

Wczoraj, dziś i jutro Wszechświata

Tomasz Bulik

Plan wykładu

- Obserwacje Wszechświata – stan obecny
- Dlaczego Wielki Wybuch
- Co to jest inflacja
- Powstawanie Galaktyk
- Powstanie Układu Słonecznego
- Przyszłość Układu Słonecznego
- Przyszłość gwiazd, Galaktyk i...
- Wszechświata

Rozszerzanie się Wszechświata



- Edwin Hubble – 1889-1953
- Dyskusja – jedna Galaktyka czy wiele galaktyk?
Rozszerzanie przestrzeni czy ucieczka galaktyk
w przestrzeni

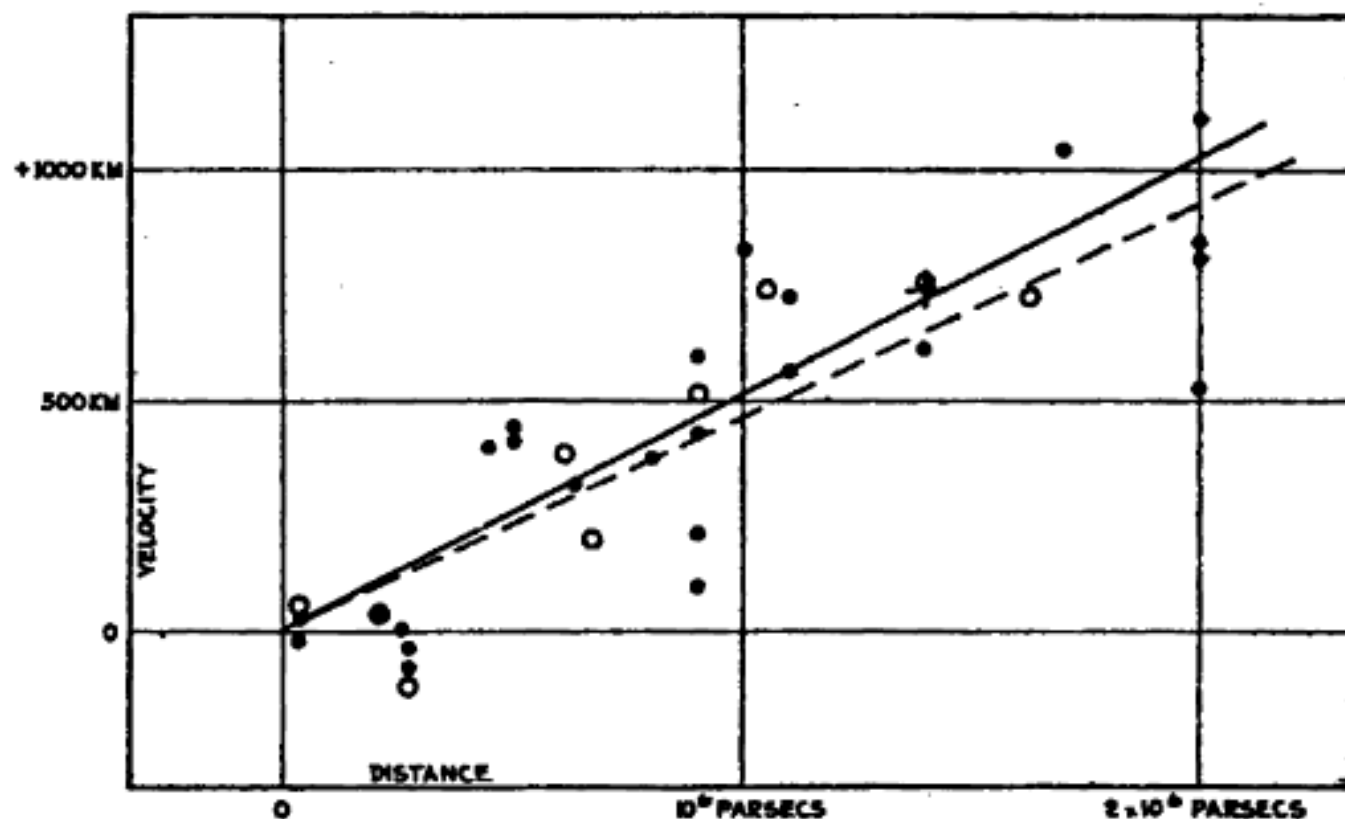


FIG. 2—Reproduced from Hubble (1929). The first “Hubble diagram” including galaxies with redshifts up to 1100 km s^{-1} and implying a Hubble constant near $500 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}$.

Hubble’s Cepheids is often wrongly cited (e.g., by de Vaucouleurs 1982) as *PASP*, 5, 261, 1925. In fact, Vol. 5 of *PASP* appeared in 1893 or thereabouts. Probably the short-lived *Publications of the American Astronomical Society* is meant, but I have not checked this.

This brings us to 1929 January 17, when Hubble submitted “a relation between distance and radial velocity among

mentions 465, 513, and 530; the graph shows lines for 465 and 513. A modern eye examining the plotted points inevitably concludes that Hubble was perfectly honest about the random errors of the result. The problem lay, as nearly always, in systematic errors.

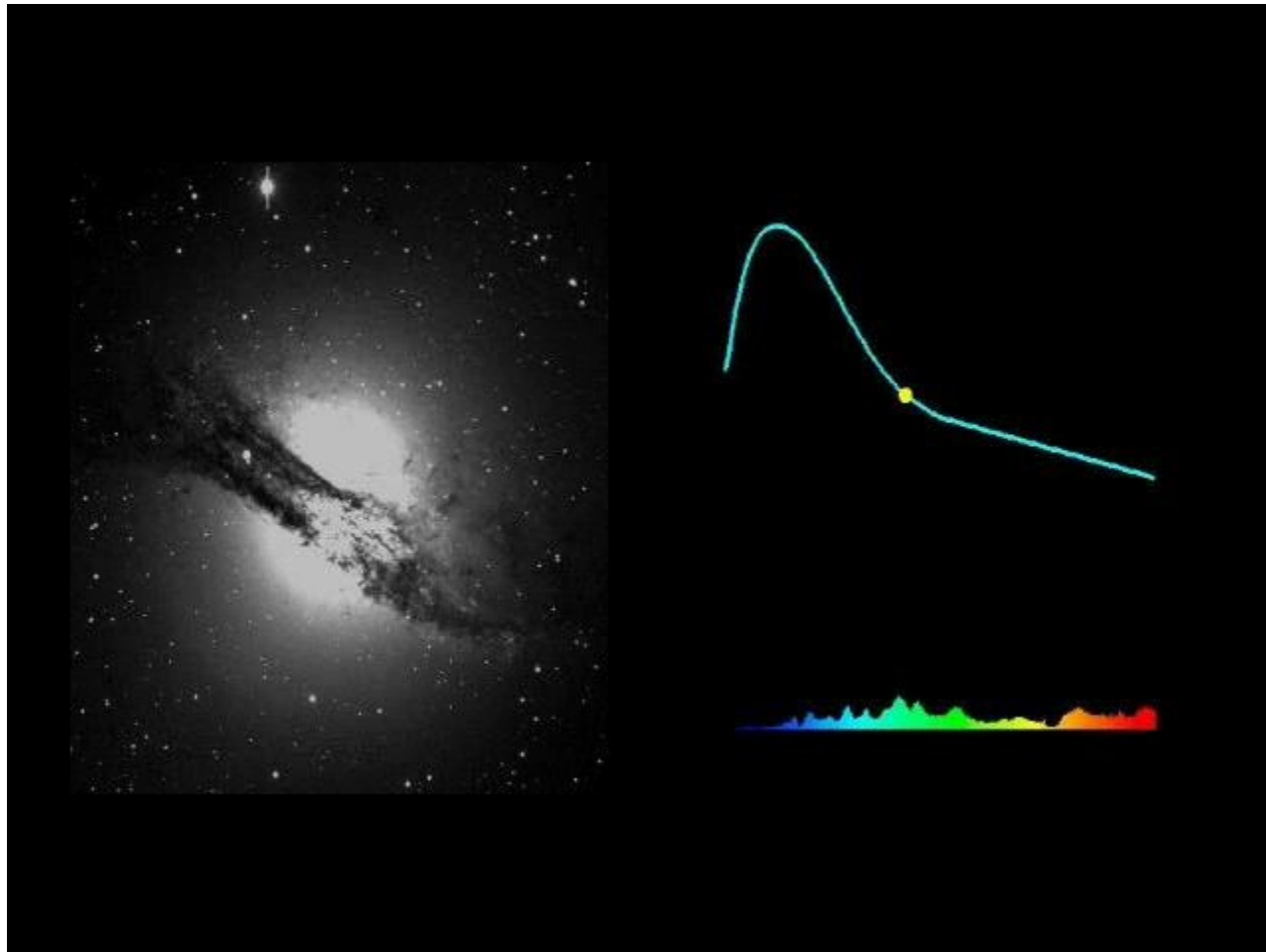
Much of what was written about Hubble from his own time down to the present (including things written by or

Pomiar stałej Hubble'a

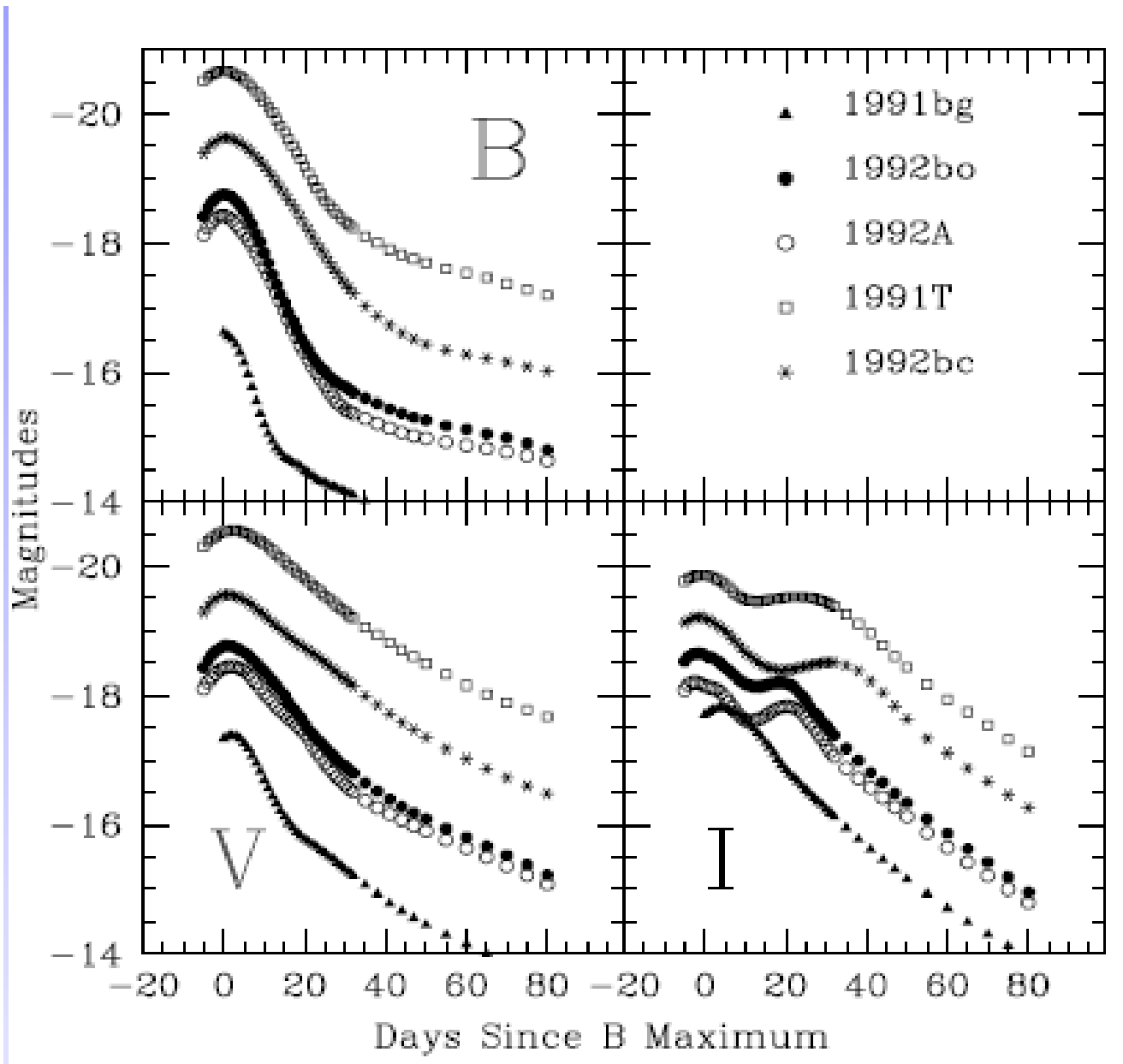
- Swiece standardowe
- Linijki standardowe

Swiece standardowe

- Supernowe typ Ia
- Krzywe blasku
-
- Błyski gamma



Krzywe blasku supernowych Ia



Zależność jasność-zmiennosc

Badając tempo zaniku – otrzymujemy jasność absolutną.

Porównujemy ją z jasnością obserwowaną i mamy stąd odległość.

