

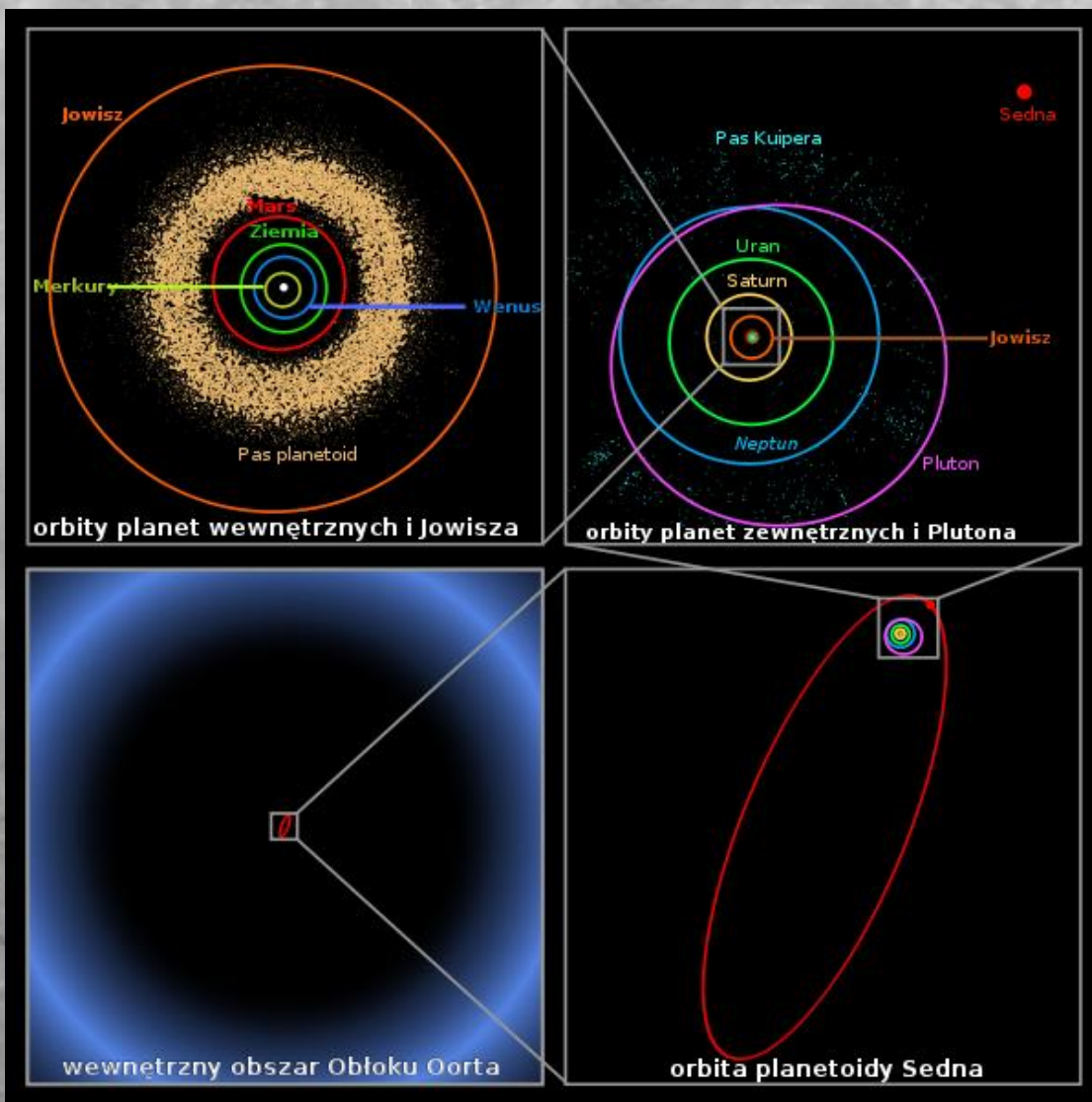
**Zderzenie Ziemi z planetoidą  
czyli czas na kolejną katastrofę**

*Żądamy katastrofy!*





# Układ Słoneczny



8 planet – Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran, Neptun

5 planet karłowatych – Ceres, Pluton, Haumea, Makemake, Eris

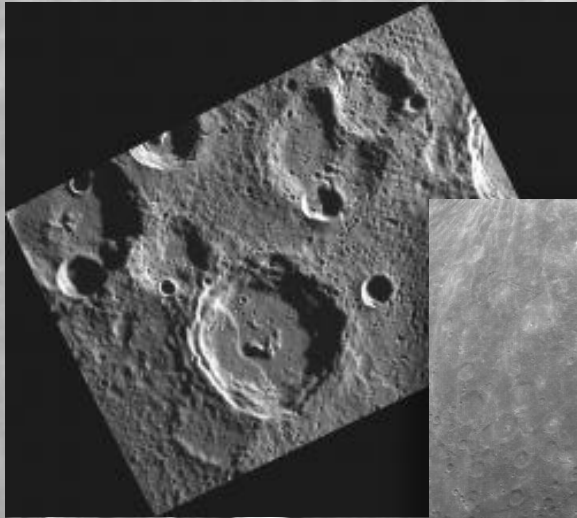
Pas planetoid – pomiędzy orbitą Marsa i Jowisza, 700 tys – 1.7 mln obiektów

Pas Kuipera – poza orbitą Neptuna, 30 – 55 j.a.

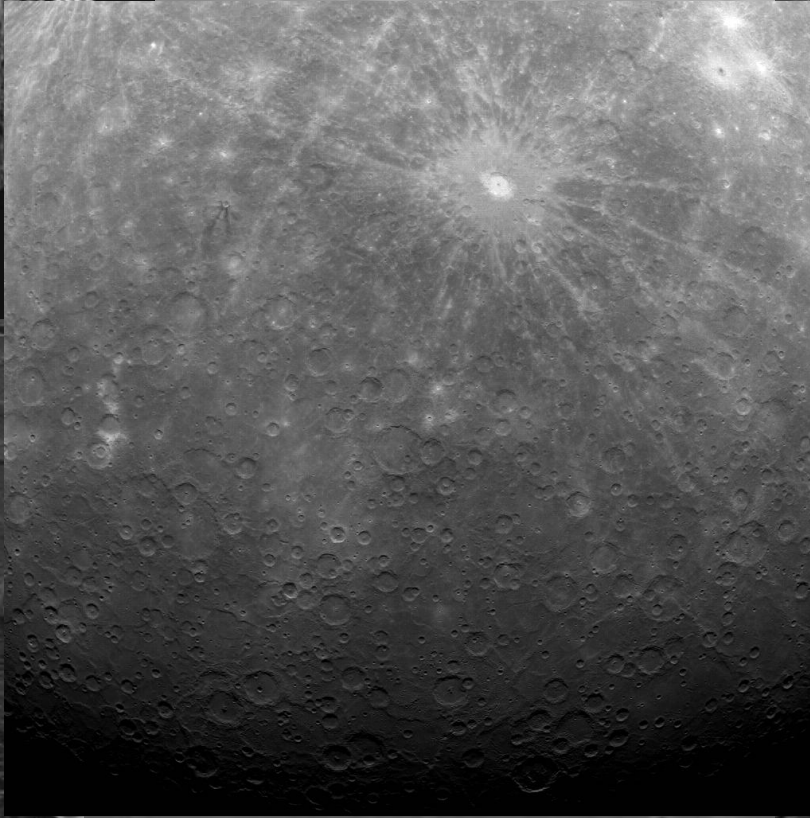
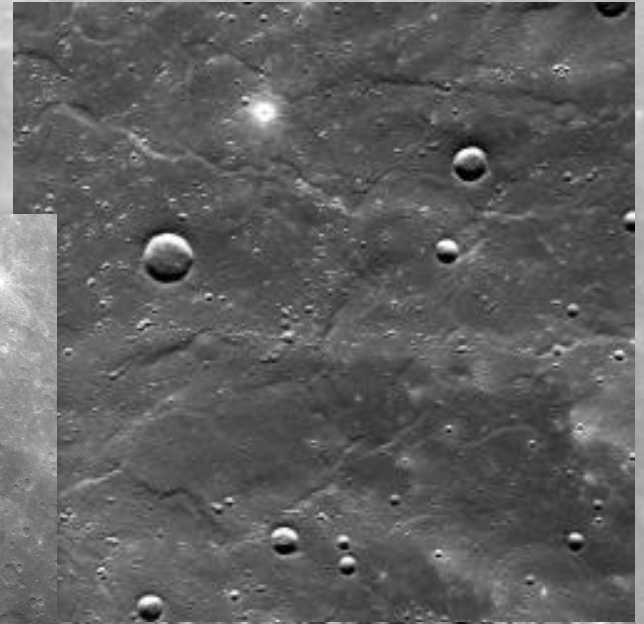
Obłok Oorta – 300-100 000 j.a.  
brak znanych obiektów

Czy tych ciał jest na tyle dużo, że mogą się zderzać?

