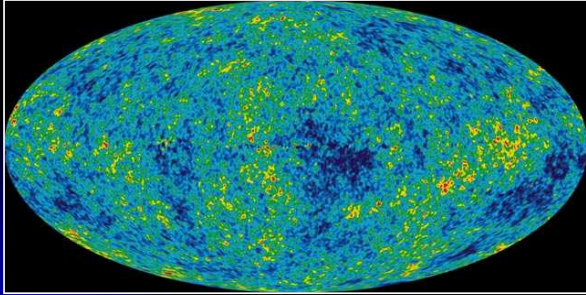


Översiktskurs i astronomi Lektion 12: Universums barndom och framtid



Upplägg

- Kosmiska bakgrundstrålningen
- Uppkomsten av galaxer och galaxhopar
- Den ursprungliga heliumhalten
- Mörk energi
- Universums ålder
- Universums framtid

Fyra viktiga stöd för att universum är sprunget ur ett hett Big Bang

1. Universum expanderar
2. Den kosmiska mikrovågsbakgrundstrålningen med en temperatur av $\approx 2,73$ Kelvin IDAG
3. Den URSPRUNGLIGA heliumhalten (${}_2\text{He}^4$) i universum var $\approx 24\%$
4. Olika kosmokronometrar ger universums ålder $\approx 13\text{--}14$ miljarder år

Big Bang

Universum expanderar $\rightarrow$ Om man går bakåt i tiden måste materia och strålning varit mer sammanpackade, d.v.s. tätare.

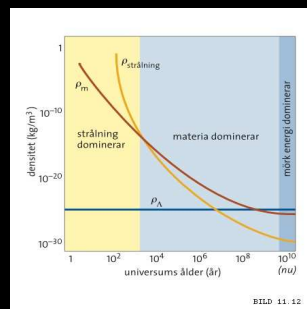
Vid en given tidpunkt var materia och strålning oändligt tätt sammanpackade. Detta gällde vid tiden före Big Bang d.v.s. För ca. 14 miljarder år sedan.

Efter Big Bang var universums temperatur betydligt högre än idag:

$$T \propto (1+z)$$

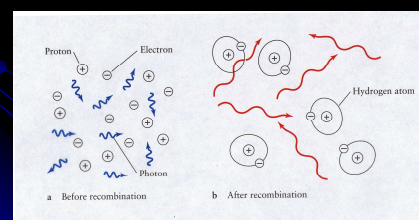
Ett strålningsdominerat universum

Under ca. 2 500 år efter Big Bang var universum Strålningsdominerat. Därefter blev det Materiedominerat. Idag domineras det av mörk energi.



Rekombinationen I

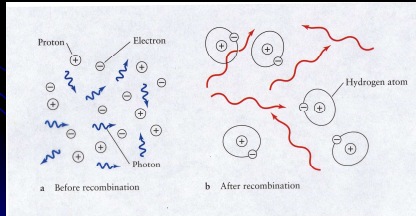
När strålningstemperaturen var högre än $\approx 3\,000$ K var universum joniserat. Övergångsfasen kallas "tiden för rekombinationen". Då blev universum neutralt, och elektroner och protoner kunde slå sig samman och bilda väteatomer.



Rekombinationen II

Rekombinationen skedde ca 300 000 år efter Big Bang, vid en rödförskjutning av $z \approx 1100$.

I samband med detta började fotoner kunna röra sig fritt genom universum → universum genomskinligt



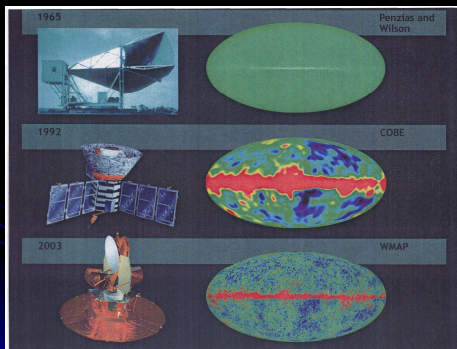
Kosmiska bakgrundsstrålningen I

- Den strålning som utsändes i samband med rekombinationen borde genomsyra universum än idag, som en "efterglöd" från Big Bang
- Den förväntas nå oss från alla riktningar på himlen, dvs. vara isotrop
- Temperaturen bör vara ca 2.7 K idag och kunna ses med ett radioteleskop vid en våglängd av 1.9 mm (mikrovågsområdet)