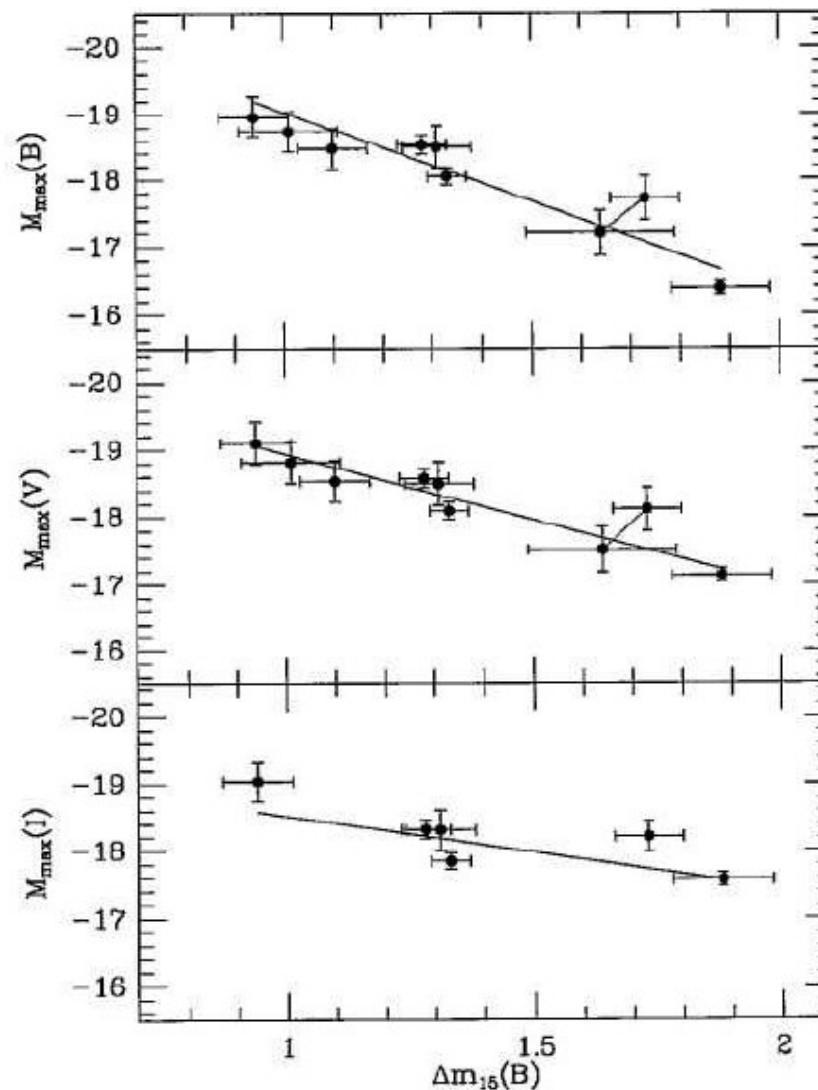
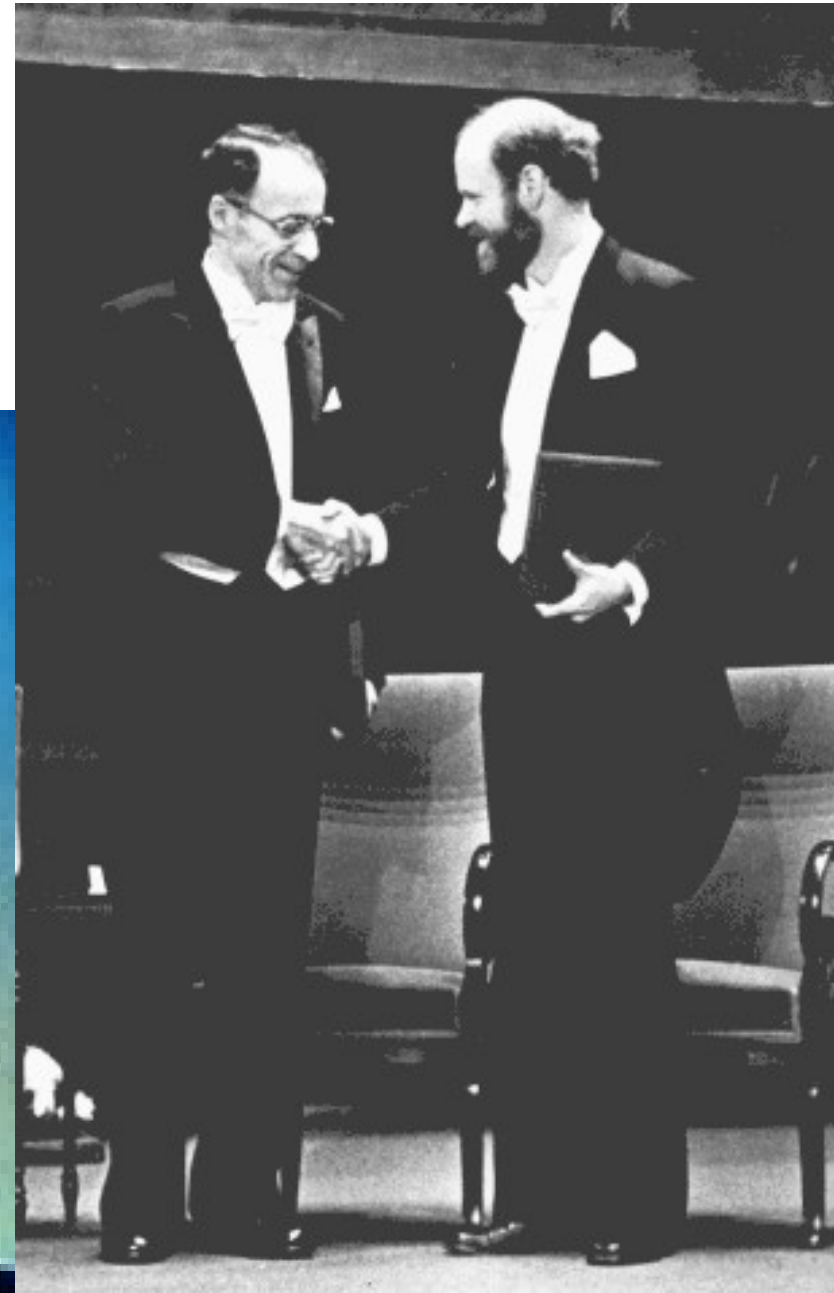


FIG. 1.—Decline rate–peak luminosity relation for the nine best-observed SN Ia's. Absolute magnitudes in B , V , and I are plotted vs. $\Delta m_{15}(B)$, which measures the amount in magnitudes that the B light curve drops during the first 15 days following maximum.

Arno Penzias i Robert Wilson, 1965



Podstawowe pojęcia:

Kosmiczne Mikrofalowe promieniowanie tła – relikty Wielkiego Wybuchu

3 stopnie powyżej zera absolutnego (-270 stopni Celsjusza)

mm-cm długości fal

400 fotonów na centymetr sześcienny

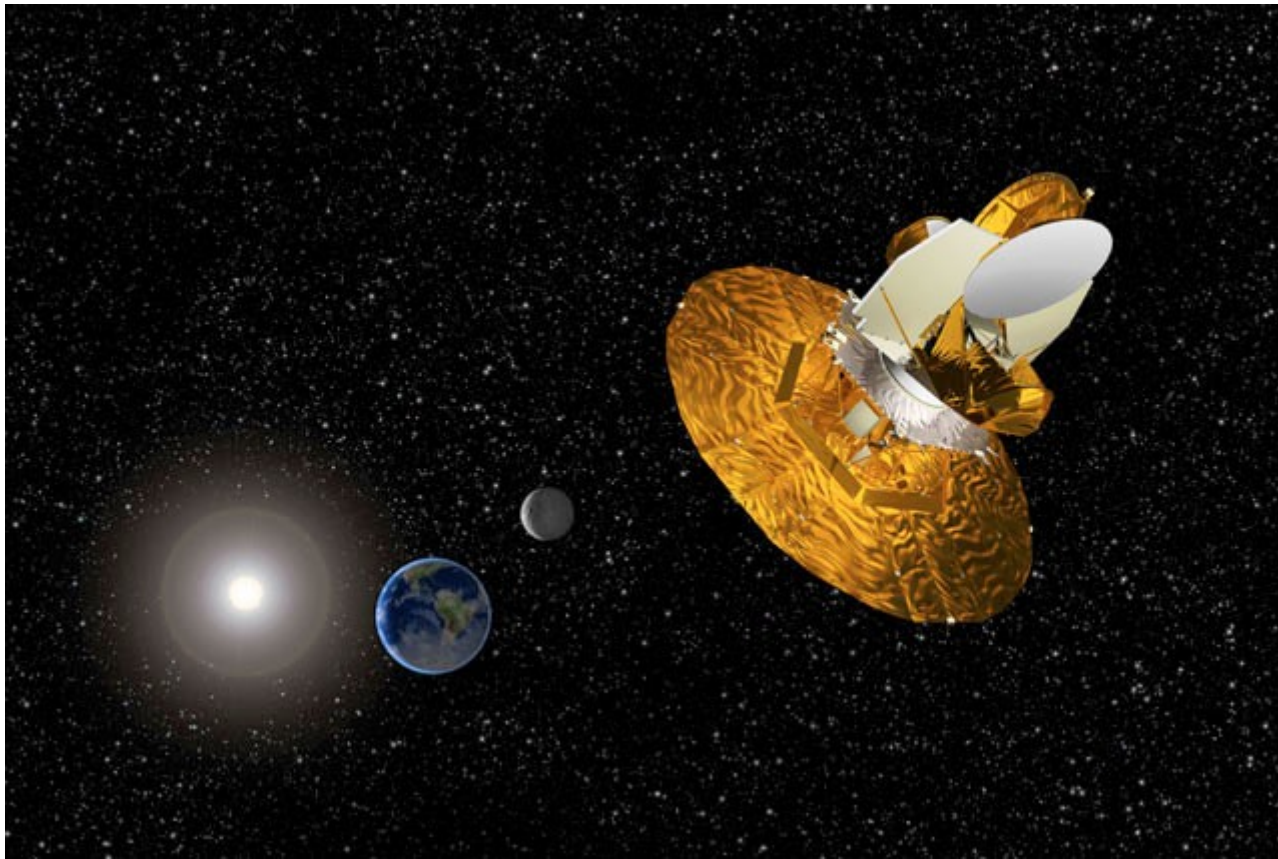
10 biliardów fotonów na sekundę na centymeter kwadratury

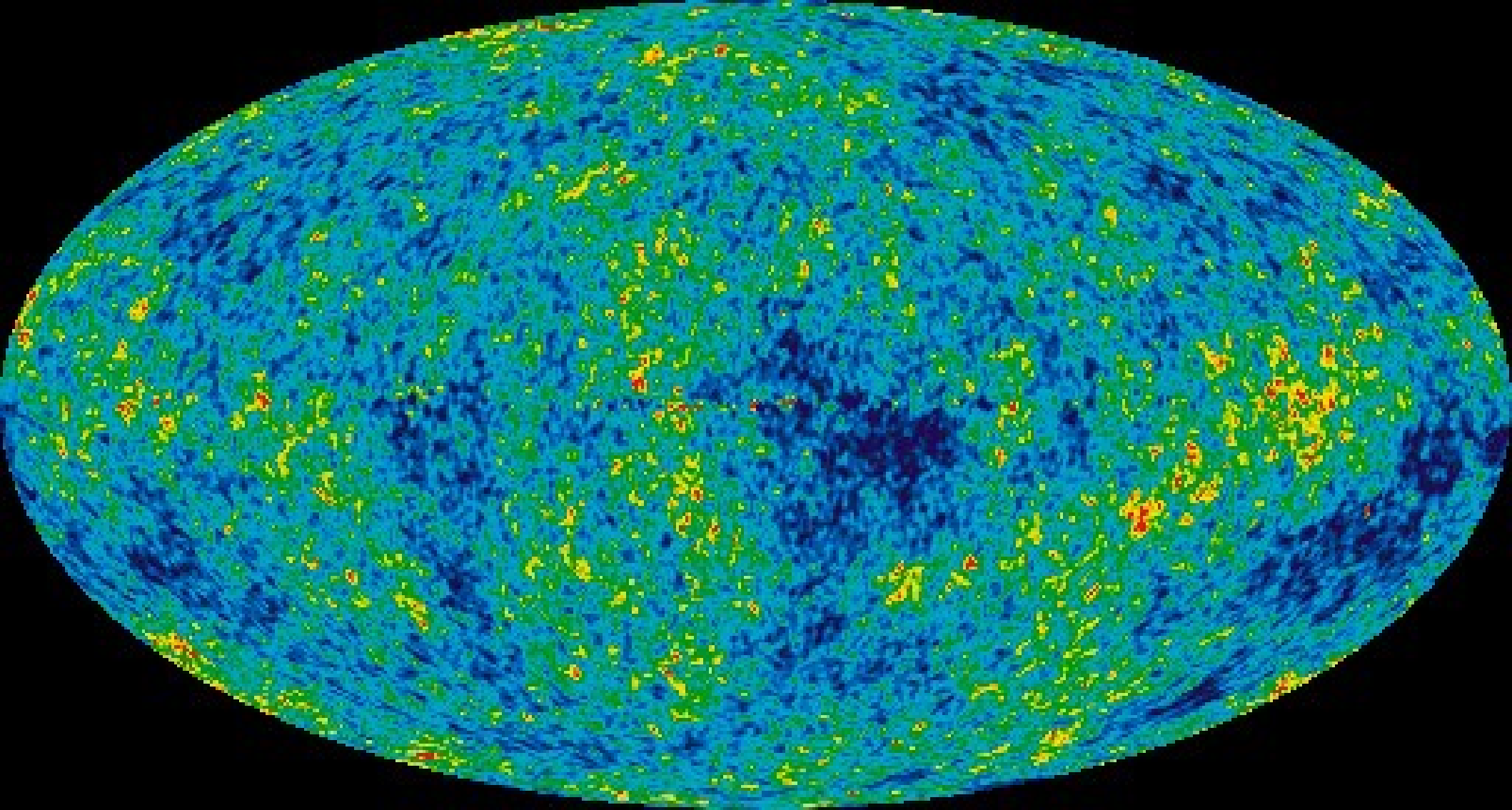
Kilka % „śniegu,, na ekranie TV

Temperatura nieco różna w różnych miejscach na niebie - 1 część na 100,000.



Promieniowanie tła: WMAP

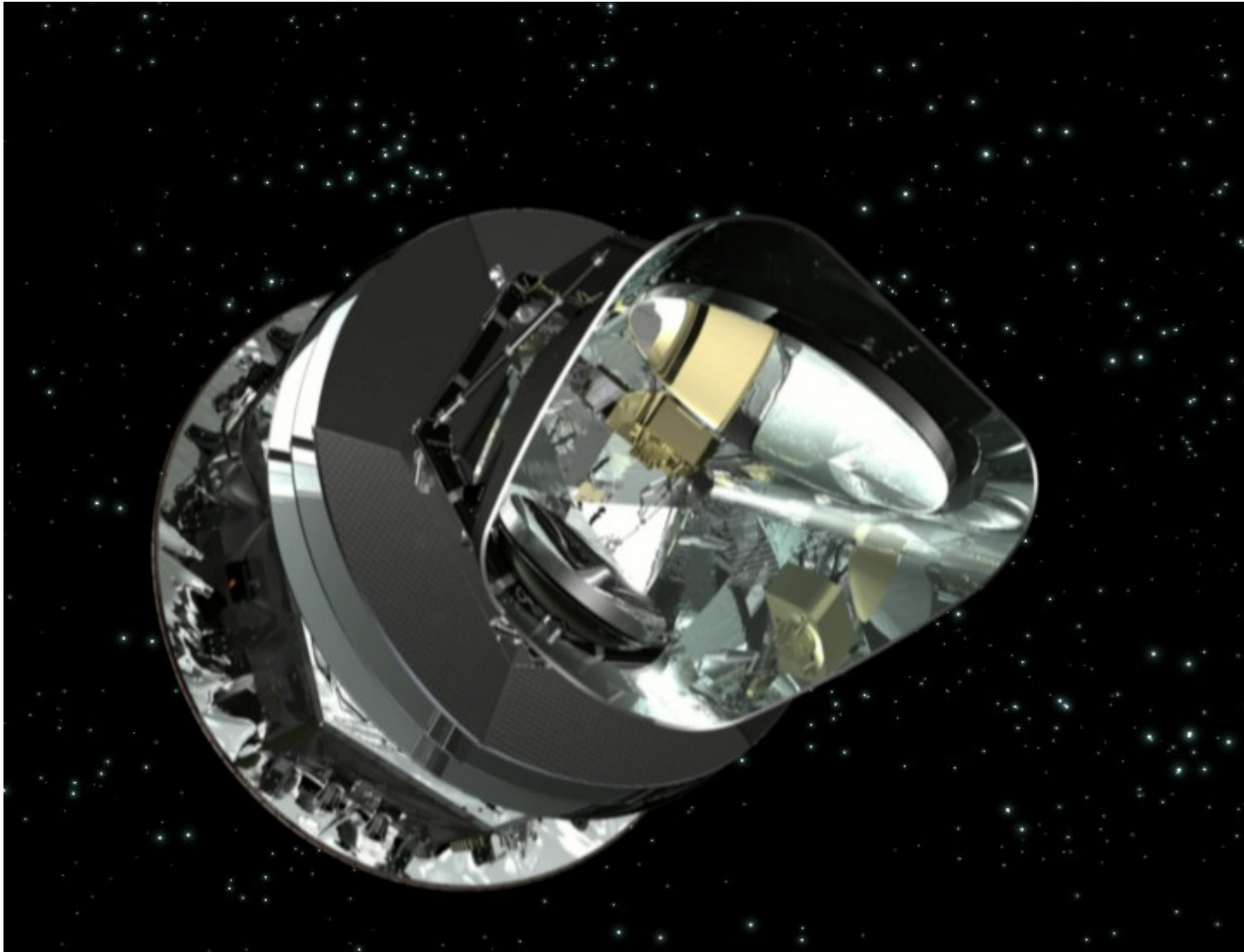




– Fluktuacje promieniowania tła:

$$\frac{\delta T}{T} < 10^{-4}$$

Promieniowania tła: Planck



Planck

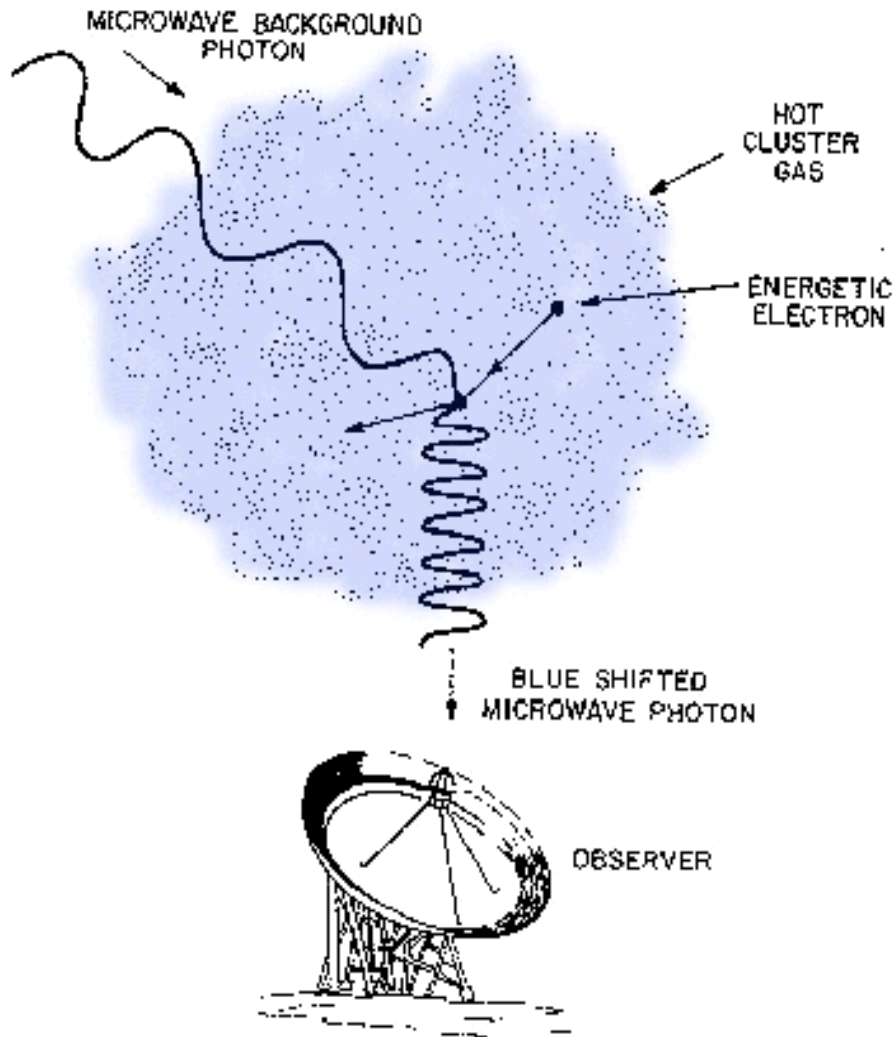
- Dokładny pomiar całego nieba
- Dwa skany
- Minimum 15 miesięcy
- Orbita w punkcie L2
- Kierunek odsloneczny
- Udział OA

film

Pomiar rozszerzania Wszechswiata- linijki standardowe

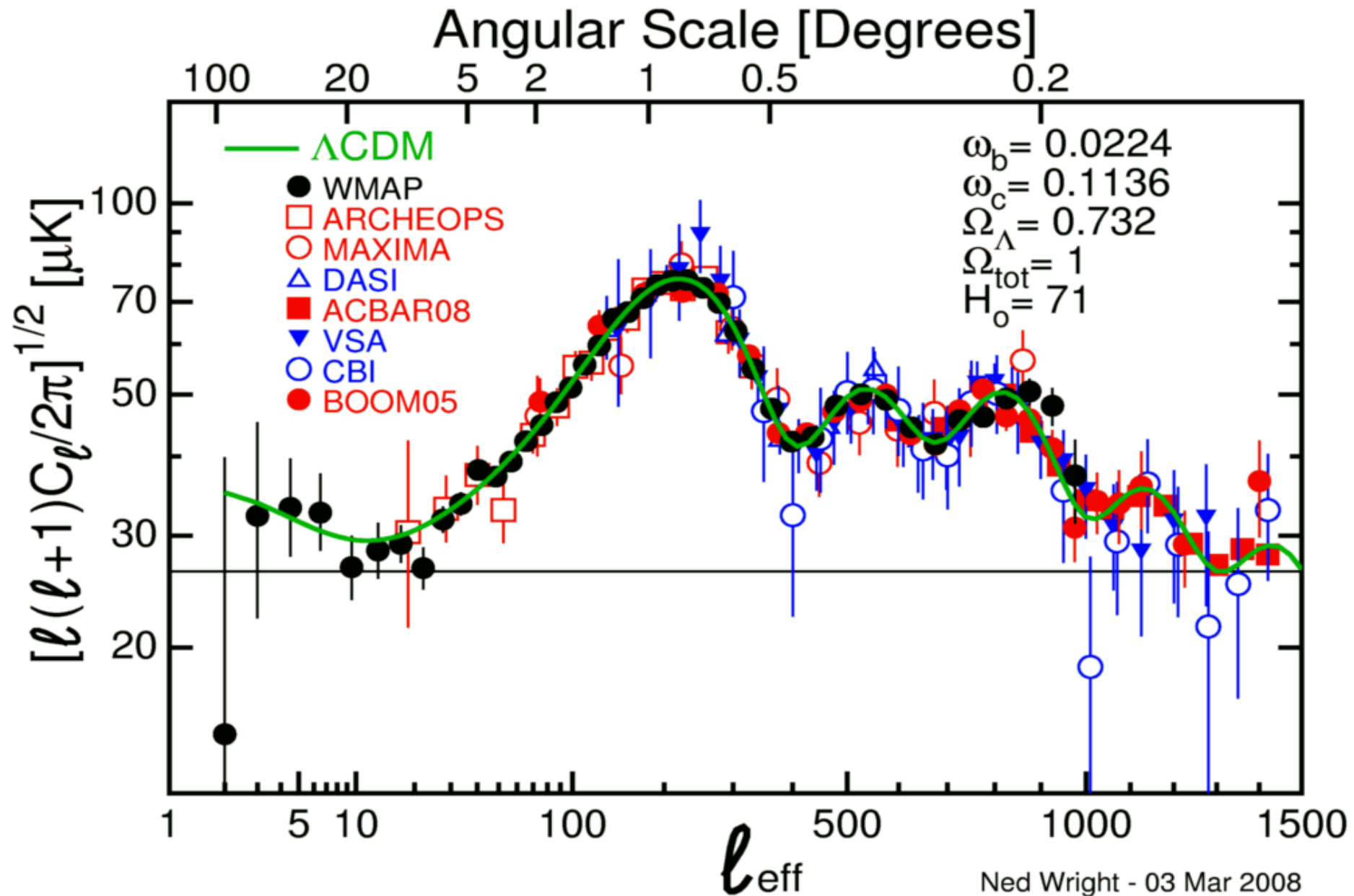
- Efekt Sunyaeva-Zeldowicza.
- Fluktuacje promieniowanie tła

Sunyaev Zeldovich



Wyznaczenie rozmiaru liniowego gromady. Wraz z rozmiarem katowym - odleglosc.

Widmo fluktuacji promieniowania tła



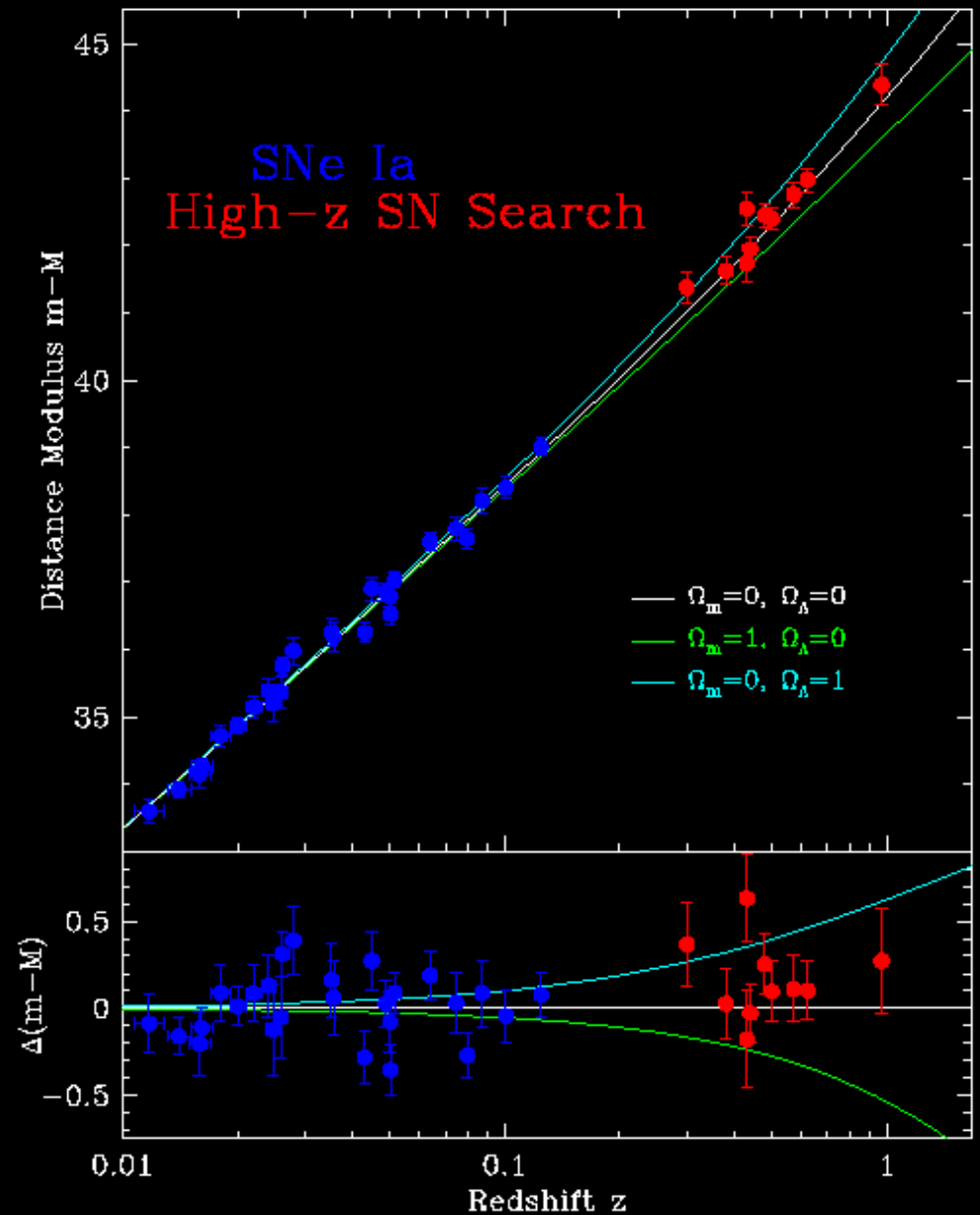
Stała Hubble'a - wiek Wszechświata

$$H_0 = 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

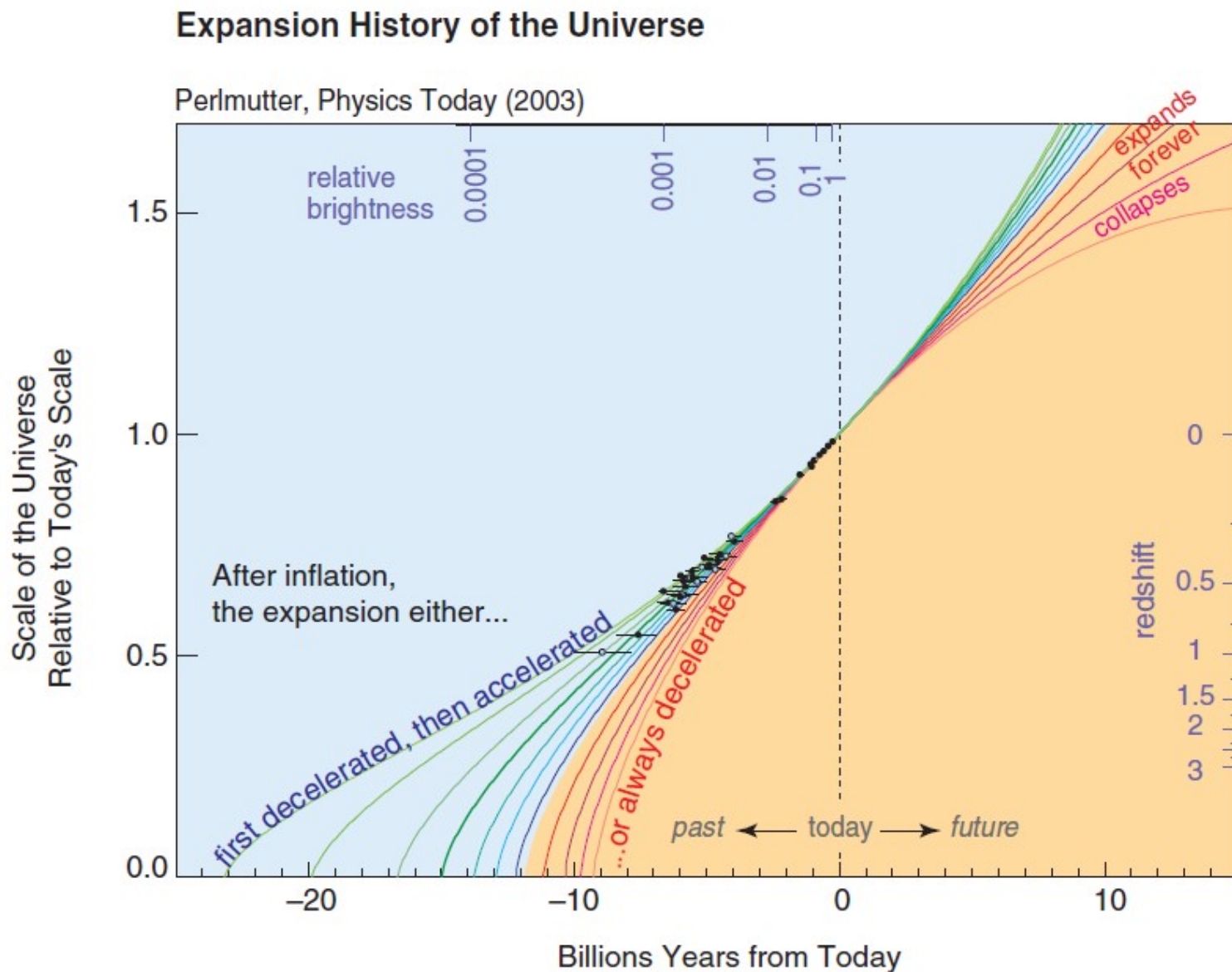
Wymiar – odwrotność czasu.

Skala czasowa – wiek Wszechświata.

