

*Emil Gorm Nielsen, Niels Bohr Institutet*

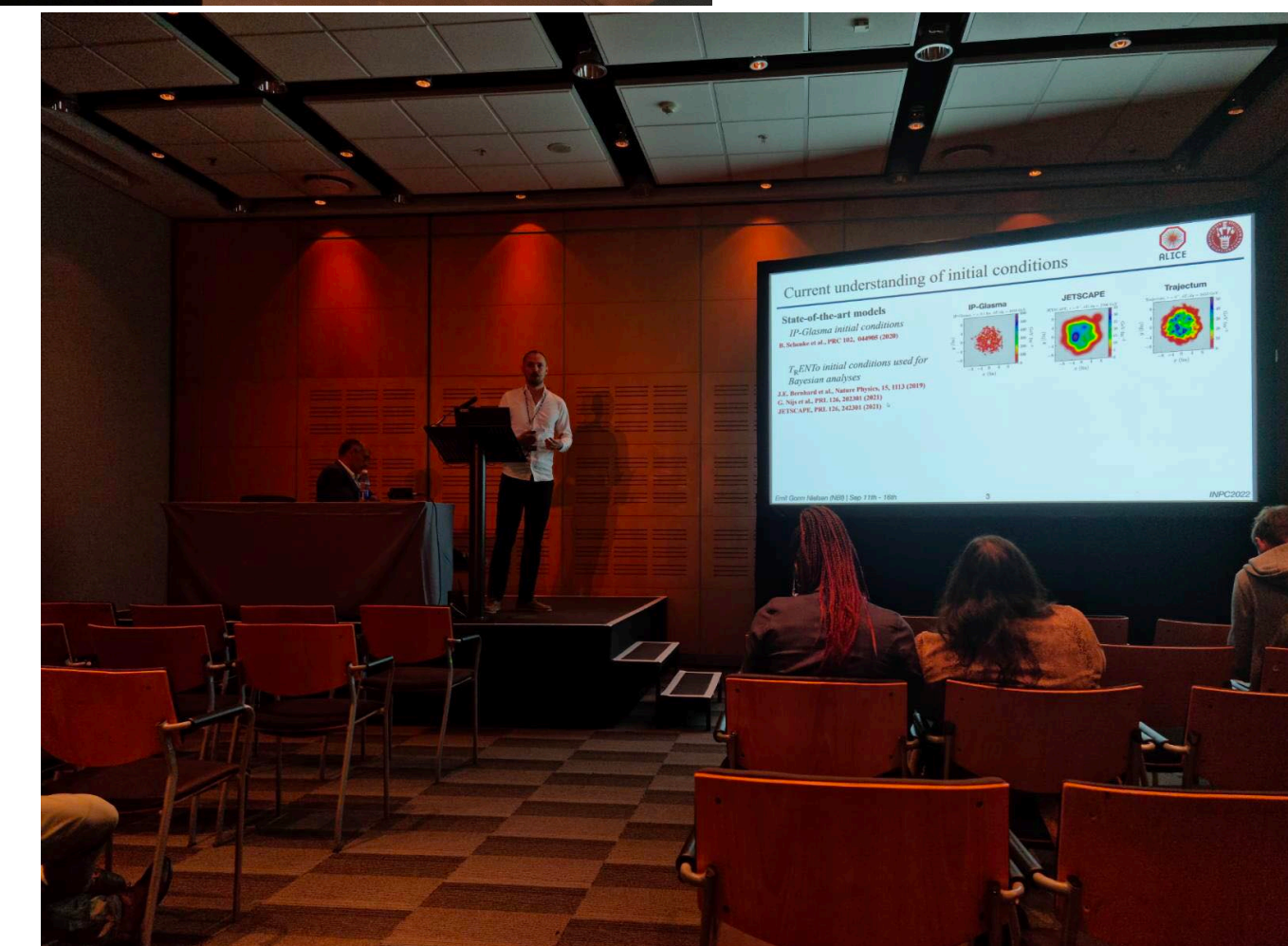
---

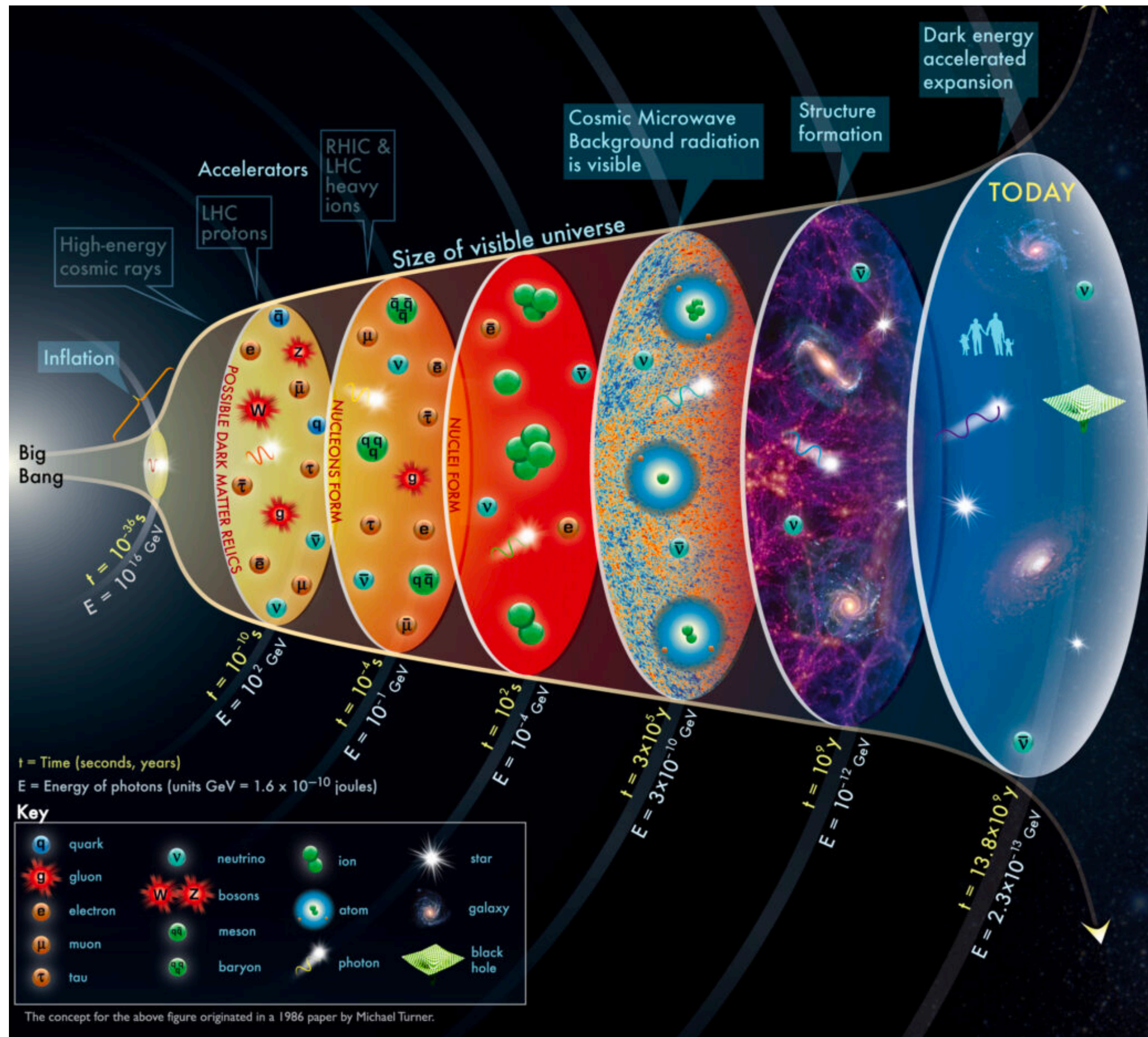
# “Strange” partikler

ALICE Master class  
18. Marts 2025



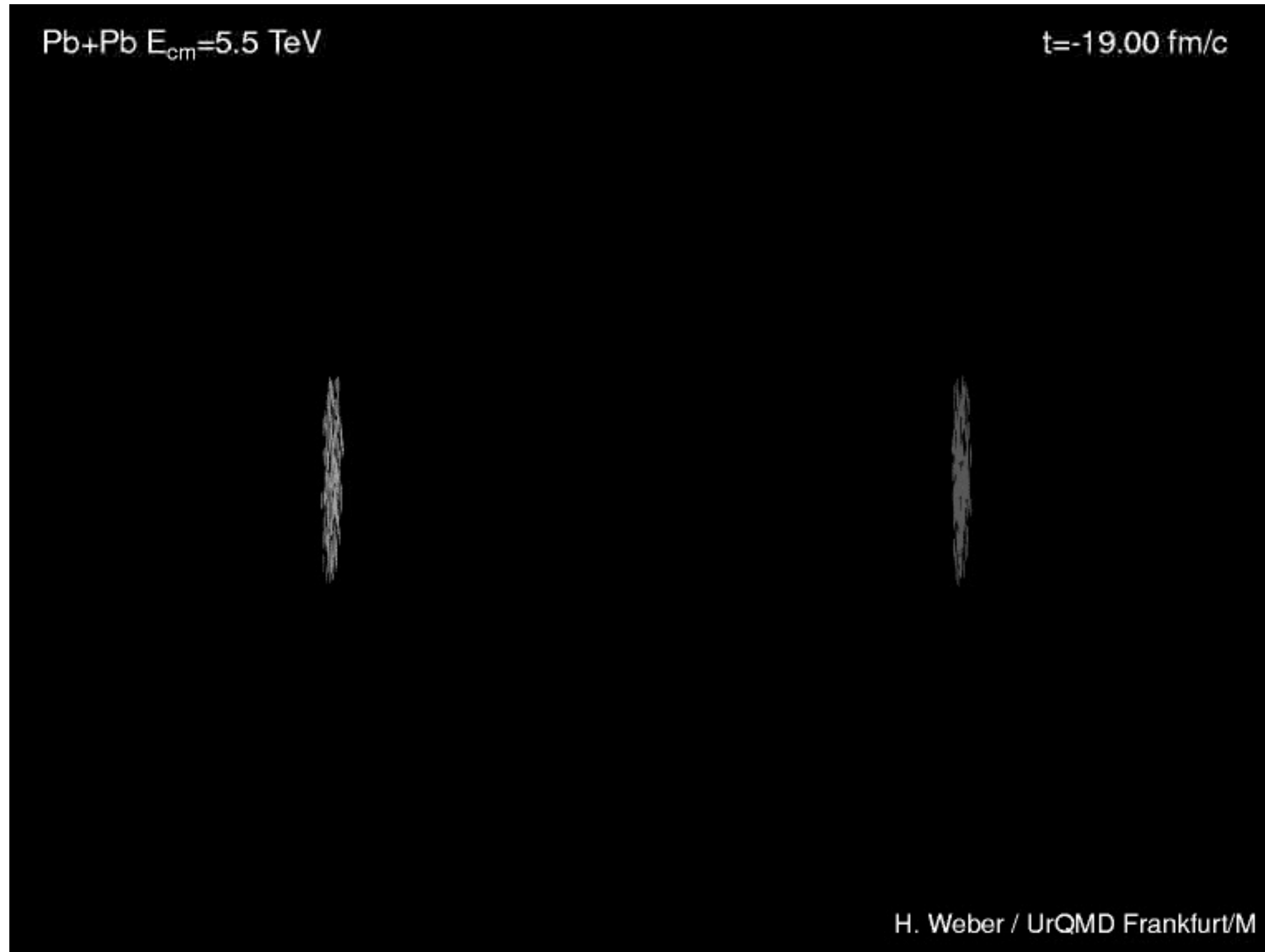
- ❖ Emil, 30 år
- ❖ Forsvarede min PhD i November 2023
- ❖ Arbejder nu som post doc i High-Energy Heavy-Ion gruppen på NBI
- ❖ Mit arbejde fokuserer på at prøve at beskrive det stof som eksisterede i det tidlige univers - kvark-gluon plasmaet



