

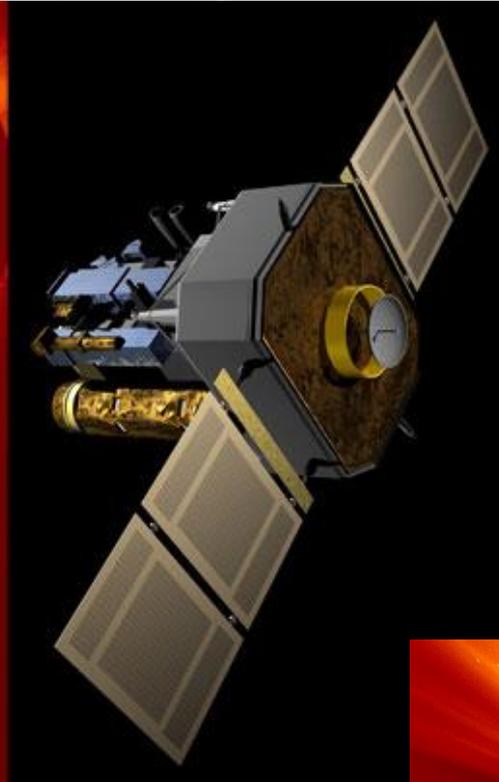
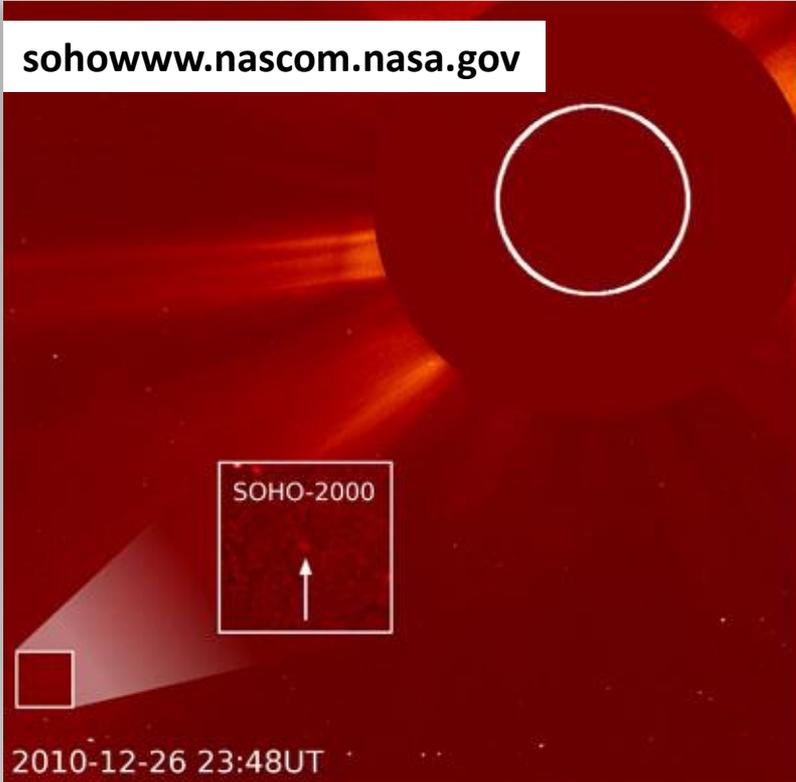
# *Wyprawa na kometę*

*Tomek Mrozek*

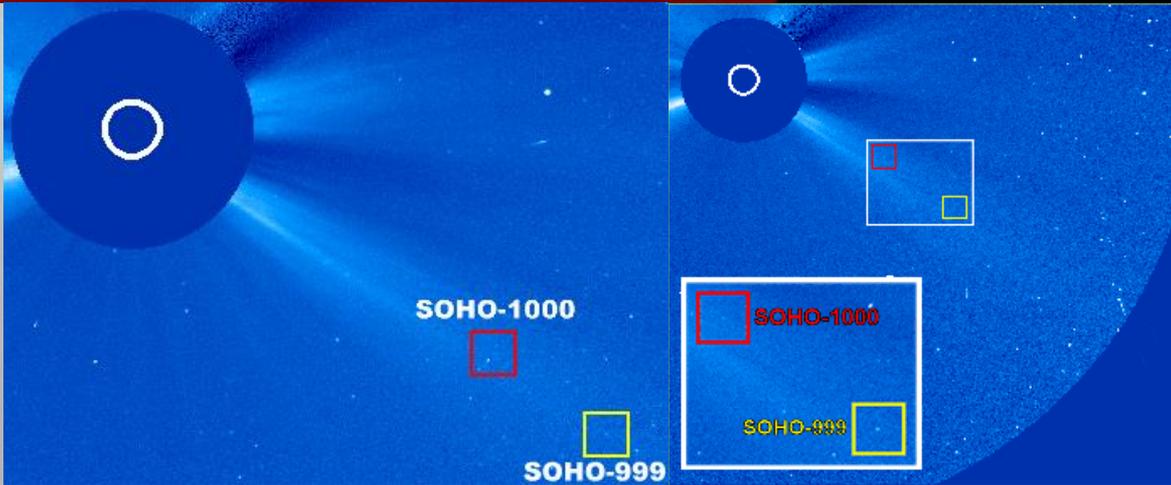
- 1. Instytut Astronomiczny UWr*
- 2. Zakład Fizyki Słońca CBK PAN*

# Jak odkryć kometę bez teleskopu?

[sohowww.nascom.nasa.gov](http://sohowww.nascom.nasa.gov)



Michał Kusiak, student astronomii na UJ odkrywca komety SOHO-2000



# D1 SOHO



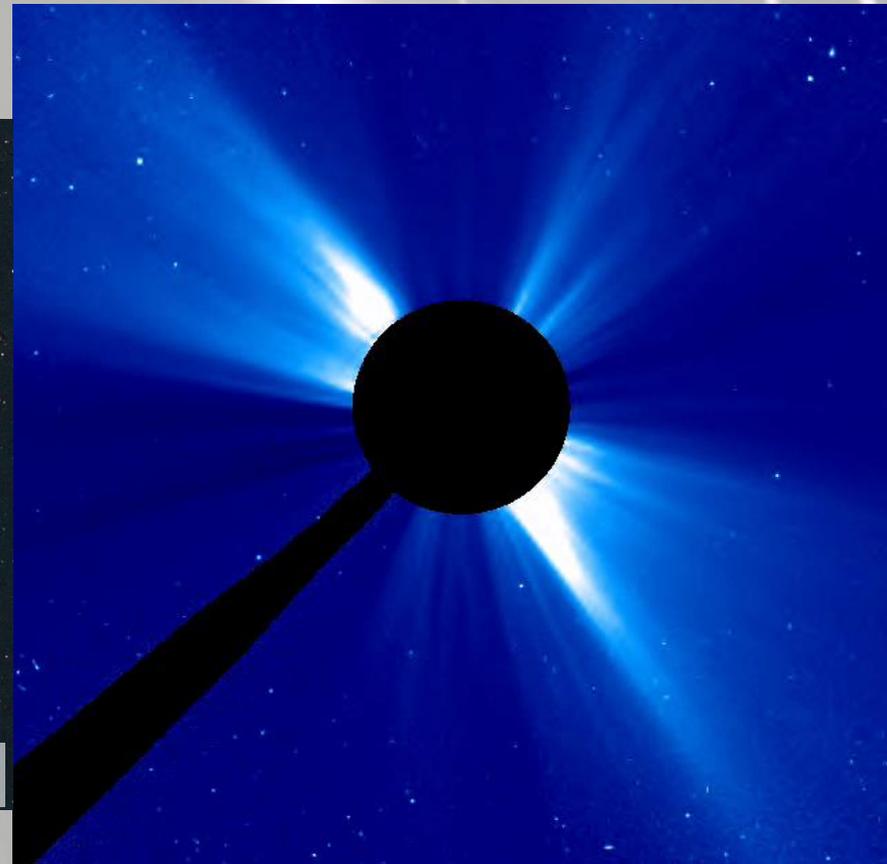
Odkryta 18 lutego 2015 r. przez astronoma amatora Worachate Boonplod z Tajlandii

W peryhelium znajdowała się około 4.2 mln km od powierzchni Słońca.



fot. Michael Jaeger

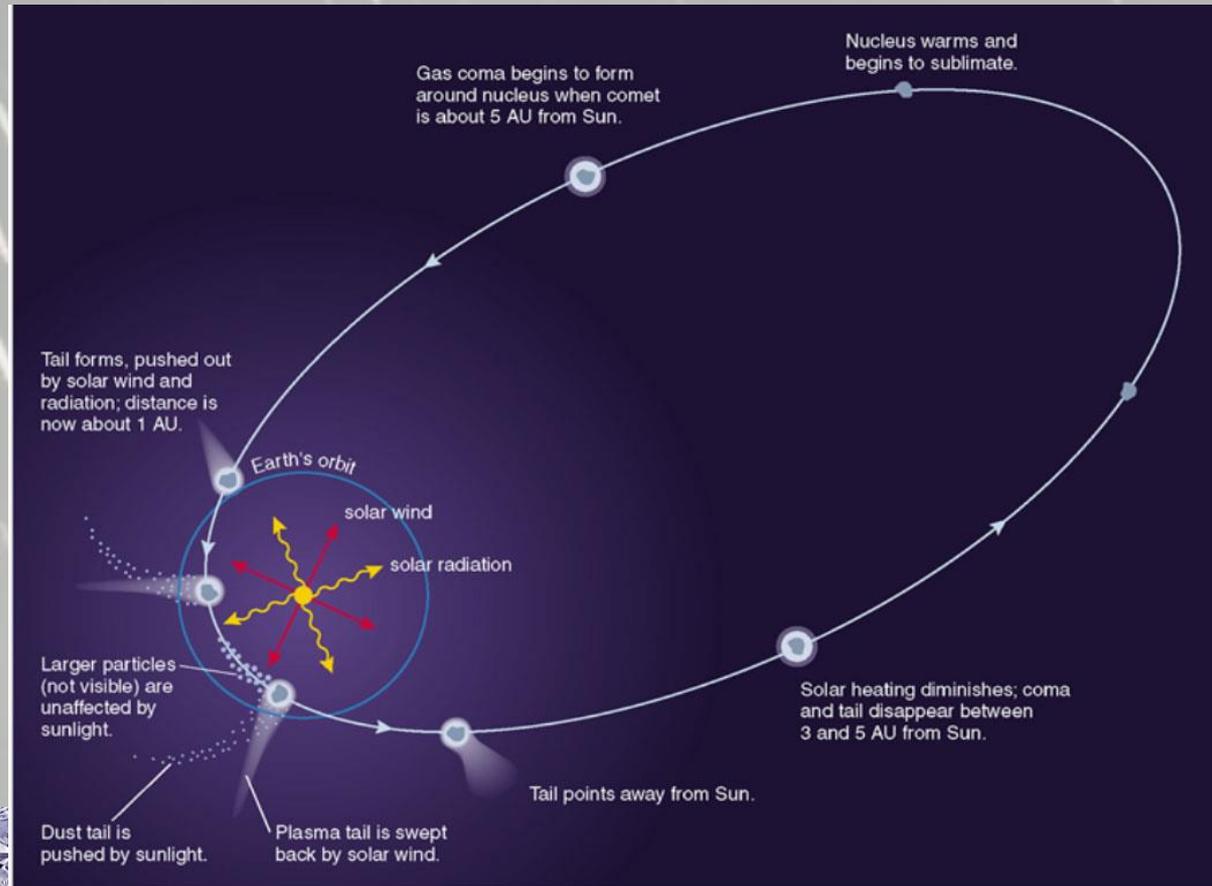
28 lutego 2015, po przejściu przez peryhelium



# Ale dlaczego odparowują?



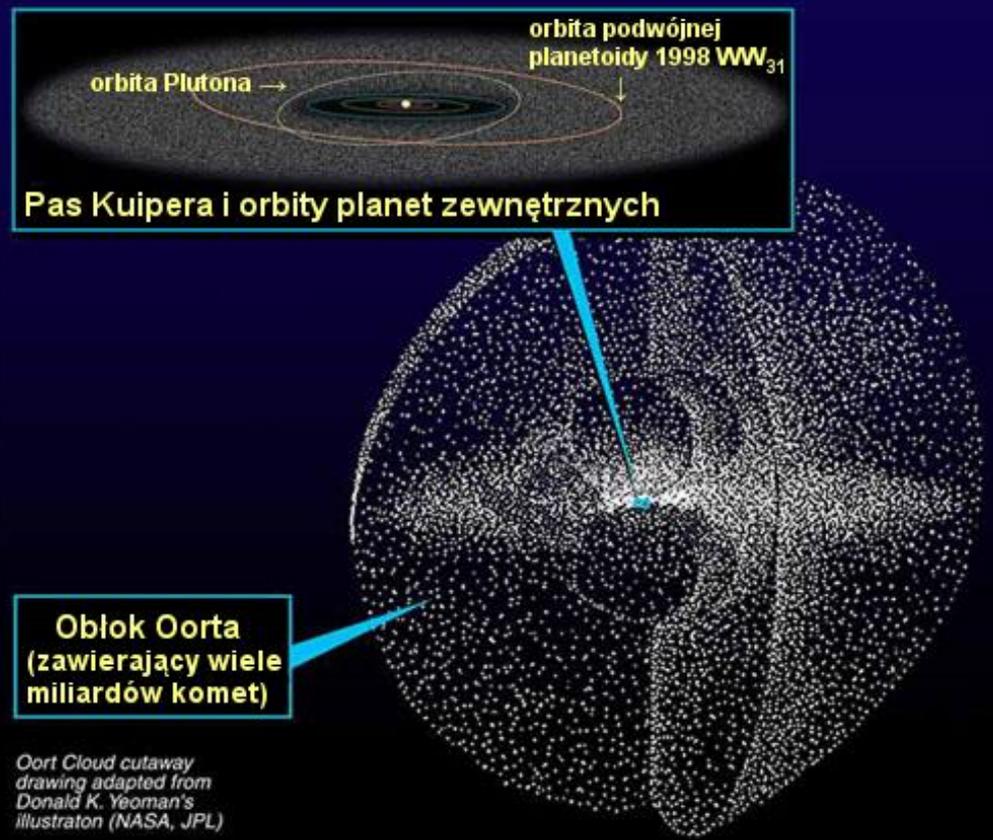
Jądro komety Halleya sfotografowane przez sondę Giotto 13 i 14 marca 1986 r.



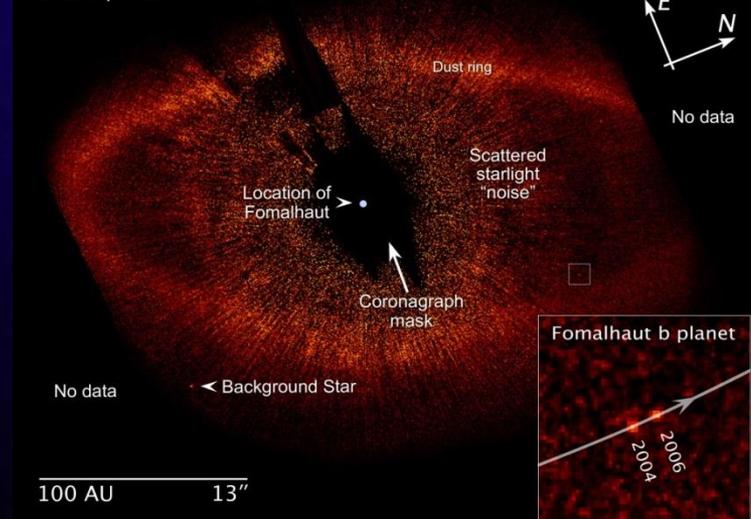
© 2005 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley

Komety przybywają z zimnych, odległych obszarów Układu Słonecznego – z miejsca, w którym powstały.

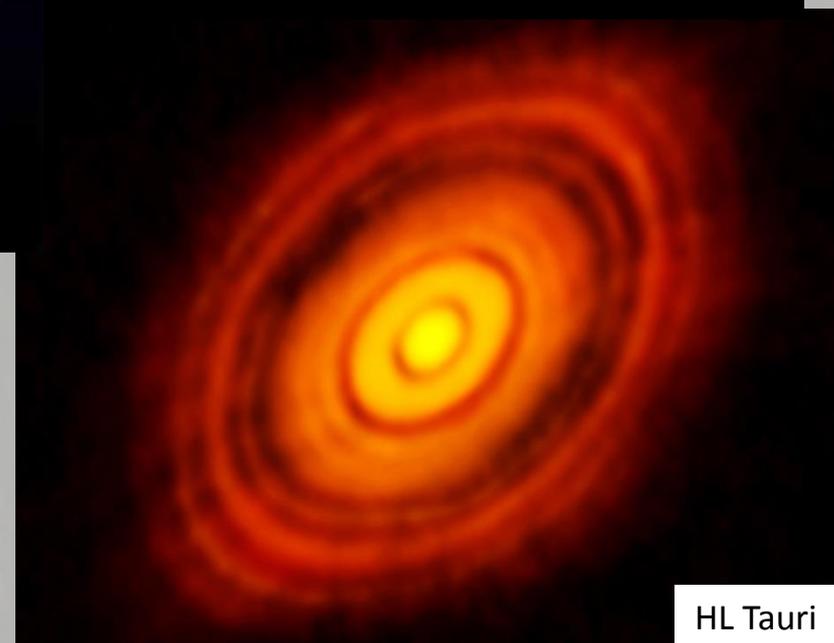
# Pas Kuipera, obłok Oorta. Inne gwiazdy.



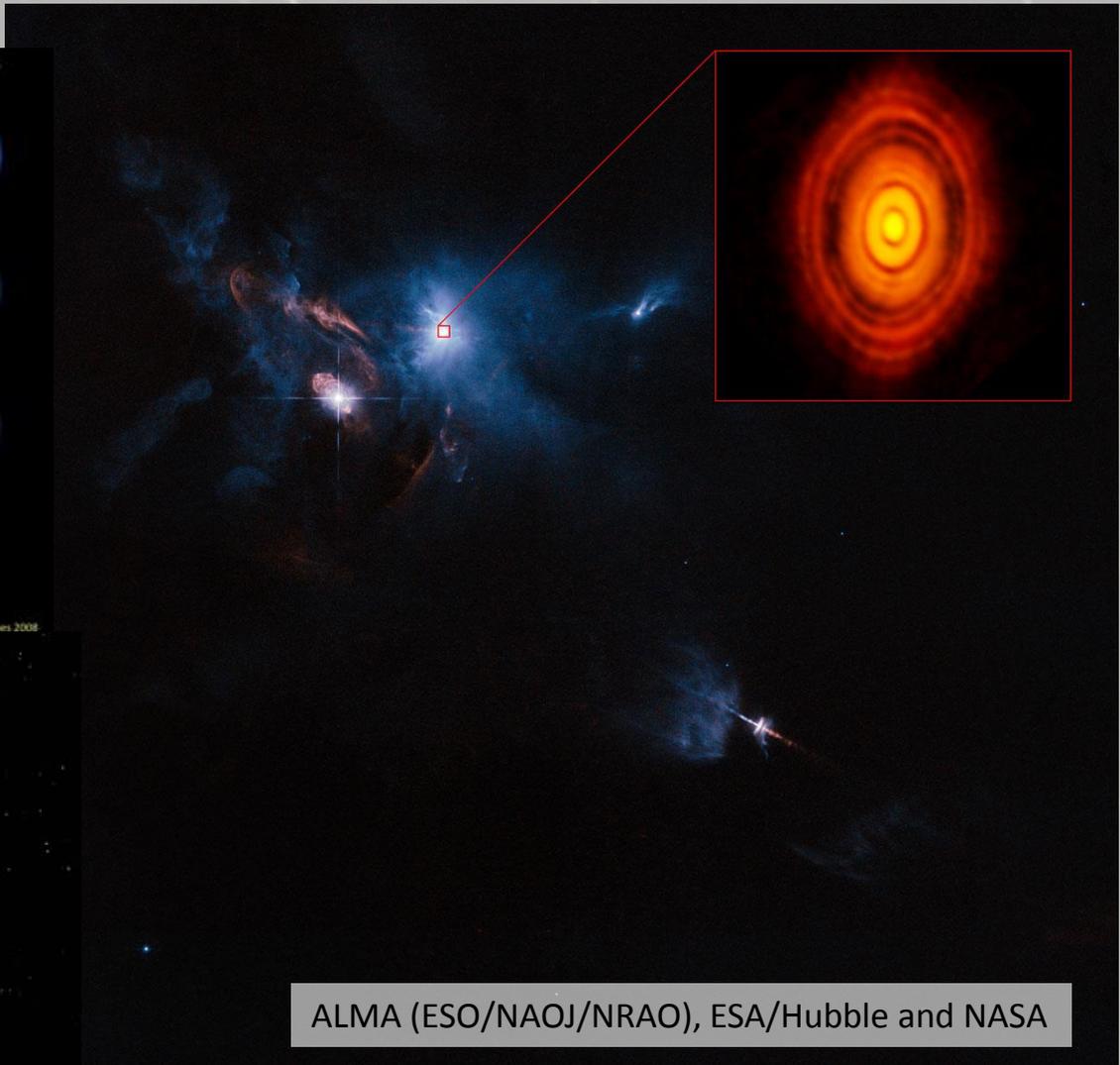
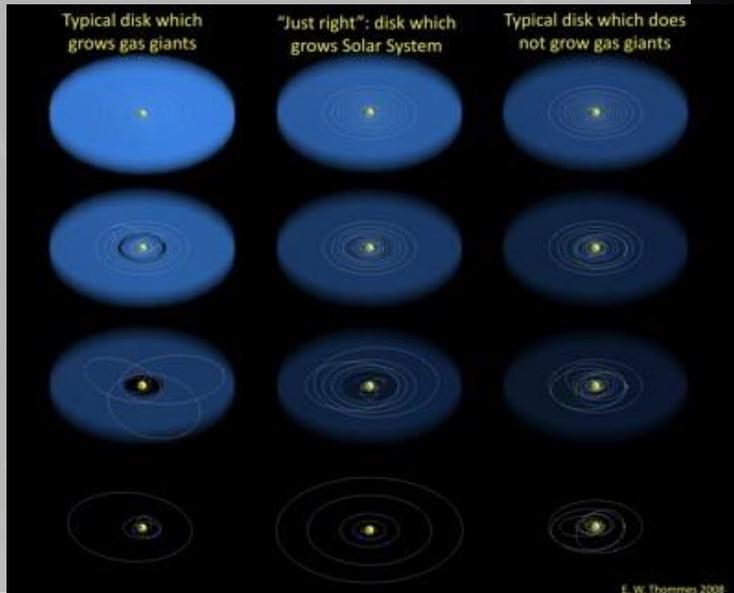
Fomalhaut  
HST ACS/HRC



Analiza orbit komet wskazuje, że w aphelium znajdują się w ogromnych odległościach od Słońca – tam prawdopodobnie istnieje ich rezerwuuar.

