

# Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki UJ

27 lutego 2018



- astronomia jest nauką rozwiniętą już w starożytności
- początkowo dziedzina o charakterze matematyczno - obserwacyjnym (bez użycia teleskopu, trygonometria sferyczna wcześniejsza niż liczba zero)
- astrofizyka możliwa dopiero po ustaleniu prawdziwej natury ciał niebieskich (*Dialogi Galileusza*)
- kosmos to darmowe laboratorium warunków fizycznych odległych od ziemskich
- współcześnie różnice pomiędzy astronomią a astrofizyką zacierają się i mają charakter głównie społecznościowy

# A vs A: klasyfikacja supernowych

- astronomowie: są tylko dwa typy:
  - 1 zawierające wodór
  - 2 nie zawierające wodoru
- astrofizycy: znamy tylko dwa odpowiednie źródła energii:
  - 1 synteza termojądrowa
  - 2 grawitacyjna energia potencjalna

	Brak linii wodoru	Obserwujemy linie wodoru
Synteza termojądrowa	Typ I	
Zapadanie grawitacyjne		Typ II

# A vs A: klasyfikacja supernowych

- astronomowie: są tylko dwa typy:
  - 1 zawierające wodór
  - 2 nie zawierające wodoru
- astrofizycy: znamy tylko dwa odpowiednie źródła energii:
  - 1 synteza termojądrowa
  - 2 grawitacyjna energia potencjalna

	Brak linii wodoru	Obserwujemy linie wodoru
Synteza termojądrowa	Typ Ia	PISN
Zapadanie grawitacyjne	Typ Ib, Ic, GRB	Typ II

- 1 przygotowanie do dalszego studiowania tematu
  - terminologia, pojęcia
- 2 ogólne wykształcenie
- 3 ukazanie związków pomiędzy Ziemią a Kosmosem, np:
  - wielkie wymierania
  - epoki lodowcowe
  - wpływ Słońca
- 4 poszukiwanie odpowiedzi na pytania fundamentalne:  
**pochodzenie pierwiastków, życia, początek i koniec, czy jesteśmy sami we Wszechświecie**
- 5 zjawiska astronomiczne jako test praw fizyki:  
**ekstremalne gęstości, temperatury, pola magnetyczne itd.**
- 6 eleganckie zastosowania i rachunki fizyki teoretycznej
- 7 perspektywa podboju kosmosu: dokąd się udać i po co?

- 1 astrofizyka jądrowa (*nuclear astrophysics*)
  - gwiazdy neutronowe, supernowe, ewolucja gwiazd, nukleosynteza
- 2 astrofizyka cząstek (*astroparticle physics*)
  - neutrino, ciemna materia, promieniowanie kosmiczne
  - Seminarium Astrofizyczne, WFAIS.IF-AK010.2
- 3 astrofizyka wysokich energii (*high-energy astronomy*)

Wstęp do astrofizyki wysokich energii, OA.IHEA, M. Ostrowski

- aktywne jądra galaktyk (AGN)
  - pozostałości po supernowych, dyski akrecyjne, pulsary, magnetary
- 4 kosmologia, OTW (*cosmology, GR*) Ogólna teoria względności, WFAIS.IF-FT115.0, E. Malec, A. Rostworowski; Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, E. Malec, P. Mach; Współczesna Kosmologia, OA.MK, S. Szybka
    - czarne dziury (zderzenia), fale grawitacyjne
  - 5 zagadnienie N-ciał, Wybrane zagadnienia mechaniki nieba, WFAIS.IF-AK001.0, Z.

Golda, K. Głód

- **historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów

- ~~historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~



- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- **fizycznie:** zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów

- **historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów
- **fizycznie:** zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów

- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- **fizycznie:** ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- **metodą Chandrasekhara:** wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program

- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- **fizycznie:** ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- **metodą Chandrasekhara:** ~~wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~

- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- **fizycznie:** ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- **metodą Chandrasekhara:** ~~wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~
- **obserwacyjnie/sprzętowo:** omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć

- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- **fizycznie:** ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- **metodą Chandrasekhara:** ~~wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~
- **obserwacyjnie/sprzętowo:** ~~omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć~~

- ~~historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- ~~fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- ~~metodą Chandrasekhara: wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~
- ~~obserwacyjnie/sprzętowo: omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć~~
- geometrycznie: zaczynamy od obiektów najbliższych (Ziemia, Układ Słoneczny) , poprzez gwiazdy, gromady kuliste, galaktyki, gromady galaktyk i pustki, a kończymy na Wszechświecie jako całości

- ~~**historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów~~
- ~~**fizycznie:** zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- ~~**metodą Chandrasekhara:** wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~
- ~~**obserwacyjnie/sprzętowo:** omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć~~
- ~~geometrycznie: zaczynamy na Wszechświecie jako całości, poprzez gromady galaktyk i pustki, galaktyki, gromady kuliste, gwiazdy, układy planetarne, Układ Słoneczny a kończymy w systemie Ziemia-Księżyc~~



- **historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów
- **fizycznie:** zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów
- **metodą Chandrasekhara:** wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program
- **obserwacyjnie/sprzętowo:** omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć
- **geometrycznie:** zaczynamy na Wszechświecie jako całości, poprzez gromady galaktyk i pustki, galaktyki, gromady kuliste, gwiazdy, układy planetarne, Układ Słoneczny a kończymy w systemie Ziemia-Księżyc
- **zgodnie z ewolucją Wszechświata:** od Wielkiego Wybuchu do dziś

Naszym życiem rządzą trzy cykle:

- 1 obrót Ziemi wokół własnej osi („czas Newtonowski”)
  - doba równa 24 h
  - cykl dzień-noc
  - godzina: czas w jakim Ziemia obraca się o kąt w przybliżeniu równy rozmiarowi dłoni w odległości wyprostowanej ręki
- 2 okres obiegu Księżyca wokół Ziemi
  - 1 miesiąc
  - obrót Księżyca zsynchronizowany: zawsze widzimy jego jedną stronę
  - fazy Księżyca
- 3 okres obiegu Ziemi wokół Słońca
  - 1 rok
  - pory roku

Powyższy system jest nietrywialny: Ziemia mogłaby np: nie mieć księżyca i nie obracać się, a niebo być stale zakryte chmurami.

