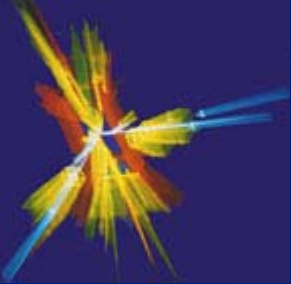


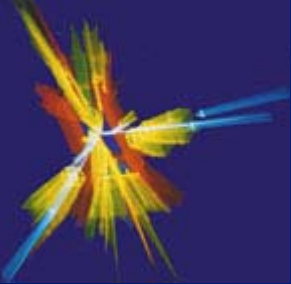
Partikkelfysikk og CERN i den store sammenhengen



I partikkelfysikken (CERN) studeres materiens minste ”bygggestener” og alle kreftene som virker mellom dem.

I astrofysikken studeres universets sammensetting (stjerner og galakser) og utviklingen fra Big Bang og frem til vår tid.

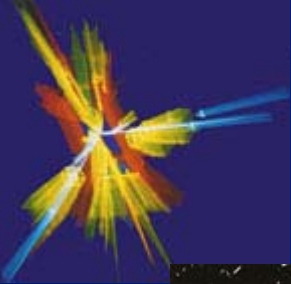
Det er gode grunner til å tro at det finnes en tett sammenheng mellom lovene for mikro- og makrokosmos, og at observasjoner gjort i partikkelfysikk er nødvendige for å forstå det store universet, og at astrofysiske observasjoner er nødvendige for å få en fullstendig forståelse av mikrouniverset.



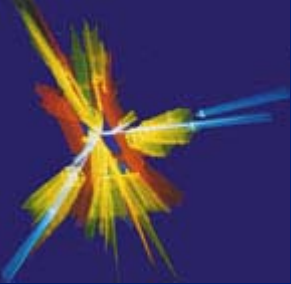
En ganske alminnelig spiralgalaksene. Disse har typisk ca. 100 milliarder stjerner og en diameter på ca. 100 tusen lysår



Hubbleteleskopet: ultra-dypt felt



De fjerneste galaksene, nesten 13 milliarder lysår borte, er ganske forskjellige fra galaksene i vårt nære "nabolag"



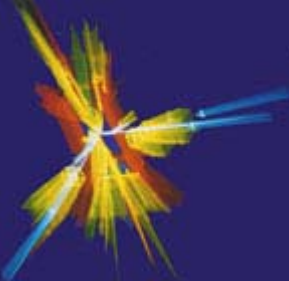
Det synlige univers

Ca. 100 milliarder galakser, hver med
ca. 100 milliarder stjerner (10^{11}),

dvs.

ca 10^{22} stjerner

Hvor kommer alt dette fra ?



Big Bang



Gode grunner til å tro at all denne materien kommer fra Big Bang som fant sted for “ca.” 13.7 milliarder = 1.37×10^{10} år siden,

og at siden da har universet vært i kontinuerlig ekspansjon

Newton og Hubble

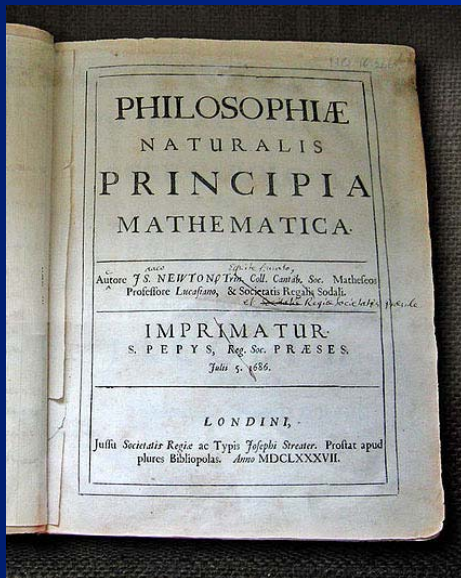
Galaksene fjerner seg fra hverandre med en fart v proporsjonal med avstanden r :

$$v = Hr,$$

der H er Hubbles konstant,

egentlig: $H = H(t)$

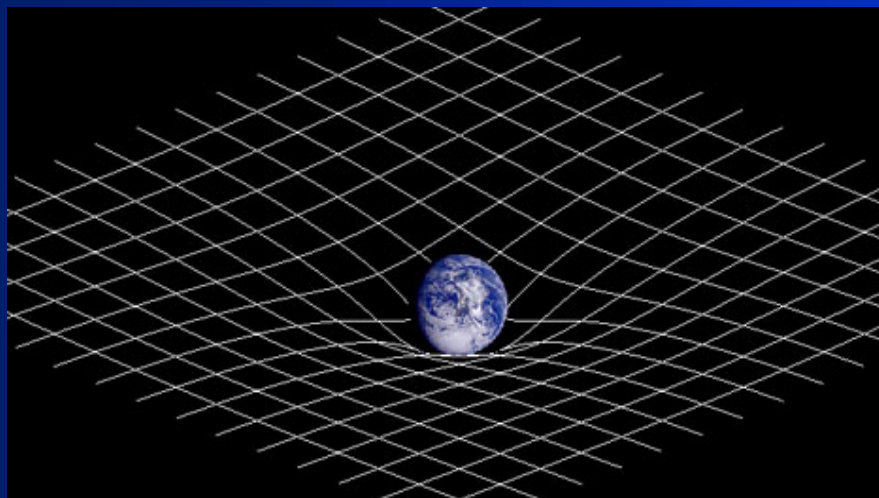
Mens farten v "lett" kan måles fra dopplerskift (rødskift), er det vanskeligere å måle avstanden r



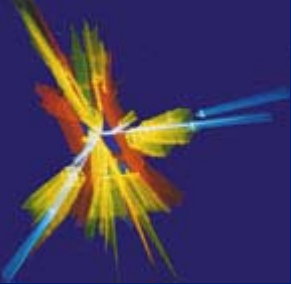
Einstein og den generelle relativitetsteorien:



Det er rommet mellom galaksene som ekspanderer, og rødsiftet er et direkte mål på hvor mye rommet har utvidet seg mens lyset fra galaksen har vært underveis fra galaksen og frem til oss.

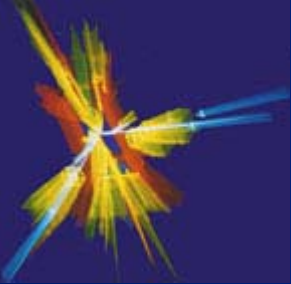


Det romme rommet har fysiske egenskaper !!!



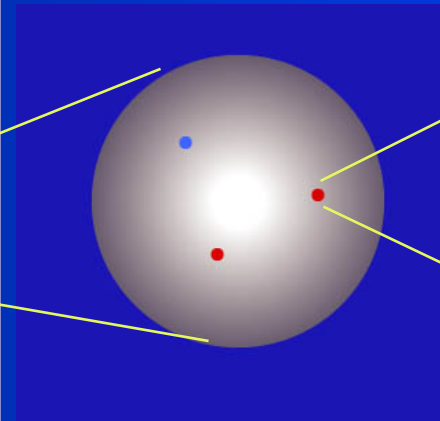
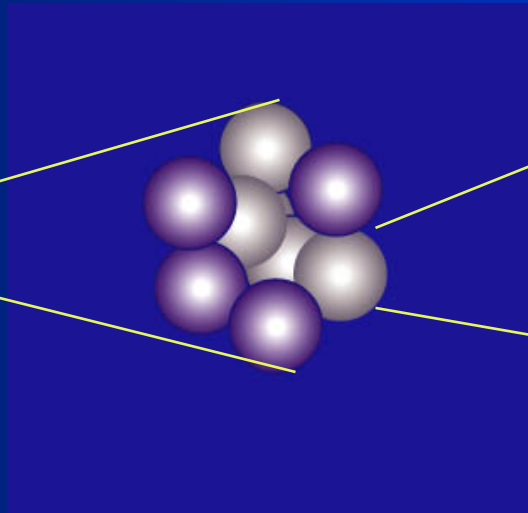
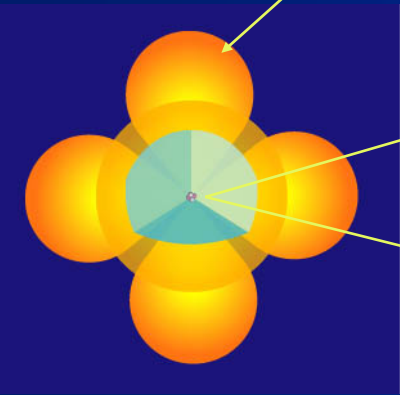
Vi trenger inn i materien:

Materiens bestanddeler



Elektroner (10^{-18} m)

se



Atom

10^{-10} m

kjerne

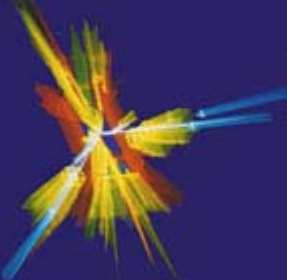
10^{-14} m

nukleon

10^{-15} m

kvark (q)

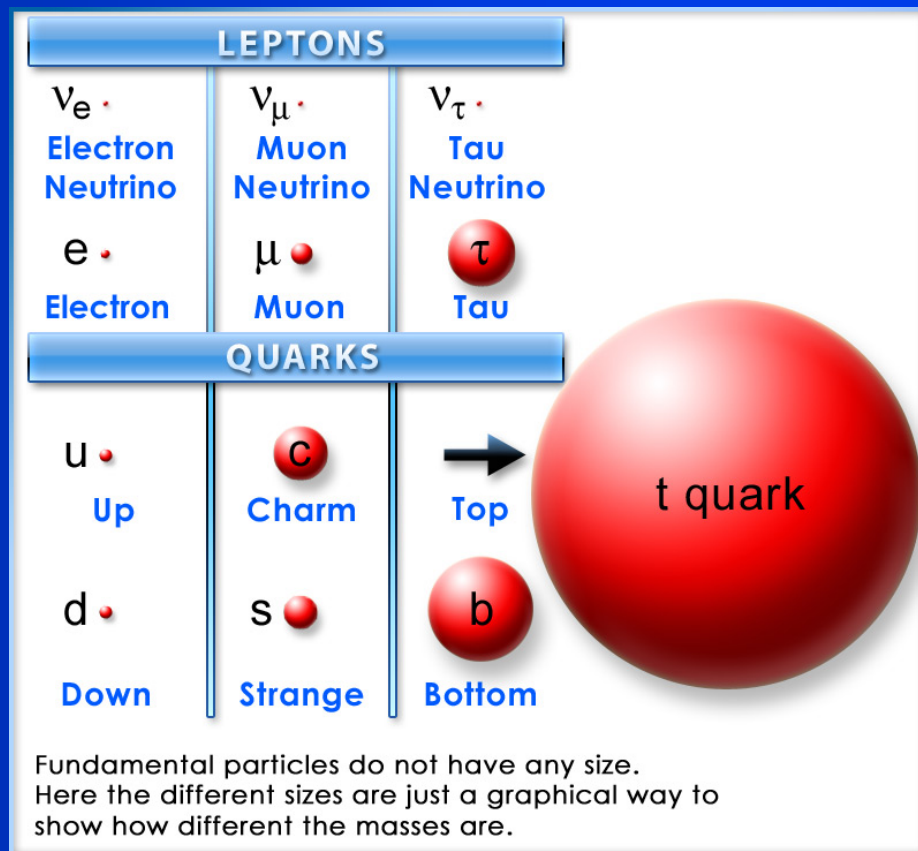
10^{-18} m

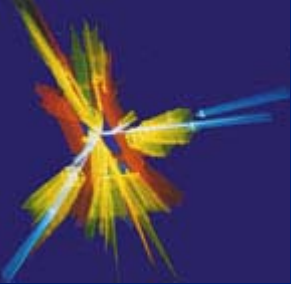


Stabil materie:
to kvarker,
up,down eller u,d, med ladninger $+2/3$ og $-1/3$;
og to leptoner,
ett elektron, e^- med ladning -1 , og et nøytralt nøytrino ν
(+ antipartikler)

Men naturen har bestemt seg for å lage to tyngre kopier av disse fundamentale partiklene !

Hvorfor ???



