

# Astropartikel fysik

The Big Bang

# The Big Bang

Vilka observationer stöder teorin om att universum skapades i en enda punkt?

- Universum expanderar. P.g.a. Doppler effekt är ljuset från atomövergångar i stjärnor i andra galaxer skiftade mot rött. D.v.s. galaxerna i universum rör sig med stor hastighet bort från vår egen galax (Vintergatan). Desto längre bort galaxerna är desto fortare avlägsnar de sig från oss.
- Det finns ett överskott på lätta grundämnen i universum. Detta kan förklaras om lätta ämnen producerades i kärnreaktioner i "the big bang". Medan de tunga ämnena producerades i kärnreaktioner i det inre av stjärnor.
- Överallt i universum finns en bäckgrund av mikrovågsstrålning. Detta kan förklaras som den strålning som blivit över från "the big bang". När universum expanderat har temperaturen gått ner och nu återstår endast en strålning motsvarande 2.7 K.

(Notera att temperatur är ekvivalent med termisk energi och  $1\text{eV} = 12000\text{K}$ )



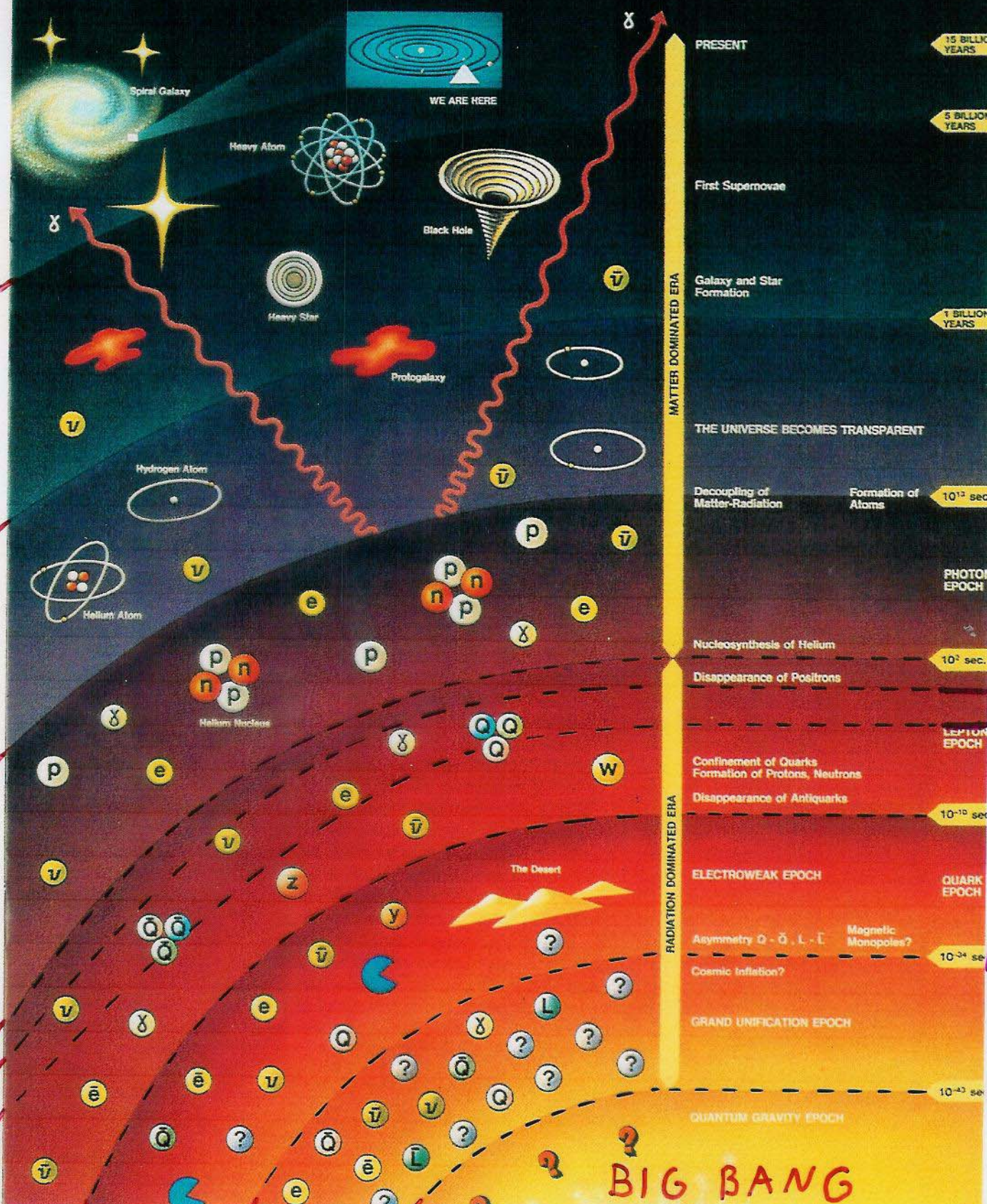
# History of the Universe

Temperatur

Zeit

2.7K  
18K  
6000K  
10<sup>9</sup>K  
10<sup>10</sup>K  
3-10<sup>12</sup>K

15 BILLION YEARS 15 x 10<sup>9</sup> yr  
5 BILLION YEARS 5 x 10<sup>9</sup> yr  
1 BILLION YEARS 10<sup>9</sup> yr  
10<sup>13</sup> sec +13 10<sup>s</sup>  
10<sup>2</sup> sec +2 10<sup>s</sup>  
1 sec 1 s  
10<sup>-5</sup> sec -5 10<sup>s</sup>  
10<sup>-10</sup> sec -10 10<sup>s</sup>  
10<sup>-34</sup> sec -34 10<sup>s</sup>  
10<sup>-43</sup> sec -43 10<sup>s</sup>



