. november 2006.

Det ble dermed tydelig at den polare sekskanten på Saturn er en langvarig struktur. Nye Cassini-målinger viste at den går dypt ned i atmosfæren.

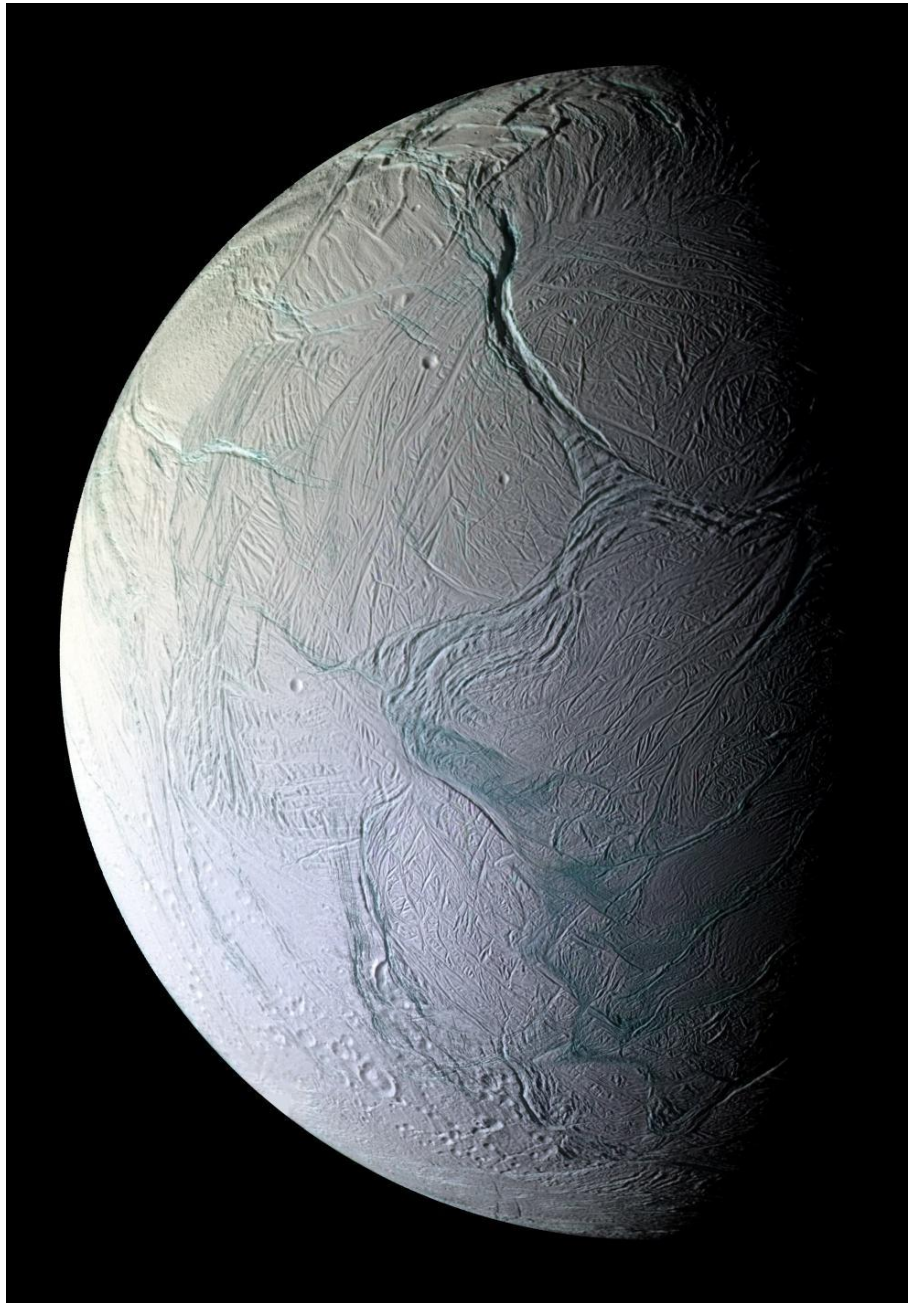
## Vitenskapelig høydepunkt 2007



Cassini oppdaget fontener fra overflaten av Enceladus

## Vitenskapelig høydepunkt 2008

I et fotografi tatt 5. oktober 2008 fra Cassini ble de første klare sporene av pågående geologisk aktivitet på Enceladus oppdaget.



# Enceladus Flyby

A composite image showing Saturn in the upper left, the Cassini spacecraft in the upper right, and a close-up view of Enceladus's surface with its tiger stripes and ice geysers in the foreground.

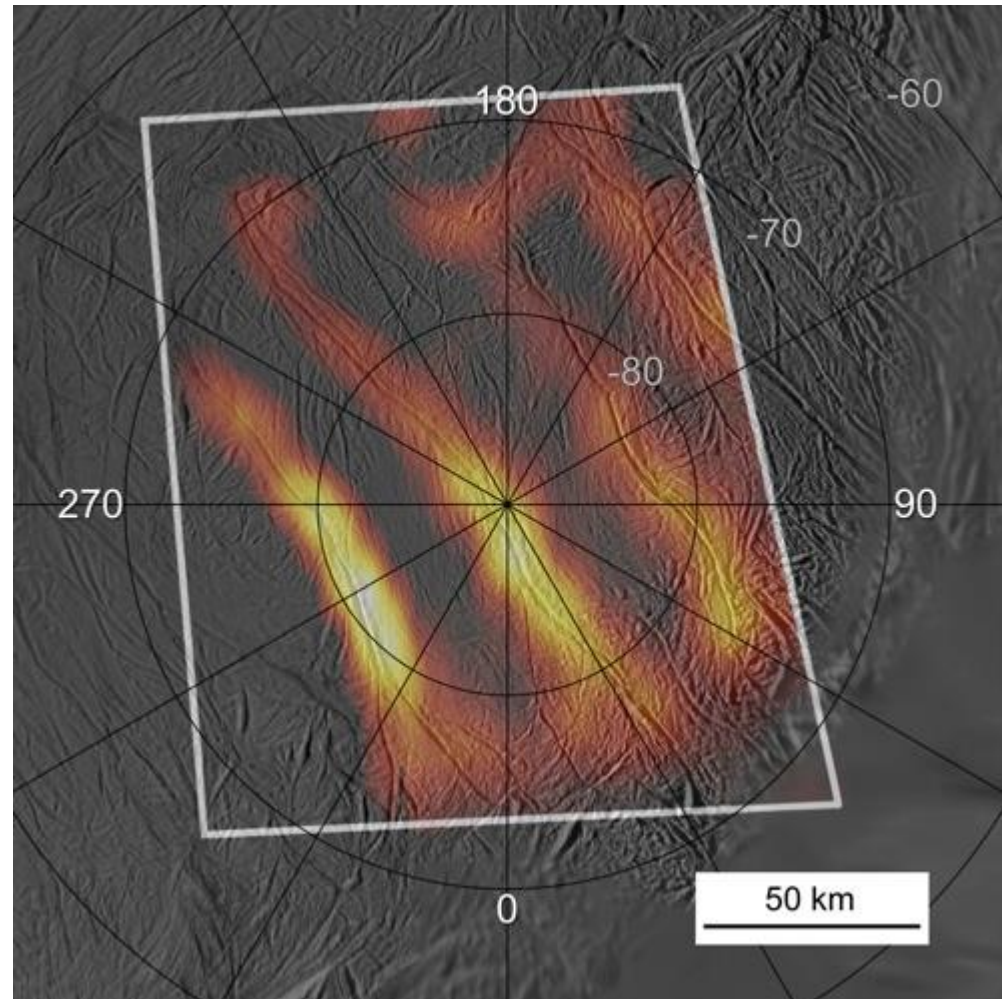
Oct. 31, 2008

*Cassini Eyes  
the Tiger Stripes*

## Oppdagelse av “tigerstriper” på Saturns måne Enceladus, og at månen har en ung overflate

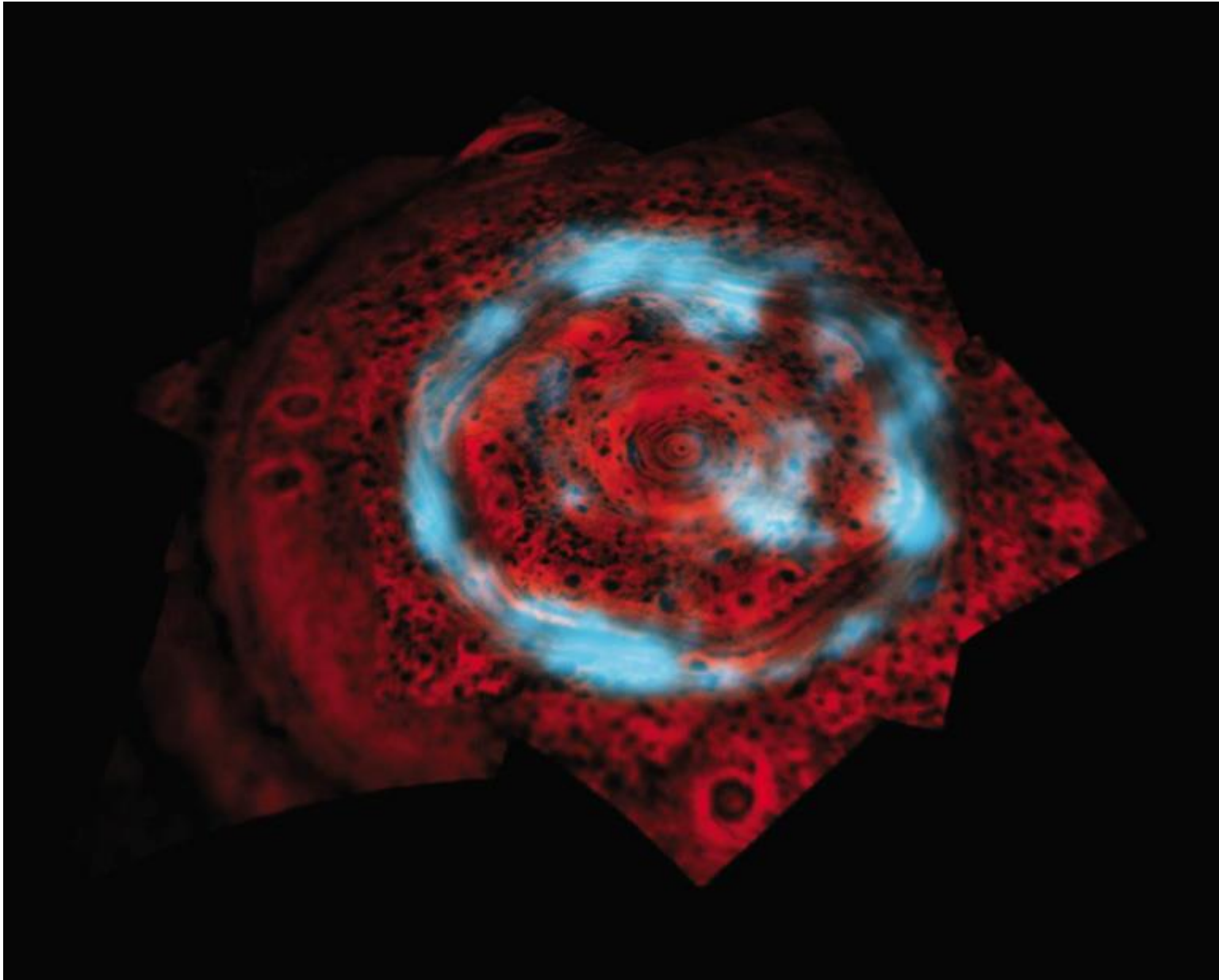
Overflaten av Saturns måne Enceladus er dekket av is. Nesten parallelle sprekker eller fordypninger i det sydlige polare området av Enceladus viser at denne månen har tektonisk aktivitet med kontinentale plater i bevegelse.

Observasjoner av infrarød stråling viser at temperaturen er høyere i sprekken enn i omgivelsene. Disse strukturene er geologisk unge.

