

Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki UJ

1 marca 2016



Astronomia vs Astrofizyka

- astronomia jest nauką rozwiniętą już w starożytności
- początkowo dziedzina o charakterze matematyczno - obserwacyjnym
- 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

Cel przedmiotu

- 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?

Ważniejsze poddziedziny

- 1 astrofizyka jądrowa (*nuclear astrophysics*)
 - gwiazdy neutronowe, supernowe
 - ewolucja gwiazd, nukleosynteza,
- 2 astrofizyka cząstek (*astroparticle physics*)
 - neutrino
 - ciemna materia
 - promieniowanie kosmiczne
- 3 astrofizyka wysokich energii (*high-energy astronomy*) Wstęp do astrofizyki wysokich energii, OA.IHEA, Ł. Stawarz, K. Głód
 - aktywne jądra galaktyk (*AGN*)
 - pozostałości po supernowych, dyski akrecyjne, pulsary, magnetary
- 4 kosmologia, OTW (*cosmology, GR*) Ogólna teoria względności, WFAIS.IF-FT115.0, P. Bizoń; Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, E. Malec, M. Piróg; Współczesna Kosmologia, OA.MK, S, Szybka
 - czarne dziury (zderzenia), fale grawitacyjne
- 5 zagadnienie N-ciał, Wybrane zagadnienia mechaniki nieba, WFAIS.IF-AK001.0, Zdzisław Golda

Jak prowadzić wykład

- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów

Jak prowadzić wykład

- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach gigantycznych hipopotamów

Jak prowadzić wykład

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

Jak prowadzić wykład

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

Jak prowadzić wykład

- 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

Jak prowadzić wykład

- 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

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć
- zgodnie z ewolucją Wszechświata: od Wielkiego Wybuchu do dziś

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć
- zgodnie z ewolucją Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć
- zgodnie z ewolucją Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu
- pojęciowo: co należy wiedzieć, aby zrozumieć kolejne wykłady i rozpocząć samodzielne studia?

Jak prowadzić wykład

- 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 itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć
- zgodnie z ewolucją Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu
- pojęciowo: co należy wiedzieć, aby zrozumieć kolejne wykłady i rozpocząć samodzielne studia?
- geometrycznie: zaczynamy od obiektów najbliższych (Ziemia, Układ Słoneczny) , poprzez gwiazdy, gromady kuliste, galaktyki, gromady galaktyk i pustki, a kończymy na Wszechświecie jako całości

Fundamentalne astronomiczne skale czasowe

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?

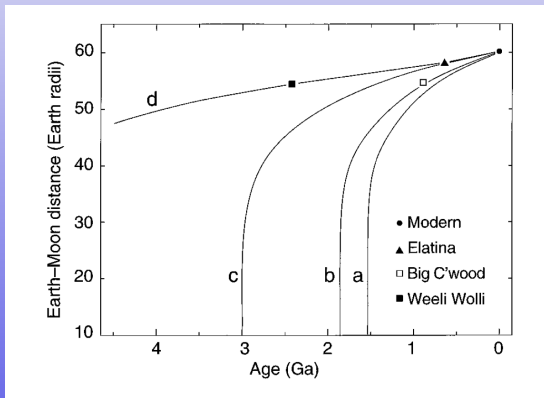
- Obrót Ziemi spowalnia, np: 620 Ma (milionów lat temu)
- Księżyc się oddala
- ~ 14 „miesięcy” w roku
- 400 „dni” w roku
- dzień trwa 22 godziny

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

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

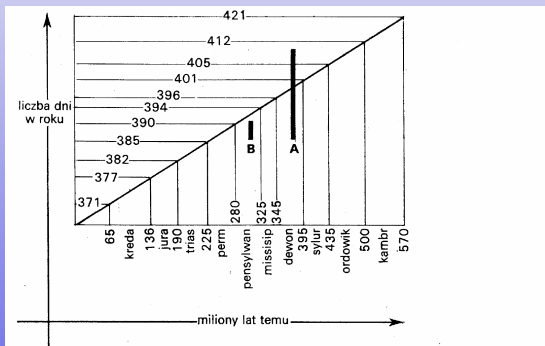


Dane: <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/earth/6Page58.pdf>

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

System Księżyc - Ziemia - Słońce

- 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?

