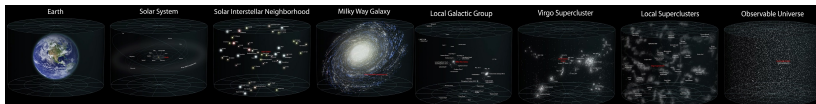


Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

4 marca 2025



- 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 1609; 2 teleskopy w całym zakresie widma elektromagnetycznego 1931; 3 promieniowanie kosmiczne (cząstki), neutrino 1987, fale grawitacyjne 2015
- astrofizyka możliwa dopiero po ustaleniu prawdziwej natury ciał niebieskich (*Dialogi* Galileusza, 1632)
- współcześnie rozumiana astrofizyka wyrosła z fizyki jądrowej (Hoyle, Bethe, Salpeter, *B²FH* 1957)
- kosmos to darmowe laboratorium warunków fizycznych odległych od ziemskich
- współcześnie różnice pomiędzy astronomią a astrofizyką zacierają się i mają charakter głównie społecznościowy
- Nagrody Nobla związane z A&A: 2020, 2019, 2017, 2015, 2011, 2006, 2002, 1993, 1983, 1978, 1974, 1970, 1967, 1936 !

- ❶ przygotowanie do dalszego studiowania tematu
 - terminologia, pojęcia
- ❷ ogólne wykształcenie, filozofia: pozycja: wyróżniona, przeciętna, upośledzona?; zasada antropiczna/kopernikańska, hipoteza symulacji, paradoks Fermiego, początek i koniec Wszechświata ...
- ❸ ukazanie związków pomiędzy nami a Kosmosem: *jako w niebie tak i na Ziemi*); pochodzenie pierwiastków, wielkie wymierania, długo- i krótko-okresowe zmiany klimatu, kalendarz, pogoda kosmiczna ...
- ❹ poszukiwanie odpowiedzi na pytania fundamentalne: **pochodzenie pierwiastków, życia, początek i koniec, czy jesteśmy sami we Wszechświecie**
- ❺ zjawiska astronomiczne jako test praw fizyki: **ekstremalne gęstości, temperatury, pola magnetyczne itd.**
- ❻ eleganckie zastosowania i rachunki fizyki teoretycznej
- ❼ perspektywa podboju kosmosu: dokąd się udać i po co?

- ❶ astrofizyka jądrowa (*nuclear astrophysics*)
 - gwiazdy neutronowe, supernowe, ewolucja gwiazd, nukleosynteza
- ❷ astrofizyka cząstek (*astroparticle physics*)
 - neutrino, ciemna materia, promieniowanie kosmiczne
 - Seminarium Astrofizyczne, WFAIS.IF-AK010.2, A.Odrzywołek, M. Misiaszek
- ❸ 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
- ❹ kosmologia, OTW (*cosmology, GR*) Ogólna teoria względności, WFAIS.IF-FT115.0, A. Rostworowski; Astrofizyka teoretyczna II (relatywistyczna) OA.TaPII S. Szybka, J. Osęka Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, Chunshan Lin; Współczesna Kosmologia, OA.MK, Szymon Sikora, Adam Zychowicz
 - czarne dziury WFAIS.IF-AK005.0, S. Szybka, fale grawitacyjne WFAIS.IF-V530.0 Seminarium doktoranckie z OTW (Sem. ZTWiA) , P. Bizoń, P. Mach
- ❺ zagadnienie N-ciało, Mechanika nieba I, II, OA.CM1 OA.CM2, K. Głód, Marek Jamroz, Wacław Waniak

Naukowe tajemnice, które stały się ugruntowaną wiedzą

- ❶ istnienie planet pozasłonecznych: 7416 potwierdzonych
2 metodami (!)
W 1990 w ogóle nie wiedziano czy jakiegokolwiek istnieją poza Układem Słonecznym
- ❷ 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 $\Lambda = 0$ a CMB było tłem bez struktury z temperaturą $T_{\text{CMB}} = 2.725$ K
- ❸ rozbłyski gamma (GRB) obecnie wiadomo, że to rodzaj supernowych lub zderzenia gwiazd neutronowych
- ❹ czarne dziury i fale grawitacyjne
GW150914 pierwszą obserwacją a liczba ($N \gg 90 + 81$ (?)) stale rośnie
- ❺ 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 międzygwiazdowa 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 słońi
- **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:** wykladam 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:** wykladam 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 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~~
- **geometrycznie:** ~~zaczynamy od obiektów najbliższych (Słońce!), poprzez Układ Słoneczny, gromady kuliste, Galaktykę, gromady galaktyk i pustki, a kończymy na Wszechświecie jako całości~~

- **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
- # • CYKLICZNIE!

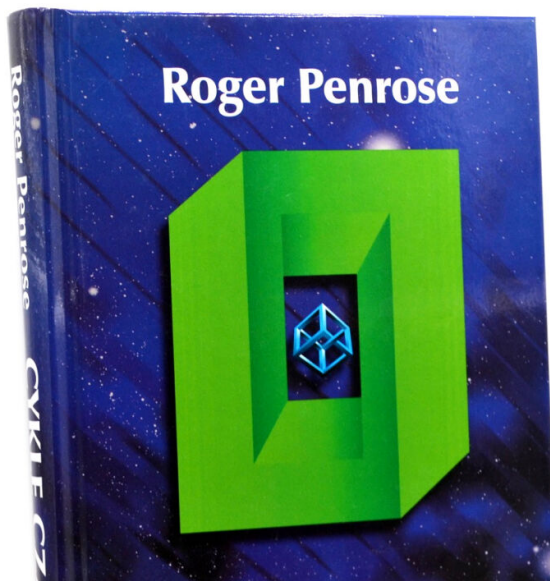
Studencie, o to gdzie trafiłeś!



You are here



Studencie, o to gdzie trafiłeś!



Studencie, o to gdzie trafiłeś!



❶ Jerzy Kreiner, *Astronomia z astrofizyką*, PWN, 1996

❷ Mini seria „ASTROFIZYKA”:

Tom I M. Jaroszyński, *Galaktyki i budowa Wszechświata*,

Tom II M. Kubiak, *Gwiazdy i materia międzygwiazdowa*

Tom III , P. Artymowicz, *Astrofizyka układów planetarnych*

❶ Kippenhahn, Weigert, *Stellar Structure and Evolution* Rozdz. 18.3
Thermonuclear Reaction Rates, 35.1 Chandrasekhar Theory, 38.2
The Homogeneous Sphere

❷ John N. Bahcall, *Neutrino Astrophysics*, Cambridge 1990, Rozdz. 2.2
Basic equations, 3.2 Reaction rates, 3.3, Table 3.2 str. 59-67

❸ 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

❹ David Arnett, *Supernovae and nucleosynthesis*, Princeton, 1996
Rozdz. 3.3, 4.1, 6.2, 5

❺ Donld D. Clayton, *Principles of Stellar Evolution and
Nucleosynthesis*

❻ 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

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.

EGZAMIN USTNY:

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

- ❶ pytanie – wylosowane
- ❷ pytanie – wybrane przez studenta
- ❸ pytanie – skorygowanie odpowiedzi AI

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

Ocena końcowa

$$\frac{1}{3}C + \frac{2}{3}W,$$

gdzie C - ocena z ćwiczeń rachunkowych, W - ocena z wykładu (egz. ustny lub projekt)