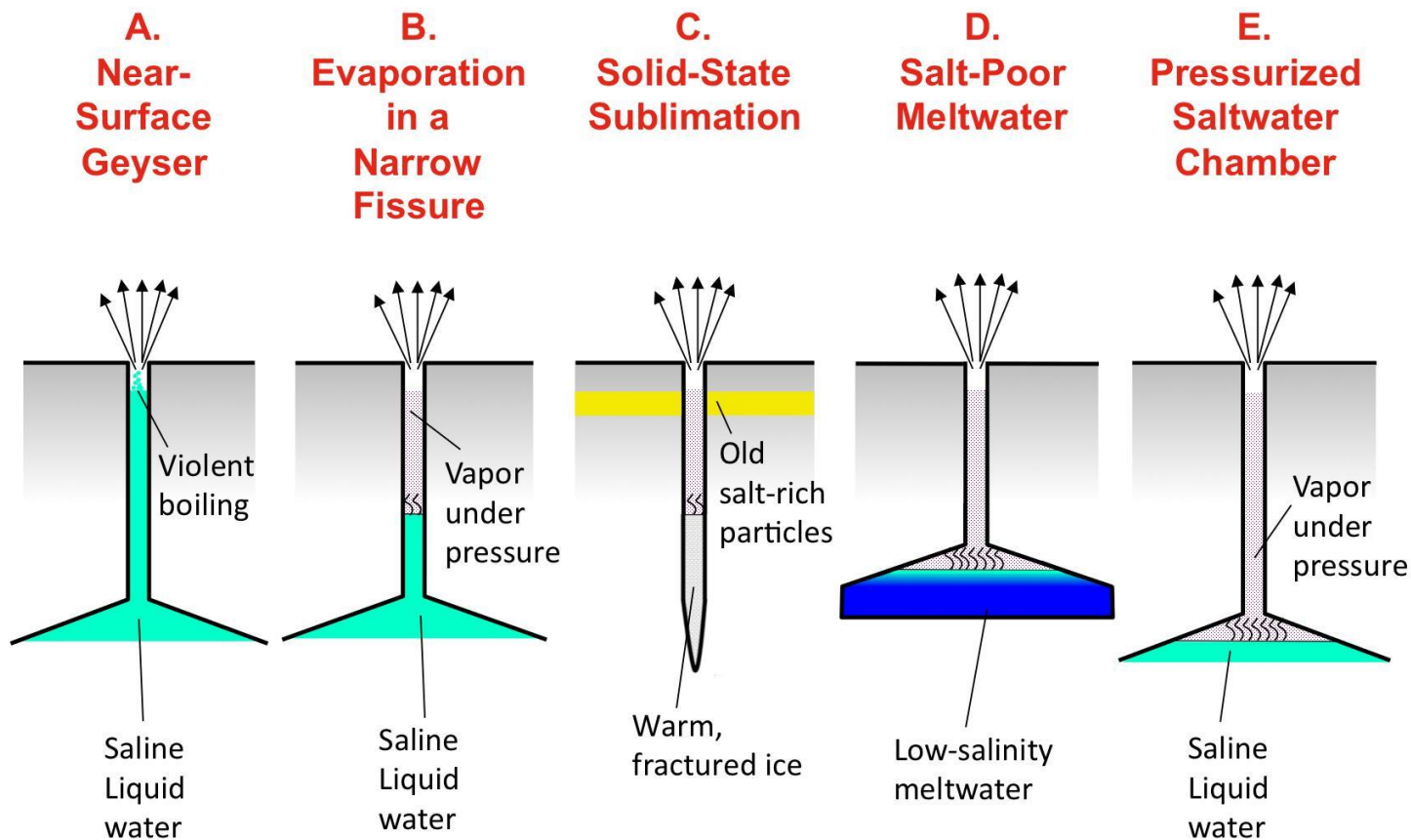




Cassini oppdaget en form for nordlys over Saturns nordpol



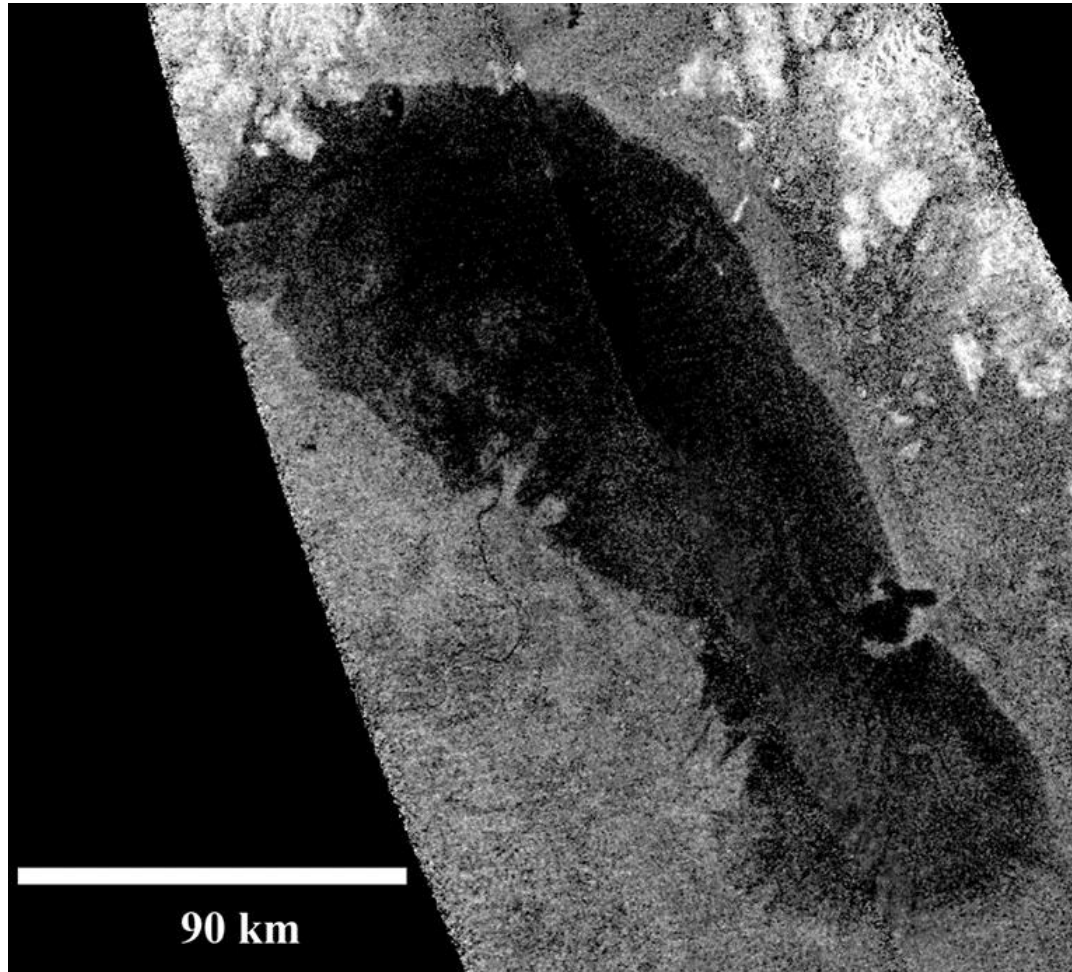
# Plume Vent Models



Det er oppdaget salt i fontene på Enceladus og utviklet modeller for hvordan de oppstår

## Vitenskapelig høydepunkt 2010

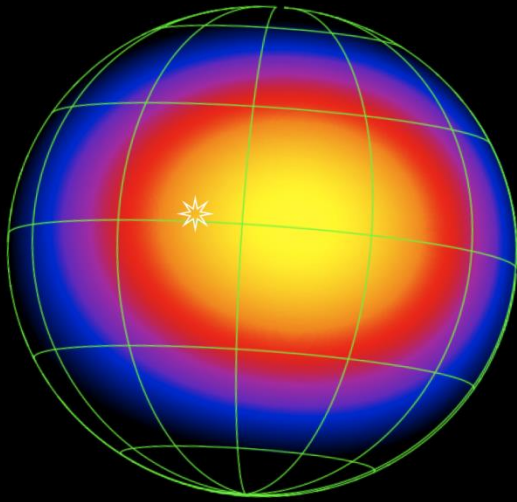
Det oppdages store innsjøer av metan på Saturns måne Titan



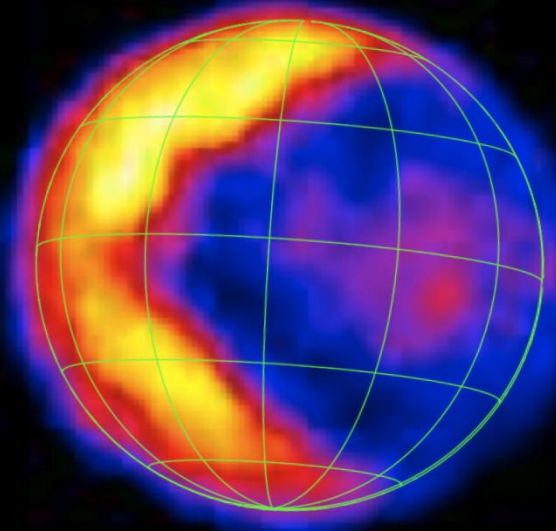
Dette fotografiet av Ontario Lacus, den største innsjøen på Titans sørlige halvkule, ble tatt fra Cassini 12. januar 2010.

# Mysterious Temperatures on Mimas

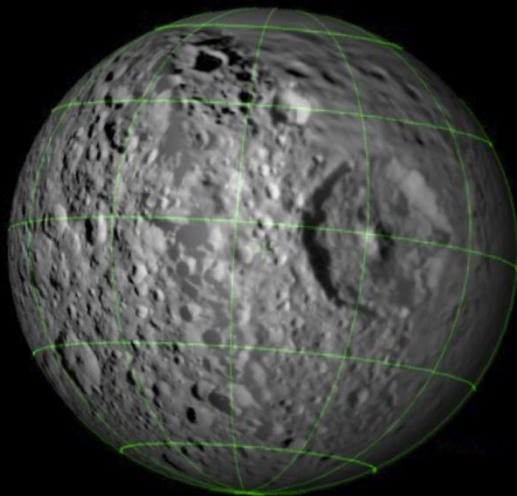
Expected  
Temperatures



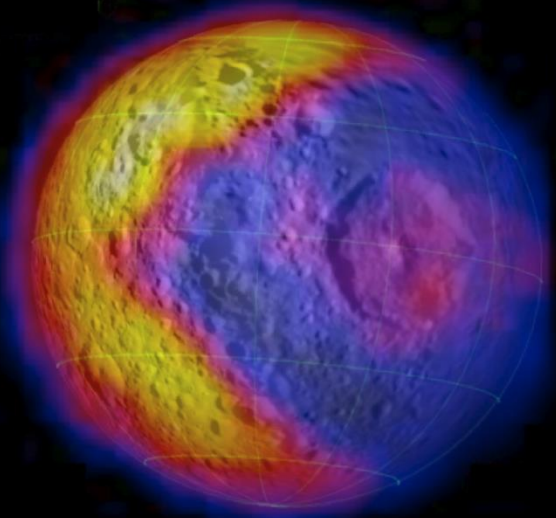
Actual  
Temperatures



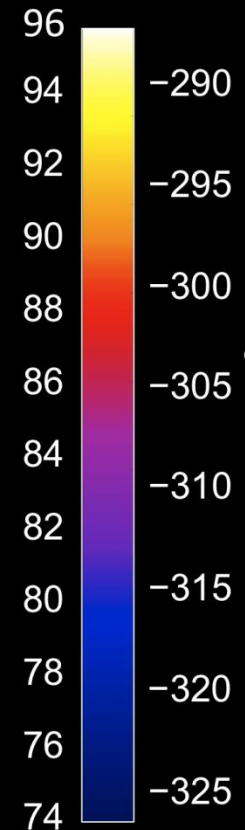
Visible-Light Map



Combined Map



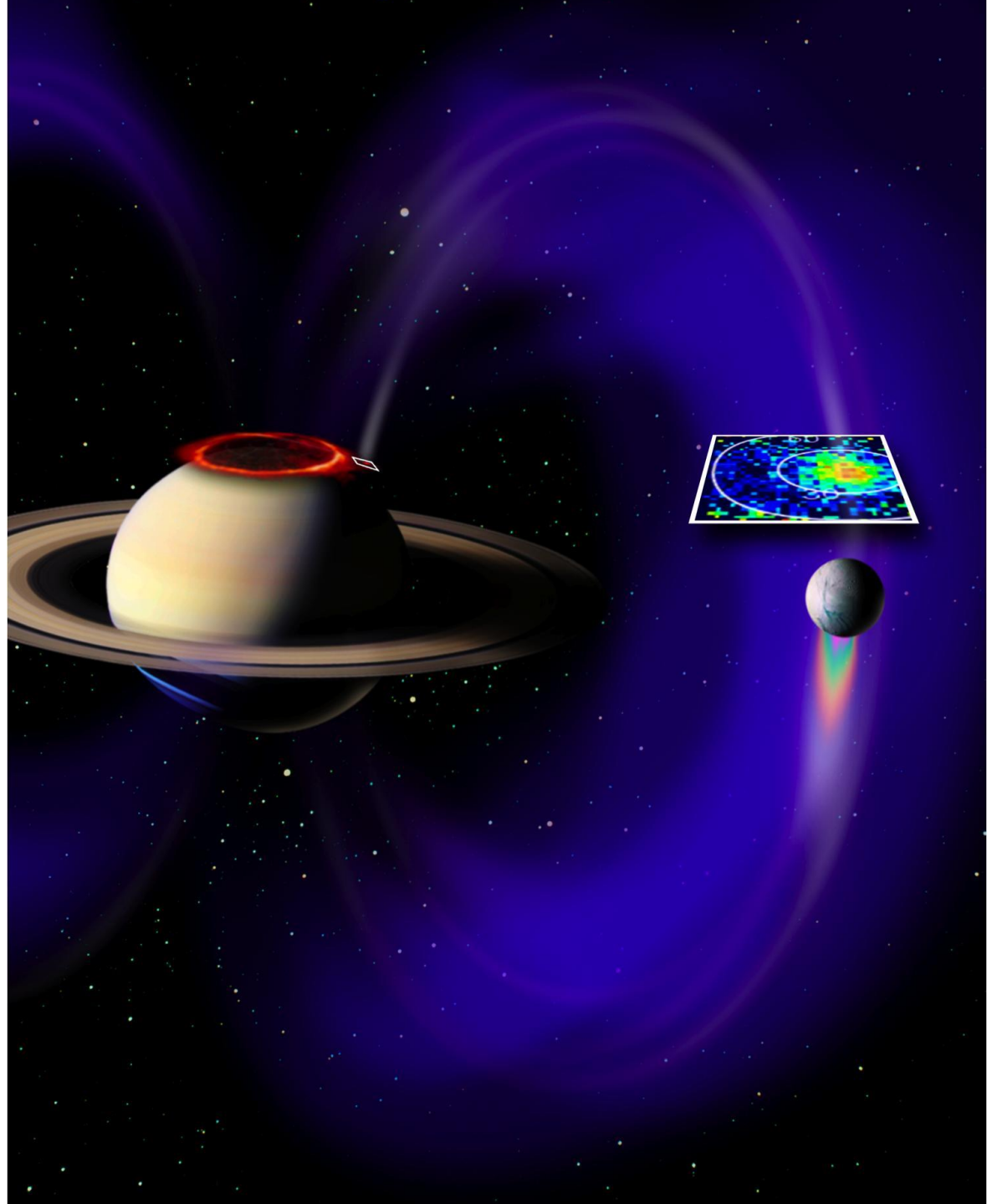
Surface  
Temperature



## Vitenskapelig høydepunkt 2011

Målinger viste hvordan Enceladus er magnetisk forbundet med de polare områdene av Saturn.

Vi ser her nordlysovalen på Saturn.



## Saturnmånen Diones måne Helene

Helene (bare 32 kilometers, i utstrekning) er en måne i bane rundt Saturns måne Dione.

Overflaten består av støvdekte fjell nesten uten kratere og med spor av strømmer. Dette tyder på at den er ung, noe som er høyst overraskende.

Forskerne har foreløpig ikke noen forklaring på denne månens eksistens og egenskaper.



## Vitenskapelig høydepunkt 2012

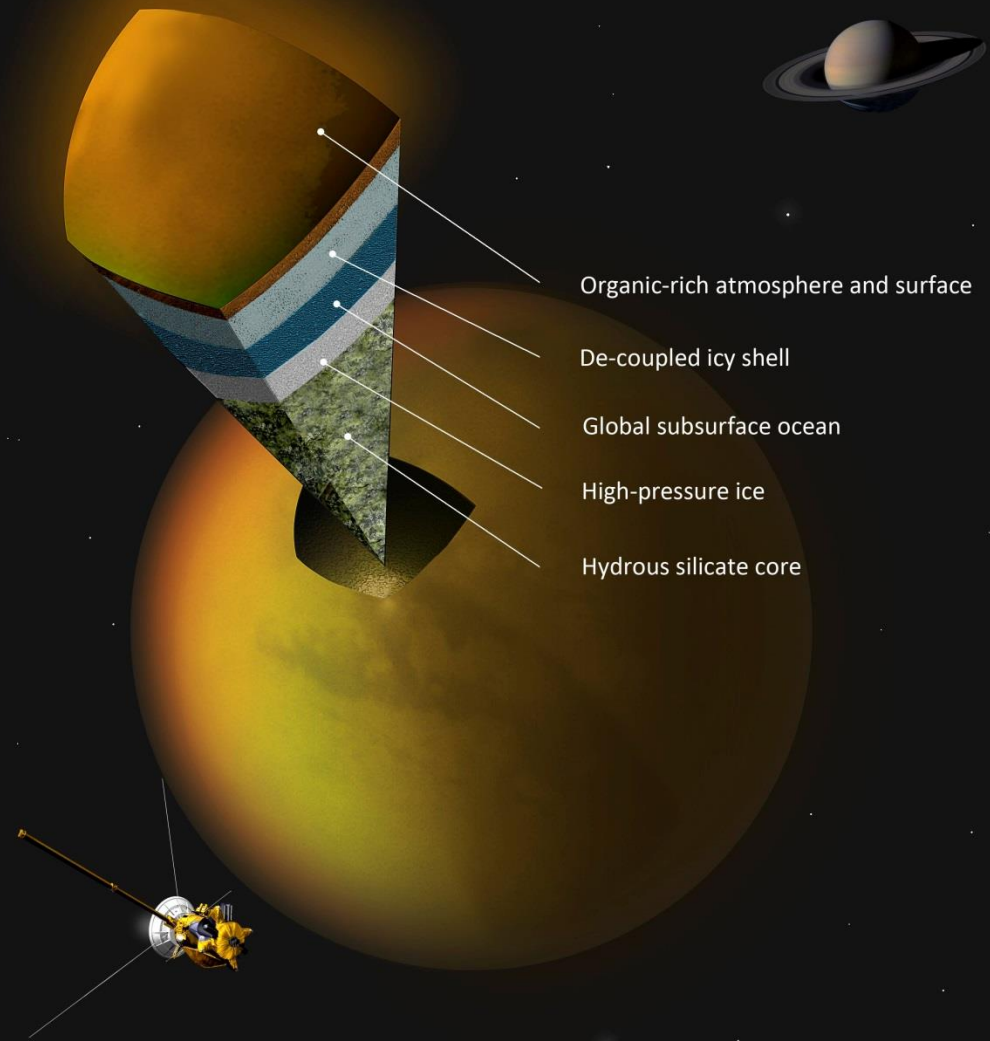
### Cassini finner hav under overflaten på Saturns måne Titan

Titan går i en elliptisk bane rundt Saturn. På grunn av avstandsforandringene utsettes den for varierende tidevannskrefter fra Saturn.

Sammen med datasimuleringer har målinger av deformasjonene til Titan ved ulike tidspunkter vært brukt til å få informasjon om Titans struktur.

Resultatet forskerne er kommet frem til, er vist på figuren til høyre og det neste lysbildet.

Trolig er det både fjell, is og hav under overflaten på Titan.