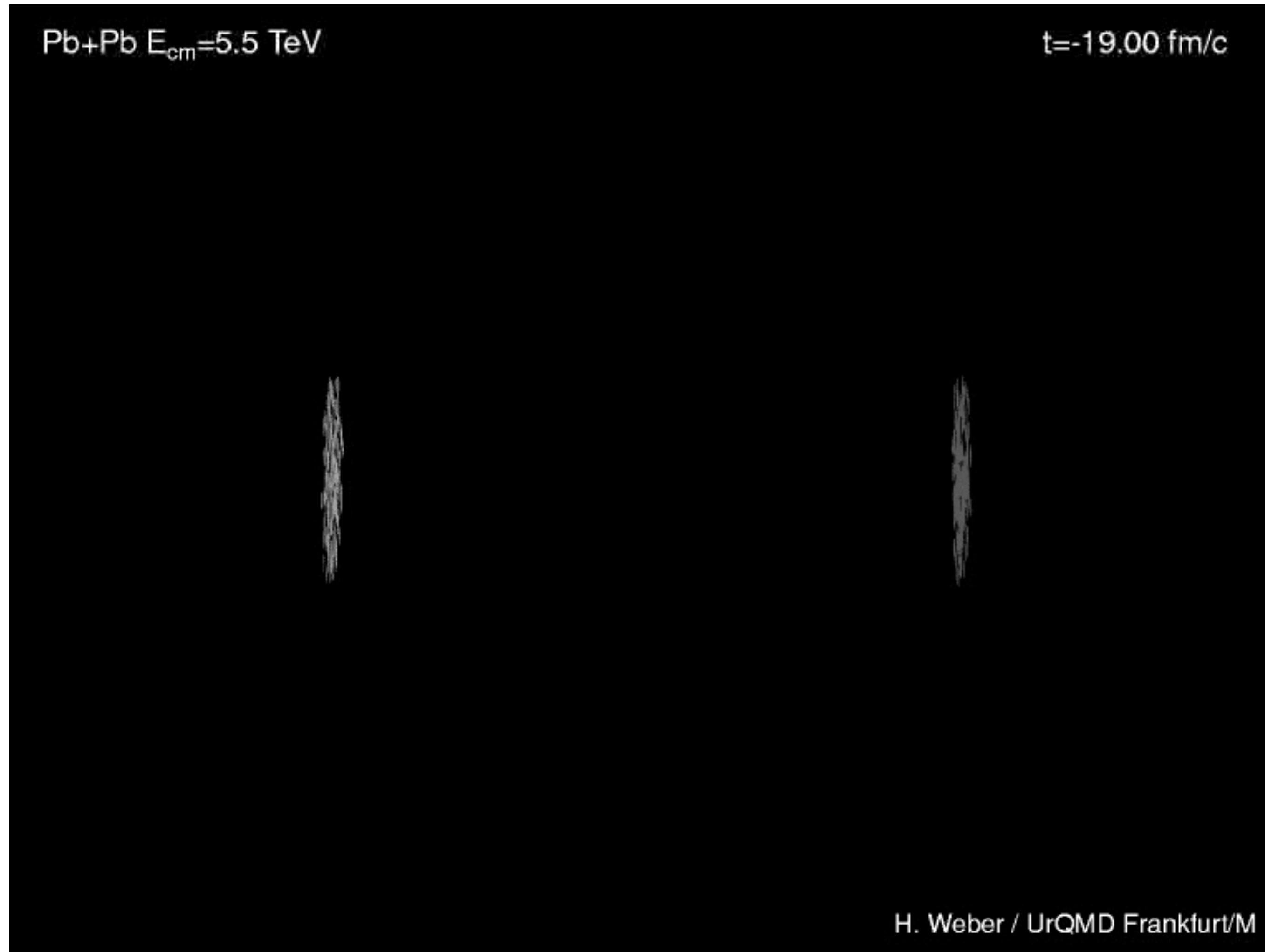


- ❖ Alt stof og energi samlet i et punkt
  - ❖ I mikrosekundet efter Big Bang var densiteten og temperaturen enorm
- Kvark-gluon-plasma?

