

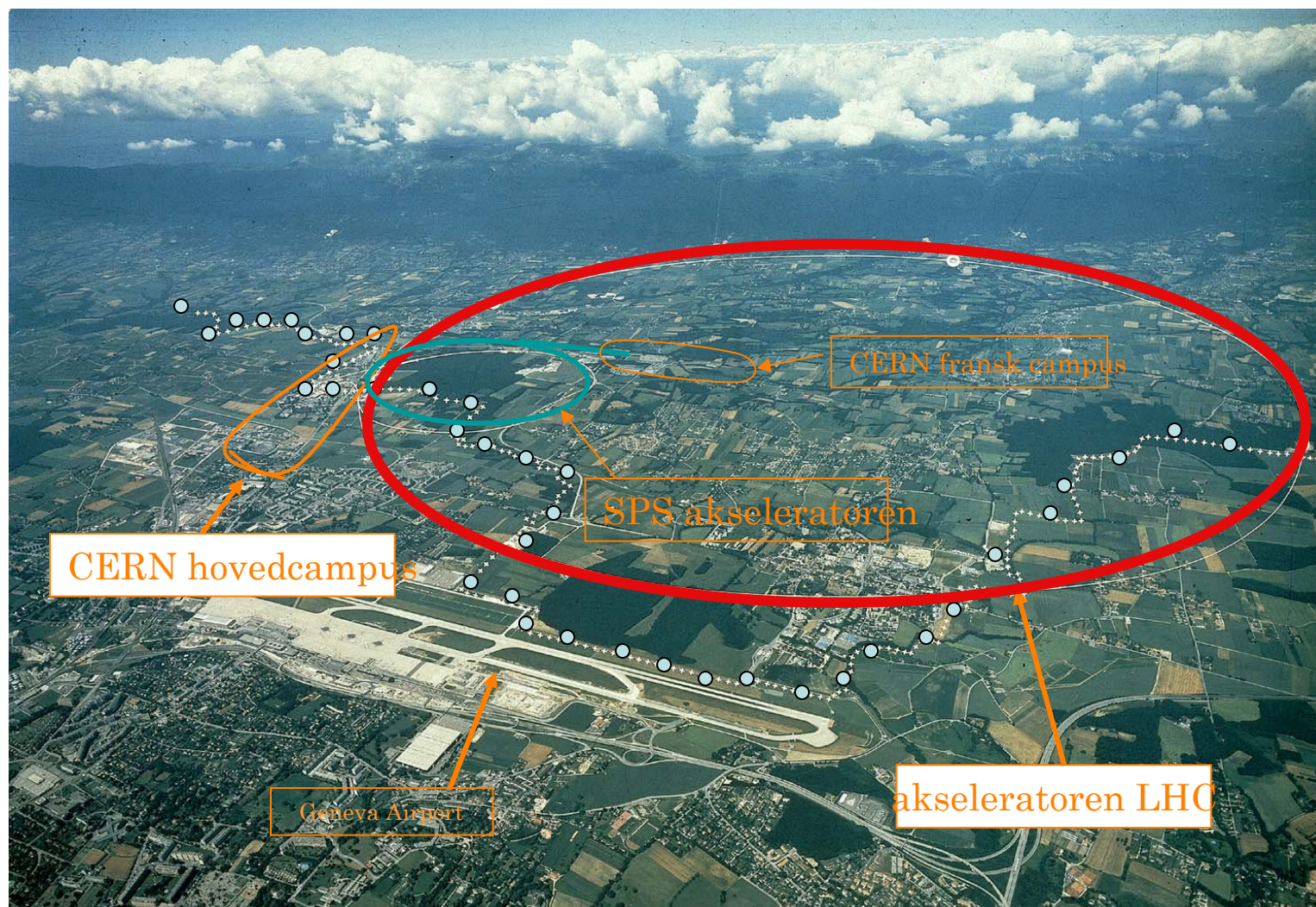


European Organization for Nuclear Research

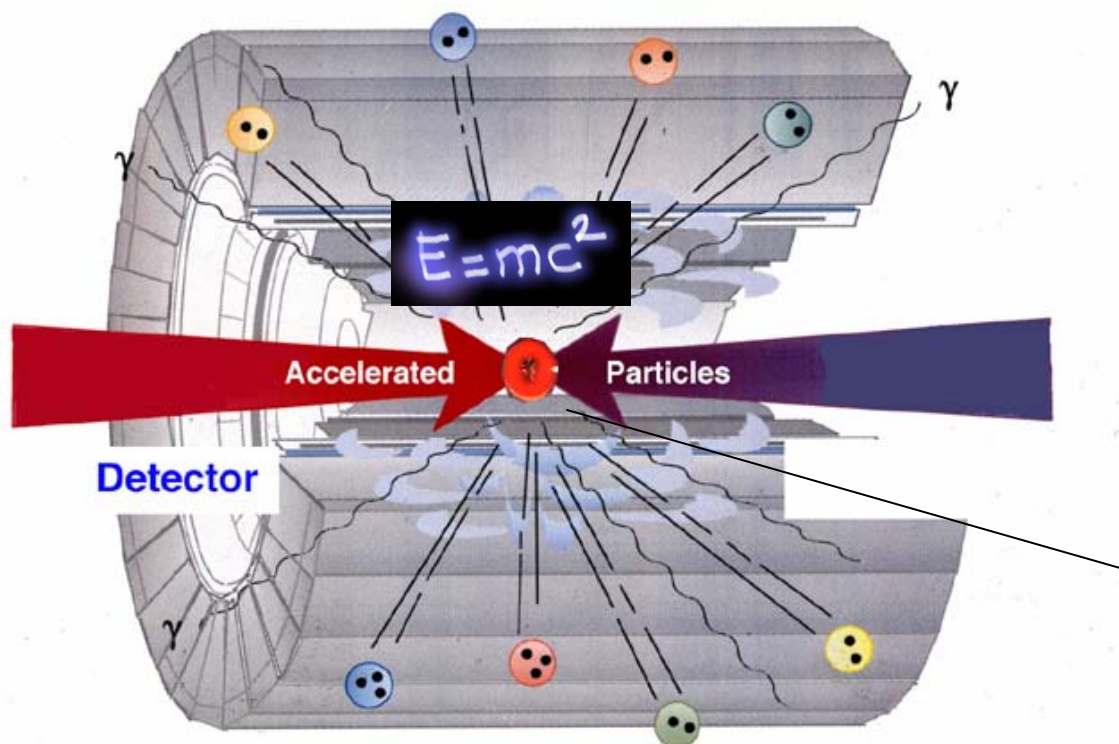
"CERN for Videregående"

Fysikken
Akseleratoren
Detektorene

Presentasjon av Steinar Stapnes og Erik Adli
5. april 2006



Hva er Partikkelfysikk?



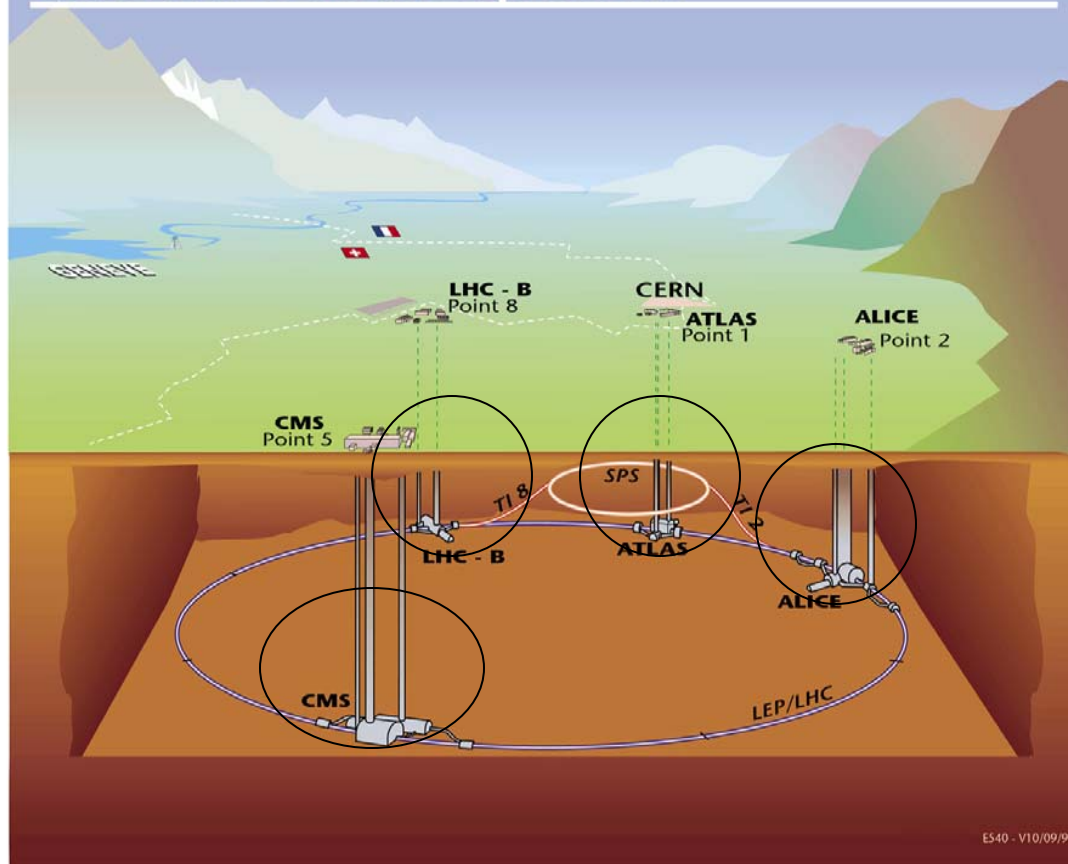
1) Konsentrere stor energi
i et lite volum
(**akselerator**)

2) **Knuse** partikler
(gjenskaper forholdene like
etter Big Bang)

3) Identifisere skapte partikler i
en **Detektor** (ny fysikk)

LHC (the Large Hadron Collider) vil bli det kraftigste instrumentet noen sinne bygd for kartlegging av elementærpartiklers egenskaper

Overall view of the LHC experiments.



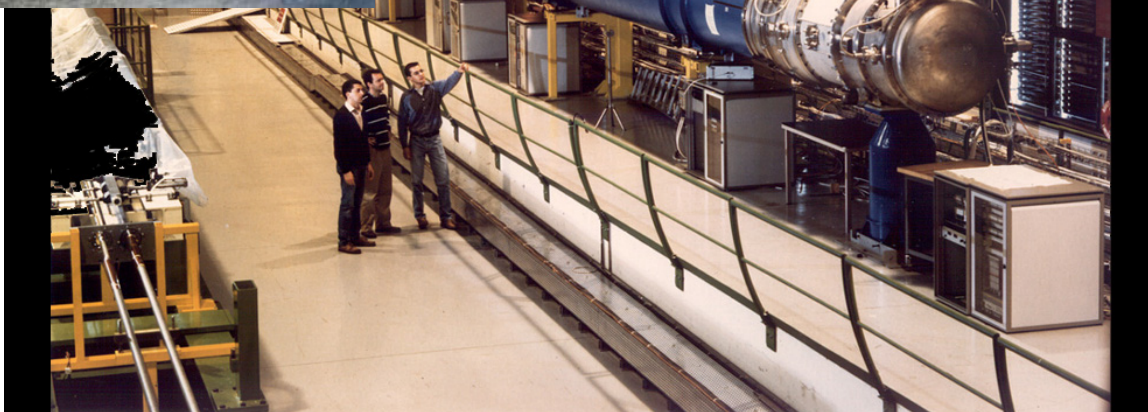
- Fire **gigantiske underjordiske huler** som skal romme svære detektorer
- Akseleratoren med den en **største energien** i hele verden
- De **mest intense strålene** av kolliderende partikler
- Arbeidstemperatur **kaldere enn verdensrommet**

Konstruksjonen av LHC



27 km omkrets
100 m under jorda

CERN i dag, en enorm byggeplass. Installasjon og test av LHC med detektorer, samt forberedelse til datainnhenting er hovedaktiviteten.





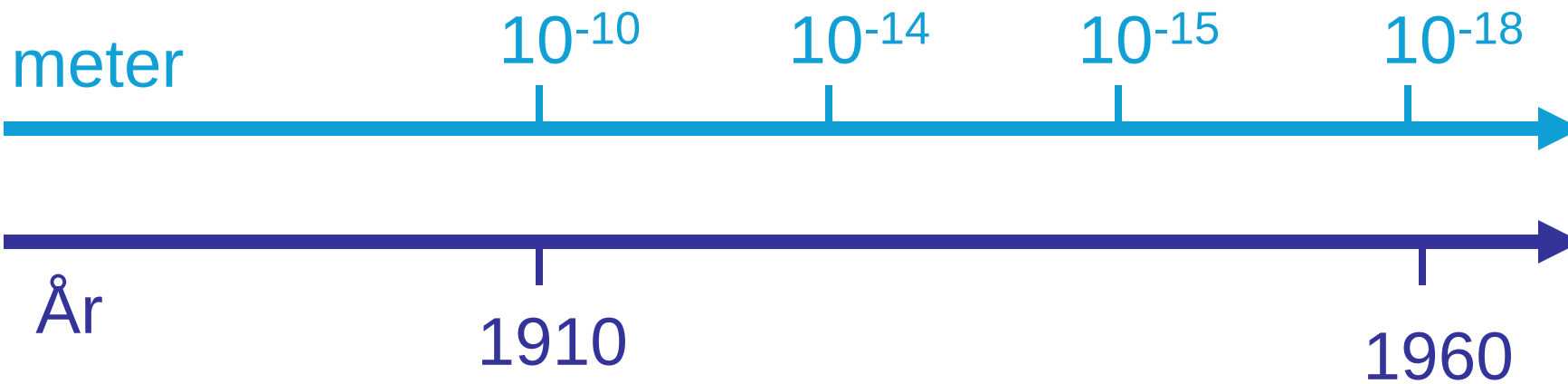
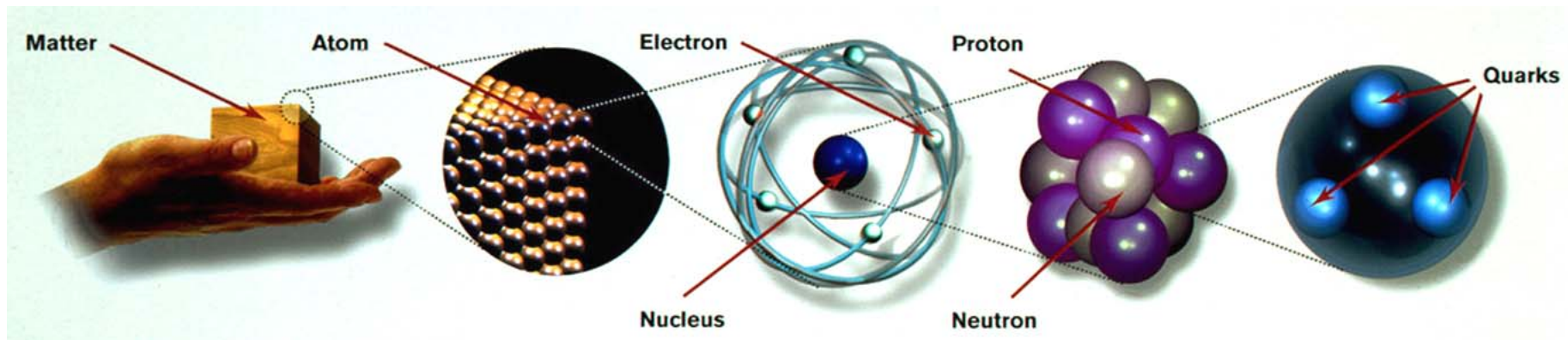
Vi skal se nærmere på...

