

zagadnienia

- Przesunięcie ku podczerwieni (Redshift)
- Promieniowanie reliktowe
- Ciemna materia
- Wielki wybuch
- Ewolucja Wszechświata
- Wiek Wszechświata

obserwacja

Wykład XIV: Cząstki i Kosmos, J. Gluza

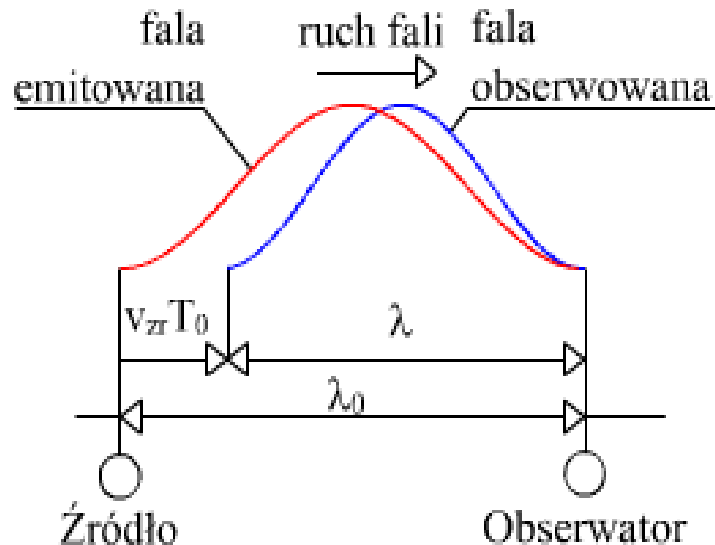
teoria

Big Bang model

- Ekspansja Hubble'a
- Promieniowanie reliktowe
- Zawartość lekkich pierwiastków

Prawo Hubble'a

- A: Dla fal rozprzestrzeniających się w ośrodku (np. fale dźwiękowe), efekt zależy od prędkości obserwatora (v) oraz źródła względem ośrodka (v_{zr}), w którym te fale się rozchodzą.



$$\nu = \nu_0(1 - v/v_{zr})$$

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 - v/v_{zr}}$$

Ważny ruch
względem
ośrodka

Prawo Hubble'a

- B: W przypadku fal propagujących się bez udziału ośrodka materialnego, jak na przykład światło w próżni (fale elektromagnetyczne), znaczenie ma jedynie różnica prędkości źródła oraz obserwatora

$$\nu = \nu_0 \sqrt{\frac{1 - \beta}{1 + \beta}}$$

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{1 + \beta}{1 - \beta}} = \lambda(1 + z)$$

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$



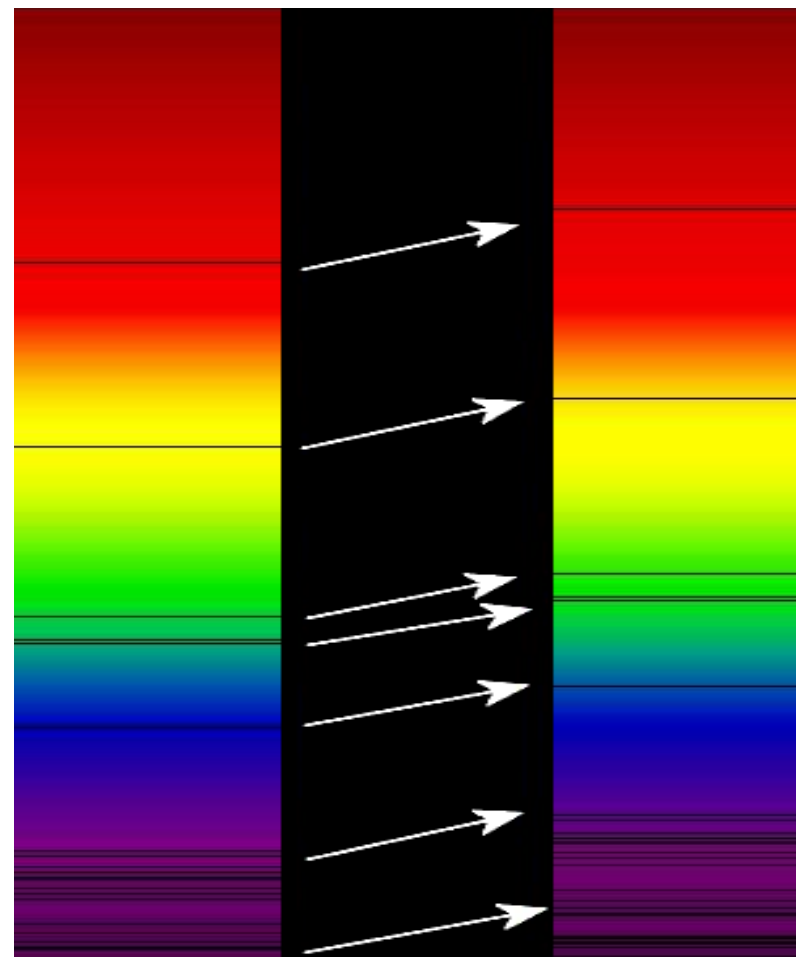
Tzw. Przesunięcie ku czerwieni (redshift)

Prawdy i mity

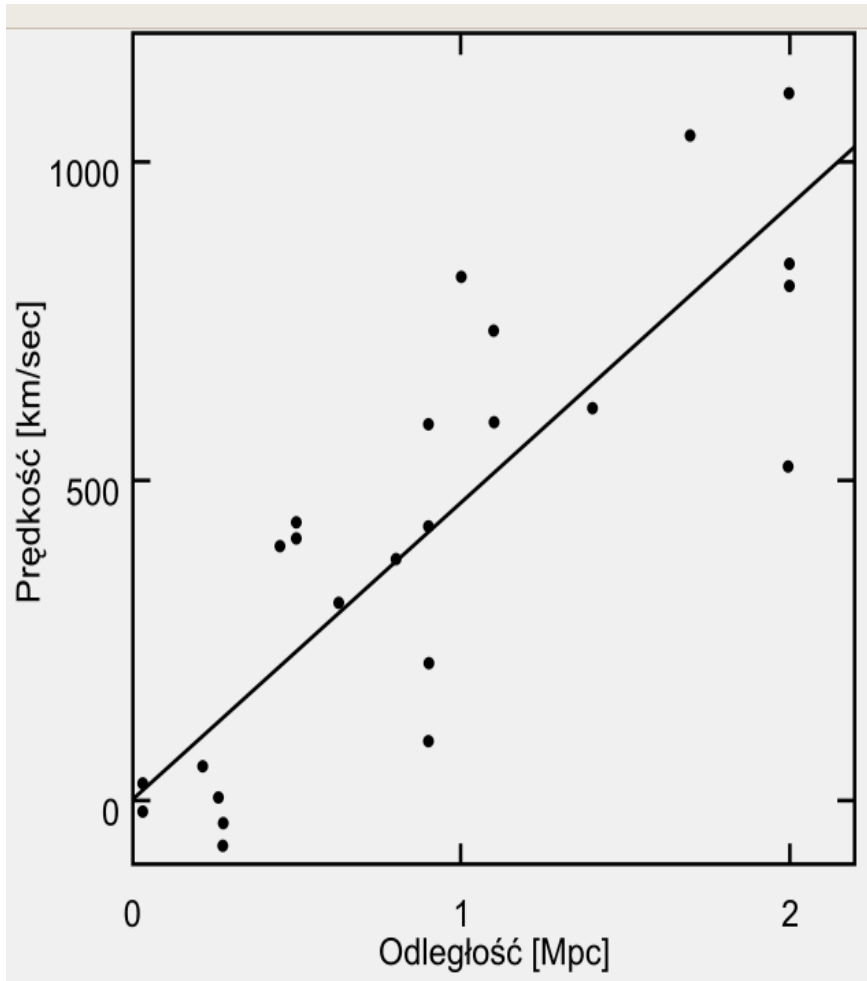
- Zwykle redshift tak się tłumaczy, jednak tak naprawdę to nie efekt Dopplera, ale poszerzanie się samej przestrzeni “ozciąga” falę (Świat nauki, maj 2005)

Prawo Hubble'a

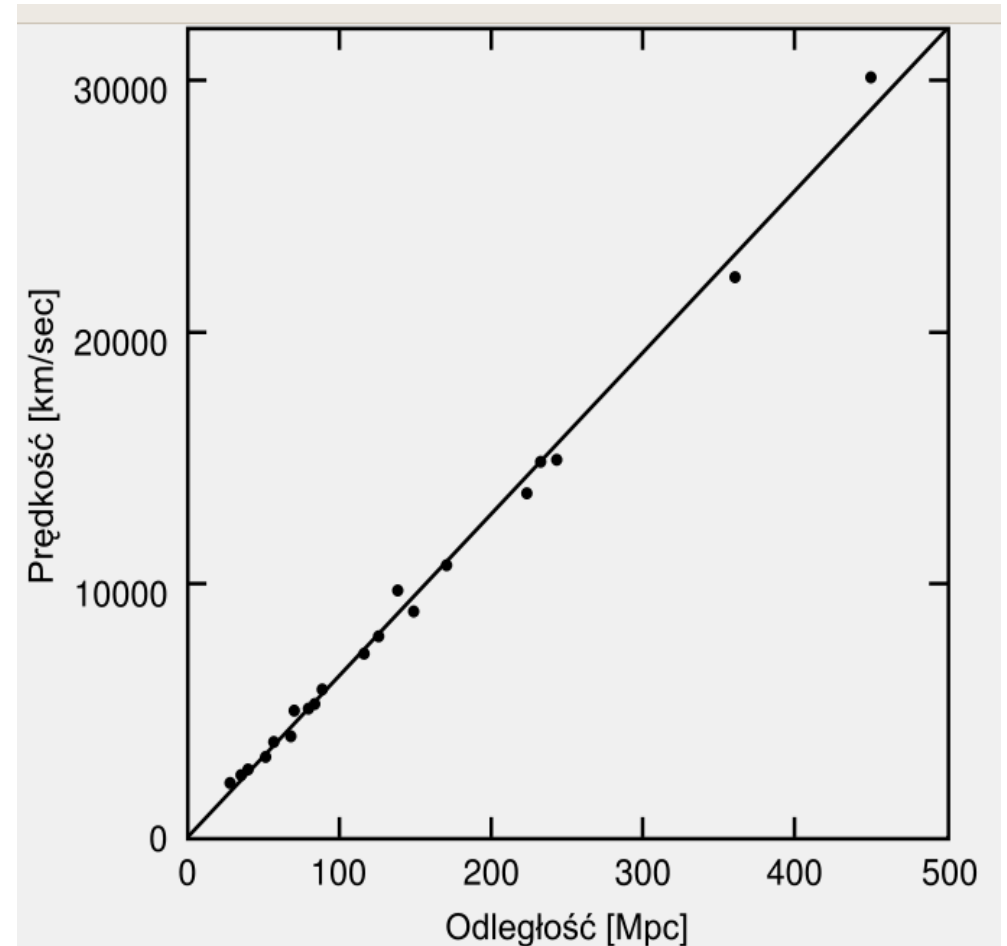
- Przesunięcie widoczne w liniach pierwiastków odległych gwiazd
- Hubble, 1929 (obserwacja galaktyk)
- Prędkość ucieczki rośnie z odległością: $v = H r$
- Obserwowane obecnie przesunięcie takie same w całym zakresie widma e-m
- **Obiekty oddalają się od (każdego!) obserwatora**