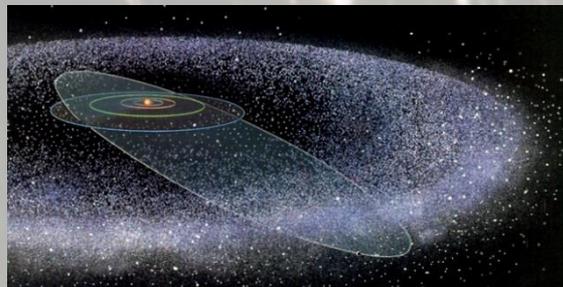
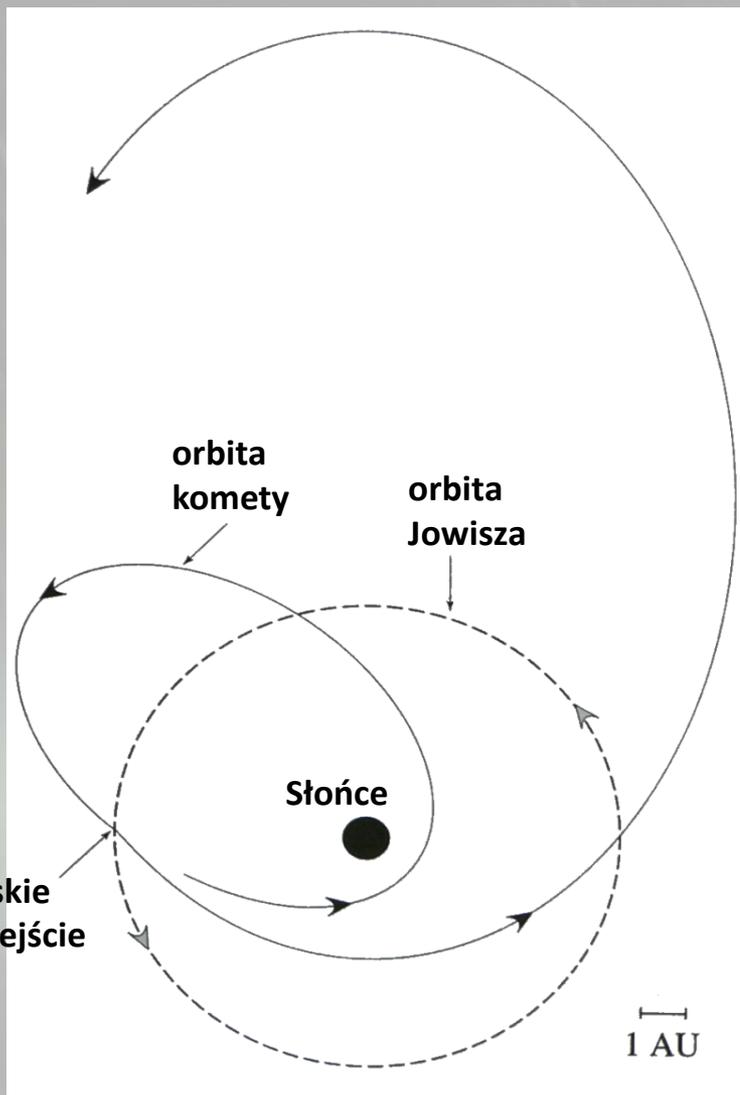


# Powstawanie układów planetarnych.



Obraz otoczenia gwiazdy HL Tauri

# Chwytnie komet.



D/1993 F2 (Shoemaker-Levy)

Czasami przechwycone przez Jowisza komety spadają na niego, ale częściej ich orbita ulega zmianie i zostają uwięzione w wewnętrznych obszarach Układu Słonecznego.

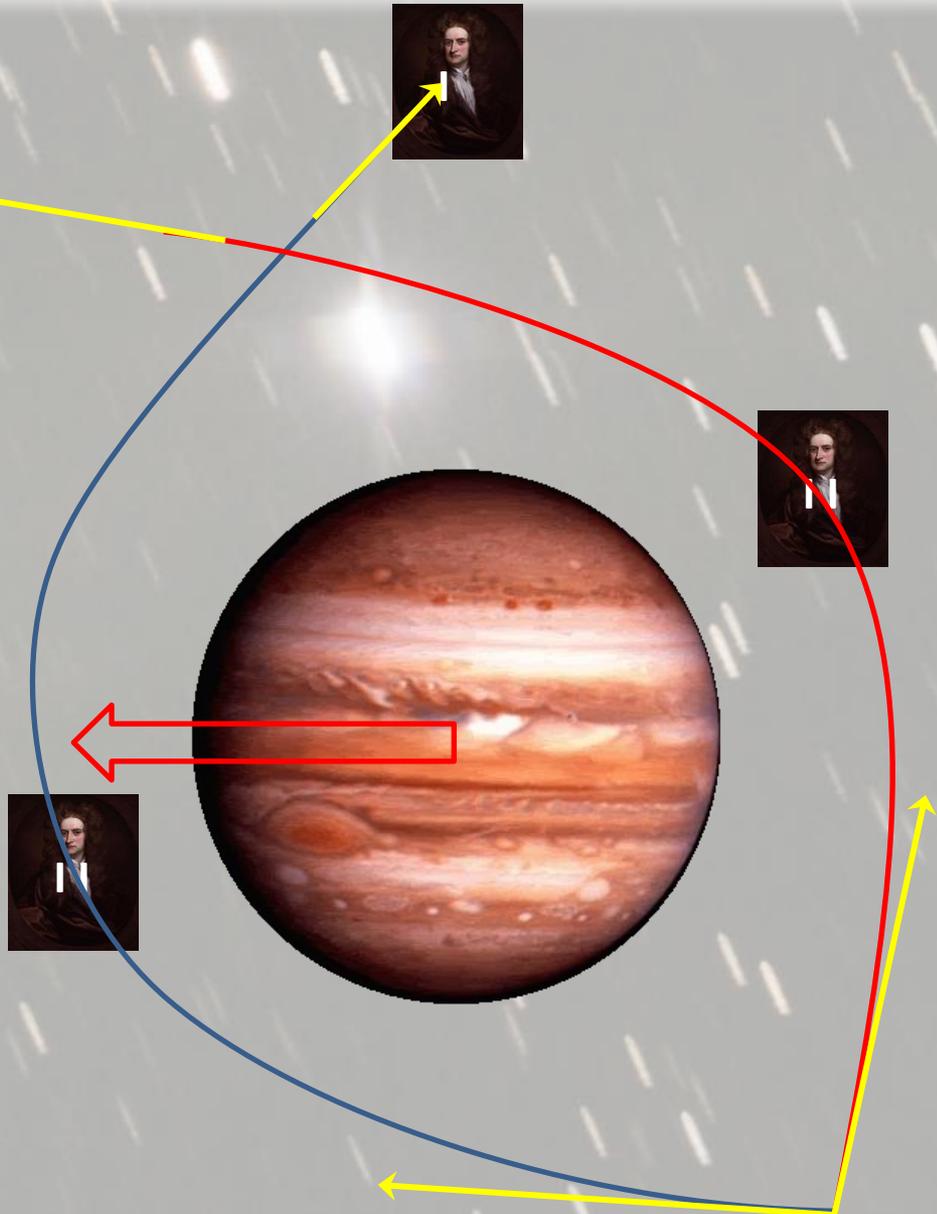
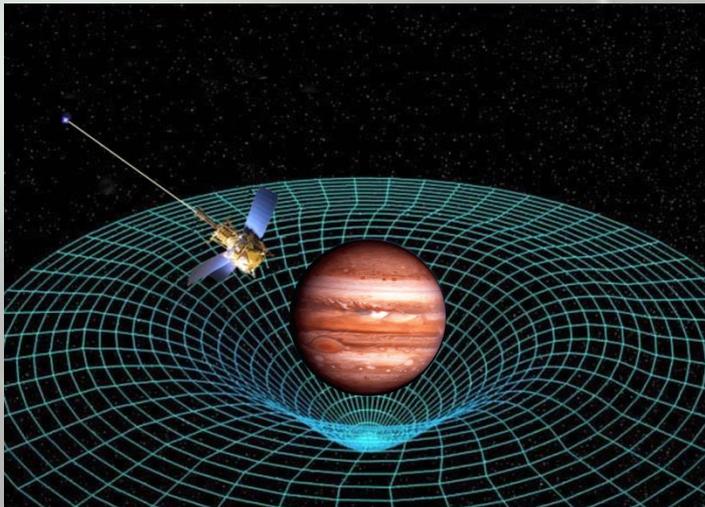
# Asysta grawitacyjna



W tym wypadku siłą działającą na satelitę jest grawitacja masywnego obiektu – planety.

Bardzo efektywna i szeroko wykorzystywana metoda – minimalne ilości paliwa, duży zysk prędkości

To daje możliwość dotarcia do komety, ale po dość skomplikowanej trajektorii



# Wystarczy policzyć...

$$R_1^2 \dot{\theta} = \text{const} = c_1 = \left( \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 c$$

$$R_2^2 \dot{\theta} = \text{const} = c_2 = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} \right)^2 c$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = P_3 P_2 P_1 \begin{pmatrix} r \cos \upsilon \\ r \sin \upsilon \\ 0 \end{pmatrix} =$$

$$v_{\xi k} = \frac{d\xi_k}{dt} - (\eta_k \omega_3 - \zeta_k \omega_2) = x_k^o \frac{d\lambda}{dt} - \lambda (y_k^o \omega_3 - z_k^o \omega_2)$$

$$v_{\eta k} = \frac{d\eta_k}{dt} - (\zeta_k \omega_1 - \xi_k \omega_3) = y_k^o \frac{d\lambda}{dt} - \lambda (z_k^o \omega_1 - x_k^o \omega_3)$$

$$v_{\zeta k} = \frac{d\zeta_k}{dt} - (\xi_k \omega_2 - \eta_k \omega_1) = z_k^o \frac{d\lambda}{dt} - \lambda (x_k^o \omega_2 - y_k^o \omega_1)$$

$$= r \begin{pmatrix} \cos \Omega \cos(\omega + \upsilon) - \sin \Omega \sin(\omega + \upsilon) \cos I \\ \sin \Omega \cos(\omega + \upsilon) + \cos \Omega \sin(\omega + \upsilon) \cos I \\ \sin(\omega + \upsilon) \sin I \end{pmatrix}$$

$$\bar{x} = r \cos \upsilon = a(e - \sec H)$$

$$\bar{y} = r \sin \upsilon = a \sqrt{e^2 - 1} \operatorname{tg} H$$

$$x_j^o \left[ \lambda^2 \omega_1 \omega_2 + \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_3) \right] + y_j^o \left[ \lambda^2 \omega_1 \omega_2 - \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_3) \right] + z_j^o \left[ \lambda^2 \omega_1 \omega_3 + \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_2) \right] = \frac{1}{\lambda} \sum_{k \neq j} m_k \frac{x_k^o - x_j^o}{(r_{jk}^o)^3}$$

$$x_j^o \left[ \lambda^2 \omega_1 \omega_2 + \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_3) \right] + y_j^o \left[ \lambda \frac{d^2 \lambda}{dt^2} - \lambda^2 (\omega_3^2 + \omega_1^2) \right] + z_j^o \left[ \lambda^2 \omega_2 \omega_3 - \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_1) \right] = \frac{1}{\lambda} \sum_{k \neq j} m_k \frac{y_k^o - y_j^o}{(r_{jk}^o)^3}$$

$$x_j^o \left[ \lambda^2 \omega_1 \omega_3 - \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_2) \right] + y_j^o \left[ \lambda^2 \omega_2 \omega_3 + \frac{d}{dt} (\lambda^2 \omega_1) \right] + z_j^o \left[ \lambda \frac{d^2 \lambda}{dt^2} - \lambda^2 (\omega_1^2 + \omega_2^2) \right] = \frac{1}{\lambda} \sum_{k \neq j} m_k \frac{z_k^o - z_j^o}{(r_{jk}^o)^3}$$

$$\dot{\bar{x}} = - \frac{a^2 n \operatorname{tg} H}{r} \frac{dT}{dt} \left( \frac{3(T-t) \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{\mu(1-e^2)}} e \sin \upsilon + a^2 \mu^{-1} (1-e^2) \left( \frac{-\cos \upsilon}{e} + \frac{2J}{1+e \cos \upsilon} \right) \right) \left( \frac{\mathbf{x}}{2} \right)^s = \frac{1}{s!} \left( \frac{\mathbf{x}}{2} \right)^s \sum_{\beta=0}^{\infty} (-1)^\beta \frac{(\mathbf{x}/2)^{2\beta}}{\beta! (s+1)(s+2) \dots (s+\beta)}$$

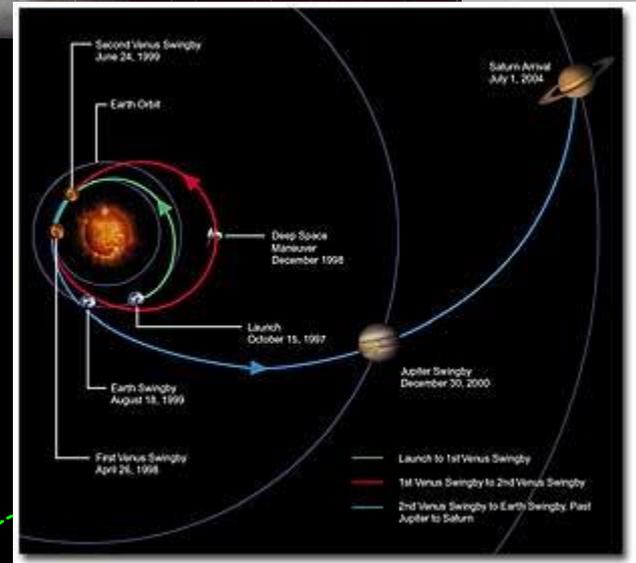
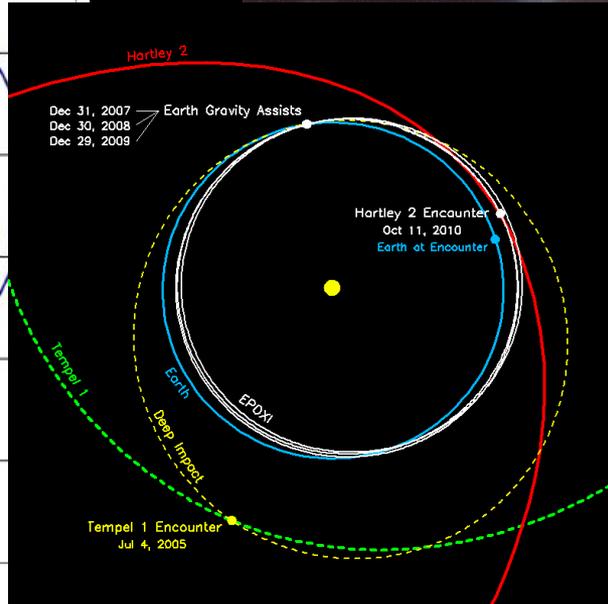
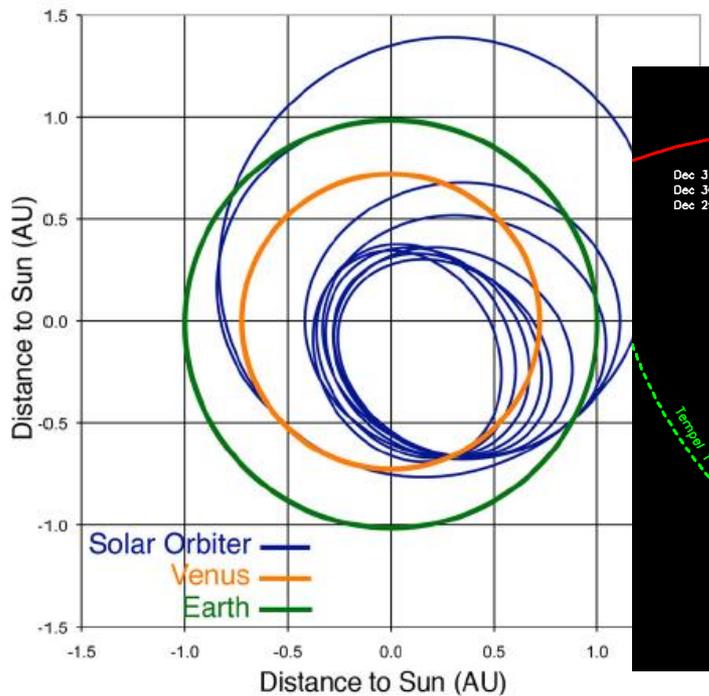
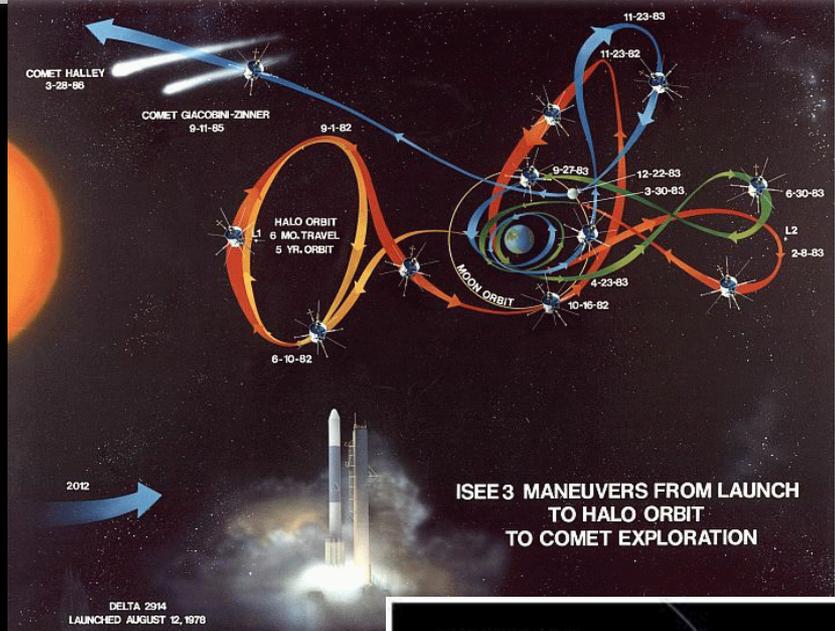
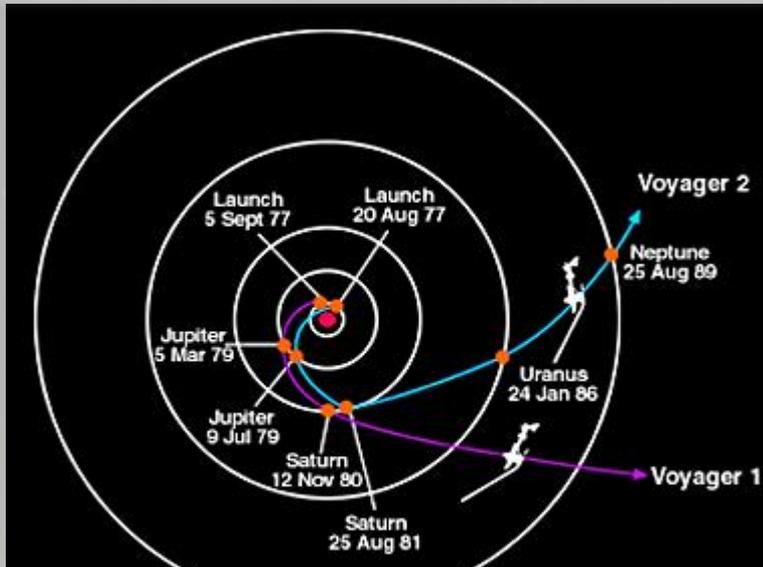
$$\dot{\bar{y}} = \frac{a^2 n}{r} \sqrt{e^2 - 1} \sec H \cos E = -\frac{e}{2} + 2 \sum_{s=1}^{\infty} \frac{1}{s^2} \frac{d}{de} J_s(se) \cos sM$$

$$= \cos M + \frac{e}{2} (\cos 2M - 1) + \frac{3e^2}{8} (\cos 3M - \cos M) + e^3 \left( \frac{1}{3} \cos 4M - \frac{1}{3} \cos 2M \right)$$

$$\sum_{i=1}^n m_i \ddot{\bar{\mathbf{r}}}_i = -G \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n m_i m_j \frac{\bar{\mathbf{r}}_i - \bar{\mathbf{r}}_j}{r_{ij}^3}$$

$$+ e^4 \left( \frac{5}{192} \cos M - \frac{45}{128} \cos 3M + \frac{125}{384} \cos 5M \right) + O(e^5)$$

... i już można zdobywać komety.