- I. Partikkelfysikken***
- II. Akseleratoren LHC
- III. Detektoren ATLAS

...først skal vi få en ørliten smakebit av partikkelfysikken - det CERN er til for...



$$10^{-18} = 0.000000000000000001$$



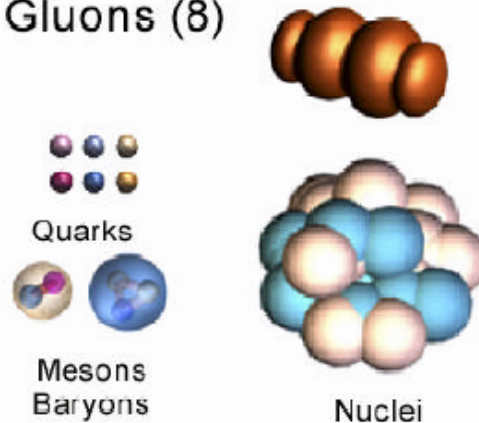
Elementærpartikler og vekselvirkninger

Leptons

Tau		-1	0		Tau Neutrino
Muon		-1	0		Muon Neutrino
Electron		-1	0		Electron Neutrino
Electric Charge					

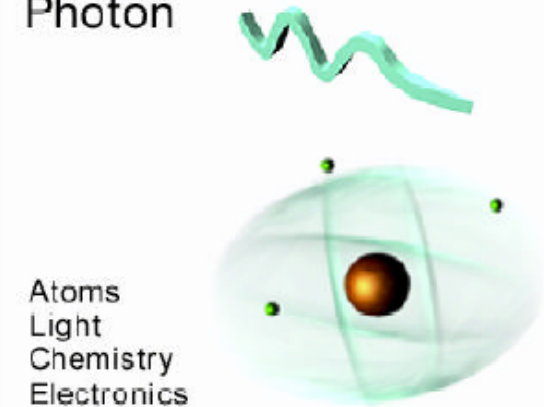
Strong

Gluons (8)



Electromagnetic

Photon

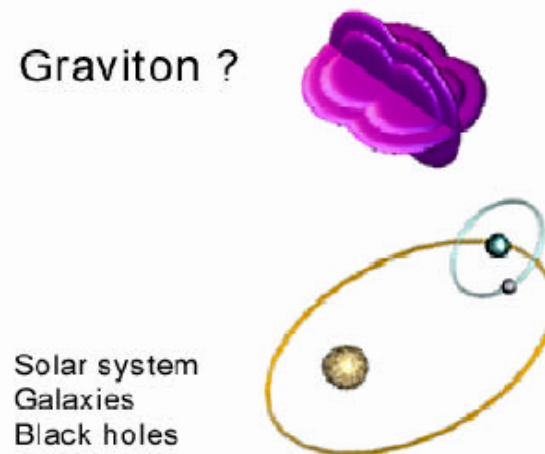


Quarks

Electric Charge					
Bottom		-1/3	2/3		Top
Strange		-1/3	2/3		Charm
Down		-1/3	2/3		Up
each quark: R, B, G 3 colors					

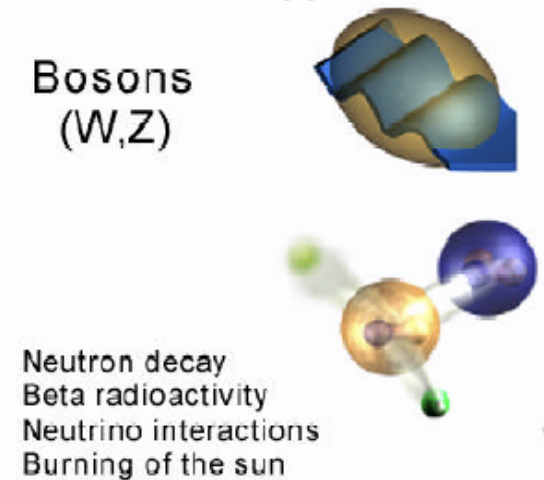
Gravitational

Graviton ?

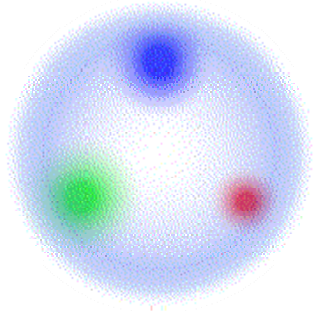


Weak

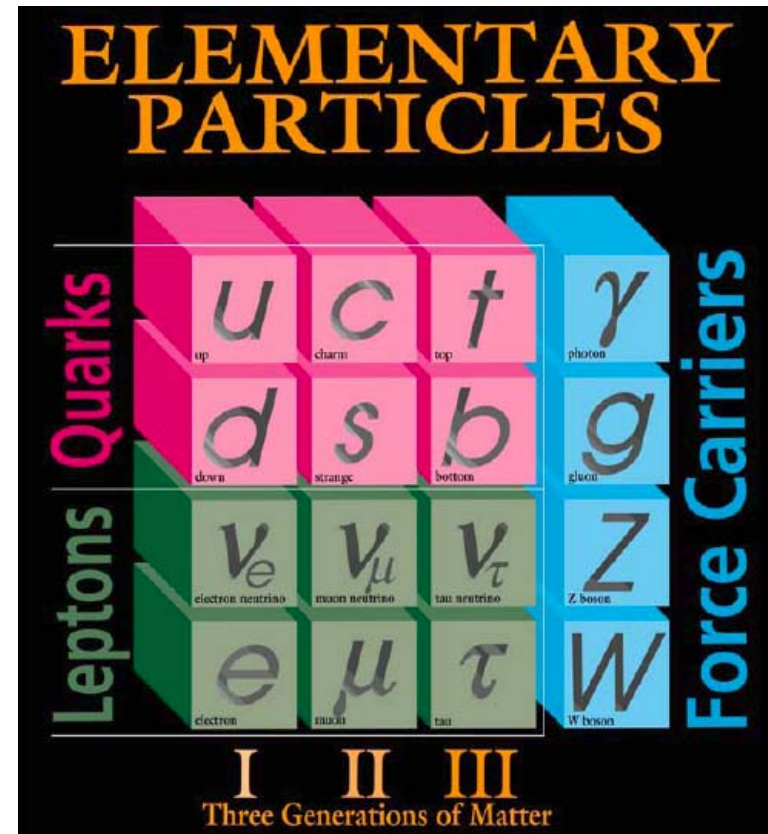
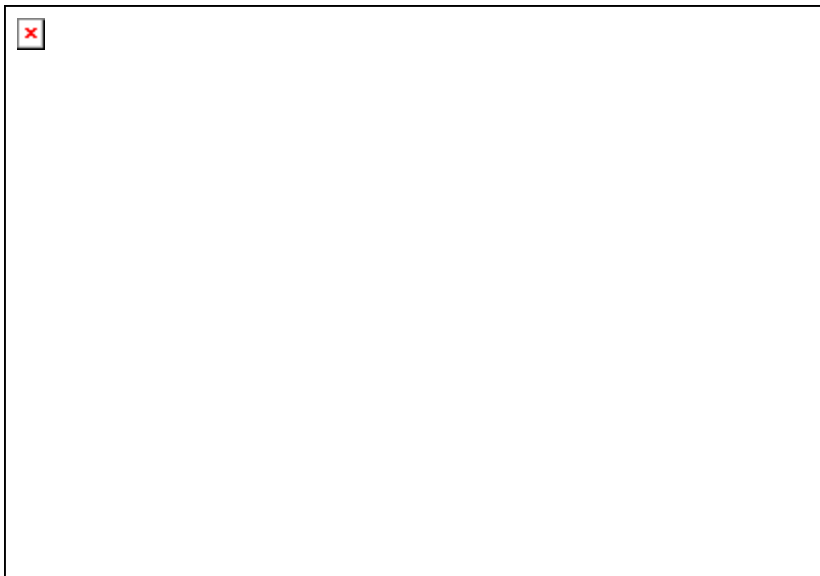
Bosons (W,Z)



Kvarker (Gell-Mann) 1964

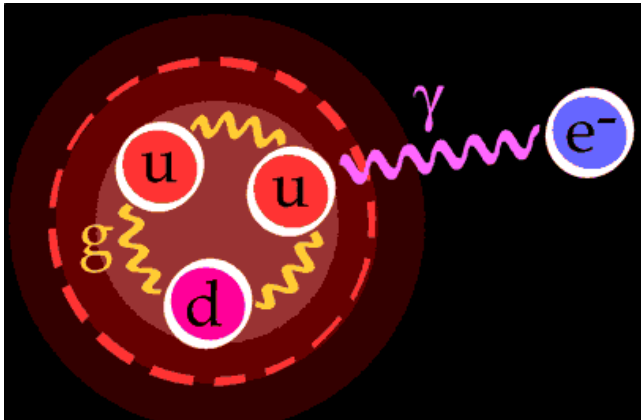


Proton

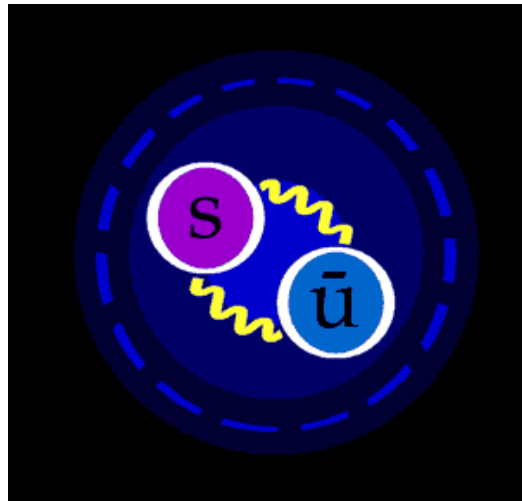


STANDARDMODELLEN
- 3 familier -

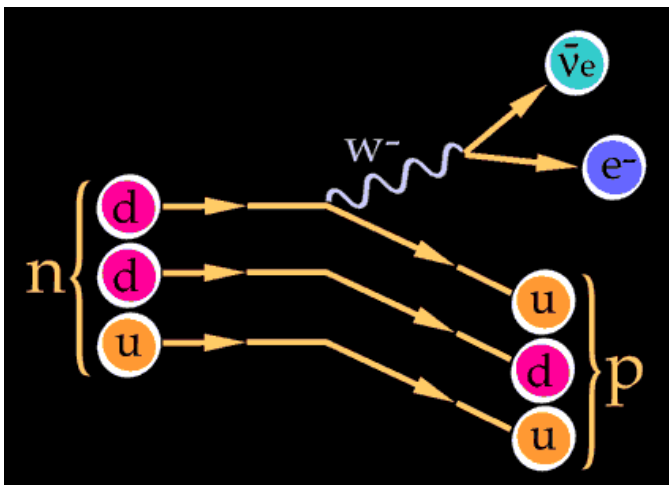
Noen partikler og fysiske prosesser



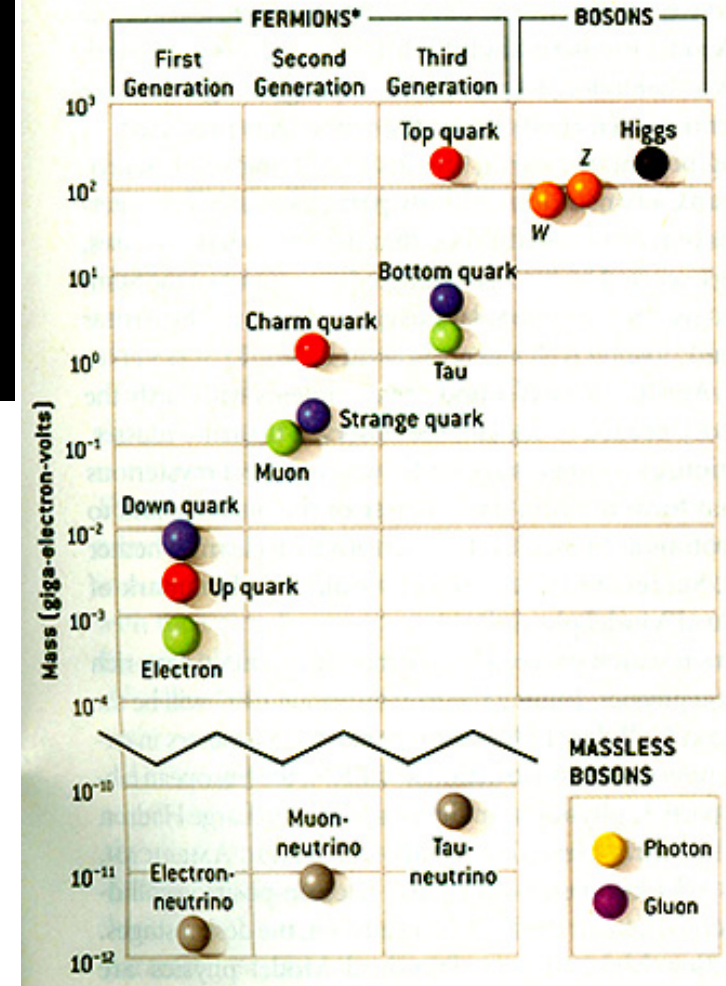
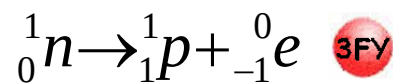
Hydrogenatom



Mer eksotiske (ustabile!) partikler i akseleratorer



Betastråling



Higgs...?

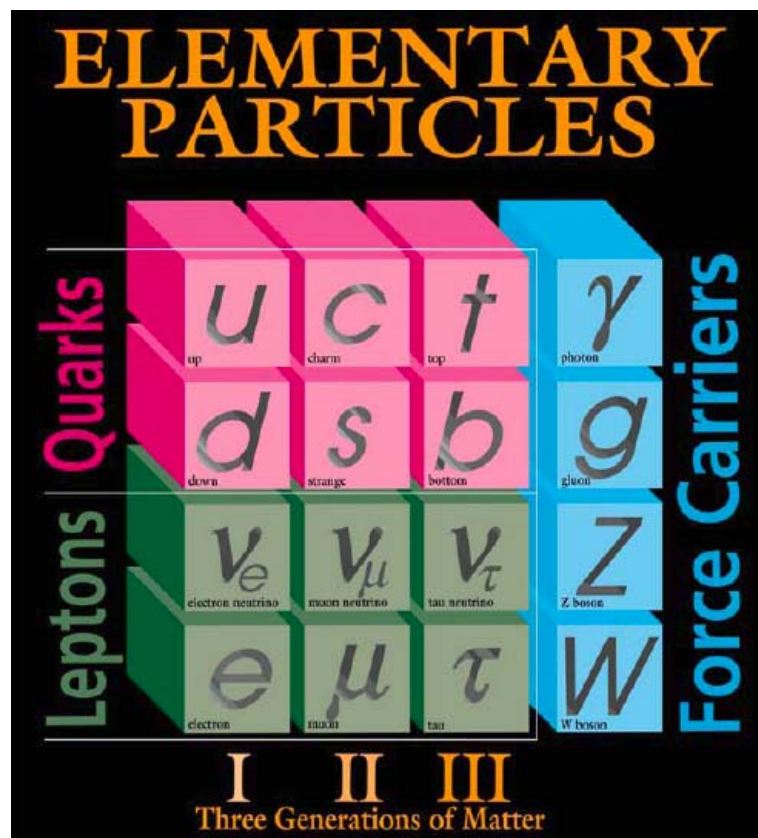


Et av de viktigste bærebjelkene for standardmodellen for partikkelfysikk er **Higgs**partikkelen

For at matematikken skal gå opp **forutsettes** Higgs

Problemet er at til nå har **intet** **fysikk**eksperiment oppdaget Higgs

LHC skal garantert kunne finne Higgs – hvis den eksisterer!