Prawo Hubble'a

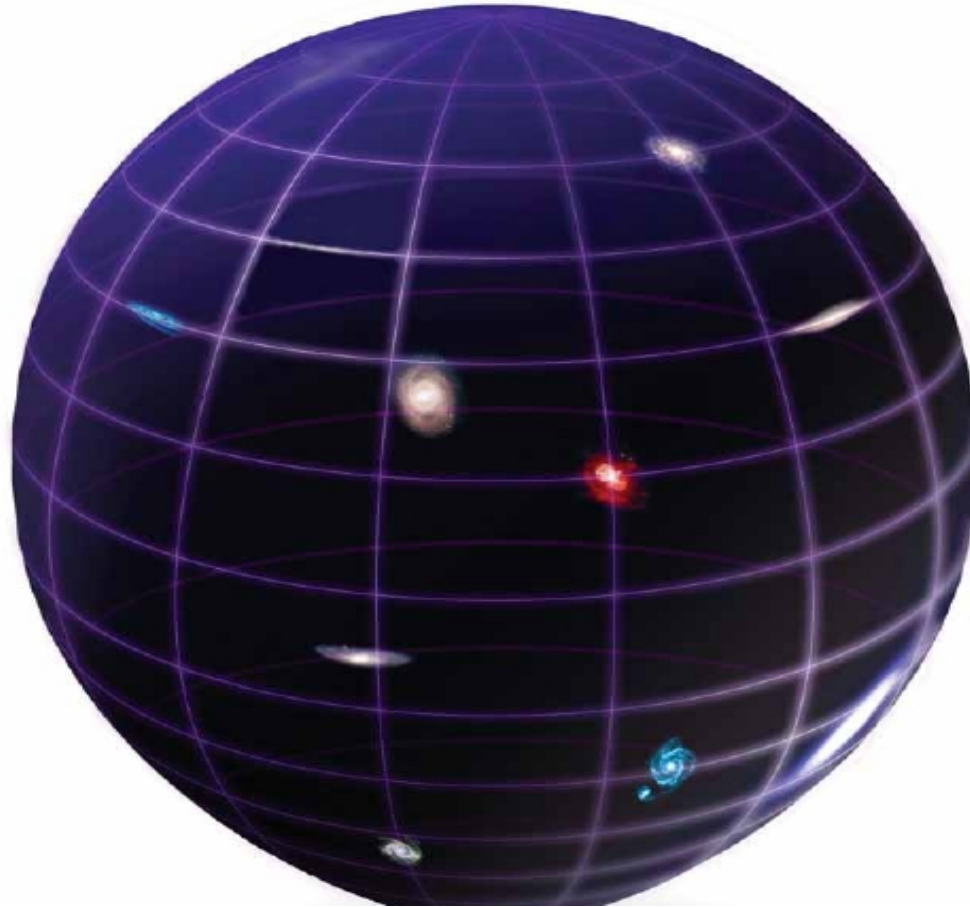


Hubble: H : ok. 500 km/s/Mpc



Obecnie, H : ok 72 km/sMpc

- Wielki wybuch: jedna z podstawowych idei współczesnej nauki; ekspansja przestrzeni (nie w przestrzeni); model mówi co było po “wybuchu”



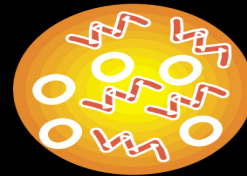
Big Bang

- Niektóre obiekty (poza horyzontem, czyli ok. 15 mld lat świetlnych, tzw. Promień Hubble'a) oddalają się od nas z prędkością większą od c
- Jest tak, bo ruch tych obiektów odbywa się wtedy, gdy przestrzeń się rozszerzała, a OTW mówi o niemożności poruszania się z $v > c$ w “sztywnej” przestrzeni

Pierwsze minuty

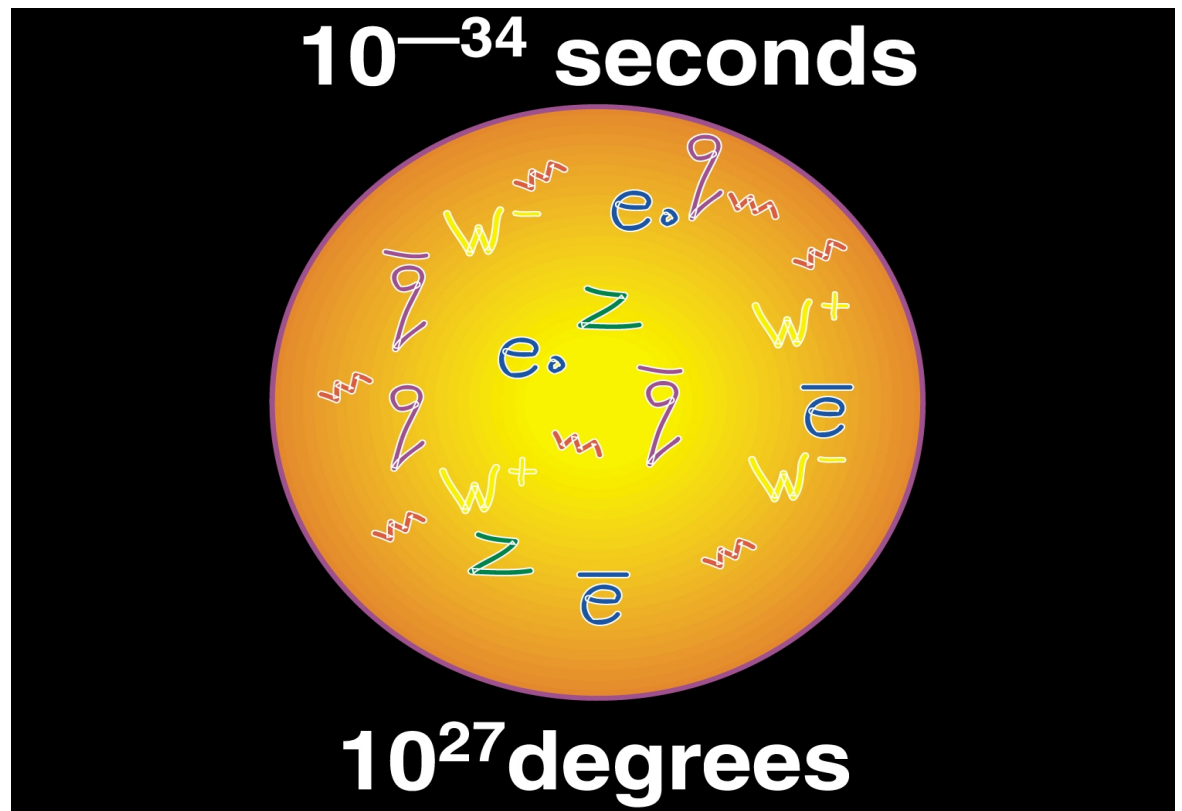
- 10^{-43} s: inflacja (“wygładziła” W szechświat); materia, antymateria w równowadze, wszystkie oddziaływania równoważne (opis na stronie CERN-u)

