

MasterClass

På opdagelse i partikelfysikkens
verden

Program

30+ min Acceleratorer og detektorer

PAUSE Måske

20min Introduktion til øvelsen

20 min Øvelse: Der arbejdes med billeder fra ATLAS detektoren ved LHC. Vi finder protonkollisioner, hvor der er produceret Z/W bosoner og lærer, hvordan man kan benytte dem til at undersøge Higgs partiklen

Jo flere protonkollisioner vi kan nå jo bedre!!!!

Hvordan gør vi det....

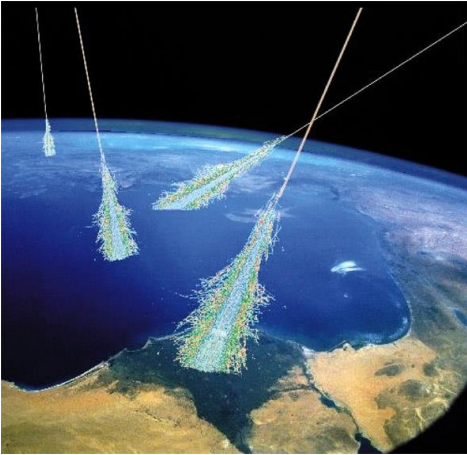
Forsøgsopstillingen

Acceleratorer

LHC acceleratoren

En moderne partikelfysik
detektor

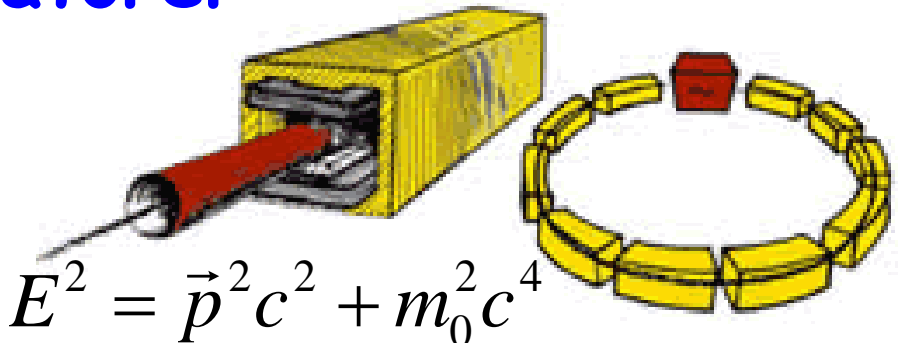
Den partikelfysiske metode



- For at studere eller skabe små/tunge elementarpartikler kræves højenergikollisioner
- Frem til ~1950 var **kosmiske stråler** dominerende
- Jagten på højere energi og præcision førte til **acceleratorer**



“ $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu \rightarrow e \nu_e \nu_\mu$ ”

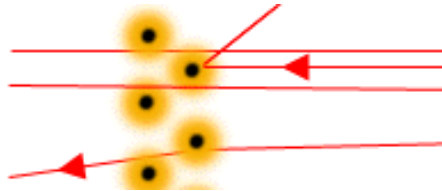


$$E^2 = \vec{p}^2 c^2 + m_0^2 c^4$$

Den partikelfysiske metode

For at udforske de allermindste partikler er vi nødt til at

- Kollidere dem: Observere **karakteristika** ved kollisionen



Bevægelsesmængden, p , bestemmer bølge-længden / frekvens

(Tak til: De Broglie - $\lambda = h/p$)

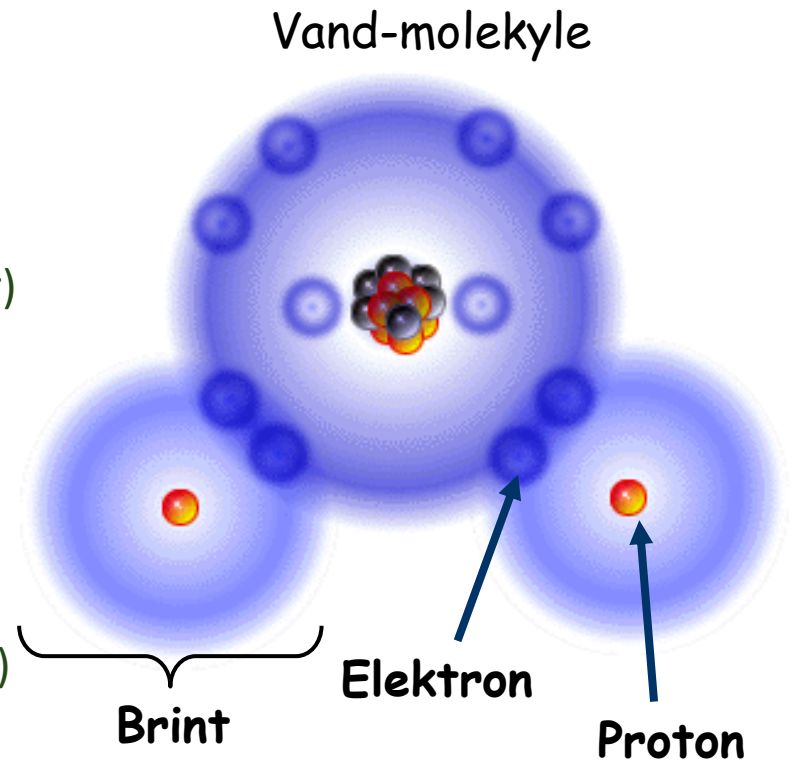
- Skabe dem: Dette kan gøres ved at **annihilere** to partikler og skabe nye fra den energi der bliver frigjort



$E=mc^2$ → mini Big Bang!

Hvordan?

- Tag nogle protoner
Du kan få dem fra vandhanen hvis du vil (Biler)
- Få dem i bevægelse
(Ultra hurtigt!) (Michael Schumacher)
- Stød dem sammen
Det anbefales kraftigt at holde sig på afstand (Motorvejen om morgen?)
- Fotografér delene
Dit mobil-kamera er sikkert ikke hurtigt nok! (Vej-side kamera)



Opgaven:

Find vrag-delene fra Higgs'o-bilen!

Accelerator 101

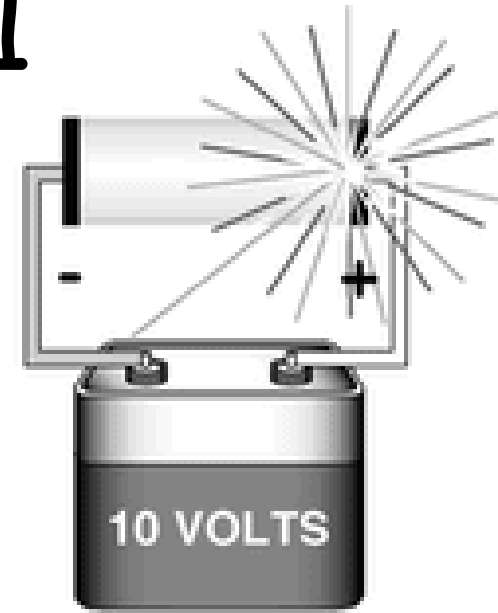
Hvordan virker en accelerator?

- Elektrisk ladede partikler påvirker hinanden med krafter

Coulomb's lov: $F = -K q_1 q_2 / r^2$

Newton's lov: $F = m a$

- En partikel med positiv eller negativ ladning mærker en kraft når den befinder sig i et elektrisk felt. Ifølge Newton's lov bliver partiklen derfor accelereret



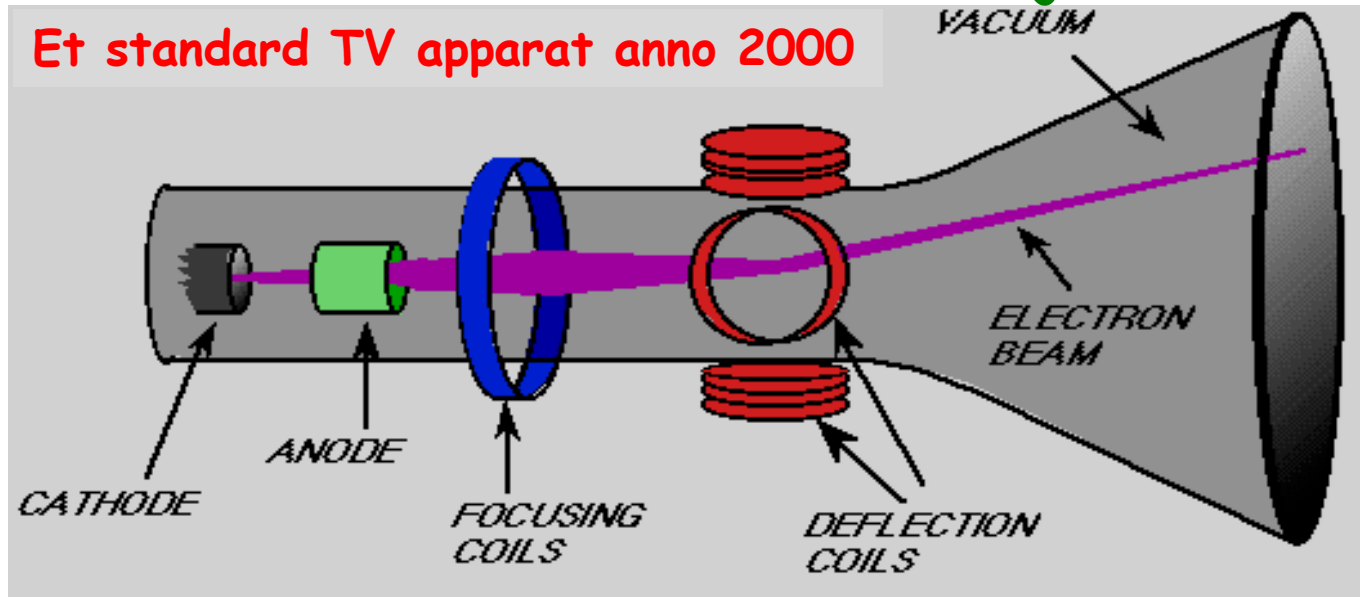
Yeeeeeeehaaaaaaaaa! / / 

- 1 eV er energien af en elektron der har passeret er felt på 1 Volt!

En moderne partikelaccelerator

Vi har alle haft en i vores hjem

Et standard TV apparat anno 2000



Ved LHC...