STANDARDMODELLEN
- 3 familier -

Vi vet egentlig ingenting!



Mystery



Hvorfor akkurat tre familier? Antimaterie?

Mystery



Standardmodellen krever
denne merkelige Higgs
for å gå opp

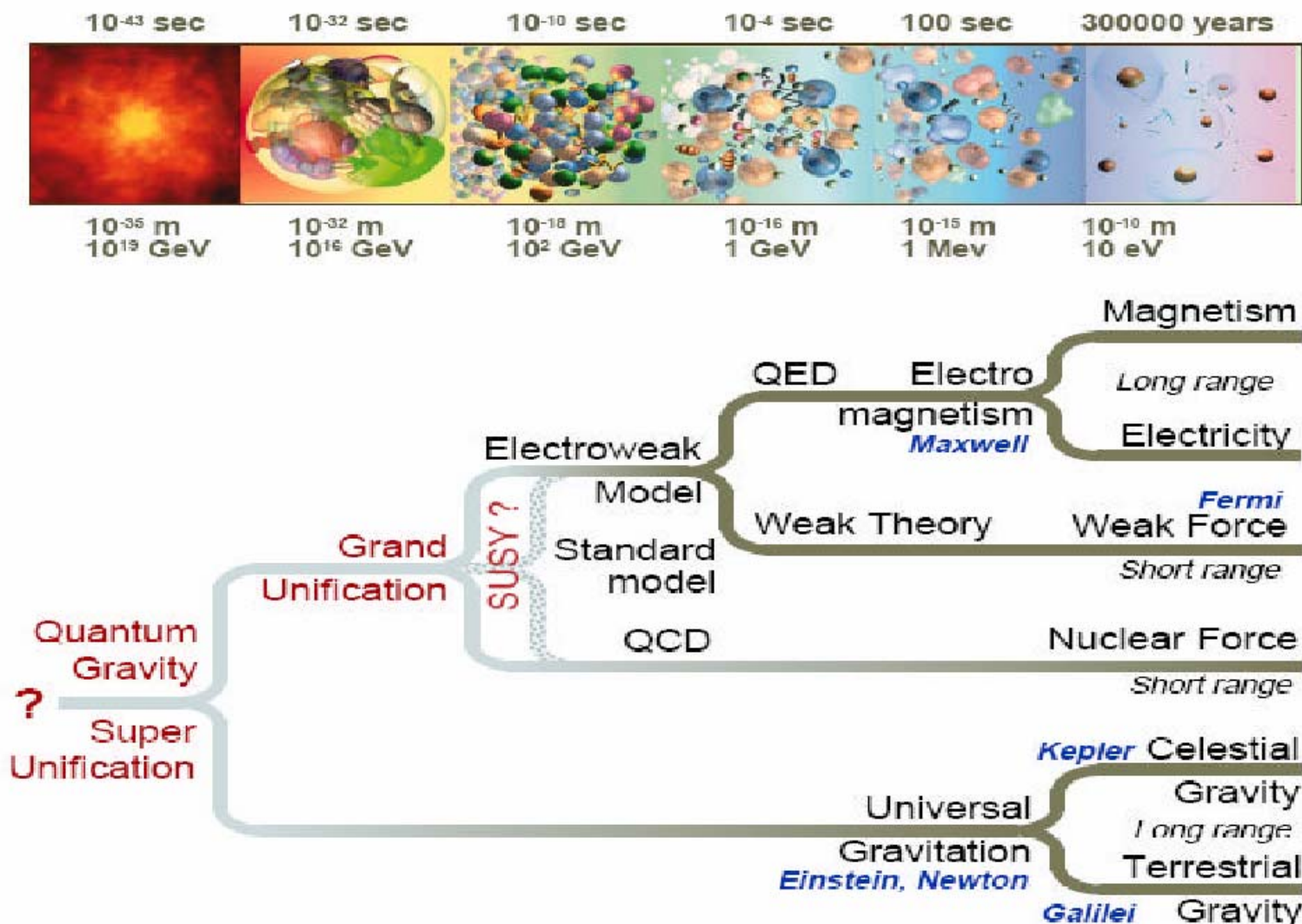
LHC vil hjelpe
oss å forstå noe
av dette!

Mystery



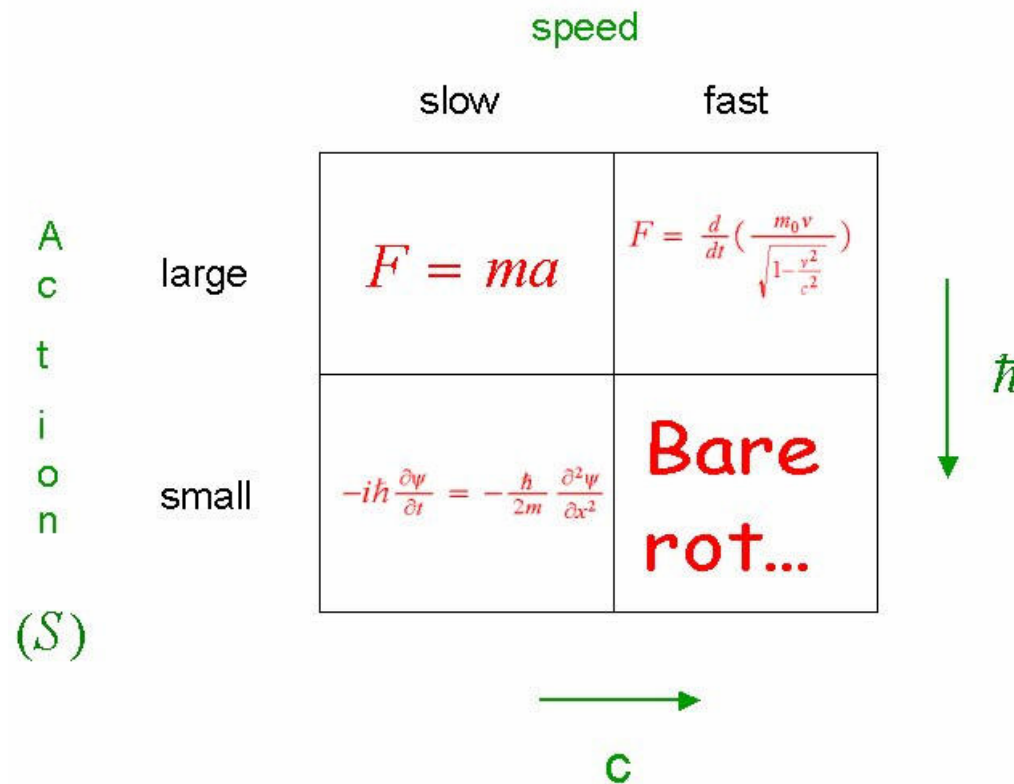
Mørk materie, supersymmetri,
Forening av vekselvirkningene...

Vekselvirkningene – en og samme kraft?



Å regne på partikkelfysikk...

Fundamental division of physicist's world :





Spørsmål om del I, partikkelfysikk?

?



Vi skal se nærmere på...

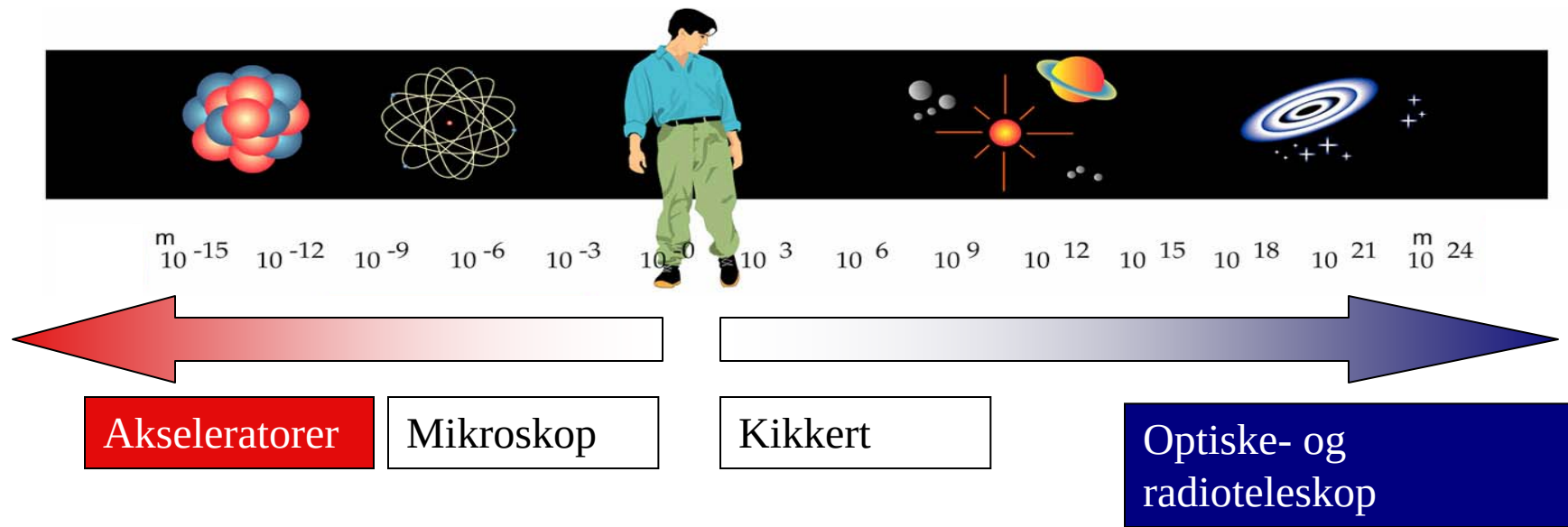
I. Partikkelfysikken

II. Akseleratoren LHC

III. Detektoren ATLAS

...grunnen til at vi trenger denne enorme partikkelakseleratoren LHC for å gjøre partikkelfysikk...

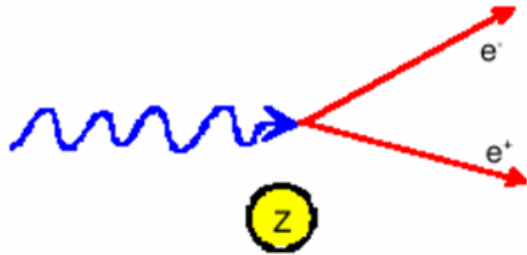
Partikkelfysikk studerer materie i så små dimensjoner som mulig



$$\lambda = \frac{h}{p}$$

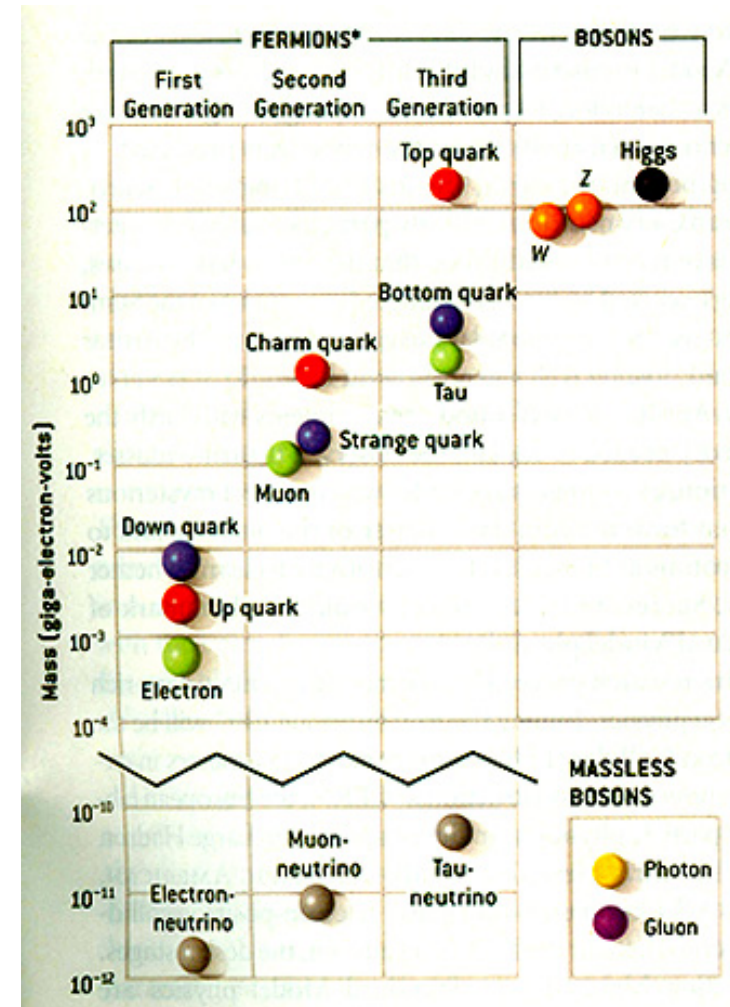
3FY Dess **større energi**, dess bedre oppløsningsevne

Hvorfor akseleratorer? $E = mc^2$



Pardanning: $E_{\text{foton}} = 2m_e c^2 + E_k$ 3FY

Nye partikler: større masse enn de som hittil er funnet $\Rightarrow$ **mer energirike** kollisjoner trengs, $E_{\text{C.O.M}} = mc^2$



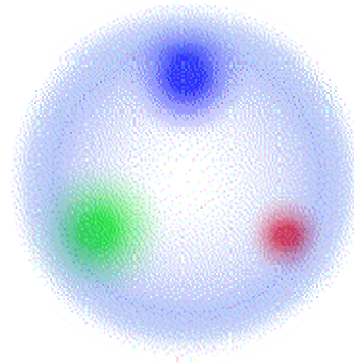
Formål LHC:

- knuse partikler mot hverandre, med så stor energi som mulig, for å oppdage nye fenomener eller partikler som blir skapt i kollisjonene ($E = mc^2$)



Man kan kollidere elementærpartikler (som e^- og e^+ i LEP).

Men i LHC kolliderer vi i stedet protoner, som er sammensatt av kvarker (egentlig er det kvarkene som kolliderer). Dette for å kunne oppnå høyere energi.