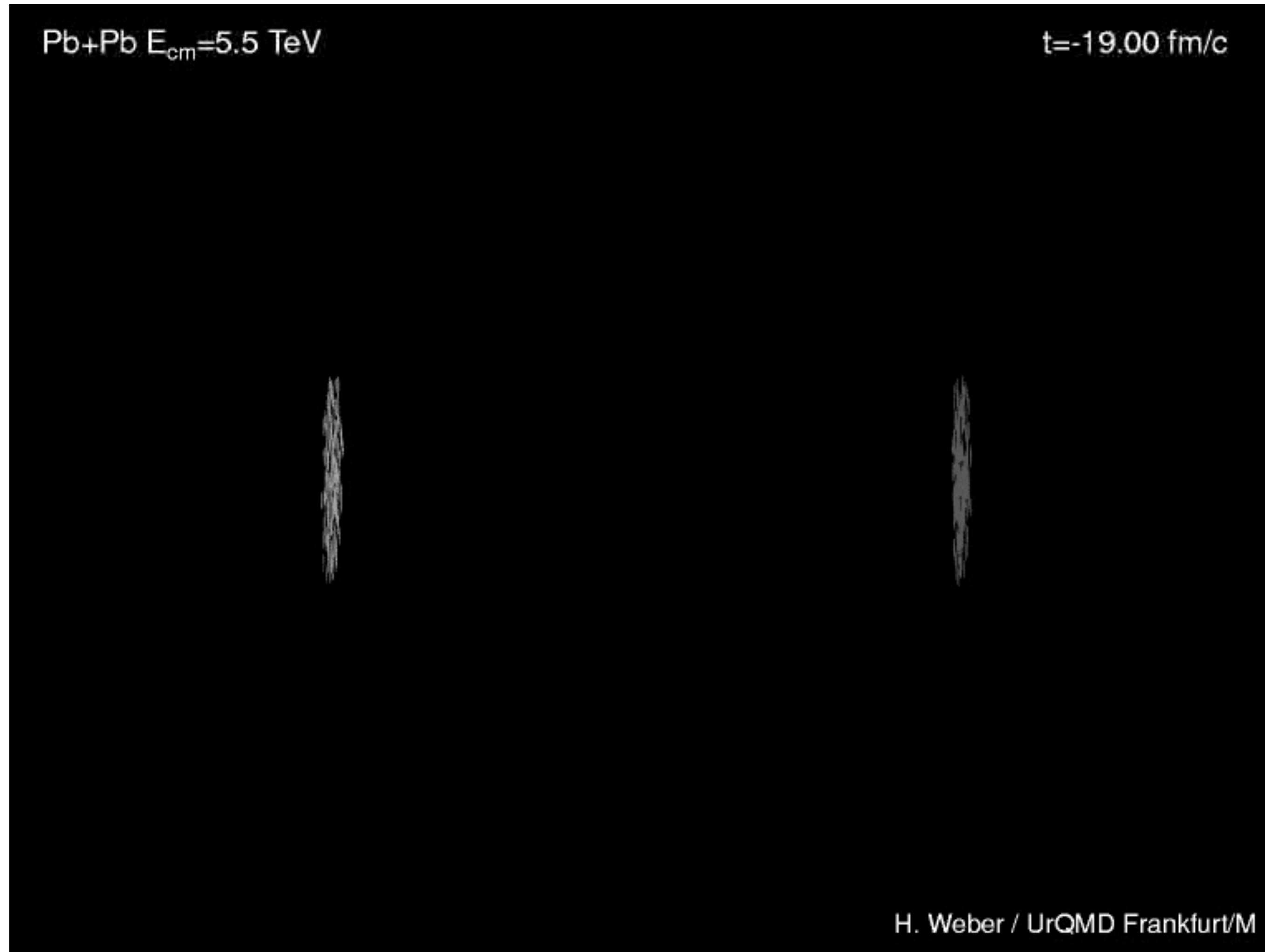
# ...til et 'Little' Bang



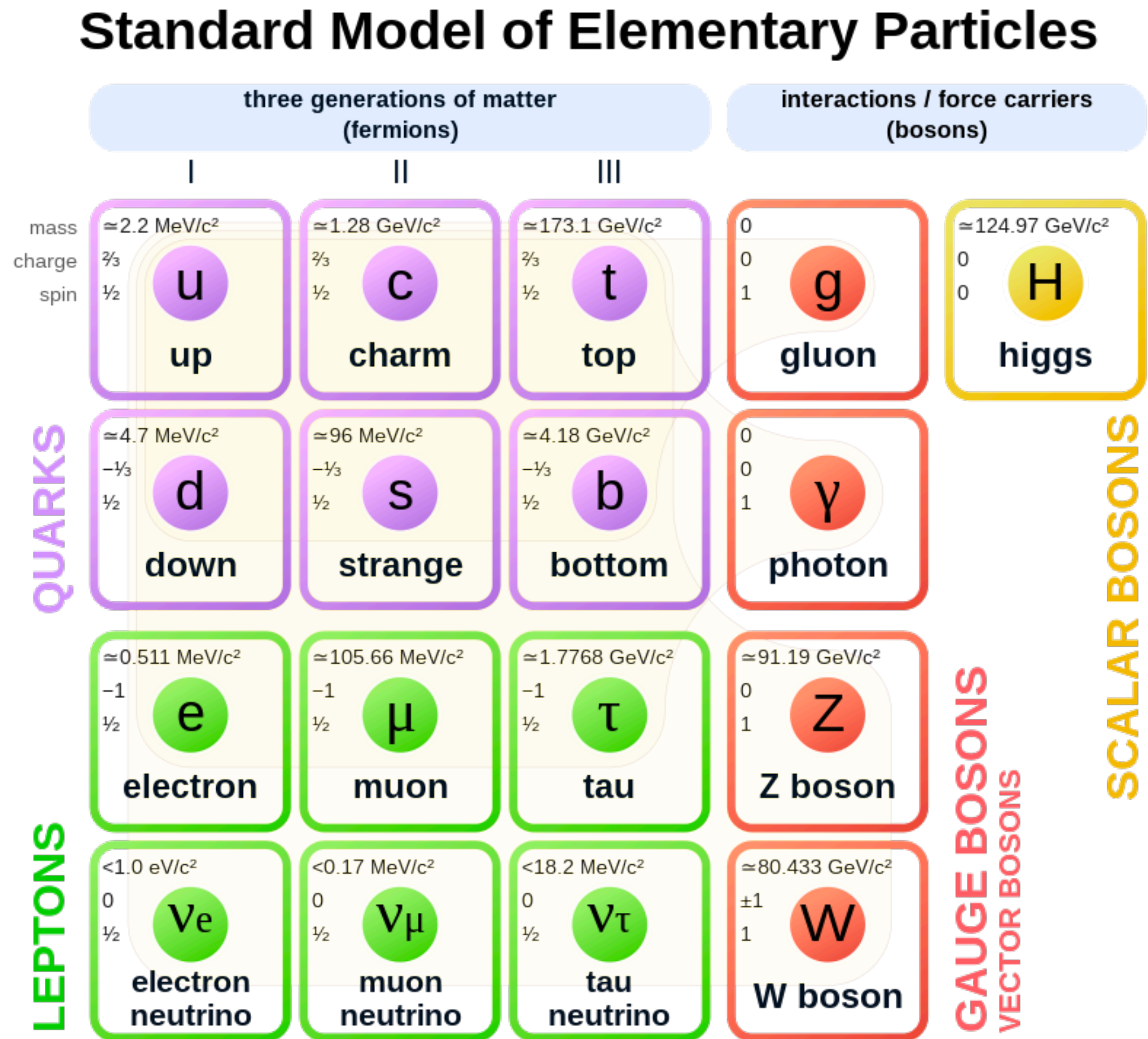
# ...til et 'Little' Bang



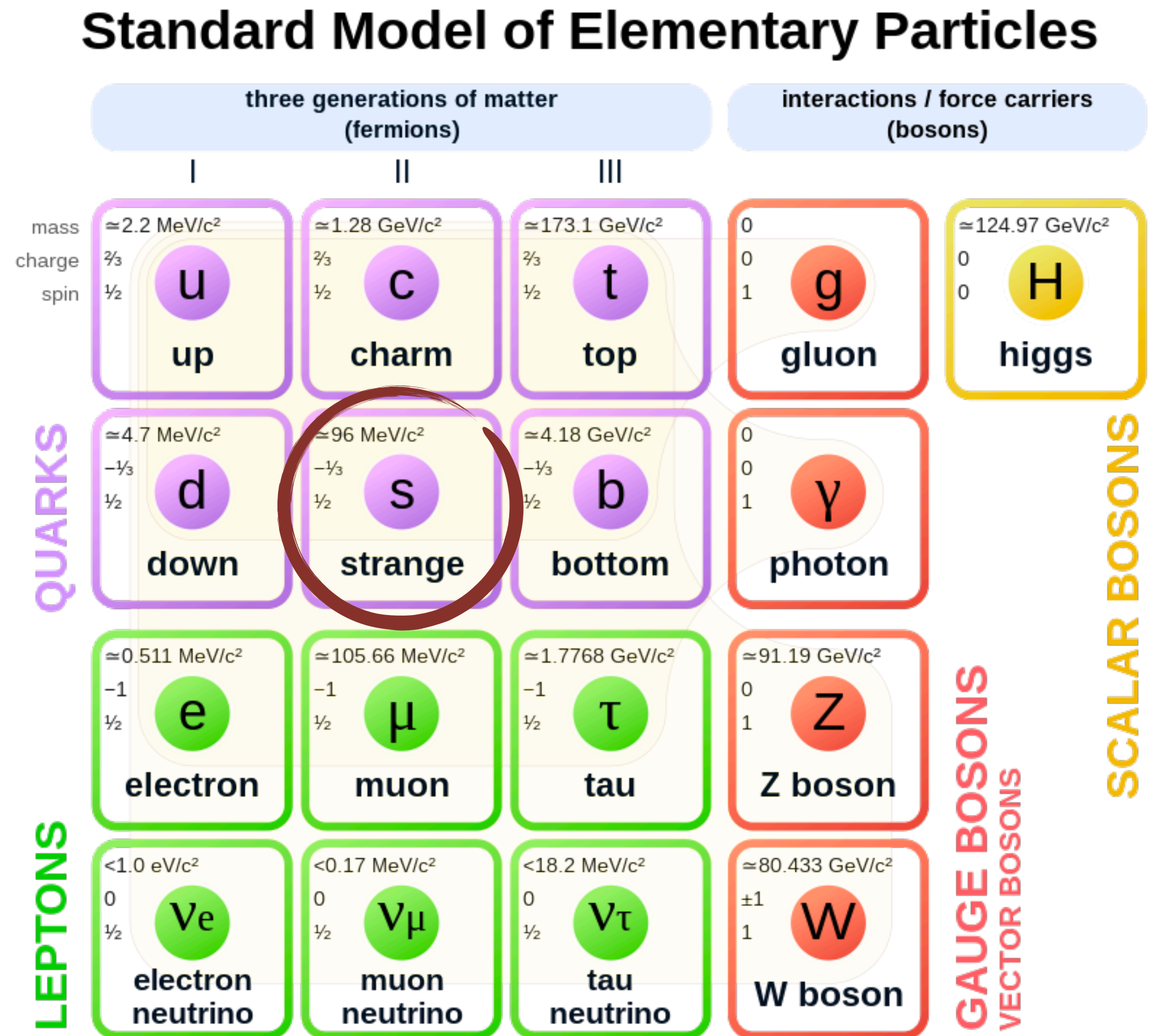
# ...til et 'Little' Bang



- ❖ 'Strange' kvarker er ustabile
  - Henfalder til up kvarker
- ❖ 'Strange' kvarker er lette
  - Nemme at producere - god statistik
- ❖ 'Strange' kvarker vil være bundet i 'strange' partikler som  $K_s^0$ ,  $\Lambda$  og  $\Xi$
- ❖ Forøget produktion af strange partikler er en af signaturene på at kvark-gluon-plasma er produceret



- ❖ 'Strange' kvarker er ustabile
  - Henfalder til up kvarker
- ❖ 'Strange' kvarker er lette
  - Nemme at producere - god statistik
- ❖ 'Strange' kvarker vil være bundet i 'strange' partikler som  $K_s^0$ ,  $\Lambda$  og  $\Xi$
- ❖ Forøget produktion af strange partikler er en af signaturene på at kvark-gluon-plasma er produceret

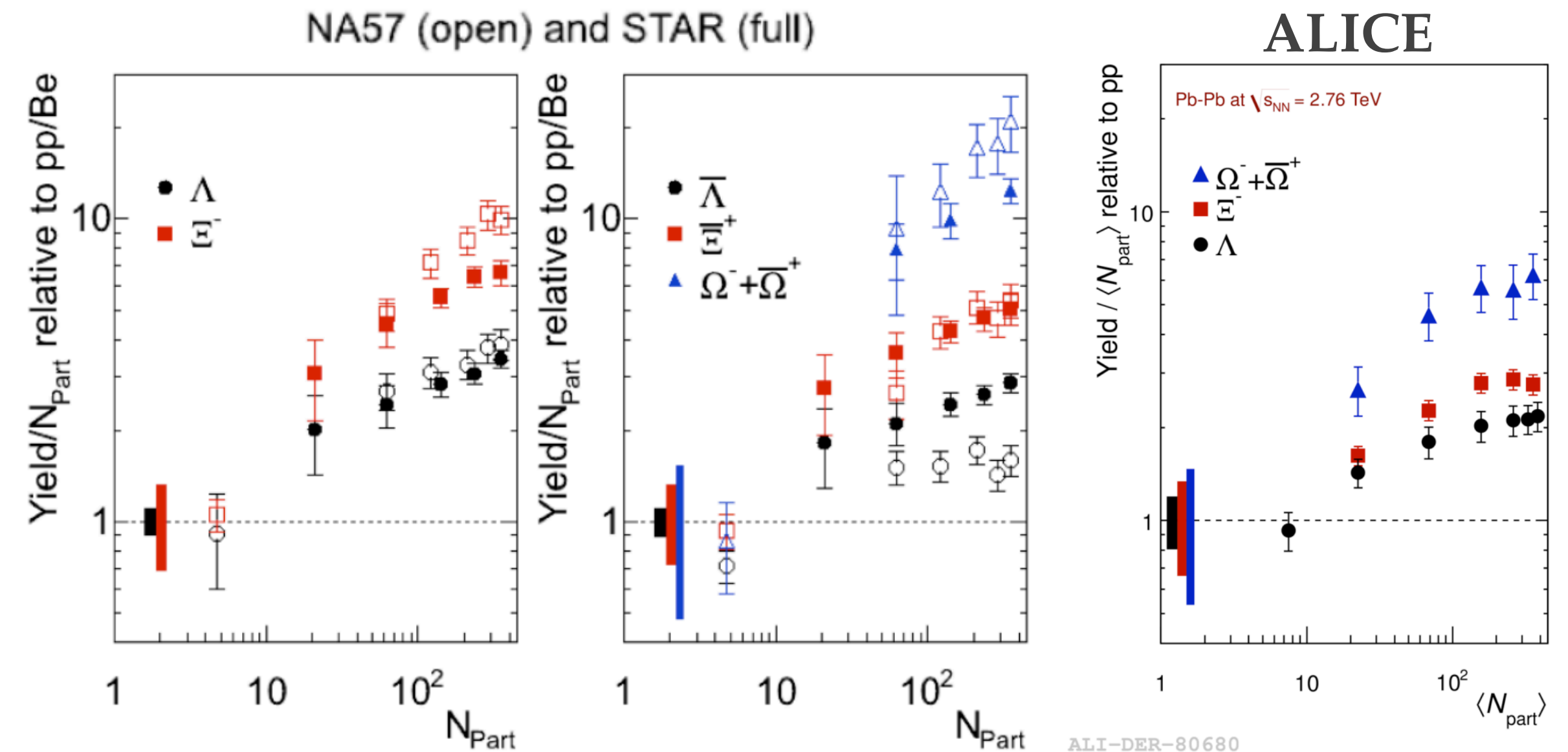




## Ordbog

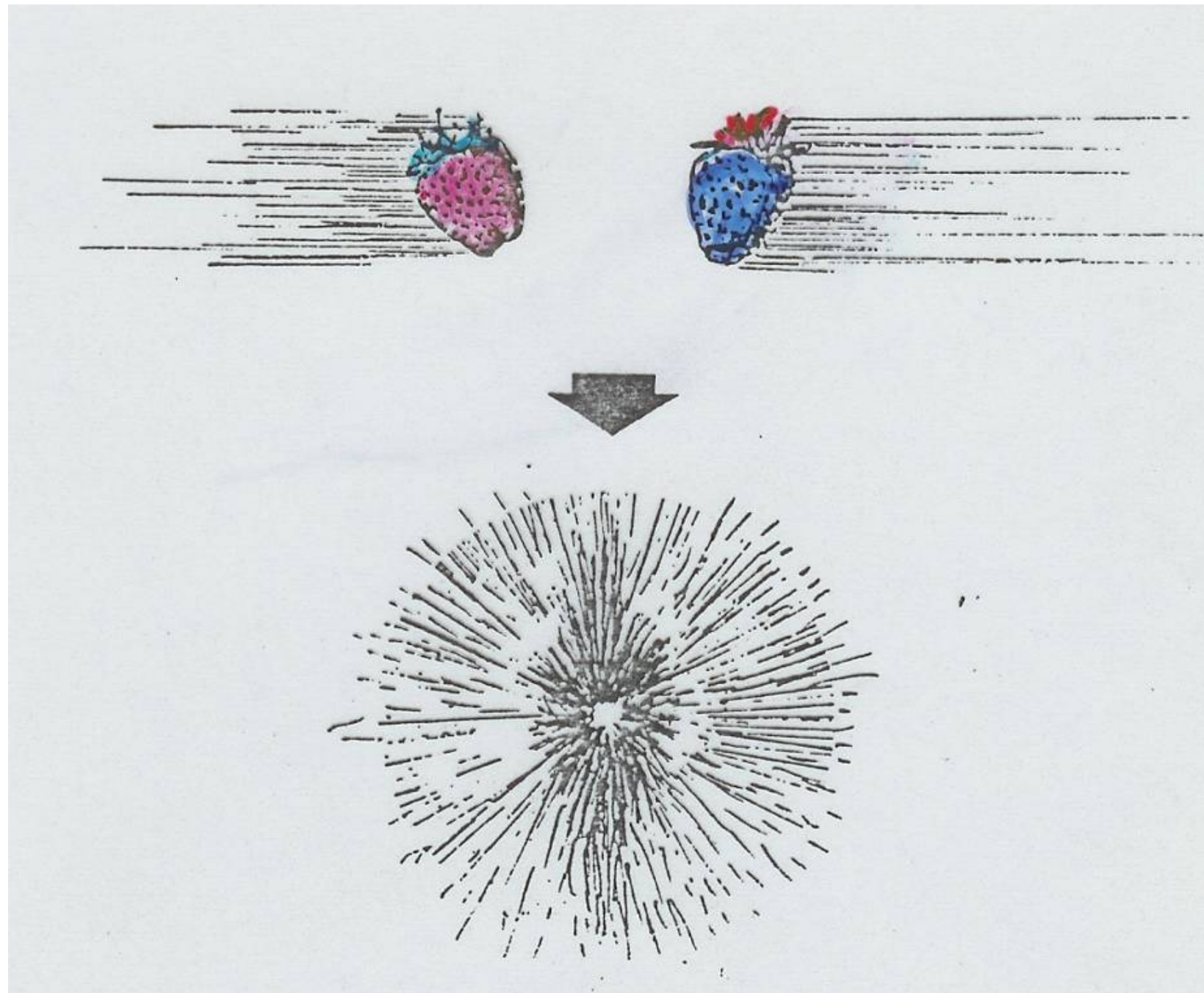
**Yield (udbytte):** Antal partikler (af en specific type) produceret pr. interaktion

**Strangeness enhancement:** Partikeludbytte normaliseret med antal deltagende partikler i kollisionen i forhold til det samme i proton-proton kollisioner