Kom ihåg: $T \propto (1+z)$

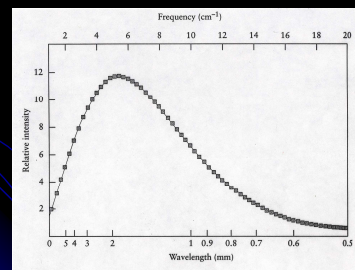
$$T_{\text{idag}} = \frac{T_{\text{rekombination}}}{1+z_{\text{rekombination}}} \approx \frac{3000}{1+1100} \approx 2.7 \text{ K}$$

Tre observationer av mikrovågbakgrundsstrålningen

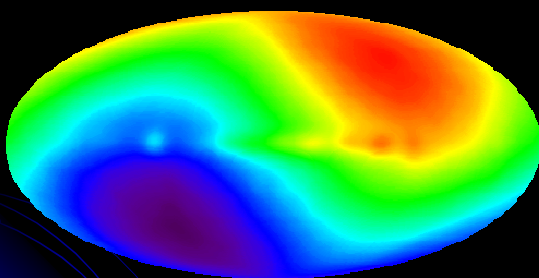


Kosmiska bakgrundsstrålningen II

Perfekt svartkroppsspektrum med medeltemperatur $T \approx 2.73 \text{ K}$

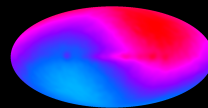


Kosmiska bakgrundsstrålningen III

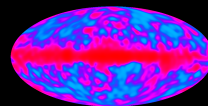


Dopplerförskjutning av spektrumet på grund av solens och Vintergatans rörelse relativt strålningen

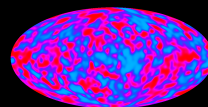
Kosmiska bakgrundsstrålningen IV



Total bakgrundsstrålning...

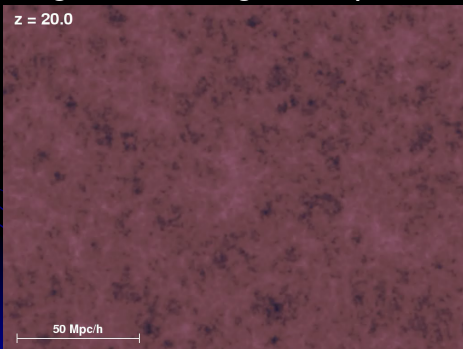


...korrigerad för vår rörelse...

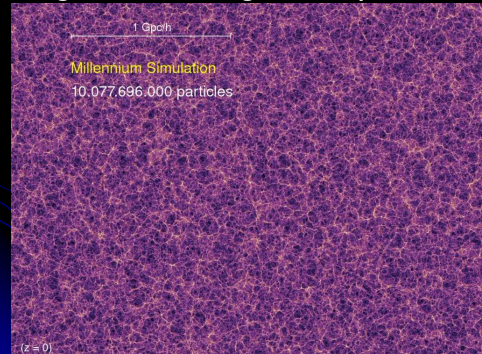


... och korrigerad för Vintergatans
→ Små temperaturvariationer
återstår ($\sim 10^{-5} \text{ K}$)
Extremt viktiga för kosmologi!
Dagens galaxer uppstod ur dessa.

Uppkomsten av galaxer och galaxhopar I



Uppkomsten av galaxer och galaxhopar II



Fyra viktiga stöd för att universum är sprunget ur ett hett Big Bang

1. Universum expanderar
2. Den kosmiska mikrovågsbakgrundstrålningen med en temperatur av $\approx 2,73$ Kelvin IDAG
3. Den **URSPRUNGLIGA** heliumhalten (${}^4\text{He}$) i universum var $\approx 24\%$
4. Olika kosmokronometrar ger universums ålder $\approx 13\text{--}14$ miljarder år

Tidig nukleosyntes I

- När universum svalnade efter Big Bang, bildades först protoner och neutroner
- Under de första tre minuterna bildades de lätta grundämnena väte, helium och litium (ytterst lite)
- Alla tyngre grundämnen bildades långt senare, när stjärnbildning kommit igång
 - Väte: En proton (ingen sammanslagning nödvändig)
 - Helium-4: Två protoner, två neutroner

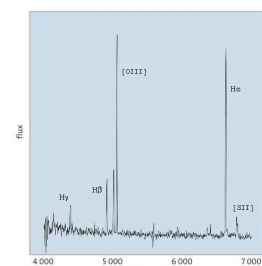
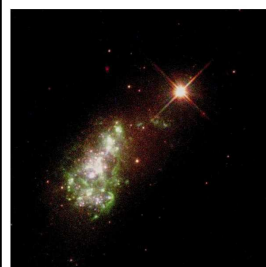
Tidig nukleosyntes II