Titan's indre struktur

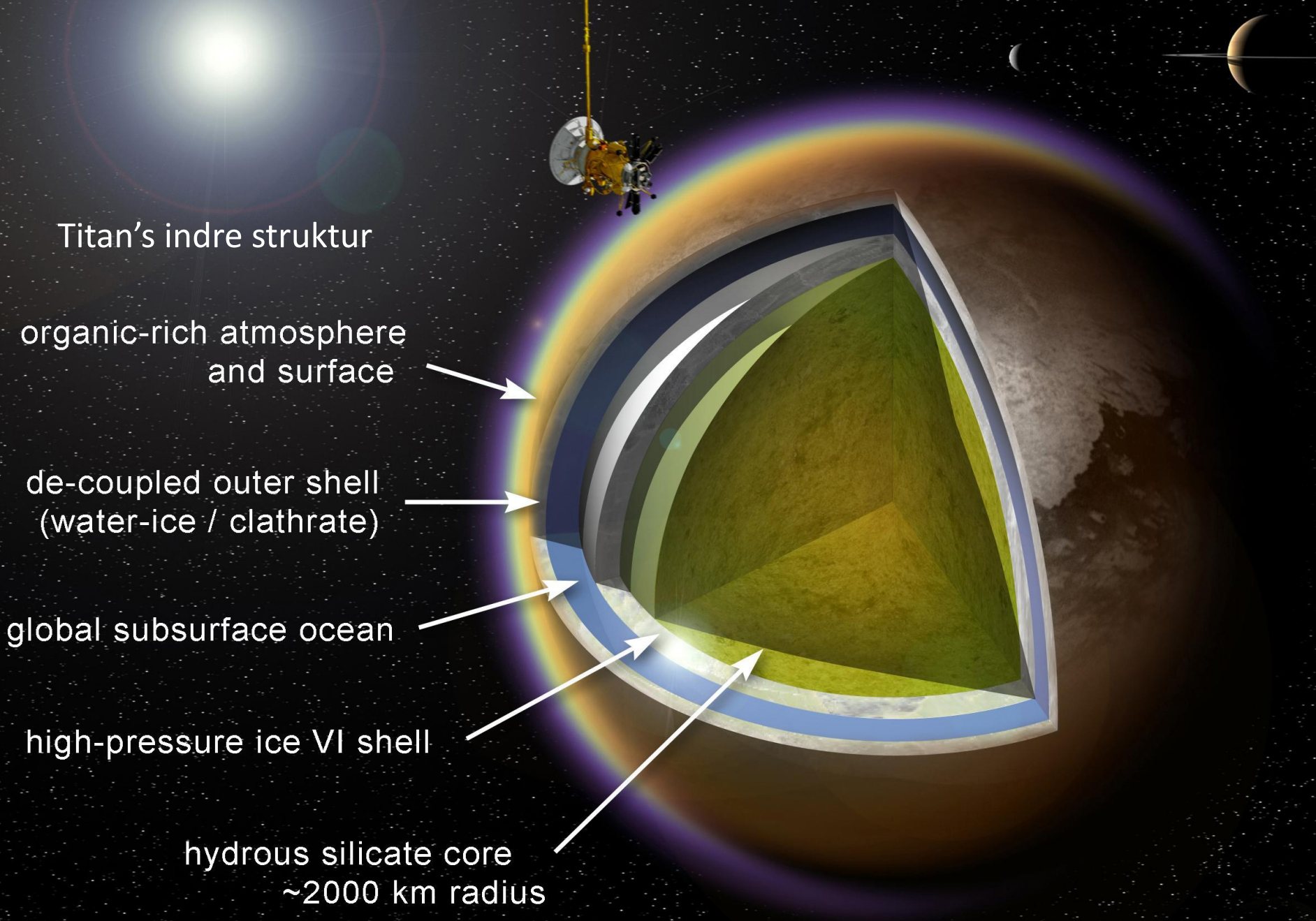
organic-rich atmosphere  
and surface

de-coupled outer shell  
(water-ice / clathrate)

global subsurface ocean

high-pressure ice VI shell

hydrous silicate core  
~2000 km radius





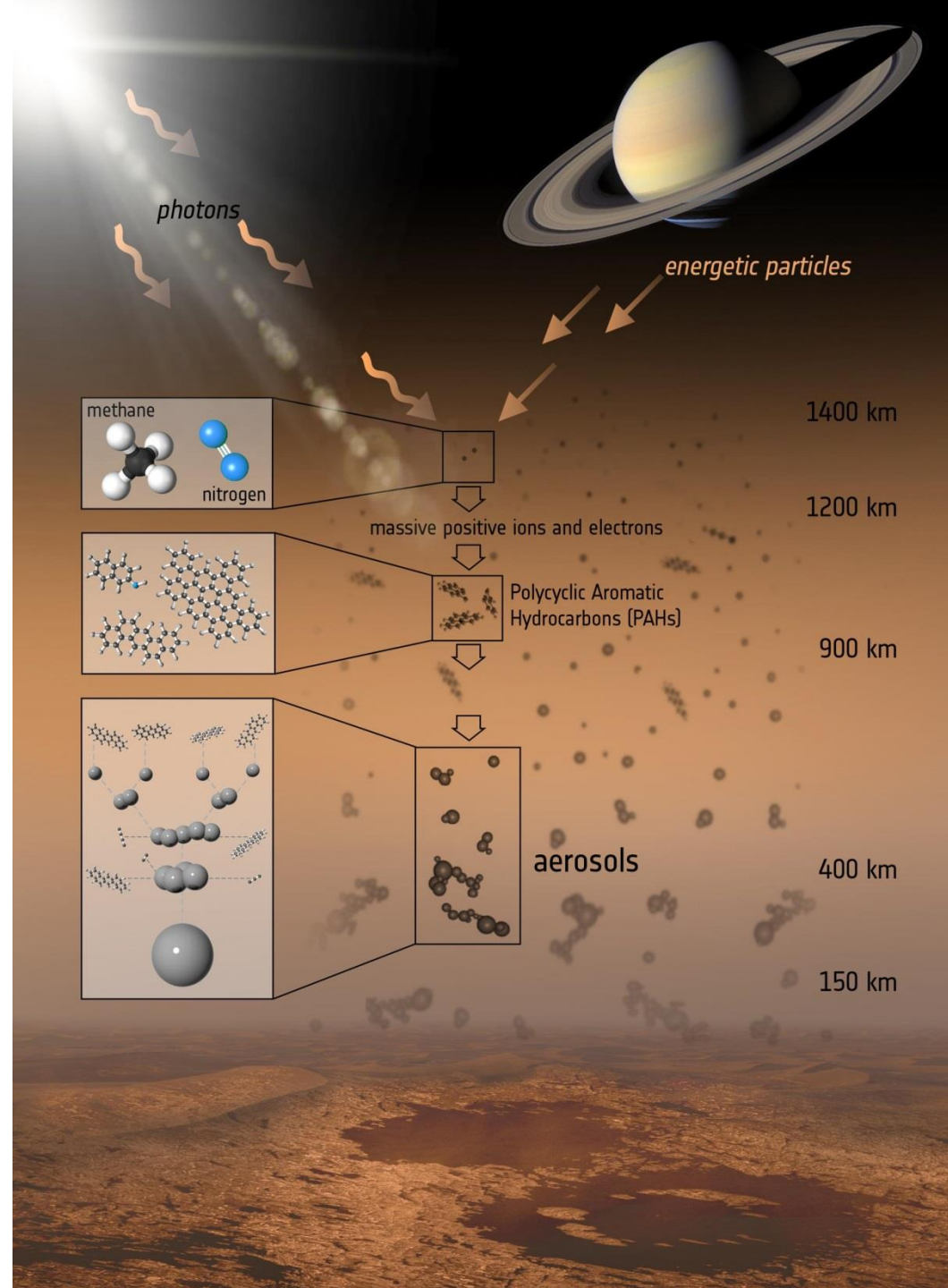
# Vitenskapelig høydepunkt 2013

## Det utarbeides en modell for hvordan tåke dannes i Titans atmosfære

Når energirik stråling fra Sola og partikler fra Saturn treffer Titans øvre atmosfære omtrent 1400 km over bakken, omdannes metan og hydrogen til såkalt Polysyklisk Aromatisk Hydrokarbon (PAH) som brer seg nedover til omtrent 400 km høyde.

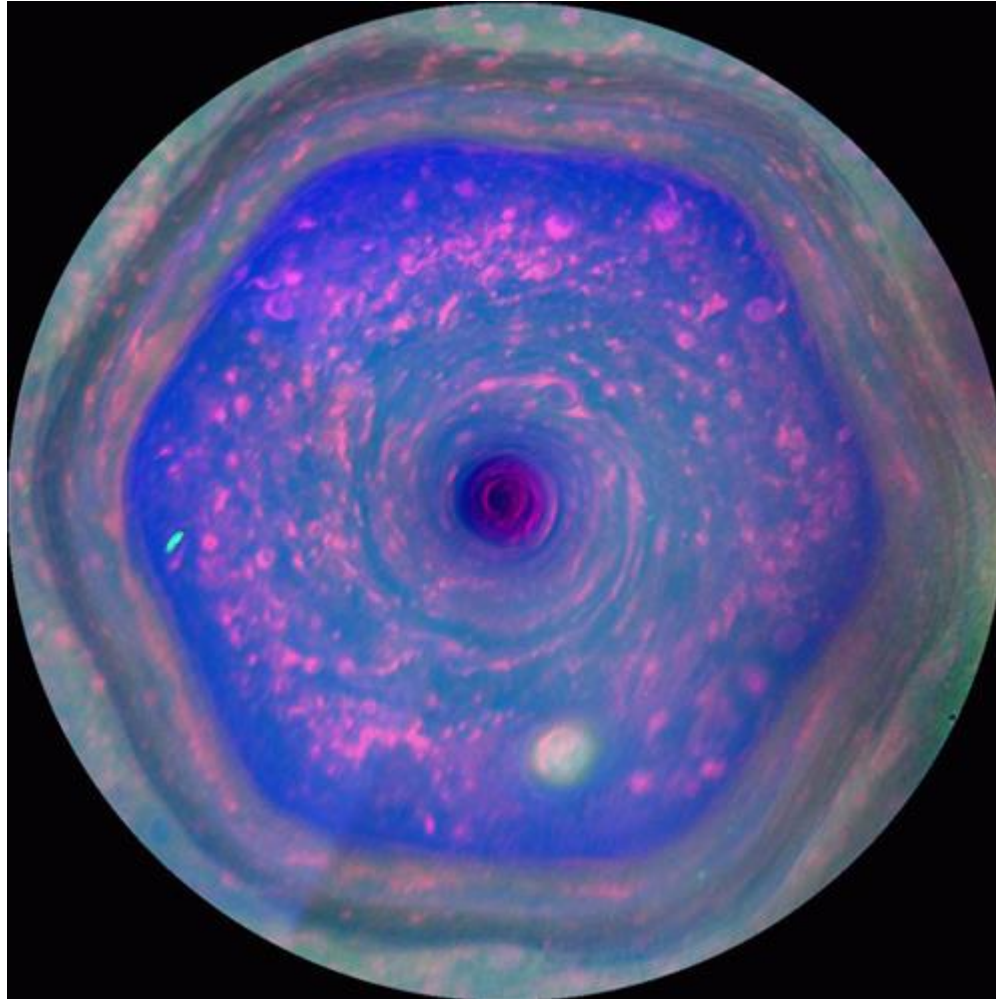
Der fungerer de som kondensasjonskjerner for ulike gass av stoffer med karbon og metan.

Når den kondenseres til små dråper oppstår tåken som er observert i Metans atmosfære.

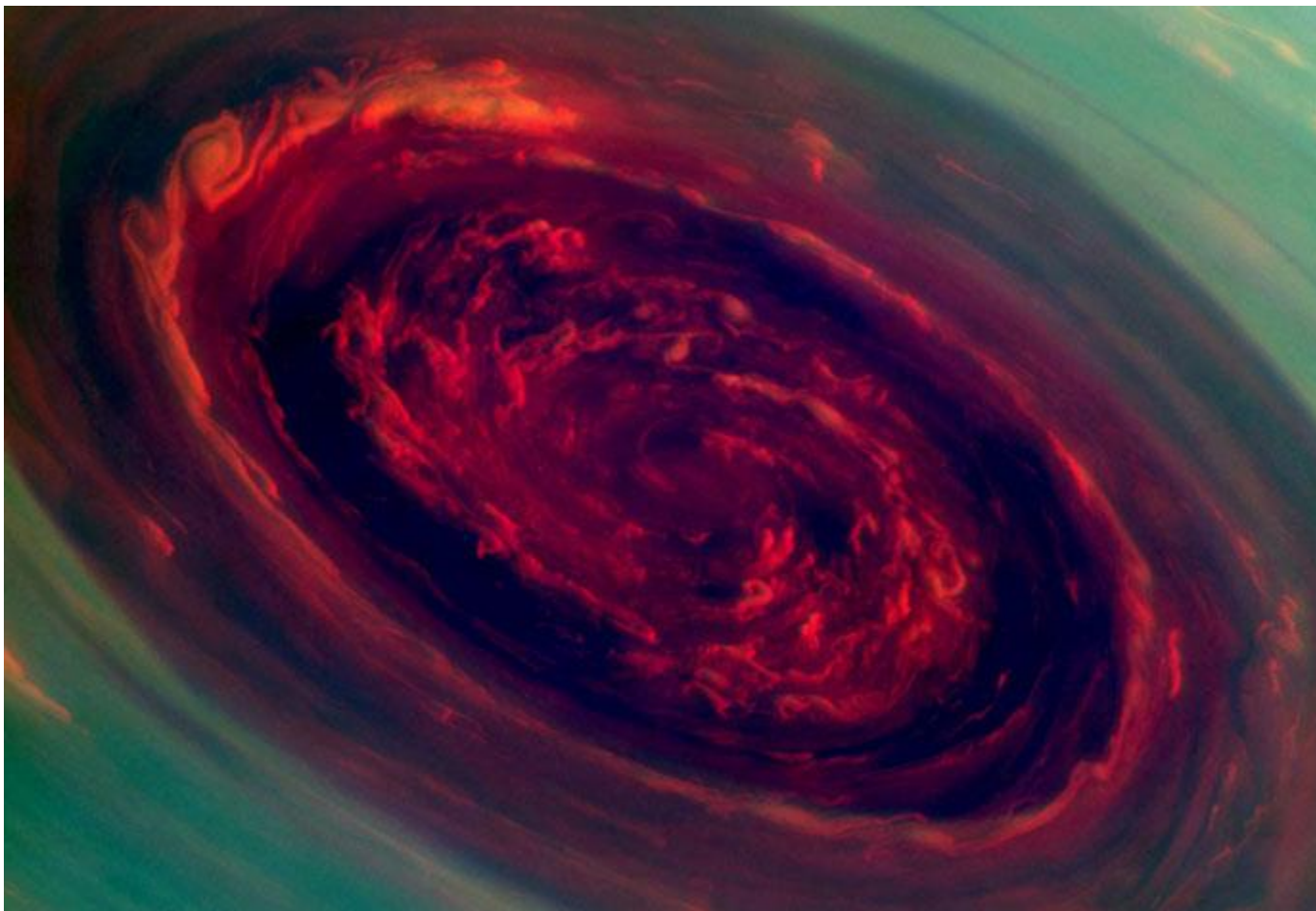


# Vitenskapelige høydepunkter 2014

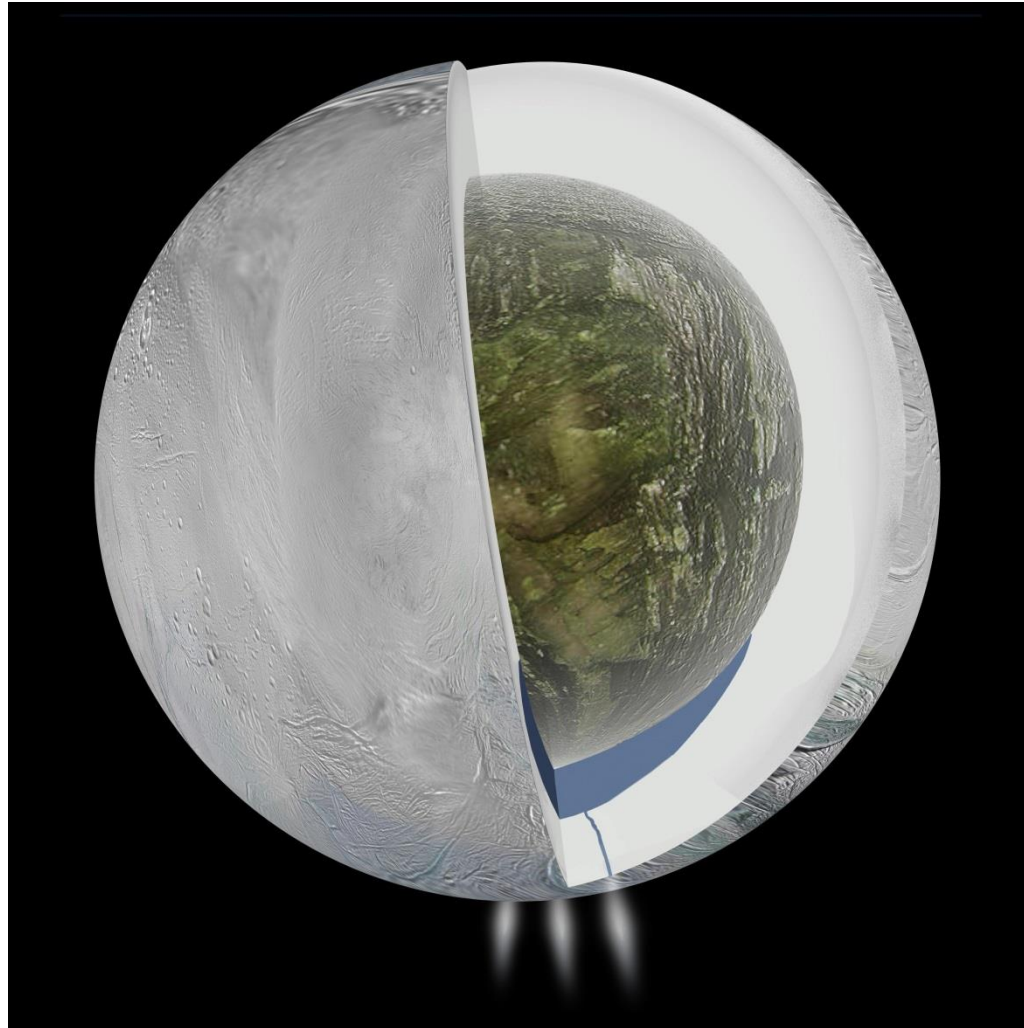
Første komplette bilde av sekskanten ved Saturns Nordpol