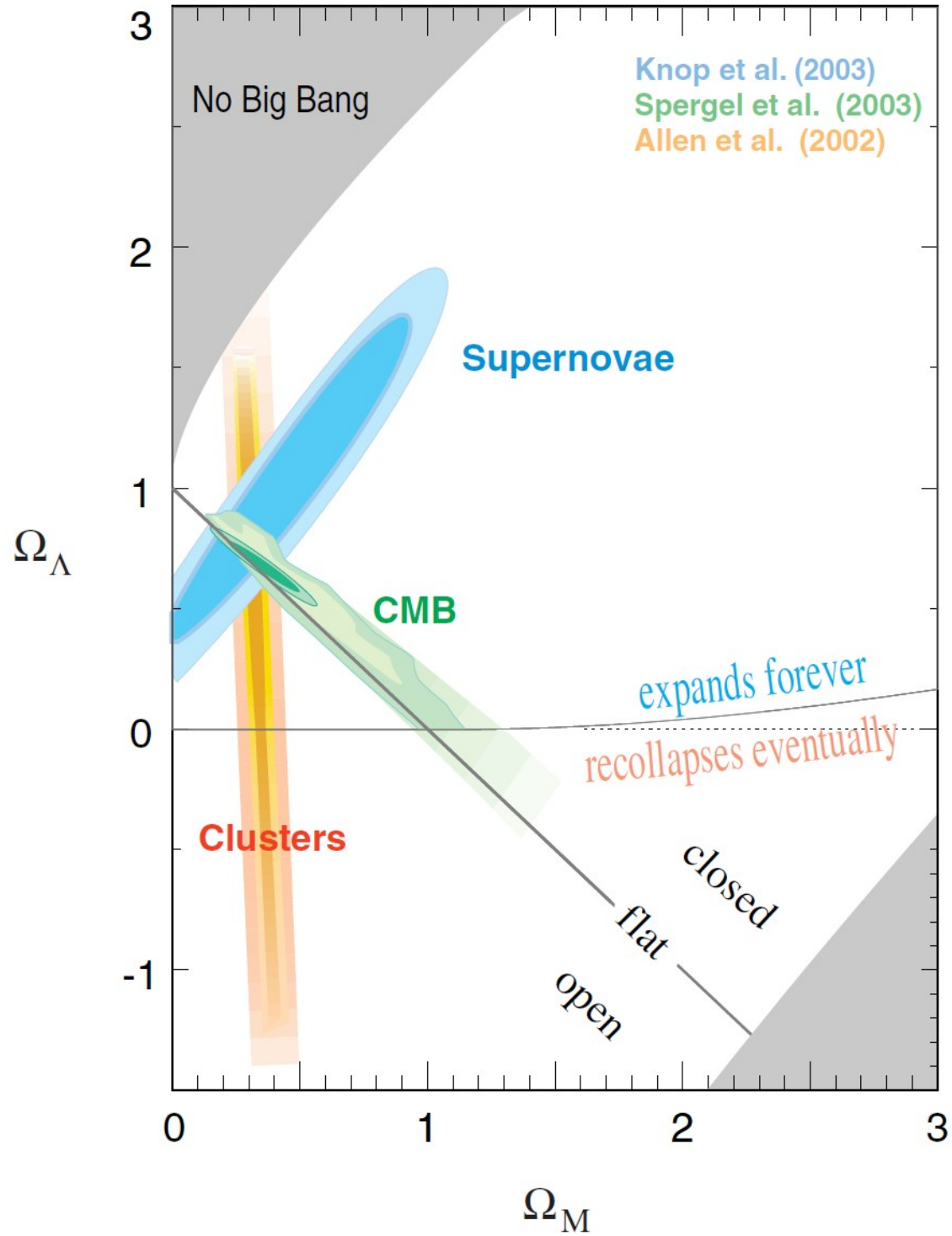
Nie tylko
rozszerzanie ale
także
przyspieszenie



Historia rozszerzania Wszechswiata



Supernova Cosmology Project



Materia we Wszechświecie

- Wążenie Kosmosu
- Materia świecąca
- Materia grawitująca
- Dodatkowe siły – stała kosmologiczna

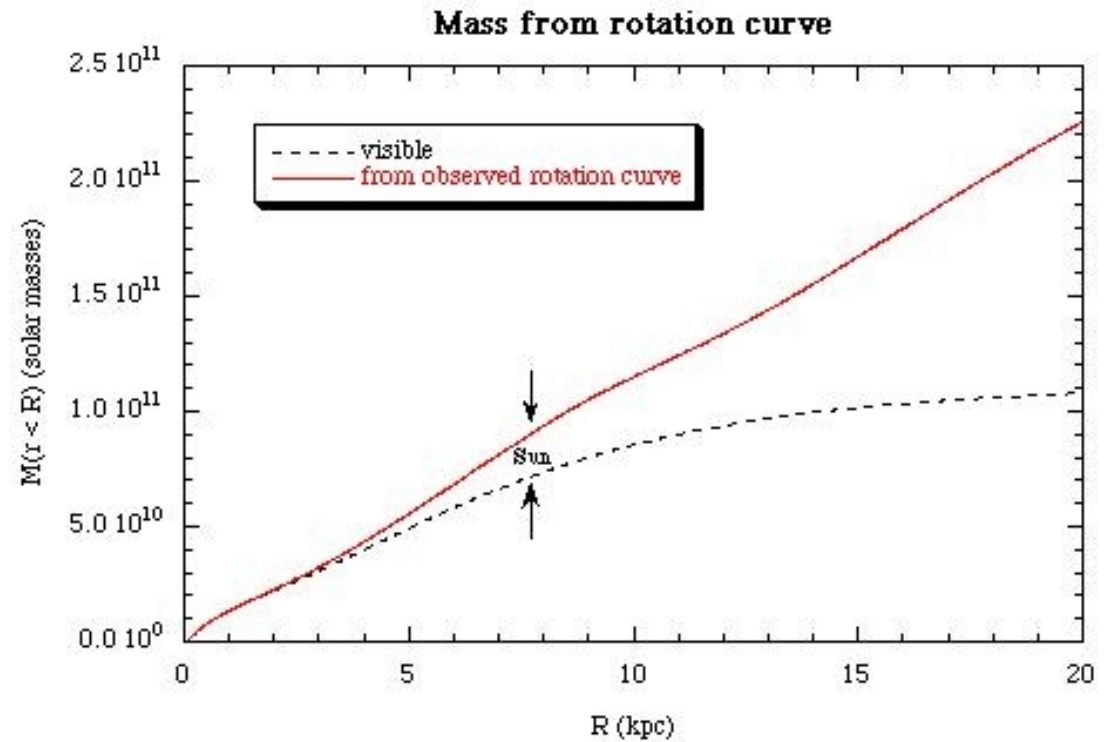
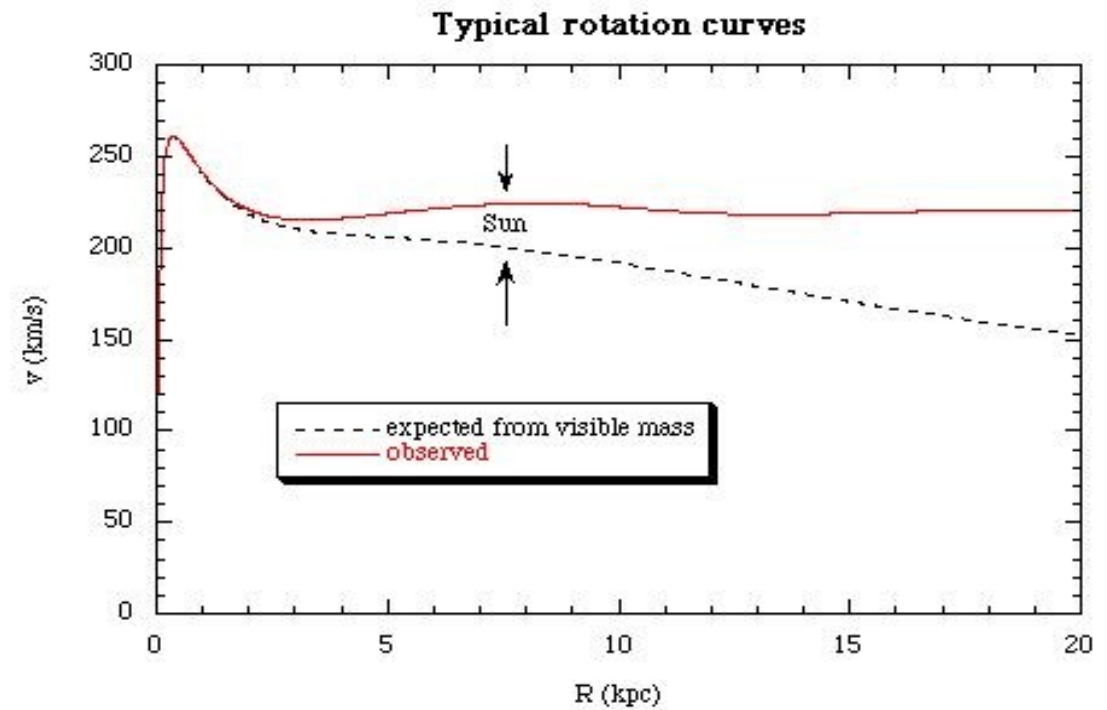
Ciemna materia

- Krzywe rotacji galaktyk
- Soczewkowanie vs świecący gaz.

Wazenia galaktyk

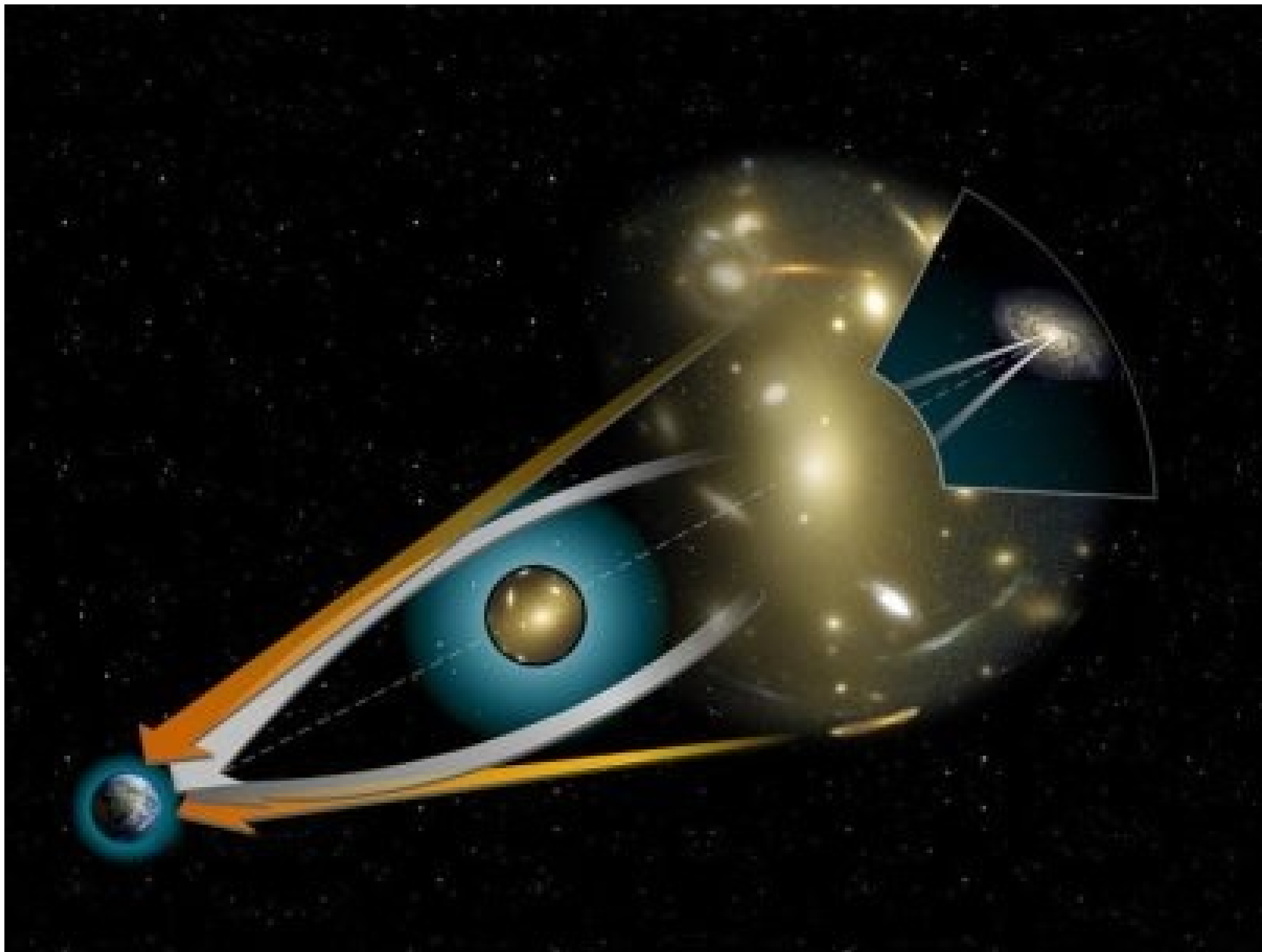
- Wyznaczanie mas w astronomii
- Okreslenie masy za pomoca ruchu w polu grawitacyjnym
- Porownanie z okresleniem masy swiecacej

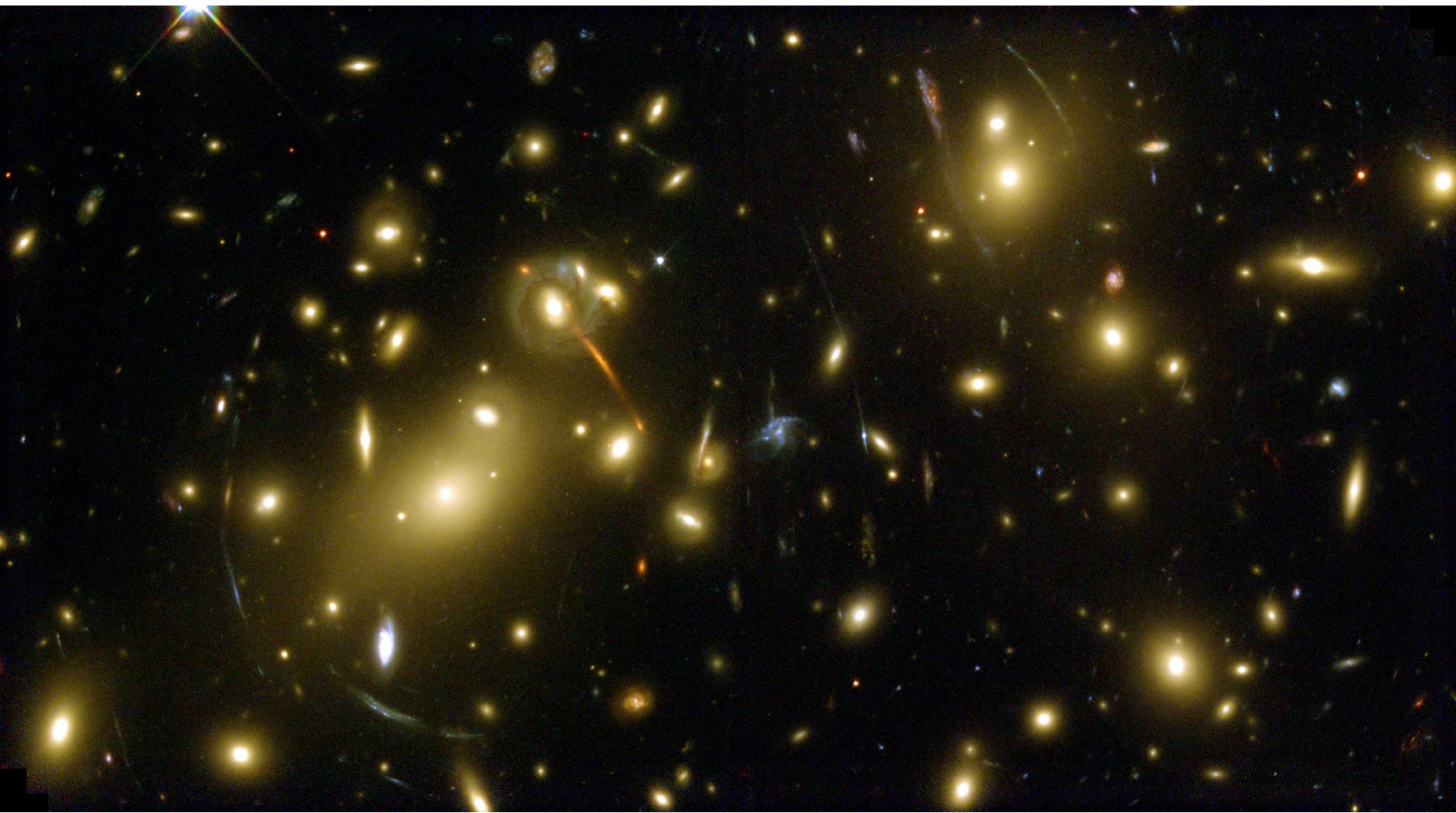
Krzywe rotacji galaktyk



Soczewkowanie

- Okreslenie masy przez jej oddziaływanie ze światłem
- Okreslenie masy przez obserwacje sieciacego gazu
- Okreslenie masy przez obserwacje gwiazd w galaktykach





Ile materii jest we Wszechświecie ?