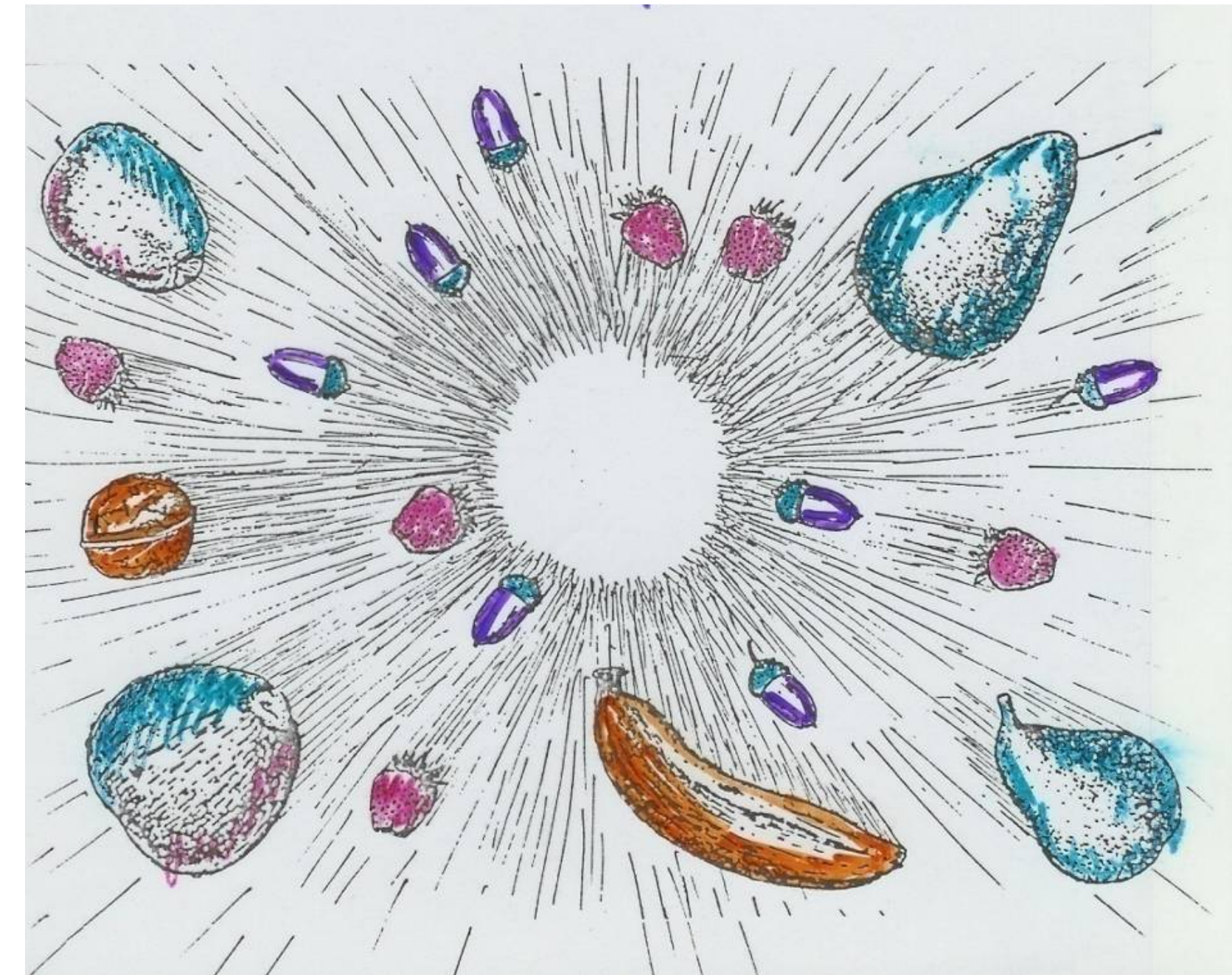
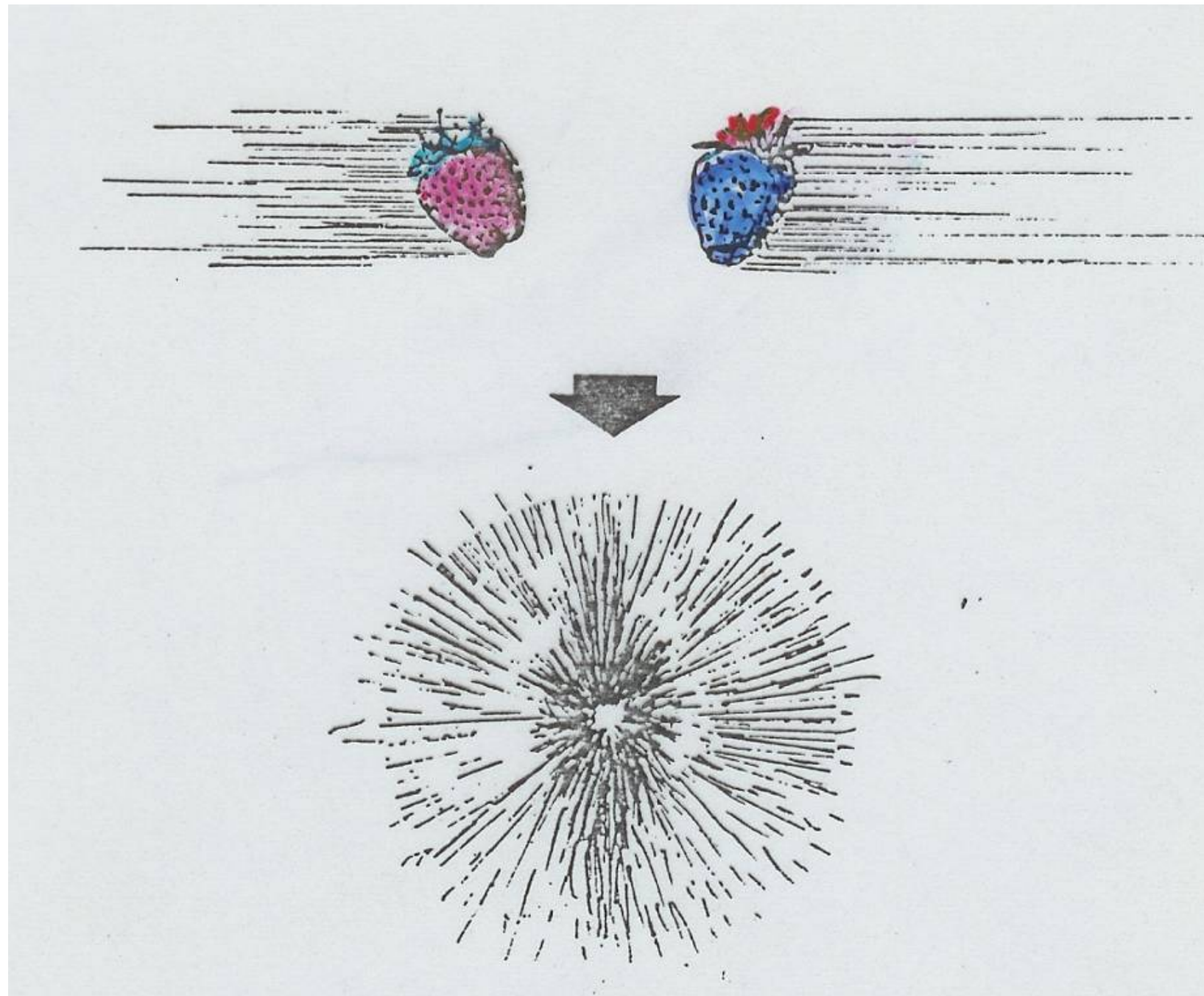


- ❖ Hvis forholdet er større end 1
  - ➔ Forøget produktion af strange partikler i tungionskollisioner

*Produktion af strange partikler i tungionskollisioner relativt til proton-proton (proton-Beryllium)*



- ❖ Kollision af bly-bly (u og d kvarker)
- ❖ Hvordan får vi så 'strange' partikler



- ❖ Kollision af bly-bly (u og d kvarker)
- ❖ Hvordan får vi så 'strange' partikler