# Første komplette bilde av orkanen på Saturn Sydpol

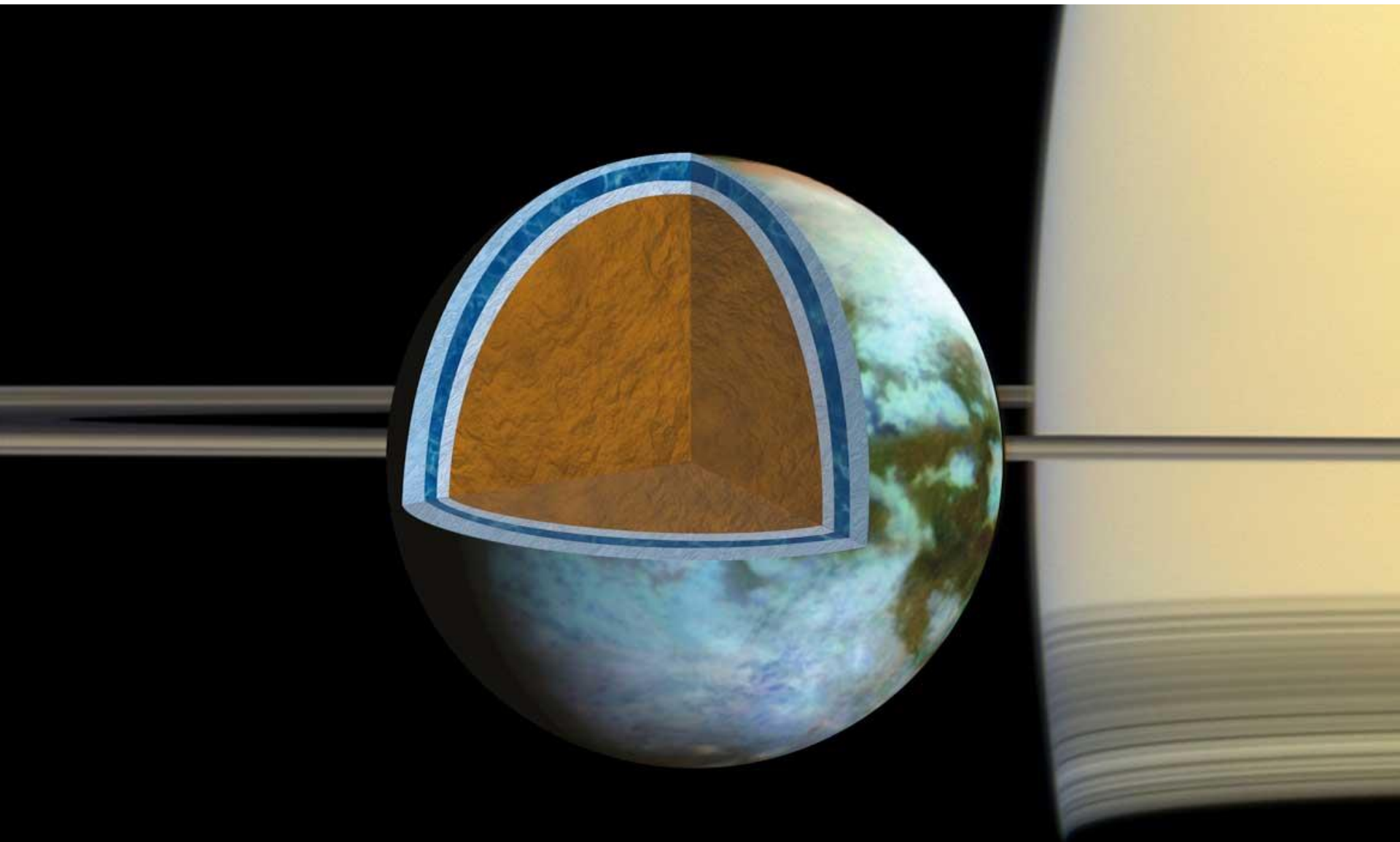


# Hav under overflaten på Saturns måne Enceladus



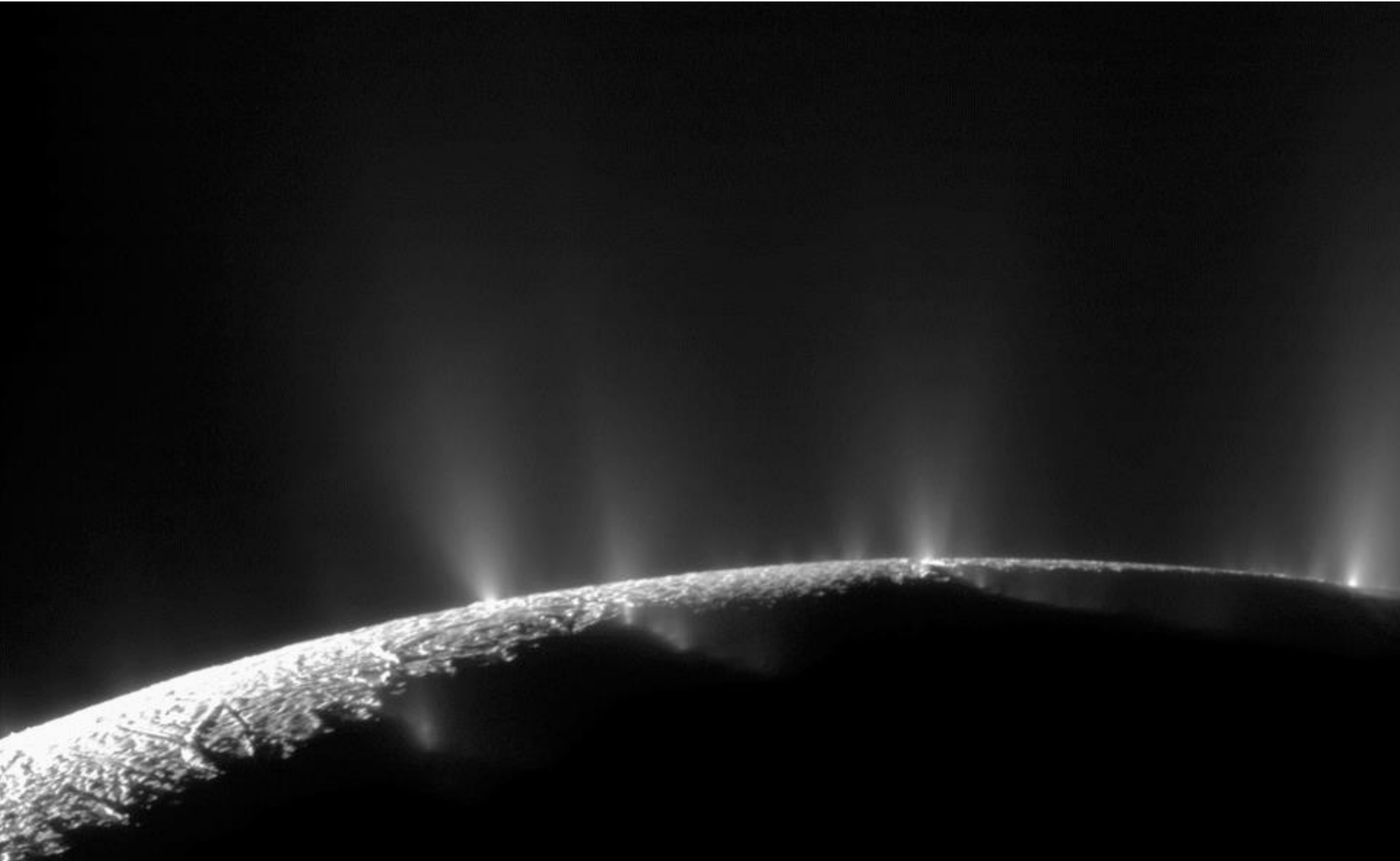
Målinger av variasjoner med posisjonen av tyngdefeltet til Enceladus ved hjelp av instrumenter i Cassini og NASA's Deep Space Network ble rapportert i april 2014. Måleresultatene tyder på at det er et hav med varierende dybde mellom det tykke ytre skallet av is og en kjerne av fjell. Havet har størst dybde ved Enceladus sin sydpol.

# Enceladus's salte hav under overflaten

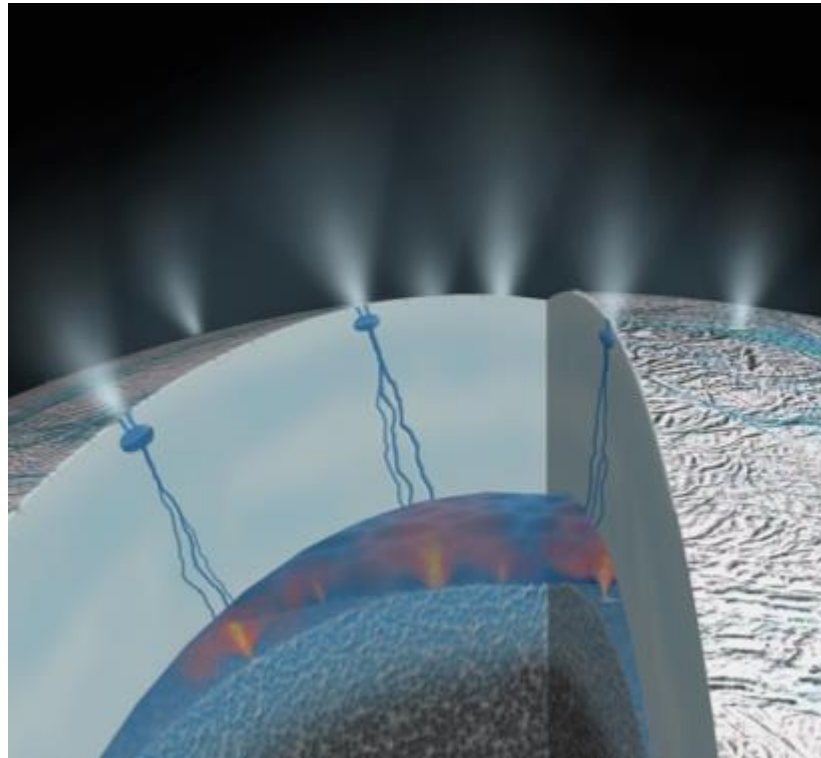


# Vitenskapelige høydepunkter 2015

Det ble oppdaget hvordan fontenene på Enceladus påvirker E-ringen til Saturn.