# Czy skale czasowe: miesiące, dni, lata, są stałe?

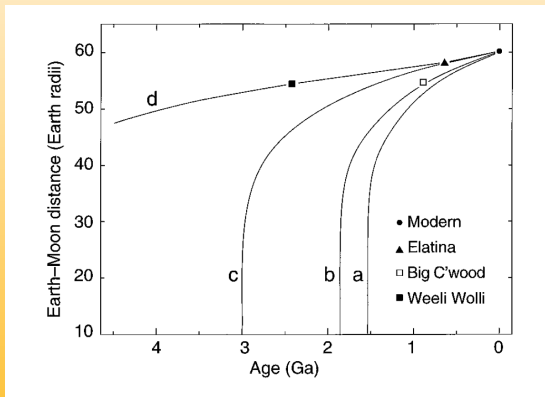
- Obrót Ziemi spowalnia, np: 620 Ma (milionów lat temu)
- Księżyc się oddala
- ~ 14 „miesięcy” w roku
- 400 „dni” w roku
- dzień trwa 22 godziny

Dane: <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/earth/6Page58.pdf>

Williams, George E. (2000). Geological constraints on the Precambrian history of Earth's rotation and the Moon's orbit. *Reviews of Geophysics* 38 (1): 37-60

# Czy skala czasowe: miesiące, dni, lata, są stałe?

- Obrót Ziemi spowalnia, np: 620 Ma (milionów lat temu)
- Księżyc się oddala

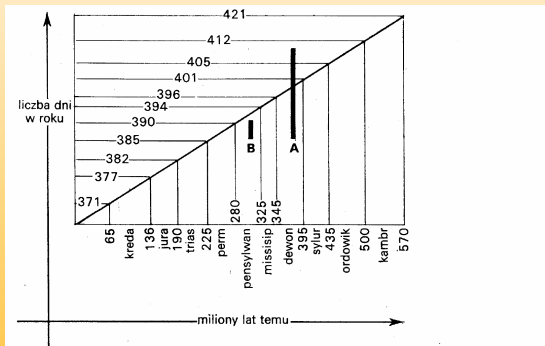


Dane: <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/earth/6Page58.pdf>

Williams, George E. (2000). Geological constraints on the Precambrian history of Earth's rotation and the Moon's orbit. *Reviews of Geophysics* 38 (1): 37-60

# Czy skale czasowe: miesiące, dni, lata, są stałe?

- Obrót Ziemi spowalnia, np: 620 Ma (milionów lat temu)
- Księżyc się oddala



Ryc. 61. Teoretyczny wykres zmiany liczby dni w roku w ciągu czasu geologicznego. Pionowe czarne paski to wyniki analizy dobowych i rocznych przyrostów pierścieni wzrostu u koralu kopalnych (wg. J. W. Wells, 1963)

Eicher 1979

Dane: <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/earth/6Page58.pdf>

Williams, George E. (2000). Geological constraints on the Precambrian history of Earth's rotation and the Moon's orbit. *Reviews of Geophysics* 38 (1): 37–60

- 1 w ogólności problem trzech ciał jest trudny
- 2 ale system jest hierarchiczny:

$$M_{\odot} \gg M_{\oplus} \gg M_K$$

- 3 odległość Ziemia-Słońce = 1 AU (Astronomical Unit), jednostka astronomiczna
- 4 odległość Ziemia-Księżyc = 0.0024 AU
  - $M_{\odot} = 1.98 \cdot 10^{30}$  kg,  $M_{\odot} \simeq 333\,000 M_{\oplus}$
  - $M_{\oplus} = 5.976 \cdot 10^{24}$  kg,  $M_{\oplus} \simeq 81 M_{\zeta}$
  - $M_{\zeta} = 7.3459 \times 10^{22}$  kg
- 5 siła grawitacyjna  $F = G \frac{M_1 M_2}{d^2}$ :
  - Ziemia-Słońce  $F = 3.5 \times 10^{22}$  N
  - Ziemia-Księżyc  $F = 2.3 \times 10^{20}$  N
  - Słońce-Księżyc  $F = 4.4 \times 10^{20}$  N
  - dlaczego Słońce nie „oderwie” Księżyc od Ziemi?

- niemal czarne, kilka tysięcy świecących punktów
- najjaśniejsze to 5 planet (7 wliczając Słońce i Ziemię)
- planety wykonują na niebie skomplikowane ruchy okresowe, koncentrujące się w rejonie **ekliptyki**
  - Merkury: 88 dni, **elongacja**  $< 29^\circ$
  - Wenus: 225 dni, elongacja  $< 48^\circ$
  - Mars: 1.88 lat
  - Jowisz: 11.9 lat
  - Saturn: 29.5 lat
- w idealnych warunkach można dostrzec najbliższe **galaktyki** (Andromeda, LMC, SMC), **Drogę Mleczną**, i kilka gromad gwiazd ( $\Omega$  Centauri)
- jeszcze Kopernik, Tycho de Brache i Kepler prowadzili obserwacje gołym okiem (!)
- miejskie oświetlenie tragedią astronomów-amatorów

