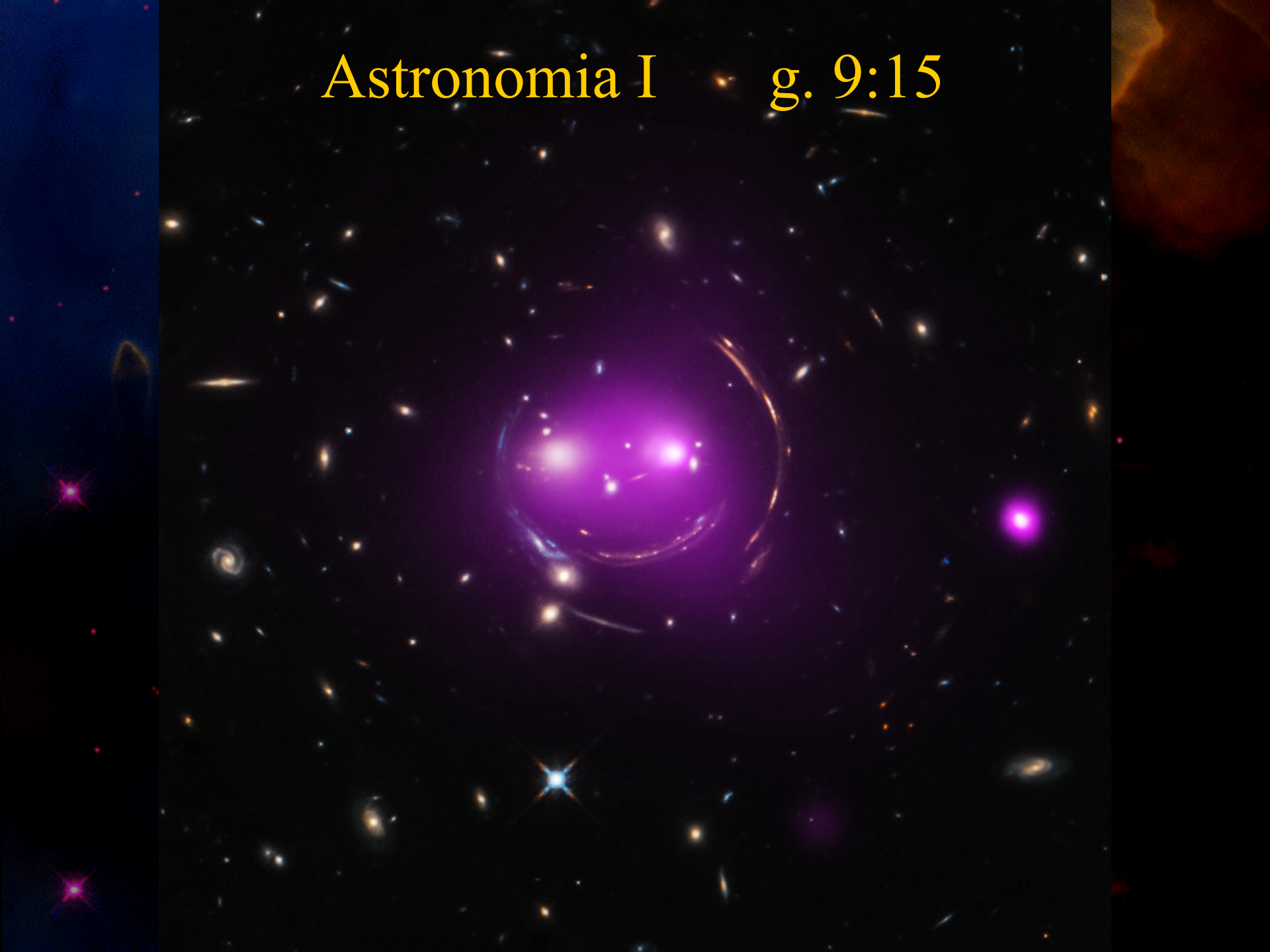
Astronomia I g. 9:15



Astronomia I

Grzegorz Pojmański
Obserwatorium Astronomiczne UW
tel. 022-5530507
gp@astrouw.edu.pl

1. Wstęp historyczny (do pocz. XX w.) - układ Ptolemeusza; układ Kopernika; prawa Keplera; aberracja i paralaksa gwiazd; natura mgławic spiralnych; ucieczka galaktyk

2. Nośniki informacji o Wszechświecie - promieniowanie elektromagnetyczne i wpływ atmosfery na jego obserwacje; pył, meteoryty i sondy kosmiczne; neutrina; fale grawitacyjne

3. Kosmografia (typy obiektów, odległości, rozmiary, rozmieszczenie) - Układ Słoneczny; gwiazdy; Galaktyka; galaktyki, ich układy, rozmieszczenie; przybliżona jednorodność i izotropia rozkładu galaktyk; kwazary; mikrofalowe promieniowanie tła

4. Obiekty Układu Słonecznego - planety i ich budowa; księżyce; drobne ciała (planetoidy, komety, meteoroidy, pył)

5. Gwiazdy - masy, rozmiary, temperatury, jasności, skład chemiczny; jakościowy opis budowy wewnętrznej i zachodzących tam procesów; jakościowy opis ewolucji; białe karły, gwiazdy neutronowe, czarne dziury

6. Układy gwiazd - układy podwójne - podstawowe typy; gromady gwiazd

7. Materia międzygwiazdowa - gaz i jego fazy; pył; pola magnetyczne

8. Budowa Galaktyki - podsystemy gwiazdowe; ruchy gwiazd; rozkład materii międzygwiazdowej

9. Typy galaktyk - morfologiczne (E,S0,S,Irr); typy aktywności (radiogalaktyki, gal. Seyferta, kwazary)

10. Układy galaktyk -grupy, Grupa Lokalna; gromady; supergromady i pustki

11. Wszechświat - prawo Hubble'a; jakościowy opis termicznej ewolucji Wszechświata; związek z fizyką wysokich energii, pierwotna nukleosynteza, mikrofalowe promieniowanie tła.

Astronomia I

- Wymagania końcowe:
  - zaliczenie ćwiczeń
  - kolokwium zaliczeniowe (test)

przykładowe pytanie:

Lato w Polsce mamy wtedy gdy:

a) Ziemia jest najbliżej Słońca
b) Biegun północny Ziemi skierowany jest w stronę Słońca
c) Słońce jest w maksimum swojej aktywności

Astronomia I

- Literatura
  - Astronomia Ogólna –Kartunnen i in.
  - Frank Shu: Galaktyki, Gwiazdy, Życie
  - Ludwig Oster: Astronomia Współczesna
  - Eugeniusz Rybka: Astronomia Ogólna
  - Wiedza i Życie, Świat Nauki, Sky & Telescope
- Astronomy Picture of the Day

Astronomy Picture of the Day

http://apod.nasa.gov/apod/astropix.html

http://apod.pl/apod/astropix.html

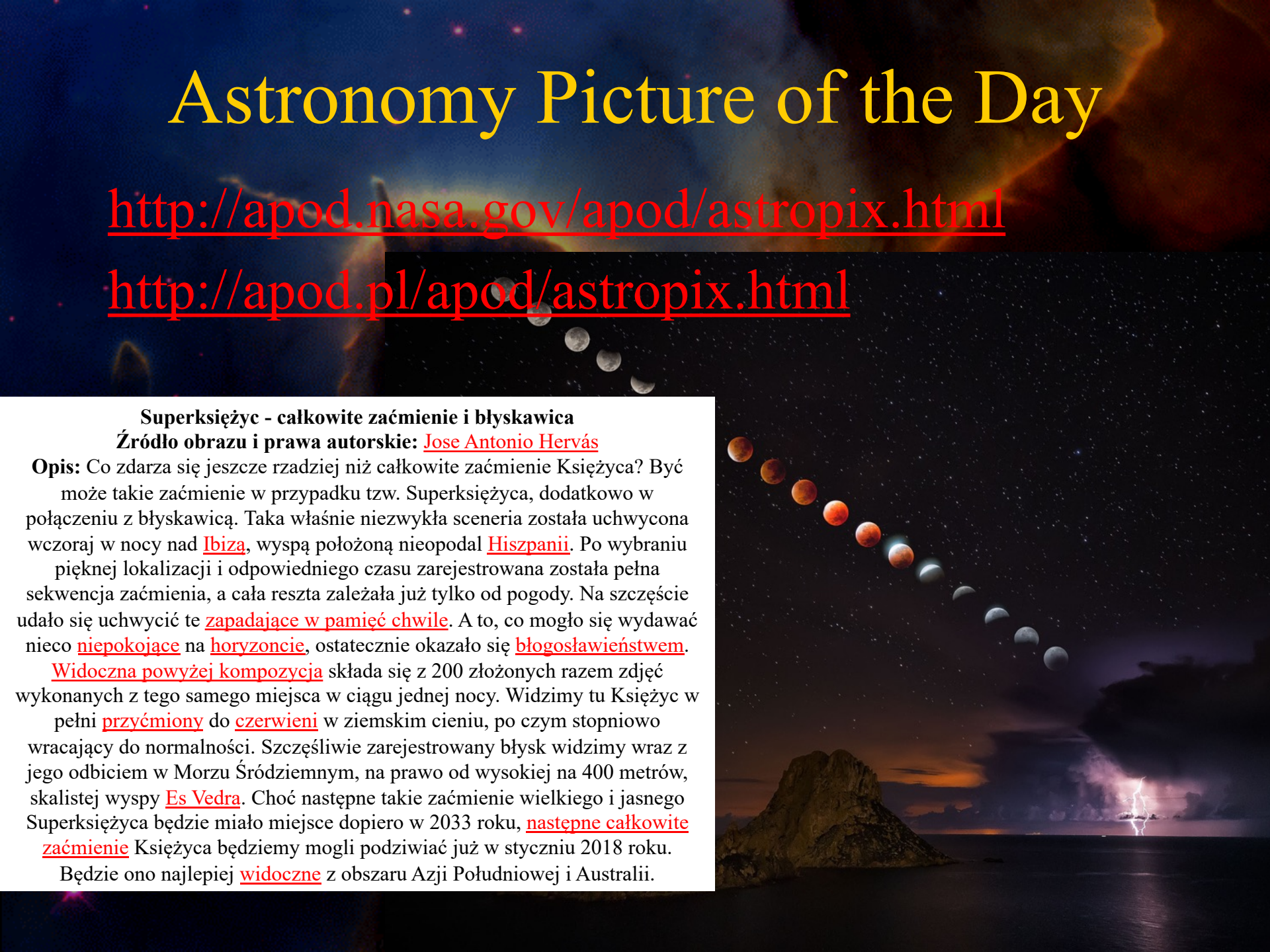
Galaktyka Wielki Obłok Magellana
Źródło obrazu i prawa autorskie: Ireneusz Nowak; Text: Natalia Lewandowska (SUNY Oswego)

Opis: To największa galaktyka satelitarna naszej Galaktyki, Drogi Mlecznej. Dla osób żyjących na półkuli południowej Wielki Obłok Magelana (LMC) jest dość łatwo dostrzegalny i rozciąga się na około 10 stopni kątowych na nocnym niebie, czyli aż 20 razy dalej niż Księżyc w pełni.. Leży w granicach południowej konstelacji Złotej Ryby (Dorado). Znajduje się w odległości około 160 000 lat świetlnych od nas, dzieki czemu możemy dostrzec wiele szczegółów jego struktury, takich jak poprzeczka centralna i pojedyncze ramię spiralne tej galaktyki. Wielki Obłok Magellana mieści w sobie liczbe żłobki gwiazdowe, w których tworzą się nowe gwiazdy. Na powyższym obrazie są one różowe. To także dom dla mgławicy Tarantula, obecnie najbardziej aktywnego obszaru gwiazdotwórczego w całej Grupie Lokalnej -- zbierze najbliższych nam galaktyk, zdominowanym przez masywną Galaktykę Andromedy i samą Drogę Mleczną.

Astronomy Picture of the Day

http://apod.nasa.gov/apod/astropix.html

http://apod.pl/apod/astropix.html



Superksiężyc - całkowite zaćmienie i błyskawica
Źródło obrazu i prawa autorskie: Jose Antonio Hervás
Opis: Co zdarza się jeszcze rzadziej niż całkowite zaćmienie Księżyca? Być może takie zaćmienie w przypadku tzw. Superksiężyca, dodatkowo w połączeniu z błyskawicą. Taka właśnie niezwykła sceneria została uchwycona wczoraj w nocy nad Ibiza, wyspą położoną nieopodal Hiszpanii. Po wybraniu pięknej lokalizacji i odpowiedniego czasu zarejestrowana została pełna sekwencja zaćmienia, a cała reszta zależała już tylko od pogody. Na szczęście udało się uchwycić te zapadające w pamięć chwile. A to, co mogło się wydawać nieco niepokojące na horyzoncie, ostatecznie okazało się błogosławieństwem. Widoczna powyżej kompozycja składa się z 200 złożonych razem zdjęć wykonanych z tego samego miejsca w ciągu jednej nocy. Widzimy tu Księżyc w pełni przyćmiony do czerwieni w ziemskim cieniu, po czym stopniowo wracający do normalności. Szczęśliwie zarejestrowany błysk widzimy wraz z jego odbiciem w Morzu Śródziemnym, na prawo od wysokiej na 400 metrów, skalistej wyspy Es Vedra. Choć następne takie zaćmienie wielkiego i jasnego Superksiężyca będzie miało miejsce dopiero w 2033 roku, następne całkowite zaćmienie Księżyca będziemy mogli podziwiać już w styczniu 2018 roku. Będzie ono najlepiej widoczne z obszaru Azji Południowej i Australii.

Astronomia w Internecie

Sky & Telescope

http://www.skyandtelescope.com

Świat Nauki (Scientific American)

https://www.projektpulsar.pl/swiatnauki/

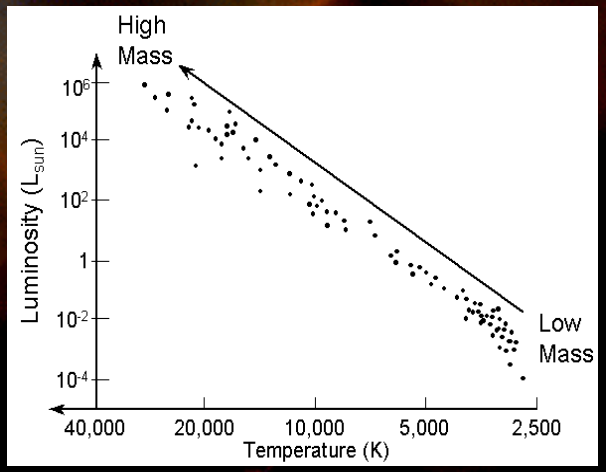
Portal astronomiczny

http://www.astronet.pl

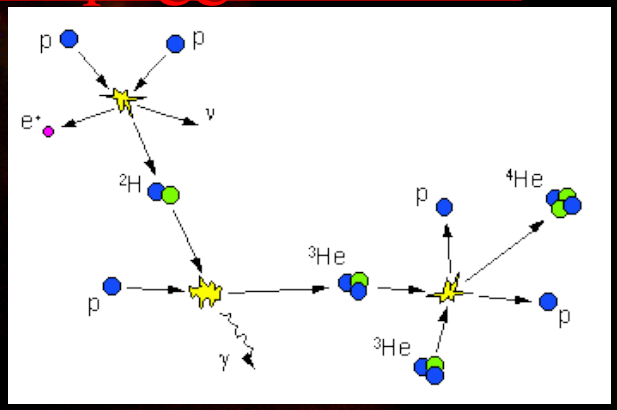
Space Weather

https://www.spaceweather.com/

Astrofizyka w Internecie



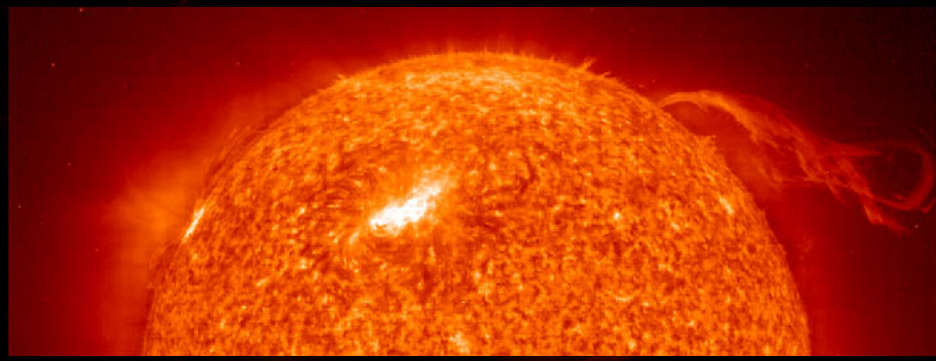
- Introduction to Stars, Galaxies...
- http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/



- Astronomy 101
- http://www.astro.cornell.edu/academics/courses/astro1101/

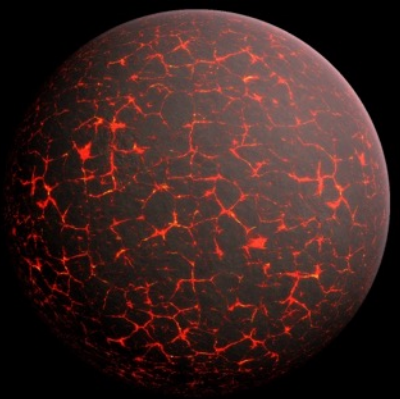
Układ Słoneczny w Internecie

- Jet Propulsion Laboratory (JPL)
  http://photojournal.jpl.nasa.gov/index.html



- The Nine Planets
  http://www.nineplanets.org/

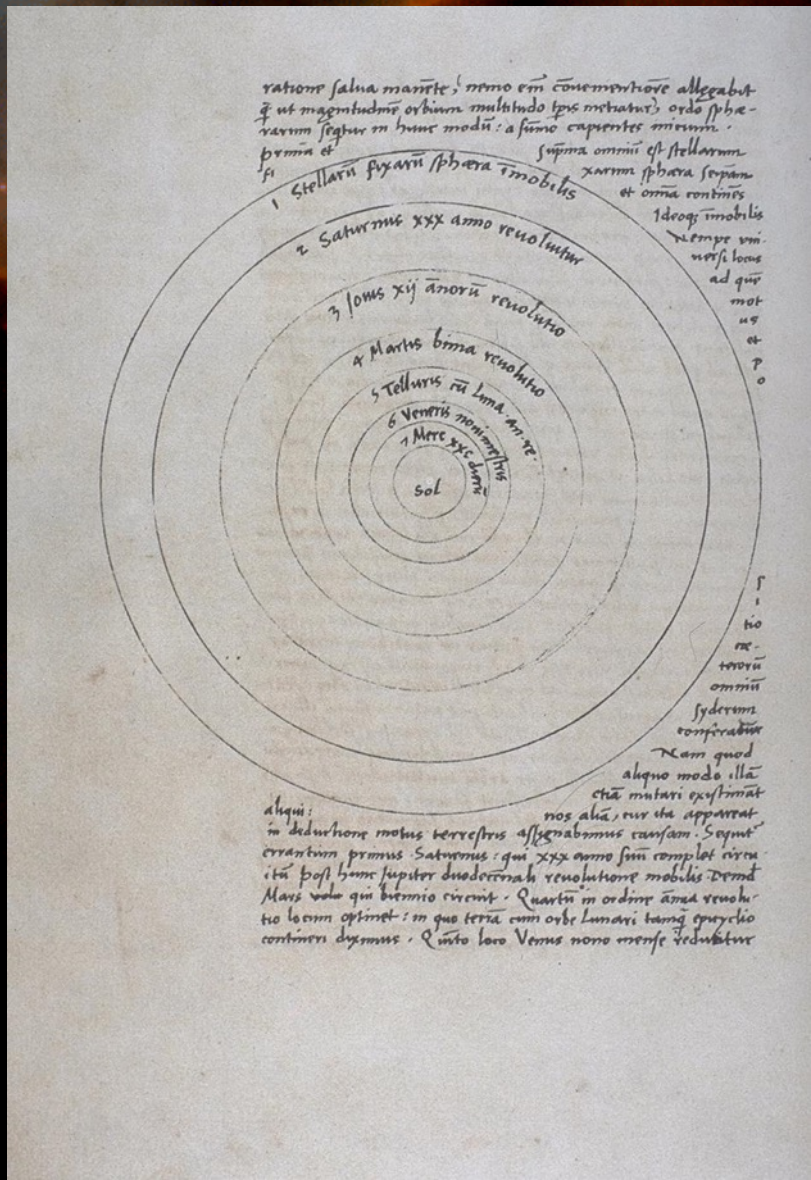
- Planety pozasłoneczne
  http://exoplanets.org/



Astronomia I

Historia astronomii

- astronomia starożytna
- system Ptolemeusza
- układ Kopernika
- prawa Keplera
- fizyka Newtona
- nowe obserwacje
  - aberracja i paralaksa
  - mgławice spiralne
  - ucieczka galaktyk
- Einstein i OTW



Astronomia I

Źródła danych astrofizycznych

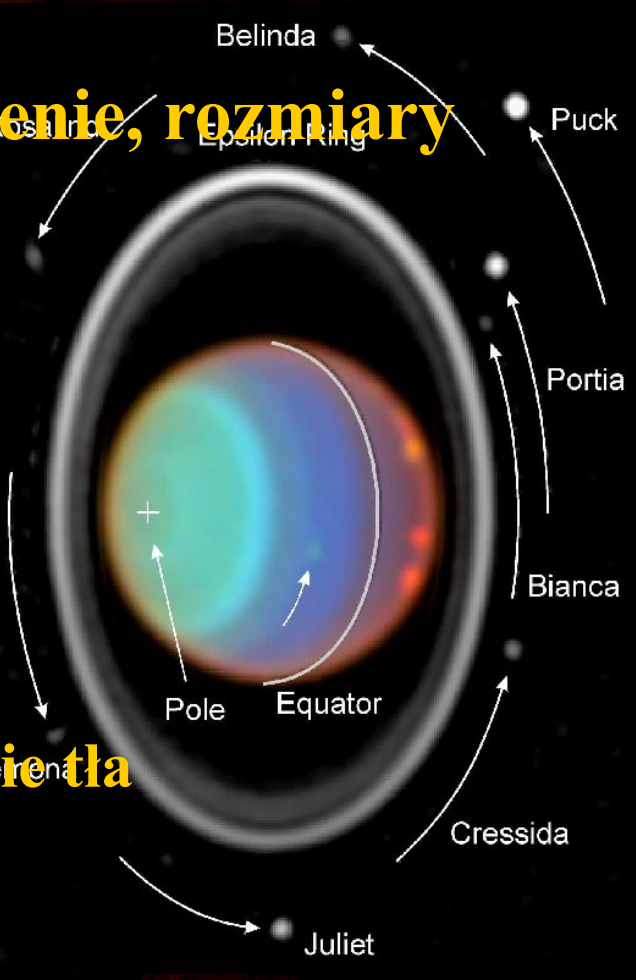
- Promieniowanie elektromagnetyczne, kosmiczne, neutrinowe, grawitacyjne
- Przyrządy i detektory
  - Teleskopy naziemne, kosmiczne
- Obserwacje astronomiczne, metody i możliwości

SALT - RPA

Astronomia I

Kosmografia

- typy obiektów, rozmieszczenie, rozmiary
  - Układ Słoneczny
  - gwiazdy i ich grupy
  - Galaktyka
  - galaktyki i ich układy
  - rozmieszczenie, izotropia
  - kwazary
  - mikrofalowe promieniowanie tła



Astronomia I

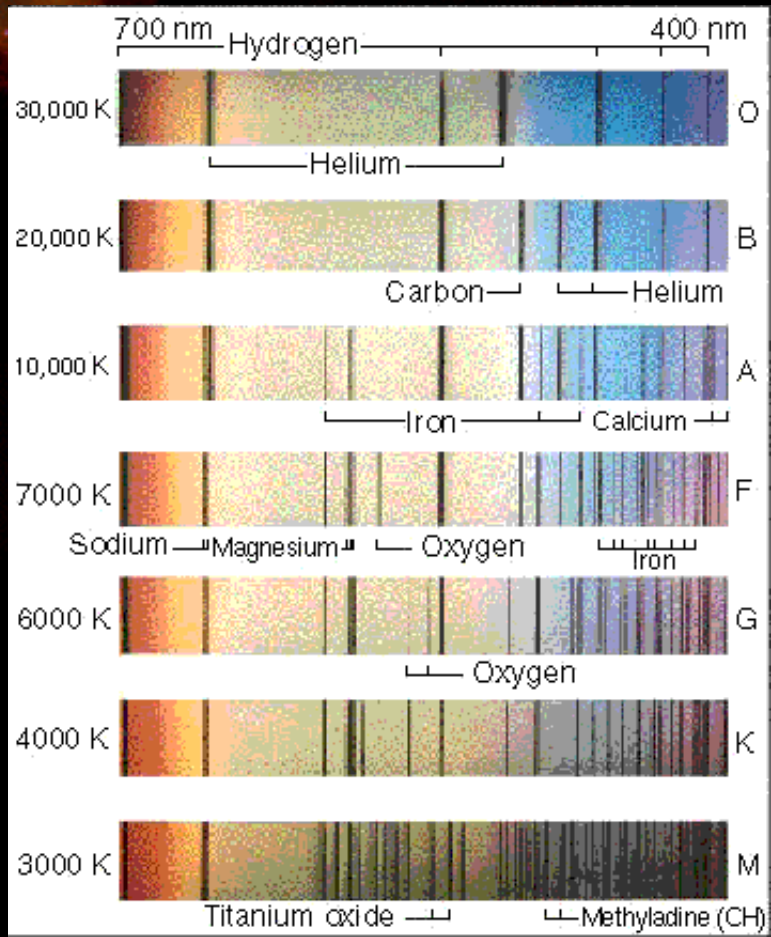
Układ Słoneczny

- Ruch Słońca, Księżyca, planet
- Zaćmienia Słońca i Księżyca
- Budowa fizyczna Słońca i planet
- Księżyce planet
- Komety
- Materia międzyplanetarna
- Wiatr słoneczny

Astronomia I

Gwiazdy

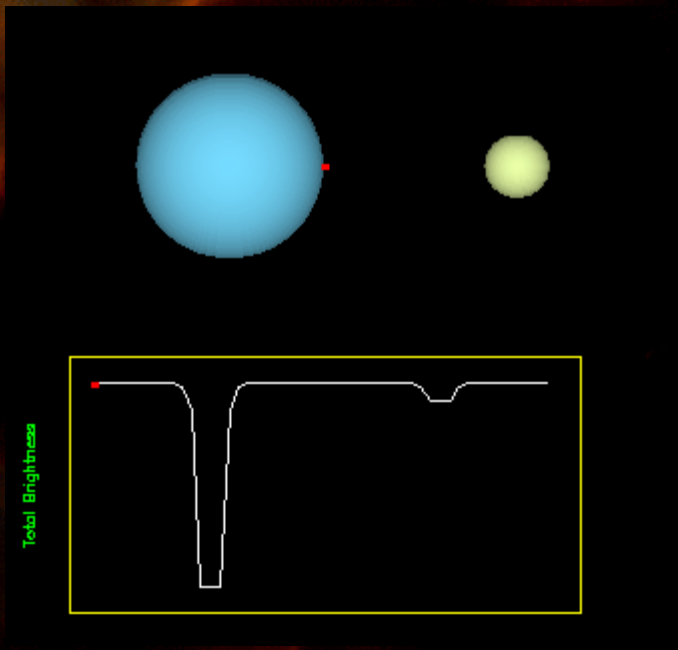
- masy, rozmiary temperatury, jasności
- skład chemiczny,
- budowa wewnętrzna
- procesy jądrowe
- ewolucja gwiazd
- białe karły,
- gwiazdy neutronowe,
- czarne dziury



Astronomia I

Układy gwiazd

- układy podwójne
  - wizualnie
  - zaćmieniowe
  - spektroskopowe
- gromady gwiazd
  - otwarte, asocjacje gwiazdowe
  - kuliste



Astronomia I

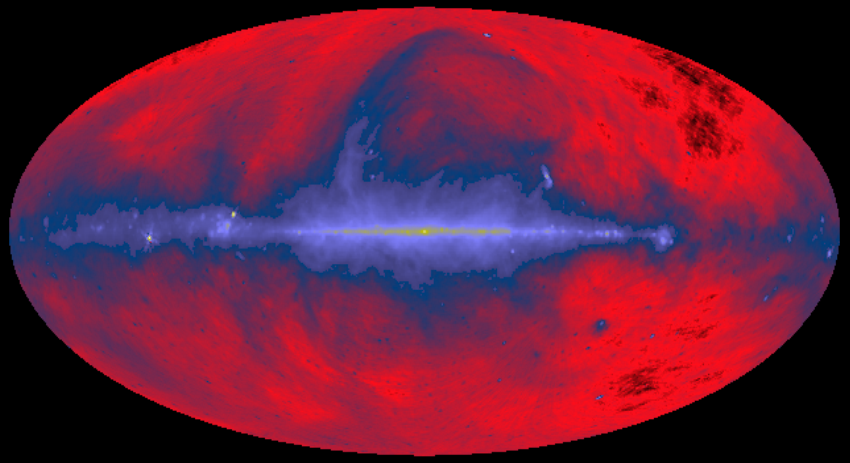
- Materia międzygwiazdowa
  - gaz i jego fazy
  - pył
  - pola magnetyczne

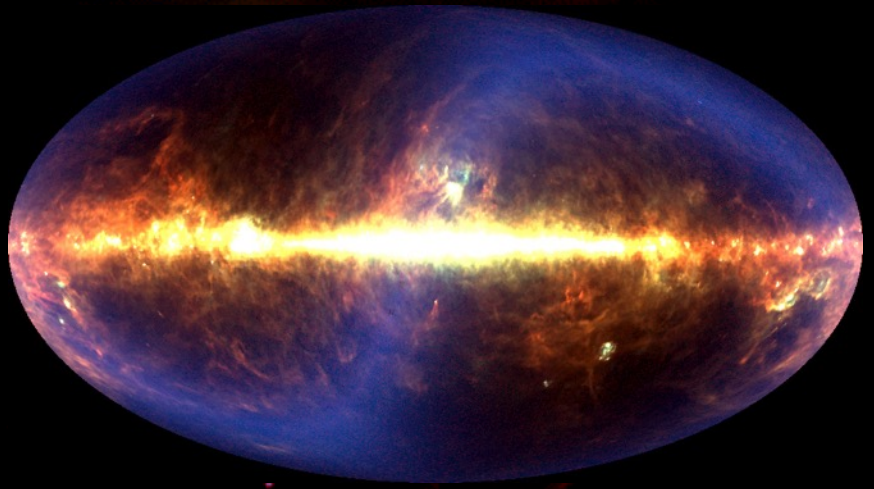
Star-Birth Clouds · M16 HST · WFPC2

PRC95-44b · ST ScI OPO · November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

Astronomia I

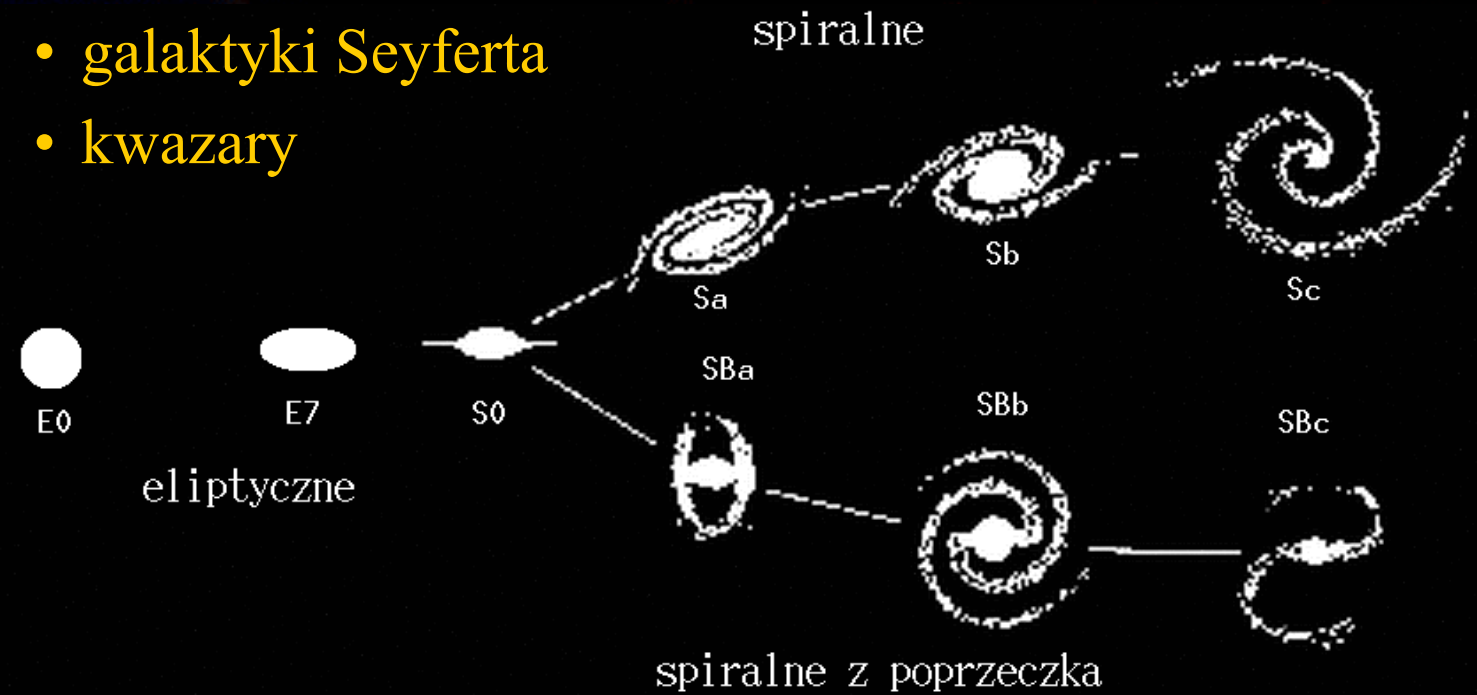
- Budowa Galaktyki
  - podsystemy gwiazdowe
  - ruchy gwiazd
  - rozkład materii międzygwiazdowej





Astronomia I

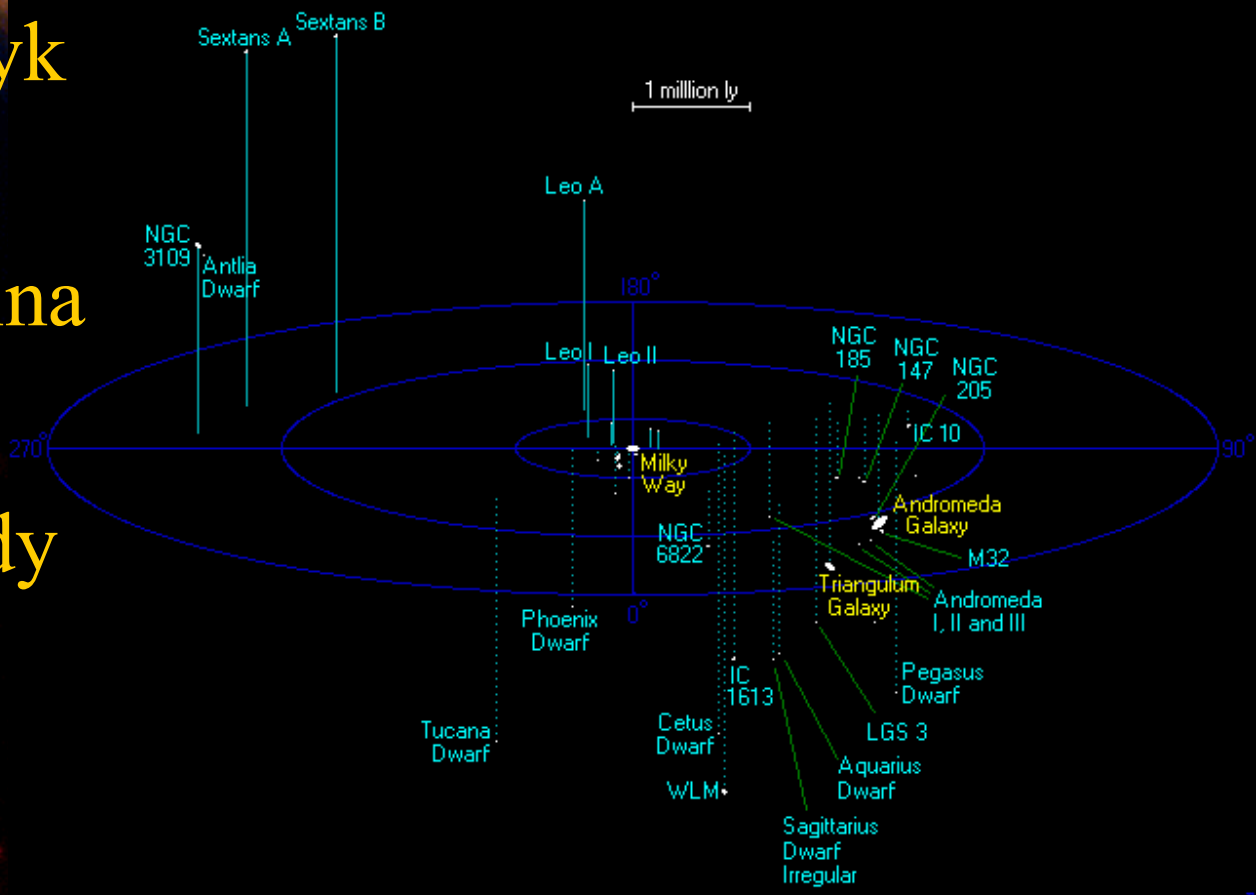
- Typy galaktyk
  - morfologiczne (E, S0,S, Irr)
  - typy aktywności
    - radiogalaktyki
    - galaktyki Seyferta
    - kwazary



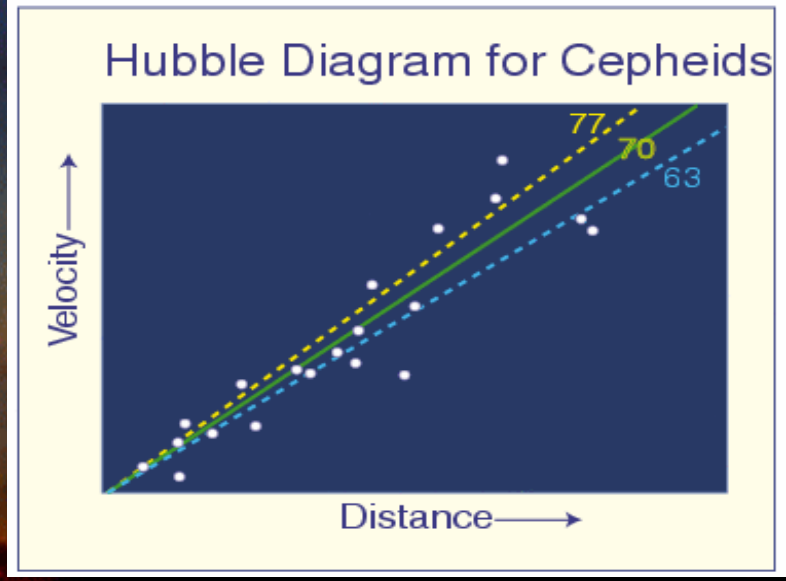
Astronomia I

Układy galaktyk

- grupy
- Grupa Lokalna
- gromady
- supergromady
- pustki

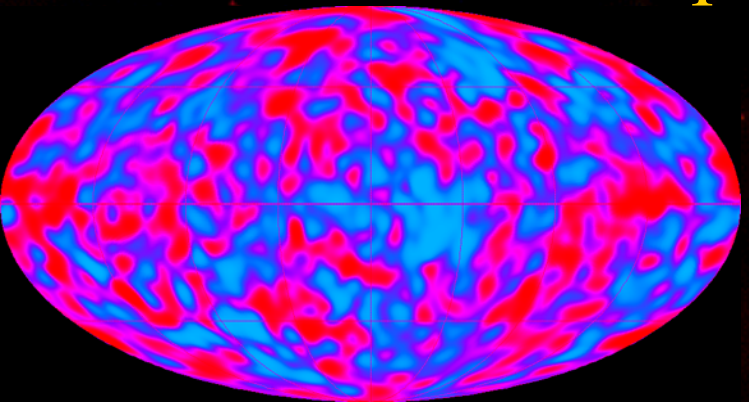


Astronomia I

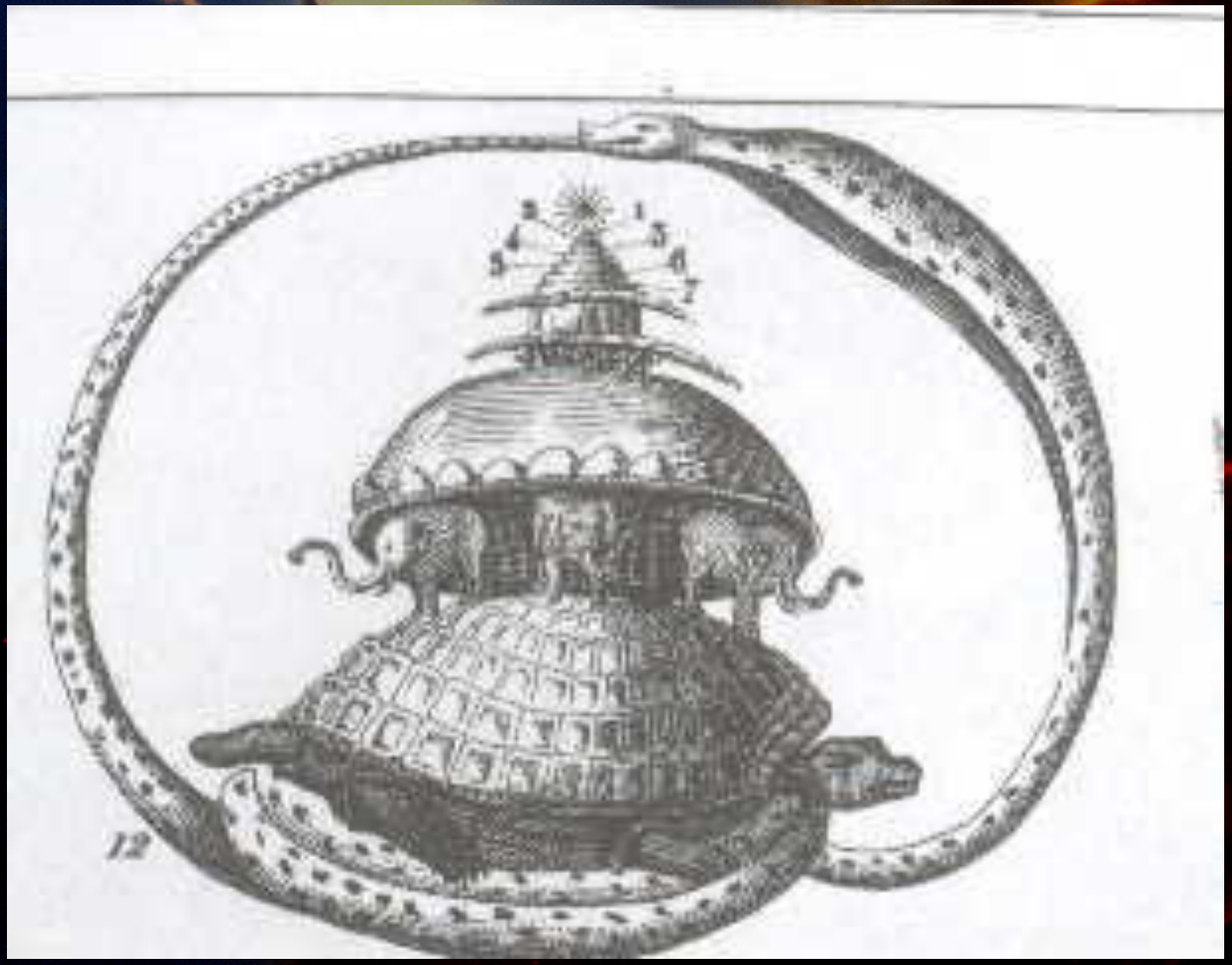


Wszechświat

- prawo Hubble'a
- termiczna ewolucja Wszechświata
- związek z fizyką wysokich energii
- pierwotna nukleosynteza
- mikrofalowe promieniowanie tła



Hinduskie wyobrażenie Wszechświata



Historia astronomii

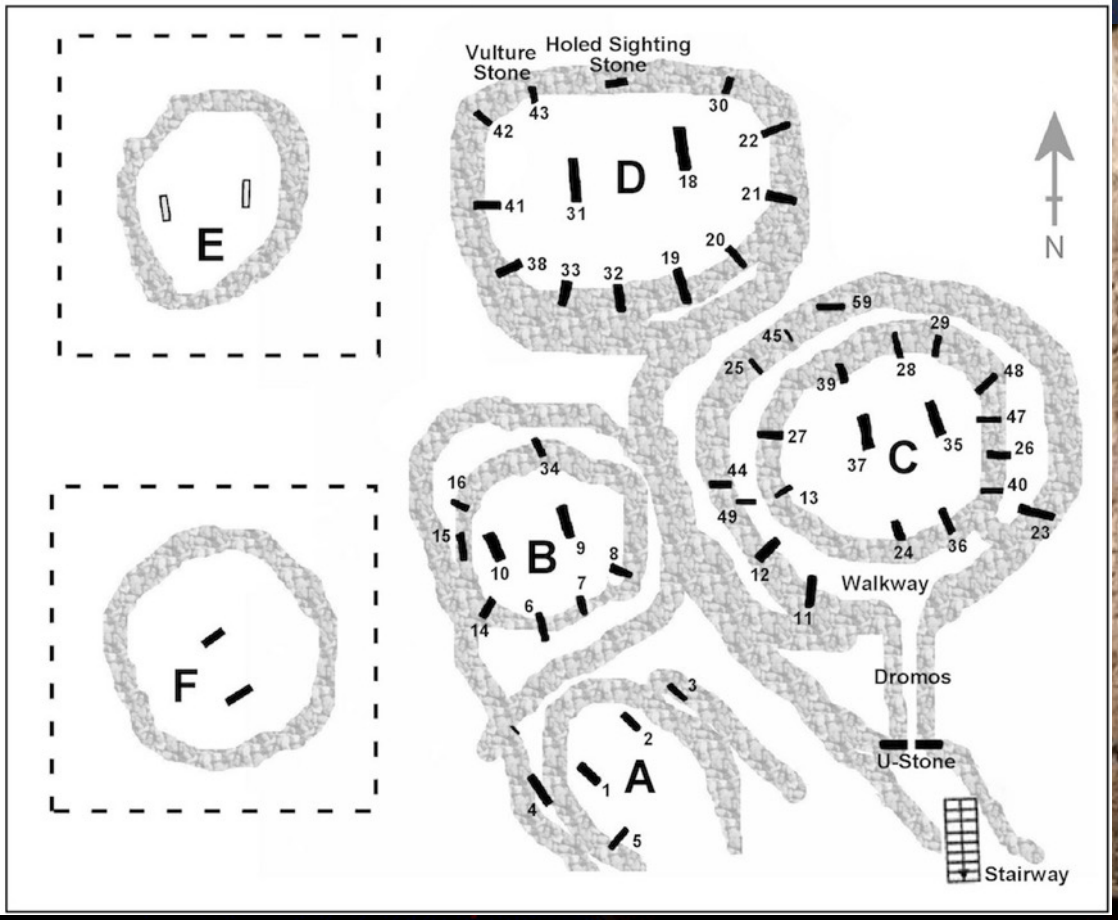
- Narodziny astronomii
  - Astronomia egipska
  - Astronomia asyryjska, babilońska, sumeryjska
- Astronomia grecka
- Ciemne wieki w Europie
  - astronomia arabska
- Astronomia nowożytna
  - Kopernik, Galileusz, Tyho Brahe, Newton
  - Einstein

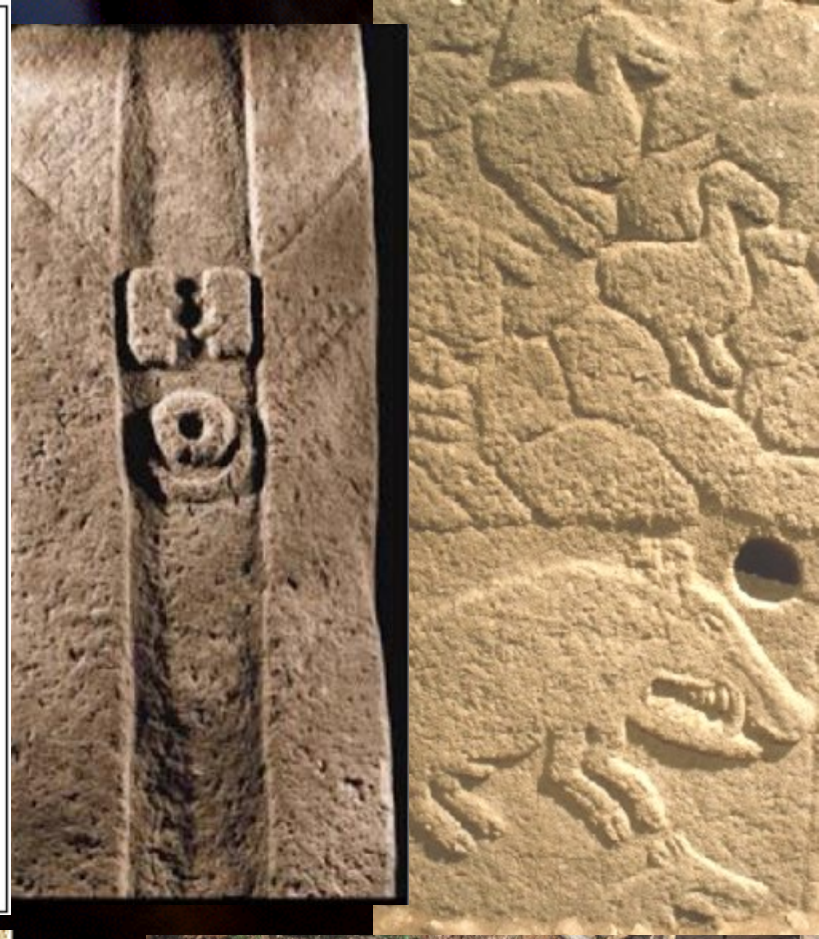
Znaczenie dawnej astronmii

- Kalendarz – rachuba czasu
- Rolnictwo – pory roku
  - Pory suche, deszczowe,
  - Okresy siewu, zbiorów
- Nawigacja
  - Podróże
- Kosmogonia, mitologia
  - Modele Wszechświata:
    - antropomorficzne
    - antropocentryczne

Megality w Turcji

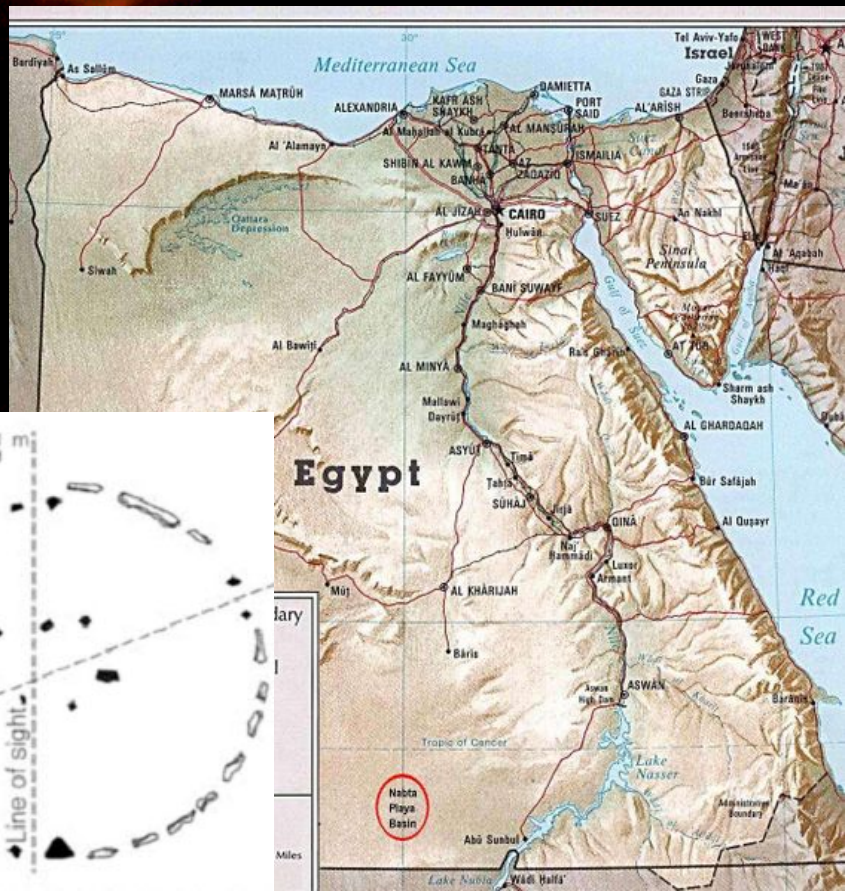
- Göbekli Tepe
  - odkryte 1994
  - 11,000-8,000 p.n.e.
  - owalne struktury: 6 odkopanych (w sumi
  - obiekt D - 2 słupy E-W + 12 dookoła
  - masa słupów - ...50-60 ton

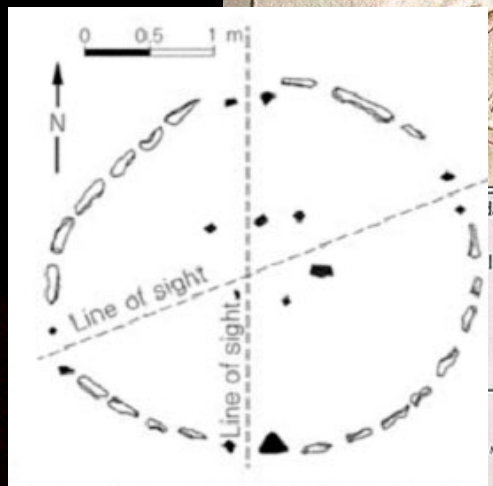

Vulture Stone
Holed Sighting Stone
E
D
C
B
A
F
N
Walkway
Dromos
U-Stone
Stairway



Megality Egiptu

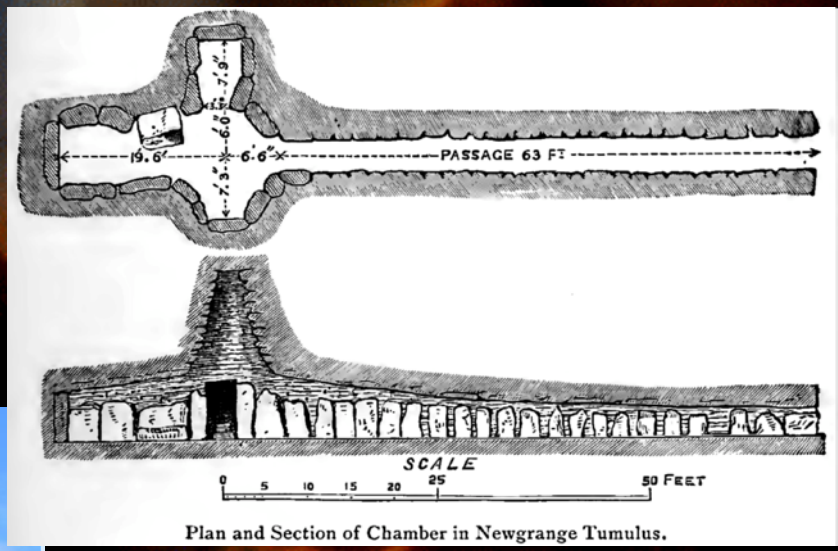
- Nabta Playa –na Pustyni Nubijskiej
  - zamieszkana 10 tys p.n.e. - jezioro,
  - 5 tys p.n.e. - megality





Newgrange w Irlandii (*Dún Fhearghusa*), ok. 3200 B.C.

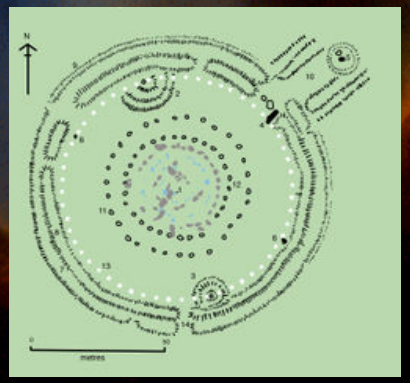
- podczas przesilenia zimowego, o 8:58, promienienie słoneczne rozświetlają komorę na 15 minut



Plan and Section of Chamber in Newgrange Tumulus.

średnica 85 m, wysokość 11m, 200 000 ton kamieni

Stonehenge



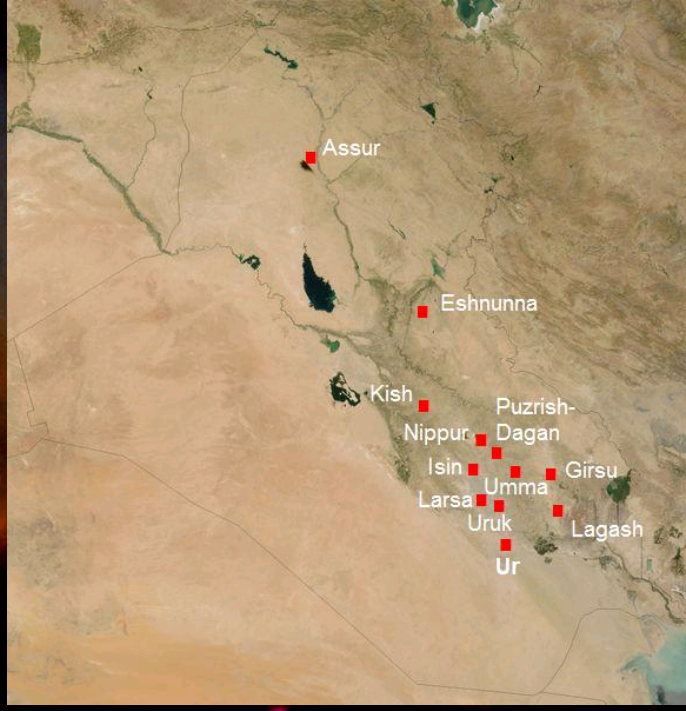
- 3100-2200 p.n.e
- „obserwatorium”
  – cykle zaćmieniowe?

np.: precesja 1º / 72 lata

roczne przesunięcie:2,5 cm/100m

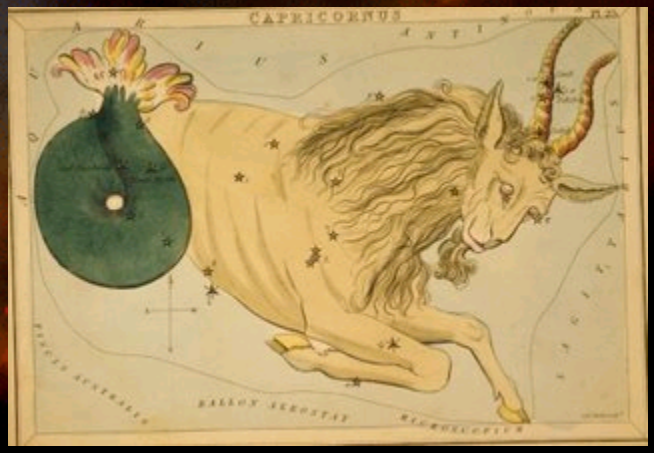
Astronomia Sumerów

- Mezopotamia



Sumerowie, Asyryjczycy, Chaldejczycy

Babilonia



- 3000-0 p.n.e.
- znaki Zodiaku
- system sześćdziesiątkowy,
- stop
- mie
- San
  - –
- stos
- tab
  - –

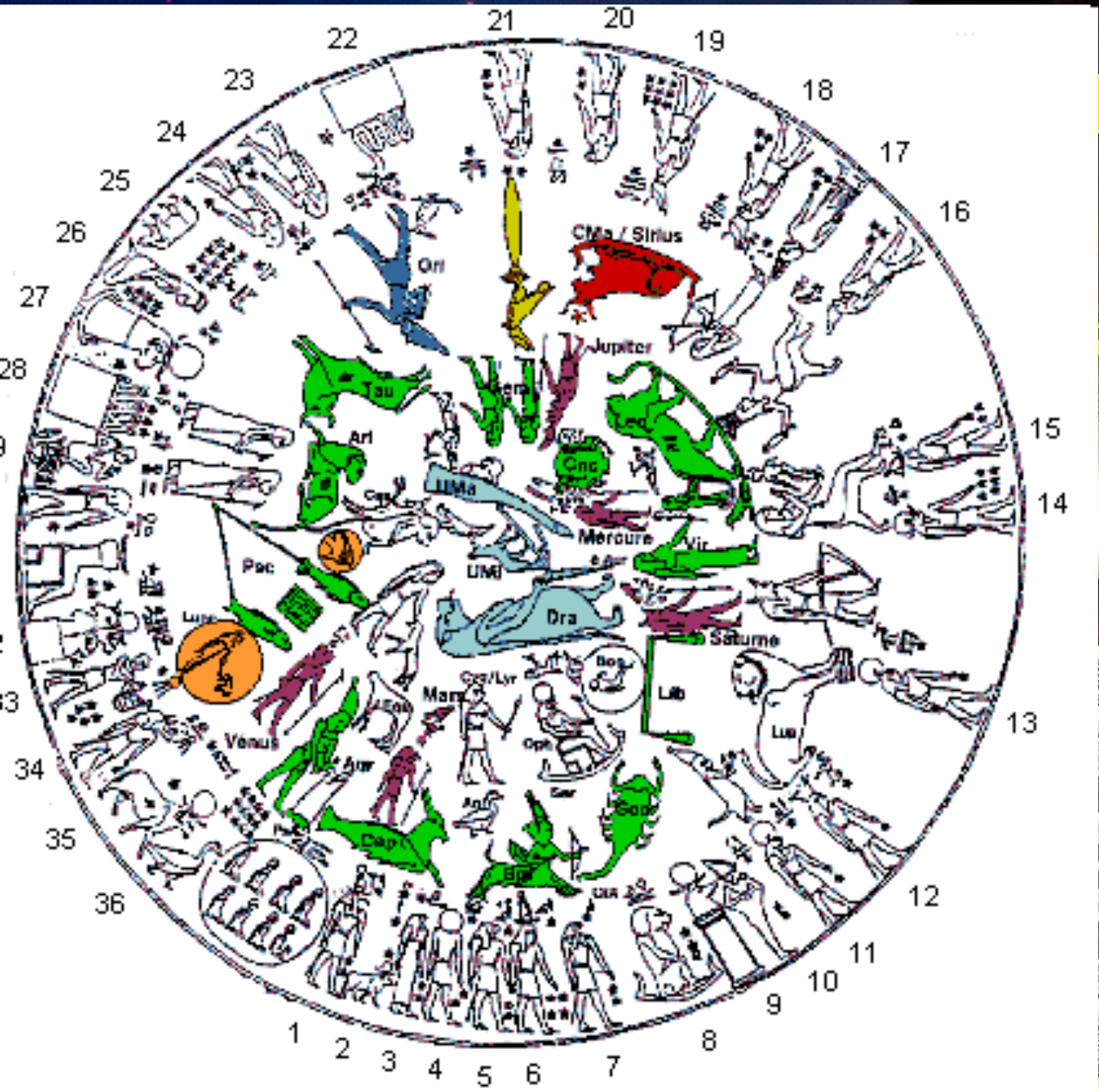
1	𒁹	11	𒌋𒁹	21	𒐐𒁹	31	𒐐𒌋𒁹	41	𒐖𒁹	51	𒐖𒌋𒁹
2	𒁹𒁹	12	𒌋𒁹𒁹	22	𒐐𒁹𒁹	32	𒐐𒌋𒁹𒁹	42	𒐖𒁹𒁹	52	𒐖𒌋𒁹𒁹
3	𒁹𒁹𒁹	13	𒌋𒁹𒁹𒁹	23	𒐐𒁹𒁹𒁹	33	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹	43	𒐖𒁹𒁹𒁹	53	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹
4	𒁹𒁹𒁹𒁹	14	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹	24	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹	34	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹	44	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹	54	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹
5	𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	15	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	25	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	35	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	45	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	55	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹
6	𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	16	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	26	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	36	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	46	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	56	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹
7	𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	17	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	27	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	37	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	47	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	57	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹
8	𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	18	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	28	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	38	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	48	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	58	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹
9	𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	19	𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	29	𒐐𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	39	𒐐𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	49	𒐖𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹	59	𒐖𒌋𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹𒁹
10	𒌋	20	𒐐	30	𒐐𒌋	40	𒐖	50	𒐖𒌋		

Astronomia starożytnego Egiptu

- 3000 p.n.e.
- Słoneczna orientacja świątyń, np. Amen-Ra (Karnak)
  - względem wschodu podczas letniego przesilenia
- Pomiar czasu, pory roku:
  - z obserwacji Syriusza
  - kalendarz 365 dni
  - noc: 12 godzin
  - dzień: 12 godzin

Egiptu

585.3211 dni



Kosmogonia

⇔

Mitologia porównawcza

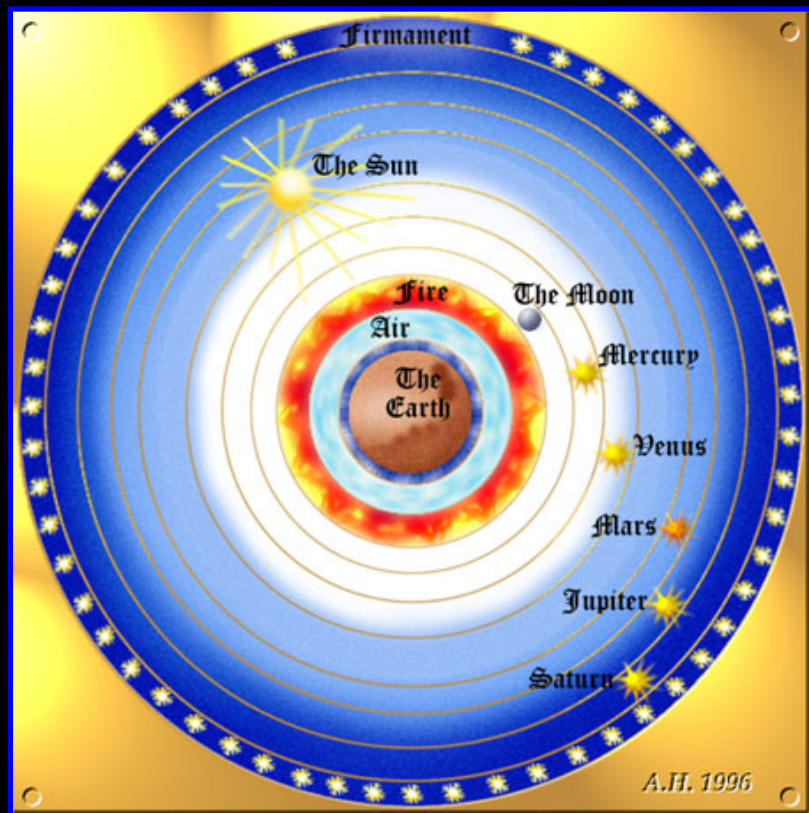
Kosmogonia Babilończyków

- ok 1200 p.n.e.
  - podobna do wersji Sumeryjskiej ~3500 p.n.e.
  - dwubiegunowa, oparta na przeciwieństwach
  - spisana na 7 glinianych tabliczkach (epos Enuma Elisz)
- Wszechświat powstał z CHAOSU i WODY
  - Nammu (bóg kreacji)
- Pierwsza para bogów:
  - Apsu – bóg słodkiej wody
  - Tiamat – bogini morskiej wody (chaosu)
- Ich odległy potomek Marduk zabił Tiamat i stworzył Ziemię z jej ciała.

Kuduru – kamień graniczny

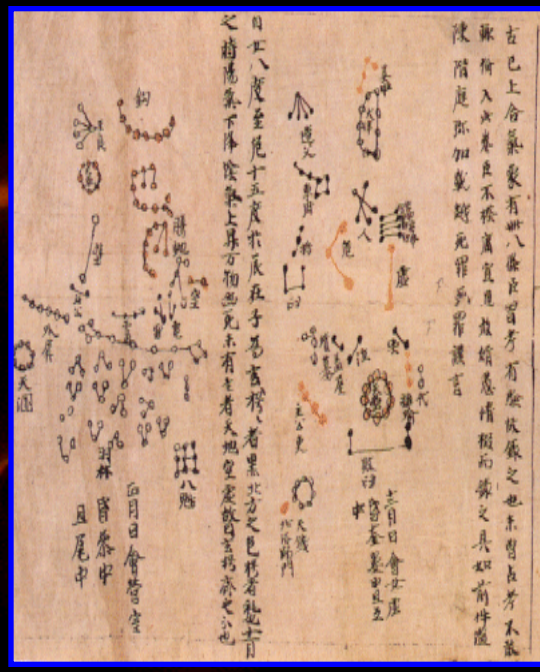
Kosmogonia Grecka

- Kosmos powstał pod postacią Chaosu (pierwotnej pustki), z którego powstała Gaja (Ziemia), Tartar (Podziemie), Ereb (Mrok podziemia), Nyx (Noc), Eros (Miłość). Dopiero znacznie później narodzili się bogowie Olimpu:
- Zeus – bóg nieba
- Posejdon – bóg morza
- Atena – bogini mądrości
- Apollo – bóg światła i piękna
- Afrodyta – bogini miłości
- Ares – bóg wojny
- Djonizos – bóg wina



Kosmogonia Chińska

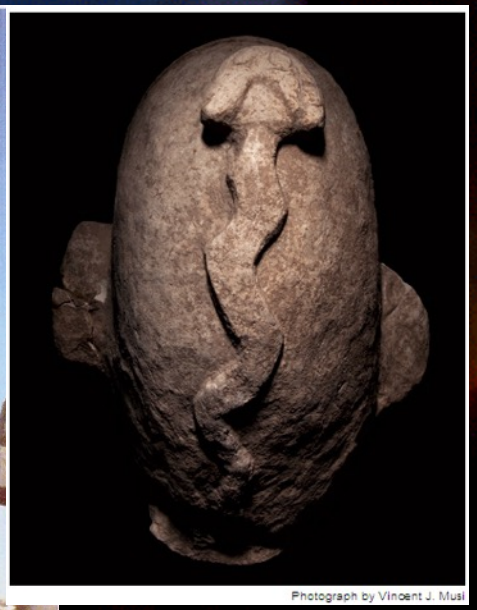
- Na początku Wszechświat był ogromnym Jajem wypełnionym zmieszaną chaotycznie materią.
- Bóg Pan Gu narodził się w jaju. Przy pomocy dłuta przez 18000 lat porządkował chaos oddzielając niebo od ziemi. Z materii błotnistej powstała ziemia, z czystej – niebo.
- Po śmierci *Pan Gu* jego głowa i kończyny zamieniły się w Pięć Swiętych Gór, krew i łzy w rzeki i strumienie, oczy stały się słońcem i księżycem a z ciała powstała ziemia uprawna, włosy zamieniły się w rośliny, jego oddech w wiatr a głos stał się piorunem.



Chinese Star Chart. 940 AD. *British Library Dunhuang Collection.*

Kosmogonia Azteków

- Na początku, kiedy wszystko było zmieszane (chaos), był Ometeotl, Bóg Dwoisty.
- Ometeotl stworzył samego siebie.
- Kiedy zechciał, dmuchnął i oddzielił wodę od nieba i ziemi.
- Kiedy jeszcze wszystko było ciemne bogowie zebrali się i rozpalili ogień.
- Bóg Namahuatl skoczył do ognia i spłonął. Stał się Słońcem. Bóg Tecciztecatl skoczył za nim, ale ogień był słabszy i stał się Księżycem.
- Droga Mleczna była Rajem, z którego wygnano zarówno bogów jak i ludzi.



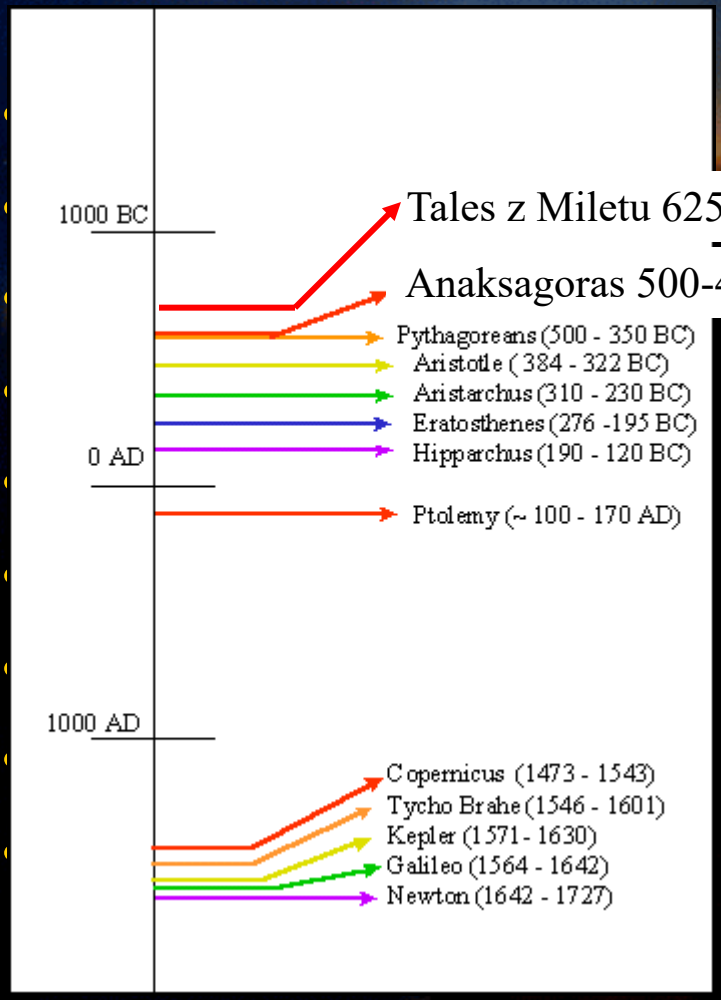
Photograph by Vincent J. Musi

Grecja - kolebka astronomii nowożytnej > 600 p.n.e.

Astronomia Grecka

- grecki model nauki:
  - teoria – używająca do opisu zjawisk na niebie geometrii
  - przewidywanie położeń ciał niebieskich w postaci liczbowej (przejęte z Mezopotamii)
- okres opisowy – od VI w. p.n.e.
  - Tales, Anaksymander, Pitagoras (fizyczna natura świata i ciał niebieskich)
  - **Platon**: Wszechświat harmonijny, (ruchy jednostajne, kołowe)
- wyznaczanie parametrów z obserwacji – III w. p.n.e.
  - Arystarch, Apoloniusz, Hipparch (odległości Słońca i Księżyca; geometryczne modele orbit, orbita Słońca)
- kulminacja – system geocentryczny Ptolemeusza opisany w Almageście

Uczeni i filozofowie Greccy



ok. 625 p.n.e.

ok. 580 p.n.e.

ok. 460 p.n.e.

450 p.n.e.

384 p.n.e.

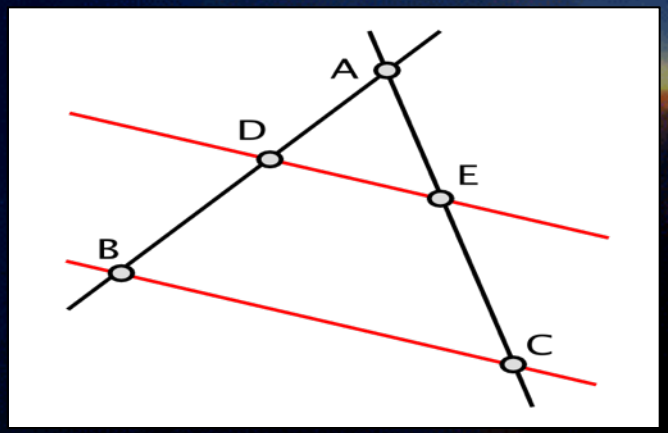
ok. 320 p.n.e.

276 p.n.e

190 p.n.e.

85 n.e.

Tales z Miletu



- ur. ok. 624 p.n.e
- Znał egipską mitologię, astronomię i matamatykę
- Wyznaczył wysokość piramid z pomiaru długości cienia (twierdzenie Talesa)
- Filozof, naturalista: “Woda jest wieczna a wszystkie ciała są jej postaciami.”
- Stworzył pierwszą spójną, racjonalną teorię natury (*physis*), bez odwoływania się do sił nadprzyrodzonych

Tales z Miletu

Inne twierdzenia geometyczne:

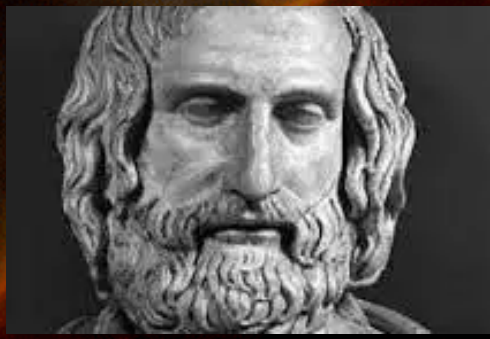
- Średnica dzieli okrąg na połowy.
- Dwa kąty przy podstawie trójkąta równoramiennego są równe.
- Jeśli dwie linie przecinają się, to dwa kąty przeciwległe są równe.
- Kąt wpisany w półokrąg jest kątem prostym.
- Trójkąt jest określony, jeżeli dana jest jego podstawa i kąty przy podstawie.

Tales z Miletu

Astronomia:

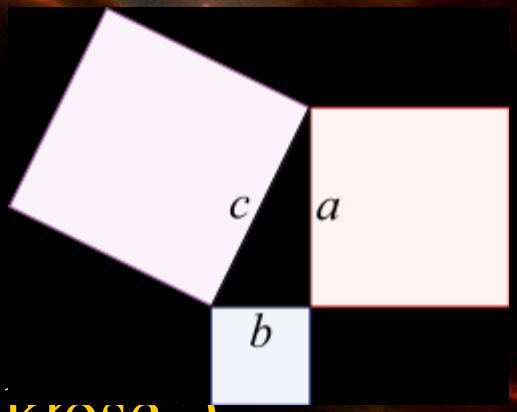
- Podzielił rok na 365 dni,
- Podał rozmiar kątowy Słońca (1/720 odległości)
- Przewidział zaćmienie Słońca w 585 r. p.n.e.
- Znał znaczenie Małej Niedźwiedzicy w nawigacji

Anaksagoras z Kladzomen



- ur. ok. 500 p.n.e., zm. ok. 428 p.n.e
- grecki filozof, usiłował zjawiska przyrodnicze wyjaśniać naukowo;
- Jako pierwszy podał poprawne wyjaśnienie zaćmienia Słońca i Księżyca.
- Na podstawie obserwacji meteorytów spadających na Ziemię, które są bryłkami czerwonego rozgrzanego żelaza, wnioskował że Słońce i inne gwiazdy musiały być również właśnie takimi kulami.
- Przyjmując założenie, że Ziemia nie ma kształtu kuli lecz jest płaska, obliczył, że Słońce o średnicy 35 mil położone jest powyżej niej, na wysokości około 4000 mil.

Pitagoras z Samos

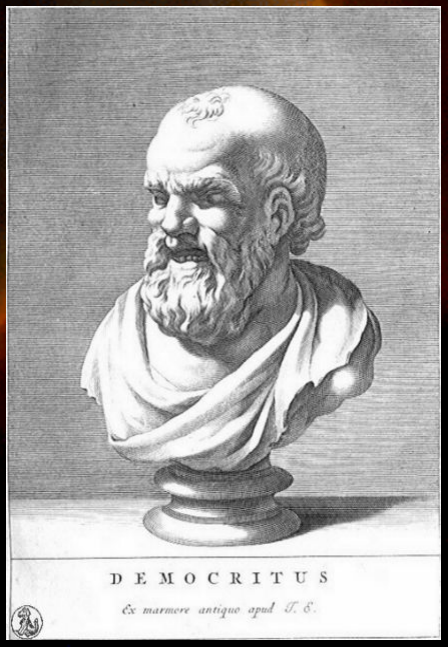


- ur. ok. 570 r. p.n.e.
- Teoria liczb, geometria
  - $a^2+b^2=c^2$
- Pitagorejczycy:
- Kulistość Ziemi (“wypukłosc”)
  - “gwiazdy na wschodzie wschodzą wcześniej”
- Harmonia w ruchu gwiazd - “siła wewnętrzna” - krążą po stałych, właściwych sobie drogach.
  - ruch->dźwięk muzyka sfer
- Wszechświat wypełniony jest eterem (próżnią)

Pitagoras z Samos

- Ziemia jest kulą
- powietrze okala tylko ziemię
- dalej jest próżnia (eter)
- gwiazdy poruszające się w próżni nie mogą być poruszane przez nacisk powietrza ale przez tkwiącą w nich samych siłę,
- szlaki gwiazd nie zależą od działania zewnętrznych przyczyn i przypadku tylko od ich wewnętrznej siły,
- planety nie błąkają się wśród gwiazd stałych tylko krążą po stałych i właściwych sobie drogach,
- w niezmierzonych sferach gwiazd panuje ład i regularność (Kosmos)

Demokryt z Abdery



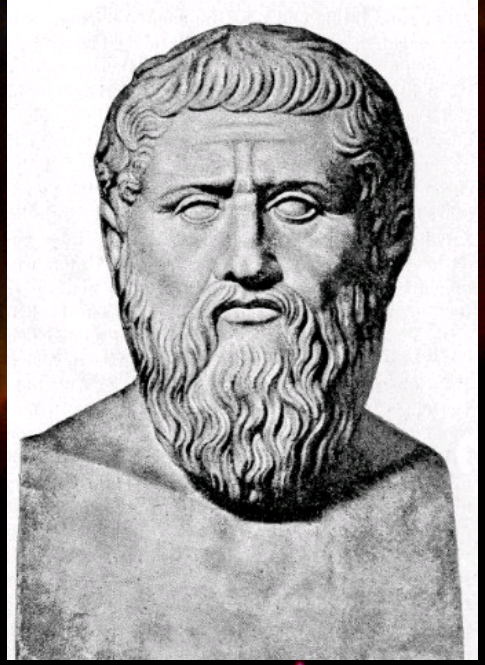
- ur. ok. 460 r. p.n.e.
- Filozof, założyciel atomizmu
  - Rzeczy skaładają sią z niepodzielnych i niezniszczalnych atomów
- Droga Mleczna jest w rzeczywistości skupiskiem odległych gwiazd
- Wszechświat zawiera wiele światów; niektóre z nich mogą być zamieszkałe.

Oinopides z Chios

ur. 450 r. p.n.e.

- Upowszechnił 12 znaków zodiaku (od Asyryjczyków z Mezopotamii)
- Określił nachylenie ekliptyki na 24 stopnie.
- Ustalił długość roku na 365 22/59 dni.
- Wyznaczył „Wielki Rok” – liczbę lat po której powtarza się w przybliżeniu ruch Słońca i Księżyca – 59 lat.
  - *miesiąc księżycowy* 29.53013 (naprawdę: 29.53059)

Platon



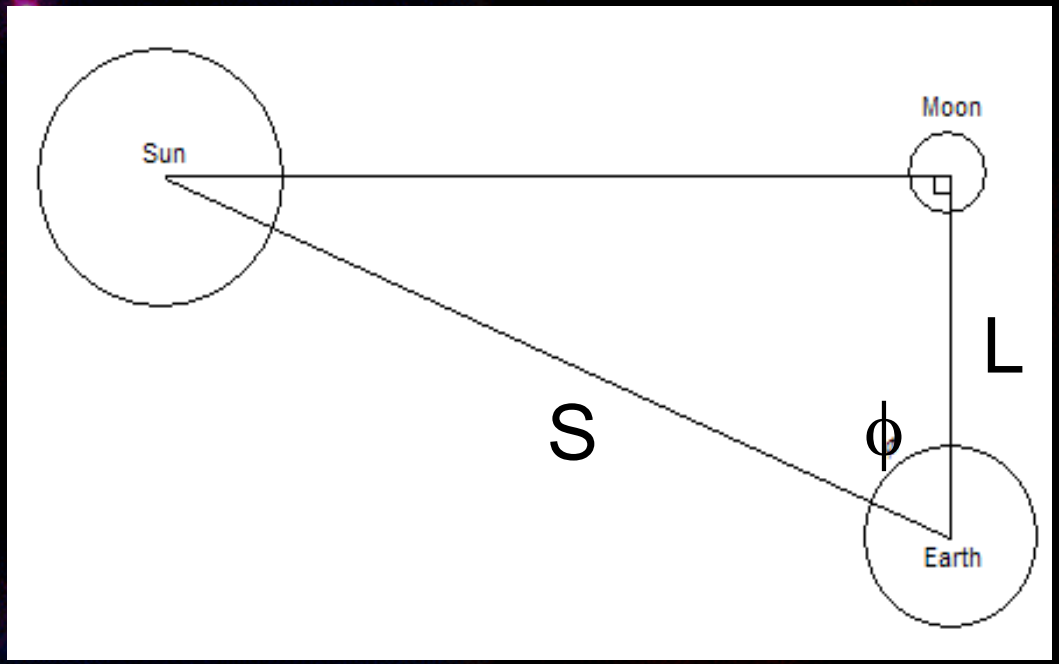
- 427 p.n.e. – 374 p.n.e.
- filozof, uczeń Sokratesa
- twórca idealizmu (platońskiego)
- „Dialogi”
- program rozwoju astronomii greckiej:
  - Wszechświat urządzony harmonijnie
  - ruchy ciał są jednostajne i kołowe
  - złożenia takich ruchów
  - Rozwiązania: Eudoksos, Kalippos → Arystoteles

Arystoteles

- ur. 384 r. p.n.e.
- filozof, nie posługiwał się matematyką
- uczeń Platona
  - *(wiedza wrodzona, ukryta, poznanie=dialektyka)*
- umysł - *tabula rasa*
  - nauka o myśleniu – logika
- *Traktat "O niebie"*
  - *Wszechświat górny (gwiazdy i planety) – doskonały, niezmienny, zbudowany z eteru i poruszający się w/g uniwesalnych, wiecznych zasad (ruch kołowy)*
  - *dolny (Ziemia) – z ziemi, wody, powietrza i ognia; nietrwały, zmienny*

Arystarch z Samos

- ur. 320 r. p.n.e.
- *O rozmiarach i odległościach Słońca i Księżyca*
  - stosunek odległości do Słońca i Księżyca
  - z obserwacji *kwadry* Księżyca
    - *87 º zamiast 89.85 º*



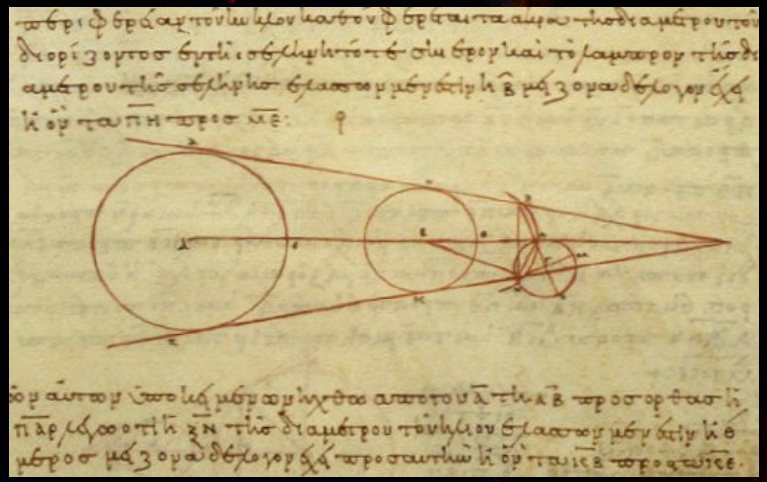
$$\frac{S}{L} = \frac{1}{\cos\varphi} = \sec\varphi.$$

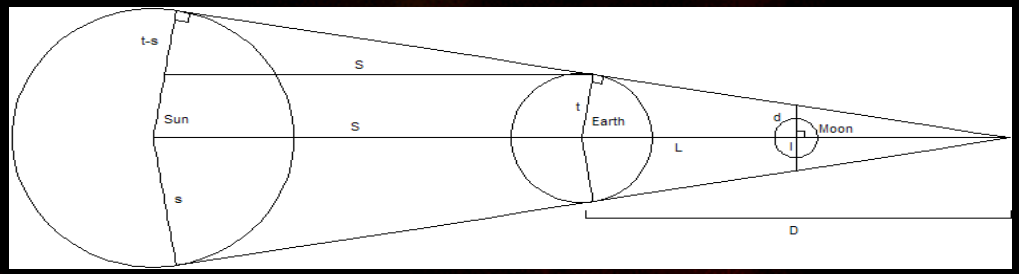
$$18 < \frac{S}{L} < 20.$$

oczywiście

Arystarch z Samos

- *O rozmiarach i odległościach Słońca i Księżyca*
  - odległości i promienie z zaćmienia Księżyca

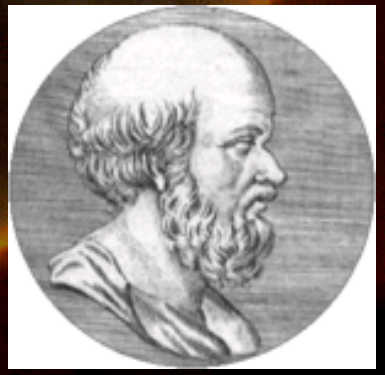




Arystarch z Samos

- teoria *heliocentryczna: (dzieło zaginione, ale cytowane przez Archimedesa)*
  - Ziemia krąży wokół Słońca po obwodzie koła oraz obraca się wokół własnej osi
  - wokół Słońca krążą także wszystkie planety
  - ruch gwiazd stałych jest tylko ruchem pozornym
- Długość trwania miesiąca (345 lat=4267 miesięcy)
  - *miesiąc księżycowy:* 29.530583 (obecnie 29.53059)
- Precesja –
  - rok cywilny/zwrotnikowy 365+1/4 + 1/152; 365+1/4 -15/4868
  - różnica wynika z precesji

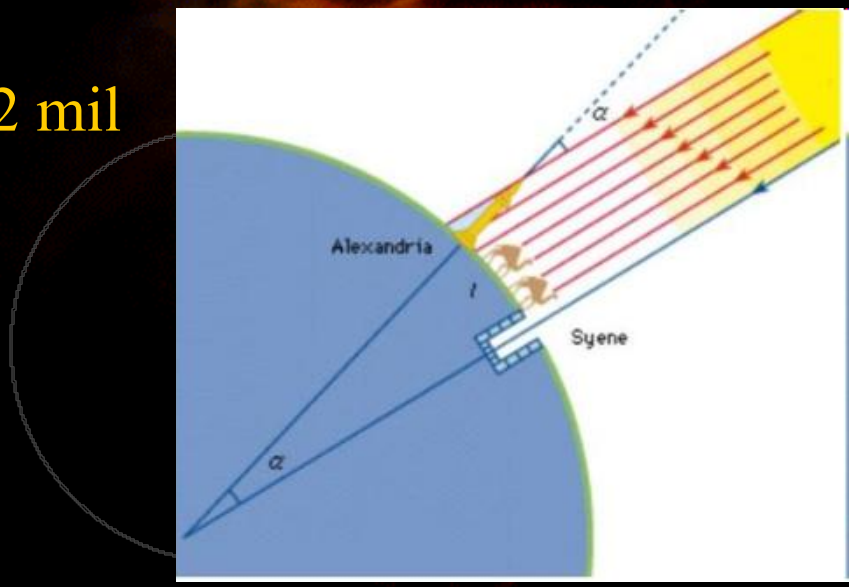
Eratostenes z Cyreny



- ur. 276 r. p.n.e.
- Sposób wyszukiwania liczb pierwszych
  - sito Eratostenesa
- Opracował mapę świata
- Oszacował obwód Ziemi
- Zmierzył nachylenie osi Ziemi
- Zasugerował dodawanie roku przestępnego co 4 lata.

Pomiary Eratostenesa

- W dniu przesilenia letniego w Syene Słońce nie rzuca cienia (do głębokiej studni) – jest w zenicie.
- W Aleksandrii góruje 7.2 stopnia od zenitu
  - 7.2 stopnia = 1/50 kąta pełnego
  - odpowiada to 1/50 obwodu Ziemi (5000 stadionów po 559 stóp)
  - obliczył promień Ziemi 4212 mil
  - (zamiast 3963)

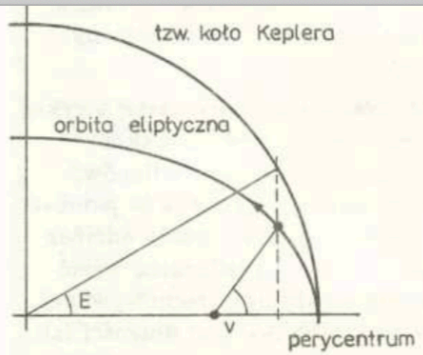


Apoloniusz z Pergi

- 262-195 p.n.e.
- dwa modele geometryczne orbit planet:
  - po okręgu, Ziemia poza środkiem okręgu.
  - po epicyklu i deferencie, ziemia w środku deferentu
- w obu równoważnych modelach zmienna jest odległość planety od Ziemi i jej prędkość na tle gwiazd

Hipparchos z Nikei

- ur. 190 r. p.n.e., pracował na Rodos
- Podział koła na 360 stopni
- Długość roku z błędem 6.5 minut
- Odległość do Księżyca (metodą paralaksy) 59 - 67 promieni Ziemi (jest: 60)
- Oszacował precesję na 46 sekund na rok (jest: 50)
- Zmierzył mimośród orbity Ziemia-Słońce (1/24)/2
- Opracował katalog 1080 gwiazd używanych później przez Ptolemeusza.
- Określił skalę jasności gwiazd od 1 do 6
- Odkrył gwiazdę nową. STS-5



Rys. 1

Nie wystarczał więc prymitywny model jednej jednostajnie obracającej się wokół Ziemi sfery z osadzonym na niej Słońcem. Bo to, że ma to być sfera (lub sfery) i że ma (lub mają) się obracać jednostajnie, to były założenia, od których odstąpić nie przyszłoby nikomu do głowy. Trzeba było wobec tego wymyśleć taką konstrukcję, która nie rezygnując z tych założeń dawałaby zgodność z obserwacjami. I Hipparch ją wymyślił. Jest zaskakujące, jak prosto można tę zgodność uzyskać.

Położenie ciała na orbicie (w tym przypadku będzie to Słońce na orbicie okołoziemskiej – to nic, że akurat powinno być odwrotnie; w tym ujęciu łatwiej mówić o porównywaniu teorii z obserwacjami) można opisać podając np. kąt v między kierunkiem na to ciało a kierunkiem na perycentrum (rys. 1). Nazywa się on anomalią prawdziwą. Niestety, kąt ten narasta niejednostajnie w czasie i nie daje się jego zależności od czasu elementarnie zapisać. Daje się to zrobić za pomocą innego kąta E, zwanego anomalią mimośrodową. Mianowicie okazuje się, że dla ruchu po elipsie jednostajnie w czasie narasta wielkość M, zwana anomalią średnią,

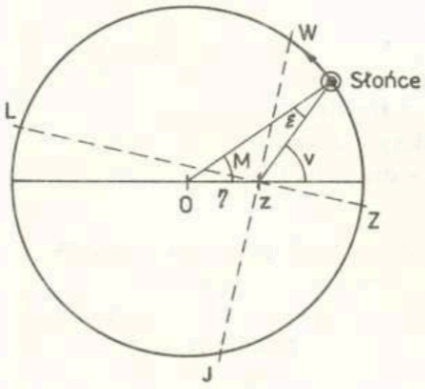
$$M = E - e\sin E = \sqrt{\mathrm{G}(M_\odot + m)}\, a^{-3/2} t\,,$$

gdzie e oznacza tu mimośród orbity Słońca, t czas liczony od chwili jego przejścia przez perygeum, a wielką półoś orbity, $M_\odot$ masę Słońca, m masę Ziemi, G stałą grawitacji. Na podstawie rysunku 1 można nietrudno przekonać się, że

$$\mathrm{tg}(v/2) = \sqrt{(1+e)/(1-e)}\,\mathrm{tg}(E/2)\,,$$

za to jako nieco trudniejsze ćwiczenie z rachunków można polecić znalezienie rozwinięcia w szereg $v(M)$. Wynikiem jest:

$$v = M + 2e\sin M + \frac{5}{4}e^2 \sin 2M + \ldots$$



Rys. 2

Powróćmy znowu do Hipparcha. Zauważył on, że jednostajny ruch (Słońca) po kole będzie obserwowany jako niejednostajny z punktu położonego poza środkiem koła. Spróbujmy więc tak dobrać położenie tego punktu, czyli Ziemi, by otrzymać najlepszą zgodność z obserwacjami. Niech Ziemia leży w odległości $OZ = \eta$ od środka orbity słonecznej; wielkość ta (dokładniej $\eta = OZ/OS$, ale OS można tu przyjąć za jednostkę) zwana była mimośrodem Hipparcha. Z twierdzenia sinusów $OZ/\sin\varepsilon = OS/\sin v$, a ponadto $v = M + \varepsilon$. Wobec tego

$$\sin\varepsilon = \eta\sin(M+\varepsilon) = \eta\sin M\cos\varepsilon + \eta\cos M\sin\varepsilon\,.$$

skąd

$$\mathrm{tg}\varepsilon = \frac{\eta\sin M}{1-\eta\cos M}\,.$$

W JAKI SPOSÓB HIPPARCH ODKRYŁ PRECESJĘ?

PTOLEMEUSZ, *Almagest*, VII,2
Hipparch porównał odległość Kłosu (α Vir) od punktu równonocy jesiennej zaobserwowaną przez Timocharisa (Aleksandria) – około 8° – z uzyskaną przez siebie: około 6°. Obserwacje dzieli 148 lat.

2°/148 lat = $1;24^o$ [$1,4^o$]/100 lat

PTOLEMEUSZ, *Almagest*, III,1&VII,3

Timocharis	294 p.n.e.	$7;40^o$
Timocharis	283 p.n.e.	$7;30$
Hipparch	146 p.n.e.	$6;30$
Hipparch	135 p.n.e.	$5;15$

$1;10^o$ / 148 lat

$2;15^o$ /148 lat

ALE
Obserwacje Timocharisa – zakrycia Kłosu przez Księżyc
Obserwacje Hipparcha – odległość Kłosu od Księżyca podczas jego zaćmień

W JAKI SPOSÓB HIPPARCH ODKRYŁ PRECESJĘ?

← Numer kolumny

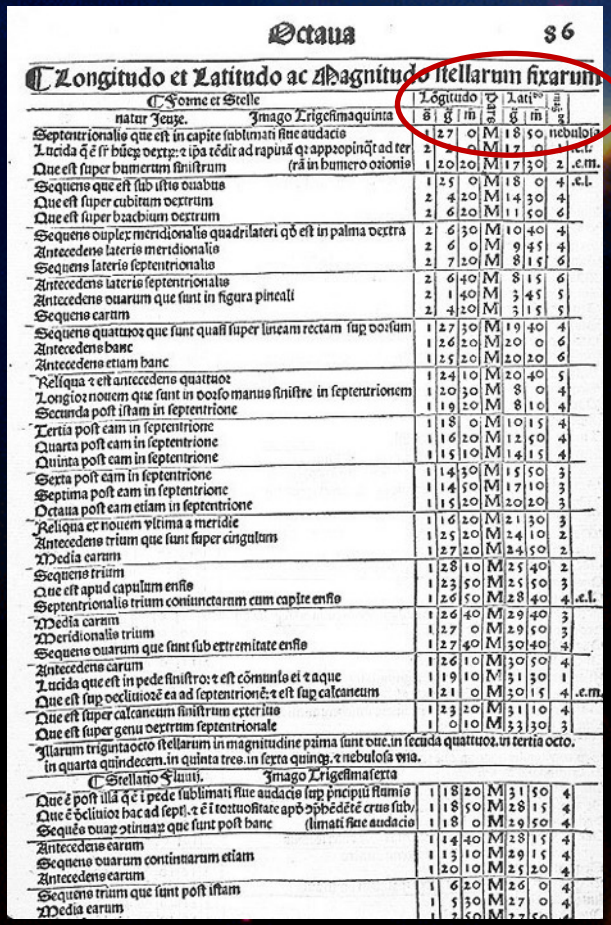
Efemerydy Księżyca
104/103 – 22/21

British Museum

Miesiąc synodyczny: 29;31,50,8,20 dnia
Hipparch adoptował tę wartość: *Almagest* IV,2

Hipparch
Rok [illegible]kowy: 36[illegible]
[illegible]azdowy: [illegible]

Jednakże już Hipparch wykazał, wykorzystując obserwacje Chaldejczyków i wykonane w jego czasach, że najmniejszy stały interwał, określający okres ekliptyczny, w którym liczba miesięcy i wielkość ruchu [Księżyca] są zawsze równe, wynosi 126 007 dni i 1 godzinę równonocną. Stwierdza on, że w tym interwale mieści się 4267 miesięcy, 4573 całkowitych powrotów w anomalii i 4612 obiegów ekliptyki bez 7½°, co odpowiada 345 obiegom Słońca (tutaj obiegi Słońca i Księżyca odnoszą się do gwiazd). *Almagest* IV,2



Octaua 86

Longitudo et Latitudo ac Magnitudo stellarum fixarum

Forme et Stelle | Logitudo | Latitudo | Quantitas

natur Jeuze. Imago Trigesimaquinta | s | g | m | | s | g | m |

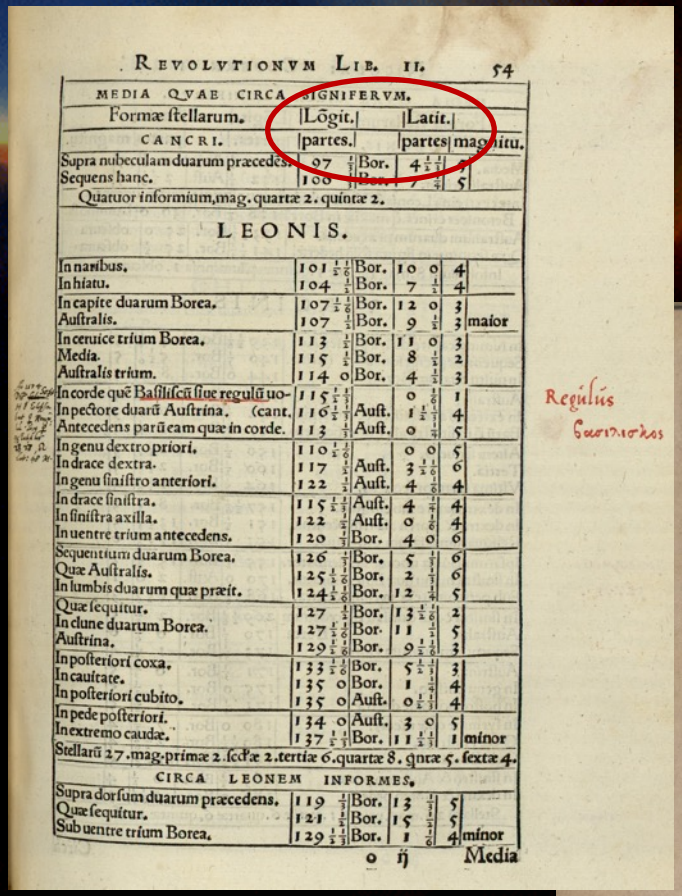
Septentrionalis que est in capite sublimati siue audacis	1	27	0	M	18	50		nebulosa	
Lucida q̃ē ſt̃ bũęq; dextr: ꝛ ipa tẽdit ad rapinã q; appropinq̃t ad ter	2			M	17				.c.l.
Que est super humerum sinistrum (rã in humero oriõis	1	20	20	M	17	30	2		.c.m.
Sequens que est sub istis duabus	1	25	0	M	18	0	4		.c.l.
Que est super cubitum dextrum	2	4	20	M	14	30	4		
Que est super brachium dextrum	2	6	20	M	11	50	6		
Sequens duplex meridionalis quadrilateri q̃ō est in palma dextra	2	6	30	M	10	40	4		
Antecedens lateris meridionalis	2	6	0	M	9	45	4		
Sequens lateris septentrionalis	2	7	20	M	8	15	6		
Antecedens lateris septentrionalis	2	6	40	M	8	15	6		
Antecedens duarum que sunt in figura pineali	2	1	40	M	3	45	5		
Sequens earum	2	4	20	M	3	15	5		
Sequens quatuor que sunt quasi super lineam rectam sup dorsum	1	27	30	M	19	40	4		
Antecedens hanc	1	26	20	M	20	0	6		
Antecedens etiam hanc	1	25	20	M	20	20	6		
Reliqua ꝛ est antecedens quattuor	1	24	10	M	20	40	5		
Longior nouem que sunt in dorso manus sinistre in septentrionem	1	20	30	M	8	0	4		
Secunda post istam in septentrione	1	19	20	M	8	10	4		
Tertia post eam in septentrione	1	18	0	M	10	15	4		
Quarta post eam in septentrione	1	16	20	M	12	50	4		
Quinta post eam in septentrione	1	15	10	M	14	15	4		
Sexta post eam in septentrione	1	14	30	M	15	50	3		
Septima post eam in septentrione	1	14	50	M	17	10	3		
Octaua post eam etiam in septentrione	1	15	20	M	20	20	3		
Reliqua ex nouem vltima a meridie	1	16	20	M	21	30	3		
Antecedens trium que sunt super cingulum	1	25	20	M	24	10	2		
Media earum	1	27	20	M	24	50	2		
Sequens trium	1	28	10	M	25	40	2		
Que est apud capulum ensis	1	23	50	M	25	50	3		
Septentrionalis trium coniunctarum cum capite ensis	1	26	50	M	28	40	4		.c.l.
Media earum	1	26	40	M	29	40	3		
Meridionalis trium	1	27	0	M	29	50	3		
Sequens ouarum que sunt sub extremitate ensis	1	27	40	M	30	40	4		
Antecedens earum	1	26	10	M	30	50	4		
Lucida que est in pede sinistro: ꝛ est cõmunis ei ꝛ aque	1	19	10	M	31	30	1		
Que est sup occiuitiq̃ ea ad septentrionẽ: ꝛ est sup calcaneum	1	21	0	M	30	15	4		.c.m.
Que est super calcaneum sinistrum exterius	1	23	20	M	31	10	4		
Que est super genu dextrum septentrionale	1	0	10	M	33	30	3		

Illarum triginta octo stellarum in magnitudine prima sunt due, in secunda quattuor, in tertia octo. in quarta quindecem, in quinta tres, in sexta quinq;, ꝛ nebulosa via.

Stellatio Fluuii. Imago Trigesimasexta

Que ẽ post illã q̃ ẽ i pede sublimati siue audacis sup pincipiũ stamis	1	18	20	M	31	50	4		
Que ẽ scliuior hac ad sept̃. ꝛ ẽ i tortuositate apd ophẽdẽtẽ crus sub	1	18	50	M	28	15	4		
Sequẽs ouaꝫ ꝫtinuaꝫ que sunt post hanc (limati siue audacis	1	18	0	M	29	50	4		
Antecedens earum	1	14	40	M	28	15	4		
Sequens ouarum continuarum etiam	1	13	10	M	29	15	4		
Antecedens earum	1	20	10	M	25	20	4		
Sequens trium que sunt post istam	1	6	20	M	26	0	4		
Media earum	1	5	30	M	27	0	4		

Katalog gwiazd Ptolemeusza



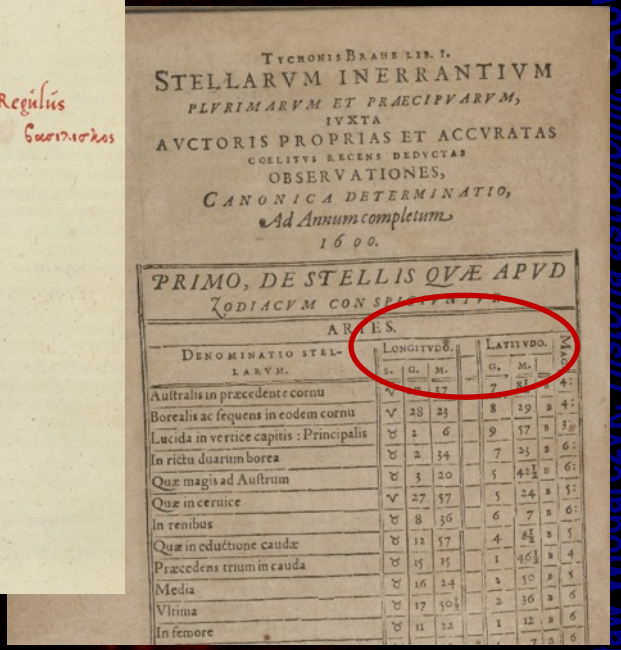
REVOLVTIONVM LIB. II. 54

MEDIA QVAE CIRCA SIGNIFERVM.

Formæ stellarum.	Lõgit. partes.		Latit. partes		magnitu.
CANCRI.					
Supra nubeculam duarum præcedes.	97 1/3	Bor.	4 1/2 1/6		4
Sequens hanc.	100	Bor.	7 1/2		5
Quatuor informium, mag. quartæ 2. quintæ 2.					
LEONIS.					
In naribus.	101 1/2 1/6	Bor.	10 0		4
In hiatu.	104 1/2	Bor.	7 1/2		4
In capite duarum Borea.	107 1/2 1/6	Bor.	12 0		3
Australis.	107 1/2	Bor.	9 1/2		3 maior
In ceruice trium Borea.	113 1/2	Bor.	11 0		3
Media.	115 1/2	Bor.	8 1/2		2
Australis trium.	114 0	Bor.	4 1/2		3
In corde quẽ Basiliscũ siue regulũ uo-	115 1/2 1/3		0 1/6		1
In pectore duarũ Austrina. (cant.	116 1/2 1/3	Aust.	1 1/2 1/3		4
Antecedens parũ eam quæ in corde.	113 1/3	Aust.	0 1/6		5
In genu dextro priori.	110 1/2 1/6		0 0		5
In drace dextra.	117 1/2	Aust.	3 1/2 1/6		6
In genu sinistro anteriori.	122 1/2	Aust.	4 0		4
In drace sinistra.	115 1/2 1/3	Aust.	4 1/6		4
In sinistra axilla.	122 1/2	Aust.	0 1/6		4
In uentre trium antecedens.	120 1/3	Bor.	4 0		6
Sequentium duarum Borea.	126 1/3	Bor.	5 1/3		6
Quæ Australis.	125 1/2 1/6	Bor.	2 1/3		6
In lumbis duarum quæ præit.	124 1/2 1/6	Bor.	12 1/4		5
Quæ sequitur.	127 1/2	Bor.	13 1/2 1/6		2
In clune duarum Borea.	127 1/2 1/6	Bor.	11 1/2		5
Austrina.	129 1/2 1/6	Bor.	9 1/2 1/6		3
In posteriori coxa.	133 1/2 1/6	Bor.	5 1/2 1/3		3
In cauitate.	135 0	Bor.	1 1/2		4
In posteriori cubito.	135 0	Aust.	0 1/2 1/3		4
In pede posteriori.	134 0	Aust.	3 0		5
In extremo caudæ.	137 1/2 1/3	Bor.	11 1/2 1/3		1 minor
Stellarũ 27. mag. primæ 2. secũdæ 2. tertiæ 6. quartæ 8. quintæ 5. sextæ 4.					
CIRCA LEONEM INFORMES.					
Supra dorsum duarum præcedens.	119 1/2 1/3	Bor.	13 1/2 1/3		5
Quæ sequitur.	121 1/2 1/3	Bor.	15 1/2 1/3		5
Sub uentre trium Borea.	129 1/2 1/3	Bor.	1 1/6		4 minor

o ij Media

Katalog gwiazd Kopernika



TYCHONIS BRAHE LIB. I.

STELLARVM INERRANTIVM PLVRIMARVM ET PRAECIPVARVM, IVXTA AVCTORIS PROPRIAS ET ACCVRATAS COELITVS RECENS DEDVCTAS OBSERVATIONES, CANONICA DETERMINATIO, Ad Annum completum 1600.

PRIMO, DE STELLIS QVÆ APVD ZODIACVM CONSPICVNTVR.

ARIES.

Denominatio stellarvm.	Longitvdo. s.	G.	M.		Latitvdo. G.	M.		
Australis in præcedente cornu	♈		37		7	22	B	4
Borealis ac sequens in eodem cornu	♈	28	23		8	29	B	4
Lucida in vertice capitis : Principalis	♉	2	6		9	57	B	3
In rictu duarum borea	♉	2	34		7	25	B	6
Quæ magis ad Austrum	♉	5	20		5	42	B	6
Quæ in ceruice	♈	27	57		5	24	B	5
In renibus	♉	8	36		6	7	B	6
Quæ in eductione caudæ	♉	12	57		4	8	B	5
Præcedens trium in cauda	♉	15	35		1	46	B	4
Media	♉	16	24		1	50	B	5
Vltima	♉	17	50		2	36	B	6
In femore	♉	11	32		1	12	B	6

Tychonis Brahe Astronomiae instauratae progymnasmata, Praga, 1602

Jarosław Włodarczyk, Historia astronomii, UAM W, semestr letni 2019/20

Jasności gwiazd, Słońca, Księżyca i planet

- Wielkości gwiazdowe:
  - magnitudo, mag, ^{m}
- Jasne gwiazdy „pierwszej wielkości”: 1^{m}
- Najsłabsze gwiazdy widziane gołym okiem: 6^{m}
- W rzeczywistości:
  - Syriusz: $-1^{m},46$
  - Wega: $0^{m},03$

Jasności gwiazd, Słońca, Księżyca i planet

- Słońce: -27^m
- Księżyc w pełni: $-12^m,71$
- Wenus (w pobliżu maksymalnej *elongacji*): $-4^m,7$
- Mars (podczas opozycji: $-2^m,7$
- Jowisz: $-2^m,5$
- Merkury (w pobliżu maksymalnej *elongacji*): $-2^m,2$
- Saturn: ok. $-1^m,8$
- Uran: ok. $5^m,5$
- Neptun: ok. $7^m,5$

Mechanizm z Antikythery

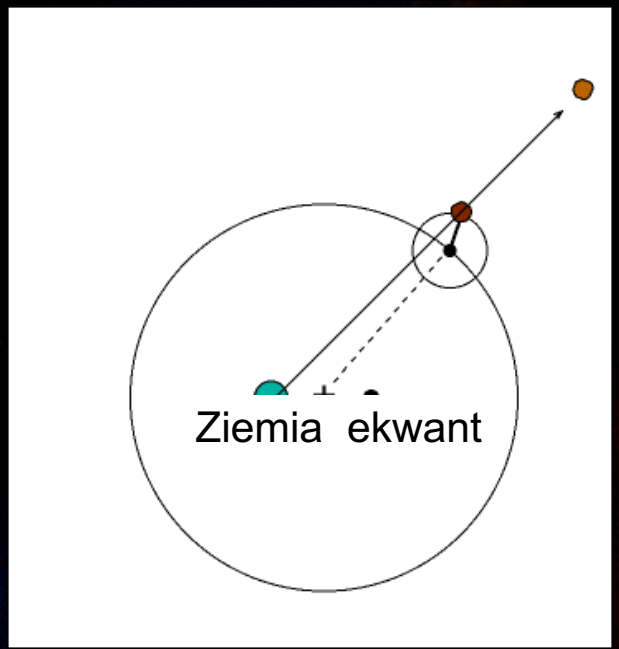
200 BC - 70 BC

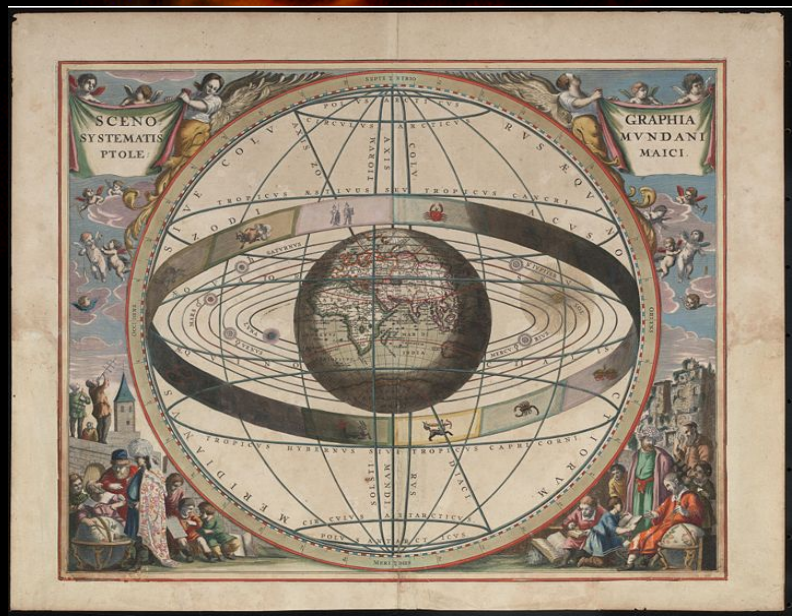
- datowany pomiędzy 205 BC a 70 BC.

a
b

Klaudiusz Ptolemeusz z Aleksandrii

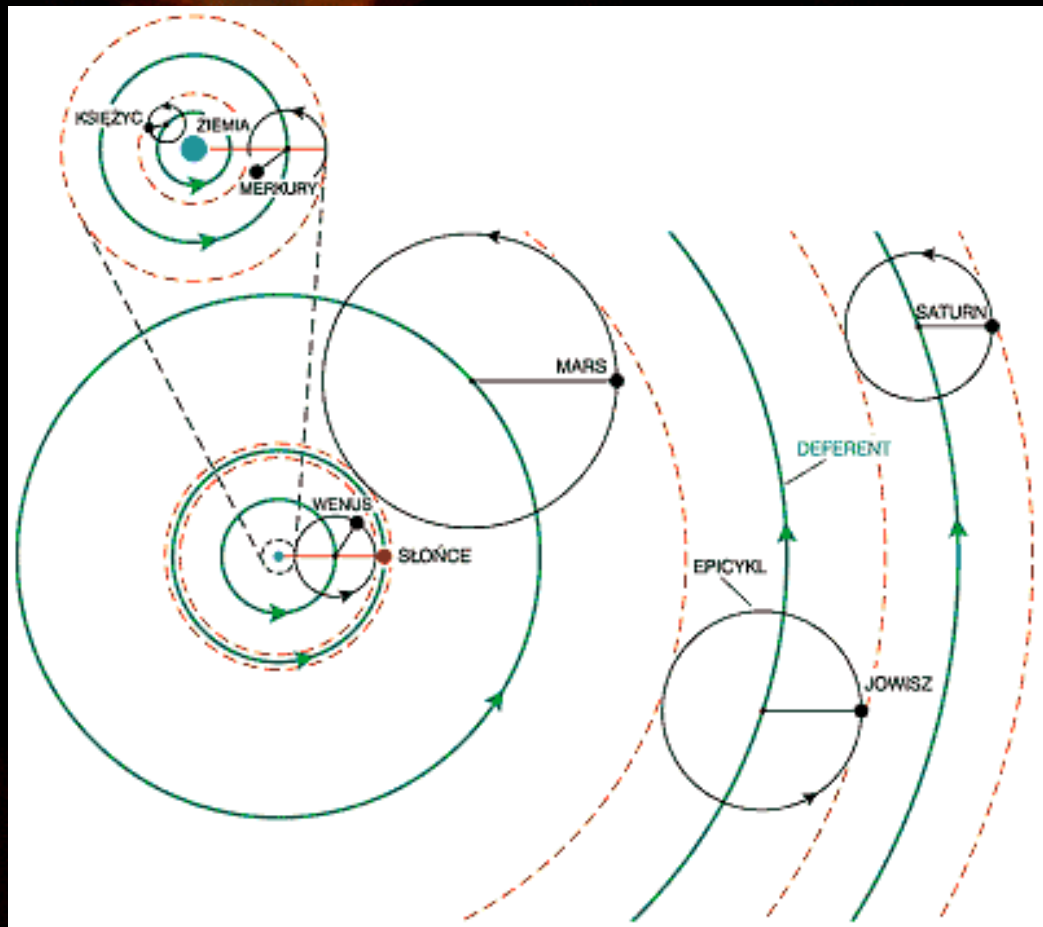
- ur. ok. 100 n.e., Tebaida (Egipt)
- system geocentryczny
  - deferenty i epicykle
  - ekwant – punkt wyrównawczy
- Al-magest – dzieła zebrane (13 ksiąg)





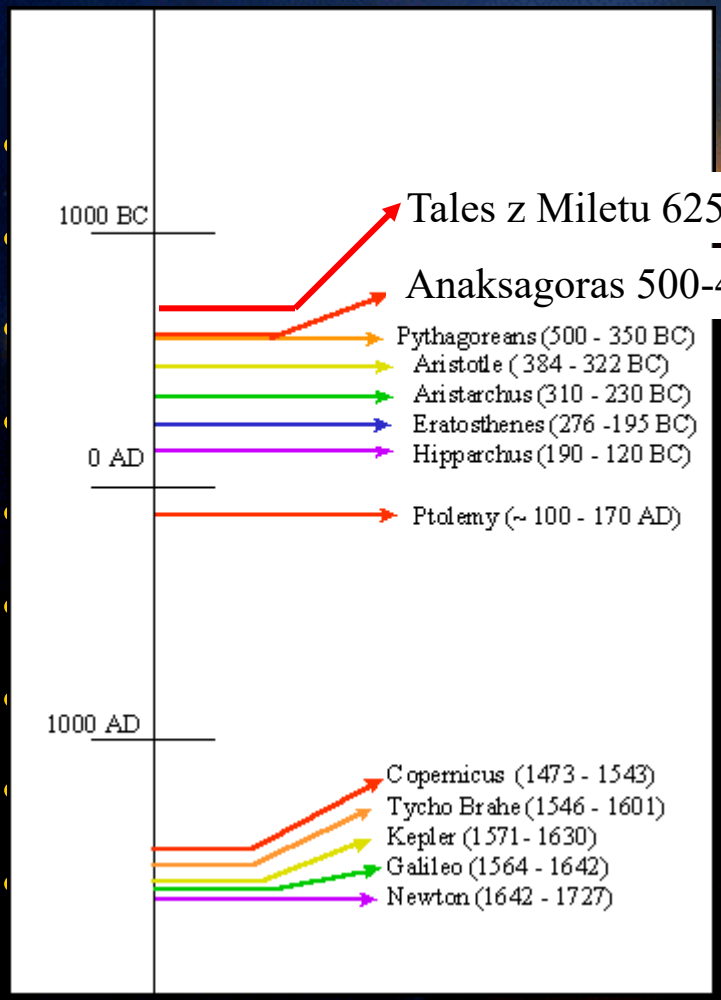
Wszechświata według Ptolemeusza

CIAŁO NIEBIESKIE	PROMIEŃ SFERY W PROMIENIACH ZIEMI		
	minimalny	maksymalny	średni
Księżyc	33	64	48
Merkury	64	166	115
Wenus	166	1079	622 1/2
Słońce	1160	1260	1210
Mars	1260	8820	5040
Jowisz	8820	14 187	11 503
Saturn	14 187	19 865	17 026
Sfera gwiazd	-	-	20 000



Wieki Ciemne

Uczeni i filozofowie Greccy



ok. 625 p.n.e.

ok. 580 p.n.e.

ok. 460 p.n.e.

450 p.n.e.

384 p.n.e.

ok. 320 p.n.e.

276 p.n.e

190 p.n.e.

85 n.e.

Wieki Ciemne

- 200 – 1400 w kulturze europejskiej
  - zastój,
  - Ptolemeusz poznawany przez łacińskie tłumaczenia z arabskiego
- rozwój astronomii arabskiej (islam):
  - Bliski Wschód,
  - Afryka Północna
  - mauretańska Hiszpania (Toledo)

Astronomia arabska

- rozwój astronomii sferycznej (geometrii)
  - pojęcia; zenit, nadir,azymut
  - astrolabium płaskie do rozwiązywania zadań
  - arabskie nazwy jasnych gwiazd
  - obserwatoria, pomiary, np.
    - Tablice Toledańskie
      al-Zarqaliego (Arzachela; XI w.)
  - parametry orbit ptolemejskich

Ruch Księżyca

Nasir ad-Din at-Tusi, **Tadhkira - Memoir on Astronomy**. *Biblioteka Kongresu.*

Renesans astronomii

- Jan SacroBosco ok. 1230 – „Traktat o sferze” w/g Ptolemeusza, krytyka kalendarza juliańskiego (opóźniony 10 dni)
- Georg Peuerbach (1423-1461)
  - odnowa astronomii poprzez studiowanie dzieł autorów starożytnych
  - *Nowe teoryki planet* - skrót astronomii Ptolemeusza i arabskich krytyków
  - tablice astronomiczne używane przez Kolumba
  - streszczenie Almagestu (6 ksiąg)
- Johannes Müller (1436-1476), zwany *Regiomontanem (ur. k. Koenigsbergu)*
  - Wydał *Epitome in Almagestum Ptolomaei*
- Mikołaj Kopernik (1473 – 1543)
  - szkoła krakowska

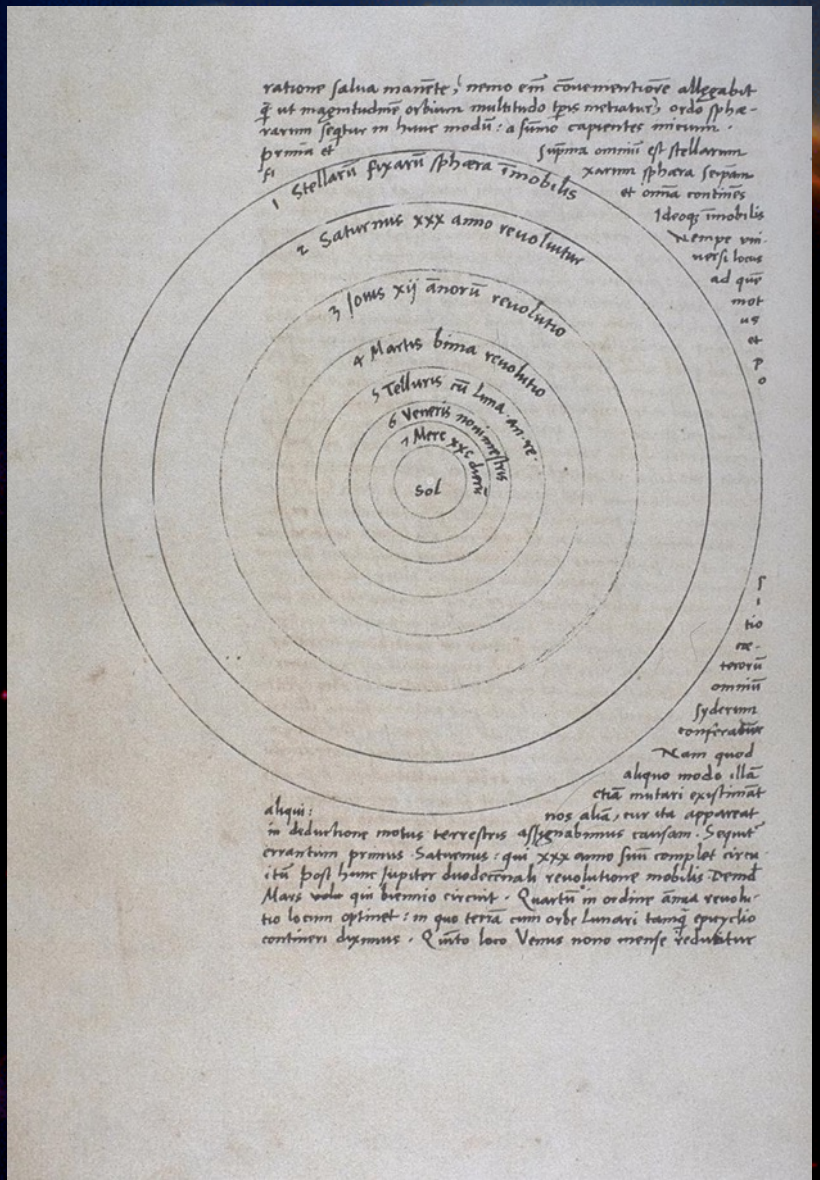
Mikołaj Kopernik

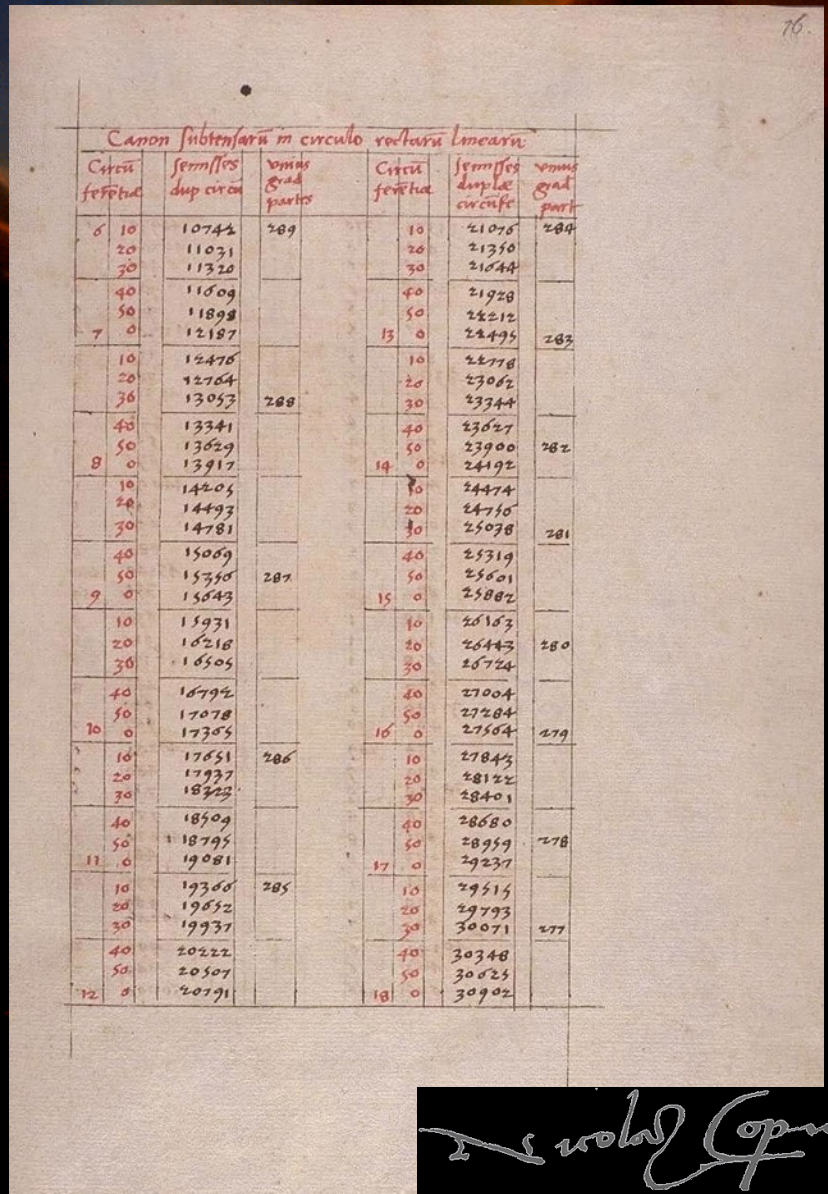
Mikołaj Kopernik

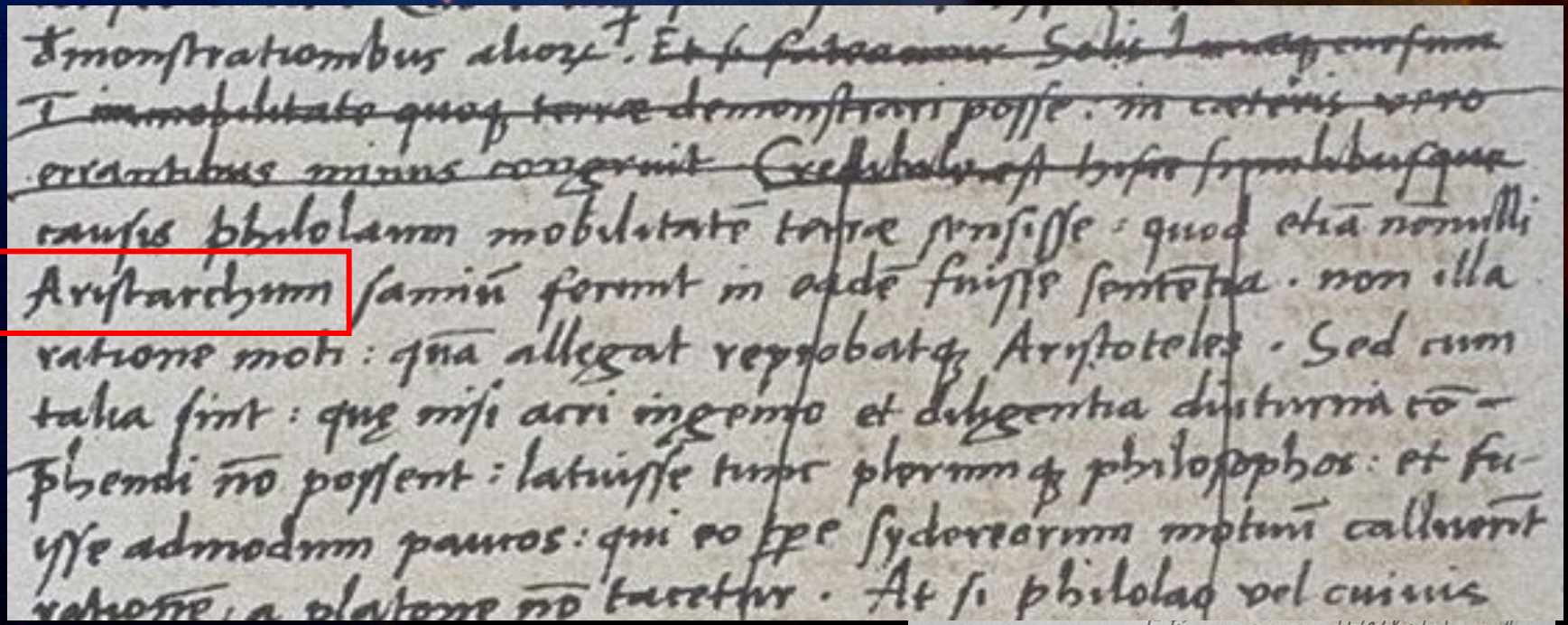
(Nicolaus Copernicus)

- ur. 19 lutego 1473 w Toruniu,
- zm. 24 maja 1543 we Fromborku
- 1491 – 1495 – Akademia Krakowska (Wojciech z Brudzewa)
- 1496 – studia prawnicze w Bolonii
  - studiował *Epitome in Almagestum Ptolomei* Peurbacha i Regiomontanua
  - badał teorię (sprzeczności) ruchu Księżyca
- 1497 - objęcie kanonii warmińskiej
- 1500 – Rzym, praktyka prawnicza
- 1503 – Ferrara, dokotr prawa kanonicznego
  - Padwa – uprawnienia medyczne
- 1507 – 1543 mieszkał i pracował na Warmii

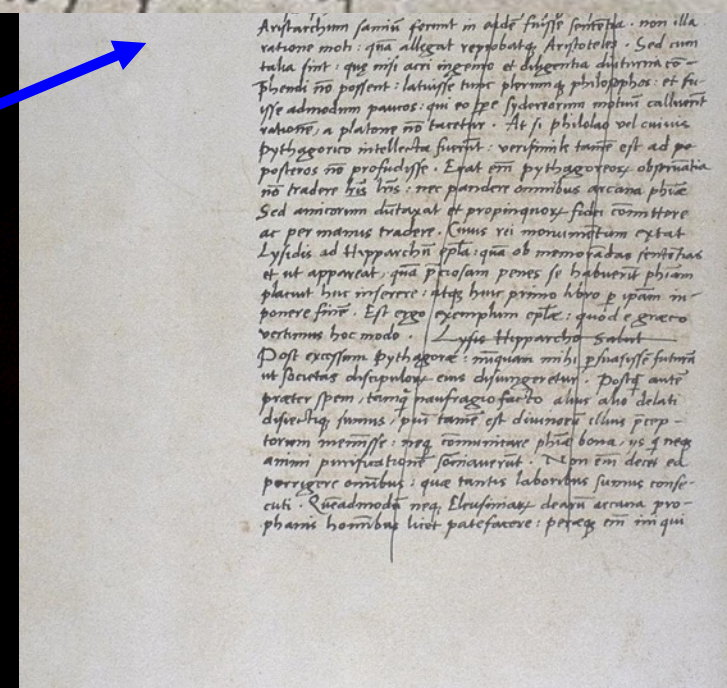
Kopernik – De revolutionibus







demonstrationibus aliorum. ~~Et si fateamur Solis Lunaeque cursum~~
~~et immobilitate quoque terrae demonstrari posse: in caeteris vero~~
~~errantibus minus congruit. Credibile est hisce similibusque~~
causis philolaum mobilitatem terrae sensisse: quod etiam nonnulli
Aristarchum samium ferunt in eadem fuisse sententia. non illa
ratione moti: quam allegat reprobatque Aristoteles. Sed cum
talia sint: quae nisi acri ingenio et diligentia diuturna com-
prehendi non possent: latuisse tunc plerumque philosophos: et fu-
isse admodum paucos: qui eo tempore sydereorum motuum calluerint
rationem, a platone non tacetur. At si philolao vel cuiuis

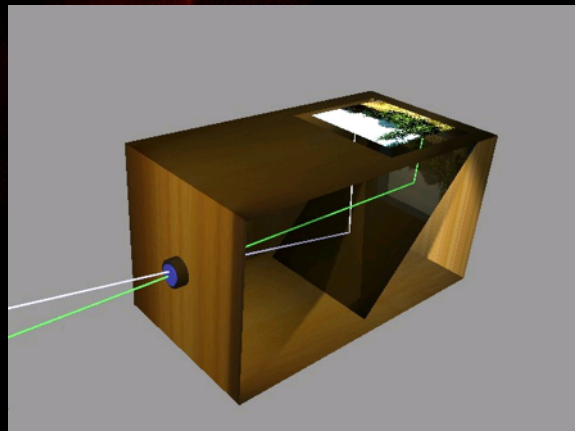


Aristarchum samium ferunt in eadem fuisse sententia. non illa
ratione moti: quam allegat reprobatque Aristoteles. Sed cum
talia sint: quae nisi acri ingenio et diligentia diuturna com-
prehendi non possent: latuisse tunc plerumque philosophos: et fu-
isse admodum paucos: qui eo tempore sydereorum motuum calluerint
rationem, a platone non tacetur. At si philolao vel cuiuis
pythagorico intellecta fuerint: verisimile tamen est ad po-
posteros non profudisse. Erat enim pythagoreorum observantia
non tradere hominibus: nec pandere omnibus arcana philosophiae
Sed amicorum dumtaxat et propinquorum fidei committere
ac per manus tradere. Cuius rei monumentum extat
Lysidis ad Hipparchum epistola: quam ob memorandas sententias
et ut appareat, quam preciosam penes se habuerint philosophiam
placuit huc inserere: atque huic primo libro per ipsam im-
ponere finem. Est ergo exemplum epistolae: quod e graeco
vertimus hoc modo. ~~Lysis Hipparcho salut~~
Post excessum pythagorae: nunquam mihi persuasissem futuram
ut societas discipulorum eius disiungeretur. Postquam autem
praeter spem, tamquam naufragio facto alius alio delati
disiectique sumus, pium tamen est diuinorum illius praecep-
torum meminisse: neque communicare philosophiae bona, ys qui neque
animi purificationem sortiauerunt. Non enim decet ea
porrigere omnibus: quae tantis laboribus sumus conse-
cuti. Quemadmodum neque Eleusiniarum deorum arcana pro-
phanis hominibus licet patefacere: peraeque enim iniqui

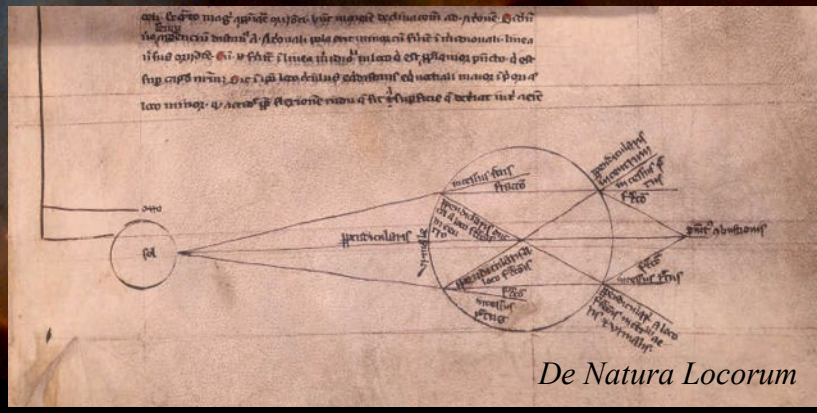
przed wydrukowaniem usunięto fragment o Arystarchu.

Astronomia nowożytna

- Pierwsze soczewki z kwarcu
  - Niniwa w Asyrii, 650 p.n.e.
  - Grecja, Arystofanes – 423 p.n.e.
    - komedia *Chmury* – opisał *palące szkiełko*
- Alhazen - **Ibn al-Haytham**
  - arabski uczony działający w Egipcie w X/XI w.
  - *Kitab-al-Manadhirn – Księga Optyki*
    - dzieło o optyce i teorii postrzegania
    - *camera obscura* (*pinhole*)
    - refrakcja, odbicie



Astronomia nowożytna


De Natura Locorum

- Teleskopy (lunety)
  - Robert Grosseteste, filozof
  - Oxford, 1230
  - *Ta część optyki, gdy dobrze się ją pojmie, pokazuje nam jak możemy sprawić, by przedmioty bardzo odległe sprawiały wrażenie będących bardzo blisko, zaś duże bliskie przedmioty zdawały się małe, i jak możemy sprawić, by odległe przedmioty były takiej wielkości, jakiej zechcemy, tak że może być możliwym przeczytanie najmniejszych liter z niesłychanych odległości*
  - Roger Bacon, 1214-1292, uczeń Grosseteste, opisał teleskop(?)
- Włochy, XII-XIV w. - soczewki wypukłe „do bliży”
- **Hans Lippershey, Jacob Metius, Duńczycy, 1608, Zacharias Janssen, Holender**

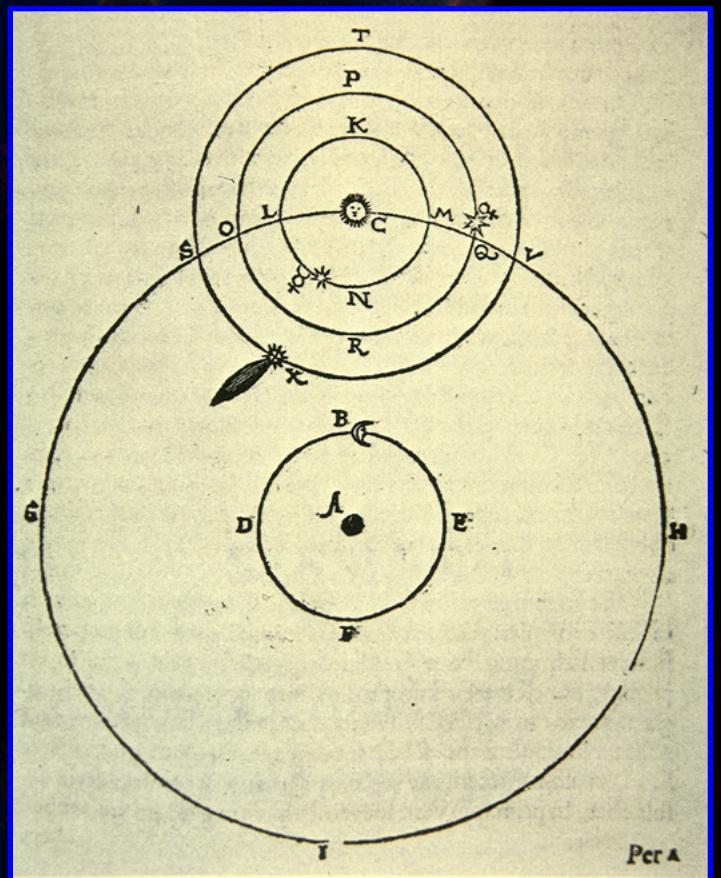
Tycho Brahe

- 1546-1601, Duńczyk, szlachcic
- 11/11/1572, SN w Kasjopei
- astrolog, alchemik, obserwator
- obserwatoria Uraniborg i Stjerneborg na wyspie Hven (król Fryderyk II)
- dokładne obserwacje (1')
- odkrył 5 komet
- spór z Chrystianem IV 1597 w Pradze od 1599 (Rudolf II)
  - asystentem był Kepler

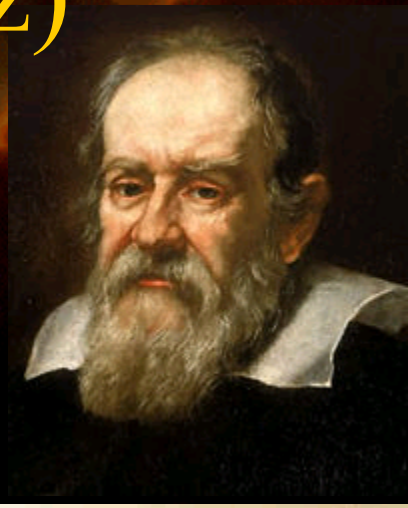
Uraniborg main building. Copper etching from Blaeu's Atlas Major, 1663.

Tycho Brahe

- podważał model heliocentryczny



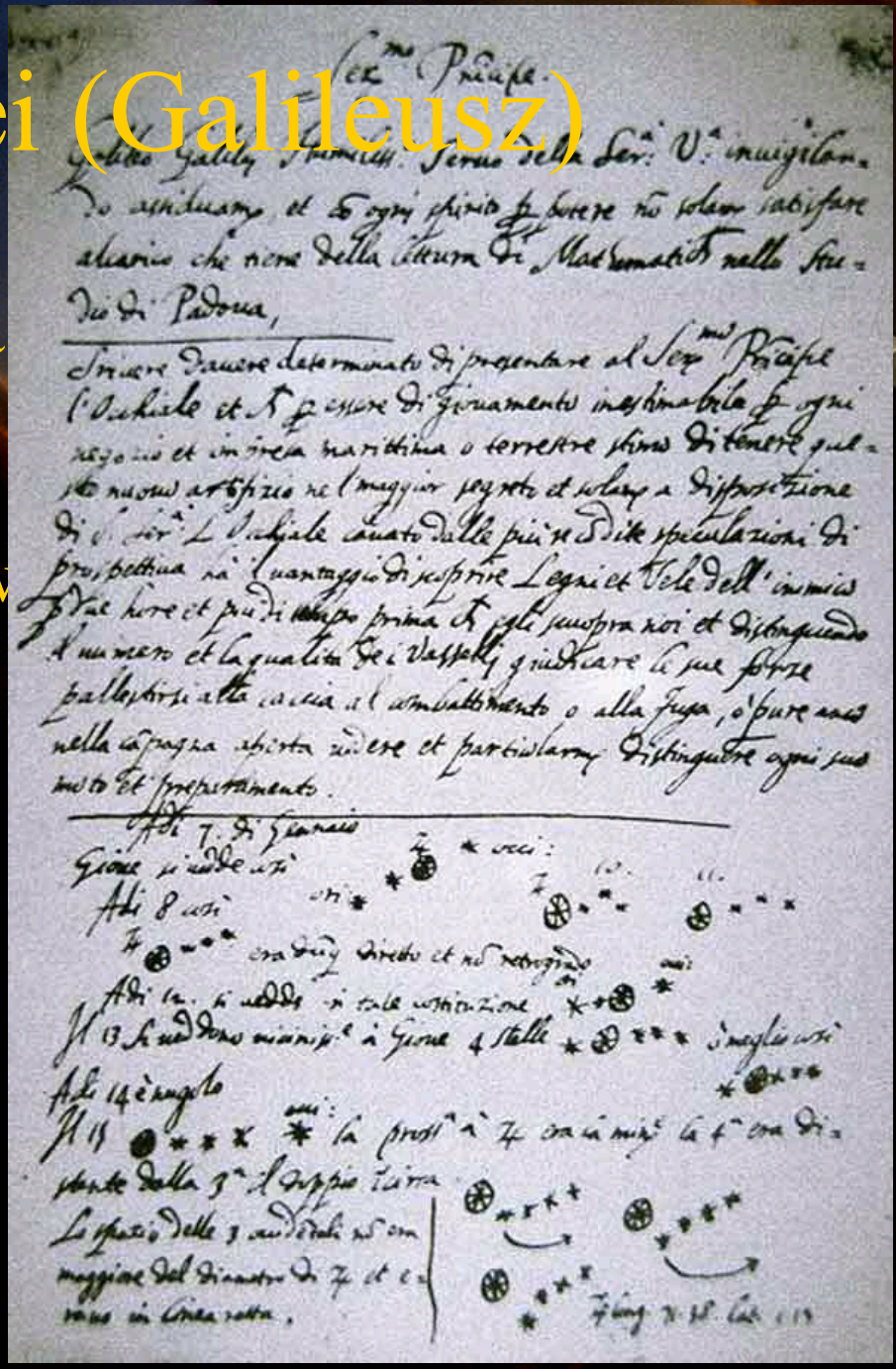
Galileo Galilei (Galileusz)



- 1564 – 1642, Piza, Padwa, Wenecja
- 1609 – zastosował lunetę do obserwacji astronomicznych
- 07/01/1610 – księżyce Jowisza
- fazy Wenus
- plamy na Słońcu
- kratery na Księżycu
- owalność Saturna
- gwiazdy Drogi Mlecznej
- $s \sim t^2$

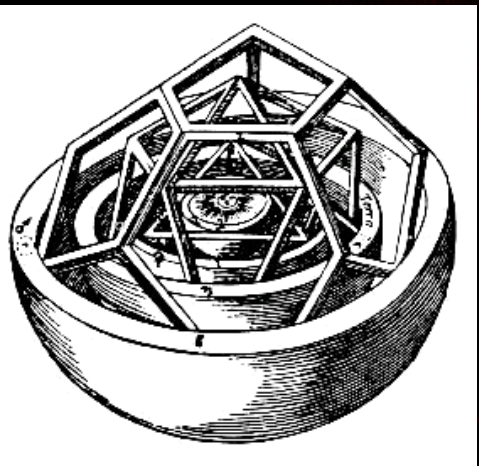
Galileo Galilei (Galileusz)

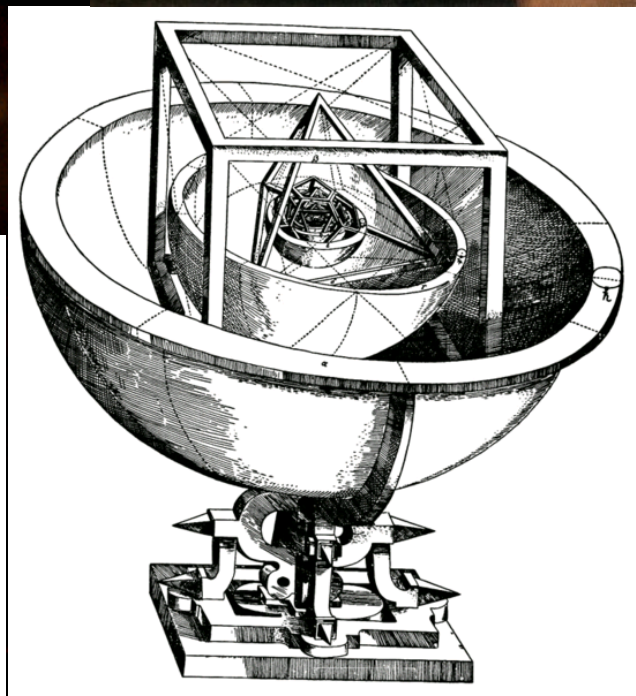
- 1564 – 1642, Piza, Padwa
- 1609 – zastosował lunetę astronomicznych
- 07/01/1610 – księżyce Jov
- fazy Wenus
- plamy na Słońcu
- kratery na Księżycu
- owalność Saturna
- gwiazdy Drogi Mlecznej
- $s \sim t^2$



Johannes Kepler

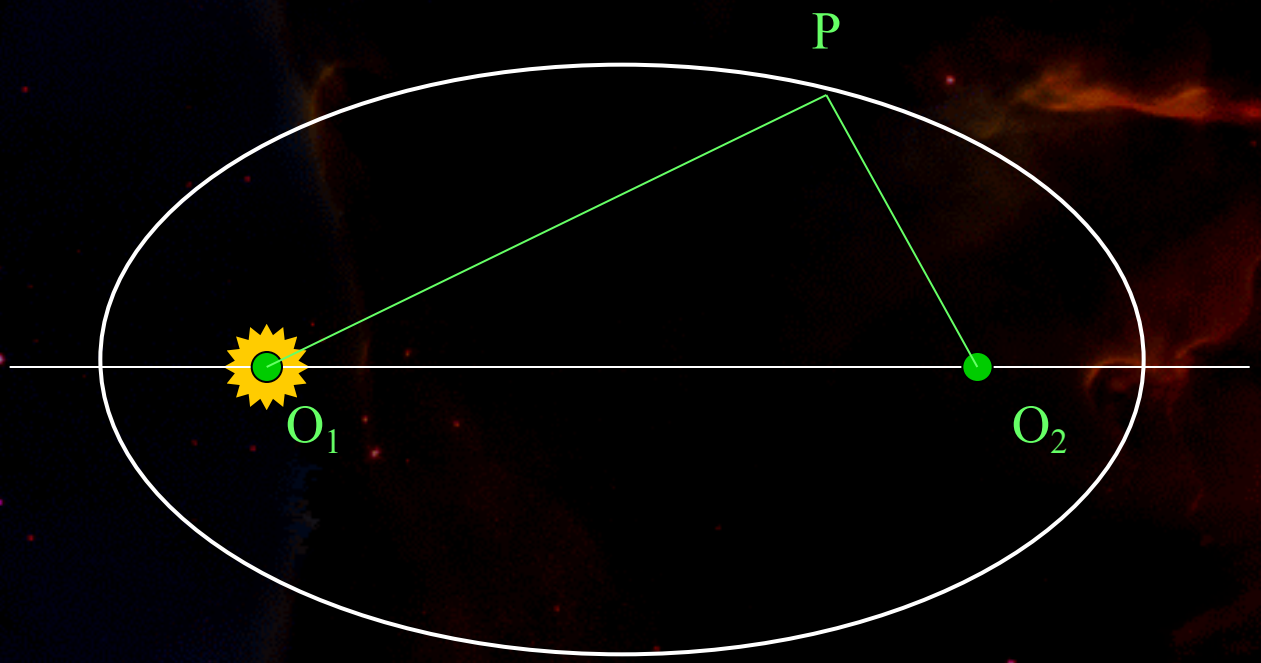
- 1571-1630, niemiecki astronom, astrolog - Graz, Linz
- ***Mysterium Cosmographicum*** - geometryczny model Wszechświata
- Supernowa 1604
- 1600, Praga, Tycho Brahe





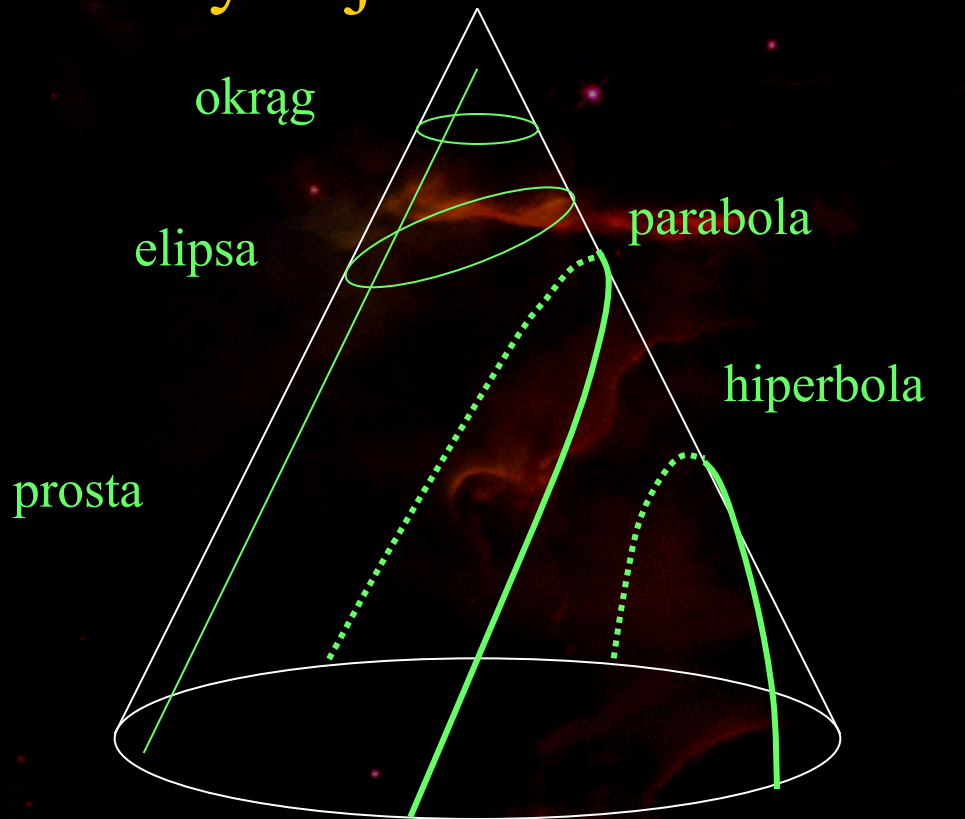
I Prawo Keplera (1609-1619)

- Planety poruszają się wokół Słońca po elipsach, ze Słońcem jednym z ognisk.



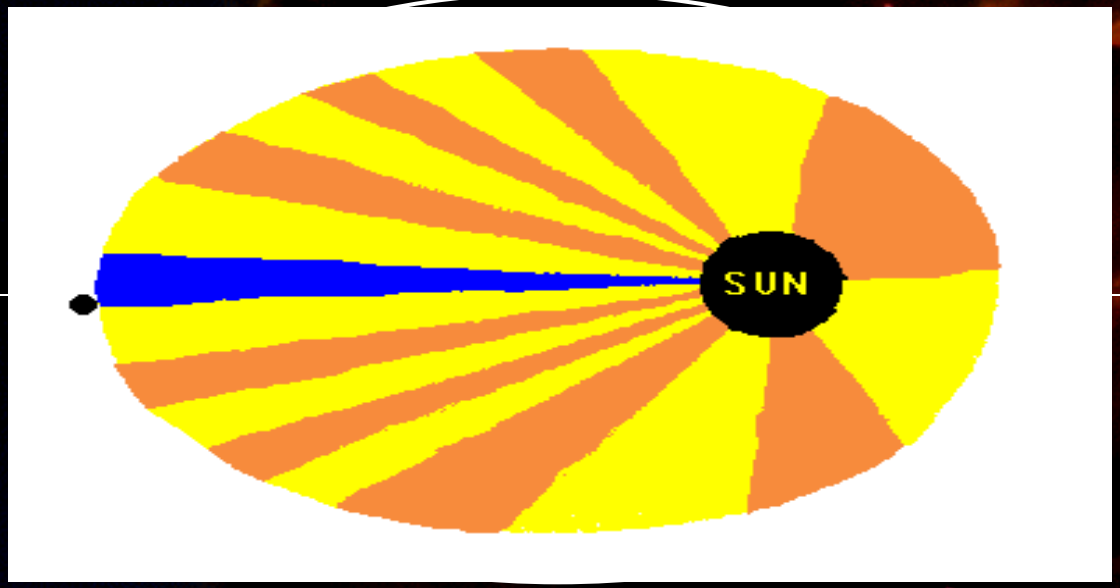
I Prawo Keplera - uogólnione

- W polu grawitacyjnym ciała poruszają się po **krzywych stożkowych**. Słońce znajduje się w jednym z ognisk krzywej.



II Prawo Keplera

- Prędkość polowa planet jest stała
  - inaczej:
- Promień wodzący planety zakreśla równe pola w równych odstępach czasu.



v_0

III Prawo Keplera

- Kwadraty okresów obiegu planet wokół Słońca są proporcjonalne do sześcianów ich średnich odległości od Słońca.

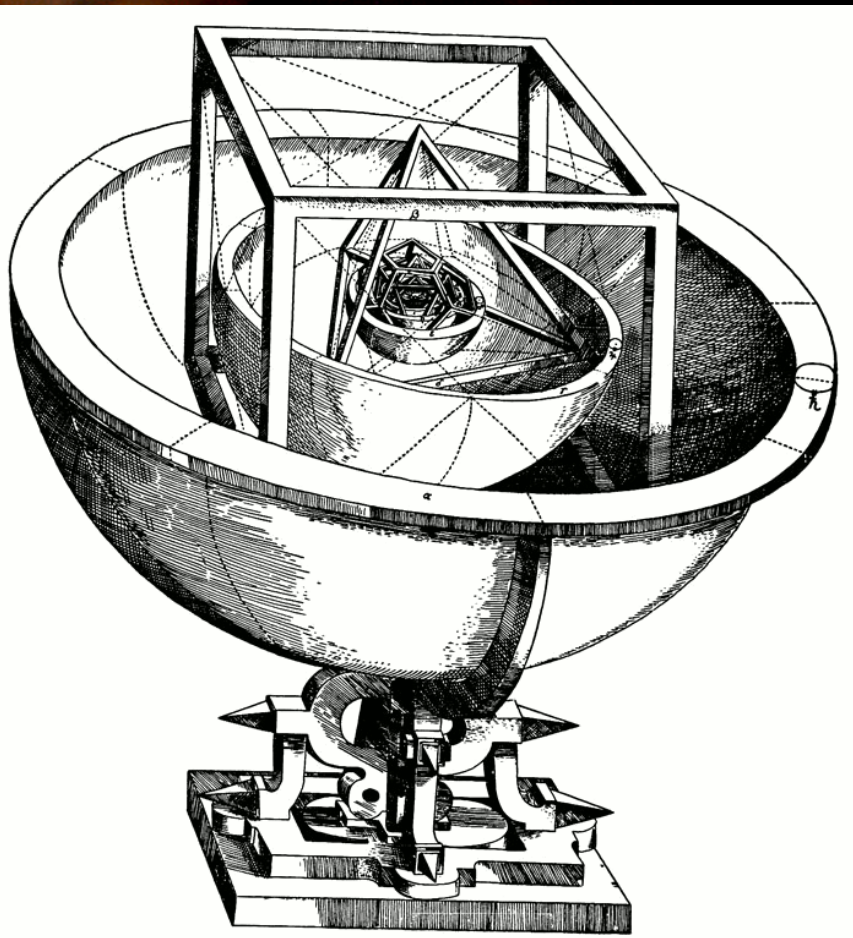
$$M_A + M_B = \frac{a^3}{P^2}$$

- $a^3/P^2 = GM/(4\pi)$

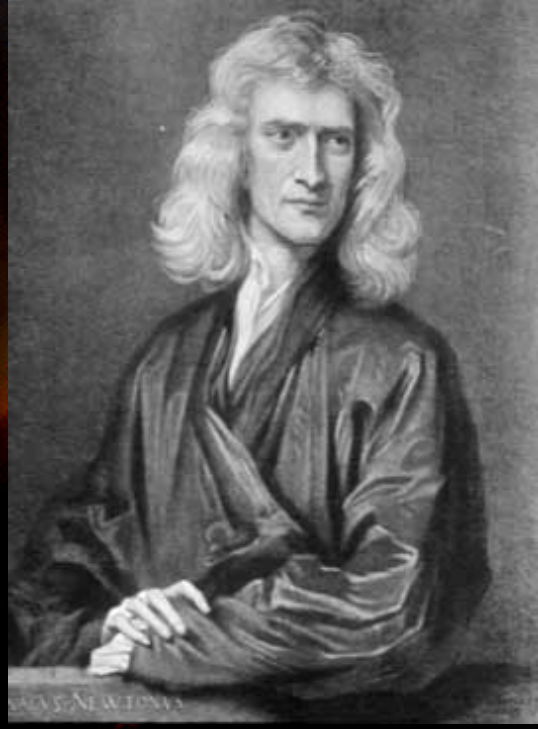
„Czwarte” prawo Keplera

- 1596 *Mysterium cosmographicum - Tajemnica kosmograficzna*

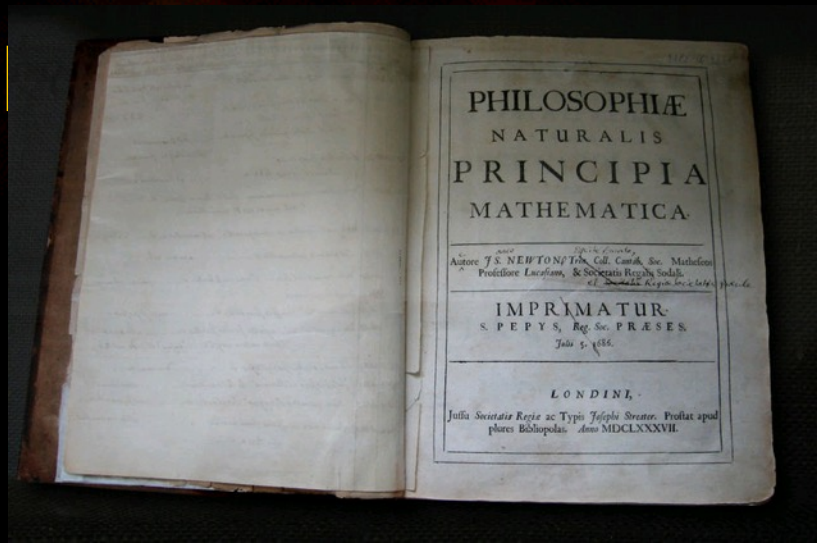
- sfera orbity Merkurego
- opisany na niej ośmiościan foremny
- wpisany w sferę Wenus
- opisany na niej dwudziestościan foremny
- wpisany w sferę Ziemi
- opisany na niej dwunastościan foremny
- wpisany w sferę Marsa
- opisany na niej czworościan foremny
- wpisany w sferę Jowisza
- opisany na niej sześcian
- wpisany w sferę Saturn



Sir Isaac Newton

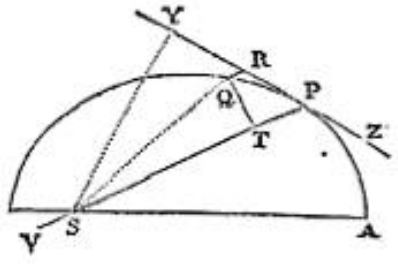


- 1643-1727
- *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1668)
- Prawa dynamiki: I,II,III
- Prawo powszechnego ciążenia
- Pomiar – Cavendish in 1798.



De Motu Corporum.

Corol. 4. Iisdem positis, est vis centripeta ut velocitas bis directe, & chorda illa inverse. Nam velocitas est reciproce ut perpendiculum ST per corol. 1. prop. 1.

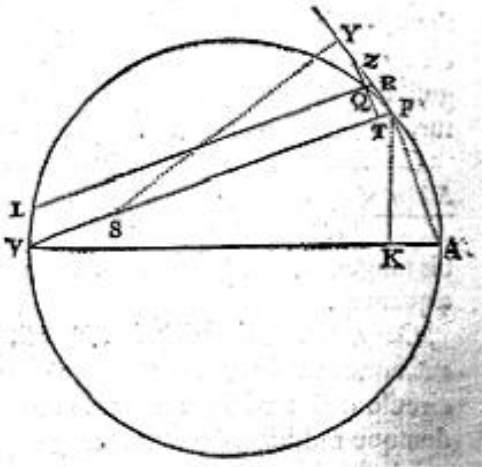


Corol. 5. Hinc si detur figura quævis curvilinea APQ, & in ea detur etiam punctum S, ad quod vis centripeta perpetuo dirigitur, inveniri potest lex vis centripetæ, qua corpus quodvis P a cursu rectilineo perpetuo retractum in figuræ illius perimetro detinebitur, eamque revolvendo describet. Nimirum computandum est vel solidum $\frac{SPq \times QTq}{QR}$ vel solidum $STq \times PV$ huic vi reciproce proportionale. Ejus rei dabimus exempla in problematis sequentibus.

PROPOSITIO VII. PROBLEMA II.

Gyretur corpus in circumferentia circuli, requiritur lex vis centripetæ tendentis ad punctum quodcunque datum.

Esto circuli circumferentia $VQPA$; punctum datum, ad quod vis ceu ad centrum sum tendit, S; corpus in circumferentia latum P; locus proximus, in quem movebitur Q; & circuli tangens ad locum priorem PRZ. Per punctum S ducatur chorda PV; & acta circuli diametro VA, jungatur AP; & ad SP demittatur perpendiculum QT, quod productum occurrat tangenti PR in Z; ac denique per punctum Q agatur LR, quæ ipsi SP parallella sit, & occurrat tum circulo in L, tum tangenti PZ in R. Et ob similia triangula ZQR, ZTP, VPA; erit RP *quad.* hoc est QRL ad QT *quad.*



I zasada dynamiki Newtona

- Każde ciało trwa w swym stanie spoczynku lub ruchu prostoliniowego jednostajnego, jeżeli siły przyłożone nie zmuszą ciała do zmiany tego stanu.

- Jeżeli na ciało nie działa żadna siła lub działające siły równoważą się, to ciało pozostaje w spoczynku lub porusza się ruchem jednostajnym prostoliniowym (po prostej ze stałą prędkością).

- Postulat istnienia układu inercyjnego: *Istnieje układ odniesienia, w którym ciało nie podlegające oddziaływaniom zewnętrznym spoczywa lub porusza się po prostej ze stałą prędkością.*

II zasada dynamiki Newtona

- Zmiana ruchu jest proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i odbywa się w kierunku prostej, wzdłuż której siła jest przyłożona.

- Gdy na ciało działa siła wypadkowa, to ciało porusza się ruchem przyśpieszonym. Kierunek i zwrot tego przyspieszenia są zgodne z kierunkiem siły wypadkowej. Przyspieszenie ruchu ciała jest wprost proporcjonalne do wartości siły, a odwrotnie proporcjonalne do masy ciała.

$$\vec{F} = m\,\vec{a}$$

III zasada dynamiki Newtona

- Względem każdego działania istnieje przeciwdziałanie skierowane przeciwnie i równe, to jest wzajemne działania dwóch ciał są zawsze równe i skierowane przeciwnie.

- Każdej akcji towarzyszy reakcja równa co do wartości i przeciwnie skierowana.

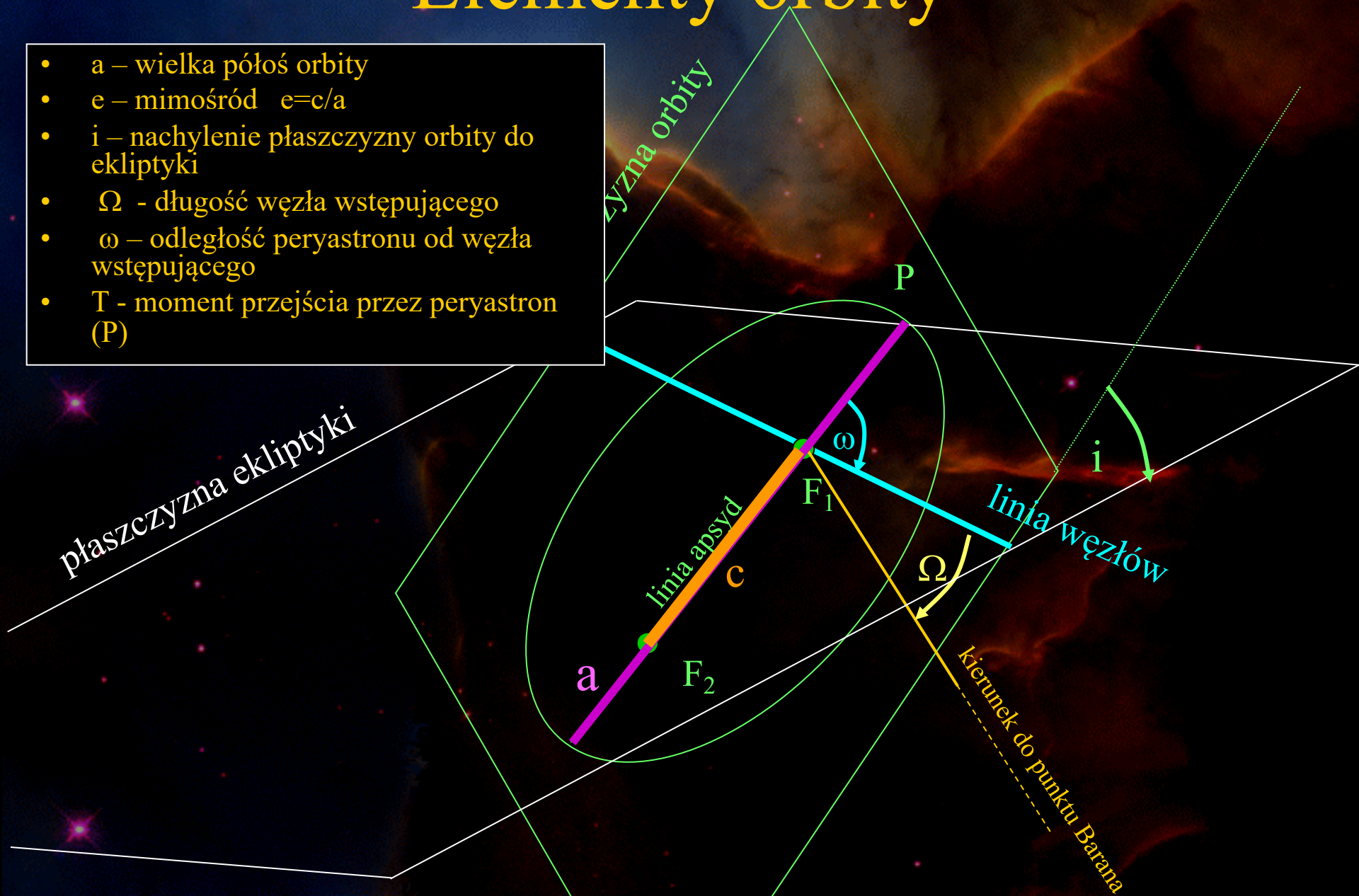
Prawo powszechnego ciążenia

- Wszystkie ciała materialne przyciągają się nawzajem siłą proporcjonalną do iloczynu ich mas i odwrotnie proporcjonalną do kwadratu odległości pomiędzy nimi.