Nocne niebo gołym okiem

- 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 (Ω 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: α Cen, β 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

[http://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_\(astronomy\)#Examples](http://en.wikipedia.org/wiki/Magnitude_(astronomy)#Examples)

Wielkości gwiazdowe (2)

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

- m_1, m_2 - wielkości gwiazdowe obiektów 1 i 2
- L_1, L_2 - strumień „energii” (mierzony np: w W/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

Nocne niebo w małym teleskopie

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



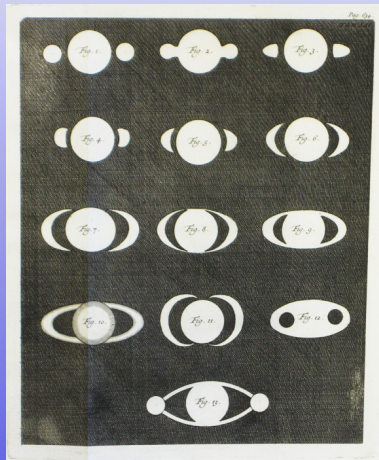
Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

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

Nocne niebo w małym teleskopie

Natychmiast 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 (nadał punktowych)
- 8 plamy na Słońcu
- 9 gwiazdy podwójne



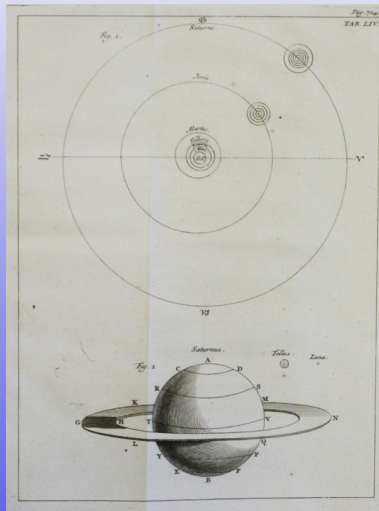
Fot. M13: Łukasz Tarkowski, M31: <http://scopeviews.co.uk/TakFS60C.htm>,

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

Nocne niebo w małym teleskopie

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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

Natychmiast 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 (nadał 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

Natychmiast 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 (nadał 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>



Wszechświat hierarchiczny

- 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 jednorodny Wszechświat

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

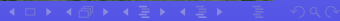
- charakterystyczna błękitna planeta Ziemia, w układzie podwójnym z Księżycem
- trzecia licząc od pojedynczej gwiazdy macierzystej, Słońca
- gwiazda centralna: karzeł typu G2V, kolor żółty, wolno rotujący, cykl aktywności 22 lata
- układ planetarny składa się z 8 planet, 4 wewnętrzne, skaliste, 4 zewnętrzne, 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 α 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