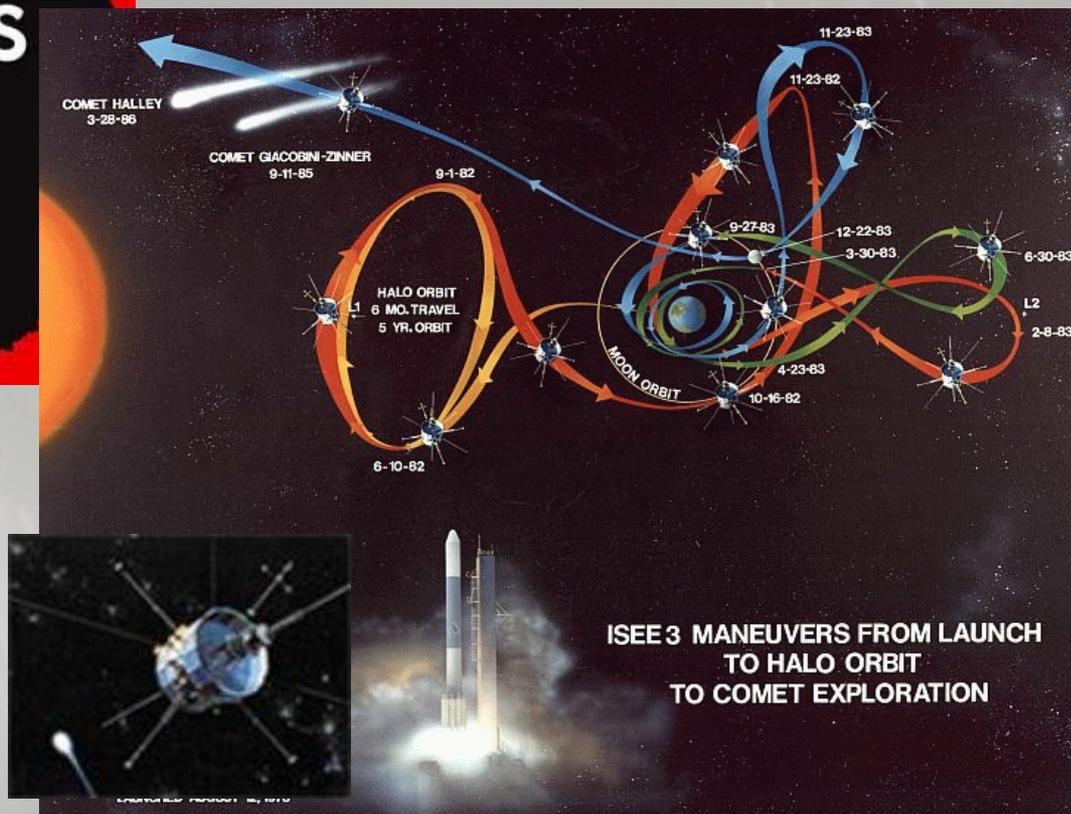
# Koncepcja



Pod koniec lat 70-tych powstaje również koncepcja misji do komety, która miała mieć na celu wylądowanie na powierzchni.

W listopadzie 1993 sonda ROSETTA wybrana została do realizacji w programie ESA: Horizon 2000

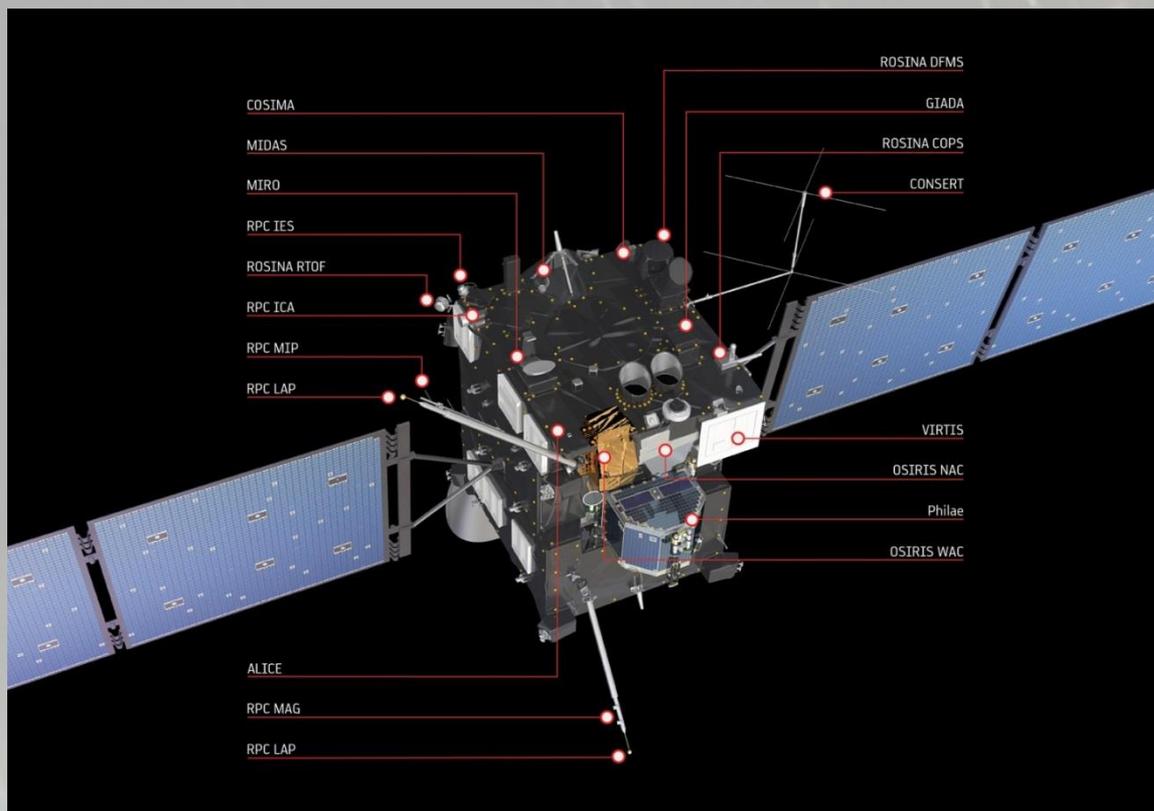
11 września 1985, przelot sondy ISEE3 (ICE) w odległości 7862 km od jądra komety 21P/Giacobini-Zinner



28 marca 1986 przelot obok komety Halleya (odległość od jądra komety: 28 mln km).

29 maja 2014 roku odzyskano łączność z sondą podczas jej przelotu koło Ziemi.

# Misja ROSETTA



## Masa startowa

całkowita	3,000 kg (około)
paliwo	1,670 kg (około)
aparatura badawcza	165 kg
lądownik	100 kg

## HOW MUCH DOES IT COST TO LAND ON A COMET?

**€1.4bn**

**Rosetta mission**  
Land on a comet for the first time in human history



## ...ABOUT THE SAME PRICE AS...



**4.2**

**Airbus A380 aircraft**  
Cool engineering, but they won't get you into space...

## WHO PAID FOR IT?

**€3.50**

cost per European citizen  
(from 1996–2015, so  
**€0.20/person/year**)

Cost of Rosetta per person **€3.50**

Cost of a cinema ticket to see *Interstellar* **€8.50**



scienceogram.org

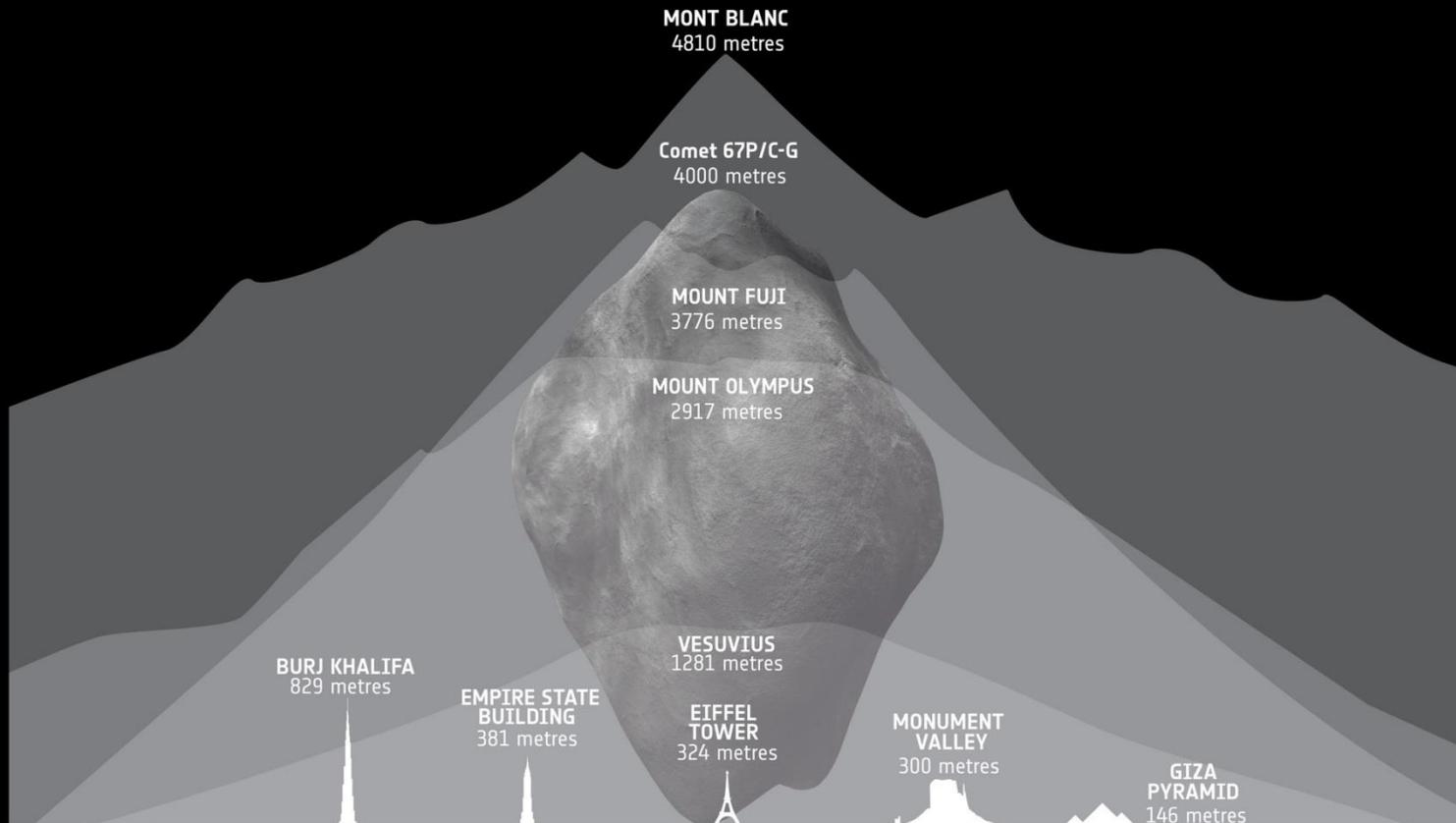
Rosetta/Comet images: ESA; data from ESA, Airbus, UK average cinema ticket price  
For full data and sources visit scienceogram.org



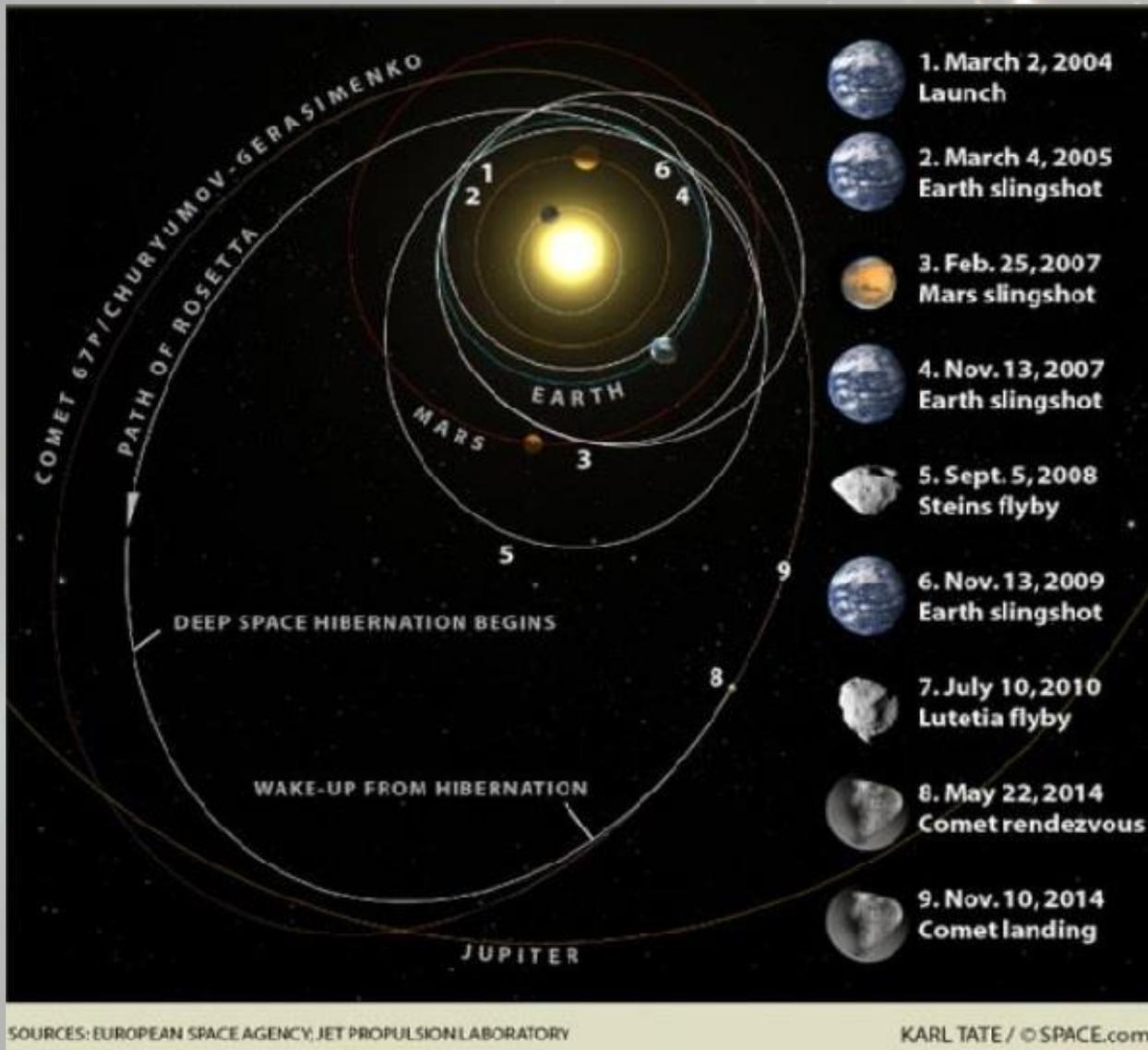
Trafić w cel o rozmiarze 4 km w odległości 700 mln km...



## → HOW BIG IS COMET 67P/CHURYUMOV-GERASIMENKO?



# Trajektoria



Wystrzelenie 2 marca 2004 r.

10 lat w przestrzeni międzyplanetarnej. W tym czasie odwiedzone zostały dwie planetoidy: Steins i Lutetia

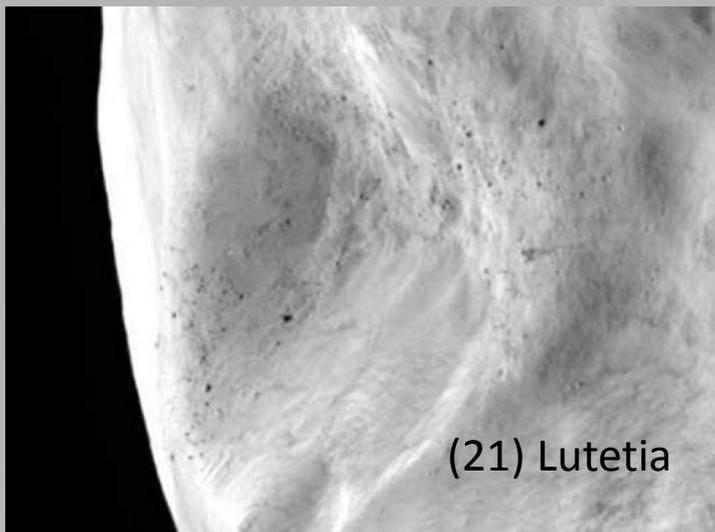
Wejście na orbitę wokół jądra komety 67P/Czuriumow-Gierasimienko.

Lądowanie na powierzchni.

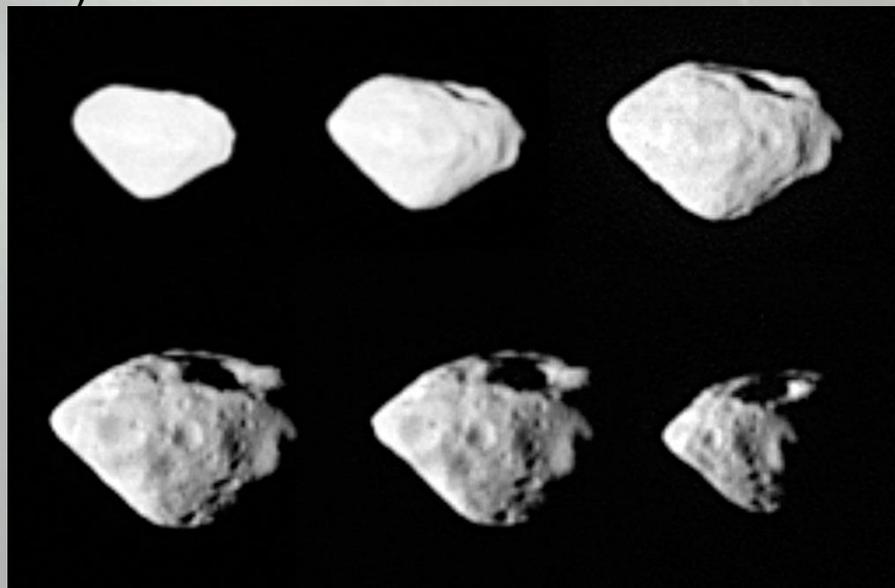
Wędrowka obu instrumentów wraz z kometą w kierunku Słońca.