$$E = m c^2 \quad \text{eller} \quad E \approx kT$$

1911: Cloud chamber

- Nobelpris 1927

1952: Bubble chamber

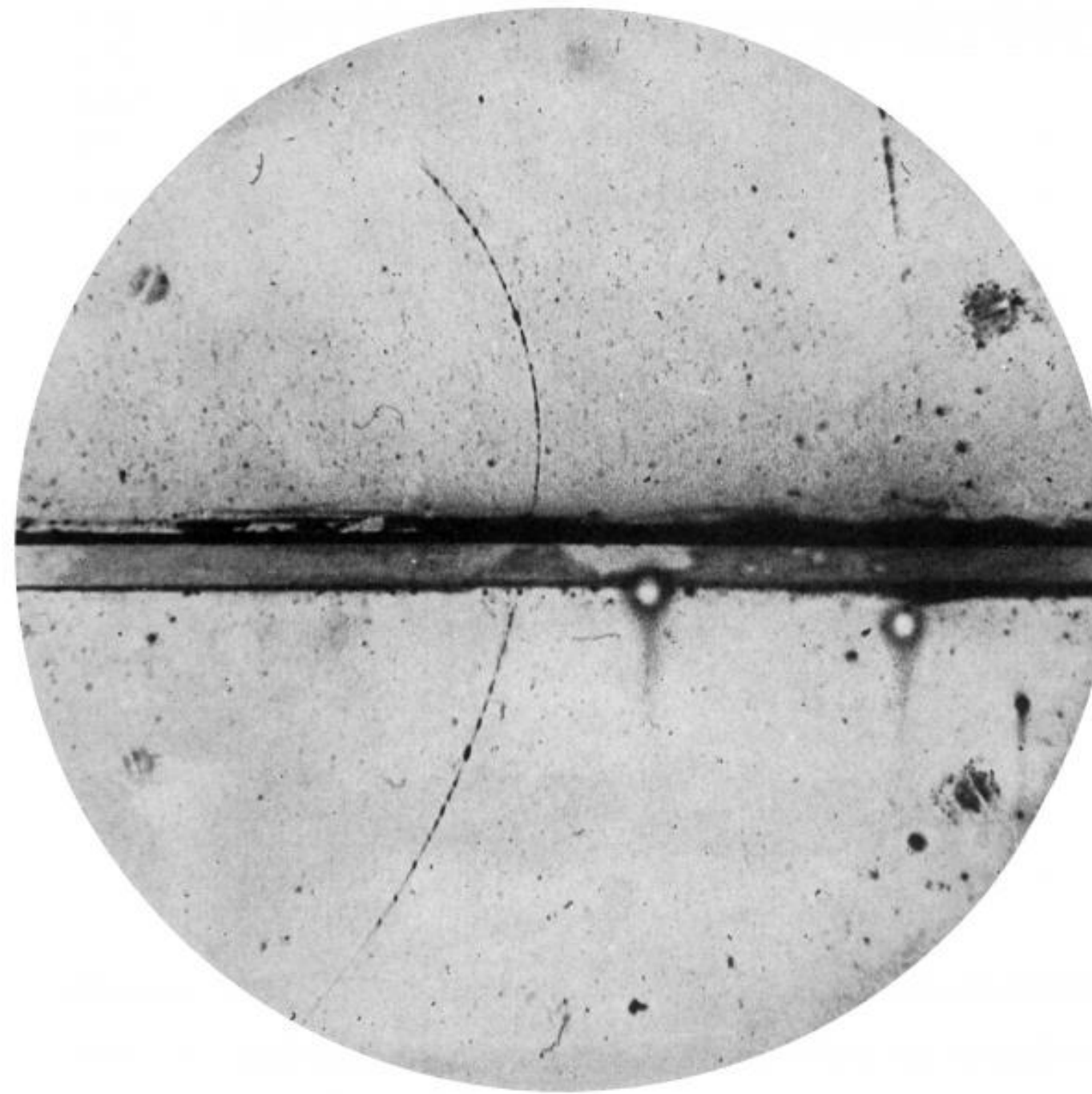
- Nobelpris 1960

1968: Multi-Wire Proportional Chamber

- Nobelpris 1992

Slut-70'erne: Digitalisering,  
Computervisualisering

2010 - : nuværende gen. partikeldetektorer



1932: Første positron  
nogensinde identificeret



1973: Effekten af en  
neutrino i CERNs  
Gargamelle bubble chamber

1911: Cloud chamber

- Nobelpris 1927

1952: Bubble chamber

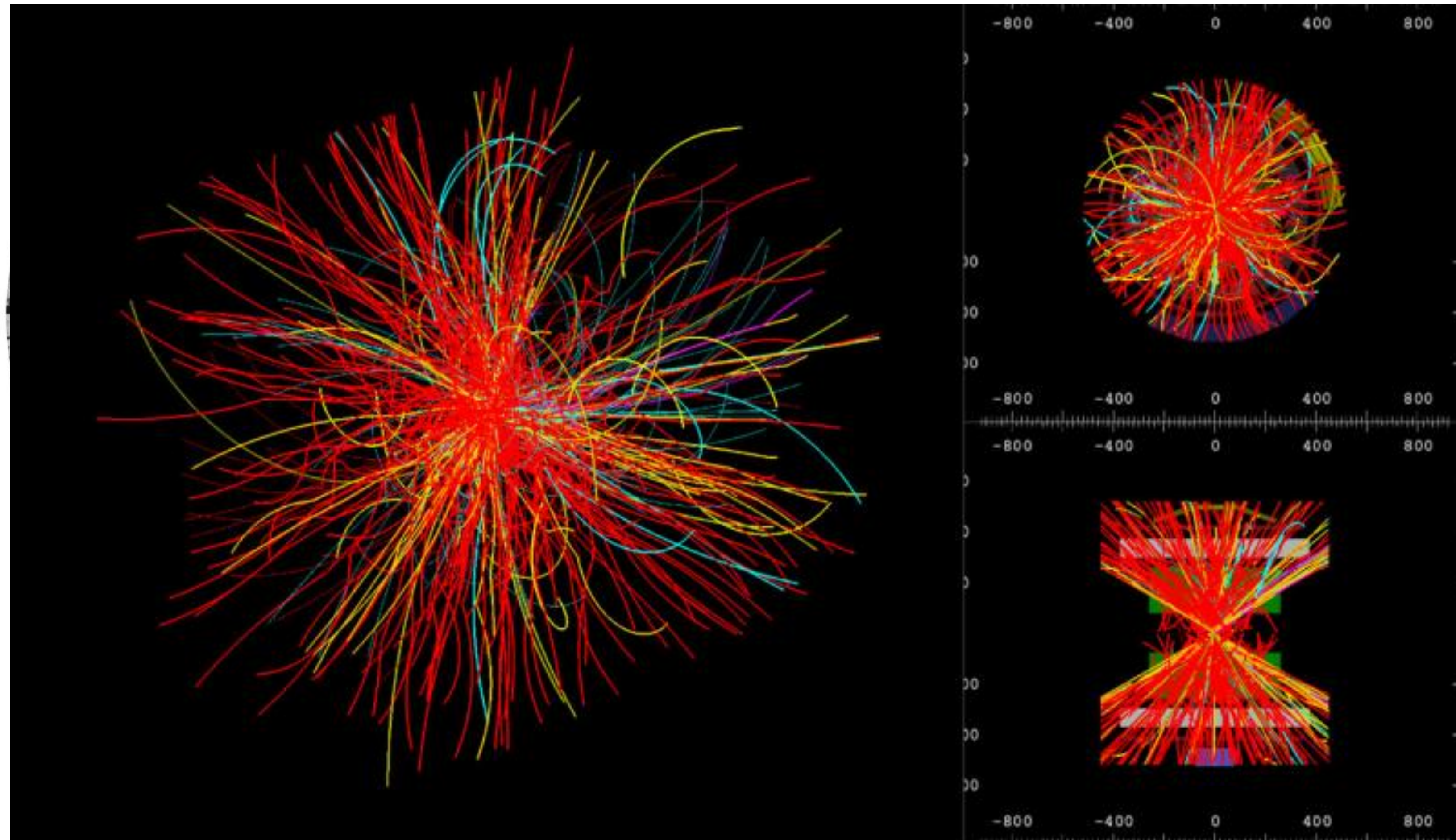
- Nobelpris 1960

1968: Multi-Wire Proportional Chamber

- Nobelpris 1992

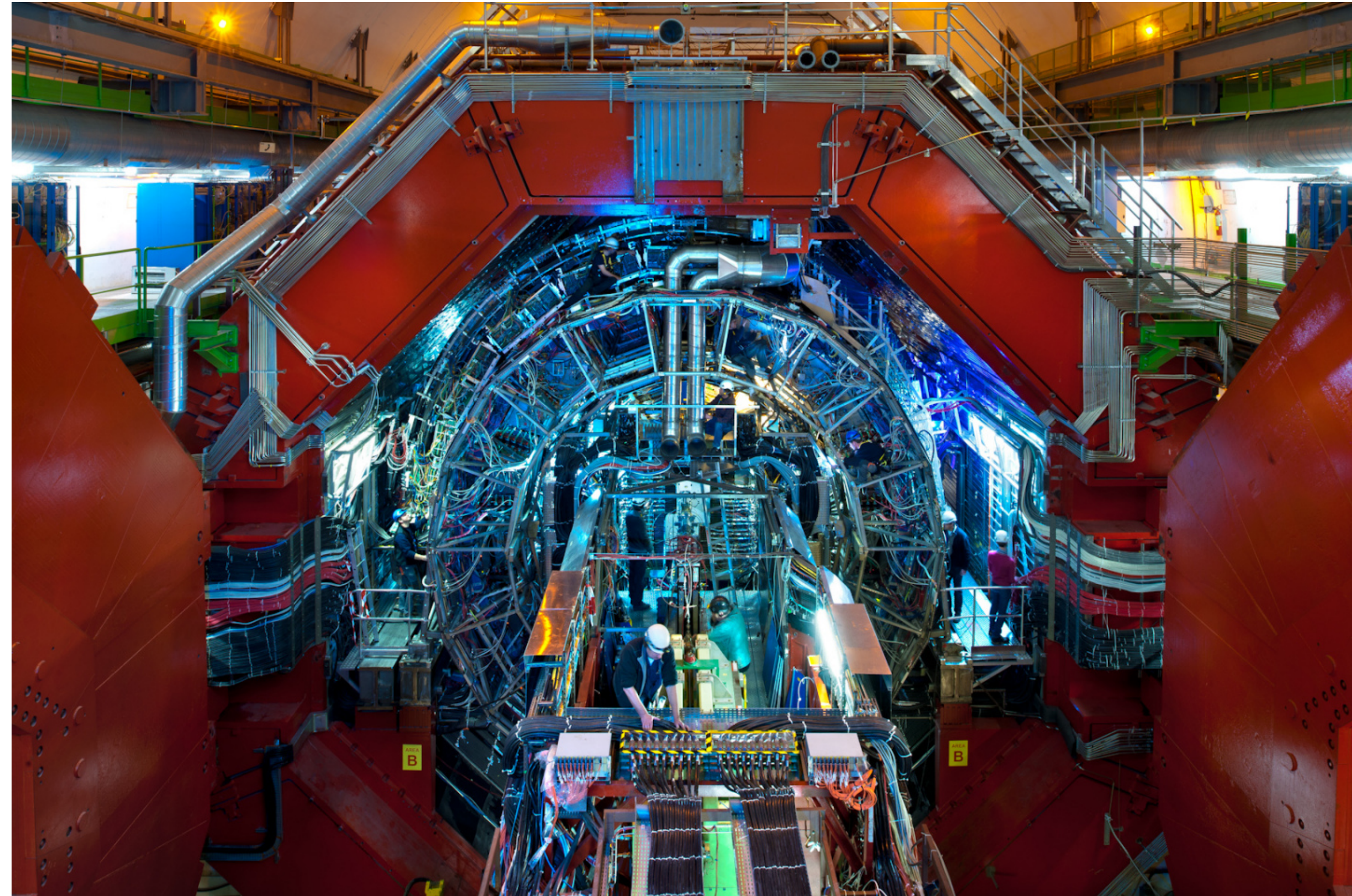
Slut-70'erne: Digitalisering,  
Computervisualisering

↓ 2010 - : nuværende gen. partikeldetektorer



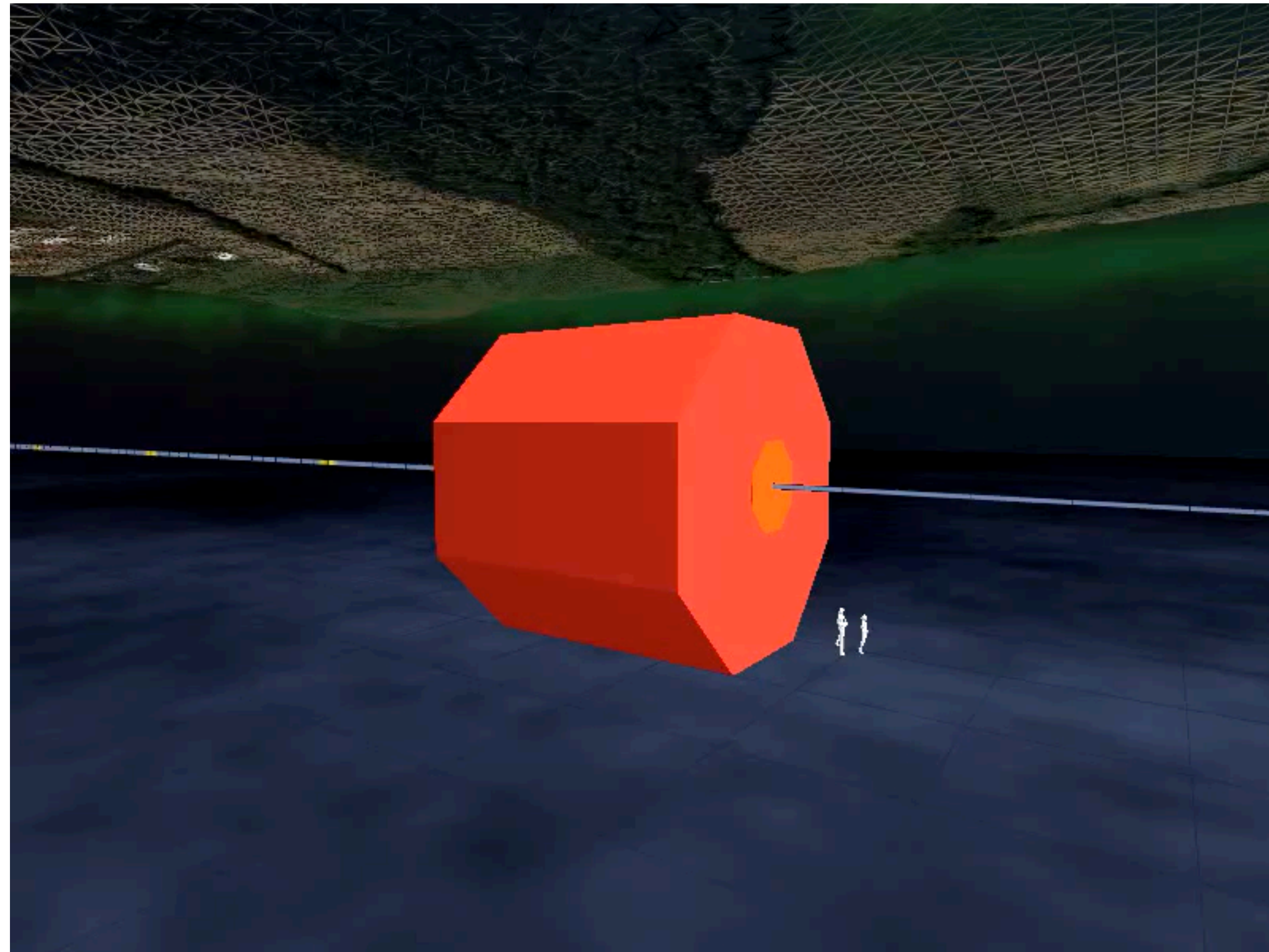
*Moderne event display af proton-proton sammenstød 3. Juni 2015 i ALICE detektoren*

- ❖ A Large Ion Collider Experiment
- ❖ 10000 ton (Eiffeltårn: 7300 ton)
- ❖ Materielpris: €200M
- ❖ L: 26m, H: 16m, B: 16m
- ❖ 56m under jorden
- ❖ 19 forskellige subdetektorsystemer
- ❖ ALICE Collaboration: ~2000 forskere fra 169 institutter i 40 lande