10^{-43} seconds

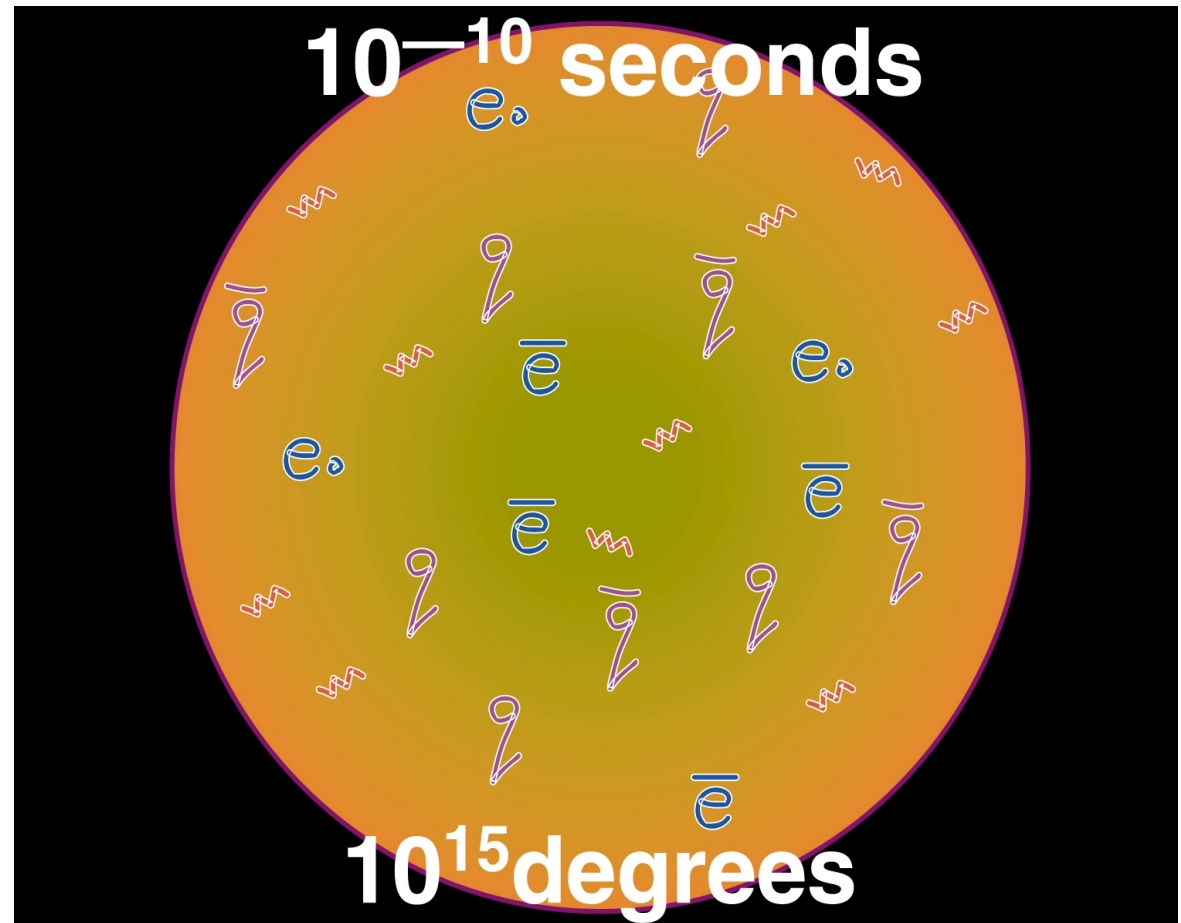


10^{32} degrees

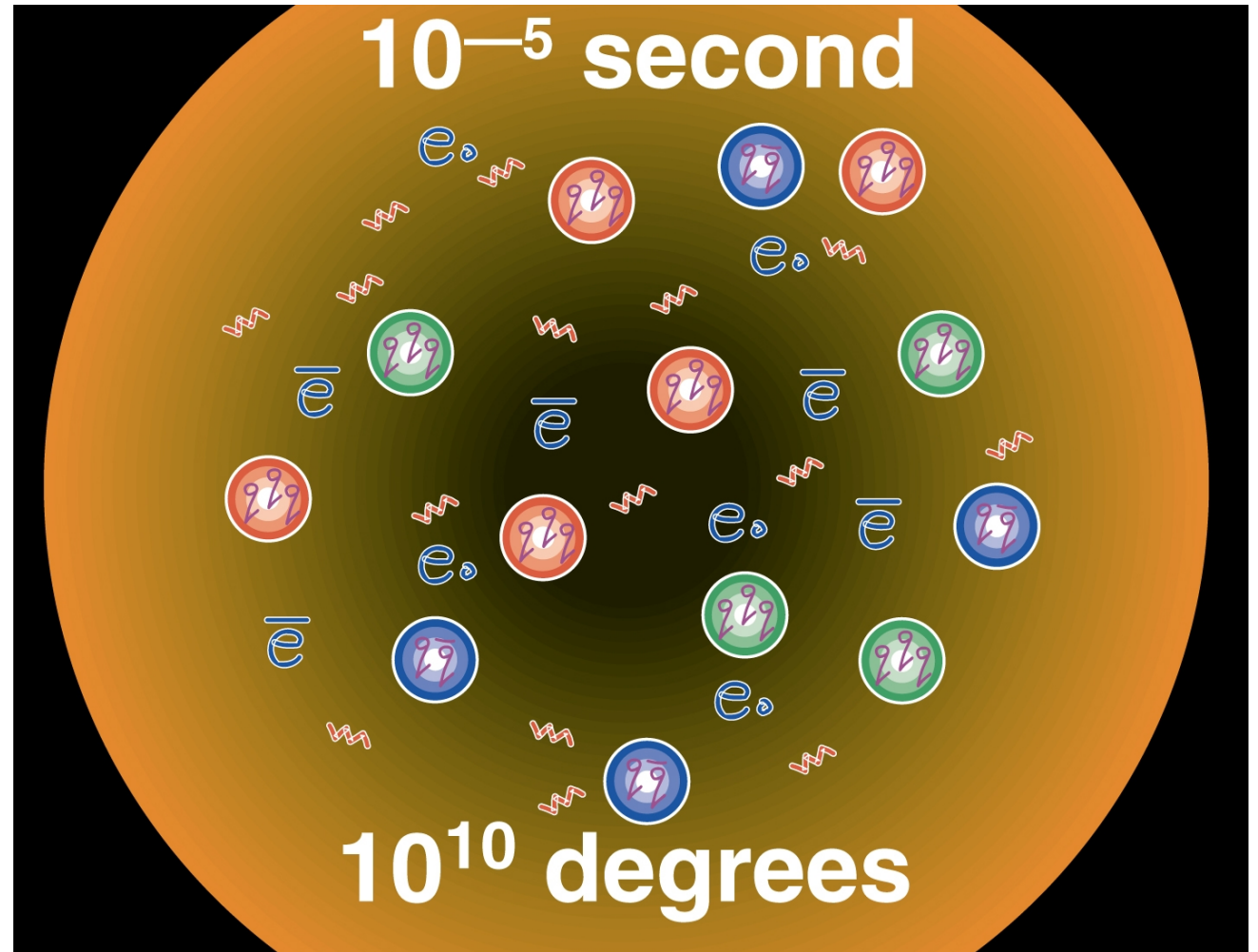
- Spadek temperatury przy rozszerzaniu, oddziaływania silne oddzielają się od słabych



- Oddzielają się oddziaływania słabe (foton staje się już tym czym jest dzisiaj)

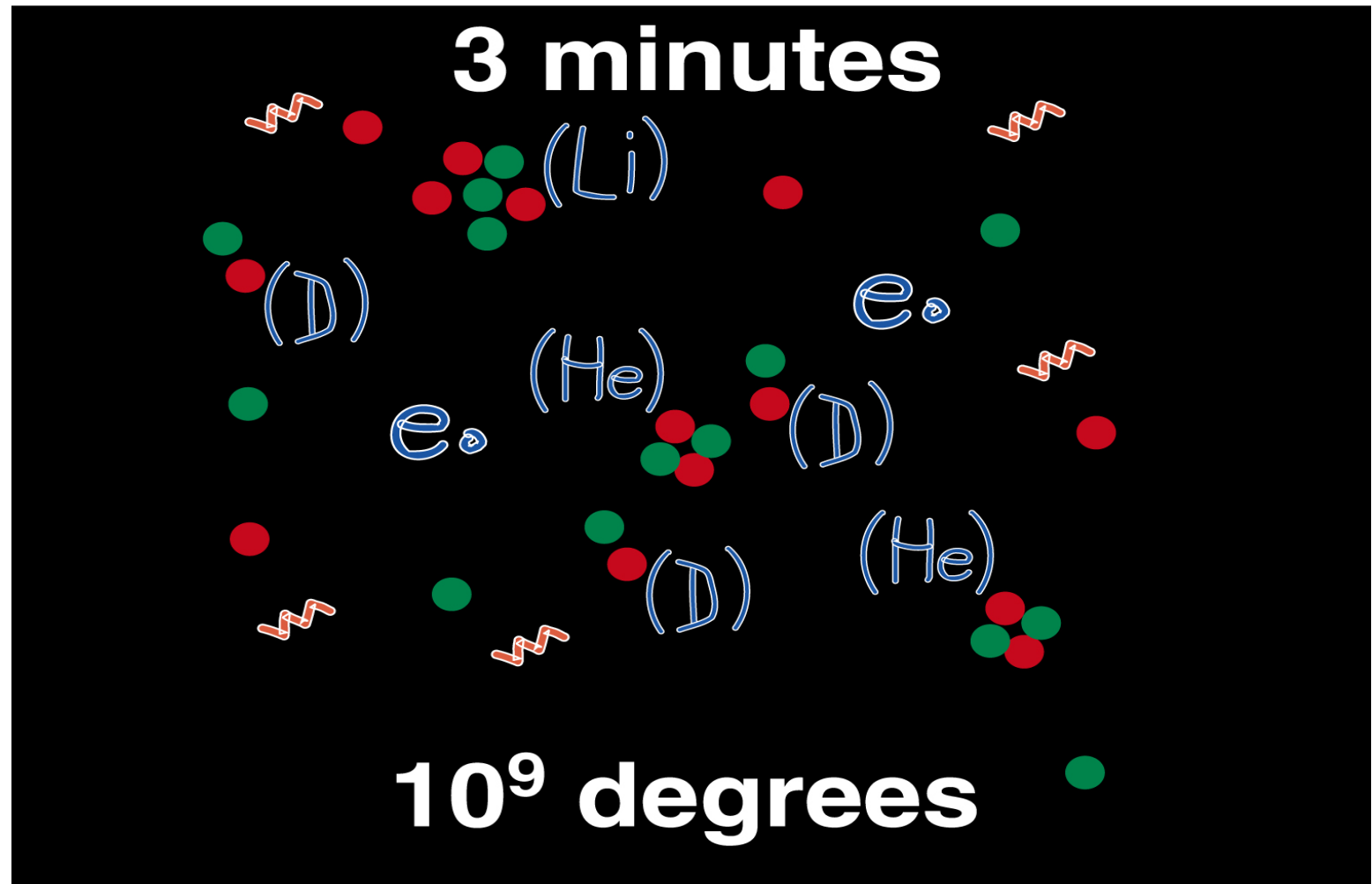


- Zanik antymaterii (nie jest już odtwarzana z promieniowania), formują się nukleony



