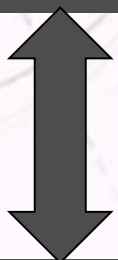


# UT I VERDENSROMMET!

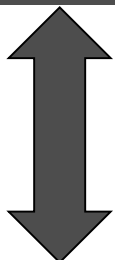
- Mørk materie
- Universets ekspansjon
- Mørk energi

# The Big Bang and its particles

**Kosmologi**



**Astropartikkelfysikk**



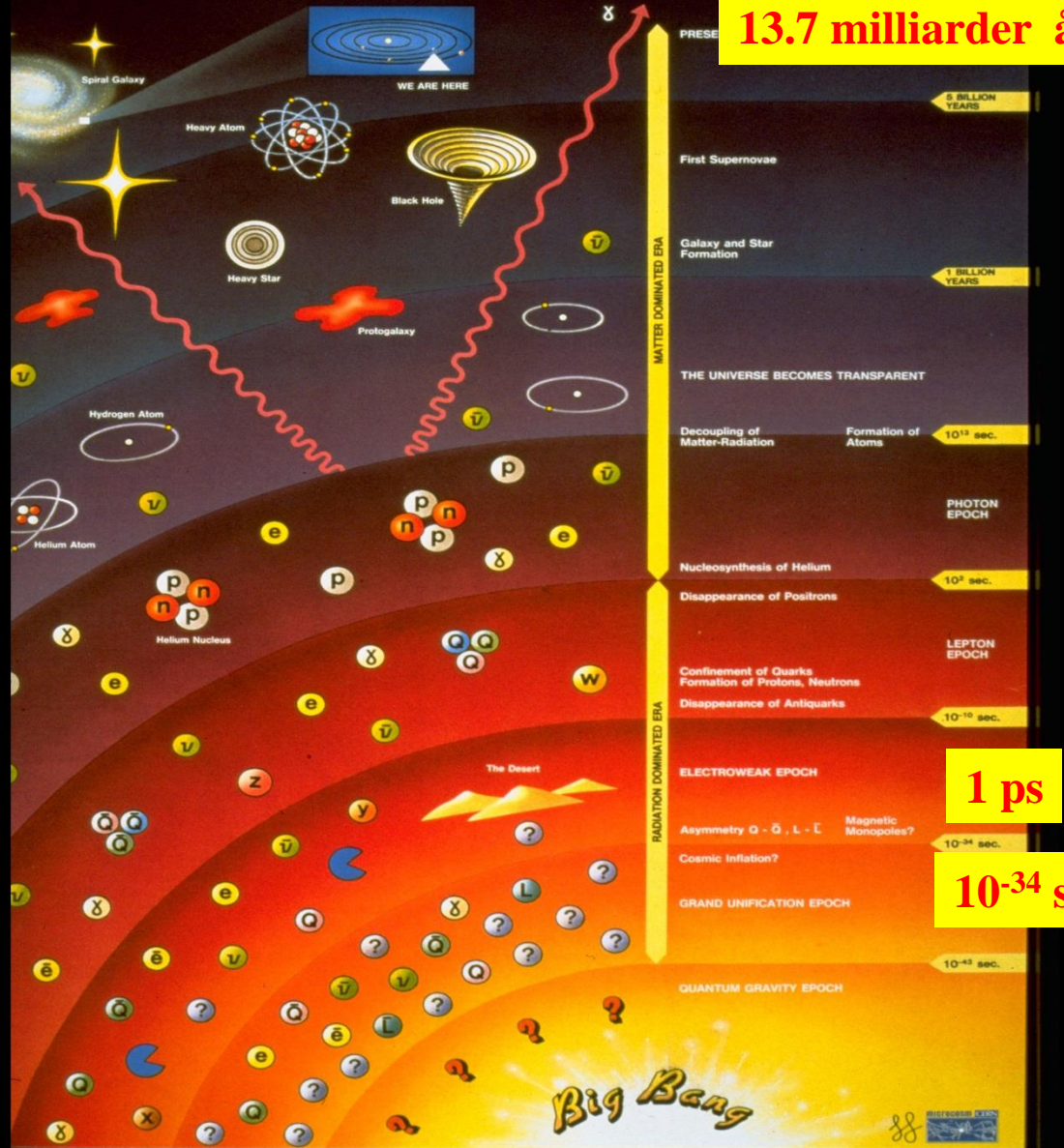
**Partikkelfysikk**

Hvilke partikler? →

Big Bang →

# History of the Universe

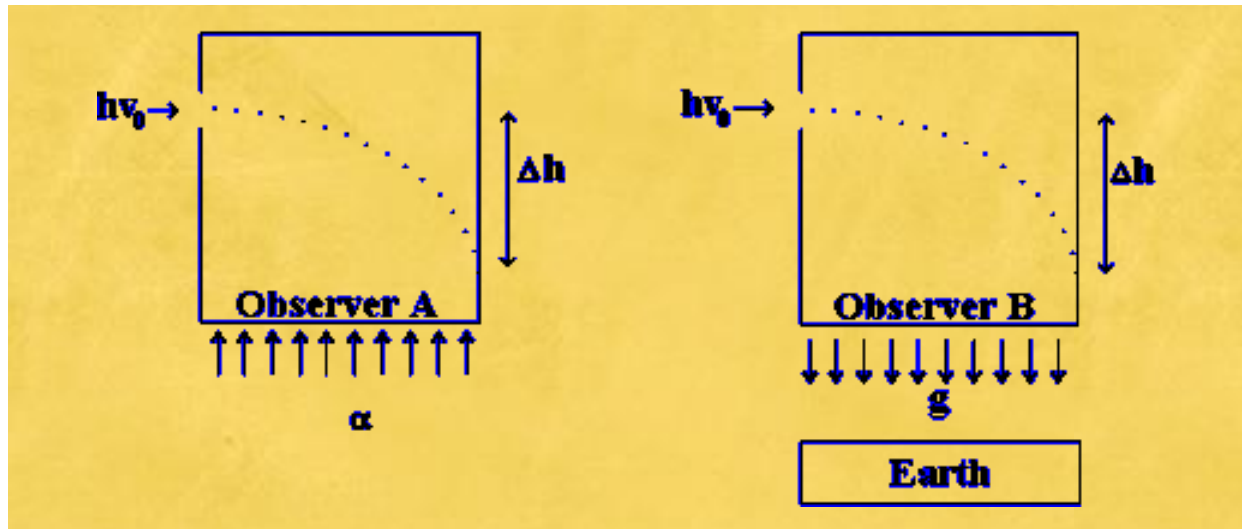
13.7 milliarder år



1 ps

$10^{-34}$  s



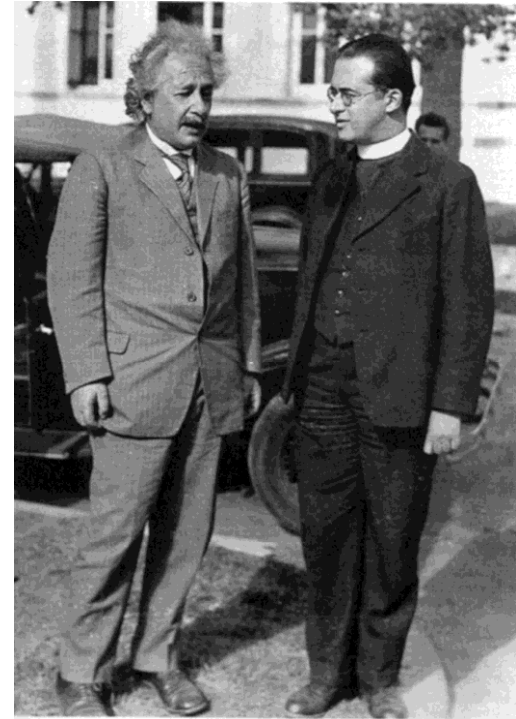
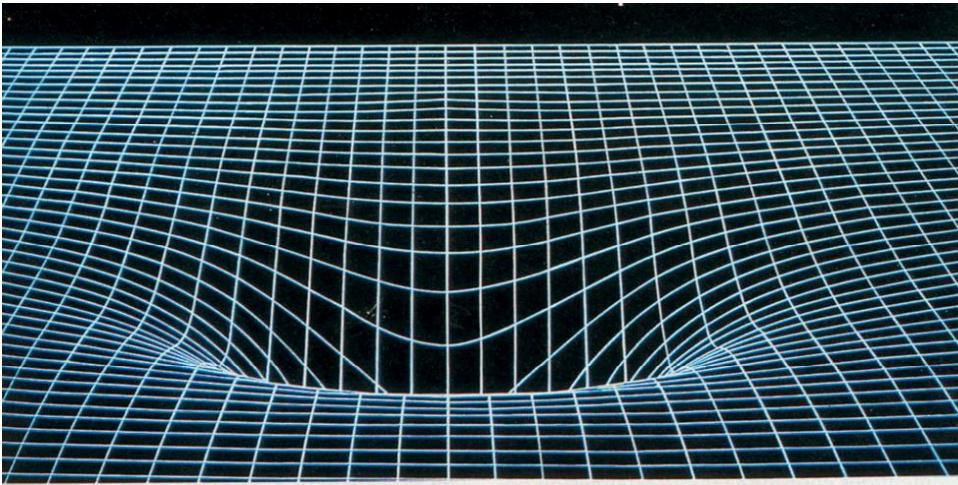


Einsteins ekvivalensprinsipp



Rommet krummes  
av massen som befinner seg i det.