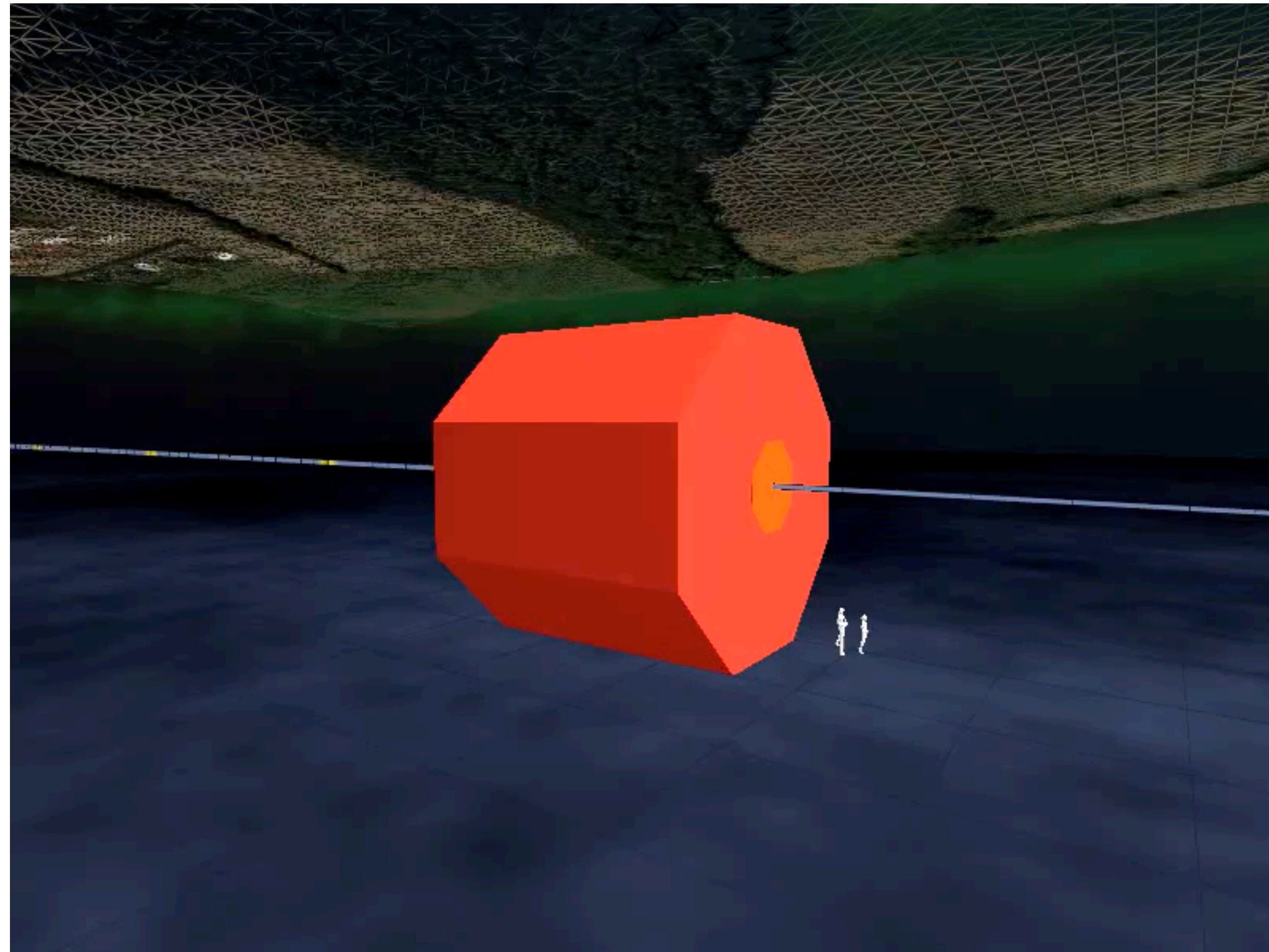


*ALICE detektoren set forfra med magnetdørene åbne*

# ALICE detektoren

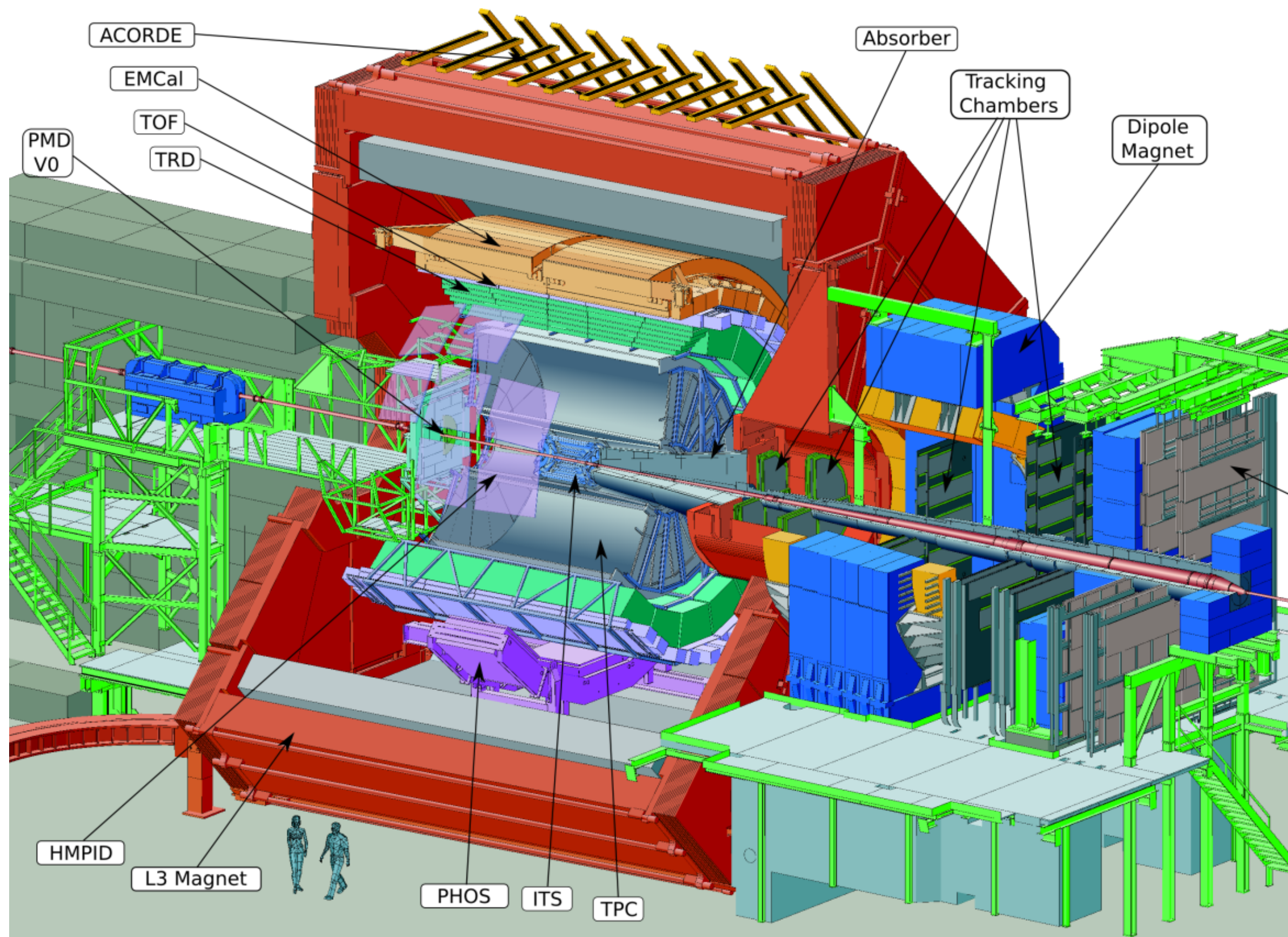


# ALICE detektoren





Magnet: 0.5 T , 10000 gange stærkere end jordens magnet felt (25-65  $\mu\text{T}$ )



- ❖ Ladede partikler bliver bøjet i detektorens magnetfelt
- ❖ Bøjningen afhænger af partiklens ladning og dens masse

Større masse = Mindre afbøjning  
 Større ladning = Mere afbøjning

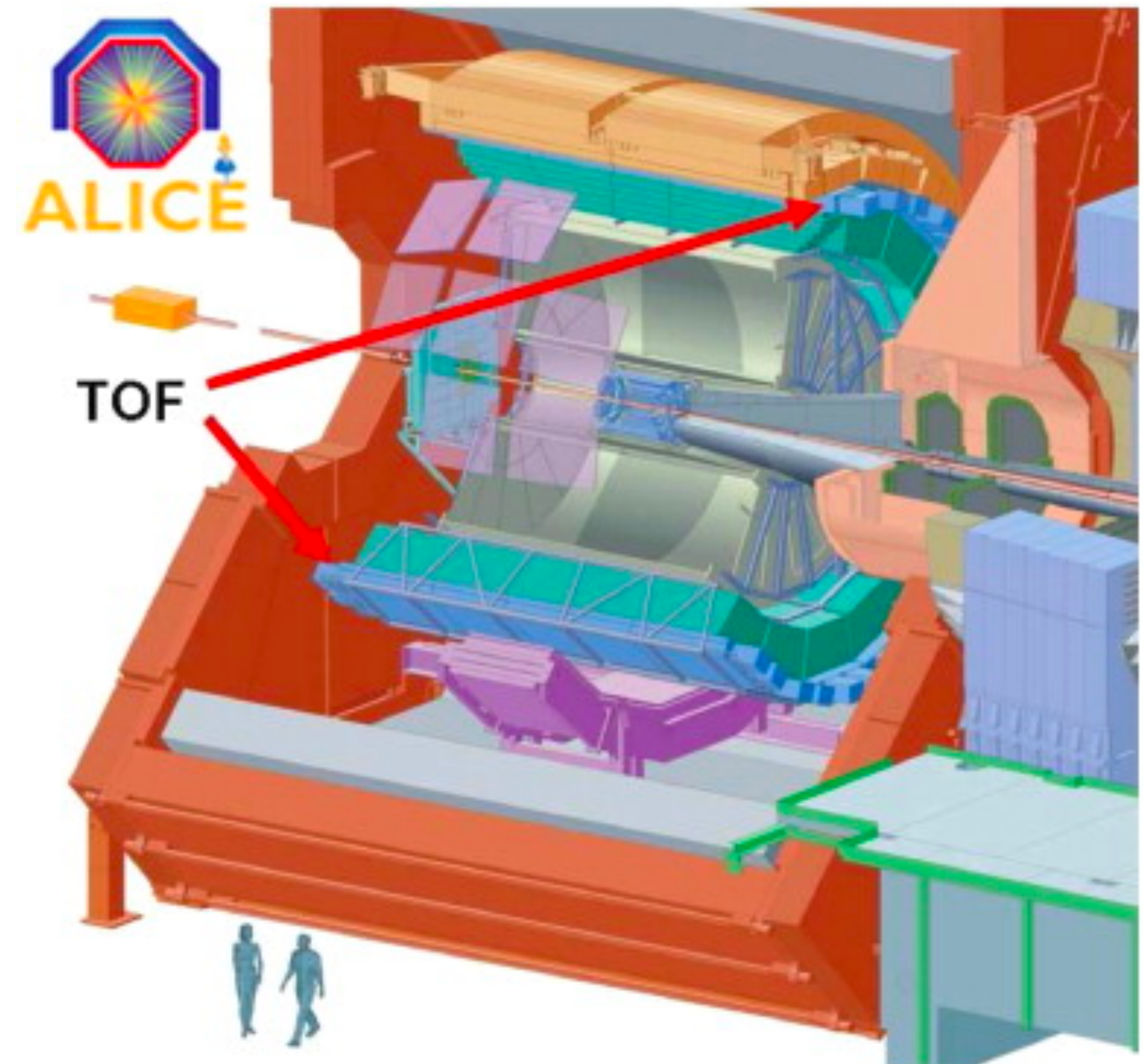
$$r = \frac{mv}{qB}$$

- ❖ Mangler en ingrediens mere

- ❖ Time-of-flight detektor
- ❖ Præcision på en tiendededel af en milliardenedel af et sekund
- ❖ Måler den tid det tager at rejse fra kollisionspunktet til detektoren
  - Afstanden er kendt - vi kan nu finde hastigheden

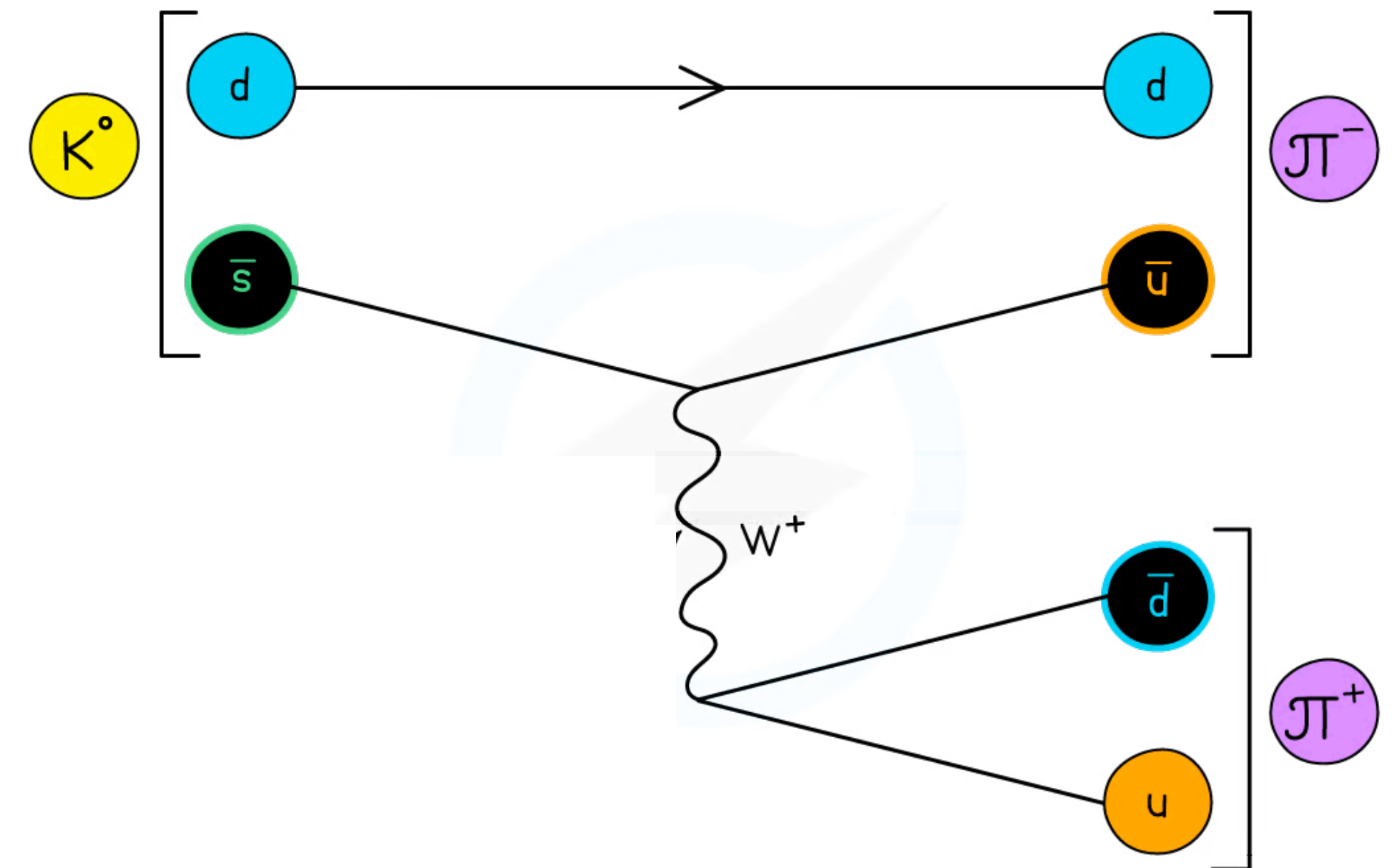
Én ukendt størrelse

$$r = \frac{mv}{qB}$$



- ❖ Strange partikler er kortlivet (0.09 ns)  
- Hvordan kan vi måle dem?
- ❖ Vi bliver nødt til at regne baglæns!
- ❖ Energi og momentum er bevaret og målt i detektoren