- Om nukleosyntesen är fullständig och alla neutroner används fås massandelen helium i förhållande till massandelen väte:

$$\frac{m_{\text{He}^4} n_{\text{He}^4}}{m_{\text{He}^4} n_{\text{He}^4} + m_{\text{p}} n_{\text{p}}} \approx 0,24$$

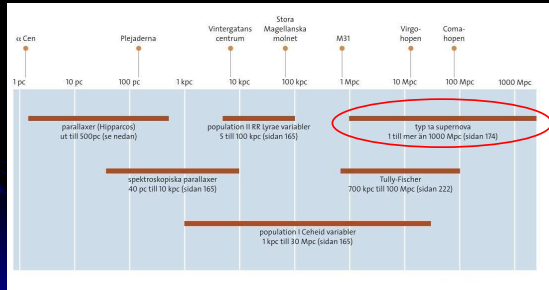
- D.v.s. ungefär 24% helium (resten väte) bildades ca. 3 minuter efter Big Bang.

Hur mäts den ursprungliga heliumhalten?



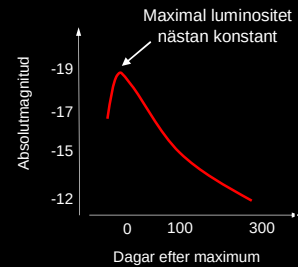
Observationer av blå kompakta galaxer (kallas också HII-galaxer) ger, som lägst, 23-25%.

Supernovor typ Ia

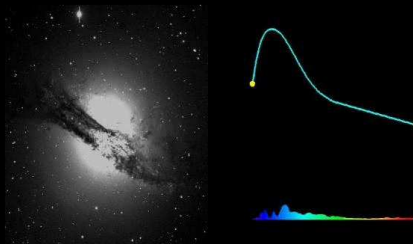


Supernovor typ Ia

- Användbara för avståndsbestämning ut till åtminstone $z \sim 2$
- Tros bildas i dubbelstjärnesystem när materia från en röd jätte faller ned på en vit dvärg → explosion!



Supernovor typ Ia



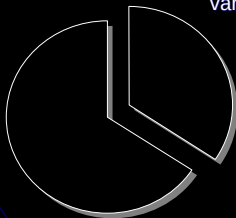
Mörk energi I

- Studier av hur ljusstarka supernovor typ Ia verkar vara vid olika $z \rightarrow$ Universum expanderar snabbare än om det bara fanns materia (mörk och ljus) i Universum
- Det verkar finnas en gigantisk energidepå i universum som får universums expansion att accelerera
- Detta *kan vara* en energi hos själva vakuumet (motsvarande ca $\sim 10^{-26} \text{ kg/m}^3$)

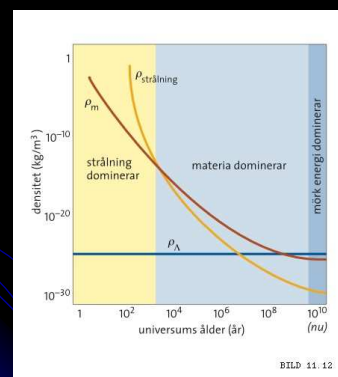
Universums största energidepåer

Mörk energi (~70%)

Materia (~30%)
varav >90% mörk



Idag dominerar mörk energi



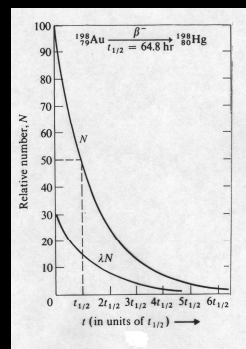
Fyra viktiga stöd för att universum är sprunget ur ett hett Big Bang

1. Universum expanderar
2. Den kosmiska mikrovågsbakgrundstrålningen med en temperatur av $\approx 2,73$ Kelvin IDAG
3. Den URSPRUNGLIGA heliumhalten (${}^4\text{He}$) i universum var $\approx 24\%$
4. Olika kosmokronometrar ger universums ålder $\approx 13\text{--}14$ miljarder år

Universums ålder I

Åldersbestämningar med radioaktiva isotoper

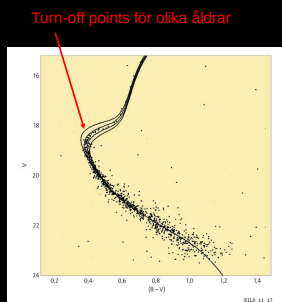
- Ur kända sönderfallshastigheter fås tiden för isotopens produktion.
- Långlivade isotoper lämpliga för bestämning av universums ålder:
Th-32, U-235, U-238, Pu-244
- De äldsta isotoperna verkar ha bildats för 12-15 Gyr sedan.