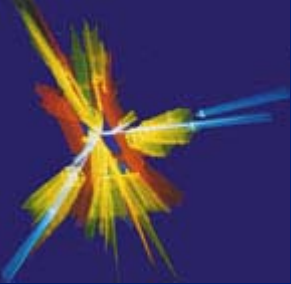


Universets "vanlige" materie som stjerner, galakser og intergalaktiske støv/gass består av

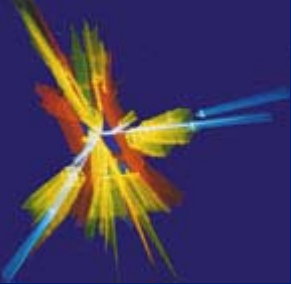
75 % hydrogen og 24 % helium
(tyngre elementer ca 1 %)

Hydrogen- og helium-kjernene var dannet ca 3 minutter etter Big Bang,

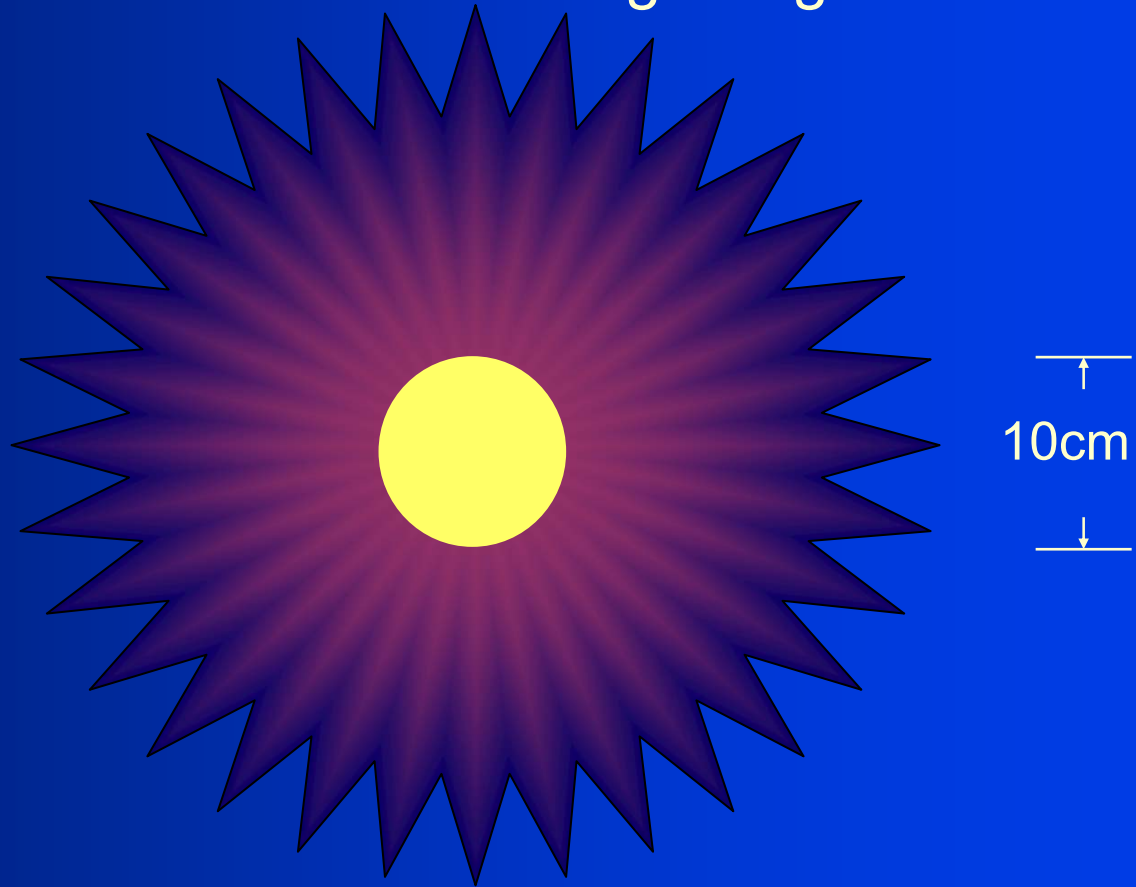
mens tyngre elementer først ble dannet i store stjerner som endte sine liv i supernovaeksplosjoner, der disse elementene ble slynget ut i universet.



Hvordan og når oppsto denne materien, og kan vi forklare mengden av de letteste elementene ?

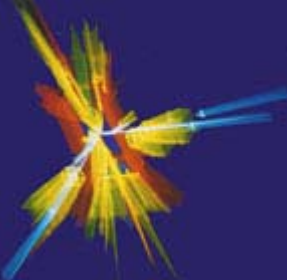


"nesten" tilbake til Big Bang

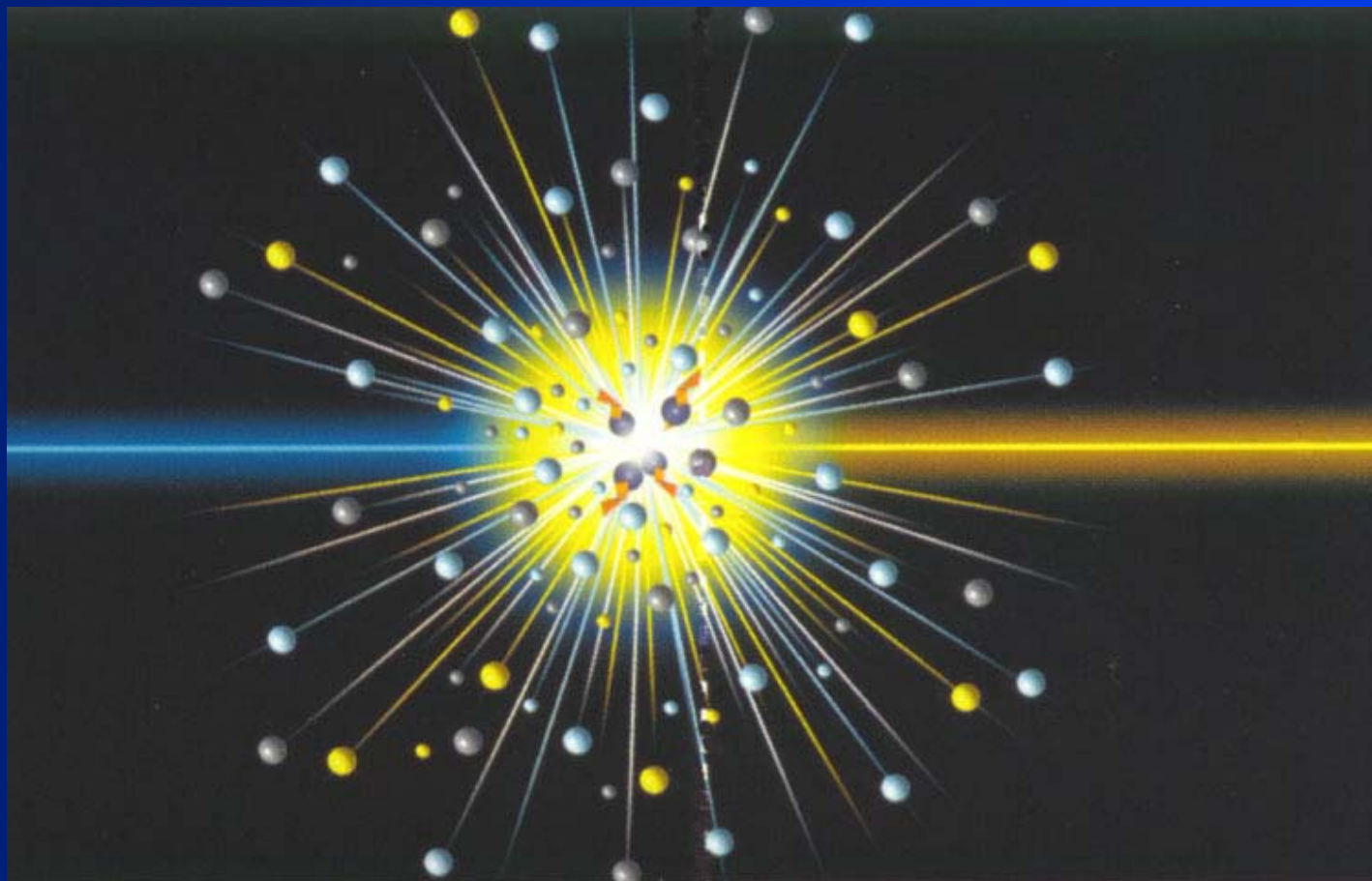


tid: 10^{-32} sek, temperatur: 10^{26} K

Materie fra Energi og $E = Mc^2$

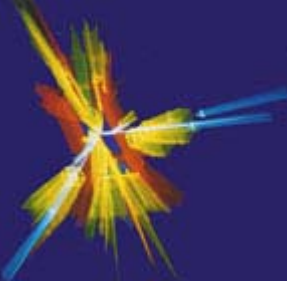


Dette kan studeres i partikkelfysikkeksperimenter:
Energi inn i vakuum \rightarrow materie ut
(fra Einstein: $E = M c^2$)



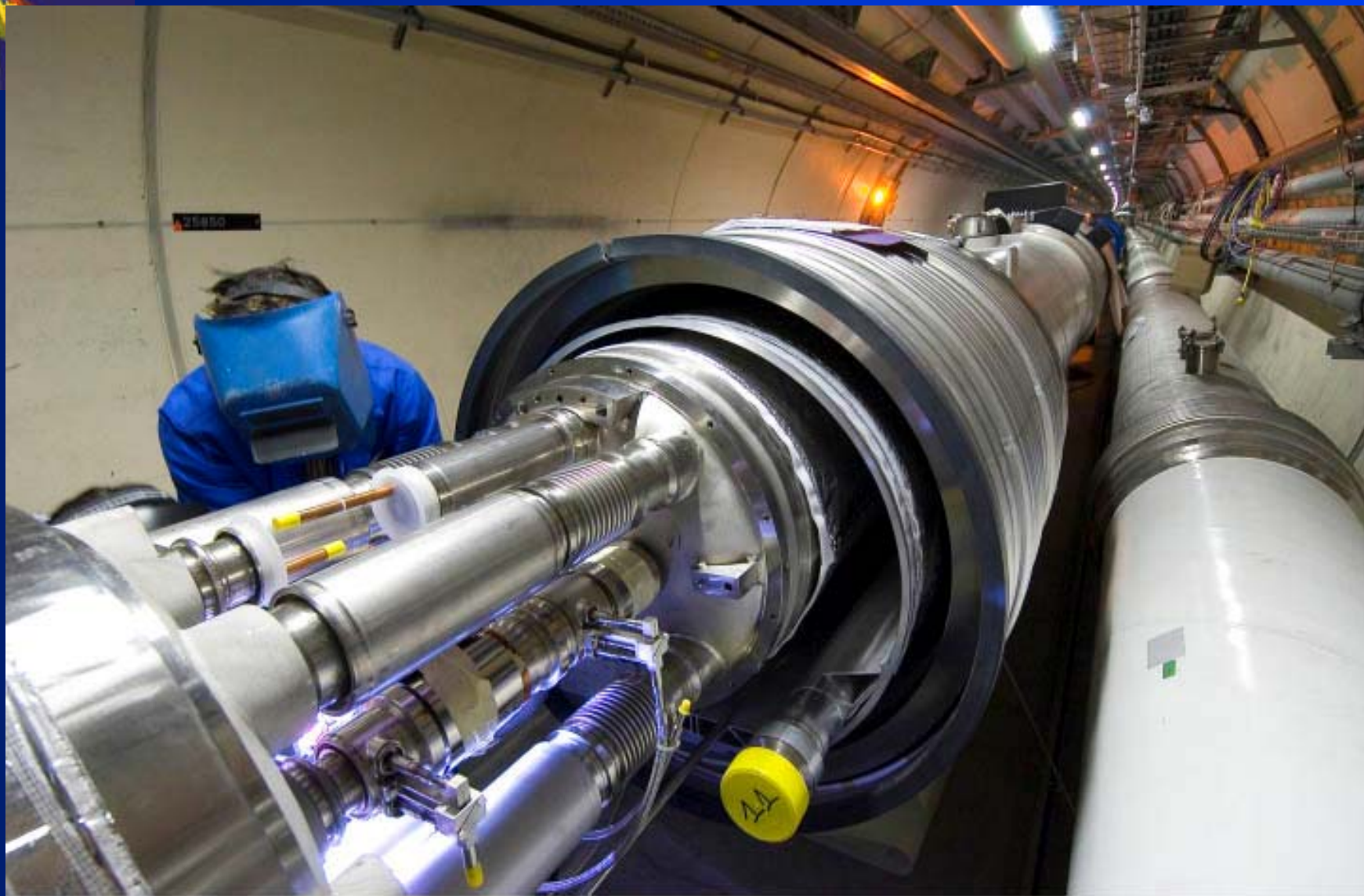
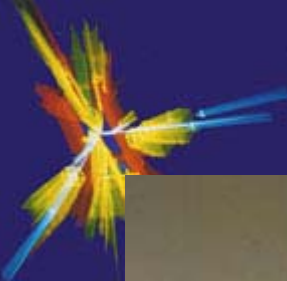
CERN-laboratoriet





30 000 tonn superledende magneter

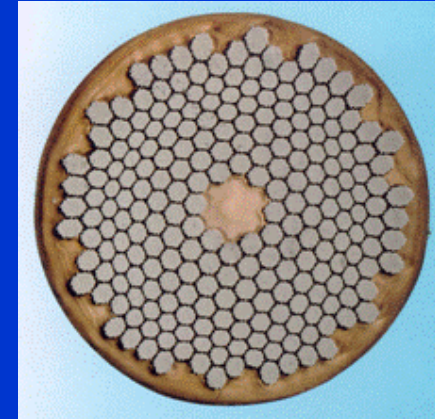
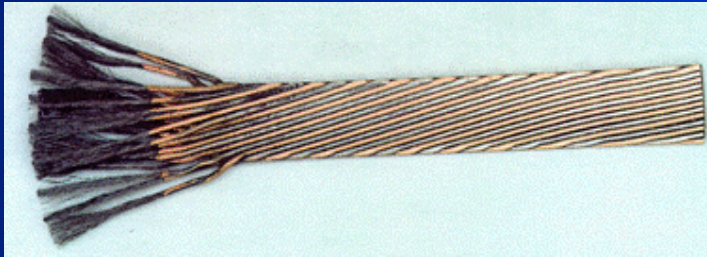




LHCs superledende kabel

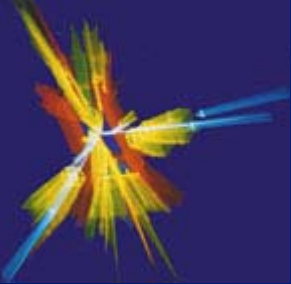
superledende
kabel (7600 km)

hver kabel med
36 kordeller



hver kordell med
6300 filamenter
(0.006 mm tykke)

tilsammen 1.7×10^{12} m filamenter, eller godt over
10 ganger avstanden mellom jorden og solen



