

Czym jest nauka?

(na przykładzie astronomii)



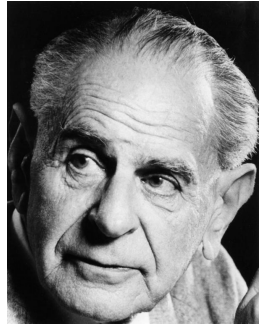
O czym będzie ten wykład?

- ★ Trochę o filozofii nauki/metodzie naukowej,
- ★ Przykłady postępu naukowego z historii astronomii.

Nowożytna metoda naukowa

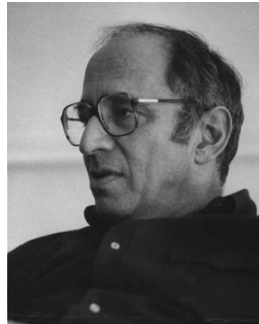
Racjonalizm krytyczny Karla Poppera (1902-1994):

- ★ „Należy być krytycznym w stosunku do teorii, którymi zachwycamy się najbardziej.”
- ★ Nastawienie krytyczne (naukowe) vs nastawienie dogmatyczne (pseudonaukowe),
- ★ Nie ma „gołych faktów”, wszystko jest interpretowane w jakimś modelu zjawiska,
- ★ **Falsyfikacja**: musi istnieć potencjalny sposób empirycznego obalenia danej hipotezy,
- ★ Nauka rozwija się dzięki kolejnemu odrzucaniu falsyfikowanych teorii.



Struktura rewolucji naukowych Thomasa Kuhna (1922-1996):

- ★ Paradygmat: zbiór pojęć i teorii tworzących podstawy danej nauki,
- ★ Paradygmat nie jest dogmatem (podlega zmianom, nie ma *absolutnej słuszności*),
- ★ Nauka nie jest jednostajnym, kumulatywnym pozyskiwaniem wiedzy,
- ★ Twórcza rola kryzysu naukowego - struktura rewolucji naukowych od jednego do kolejnego paradygmatu.

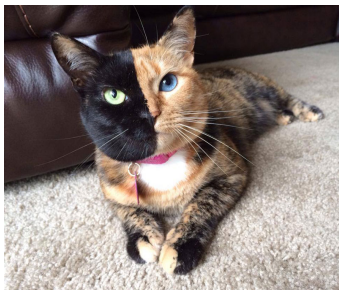


Astronom, fizyk i matematyk jadą pociągiem przez Polskę. Pierwszym widokiem, na który zwrócili uwagę było pole, na którym pasła się czarna krowa. Każdy z nich zrobił o tym uwagę w swoim notatniku.

Astronom: Wszystkie obserwowane w Polsce krowy są czarne.

Fizyk: Hipoteza robocza - krowy w Polsce są czarne.

Matematyk: Istnieje w Polsce co najmniej jedno pole, na którym co najmniej jedna krowa z co najmniej jednej strony jest czarna.



(Nie-krowa)

Zasada „brzytwy Ockhama”

Franciszkanin William of Ockham (1287 – 134): zasada zwana również zasadą **ekonomii myślenia**: należy preferować takie wyjaśnienia, które wymagają najskromniejszych założeń i pojęć:

- ★ „Nie należy mnożyć bytów ponad potrzebę”,
- ★ „Spośród wielu wyjaśnień, najczęściej to najprostsze bywa poprawne”.



Ockham chooses a razor

W związku z tym:

„Nadzwyczajne twierdzenia wymagają niezwykle twardych dowodów”

David Hume (1711-1776), Pierre-Simon Laplace (1749-1827), Marcello Truzzi (1935-2003), Carl Sagan (1934-1996)...

