

# *Astronomia*

## Wykład V

---

Wykład dla studentów geografii

Waldemar Ogłóza

[www.as.up.krakow.pl](http://www.as.up.krakow.pl)

> dla studentów



# Badania Układu Słonecznego

- Badania bezpośrednie  
(np.: sondy kosmiczne, meteoryty itp.)
- Obserwacje form krajobrazu  
(budowa i ilość kraterów, wylewy magmy itp.)
- Metody porównawcze pomiędzy poszczególnymi ciałami w naszym układzie jak i z układami wokół innych gwiazd

# Krater – el Diablo w Arizonie



# Krater:

Manicouagan  
Tswaing  
Wolf Creek

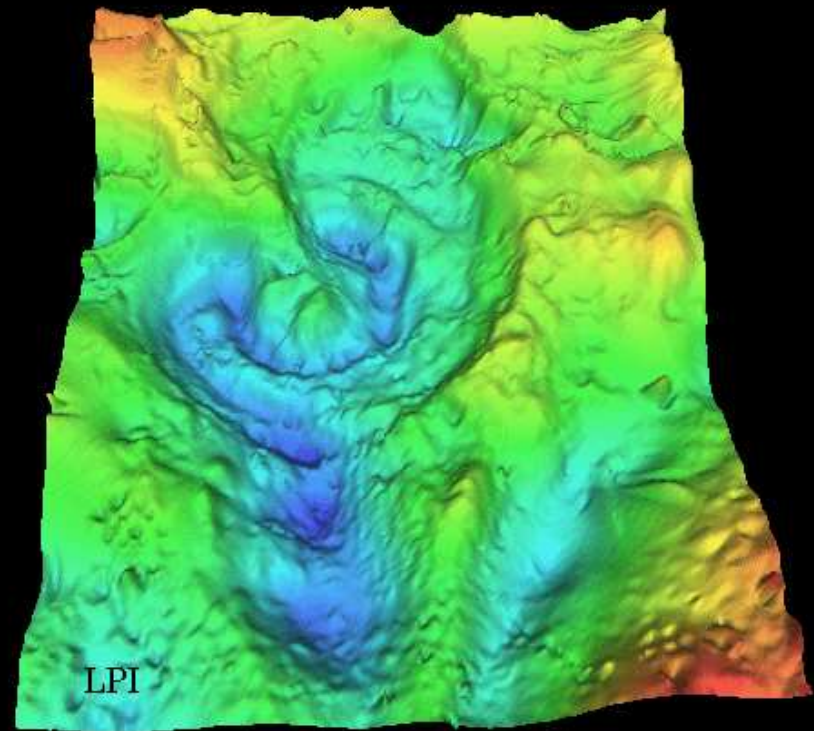


# Koliste struktury:

Struktura Richat na Saharze, średnica 50 km, dobrze widoczna z kosmosu



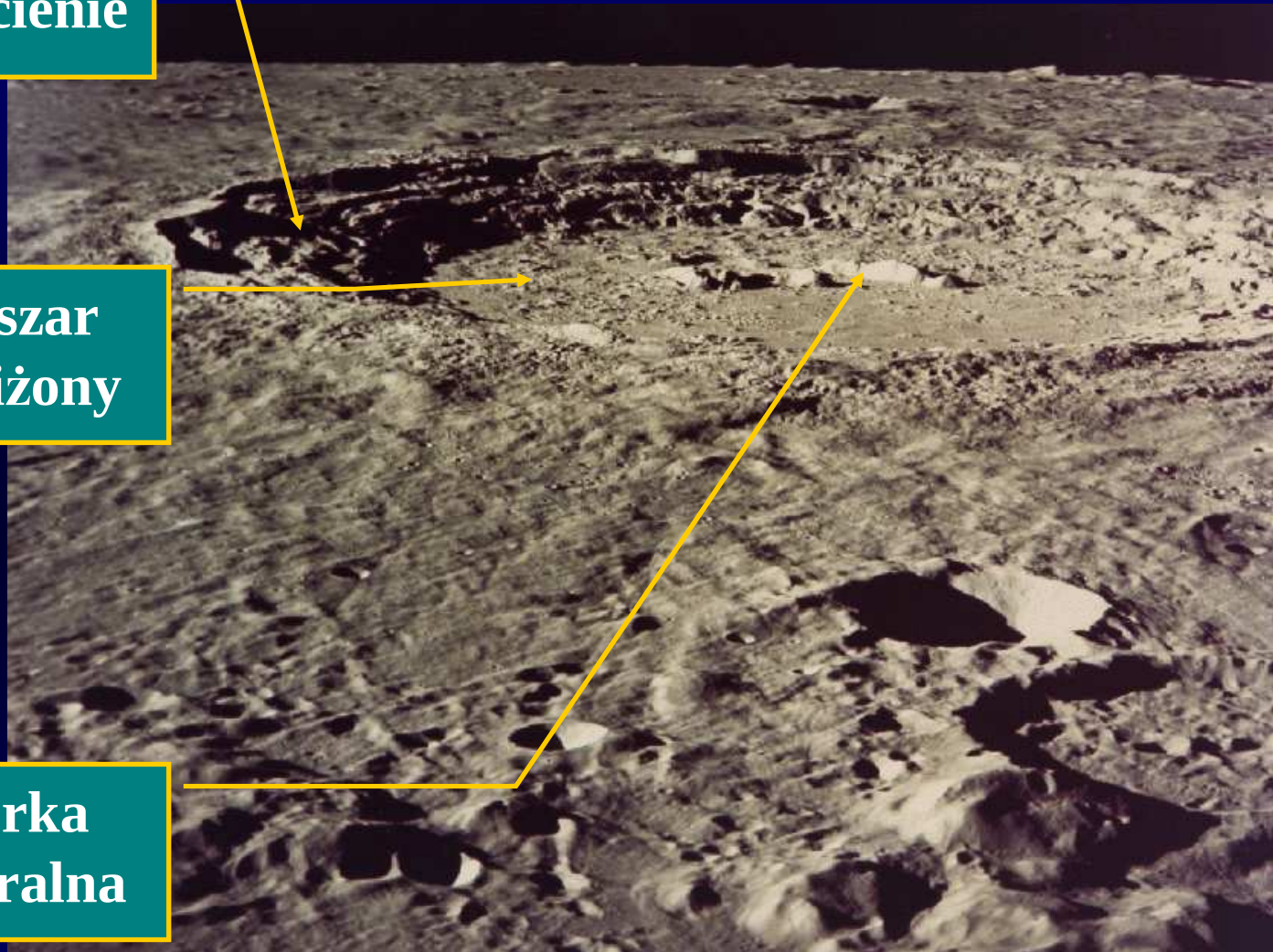
Chicxulub: krater z przed 65 mln lat, odpowiedzialny za warstwę irydu (przejście K-T) i być może zagładę dinozaurów. (średnica 20km)



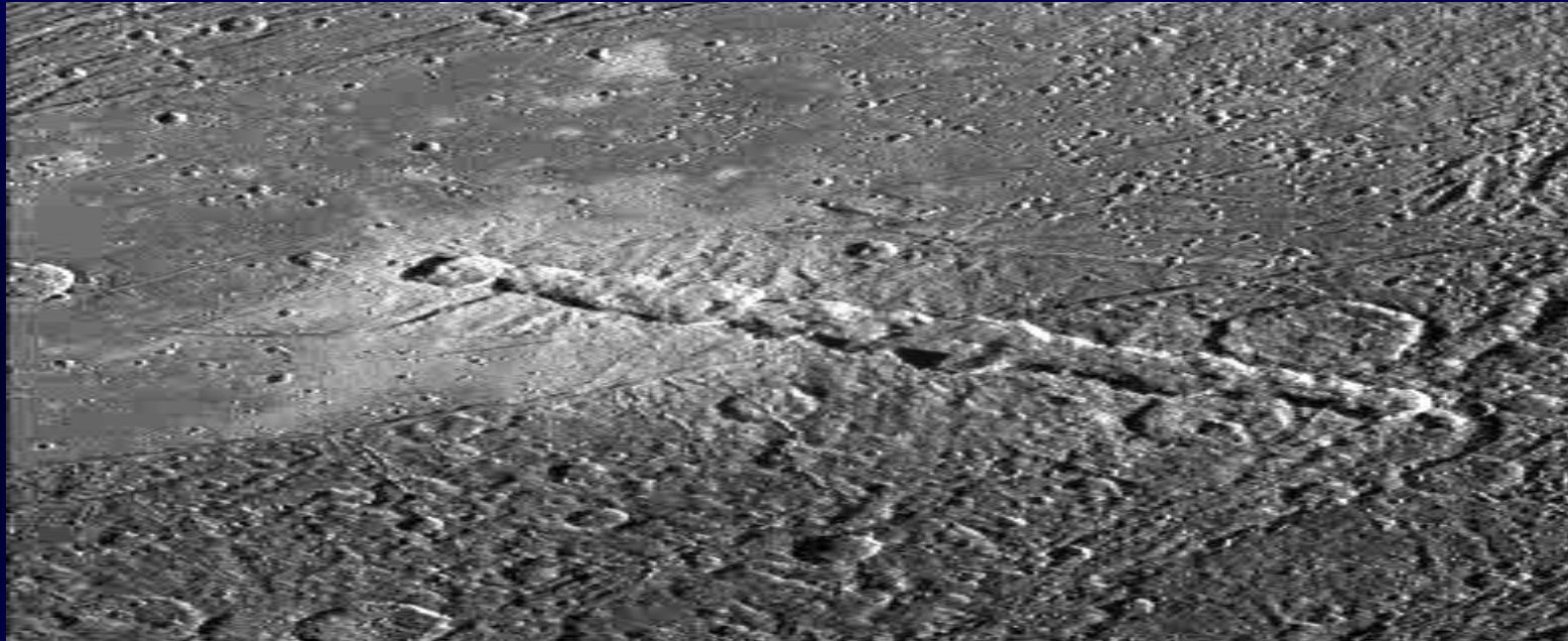
**Pierścienie**

**Obszar  
obniżony**

**Górka  
centralna**

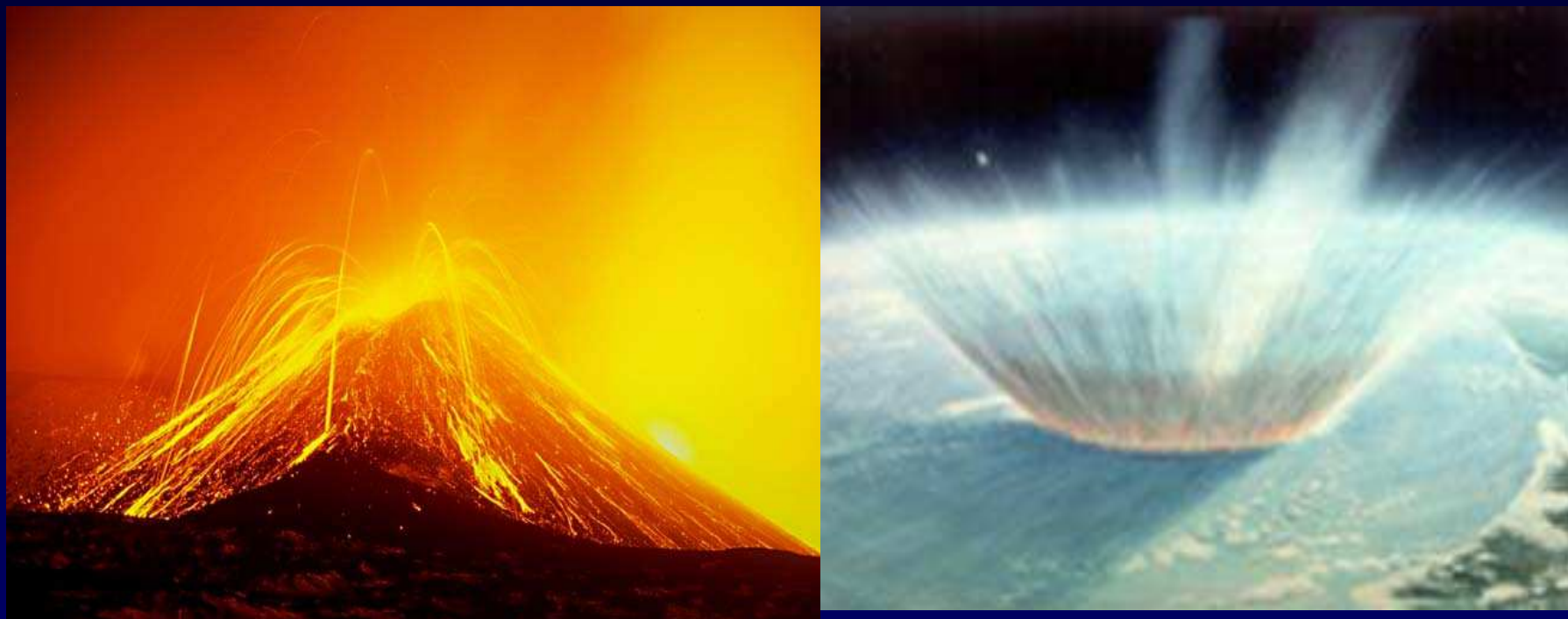


# Kraterzy łańcuchowe



Utworzone przez opadającą materię, wyrzuconą w chwili upadku wielkich meteorytów

# Pochodzenie kraterów: wulkany lub meteoryty



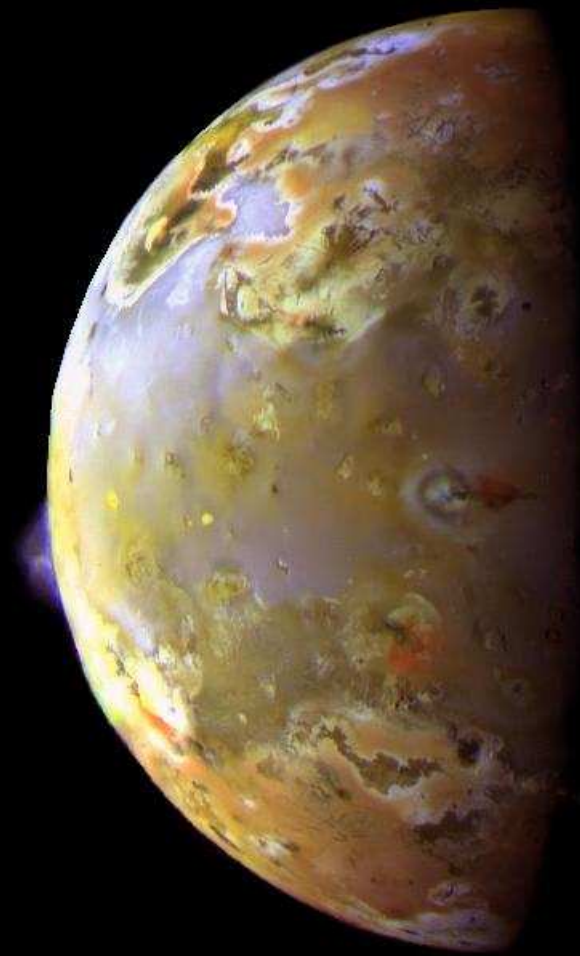
# Wulkanizm

Czas aktywności wulkanicznej zależy od masy ciała centralnego

- Planetoidy wystygły 4.4 mld lat temu
- Księżyc 2.8
- Mars 1.1
- Ziemia i Wenus – aktywne do chwili obecnej

WYJATKI: Niektóre małe ciała (Io, Tryton) są nadal aktywne ze względu na procesy podgrzewania podgrzewania.

# Io



Podgrzewanie przez wyginanie skorupy Io na skutek efektów pływowych. Silna aktywność wulkaniczna (siarka!)

# Tryton



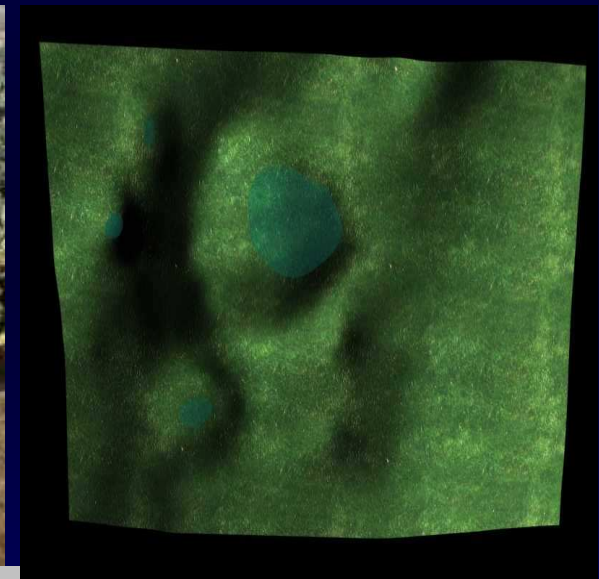
Wulkany

Lód azotowy

Wulkany powstałe na skutek silnego ogrzewania zmrozonych stref polanych.

# Meteoryty:

Np.: Morasko



# Meteoryty:



# Rodzaje meteorytów

Kamienne (92%) :

Chondryty 84%

Achondryty 8%

Żelazne (7%)

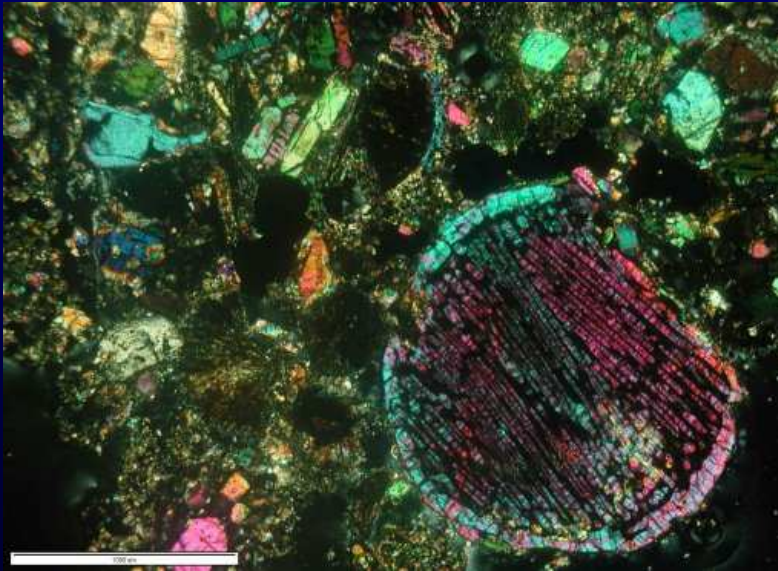
Kamienno-żelazne (1%)

Najłatwiej rozpoznać żelazne i ich znamy  
najwięcej!!



# Chondryty

Najczęściej spadający rodzaj meteorytów na Ziemię. Składają się one z **chondr** (małe ziarna materii krzemianowej najczęściej o kształcie kulistym) i matrycy, czyli materii spajającej chondry. Masa chondr to nawet 75% masy meteorytu



**Chondryty** składają się z:

- **piroksenów** -  $(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$
  - **oliwinu** -  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$
- oraz plagioklazów pochodzących od:
- **albitu** -  $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
  - **anortytu** -  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

# Achondryty



Skład chemiczny odpowiada skałom magmowym: gabbro i bazalt. Składają się one głównie z piroksenów, oliwinów, plagioklazów i augitu  $(\text{Mg,Fe})_2[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$ .

Achondryty ubogie w wapń do 5% CaO,

**aubryty** - achondryty enstatytowe

← **diogenity** - achondryty hiperstenowe

**chassignity** - achondryty oliwinowe

**urelity** - achondryty oliwinowo-pigeonitowe

Achondryty bogate to 5-25% CaO.

**angryty** - achondryty augitowe

**nakhlity** - achondryty diopsytowo-oliwinowe

← **eukryty** - achondryty piroksenowo-oliwinowe

**howardyty** - achondryty piroksenowo-oliwinowe

**shergottyty**

**brahinity** - achondryty oliwinowe

Inne achondryty:

acapulcoity, księżycowe, lodranity, winonaity



# Meteoryty żelazne

Składają się z dwóch minerałów (stopów Fe-Ni): **kamacytu** (Ni < 7,5% ) i **taenitu** (Ni > 7,5%)

**heksaedryty** - kamacyt w postaci dużych kryształów - heksaedrów. Na przekrojach widoczne są równoległe linie Neumanna, które są efektem wysokociśnieniowej metamorfozy. 5-6% Ni.



**oktaedryty** - kamacyt i taenit. 6-14% Ni. Belki kamacytu i płytki taenitu tworzą równoległe ściany kryształu oktaedru . Wolne przestrzenie wypełnia plessyt, czyli zrosty żelaza i niklu. Na powierzchni przekroju widać figury Widmanstatten'a.

**ataksyty** – taenit, powyżej 20% Ni. Niska zawartość niklu z plessytu.

# Meteoryty żelazno-kamienne



← **pallasyty** - składają się z kamacytowo - taenitowej "gąbki" zalanej oliwinami



← **mezosyderyty** - zbudowane są z masy krzemianowej i wtrąconych ziaren, zrostów żelazo - niklowych

← **syderofiry** - !rzadki typ! - skały magmowe złożone z kryształów piroksenu osadzonych w cieście skalnym z kamacytu i taenitu

# Ewolucja Układu Słonecznego

1. Kolaps grawitacyjny pierwotnego obłoku gazowo-pyłowego
2. W centrum tworzy się protogwiazda czyli przodek Słońca
3. Łączenie się ziaren pyłowych pod wpływem grawitacji w coraz większe struktury
4. Tworzenie się planet (Zderzenia i łączenie się planetyzymali)
5. Oczyszczanie wewnętrznych regionów Układu Słonecznego:
  - „wielkie bombardowanie”,
  - wyrzucanie ciał poprzez mechanizm „procy grawitacyjnej”tworzenie się obłoku Oorta
6. Zmiany w pierwotnej budowie poszczególnych ciał (ogrzewanie, stratyfikacja grawitacyjna, parowanie ...)

## „Obcy” ksenon!

- W chondrulach znaleziono małe ziarna zbudowane z diamentów lub węgla krzemu. Świadczą o tym, że pierwiastki cięższe od helu zostały wyprodukowane we wnętrzu kilkanastu gwiazd starszych od Słońca
- W ziarnach tych więziony jest ksenon o unikalnym (identycznym dla różnych ziaren) składzie izotopowym (ksenon-HL), świadczy to o jednorazowym sprężeniu pierwotnej mgławicy przez wybuch gwiazdy supernowej.
- Te małe ziarenka zanieczyszczone ksenonem stanowią relikty z czasów przed uformowaniem się Protosłońca

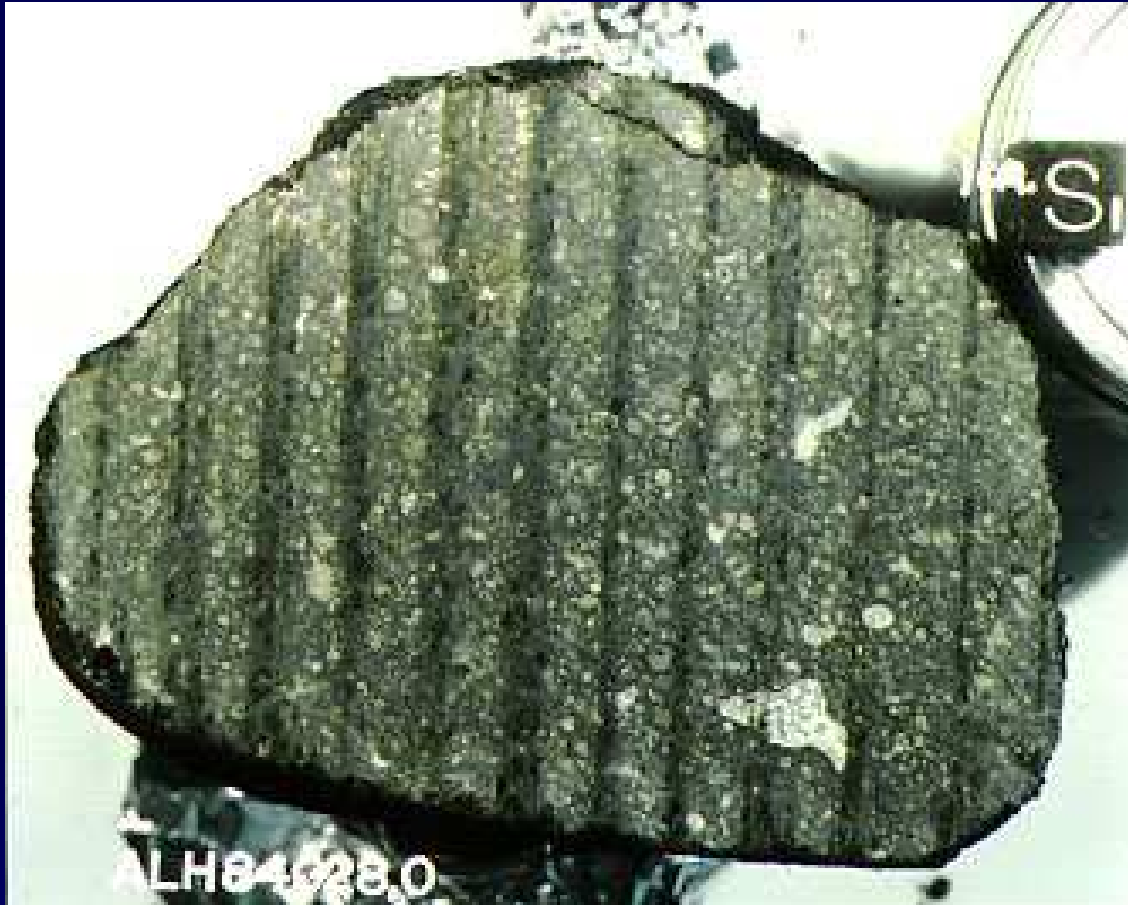
# Model rozwoju Układu Słonecznego.

## Mgławica pierwotna – początki kondensacji planet



# Chondryt węglisty

skład chemiczny dokładnie taki jak Słońca (oprócz gazów)



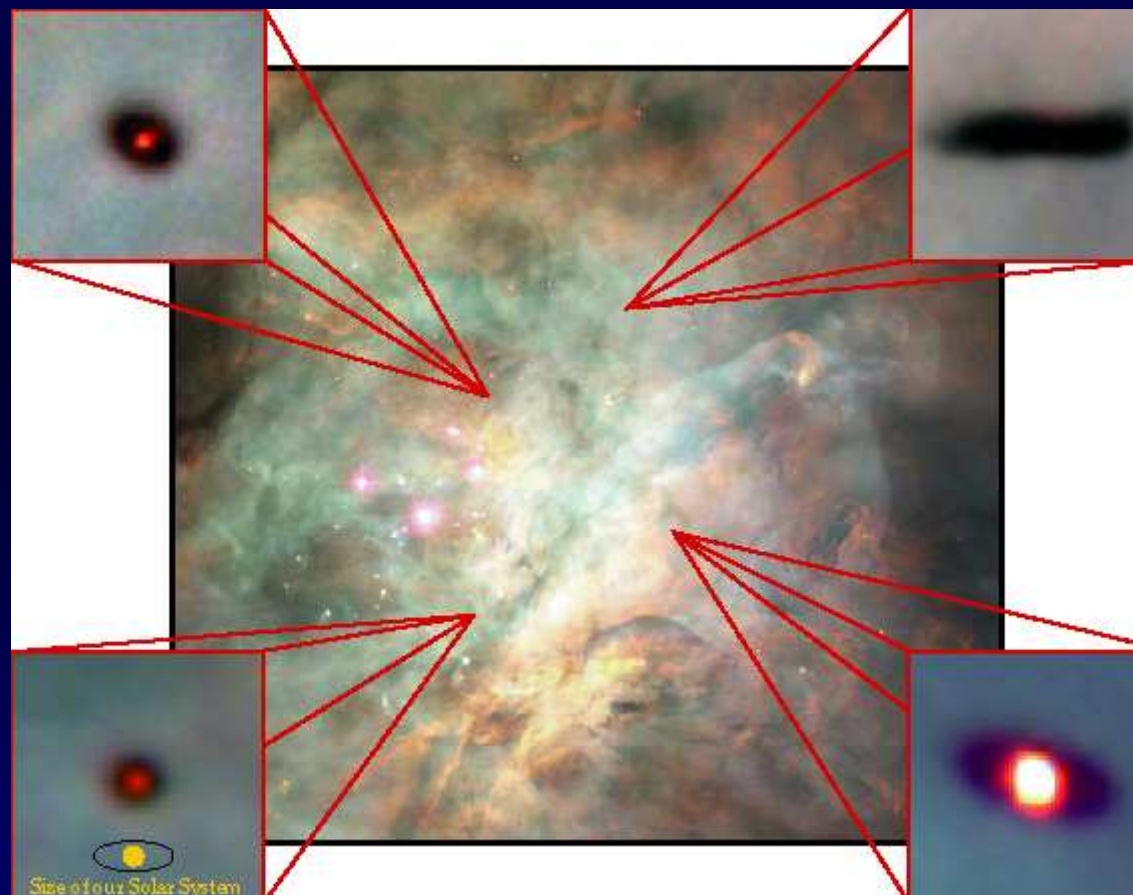
# Mgławica pierwotna – wizja artysty

formowanie się planetyzymali pod wpływem sił grawitacji

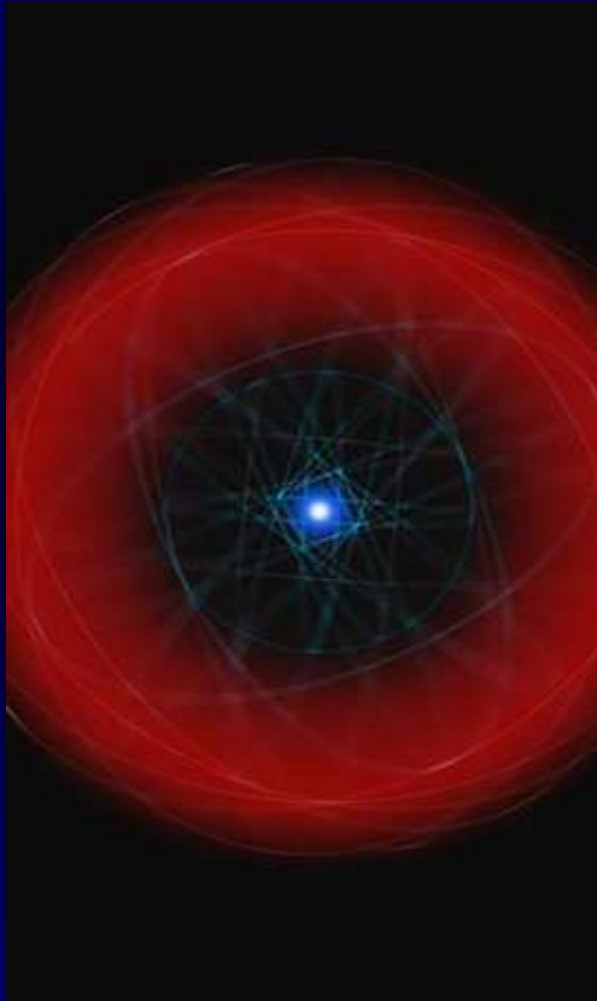


W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 5

# Dyski protoplanetarne wokół innych gwiazd - obserwacje M42 w Orionie



# Oczyszczanie wnętrza Układu Słonecznego

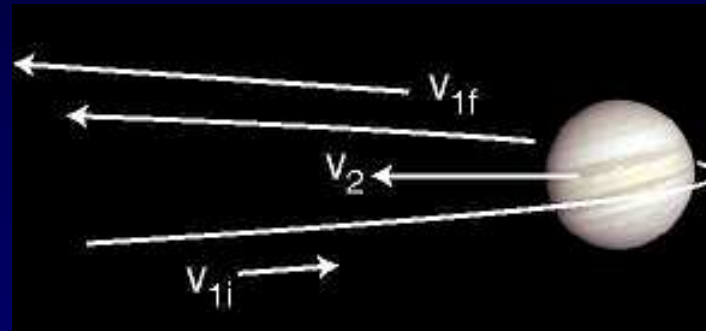


Im bliżej Słońca tym szybciej krążą ciała i tym szybsza dynamiczna skala czasu.

Większość planetyzymali bądź połączyła się tworząc planety, bądź została wyrzucona na bardzo rozległe orbity.

Odrzucanie odbywało się dzięki „gravitacyjnej procy” czyli przysieszeniu jakie doznaje obiekt przy bliskim przejściu w pobliżu dużej masy. ( $V_{1f} > V_{1i}$ )

Odrzucone ciała tworzą tzw obłok Oorta będący rezerwuarem komet .