X



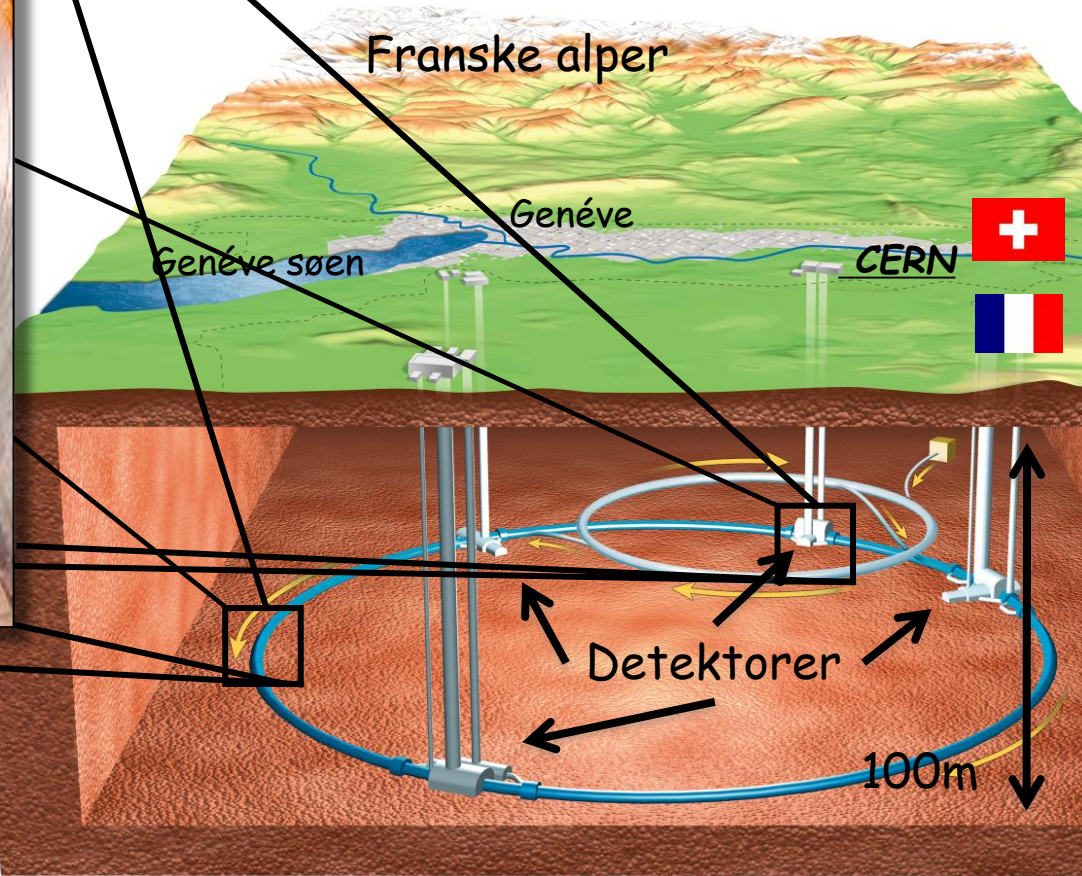
= 1 TeV

1000 milliarder eV svarer til et batteri for hver stjerne i mælkevejen

The Large Hadron Collider



Proton-proton kollisioner med svimlende energi: 14.000.000.000.000 eV
Svarende til energien af en myg i bevægelse!
7 gange kraftigere end hvad man kan i dag!



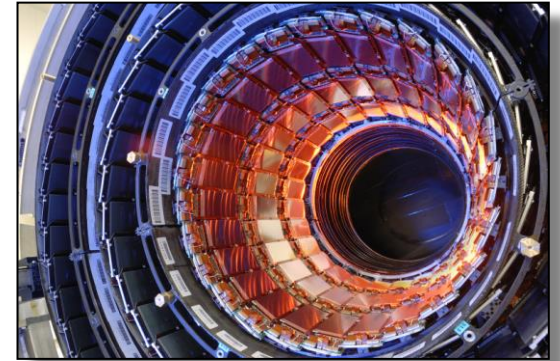
Partiklerne bevæger sig med 99.99...% af lysets hastighed (~10 km/t under)
Pakker med 100 Milliarder partikler
1000000000 kollisioner i sekundet!

Kan se 10 gange mindre ting end hvad vi kan i dag!

Vores detektorer er 3D digitale kamerarer



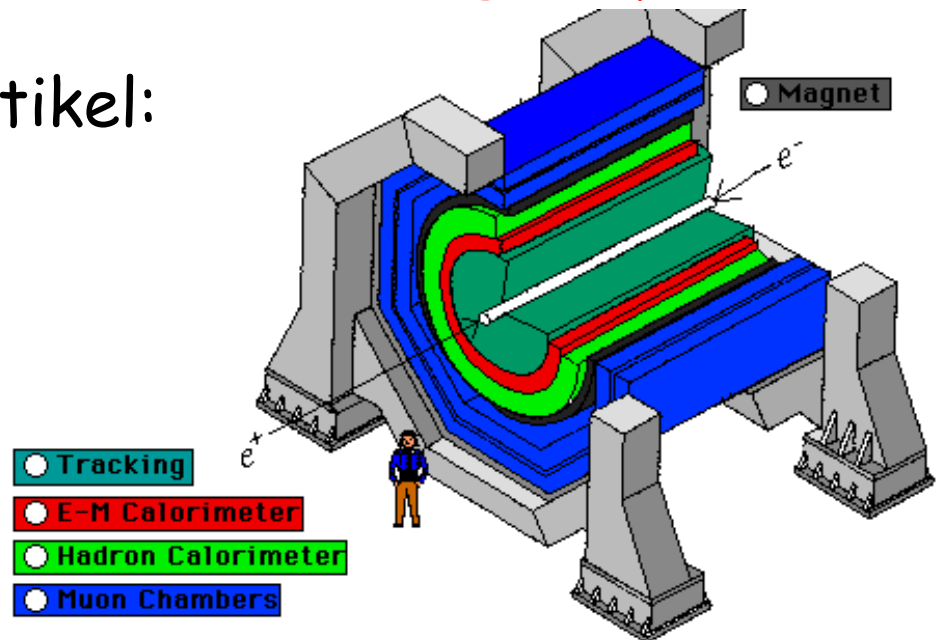
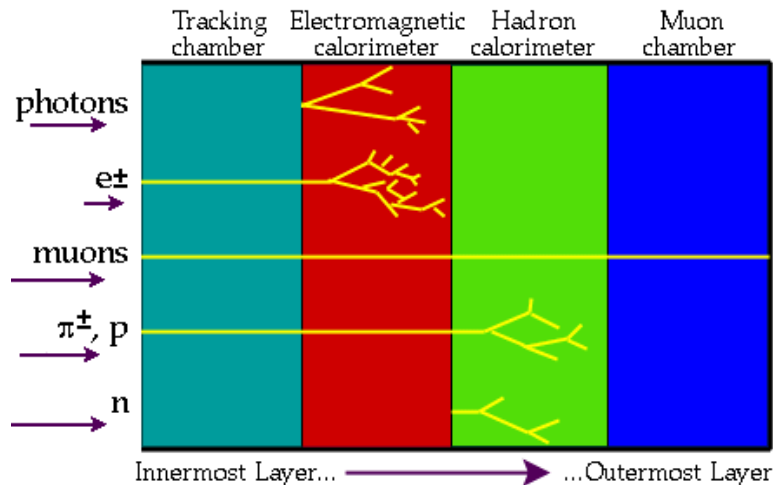
- **Kæmpestore**
Domkirke-størrelse!
- **Ultra-Præcise:**
Bedre præcision end tykkelsen
af et hårstrå!
- **Ekstremt hurtige:**
40 millioner billeder per sekund!
- **Utroligt antal målinger**
Mere end 100 millioner punkter i fuld 3D
- **Bygget af kollaborationer:** Tusindvis af fysikere,
ingenører og teknikere fra mere end 35 lande



Partikeldetektorer

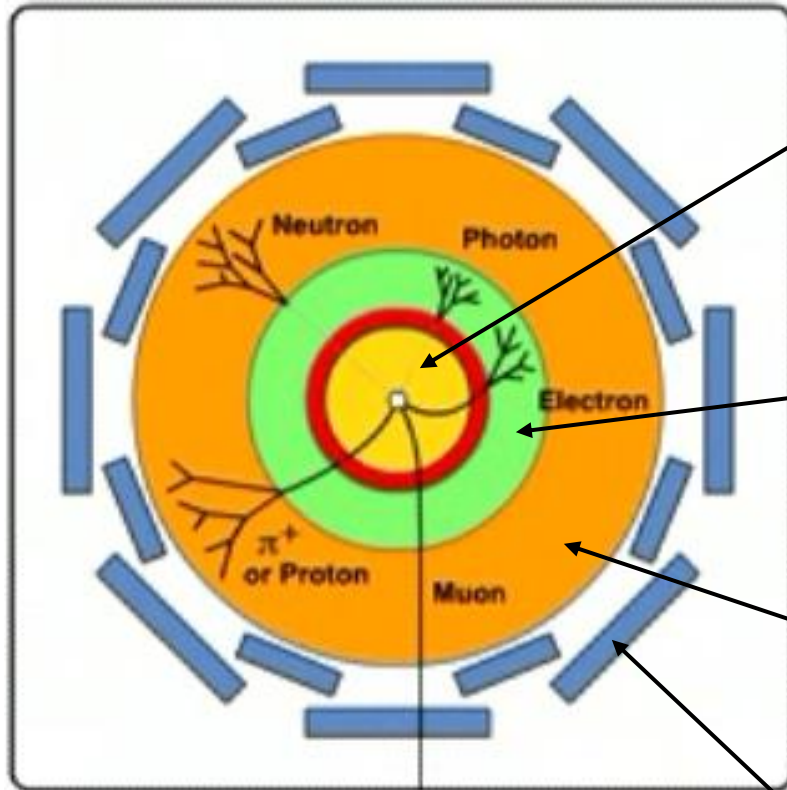
- Umuligt at bruge én detektortype til alt
- Moderne detektorer kombinerer forskellige typer af **sub-detektorer til at måle forskellige aspekter** af en kollision
- Bestemmelse af en partikel:

- Position
- Bevægelsesmængde
- Energi
- Elektrisk ladning
- Type



- Partikler **detekteres via deres vekselvirkning med stof**
- Mange typer af vekselvirkninger er i spil, **hovedsageligt elektromagnetisk**
- I sidste ende: kommer fra **ionisering og eksitation af stof**

Hvordan detekterer man partikler



Spor detektor

-Måler ladning og impuls af ladede partikler i et magnetfelt

Elektro-magnetisk kalorimeter

-Måler energien af elektroner, positroner og fotoner

Hadronisk kalorimeter

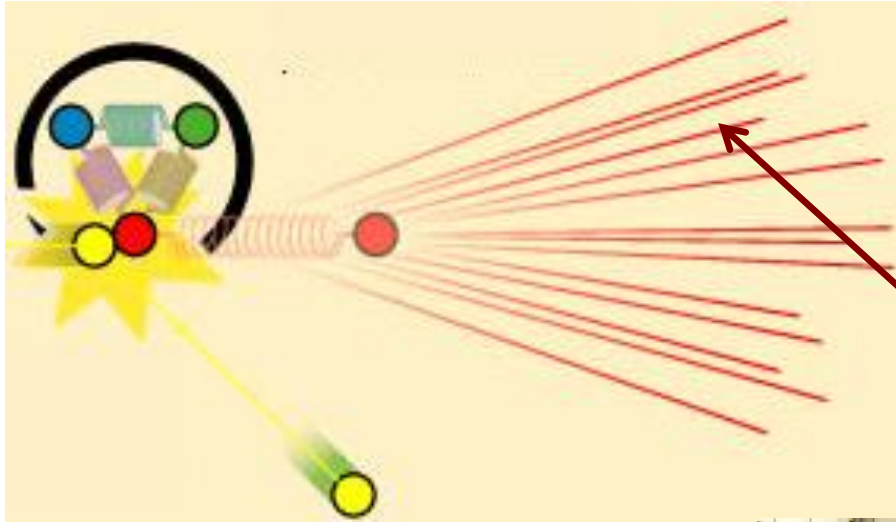
-Måler energien af hadroner (partikler lavet af kvarker), som protoner, neutroner, pioner, osv.