$\Omega < 1$ Wszechświat otwarty (ujemna krzywizna)

$\Omega = 1$ Wszechświat płaski (euklidesowy)

$\Omega > 1$ Wszechświat zamknięty (dodatnia krzywizna)

Obserwacje:

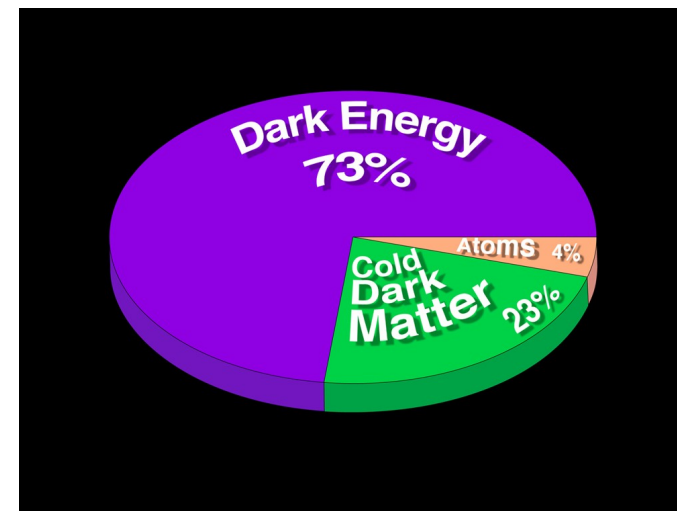
$$\Omega_{\text{mat. świecąca}} \approx 0.005$$

$$\Omega_{\text{mat. barionowa z nukleosyntezy}} \approx 0.03$$

$$\Omega_{\text{dynamika galaktyk i gromad, soczewkowanie graw}} \approx 0.3$$

$$\Omega_{\Lambda \text{ standard ruler, supernowe}} \approx 0.7$$

$$\Omega_{\text{inflacja, MBR}} \approx 1.0$$



Ewolucja gestosci Wszechswiata

$$\frac{1 - \Omega}{\Omega} = \frac{1 - \Omega_0}{\Omega_0} \frac{1}{(1 + z)^n}$$

Niewazne jaka jest teraz gestosc Wszechswiata –
wazne ze jest bliska jednosci

We wczesnym Wszechsiece musiala być bardzo
blisko jednosci!

Wszechświat jest płaski

Jeśli dziś Wszechświat jest bardzo płaski to w przeszłości musiał być jeszcze bardziej płaski

Dlaczego wszechświat jest tak płaski?

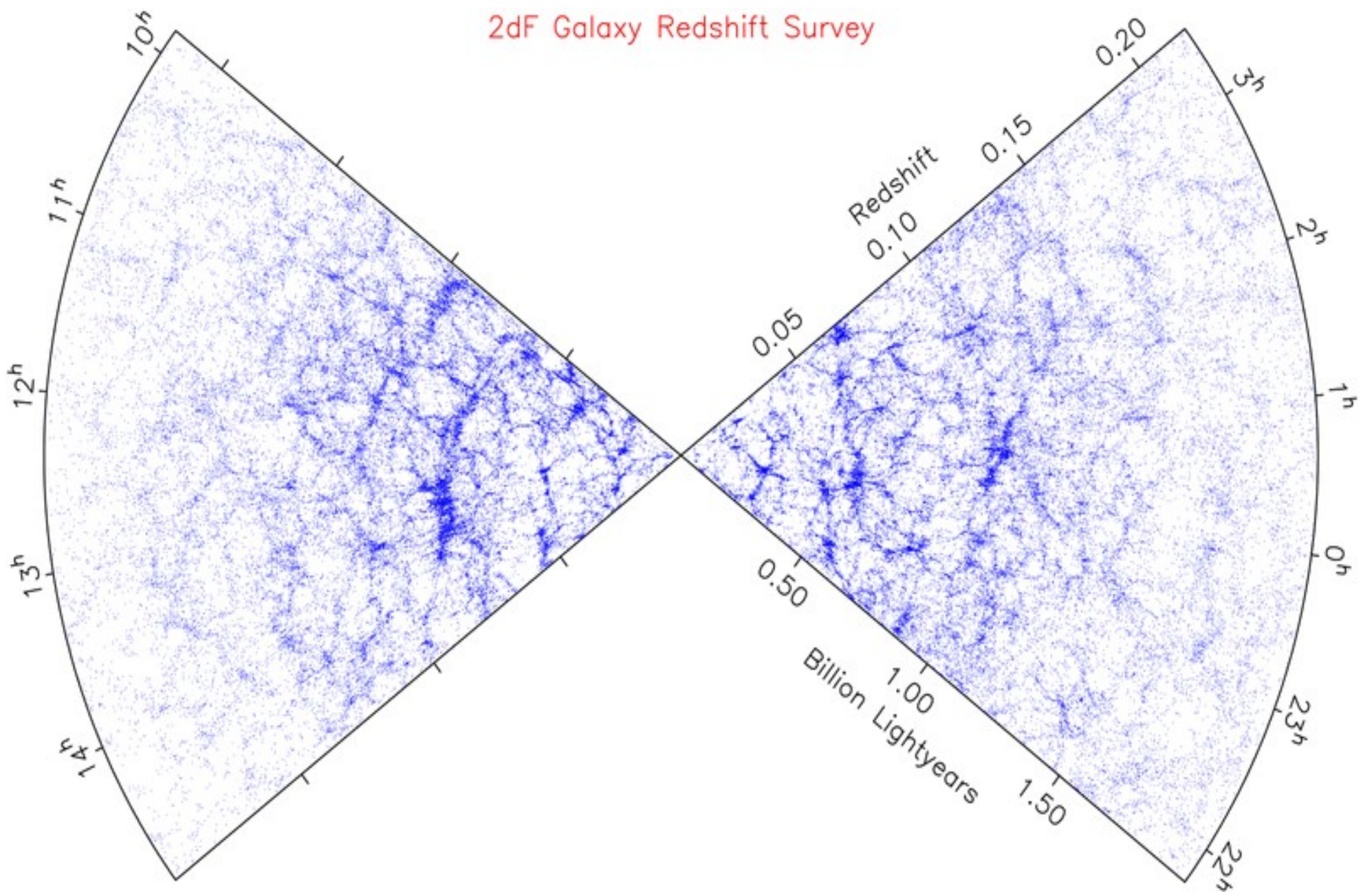
Jednorodność

- Wszechświat wydaje się wyglądać podobnie kiedy patrzymy w każdym kierunku.
- Gromady galaktyk są jednorodne w skali powyżej 100Mpc
- Promieniowanie tła
- Wszechświat jest jednorodny w skali powyżej 100Mpc

Rozkład galaktyk

- Przeglądy wybranych fragmentów nieba
- Pomiar przesunięcia ku czerwieni
- Limitowane strumieniem, a nie jasnością

2dF Galaxy Redshift Survey

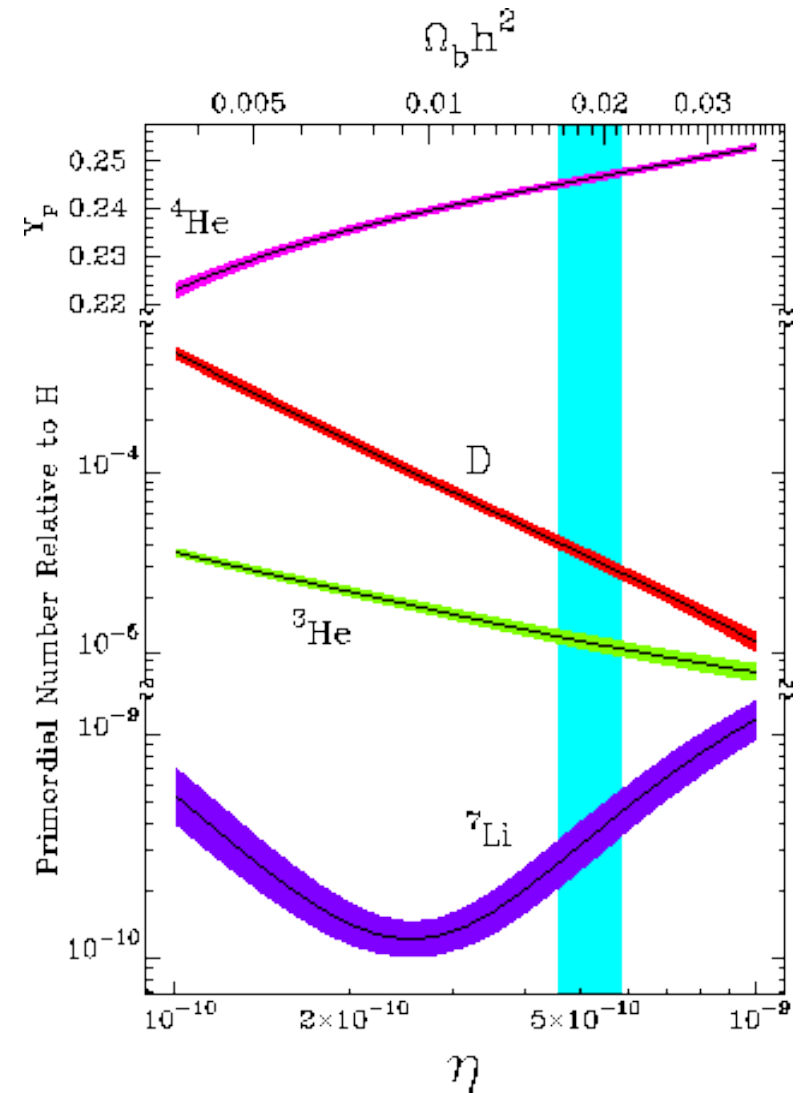


Problem jednorodności

- Obszary niezwiązane przyczynowo są do siebie podobne
- Dlaczego???

Skład chemiczny Wszechświata

- Helium-4. $[^4\text{He}/(\text{H}+\text{He})] = 0.23$
- Deuterium. $[^2\text{H}/\text{H}] = 1.5 \times 10^{-5}$
- Helium-3. $[^3\text{He}/\text{H}] = (1.2-15) \times 10^{-5}$
- Lithium-7. $\log[^7\text{Li}/\text{H}] = -9.8$
- Tritium ^3H is unstable with a half-life of 12.46 years.
- Observational Abundances of Light Elements: ^2H , ^3H , ^3He , ^4He , ^7Li



Pochodzenie materii

- Większość procesów mikroskopowych jest symetryczna: materia vs. antymateria
- Wszechświat zdominowany przez promieniowanie: miliard razy więcej fotonów niż atomów
- **Skąd przewaga materii nad antymateria?**
- Asymetria –wysokie energie – wczesny Wszechświat był gorący.

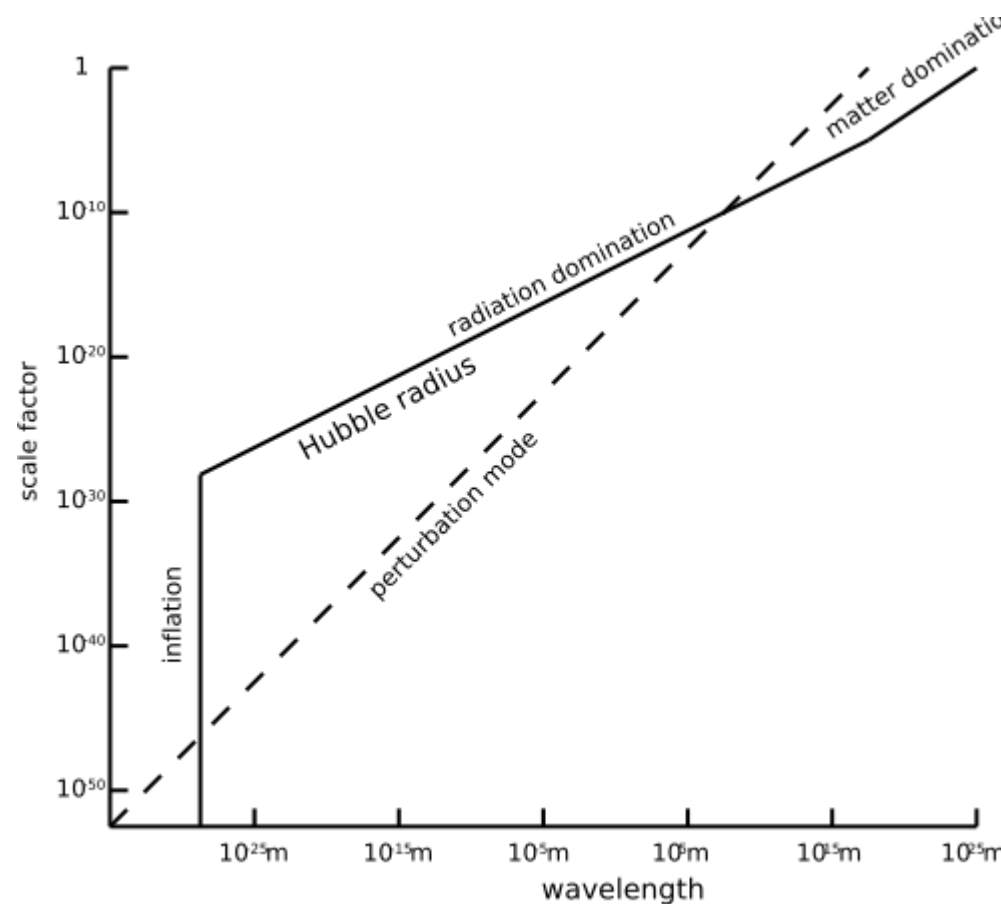
Problemy

- 1) Rozszerzanie
- 2) Płaskość przestrzeni
- 3) Jednorodność i izotropia
- 4) Skład chemiczny
- 5) Asymetria

Wielki wybuch: 1, 4, 5.