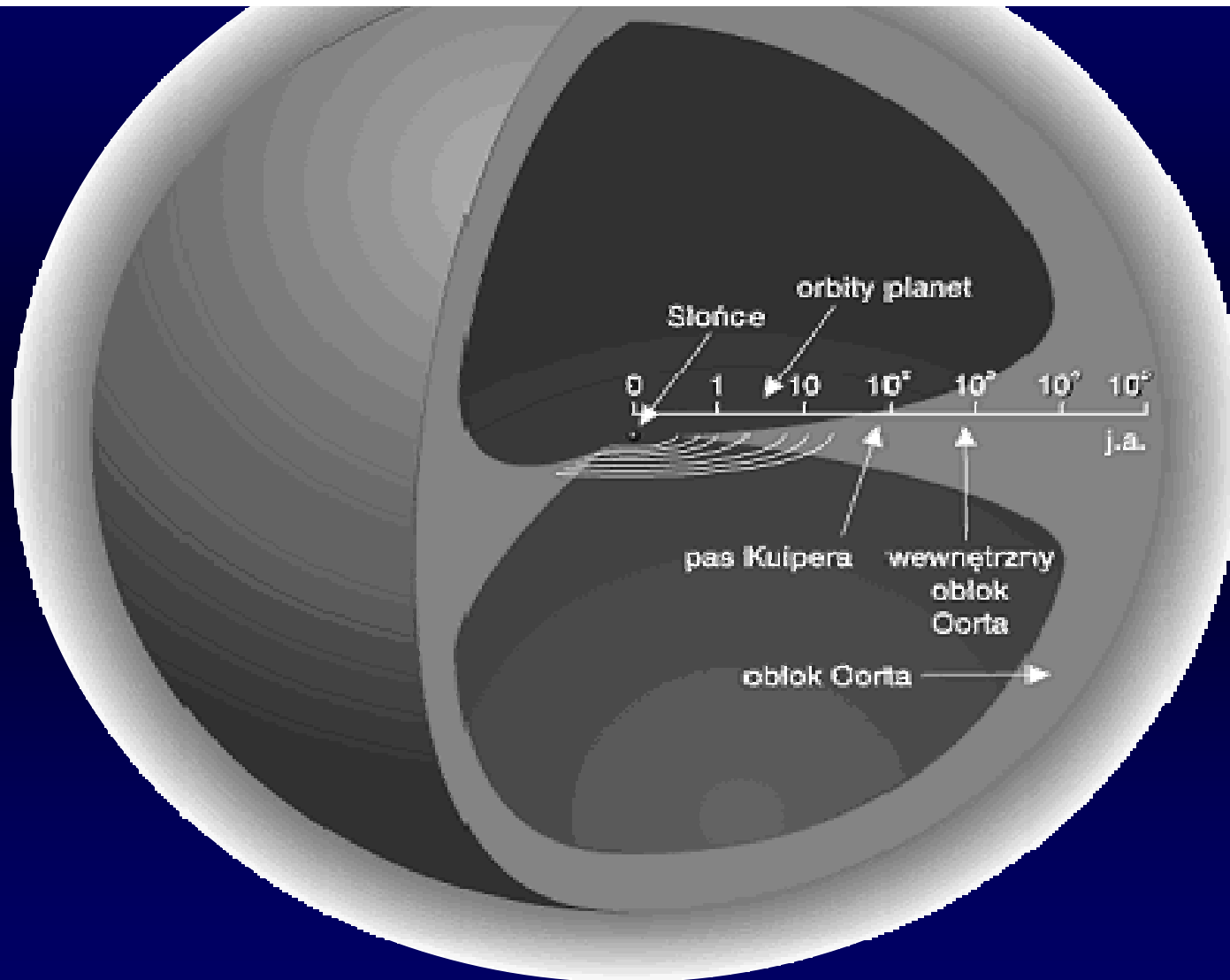
# Układ Słoneczny dziś

Planety (okrągłe orbity, dominacja grawitacyjna, małe nachylenia orbit):  
Merkury, Wenus, Ziemia, Mars, Jowisz, Saturn, Uran, Neptun



Planety karłowate (ich masa była wystarczająca do uzyskania kulistego kształtu):  
Ceres, Pluton, Eris (dawniej Xena)

# Elementy składowe Układu Słonecznego



# Pas Kuipera – wizja artysty

relikt z początków procesu formowania się planet



# Obiekty pasa Kuipera

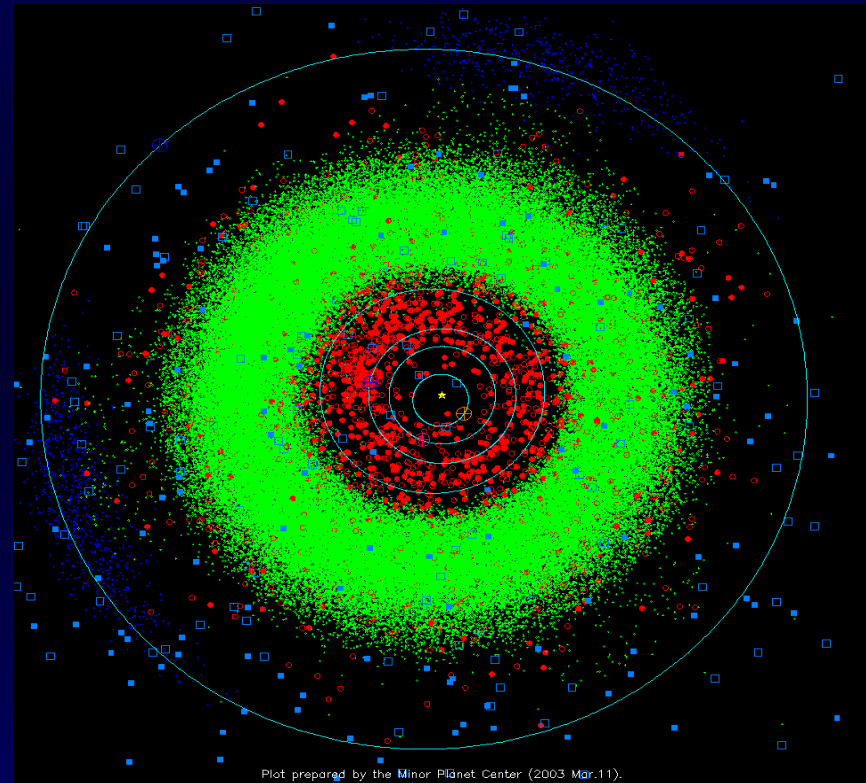


# Wiek ciał Układu Słonecznego

- Najstarsze skały na Ziemi 3.9 mld lat
- Ziarna cyrkonu (4.2) w „młodszych” skałach 3.6
- Chondryty 4.5
- Słońce 4.5 - 5 mld lat

# Planetoidy

- Wewnątrz dysku planetarnego uformowały się planety
- Pas planetoid – wpływ grawitacji Jowisza i Saturna uniemożliwił powstanie planety pomiędzy Marsem i Jowiszem
- Zewnętrzne fragmenty dysku nadal istnieją (pas Kuipera)
- Część drobnych ciał została wyrzucona na odległe orbity tworząc obłok Oorta



# Rodzaje planetoid

- Zależność od masy.  
(przetapianie wnętrza przy dostatecznym ciśnieniu)
- Zależność od historii kolizji.  
(procesy sklejania, rozbijania)
- Zależność od odległości od Słońca.  
(ogrzewanie, dynamiczna skala czasowa dysku, itp.)

# Mirinda

ciało zostało rozbite i ponownie się uformowało z  
wymieszanych fragmentów



# Gaspra

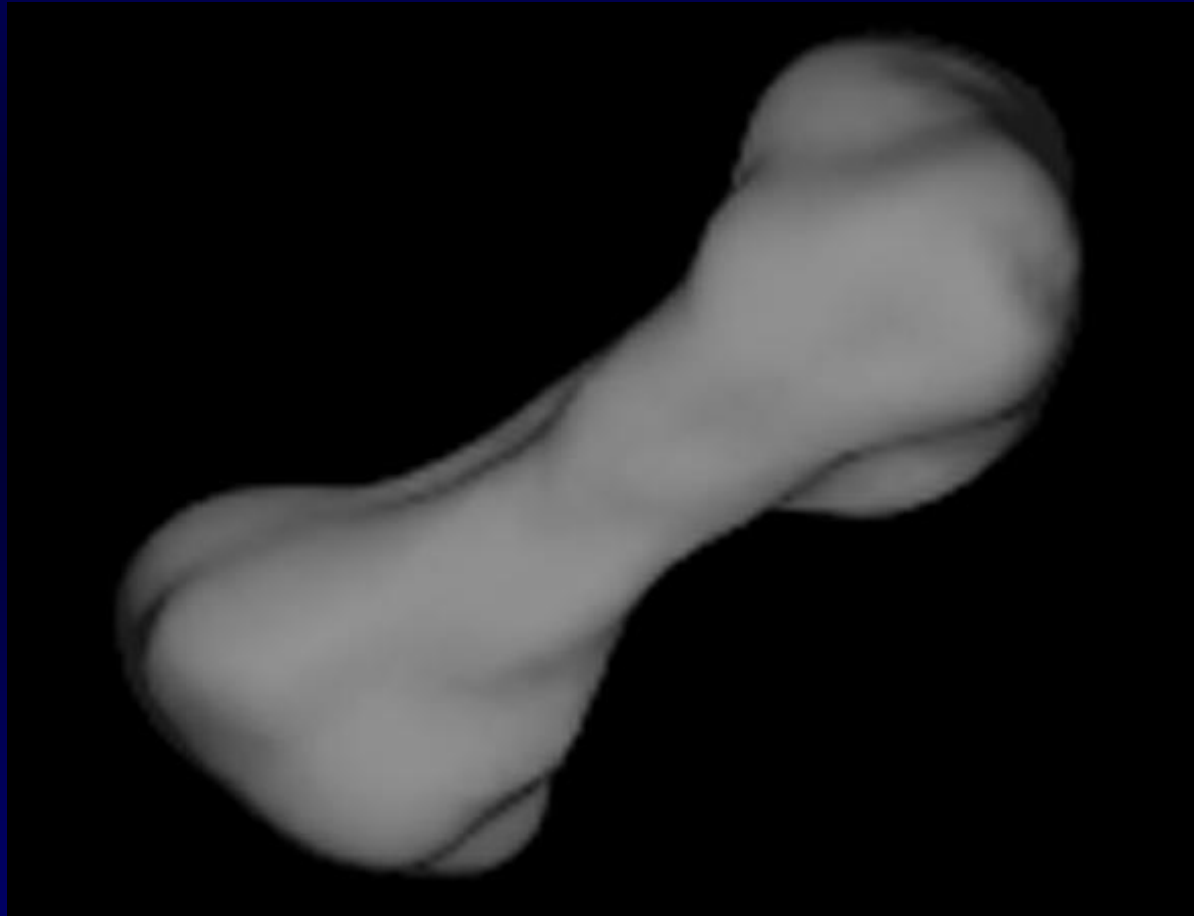
planetoida „strefy ciepłej”



W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 5

# 216 Kleopatra

Planetoida typu „psia kość” dowodzi możliwości łączenia się  
ciał małych w większe

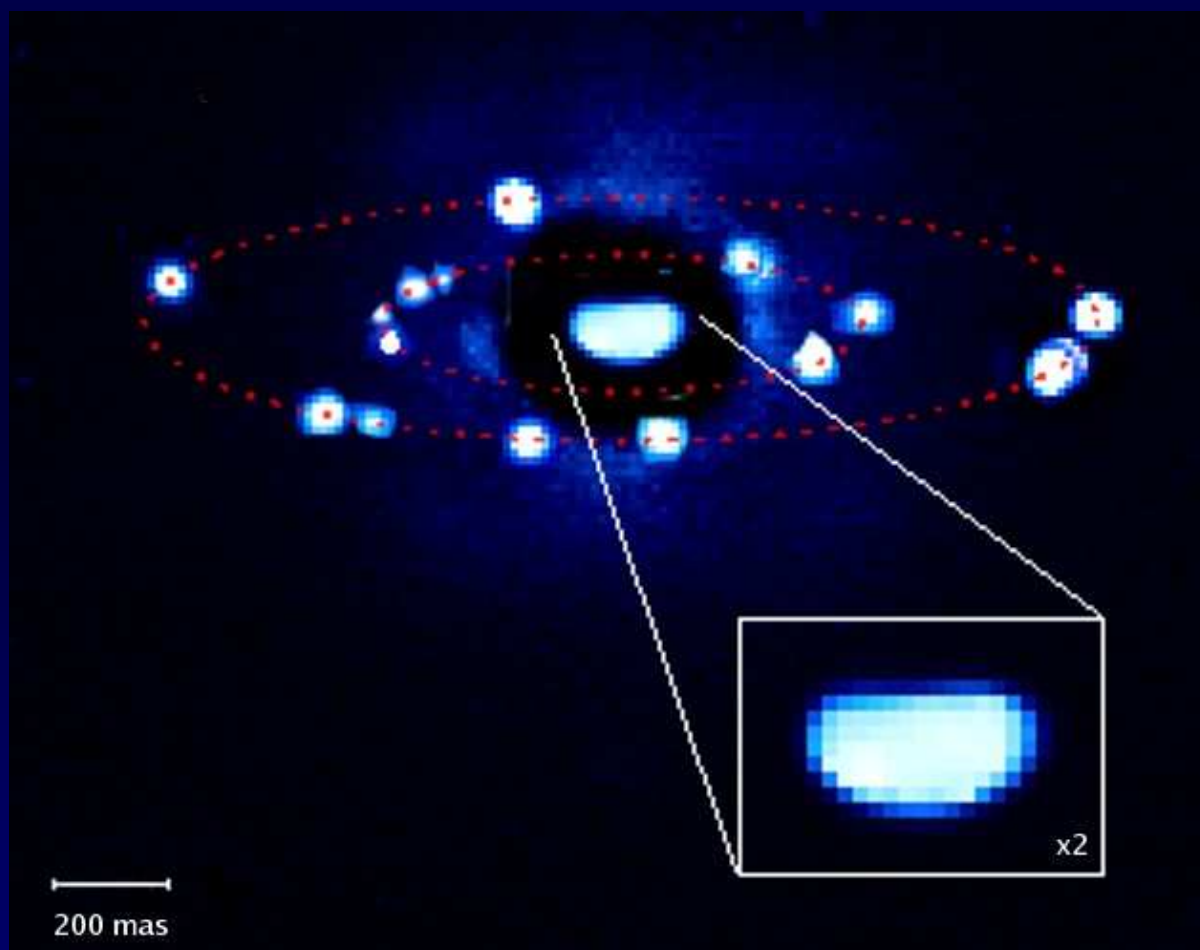


# Eros



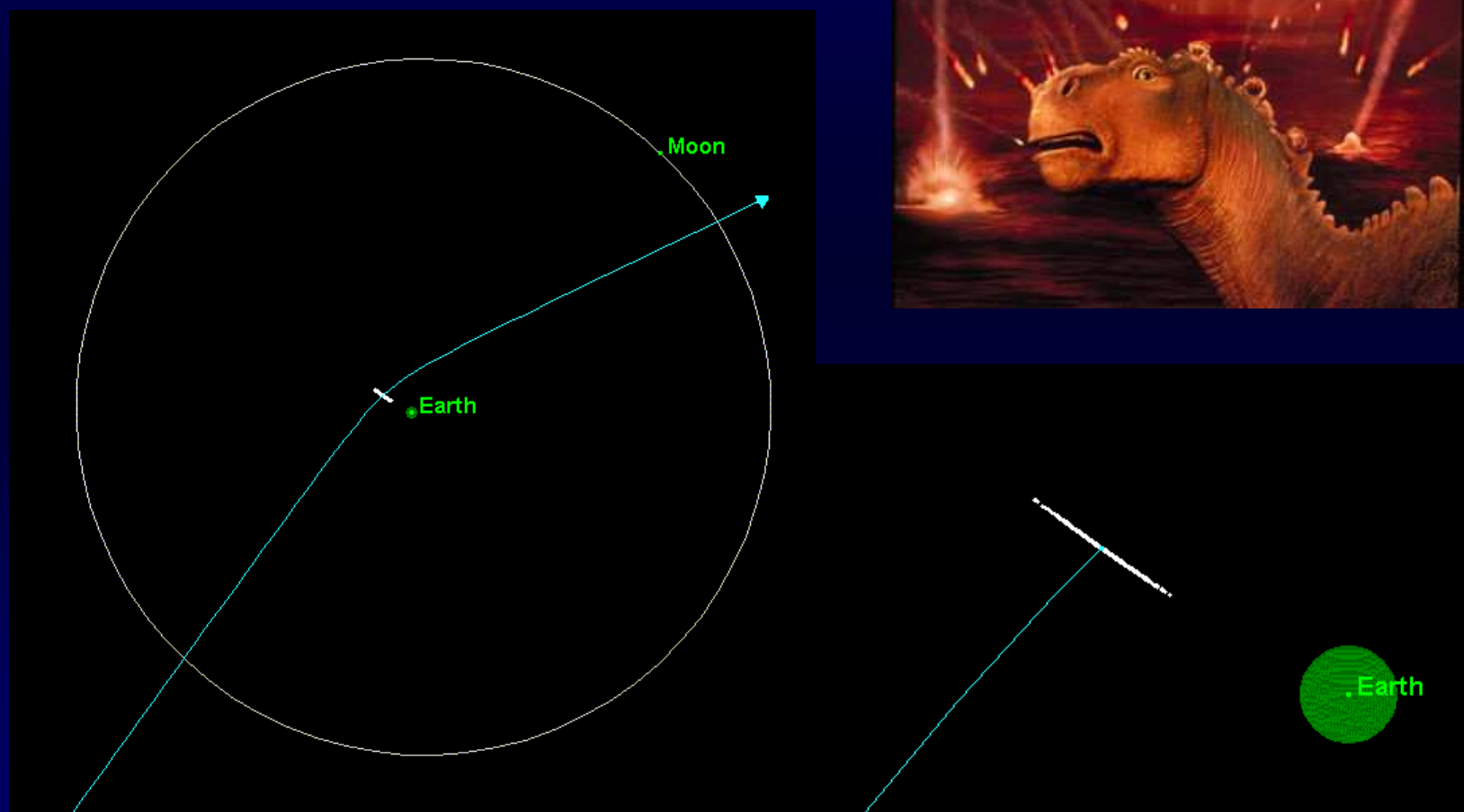
# Sylwia, Romulus i Remus

Pomimo małej masy planetoidy mogą mieć księżyce!  
Zwiększa to szanse na połączenie się ciał



# Czy planetoridy zagrażają Ziemi?

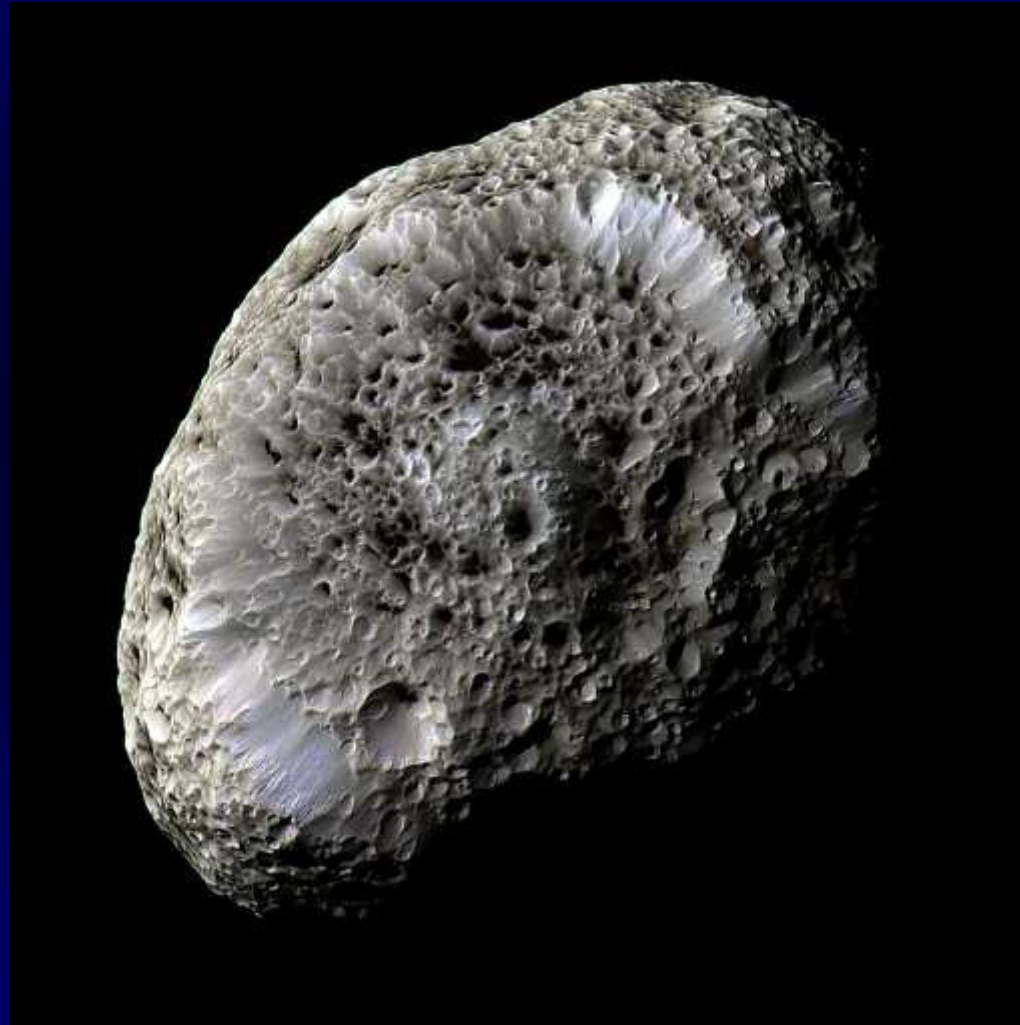
Spotkanie z 2004MN w roku 2025



W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 5

# Hyperion

lodowo –pyłowe ciała strefy zimnej



W.Ogłóza, Astronomia, Wykład 5

# Itokawa



# Enceladus



# Komety: mieszanka lodu i pyłu parują zbliżając się do Słońca !

Komety poruszają się po orbitach eliptycznych

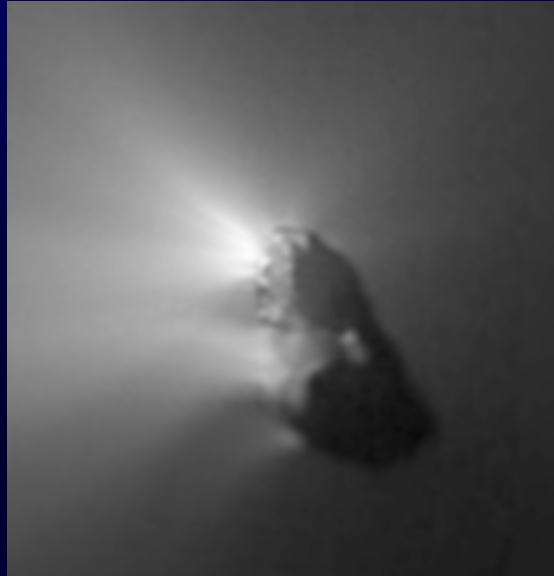
Zbliżając się do Słońca lód paruje tworząc otoczkę (głowę) komety

Warkocz komety to efekt oddziaływania głowy komety z promieniowaniem korpuskularnym Słońca (wiatr słoneczy) oraz z fotonami (zjawisko ciśnienia światła)

W przybliżeniu warkocze komet skierowane są zawsze w kierunku odsłonecznym



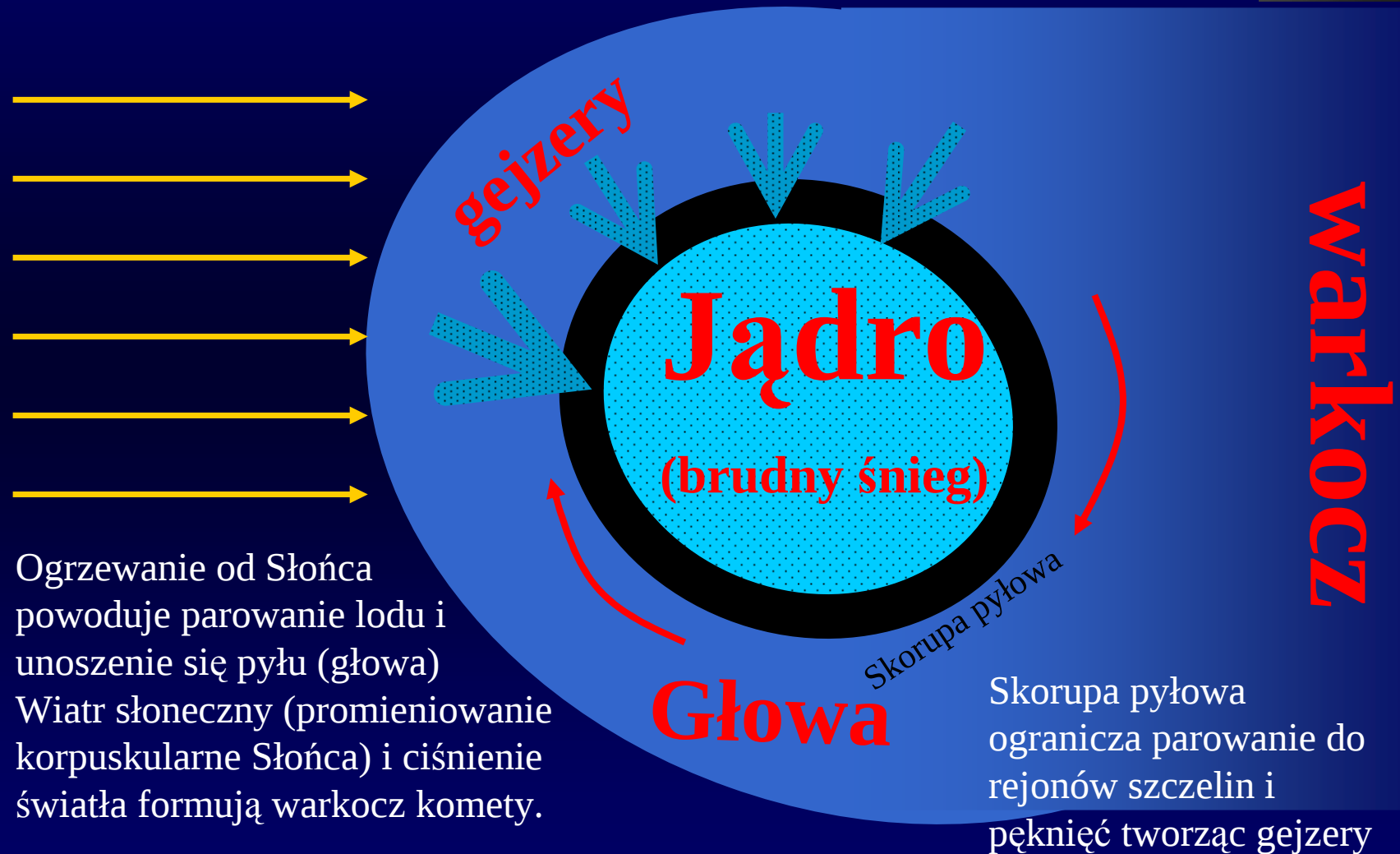
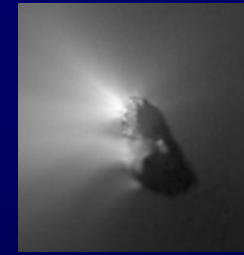
# Komety:



Jądro komety  
Halley'a (1986)

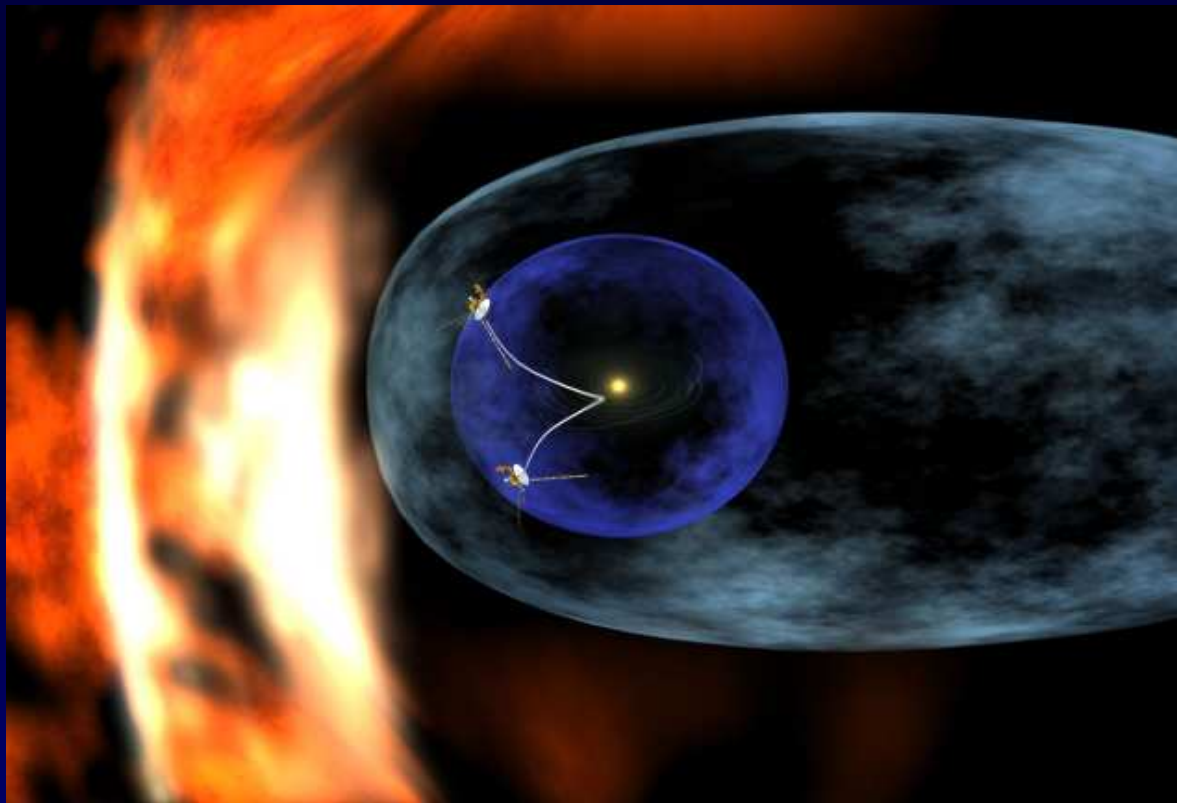


# Model komety krótkookresowej

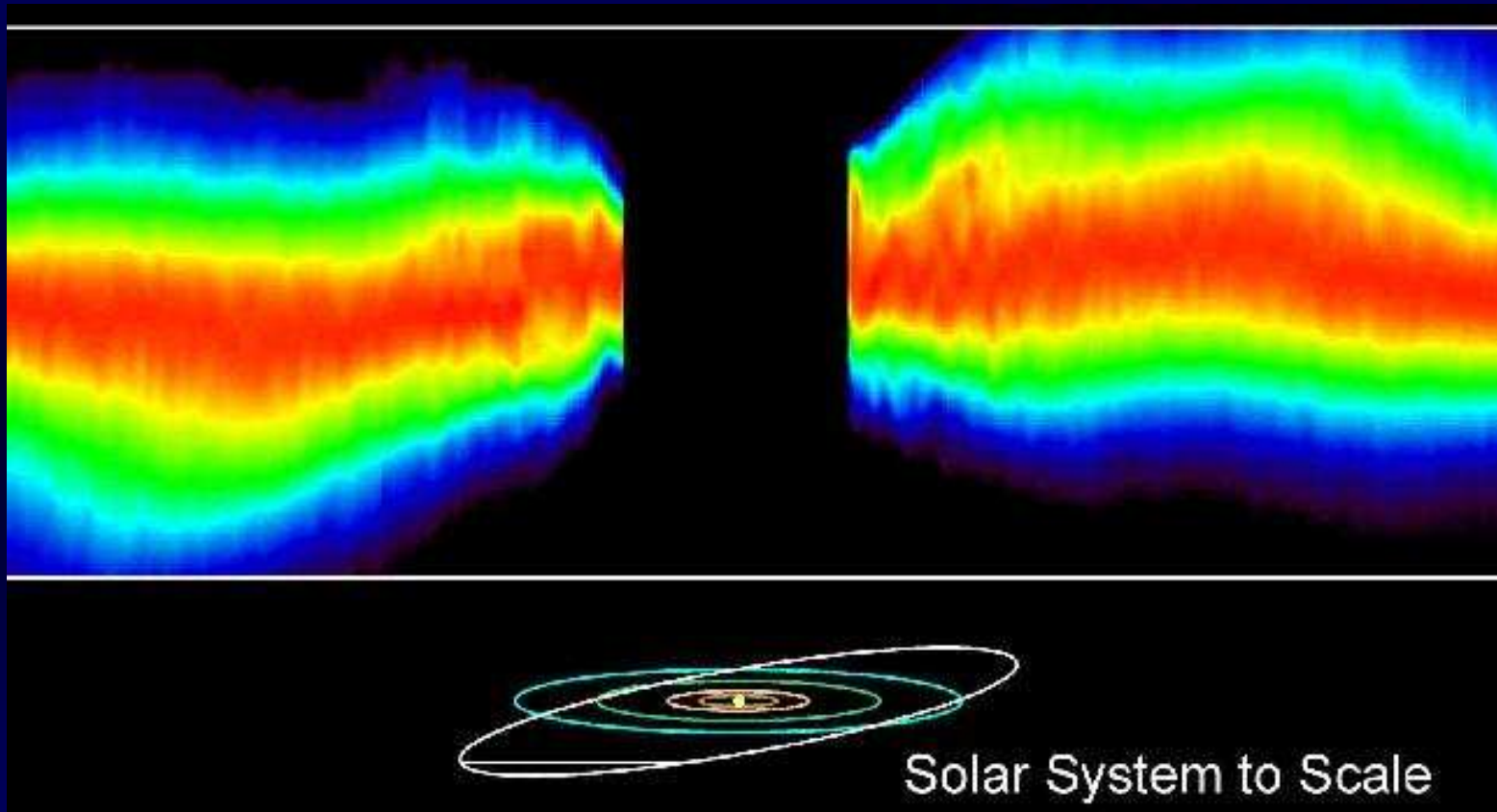


# Granica Układu Słonecznego

Strefa zderzenia wiatru Słonecznego z ośrodkiem międzygwiazdowym,  
leży w odległości  $\sim 80\text{AU}$ , lecą ku niej sondy kosmiczne



# Obłok Oorta wokół $\beta$ Pictoris



# Meteoroidy - drobne ciała pyłowe

## Pochodzenie meteoroidów:

- Mgławica pierwotna (zlepianie się pyłów)
- pas planetoid (zderzeniowe rozbijanie podczas kolizji, np.. Meteoroidy żelazne pochodzą z przetopionego wnętrza dużego ciała w którym ciężkie żelazo uformowało jądro)
- Komety (pyły, uniesione przez parujący lód, obłoki pozostawione przez komety tworzą roje meteorów)
- Mars, Księżyc .... (materia wyrzucona w przestrzeń podczas upadku dużych meteorów na te ciała)

## Meteoroidy można obserwować pod postaciami:

- **Meteorów** gdy wpadają w atmosferę Ziemi jonizując powietrze
- **Meteorytów** jeśli spadną na Ziemię
- Światła zodiakalne tj. światła słonecznego rozproszonego na pyłach skoncentrowanych w płaszczyźnie ekliptyki (zodiaku)

# Światło zodiakalne

Wewnętrzne rejonu układu zostały opróżnione z dużych ciał w epoce „wielkich bombardowań” lecz nadal występuje tu pył (meteoroidy)

Światło zodiakalne: rozproszone na drobnych pyłkach

Widać je po zachodzie i przed wschodem Słońca (czyli „pod światło” tak jak brud na szybie)

Pył koncentruje się w płaszczyźnie ekliptyki czyli na tle gwiazdozbiorów Zodiaku



# Meteory rojowe

Widać je gdy Ziemia  
przechodzi przez chmurę  
pyłów pozostawionych  
przez jakąś kometę

Np.:  
Perseidy  
Leonidy



# Meteoryty SNC zagadka ich pochodzenia!

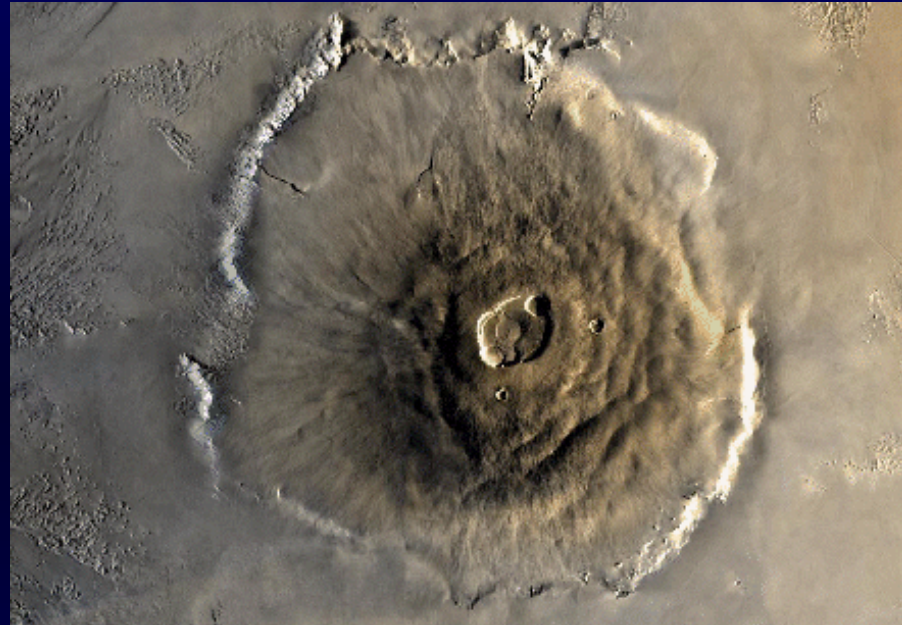
Shergottyty, Naklity, Chassignyty  
(nazwa od miejsca spadku na Ziemię)  
wiek 1.3 - 0.2 mld  
datowane na podstawie zawartości argonu

# SNC - bazaltowe kumulanty!

Shergottyt



Olympus Mons



W meteorytach SNC ciężkie kryształy opadały na dno zbiornika roztopionej magmy! Tylko na Marsie istniały odpowiednie warunki około 1.3 mld lat temu!