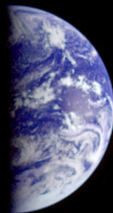


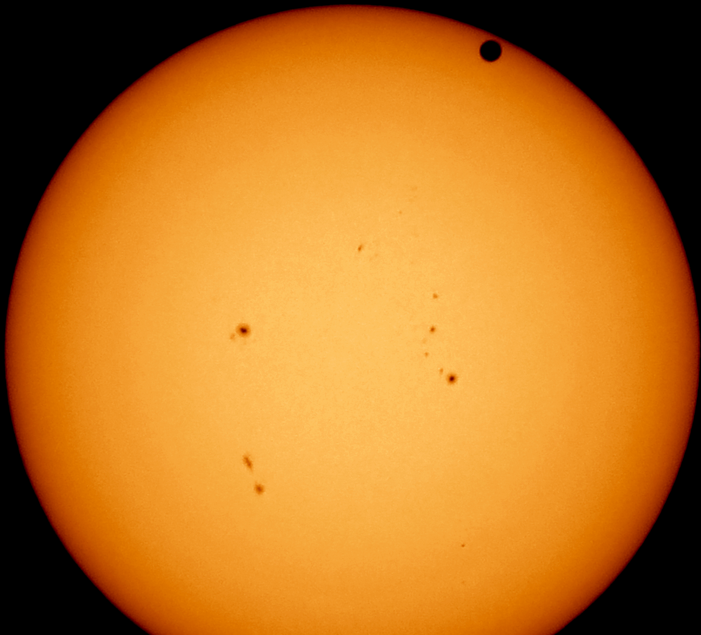




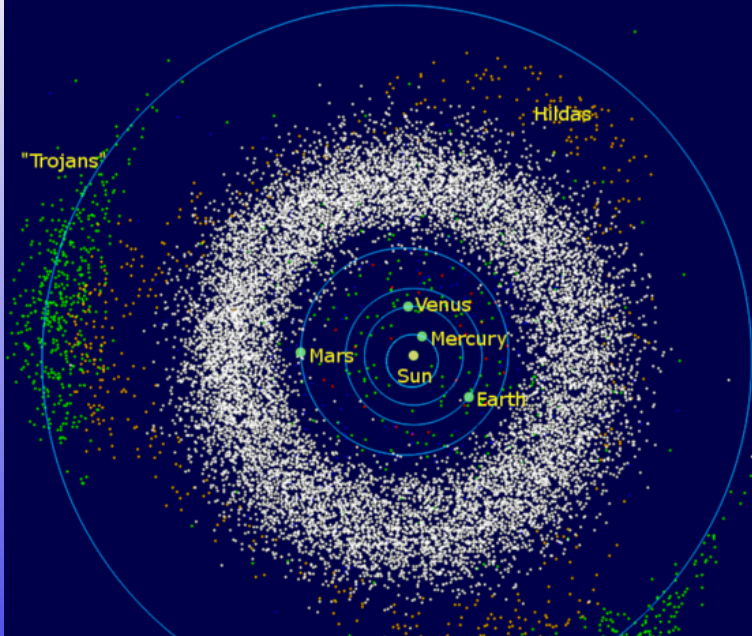






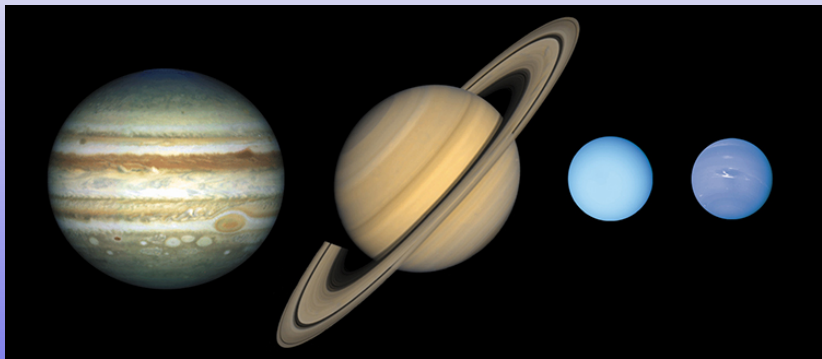


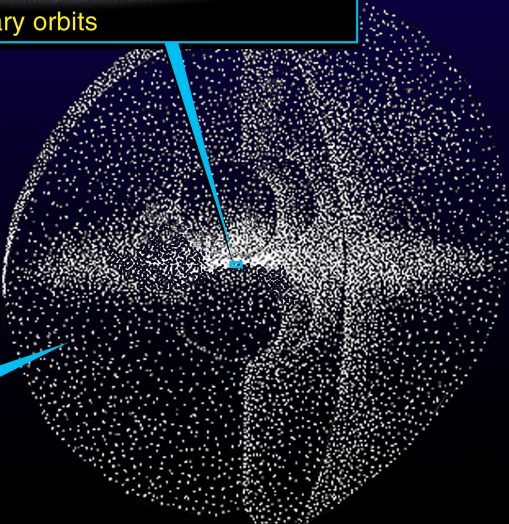
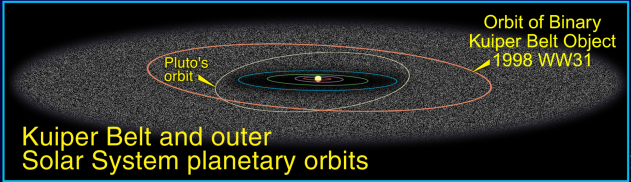