Zasada antropiczna:

„Świat jest taki, jaki jest (jest zdefiniowany przez takie, a nie inne stałe fizyczne i prawa), bo gdyby był inny, nie moglibyśmy w nim istnieć”

Brandon Carter (1942-...), Kraków (1973)

Zasada kopernikańska (kosmologiczna):

„Nie znajdujemy się w wyróżnionym miejscu we Wszechświecie”

Matematyczne piękno:

„Teoria fizyczna musi posiadać matematyczne piękno”

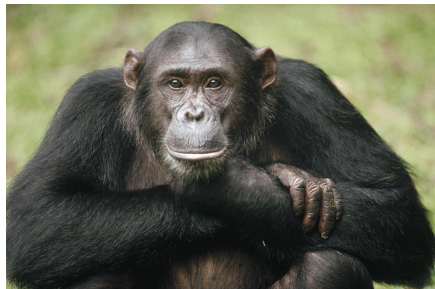
„Ten wynik jest zbyt piękny, by być fałszywym; ważniejsze jest, by uzyskać piękne równania, niż by pasowały one do eksperymentu”

Paul Dirac (1902-1984)

Badania człowiekowatych



Szympans karłowaty (bonobo, *Pan paniscus*)



Szympans zwyczajny (*Pan troglodytes*)

Coraz więcej danych z badań prymatologów w poszukiwaniu źródeł racjonalnego myślenia, moralności, etyki (człowieczeństwa?) u zwierząt:

- ★ Skomplikowane relacje społeczne, w których każdy ma swoją rolę,
- ★ Obserwacje skomplikowanych zachowań uważanych za zarezerwowanych tylko dla ludzi (empatia, „bezinteresowny” altruizm, poczucie krzywdy itd.)

Ewolucja wyobrażenia świata

- ★ **Kosmologia magiczna** ludzi pierwotnych - eksploracja o zasięgu lokalnym, zdominowana nieprzewidywalnymi zdarzeniami: uderzeniami pioruna, pożarami itd.,
- ★ **Kosmologia mityczna** epoki brązu - objaśnienie zasad działania świata przez przyjęcie hipotezy odpowiednio wszechmogącego bóstwa.



Kość z Ishango (Kongo Belgijskie): kalendarz lunarny, 20,000 lat p.n.e.



Obserwacja komety Halleya: Babilon, 164-163 p.n.e.



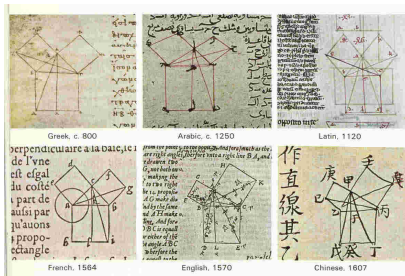
Stonehenge: 3,000 - 2,000 lat p.n.e.

Ewolucja wyobrażenia świata

- ★ **Kosmologia matematyczna (geometryczna) Greków** - natura opisana prostymi, uniwersalnymi prawami w języku matematyki, geometrii i logiki,
- ★ Filozofia/fizyka (Leukippos, Demokryt, Epikur):
 - ★ atomy,
 - ★ próżnia,
- ★ Demokracja.



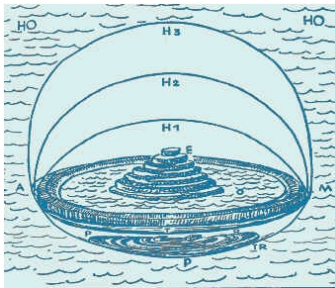
Euklides, 4 - 3 w.p.n.e.



Twierdzenie Pitagorasa



Albert Einstein, 1879 - 1955

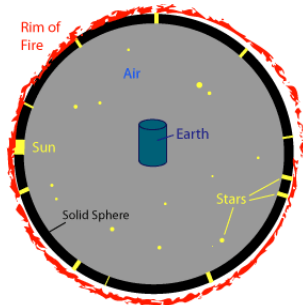


Świat według Babilończyków (2 tyś. lat p.n.e.)

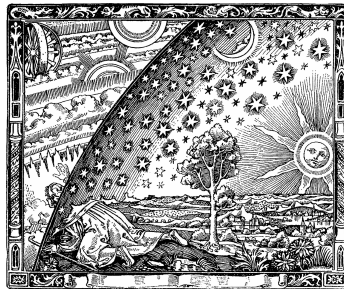
Schema huius praeformae diuisiois Sphaerarum.



Geocentryczny Wszechświat Ptolemeusza
(100-168)



Anaximander's model of the Universe



C. Flammarion, 1888

Arystoteles (384 - 322 p.n.e.):

- ★ Argumenty z symetrii: każda część Ziemi jest przyciągana do wspólnego środka,
- ★ Obserwacje pozycji gwiazd prowadzone przez nawigatorów,
- ★ Cień Ziemi na Księżycu podczas jego zaćmienia.