# Galaktyka w Andromedzie, M31

Photo Credit: Anthony Urbano



# Wielkości gwiazdowe

- 1 tradycyjnie w astronomii, jasność „gwiazd” podajemy w *wielkościach gwiazdowych*, inaczej *magnitudo*, np:  $5^m$ ,  $-4.1^m$
- 2 skala wybrana jest w taki sposób, że różnica  $5^m$  to różnica  $100\times$  w jasności
- 3 gwiazda o jedno magnitudo jaśniejsza (mniejsza!), ma jasność  $\sqrt[5]{100} = 10^{0.4} \simeq 2.51$  razy większą
- 4 gwiazda 10 razy dalej wydaje się słabsza o  $5^m$
- 5 przykłady (od najjaśniejszych):
  - Słońce:  $-26.74^m$ ; Księżyc: w pełni  $-12.71^m$ , minimum:  $-2.5^m$
  - supernowa SN 1006:  $-7.5^m$
  - Wenus (maks.)  $-4.8^m$ , Mars, Jowisz (maks.) ok.  $-2.5^m$
  - Vega, Saturn ok.  $0^m$
  - gwiazdy pierwszej wielkości (np:  $\alpha$  Cen,  $\beta$  Ori)
  - granica ludzkiego oka:  $6^m$
  - granica możliwości, jak uczono mnie jako studenta:  $24^m$
  - teleskop 8 m z Ziemi:  $27^m$ ; teleskop Hubble'a  $31.5^m$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \frac{L_1}{L_2}$$

- $m_1, m_2$  - wielkości gwiazdowe obiektów 1 i 2
- $L_1, L_2$  - strumień „energii” (mierzony np: w  $\text{W}/\text{m}^2$ ) promieniowania obiektów, mierzony w identyczny sposób
- wielkości  $L_1, L_2$  w praktyce oznaczają raczej nadwyżkę liczby elektronów wybitych przez fotony w detektorze np: CCD, przepuszczone przez jeden z filtrów UBVRIJHKLMN
- $m = 0$  - tradycyjnie definiowane dla obiektu wzorcowego, np: gwiazdy Vega
- wielkość gwiazdowa może silnie zależeć od sposobu mierzenia, np: dla gwiazd świecących w podczerwieni lub ultrafiolecie
- bolometryczna wielkość gwiazdowa oznacza całkowity strumień energii, na wszystkich długościach fal

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericetke.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne

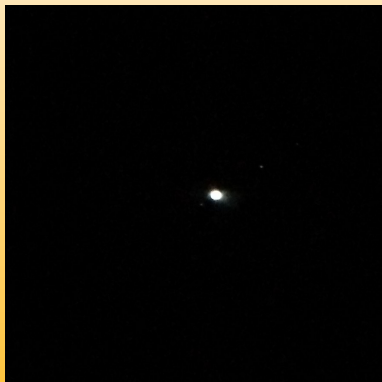


Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd**
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna**
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



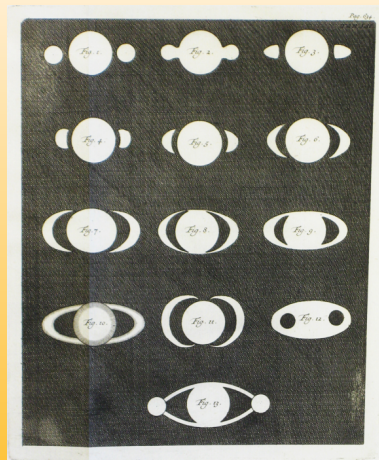
Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>



Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



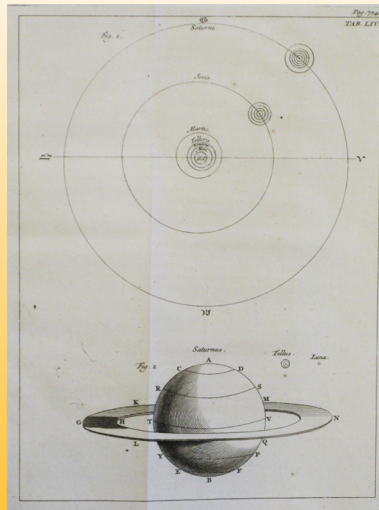
Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

# Nocne niebo w małym teleskopie

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.erictheske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd  
(nadal punktowych)**
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne

Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu**
- 9 gwiazdy podwójne



Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

Szybko rzucają się w oczy:

- 1 kratery na Księżycu
- 2 fazy Wenus i Merkurego
- 3 księżyce Jowisza
- 4 gromady kuliste i otwarte gwiazd
- 5 „mgławice”
- 6 pierścień Saturna
- 7 jeszcze więcej gwiazd (nadal punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne

Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

<http://www.ericsteske.com/2014/10/dslr-solar-observing-test-and-sunspots.html>

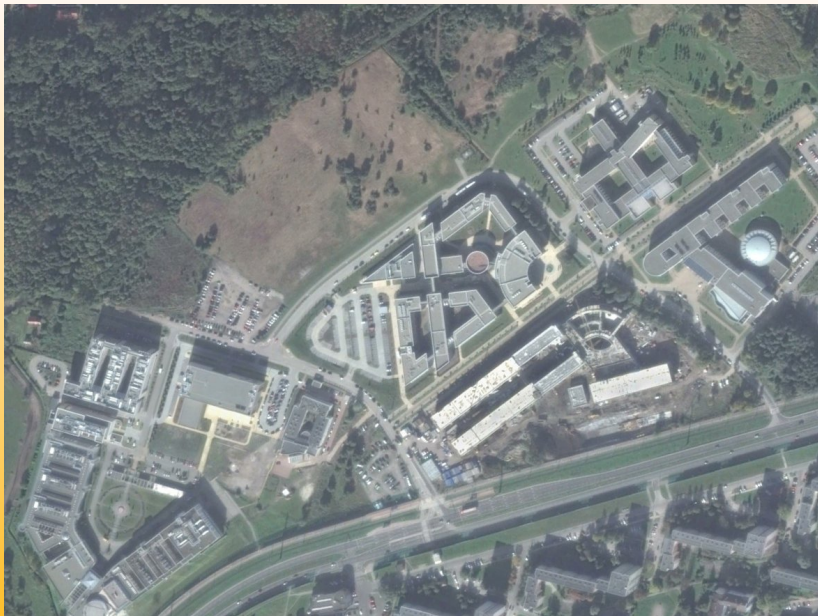
- 1 planety z księżycami
- 2 gwiazdy z układami planetarnymi
- 3 gromady gwiazd
- 4 galaktyki
- 5 grupy galaktyk
- 6 gromady galaktyk
- 7 supergromady, pustki
- 8 ?
- 9 ?
- 10 ?
- 11 jednorodny Wszechświat

## Kto nie zna swojego adresu, nie powinien wychodzić z domu!

- charakterystyczna błękitna planeta Ziemia, w układzie podwójnym z Księżycem
- trzecia licząc od pojedynczej gwiazdy macierzystej, Słońca
- gwiazda centralna: karzeł typu G2V, kolor żółty, wolno rotujący, cykl aktywności 22 lata
- układ planetarny składa się z 8 planet, 4 wewnętrzne, skaliste, 4 zewnętrzne, gazowe.
- liczne komety, planety karłowate, planetoidy
- pas planetoid pomiędzy planetą 4 a 5
- pas planet karłowatych (Kuipera) na zewnątrz planet
- układ otacza obłok komentarny (Oorta)
- w okolicy brak znanych charakterystycznych gwiazd lub innych obiektów astrofizycznych
- najbliższa gwiazda  $\alpha$  Cen, układ potrójny
- odległość od centrum Galaktyki ok 8.5 kpc
- Galaktyka jest dużą galaktyką spiralną, tworzy parę z drugą, nieco większą
- w Grupie Lokalnej liczne galaktyki karłowate oraz jedna mniejsza galaktyka spiralna.
- Grupa Lokalna położona jest na skraju gromady galaktyk Virgo, która z kolei jest częścią supergromady o takiej samej nazwie