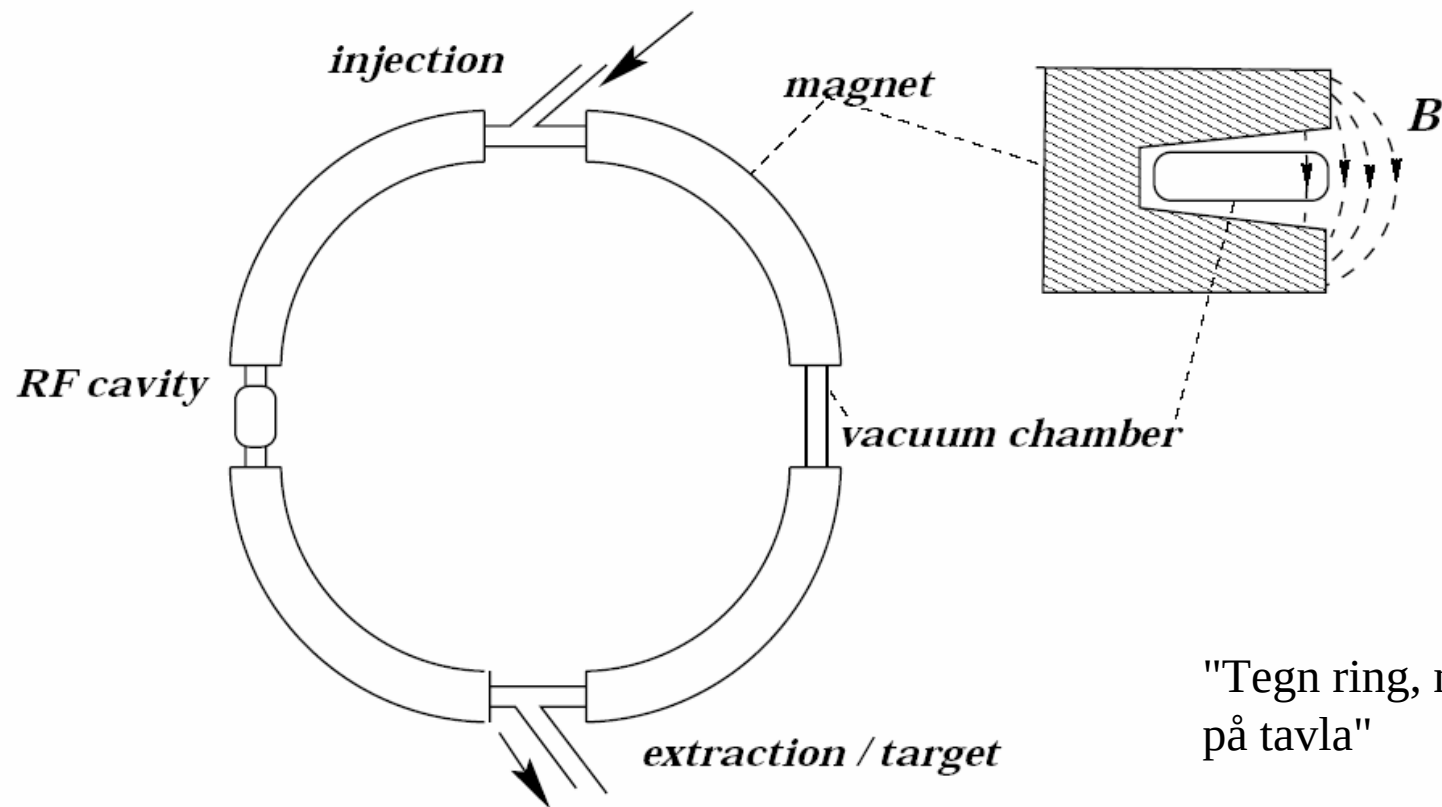


← Proton: uud - kvarker

Et samlenavn for partikler sammensatt av kvarker (p, n, osv.) et "hadroner".

Derav navnet "Large *Hadron* Collider".

Hva består en partikkelakselerator av?



"Tegn ring, med felt,
på tavla"

Vi trenger:

- En lufttom bane der partiklene kan bevege seg uten å kollidere med luftpartikler
- Noe som kan akselerere partiklene, og dermed gi dem energi
- Noe som kan styre partiklene, slik at de holder seg innenfor den ønskete banen
- Noe som kan måle partiklenes egenskaper på ferden

En akselerators to hovedoppgaver:

- Øke partikkelenergien
- Styre partiklene (svinge, fokusere)

3FY Forandring av både energi og retninger krever akselerasjon. Akselerasjon krever at en kraft virker.

Hvilke krefter har vi til rådighet? Kun elektromagnetisk kraft er egnet!

3FY

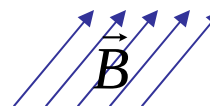
(Vi akselerer i dag kun ladde partikler...)

Elektrisk felt: $\vec{F}_E = q\vec{E}$ **3FY**



- en ladd partikkel vil føle en kraft inne i et elektrisk felt (uavhengig av hastighet)

Magnetisk felt: $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$ **3FY**



- en ladd partikkel vil føle en kraft inne i et magnetisk felt, proporsjonalt med og normalt på sin hastighet

Total elektromagnetisk kraft kalles **Lorentzkraft**: $\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

Hvilken av disse to, F_E og F_B kan vi bruke til å gi øke energien til en partikkel?

$$\vec{F} = \vec{F}_E + \vec{F}_B = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Husk:

- arbeid utført, W , gir økning i kinetisk energi, E_k 
- $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$ 

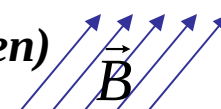
$F_B \perp v \Rightarrow F_B$ gjør intet arbeid på partikkelen

- Bare F_E kan øke partiklenes energi 



F_E or F_B for styring? $v \approx c \Rightarrow F_B$ er relativt svært stor!

- F_B er mest effektiv for å forandre en partikkels retning (styre partikkelen)

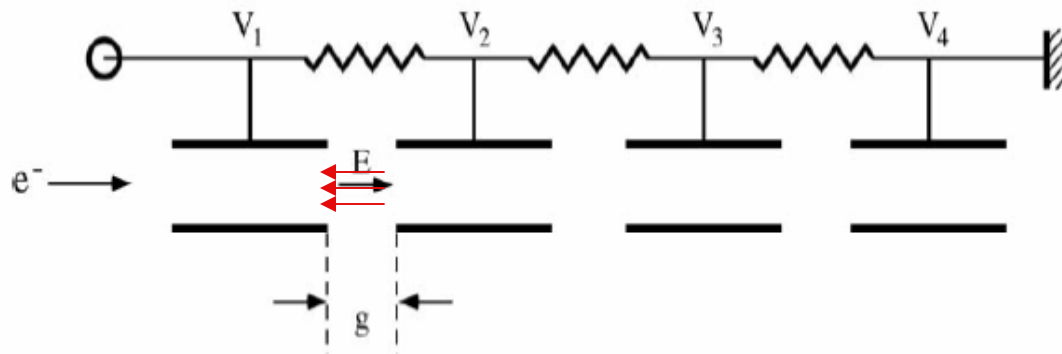


I en partikkelakselerator brukes elektriske felt for å gi partiklene energi, og magnetiske felt for å styre dem.

Enkleste prinsipp for å oppnå akselerasjon: statisk E-felt (likestrøm)

Energiøkning: $\Delta E_k = qV$

Partikler kan akselereres over mange spenningsgap: "elektrostatisk akselerator"

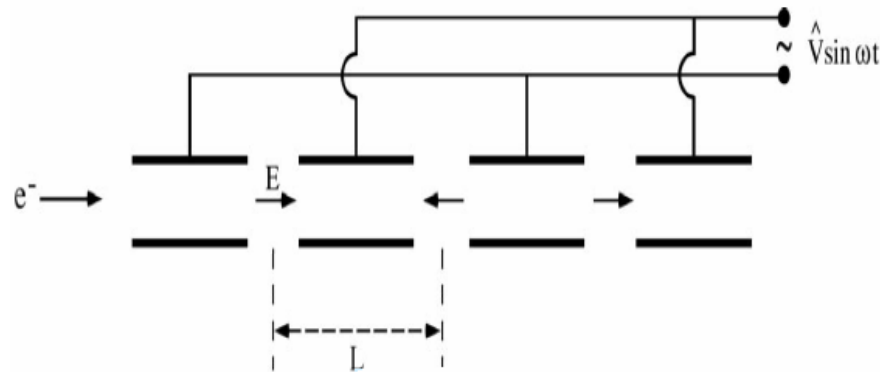
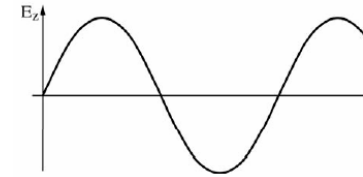


Problem: "breakdown" ved $\sim 10\text{MV}$

- man kan ikke "bygge seg rundt i ring" med likestrømsfelt

Likestrømsfelt brukes for "små" akseleratorer for på starten av et akseleratorkompleks.

Et elektrisk felt hvis amplitude svinger i tid $E(t) = A \sin(\omega t)$: RF felt



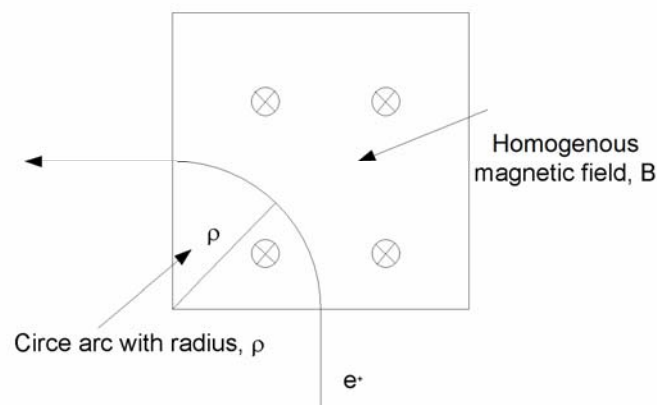
“Widerøe-akselerator”, etter nordmannens Rolf Widerøe (bror av Viggo Widerøe) pionerarbeid på 1920-tallet

Partikler ser feltet kun når amplituden er positiv, partikkelen akselereres i fartsretningen:
Krever synkronisering mellom omløpstid og svingetid for feltet: $T_{\text{particle}} = \frac{1}{2} T_{\text{RF}}$

RF-felt er teknikken som brukes i alle høyenergi partikkelakseleratorer, inklusiv LHC

Sirkulære akseleratorer: avbøyende krefter trengs!

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) = \vec{F}_E + \vec{F}_B$$



Sirkulære akselerator: består av sirkelstykker med en definert radius

- Rette deler trengs innimellom for f.eks. kollisjonspunkter og akselerasjonspunkter
- I sirkelstykkene trengs et magnetisk felt for å gi den korrekte bøyingsradiusen

$$F = ma$$

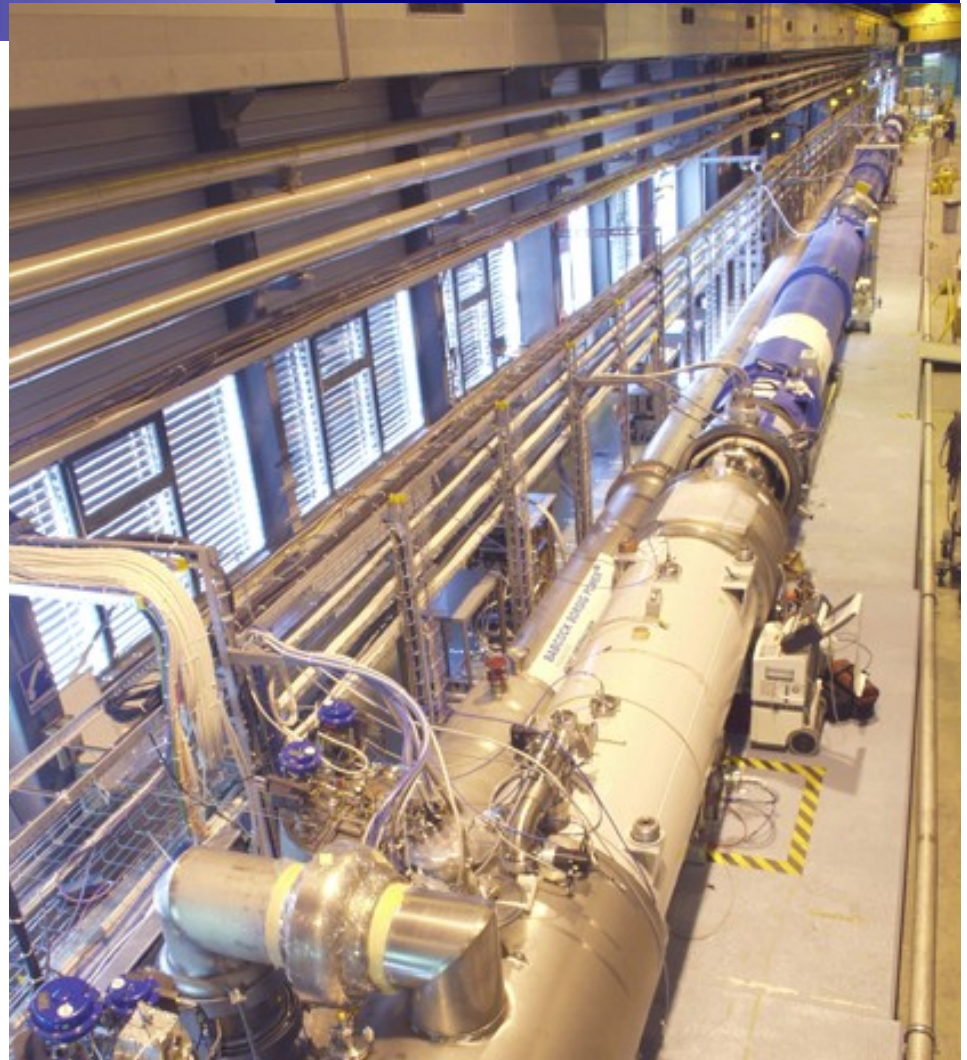
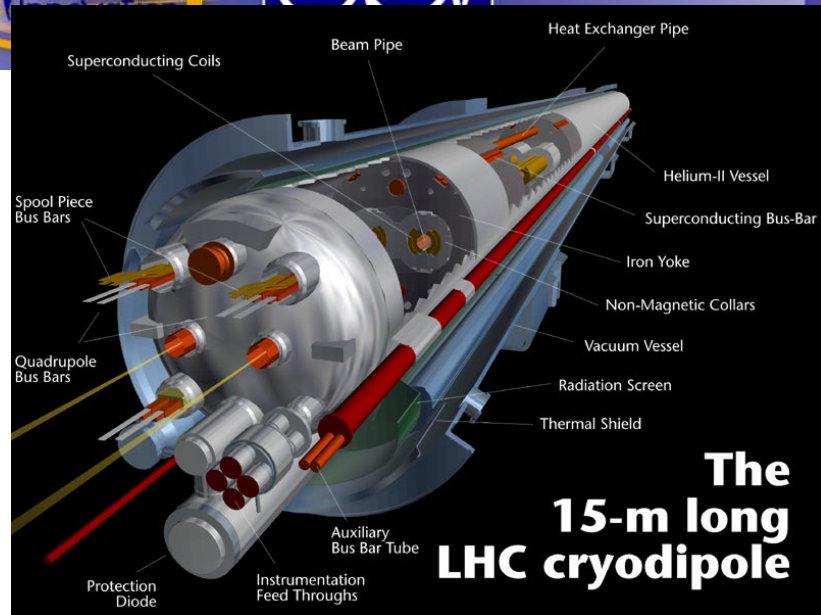
$$\Rightarrow qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$\Rightarrow B = p \frac{1}{qr}$$

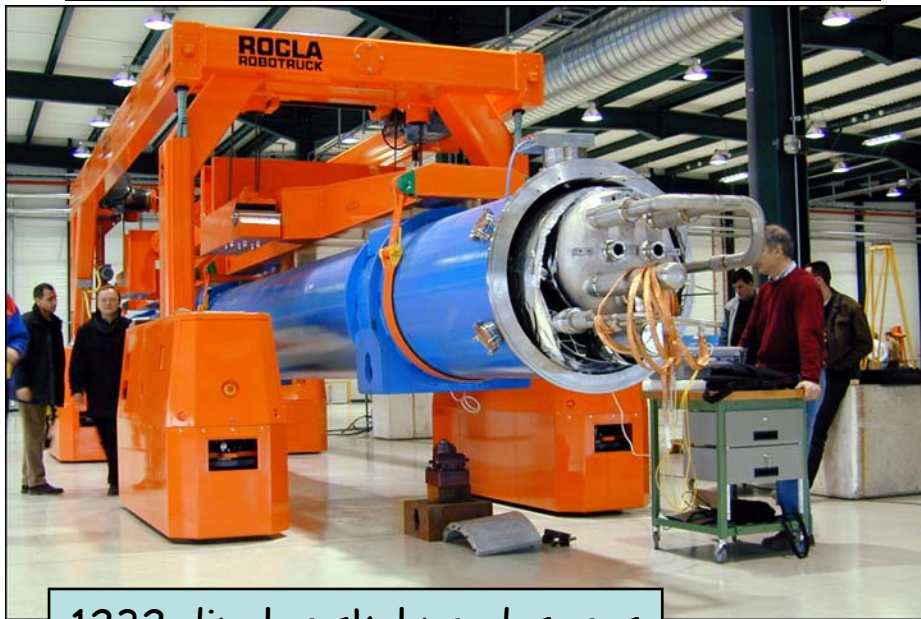


For en partikkel med en konstant energi trengs et konstant B-felt for å holde dem i banen.
Et slikt felt fåes fra dipolmagneter