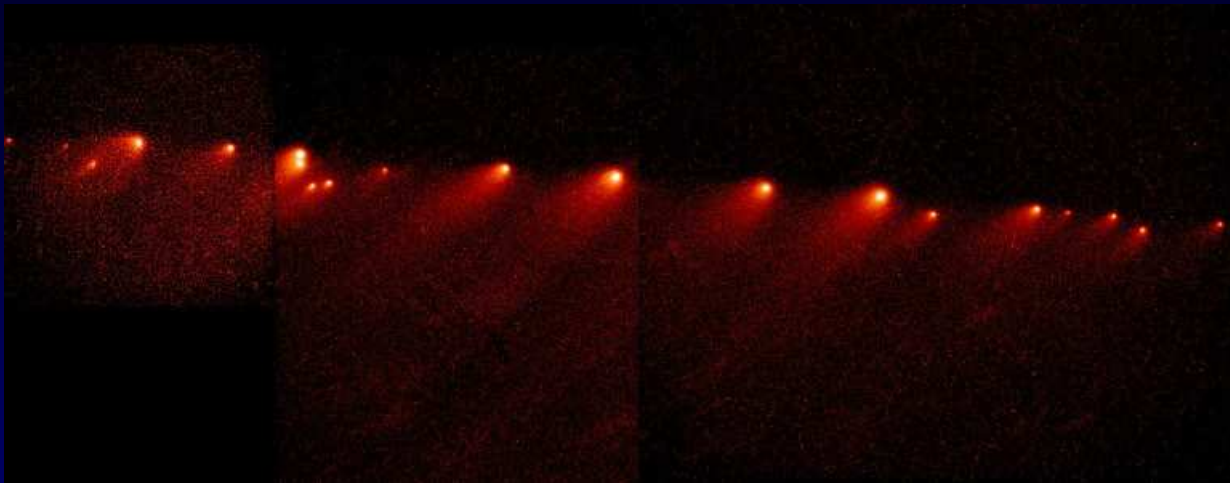
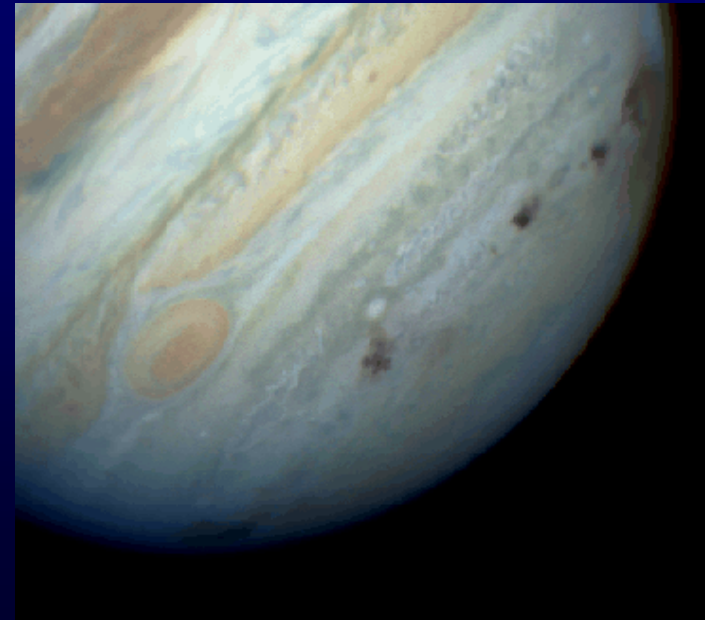
# Baseny uderzeniowe

Relikt epoki „wielkich bombardowań”  
(Oczyszczenie wnętrza układu z  
większości protoplanet)

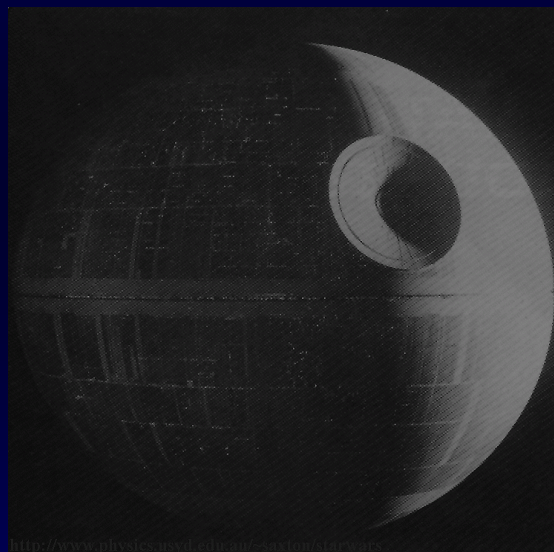


# Jowisz

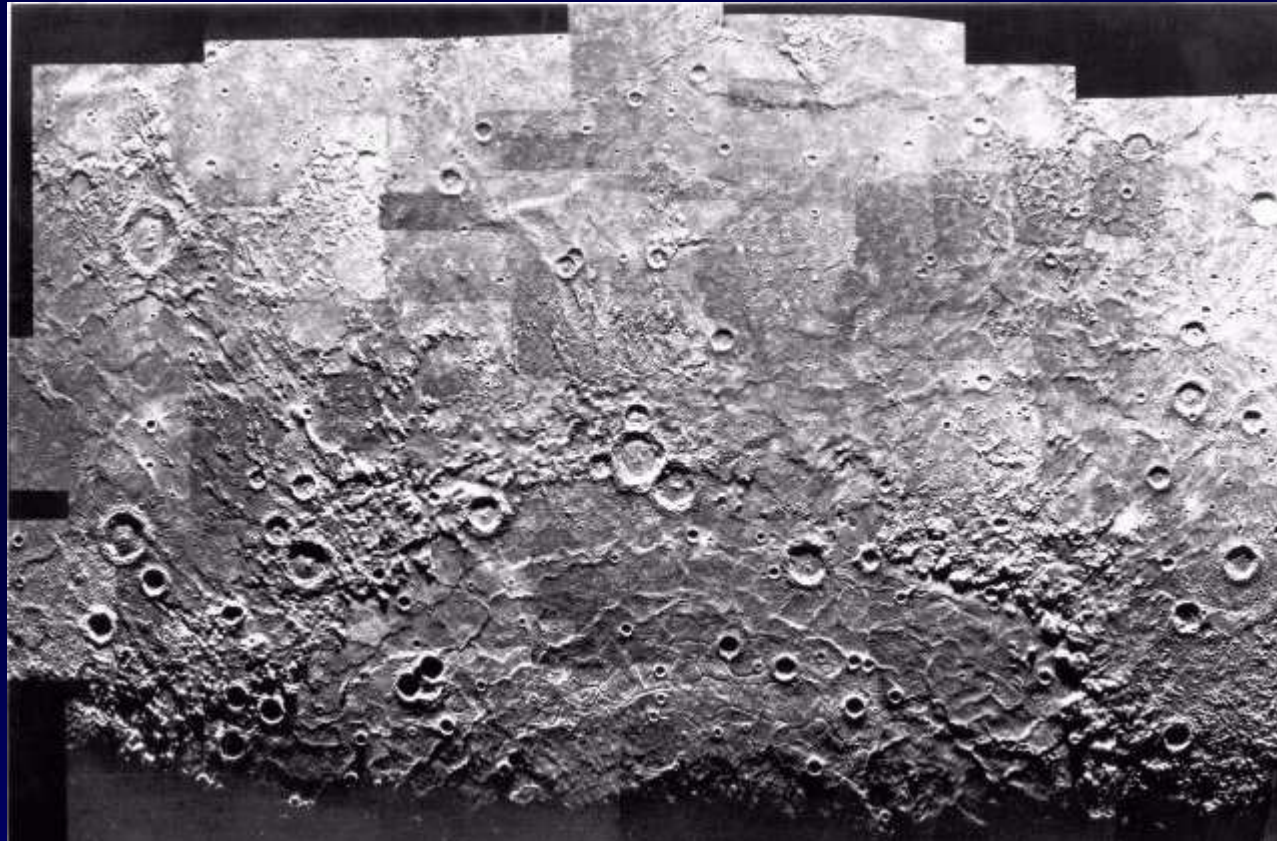
Ślady upadku komety  
Levy-Shoemaker



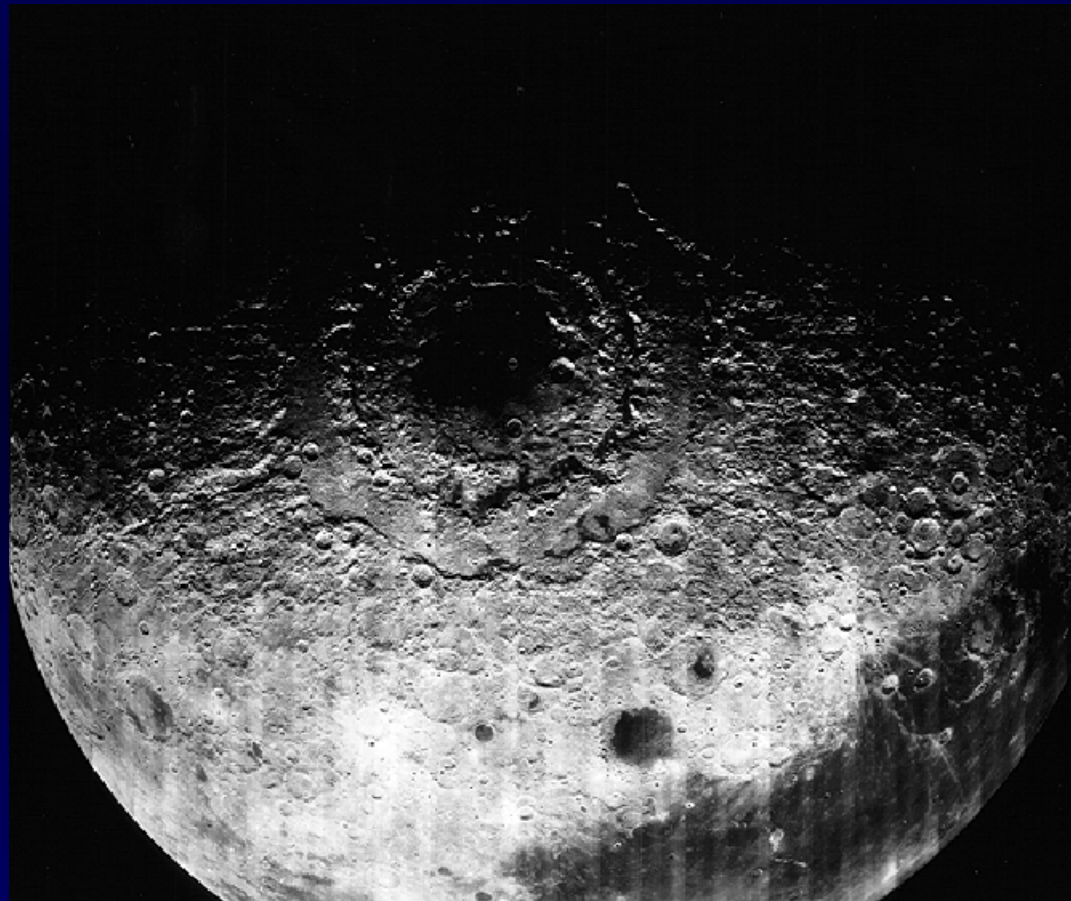
# Mimas



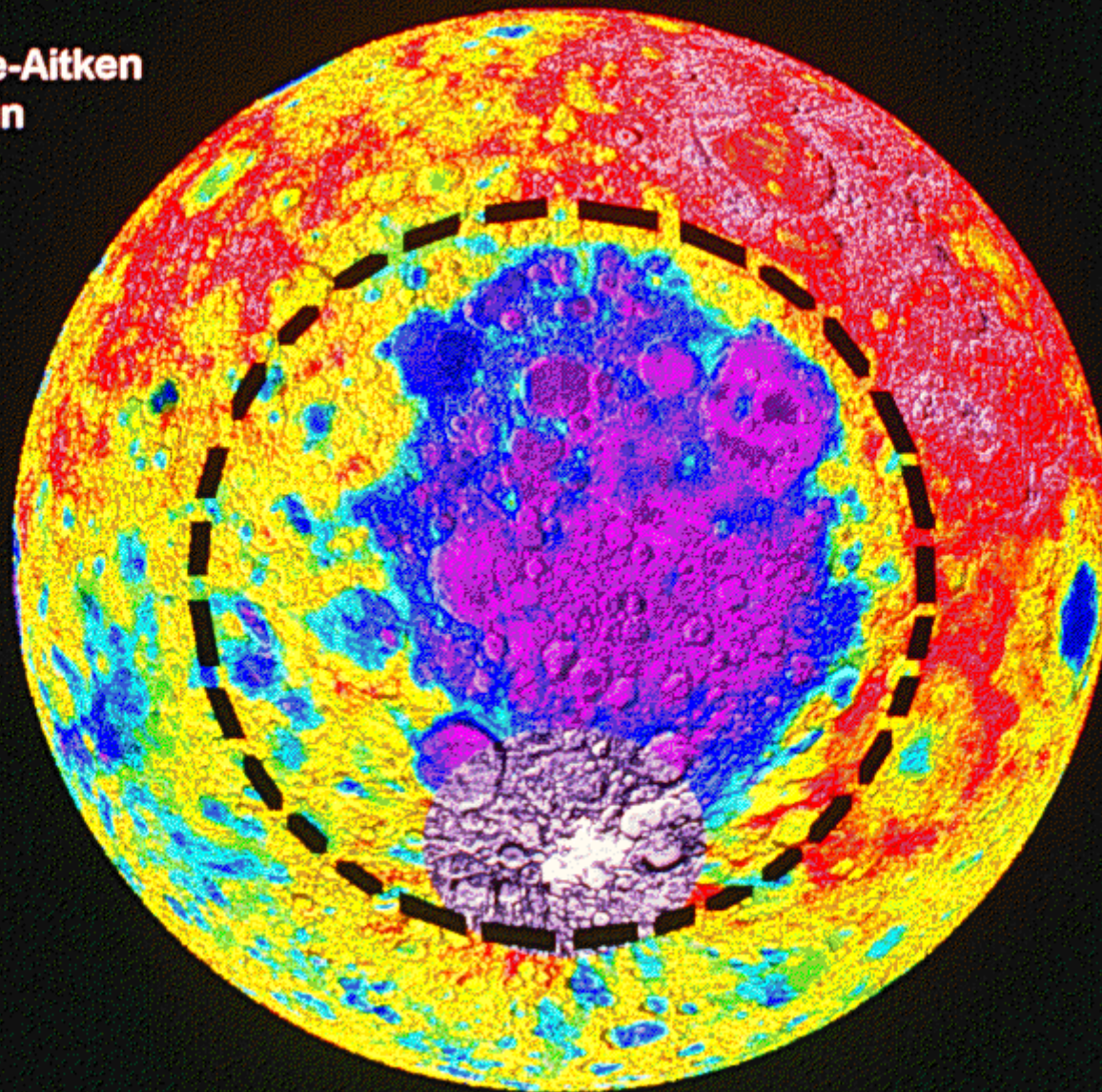
# Basen Caloris na Merkurym



# Mare Orientale na Księżycu



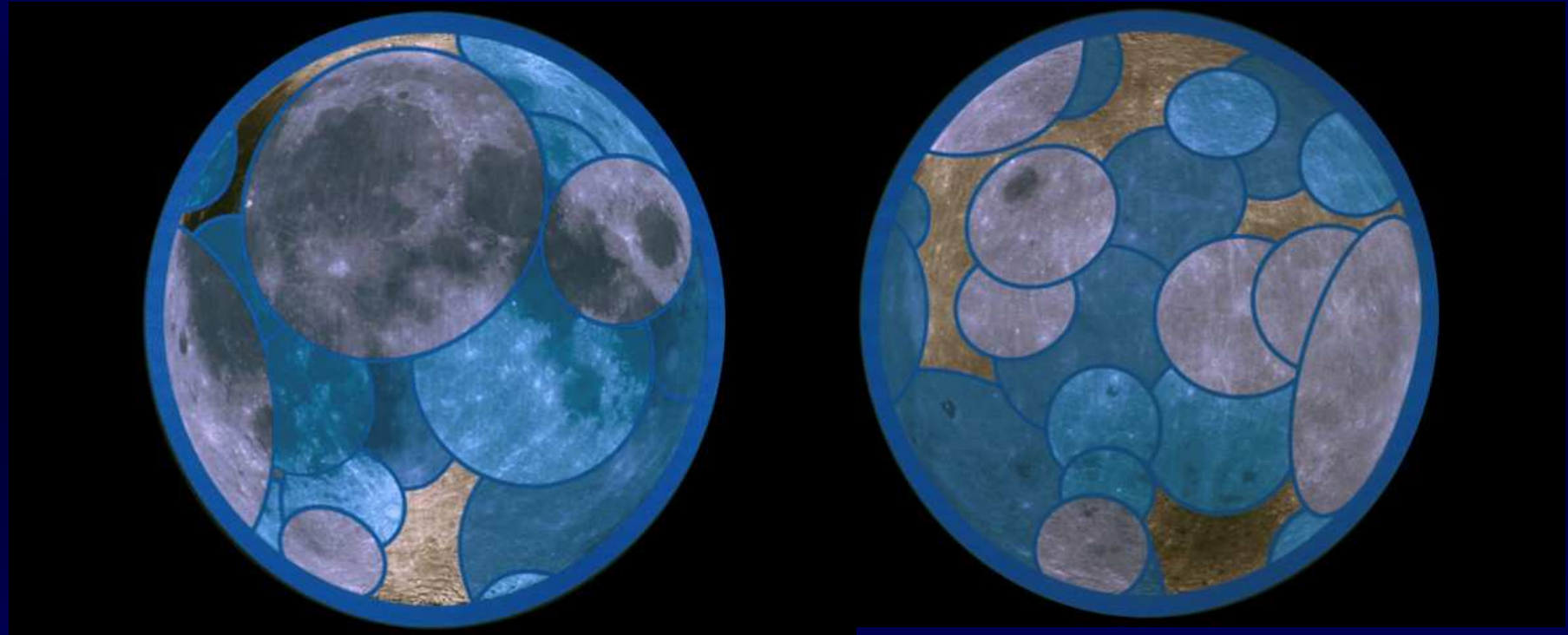
**South Pole-Aitken  
Basin**



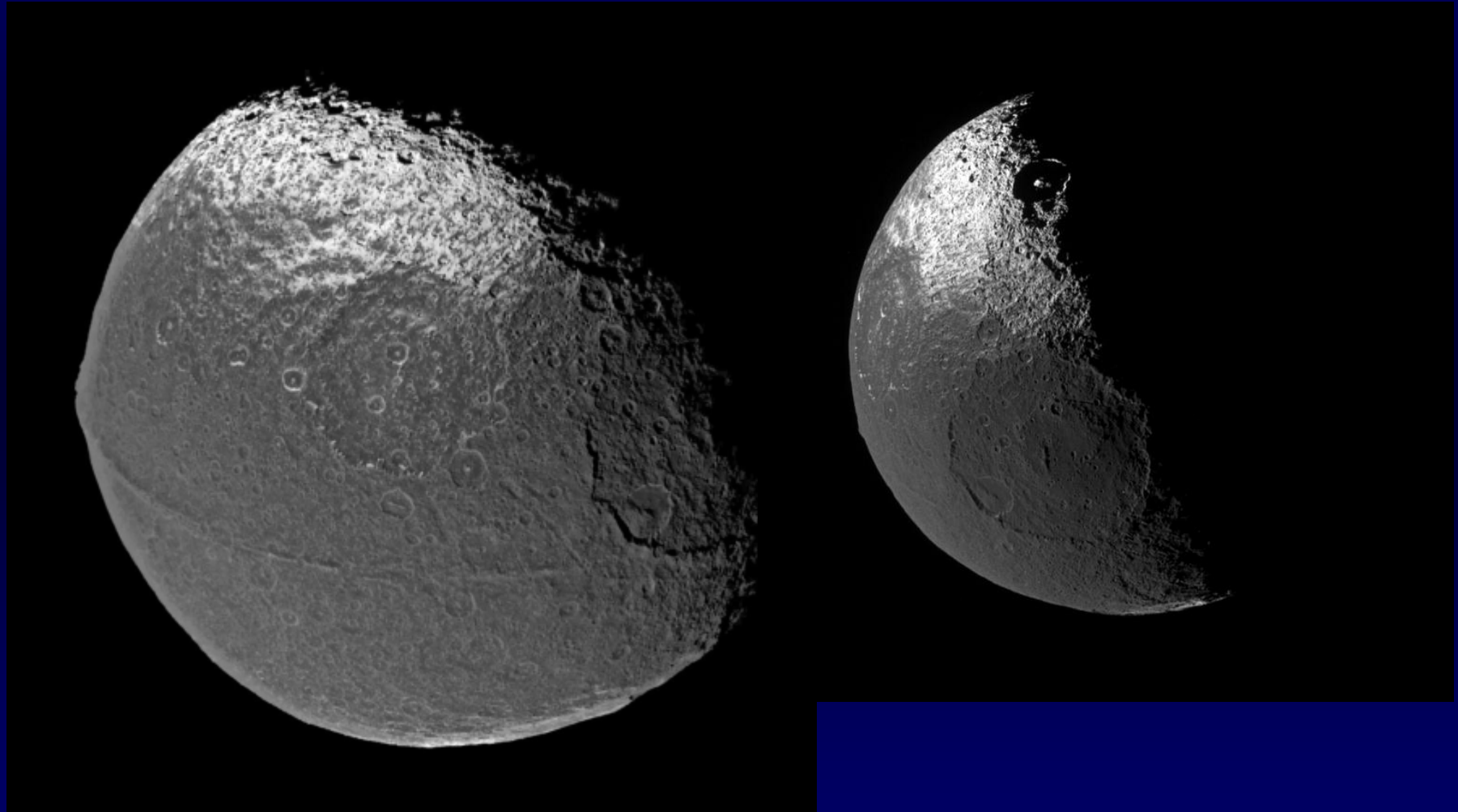
# Valhalla – 25 pierścieni!



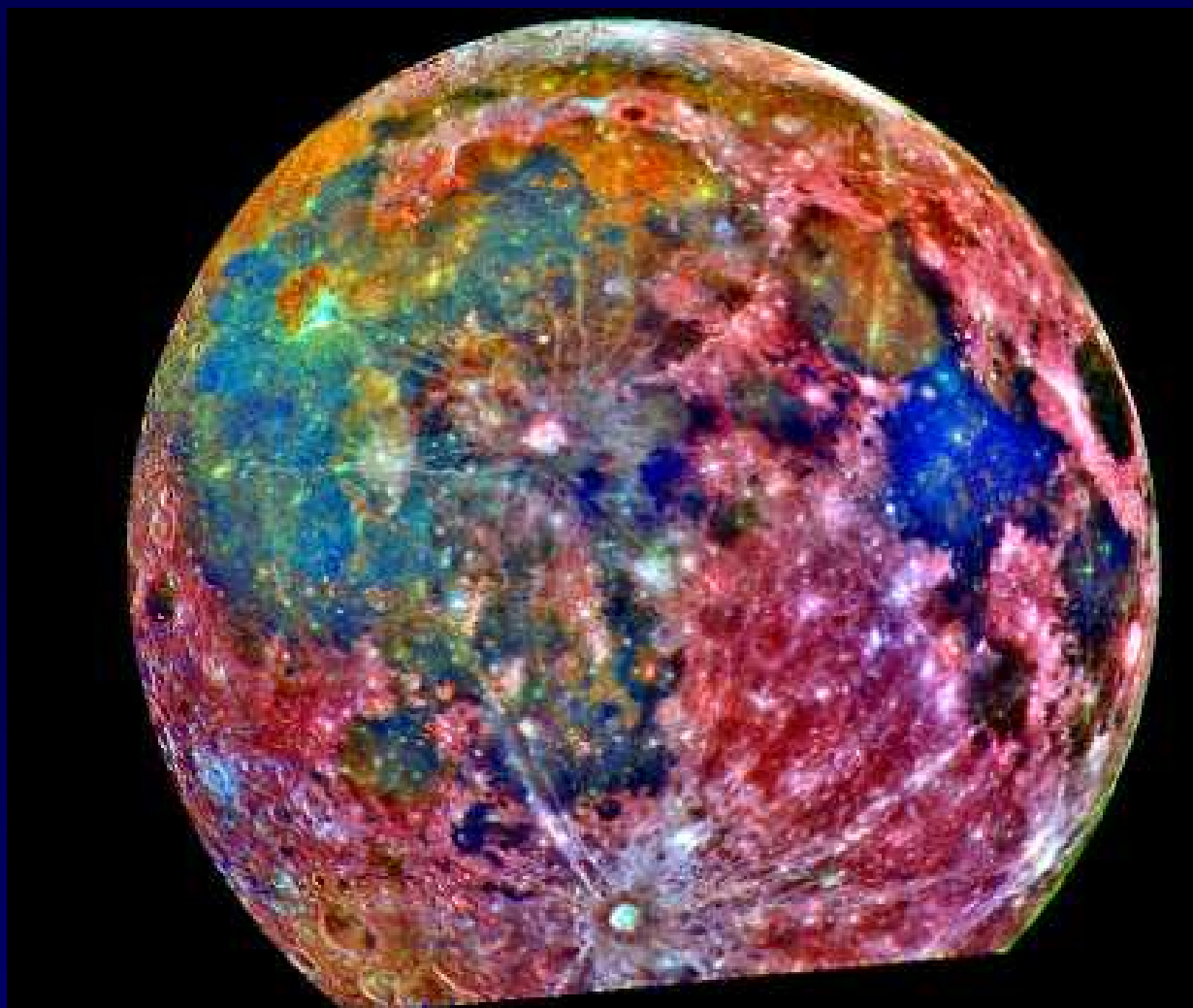
# Baseny na Księżycu



# Japetus



# Księżyc



# Historia Księżyca

## - stratygrafia

- Pierwotny ocean magmy (~10 km głębokości)
- Lekkie skalenie (anortozyt) na powierzchni i ciężkie oliwiny i pirokseny na dnie

|                                |             |
|--------------------------------|-------------|
| – era prenektaryjska           | 4.5 mld lat |
| – era nektaryjska              | 3.9         |
| – era imbryjska-procellaryjska | 3.8-3.2     |
| – era eratostenesowska         |             |
| – era kopernikowska            | 1.1         |

# Eratostenes

widać starą skorupę częściowo pokrytą nowym wylewem  
magmy (mała ilość kraterów)



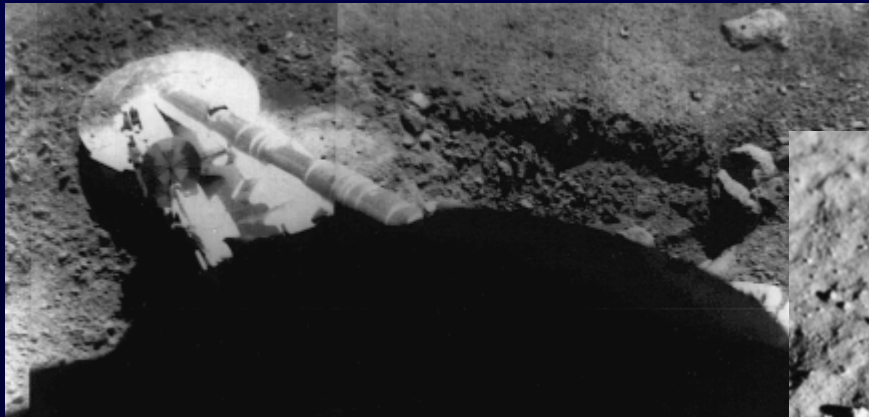
# Tycho, Kopernik

Najmłodsze z wielkich kraterów, jasne smugi materii wyrzuconej podczas uderzenia nie zdążyły ulec erozji



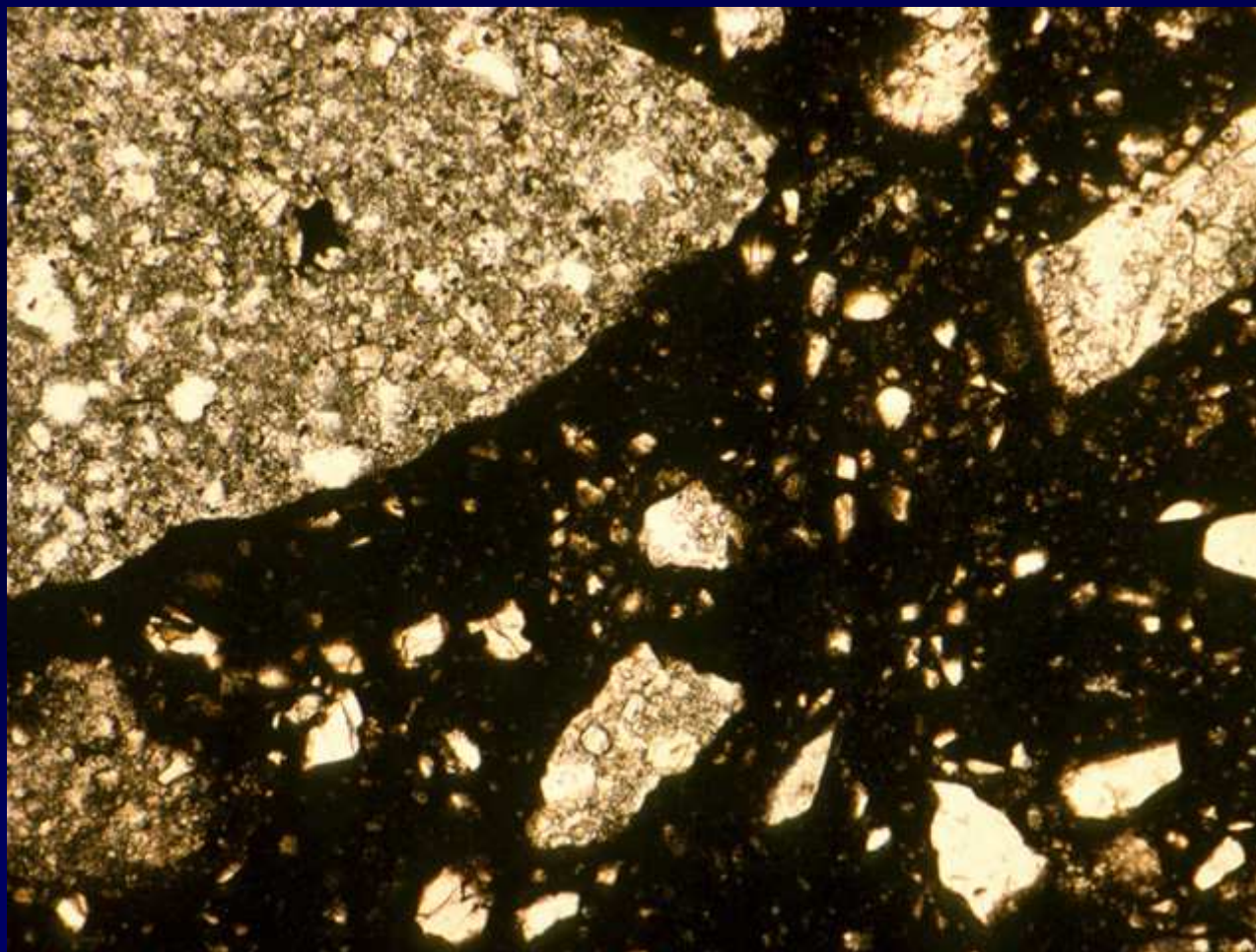
# Regolit

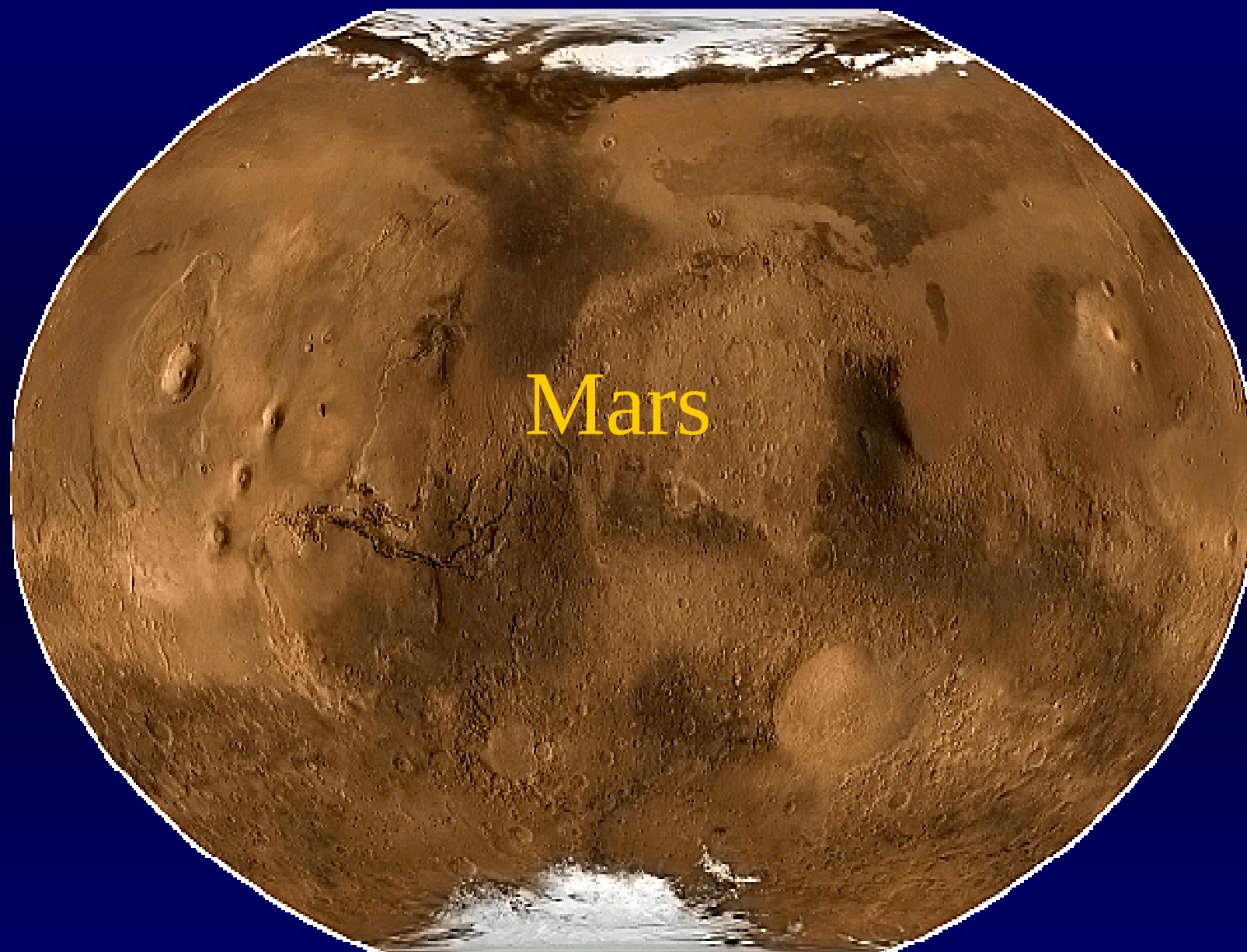
– produkt erozji księżycowej



# Brekcje

- zlepiony regolit księżycowy obecny w meteorytach które dotarły na Ziemię wyrzucone z Księżyca