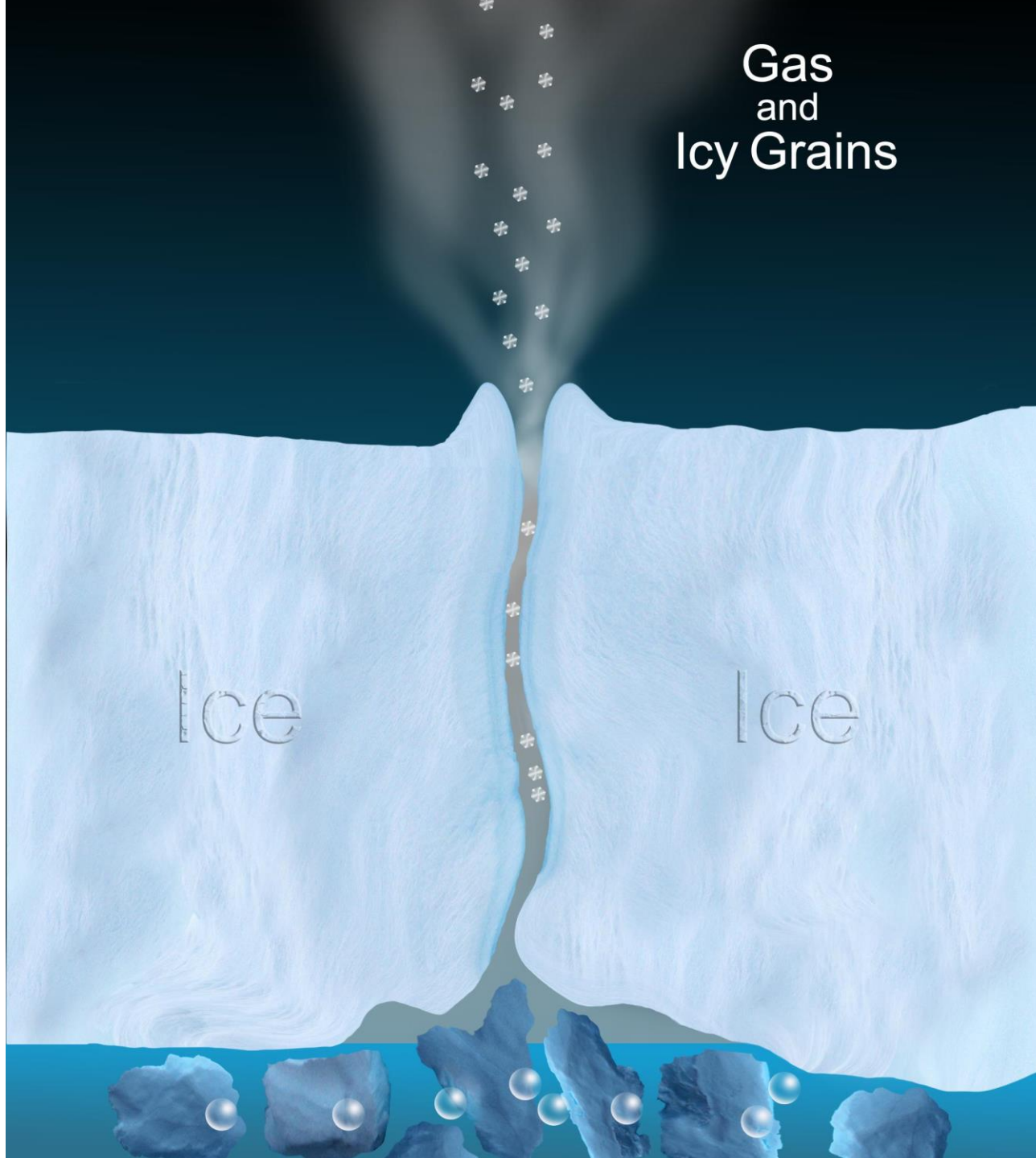




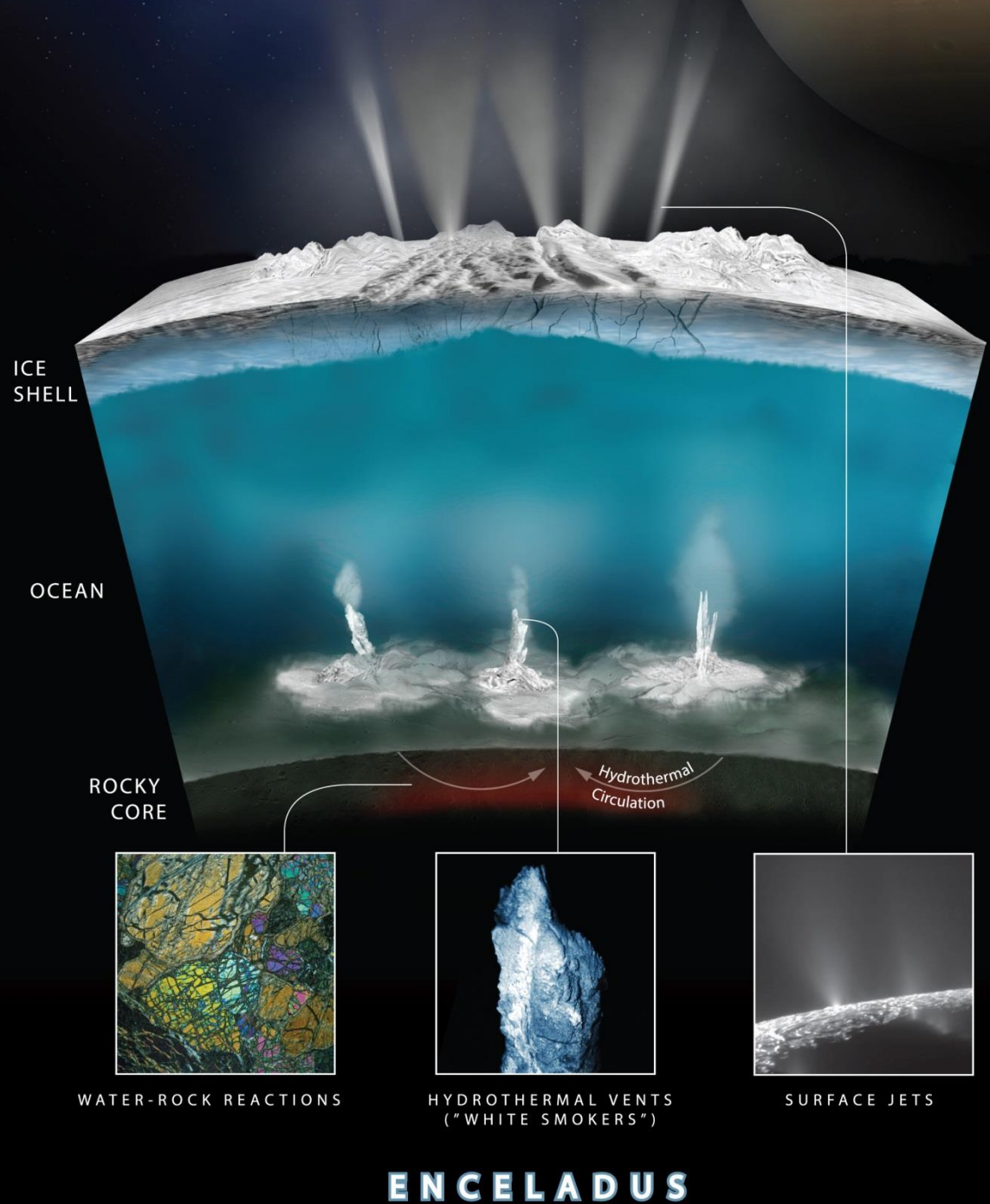
Studier av opprinnelsen til silikater og metan i Enceladus sine fontener har vist at det foregår hydrotermisk aktivitet i bunnen av havet der det har kontakt med kjernen under. Dette er illustrert i de neste lysbildene.



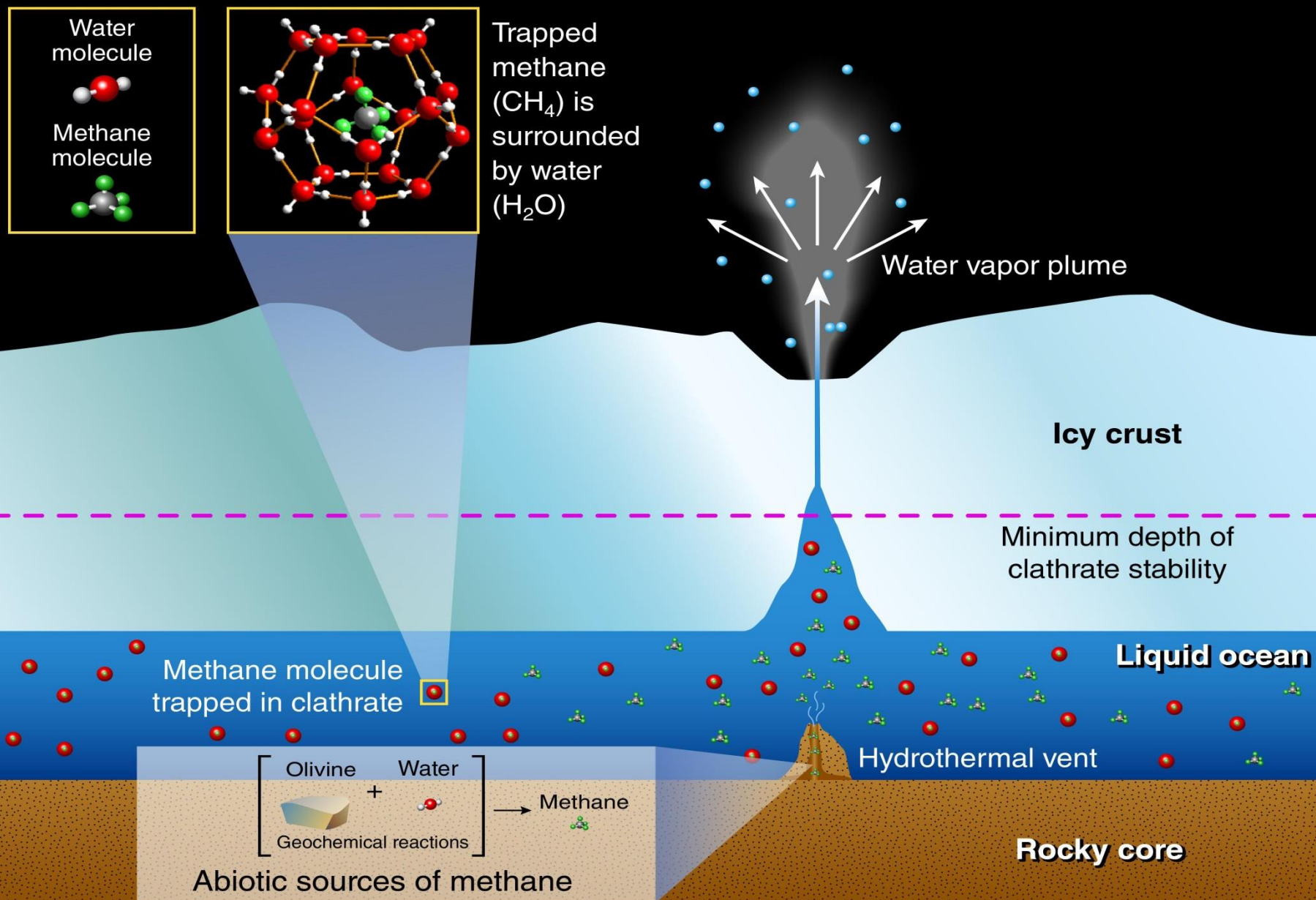
# Gas and Icy Grains



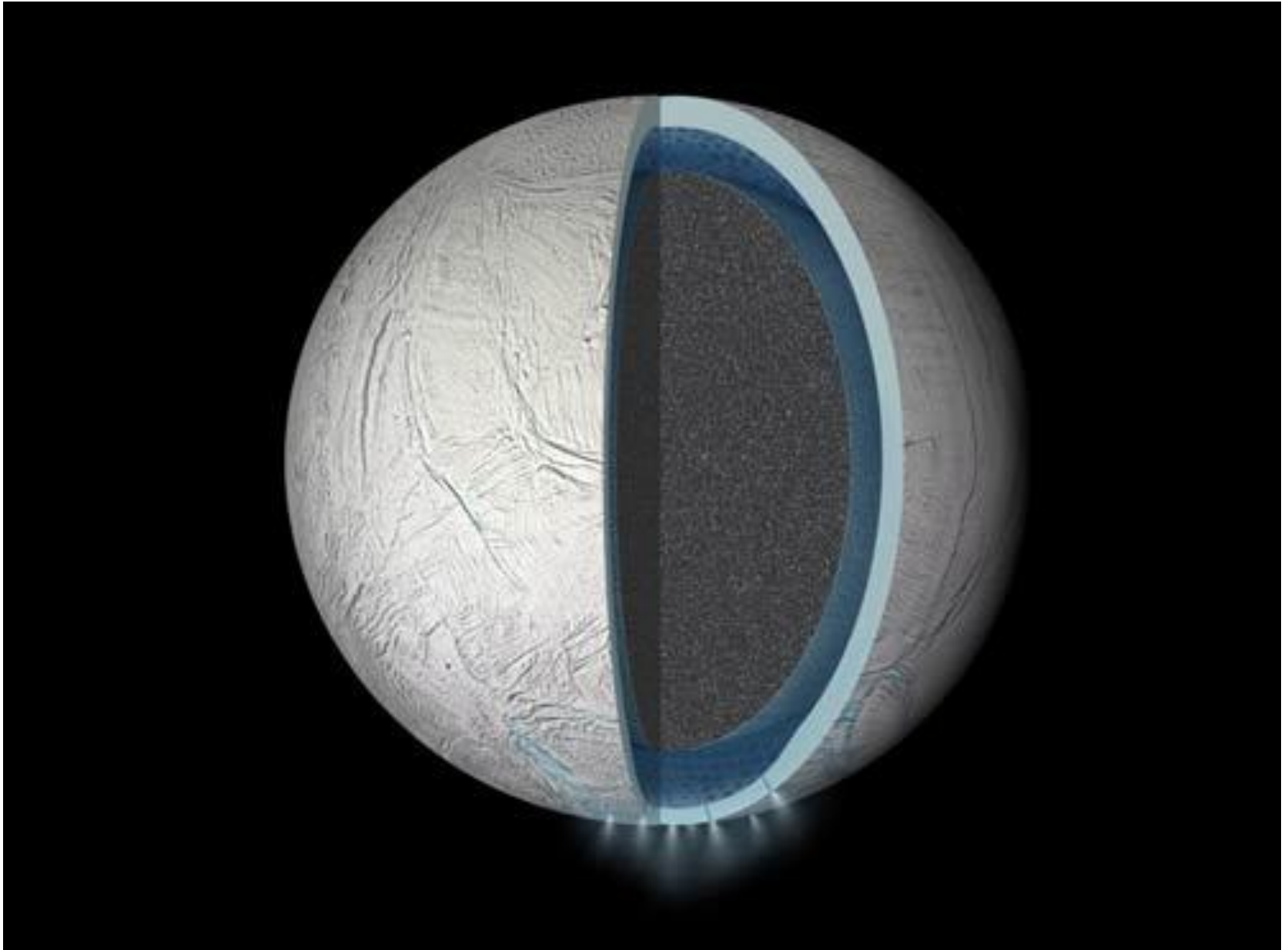
Her illustreres  
vekselvirkningen  
mellom kjernen og  
vannet i bunnen av  
havet under overflaten  
på Enceladus.



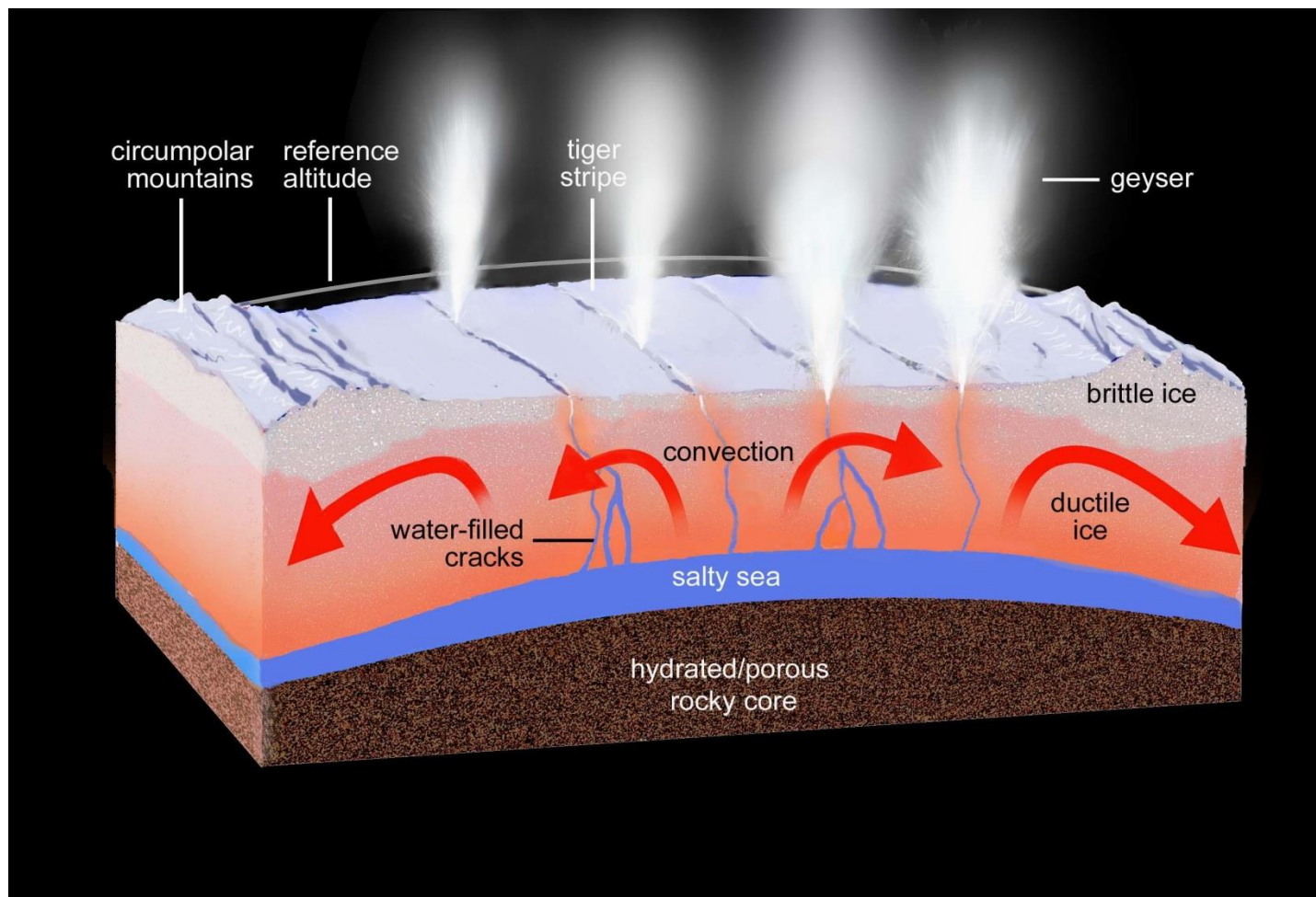
# Trapping of Methane in Enceladus' Ocean



