

Masterclass i partikkelfysikk

Katarina Pajchel

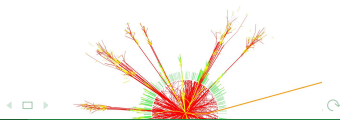
på vegne av Maiken Pedersen, Erik Gramstad, Farid Ould-Saada

Mars, 18 2011



Innholdsfortegnelse

- Det I: Masterklass konseptet
- Det II: Teori
 - ▷ Introduksjons til partikkelfysikkens Standardmodell
 - ▷ Z-partikkelen
- Del III: Eksperiment
 - ▷ Detektor
 - ▷ Partikkelidentifikasjon
 - ▷ Kollisjonsidentifikasjon
 - ▷ Måling
 - ▷ Evaluering
- Del IV: Masteclass ressurser
 - ▷ Ressurser på nettet
 - ▷ Demo



- Masterclass - et dags-projekt
 - ▷ Formiddag: Forelesninger
 - ▷ Lunsj
 - ▷ Ettermiddag:
 - ▷ Eksperiment - dataanalyse, måling
 - ▷ Videokonferanse med 4-6 andre grupper i Europa og eksperter på CERN
- Masterclass ressurser kan brukes uavhengig av de organiserte programmet

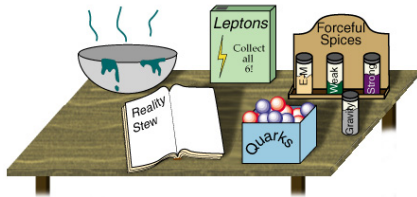
- Lære om fundamental fysikk
 - ▷ Aktuell kunnskap på feltet
 - ▷ Forskningsbasert undervisning
 - ▷ Formidlet av studenter og professorer i fagfeltet
- Få et inntrykk hvordan en jobber som forsker
 - ▷ Komme til et universitet
 - ▷ Teori og eksperiment
 - ▷ Arbeidsoppgaver basert på reelle data og analyse verktøy
 - ▷ Samarbeid og diskusjon
 - ▷ Videokonferanse - kombinasjon av resultater, diskusjon

Enrico Fermi:

Young man, if I could remember the names of these particles, I would have been a botanist.

System i galskapen

Materiepartikler				
Kvarker	u	c	t	Kraftformidlende partikler
	d	s	b	
Leptoner	ν_e	ν_μ	ν_τ	
	e	μ	τ	
			γ	
			g	
			Z	
			W	

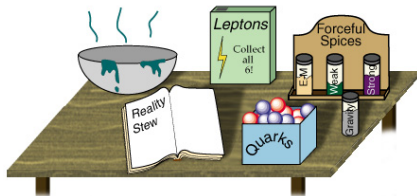


Partikkelfysikkens Standardmodellen (SM)

Beskriver materiens fundamentale byggestener og vekselvirkningene (kreftene) som holder alt i hop.

System i galskapen

Materiepartikler				
Kvarker	u	c	t	Kraftformidlende partikler
	d	s	b	
Leptoner	ν_e	ν_μ	ν_τ	
	e	μ	τ	
			γ	
			g	
			Z	
			W	



Partikkelfysikkens Standardmodellen (SM)

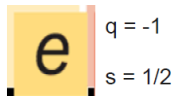
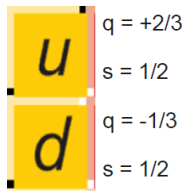
Beskriver materiens fundamentale byggestener og vekselvirkningene (kreftene) som holder alt i hop.

Standardmodellen er en relativistisk kvantefeltteori

Teorien er basert på både kvantemekanikk og spesiell relativitetsteori.

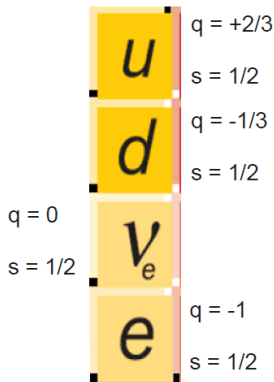
Materiepartiklene

- Mangfoldet kan beskrives ved hjelp av få fundamentale byggestener
 - ▷ kvarker ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}$)
 - ▷ leptoner ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\pm 1, 0$)
- All materie rundt oss bygget av
 - ▷ opp- ned-kvarker bundet av gluoner
 - ▷ elektroner
- Nøitрино gjør det mulig for partikler å henfalle til en annen type partikkel
 - ▷ Involvert i kjerneprosesser, f. eks. i solen
- Tre generasjoner