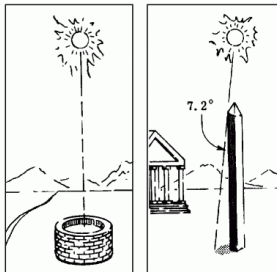


Pomiar promienia Ziemi

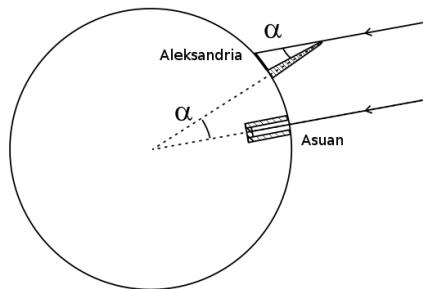


Eratostenes (276 - 195 p.n.e.):

- ★ Asuan (Syene) znajduje się na zwrotniku Raka: w lokalne południe w dniu przesilenia letniego promienie słoneczne padają tam pionowo,
- ★ Aleksandria i Asuan znajdują się (mniej-więcej) na tym samym południku.
- ★ W dniu przesilenia letniego w południe w Aleksandrii promienie padają pod kątem $\neq 90^\circ$.



Pomiar promienia Ziemi



Pomiar kąta $\alpha = 7^{\circ} 12'$,

$$\frac{\alpha}{360^{\circ}} = \frac{d}{2\pi R_{\oplus}}$$

$$d = 780 \text{ km} \rightarrow 2\pi R_{\oplus} = 39,000 \text{ km}$$

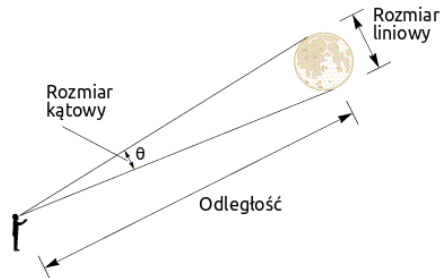
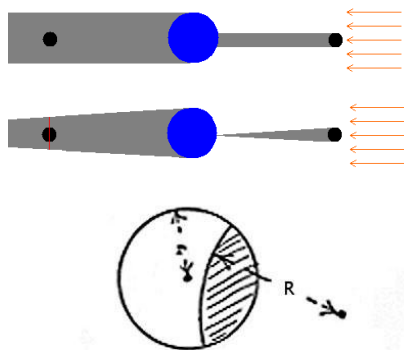
Dokładna wartość: 40,075 km

Eratosthenes (276 - 195 p.n.e.):

- ★ Asuan (Syene) znajduje się na zwrotniku Raka: w lokalne południe w dniu przesilenia letniego promienie słoneczne padają tam pionowo,
- ★ Aleksandria i Asuan znajdują się (mniej-więcej) na tym samym południku.
- ★ W dniu przesilenia letniego w południe w Aleksandrii promienie padają pod kątem $\neq 90^{\circ}$.

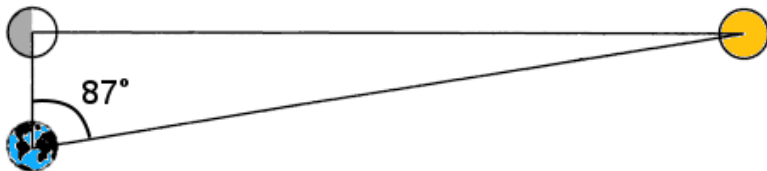
Odległość i rozmiar Księżyca

Arystarch z Samos (310-230 p.n.e.):



- ★ Pomiar względnego rozmiaru Księżyca i cienia Ziemi podczas zaćmienia,
→ $R_{\text{C}}/R_{\text{E}} \simeq 1/3$ (dokładna wartość $R_{\text{C}}/R_{\text{E}} = 0.2724$)
- ★ Rozmiar kątowy Księżyca: 0.5° (0.0087 rad)
odległość = $2R_{\text{C}}/\theta \simeq 4 \times 10^5$ km (średnia odległość: 3.8×10^5 km)

Odległość Ziemia-Słońce



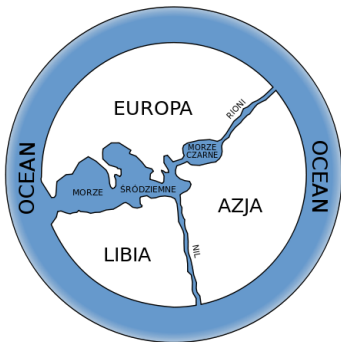
Obserwacja: podczas kwadry (Księżyc oświetlony dokładnie w połowie), kąt KZS jest mniejszy niż 90° .