”Anomalier” i Merkur’s bane  
Avbøying av lys rundt f.eks sola



# Mørk materie



Definisjon: Materie som nesten ? bare føler gravitasjonskraften. Ingen spor i form av synlig stråling

Galaktiske rotasjonskurver viser at

$$\frac{mv^2}{r} \neq \frac{GM}{r^2}$$

Må enten modifisere Newtons gravitasjon eller innføre mørk materie i galaksenes ytterområder

# Rotasjonshastighet som funksjon av avstand til galaksens sentrum.

A:uten mørk materie

B:Observasjon



Fritz Zwicky, 1933

Andre bevis: Gravitasjonslinser



Det fins materie i universet som påvirkes av gravitasjonskrefter, men som vi ikke kan identifisere som vanlig materie.

”ikke-barionsk” materie

- 84,5% av *massen* i universet består av denne mørke materien
- Men det er mer enn masse i universet....



# Dopplereffekt (rød/blå-forskyvning)



$$\frac{\lambda_{\text{mottatt}} - \lambda_{\text{utsendt}}}{\lambda_{\text{utsendt}}}$$

(for “små” hastigheter)

# Hubbles lov: $v = H_0 d$

Objektene i universet fjerner seg fra oss med en hastighet som er proporsjonal med avstanden.

Proporsjonalitets"konstant":

$$H_0 = (71 \pm 3) \text{ km/s/Mpc}$$

(1 pc = 3,26 lysår)

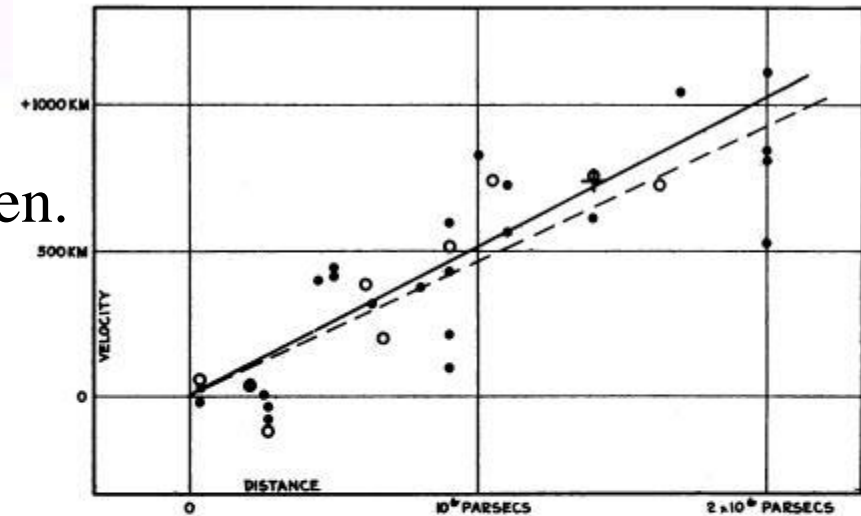


FIGURE 1

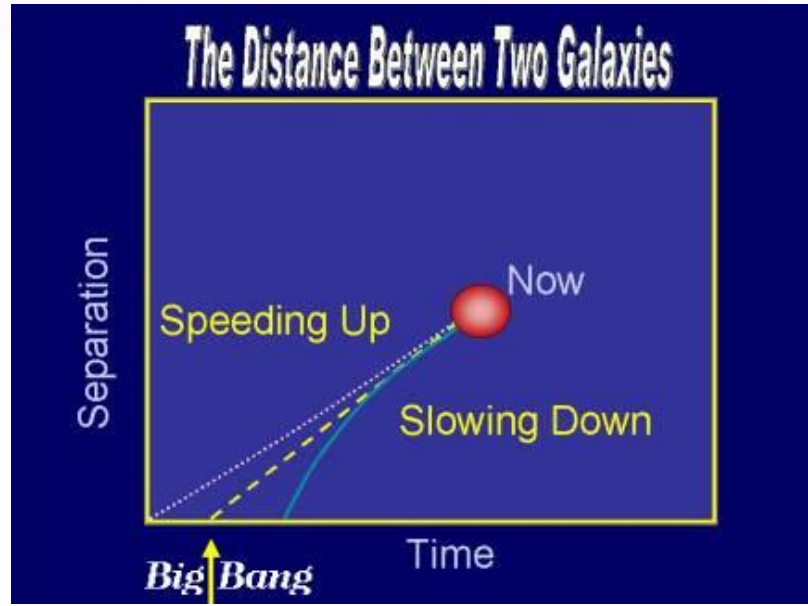
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Radial velocities, corrected for solar motion, are plotted against distances estimated from involved stars and mean luminosities of nebulae in a cluster. The black discs and full line represent the solution for solar motion using the nebulae individually; the circles and broken line represent the solution combining the nebulae into groups; the cross represents the mean velocity corresponding to the mean distance of 22 nebulae whose distances could not be estimated individually.

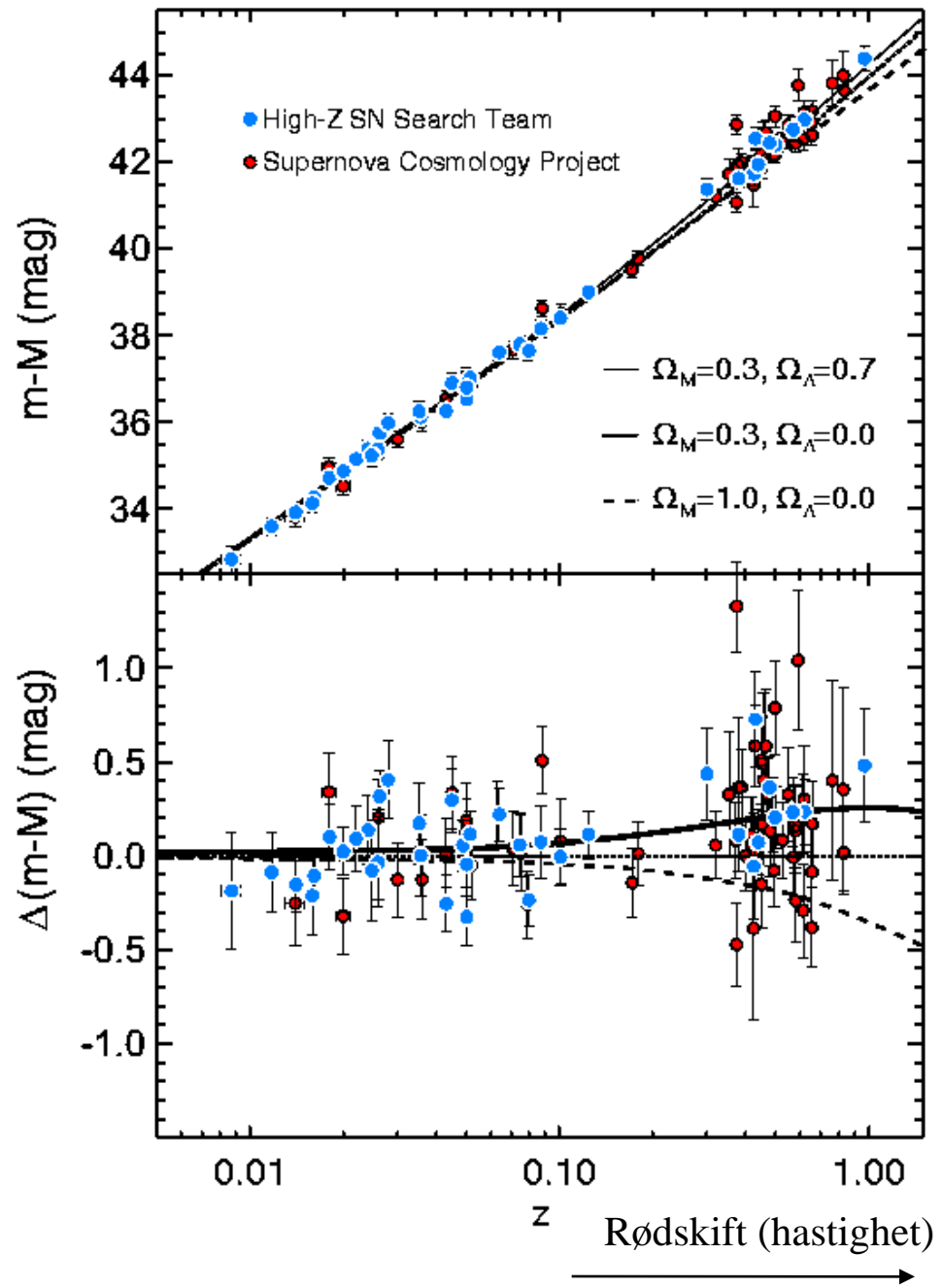
# Supernovaer og avstand

- Supernova-ekspløsjoner er en godt kjent del av en stjernes livssyklus → godt kjent og *høy* lys-intensitet,  $L$ .
  - Kan se fjerne supernovaer p.g.a. intensiteten
- Avstand,  $r$ , gitt fra  $I = kL/r^2$