# Ślady po zderzeniach w Układzie Słonecznym



Merkury



29.03.2011 r. – pierwszy obraz  
z satelity Messenger

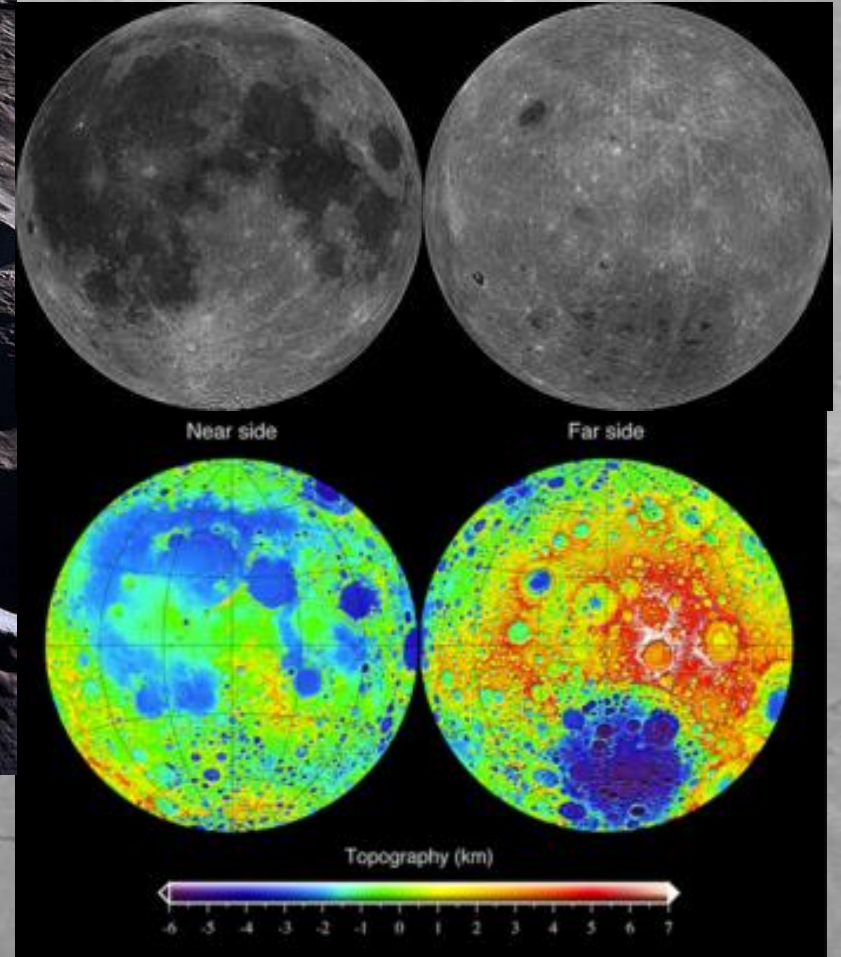


# Ślady po zderzeniach w Układzie Słonecznym



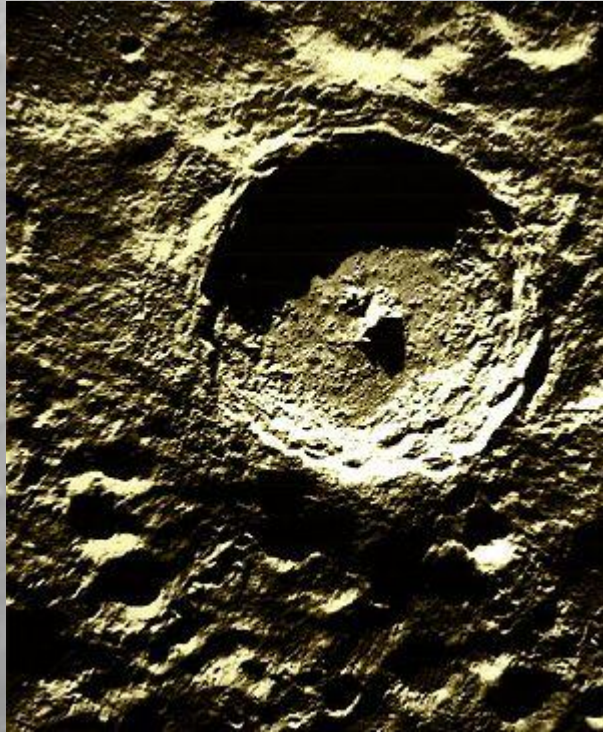
Dedal

Księżyc

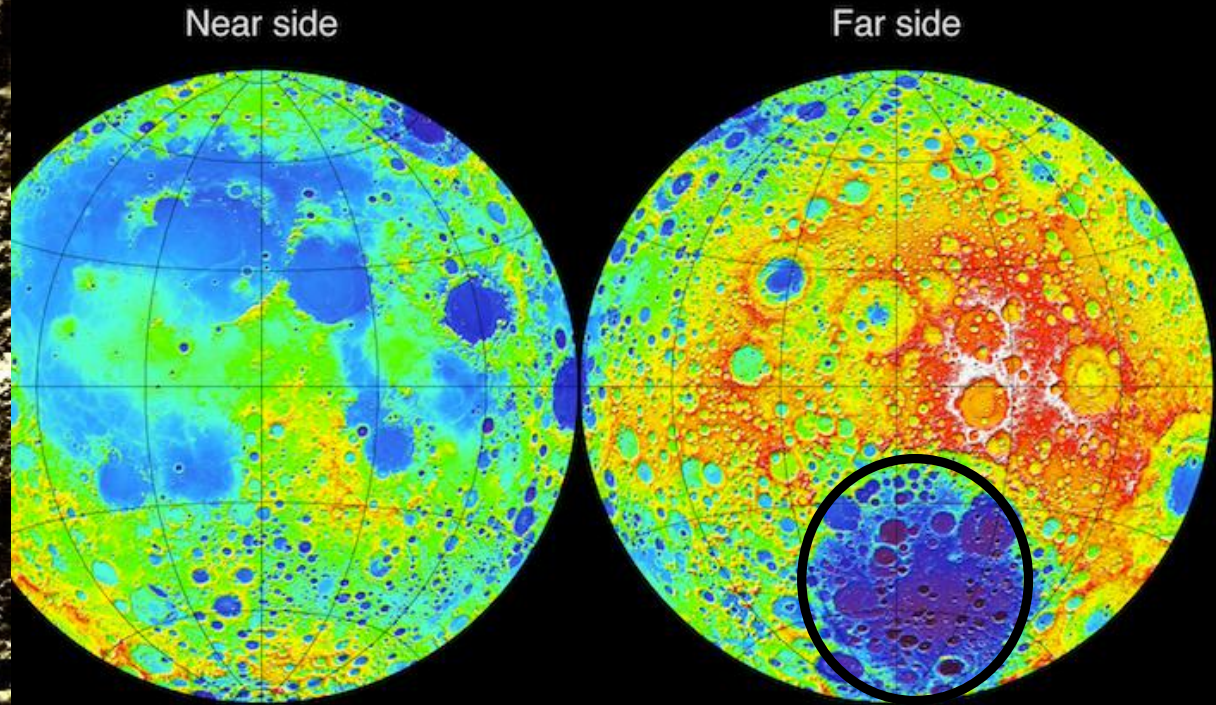




# Ślady po zderzeniach w Układzie Słonecznym



Tycho



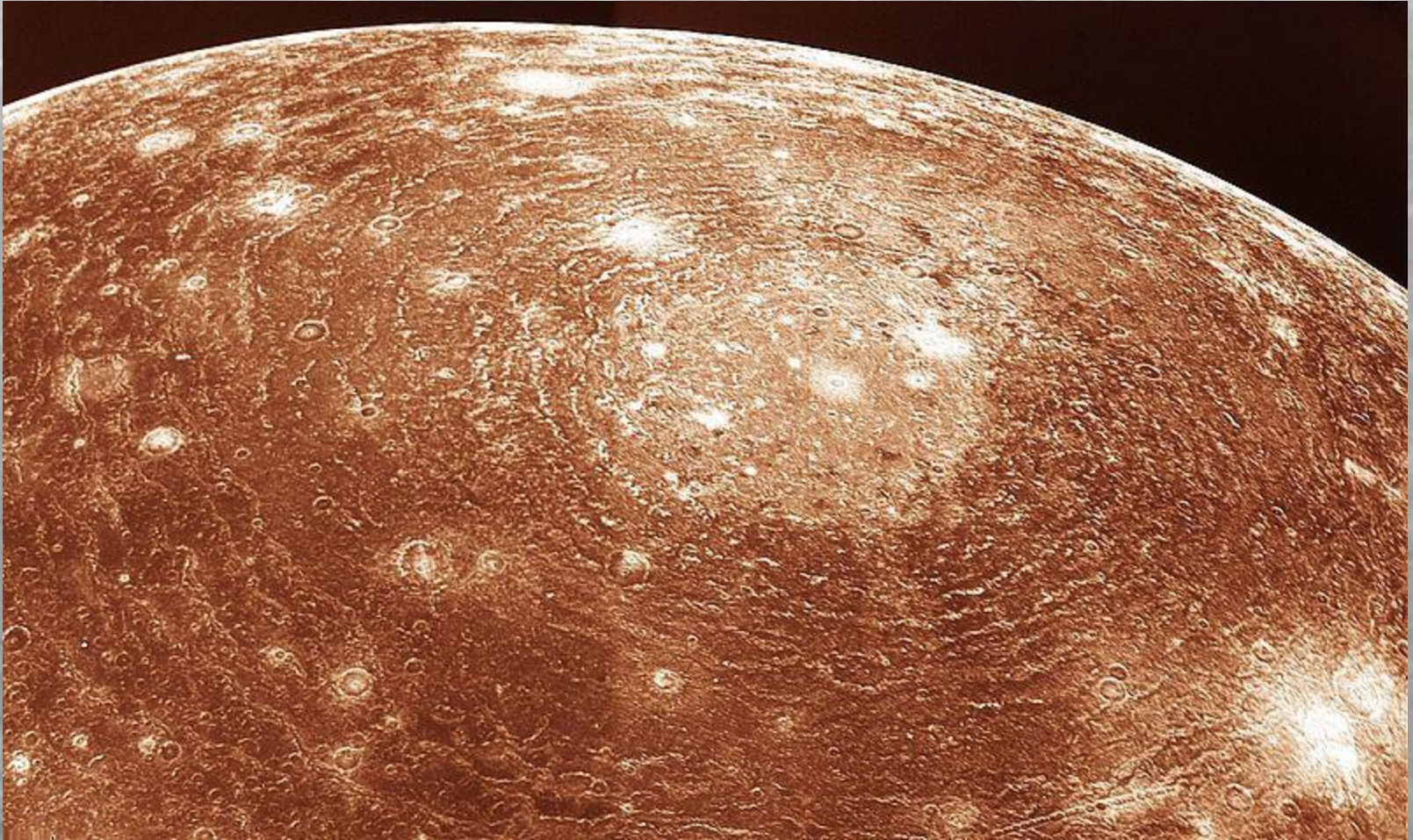
Topography (km)



**Aitken** - krater uderzeniowy o średnicy 2500 km i głębokości 13 km. Największy znany krater w Układzie Słonecznym (jeśli pominąć Pół Marsa 😊)



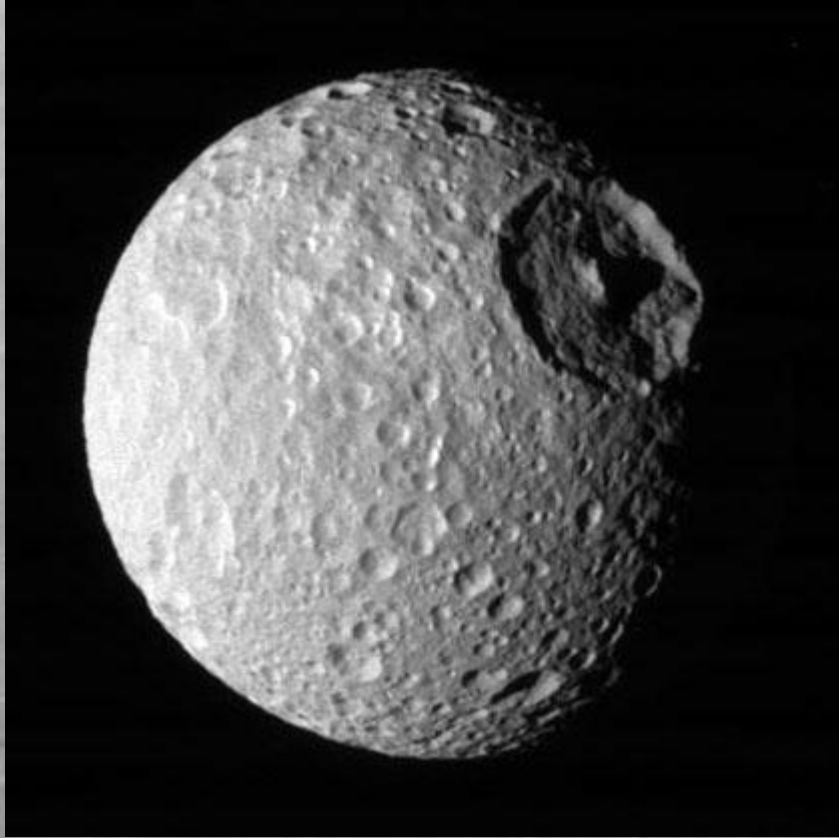
# *Ślady po zderzeniach w Układzie Słonecznym*



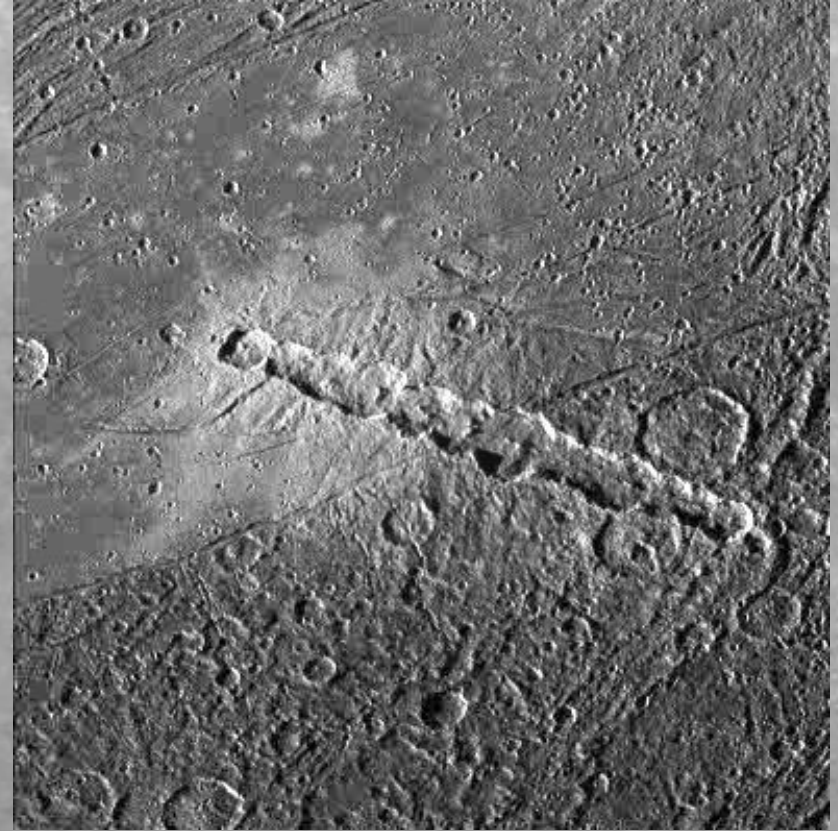
Wielopierścieniowy krater uderzeniowy na Kallisto (księżyc Jowisza)



# Ślady po zderzeniach w Układzie Słonecznym



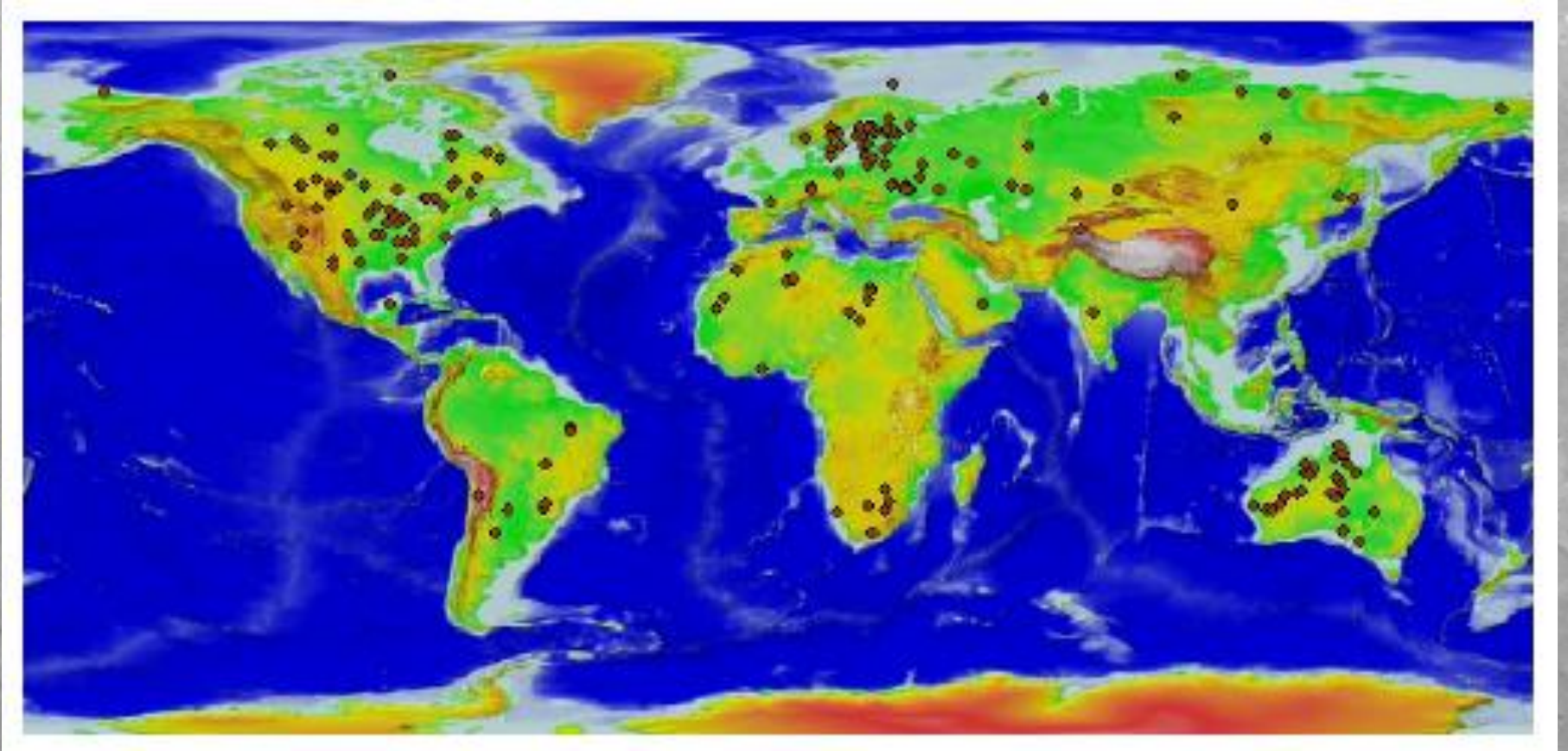
Krater Herschel na Mimasie (księżyc Saturna)



Łańcuch kraterów na Ganimedesie  
(księżyc Jowisza)



# Kraterzy meteorytowe na Ziemi



Mapa 174 potwierdzonych kraterów meteorytowych



# *Kraterzy meteorytowe na Ziemi*



Krater Barringera w stanie Arizona

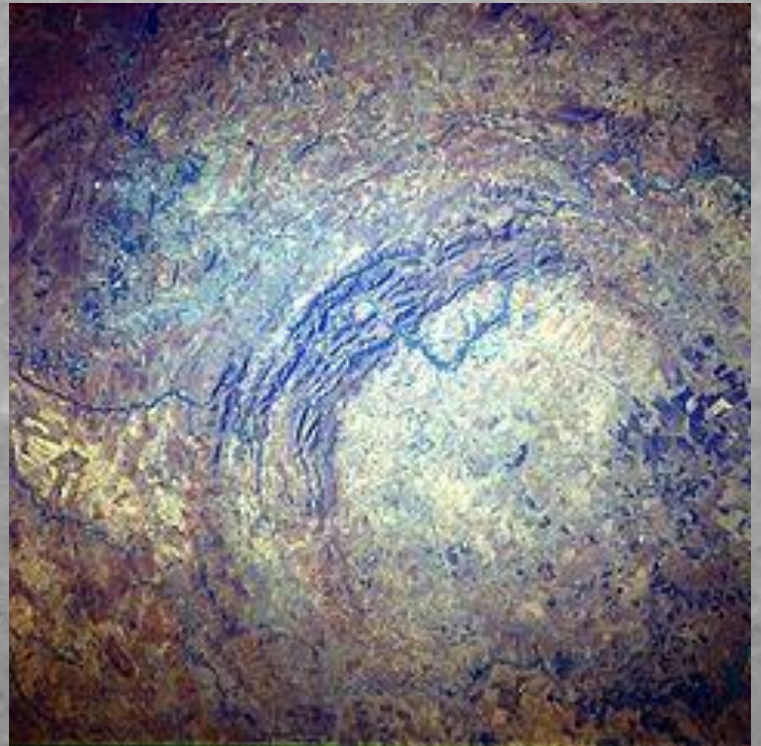


# Kraterzy meteorytowe na Ziemi



Krater Manicouagan (Kanada) – wynik spotkania z obiektem o rozmiarze ok. 5 km. Zderzenie miało miejsce 214 mln lat temu. Krater ma obecnie około 72 km (pierwotnie 100 km)