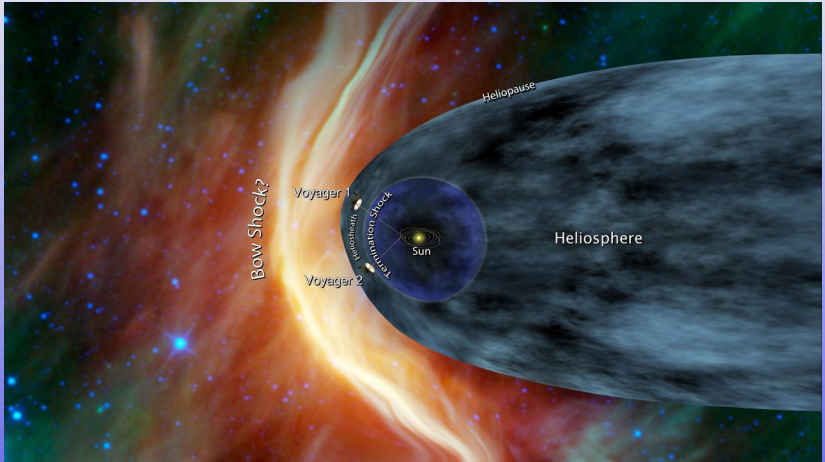


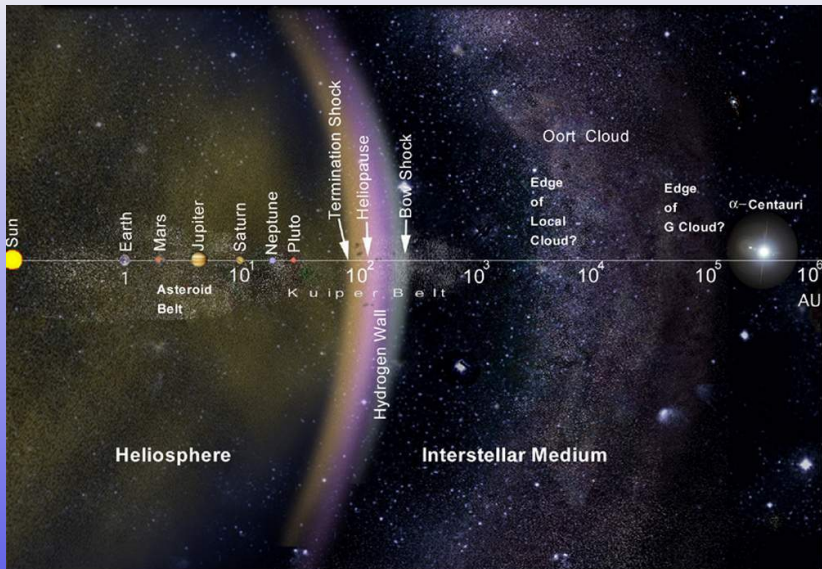


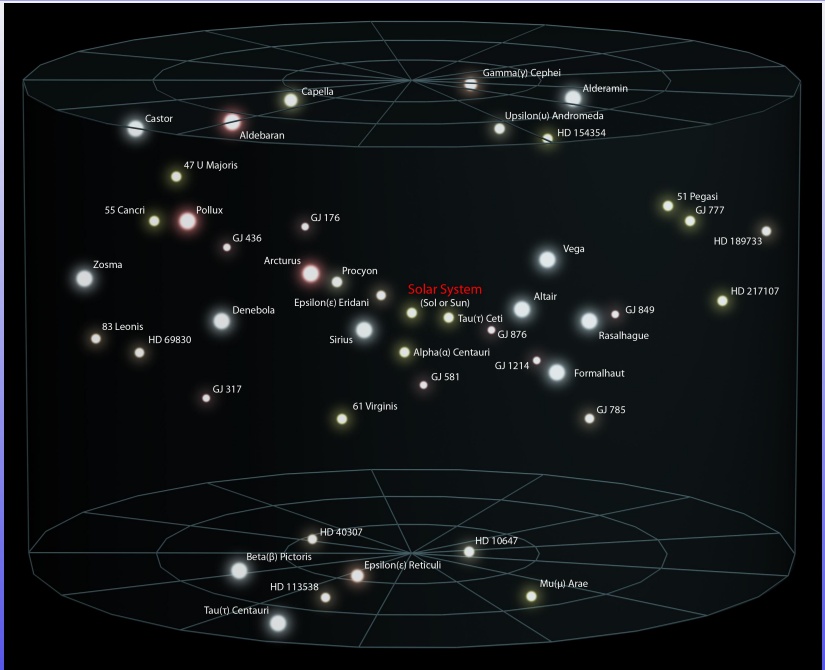


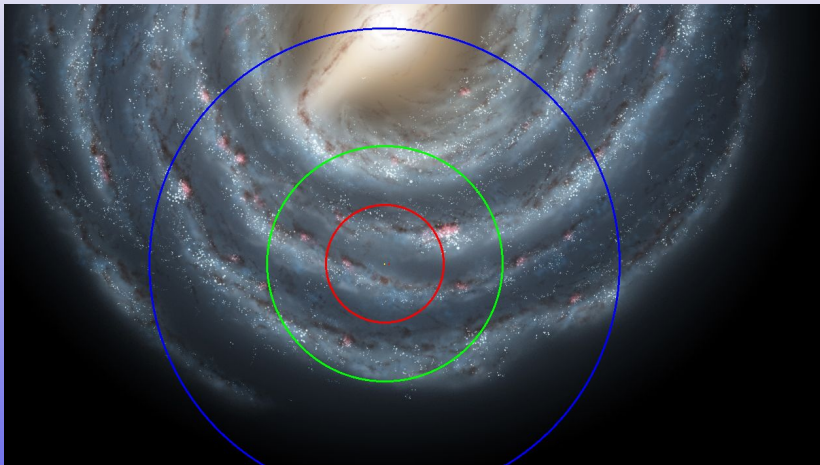