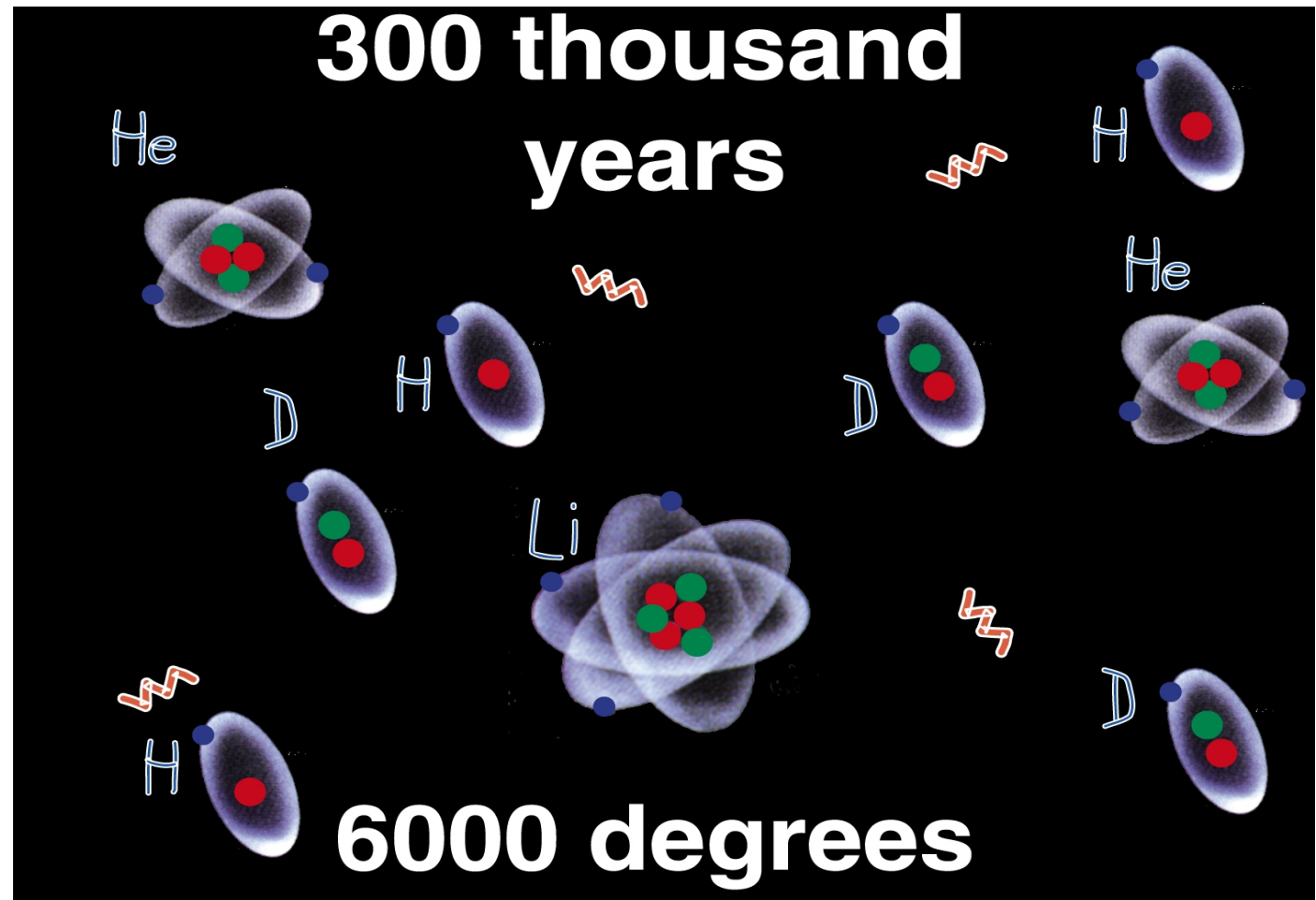
nukleosynteza

- Tworzenie lekkich pierwiastków

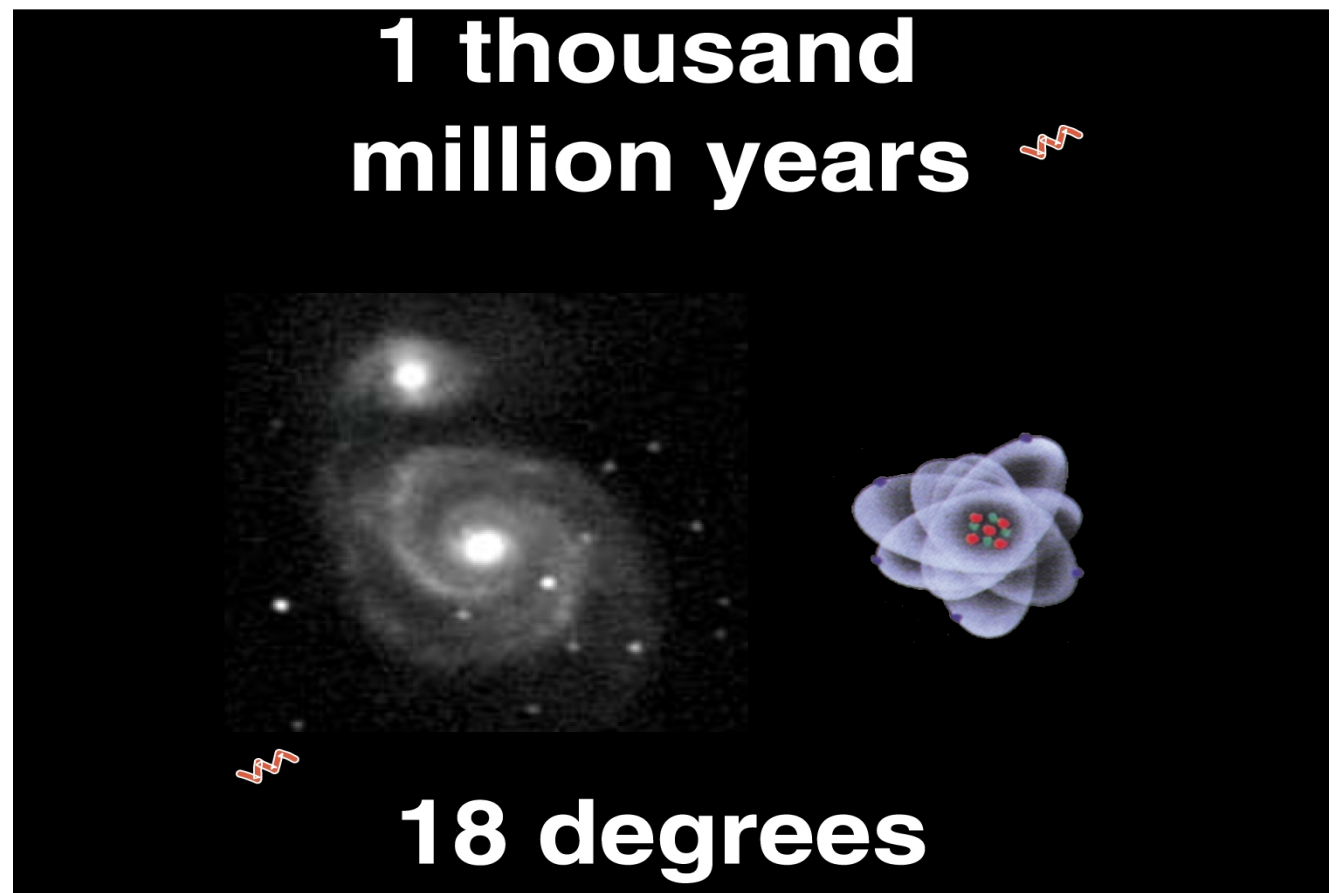


Atomy i Światło

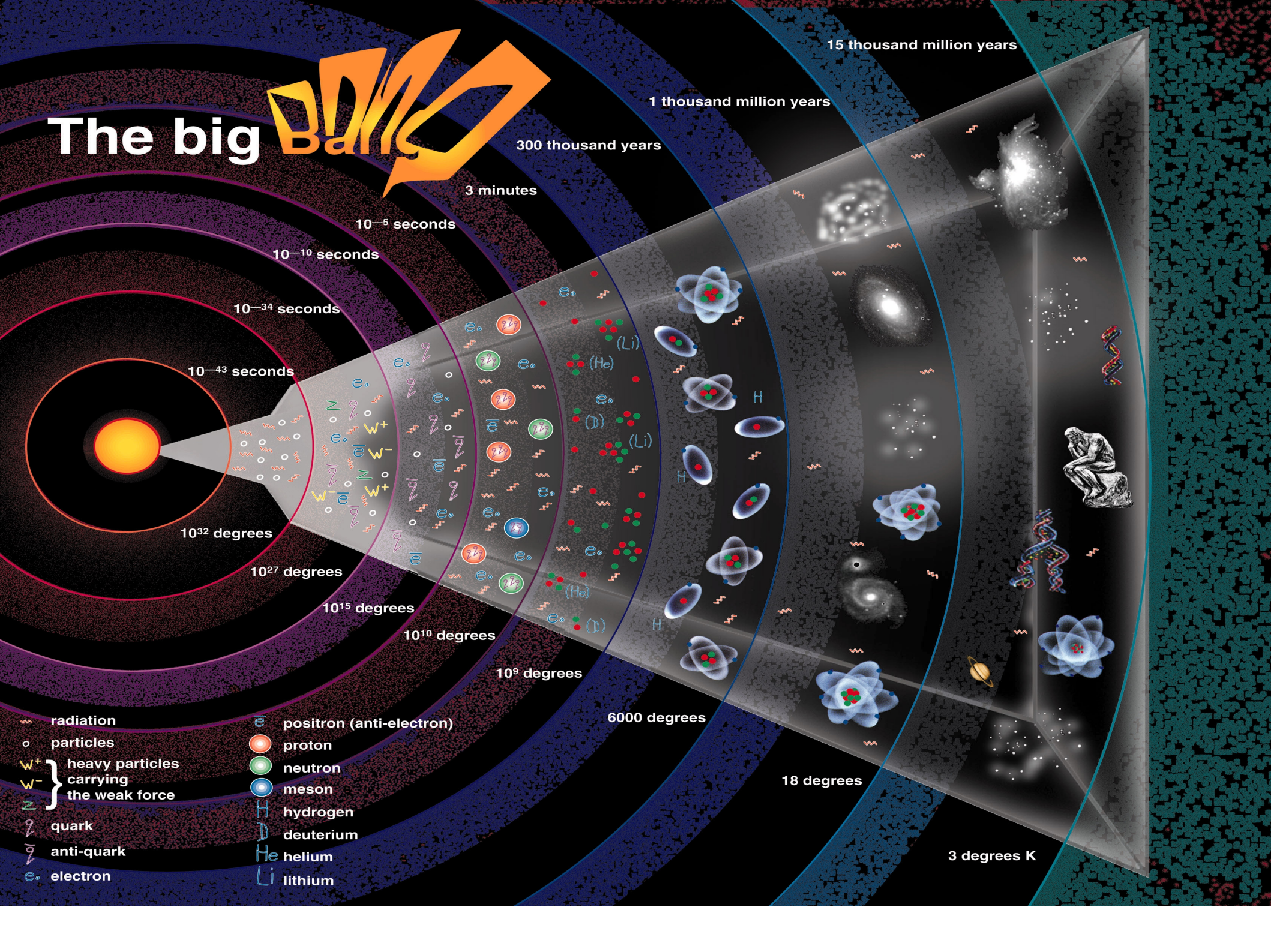
- Elektrony “łapane” w atomy, fotony nie oddziałują już tak mocno z resztą materii i są swobodne