Nok en illustrasjon av havet under is-skallet på Enceladus



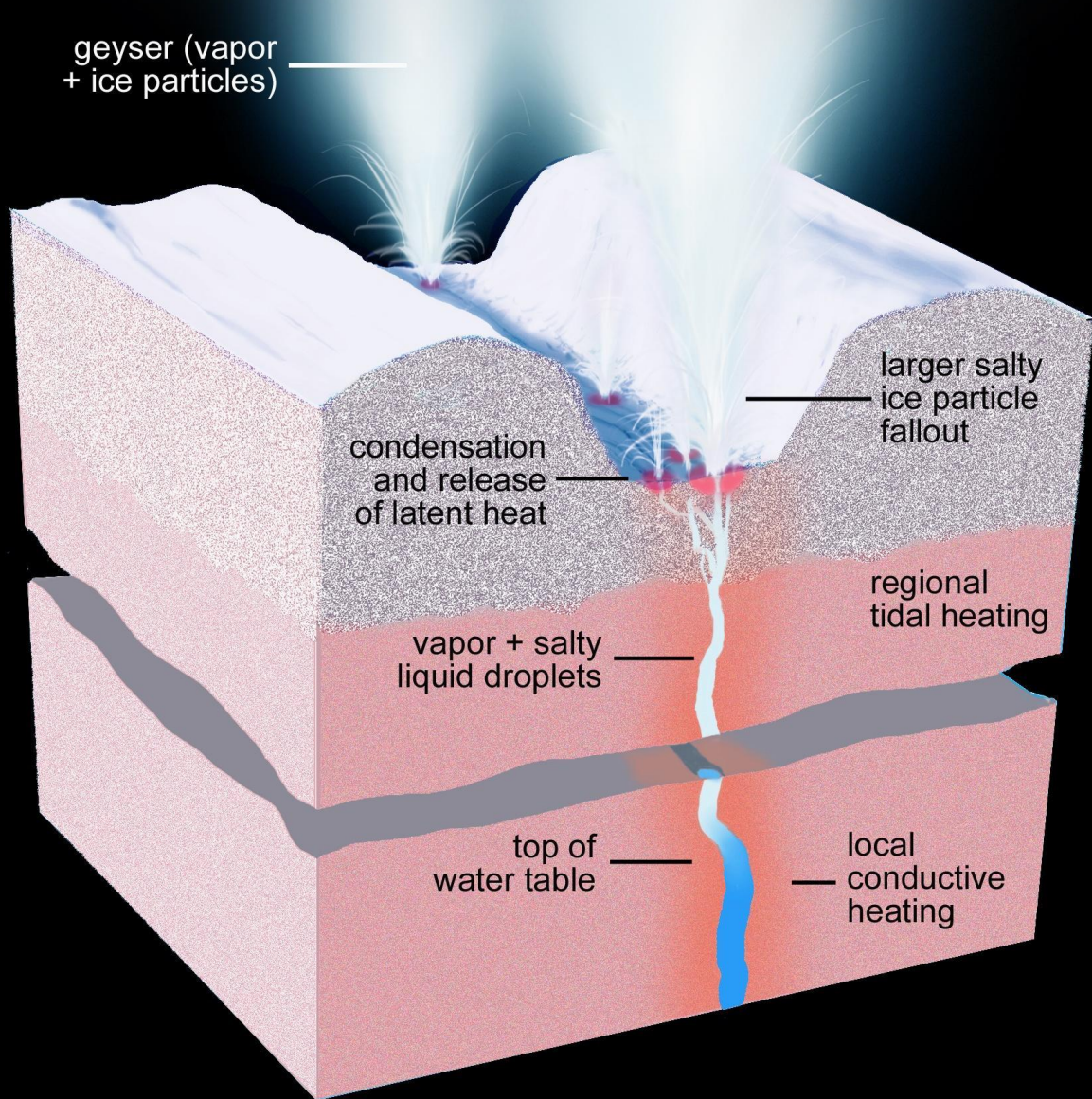
# Tegn til at den indre stukturaen av Enceladus varierer med posisjonen



Cassinis målinger av hvordan tettheten av Enceladus varierer med posisjonen tyder på at det er forskjellig tetthet på ulike steder. Det betyr at også temperaturen varierer med posisjonen, og at det forgår varmestransport i det indre av Enceladus både vertikalt og horisontalt. Dette tyder også på at det er strømmer av vann og gass i det indre av Enceladus. Det kan derfor foregå en transport av stoffer som fosfor, svovel og potassium som lekker ut av fjellene og inn i havet utenfor kjernen.

smaller escaping  
salt-free ice particles

geyser (vapor  
+ ice particles)



condensation  
and release  
of latent heat

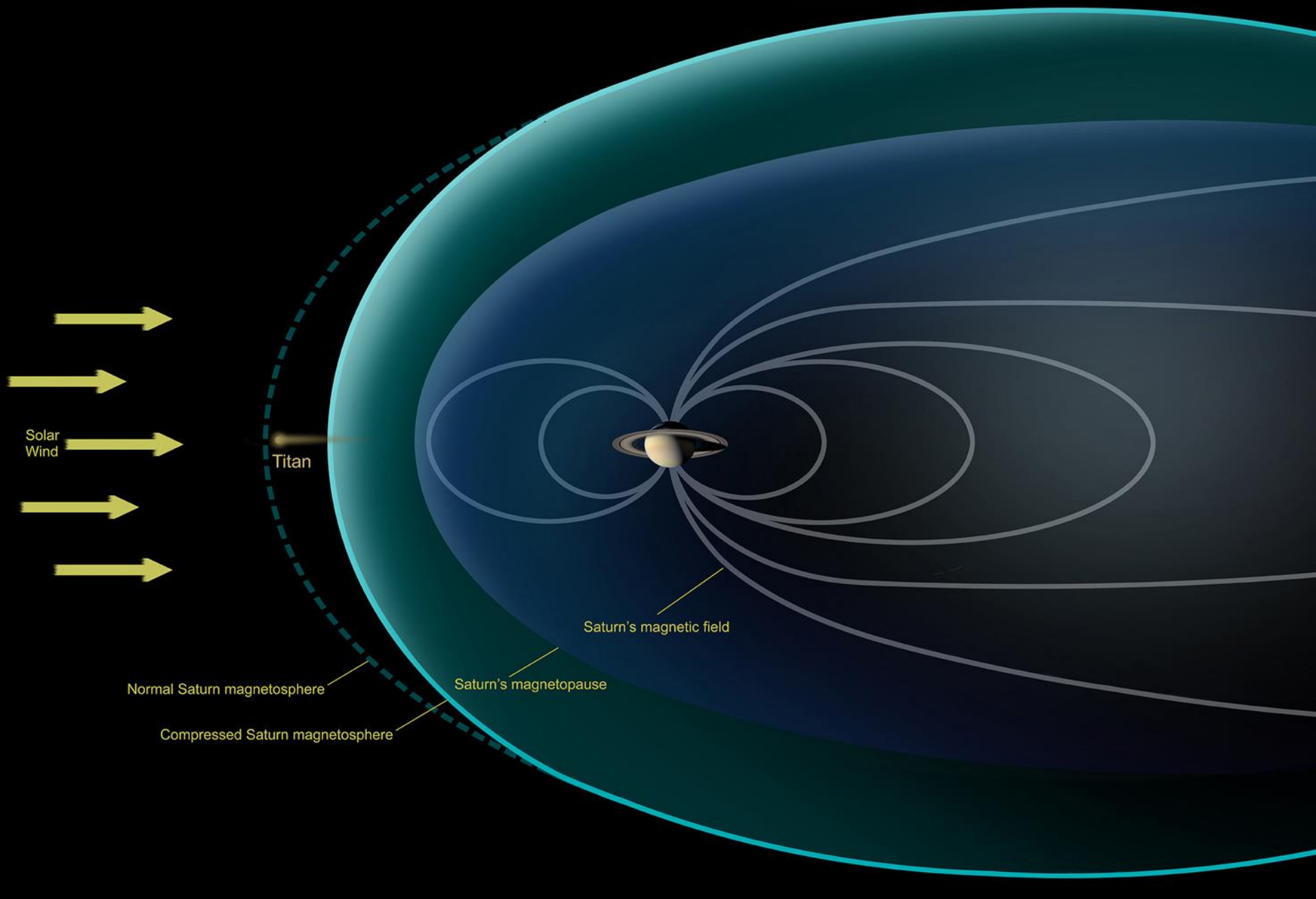
larger salty  
ice particle  
fallout

regional  
tidal heating

vapor + salty  
liquid droplets

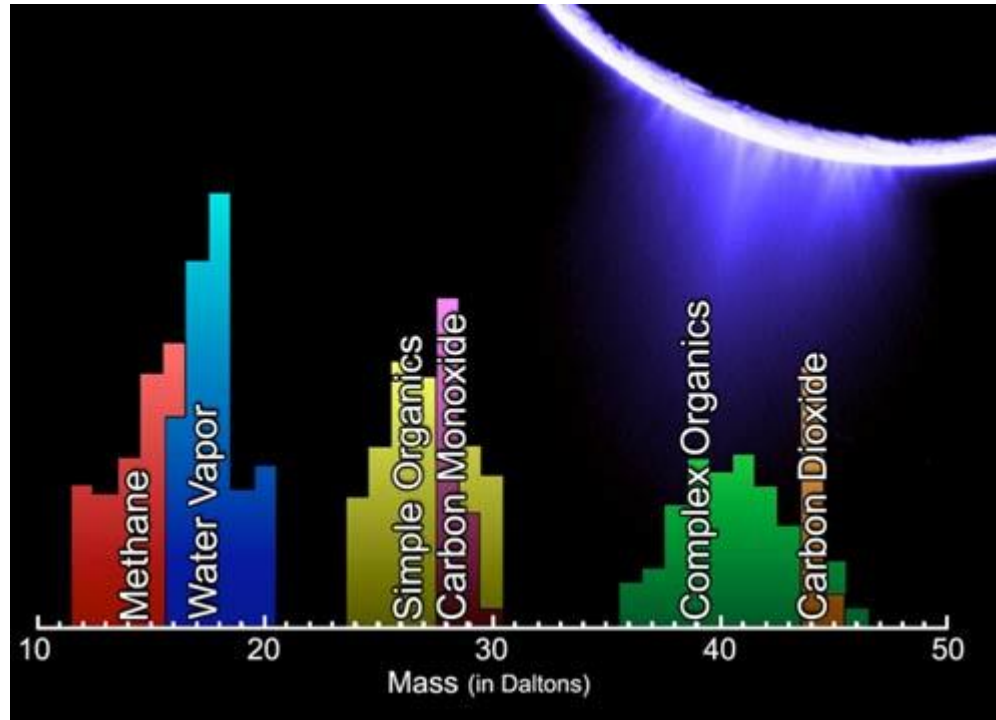
top of  
water table

local  
conductive  
heating



Illustrasjon av at de ladde partiklene i solvinden avbøyes av Saturns magnetiske felt.

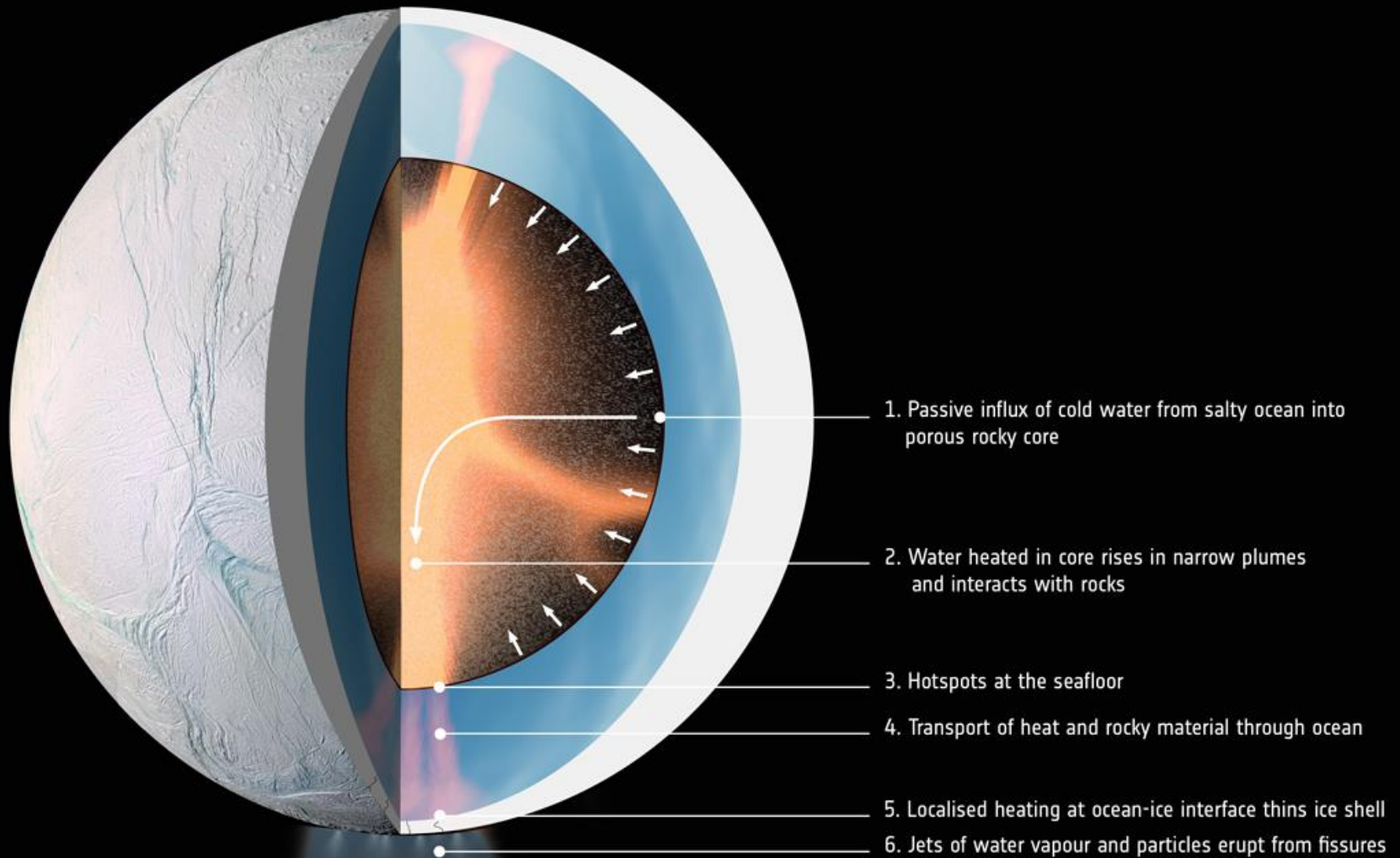
# Det oppdages organiske molekyler i Enceladis sine fontener



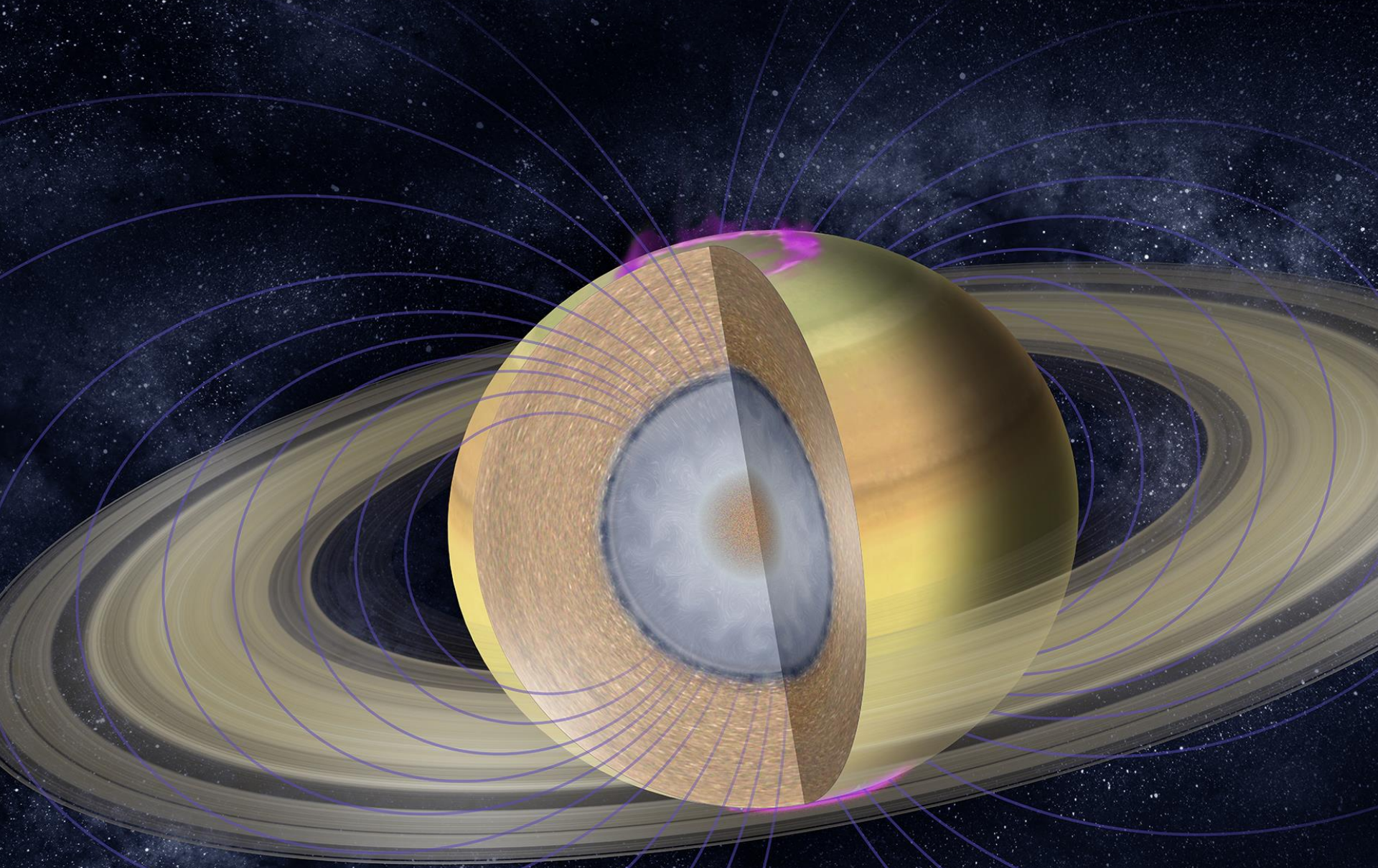
Fontenene inneholder salte partikler og organiske molekyler som ammonium-is, metan og andre hydrokarboner.