# Wyprawa na kometę



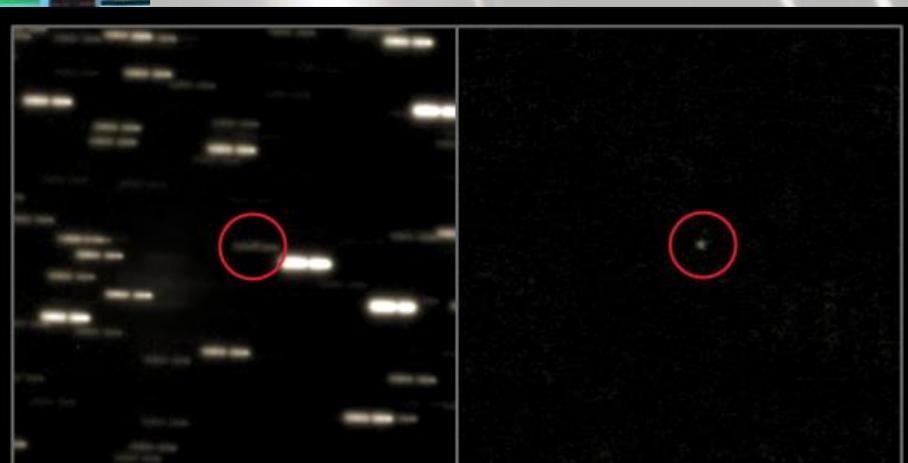
(2867) Šteins



## W uśpieniu



Kometa 67P/C-G sfotografowana przez VLT 28 lutego 2014 r., kiedy była w odległości 740 mln km od Ziemi.



9 Czerwca 2011 sonda została uśpiona na 3.5 roku.

Sygnal „wybudzający” wysłany został 20 stycznia 2014 r. o godzinie 10:00 UT

Kilka godzin później sygnał od wybudzonej sondy dotarł na Ziemię.





Obraz komety 67P/Churyumov-Gerasimenko widzianej przez sondę ROSETTA w dniach 27-28 czerwca 2014 r.

11.09.1969 r. Klim Czuriumow i Swietłana Gierasimienko

Rozmiary jądra: 4.1x4.5 km

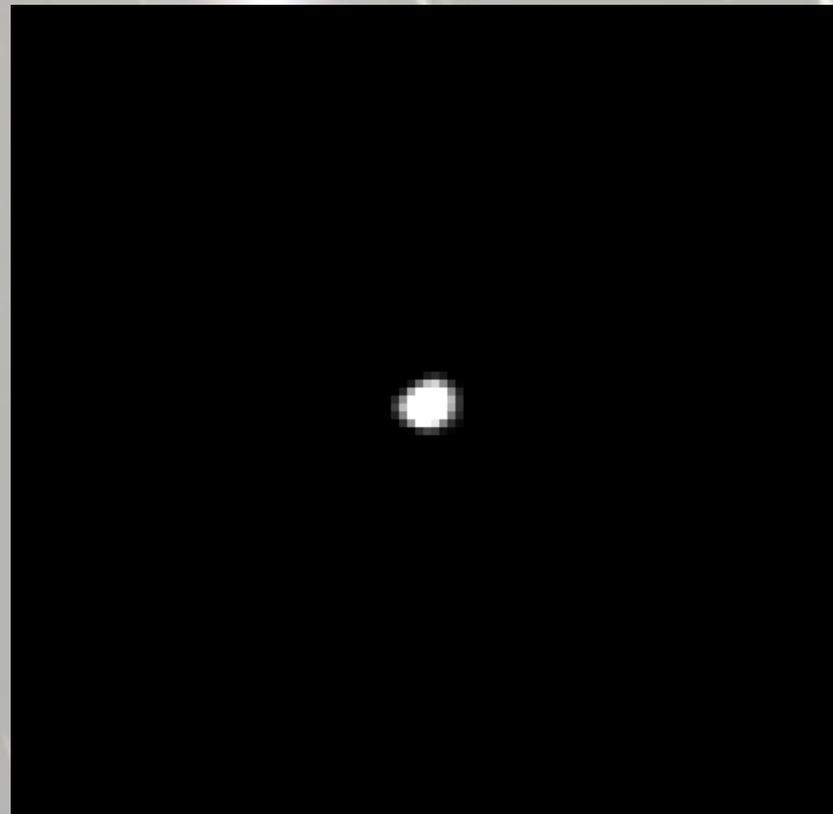
Należy do komet rodziny Jowisza (inny przykład: Schoemaker-Levy 9).

Duża zmienność parametrów orbity.

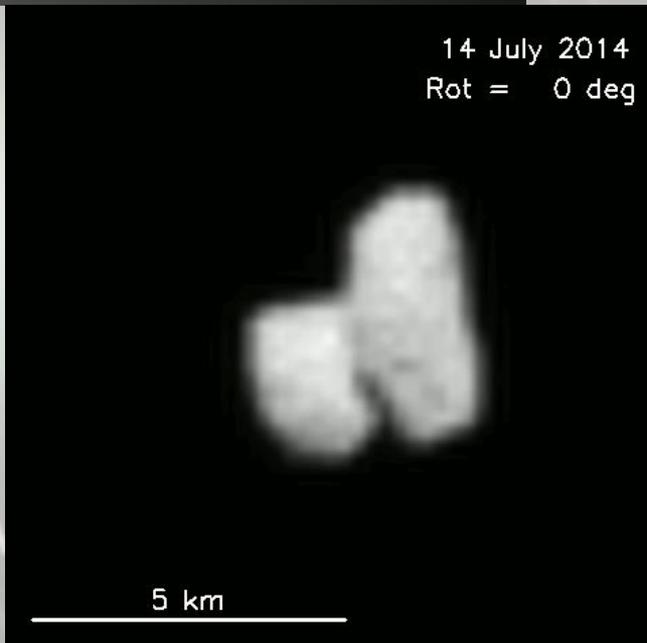
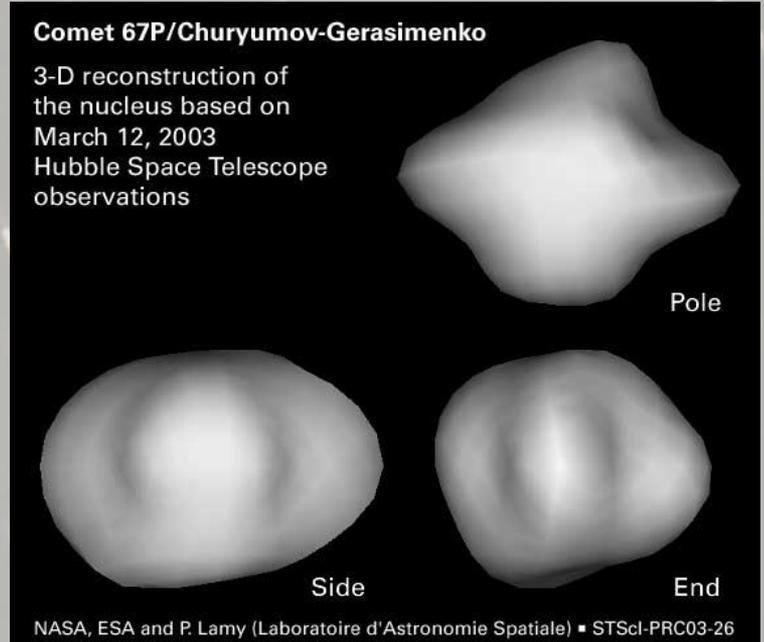
okres: 6.56 lat

półoś: 3.46 j.a.

peryhelium: 1.24 j.a.



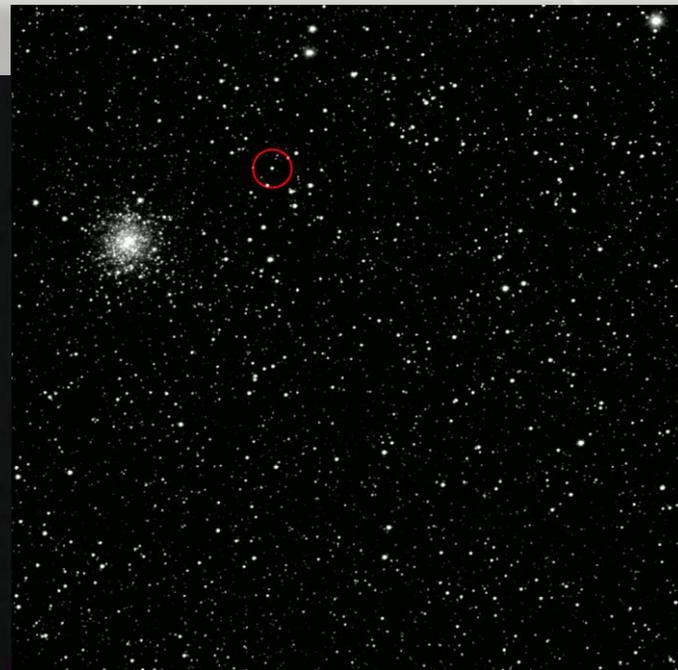
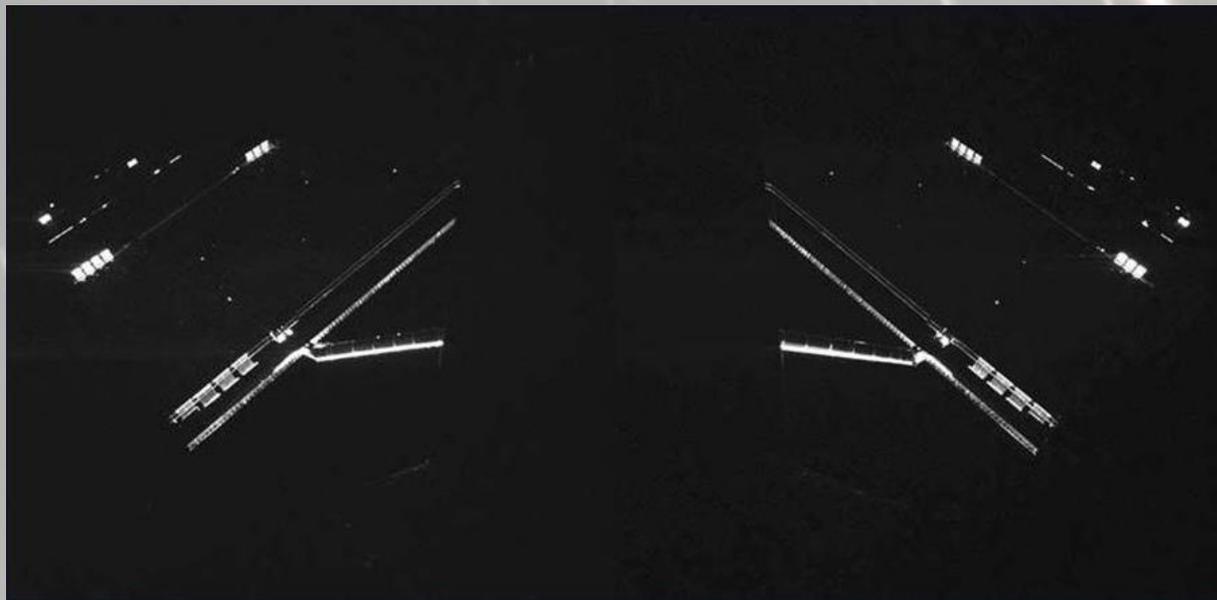
# Wizja. Prognoza. Rzeczywistość.



Kometa 67P/C-G sfotografowana z odległości około 12,000 km dnia 14 lipca 2014 r.

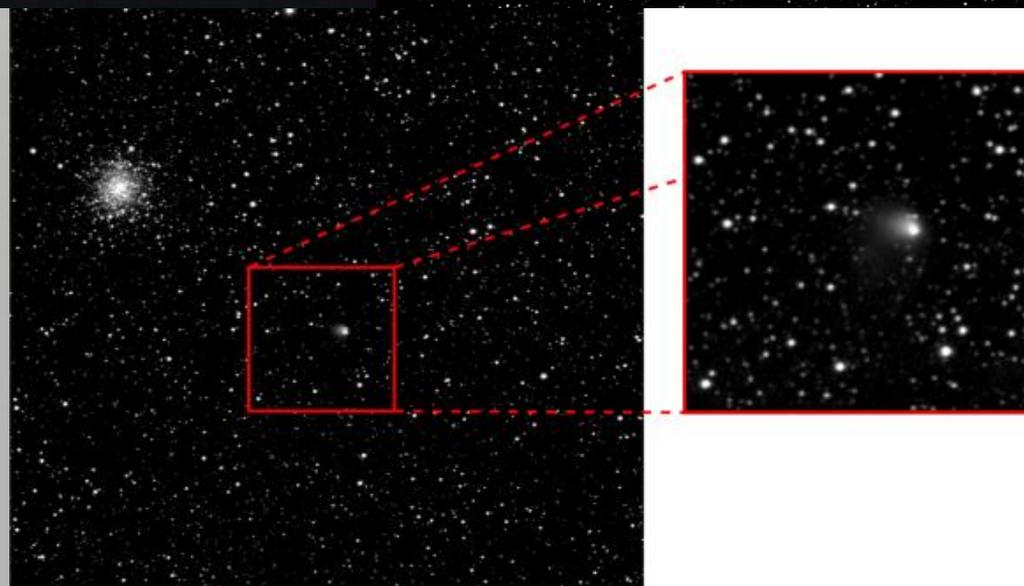
ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team  
MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA

# Wybudzenie lądownika

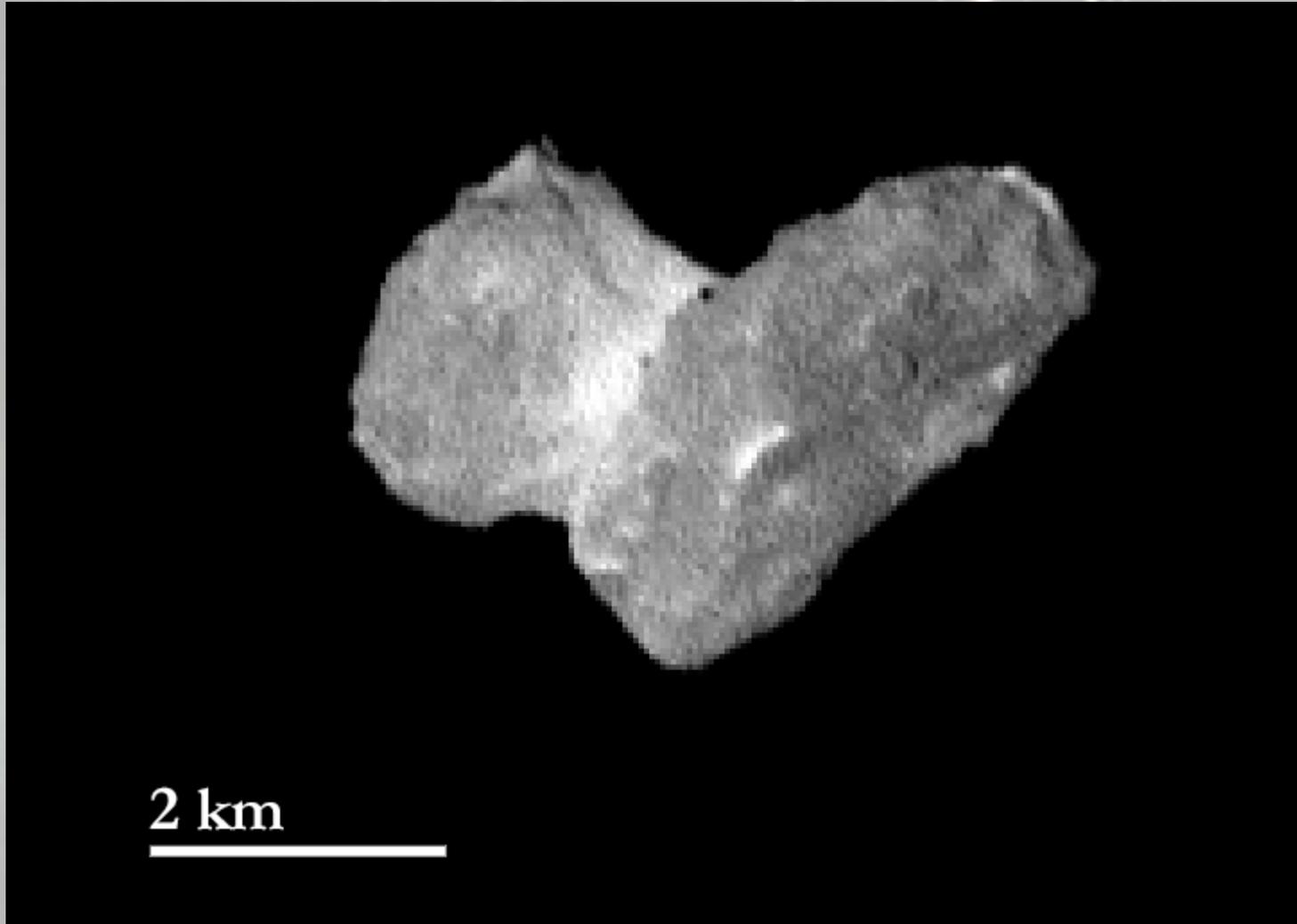


Wybudzenie nastąpiło 28 marca 2014 r.

Najwyższa pora! W kwietniu (odległość do komety 2 mln km) zauważono wzrost aktywności i uformowanie warkocza.