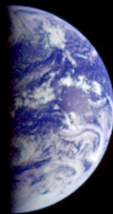


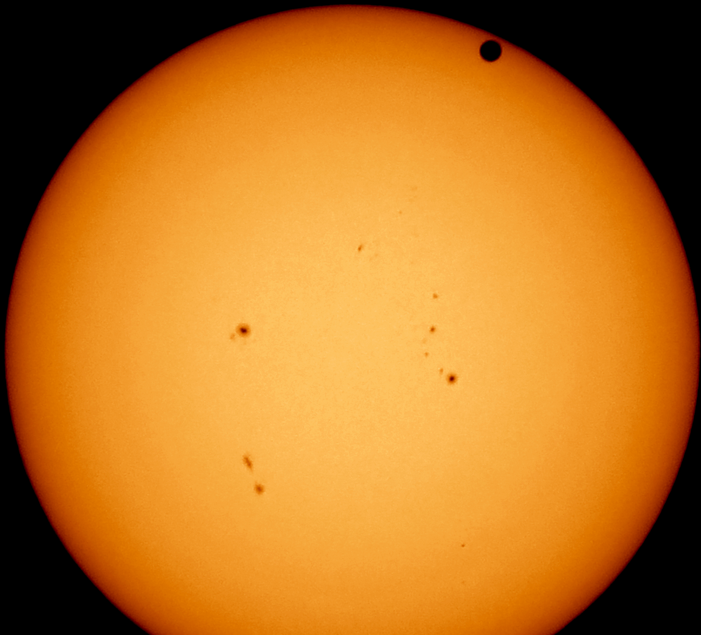


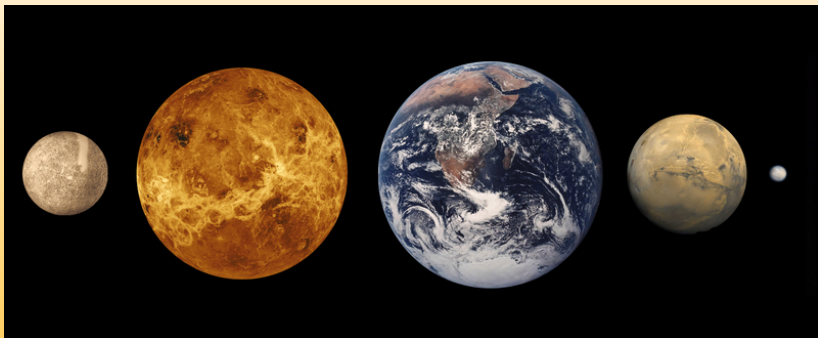




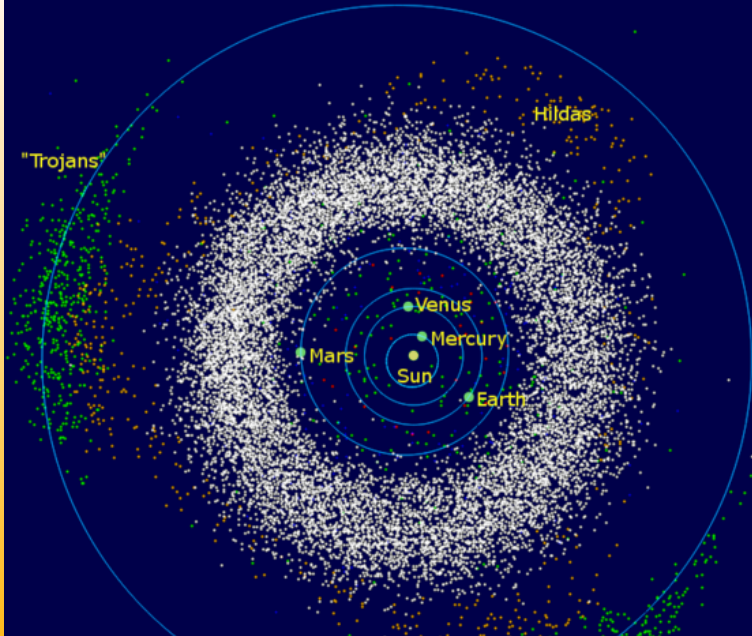






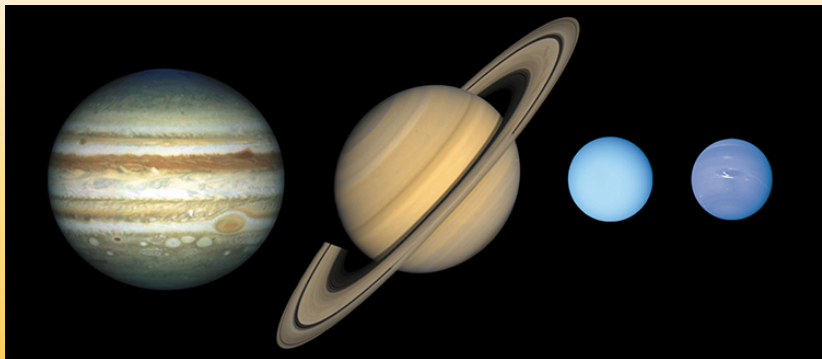


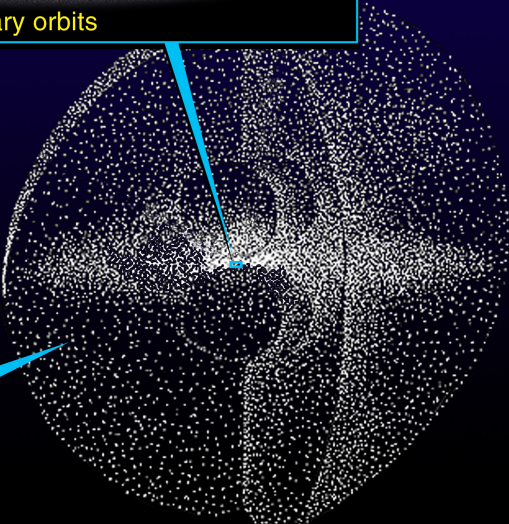
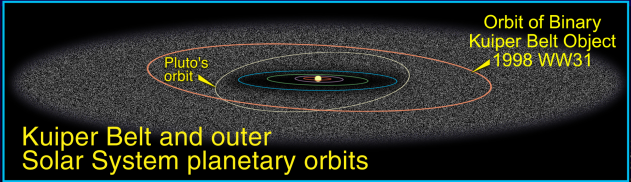