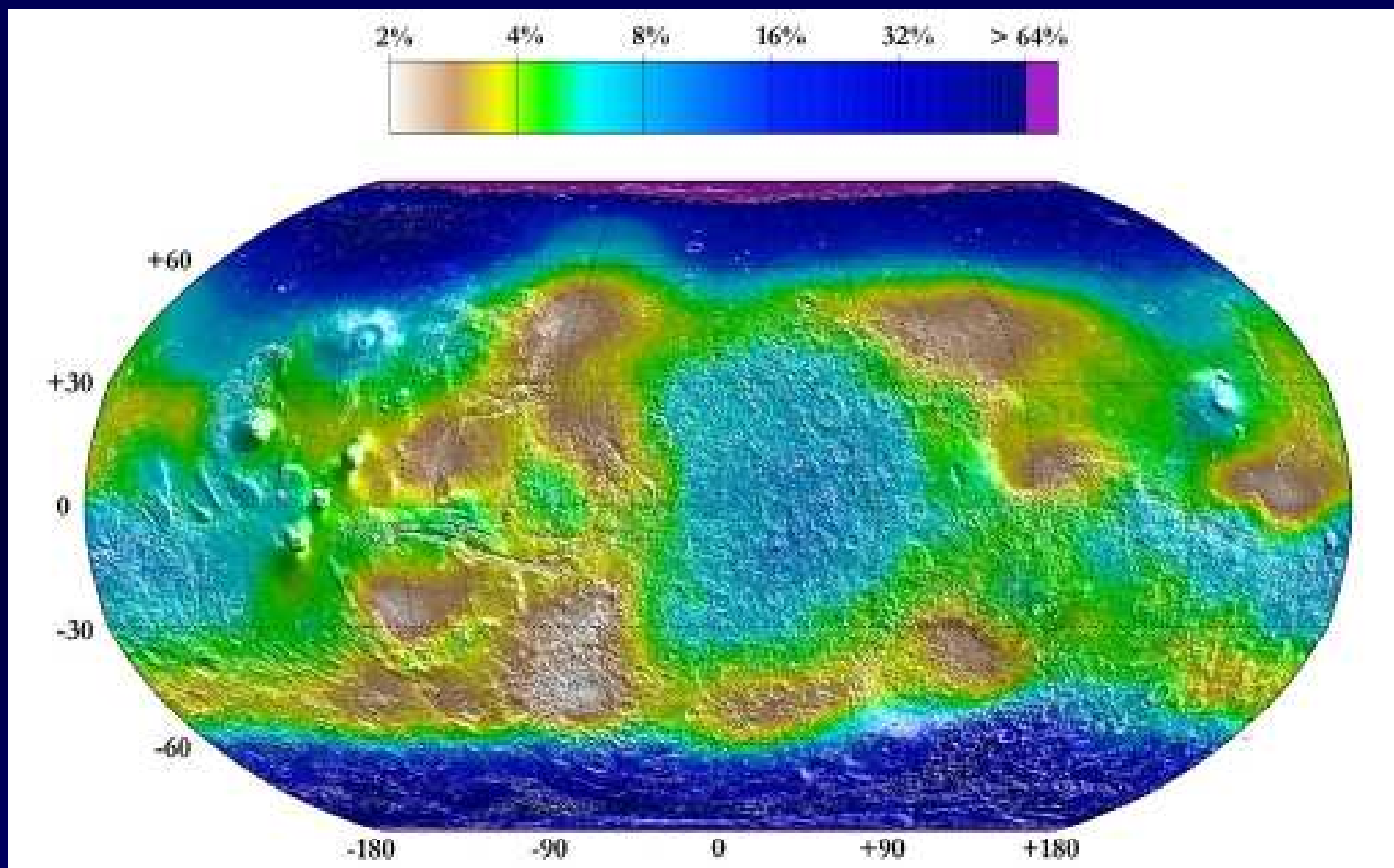




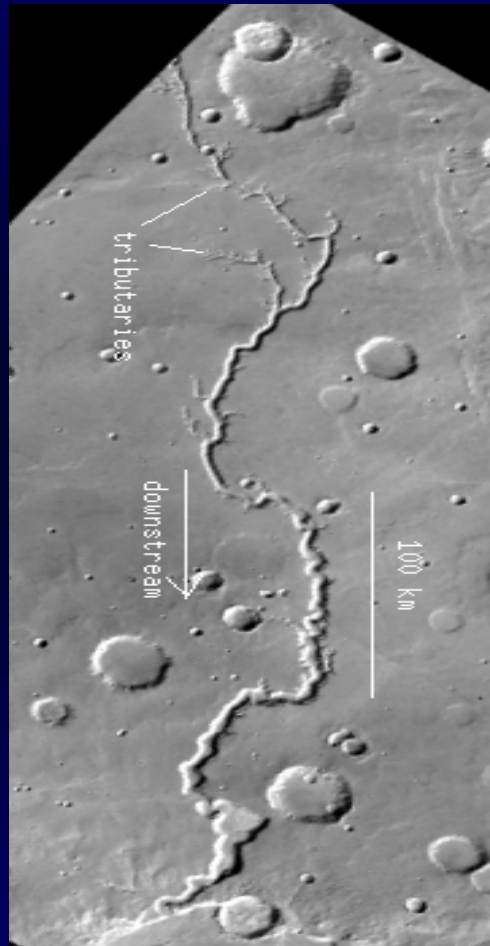
# Woda na Marsie ?

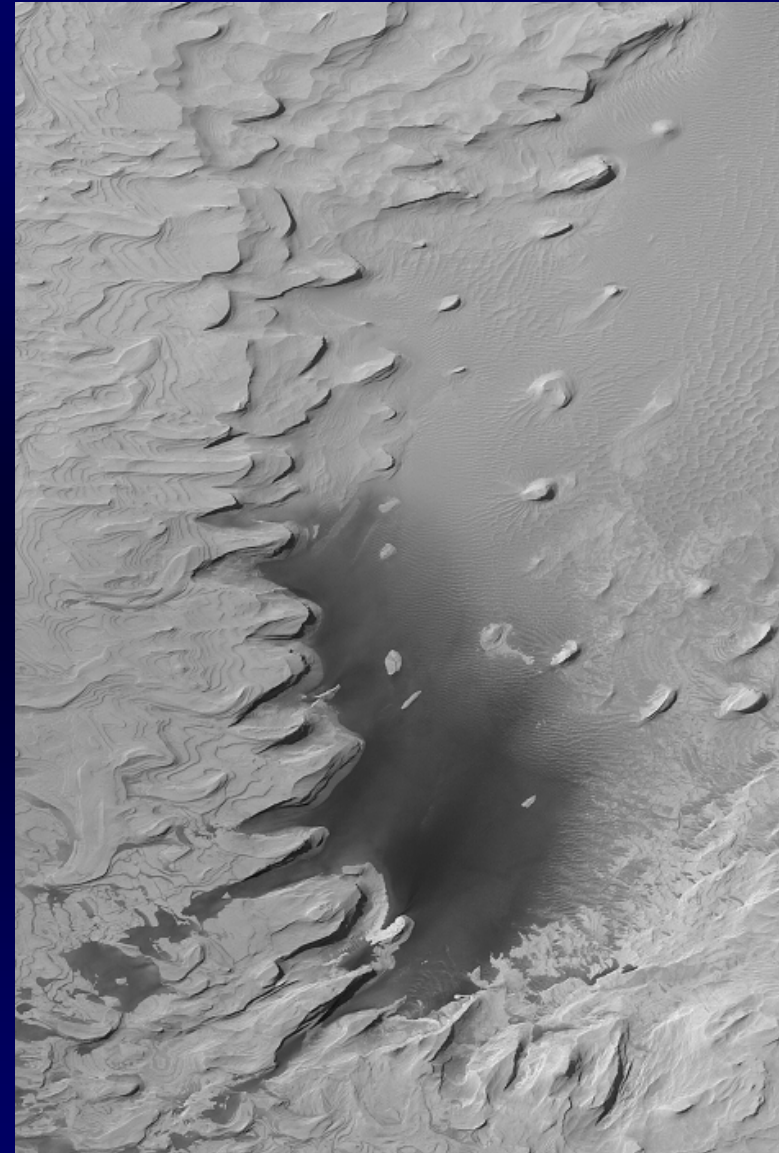


# Emisja neutronowa



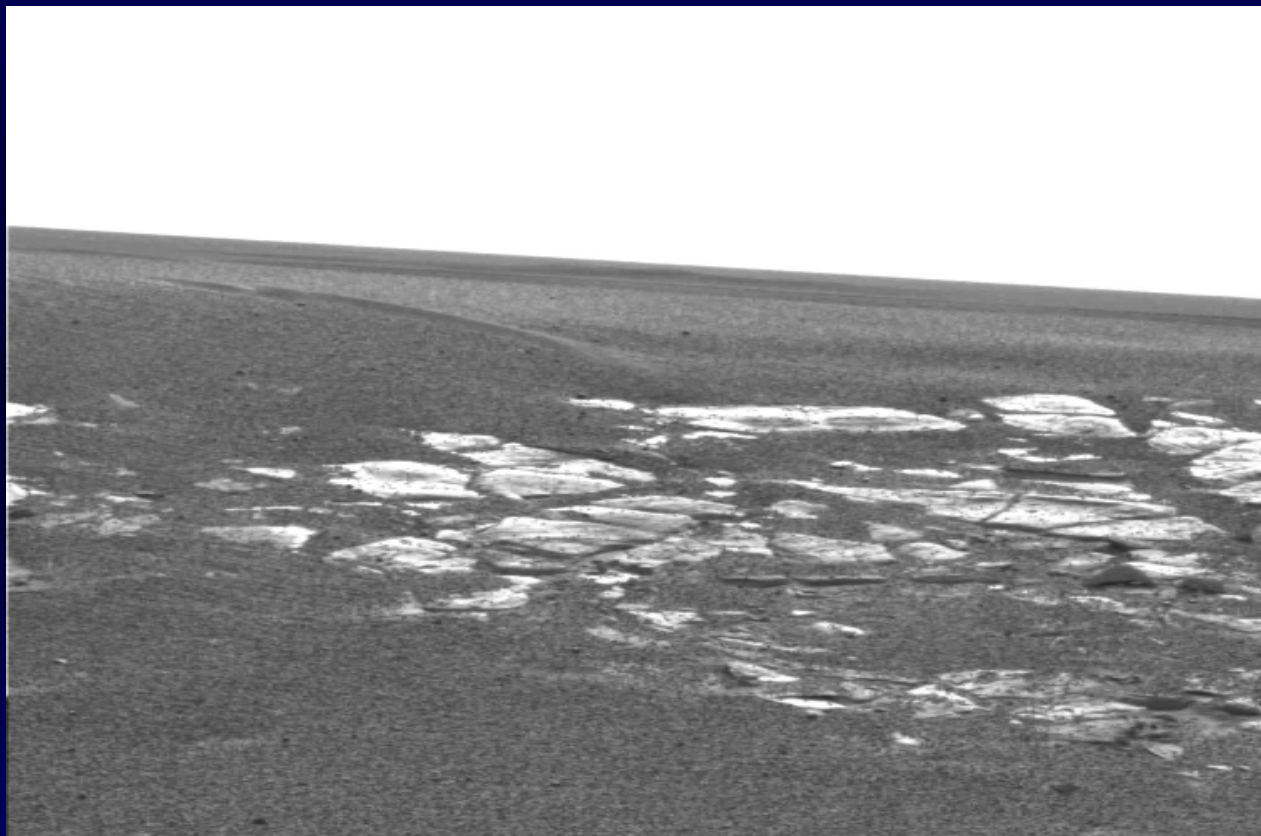
# Spływy opadowe, zapadliska

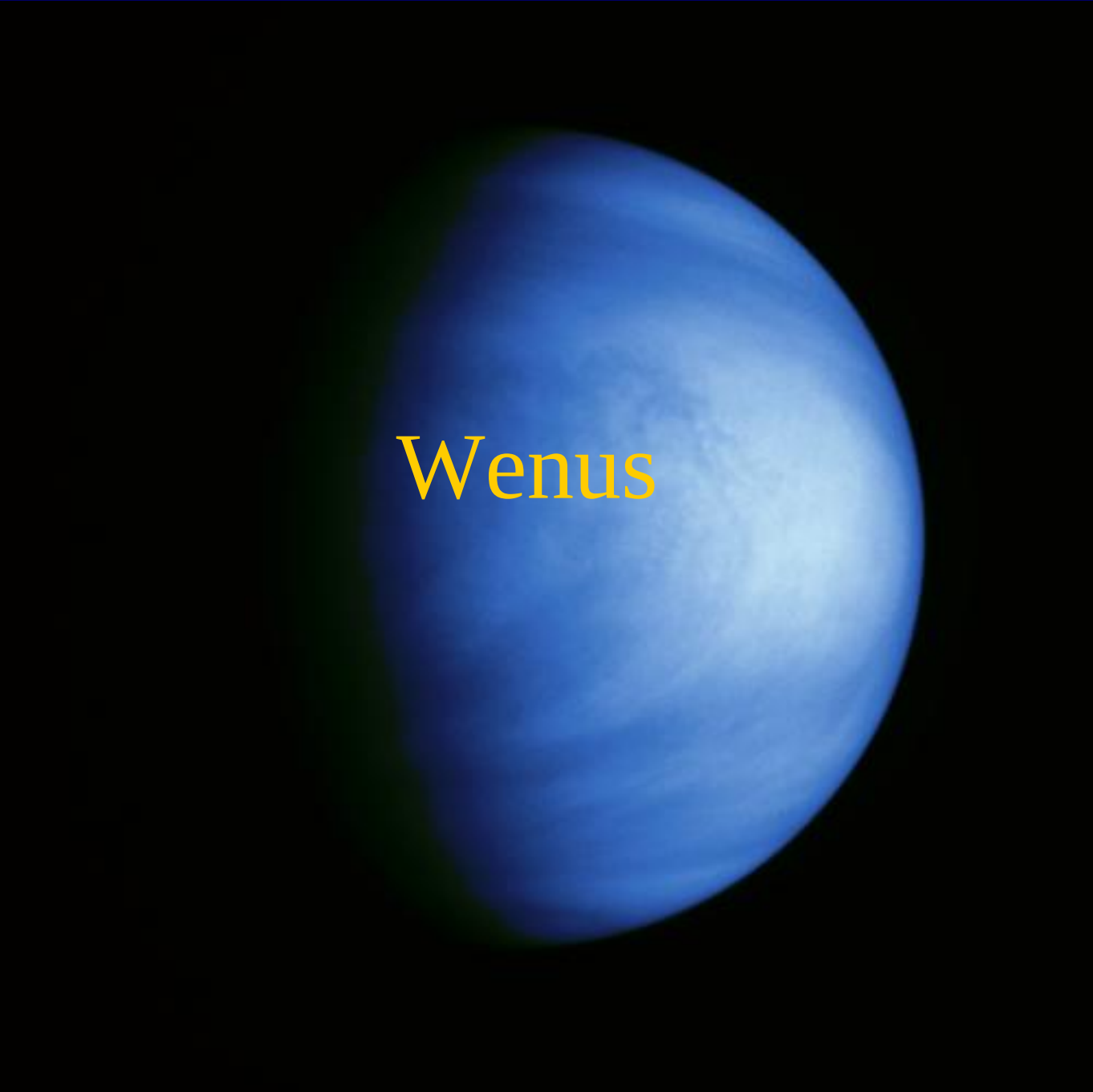






# Skąły osadowe



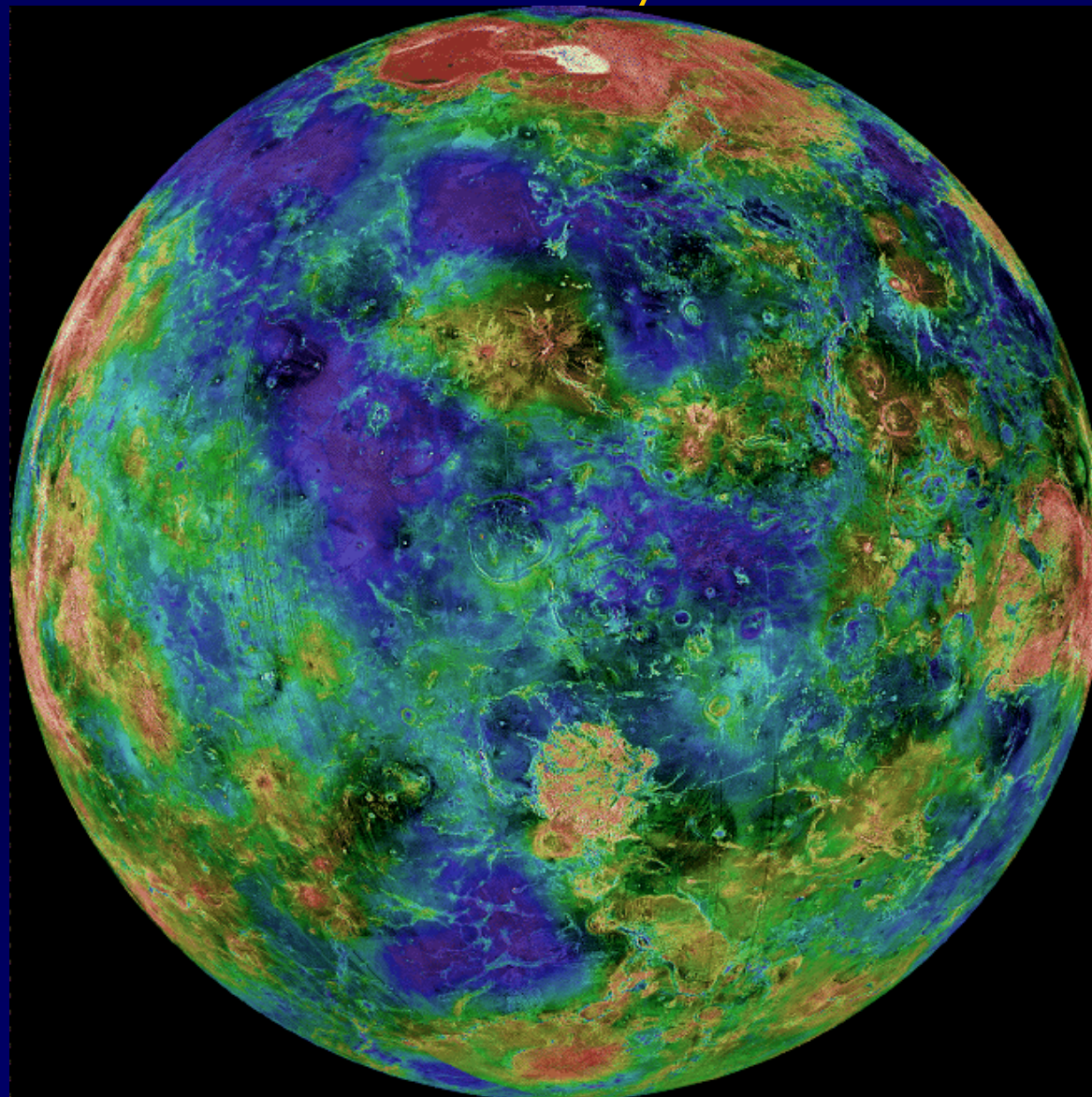
A photograph of the planet Venus, showing its characteristic blueish-white, cloudy surface. The planet is partially illuminated, with a bright, glowing edge on the right side and a darker, shadowed edge on the left. The word "Wenus" is written in a yellow, serif font across the center of the planet. The entire image is set against a black background and is framed by a dark blue border.

Wenus

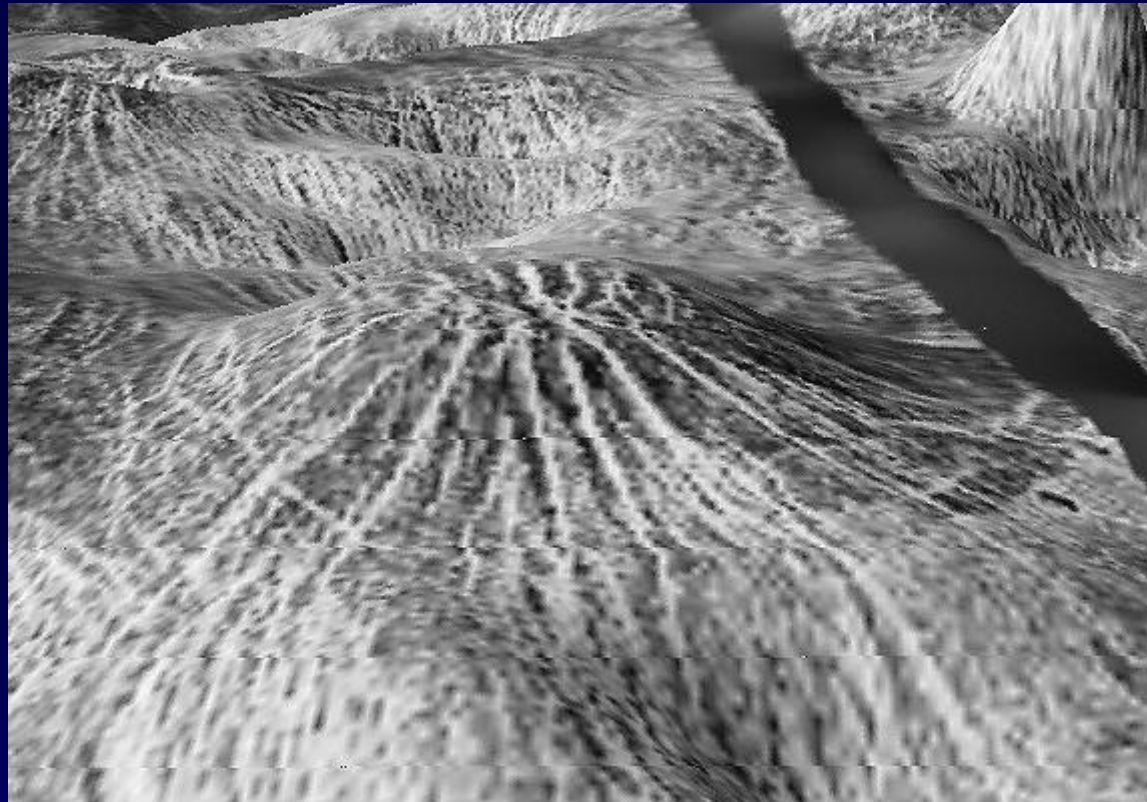
# Wenus

- Wulkanizm nadal aktywny
- Skorupa ma tylko 800 mln lat
- Brak płyt kontynentalnych
- Brak małych kraterów
- Skorupa ciągle plastyczna (pajęczaki, pączki...)
- Wiatry wiejące ku równikowi (praktycznie brak siły Coriolisa)

# Wenus – obrazy radarowe

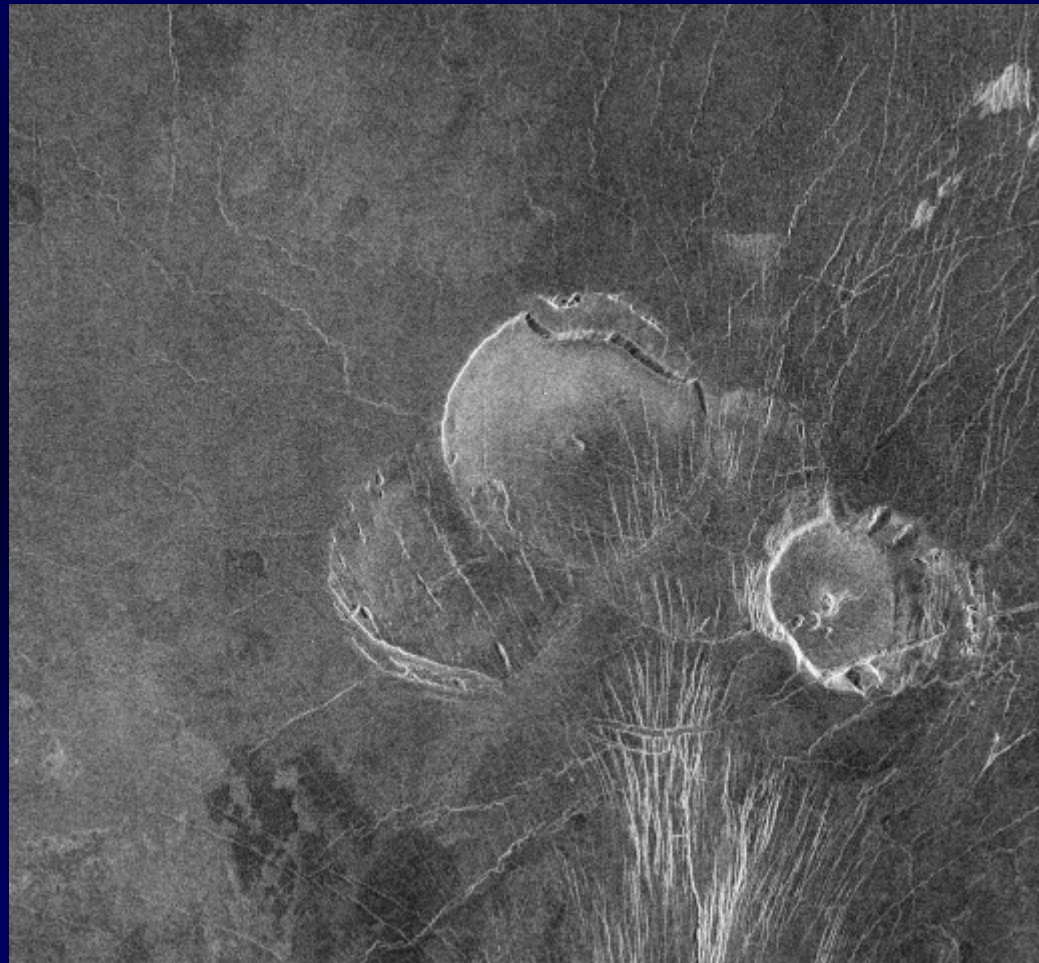


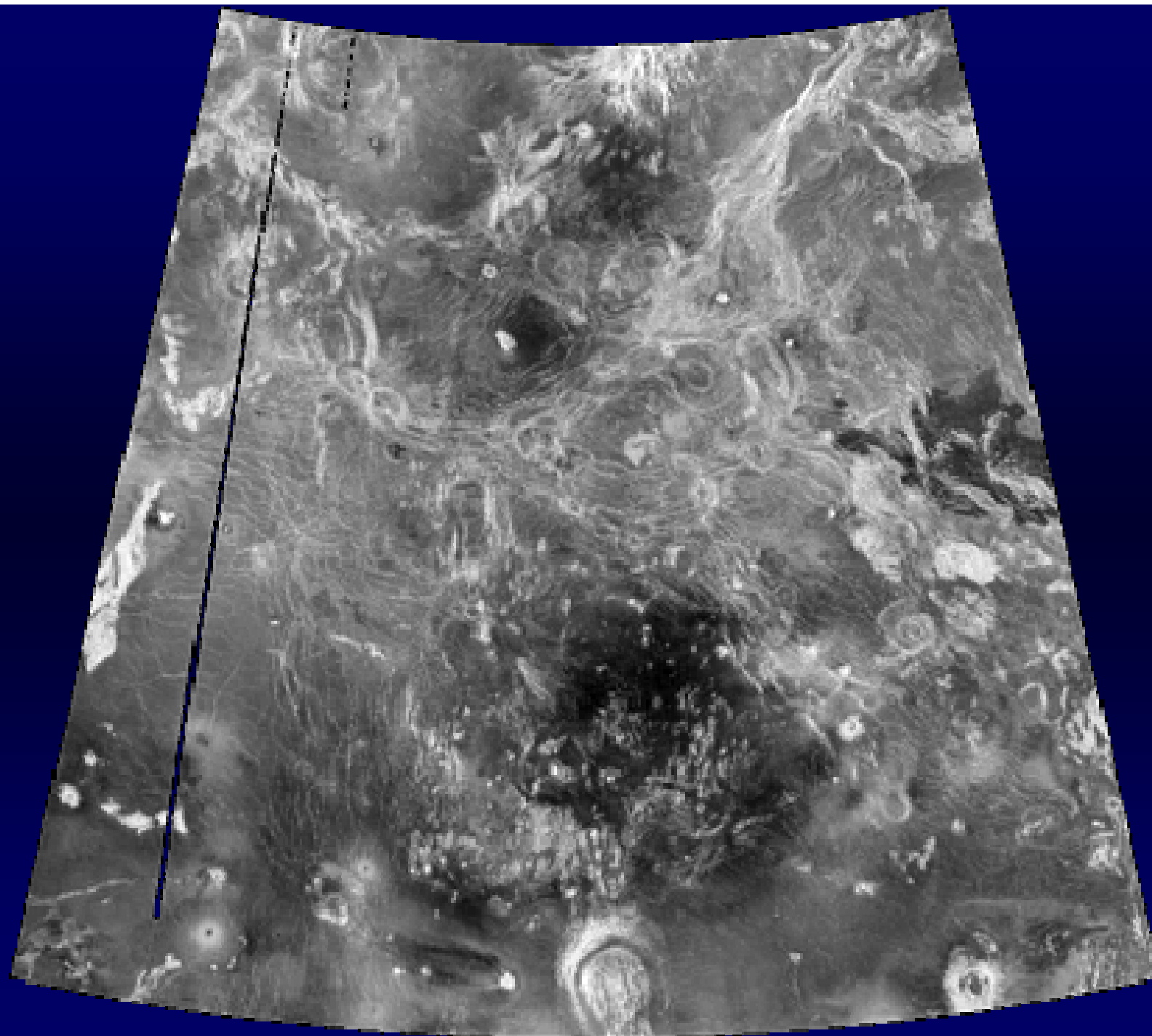
# Radarowy obraz z sondy Magellan



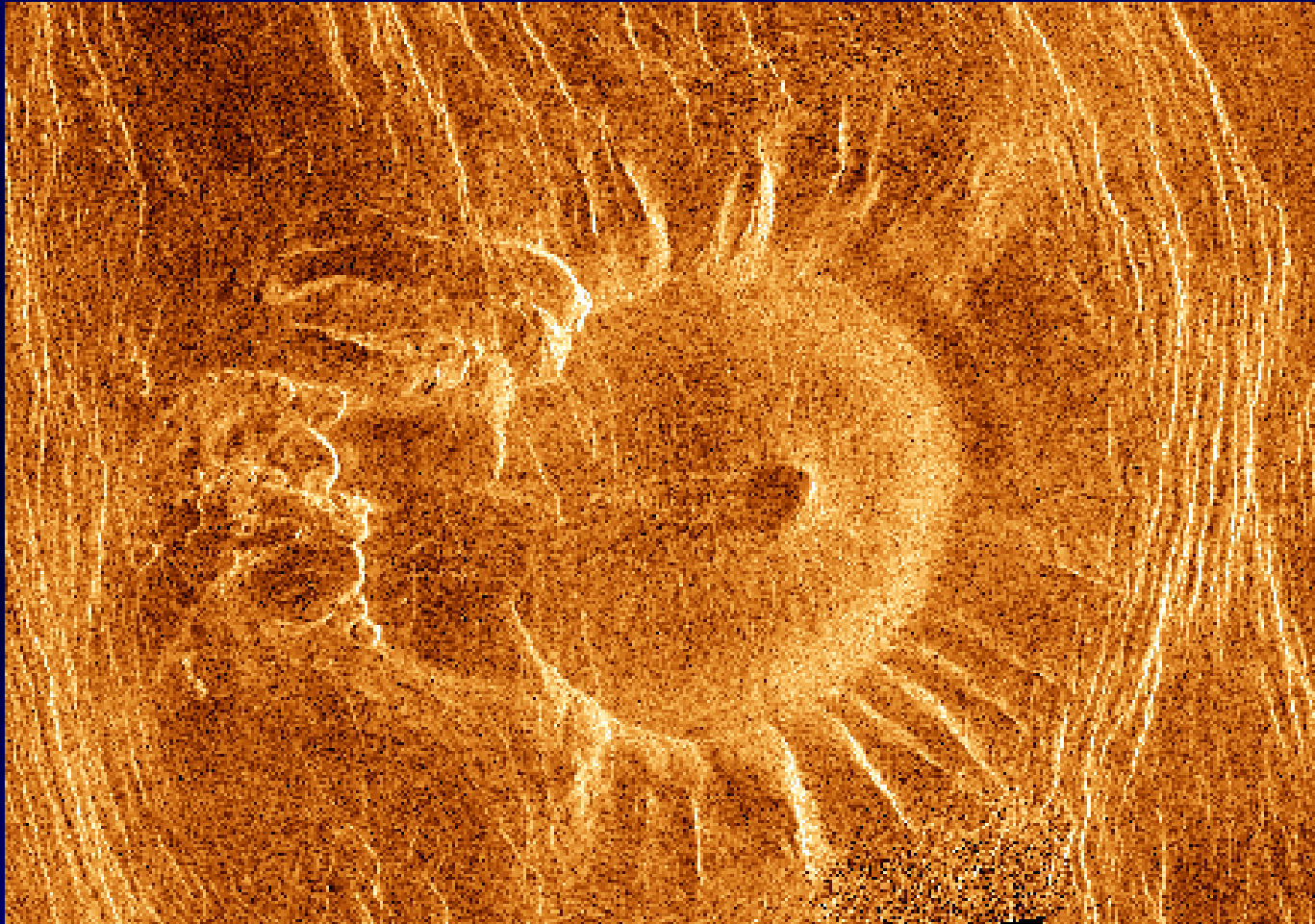


# Pączki - gorące plamy?



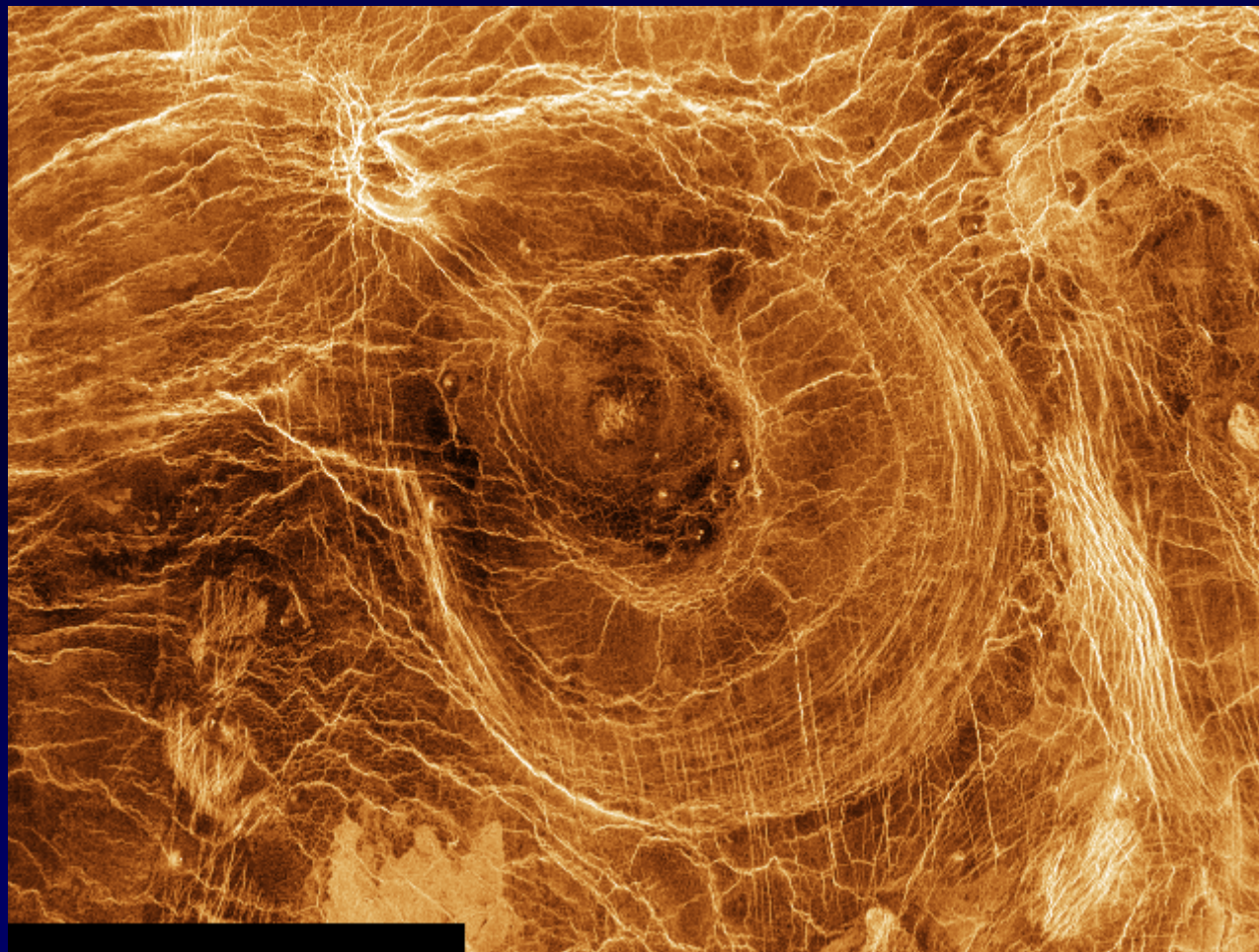


# Pajęczaki



# Pajęczaki

(gorące punkty podobne do przypadku wysp hawajskich)