Muon detektor

-Måler ladning og impuls af muoner

Neutrinoer efterlader ingen signaler. De kan "ses" indirekte via 'manglende' impuls, p eller p_T .

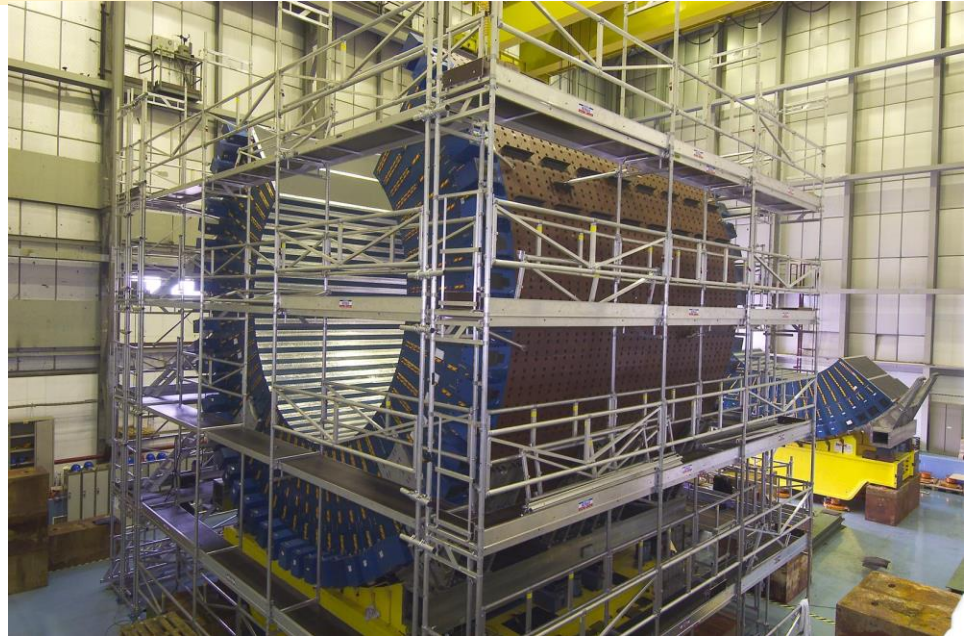
En lille kompleksitet: Hadroniske kalorimeter

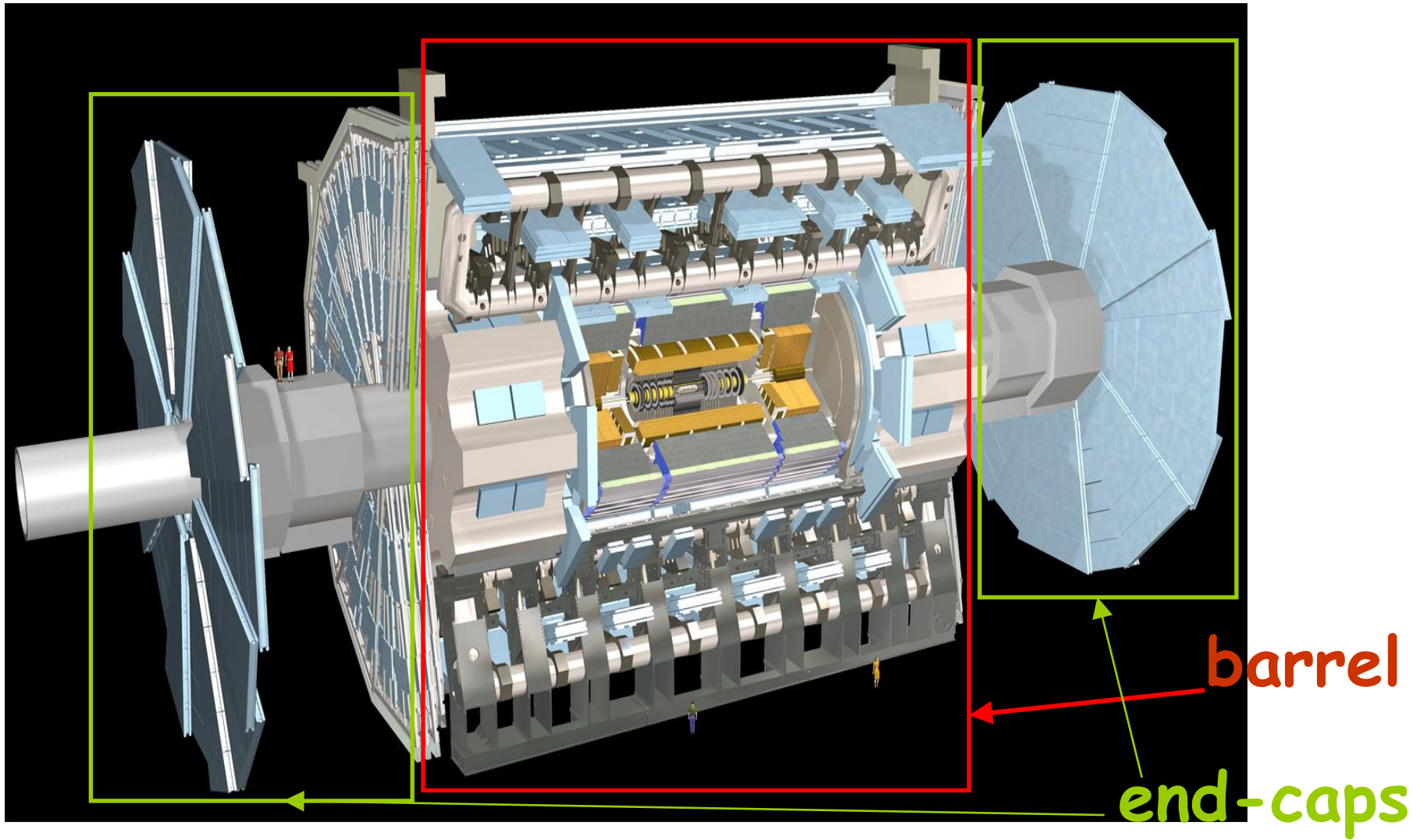


■ Måler partikler som vekselvirker med den stærke kraft

■ Hovedsageligt partikler der består af kvarker (hadroner) - ses som regel som

JETS





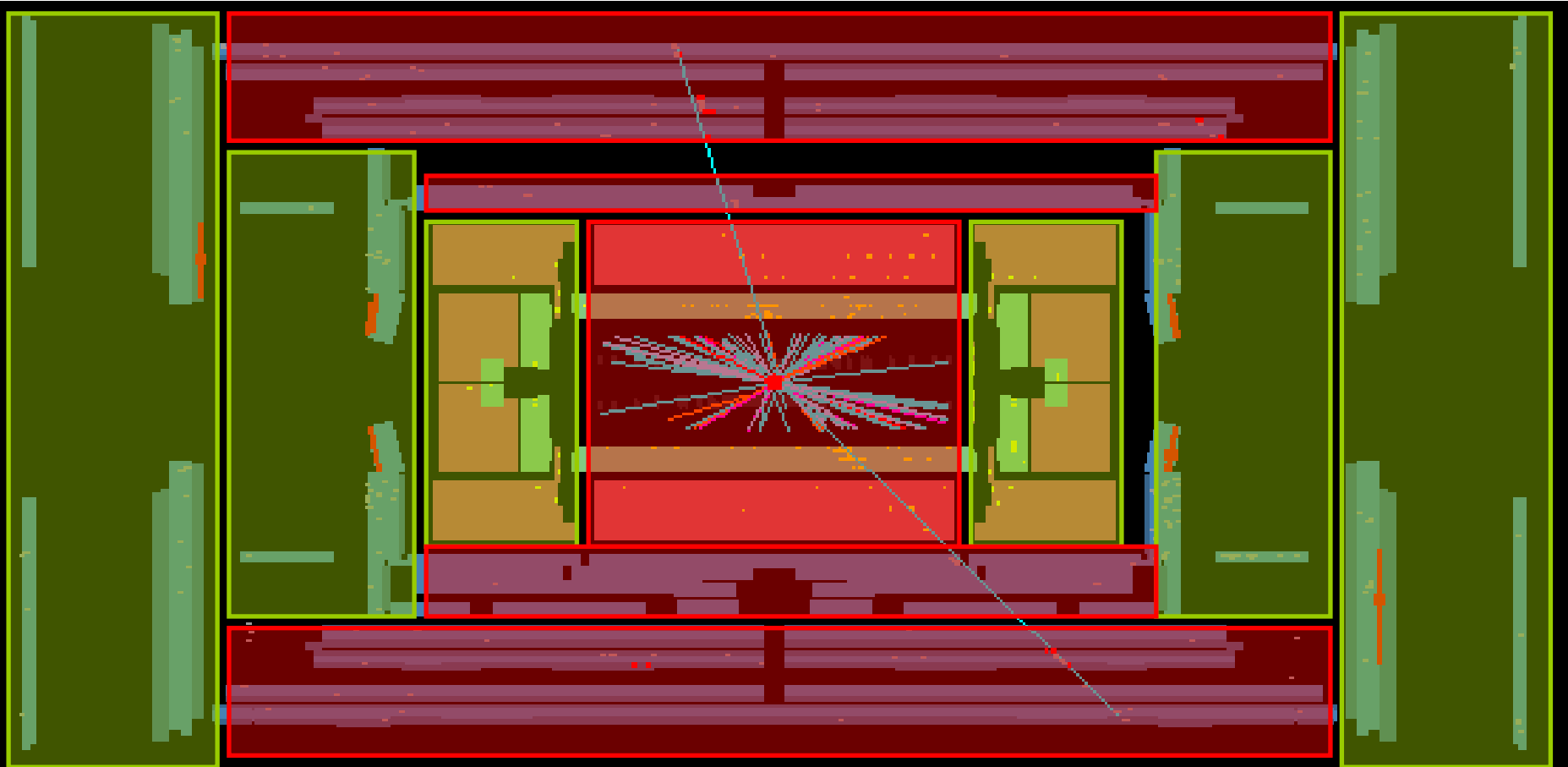
■ For at ingen partikler skal undslippe detektion er detektoren bygget næsten hermetisk