Universums ålder II

Astrofysikaliska tidsbestämningar

- Åldersbestämningar av klotformiga stjärnhopar (de äldsta stjärnhopar vi känner till) ger åldrar på 12-15 miljarder år
- Åldersuppskattningen kan exempelvis ske genom att fastställa turn-off point i ett HR-diagram



Universums ålder III

Friedmannmodellerna

Ekvationssystem (härlett ur Einsteins allmänna Relativitetsteori) som beskriver Universums utveckling.

Beskriver exempelvis:

- Universums expansionshastighet, $H(t)$
- Universums energitäthet, $\rho(t)$

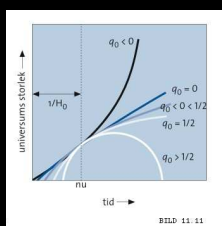
Dagens mätningar antyder att expansionshastigheten idag är: $H_0 \approx 72 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$. Med 70% mörk energi och 30% materia får man då en ålder på ca 13—14 miljarder år.

Universums framtid

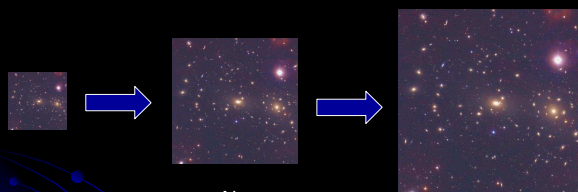
Universums framtid och öde kan i princip förutspås med hjälp av Friedmann-modellerna.

Likväl är framtiden mycket oviss, eftersom vi inte riktigt vet vad den mörka energin är.

Idag får den mörka energin universums expansion att accelerera, men vad händer längre fram?



Universums öde – alternativ I



Mörk energi $\rightarrow$ Ödsligt universum ("Big Chill"), alternativt The Big Rip

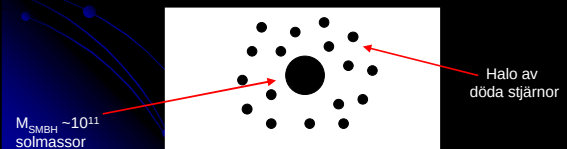
Ödligt universum

Om den mörka energin är konstant:

- Universum blir allt ödligare, eftersom galaxerna hamnar längre och längre ifrån varandra
- Framtida observatörer kommer att få allt svårare att studera objekt utanför Vintergatan

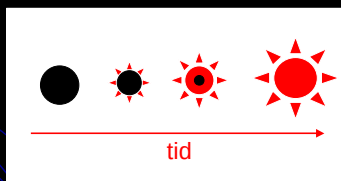
Den framtida Vintergatan

- Om 10^{12} år: väte och helium tar slut → sista stjärngenerationen föds. Utan stjärnljus blir Vintergatan kall och mörk
- Om 10^{27} år: Närpassager mellan döda stjärnor har kastat ut vissa av dem ur Vintergatan, medan andra format ett mycket massivt SMBH i centrum



Den framtida Vintergatan

- Om $10^{67} - 10^{106}$ år: De svarta hålen "avdunstar"

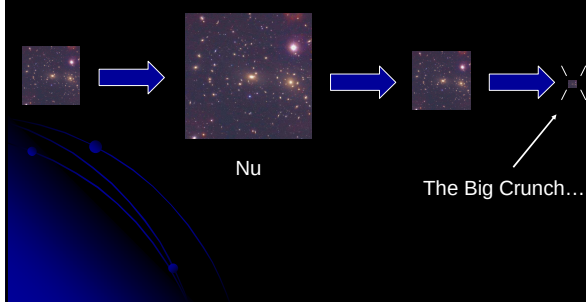


The Big Rip

Om den mörka energin ökar med tiden:

- Universum accelererar allt snabbare
 - Tillsist börjar materiastrukturer att rivas sönder
 - Kulminerar i ögonblicket "The Big Rip", då expansionshastigheten går mot oändligheten
- $t_{\text{Big Rip}} - 60 \text{ Myr}$: Vintergatan rivs sönder
 - $t_{\text{Big Rip}} - 3 \text{ månader}$: Solsystemet rivs sönder
 - $t_{\text{Big Rip}} - 30 \text{ min}$: Jorden rivs sönder
 - $t_{\text{Big Rip}} - 10^{-19} \text{ s}$: Atomer rivs sönder

Universums öde – alternativ II



Ett cykliskt universum?

Big Bang → Big Crunch → Big Bang