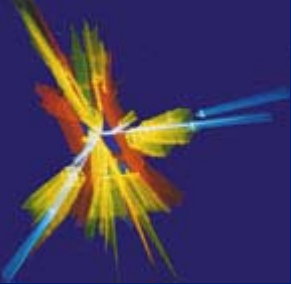
Kabelens tversnitt: vel 2 mm^2

temperatur: 1.8 K

materiale: Niobium - Tinn

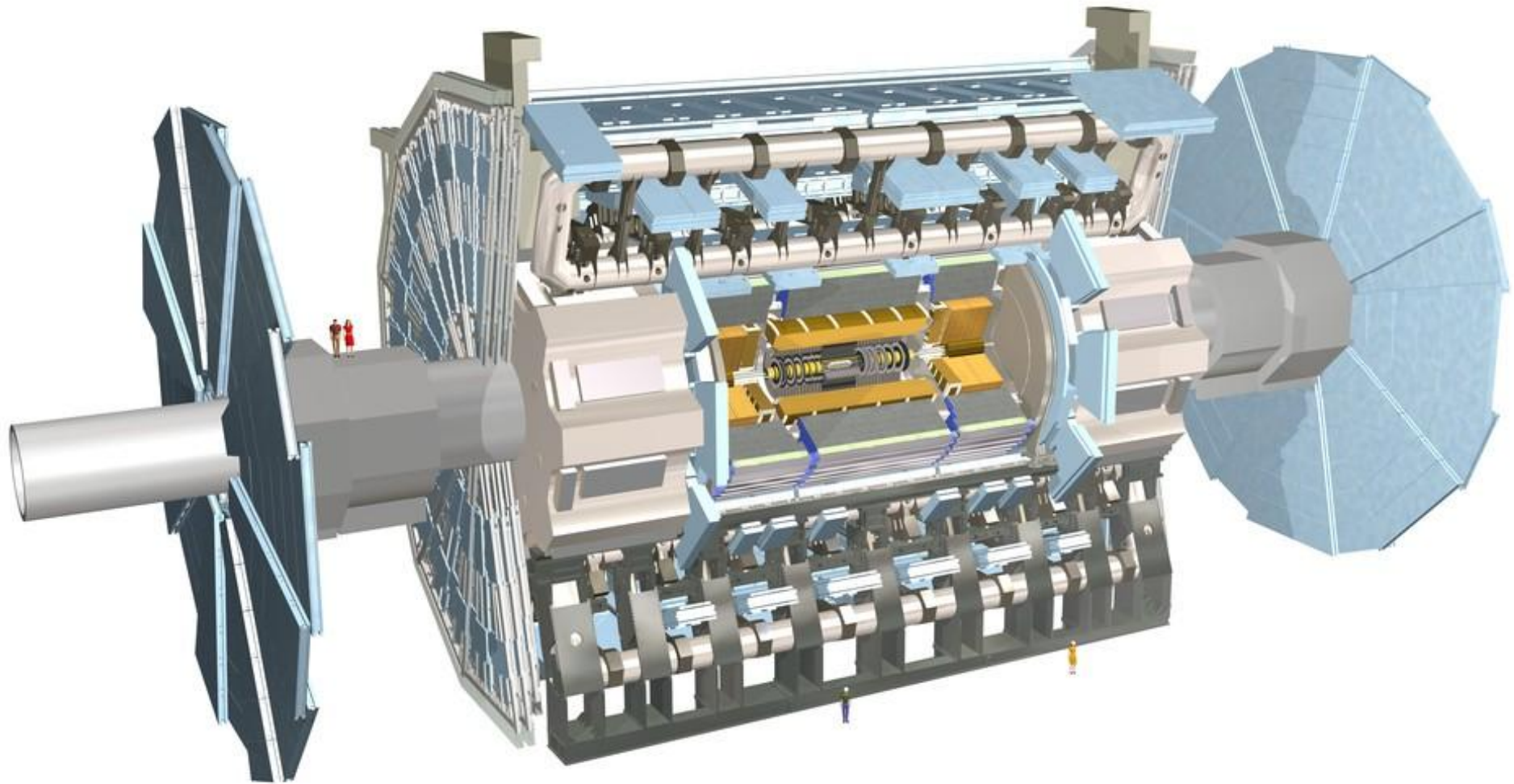
strømstyrke: vel 13000 A

motstand: nøyaktig lik null



Trenger store, og meget effektive detektorsystemer:

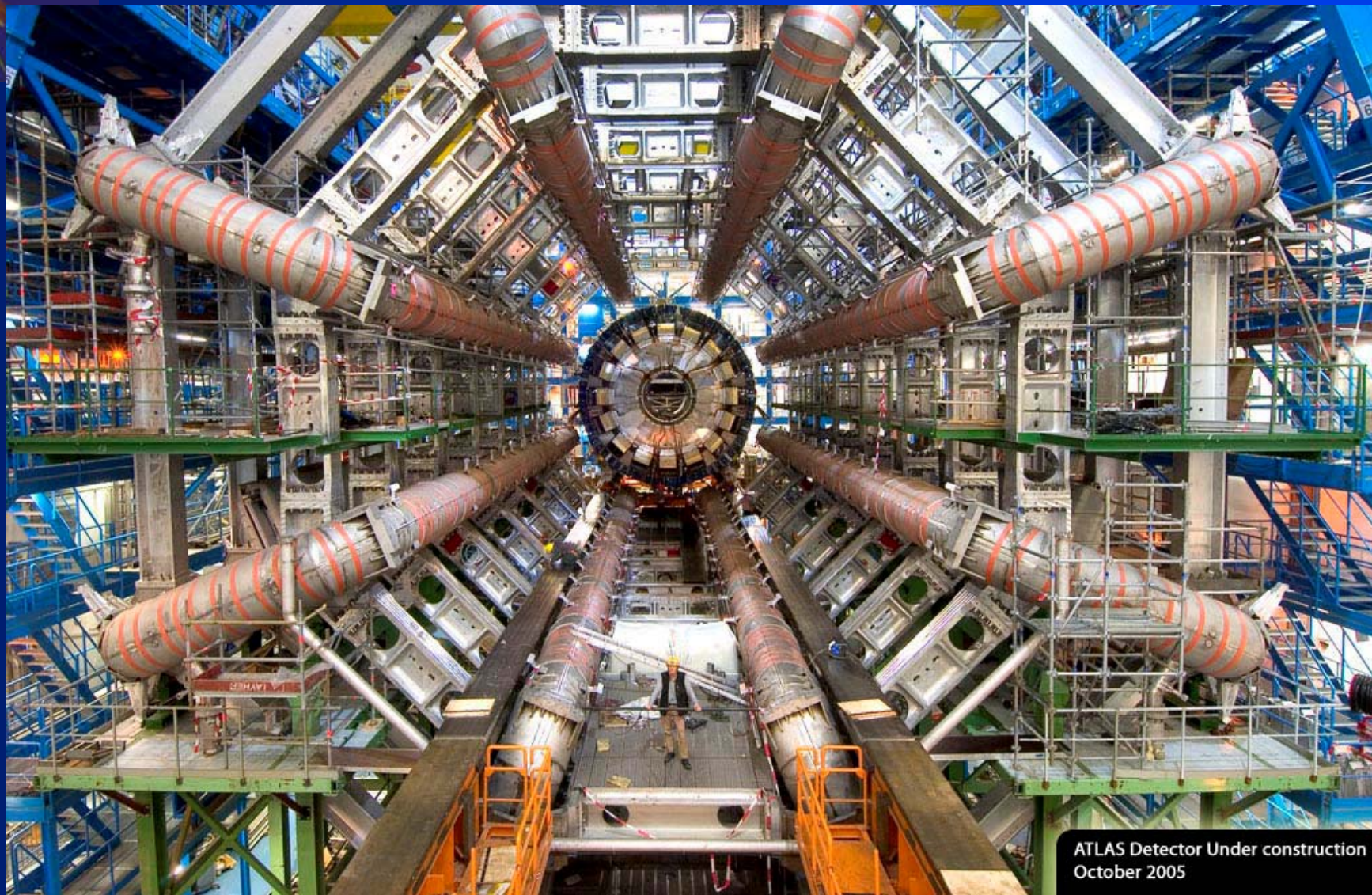
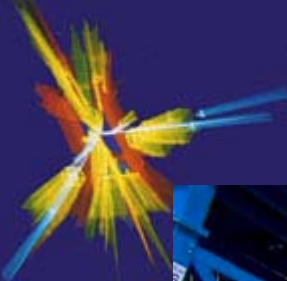
ATLAS-eksperimentet



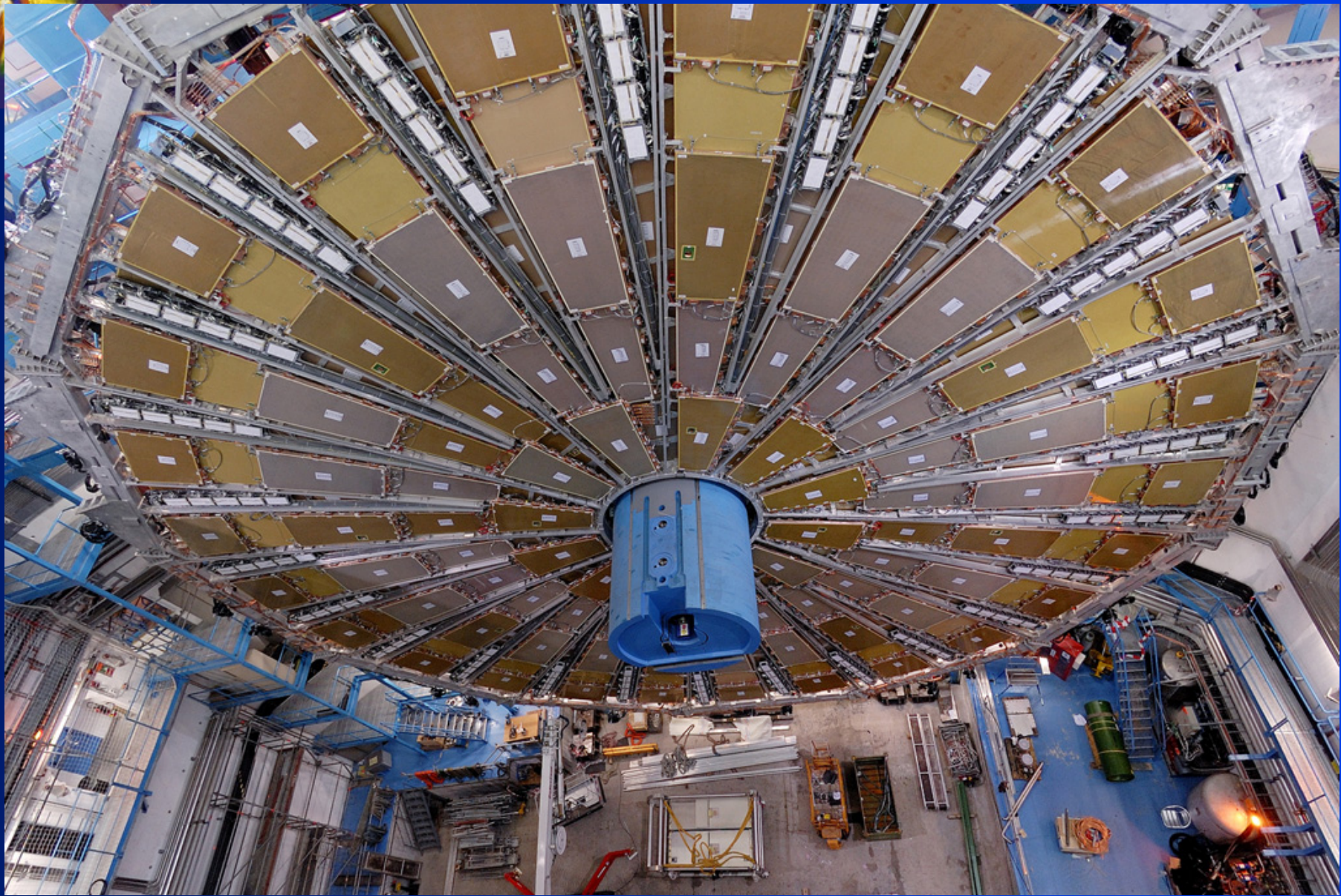
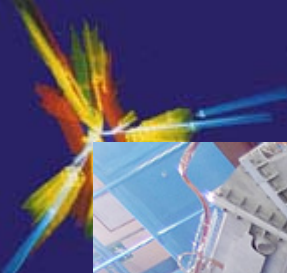