Endcap

+

barrel

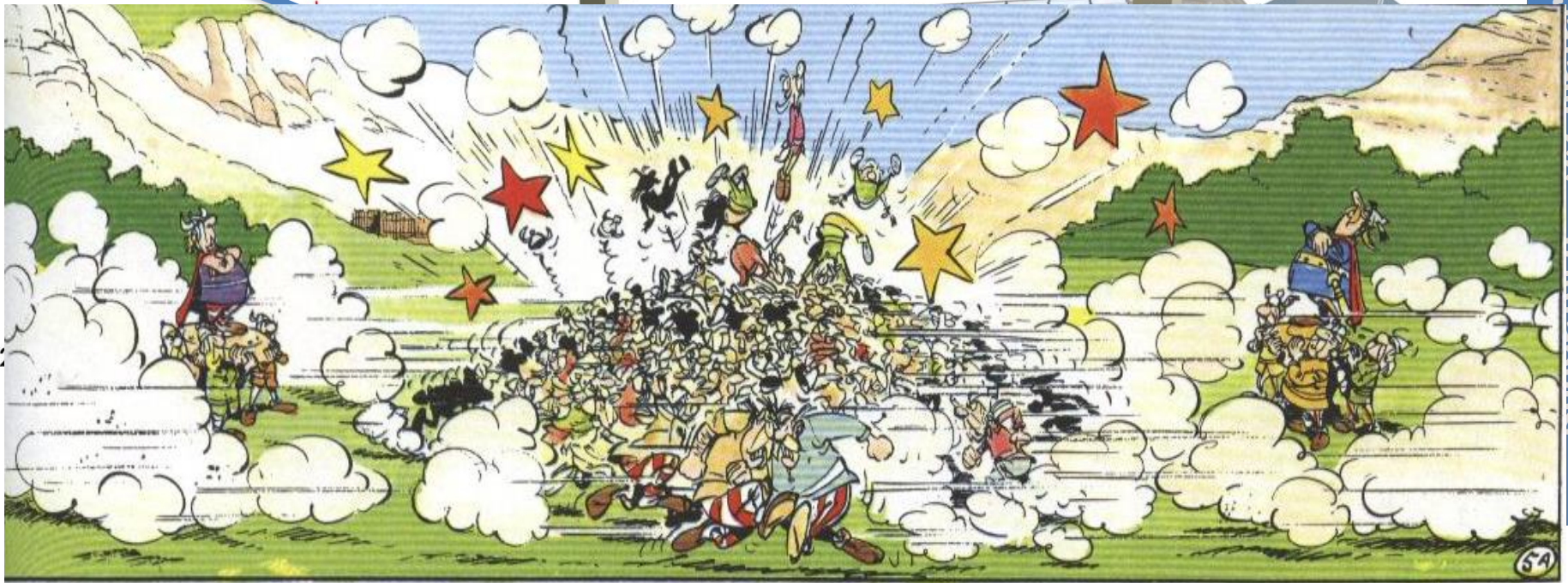
= alle



ATLAS Detektoren

44m

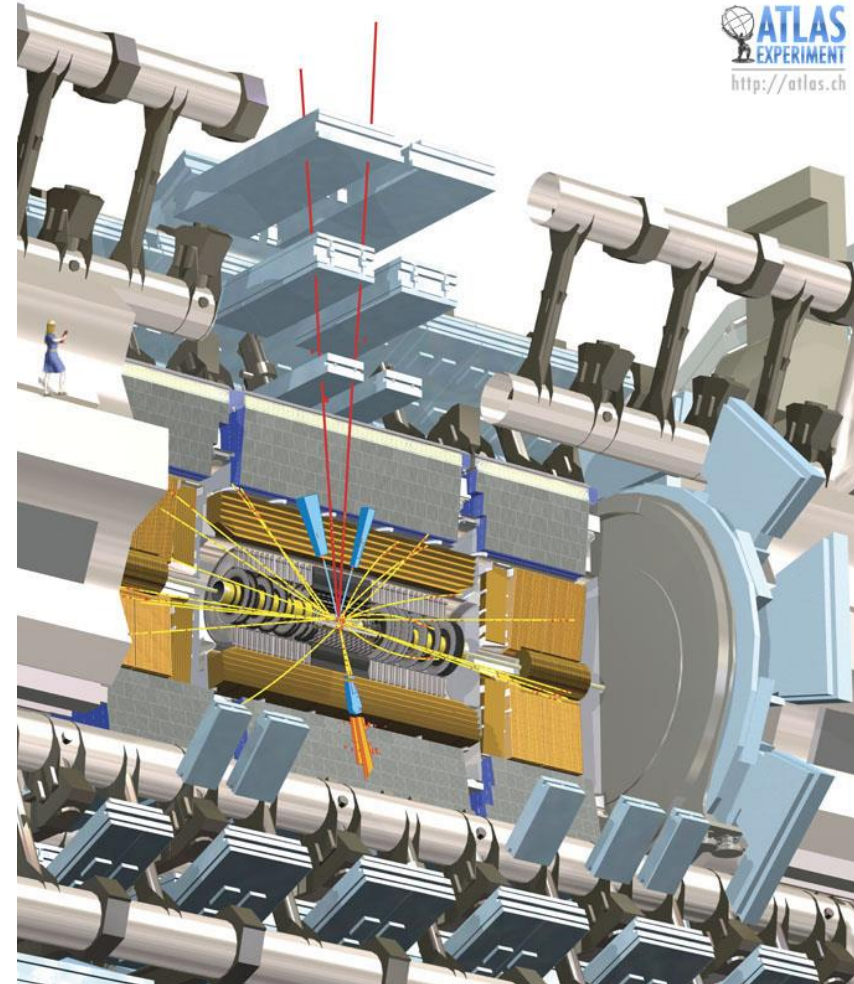
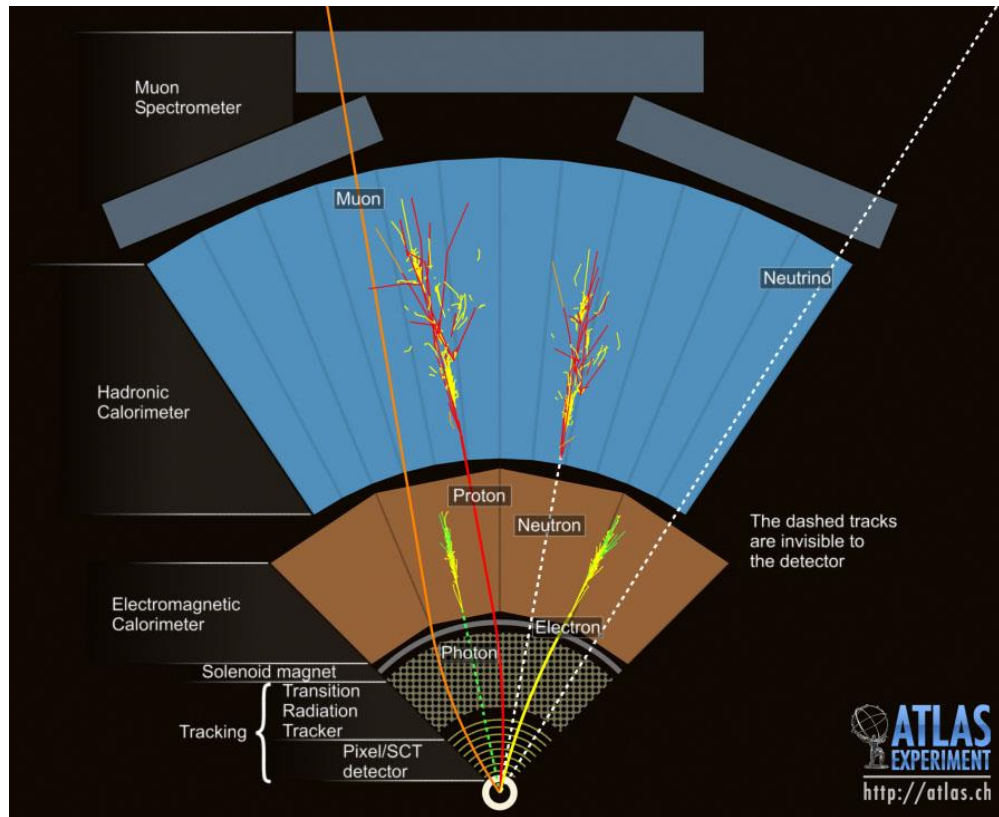
Danmark



1000000000 gange I sekundet!!

Samlet vægt: 7000 tons
(sammenlign med rundetårn: 5900 tons)

Hvordan virker detektoren?



Opgaven: Find, type-bestem og mål alt om alle partikler der kommer ud fra kollisionen

På jagt efter Higgs-partiklen!

Øvelsen (bruger **simulerede data**)

- Identificer elektroner, muoner, neutrinoer i ATLAS detektoren
 - Atlantis visualiserings programmet
- Type af Begivenheder ("partikler produceret i een kollision")
 - a) $W \rightarrow e\nu$
 - b) $W \rightarrow \mu\nu$
 - c) $Z \rightarrow ee$
 - d) $Z \rightarrow \mu\mu$
 - e) Baggrund fra jet produktion (som ser lidt ud som W or Z event)
- **Spørgsmål: henfalder W or Z lige ofte til elektroner or muoner?**

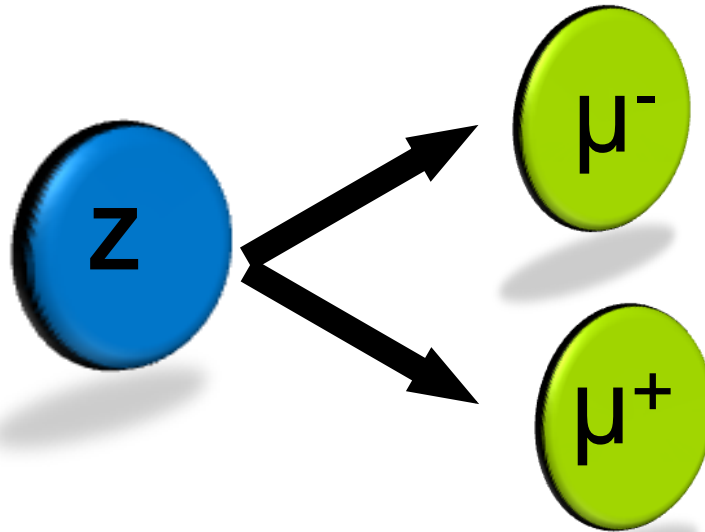
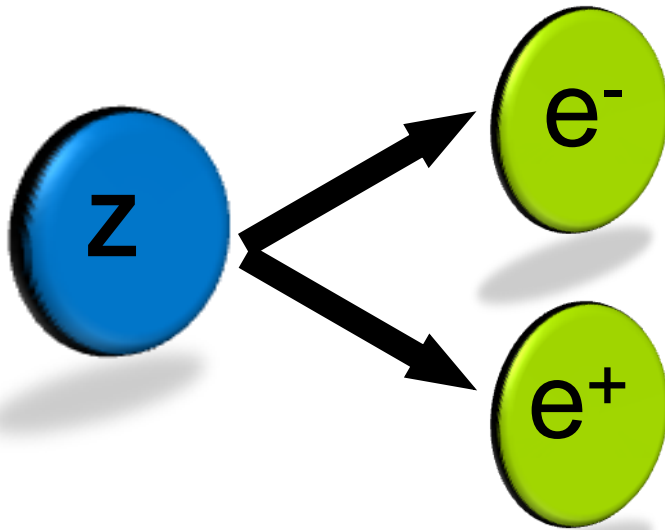
Een af begivenhederne er en kollision med en Higgs-partikel,

Higgs henfald: $H \rightarrow eeee$, $H \rightarrow \mu\mu\mu\mu$, eller $H \rightarrow ee\mu\mu$

Kan I finde den????