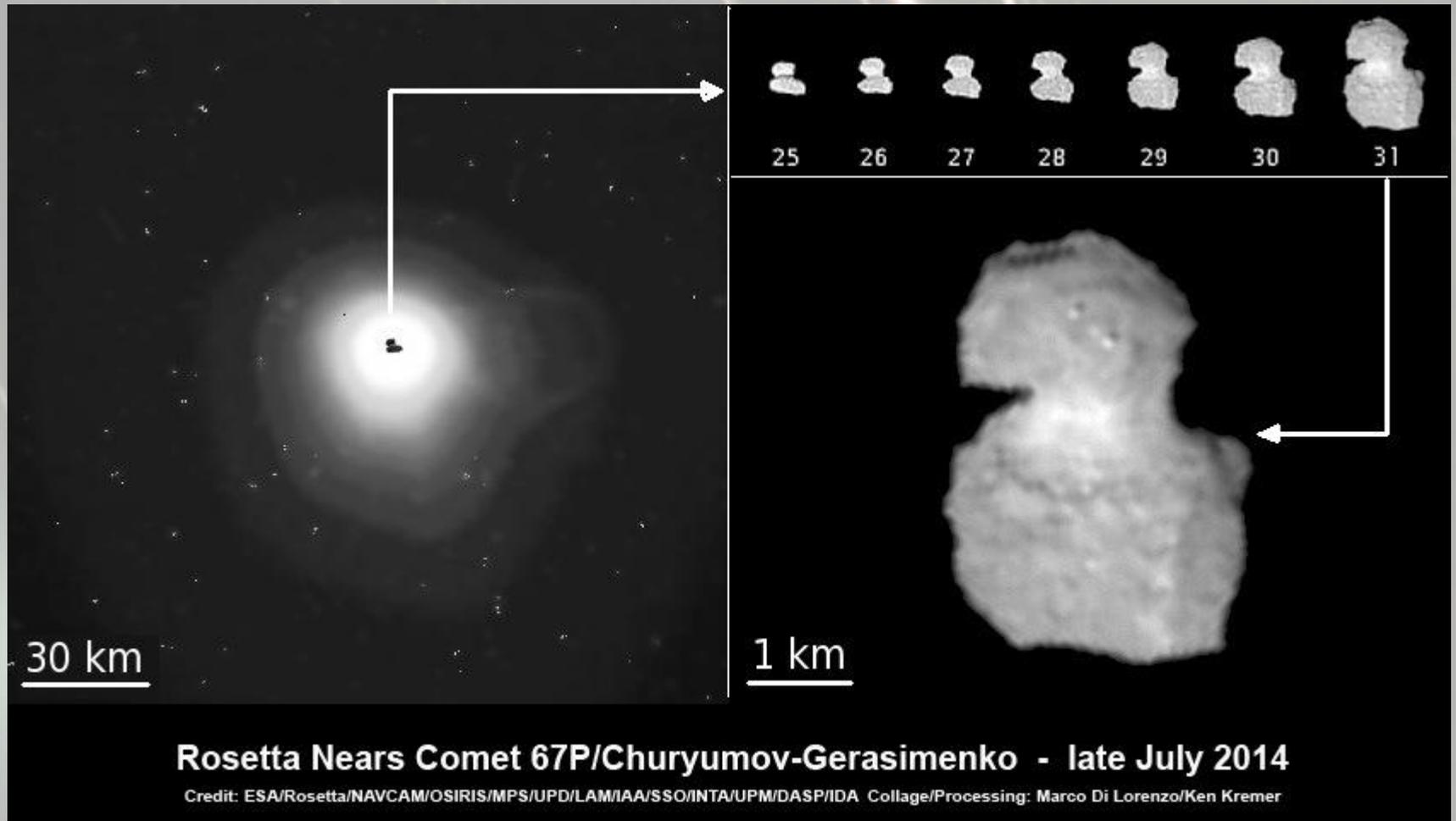


Blisko, coraz bliżej



29 lipca 2014  
ROSETTA  
zbliżyła się na  
odległość  
mniejszą niż  
2000 km

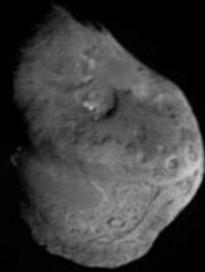
Blisko, coraz bliżej



Między 25 a 31 lipca ROSETTA zmniejszyła odległość do komety z 3000 km do 1327 km. To oznacza, że zbliżała się ze średnią prędkością około 12 km/h

# Inne „odwiedzone” komety

4.7 miles



9P/Tempel 1

DeepImpact  
mozaika z impaktora

5.4 miles



Borrelly

DeepSpace  
2171 km

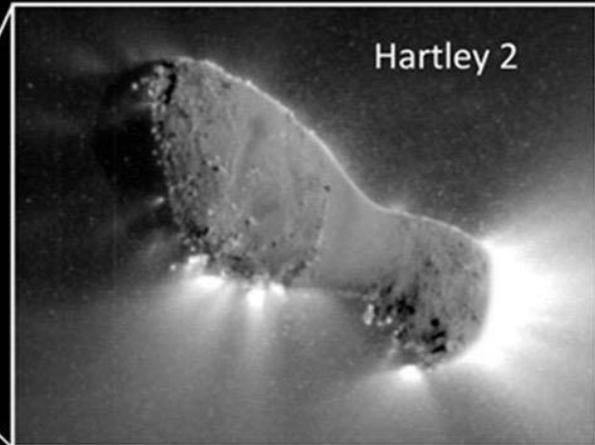
3.4 miles



Wild 2

Sturdust

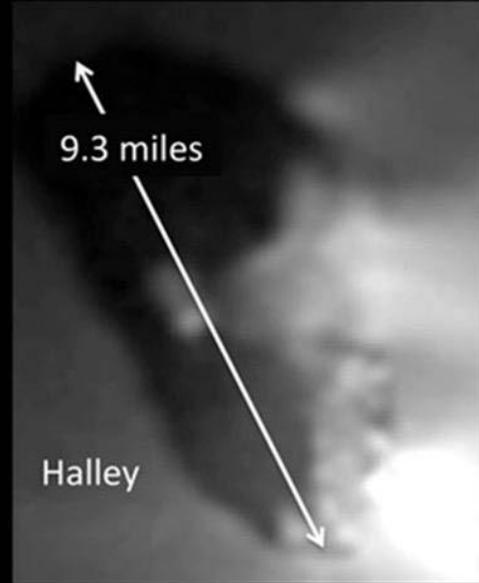
1.25 miles



Hartley 2

DeepImpac  
(EPOXI)  
700 km

9.3 miles



Halley

Giotto

## Wejście na orbitę

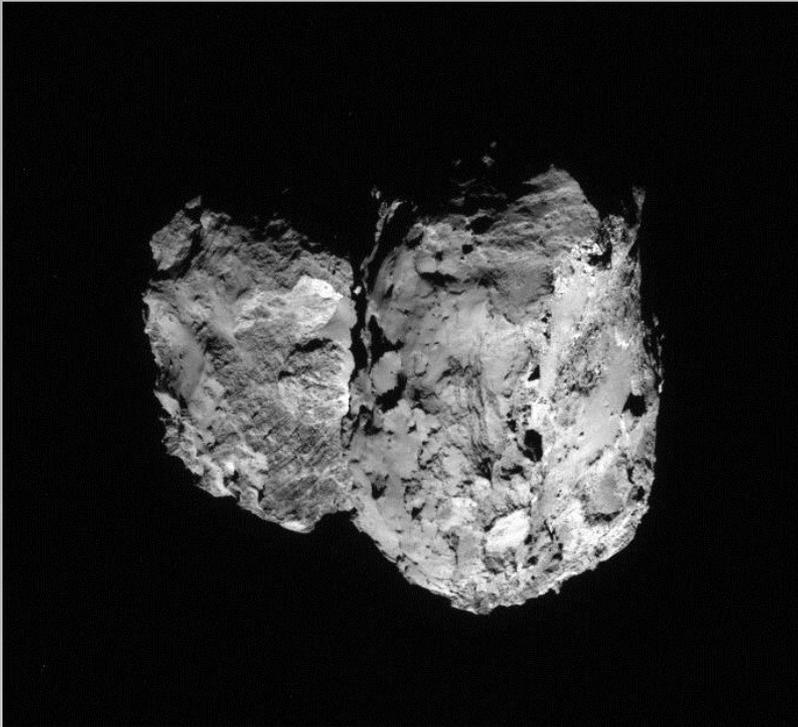


Animacja obrazów z kamery nawigacyjnej (transfer danych na poziomie 64 kbps)

6 sierpnia 2014 r. zmniejszenie prędkości do 1 km/h. Obraz z odległości mniejszej niż 300 km.



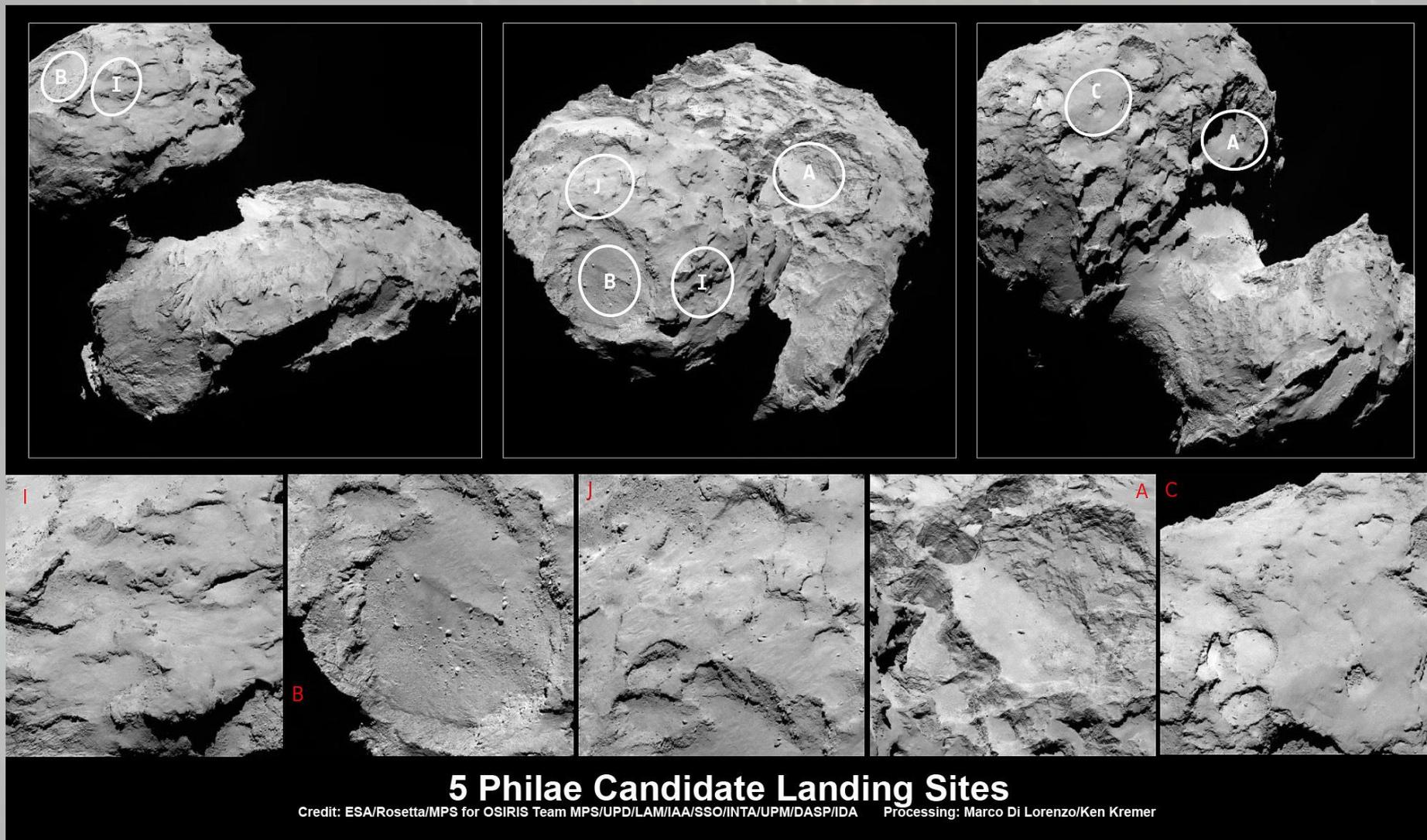
## Szukanie miejsca do lądowania dla Philae



Holger Sierks,  
PI kamery OSIRIS

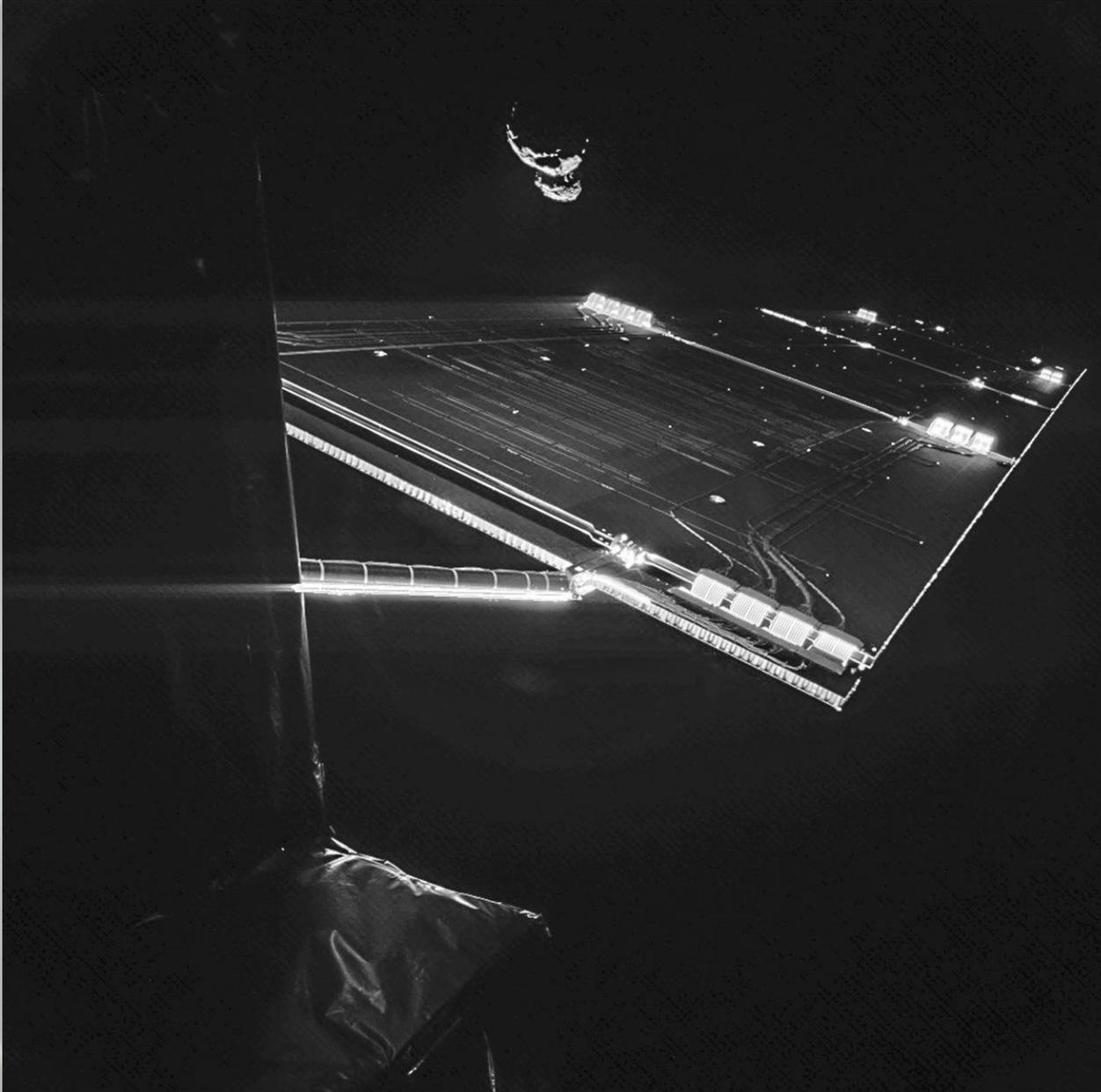


25 sierpnia 2014 r. – wytypowano pięć miejsc do lądowania



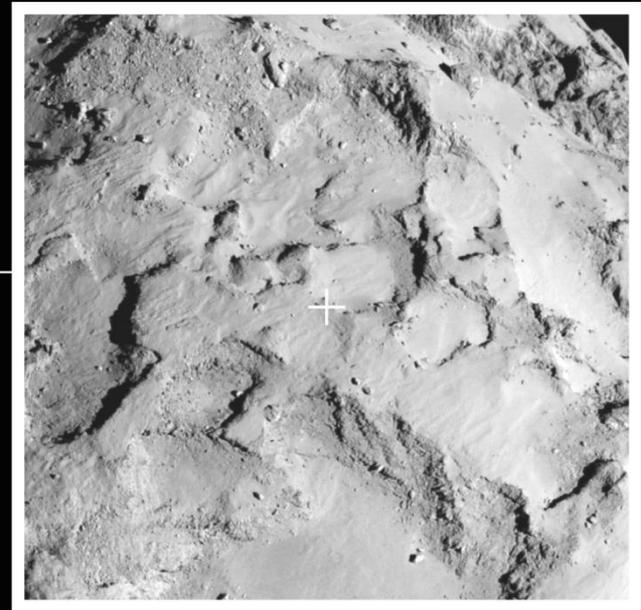
Miejsca muszą być bezpieczne, a jednocześnie interesujące z naukowego punktu widzenia oraz zapewnić dobre warunki techniczne komunikacji między sondą a lądownikiem podczas całego procesu.

## Zdjęcie roku.

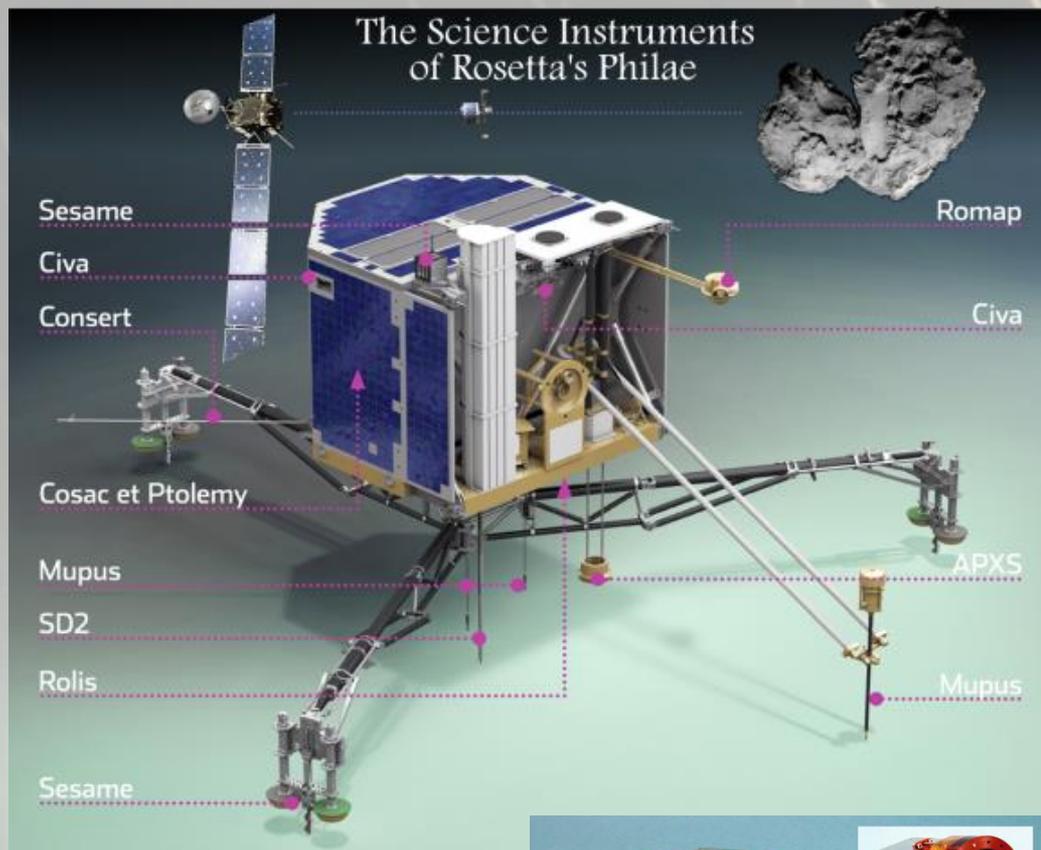


Obudzony Philae  
wykonał tę  
„samoróbkę”  
7 września z  
odległości około 50  
km od komety.

## → PHILAE'S LANDING SITE



# Philae

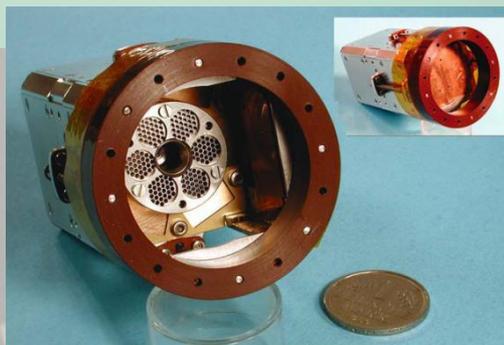


Zapas energii 1000 kWh.  
Potem liczymy na baterie  
słoneczne.

Zestaw instrumentów o ściśle  
określonej masie i  
zapotrzebowaniu na energię  
został wybrany 15 lat  
wcześniej.



Kamera CIVA, 100 g, 2 W.