# Vitenskapelige høydepunkter 2017



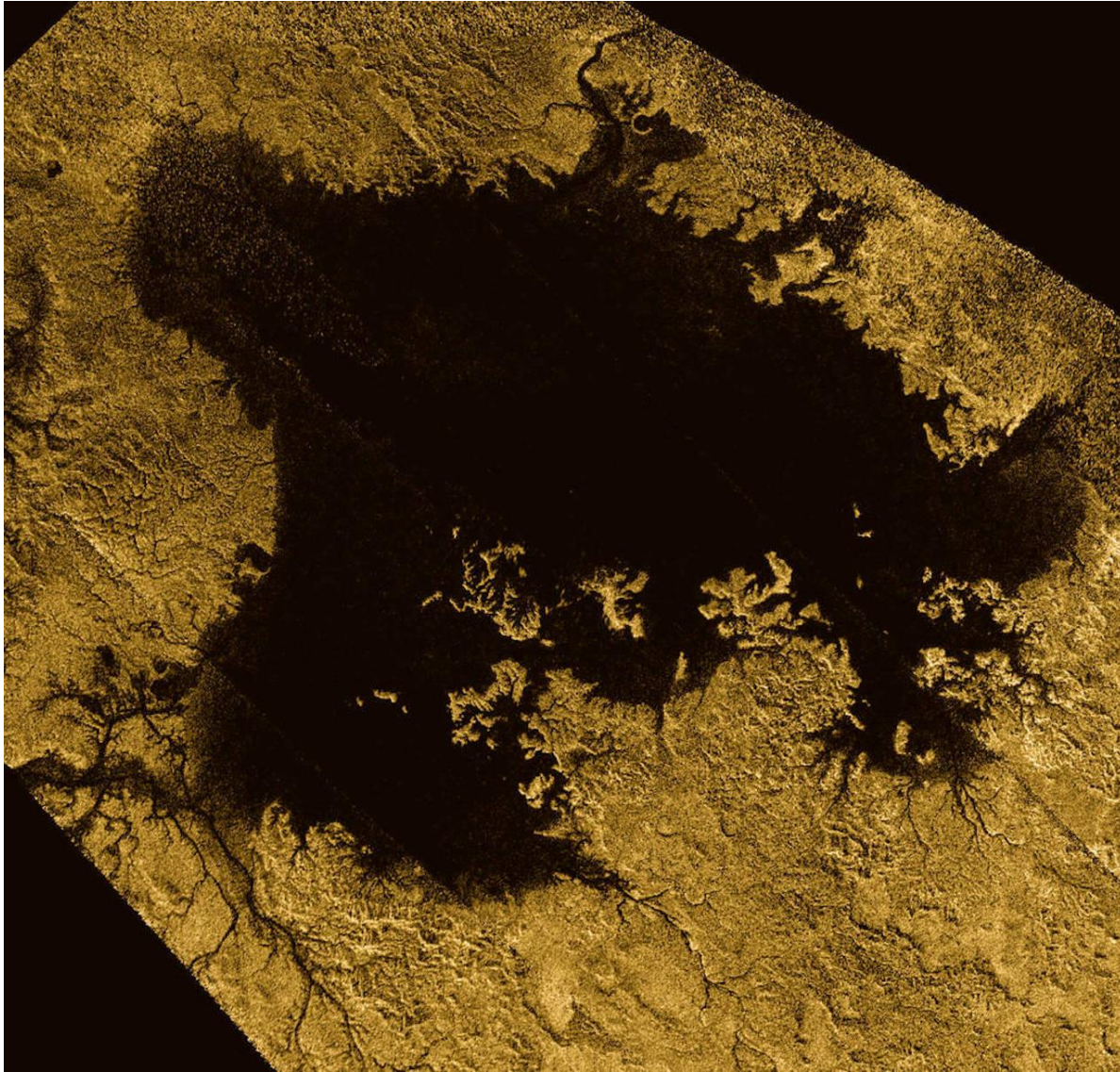
Nye studier viser at friksjonsvarme fra tidevannskrefter kan ha drevet hydrotermisk aktivitet i kjernen av Enceladus i flere milliarder år dersom kjernen har en porøs struktur.



Det indre av Saturn med en kjerne av tunge grunnstoffer (oransje), et lag med flytende, metallisk hydrogen (grått), og en gass av molekylært hydrogen (brunt). Planetens magnetiske felt kommer trolig fra elektriske strømmer på toppen av laget med flytende, metallisk hydrogen.

January 17, 2018

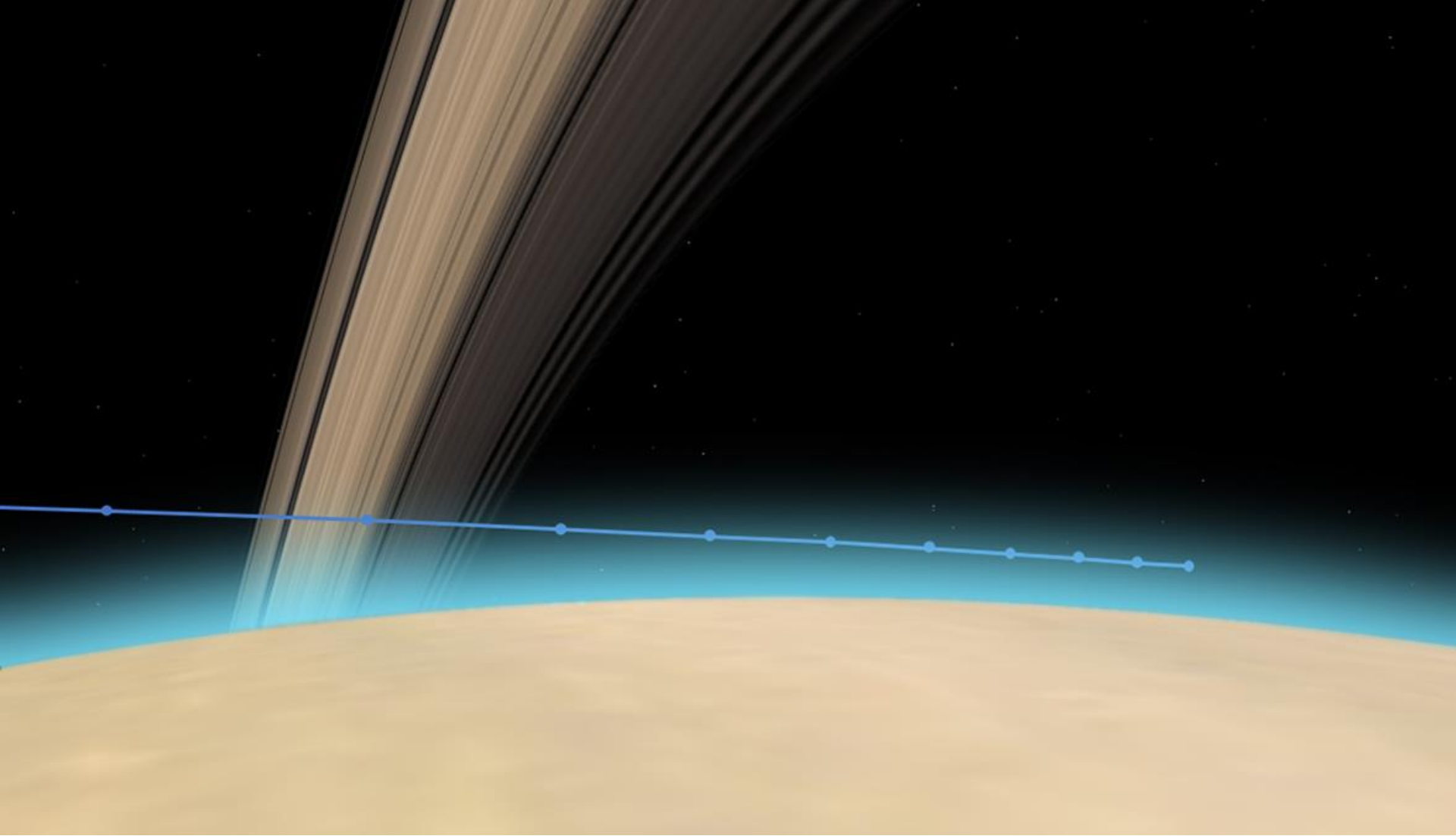
Cassini finner at overflaten av de store innsjøene på Titan ligger på samme høyde.



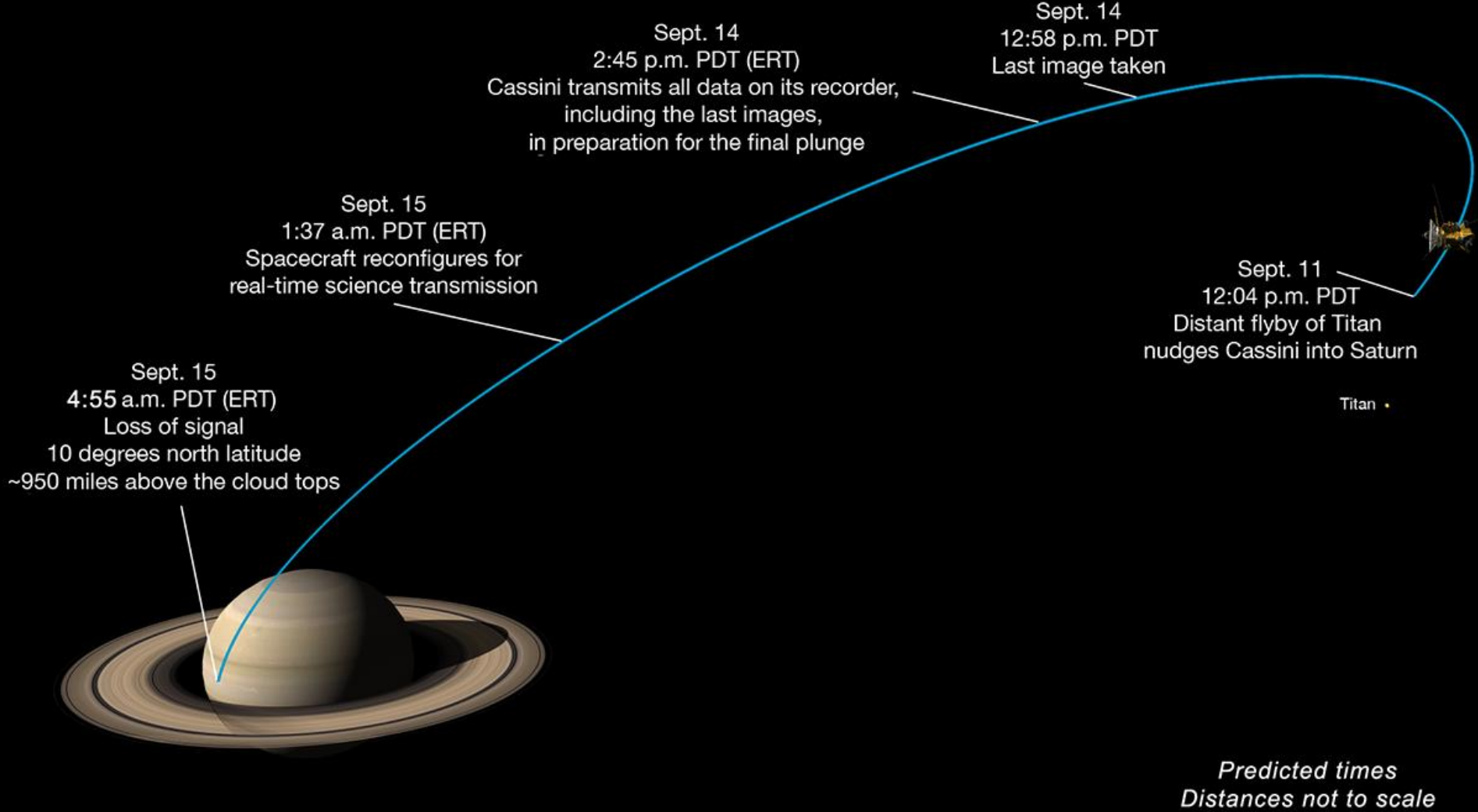
På samme måte som havene på jorda definerer et "havnivå" definerer også de store innsjøene på Titan et felles overflatenivå.