Materiepartiklene

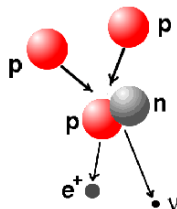
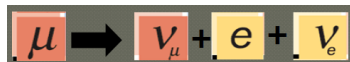
- Mangfoldet kan beskrives ved hjelp av få fundamentale byggestener
 - ▷ kvarker ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}$)
 - ▷ leptoner ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\pm 1, 0$)
- All materie rundt oss bygget av
 - ▷ opp- ned-kvarker bundet av gluoner
 - ▷ elektroner
- Nøitriino gjør det mulig for partikler å henfalle til en annen type partikkel
 - ▷ Involvert i kjerneprosesser, f. eks. i solen
- Tre generasjoner



Materiepartiklene

- Mangfoldet kan beskrives ved hjelp av få fundamentale byggestener
 - ▷ kvarker ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}$)
 - ▷ leptoner ($\frac{1}{2}$ -spinn, ladning $\pm 1, 0$)
- All materie rundt oss bygget av
 - ▷ opp- ned-kvarker bundet av gluoner
 - ▷ elektroner
- Nøitriino gjør det mulig for partikler å henfalle til en annen type partikkel
 - ▷ Involvert i kjerneprosesser, f. eks. i solen
- Tre generasjoner

ν_e	ν_μ	ν_τ	$q = 0$
e	μ	τ	$s = 1/2$
			$q = -1$
			$s = 1/2$



Materiepartiklene

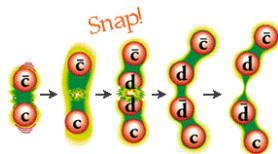
- Tre generasjoner kvarker
- Bare i bundne tilstander - asymptotisk frihet
 - ▷ mesoner - 2 kvarker
 - ▷ baryoner - 3 kvarker
 - ▷ geometrisk mønster
- Protonet stabilt
 - ▷ Andre henfaller
- Tunge kvark-partikler fantes like etter Big Bang
nå i kosmisk stråling og eksperimenter

<i>u</i>	<i>c</i>	<i>t</i>	$q = +2/3$
<i>d</i>	<i>s</i>	<i>b</i>	$s = 1/2$
			$q = -1/3$
			$s = 1/2$

Materiepartiklene

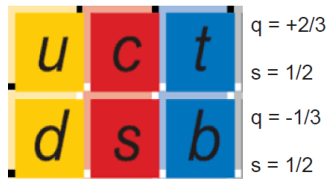
- Tre generasjoner kvarker
- Bare i bundne tilstander - asymptotisk frihet
 - ▷ mesoner - 2 kvarker
 - ▷ baryoner - 3 kvarker
 - ▷ geometrisk mønster
- Protonet stabilt
 - ▷ Andre henfaller
- Tunge kvark-partikler fantes like etter Big Bang
nå i kosmisk stråling og eksperimenter

<i>u</i>	<i>c</i>	<i>t</i>	$q = +2/3$
<i>d</i>	<i>s</i>	<i>b</i>	$s = 1/2$
			$q = -1/3$
			$s = 1/2$



Materiepartiklene

- Tre generasjoner kvarker
- Bare i bundne tilstander - asymptotisk frihet
 - ▷ mesoner - 2 kvarker
 - ▷ baryoner - 3 kvarker
 - ▷ geometrisk mønster
- Protonet stabilt
 - ▷ Andre henfaller
- Tunge kvark-partikler fantes like etter Big Bang
nå i kosmisk stråling og eksperimenter