Inflacja

- Bardzo szybkie rozszerzanie się przestrzeni wywołane przez ujemną grawitację
- Miała miejsce we wczesnym Wszechświecie

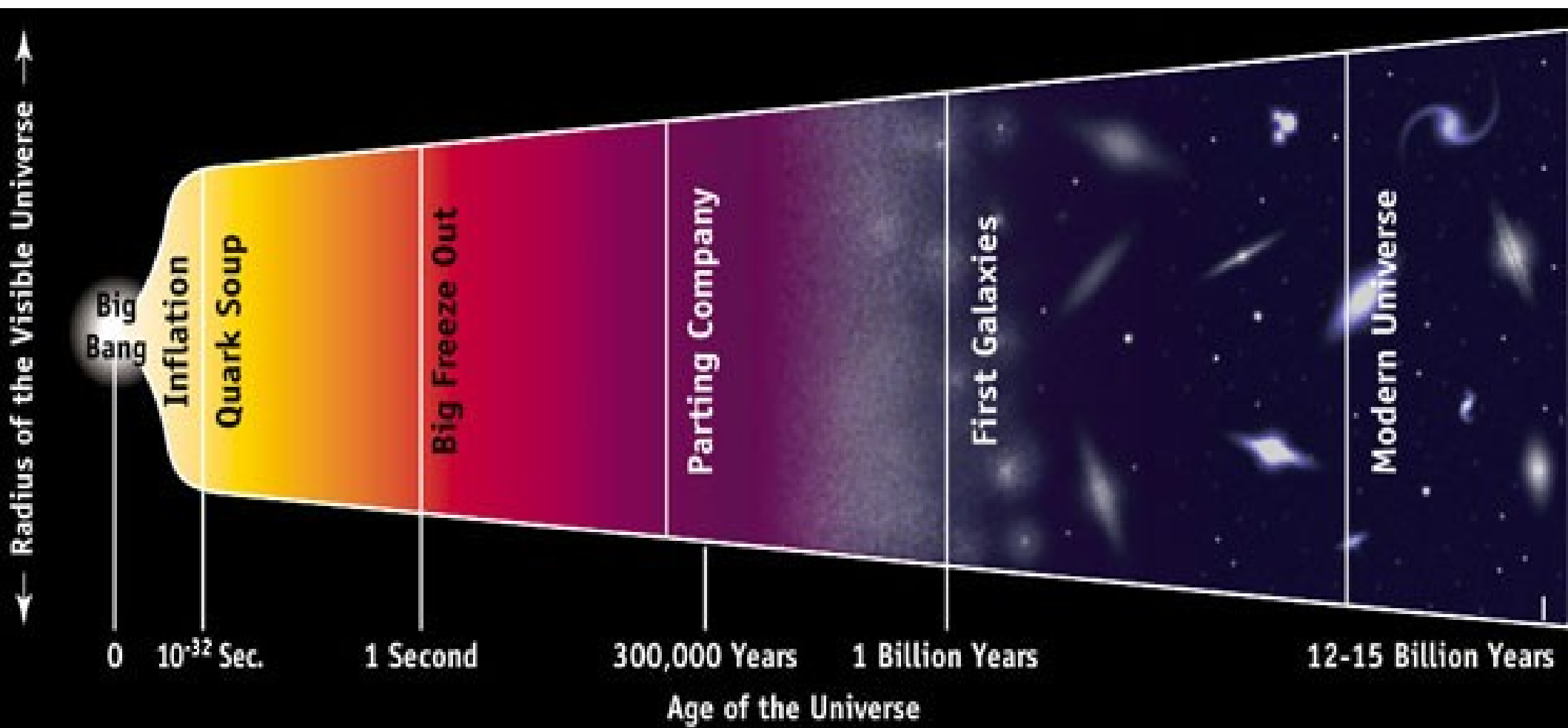


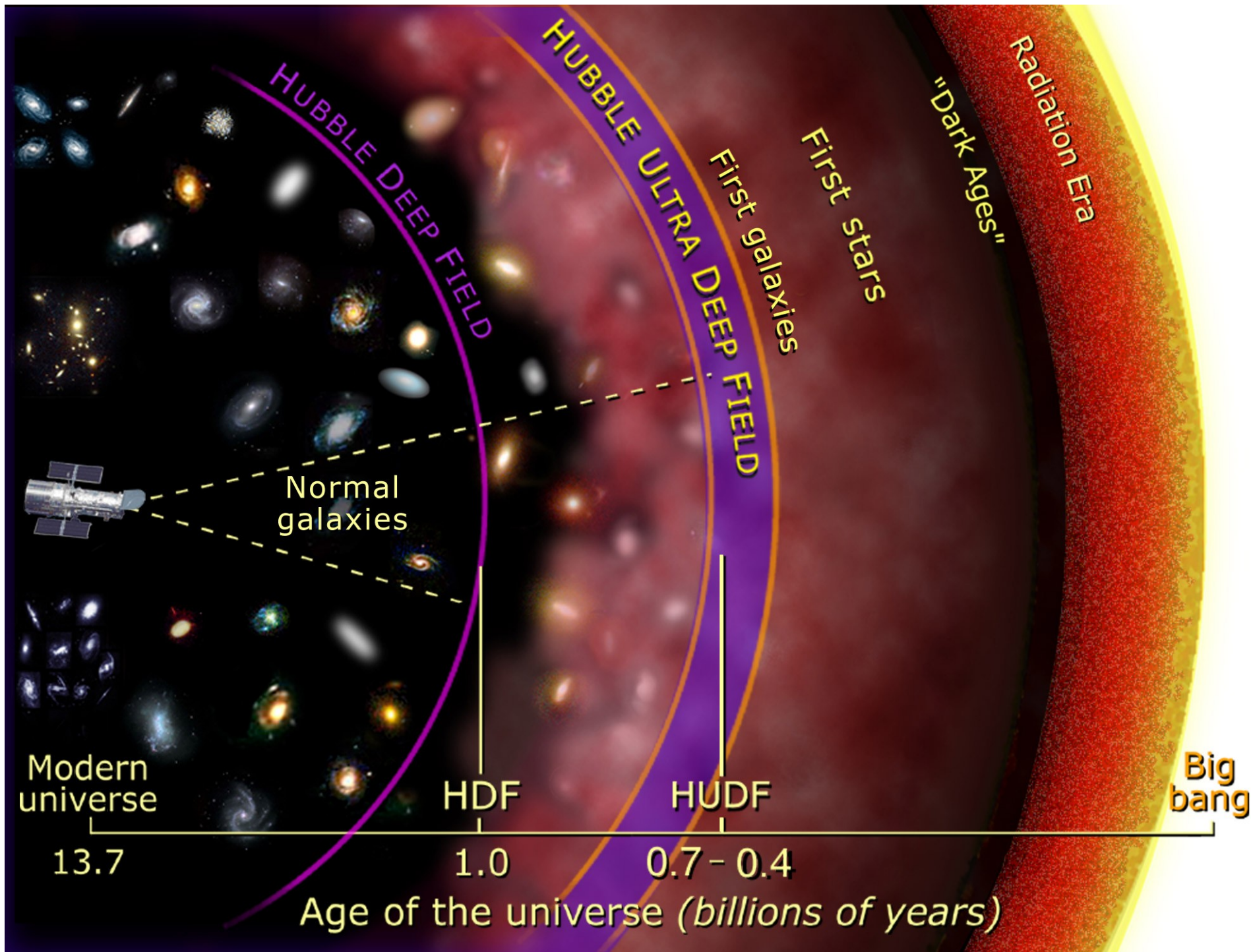
Problemy

- 1) Rozszerzanie
- 2) Płaskość przestrzeni
- 3) Jednorodność i izotropia
- 4) Skład chemiczny
- 5) Asymetria

Wielki wybuch: 1, 4, 5.

Inflacja: 2, 3.





Problemy

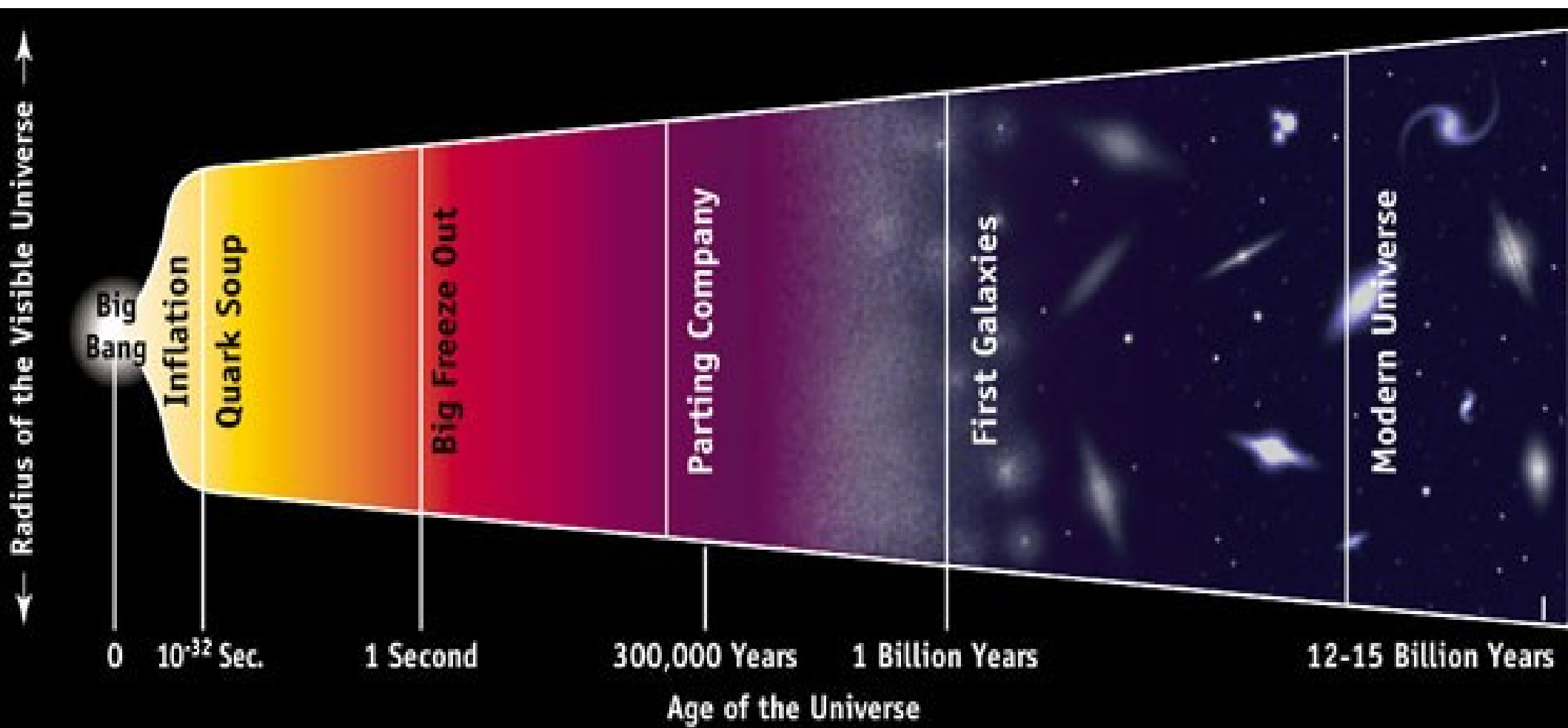
- Czy wszechświat jest nieskończony?
- Jaka jest topologia Wszechświata?
- Co to jest ciemna materia?
- Co to jest ciemna energia?
- Czy żyjemy w bardzo szczególnym momencie historii Wszechświata?

Dziś i jutro Wszechświata

Tomasz Bulik

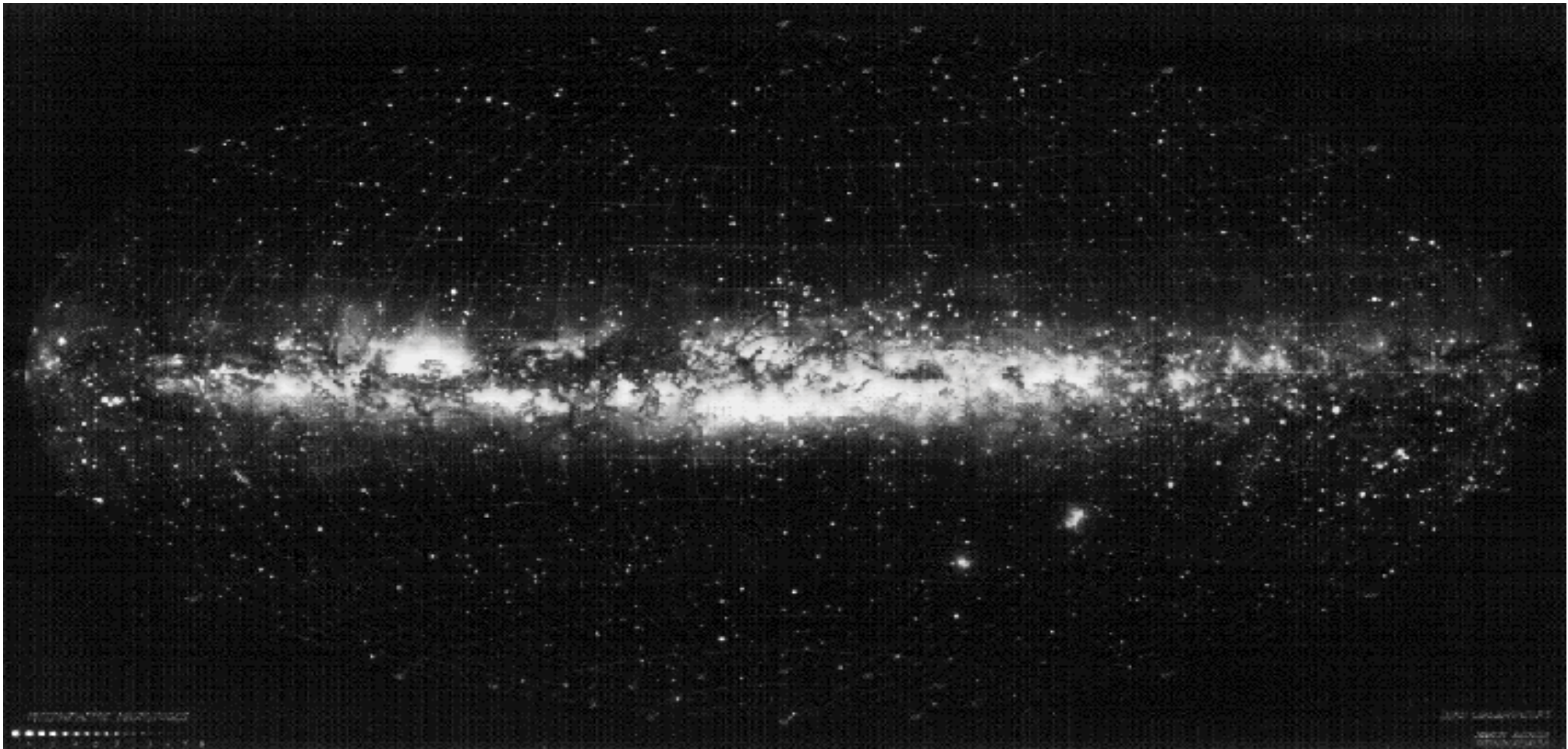
Przypomnienie

- Rozszerzanie Wszechświata
- Pomiar Wszechświata: świece, linijki
- Stała Hubble'a
- Wążenie Wszechświata: światło, grawitacja, nukleosynteza
- Zawartość Wszechświata: materia barionowa, ciemna materia, ciemna energia
- Problem horyzontu, płaskości → inflacja