Egil Lillestøl, CERN & Univ. i Bergen,

Intro LHC, 2009

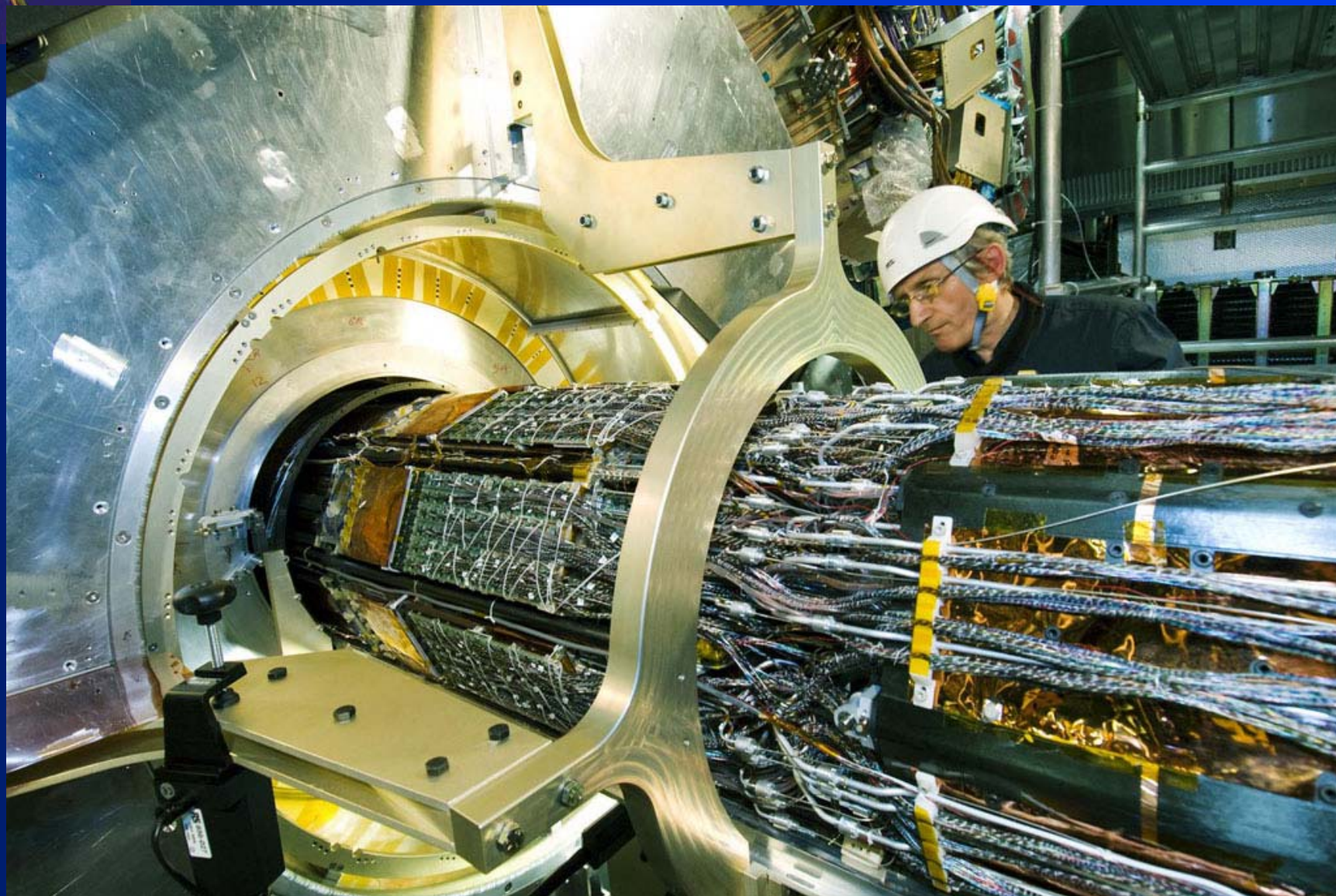
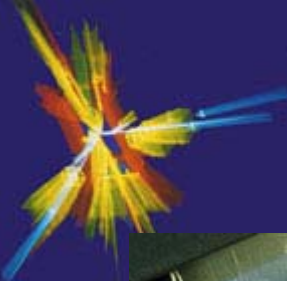


ATLAS Detector Under construction
October 2005



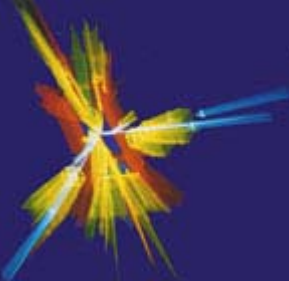
Egil Lillestøl, CERN & Univ. i Bergen,

Intro LHC, 2009



Egil Lillestøl, CERN & Univ. i Bergen,

Intro LHC, 2009



LHC (fra 2009/10)

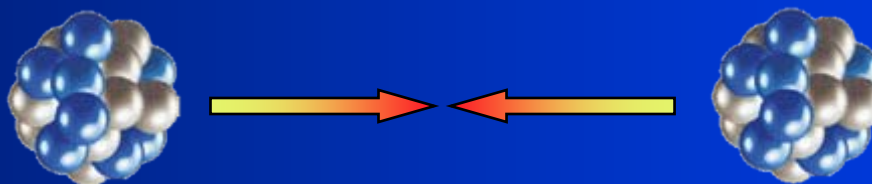
protoner

protoner

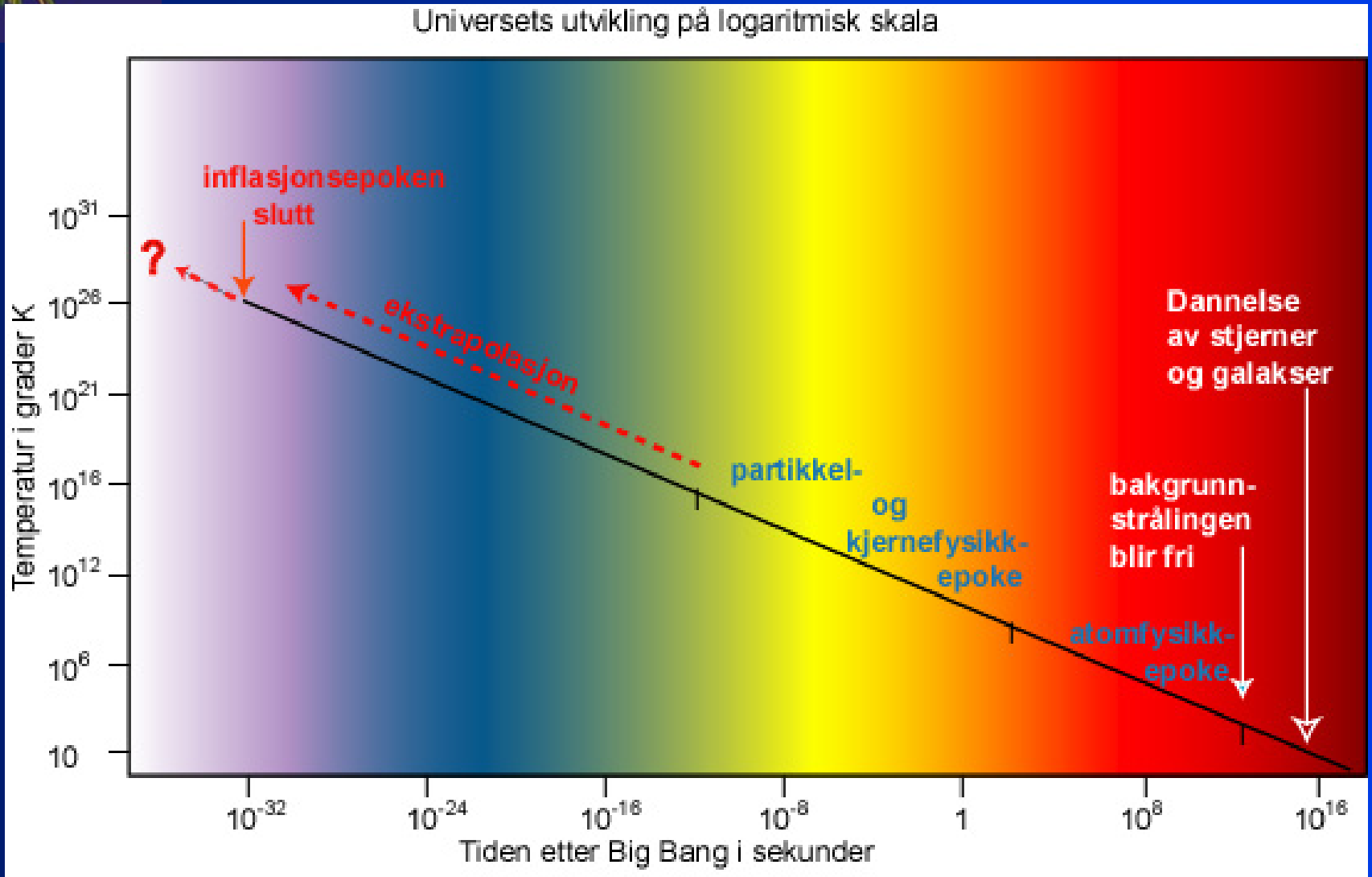


kjerner (bly)

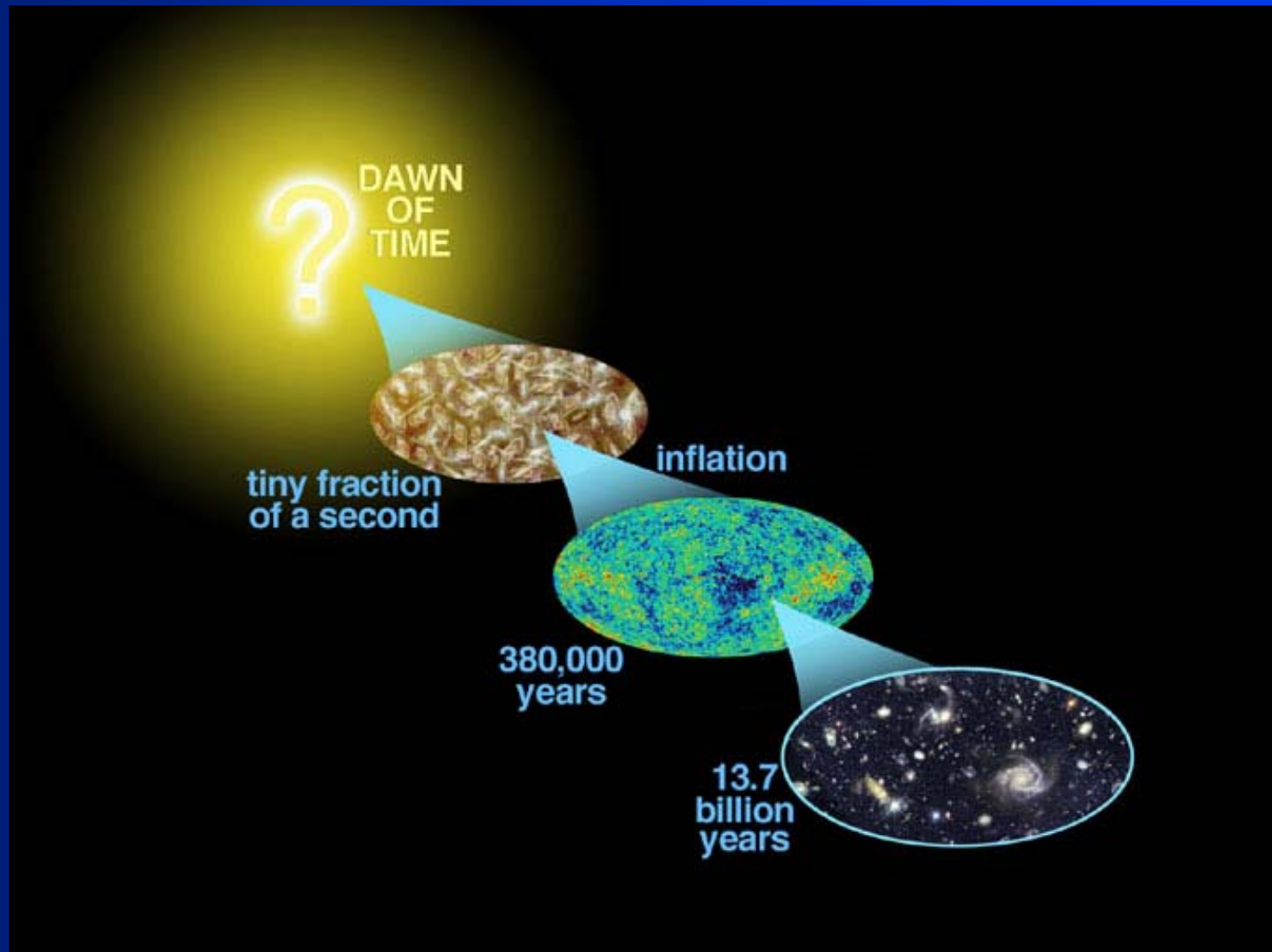
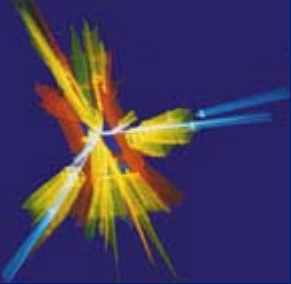
kjerner (bly)

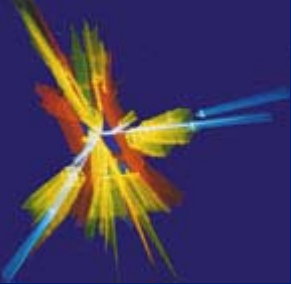


Universets utvikling (logaritmisk skala)

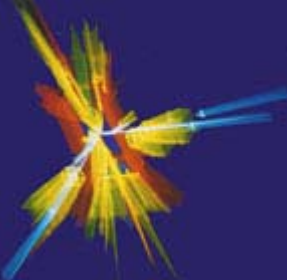


Utvikling av universets strukturer





Universets ekspansjon med Newtons mekanikk



Totalenergi = kinetisk + potensiell energi = konstant \longrightarrow

$$E_{\text{tot}} = \frac{1}{2}mv^2 - GmM/r = k \quad \text{eller}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - Gm\rho(4/3)\pi r^3/r = k \quad \text{eller}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 - Gm\rho(4/3)\pi r^2 = k \quad (\text{linj. 1})$$

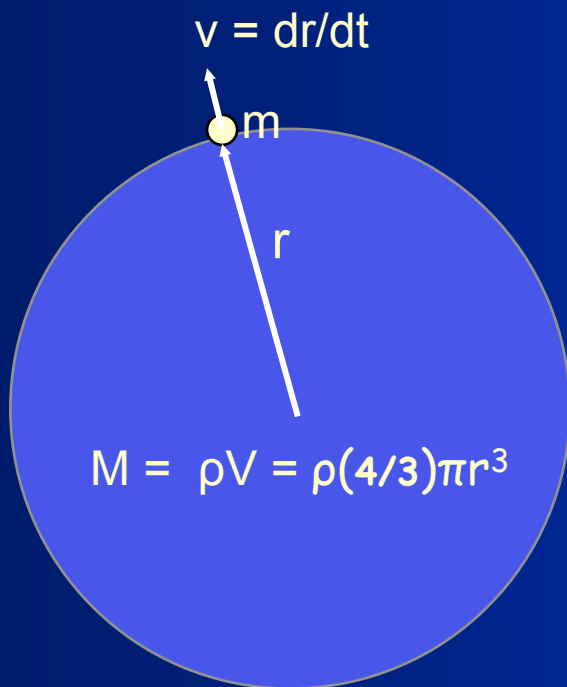
Gode grunner til å anta at $k = 0$, som ville være tilfelle om universets tetthet er lik den kritiske tettheten eller $\rho = \rho_{\text{krit}}$

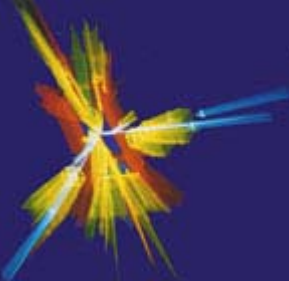
Dette gir

$$v^2 = G\rho_{\text{krit}}(8/3)\pi r^2 \quad (\text{linj. 2})$$

$$\text{eller } v = \sqrt{(G\rho_{\text{krit}}(8/3)\pi)} r$$

sml med Hubbles lov $v = Hr$, der H er Hubbles "konstant" (som kan måles)





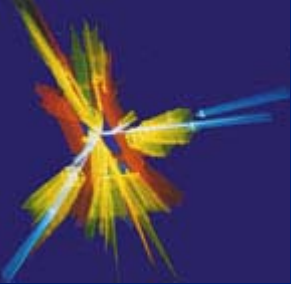
Når $k = 0$, er $\rho = \rho_{\text{krit}}$ og universets totalenergi lik null

Målinger av Hubbles konstant og universets massetetthet gir

$$0.1 < \rho/\rho_{\text{krit}} < 2.0$$

Forholdet mellom ρ og ρ_{krit} betegnes med symbolet Ω , og det kan vises at $\Omega(t) - 1$ varierer som kt^2 der t er tiden etter Big Bang.