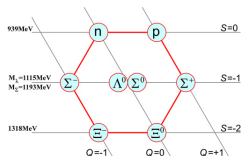
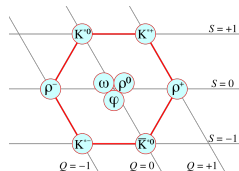
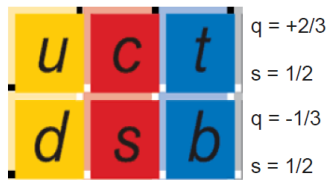
π^+

p

n

Materiepartiklene

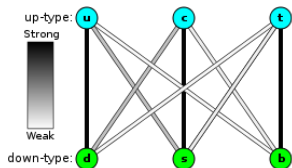
- Tre generasjoner kvarker
- Bare i bundne tilstander - asymptotisk frihet
 - ▷ mesoner - 2 kvarker
 - ▷ baryoner - 3 kvarker
 - ▷ geometrisk mønster
- Protonet stabilt
 - ▷ Andre henfaller
- Tunge kvark-partikler fantes like etter Big Bang
nå i kosmisk stråling og eksperimenter



Materiepartiklene

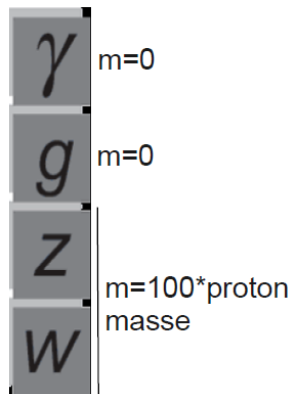
- Tre generasjoner kvarker
- Bare i bundne tilstander - asymptotisk frihet
 - ▷ mesoner - 2 kvarker
 - ▷ baryoner - 3 kvarker
 - ▷ geometrisk mønster
- Protonet stabilt
 - ▷ Andre henfaller
- Tunge kvark-partikler fantes like etter Big Bang
nå i kosmisk stråling og eksperimenter

<i>u</i>	<i>c</i>	<i>t</i>	$q = +2/3$
<i>d</i>	<i>s</i>	<i>b</i>	$s = 1/2$
			$q = -1/3$
			$s = 1/2$



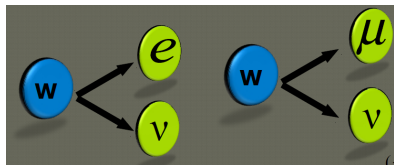
Kraftformidlings-partiklene

- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ eller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter



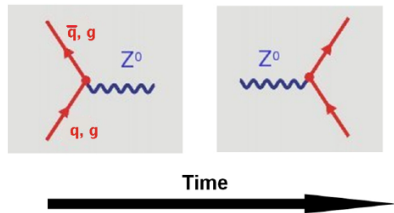
Kraftformidlings-partiklene

- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ eller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter



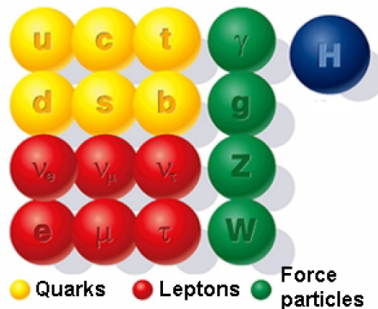
Kraftformidlings-partiklene

- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ eller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter



- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ aller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter

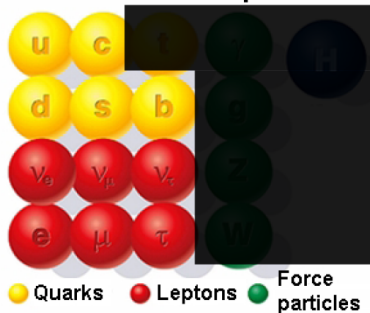
Standard Model particles



Kraftformidlings-partiklene

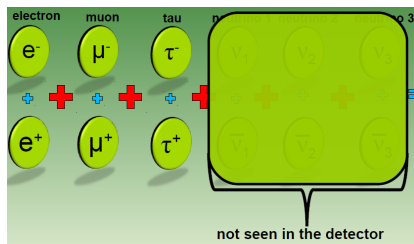
- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ aller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter

Standard Model particles



Kraftformidlings-partiklene

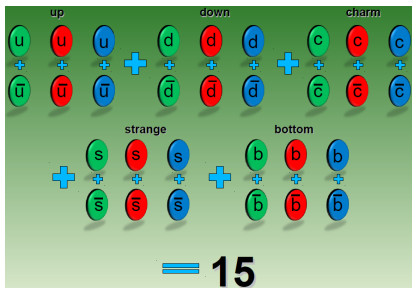
- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ aller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter



= 6

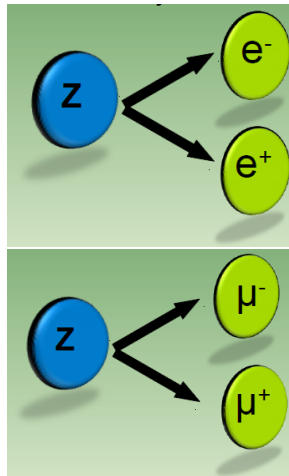
Kraftformidlings-partiklene

- Fundamentale vekselvirkninger
- Elektromagnetisme
 - ▷ foton γ - uendelig rekkevidde
- Sterk vekselvirkning
 - ▷ gluon g - kort rekkevidde
- Svak vekselvirkning
 - ▷ $M(W^\pm) = 80.4 \text{ GeV}$
 $M(Z^0) = 91.2 \text{ GeV}$
 - ▷ Kort levetid og rekkevidde
- Z produseres in $q\bar{q}$ aller gg kollisjoner
- Z henfall 21 muligheter



- Vi skal bare se på to av dem:

- ▷ $Z \rightarrow ee$
- ▷ $Z \rightarrow \mu\mu$

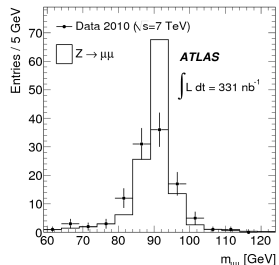
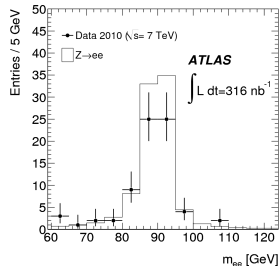


Invariant masse

- Vi observerer ikke direkte Z partikkelen
 - ▷ Beregner invariant masse av dens henfallsprodukter
- Eisteins spesielle relativitets teori
- Energi og masse nært forbundet
- Energi og bevegelsesmengde bevart
- Invariant masse

$$(m_0^Z)^2 = \left(\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{c^2} \right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \frac{\vec{p}_i}{c^2} \right)^2$$

- $n = 2$



Del III: Eksperimenter

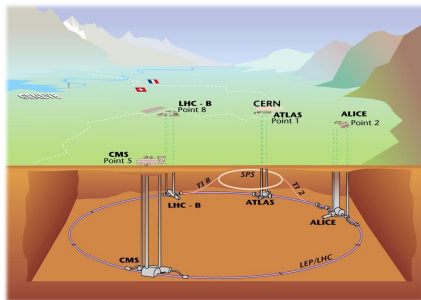
Verktøy for partikkelfysikk eksperimenter

● Akselerator

- ▷ Large Hadron Collider - LHC - skaper stråler av høyenergi-partikler
- ▷ Akselererer "bunter" av protoner opp til 99.9999991% av lysets hastighet
- ▷ 2808 bunter per stråle, 1.15×10^{11} protoner per bunt
- ▷ Protonenes energi: 7 TeV (terra elektron volt, 10^{12} eV)
- ▷ Total energi i strålen: 362 MJ

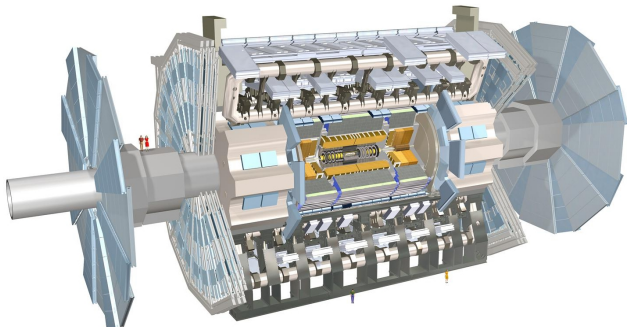


10^{12} eV is like having 1 battery for every star in our galaxy.