APXS. Spektrometr rentgenowski



**MUPUS.**  
*Multi-Purpose  
Sensor for  
Surface and  
Subsurface  
Science*

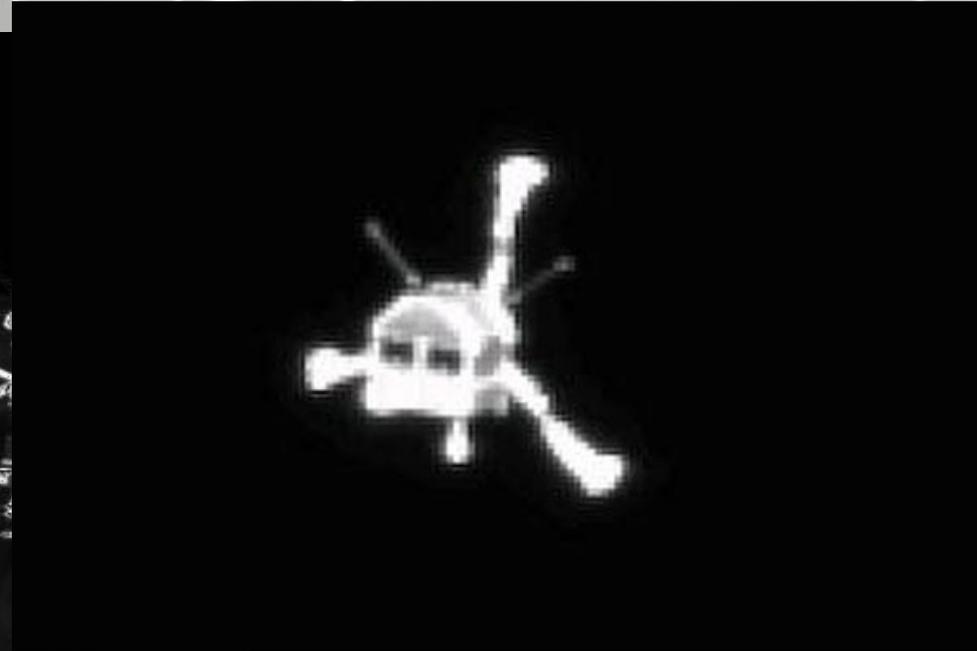
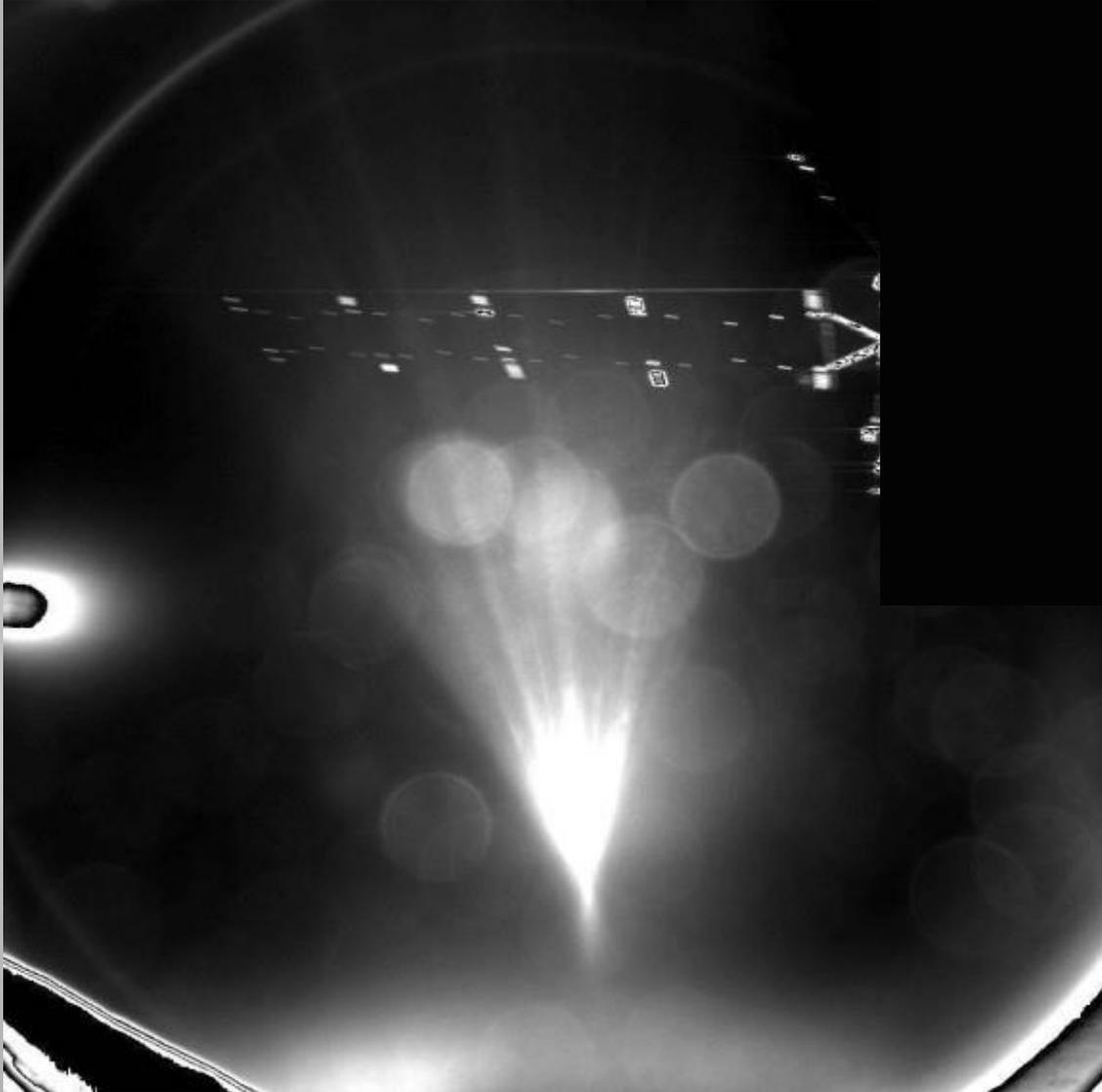
penetracja do  
30 cm

7 listopada 2014 r. Pięć dni do lądowania.



Przyciąganie grawitacyjne na kometcie jest znikome. Przy każdym uderzeniu istnieje ryzyko oderwania się od powierzchni.





„Pożegnalne” zdjęcia po odłączeniu od sondy.

TIME UNTIL LANDING: 5 HOURS



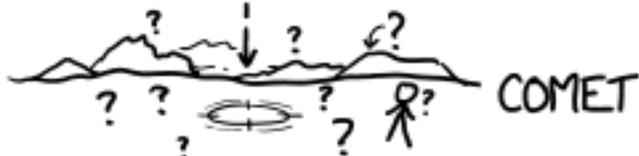
PHILAE

GONNA HARPOON A COMET.

THIS IS SO COOL.



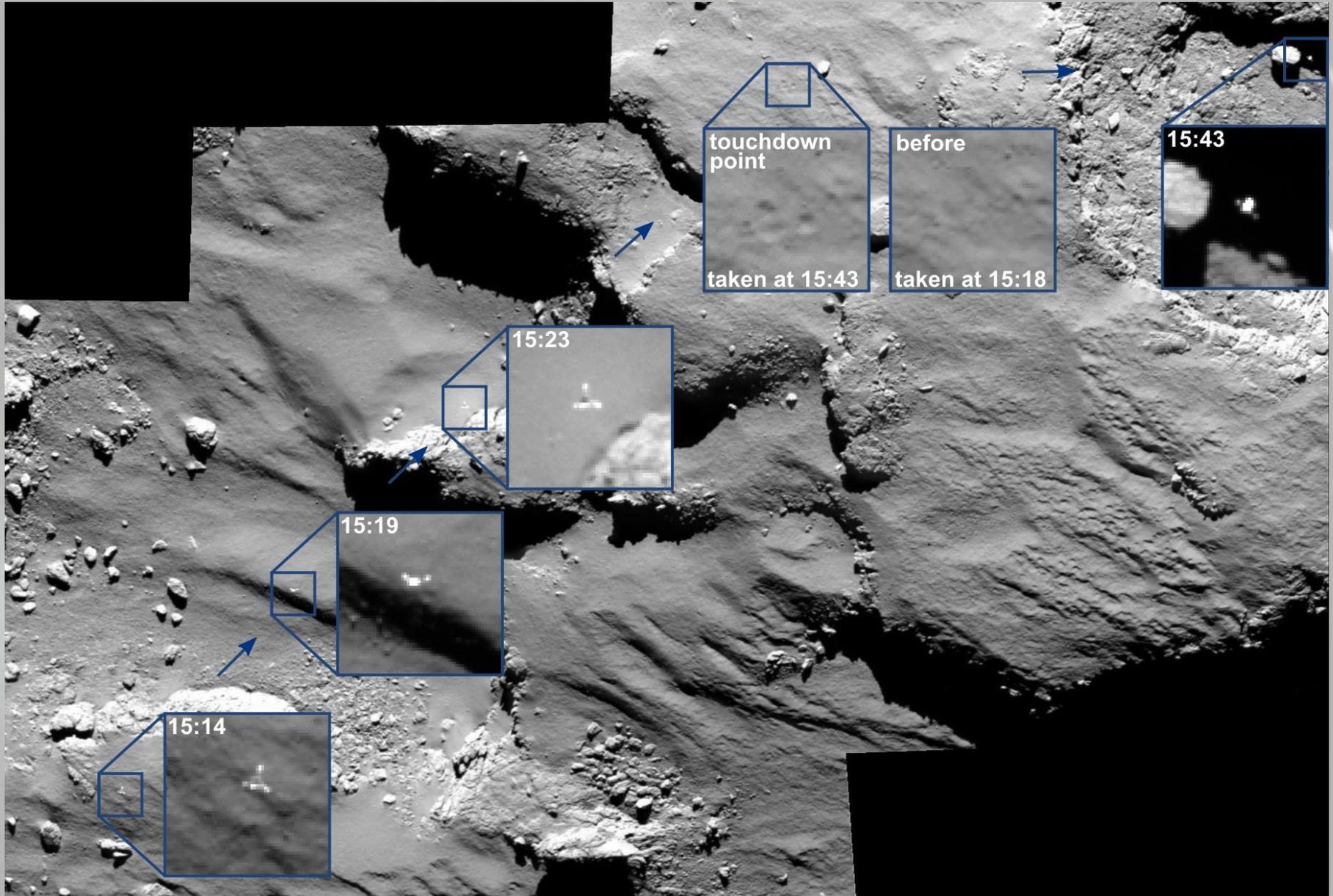
...I HOPE HARPOONS WORK ON COMETS.



STATUS REPORT:

ROSETTA: IN SPACE  
PHILAE LANDER: IN SPACE  
MISSION CONTROL: NOT IN SPACE  
COMET 67P: BIG  
HAVE WE LANDED:  
ON A COMET?: NOT YET  
DO HARPOONS:  
WORK ON COMETS: HOPEFULLY

# Trudne lądowanie



## Trudne lądowanie



Tuż przed dotknięciem powierzchni



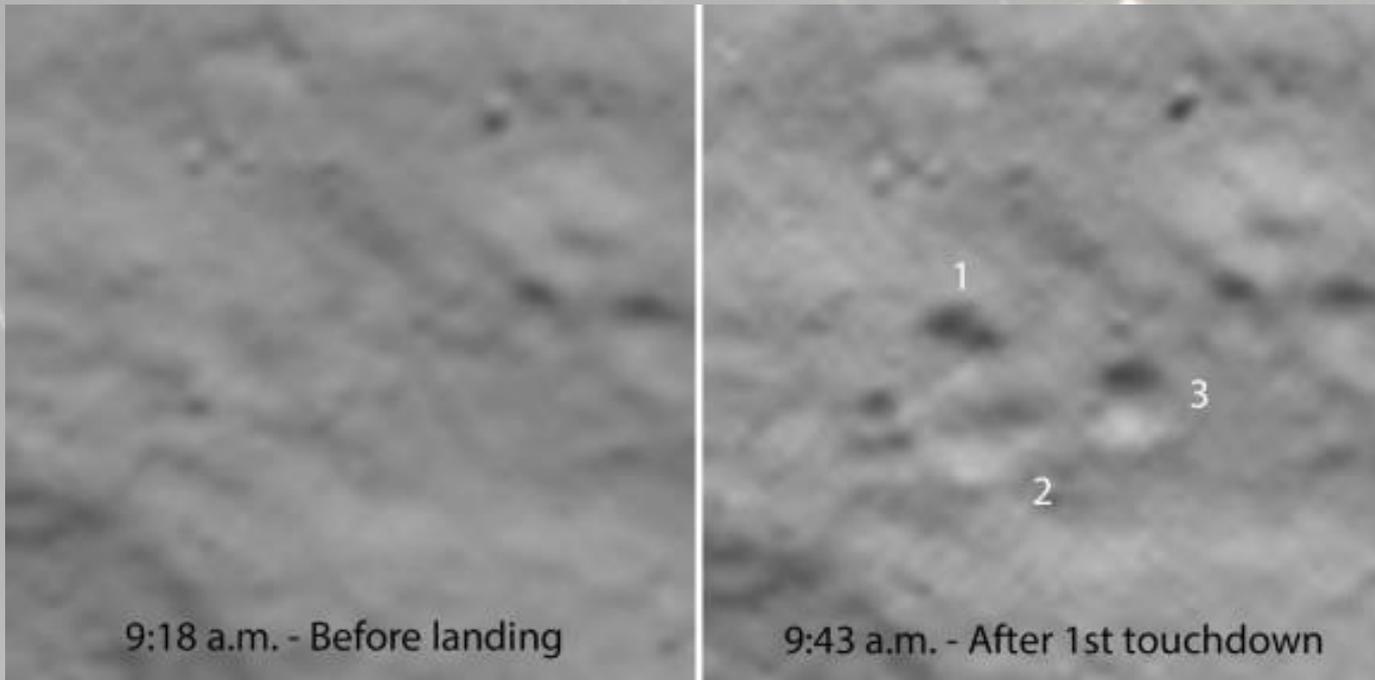
2.8 km od powierzchni.

Silniki i harpuny nie zadziałały... Po dwóch odbiciach, z jedną nogą w górze, ale jednak udało się osiąść na powierzchni!

Z tej gliny jesteřmy ulepieni...

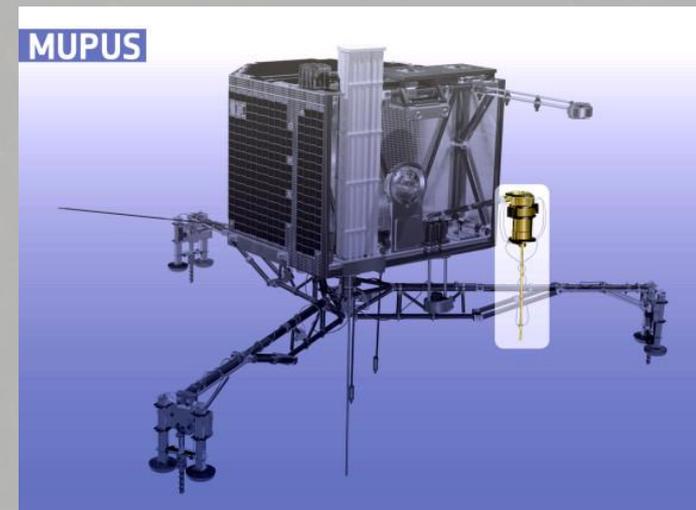


## Pierwsze wyniki z Philae

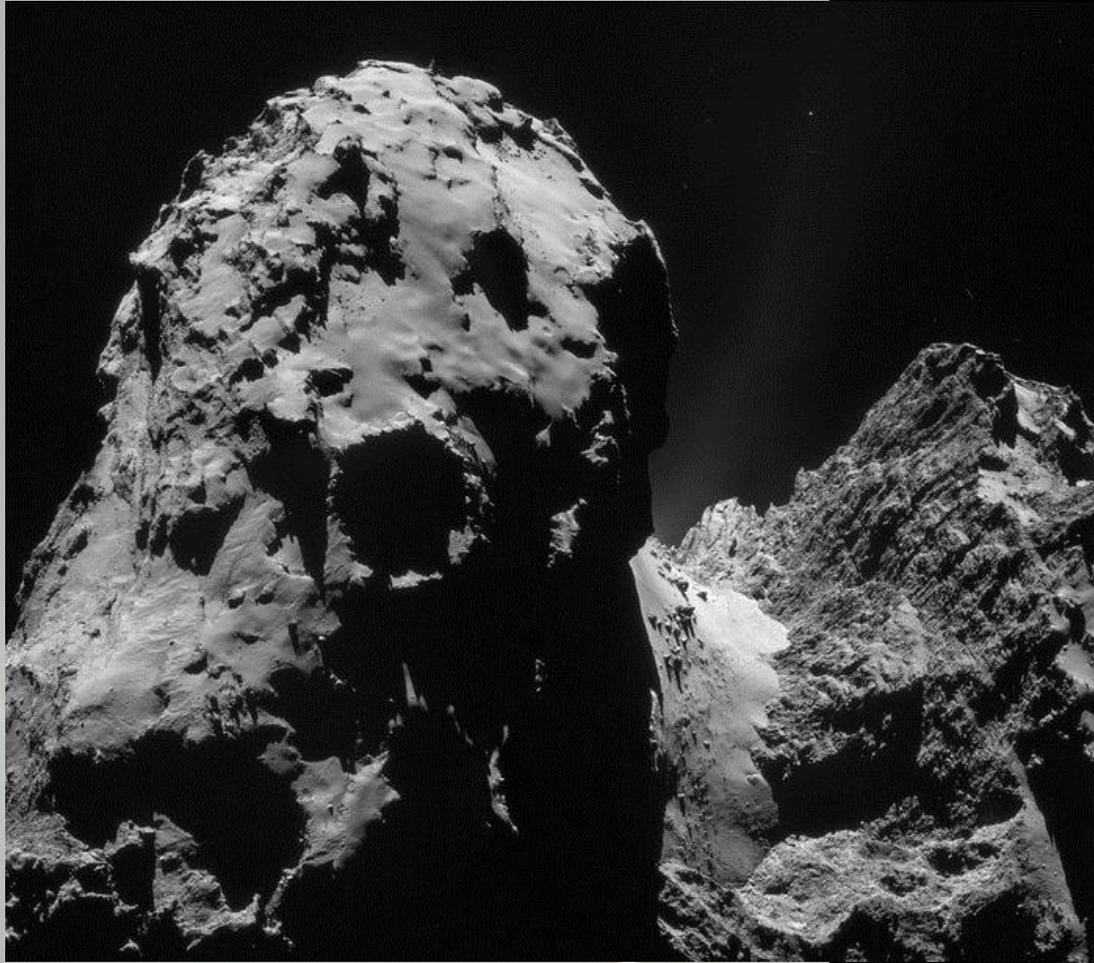


60 godzin intensywnej pracy aż do wyczerpania baterii, a potem kilka miesięcy uśpienia....

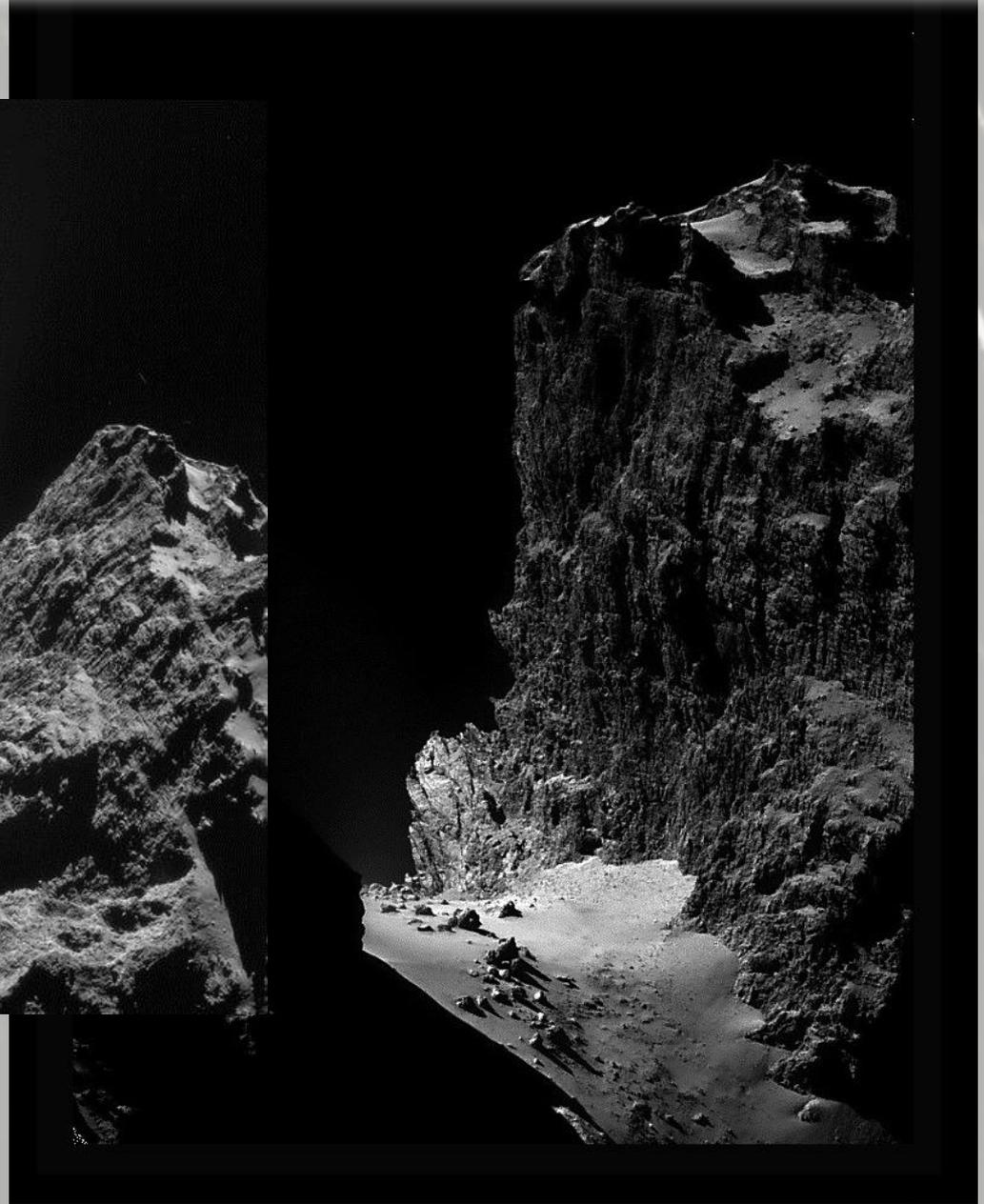
- MUPUS zagłębił się ledwie na kilka milimetrów (trzy próby). To oznacza, że powierzchnia jest dużo twardsza niż nam się wydawało. Ten wynik został potwierdzony przez instrument SESAME.
- Po wylądowaniu zarejestrowano temperaturę  $-153^{\circ}\text{C}$
- Powierzchnia jest pokryta 10-20 cm warstwą pyłu
- Instrument CONCERT wysłał 7500 impulsów (na każdy obieg sondy) radiowych przez kometę do sondy ROSETTA, co pozwoliło na zbadanie wnętrza. Jest ono porowate.