Krater Vredefort (RPA) – największy zidentyfikowany krater uderzeniowy na Ziemi ma średnicę ok. 300 km. Powstał około 2 miliardy lat temu w wyniku uderzenia obiektu o rozmiarze co najmniej 10 km

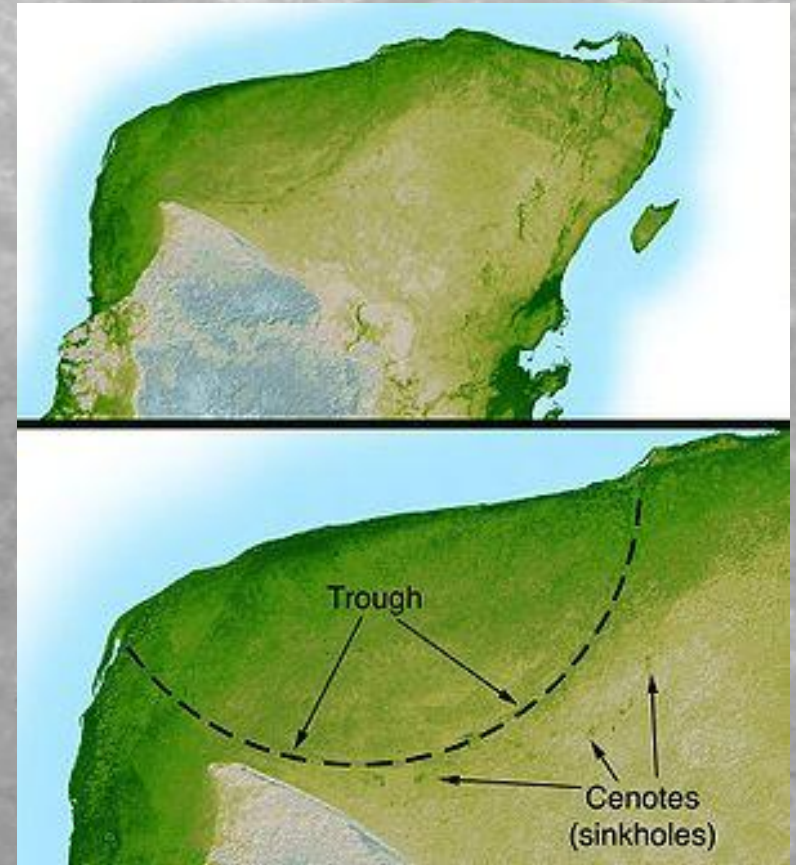




# Kraterory meteorytowe na Ziemi

Morasko - 7 kraterów (największy - 60 m)  
Pozostałość po upadku meteorytu  
ok. 5 tysięcy lat temu.

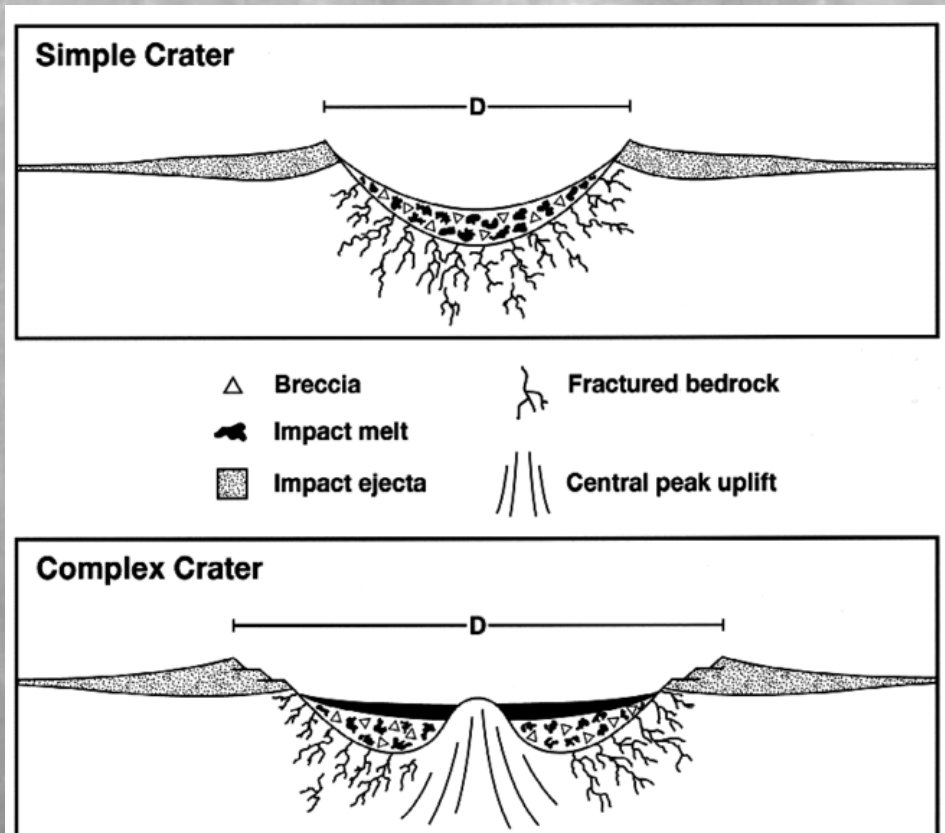
Największy meteoryt znaleziony w miejscu  
upadku ma masę 164 kg.



Krater Chicxulub (Jukatan) ma średnicę  
około 180 km. Wiek - około 65,5 mln lat,  
powstał na skutek upadku meteorytu o  
średnicy 10 km z prędkością 20km/s



# Jak rozpoznać krater uderzeniowy?



Kilka cech charakterystycznych dla krateru uderzeniowego:

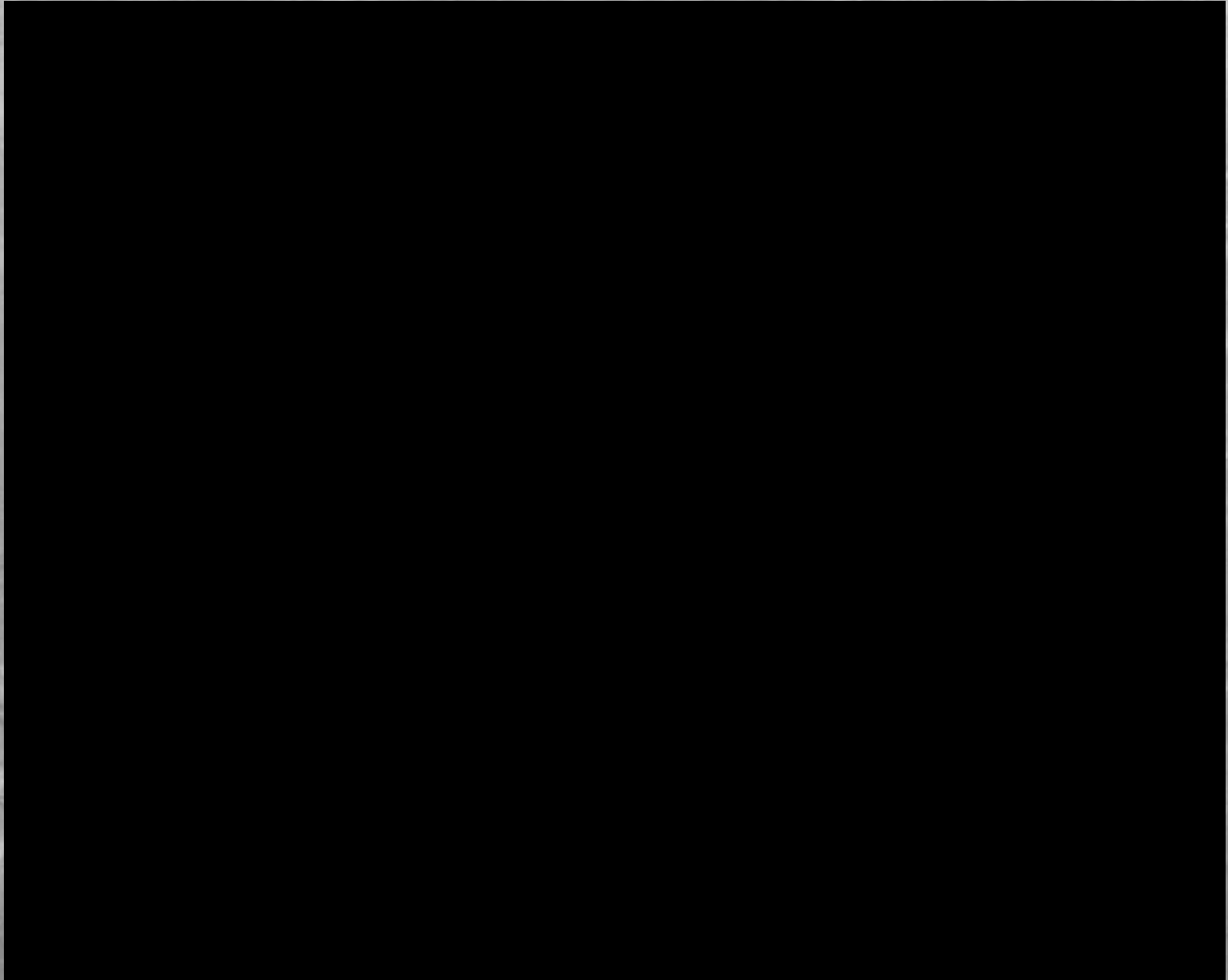
- obecność tzw. soczewki brekcji
- stożki uderzeniowe widoczne w strukturze skał otaczających.
- skały powstające w wysokich temperaturach - stopione bloki piasku, sferule, tektyty
- mikroskopijne deformacje kryształów, obecność kryształów powstających pod ogromnym ciśnieniem – diament, stiszowit





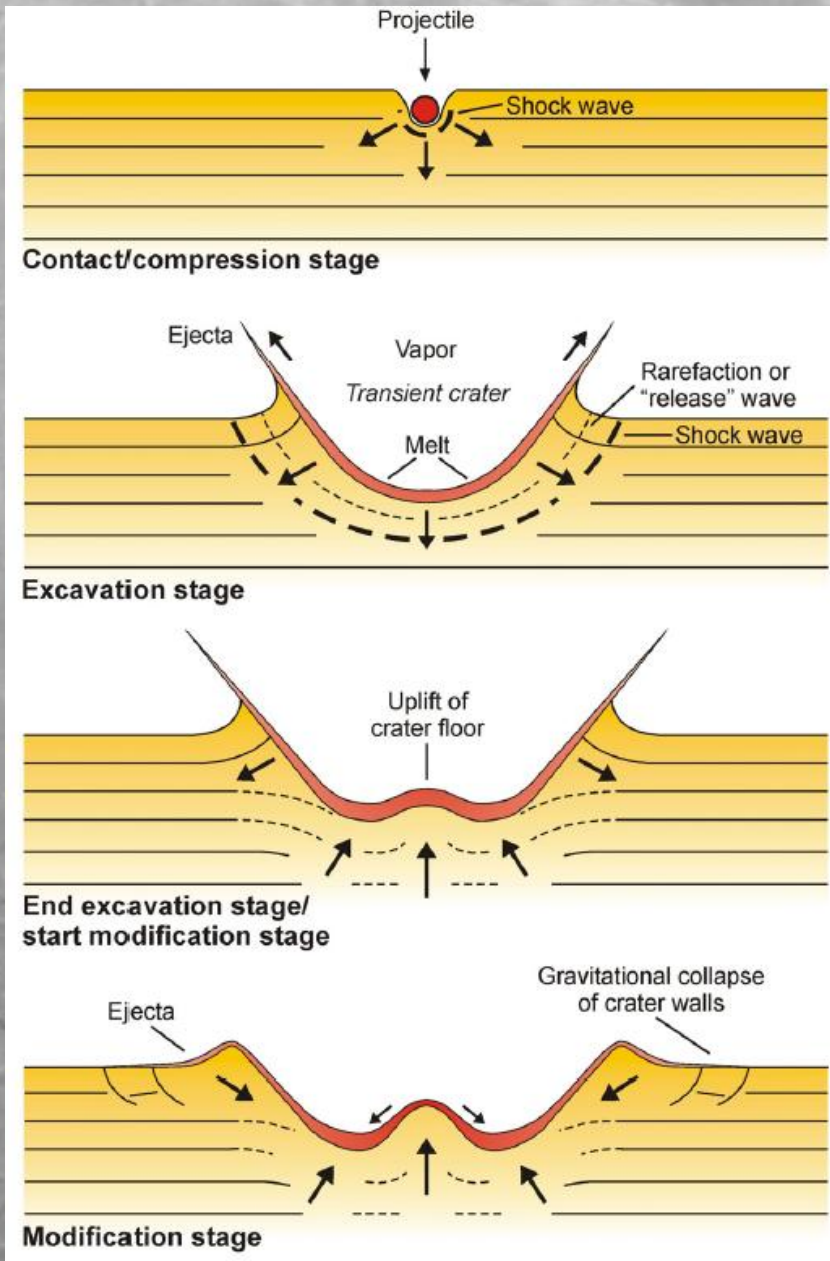
# *Powstawanie krateru uderzeniowego*

---





# Powstawanie krateru uderzeniowego

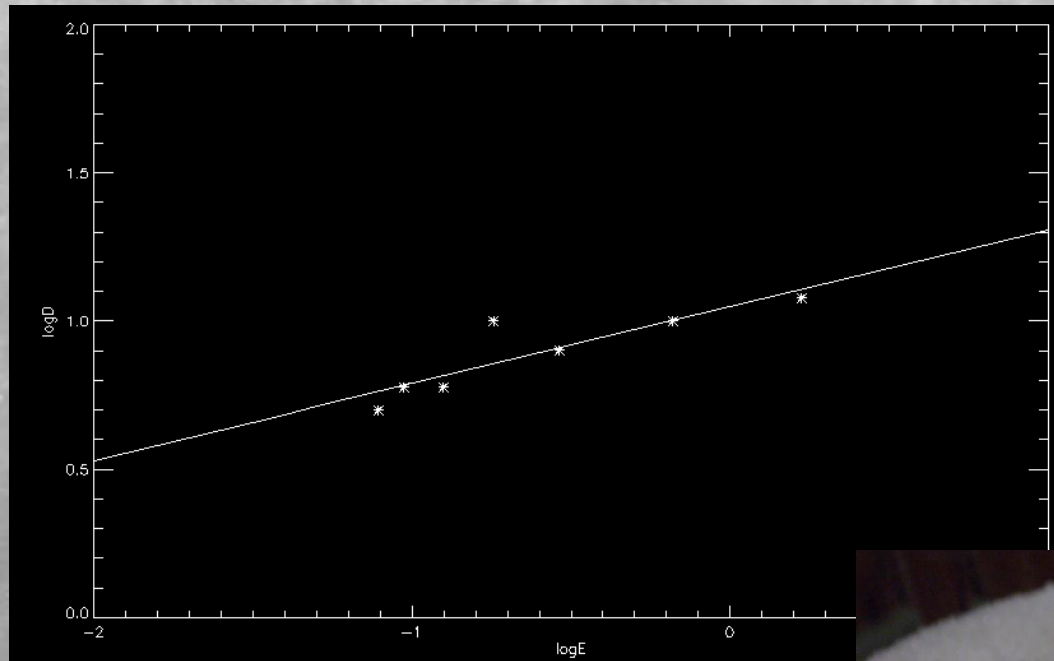


**faza kontaktu i kompresji** – energia kinetyczna zamieniana jest w naddźwiękowe fale uderzeniowe, trwa nie więcej niż ułamek sekundy.