10<sup>15</sup> K      10<sup>27</sup> K      10<sup>32</sup> K

BIG BANG



# Big Bang Teorin

- $t=0$  { All materia är koncentrerad i en punkt.
- $t=10^{-43}$  s  
 $T=10^{32}$  K  
 $E=10^{16}$  GeV { Den starka, elektromagnetiska och svaga krafterna har samma styrka och kan betraktas som en och samma kraft.  
Materia och antimateria finns i samma mängd.  
P.g.a. den otroligt höga densiteten kan ingen strålning försvinna ut från materian (p.s.s. som från ett svart hål)
- $t=10^{-35}$  s  
 $T=10^{28}$  K  
 $E=10^{15}$  GeV { Den elektromagnetiska och svaga kraften är fortfarande en och samma kraft men den starka kraften är nu skild från de övriga.  
Storleken på universum är ca 1 mm.  
Materia är ännu mer vanligt än antimateria.  
Den höga temperaturen gör det omöjligt för protoner och neutroner att formas istället finns det ett kvark gluon plasma.
- $t=10^{-10}$  s  
 $T=10^{15}$  K  
 $E=100$  GeV { Den elektromagnetiska och svaga kraften har blivit två skilda krafter.  
Storleken på universum är 0.0001 ljusår ( $10^9$  km).  
Temperaturen är inte tillräckligt hög för att W och Z partiklar ska kunna bildas. Dessa sönderfaller och försvinner för alltid.  
Antikvarkar och kvarkar börjar annihileras. Materiens dominans över antimateria ökar.
- $t=10^{-5}$  s  
 $T=3 \cdot 10^{12}$  K  
 $E=0.36$  eV { Kvarkarna börjar forma hadroner.
- $t=0.01$  s  
 $T=10^{11}$  K  
 $E=10$  MeV { Universum består huvudsakligen av fotoner, elektroner, positroner och neutrinos.  
Det finns en liten del protoner och neutroner.  
Universums storlek är 1 ljusår ( $10^{16}$  m).



- $t = 1s$   
 $T = 10^{10} K$   
 $E = 1 MeV$

Elektroner och positroner börjar annihileras till fotoner. Positronerna förstöras snarare och det börjar bli ett överskott på elektronerna.  
 Neutrinos och antineutrinos börjar bete sig som fria partiklar.
- $t = 1.5 min$   
 $T = 10^9 K$   
 $E = 0.1 MeV$

Universum består nästan helt av fotoner, neutrinos och antineutrinos.  
 Det finns en liten del elektroner och nukleoner med ett överskott av protoner över neutroner.  
 Storleken på universum är 100 ljusår ( $10^{18} m$ )  
 Densiteten är 40 ggr större än vattnets.
- $t = 3 min$   
 $T = 8 \cdot 10^8 K$

Nukleosyntesen börjar dvs alla fria neutroner och en del av de fria protonerna börjar bilda lätta kärnor som Deuterium, Helium och Litium. Universum är som en gigantiskt kärnreaktor.  
 Neutronerna som inte är bundna sönderfaller med halveringstiden 900s.  
 Efter ett par timmar är nukleosyntesen färdig och 24% av kärnorna är Helium och 76% är Väte (dvs oanvända protoner). En liten del är andra lätta kärnor.  
 Tyngre ämnen bildas senare i stjärnorna.  
 Universum består emellertid fortfarande huvudsakligen av fotoner och neutrinos.
- $t = 300000 \text{ år}$   
 $T = 6000 K$

Elektroner och kärnor slår sig samman och bildar neutrala atomer eftersom temperaturen är för låg för att jonisera atomerna.  
 När de laddade partiklarna försvinner blir universum genomskinligt eftersom det inte längre finns laddade partiklar vilka kan växelverka med fotonerna.  
 Optiska och radioteleskop kan i princip se tillbaka till denna tid.

- $t = 1$  miljard år  
 $T = 18\text{ K}$

Materia börjar klumpa ihop sig till stjärnor och galaxer.

I det inre av stjärnorna är temperaturen fortfarande tillräckligt hög för att kärnreaktionen ska kunna äga rum. Kol och järn kärnor etc bildas.

De tyngsta grundämnena bildas när supernovor kollapsar.

- $t = 15$  miljarder år  
 $T = 2.7\text{ K}$

Kemiska processer gör det möjligt för större molekyler att bildas.

Storleken på universum är 10 miljarder ljusår ( $10^{26}\text{ m}$ ).

På en liten obetydlig planet i vintergatan bygger människan acceleratoren och öterskapar det tillstånd som finns i universum under det första  $10^{-10}\text{ s}$ .