# Klify kometarne

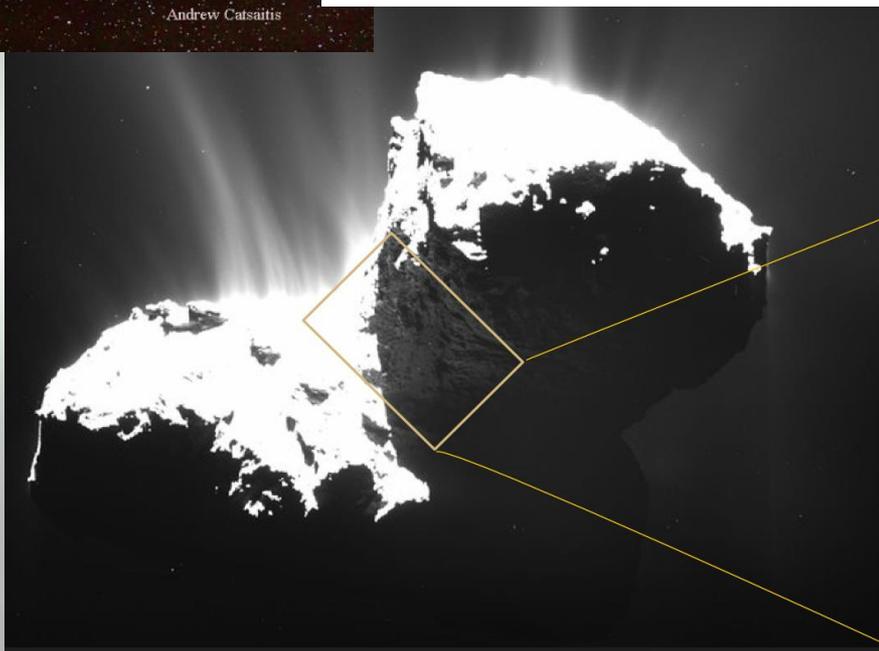
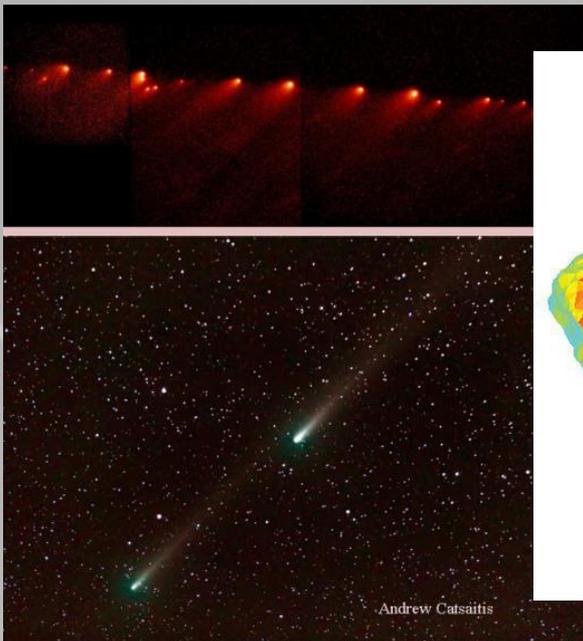
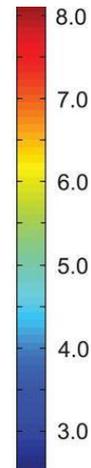
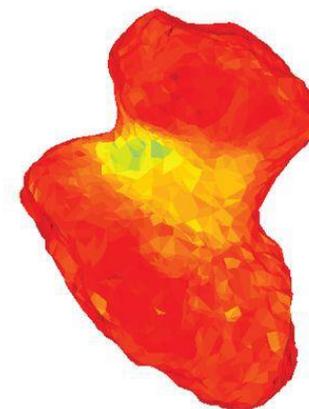
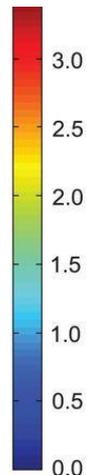
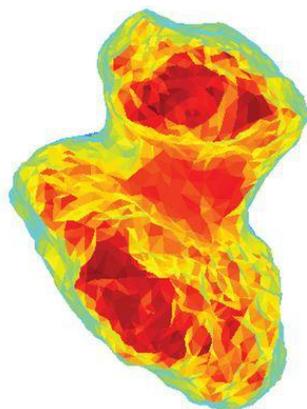


Mozaika zdjęć obejmująca 2.9 x 2.6 km

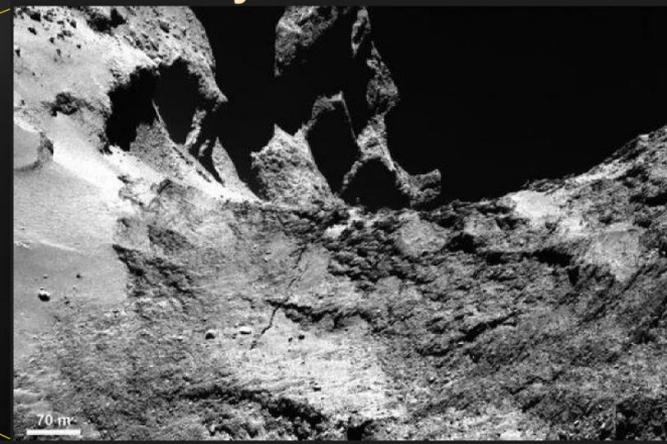


24 stycznia 2015 r. Wielkie pęknięcie.

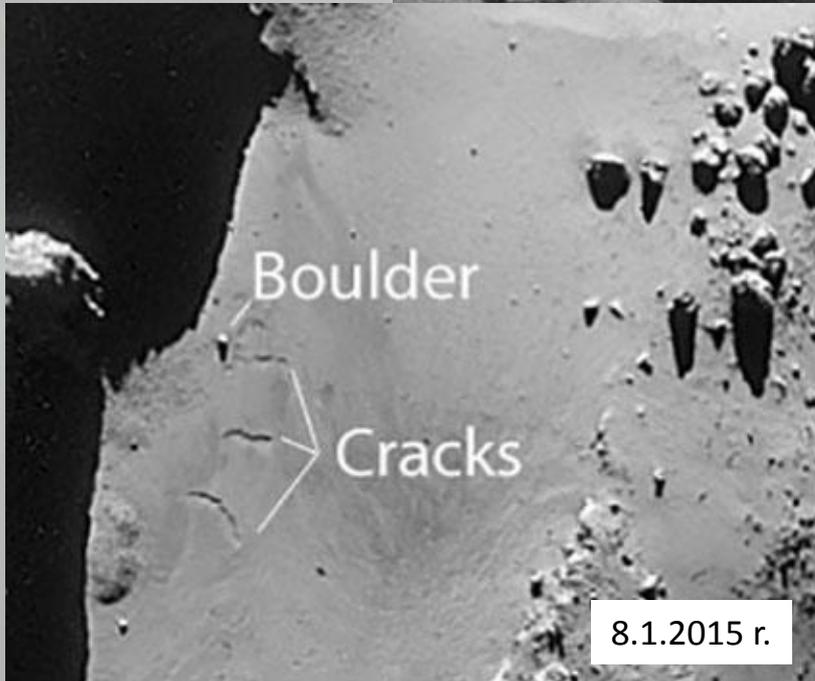
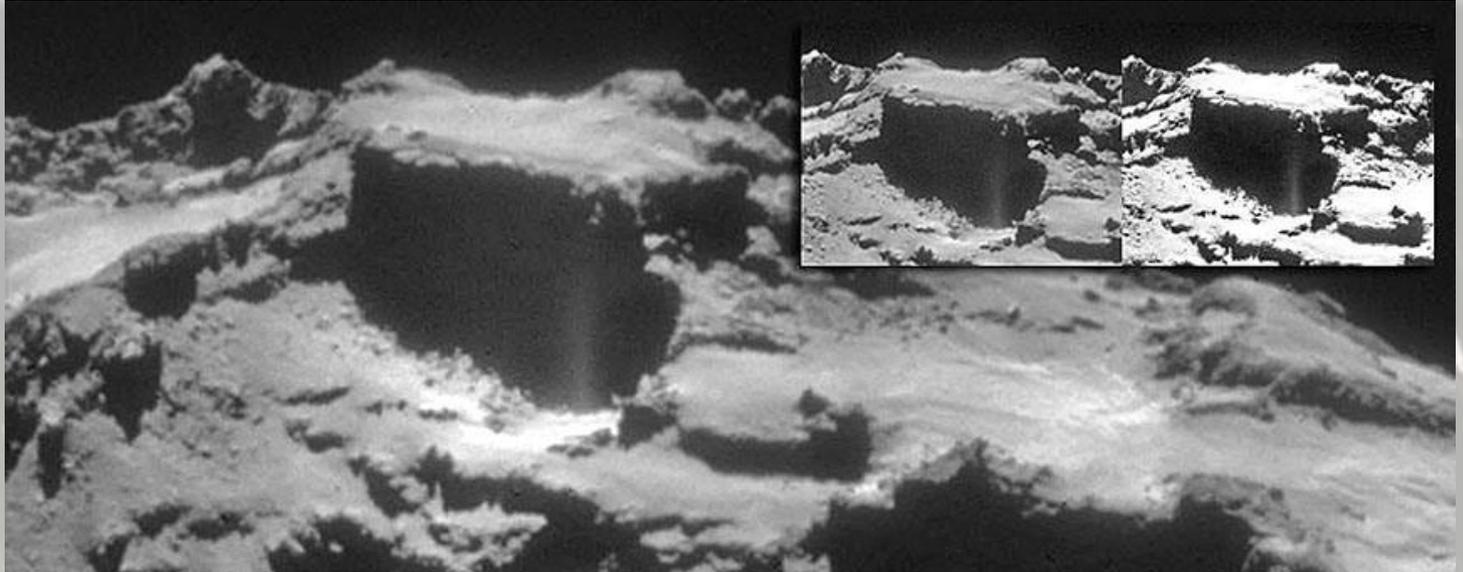
Powierzchnia pochłania różne ilości energii słonecznej (nawet 30% różnicy), co powoduje powstawanie naprężeń.



**A fissure in the neck of comet 67P/Churyumov-Gerasimenko**

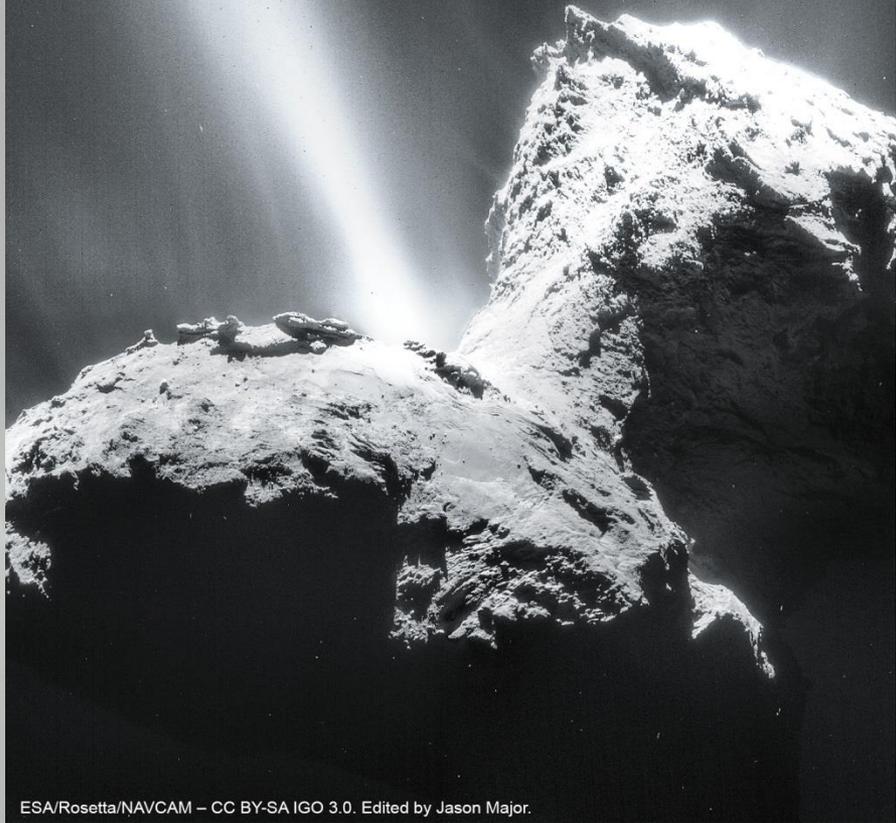


# Zmiany na powierzchni

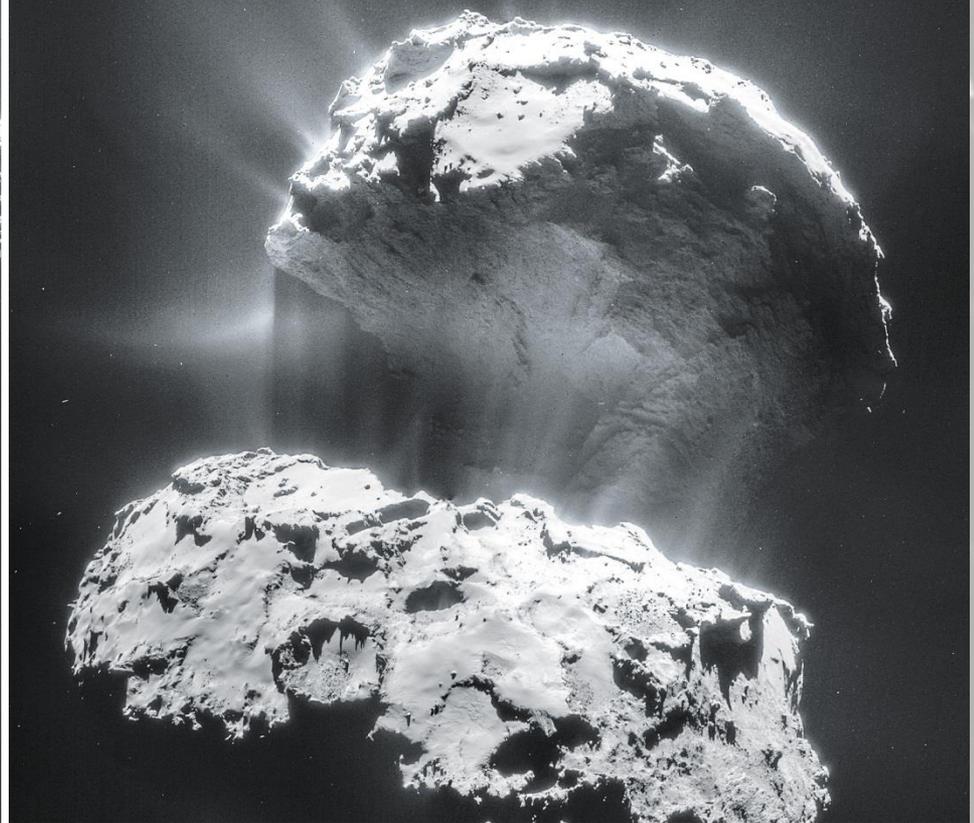


To żyje!

Jan. 31, 2015

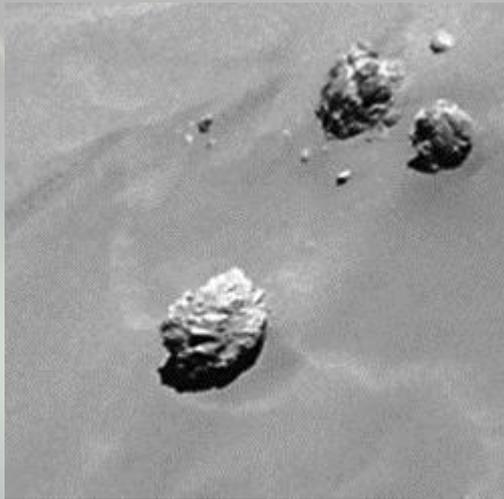
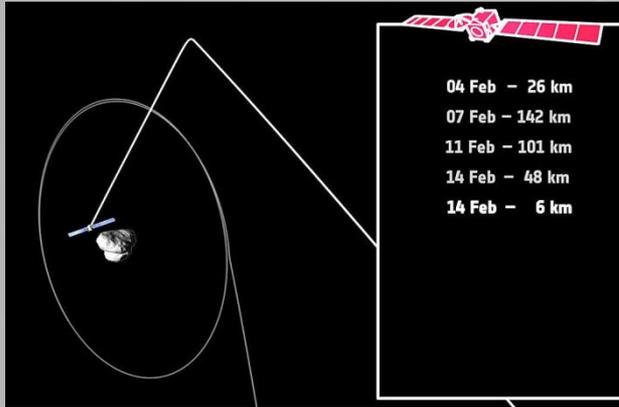


Feb. 3, 2015

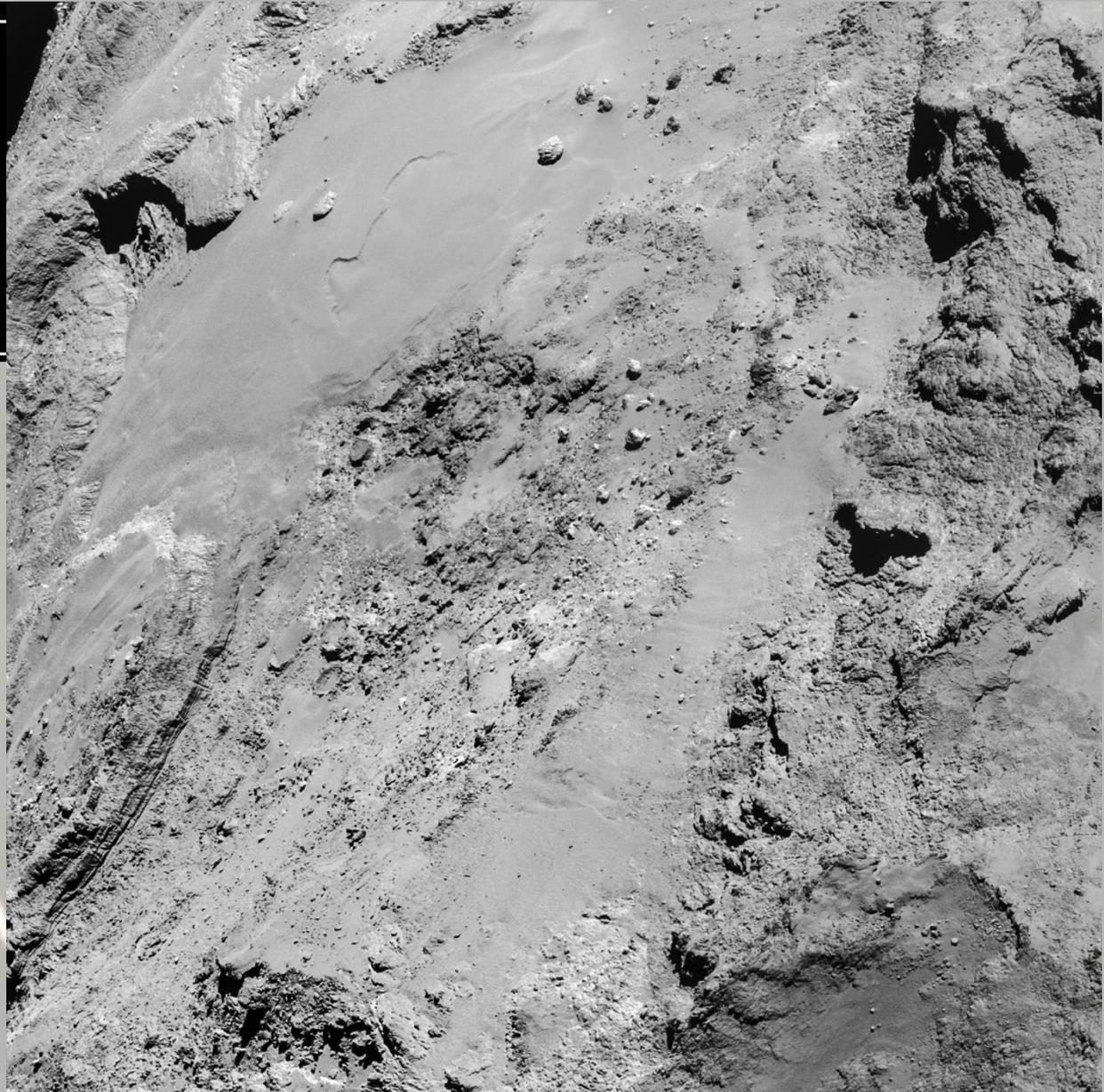


ESA/Rosetta/NAVCAM – CC BY-SA IGO 3.0. Edited by Jason Major.