LHC dipolmagneter



Første LHC-celle (~ 120 m lang) :
6 dipoler + 4 kvadrupoler
Suksessfull test ved nominell strømstyrke
(12 000 Ampere)



1232 dipoler skal produseres

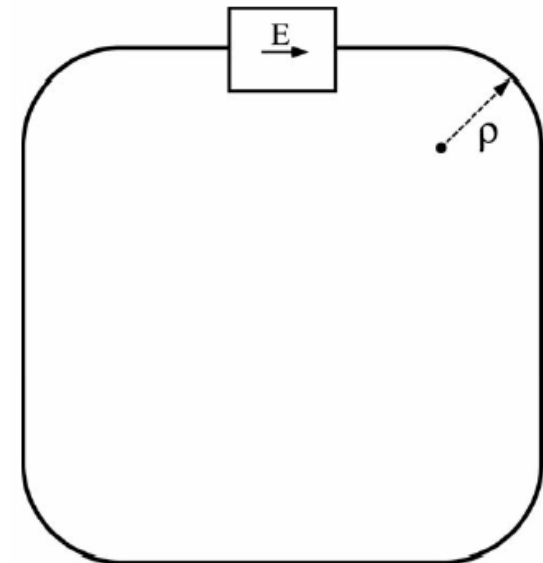


Dipolmagneter for LHC ankommer fra industrier over hele Europa, lagres, testes og installeres så 100 meter under jorden, i LHC

I 2007 vil de første partiklene gå i bane i LHC, avbøyd av alle dipolene, og akselerert av RF feltene

- Akselerasjon fra radiofrekvensfelt
- Sirkelbevegelse (stykkevis), styrt av magnetiske felt, F_B
- F_B : Avbøyningsmagneter med et homogent felt
- Magnetisk flukstetthet øker proporsjonalt (*synkront*) med partikkelenergien
- Radiofrekvens øker proporsjonalt (*synkront*) med partikkelens omløpfrekvens

Dette er grunnprinsippene for ***synkrotronen LHC***



- **Ønsker:** så høy energi på sirkulerende partikler som mulig
- **Problem:** høy energi krever enten større kraft eller større radius for å kunne holde partiklene i bane, jamfør: $F = ma \Rightarrow p = qBr$ 
- **Grense** for hvor sterkt magnetfelt vi kan skape, selv med superledende magneter som i LHC: $B_{\max} = 8$ Tesla (normale magneter $B_{\max} = 2$ Tesla)
- Med $B_{\max}$ gitt, ser vi at $p_{\max}$ er proporsjonal med r



Spørsmål om del II, partikkelakseleratorer?

?



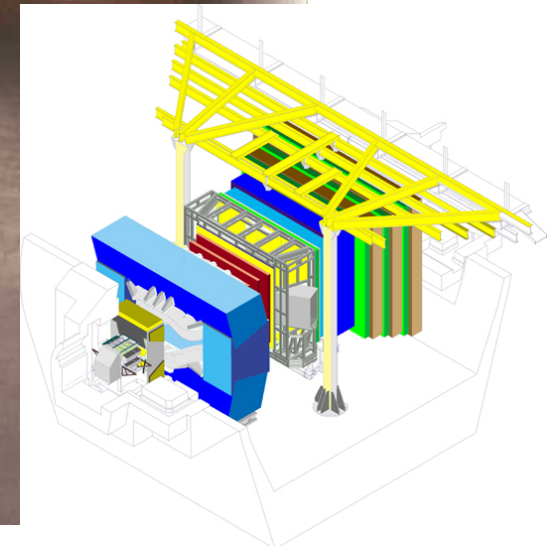
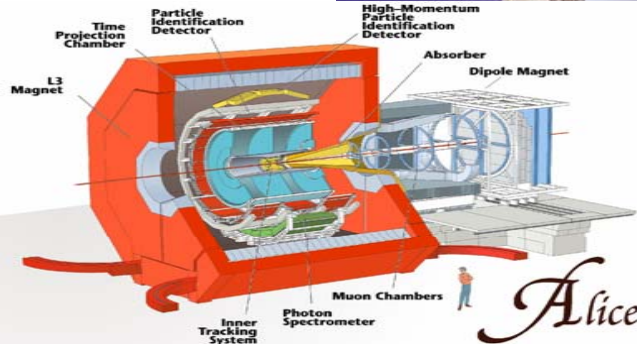
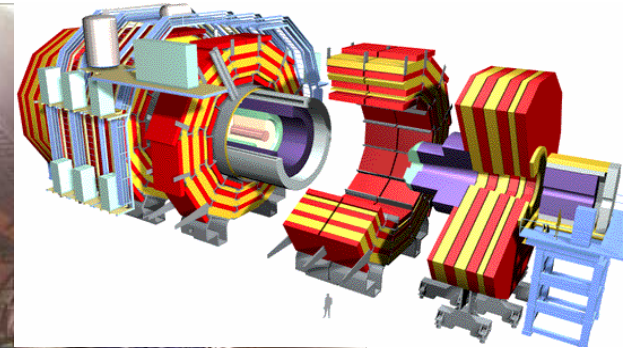
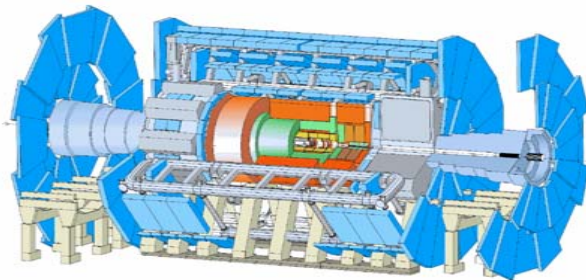
Vi skal se nærmere på...

- I. Partikkelfysikken
- II. Akseleratoren LHC
- III. Detektoren ATLAS**

...å skape nye partikler er ikke nok. Vi må observere dem også. Til det trengs detektorer...

LHC og dens detektorer

LHC vil starte opp i 2007, og forskere fra hele verden venter spent på de første resultatene...



Jamfør kvantefeltteori (basis for standardmodellen) kan nye partikler bli skapt i kollisjonspunktet

- **Annihilasjon** av to elementærpartikler (en kvark og en antikvark) genererer ren energi
- Nye partikler kan genereres fra denne energien (tenk: pardanning)



- To utfordringer:
 - De fleste partikler er ustabile, noen lever kun 10^{-20} sekunder. Disse partiklene vil derfor nesten umiddelbart henfalle til andre partikkeltyper
 - Det er en prosentvis svært liten sjanse for at de mest sjeldne partikkeltypene blir dannet i en kollisjon. Derfor trenger vi mange kollisjoner for å observere dem.



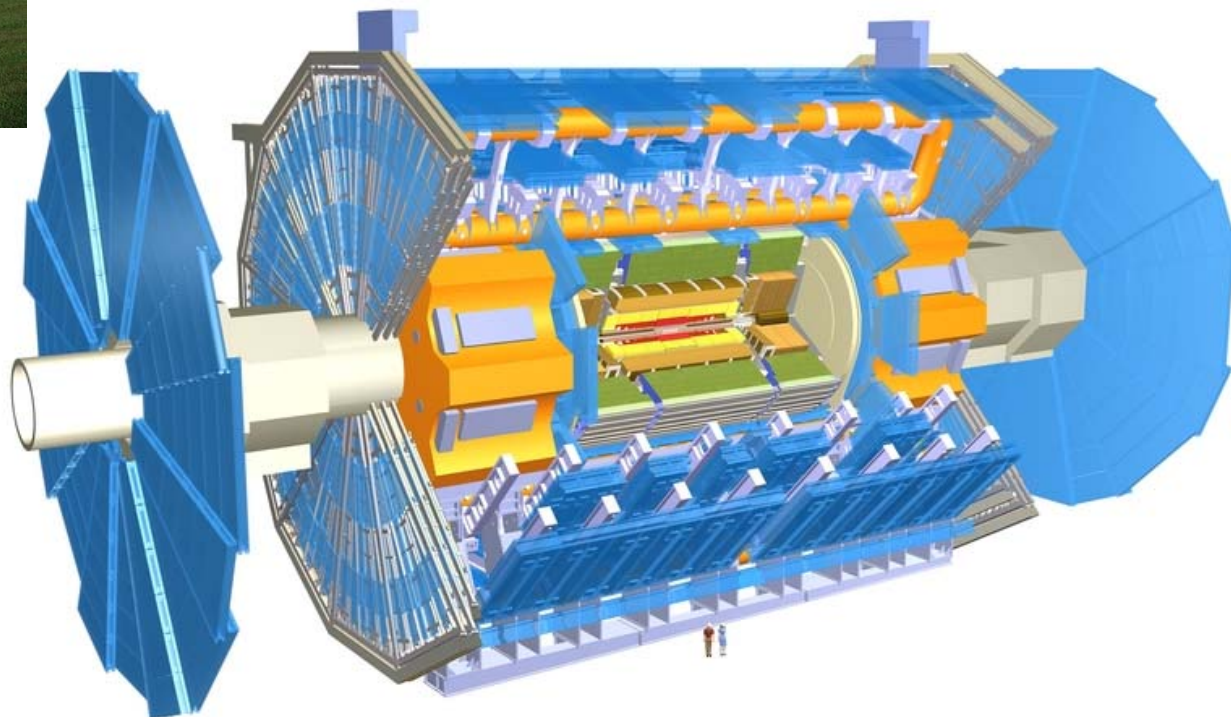
Formål: detektoren ATLAS

- Å observere resultatet av partikkelkollisjonene
- ...av de MANGE partikkelkollisjonene
- ...og luke ut de få interessante

ATLAS-detektoren



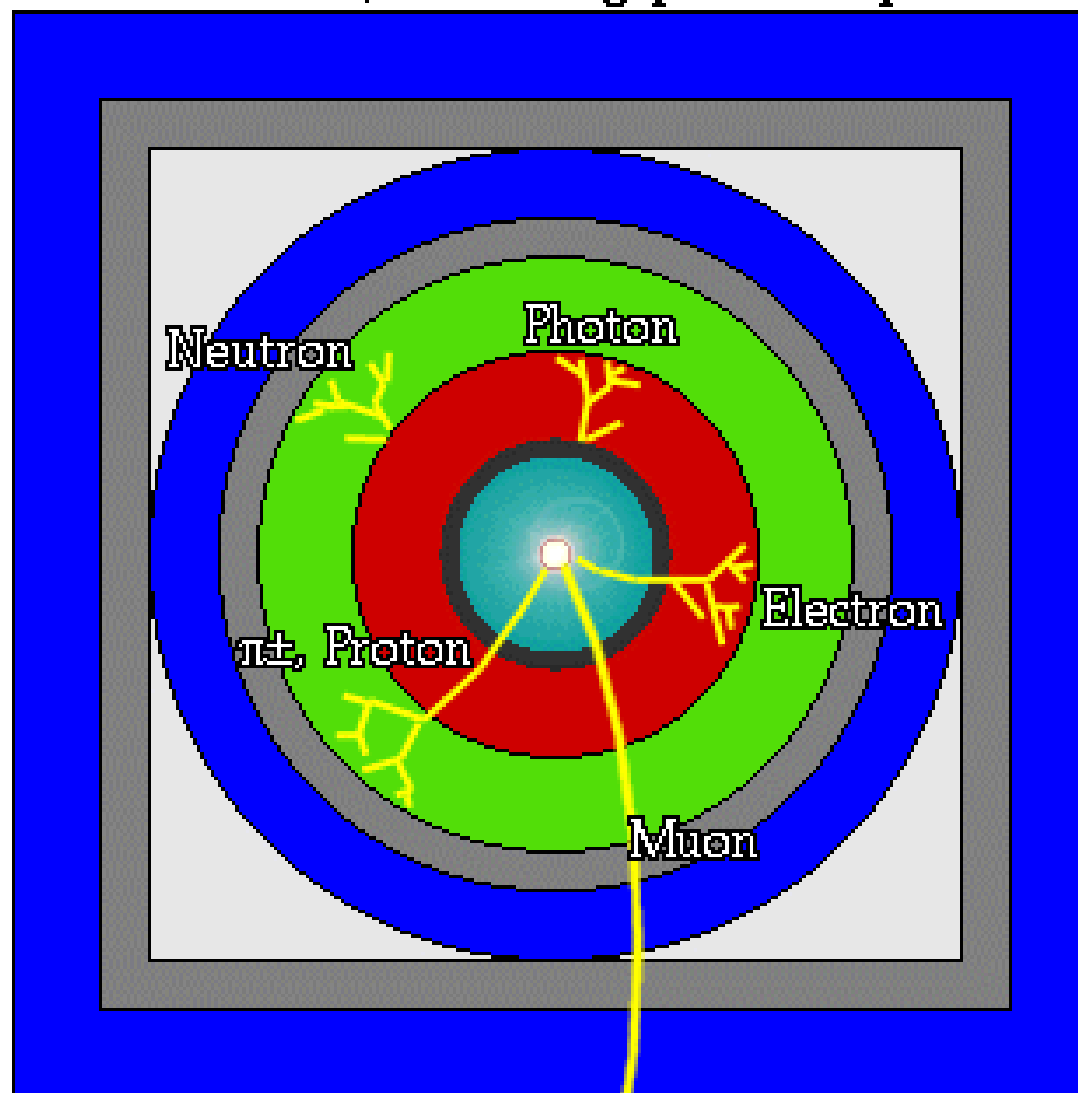
ATLAS sammenlignet med den
5 etasjes bygning 40



<i>Diameter</i>	<i>25 m</i>
<i>Lengde toroidemagnet</i>	<i>26 m</i>
<i>Ende-til-ende lengde</i>	<i>46 m</i>
<i>Vekt</i>	<i>7000 tonn</i>

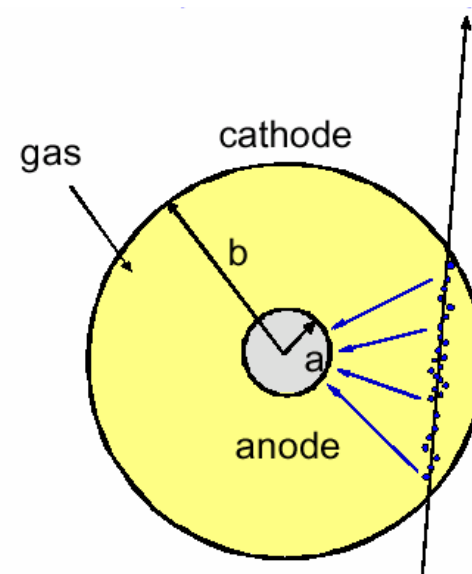
A detector cross-section, showing particle paths

- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



Hva kan vi måle i en partikkeldetektor?