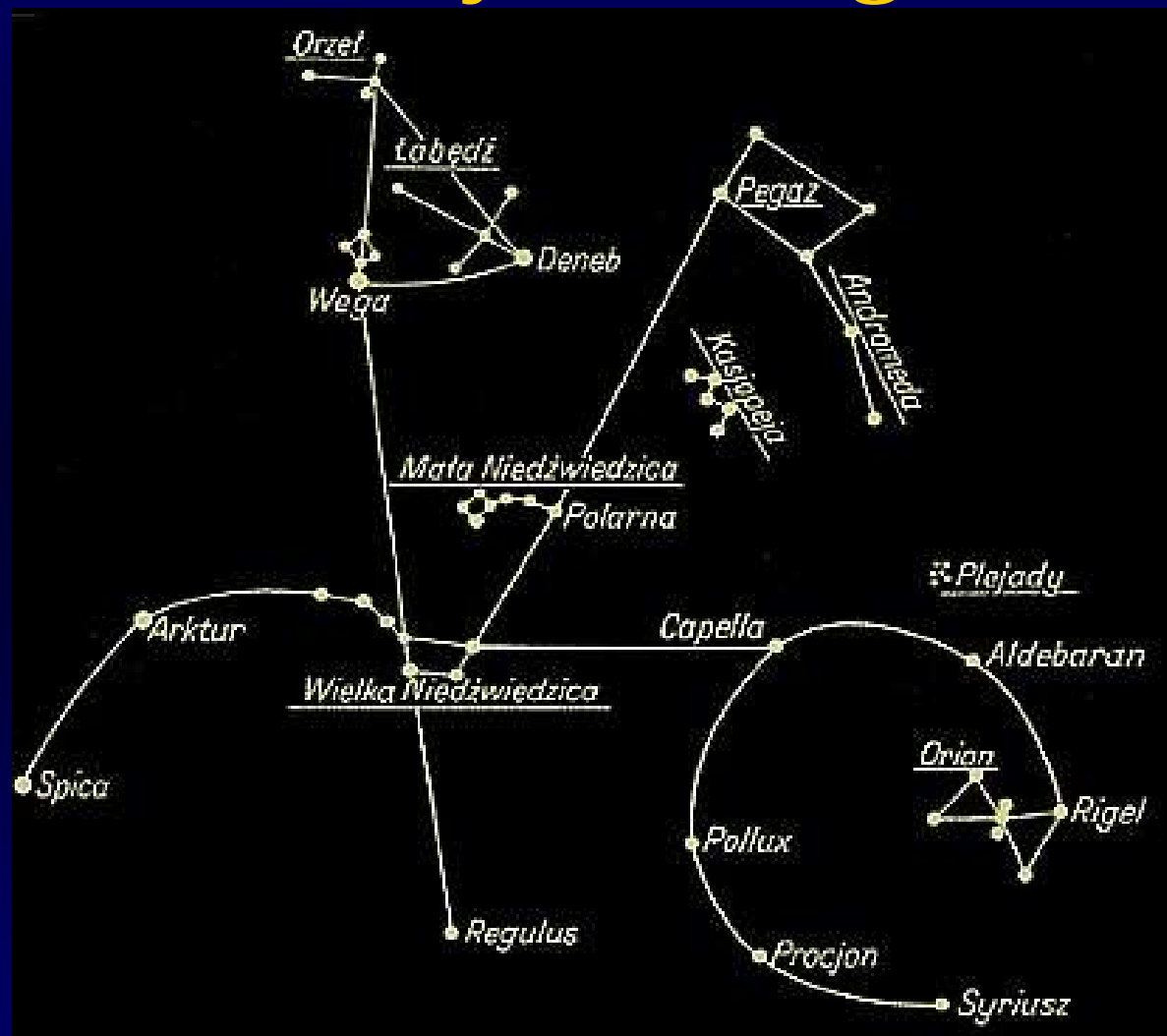


w. Ogióza, Astronomia, wykład 5

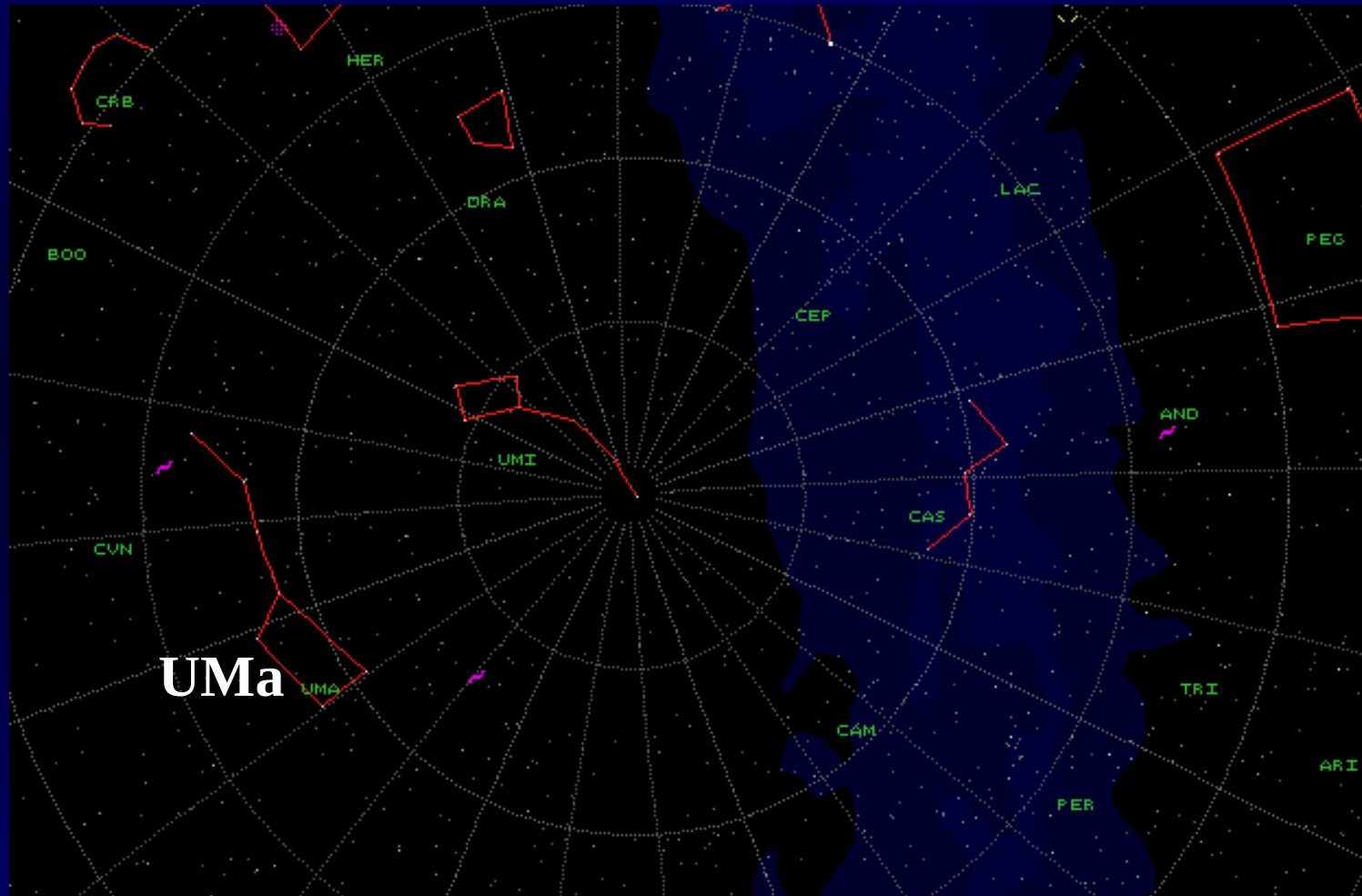
# Kosmiczne zoo

Przewodnik po różnych rodzajach  
ciał niebieskich

# Wielki Wóz jako drogowskaz



# Gwiazdozbiory okołobiegunowe



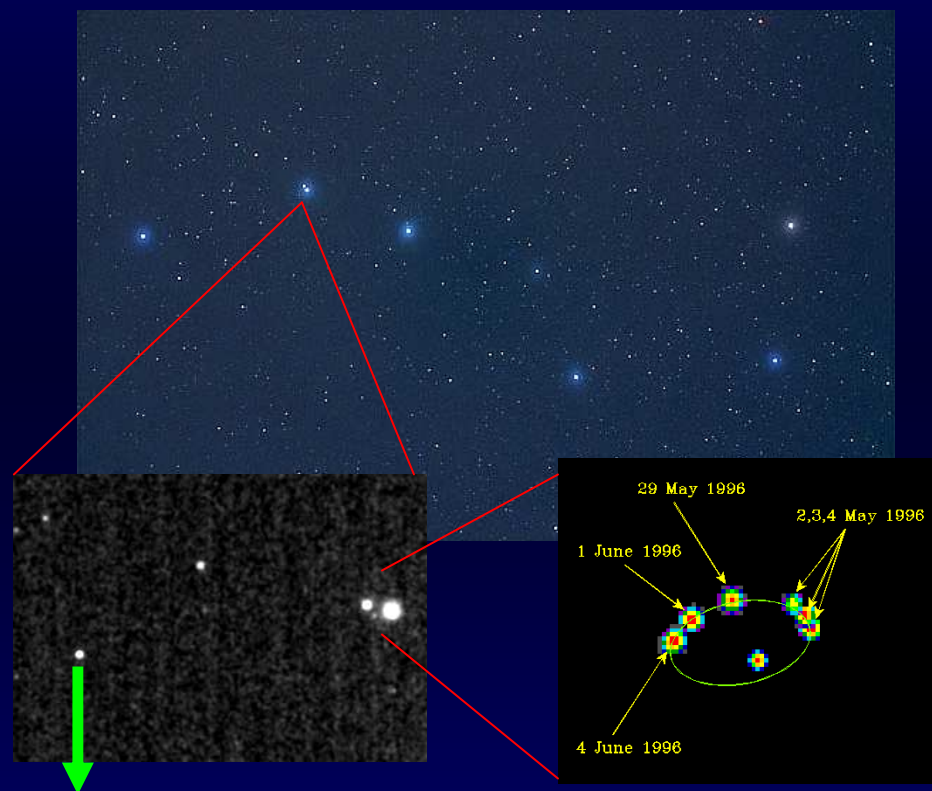
# Wielki Wóz

## fragment Wielkiej Niedźwiedzicy (UMa)

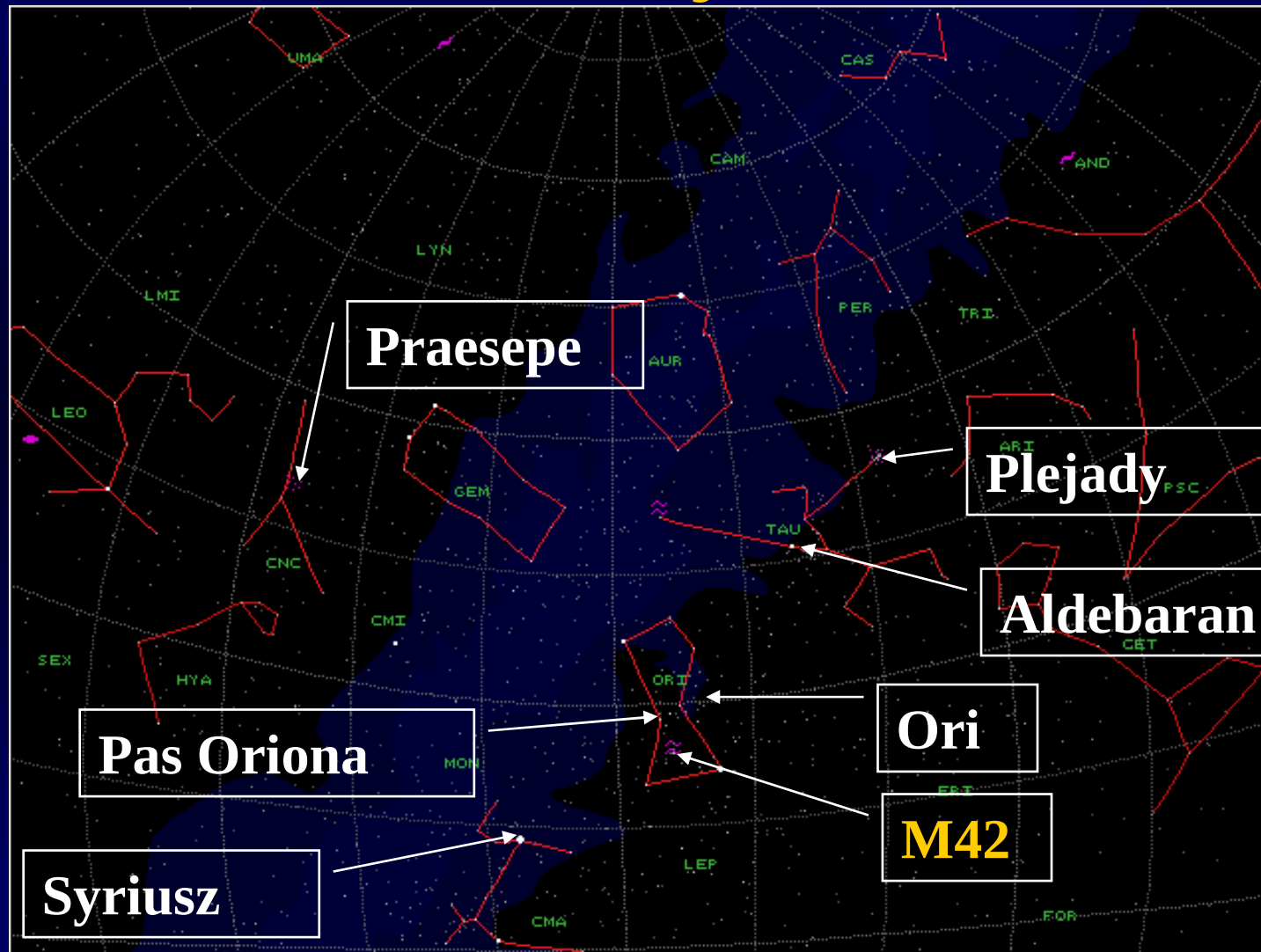
Mizar i Alkor - układ  
wizualnie podwójny

Mizar -para gwiazd  
fizycznie podwójna (widać  
zmiany położenia)

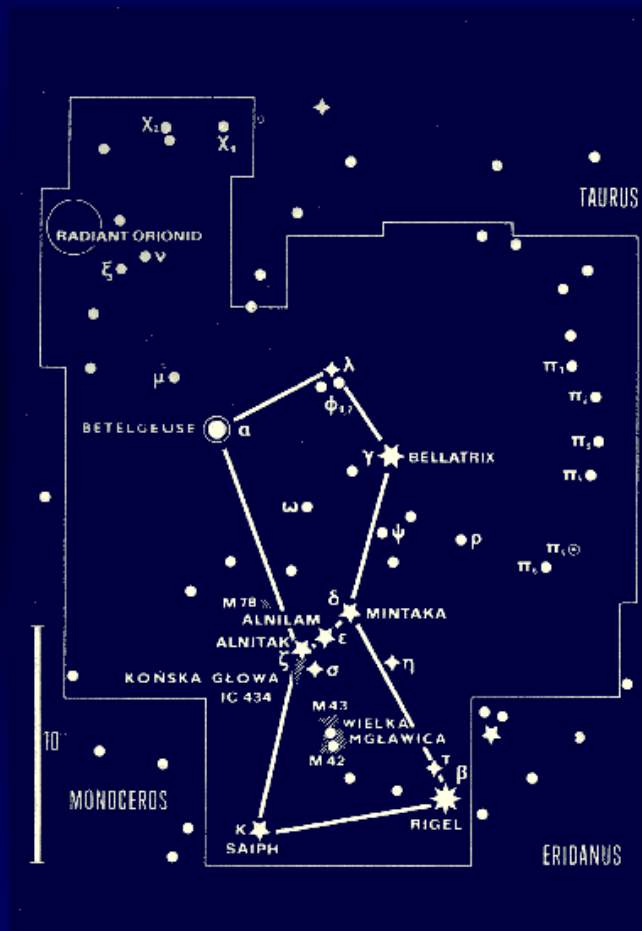
Znane są też układy  
spektroskopowo-podwójne, u  
których efekt Dopplera  
wywołuje przesuwanie się linii  
widmowych



# Gwiazdozbiory zimowe



# Orion



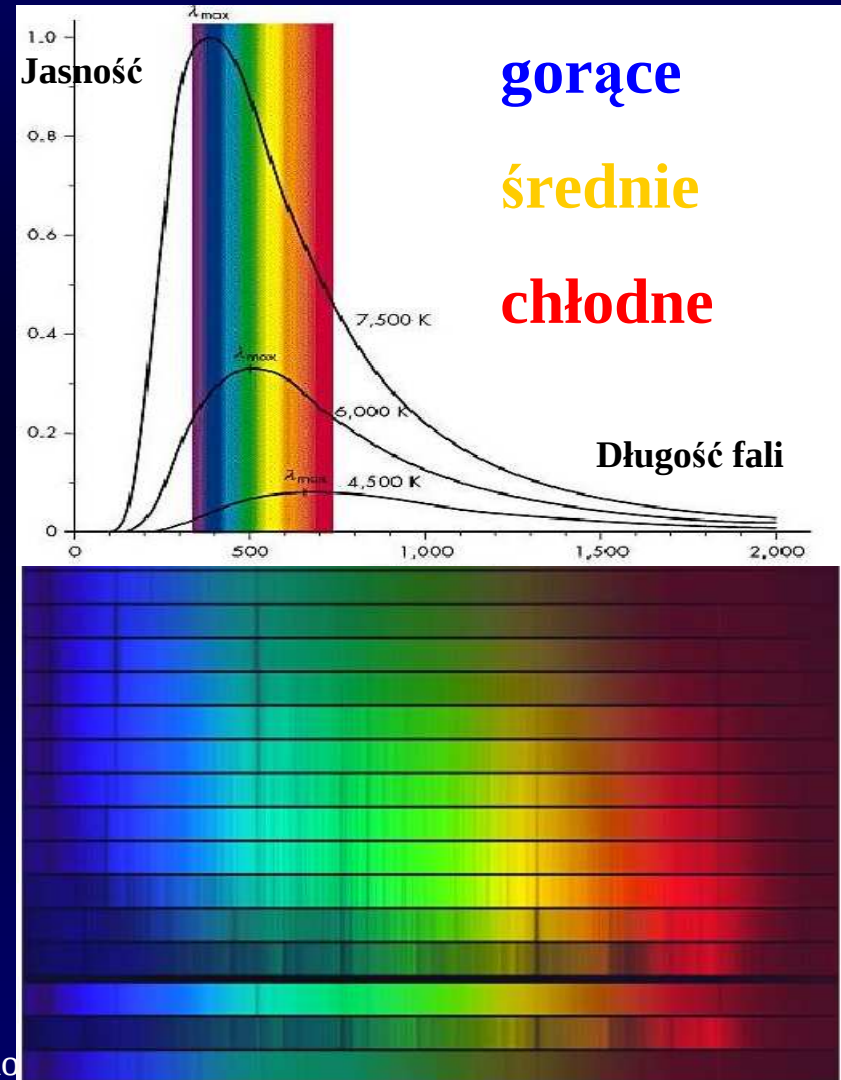
# Orion

- Gwiazdy mają różne kolory odpowiadające różnym temperaturom ich powierzchni
- Oprócz gwiazd widać rozproszony gaz, który świeci tylko w wąskich liniach emisyjnych (np. linia wodoru 6565Å)



# Kolory gwiazd

- Gwiazdy emitują światło o rozkładzie spektralnym zgodnym z prawem Plancka.
- Dla różnych temperatur ich powierzchni maksimum jasności wypada na różnych długościach fali
- Na ciągłe promieniowanie termiczne nałożone jest widmo absorpcyjne atmosfery gwiazdy.
- Z linii widmowych można odczytać skład chemiczny, temperaturę, prędkość radialną gwiazdy, tempo wirowania, itp



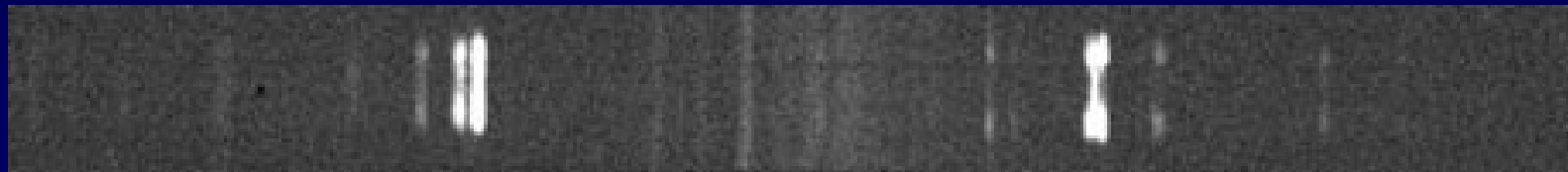
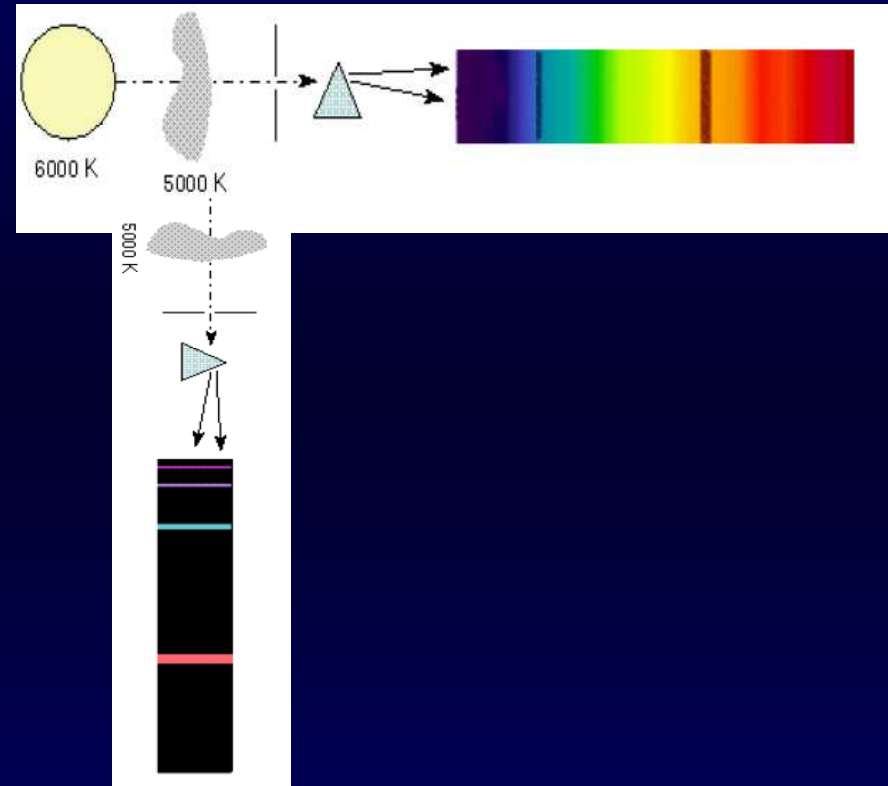
# Orion w linii wodoru H-alfa

widać materię międzygwiazdową bogatą w wodór



# Kolory mgławic

- Obłok materii pochłania promieniowanie odpowiadające energii przejścia pomiędzy poziomami energetycznymi elektronów
- Po pewnym czasie elektrony wracają na poziom podstawowy emitując w przypadkowych kierunkach promieniowanie na określonej długości fali



# Jasne i ciemne obłoki materii

Obecność rozproszonej materii można zauważyć gdy jest ona pobudzona do świecenia przez promieniowanie pobliskich gwiazd. Mgławice takie świecą w wąskich liniach emisyjnych (np. wodorowych, tlenowych itp.)

Rozproszona materia może także pochłaniać światło przesłaniając obiekty które są za obłokiem



# Jasne i ciemne obłoki materii



# Jasne i ciemne obłoki materii



# M42 - tam rodzą się gwiazdy

Gwiazdy powstają gdy siła samograwitacji obłoku gazowego zwycięży nad ciśnieniem. Jeśli masa obłoku jest większa od  $0.08 M_{\odot}$  to w jego centrum rozpoczynają się reakcje termojądrowe ( $4 {}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He}$ )

Duża masa pozwala na wytworzenie odpowiedniej temperatury, gęstości i ciśnienia

W obiektach o mniejszej masie nie ma stabilnych reakcji termojądrowych. Mogą one przejściowo emitować promieniowanie podczerwone innego pochodzenia:

- jowisze – sprężanie grawitacyjne
- brązowe karły – spalanie deuteru



# Plejady - młoda gromada otwarta

Gromady otwarte to skupiska gwiazd powstałych z tego samego obłoku

Zawierają 100 - 1000 gwiazd.

Są obiektami młodymi

Plejady leżą w odległości 420 lat świetlnych, wiek ~80 mln lat!

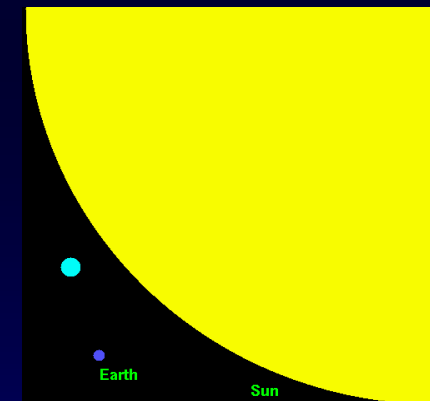


# Hiady i Plejady w Byku (Tau)

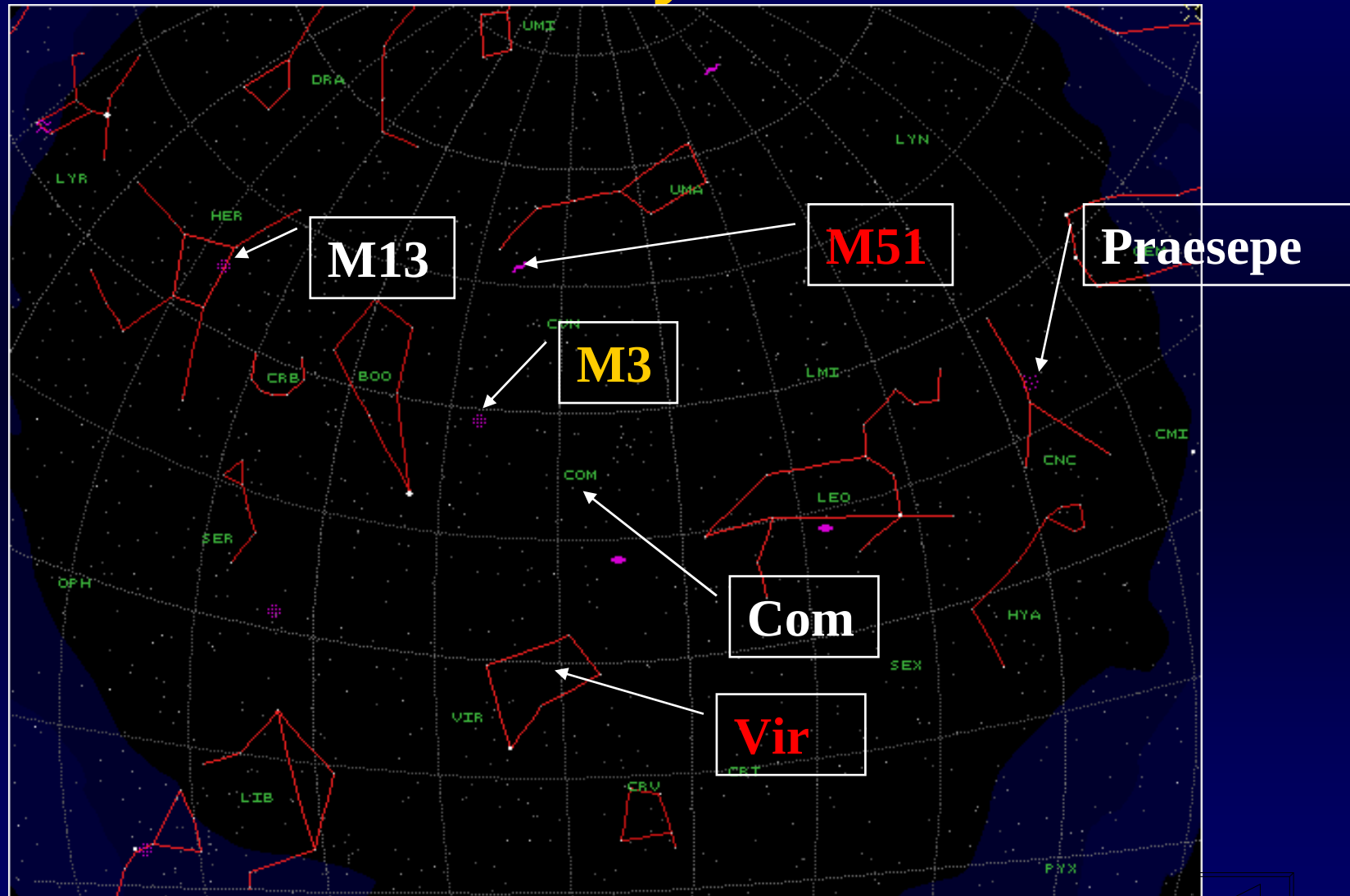


# Rozmiary gwiazd

- Rozmiar gwiazdy zależy głównie od jej wieku,
- Po powstaniu gwiazdy spalają wodór i ich rozmiary są podobne do rozmiarów Słońca
- Gdy wodór się wyczerpie, wewnątrz stygnie, spada ciśnienie i gwiazda zapada się.
- Przy dostatecznej masie zaczyna zachodzić spalanie cięższych pierwiastków ( np.:  $3\ ^4\text{He} \rightarrow\ ^{12}\text{C}$ ) W tej fazie gwiazdy mają olbrzymie rozmiary (Olbrzymy)
- Jeżeli gwiazda ma za małą masę aby rozpalić kolejne reakcje to obiekt taki kurczy się do niewielkich rozmiarów. Zwykle fazę kurczenia poprzedza odrzucenie części zewnętrznych. Zostaje gorący obiekt wielkości Ziemi który nazywamy Białym Karłem (np.: Syriusz B)
- Tempo ewolucji gwiazd zależy od ich masy,
- duża masa  $\rightarrow$  duża jasność  $\rightarrow$  wysokie tempo reakcji  $\rightarrow$  wysoka temperatura  $\rightarrow$  niebieska barwa  $\rightarrow$  szybka ewolucja

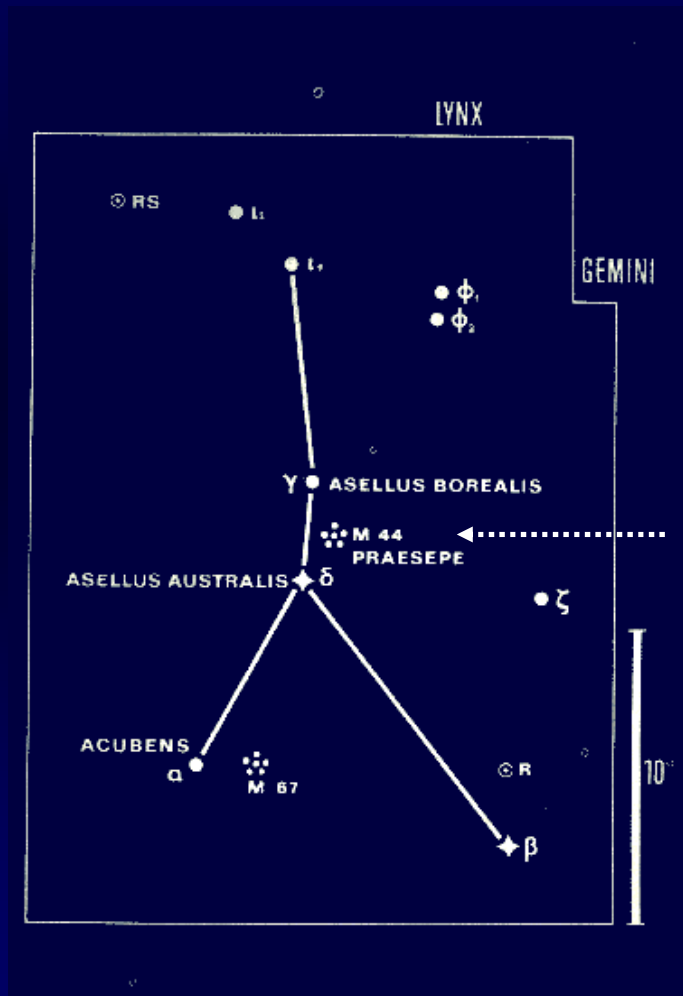


# Gwiazdozbiory wiosenne



w. Ogióza, Astronomia, wykład 5

# Praesepe w Raku (Cnc)



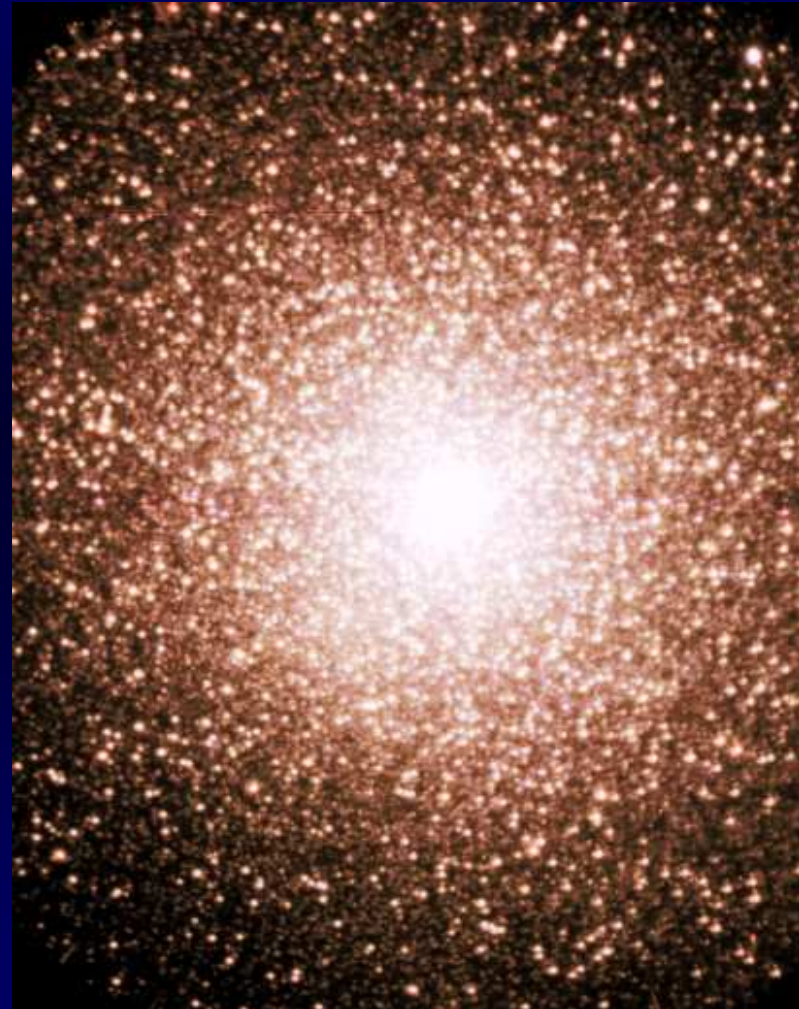
# Gromady kuliste

Gromady kuliste zawierają  $10^5$ - $10^6$  gwiazd obiegających wspólny środek masy. Średnice 6-70 pc.