**The Oort Cloud
(comprising many
billions of comets)**

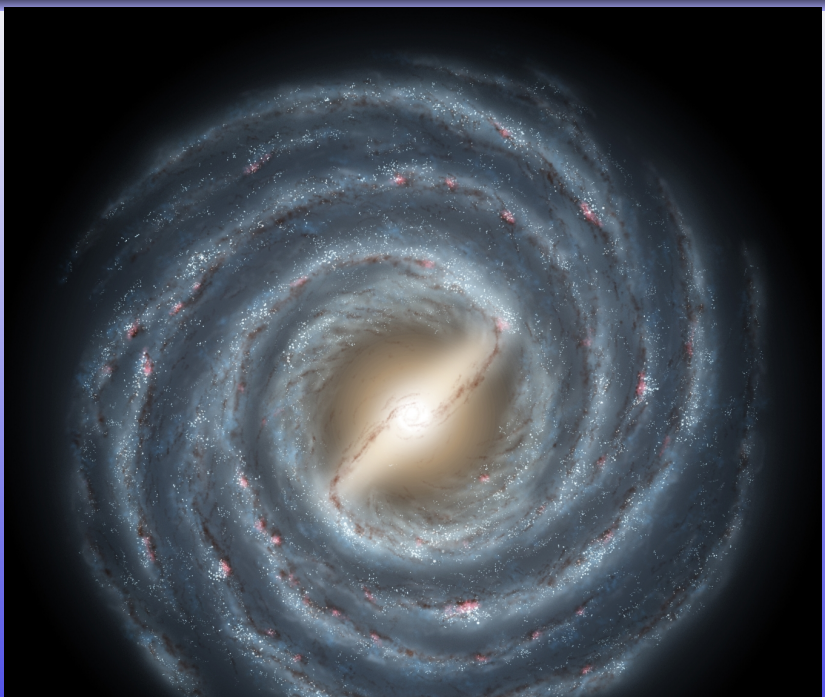
*Oort Cloud cutaway
drawing adapted from
Donald K. Yeoman's
illustration (NASA, JPL)*