Setter vi inn $t = 10^{-32}$, må $\Omega - 1$ ha vært tilnærmet lik 0 like etter BB. Det er derfor "naturlig" å anta at $k = 0$, og $\rho = \rho_{\text{krit}}$



Fra ligningene 1 og 2 på slide 31
kan vi lett finne dette forholdet som det ville
blitt utfra Newtons mekanikk:

$$v^2 - 2k/m = G\rho(8/3)\pi r^2$$

$$v^2 = G\rho_{\text{krit}}(8/3)\pi r^2$$

$$\Omega = \rho/\rho_{\text{krit}} = 1 - 2k/(mv^2)$$

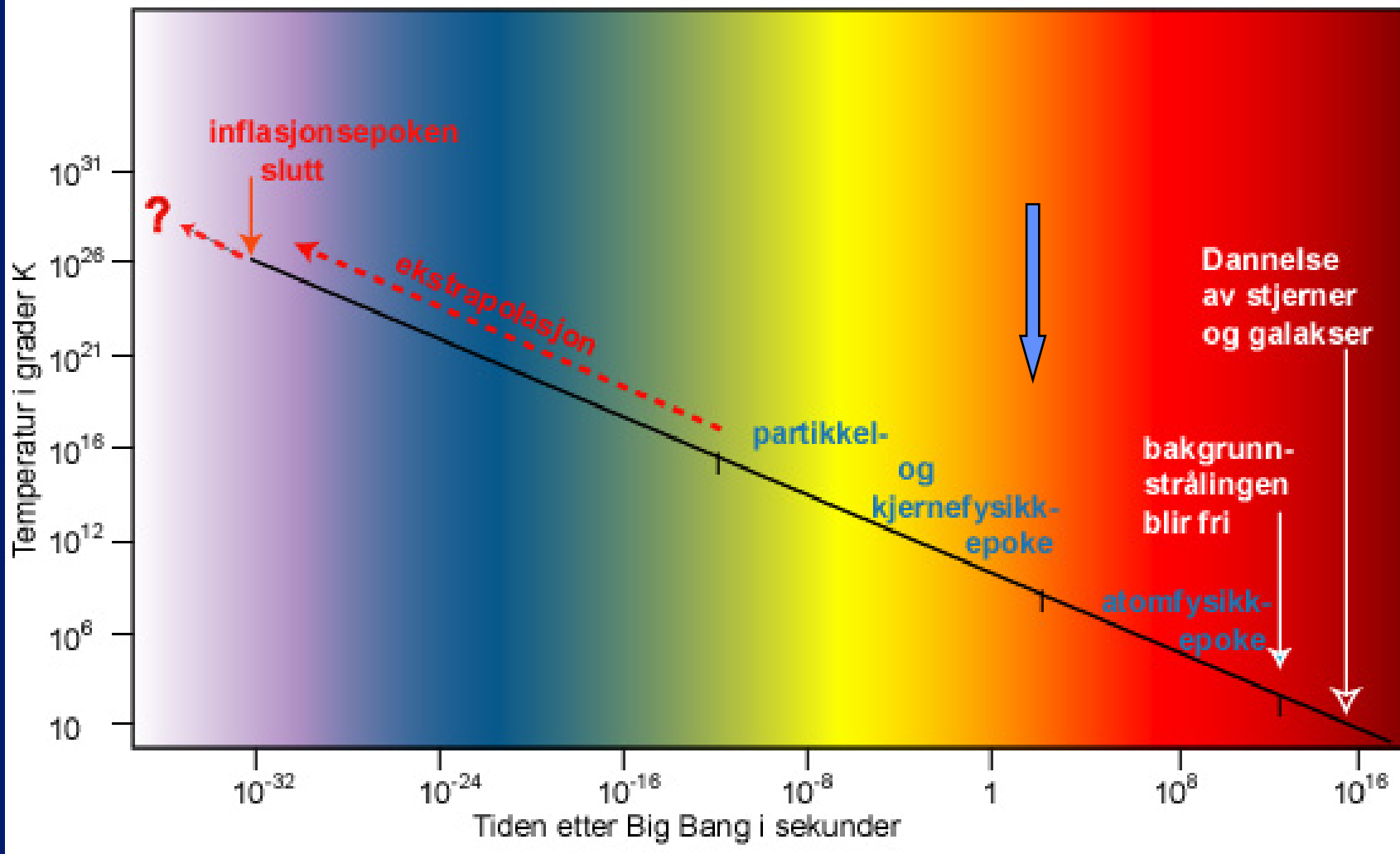
eller

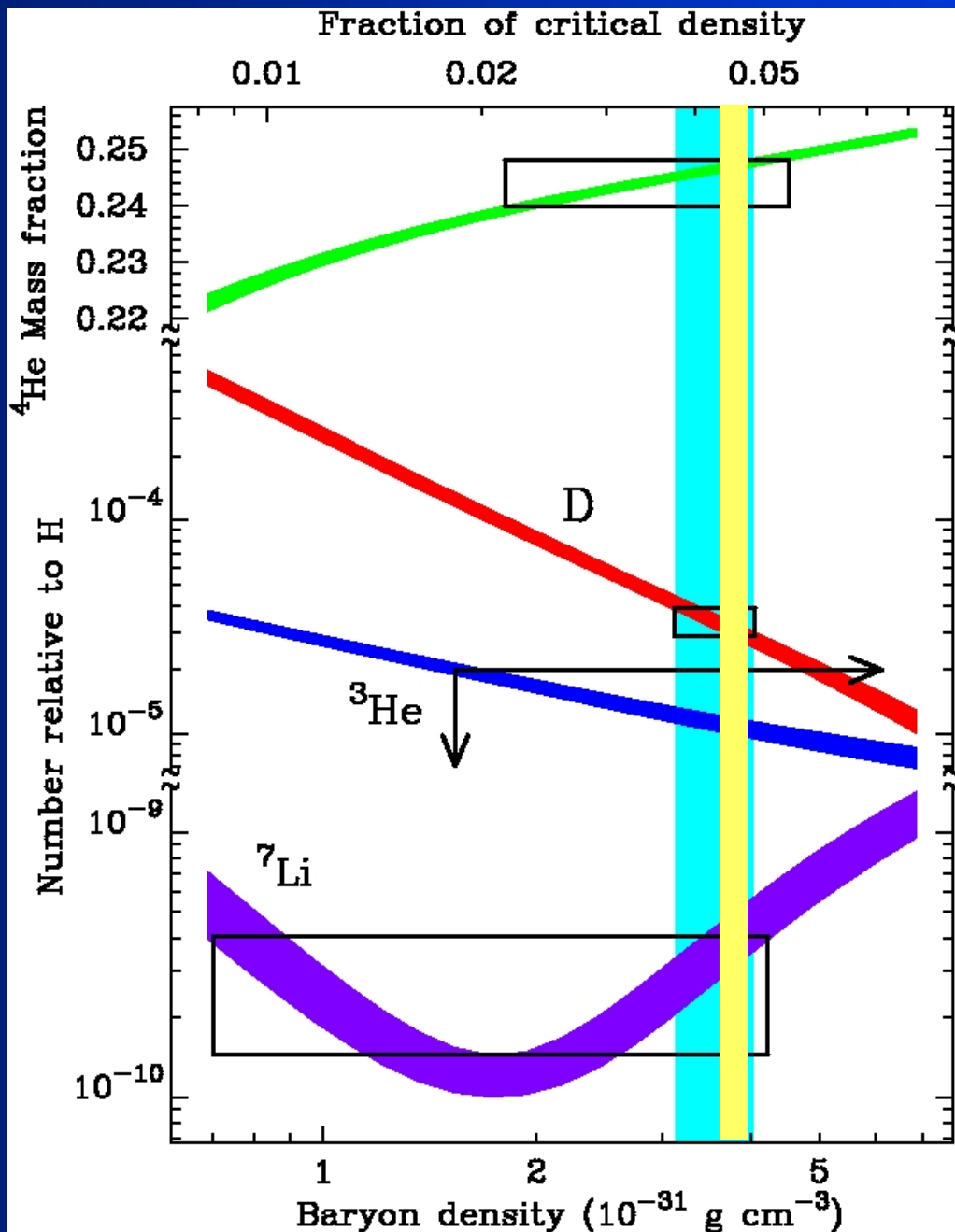
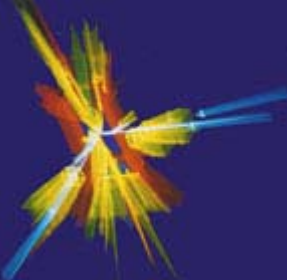
$$\Omega - 1 = - 2k/(mv^2)$$

som går mot null når v går mot uendelig
(når vi nærmer oss Big Bang)