- Formują się galaktyki, gwiazdy produkują ciężkie pierwiastki



The big Bang

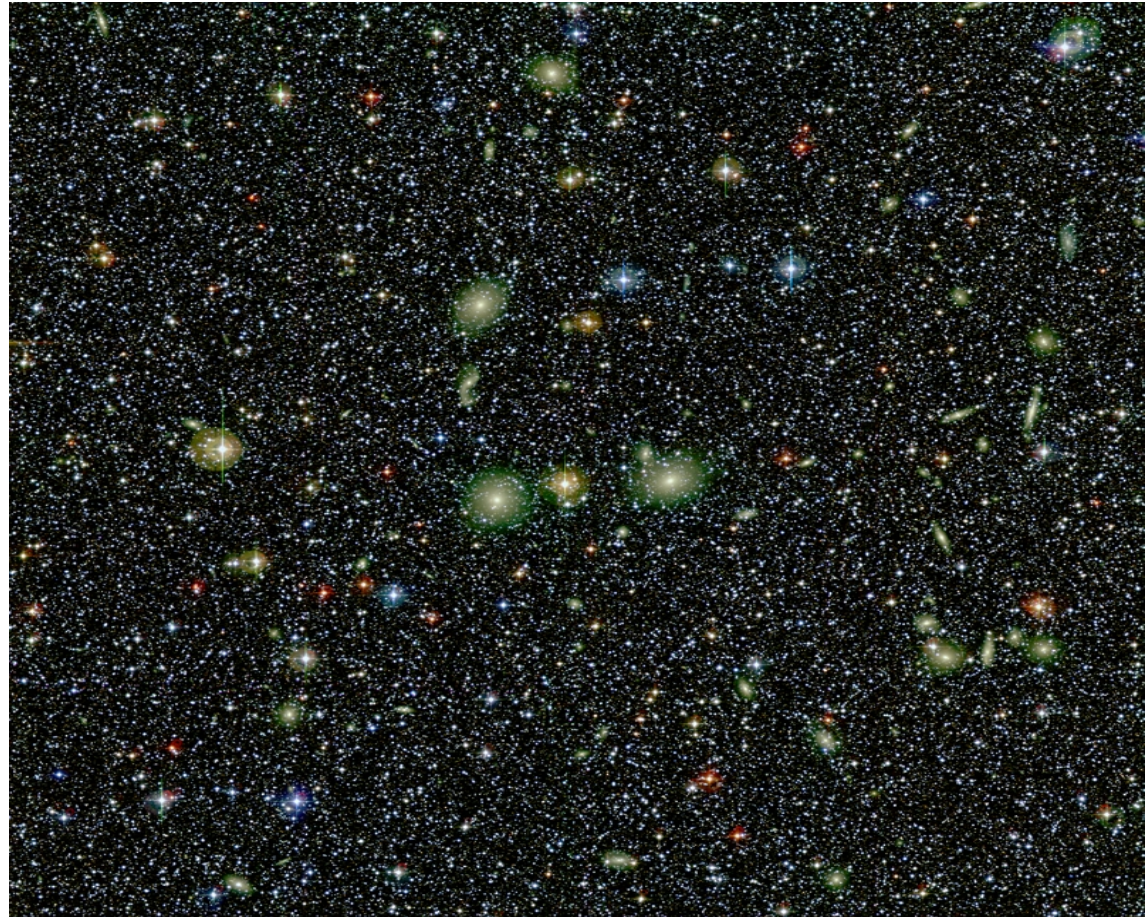


- radiation
- particles
- W^+ } heavy particles carrying the weak force
- W^- }
- Z } quark
- \bar{q} } anti-quark
- e^- } electron

- e^+ } positron (anti-electron)
- proton
- neutron
- meson
- H } hydrogen
- D } deuterium
- He } helium
- Li } lithium

Zasada kosmologiczna

- W dużej skali Wszechświat jest jednorodny i izotropowy
- Na tym tle pojawiają się różne hierarchie struktur



View towards the Great Attractor

(MPG/ESO 2.2-m + WFI)

ESO PR Photo 46c/99 (21 December 1999)

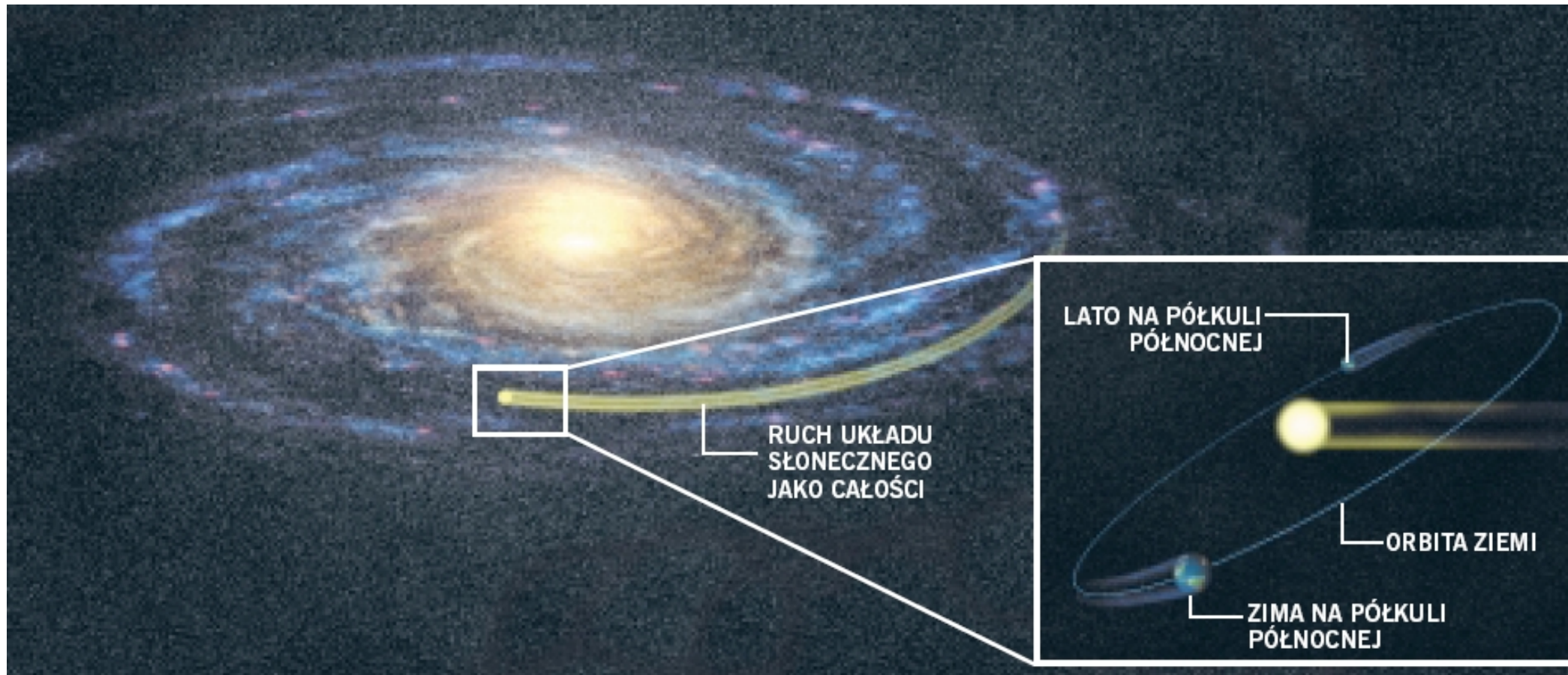
© European Southern Observatory



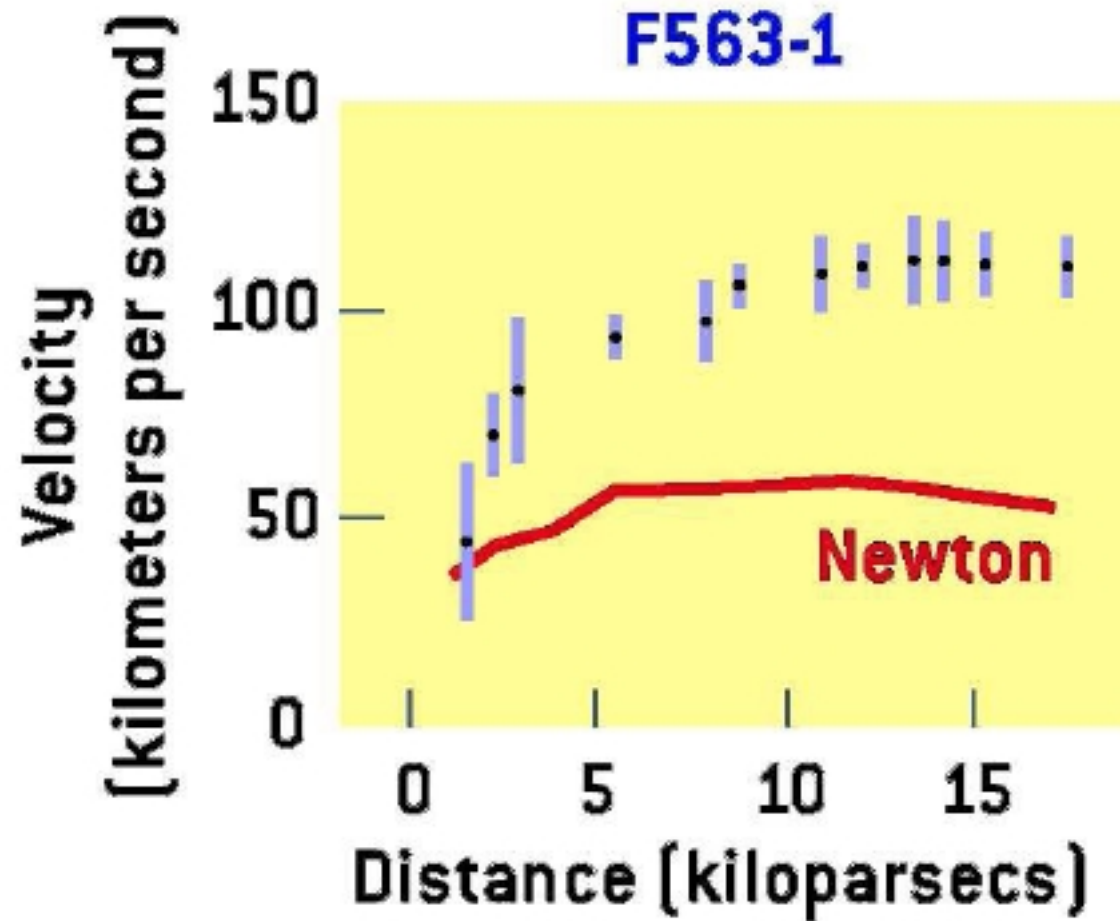
- Ewolucja kosmosu zależy od gęstości materii:
- Obserwacja światła z gwiazd i przestrzeni (materia świetlista)
- Materia barionowa (z nukleosyntezy)
- Materia grawitacyjna (np. Rotacje galaktyk)
- Wszystko razem daje dużo mniej niż 100% masy potrzebnej, aby ewolucja kosmosu była odpowiednia
- **Ciemna materia**