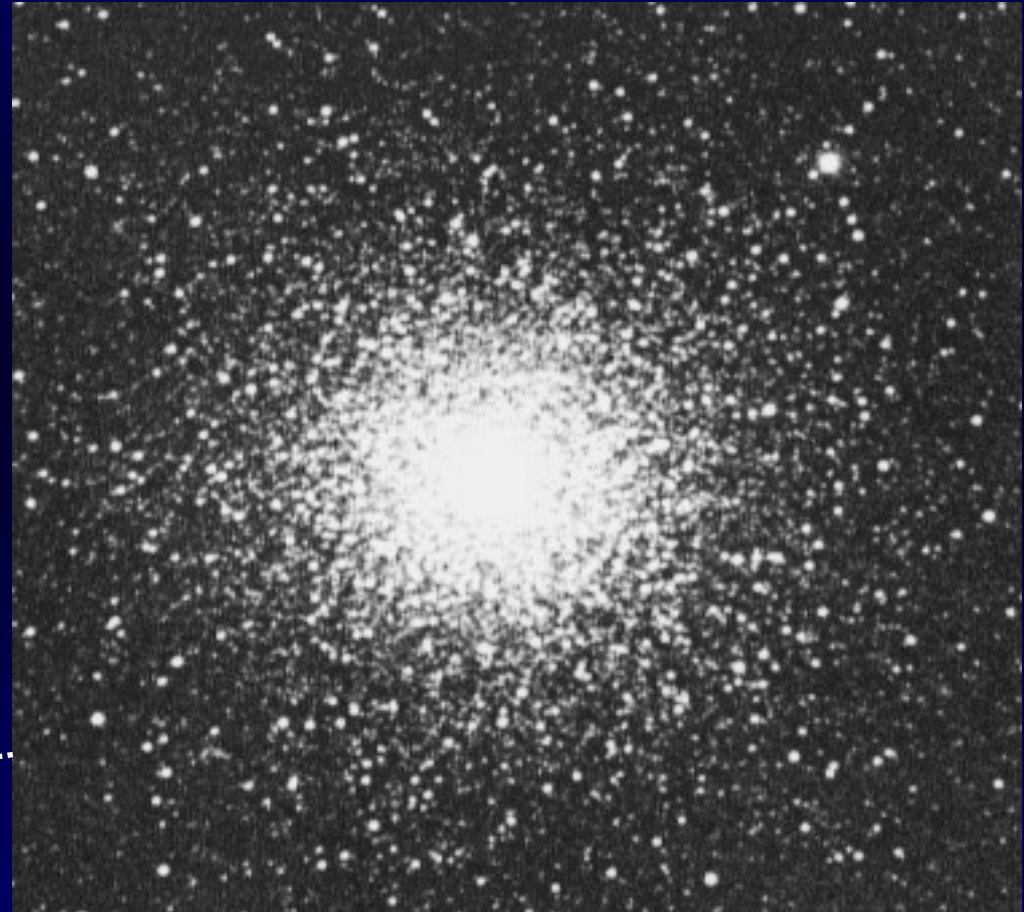
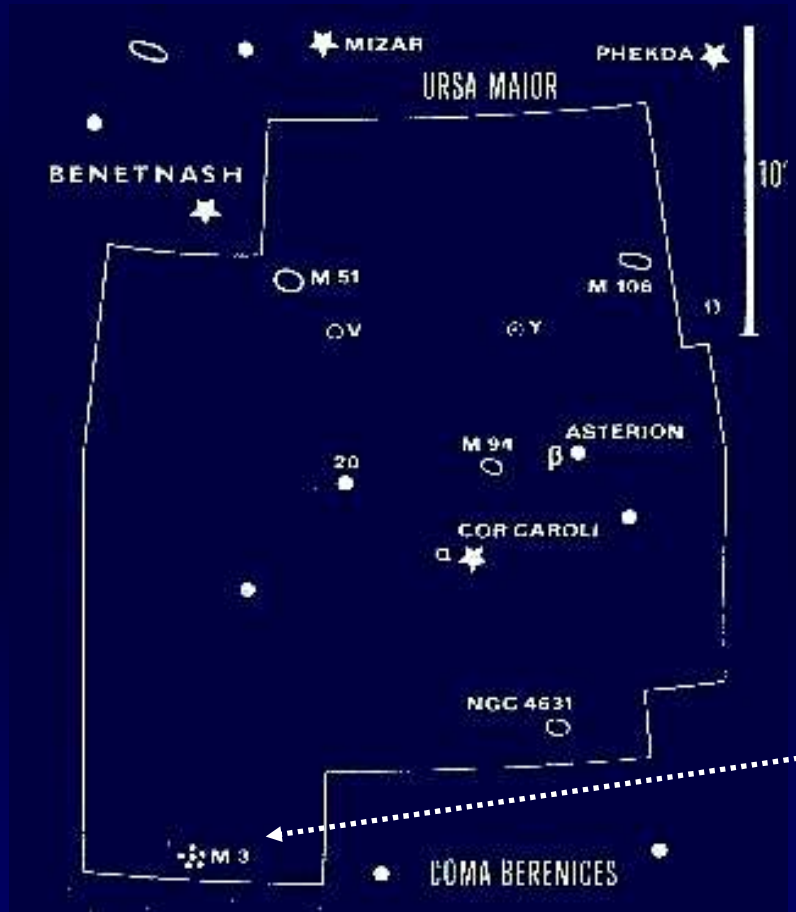
Gromady te są stare ( $\sim 10$  mld lat) a gwiazdy zbudowane są z materii pierwotnej (79% H i 21%He)

Słońce należy do populacji gwiazd młodszych i zawiera ciężkie pierwiastki wyprodukowane w starych gwiazdach (C,O,N,Fe itp.)

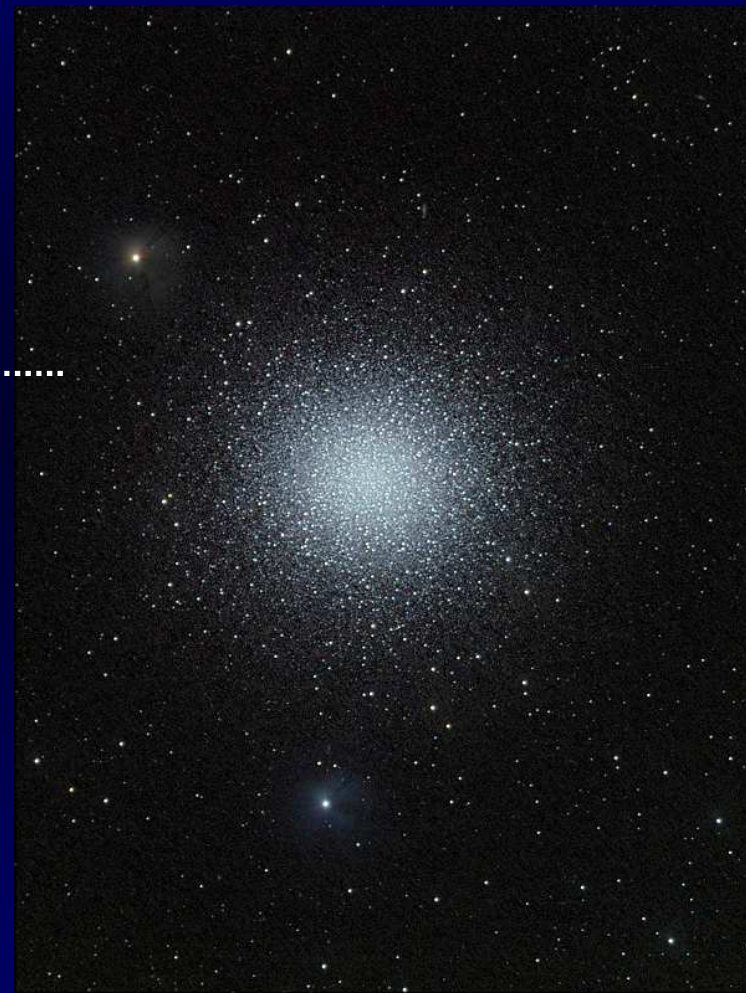
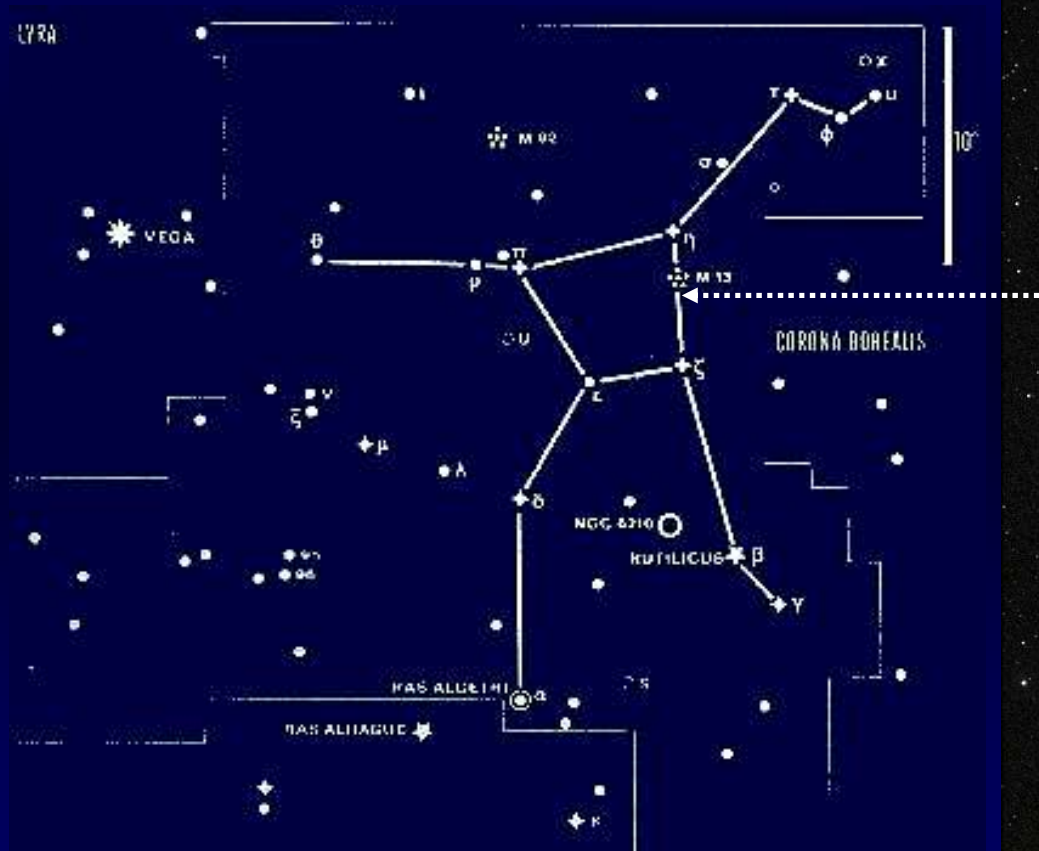
Odległość do M13 wynosi 21000 lat świetlnych



# M3 w Psach Gończych (CVn)



# M13 w Herkulesie (Her)



# M51 - Galaktyka spiralna (CVn)

Galaktyki spiralne zawierają  $10^{11}$ - $10^{12}$  gwiazd.

Leżą w odległościach od 0.02 do 10 mld lat świetlnych.

Charakterystyczne spiralne ramiona wychodzą z żółtego jądra.

W skład ramion wchodzi młode gwiazdy (niebieskie), oraz obłoki gazowe (czerwone) i pyłowe (ciemne włókna).

Zagęszczenie materii w ramionach ułatwia proces powstawania gwiazd



# Galaktyki spiralne



# Sombbrero w Pannie (Vir)



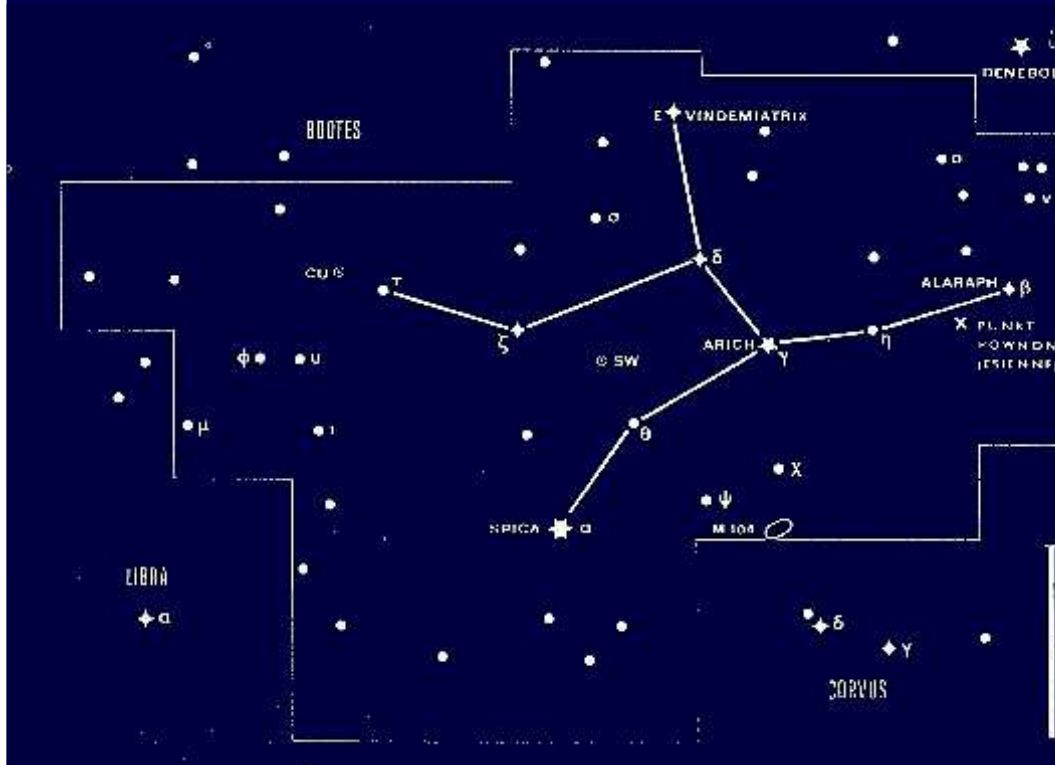
# Galaktyki spiralne



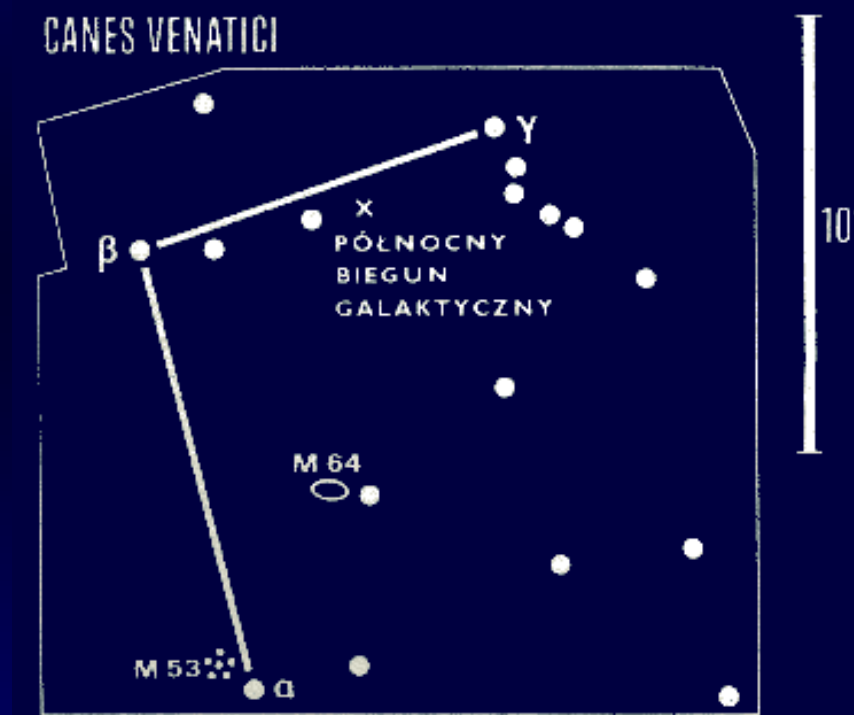
# Galaktyki spiralne zwykłe i z poprzeczką



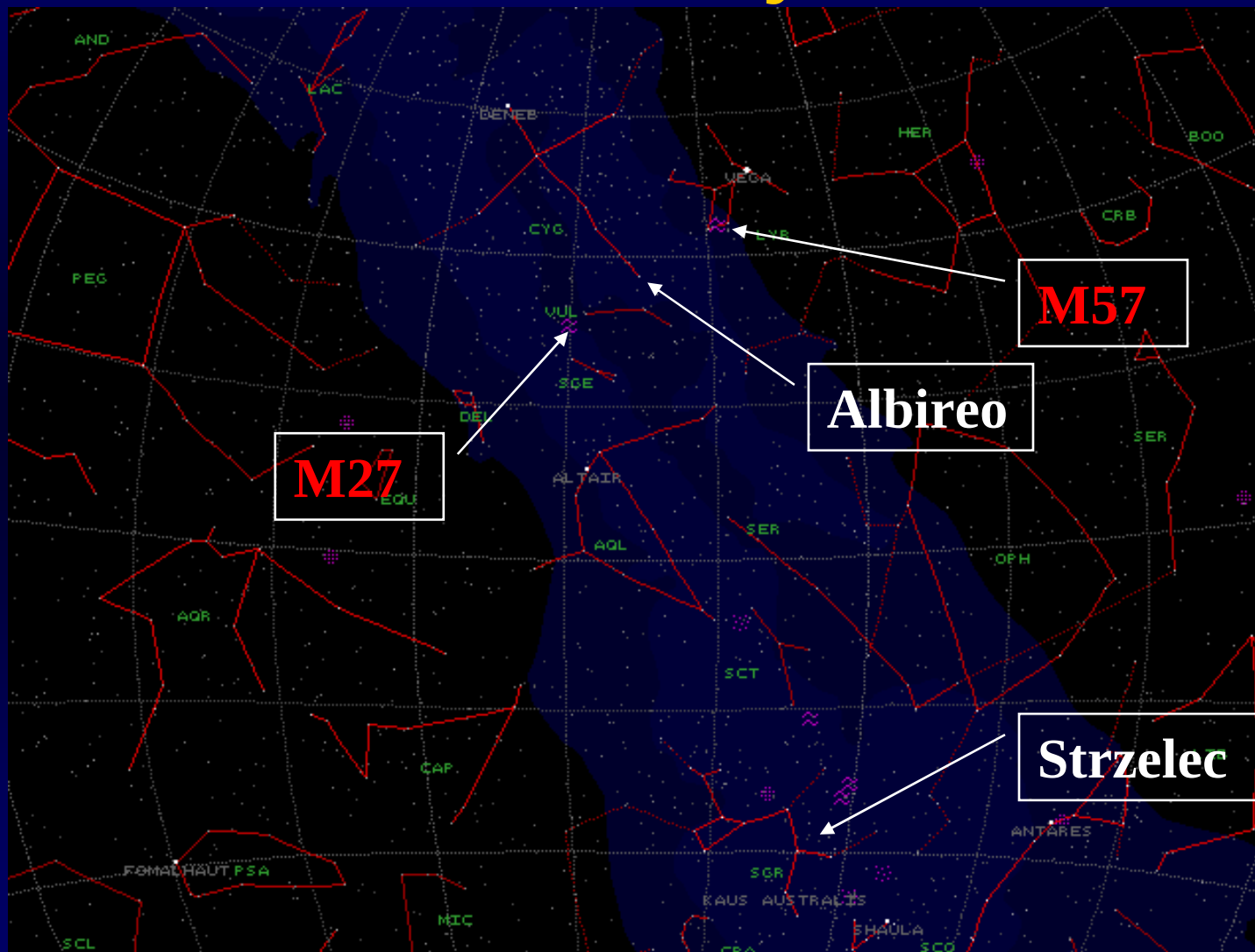
# Gromada galaktyk w Pannie (Vir)



# Gromada galaktyk w Warkoczu Bereniki (Com)



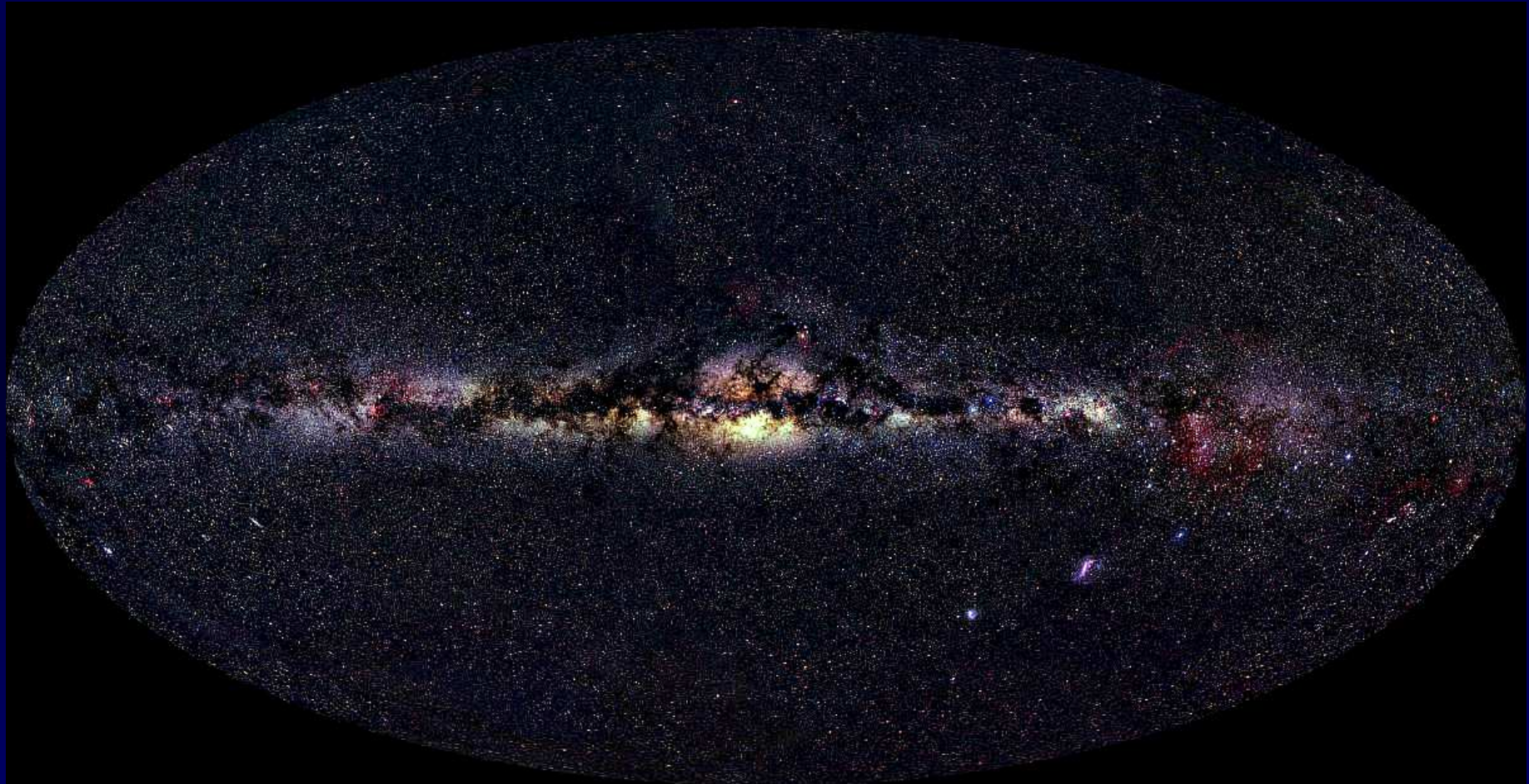
# Gwiazdozbiory letnie



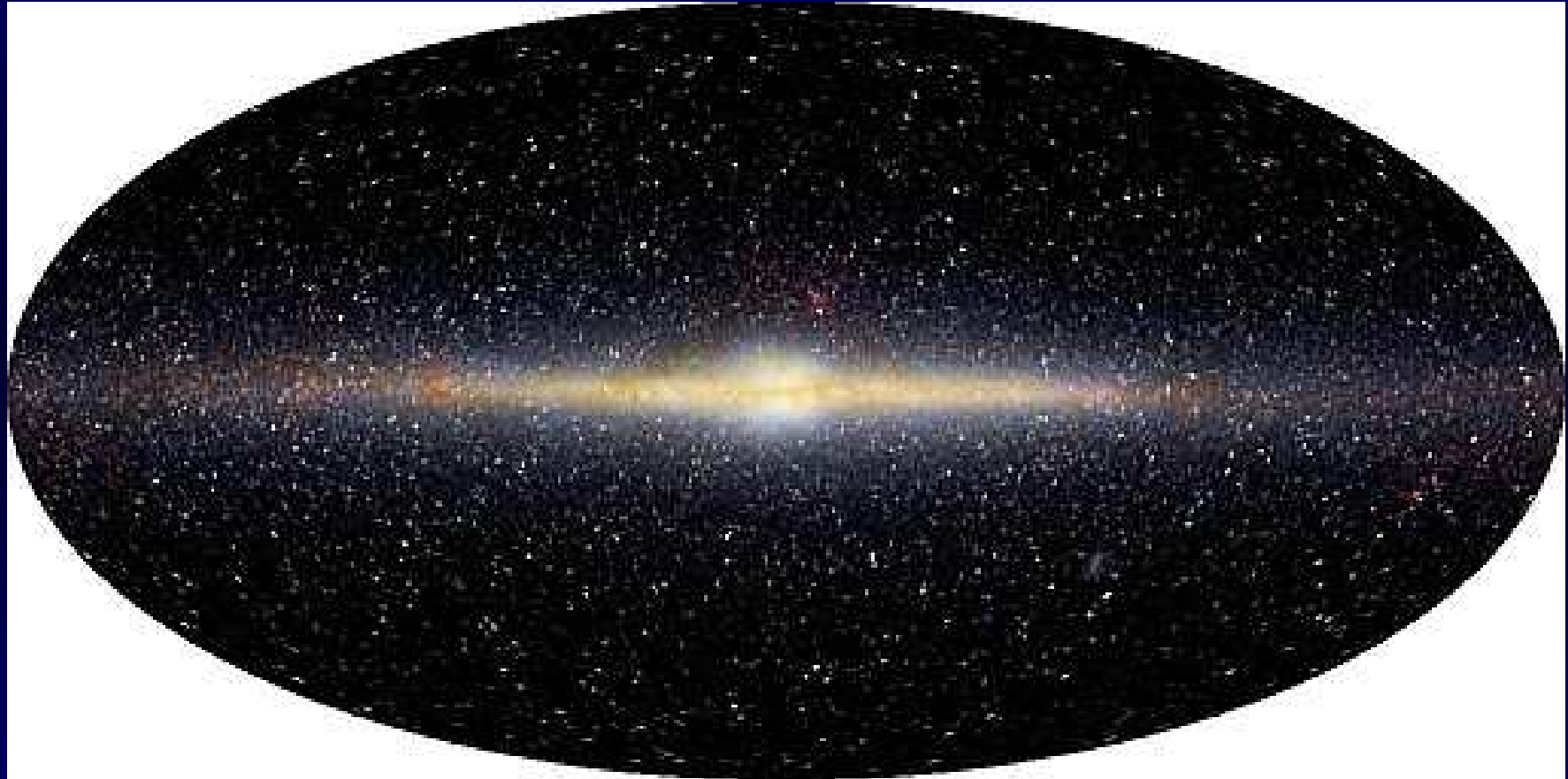
# Centrum Galaktyki w Strzelcu (Sgr)