$m$  = størrelsesklasse  
 Høy  $m$  betyr svakt lys  
 (som betyr stor avstand)



Det fins nå noen observasjoner med  $z$  godt over 1 (v.h.a. Hubble space telescope)





Men Hubble's konstant var slett ikke konstant gjennom universets historie. For rødsift som nærmer seg 1 skal man se avvik fra dagens verdi

$$H_0 \left[ \frac{1}{1+z} + \frac{1}{2} \Omega_m (1+z)^{-2} + \Omega_\Lambda (1+z)^{-3} \right]$$

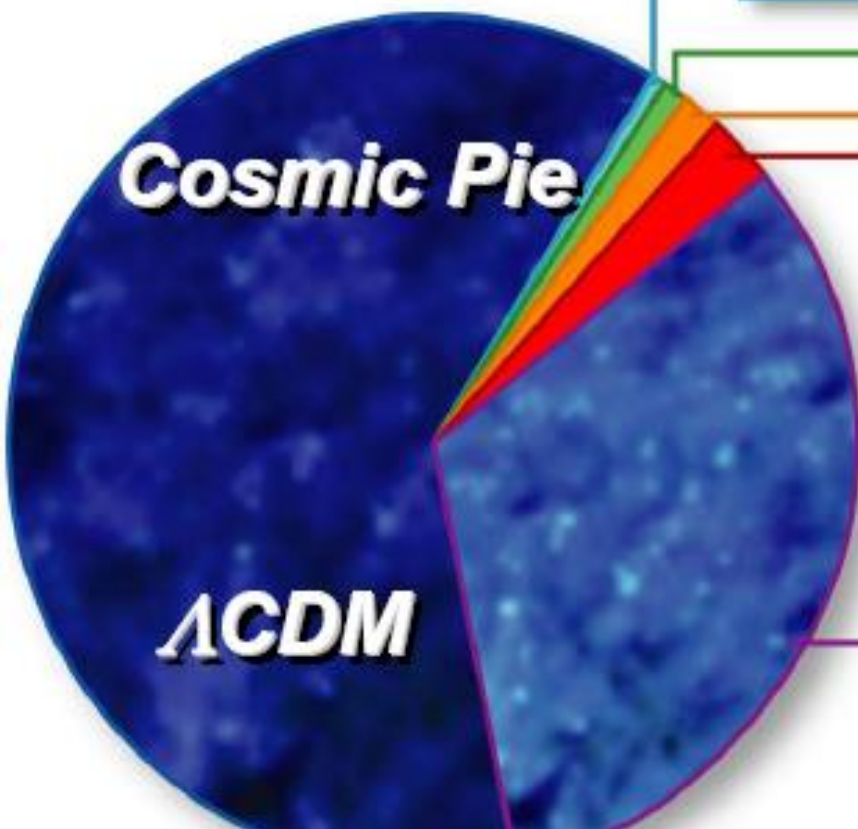
$\Omega$ -ene beskriver massen og energien i universet  
(summerer seg til ca. 1)

# Hva betyr det at universet ekspanderer?

- En **geometrisk** effekt i Einsteins generelle relativitetsteori, der selve skalaen ekspanderer i alle punkter
- Galakser etc. er rosiner i en bolledeig under heving!
- Tilstedeværelse og temperatur fra kosmisk mikrobølgespekter underbygger Big Bang teori

$$\Omega_i \equiv \rho_i / \rho_{\text{CRITICAL}}$$

$$\Omega_{\text{TOTAL}} = 1$$



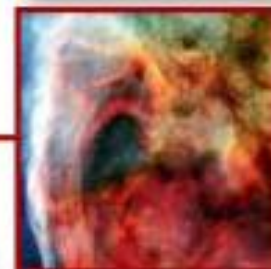
**Heavy Elements:**  
 $\Omega=0.0003$



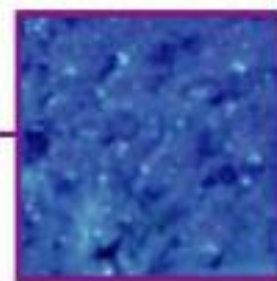
**Neutrinos ( $\nu$ ):**  
 $\Omega=0.0047$



**Stars:**  
 $\Omega=0.005$



**Free H  
& He:**  
 $\Omega=0.04$



**Cold Dark Matter:**  
 $\Omega=0.25$



**Dark Energy ( $\Lambda$ ):**  
 $\Omega=0.70$

Modell, 'Cold Dark Matter,  
og kosmologisk konstant'

# 100 år med sort stråling

- Alle legemer avgir et strålespekter som bare avhenger av temperatur
- Plancks strålingslov:

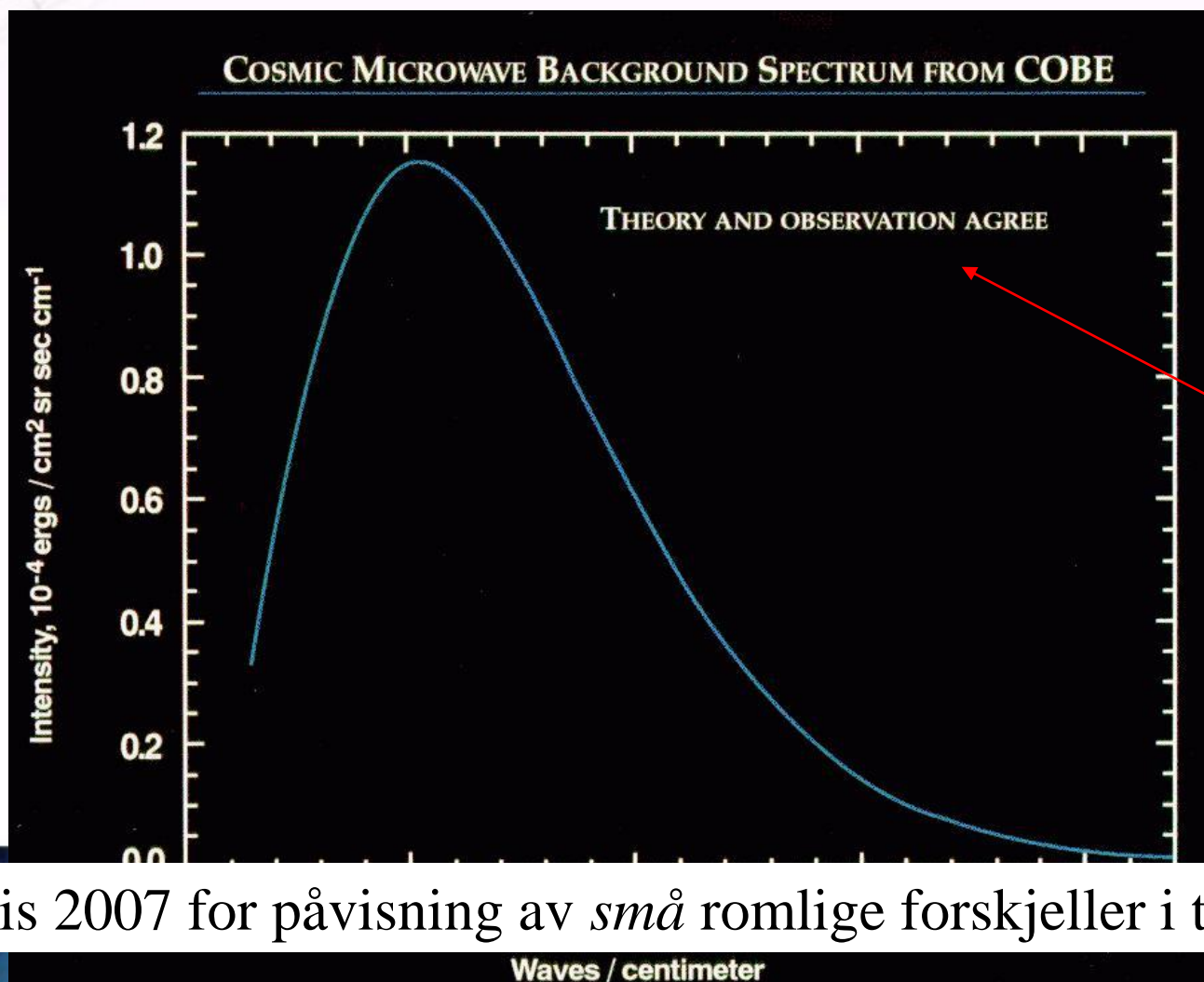
$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$