- Vi ønsker å observere partikler samt identifisere partikkeltypen (p^+ , e^- , n etc.)
- Hva karakteriserer en partikkel?
 - Hvilemasse, m_0
 - Ladning, q
 - Energi, E
- Hvordan kan vi overhodet observe en partikkel?
 - Ladde partikler vekselvirker med (ioniserer) atomiske elektroner i detektormaterialet
 - Vi kan observere denne ionisering som e.g. elektrisk signal eller lysutsending
 - Derav kan vi spore partikkelens bane gjennom detektormaterialet



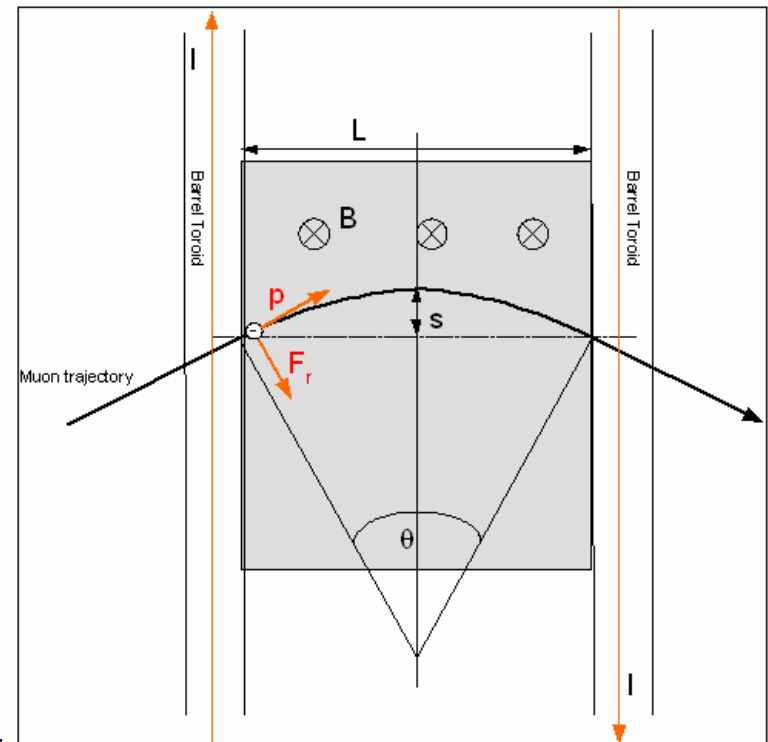
Å se sporet til en partikkel i detektoren sier oss i utgangspunktet ikke så mye om dens egenskaper...

...MEN, ved å sette opp et (kjent) magnetfelt, B , inne i detektoren vil partikkelen gå i en krum bane.

- Retningen på krumningen vil avhenge av partikkelens ladning (+/-1)
- Krumningen vil avhenge av partikkelens bevegelsesmengde:

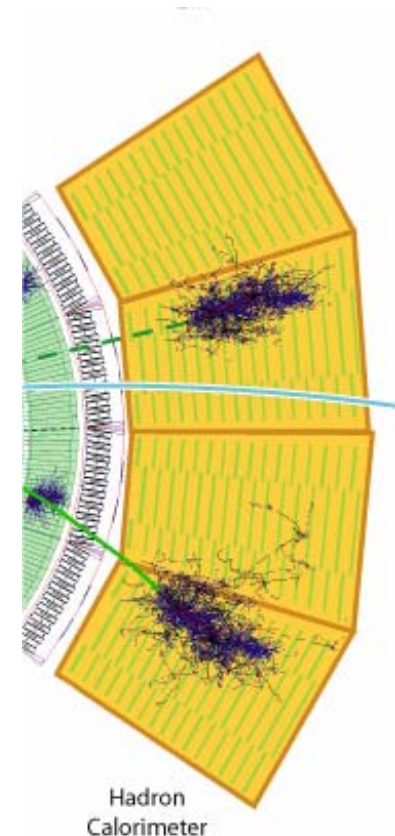
$$F_B = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow p = qBr = \frac{eBL^2}{8s}$$

3FY



Energien, E , kan også måles:

Et tykt lagt materiale som partikkelen vekselvirker med, vil bremse partikkelen helt opp $\Rightarrow$ den vil **legge igjen hele sin energi** i dette materialet. Denne energien kan avleses elektronisk. Disse lagene av detektoren kalles kalorimetre.





Identifisering av partikkelegenskaper

- Sporing i magnetfelt gir oss p og q
- Kalorimetre gir oss E

Vi kan da regne ut hvilemassen (nb: alt relativistisk)

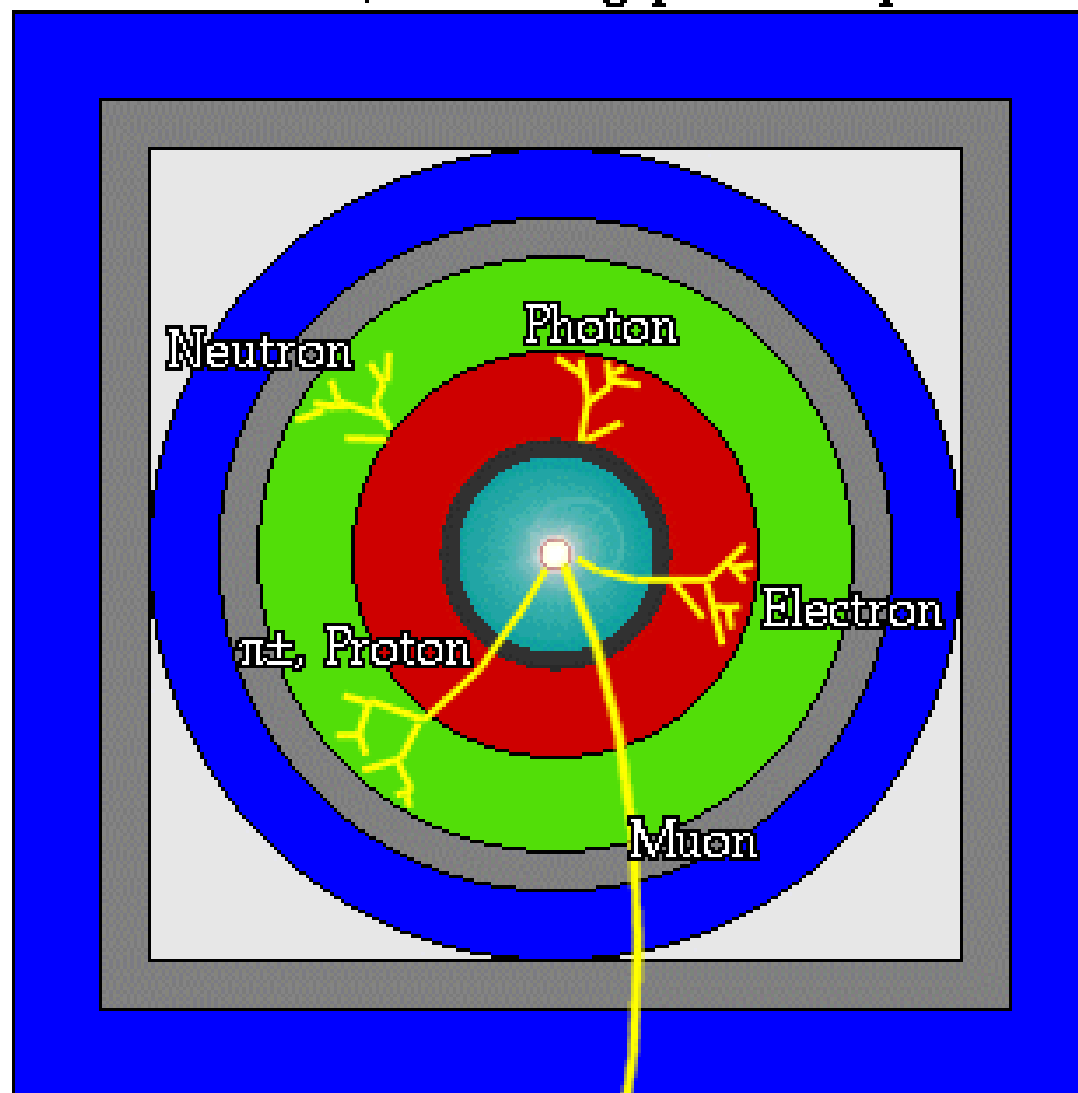
- $p = \gamma m_0 v$
- $v = pc^2/E$

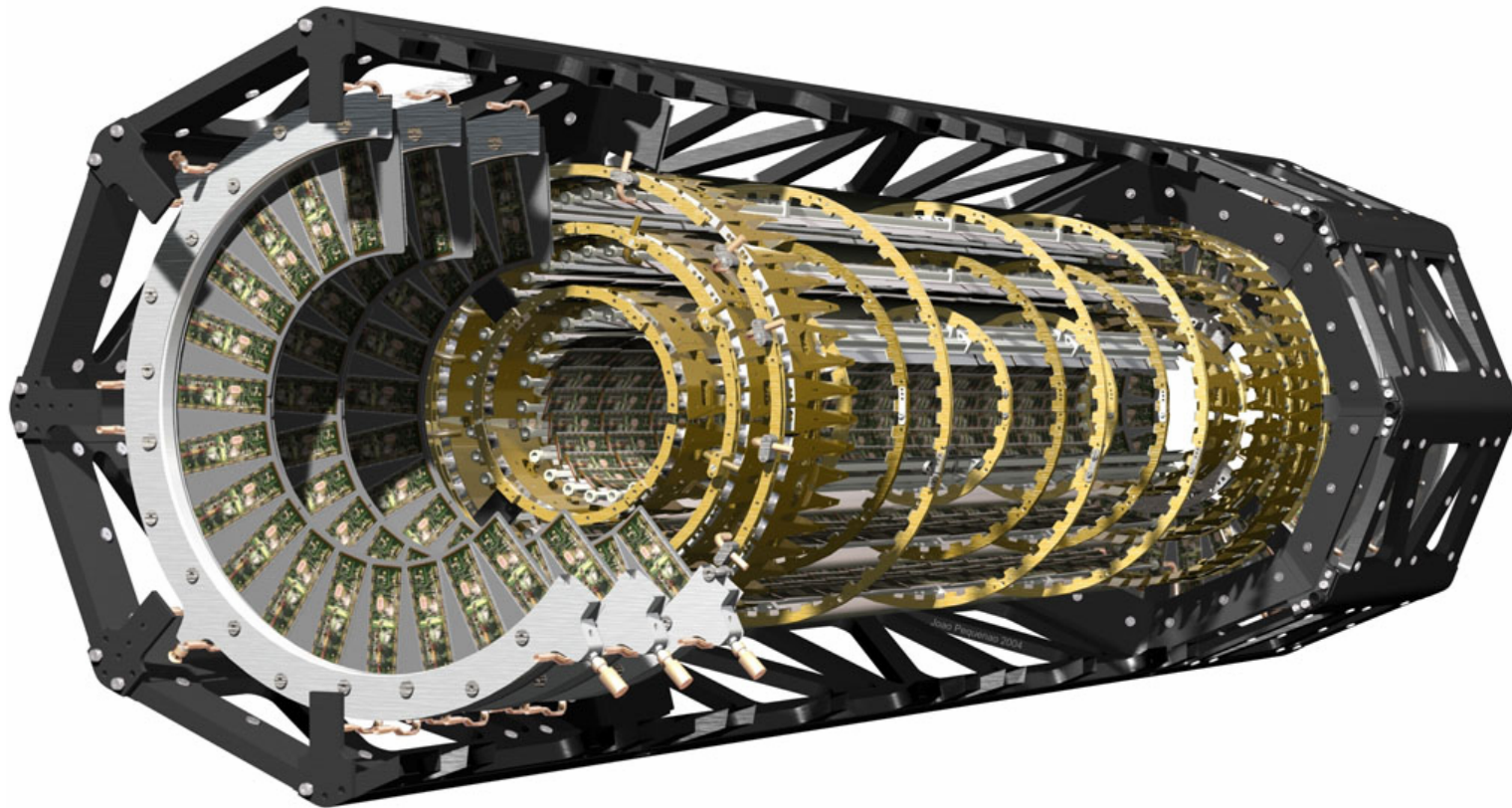
$$\Rightarrow m_0 = \frac{p}{\gamma(v)v}$$

I prinsippet har vi altså det meste vi trenger for å identifisere de viktigste partikkelegenskapene

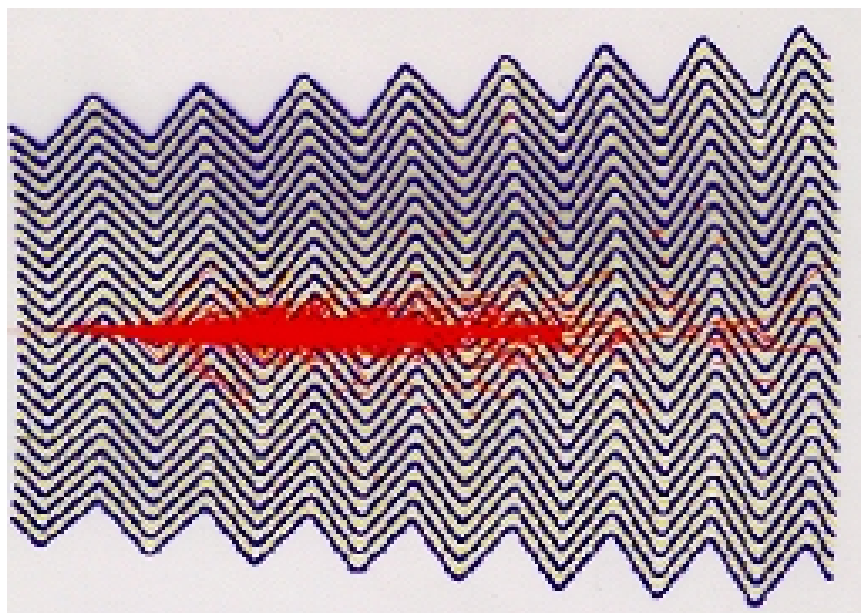
A detector cross-section, showing particle paths

- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



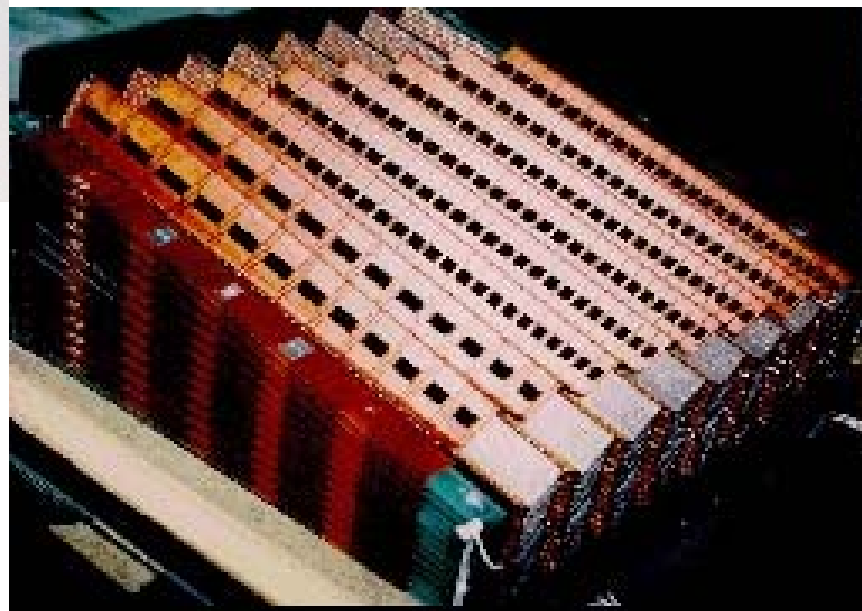


ATLAS halvlederdetektor for sporfølging



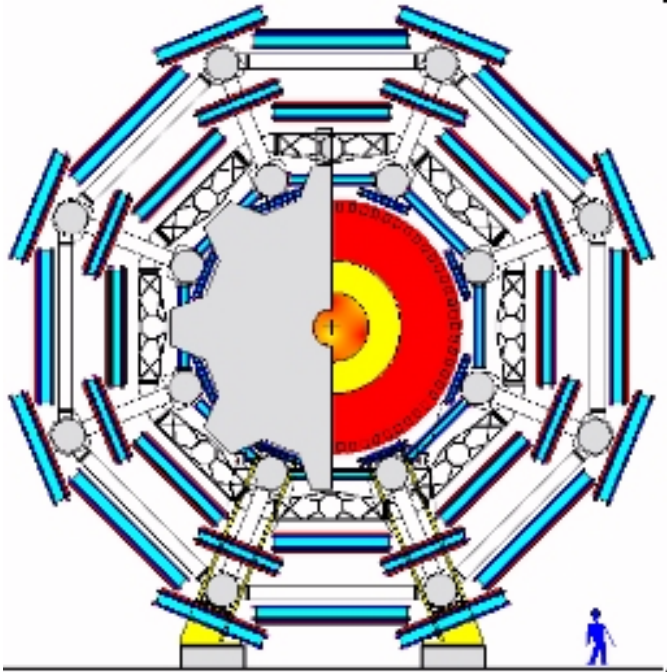
Venstre: elektromagnetisk kalorimeter som stopper e^- og γ (elektromagnetisk skurutvikling: pardanning + bremsestråling).