# Centrum Drogi Mlecznej w Strzelcu (Sgr)

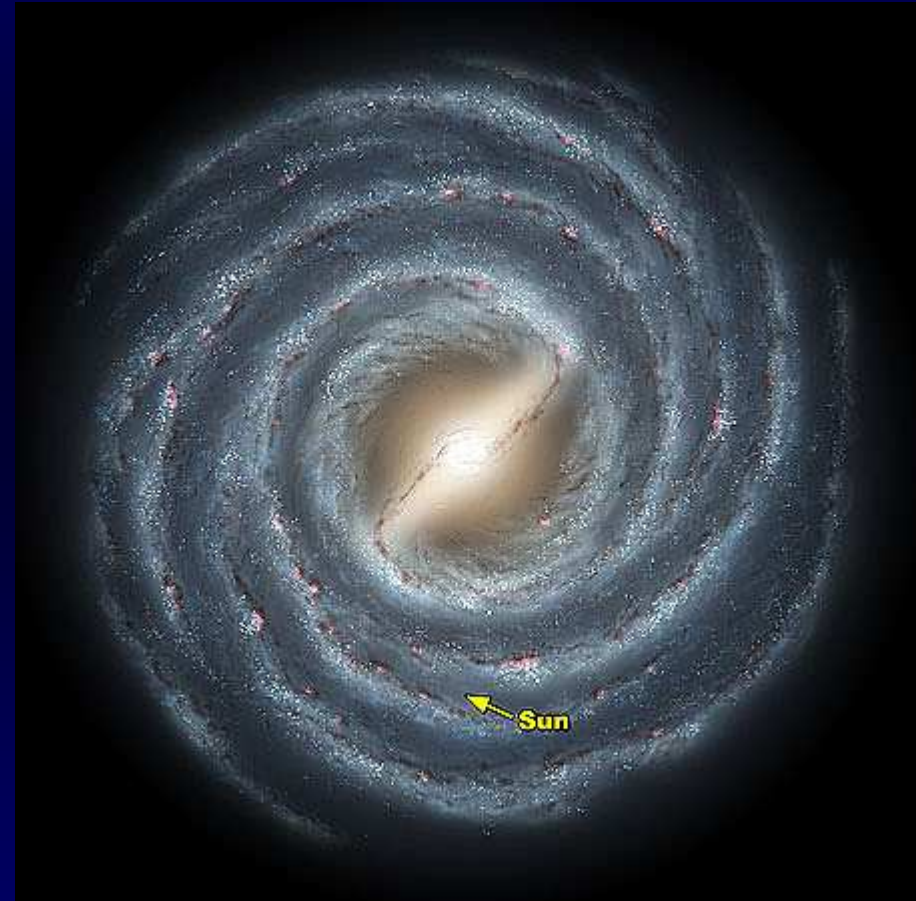


# Fotografia w podczerwieni

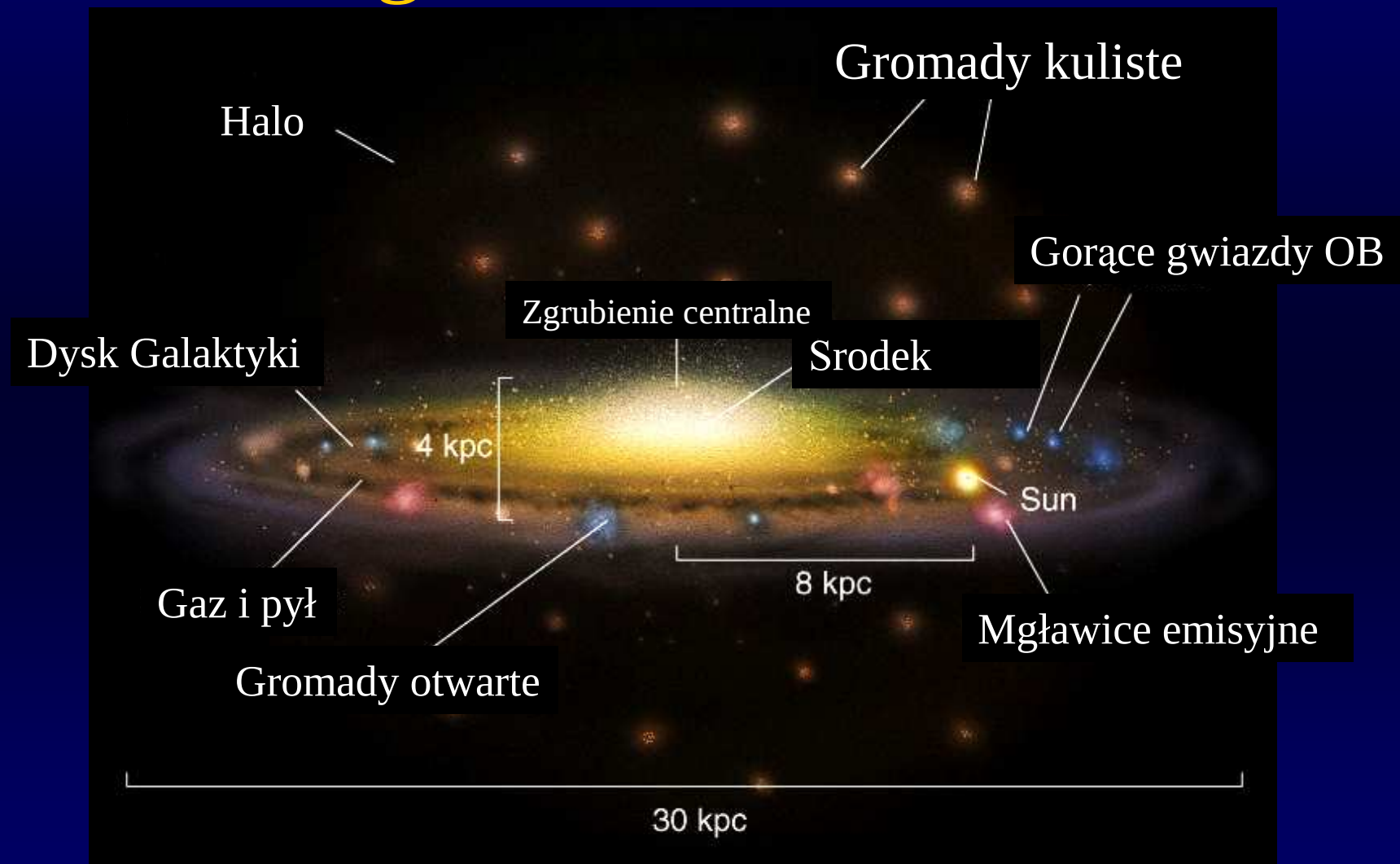


# Droga Mleczna z góry

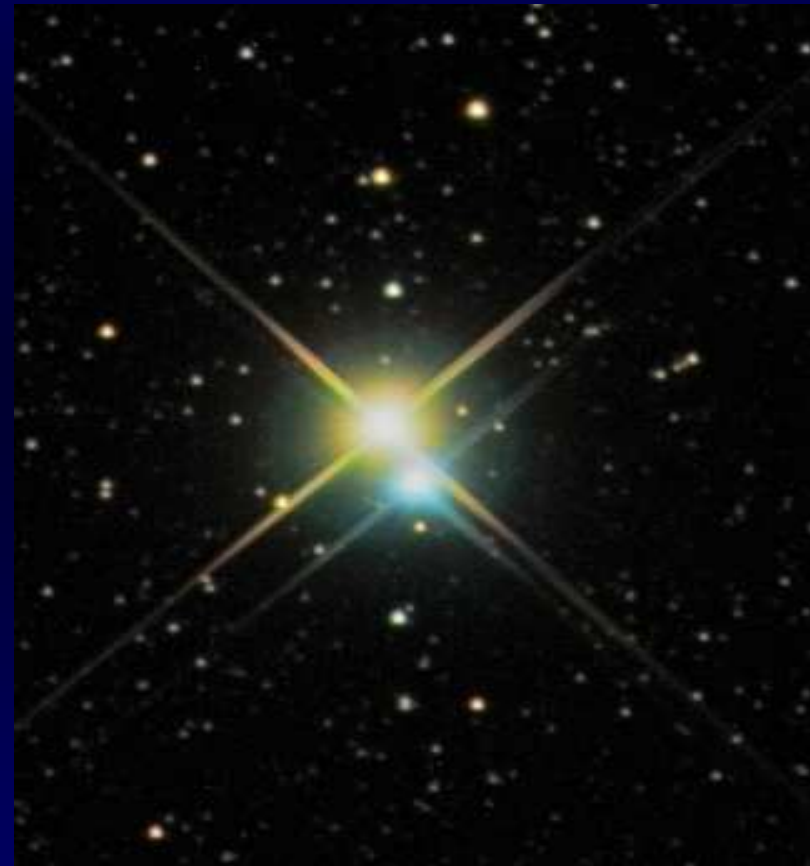
- Droga Mleczna jest jedną z miliardów znanych galaktyk spiralnych.
- Zawiera około 300 miliardów gwiazd
- Można wyróżnić jądro, poprzeczkę oraz ramiona spiralne
- Słońce należy do jednego z ramion i leży z dala od centrum Galaktyki
- Średnica naszej Galaktyki wynosi 30000kpc
- Wiek oceniamy na 10-12 mld lat



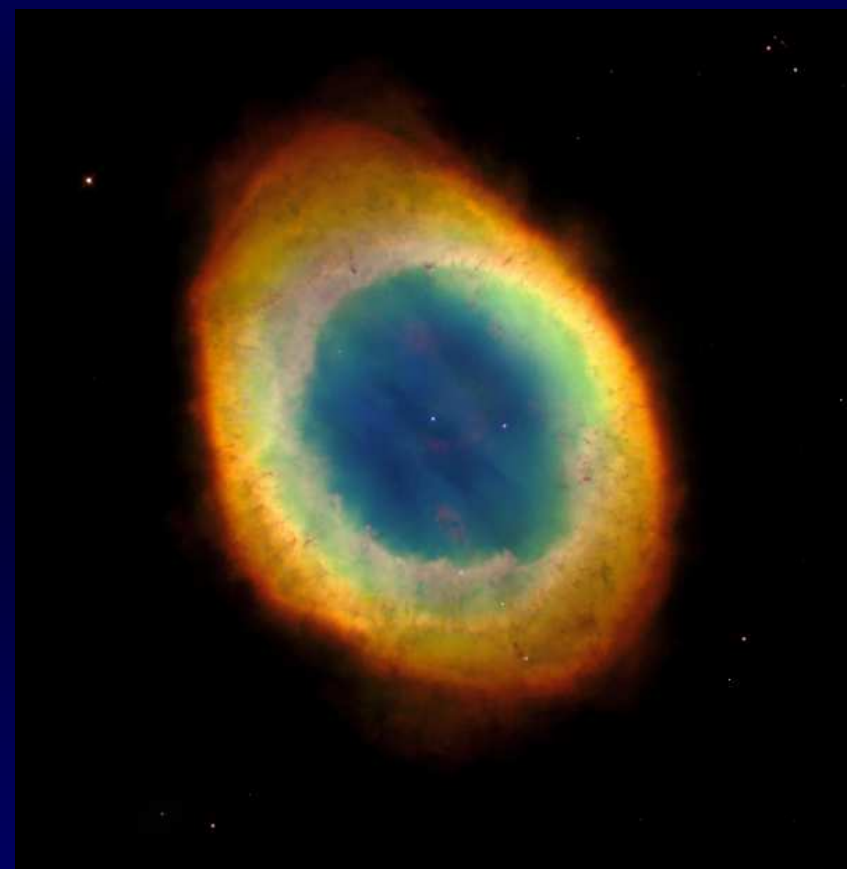
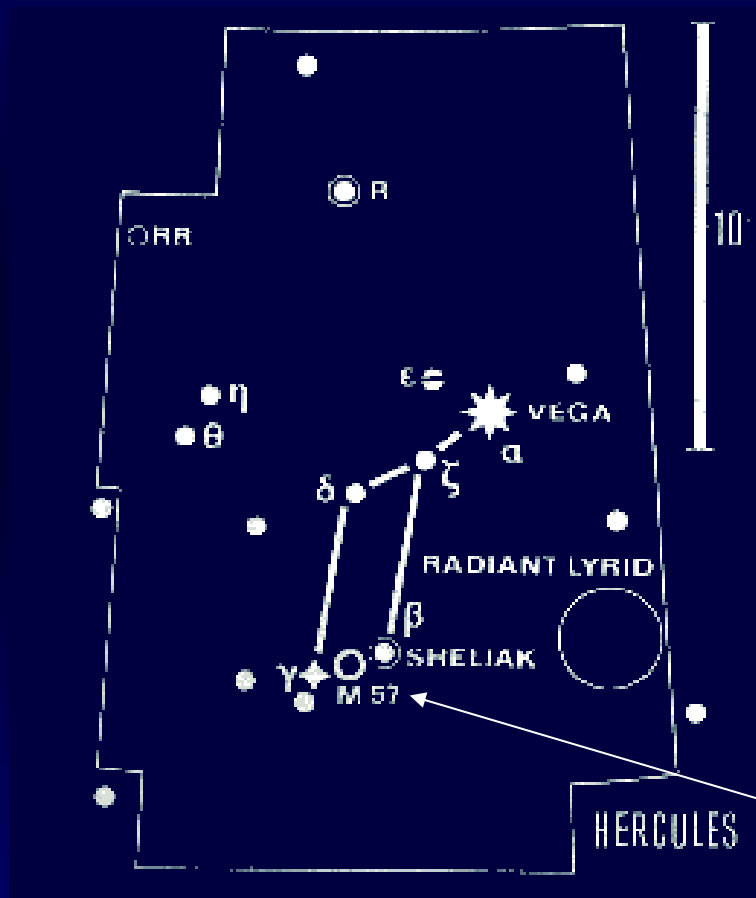
# Droga Mleczna z boku



# Albireo – beta Łabędzia (Cyg)

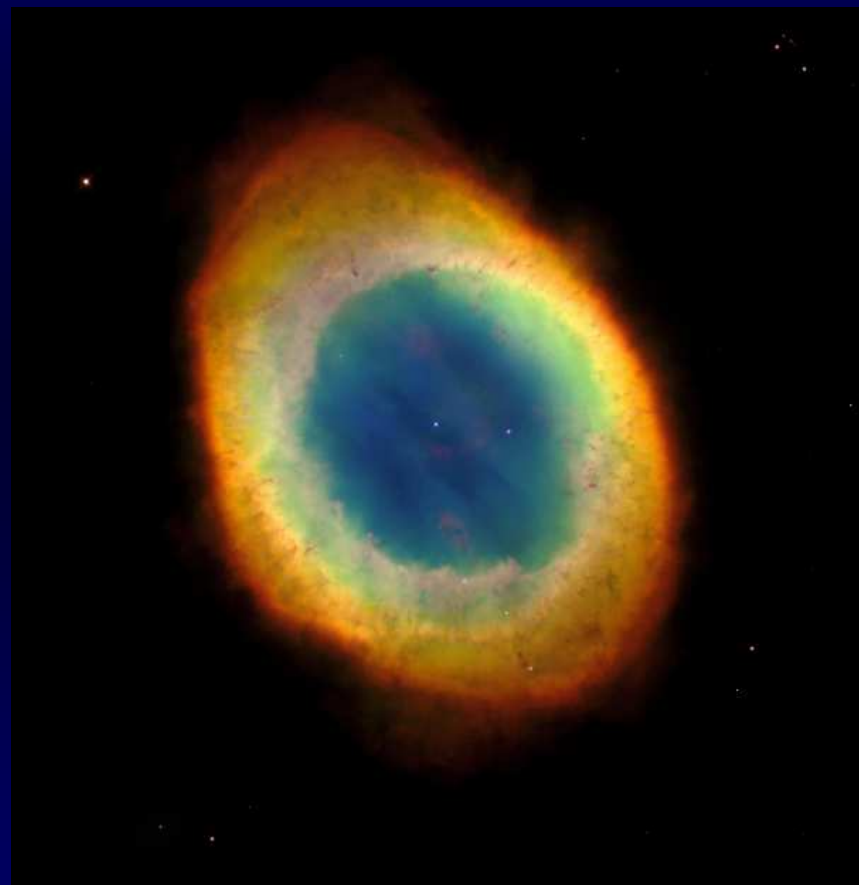


# M57 mgławica planetarna w Lutni (Lyr)



# M57 mgławica planetarna w Lutni (Lyr)

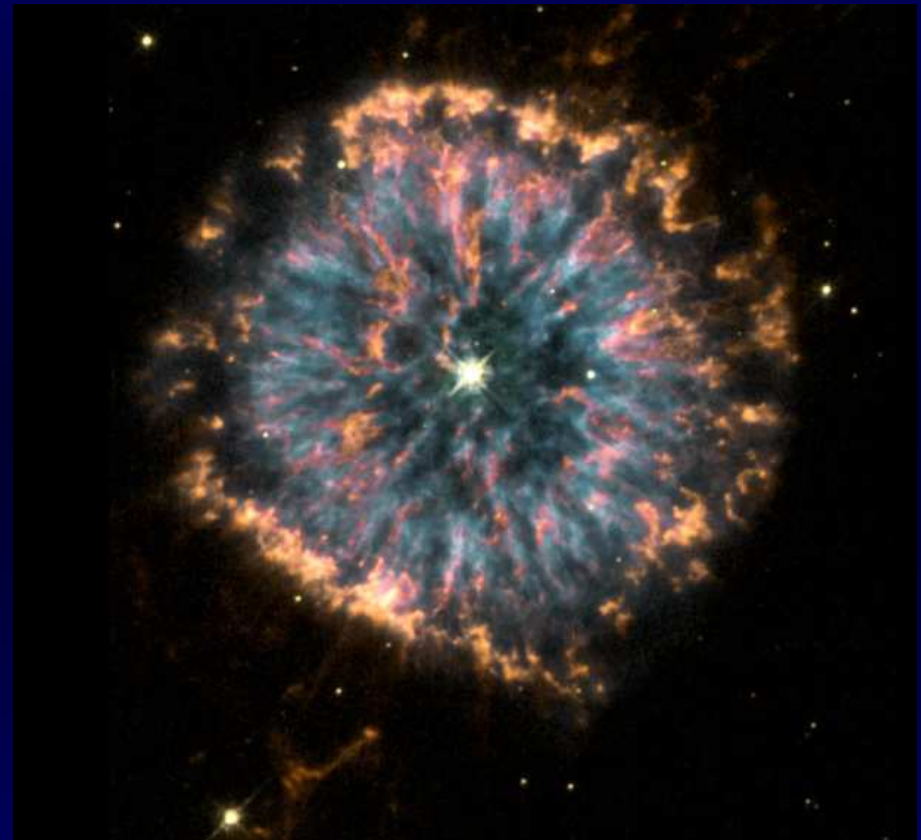
- Mgławice planetarne nie mają nic wspólnego z tworzeniem się planet
- Powstają w wyniku odrzucenia zewnętrznych warstw gwiazdy.
- Zostaje po nich obiekt, który był bardzo zwartym i gorącym jądrem gwiazdy (Białe karły).
- MP rozwiewają się po około 1000 lat
- Prędkość ekspansji może sięgać nawet 10-50 km/s



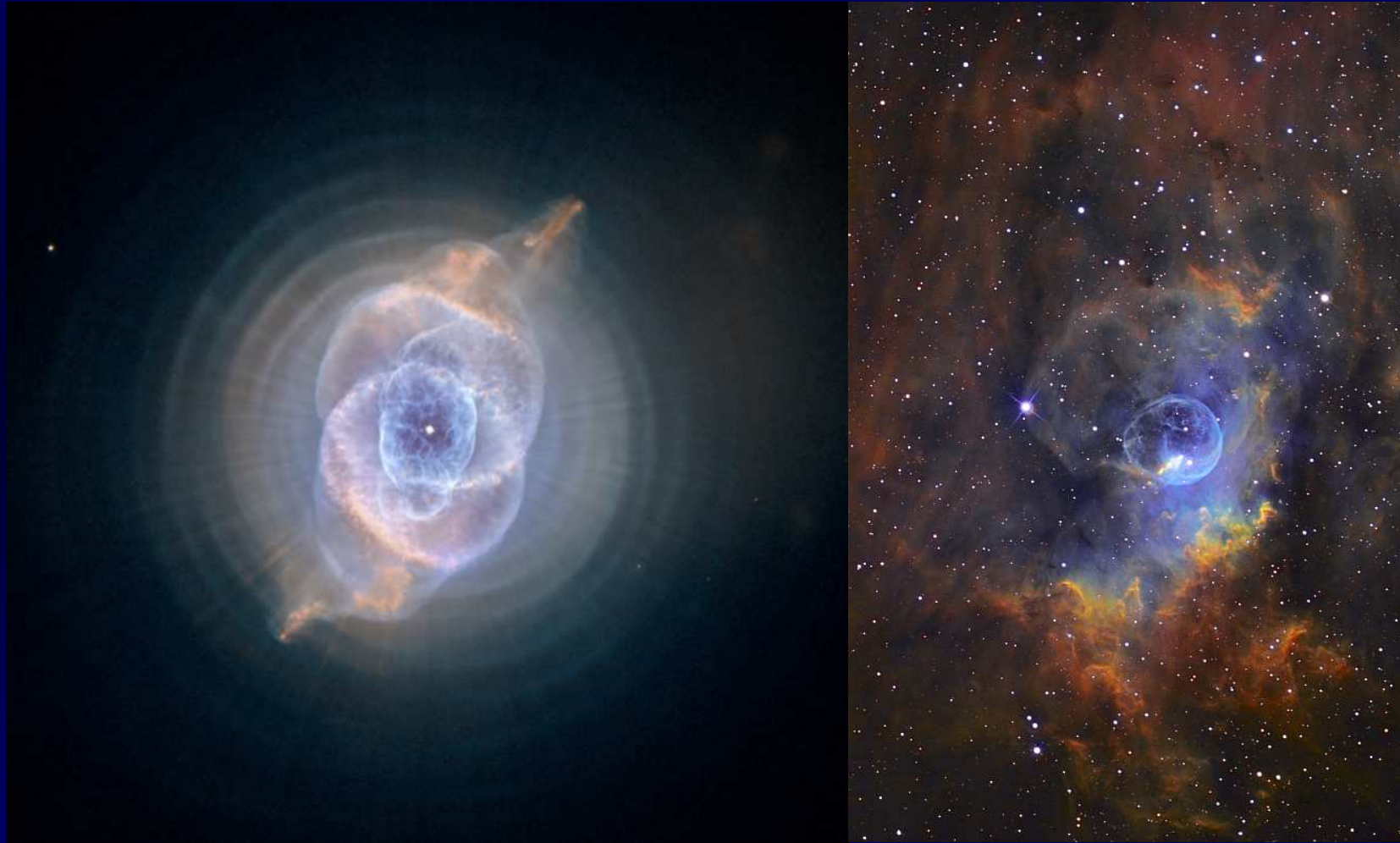
# M27 mgławica planetarna w Lisie (Vul)



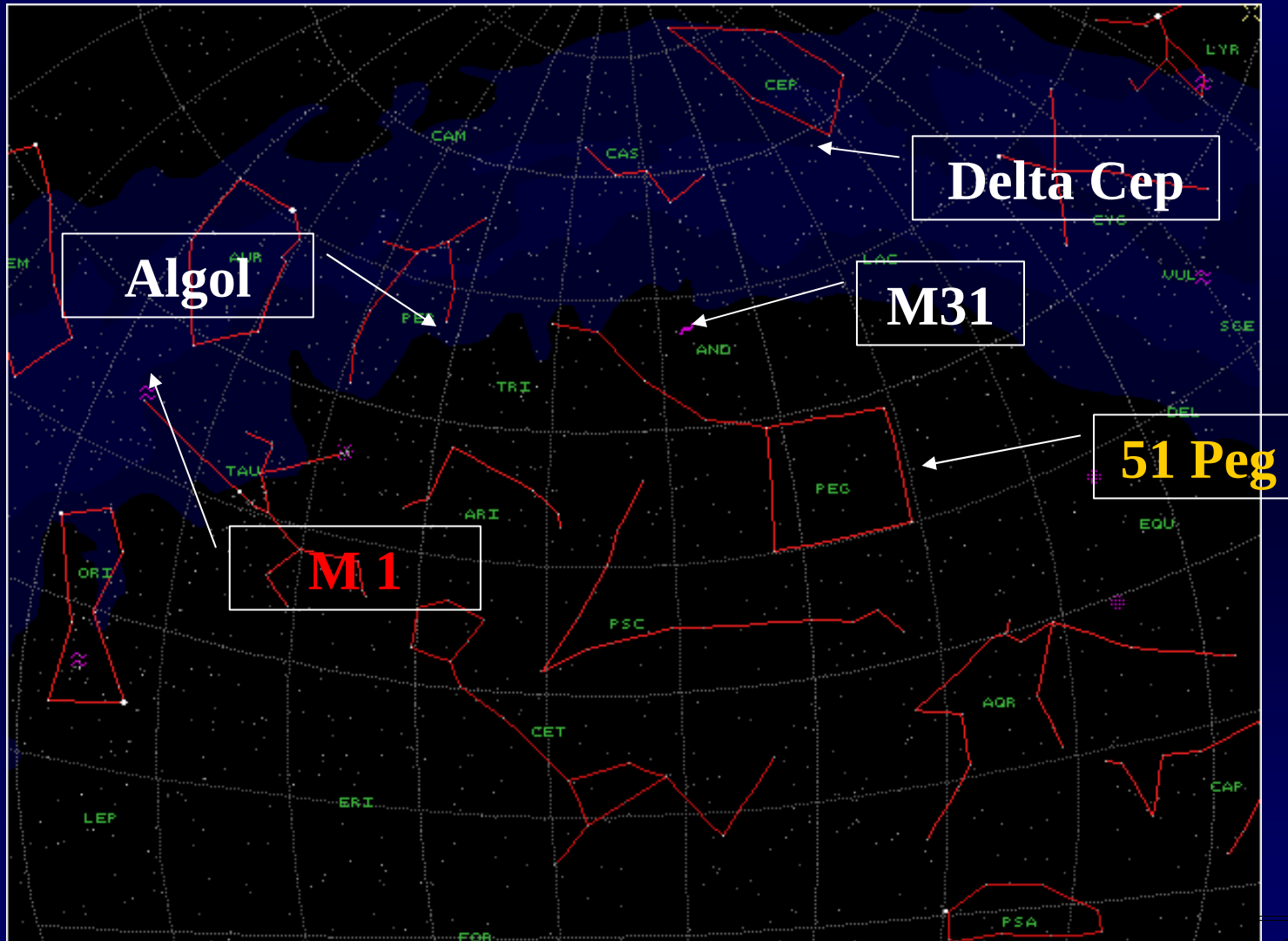
# Mgławice planetarne



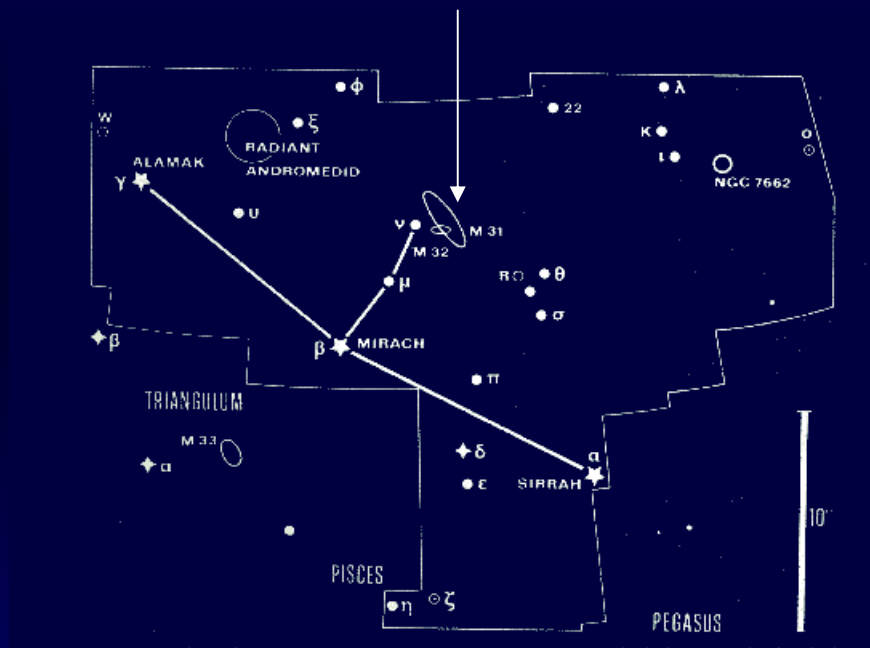
# Mgławice planetarne



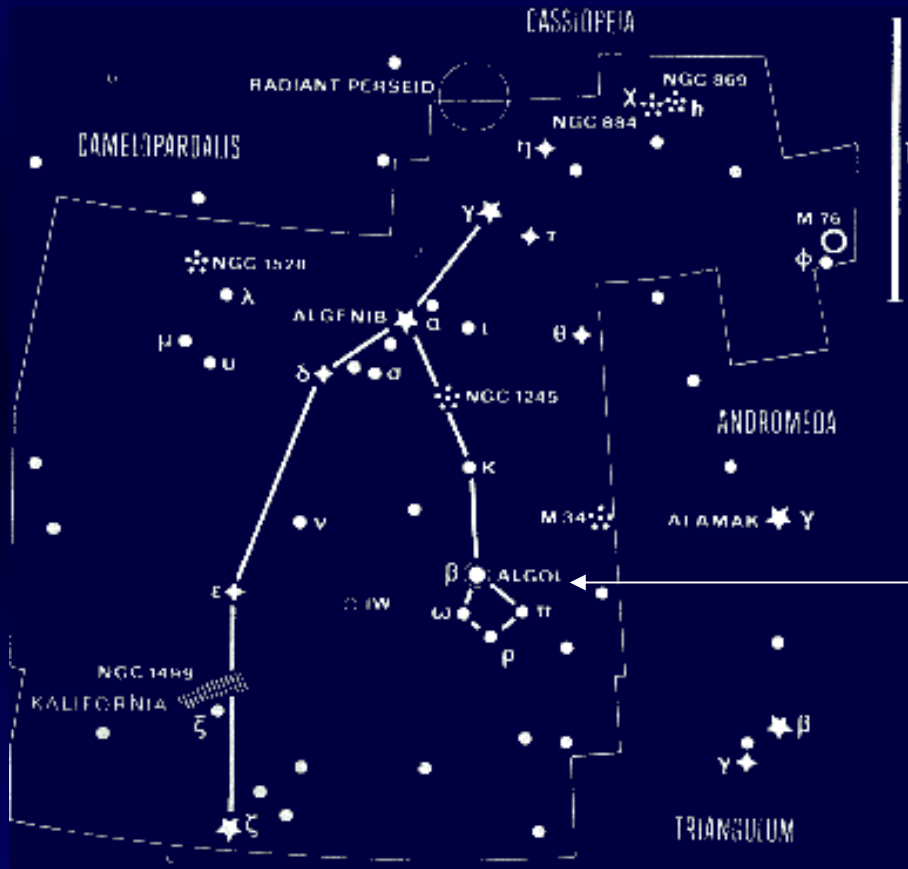
# Gwiazdozbiory jesienne



# Andromeda, galaktyka M31



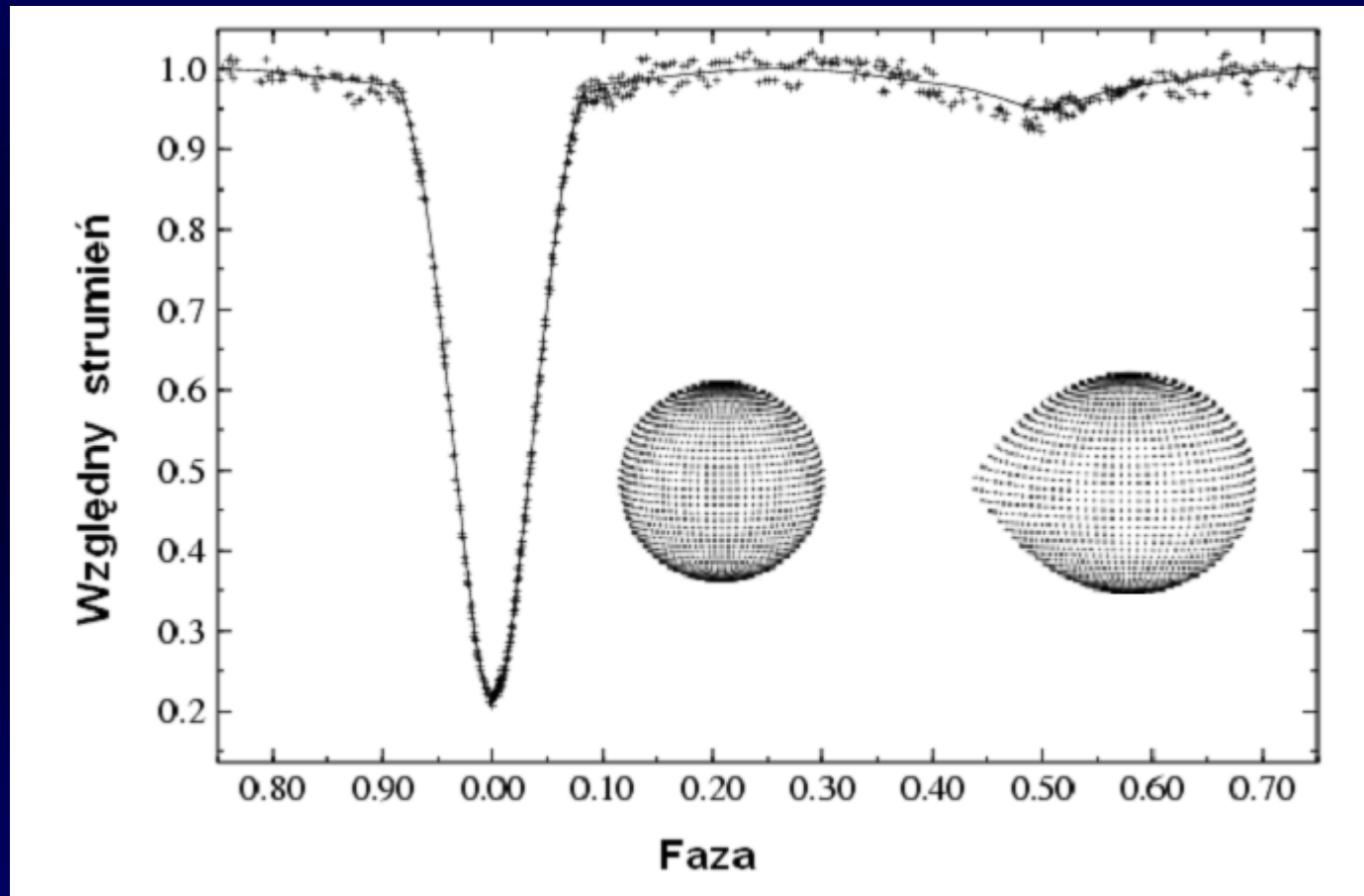
# Algol – Beta Perseusza (Per)



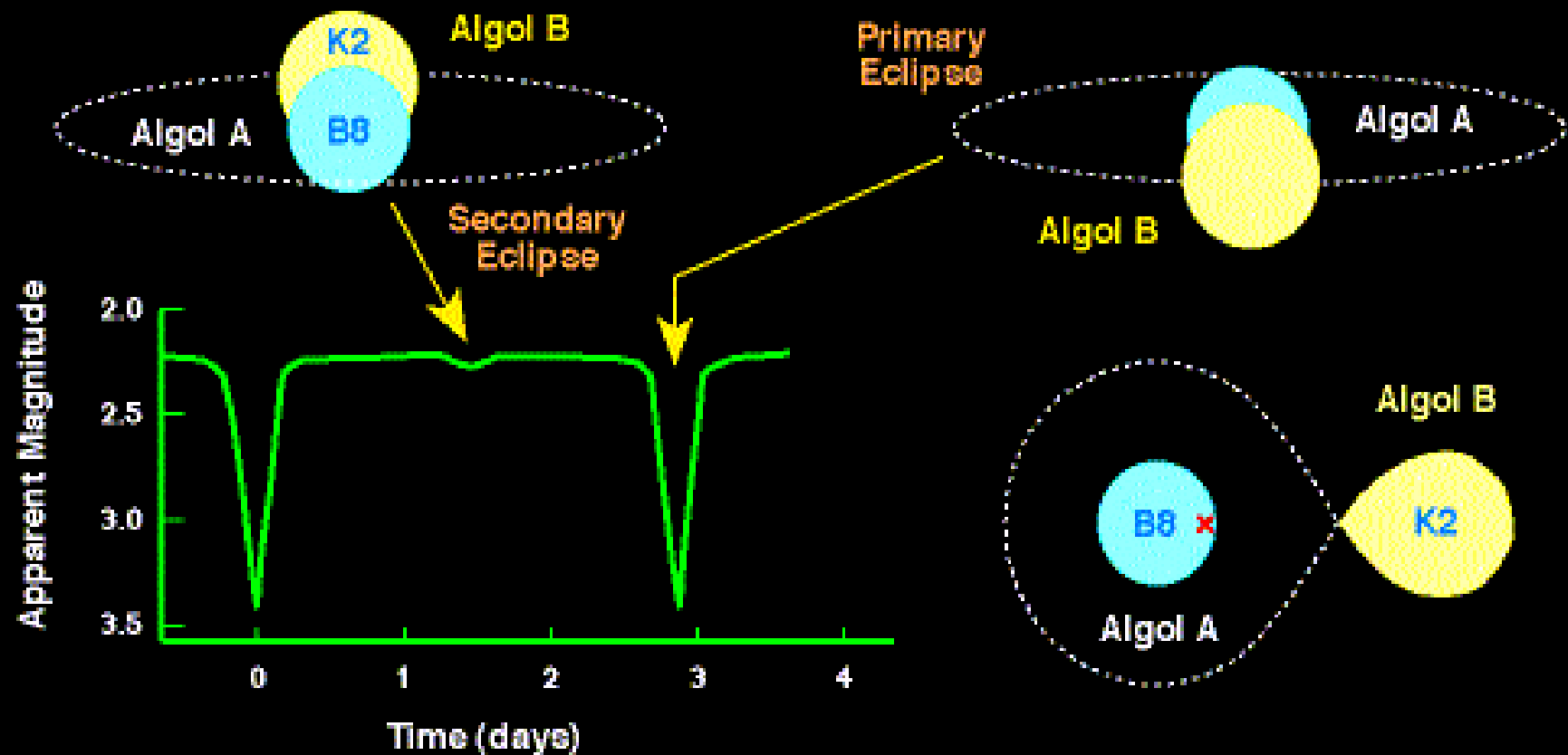
Gwiazdy zaćmieniowe są układami podwójnymi których płaszczyzna orbity jest prawie równoległa do linii patrzenia.