# Plancks strålingslov

- Utleidet for 100 år siden ved å anta diskrete energitilstander for fotonene
  - Viktig brikke under utviklingen av kvantemekanikken
- Nå: Viktig som bevis for å underbygge teorien om Big Bang
  - Temperaturen sier noe om hvor gammelt universet er

Universets temperatur er  $(2,725 \pm 0,002)K$

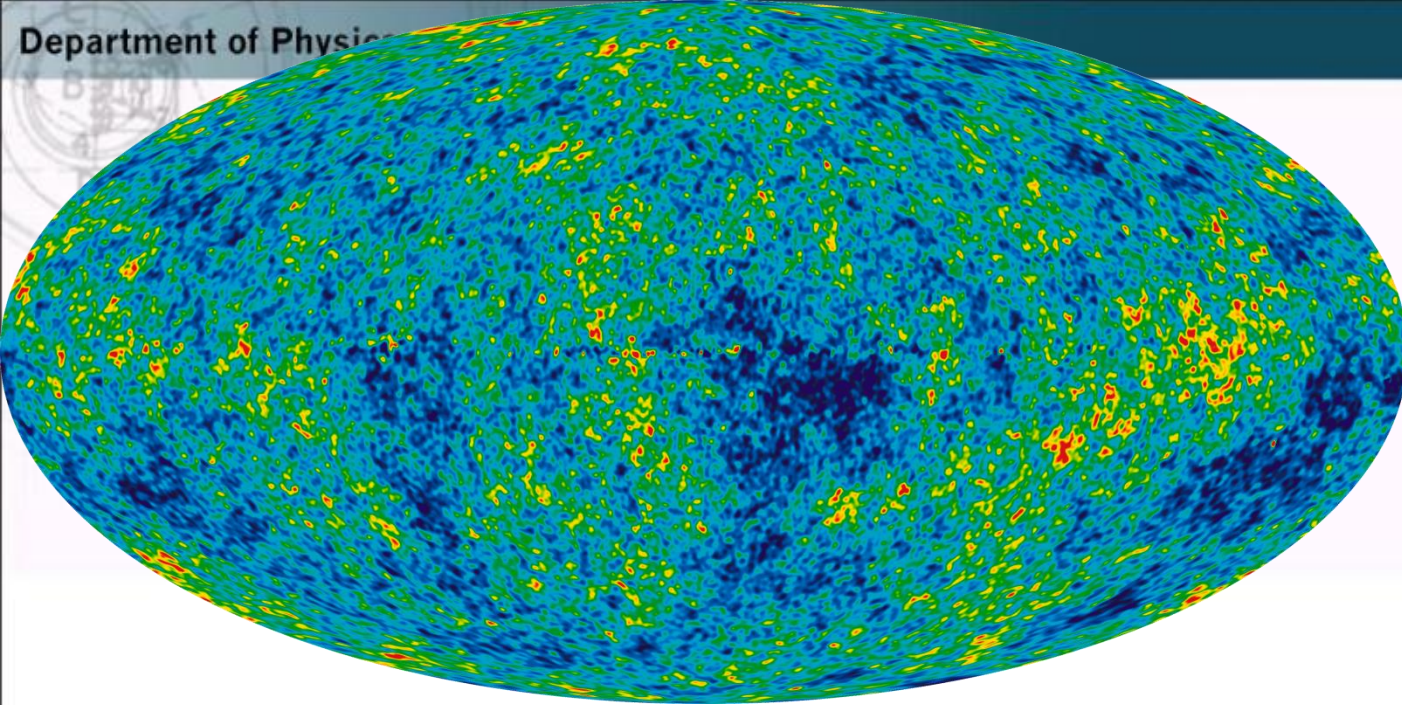


Nobelpris 2007 for påvisning av *små* romlige forskjeller i temperaturer

# Men universet temperatur er ikke isotrop

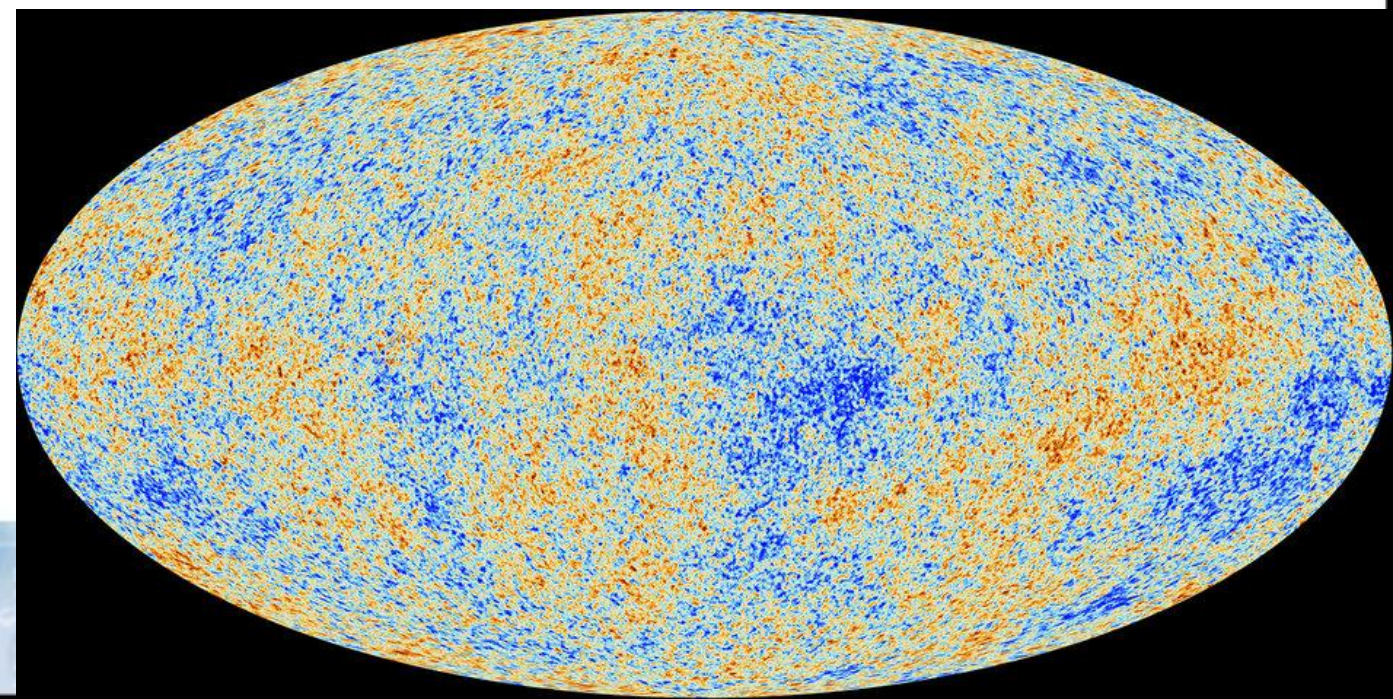
- Dette er viktig for å forstå hvorfor materien har klumpet seg i galaksehoper og galakser