Saturn's måne Lapetus og Saturn

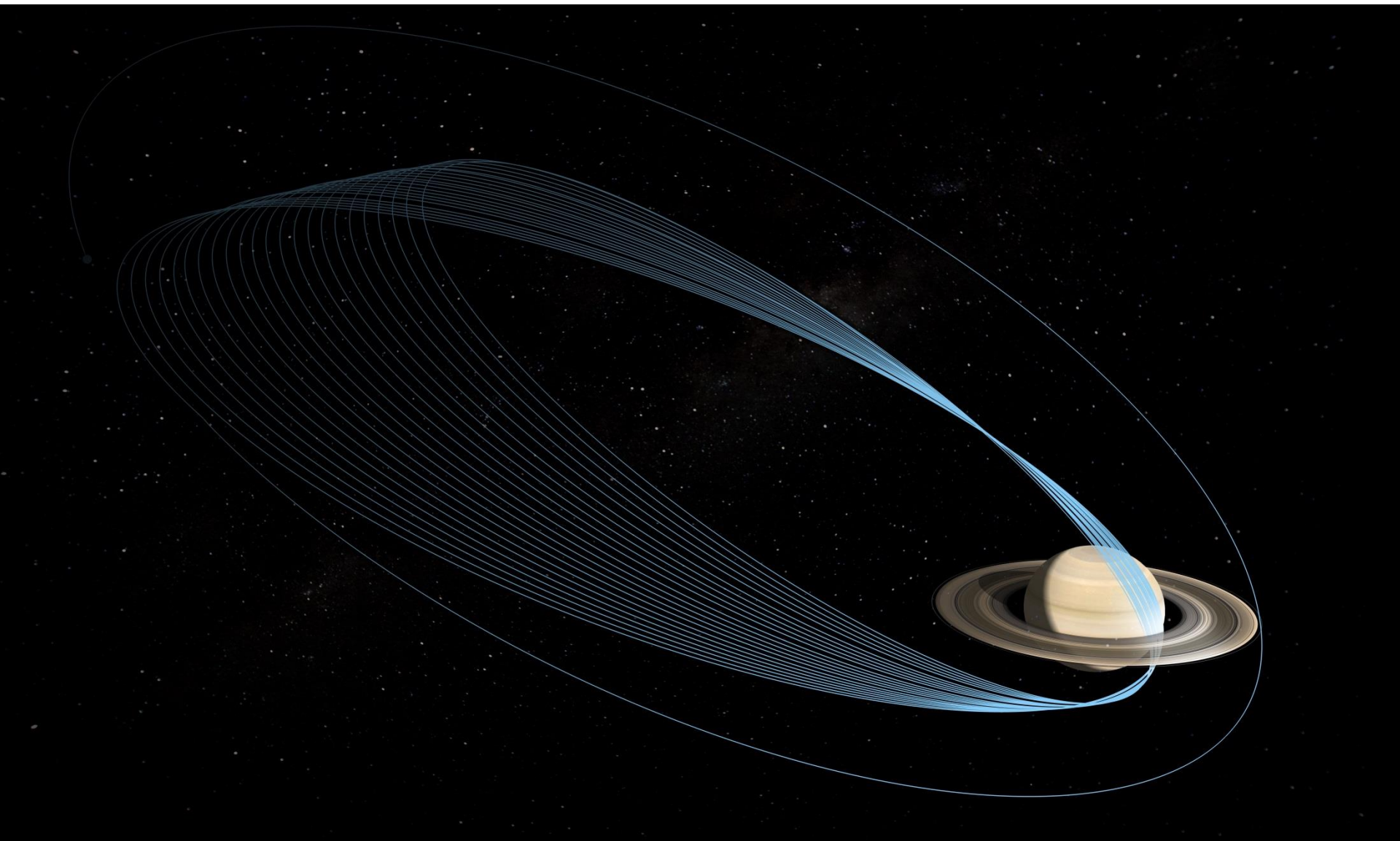




Cassinis siste dykk ned i Saturns atmosfære



Cassinis siste dager



De siste omløpene





**Gas Spectrometer &  
Magnetosphere Imager  
(INMS & MIMI)**

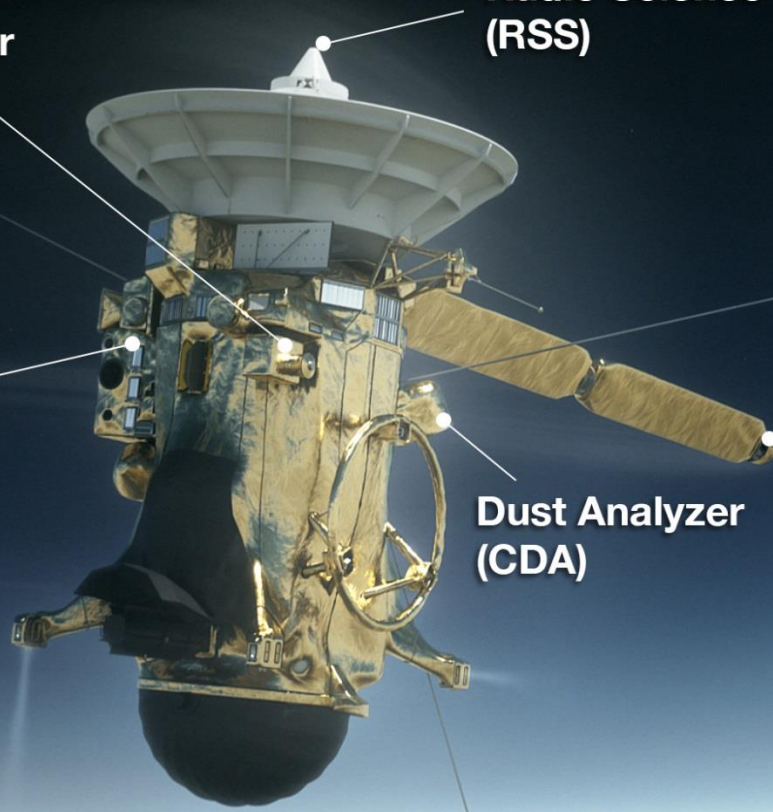
**Radio Science  
(RSS)**

**Radio & Plasma  
Wave Antennas  
(RPWS)**

**Infrared & Ultraviolet  
Spectrometers  
(CIRS, UVIS)**

**Dust Analyzer  
(CDA)**

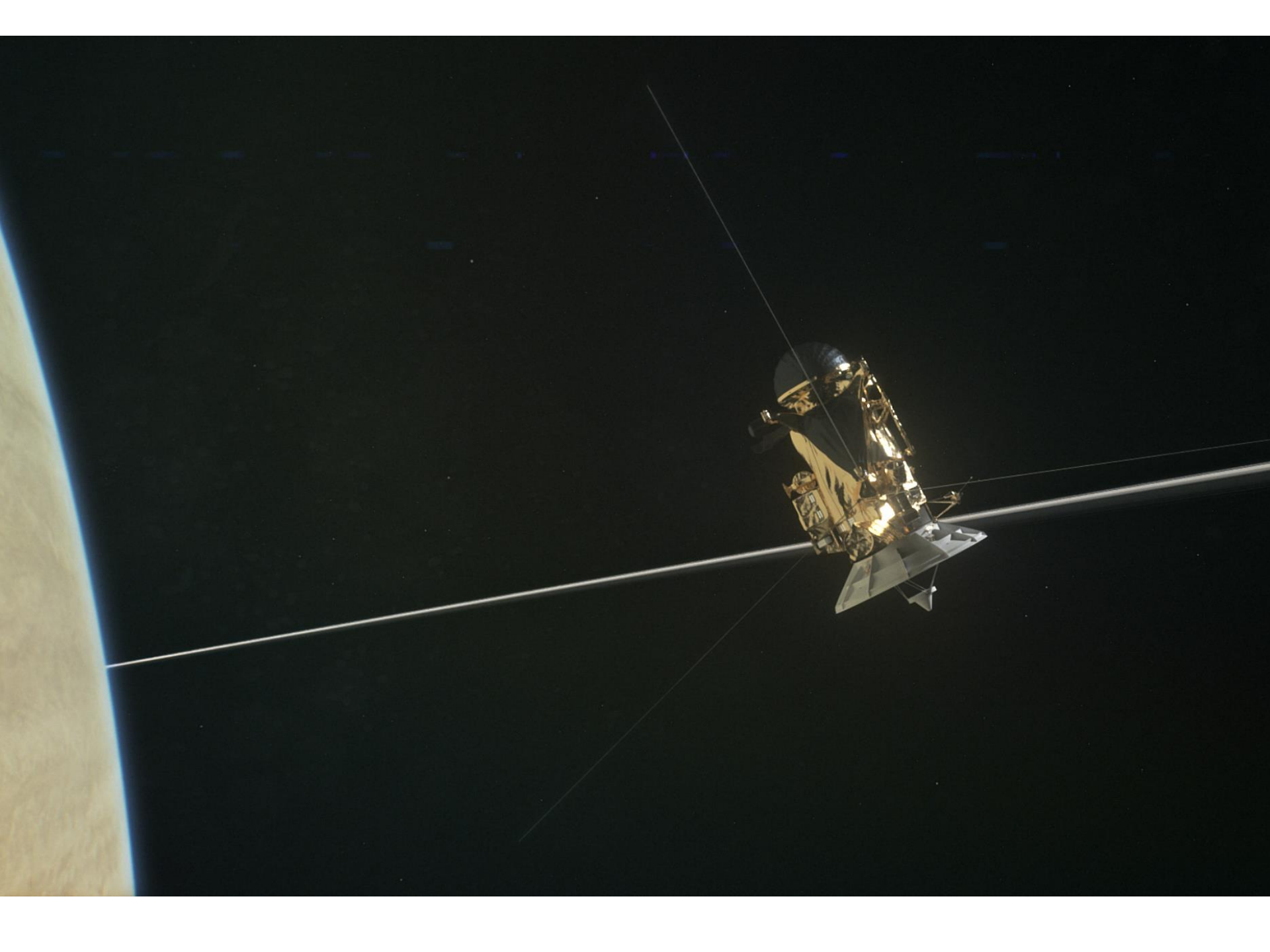
**Magnetometer**

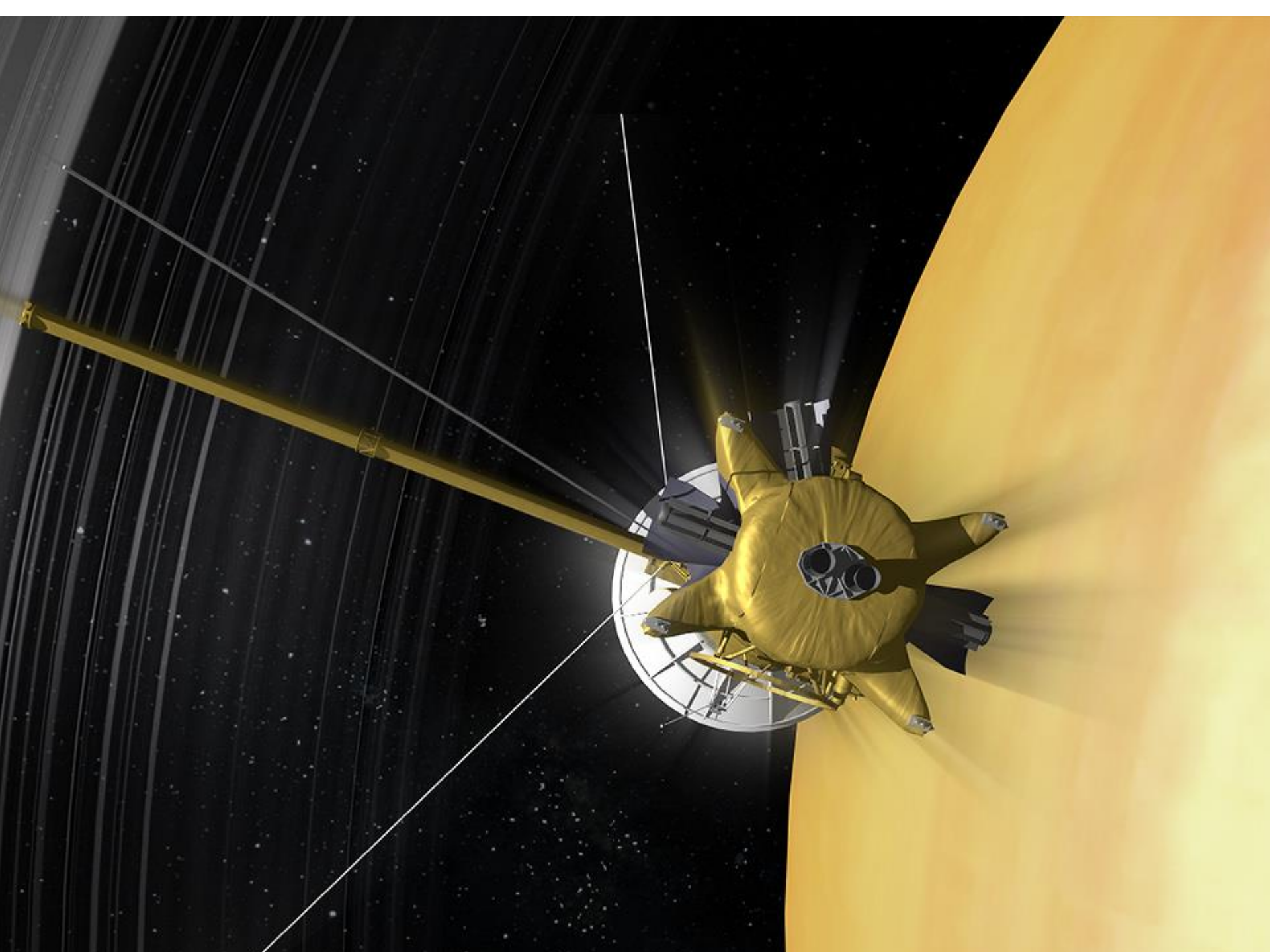


Operative instrumenter under Cassinis siste dykk









# Cassini's Grand Finale

## BY THE NUMBERS

COMING WITHIN

**1,012 miles**

of Saturn's clouds  
(1,628 KILOMETERS)

**22 orbits**  
IN TOTAL

PASSING  
THROUGH A GAP

**1500**

MILES WIDE  
(2400 KILOMETERS)

**76,806**

MPH TOP SPEED  
relative to saturn  
(123,608 KPH)

**5 PASSES**

THROUGH Saturn's  
UPPER ATMOSPHERE

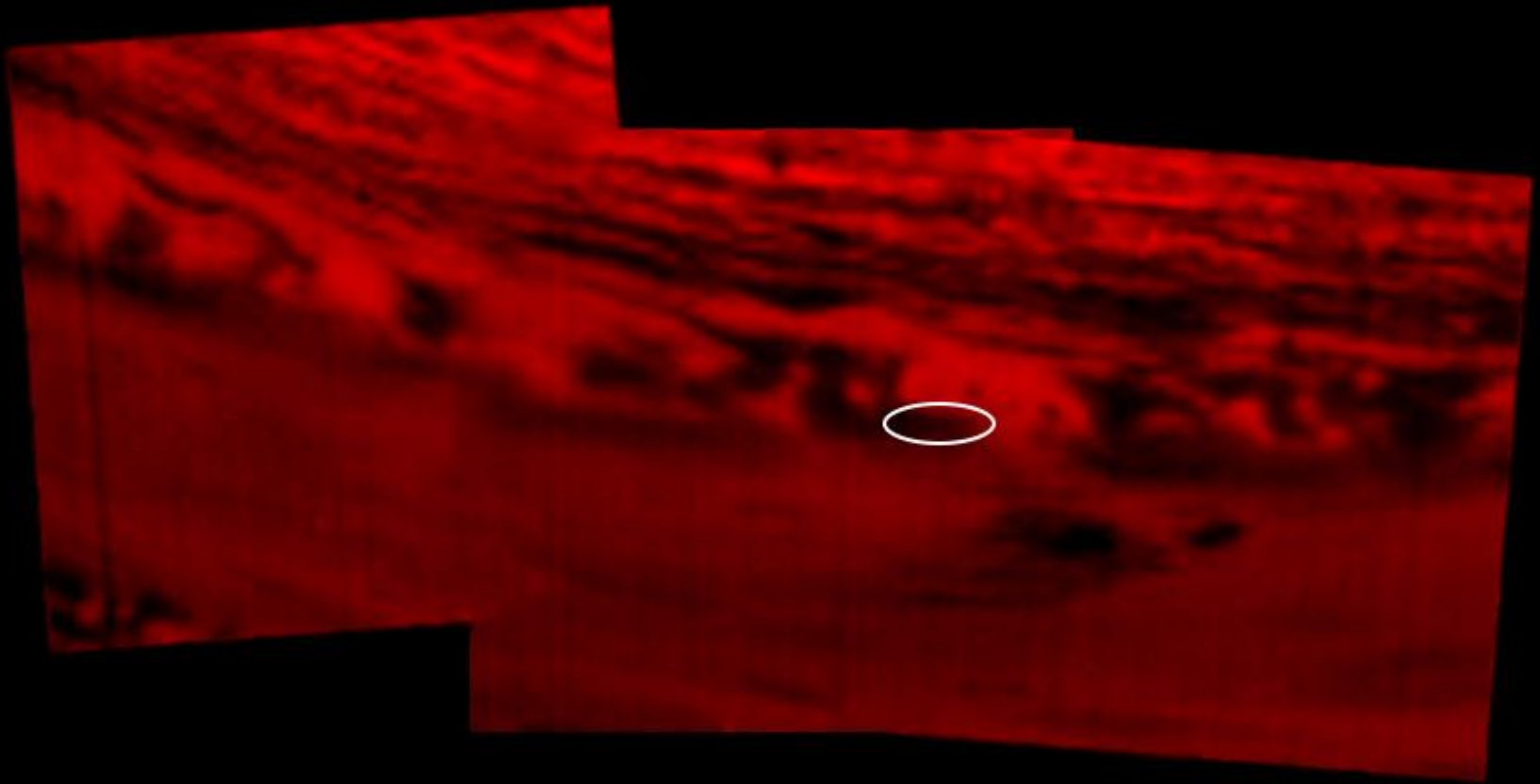
**4 PASSES**

THROUGH Saturn's  
innermost ring (D ring)

**1 final plunge**  
into Saturn  
September 15, 2017

**1 minute from**  
atmosphere entry  
TO LOSS OF CONTACT





*Denne montasjen av bilder laget ved hjelp av data fra Cassinis visual and infrared mapping spectrometer, viser lokaliseringen på Saturn der Cassini entret Saturns atmosfære 15. september, 2017.*

Visjoner av fremtiden: en tur til Saturns måne Titan



TITAN