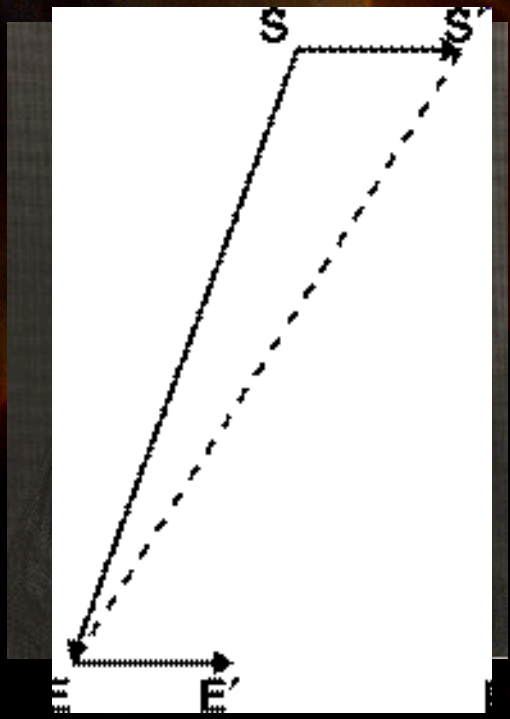
$$F = G\frac{Mm}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

Elementy orbity

- a – wielka półoś orbity
- e – mimośród e=c/a
- i – nachylenie płaszczyzny orbity do ekliptyki
- Ω - długość węzła wstępującego
- ω – odległość peryastronu od węzła wstępującego
- T - moment przejścia przez peryastron (P)

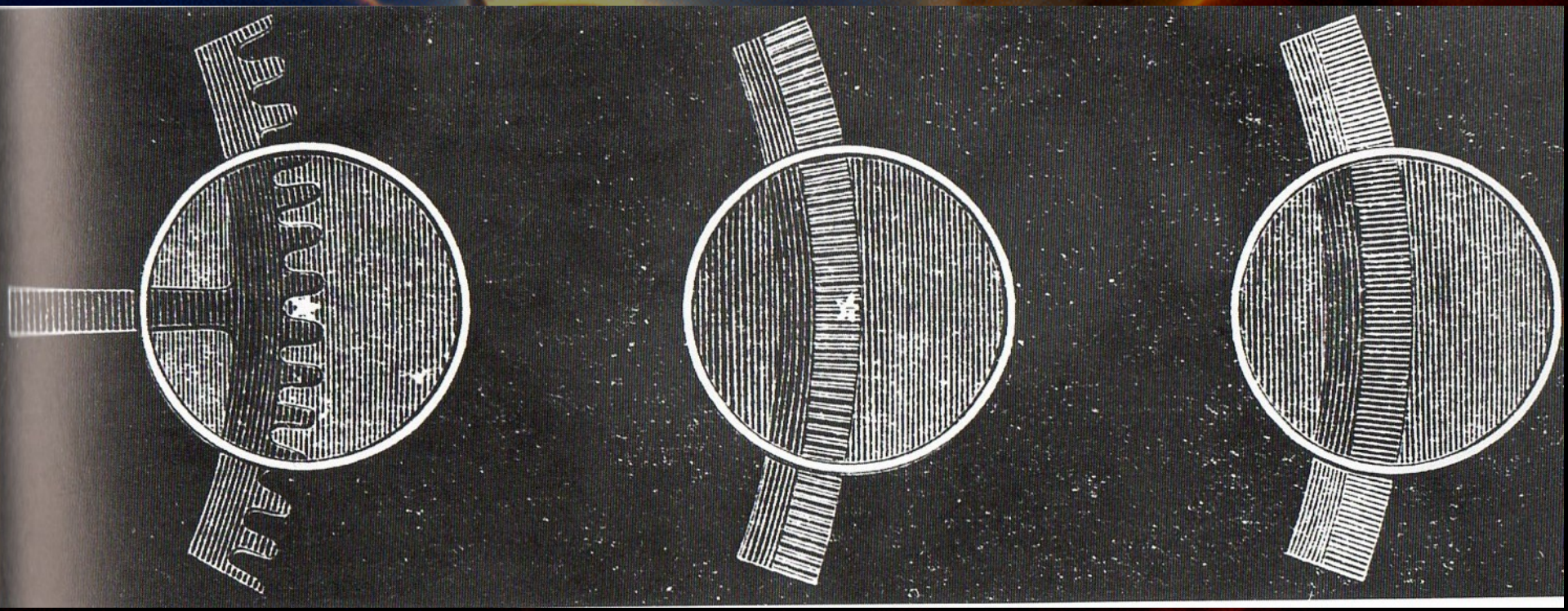


James Bradley



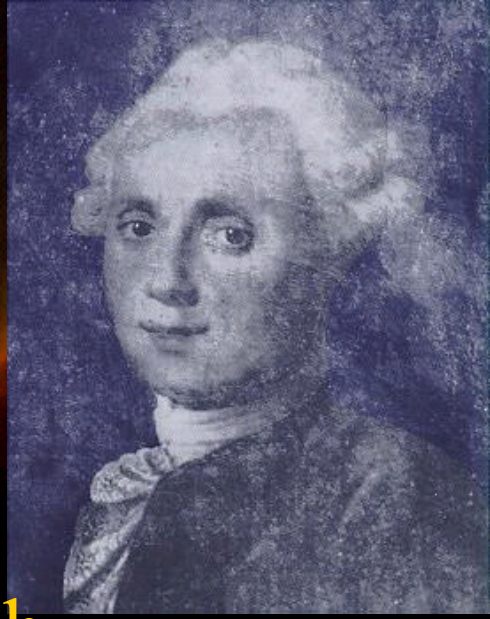
- 1693-1762
  - *astronom królewski,*
  - *dyrektor obserwatorium Greenwich*
- 1728 – odkrycie aberracji światła
  - podczas poszukiwania paralaksy γ Dra
  - pierwszy dowód na ruch Ziemi wokół Słońca
    - aberacja dzienna (max. 0.32”)
    - **roczna** (20”),
    - wiekowa (~15”)

Prędkość światła

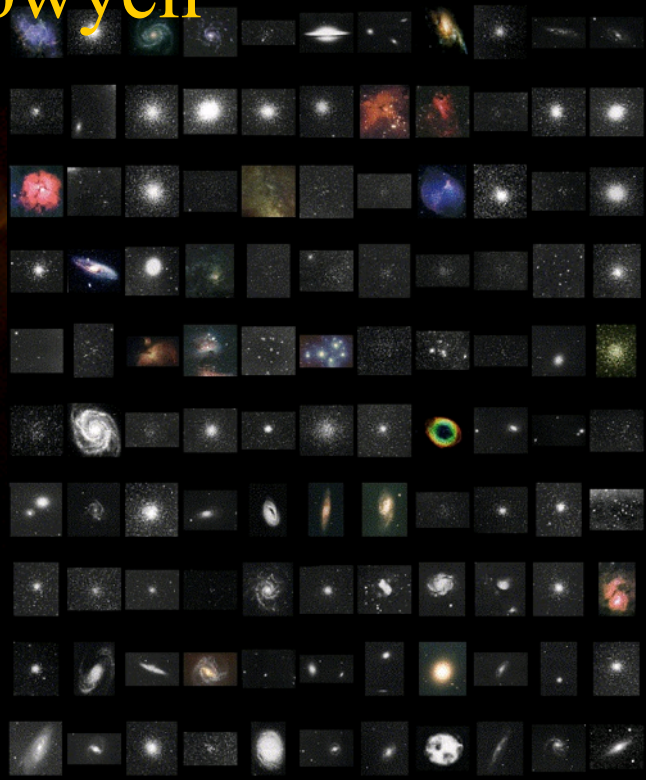


- doświadczalnie - Armand Fizeau - 1849
  - c = 313,000 km/s

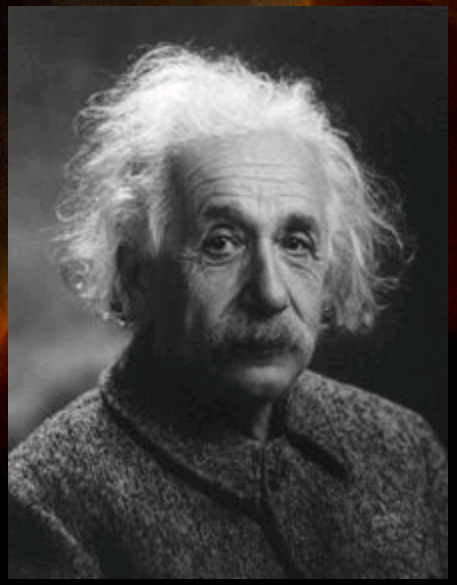
Charles Messier



- 1730-1817, astronom francuski
- pomoc dla poszukiwaczy komet
- katalog 45 obiektów mgławicowych
- ostatecznie M1...M103



Albert Einstein



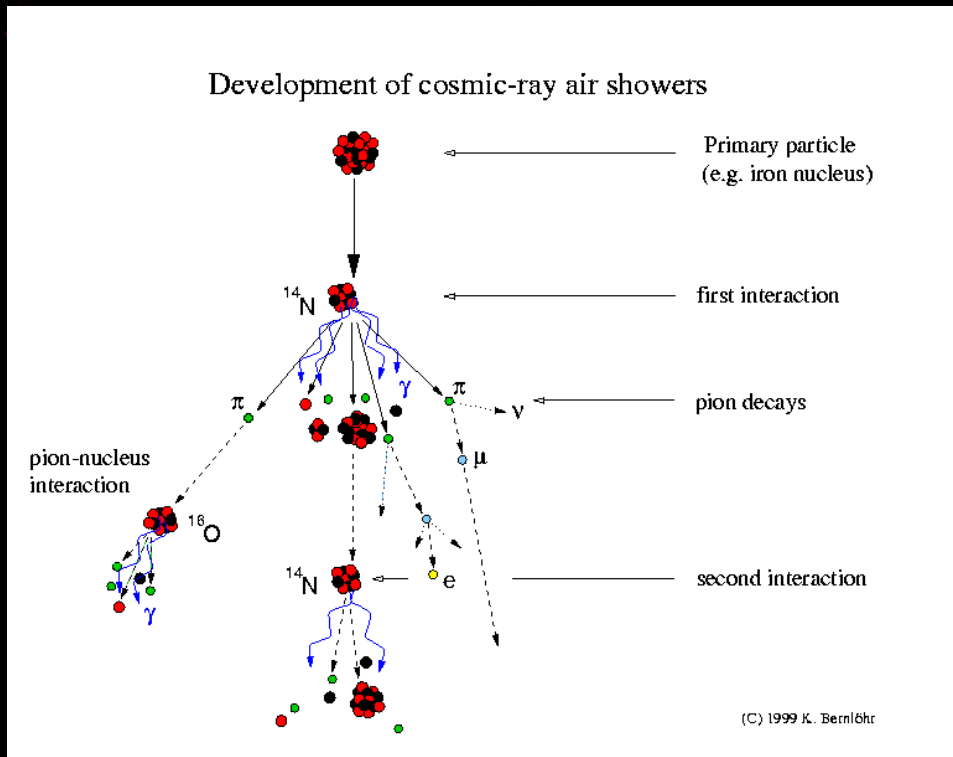
- 1879 -1955
- Równoważność masy i energii
  - $E = mc^2$
- Szczególna teoria względności (c=const)
- Ogólna teoria względności
  - pojęcie czasoprzestrzeni
- Kosmologia relatywistyczna
- Podstawy zunifikowanej teorii pola

Źródła danych astrofizycznych

- Promieniowanie elektromagnetyczne
- Promieniowanie kosmiczne
- Neutrina
- Fale grawitacyjne
- Badania bezpośrednie: meteory, próbniki kosmiczne

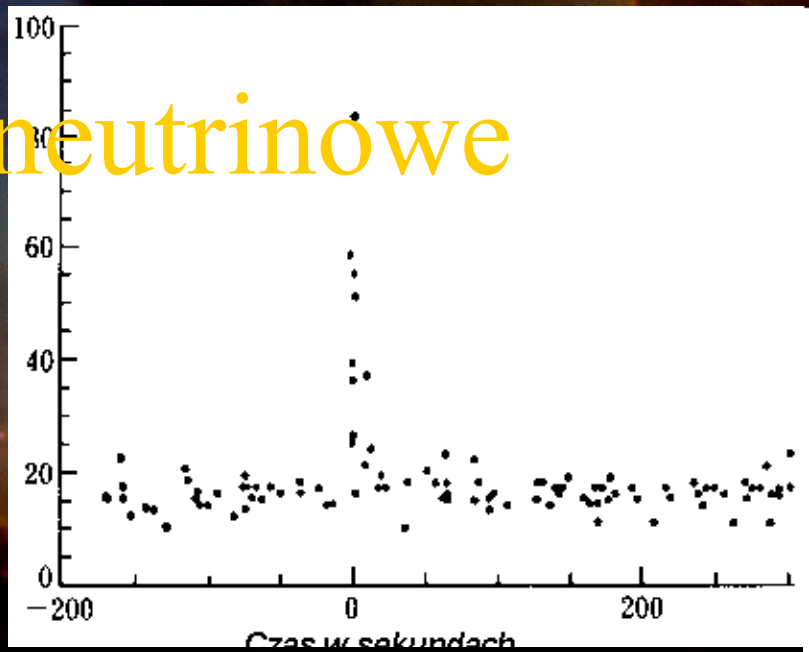
Promieniowanie kosmiczne

- 89% H, 10% He, 1% elektronów i pierwiastków cięższych
- Wysokoenergetyczne (prędkości relatywistyczne - 0,99... c)
- Atmosfery gwiazd
- Jądra galaktyk
- Wybuchy, rozbłyski
- detektory:
  - deszcz cząstek
  - liczniki, komory, etc.
  - głównie na satelitach
  - CCD (np. SOHO)



Promieniowanie neutrinowe

- towarzyszy przemianom jądrowym
- niezwykle przenikliwe
- dociera bezpośrednio z wnętrza Słońca
  - strumień od Słońca: 10^{11} cm^2/s
- supernowe; np. SN1987A

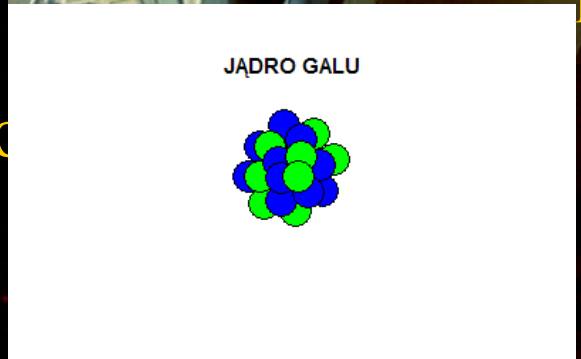


Promieniowanie neutrinowe

Detektory:

- R. Davies, 1969
- $^{37}Cl + \nu_e \rightarrow {}^{37}Ar + e^-$
  - tetrachloroetylen C_2Cl_4
  - ^{37}Ar $t_{1/2}$ = 35 dni
  - kilkadziesiąt/miesiąc
- Gallex 1991-1997
- $^{71}Ga + \nu_e \rightarrow {}^{71}Ge + e^-$
  - niski próg detekcji 233.2 keV
  - ^{71}Ge $t_{1/2}$ = 11 dni
- promieniowanie Czerenko
  -

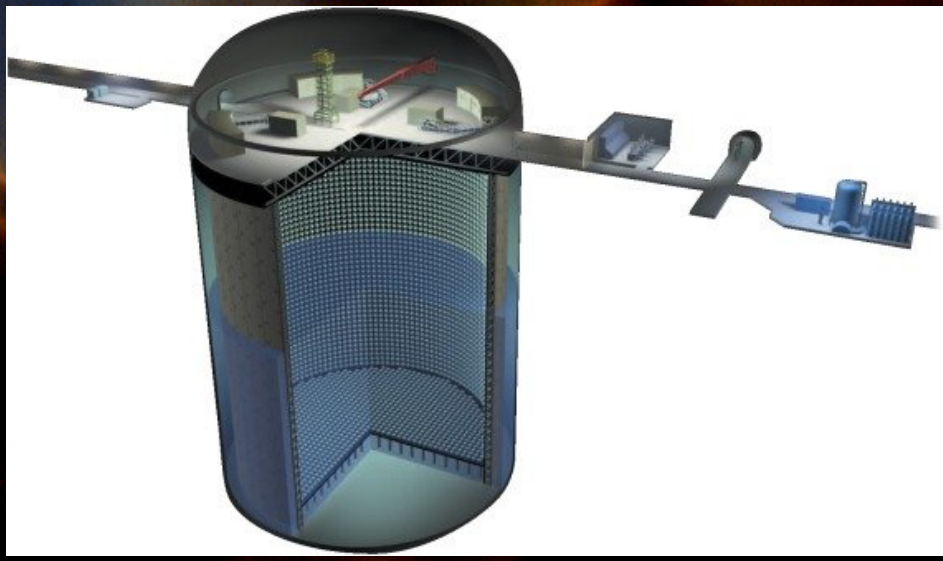
Homestake Mine

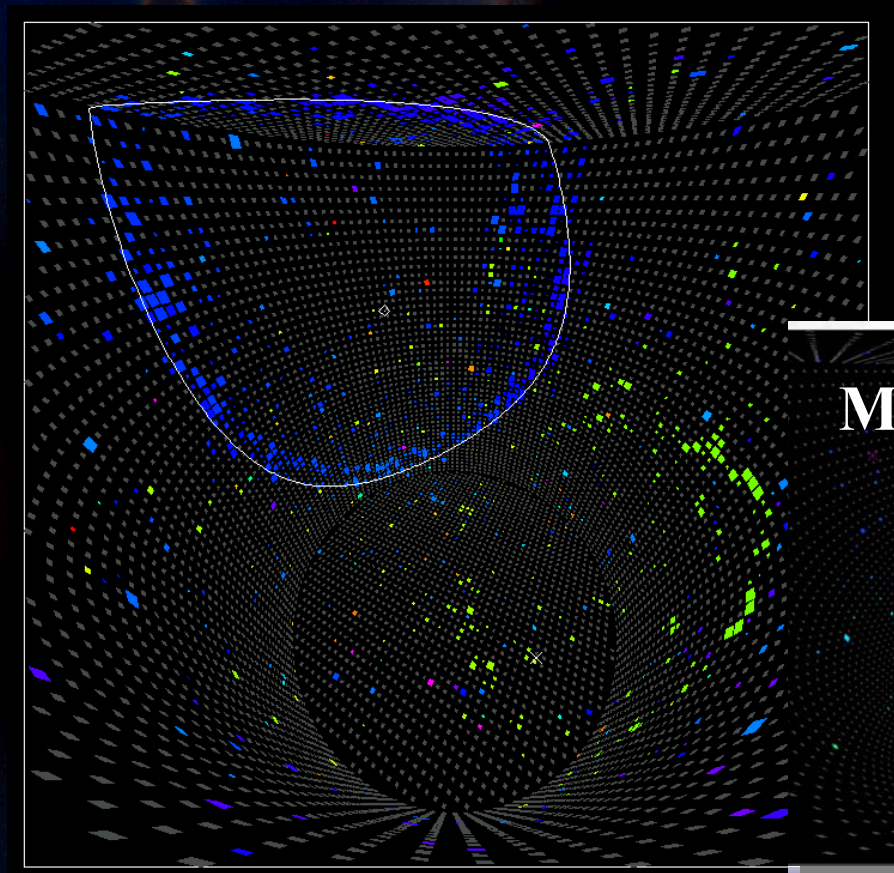


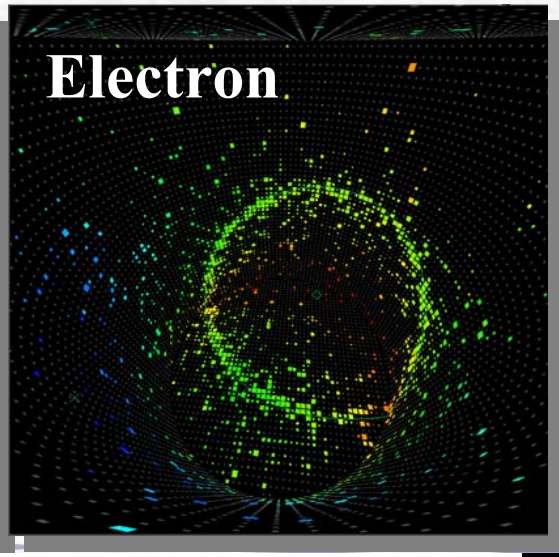
Super-Kamiokande

– walec 40x40m z H_2O

– $\nu + e^- \rightarrow \nu + e^-$ (rozpraszanie)



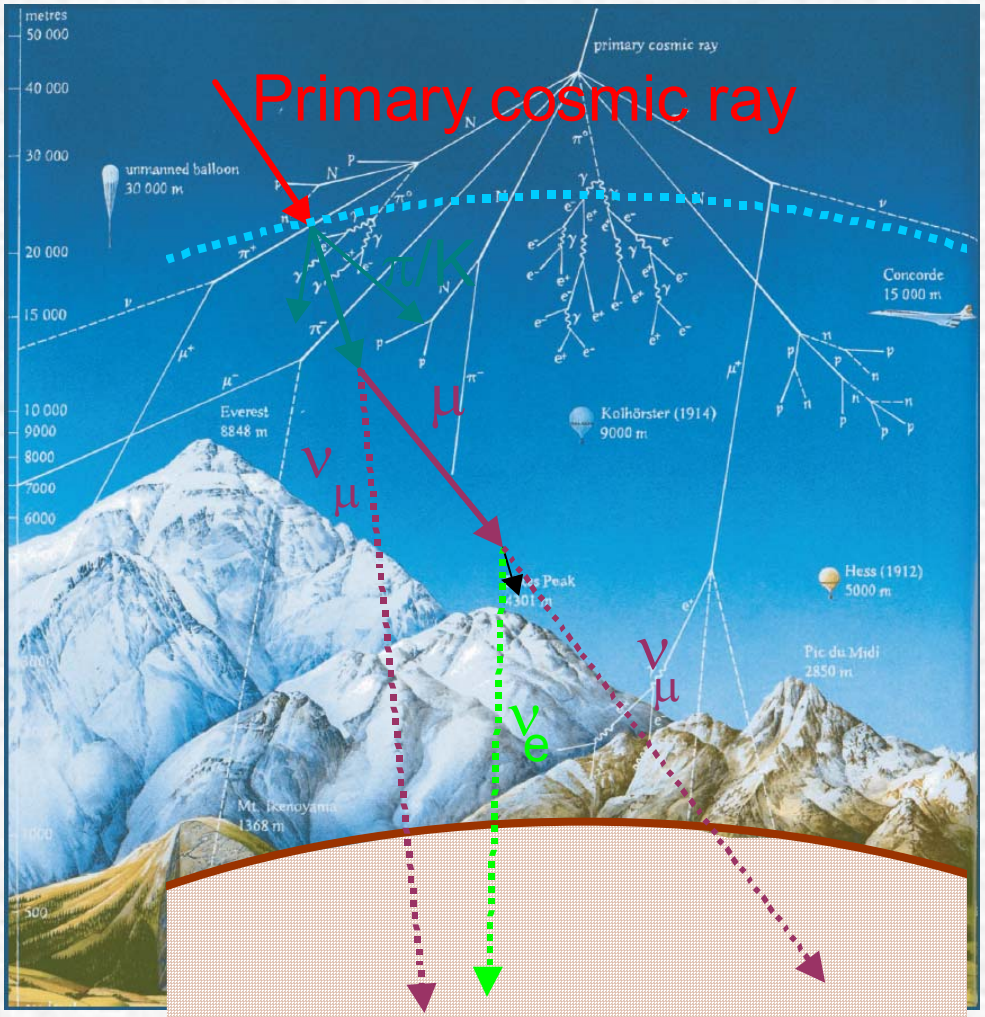




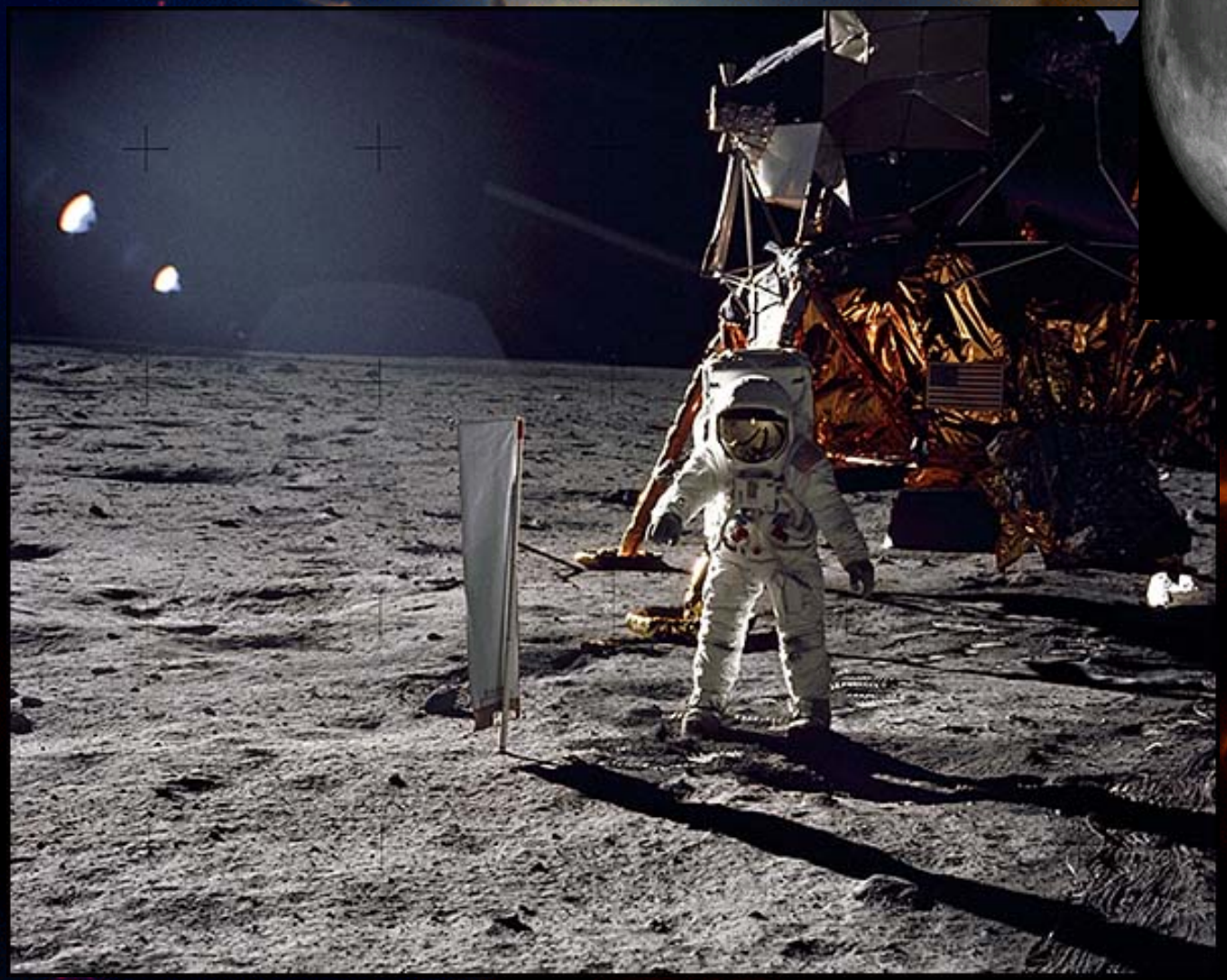
Cerenkov radiation

Atmospheric Neutrinos

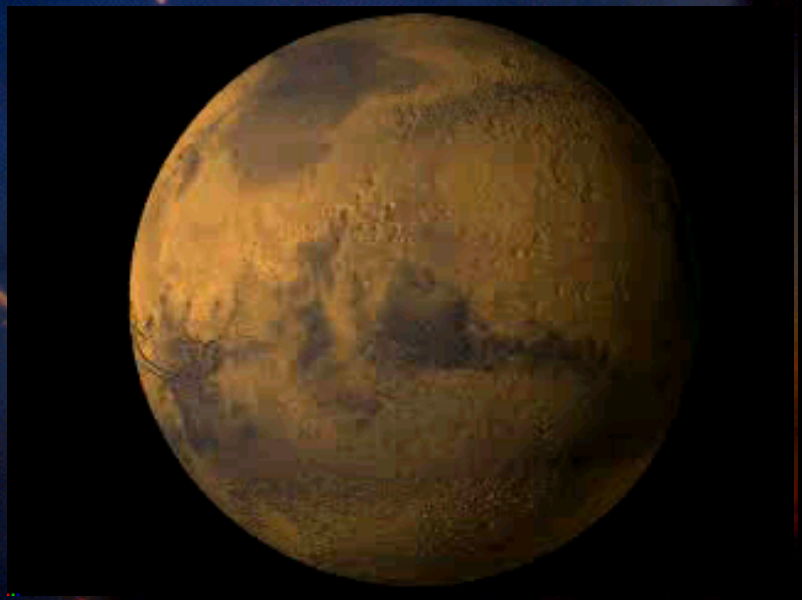
- Produced by cosmic-ray proton collisions with the upper atmosphere
  - Power-law ($\sim E^{-2.7}$) energy spectrum
    - Mean energy ~1 GeV
  - Neutrinos arrive from all directions
  - Contains muon and electron neutrinos in ~2:1 ratio
  - Absolute flux is uncertain to 10-20%

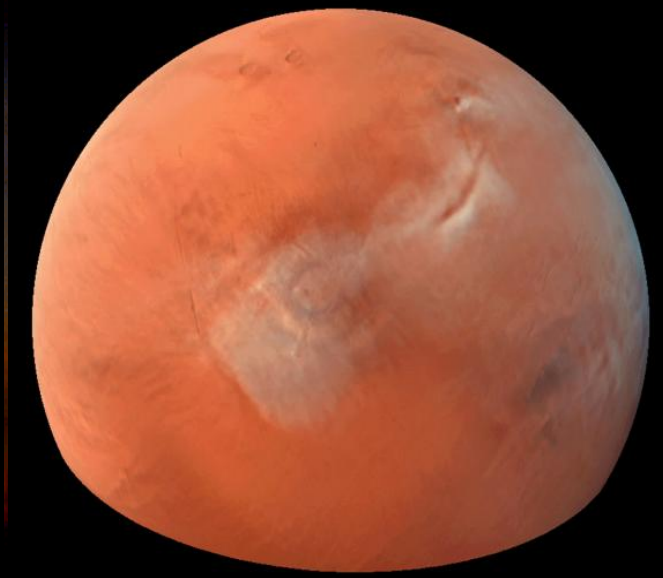


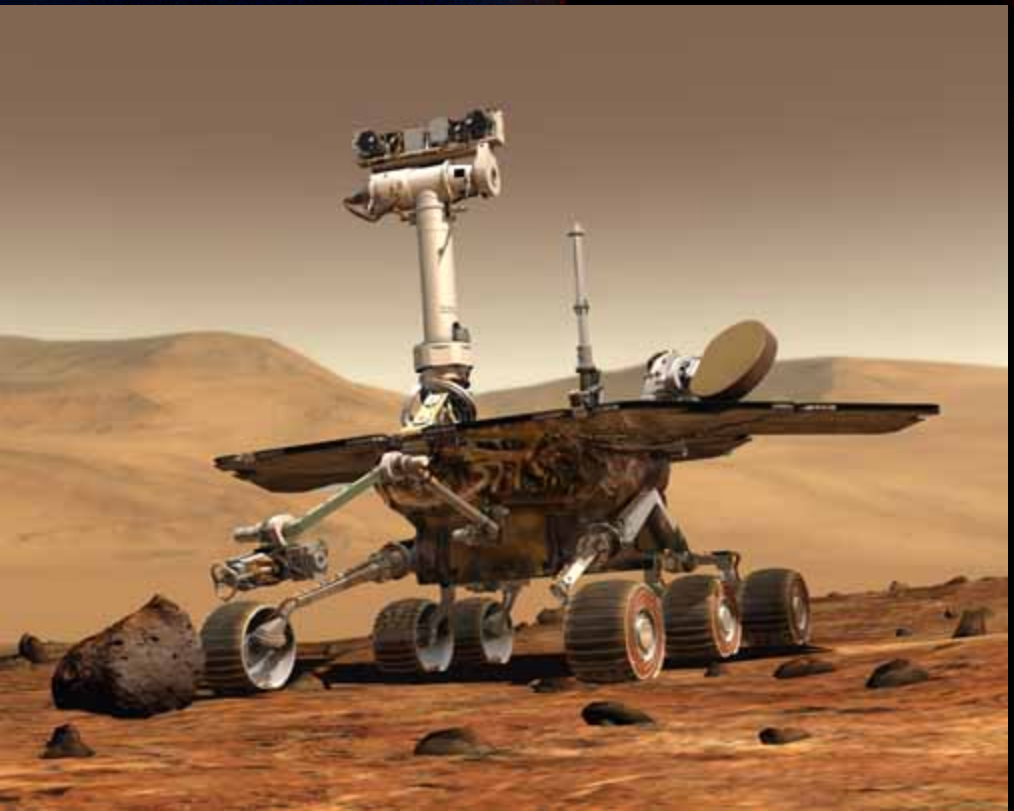
Badania bezpośrednie - Księżyc



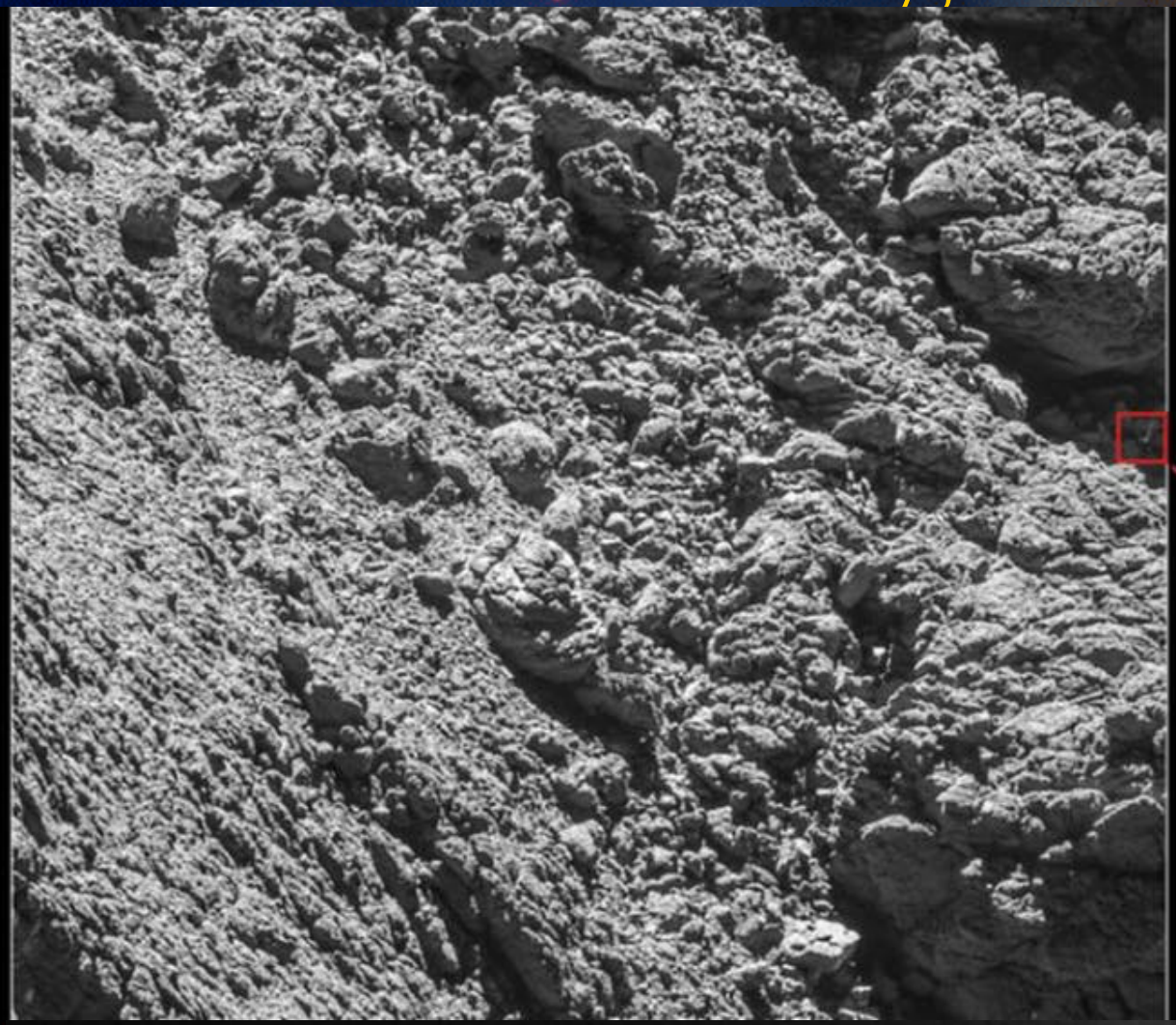
Mars

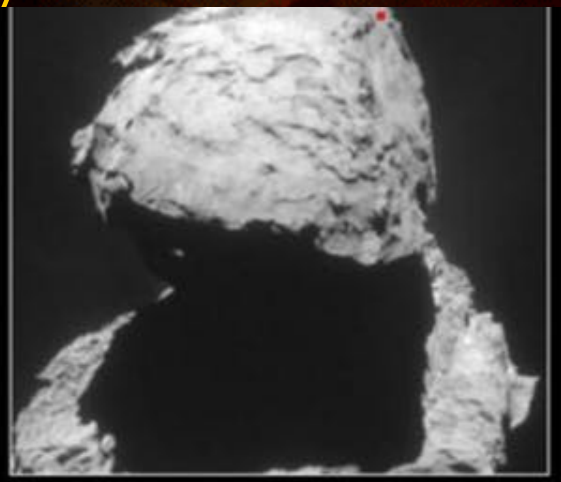






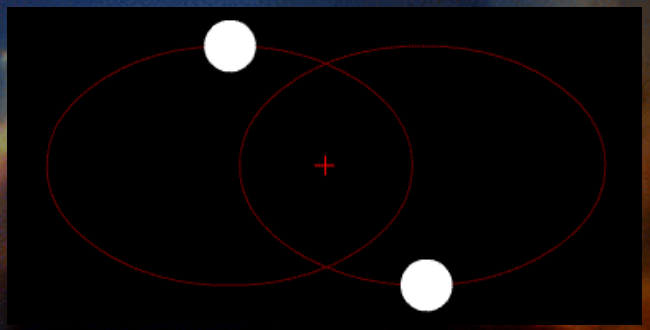
Asteroidy, komety



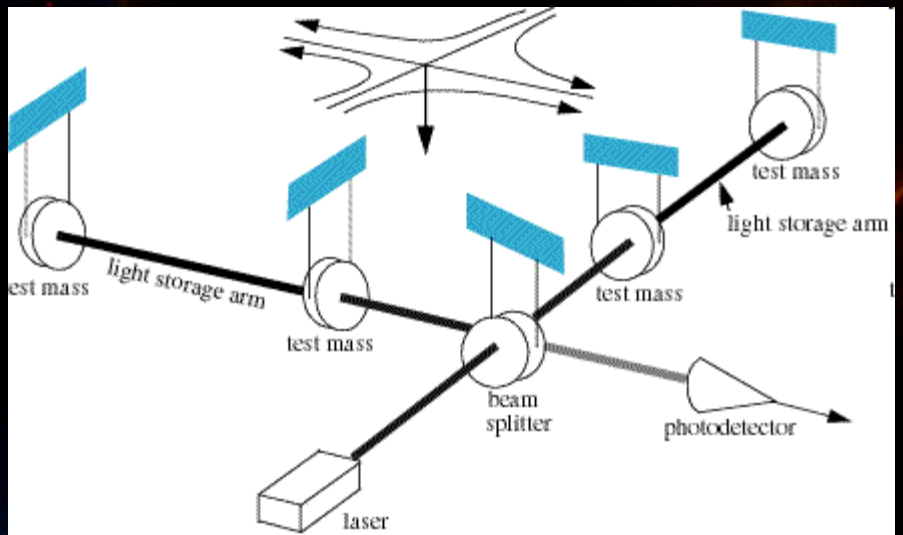


Rosetta -67P

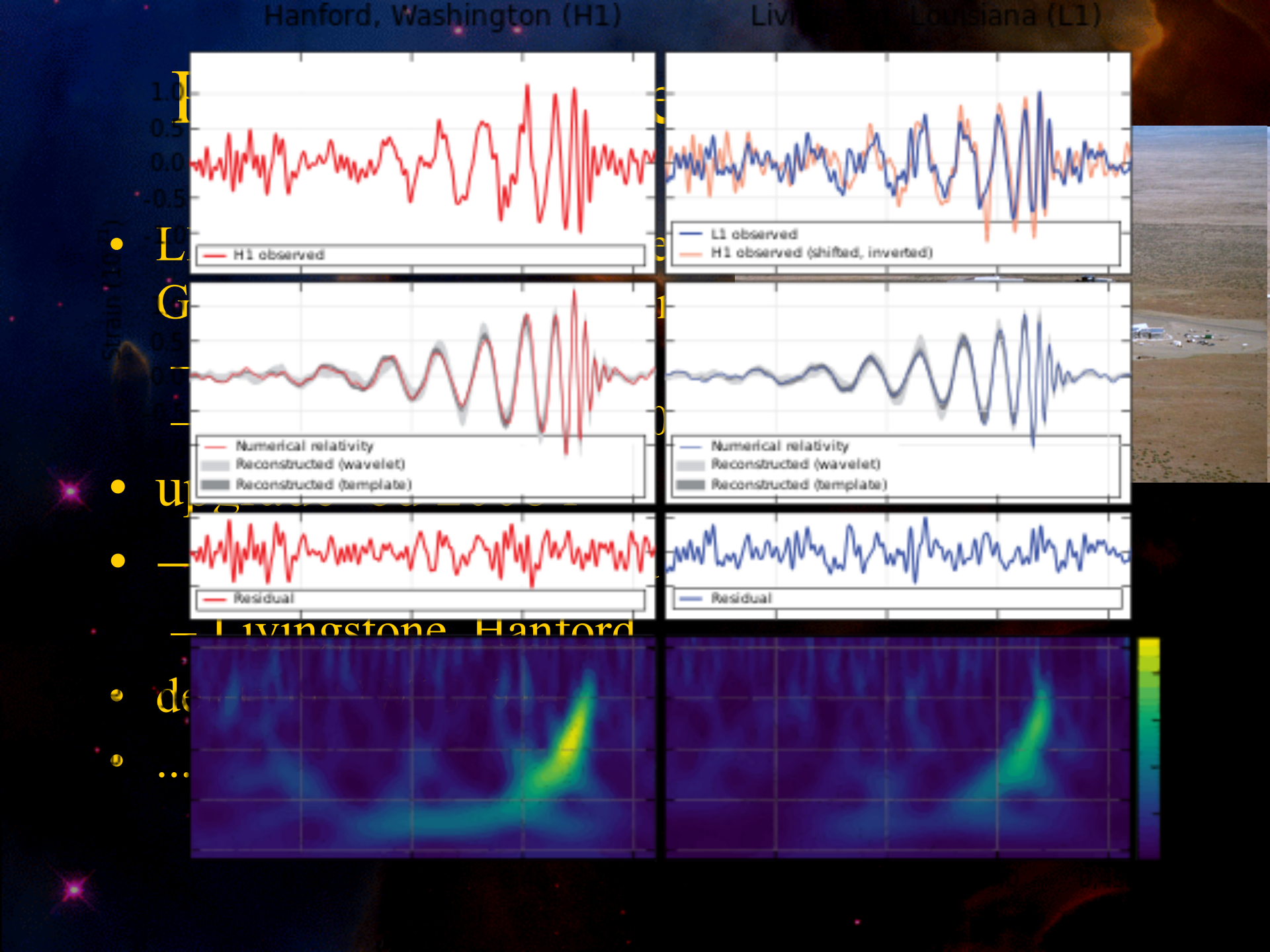
Promieniowanie grawitacyjne



- $P = dE/dt = -32/5\ G^4/c^5\ (m_1 m_2)^2\ (m_1+m_2)/\ r^5$
- dla układu Ziemia Słońce = 200 W
- detekcja – obecnie interferometria

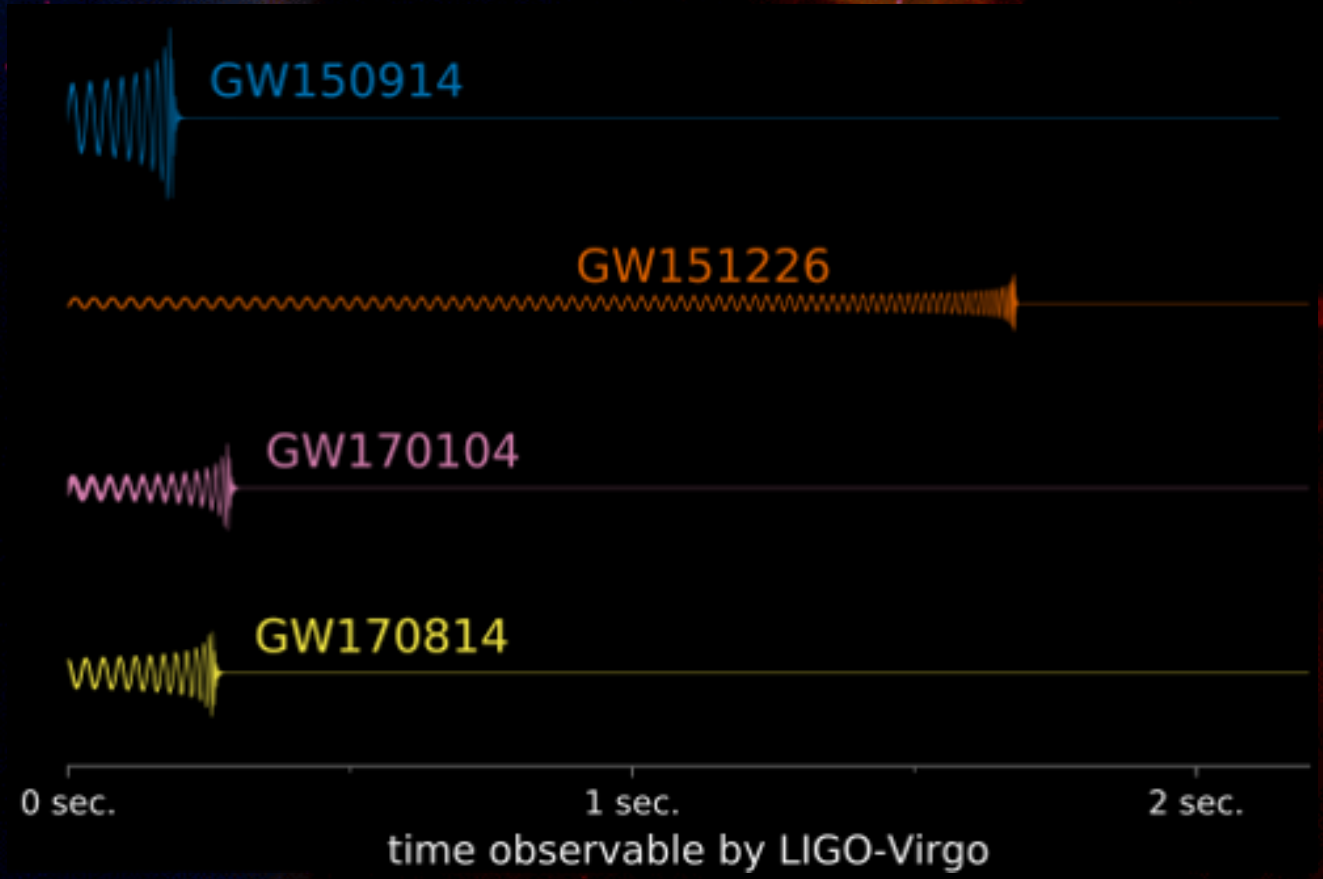


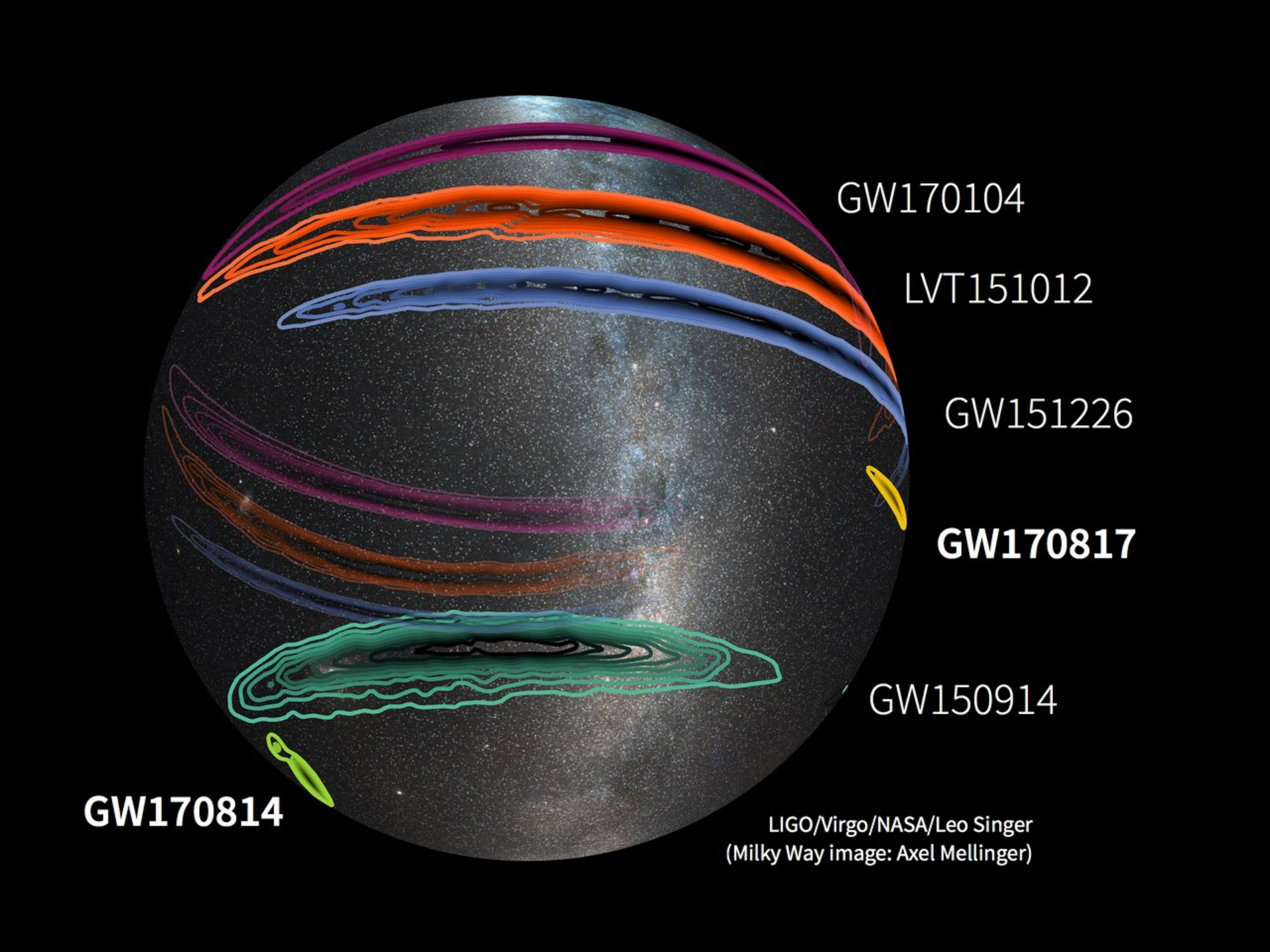
Nobel 1993
Hulse, Taylor
Pośredni dowód
istnienia fal
grawitacyjnych
- PSR 1913+16


Hanford, Washington (H1)
Louisiana (L1)
H1 observed
L1 observed
H1 observed (shifted, inverted)
Numerical relativity
Reconstructed (wavelet)
Reconstructed (template)
Residual
Strain (10^-21)

Nobel 2017

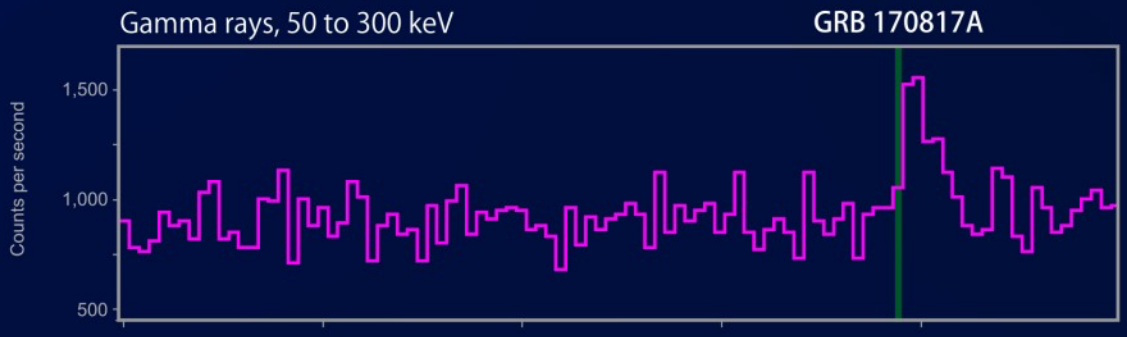
- Rainer Weiss, Kip Thorne i Barry Barish 2017 - Nagroda Nobla z fizyki.



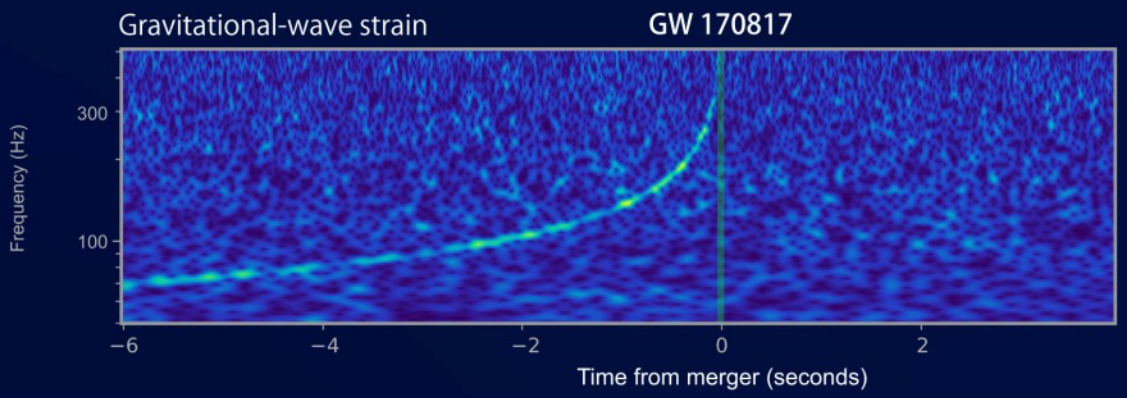

GW170104
LVT151012
GW151226
GW170817
GW150914
GW170814
LIGO/Virgo/NASA/Leo Singer
(Milky Way image: Axel Mellinger)

GW170814: N+N - Kilonova

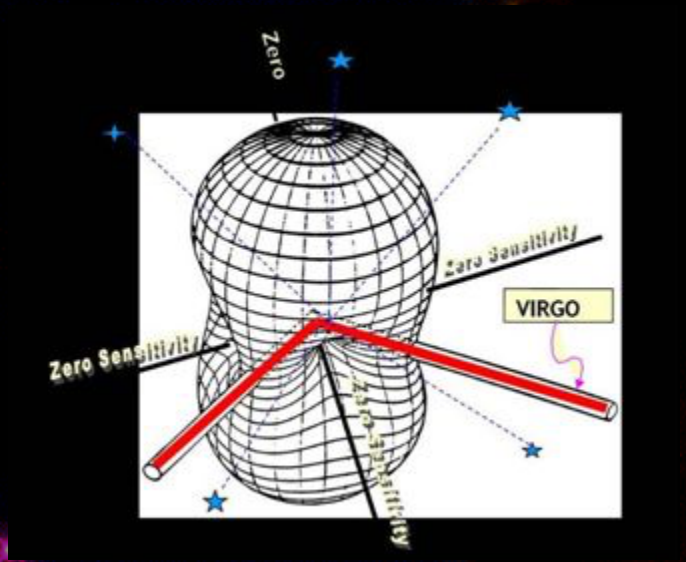
Fermi

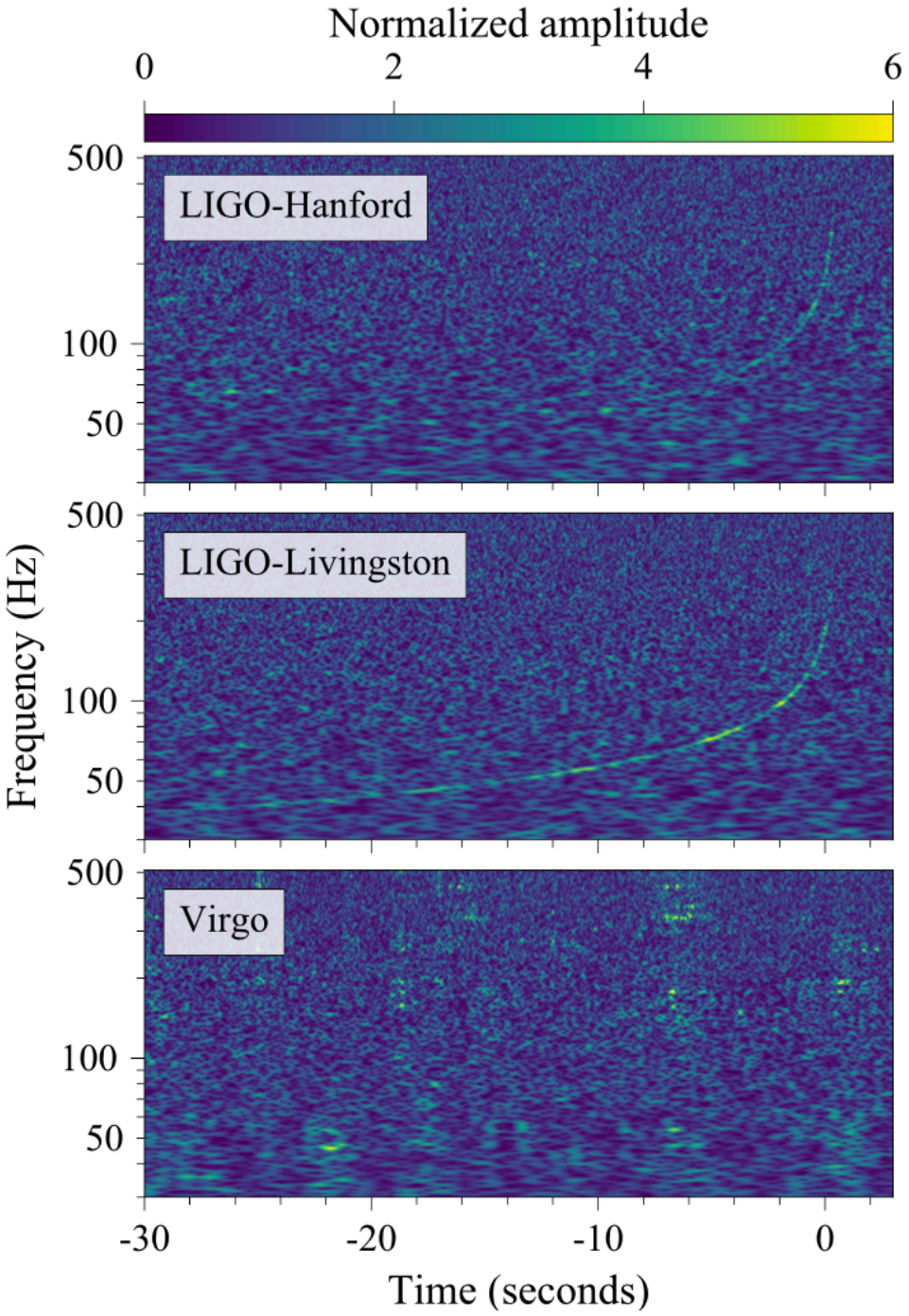


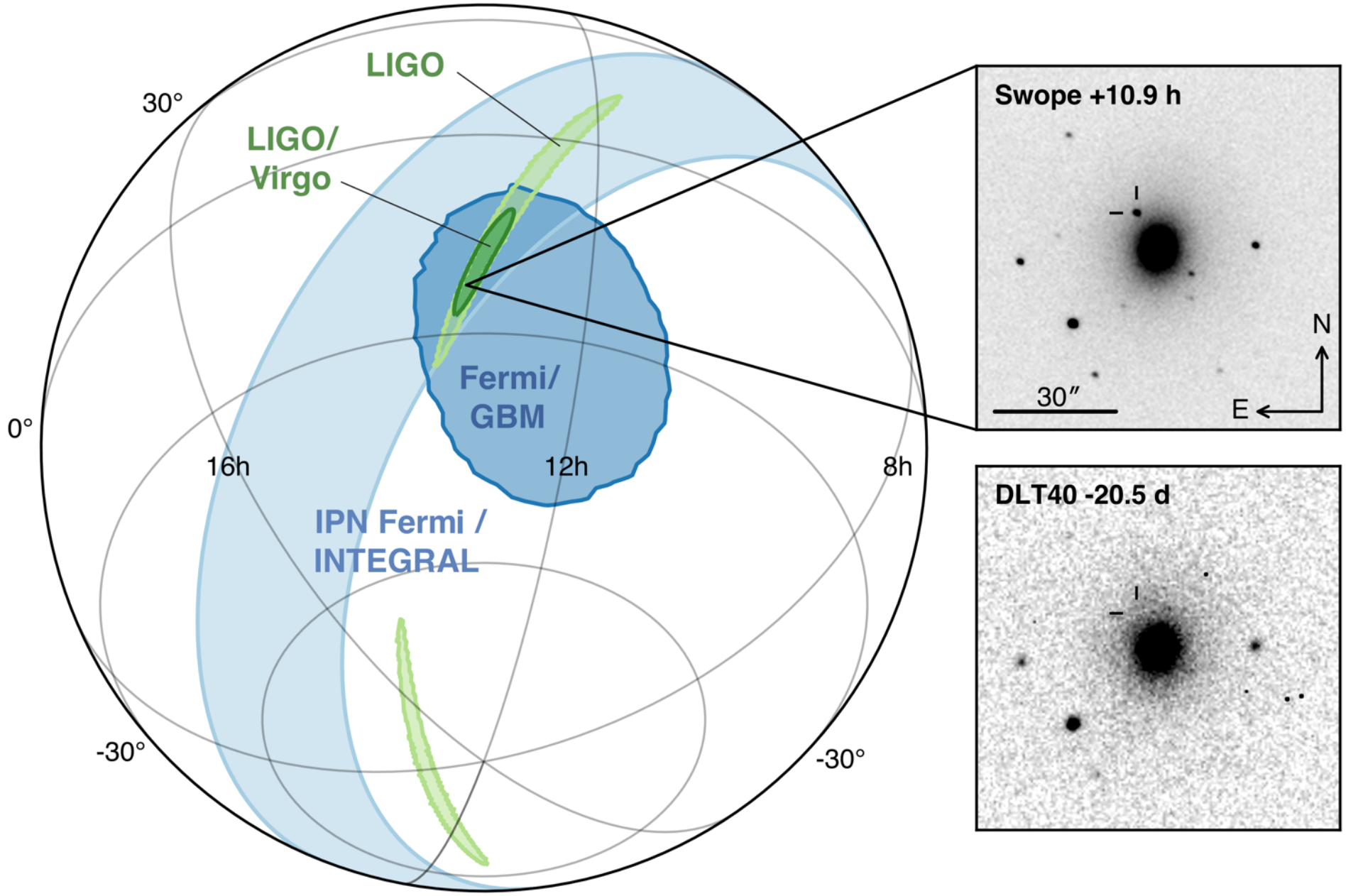
LIGO



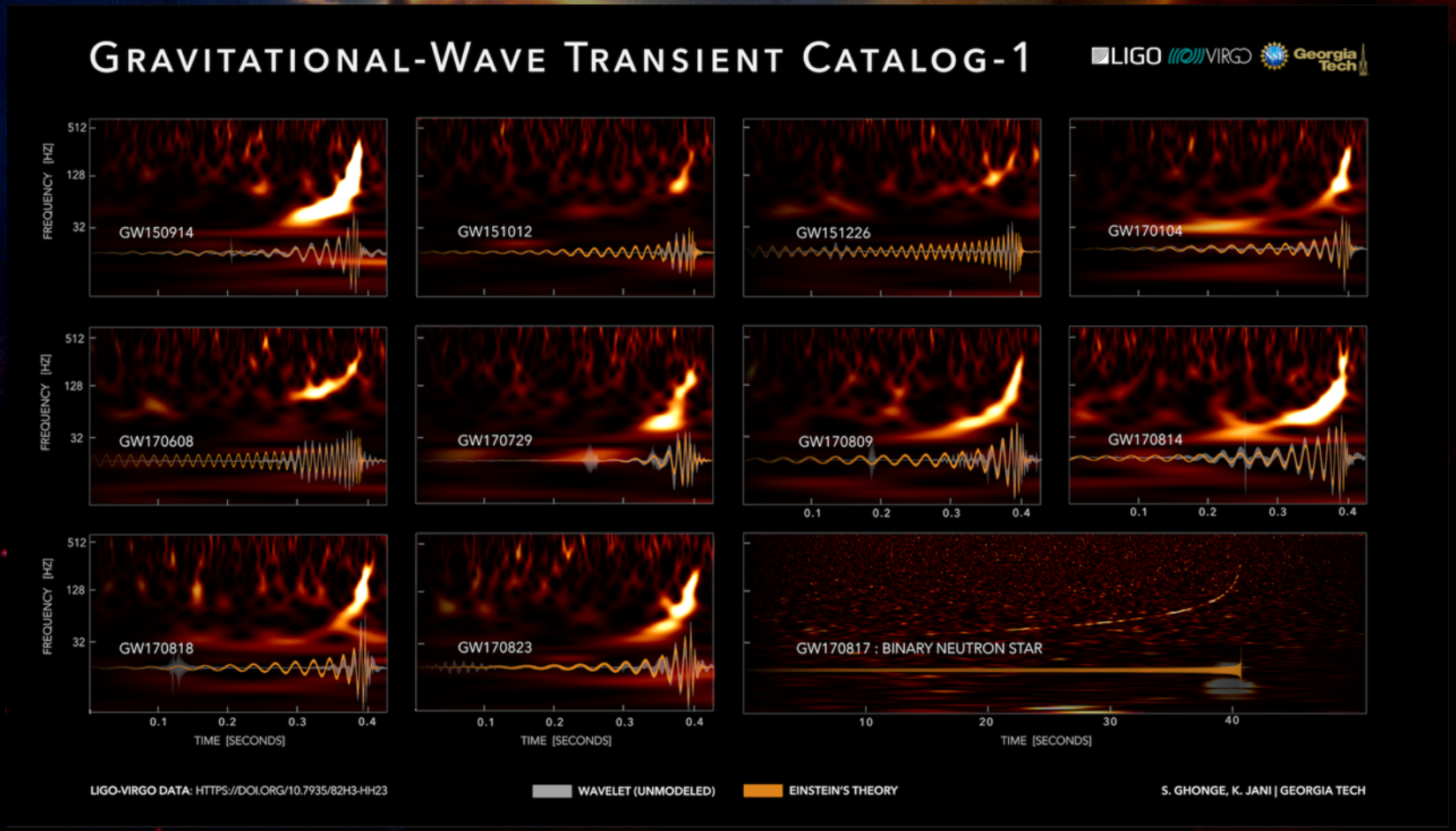
- brak sygnału z Virgo
  - ślepy kierunek czułości anteny



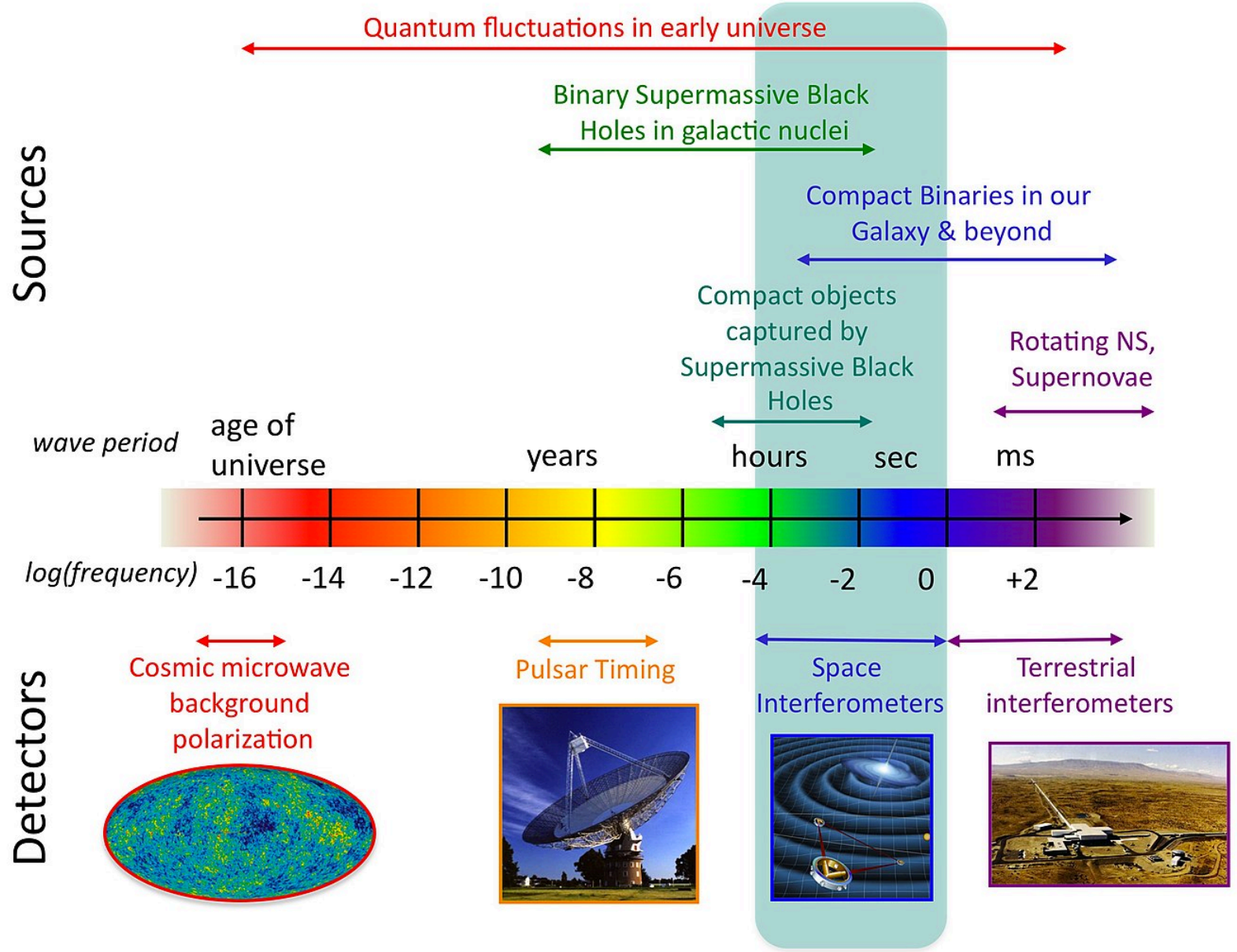



LIGO
LIGO/
Virgo
Fermi/
GBM
IPN Fermi /
INTEGRAL
30°
0°
-30°
16h
12h
8h
-30°
Swope +10.9 h
N
E
30″
DLT40 -20.5 d

Ligo 2019

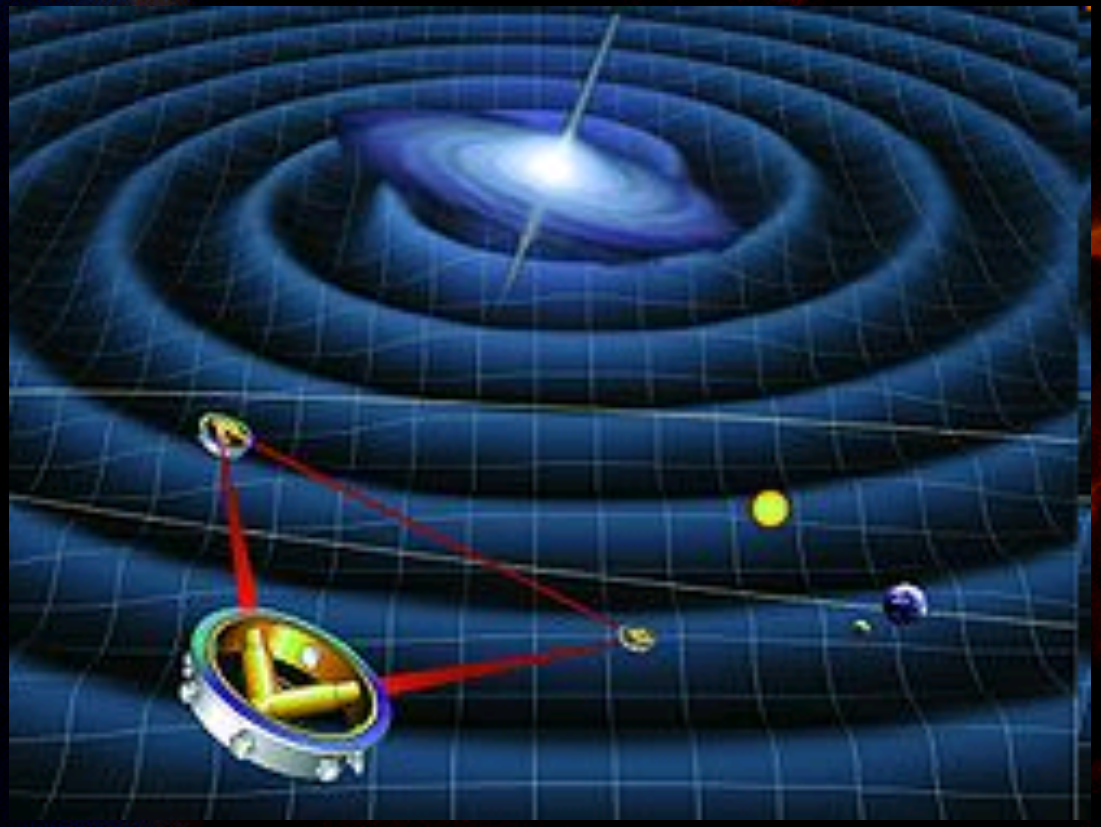

GRAVITATIONAL-WAVE TRANSIENT CATALOG-1
LIGO
VIRGO
Georgia Tech
FREQUENCY [HZ]
512
128
32
GW150914
GW151012
GW151226
GW170104
GW170608
GW170729
GW170809
GW170814
GW170818
GW170823
GW170817 : BINARY NEUTRON STAR
0.1
0.2
0.3
0.4
10
20
30
40
TIME [SECONDS]
LIGO-VIRGO DATA: HTTPS://DOI.ORG/10.7935/82H3-HH23
WAVELET (UNMODELED)
EINSTEIN'S THEORY
S. GHONGE, K. JANI | GEORGIA TECH

The Gravitational Wave Spectrum



Przyszłe detektory

LISA -Laser Interferometer
Space Antenna (ESA+NASA)?



Promieniowanie elektromagnetyczne

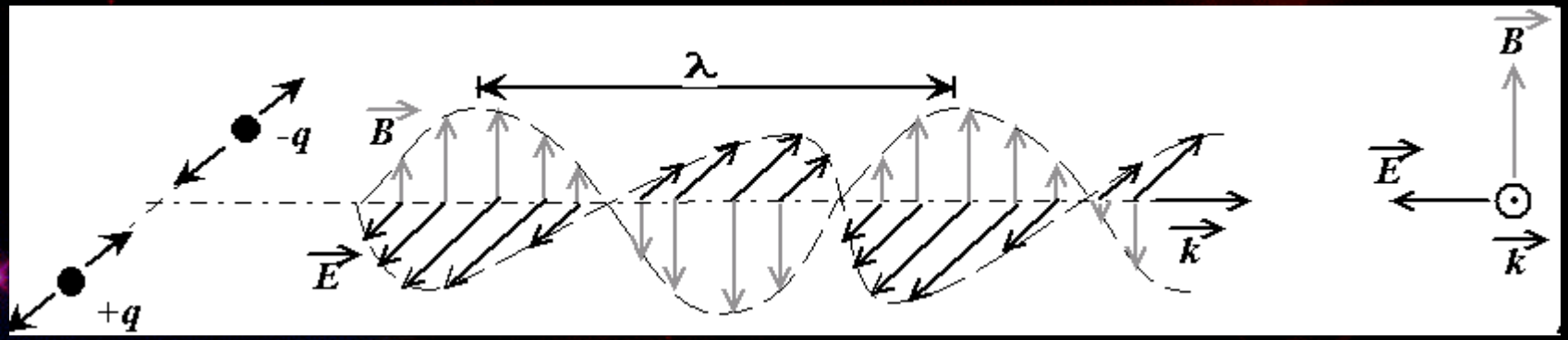
- zaburzenie pola elektromagnetycznego rozchodzące się w przestrzeni zgodnie z równaniami Maxwella
- fala poprzeczna
- c - stała prędkość rozchodzenia się (w próżni)
- długość fali, częstość $\lambda = c/\nu$
- kwantowo – fotony o energii $E = h\nu$

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$E(x,t) = E_0 \sin\left(2\pi\nu t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

$$H(x,t) = H_0 \sin\left(2\pi\nu t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$



Promieniowanie elektromagnetyczne

- termiczne
- cyklotronowe (synchrotronowe)
- reakcje jądrowe (synteza, rozpad)
- promieniowanie atomów (linie widmowe)
- promieniowanie hamowania (np X)
- inne

Promieniowanie elektromagnetyczne

Promieniowanie ciała doskonale czarnego

- Prawo przesunięć
  Wiena $\lambda_{max} = 2897/T$
- Przybliżenie
  - Wiena
  - Rayleigha-Jeansa
- Rozkład
  - Plancka

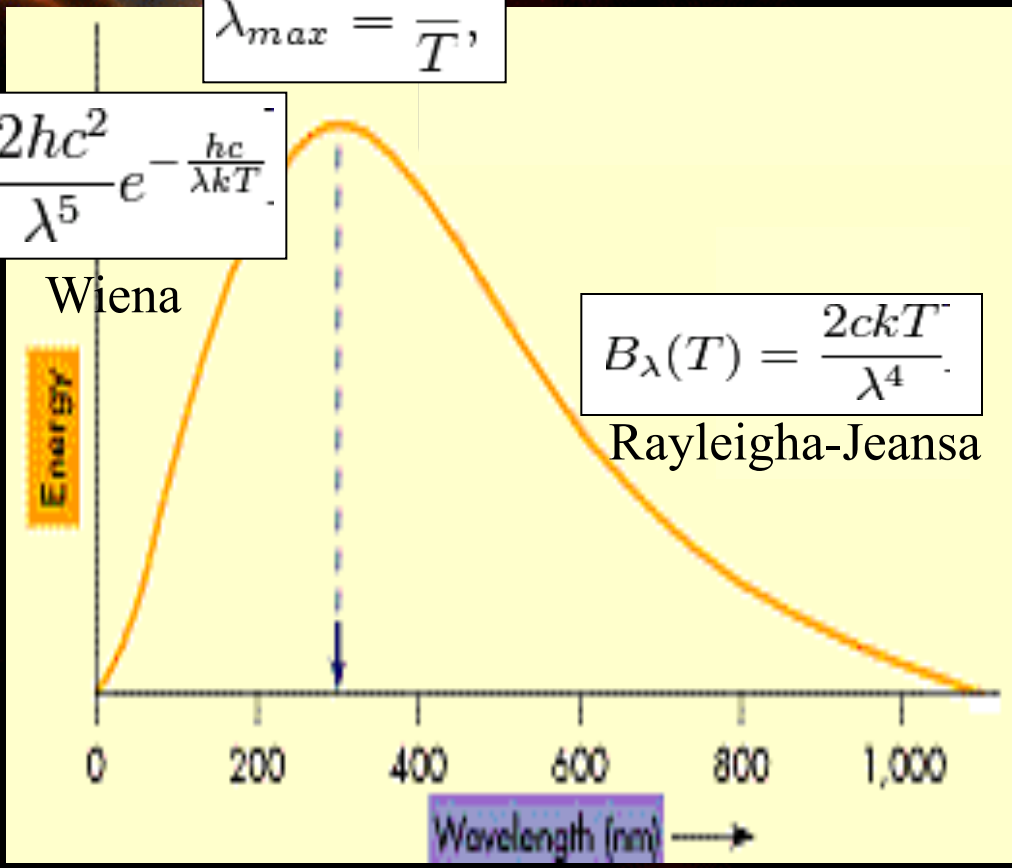
$$\lambda_{max} = \frac{b}{T},$$

$$I(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{\lambda kT}}$$

Wiena

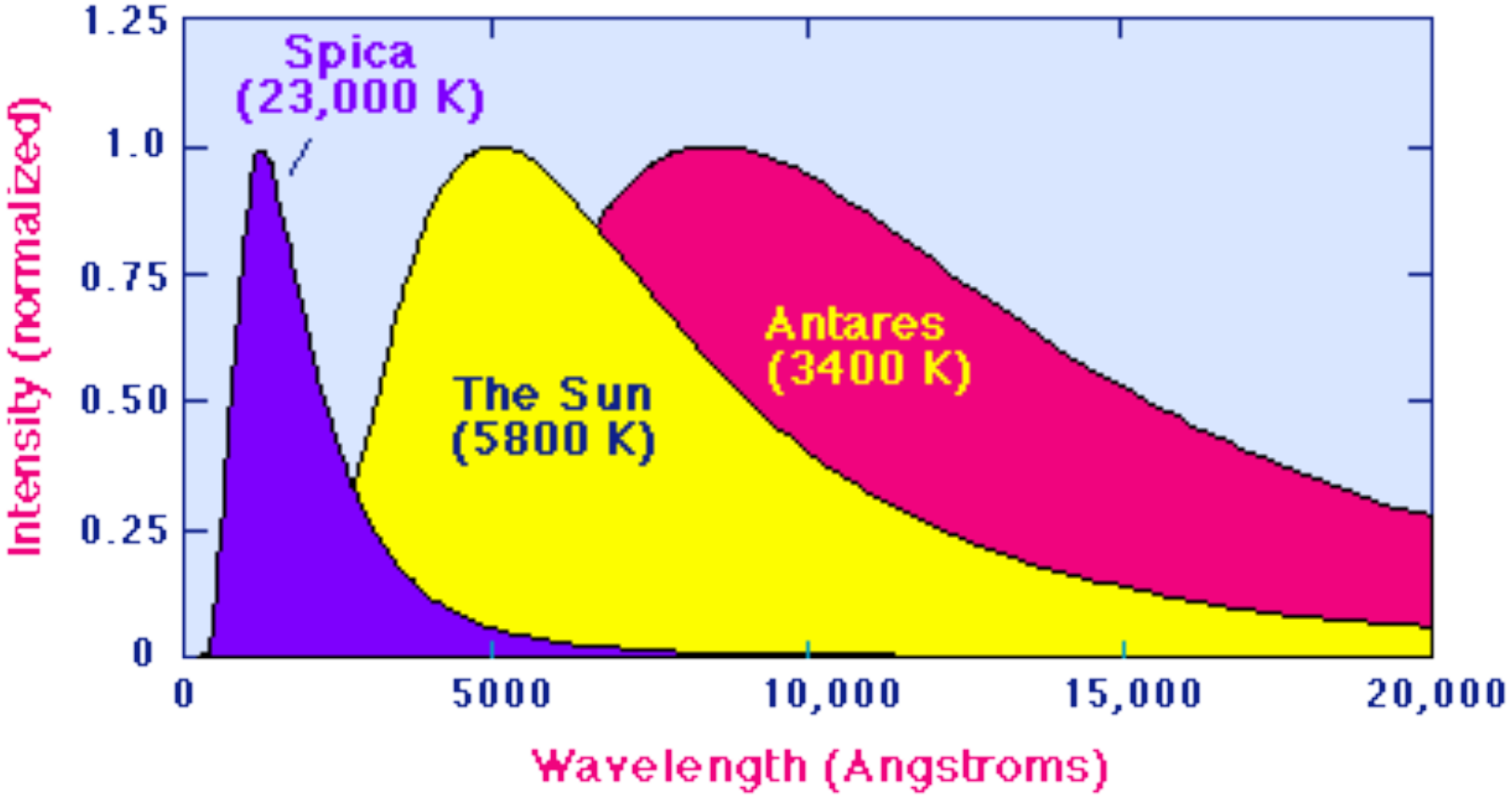
$$B_\lambda(T) = \frac{2ckT}{\lambda^4}$$

Rayleigha-Jeansa



$$B_\lambda(T) = \frac{2c^2}{\lambda^5} \frac{h}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

Temperatura barwna



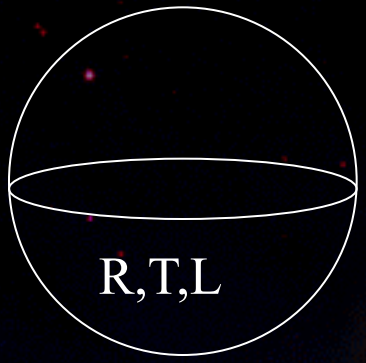
Temperatura efektywna

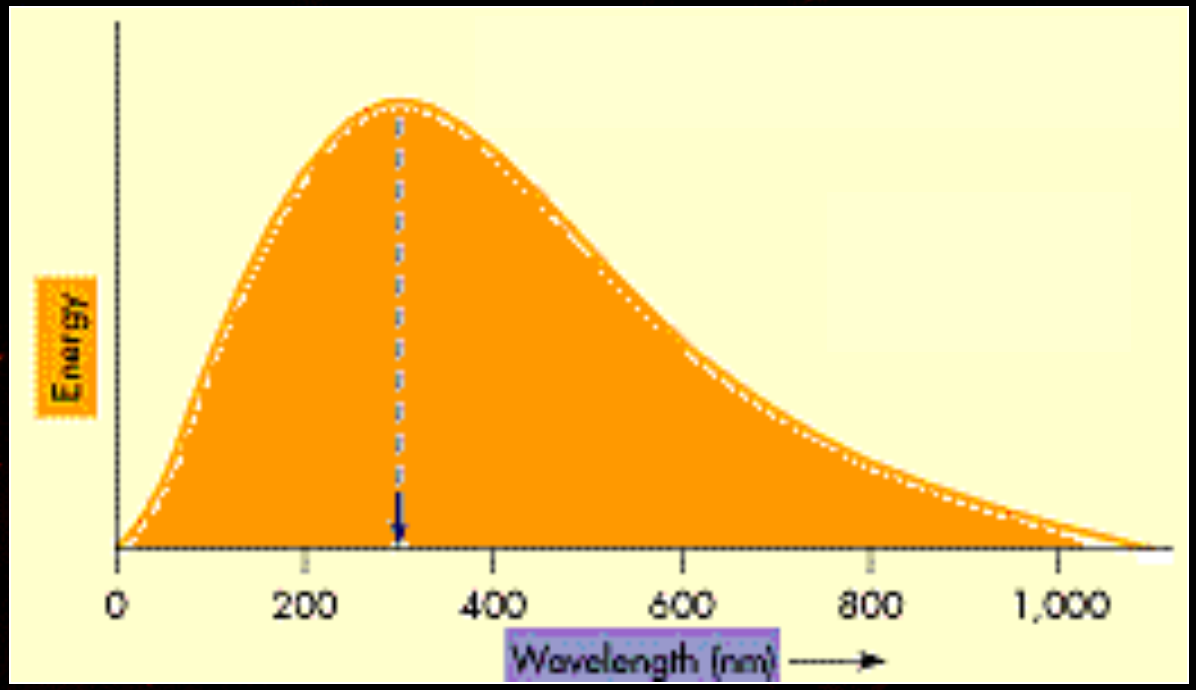
- *prawo Stefana-Boltzmana*

strumień promieniowania:
$f=\sigma T^4$

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k_B^4}{15h^3c^2} = 5,670367(13) \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

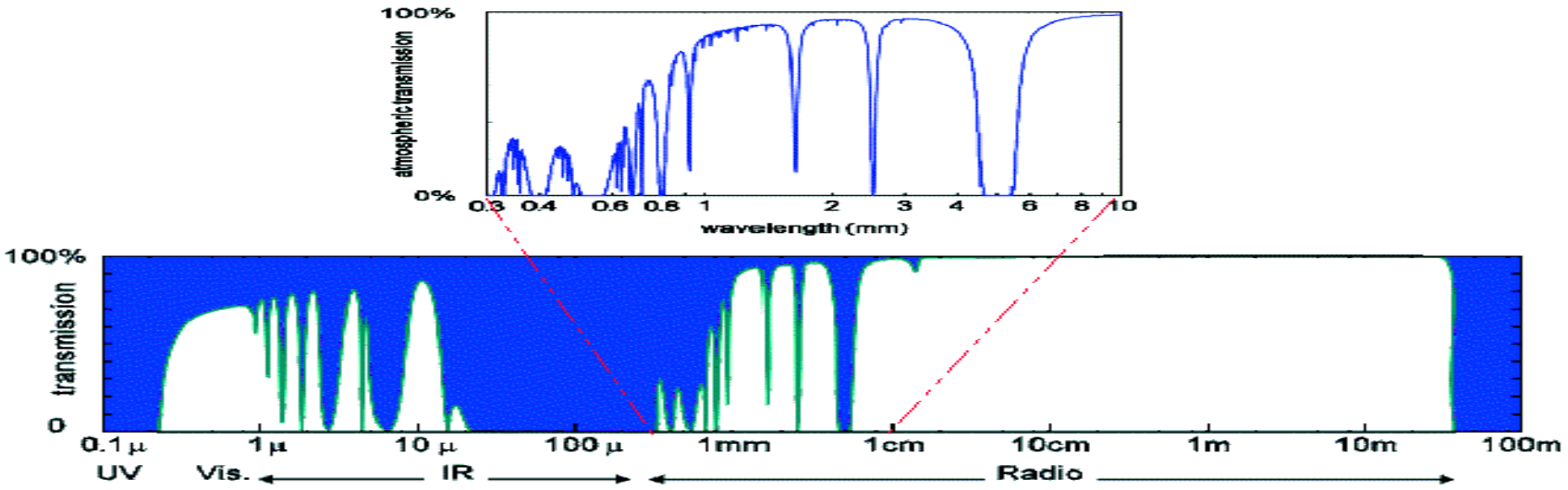
jasność:
$L=4\pi R^2 \sigma T^4_{eff}$



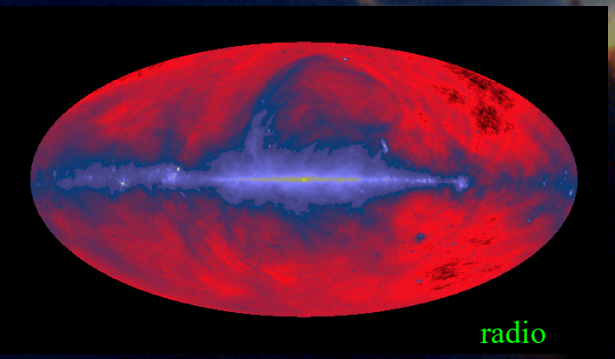


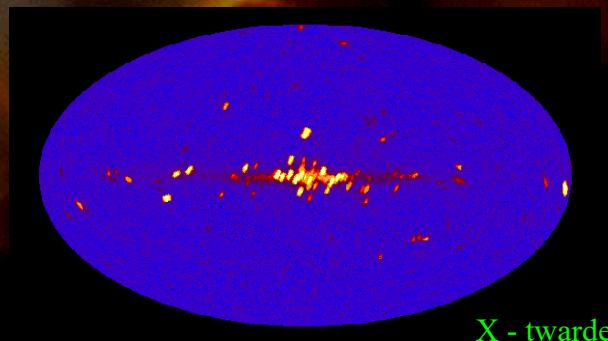
Promieniowanie elektromagnetyczne

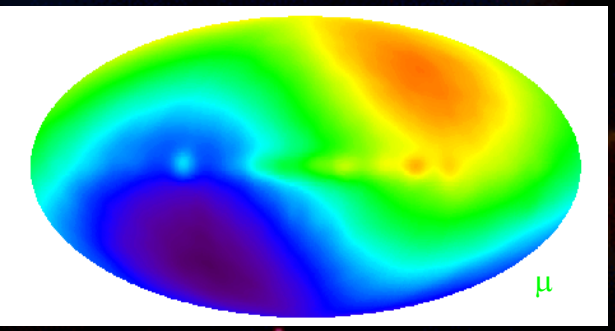
- Zakresy promieniowania: przepuszczalność atmosfery
  - radiowe
  - mikrofalowe
  - podczerwień (IR)
  - optyczne (vis, opt)
  - ultrafioletowe (UV)
  - rentgenowskie (X)
  - gamma (γ)

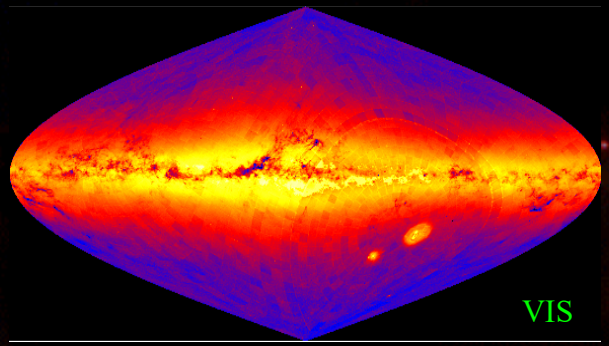


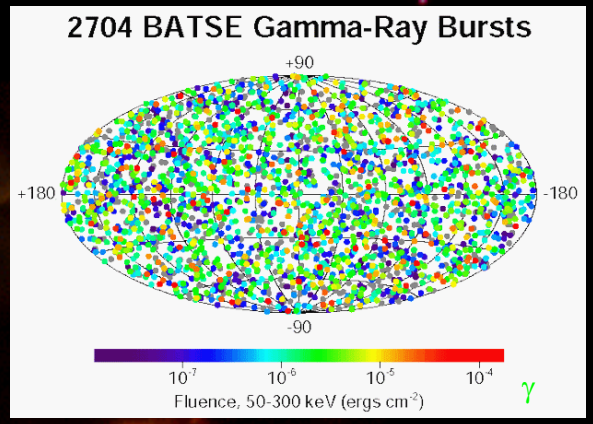
Niebo na różnych długościach fal

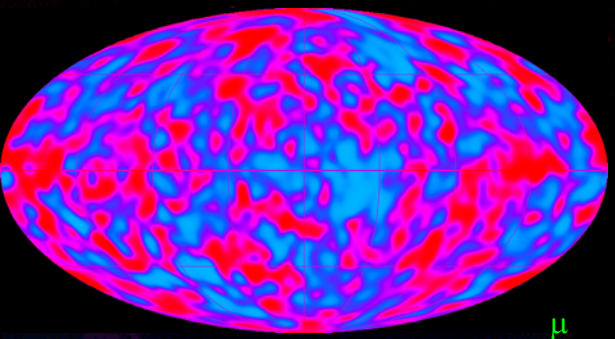


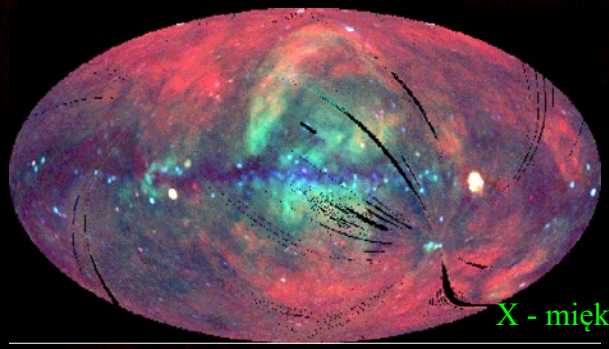










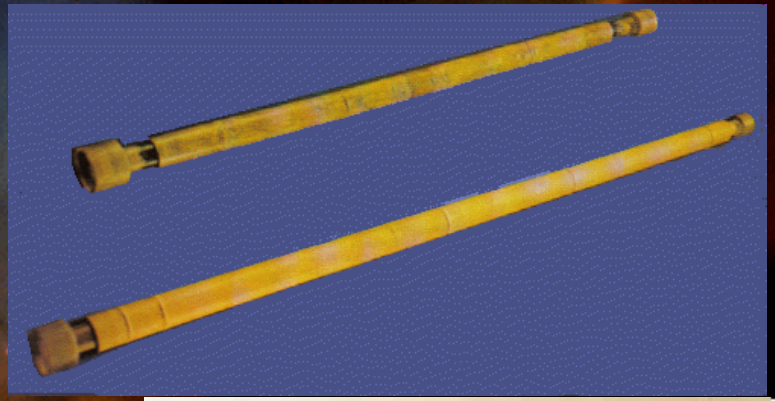


Historia teleskopów

- Hans Lippershey z Middelburga
  - patent z 2 października 1608 na urządzenie „do oglądania rzeczy dalekich tak jakby były bliskie”
- Zacharias Jansen z Middelburga
- Jacob Metius z Alkmaar
  - patent późniejszy o kilka tygodni

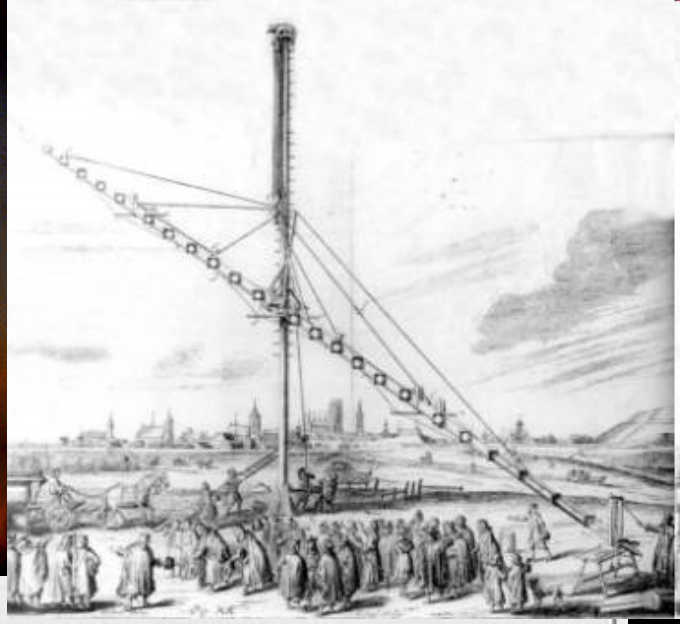
Galileusz

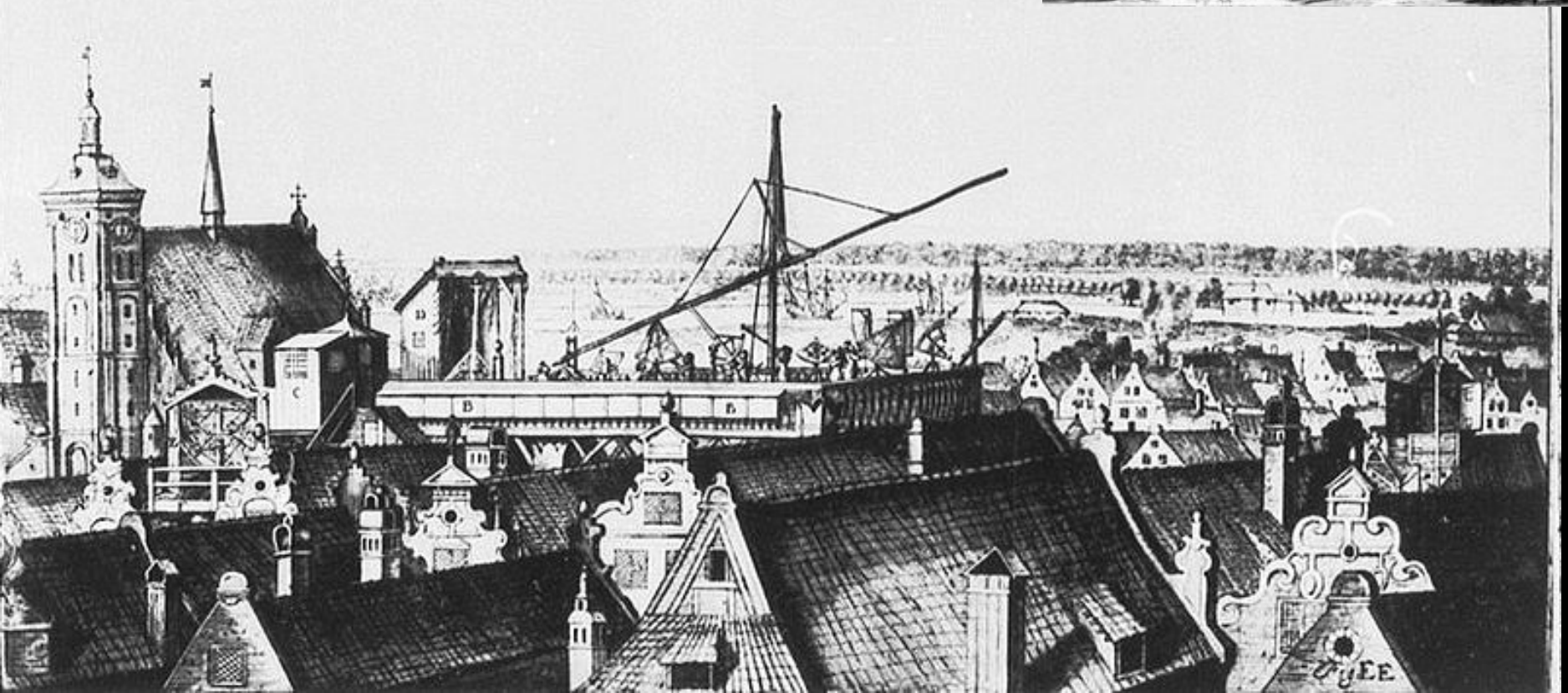
- 1609, Padwa
  - teleskop – *perspicillum*
  - powierzchnia Księżyca
  - gwiazdy stałe w Drodze Mlecznej
  - księżyce Jowisza
- 1610 – 1612, Florencja
  - Saturn – potrójna planeta
  - fazy Wenus
  - plamy na Słońcu



Jan Heweliusz

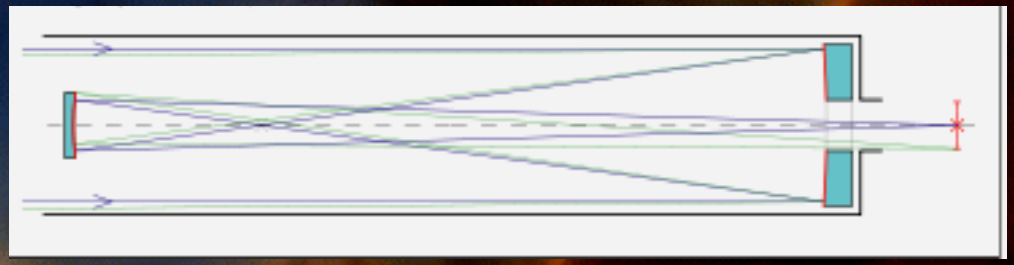
- ok. 1640
  - teleskop o ogniskowej 46 m
  - drugi, 30 m, na dachu 3 kamienic





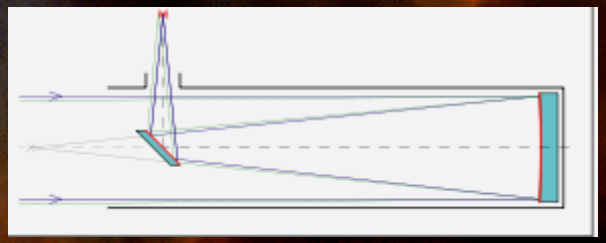
James Gregory

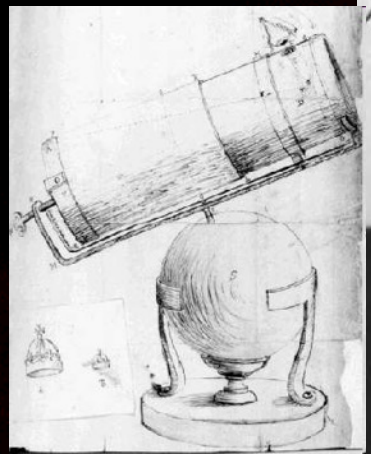
- 1663 – opis teleskopu zwierciadlanego
- 1673 – zbudowany przez Roberta Hooka.



Isaac Newton

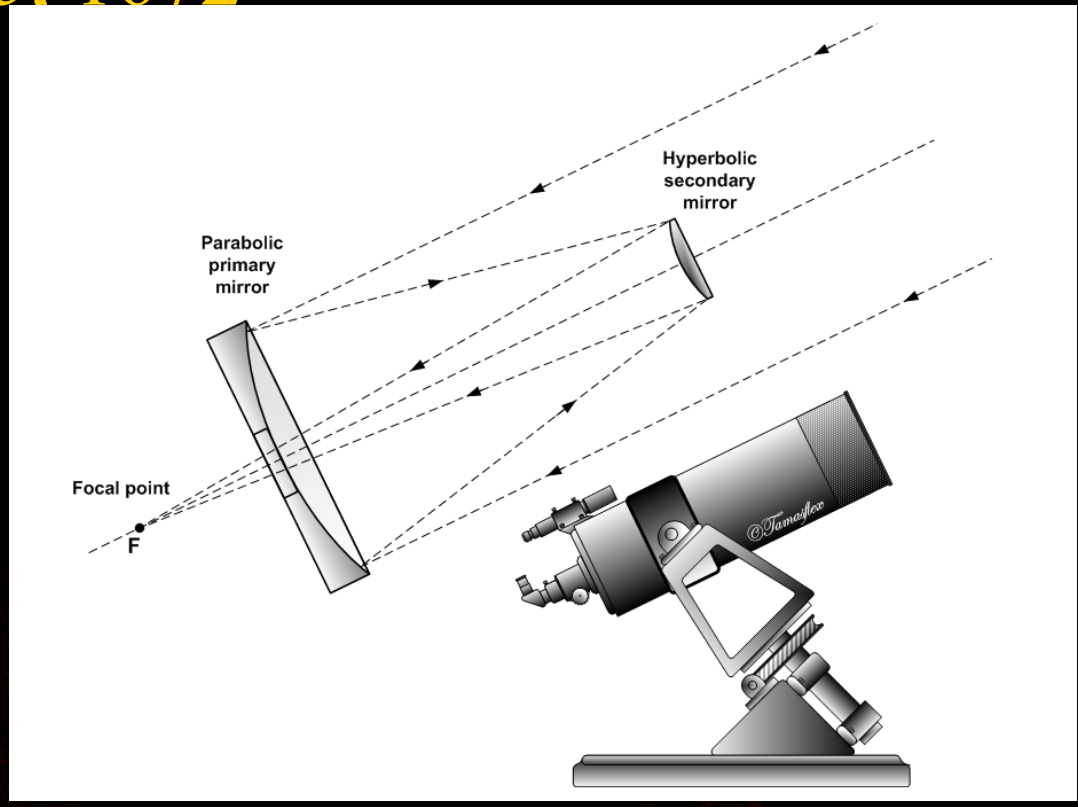
- teleskop zwierciadlany
  - ok. 1668
  - 33 mm średnicy
  - zwierciadło metalowe
  - „speculum metal”
  - stop podobny do brązu
  - 2/3 miedzi, 1/3 cyny
  - (domieszka arsenu)





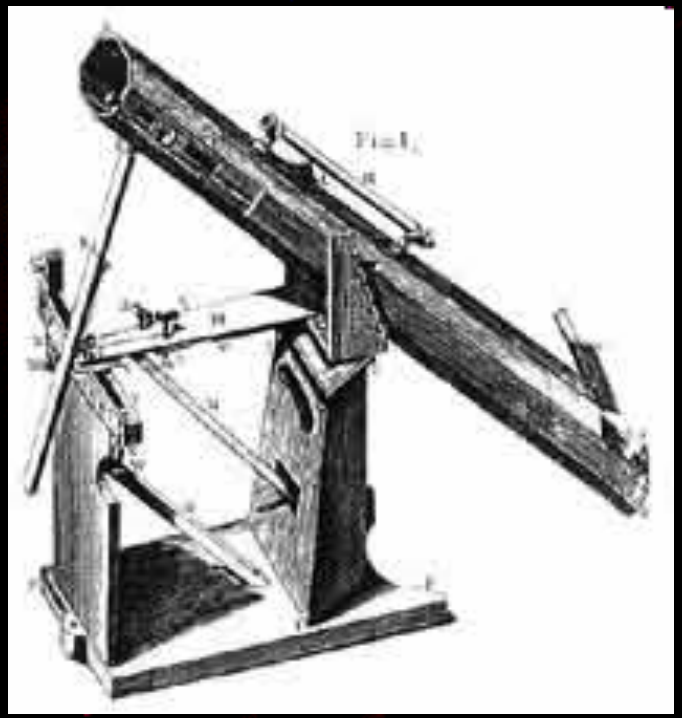
Laurent Cassegrain

- Wzmiankowany w: *Recueil des mémoires et conférences concernant les arts et les sciences*, April 25, 1672



John Hadley

- 1721 r.
- 15 cm – średnica
- 1.8 m – ogniskowa
- powiększenia – 200x
- przerwa Cassiniego



Fryderyk William Herschel

Wielki teleskop

- 1785 – 1789 w Slough
- 126 cm - średnica
- 12 m – ogniskowa

Mniejsze teleskopy

- mniejsze – 15,30,47 cm
- odkrycie Urana – 1781
- księżyce Saturna i Urana

Lewiatan z Parsonstown

Birr in County Offaly, Ireland

Lewiatan z Parsonstown

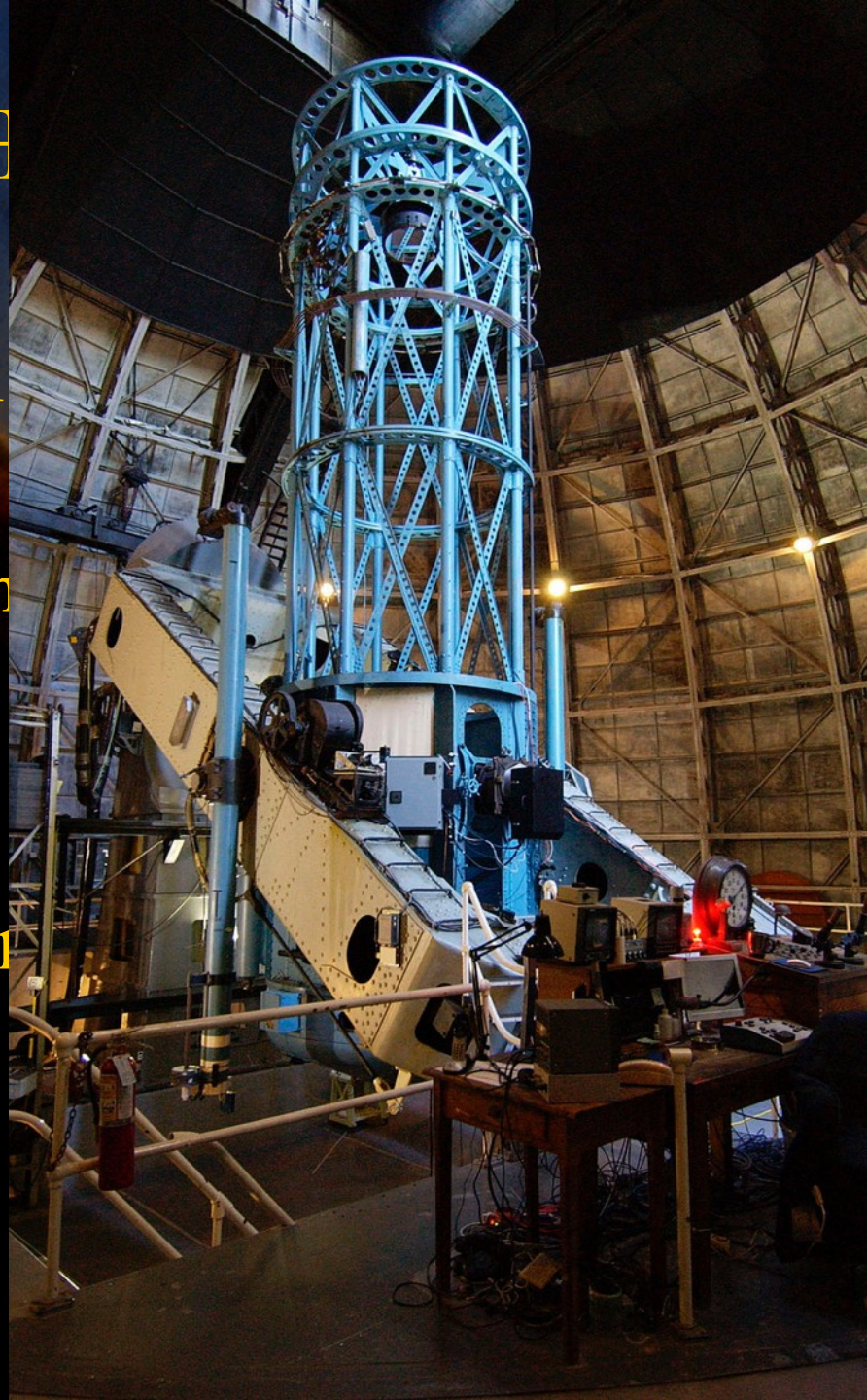
Whirpool Galaxy – M51

Refraktor w Yerkes

- 1897, ufudowany przez Georga Hala
- achromat 40 cali (102 cm), tubus 19 m
- największy teleskop soczewkowy

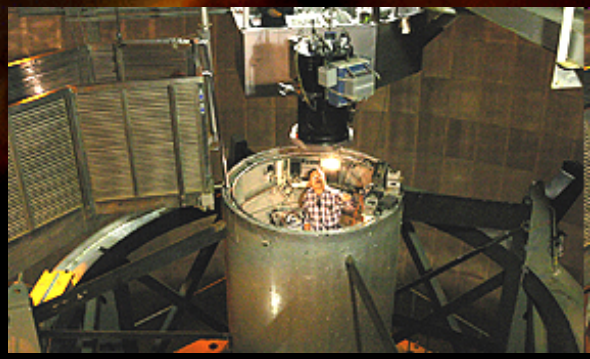
Teleskop H

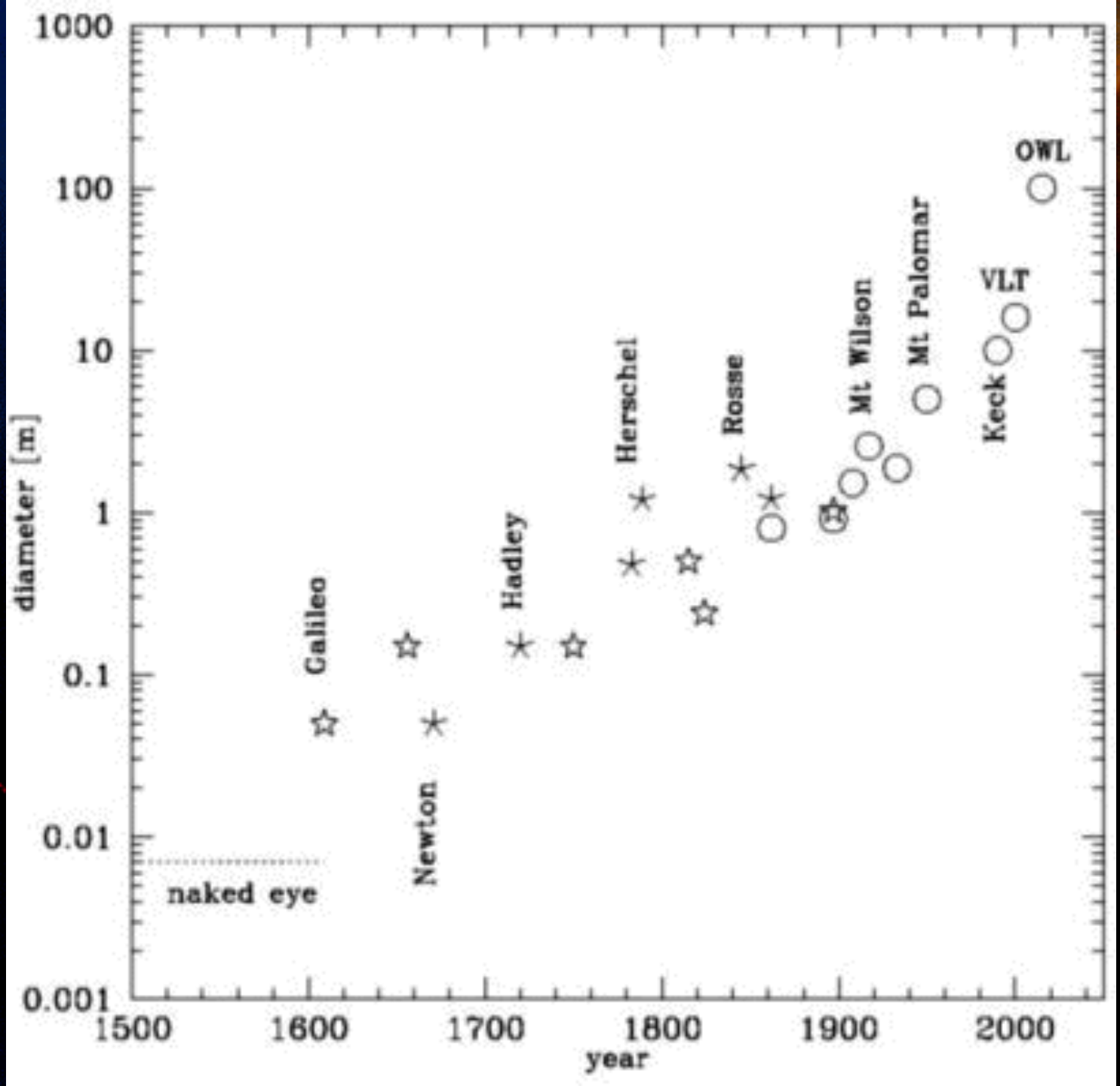
- Obserwatorium Mt. Wil
  - fundator - George Hale
  - teleskopy: Hooker, Carn
- 1917 r.
- 100” (2.5 m, 2 tony)
- interferometr Michelso
  - Betelgeuse
- klasyfikacja Russela
- prace Hubble’a



Teleskop Hale'a

- Mt. Palomar, San Diego, CA
- 1948 r. (największy do 1976, 1983)
- średnica 200 cali, 5.1 m, 14.5 t
- Caltech




1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
diameter [m]
1500
1600
1700
1800
1900
2000
year
Galileo
Newton
Hadley
Herschel
Rosse
Mt Wilson
Mt Palomar
Keck
VLT
OWL
naked eye

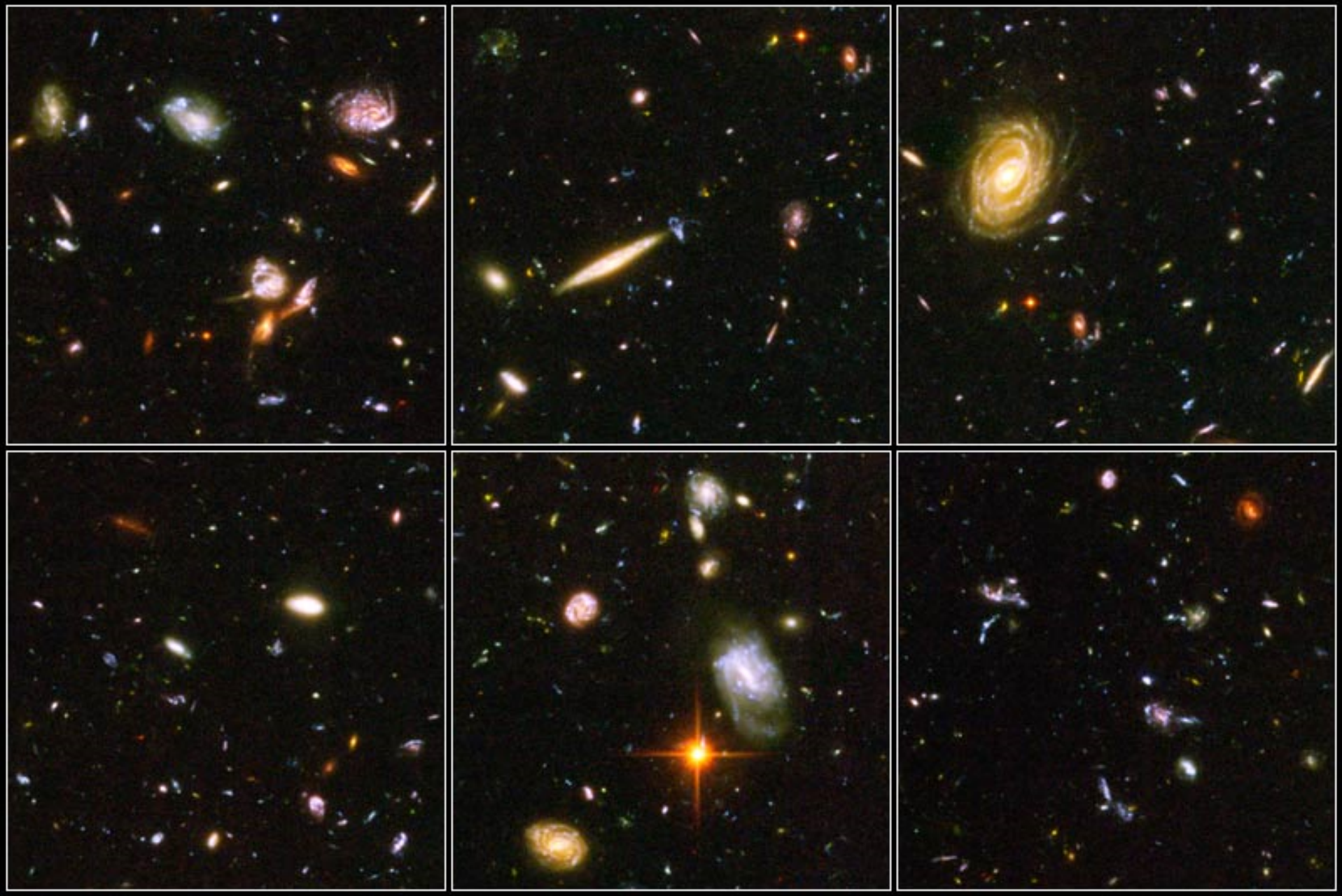
SAO, Zelenchuskaya, BTA - 6m

SAO, Zelenchuskaya BTA - 6m

- masa zwierciadła 42 t
- masa teleskopu 850 t
- kłopoty z proporcjami
  - technologia
  - klimat
  - polityka

Hubble Ultra Deep Field Details

HST ▪ ACS



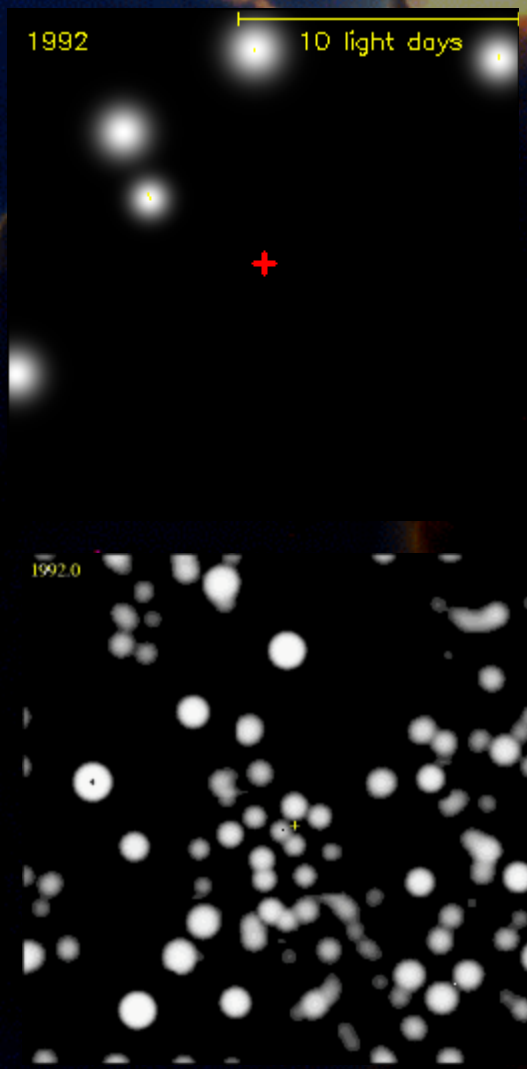
NASA, ESA, S. Beckwith (STScI) and The HUDF Team

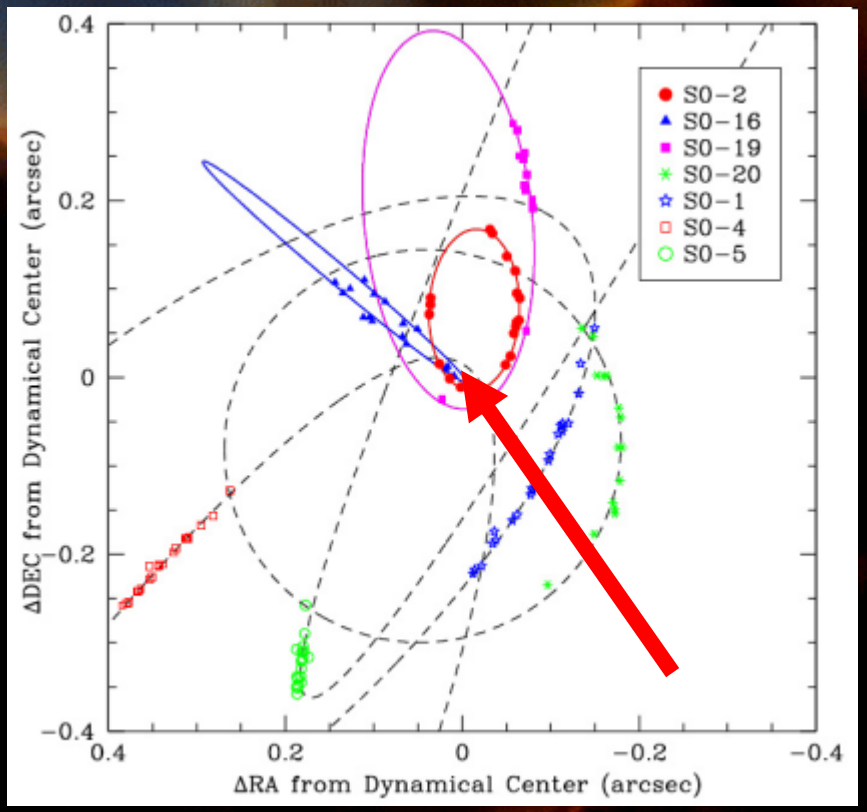
STScI-PRC04-07c

Potrzeba

- Powstawanie gwiazd
- Ewolucja gwiazd i galaktyk
- Inne układy planetarne
- Geometria Wszechświata
- Ciemna materia, ciemna energia
- Historia Wszechświata
- Życie we Wszechświecie

Centrum Drogi Mlecznej





Poszukiwanie planet - spektroskopia

Gwiazdy FGK

- okresy rotacji 5-50 dni
- prędkość rotacji 1-10 km/s
- wahania prędkości ~ 1-10 m/s

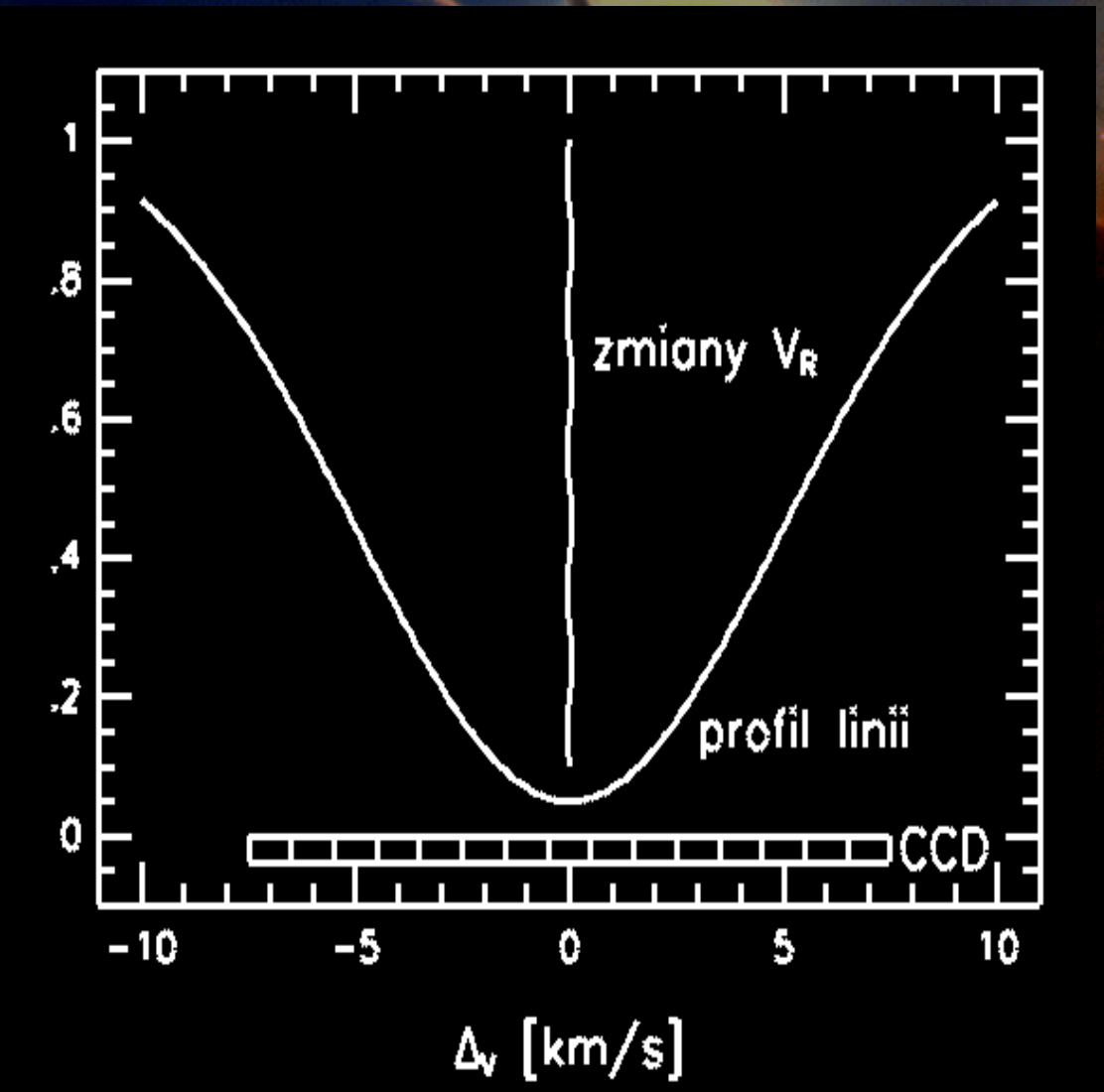
Rozdzielczość spektrografu

- R=50.000 ~ 5 km/s
- 1 km/s na piksel CCD

Wpływ na Słońce

- Jowisza 12 m/s
- Saturna 2.7 m/s
- Planeta 51 Peg 60 m/s

Poszukiwanie planet - spektroskopia



Ponadto:

- Zmiana prędkości obserwatora

  ~2 m/s na min.
- Relatywistyczny efekt Dopplera

  ~3 m/s

Kosmiczne czy naziemne

KOSMICZNE

- Brak atmosfery
- Brak grawitacji
- Noc bez przerwy!

NAZIEMNE

- Mniejszy koszt
- Większe rozmiary
- Dane na miejscu

Teleskopy nowej generacji

Teleskop	D[m]	Lokalizacja
Keck I,II	2x10	Mauna Kea, Hawaje
Hobby-Eberly T.	9.2	Mt. Fowlkes,Teksas
Subaru	8.3	Mauna Kea, Hawaje
VLT Antu,Kueyen,Melipal,Yepun	4x8.2	Cerro Paranal, Chile
Gemini N,S	2x8.0	Mauna Kea, Cerro Pachon
Magellan I,II	6.5	Las Campanas, Chile
MMT	6.5	Mt. Hopkins, Arizona
Large Binocular T. (2005)	2x8.4	Mt. Graham, Arizona
Gran Telescopio Canarias (2005)	10.4	Wyspy Kanaryjskie
Southern African Large Telescope (2006)	~10	RPA

Koszt

VLT	4 *8.2 m	500 M$
Keck	2*10 m	150 M$
Gemini	2*8 m	170 M$
HET	9.2 m	13.5 M$
SALT	10 m	16 M$
LBT	2*8 m	85 M$
GTC	10.4 m	100 M$

Montaż paralaktyczny

niemiecki

widłowy

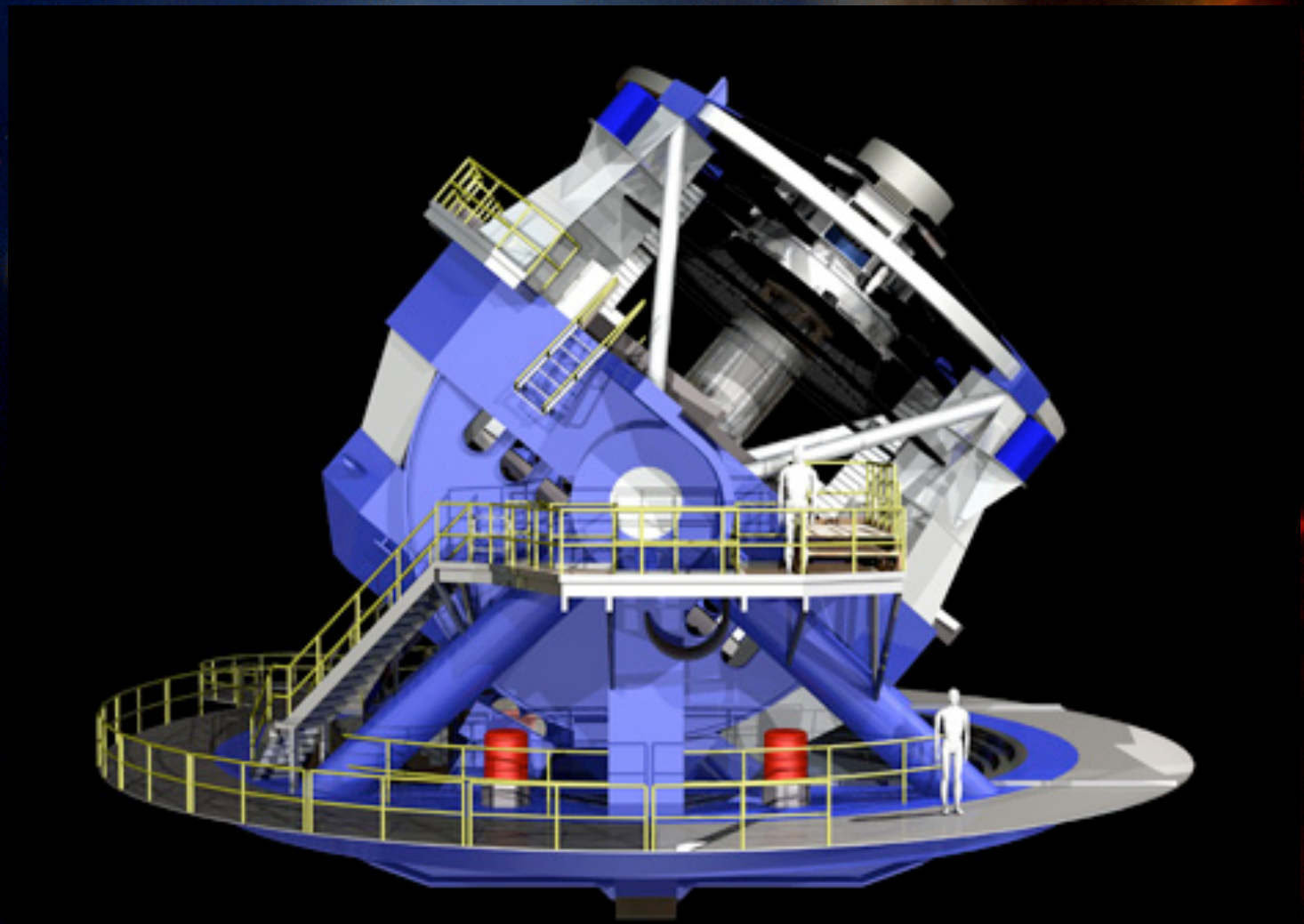
angielski

„podkowa”

Fot. A. Maury, Observatoire de Cote d'Azur

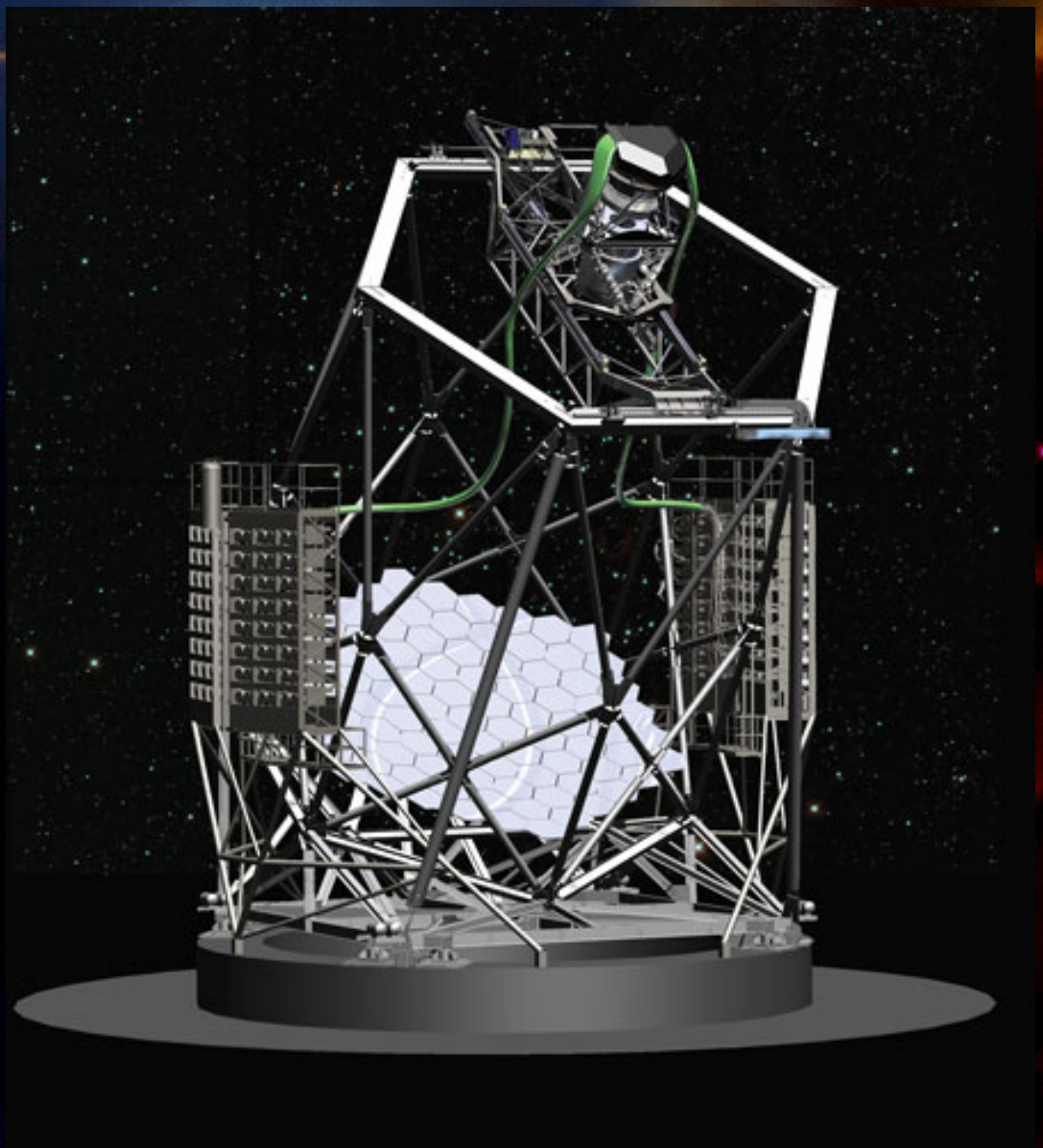
http://catalogue.museogalileo.it/indepth/TelescopeMounts.html

Montaż azymutalny



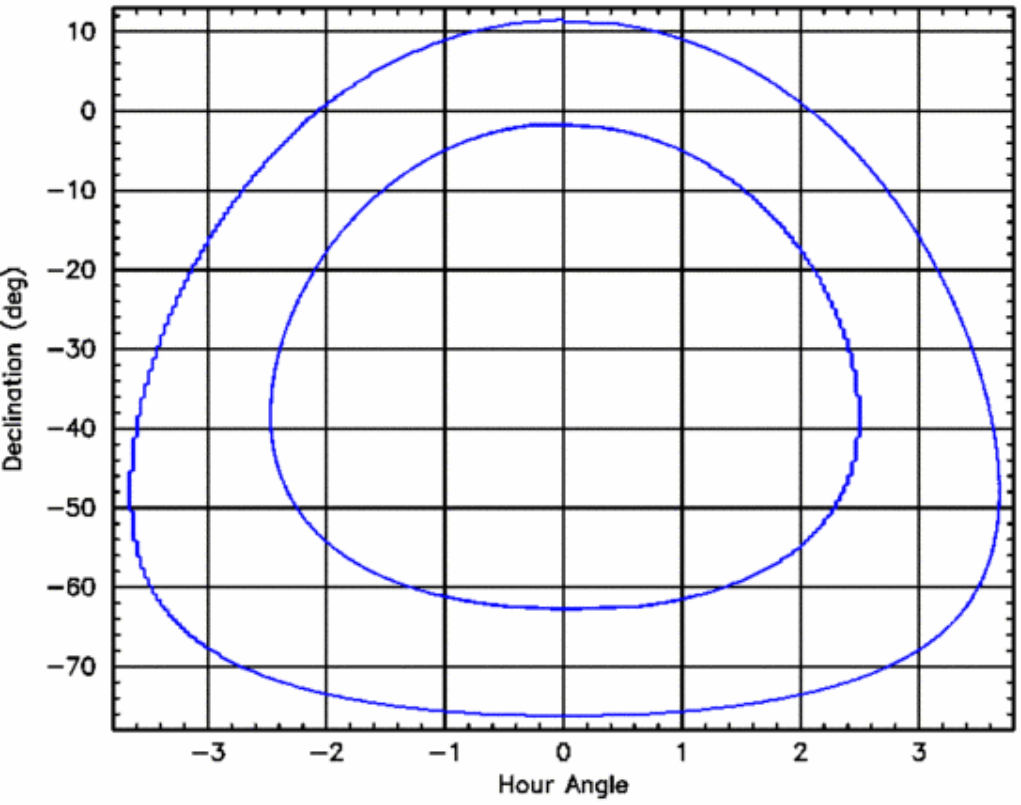
LSST

Montaż ograniczony

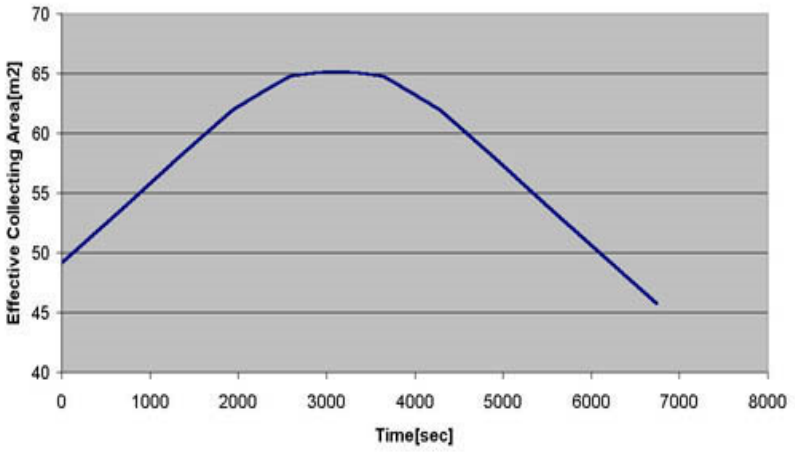


Montaż ograniczony (SALT)

Pole widzenia

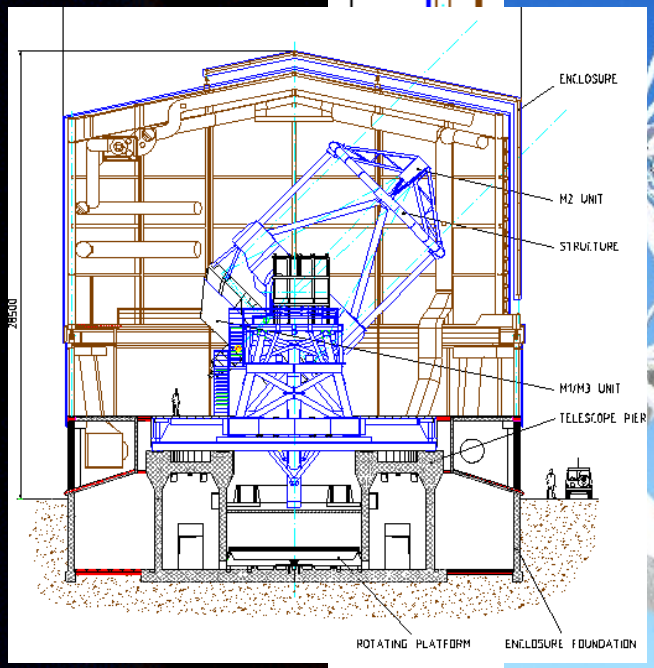


Eefektywna powierzchnia zwierciadła



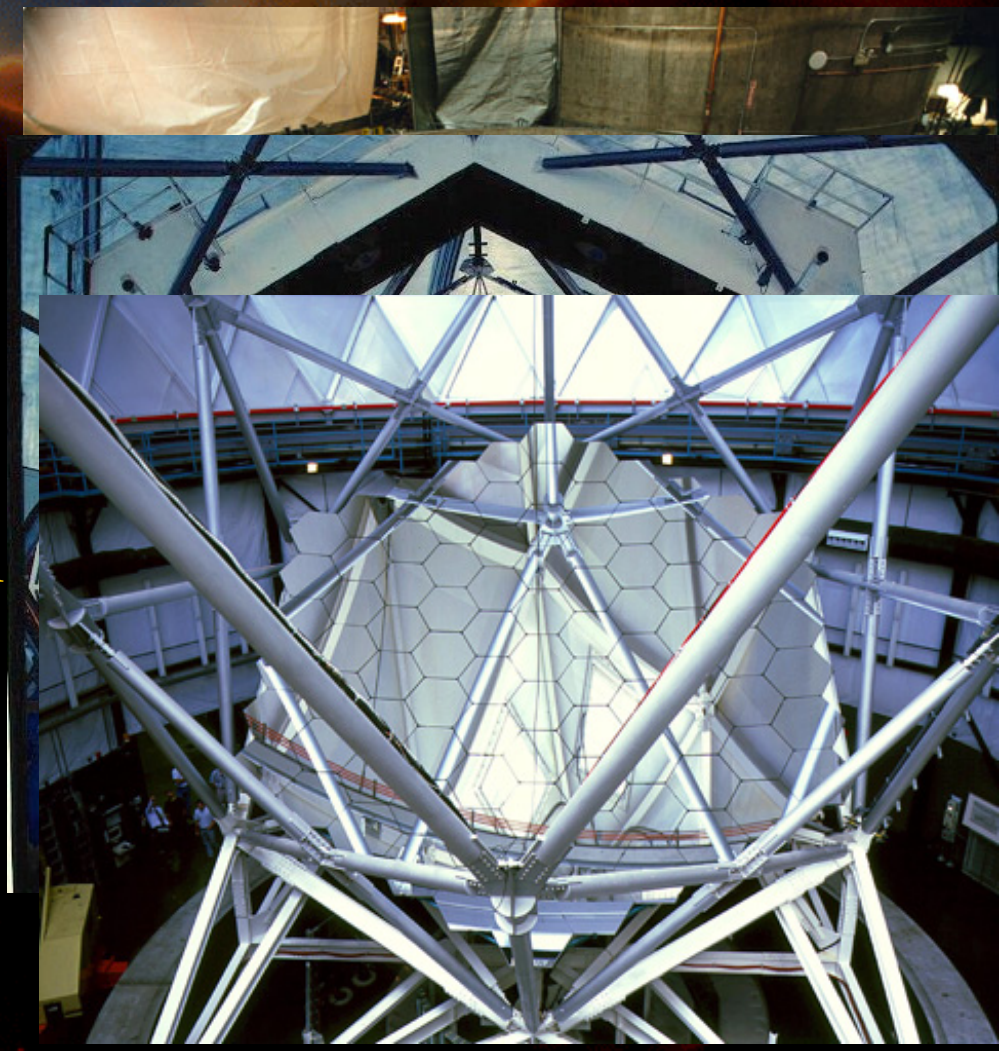
Montaż

- paralaktyczny
- azymutalny
- ograniczony



Zwierciadła

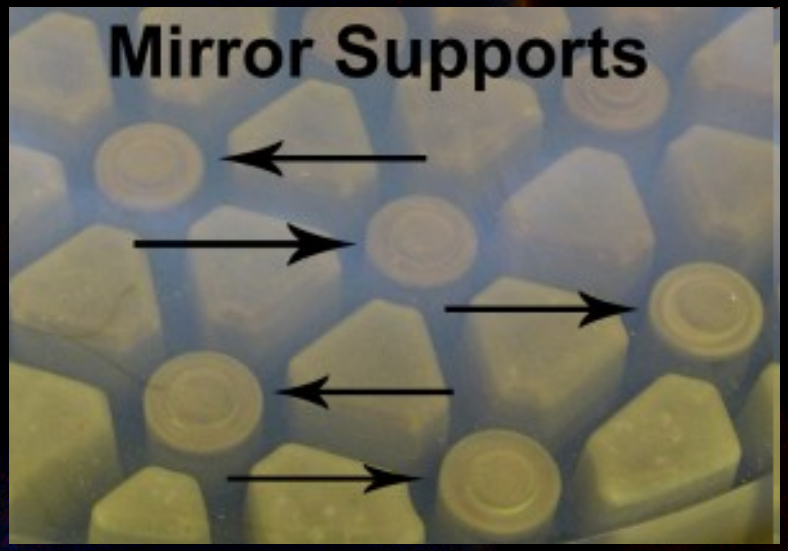
- pełne
  - Zelenchuskaya – 6 m
- typu plaster miodu
  - Palomar – 5 m
- meniskowe
  - VLT – 18 cm/ 8.2 m
- segmentowe
  - Keck – 10 m
- sferyczne
  - HET 9.2 m

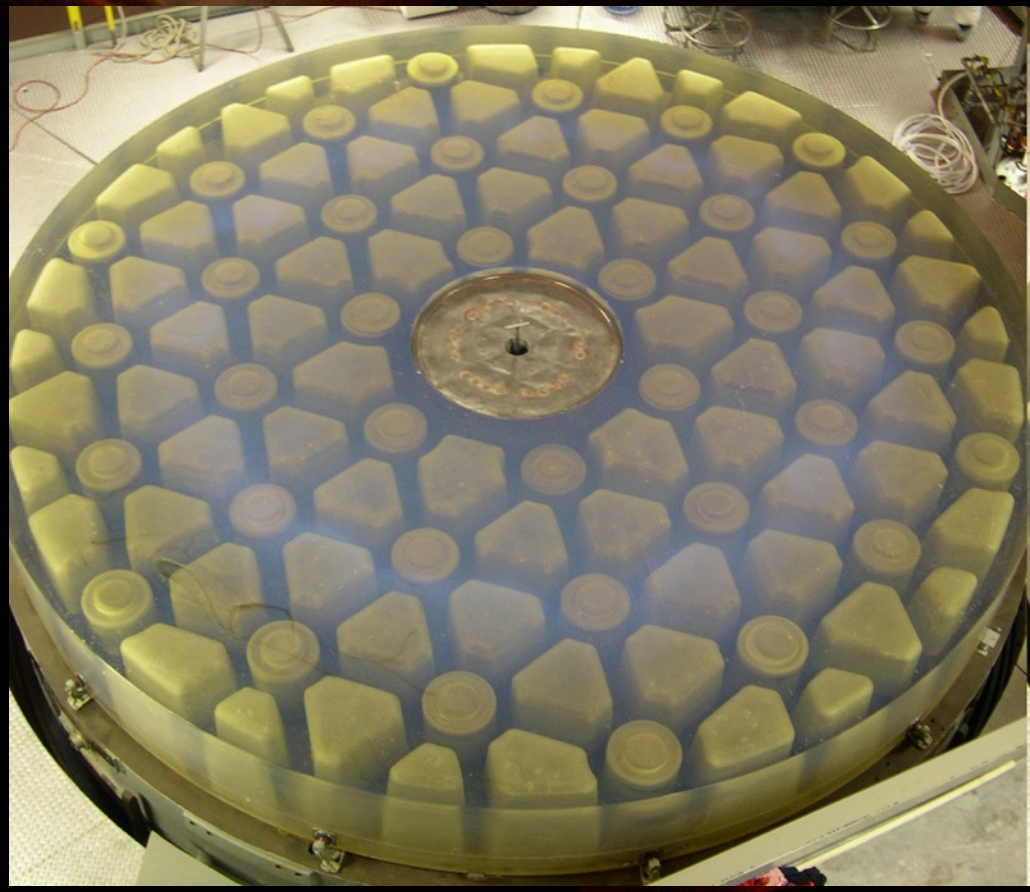


Zwierciadła typu plaster miodu

Mt. Palomar – 5 m

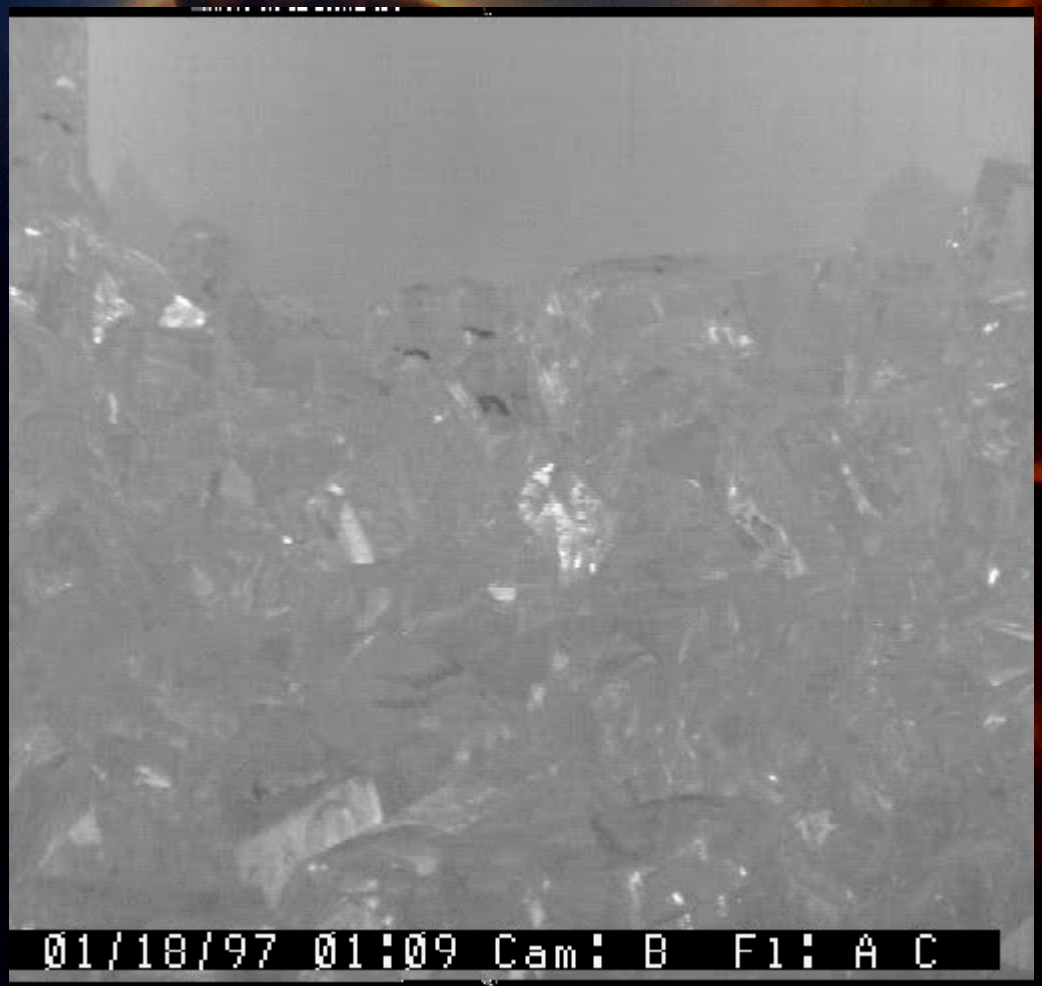
14.5 t *vs.* 40 t





Piec obrotowy

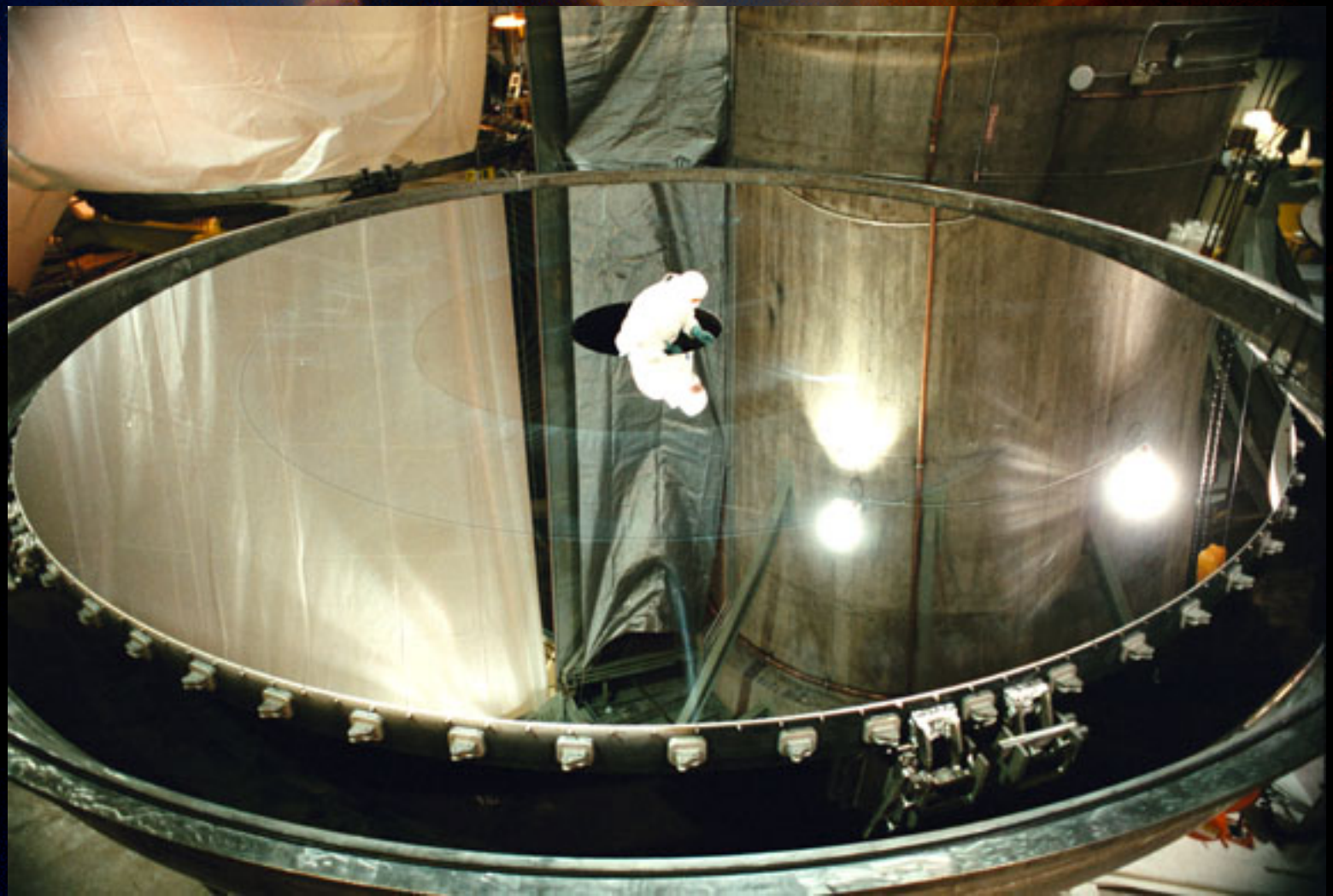
Piec obrotowy – 1150 C



Piec obrotowy – 1150 C

Zwierciadła meniskowe

VLT - średnica 8.2 m, grubość 18 cm



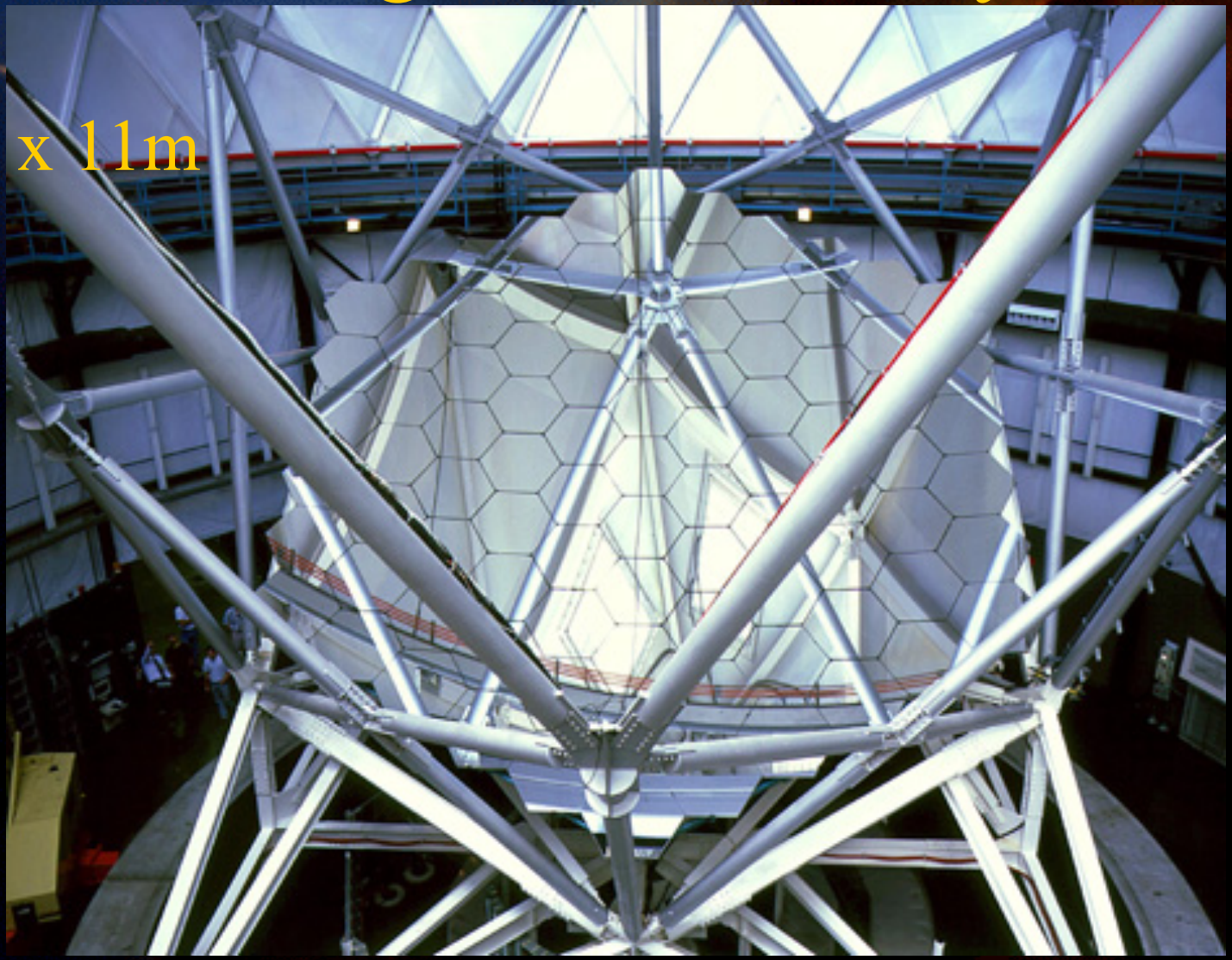
Zwierciadła segmentowe

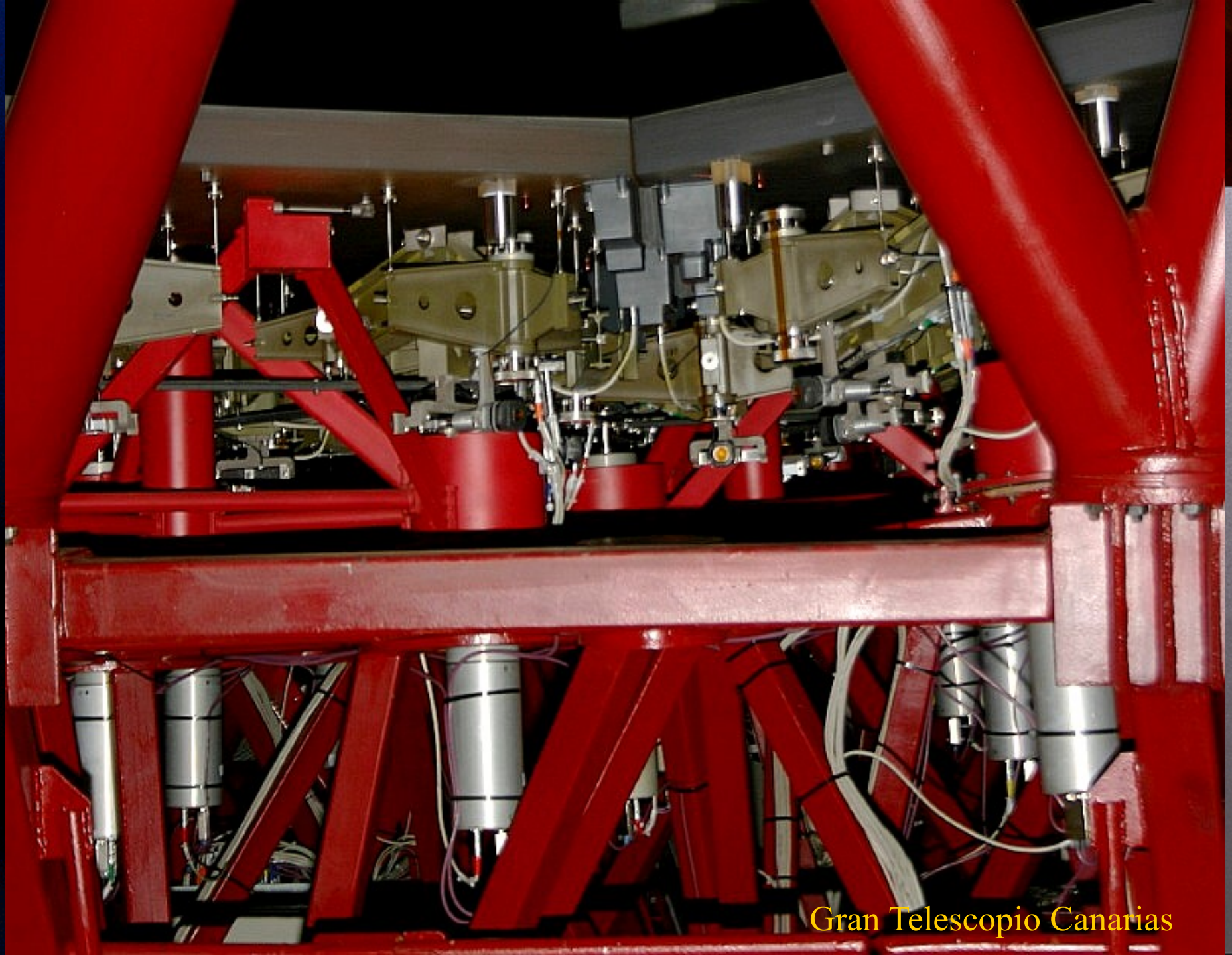
Keck – 10 m, hiperboloidalne

Zwierciadła segmentowe sferyczne

HET 9 x 11m

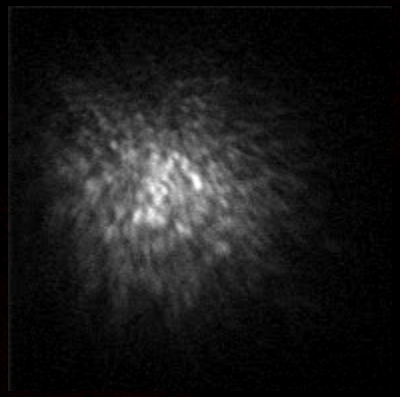
SALT




Gran Telescopio Canarias

Jakość obrazu – „Seeing”

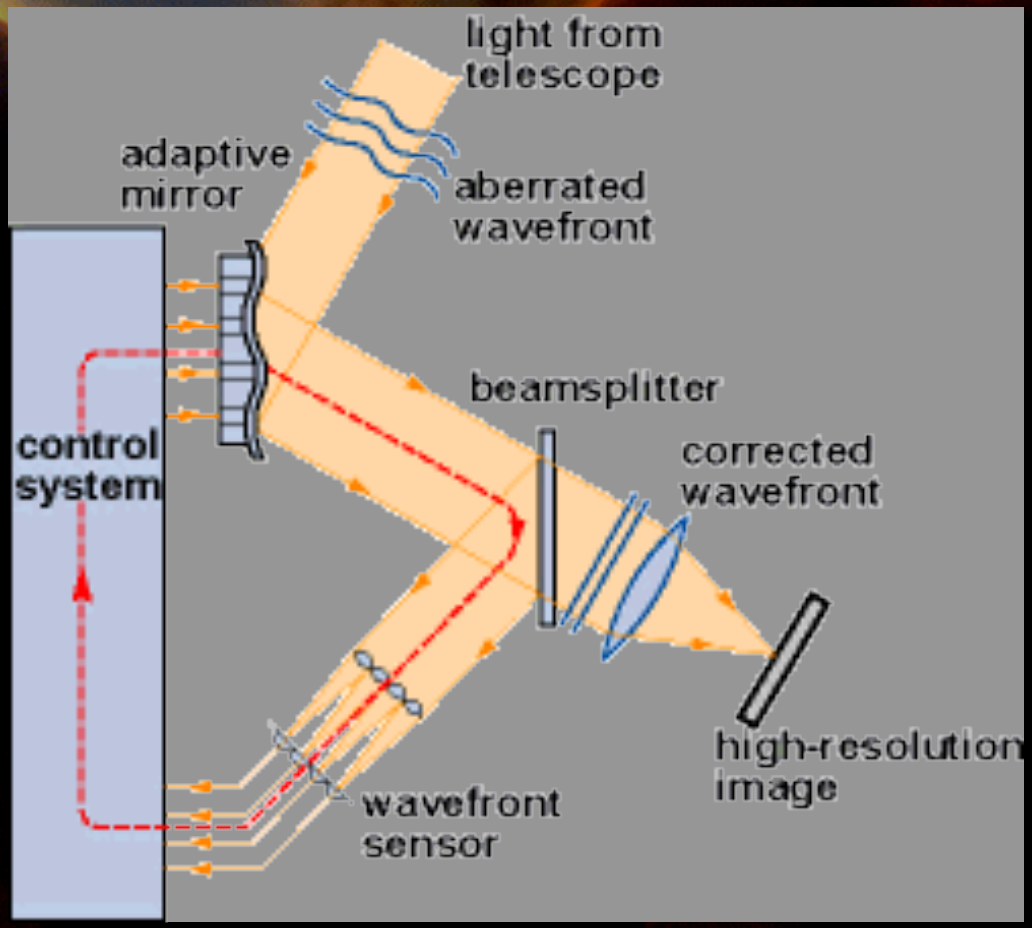
- Turbulencje powietrza
- Możliwa korekcja :
  - Optyka adaptywna



Teleskop
4.2 m. na La Palma
gw. podwójna γ Per
d = 0.2 arcsec
texp = 25 ms

Optyka adaptywna

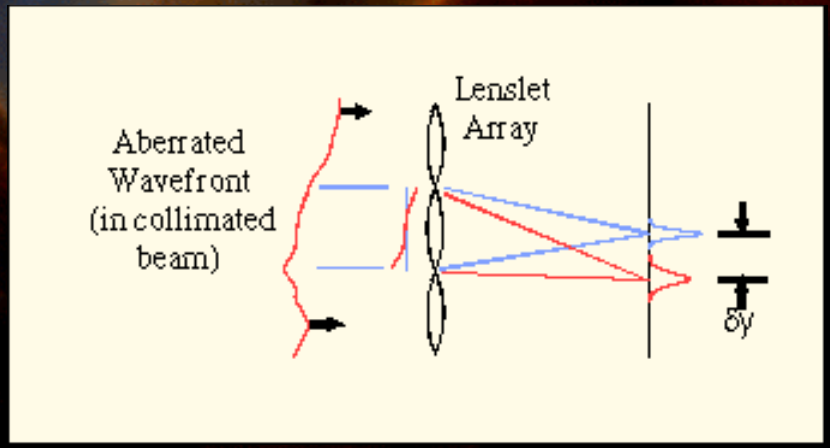
- Detektor frontu falowego
  - *Shack-Hartmanna*
  - *CCD*
  - *odczyt co 1 ms*
- Komputer do rekonstrukcji frontu falowego.
- Element aktywny
  - *zwierciadło tip-tilt*
  - *zwierciadło deformowalne*

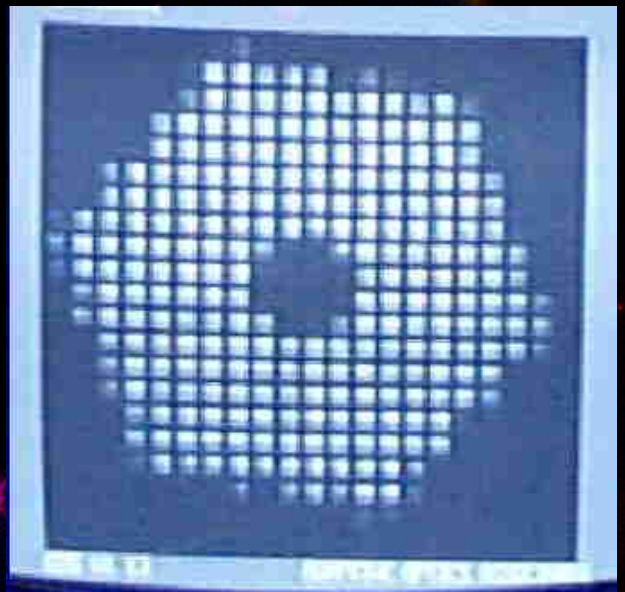


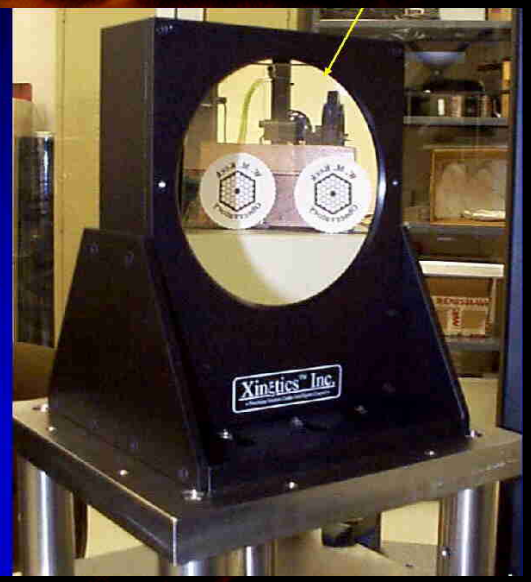
Korektor frontu falowego (fazy)

- Detektor Shack-Hartmanna
- Zwierciadło deformowalne

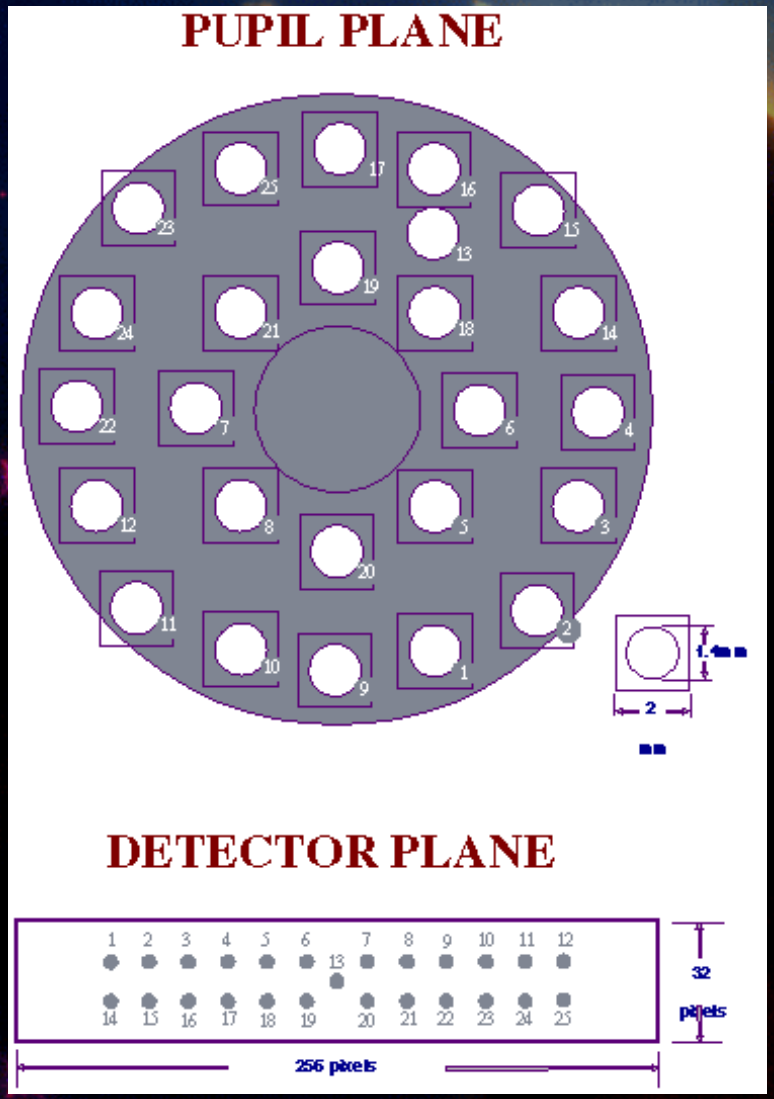
(Keck -349 siłowników)

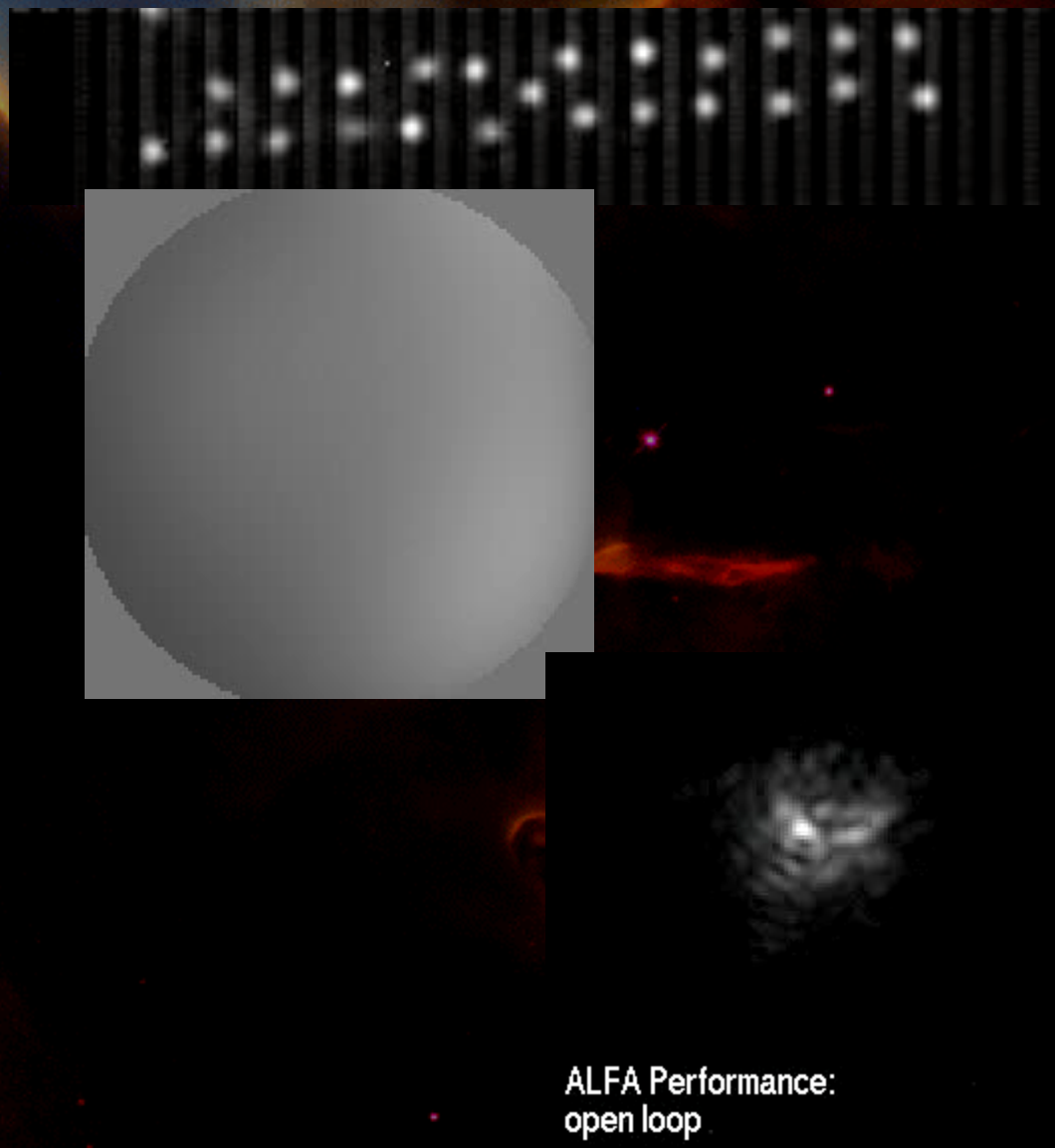






Optyka adaptywna w działaniu



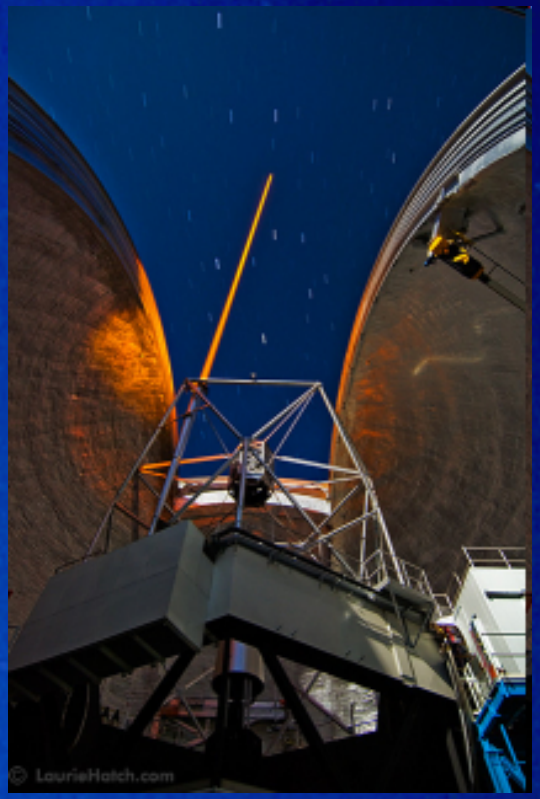


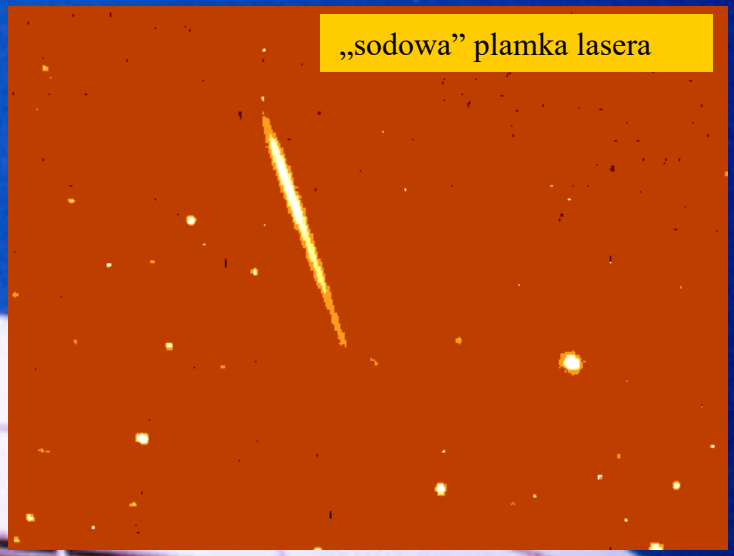
Trudności

- Płaszczyzna izoplanatyczna
  - < 5” dla 0.6 μm
  - < 20” dla 2 μm
- Gwiazda prowadzenia
  - $m < 12^m$ *(dla Kecka)*
- Dostępna powierzchnia nieba
  - mała (< 1%)
- Przede wszystkim podczerwień

Sztuczne gwiazdy

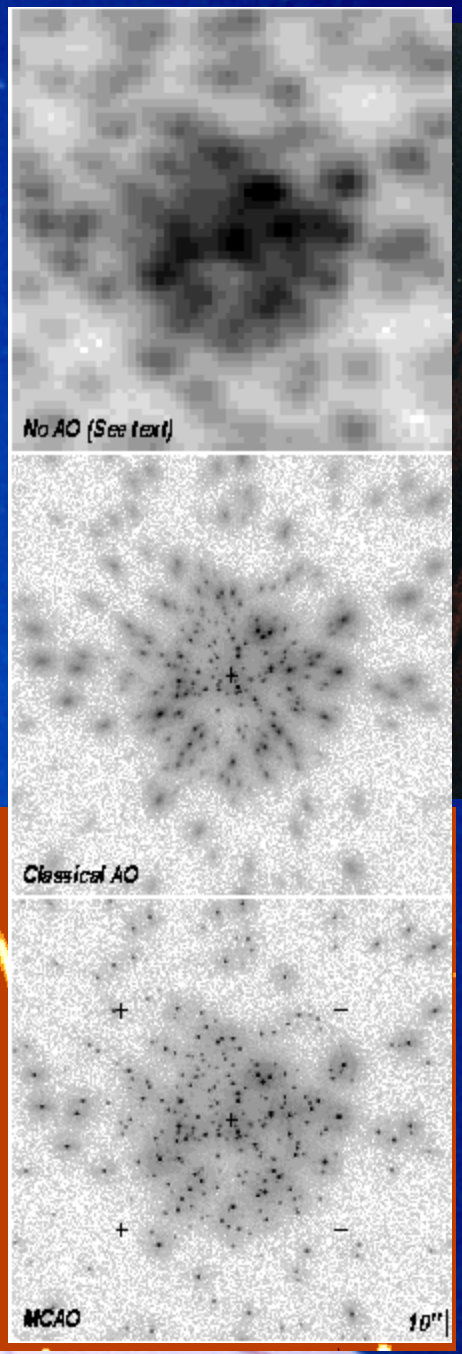
- *Laser Guide Star*
- Laser sodowy, wzbudzający atomy w mezosferze (80-100 km)





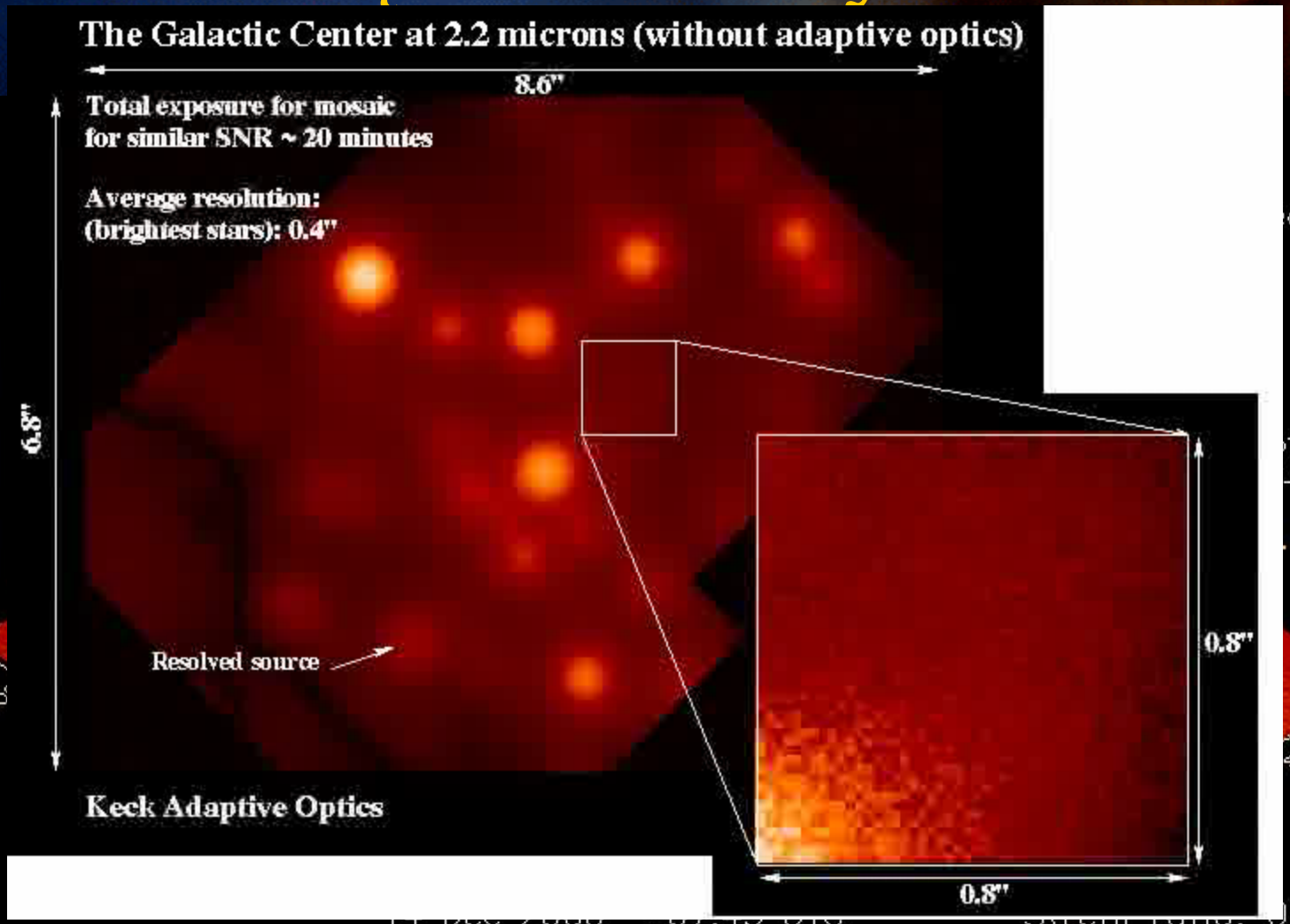
Sztuczne gwiazdy

- *Laser Guide Star*
- Laser sodowy, wzbudzający atomy w mezosferze (80-100 km)



Multi Conjugate Adaptive Optics

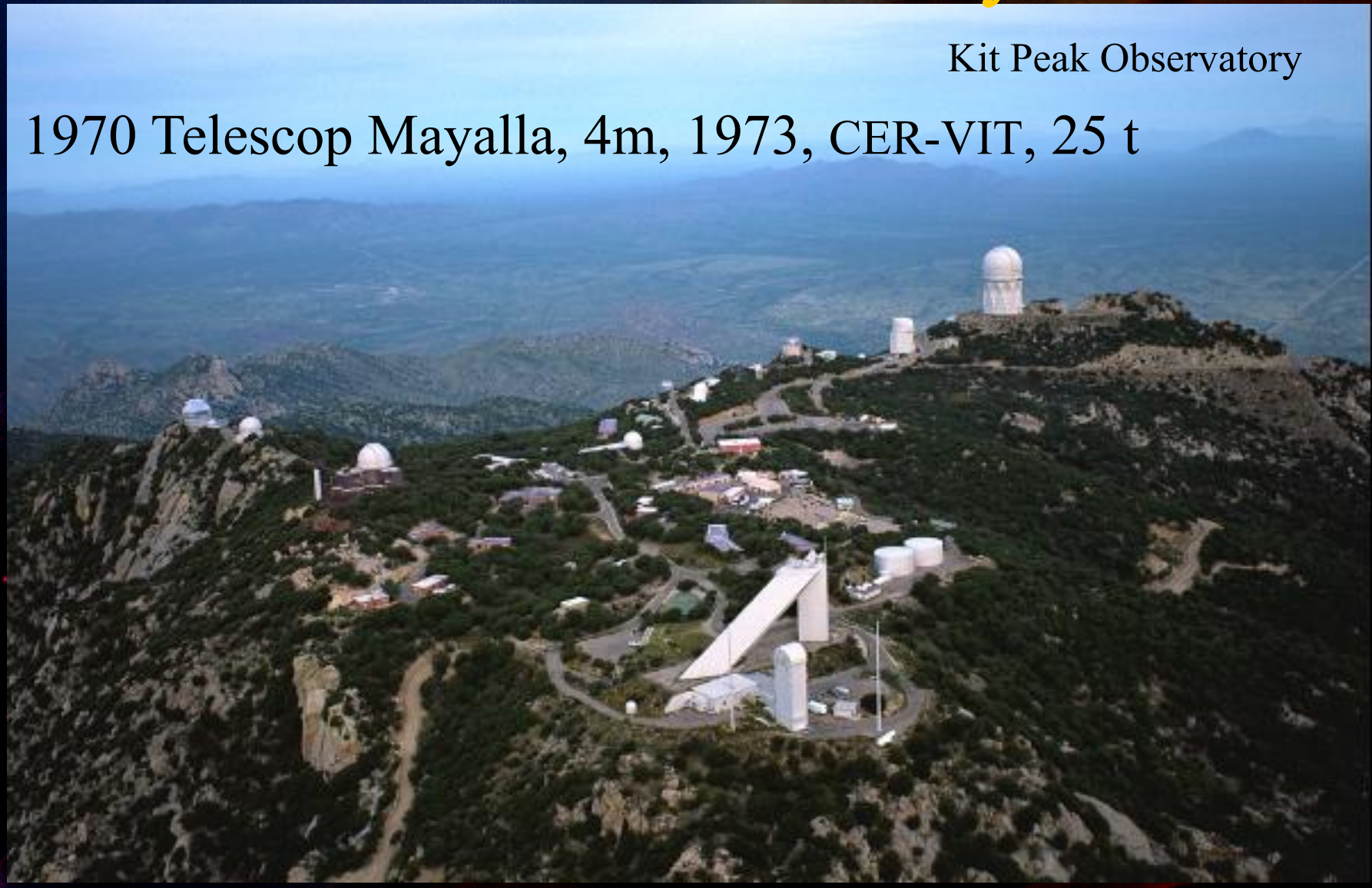
Jądro Galaktyki



Copyright: W. M. Keck Observatory (2001)

Realizacje

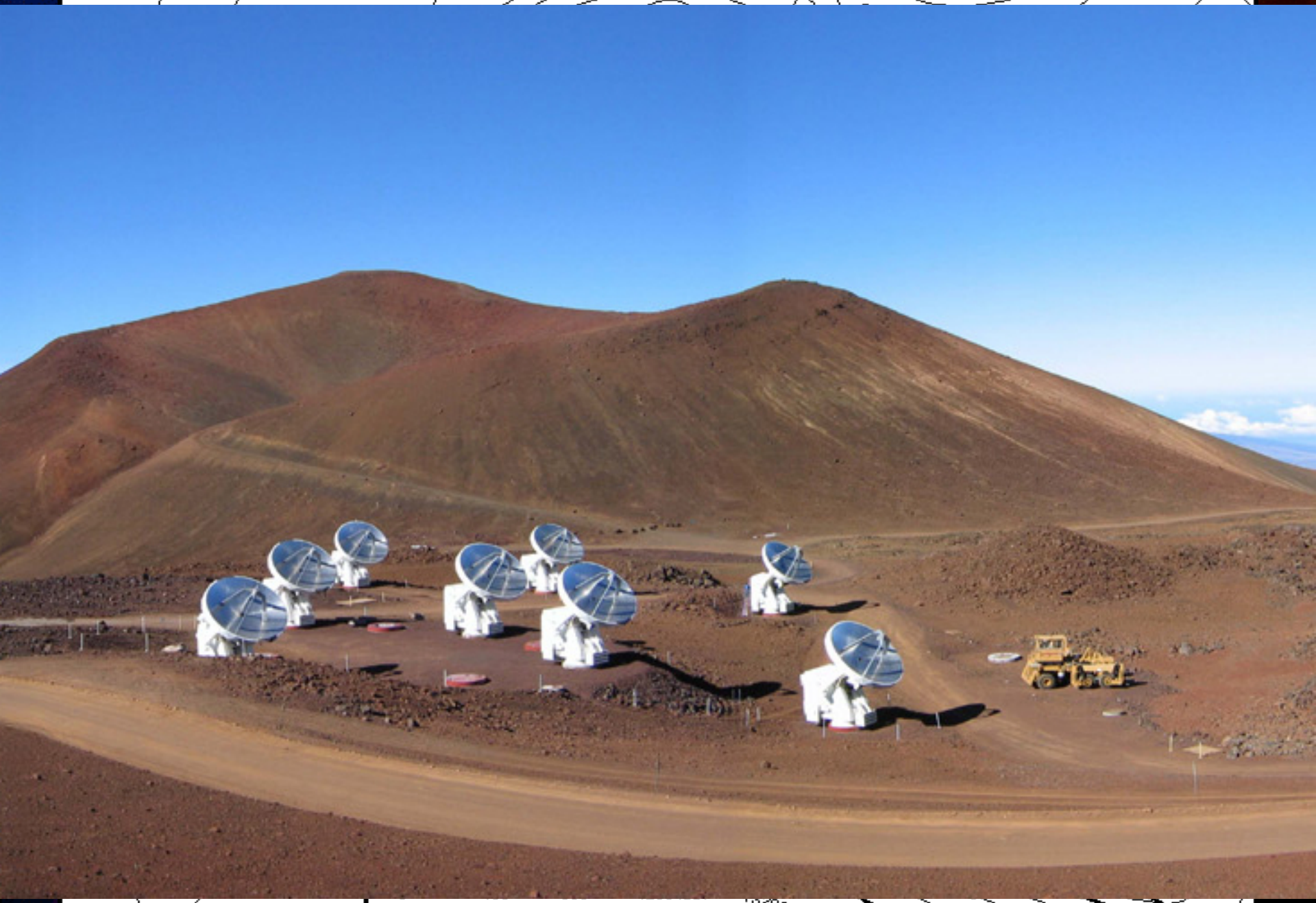
Kit Peak Observatory



1970 Telescop Mayalla, 4m, 1973, CER-VIT, 25 t

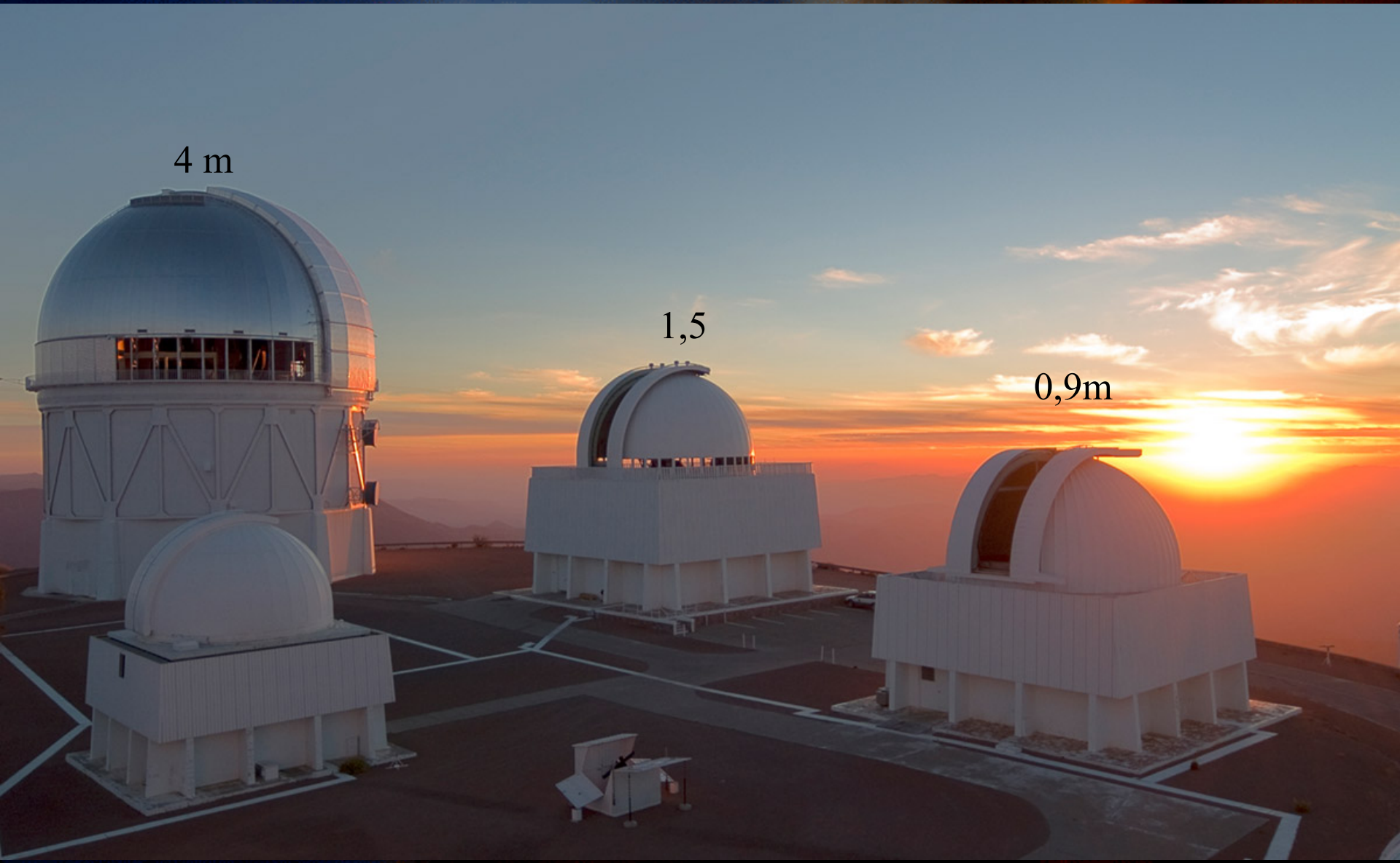
Mauna Kea, Hawaje, USA

UH 0.6m	UH 0.6-m educational telescope	0.6m	University of Hawaii at Hilo	1968
UH 2.2m	UH 2.2-m telescope	2.2m	UH Institute for Astronomy	1970
IRTF	NASA Infrared Telescope Facility	3.0m	NASA	1979
CFHT	Canada-France-Hawaii Telescope	3.6m	Canada/France/UH	1979
UKIRT	United Kingdom Infrared Telescope	3.8m	United Kingdom	1979
Keck I	W. M. Keck Observatory	10m	Caltech/University of California	1992
Keck II	W. M. Keck Observatory	10m	Caltech/University of California	1996
Subaru	Subaru Telescope	8.3m	Japan	1999
Gemini	Gemini Northern Telescope	8.1m	USA/UK/ Canada/Argentina/ Australia/Brazil/Chile	1999
CSO	Caltech Submillimeter Observatory	10.4m	Caltech/NSF	1987
JCMT	James Clerk Maxwell Telescope	15m	UK/Canada/Netherlands	1987
SMA	Submillimeter Array	8x6m	Smithsonian Astrophysical Observatory/Taiwan	2002
VLBA	Very Long Baseline Array	25m	NRAO/AUI/NSF	1992


Hawaii
Contour intervals of 50 feet
9/96

Mauna Kea, Teleskopy Kecka

Cerro Tololo, Chile



Tololo, Cerro Pachon, Chile

VLT- Very Large Telescope

- ESO – European Southern Observatory
- 4 teleskopy 8.2 m każdy + 4*1.8 m
- Zwierciadła meniskowe
- Wspólne ognisko interferometryczne
- Cerro Paranal 2635 m

Paranal Observing Platform with AT1 and AT2

ESO PR Photo 07a/05 (14 March 2005)

© European Southern Observatory

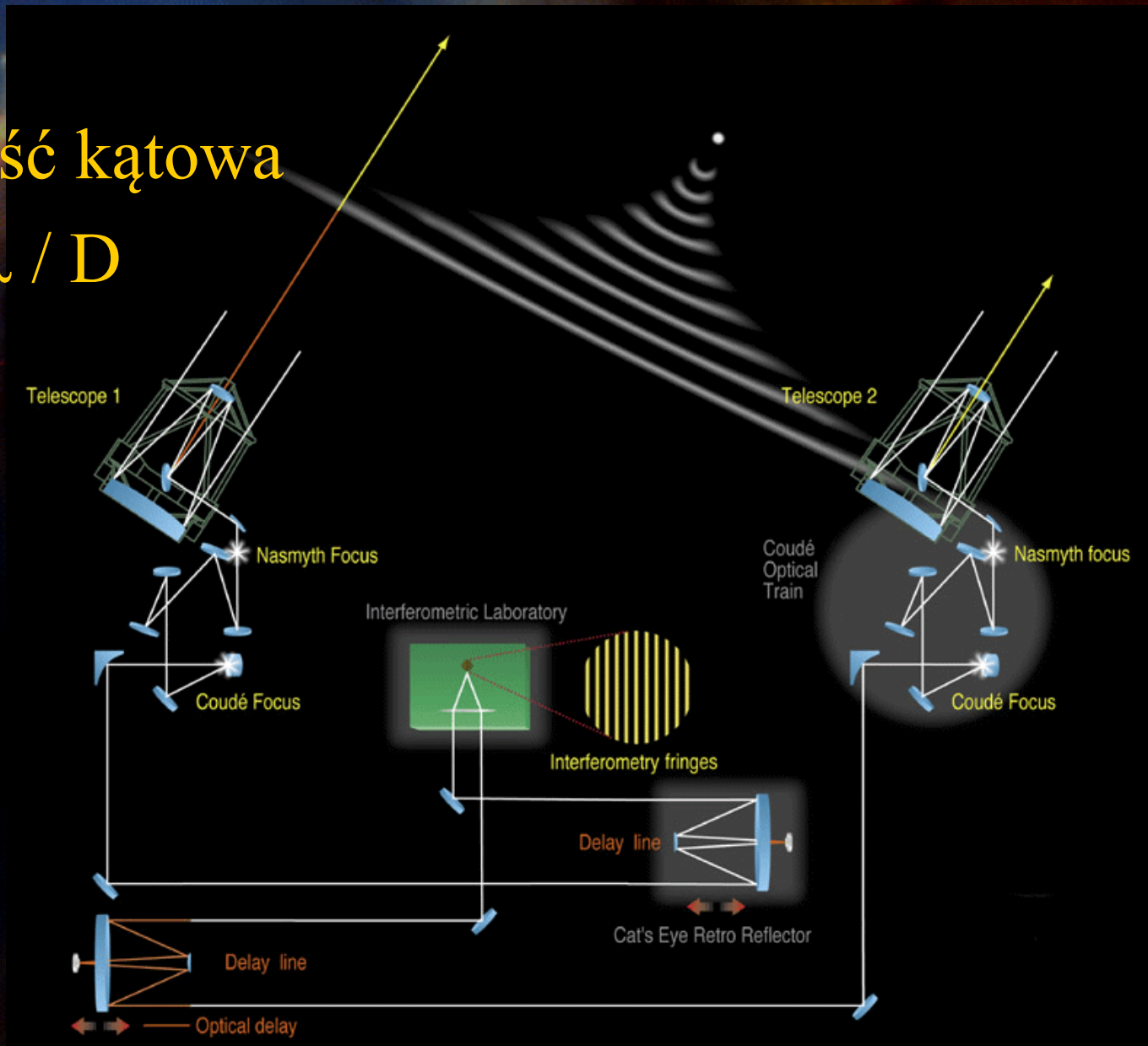
ESO, VLT, Paranal AT-1... AT-4

- Auxilary Telecopes 1...4
  - 1.8 m
  - ruchome
  - wspomaganie interferometrii

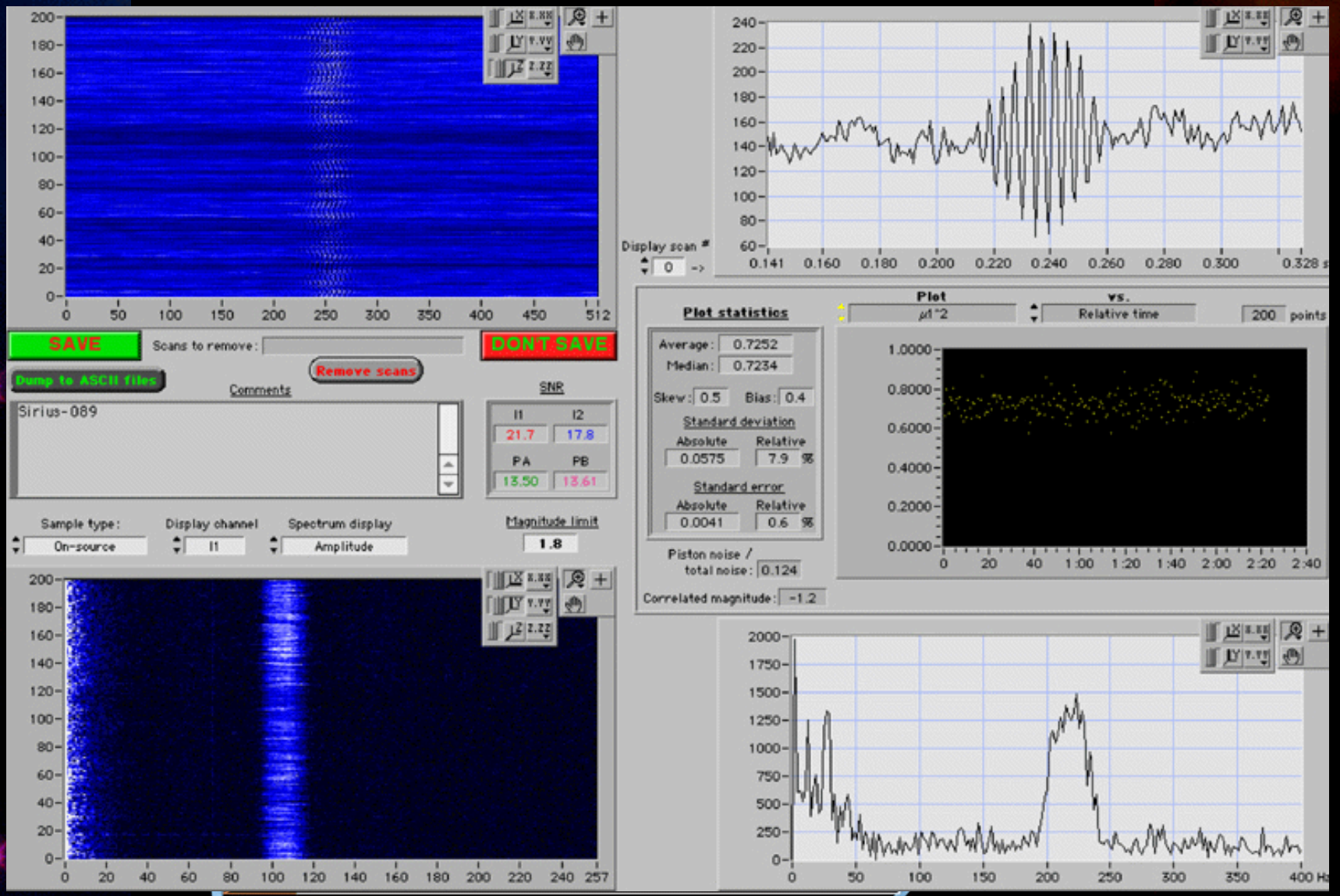
Interferometr VLT

rozdzielczość kątowa

$\Theta \sim 1.22\ \lambda / D$

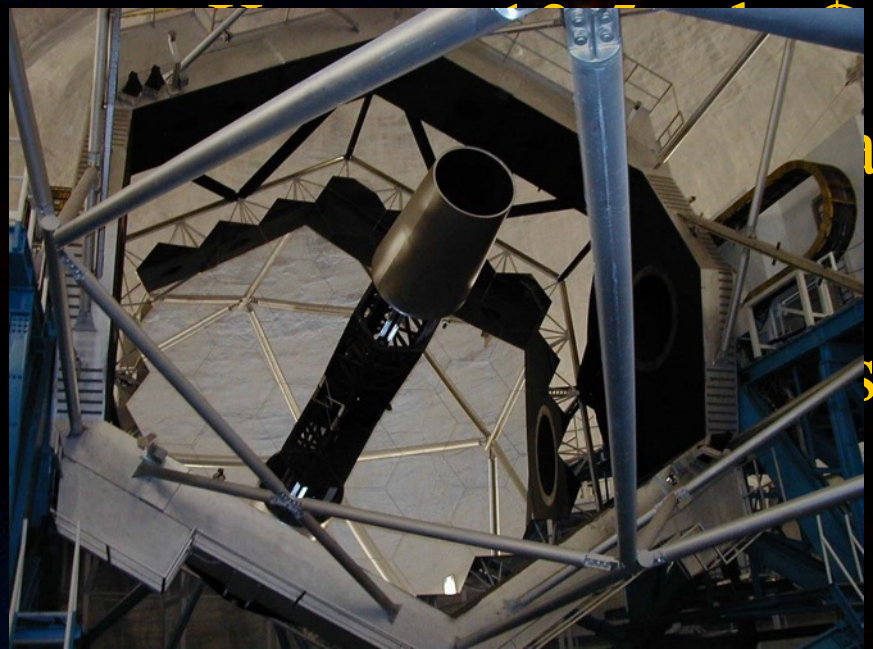


Interferometr VLT



HET – Hobby-Eberly Telescope

- Segmentowe zwierciadło sferyczne 10 m
- Stałe nachylenie (55 deg) do horyzontu
- Obrót tylko wokół osi pionowej
- 72 % nieba dostępne dla obserwacji



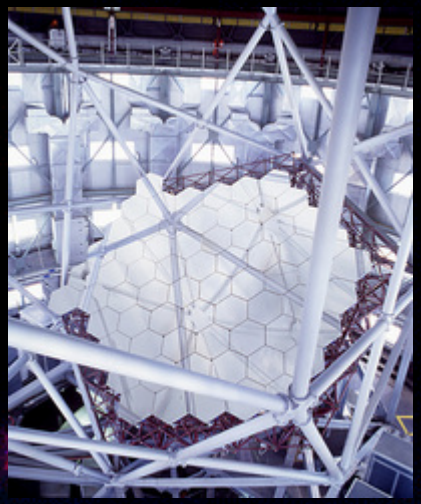
SALT – Southern African Large Telescope

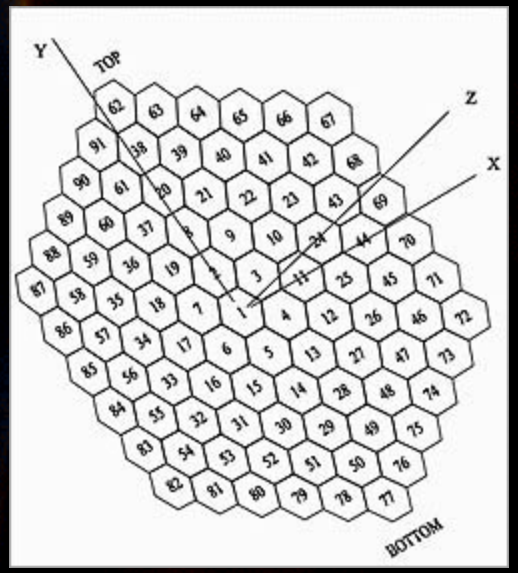
- Segmentowe zwierciadło sferyczne 9.8x11 m
- Stałe nachylenie (37 deg) do horyzontu
- Bliźniak

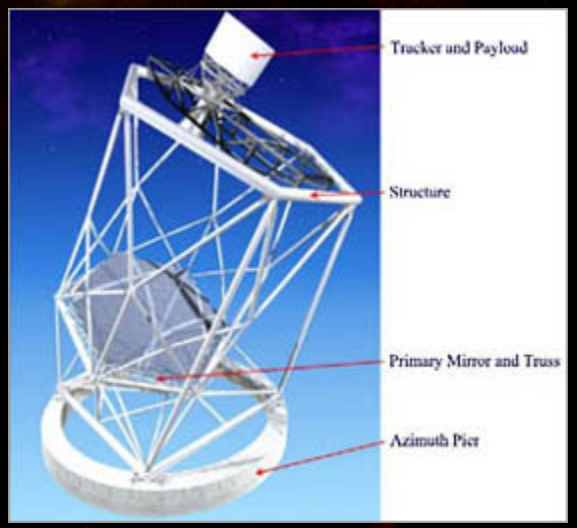
  HET

Teleskop SALT

- R=26 m
- 91 segmentów
- instrumenty SALTICAM, PFIS, HRS



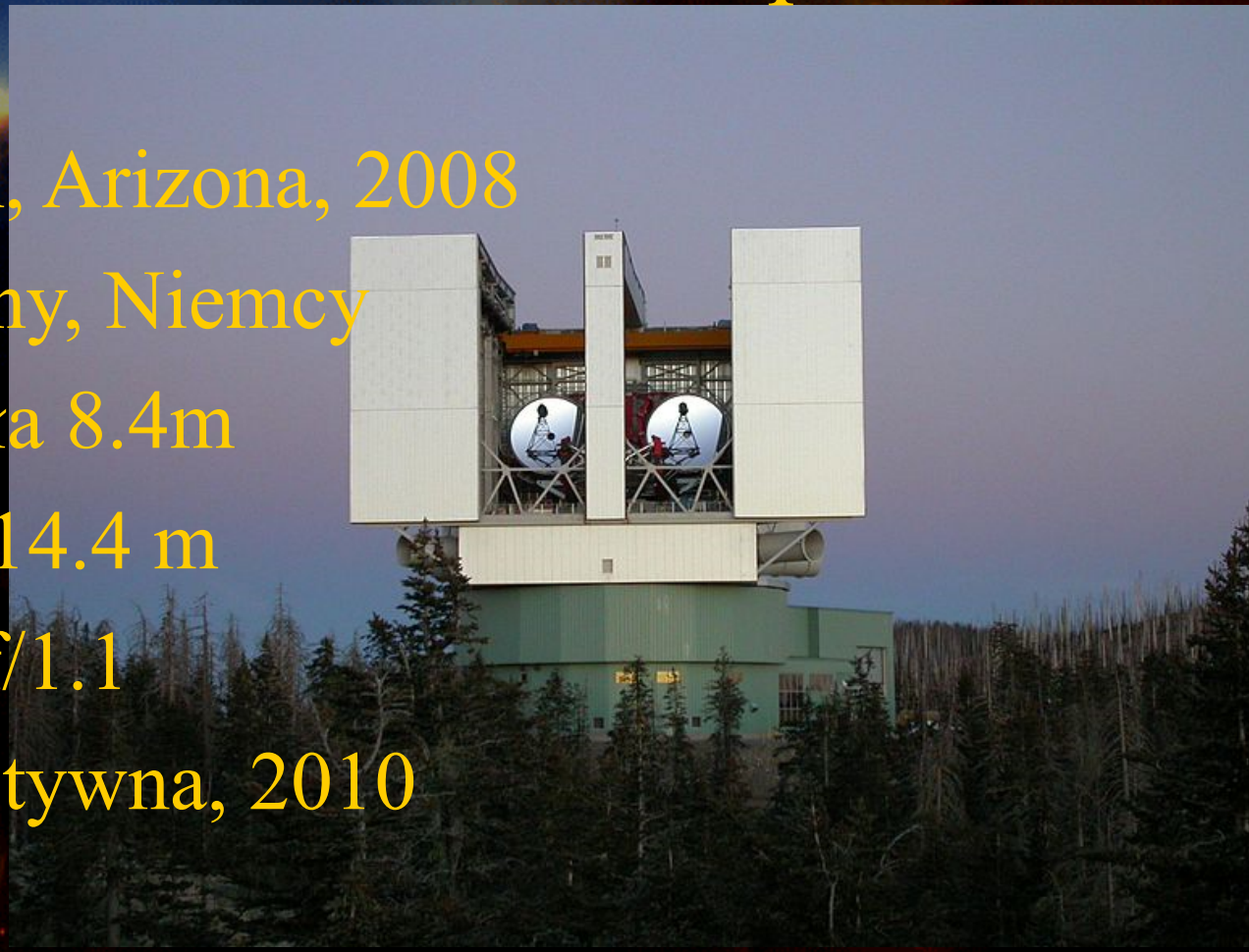




SALT

Large Binocular Telescope

- Mt. Graham, Arizona, 2008
- USA, Włochy, Niemcy
- 2 zwierciadła 8.4m
- oddalone o 14.4 m
- światłosiła f/1.1
- optyka adaptywna, 2010



Obserwatoria - radioteleskopy

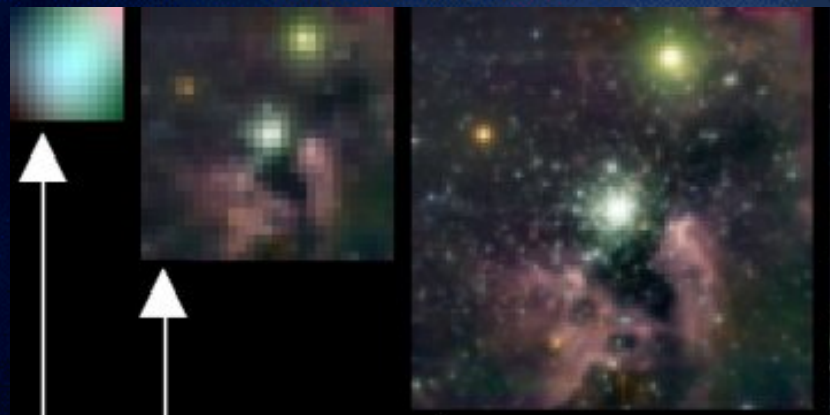
Toruń – 32m

VLA -

Przyszłe Wielkie Teleskopy

Overwhelmingly Large Telescope (OWL)	~~100~~	ESO (concept study, completed)
Euro50	~~50~~	Lund Observatory (Sweden), + Spanish, Finnish, UK, Ireland (study completed)
E-ELT	39	European Extremely Large Telescope ESO – 2024
Thirty Meter Telescope (TMT)	30	Collaboration of institutes in USA and Canada, CALTECH, Univ. California - approved - 2027
Japan Extremely Large Telescope (JELT)	~~30~~	National Astronomical Observatory of Japan (study completed)
Giant Magellan Telescope (GMT)	25	Collaboration of institutes in USA and Australia - 2024

OWL - OverWhelmingly Large



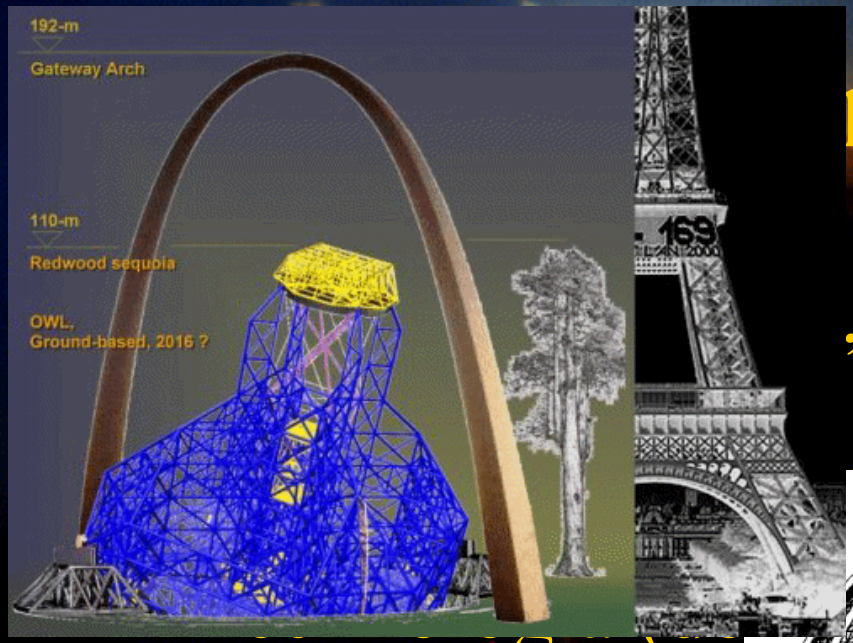
8-m diffraction-limited
Pixel 0.006 arc secs
Exposure ~160 seconds
(Enlarged 5x)

HST - Pixel 0.02 arc secs
Exposure ~1600 seconds
(Enlarged 10x)

VLT - Seeing 0.20 arc secs
Pixel 0.045 arc secs (Test Camera)
Exposure ~620 seconds (Enlarged 10x)

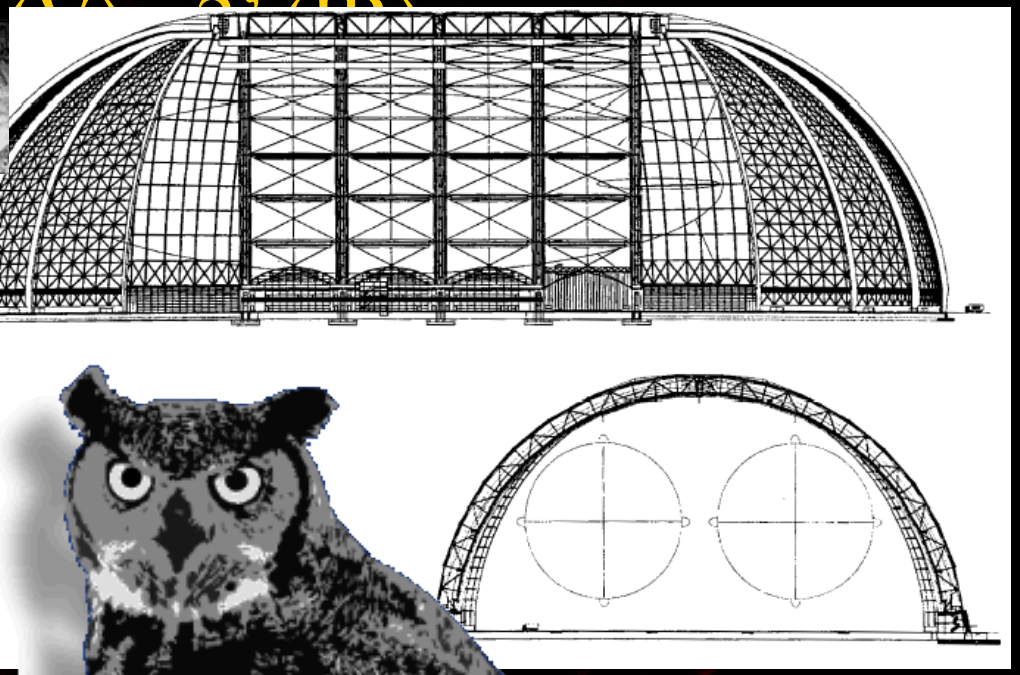
OWL diffraction-limited
Pixel 0.0005 arc secs
Exposure ~1 second

OWL



1.6

”



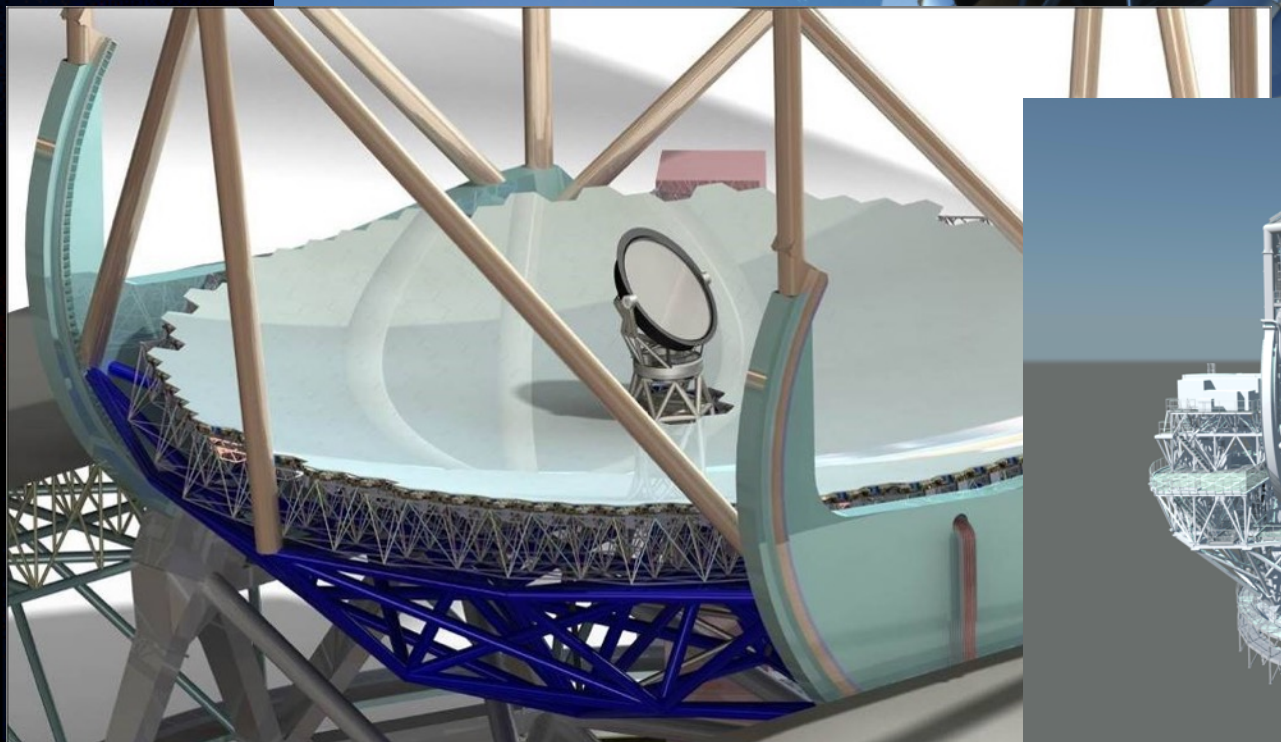
– segmentowa, sf

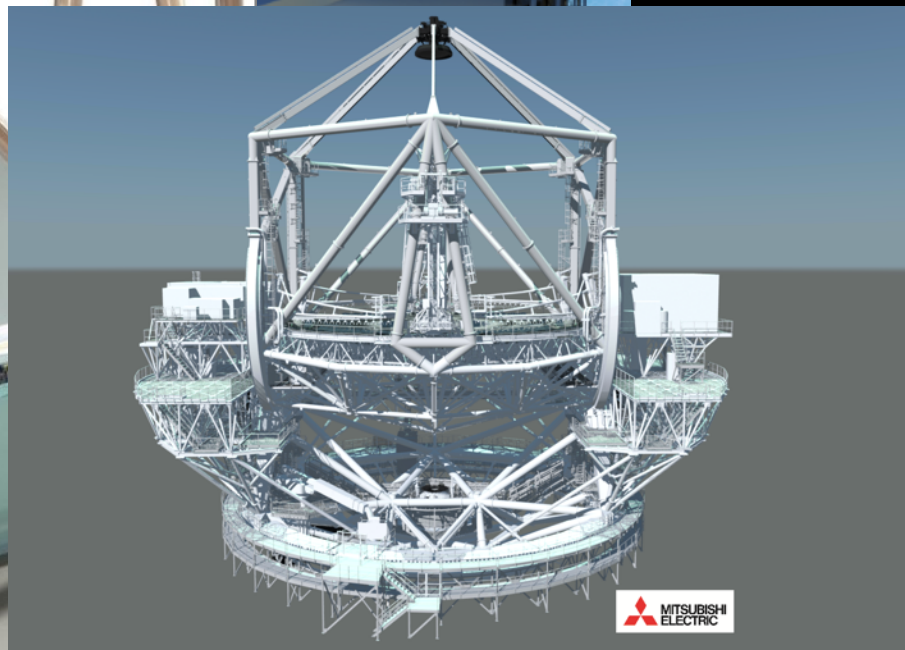
– optyka adaptyw

- Cena: 1000 M$

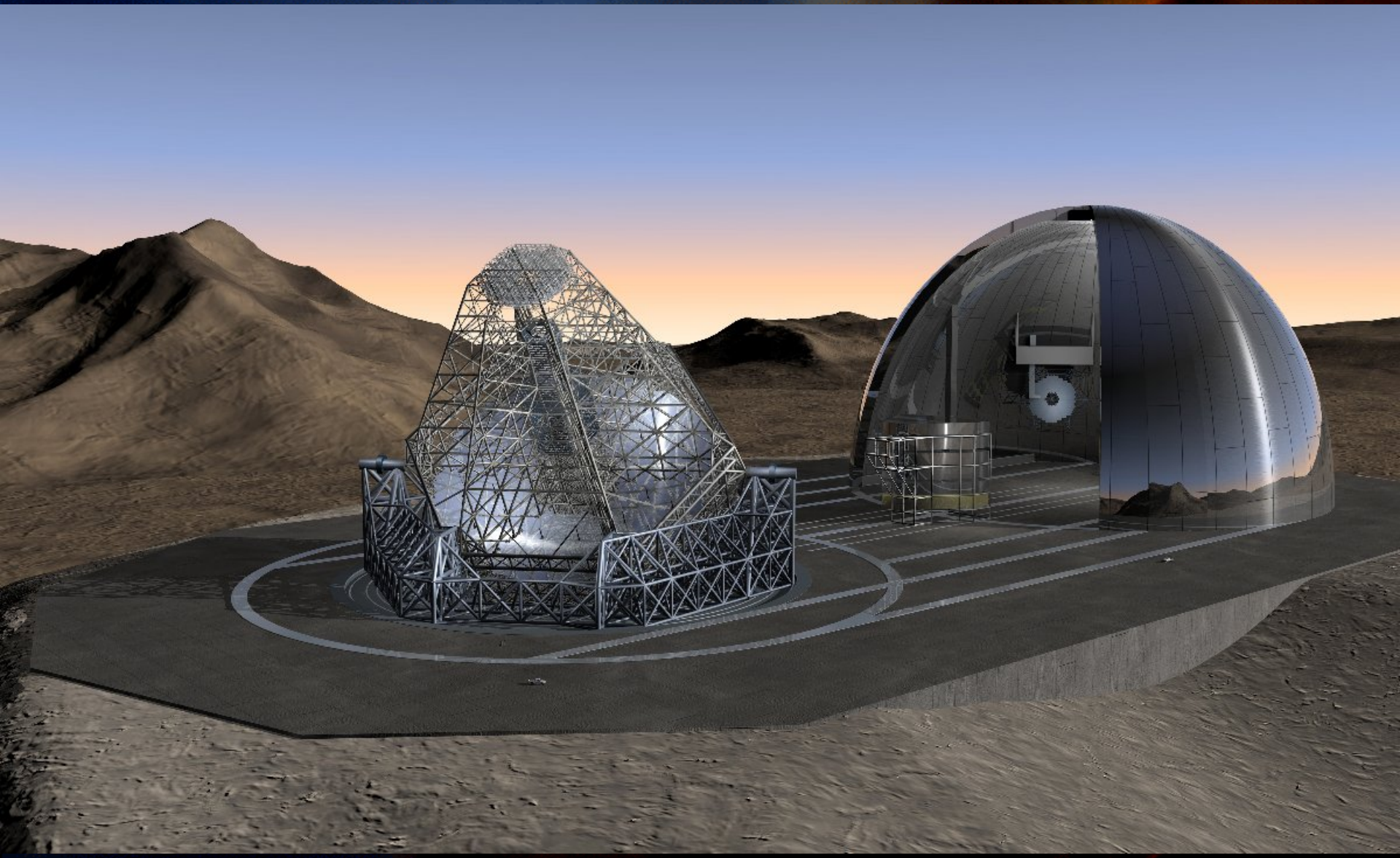
Thirty Meter Telescope

- USA, Kanada,Japonia, Indie, Chiny
- Maunakea <> La Palma (2014-2019)
- Hawaje 2027



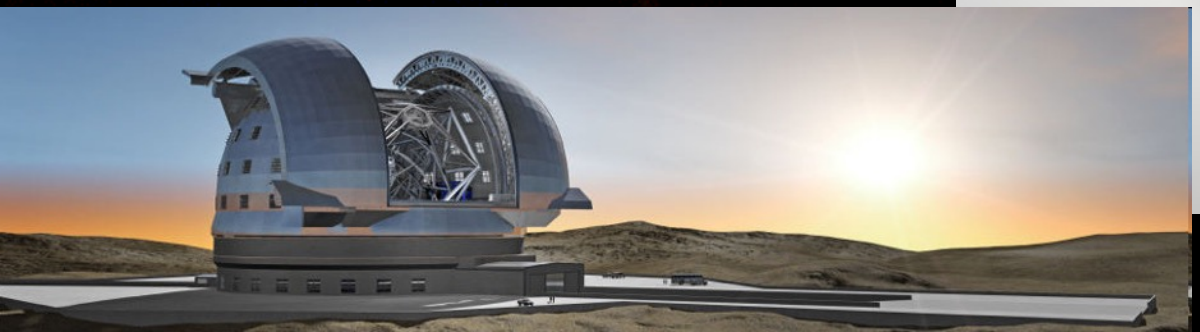


EELT – European Extra Large T.