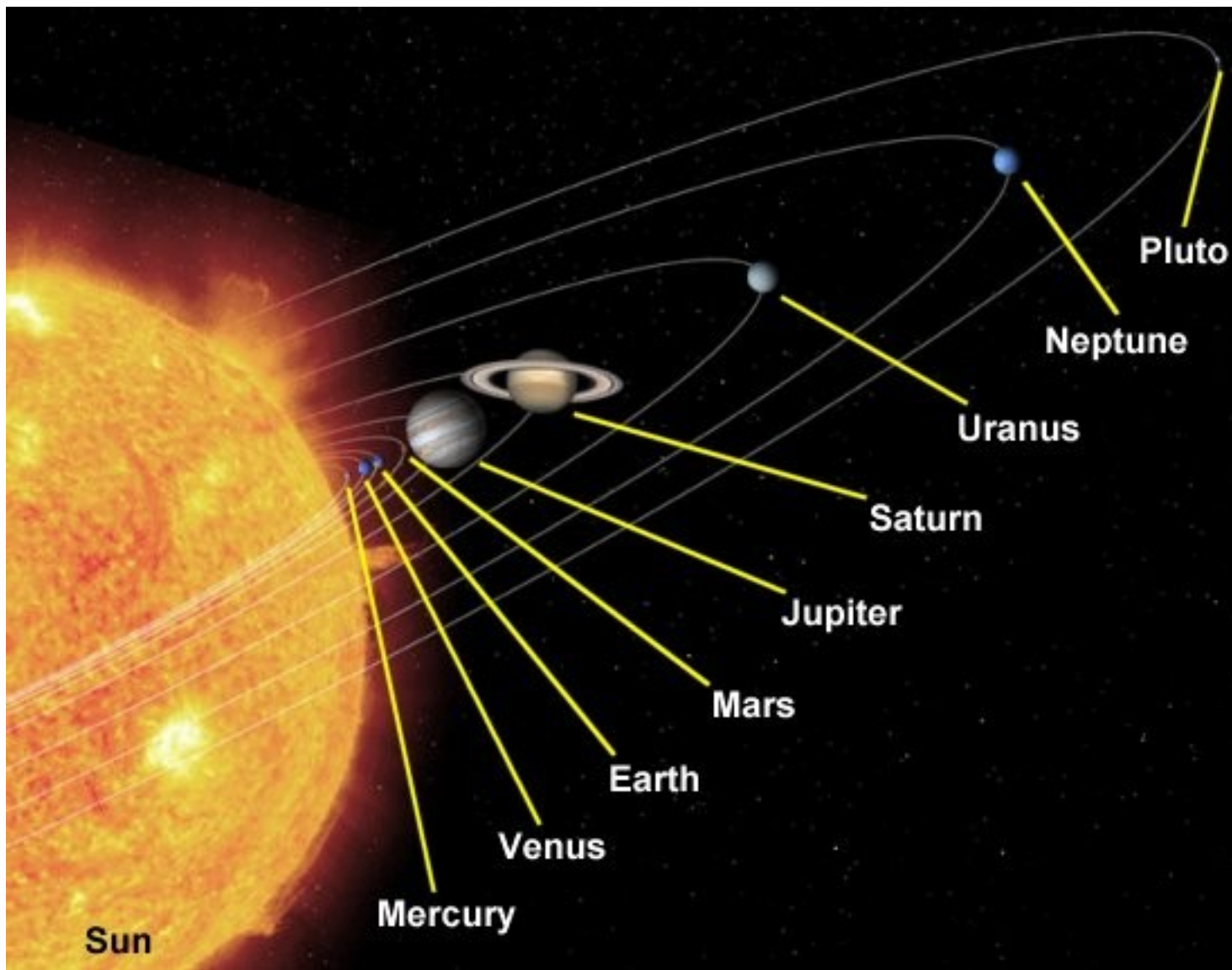


Dziś

- Droga Mleczna – około 10 miliardów lat



Układ Słoneczny – 5 mld lat



Słońce - własności

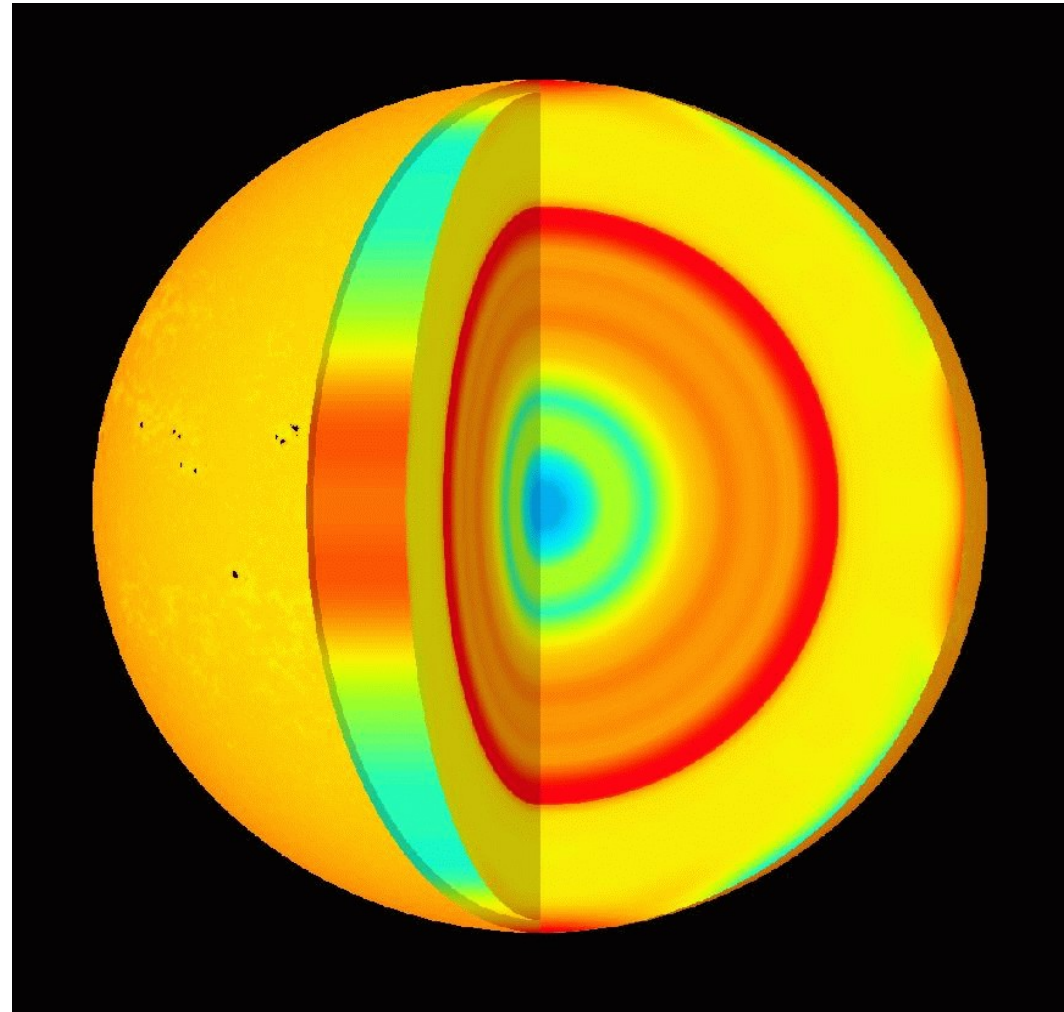
- Promień - 690 tys km
- Masa - 1.99×10^{30} kg
- Jasność - 3.84×10^{26} W
- Temperatura powierzchni ~ 5800 K
- Temperatura wewnątrz – 15 000 000K

Słońce – skale czasowe

- Skala dynamiczna
- Skala grawitacyjna (Kelvina Helmholtza)
- Skala termiczna
- Skala jądrowa

Słońce

- Struktura
- Generacja energii
- Przyszłość
- Czerwone olbrzymy





6-7 miliardów lat

Mgławica planetarna i biały karzeł



Ewolucja gwiazd:

- Czasy ewolucyjne:

od 10^{13} lat dla
 $M=0.08$ mas Słońca

do 10^6 lat dla
 $M=100$ mas Słońca

- Pozostałości

Białe karły

Gwiazdy neutronowe

Czarne dziury



Efektywna produkcja obiektów zwartych

Galaktyka

- Grupa Lokalna
- M31
- Przyciąganie
- Odległość 700kpc
- Predkość 100km/s
- Kolizja za 6 mld lat



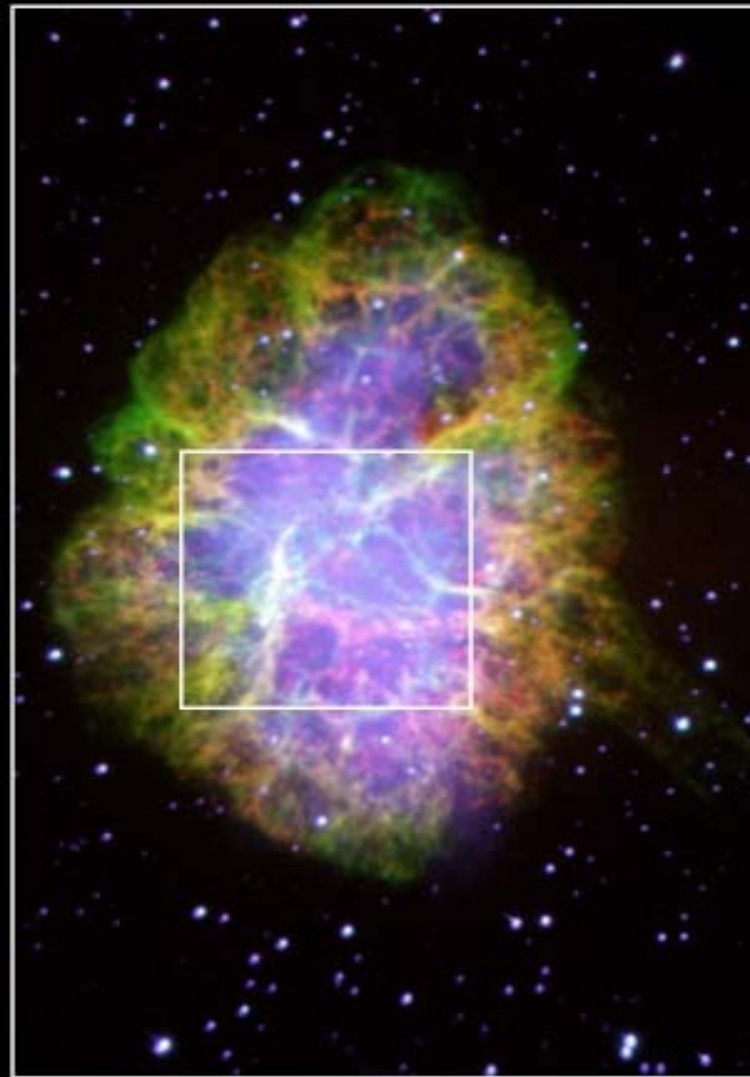
Kolizja galaktyk

- Formacja gwiazd
- Wyrzut masy
- Galaktyka eliptyczna



Gwiazdy neutronowe - pulsary

Crab Nebula

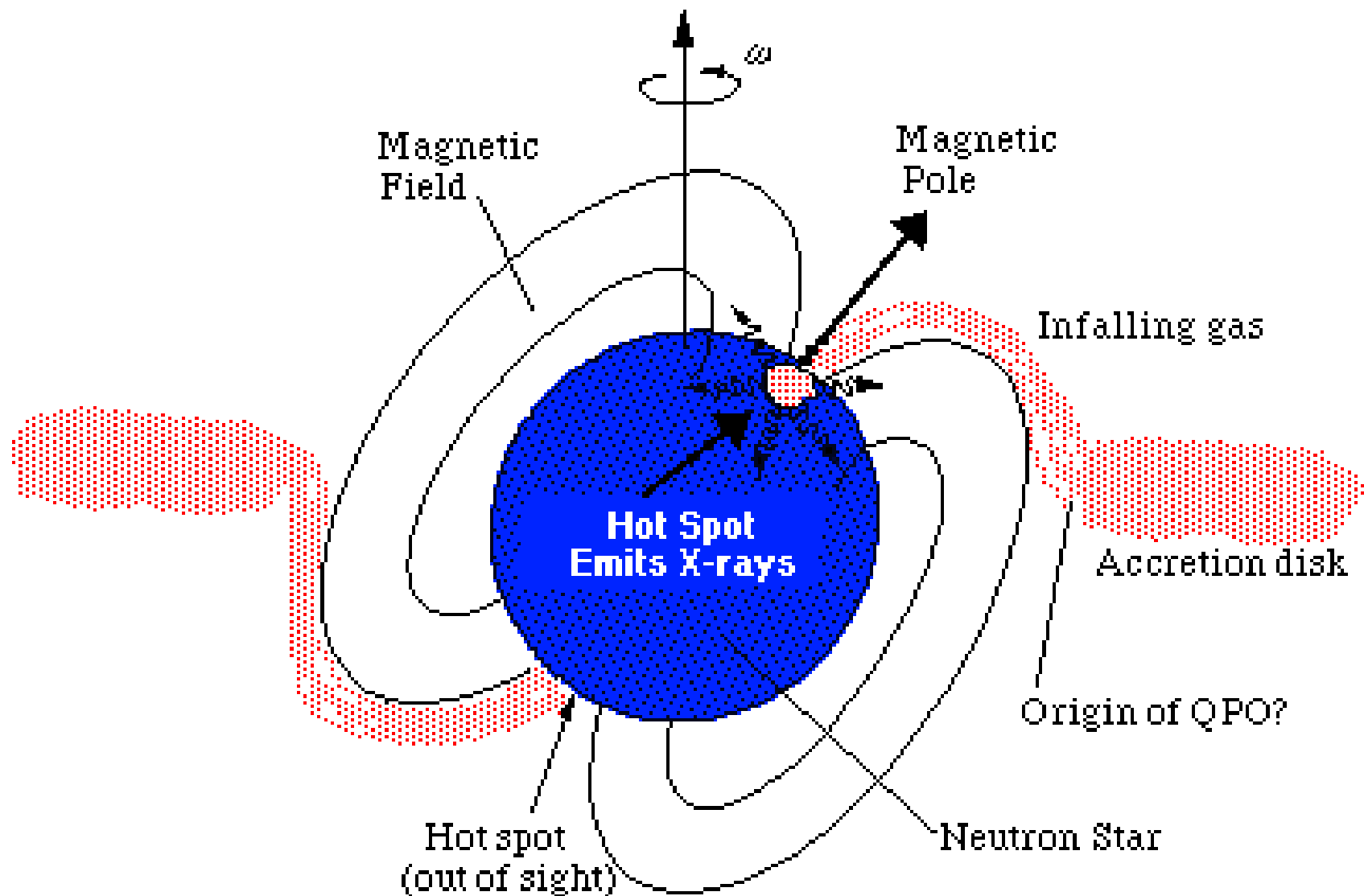


Palomar

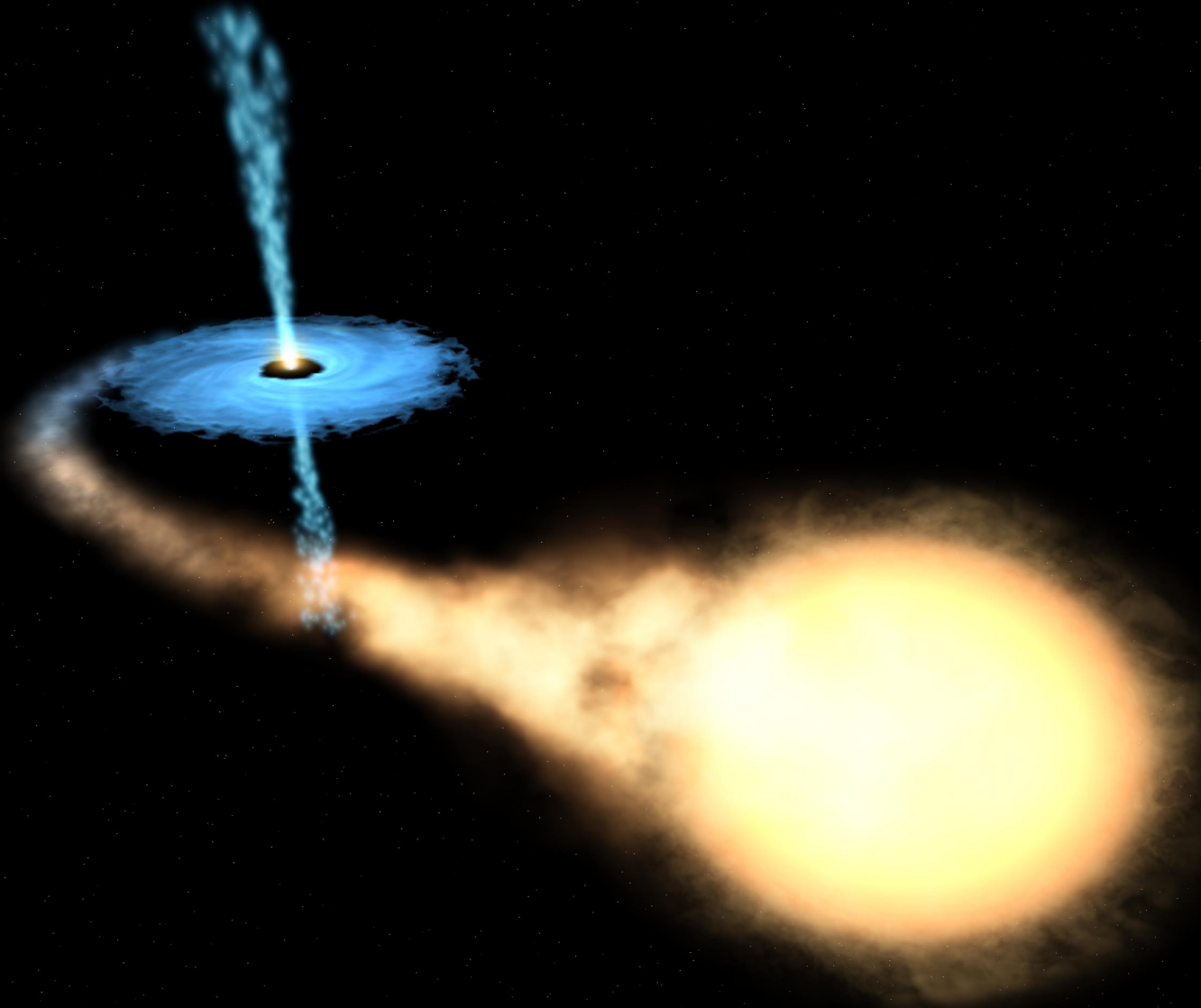
PRC96-22a · ST ScI OPO · May 30, 1996
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.) and NASA