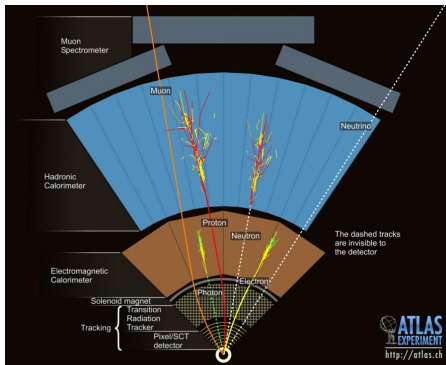
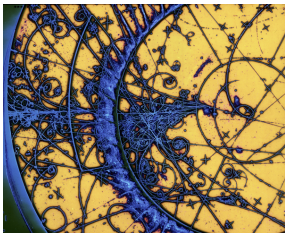
Verktøy for partikkelfysikk eksperimenter

- Detektor - et mikroskop som fungerer som er digitalt kamera
- Der er fire detektorer (eksperimenter) langs LHC ringen
- ALICE, LHCb, CMS, **ATLAS**
 - ▷ ATLAS - designet for å studere mange ulike prosesser
 - ▷ Diameter: 25 m, Lengde: 46 m
 - ▷ Krav: strålingshard og uhyre rask (1 milliard kollisjoner per sekund)



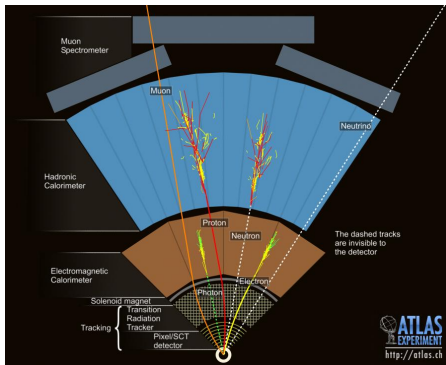
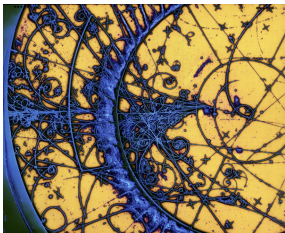
Detektor – et stort digitalkamera

- I gode gamle dager tok man bilder av partikkelspor
- I dag trenger vi høy oppløsning, og veldig raskt kamera
- Løk-struktur, ulike deler registrerer ulike partikler



Detektor – et stort digitalkamera

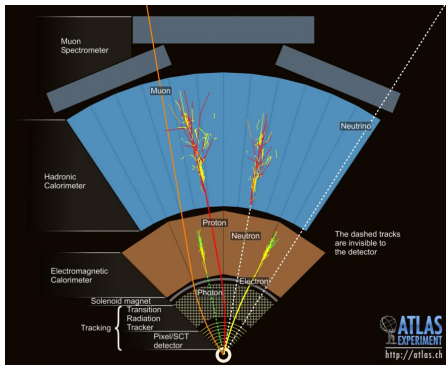
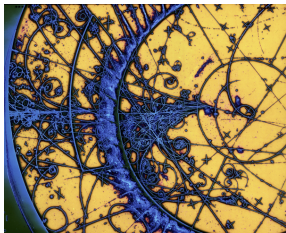
- I gode gamle dager tok man bilder av partikkelspor
- I dag trenger vi høy oppløsning, og veldig raskt kamera
- Løk-struktur, ulike deler registrerer ulike partikler



▷ Du må være veldig rask: 1 milliard kollisjoner per sekund

Detektor – et stort digitalkamera

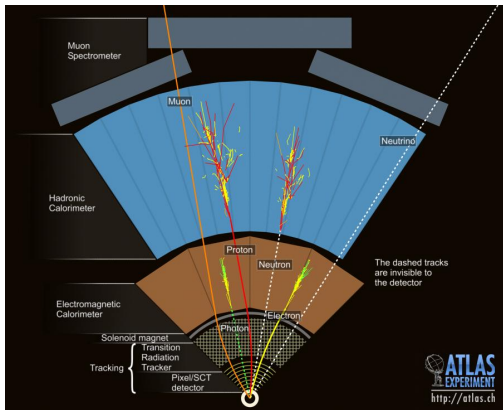
- I gode gamle dager tok man bilder av partikkelspor
- I dag trenger vi høy oppløsning, og veldig raskt kamera
- Løk-struktur, ulike deler registrerer ulike partikler



- ▷ Du må være veldig rask: 1 milliard kollisjoner per sekund
- ▷ ...og veldig kresen
- ▷ Interessante prosesser er sjeldne, en i $10^{13} = 10000000000000$ (Higgs boson)