European Extremely Large Telescope

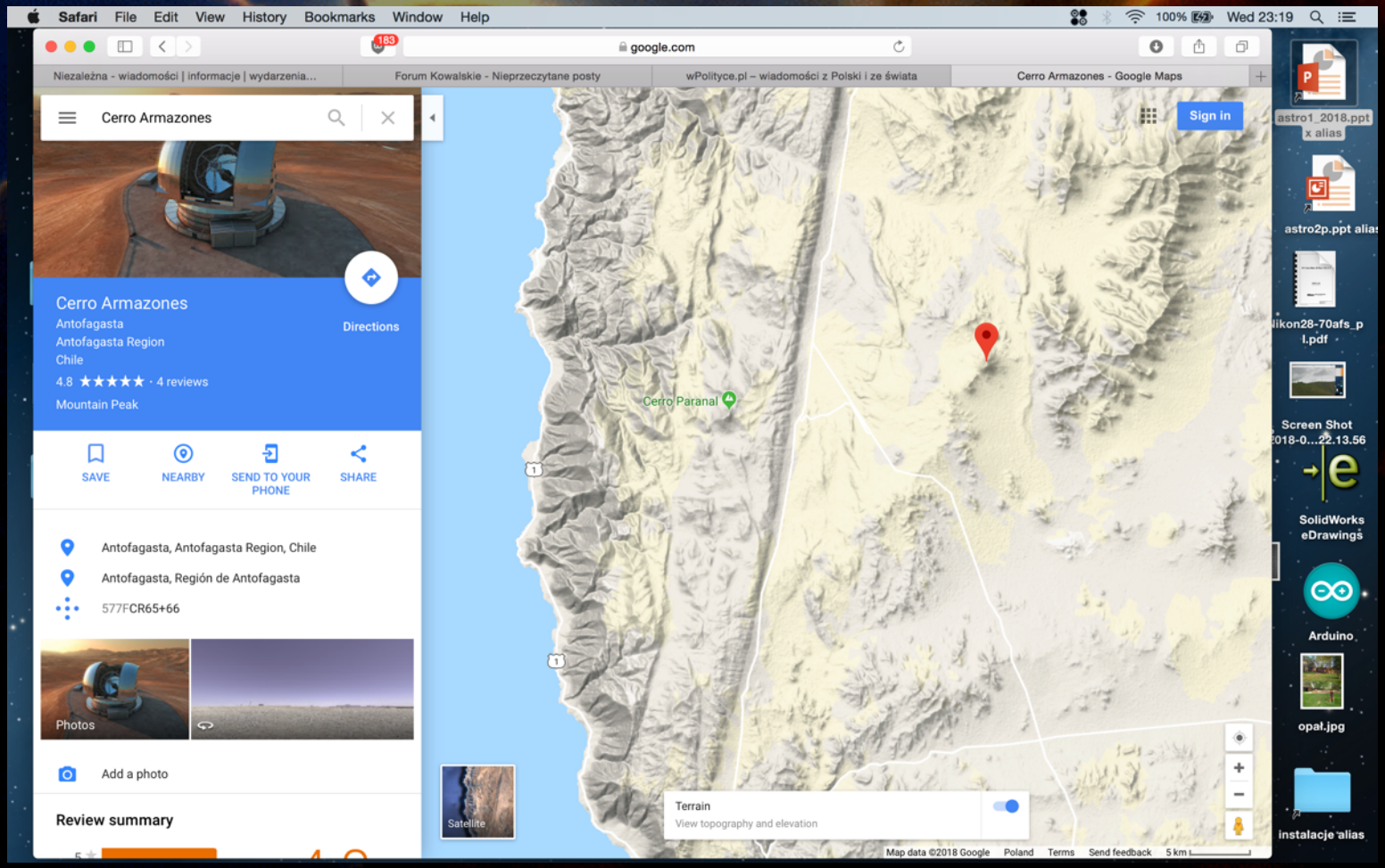
- średnica 39 m
- 2024+



European Extremely Large Telescope

Site:	Cerro Armazones
Altitude:	3060 m
Enclosure:	Hemispherical dome
Type:	Optical/near-infrared Giant Segmented Mirror Telescope
Optical design:	Five-mirror design — three-mirror on-axis anastigmat + two fold mirrors used for adaptive optics
Primary	39.30 m (798 hexagonal 1.4 m mirror segments)
Secondary	4 m
Tertiary	3.75 m
Mount:	Alt-Azimuth mount
First Light	2024+
Adaptive Optics:	2.60 m adaptive M4 using 6 Laser Guide Stars

Cerro Armazones, Antofagasta Region



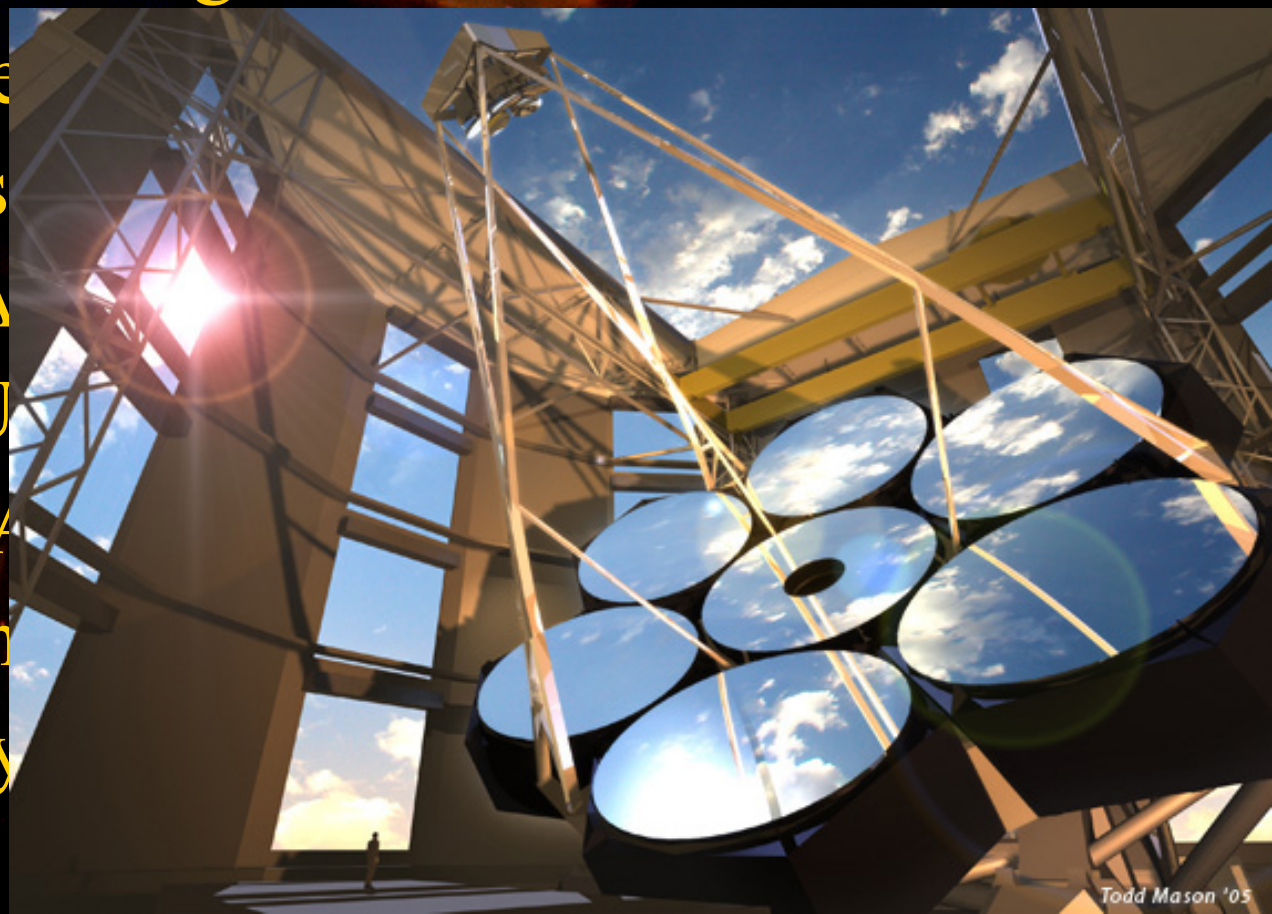
JUNE 19, 2014

Lipiec 2024

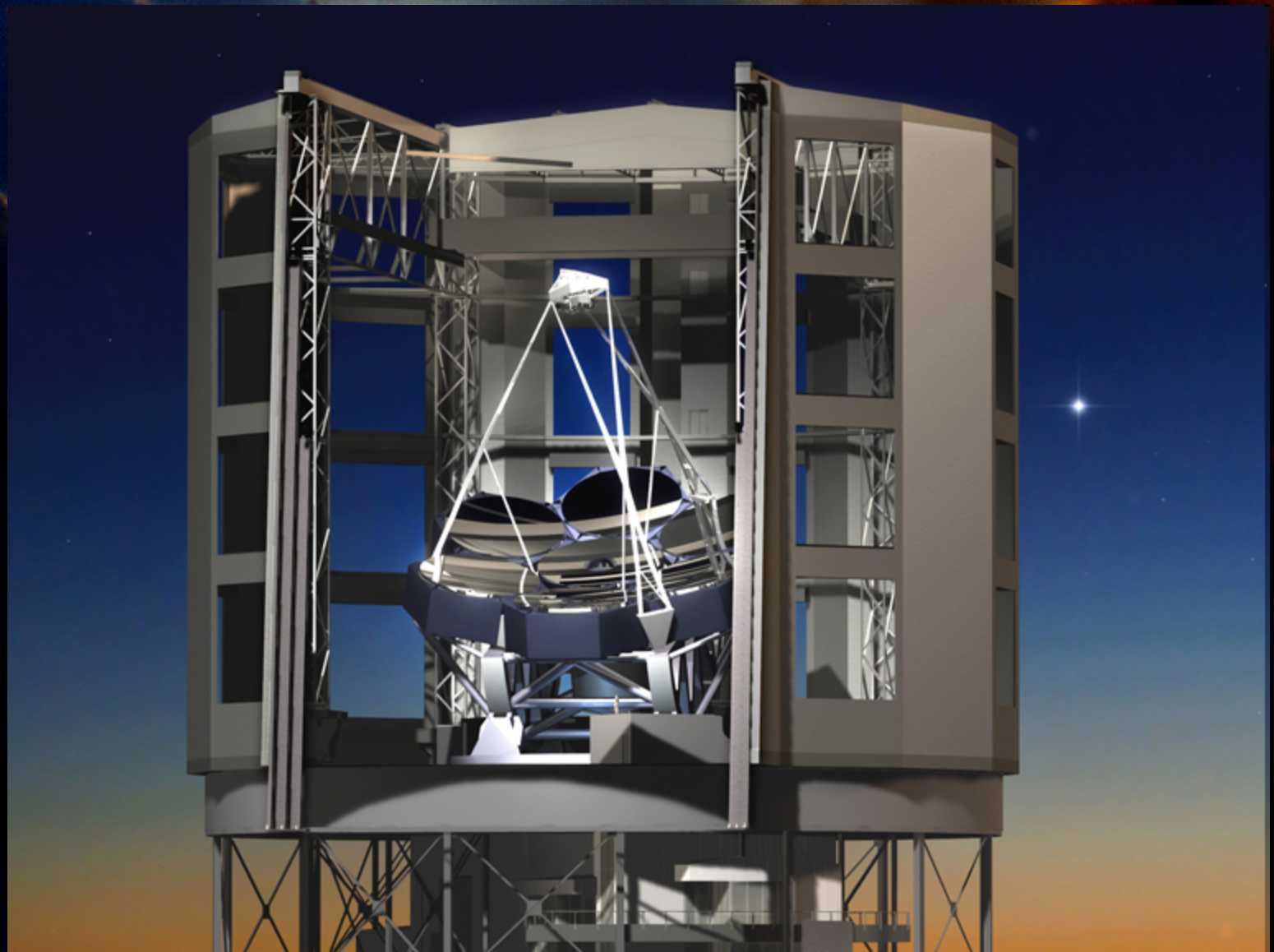
https://elt.eso.org/about/webcams/

Giant Magellan Telescope

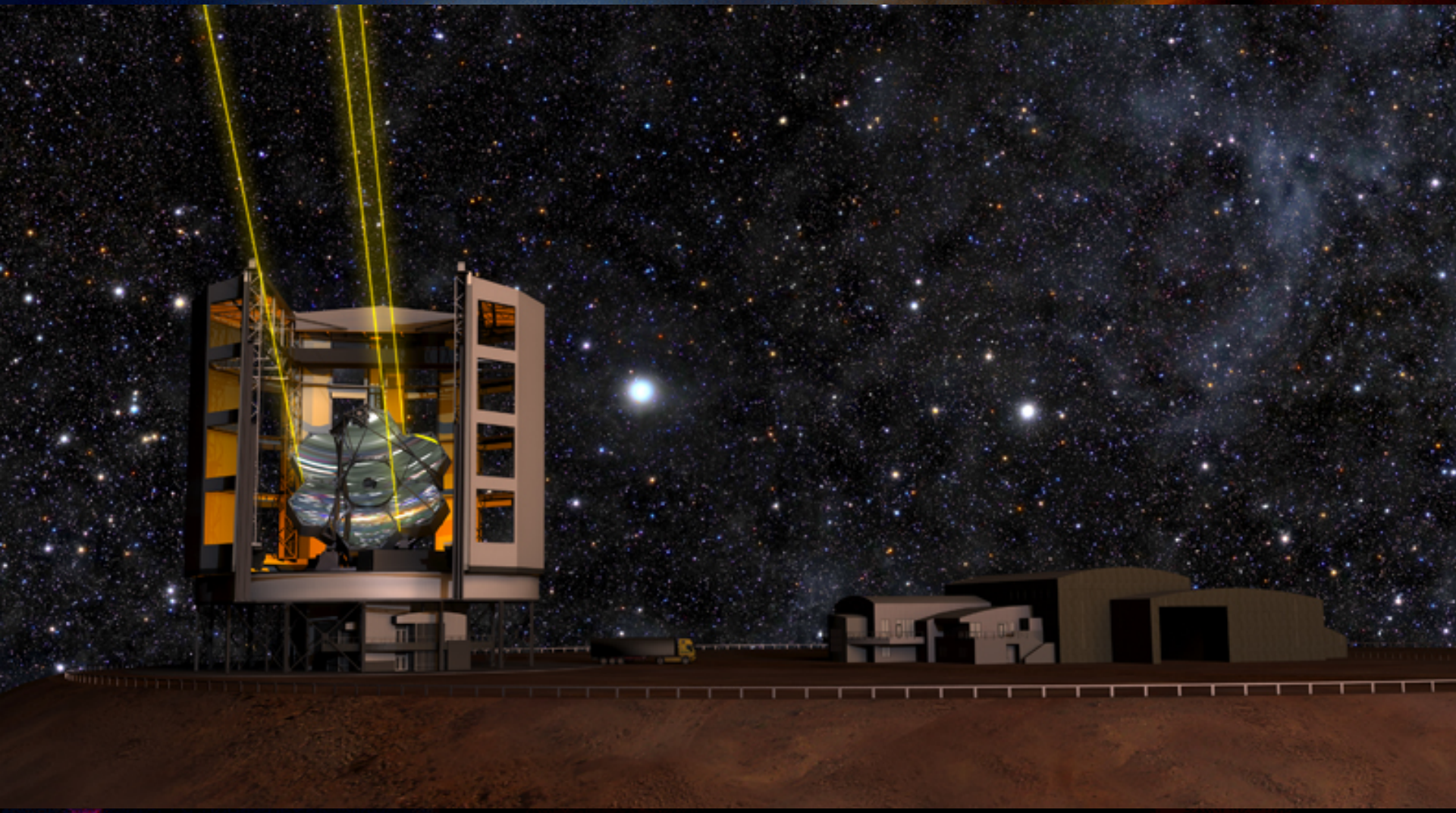
Carnegie Institution of Washington
University of Michigan
Harvard Unive
Massachusetts
Smithsonian A
Texas A&M U
University of A
The Australian
The University



Giant Magellan Telescope



Giant Magellan Telescope



Giant Magellan Telescope

- średnica 24.5 m
- 7 segmentów o 8.4 m, każdy 16.2 t
- Las Campanas, Chile
- 2024 r.

Giant Magellan Telescope

- 2016

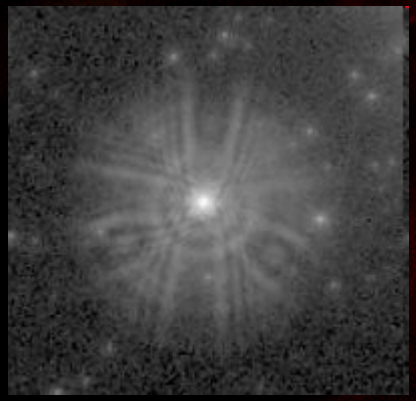
http://www.gmto.org/gmt-site-webcam/

Koszt

VLT	4 *8.2 m	500 M$
Keck	2*10 m	150 M$
Gemini	2*8.1 m	170 M$
HET	9.2 m	13.5 M$
SALT	10 m	16 M$
SUBARU	8.3 m	
LBT	2*8.4 m	85 M$
GTC	10.4 m	100 M$
GMT	24 m	500 M$
E-ELT	40 m	1100 M$
OWL	100 m	1600 M$

Hubble Space Telescope

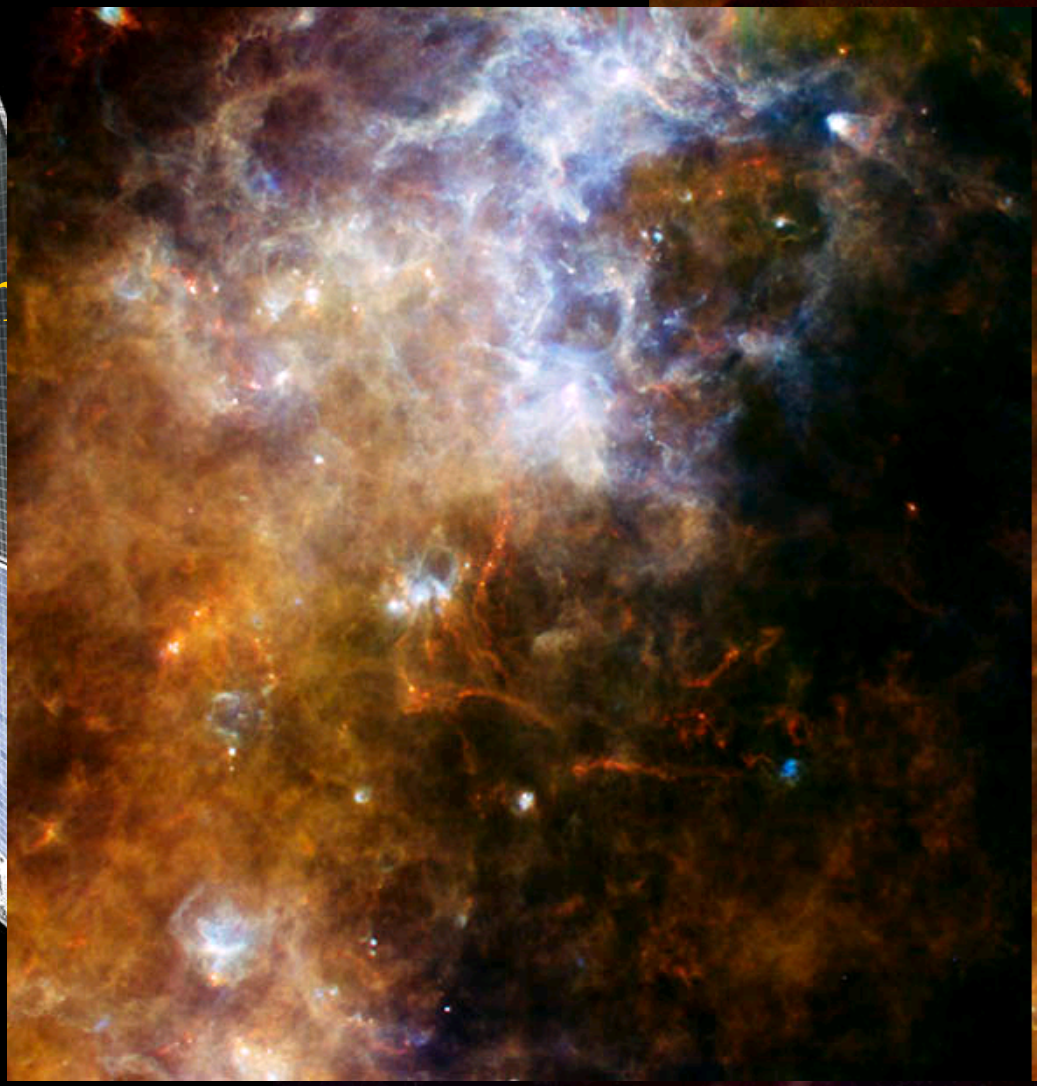
- start – 1990, 5 misji serwisowych
- D=2.4 m



Jan. 24, 2004

Herschel Space Observatory

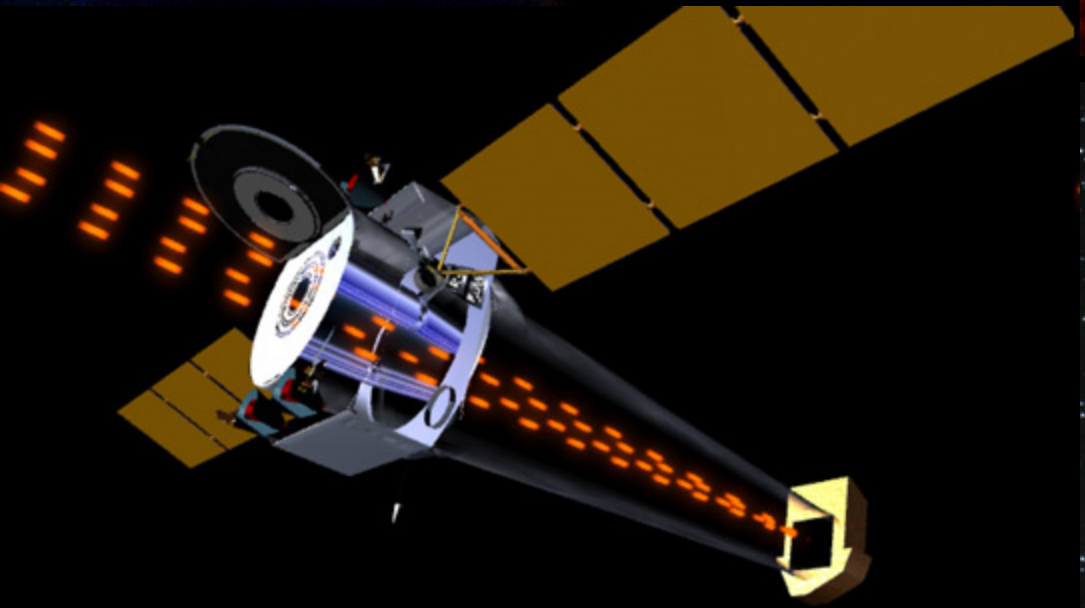
- ESA + NASA
- 14/05/2009 - Ariar
- punkt libracji L2
- średnica 3.5 m
- zakres 60-670 μm

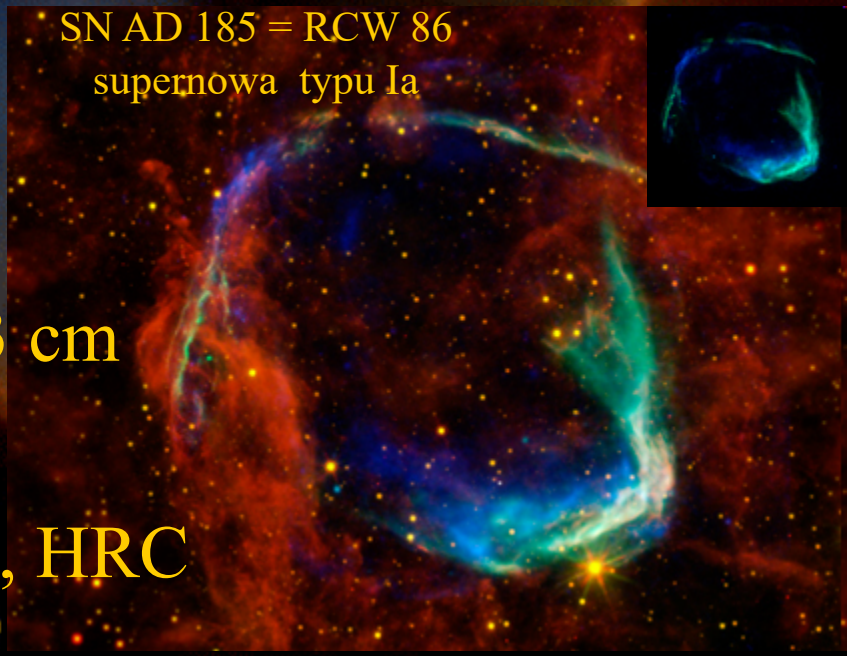


© ESA & the PACS Consortium

Chandra (AXAF)

- 23–06–1999
- 4 pary luster D = 65, 87, 99, 123 cm
- orbita 139,000km
- Advanced CCD Imaging System, HRC



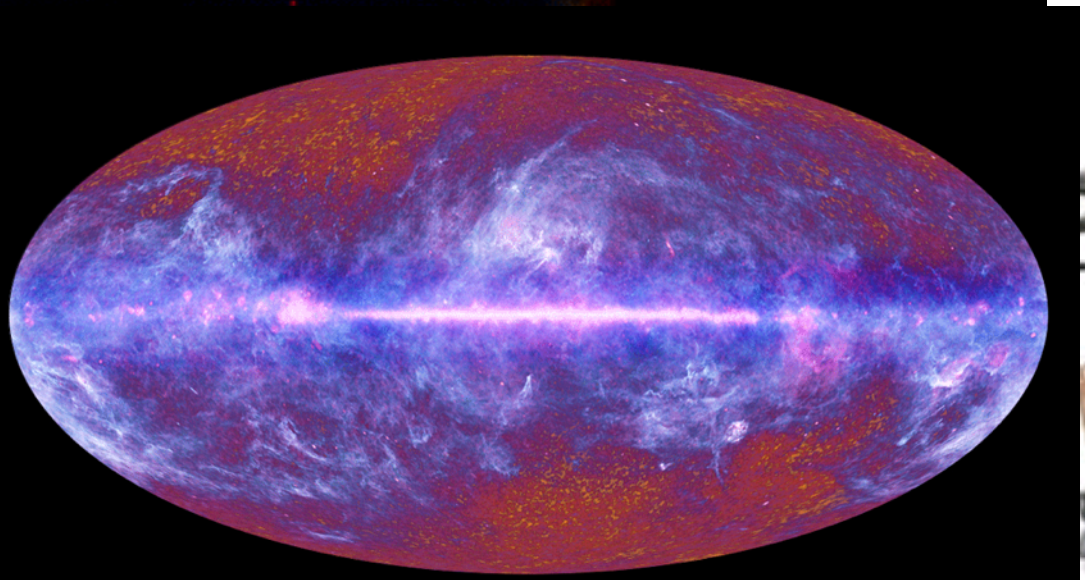


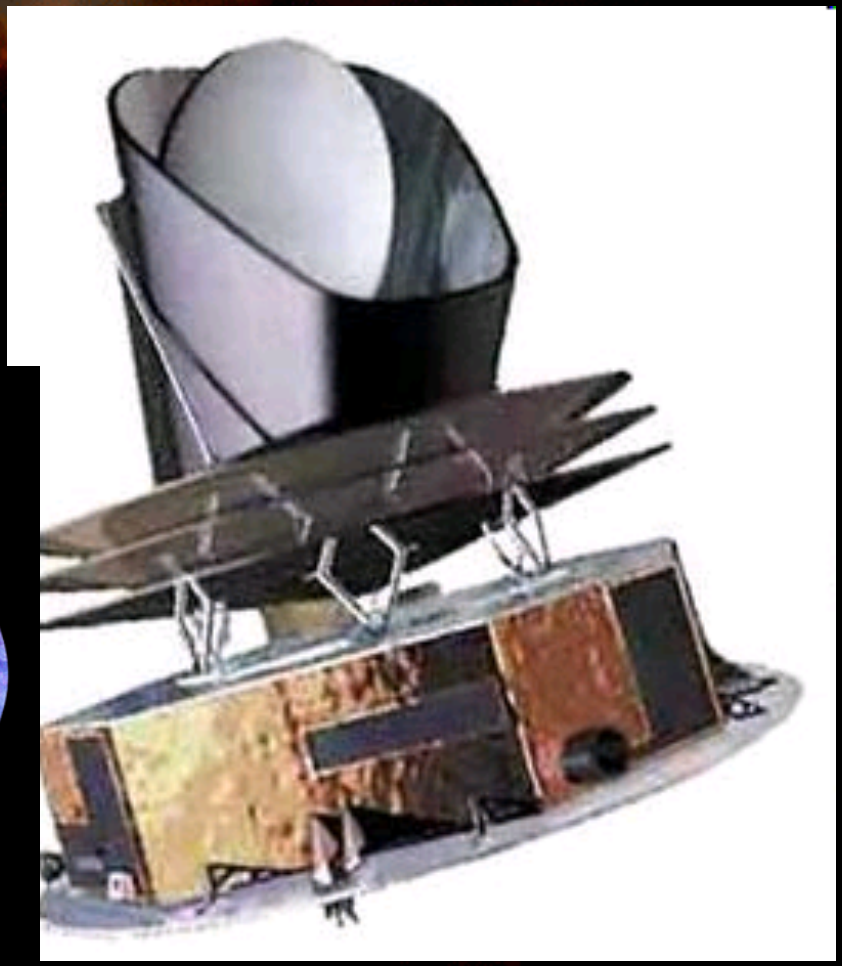
SN AD 185 = RCW 86
supernowa typu Ia

SNR 0509-67.5 pozostałość po supernowej w LMC

Planck - ESA

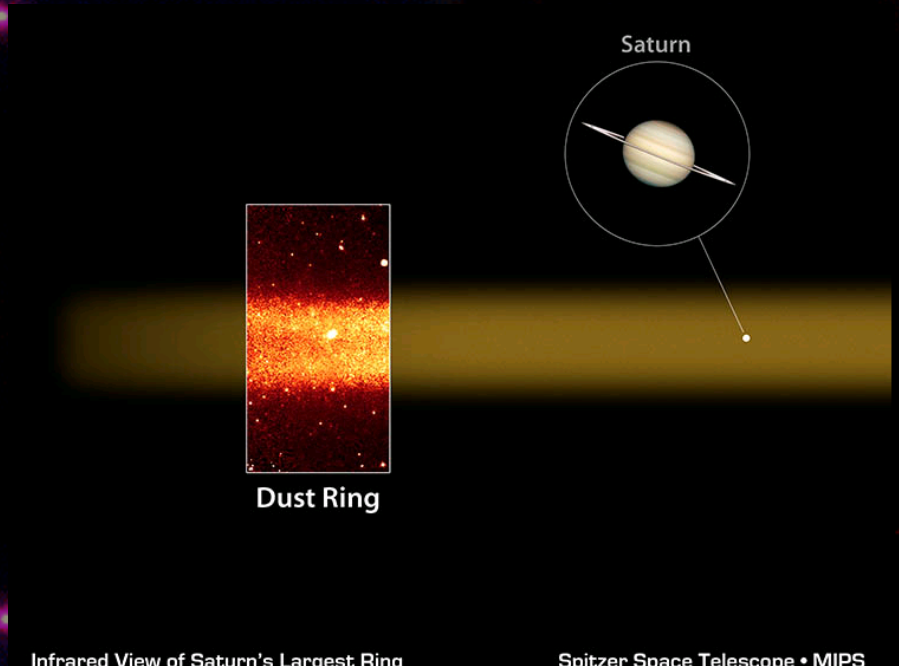
- anizotropia mikrofalowego promieniowania tła (CMB)
- start 2009

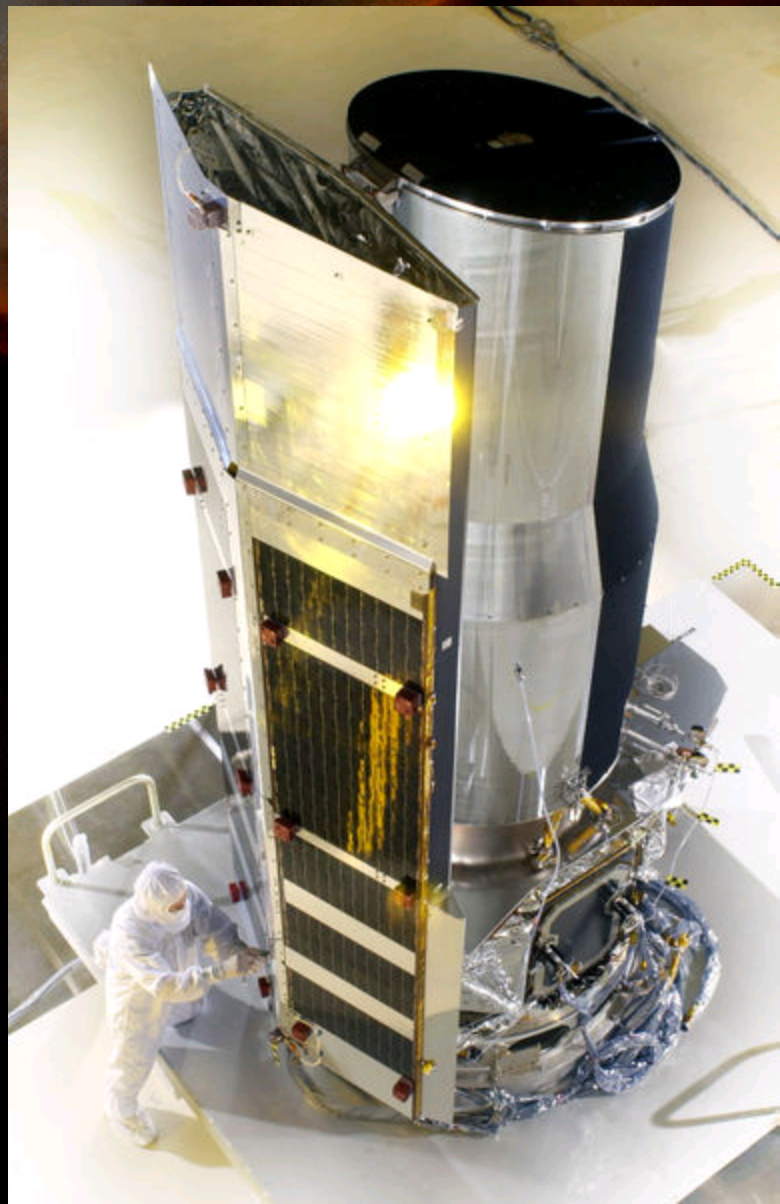




Spitzer Space Telescope (SIRTF)

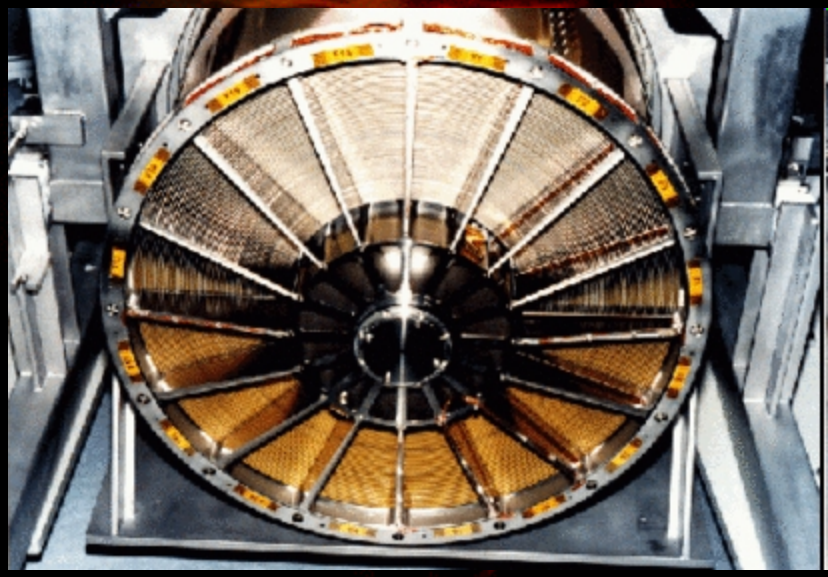
- 85 cm
- 3-180 um
- 2003





XMM Newton

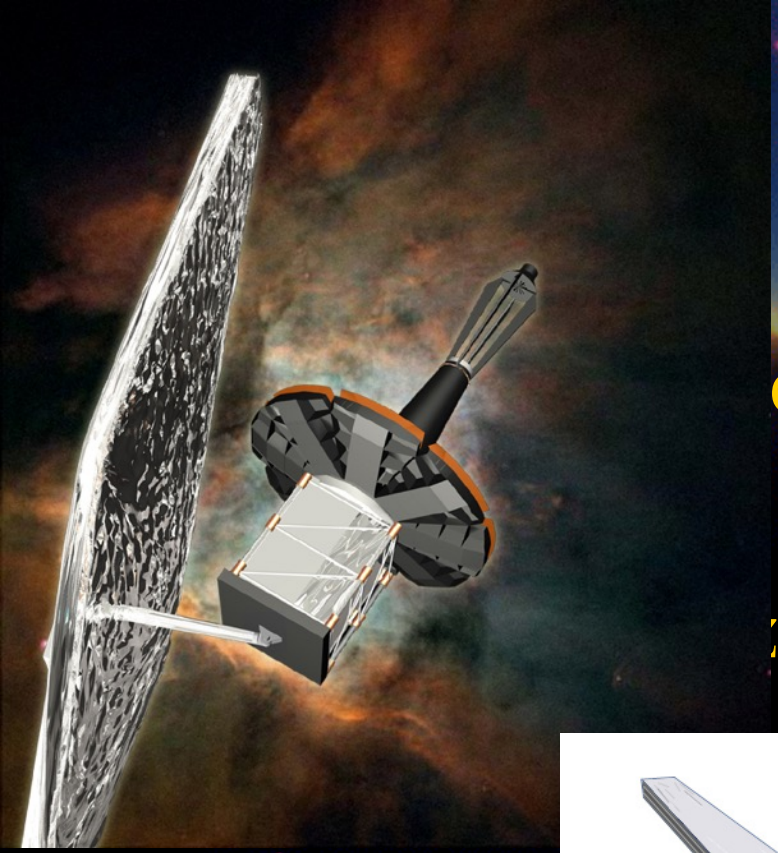
- 1999
- Xray Multi Mirror (ESA)
- 0.2 keV – 12KeV
- 58 zwierciadeł, D = 0.3- 0.7 m

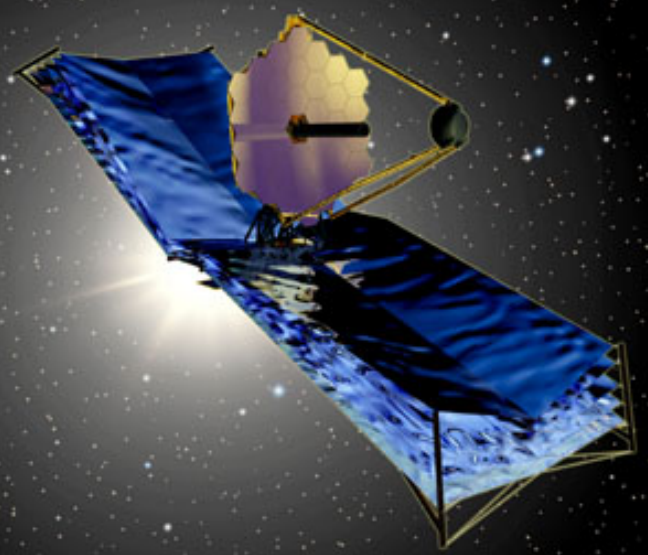


Generatio

erzenie pr

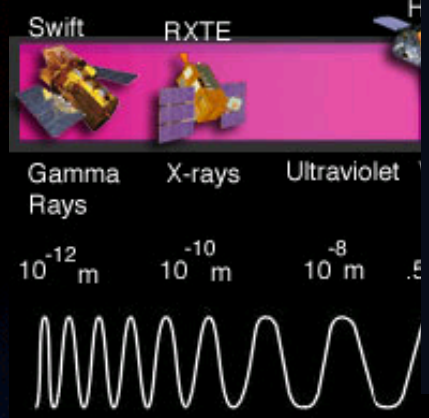
kładane ≥

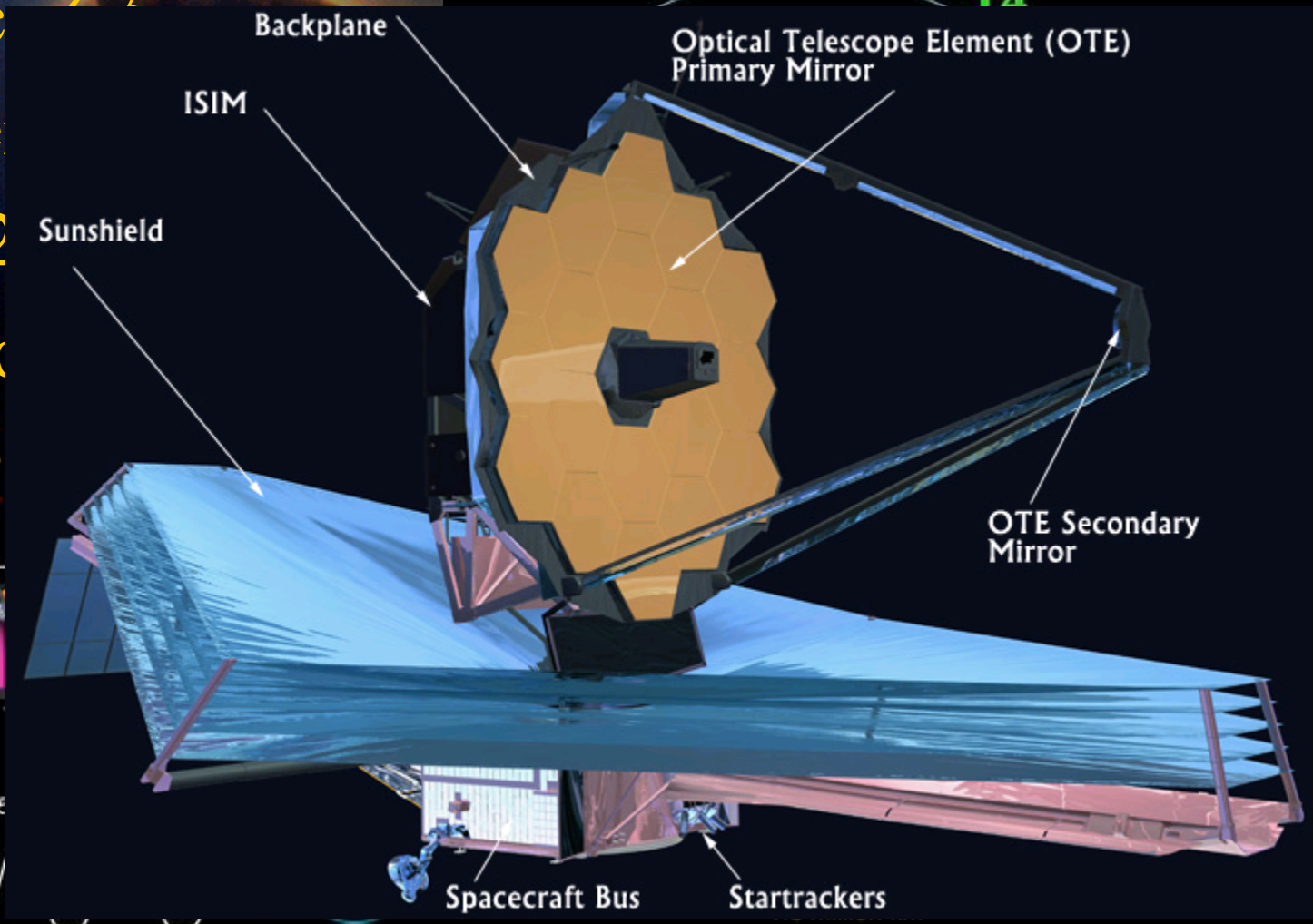




NGST = James Webb Space Telescope, ~~2014~~ ~~2018~~ 2021 (30 marca)

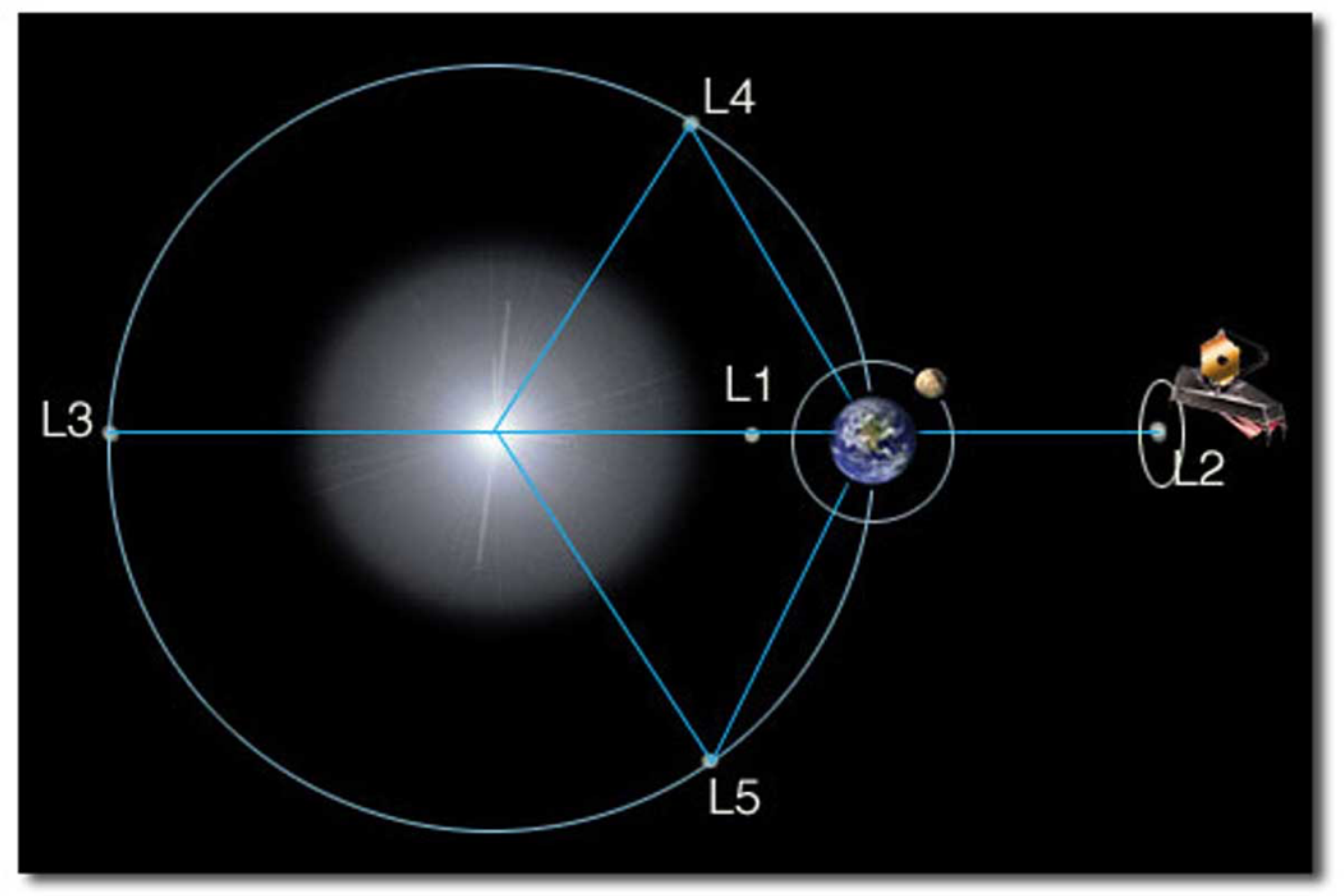
- średnic
- podcze
- 0.6 to 2
- chłodzo
  - (cryo



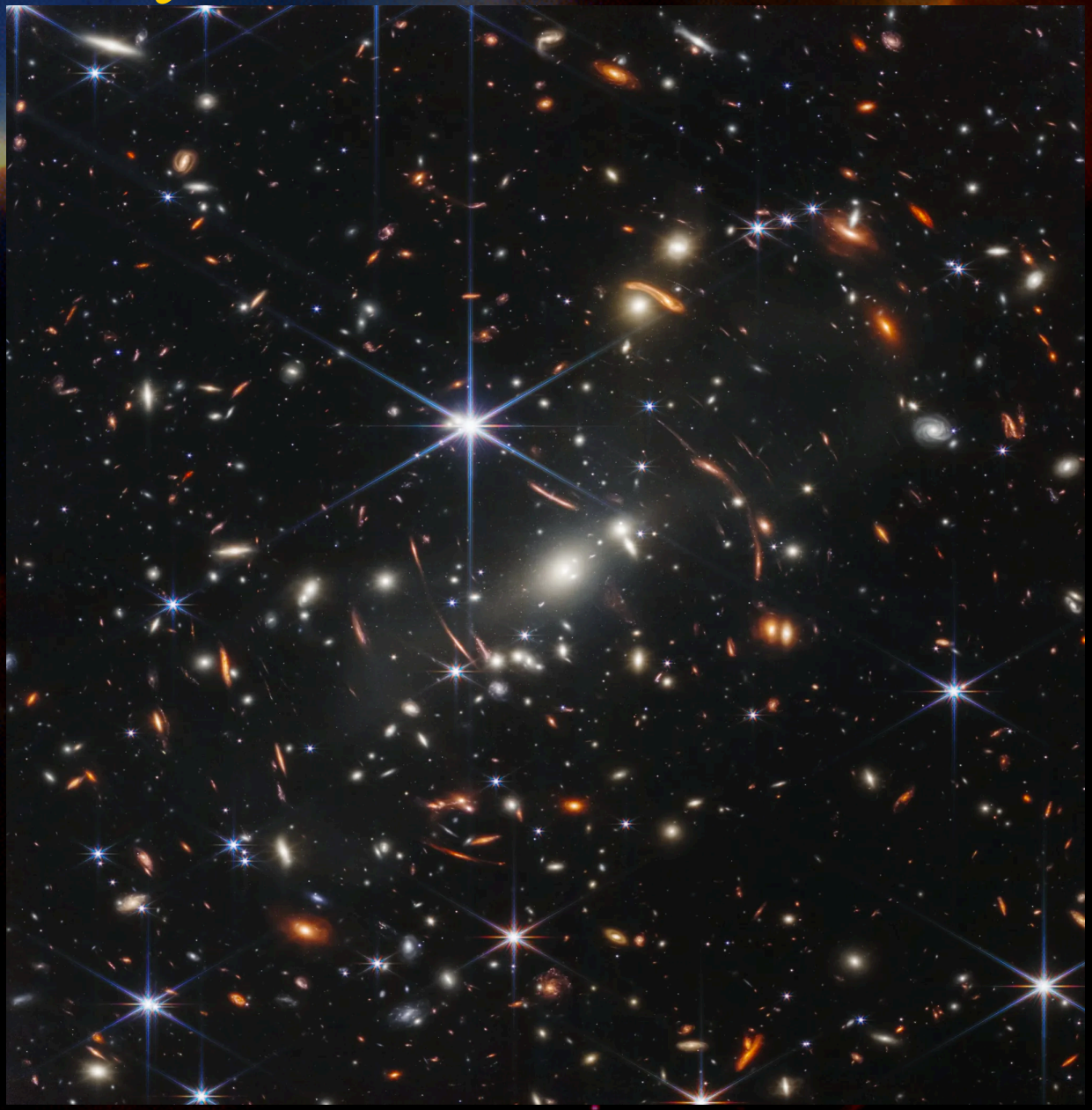


JWST

- L2 - 1,5 mln km od Ziemi



Wczesny Wszechświat



Ewolucja galaktyk

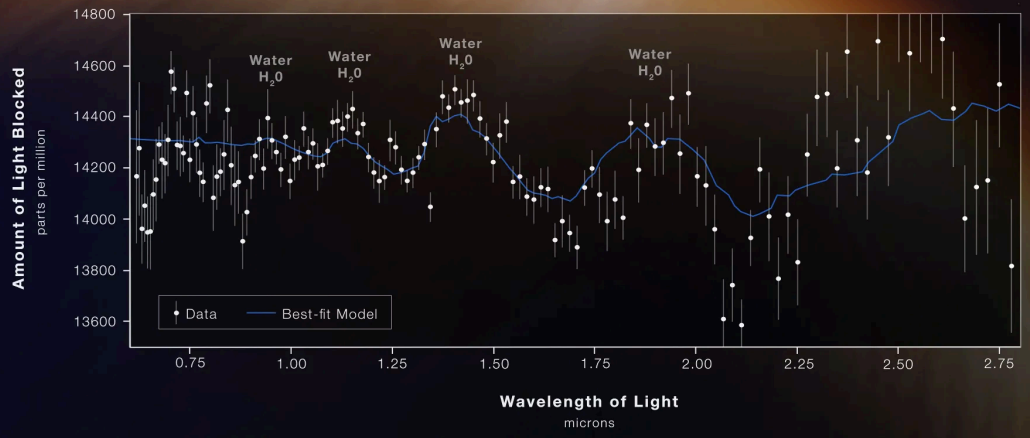
Ewolucja gwiazd

Planety Pozasłoneczne

HOT GAS GIANT EXOPLANET WASP-96 b

ATMOSPHERE COMPOSITION

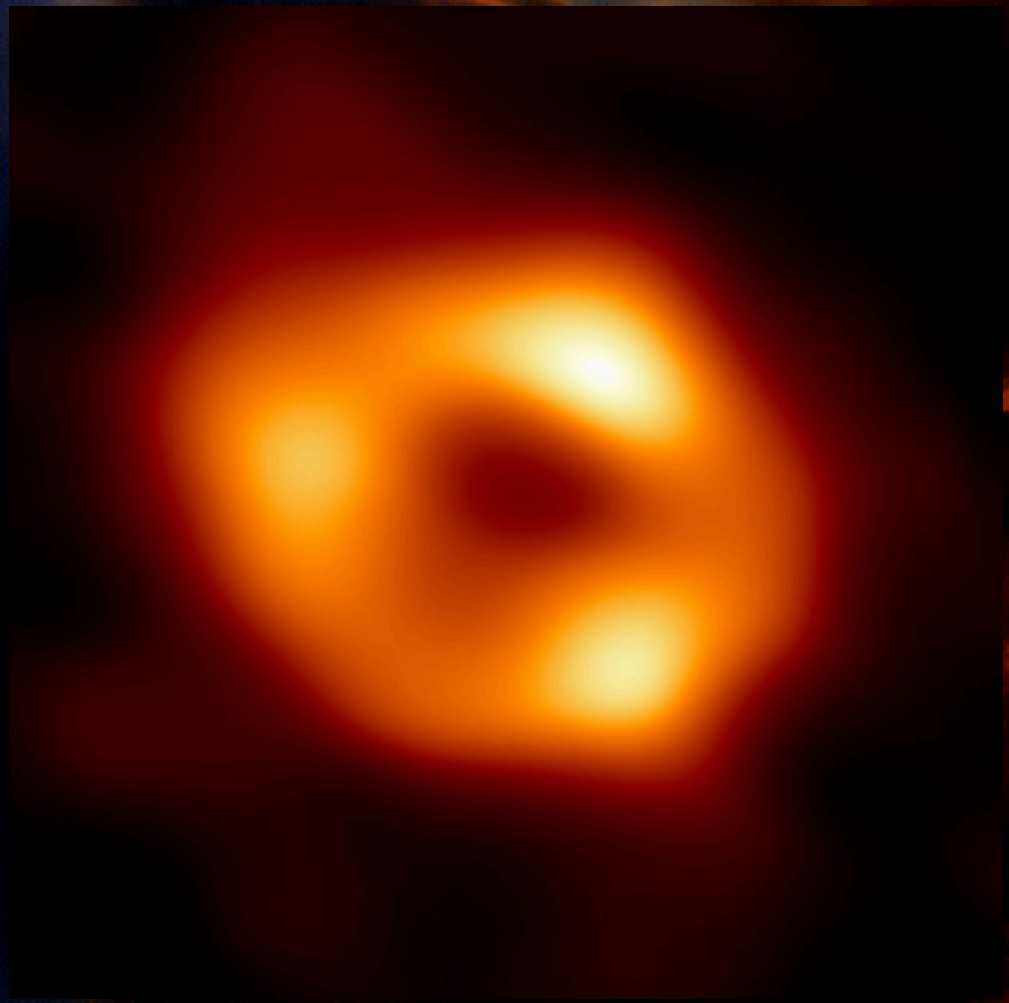
NIRISS Single-Object Slitless Spectroscopy



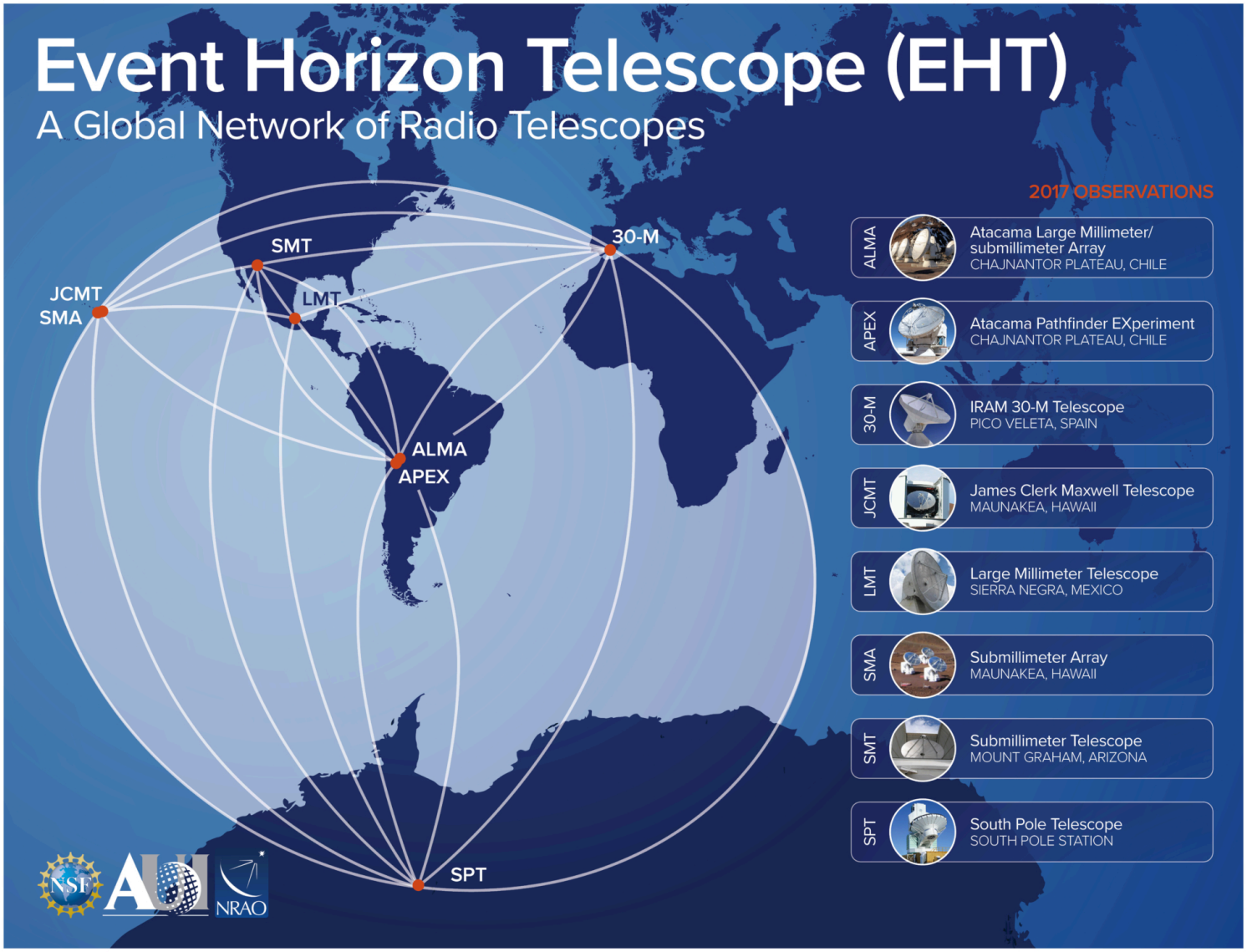
WEBB
SPACE TELESCOPE

Transiting Exoplanet Survey

Event Horizon Telescope (EHT),



Event Horizon Telescope (EHT)

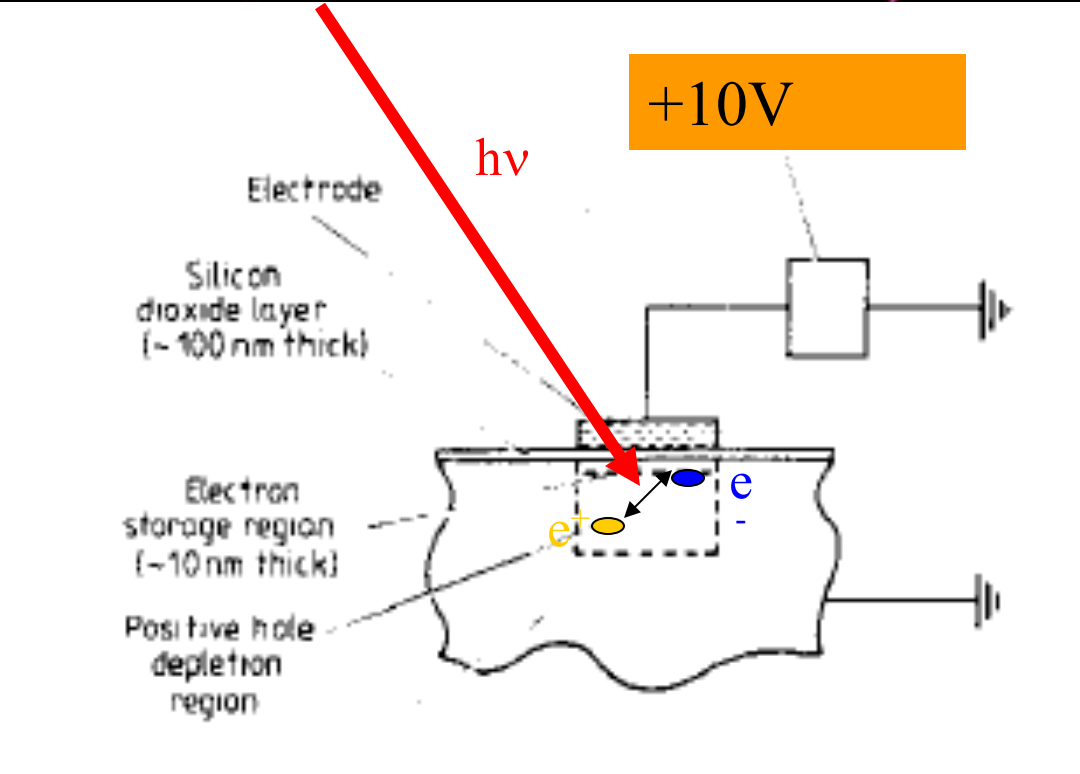


Rejestracja promieniowania

- Promieniowanie widzialne + UV
  - Oko w ~ 3%
  - Klisza fotograficzna w ~ 1%
    - zalety: rozmiary, łatwe przechowywanie
  - Fotopowielacz w ~ 30 %
  - CCD w ~ 40-90%
    - typowy: 2000 x 2000 ; 32 mm
    - do 2000x4000 pikseli
    - mozaiki 10 000 x 10 000 pikseli

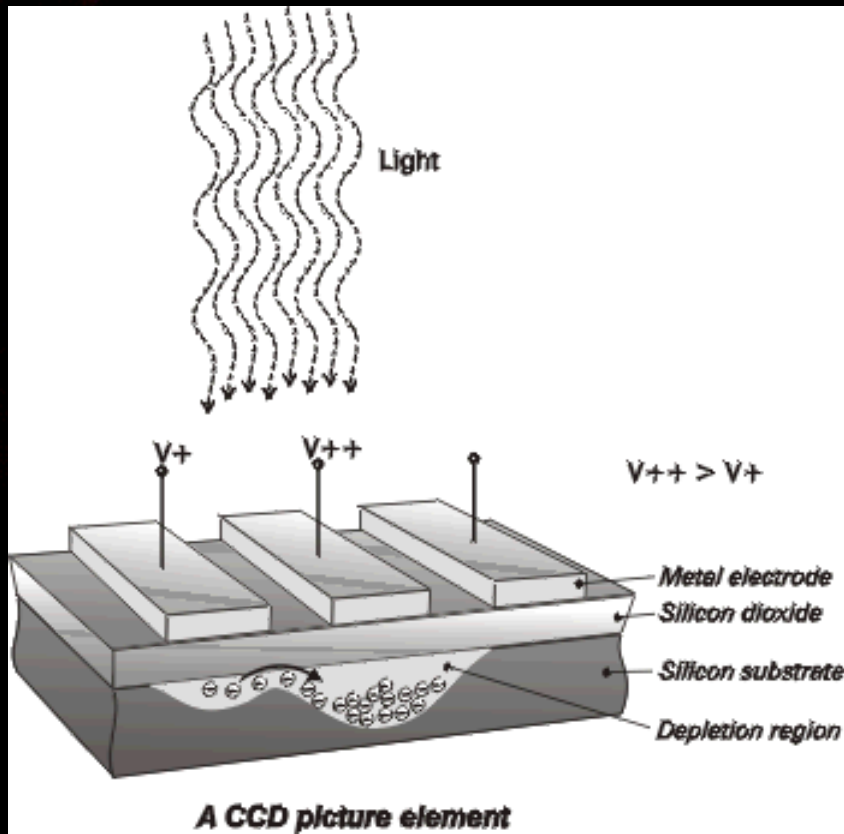
CCD

- Charge Coupled Device
- Piksel - komórka półprzewodnikowa otoczona warstwą izolatora z elektrodą



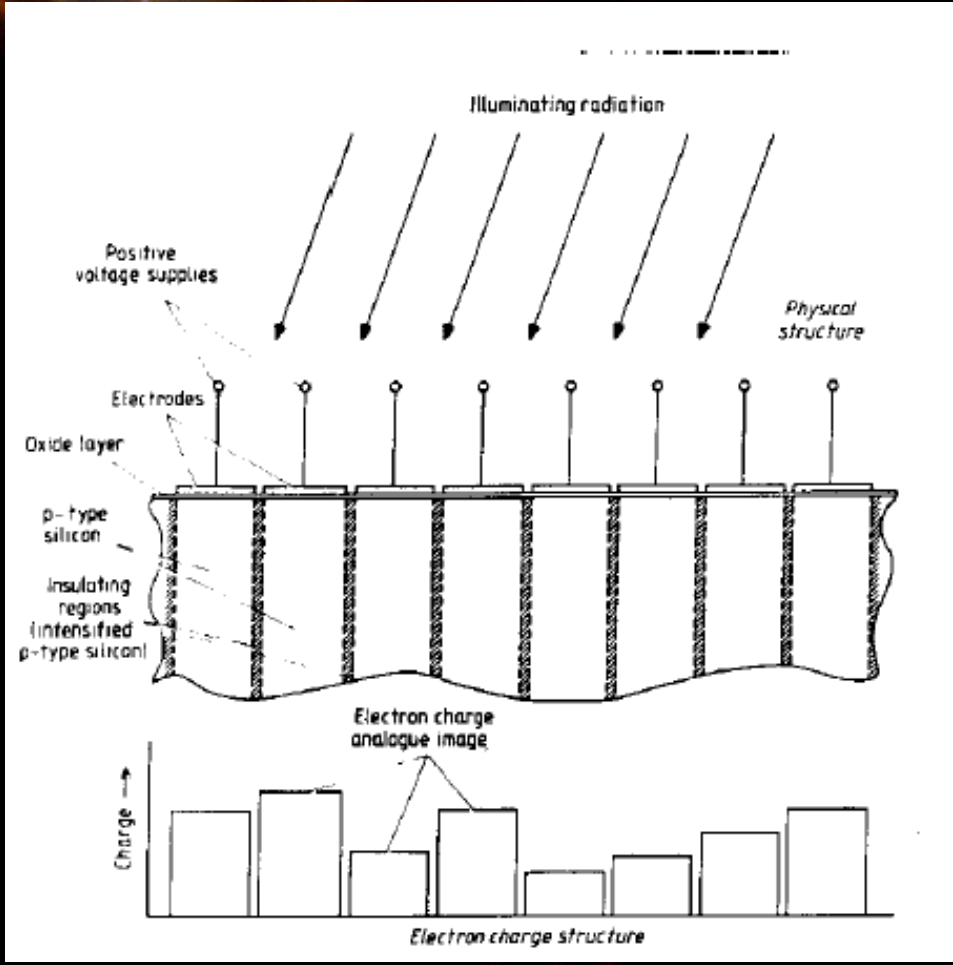
CCD

- Studnia potencjału – utworzona przez dodatnio spolaryzowaną elektrodę



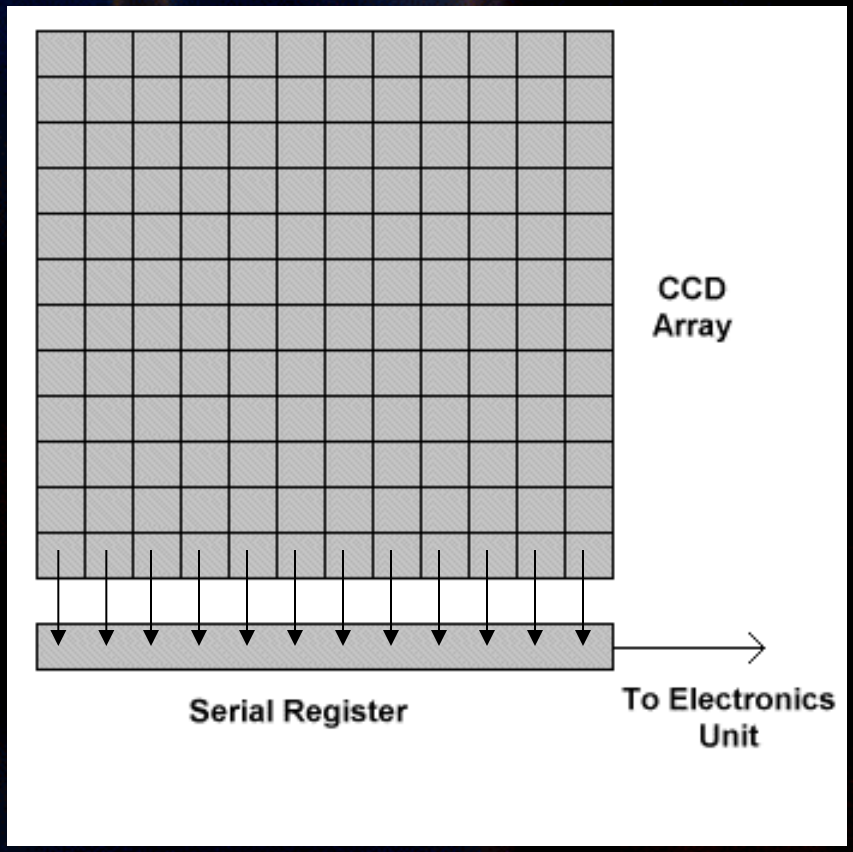
CCD

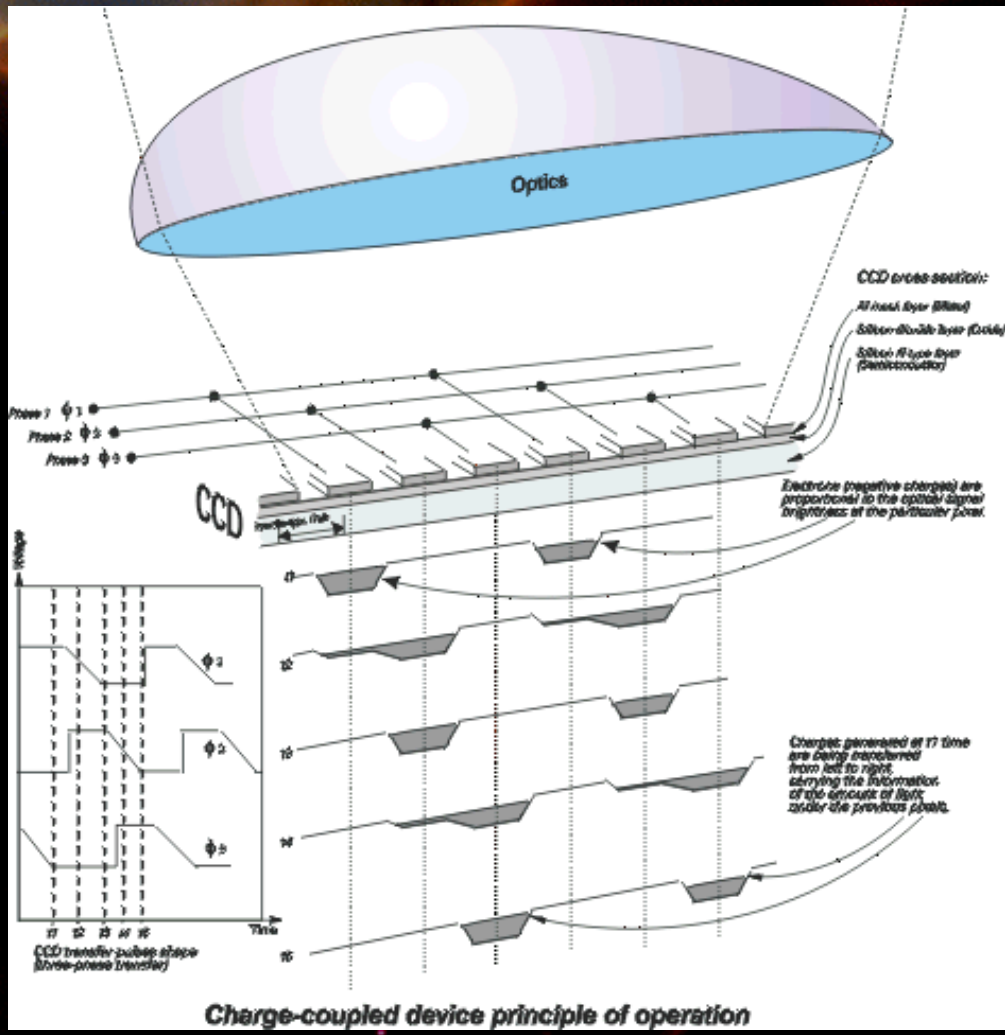
- CCD – siatka pikseli
- Obraz fotonowy <-> obraz elektronowy



Odczyt CCD

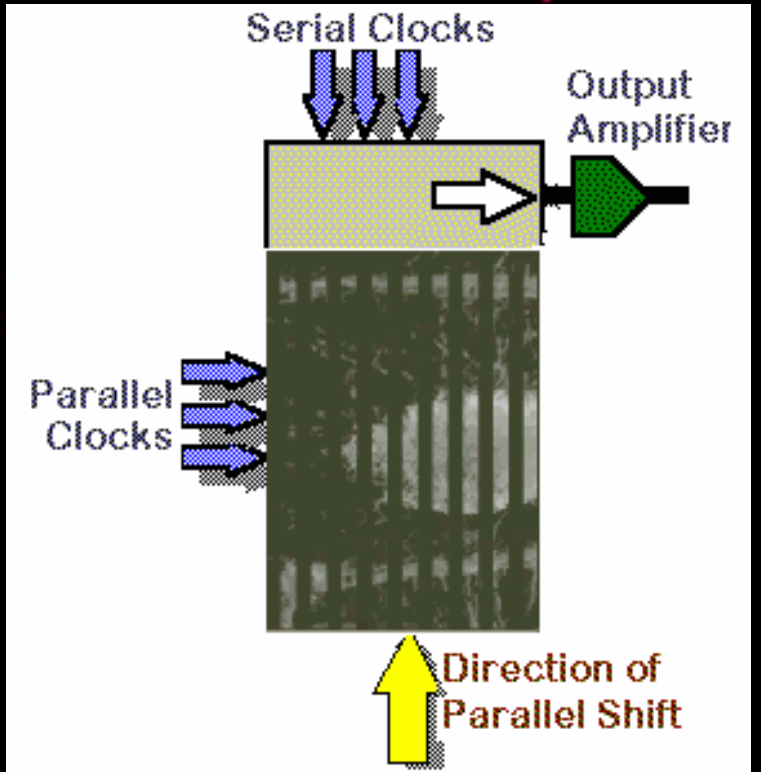
- Transfer ładunku





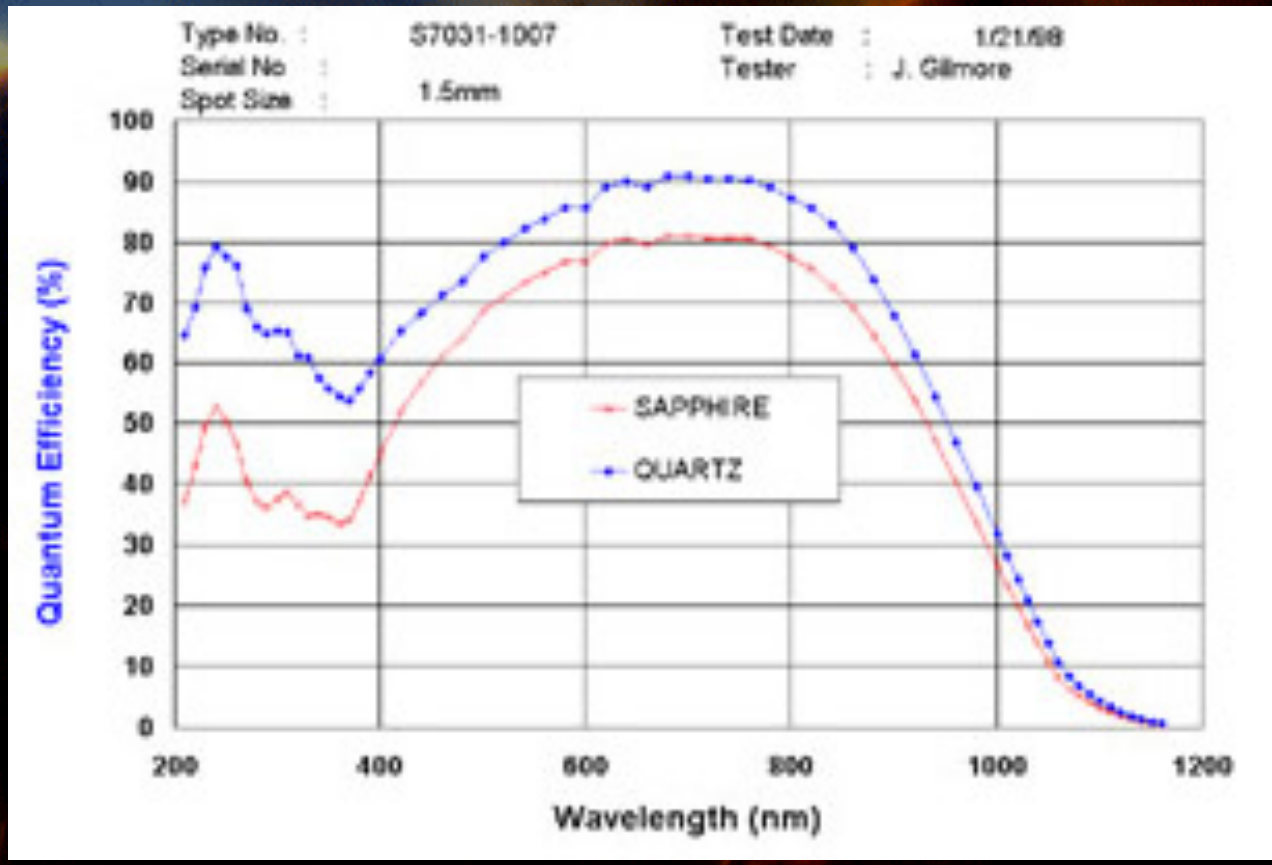
Odczyt CCD

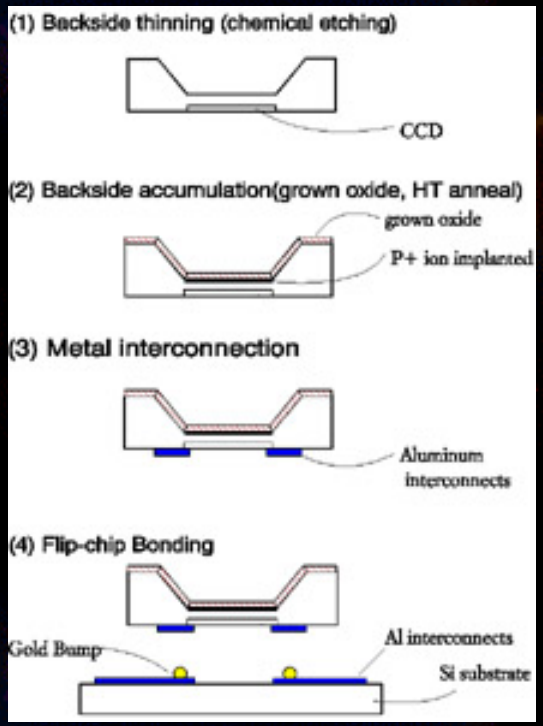
- Full Frame – cały obrazek
- Frame Transfer - podwójne CCD
- Drift Scan – odczyt podczas naświetlania
- Interline CCD – odczyt pomiędzy kolumnami



Czułość CCD

- 30-90%

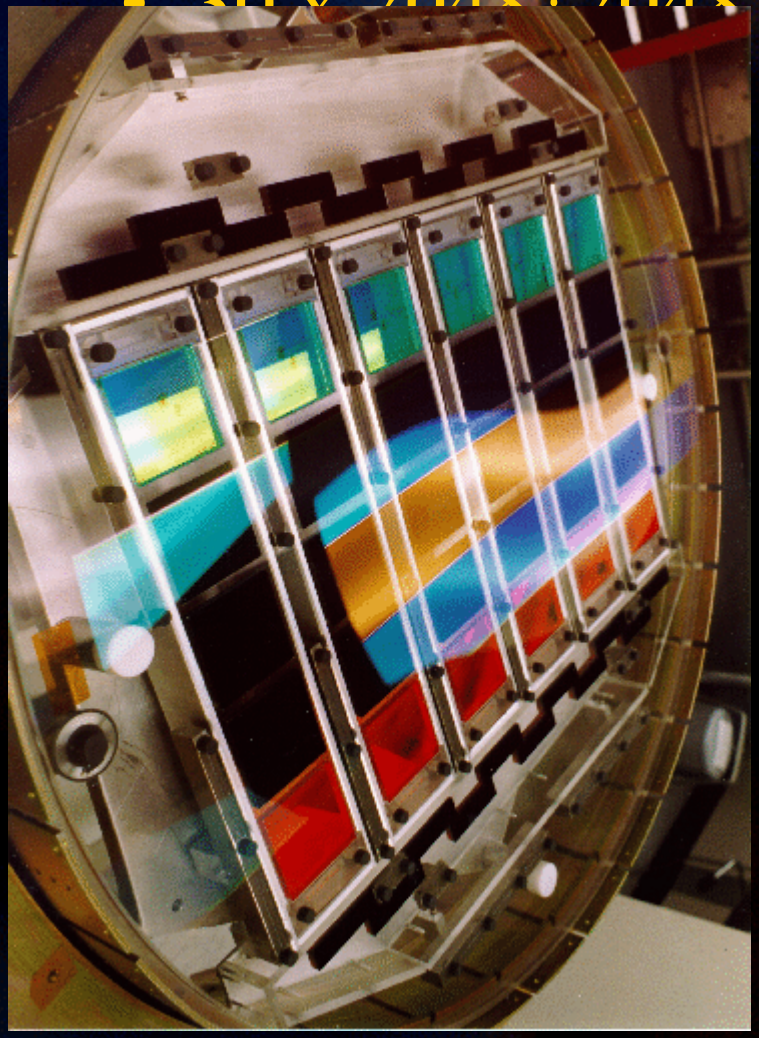


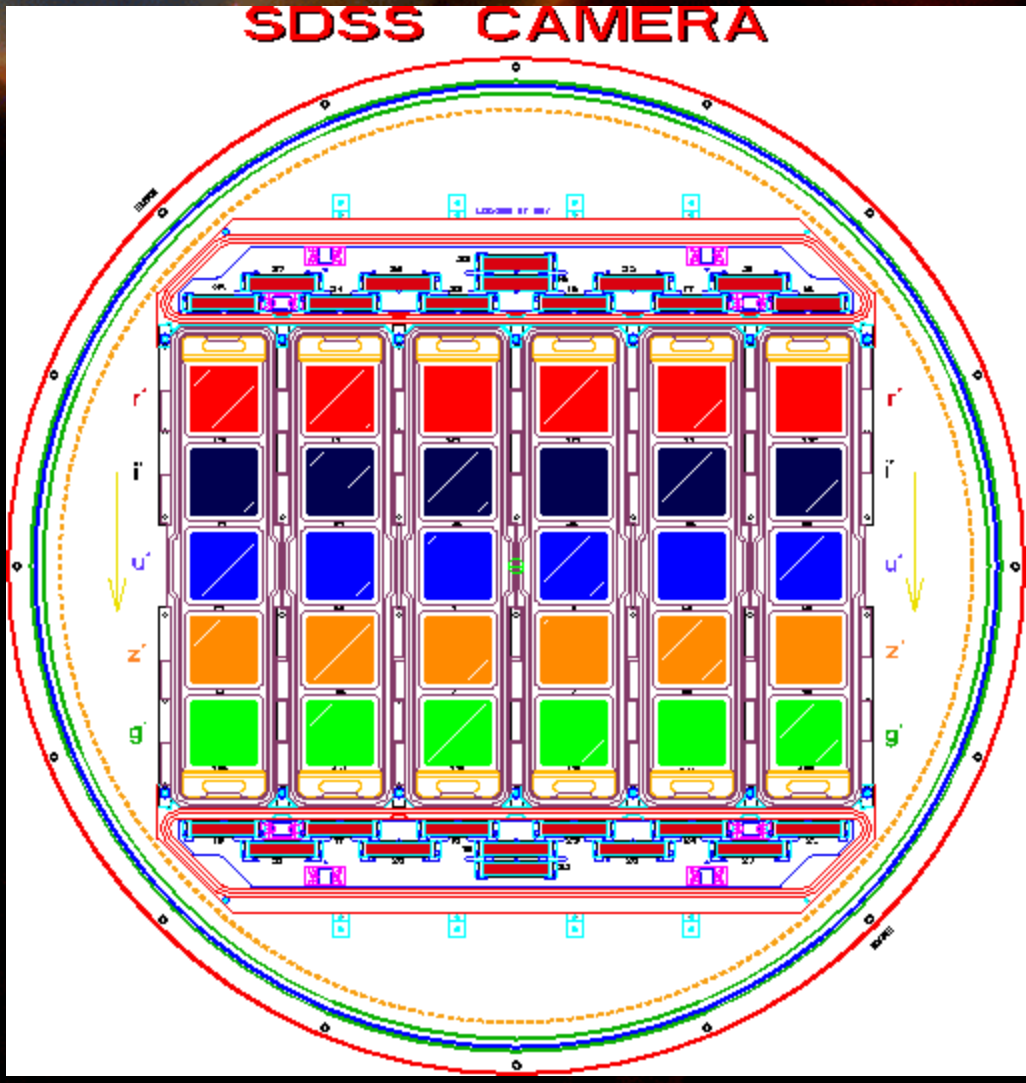


- „Back illuminated”

Sloan Digital Sky Survey

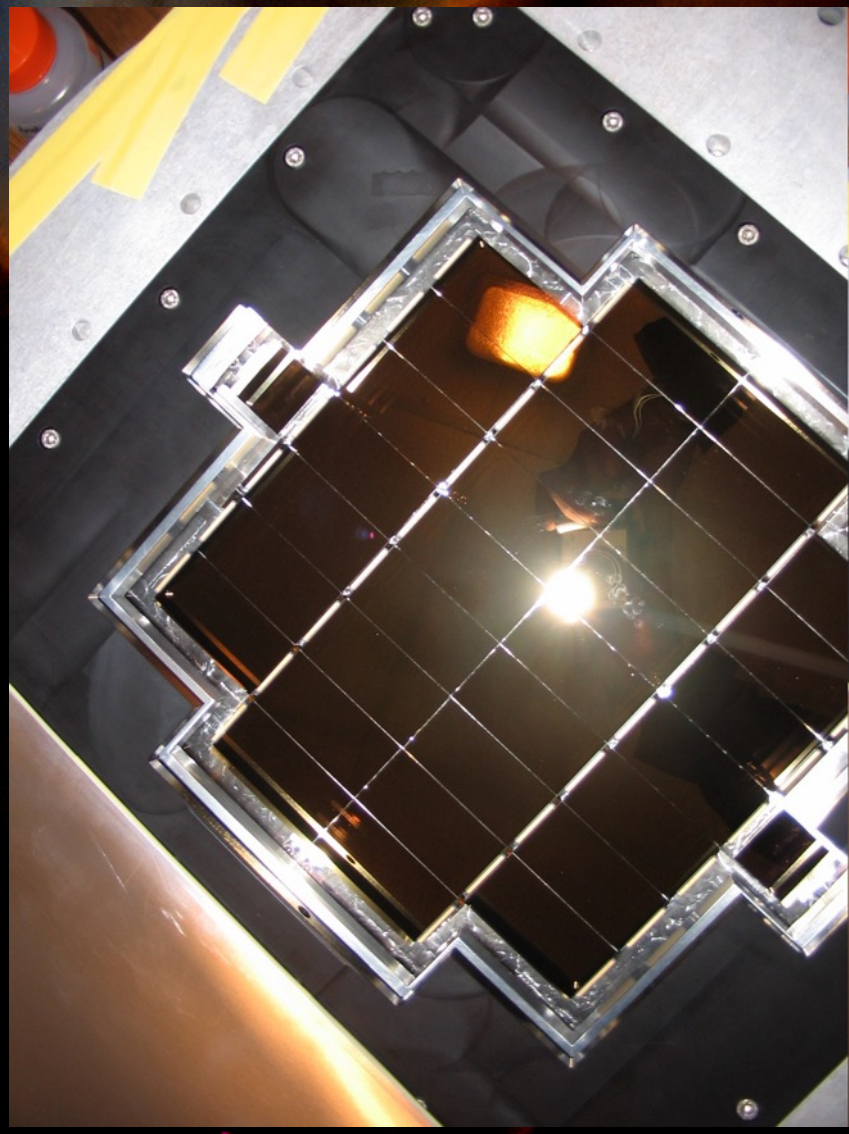
- 30 x 2048*2048





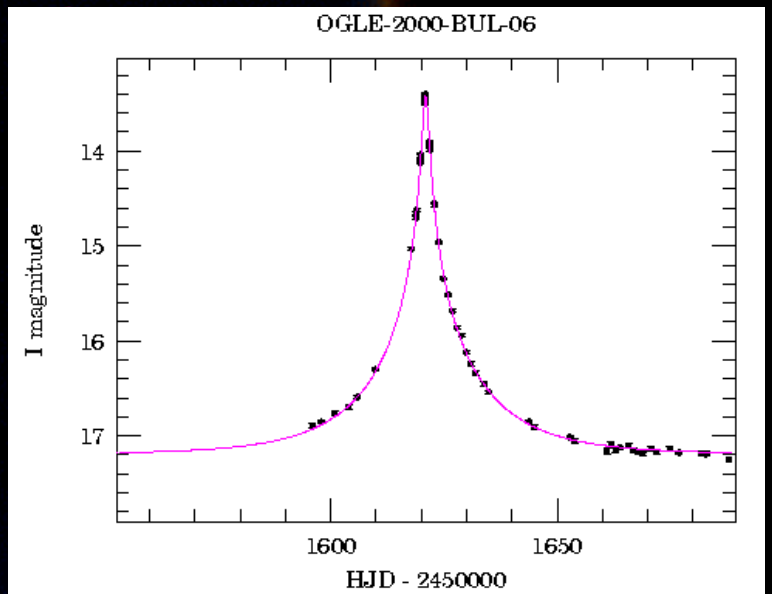
Kamera OGLE

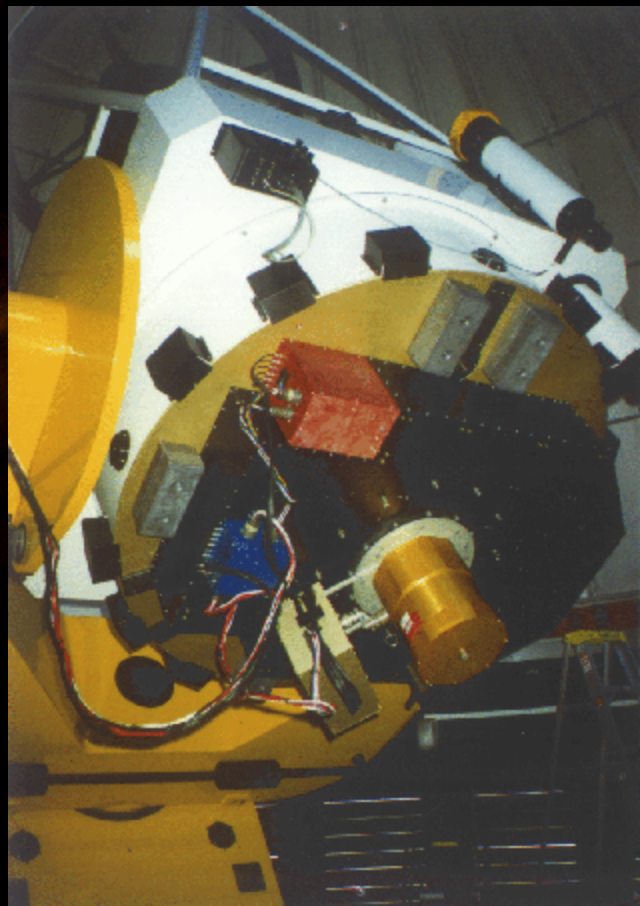
- 256 megapikseli
  - 32 x (2048x4096)



OGLE – Optical Gravitational Lensing Experiment

- Teleskop 1.3 m - Las Campanas
- mikrosoczewkowanie
- planety (tranzyty)
- gwiazdy zmienne (> 300.000)

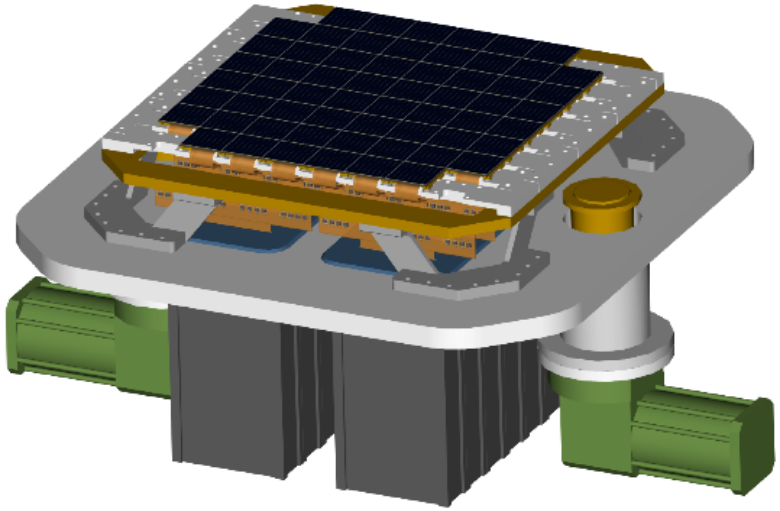




Kamera giga-pixelowa

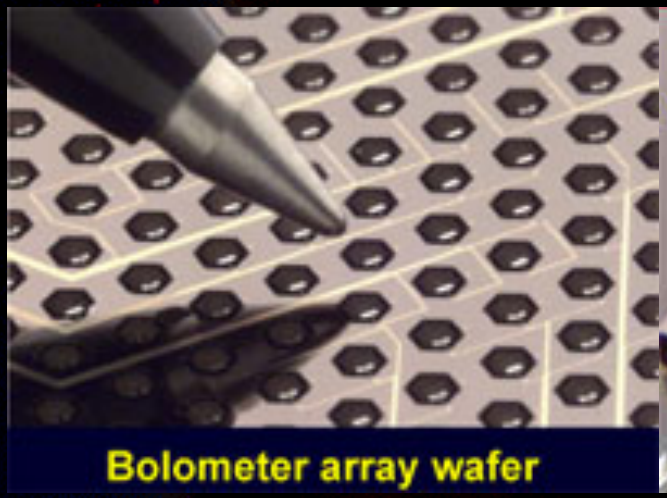
- Large Synoptic Survey Telescope
- Kamera CCD 8x8 x 8x8 x 512x512

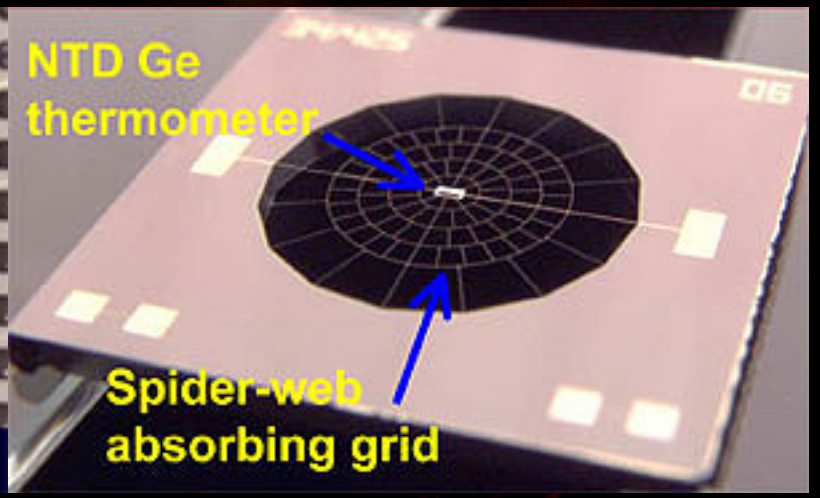
Internal View of Gigapixel Camera Cryostat



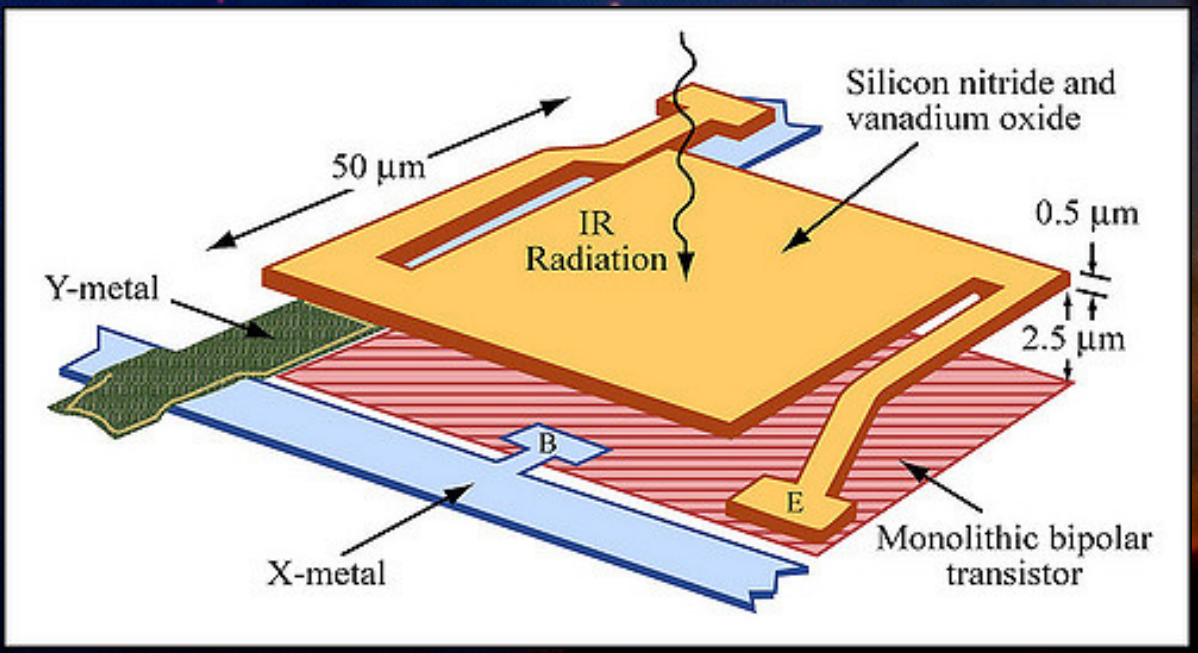
Rejestracja promieniowania

- Podczerwień
  - bolometry (np. termopary)
  - detektory półprzewodnikowe
  - matryce IR (arrays) 1024 x 1024 pikseli
  - zakres 1 – 1000 μm



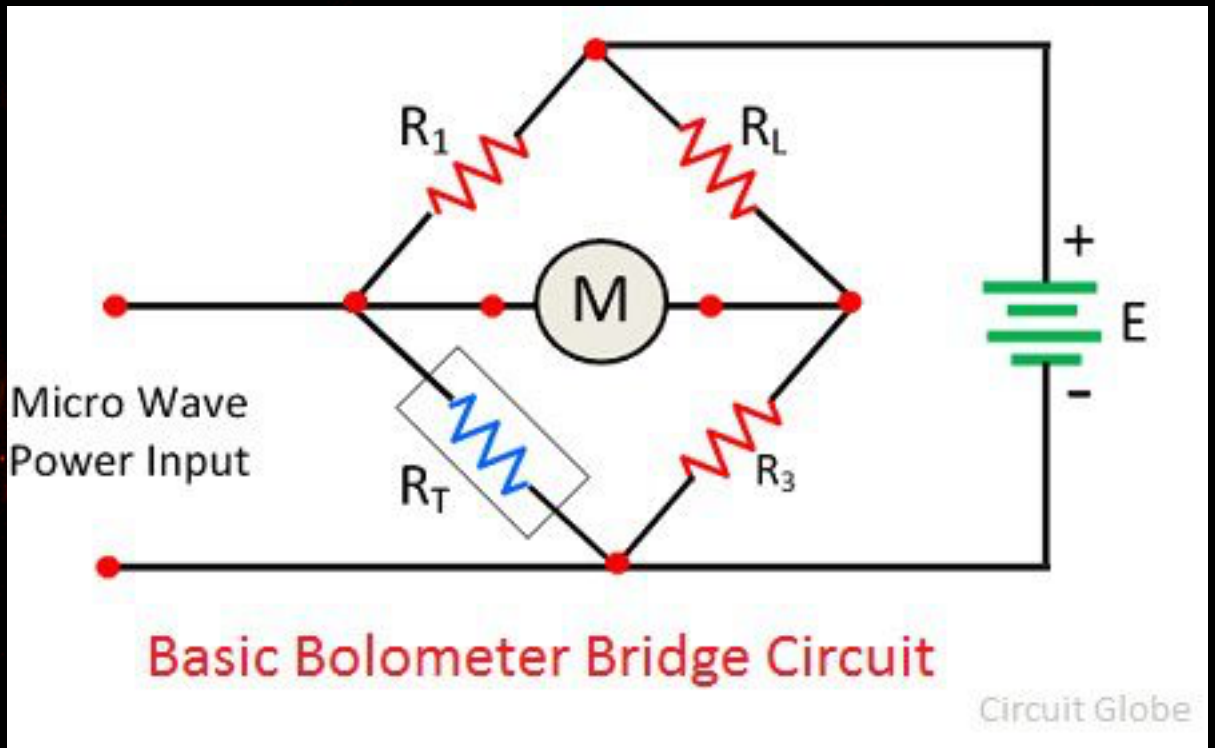


Herschel-SPIRE



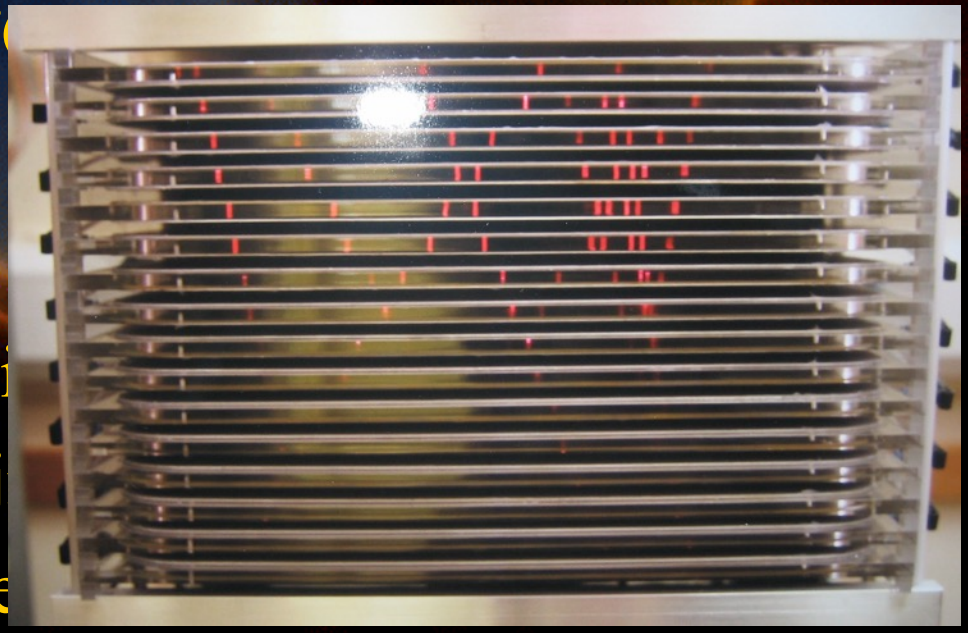
Absorber - Si_3N_4

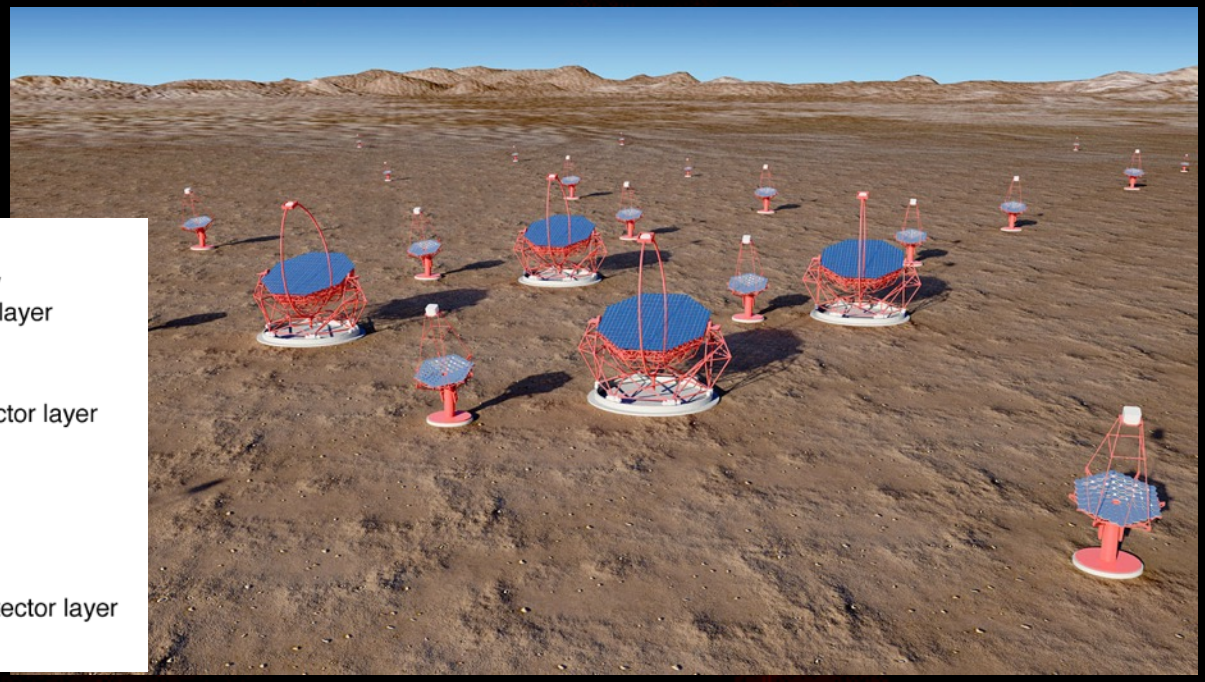
Termistor – german domieszkowany neutron-transmutation-doped (NTD)

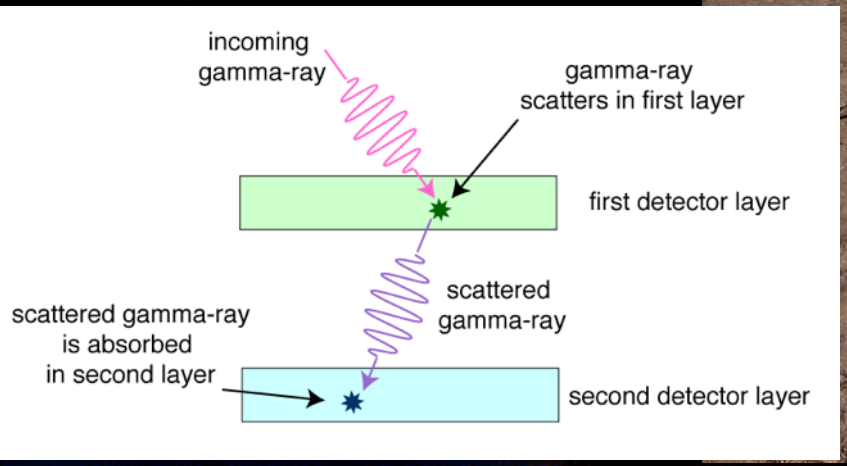


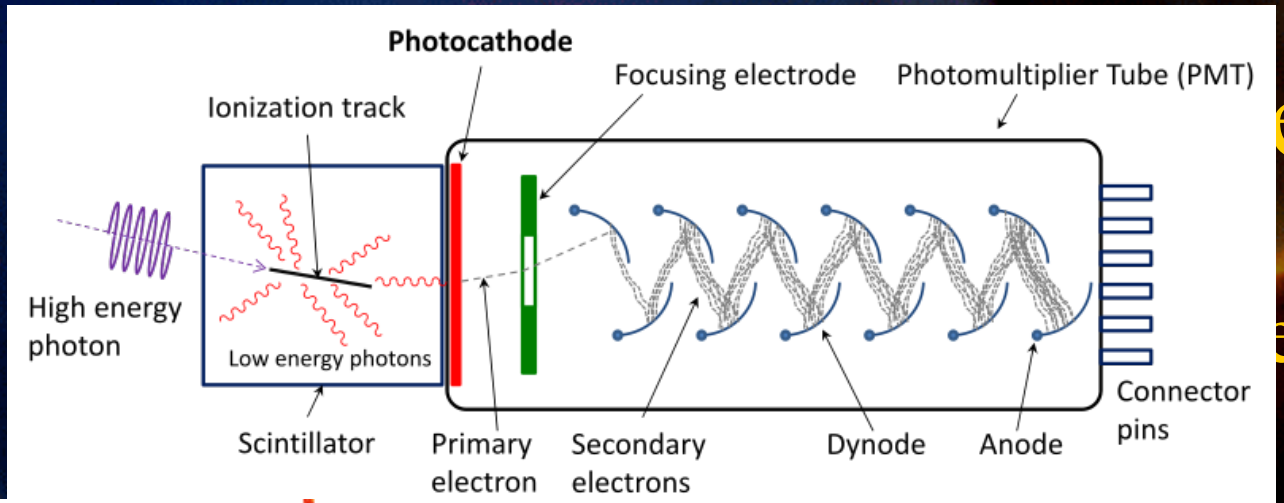
Rejestracja pr

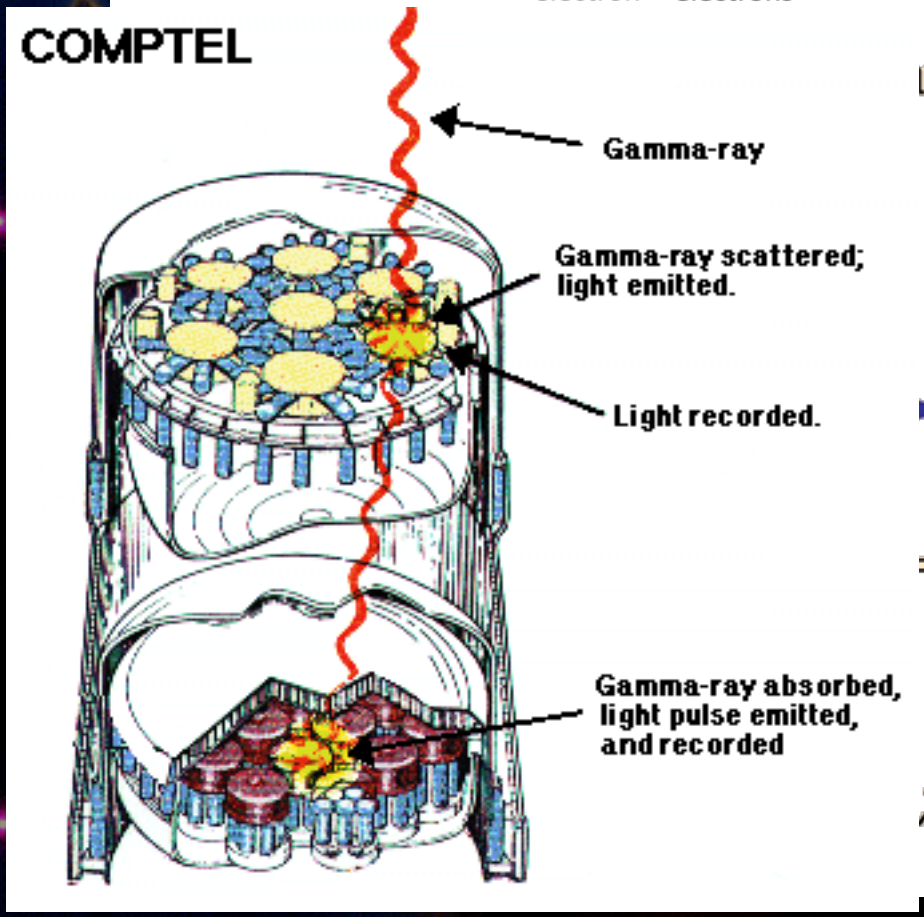
- Zakres gamma
  - komory jonizacyjne,
  - detektory scyntylacyj
  - detekcja błysków Cze

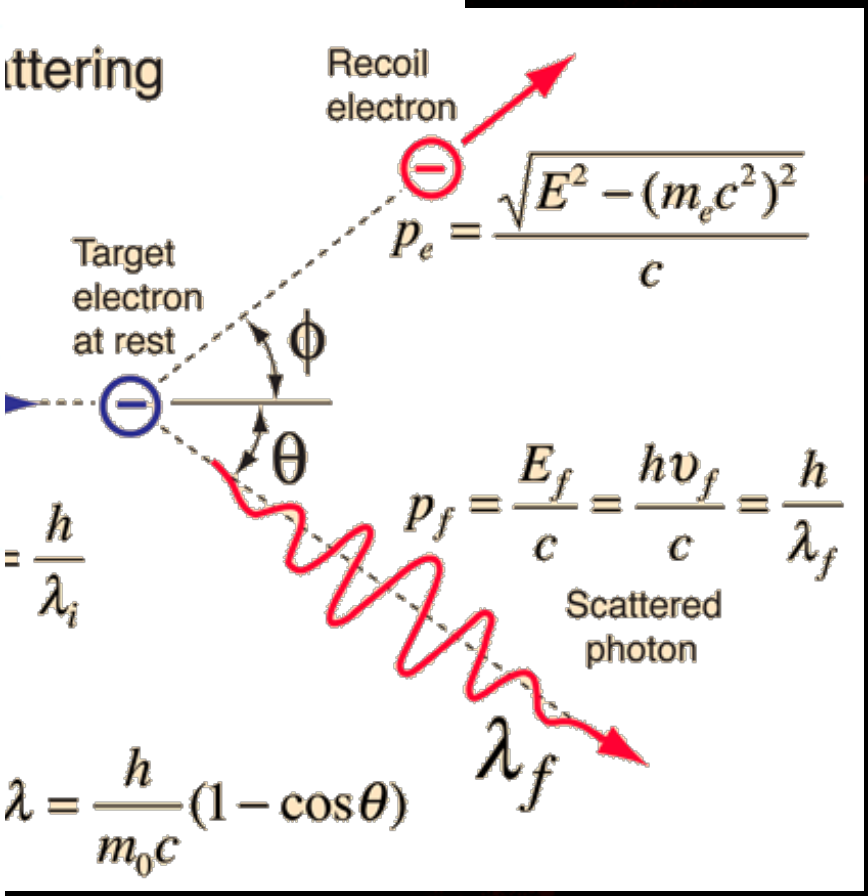






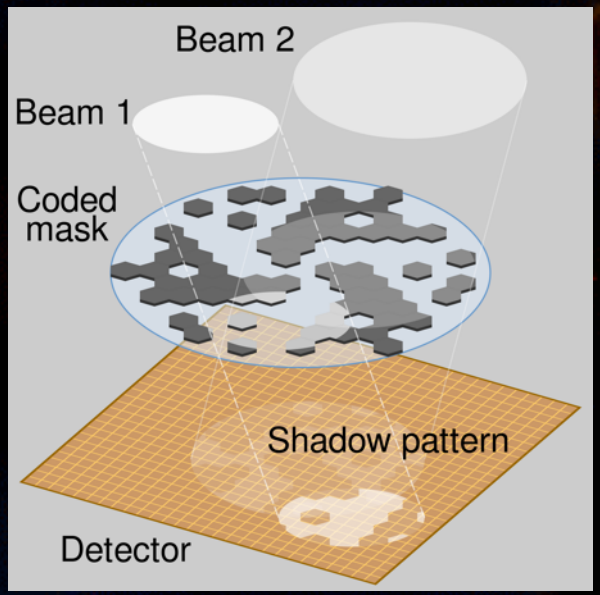

Photocathode
Focusing electrode
Photomultiplier Tube (PMT)
Ionization track
High energy photon
Low energy photons
Scintillator
Primary electron
Secondary electrons
Dynode
Anode
Connector pins

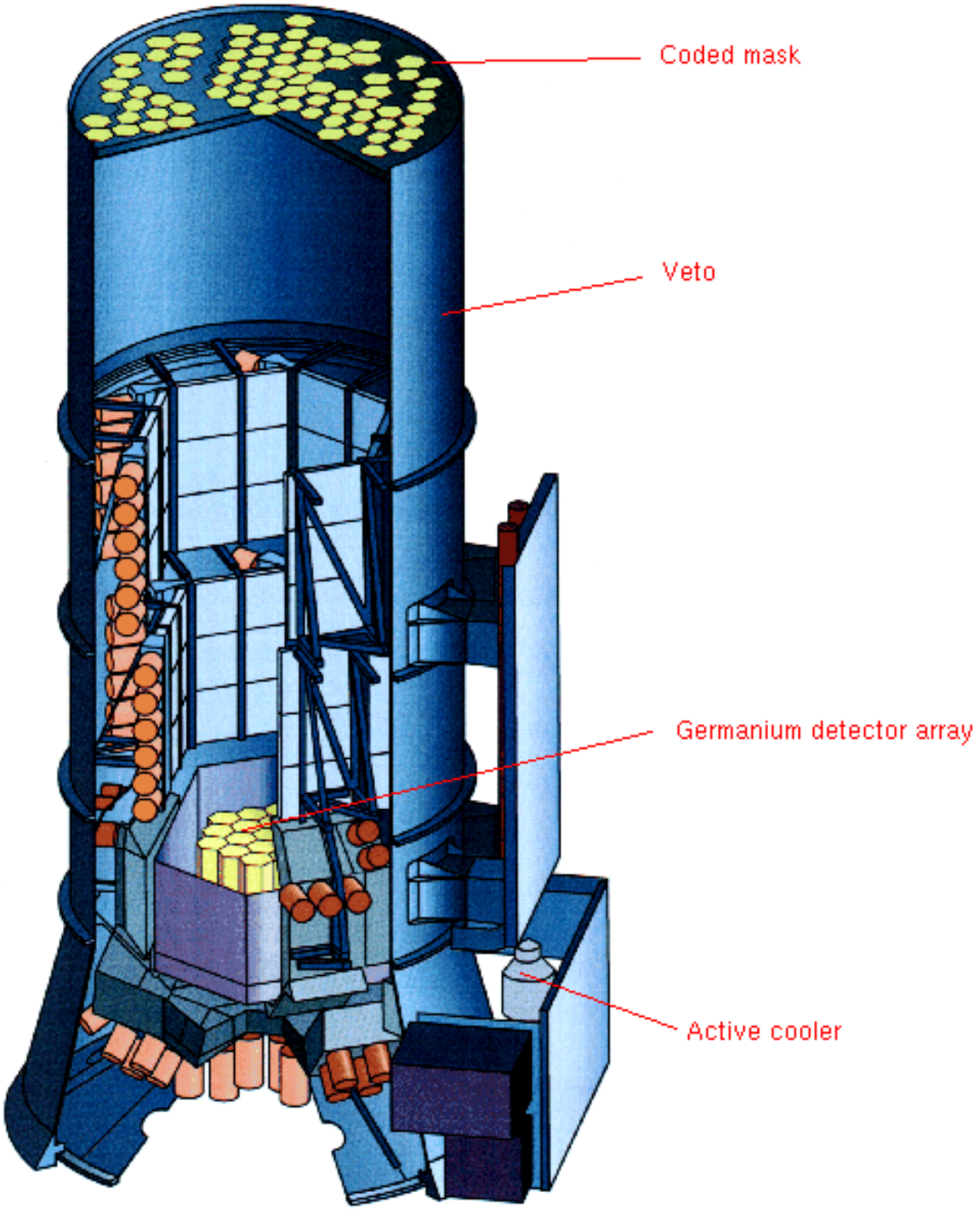

COMPTEL
Gamma-ray
Gamma-ray scattered; light emitted.
Light recorded.
Gamma-ray absorbed, light pulse emitted, and recorded


ttering
Recoil electron
$p_e = \frac{\sqrt{E^2 - (m_e c^2)^2}}{c}$
Target electron at rest
ϕ
θ
$= \frac{h}{\lambda_i}$
$p_f = \frac{E_f}{c} = \frac{h\upsilon_f}{c} = \frac{h}{\lambda_f}$
Scattered photon
λ_f
$\lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$

Detektory

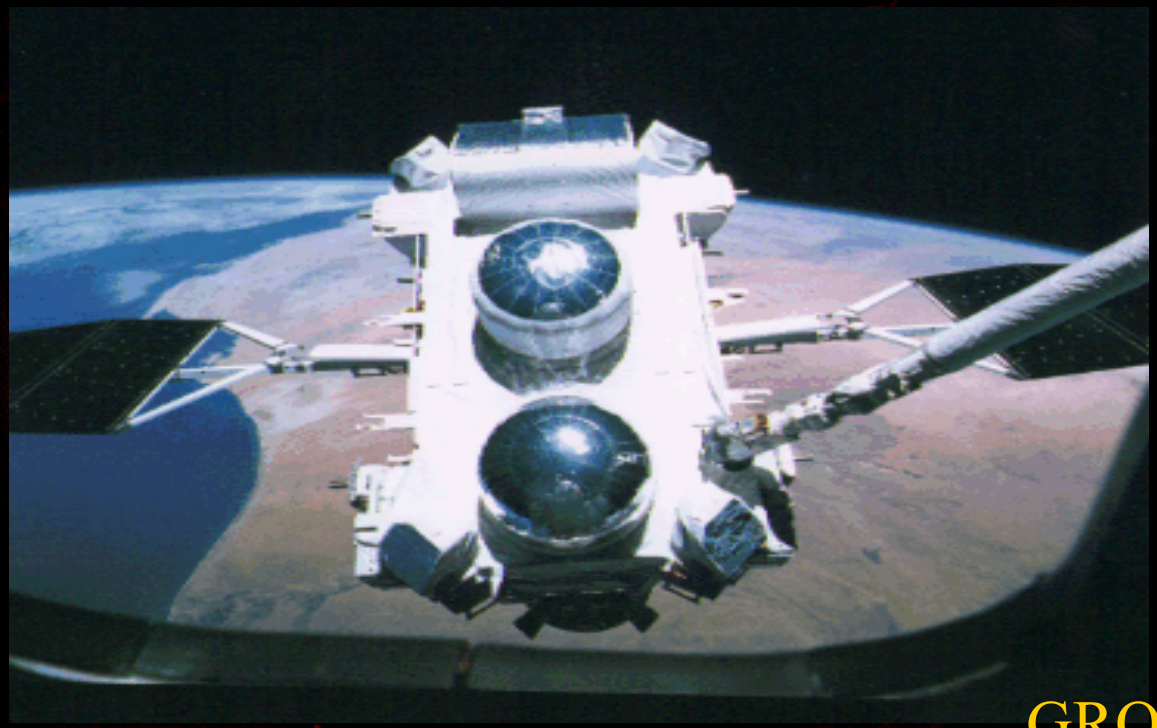
- para dziura-ele
półprzewodnik
gamma
- maska kodują





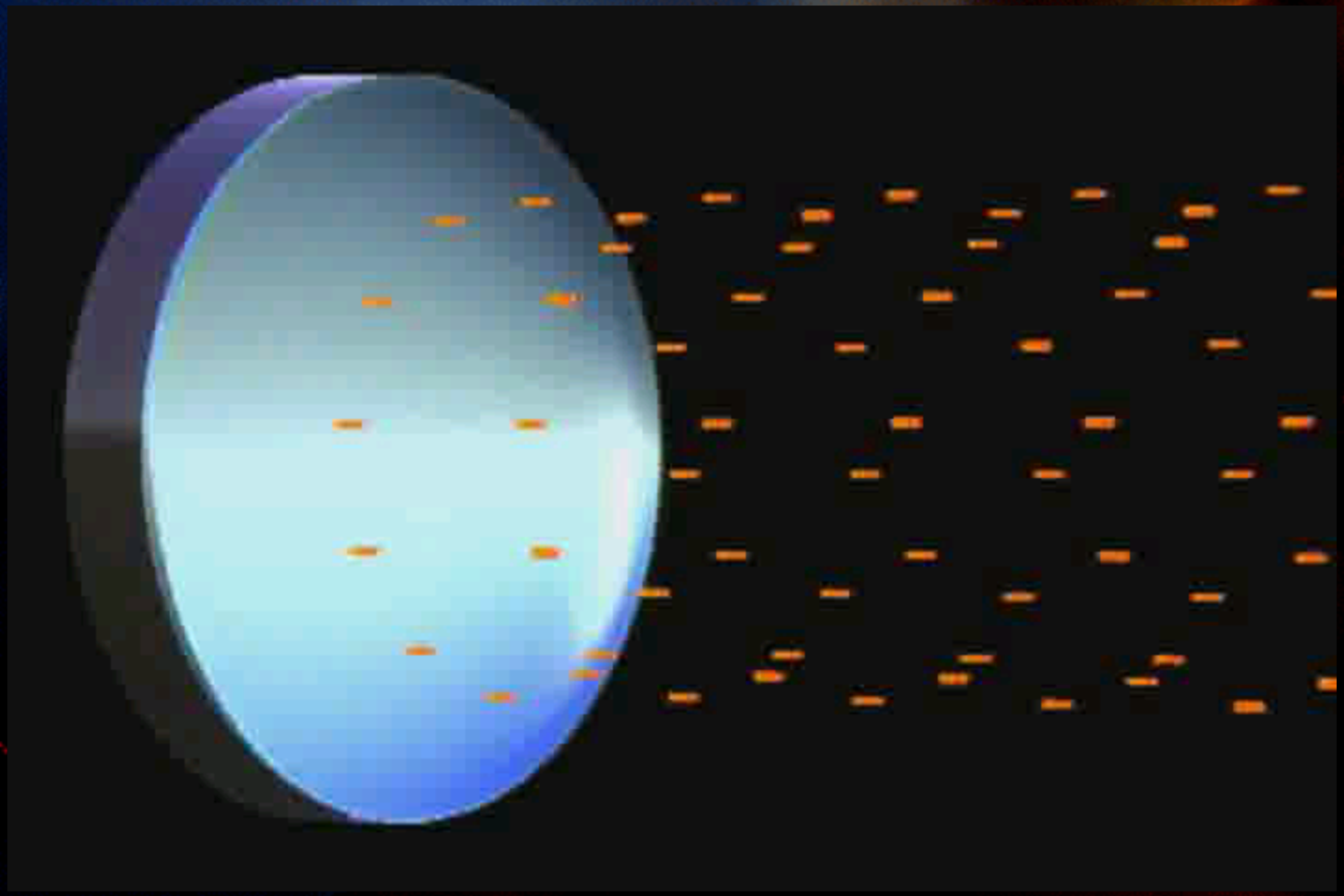
Teleskopy Gamma

- Compton Gamma Ray Observatory (NASA)
- 1991-2000
- 20 keV – 30 GeV

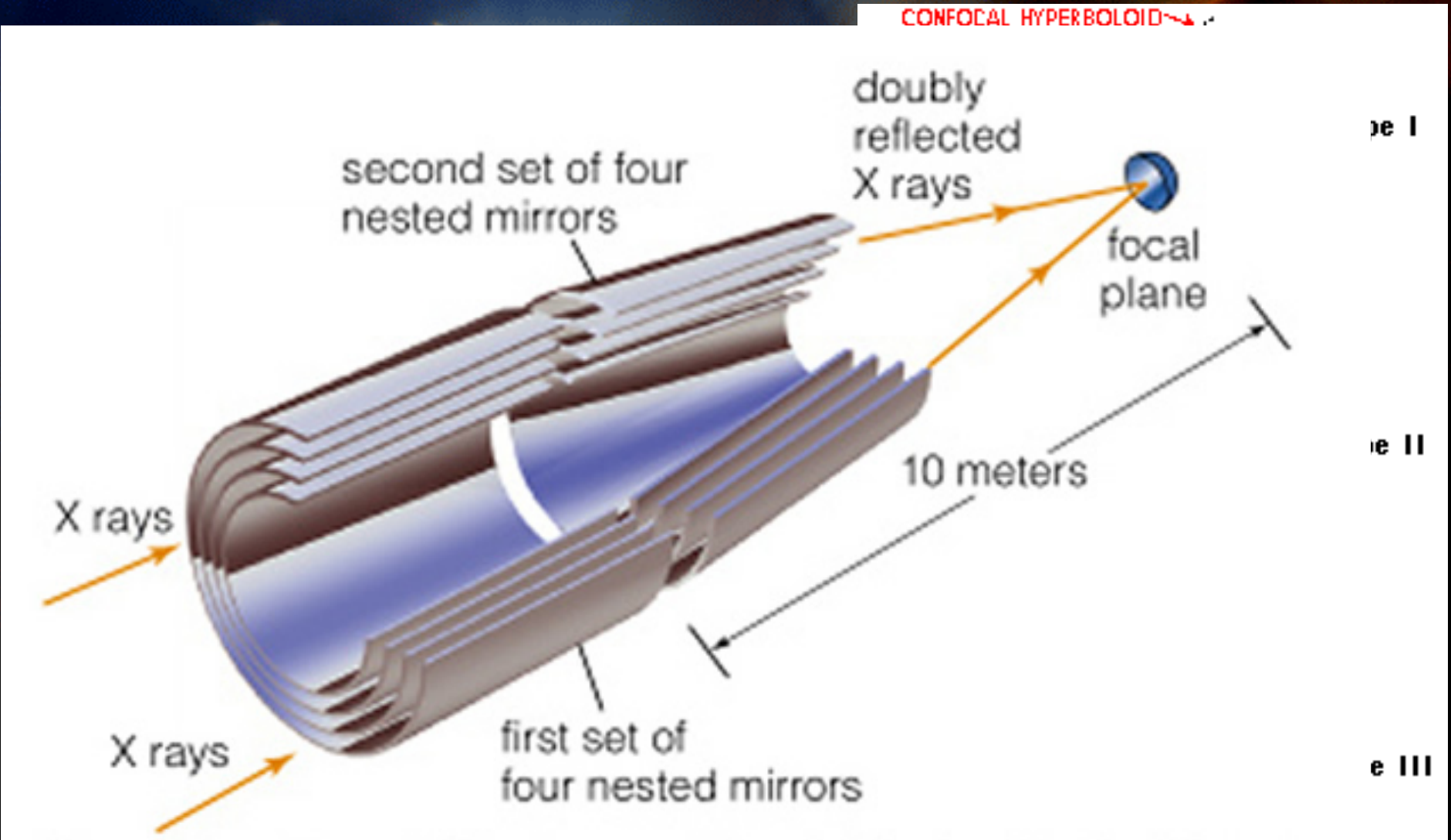


GRO

teleskopy rentgenowskie



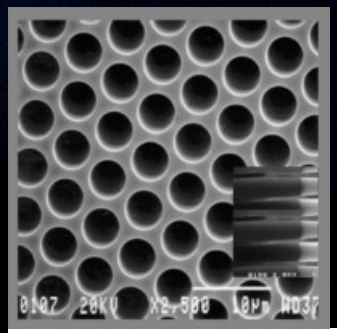
Teleskopy Rentgenowskie

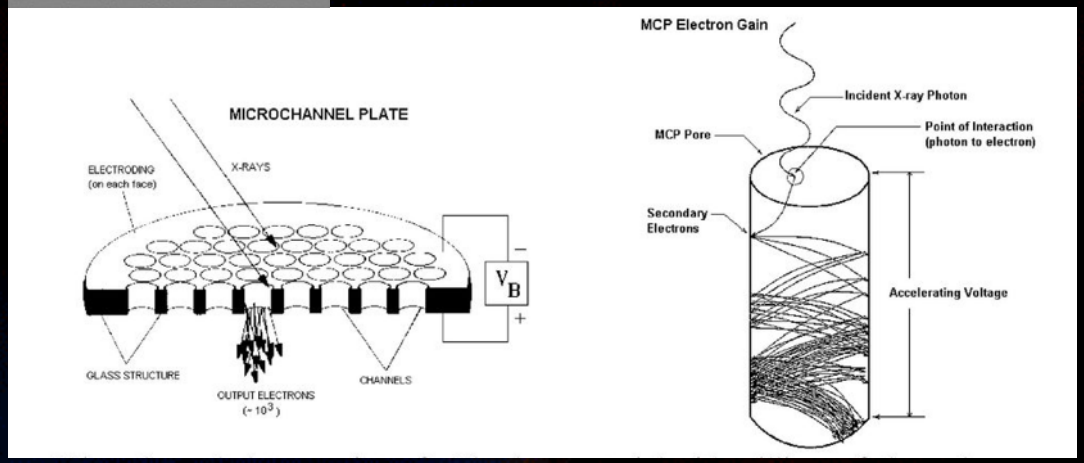


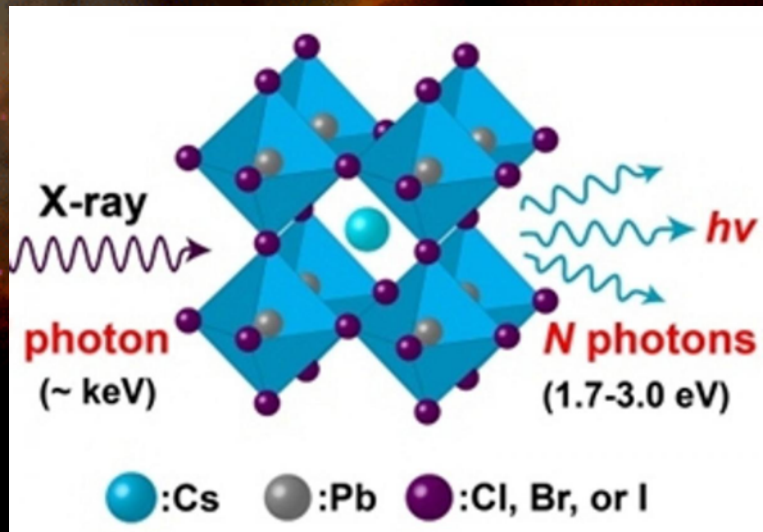
Mirror elements are 0.8 m long and from 0.6 m to 1.2 m in diameter.

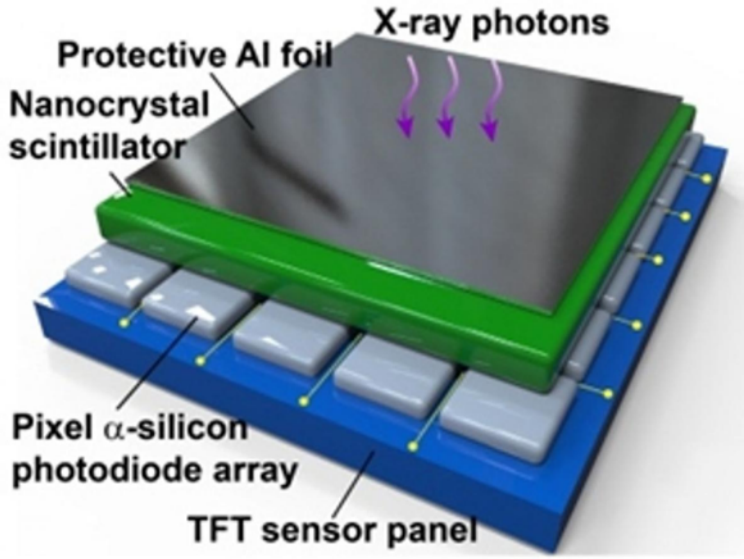
Rejestracja promieniowania

- Zakres rentgenowski
  - liczniki proporcjonalne
  - przetworniki obrazu + CCD
    - scyntylatory
    - płyty mikrokanałowe



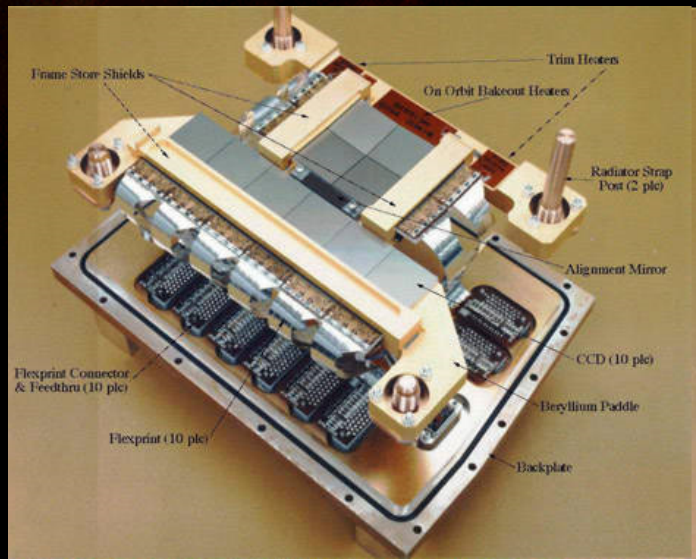






Detektory rentgenowskie 3D

- Zasada działania
  - $n_e \sim h\nu$
  - fotony docierają **rzadko** (max: 1 w danym miejscu)
- ESA – XMM (Newton)
  - EPIC (European Photon Imaging Camera)
  - 2 kamery MOS CCD, front-illuminated
  - pn CCD, back-illuminated
  - 0.1-15 keV rozdzielczość $E/\Delta E \sim 20\text{-}50$
- NASA – AXAF (Chandra)
  - ACIS (**AXAF CCD** Imaging Spectrometer)
  - odczyt co 3.2 sekundy lub 20 ms



Obserwacje astronomiczne

- Astrometria, astronomia pozycyjna
- Fotometria
- Spektroskopia
- Interferometria
- Polarymetria

Obserwacje astronomiczne

- Astrometria, astronomia pozycyjna
  - określanie dokładnego położenia gwiazd
  - pomiary paralaksy – odległości do gwiazd
  - pomiary ruchów własnych
    - dynamika układów gwiazdowych – galaktyki, gromad
    - „szerokie” układy podwójne – określanie orbit
  - wykrywanie planet – obserwacju ruchu gwiazd **wokół wspólnego środka masy**

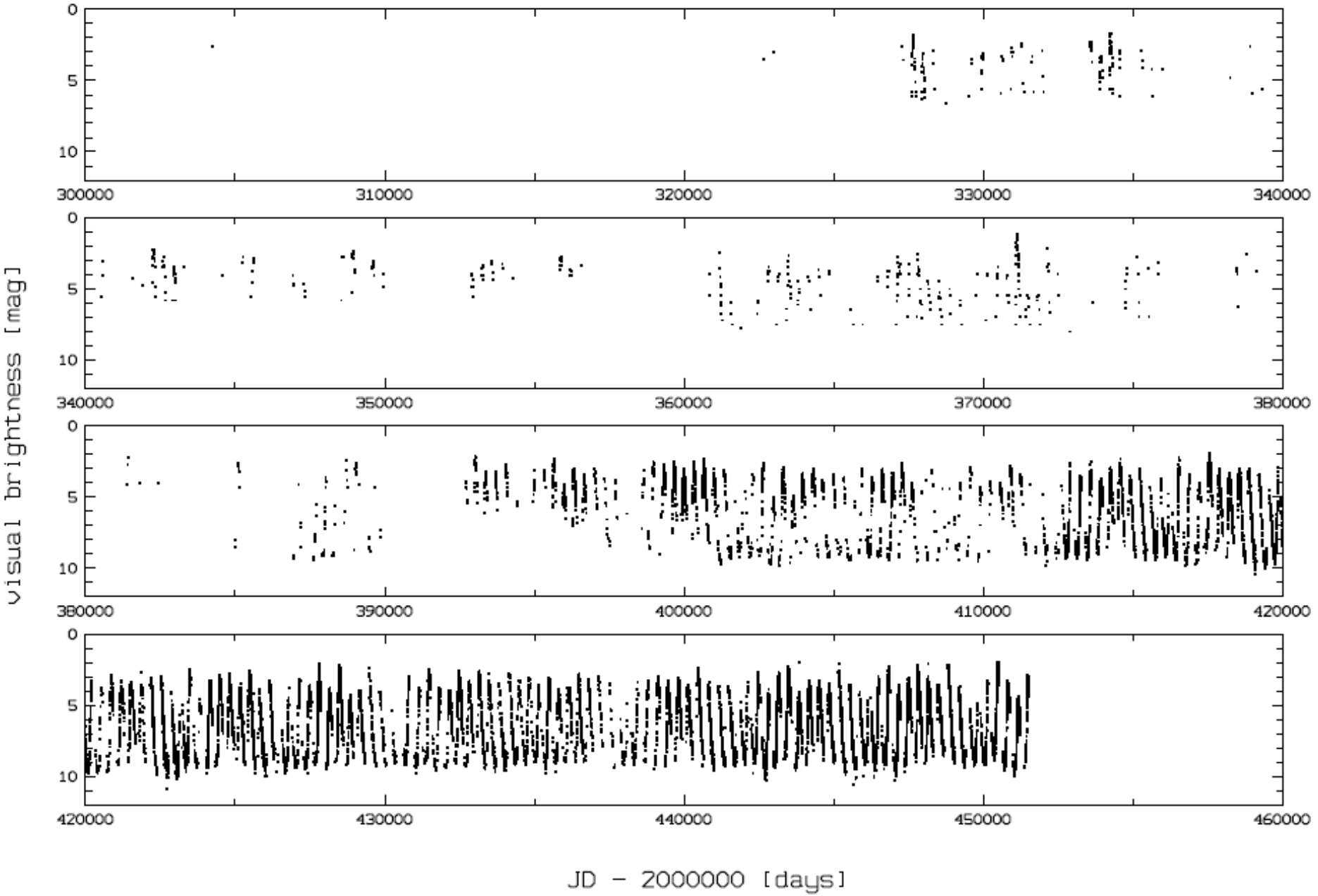
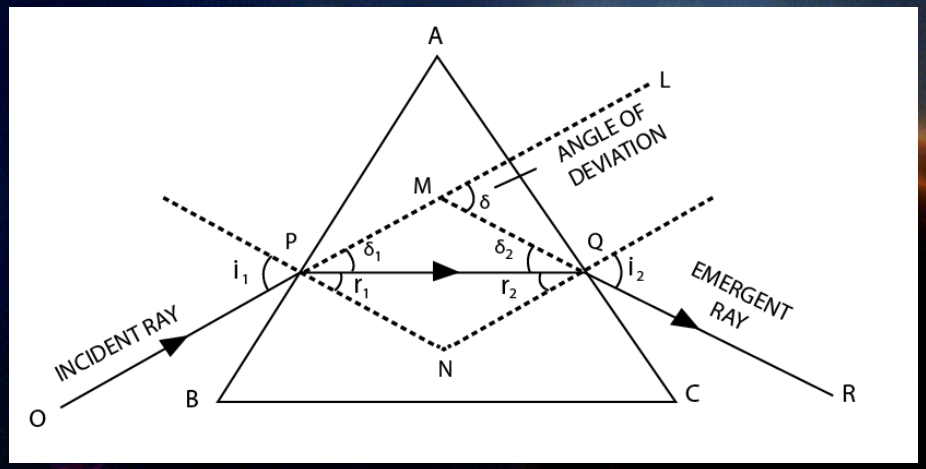
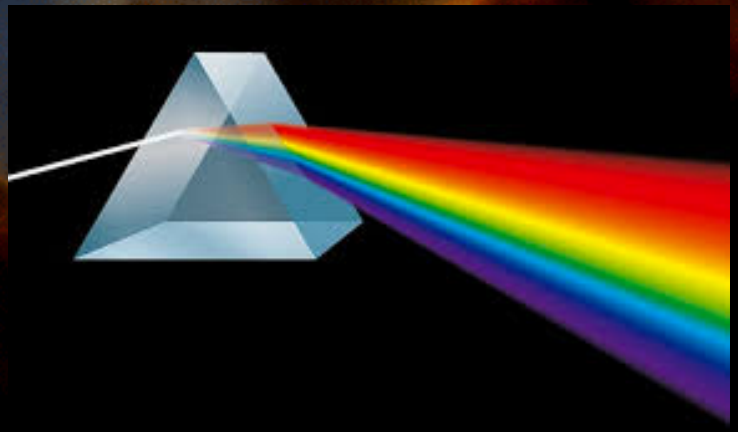


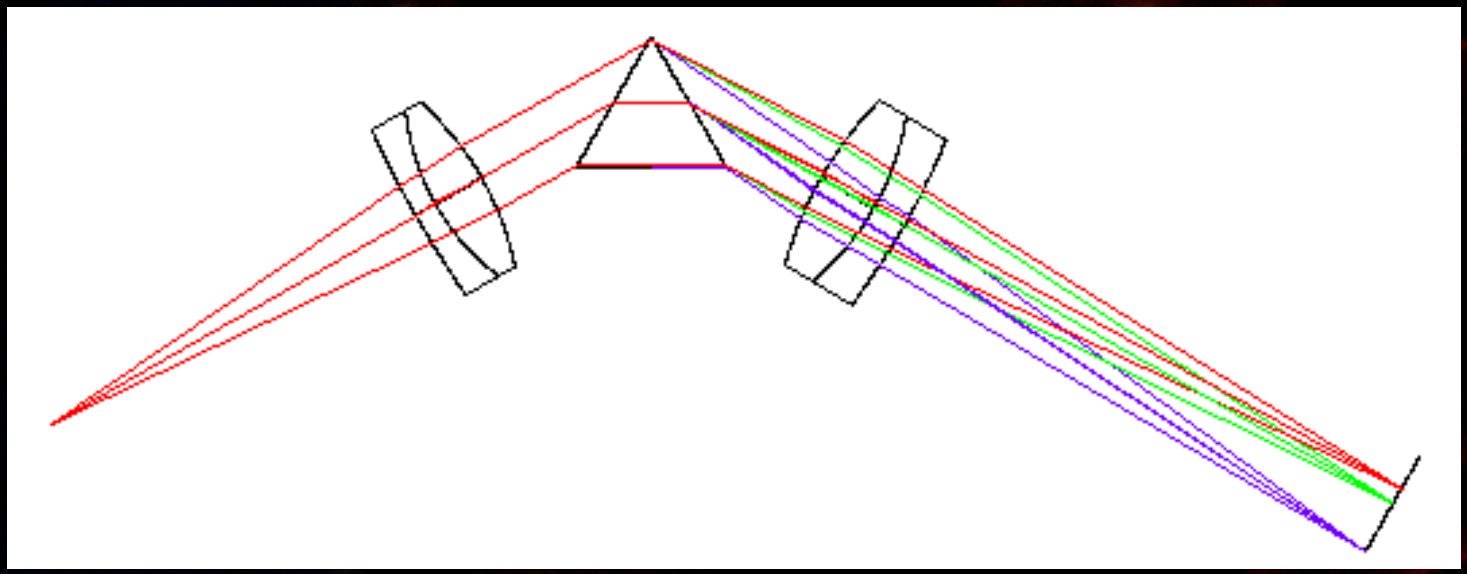
Figure 1: The complete light curve of Mira between 1596 and 2000.

- 30/10/2024

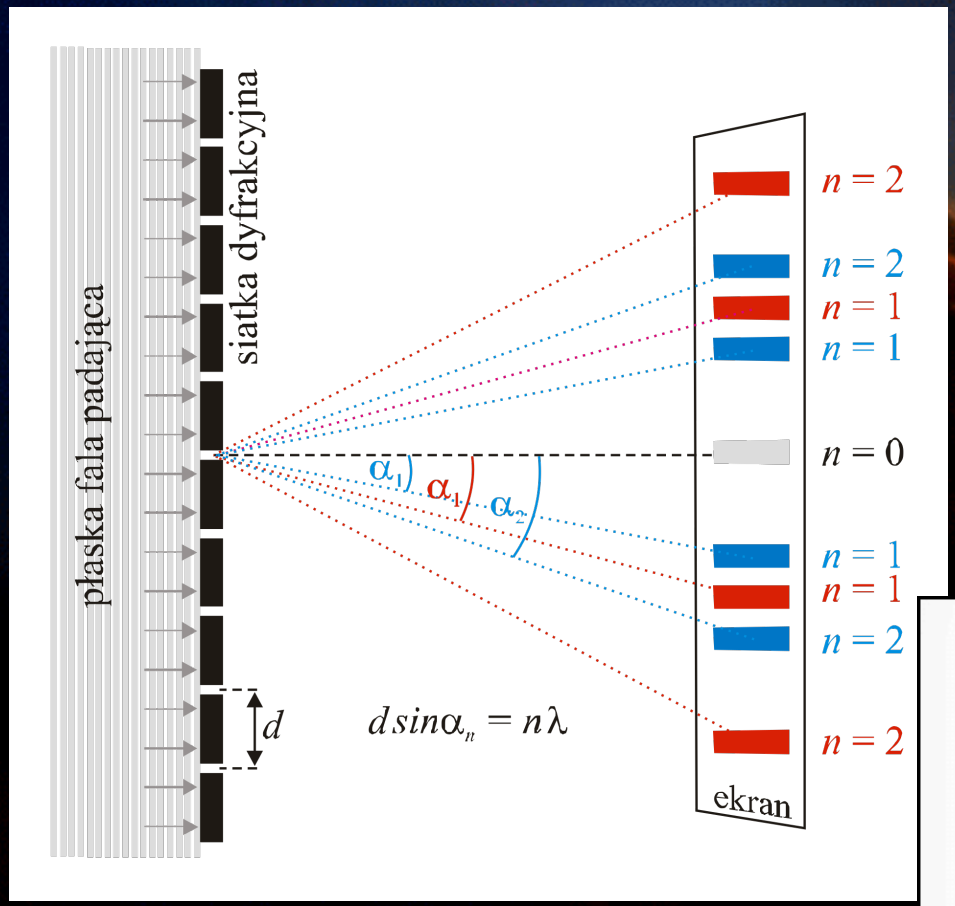
Spektrograf pryzmatyczny

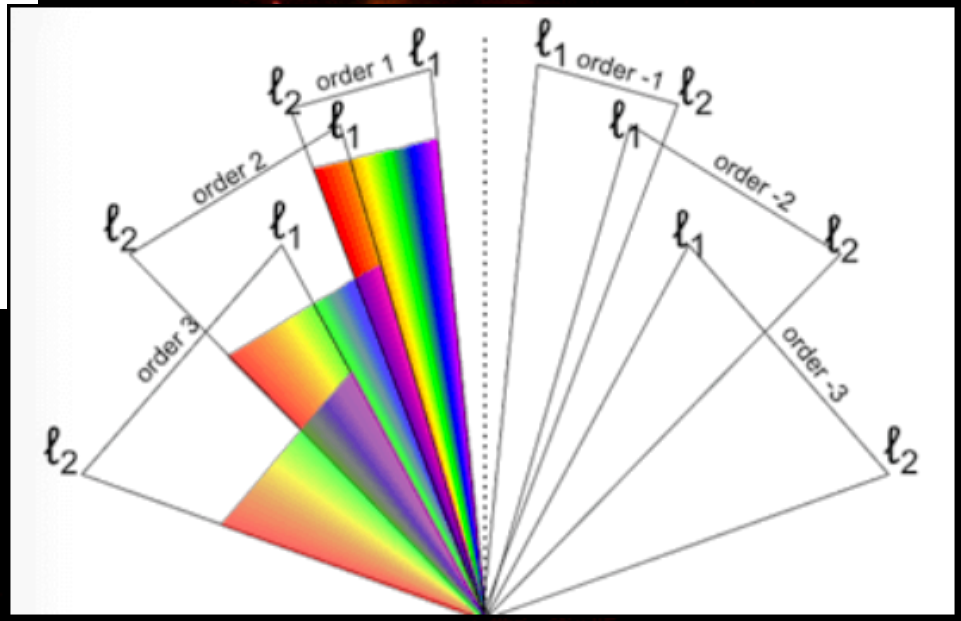




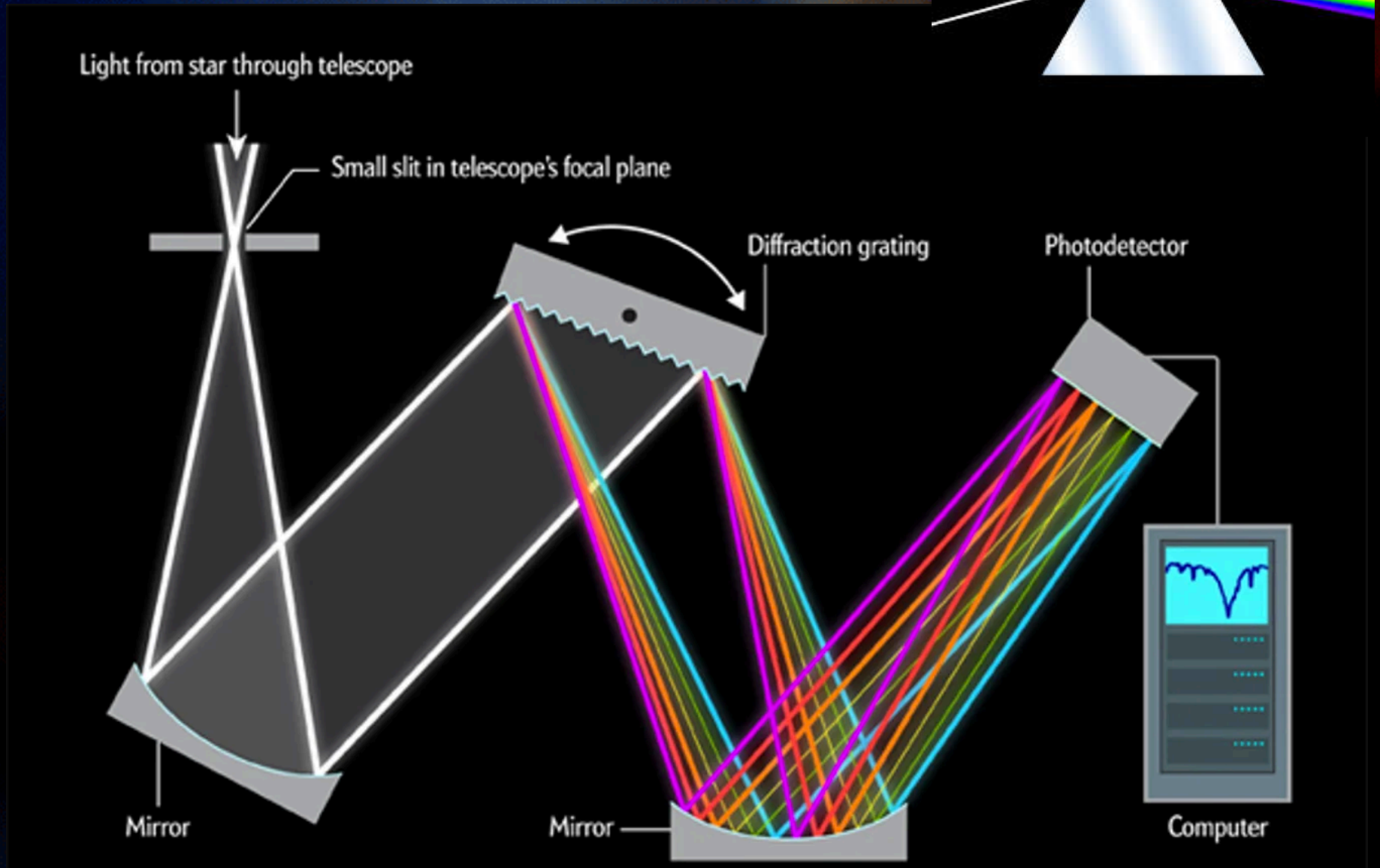


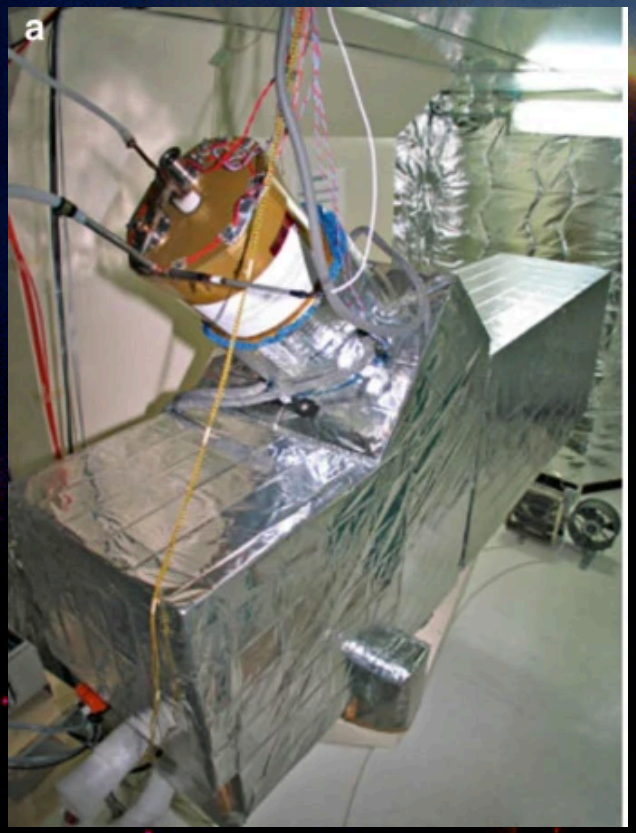
Spektrograf siatkowy





Spektrograf

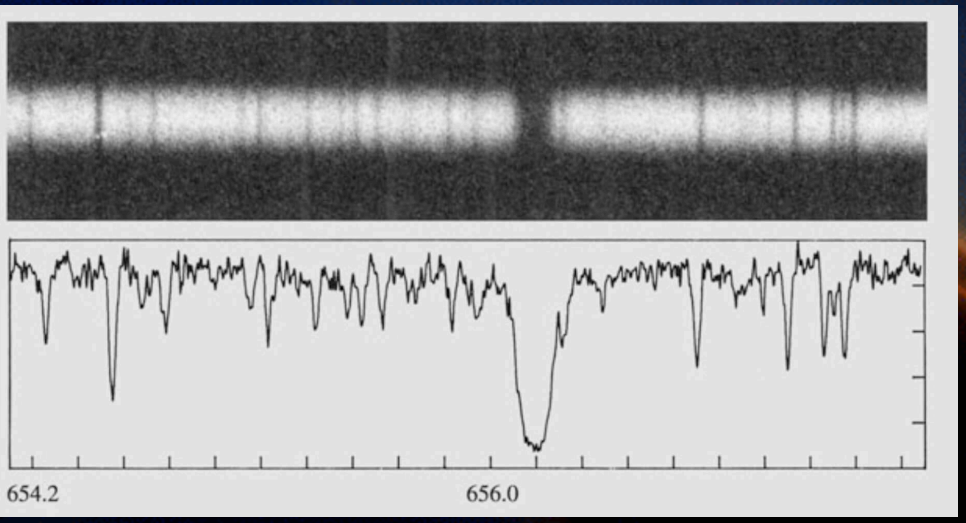


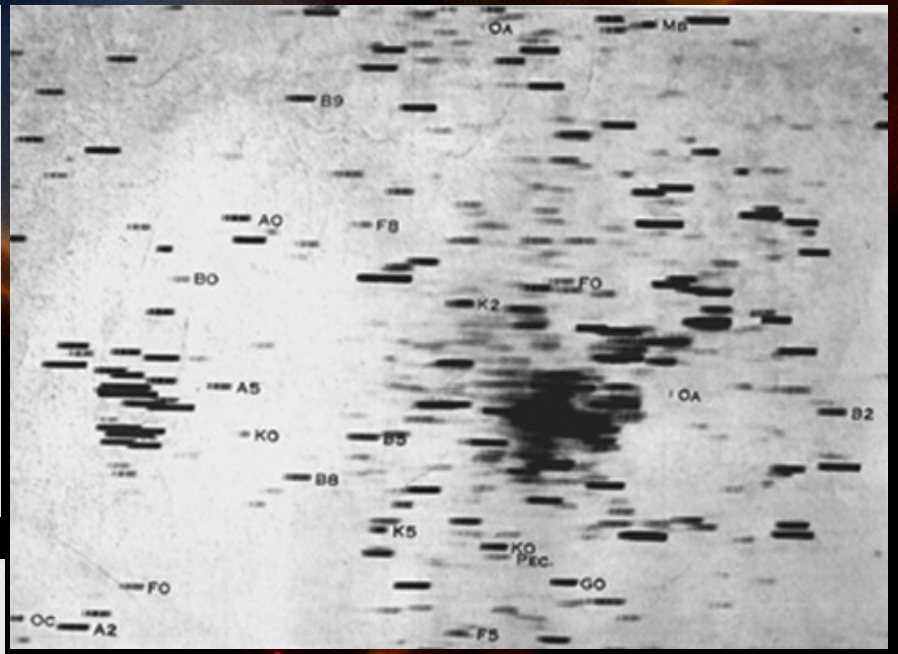


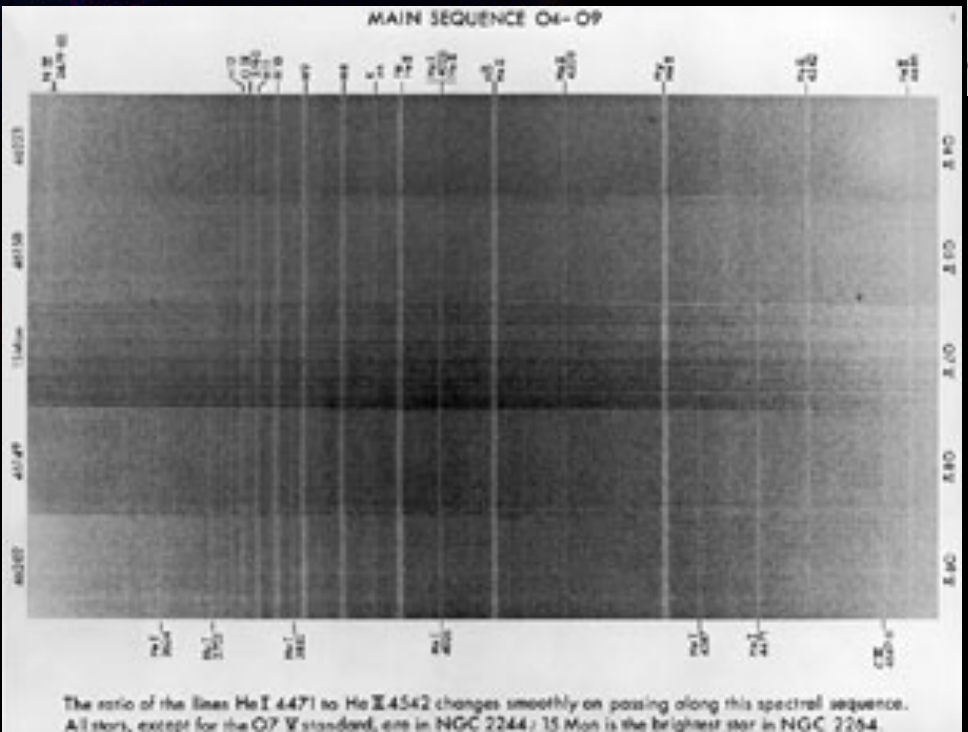
ELODIE

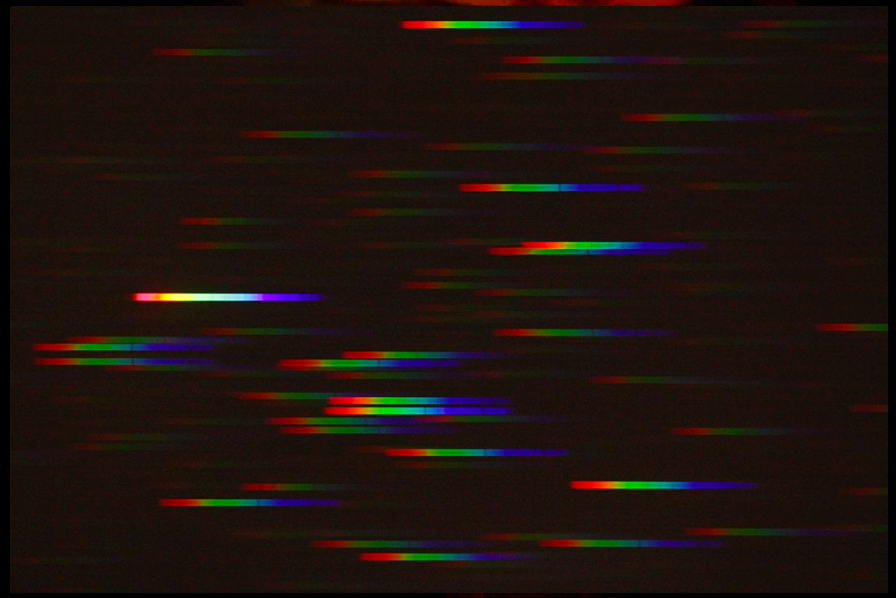
HARPS

Widmo liniowe, pryzmat obiektywowy

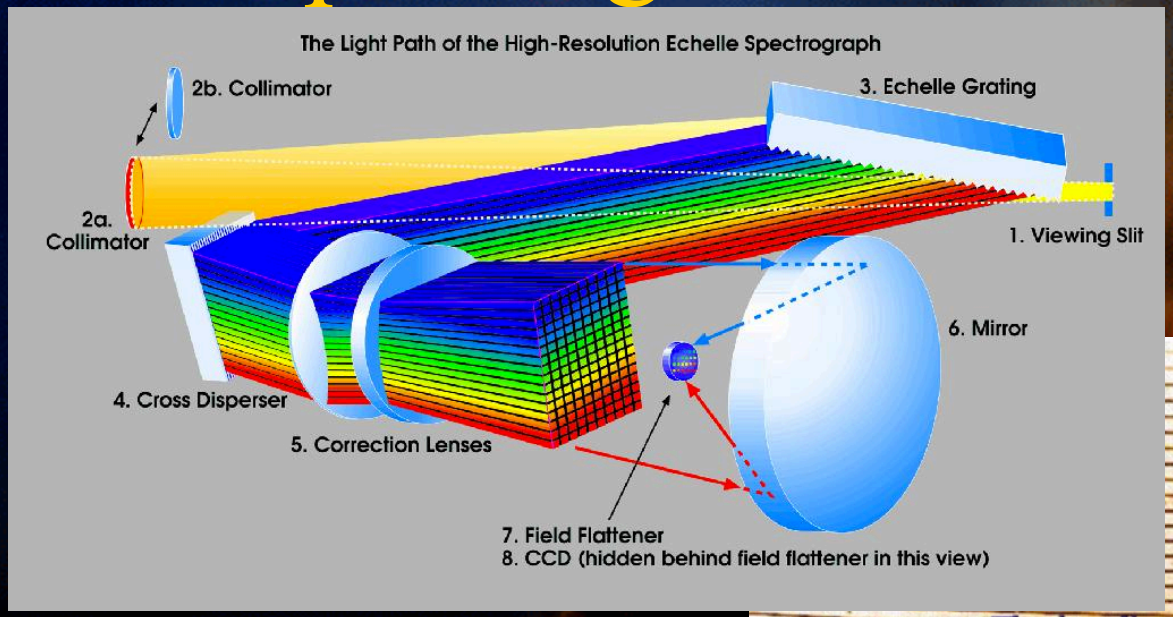


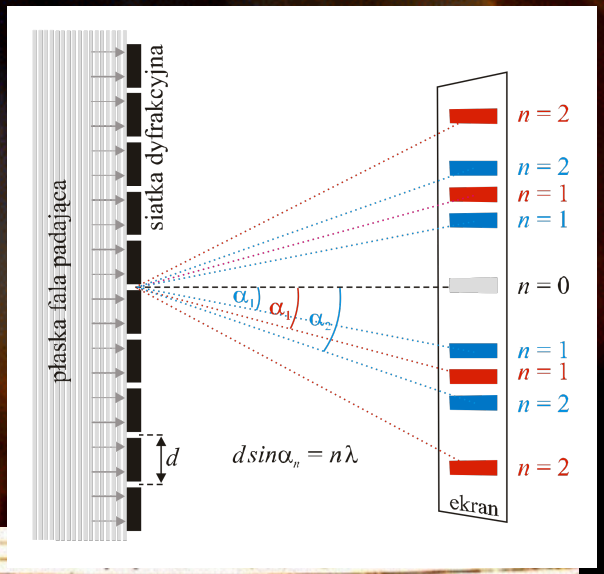


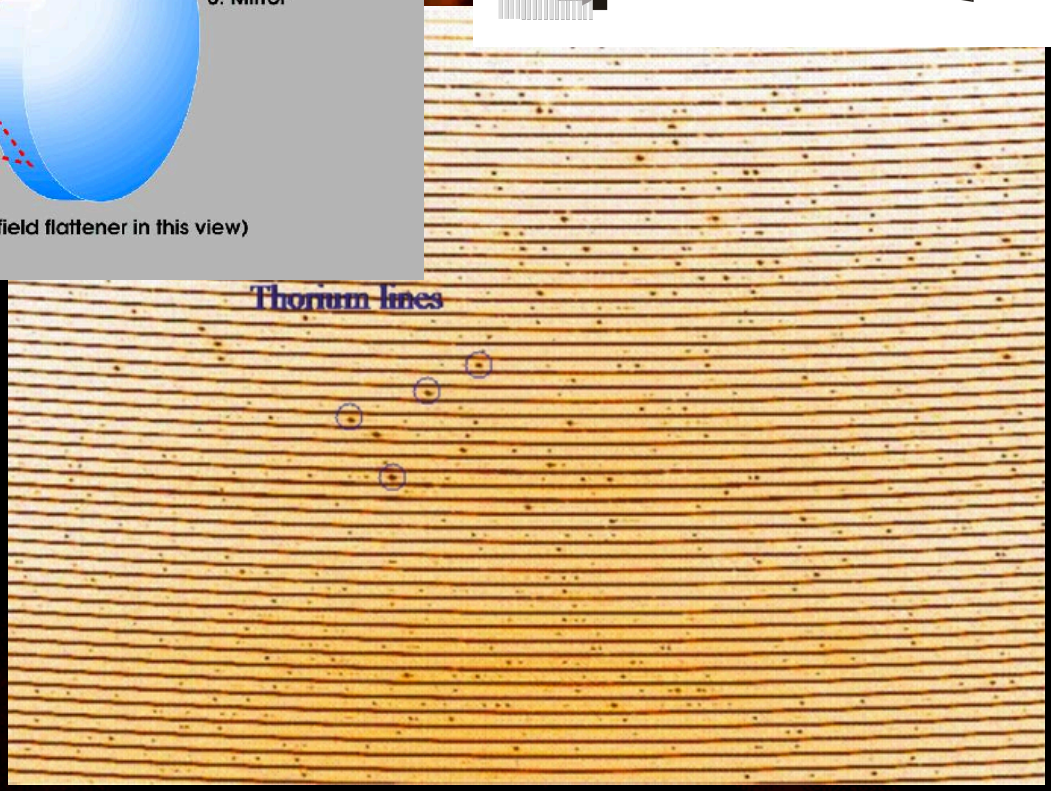




Spektrograf i widmo

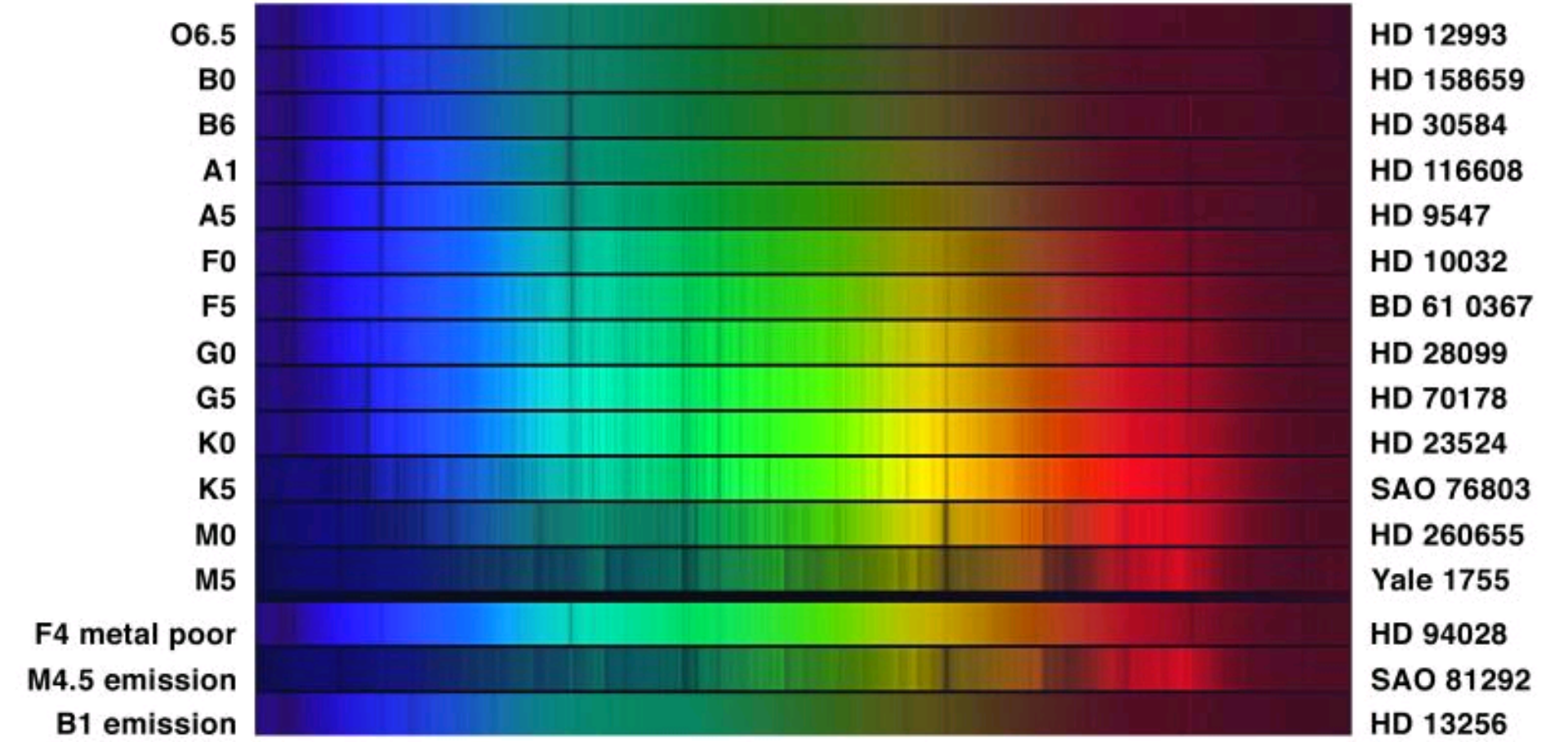






https://srmastro.uvacreate.virginia.edu/astr313/lectureindex.html
https://srmastro.uvacreate.virginia.edu/astr313/lectures/spectroscopy/spectrographs.html

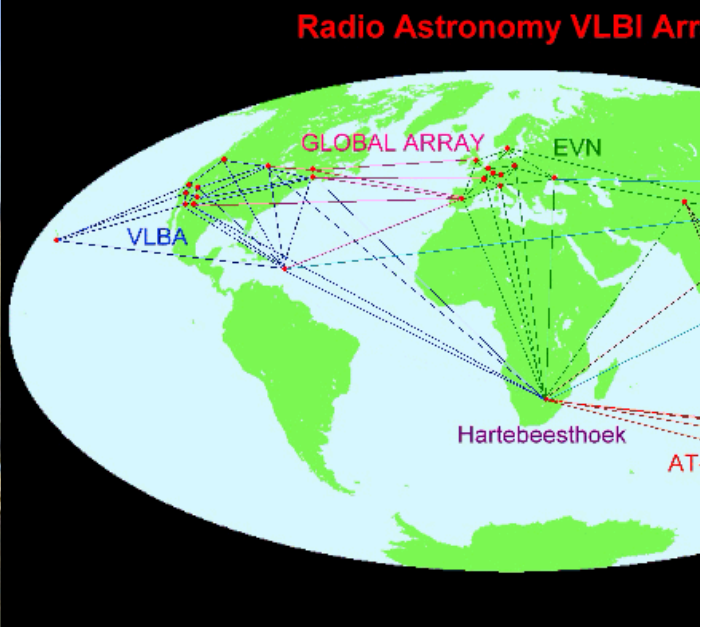
Obserwacje astronomiczne

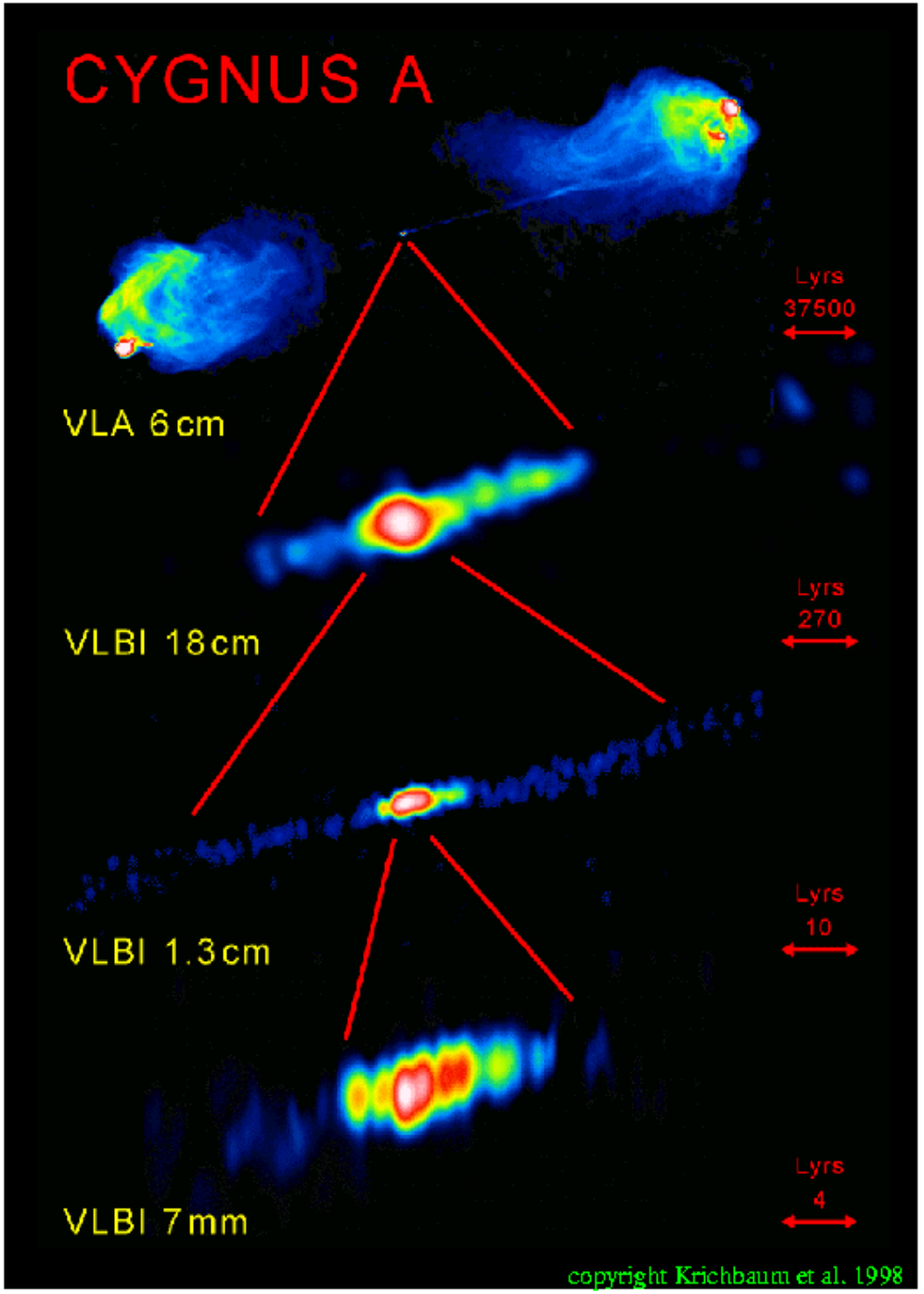


– klasyfikacja widmowa Morgana-Keenana (np.: G2V)

Obserwacje

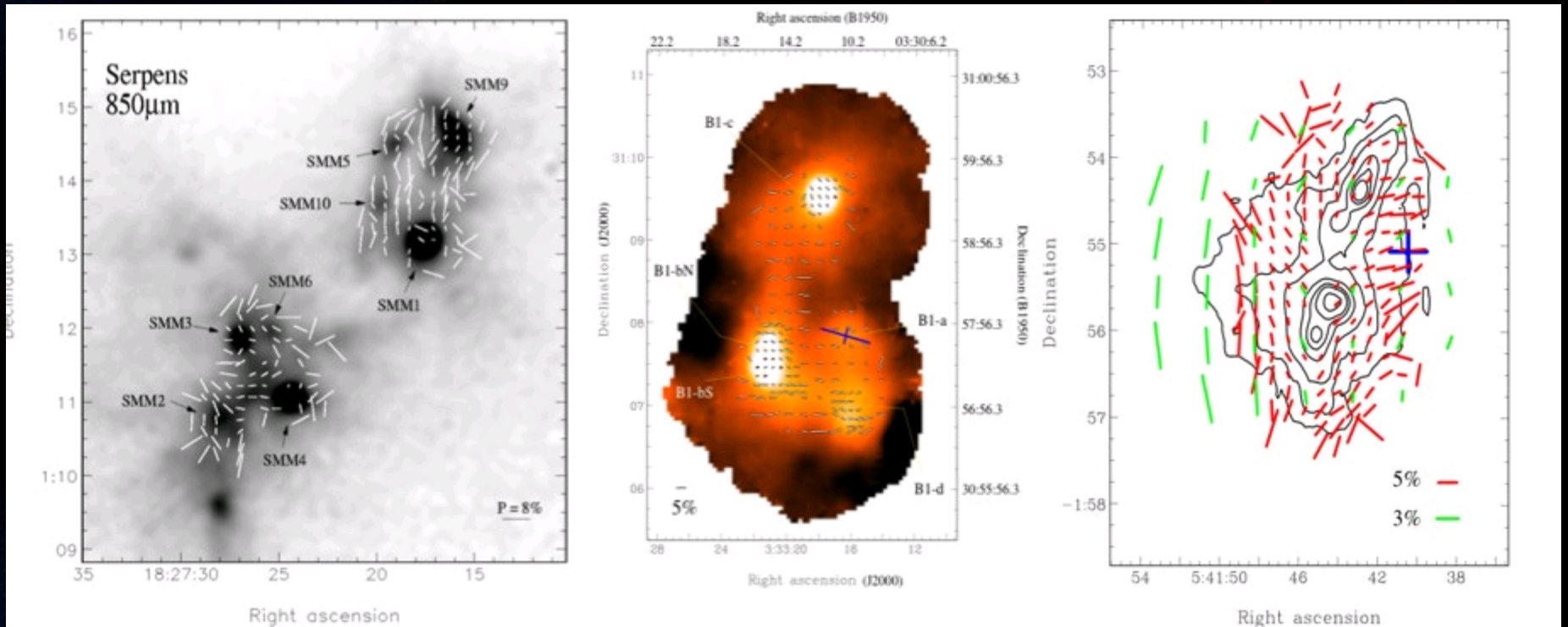
- Interferometria
  - duża rozdzielczość
  - szczegóły budowy
  - tarcze gwiazd, plan





Obserwacje astronomiczne

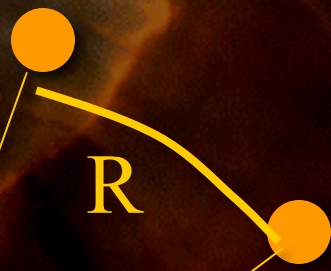
- Polarymetria
  - pola magnetyczne w ośrodku międzygwiazdowym



Problemy astrometrii

- Refrakcja –
  - ugięcie światła
- Paralaksa –
  - różnice związane z miejscem obserwacji
- Aberracja –
  - odchylenie związane z ruchem obserwatora

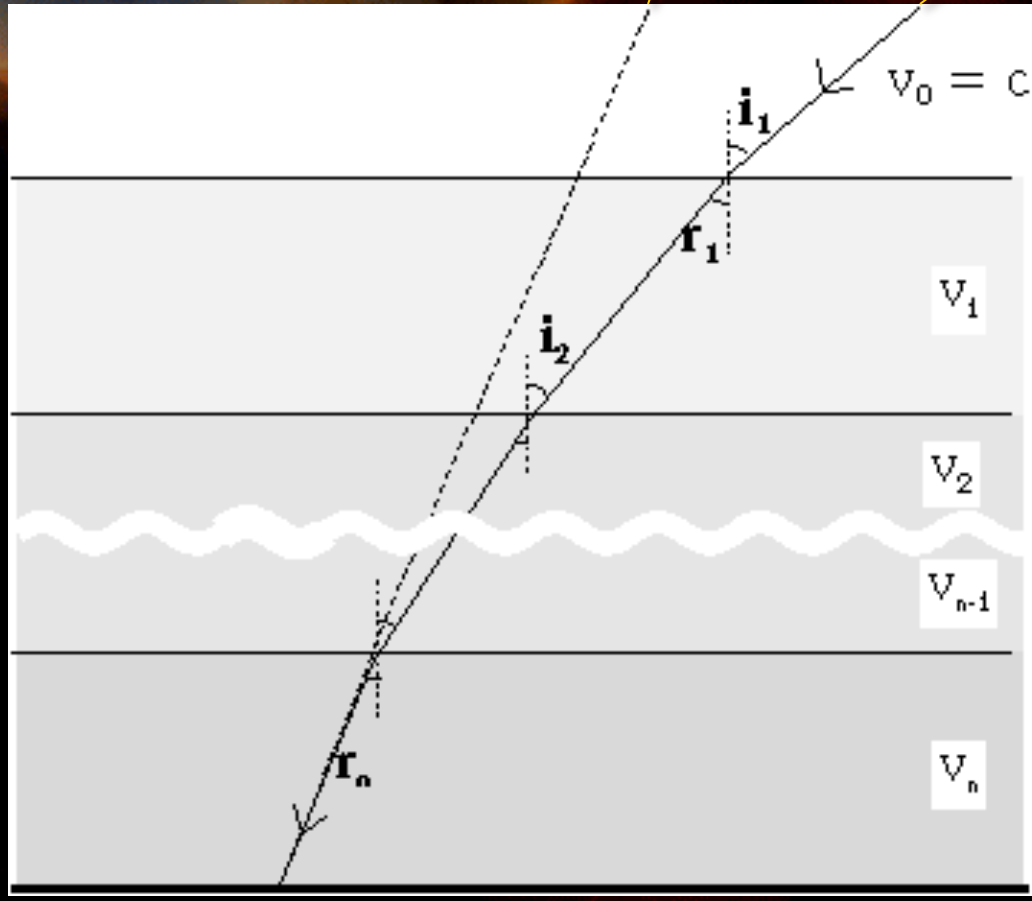
Refrakcja



prawo Snella (Sneliusa)

$n_0 \sin(i_1) = n_1 \sin(r_1)$

$n_i / n_0 = v_0 / v_i$

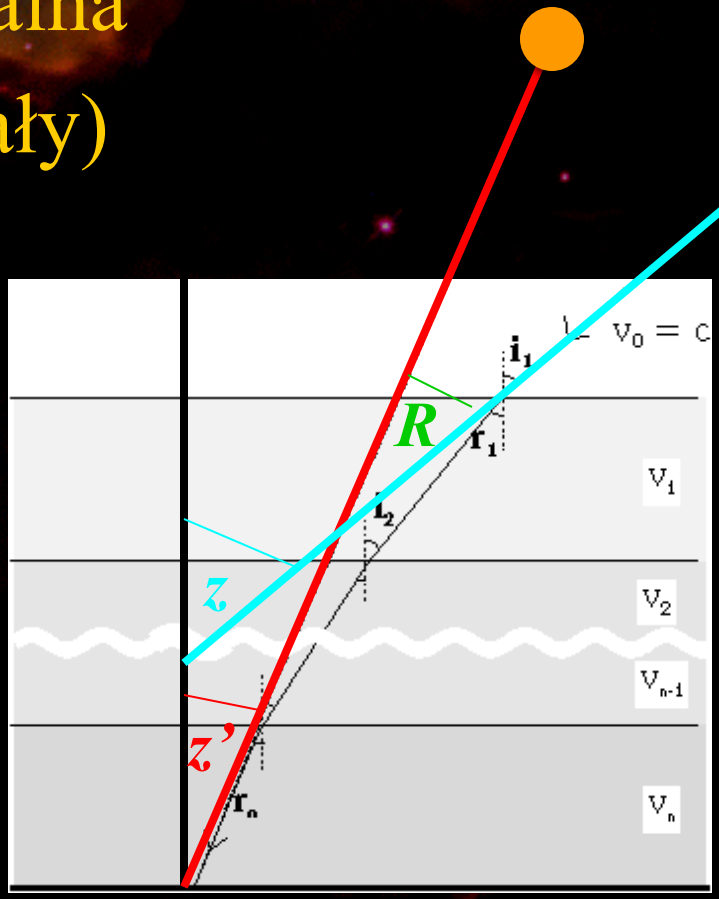


$R = k\,\mathrm{tg}(z')$

Refrakcja

- z – prawdziwa odległość zenitalna
- z' – pozorna odległość zenitalna
- $R = z - z'$ – kąt refrakcji (mały)

- $\sin(R) = R,\ cos(R) = 1$
- $\sin(z) = \sin(z') + R\cos(z')$.
  / $\sin(z')$
- $\sin(z) / \sin(z') = 1 + R / \mathrm{tg}(z')$
- $v_0/v_n = 1 + R / \mathrm{tg}(z')$
- $R = k\,\mathrm{tg}(z')$
- $k = v_0/v_n - 1 = 59.6''$



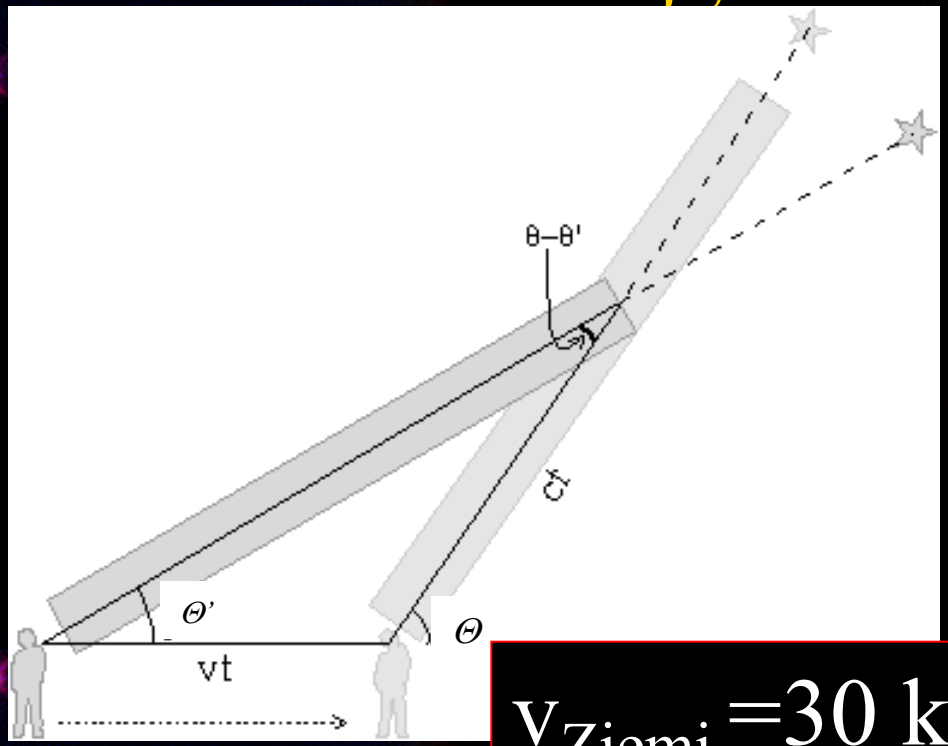
Refrakcja

- Refrakcja
  horyzoncie
  - $z = 90$
  - $\mathrm{tg}(z) = \infty$
- "green flas

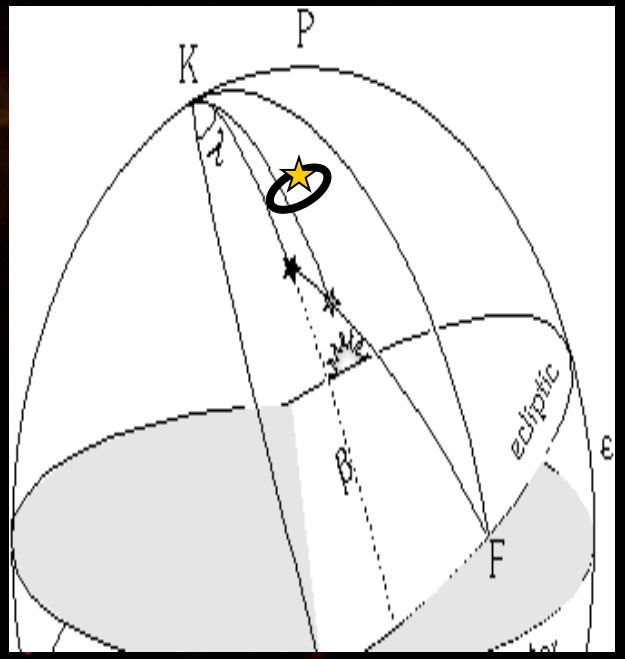
Bill Arnet

Aberracja światła

- $\sin(\Theta - \Theta') / \sin(\Theta) = vt/ct$
- $\Theta - \Theta' = \sin(\Theta)\, v/c = k \sin(\Theta)$
- k – stała aberracji, k = 20.5 "



$v_{Ziemi} = 30$ km/s



Kosmografia

BIBLIJOTEKA MATEMATYCZNO-FIZYCZNA,
WYDAWANA POD KIERUNKIEM
M. A. BARANIECKIEGO i A. CZAJEWICZA
Z ZAPOMOGI KASY POMOCY DLA OSÓB, PRACUJĄCYCH
NA POLU NAUKOWYM, IMIENIA JÓZEFA MIANOWSKIEGO.
SERYJA III. TOM IX.