Pomiar Arystarcha: $\phi = 87^\circ$ (pomiar współczesny: $\phi_{2013} = 89.853^\circ$)

$$d_{ZS} = d_{ZK} / \cos(\phi) \rightarrow d_{ZS} \simeq 20d_{ZK}$$

$$d_{ZS} = d_{ZK} / \cos(\phi_{2013}) \rightarrow d_{ZS} \simeq 390d_{ZK}$$

Problem z autorytetami



Świat wg Anaksymandera z Miletu

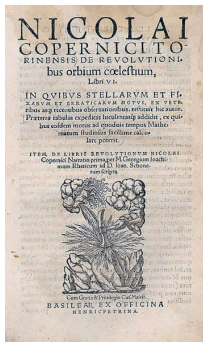
(610 - 546 p.n.e.)

Hipotezy starożytnych teoretyków (Platon, Arystoteles, Ptolemeusz) były przez pewien czas (≈ 1500 lat) traktowane bez należytej krytyki naukowej, a nawet uznane za religijny dogmat, którego nie wolno kwestionować.



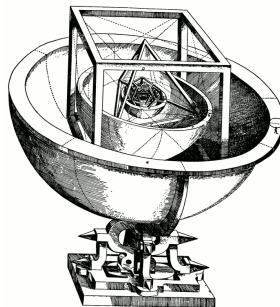
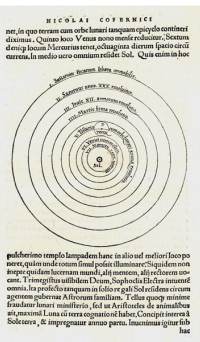
Świat wg Lzydora z Sewilli, VII w (rys. Codex Gigas, XIII w.)

Mikołaj Kopernik & Johannes Kepler

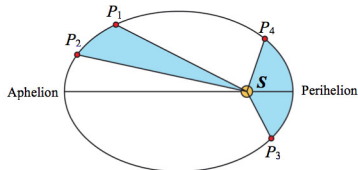


De revolutionibus orbium coelestium, 1543 r.

Mikołaj Kopernik (1473-1543):
przypomnienie antycznych modeli
Arystarcha z Samos.

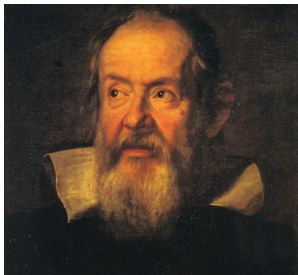


Model Johanna Keplera (1571-1630) - kołowe orbity planet wyznaczone przez 5 platońskich brył.



Nieelegancka, ale świetnie opisująca rzeczywistość elipsa.

Pierwsze obserwacje teleskopowe

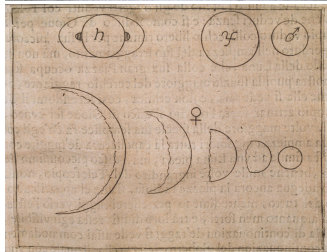
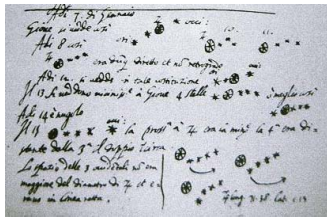


Galileusz (1564-1642)

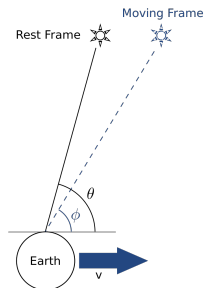
Przełomowe obserwacje

- ★ Powierzchni Księżyca,
- ★ Plam na Słońcu,
- ★ Gwiazd w Drodze Mlecznej,
- ★ Planet: Wenus (fazy), Saturn (pierścienie), Jowisz (księżyce)
- ★ Supernowa 1604 („supernowa Keplera”)

→ **Wszelki świat jest zmienny w największej skali!**

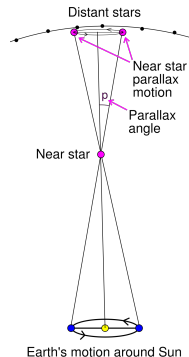


Aberracja światła gwiazd i paralaksa



James Bradley (1693-1762), klasyczne wyjaśnienie aberracji światła w 1729 r.