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

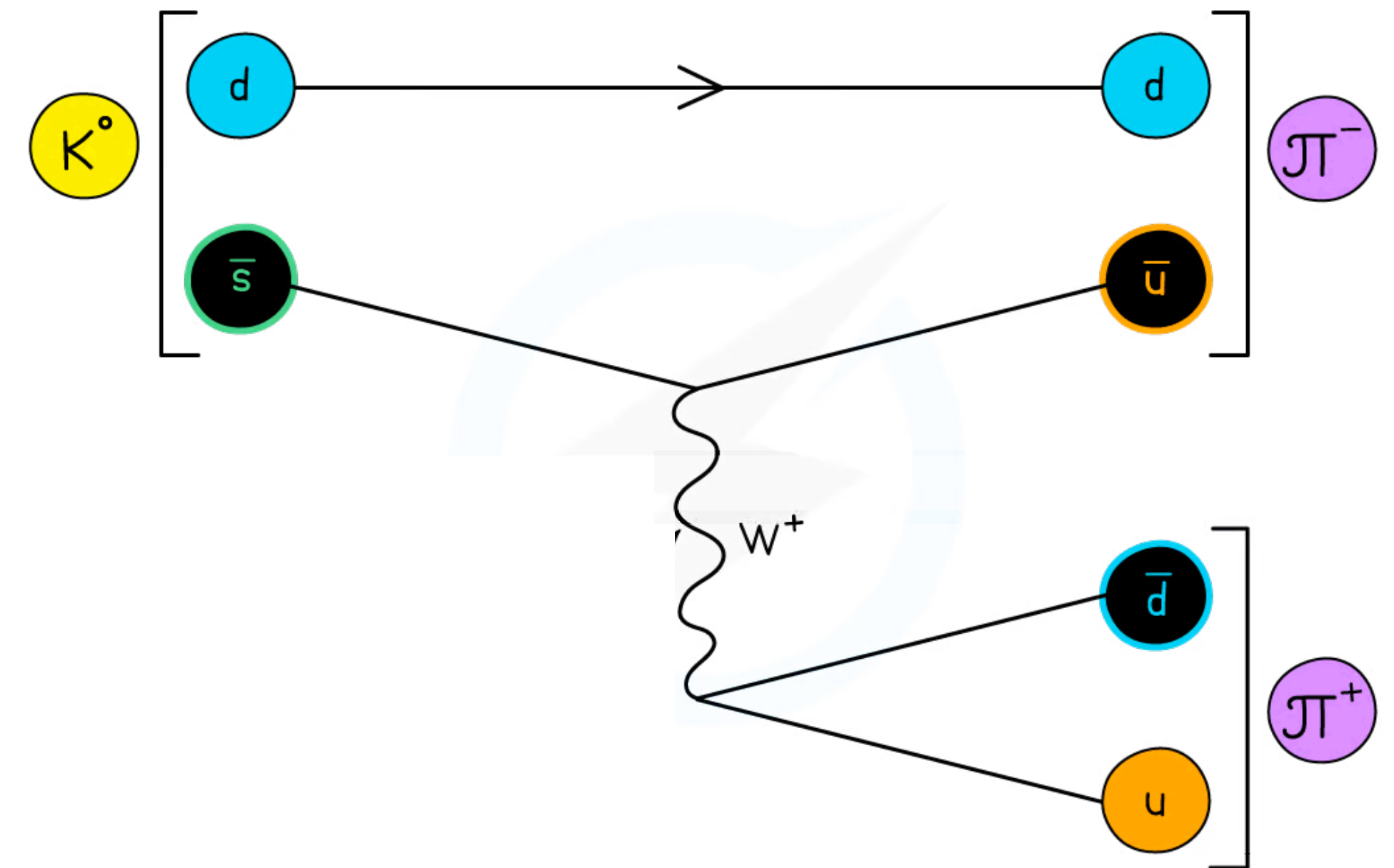


F.eks. find to pioner med modsat ladning og beregn deres invariante masse

- ❖ Strange partikler er kortlivet (0.09 ns)  
- Hvordan kan vi måle dem?
- ❖ Vi bliver nødt til at regne baglæns!
- ❖ Energi og momentum er bevaret og målt i detektoren

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4$$

Momentum = 0  $\Rightarrow E = mc^2$

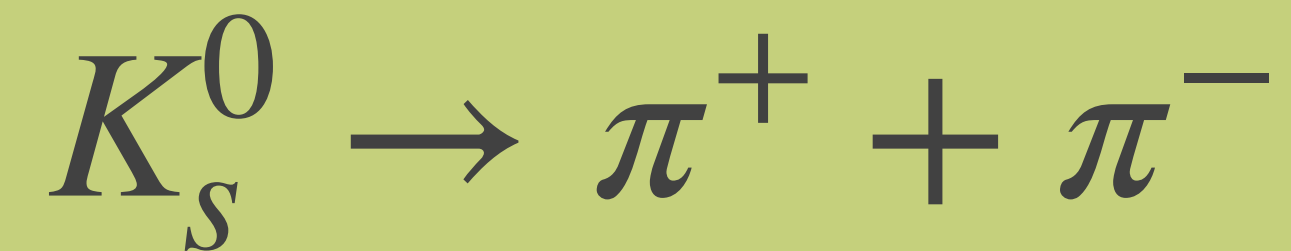


F.eks. find to pioner med modsat ladning og beregn deres invariante masse

## Henfald

Kaon ( $d\bar{s}/\bar{d}s$ )

0.09 ns



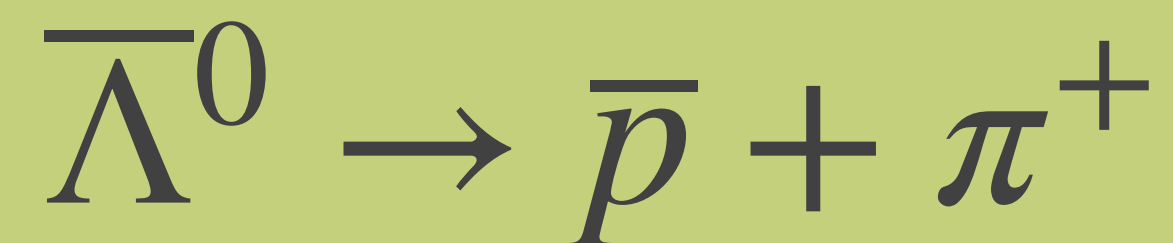
Lambda ( $uds$ )

0.26 ns



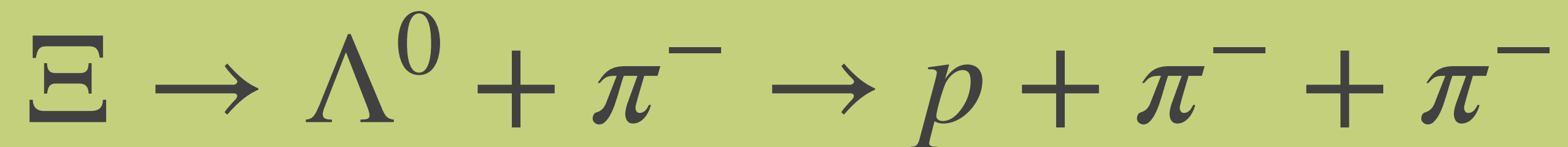
Anti-lambda ( $\bar{u}\bar{d}\bar{s}$ )

0.26 ns

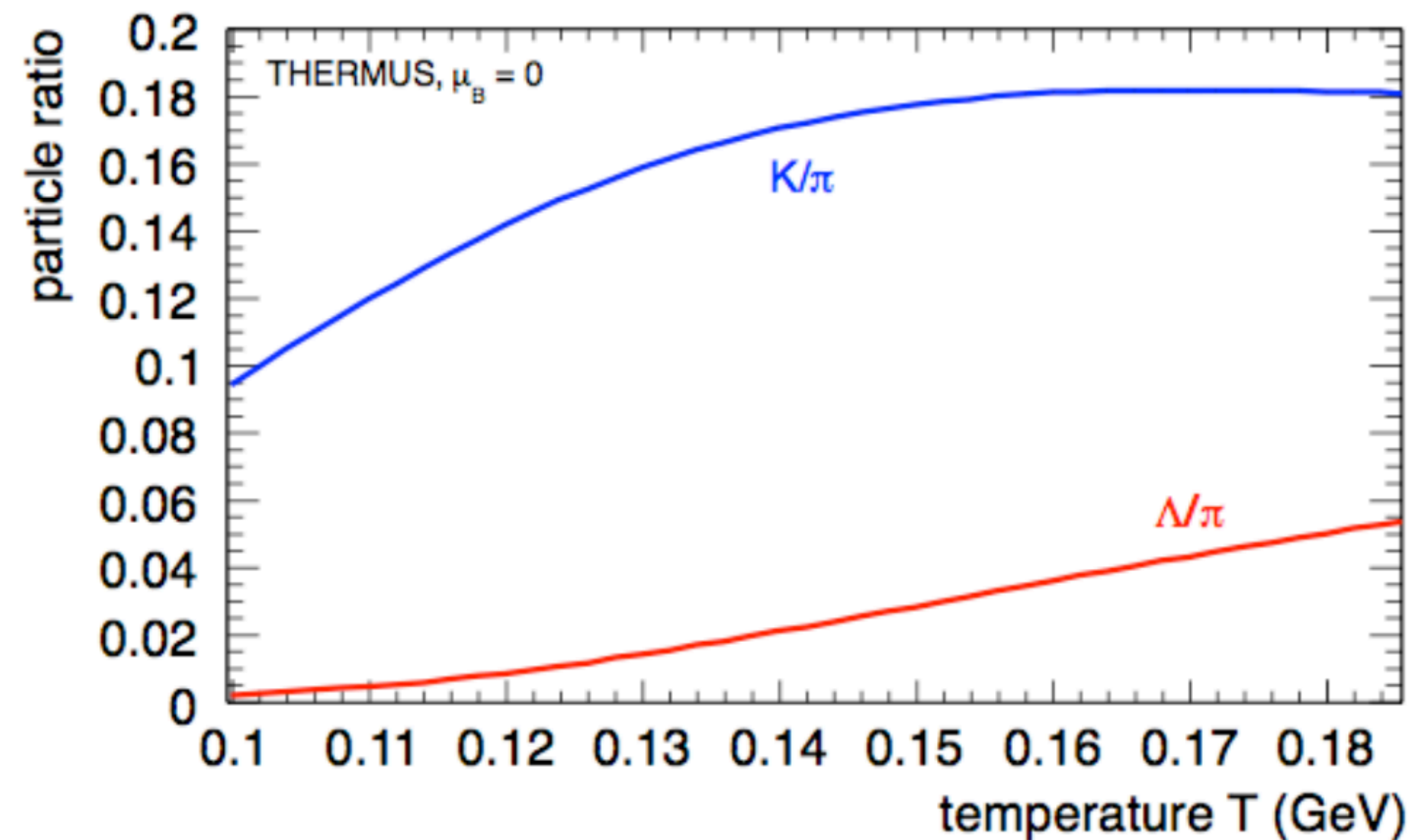
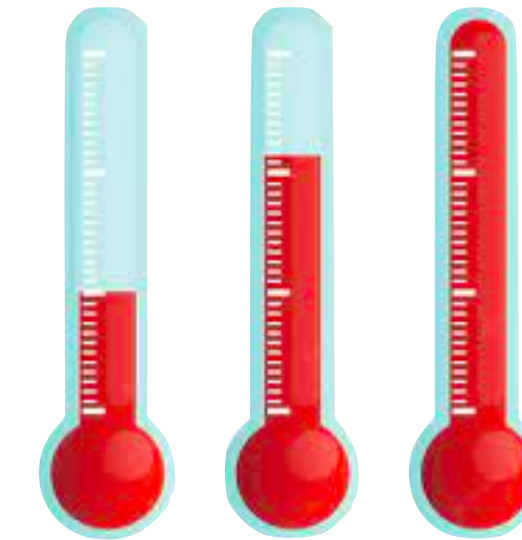


Xi ( $dss$ )