KOSMOGRAFIJA.

NAPISAŁ

JAN JĘDRZEJEWICZ,
LEKARZ WOLNOPRAKTYKUJĄCY, WŁAŚCICIEL OBSERWATORYJUM ASTRONOMICZNEGO
W PŁOŃSKU.

ZE WSTĘPEM HISTORYCZNYM

H. MERCZYNGA.

Nr inw. 565.
Nr 83.

WARSZAWA.
W DRUKARNI NOSKOWSKIEGO.
1886.

KSIĘGARNIA SPÓŁKI WYDAWNICZEJ POLSKIEJ W KRAKOWIE

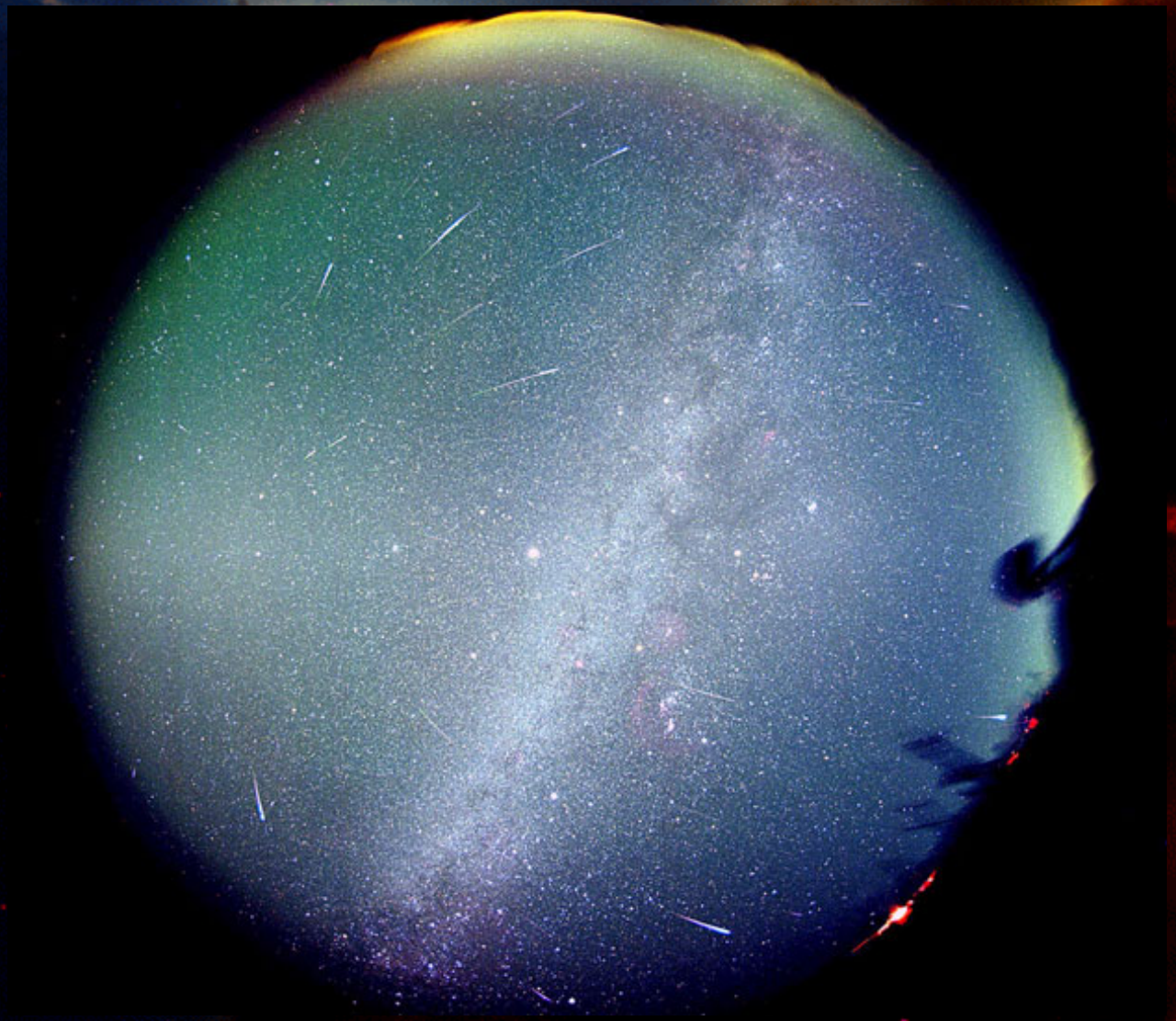
PRZEDMOWA.

Badanie otaczającego nas wszechświata (kosmos, universum) stanowi wogóle przedmiot wszystkich nauk przyrodniczych. Obszerność przedmiotu wytworzyła całą grupę nauk oddzielnych, a jednak schodzących się z sobą w punktach spólnych badań. Pozostawiając studyjowanie przedmiotów i zjawisk najbliżéj nas otaczających na ziemi naukom specyjalnym: fizyce, chemii, meteorologii i t. d., a zastanawiając się nad światami odległymi i ich związkiem z ziemią jako całością, natrafiamy na trzy ważne pytania. Piérwsze z nich dotyczy stanu świata dziś istniejącego, drugie jego przeszłości, trzecie ogólnego jego znaczenia. Piérwszym z tych pytań zajmuje się «kosmografija», drugie jest zadaniem «kosmogonii», trzecie należy do «kosmologii».

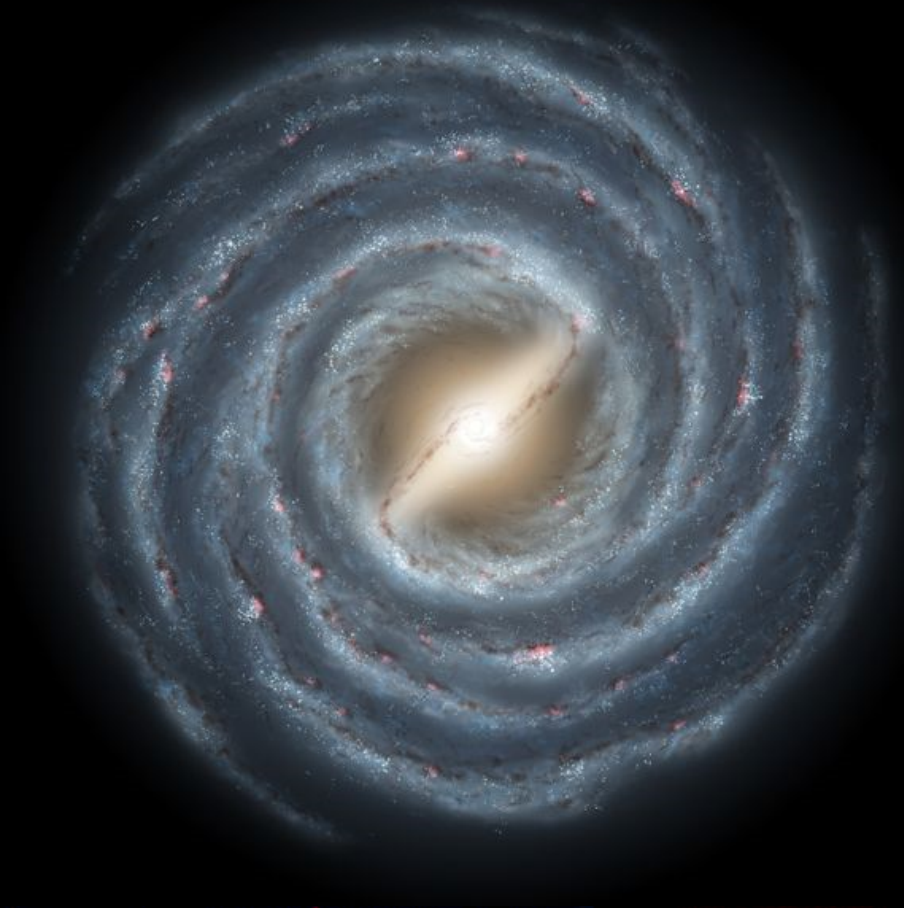
Kosmografija, jako nauka opisowa, winna przedewszystkim uwzględnić niedokładność zmysłów naszych w ocenianiu tego, co około siebie spostrzegamy. Oko ludzkie nie jest w stanie objąć złożonych ruchów ziemi i innych odległych swiatów, i tu właśnie niedokładność wzroku ujawnia się najwięcéj. Dopiéro rozumowanie, oparte na spostrzeżeniach, jest w możności przedstawić układ świata prawdziwy i oddzielić złudzenie od rzeczywistości, tak co do rozmiarów jak i co do ruchów, światowi właściwych. To zadanie kosmografii, w znacznéj części gieometryczne, do ostatnich czasów przedstawiało się jako główne. Rozwój w bieżącym wieku fizyki kosmicznéj rozszérzył dziś program kosmografii, dodając do niego rezultaty badań stanu fizycznego ciał niebieskich.

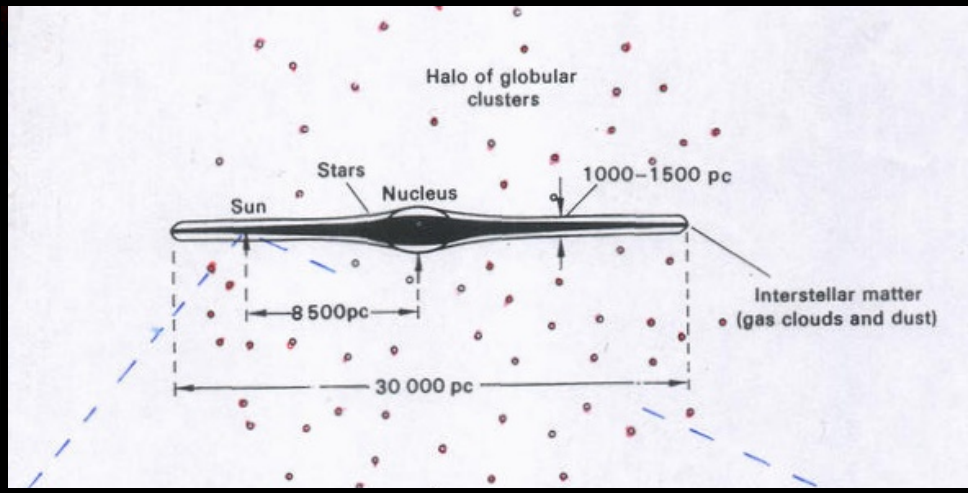
Ze zbiorów Biblioteki Głównej AGH http://www.bg.agh.edu.pl/
Ze zbiorów Biblioteki Głównej AGH http://www.bg.agh.edu.pl/

Droga Mleczna - Galaktyka



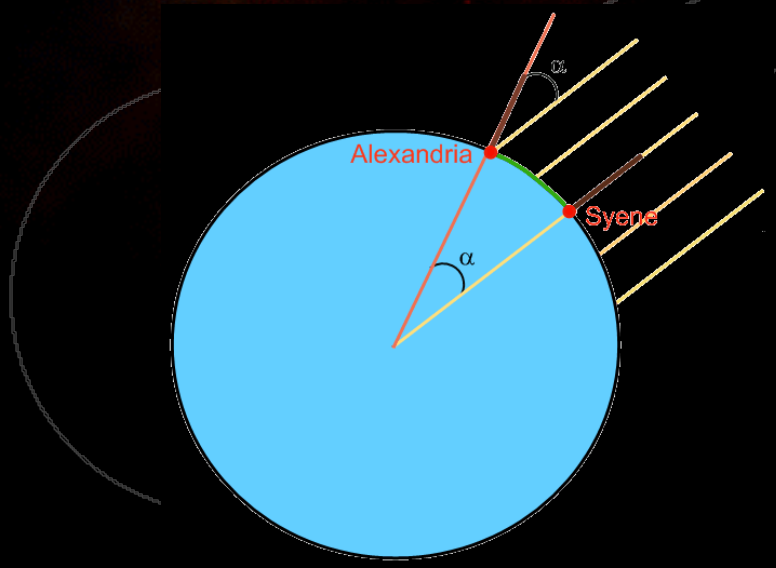
Droga Mleczna - Galaktyka





Promień Ziemi

- Eratostenes (276 BC)
  - W dniu przesilenia letniego w Syene (Asuan) Słońce nie rzuca cienia (do głębokiej studni) – jest w zenicie.
  - W Aleksandrii góruje wtedy 7.2 stopnia od zenitu
  - 7.2º = 1/50 kąta pełnego = 1/50 obwodu Ziemi (5000 stadionów po 559 stóp) → promień Ziemi 4212 mil



Triangulacja

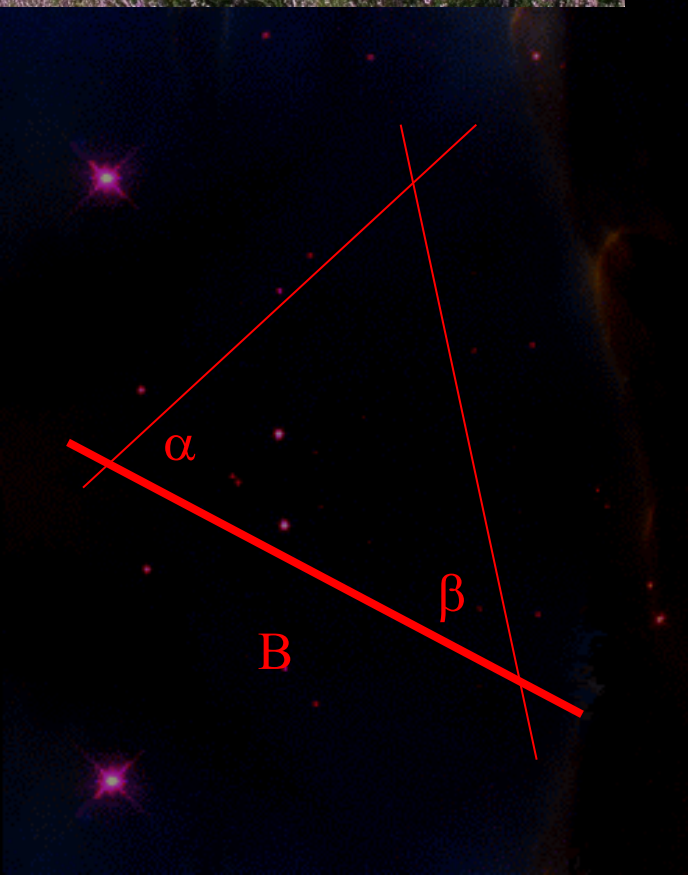
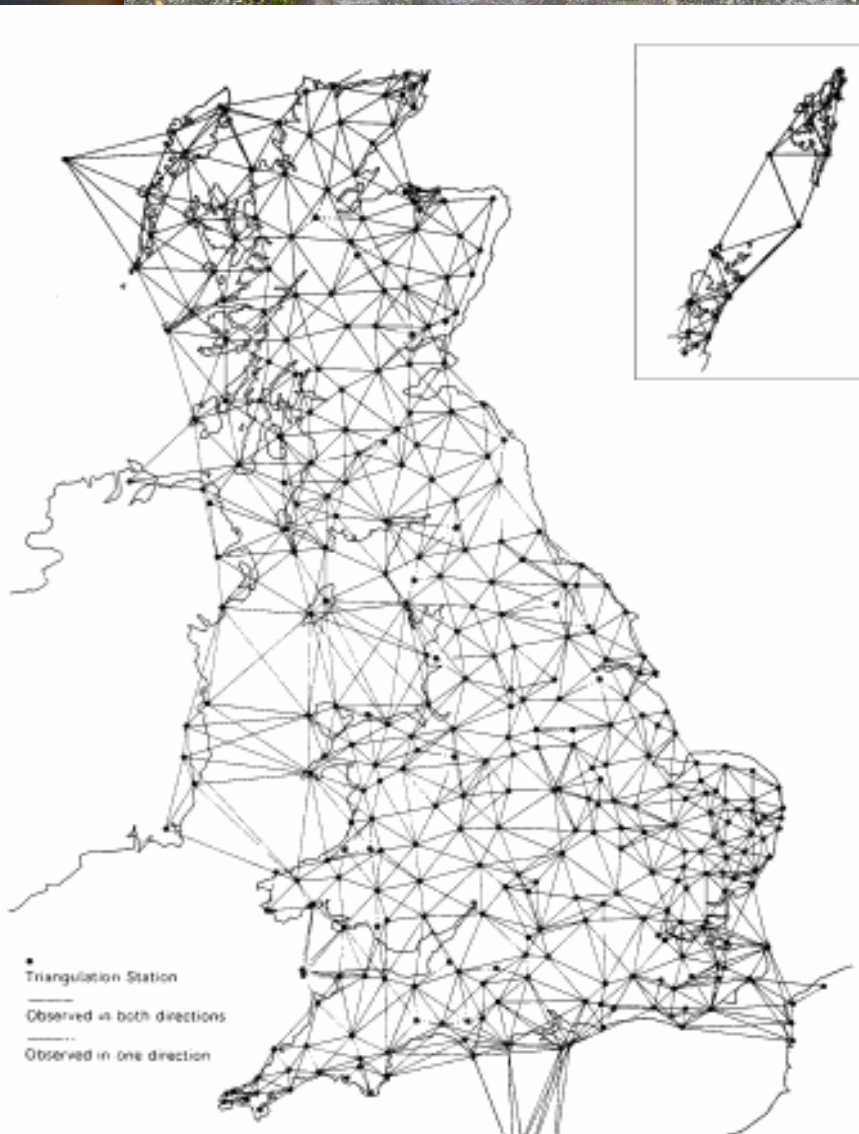


Fig. 4. Die rhe



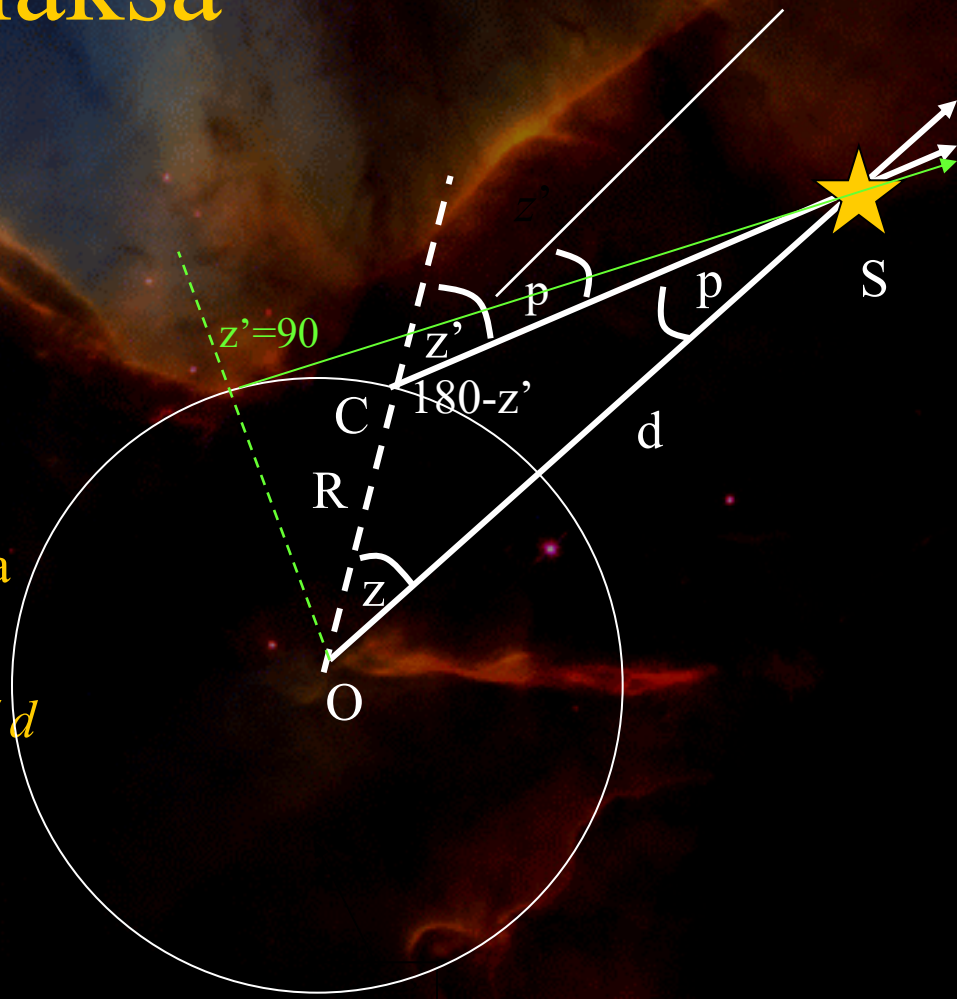
Paralaksa

- Geocentryczna (dzienna)
  - **kąt paralaksy: *p = z'-z*.**
    - *R* – promień Ziemi
    - *d* – odległość geocentryczna
    - w trójkącie OCS

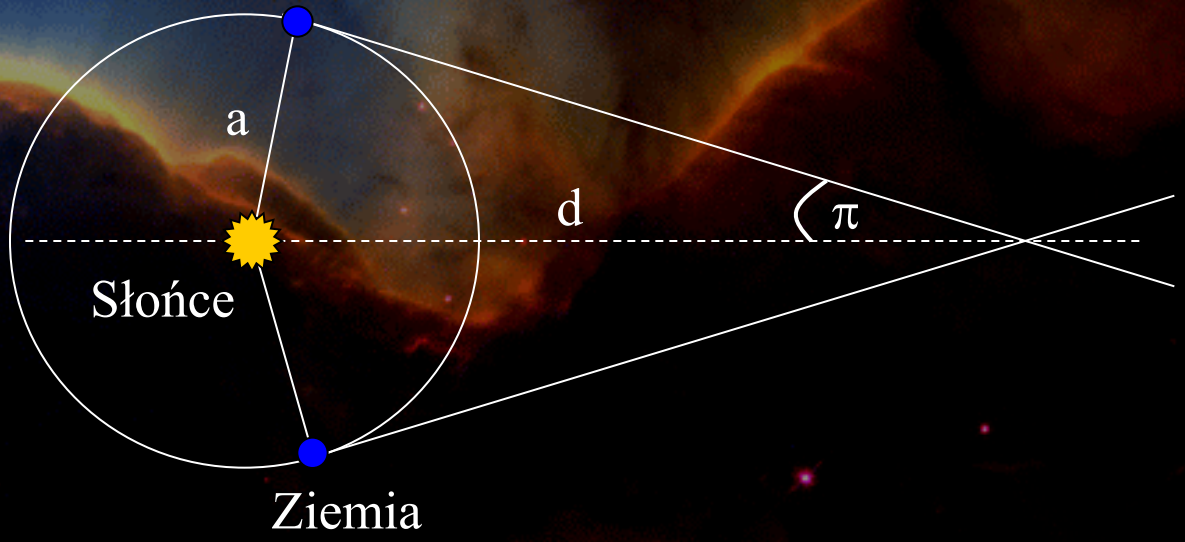
sin(p) / R= sin(180°-z') / d = sin(z') / d

sin(p) = R/d sin(z')

  - paralaksa horyzontalna:
    - *P = 90°-z*, gdzie
    - ***sin(P) = R/d***.



Paralaksa



- Heliocentryczna (roczna)
  - **kąt paralaksy** π
  - *a* promień orbity Ziemi
  - *d* odległość do gwiazdy

  $\sin(\pi) = \pi = a / d \rightarrow d = a / \pi$

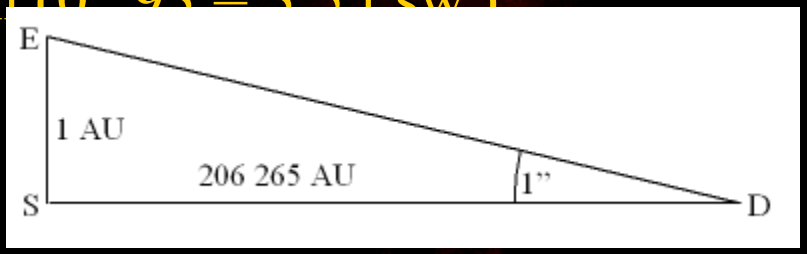
  jeśli $\pi = 1''$ *(=1 / 206265* rad*) oraz a = 1 j.a.*

  $\rightarrow$ *d = 205265 j. a. = 1 pc*

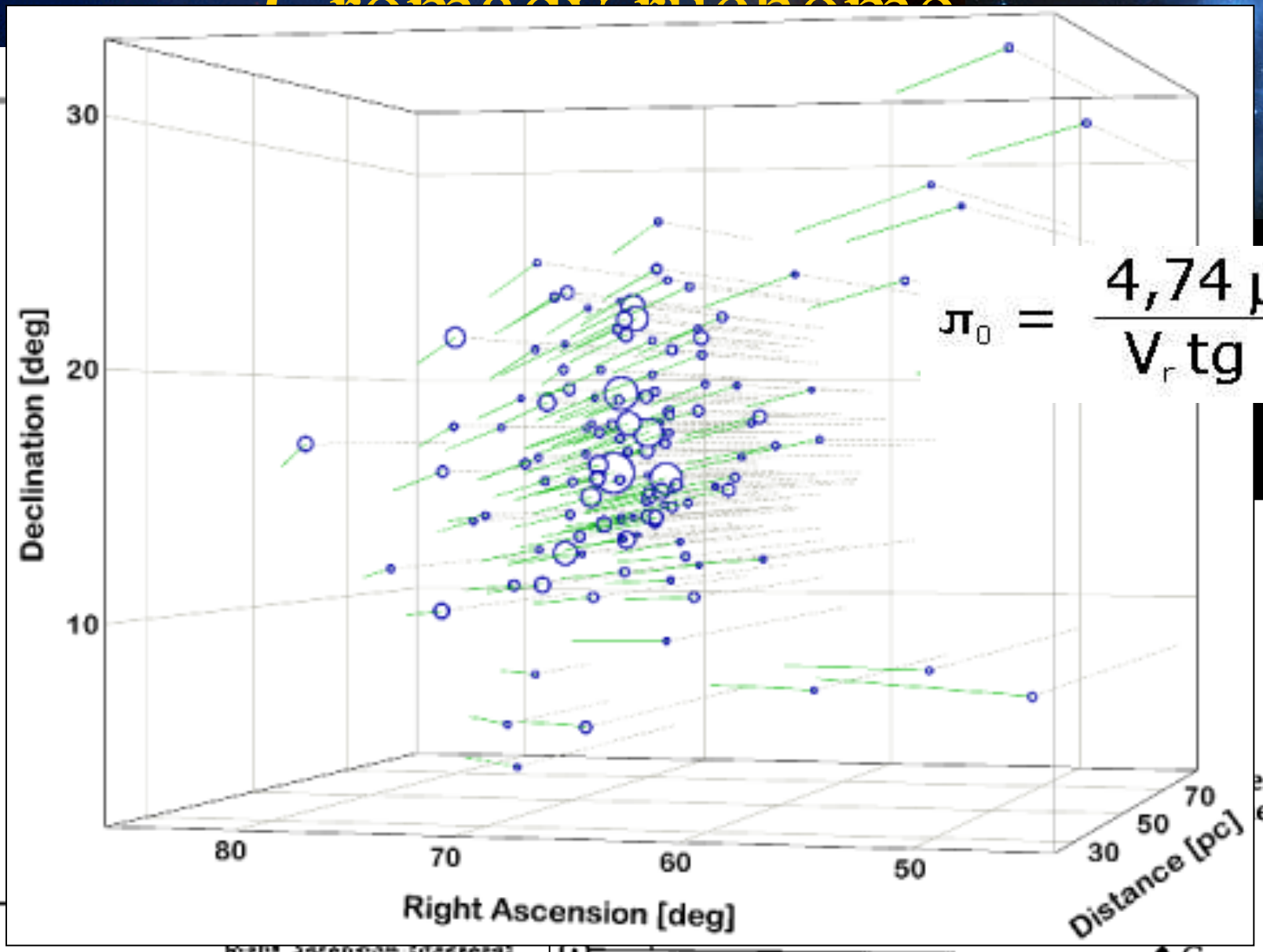
d = 1/ π (π w sekundach łuku (”), *d* w parsekach [pc])

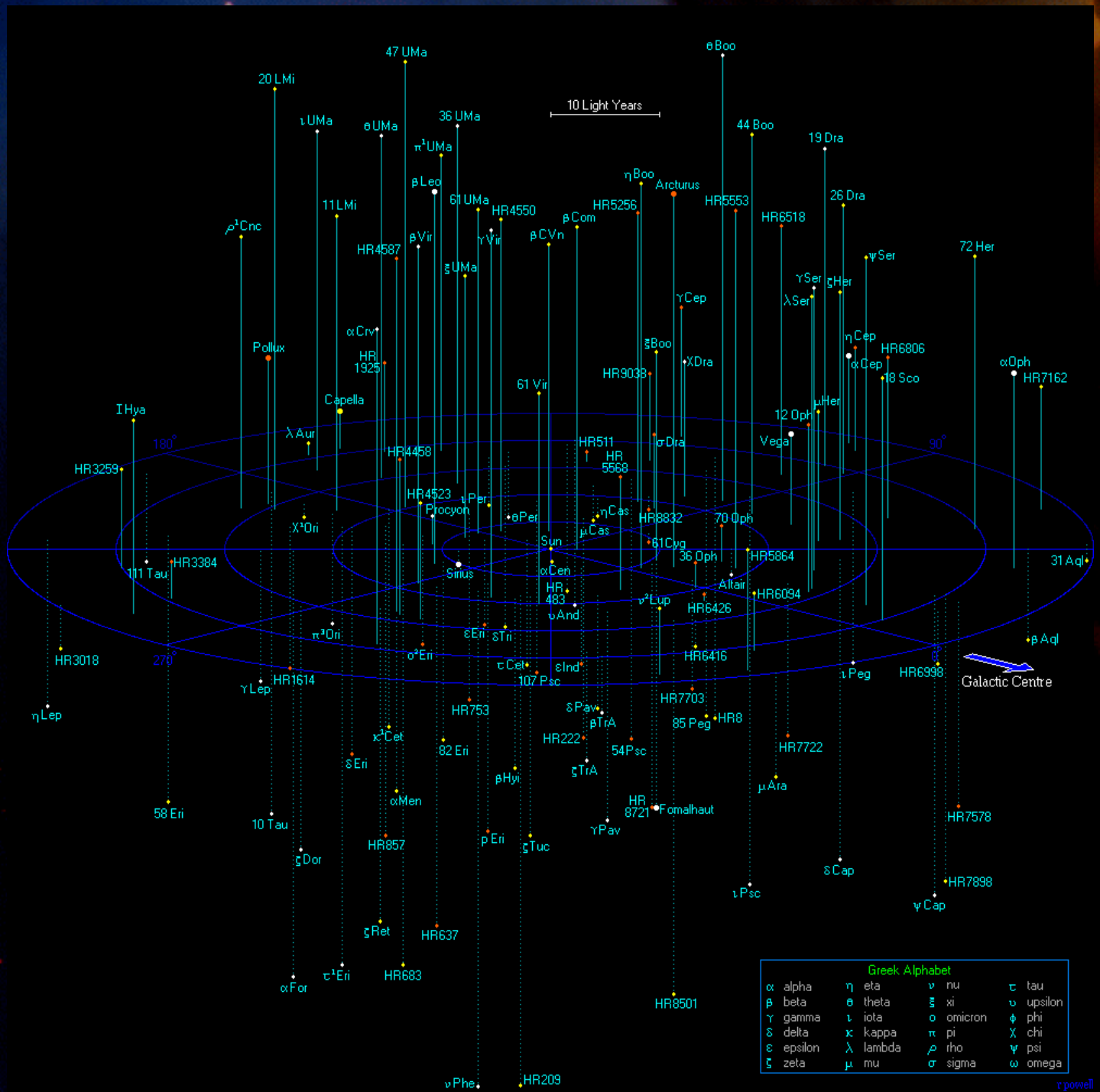
Odległości do gwiazd

- Paralaksy gwiazd
  - próbował Tycho Brahe – nie ma!
  - Robert Hook, Londyn, 1669
    - γ Dra ~30” (rzeczywista – 0”,022)
      - zaobserwował aberrację (->Bradley, 1728)
  - 1837-39
    - Wilhelm Struve; Wega (0”.125 = 25 l.św.)
    - Friedrich Bassel; 61 Cyg (0”.31 = 10 l.św.)
    - Thomas Henderson, α Cen (0” 93 = 3,5 r.św.)
- 1 parsek = 206264.8 j.a.



Скорость движения





Greek Alphabet							
α	alpha	η	eta	ν	nu	τ	tau
β	beta	θ	theta	ξ	xi	υ	upsilon
γ	gamma	ι	iota	ο	omicron	φ	phi
δ	delta	κ	kappa	π	pi	χ	chi
ε	epsilon	λ	lambda	ρ	rho	ψ	psi
ζ	zeta	μ	mu	σ	sigma	ω	omega

cpowell

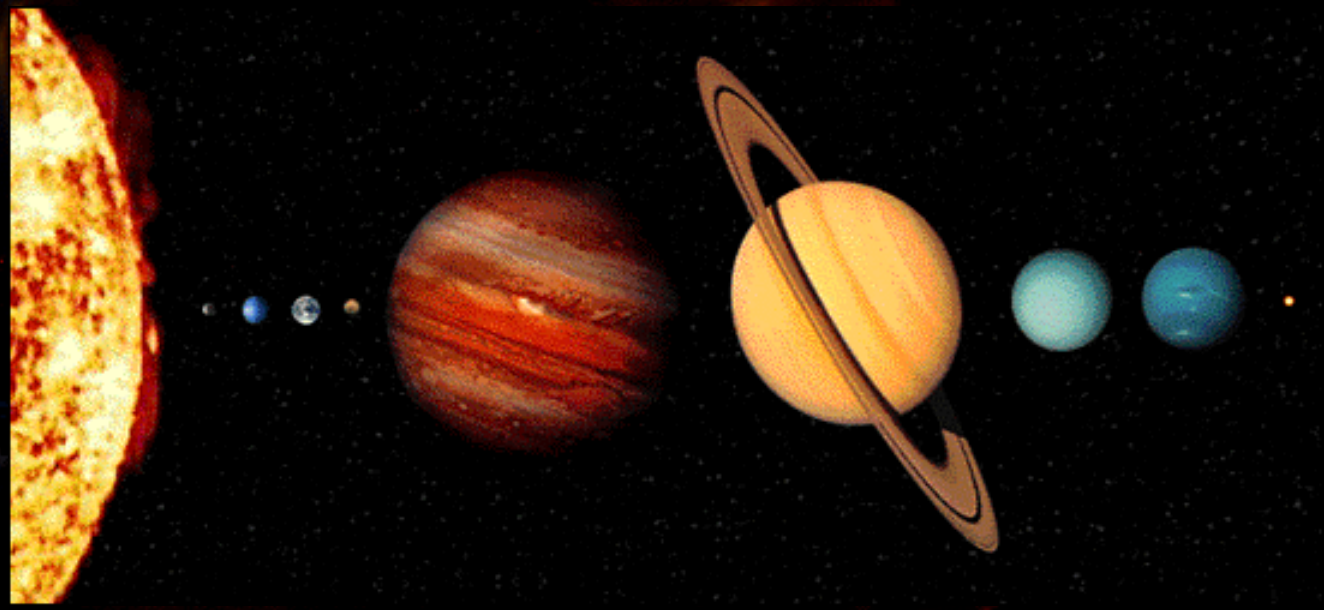
Odległości we Wszechświecie

	w km	w jednostkach świetlnych	w parsekach
Średnica Ziemi	$12{,}8 \cdot 10^3$	0,04 s	$4 \cdot 10^{-10}$
Odległość Ziemia - Księżyc	$384{,}4 \cdot 10^3$	1,3 s	
Średnica Słońca	$1{,}392 \cdot 10^6$	4,5 s	
Odległość Ziemia - Słońce	$149{,}6 \cdot 10^6$	8 m 19 s	
Odległość do najdalszej planety (Pluton)	$5{,}912 \cdot 10^9$	5 h 29 m	$1{,}9 \cdot 10^{-4}$
Odległość do najbliższej gwiazdy (Proxima Centauri)	$4{,}05 \cdot 10^{13}$	4,28 lat	1,31
Odległość do centrum Galaktyki	$2{,}5 \cdot 10^{17}$	26 000 lat	8 000 = 8 kpc
Średnica Galaktyki	$9{,}5 \cdot 10^{17}$	100 000 lat	30 000 = 30 kpc
Odległość do LMC (Wielki Obłok Magellana)	$1{,}5 \cdot 10^{18}$	160 000 lat	50 000 = 50 kpc
Średnica Lokalnej Grupy Galaktyk	$9{,}5 \cdot 10^{19}$	10 mln lat	3 Mpc
Odległość do najbliższych kwazarów	$7{,}4 \cdot 10^{24}$	780 mln lat	0,2 Gpc

Skala odległości i rozmiarów [m]

Układ Słoneczny

- Słońce
- planety
  - Merkury
  - Wenus
  - Ziemia+Księżyc
  - Mars
  - Jowisz
  - Saturn
  - Uran
  - Neptun
  - Pluton
- inne

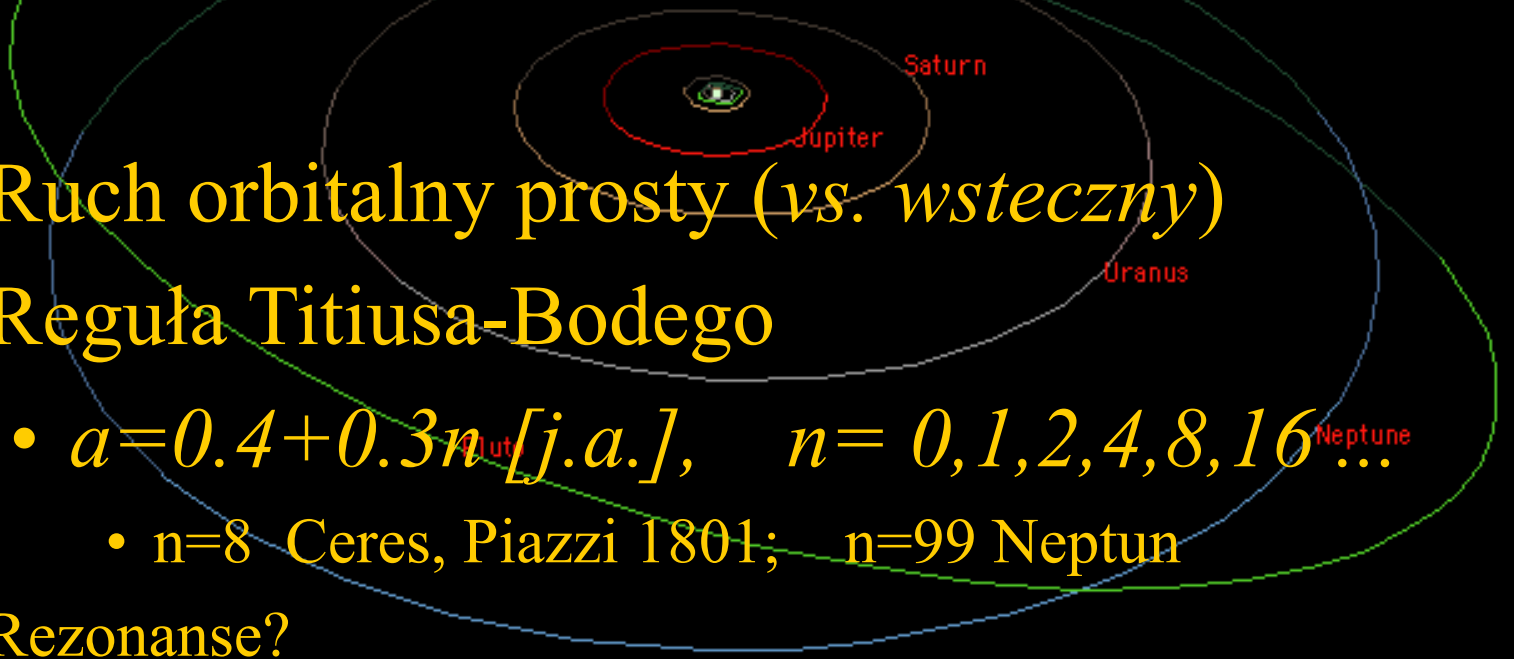


Układ Słoneczny

- inne obiekty
  - pas planetoid (Mars-Jowisz)
    - np. Ceres 768 km
  - asteroidy
  - komety
  - materia międzyplanetarna

Układ Słoneczny

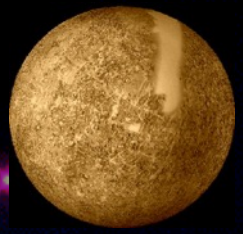
- Orbity
  - wszystkie w pobliżu płaszczyzny ekliptyki
    - nachylenie: Merkury 7°, Pluton 17° , Wenus 3.3^{o}
  - nieznaczna eliptyczność
    - Merkury 0.20, Pluton 0.25, Mars 0.09

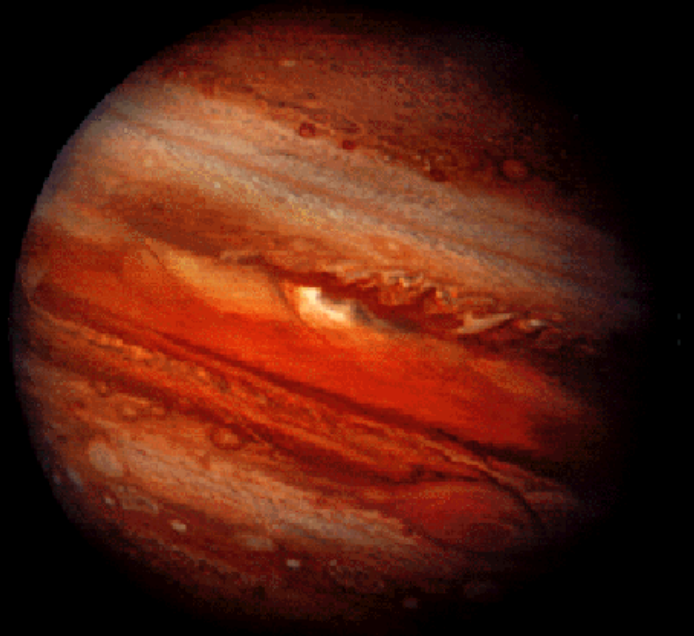


- Ruch orbitalny prosty (*vs. wsteczny*)
- Reguła Titiusa-Bodego
  - $a=0.4+0.3n$ *[j.a.],* $n= 0,1,2,4,8,16...$
    - n=8 Ceres, Piazzi 1801; n=99 Neptun
- Rezonanse?

Układ Słoneczny

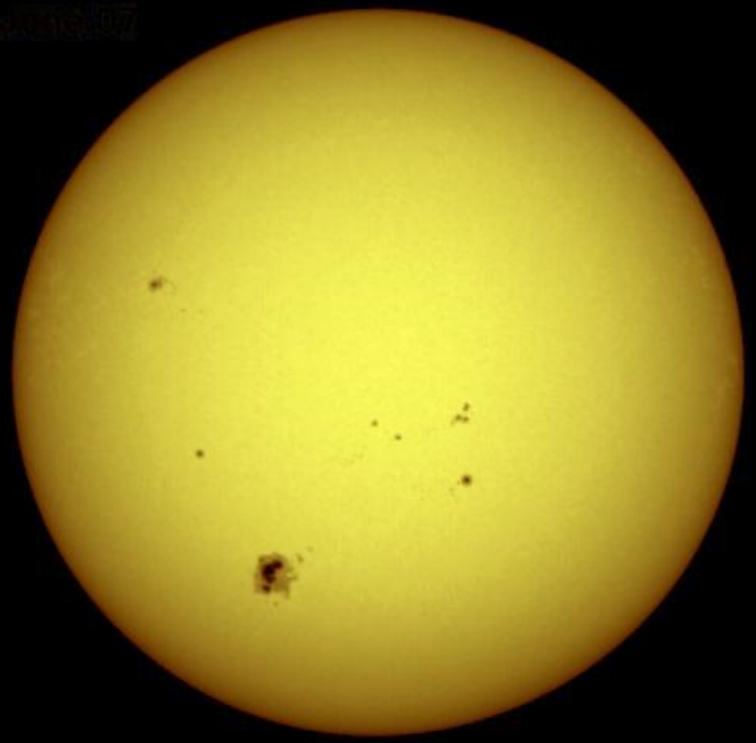
- planety
  - położenie względem Ziemi:
    - planety dolne (inferior)
    - górne (superior)
  - względem pasa planetoid
    - planety wewnętrzne (inner)
    - zewnętrzne (outer)
  - budowa
    - planety typu Ziemi
    - gazowe olbrzymy





Słońce

- średnica – $1{,}392 \times 10^6$ km
  - 109 średnic Ziemi
- masa –$1{,}9891 \times 10^{30}$ kg
  - 333 950 mas Ziemi
- gęstość – 1408 kg/m^3
- moc – $3{,}827 \times 10^{26}$ W
- temperatura
  - powierzchni 5800 K
  - jądra 15 mln K
- okres obrotu
  - równik 25,3 dnia
  - biegun 32 dni



Słońce

- Skład
  - **wodór** 73,46%
  - **hel** 24,85%
  - **tlen** 0,77%
  - **węgiel**0,29%
  - **żelazo**0,16%
  - **neon**0,12%
  - **azot**0,09%
  - **krzem**0,07%
  - **magnez**0,05%
  - **siarka**0,04%

- Reakcje jądrowe:

$p + p \rightarrow {}^{2}H + e+ + ve$ (1,44),

${}^{2}H + p \rightarrow {}^{3}He + \gamma$ (5,494),

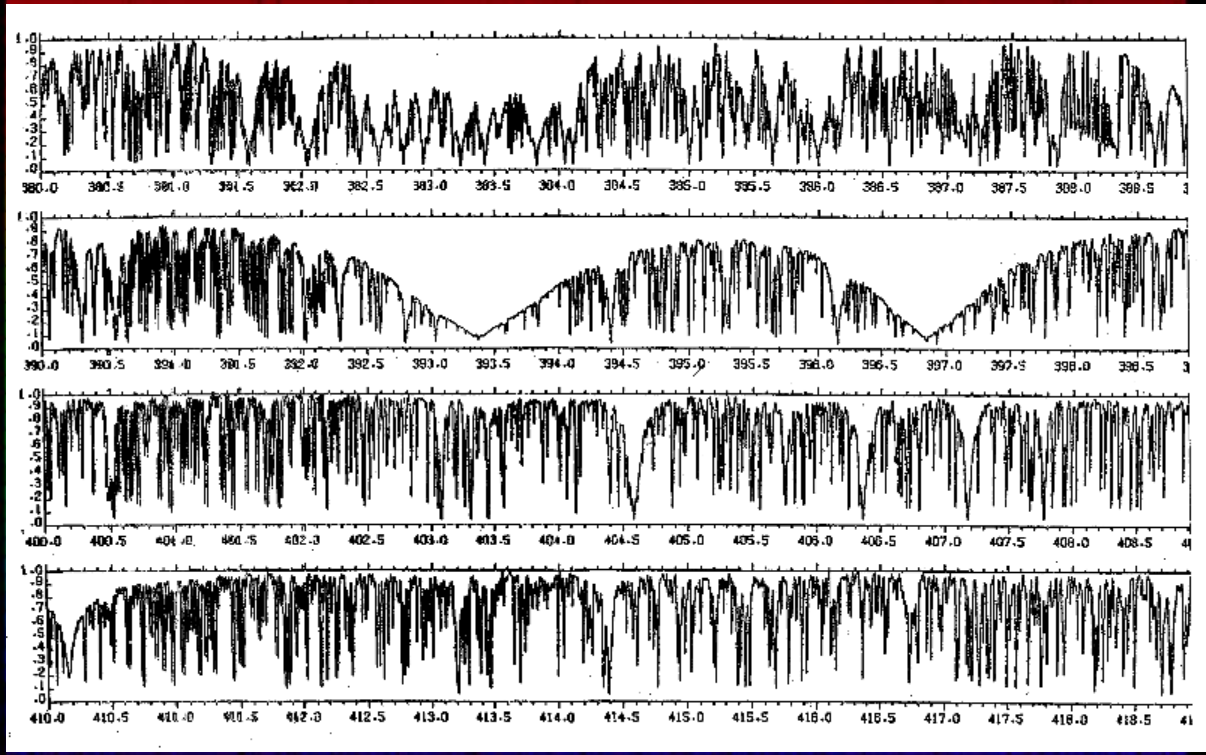
${}^{3}He + {}^{3}He \rightarrow {}^{4}He + 2p + \gamma$ (12,860).

Słońce

- Atmosfera
  - fotosfera
  - chromosfera (bryzgi, protuberancje, pochodnie)
  - korona słoneczna (T = 5 mln K)
  - wiatr słoneczny
- Wnętrze
  - jądro
  - otoczka promienista
  - otoczka konwektywna

Powierzchnia Słońce

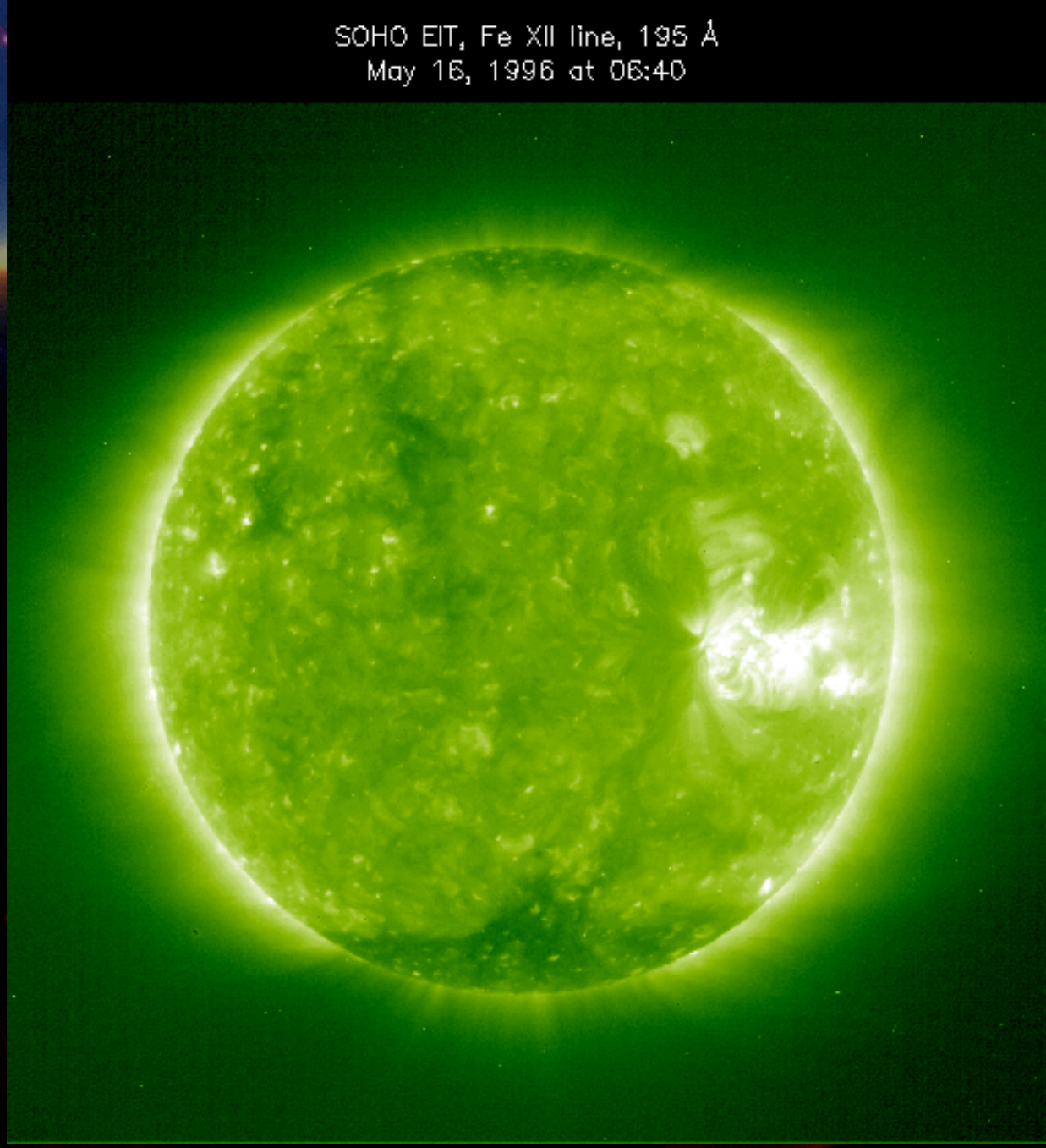
- Fotosfera
  - T = 5800 K
  - widmo ciągłe i liniowe
  - granulacja, plamy, pociemnienie brzegowe



Powierzchnia Słońce

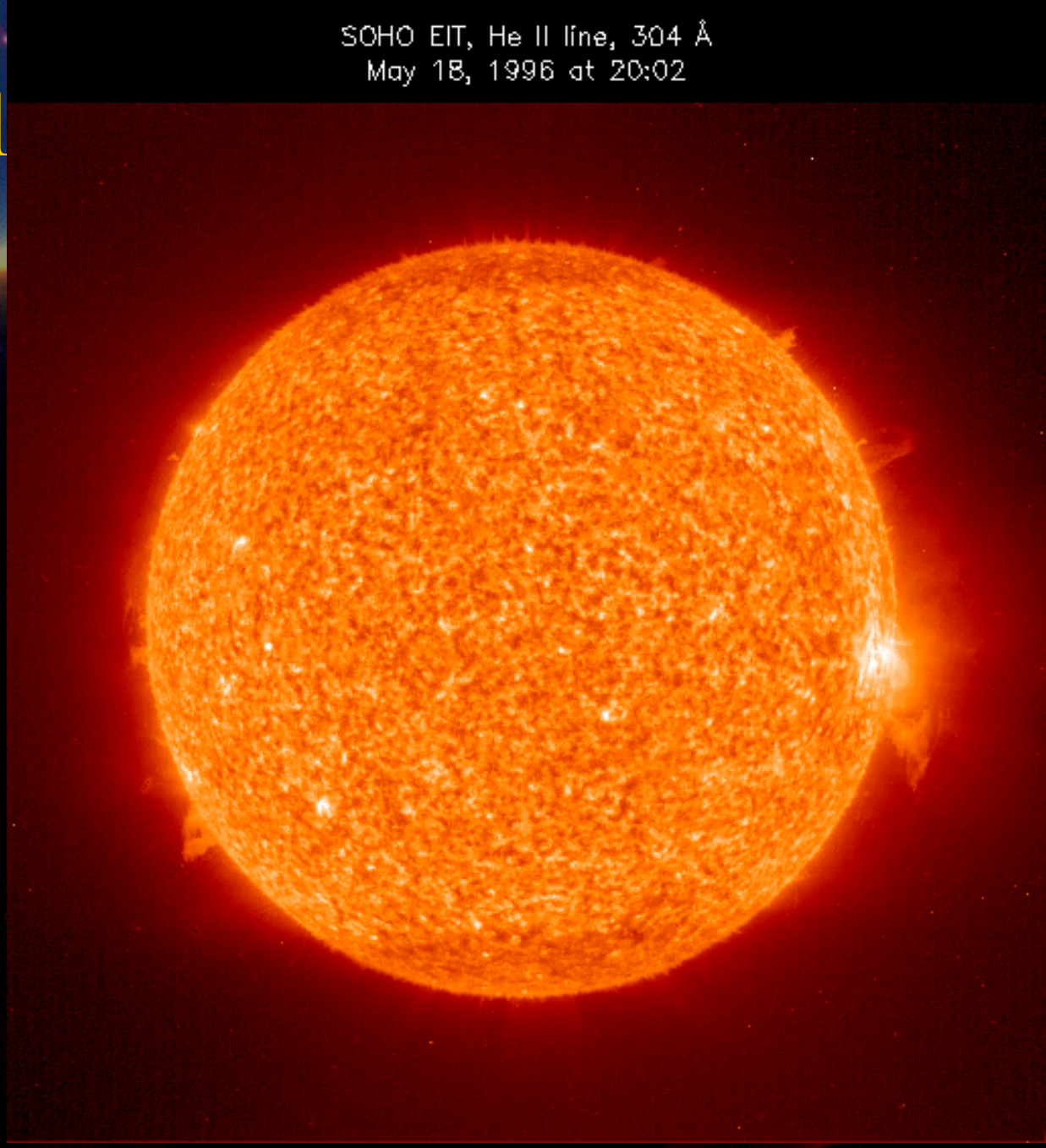
- Fotosfera
  - T = 5800 K
  - widmo ciągłe liniowe
  - granulacja, plamy, pociemnienie brzegowe

Słońce - Fe



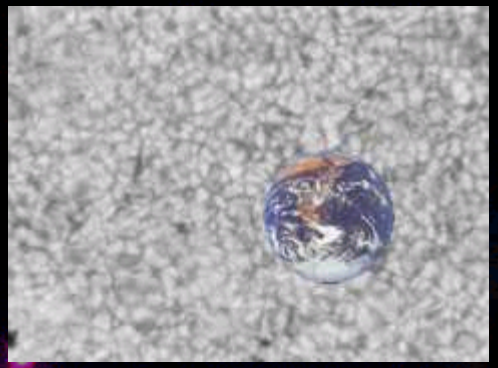
Słońce - hel

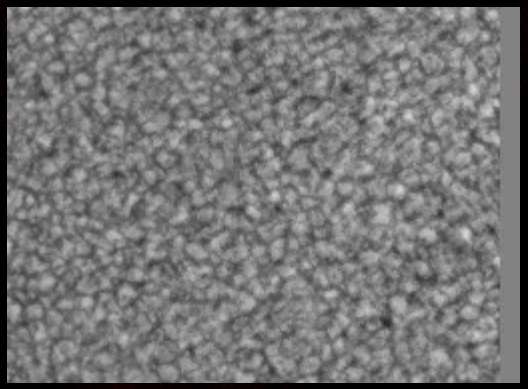
-

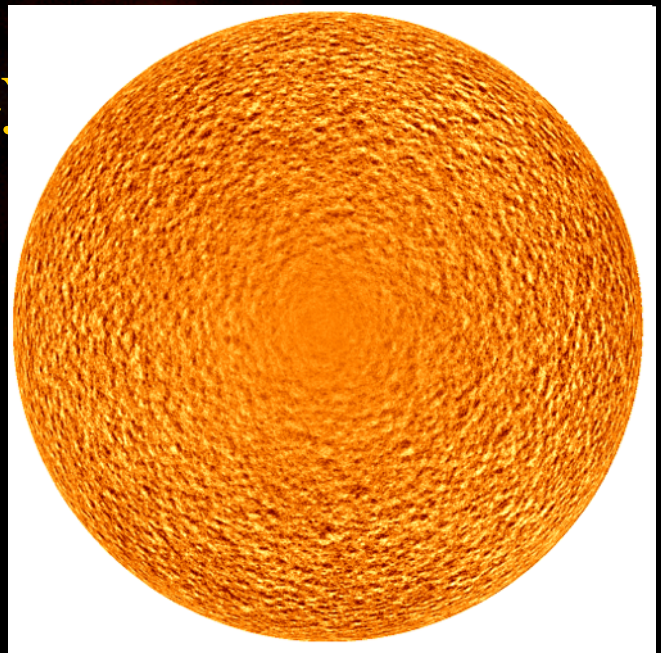


Fotosfera, konwekcja, granulacja

- konwekcja – 200,000 km (głębokość)
- granule – 1000 km
- czas życia ~ 10 min
- prędkość ruchu ~ kilka km/s
- supergranule ~ 30.000 km, t

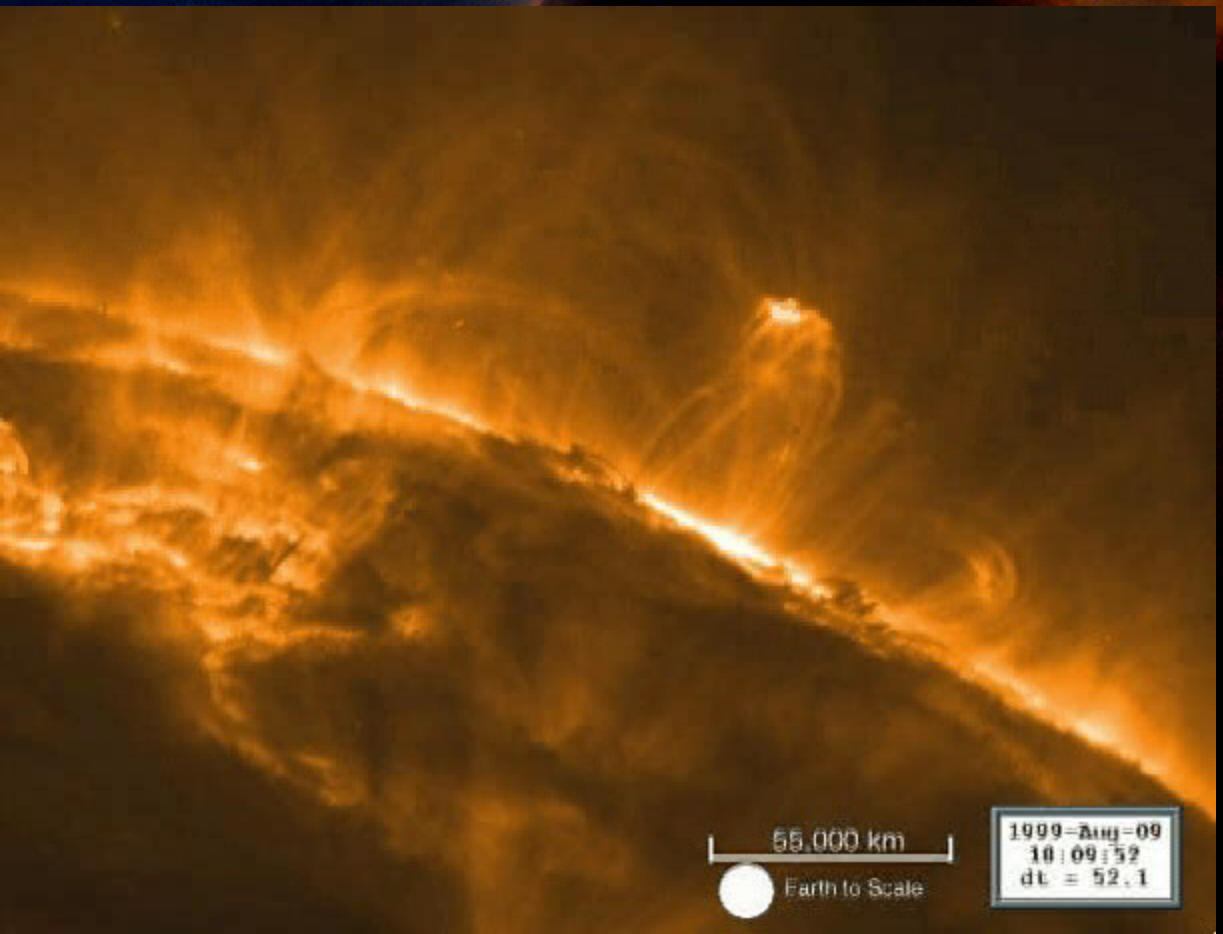


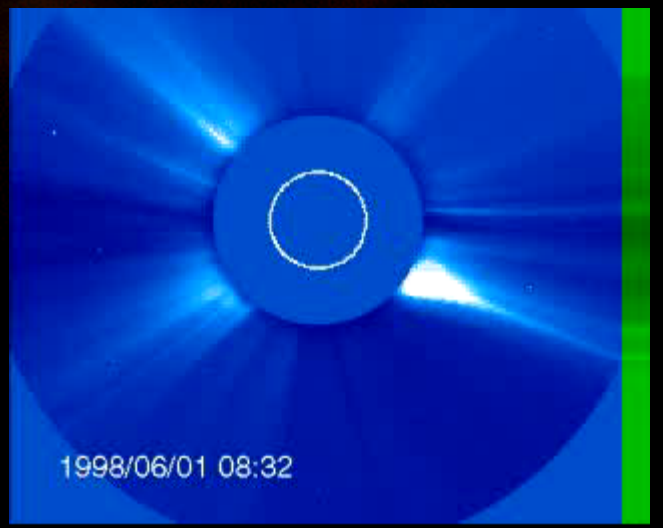




Fotosfera

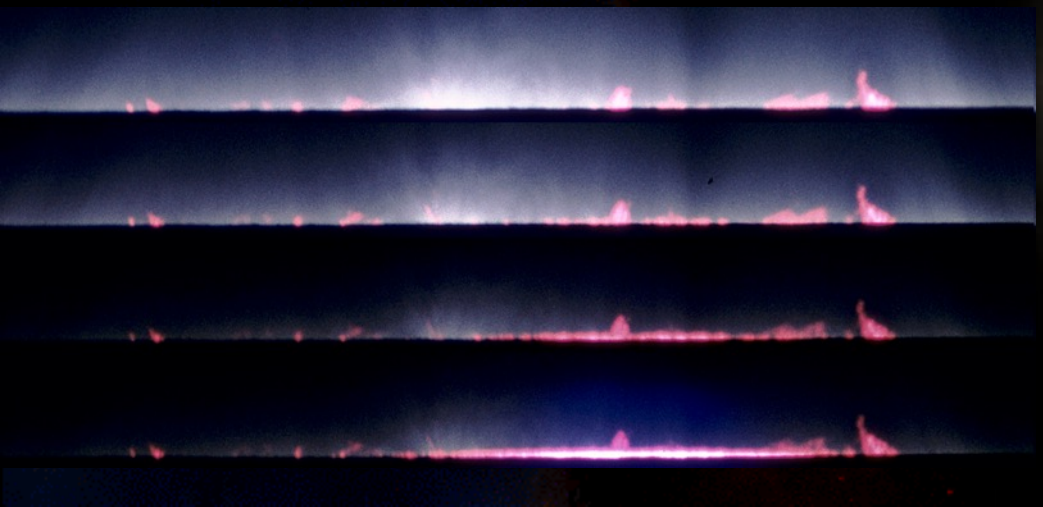
- Prominencje, protuberancje





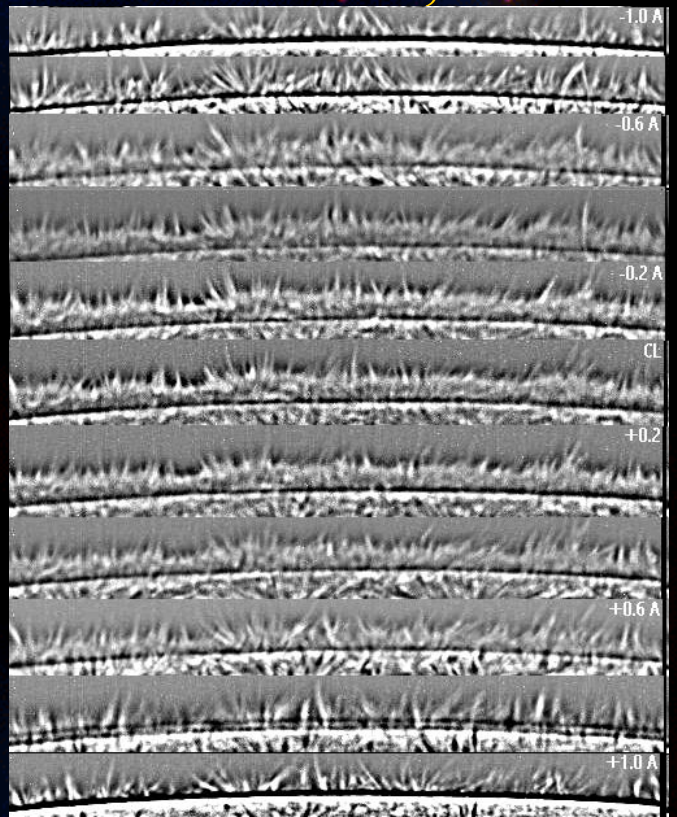
Chromosfera

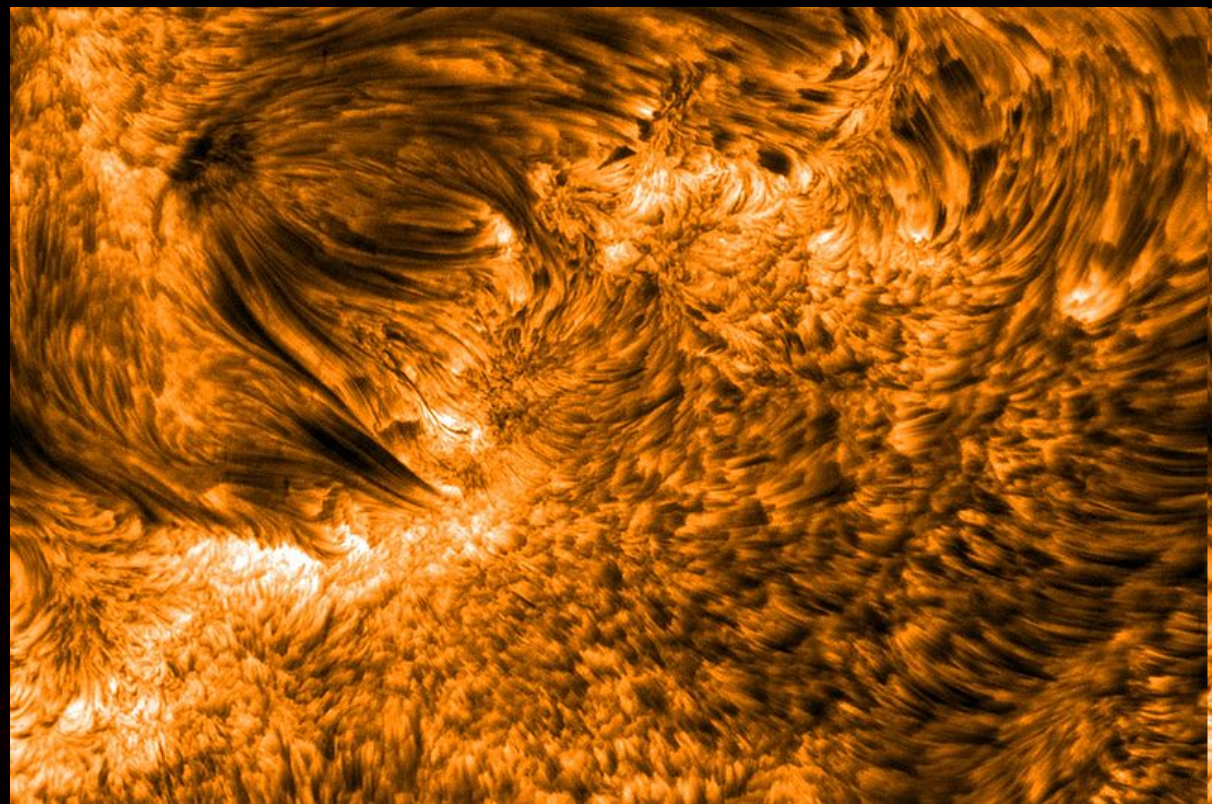
- 500-2,000 km
- 4500 K – 50,000 K
- linia Hα wodoru



Chromosfera

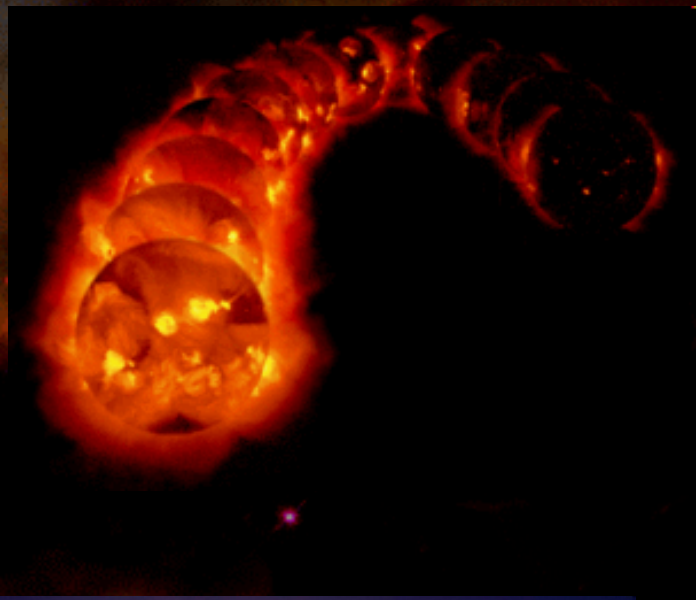
- spikule –bryzgi chromosferyczne
- średnica ~ 300km, v~20-100 km/s, t~ 10 minut
- h~3-10,000+ km, związane z granicami supergranul



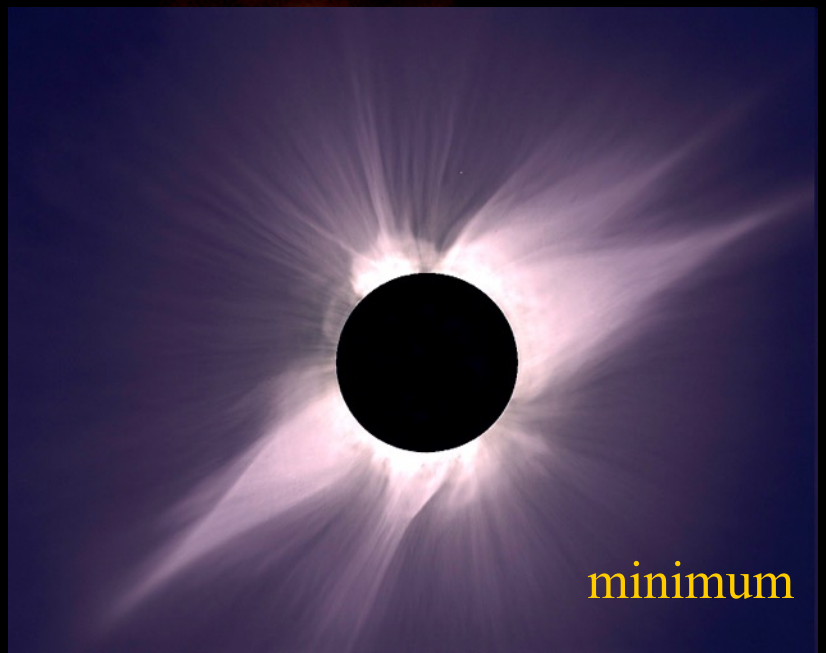


Korona słoneczna

- kilka mln. km
- 20,000- 2,000,000 K

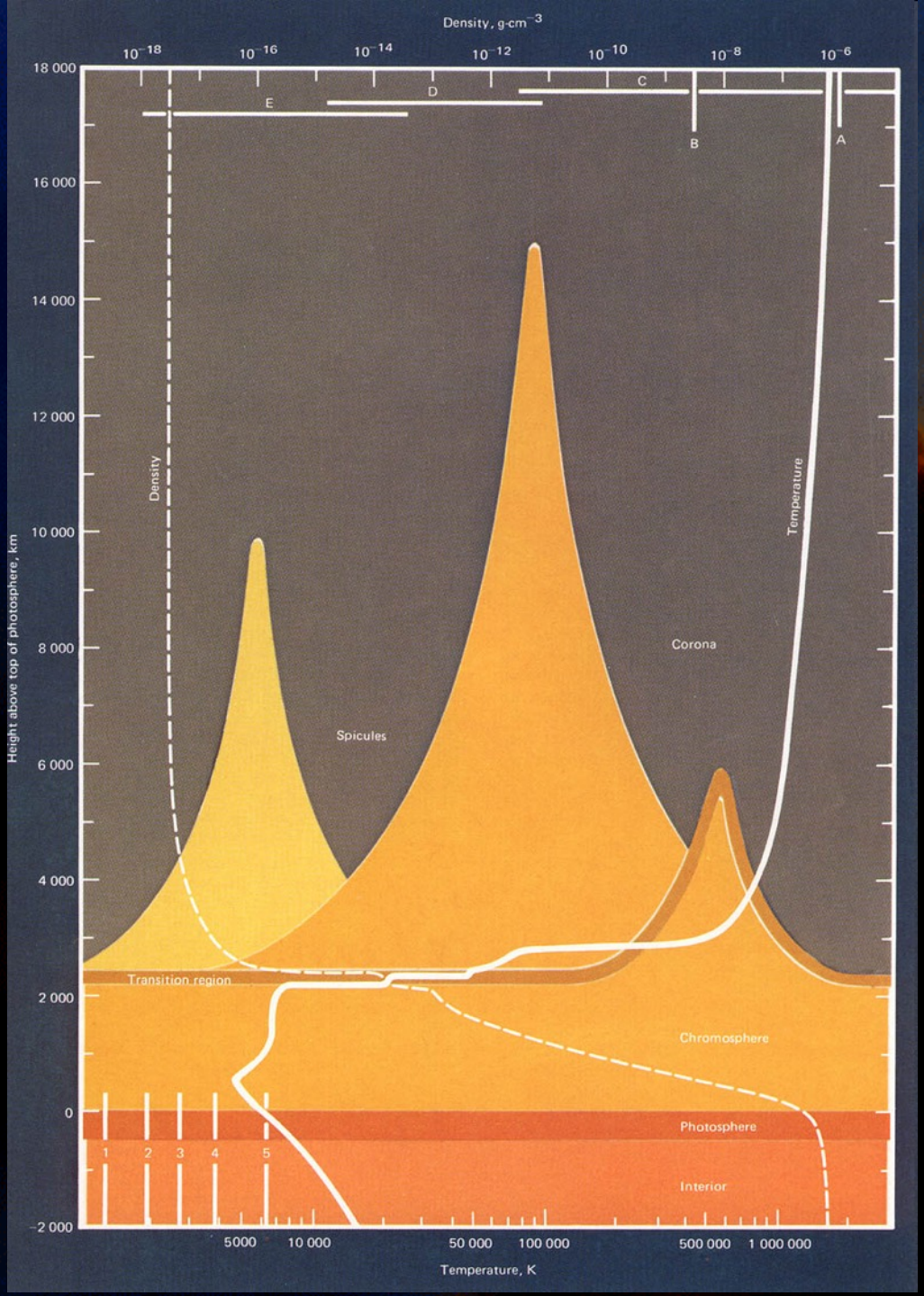


maksimum



minimum

Temperatura, gęstość



Temperatura, gęstość

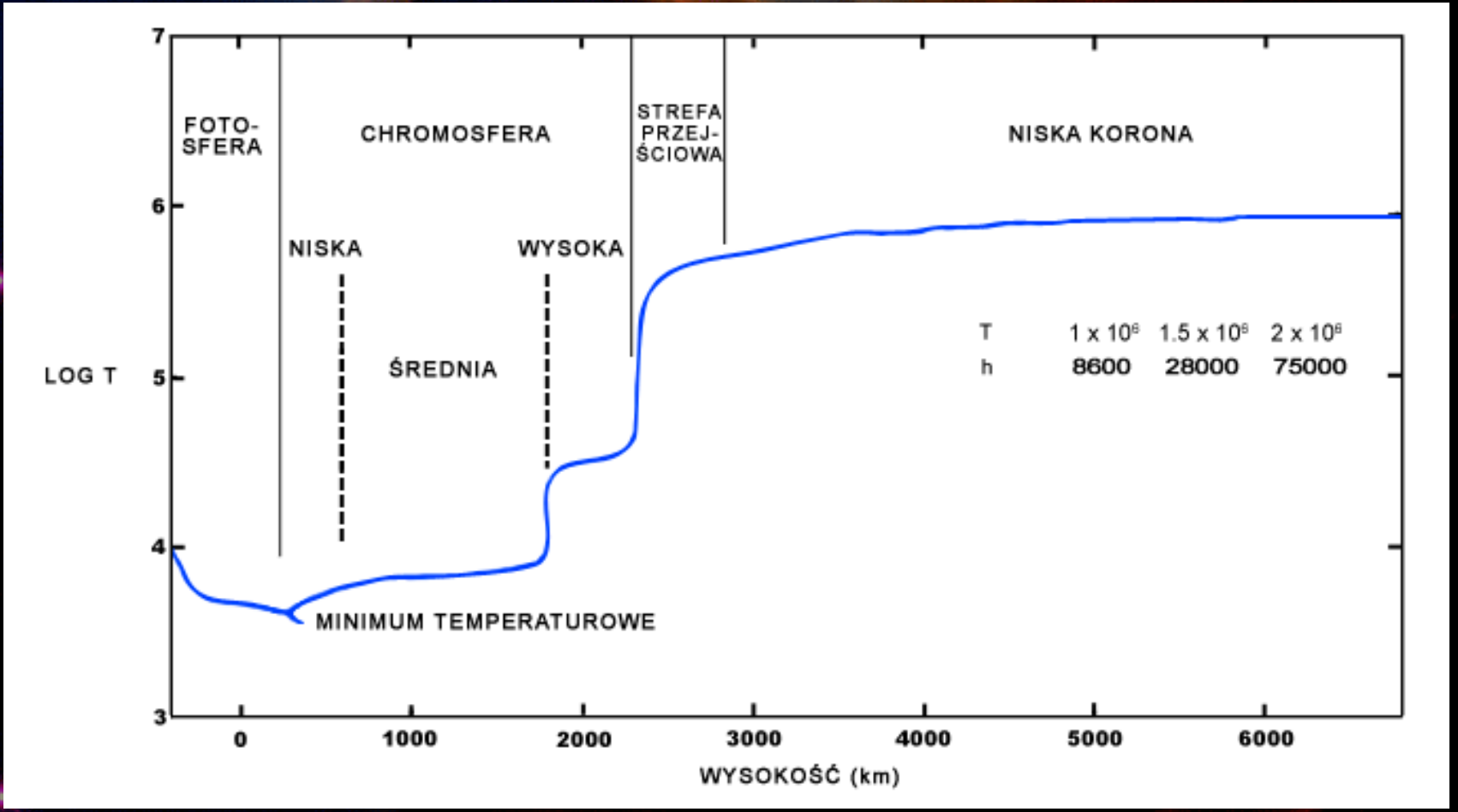
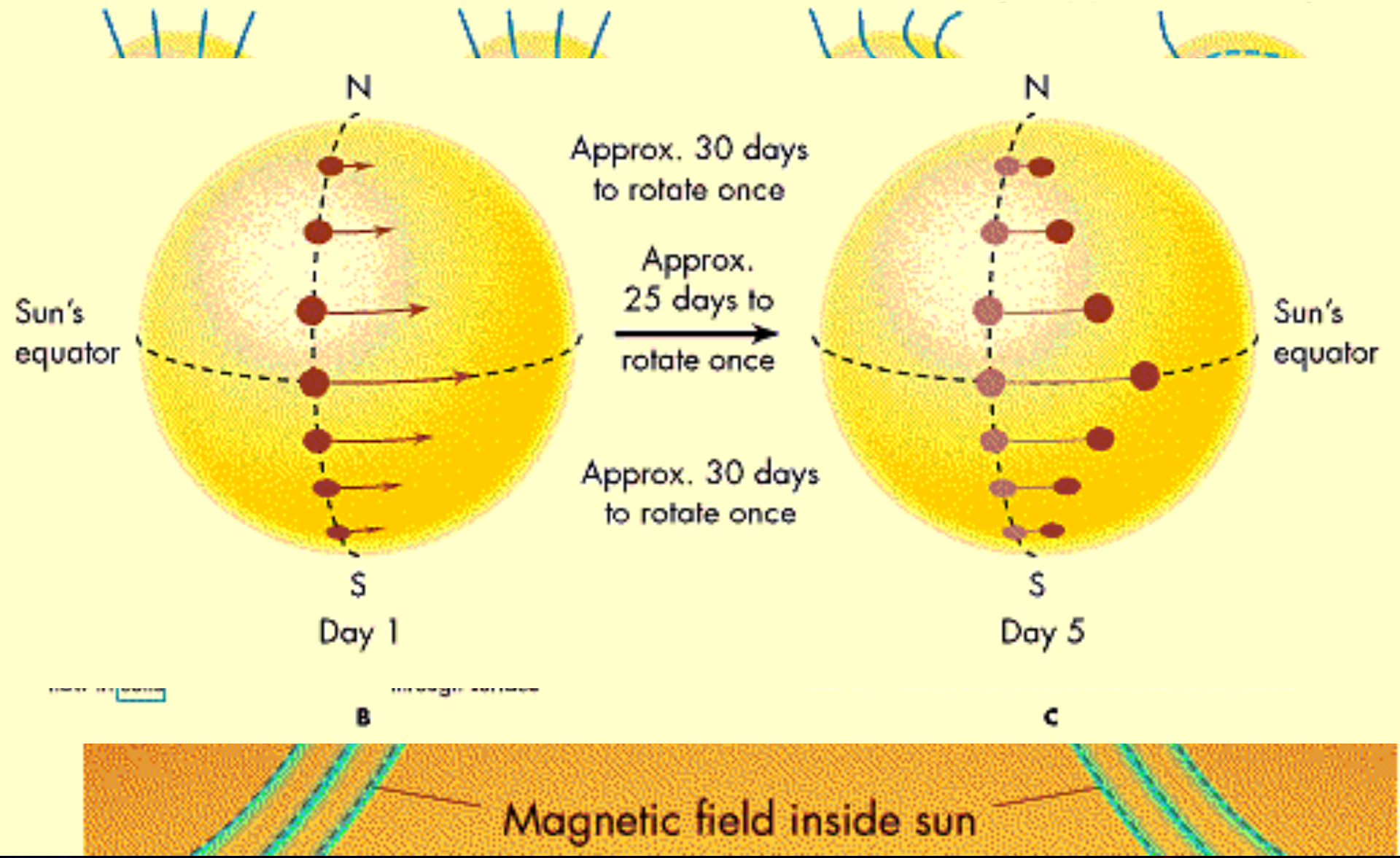
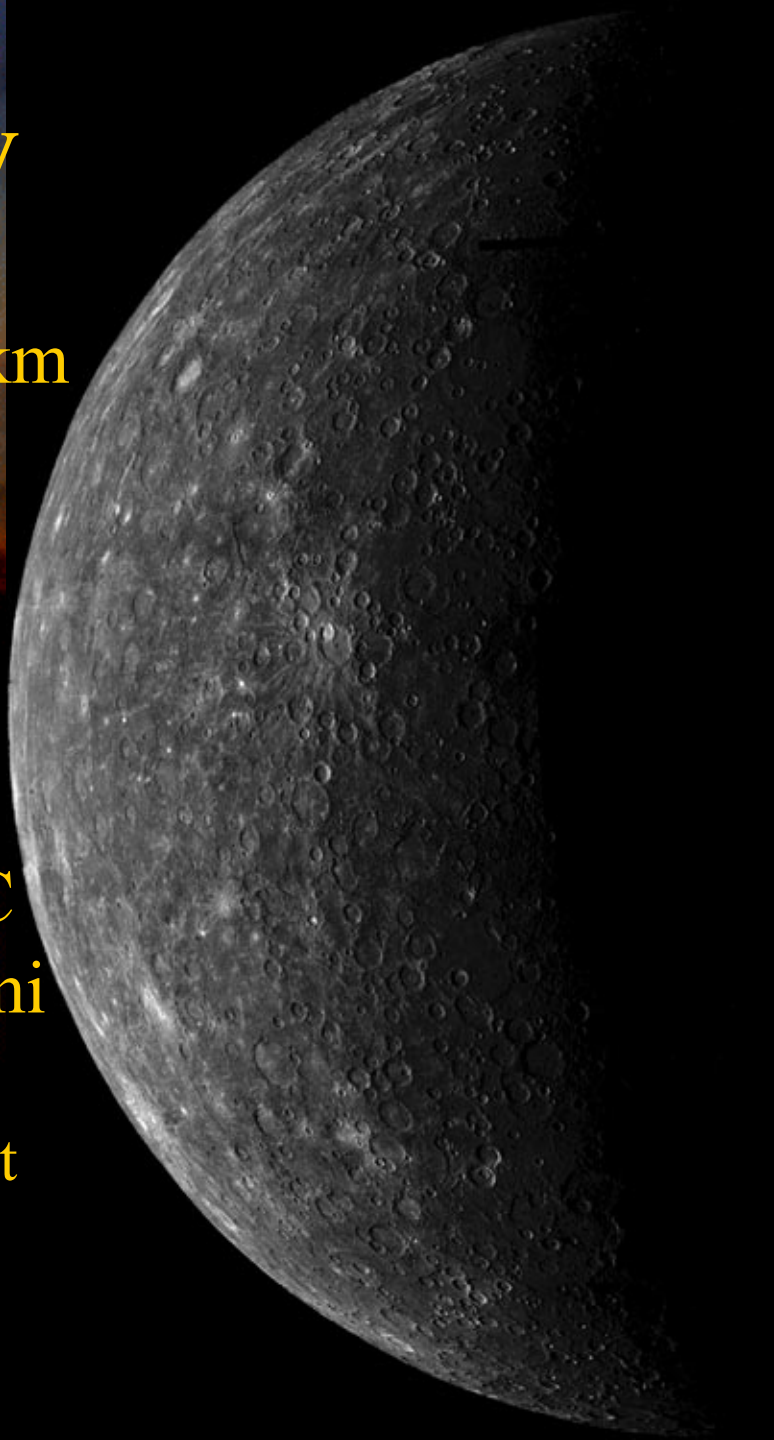


Figure 11-15


N
Approx. 30 days
to rotate once
Approx.
25 days to
rotate once
Approx. 30 days
to rotate once
Sun's
equator
Sun's
equator
S
Day 1
N
S
Day 5
B
C
Magnetic field inside sun

Merkury

- Odległość od Słońca: 58 mln km (0.39 AU)
- Masa: 3.3×10^{23} kg ($0.055\ M_Z$)
- Promień: 2439 km ($0.38\ R_Z$)
- Okres obrotu: 58.6 dnia
- Okres obiegu: 88 dni
- Temperatura: 400°C do -200°C
- Powierzchnia pokryta kraterami
- Bardzo rzadka atmosfera –
  - hel, sód, tlen, węgiel, argon, azot

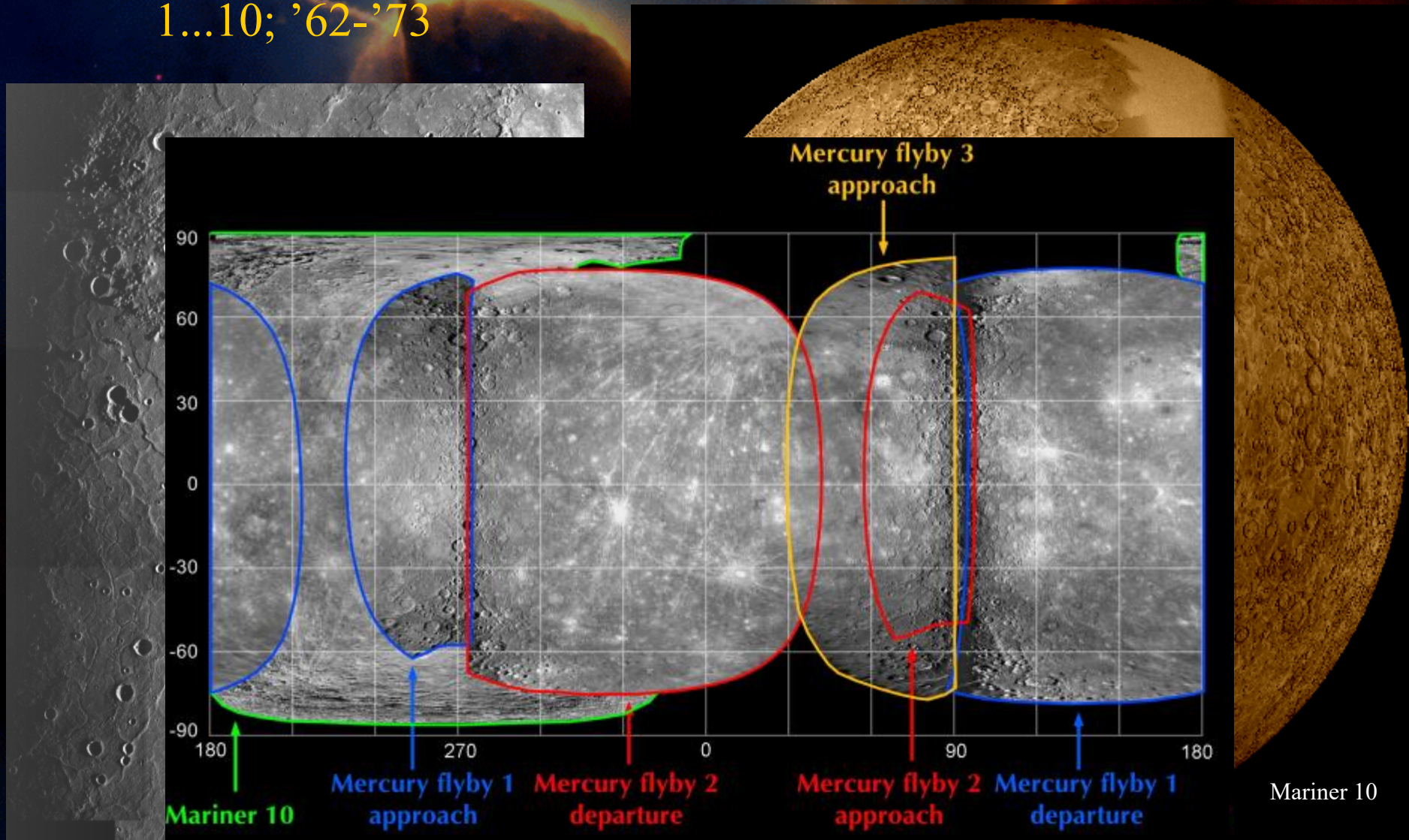


Merkury

- Słabe dipolowe p
  magnetyczne
  - część jądra płyn
- Jądro żelazne (7(
- Skorupa – 100 k
- Synchronizacja
  orbita – obrót 3:
- Ruch linii apsyd
  - ogólna teoria wz

Merkury

- z Marinera
  1...10; ’62-’73



Mariner 10

MESSENGER

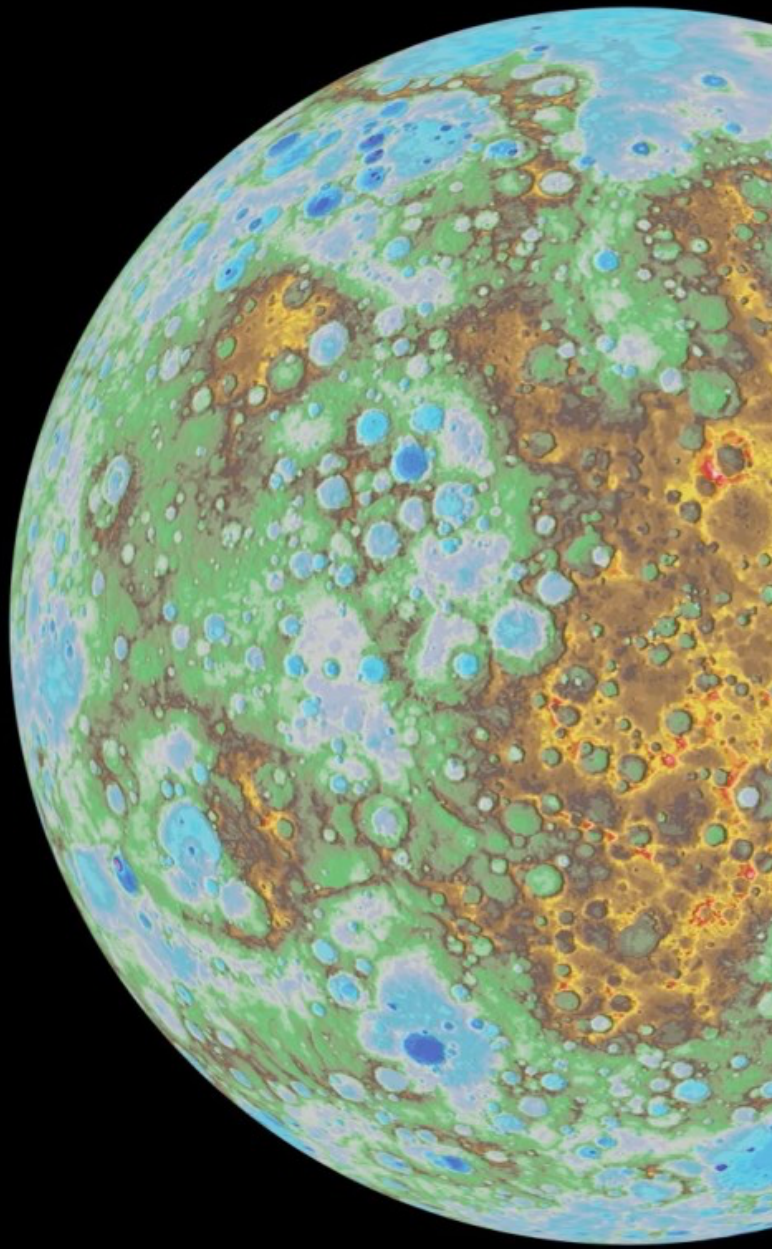
***M**ercury **S**urface, **S**pace E*
*and **R**anging*

- sonda NASA
- pierwsza misja na Mer
- 3/08/2004 - 30/04/201
- zadania: poznanie cher planety, historii geolog wielkości i stanu jądra natury egzosfery i mag

system obrazowania

spektrometr gamma, X, n

magnetometr, wysokoscio



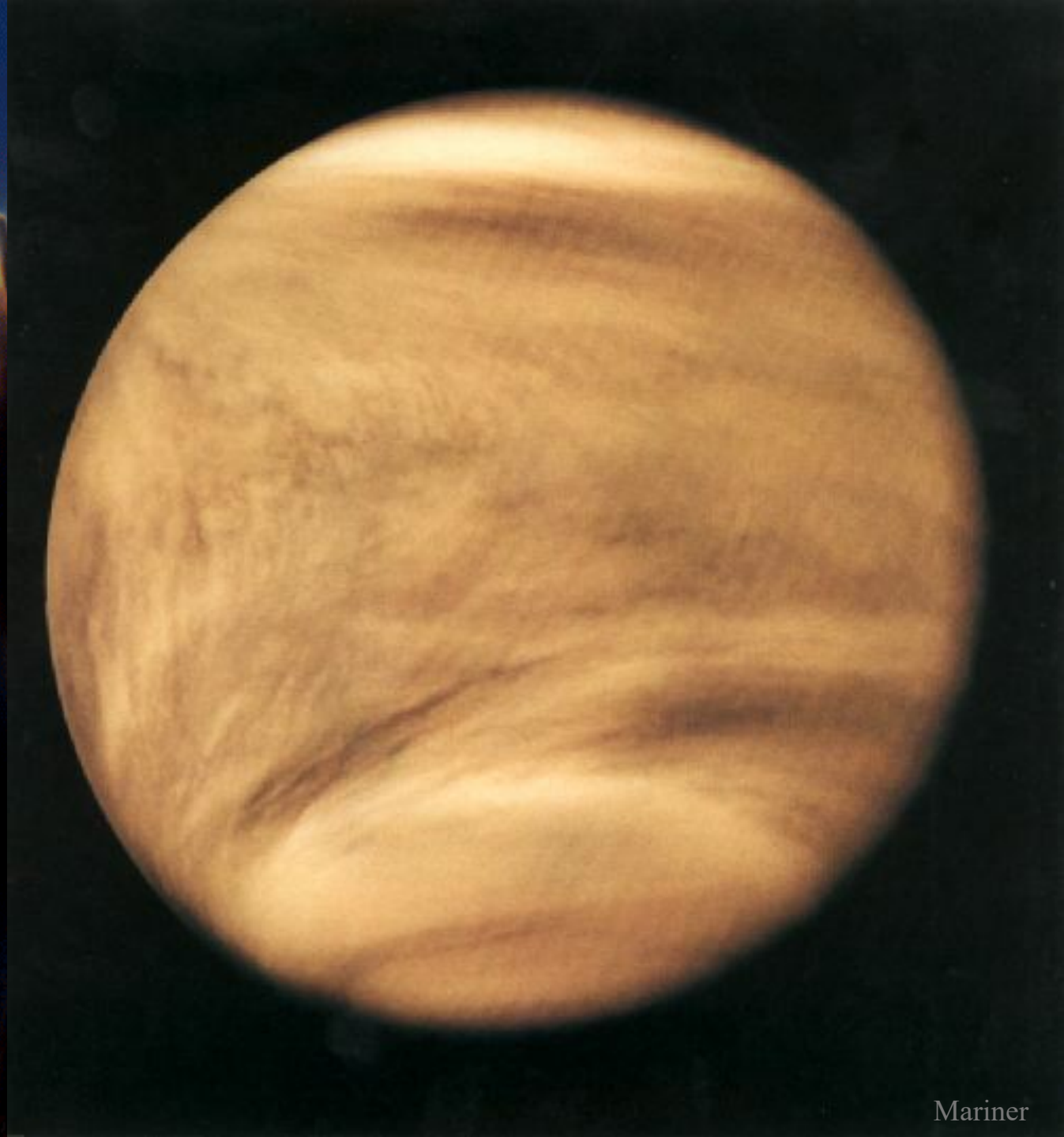
Wenus

- Odległość od Słońca: 108 mln km (0.723 AU)
- Masa: 4.87×10^{24} kg ($0.81\ M_Z$)
- Promień: 6050 km ($0.95\ R_Z$)
- Okres obrotu 243 dni (wsteczny)
- Okres obiegu: 224 dni
- Temperatura: 450°C
- Atmosfera:
  - 96% CO_2, 3+%N,
  - SO_2, O_2, H_2O, CO,
  - Ar, He, Ne, HCl, HF
- Chmury H_2SO_4

Magellan

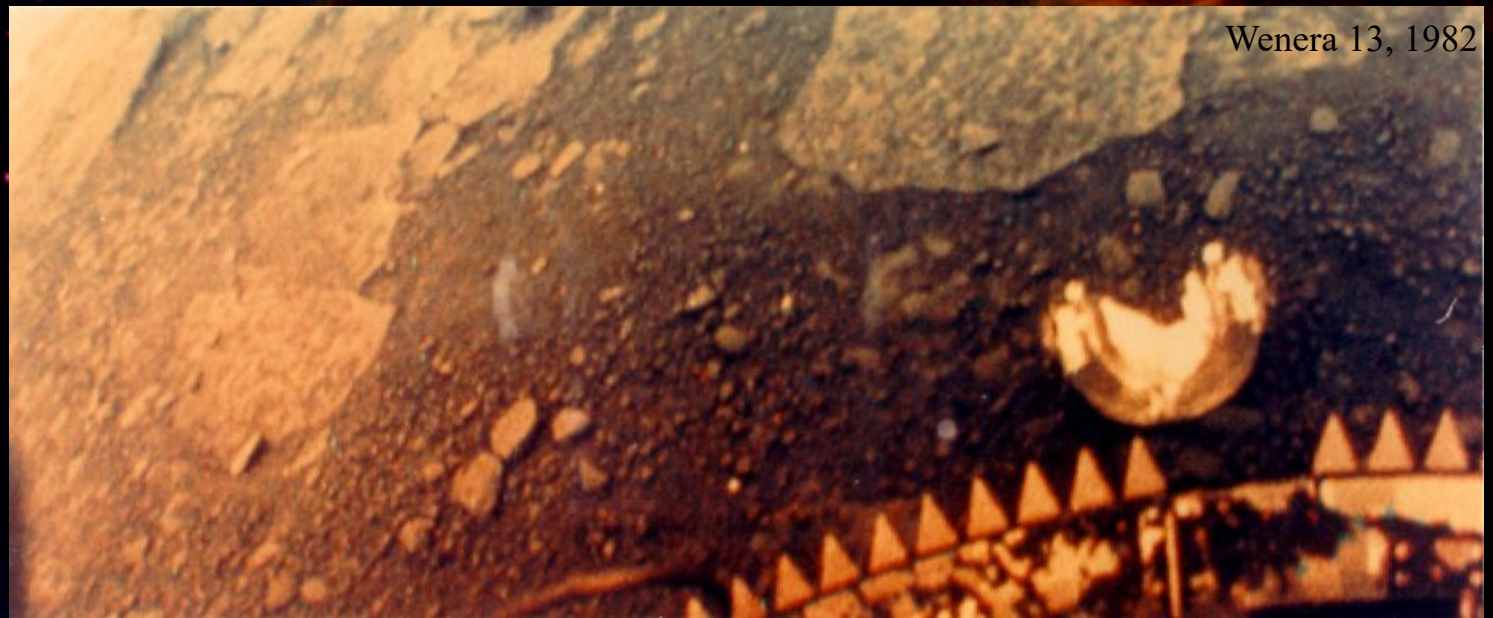
Wenus

- chmury widoczne w promieniach UV



Wenus

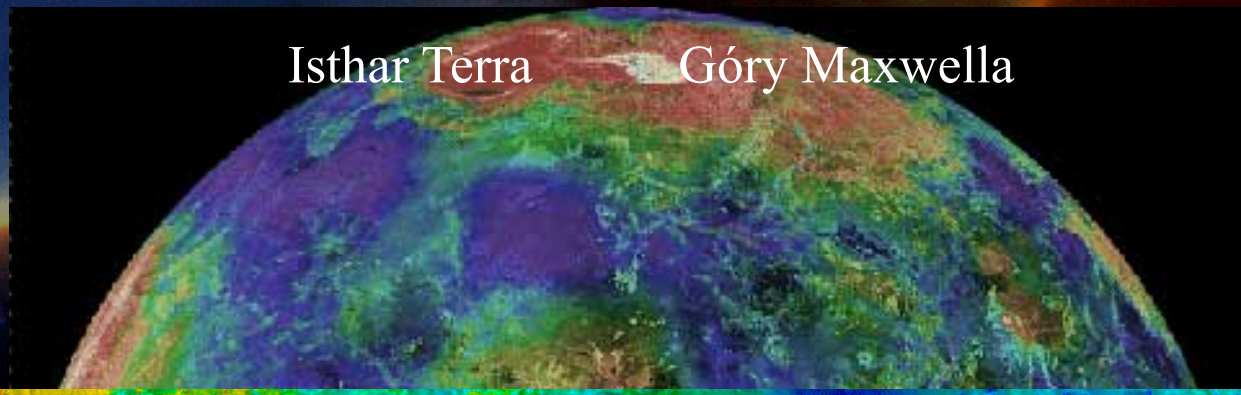
- Lądowniki :'75-'82
  - Wenera 9-13
  - zdjęcia
  - analiza gruntu
  - badanie błysków γ
    11-12, SIGNE-2 (SU-FR)



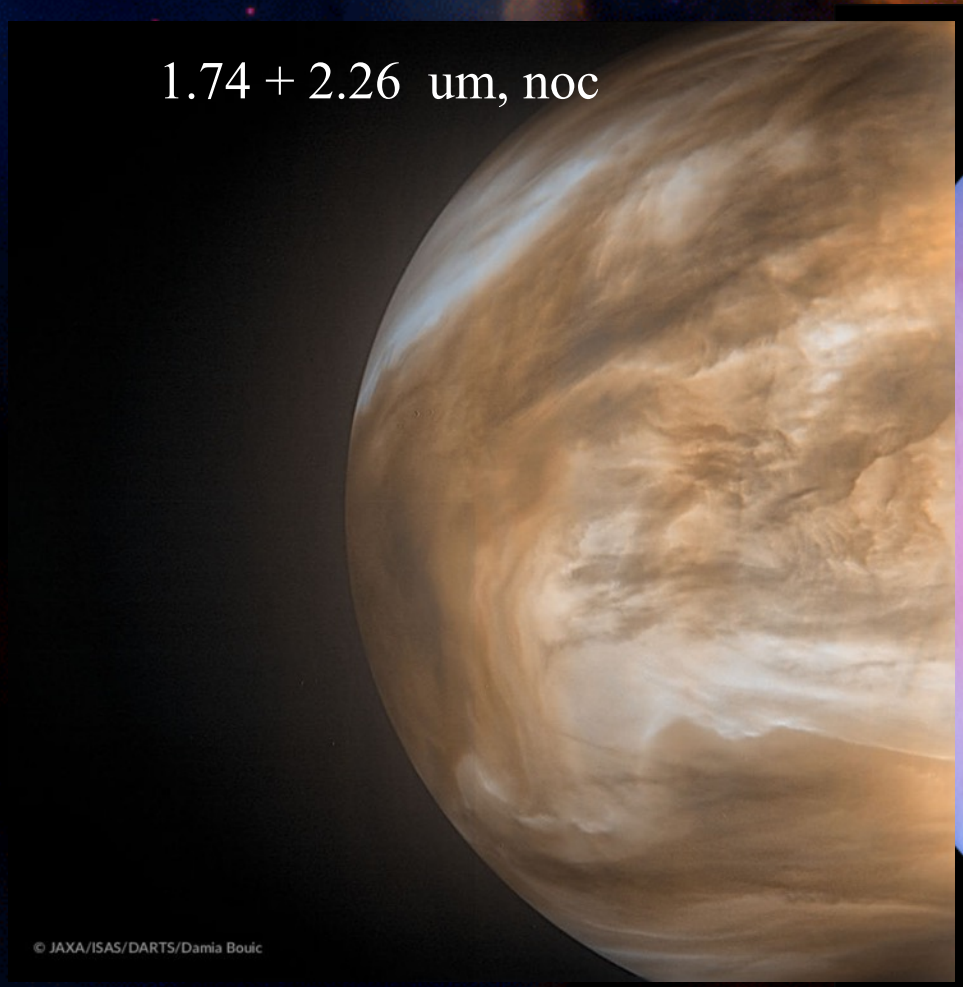
Wenera 13, 1982

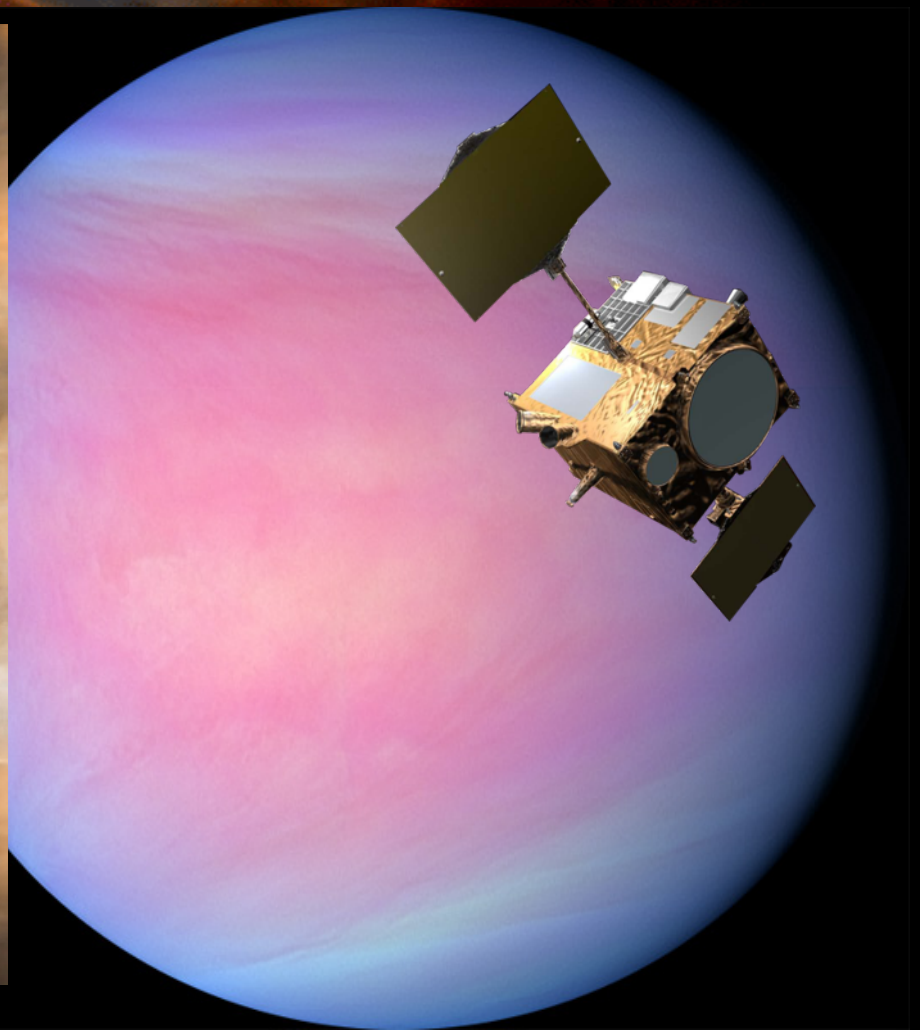
Wenus

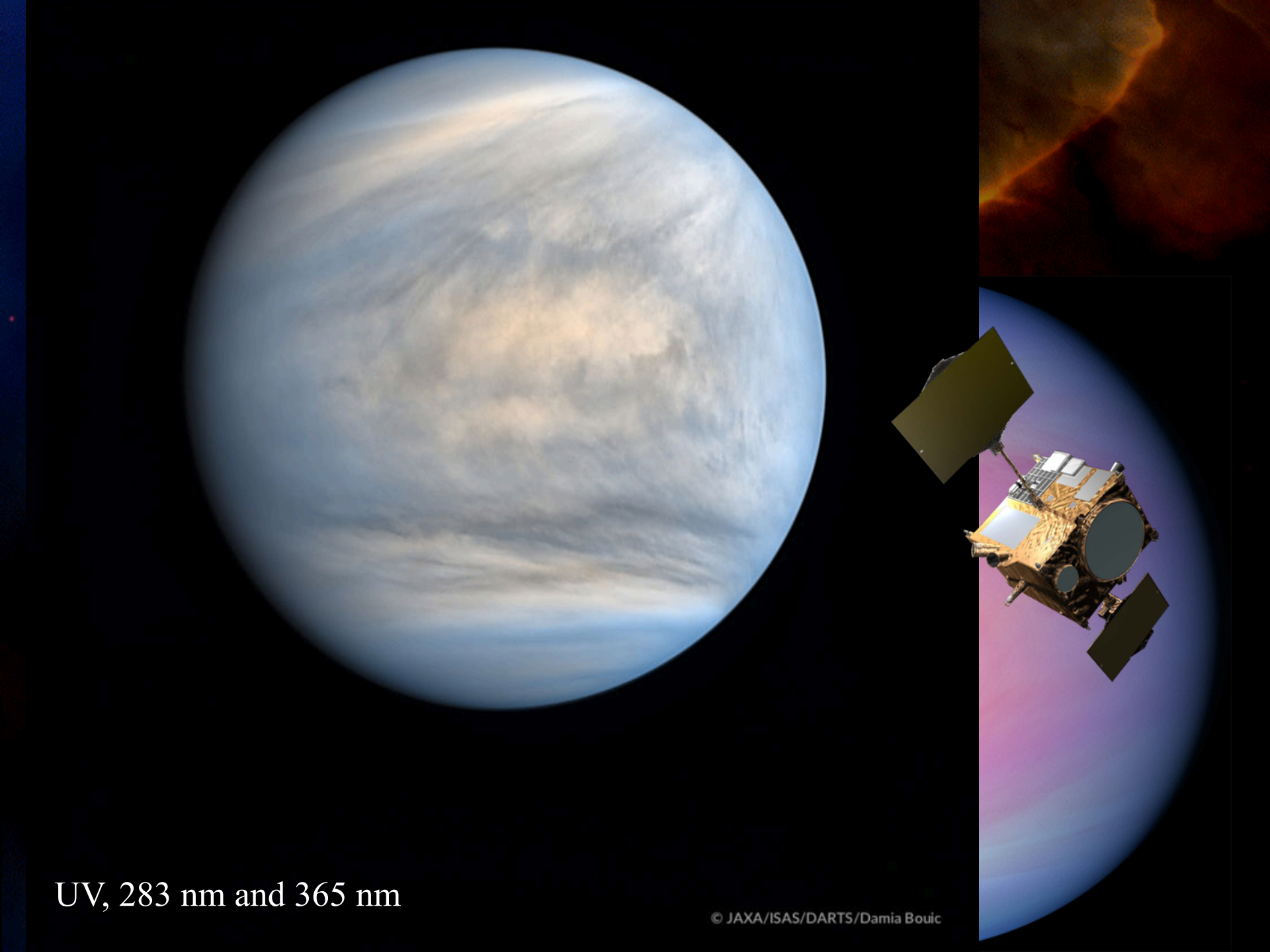
- Sonda Magellan - obrazy radarowe powierzchni



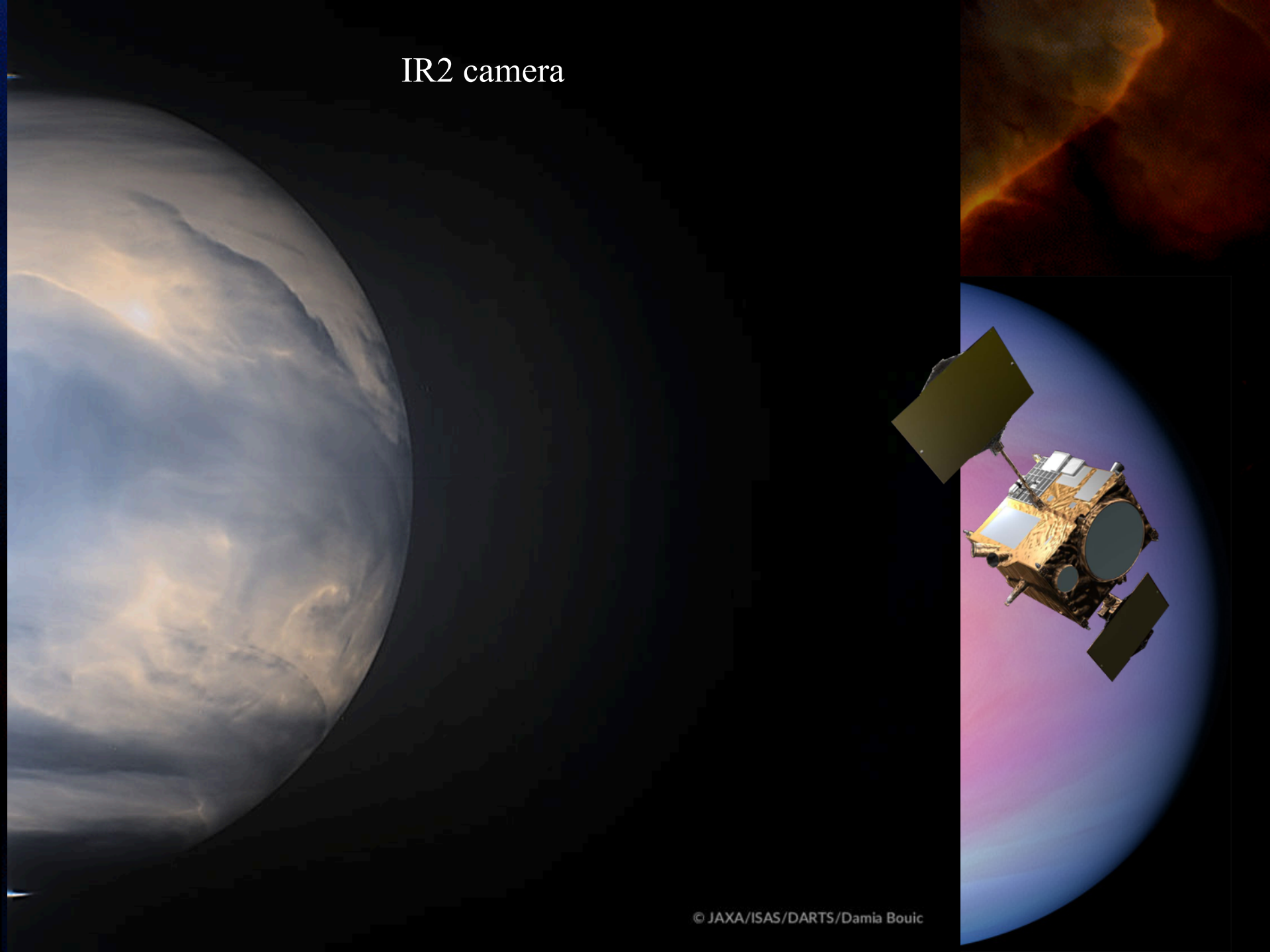
Akatsuki 2010;2015



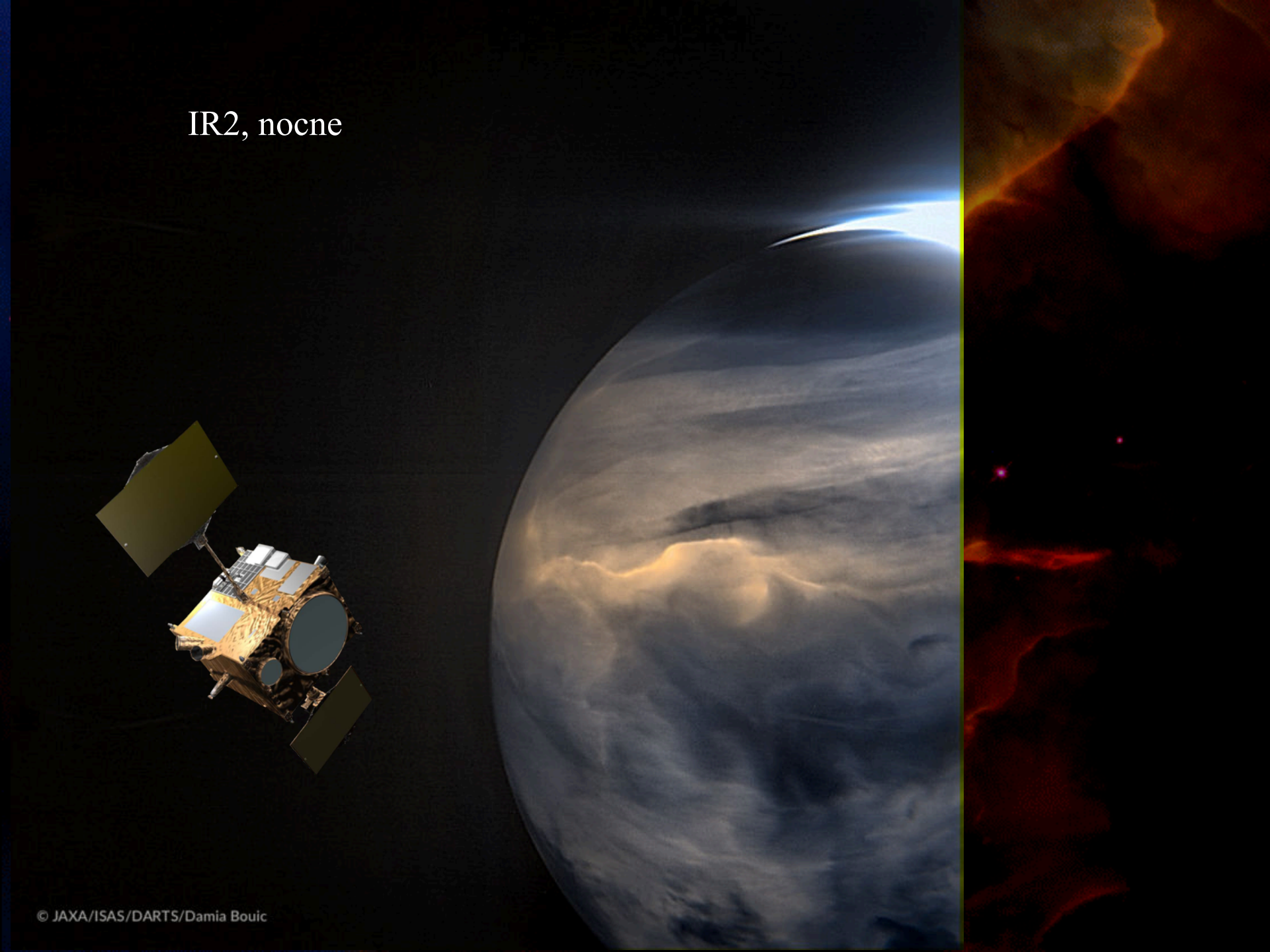



UV, 283 nm and 365 nm
© JAXA/ISAS/DARTS/Damia Bouic

IR2 camera

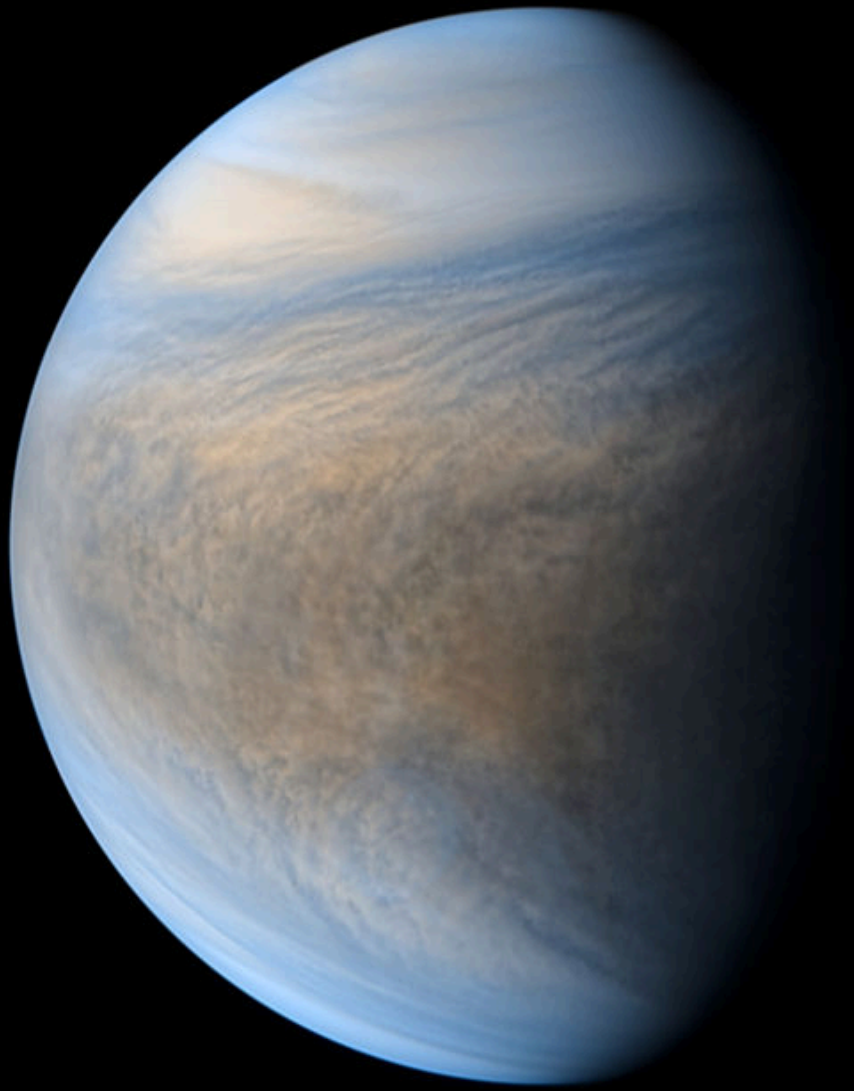


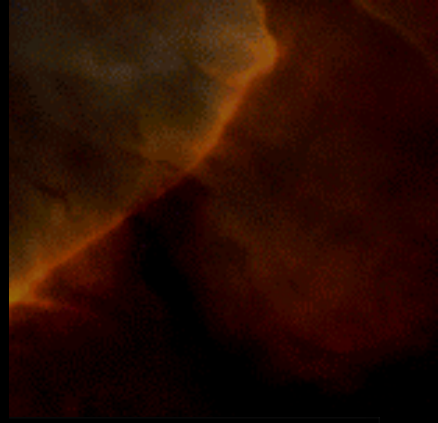
IR2, nocne

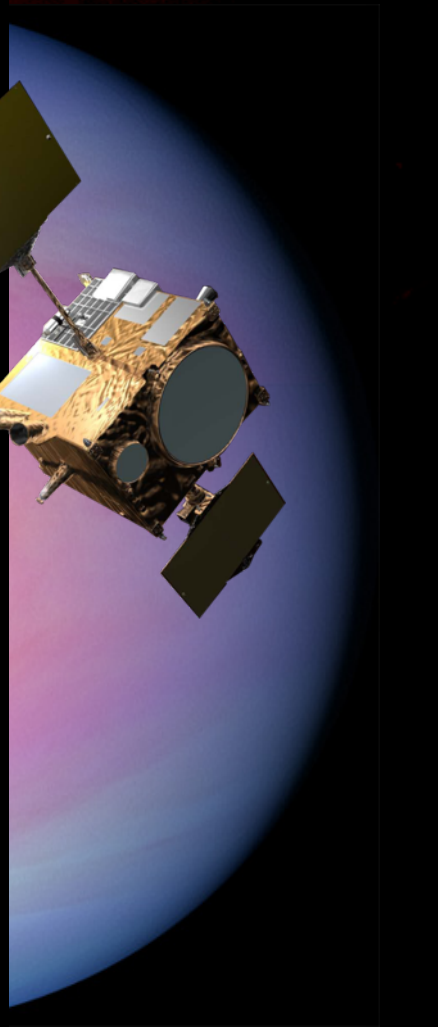


© JAXA/ISAS/DARTS/Damia Bouic

composite, UV1







s - wnętrze

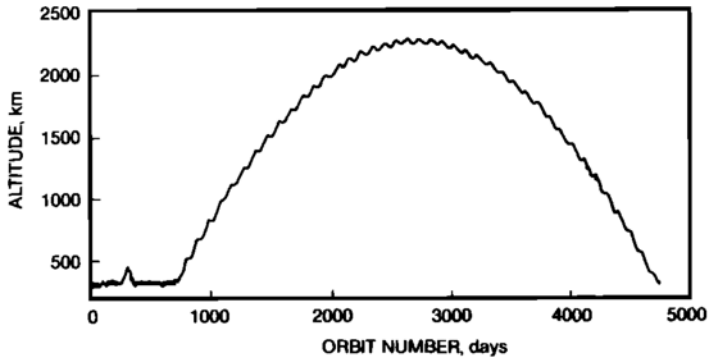
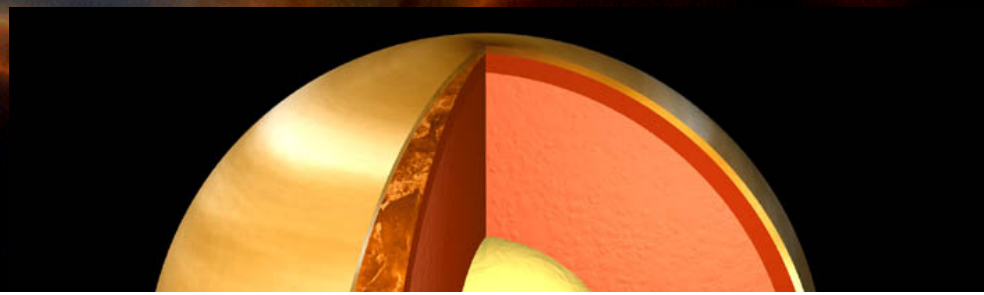


Fig. 1. The altitude of periapsis of the Pioneer Venus Orbiter spacecraft is shown as a function of time past December 4, 1978. For the first 600 days orbital maneauvers were performed to keep the altitude from rising. After that time, solar perturbations have acted unimpeded. Peak altitude was attained in June 1986, and by 1992 the spacecraft will again be at low enough altitude to obtain useful gravity data.



- bazaltow
- Płynny pł
- Stałe jądr
  dipoloweg
  magnetyc

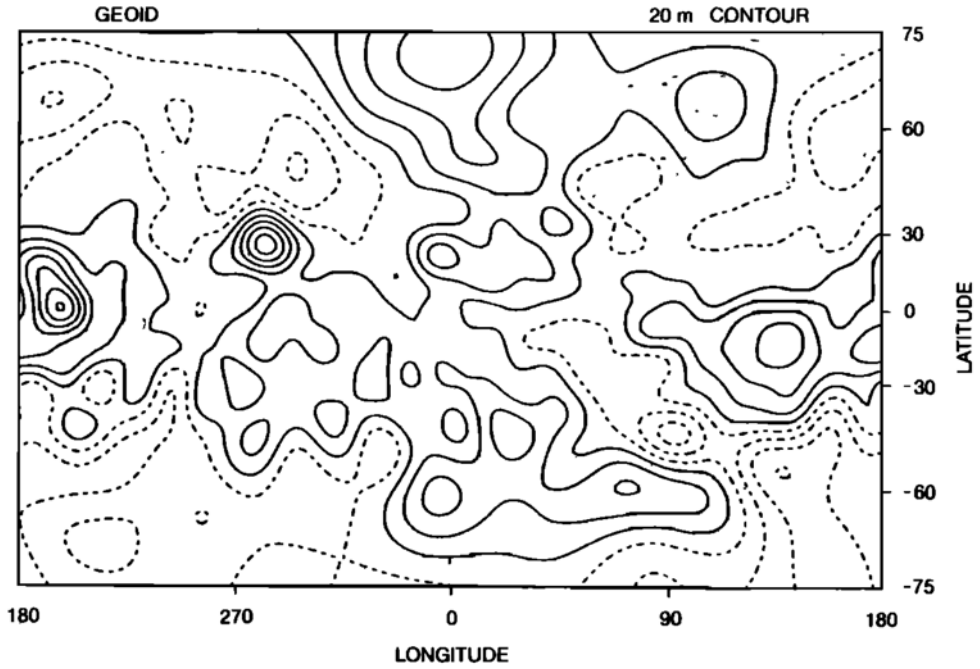
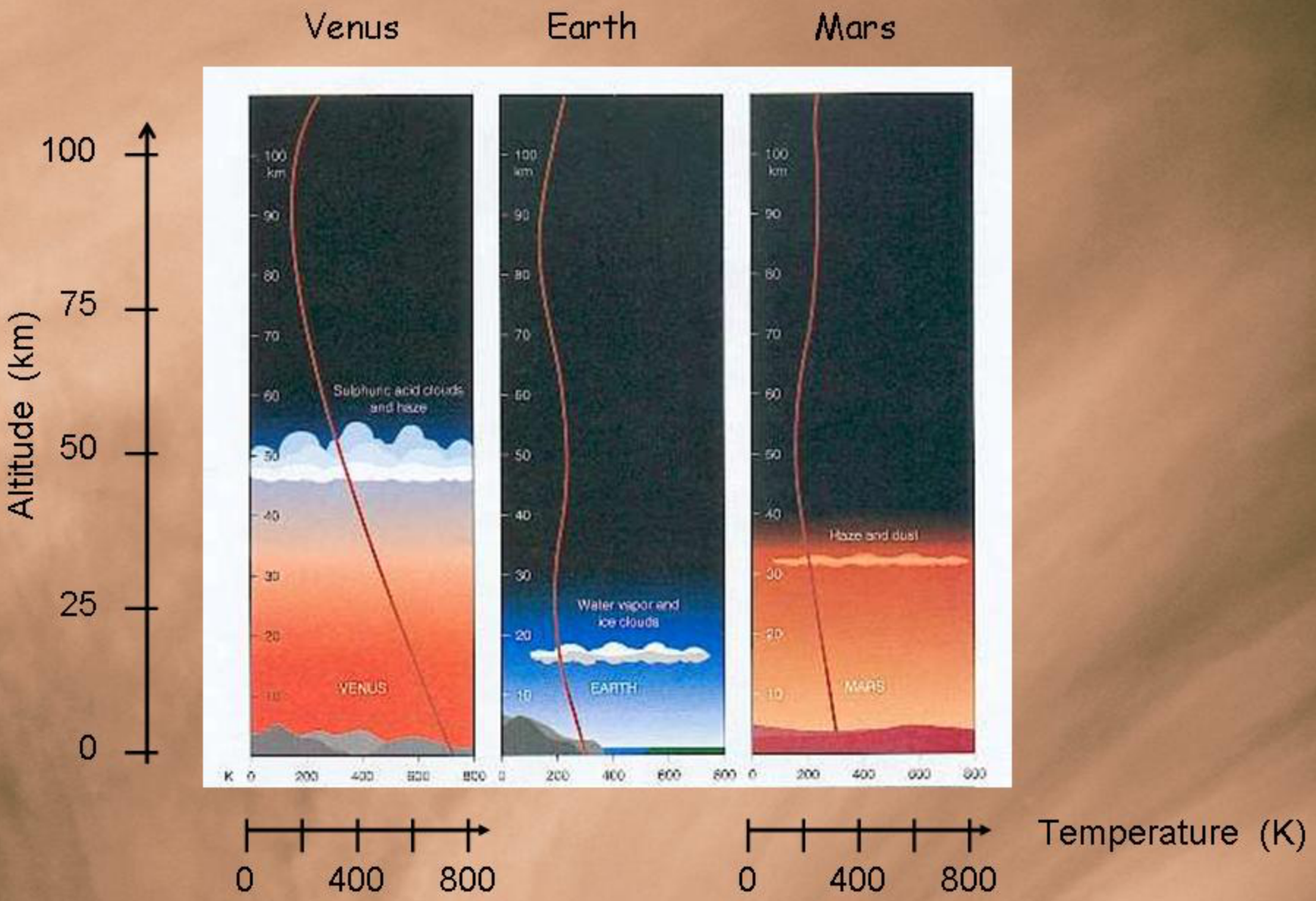


Fig. 8*a*. Variations in the height of the equipotential surface corresponding to the mean potential at a radius of 6051. 5 km are obtained from text formula (26). Contour interval is 20 m. Negative contours are dashed.

Atmosphere


Venus
Earth
Mars
Altitude (km)
100
75
50
25
0
Sulphuric acid clouds and haze
VENUS
Water vapor and ice clouds
EARTH
Haze and dust
MARS
0
400
800
Temperature (K)

Ziemia jako planeta

- Odległość od Słońca:
  149.6 mln km (1 AU)
- Masa: 5.97×10^{24} kg (1 M_Z)
- Promień: 6371 km (1 R_Z)
- Średnia gęstość: 5.52 g/cm^3
- Okres obrotu 1 doba
- Okres obiegu: 365.2564 dób
- Temperatura: 10 ^oC
- Wiek: 4.5 mliliarda lat

Ziemia jako planeta

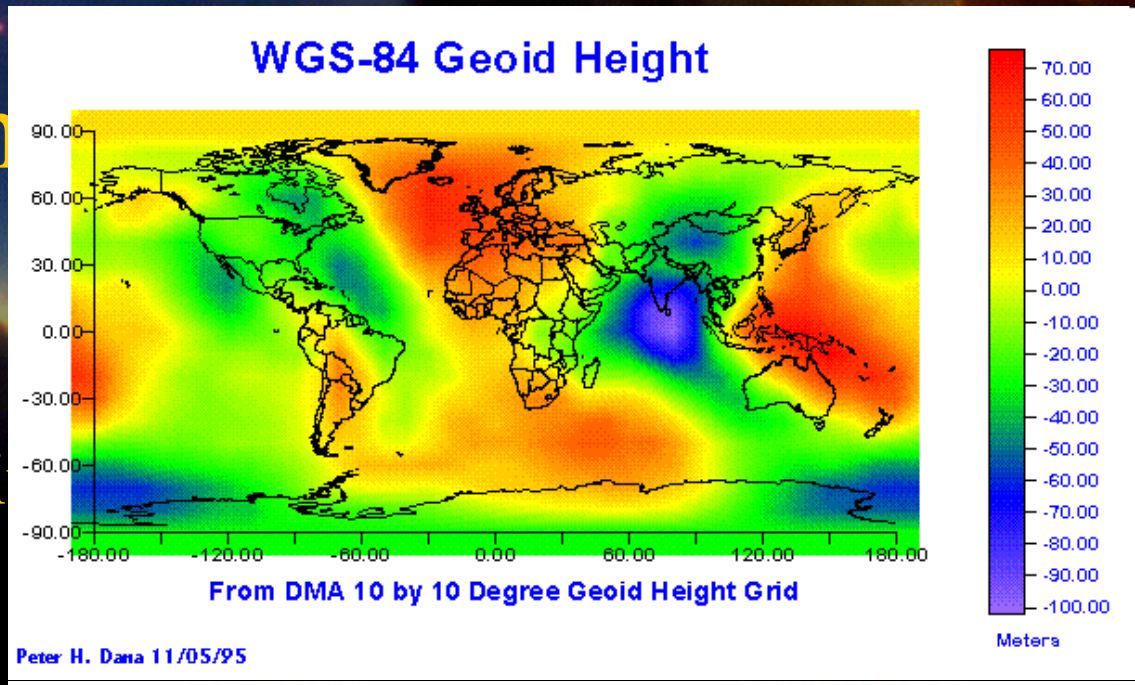
- Powstanie
  - dysk protoplanetarny
  - planetyzymale
  - kurczenie grawitacyjne
  - temperatura jądra ~ 6000 K

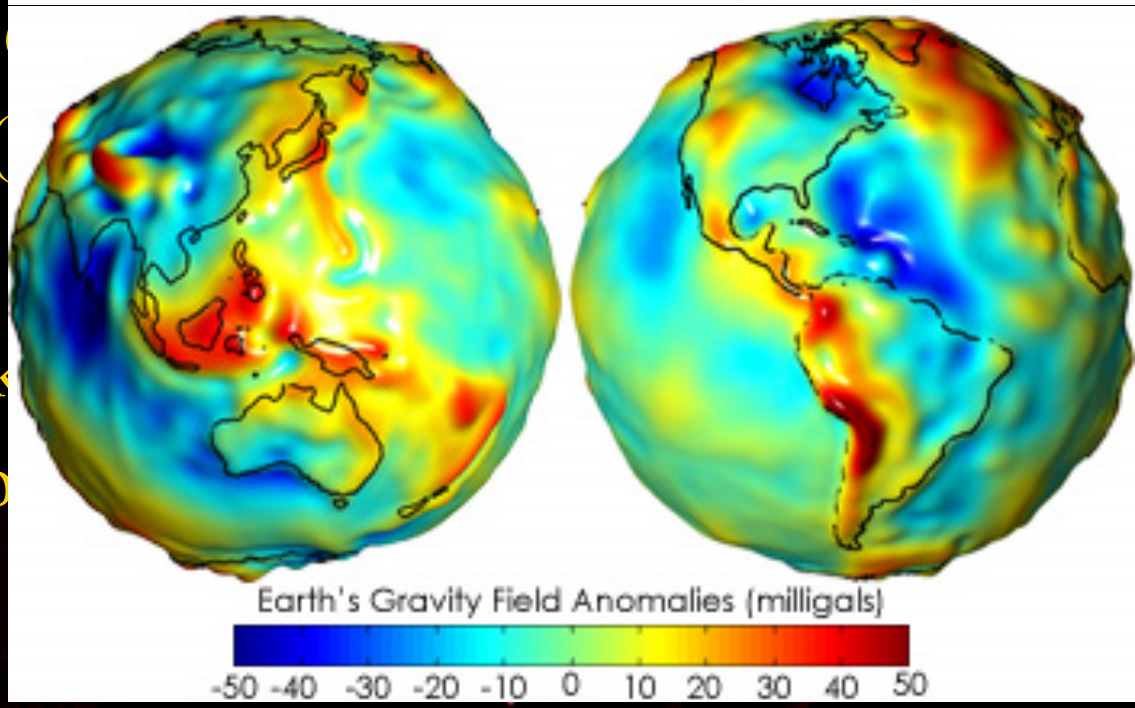
Zien

- Przybliżenie:
  - kula o promieni
- Elipsoida

  wielka półoś a = (

  spłaszczenie S = (
- Geoida
  - powierzchnia ek
  - średni poziom o





http://www.csr.utexas.edu/grace/publications/fact_sheet/3.html

Ziemia – obrót, grawitacja

- prędkość kątowa $\omega = 7.292\ 10^{-5}\ s^{-1}$
- prędkość liniowa $v_{rot} = 465 \cos \phi$ [m/s]
- przyspieszenie grawitacyjne $g = GM/r^2 = 9.806\ m/s^2$
- z uwzględnieniem siły odśrodkowej i spłaszczenia: $g = 9.7805 + 0.0511 \sin^2 \phi$

- pierwsza prędkość kosmiczna: $v_I = (GM/R)^{1/2}$
  - 7,91 km/s
- druga prędkość kosmiczna: $v_{II} = (2GM/R)^{1/2}$
  - 11,19 km/s

Ruch orbitalny Ziemi

- rok zwrotnikowy 365.2422
- rok gwiazdowy 365.2564
- wielka półoś orbity Ziemi a = 149,600,000 km
- mimośród e = 0.0167
- odległość w peryhelium $r_{min} = a(1- e) = 147.1$ mln
- odległość w aphelium $r_{max} = a(1+ e) = 152.1$ mln
- średnia prędkość orbitalna: $v = 2\pi a/1\text{rok} = 29.789$ km/s
- prędkość w peryhelium: $v_{max} = v((1+e)/(1- e))^{1/2} = 30.3$ km/s
- odległość w aphelium: $v_{min} = v\ ((1-e)/(1+ e))^{1/2} = 29.3$ km/s

Ziemia - budowa

- Budowa wnętrza
  - jądro żelazowo-niklowe
    - wewnętrzne, sztywne, 2% masy, 0 - 1200 km
    - zewnętrzne, płynne 31% masy, 1200 – 3500
      - pole magnetyczne Ziemi (dynamo)
  - płaszcz dolny, 50% masy, 3700 - 5700
  - płaszcz górny, 10% masy, 350 km
    - głównie z krzemianów, plastyczny, miejscami płynny
  - skorupa, 0.4% masy 40 km

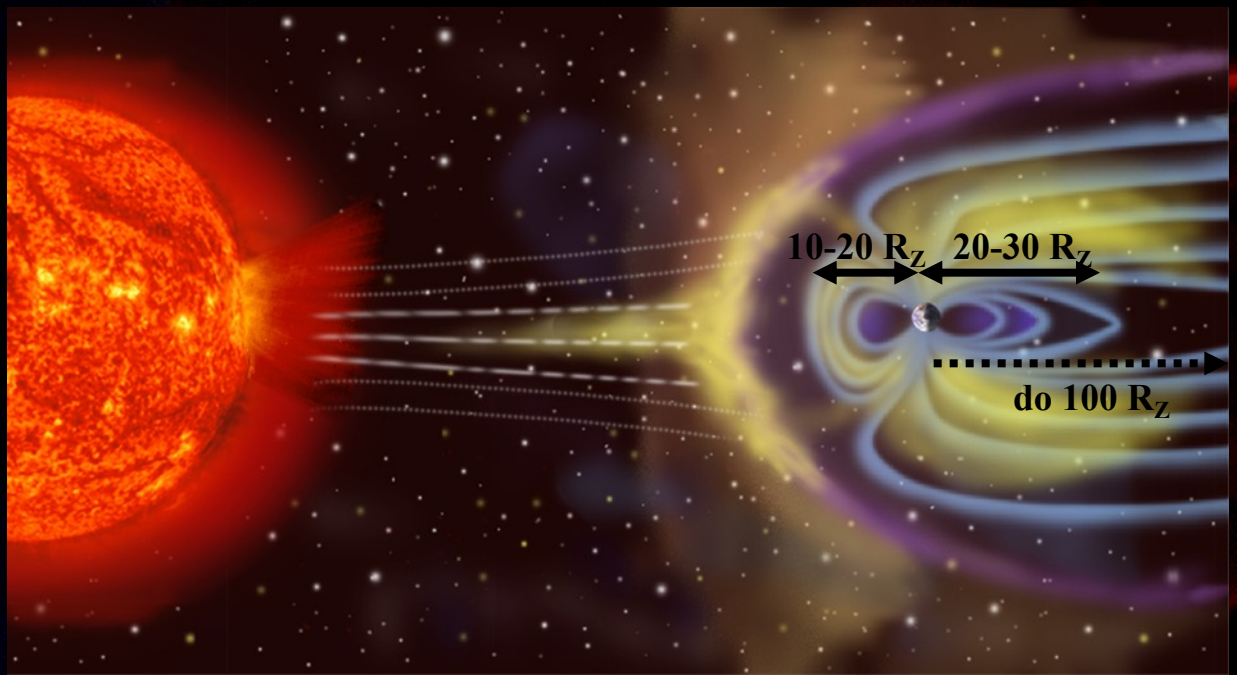
    bazaltowo-granitowa, płyty tektoniczne, 71% oceany, 29% lądy
- skład chemiczny
  - 34.6% żelazo, 29.5% tlen, 15.2% krzem, 12.7% magnez, 2.4% nikiel, 1.9% siarka, ...

Atmosfera Ziemi

- Atmosfera
  - pierwotnie głównie wodorowa
  - 78% azotu, 21% tlenu, 1% argon
- Warstwy:
  - troposfera (0 do 7-14 km) - monotoniczn temperatury z wysokością,
  - tropopauza (do 10-18 km) – warstwa izo
  - stratosfera (do 45-50 km) – temp. wzras ozon
  - mezosfera (do 80-85 km) – temp. maleje srebrzyste
  - termosfera (do 500-600 km) – temp. rośn
    - rozgrzana przez pochłaniany ultrafiolet;
    - zawiera tlen atomowy → zorze polarne
  - egzosfera (do ok. 2000 km) – rzadka, zin przestrzenią kosmiczną.