WMAP

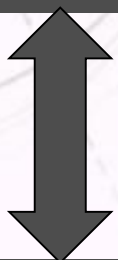
PLANCK



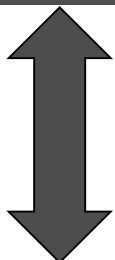


# The Big Bang and its particles

**Kosmologi**



**Astropartikkelfysikk**



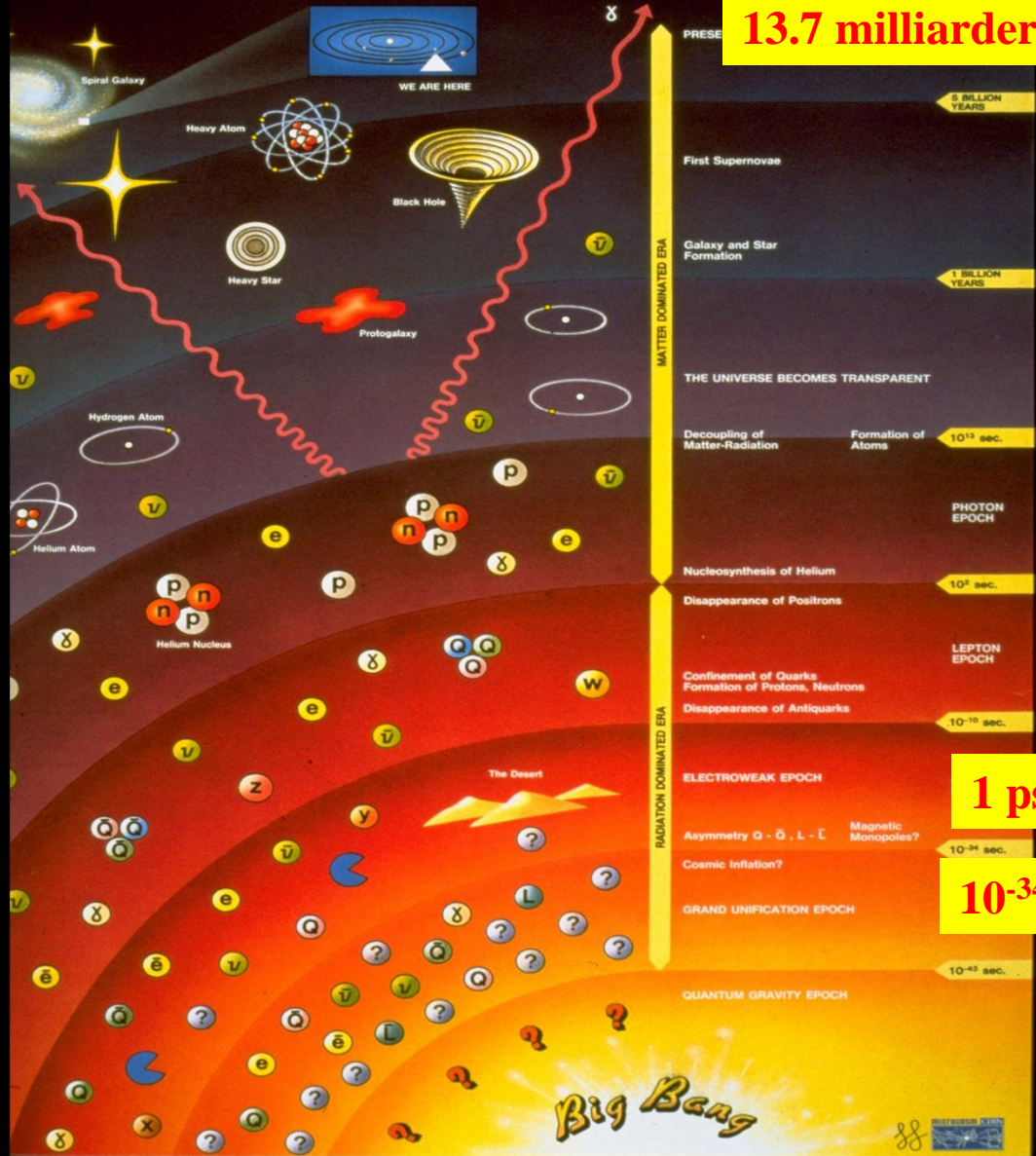
**Partikkelfysikk**

Hvilke partikler? →

Big Bang →

# History of the Universe

13.7 milliarder år



1 ps

10<sup>-34</sup> s



# Hvorfor ingen antimaterie?

- Sakharovs tre betingelser:
  - Brudd på bevaring av baryontall
  - Brudd på partikkel-antipartikkelsymmetri
  - Faseoverganger (system ute av termisk likevekt)
- Partikkelfysikk kan bidra til å belyse de to første betingelser

# Astrofysiske utfordringer for partikkelfysikken

- Hva består den mørke materien av?
- Hva er mørk energi?
- Hvorfor har universet så lite antimaterie?
- Kan vi bidra til å forstå mer av universets begynnelse?



# Fysikkarbeidsgrupper ved ATLAS

- **B-mesoner**
- Topp-kvark studier
- Standard-modellen
- **Higgs**
- **Supersymmetri**
- "Exotics"
- Tunge ioner

# Standardmodell (SM)-fysikk

- Grunnet den svært høye kollisjonsraten får vi ved LHC masse data om veldig mange prosesser og partikler.
- Disse kan brukes til presisjonsmåling av mange av standardmodellens prediksjoner
  - får enten befestet SM
  - ELLER en finner avvik, noe som antakelig bare kan forklares gjennom utvidelser av SM

## B-mesoner: CP-brudd

I SM er matrisen nedenfor en ren rotasjon

$$\begin{bmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} |d\rangle \\ |s\rangle \\ |b\rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} |d'\rangle \\ |s'\rangle \\ |b'\rangle \end{bmatrix}$$

- Mesoner som inneholder b-kvarken (den nest tyngste kvarken)
- Dedikerte eksperimenter ("B-factories") har funnet en *liten* forskjell mellom B-mesoner, og deres antimesoner (CP-brudd)
- Ikke nok til å forklare den store asymmetrien mellom materie og antimaterie i universet.
- **LHC eksperimentene gjør alternative studier**



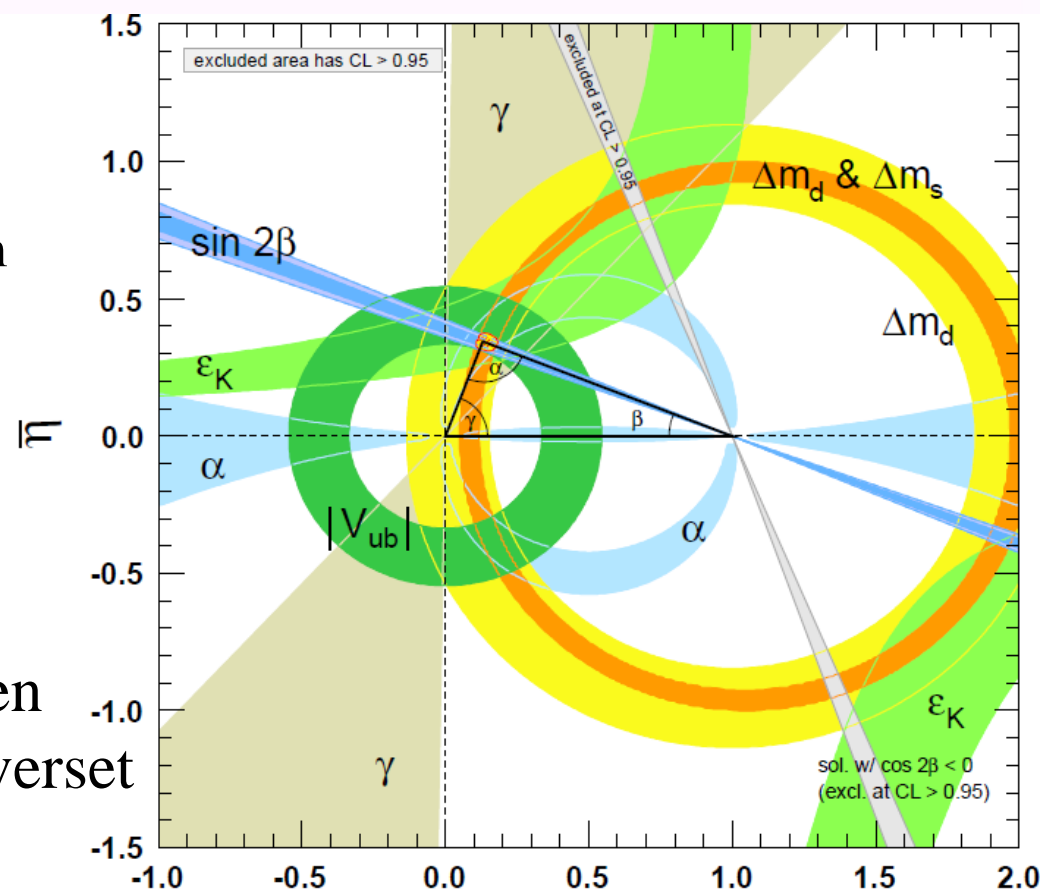
# CKM matrise:

(Cabbibo,Kobayashi,Maskawa)

Målingene forteller oss noe kvantitativt om asymmetrien mellom materie og antimaterie, og om Standardmodellen passer.

Det passer!

Men Standardmodellen kan ikke forklare asymmetrien som er nødvendig for å lage universet



# SUPERSYMMETRI (SUSY)

- En foreslått utvidelse av SM, der hver eneste partikkel har sin supersymmetriske partnerpartikkel.
- Antas en bevaringslov om antall SUSY partikler, så vil den letteste SUSY-partikkelen være stabil.
- Kandidat til mørk materie.

