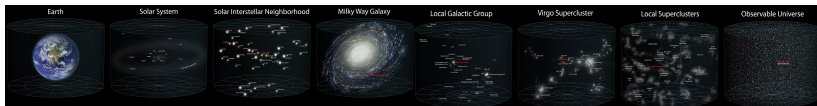


# Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

27 lutego 2024



# Astronomia vs Astrofizyka

- astronomia jest nauką rozwiniętą już w starożytności
- początkowo dziedzina o charakterze matematyczno - obserwacyjnym (bez użycia teleskopu, trygonometria sferyczna wcześniejsza (!) niż liczba zero)
- 1 przełom: teleskop optyczny; 2 teleskopy w całym zakresie widma elektromagnetycznego; 3 promieniowanie kosmiczne (cząstki), neutrino, fale grawitacyjne
- astrofizyka możliwa dopiero po ustaleniu prawdziwej natury ciał niebieskich (Dialogi Galileusza)
- współcześnie rozumiana astrofizyka wyrosła z fizyki jądrowej (Hoyle, Bethe, Salpeter)
- kosmos to darmowe laboratorium warunków fizycznych odległych od ziemskich
- współcześnie różnice pomiędzy astronomią a astrofizyką zacierają się i mają charakter głównie społeczniowy
- Nagrody Nobla związane z A&A: 2020, 2019, 2017, 2015, 2011, 2006, 2002, 1993, 1983, 1978, 1974, 1970, 1967, 1936 !

# 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, filozofia (pozycja: wyróżniona, przeciętna, upośledzona?; zasada antropiczna/kopernikańska, hipoteza symulacji, ...)
- 3 ukazanie związków pomiędzy nami a Kosmosem (jako w niebie tak i na Ziemi); wielkie wymierania, epoki lodowcowe, ...
- 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 gałęzie astrofizyki

- 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, A.Odrzywołek, M. Misiaszek
- 3 astrofizyka wysokich energii (high-energy astronomy) Wstęp do astrofizyki wysokich energii, OA.IHEA, Łukasz Stawarz
  - aktywne jądra galaktyk (AGN), dyski akrecyjne
  - pozostałości po supernowych, pulsary, magnetary
- 4 kosmologia, OTW (cosmology, GR) Ogólna teoria względności, WFAIS.IF-FT115.0, A. Rostworowski; Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, Chunshan Lin; Współczesna Kosmologia, OA.MK, S. Szybka, Szymon Sikora, Adam Zychowicz
  - czarne dziury, fale grawitacyjne Seminarium doktoranckie z OTW (Sem. ZTWiA) , P. Bizoń, P. Mach
- 5 zagadnienie N-ciał, Mechanika nieba I, II, OA.CM1 OA.CM2, K. Głód, Marek Jamroz, Waclaw Waniak

## Naukowe tajemnice, które stały się ugruntowaną wiedzą

- 1 istnienie planet pozasłonecznych: 4931 potwierdzonych 2 metodami (!); 8486 kandydatów  
W 1990 w ogóle nie wiedziano czy jakiegokolwiek istnieją poza Układem Słonecznym
- 2 model kosmologiczny: płaski,  $\Lambda$ -CDM,  
 $H_0 = 70 \pm 3$  km/s/Mpc, wiek 13.7 mld lat  
W 1990 nie znano krzywizny ani stałej Hubble'a, uważano że  $\Lambda = 0$  a CMB było tłem bez struktury z temperaturą  $T_{\text{CMB}}=2.725$  K
- 3 rozbłyski gamma (GRB) obecnie wiadomo, że to rodzaj supernowych lub zderzenia gwiazd neutronowych
- 4 czarne dziury i fale grawitacyjne  
GW150914 pierwszą obserwacją a liczba ( 90 ) stale rośnie
- 5 problem neutrin słonecznych  
obecnie wiadomo, że przyczyną są tzw. oscylacje  $\nu_e \rightarrow \nu_\mu, \nu_\tau$

## Odkrycia, których nikt się nie spodziewał

- 1 Oumuamua, Borisov, Hypatia ...  
Obiekty spoza Układu Słonecznego!
- 2 Obiekty TNO: Sedna, Haumea, Makemake, Eris, Arrokoth (Ultima Thule) ...  
Do 2006 Plutona uważano za 9 planetę!
- 3 brązowe karły i samotne planety  
W 1990 uważano, że przestrzeń międzygwiazdna jest „pusta”
- 4 oceany pod lodem i aktywność wulkaniczna księżyców Jowisza, Saturna oraz planet karłowatych (Pluton, Ceres)  
Do 1977 twierdzono, że do życia potrzebne jest Słońce
- 5 W 2022 JWST fotografuje „dojrzałe” Galaktyki 500 mln lat (!) po Wielkim Wybuchu (?)



# Jak prowadzić wykład

- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni



- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni

# Jak prowadzić wykład

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

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \text{ (r. Einsteina)}$$

$$\frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial\mu} = J_\nu, \quad \frac{\partial F_{\mu\nu}}{\partial\lambda} + \frac{\partial F_{\nu\lambda}}{\partial\mu} + \frac{\partial F_{\lambda\mu}}{\partial\nu} = 0 \text{ (r. Maxwella)}$$

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}B_{\mu\nu}B^{\mu\nu} - \frac{1}{8}\text{tr}(\mathbf{W}_{\mu\nu}\mathbf{W}^{\mu\nu}) - \frac{1}{2}\text{tr}(\mathbf{G}_{\mu\nu}\mathbf{G}^{\mu\nu}) \\ + \dots \text{ (Model Standardowy)}$$

$$Z = \frac{1}{h^3} \int e^{-\beta H(q,p)} d^3q d^3p, \quad \beta = \frac{1}{kT} \text{ (termodynamika)}$$