Høyre: hadronisk kalorimeter. Kompakt materie (stål, jern) stopper p og n (partikler sammensatt av kvarker – hadroner).



ATLAS: myonkamre

Myoner (tunge elektroner) er de eneste partiklene som går igjennom kalorimetrene (punktlike, lite bremsestråling)



Myonkamre er derfor plassert i ytre lag av detektoren. Slik vet man at partikkelspor her kommer fra myoner.



ATLAS:

Magnetic field configurations:

Separate magnetsystem

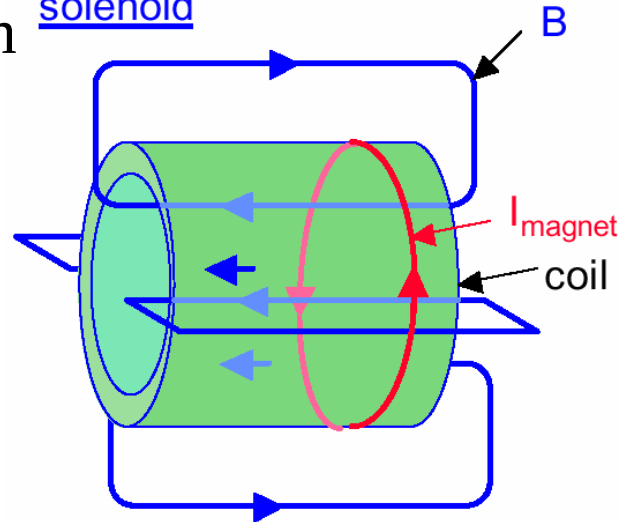
1) Indre detektor)

(Solenoidmagnet)

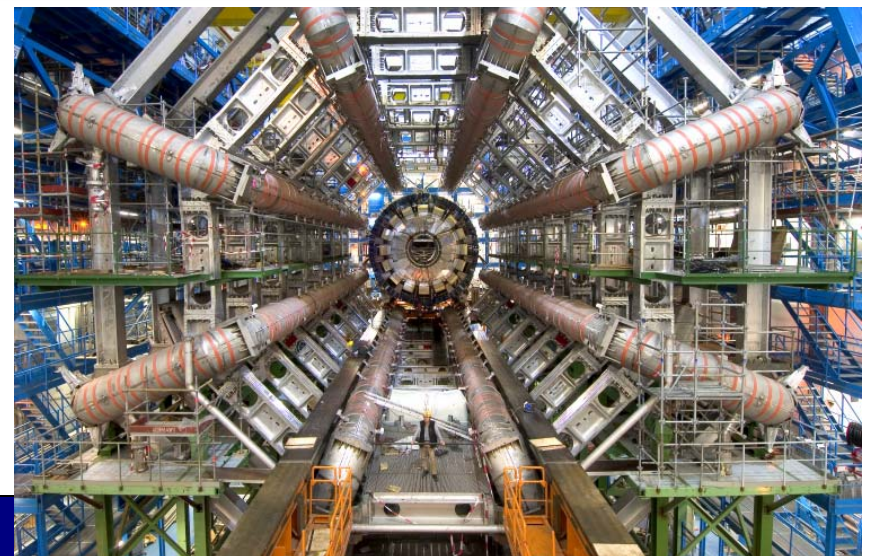
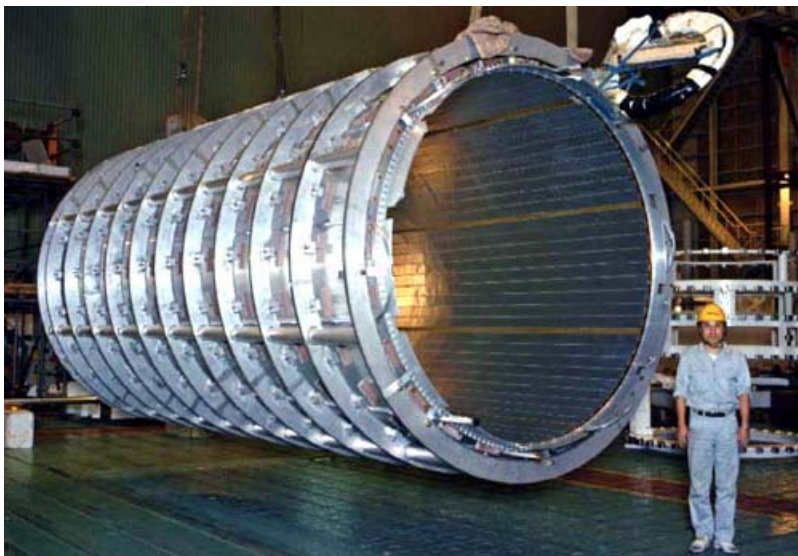
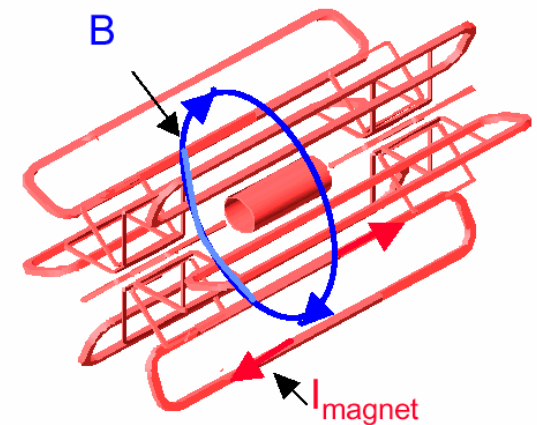
1) Myonspektrometer

(Toroidemagnet)