RODZAJ MATERII	TYPOWE CZĄSTKI	MASA LUB ENERGIA TYPOWEJ CZĄSTKI (eV)	LICZBA CZĄSTEK W OBSERWOWALNYM WSZECHŚWIECIE	PRZYPUSZCZALNY WKŁAD DO MASY WSZECHŚWIATA	DOWODY ISTNIENIA
Zwykła „barionowa” materia	Protony, elektrony	10^6-10^9	10^{78}	5%	Bezpośrednie obserwacje; wnioskowanie z obfitości względnej pierwiastków
Promienowanie	Fotony kosmicznego promieniowania tła	10^{-4}	10^{87}	0.005%	Obserwacje mikrofalowego promieniowania tła
Gorąca ciemna materia	Neutrino	≤ 1	10^{87}	0.3%	Detekcja neutrin; wnioskowanie ze struktur kosmicznych
Zimna ciemna materia	Cząstki supersymetryczne?	10^{11}	10^{77}	25%	Wnioskowanie z dynamiki galaktyk
Ciemna energia	Cząstki skalarne?	10^{-33} (przy założeniu, że ciemna energia składa się z cząstek)	10^{118}	70%	Wnioskowanie o przyspieszaniu ekspansji Wszechświata z obserwacji supernowych

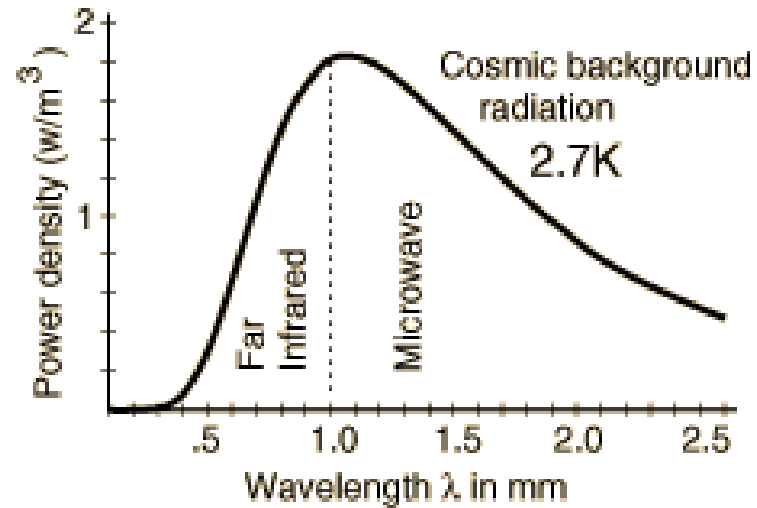
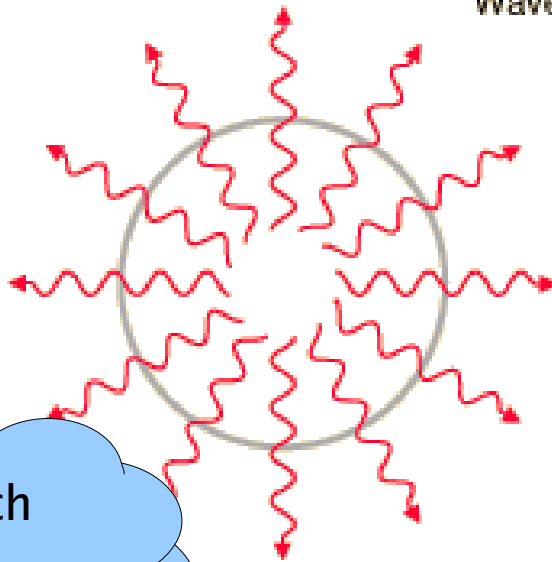
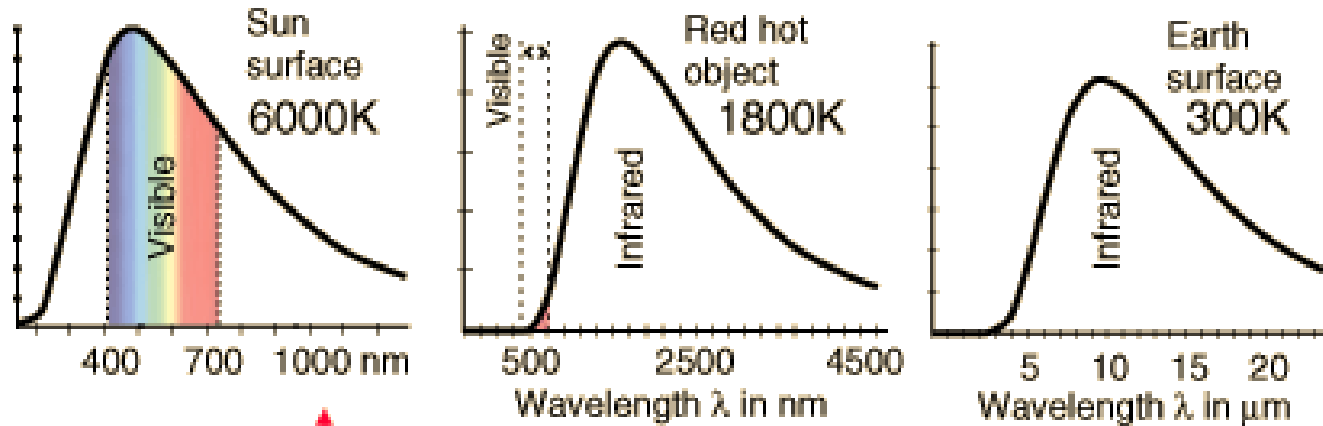
- Ciemna materia: izotropowy gaz; układ słoneczny: 220 km/s; orbita Ziemi: 30 km/s
- Efekt: 235 km/s gdy lato na półkuli północnej;
- 205 km/s gdy zima; możliwość odróżnienia “gazu” ciemnej materii od tła



