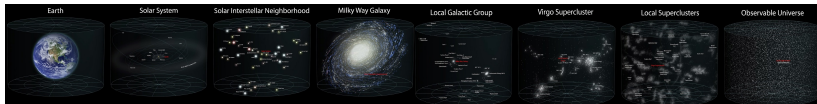


Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki Teoretycznej UJ

3 marca 2026



- astronomia jest nauką rozwiniętą już w starożytności
- początkowo dziedzina o charakterze matematyczno - obserwacyjnym **(bez użycia teleskopu, trygonometria sferyczna wcześniej (!) 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, B^2FH 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 !

- 1 przygotowanie do dalszego studiowania tematu
 - terminologia, pojęcia
- 2 ogólne wykształcenie, filozofia: pozycja: wyróżniona, przeciętna, upośledzona?; zasada antropiczna/kopernikańska, hipoteza symulacji, paradoks Fermiego, początek i koniec Wszechświata ...
- 3 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 ...
- 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?

- 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, George-Andrei Zahariade; Astrofizyka teoretyczna II (relatywistyczna) OA.TApII S. Szybka Kosmologia teoretyczna, WFAIS.IF-AK002.0, Chunshan Lin; Współczesna Kosmologia, OA.MK, Szymon Sikora, P. Liniewicz
 - czarne dziury OA.BH, S. Szybka, fale grawitacyjne WFAIS.IF-Y530.0
Seminarium doktoranckie z OTW (Sem. ZTWiA) , P. Bizoń, P. Mach
- ❺ zagadnienie N-ciał, Mechanika nieba I, II, OA.CM1 OA.CM2, K. Głód, Marek Jamrozy, Wacław Waniak

Naukowe tajemnice, które stały się ugruntowaną wiedzą

- 1 istnienie planet pozasłonecznych: 8000 przekroczono 25 lutego potwierdzonych 2 metodami (!)
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 $\Lambda = 0$ 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 ($N \sim 218$) zakończony O4 run.
- 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 Oumuaumua, Borisov, Hypatia ...3I/ATLAS (!)
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

- **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!

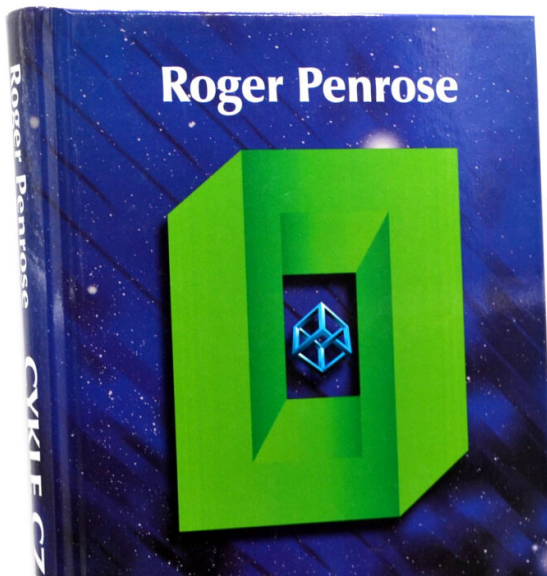
Studencie, o to gdzie trafiłeś!



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
- ❸ Kippenhahn, Weigert, Stellar Structure and Evolution Rozdz. 18.3
 Thermonuclear Reaction Rates, 35.1 Chandrasekhar Theory, 38.2 The
 Homogeneous Sphere
- ❹ John N. Bahcall, Neutrino Astrophysics, Cambridge 1990, Rozdz. 2.2
 Basic equations, 3.2 Reaction rates, 3.3, Table 3.2 str. 59-67
- ❺ 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
- ❻ David Arnett, Supernovae and nucleosynthesis, Princeton, 1996 Rozdz.
 3.3, 4.1, 6.2, 5
- ❼ Donld D. Clayton, Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis
- ❽ 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
<https://celltosingularity.com/>
- Universe Sandbox
<https://www.universesandbox.com/>

Seriele

- The Expanse
<https://www.imdb.com/title/tt3230854/>
- 三体
<https://www.imdb.com/title/tt20242042/>

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

- 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.

Ocena końcowa

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

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