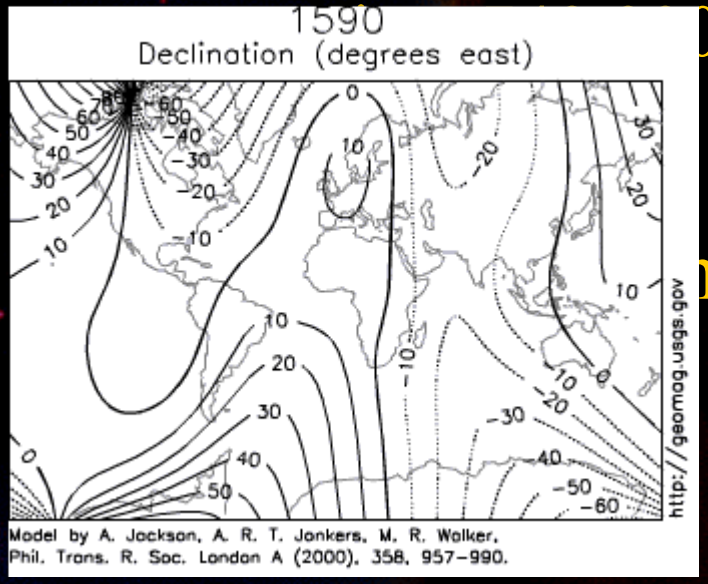
Ziemia - otoczenie

- jonosfera (500-1000 km) - zjonizowana plazma – odbija, załamuje, pochłania, polaryzuje promieniowanie radiowe
- magnetosfera: dipolowe pole magnetyczne



Pole magnetyczne Ziemi

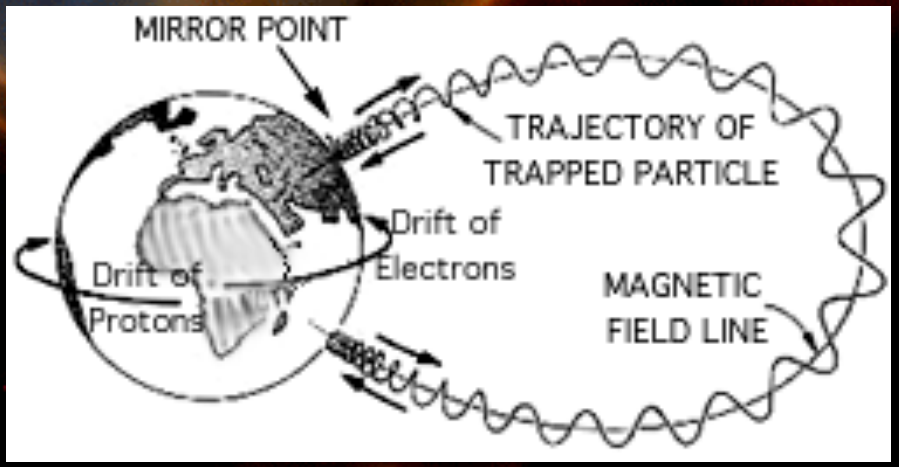
- natężenie 0.25 - 0.5 Gs (1 Gs= 100000 nT)
- bieguny magnetyczne – 11 stopni od geogr.
  – ruchy
- przebiegunowanie co 0.1mln – 50 mln lat
  0 tys lat temu

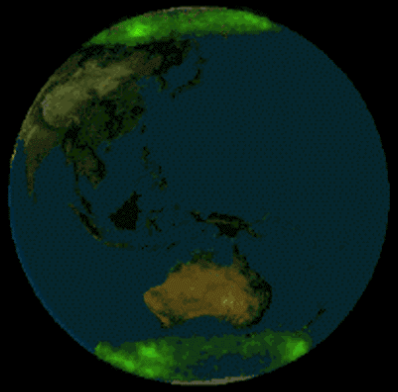


miczne

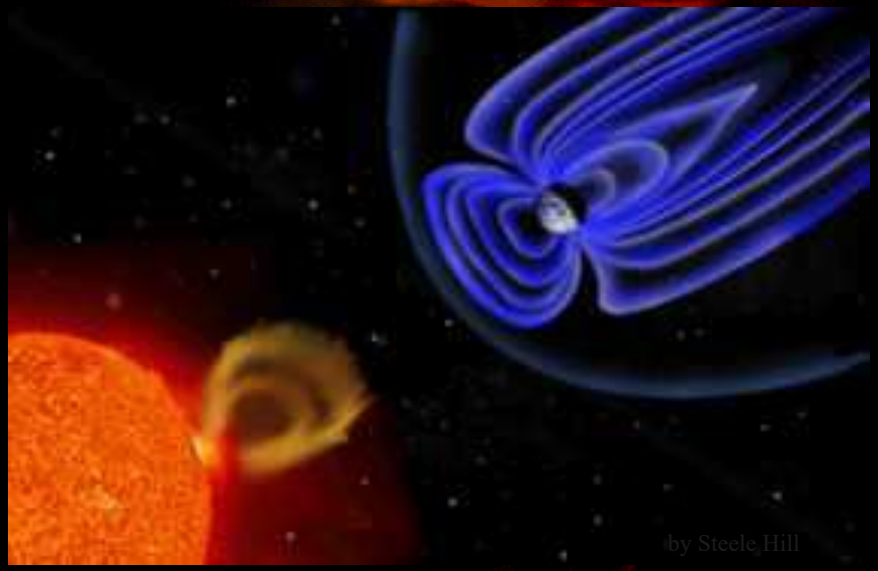
Zorza polarna

- Pasy Van Allena
  - wiatr słoneczny
  - elektrony i jony
  - pułapka magnetyczna
  - zwierciadło magnetyczne



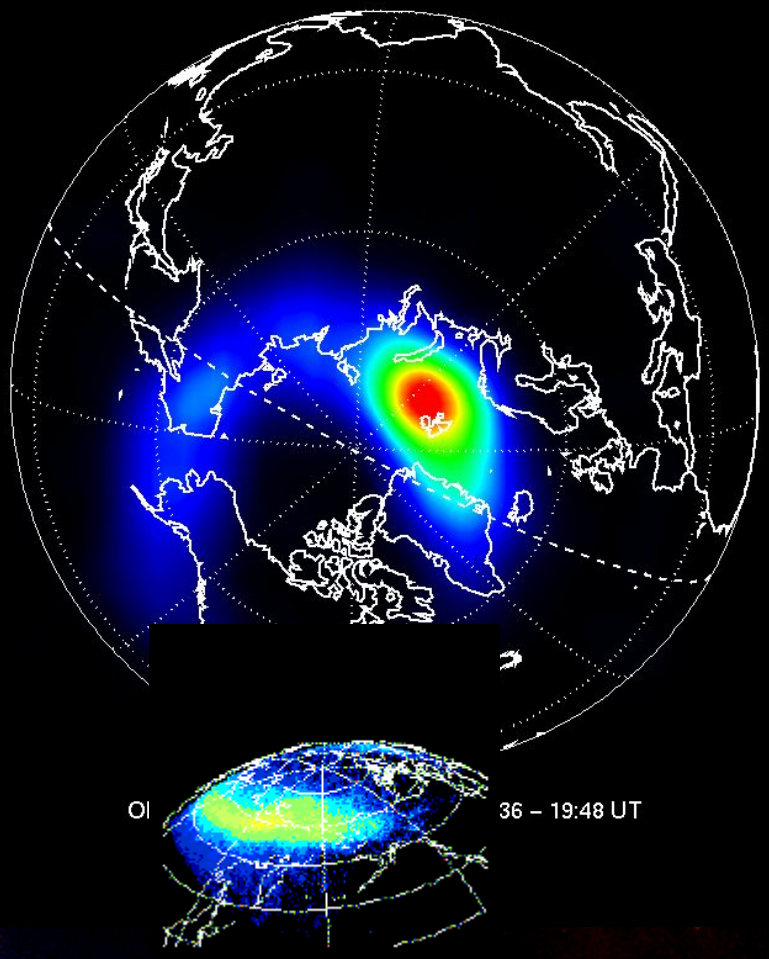


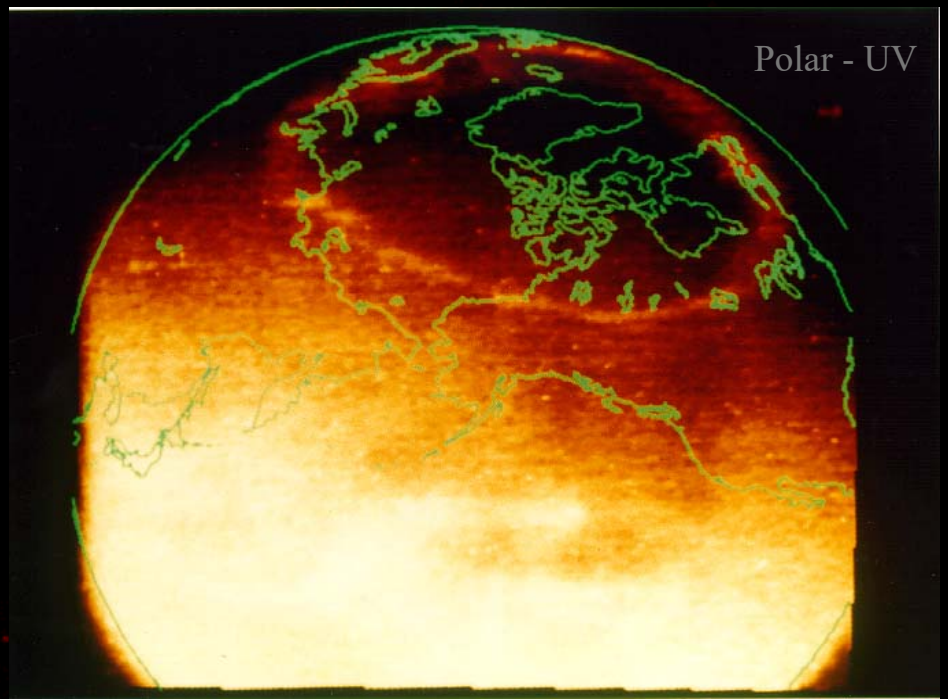
NASA-Polar



by Steele Hill

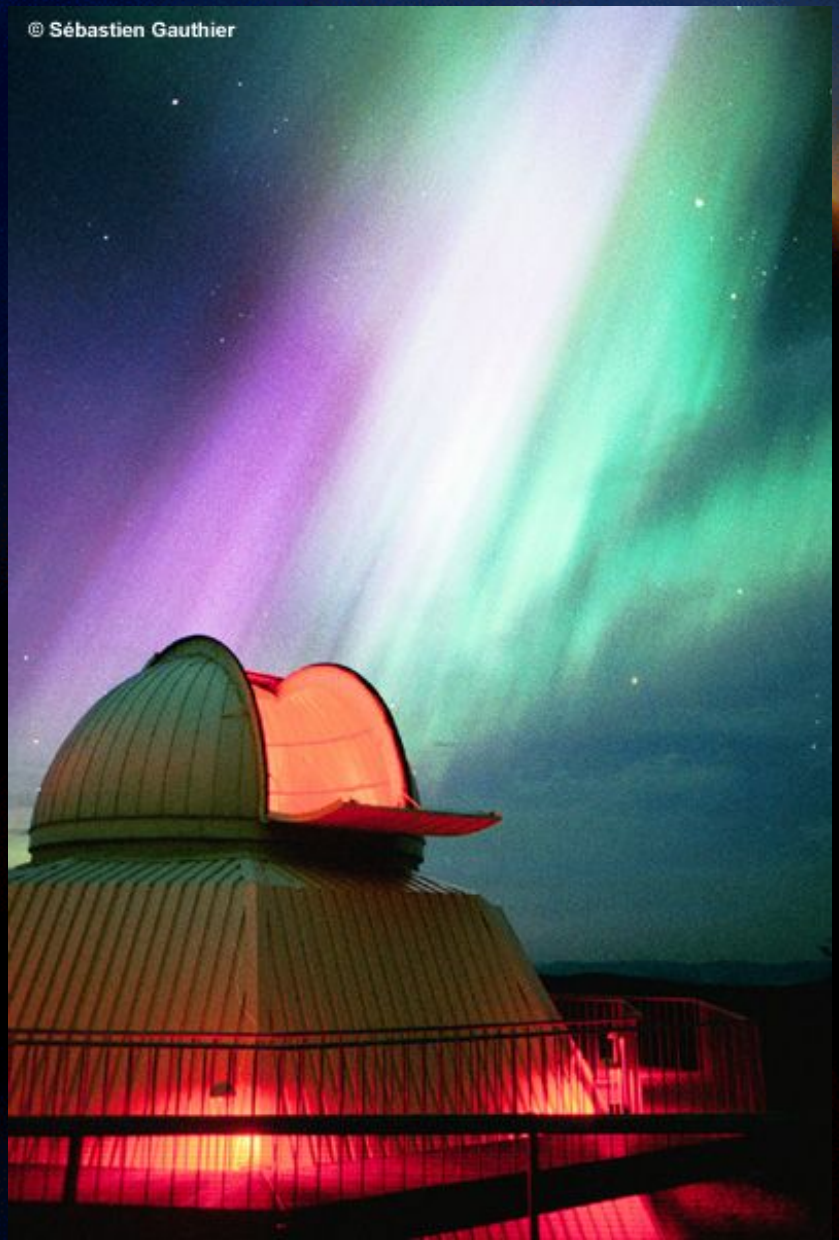
Zorza polarna





Zorza polarna

Zorza polarna



Ochrona ciemnego nieba

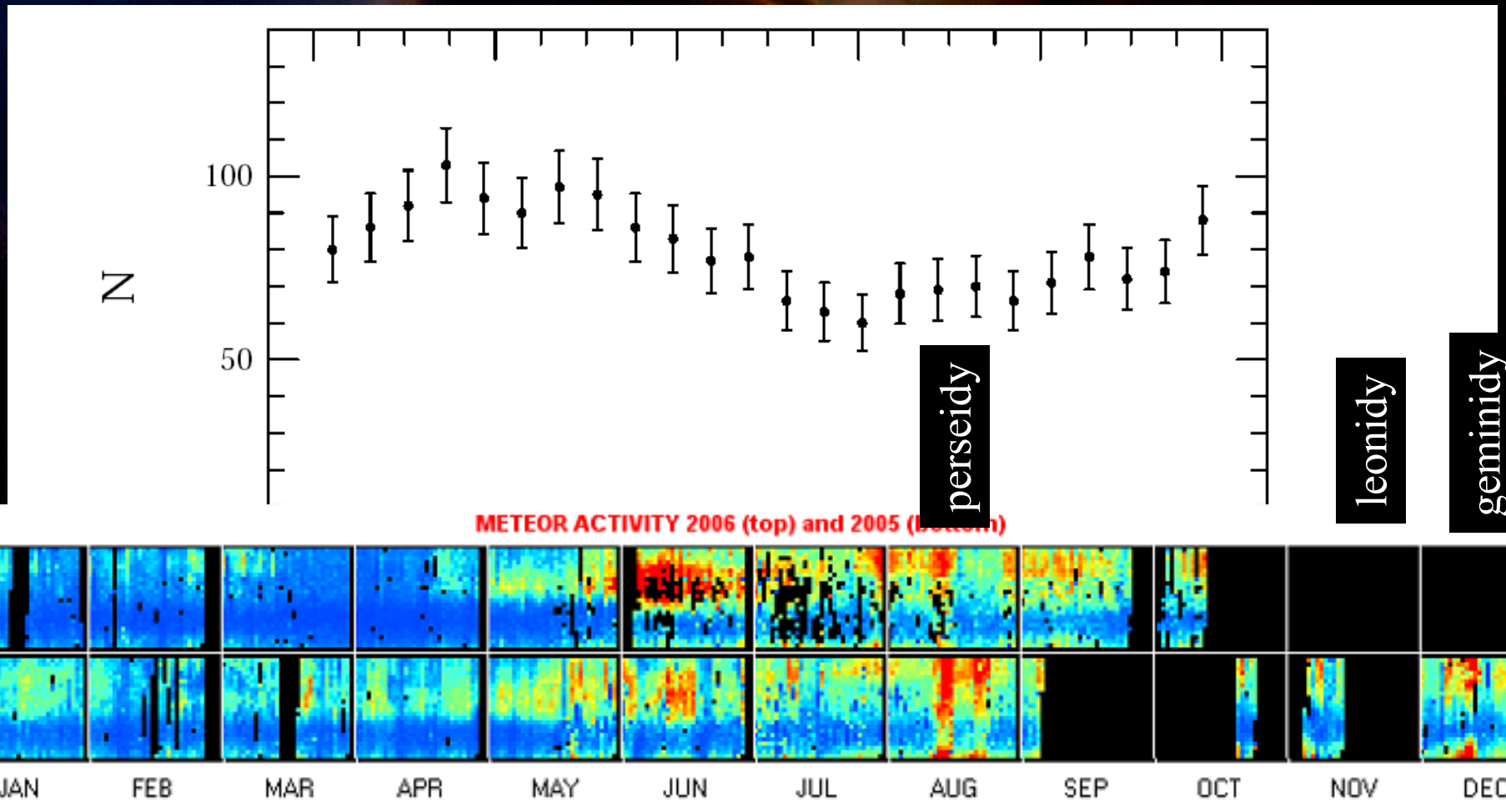
Defense Meteorological Satellite

Obserwacyjne dowody kulistości Ziemi

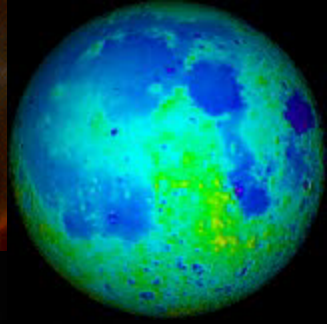
- Arystoteles (IV w. pne)
  - kolisty cień Ziemi na Księżycu w czasie zaćmienia
  - stopniowe zmiany wysokości bieguna podczas podróży wzdłuż południka
  - kołowy kształt horyzontu
  - stopniowe wyłanianie się statków spoza widnokręgu
- wyznaczenie promienia Ziemi (Eratostenes III w. pne)
  - w dniu przesilenia Słońce w zenicie w Asuanie
  - w odległości zenitalnej 7.2 stopnia w Aleksandrii
  - odległość Aleksandria-Asuan = 5000 stadionów
  - obwód Ziemi = 360/7.2*5000 = 250 000 stadionów

Obserwacyjne dowody ruchu orbitalnego Ziemi

- aberracja światła – 1728, James Bradley



Księżyc



Odległość od Ziemi: 384 tys. km

Mimośród: 0.0549

Nachylenie orbity: 5.145^{o}

Nachylenie osi: 6.688^{o} (do orbity)

1.543^{o} (do ekliptyki)

Masa: 7.35x10^{22} kg (1/81 M_Z)

Promień: 1737 km

Wiek: 4.6 mld lat (morza – 3.1)

Albedo: 0.12

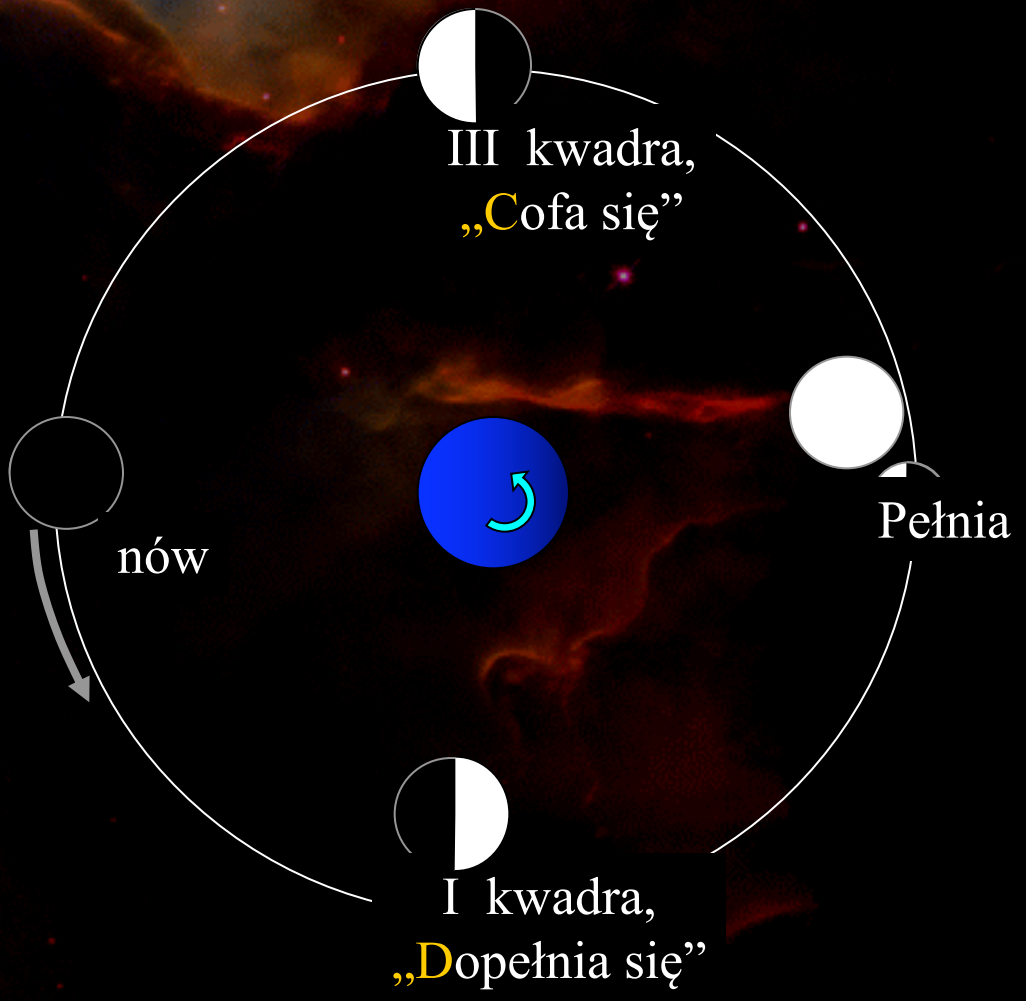
Przyspieszenie grawitacyjne: 1.622 m/s^2

Średnia gęstość: 3.35 g/cm^3

Lunacja księżycowa

lunacja – okres od nowiu do nowiu

Księżyc - fazy



- koniec 14/11/2024

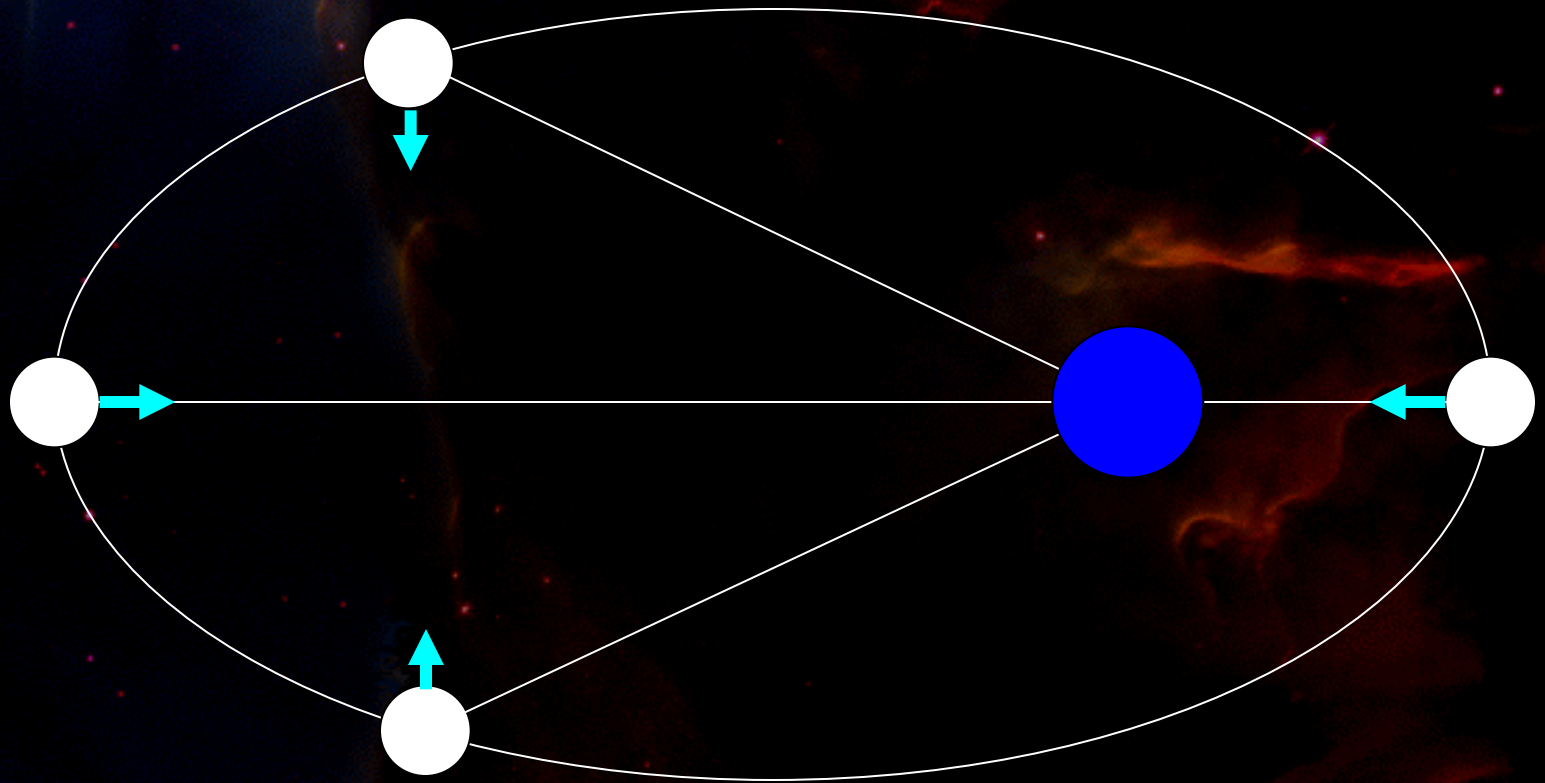
Libracja

- w sumie 59% powierzchni

libracja – wahanie, ważenie (od łac. libra)

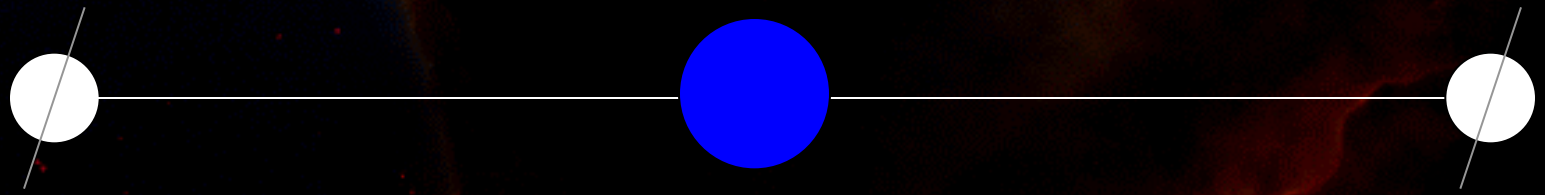
Libracje Księżycowe

- Libracja w dugości – 7.6^{o}
- okres – miesiąc anomalistyczny 27.55455



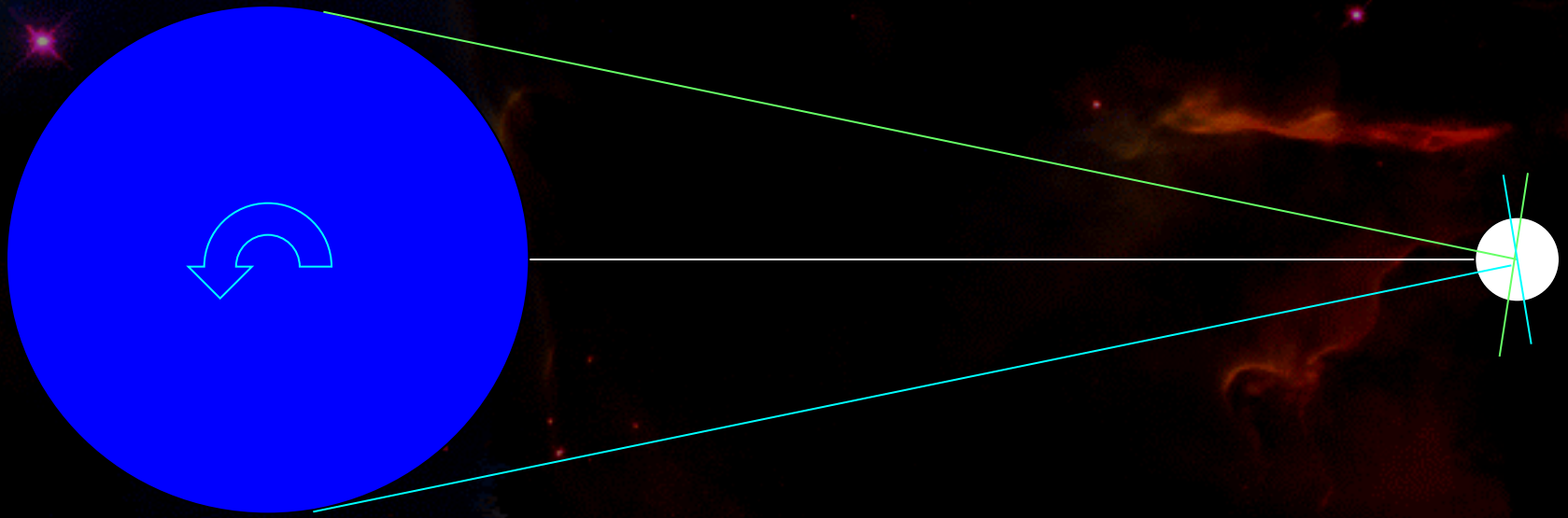
Libracje Księżycowe

- Libracja w szerokości – 6.7^{o} (nachylenie)
- okres – miesiąc smoczy (27.21222)



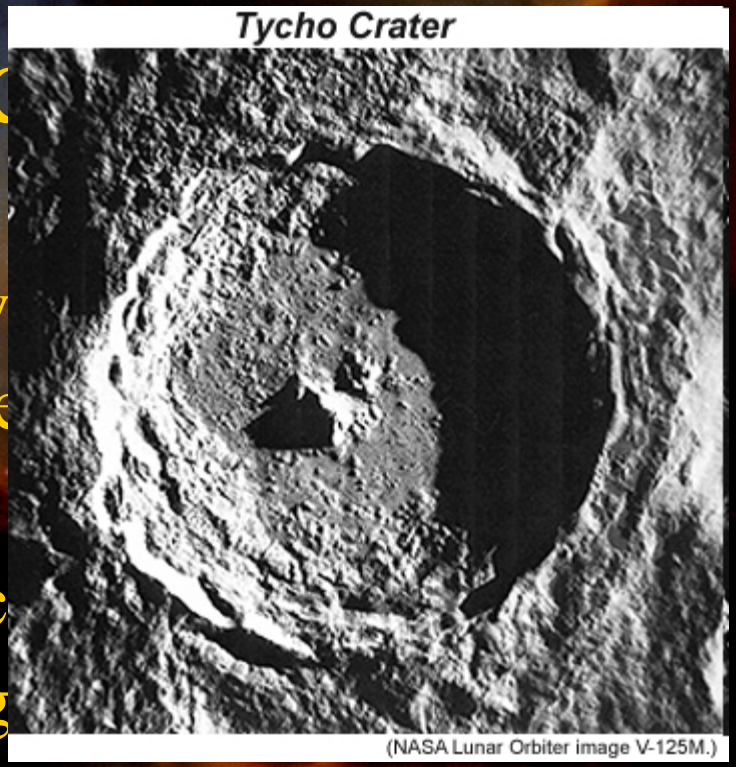
Libracje Księżycowe

- Libracja dobowa – 1°



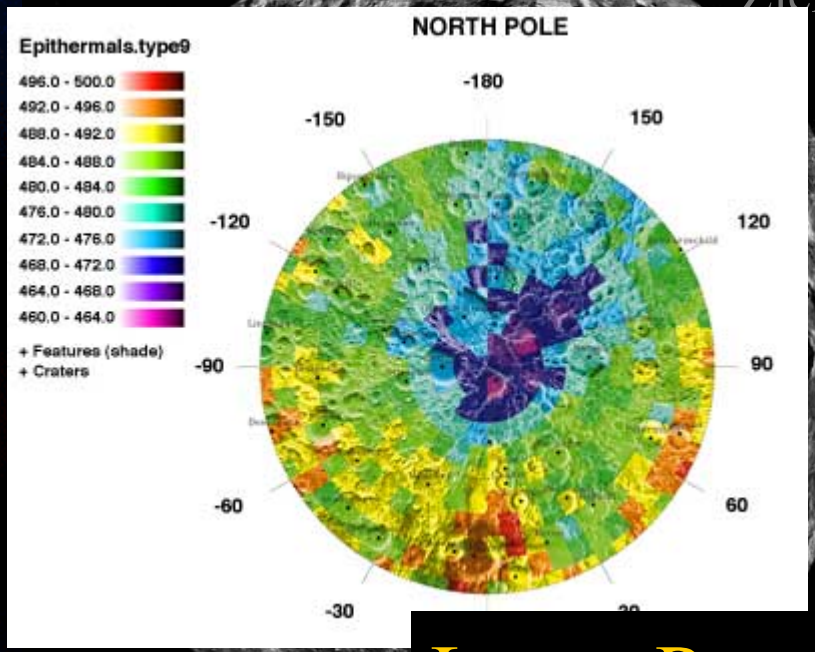
Księżyc - buc

- Ciężkie jądro (plastyczne?, pły
- Płaszcz (stały, brak pola magne
- Skorupa (regolit)
- morza (półkula niewidoczna ic
- kratery (góry pierścieniowe), g
- uskoki, rozpadliny, grzbiety (D<300 km, H<8 km)
- Brak atmosfery
- Temperatura (-130°C do +110°C)
- Woda na dnie kraterów biegunowych

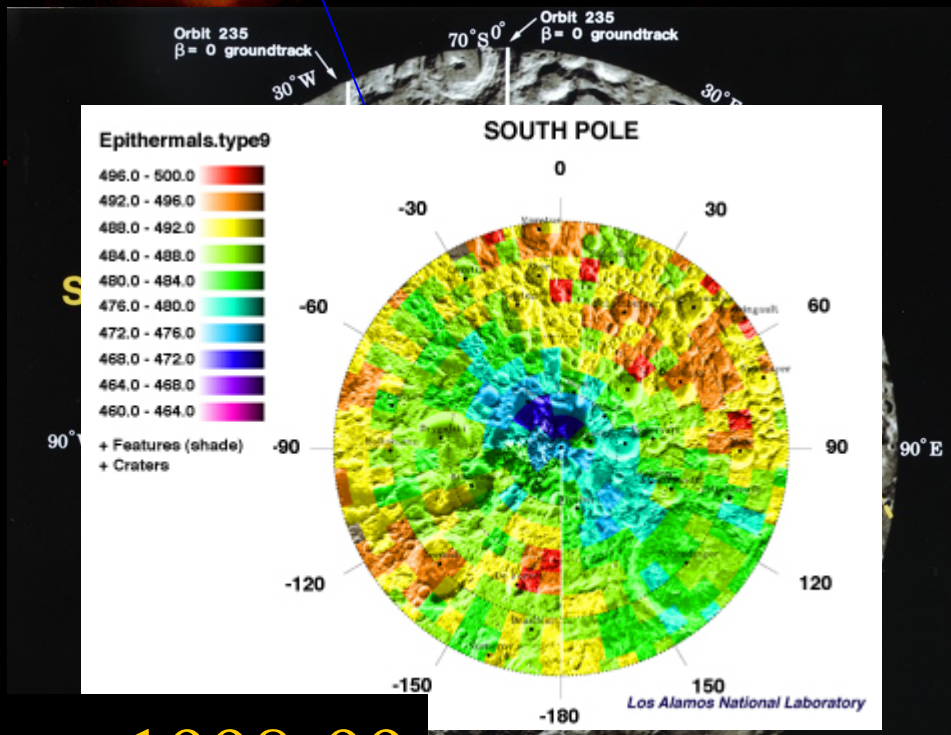


Księżyc – biegun południowy

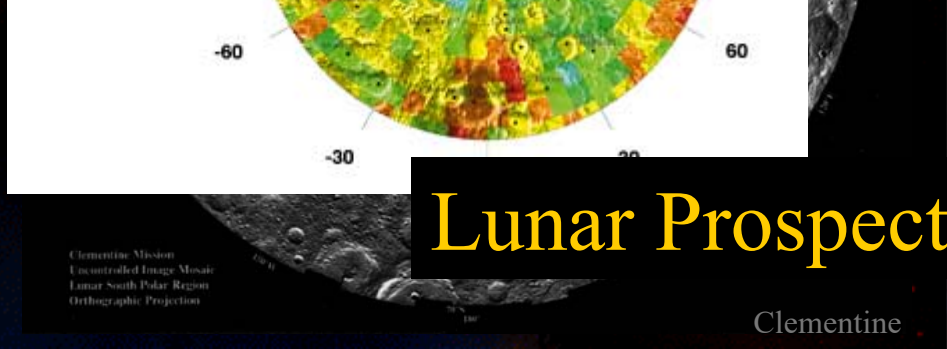
- Sonda Clementine, 1996
  - woda na dnie kraterów biegunowych



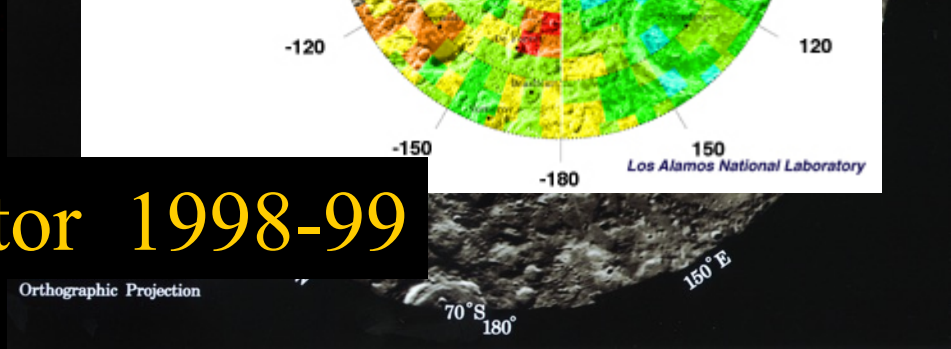
Ziemia



Lunar Prospector 1998-99

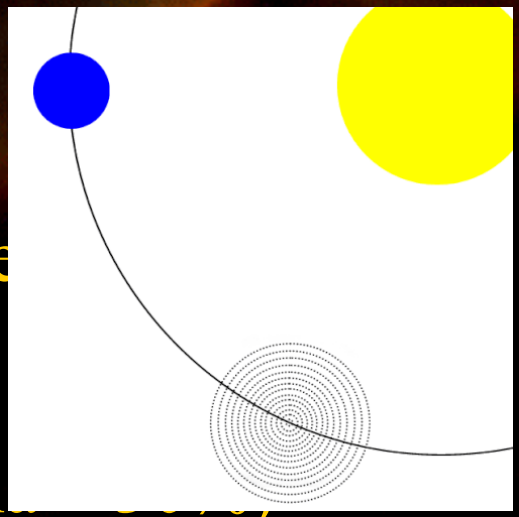


Clementine



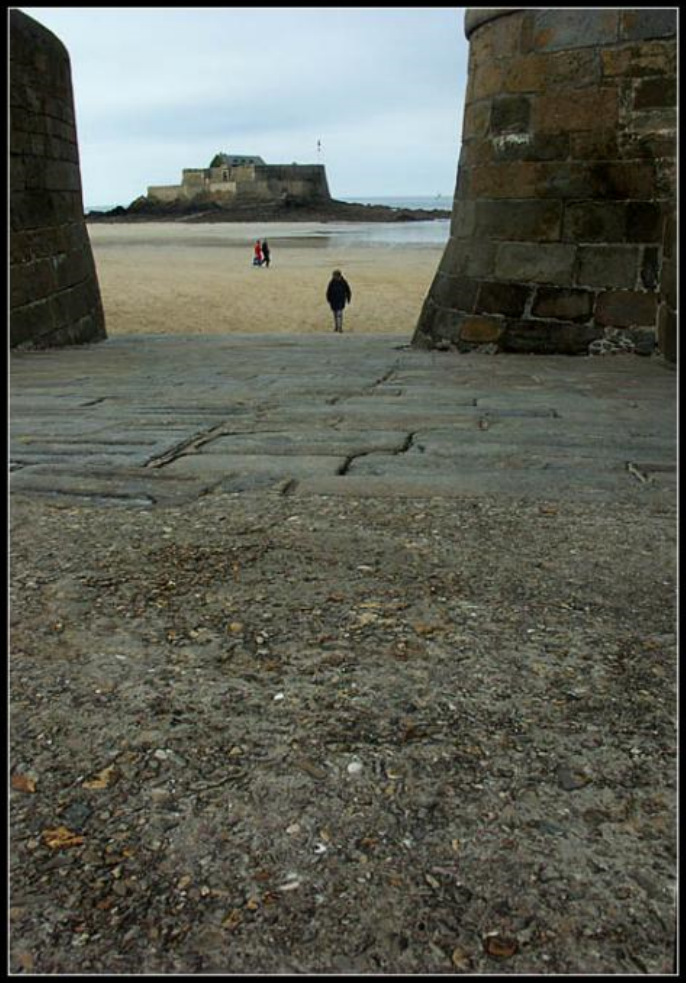
Człowiek na Księżycu - Apollo 11-17

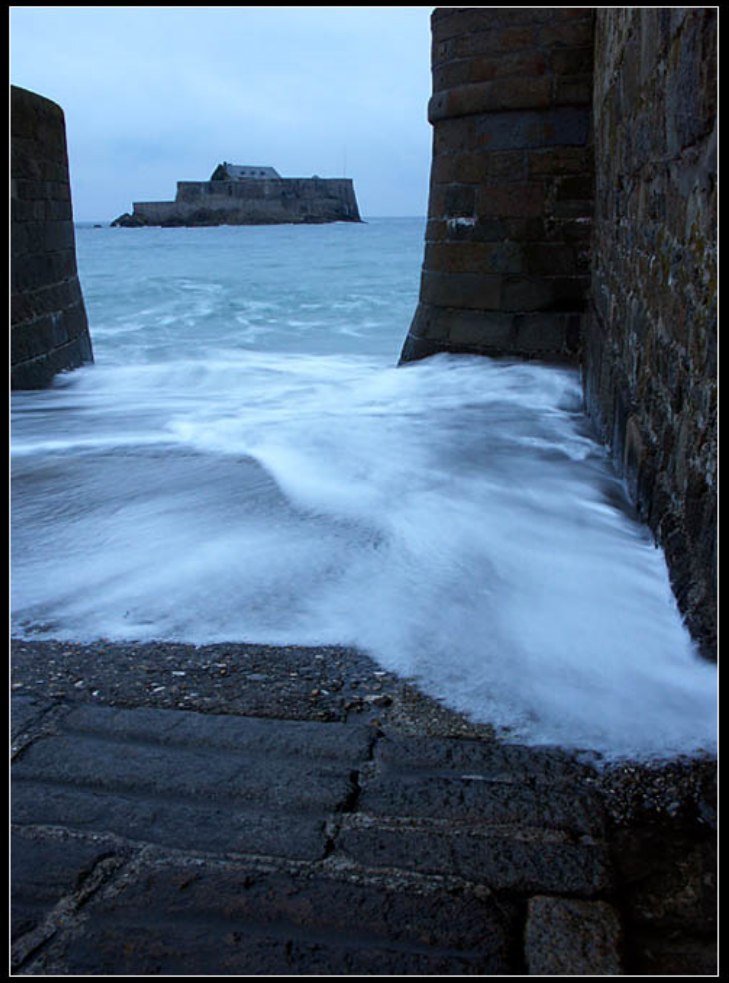
Księżyc – hipotezy powstania



- Przechwycenie
  - wymaga oddziaływania trójciałowe
- Wspólne powstanie
  - ale: jądro zawiera 4% masy (Ziemi
- Oderwanie od Ziemi (Hartmann, 1974)
  - skład mineralny skorupy – podobny
  - zderzenie z Theą o rozmiarach Marsa
  - kiedy jądro Ziemi było już uformowane

Pływy





Odpływ

Pływy (przypływy i odpływy)

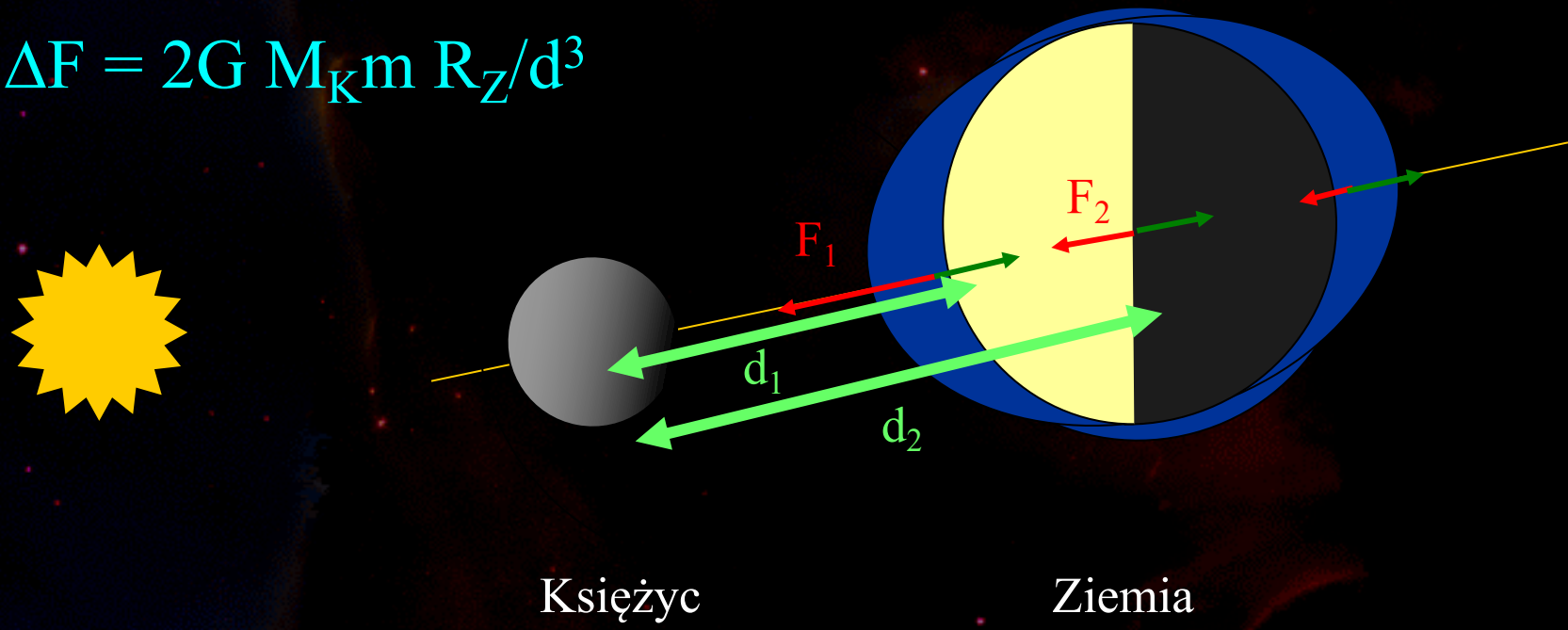
- Siły przypływowe

$F_1 = G M_K m/d_1^2 \qquad F_2 = G M_K m/d_2^2$

$F_1 - F_2 = G M_K m(1/d_1^2 - 1/d_2^2) = G M_K m(d_2^2 - d_1^2)/(d_1^2 d_2^2)$

$G M_K m (d_2 - d_1)(d_1 + d_2)/(d_1^2 d_2^2) = G M_K m R_Z 2d/d^4 =$

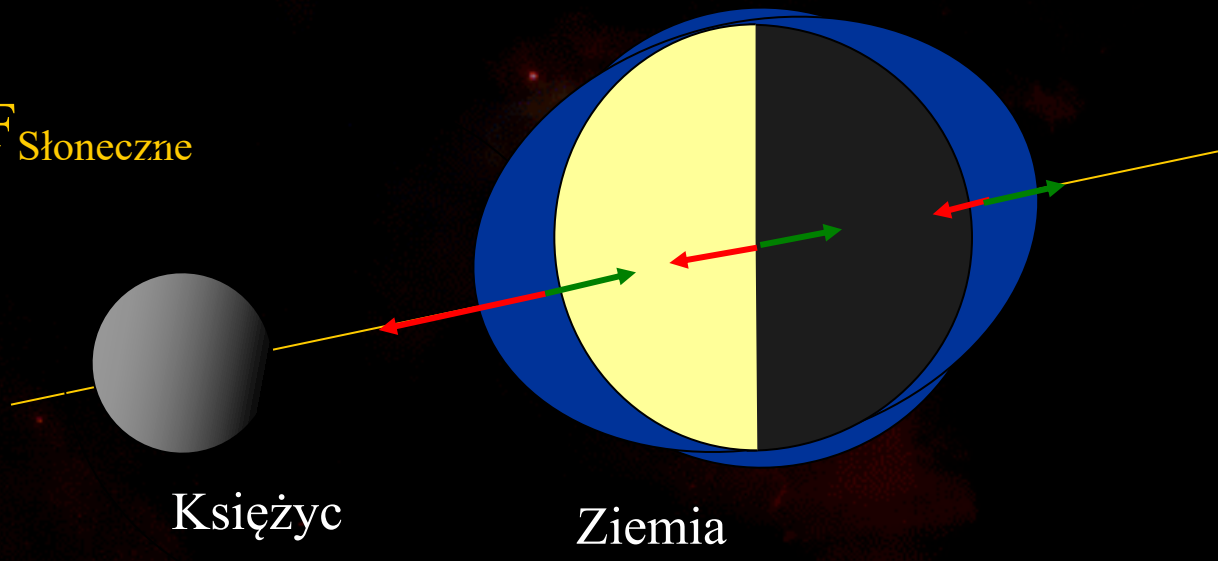
$\Delta F = 2G M_K m R_Z/d^3$



Pływy (przypływy i odpływy)

- Siły przypływowe
  - $F \sim M/d^3$
- Pływy
  - księżycowe
  - słoneczne

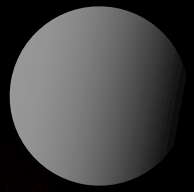
$F_{Księżycowe} = 2.18\ F_{Słoneczne}$

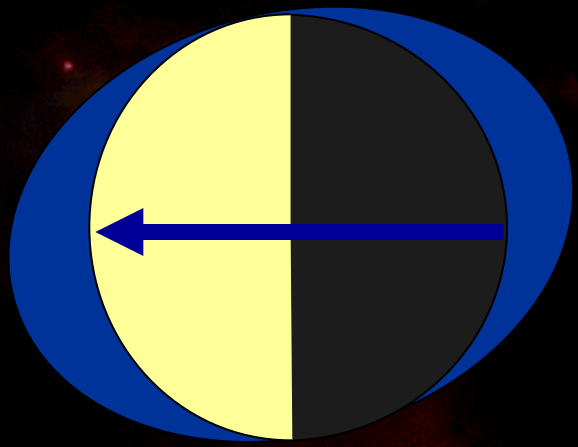


Pływy

- Zmiany w cyklu miesięcznym:
- największe
  - nów, pełnia

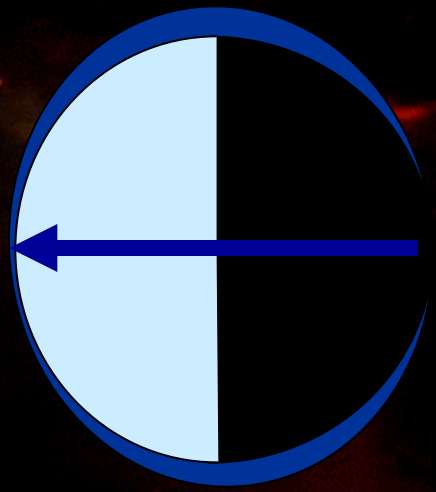
(pływy syzygijne)





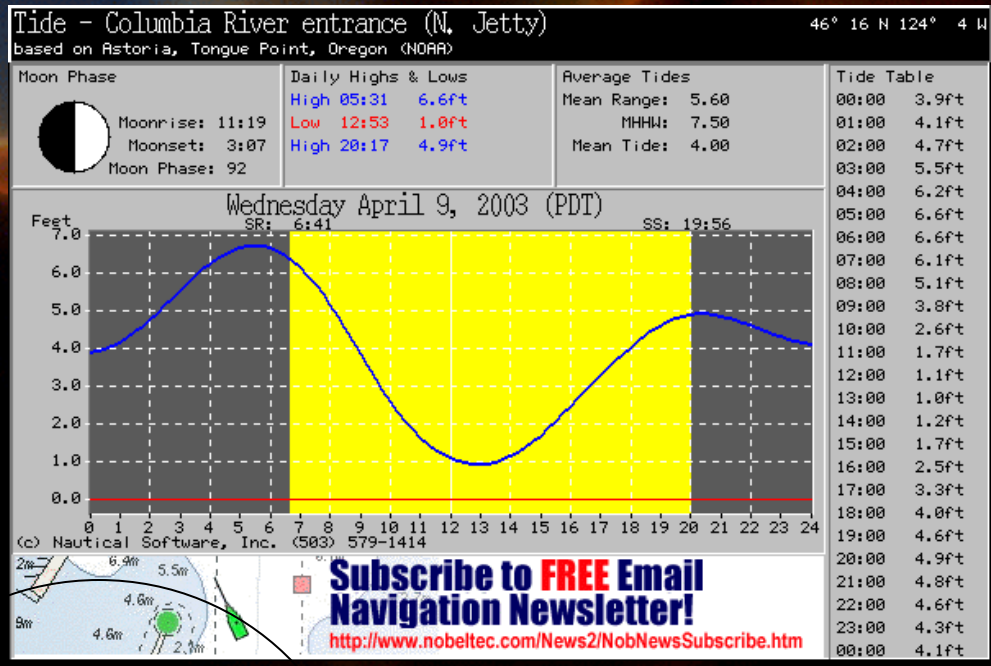
Pływy

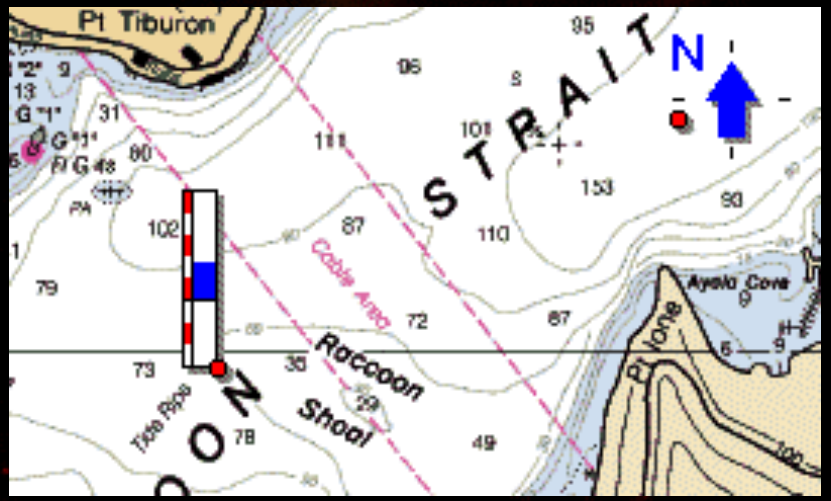
- Zmiany w cyklu miesięcznym:
- najmniejsze:
  - I i III kwadra
  - kwadraturowe



Pływy

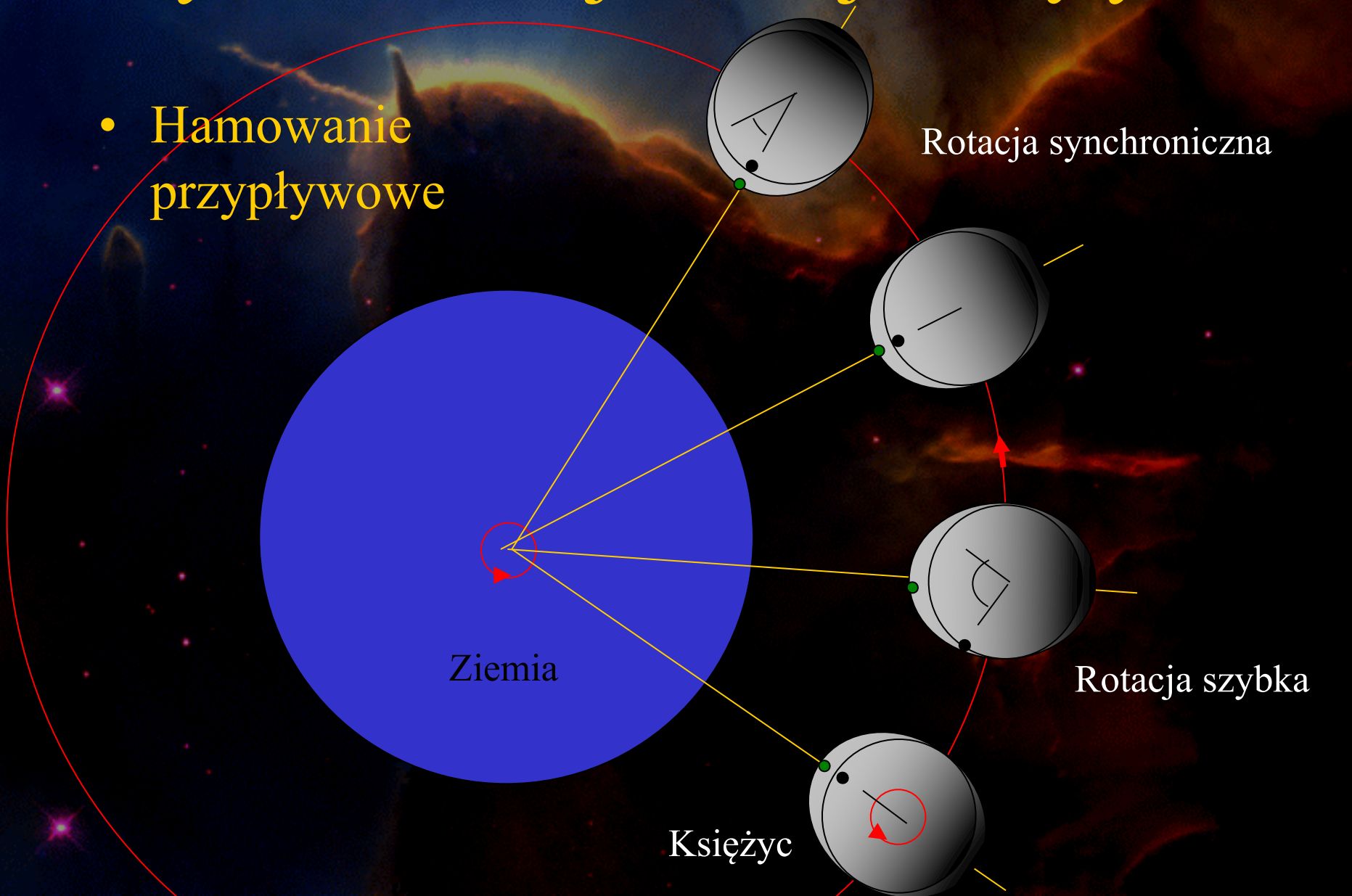
- Wysokość pływów
  - ocean: 0.5-1 m
  - cieśniny: 15-20 m
  - Bałtyk: 2 cm
  - skorupa Ziemi: 15 cm
- Prądy pływowe



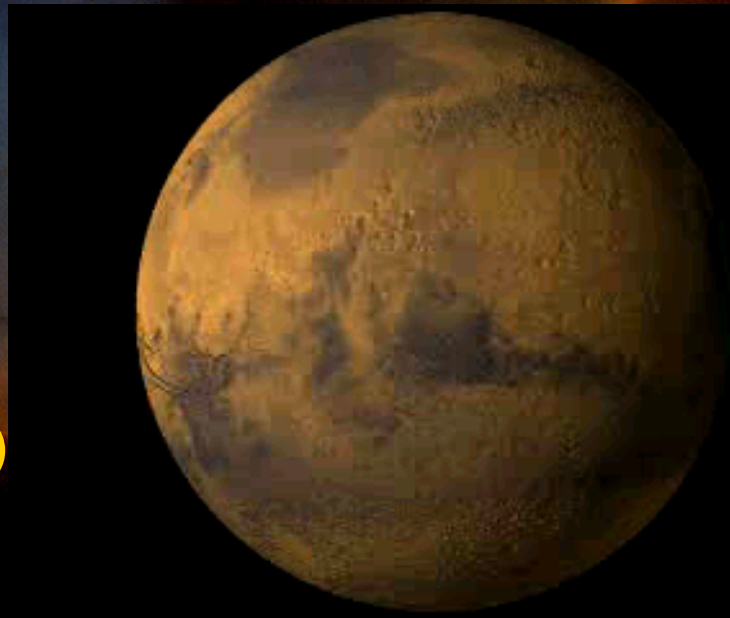


Synchronizacja rotacji Księżyca

- Hamowanie przypływowe

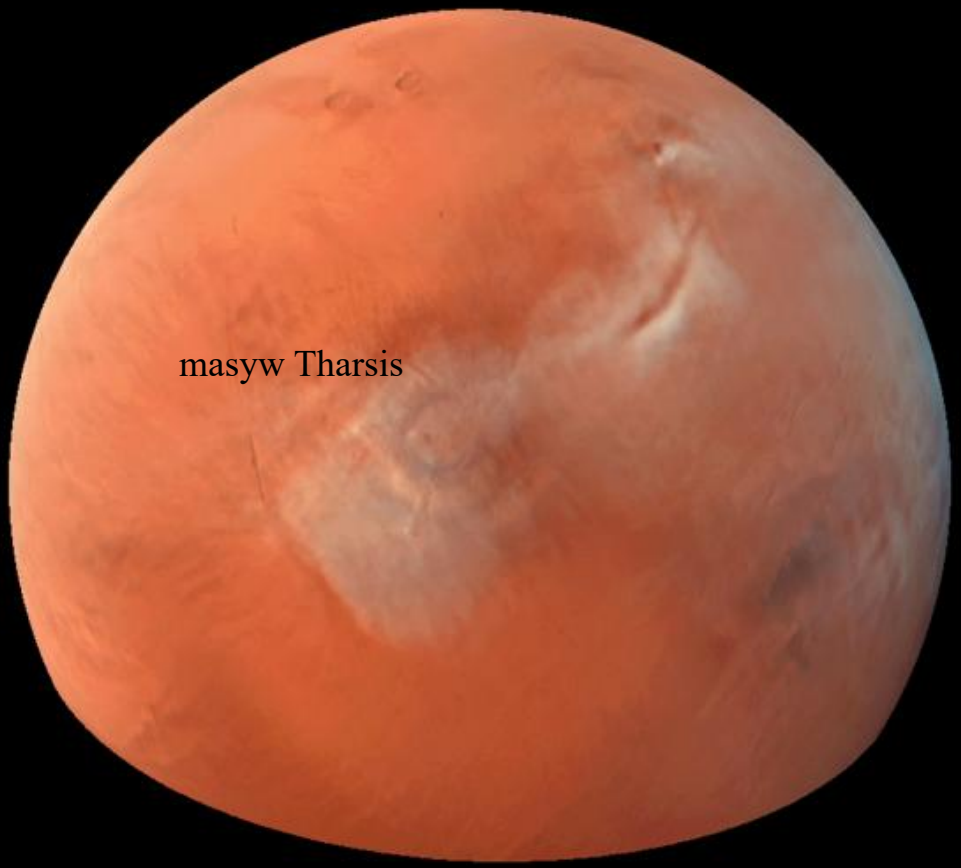


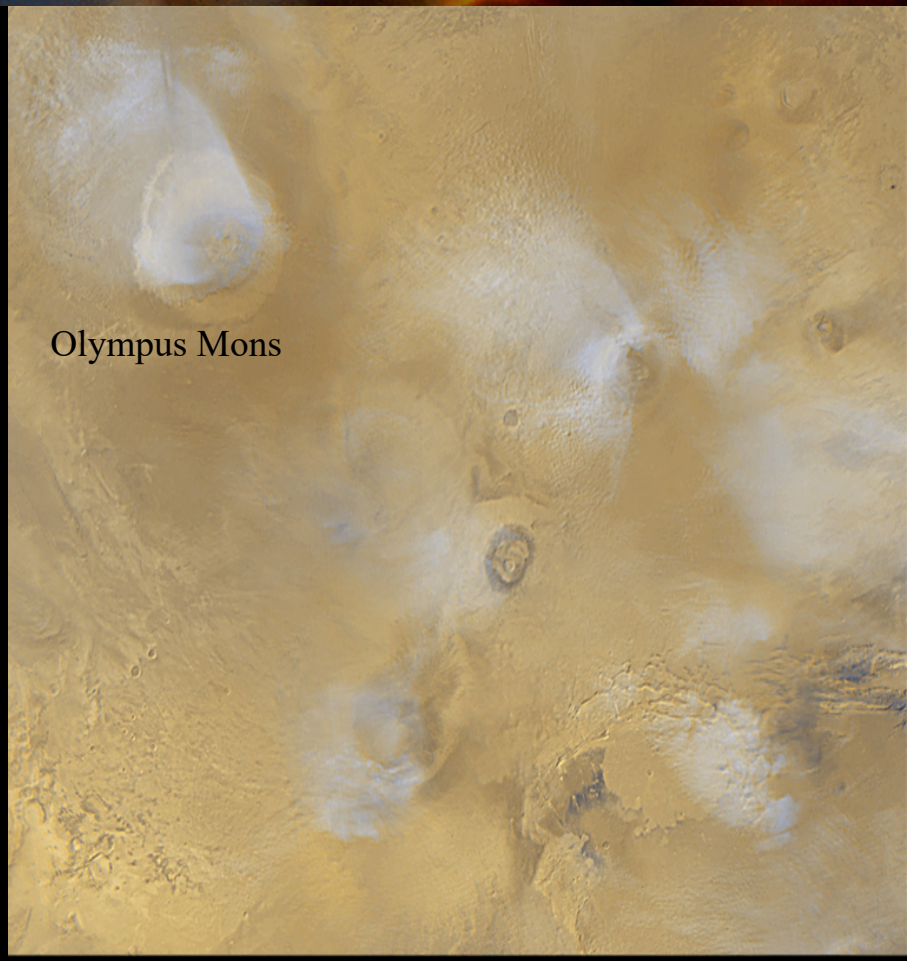
Mars



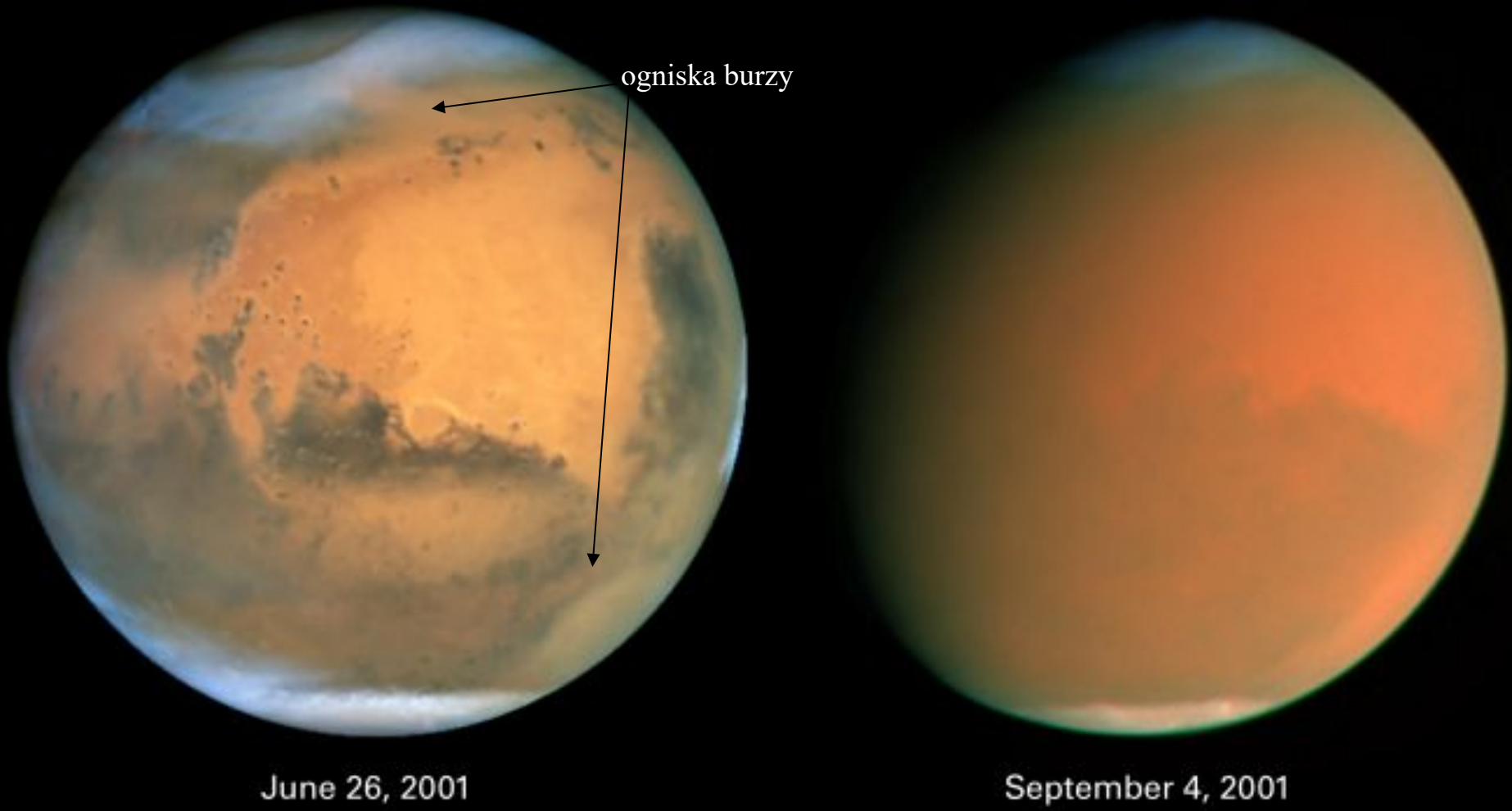
- Odległość od Słońca:
  227 mln km (1.52 AU)
- Masa: 6.4×10^{23} kg (0.11 M_Z)
- Promień: 3388 km (0.53 R_Z)
- Okres obrotu 24 h 37 m
- Okres obiegu: 1.88 roku
- Temperatura: 0°C do -100°C, zmiany sezonowe
- Rzadka atmosfera 70 mm Hg:
  - głównie CO_2, woda
- Skorupa zawiera krzem, związki żelaza, siarkę

Mars - chmury


masyw Tharsis


Olympus Mons
MOC2-134a
Malin Space Science Systems/NASA

Mars – burze pyłowe

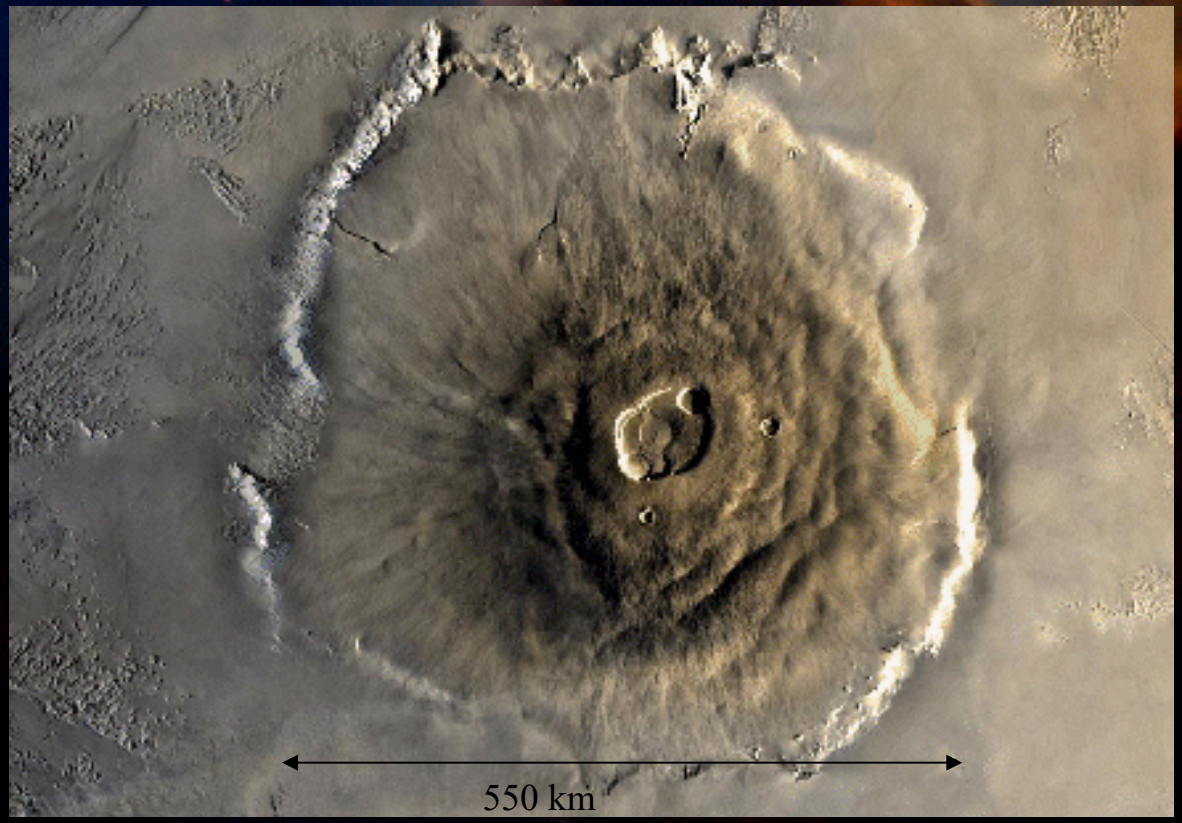


HST

Mars

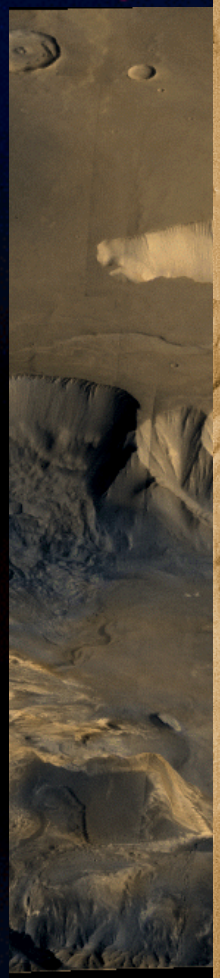
- ‘marso’logia (planetologia)
  - góry – Olympus Mons – 24 km
  - kanały Shiaparelliego – fałszywe
  - doliny rzek (suche)
  - czapy polarne (głównie zestalone CO_2)
  - księżyce – Fobos i Deimos (Strach i Groza)
  - badania Vikingów, Pathfinder, Mars Global Orbiter
  - Spirit, Opportunity: 2004
  - w drodze (11/2011): Curiosity

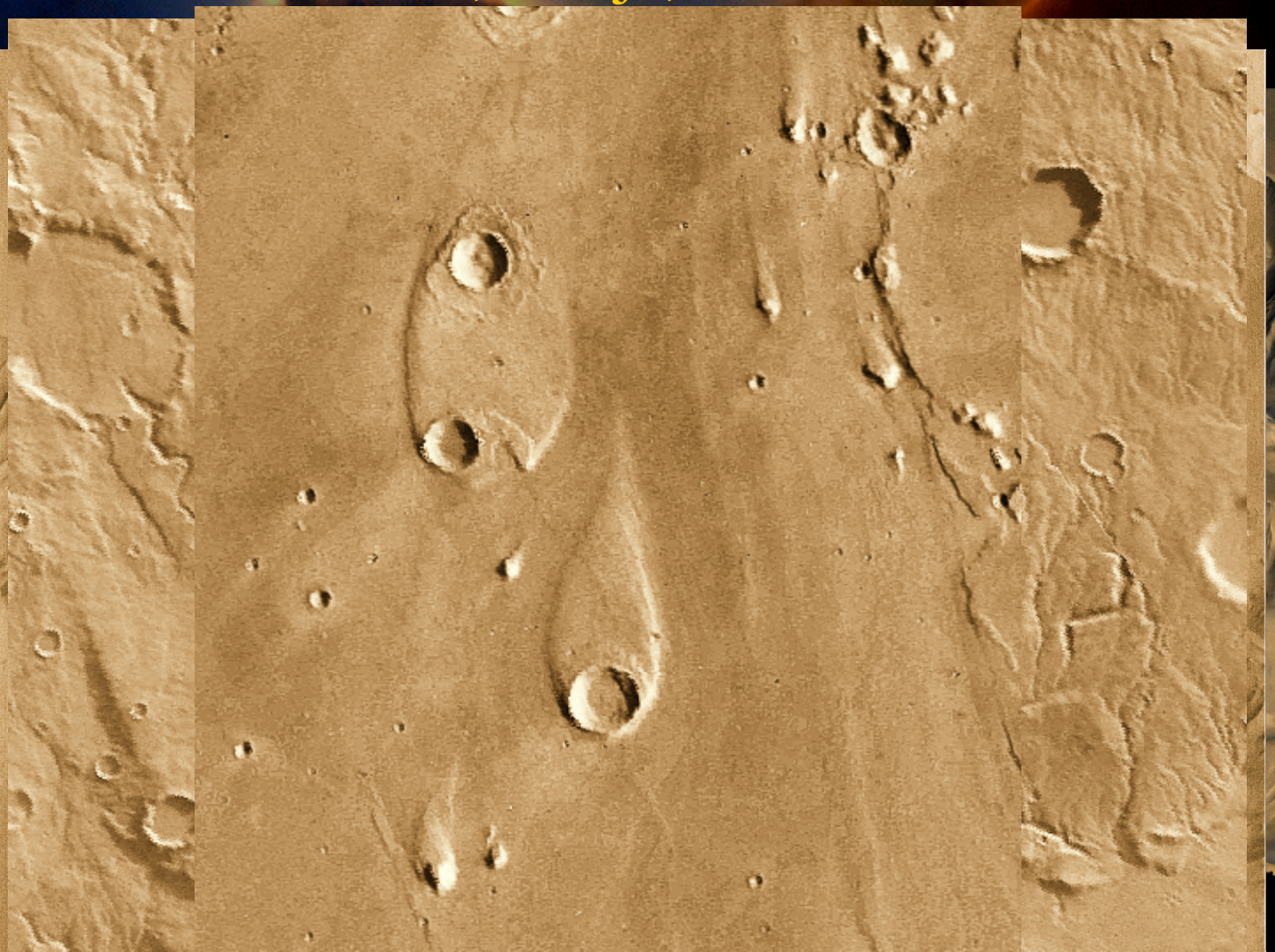
Mars – Olympus Mons

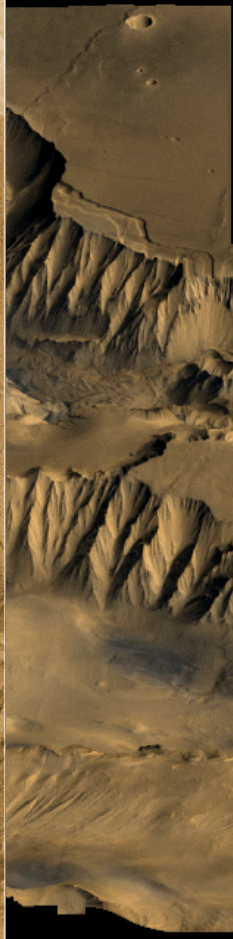


Mars

- Rzeźba – tektonika, erozja, wulkanizm

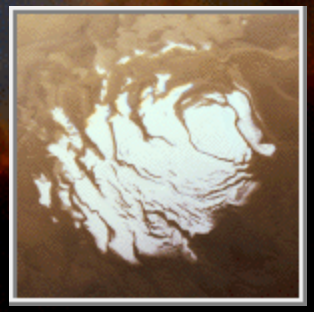






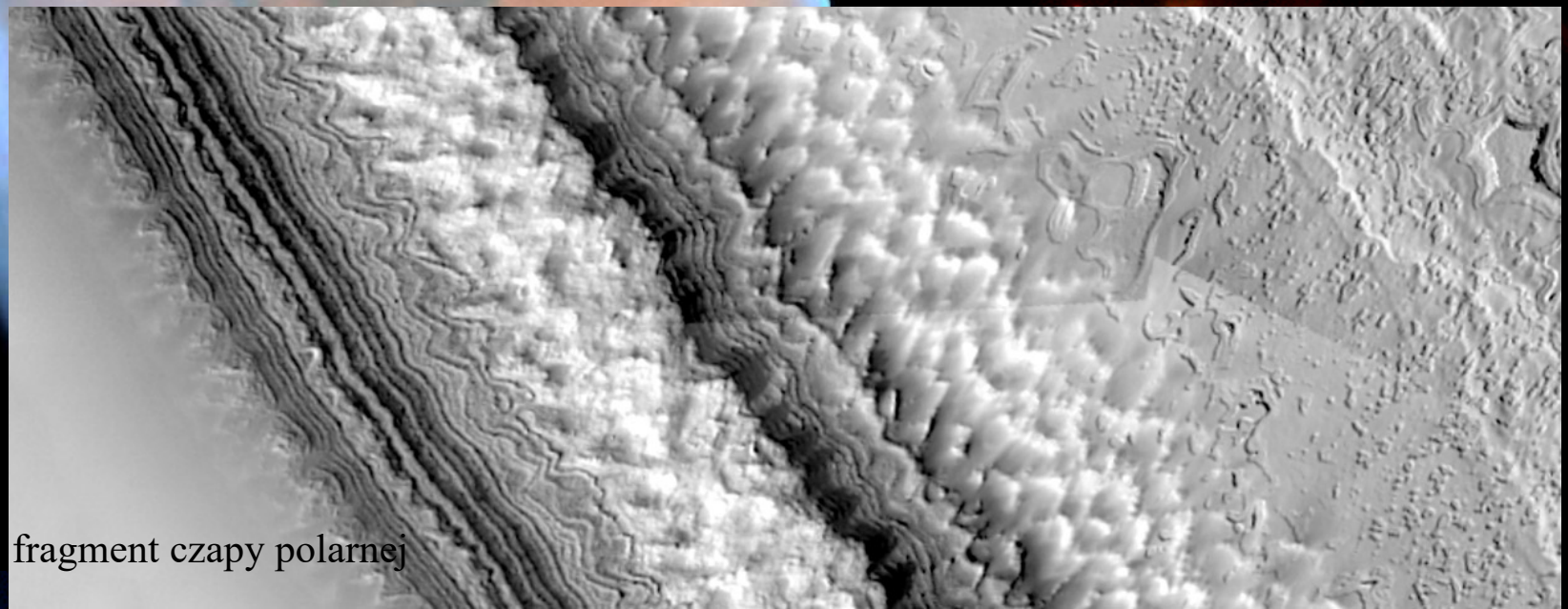
Mars – czapy polarne

wiosna

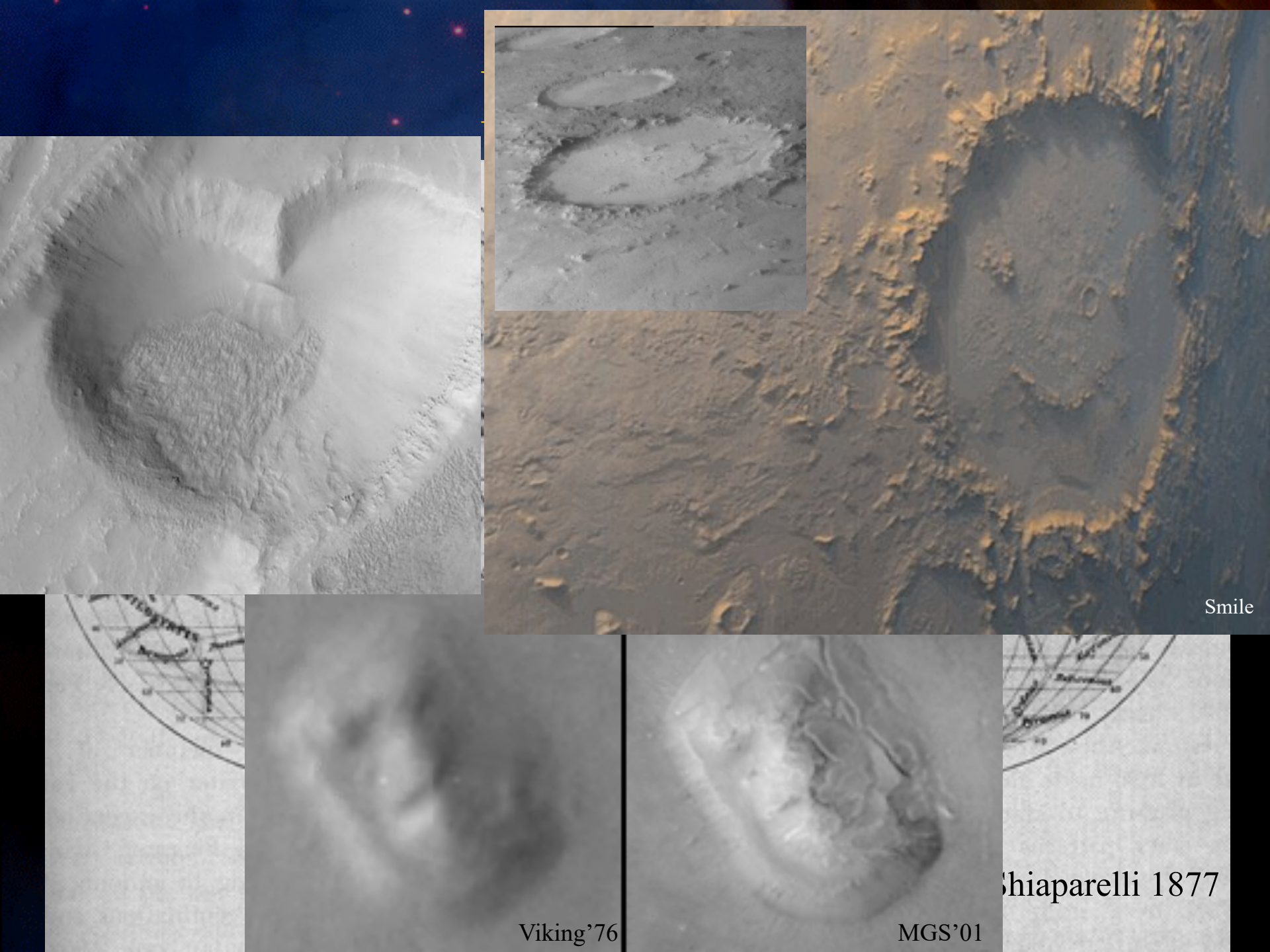


południowa - CO_2

północna - H_2O



fragment czapy polarnej

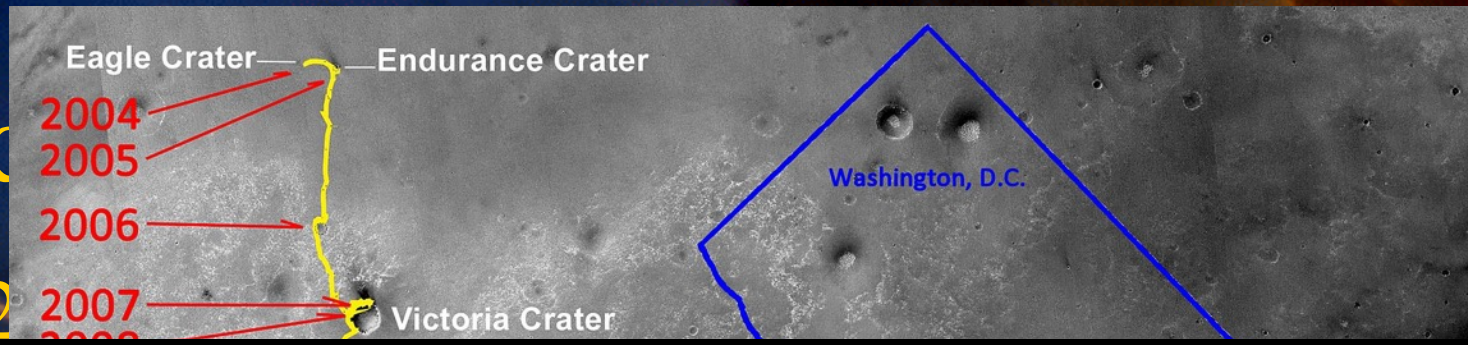

Smile
Viking'76
MGS'01
Shiaparelli 1877

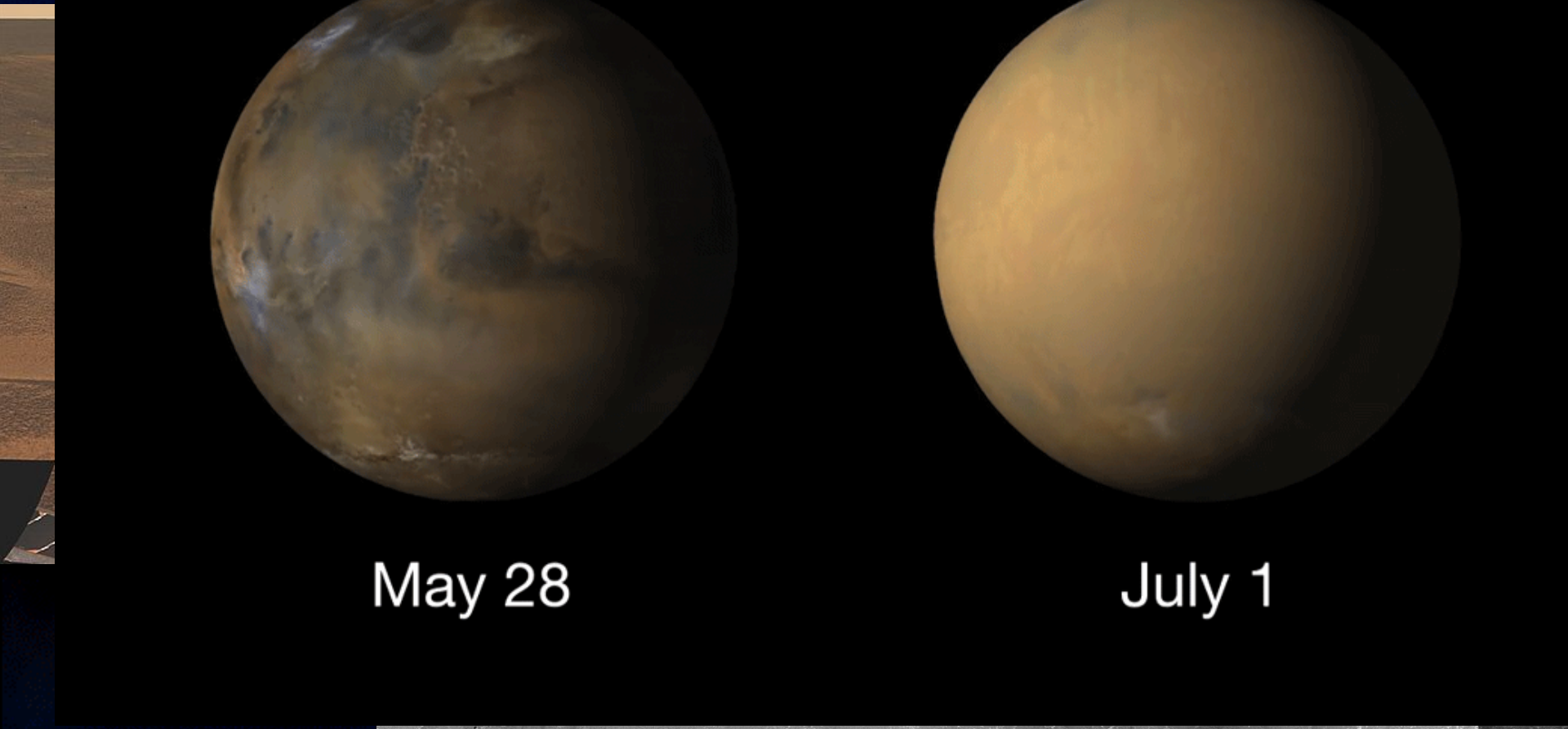
Badania powierzchni Marsa

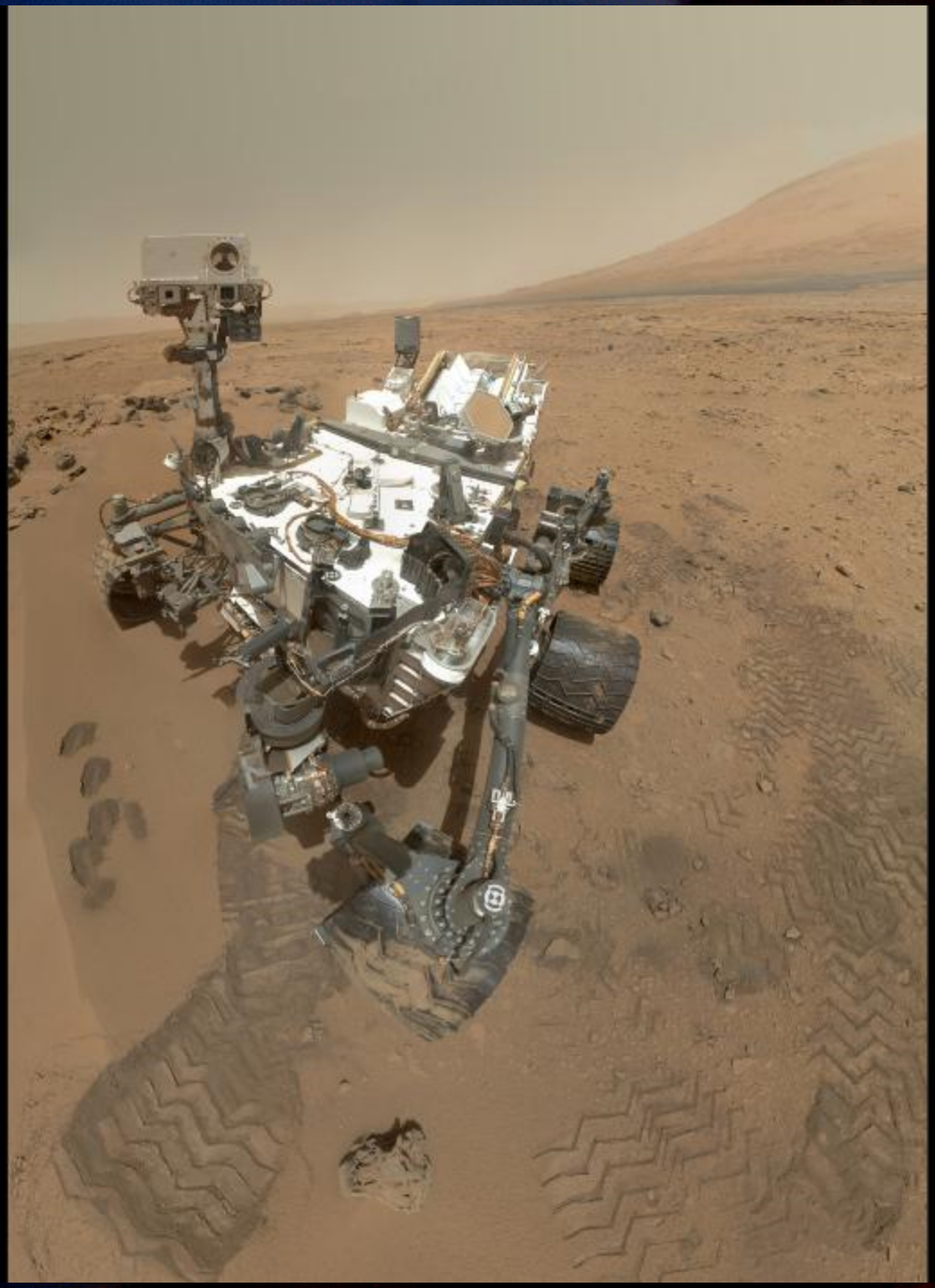
- Pathfinder/ Sojourner Rover, 1997

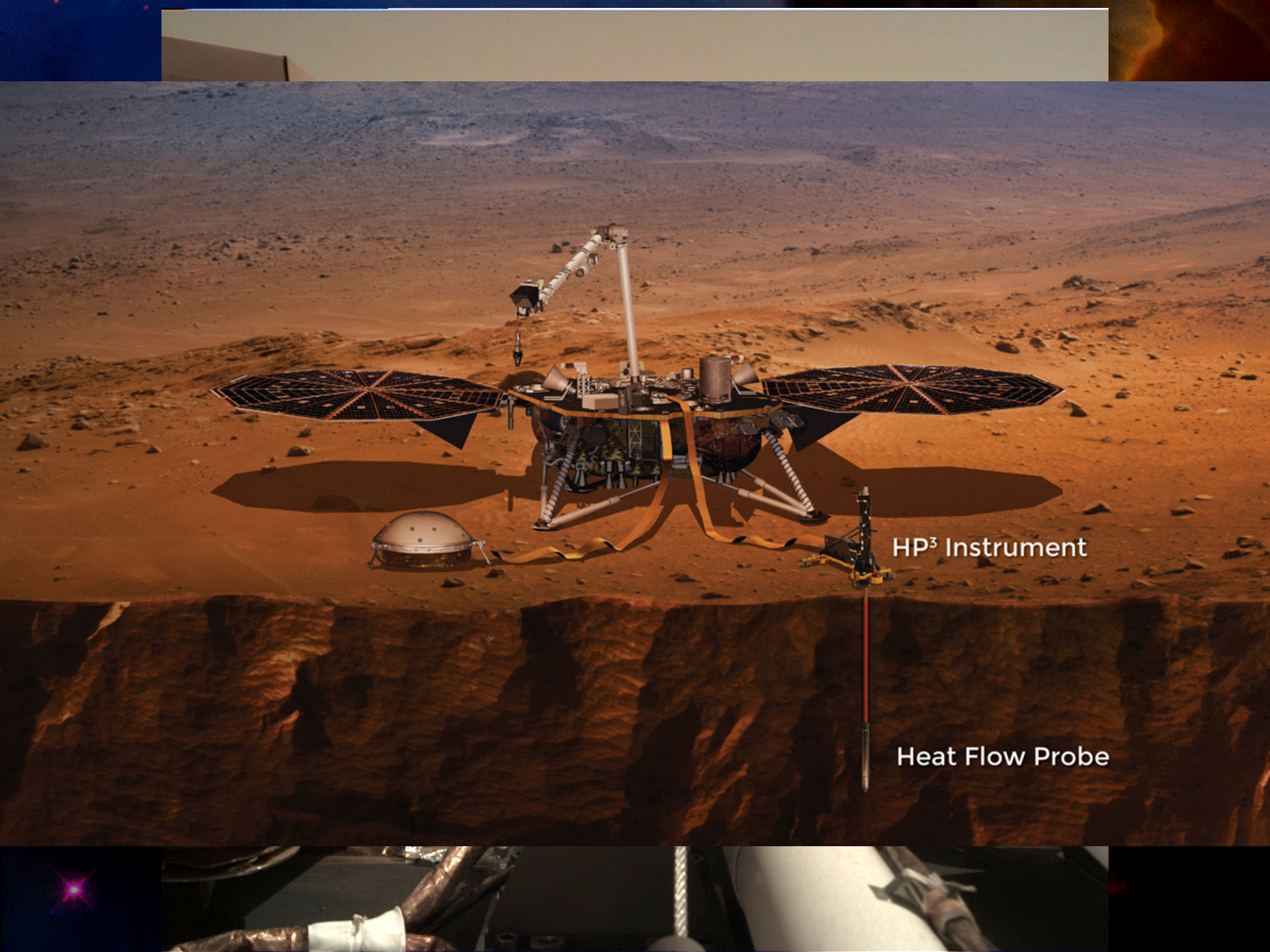
Bac

- Spirit 2

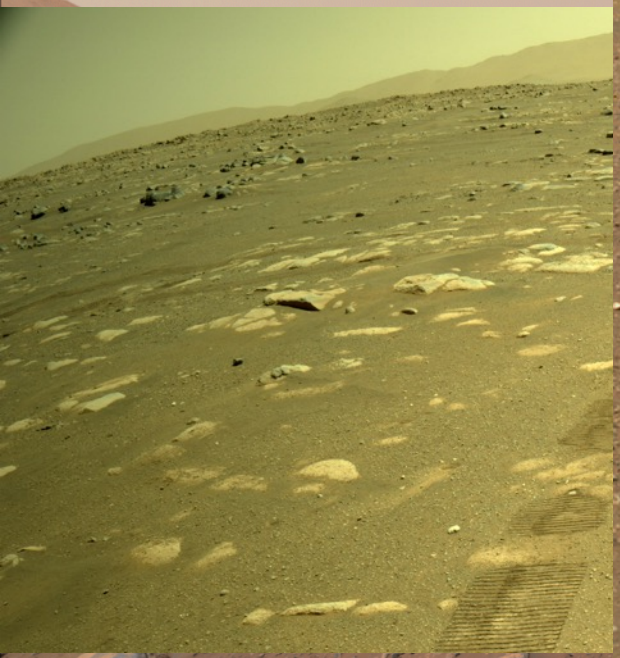

Eagle Crater
Endurance Crater
2004
2005
2006
2007
Victoria Crater
Washington, D.C.

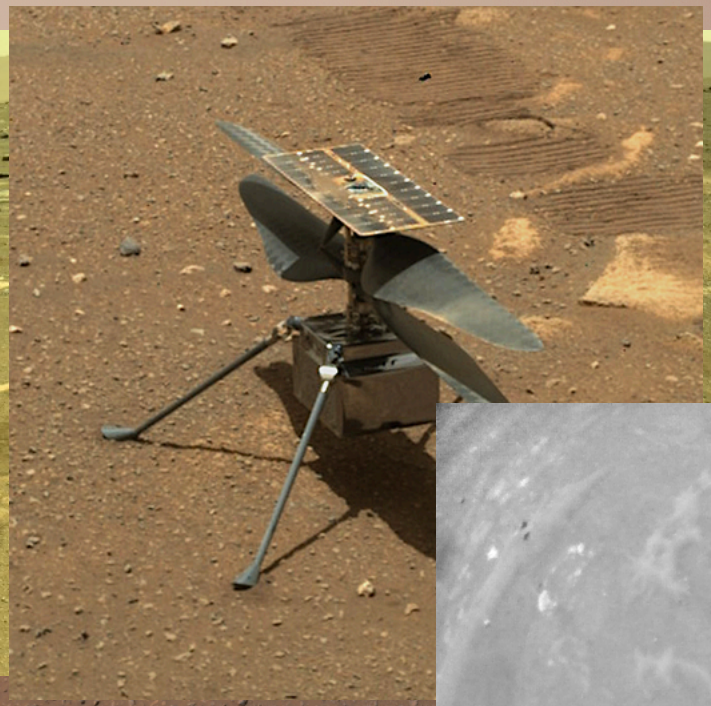

May 28
July 1

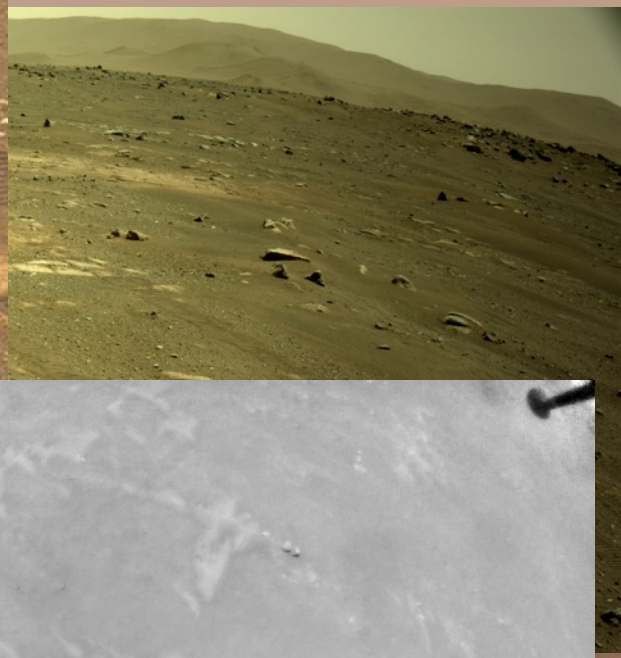



HP³ Instrument
Heat Flow Probe

Perseverance – 16 lutego 2021

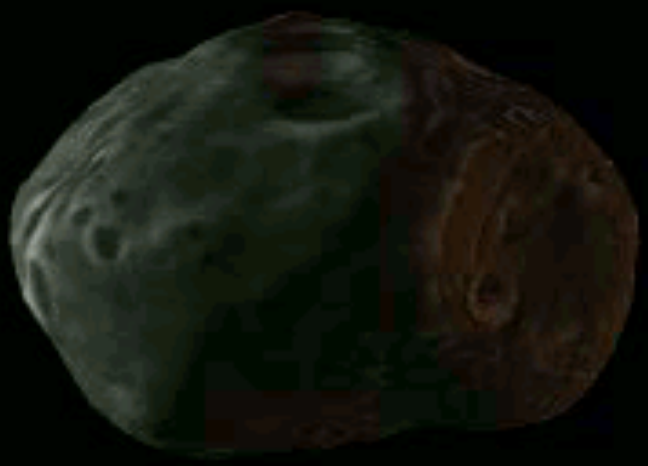






Phobos i Deimos

- 10^{16} kg , 13.5x9.5 km
- $2x10^{15}$ kg , 7.5x5.5 km



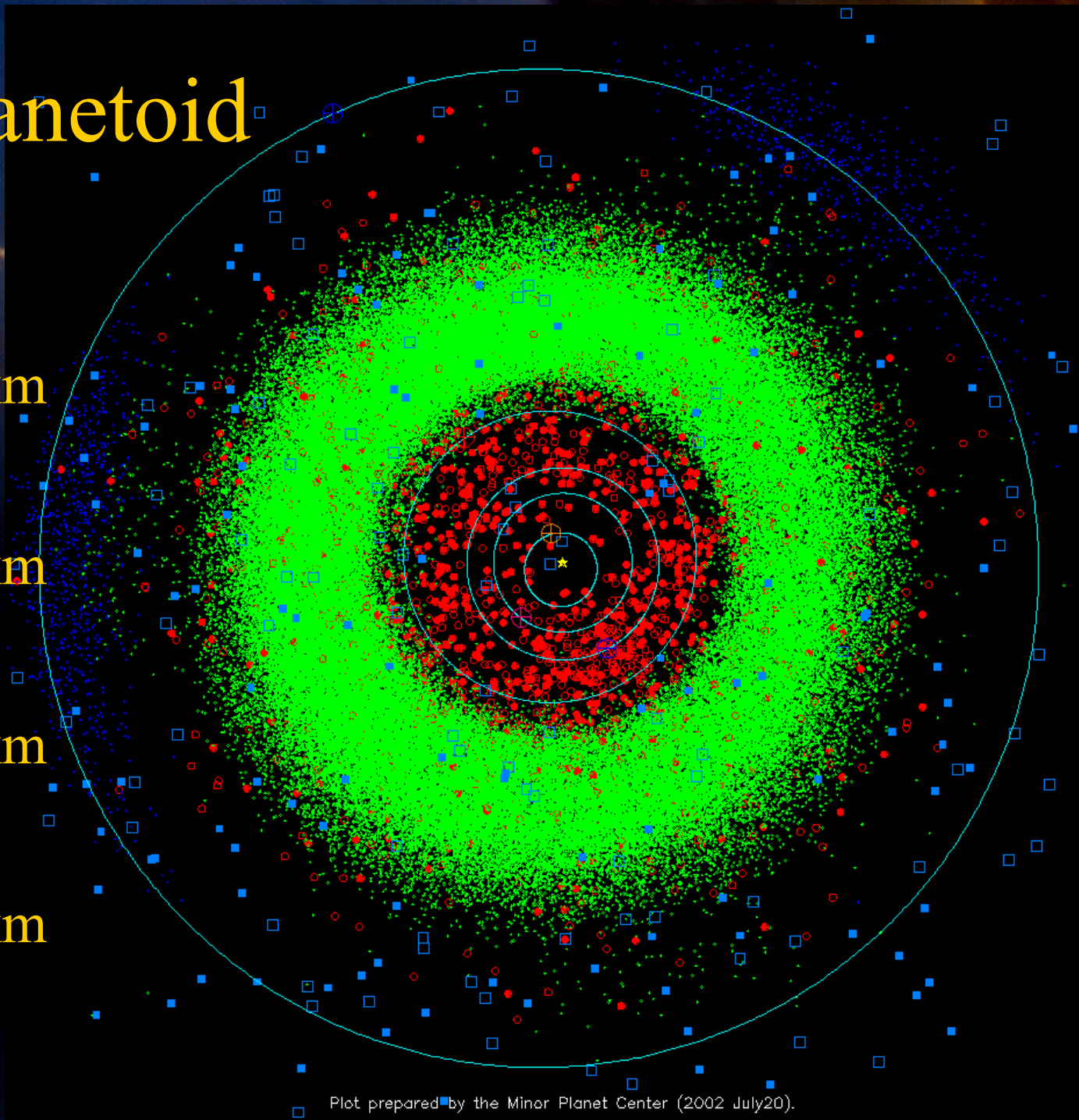
Misja Fobos-Grunt 08/11/2011- zaginęłą

Pas planetoid

- Odległość od Słońca: 2.4 – 2.8 AU
- Masy < 0.0001 M_Z
- Promień: 1 - 1000 km
- Okres obrotu: godziny, dni
- Okres obiegu: 3.5 – 4.5 lat
- Znamy obecnie kilkaset tysięcy
- Planteoidy
  - wewnętrzne
  - zewnętrzne
  - jowiszowe (Trojańczycy i Grecy)

Pas planetoid

- Ceres
  - 920 km
- Pallas
  - 520 km
- Westa
  - 520 km
- Juno
  - 193 km



Galileo ‘91

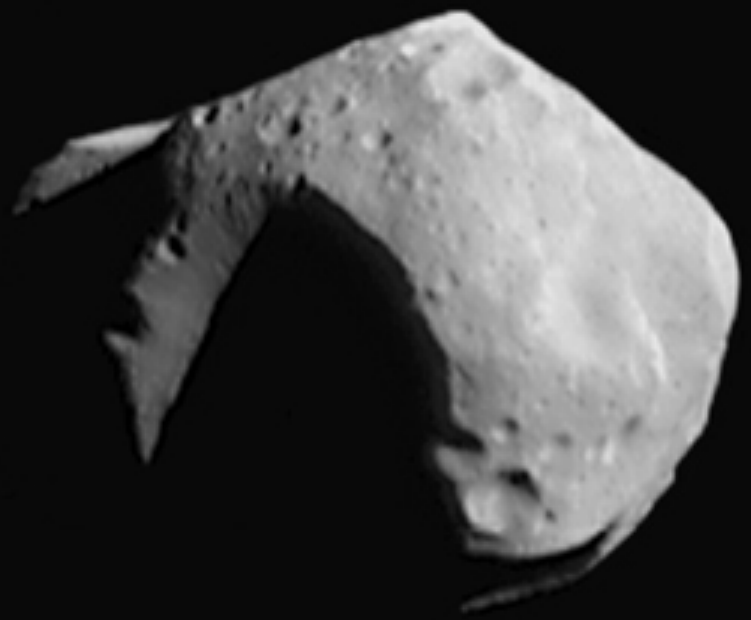
- 951 Gaspra

Galileo ‘91

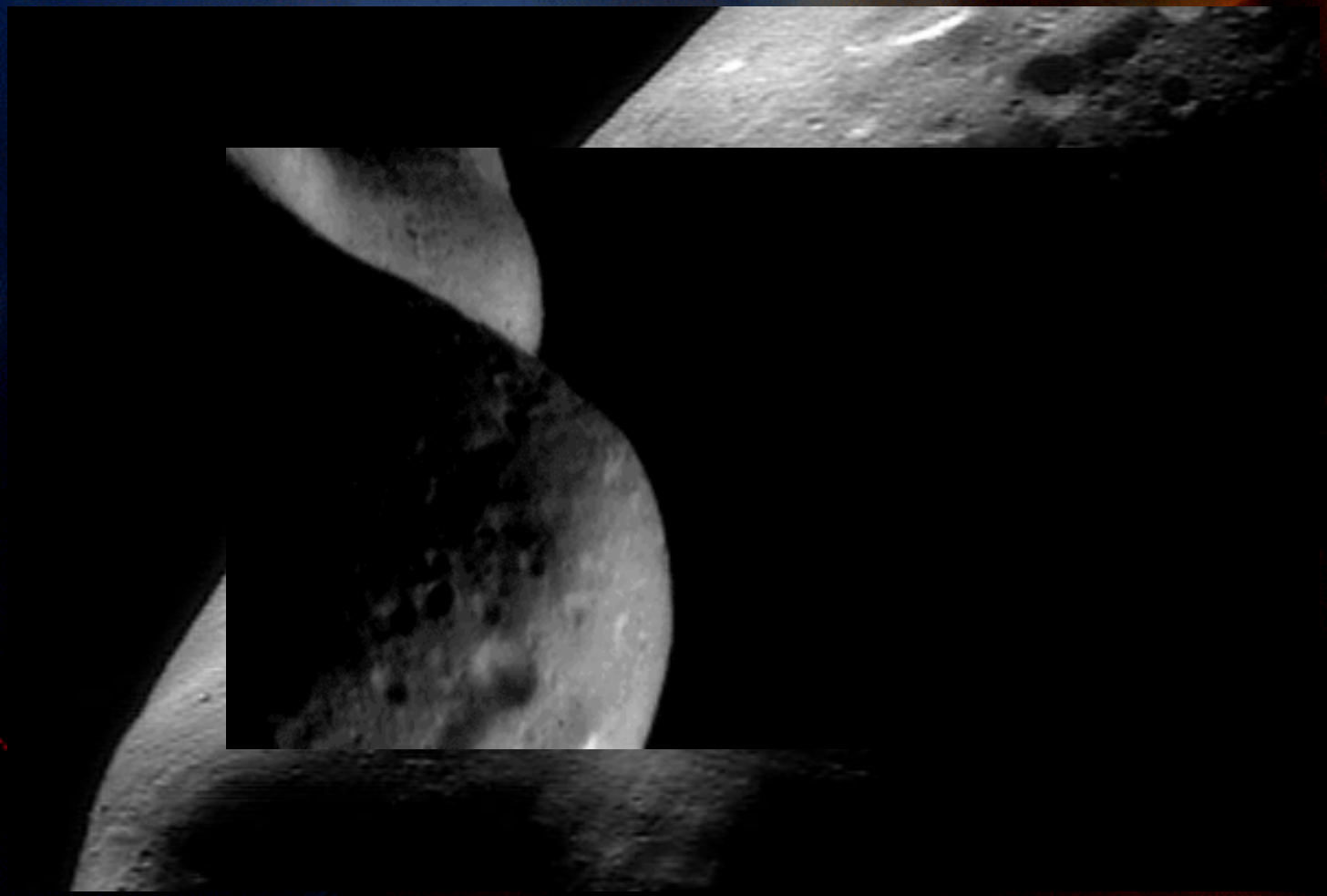
- Ida i Daktyl

Near-Earth Asteroid Randezvous ‘97

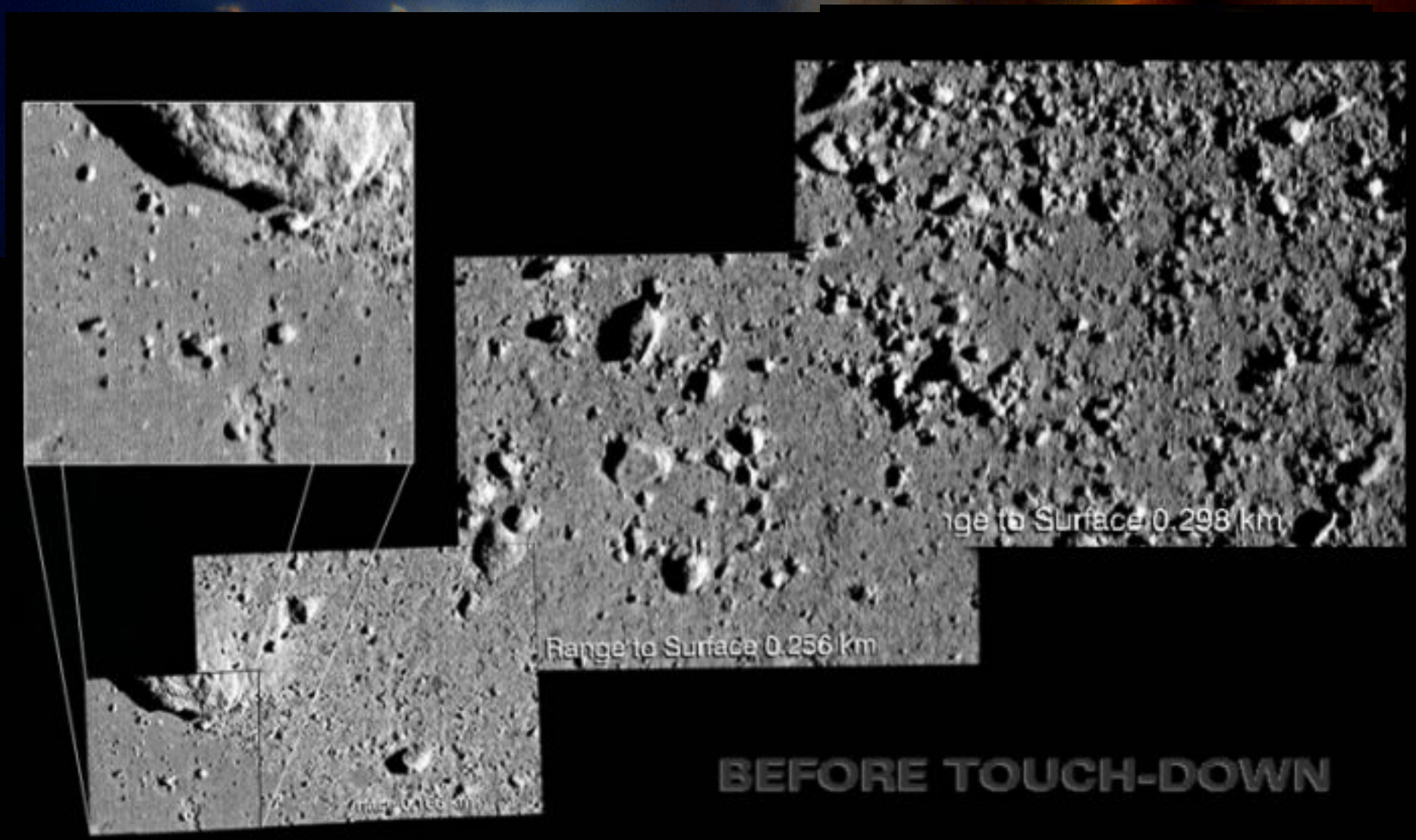
- 253 - Mathilde



Eros widziany z NEAR

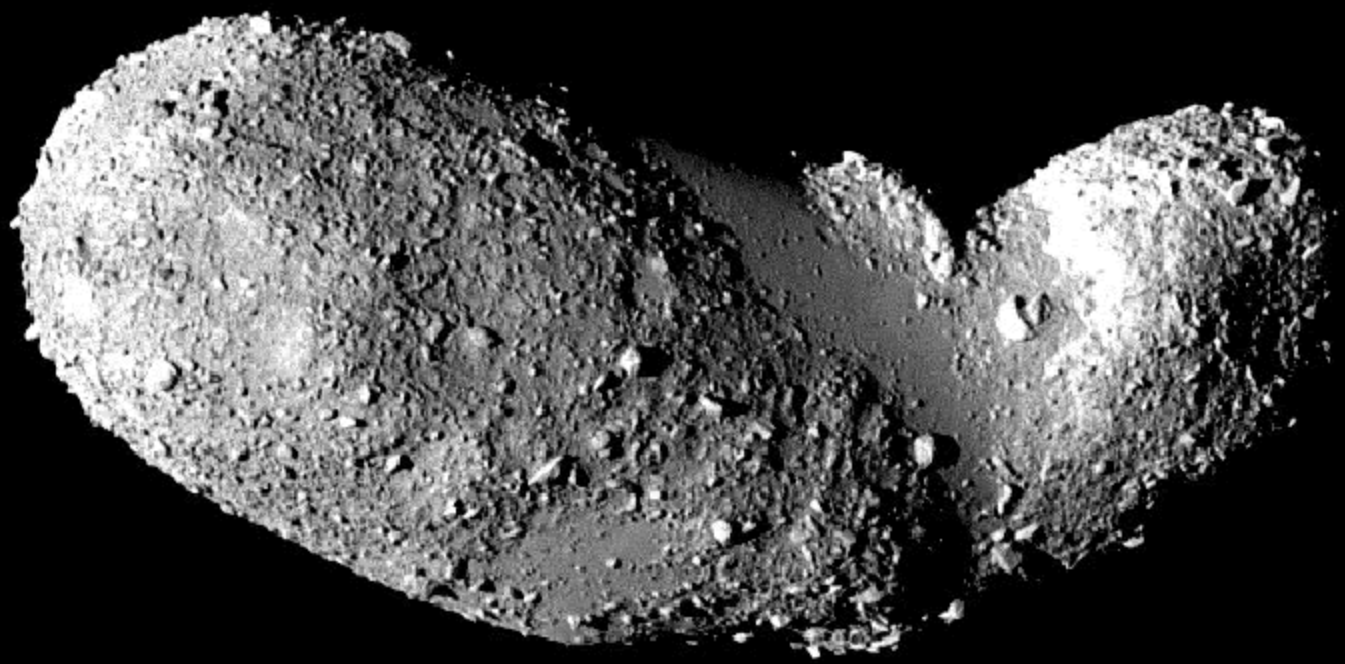


433 Eros (NEAR '97 - '01)

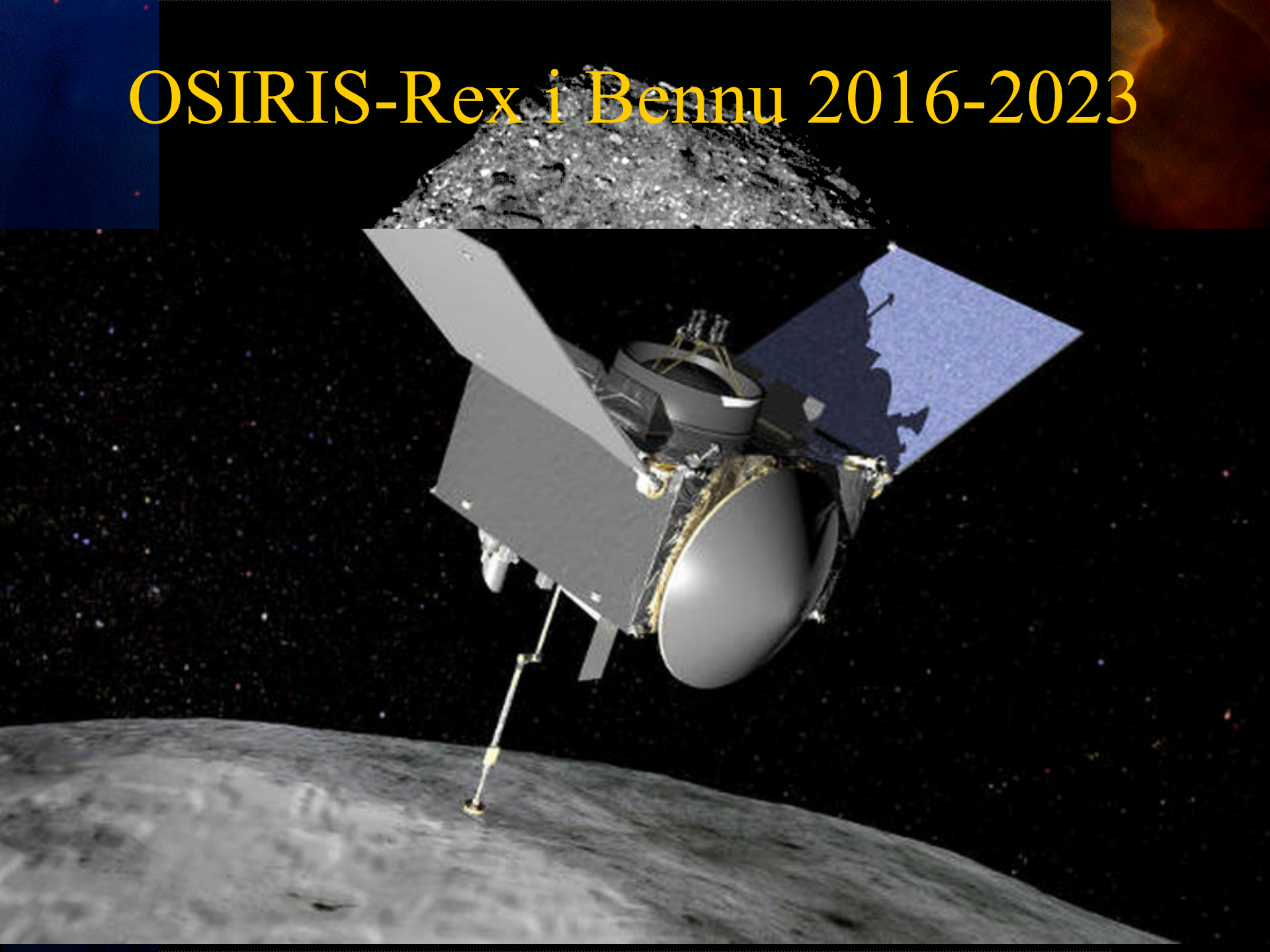


Itokawa

- sonda Hayabusa, 2005
- 2 lądowania, pobranie próbek,
- powrót na Ziemię 06/2010



OSIRIS-Rex i Bennu 2016-2023

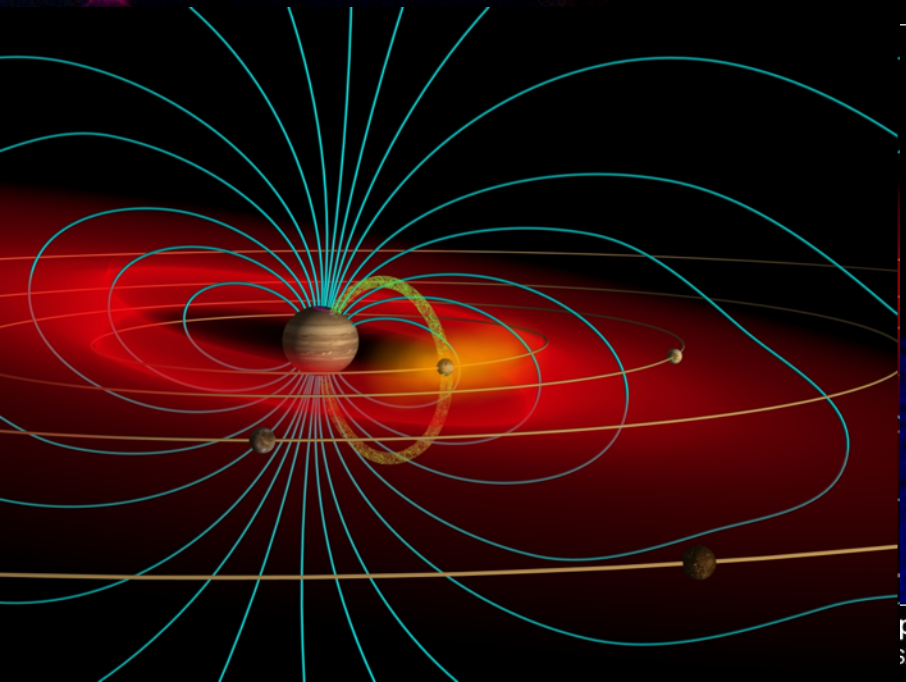


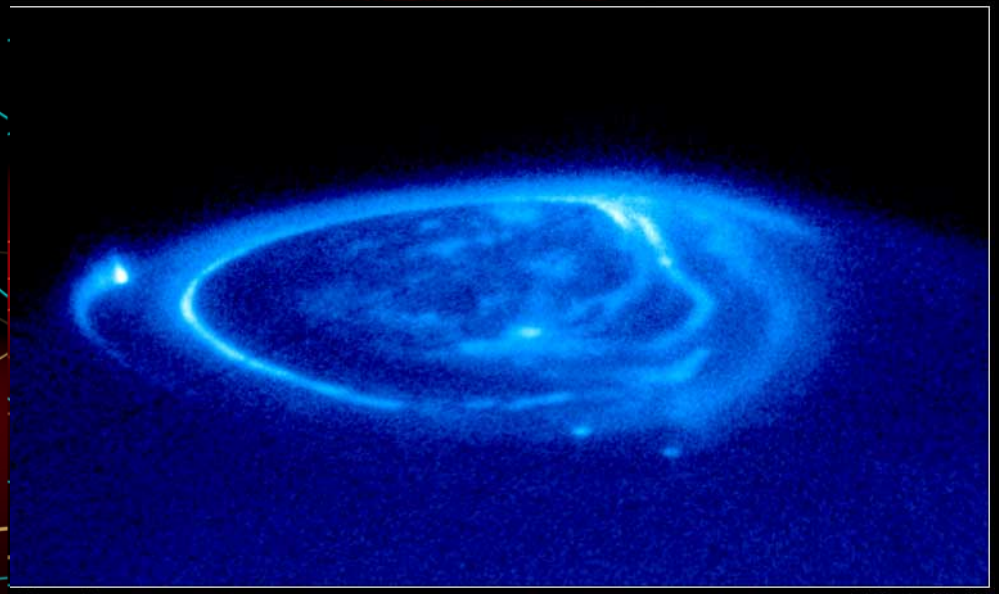
Jowisz

- Odległość od Słońca: 778 mln km (5.2 AU)
- Masa: 1.9×10^{27} kg (317 M_Z)
- Promień: 70070 km (11 R_Z)
- Okres obrotu 9 h 50 m
- Okres obiegu: 11.86 roku
- Średnia gęstość: 1.3 g/cm^3
- Temperatura centralna: 10 – 30 tys K.
  - kontrakcja grawitacyjna
- Glob gazowy: 85% H, 15% He, CH_4, NH_3
- Jądro krzemianowo-żelazowe
- Otoczka z zestalonego wodoru (4 Mbar)
- Konwekcja we wnętrzu

Jowisz

- Silne pole magnetyczne (magnetosfera)
- Chmury (pasy), cyklony (czerwona plama)
- Rotacja różniczkowa (najwolniej na biegunach)
- Torus gazowy Io

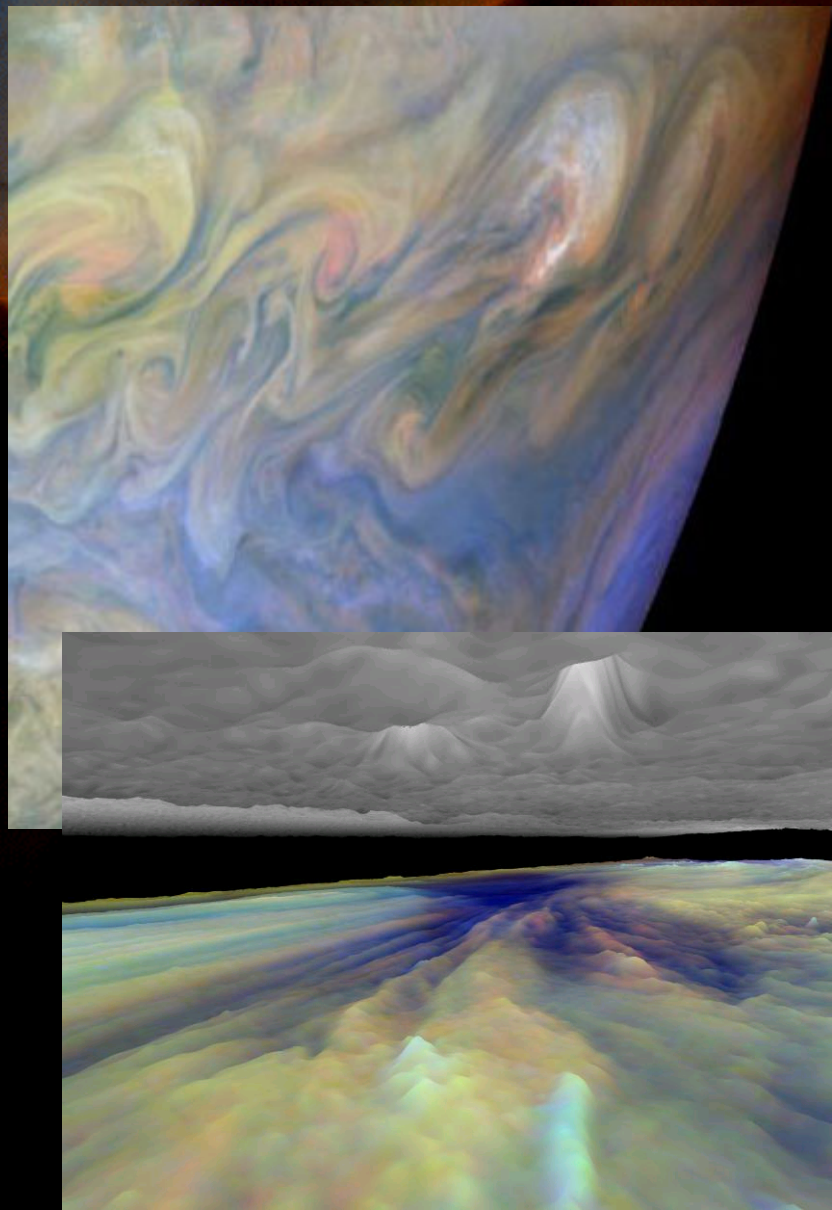




piter Aurora
HST • STIS
SA and J. Clarke (University of Michigan) • STScI-PRC00-38

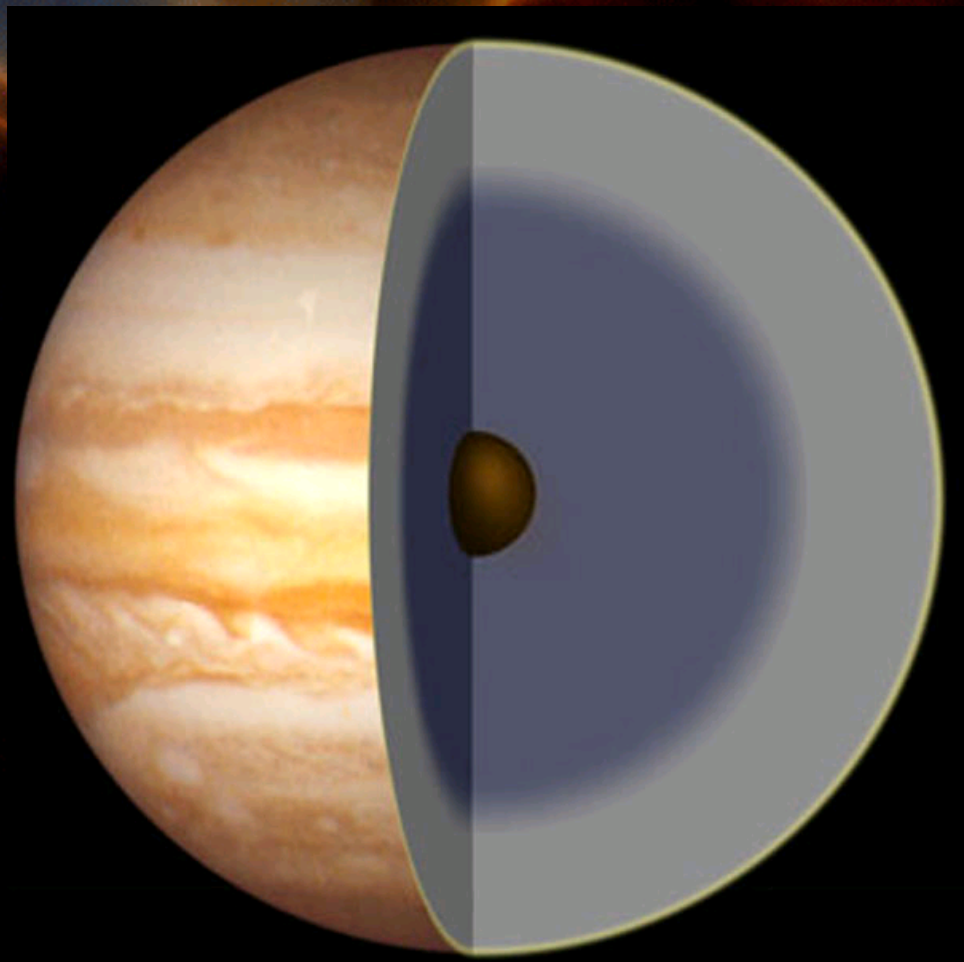
Jowisz - chmury

- rotacja różniczkowa
- skład
- stratyfikacja (od góry):
  - białe NH_3: 150 K
    - kryształy amoniaku
  - brunatne – $(NH_4)SH$: 200K
    - wodorosiarczek amonu
  - czerwone „hot spot”: 300 K
- wiatry, cyklony



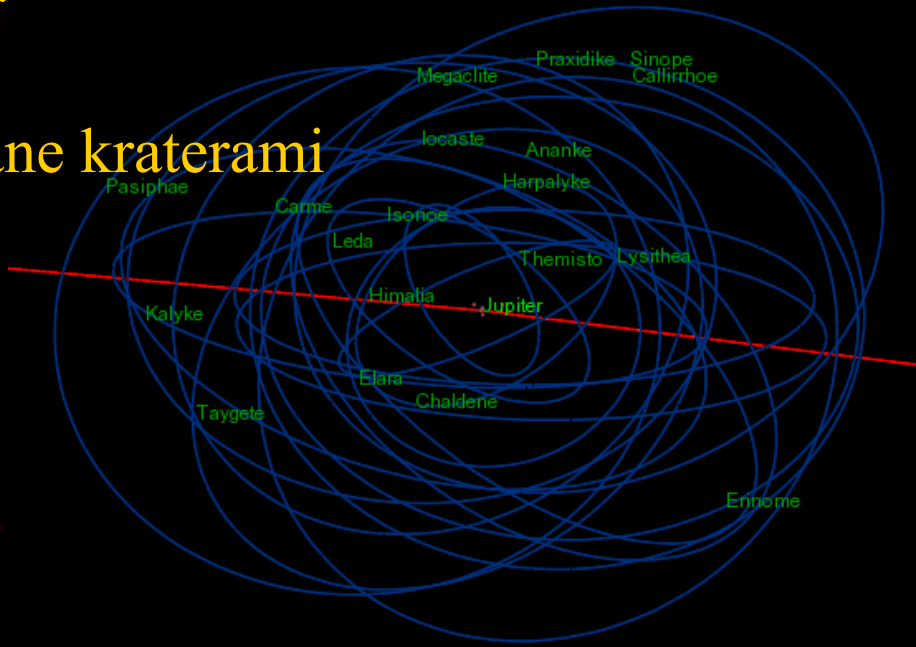
Jowisz

- skaliste (-lodowe?) jądro – 10 mas Ziemi
- wodór zestalony
- wodór płynny (metaliczny)
- wodór cząsteczkowy
  - atmosfera z wodoru, azotu, metanu



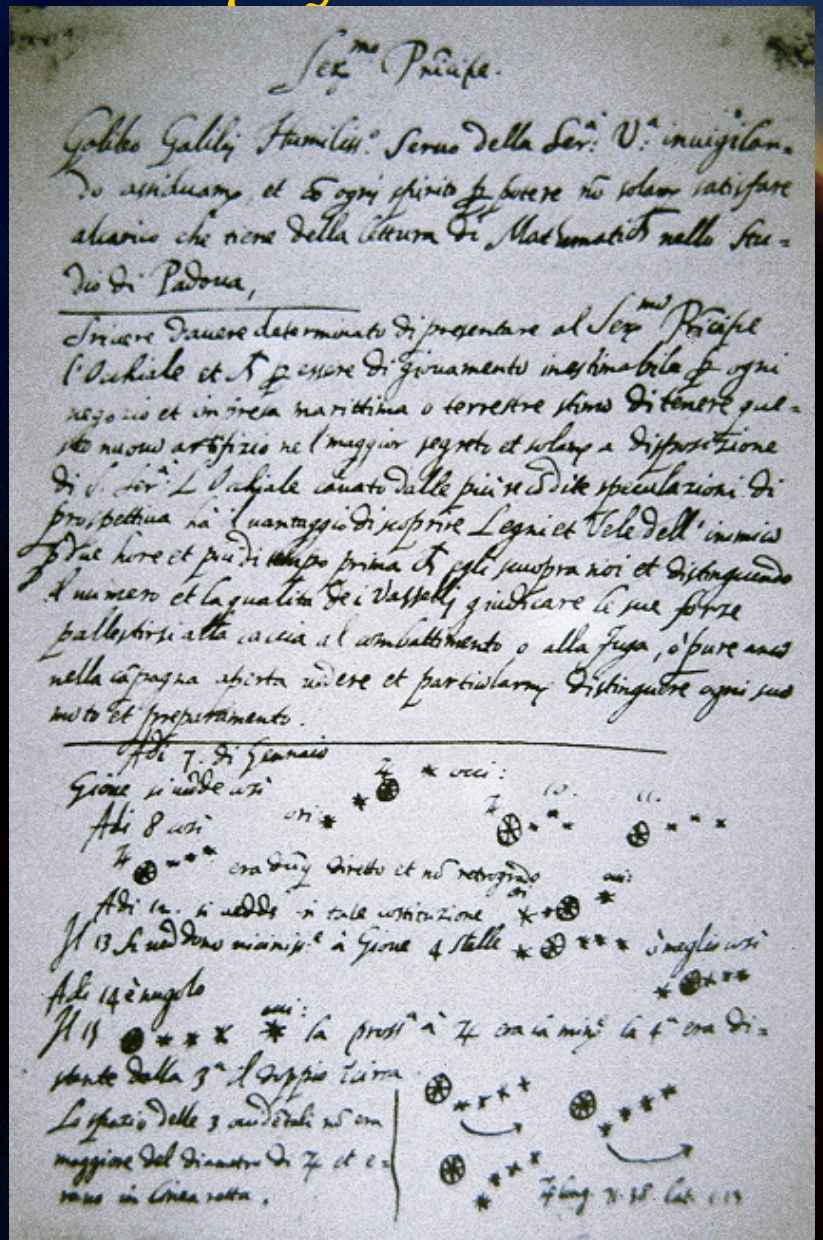
Jowisz

- Misje Voyagerów
- Księżyce – (dziś: 63)
  - Galileusza
    - Io, Europa, Ganimedes, Kalisto
  - woda pod skorupą Europy?
  - aktywność wulkaniczna Io
  - Ganimedes, Kallisto – usiane kraterami
- Pierścień Jowisza
- Rodzina komet
- Grecy i Trojańczycy



Io
Europa
Ganimedes
Kalisto

Księżyce Galileusza

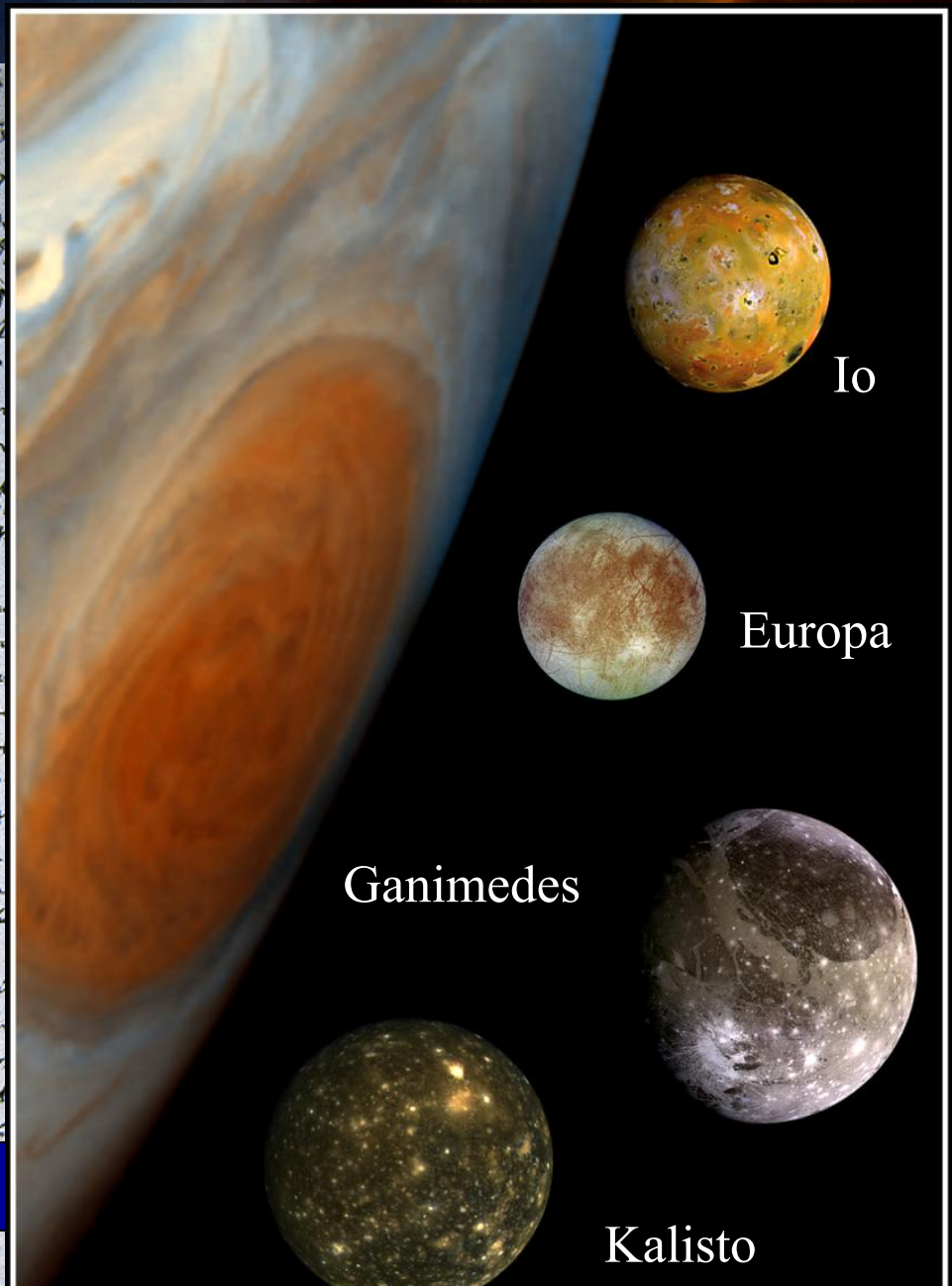


Sec^mo Prencipe.

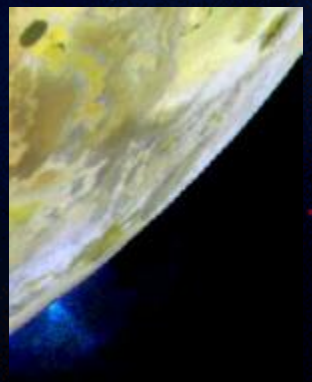
Galileo Galilej Humilis^mo Servo della Ser^a V^a inuigilan-
do assiduam^te et di ogni spirito p^a seruire no solam^te sat isfare
alcuno che viene della Lettura di Mathematich nello Stu-
dio di Padoua,

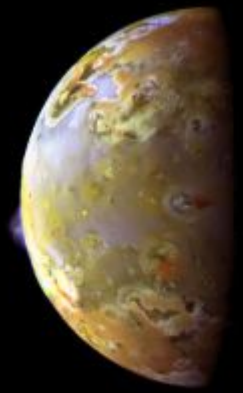
Stimare douere determinato di presentare al Sec^mo Prencipe
l'Anchiale et p^a essere di giouamento inestimabile p^a ogni
negotio et in ogni marittima o terrestre impresa di tenere qual-
sia nuouo artificio nel maggior segreto et solam^te a dispositione
di V. Ser^a L'Anchiale cauato dalle più recondite speculationi di
prospettiua ha l'vantaggio di scoprire Legni et Vele dell'inimico
p^a due hore et più di tempo prima che egli sia scoperto da noi et discernendo
il numero et la qualità de i Vasselli giudicare le sue forze
p^a risoluersi alla caccia al combattimento o alla fuga, o pure anco
nella campagna aperta vedere et particolarm^te distinguere ogni suo
moto et preparamento.

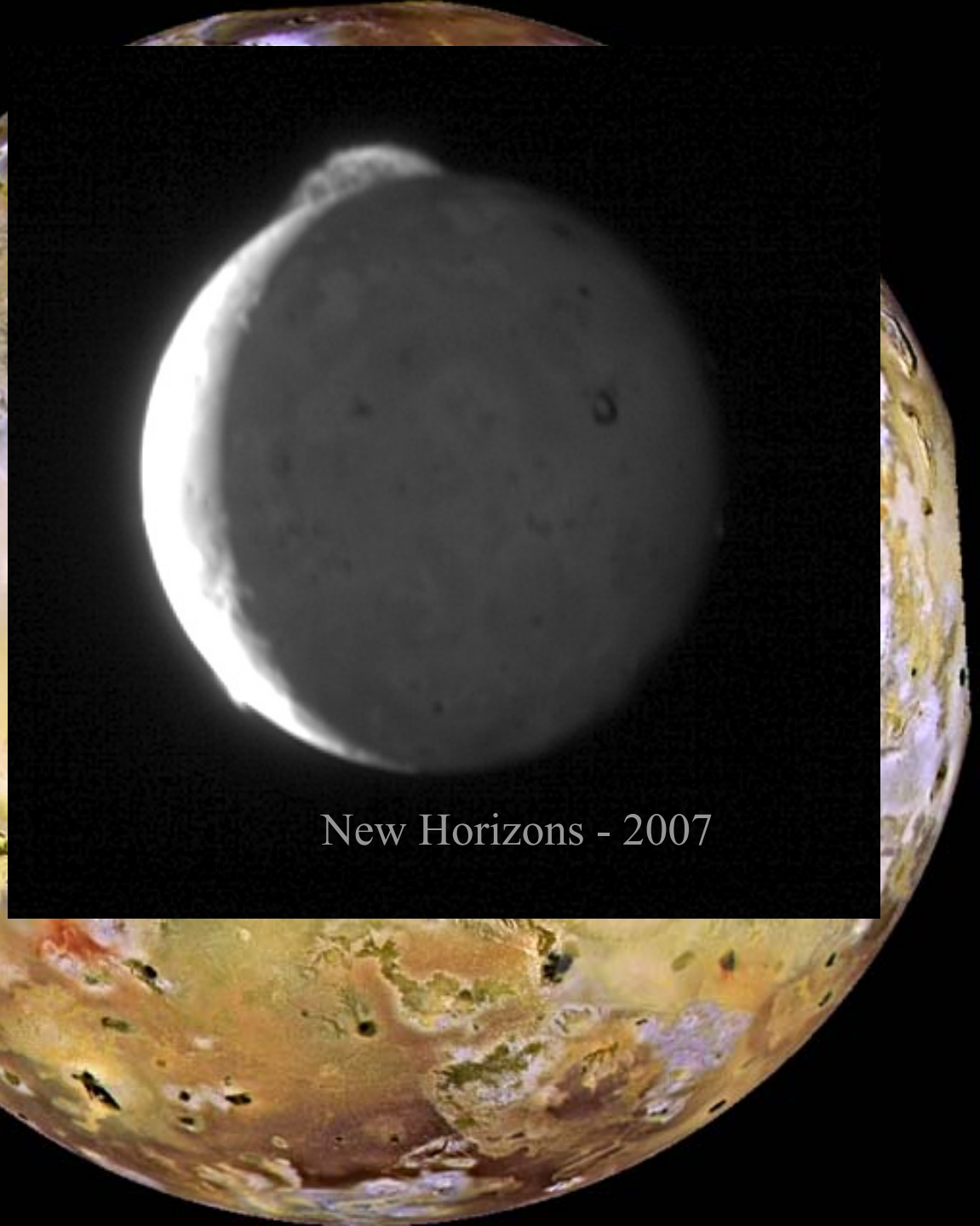
Adi 7. di Genaro
Giove si vede così
Adi 8 così
era duy diretto et no retrogrado
Adi 12. si vedde in tale costituzione
Il 13 si vedono mi^ni^ssi à Giove 4 stelle
Adi 14 è angolo
Il 15 la prossa à ♃ era la mi^ss la 4ª era di-
stante dalla 3^a il doppio di essa
Lo spatio delle 3 vedute no era
maggiore del diametro di ♃ et e-
rano in linea retta.



Io

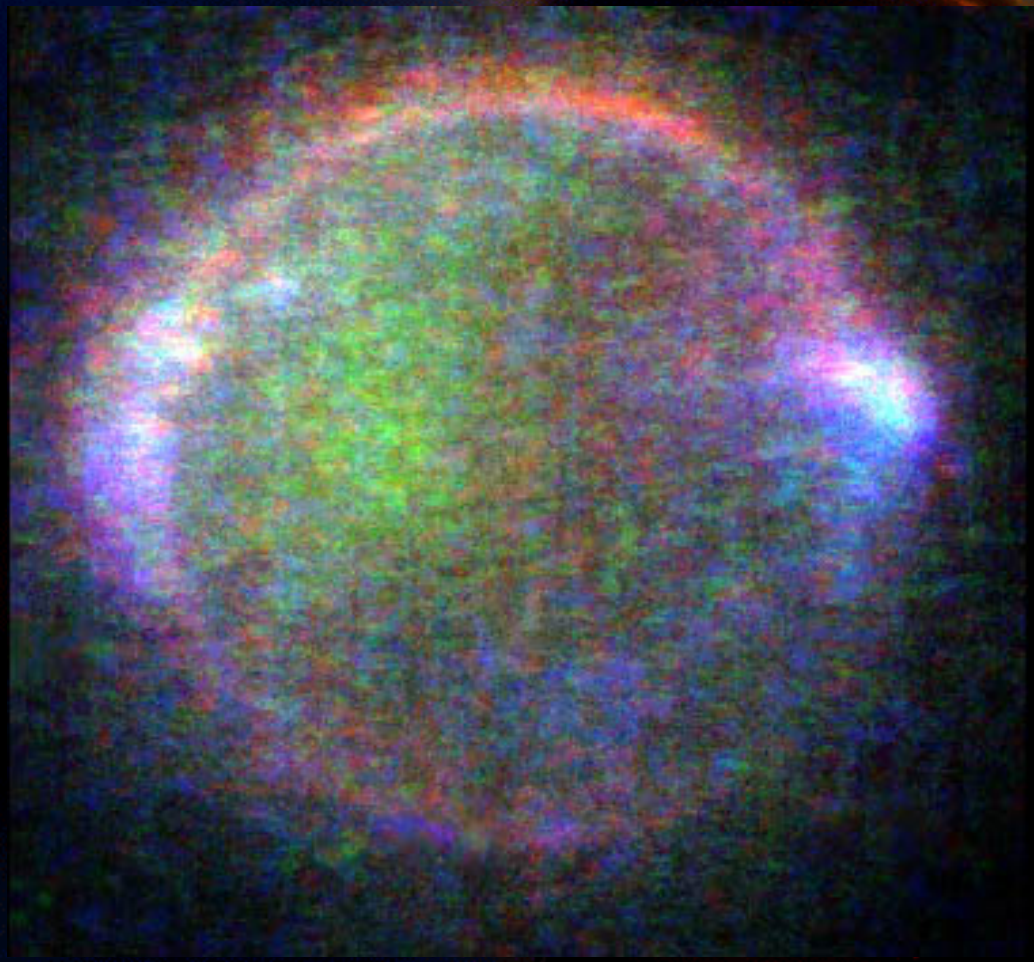


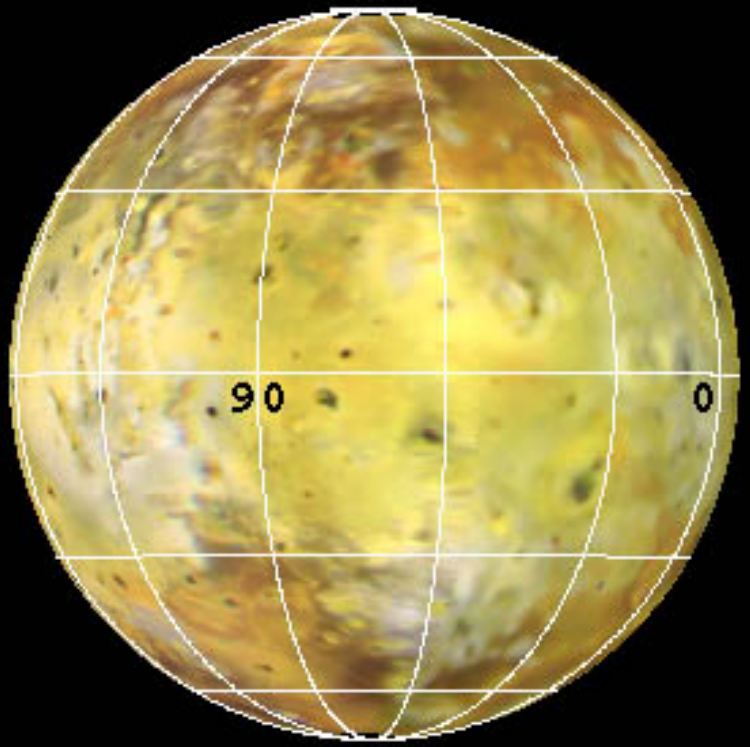




New Horizons - 2007

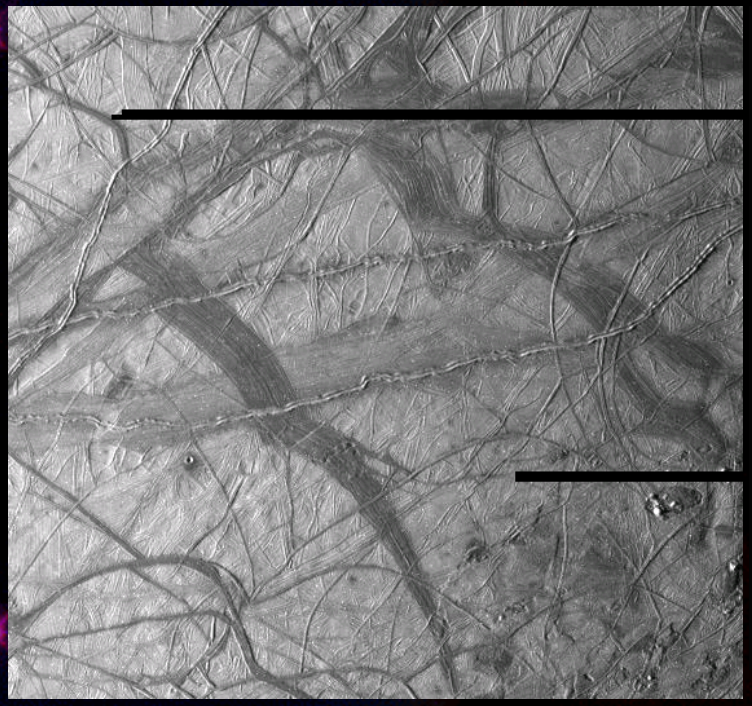
Io

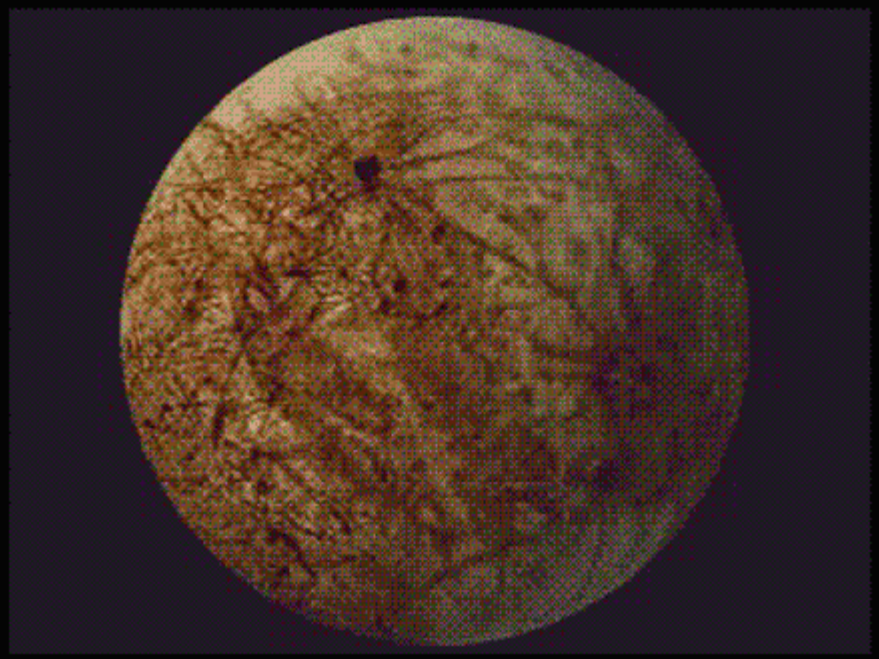




Europa

- rotuje synchronicznie
- powierzchnia pokryta lodem
- ocean pod lodem





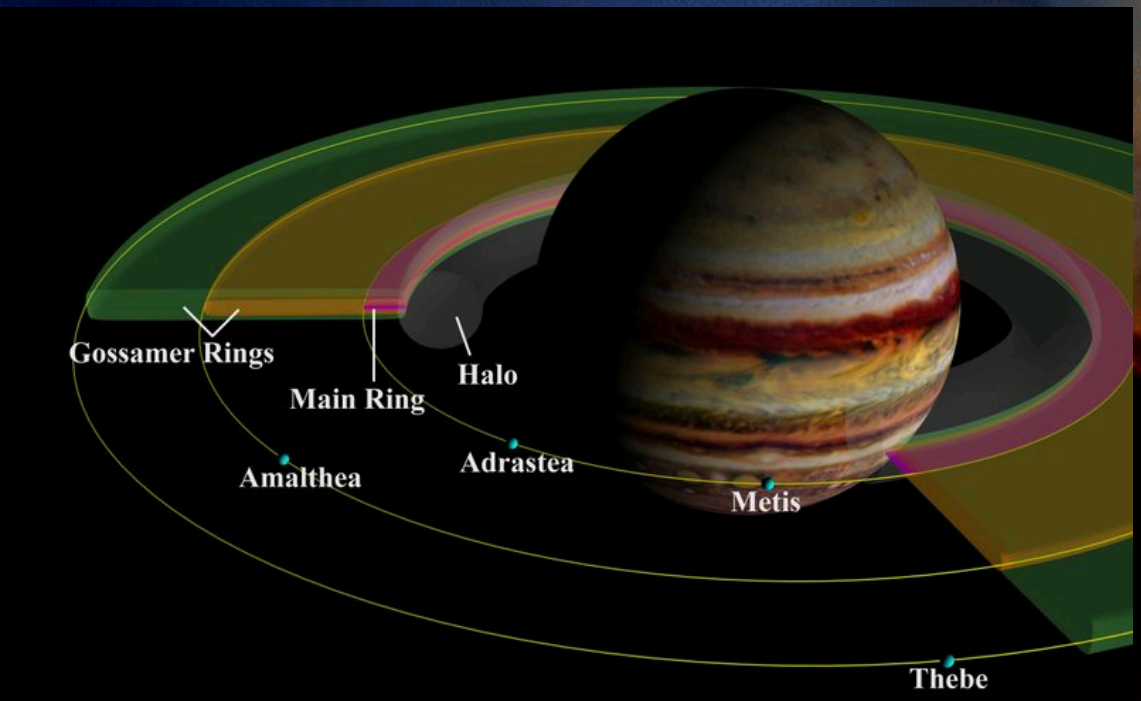
Ganimedes

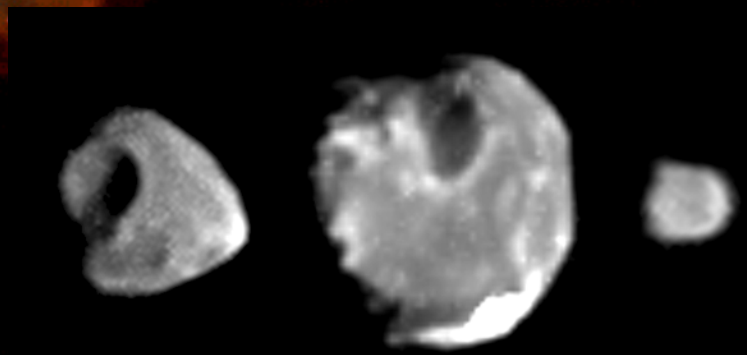
- Największy księżyc w Układzie Słonecznym (większy od Plutona i Merkurego)
- gruba skorupa z wodnego lodu
- rotuje synchronicznie

Callisto - Kallisto

- Też może mieć wodę 100-150 km pod powierzchnią
  - słoną – bo mierzy się wahania pól magnetycznych

Jowisz, małe księżyce, pierścienie

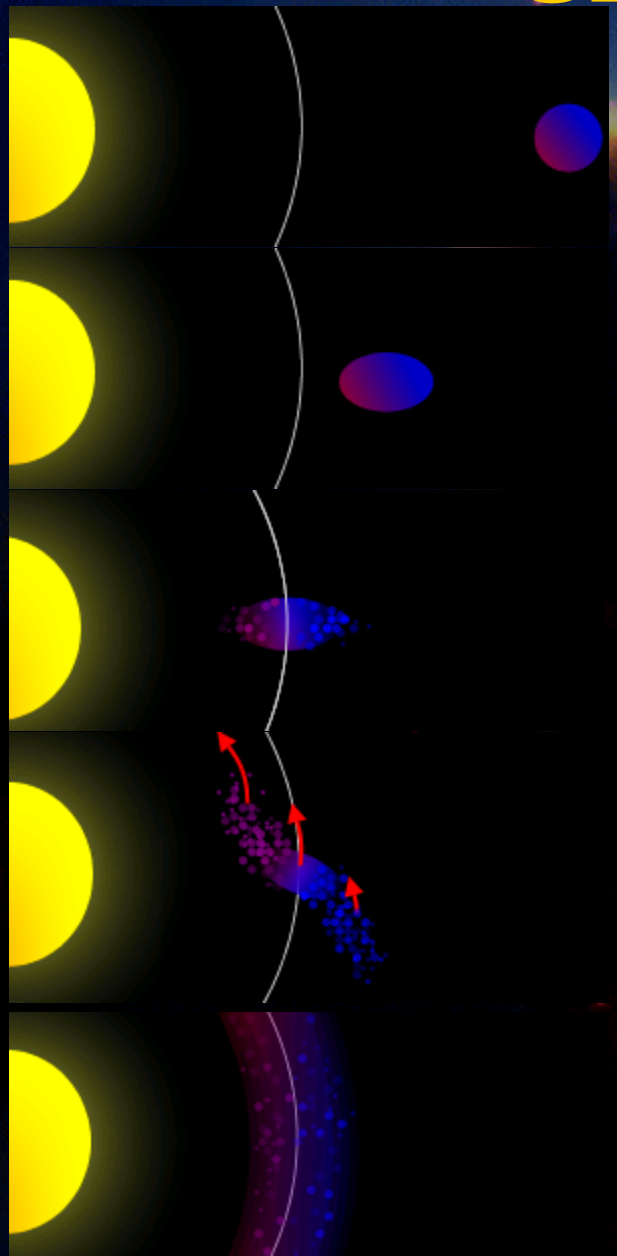




Saturn

- Odległość od Słońca: 1427 mln km (9.5 AU)
- Masa: 5.7×10^{26} kg (95 M_Z)
- Promień: 57800 km (9.1 R_Z)
- Okres obrotu 10 h 14 m
- Okres obiegu: 29.5 roku
- Budowa podobna do Jowisza
- Pierścienie Saturna
  - granica Roche'a
- Silne wiatry w atmosferze
- pasy naładowanych cząstek

Granica Roche'a



$$d = r\left(2\,\frac{M}{m}\right)^{\frac{1}{3}}$$

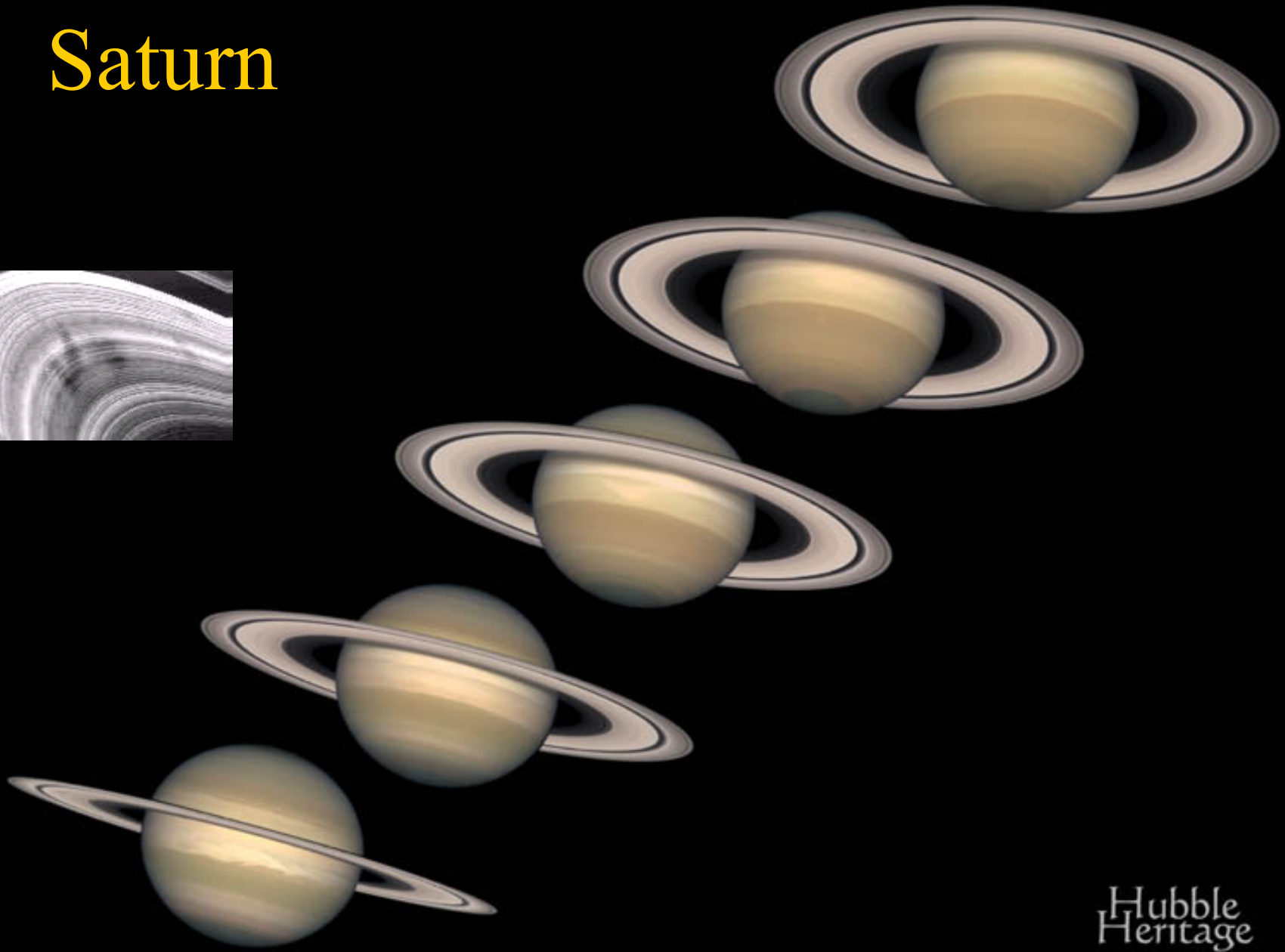
- gdzie:

r – promień satelity

M – masa planety

m – masa satelity

Saturn



NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-15

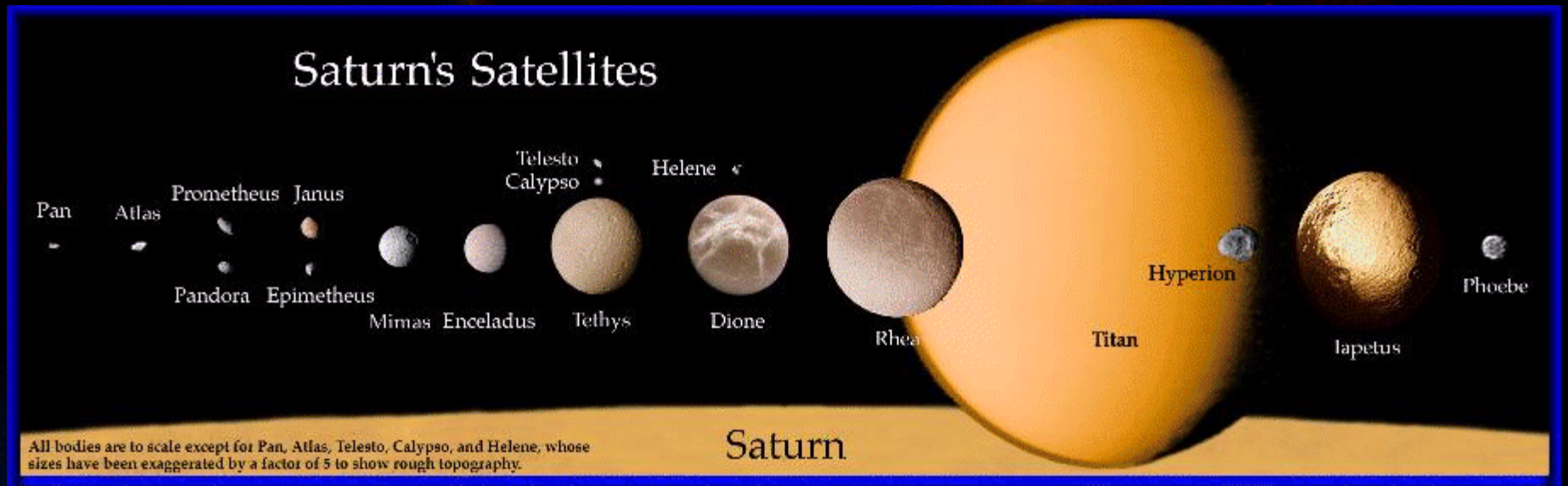
Saturn

- pole magnetyczne
- zorze H, H_2

HST

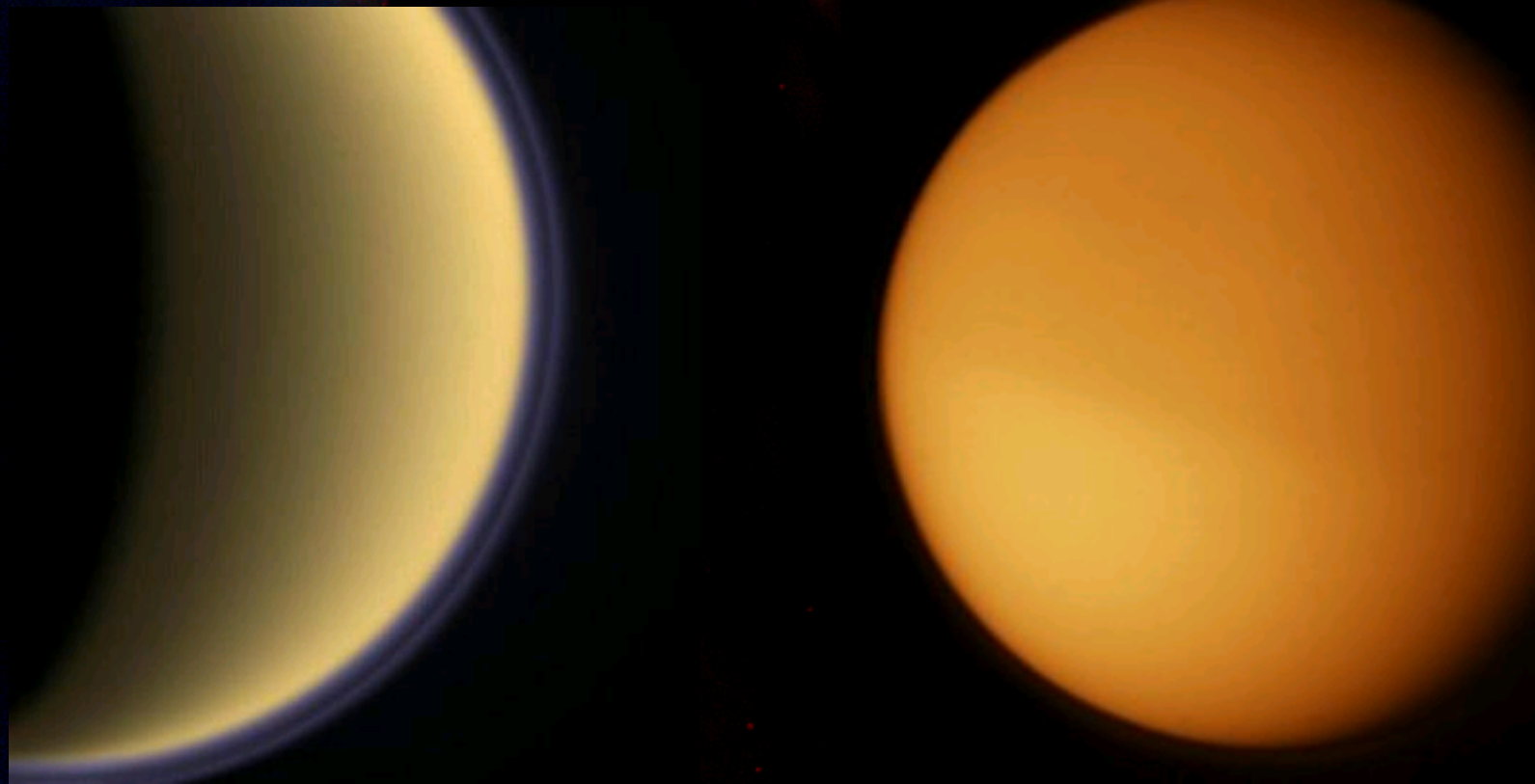
Saturn - księżyce

- obecnie znanych >50 (15 większych)
- największy Tytan (większy od Merkurego)
- Iapetus, Rhea, Dione, Tethys, Enceladus, Mimas, Janus, Phoebe, Hyperion, Prometeus, Pandora

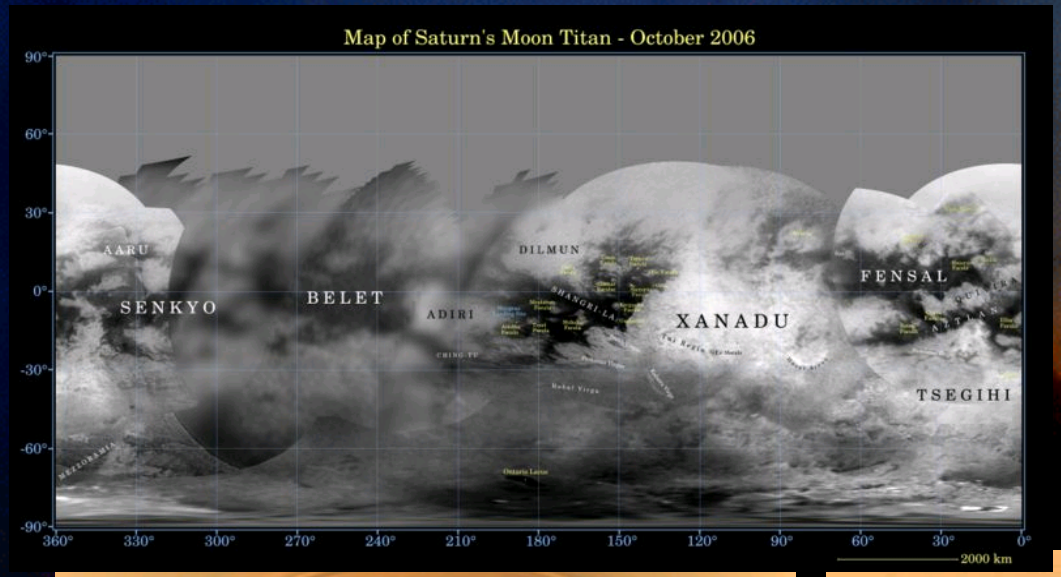


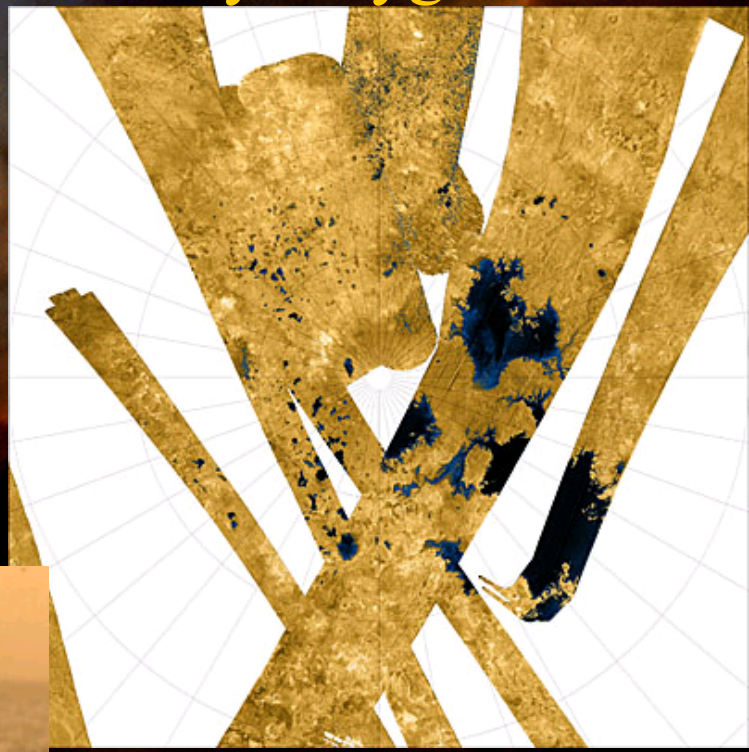
Tytan

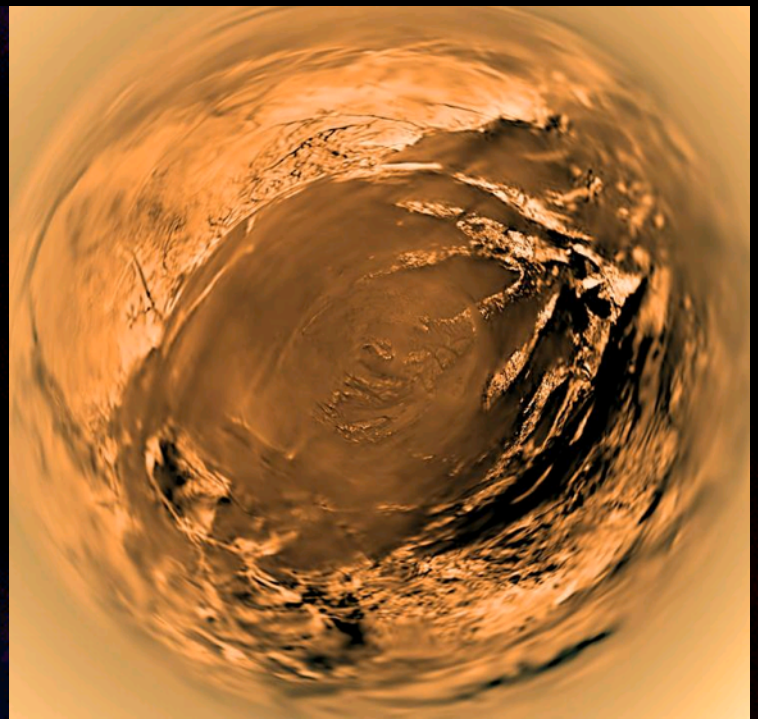
- atmosfera
  - 1.6 atm, - 180 C, Azot (90%), metan (CH_4), argon
  - grubość ponad 400 km
- cząstki organiczne - morza metanu i etanu?

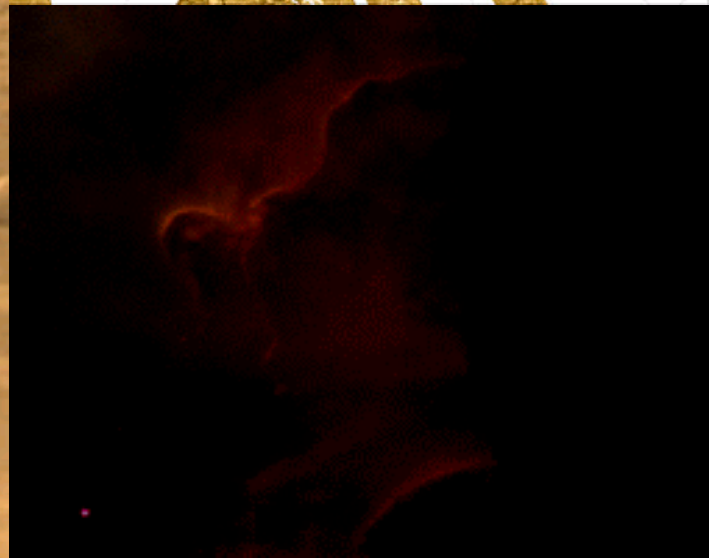


Tytan - misja Cassini - lądowanie sondy Huygens



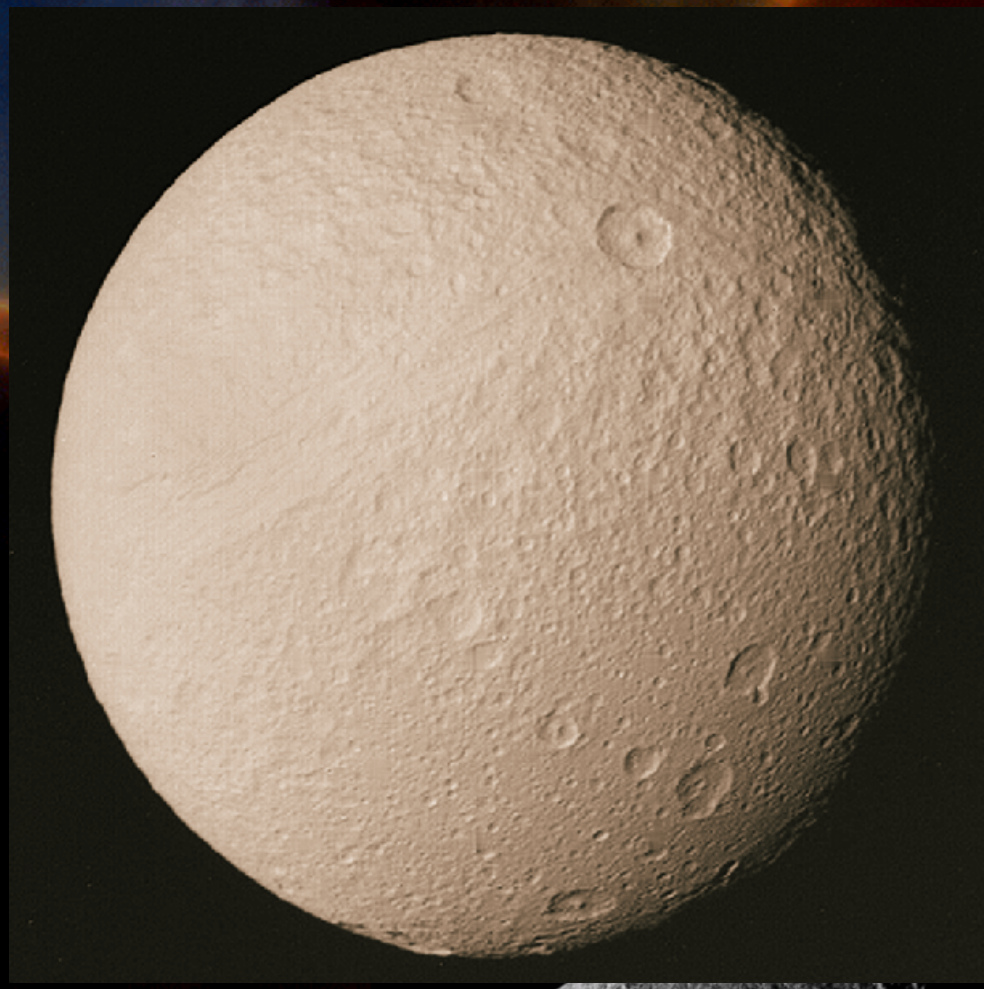






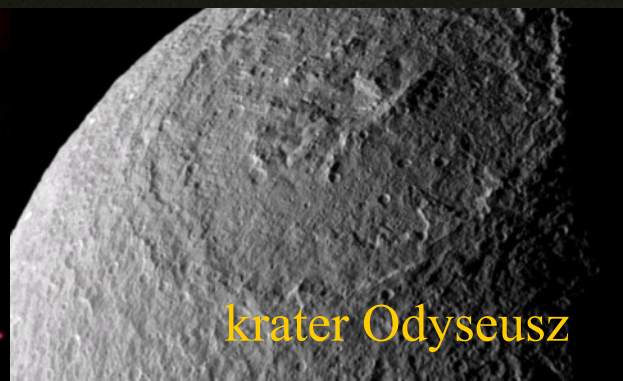
Tethys

- śr. 1000 km
- cały z wody (lodu)?
  - gęstość 1.21 g/cm^3



Dione

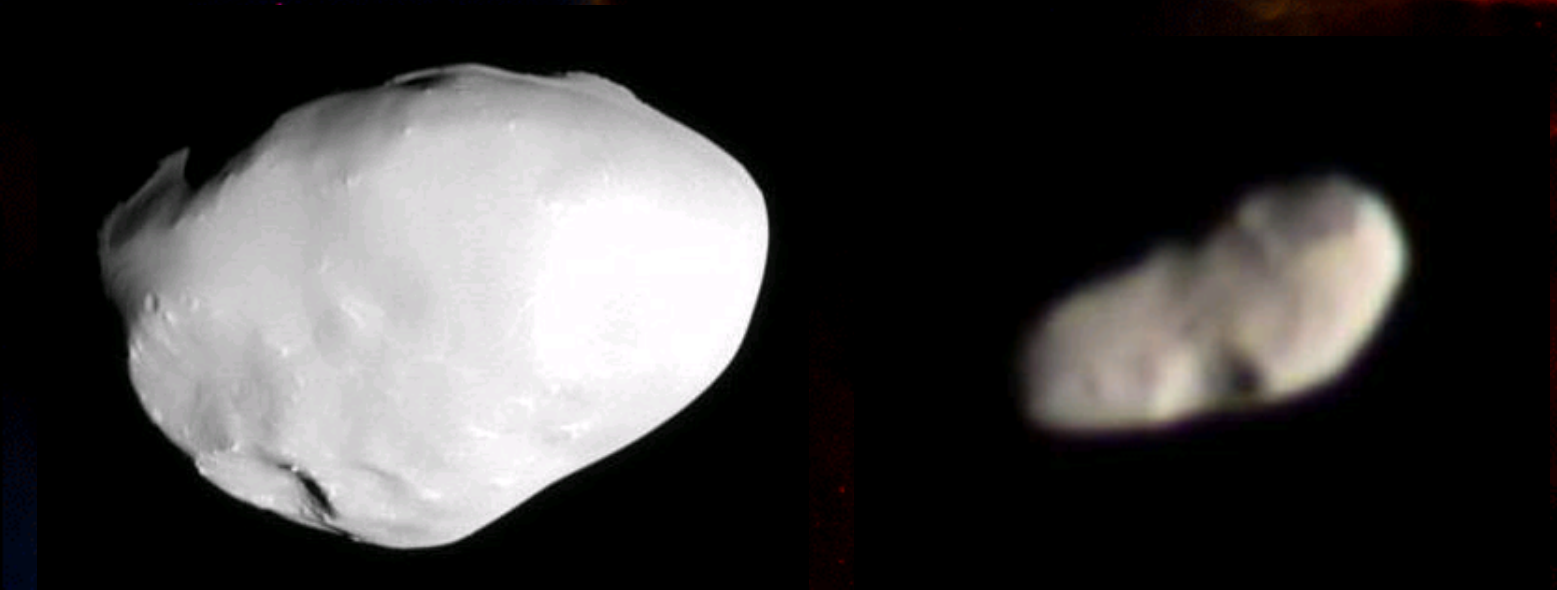
Tethys



krater Odyseusz

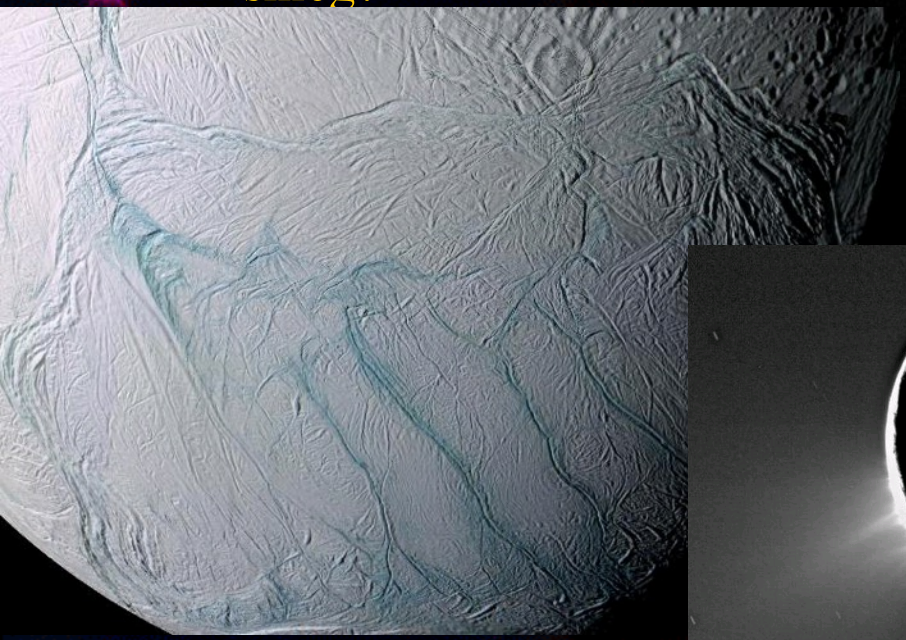
Telesto i Calypso

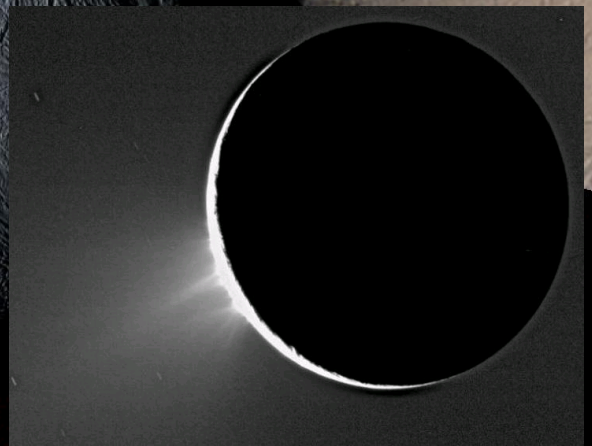
- w punktach Lagrange'a L_4 i L_5
- na orbicie Tethysa
- $\pm 60^o$ przed i za nim

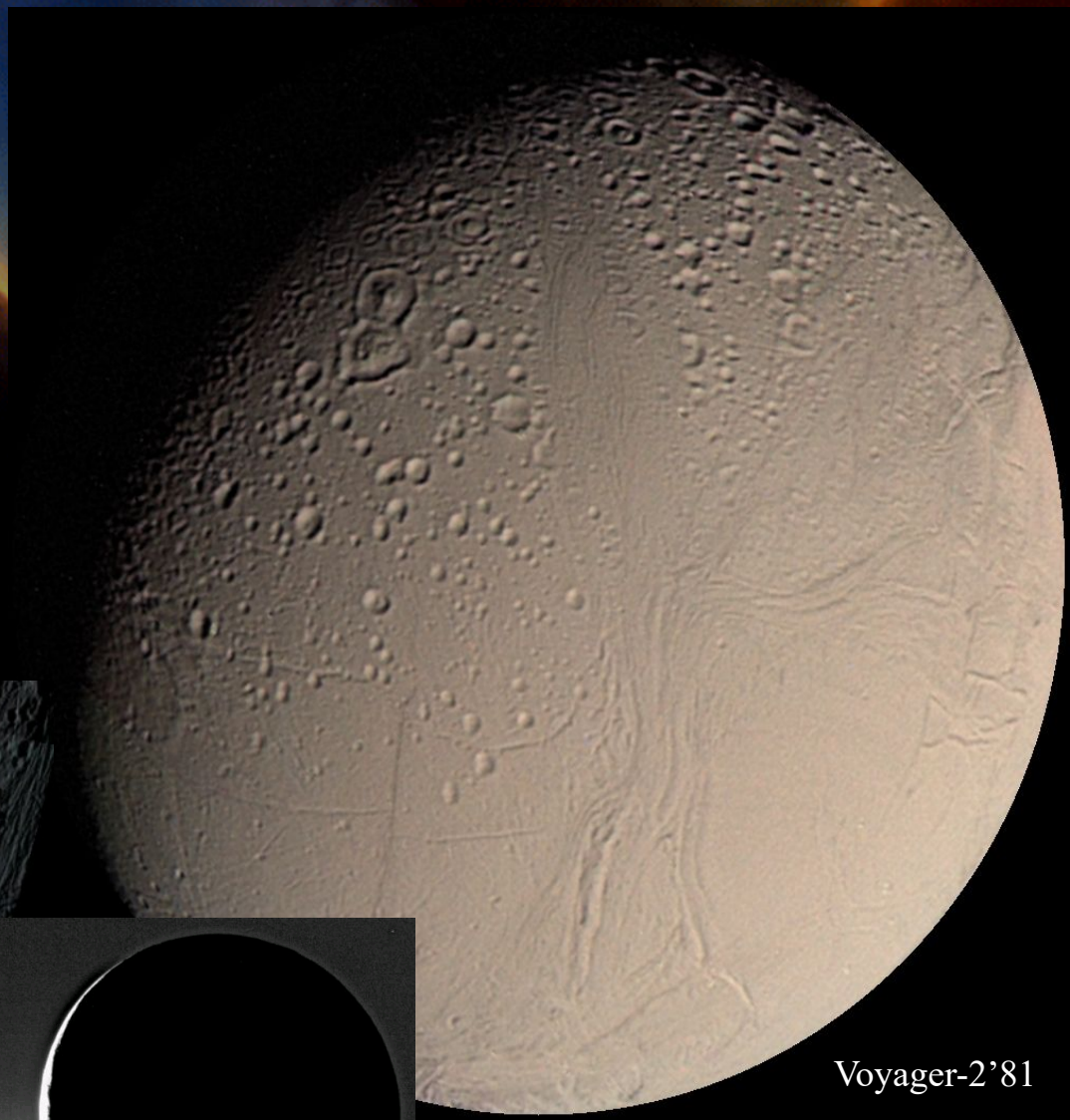


Enceladus

- śr. 500 km
- w pierścieniu E
- albedo 90%
- fontanny lodu
  - śnieg?