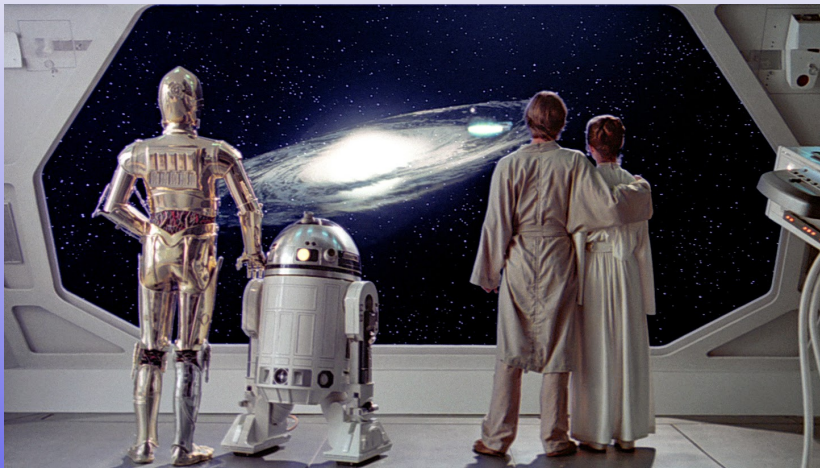


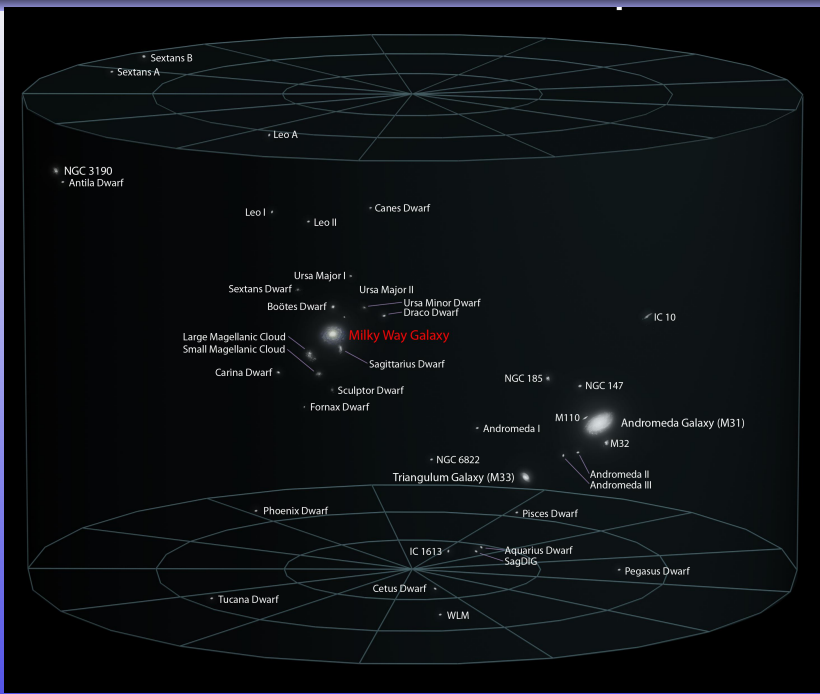


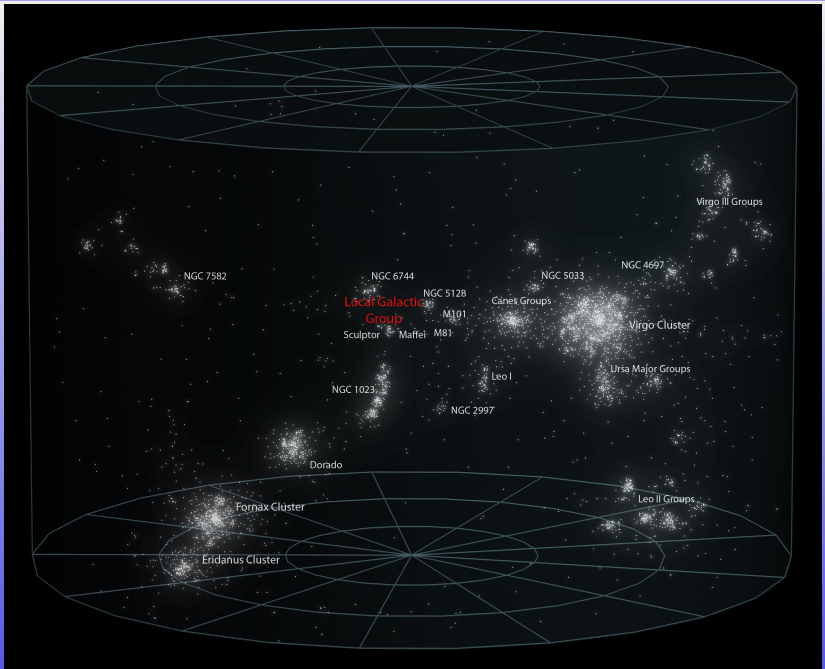


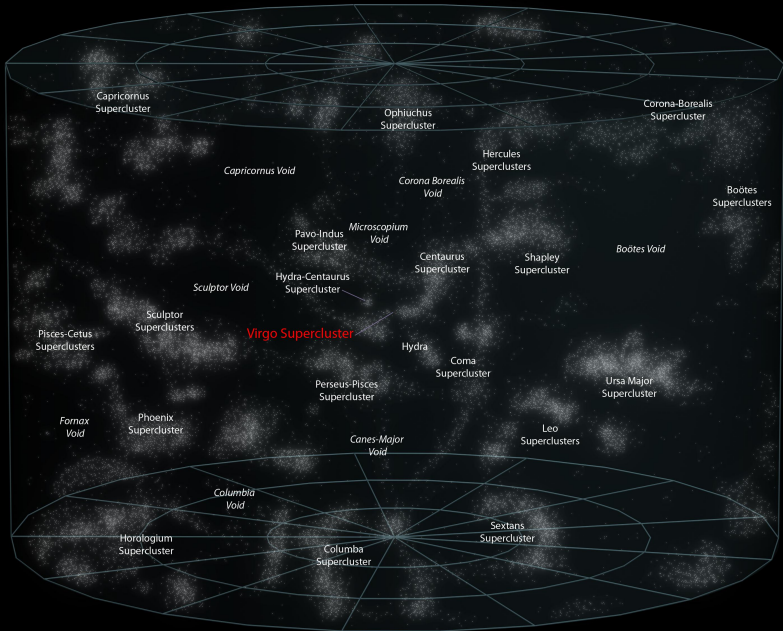