Dannelse av hydrogen- og helium-kjerner

Universets utvikling på logaritmisk skala





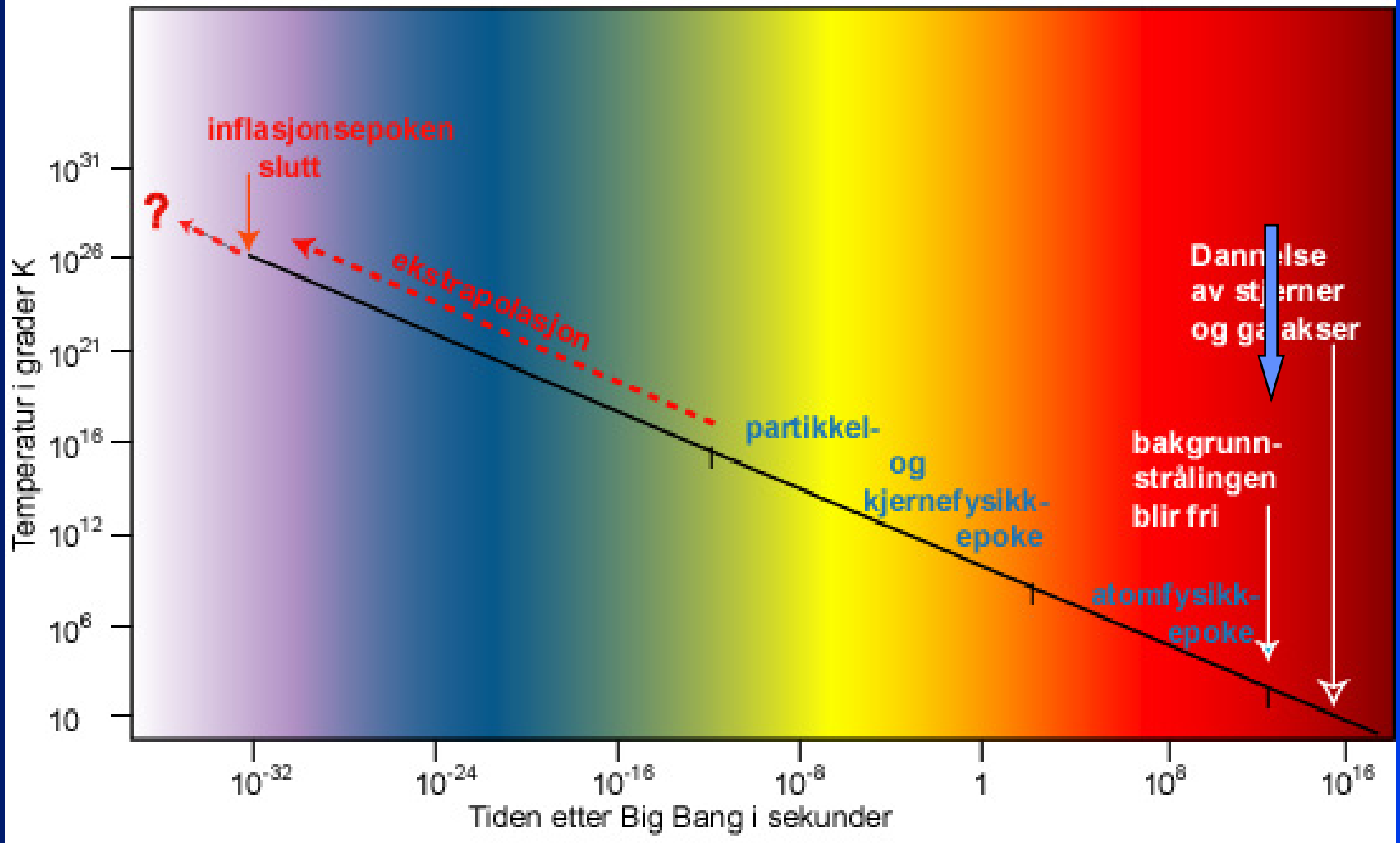
Primordial
nukleosyntese

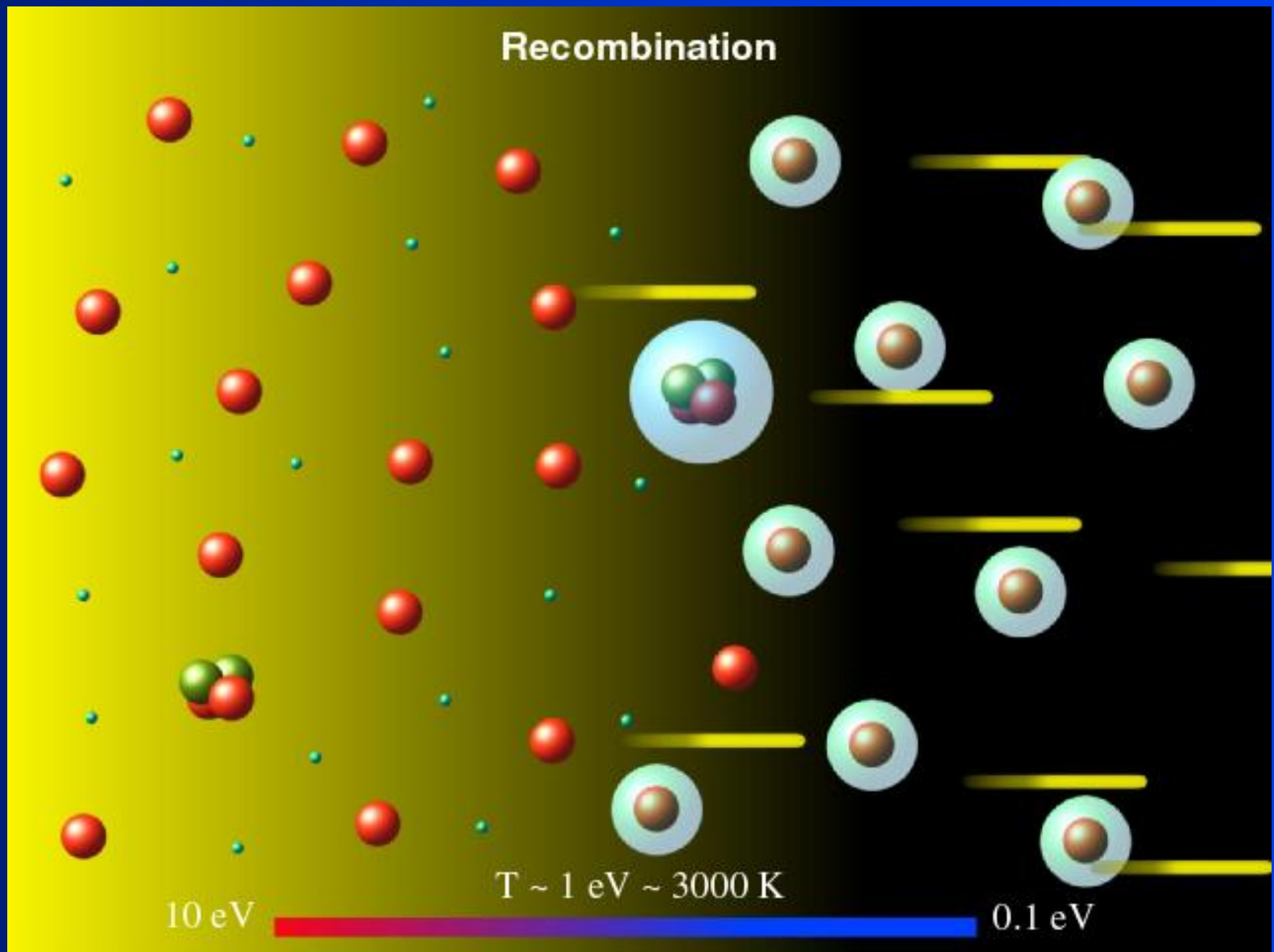
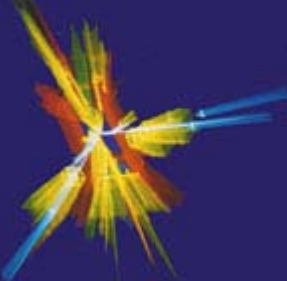
Baryontetthet:
(4.2 ± 0.6)%

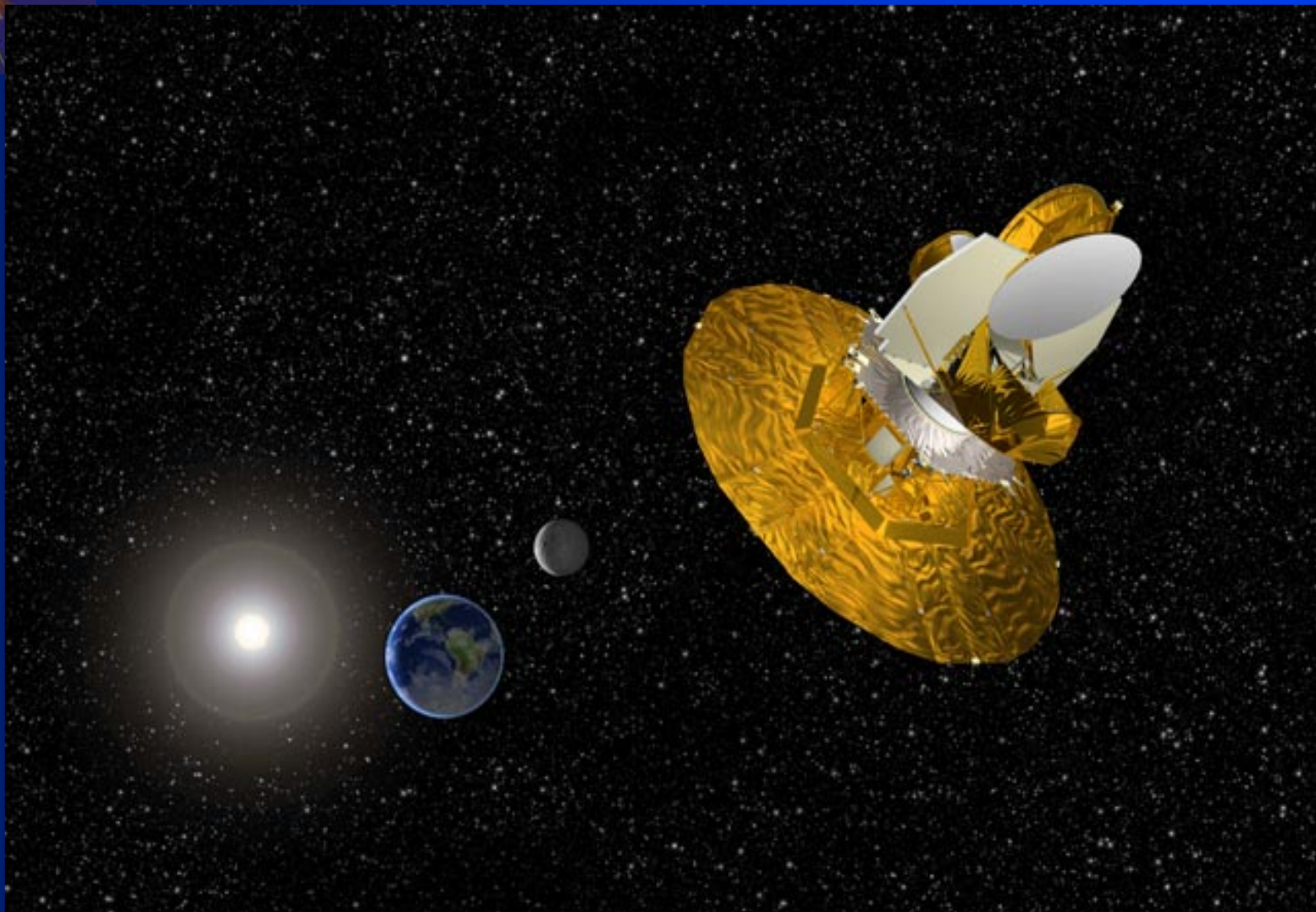
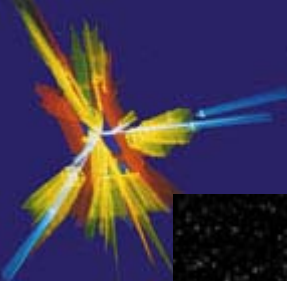
WMAP
(4.4 ± 0.4) %

Bakgrunnstrålingen blir fri

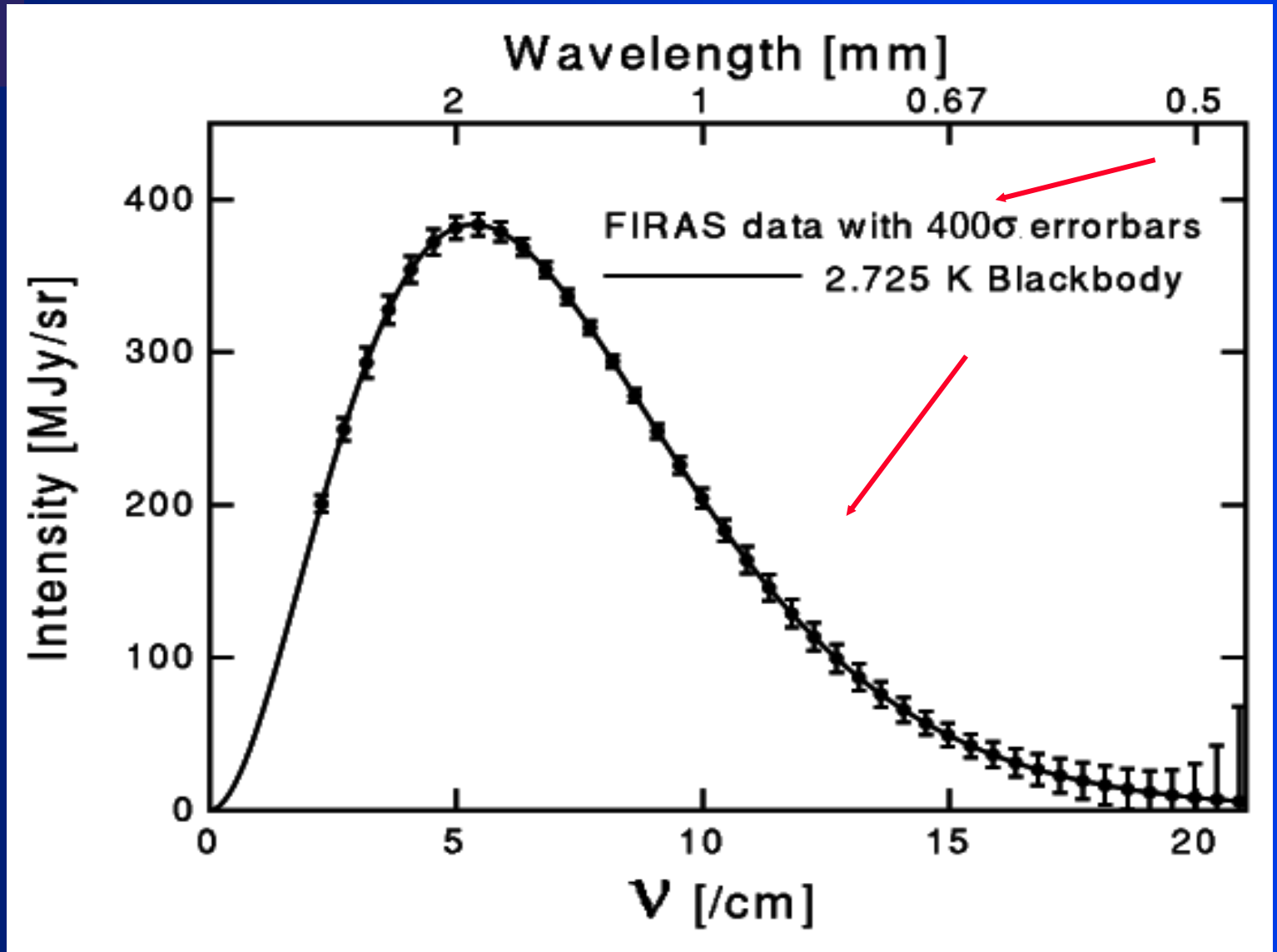
Universets utvikling på logaritmisk skala

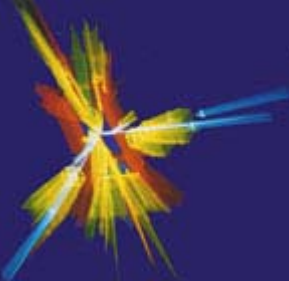






En perfekt Planck-kurve



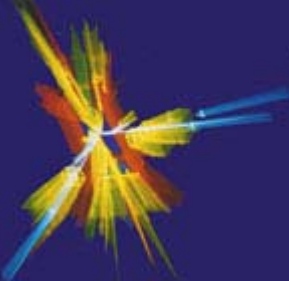


Denne perfekte tilpasningen til planck-kurven ekskluderer muligheten for at det eksisterer områder med antimaterie innenfor det synlige universet.

Dette er konsistent med Big Bang kosmologien, men representerer et interessant problem for partikkelfysikken, der man observerer at materie og antimaterie dannes i nøyaktig like mengder fra energi.

Vi tror at nøkkelen til å forklare denne asymmetrien mellom materie og antimaterie er å finne i det faktum at naturen har valgt å lage tre familier av kvarker og leptoner.