**faza wyrzucania** – fale kompresji i dekompresji powodują wyrzucenie i przemieszczenie materiału, który tworzy kurtynę o kształcie stożka; cała faza trwa do kilku minut

**faza zapadania i modyfikacji** – kiedy wyczerpuje się energia kinetyczna zderzenia dochodzi do modelowania dna i osuwania krawędzi; krater przybiera postać końcową

# Eksperyment



tarcza – piasek (tani), cukier (drogi)  
pocisk – kamienie o różnych masach,  
kulki z łożyska  
zrzucamy pociski z różnych wysokości  
(różna energia, E) i mierzymy średnicę  
krateru (D)  
otrzymujemy liniową zależność  
logE-logD

Wynik można ekstrapolować na istniejące krater. Jednak należy pamiętać o kilku zasadach:

- duża gęstość pocisków
- duża wysokość (krater musi być duży w porównaniu z rozmiarem pocisku)





# Konsekwencje zderzenia

HOME FAMOUS CRATERS **IMPACT EARTH!** DOCUMENTATION GLOSSARY

**PARAMETERS**

Projectile Diameter:	The Moon - 3476 km
Projectile Density:	8000 kg/m <sup>3</sup> for iron
Angle of Impact:	90 degrees
Velocity:	30 km/s
Target Type:	Crystalline Rock
Distance from Impact:	4000 km

\* All fields are required

**PROJECTILE PARAMETERS** ?

Diameter  m  
The Moon - 3476 km

Density  (kg/m<sup>3</sup>)  
8000 kg/m<sup>3</sup> for iron

**IMPACT PARAMETERS** ?

Impact Angle (in degrees) 90 degrees  
0  90

Impact Velocity  km/s 30 km/s  
11  72

**TARGET PARAMETERS** ?

Target Type:

- Water of Depth  m
- Sedimentary Rock
- Crystalline Rock

DISTANCE FROM IMPACT  4000 km

**CALCULATE IMPACT**





**PURDUE**  
UNIVERSITY

Imperial College  
London

Impact: Earth! written by [Saveth Collins](#), [H. Jay Melosh](#) and [Robert Marcus](#).  
Developed by ITaP for Purdue University.

[View the text-only version.](#)

Purdue University, West Lafayette, IN 47907 USA,  (765) 494-4600 

© 2020 Purdue University. An equal access, equal opportunity university.

If you have trouble accessing this page because of a disability, please contact ITaP at [itap@purdue.edu](mailto:itap@purdue.edu).

<http://www.purdue.edu/impactearth>

# Konsekwencje zderzenia

The screenshot shows the 'IMPACT EARTH!' website interface. At the top, there are navigation links: HOME, FAMOUS CRATERS, DOCUMENTATION, and GLOSSARY. The main content area is divided into several sections:

- YOUR INPUTS:** Diameter: The Moon - 3476 km; Density: 8000 kg/m<sup>3</sup> for iron; Angle: 90 degrees; Velocity: 30 km/s; Target: Crystalline Rock; Your Distance: 4000 km.
- ATMOSPHERIC ENTRY:** No data to report.
- ENERGY:** No data to report.
- GLOBAL DAMAGES:** No data to report.
- CRATER DIMENSIONS (Pop-up window):**
  - Transient Crater Diameter: 11800 km (= 7350 miles)
  - Transient Crater Depth: 4190 km (= 2600 miles)
  - Final Crater Diameter: 40300 km (= 25000 miles)
  - Final Crater Depth: 7.2 km (= 4.47 miles)
  - The final crater is replaced by a large, circular melt province.
  - The Melt volume is 3.24 times the crater volume.
  - At this size, the crater forms in its own melt pool.
- SEISMIC EFFECTS:** No data to report.
- RADIATION:** No data to report.
- Tsunami:** No data to report.

At the bottom right, there is a button labeled 'CALCULATE ANOTHER IMPACT'.

**PURDUE**  
UNIVERSITY

Imperial College  
London

Impact: Earth! written by [Sarah Collins](#), [W. Jay Malosh](#) and [Robert Marcus](#)  
Developed by [ITaP](#) for Purdue University.

[View the text-only version.](#)

Purdue University, West Lafayette, IN 47907 USA, [\(765\) 494-4600](#)

© 2010 Purdue University. An equal access, equal opportunity university.

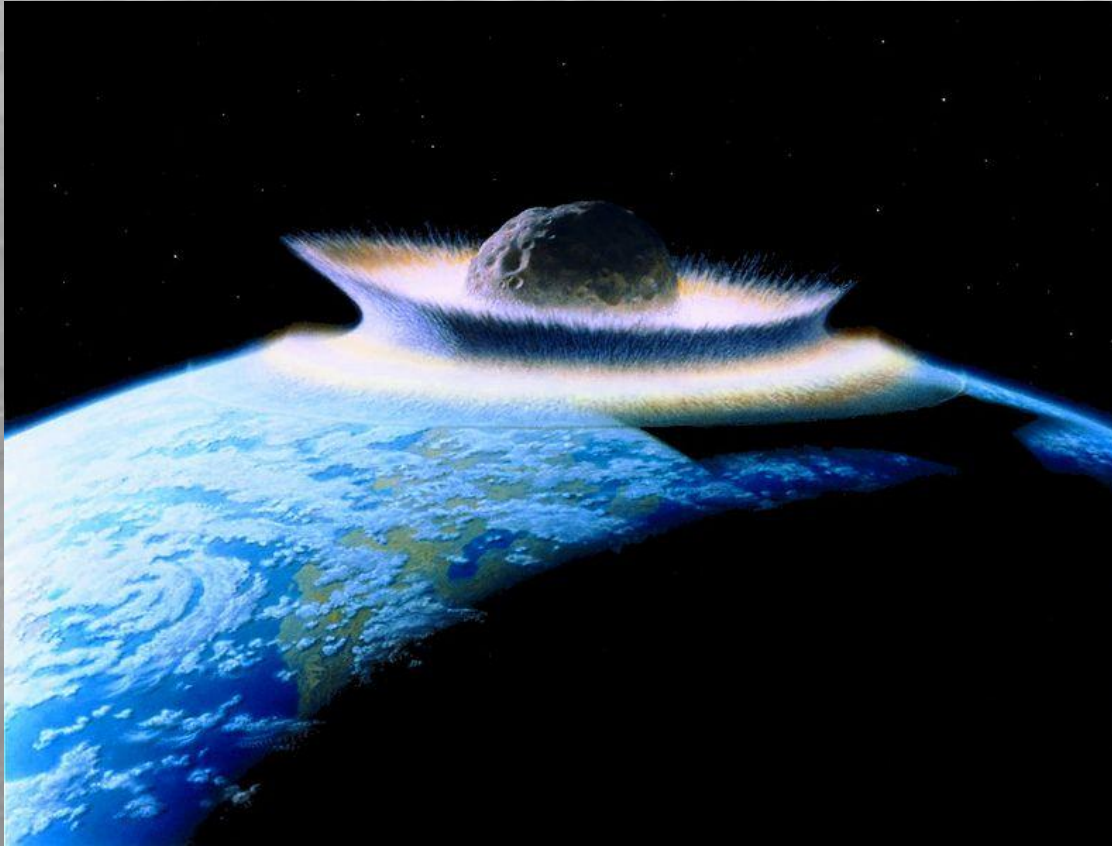
If you have trouble accessing this page because of a disability, please contact ITaP at [itap@purdue.edu](mailto:itap@purdue.edu).

<http://www.purdue.edu/impactearth>



# Bać się?

Cechy kraterów uderzeniowych wskazują, że podczas tego procesu uwalniana jest ogromna ilość energii. To znaczy, że uderzeń dużych obiektów należy się bać!



Trzeba jedynie zachować rozsądek w tym strachu...

# Skąd może pochodzić obiekt, który uderzy w Ziemię?



Obiekty znajdujące się na wspólnej orbicie z Ziemią

Planetoidy przecinające orbitę Ziemi – Near Earth Asteroid (NEA)

Komety, których orbity zostają zmienione podczas przejścia w pobliżu innych planet

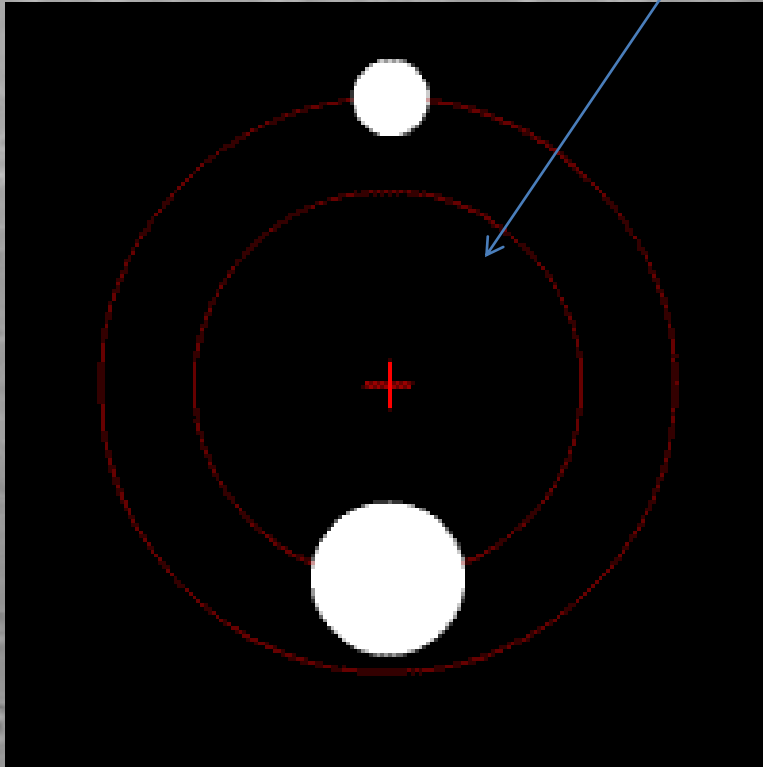
Obiekty nadlatujące spoza US





# Wspólna orbita z Ziemią

## Ograniczone zagadnienie trzech ciał.



W polu grawitacyjnym dwóch mas porusza się cząstka o zaniedbywalnie małej masie

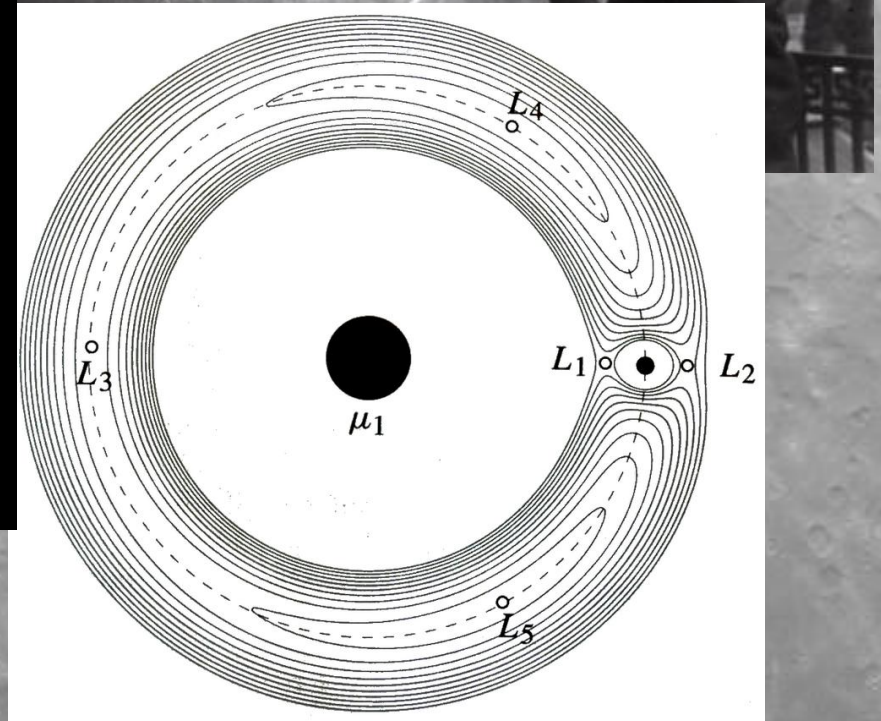
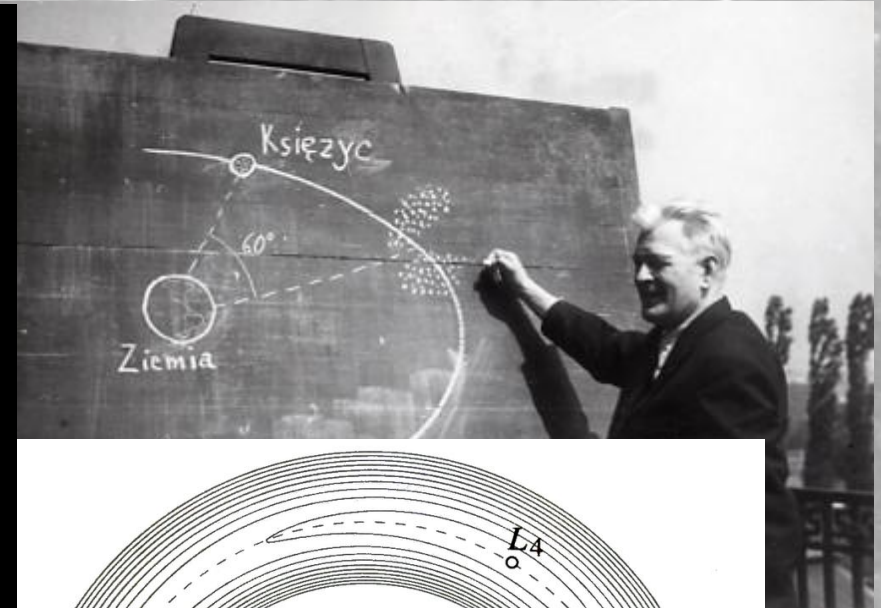
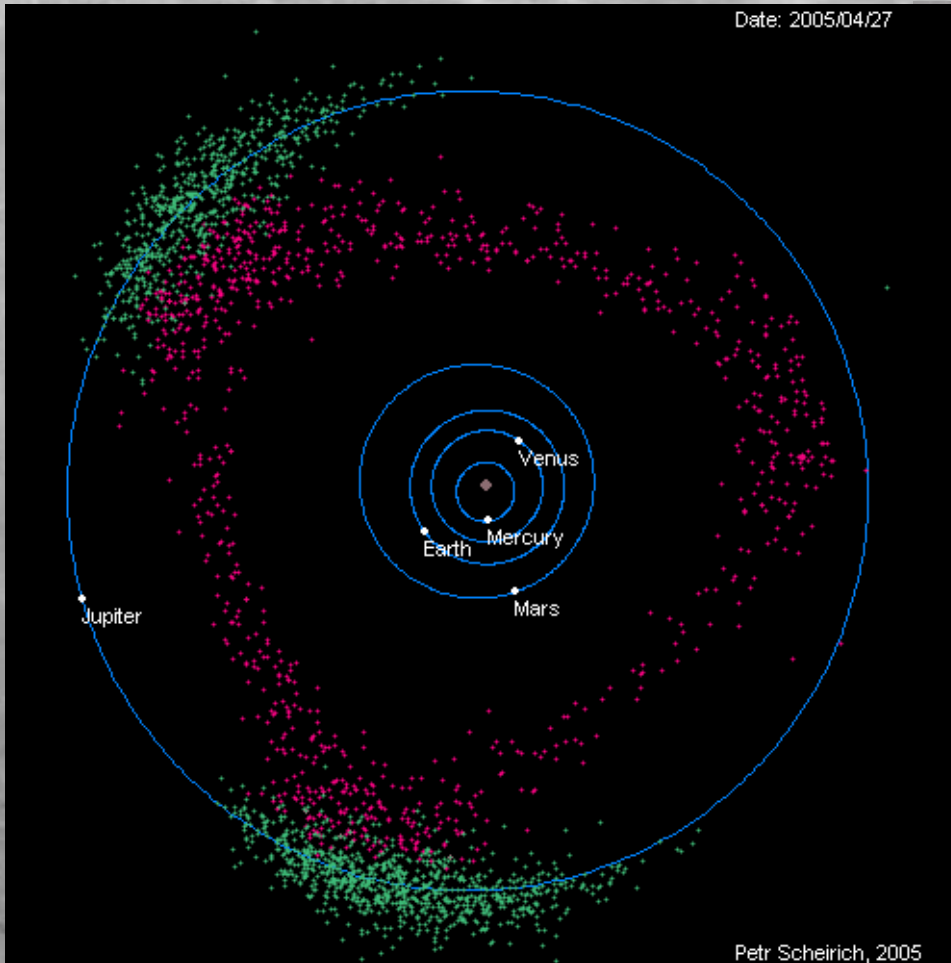
Zakładamy, że obie masy poruszają się po orbitach kołowych wokół barycentrum