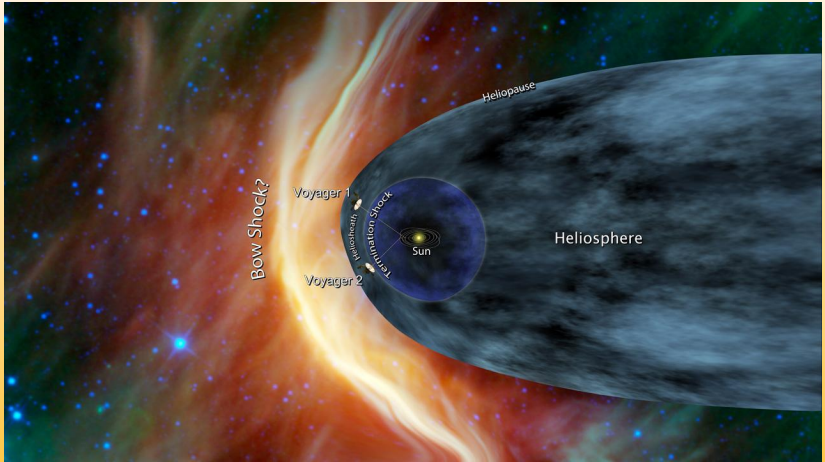


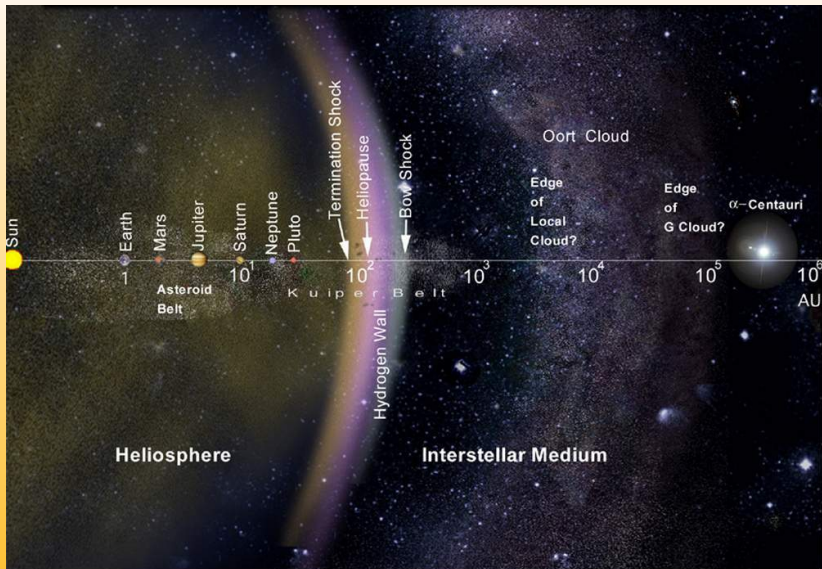


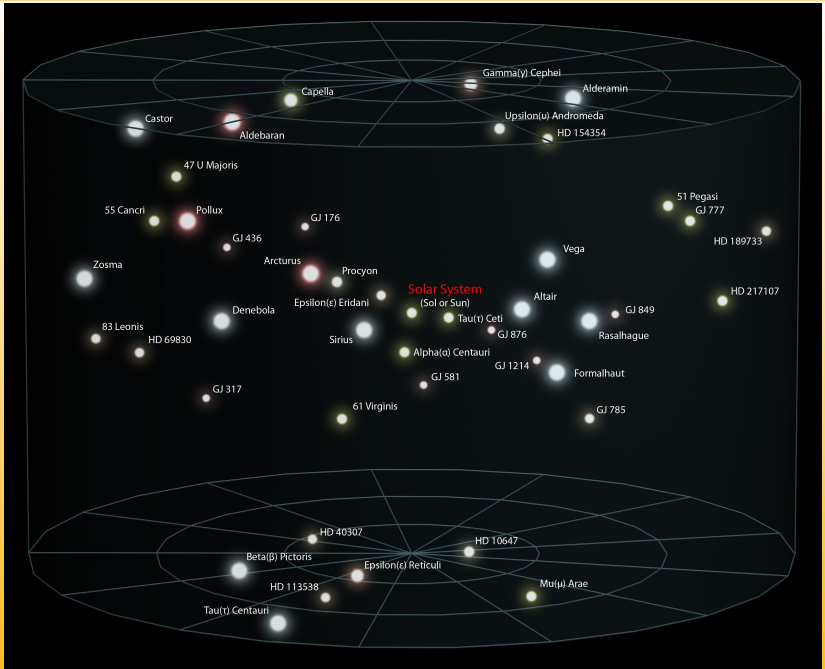


**The Oort Cloud  
(comprising many  
billions of comets)**

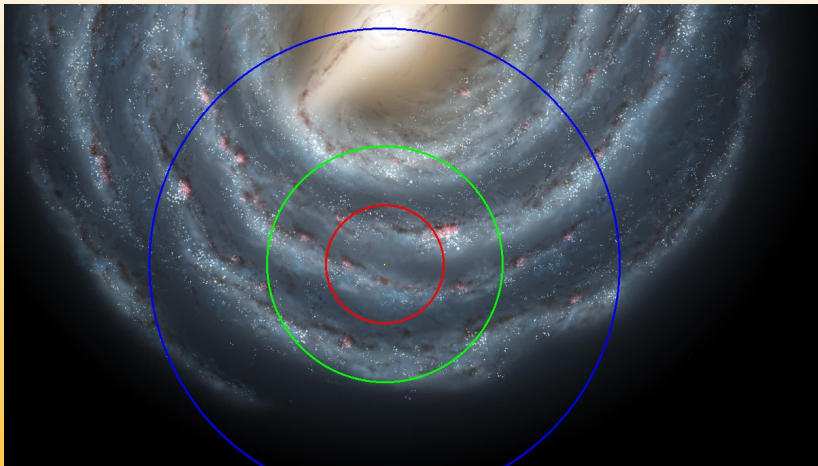
*Oort Cloud cutaway  
drawing adapted from  
Donald K. Yeoman's  
illustration (NASA, JPL)*