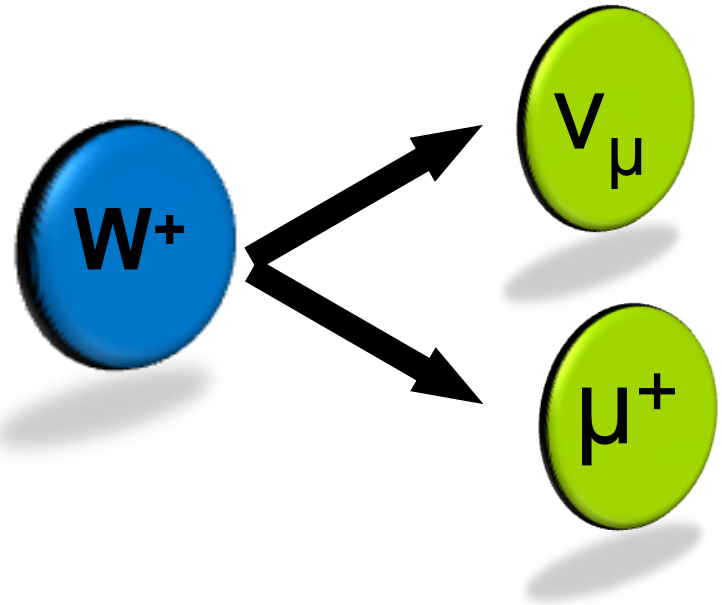
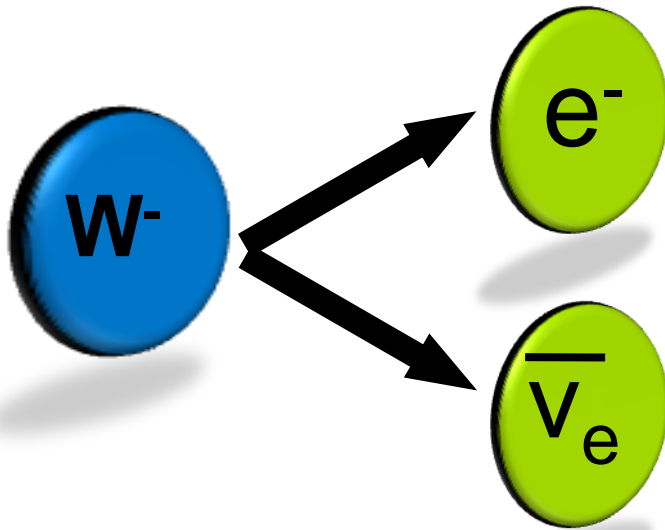
Z bosonen

- neutral
- henfalder bl.a. til leptoner



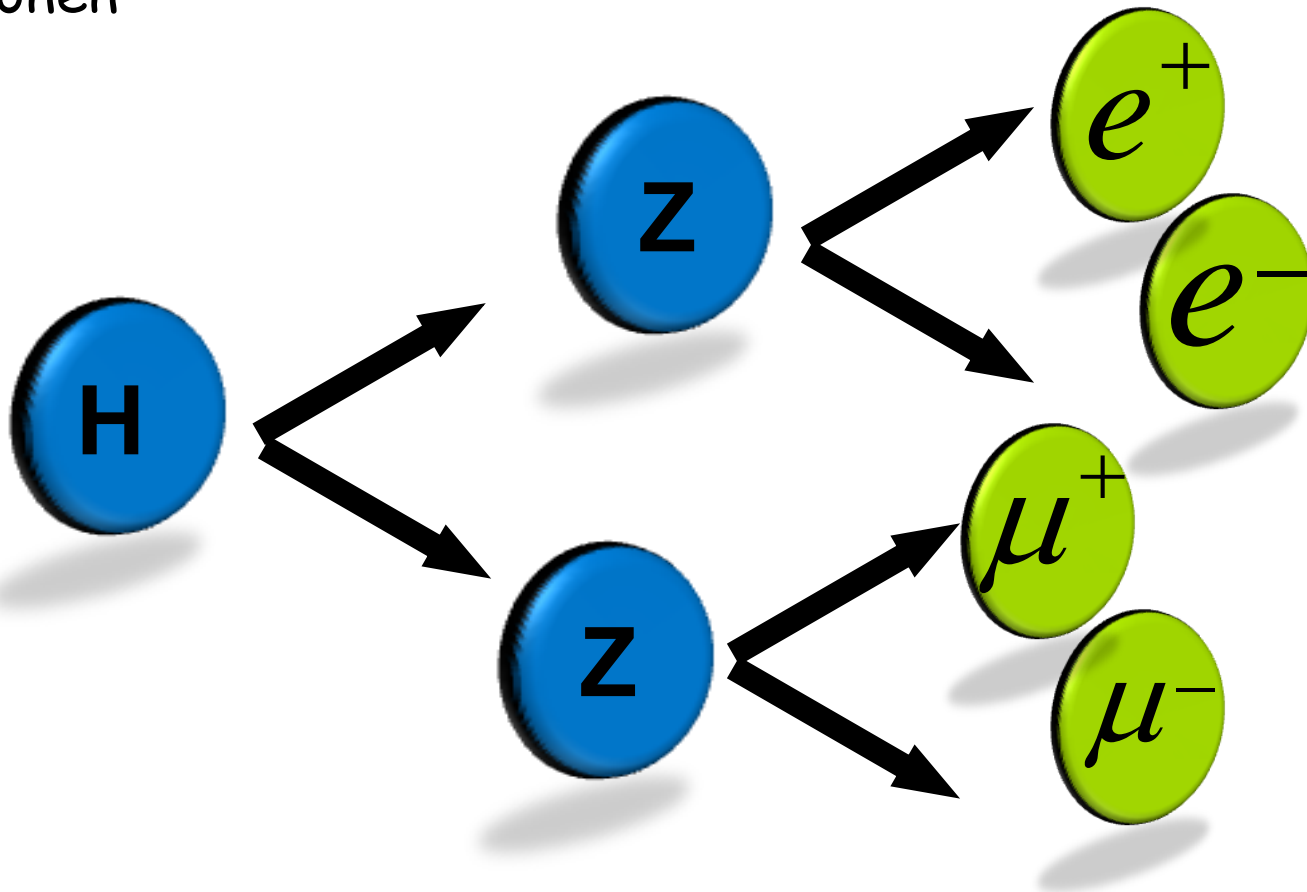
W bosonen

- ladet (+ eller -)
- henfalder bl.a. til leptoner+neutrinoer



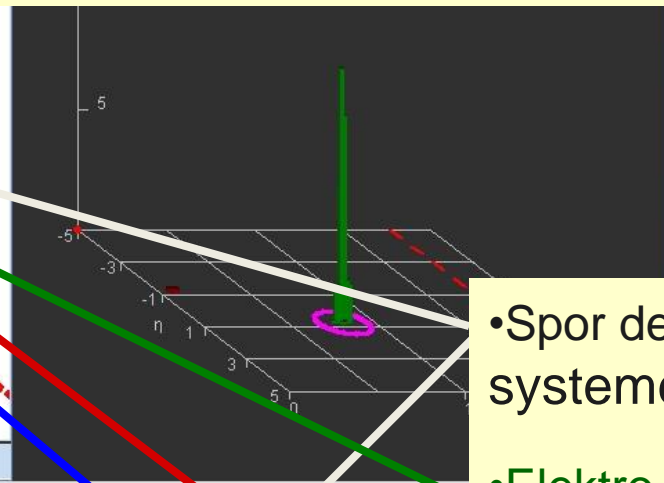
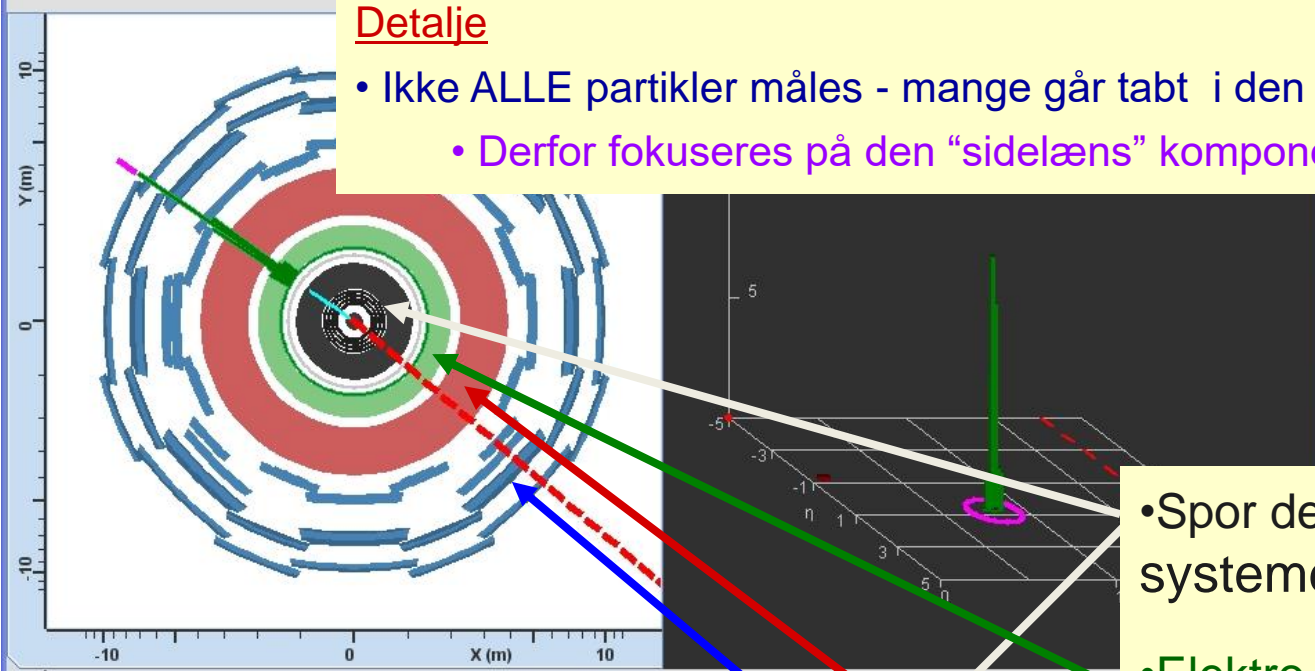
Higgs-bosonen

- Higgs bosonen er neutral og kan, hvis den er tung nok, henfalde til 2 Z bosoner, som så hver kan henfalde til et lepton-par
- Første skridt mod at kunne finde Higgs-partiklen er Z bosonen