Masa cząstki jest tak mała, że nie wywiera żadnej siły na obie masy

W takim układzie istnieją punkty równowagi i stabilne orbity wokół nich.

# Ruch wokół punktów równowagi

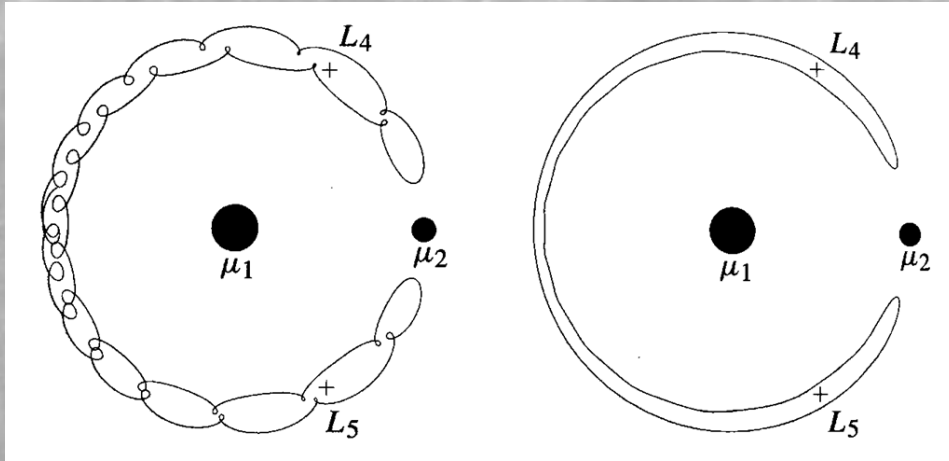
## Księżycy Kordylewskiego



Grecy i Trojańczycy

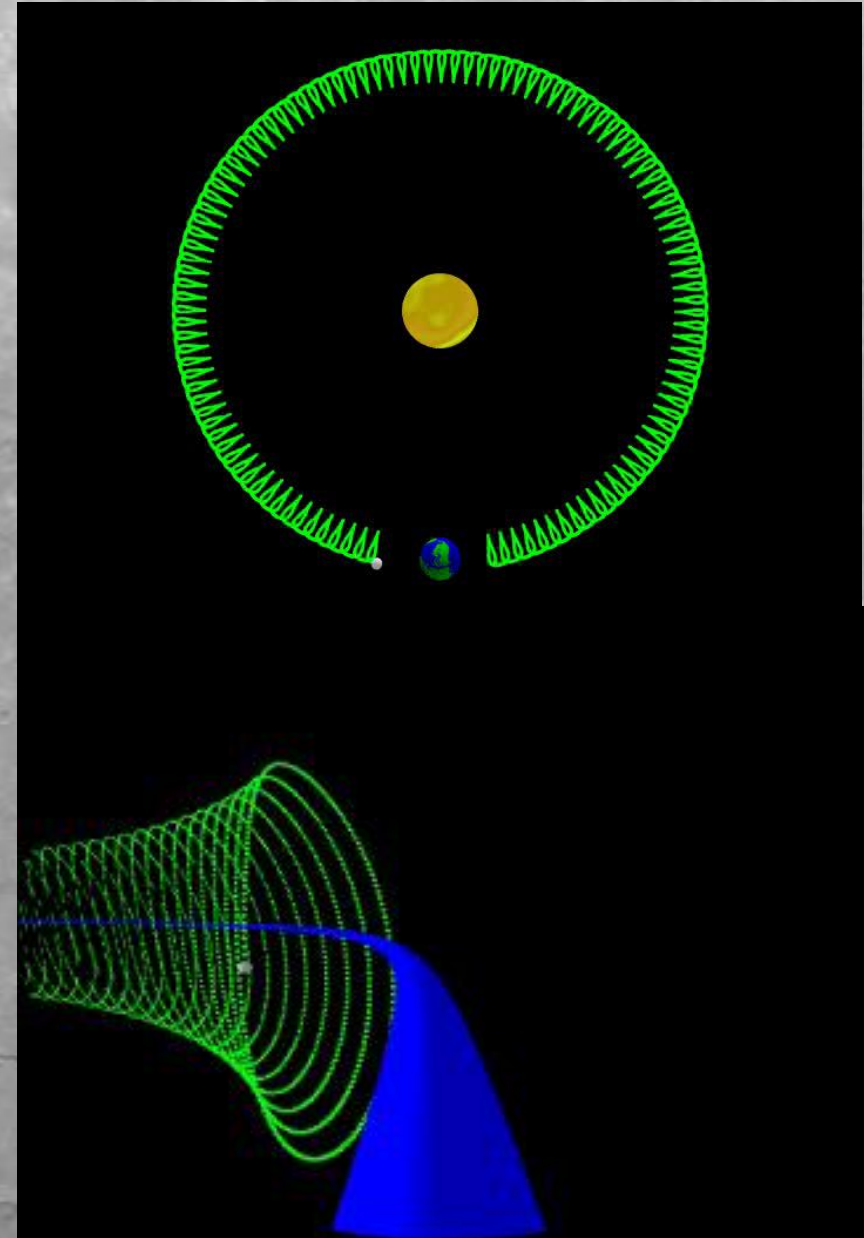


# Ruch wokół punktów równowagi



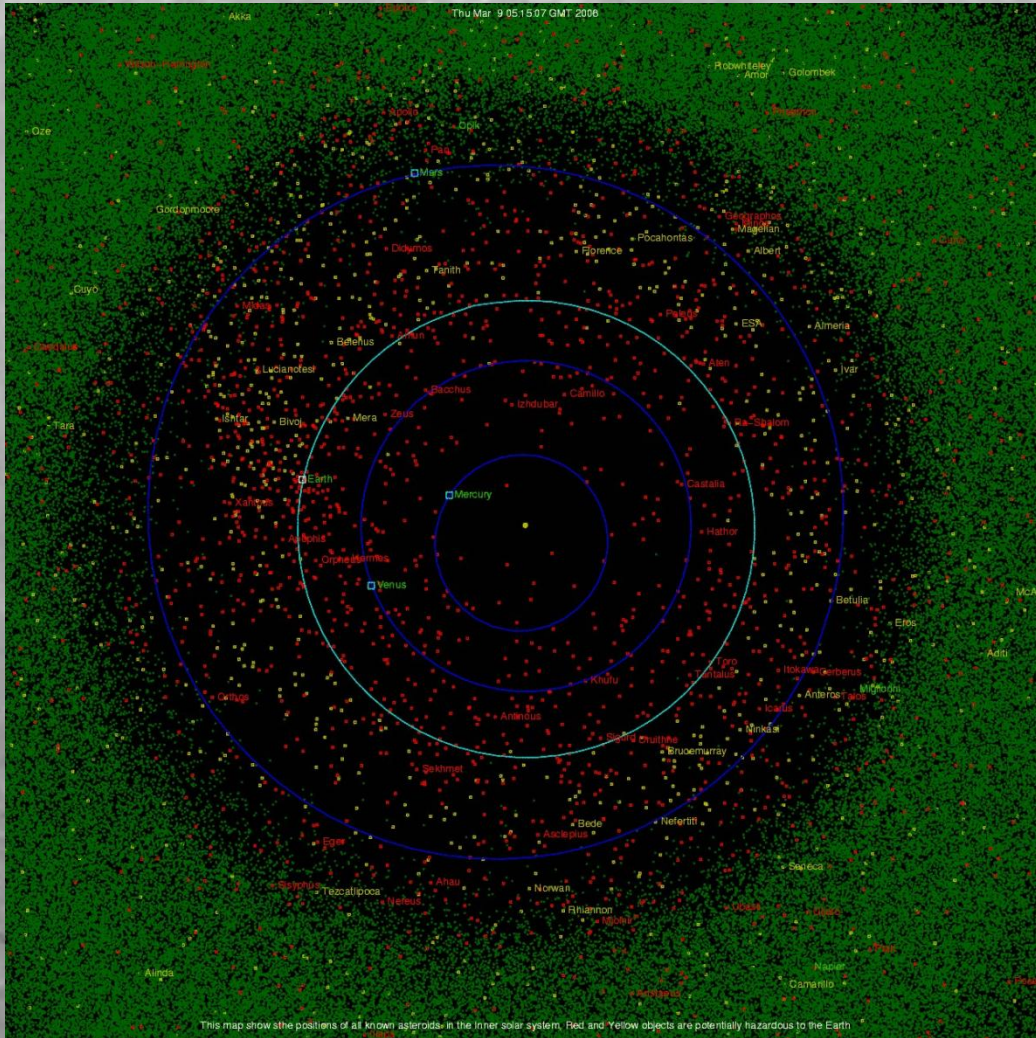
Orbity typu podkowy

planetoida 2002 AA29 porusza się po orbicie typu podkowy w układzie Ziemia-Słońce



by Paul Wiegert

# Planetoidy bliskie Ziemi



## Near Earth Asteroids (NEA)

Są to biekty, które w perihelium znajdują się w odległości mniejszej niż 1.3 j.a. od Słońca.

Obiektów takich znamy już prawie 8000. Największy z nich ma średnicę 32 km (1036 Ganymed)

Dzielone są na trzy grupy:

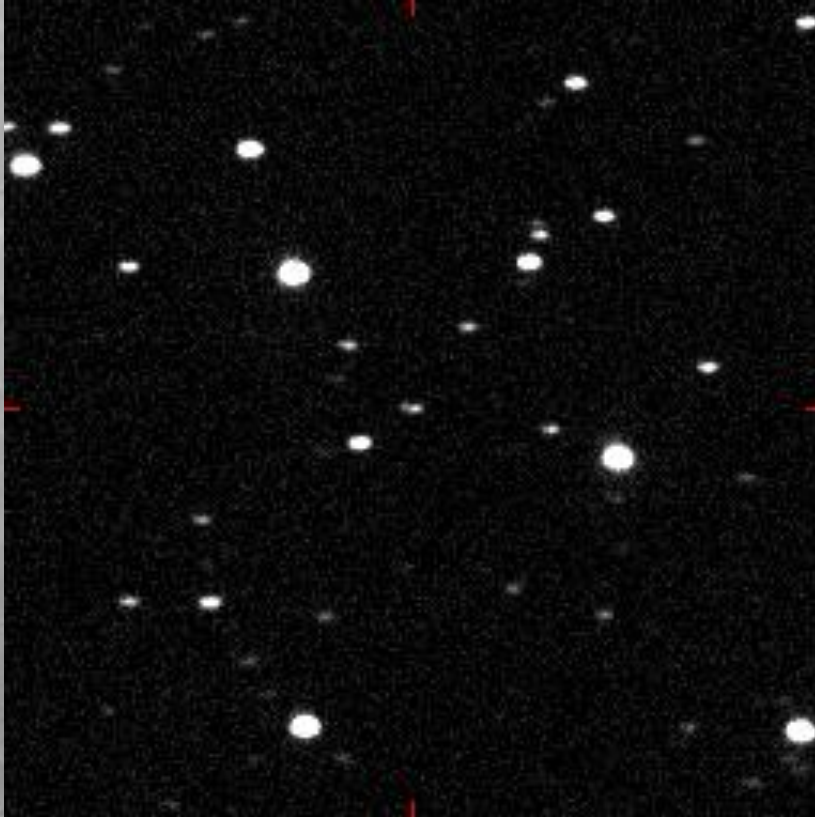
**Ateny** – średnia odległość od Słońca mniejsza niż 1 j.a., aphelium większe niż ziemskie perihelium (0.983)

**Apolla** – średnia odległość od Słońca większa niż 1 j.a., perihelium mniejsze niż ziemskie aphelium (0.983)

**Amora** – pomiędzy orbitami Ziemi i Marsa, perihelium od 1.017 do 1.3 j.a.



# Planetoidy bliskie Ziemi



Wśród NEA może być około 1100-1200 obiektów o rozmiarze powyżej 1 km

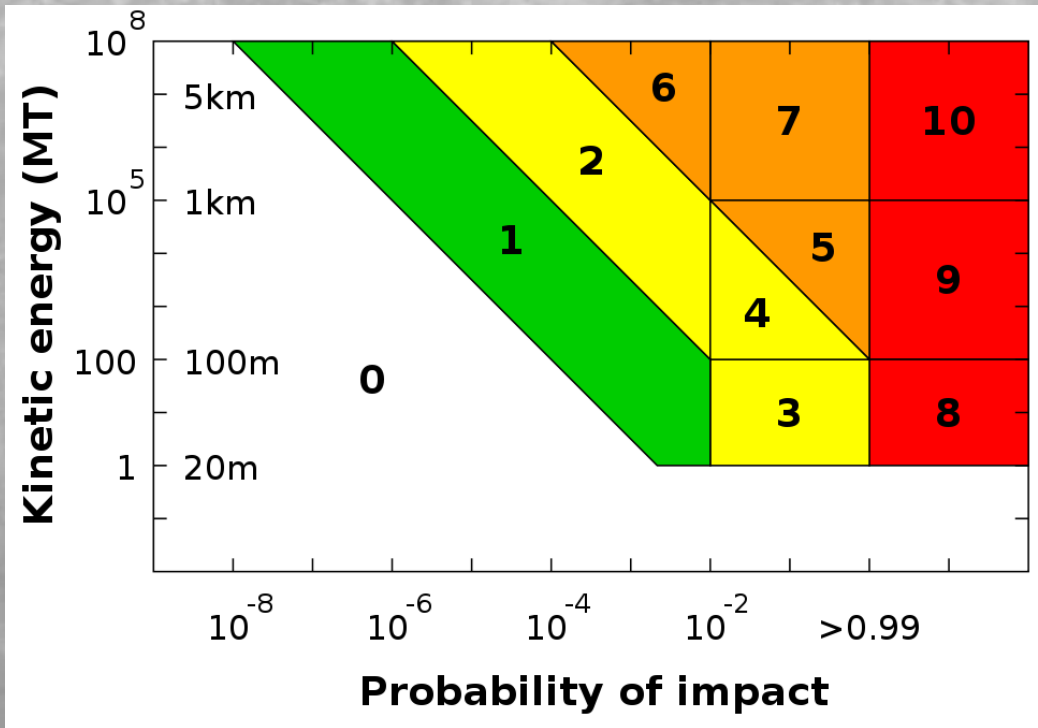
Żadna z nich nie jest na orbicie kolizyjnej z Ziemią grożącej zderzeniem w tym stuleciu.