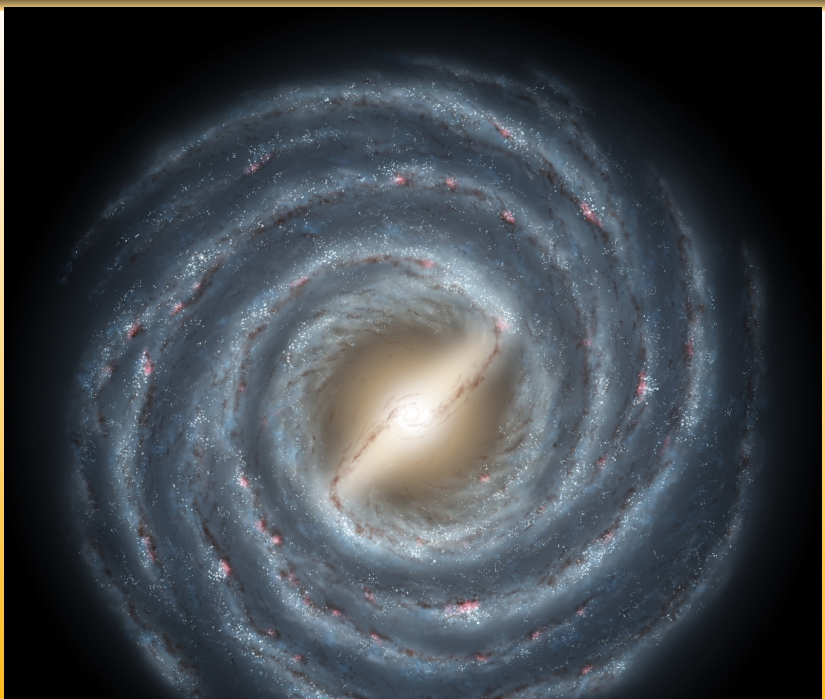


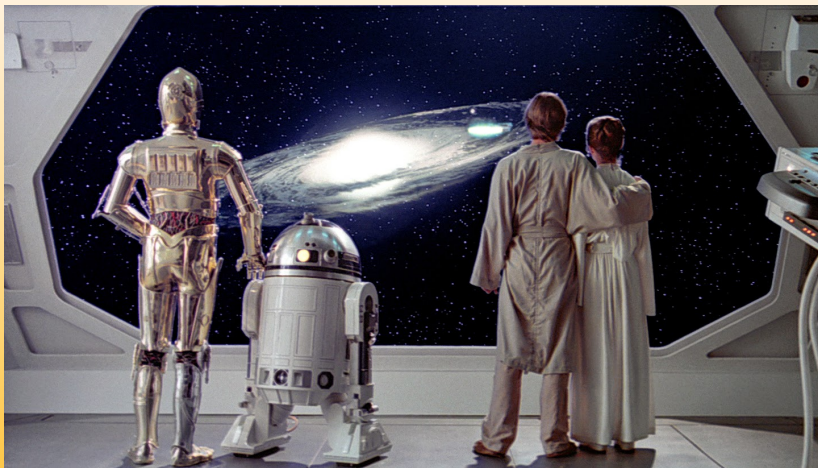


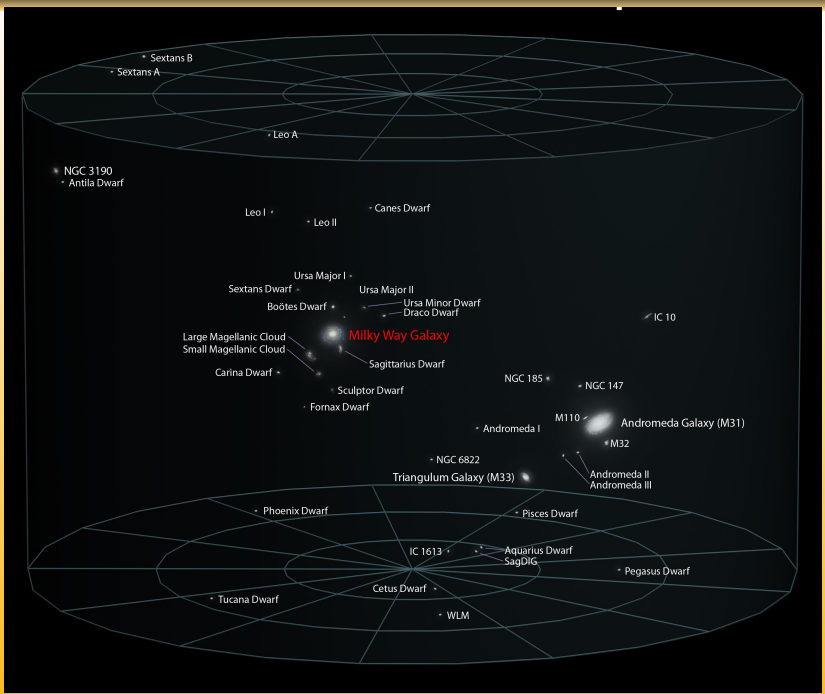


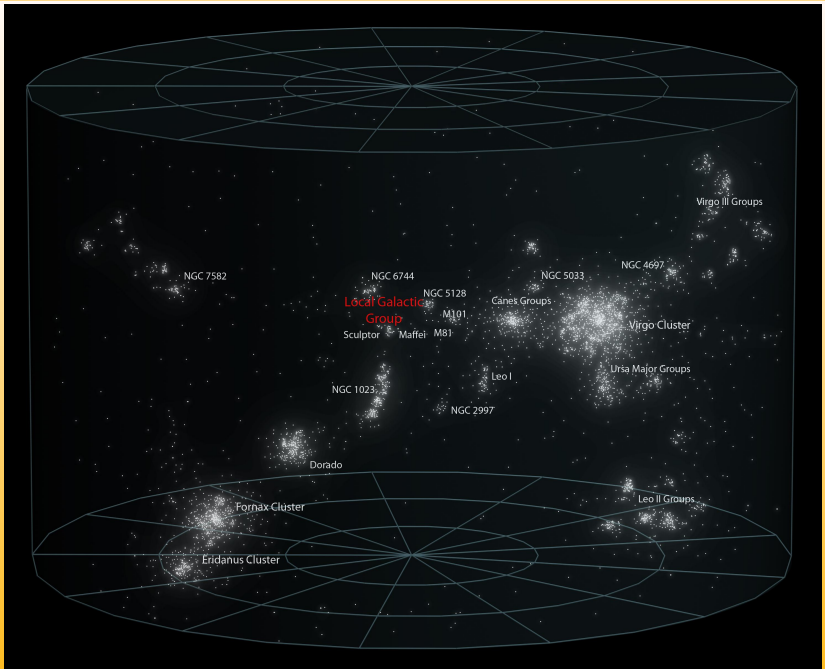


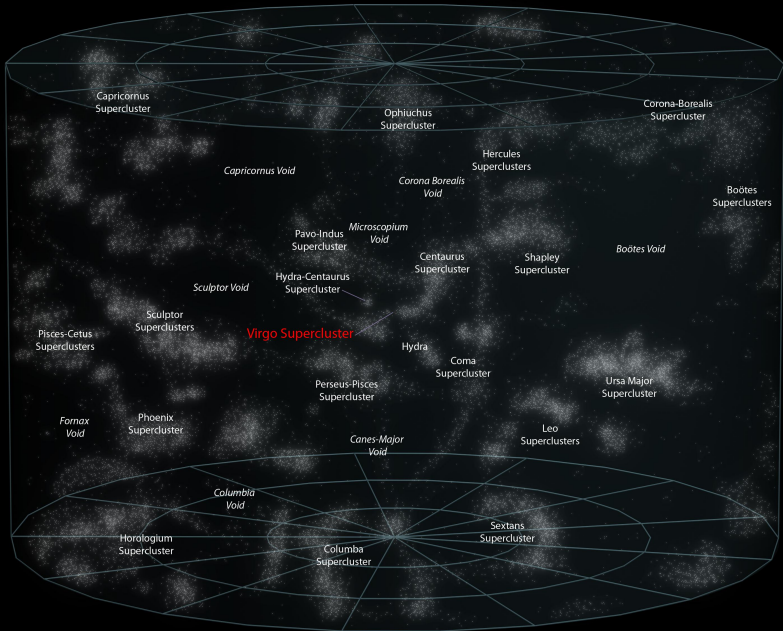


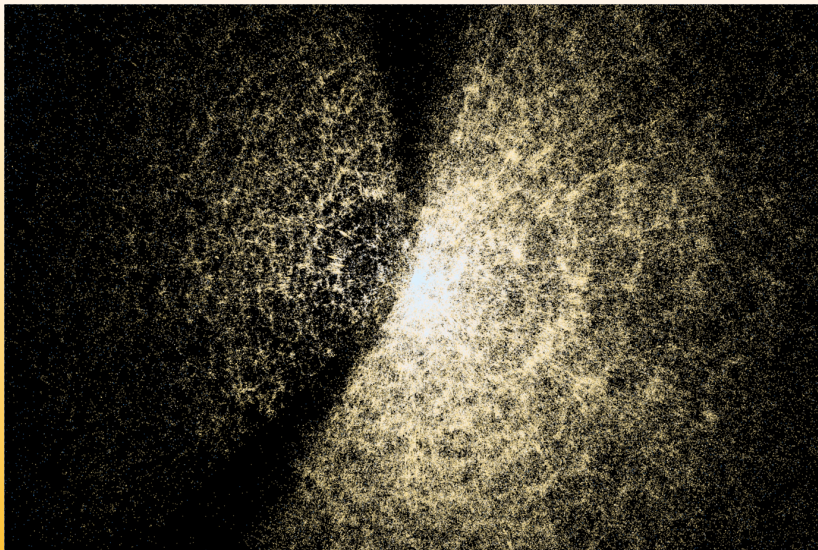


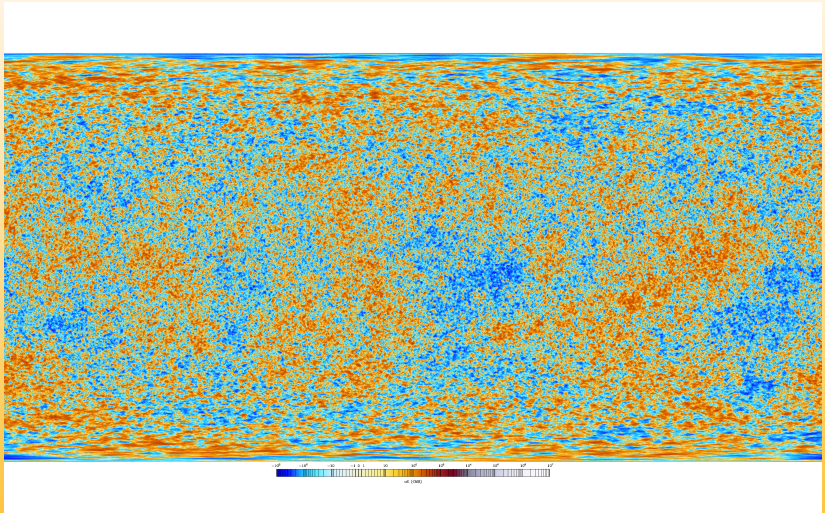














## Znany i poznawalny Wszechświat

- długość Plancka  $\sim 10^{-35}$  m
- horyzont kosmologiczny  $\sim 10^{27}$  m
- różnica skali  $10^{62}$

Zoom przez znany Wszechświat (American Museum of Natural History)

<http://htwins.net/scale2/>

<http://htwins.net/scale/>

## Zbiór Mandelbrota

- osiągalna dziś różnica skali ponad  $10^{1000}$

Mandelbrot zoom  $10^{1006}$

Mandelbrot zoom  $10^{227}$

- 1 Jerzy Kreiner, *Astronomia z astrofizyką*, PWN, 1996
- 2 Mini seria „ASTROFIZYKA”:
  - Tom I, Michał Jaroszyński, *Galaktyki i budowa Wszechświata*,
  - Tom II, Marcin Kubiak, *Gwiazdy i materia międzygwiazdowa*
  - Tom III, Paweł Artymowicz, *Astrofizyka układów planetarnych*

- Tjeerd H. van Andel, Nowe spojrzenie na starą planetę, PWN, 2013
- Michał Różyczka, Jak powstają gwiazdy?, Alfa, 1990
- Stephen Hawking, Krótka historia czasu, Alfa, 1990
- Rudolf Kippenhahn, Na tropie tajemnic Słońca, Prószyński, 1997
- Steven Weinberg, Pierwsze trzy minuty, Prószyński, 1998
- Frank Drake, Dava Sobel, Czy jest tam kto?, Prószyński, 1995
- Richard Panek, Ciemna strona Wszechświata, Prószyński, 2011
- Arthur Koestler, Lunatycy, 2002, Zysk i S-ka
- Arthur I. Miller, Imperium gwiazd

Lista pozycji uzupełniających, o znaczeniu historycznym lub znacznie przestarzałych, ale ciągle wartych przeczytania:

- Mikołaj Kopernik, O obrotach ciał niebieskich
- Galileusz, Dialog o dwu najważniejszych układach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym
- Isaac Asimov, Wybuchające gwiazdy. Sekrety supernowych.

- 1 egzamin ustny  $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5}$
- 2 lista pojęć do wyjaśnienia i pytań
- 3 zadania specjalne