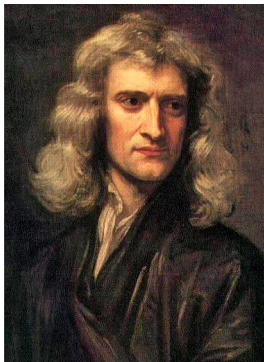
- ★ Odchylenie od kierunku, z którego nadchodziłby promień świetlny w przypadku nieruchomego obserwatora ($\propto v/c$),
- ★ Skończona prędkość światła!



Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846)

- ★ Tycho Brache (1546-1601): krytyka modelu heliocentrycznego, brak obserwacji paralaksy,
- ★ Pomiar ruchu pozornego gwiazd w cyklu rocznym; 61 Cygni w 1838 r. (0.314 arcsec, czyli odległość 10 lat świetlnych)

Czas i przestrzeń



Izaak Newton, 1642 - 1727

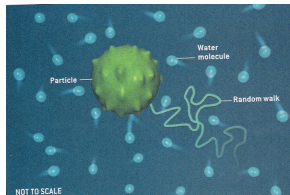
Absolutna definicja czasu i przestrzeni,
absolutne układy odniesienia.



Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646 - 1716

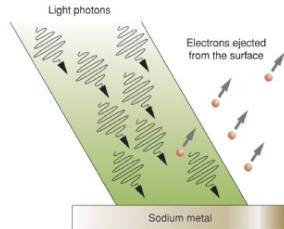
Czas i przestrzeń jest **relatywną** cechą
oddziałujących obiektów, ruch jest
względny.

Atomy i kwanty: początek nowej ery



Schematyczny obraz proces „błądzenia losowego”

- ★ Epikur (341–270 p.n.e.), Lukrecjusz i inni - świat składa się z elementarnych fragmentów materii i próżni,
- ★ Robert Brown (1827) obserwuje pod mikroskopem pyłek kwiatowy w wodzie i opisuje jego „losowy” ruch,
- ★ Ludwig Boltzmann (1844-1906): kinetyczna teoria gazów,
- ★ Albert Einstein (1905) tłumaczy ruch pyłku w wodzie obecnością atomów.



Wyjaśnienie zjawiska fotoelektrycznego, 1905

- ★ Albert Einstein tłumaczy „wybijanie” elektronów (składników promieniowania katodowego, J. J. Thomson 1886) przez fotony, cząstki światła.

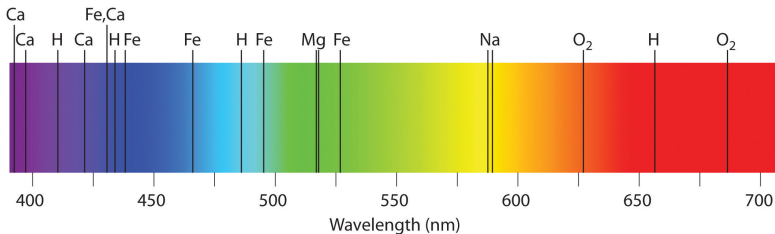
Joseph Fraunhofer & Cecilia Payne: linie widmowe



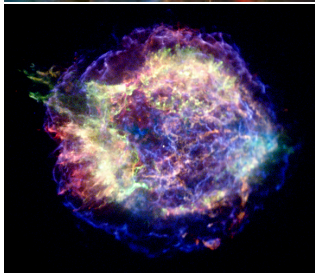
Joseph Fraunhofer (1787-1826) - eksperymenty z soczewkami i pryzmatem, obserwacje linii absorpcyjnych znanych pierwiastków w świetle słonecznym.