solenoid



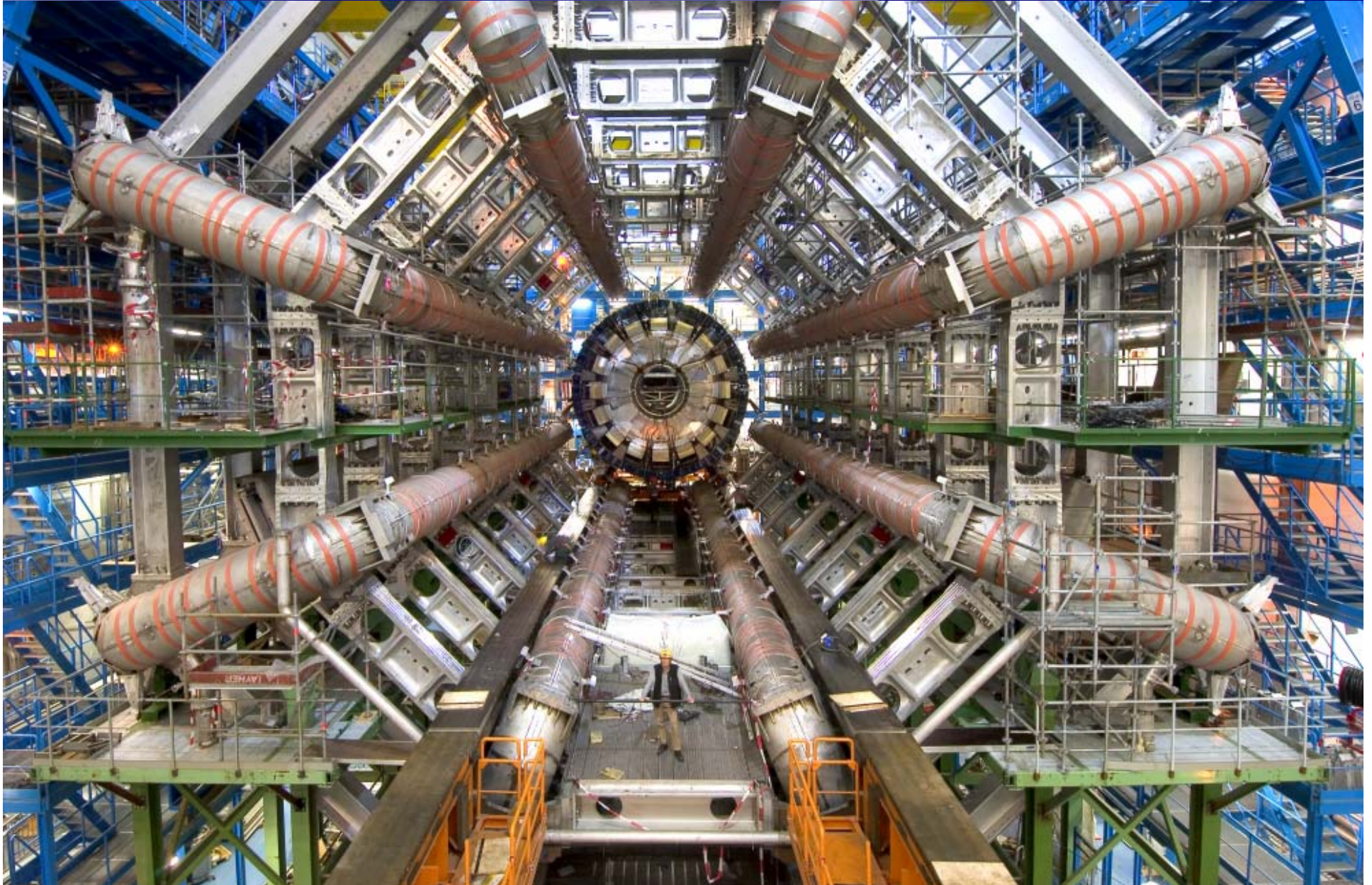
toroid



Installasjon av en toroidemagnet i ATLAS-hulen

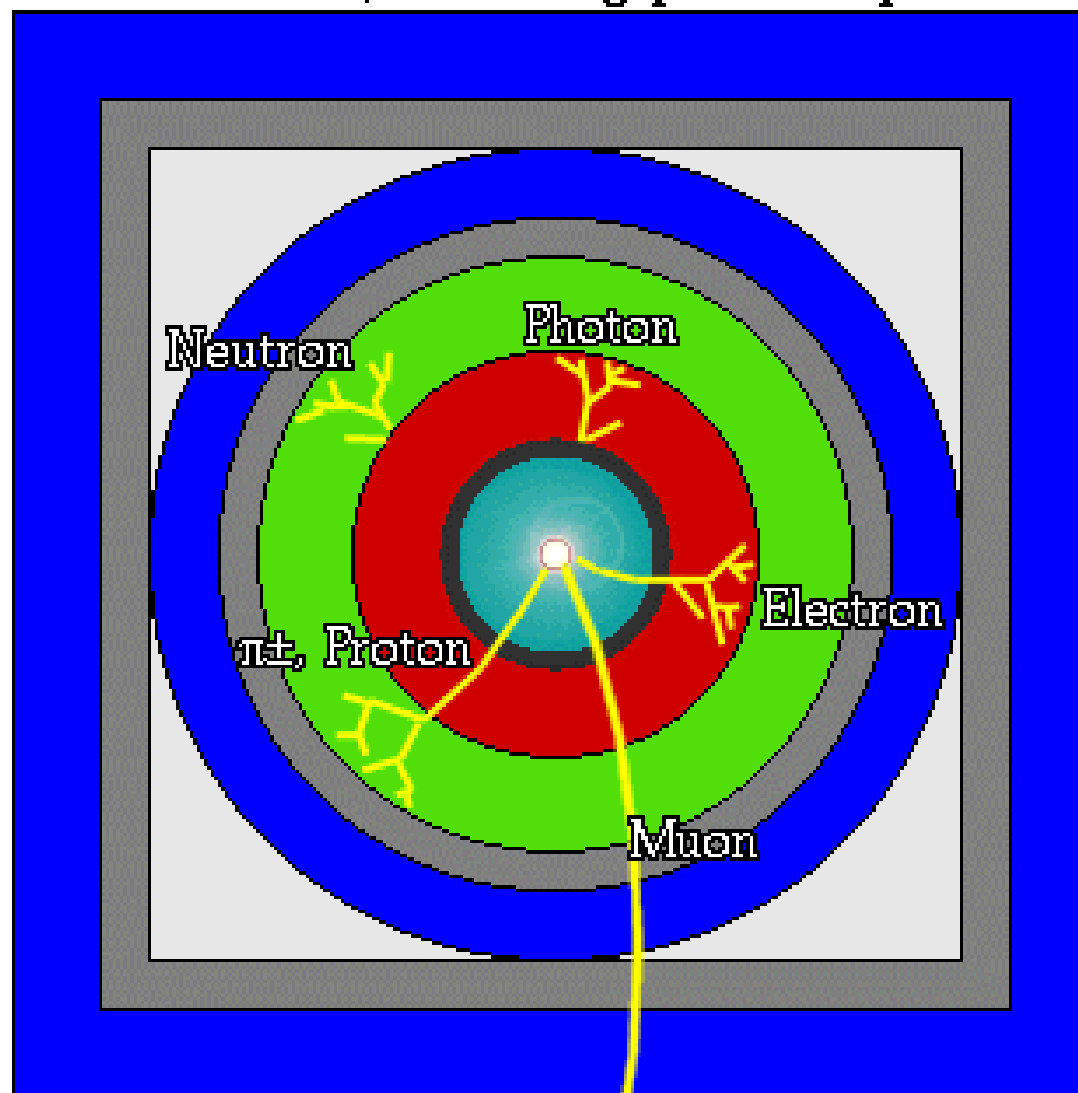


Samtlige 8 toroidemagneter på plass i ATLAS, oktober 2005

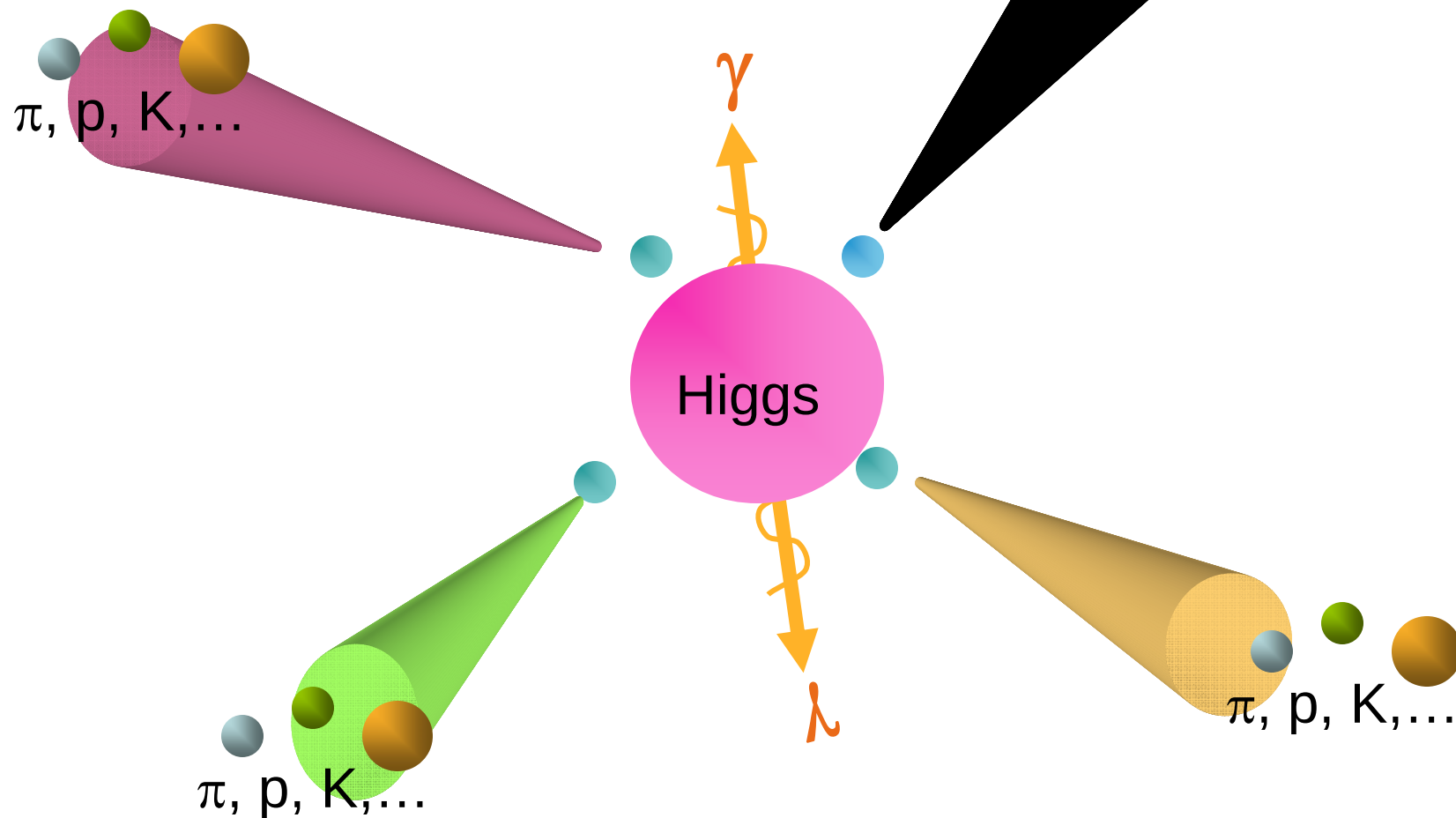


A detector cross-section, showing particle paths

- Beam Pipe (center)
- Tracking Chamber
- Magnet Coil
- E-M Calorimeter
- Hadron Calorimeter
- Magnetized Iron
- Muon Chambers



Å finne en artikkel...



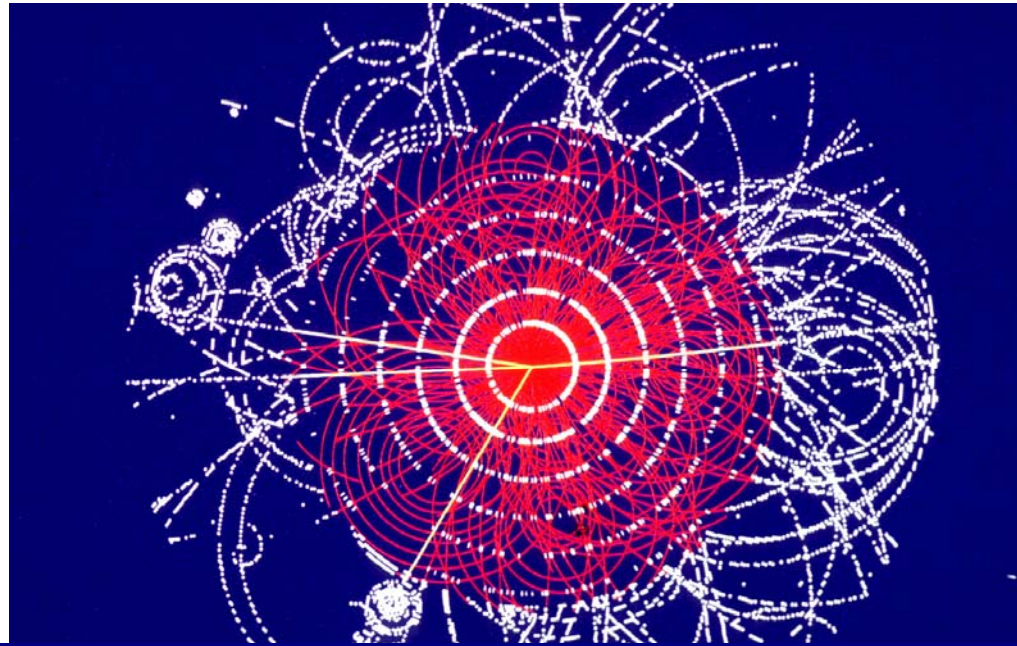
!!!!!! Omtrent 10^9 p-p koll/sek !!!!!

H produksjon i denne kanalen: 100/år

Å finne en partikkel...

De to protonstrålene i LHC vil kollidere front-mot-front 800 millioner ganger i sekundet

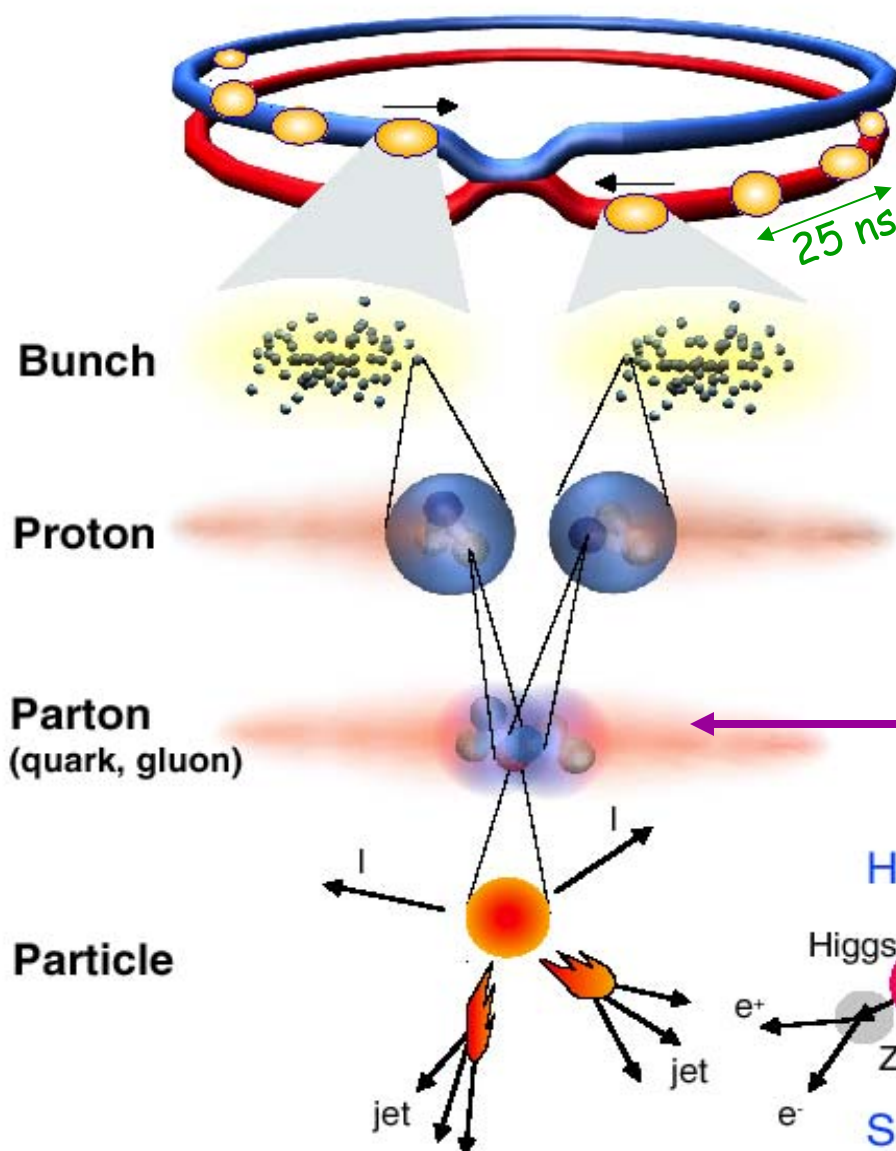
Kollisjonspunktet er i sentrum av detektoren, og partiklene vil gå ut mot sidene



**VI FORVENTER KUN 1 HIGGS PER
1,000,000,000,000 HENDELSER**

Collisions at LHC

SAMMENDRAG



Proton-Proton

Protons/bunch

10^{11}

Beam energy

7 TeV ($7 \times 10^{12} \text{ eV}$)

Luminosity

$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

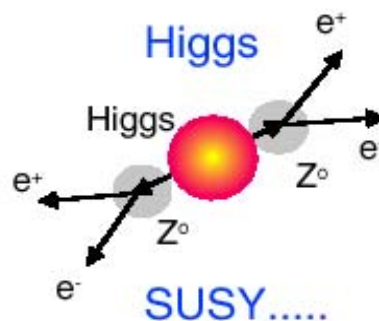
Event rate in ATLAS :

$$N = L \times \sigma \text{ (pp)} \approx 10^9 \text{ interactions/s}$$

Mostly soft (low p_T) events

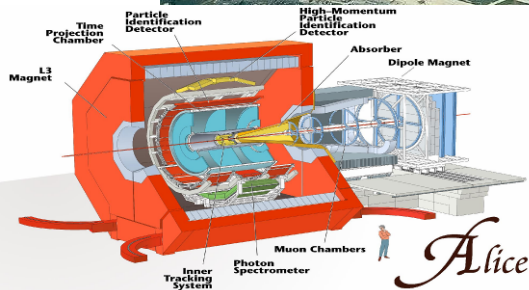
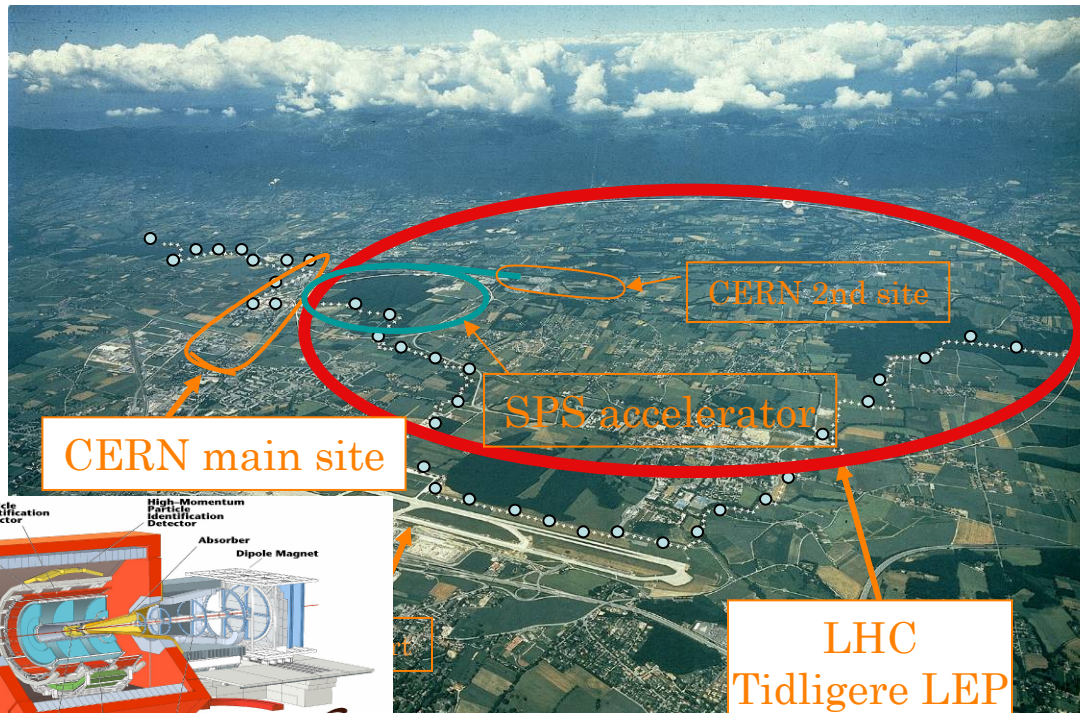
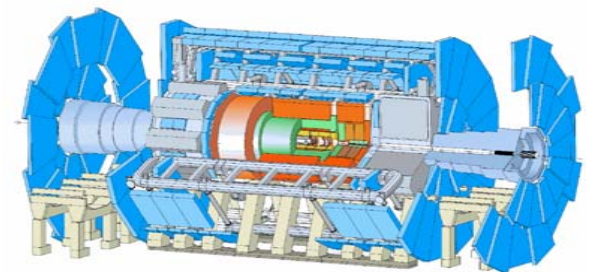
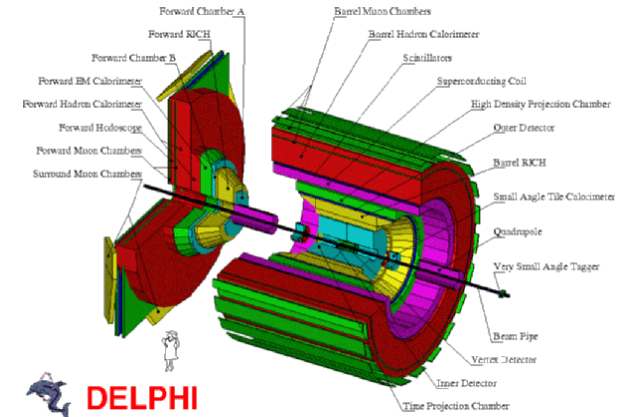
Interesting hard (high- p_T) events are rare

**Selection of 1 in
10,000,000,000,000**



Norge sterkt involvert på CERN både historisk og i dag

- Betydelige bidrag til LEP-analyser
- Betydelige bidrag av til enorme, internasjonale LHC eksperimentene ALICE og ATLAS
- Bl.a. er nestlederen av ATLAS-samarbeidet fra Universitet i Oslo, og vil være vår guide i ATLAS i dag



Alice



Spørsmål om del III, detektorer?

?



Vi har sett på målet:

- partikkelfysikken

og de eksperimentelle hjelpemidlene:

- akseleratorer (LHC)

- detektorer (ATLAS)

LHC vil starte opp og ATLAS vil observere de første kollisjonene i slutten av 2007.

ATLAS: verdens største
partikkeldetektor settes
sammen like under føttene våre
akkurat nå

Allerede 75% ferdigstilt, og klar i
2007

- La oss gå over veien, ta heisen
90 meter under jorden, og se på
ATLAS





TODO: Real collisions





TODO: Forces as exchange of particles