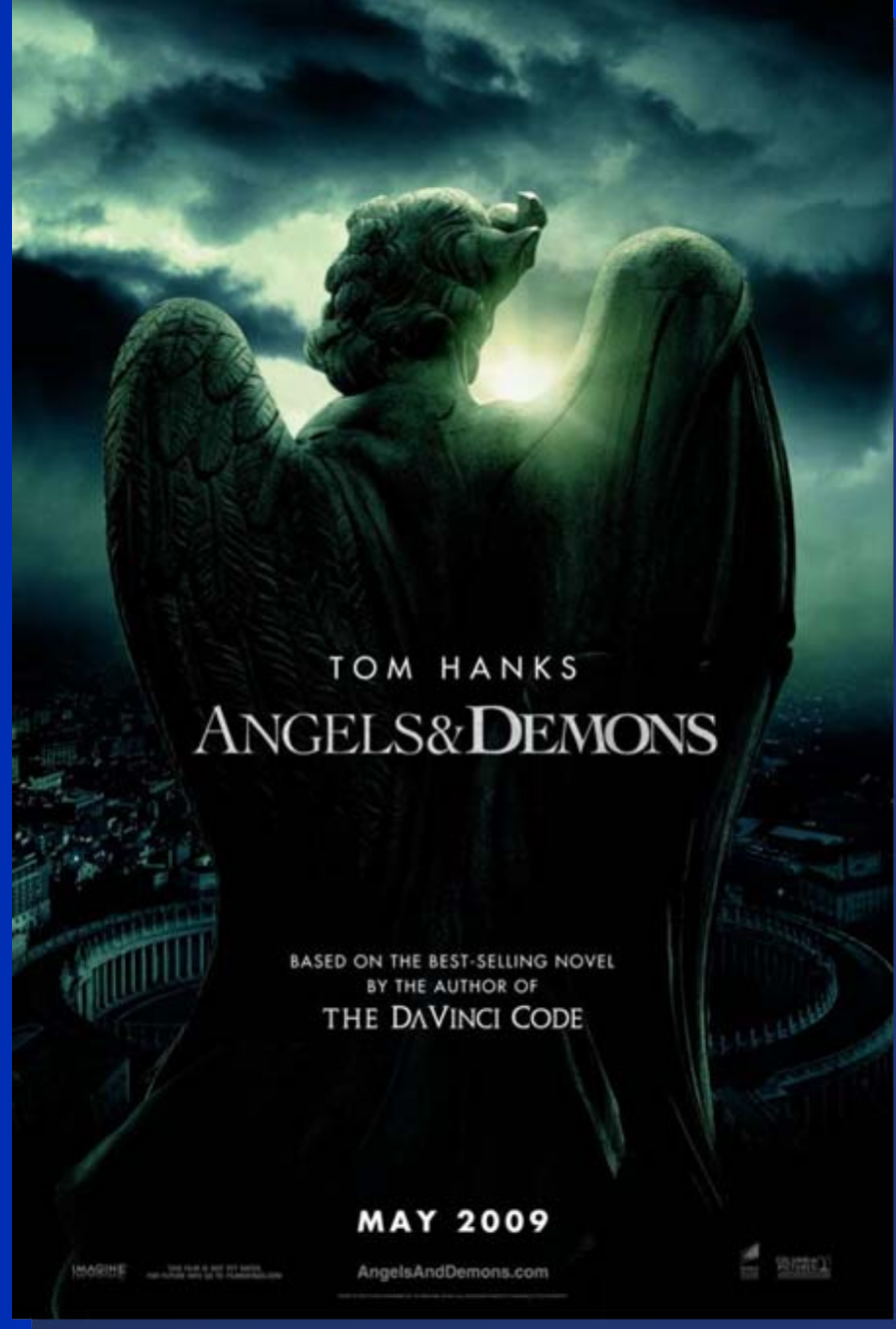
Dette problemet vil bli studert i detalj i LHC-eksperimentene.



Dan Brown og
Tom Hanks

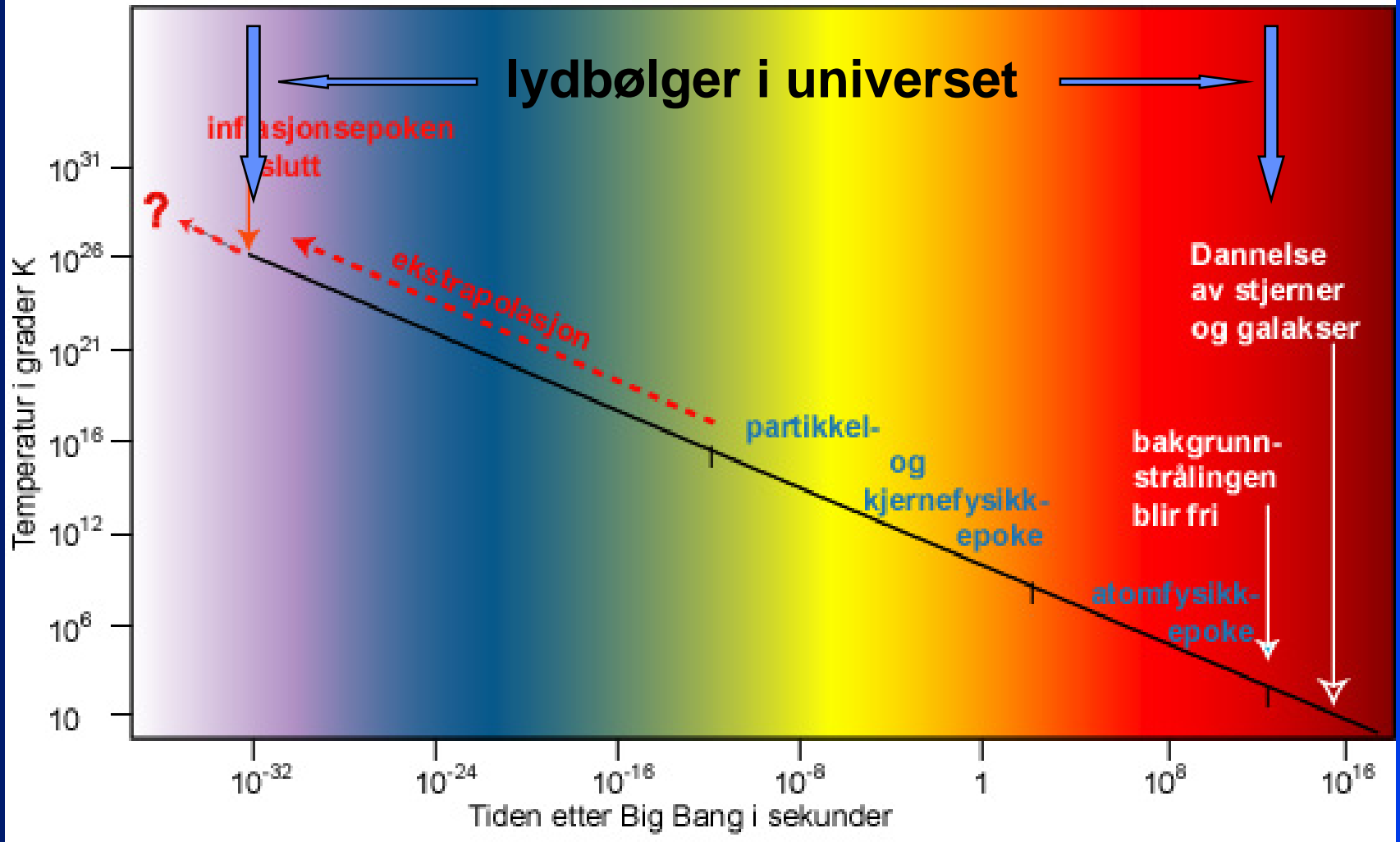
på CERN

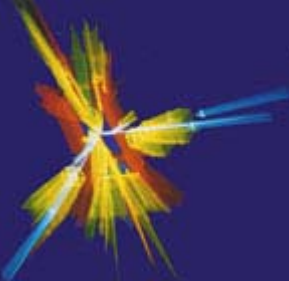
på leting etter
antimaterie



Lydbølger i universet

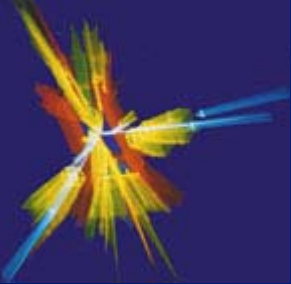
Universets utvikling på logaritmisk skala





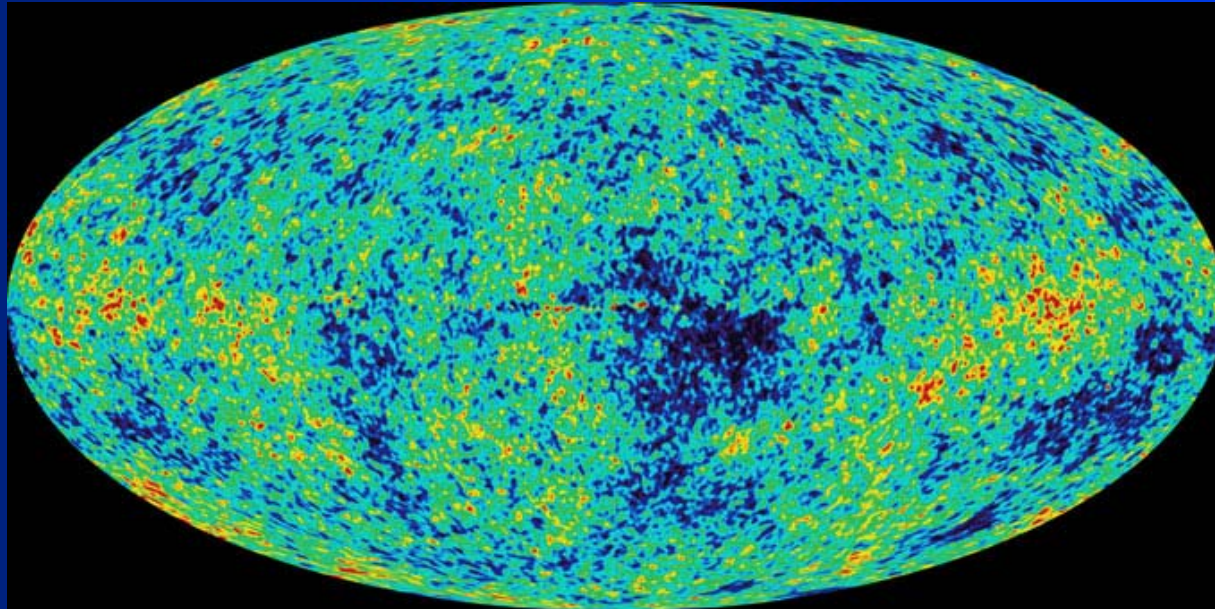
Detaljer i den kosmiske
mikrobølge bakgrunnstrålingen (CMB),
et ekko fra Big Bang,
fra tiden 380 000 år etter universets fødsel

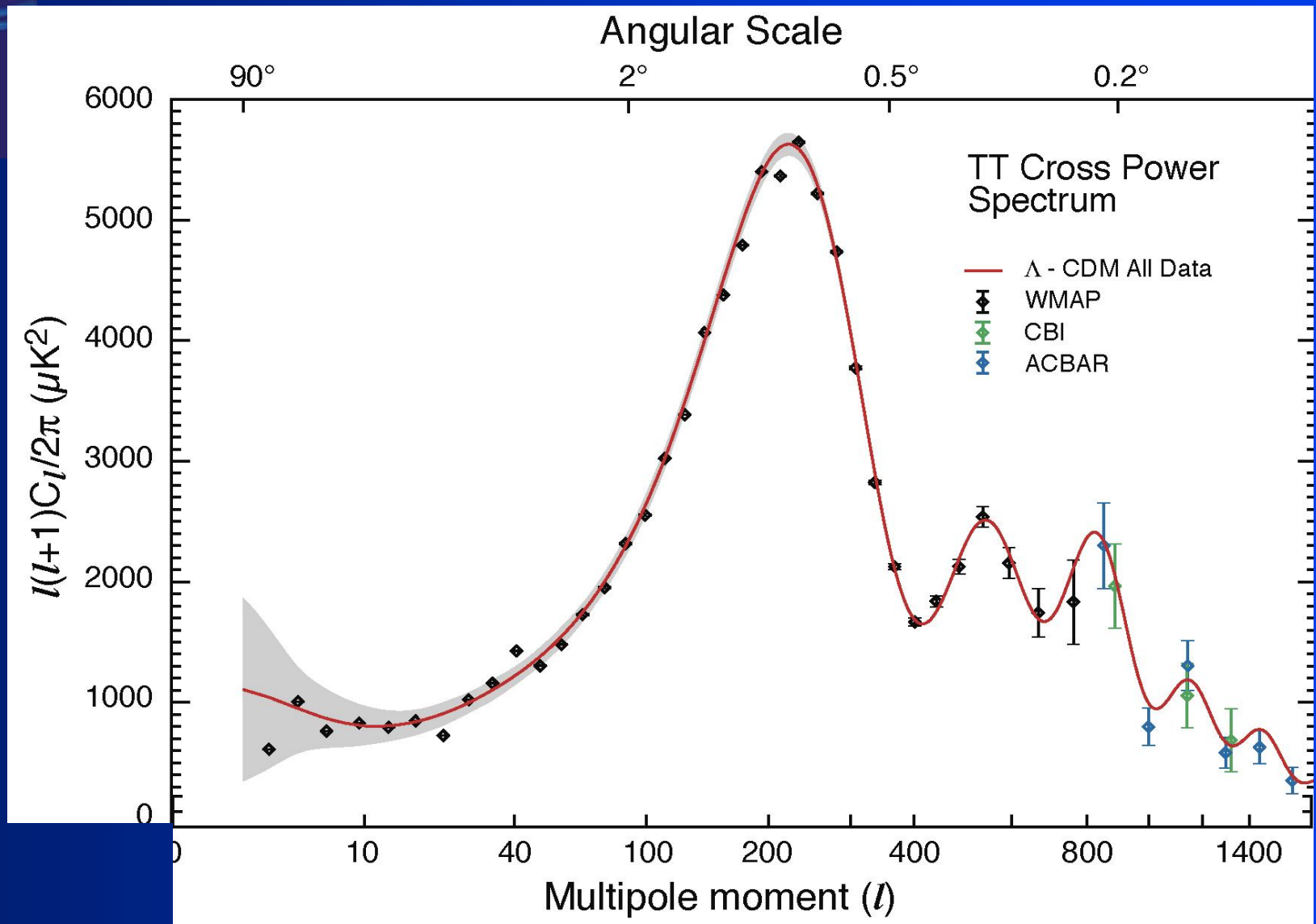
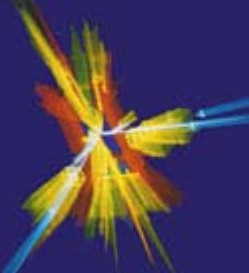
Wilkinson Microwave Anisotropy Probe
WMAP (2009)