Voyager-2’81

Uran

Uranus

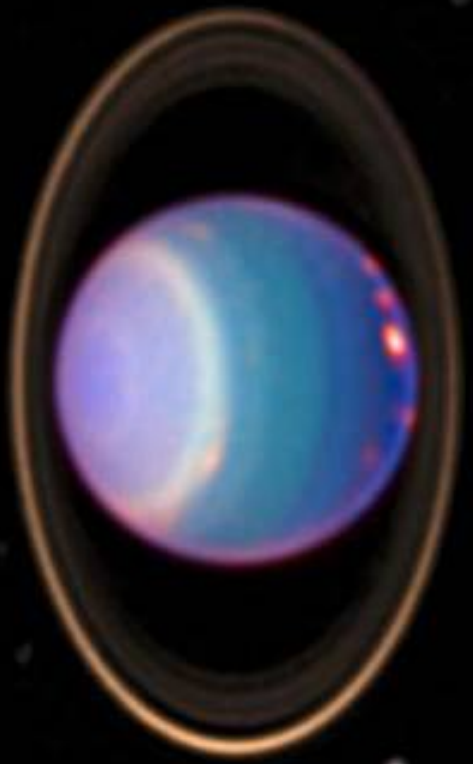
© Copyright Calvin J. Hamilton

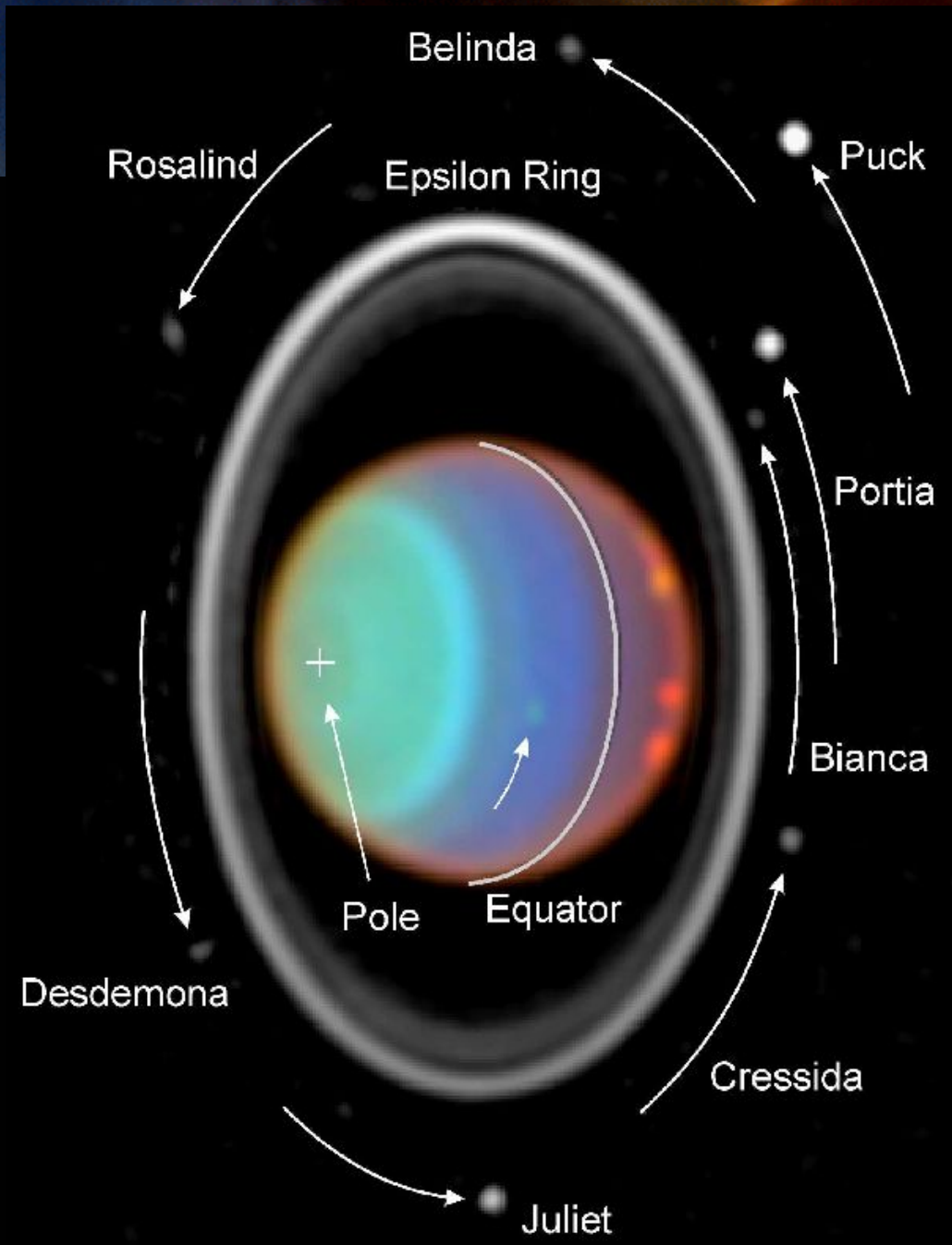
Uran

- Odległość od Słońca: 2871 mln km (19.2 AU)
- Masa: 8.7×10^{25} kg (14.5 M_Z)
- Promień: 25170 km (3.95 R_Z)
- Okres obrotu 10 h 42 m
- Okres obiegu: 84 lata
- Nachylenie osi 8°
- Pierścienie
  - zakrycia gwiazd
- Księżyce 20+ (Miranda, Ariel, Umbriel, Tytania, Oberon, Puck, ...)
- Pasterze (shepards)

Uran

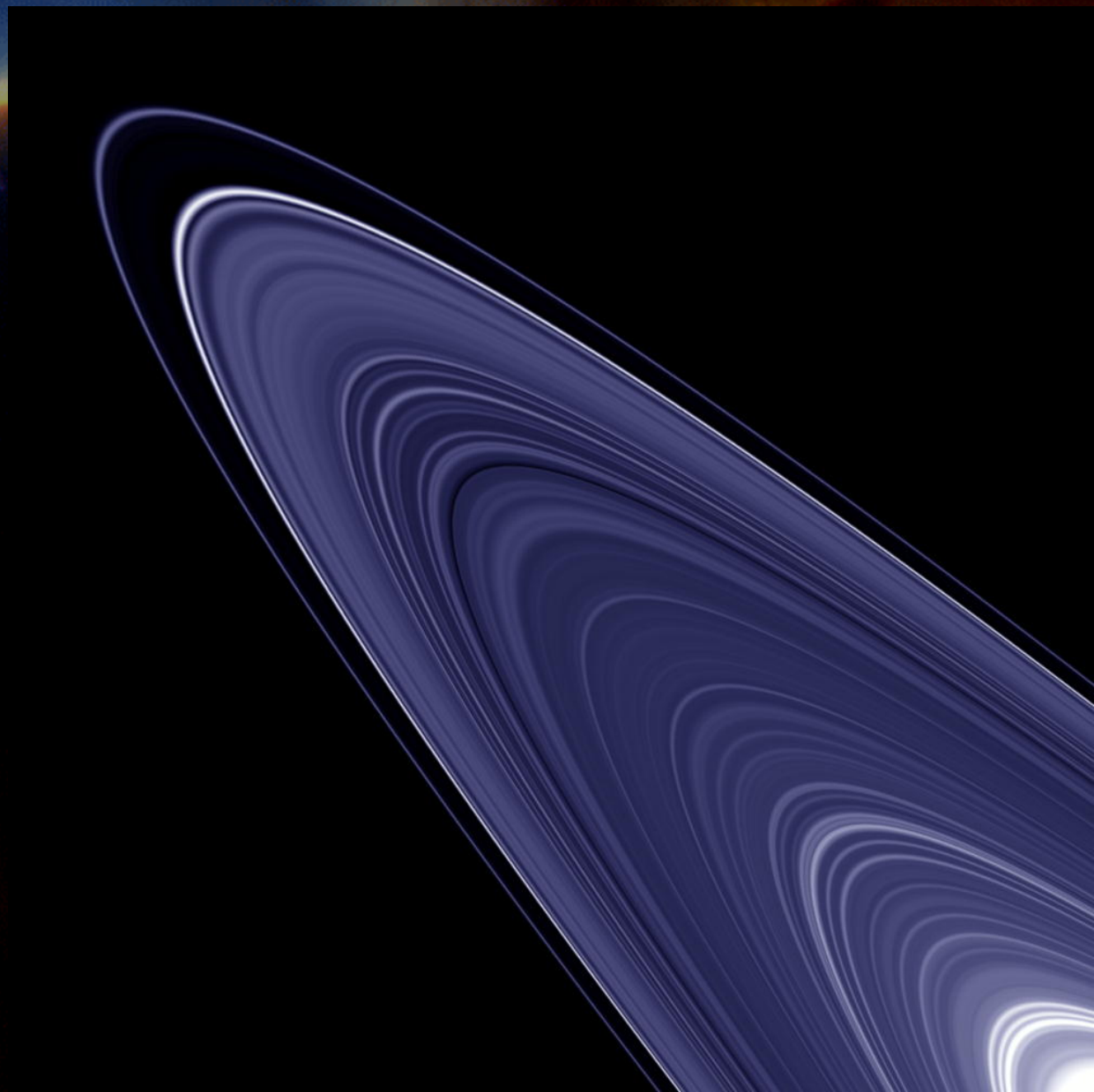
- w podczerwieni - HST





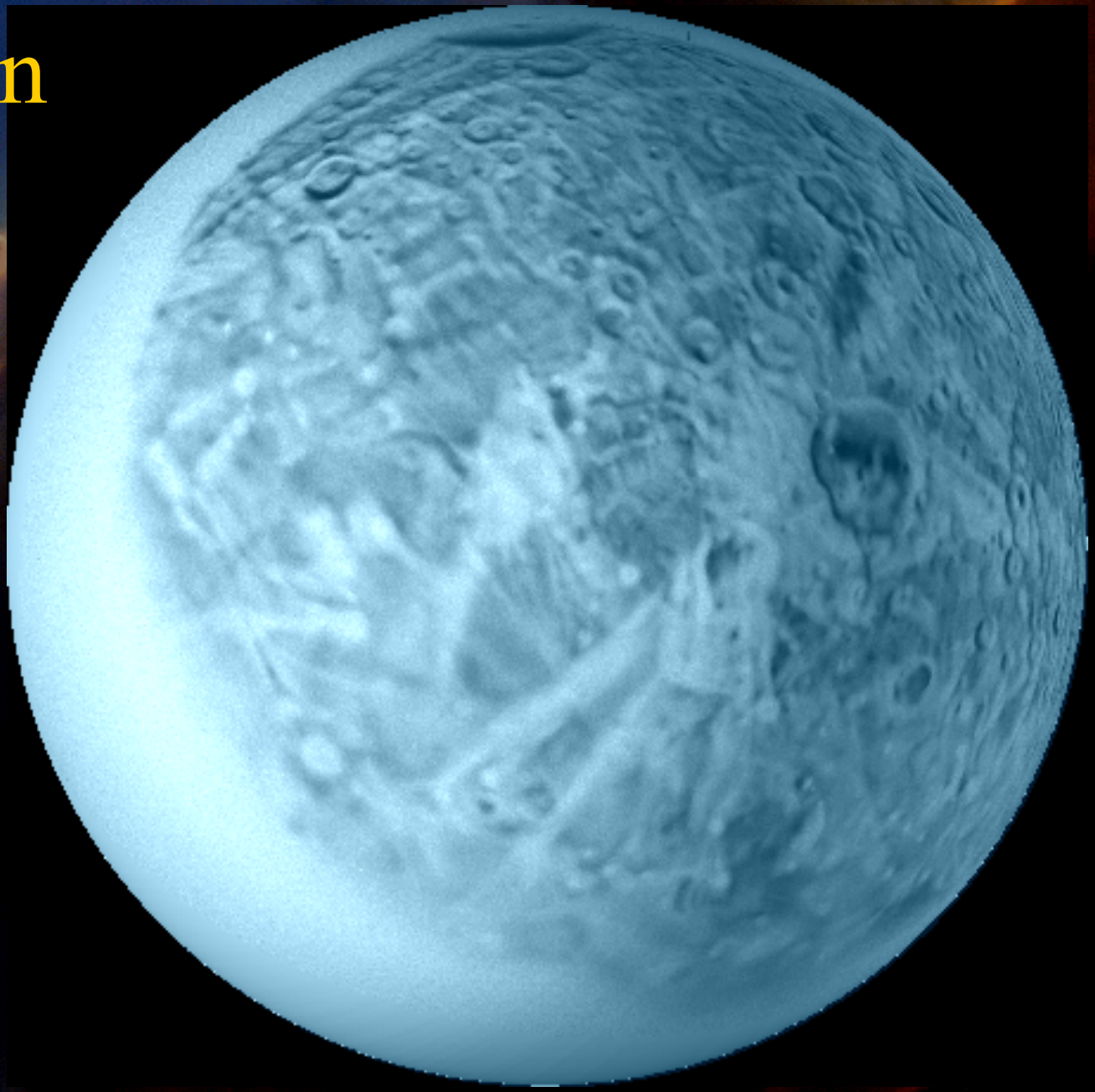
Uran

- pierścienie

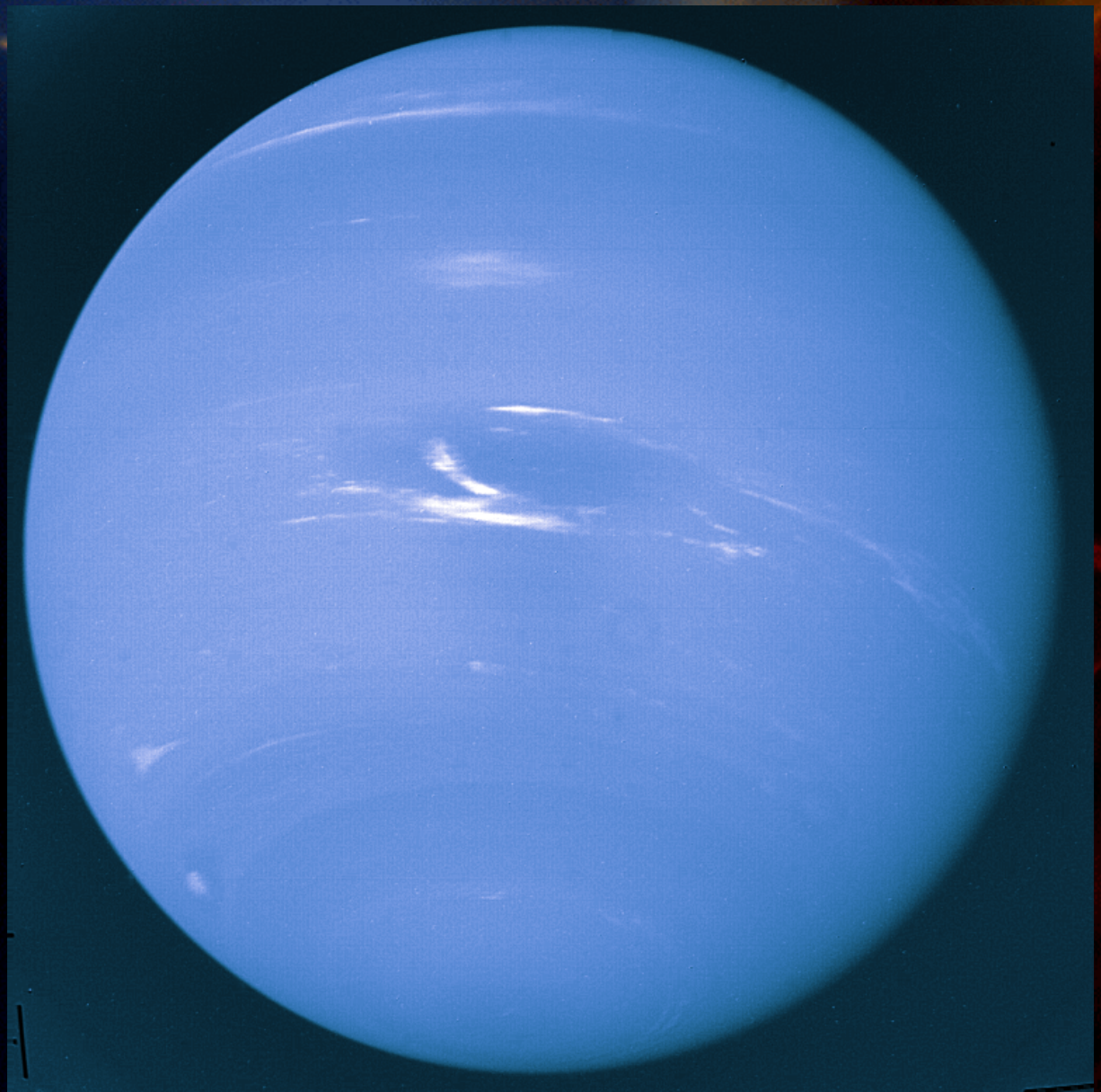


Księżyce Urana

Oberon



Neptun

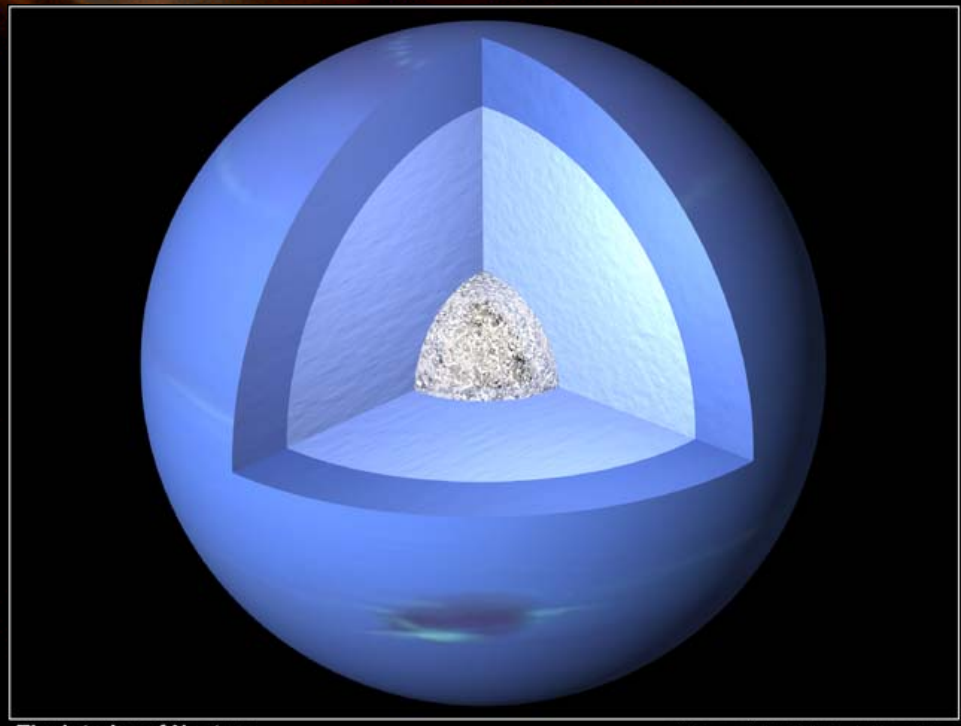


Neptun

- Odległość od Słońca: 4500 mln km (30 AU)
- Masa: $1x10^{26}$ kg (17.3 M_Z)
- Promień: 24540 km (3.85 R_Z)
- Okres obrotu 15 h 48 m
- Okres obiegu: 164 roku
- Pierścienie
- Księżyce (Tryton, Nereida)

Neptun

- Otoczka
  - H_2,He, NH_4
- Płaszcz
  - woda, metan, amoniak
- Jądro
  - skały i lód

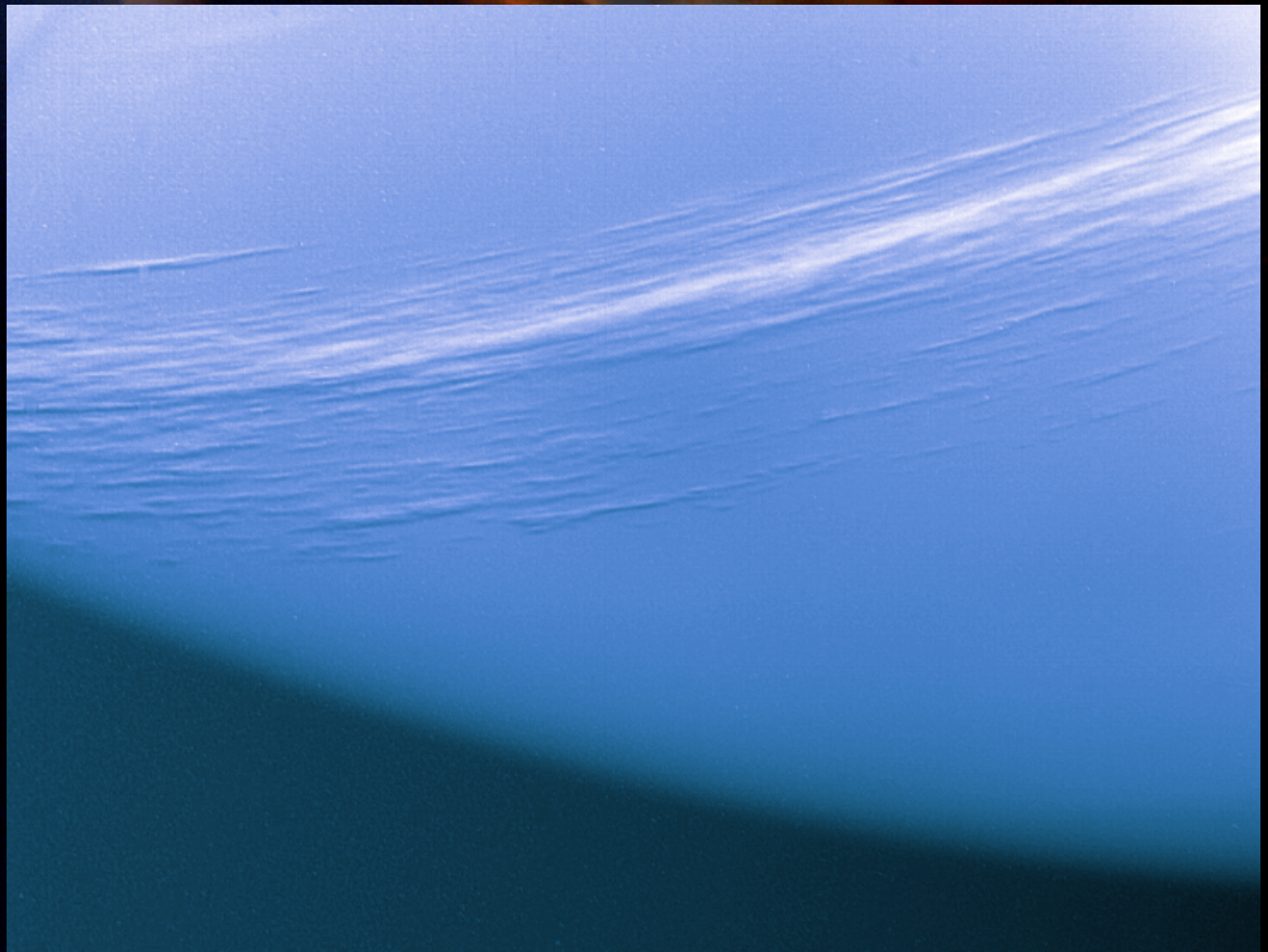


The Interior of Neptune

© Copyright Calvin J. Hamilton

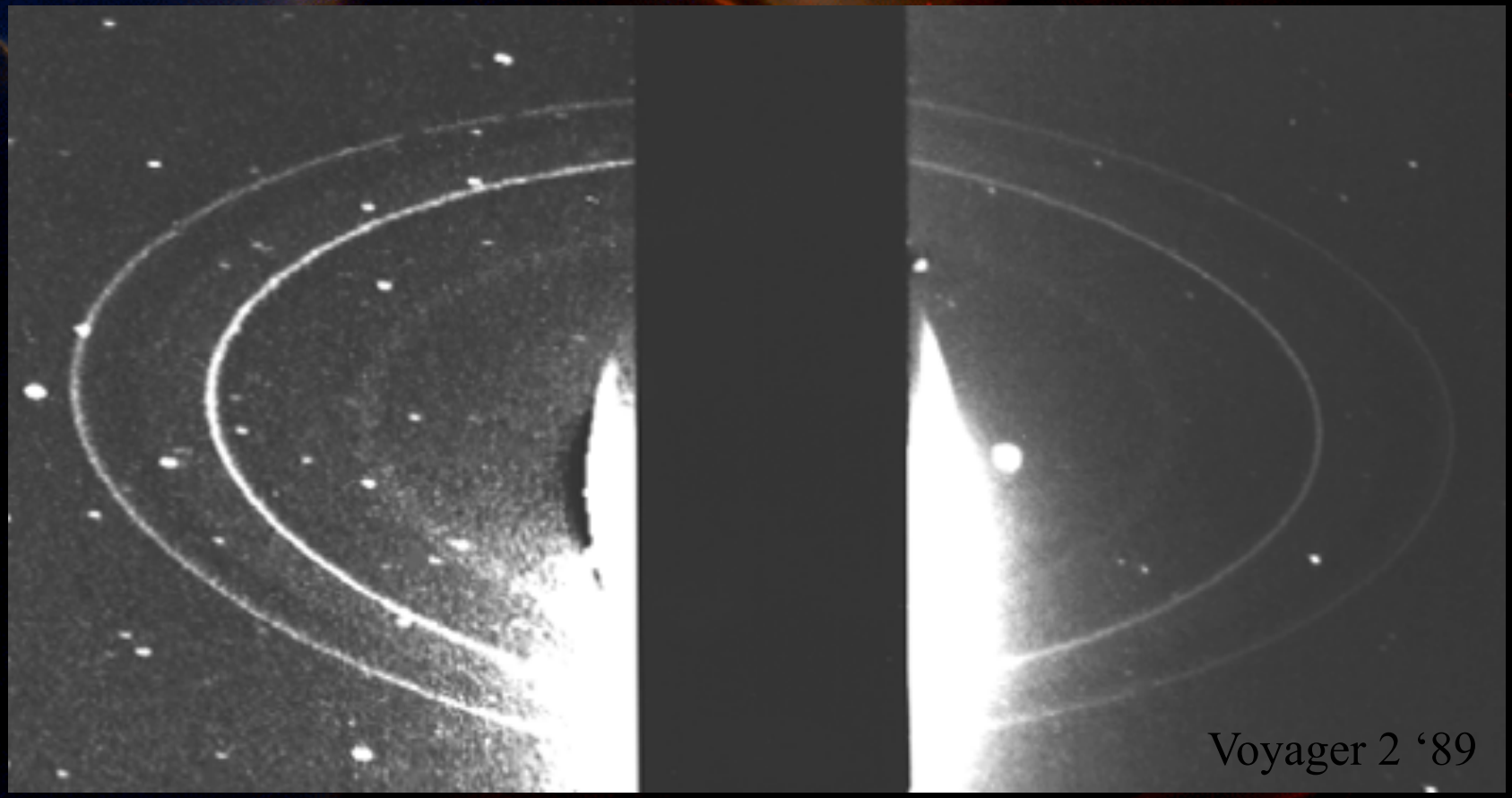
Neptun

- Chmury



Neptun

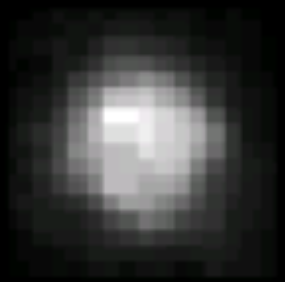
- pierścienie



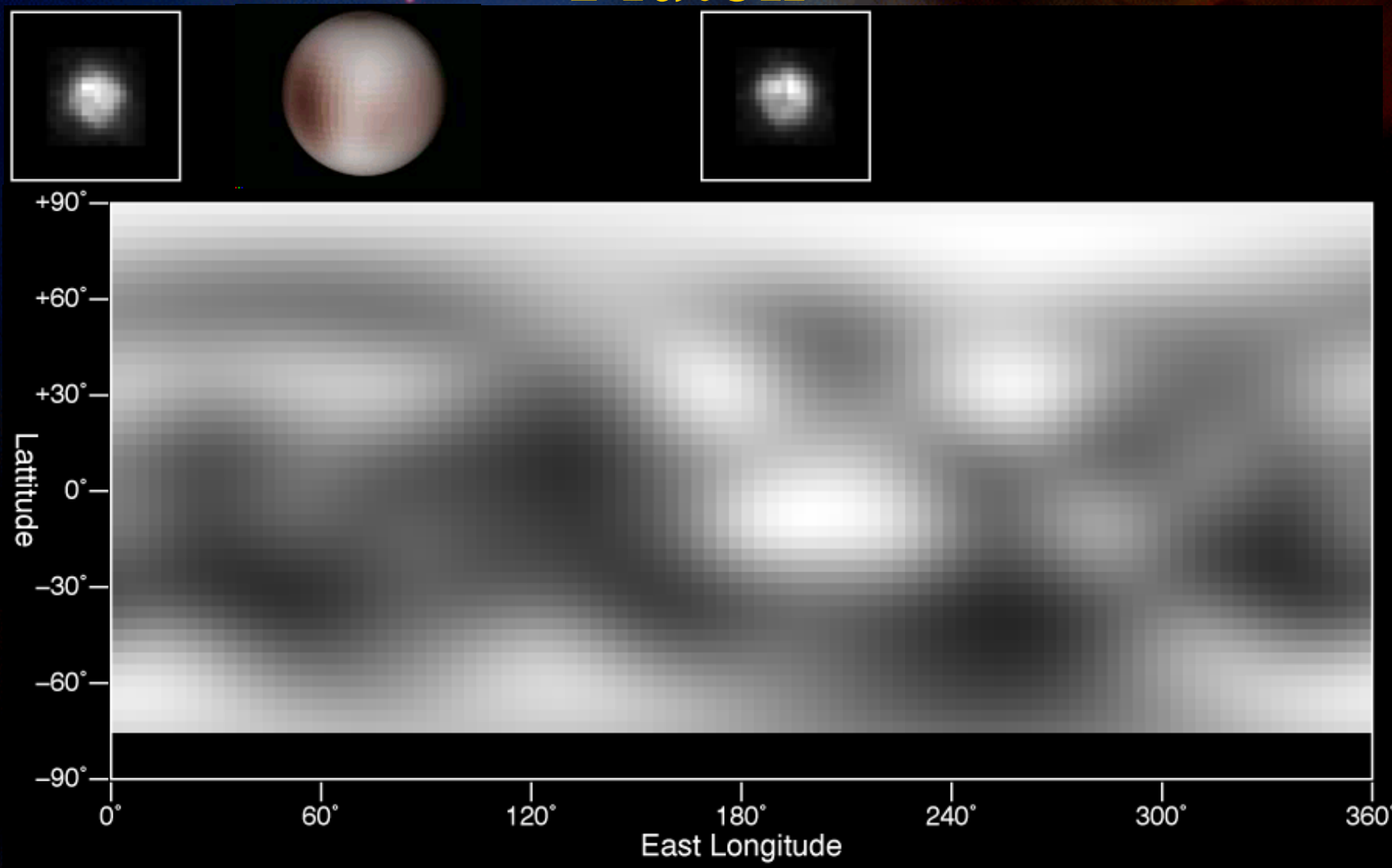
Pierścienie widziane przez Jamesa Webba

Pluton

- Odległość od Słońca: 5906 mln km (39,5 AU)
- Masa: 1.3 x10^{22} kg (0.0022 M_Z)
- Promień: 1188 km (0.18 $7R_Z$)
- Okres obrotu 6 d 9 h (wsteczny)
- Nachylenie osi 122°
- Średnica kątowa 0”.08
- Okres obiegu: 248.54 roku
- Mimośród orbity e=0.24
- Nachylenie orbity i=17°
- Atmosfera: azot, metan

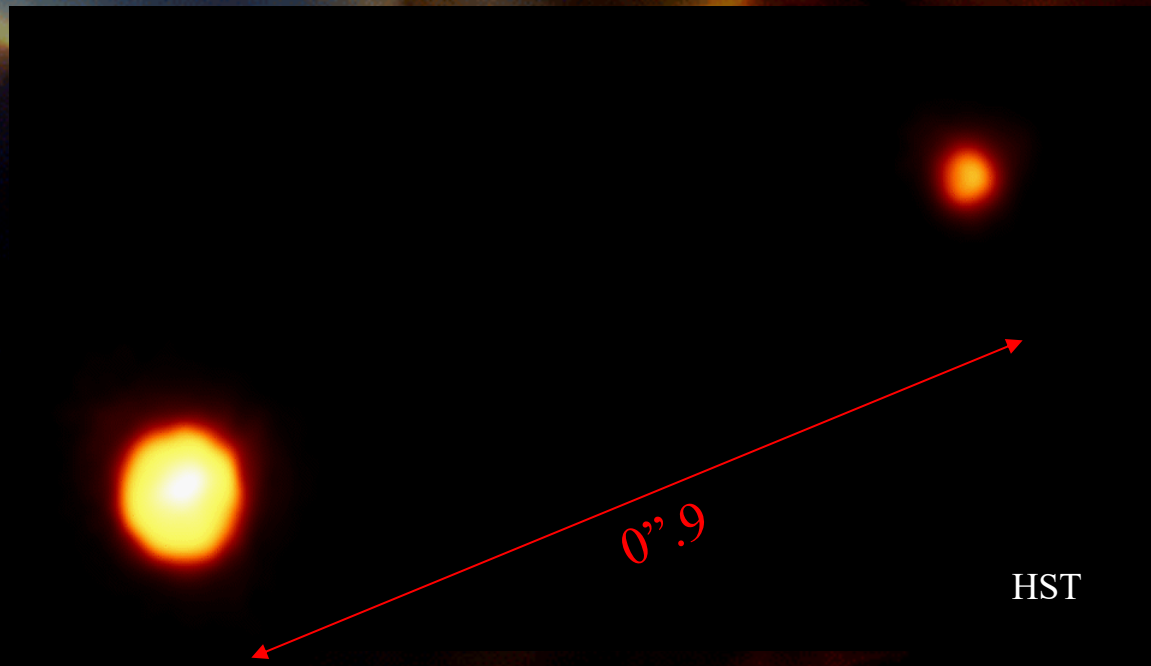


Pluton

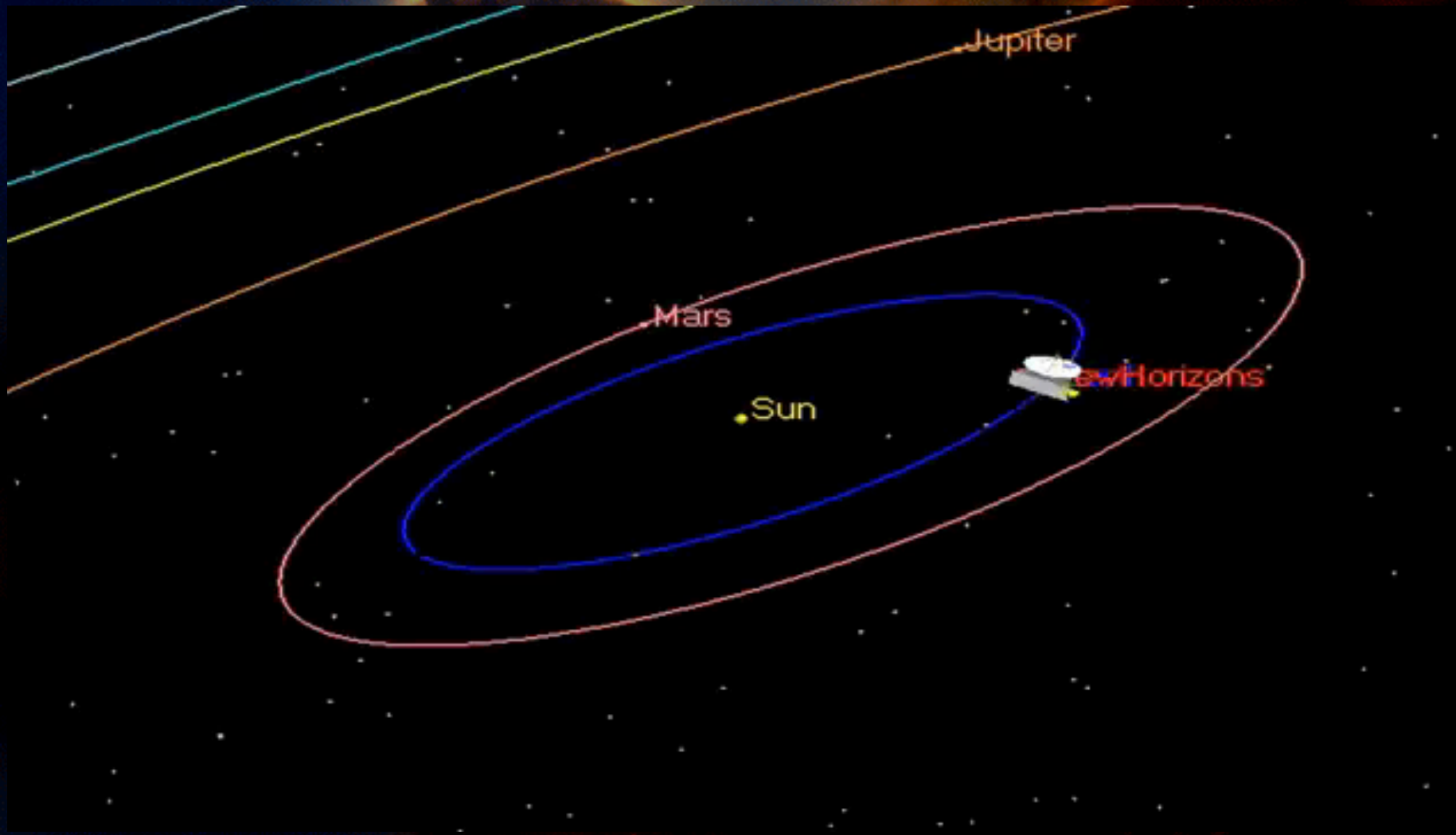

+90°
+60°
+30°
0°
–30°
–60°
–90°
Lattitude
0°
60°
120°
180°
240°
300°
360°
East Longitude
Pluto Surface Map
PRC96-09b · ST ScI OPO · March 7, 1996 · A. Stern (SwRI), M. Buie (Lowell), NASA, ESA
HST · FOC

Pluton i Charon

- Księżyc – Charon – średnica 630 km
- elongacja max. 0”.9

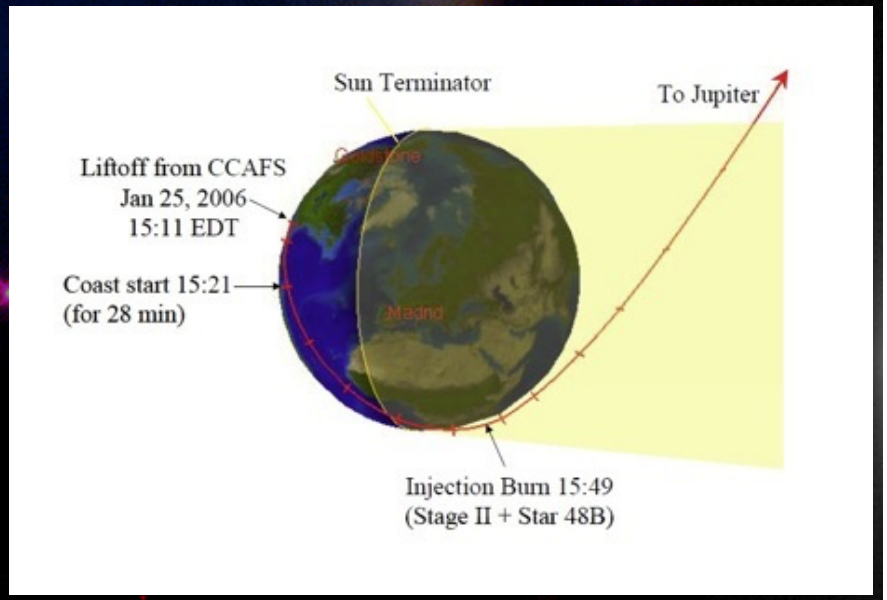


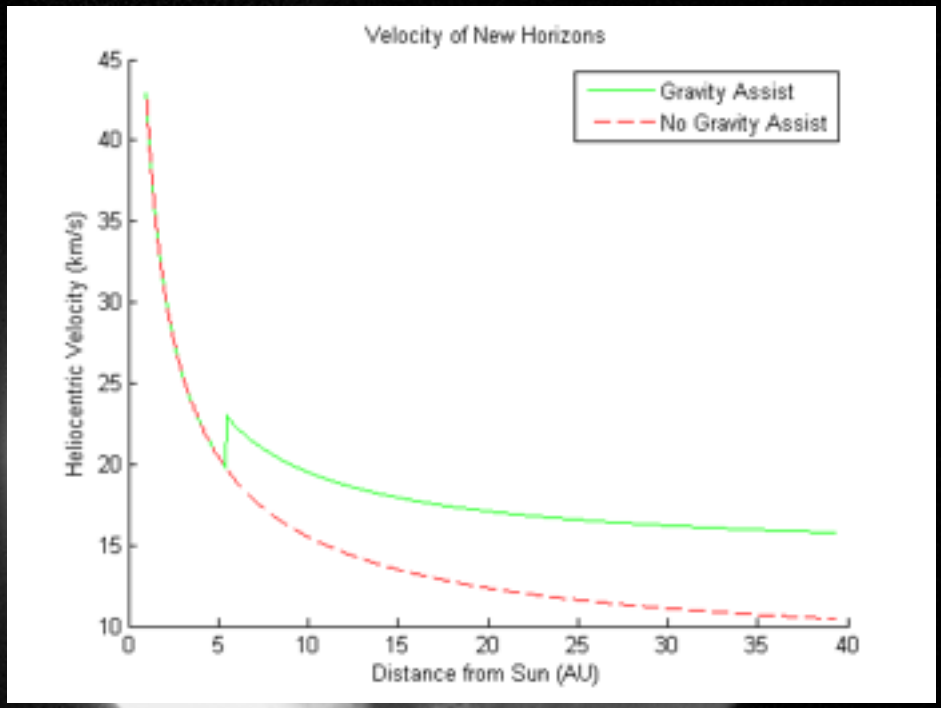
Trajektoria



Misja New Horizons

- Start - 19/01/ 2006
  - 16,26 km/s



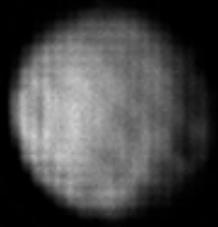


- Jowisz - 28/02/2007
  18km/s -- 22,85 km/s

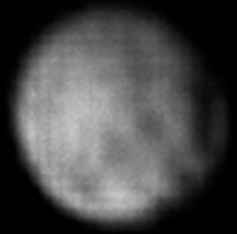
New Horizons - przelot

- Pluton – 14/07/2015
  - 12,472 km ponad powierzchnią
  - 13,658 km od środka
  - z prędkością 13,78 km/s
  - w odl 39.5 j.a.

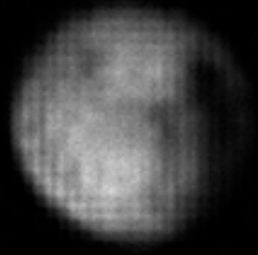
Pluto



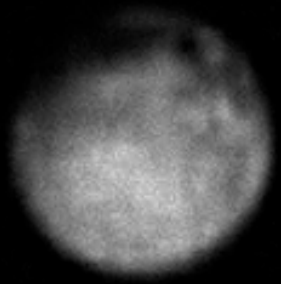
2015-06-22 00:47:00
Range: 26.8 million km
Lon: 332°



2015-06-23 04:04
Range: 25.4 million km
Lon: 268°



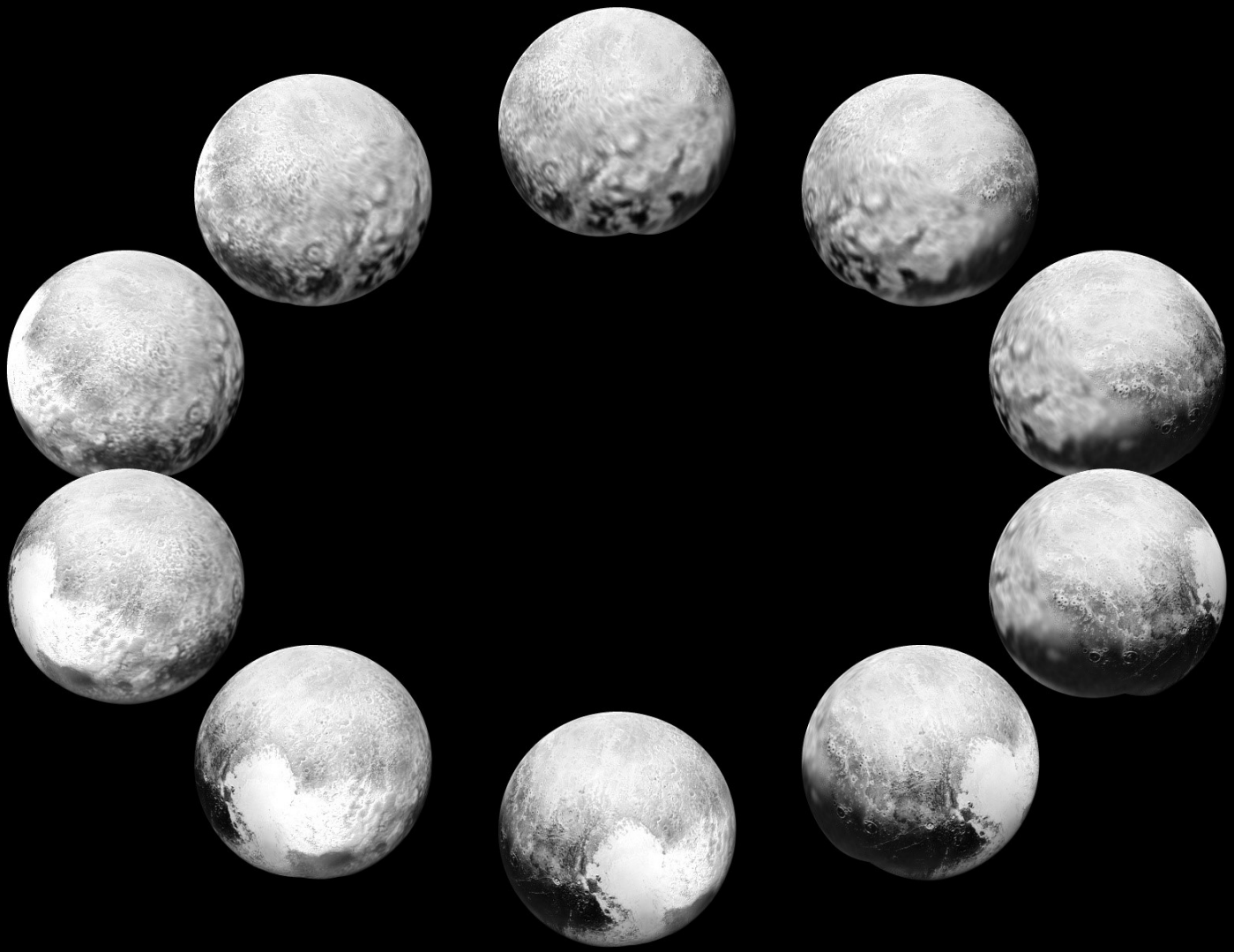
2015-06-25 05:37
Range: 22.9 million km
Lon: 152°



2015-06-27 05:32
Range: 20.6 million km
Lon: 39°

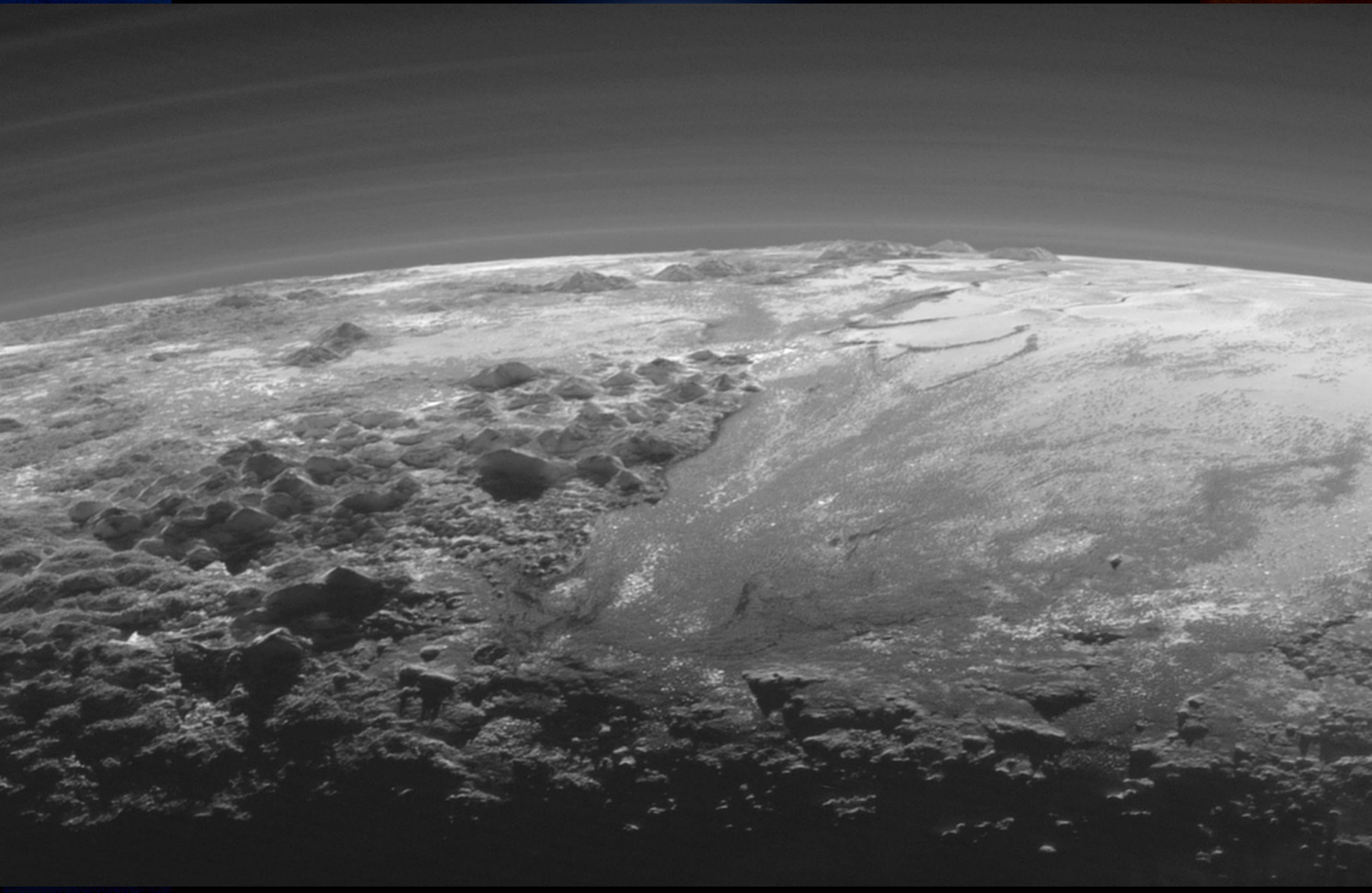
2015-06-29 05:03
Range: 18.2 million km
Lon: 288°

2015-07-01 04:17
Range: 15.9 million km
Lon: 177°

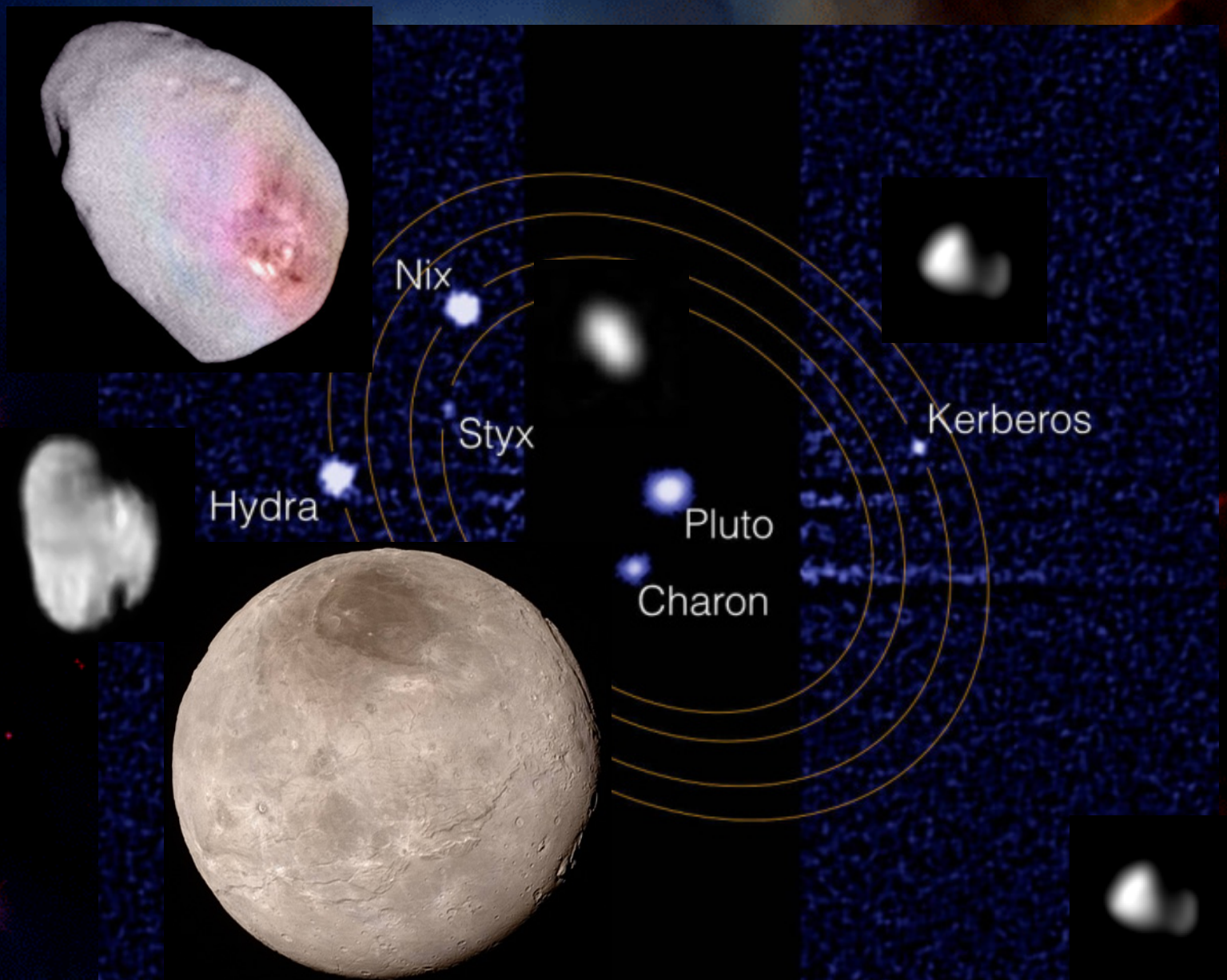


kandroid96.deviantart.com

Atmosfera Plutona

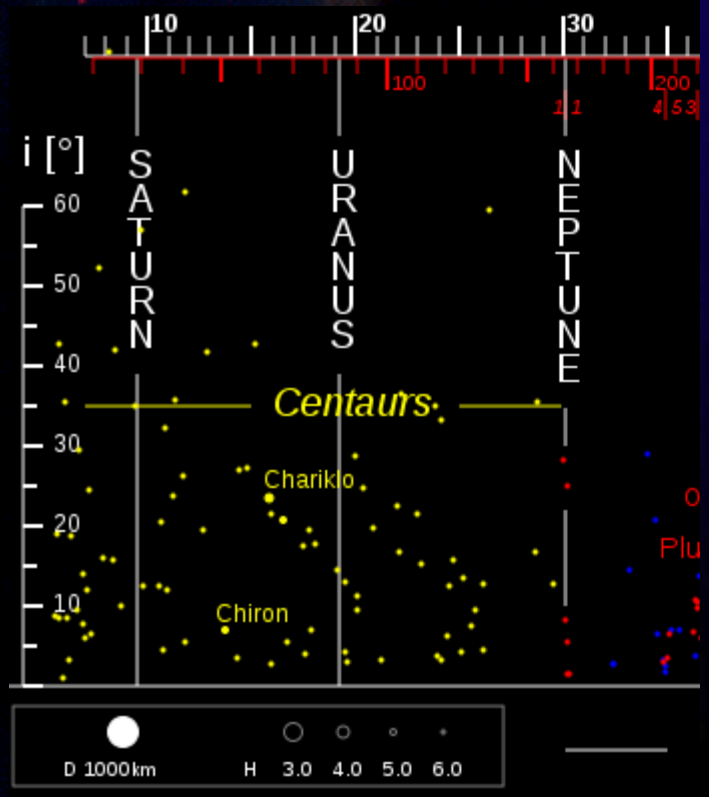


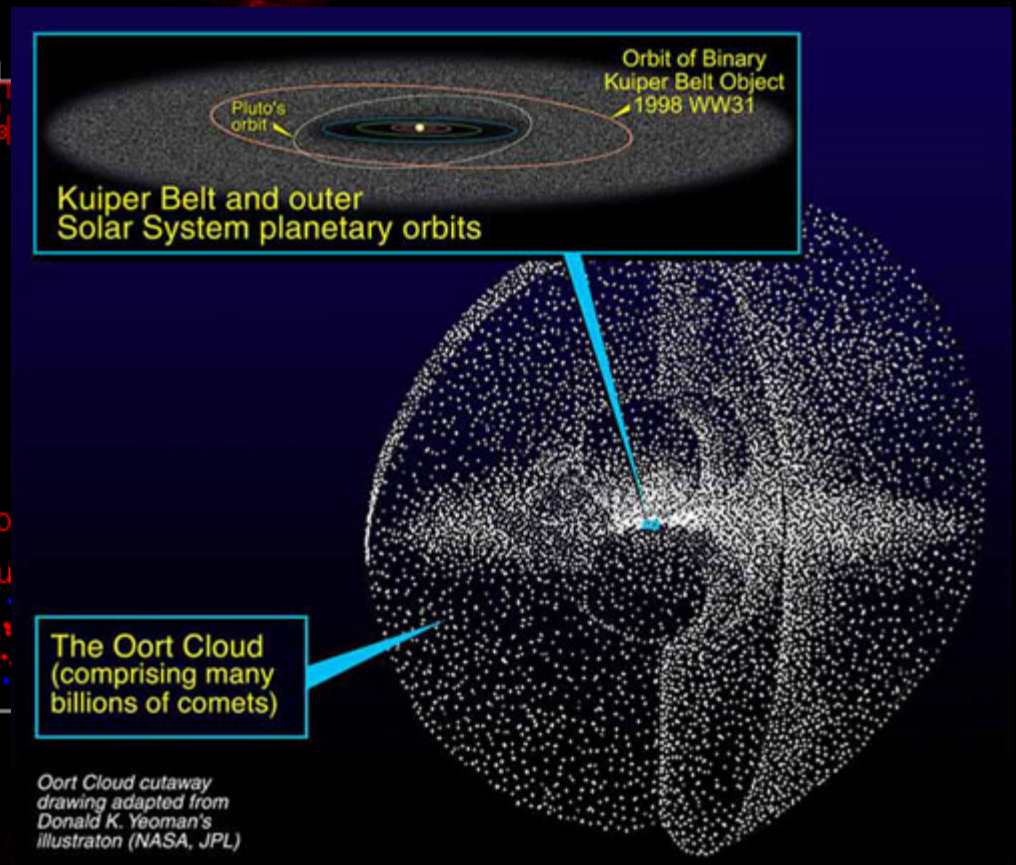
Księżyce Plutona



Obiekty transnesptunowe

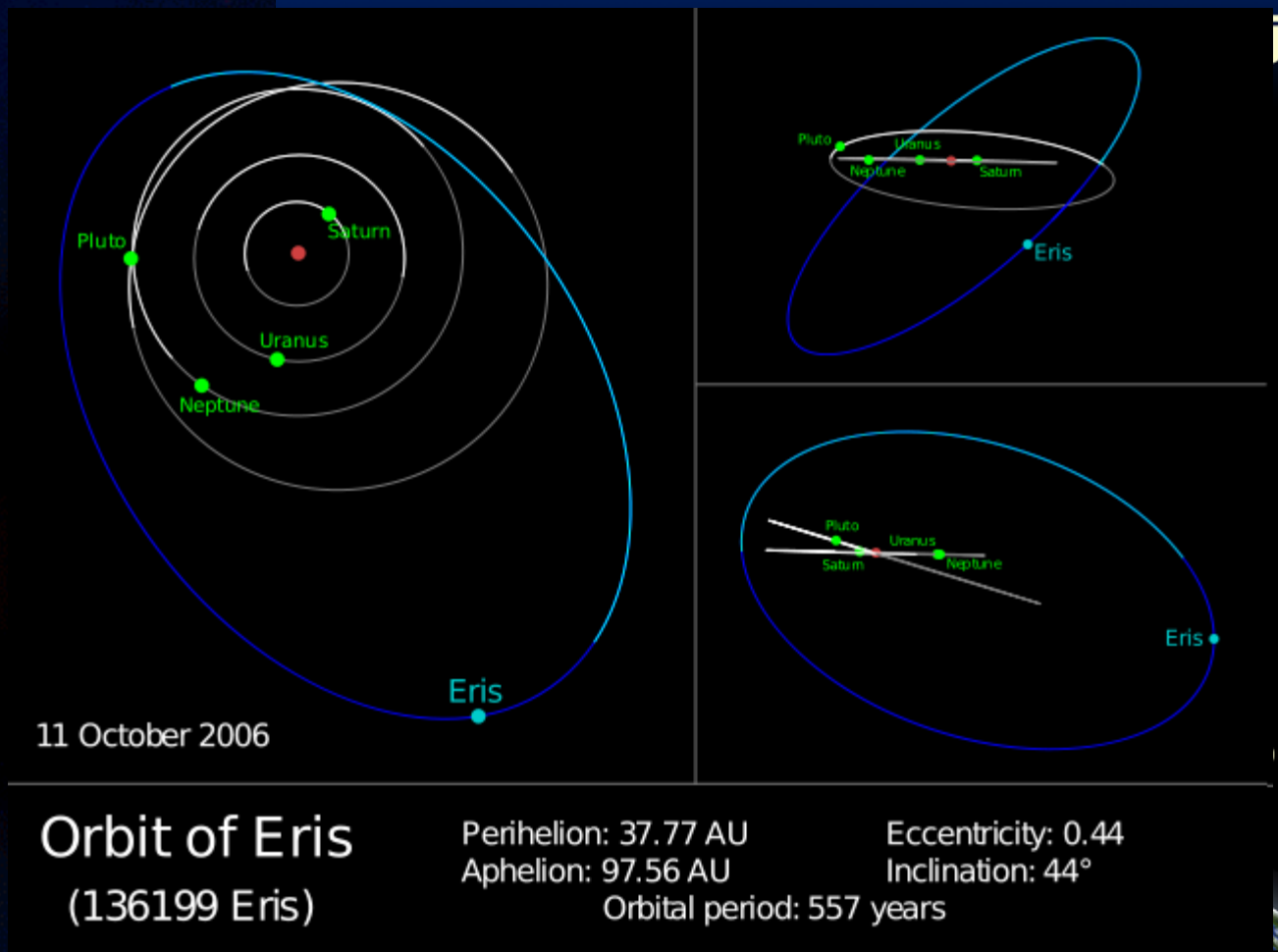
- Pas Kuipera
  - 30-50 AU
  - rezonanse orbitalne

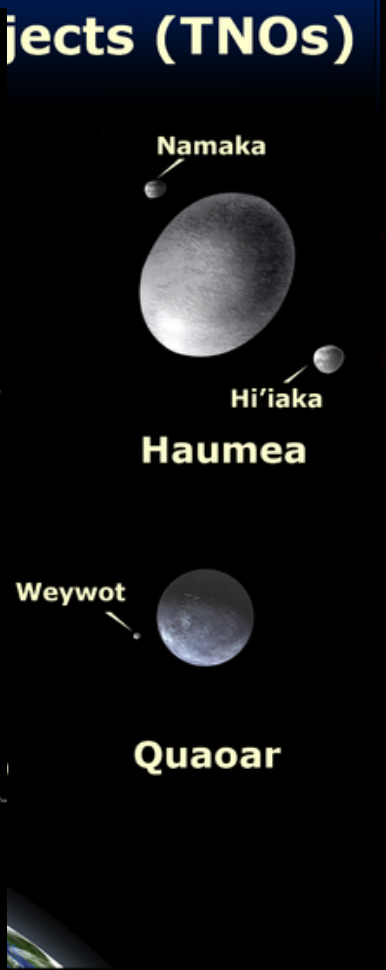




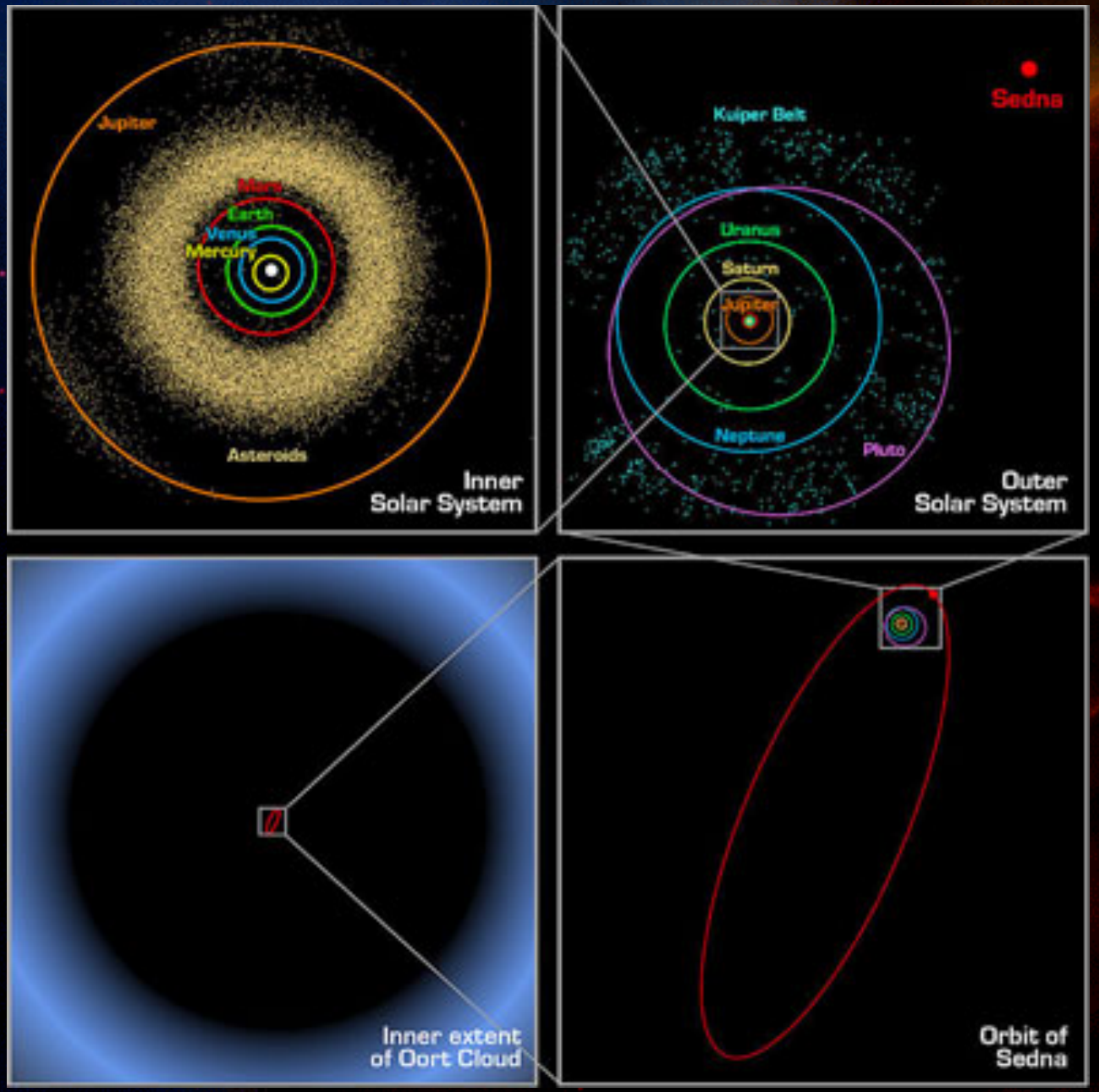
Obiekty transsneptunowe

- ponad 1100 obiektów



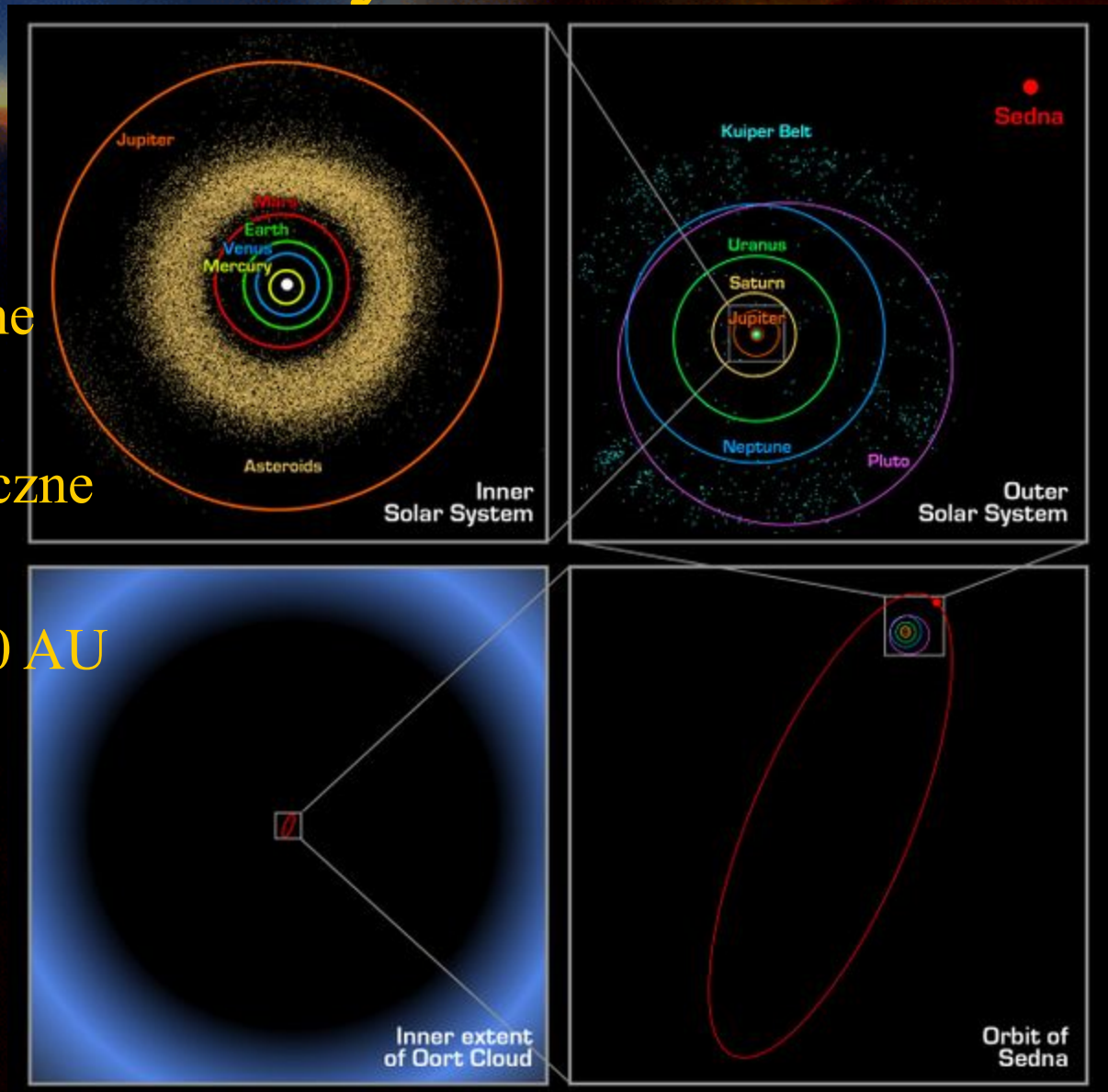


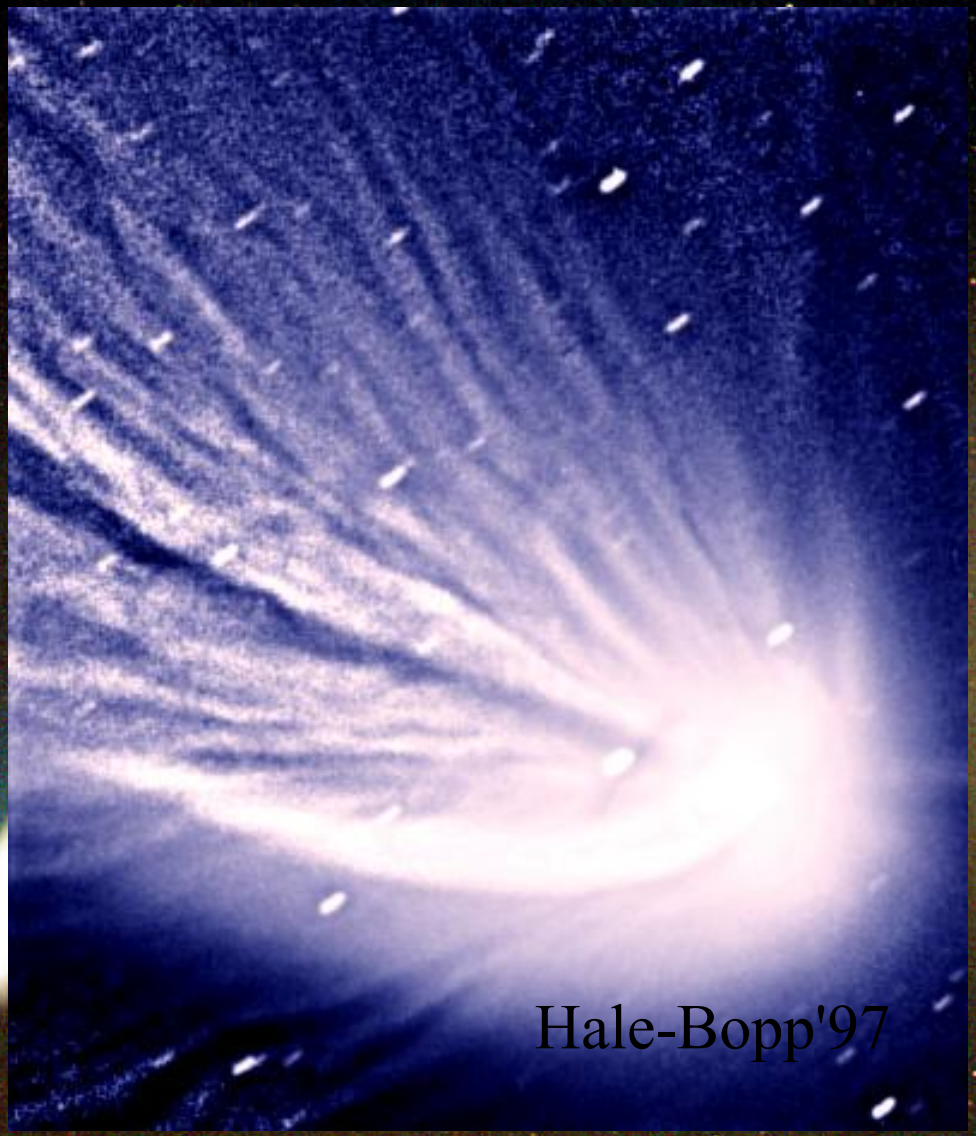
Sedna

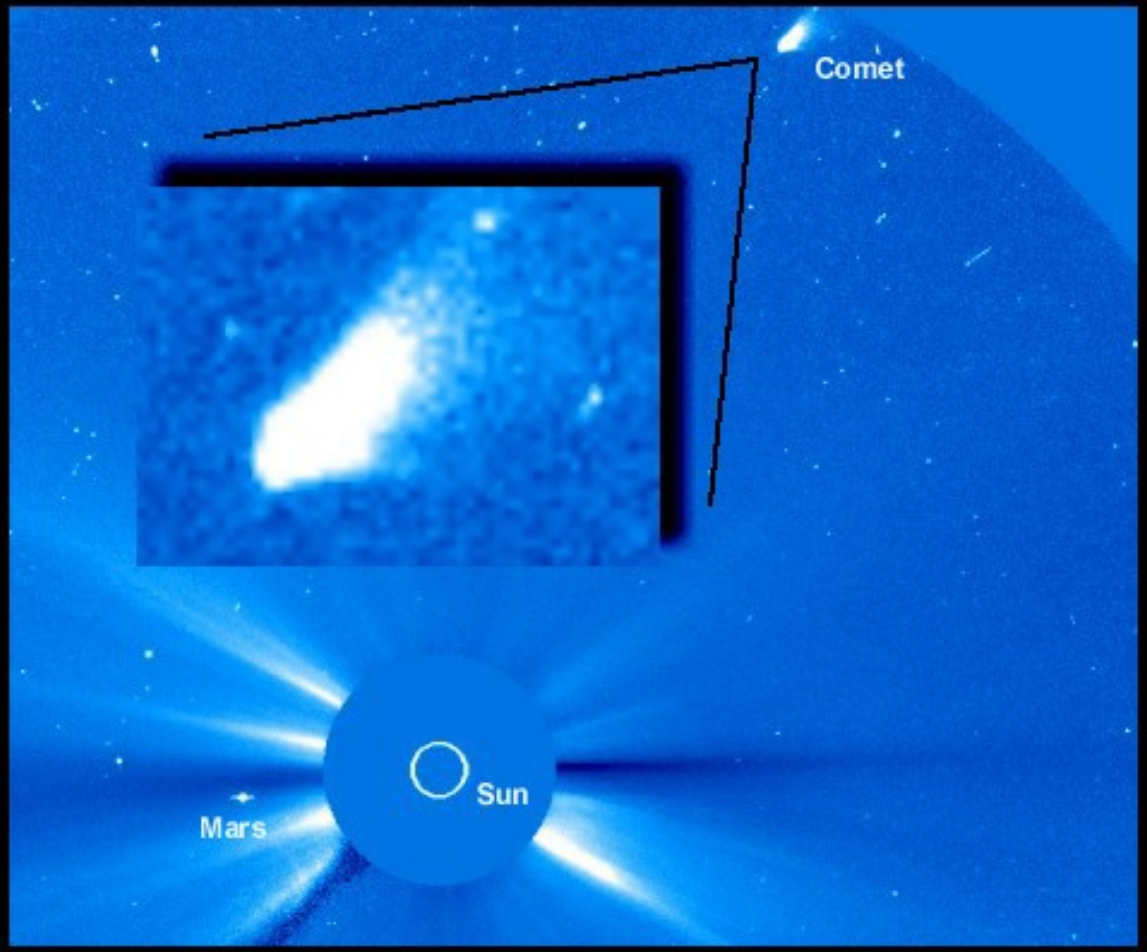

Jupiter
Mars
Earth
Venus
Mercury
Asteroids
Inner
Solar System
Kuiper Belt
Sedna
Uranus
Saturn
Jupiter
Neptune
Pluto
Outer
Solar System
Inner extent
of Oort Cloud
Orbit of
Sedna

Komety

- Okresowe
  - P<200 lat
  - orbity eliptyczne
- Jednorazowe
  - orbity paraboliczne
- Obłok Oorta
  - 50,000-100,000 AU



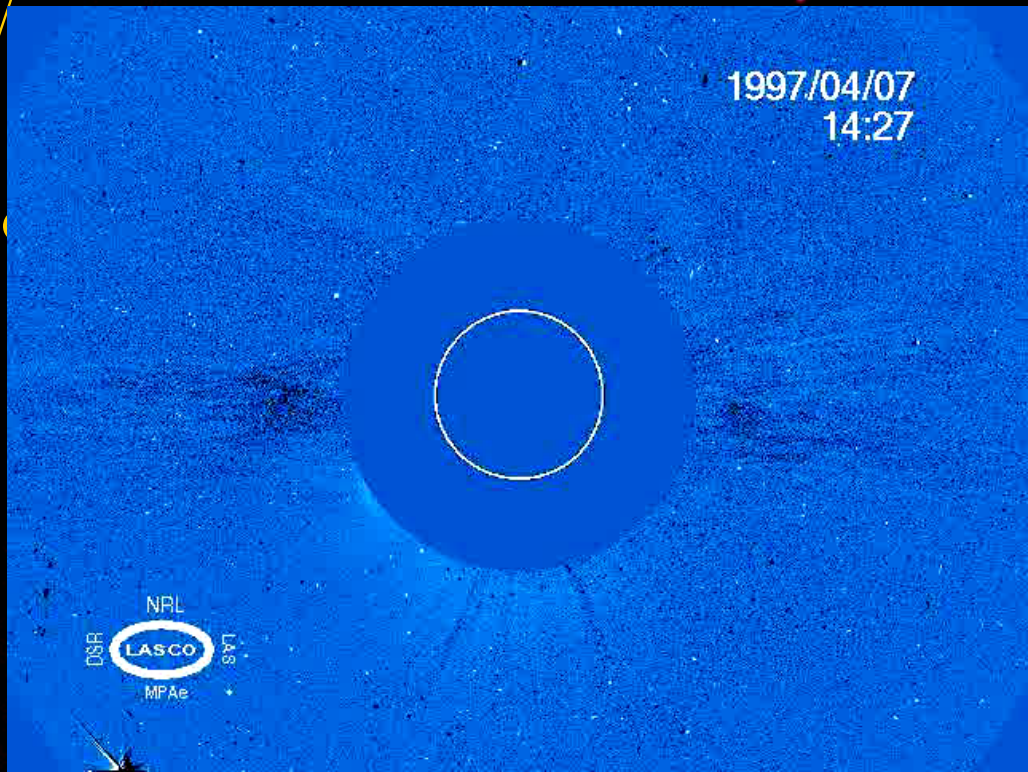

Hale-Bopp'97


Comet
Sun
Mars

Kometa Halleya

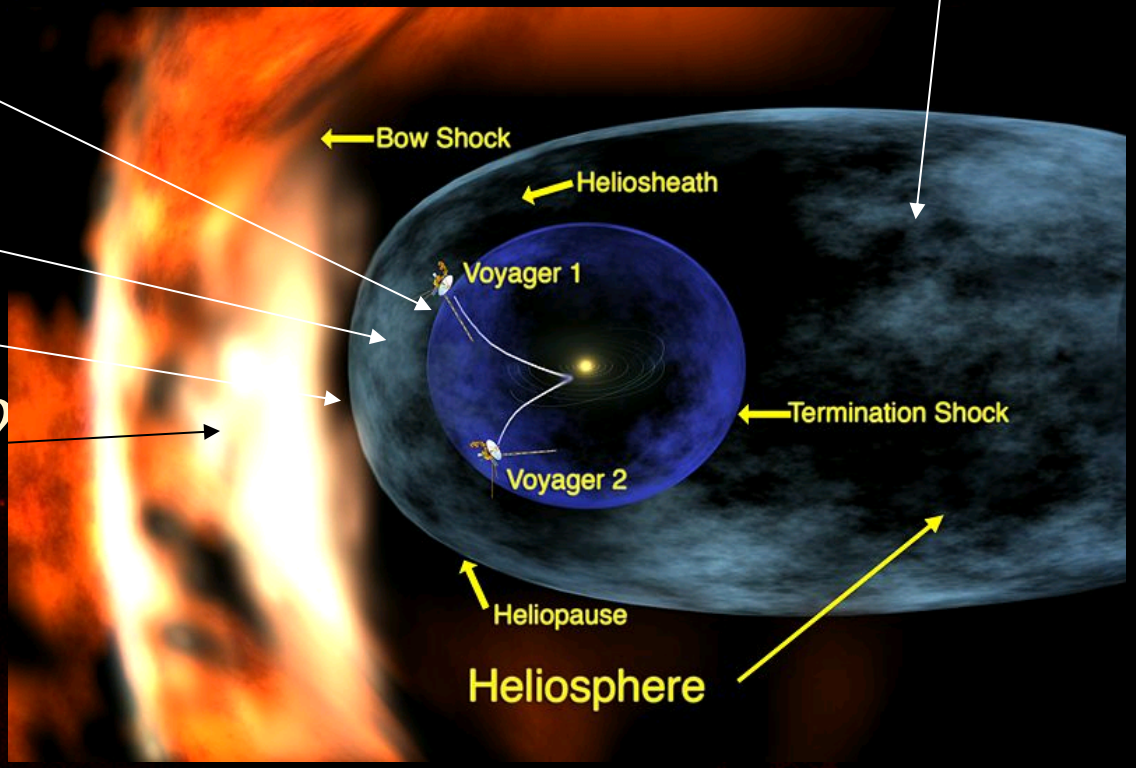
Materia międzyplanetarna

- Wiatr gwiazdowy
  - zjonizowany gaz:
    - protony, elektrony
    - ~ 500 km/s, 10^9 kg/
  - CME
    - coronal mass ejecti



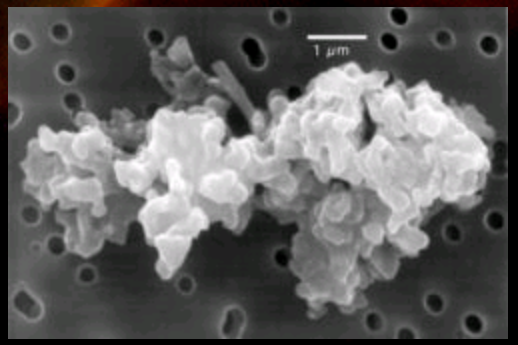
Heliosfera

- heliosfera – obszar dominacji ciśnienia wiatru gwiazdowego nad materią międzygwiazdową – 100 do kilku tys. j.a.
- szok końcowy
- płaszcz
- heliopauza
- „bow shock”??



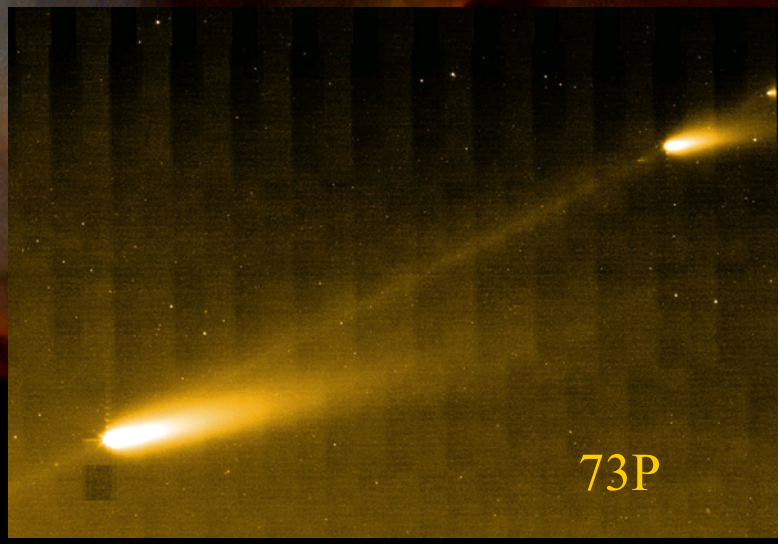
Materia międzyplanetarna

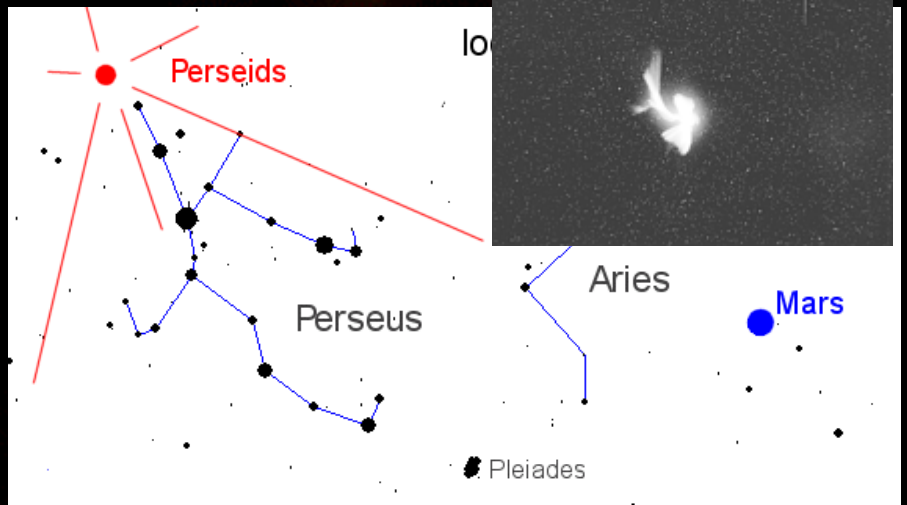
- Pył międzyplanetarny
  - 10-100 μm
  - kilka cząstek/cm^3
  - zderzenia asteroid
  - obiektów pasa Kuipera
  - pył z komet
- czas życia max10^8 lat
  - 99.9 % pył *świeży*
  - 0.1 % miedzygwiazdowy
- światło zodiakalne

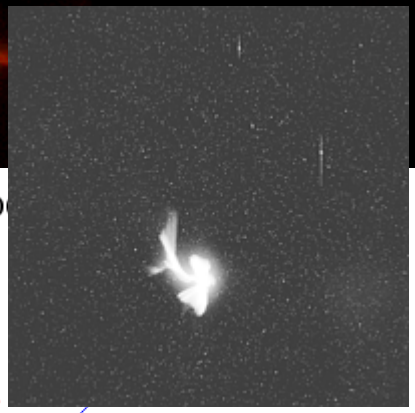


Materia międzyplanetarna

- meteoroidy,
- meteory, meteoryty
- deszcze meteorów
  - radiant







Materia międzyplanetarna

- meteoryty
  - aerolity – kamienne
    - chondryty
    - achondryty
  - syderyty – żelazne
  - syderolity – kamienno-żelazne

Willamette Meteorite – 15 t

Materia międzyplanetarna

- kratery
  - Arizona
  - 1200x170m
- obiekt:
  - 50 m średnicy
  - 200,000 ton
  - 13 km/s

Temperatura planety

$L = 4\pi R_s^2 \cdot \sigma T_s^4$

$f = L/4\pi d^2 = 4\pi R_s^2 \sigma T_s^4 / 4\pi d^2 = \sigma T_s^4 R_s^2/d^2$

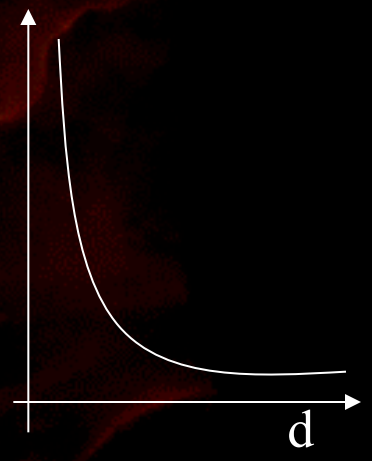
$E = \pi r^2 \cdot f$

$E = 4\pi r^2 \cdot \sigma T_p^4$

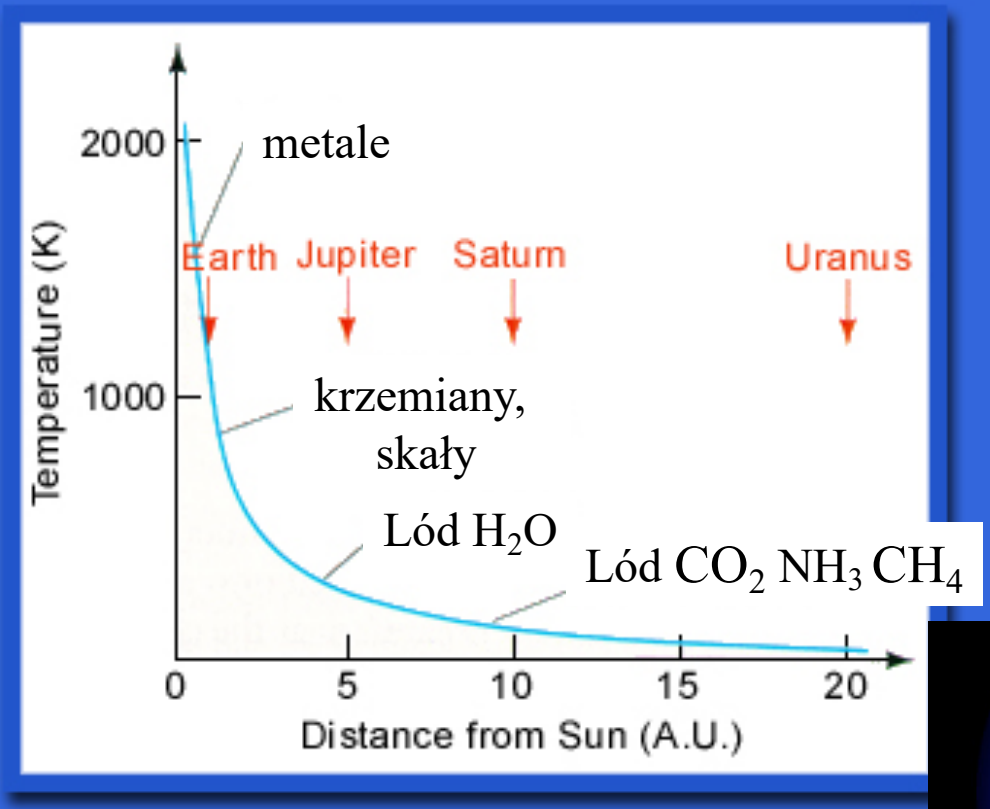
$4\pi r^2 \cdot \sigma T_p^4 = \pi r^2 \cdot \sigma T_s^4 R_s^2/d^2$

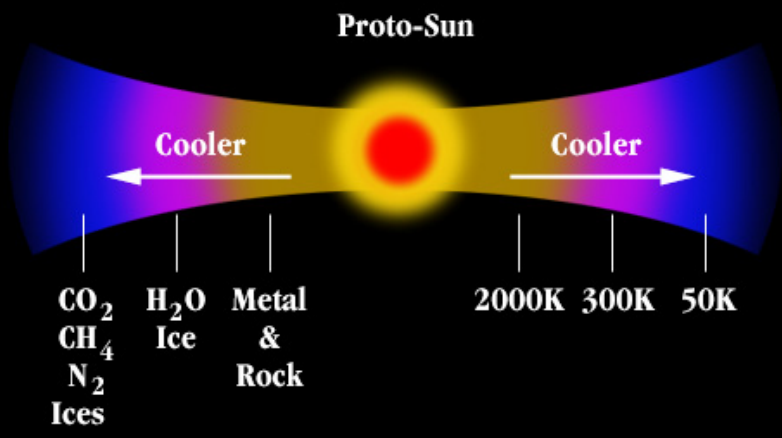
$T_p = (T_s^4 R_s^2/4d^2)^{0.25} = T_s (R_s/2d)^{0.5}$

dla Ziemi $T_p = 280$ K

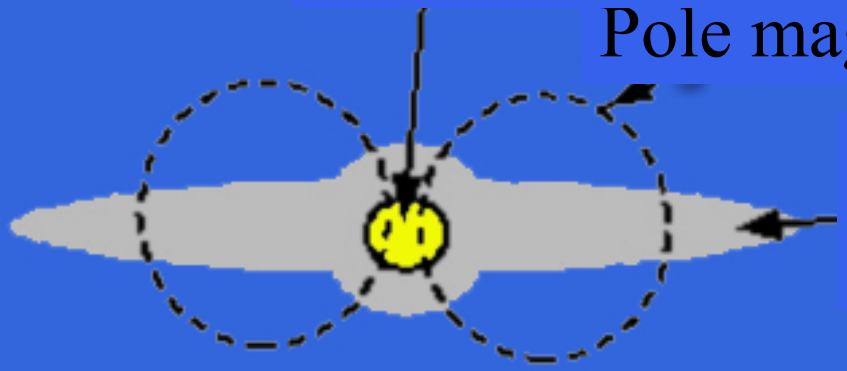


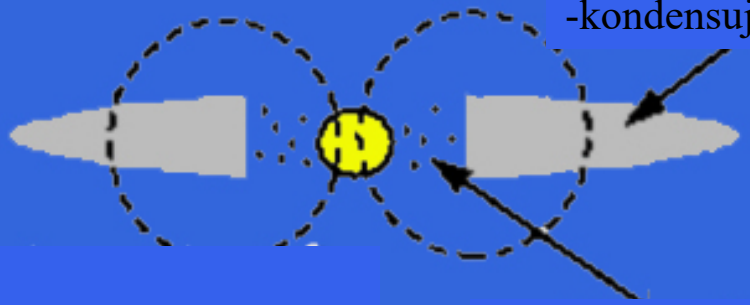
Skład chemiczny *vs.* temperatura i odległość





Powstawanie planet

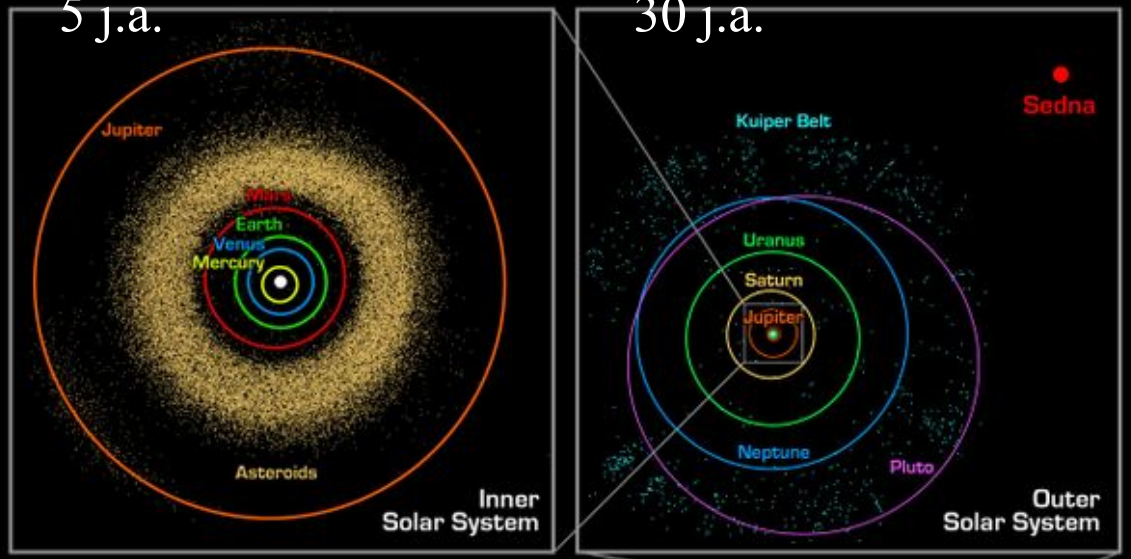


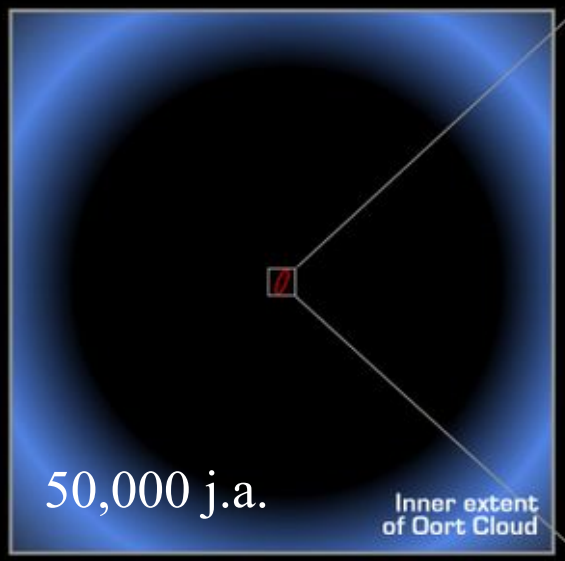


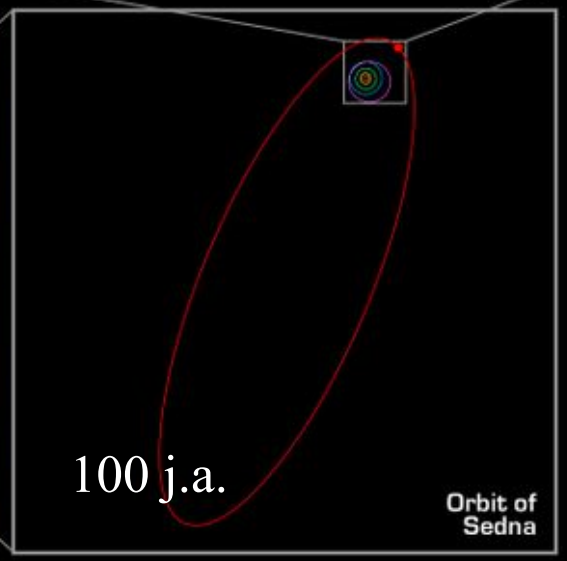
„Lekkie” pierwiastki
-wywiewane na peryferia
-kondensują w niższej temperaturze

„Ciężkie” pierwiastki
-kondensują w wyższej temperaturze
-ale również w niższej !

Otoczenie Układu Słonecznego





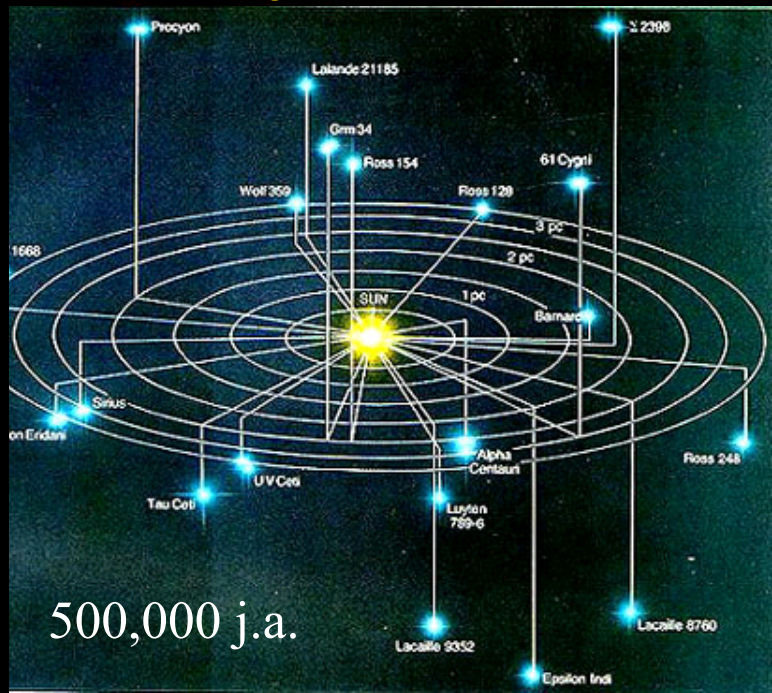


obszar oddziaływania grawitacyjnego

1,5 r. św. =

0,5 pc =

100,000 j.a.



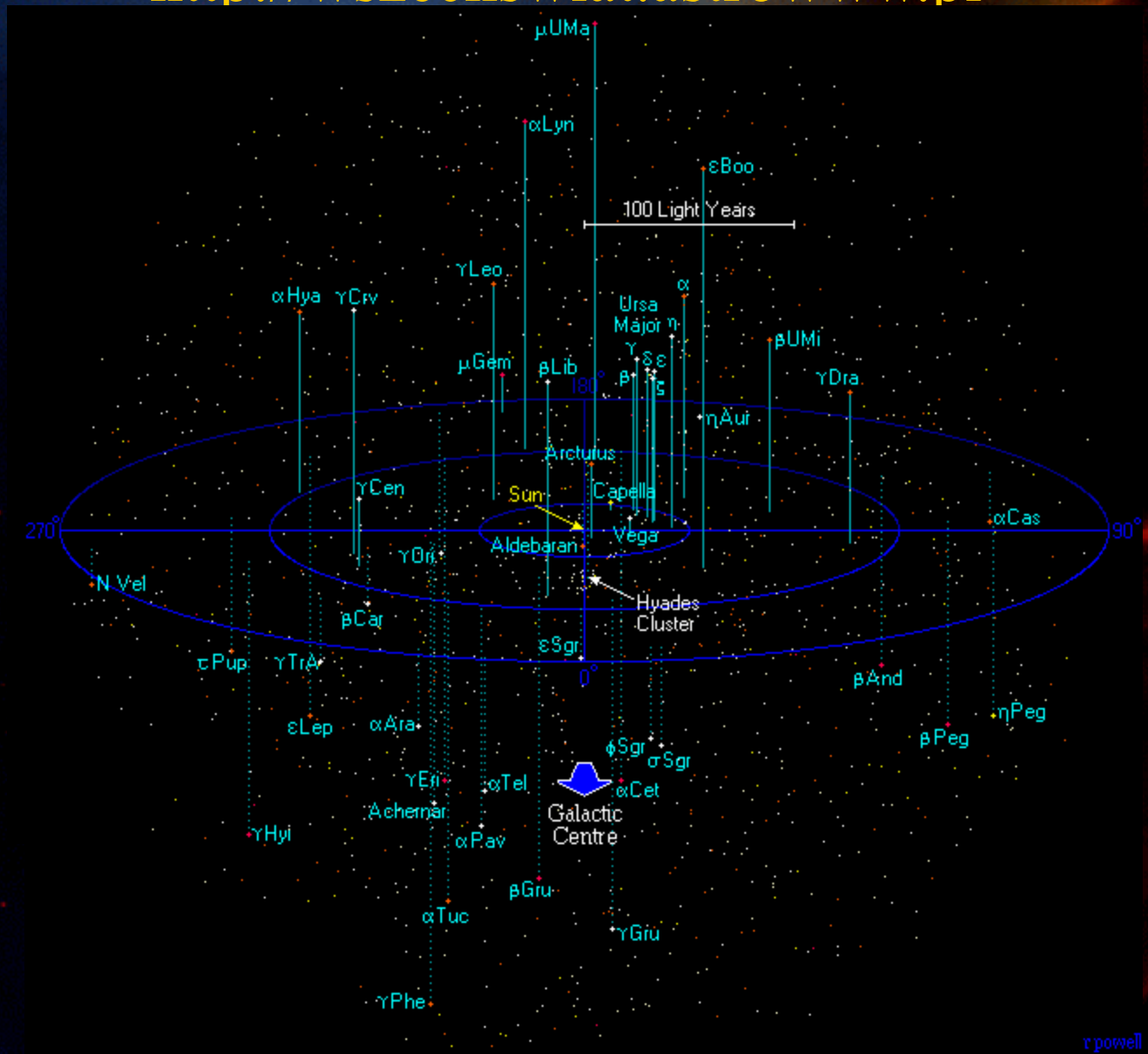
Gwiazdy

Lista najbliższych gwiazd

Common Name	Scientific Name	Distance (light years)	Apparent Magnitude	Absolute Magnitude	Spectral Type
Sun		-	-26.72	4.8	G2V
Proxima Centauri	V645 Cen	4.2	11.05 (var.)	15.5	M5.5Vc
Rigil Kentaurus	Alpha Cen A	4.3	-0.01	4.4	G2V
	Alpha Cen B	4.3	1.33	5.7	K1V
Barnard's Star		6.0	9.54	13.2	M3.8V
Wolf 359	CN Leo	7.7	13.53 (var.)	16.7	M5.8Vc
	BD +36 2147	8.2	7.50	10.5	M2.1Vc
Luyten 726-8A	UV Cet A	8.4	12.52 (var.)	15.5	M5.6Vc
Luyten 726-8B	UV Cet B	8.4	13.02 (var.)	16.0	M5.6Vc
Sirius A	Alpha CMa A	8.6	-1.46	1.4	A1Vm
Sirius B	Alpha CMa B	8.6	8.3	11.2	DA
Ross 154		9.4	10.45	13.1	M3.6Vc
Ross 248		10.4	12.29	14.8	M4.9Vc
	Epsilon Eri	10.8	3.73	6.1	K2Vc
Ross 128		10.9	11.10	13.5	M4.1V
	61 Cyg A (V1803 Cyg)	11.1	5.2 (var.)	7.6	K3.5Vc
	61 Cyg B	11.1	6.03	8.4	K4.7Vc
	Epsilon Ind	11.2	4.68	7.0	K3Vc
	BD +43 44 A	11.2	8.08	10.4	M1.3Vc
	BD +43 44 B	11.2	11.06	13.4	M3.8Vc
Luyten 789-6		11.2	12.18	14.5	
Procyon A	Alpha CMi A	11.4	0.38	2.6	F5IV-V
Procyon B	Alpha CMi B	11.4	10.7	13.0	DF
	BD +59 1915 A	11.6	8.90	11.2	M3.0V
	BD +59 1915 B	11.6	9.69	11.9	M3.5V
	CoD -36 15693	11.7	7.35	9.6	M1.3Vc

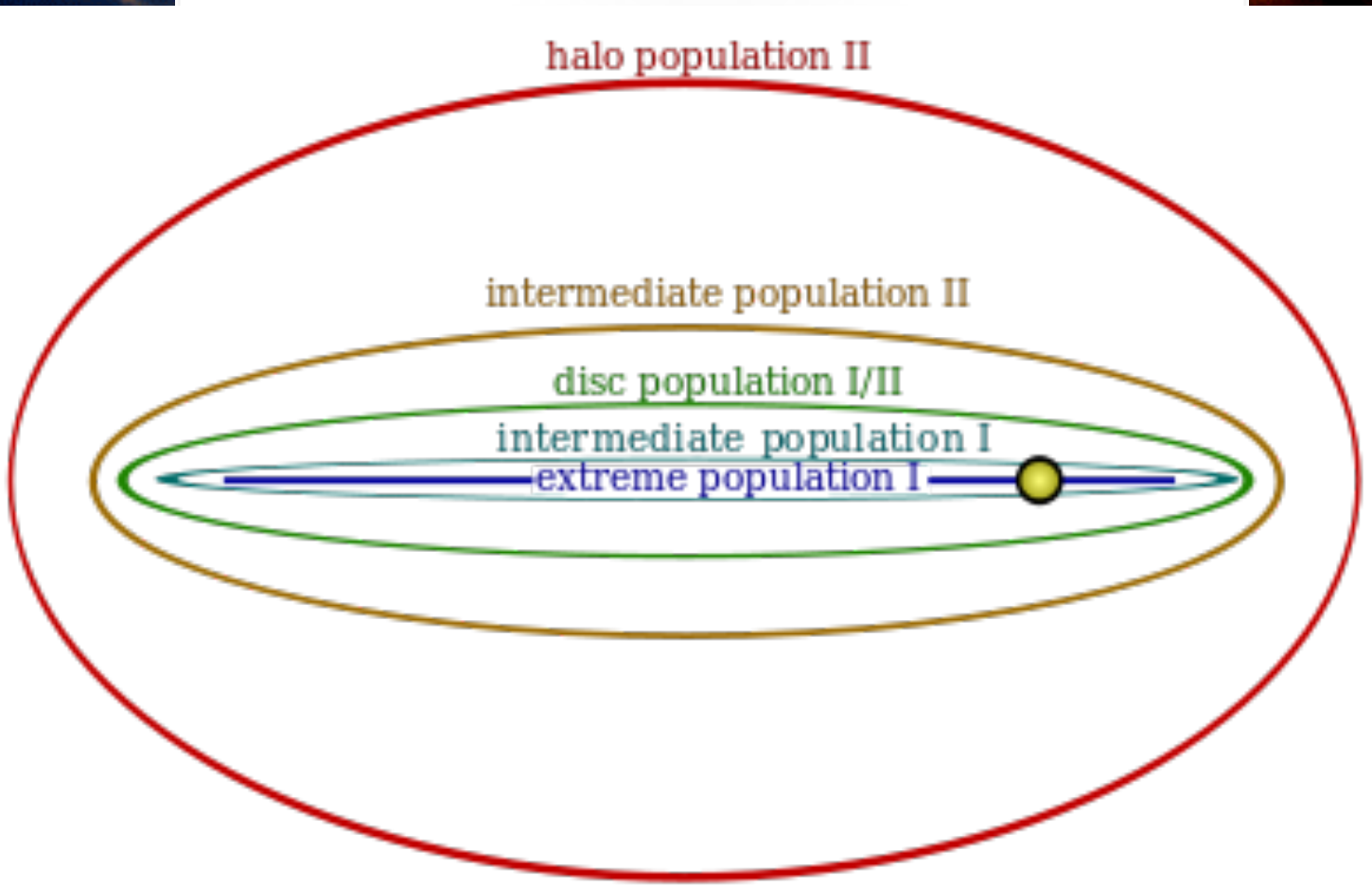
Sąsiedztwo Słońca

http://wszechswiat.astrowww.pl



Droga Mleczna - Galaktyka

Populacje gwiazdowe Galaktyki



Distribution of Star Populations in Milky Way

Populacje gwiazdowe Galaktyki

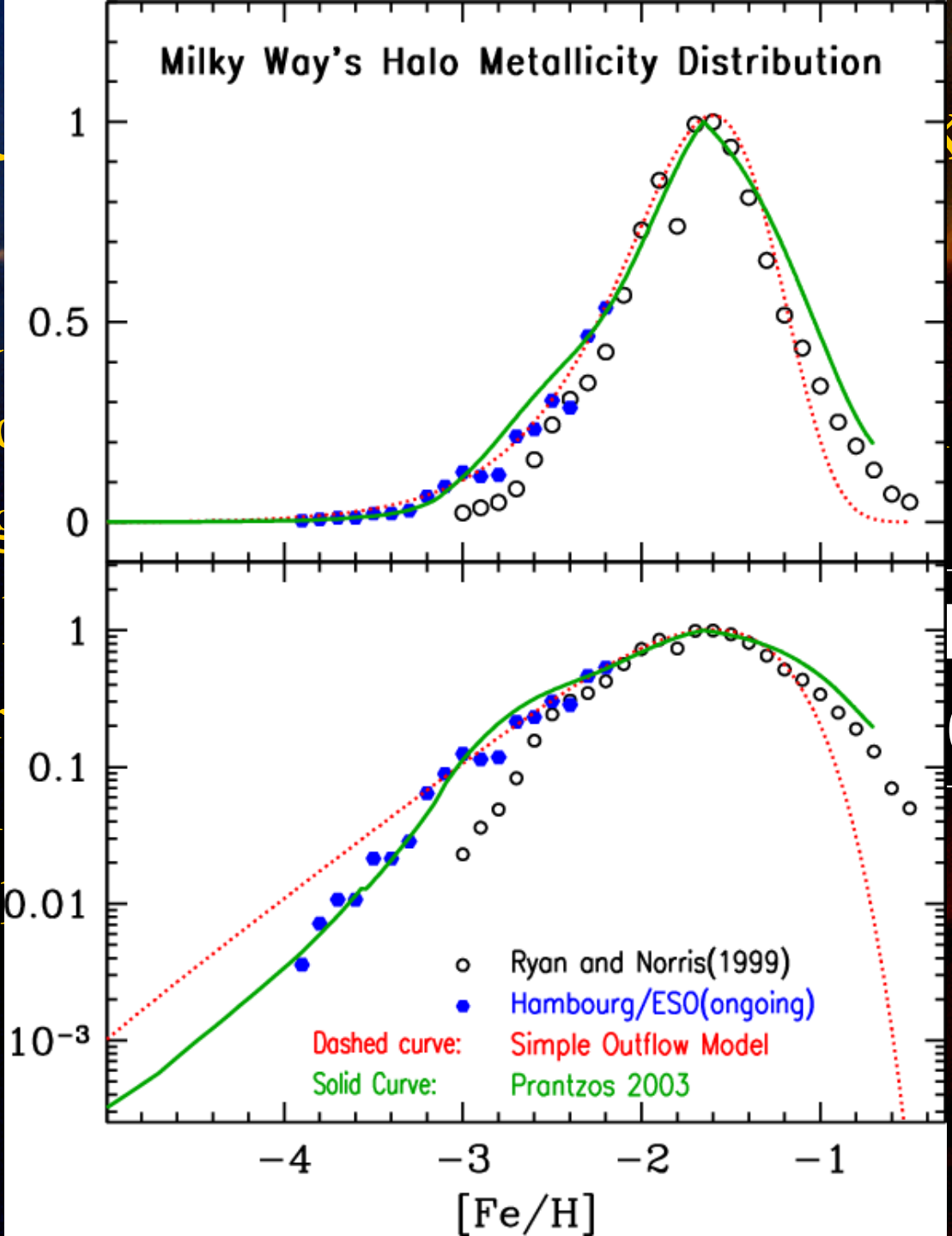
- Populacja I (dyskowa)
  - młode gwiazdy w ramionach spiralnych
  - bogate w metale [Fe/H] ~ 0
- populacja II (sferyczna)
  - zgrubienie centralne (bulge)
  - halo galaktyczne
  - niska metaliczność [Fe/H] ~ -1 ... -2

$$[Fe/H] = \log(Fe/H) - \log(Fe/H)_{\odot}$$

$$Z_{\odot}=0{,}014$$

Popu ktyki

- Popu
  - mł
  - bog
- popu
  - zgr
  - hal
  - nis



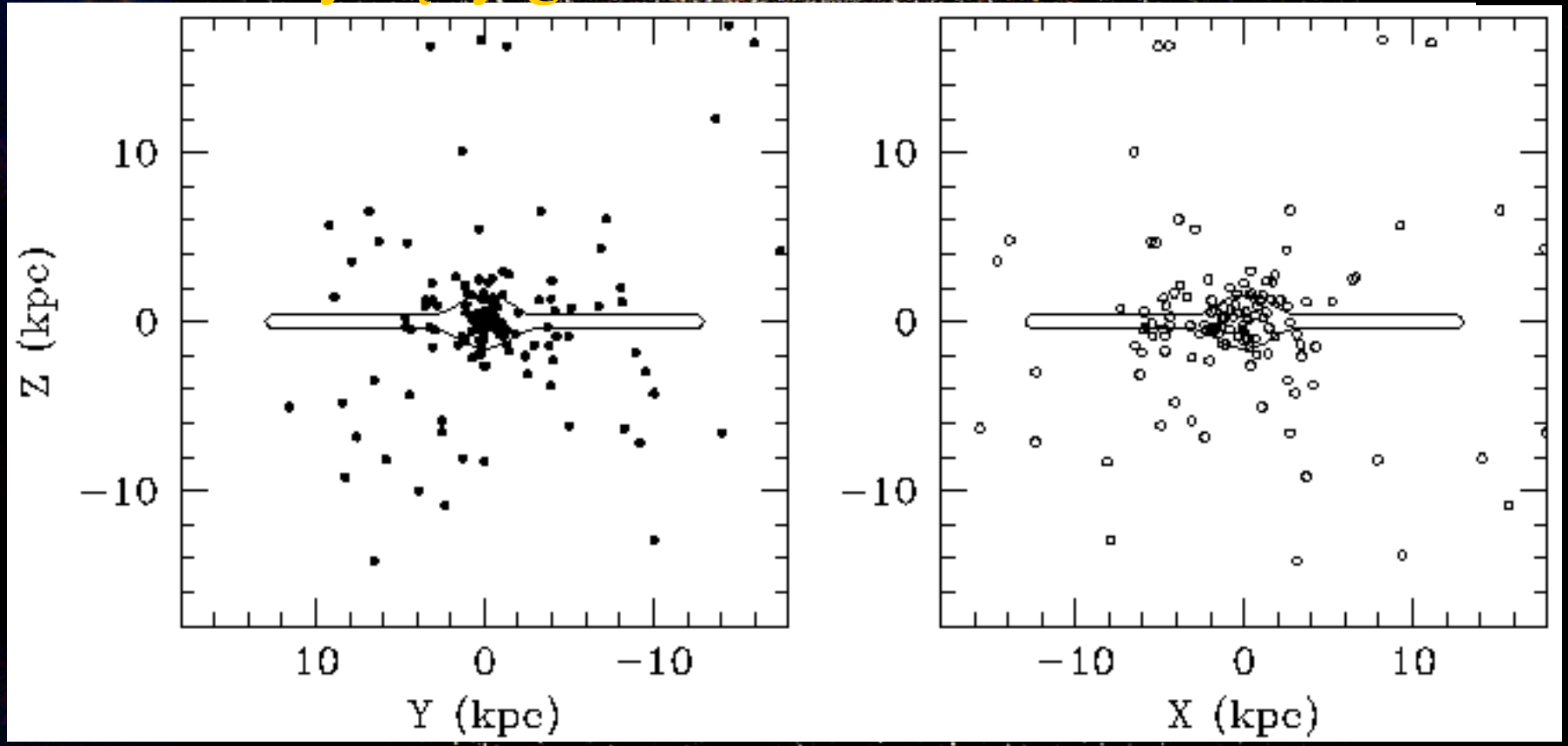
$(Fe/H)_{\odot}$
0,014

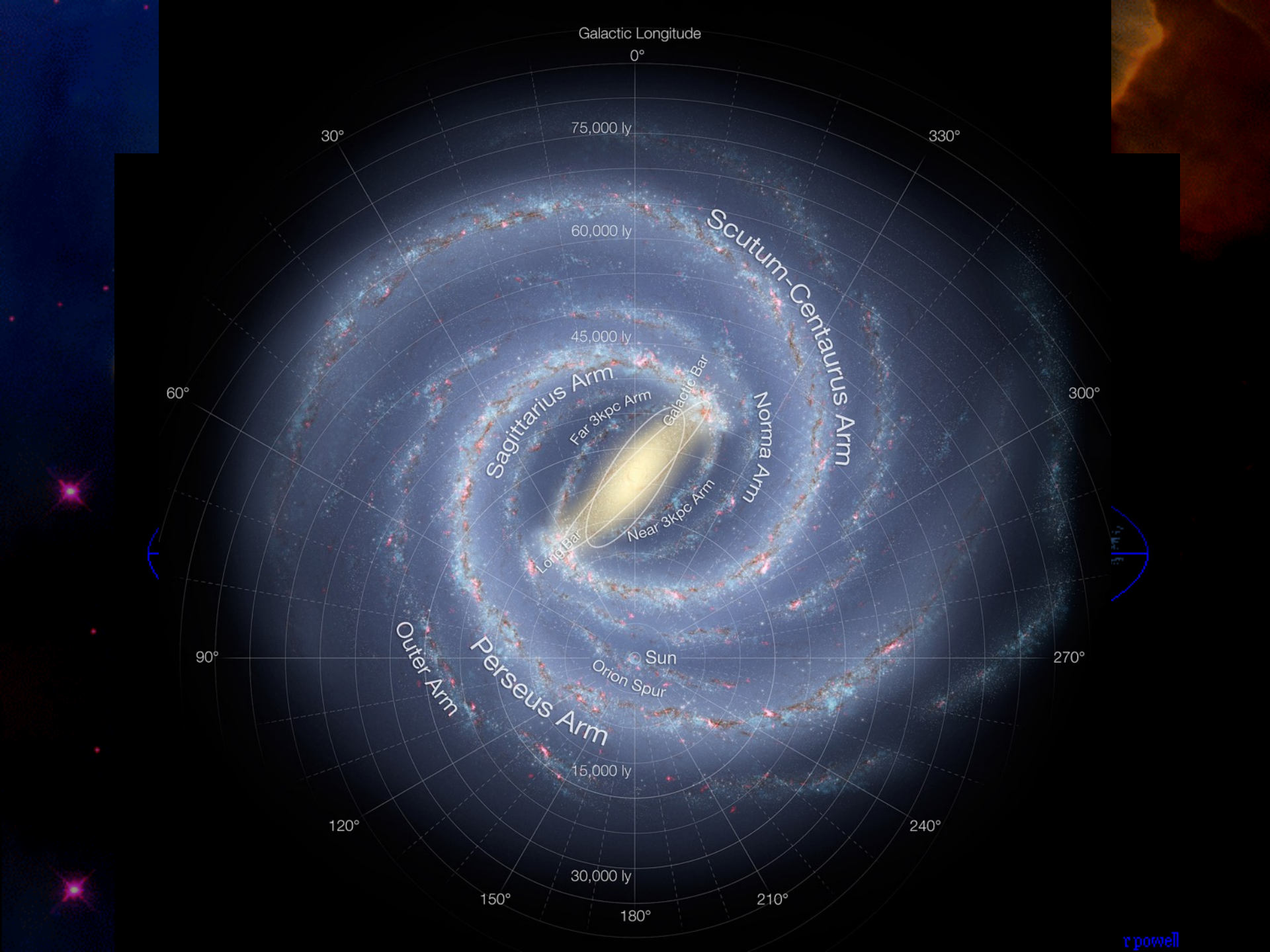
Gromady kuliste

- 150-158 znanych w Galaktyce
- 10^4 - 10^5 gwiazd
- D ~ 20-100+ pc
- stare (>10 Gyr) gwiazdy II populacji
- niska mataliczność ([Fe/H ~ -1 ...-2)
- brak gazu

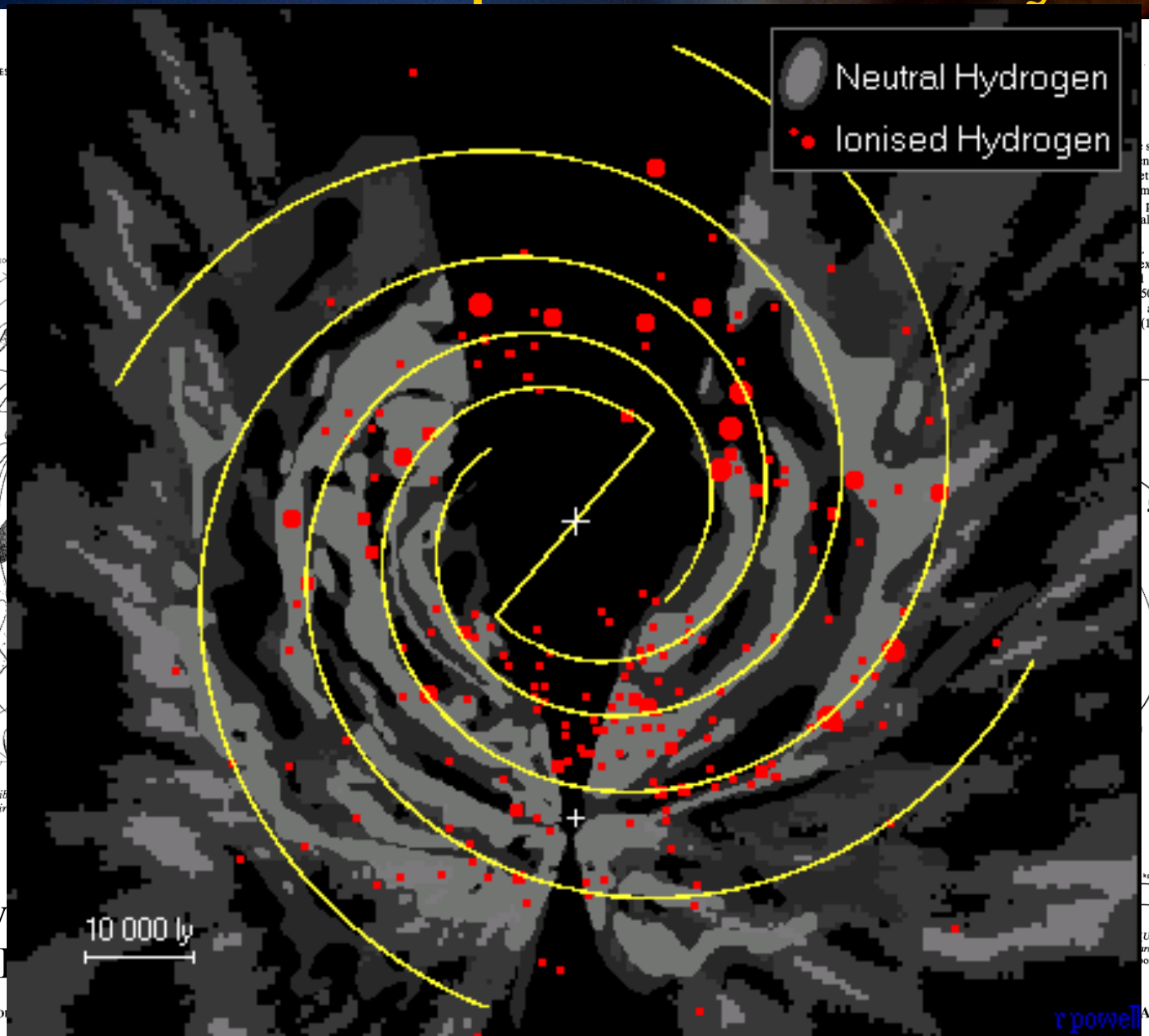
Gromady kuliste

- 150-158 znanych w Galaktyce
- setki tysięcy gwiazd




Galactic Longitude
0°
30°
330°
60°
300°
90°
270°
120°
240°
150°
210°
180°
75,000 ly
60,000 ly
45,000 ly
30,000 ly
15,000 ly
Scutum-Centaurus Arm
Sagittarius Arm
Norma Arm
Perseus Arm
Outer Arm
Far 3kpc Arm
Near 3kpc Arm
Galactic Bar
Long Bar
Sun
Orion Spur
r powell

Ramiona spiralne Galaktyki



MONTHLY NOTICES

FIG. 4.—*Distrib*
the z-dir
points.

HI – w
1420 MI

© Royal Astro

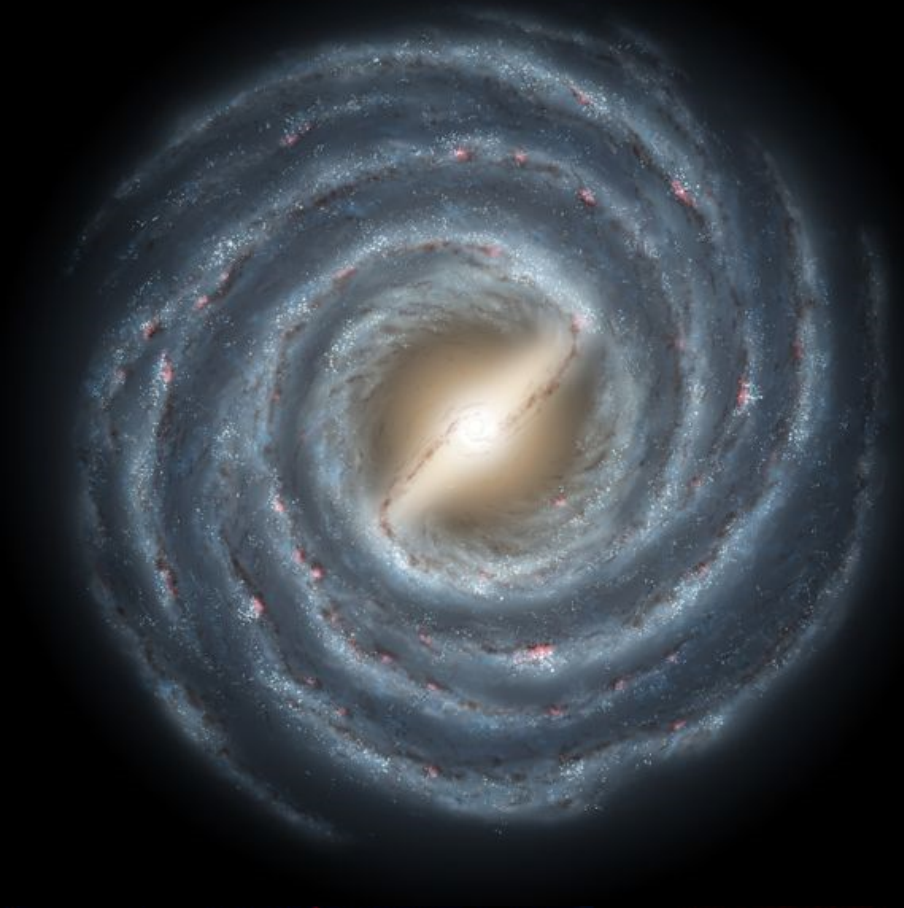
spiral arm but rather a spur or a branch
n in M 51 and M 101. At the present
t possible to decide if it is a branch of
m of the Sagittarius-Carina arm. The
pattern has two symmetrical pairs of
altogether) with a pitch angle between

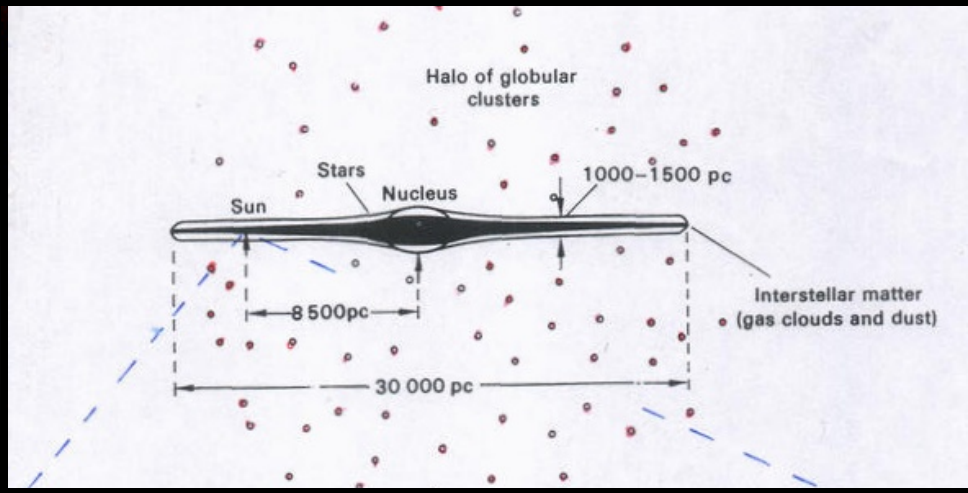
. 11 we have hatched the five longitudes
xactly to the flux maxima in the radio
in the total 21 cm profile integral:
50°), Scutum ($\ell = 33°$), Norma ($\ell = 327°$),
and Carina ($\ell = 283°$) as described by
(1970) and Simonson (1970).

$U > 70$ pc cm^{-2}); the resulting spiral pattern has
rm; No. 2. Intermediate arm: *Scutum-Crux arm*;
ond to intensity maxima in the radio continuum

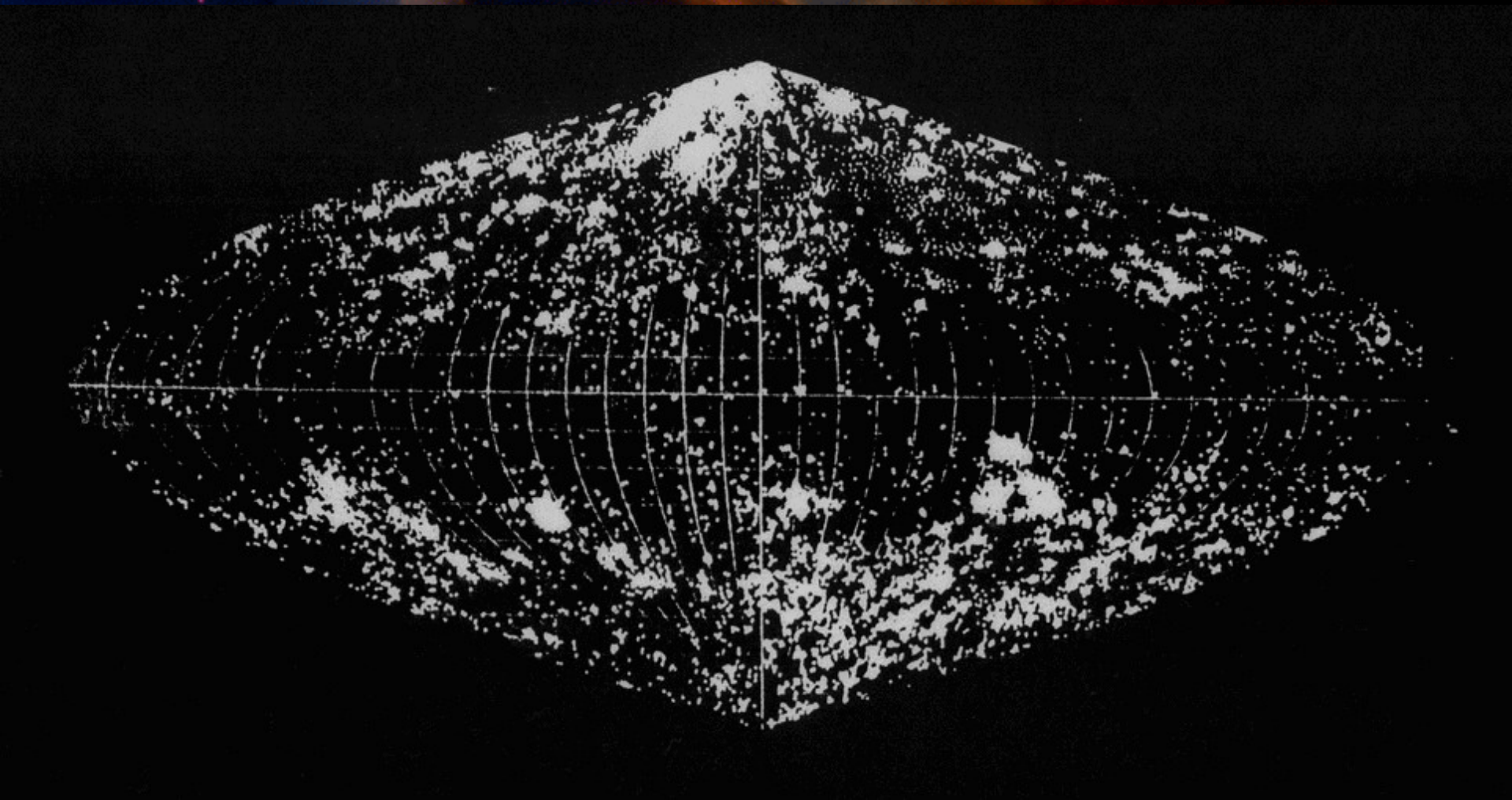
A Astrophysics Data System

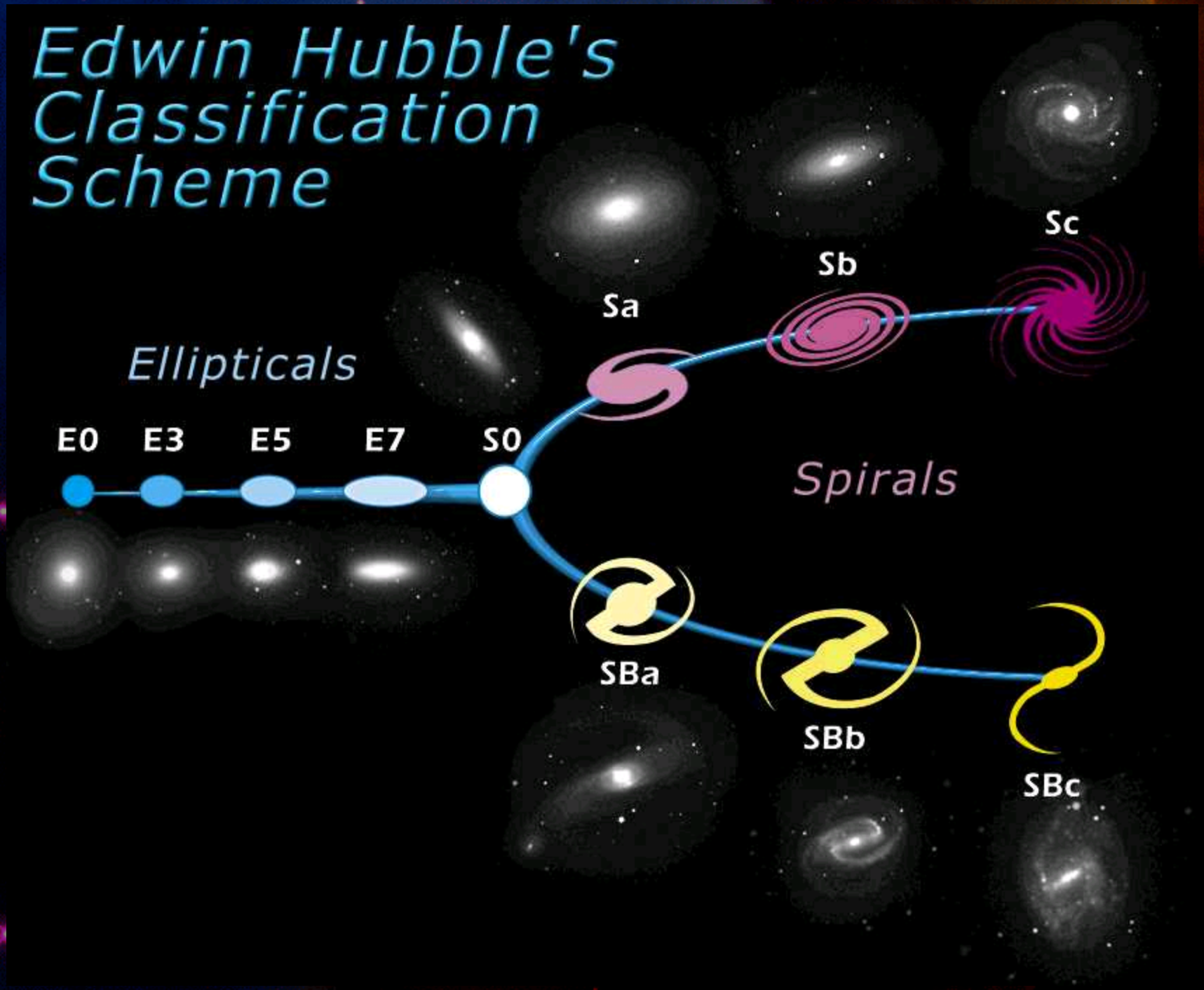
Droga Mleczna - Galaktyka



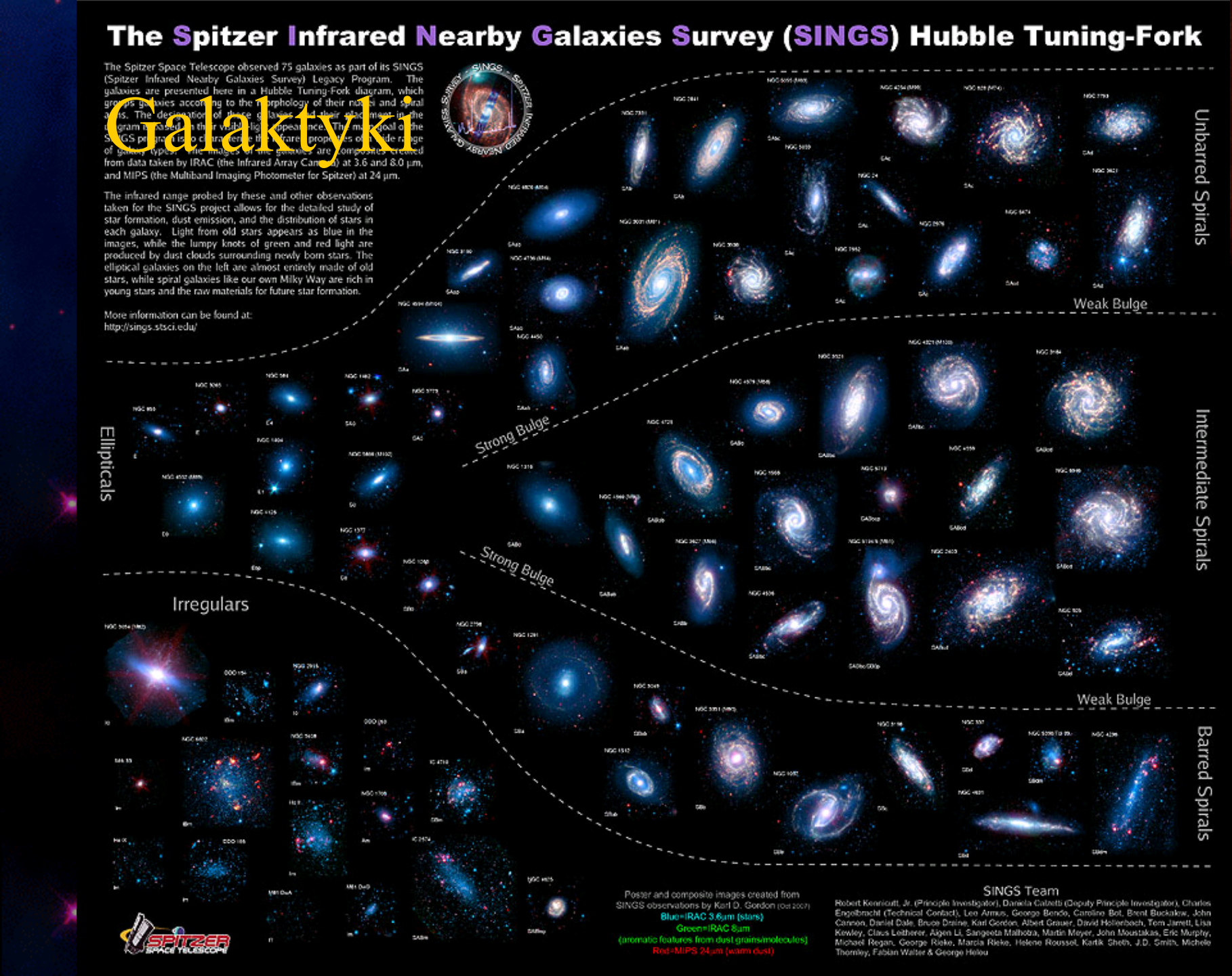


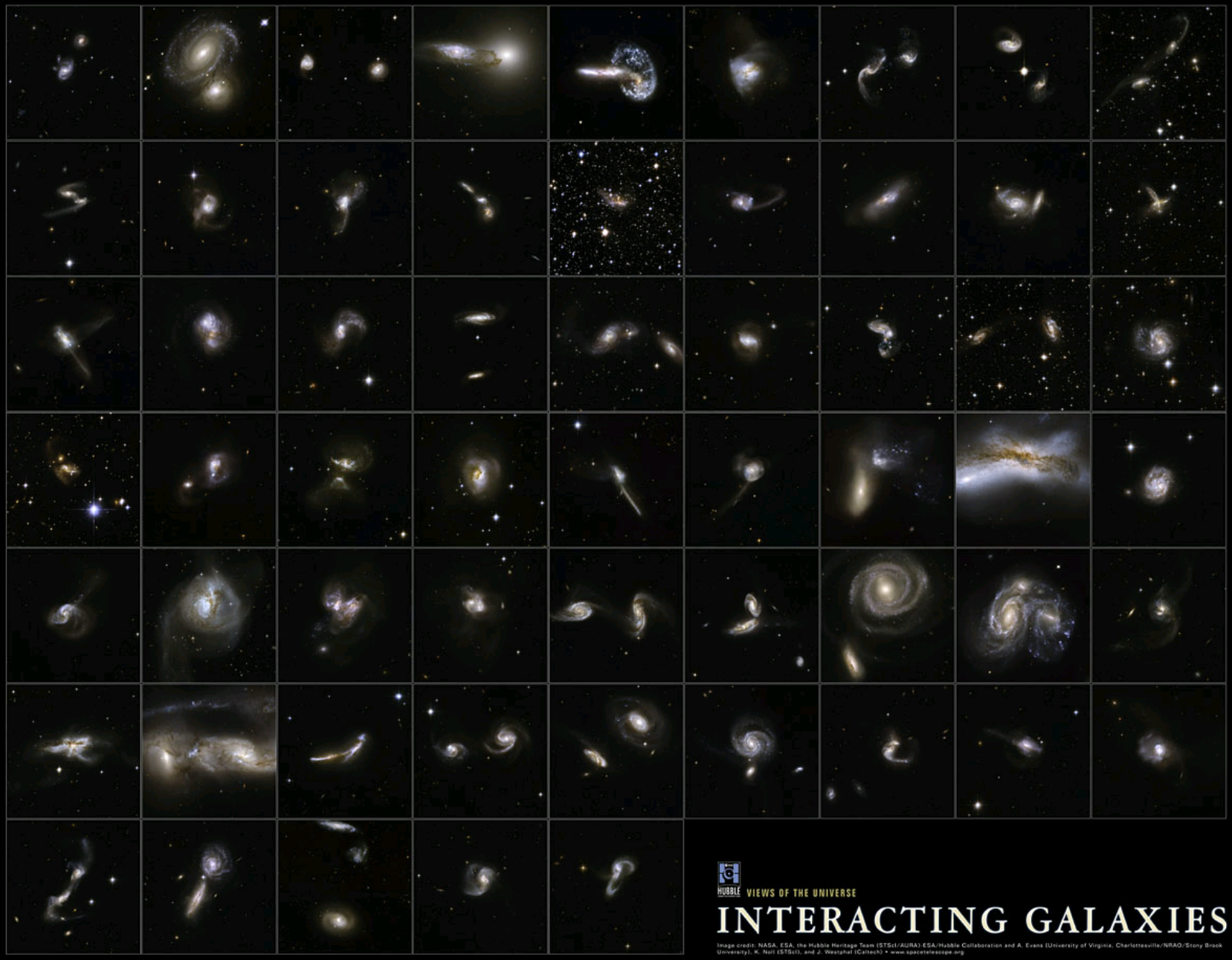
Rozkład mgławic na niebie:
Charlier (1922):




Edwin Hubble's Classification Scheme
Ellipticals
E0
E3
E5
E7
S0
Sa
Sb
Sc
Spirals
SBa
SBb
SBc

Galaktyki


The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork
The Spitzer Space Telescope observed 75 galaxies as part of its SINGS (Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey) Legacy Program. The galaxies are presented here in a Hubble Tuning-Fork diagram, which groups galaxies according to the morphology of their nuclei and spiral arms. The description of these galaxies and their classification in the diagram is based on their visible-light appearance. The main goal of the SINGS program is to characterize the properties of a wide range of galaxy types. The images of the galaxies are composites created from data taken by IRAC (the Infrared Array Camera) at 3.6 and 8.0 μm, and MIPS (the Multiband Imaging Photometer for Spitzer) at 24 μm.
The infrared range probed by these and other observations taken for the SINGS project allows for the detailed study of star formation, dust emission, and the distribution of stars in each galaxy. Light from old stars appears as blue in the images, while the lumpy knots of green and red light are produced by dust clouds surrounding newly born stars. The elliptical galaxies on the left are almost entirely made of old stars, while spiral galaxies like our own Milky Way are rich in young stars and the raw materials for future star formation.
More information can be found at:
http://sings.stsci.edu/
Unbarred Spirals
Weak Bulge
Ellipticals
Strong Bulge
Intermediate Spirals
Strong Bulge
Irregular
Weak Bulge
Barred Spirals
Poster and composite images created from SINGS observations by Karl D. Gordon (Oct 2007)
Blue=IRAC 3.6μm (stars)
Green=IRAC 8μm
(aromatic features from dust grains/molecules)
Red=MIPS 24μm (warm dust)
SINGS Team
Robert Kennicutt, Jr. (Principle Investigator), Daniela Calzetti (Deputy Principle Investigator), Charles Engelbracht (Technical Contact), Leo Armus, George Bendo, Caroline Bot, Brent Buckalew, John Cannon, Daniel Dale, Bruce Draine, Karl Gordon, Albert Grauer, David Hollenbach, Tom Jarrett, Lisa Kewley, Claus Leitherer, Aigen Li, Sangeeta Malhotra, Martin Meyer, John Moustakas, Eric Murphy, Michael Regan, George Rieke, Marcia Rieke, Helene Roussel, Kartik Sheth, J.D. Smith, Michele Thornley, Fabian Walter & George Helou

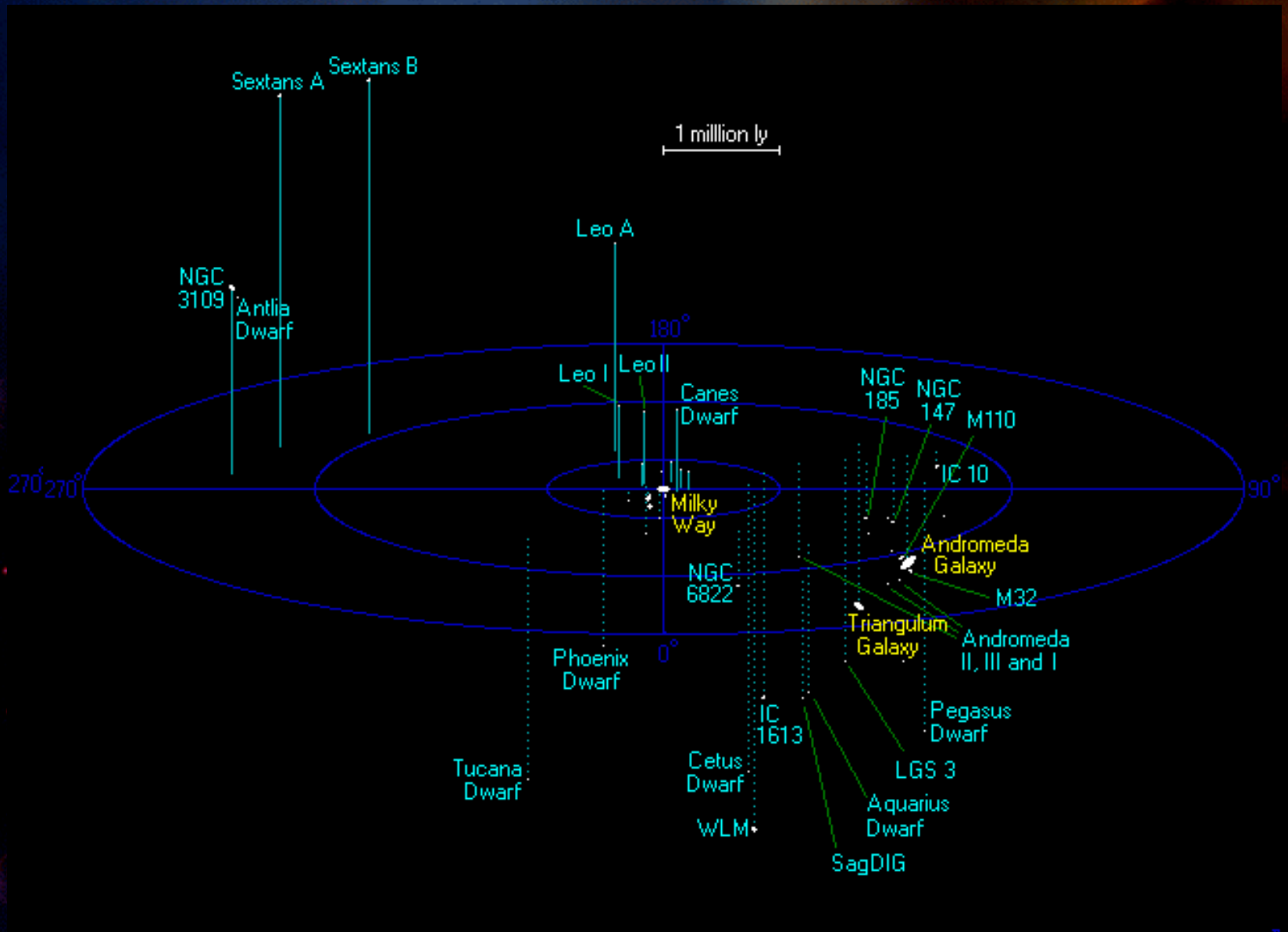

HUBBLE
VIEWS OF THE UNIVERSE
INTERACTING GALAXIES
Image credit: NASA, ESA, the Hubble Heritage Team (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University), K. Noll (STScI), and J. Westphal (Caltech) • www.spacetelescope.org

Sąsiedztwo galaktyki

- SMC - Small Magellanic Cloud
- LMC - Large Magellanic Cloud

Photo Credit: Amit Kamble

Lokalna Grupa Galaktyk



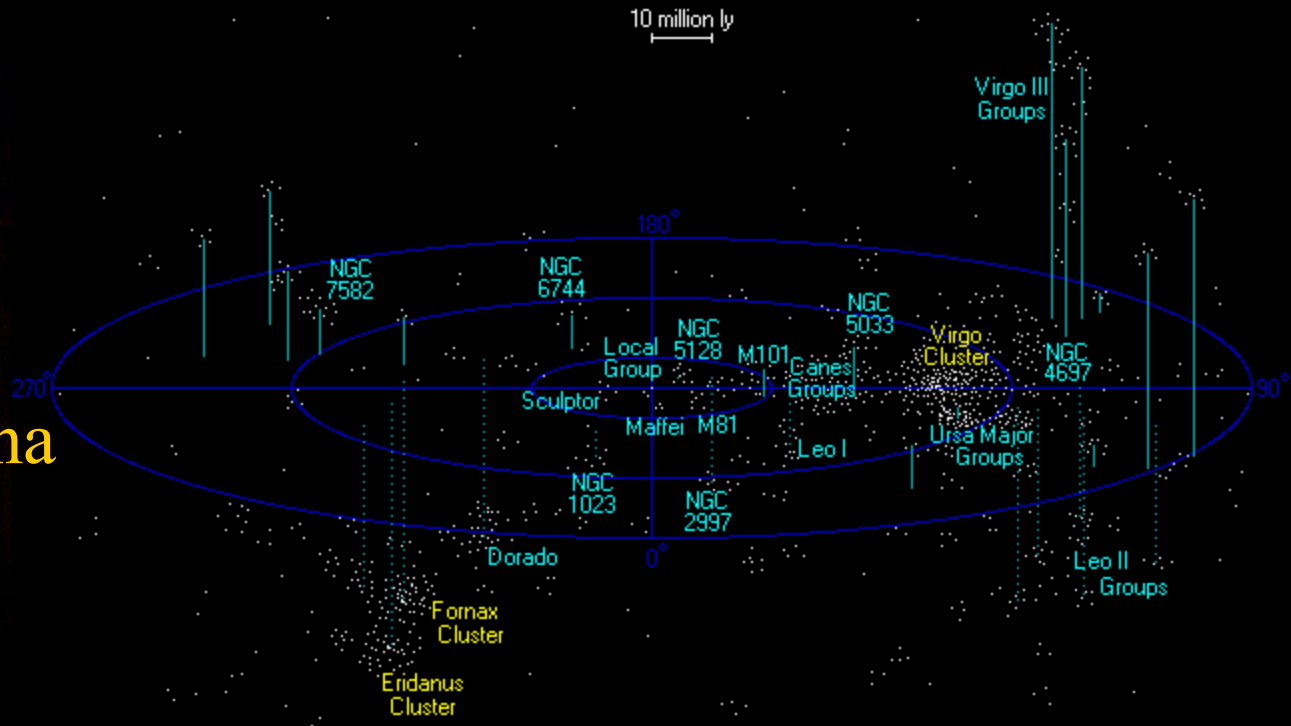
Lokalna Grupa Galaktyk

- Droga Mleczna
- M 31 (w Andromedzie)
- M 33 (w Trójkącie)
- LMC
- SMC
- karłowate galaktyki eliptyczne (30+)
- średnica 2.5-3 Mpc   (10 mln l. św.)

Gromady Galaktyk

Supergromada galaktyk Virgo

- Gromada galaktyk Virgo
  śred. 4.5 Mpc, odl. 18 Mpc
  ponad 150 dużych galaktyk; M87



- Grupa Lokalna
- + kilkanaście innych

Przesunięcie ku czerwieni

- Prawo Dopplera:

  $\Delta\lambda/\lambda = v/c$

- Przesunięcie ku czerwieni – Redshift

  $z = \Delta\lambda/\lambda = (\lambda_{obs} - \lambda_{emit}) / \lambda_{emit}$

  $1 + z = \lambda_{obs} / \lambda_{emit}$

- Prawo Hubble'a

  $v = H r$ H=72k m/s/Mpc

  – galaktyki – większość $z < 0.1$ (max: $z < \sim 7$)

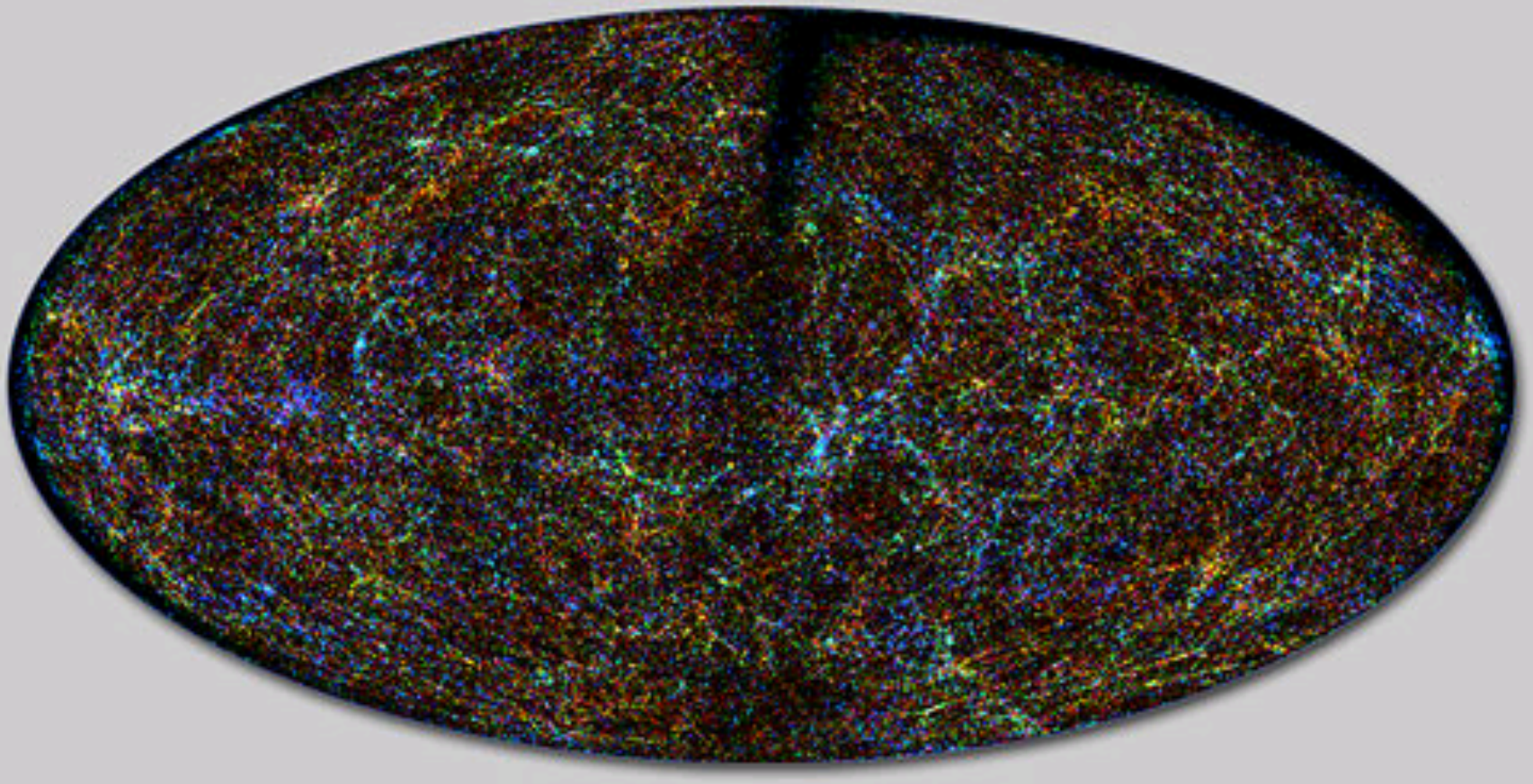
  – kwazary $0.1 < z < 6.4$

  – promieniowanie mikrofalowe tła $z = 1089$

relatywistycznie:

$$1 + z = \left(1 + \frac{v}{c}\right)\gamma$$

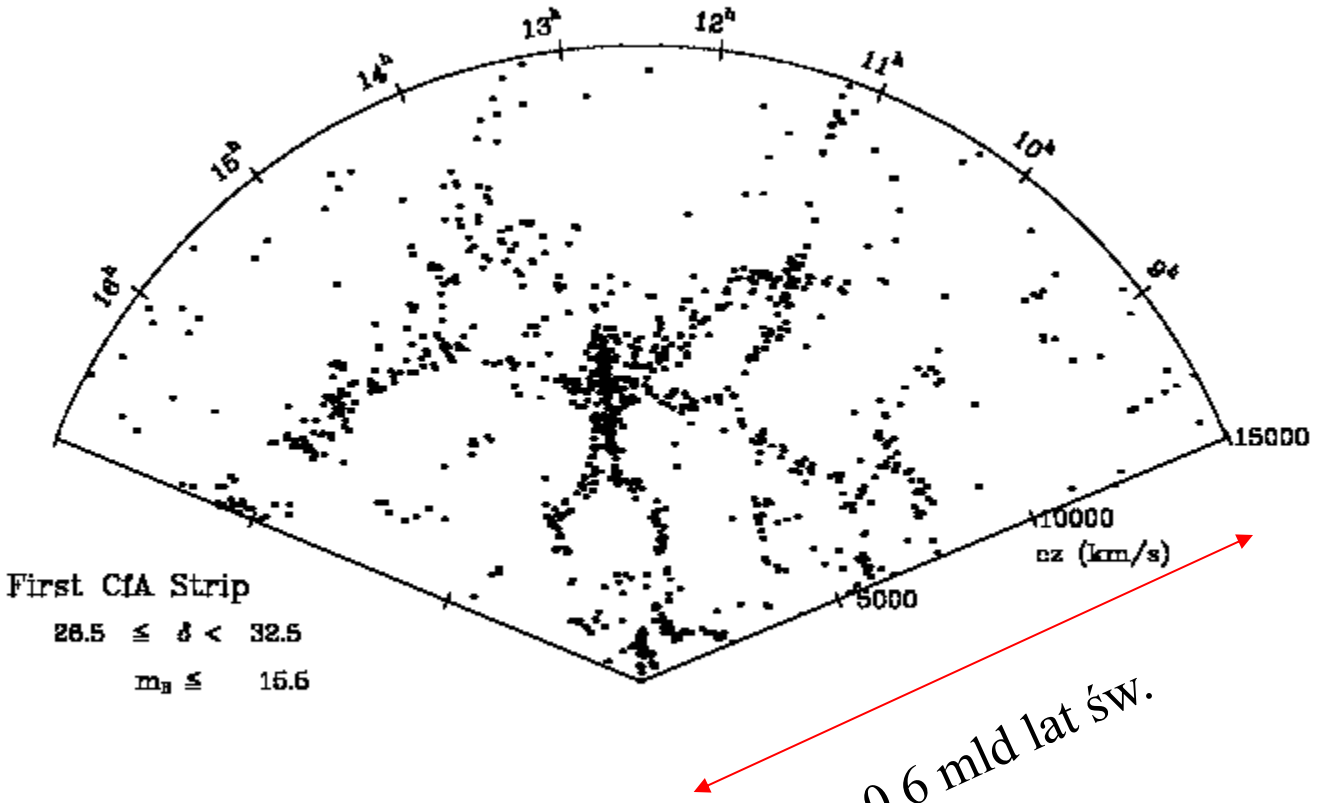
2MASS showcase



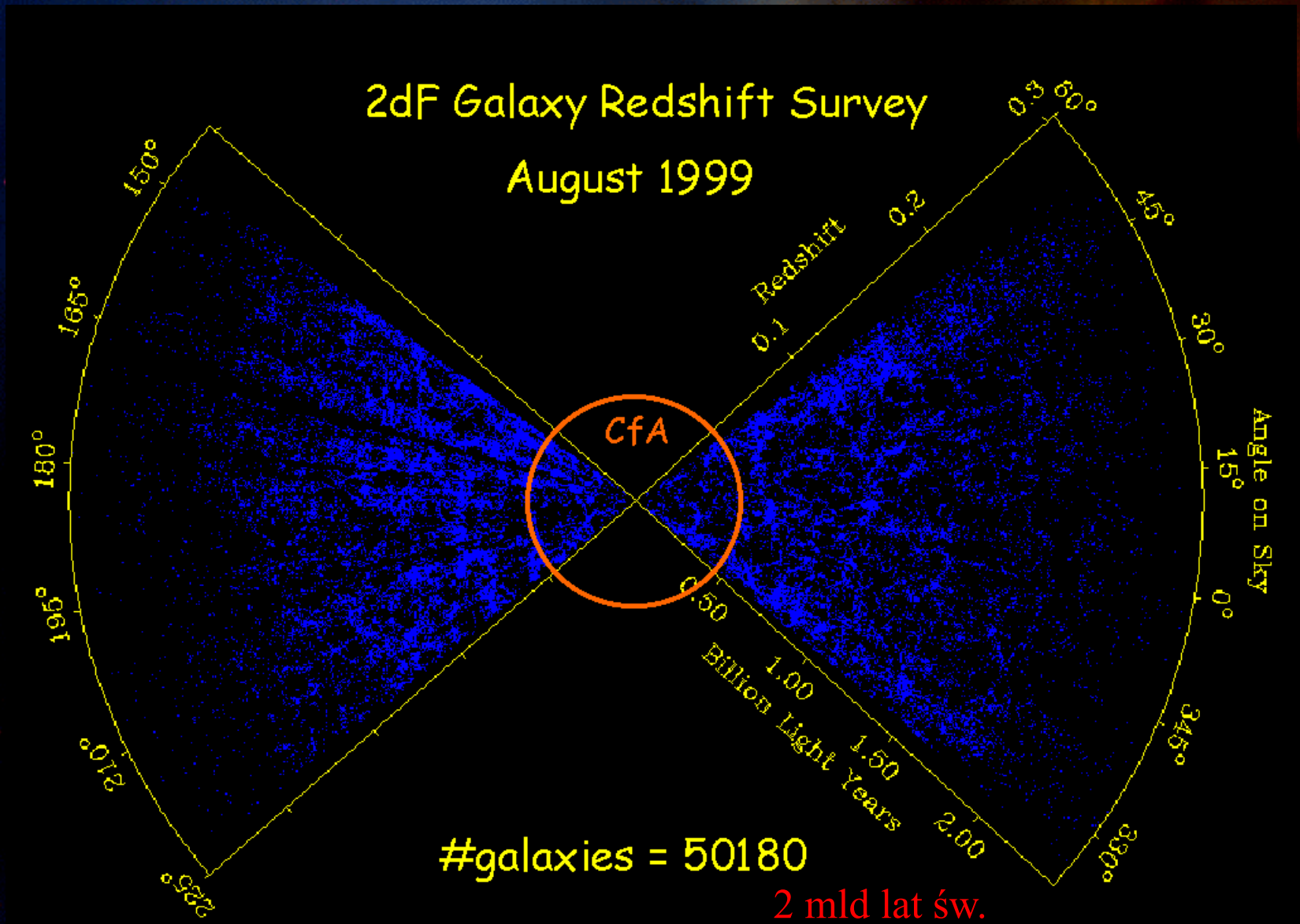
Galaxies of the Infrared Sky Near and far structures in the local universe are color-coded by galaxy brightness

Two Micron All Sky Survey Image Mosaic: Infrared Processing and Analysis Center/Caltech & University of Massachusetts

Struktura przestrzenna galaktyk - CfA

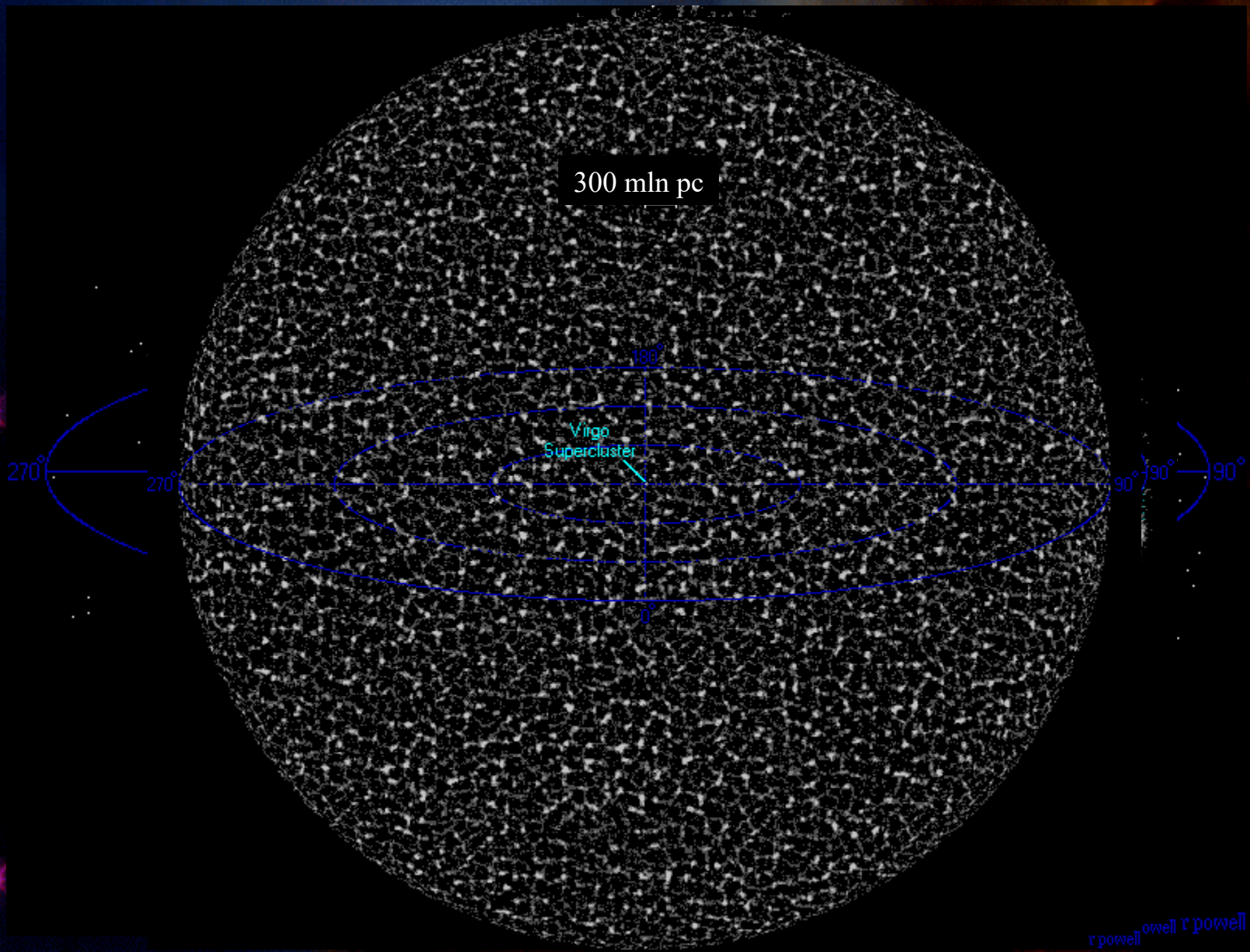


Struktura przestrzenna galaktyk – 2dF



2 mld lat św.

Pustki i struny



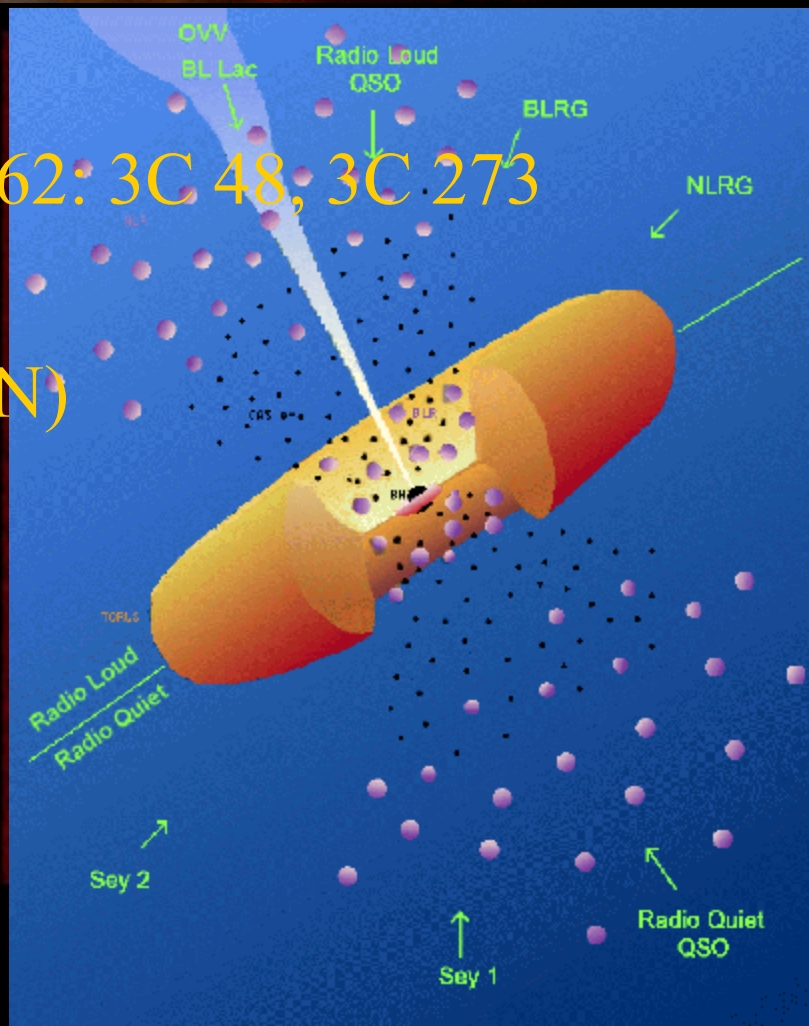
Wszechświat wyspowy

- gwiazdy
- gromady gwiazd
- galaktyki Galaktyka 30kpc
- grupy galaktyk do LMC 50 kpc
  - Lokalna Grupa Galaktyk 2,5 Mpc
- gromady galaktyk
- supergromady galaktyk, pustki
- skala jednorodności ; 500 Mpc

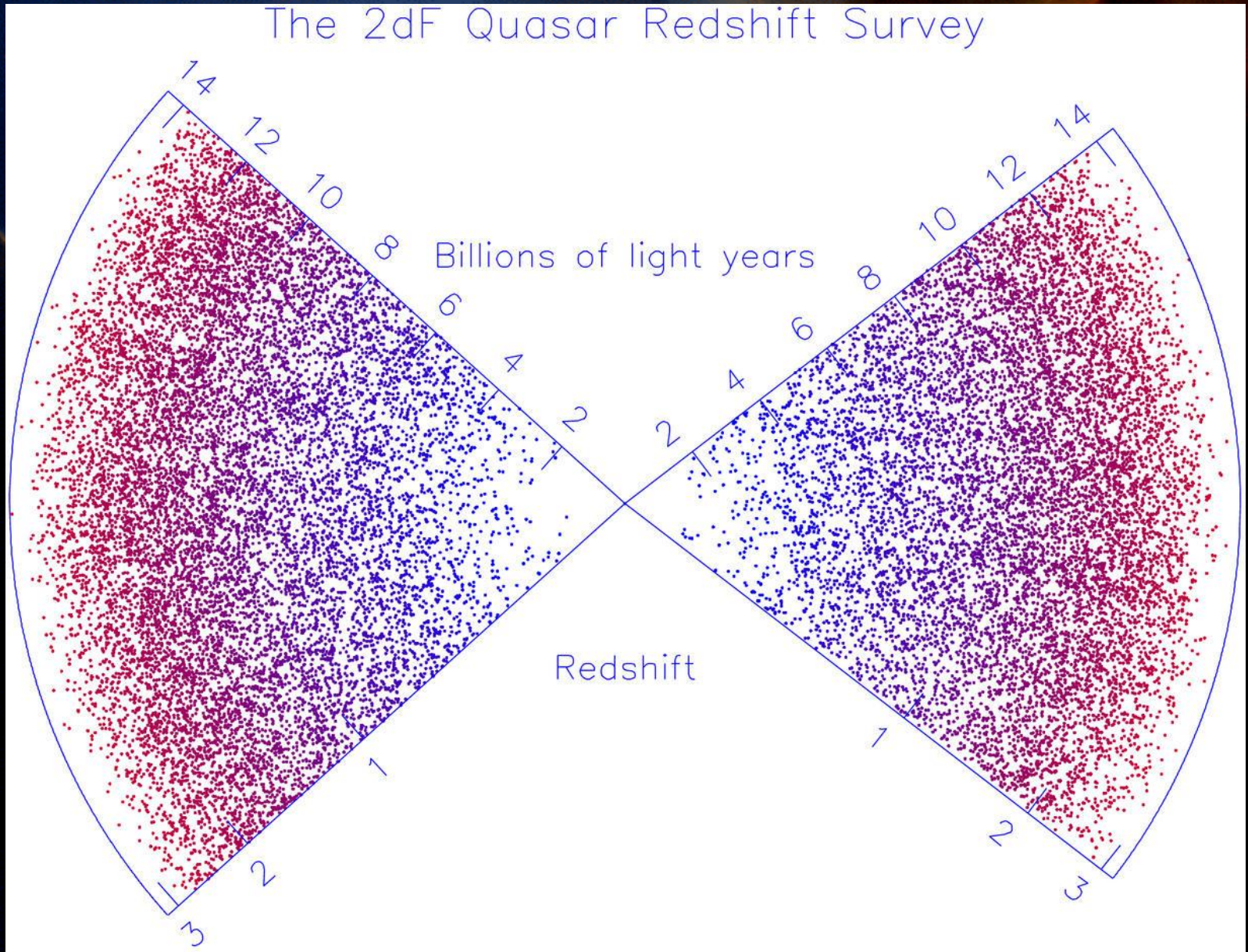
Kwazary

- **QUASi-stellAR radio source**
- mgławice radiowe
- identyfikacja optyczna 1960-62: 3C 48, 3C 273
- dżety (jet)
- aktywne jądra galaktyk (AGN)
- moc promieniowania 10^{40} W
- 3C 273

  z = 0,15 (47,000 km/s)

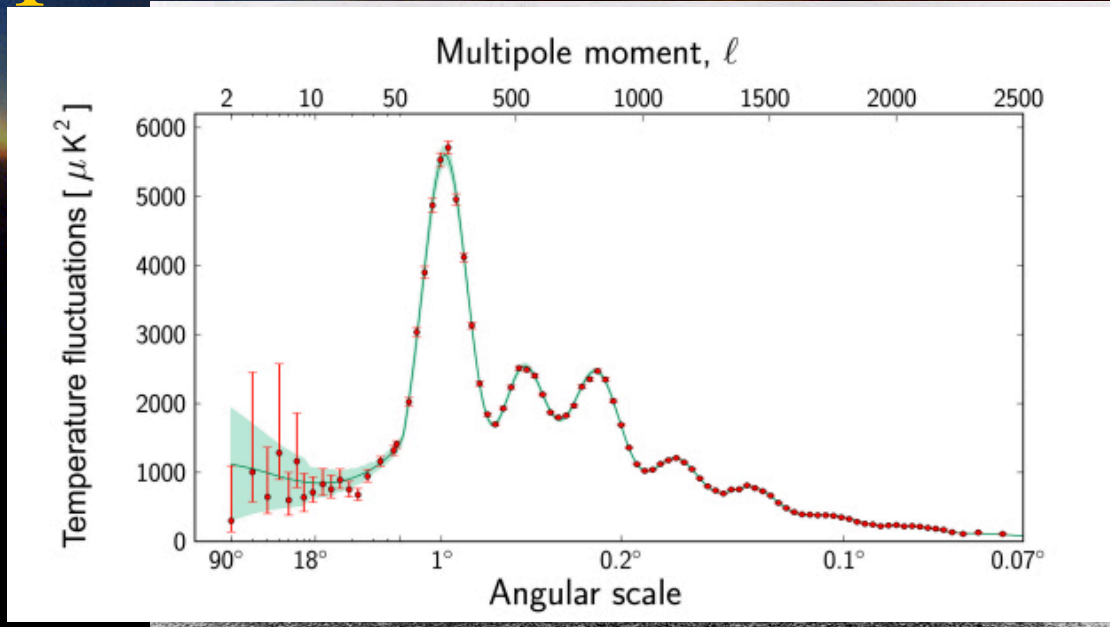


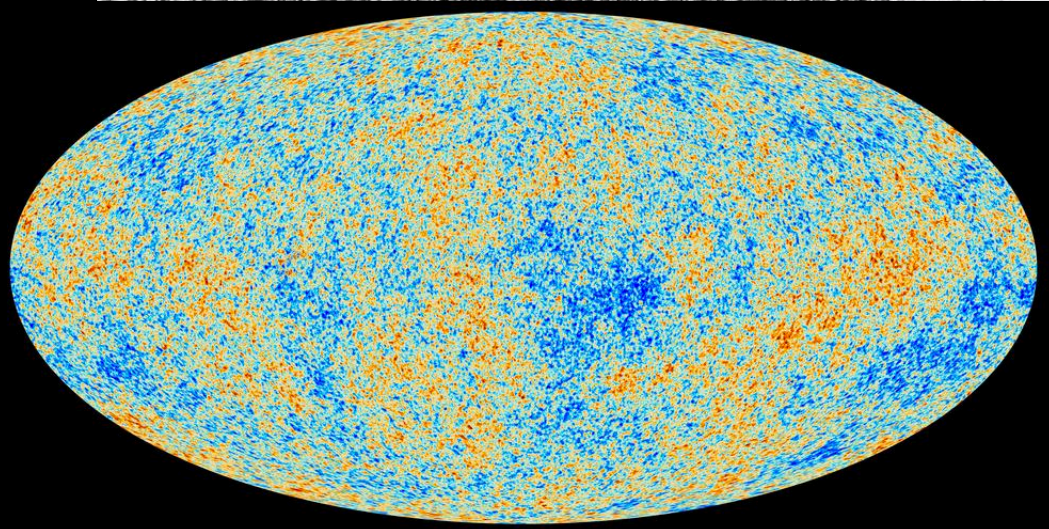
Struktura przestrzenna - kwazary



Mikrofalowe promieniowanie tła

- Przewidywania:
  - 1946 – 1960
  - 4 – 40 K
  - Robert Dickie
  - Jim Peebles
  - David Wilkinson
- Odkrycie – 3 K:
  - Arno Penzias,
  - Robert Wilson
  - 1965
- COBE[1989] – 2.73 K
- WMAP [2001] – 2.726 K
- Planck[2009]





Parametry fizyczne gwiazd

- Jasność
- Masa
- Temperatura
- Rozmiary, kształt
- Gęstość, ciśnienie, równanie stanu
- Skład chemiczny
- Wiek – status ewolucyjny
- Odległość

Jasność gwiazd

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

f – strumień promieniowania

L – jasność (moc promieniowania)

d – odległość

$$L_{sun} = 4\pi d^2 f$$

Przykład: jasność Słońca

f = 1367 W/m^2

d = 1.496 x 10^{11} m

Lsun = 4 x 3.14 x (1.5 x 10^{11} m)^2 x 1367 W/m^2

= 3.845 x 10^{26} W

Wielkości gwiazdowe – magnitudo (mag, ^{m})

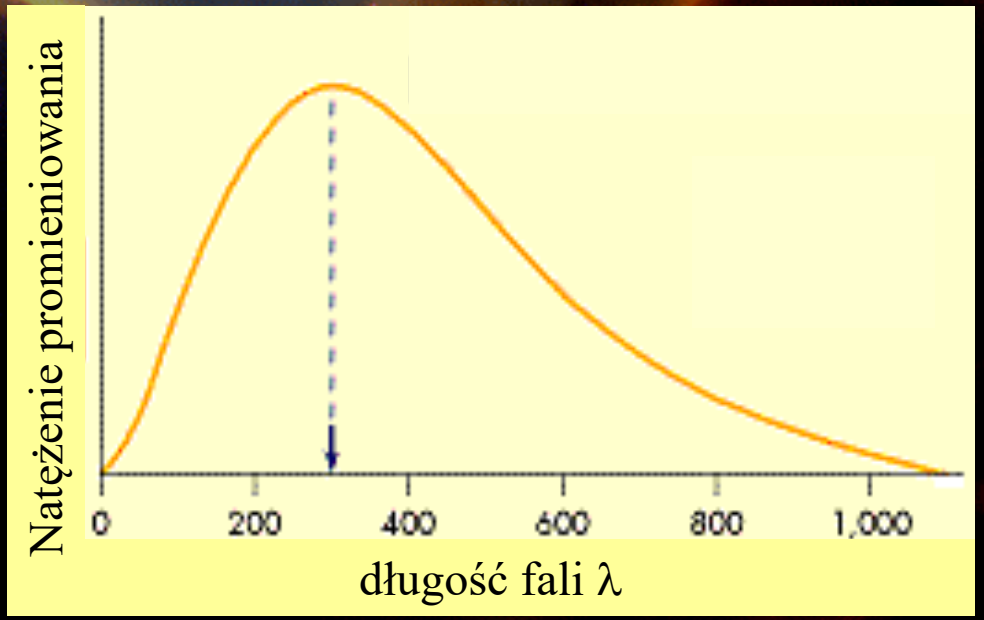
- najjaśniejsze gwiazdy widoczne gołym okiem
  - „pierwszej” wielkości: magnitudo 1 (m_1=1), strumień f_1
- najsłabsze gwiazdy widoczne gołym okiem
  - „szóstej” wielkości : magnitudo 6 (m_6=6), strumień f_6
  - PrawoPogsona:

$$m_1 - m_6 = -2.5 \log(f_1/f_6)$$

Wielkości gwiazdowe

- Słońce m= -26.8 mag
- Księżyc m= -12.7
- planety m= -4.7 (Wenus), -2.5 (Jowisz)
- najjaśniejsze gwiazdy
  - Syriusz: m = - 1.46
  - Canopus m = - 0.75
  - Arktur m= - 0.05
  - Wega m = +0.03
  - ...Altair m = +0.76
  - ...Deneb m = +1.25
- najsłabsze gwiazdy m = 25-30 mag

Promieniowanie ciała doskonale czarnego



Prawo Plancka:

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}$$

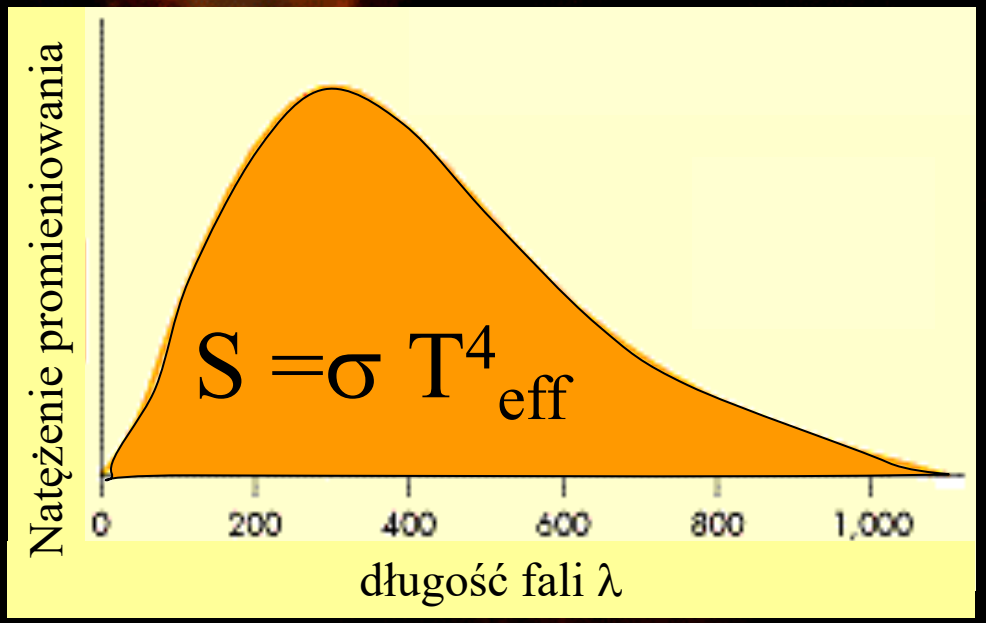
$\nu = c/\lambda$

Temperatura efektywna

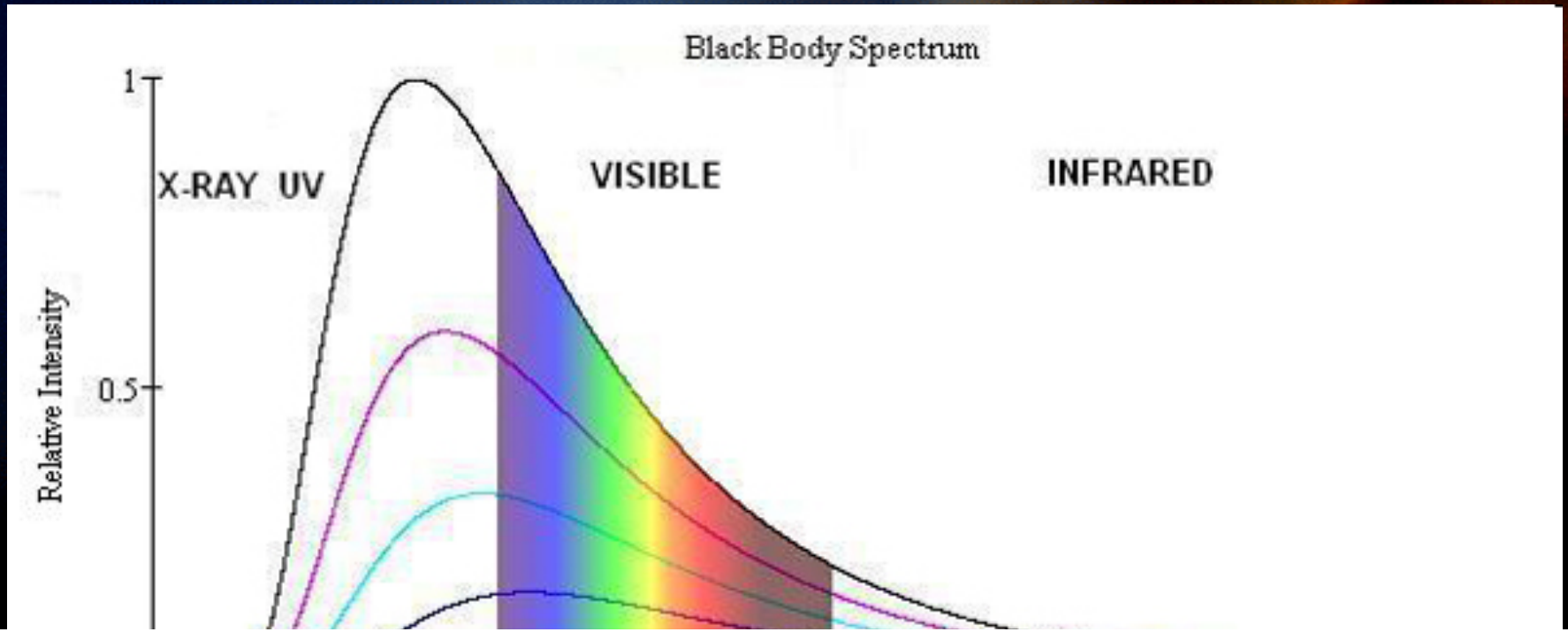
- *prawo Stefana-Boltzmana*

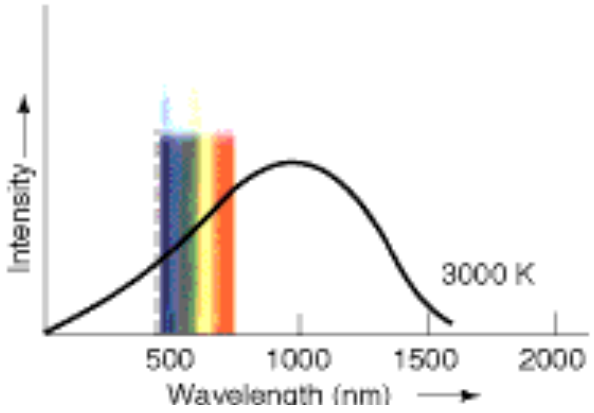
$f=\sigma T^4_{eff}$

$L=4\pi R^2\ \sigma T^4_{eff}$

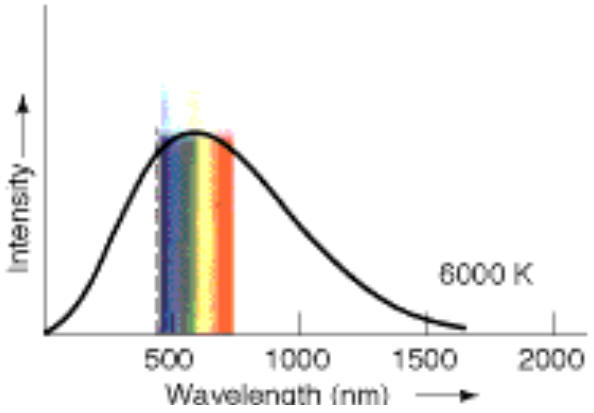


Temperatura barwna

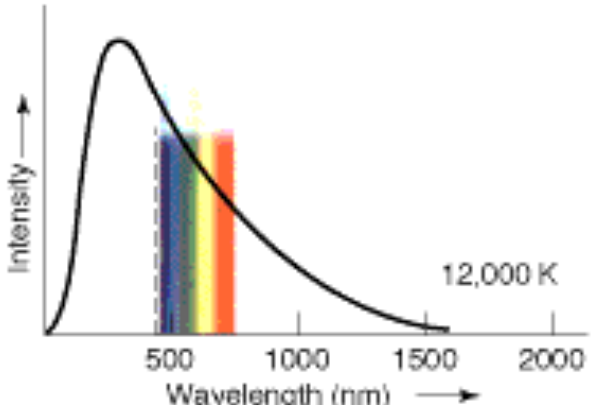




gwiazda czerwona



gwiazda żółta



gwiazda niebieska

Klasyfikacja widmowa

- 1886 - 1897 – Edward C. Pickering, Harvard, *Henry Draper Memorial Survey*

  - pryzmat obiektywowy – 220,000 gwiazd

- 1890 - Edward Pickering i Williamina Fleming:

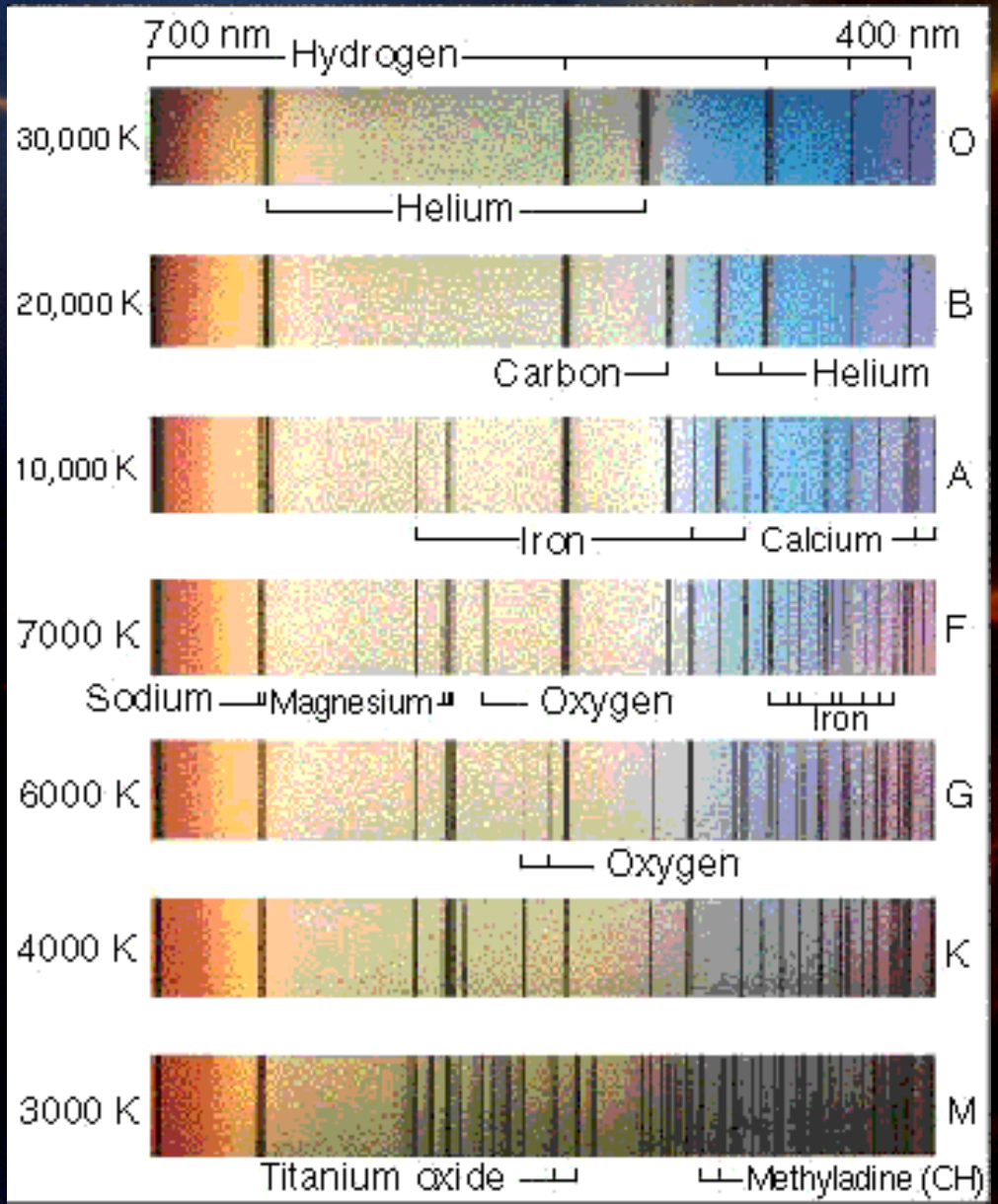
  - pierwsza próba klasyfikacji wg malejącego natężenia linii wodoru
  - Typ "A" = najsilniejsze linie wodorowe
  - B, C, D, ... coraz słabsze.

Klasyfikacja widmowa

•1901 - Annie Jump Cannon zauważyła, że to temperatura stanowi główną cechę odróżniającą widma

- uszeregowała typy ABC wg temperatury pozostawiając jedynie najbardziej charakterystyczne widma
- pozostało 7 klas głównych **O B A F G K M**
- uzupełnionych później przez R, N i S.
-dodała podklasy np. A0-A1-A2-...-A9-B0-...
-1911 – 1924, zastosowała *Harwardzki System Klasyfikacji* do ok.220,000 gwiazd tworząc tzw. *Katalog Henry Drapera*

Klasyfikacja widmowa



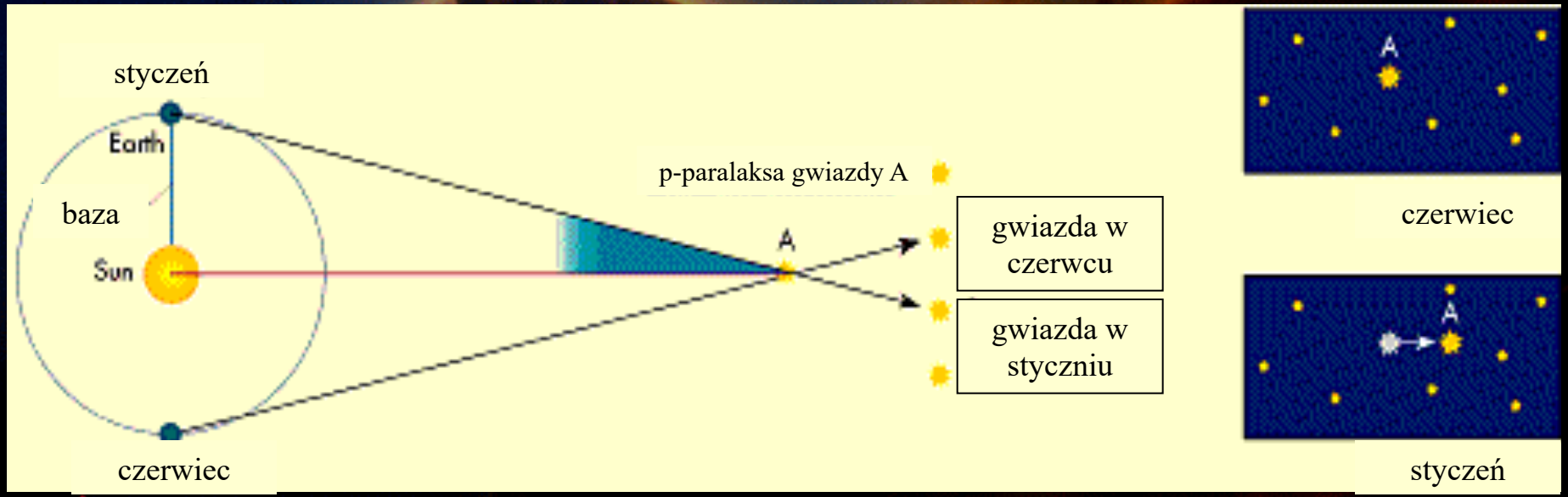
O B A F G K M

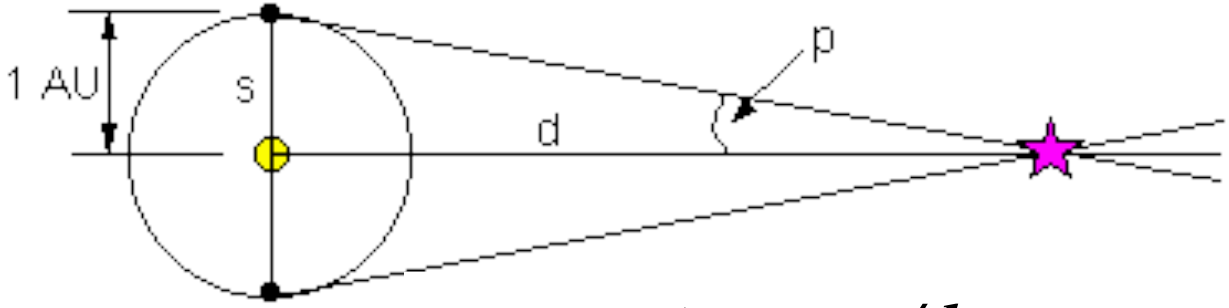
Klasyfikacja widmowa

Henry Norris Russel (1920)

"**O**h, **B**e **A** **F**ine **G**irl (**G**uy), **K**iss **M**e"

Odległości do gwiazd – paralaksy trygonometryczne





tg *p* = *s/d*

dla małych kątów *p* (w radianach): ***p=s/d***

w sekundach łuku

$$d = \frac{206265}{p}\ \text{AU}$$

$$d = \frac{1}{p}\ \text{parsecs (pc)}$$

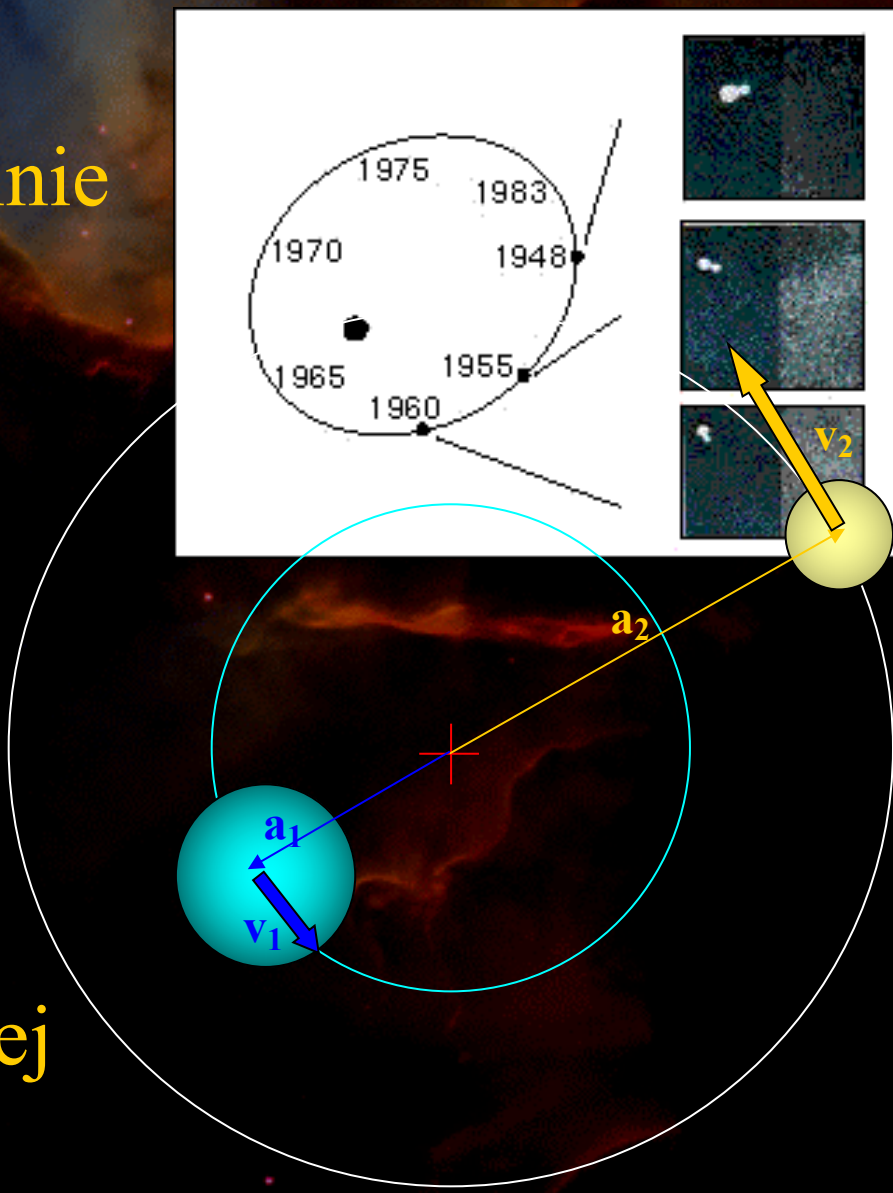
For example: p = 0.2" => d = 5 pc.