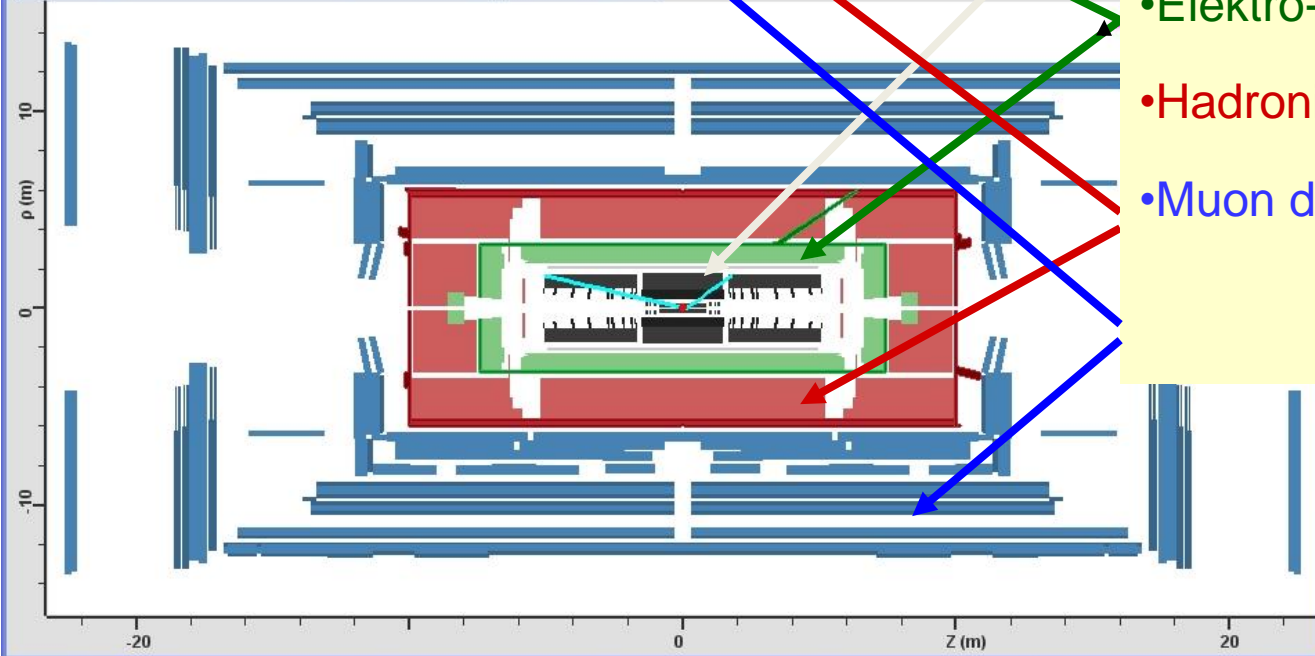
Detalje

- Ikke ALLE partikler måles - mange går tabt i den "forlæns" region (beam-røret)
- Derfor fokuseres på den "sidelæns" komponent – x-y planet



Projection		Data	Cuts
Data			
	Name	Value	
<input checked="" type="checkbox"/>	Status		
<input checked="" type="checkbox"/>	InDet		
<input checked="" type="checkbox"/>	Calo		
<input checked="" type="checkbox"/>	MuonDet		
<input checked="" type="checkbox"/>	Objects		

- Spor detektor (mange under-systemer)
- Elektro-magnetisk kalorimeter
- Hadronisk kalorimeter
- Muon detektor



```

Welcome to Atlantis !

reading event: Event_1.xml

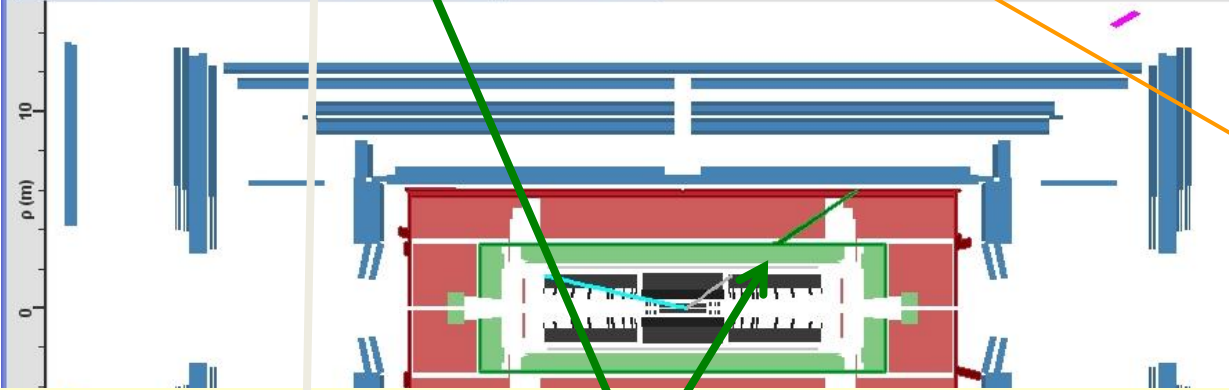
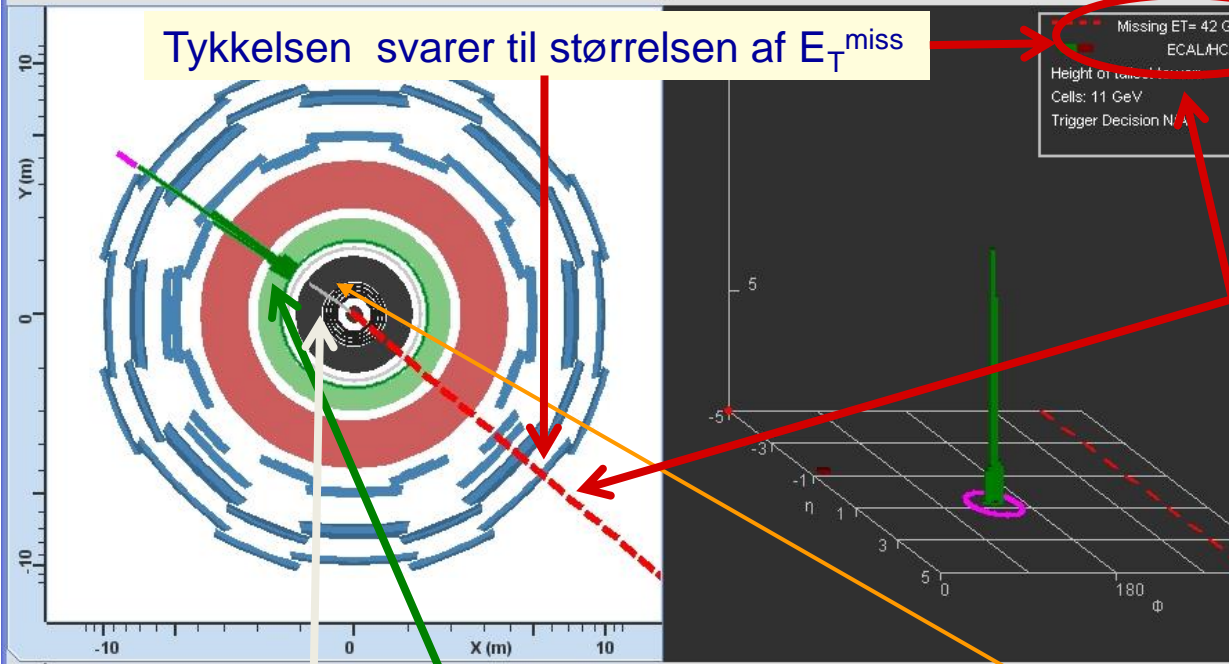
Event_1.xml
run number: 106020 event number: 326459
    
```

Tykkelsen svarer til størrelsen af E_{T}^{miss}

Missing ET= 42 GeV
ECALHCAL (1-2)
Height of track
Cells: 11 GeV
Trigger Decision N

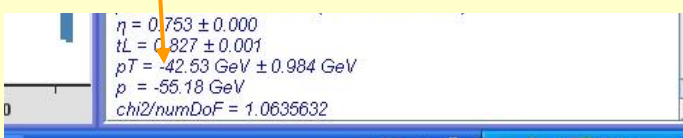
Eksempel: $W \rightarrow ev$

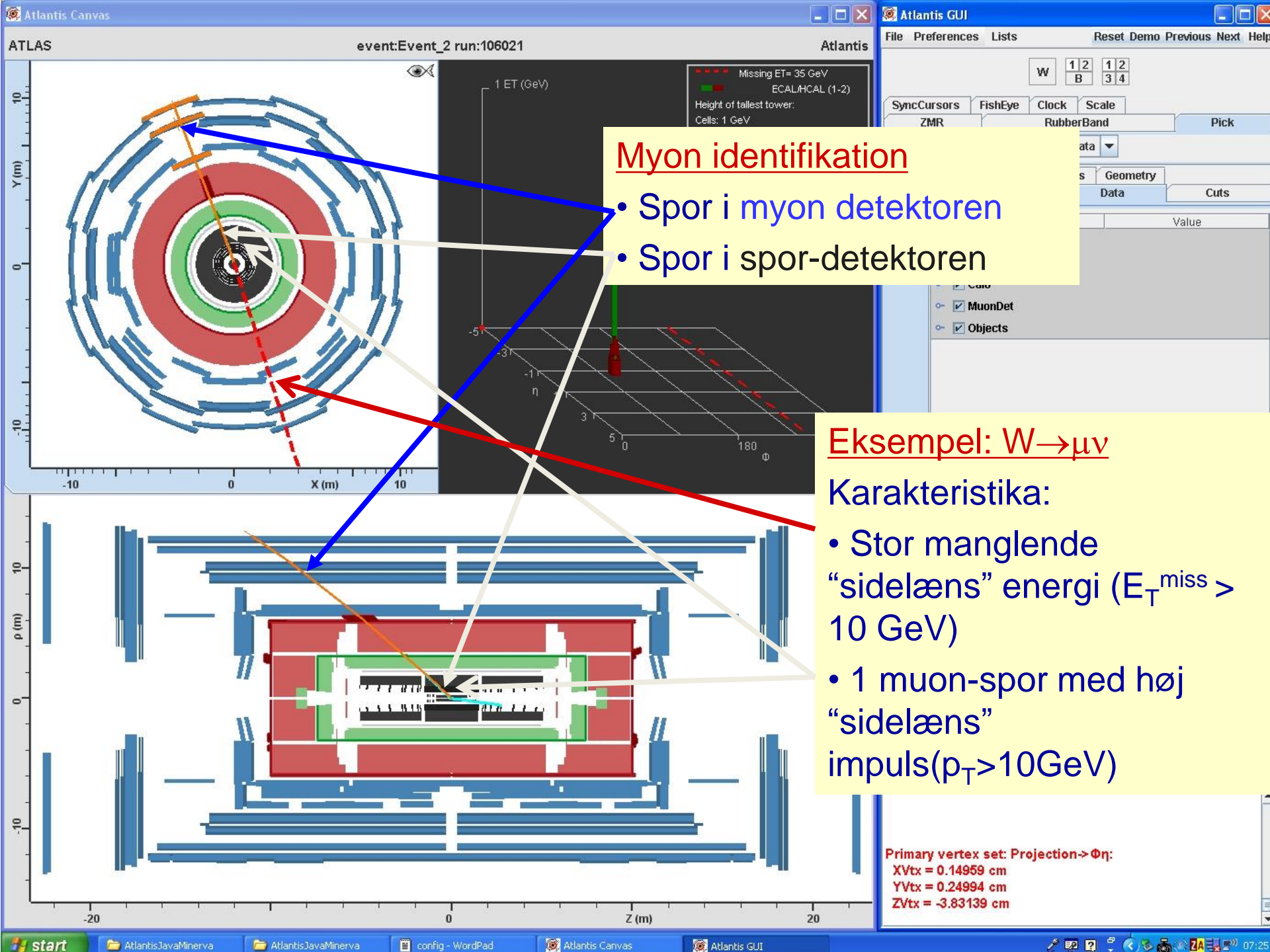
- Neutrino måles indirekte vha. Impulsbevarelse i x-y ($E_{T}^{miss} > 10\text{GeV}$)
- Elektron sporet har stor "sidelæns" eller transvers impuls ($p_T > 10\text{GeV}$)
 - klik på 'pick'
 - flyt pointer til sporet og klik på det
 - Det valgte spor bliver gråt
 - p_T vises her
- Typisk står elektronen og E_{T}^{miss} 'ryg-mod-ryg' i end-view'et