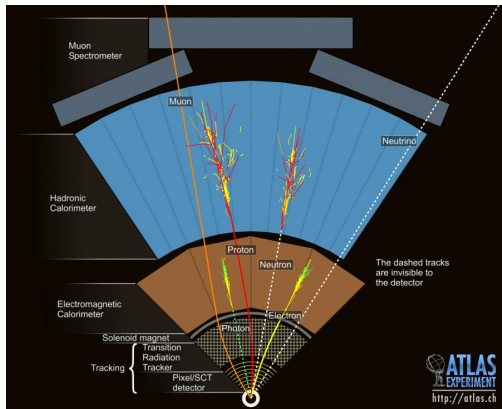
- Elektron/positron

- ▷ Ladd partikkel: spor i spordetektor
- ▷ Energi i elektromagnetisk kalorimeter



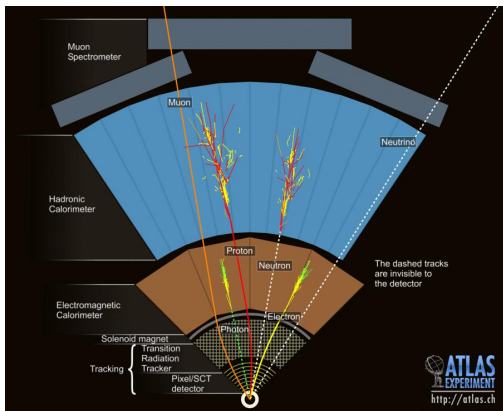
- Muon/anti-muon

- ▷ Ladd partikkel: spor i spordetektor
- ▷ Små energiavsetninger i kalorimeterne
- ▷ Treff i muonkamrene



Partikkel identifikasjon

- Protoner
- Neutroner
- Fotoner
- Neutrinoer - \cancel{E}_T



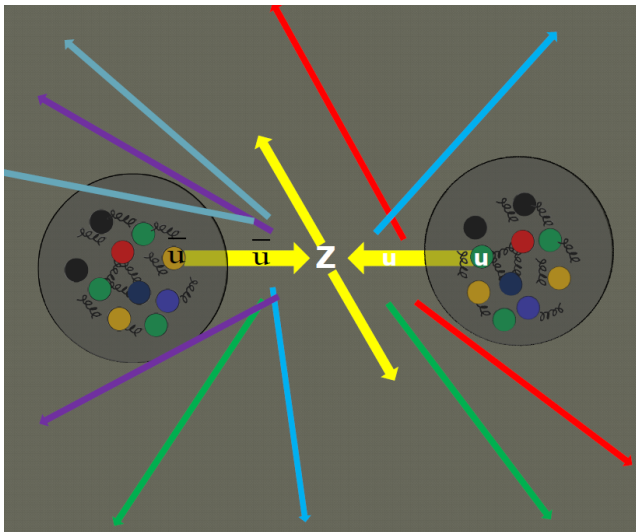
Mer om partikkel identifikasjon:

https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/zpath_teilchenid1.htm

Proton kollisjoner

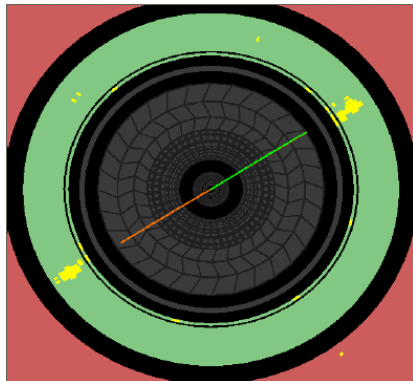
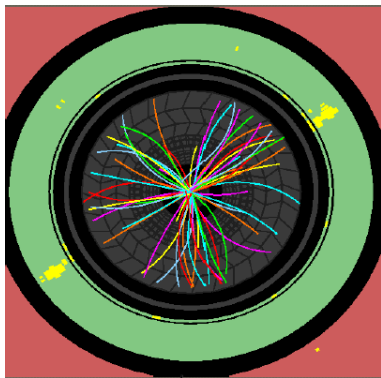