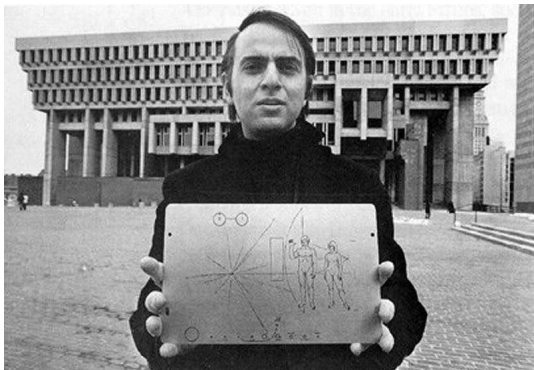
Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) - powiązanie kolorów gwiazd z temperaturą, Wszechświat składa się głównie z helu i wodoru.



Nasz związek ze Wszechświatem



Pierwiastki chemiczne, z których składamy się my, inne zwierzęta, rośliny i planety powstały we wnętrzach gwiazd.

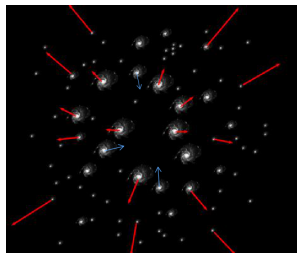
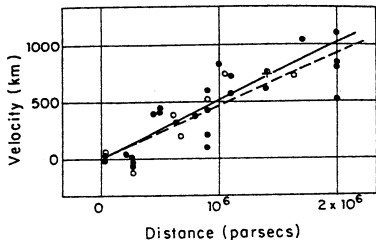
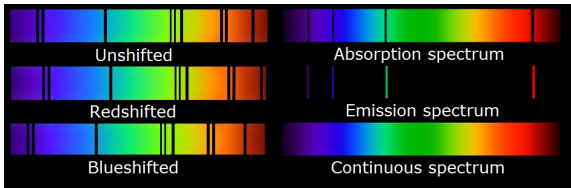


Carl Sagan (1934-1996): „*Jesteśmy częścią Wszechświata, a Wszechświat jest częścią nas*”

Uciezka galaktyk ($v = H_0 D$)

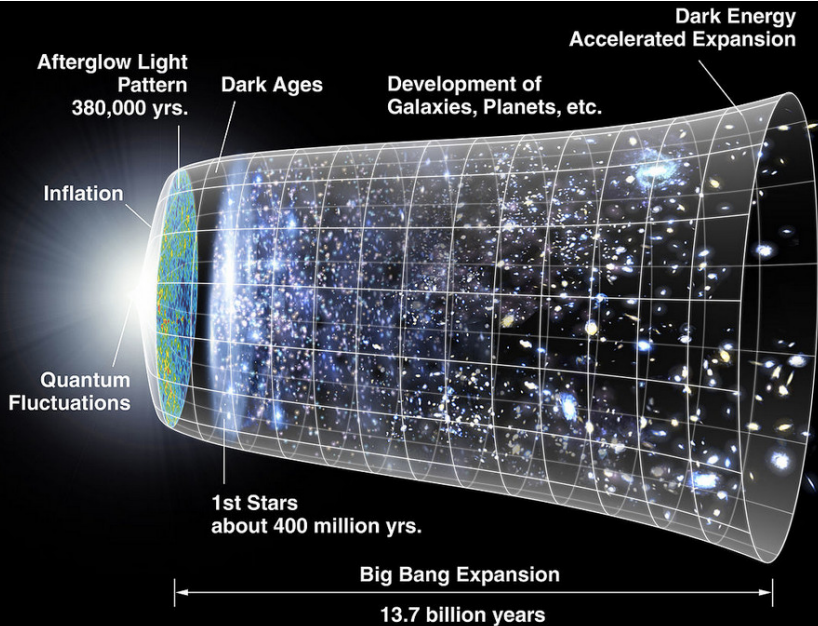


Edwin Hubble (1889-1953).