Elektron identifikation

- Energi i det **elektromagnetiske kalorimeter**
- Spor i **spor-detektoren** (foran EM kalorimeter)
- Intet i andre detektordele





event:Event_2 run:106021

Atlantis

Atlantis GUI

File Preferences Lists

Reset Demo Previous Next Help

W 1 2 1 2
B 3 4

SyncCursors FishEye Clock Scale
ZMR RubberBand Pick

ata
s Geometry
Data Cuts

Value

MuonDet
 Objects

Myon identifikation

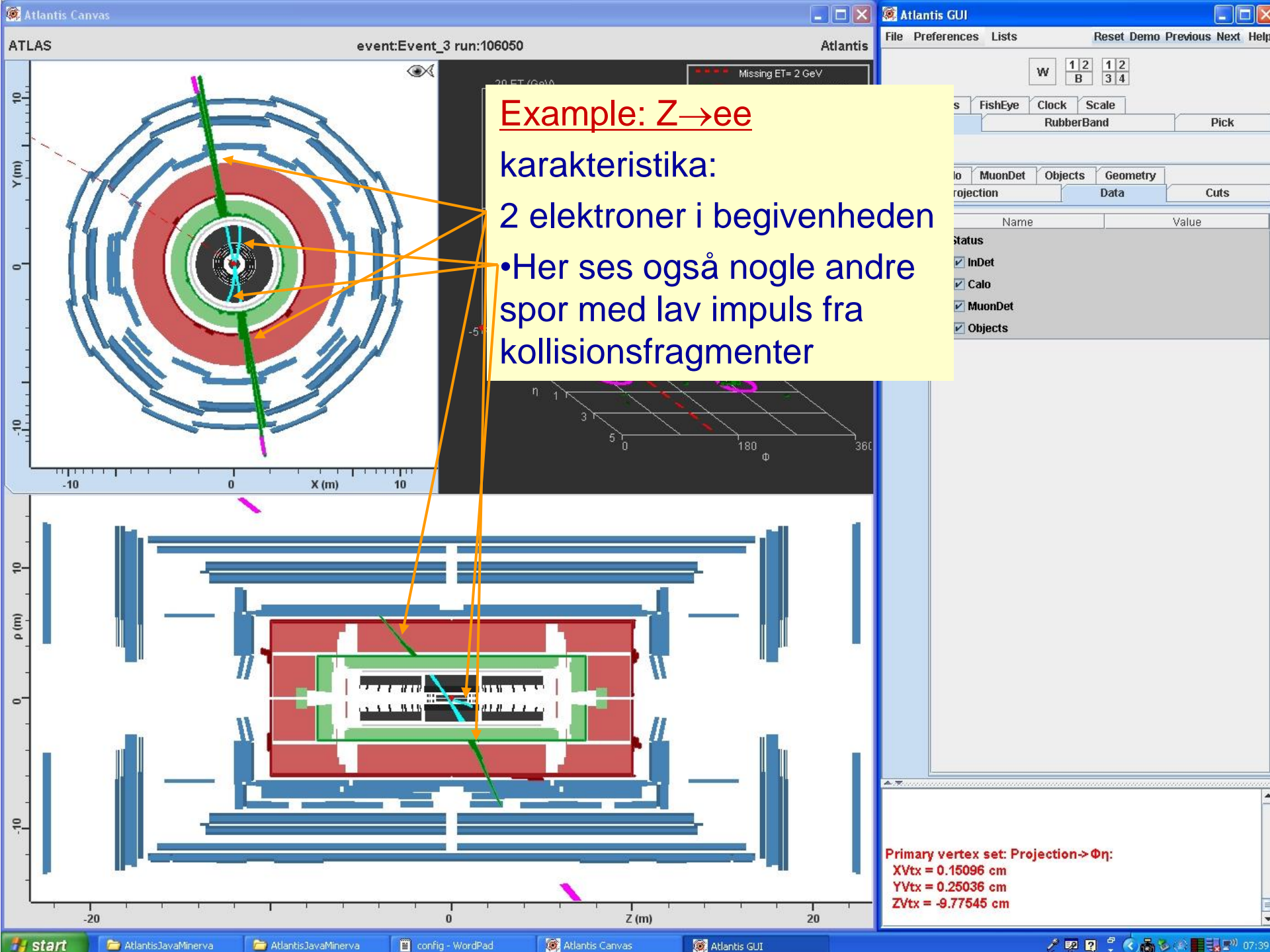
- Spor i myon detektoren
- Spor i spor-detektoren

Eksempel: $W \rightarrow \mu\nu$

Karakteristika:

- Stor manglende "sidelæns" energi ($E_T^{\text{miss}} > 10 \text{ GeV}$)
- 1 muon-spor med høj "sidelæns" impuls ($p_T > 10 \text{ GeV}$)

Primary vertex set: Projection $\rightarrow \Phi\eta$:
XVtx = 0.14959 cm
YVtx = 0.24994 cm
ZVtx = -3.83139 cm

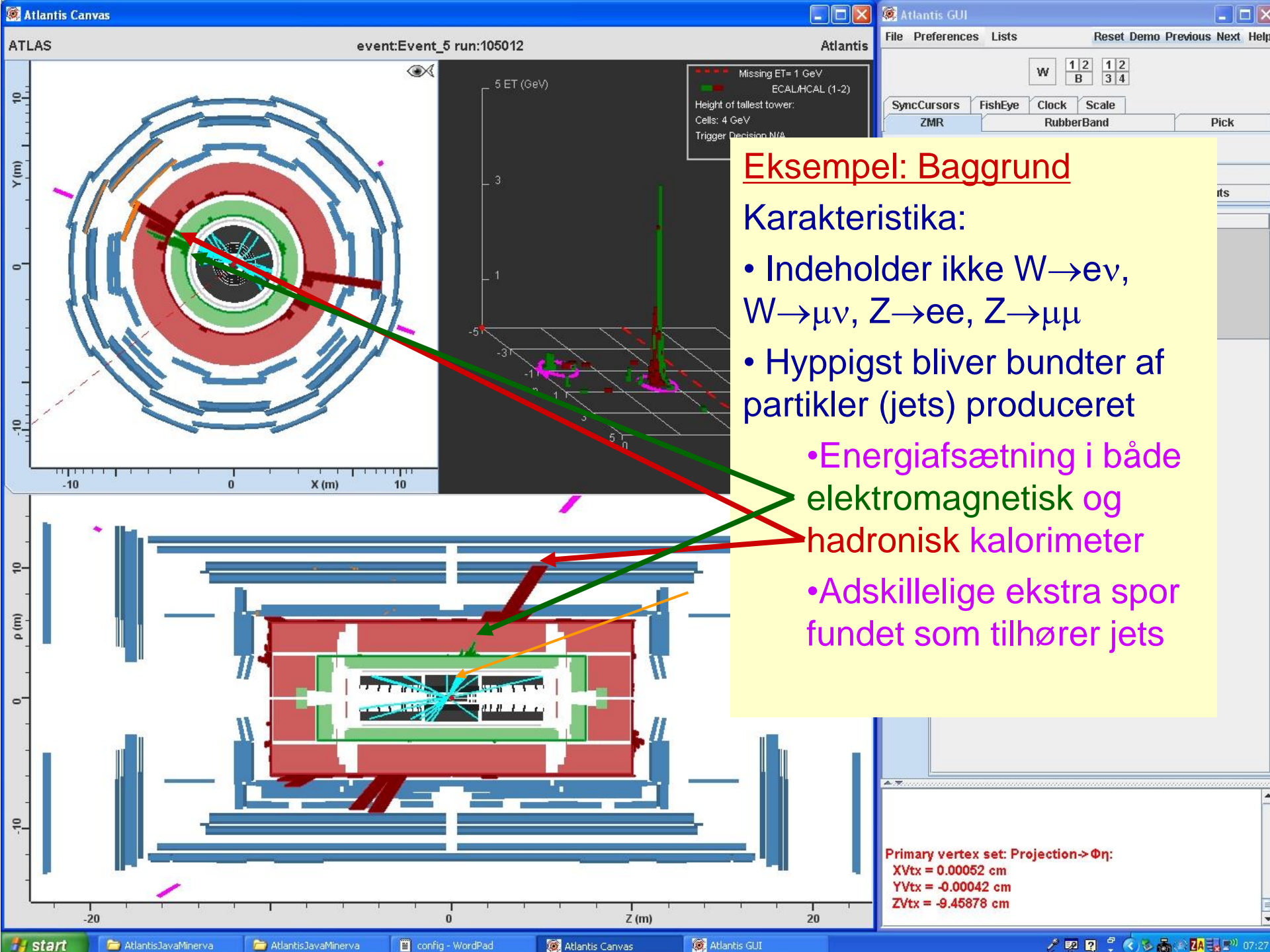


Example: $Z \rightarrow ee$

karakteristika:

2 elektroner i begivenheden

- Her ses også nogle andre spor med lav impuls fra kollisionsfragmenter



event:Event_5 run:105012

Atlantis

File Preferences Lists Reset Demo Previous Next Help
W 1 2 1 2
B 3 4
SyncCursors FishEye Clock Scale
ZMR RubberBand Pick