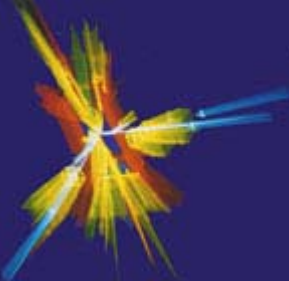


“Ekkoet” etter Big Bang
kan observeres i CMB

WMAP 2009:

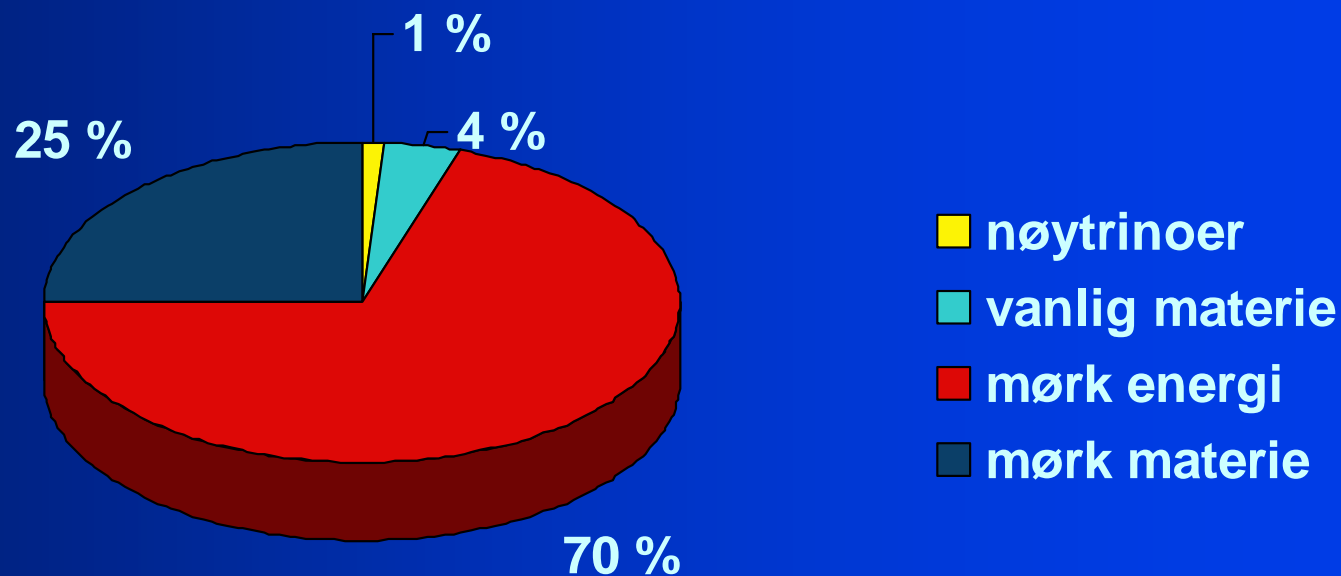


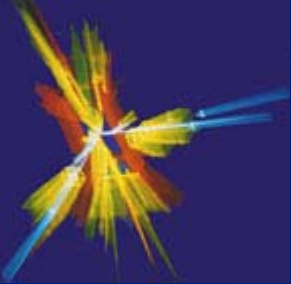




Universets energi-innhold

husk at energi og materie er to sider av samme sak:
($E = mc^2$)

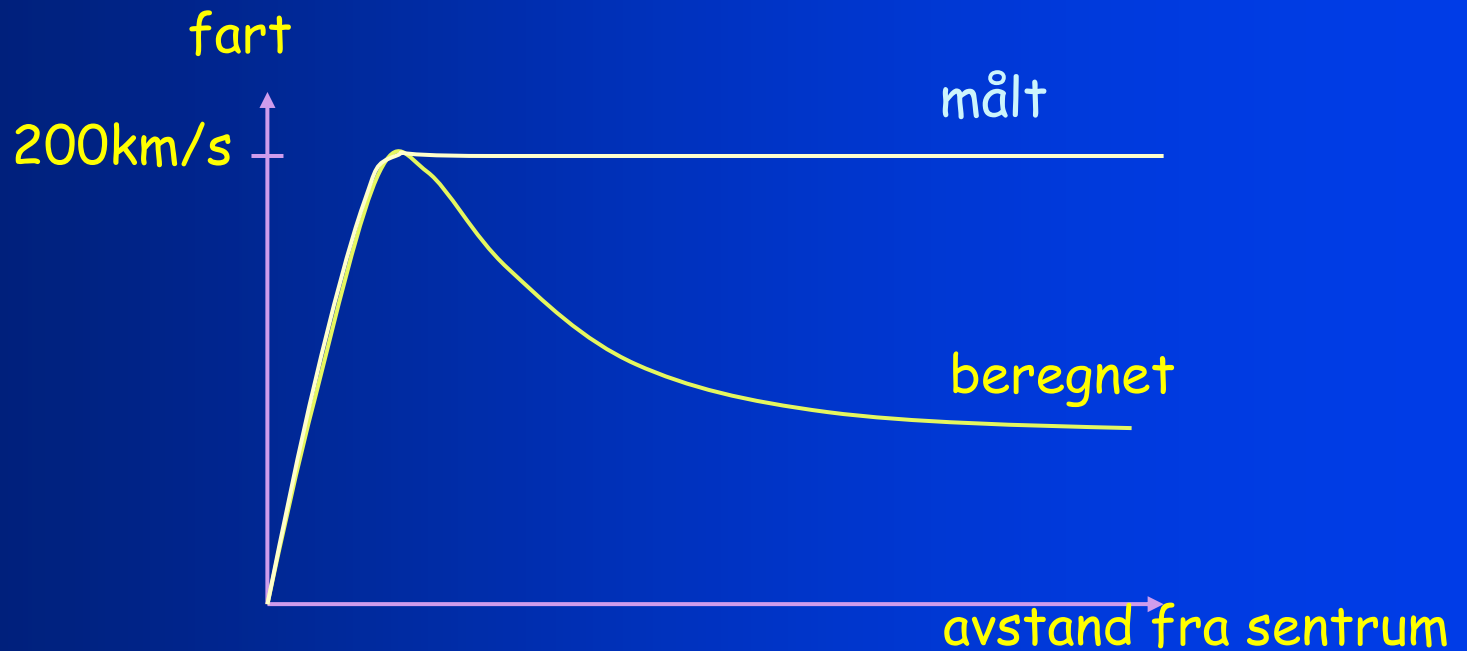


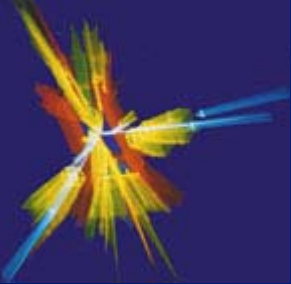


$$F = ma:$$

$$\frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \frac{\text{konst}}{\sqrt{r}}$$





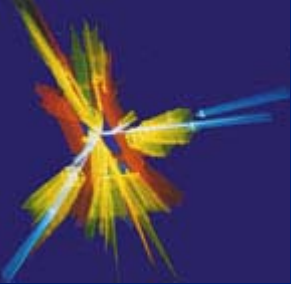
Store mengder usynlig (mørk) materie

Kan IKKE være vanlig materie :

- vekselvirker ikke med lys
- vekselvirker ikke med vanlig materie
- samler seg rundt galakser
og i galaksehoper (gravitasjonsvirkning).

Hva er dette ???

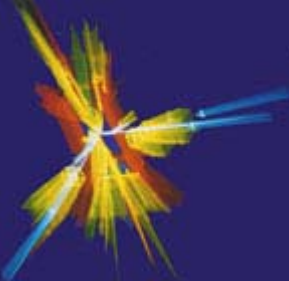
Men den mørke materien er nødvendig for å kunne forklare dannelsen av store strukturer



Alt vi har observert i partikkelfysikkes eksperimenter på CERN og andre laboratorier verden over, kan forklares i minste detalj ved hjelp av en enhetlig teori/modell:
kalt **Partikkelfysikkens standardmodell**

Men partikkelfysikken har også et mørk materie problem:

modellen krever at det finnes et helt sett av fundamentale partikler, såkalte supersymmetriske partikler, som aldri er påvist i noe eksperiment.



Supersymmetriske partikler:

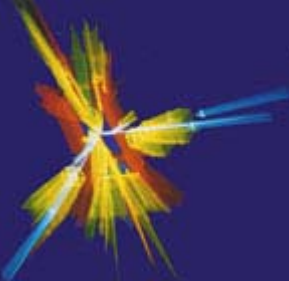
Produsert sammen med “vanlige” partikler i Big Bang

Må være tunge - og den letteste stabil

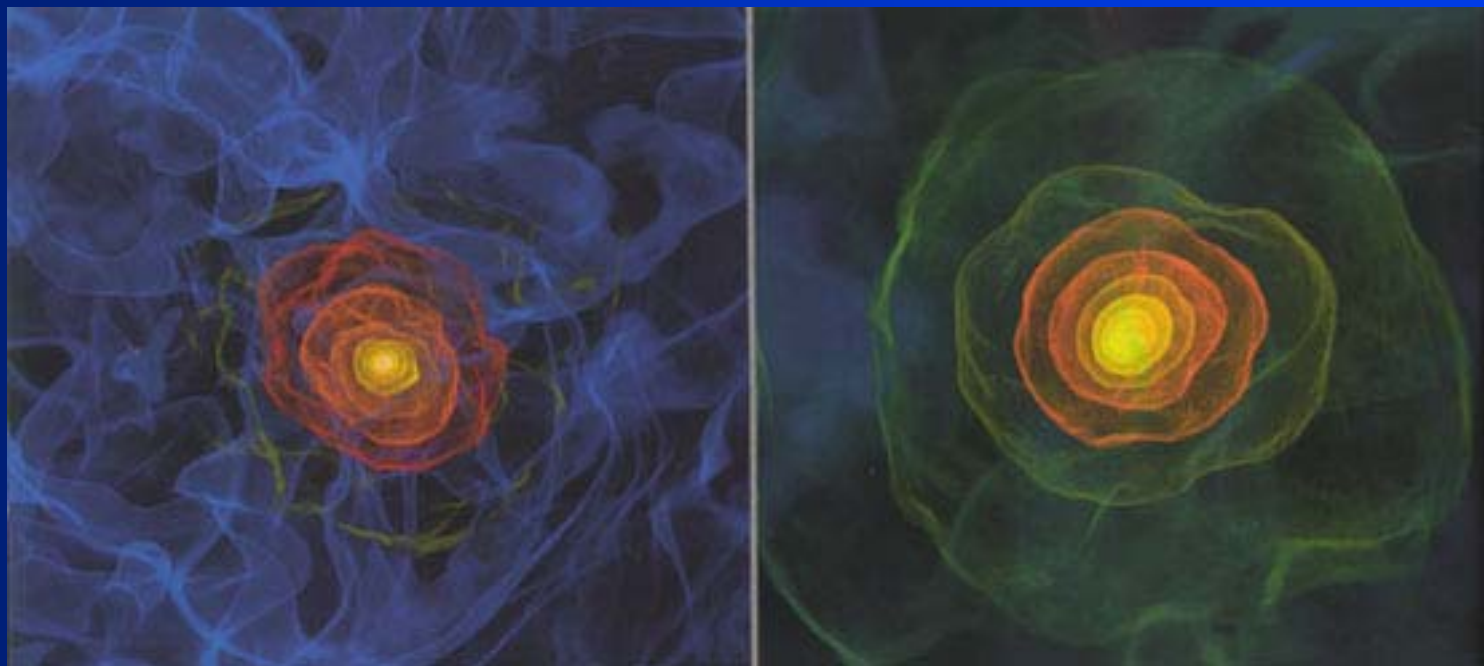
Vekselvirker nesten ikke med vanlig materie,
eller med seg selv bortsett fra gravitasjonsvirkningen

Vekselvirker ikke med lys

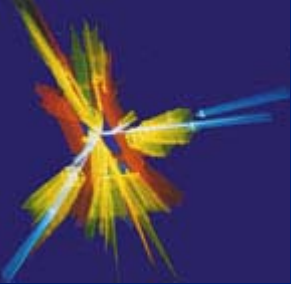
Vil kunne påvises i LHC-eksperimentene på CERN

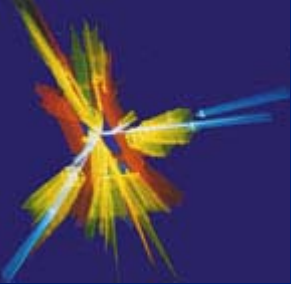


Vel 100 millioner år etter Big Bang
de første stjernene (gigantstjerner)



Spiralgalakser, $t = 1000\ 000\ 000\ \text{år}$





Vil LHC-eksperimentene føre til en fullstendig beskrivelse av det materielle univers, fra de minste elementærpartiklene til de største strukturene i universet og hele utviklingen fra Big Bang og til i dag ?