- Ramiona galaktyk wirują za szybko, w galaktykach powinna być ukryta materia

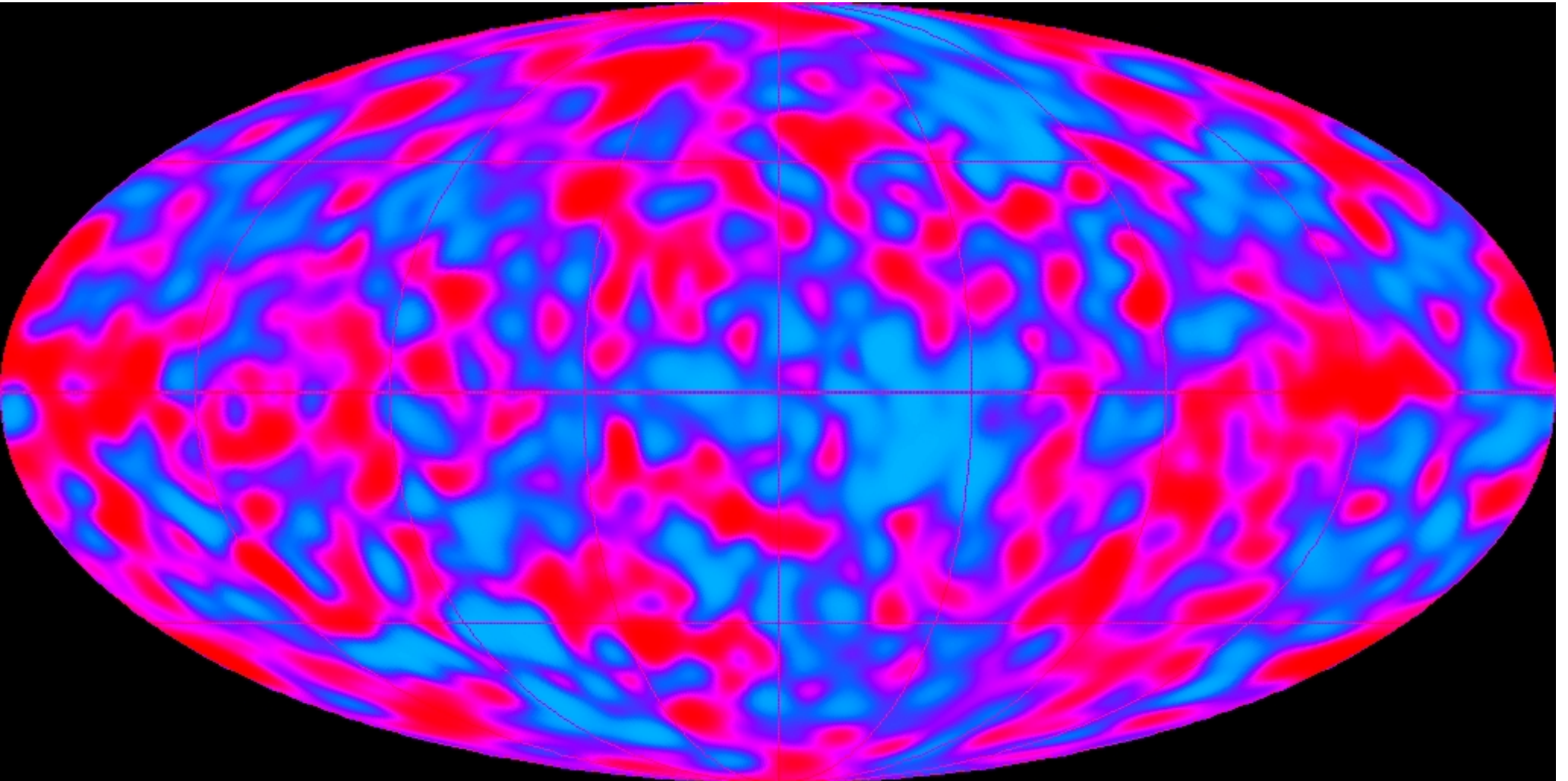


Penzias, Wilson, 1965: $T=2.725(2) K$

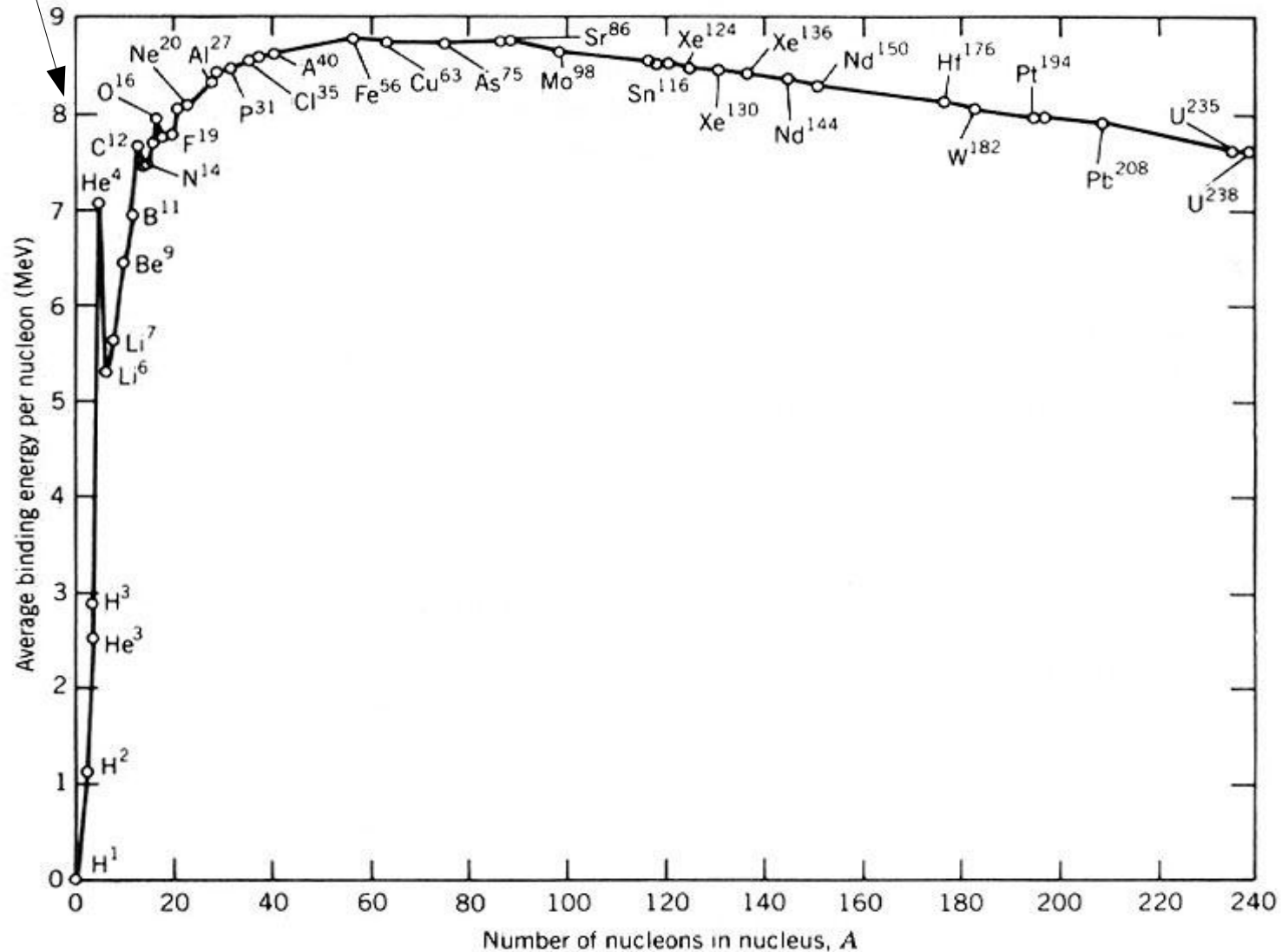


Jeden z głównych faktów doświadczalnych XX wieku

- The following image just shows the reduced map (i.e., both the dipole and Galactic emission subtracted). The cosmic microwave background fluctuations are extremely faint, only **one part in 100,000 compared to the 2.73 degree Kelvin** average temperature of the radiation field. The cosmic microwave background radiation is a remnant of the Big Bang and the fluctuations are the imprint of density contrast in the early universe. The density ripples are believed to have given rise to the structures that populate the universe today: clusters of galaxies and vast regions devoid of galaxies (<http://aether.lbl.gov/www/projects/cobe/>)