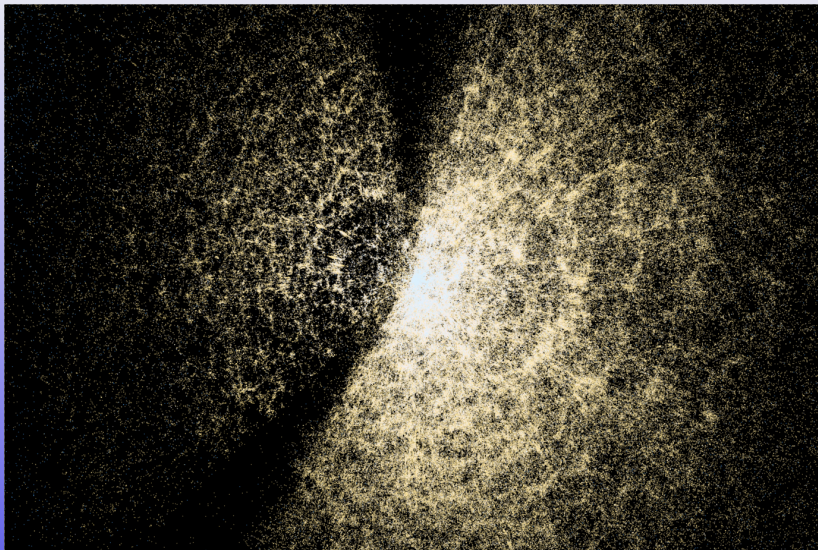












Znany i poznawalny Wszechświat

- 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.

Warunki zaliczenia

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