# Supersymmetri, en partnerpartikkel til hver kjente vanlige partikkel

## Alternative to Heavy Neutrinos: Neutralinos

The hypothesis of supersymmetry holds that every boson should have a fermionic partner, and vice versa.

Spin	Standardparticle	Superpartner	Spin
1/2	Leptons ( $e, \nu_e, \dots$ ) Quarks ( $u, d, \dots$ )	Sleptons ( $\tilde{e}, \tilde{\nu}_e, \dots$ ) Squarks ( $\tilde{u}, \tilde{d}, \dots$ )	0
1	Gluons $W^\pm$ $Z^0$ Photon ( $\gamma$ )	Gluinos Wino <b>Zino</b> <b>Photino (<math>\tilde{\gamma}</math>)</b>	1/2
0	Higgs	<b>Higgsino</b>	1/2
2	Graviton	Gravitino	3/2

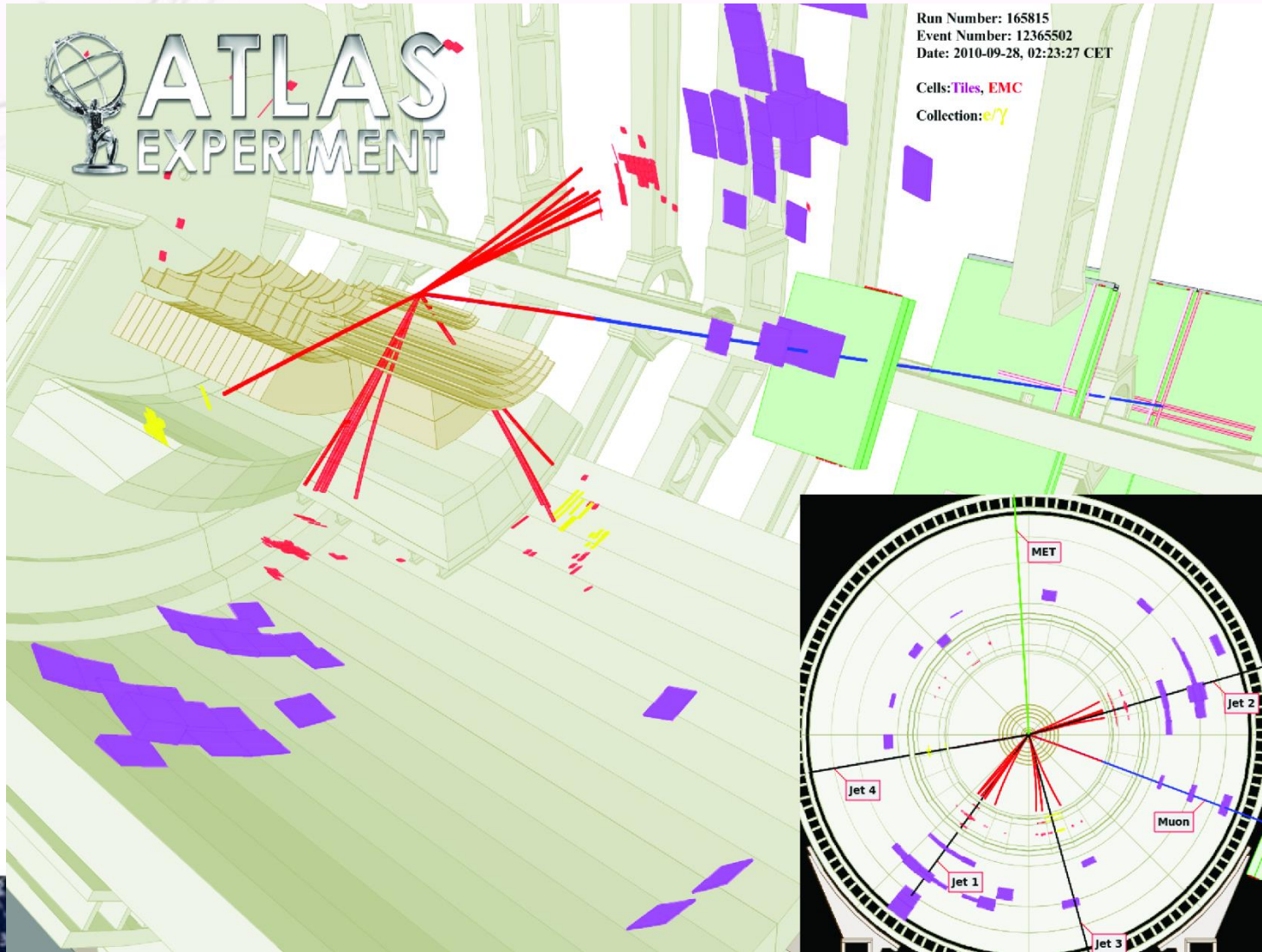
If R-parity is conserved, the lightest sparticle (LSP) must be stable. Best dark matter candidate, similar to heavy Majorana neutrino, is

$$\text{Neutralino} = C_1 \text{ Photino} + C_2 \text{ Zino} + C_3 \text{ Higgsino}$$



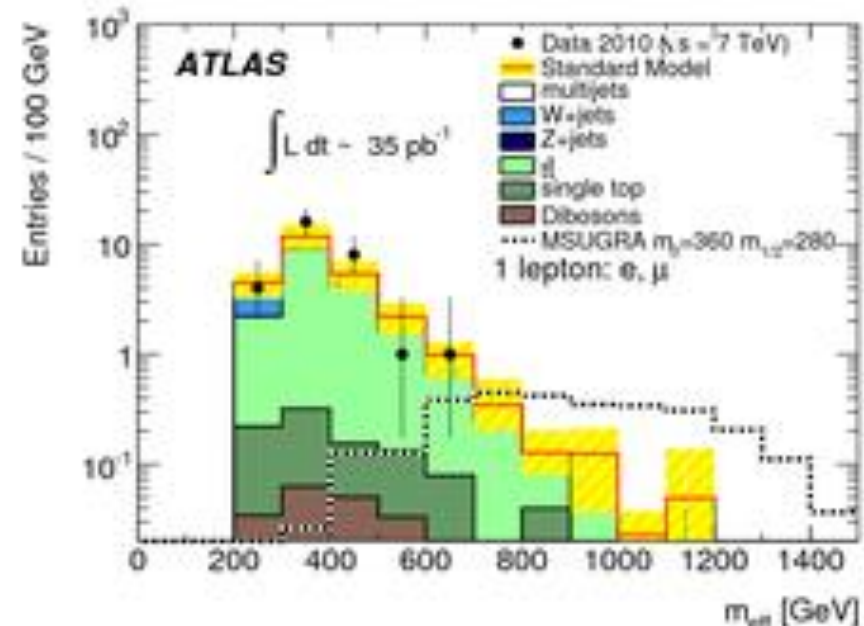
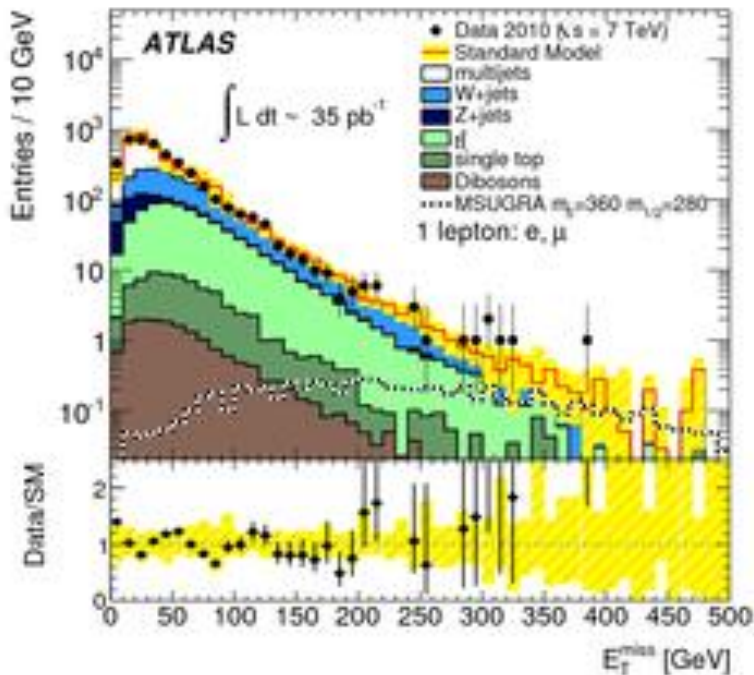
# SUSY (forts)

- I de minimale modellene har vi en bevaringslov i antall partiker som medfører at den letteste supersymmetriske partikkel er helt stabil!
- Kandidat for universets mørke materie!
  - Må være nøytral
  - Må være tyngre enn ca 40 GeV (fra eksperimenter)
  - Bør finne signaler for dette ved LHC, hvis SUSY finnes.
- Ses i detektoren som en ubalanse i totalenergien målt i detektoren (Den letteste SUSY-partikkelen er usynlig i detektoren og stikker av med mye energi)



”Search for supersymmetry using final states with one lepton, jets, and missing transverse momentum with the ATLAS detector....”