Eksempel: Baggrund

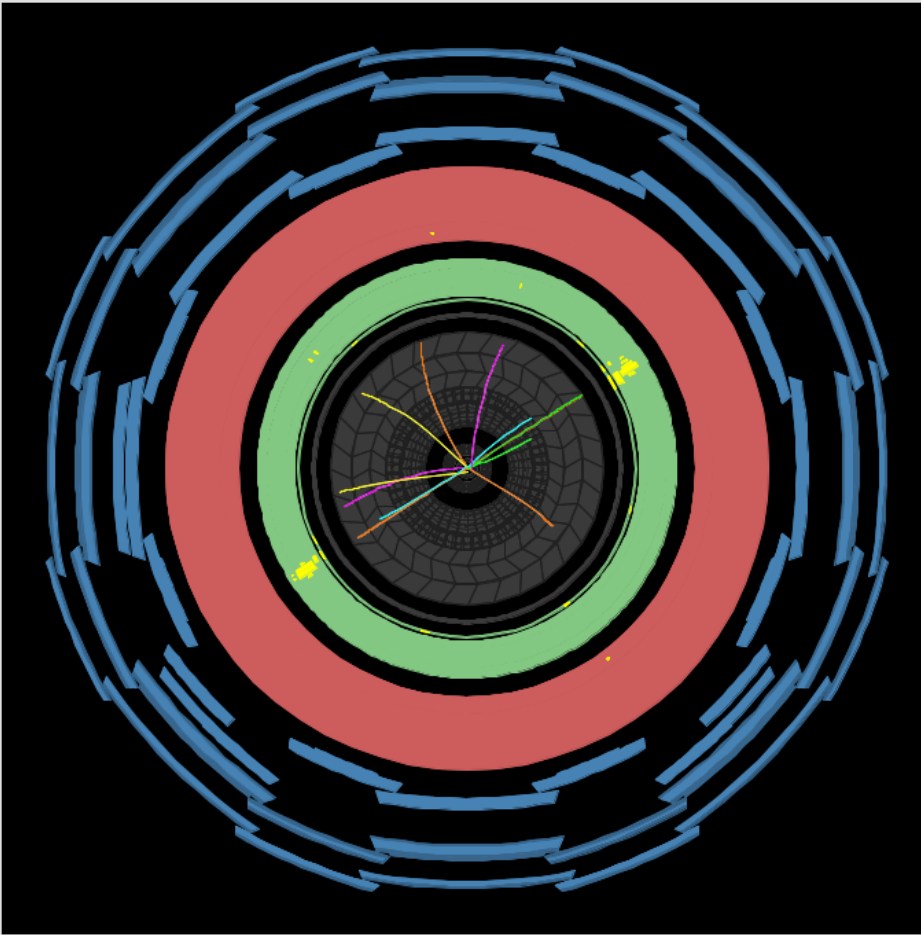
Karakteristika:

- Indeholder ikke $W \rightarrow e\nu$, $W \rightarrow \mu\nu$, $Z \rightarrow ee$, $Z \rightarrow \mu\mu$
- Hyppigst bliver bundter af partikler (jets) produceret
- Energiafsætning i både elektromagnetisk og hadronisk kalorimeter
- Adskillige ekstra spor fundet som tilhører jets

Primary vertex set: Projection $\rightarrow \Phi\eta$:
XVtx = 0.00052 cm
YVtx = -0.00042 cm
ZVtx = -9.45878 cm

Eksempler

I Atlantis/Minerva...

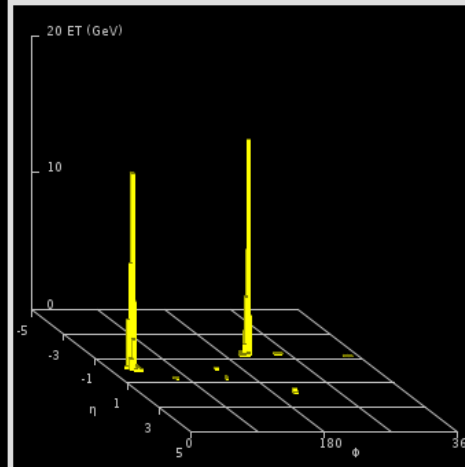


 **ATLAS**
EXPERIMENT

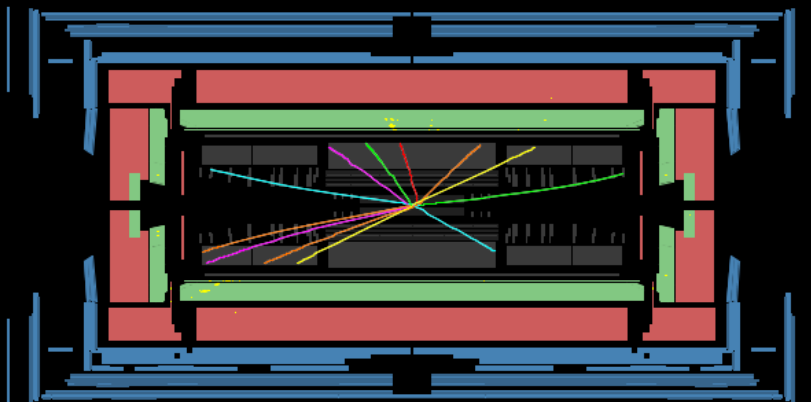
Run Number: 106050, Event Number: 7818

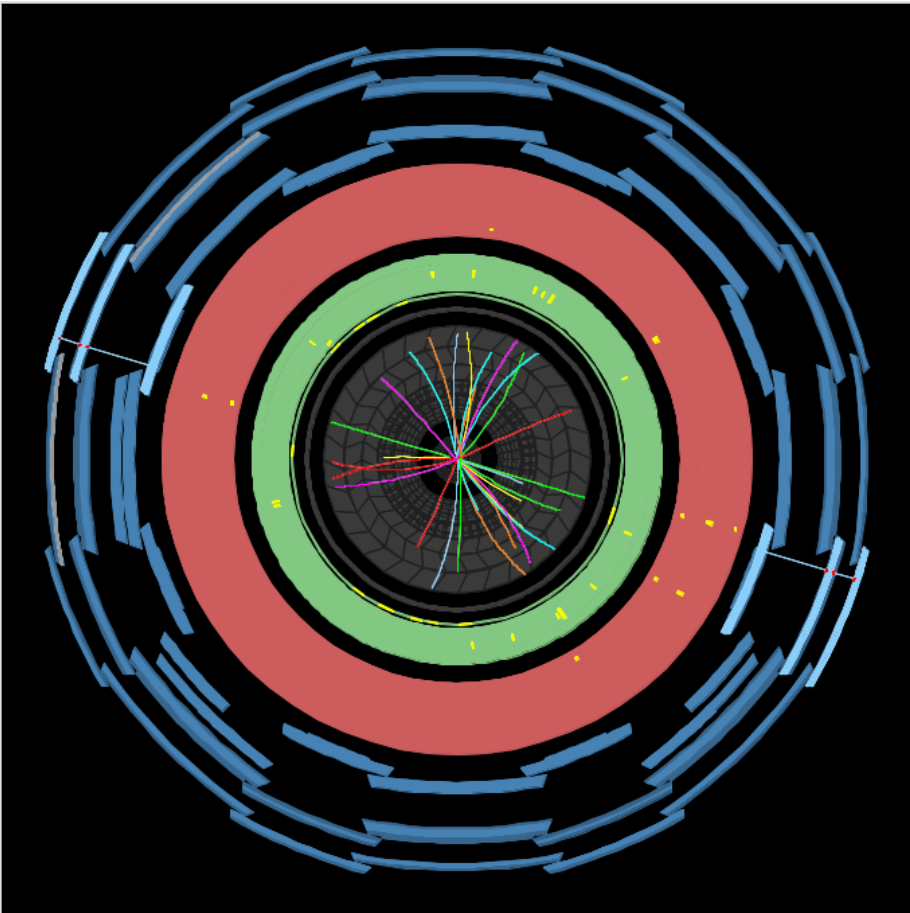
Hvad ser du?

Nogen tegn på
elektroner eller
myoner?
Manglende
energi?



Hvilken slags
begivenhed
kunne det være?



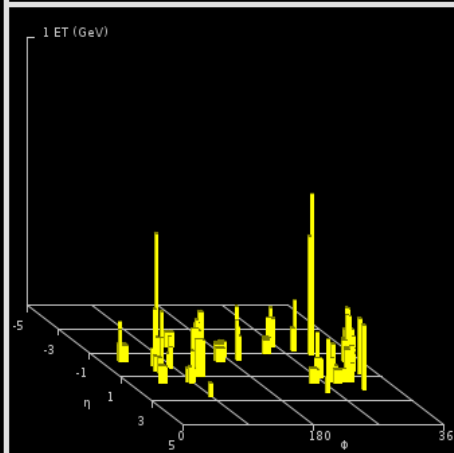


ATLAS
EXPERIMENT

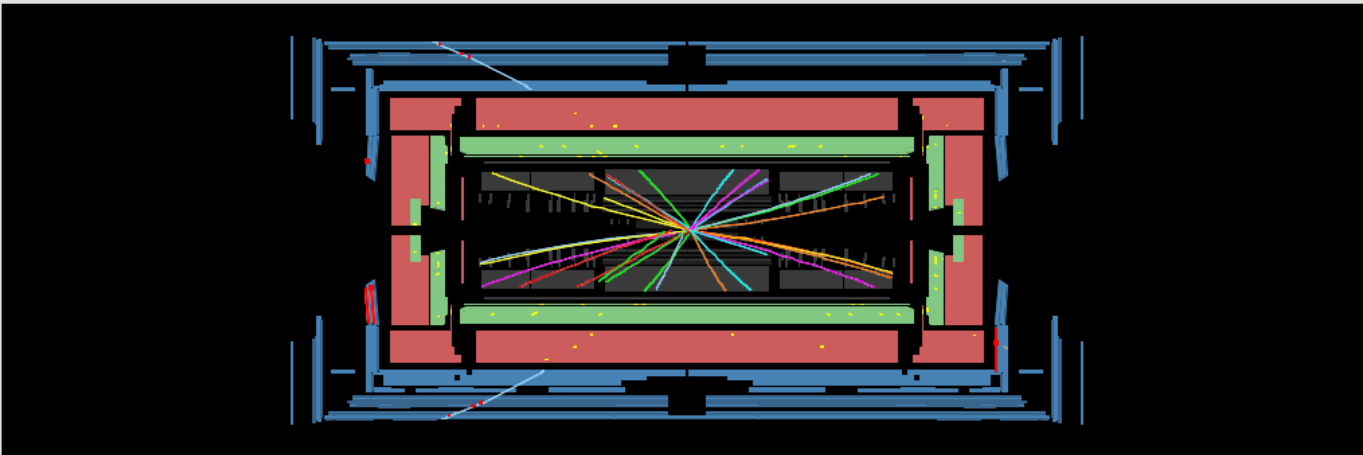
Run Number: 106051, Event Number: 373671

Hvad ser du?

Nogen tegn på
elektroner eller
myoner?
Manglende
energi?



Hvilken slags
begivenhed
kunne det være?



ATLAS Øvelse: Forløb!

- Vi skal inddele begivenheder i 5 kategorier
 - $Z \rightarrow ee, Z \rightarrow \mu\mu, W \rightarrow ev, W \rightarrow \mu\nu$ og jet baggrund
 - BEMÆRK: I virkeligheden er der langt flere baggrunds-
begivenheder end her
- Vi bliver ved indtil vi finder en mulig **Higgs-partikel...**
- Anonym svar formular -
brug mobil / browser:

QR-TAG:



Link:

<https://forms.gle/VwBvRS9rhm5Zn38D8>

SLUT!