# Jak prowadzić wykład

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

# Jak prowadzić wykład

- ~~historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni~~
- ~~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 czterech słoni~~
- ~~fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program

# Jak prowadzić wykład

- historycznie: ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni~~
- fizycznie: ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: ~~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

# Jak prowadzić wykład

- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni
- fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów
- zgodnie z Ustawą 2.0: 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



# Jak prowadzić wykład

- historycznie: ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słońi~~
- fizycznie: ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: ~~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~~
- chronologicznie: zgodnie z ewolucją Wszechświata: od Wielkiego Wybuchu do dziś

# Jak prowadzić wykład

- historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słońi
- fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów
- zgodnie z Ustawą 2.0: 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
- chronologicznie: zgodnie z ewolucją Wszechświata: od Wielkiego Wybuchu do dziś

# Jak prowadzić wykład

- historycznie: ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słońi~~
- fizycznie: ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: ~~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~~
- chronologicznie: ~~wstecz ewolucji Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu~~

# Jak prowadzić wykład

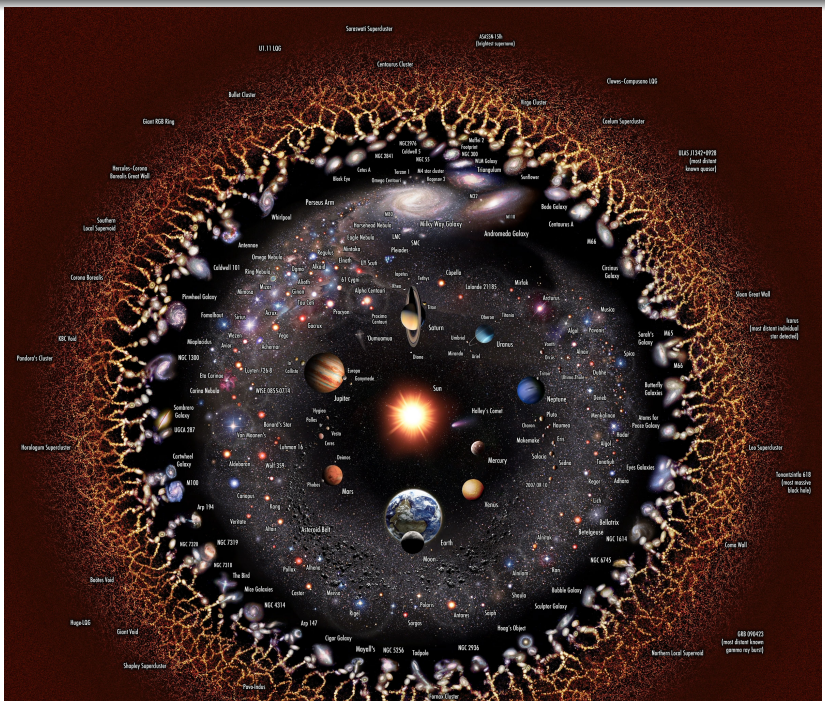
- historycznie: ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoń~~
- fizycznie: ~~zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: ~~wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program~~
- obserwacyjnie/sprzętowo: ~~omawiamy budowę teleskopów, kamer CCD, detektorów neutrin, promieniowania kosmicznego itd. i co można dzięki nim się dowiedzieć~~
- chronologicznie: ~~wstecz ewolucji Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu~~

# Jak prowadzić wykład

- ~~historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni~~
- ~~fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: 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

# Jak prowadzić wykład

- ~~historycznie: zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni~~
- ~~fizycznie: zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów~~
- zgodnie z Ustawą 2.0: 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 (Słońce!) , poprzez Układ Słoneczny, gromady kuliste, Galaktykę, gromady galaktyk i pustki, a kończymy na Wszechświecie jako całości



- 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*
- 1 Kippenhahn, Weigert, *Stellar Structure and Evolution* Rozdz. 18.3 Thermonuclear Reaction Rates, 35.1 Chandrasekhar Theory, 38.2 The Homogeneous Sphere
- 2 John N. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, Cambridge 1990, Rozdz. 2.2 Basic equations, 3.2 Reaction rates, 3.3, Table 3.2 str. 59-67
- 3 G.S. Bisnovatyi-Kogan, *Stellar Physics 1: Fundamental Concepts and Stellar Equilibrium*, Springer, AA Library, 2000, Rozdział 1.1, 1.2 str. 2-32; 4.1,4.2 str. 129-138, 5.1.1, str. 192, 6.1, str. 233
- 4 David Arnett, *Supernovae and nucleosynthesis*, Princeton, 1996 Rozdz. 3.3, 4.1, 6.2, 5
- 5 Donld D. Clayton, *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*
- 6 A. C. Phillips, *The Physics of Stars*



- 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

## Gry

- Cell to Singularity: Beyond
- Universe Sandbox

## Seriala

- The Expanse
- 

## YouTube

- Astronarium
- Anton Petrov
- CopernicusCenter

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.

Ćwiczenia rachunkowe:

Rozwiązanie przy tablicy LUB spisanie w TeX/Mathematica trzech zadań (waga 50%). 3 kompletne poprawnie rozwiązane zadania - bdb, 2 - db, 1 - dst.

Egzamin ustny:

Trzy przekrojowe i wykazujące zrozumienie tematu oraz terminologii odpowiedzi na pytania podczas egz. ustnego

- 1 pytanie – wylosowane
- 2 pytanie – wybrane przez studenta
- 3 pytanie – skorygowanie odpowiedzi AI

Dla osób, które nie mogą/nie chcą zdawać egzaminu ustnego, podana zostanie lista projektów.