”In R-parity conserving SUSY models [2], the lightest supersymmetric particle (LSP) is stable and escapes detection, giving rise to events with significant missing transverse momentum. In decay chains with charginos, chargino decay to the LSP can produce a high-momentum lepton.”





# ATLAS SUSY Searches\* - 95% CL Lower Limits

Status: SUSY 2013

ATLAS Preliminary

$$\int \mathcal{L} dt = (4.6 - 22.9) \text{ fb}^{-1} \quad \sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$$

	Model	$e, \mu, \tau, \gamma$	Jets	$E_T^{\text{miss}}$	$[\mathcal{L} dt] [\text{fb}^{-1}]$	Mass limit	Reference
Inclusive Searches	MSUGRA/CMSSM	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.7 TeV	$m(\tilde{q})=m(\tilde{g})$
	MSUGRA/CMSSM	1 $e, \mu$	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.2 TeV	any $m(\tilde{q})$
	MSUGRA/CMSSM	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV	any $m(\tilde{q})$
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}$ 740 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.3 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow q\tilde{q}W^{\pm}\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.18 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<200 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}^{\pm})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{g}))$
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow qq(\ell\ell/\nu\nu)\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0-3 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 1.12 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	GMSB ( $\tilde{\tau}$ NLSP)	2 $e, \mu$	2-4 jets	Yes	4.7	$\tilde{g}$ 1.24 TeV	$\tan\beta < 15$
	GMSB ( $\tilde{\tau}$ NLSP)	1-2 $\tau$	0-2 jets	Yes	20.7	$\tilde{g}$ 1.4 TeV	$\tan\beta > 18$
	GGM (bino NLSP)	2 $\gamma$	-	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 1.07 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>50 \text{ GeV}$
	GGM (wino NLSP)	1 $e, \mu + \gamma$	-	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 619 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>50 \text{ GeV}$
	GGM (higgsino-bino NLSP)	$\gamma$	1 $b$	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 900 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>220 \text{ GeV}$
	GGM (higgsino NLSP)	2 $e, \mu$ (Z)	0-3 jets	Yes	5.8	$\tilde{g}$ 690 GeV	$m(\tilde{H})>200 \text{ GeV}$
Gravitino LSP	0	mono-jet	Yes	10.5	$M^{1/2}$ scale 645 GeV	$m(\tilde{g})>10^{-4} \text{ eV}$	
3 <sup>rd</sup> gen. $\tilde{g}$ med.	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{b}\tilde{\chi}_1^0$	0	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.2 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<600 \text{ GeV}$
	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 350 \text{ GeV}$
	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 $e, \mu$	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.34 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<400 \text{ GeV}$
	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 $e, \mu$	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.3 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<300 \text{ GeV}$
3 <sup>rd</sup> gen. squarks direct production	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	2 $b$	Yes	20.1	$\tilde{b}_1$ 100-620 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<90 \text{ GeV}$
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$ (SS)	0-3 $b$	Yes	20.7	$\tilde{b}_1$ 275-430 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=2 m(\tilde{\chi}_1^0)$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	1-2 $e, \mu$	1-2 $b$	Yes	4.7	$\tilde{t}_1$ 110-167 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=55 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0-2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 130-220 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{t}_1)-m(W)-50 \text{ GeV}, m(\tilde{t}_1)<m(\tilde{\chi}_1^0)$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 225-525 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	2 $b$	Yes	20.1	$\tilde{t}_1$ 150-580 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<200 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}_1^0)-m(\tilde{\chi}_1^0)=5 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	1 $b$	Yes	20.7	$\tilde{t}_1$ 200-610 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	0	2 $b$	Yes	20.5	$\tilde{t}_1$ 320-660 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$	0	mono-jet/c-tag	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 90-200 GeV	$m(\tilde{t}_1)-m(\tilde{\chi}_1^0)<85 \text{ GeV}$
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB)	2 $e, \mu$ (Z)	1 $b$	Yes	20.7	$\tilde{t}_1$ 500 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>150 \text{ GeV}$
$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$	3 $e, \mu$ (Z)	1 $b$	Yes	20.7	$\tilde{t}_2$ 271-520 GeV	$m(\tilde{t}_1)=m(\tilde{\chi}_1^0)+180 \text{ GeV}$	
EW direct	$\tilde{L}_R\tilde{L}_R, \tilde{L} \rightarrow \ell\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{L}$ 85-315 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_1^{\mp}, \tilde{\chi}_1^{\pm} \rightarrow \tilde{\nu}(\tilde{\nu})$	2 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$ 125-450 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\nu}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^{\pm})+m(\tilde{\chi}_1^0))$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_1^{\mp}, \tilde{\chi}_1^{\pm} \rightarrow \tilde{\nu}(\tilde{\nu})$	2 $\tau$	0	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$ 180-330 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\nu}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^{\pm})+m(\tilde{\chi}_1^0))$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow \tilde{\ell}\tilde{\nu}_\ell(\ell\tilde{\nu}_\ell), \ell\tilde{\nu}_\ell\ell(\tilde{\nu}_\ell)$	3 $e, \mu$	0	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^{\pm}, \tilde{\chi}_2^0$ 600 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^0)=0, m(\tilde{\ell}, \tilde{\nu})=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{\chi}_2^0))$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 Z\tilde{\chi}_1^0$	3 $e, \mu$	0	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^{\pm}, \tilde{\chi}_2^0$ 315 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ , sleptons decoupled
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_2^0 \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 h\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	2 $b$	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}, \tilde{\chi}_2^0$ 285 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=m(\tilde{\chi}_2^0), m(\tilde{\chi}_1^0)=0$ , sleptons decoupled
	Long-lived particles	Direct $\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_1^{\mp}$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^{\pm}$	Disapp. trk	1 jet	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$ 270 GeV
Stable, stopped $\tilde{g}$ R-hadron		0	1-5 jets	Yes	22.9	$\tilde{g}$ 832 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=100 \text{ GeV}, 10 \mu\text{s} < \tau(\tilde{g}) < 1000 \text{ s}$
GMSB, stable $\tilde{\tau}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}(e, \mu) + \tau(e, \mu)$		1-2 $\mu$	-	-	15.9	$\tilde{\chi}_1^0$ 475 GeV	$10 < \tan\beta < 50$
GMSB, $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$ , long-lived $\tilde{\chi}_1^0$		2 $\gamma$	-	Yes	4.7	$\tilde{\chi}_1^0$ 230 GeV	$0.4 < \tau(\tilde{\chi}_1^0) < 2 \text{ ns}$
$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow qq\mu$ (RPV)		1 $\mu$ , displ. vtx	-	-	20.3	$\tilde{q}$ 1.0 TeV	$1.5 < c\tau < 156 \text{ mm}, \text{BR}(\mu)=1, m(\tilde{\chi}_1^0)=108 \text{ GeV}$
RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e + \mu$	2 $e, \mu$	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.61 TeV	$\lambda'_{311}=0.10, \lambda'_{332}=0.05$
	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e(\mu) + \tau$	1 $e, \mu + \tau$	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.1 TeV	$\lambda'_{311}=0.10, \lambda'_{323}=0.05$
	Bilinear RPV CMSSM	1 $e, \mu$	7 jets	Yes	4.7	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.2 TeV	$m(\tilde{q})=m(\tilde{g}), c\tau_{\text{LSP}} < 1 \text{ mm}$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_1^{\mp}, \tilde{\chi}_1^{\pm} \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ee\tilde{\nu}_e, e\mu\tilde{\nu}_e$	4 $e, \mu$	-	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$ 760 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>300 \text{ GeV}, \lambda'_{121}>0$
	$\tilde{\chi}_1^{\pm}\tilde{\chi}_1^{\mp}, \tilde{\chi}_1^{\pm} \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau\tau\tilde{\nu}_e, e\tau\tilde{\nu}_e$	3 $e, \mu + \tau$	-	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^{\pm}$ 350 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>80 \text{ GeV}, \lambda'_{131}>0$
	$\tilde{g} \rightarrow qq\tilde{q}$	0	6-7 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 916 GeV	$\text{BR}(\tau)=\text{BR}(b)=\text{BR}(c)=0\%$
	$\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}_1 t, \tilde{t}_1 \rightarrow bs$	2 $e, \mu$ (SS)	0-3 $b$	Yes	20.7	$\tilde{g}$ 880 GeV	
Other	Scalar gluon pair, sgluon $\rightarrow q\tilde{q}$	0	4 jets	-	4.6	sgluon 100-287 GeV	incl. limit from 1110.2693
	Scalar gluon pair, sgluon $\rightarrow t\tilde{t}$	2 $e, \mu$ (SS)	1 $b$	Yes	14.3	sgluon 800 GeV	1210.4826
	WIMP interaction (D5, Dirac $\chi$ )	0	mono-jet	Yes	10.5	$M^*$ scale 704 GeV	$m(\chi) < 80 \text{ GeV}$ , limit of $< 687 \text{ GeV}$ for D8

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  full data  
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  partial data  
 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  full data

10<sup>-1</sup> 1 Mass scale [TeV]

\*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. All limits quoted are observed minus 1 $\sigma$  theoretical signal cross section uncertainty.