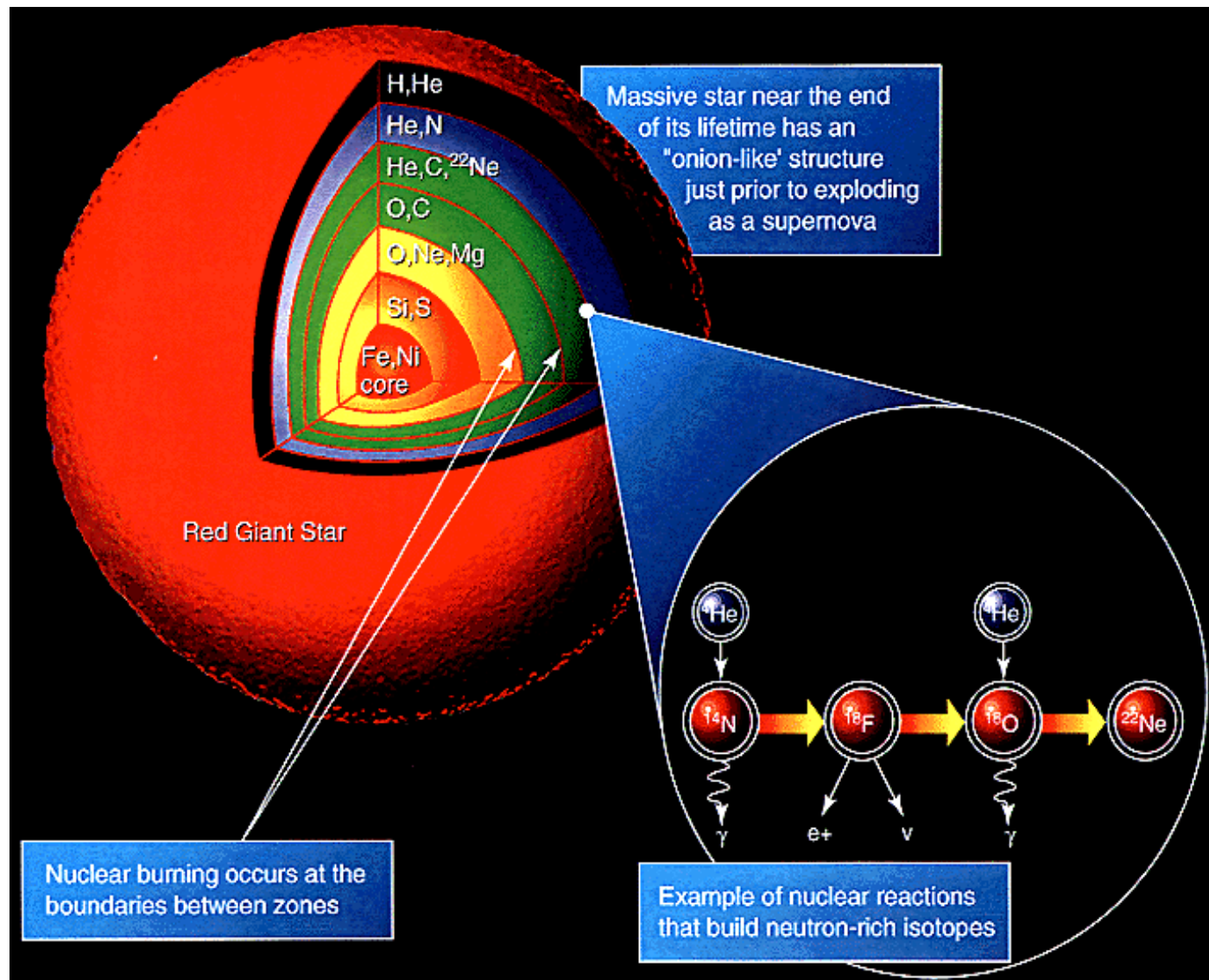
Synteza: źródło energii gwiazd



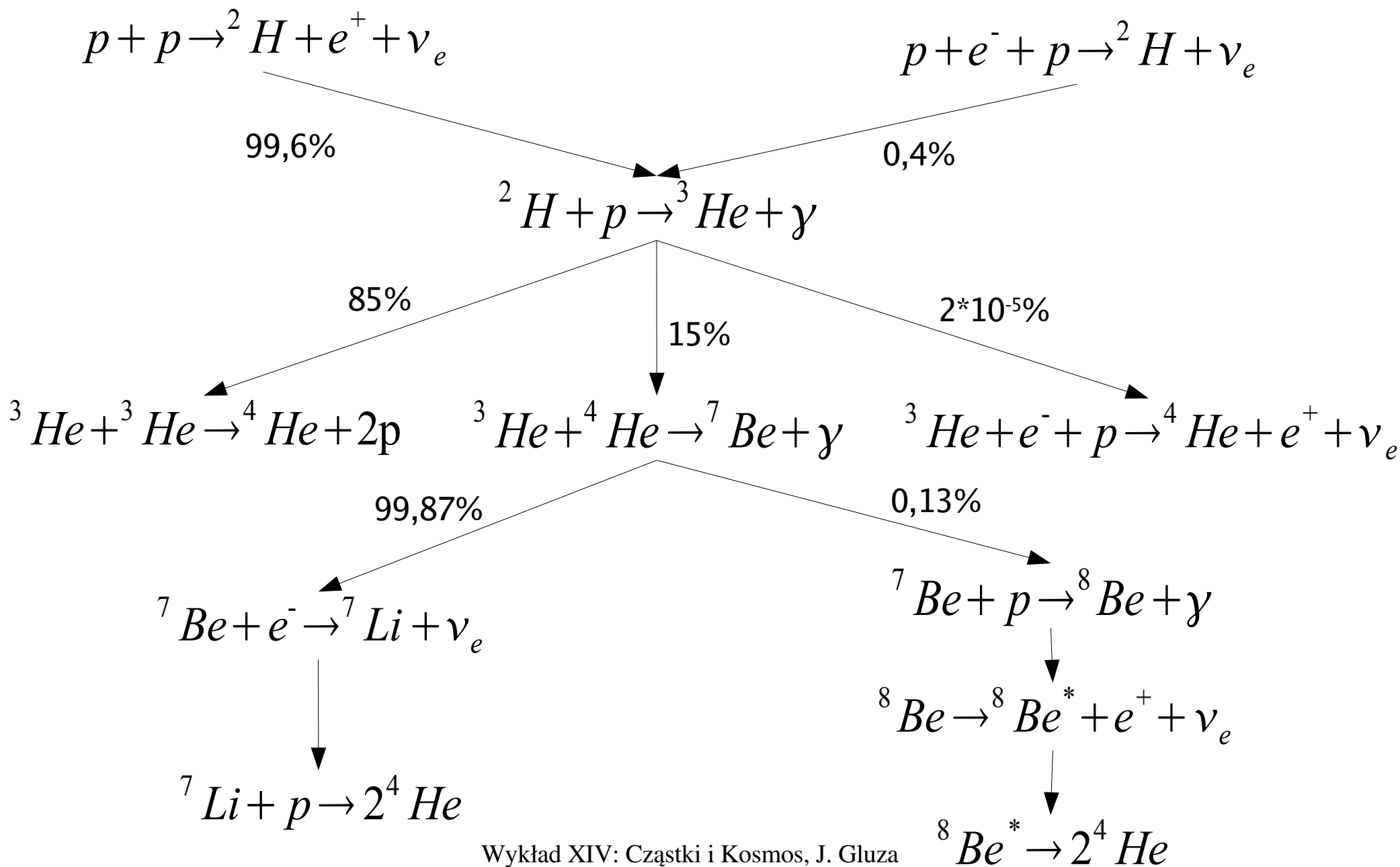
Średnia energia termiczna w gwiazdach dla $T \sim 10^7$ K ($k_B T \sim \text{keV}$)

Energia potrzebna do pokonania bariery kulombowskiej $\sim \text{MeV}$

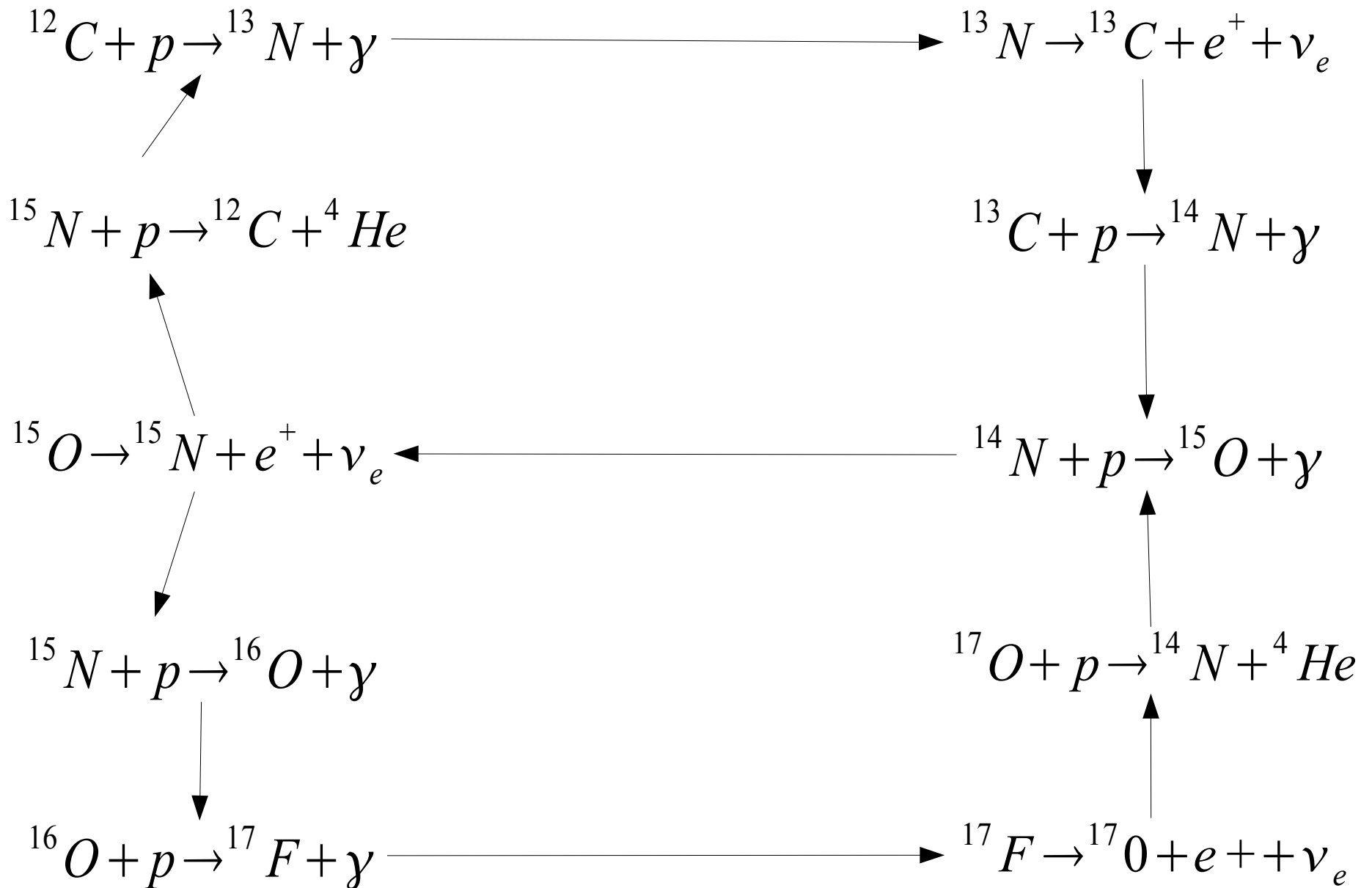
Gwiazdy świecą - mechanika kwantowa - tunelowanie przez barierę potencjału !



Palenie wodoru



Cykl CNO



neutrino

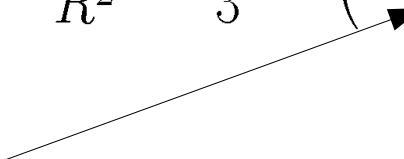
- Kosmologia daje także ograniczenie na masy neutrin
- Neutrino są ważne w równowadze z naładowanymi leptonami i fotonami do temperatury ok. 1 MeV, w tej temperaturze oddziaływania słabe nie “nadażają” regenerować symetrycznie procesy np. $q \text{ anty}(q) \leftrightarrow n \text{ anty}(n)$, które stają się coraz rzadsze ze względu na rozszerzający się Wszechświat, neutrino się rozsprzęgają (mówi się o ich zamrożeniu). Ich liczba jest stała (neutrino reliktowe)
- W tej chwili to ok. $10^2 \text{ neutrino/cm}^3$, jeśli są masywne, to dodają się do masy (ciemnej), stąd ograniczenie na ich masę: $< \text{kilkanaście eV}$

Stała kosmologiczna

- Potraktujmy Wszechświat jako wielką kulę o promieniu R z jednorodną gęstością

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{4}{3}\pi G\rho R$$

$$T_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} \rho c^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p \end{pmatrix}$$

$$g = \frac{GM}{R^2} = \frac{4}{3}\pi G \left(\rho_m + \frac{3p}{c^2} \right) R$$


Żeby materia była stabilna, $g=0$, co oznacza, że $p<0$, to jest typowe dla ciśnienia próżni (jest na to proste wytłumaczenie ...) i to jest istota wprowadzenia stałej kosmologicznej przez Einsteina

$$\rho_m + 3p/c^2 = 0$$

- Jednak stan opisywany przez powyższe równanie nie jest stabilny: zwiększmy nieznacznie przestrzeń, gęstość próżni ta sama, gęstość materii zmaleje, $g < 0$, Wszechświat się rozszerza, i na odwrót
- Z tego powodu Einstein wahał się przed wprowadzeniem stałej kosmologicznej

- Wszystko co dodaje się do energii próżni działa jak stała kosmologiczna

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R - \Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu}$$

W próżni

→ $\langle T_{\mu\nu} \rangle = - \langle \rho \rangle g_{\mu\nu}$

$$\Lambda_{eff} = \Lambda + 8\pi G \langle \rho \rangle$$

→ $\rho_{obs.} < 10^{-29} \text{ g/cm}^3 \simeq 10^{-47} \text{ GeV}^4$

Układ Słoneczny (odstępstwa od p. Keplera), droga mleczna, struktury wielkoskalowe

Naiwne obliczenie energii próżni

$$\frac{1}{2}\hbar\omega = \frac{1}{2}\sqrt{k^2 + m^2}$$

Sumowanie po modach próżniowych,

Dana teoria ma obowiązywać
do danej energii E

$$\langle \rho \rangle = \int_0^E \frac{4\pi k^2 dk}{(2\pi)^3} \frac{1}{2} \sqrt{k^2 + m^2} \simeq E^4$$

$$E \simeq 1/\sqrt{8\pi G}$$

$$\langle \rho \rangle = 10^{71} \text{ GeV}^4$$

Różnica na poziomie 10^{120} : tzw. Problem stałej kosmologicznej