Masy gwiazd

- Układy podwójne wizualnie
- Trzecie prawo Keplera:

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2}(M_1+M_2)$$

- M_1,M_2 – masy gwiazd
- P – okres obiegu
- a – półoś orbity względnej
- środek ciężkości układu: $a_1M_1 = a_2M_2$

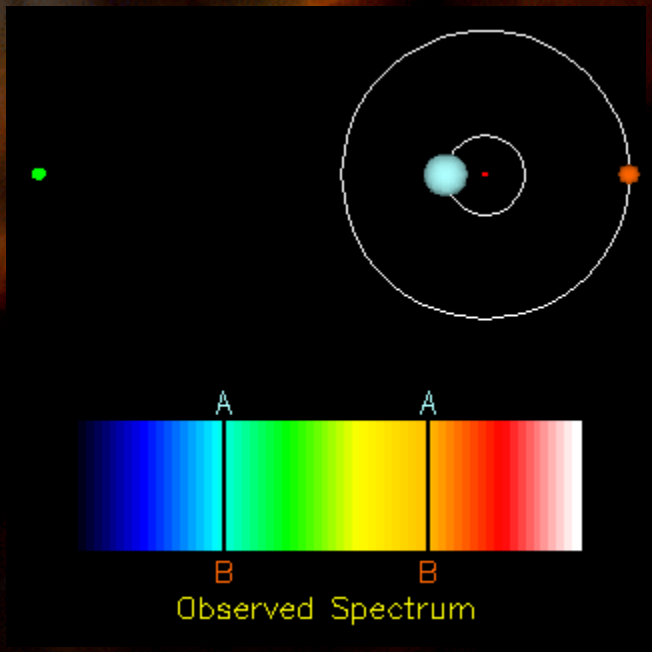


Układy podwójne spektroskopowo

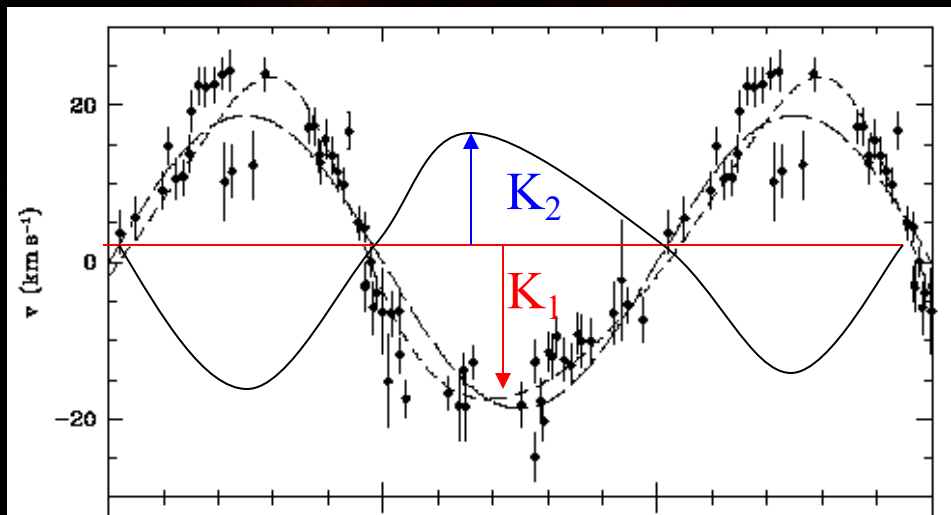
- półamplitudy prędkości radialnej K_1, K_2

$$K_1 = 2\pi a_1/P$$

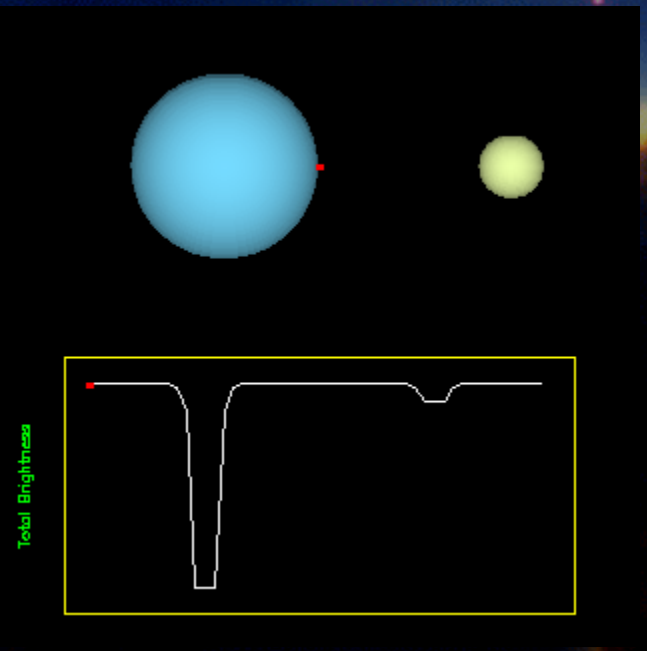
$$K_2 = 2\pi a_2/P$$

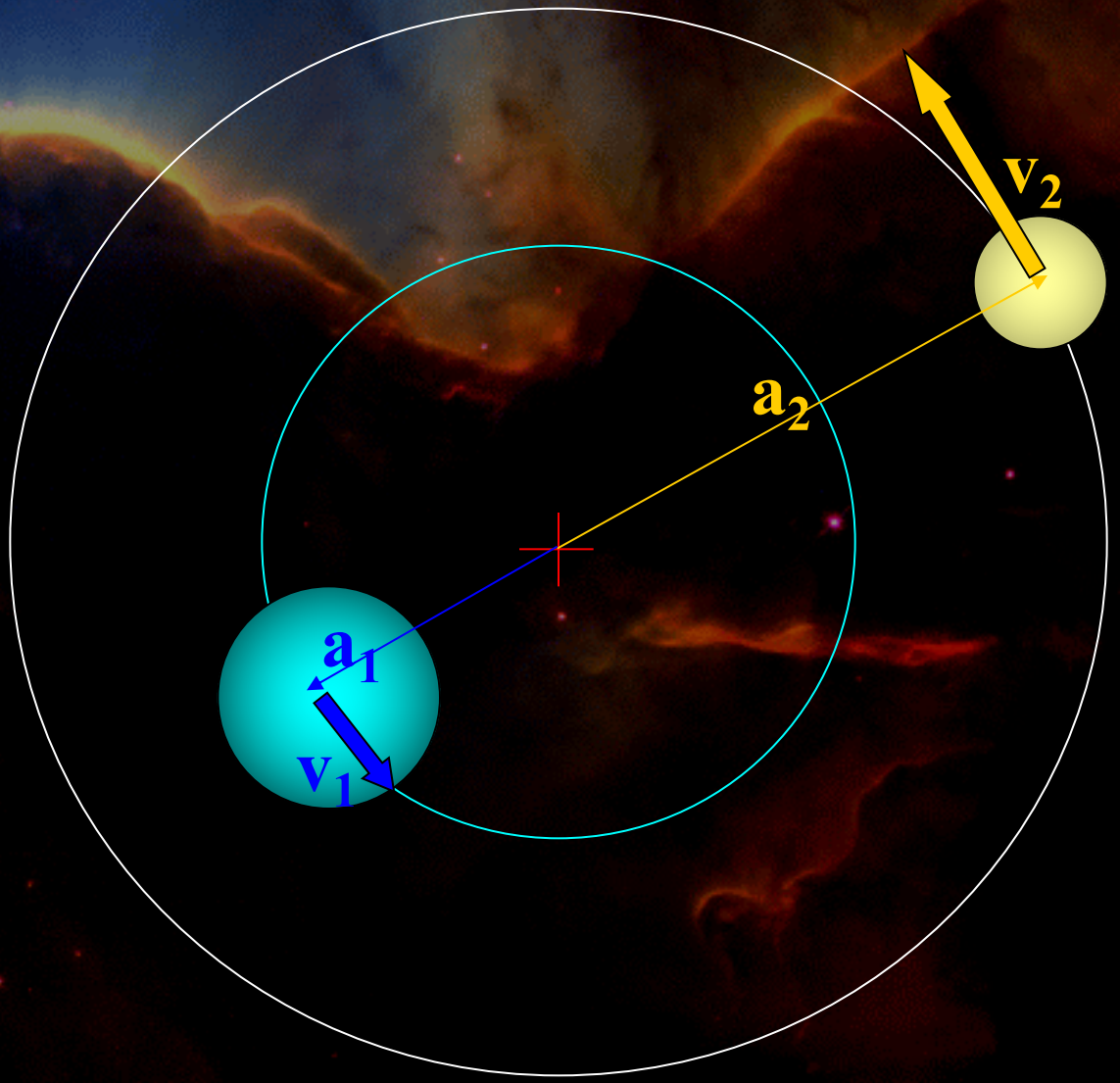


$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2}(M_1+M_2)$$



Rozmiary gwiazd - układy zaćmieniowe





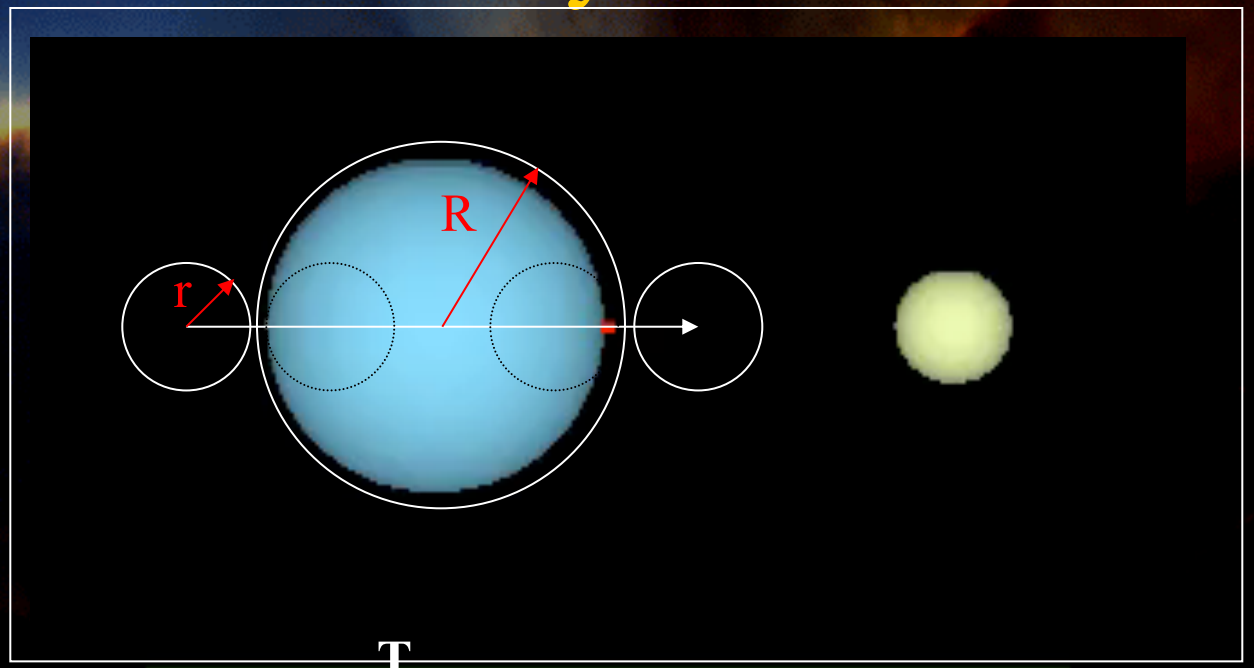
$v = v_1 + v_2$

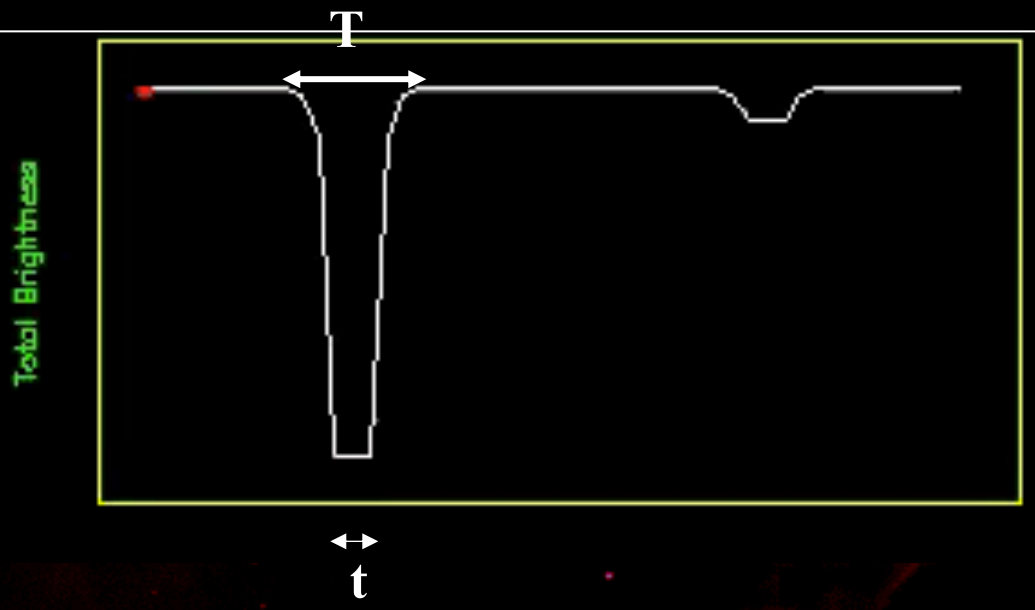
$v = 2\pi(a_1+a_2)/P$

Rozmiary gwiazd – układy zaćmieniowe

$(2R+2r)/T = v$

$(2R-2r)/t = v$

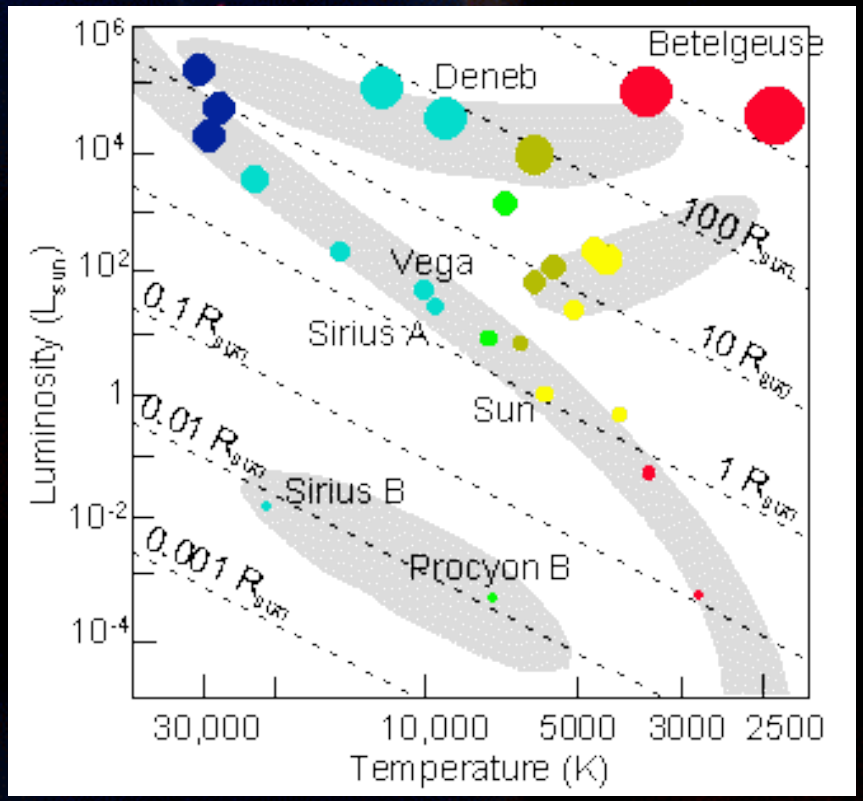




$v = 2\pi(a_1+a_2)/P$

Klasyfikacja dwuwymiarowa gwiazd

- jasność $L = 4\pi R^2 \sigma T^4_{eff}$ $\log L = 4 \log T + \log(\sigma 4\pi R^2)$
- diagram Herzsprunga-Russela



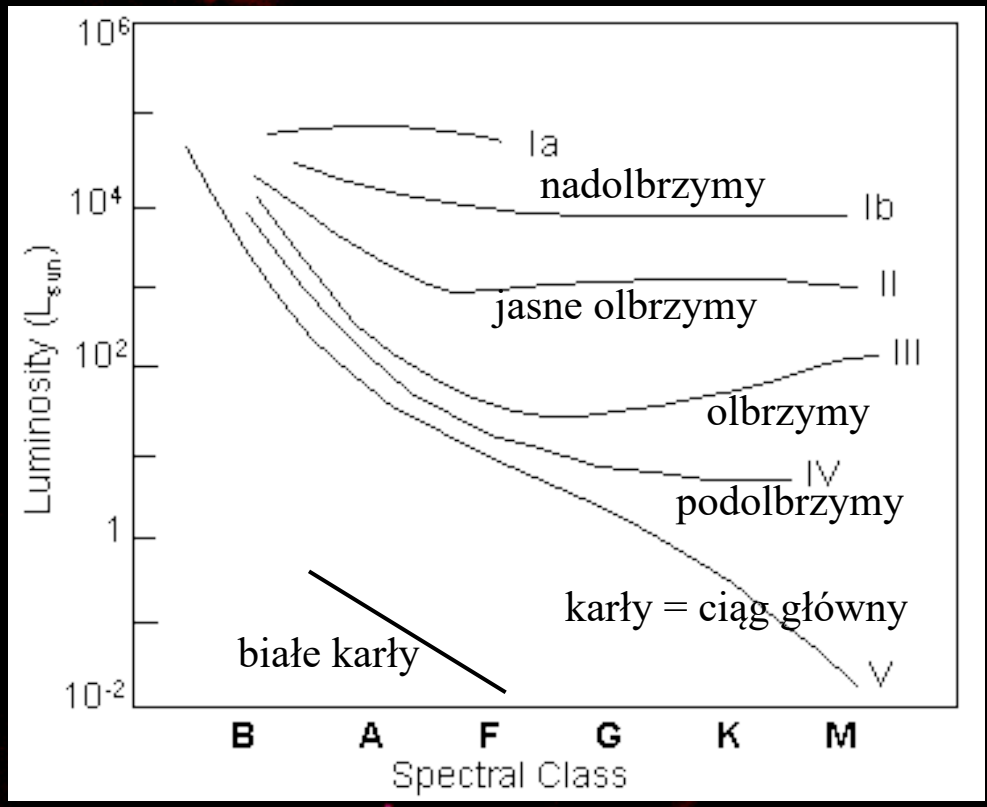
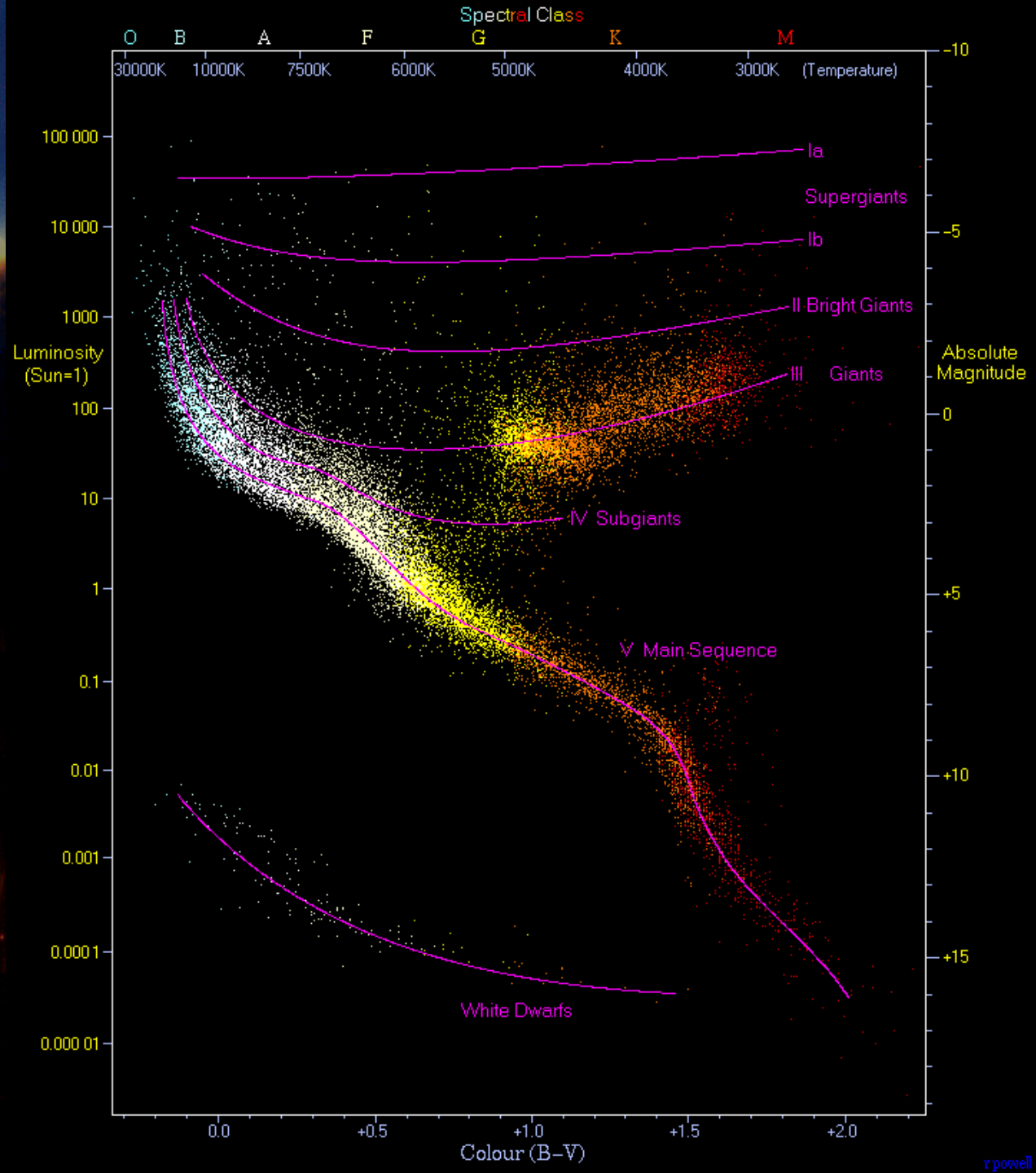


Diagram H-R


Spectral Class
O
B
A
F
G
K
M
30000K
10000K
7500K
6000K
5000K
4000K
3000K
(Temperature)
100 000
10 000
1000
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
0.000 01
Luminosity
(Sun=1)
-10
-5
0
+5
+10
+15
Absolute
Magnitude
Ia
Supergiants
Ib
II Bright Giants
III Giants
IV Subgiants
V Main Sequence
White Dwarfs
0.0
+0.5
+1.0
+1.5
+2.0
Colour (B–V)

Parametry gwiazd Ciągu Głównego

Typ widmowy	**Masa (M_{sun})**	**L (L_{sun})**	**T (K)**	**R (R_{sun})**
O5	40	400,000	40,000	13
B0	15	13,000	28,000	4.9
A0	3.5	80	10,000	3.0
F0	1.7	6.4	7,500	1.5
G0	1.1	1.4	6,000	1.1
K0	0.8	0.46	5,000	0.9
M0	0.5	0.08	3,500	0.8

Źródła energii gwiazd

- Kurczenie grawitacyjne
  - protogwiazdy
  - różne etapy ewolucji
- Reakcje termojądrowe
  - główne źródło energii
- Stygnięcie
  - ostatnie etapy życia gwiazd

Energia grawitacyjna

- przyciąganie grawitacyjne (siła Newtona)

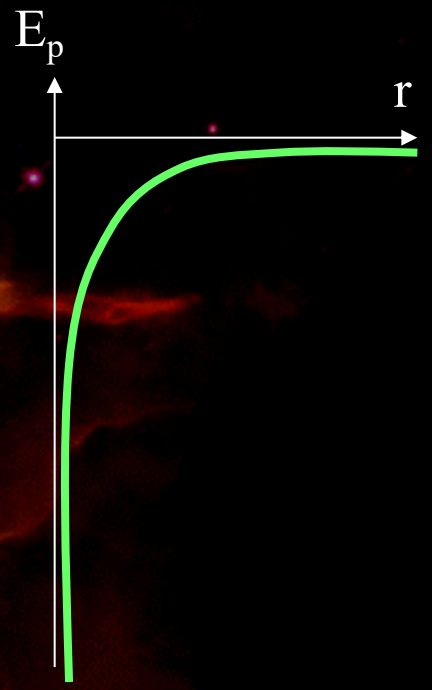
$$F = - GMm/r^2$$

- praca w polu grawitacyjnym:

$$W = Fs = \Delta E_p$$

- energia potencjalna

$$E_p = \Omega = - GMm/r$$



Energia kinetyczna

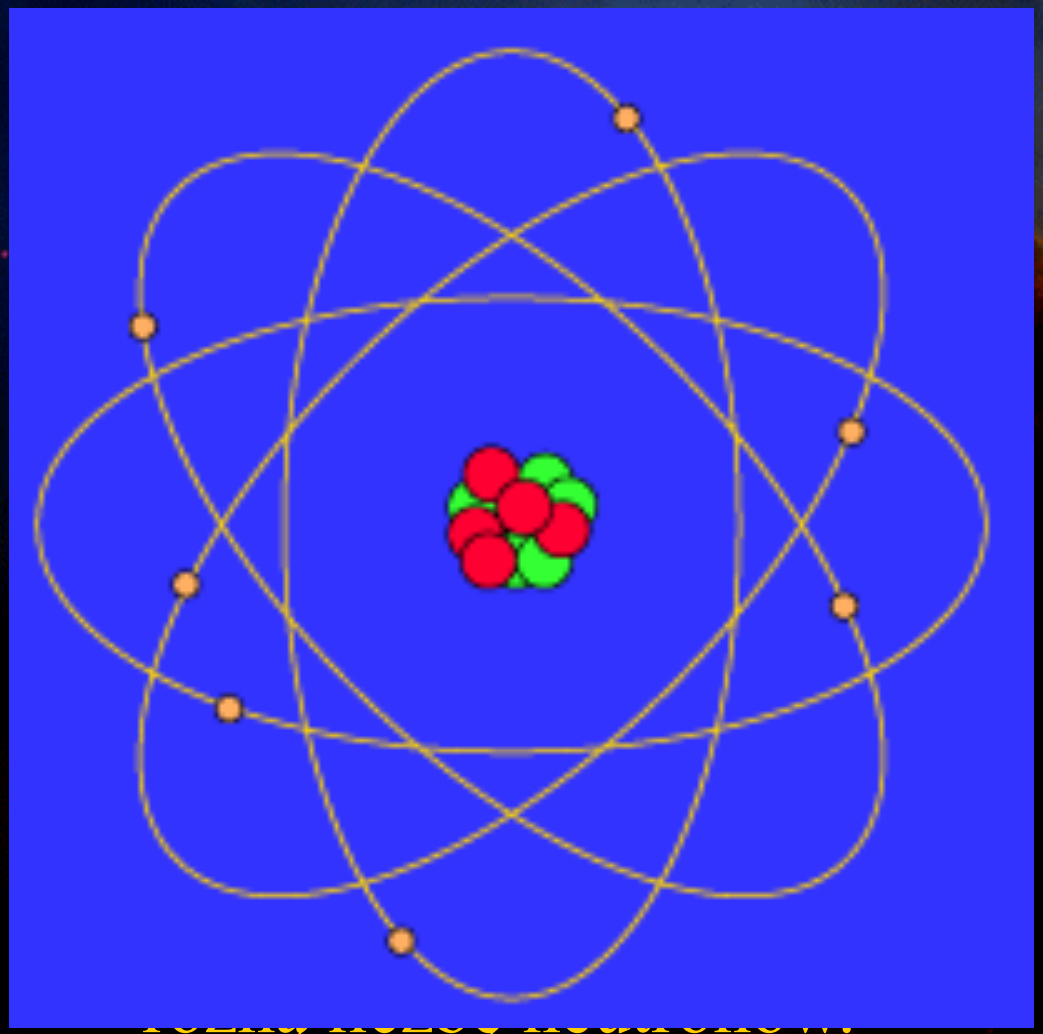
- cząstka o masie m poruszająca się z prędkością v:

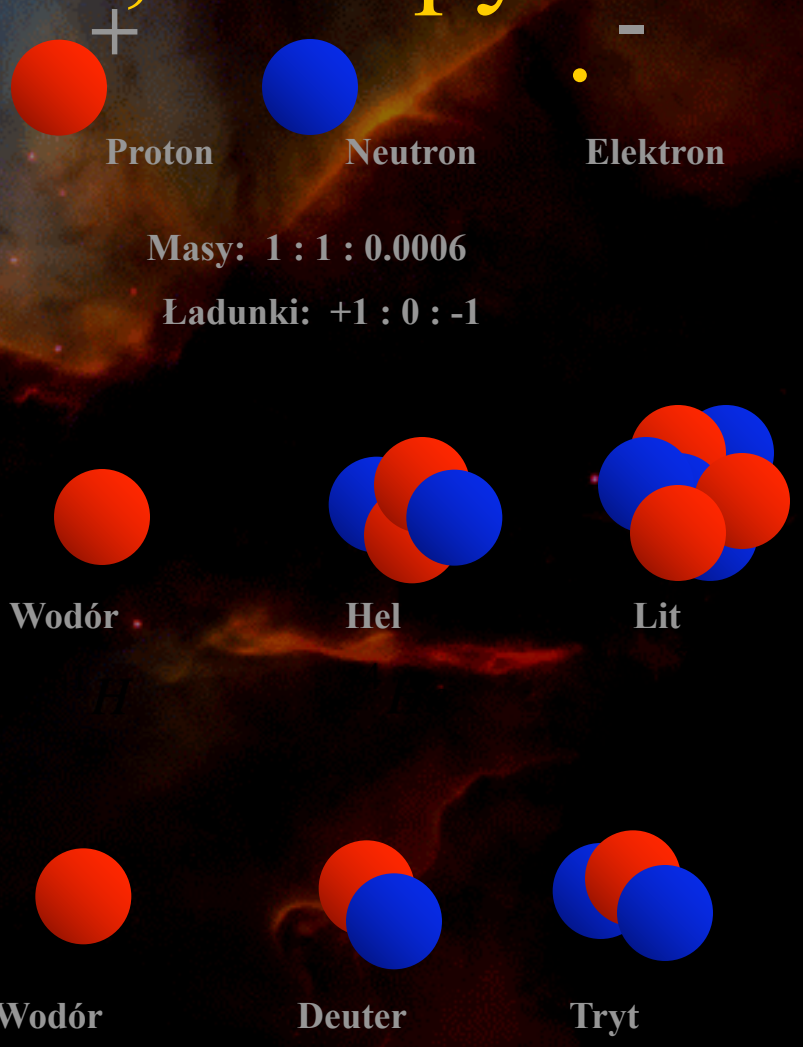
$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

- energia wewnętrzna gazu = energia kinetyczna N cząstek gazu (k-stała Boltzmana):

$$U = E_k = 3/2\ kT\ N$$

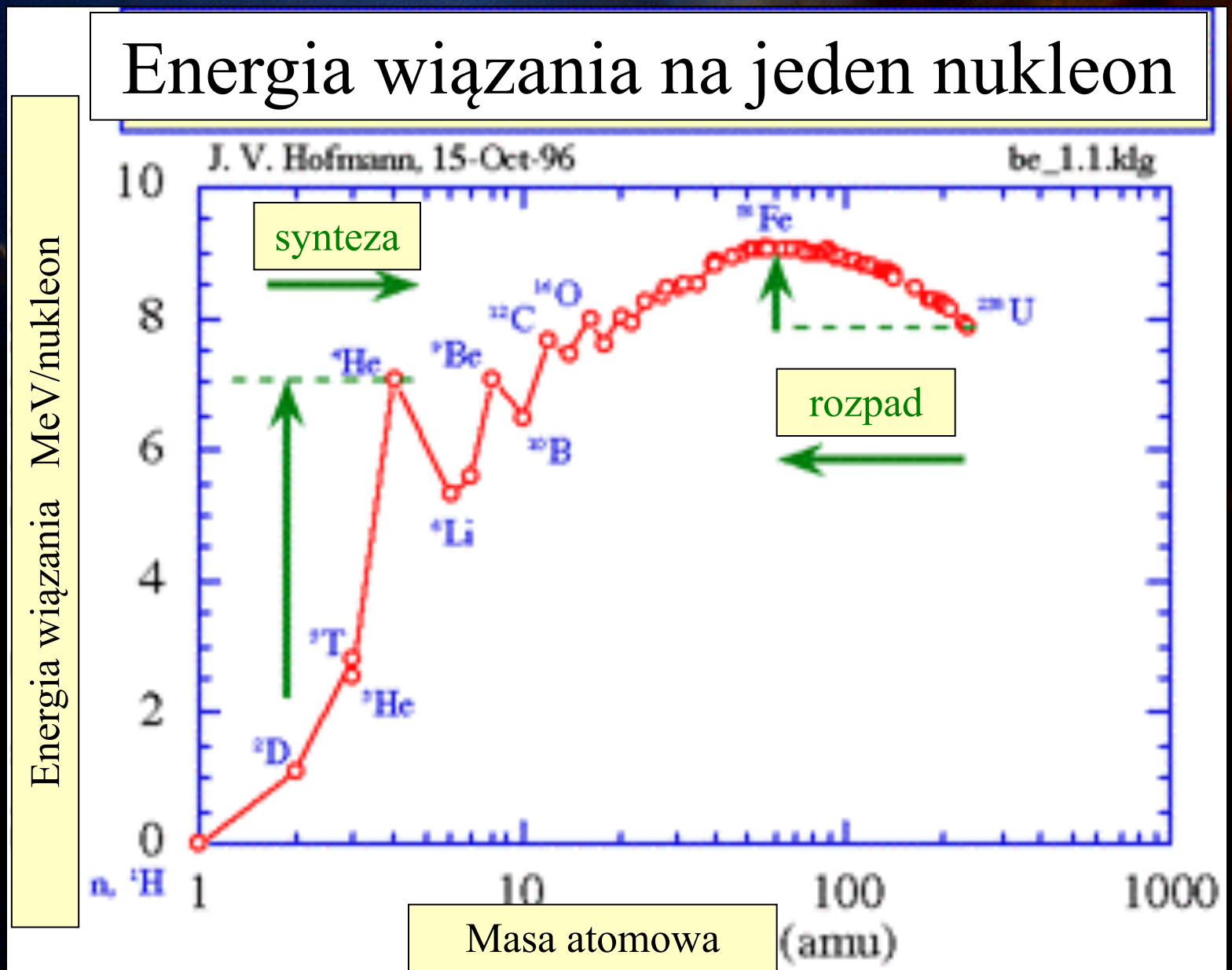
Atomy, pierwiastki, izotopy





- Typowe rozmiary atomu – 10^{-10} m; jądra 10^{-15} m.

Energia wiązania



Synteza i rozpad

- Rozpad polega na podziale jądra na dwie części
- Synteza polega na połączeniu się dwóch jąder lżejszych w jedno jądro cięższe. Syntezę helu z wodoru można podsumować tak:

$E=mc^2$

4 jądra H :	$6.693X10^{-24}$ g
1 jądro He :	$6.645X10^{-24}$ g
różnia masy:	$0.048X10^{-24}$ g

Synteza ta prowadzi do zamiany 0.7% masy w energię

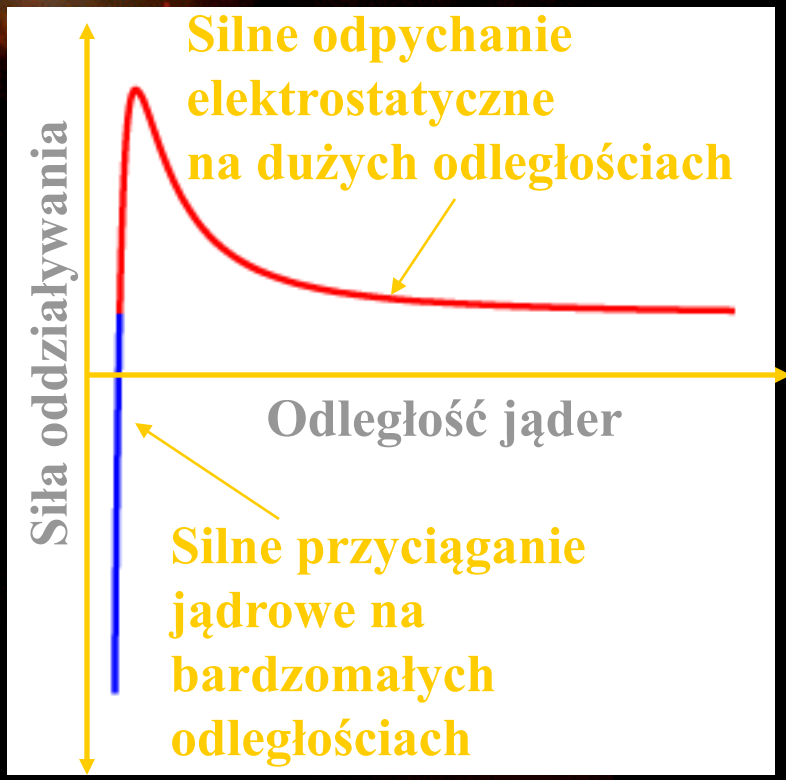
Zarówno jądra lżejsze jak i cięższe od żelaza są niestabilne. Energię uzyskujey zatem wtedy, gdy w syntezie jądrowej biorą udział jądra o masie atomowej mniejszej od żelaza lub rozpadają sie jądra o masie atomowej większej od żelaza.

Warunki syntezy termojądrowej

Synteza termojądrowa:

- długodystansowe siły odpychania elektro-statycznego utrudniają zderzenie dodatnich jąder

- jeśli jednak jądra zbliżą się dostatecznie blisko - krótkoasięgowe siły jądrowe związą oba składniki

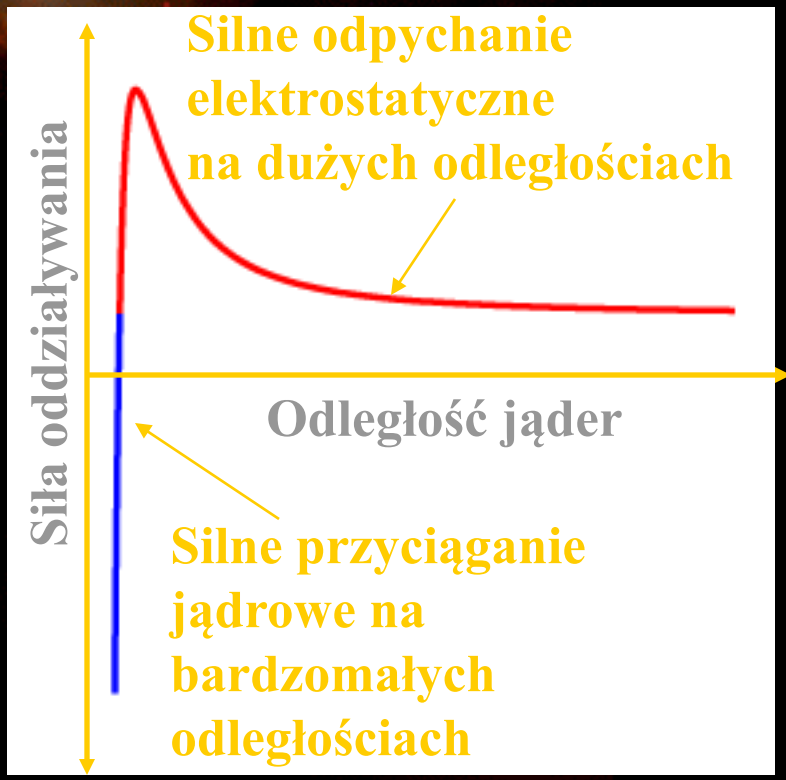


Warunki syntezy termojądrowej

Synteza termojądrowa wymaga wysokiej temperatury ~10 mln K

- by jądra miały prędkości wystarczające do pokonania sił odpychania

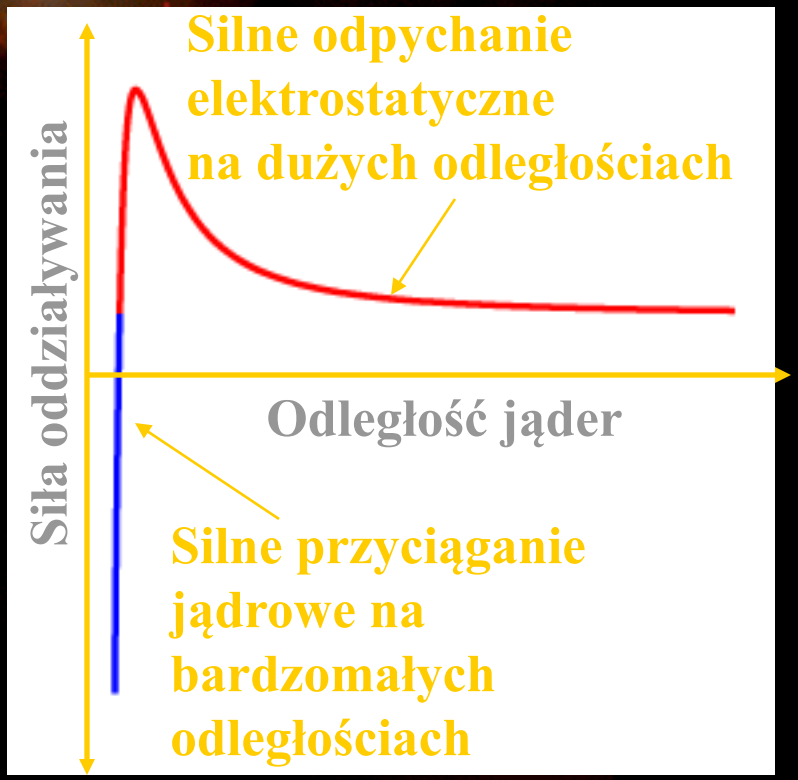
- im wyższy ładunek jąder tym większa jest siła odpychająca i trudniej jest połączyć jądra



Warunki syntezy termojądrowej

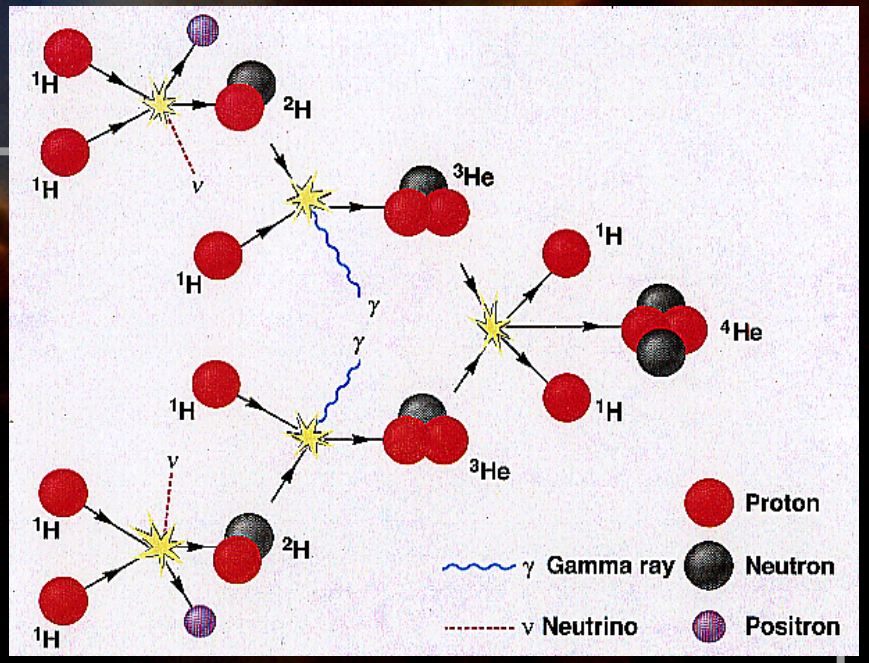
Synteza termojądrowa wymaga dużej gęstości materii:

- by reakcje syntezy zachodziły wystarczająco często



Reakcje syntezy jądrowej

- Spalanie wodoru do helu



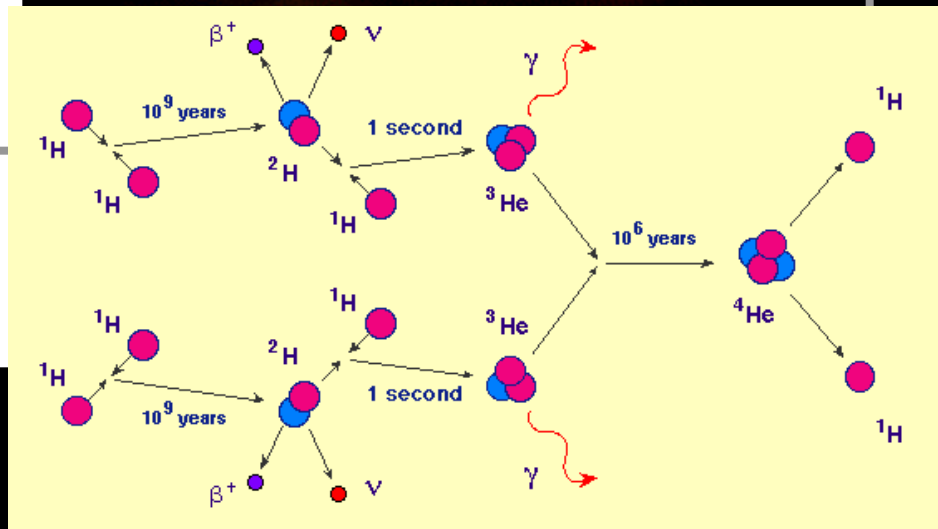
Cykl proton-proton

$^1_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^2_1D + e^+ + \nu_e + 0.42$ MeV

$e^- + e^+ \rightarrow 2\,\gamma + 1.02$ MeV

$^2_1D + {}^1_1H \rightarrow {}^3_2He + \gamma + 5.49$ MeV

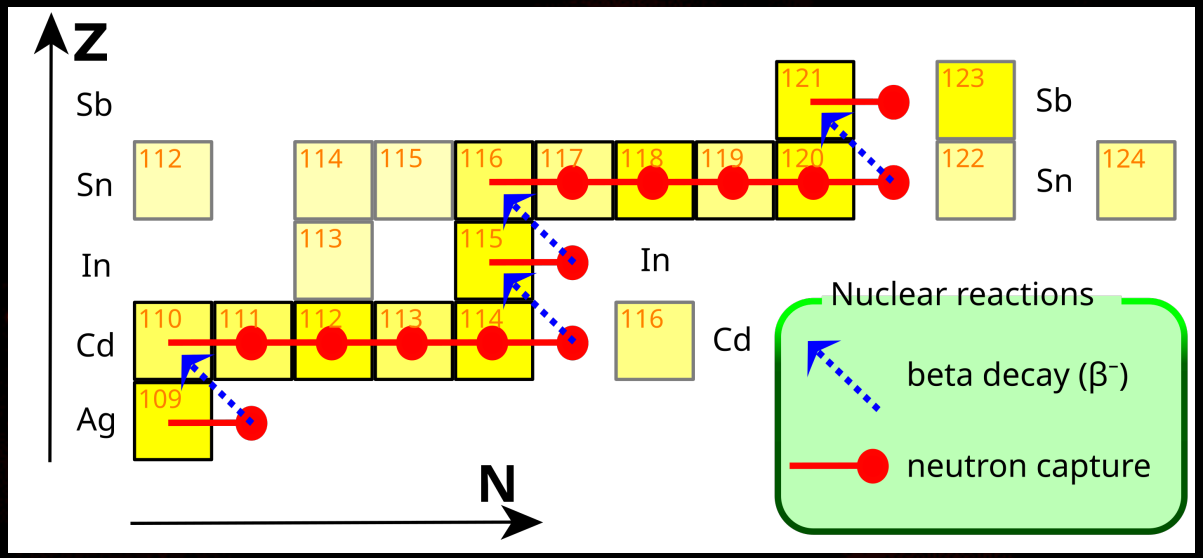
$^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + 2\,{}^1_1H + 12.86$ MeV



1 eV = 1 e · 1 V ≈ 1,602 × 10^{-19} J

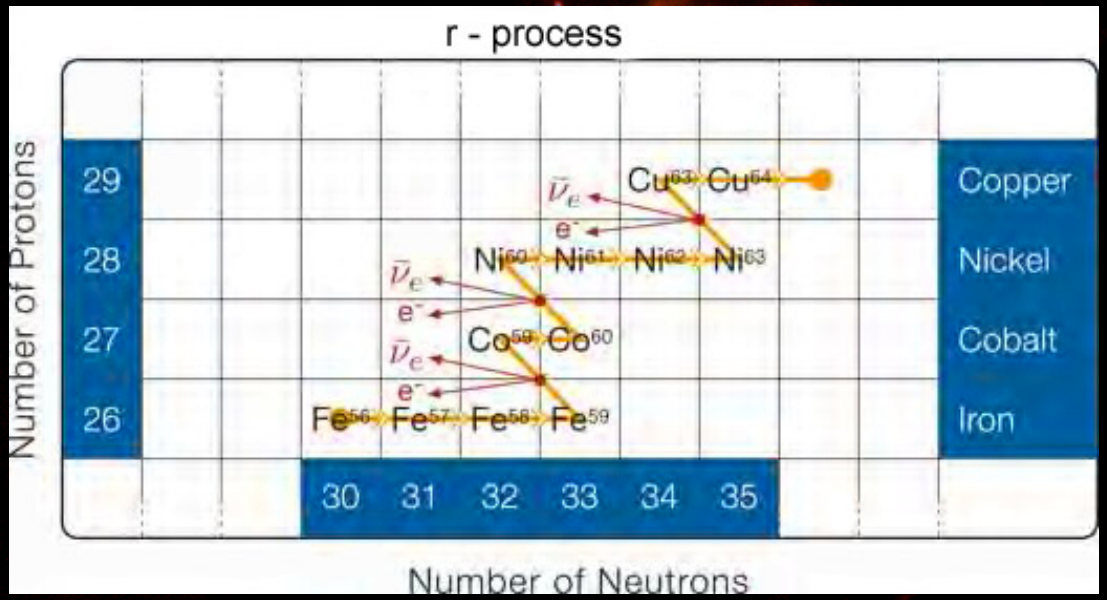
Nukleosynteza

- Które pierwiastki i w jakich okolicznościach mogą powstawać w gwiazdach:
- n-capture
  - s-process (AGB stars, ½ pierw. cięższych od Fe)
  - r-process
- p-capture
  - rp-process
- alfa-capture



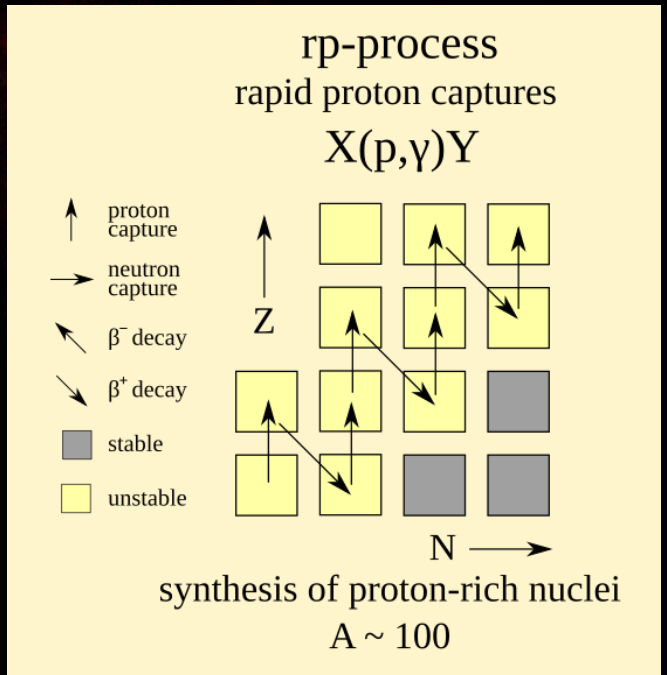
Nukleosynteza

- Które pierwiastki i w jakich okolicznościach mogą powstawać w gwiazdach:
- n-capture
  - s-process (AGB stars, ½ pierw. cięższych od Fe)
  - r-process
- p-capture
  - rp-process
- alfa-capture

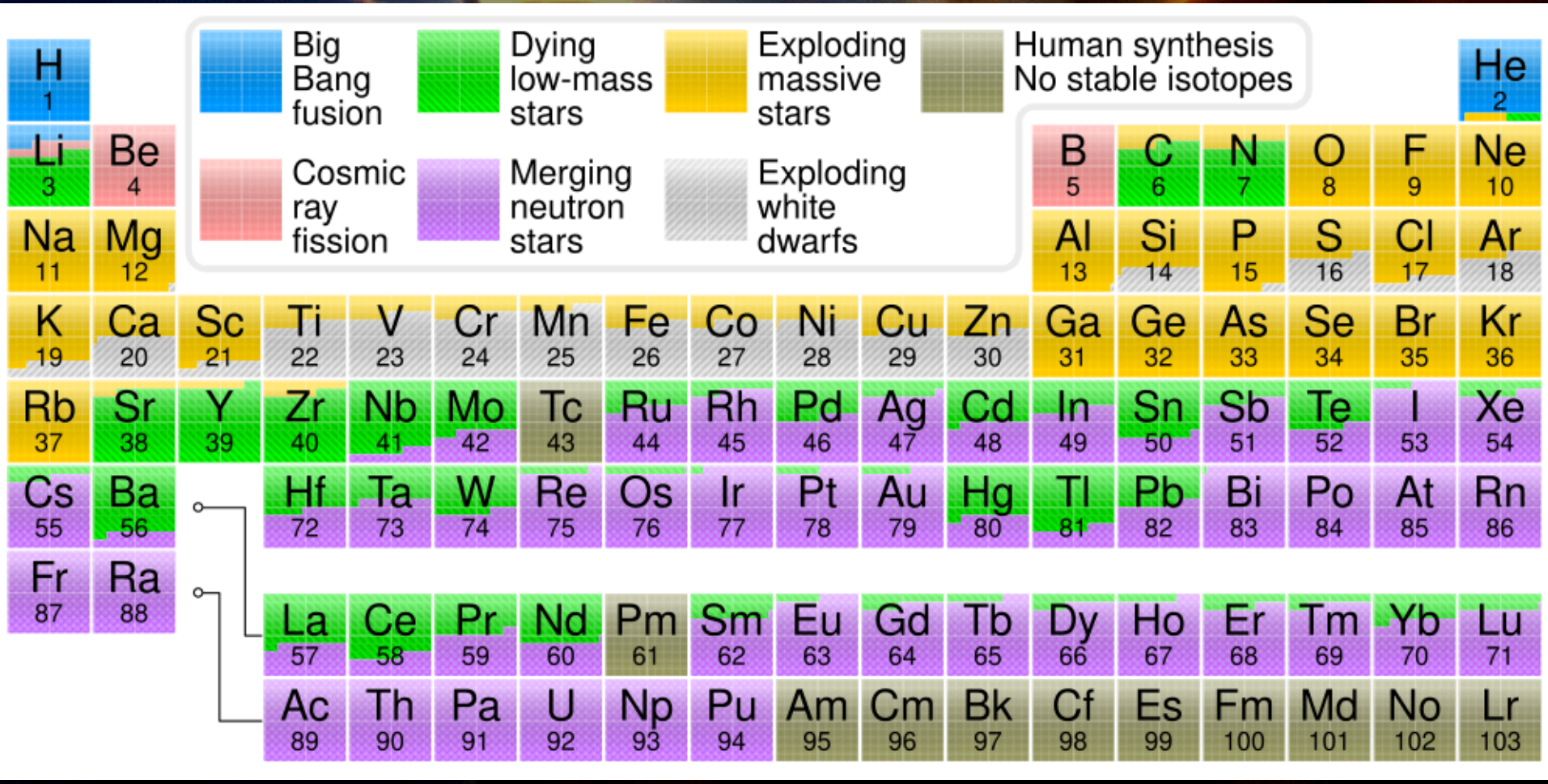


Nukleosynteza

- Które pierwiastki i w jakich okolicznościach mogą powstawać w gwiazdach:
- n-capture
  - s-process (AGB stars, ½ pierw. cięższych od Fe)
  - r-process
- p-capture
  - rp-process
- alfa-capture

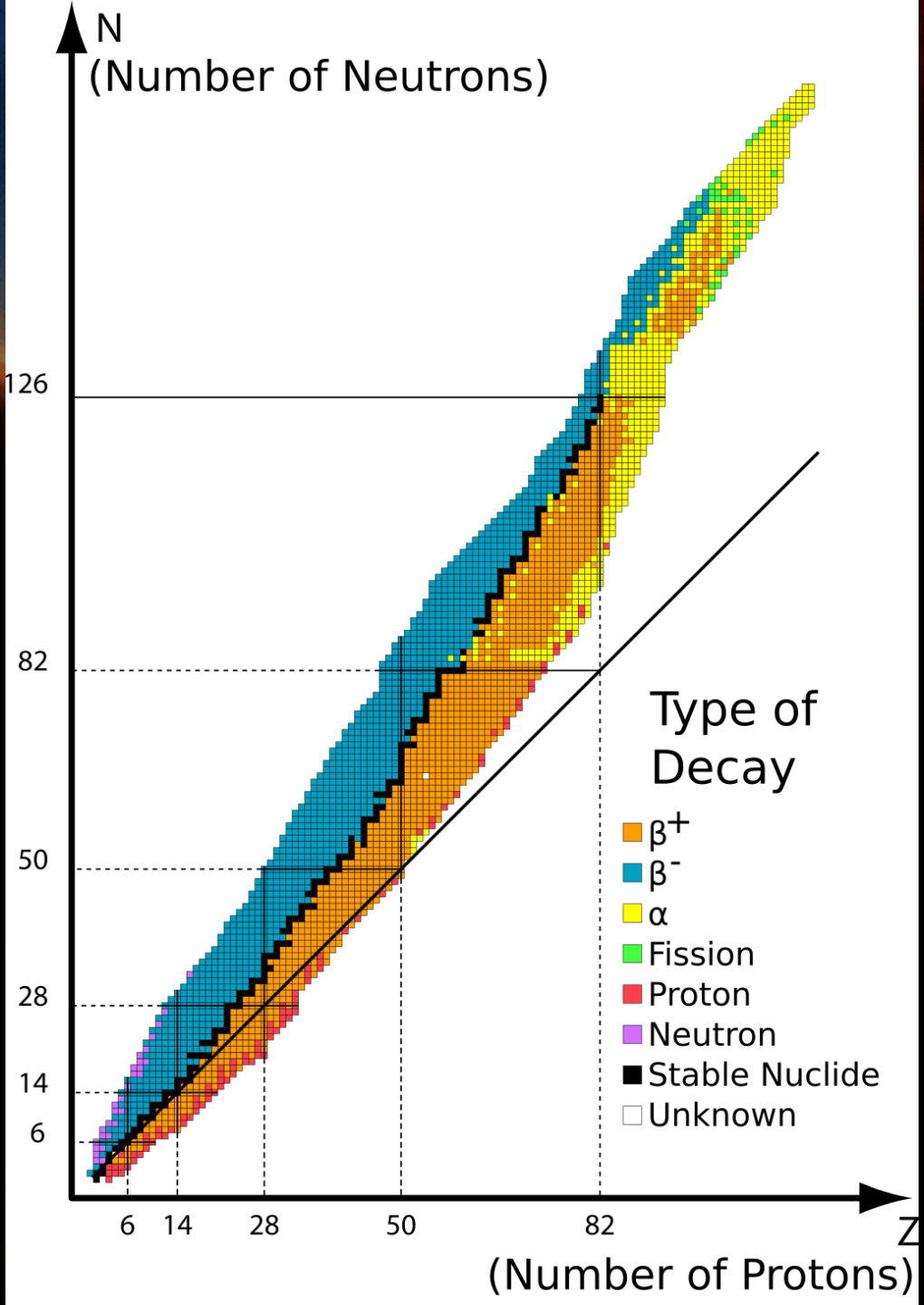


Nukleosynteza



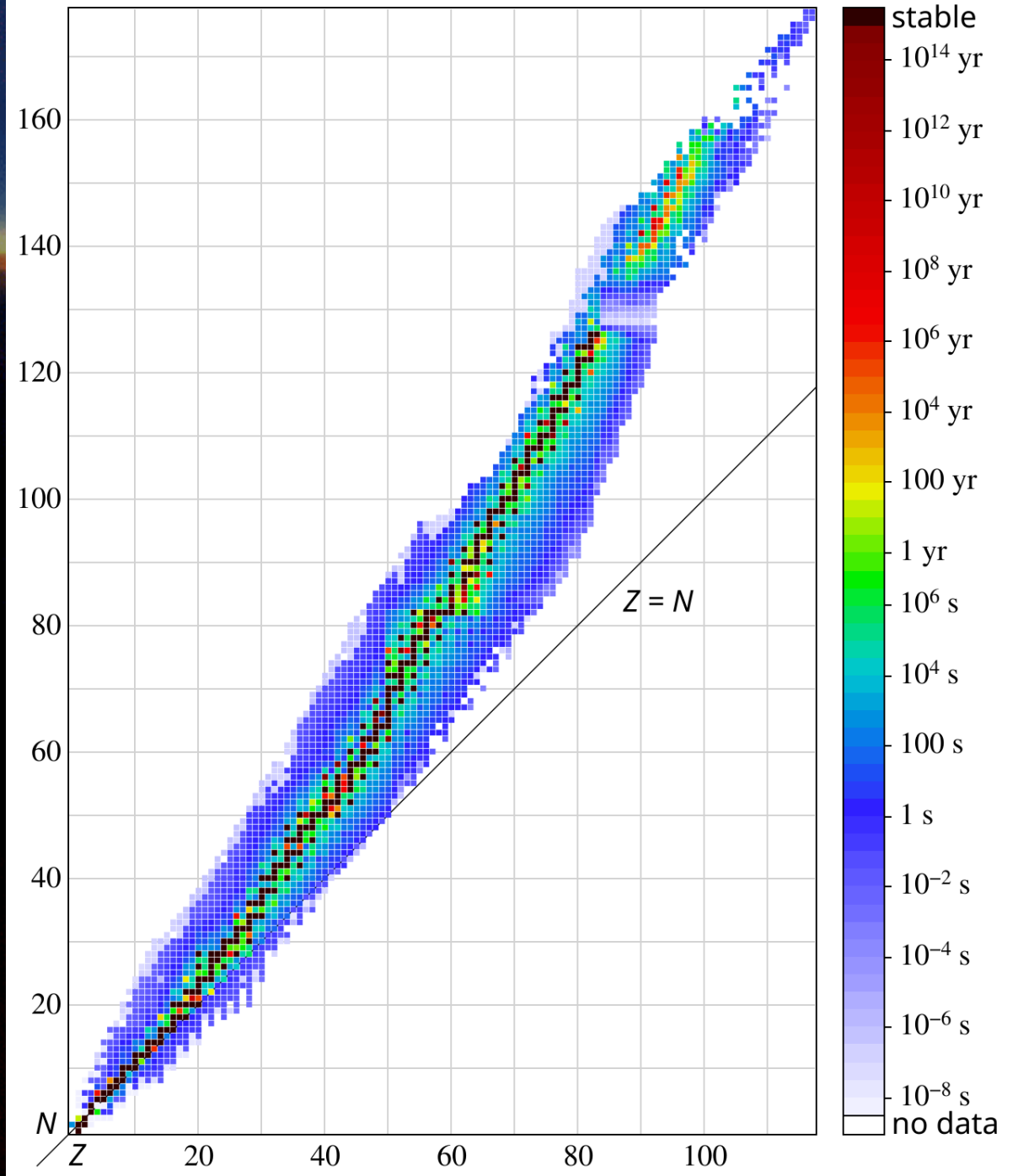
Nukleosynteza

- tabela nuklidów
- dolina stabilności
- linia β-stabilności



Nukleosynteza

- połowiczny czas rozpadu (życia)



Modele gwiazd

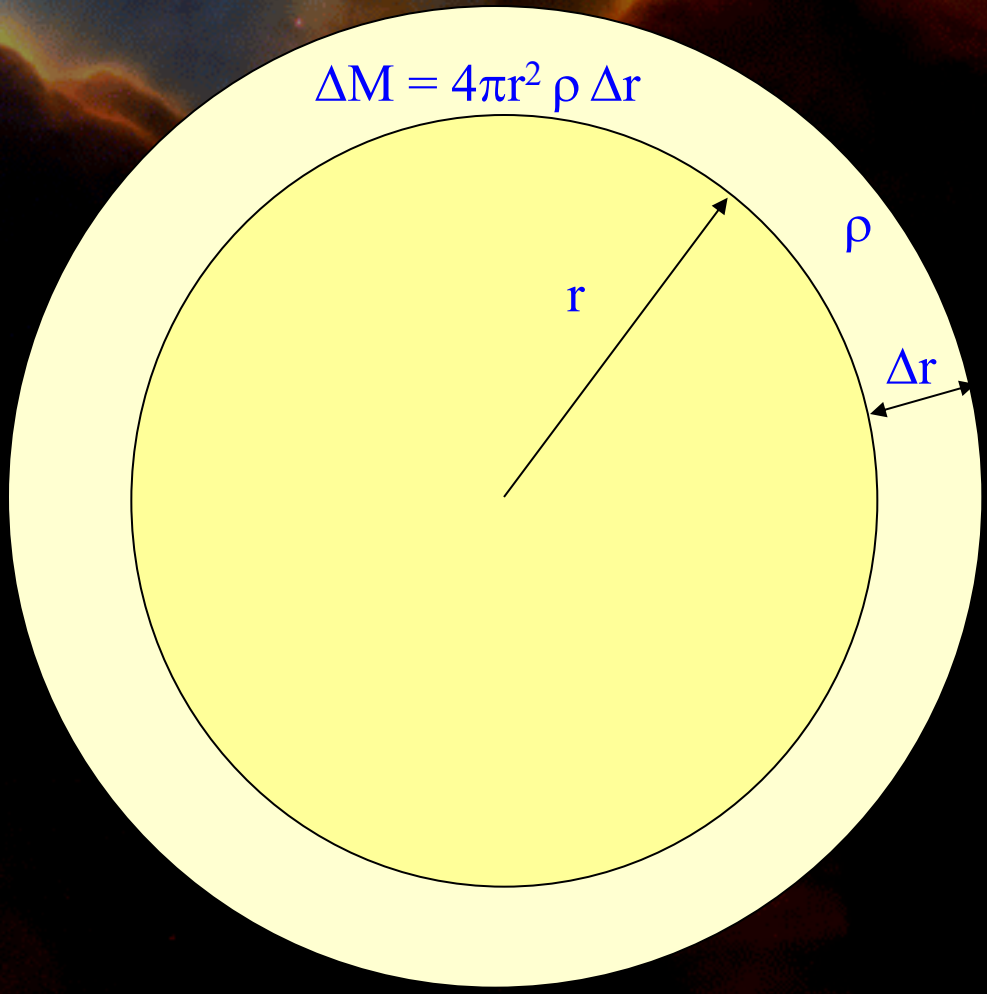
- Równania budowy wewnętrznej
  - symetria sferyczna
  - równowaga hydrostatyczna
  - równowaga termiczna
  - transport promieniowania
    - promienisty, konwektywny
- Atmosfery gwiazd
  - widmo ciągłe (continuum)
  - widmo liniowe (absorpcyjne)

Równanie ciągłości

Gwiazdę rozpatrujemy jako zespół koncentrycznych warstw o promieniu *r*, grubości d*r* i gęstości ρ .

Masa warstewki:

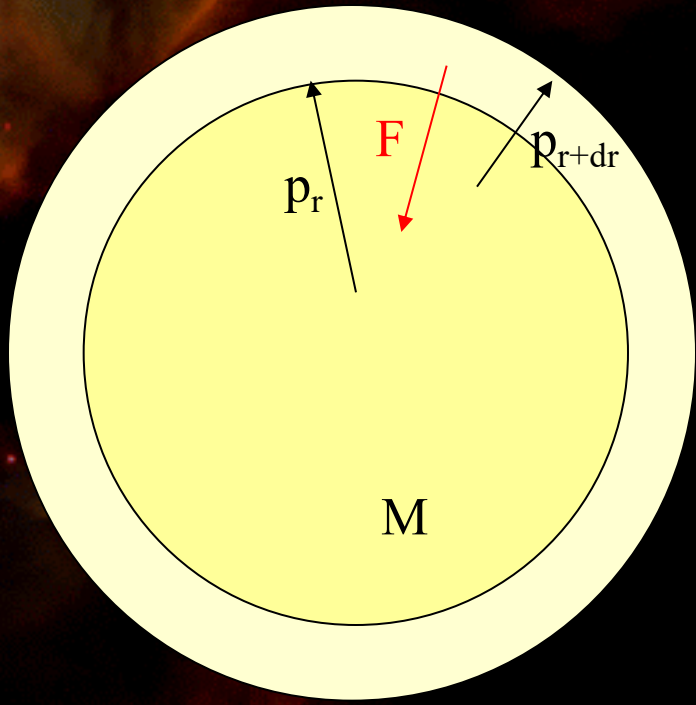
- $\Delta M = 4\pi r^2 \rho \Delta r$



$$\Delta M / \Delta r = 4\pi r^2 \rho$$

Równowaga hydrostatyczna

- Skierowana do wnętrza gwiazdy siła ciążenia jest zrównoważona przez ciśnienie gazu.



masa warstewki:

- $\Delta M_r = 4\pi r^2 \rho \Delta r$

przyspieszenie grawitacyjne:

- $g = GM/r^2$

siła nacisku:

- $F = g \Delta M = 4\pi r^2 \rho GM/r^2 \Delta r$

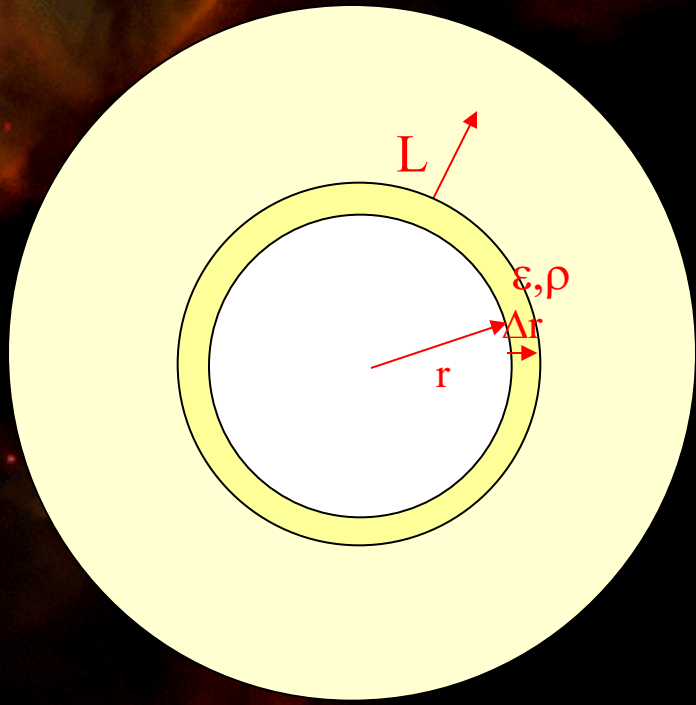
siła pochodząca od różnicy ciśnień:

- $F = 4\pi r^2 (p_{r+dr} - p_r) = 4\pi r^2 \Delta p$

$$\Delta p / \Delta r = - \rho GM/r^2$$

Równowaga termiczna

- Energia wypromieniowywana z powierzchni gwiazdy powstaje w jej wnętrzu:



ilość energii uwalnianej w warstwie *dr* :

- $\Delta L = \varepsilon\rho\, 4\pi r^2\, \Delta r$

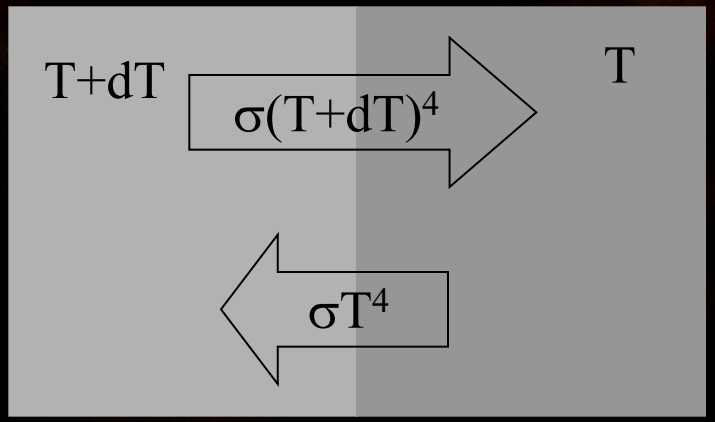
- ε oznacza tempo produkcji energii

$$\Delta L / \Delta r = 4\pi r^2\, \varepsilon\rho$$

Transport (przepływ) energii

- Transport przez promieniowanie
  - wskutek istnienia gradientu temperatury:

- dwa ciała doskonale czarne o temperaturach T i T+dT



Transport (przepływ) energii

- Różnica strumieni przepływającej energii:

$F = \sigma(T+dT)^4 - \sigma T^4 =$

$\sigma(T^4 + 4T^3 dT + 6T^2(dT)^2 + 4T(dT)^3 + (dT)^4 - T^4) =$

$\approx \sigma\, 4T^3\, \Delta T$

- Jasność gwiazdy w odległości r od środka:

  $L = 4\pi r^2 F$

- Dostajemy $\Delta T/\Delta r = (3/64\ \pi^2 \sigma)\ \kappa\, L/(T^3\, r^2)$

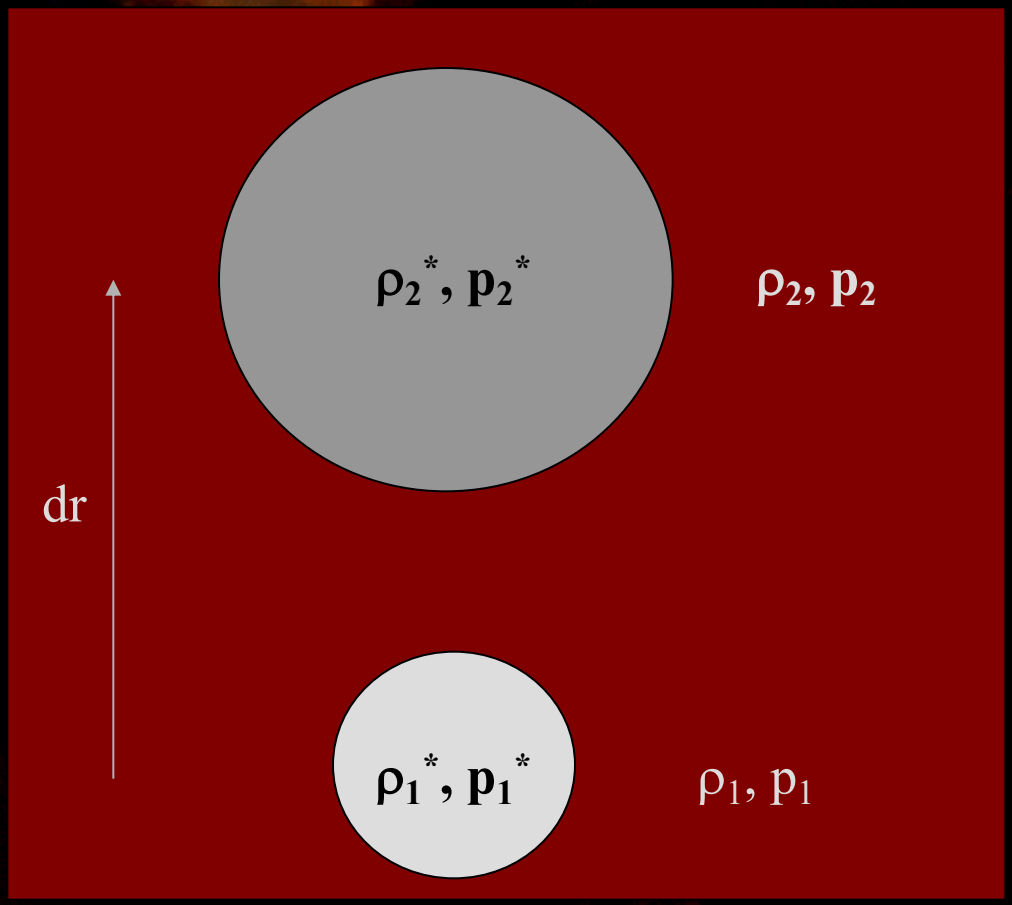
  gdzie κ jest „nieprzezroczystością”

Transport (przepływ) energii

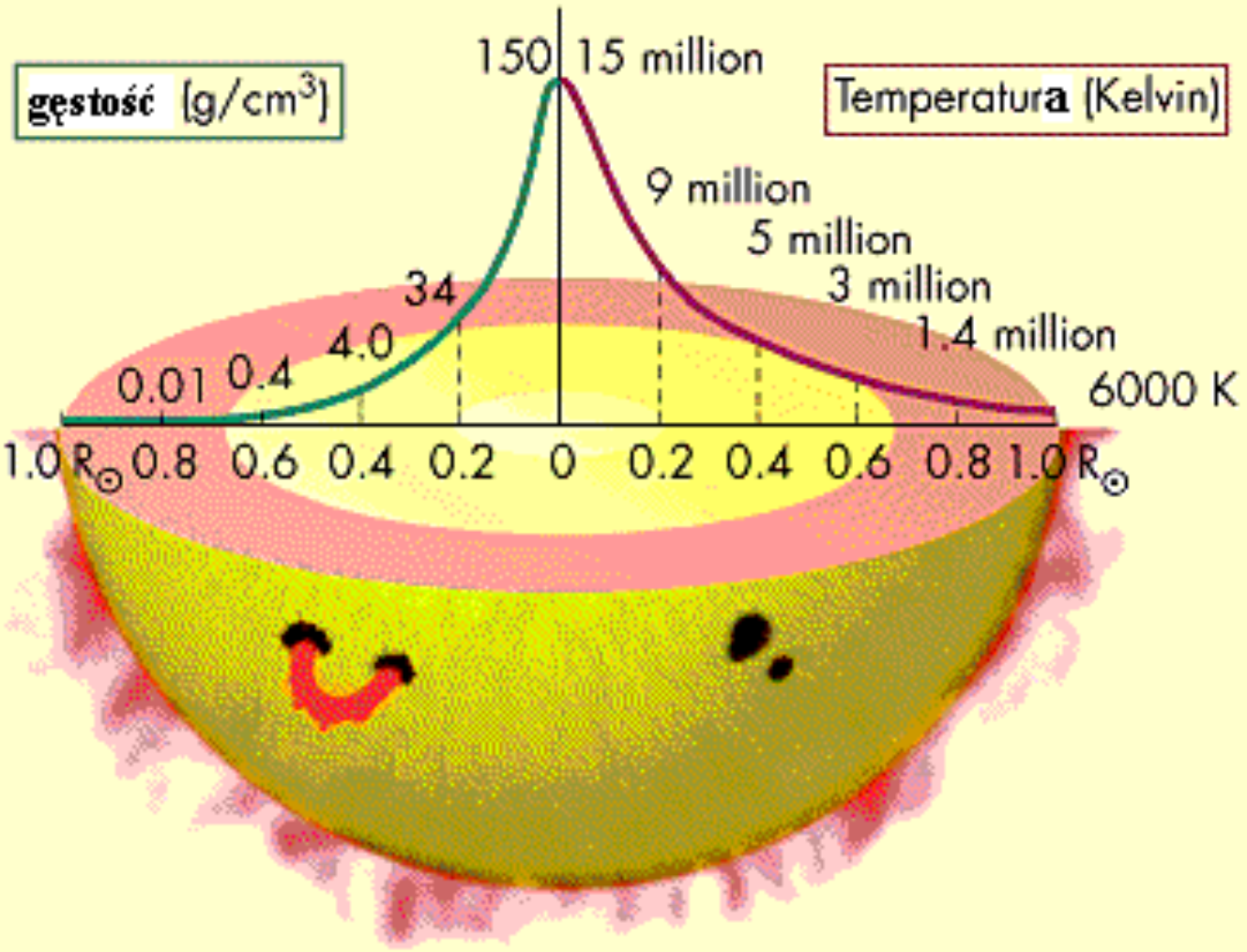
- Transport przez konwekcję:
  - wskutek niewystarczającej wymiany ciepła z otoczeniem

- bąbelek gazu będzie poruszał się w górę jeżeli :

$$\rho_2^* < \rho_2$$



Gęstość i temperatura wnętrza



Układ statyczny

- zależność pomiędzy energią potencjalną i kinetyczną dla statycznego układu *N* cząstek oddziałujących grawitacyjnie (twierdzenie o wiriale) :

$$E_p = -2E_k$$
$$\Omega = -2U$$

- energia całkowita:

$$E = E_p + E_k$$
$$E = -2U + U = -U$$
$$E = \tfrac{1}{2}\,\Omega$$

Twierdzenie o wiriale

TWIERDZENIE O WIRIALE

$m_i, \vec{p_i}, \vec{r_i}, \vec{F_i}$

$$\frac{d}{dt}\vec{p_i} = \vec{F_i}$$ r. ruchu

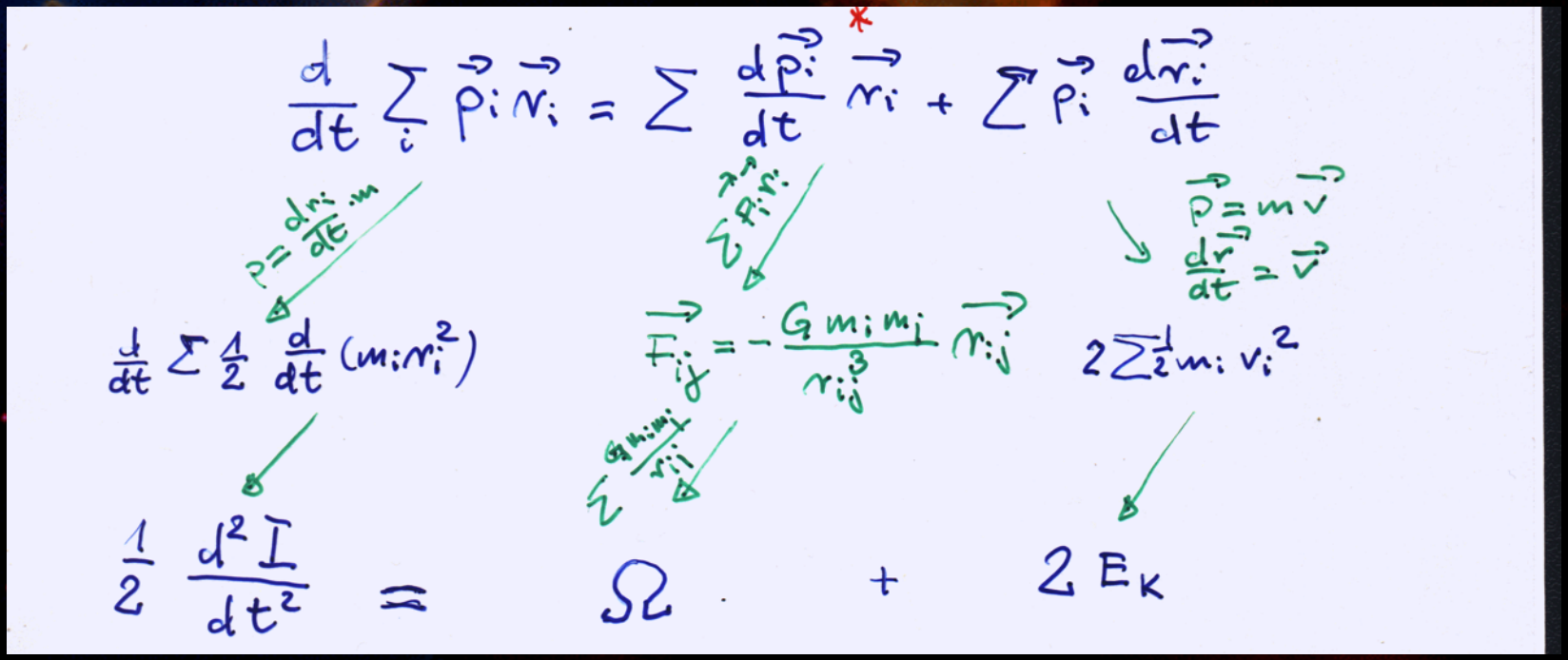
rozważmy sumę:

$$\sum_i \vec{p_i}\vec{r_i}$$

* wiriał Clausiusa

$$\frac{d}{dt}\sum_i \vec{p_i}\vec{r_i} = \sum \frac{d\vec{p_i}}{dt}\vec{r_i} + \sum \vec{p_i}\frac{d\vec{r_i}}{dt}$$

Twierdzenie o wiriale



Twierdzenie o wiriale

$$\frac{1}{2}\frac{d^2 I}{dt^2} = \Omega + 2E_K$$

układ statycznie $\Rightarrow \frac{d^2 I}{dt^2} = 0$

dla gazu jednoat. ($E_K = U$)

tw. o wiriale $\Omega = -2E_K$

energia całkowita $E = U + \Omega$

$$E = U - 2U = -U = \frac{1}{2}\Omega$$

Przykład – jednorodna kula gazowa

- kula świeci z jasnością L przez czas Δt:
- energia wypromieniowana:

$$\Delta E = - L \Delta t$$

ale: zmiana energii $\Delta E = - \Delta U = \frac{1}{2} \Delta \Omega$

- powoduje zmniejszenie Ω (zmniejszenie r)

$$\Delta \Omega = - 2L \Delta t$$

- i wzrost U (zwiększenie T):

$$\Delta U = L \Delta t$$

Przykład: Słońce

dla kuli jednorodnej

$$\Omega = -\frac{3}{5}\frac{GM^2}{R}$$

$$\Delta\Omega = \frac{3}{5}\frac{GM^2}{R^2}\Delta R$$

$$\Delta t = \frac{-\Delta\Omega}{2L}$$

$$t_{K-H} = \frac{\Omega}{2L_\odot} = 10^7 \text{ lat}$$

Słońce

$R_\odot = 6{,}96 \cdot 10^8$ m

$M_\odot = 2 \cdot 10^{30}$ kg

$L_\odot = 3{,}81 \cdot 10^{33}$ erg/s

$\Rightarrow \frac{\Delta R}{\Delta t} = 2 \cdot 10^{-3}$ cm/s

$\Omega = -2 \cdot 10^{41}$ J

Ewolucja gwiazd

- zależność Masa-Jasność

$\Delta p/\Delta r \sim -\rho\, GM/ r^2$

$\rho \sim M/ R^3$

$P/R \sim M^2 /R^5$

$T \sim \mu m_H/k\, (p/\rho)$

$T \sim M/R$

$\Delta T/\Delta r \sim \kappa L/ (T^3 r^2)$

$T/R \sim (\kappa/\rho)\rho L/ (T^3 R^2)$

$L \sim M^3$

Masa Jeansa

Kula jednorodna o temp. T, gęstości ρ i promieniu R:

z twierdzenia o wiriale:

$2E_k = -\Omega$

$E_k = 3/2\ (kT/\mu m_H)\ M$

$\Omega = -3/5\ GM^2/R$

czyli:

$kT/\mu m_H = 1/5\ GM/R$

stąd:

$$M_J = 3.78\ 10^{-9}\ (T/\mu)^{3/2}\ \rho^{-1/2}\ [M]$$ masa Jeansa

Masa Jeansa

Typowe warunki w obłoku międzygwiazdowym:

$\rho \sim 10^{-21} - 10^{-18}$ kg/m^3

$T \sim 20 - 100$ K

$\rightarrow M_J \sim 10^2 - 10^5 M_\odot$

Dynamiczna skala kurczenia się obłoku:

$s = at^2/2 \rightarrow R = (GM/2R) t^2 \rightarrow$

$t_D \sim (R^3/GM)^{1/2}$

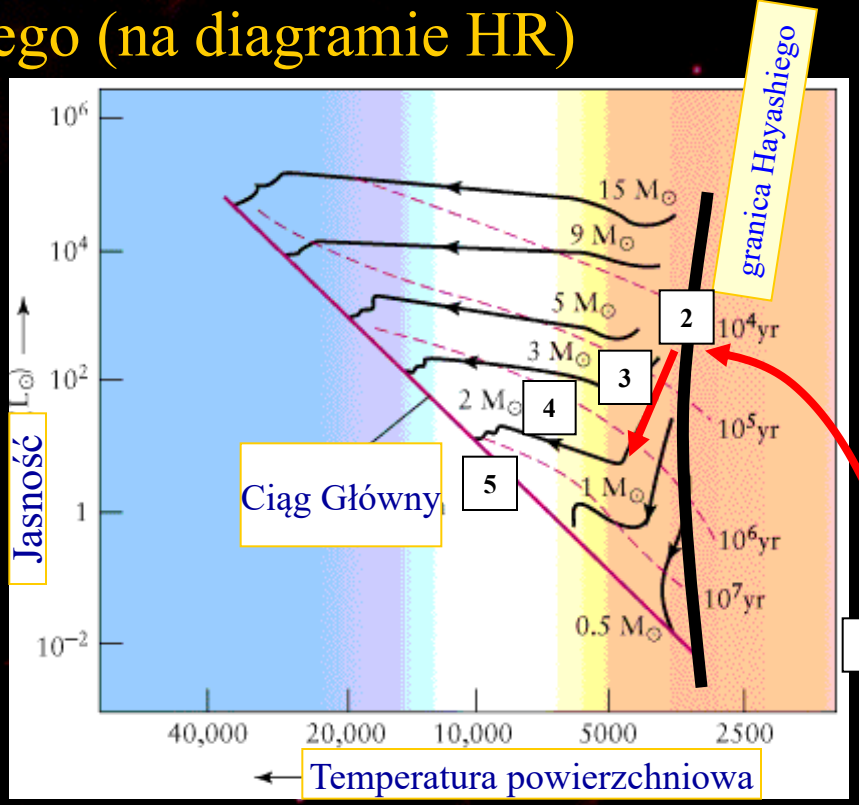
$t_D \sim 10^5 / \rho^{1/2}$ [s]

$\rho \sim 10^{-18}$ kg/m$^3 \rightarrow t_D \sim 10^6 - 10^7$ lat

jeżeli $\rho\uparrow \rightarrow t_D\downarrow$

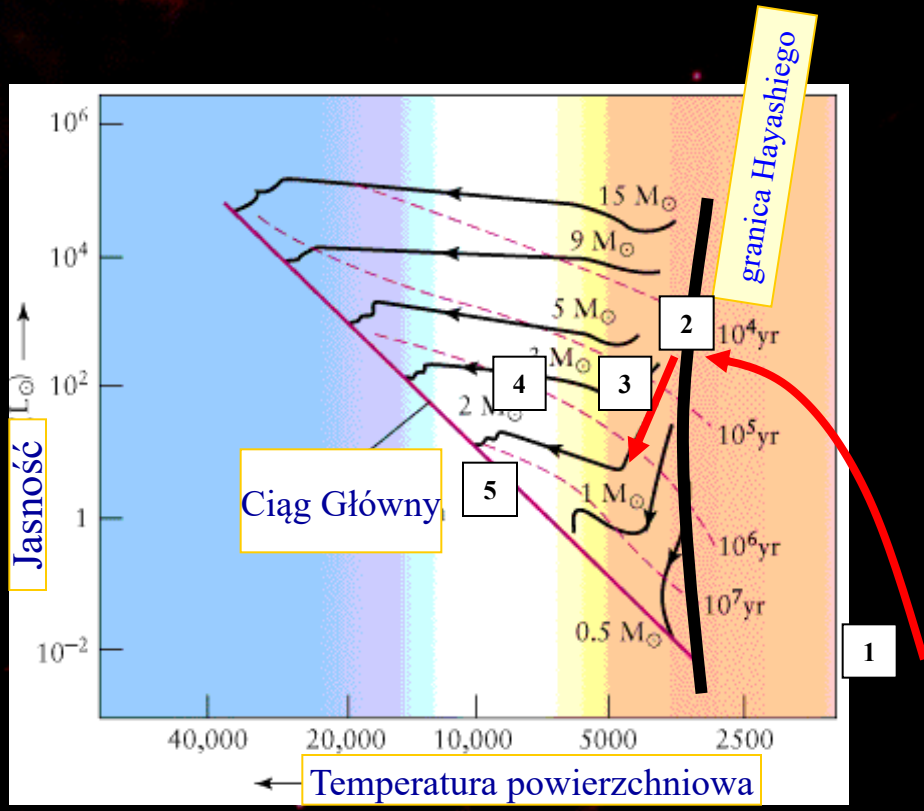
Powstawanie gwiazd

1. Obłok kurczy się w dynamicznej skali czasowej
   - R ↓ (maleje) ścieki energii:
   - L ↑ (rośnie) 20,000 K - dysocjacja H_2
   - T ↑ (rośnie) 40,000 K - jonizacja H, potem He
2. Obłok osiąga granicę Hayashiego (na diagramie HR)
   - konfiguracja konwektywna
   - w równowadze hydrostatycznej
3. Kurczy się w termicznej skali czasowej wzdłuż drogi ewolucyjnej Hayashiego
   - R ↓ (maleje)
   - L ↓ (maleje)
   - T_{eff} ~stałe

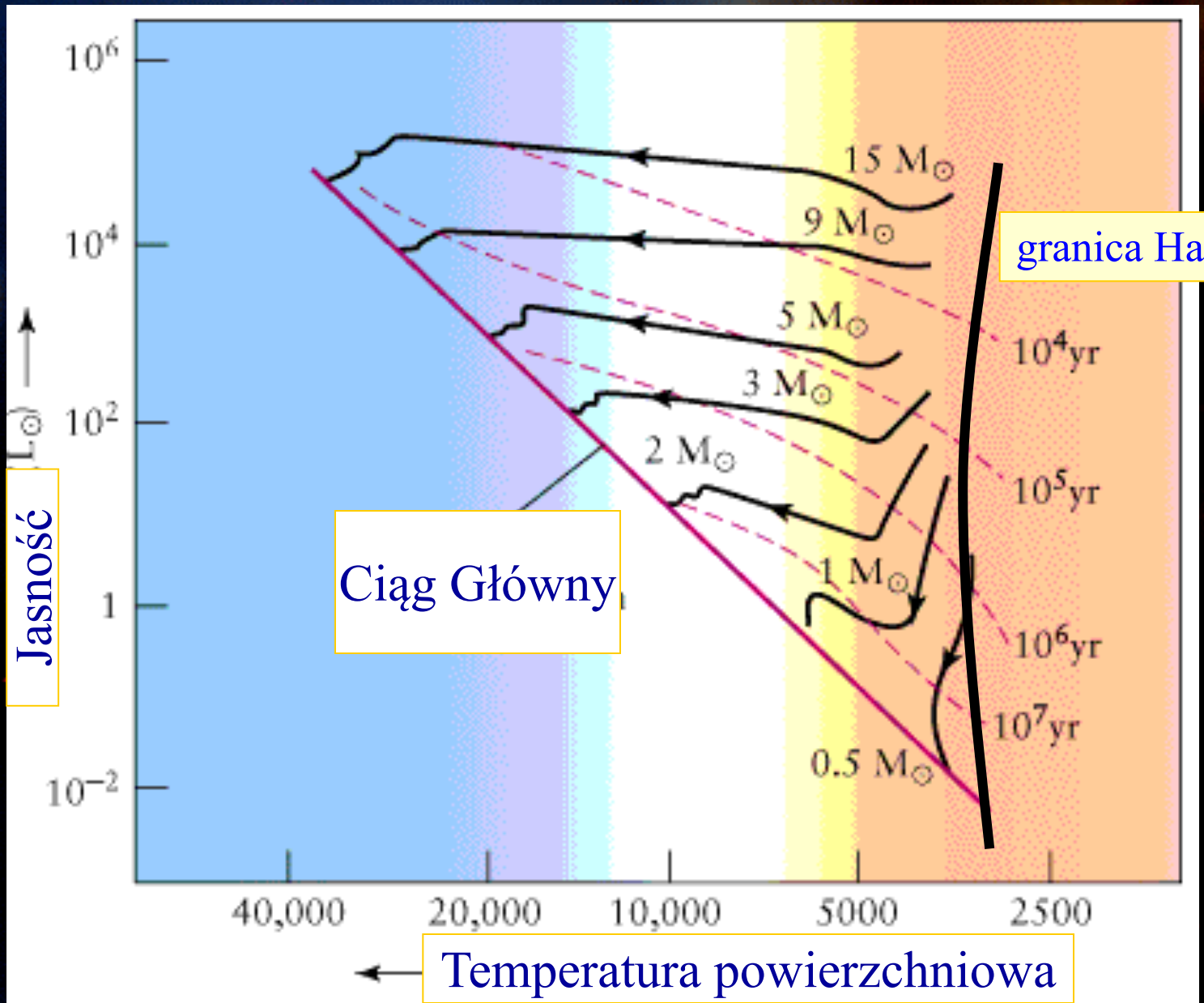


Powstawanie gwiazd

4. Powstaje promieniste jądro
   - R ↓ (maleje)
   - L ↓ (maleje)
   - T_{cent}↑, T_{eff} ↑(rosną)
5. Temperatura centralna wystarczająca do zapoczątkowania reakcji termojądrowych.
   – Gwiazda jest na Ciągu Głównym



Przed Ciągiem Głównym



Istota ewolucji gwiazd

- $4 \times H \rightarrow {}^4He$
  - zmniejszenie liczby cząstek gazu $N \downarrow$
  - obniżenie ciśnienia $(p \sim \rho T)$ $p_c \downarrow$
- wyrównanie (podniesienie) ciśnienia wymaga wzrostu temperatury $T_c \uparrow$
- jest to możliwe tylko dzięki grawitacyjnemu skurczeniu się jądra $R_j \downarrow$

Istota ewolucji gwiazd

- Wzrost temperatury centralnej powoduje zwiększenie się gradientu temperatury
  – $dT/dR \uparrow$
- ten nie może być zbyt duży, bo gwiazda odprowadzałaby więcej energii niż ma do dyspozycji;
- w tej sytuacji musi wzrosnąć zewnętrzny promień gwiazdy: $R \uparrow$
- temperatura efektywna zmienia się: $T_{eff} \uparrow\downarrow$

Ewolucja gwiazd

$E=mc^2$

4 jądra H :	$6.693X10^{-24}$ g
1 jądro He :	$6.645X10^{-24}$ g
różnia masy:	$0.048X10^{-24}$ g

Synteza ta prowadzi do zamiany 0.7% masy w energię

- nuklearna skala czasowa:

  $t_n = 0.007\ \alpha\ Mc^2/L$

  - $0.007 = 26.7$ MeV$/(4*931.5$ MeV$)$
  - $\alpha \sim 0.1$

  $t_n = 10^{10}\,(\,M/M_\odot\,)\,/\,(L/L_\odot\,)$ lat

Ewolucja gwiazd

Protogwiazdy o masach < 0.07-0.08 $M_\odot$

1. Zbyt niska temperatura dla zapoczątkowania reakcji termojądrowych.
   - > 0.06 reakcje $D+p \rightarrow {}^3He$ (2 mln K w jądrze)
   - 0.07-0.08 mogą początkowo spalać wodór w pp.
2. Konfiguracje początkowo konwektywne.
3. Brązowe karły
   - granica między brązowymi karłami a planetami – ok. 0.01 $M_\odot$ (10 $M_{Jowisza}$)
   - typy widmowe L (2200-1400K), T, Y

Ewolucja gwiazd

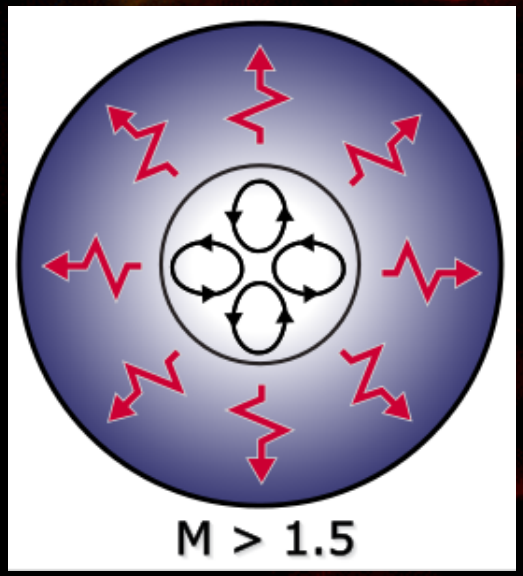
Gwiazdy skrajnie małomasywne <~ 0.4 $M_\odot$

1. Zawsze konwektywne wnętrze.
2. Dzięki konwekcji zużyją prawie cały wodór
3. Nie powstaje zdegenerowane helowe jądro
4. Nigdy nie staną się czerwonymi olbrzymami
5. Czas życia ~5-12x10^{12} (bilionów) lat
6. Potem powolny kolaps do białego karła (kilkaset mld lat)

Ewolucja gwiazd

Gwiazdy małomasywne, 0.5 - 2 $M_\odot$ np. Słońce

1. Spalanie wodoru w jądrze promienistym
2. Konwekcja w warstwach zewnętrznych– ewolucja wzdłuż granicy Hayashiego
3. Powstaje zdegenerowane jądro helowe



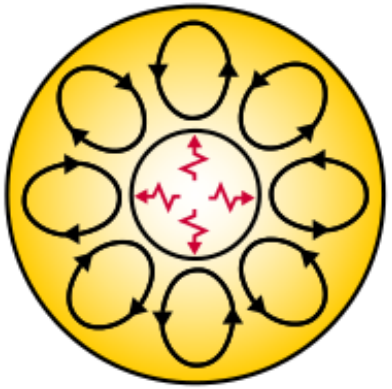
Ewolucja gwiazd

Gwiazdy małomasywne, 0.5 - 1.5 $M_\odot$ np. Słońce

1. Spalanie wodoru w jądrze promienistym
2. Konwekcja w warstwach zewnętrznych– ewolucja wzdłuż granicy Hayashiego
3. Powstaje zdegenerowane jądro helowe
4. Błysk helowy – zniesienie degeneracji w jądrze: 100 mln K, reakcje 3α

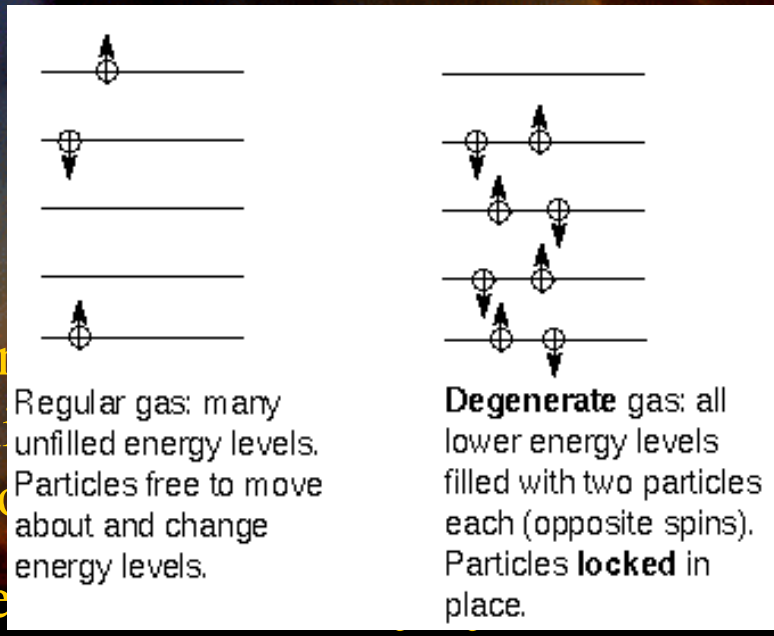
$$^4He + {}^4He \rightleftharpoons {}^8Be$$
$$^4He + {}^8Be \rightleftharpoons {}^{12}C^* \rightarrow {}^{12}C + 2\gamma$$

$$^4He + {}^{12}C \rightarrow {}^{16}O + \gamma$$



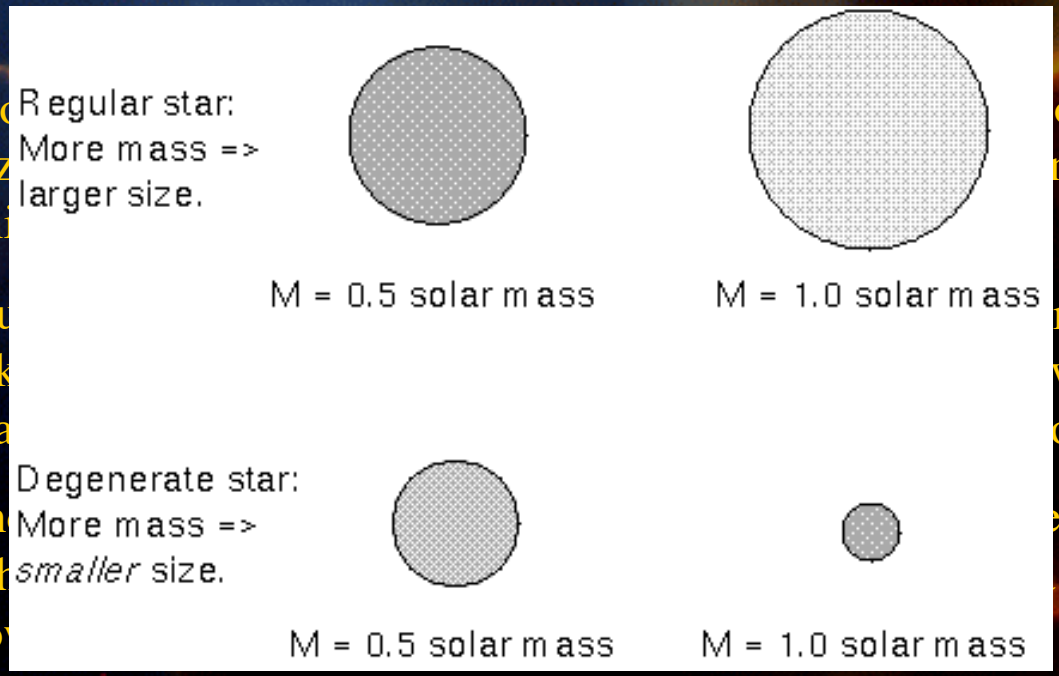
0.5 - 1.5

Gaz zdegenerowany

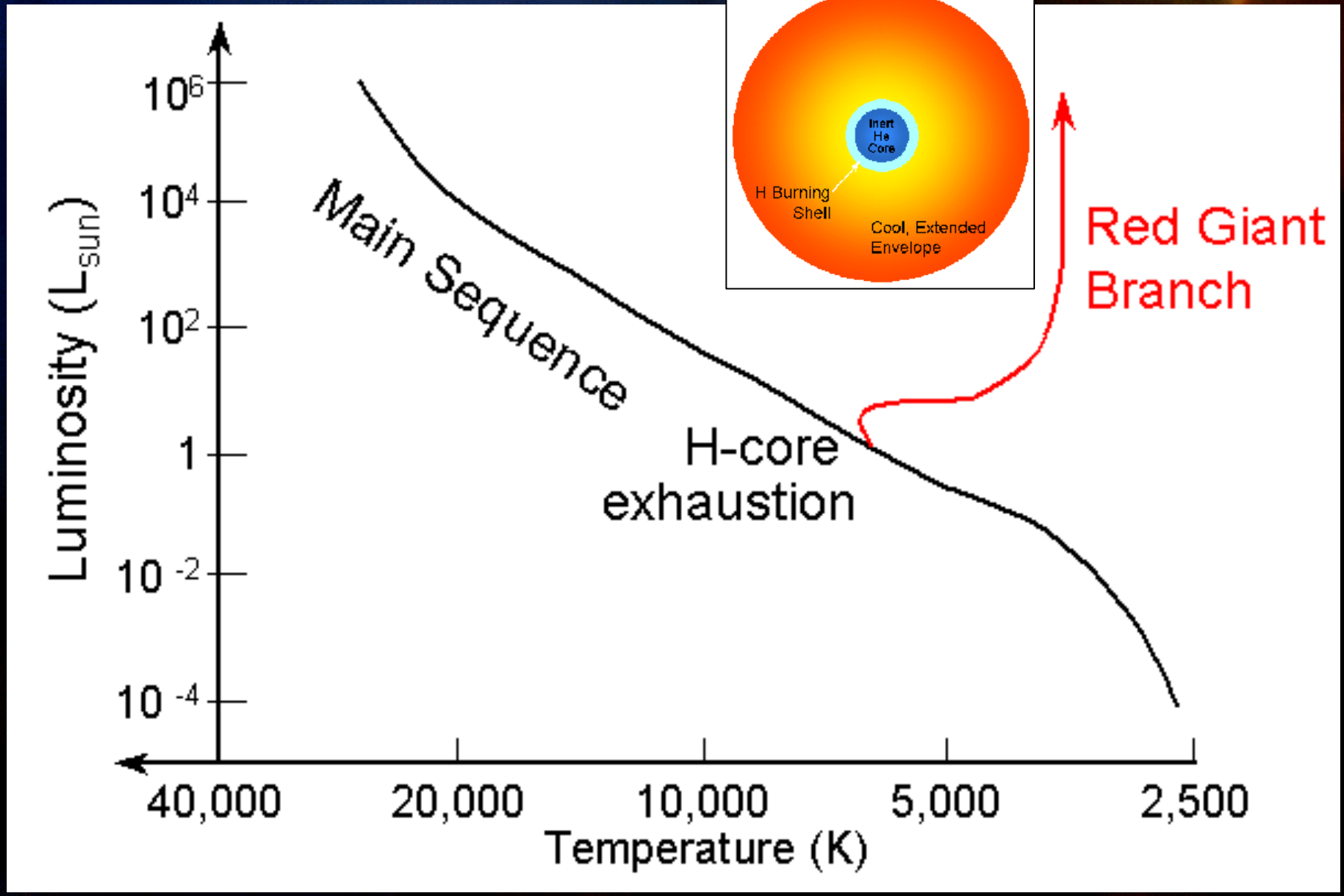


- Elektrony, protony i neutrony należą do fer
  zakaz Pauliego. Mówi on, że w danym stan
  znajdować się tylko jedna cząstka danego r
- W zjonizowanym gazie jądra atomowe i ele
  swobodnie. Spełniona jest jednak zasada nieoznaczoności Heisenberga: $\Delta x \Delta p > h/2\pi$, która w przestrzeni fazowej położeń i pędów wyznacza skończoną liczbę stanów kwantowych. W każdym takim stanie mogą znajdować się najwyżej 2 elektrony o przeciwnych pędach.
- W danej temperaturze cząstki mogą poruszać się z prędkościami z określonego zakresu, wyznaczonego przez rozkład prędkości. Zatem ich pędy też zawarte są w ograniczonym zakresie.

Gaz zdegenerowany



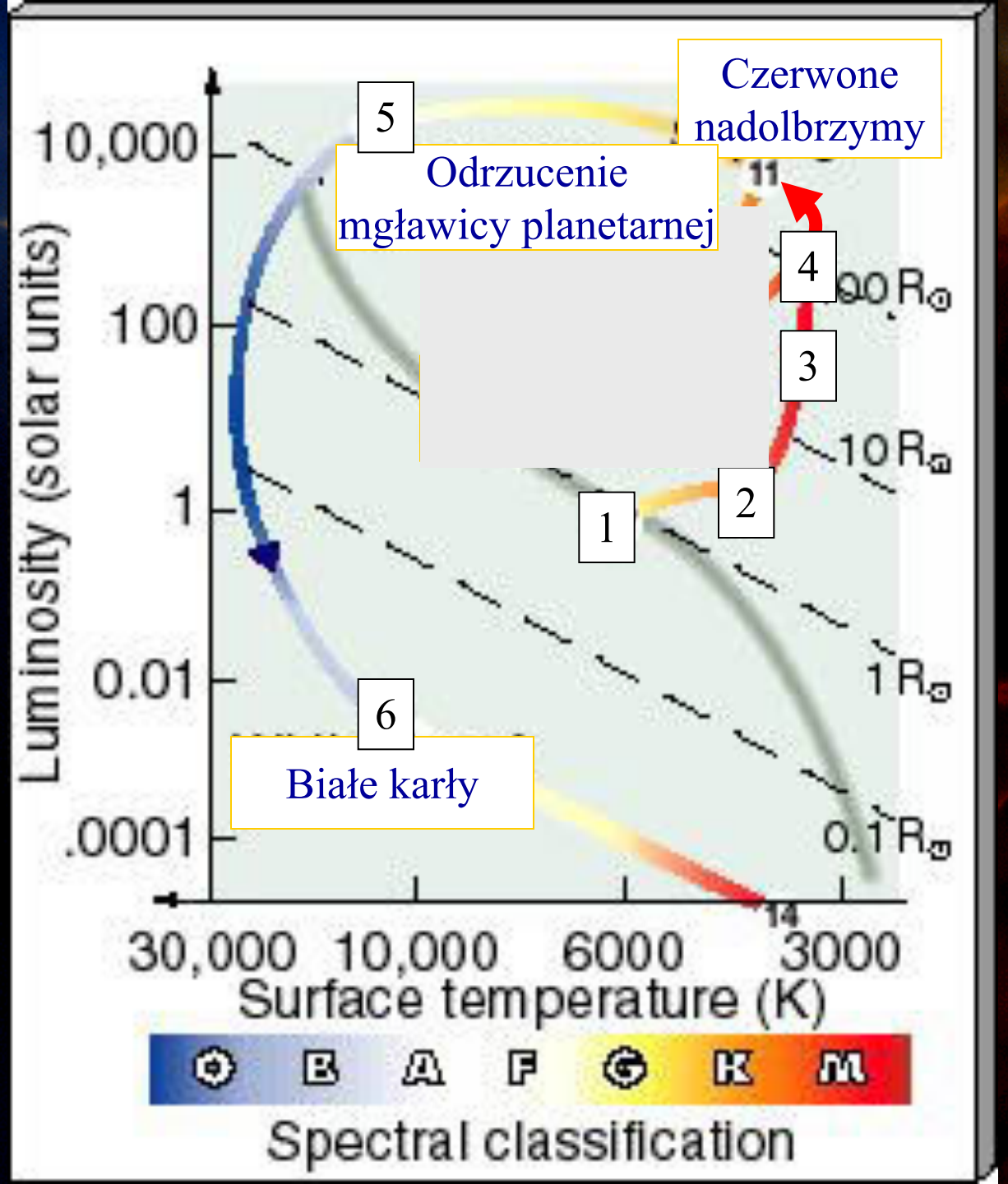
- Jeśli objęt o gęstość), wówczas z ntowych w przestrzeni
- Na ogół ku mperatury (rośnie zak w stanie zniwelowa objętości.
- W momen cząstkami wszystkich ze zdegenero
- W kurczącym się jądrze gwiazdy, zawierającym gaz złożony z fermionów i jąder atomowych, jako pierwsze w stan degeneracji przechodzą elektrony. Dzieje się tak po przekroczeniu gęstości 10^8 kg/m^3
- Jądro gwiazdy, w którym pojawił sie zdegenerowany gaz elektronowy, zaprzestaje kurczenia. Ciśnienie gazu elektronowego jest bowiem znacznie większe od normalnego gazu. Pozostałe składniki jądra gwiazdy (nukleony i jądra różnych pierwiastków) nadal podlegaja prawom gazu doskonałego. Gwiazdę taką nazywamy białym karłem.

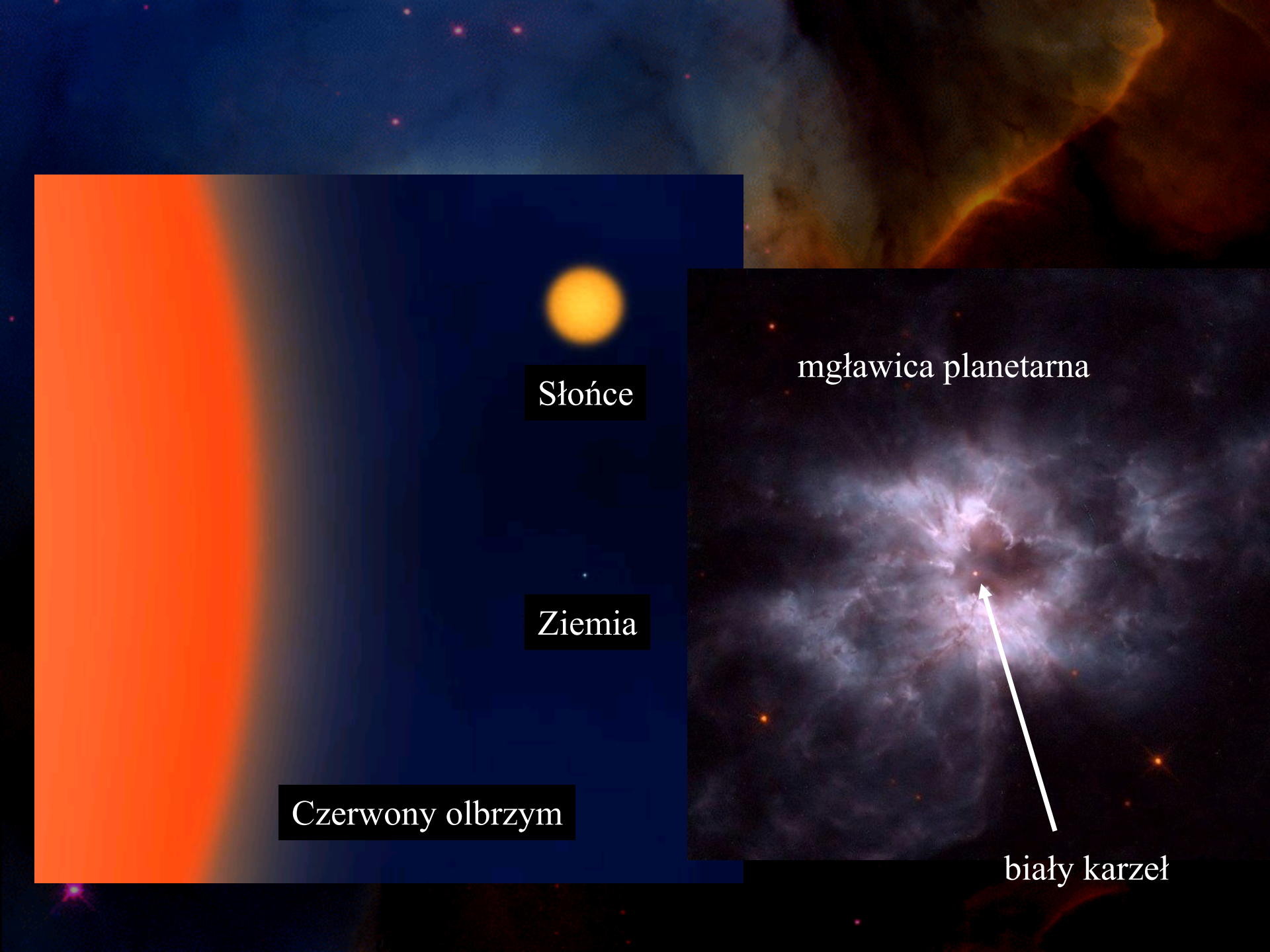

Luminosity (L_{sun})
10^6
10^4
10^2
1
10^{-2}
10^{-4}
Main Sequence
H-core exhaustion
Red Giant Branch
Inert He Core
H Burning Shell
Cool, Extended Envelope
40,000
20,000
10,000
5,000
2,500
Temperature (K)

Ewolucja gwiazd

Gwiazdy mało masywne : $M < 0.8\ M_\odot$

4. zdegenerowane jądro helowe kurczy się a otoczka ekspanduje
   - czerwone olbrzymy
   - wiatr gwiazdowy
5. $R \sim 100\text{-}200\ R_\odot$ - odrzucenie otoczki
   - mgławice planetarne
6. pozostaje odsłonięte jądro z $T \sim 50{,}000$ K
   - biały karzeł helowy (z liniami H w widmie) – DA
   - powstają dopiero po 13.7 mld lat
   - te, które obserwujemy powstały prawdopodobnie w układach podwójnych


Czerwone nadolbrzymy
5
Odrzucenie mgławicy planetarnej
4
3
2
1
6
Białe karły
10,000
100
1
0.01
.0001
Luminosity (solar units)
90 R⊙
10 R⊙
1 R⊙
0.1 R⊙
11
14
30,000
10,000
6000
3000
Surface temperature (K)
O
B
A
F
G
K
M
Spectral classification


Słońce
Ziemia
Czerwony olbrzym
mgławica planetarna
biały karzeł

Ewolucja gwiazd

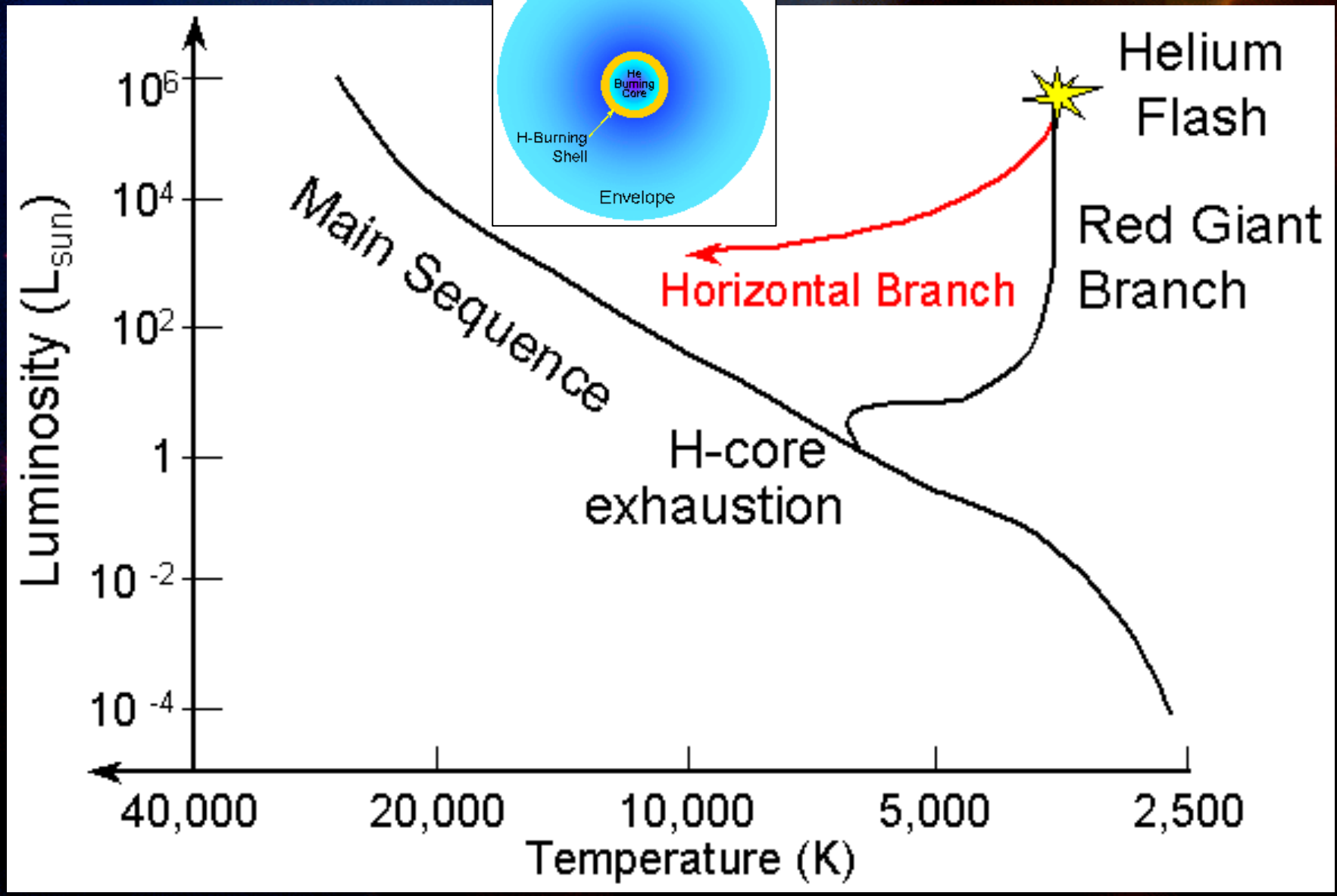
Gwiazdy średnio masywne : $0.8\ M_\odot < M < 2M_\odot$

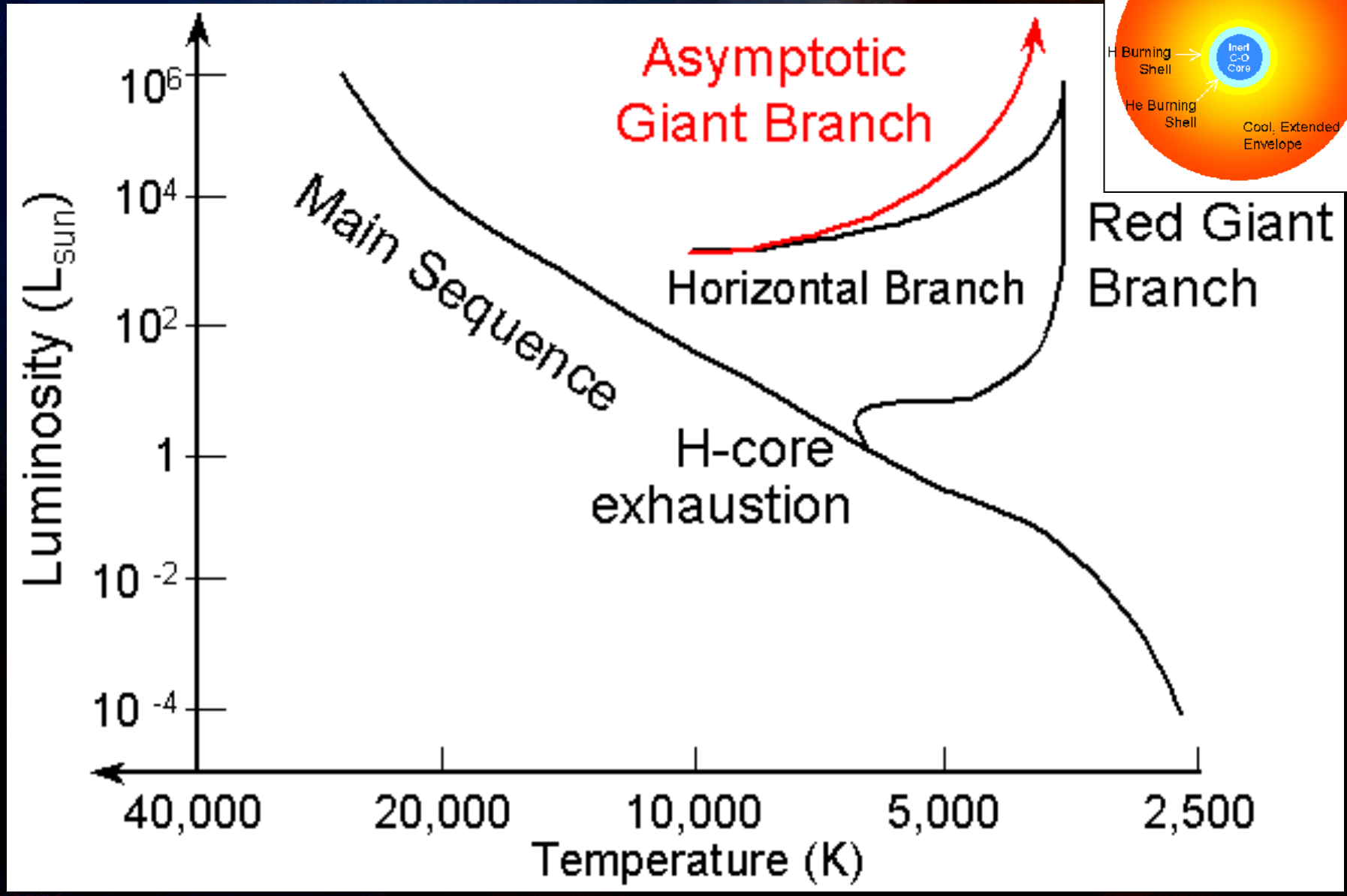
4. Zapalenie helu
   - jądro zdegenerowane: $p(\rho,T) = p(\rho) \rightarrow T \uparrow$, ale p=const!
   - błysk helowy: $T_{cent} \uparrow^{2x}$, $L_{cent} \sim 10^{11}\ L_\odot$
   - gwiazda kurczy się $R \downarrow$ $L \downarrow$ $T_{eff} \uparrow$

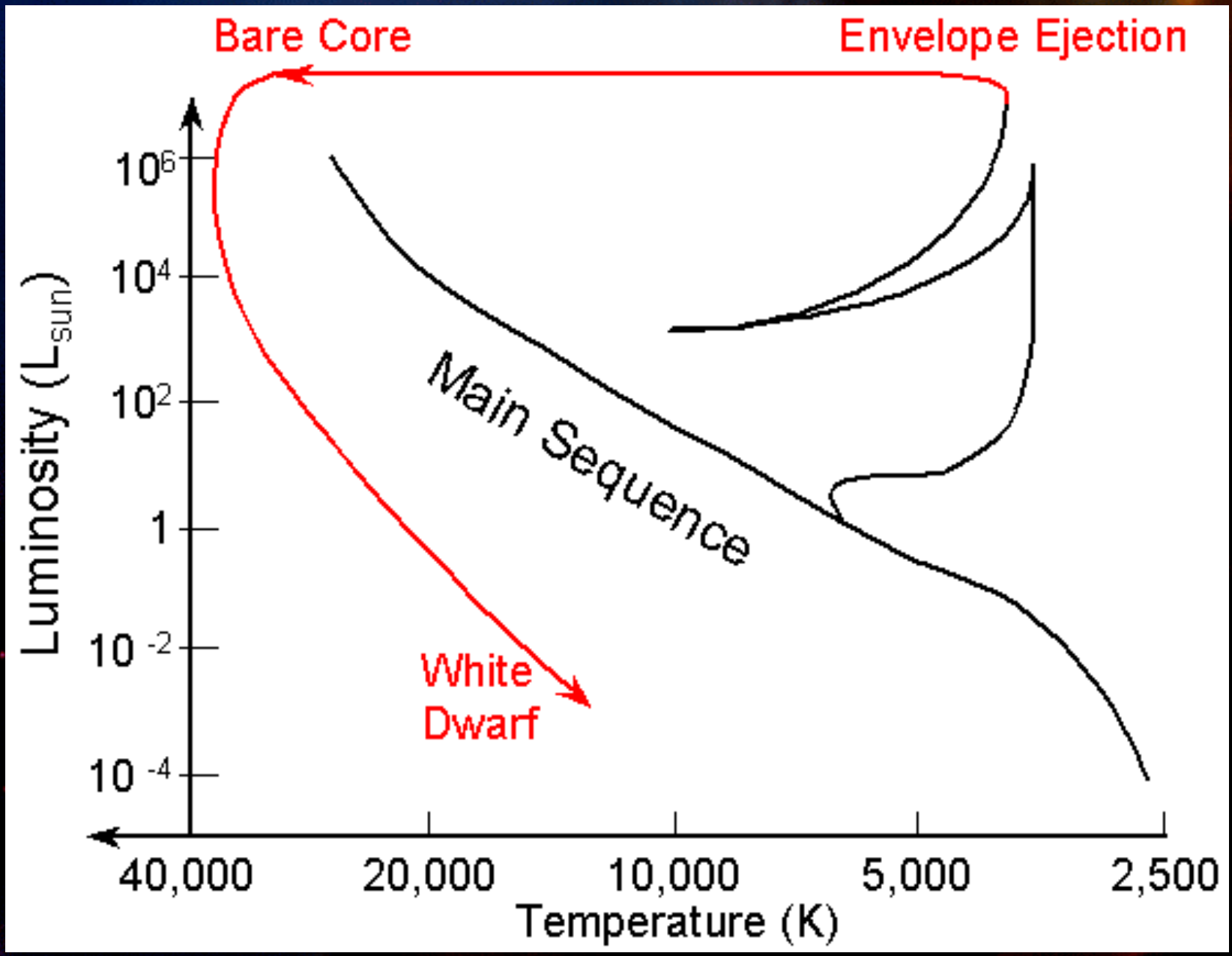
4a. gałąź asymptotyczna - czerwone olbrzymy
   - palenie helu („helowy ciąg główny”)

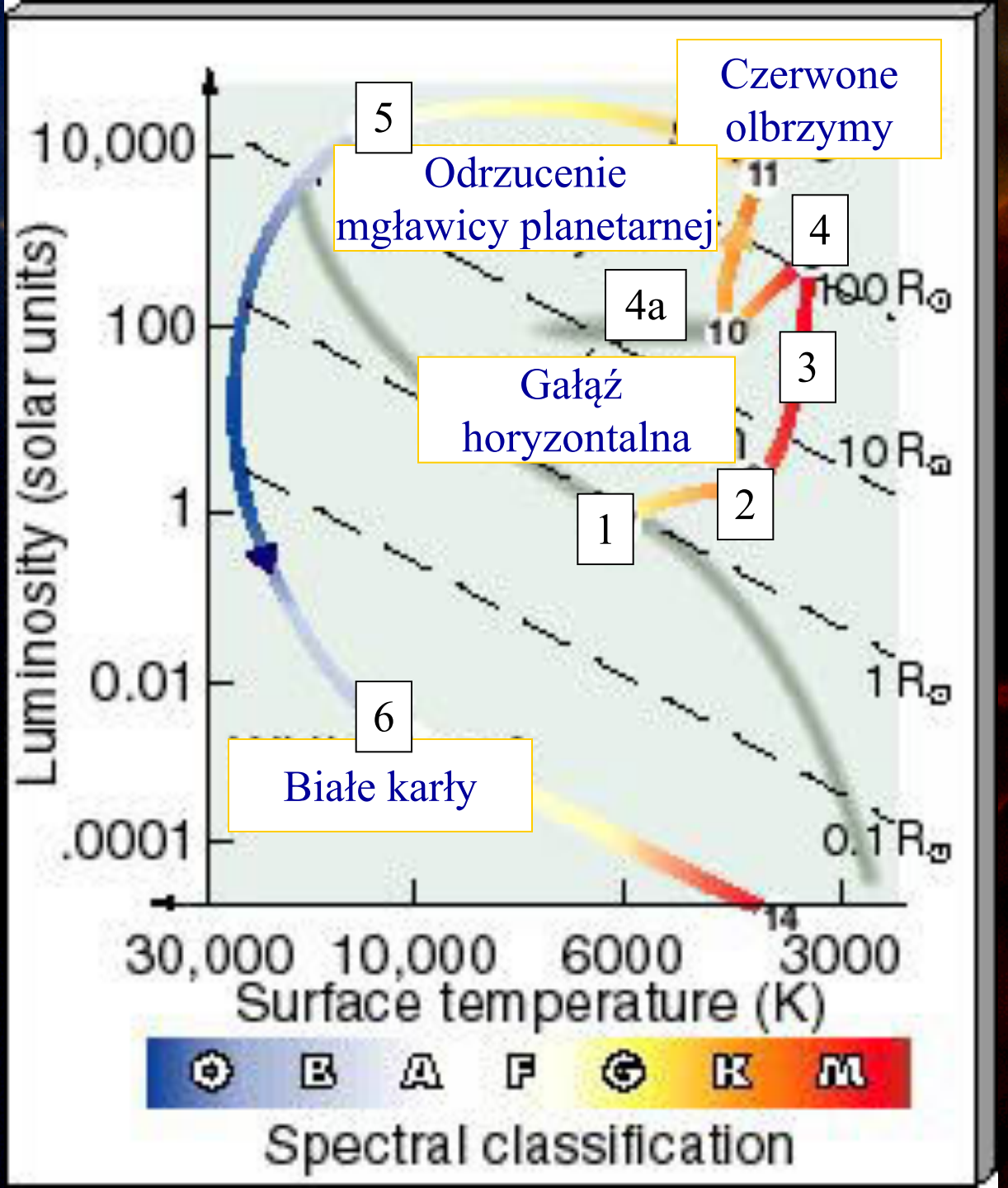
4. odrzucenie otoczki
   - mgławice planetarne

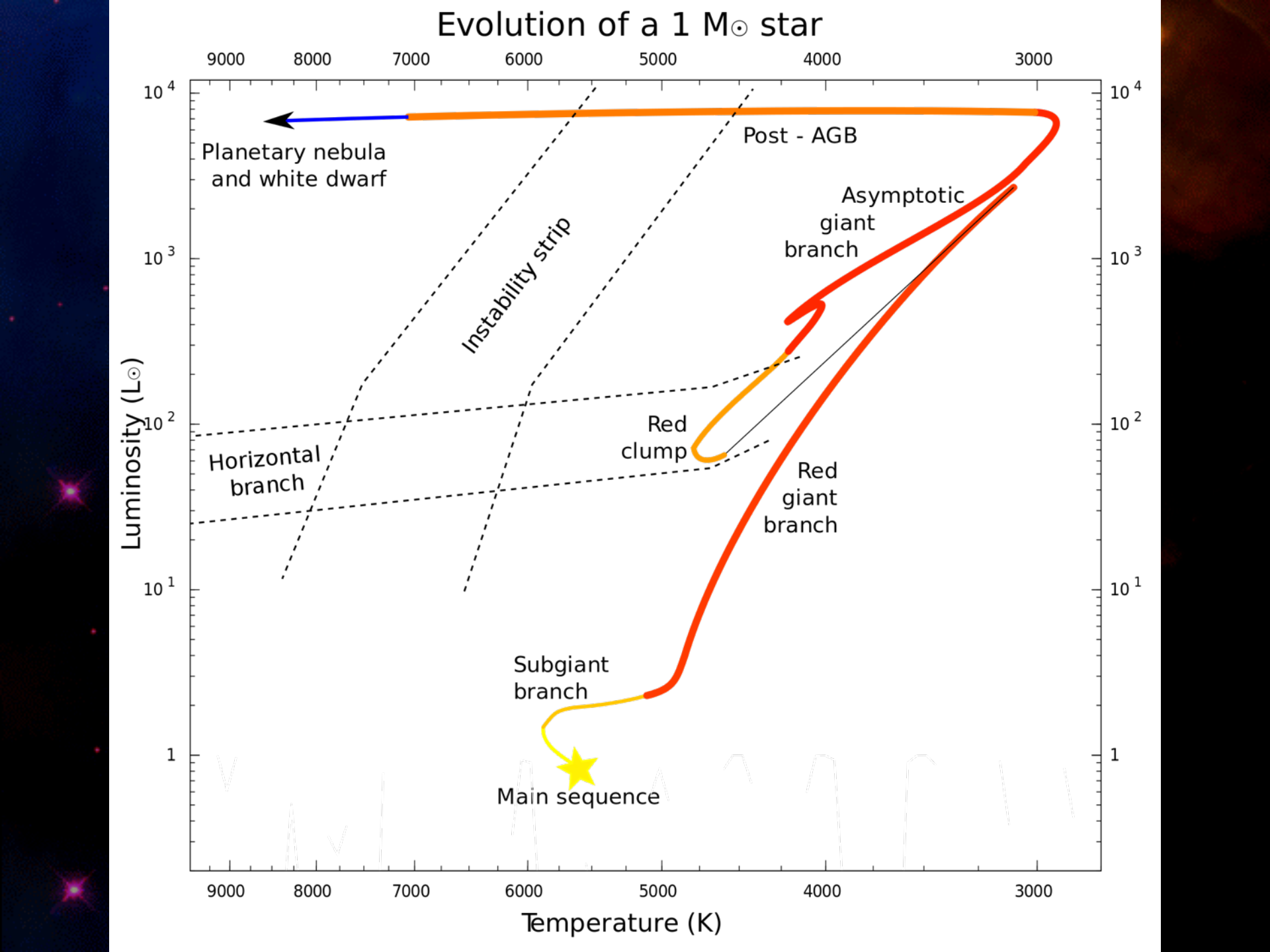
5. jądro mgławicy planetarnej
   - biały karzeł węglowy (z liniami He w widmie) - DB


He Burning Core
H-Burning Shell
Envelope
Helium Flash
Red Giant Branch
Horizontal Branch
Main Sequence
H-core exhaustion
Luminosity (L_{sun})
10^6
10^4
10^2
1
10^{-2}
10^{-4}
40,000
20,000
10,000
5,000
2,500
Temperature (K)


Asymptotic
Giant Branch
Main Sequence
Horizontal Branch
Red Giant
Branch
H-core
exhaustion
Luminosity (L_{sun})
10^{6}
10^{4}
10^{2}
1
10^{-2}
10^{-4}
40,000
20,000
10,000
5,000
2,500
Temperature (K)
H Burning
Shell
Inert
C-O
Core
He Burning
Shell
Cool, Extended
Envelope


Bare Core
Envelope Ejection
Main Sequence
White
Dwarf
Luminosity (L_{sun})
10^6
10^4
10^2
1
10^{-2}
10^{-4}
40,000
20,000
10,000
5,000
2,500
Temperature (K)


Czerwone olbrzymy
5
Odrzucenie mgławicy planetarnej
4
4a
3
Gałąź horyzontalna
2
1
6
Białe karły
11
10
14
100 R⊙
10 R⊙
1 R⊙
0.1 R⊙
10,000
100
1
0.01
.0001
Luminosity (solar units)
30,000
10,000
6000
3000
Surface temperature (K)
O
B
A
F
G
K
M
Spectral classification


Evolution of a 1 M⊙ star
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
10 4
10 3
10 2
10 1
1
Luminosity (L⊙)
Temperature (K)
Planetary nebula
and white dwarf
Post - AGB
Asymptotic
giant
branch
Instability strip
Red
clump
Horizontal
branch
Red
giant
branch
Subgiant
branch
Main sequence

Ewolucja gwiazd

Gwiazdy średnio masywne: 2 - 8 $M_\odot$

1. spalanie wodoru w jądrze — 20x10^6 lat
   - jądro obejmuje 20% masy gwiazdy
   - $\mu\uparrow$ (masa cząsteczkowa rośnie) $\rightarrow$ jądro kurczy się
   - $(T_c, L, \rho_c)\uparrow \rightarrow (T_c\text{-}T_p)\uparrow \rightarrow dT/dr \sim L\uparrow \rightarrow R\uparrow \rightarrow T_{eff}\uparrow$
   - jądro 8% masy, ponad jądrem sporo wodoru
2. dopalanie wodoru w jądrze — 600 tys lat
   - cała gwiazda kurczy się $\rightarrow$ $T_c\uparrow$
3. palenie wodoru w „skorupce” — 10 tys lat
   - helowe jądro kurczy się i staje izotermiczne
   - „skorupka” paląca wodór przesuwa się na zewnątrz
   - $dT/dr\uparrow \rightarrow L\uparrow \rightarrow R\uparrow \rightarrow T_{eff}\uparrow$

Ewolucja gwiazd

4. Przebudowa jądra — 150 tys lat
   - $T\uparrow \rightarrow \varepsilon\uparrow \rightarrow \Delta R\downarrow \rightarrow L\downarrow \rightarrow$
   - $\rightarrow dT/dr\uparrow \rightarrow R\uparrow \rightarrow T_{eff}\downarrow$
5. Ewolucja na gałęzi olbrzymów — 60 tys lat
   - pojawia się konwekcja (50% R) – mieszanie
   - jądro kurczy się $\rightarrow R\uparrow L\uparrow$
6. Zapalenie helu (proces $3\alpha \rightarrow C$) — 500 tys lat
   - ekspansja jądra, $(T,L,R)\downarrow \rightarrow T_{eff}\uparrow$
7. Konwekcja zanika, równowaga promienista
   - palenie He w jądrze (5%L i ↑)
   - palenie H w otoczce (95%L i ↓) — 100 tys lat

Ewolucja gwiazd

- wzrost znaczenia reakcji 3α
- ciąg główny „helowy”
- palenie helu w otoczce
- ekspansja do nadolbrzymów

3 mln lat

160 mln lat

Ewolucja gwiazd

Gwiazdy średnio masywne (<8-10 $M_\odot$)

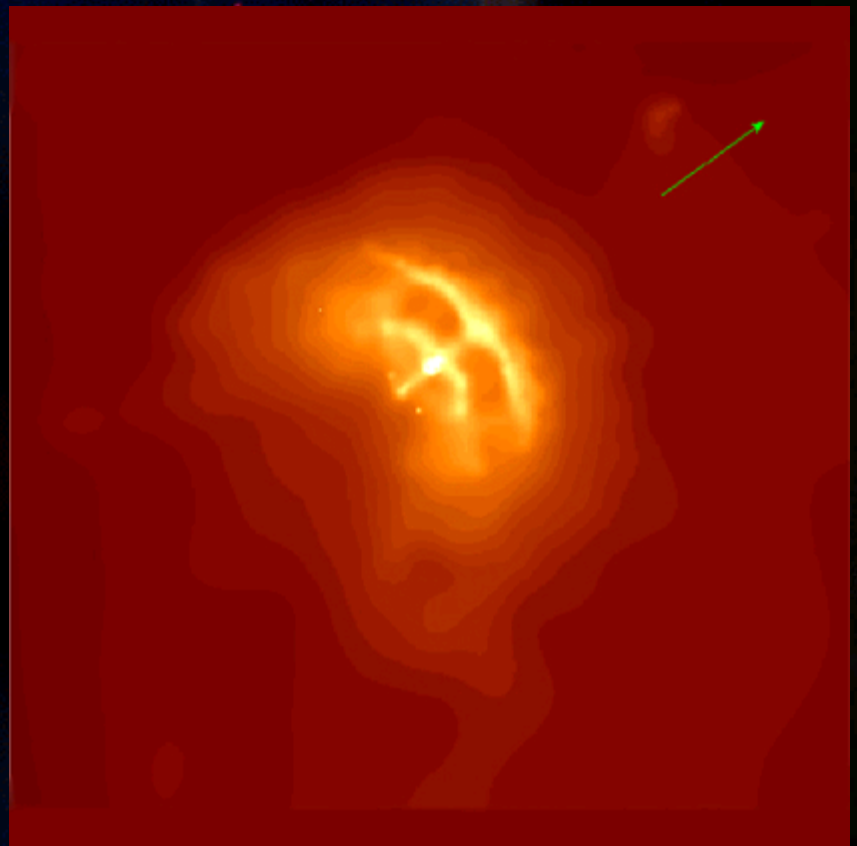
- powstaje zdegenerowane jądro węglowe
  - kurczy się i nagrzewa do $T \sim 10^9$ K
- spalanie węgla do neonu, magnezu, ale nie dalej
  - być może powstają białe karły tlenowo-neonowo-magnezowe (obserwacje ?)
- lub (?) błysk węglowy → supernowa ($\varepsilon \sim T_c^{120}$)

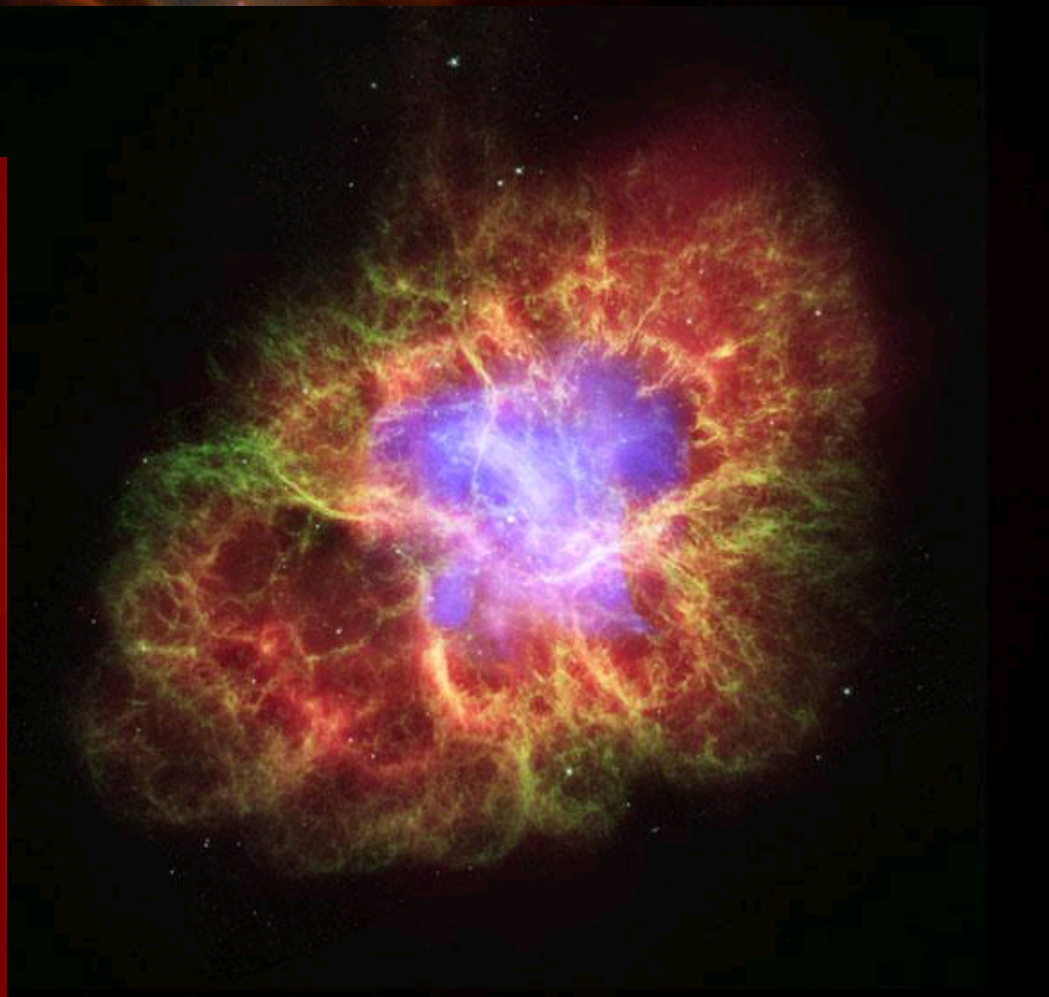
Gwiazdy bardzo masywne (> 8-10 $M_\odot$) :

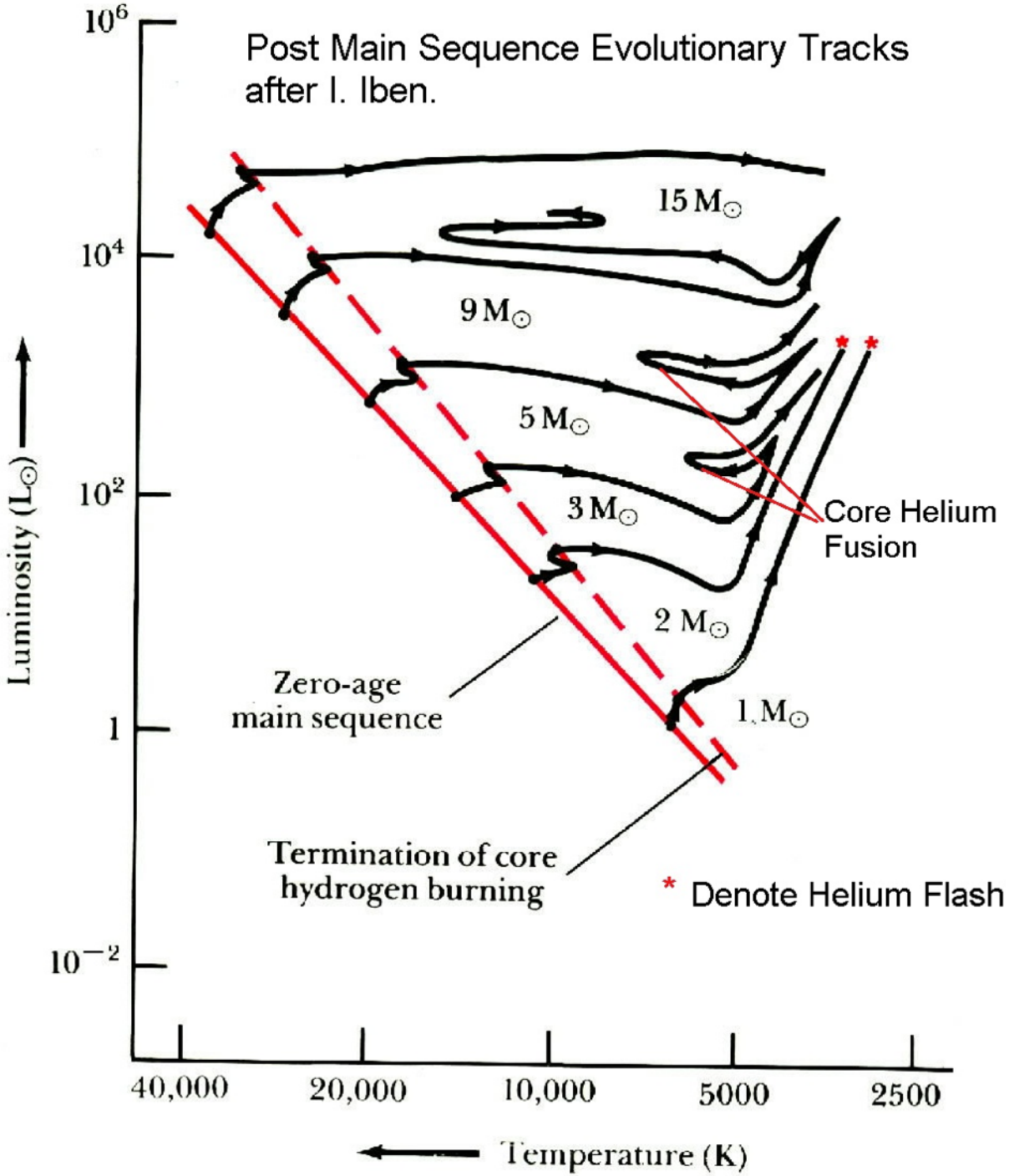
- nigdy nie wytwarzają zdegenerowanego jądra
- powstają koncentryczne warstwy spalania pierwiastków
- ewolucja aż do żelaznego jądra o masie 1.4 $M_\odot$
- zapadnięcie się jądra - supernowa (typu II)
  → mgławica + gw. neutronowa lub czarna dziura (progenitor > ~18 $M_\odot$??)

Gwiazdy neutronowe

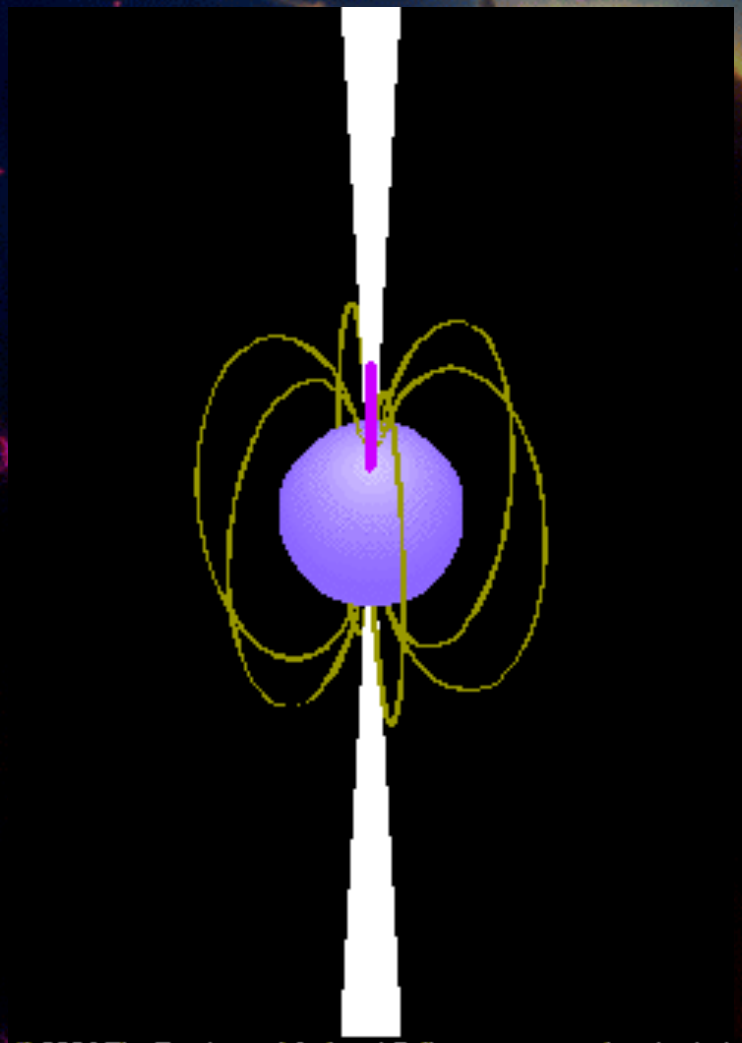
- średnica – 10 km (czarna dziura ok. 2 km)
- mgławica Kraba

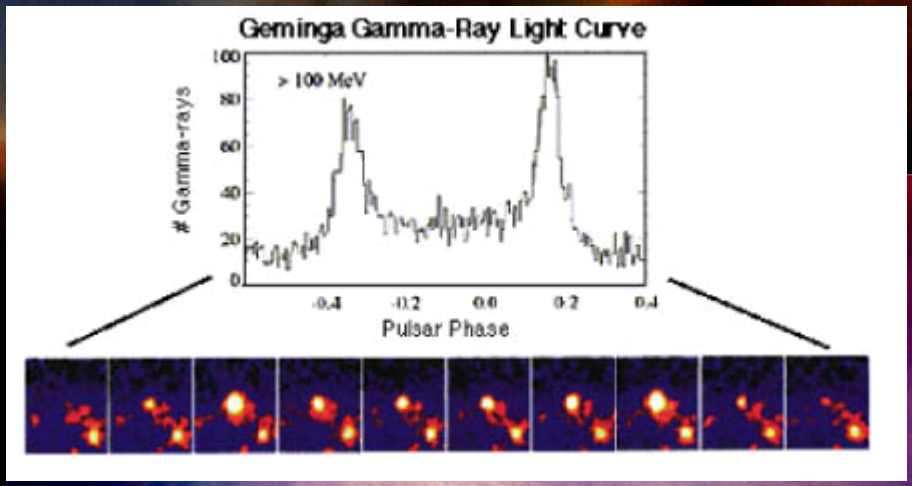





Post Main Sequence Evolutionary Tracks
after I. Iben.
10^6
10^4
10^2
1
10^{-2}
Luminosity ($L_\odot$)
15 $M_\odot$
9 $M_\odot$
5 $M_\odot$
3 $M_\odot$
2 $M_\odot$
1 $M_\odot$
Core Helium
Fusion
Zero-age
main sequence
Termination of core
hydrogen burning
* Denote Helium Flash
40,000
20,000
10,000
5000
2500
Temperature (K)

Pulsary


© 2004 The Trustees of Amherst College. www.amherst.edu/
~gsgreenstein/progs/animations/pulsar_beacon/


Geminga Gamma-Ray Light Curve
> 100 MeV
Gamma-rays
100
80
60
40
20
0
-0.4
-0.2
0.0
0.2
0.4
Pulsar Phase

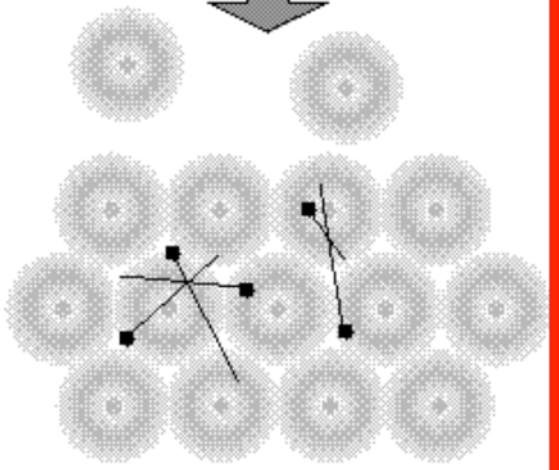
Gwiazdy supernowe

- supernowe typu Ia
  - przekroczenie masy Chandrasekhara przez białego karła w układzie podwójnym ($M>1.44\ M_{\odot}$)
  - lub połączenie dwóch białych karłów
  - zapalenie węgla w jądrze
  - nic nie zostaje
- supernowe typu II
  - przekroczenie granicy $1.44\ M_{\odot}$ w żelaznym jądrze gwiazdy masywnej
  - zapadnięcie się i neutronizacja jądra
  - pozostaje gw. neutronowa lub czarna dziura

$M < 1.4\ M_{\odot}$

Mass < 1.4 solar masses

GRAVITY



White Dwarf

Electrons run out of room to move around. Electrons prevent further collapse. Protons & neutrons still free to move around.

Stronger gravity => more compact.

Mass > 1.4 solar masses
but mass < 3 solar masses

GRAVITY

Neutron Star

Electrons + protons combine to form neutrons. Neutrons run out of room to move around. Neutrons prevent further collapse. Much smaller!

Mass > 3 solar masses

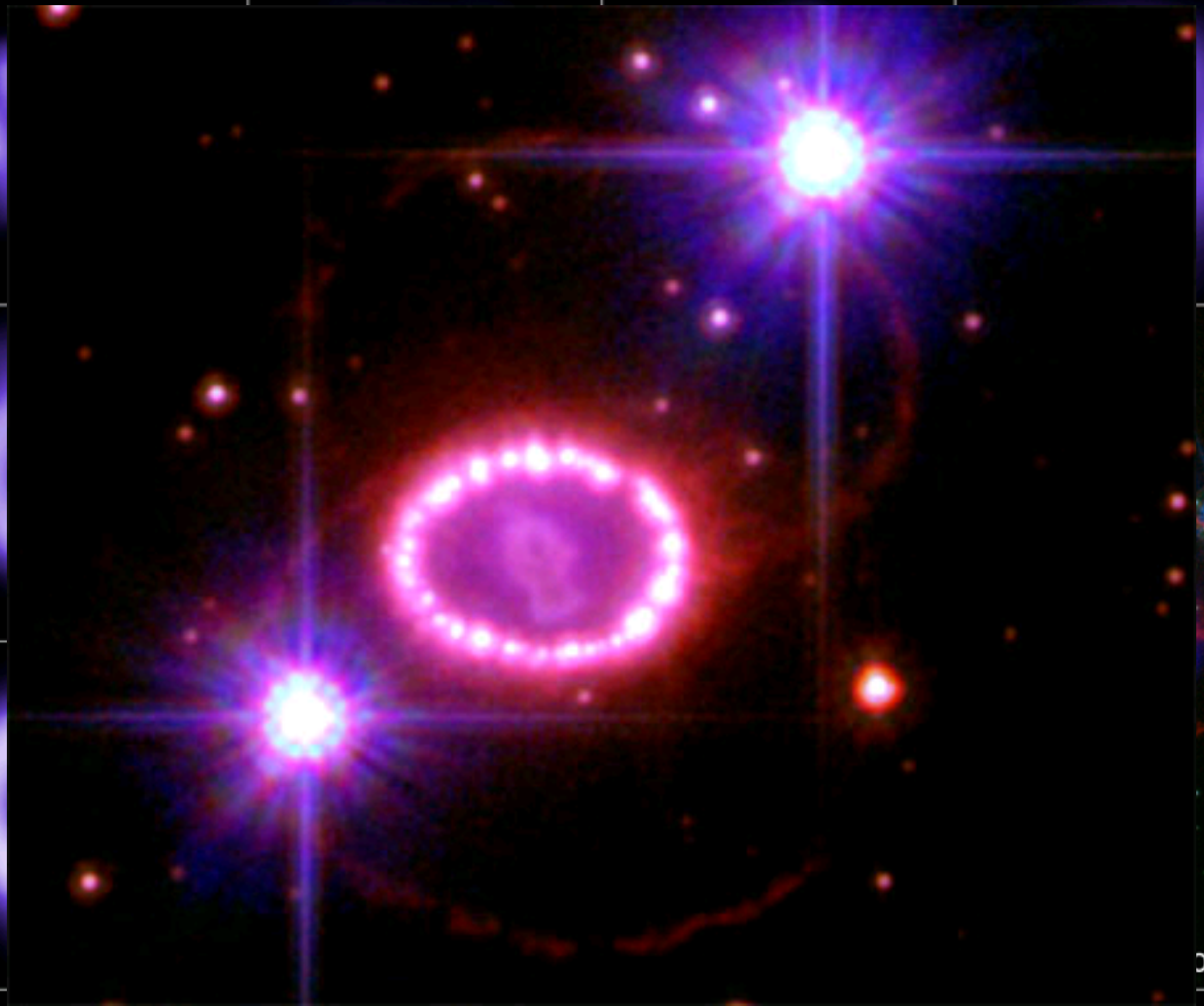
GRAVITY

Black Hole

Gravity wins! Nothing prevents collapse.

© 2007 Pearson Education Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley

Supernowe



Prędkość ucieczki

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}} \qquad G = 6,6732(31) \cdot 10^{-11}\mathrm{m}^3\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2}$$

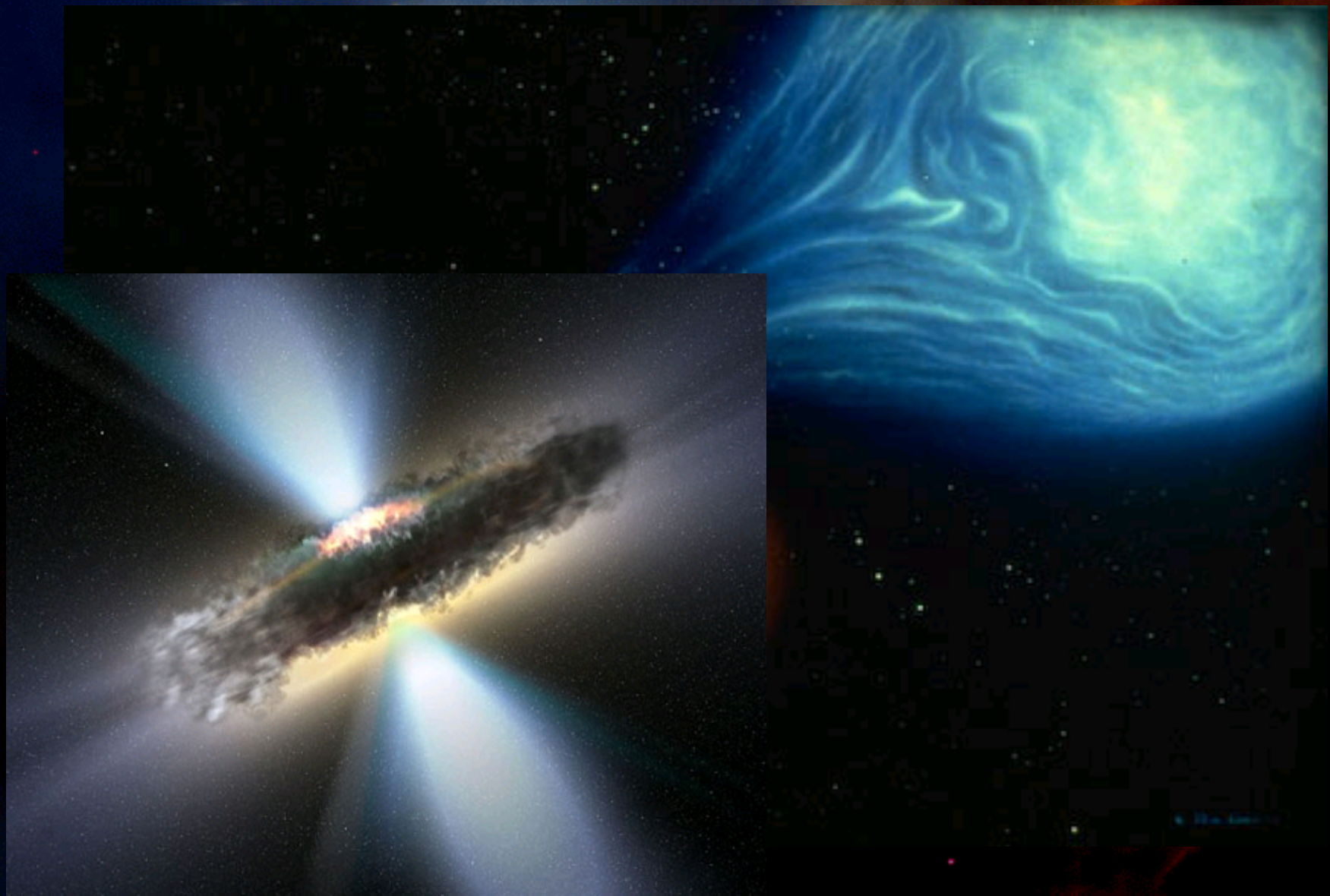
Dla Ziemi:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,6732(31) \cdot 10^{-11}\mathrm{m}^3\mathrm{kg}^{-1}\mathrm{s}^{-2} \cdot 5,9736 \cdot 10^{24}\mathrm{kg}}{6378,14\mathrm{km}}} = 11,2\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}$$

Dla czarnej dziury:

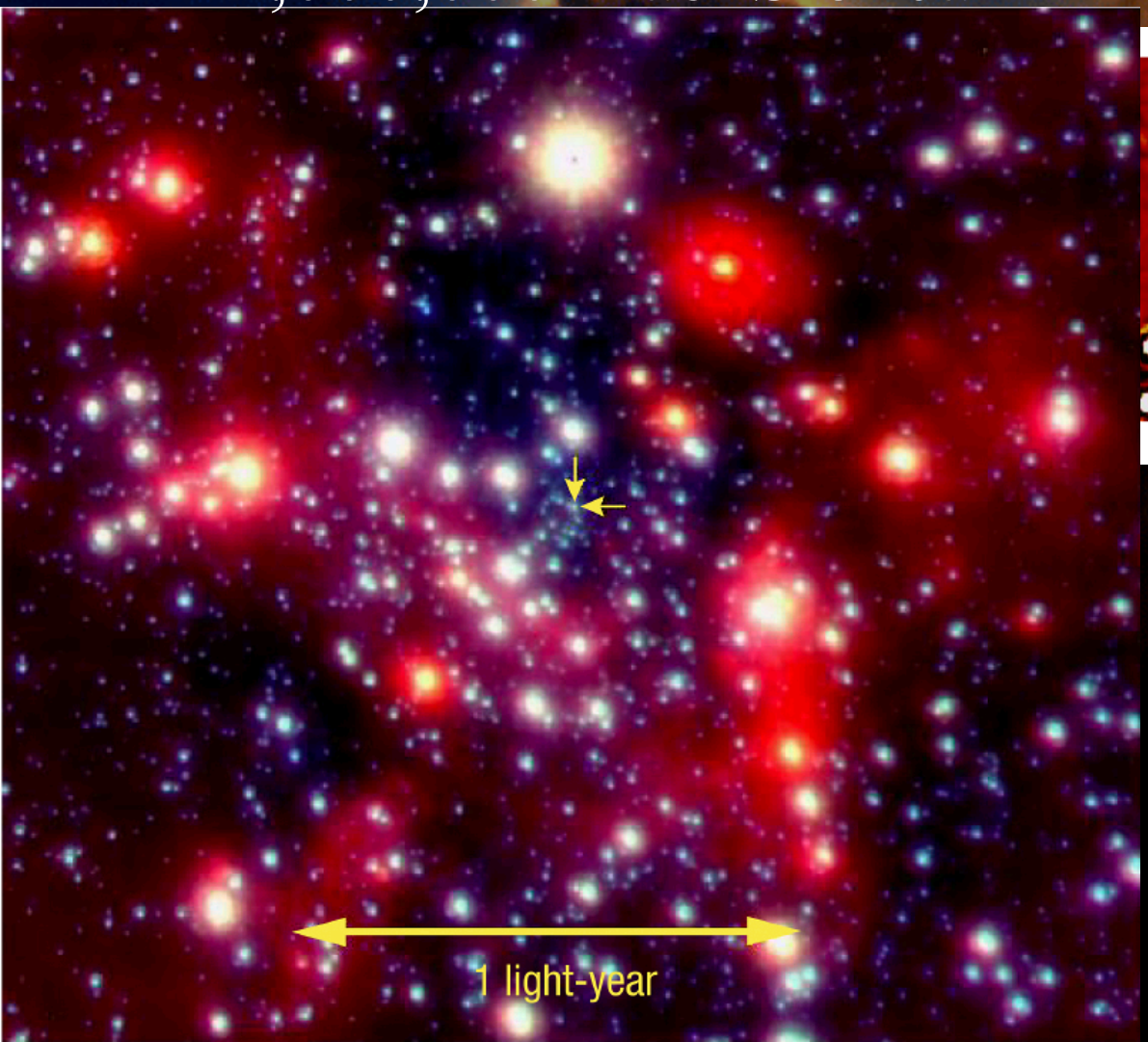
$$v^2 = \frac{2GM}{r} \rightarrow v = c \rightarrow \qquad r_g = \frac{2GM}{c^2}$$

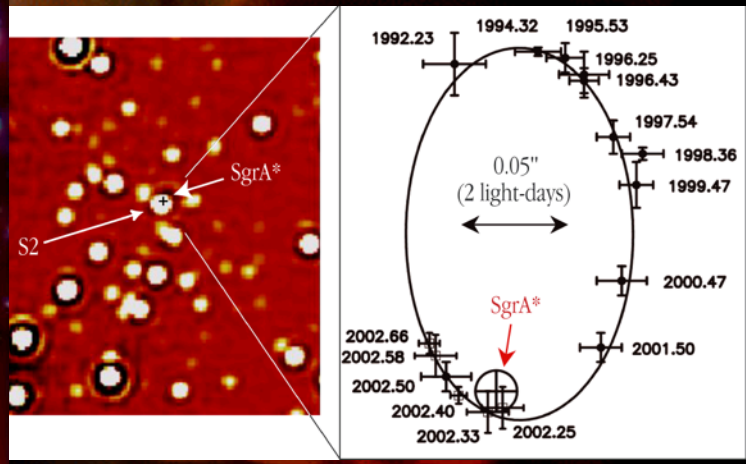
Czarna dziura w układzie podwójnym

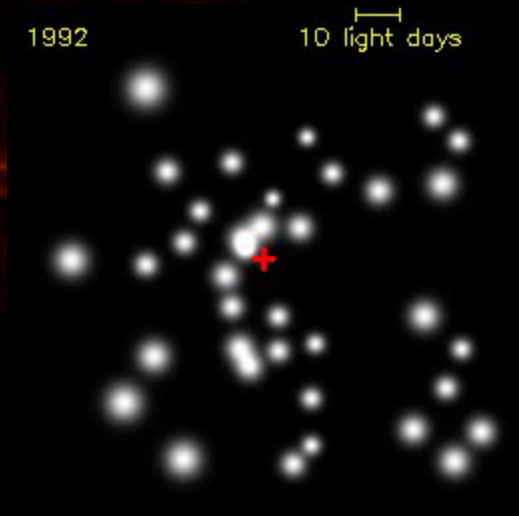


Czarna dziura w Drodze Mlecznej

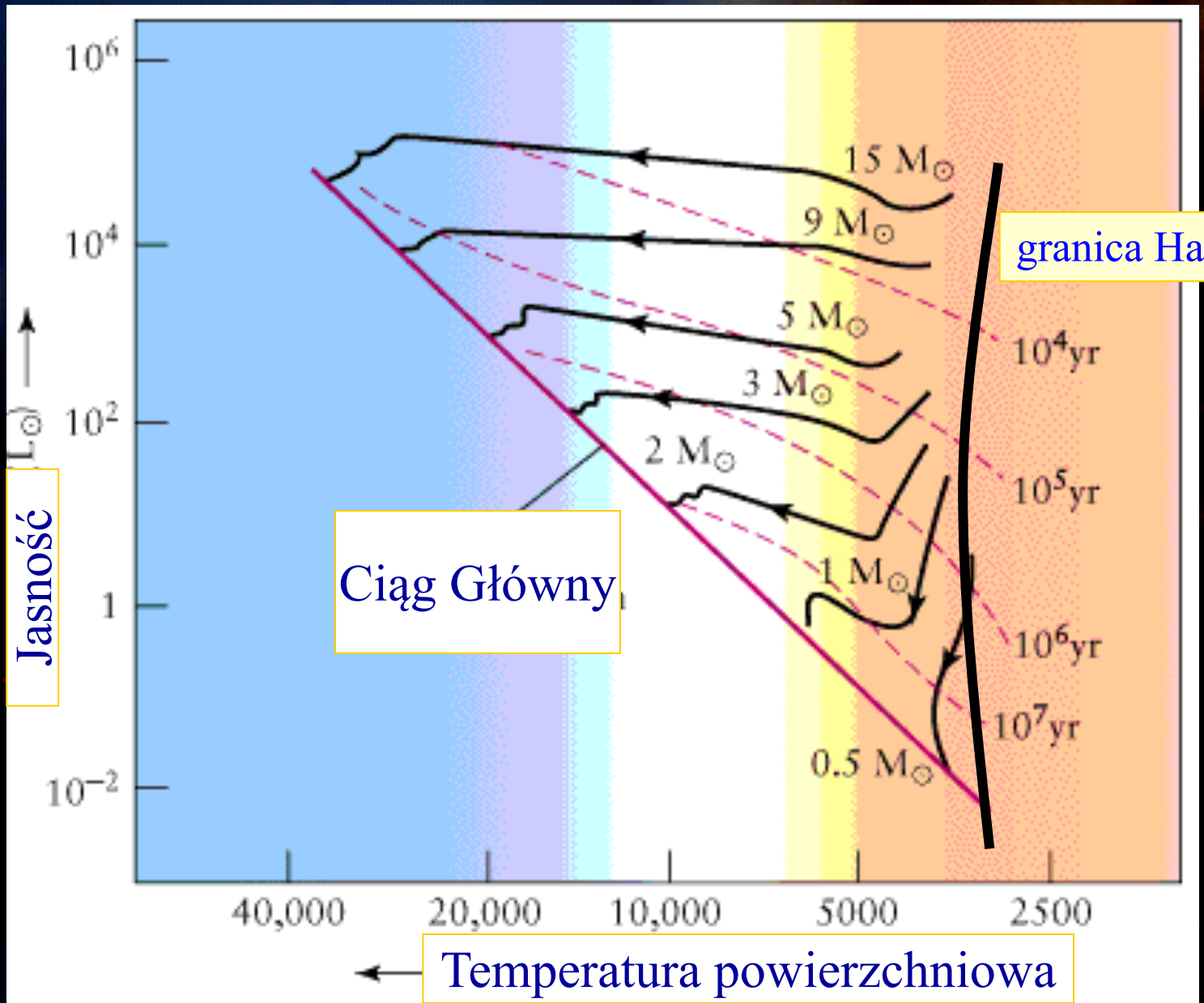
- 4,000,000 mas Słońca







Przed Ciągiem Głównym



Ewolucja - gromada

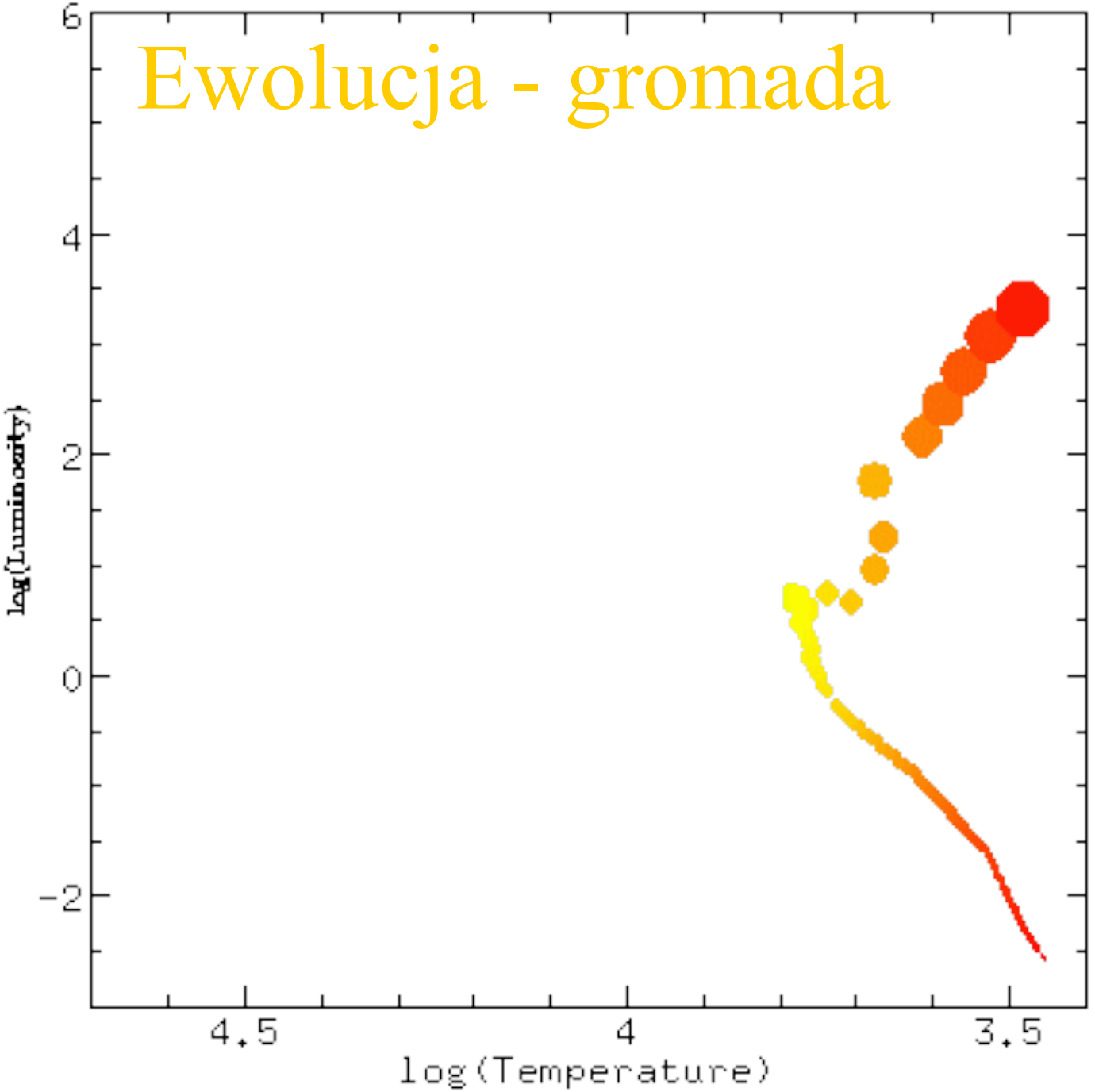
Start

80 ml

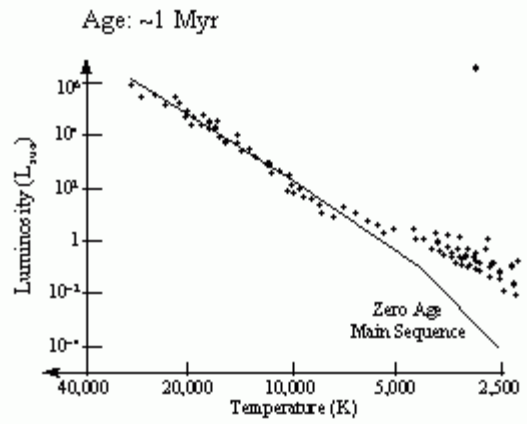
256 m

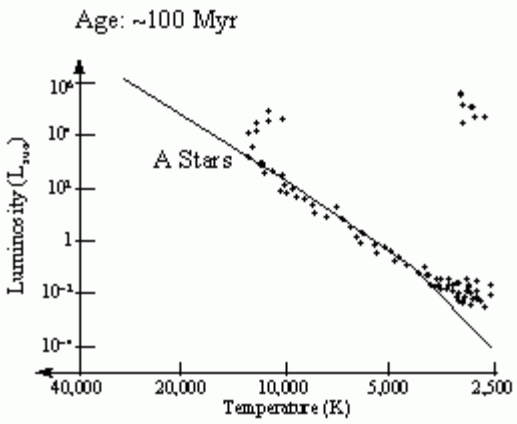
3 mld

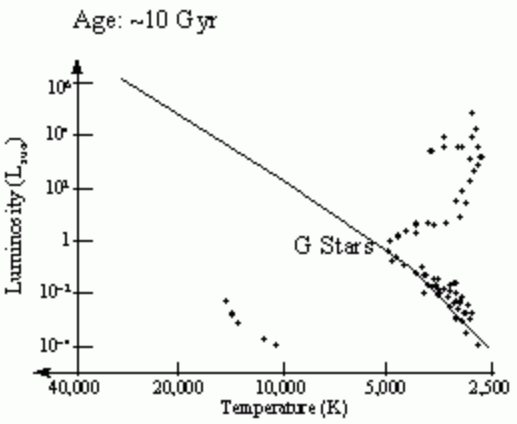
8 mld



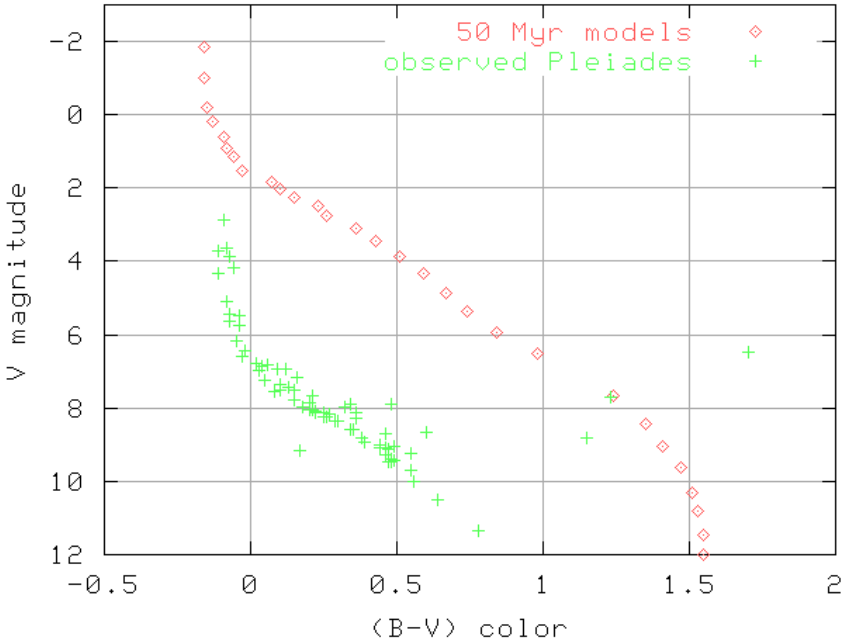
Gromady otwarte 1 mln – 4 mld lat

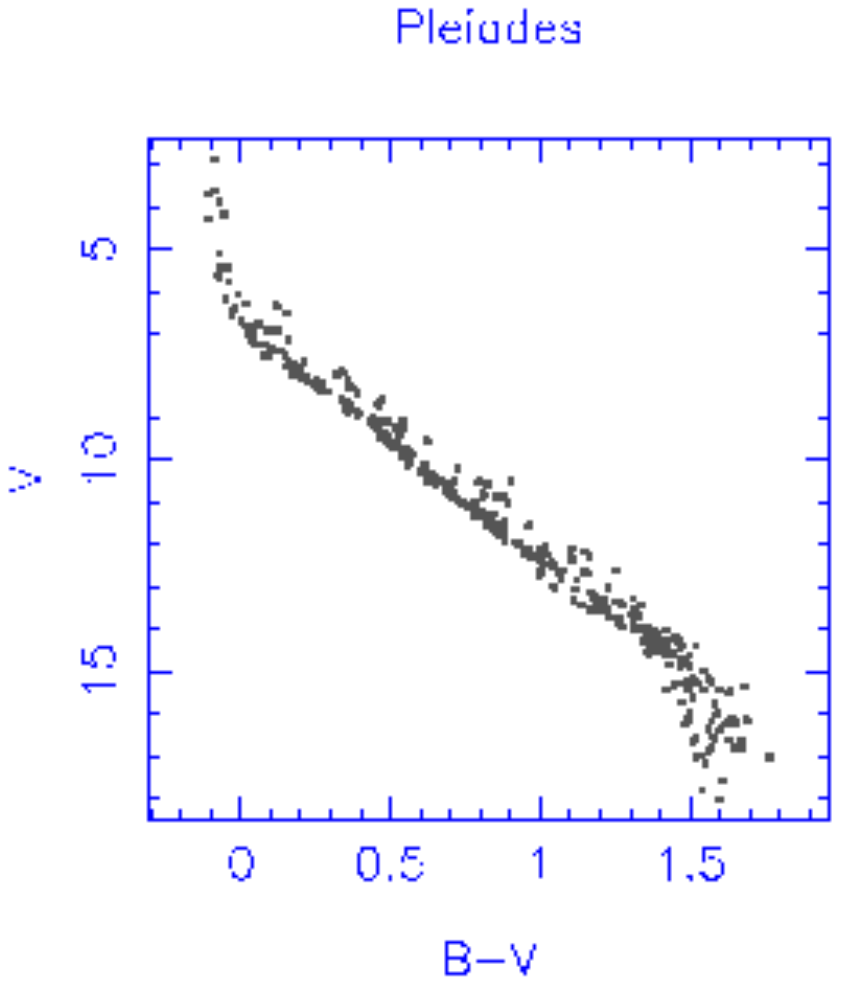




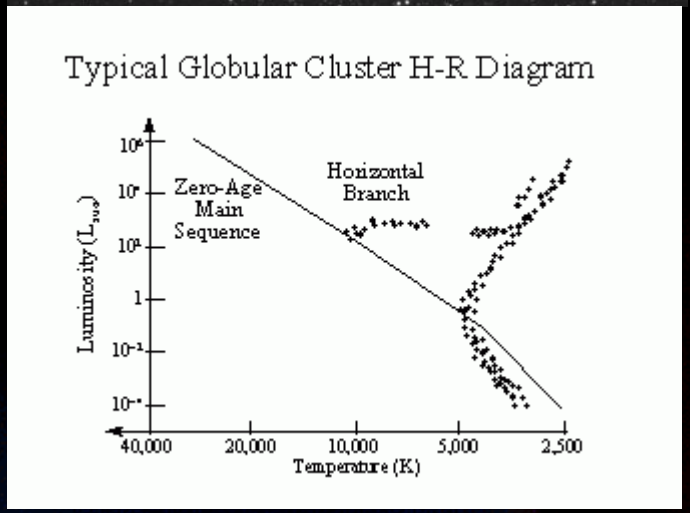


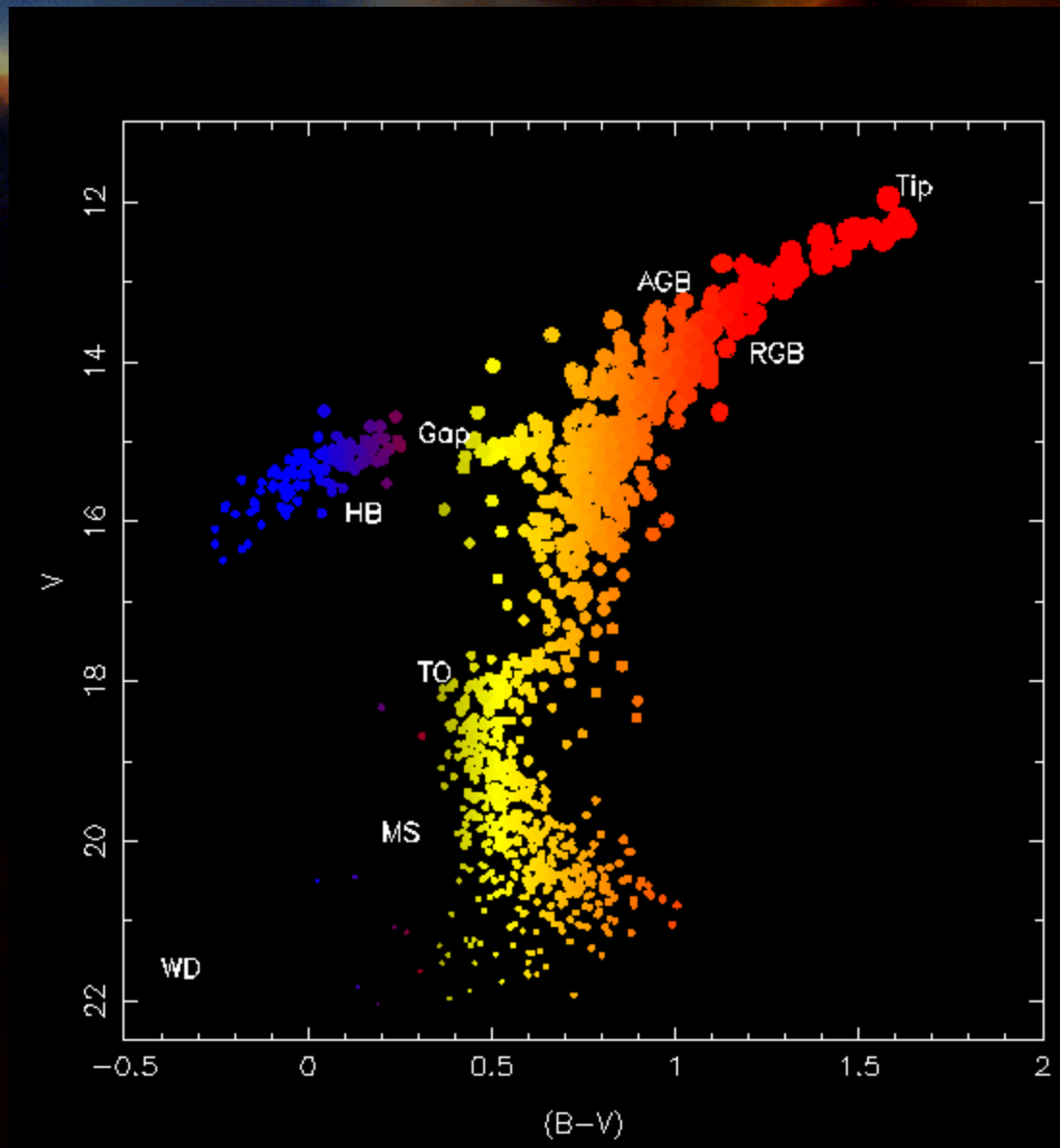
Plejady – M45

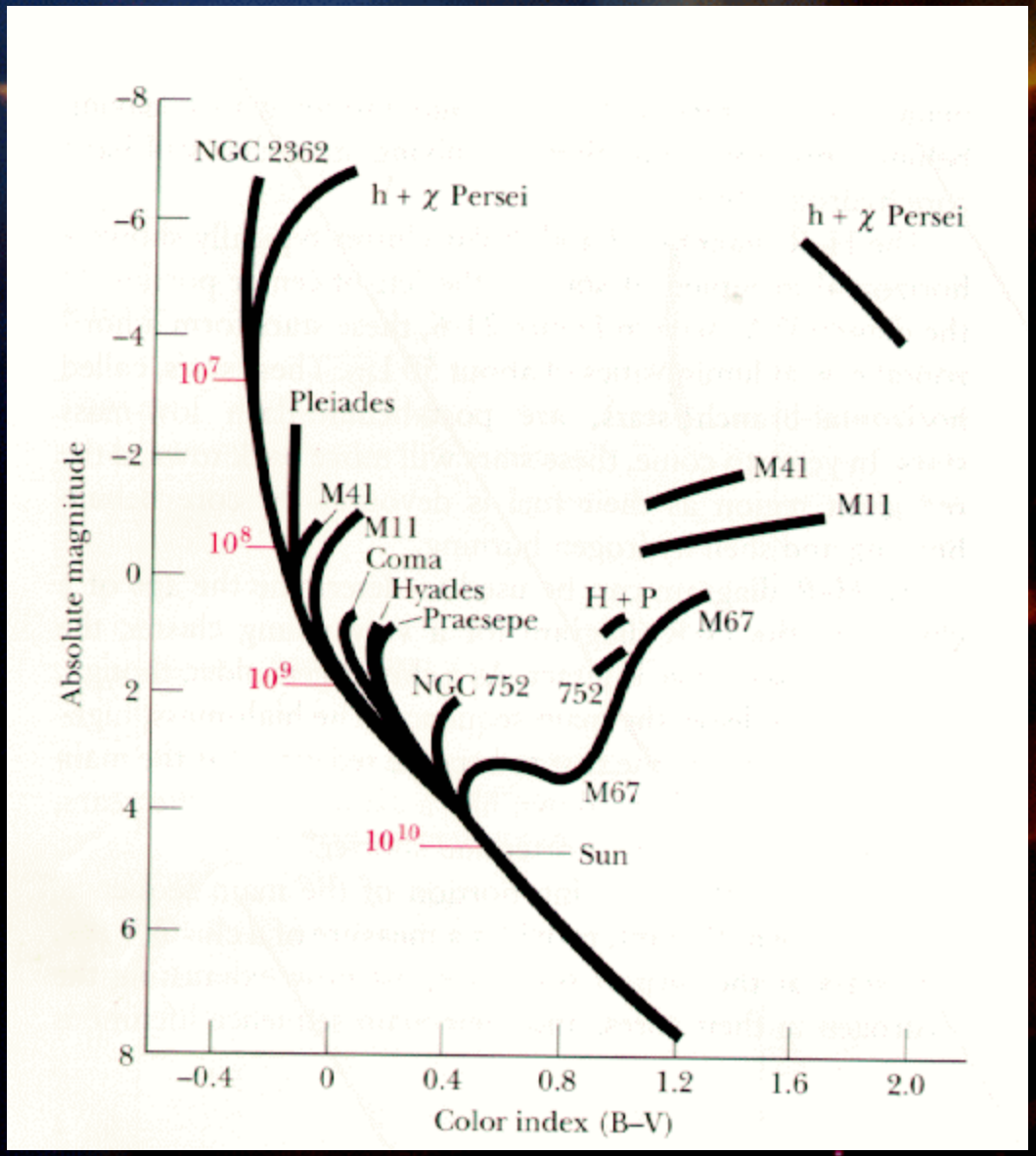

50 Myr models
observed Pleiades
V magnitude
(B-V) color
-2
0
2
4
6
8
10
12
-0.5
0
0.5
1
1.5
2


Pleiades
V
5
10
15
0
0.5
1
1.5
B−V

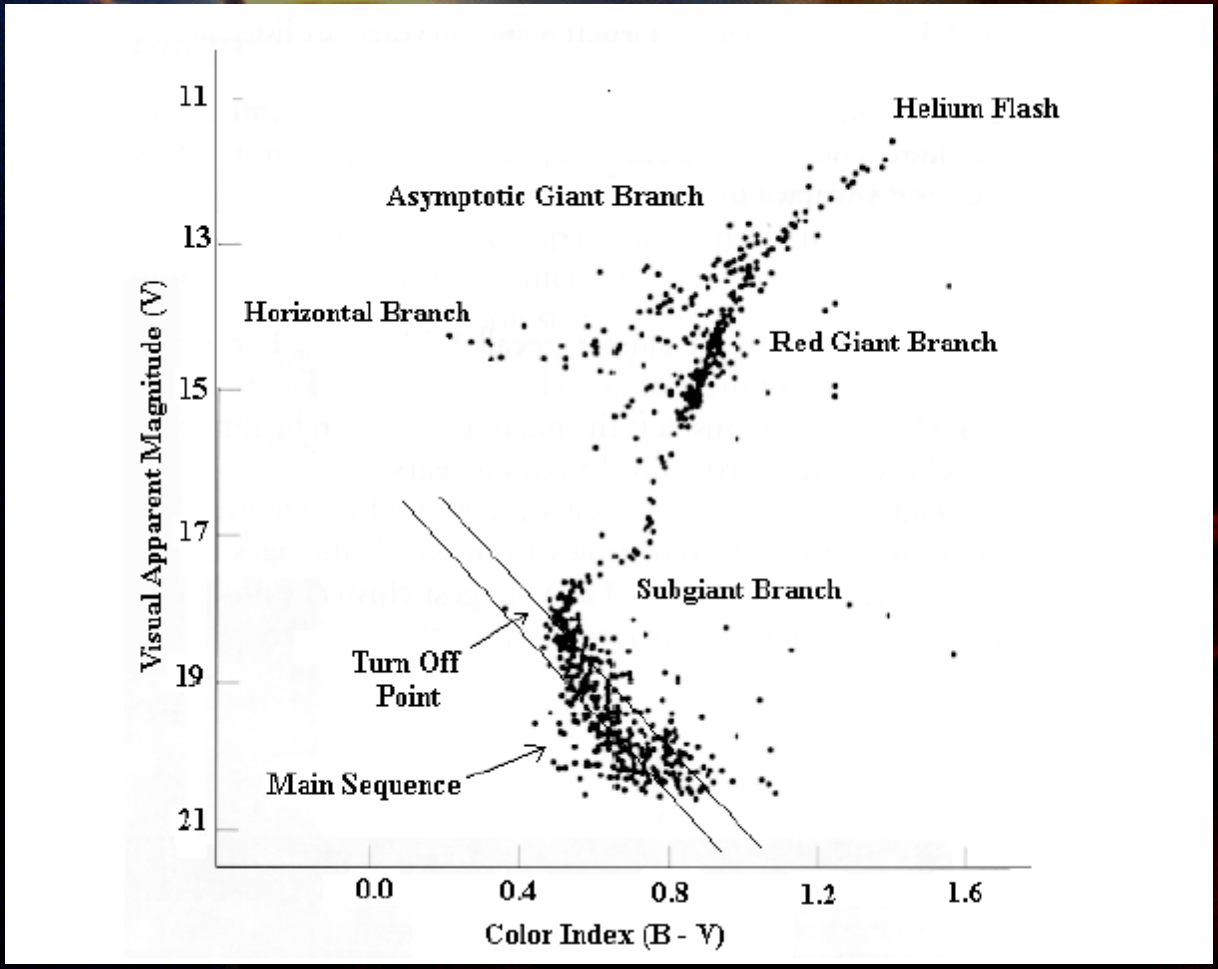
Gromada kulista M5 – 13 mld lat

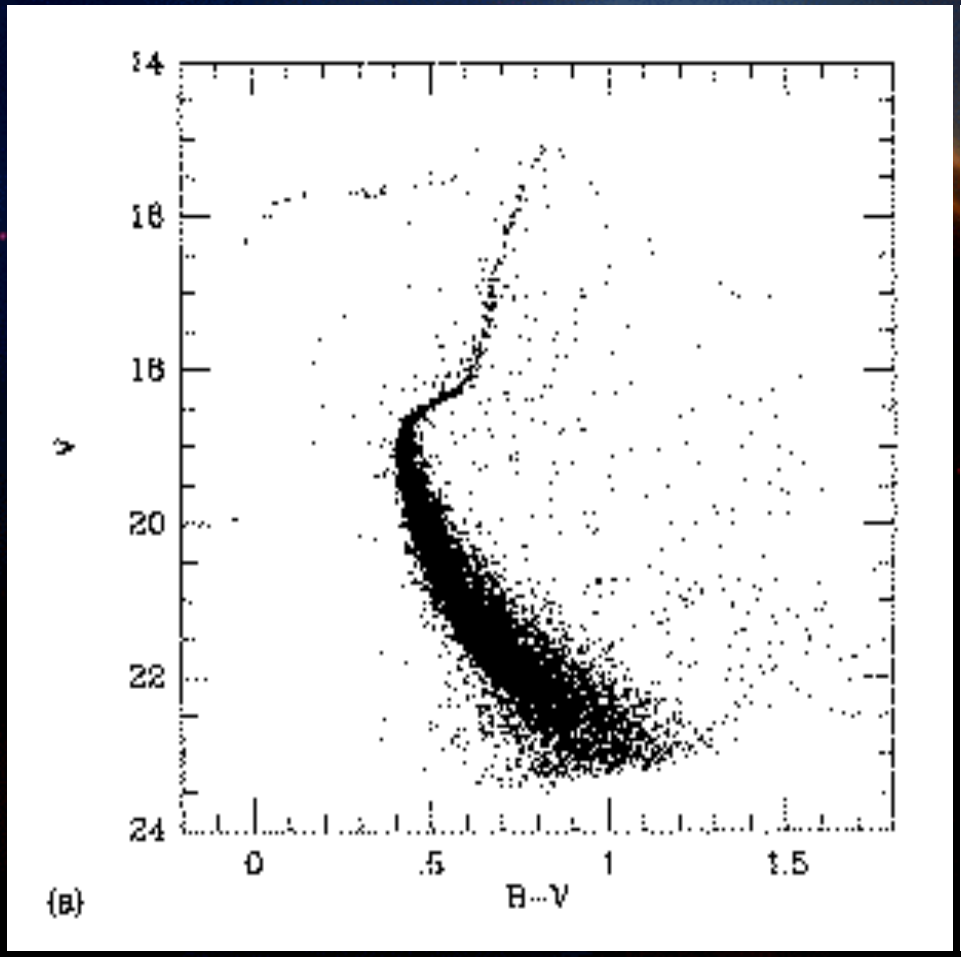




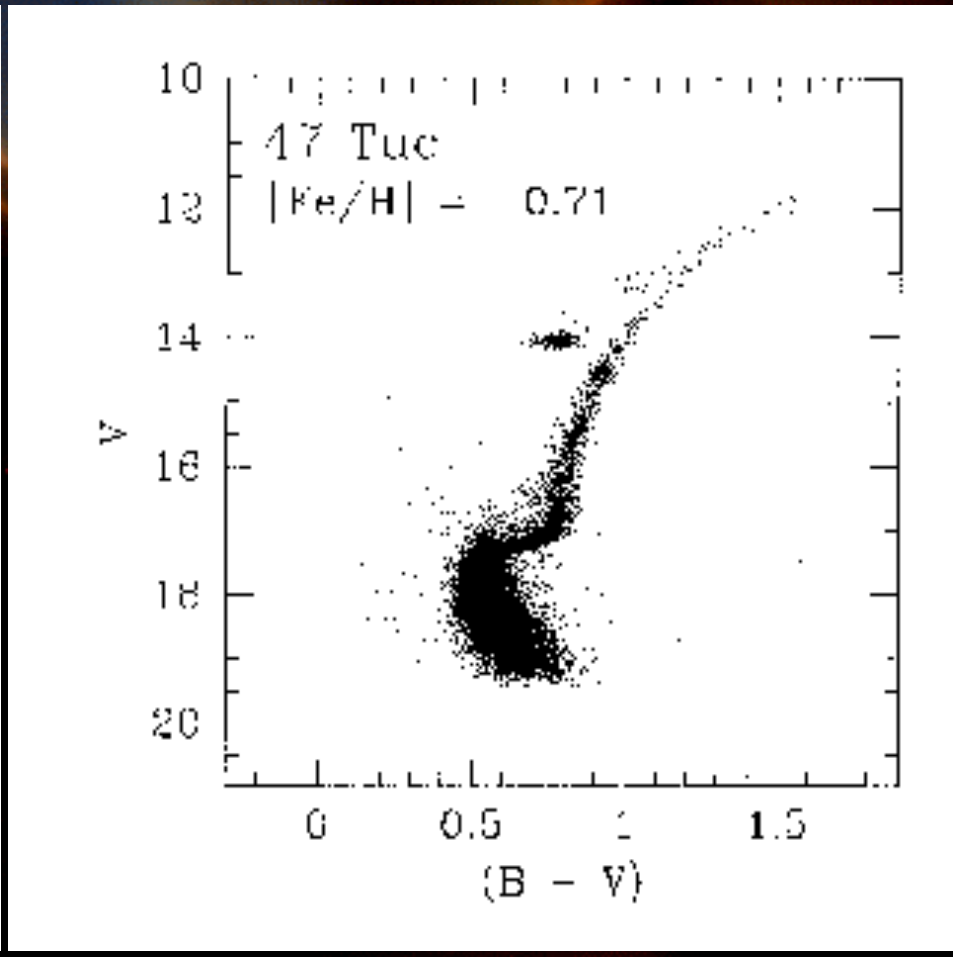

NGC 2362
h + χ Persei
h + χ Persei
10^7
Pleiades
M41
M11
10^8
Coma
Hyades
Praesepe
H + P
M67
10^9
NGC 752
752
M67
10^10
Sun
M41
M11
Absolute magnitude
−8
−6
−4
−2
0
2
4
6
8
−0.4
0
0.4
0.8
1.2
1.6
2.0
Color index (B–V)