Duża część ma orbity nachylone pod dużym kątem do ekliptyki, co zmniejsza ryzyko zderzenia z Ziemią.

Dla każdego z takich obiektów określany jest stopień zagrożenia. Jedną z takich kategorizacji jest skala turyńska

Planetoida 2004 FH zbliżyła się na odległość 43 000 km w dniu 18.03.2004 (22:08 UT)  
Ma rozmiar 30 m

# Skala turyńska



Przyjęta w czerwcu 1999 r. na konferencji dotyczącej NEO, w Turynie

Do tej pory najwyższą kategorię (4) przyznano obiektowi 99942 Apophis

Istnieje prawdopodobieństwo zderzenia w maju 2036. Jest ono równe 1 do 250 000.

W tak długim okresie orbita drobnego ciała może ulec dużym zmianom (perturbacje, efekt Jarkowskiego) Poza nim nie ma obiektów, które otrzymałyby klasę >1

**Brak zagrożenia**

**Norma**

**Wymagana uwaga astronomów**

**Zagrożenie**

**Pewne zderzenie**



# Prawdopodobieństwo

Średnica planetoidy, d	Częstość zderzenia
$d > 10 \text{ km}$	co 50 mln lat
$1 \text{ km} < d < 10 \text{ km}$	co 500 tys. lat
$100 \text{ m} < d < 1 \text{ km}$	co 5 tys. lat
$30 \text{ m} < d < 100 \text{ m}$	co 500 lat

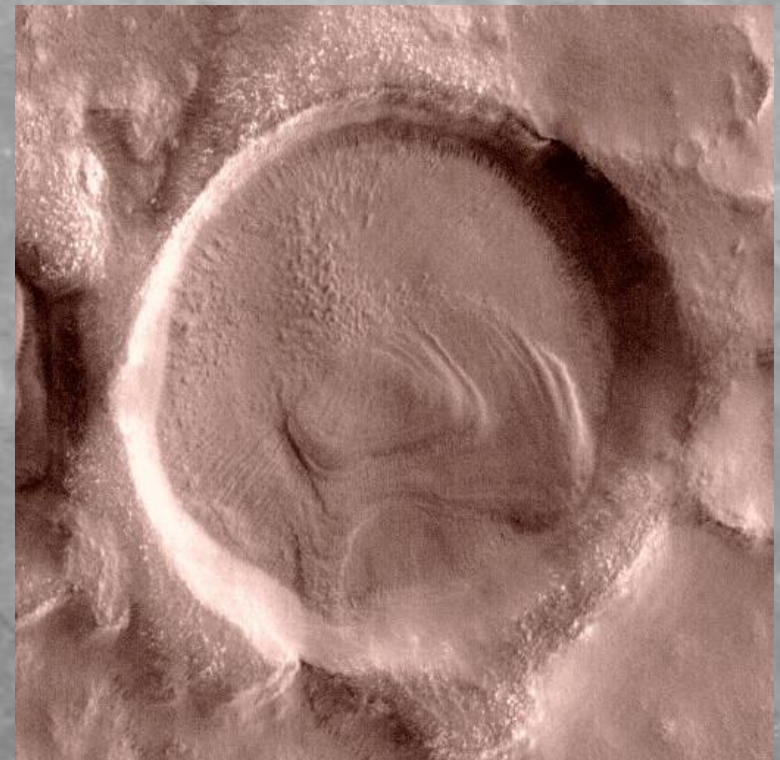
Zanim ogłosimy alarm:

Należy uwzględnić miejsce uderzenia.

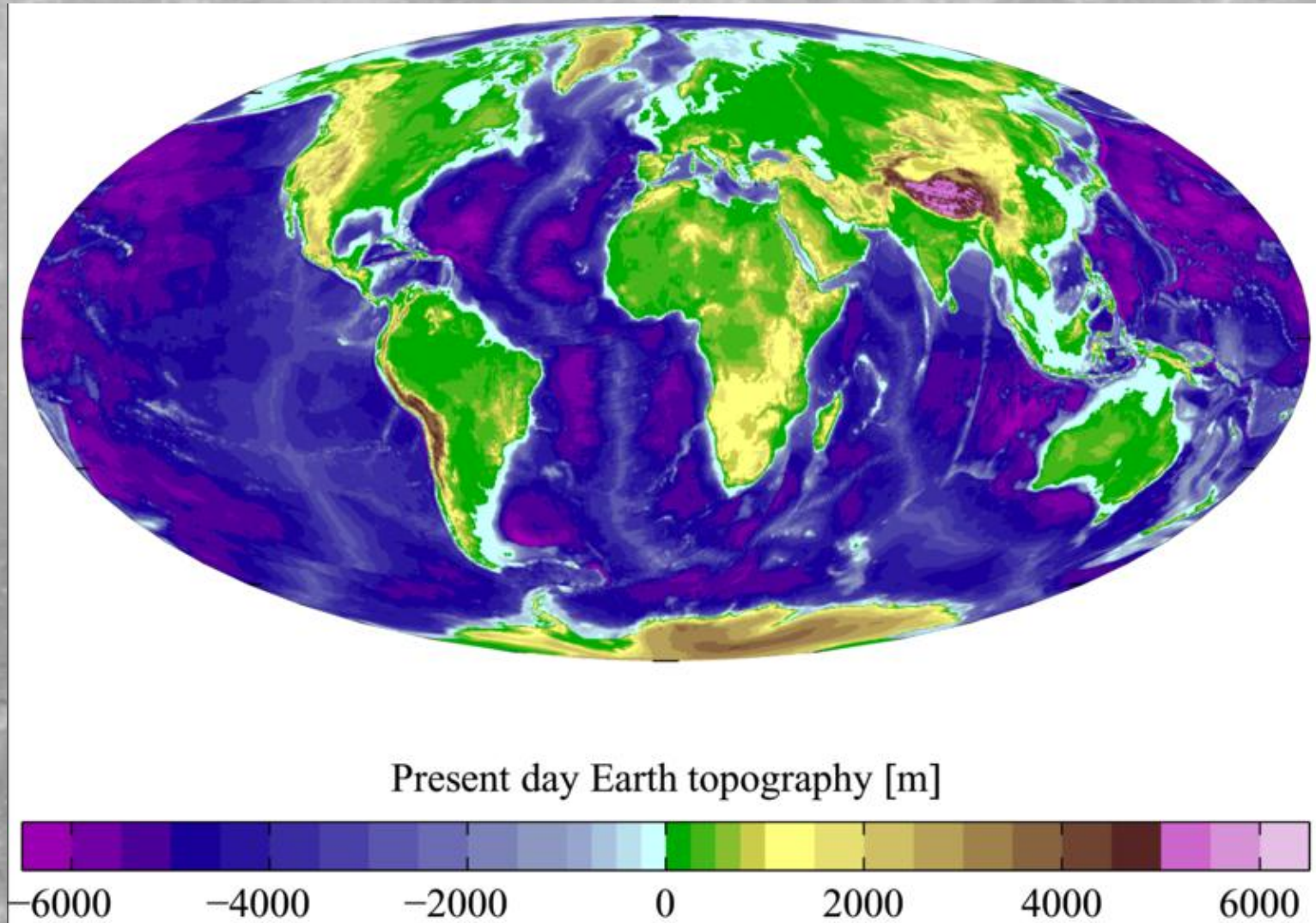
Czy wystarczy znajomość orbit NEA?

Efekty niegrawitacyjne w ruchu komet.

Skąd się biorą te szacowania?



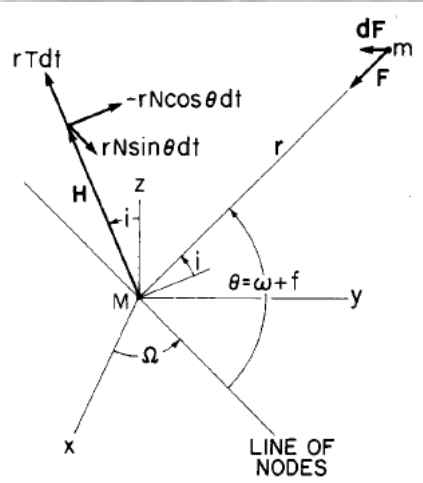
# Miejsce uderzenia



Planetoida o rozmiarze 100 m musi się „natrudzić” aby trafić w gęsto zaludniony obszar



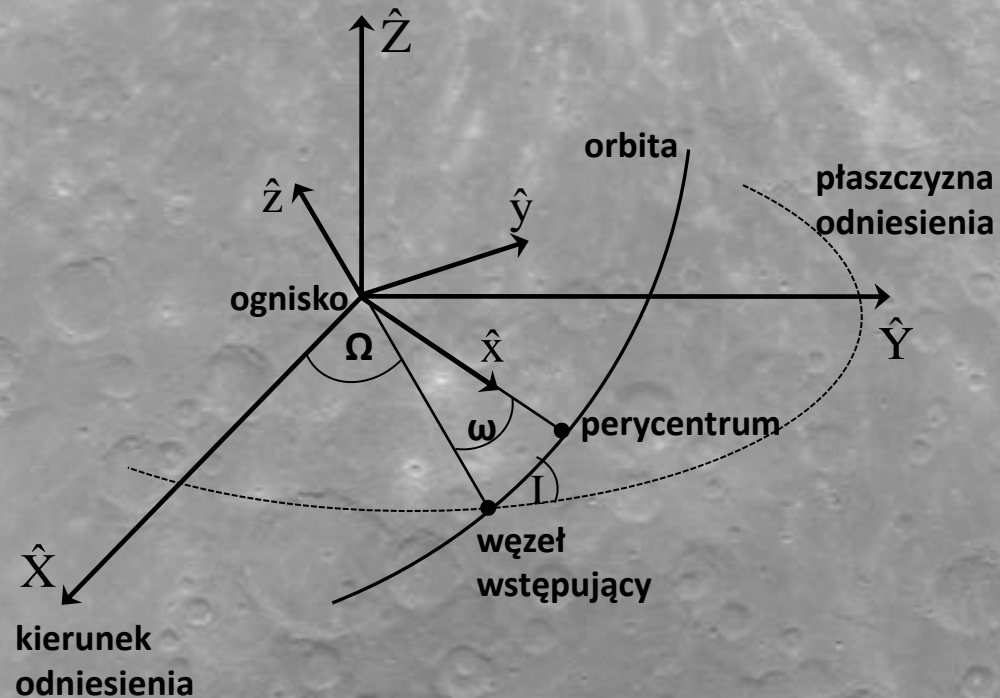
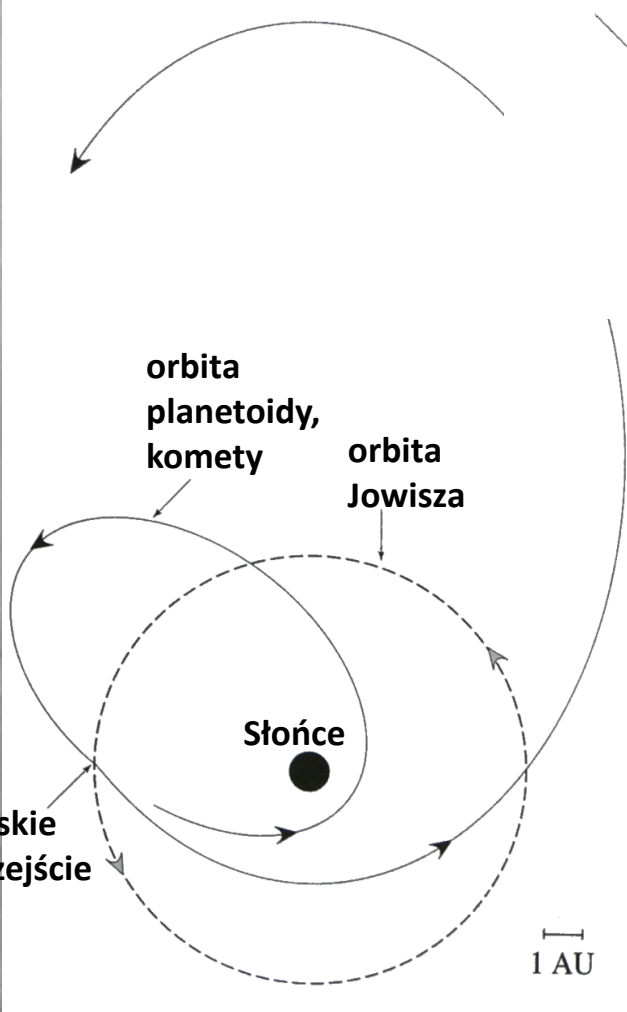
# Znajomość orbit NEA



Perturbacje powodują nagłe zmiany parametrów orbity.

Obiekt, który nie stanowił zagrożenia może nagle stać się niebezpieczny i na odwrót

W długich okresach czasu orbity planetoid są chaotyczne



# Perturbacje

23 września 1846 w obserwatorium berlińskim Johann Gottfried Galle odkrywa kolejną planetę Układu Słonecznego – Neptuna.