HST · WFPC2



Układy podwójne - akrecja

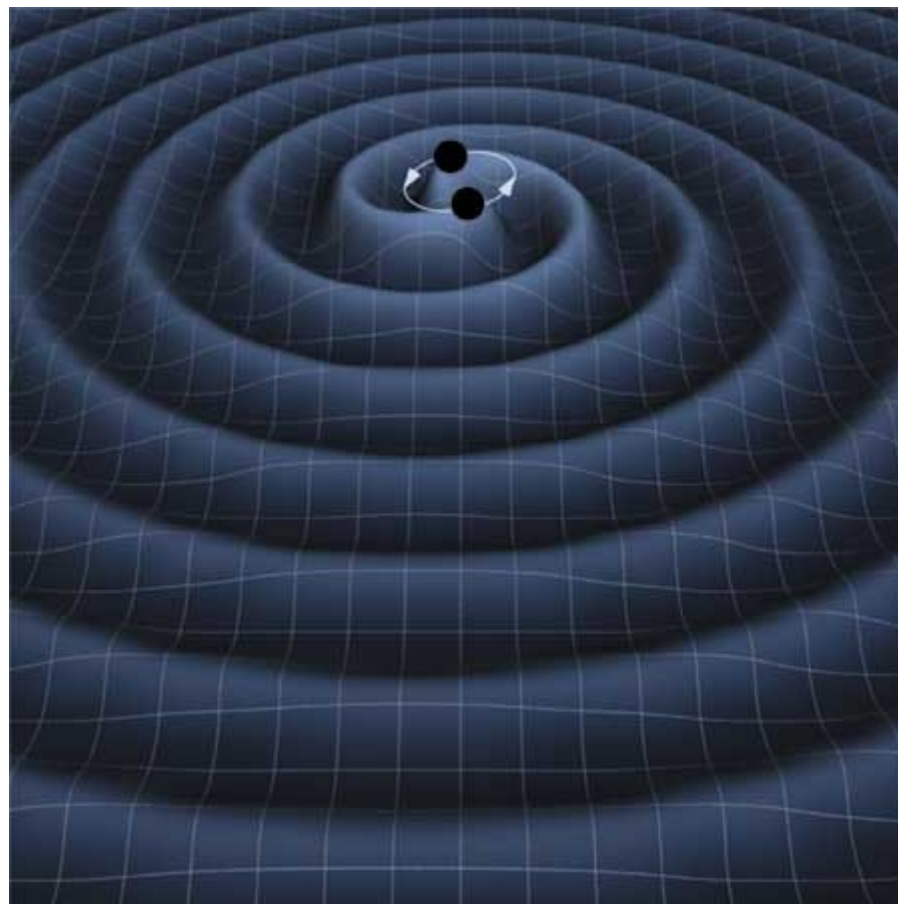


Fale grawitacyjne

Pulsary podwójne

Układy podwójne czarnych
dziur

Błyski gamma?



Era gwiazdowa

Dziś $T \sim 1.4 \times 10^{10}$ lat

Gwiazdy jeszcze
będą istnieć przez
 $T_s \sim 10^{13}$ lat

Powstają białe karły
gwiazdy neutronowe
czarne dziury



Ewolucja galaktyk

Rozszerzanie
Wszechświata

Łączenie galaktyk i
gromad galaktyk

Wyrzut części
obiektów

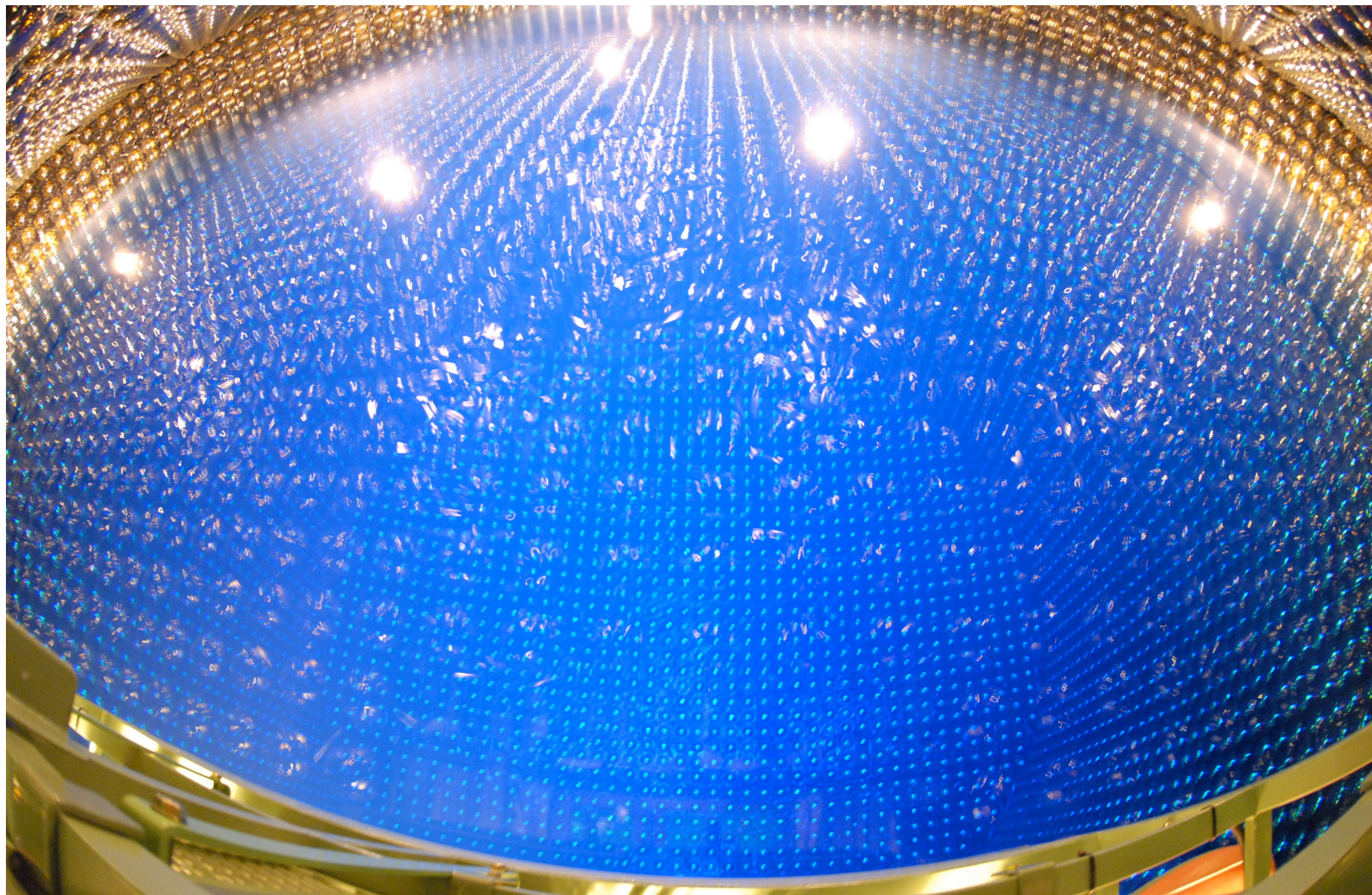
Kolaps galaktyk



Era degeneracji

- Pozostają jedynie ciemne obiekty
- Zderzenia gwiazd
- Sporadyczne wybuchy
- Wszechświat rozszerzy się
- Rozpad protonów $t=10^{37}$ lat ?
- Pozostają jedynie czarne dziury

Poszukiwanie rozpadu protonu



Jasność białego karła

Masa $M = 10^{30}\text{kg}$

Tempo zamiany masy na energie:

$$\dot{M} \approx \frac{M}{t} = \frac{10^{30}\text{kg}}{10^{44}\text{s}} = 10^{-14}\text{kg s}^{-1}$$

Jasność

$$P = \dot{M}c^2 \approx 10^{-14}\text{kg s}^{-1} 10^{17}\text{m}^2 \text{s}^{-2} = 1000\text{W}$$

Pozostają czarne dziury

- Czy czarne dziury promieniują?
- Prawdopodobnie tak.
- Promieniowanie Hawkinga: efekt kwantowy wokół czarnej dziury

$$T_h = \frac{\hbar c^3}{8\pi G M k} = 6.2 \times 10^{-8} \left(\frac{M}{M_\odot} \right) \text{ K}$$

Ile trwa rozpad czarnych dziur?

$$T \propto M^3$$

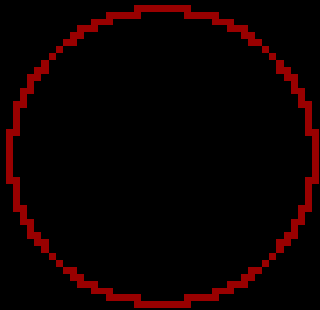
Masa Słońca – 10^{65} lat

Masa Galaktyki – 10^{102} lat

Wszechświat – 10^{131} lat

Era czarnych dziur

Promieniowanie Hawkinga $T \sim 1/M$:



Era mroczna

- Elektrony – pozytony
- Fotony niskoenergetyczne
- Ciemno, pusto, zimno i nieprzyjemnie...

Dalsze rozszerzanie

- Tempo rozszerzania
- Dalsze przyspieszanie?
- Koniec ery inflacji/przyspieszania
- Wieczny Wszechświat?
- Kolaps?
- Hipoteza Big Rip?

END OF EVERYTHING

BIG RIP

10⁻¹⁹ seconds before big rip:

Atoms ripped apart

30 minutes before big rip:

Earth explodes

3 months before big rip:

Solar System breaks apart

60 million years before big rip:

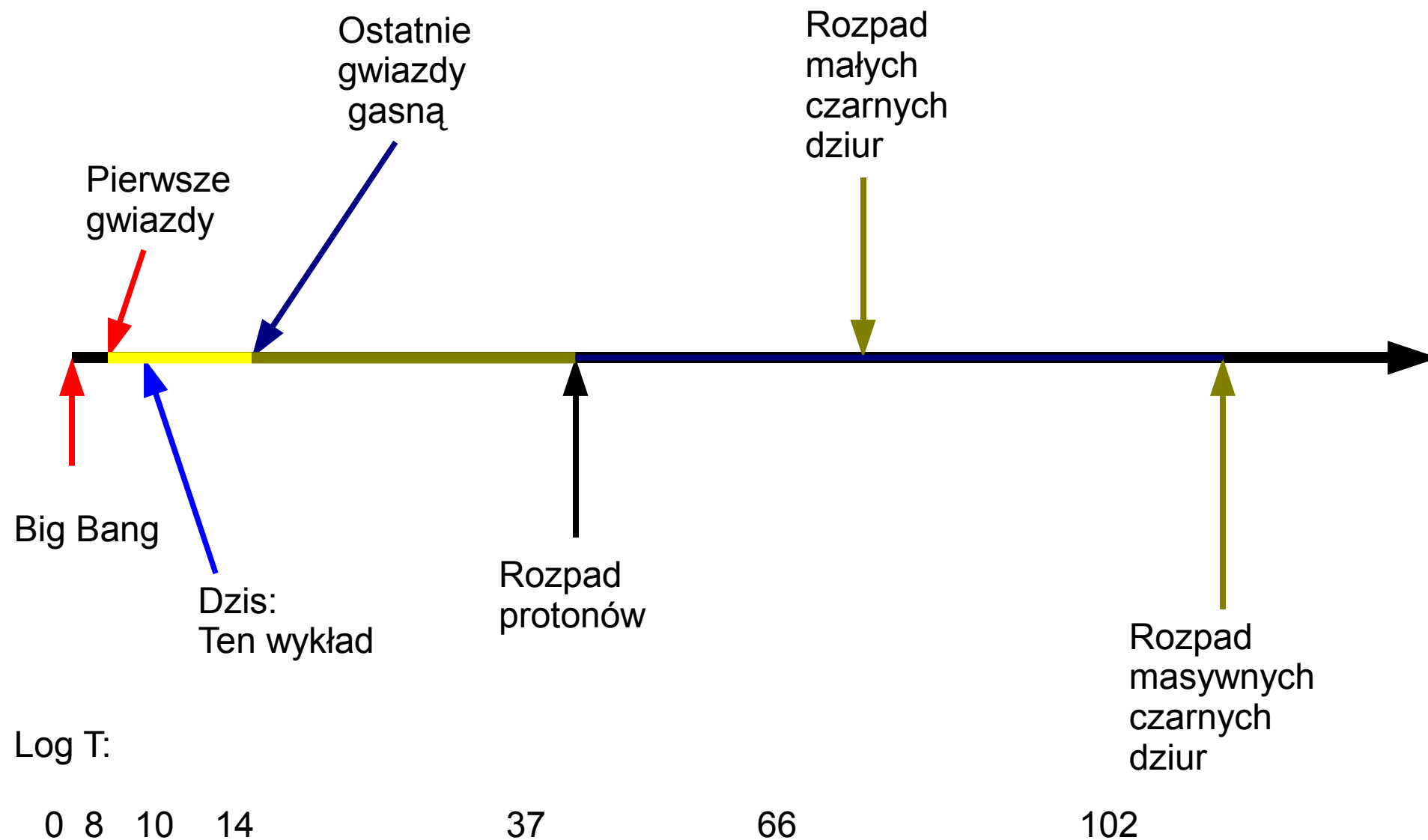
Milky Way destroyed

22 billion years before big rip

TODAY



Wczoraj i jutro Wszechświata



Niewiadome

- Ekspansja Wszechświata przyspiesza
- Stała kosmologiczna?
- Piąta siła?
- Fragmentacja Wszechświata?
- Kolaps?
-