47 Tucane – 10^9 lat

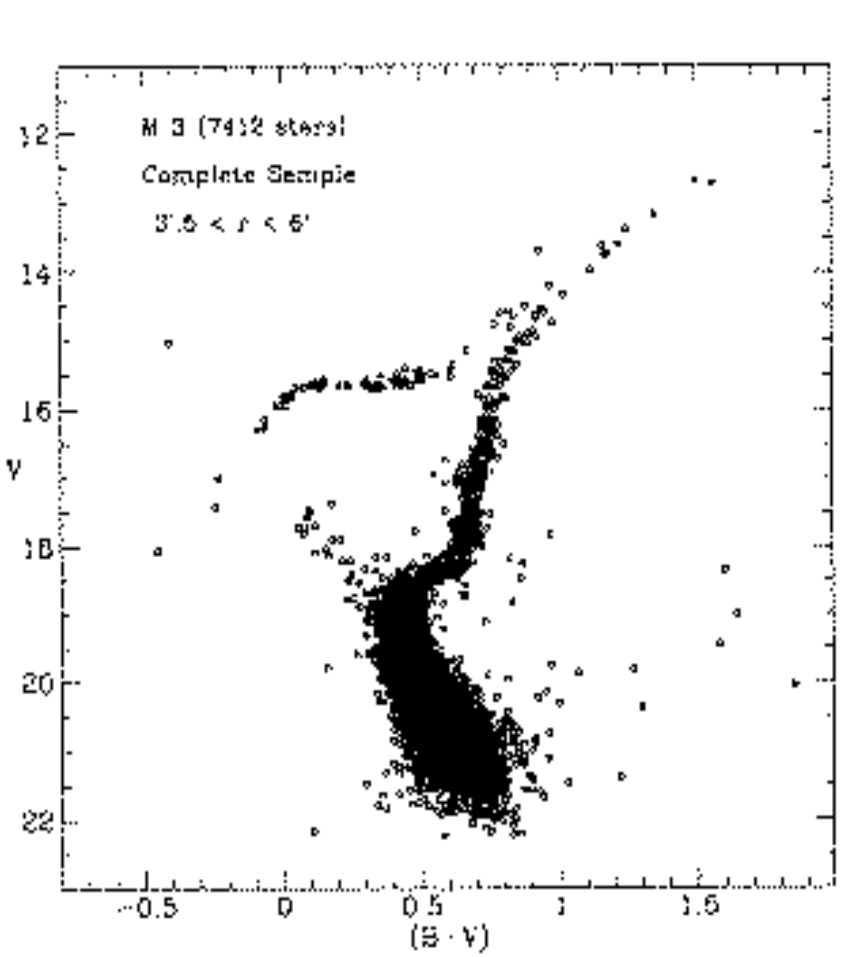




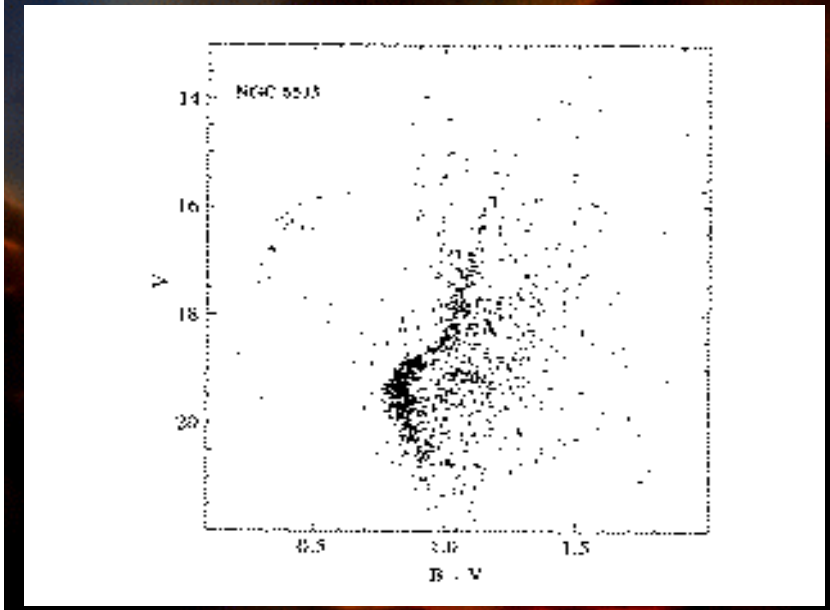
M68 from Walker 1994, AJ 108 555



47 Tuc



M 3 from Buonanno et al 1994 AA 290 69

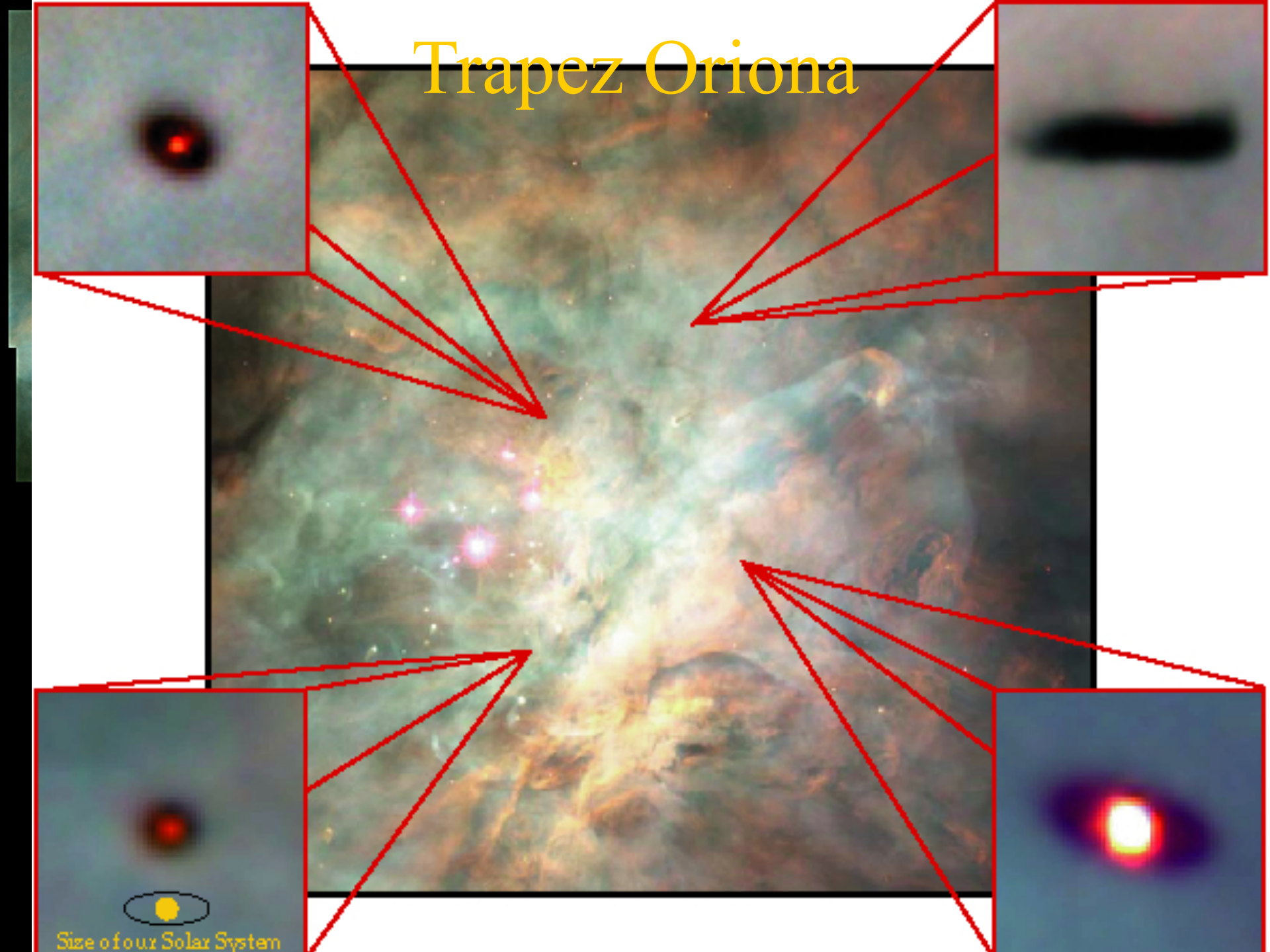


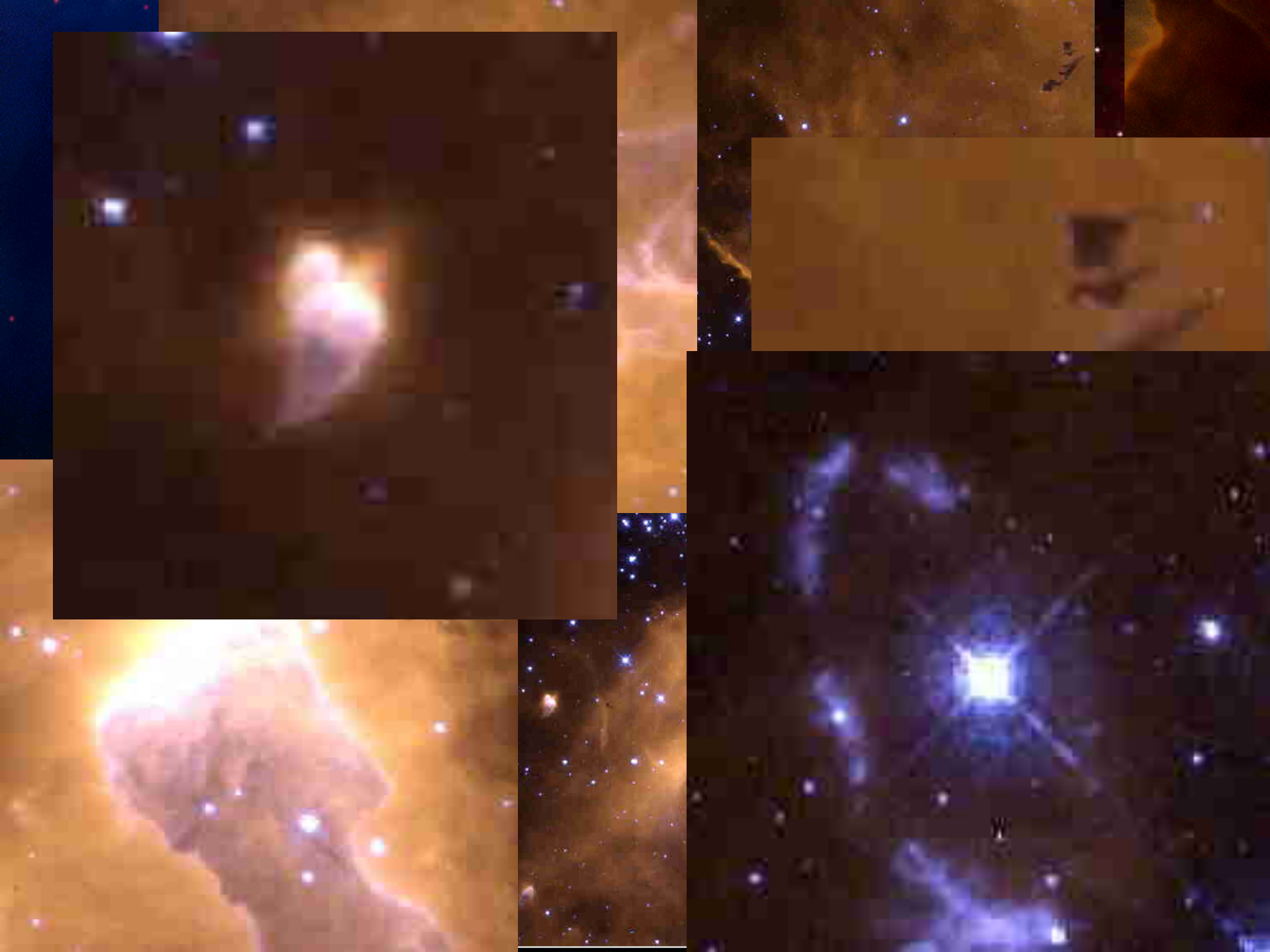
NGC 6535 from Sarajedini 1994 PASP 106 404

Kalibracja $(B-V)_{turnoff}$ - wiek

B-V	wiek
-0.4	3.2 mln lat
-0.3	16 mln lat
0.0	500 mln lat
0.4	4 mld lat
0.6	7.9 mld lat
0.9	25mld lat

Trapez Oriona

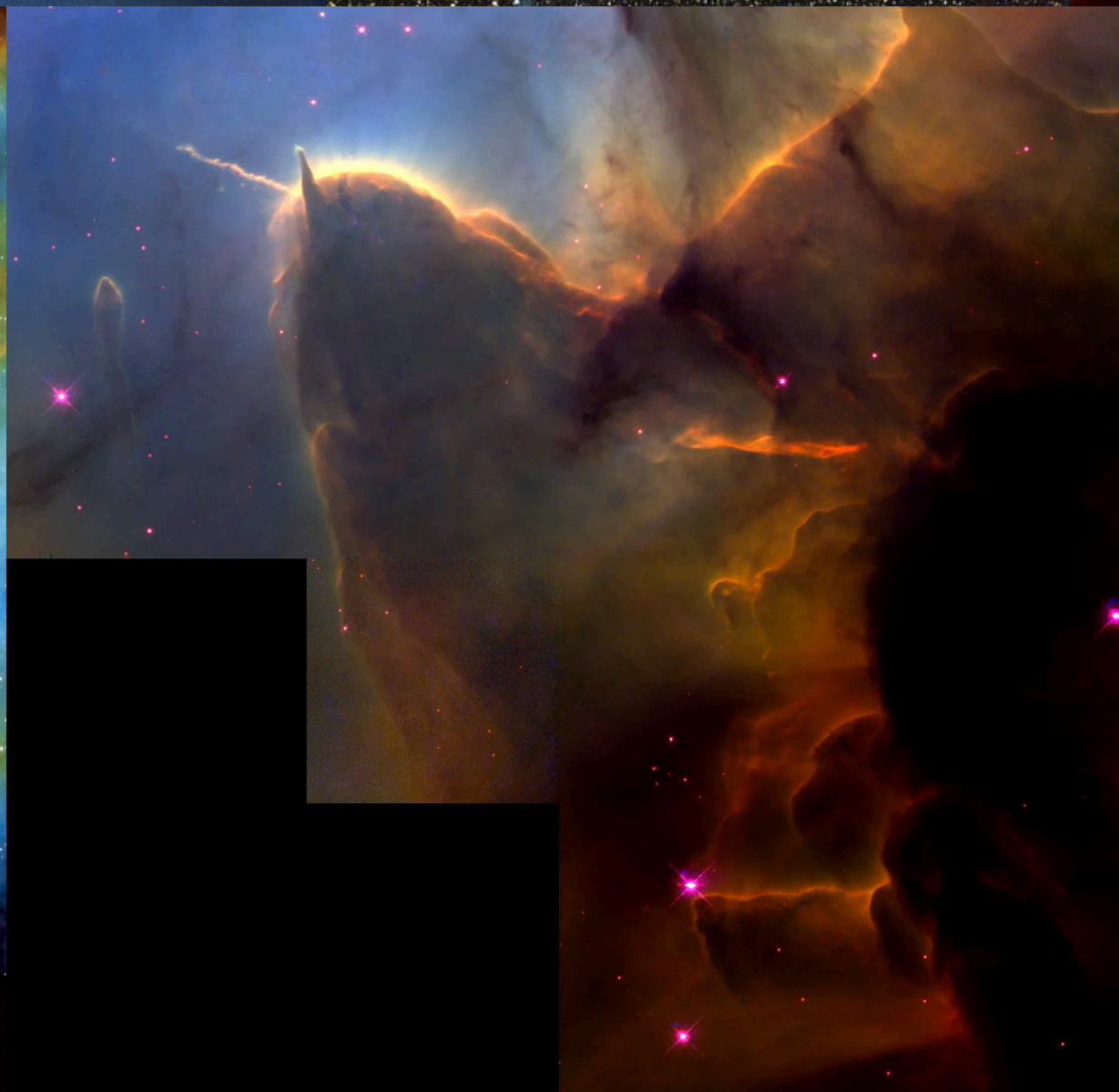




Mgławica Orła - M 16

Mgławica Ślimak (Helix)

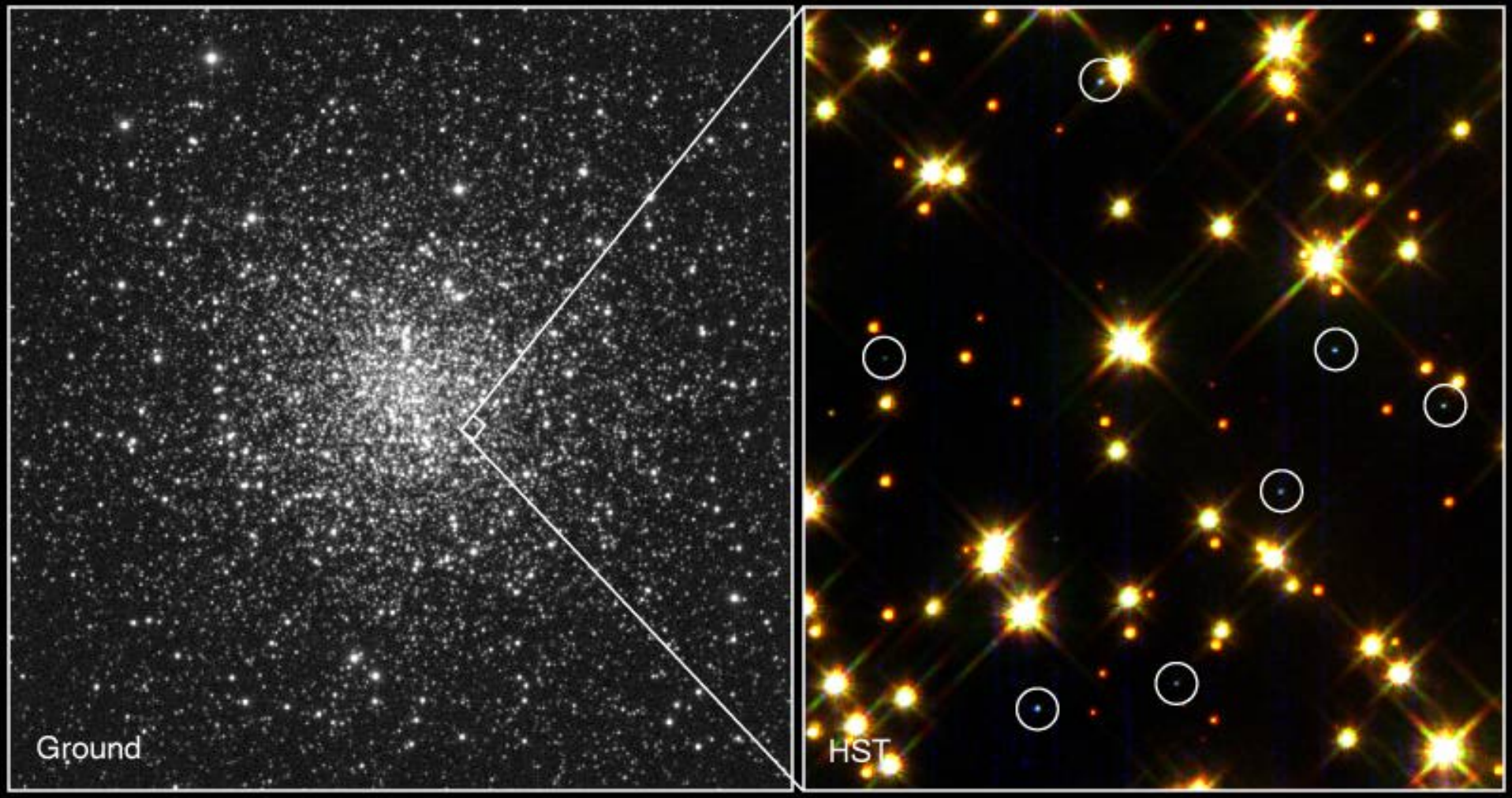
Mgławice emisyjne



Mgławice refleksyjne

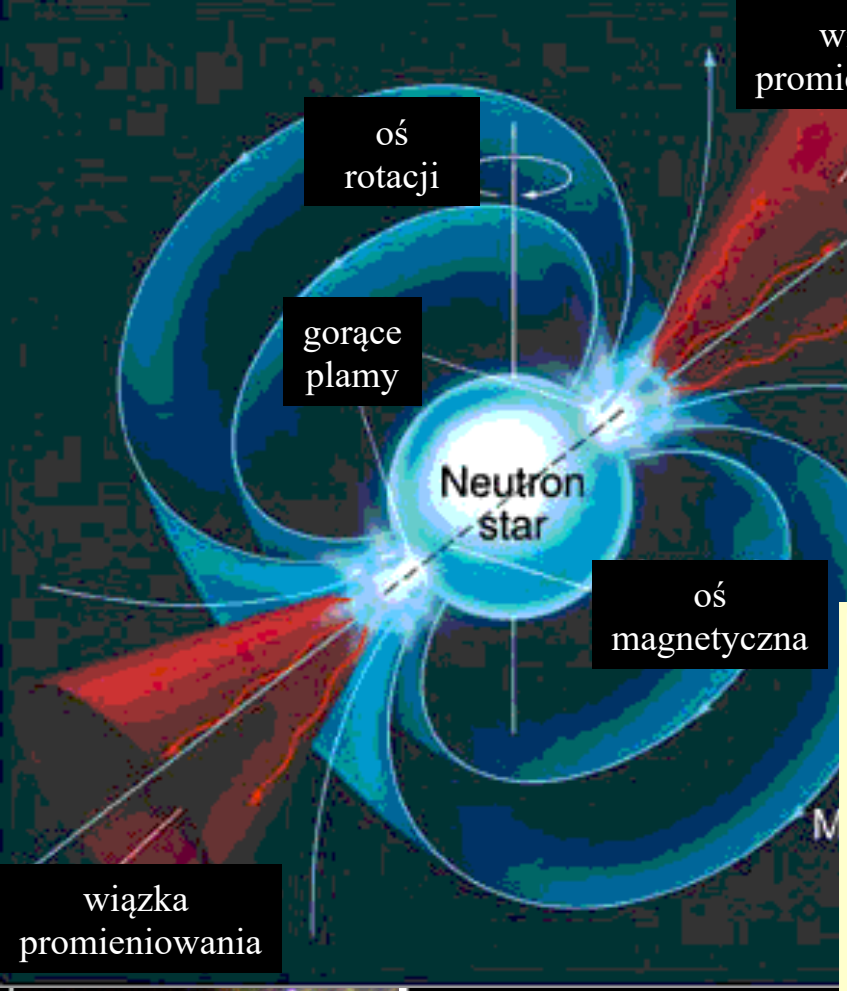
Wiatr gwiazdowy

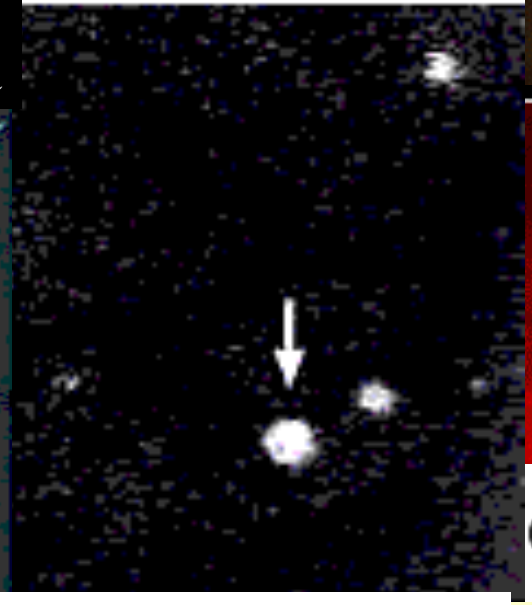
Białe karły

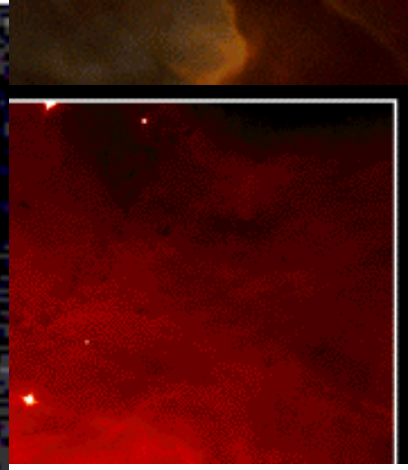

Ground
HST
White Dwarf Stars in M4
PRC95-32 · ST ScI OPO · August 28, 1995 · H. Bond (ST ScI), NASA
HST · WFPC2

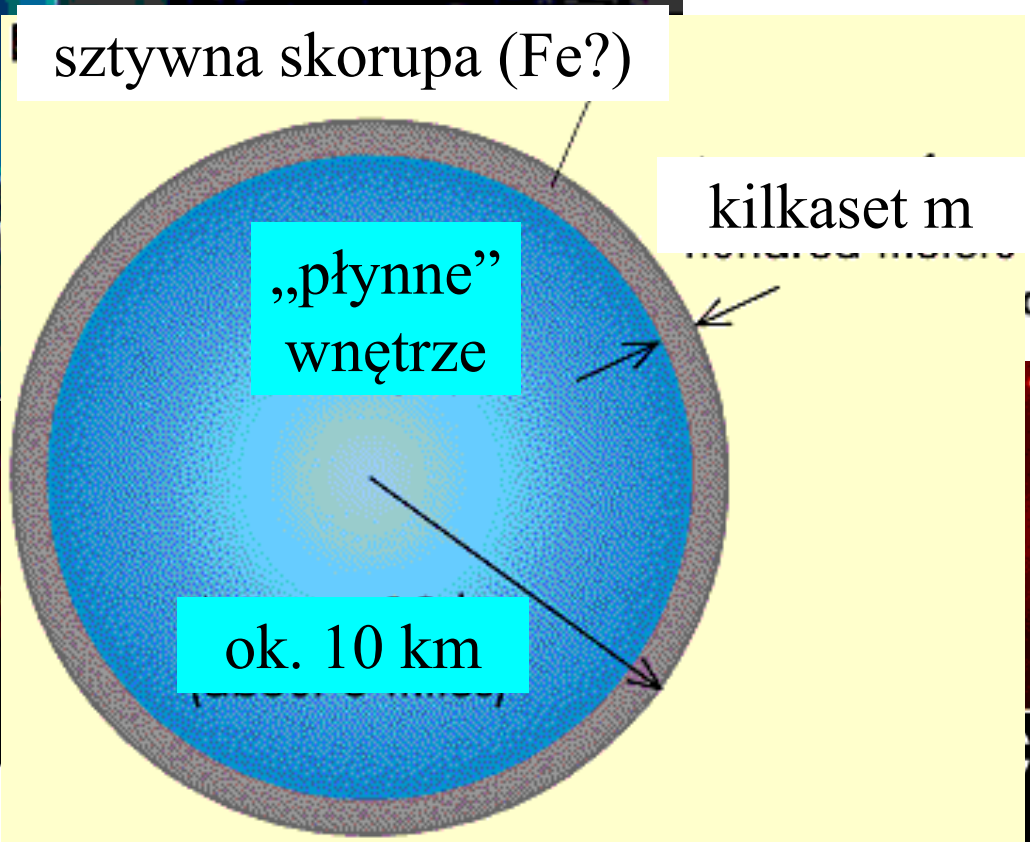
Pozostałości po supernowych

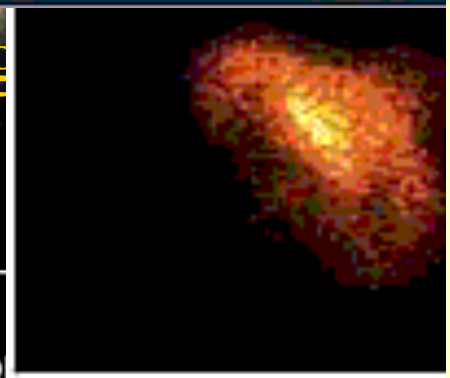
PRC97-03 • ST ScI OPO • January 14, 1997
J. Pun (NASA/GSFC), R. Kirshner (CfA) and NASA











Palomar

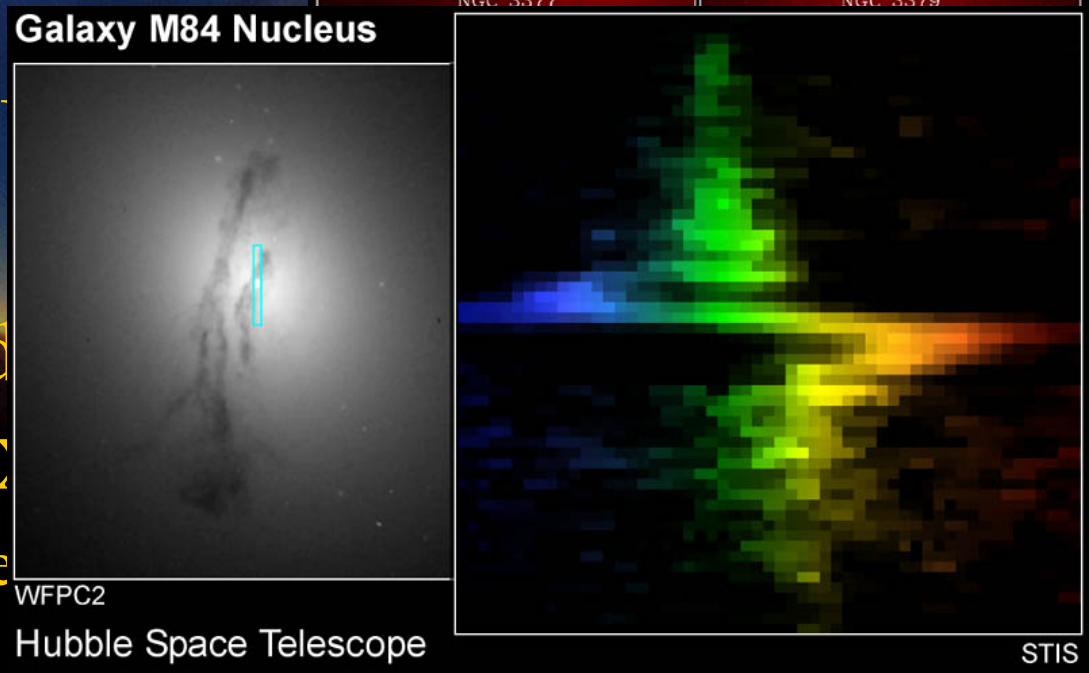
PRC96-22a · ST ScI O

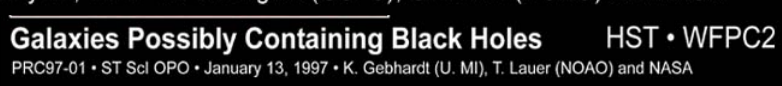
J. Hester and P. Scow

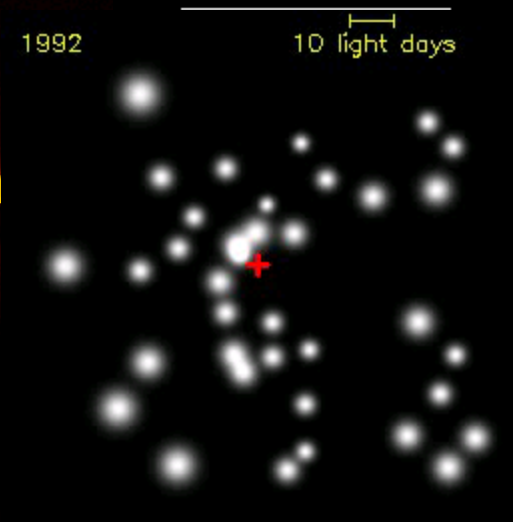
(b)

Czarne dzi

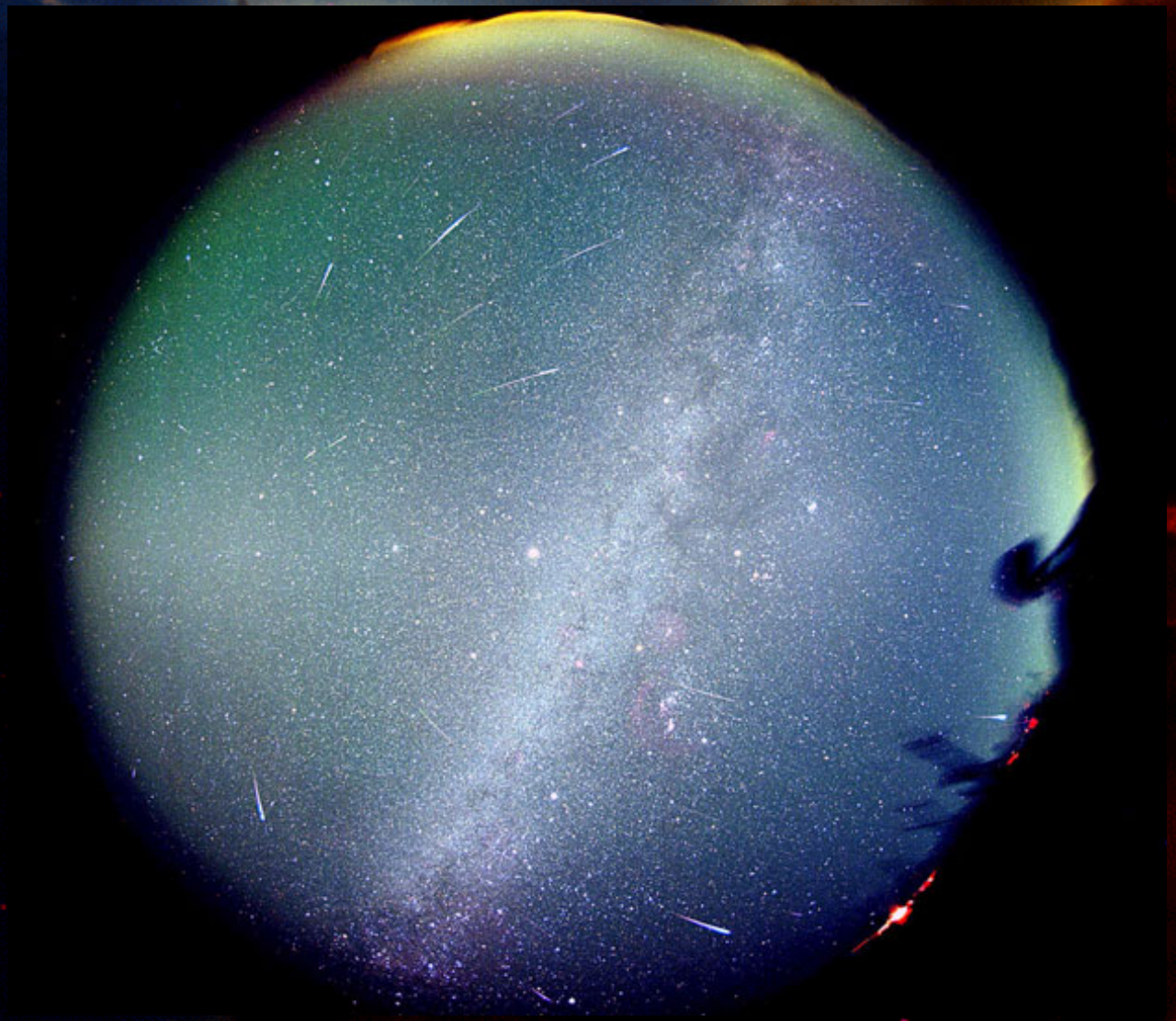
- Obserwcje pośred
  - promieniowanie X
    - układy podwójne
    - jądra galaktyk
  - szybka zmienność opt,X
  - rozkład prędkości materii
    - jądra galaktyk
  - ruchy gwiazd w polu grawitacyjnym
    - jądro naszej galaktyki







Gwiazdy zmienne

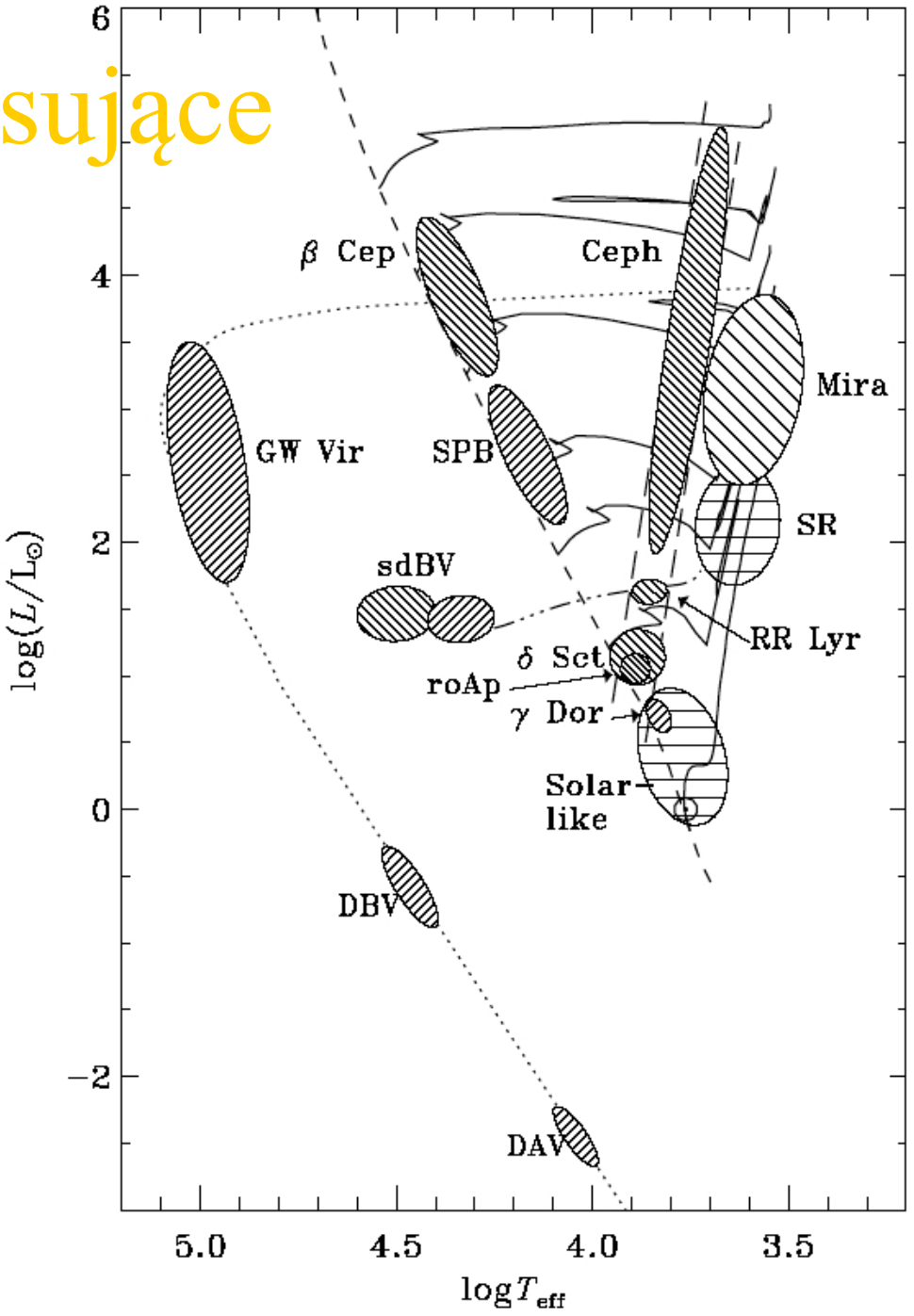


Gwiazdy zmienne

- Gwiazdy zmienne geometrycznie
  - zaćmieniowe (podwójne)
  - elipsoidalne
  - mikrosoczewkowanie
- Gwiazdy zmienne fizycznie
  - pulsujące (okresowe)
  - niestacjonarne (wybuchowe)
  - aktywne chromosferycznie (rotujące)

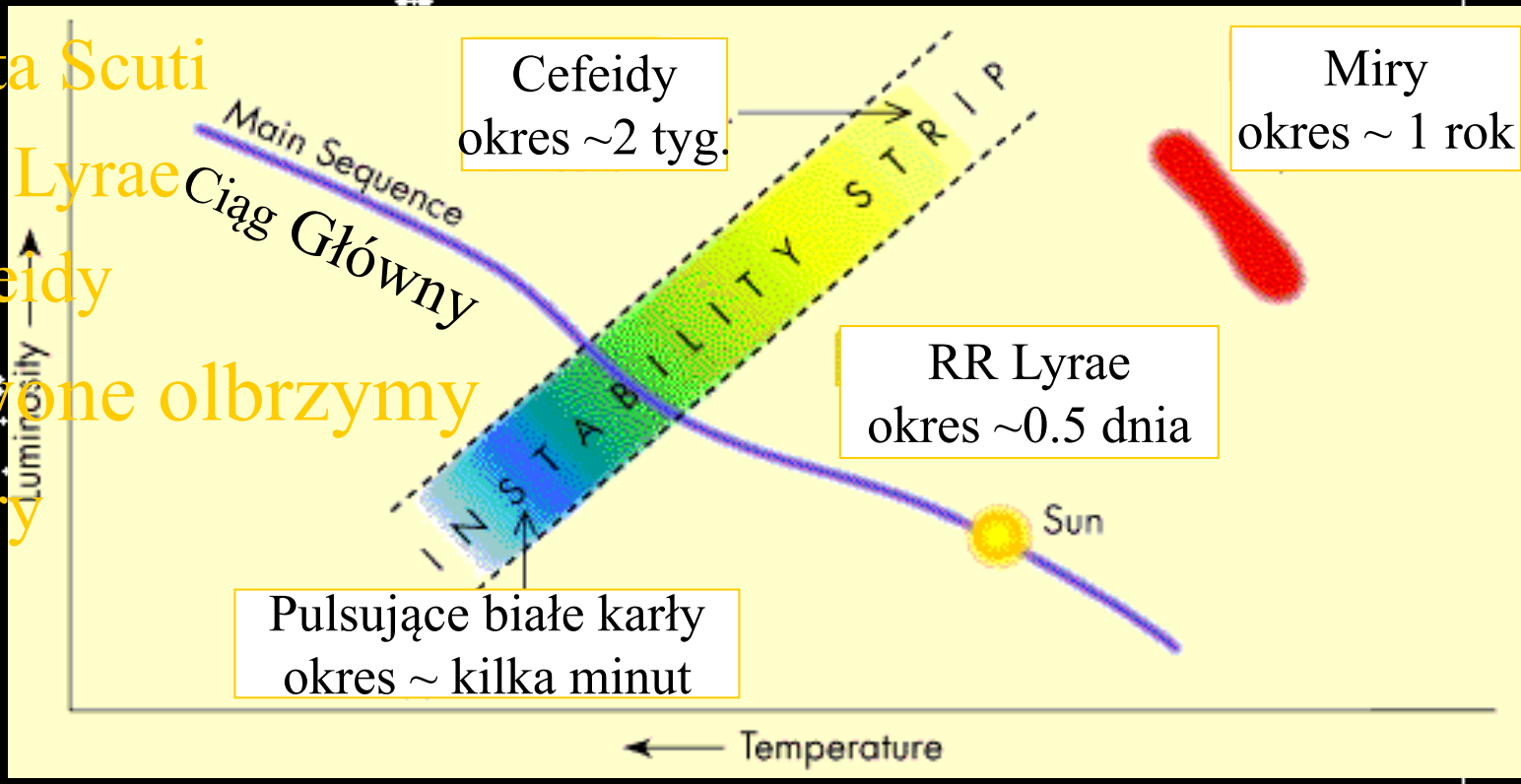
Gwiazdy pulsujące

- pas niestabilności
  - cefeidy
  - RR Lyr
  - delta Sct
- czerwone olbrzymy
  - Miry
  - nieregularne
- ciąg główny
- białe karły



Gwiazdy pulsujące

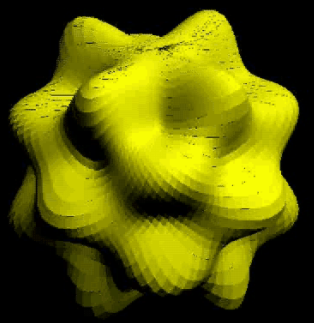
- pas niestabilności
  - białe karły
  - delta Scuti
  - RR Lyrae
  - cefeidy
- czerwone olbrzymy
  - Miry



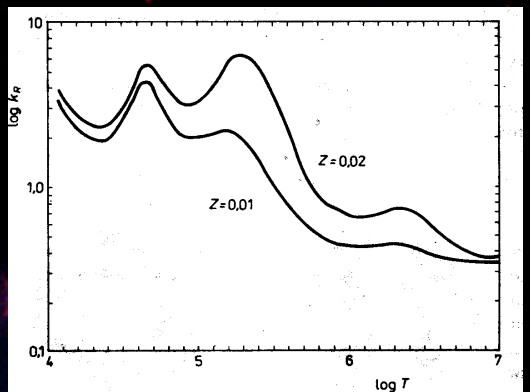
Gwiazdy zmienne pulsujące

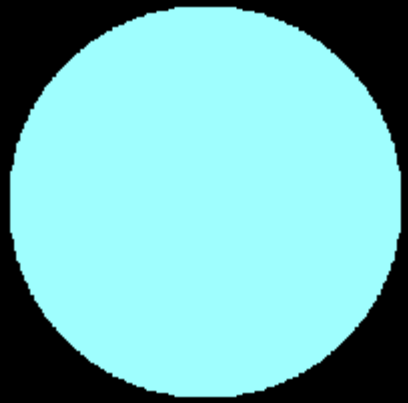
- Cefeidy klasyczne (prototyp – δCep)
  - okresy 1 – 70 dni, amplituda ok. 1^m
- Cefeidy krótookresowe (prototyp – RR Lyrae)
  - okresy 80 min. – 1 dzień, amplituda ok. 1^m
- Typ δ Scuti – jak RR Lyr
  - amplituda 0.2 mag
- Cefeidy długookresowe (prototyp – W Vir)
  - okresy do 100 dni, amplituda 1^m
- Miry (prototyp Mira Ceti)
  - okresy 100-1000 dni, amplituda do 10^m

Gwiazdy pulsujące



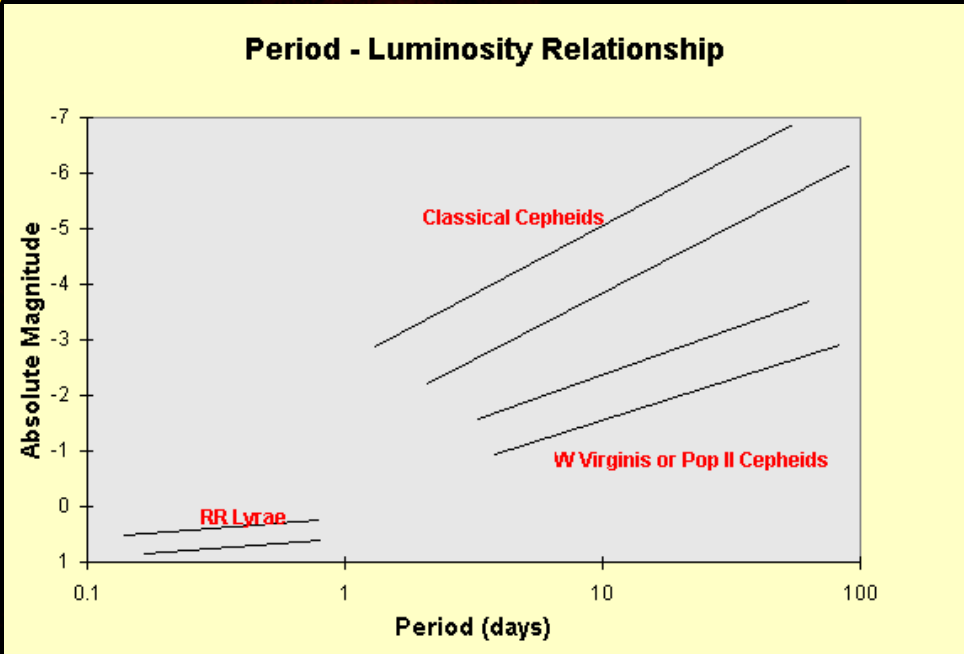
- maszyna cieplna:
  - doprowadza energię w fazie sprężania
  - zamienia na pracę podczas rozprężania
- przyczyny pulscacji
  - źródło energii – strumień promieniowania
  - mechanizm κ
    - κ rośnie z T





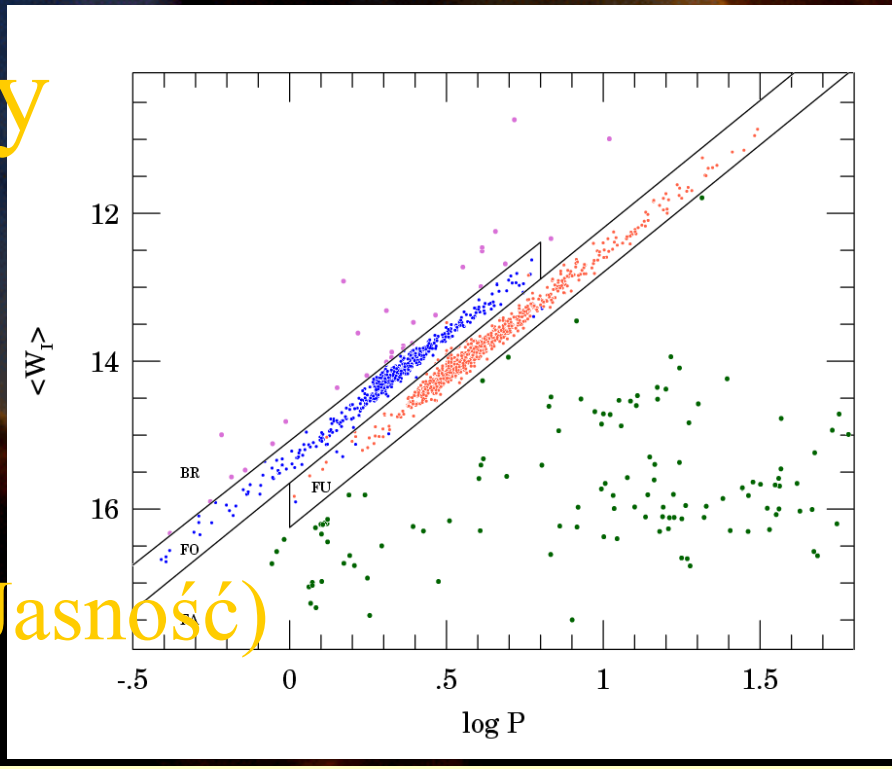
Cefeidy

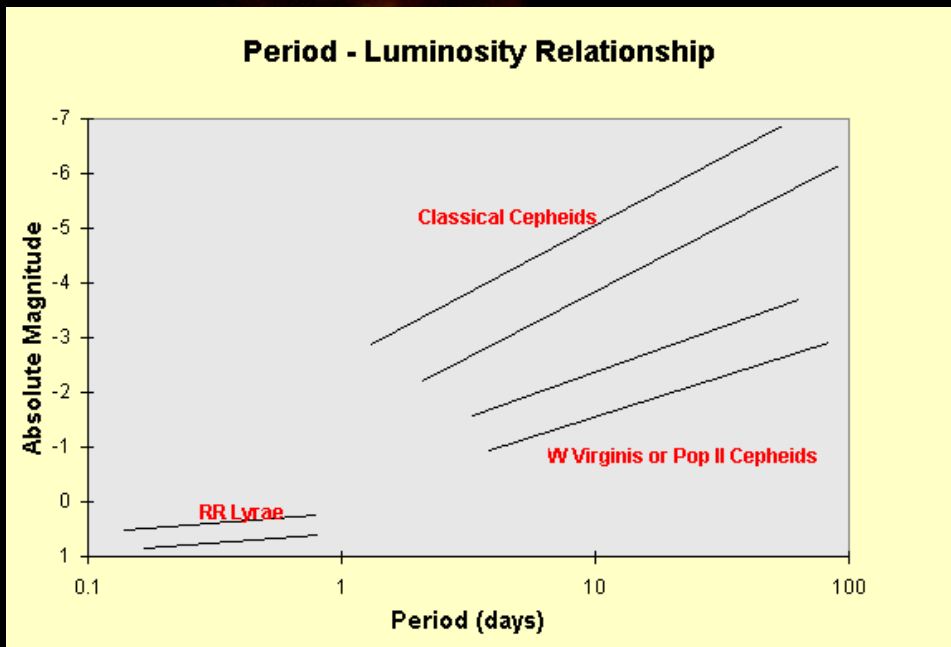
- Cefeidy klasyczne
- RR Lyrae
- zależność PL (Okres-Jasność)
- świece standardowe



Cefeidy

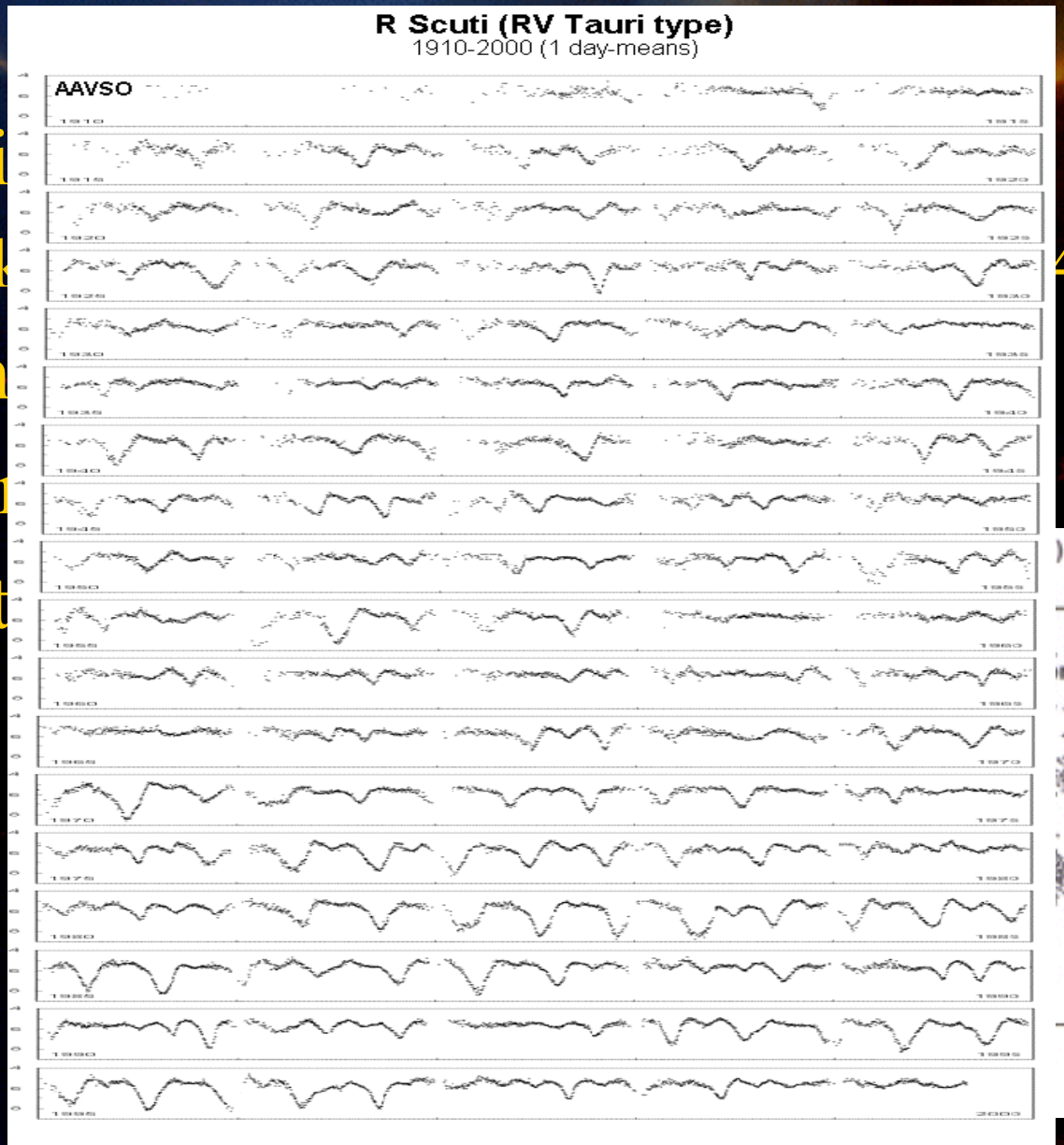
- Cefeidy klasyczne
- RR Lyrae
- zależność PL (Okres-Jasność)
- świece standardowe

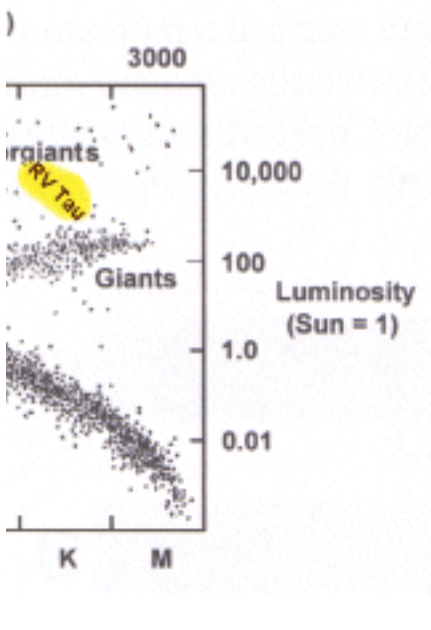




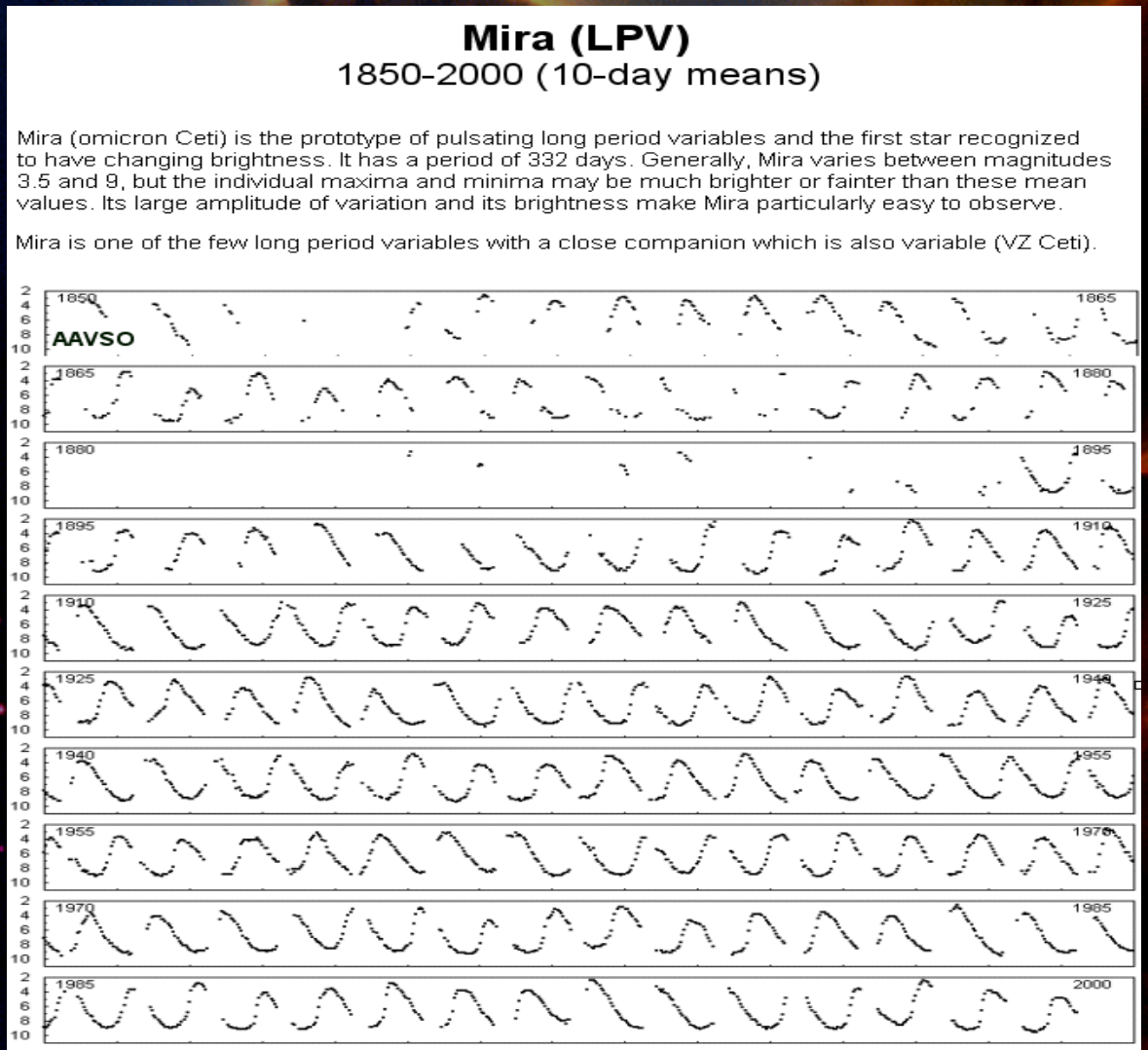
Gwiazdy typu RV Tau

- Zmi
  - ok 4 mag.
- Min
- Olbr
- Prot





Krzywa blasku Miry Ceti z danych AAVSO

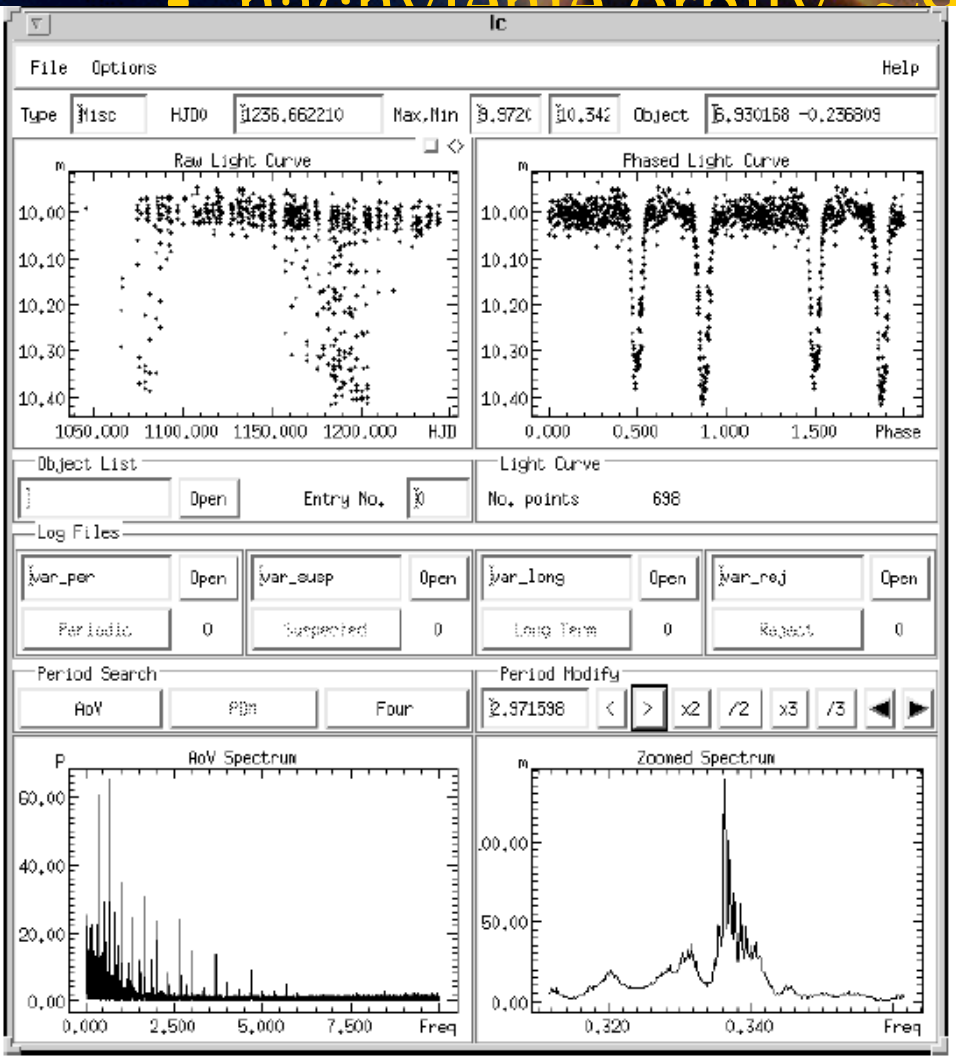


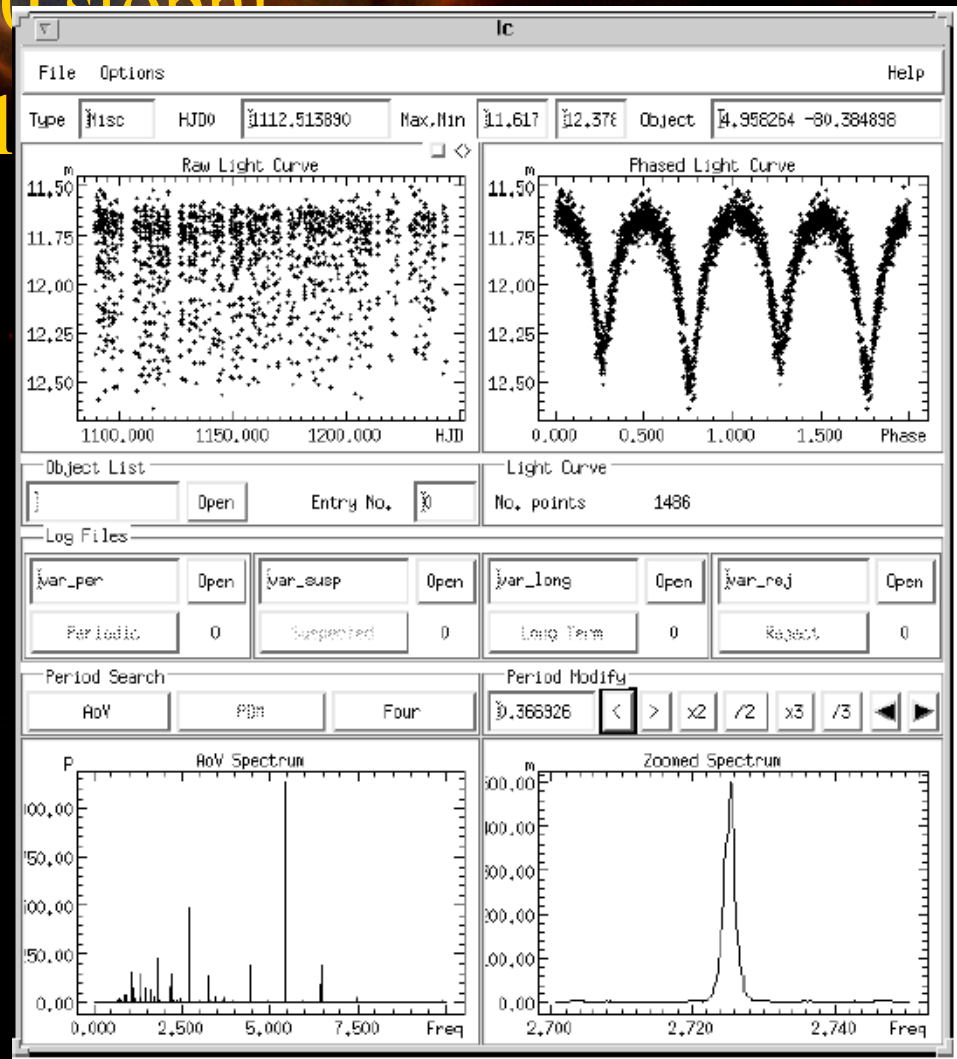
Gwiazdy podwójne

- 1/2 gwiazd w układach podwójnych
- jedyne źródło informacji o masach gwiazd
- promienie gwiazd

Gwiazdy podwójne - zaćmieniowe

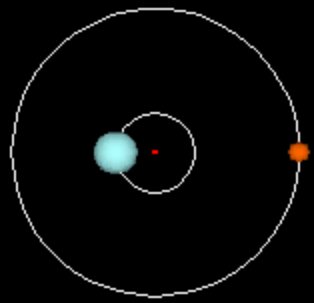
- nachylenie orbity ~90 stopni

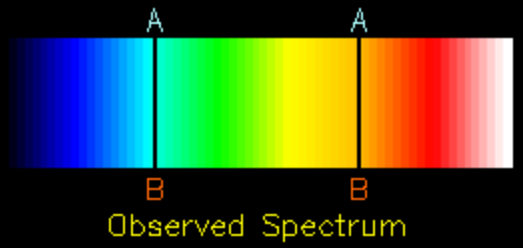




Gwiazdy podwójne spektroskopowo

- Widoczne linie widmowe (ruchome) jednego lub obu składników
- typowa dokładność
  - niedawno: 1-10 km/s
  - dzisiaj: 1-10 m/s
- masy gwiazd (i planet !!!)





Gwiazdy podwójne wizualnie

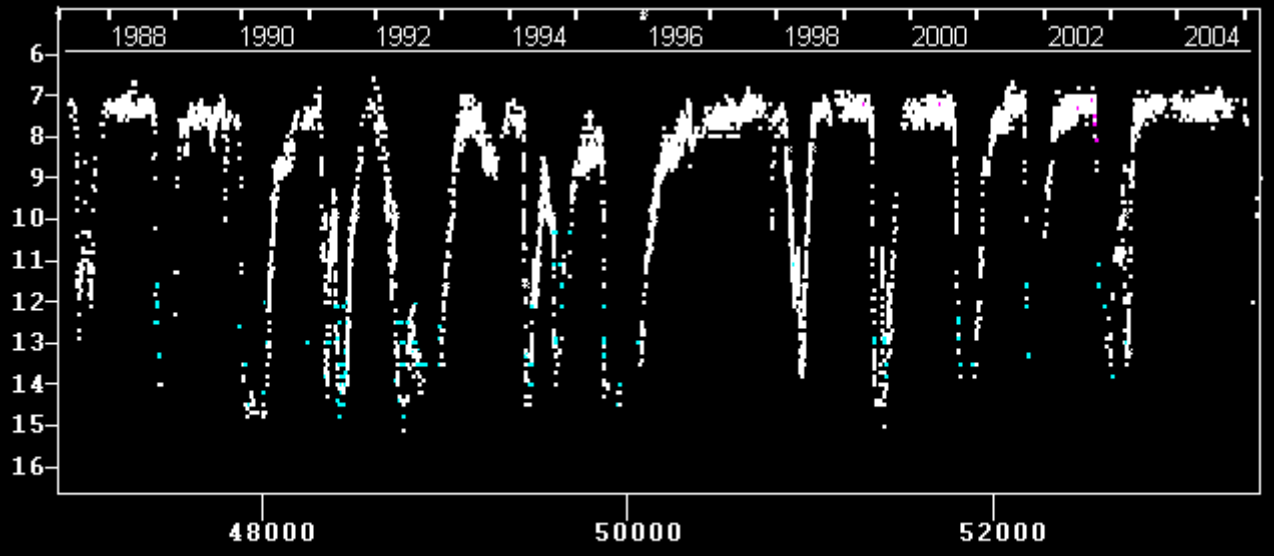
- Odległość kątowa > 1”

  → odległość rzeczywista > 1 j.a.

  → okres obiegu > 1 rok

R Coronae Borealis

- nadolbrzymy F i G
- wysoka zawartość węgla (mała wodoru)
- osłabienie jasności związane z nagromadzeniem pyłu węglowego w atmosferze

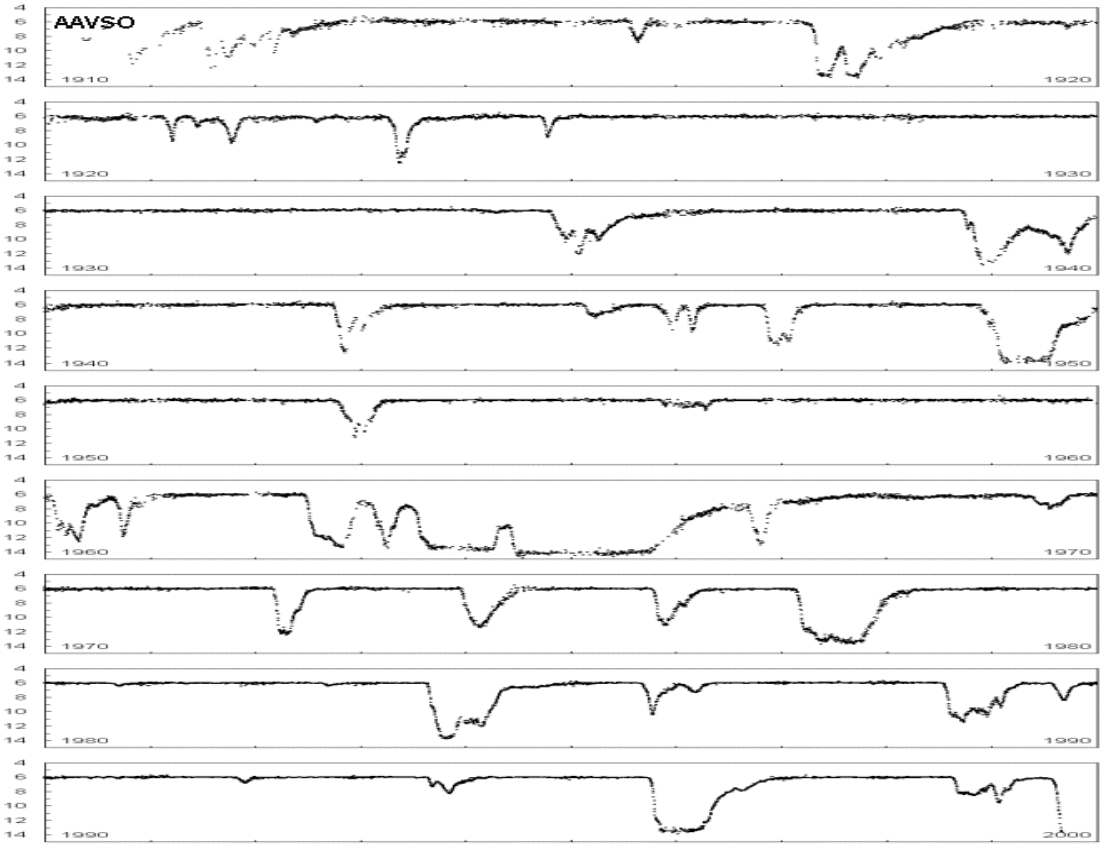


R CrB

R Coronae Borealis

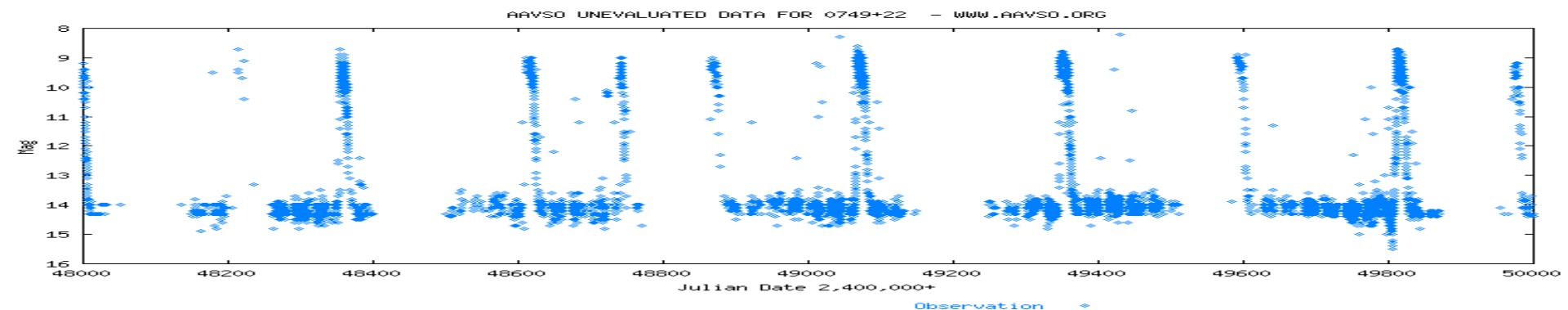
1910-2000 (1-day means)

R Coronae Borealis is the prototype of its class. These rare supergiant stars have rich carbon atmospheres. They spend most of their time at maximum brightness but at regular intervals rapidly fade 1 to 9 magnitudes. The drop in brightness is thought to be caused by carbon clouds expelled from the atmosphere of the star.



Gwiazdy kataklizmiczne

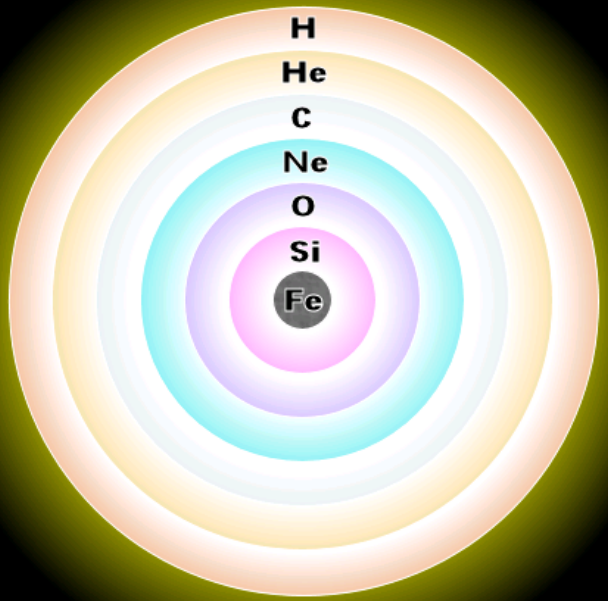
- Supernowe
- Nowe
- Nowe powrotne
- Nowe karłowate
- Błyski gamma (GRB)



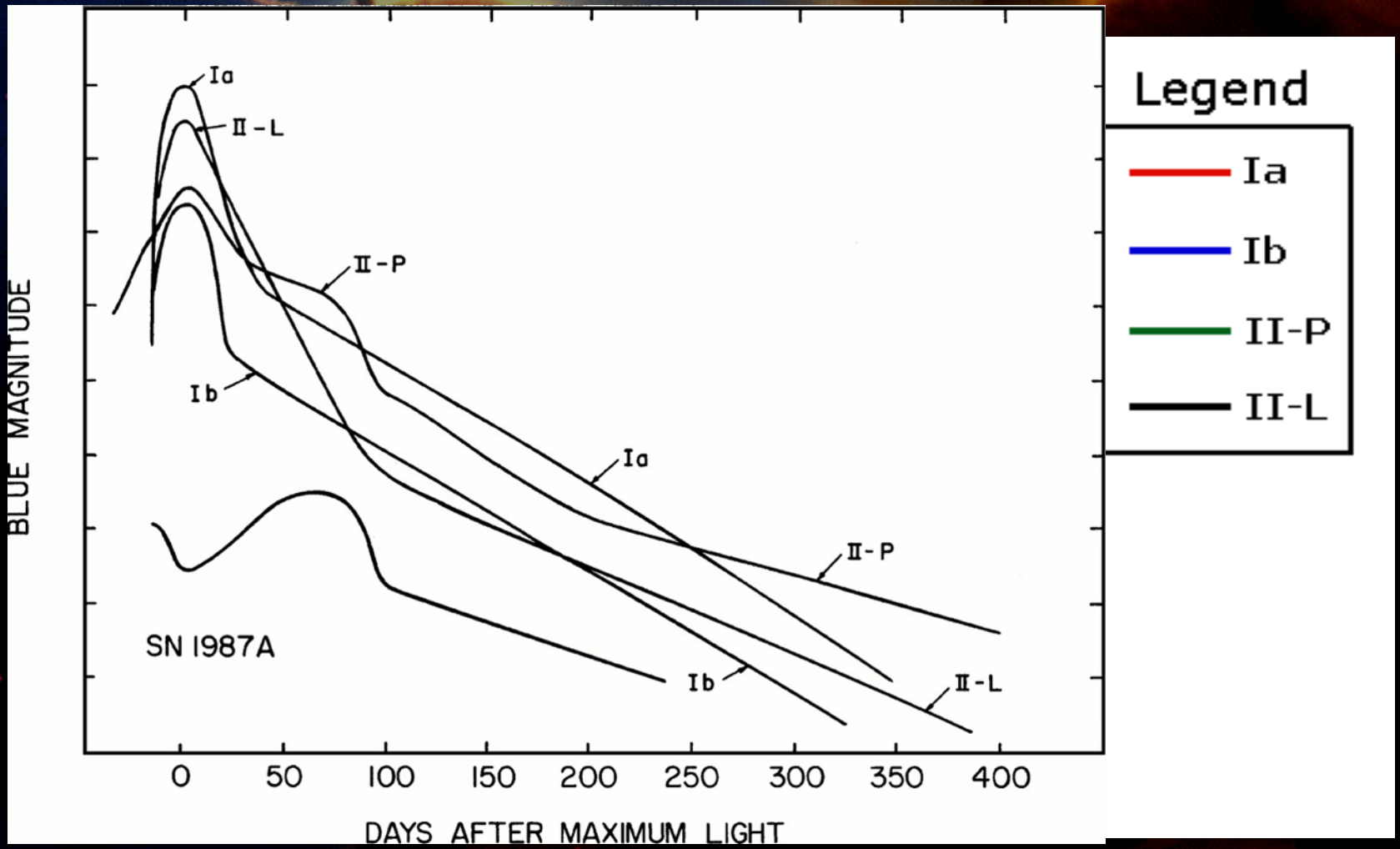
Gwiazdy supernowe

- supernowe typu Ia
  - brak lini wodorowych, Si II (6150 A) w maksimum blasku
  - przekroczenie masy Chandrasekhara przez białego karła w układzie podwójnym (M>1.44)
  - nic nie zostaje

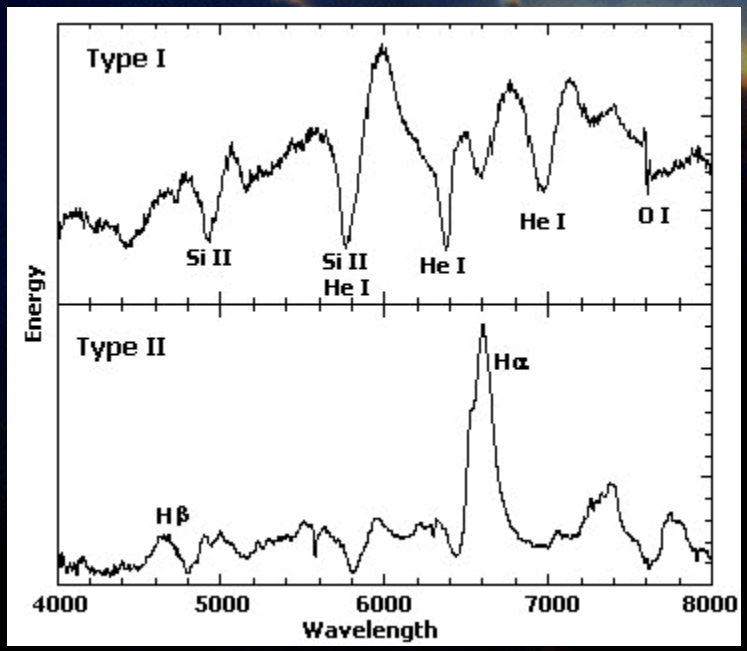
- supernowe typu II
  - linie wodorowe
  - zapadnięcie się jądra żelaznego gwiazdy masywnej
  - neutronizacja jądra
  - pozostaje gw. neutronowa lub czarna dziura
  - II-P – „Plateau” w krzywej blasku
  - II-L – liniowy spadek jasności
- Ib, Ic
  - brak lini wodorowych
  - wiatr gwiazdowy usunął wodór
  - kolaps jądra
- Ib –linie He I (5876 A) brak SiII
  - progenitor – gw. Wolfa-Rayeta
- Ic – brak He I, brak SiII

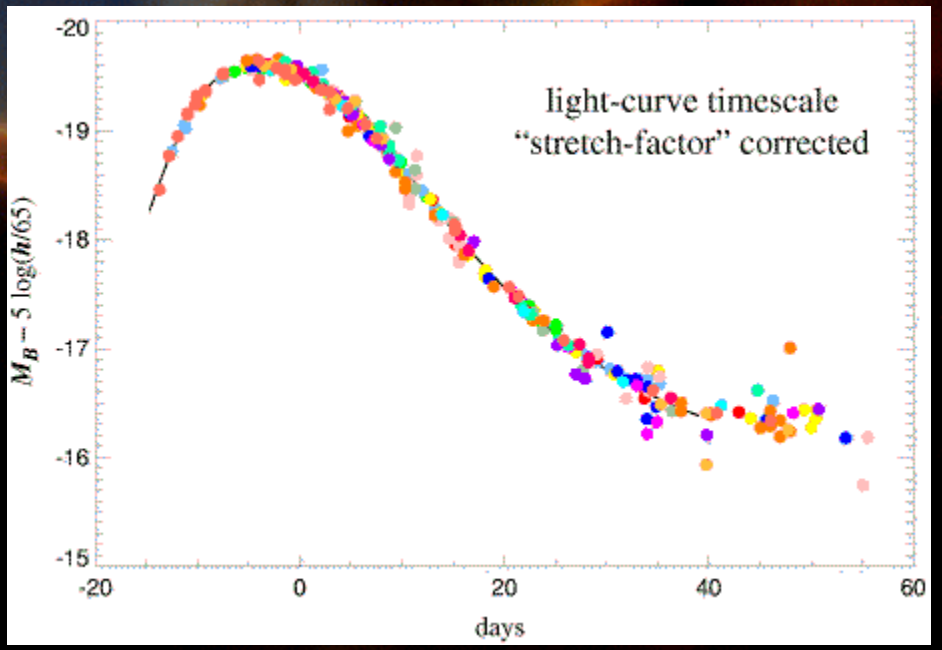


Krzywe blasku SN

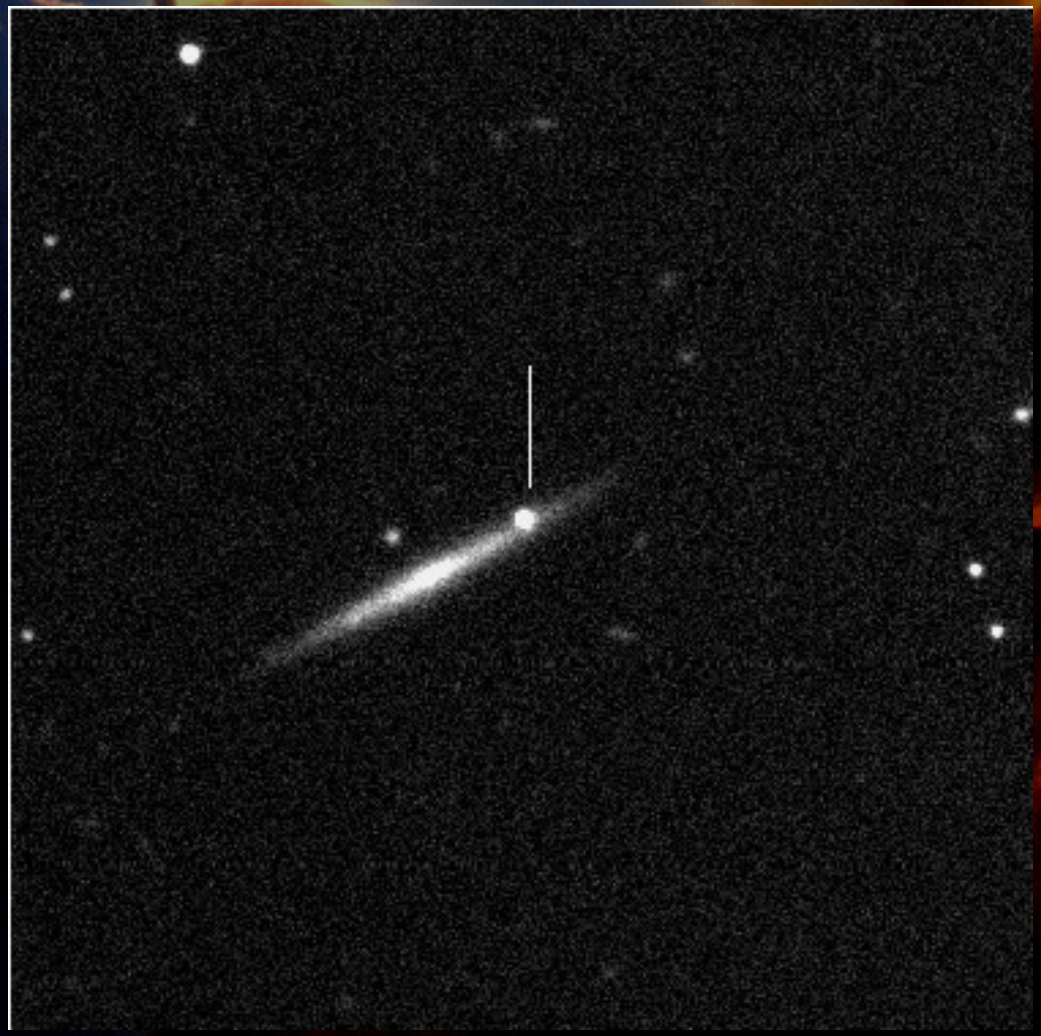


Widma SN, świece standardowe





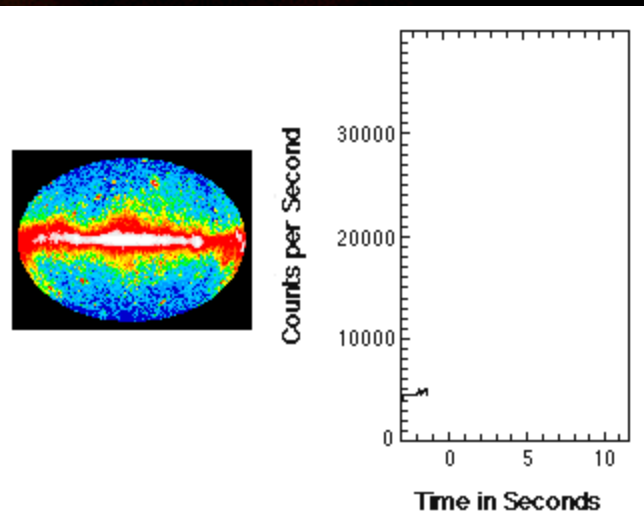
SN w odległych galaktykach



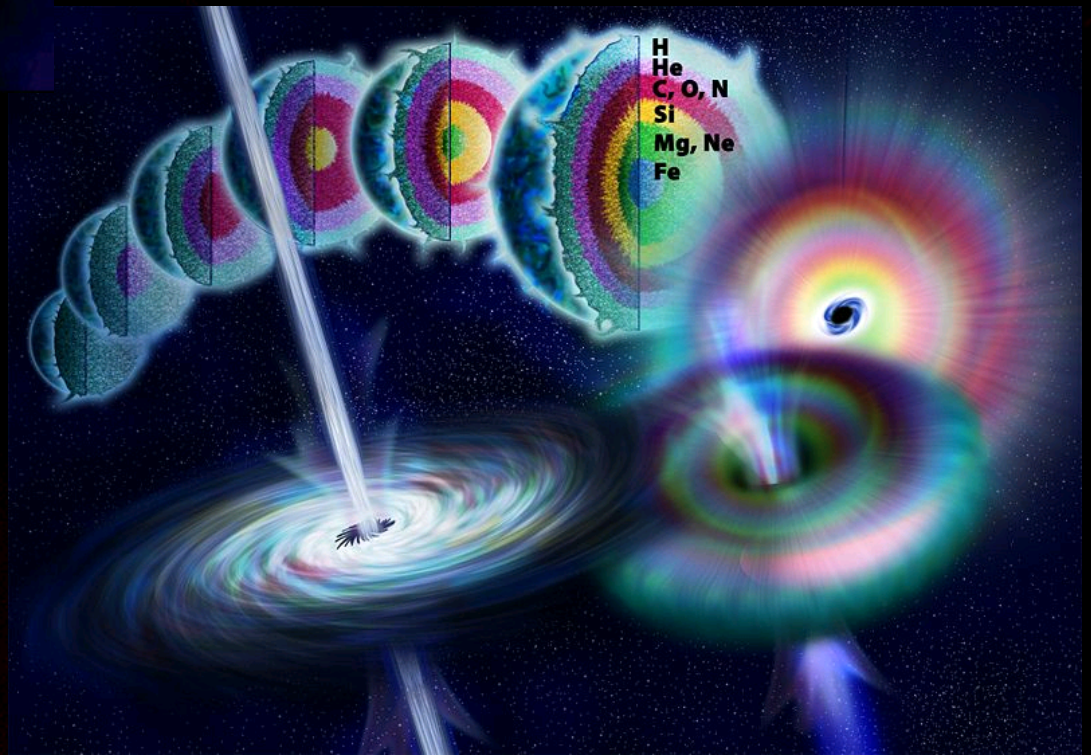
Pozostałość po wybuchu Supernowej

Błyski Gamma (GRB)

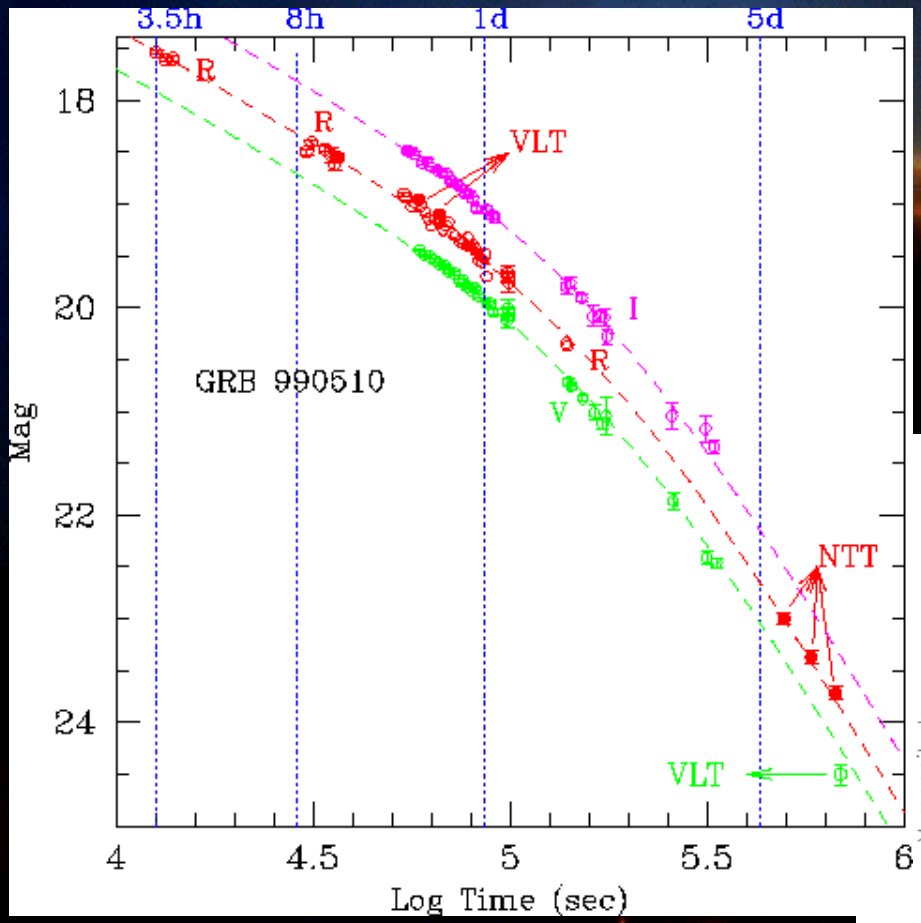
- Gamma Ray Bursts
- merger (zlanie) gwiazd neutronowych
  błyski krótkie
- hipernowe – kolaps gwiazd M>100 $M_{\odot}$
  – błyski długie

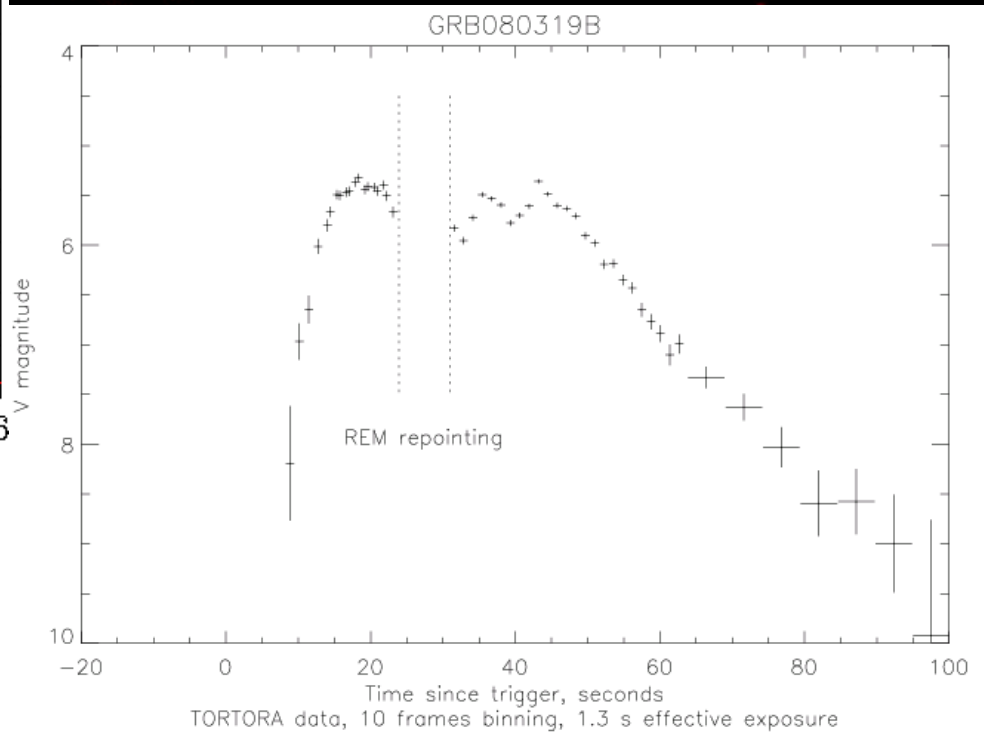


Błyski Gamma (GRB)



Błyski Gamma (GRB)



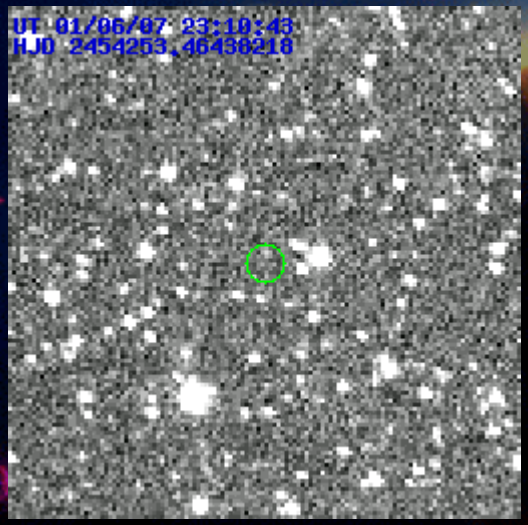


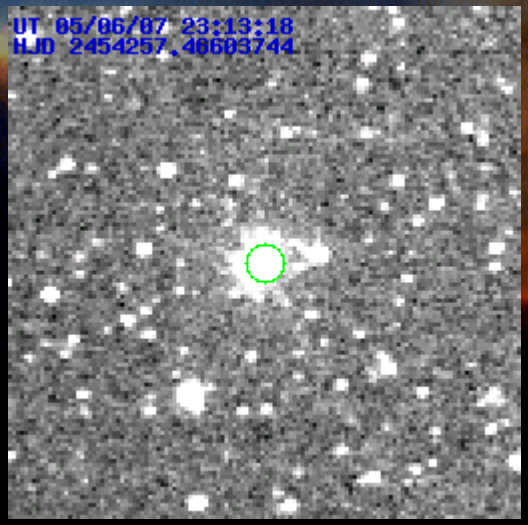
Gwiazdy Nowe

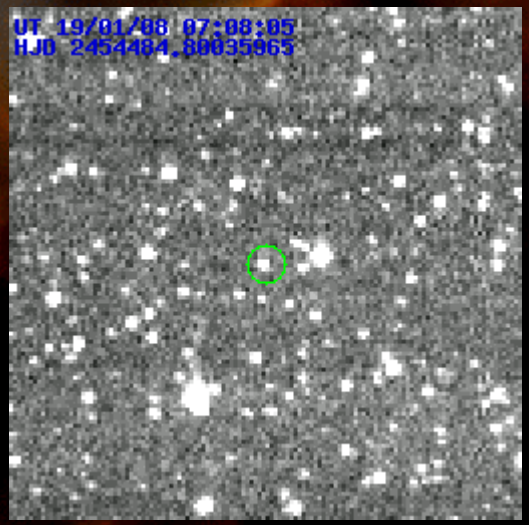
- Krzywa blasku: gwałtowny rozbłysk o amplitudzie 5.5 – 19 mag., potem wolny spadek
- Przed maksimum widmo nadolbrzyma
- Po maksimum linie emisyjne o dużej prędkości radialnej (wyrzut materii)
- **Nadwyżka obfitości C, N, O**

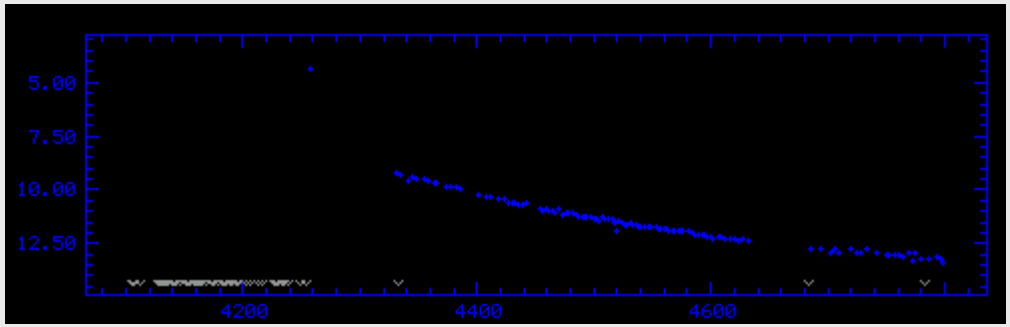
Gwiazdy nowe

Krzywa blasku gwiazdy Nowej

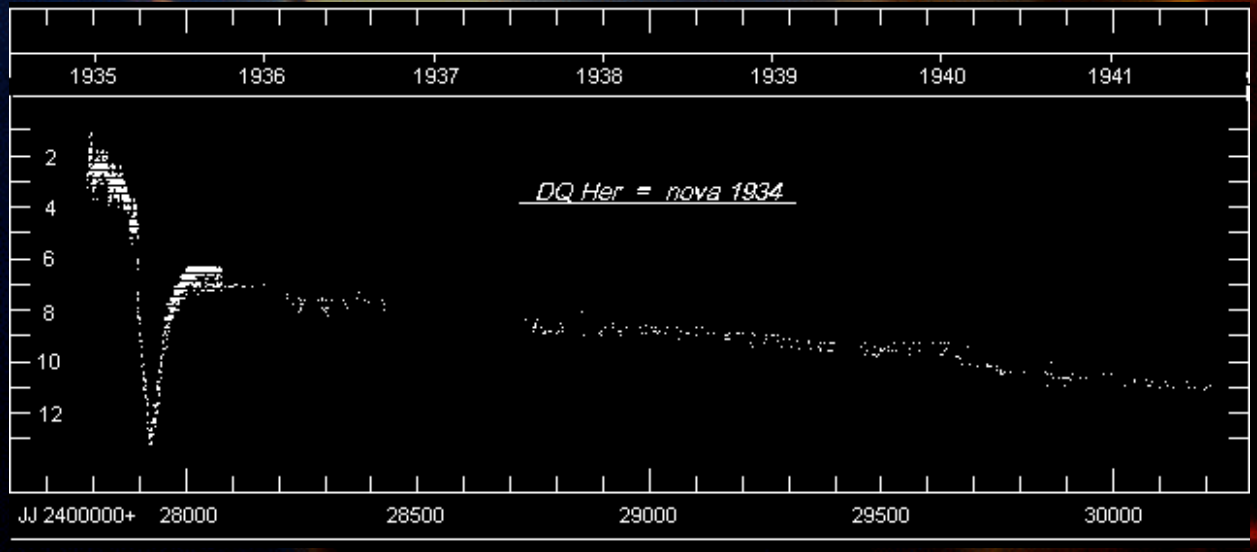


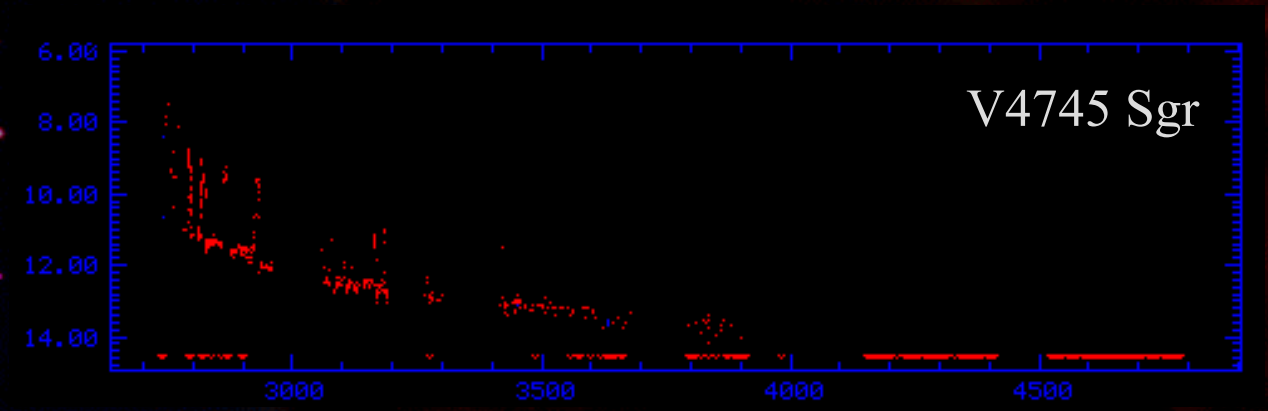




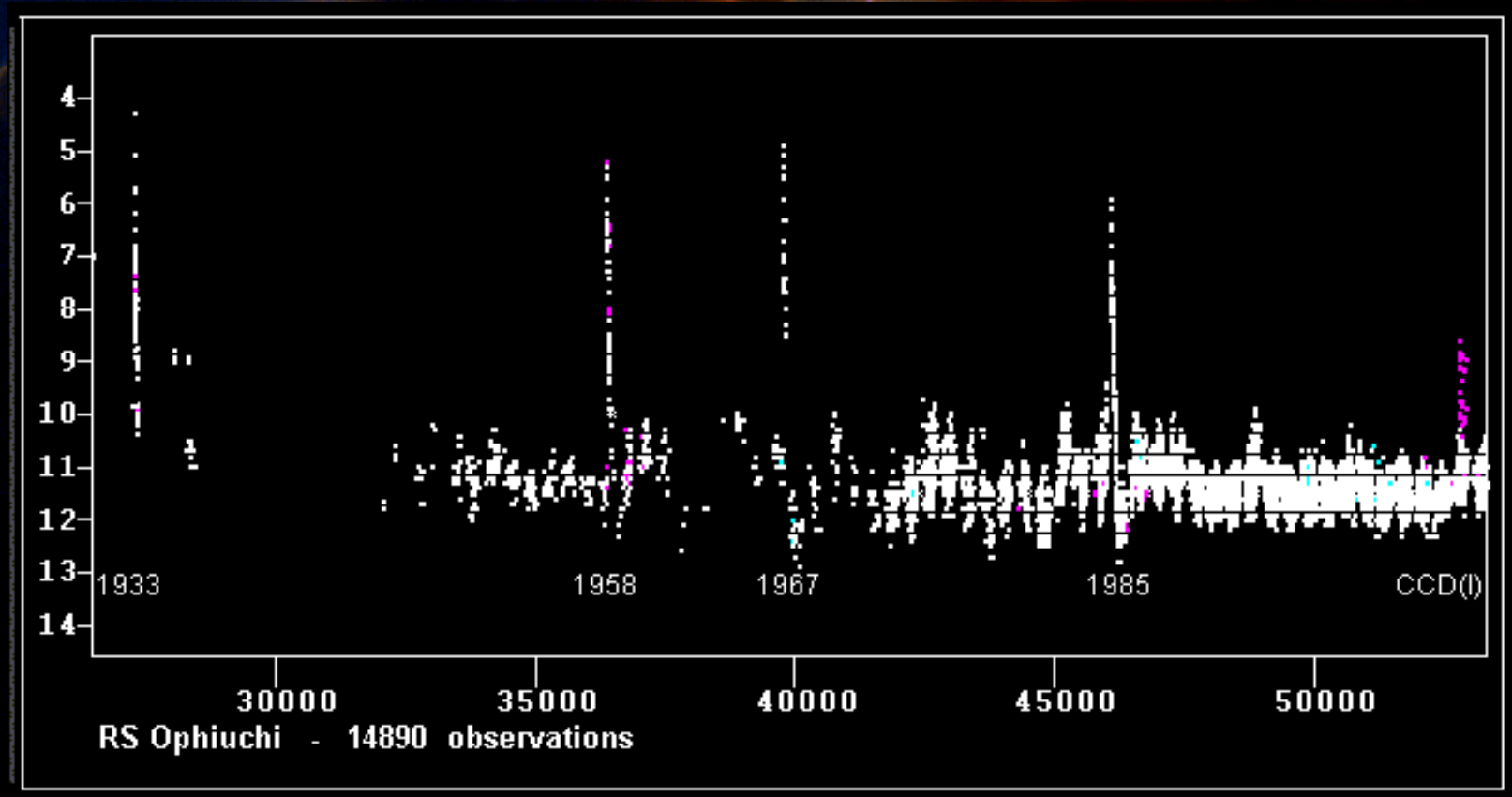


Gwiazdy Nowe – wariacje





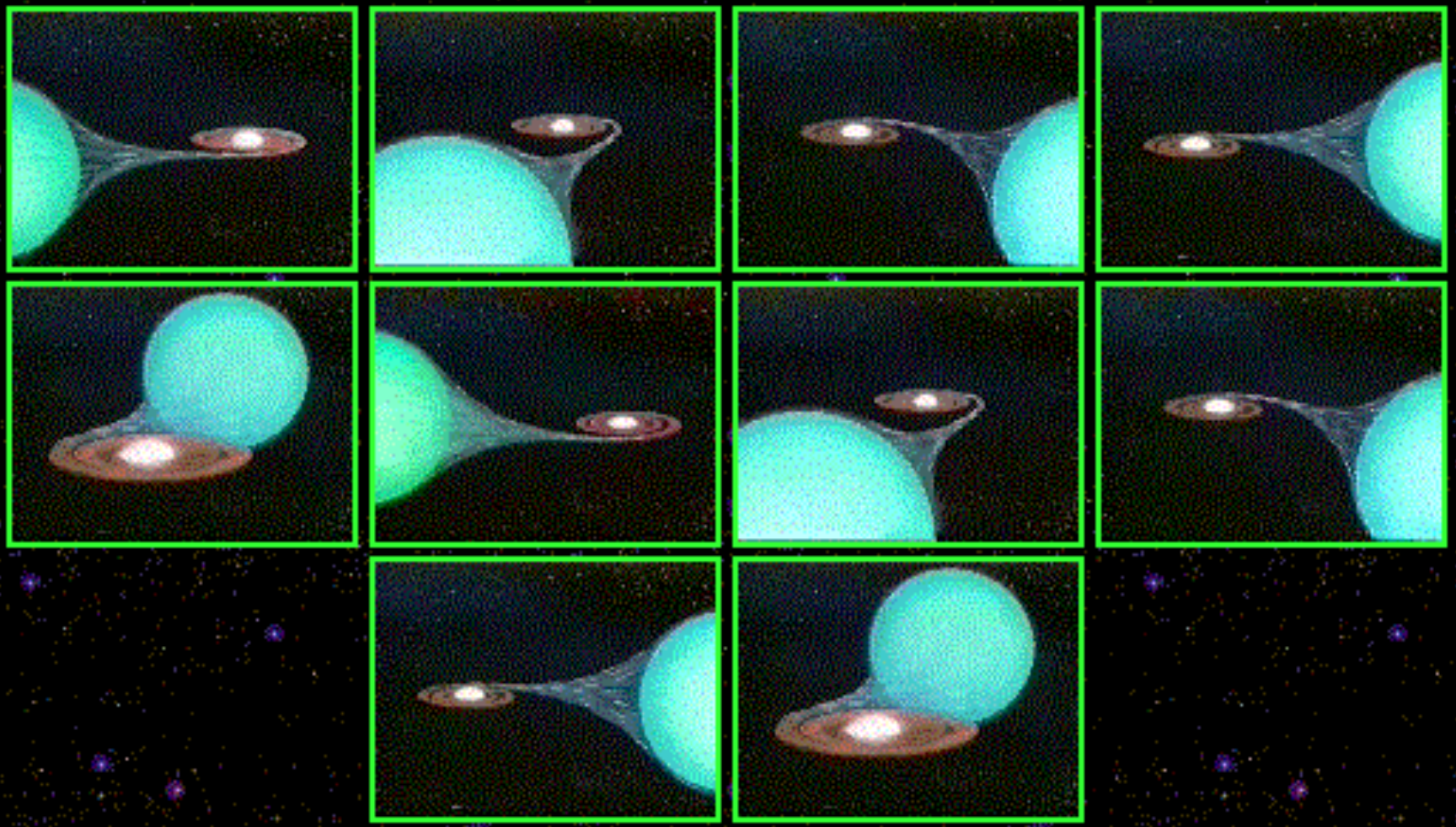
Nowe powrotne (recurrent novae)



Nowe karłowate

- Krzywa blasku: nieregularnie powtarzające się „wybuchy” o 2 – 5 mag. co kilkadziesiąt dni
- Linie emisyjne w minimum blasku, niższa Te
- Kompozycja widm: składnika głównego, wtórnego, dysku, strugi gazu i gorącej plamy
- Typowa konstrukcja: gwiazda ciągu głównego plus biały karzeł lub gwiazda neutronowa

Nowe karłowate



Gwiazdy aktywne

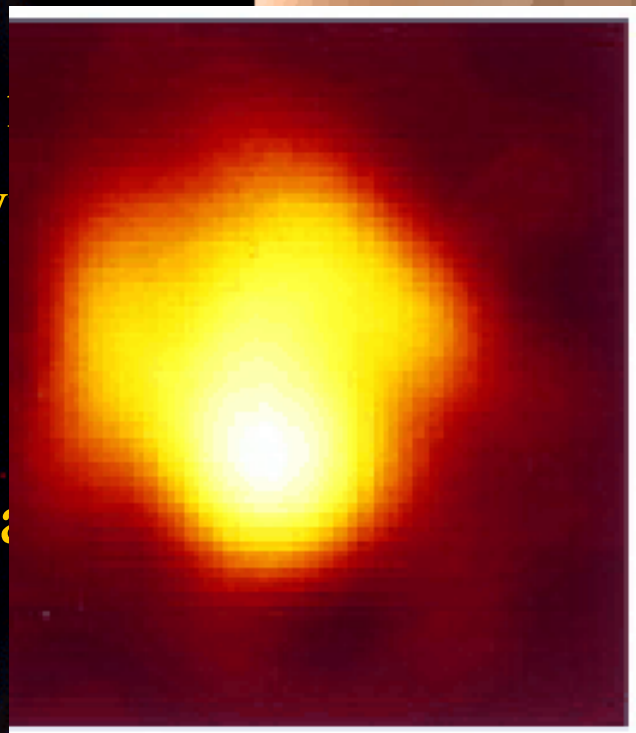
- szybka rotacja

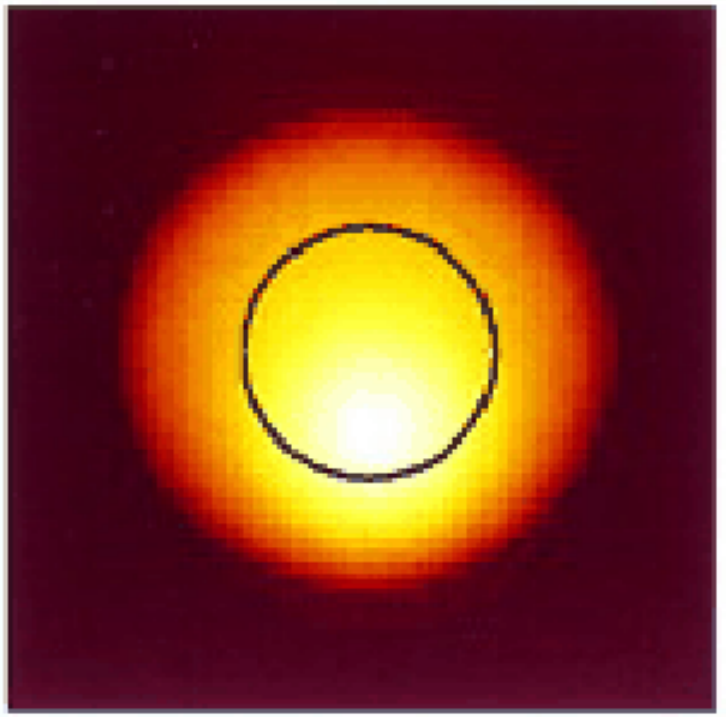
  +

- konwekcja

  =

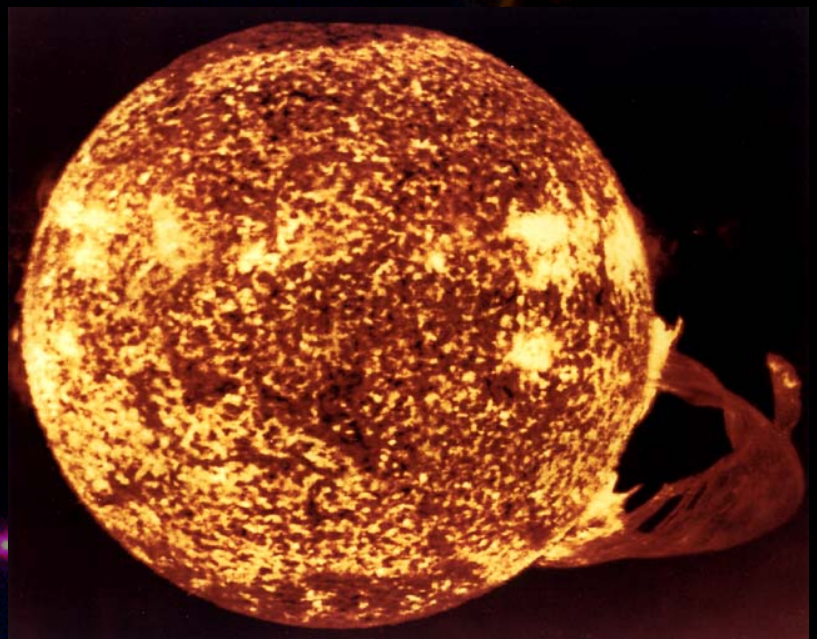
- silne pole
  – efekt „dy
- plamy
- rozbłyski
- rozbudowa





Wnętrze Słońca

- Jądro palące wodór
  - T = 15 mln K
- otoczka promienista
- otoczka konwektywna



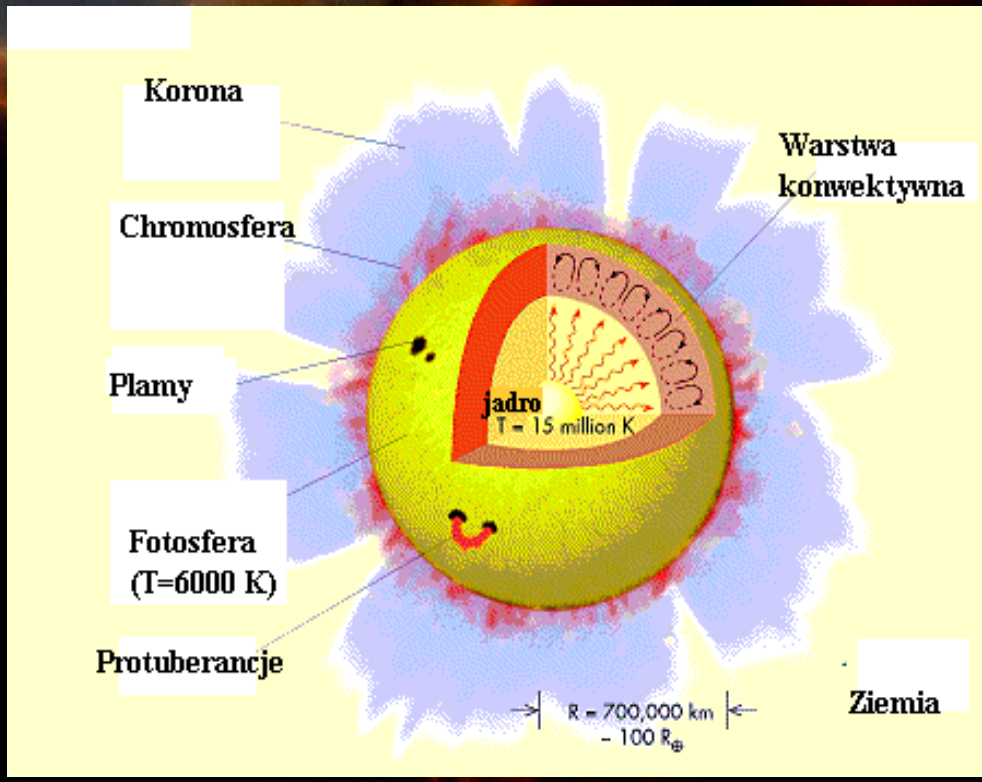
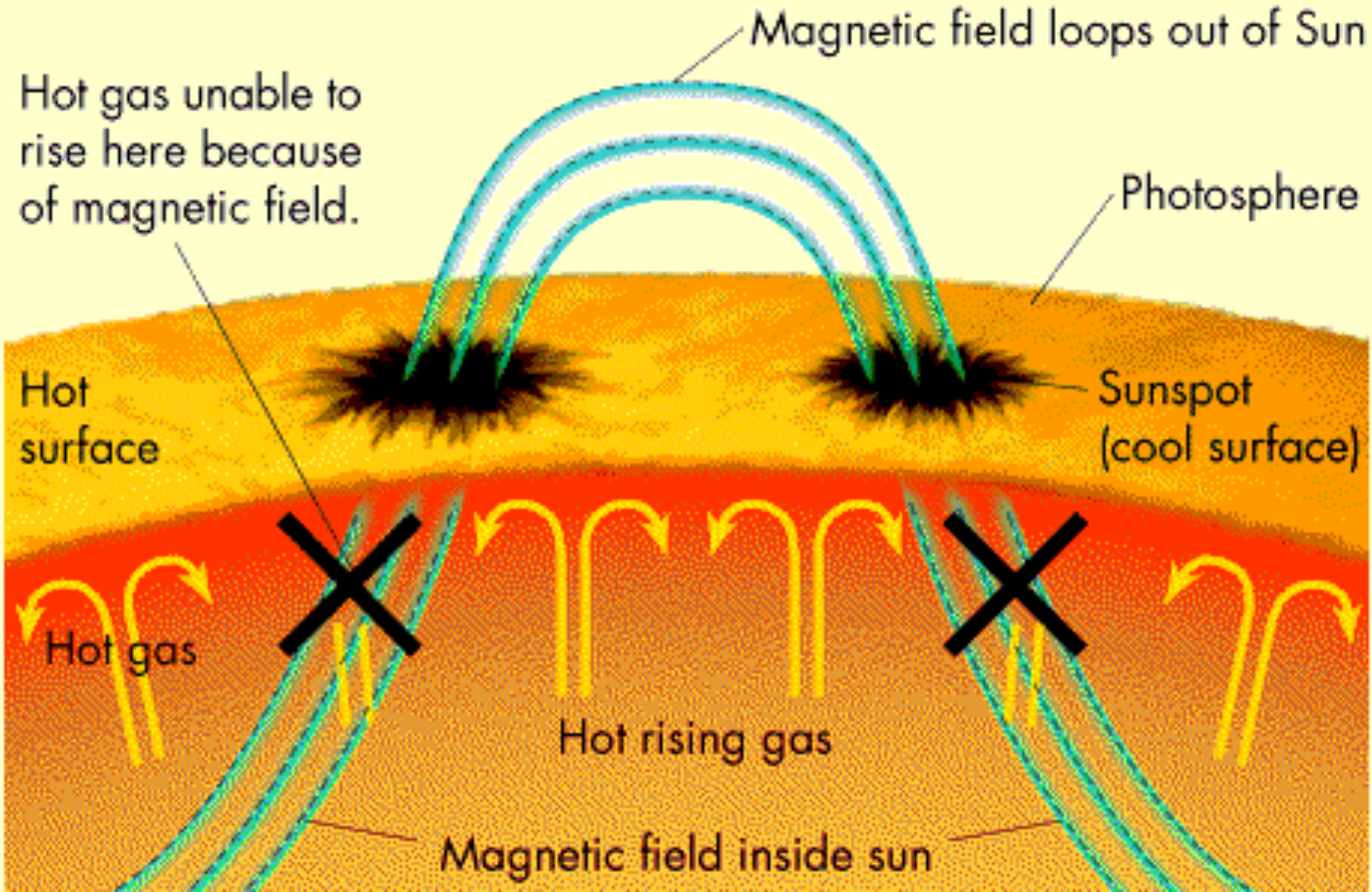
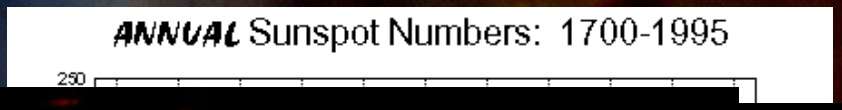
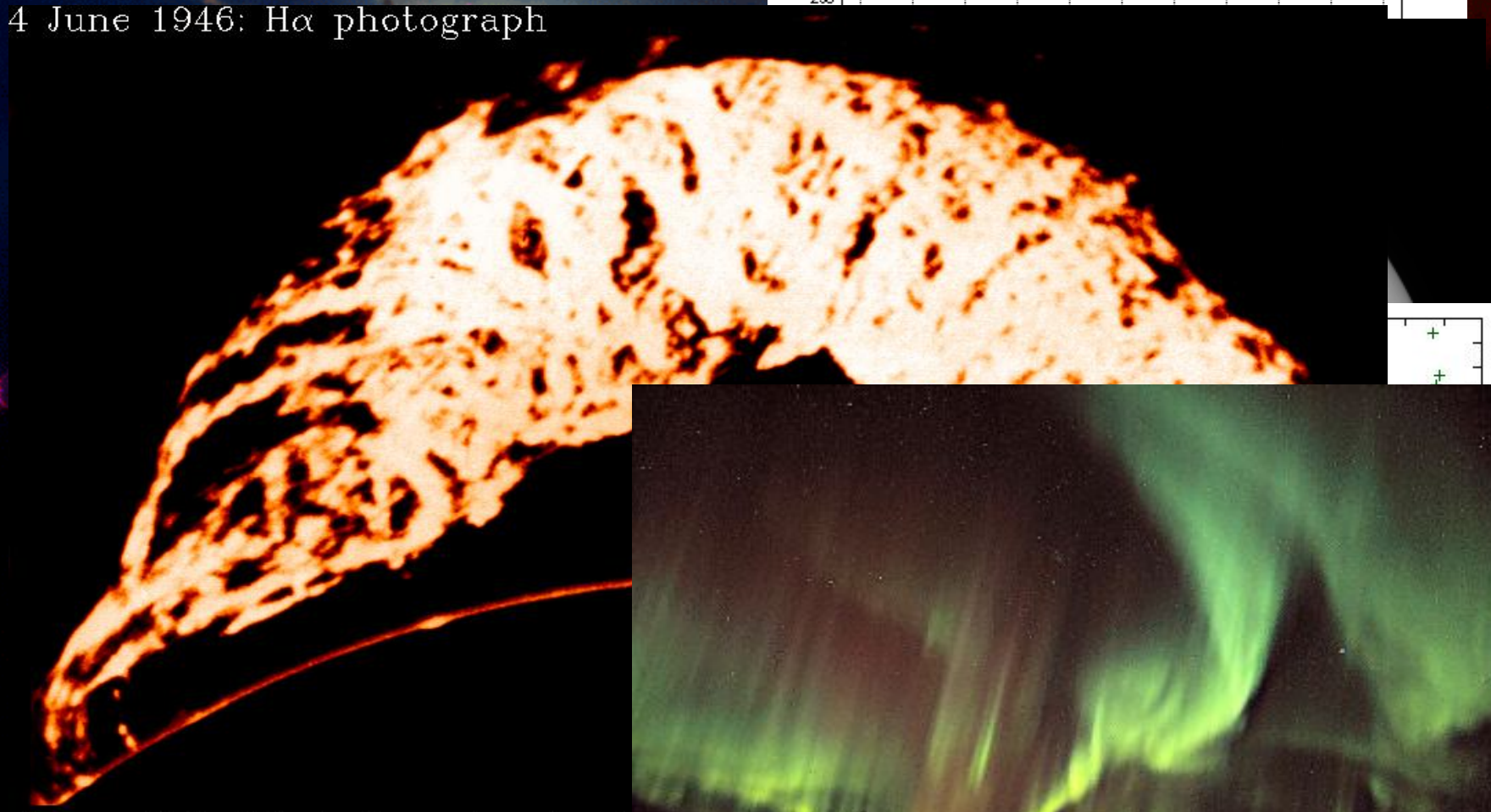


Figure 11-15


Magnetic field loops out of Sun
Hot gas unable to rise here because of magnetic field.
Photosphere
Hot surface
Sunspot (cool surface)
Hot gas
Hot rising gas
Magnetic field inside sun

Aktywność słoneczna

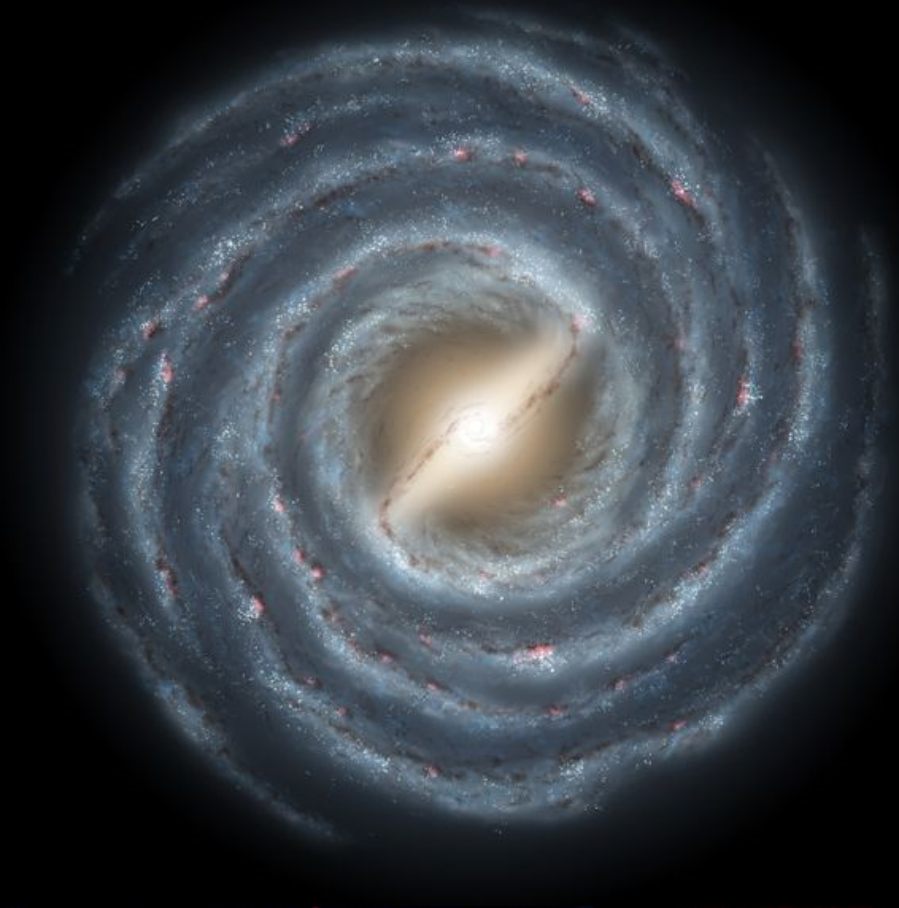


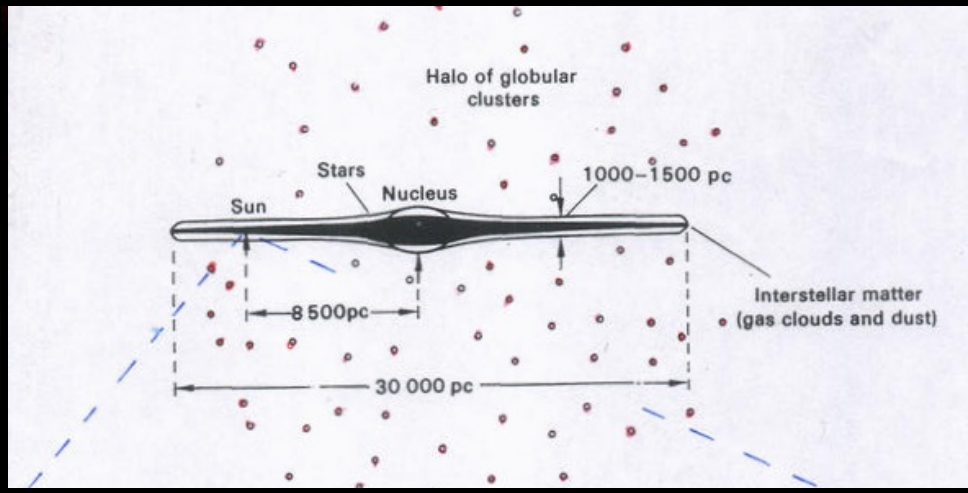


- 16/01/2025

Galaktyki, Kosmologia

Nasza Galaktyka



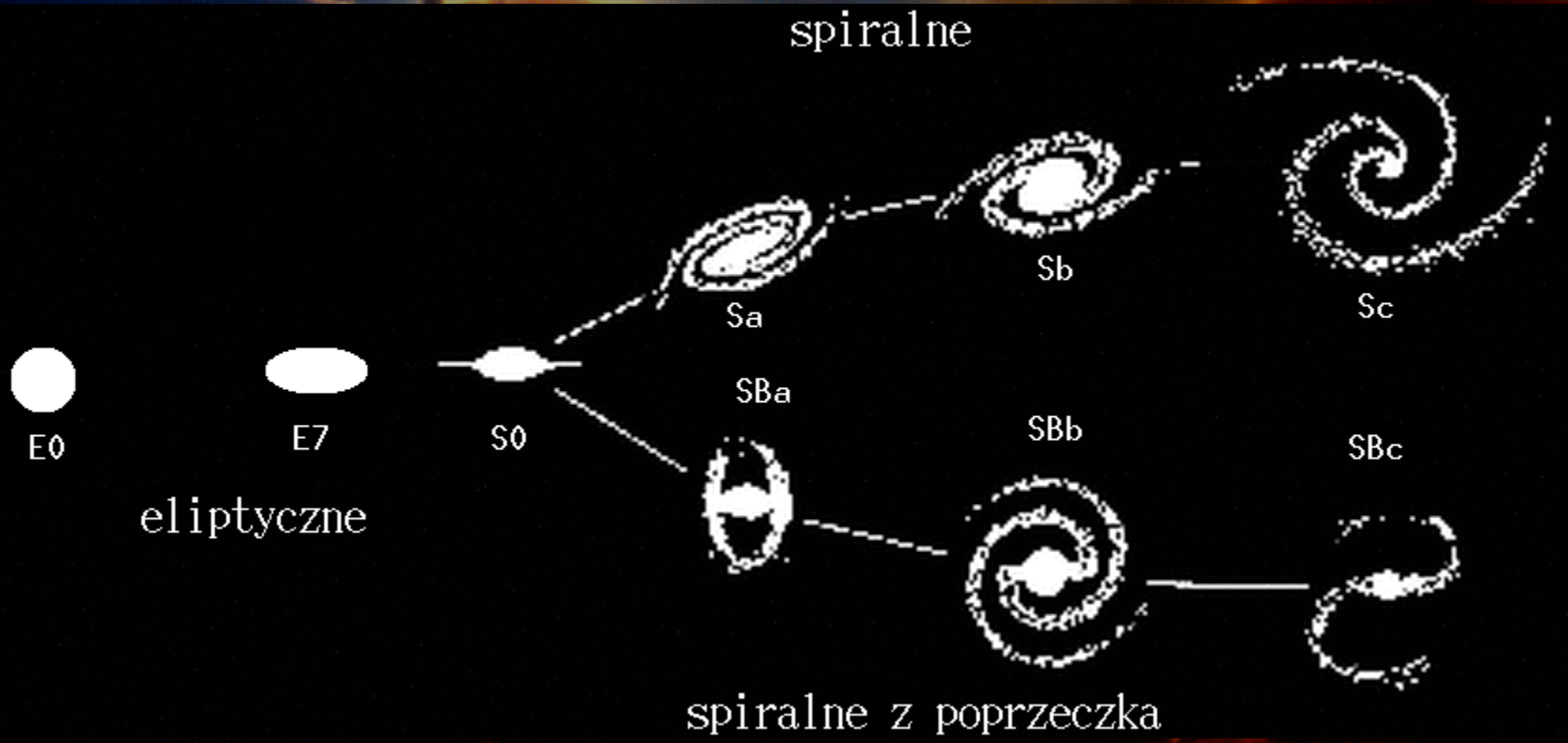


Galaktyki

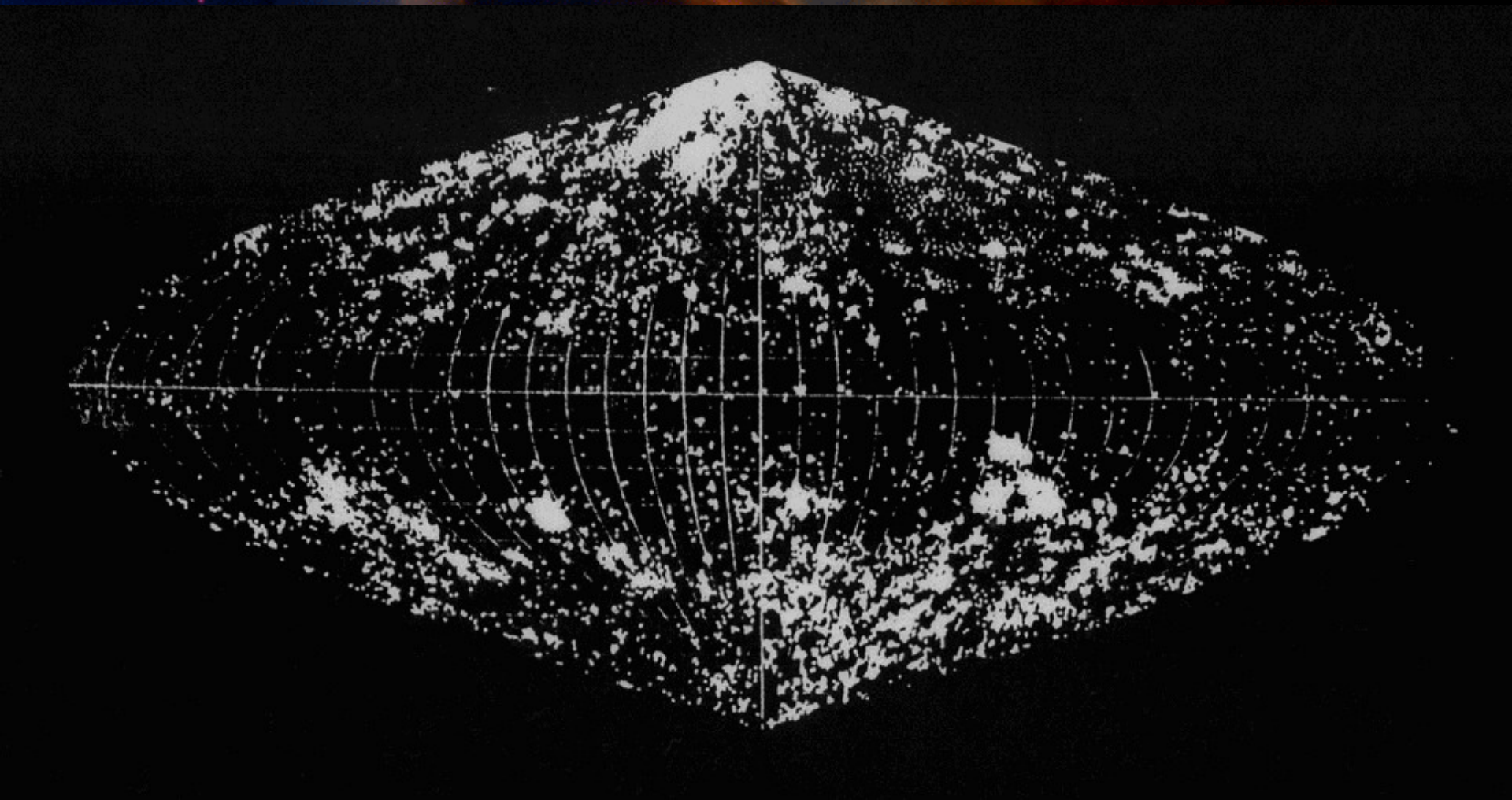
M87 © Anglo-Australian Observatory

Galaktyki

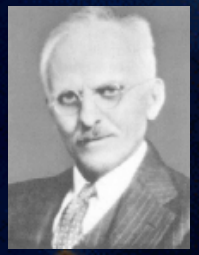
Galaktyki


spiralne
Sa
Sb
Sc
E0
E7
S0
SBa
SBb
SBc
eliptyczne
spiralne z poprzeczka

Rozkład mgławic na niebie:
Charlier (1922):



Curtis i Shapley 1920



Heber D. Curtis
1872 - 1942

Mgławice spiralne są układami gwiazd równoważnymi Drodze Mlecznej

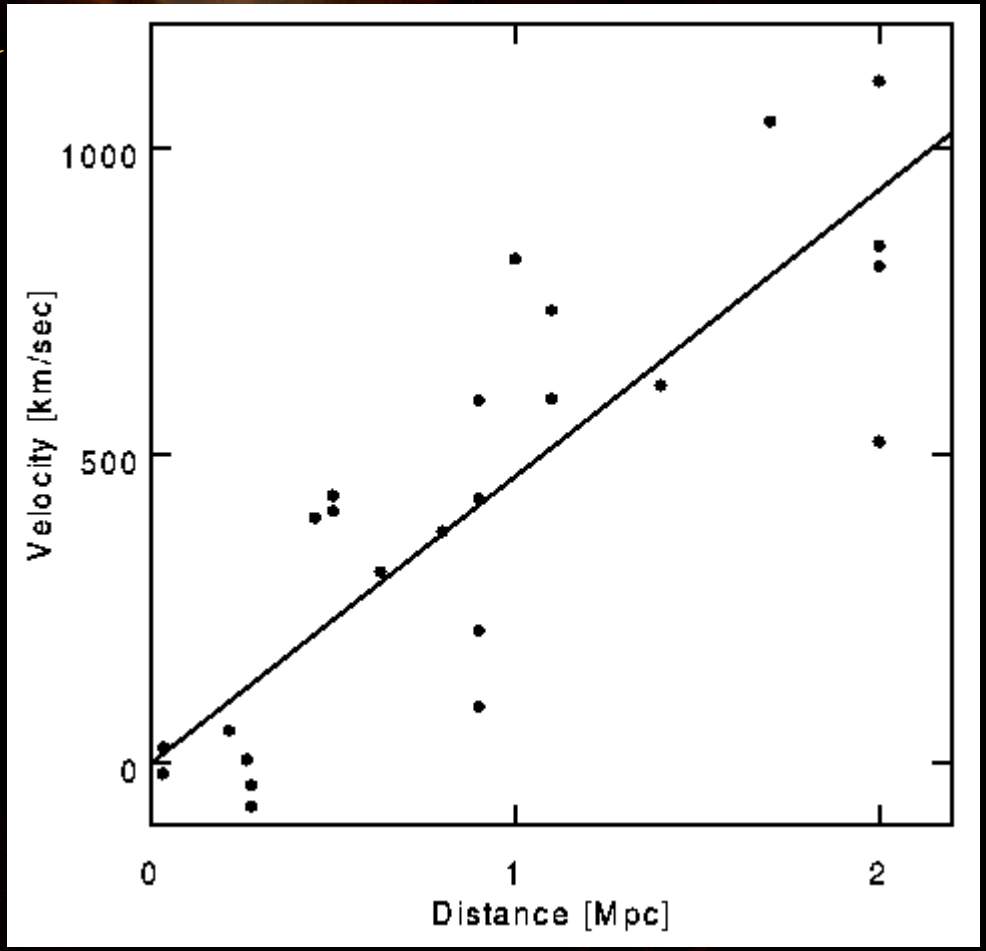
Harlow Shapley
1885 - 1972

Mgławice spiralne należą do Galaktyki

	Shapley	Curtis
Main point	The Milky Way is large and the `spiral nebulae' are part of it.	The Milky Way is small and there may be other galaxies like it.
Evidence	Milky Way is so large that if the spiral nebulae have the same size, they are at inconceivably large distances from us.	The large range in angular sizes of the spiral nebulae indicates that there is a huge range in distances to them. They cannot all be in our small Milky Way.
	The surface brightness of the Milky Way is lower than that of the spiral nebulae. So they cannot be similar things. *We now know that this observation is caused by dust absorption.*	(Super-)Novae observed in the Andromeda nebula are much fainter than those in the Milky Way. This implies large distances. *In fact, Curtis even underestimated the distance to Andromeda as he looked at supernovae, not novae, without knowing.*
	Observations show that some spirals revolve once in about years. If they are bigger than 5kpc, their outer regions travel at more than the speed of light. *It later turned out that these observations were simply wrong...*	Emission lines from the spiral nebulae are similar to those you would get if you summed up the spectra of stars in the solar neighbourhood. Their Doppler shifts are huge and so they travel at much larger speeds than stars. Therefore they cannot be part of the Milky Way.

Prawo Hubble'a

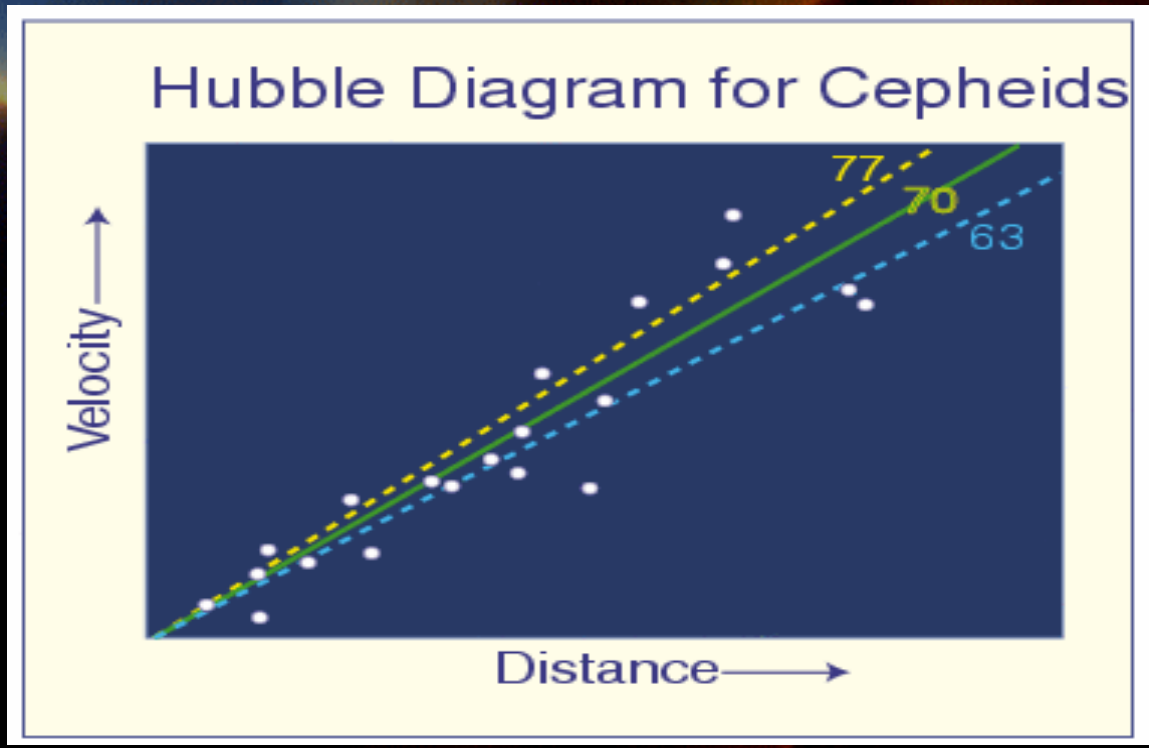
- Edwin Hubble
  - 1929, pomiary Cefeid
  - $v = H_0 \cdot r$
  - $H_0 = 464$ km/s/Mpc



Prawo Hubble'a

- $v = H_0 \cdot r$

  H_0= 72 km/s/Mpc



- z - redshift (przesunięcie ku czerwieni)

  $z = \Delta\lambda/\lambda_0 = v/c$ *(prawo Dopplera)*

  $\lambda = (1+z)\,\lambda_0$

Zasada Kosmologiczna

Wszechświat:

- jednorodny
- izotropowy
- prawa fizyczne uniwersalne

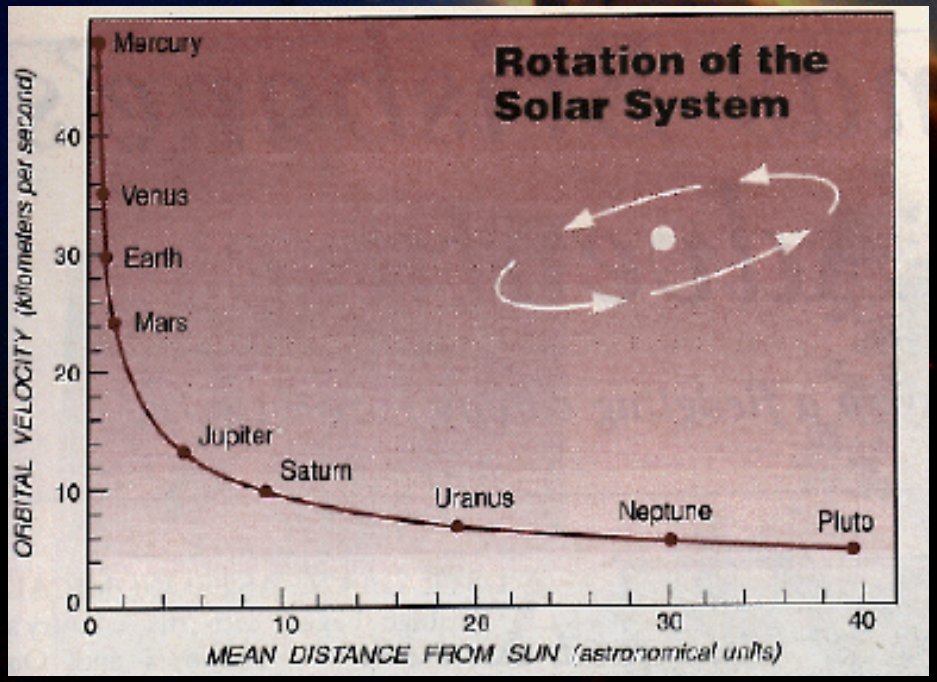
Silna Zasada Kosmologiczna

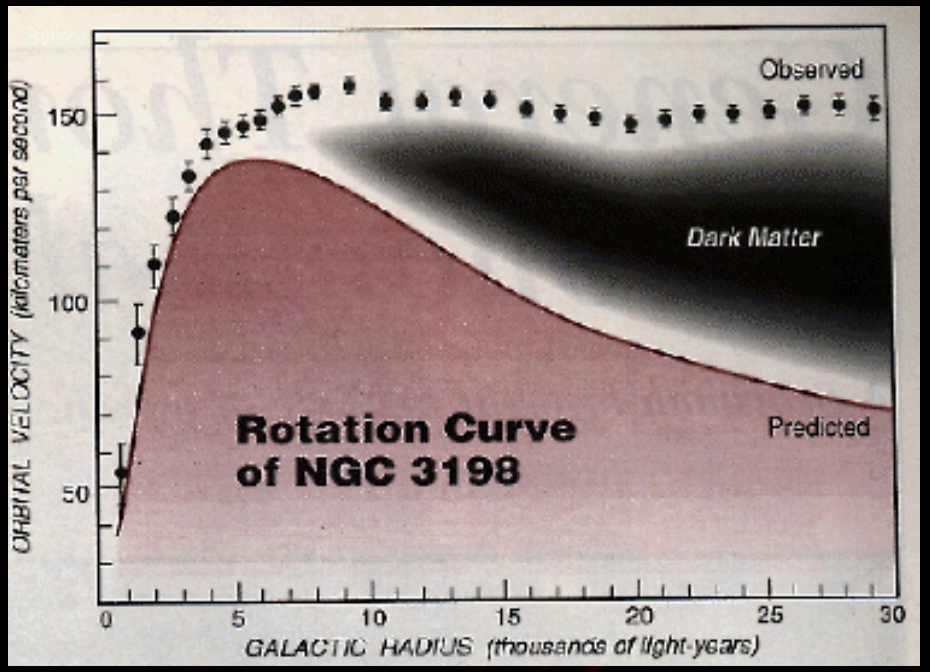
Wszechświat z każdego miejsca i
w dowolnym momencie wygląda jednakowo.

Wszechświat wieczny, niezmienny,
stacjonarny i nieskończony - sprzeczne z
obserwacjami (np. paradoks Olbersa)

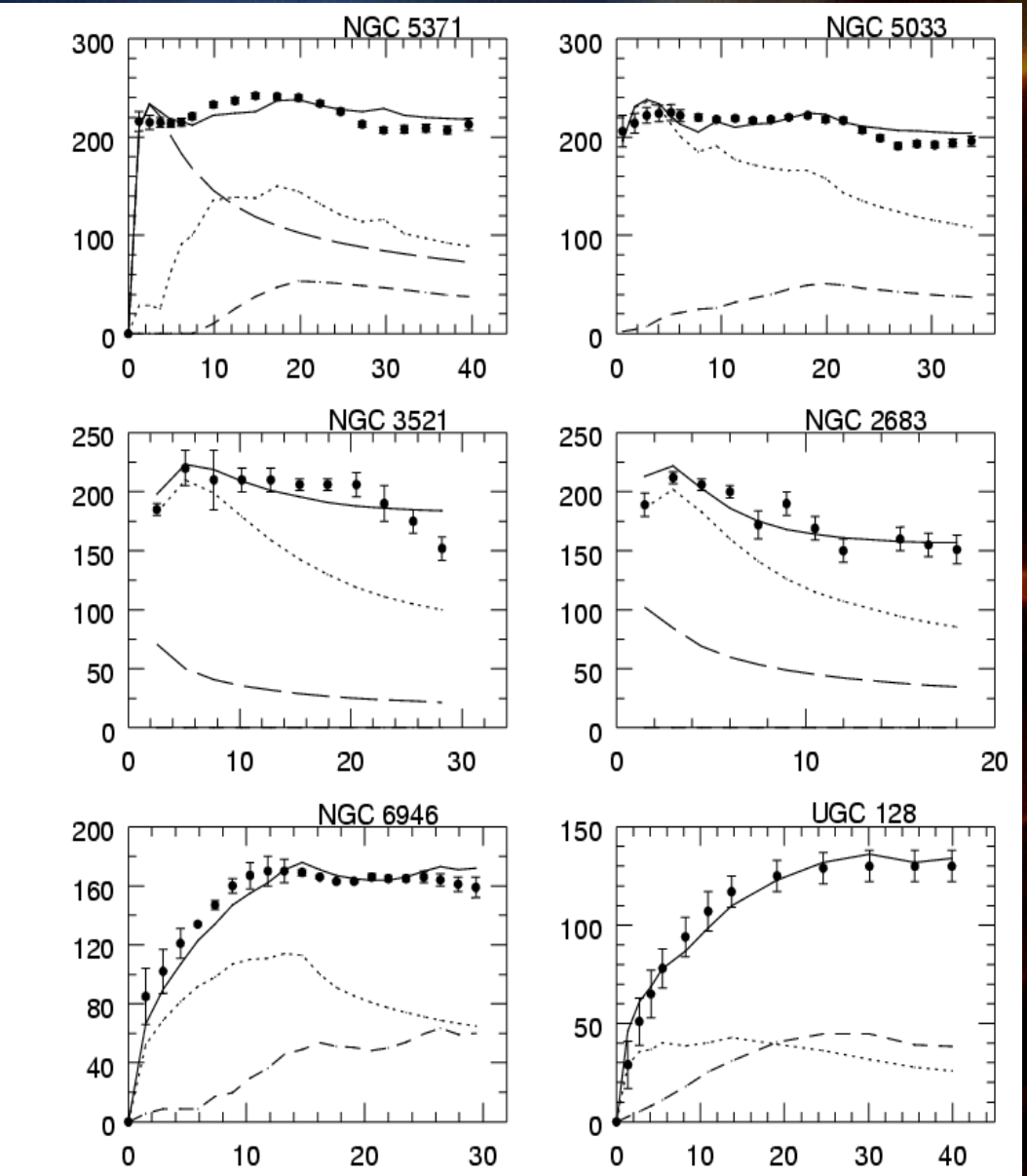
Teoria Stanu Stacjonarnego

Krzywe rotacji a ciemna metria



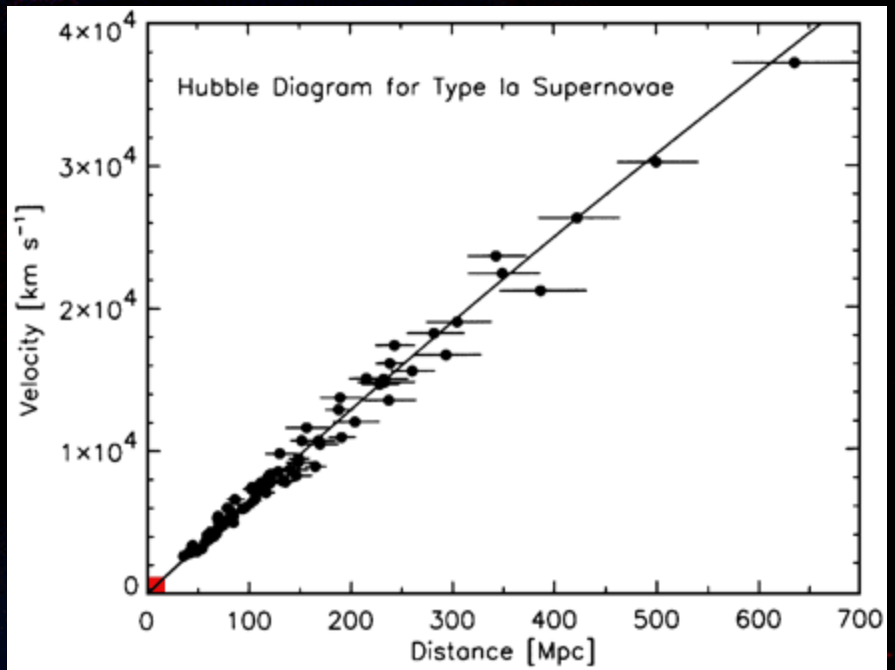


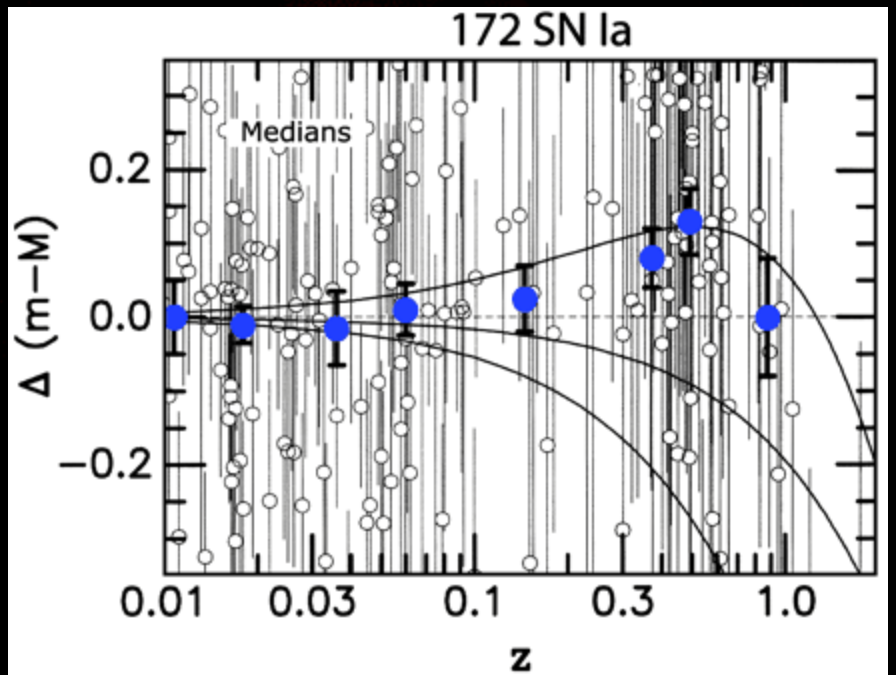
Krzywe rotacji galaktyk spiralnych



Supernowe – testy kosmologiczne

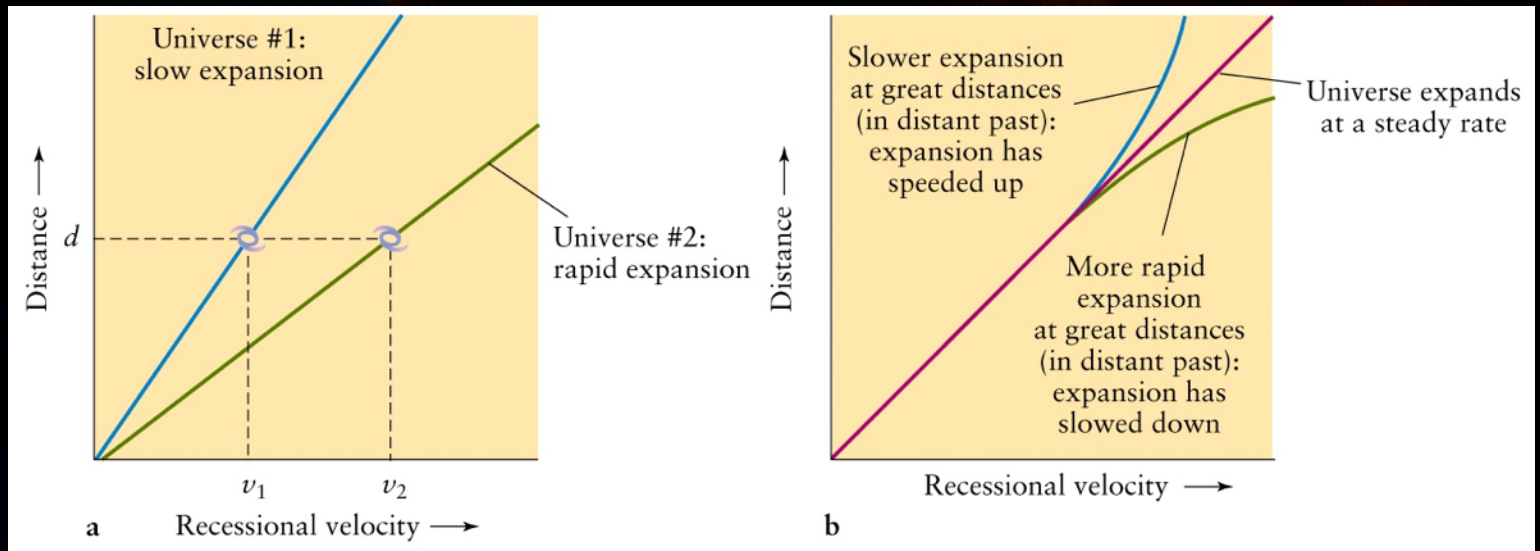
- Diagram Hubble'a
  - dla supernowych typu Ia
  - $m = M + 5 \log z + 5 \log R_H + 5$; $R_{H=} c/H$



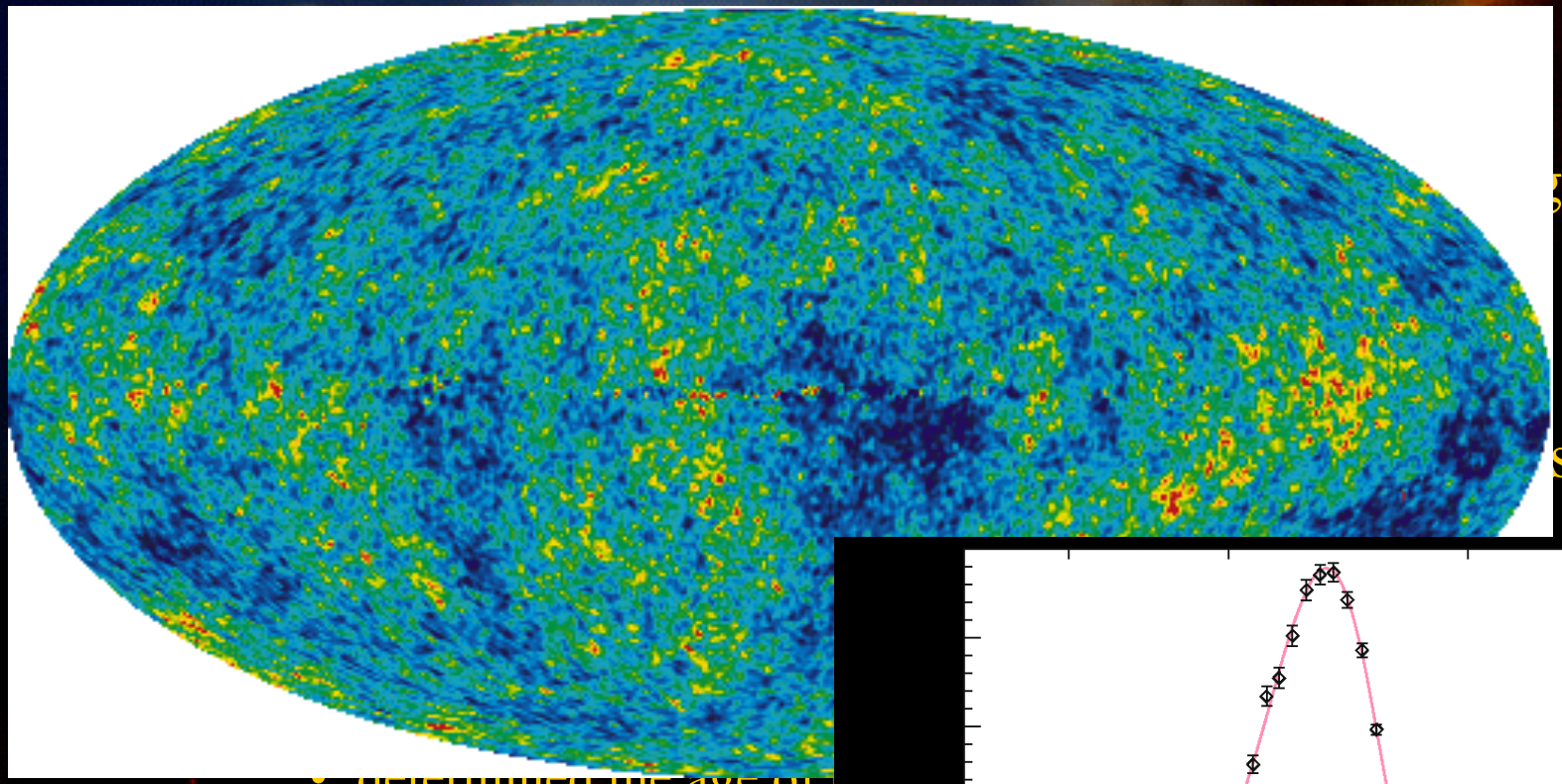


Poszukiwanie ciemnej energii

- Promieniowanie tła ?
  - nie: omega ~0.01
- Prędkość ekspansji – stała Hubble'a H_0
  - obecnie 70 km/s
  - pomiar H_0 dawniej - dla dużych redshiftów

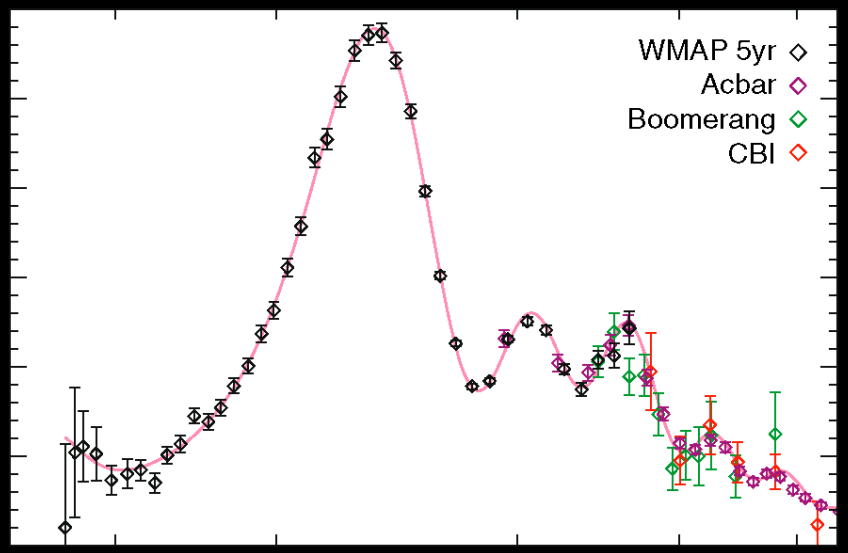


Wyniki WMAP



s we

- determined the age of
- epochs of the key trans
- geometry of the univer

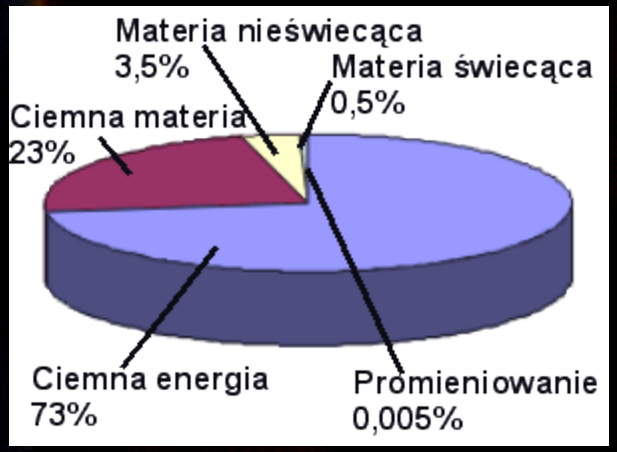


Gęstość Wszechświata

$\rho = (\Sigma m + \Sigma E / c^2) / V$

$\rho_{crit} = 8x10^{-27}\ kg/m^3$ - gętość krytyczna

Ω= Omega = ρ/ρ_{crit}



Poszukiwanie ciemnej energii

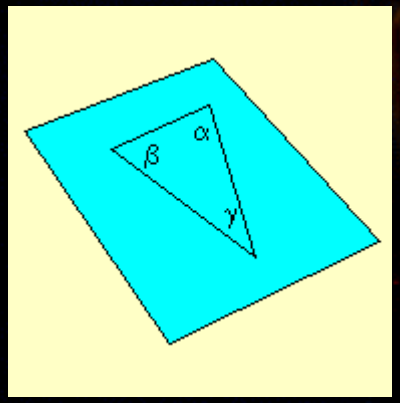
- Stała kosmologiczna Λ w równaniach ogólnej teorii względności Einsteina
  - dostarcza energii (zapewniając płaskość Wszechświata)
  - dostarcza ciśnienia (zapewniając akcelerację)
  - w mechanice kwantowej równoważna z energią i ciśnieniem próżni (w której tworzą się i anihilują wirtualne pary cząstka-antycząstka)

Symulacja Illustris

- https://www.inverse.com/article/60776-universe-simulation-reveals-galactic-evolution
- https://youtu.be/O674AZ_UKZk

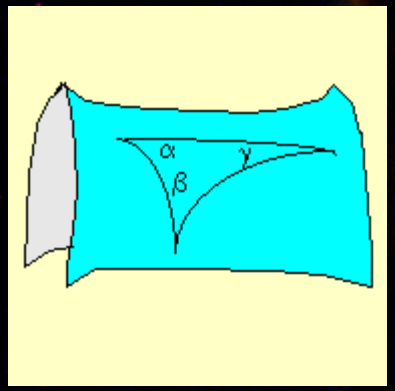
Wszechświat płaski

- nieskończona objętość
- geometria euklidesowa
  - suma kątów trójkąta = 180 stopni



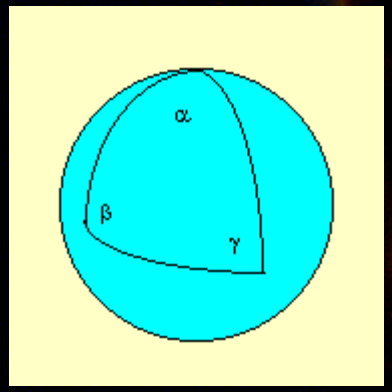
Wszechświat z ujemną krzywizną

- nieskończona objętość
- geometria nieeuklidesowa
  - suma kątów trójkąta może być < 180 stopni



Wszechświat z dodatnią krzywizną

- skończona objętość
- geometria nieeuklidesowa
  - suma kątów trójkąta > 180 stopni



Krzywizna Wszechświata

Z obserwacji współczesnych:

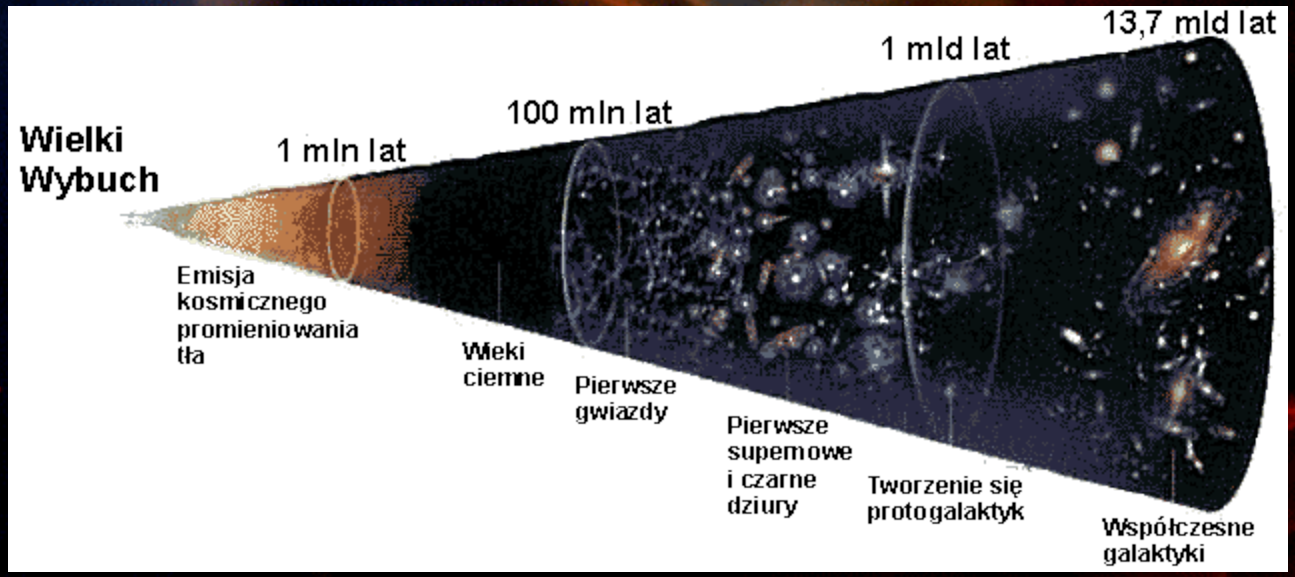
$\Omega = 1$

Wszechświat jest płaski

masa w gromadach galaktyk

$Omega_m = 0.27$	materia barionowa (0.04) + ciemna (0.23)
$Omega_E = 0.73$	ciemna energia

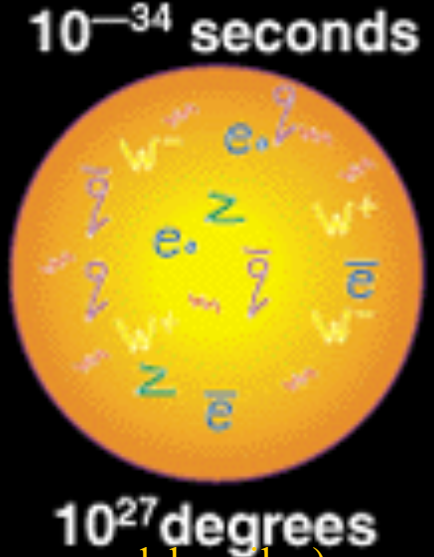
Historia Wszechświata



Historia Wszechświata

- Era Plancka
  - 0 do 10^{-43} s
  - gęstość 10^{93} g/cm^3
  - temperatura 10^{32} K
  - teoria grawitacji Einsteina nie obowiązuje
  - nie umiemy opisać zachodzących zjawisk

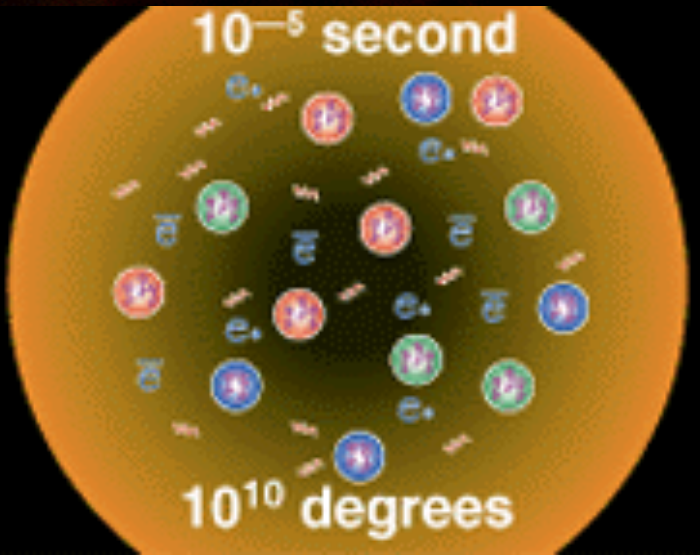
Historia Wszechświata



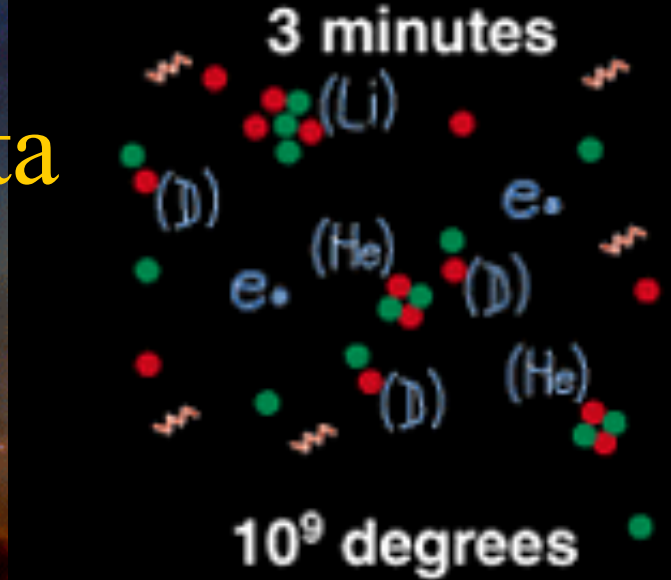
- Era hadronowa (plazmy kwarkowo-gluonowej)
  - do 10^{-4} s
    - wielka unifikacja
      - do 10^{-35} s symetria oddziaływań (elektromagnetyczne, słabe, silne), zakończona gdy $T < 10^{28}$ K
    - inflacja
      - 10^{-35} s 10^{-33} s - od tej pory oddziaływania silne dominują
      - gwałtowne przyspieszenie ekspansji (na skutek wydzielenia energii)
      - wygładzenie pierwotnych niejednorodności
    - po 10^{-33} s
      - wolniejsza ekspansja
      - istniały wszystkie typy kwarków i antykwarków
      - przy obniżaniu temperatury cięższe się rozpadały,
      - mniejsze łączyły w hadrony (protony, neutrony, hiperony, piony, kaony,...)
      - anihilacja par cząstka-antycząstka pozostały tylko protony i neutrony

Historia Wszechświata

- **10^{-5} s**
- Kwarki łącz się w protony i neutrony.
- Antymateria zaczyna zanikać - promieniowanie ma zbyt małą energię, aby ją wytwarzać.
- **Temperatura 10^{10} K**

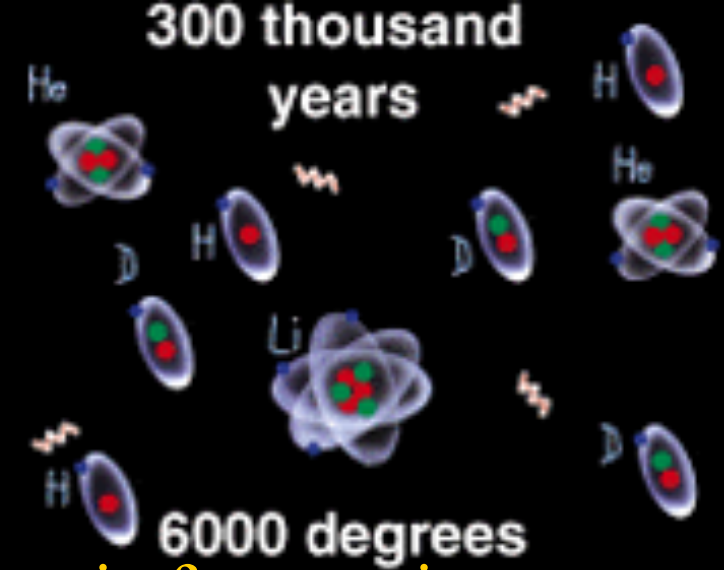


Historia Wszechświata



- Era leptonowa
  - 10 s
    - powstają liczne pary elektron-pozyton, taon-antytaon, mion-antymion i odpowiednie neutrina.
    - potem anihilacja par
      - przede wszystkim cięższych (miony i taony)
    - neutrina przestały oddziaływać z pozostałymi cząstkami
      - „neutrinowe promieniowanie tła”?
- Era nukleosyntezy
  - 10 minut
    - rozpad neutronów
    - ocalały tylko te, które połączyły się z protonami w jądra
      - jako pierwsze jądra deuteru, potem helu-3, helu-4, litu
    - pierwotny skład materii: 70% H, 29 % He, Li

Historia Wszechświata



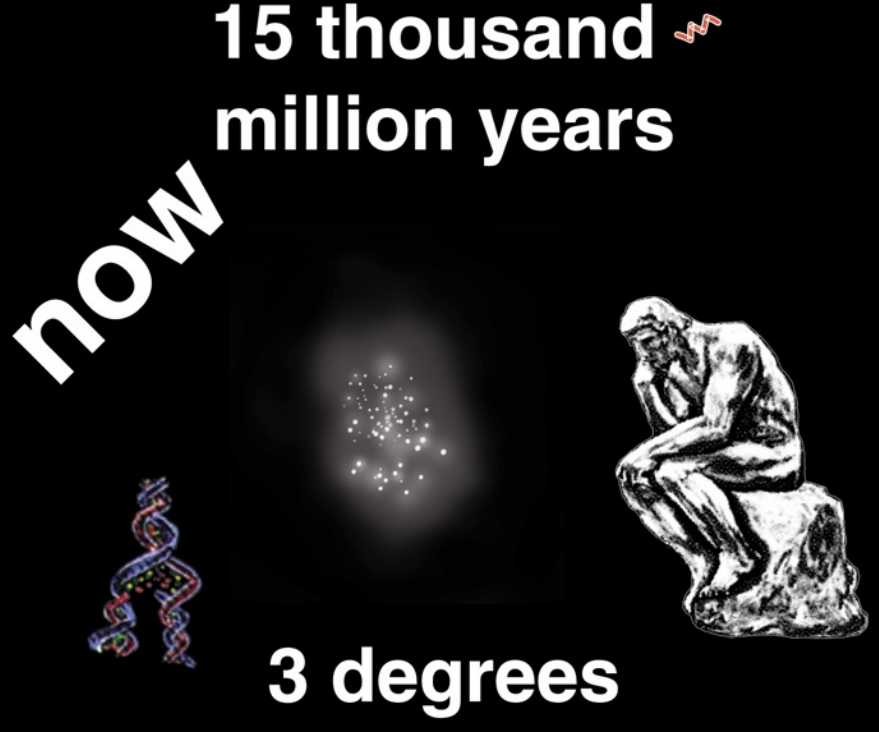
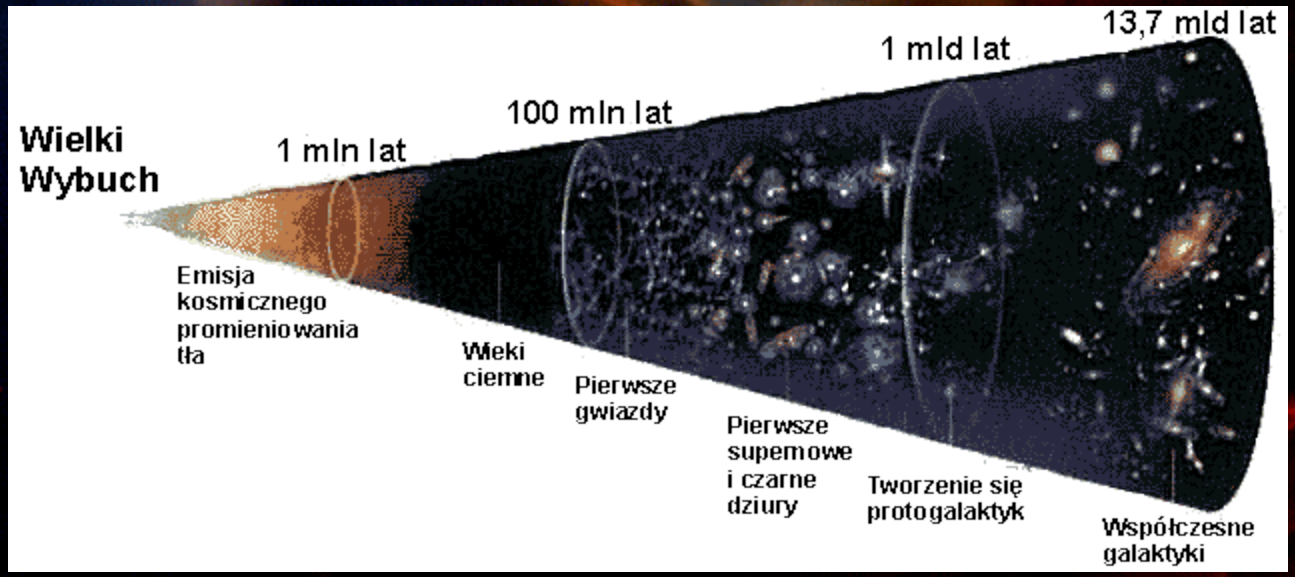
- Era promieniowania
  - Wszechświat wypełniony głównie fotonami (w równowadze z niewielką domieszką protonów, neutronów, He,Li)
  - 10,000 lat energia promieniowania < energii materii
  - 300,000 lat temperatura ~3,000 K
    - średnia energia fotonów < energii jonizacji wodoru
    - epoka rekombinacji – protony przyłączyły elektrony
    - uwolnienie promieniowania
      - mikrofalowe promieniowanie tła, reliktowe

Historia Wszechświata

- Era gwiazdowa (galaktyczna)
  - 100 mln lat - epoka ciemności
    - dominacja grawitacji
    - pierwsze gwiazdy
      - bardzo masywne
      - wybuchy supernowych
      - wzbogacanie w pierwiastki ciężkie
  - 1 mld lat
    - powstawanie galaktyk i/lub gromad galaktyk
    - gwiazdy mniej masywne (większa zawartość metali)
    - układy planetarne
  - do dzisiaj!

Historia Wszechświata

- **13 700 000 lat**
- **Chwila obecna**
- **Temperatura 2,7 K**



Historia Wszechświata