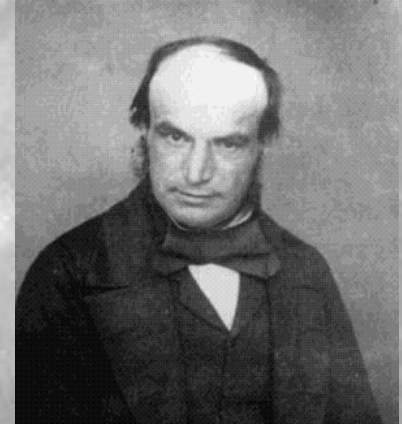
Jednak to odkrycie było dokonane wcześniej na papierze – wielki sukces mechaniki nieba i teorii perturbacji



**Urbain Jean Le Verrier**



**Johann Gottfried Galle**



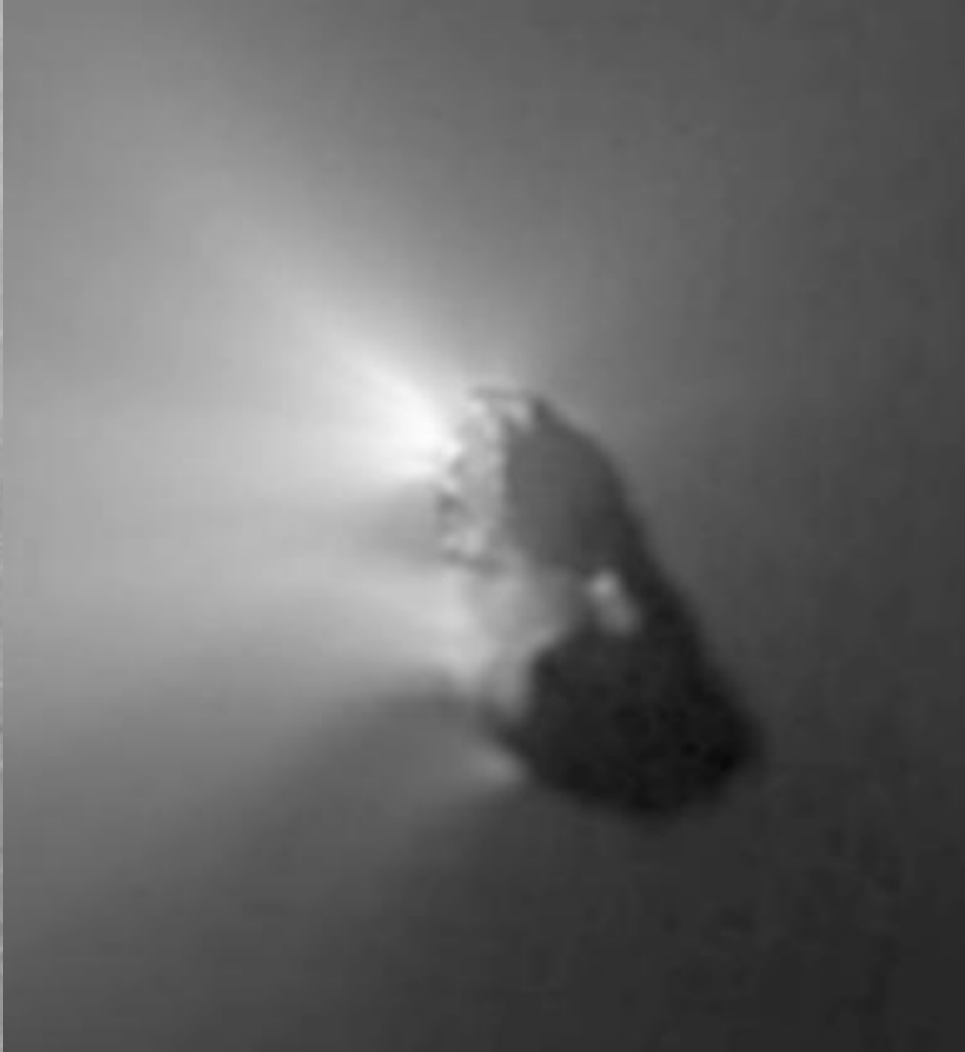
**John Couch Adams**



**1851-1897**

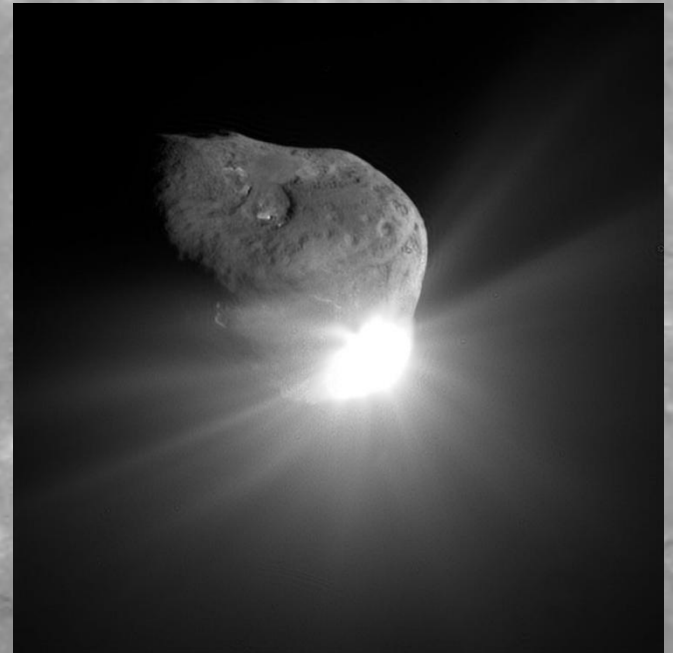


# *Efekty niegravitacyjne*



Odrzut spowodowany gwałtowną sublimacją na powierzchni komety

Obszary takie pojawiają się losowo



# Jak oszacować tempo zderzeń?

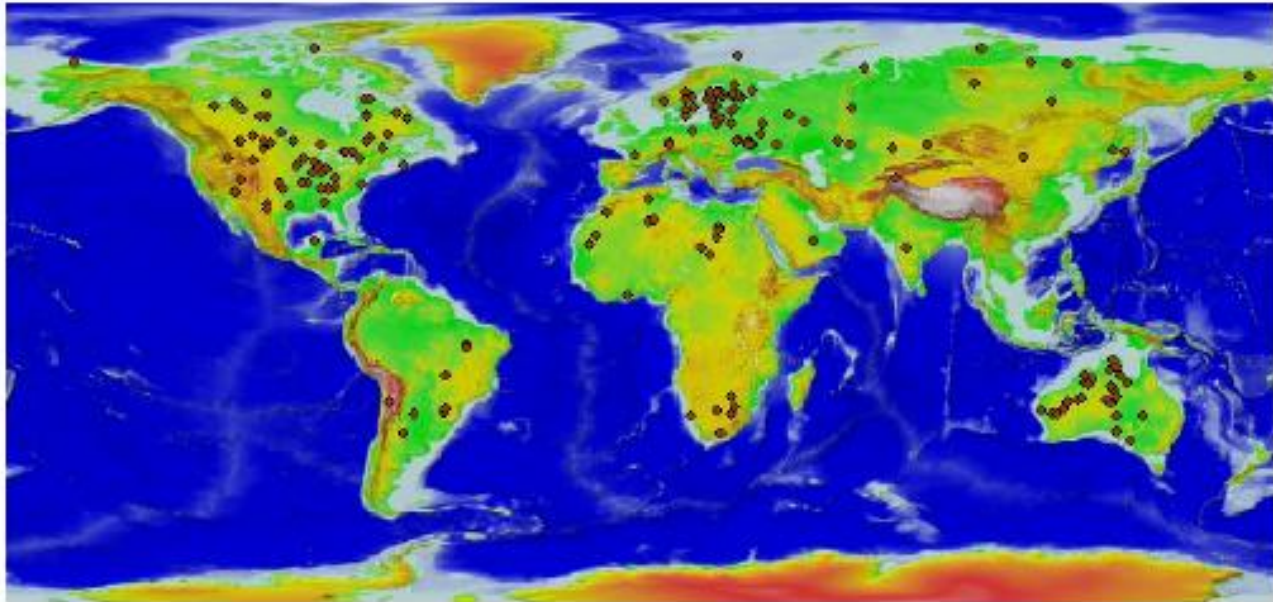


Najprostszą metodą jest zliczanie ilości i wieku kraterów.

Na Ziemi dużych kraterów jest niespełna 200

Kraterowanie układu Ziemia-Księżyc wskazuje na stałe tempo w ostatnich 3 mld lat

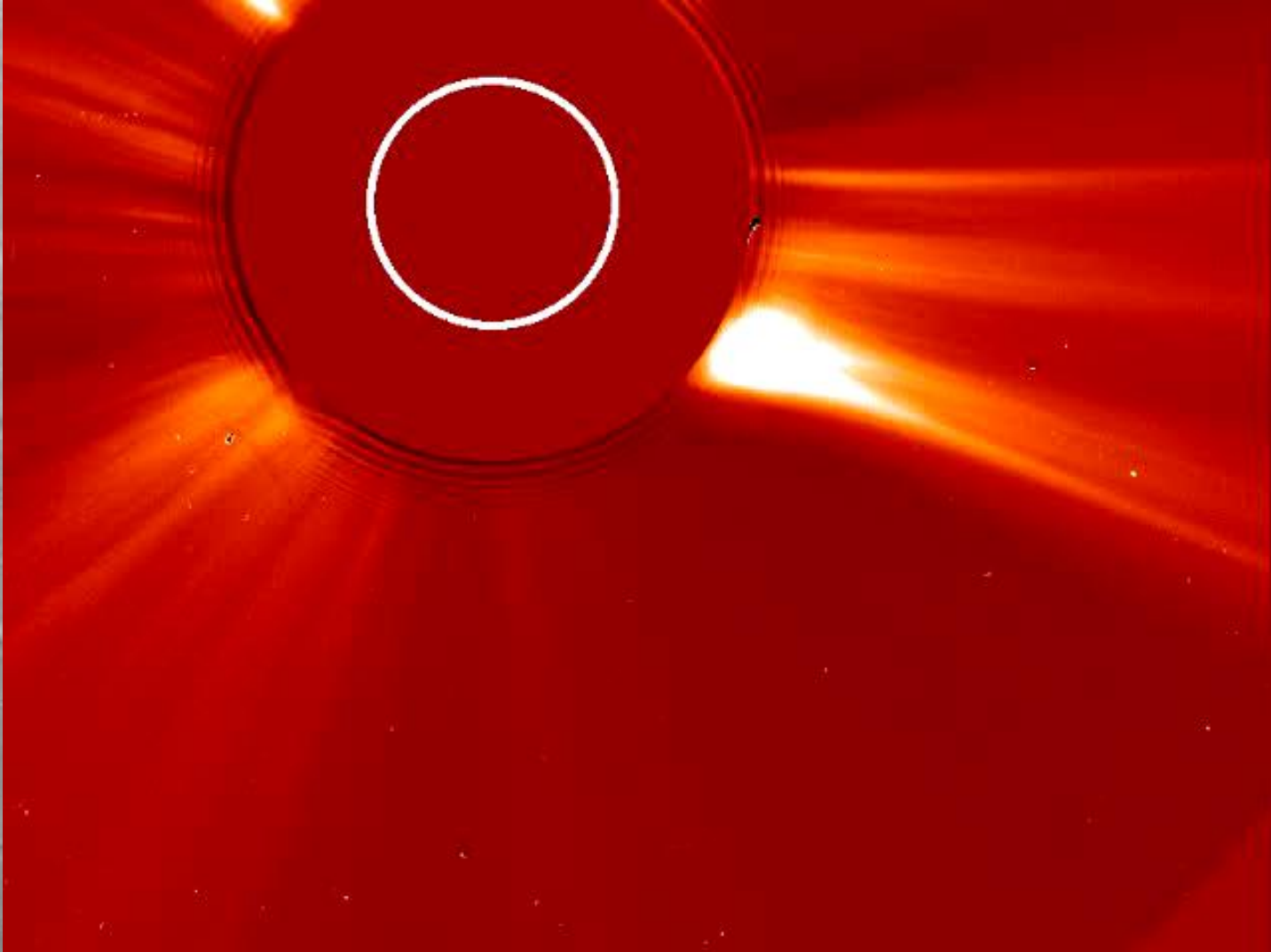
Przydatne są również obserwacje zderzeń z innymi ciałami US



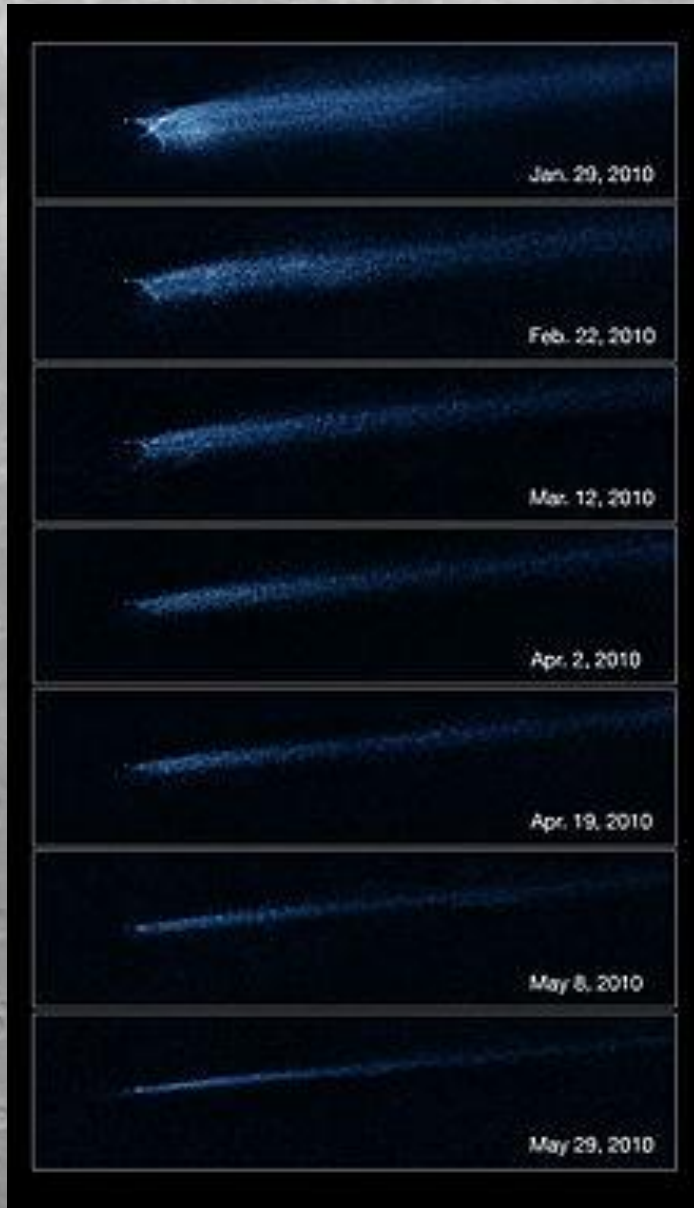


## *Inne zderzenia obserwowane współcześnie*

W ciągu 13 lat sonda SOHO obserwowała ponad 2000 komet. Większość z nich spadła na Słońce.