Proton kollisjoner

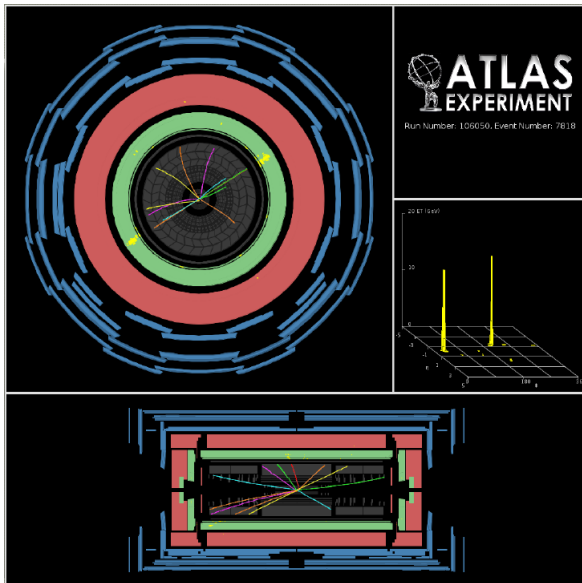


Event identifikasjon

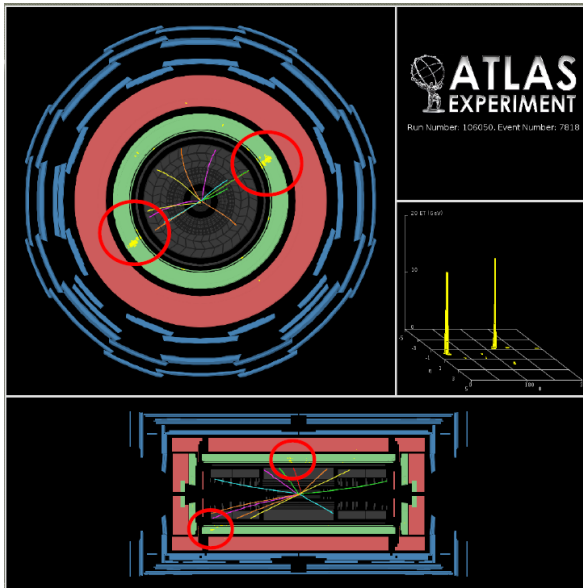
- Mange vekselvirkninger
- Mange partikler med liten energi
- Kutt for å se de interessante partiklene