# Ny energi gir nytt vindu for SUSY

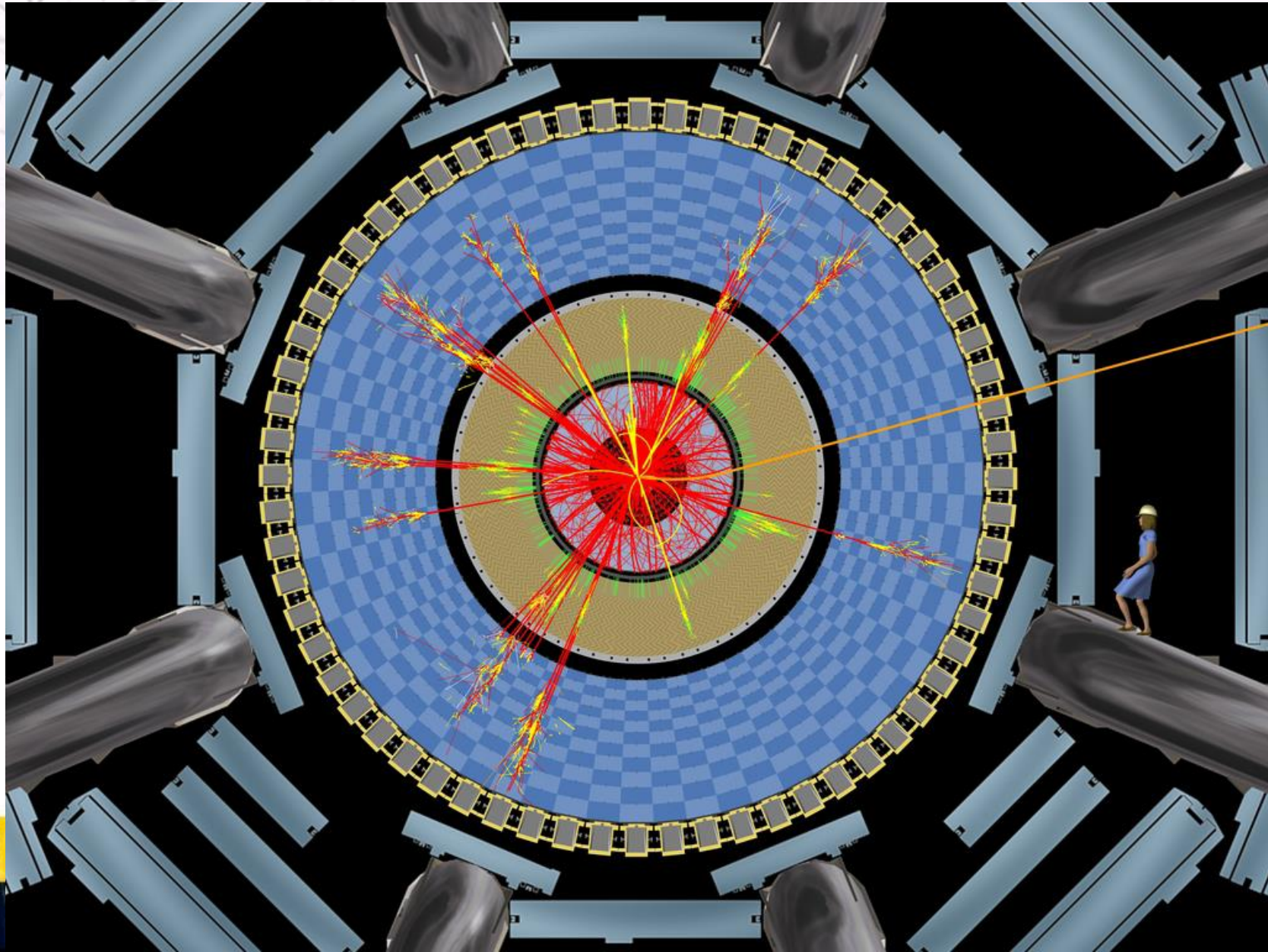
- Oppgradert LHC er veldig spennende

# Eksotiske fenomener

- Signaturer for *ekstra dimensjoner*
  - Teorier kan konstrueres der gravitasjonskraften virker i mer enn 3 dimensjoner, mens de andre kreftene virker i bare 3 dimensjoner.
  - Kan være med å forklare mørk materie, som da evt. finnes i de usynlige dimensjonene!!!!
- Mini svarte hull: Kan vi i LHC lage så høy masse-energitetthet at dette kollapser i et svart hull?
  - NB: I så fall er det svarte hullet meget kortlivet!



# Simulert signatur for mini svart hull





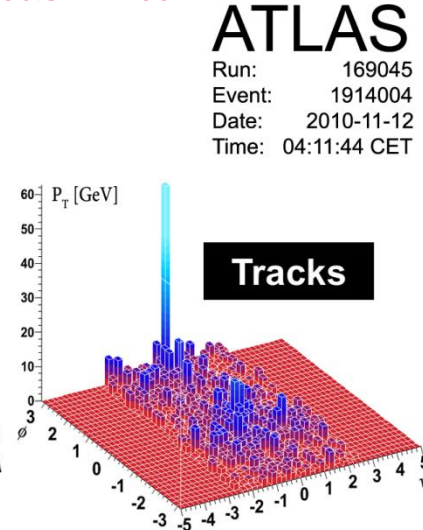
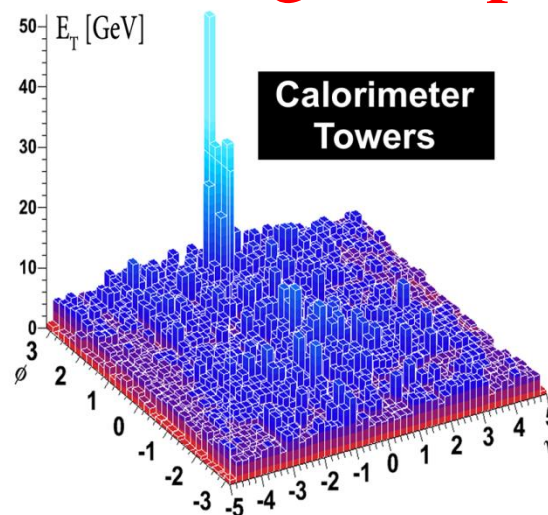
# Bly-Bly kollisjoner ved LHC.

ALICE-eksperimentet er dedikert til dette.

De to andre eksperimentene kan også studere disse kollisjonene.

(Jeg viser her et ATLAS event)

Events som dette er sterke indikasjoner på eksistensen av kvark-gluon plasma



**ATLAS**  
Run: 169045  
Event: 1914004  
Date: 2010-11-12  
Time: 04:11:44 CET

# Oppsummert

- Vi har en vel etablert teori for hvordan elementærpartiklene vekselvirker og hvordan materien er bygd opp fra disse (Standardmodellen)
- Vi har nå mye data som underbygger Big Bang kosmologi, men vi trenger både **mørk materie** og **repulsiv mørk energi** for å forklare det vi ser
- Det er nå en sterk kobling mellom astrofysikk og partikkelfysikk.
- Funnet av Higgs gjør LHC til en stor suksess
- Nye data ved ny energi ventes på i spenning!

# LHC åpner et nytt energivindu og data er i ferd med å bidra til:

- Innsikt i hvorfor partikler har masse (higgsmekanismen)
- Innsikt i utvidelser av standardmodellen, og dermed muligens om
  - Mørk materie
  - Forening av vekselvirkningene til en teori



# Fire uavklarte spørsmål

- Hvorfor er gravitasjon så forskjellig fra de andre kreftene?
  - Gravitasjonsteorien omhandler selve rommet
  - De andre kreftene omhandler partikler som beveger seg **i** dette rommet
- Hva er mørk energi?
- Hvorfor har vi så lite antimaterie i universet
- Hva består den mørke materien av?