# Inne zderzenia obserwowane współcześnie



Planetoida P/2010 A2 była początkowo podejrzewana o to, że jest kometą należącą do głównego pasa planetoid. Po kilku miesiącach ogon zaniknął. Wydaje się, że jego pojawienie było spowodowane zderzeniem z innym obiektem



# Shoemaker – Levy 9

Odkryta 24.03.1993 r. przez:

Carolyn Shoemaker  
Eugene M. Shoemaker  
David Levy  
Philippe Bendjoya

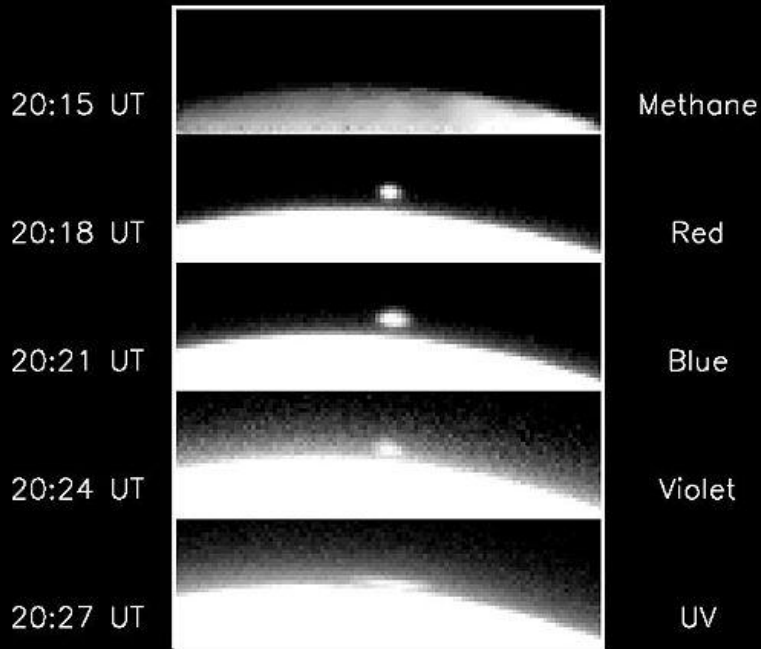
Stosunkowo szybko okazuje się, że kometa uderzy w Jowisza. Wszystkie działające wtedy obserwatoria ziemskie i orbitalne skierowane zostały na Jowisza.



Komety Shoemaker-Levy 9 w dniu 17.05.1994 r.

# Shoemaker – Levy 9

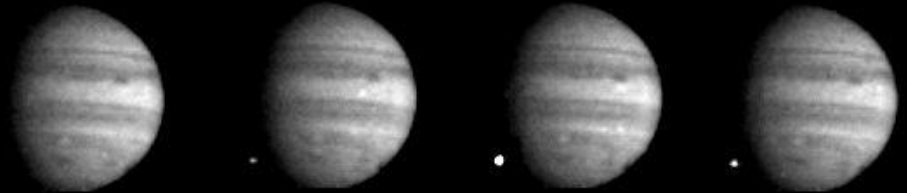
Jupiter 16 July 1994



Wide Field Planetary Camera 2  
Hubble Space Telescope

Największy fragment (G) uderzył 18 lipca o godz. 07:33. Plama widoczna po uderzeniu miała 12000 km średnicy. Wydzielona została energia równoważna 6 mln megaton trotylu (600 razy więcej niż cały arsenał atomowy na Ziemi)

1 megatona trotylu =  $4,184 \times 10^{15}$  J



Uderzenie pierwszego fragmentu (A) z prędkością 60 km/s. Powstała kula ognia miała temperaturę ok. 24000 K.

Uderzenie fragmentu G sfotografowane przez sondę Galileo



# Katastrofa tunguska



30.06.1908 r. około 0:14 UT

Pierwsza ekspedycja dopiero  
w 1927 r. (Leonid Kulik)

Energię szacuje się na 5-30 megaton



Skutki wskazują na to, że obiekt  
ekspłodował na wysokości 5-10 km

Kometa/planetoida miała rozmiar  
kilkuset metrów

# Katastrofa tunguska



Jeziro Czeko – 700 m długości, 360m szerokości,  
głębokość – 50 m

Ponad 2000 km<sup>2</sup> zniszczeń

Przewrócone 80 mln drzew

Fale sejsmiczne zarejestrowano  
na całym świecie, białe noce nad  
całą Eurazją

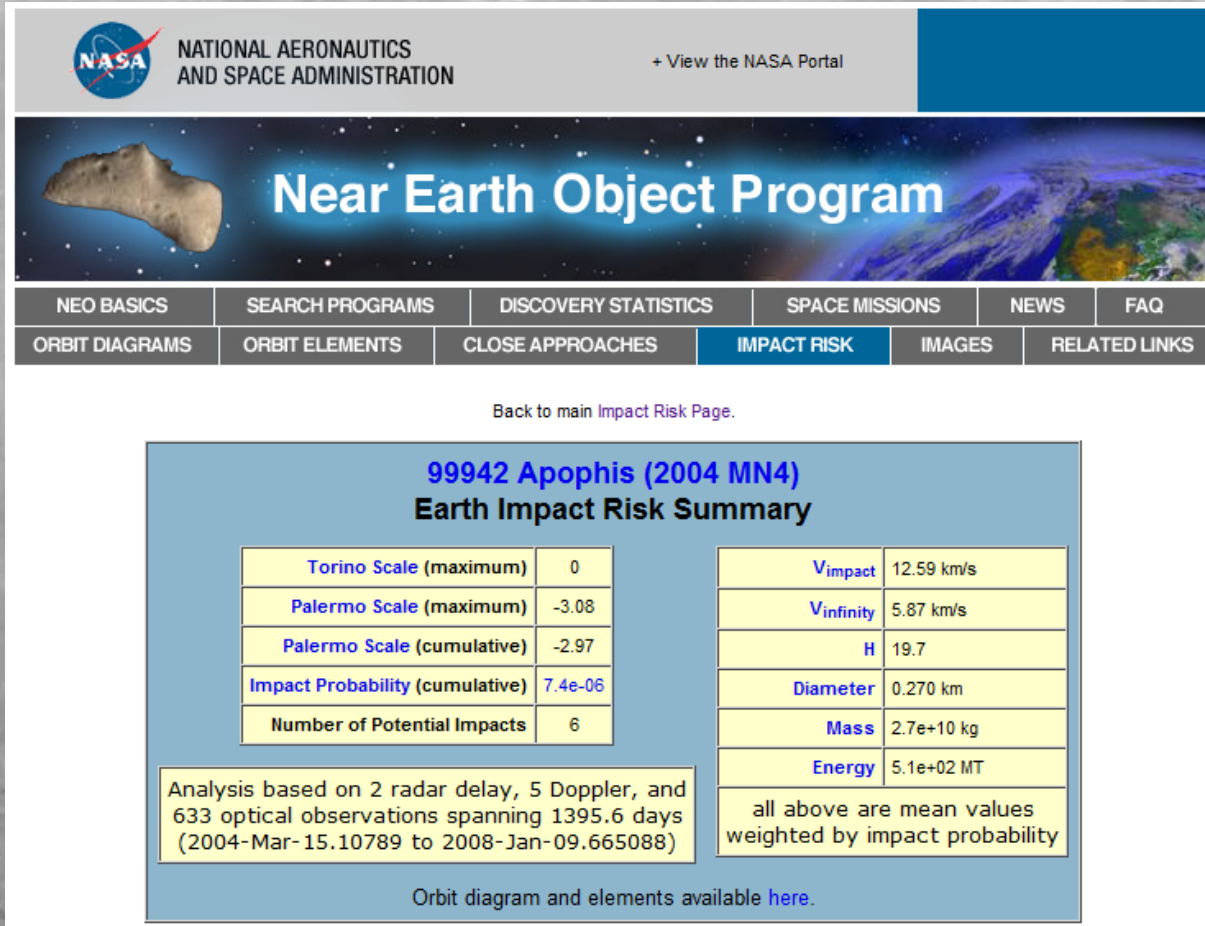
Brak krateru!!

Dokładne badania wykonane przez  
grupę z Uniwersytetu Bolońskiego  
wskazują, że krater jednak jest.

Prawdopodobnie jest nim  
jeziro Czeko znajdujące się  
8 km od centrum eksplozji.



# Pozostaje czekać...



The screenshot shows the NASA Near Earth Object Program website. At the top, there is the NASA logo and the text "NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION" with a link to "View the NASA Portal". Below this is a banner for the "Near Earth Object Program" featuring an image of an asteroid. A navigation menu includes links for NEO BASICS, SEARCH PROGRAMS, DISCOVERY STATISTICS, SPACE MISSIONS, NEWS, FAQ, ORBIT DIAGRAMS, ORBIT ELEMENTS, CLOSE APPROACHES, IMPACT RISK (highlighted), IMAGES, and RELATED LINKS. The main content area is titled "99942 Apophis (2004 MN4) Earth Impact Risk Summary" and contains two tables of data, a text box with analysis details, and a link to the orbit diagram.

Back to main [Impact Risk Page](#).

### 99942 Apophis (2004 MN4) Earth Impact Risk Summary

<b>Torino Scale (maximum)</b>	0
<b>Palermo Scale (maximum)</b>	-3.08
<b>Palermo Scale (cumulative)</b>	-2.97
<b>Impact Probability (cumulative)</b>	7.4e-06
<b>Number of Potential Impacts</b>	6

<b>V<sub>impact</sub></b>	12.59 km/s
<b>V<sub>infinity</sub></b>	5.87 km/s
<b>H</b>	19.7
<b>Diameter</b>	0.270 km
<b>Mass</b>	2.7e+10 kg
<b>Energy</b>	5.1e+02 MT

all above are mean values weighted by impact probability

Analysis based on 2 radar delay, 5 Doppler, and 633 optical observations spanning 1395.6 days (2004-Mar-15.10789 to 2008-Jan-09.665088)

Orbit diagram and elements available [here](#).

neo.jpl.nasa.gov

Zamiast bać się na zapas i typować obiekty, które nas trafią kiedyś lepiej jest obserwować okolice Ziemi.

Kilka ośrodków prowadzi Obliczenia:

Minor Planet Center w Cambridge

Lowell Observatory

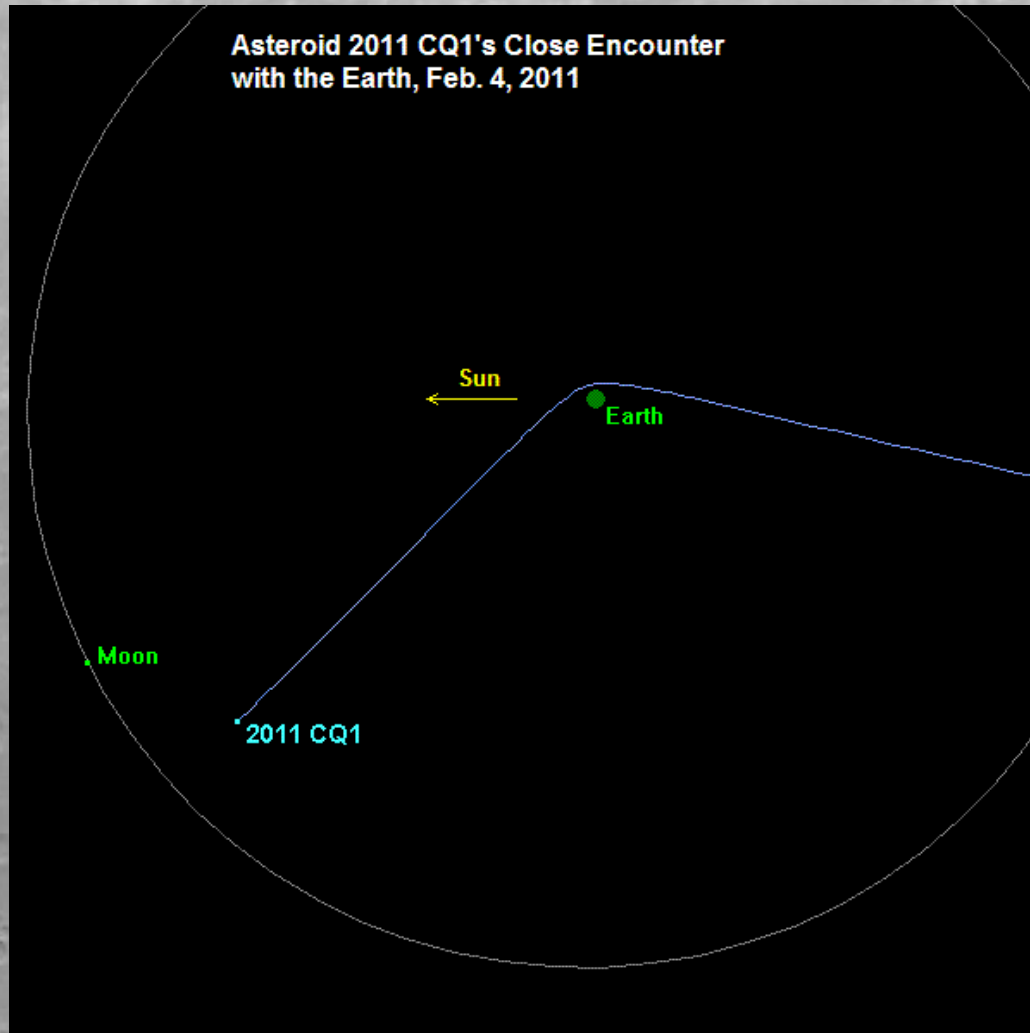
Near-Earth-Object Search (LONEOS) w Arizonie

Uniwersytet w Pizie we Włoszech

Jet Propulsion Laboratory w NASA

Jaki jest efekt ich pracy?

# Jak to wygląda w praktyce...



Odkryta 4 lutego 2011 r.

Rozmiar około 1 m

Orbita policzona kilka godzin po odkryciu wskazywała na bliskie przejście koło Ziemi

Zamiast 30000 km zbliżyła się na 5480 km. Nastąpiła wyraźna zmiana orbity.

Obiekt o takich rozmiarach spala się całkowicie w atmosferze ziemskiej...



# Należy czekać



Zagrożenie istnieje ale o wiele większe jest związane z tym, że wychodzimy z domu...

Zderzenia zdarzały się zawsze i będą się zdarzały ale nie jesteśmy ich w stanie przewidzieć dużo wcześniej.

Nigdy nie będziemy potrafili. Planetoidy to obiekty poruszające się po chaotycznych orbitach.

Zawsze może się okazać, że zagrożenie nadleci z dalszych części Wszechświata...

Można po prostu pomóc w monitorowaniu obiektów NEA i dokonywać obliczeń poprzez projekt:

[orbit@home](mailto:orbit@home)

A jeśli mimo wszystko coś dużego uderzy w Ziemię to tuż przed uderzeniem zobaczymy fantastyczny widok na niebie, który będzie tylko nasz i nikt więcej takiego nie obejrzy... 😊