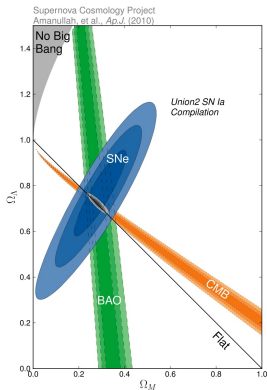
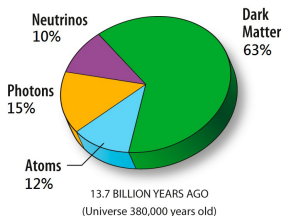
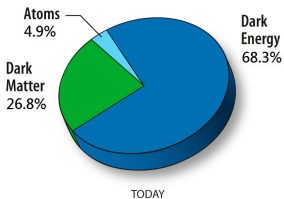


Ziemia nie zajmuje wyróżnionego miejsca w Układzie Słonecznym, Galaktyce, nie mówiąc już o całym Wszechświecie!

Kosmiczna oś czasu



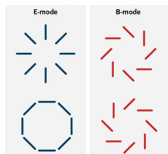
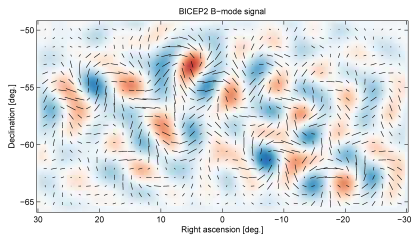
Aktualny obraz Wszechświata



- ★ Obserwacje mikrofalowego promieniowania tła (CMB) - wszechświat jest „płaski” → gęstość krytyczna Ω ,
- ★ Prędkości ucieczki supernowych (świece standardowe),
- ★ BAO (Baryonic Acoustic Oscillations): w czasie rekombinacji, wpływ na formowanie się późniejszych wielkich struktur (standardowa linijka),

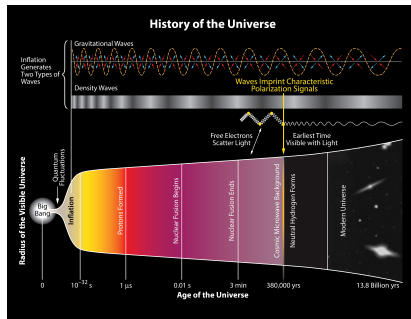
Sięganie poza CMB

Zeszlóroczne wyniki eksperymentu BICEP2 - detekcja składowej polaryzacji CMB, wyglądająca jak wynik pierwotnych fal grawitacyjnych:



$$(\vec{F} = -\nabla\Psi + \nabla \times \vec{A})$$

Pierwszy obserwacyjny dowód na kosmiczną inflację?



Dokładniejsza analiza danych BICEP2/Planck - niedoszacowany wpływ pyłu galaktycznego, ale... niektóre modele inflacji wykluczone!

Co dalej?

Fermiony			Bozony			
Kwarki	2.3 MeV/c ² 2/3 1/2 u górny	1.27 GeV/c ² 2/3 1/2 c powabny	173.5 GeV/c ² 2/3 1/2 t szczytowy	Bozony cechowania	0 0 1 γ foton	91.2 GeV/c ² 0 1 Z⁰ bozon Z
	4.8 MeV/c ² -2/3 1/2 d dolny	95 MeV/c ² -1/3 1/2 s dziwny	4.2 GeV/c ² -1/3 1/2 b spodni		0 0 1 g gluon	80.4 GeV/c ² ±1 1 W[±] bozon W
	0.511 MeV/c ² -1 1/2 e elektron	105.7 MeV/c ² -1 1/2 μ mion	1.777 GeV/c ² -1 1/2 τ taon		126 GeV/c ² 0 0 H⁰ bozon Higgsa	
Leptony	<2.2 eV/c ² 0 1/2 ν_e neutrino elektronowe	<170 keV/c ² 0 1/2 ν_μ neutrino mionowe	<15.5 MeV/c ² 0 1/2 ν_τ neutrino taonowe			
	I	II	III			
						Masa Ładunek Spin

Czym więc jest nauka? Nieustannym szukaniem odpowiedzi na coraz bardziej podstawowe pytania:

- ★ Czy Teoria Wszystkiego (kwantowa grawitacja?) istnieje?
- ★ Czy hipotezę multiverse (Wieloświata) da się zweryfikować?
- ★ Czym jest czas?
- ★ Czym jest przestrzeń?
- ★ Czym jest świadomość?
- ★ Czy Wszechświat *jest* matematyką?

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$