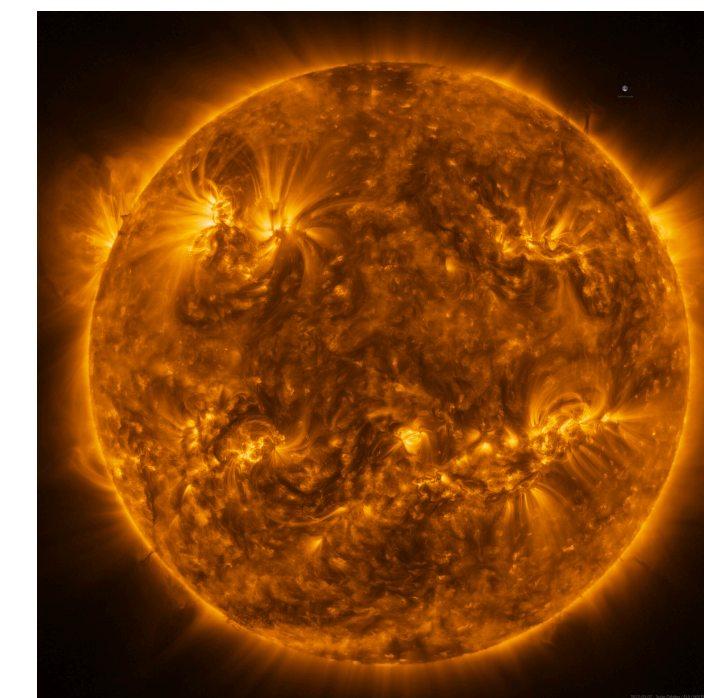
0.16 ns



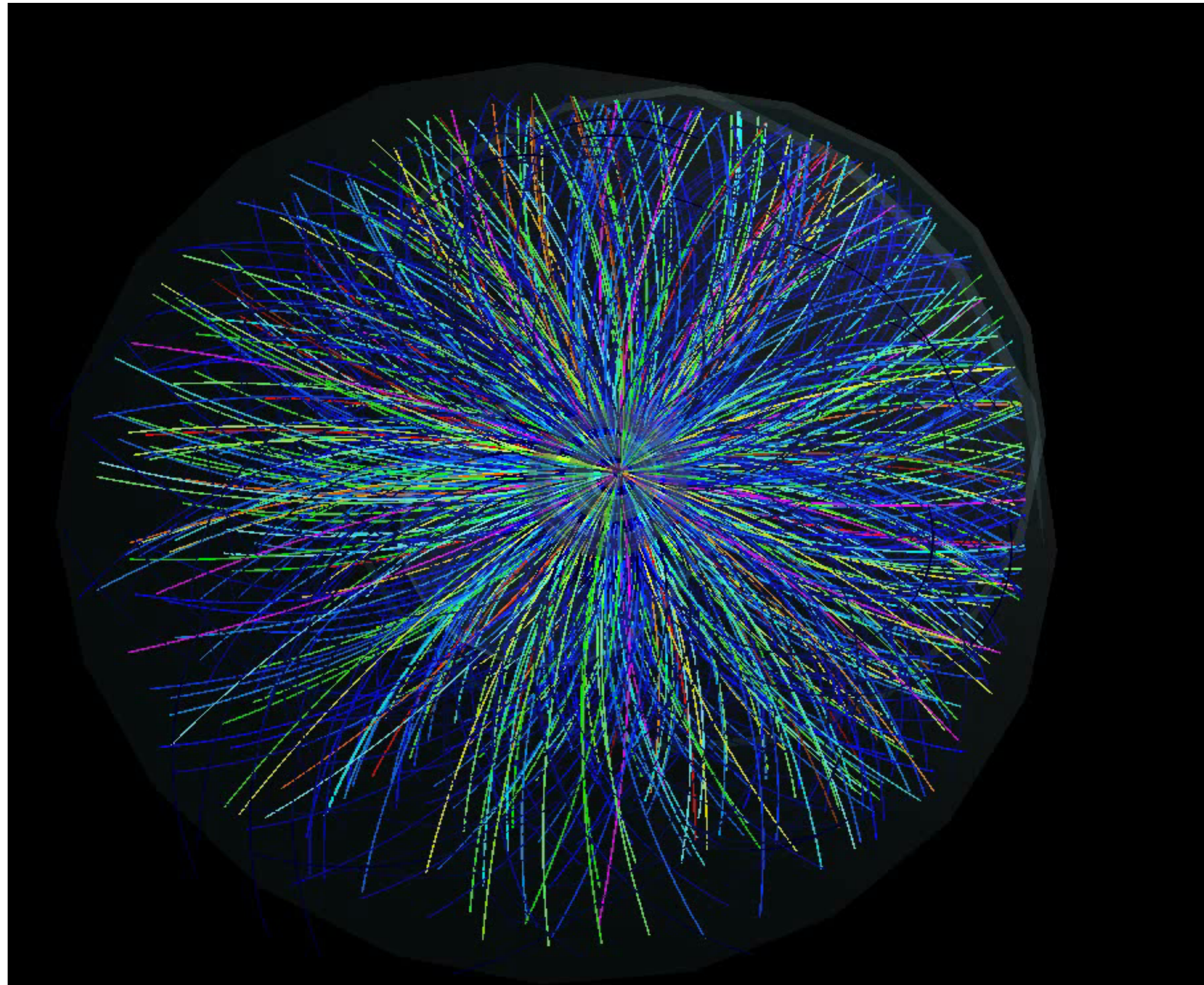
- ❖ Målinger af 'strange' partikler kan fungere som et termometer på kvark-gluon-plasmaet



- ❖ Målinger viser at stoffet har en temperatur på  $\sim 120\text{-}180$  MeV ( $1.7 \times 10^{12}$  K)

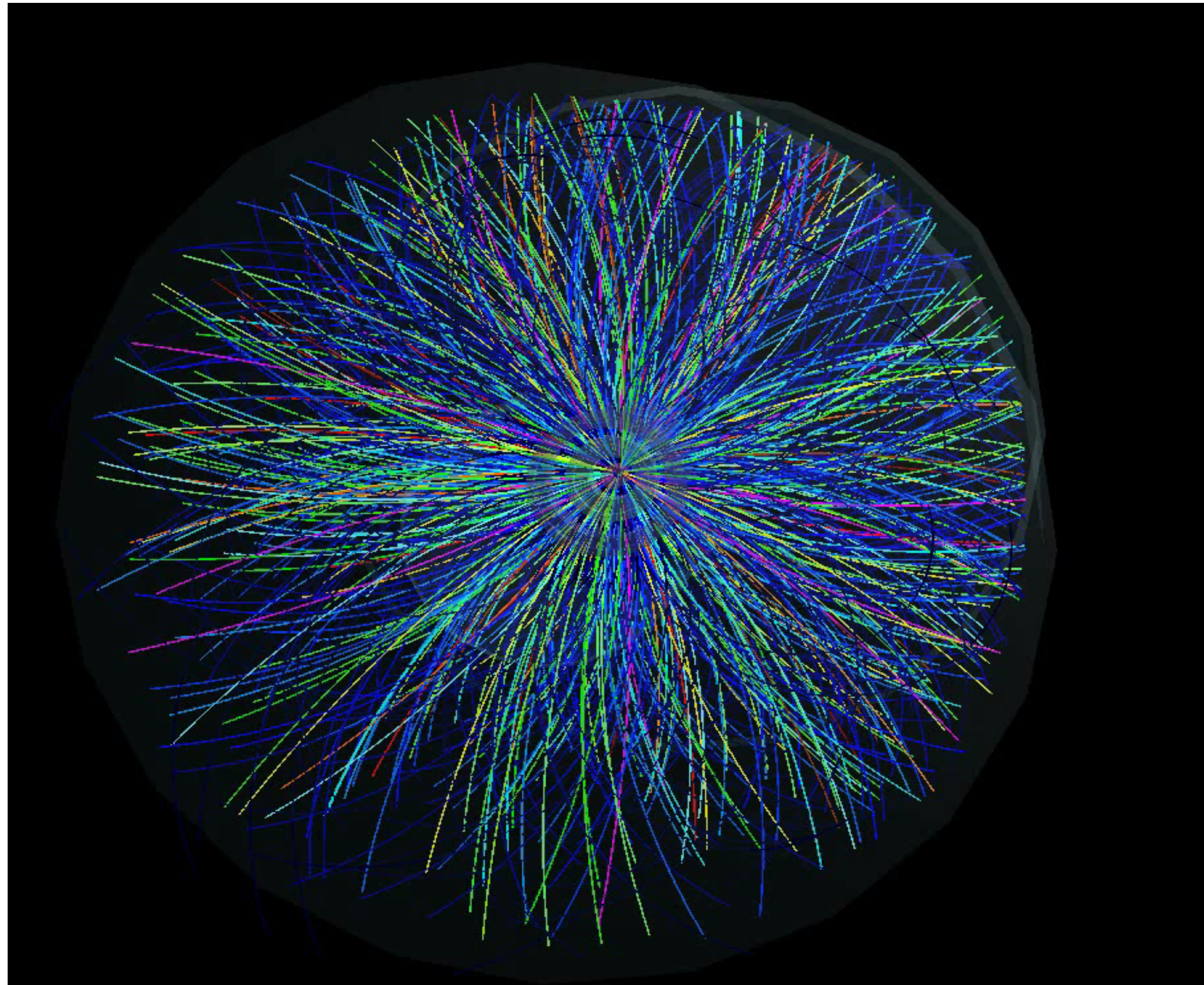


1 milliard gange  
temperaturen på  
solens overflade  
(5500 C°)



- ❖ Én kollision af bly-bly kan producere op mod 35.000 partikler
  - ❖ Med flere 100 mio. kollisioner bliver det hurtigt uoverskueligt
- ❖ Derfor bruger vi supercomputer til at behandle vores data

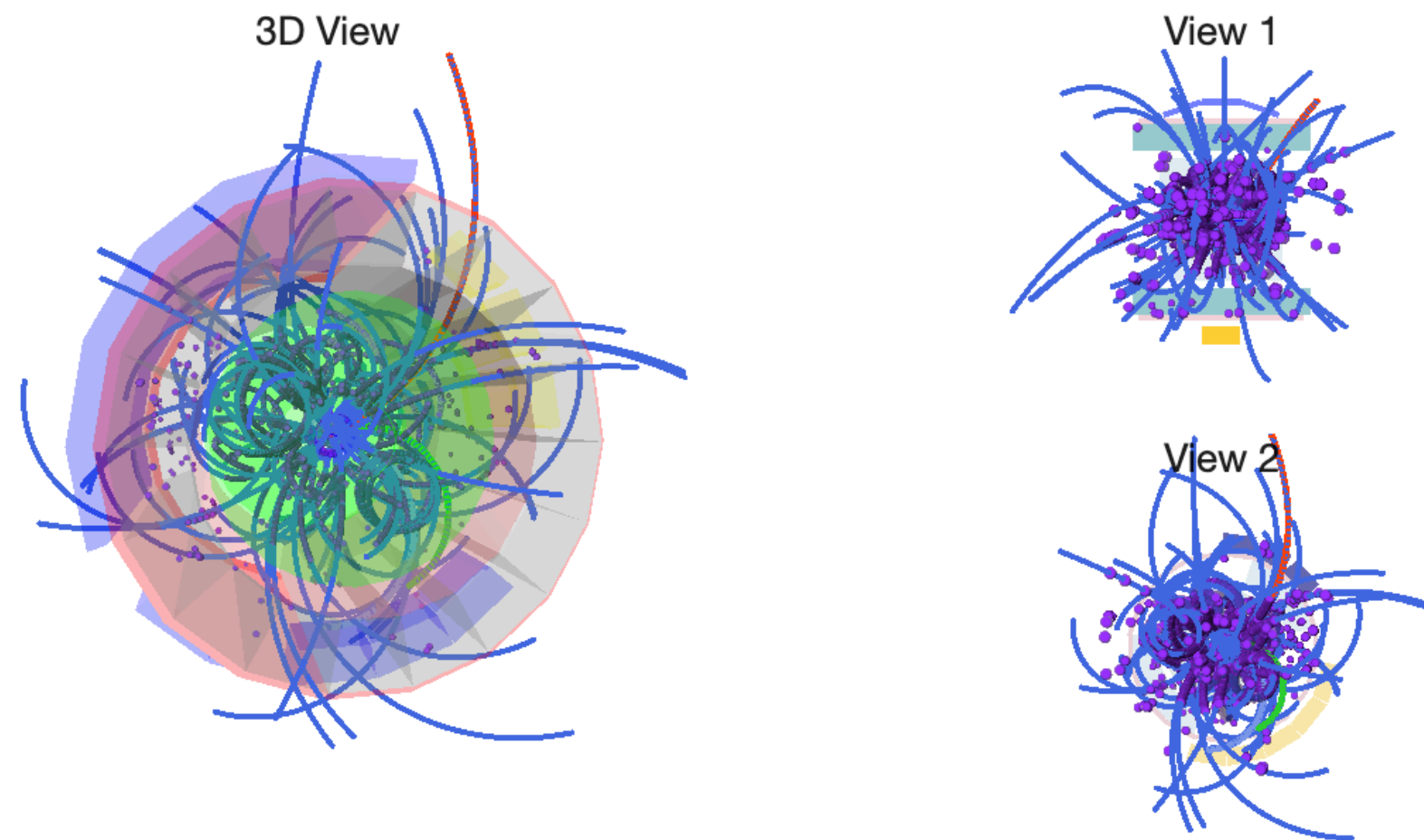




- ❖ Én kollision af bly-bly kan producere op mod 35.000 partikler
  - ❖ Med flere 100 mio. kollisioner bliver det hurtigt uoverskueligt
- ❖ Derfor bruger vi supercomputer til at behandle vores data







- ❖ Find henfaldsprodukter fra henfald af 'strange' partikler

- ❖ Identificer moderpartiklen ud fra produkternes invariante masse

### Calculator

Charge	$p_x$ (GeV/c)	$p_y$ (GeV/c)	$p_z$ (GeV/c)	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
(+)				
(-)				
(b)				
Total				

Select particle type

Add

### Particles

Type	mass (GeV/c <sup>2</sup> )
$e^-, e^+$	0.0005
$\pi^-, \pi^+$	0.1396
$K_s^0$	0.4976
$p, \bar{p}$	0.9383
$\Lambda, \bar{\Lambda}$	1.1157
$\Xi, \bar{\Xi}$	1.3217