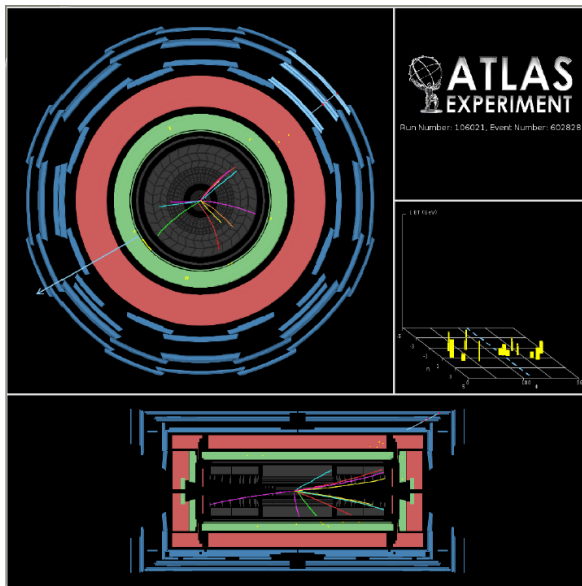
Event identifikasjon



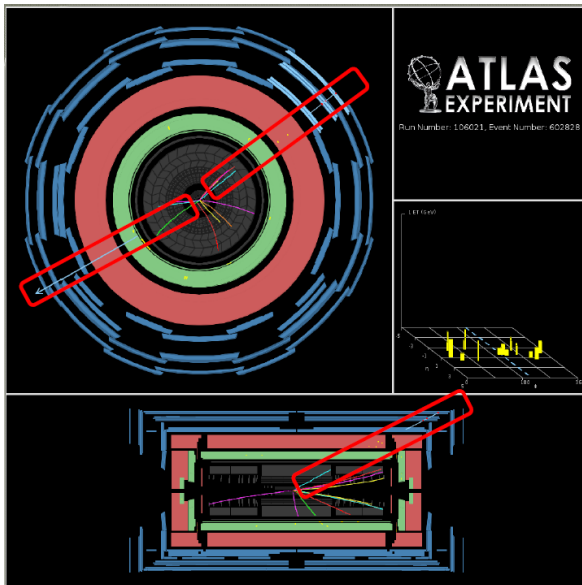
Event identifikasjon



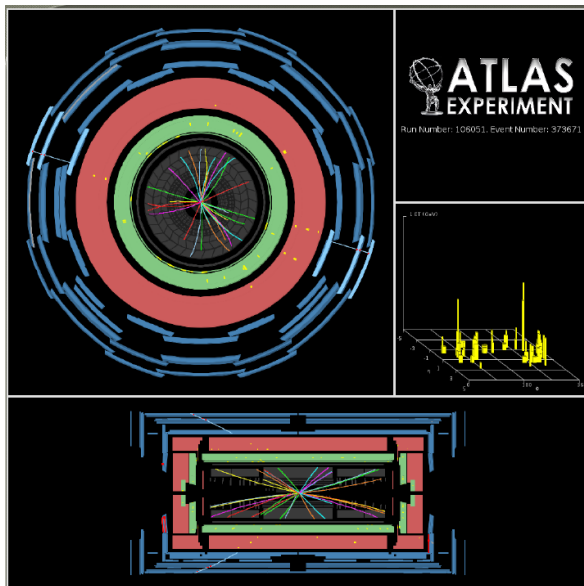
Event identifikasjon



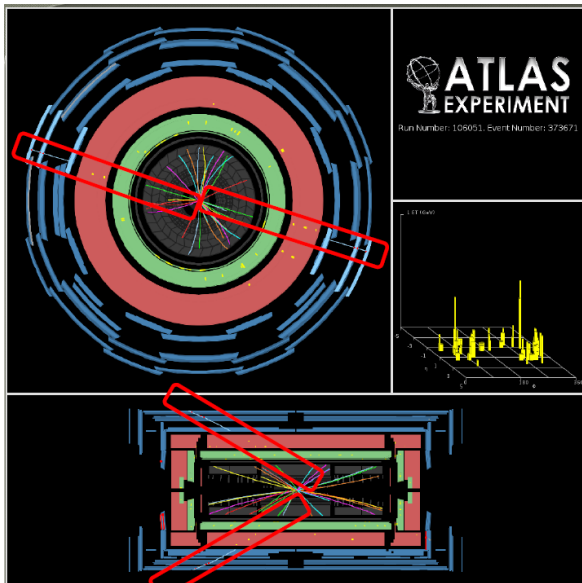
Event identifikasjon



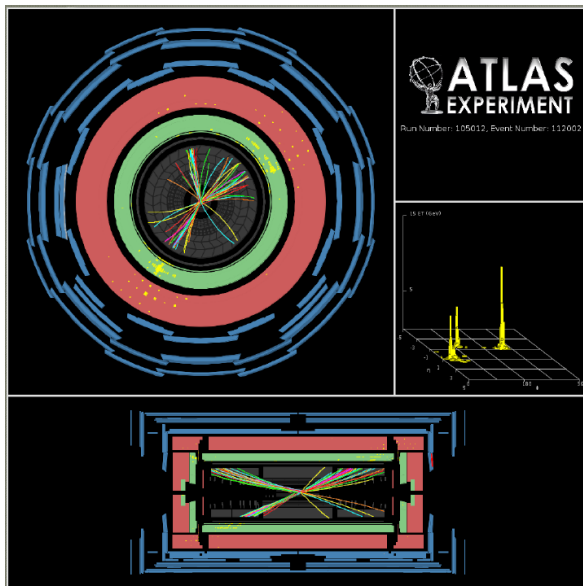
Event identifikasjon



Event identifikasjon



Event identifikasjon



- Z-path:
<https://kjende.web.cern.ch/kjende/en/zpath.htm>
- Utviklet av Maiken Pedersen, Eirik Gramstad, Farid Ould-Saada, UiO

Reklame: Masterclass i partikkelfysikk

- Internasjonalt skoleprosjekt
- 4-6 grupper i Europa
- Felles program
 - ▷ Forelesninger
 - ▷ Eksperiment - analyse
 - ▷ Videokonferanse - kombinasjon av resultater, diskusjon med eksperter, quiz
- Neste gang ca. mars 2012
- <http://www.fys.uio.no/~maikenp/MasterClass/veiledning/>
- <http://www.fys.uio.no/~maikenp/MasterClass/veiledning/en/2011/>
- <http://www.fys.uio.no/~maikenp/MasterClass/mcvitensentrene/>