# Zbliżenie walentynkowe

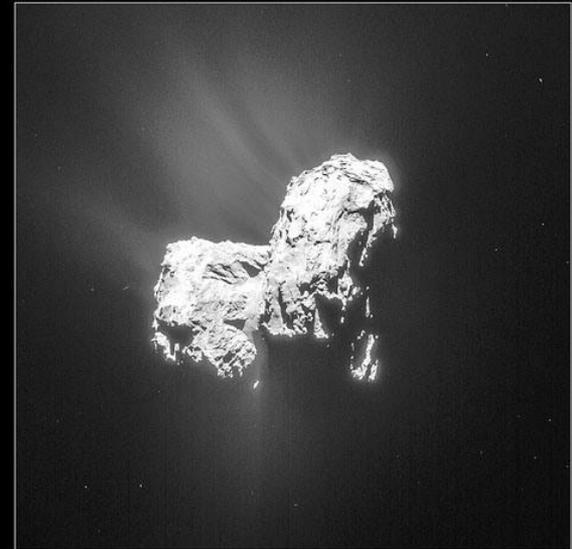
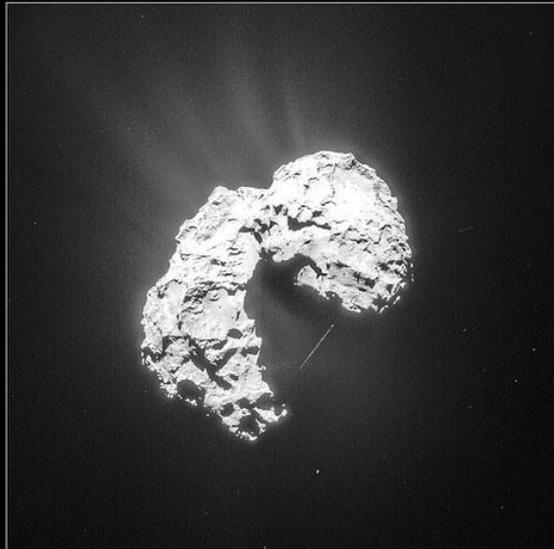
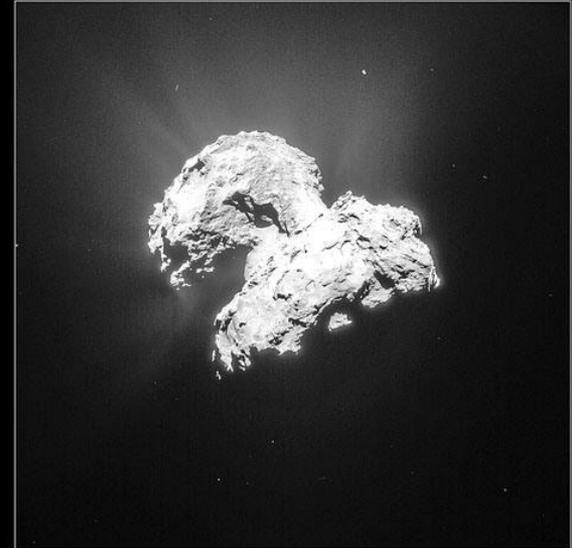
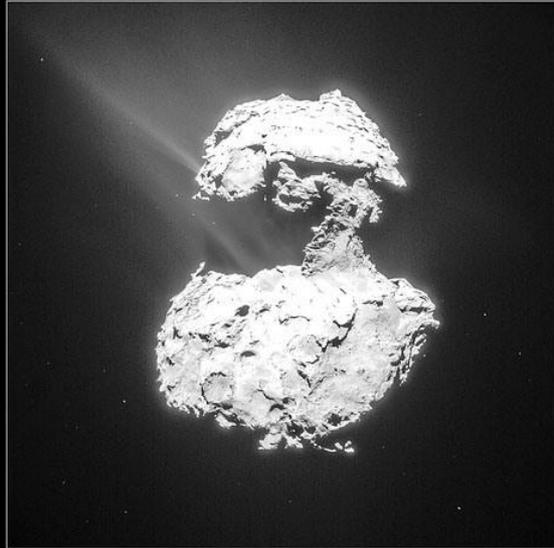


Kamień "Cheops" o rozmiarze 45 m.



# 9 marca 2015 r. Czy najpiękniejsze zdjęcie już zostało zrobione?

Sekwencja zdjęć  
wykonanych z  
odległości  
80-100 km



## Co słysząc u Philae?



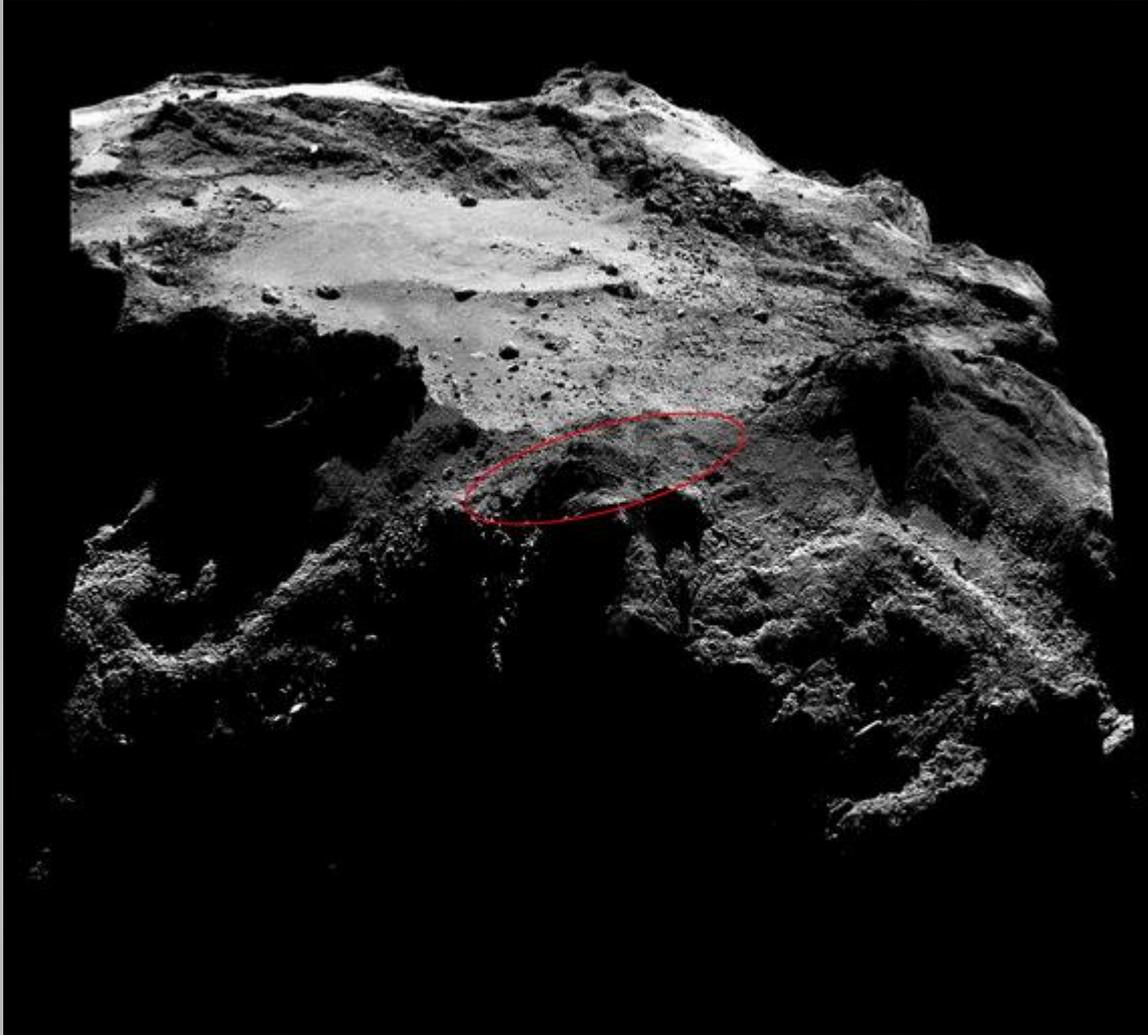
Kiedy kometa zbliży się wystarczająco do Słońca Philae powinien otrzymać dość energii do uruchomienia i podjęcia pracy.

Pierwsza próba kontaktu została podjęta 12 marca 2015 r., o godzinie 4:00 UT.

Philae jest w świetle słonecznym przez 1.3 godziny (doba na 67P/C-G trwa 12.4 godziny).



## Jak będzie wyglądało wybudzanie?



Philae wybudzi się jeśli jego panele słoneczne otrzymają co najmniej 5.5 W, a temperatura wewnątrz lądownika sięgnie  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Do komunikacji z sondą potrzebuje 19 W.

Próby nawiązania kontaktu trwały do 20 marca. Potem będą jeszcze podejmowane przez kilka dni w maju i czerwcu.

13 sierpnia kometa 67P/C-G zbliży się na minimalną odległość do Słońca. Jeśli do tego czasu odzyskanie kontaktu nie powiedzie się to znaczy, że już nigdy nie usłyszymy Philae...

# Jak zobaczyć 67P/C-G? Peryhelium.

Stellarium 0.12.4

## 67P/Churyumov-Gerasimenko

Typ: **kometa**  
Wielkość gwiazdowa: **13.19** (po uwzględnieniu ekstynkcji: **14.03**)  
Absolutna wielkość gwiazdowa: 11.00  
RA/Dec (J2000): 6h29m22.0s/+24°21'24.4"  
RA/Dec (na dzień): 6h30m19s/+24°20'44"  
Długość/szerokość galaktyczna: -171°14'24.9"/+6°19'14.3"  
Kąt godzinny/Deklinacja: 17h25m35s/+24°20'44" (geometryczne)  
Kąt godzinny/Deklinacja: 17h25m46s/+24°23'43" (pozorne)  
Az/Wys: +67°55'49"/+13°34'44" (geometryczne)  
Az/Wys: +67°55'49"/+13°38'37" (pozorne)  
Odległość: 1.77200939 j.a.  
Okres gwiazdowy: 2353.62 dni (6.444 a)

Kapella

Betelgeza

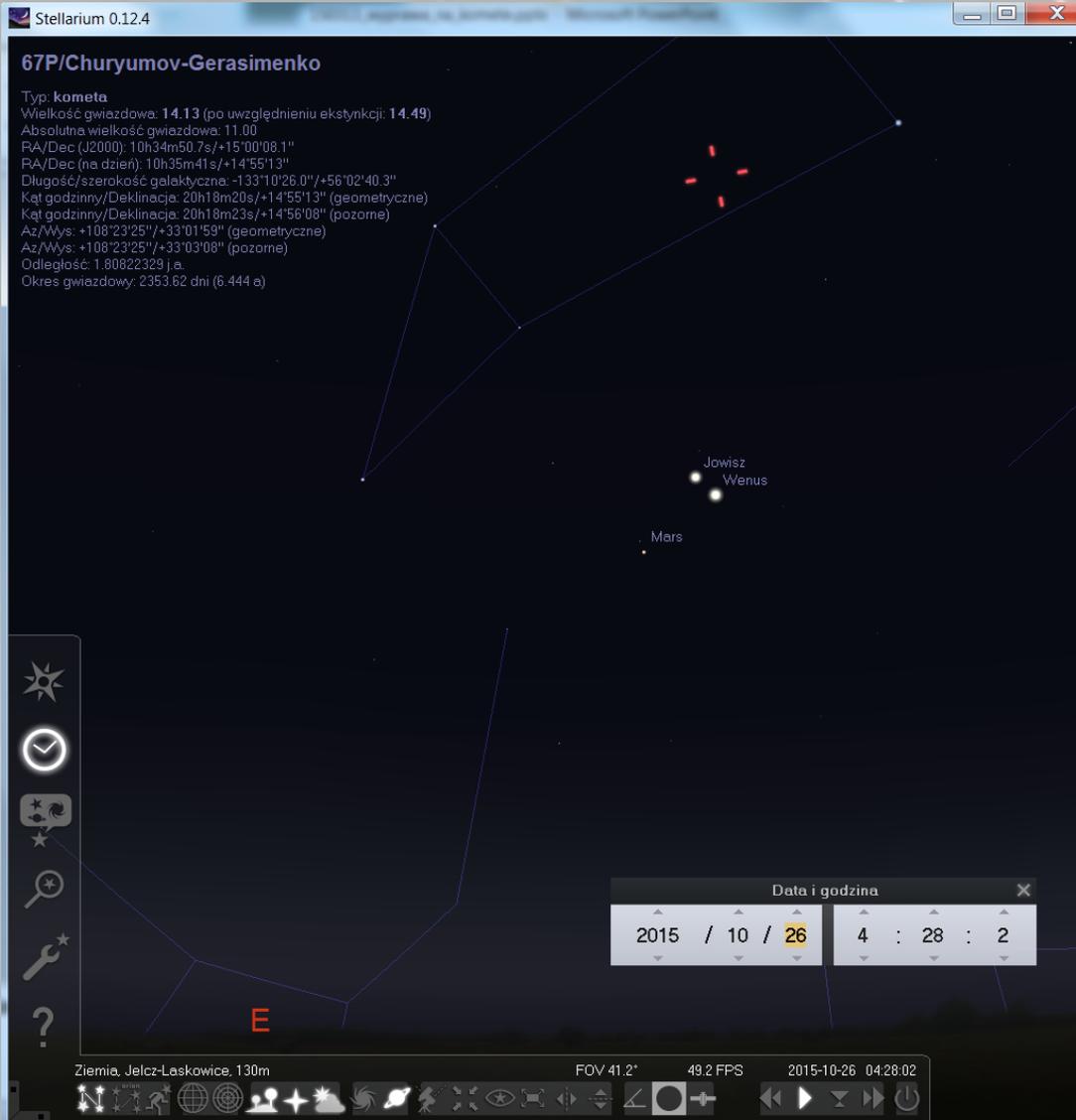
E

Data i godzina

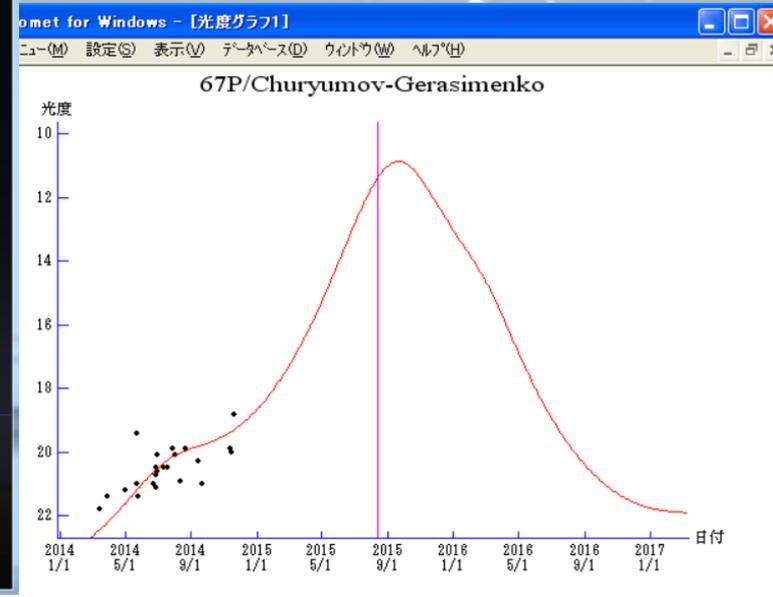
2015 / 8 / 13 3 : 22 : 1

Ziemia, Jelcz-Laskowice, 130m FOV 95.3° 15.9 FPS 2015-08-13 03:22:01

# Jak zobaczyć 67P/C-G? Maksimum jasności.



Bardzo trudna do zobaczenia okiem nieuzbrojonym, ale nie powinno być większych problemów ze zrobieniem zdjęcia...



<http://www.aerith.net/comet/future-n.html>

# 11 Astronomiczny Dzień w Izerskim Parku Ciemnego Nieba

## 11. ASTRONOMICZNY DZIEŃ

w Izerskim Parku Ciemnego Nieba

Jizerka, Orle

16. maja 2015

WSTĘP WOLNY

W sobotę 16. maja 2015 odbędzie się w Jizerce i w Orlu  
Astronomiczny Dzień w Izerskim Parku Ciemnego Nieba.

W programie są teleskopowe obserwacje Słońca i nocnego nieba oraz wykłady.

### Program

Orle	Jizerka
	<p><b>od 13:00</b> obserwacje Słońca, wystawa teleskopów i fotografii astronomicznej (obserwacje tylko przy dobrej pogodzie)</p>
	<p><b>13:00</b> Od cytryn na Nowej Zelandii pod Europejskie Observatorium Południowe – relacja z podróży ze wspaniałymi fotografiami <i>Petr Horálek</i></p>
<p><b>14:00 – 17:00</b> obserwacje Słońca, możliwość samodzielnego zrobienia zdjęcia Słońca, porady dla początkujących miłośników astronomii (obserwacje tylko przy dobrej pogodzie)</p>	<p><b>15:00</b> Piękno letniego nieba – interaktywna opowieść dla całej rodziny <i>Martin Gembec</i></p>
<p><b>18:30</b> wspólny spacer do Jizerki na teleskopowe obserwacje nocnego nieba połączone z przejściem fragmentu ścieżki planetarnej i gawędą o planetach oraz rozmowami z astronomami o wszystkim, czyli o Wszechświecie; wspólny powrót do Orla około 24:00 (wyjście do Jizerki tylko przy dobrej pogodzie)</p>	<p><b>16:00</b> Wszystko, co wiedzieliśmy o Księżycu, jest inaczej <i>Pavel Gabzdyl</i></p>
	<p><b>17:30</b> Historia nawigacji <i>Petr Scheirich</i></p>
	<p><b>19:00</b> zakończenie wykładów</p>
	<p><b>Obserwacje nocnego nieba</b> zaczynamy z nastaniem nocy obserwacje potrwają do ostatniej zainteresowanej osoby (obserwacje tylko przy dobrej pogodzie)</p>



Mapa Gór Izerskich

### Organizatorzy imprezy

- Libereckí Klub Astronomův – oddział Českého Tovařstva Astronomického
- Instytut Astronomiczny Akademii Nauk Republiki Czeskiej
- Instytut Astronomiczny Uniwersytetu Wrocławskiego
- firma SUNDISK
- Stacja Turystyczna Orle
- hotel Panský dům – Jizerka

### Patronat medialny



Magazyn turystyczno-krajoznawczy „Góry Izerskie”

[www.goryizerskie.pl](http://www.goryizerskie.pl)

JIZERSKÁ  
OBLAST  
TMAVÉ  
OBLOHY



IZERSKI  
PARK  
CIEMNEGO  
NIEBA