W trakcie obiegu składniki przesłaniają się wzajemnie, co obserwujemy jako rytmiczne spadki jasności całego układu

# Gwiazdy zmienne zaćmieniowe

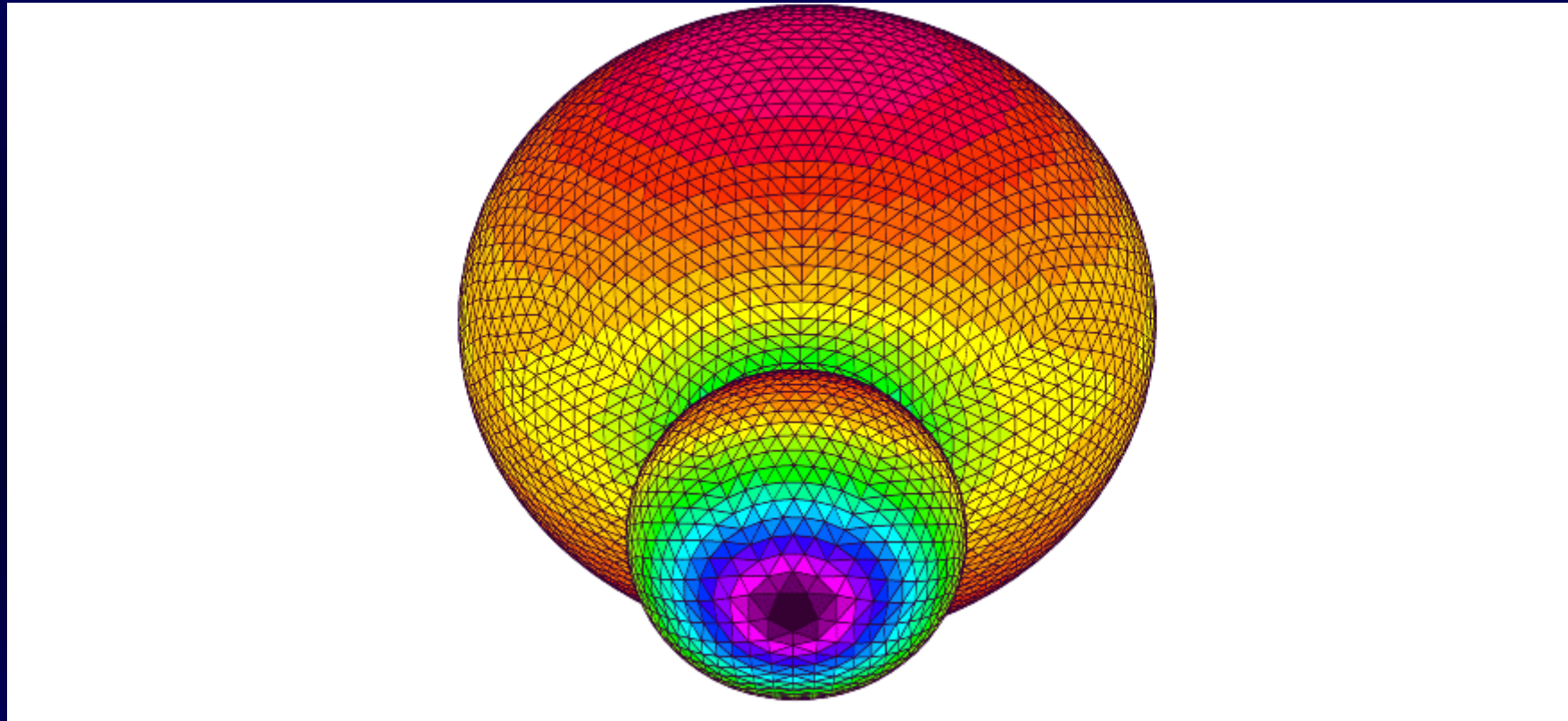


# Gwiazdy zmienne zaćmieniowe

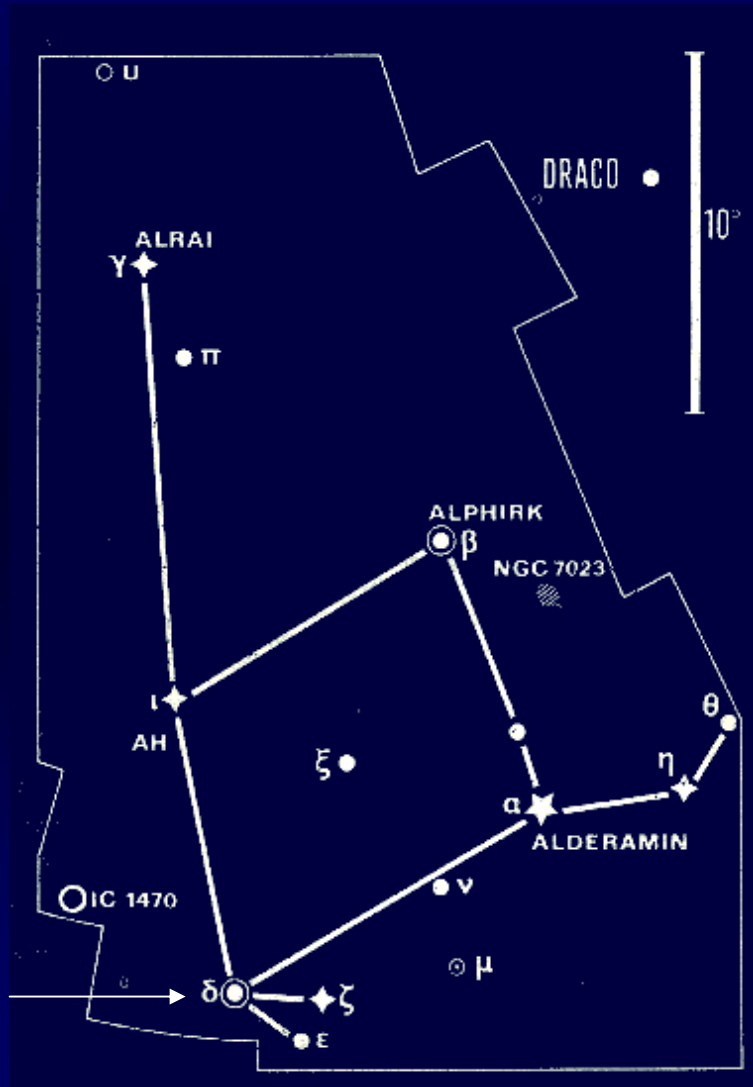


The Algol System

# Gwiazdy zmienne zaćmieniowe



# Delta w Cefeuszu (Cep)



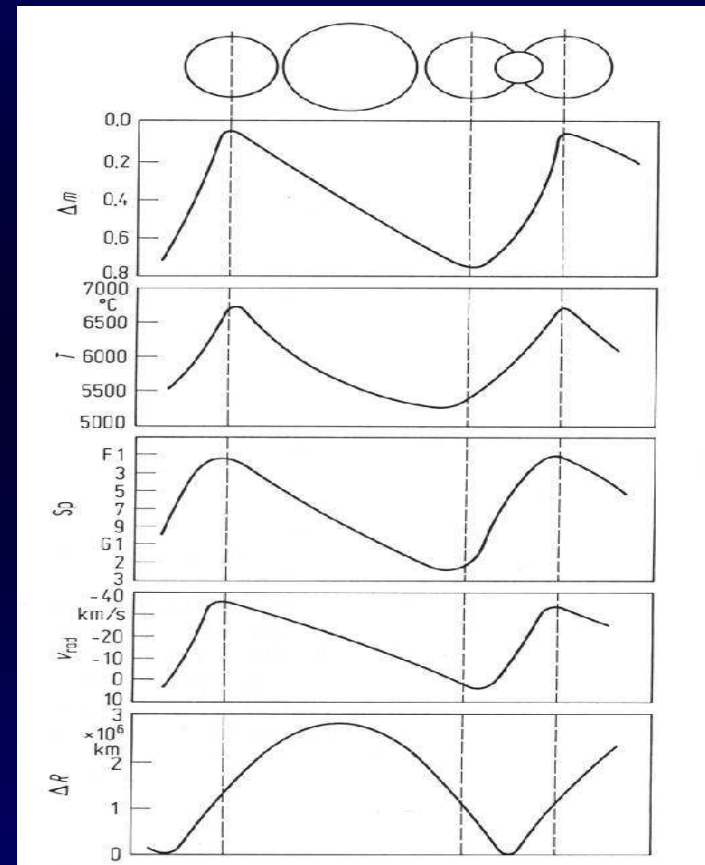
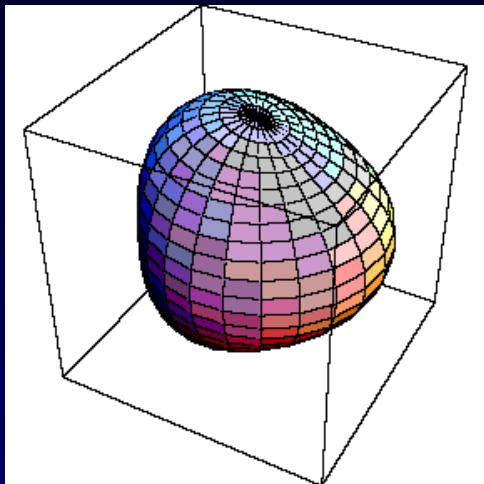
Niektóre gwiazdy oscylują wokół konfiguracji równowagi zmieniając cyklicznie swoje parametry (jasność, temperaturę, promień itp.)

Pojedyncze pulsacje radialne zaobserwowano dla gwiazd typu cefeid (od delta Cep)

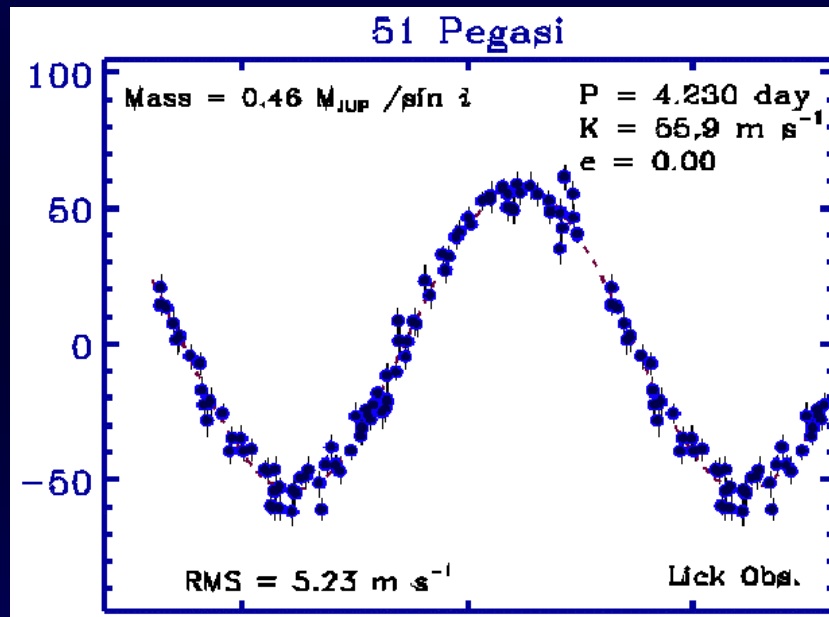
Badanie pulsacji pozwala wyznaczać odległości do gwiazd (relacja okres – jasność absolutna) oraz badać ich wnętrza (astrosejsmologia)

# Gwiazdy pulsujące

Niektóre gwiazdy pulsują na wiele sposobów jednocześnie



# Gwiazda 51 w Pegazie (Peg)



Planeta odkryta przez precyzyjny pomiar prędkości macierzystej gwiazdy 51 Peg.

Gwiazda i planeta okrążają wspólny środek masy zatem gwiazda na przemian zbliża się i oddala od Ziemi

# Planety poza układem słonecznym

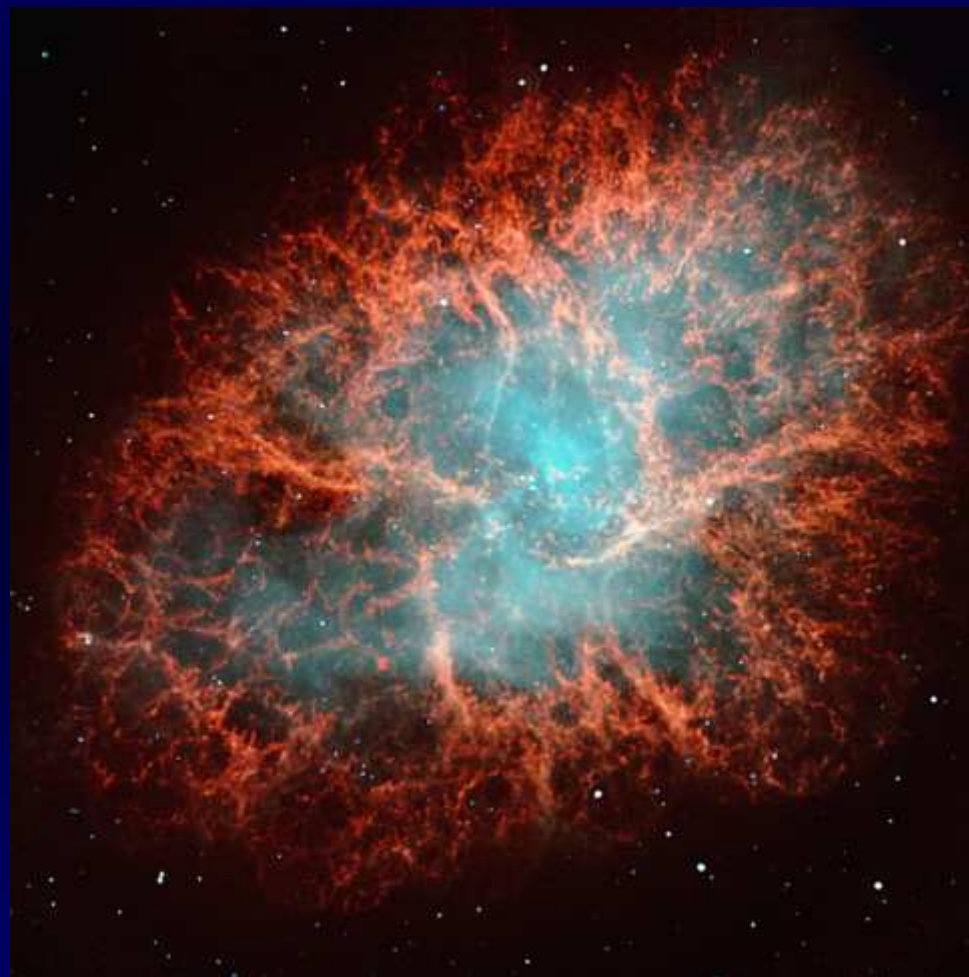
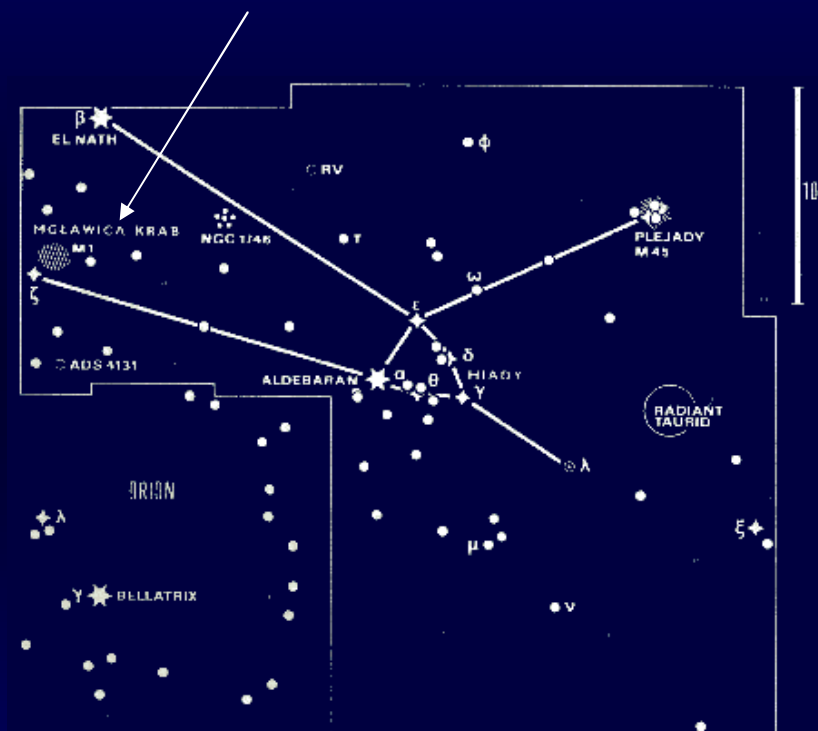
Pierwszą planetę poza naszym układem odkrył Polak (Aleksander Wolszczan).

Obecnie znamy ponad 150 planet poza Układem Słonecznym.

Postęp techniki obserwacyjnej pozwala na lawinowy wzrost ilości odkrywanych planet.

Dotychczasowe badania orbit planet wykazują wielką różnorodność ich parametrów (mas, rozmiarów i kształtów orbit itp.)

# M1 Mgławica Krab w Byku (Tau)

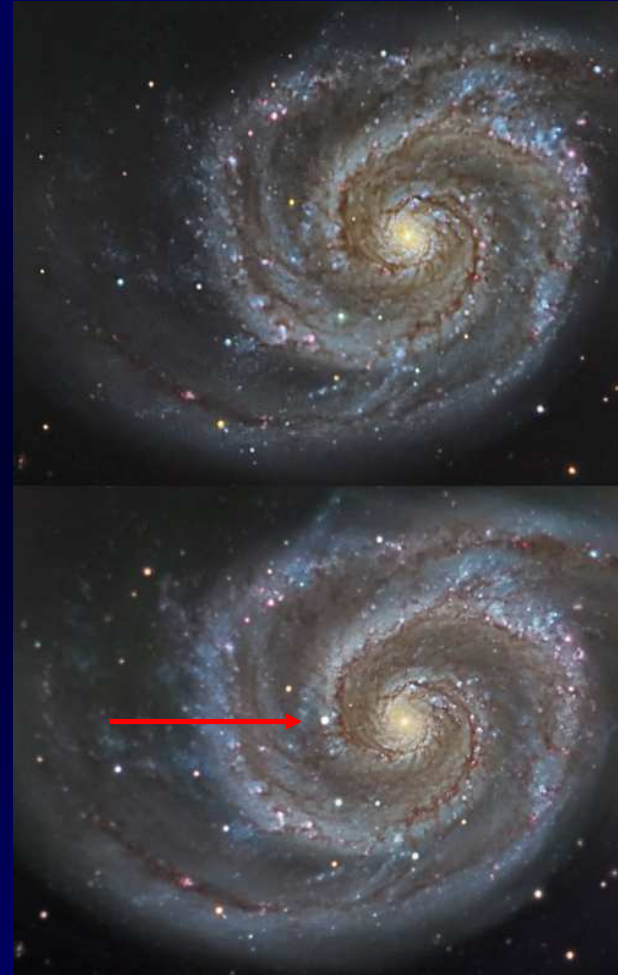


# Supernowe – wybuchy gwiazd

Najbardziej masywne gwiazdy są w stanie spalać coraz cięższe pierwiastki (od C do Fe)

Spalanie Fe zachodzi bardzo szybko i gwałtownie rozsadzając gwiazdę w wybuchu tworząc Supernową

Po ostygnięciu zostaje rozproszona materia z gwiazdy (wzbogacenie otoczenia o ciężkie pierwiastki) i gwiazda neutronowa lub Czarna Dziura



# Pulsary

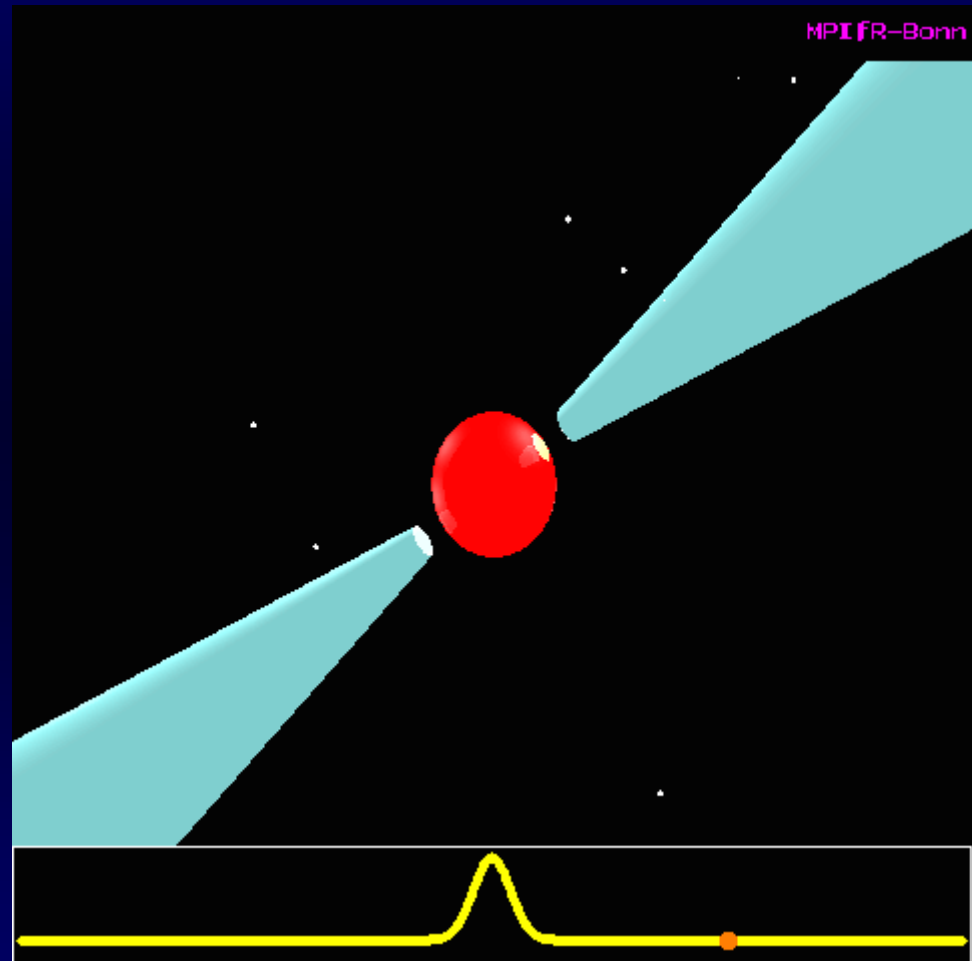
Pulsary to materia tak gęsta, że jądra atomowe i elektrony zlały się w jeden obiekt – gwiazdę neutronową.

Rozmiary:  $\sim 10$  km

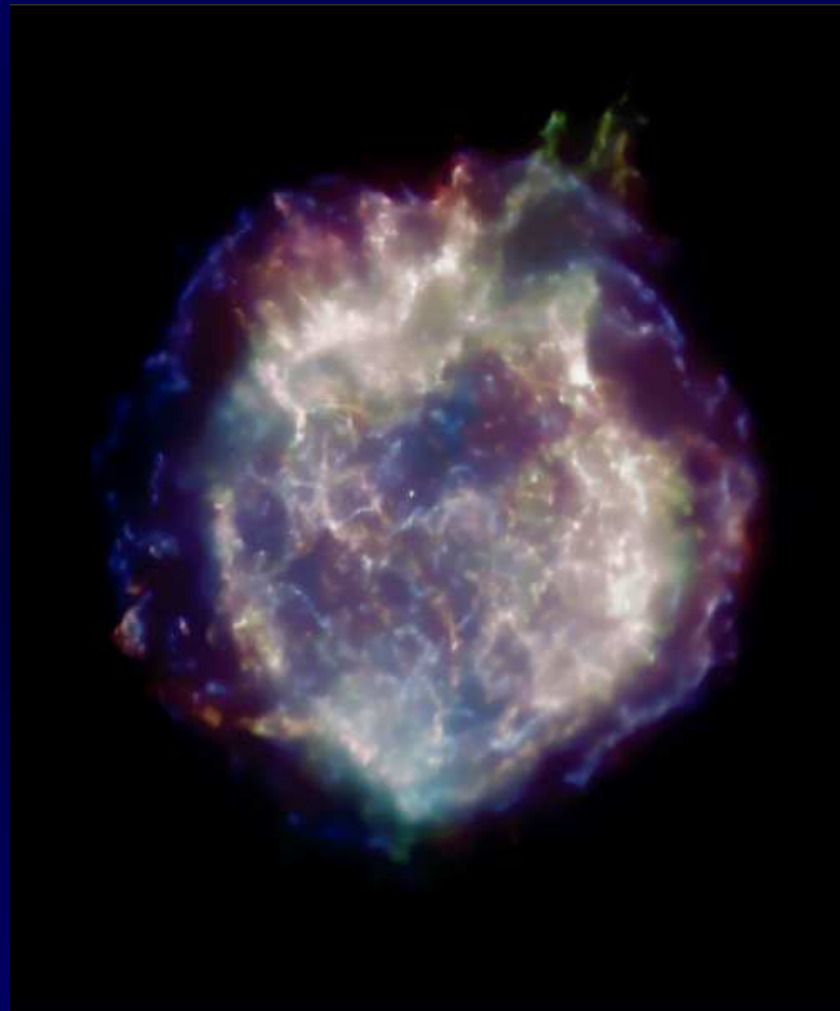
Masa  $\sim 2-3 \cdot 10^{30}$  kg

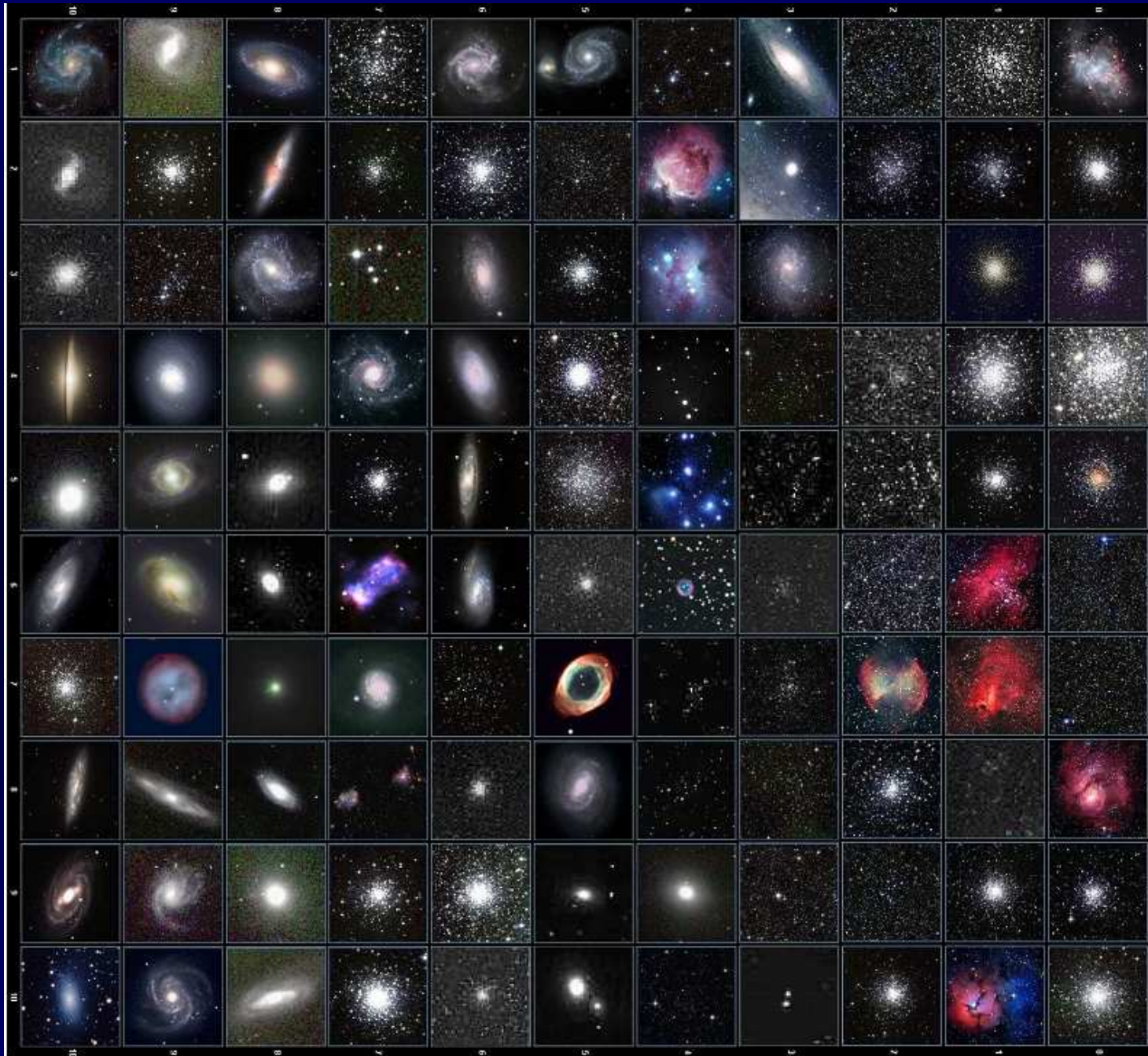
Okres obrotu 0.0001 – 3 sek.

Silne pole magnetyczne



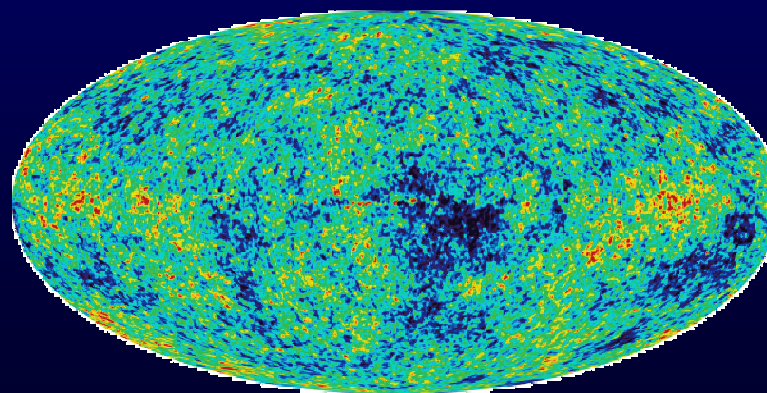
# Pozostałości po Supernowych





# Wszechświat jako całość: cechy obserwacyjne

- Ucieczka galaktyk
- Promieniowanie tła
- Wiek najstarszych gromad gwiazd
- Pierwotny skład chemiczny



Wnioski:

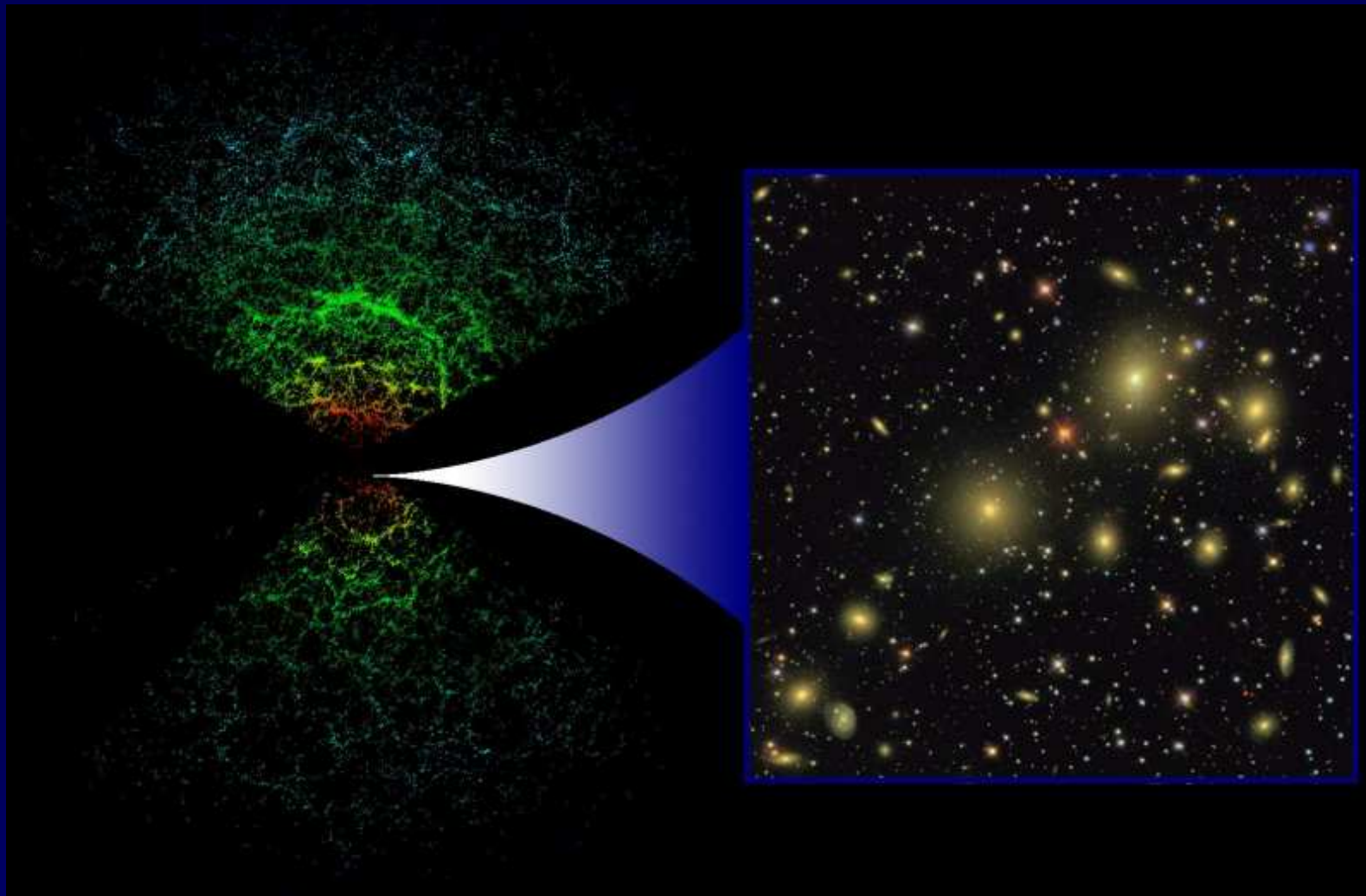
Wszechświat powstał w Wielkim Wybuchu ok. 13 mld lat temu.

W dużej skali jest jednorodny bez wyróżnionych miejsc czy kierunków

Wszechświat ekspanduje w tempie  $65 \text{ km/s /Mpc}$

Nie wiadomo czy grawitacja zatrzyma i zawróci ekspansję wszechświata

# Wszechświat jako całość



# Ciemna materia, ciemna energia, .....



# KONIEC

