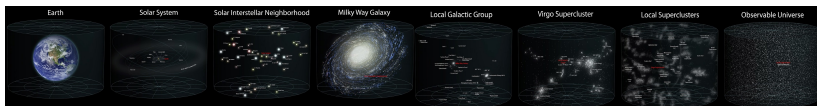


Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

28 lutego 2022



- 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 przełom teleskopy w całym zakresie widma elektromagnetycznego
- 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 bezpośrednio 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?

- 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)
 - pozostałości po supernowych, dyski akrecyjne, pulsary, magnetary
- 4 kosmologia, OTW (*cosmology, GR*) Ogólna teoria względności,
WFAIS.IF-FT115.0, P. Bizoń, A. Rostworowski; Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, E. Malec;
Współczesna Kosmologia, OA.MK, S. Szybka, Szymon Sikora
 - czarne dziury (zderzenia), fale grawitacyjne Seminarium
doktoranckie z teorii względności i astrofizyki (Seminarium ZTWiA)
 - 5 zagadnienie N-ciał, Wybrane zagadnienia mechaniki nieba, WFAIS.IF-AK001.0, Z.

Golda, A. Cieślík, K. Głód

Naukowe tajemnice, które stały się ugruntowaną wiedzą

- 1** istnienie planet pozasłonecznych: 4931 potwierdzonych 2 metodami (!); 8486 kandydatów
W 1990 w ogóle nie wiadano czy jakiegokolwiek istnieją poza Układem Słonecznym
- 2** model kosmologiczny: płaski, Λ -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 $\Omega = 0$ 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 (?)

- **historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni



- **historycznie:** ~~zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni~~

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

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

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

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

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

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

- **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

- **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

- **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

- **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

- **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
- **chronologicznie:** zgodnie z ewolucją Wszechświata: od Wielkiego Wybuchu do dziś

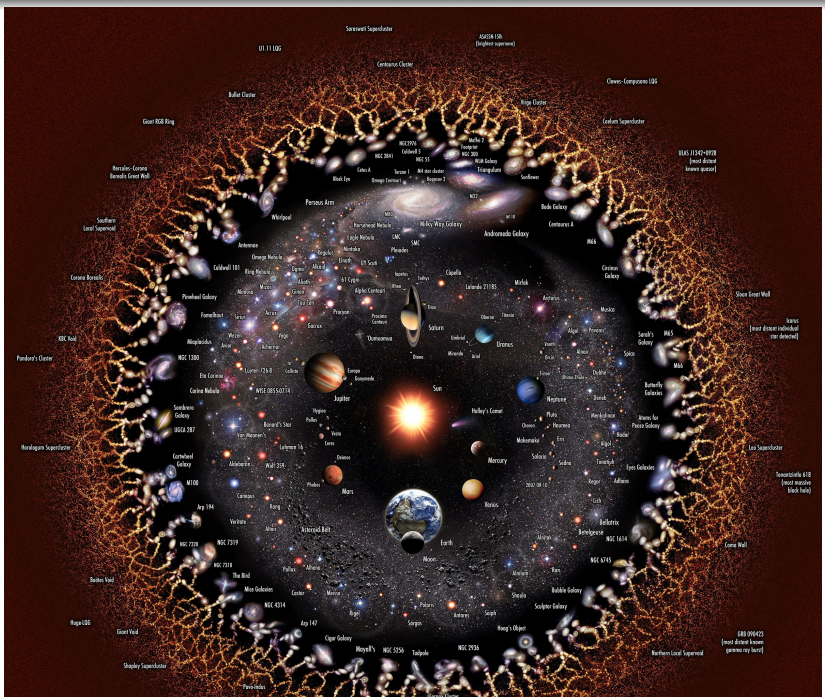
- **historycznie:** zaczynając od płaskiej Ziemi na grzbietach czterech słoni
- **fizycznie:** zaczynamy od wyłożenia i wyprowadzenia niezbędnych praw i wzorów
- **zgodnie z Ustawą 2.0:** wykładam to co aktualnie badam, nie zwracając uwagi na nazwę przedmiotu i jego program
- **obserwacyjnie/sprzętowo:**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

- **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
- **chronologicznie:** wstecz ewolucji Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu

- **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
- **chronologicznie:** wstecz ewolucji Wszechświata: od dziś do Wielkiego Wybuchu

- **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

- **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*

- 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

Seriale

- The Expanse
- 三体

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/Mathematicie trzech wymagających zadań lub wykonany projekt (waga 50%).

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 ChatGPT

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