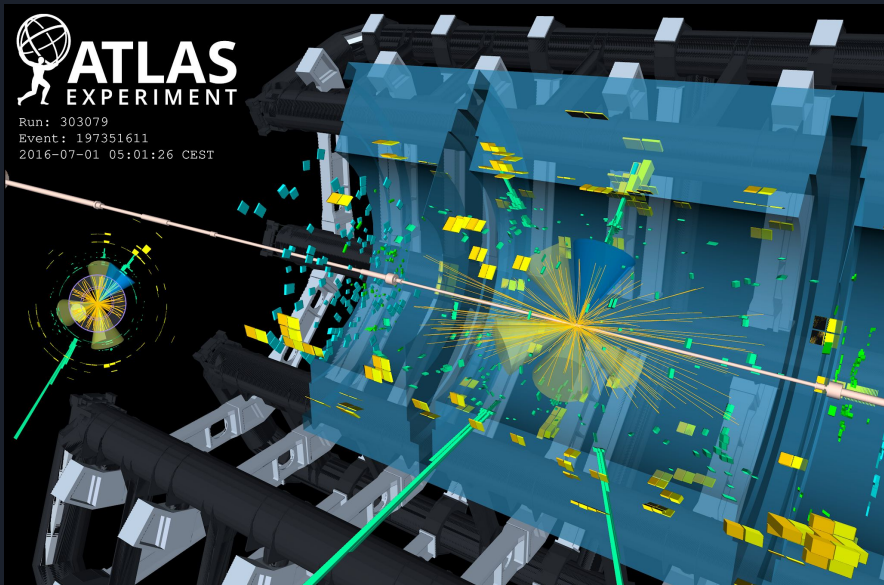




Jak vidíme částice a jejich interakce

UP MasterClass 2023

Radek Přívara, PřF UP Olomouc

31. 3. 2023



Obsah

1. Co nás o částicích zajímá?
2. Historický vývoj detektorů
 - a. Jaderné emulze
 - b. Mlžné komory
 - c. Bublinkové komory
 - d. Jiskrové komory
 - e. Mnohohrátové komory
 - f. Časové projekční komory
3. Kalorimetry
4. Dráhové detektory
5. Kruhový urychlovač LHC
6. Experiment ATLAS
7. Analýza dat

Co chceme o částicích vědět?

- Co je to za částici? Musíme znát dvě věci:
 - invariantní hmotnost (hmotnost v klidu) - m_0
 - elektrický náboj
- Chceme změřit energii E a hybnost částice p .
 - Z toho určíme invariantní hmotnost vztahem (při $c = 1$)

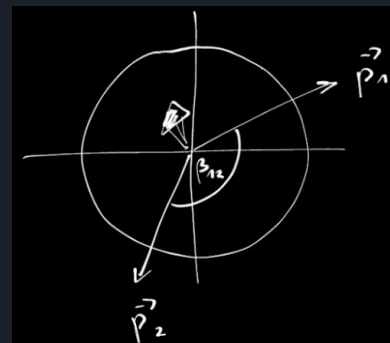
$$m_0^2 = E^2 - p^2$$

- Pro dvě relativistické (=velmi rychlé) částice s vektory hybnosti p_1 a p_2 a energií E_1 a E_2

$$m^2 \approx 2E_1 E_2 (1 - \cos \beta_{12})$$

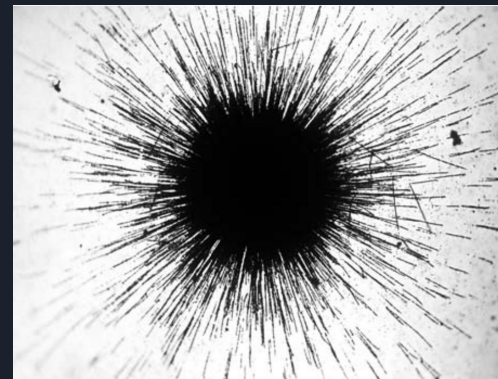
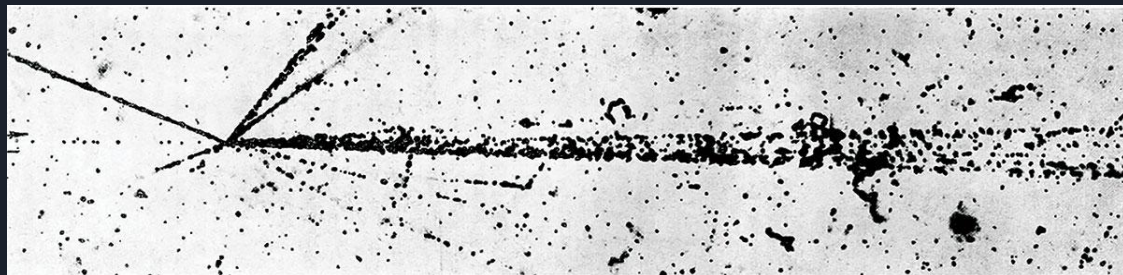
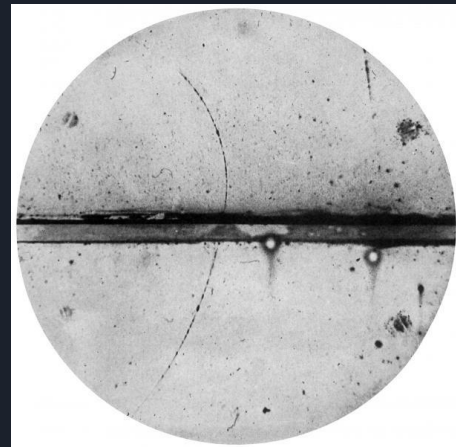
- Náboj určíme ze “zatáčení” částice v magnetickém poli.
- S těmito veličinami jdeme do tabulek a najdeme si, co máme.
- **Existují různé typy detektorů, jde o to použít ten správný.**

Name	Symbol	Quarks	Charge (e)	Spin	Mass (GeV/c ²)
Positive pion	π^+	$u\bar{d}$	1	0	0.140
Positive rho	ρ^+	$u\bar{d}$	1	1	0.768
Negative pion	π^-	$\bar{u}d$	-1	0	0.140
Negative rho	ρ^-	$\bar{u}d$	-1	1	0.768
Neutral Pion	π^0	$\bar{u}u$ or $\bar{d}d$	0	0	0.135
Neutral eta	η^0	$\bar{u}u$, $\bar{d}d$ or $\bar{s}s$	0	0	0.547
Positive kaon	K^+	$u\bar{s}$	1	0	0.494
Neutral kaon	K^0	$d\bar{s}$	0	0	0.498
Negative kaon	K^-	$\bar{u}s$	-1	0	0.494
J/Psi	J/ψ	$\bar{c}c$	0	1	3.10
Charmed eta	η_0	$c\bar{c}$	0	0	2.98
Neutral D	D^0	$\bar{u}c$	0	0	1.86
Neutral D	D^{*0}	$\bar{u}c$	0	1	2.01
Positive D	D^+	$\bar{d}c$	1	0	1.87
Neutral B	B^0	$\bar{d}b$	0	0	5.26
Upsilon	Υ	$\bar{b}b$	0	1	9.46



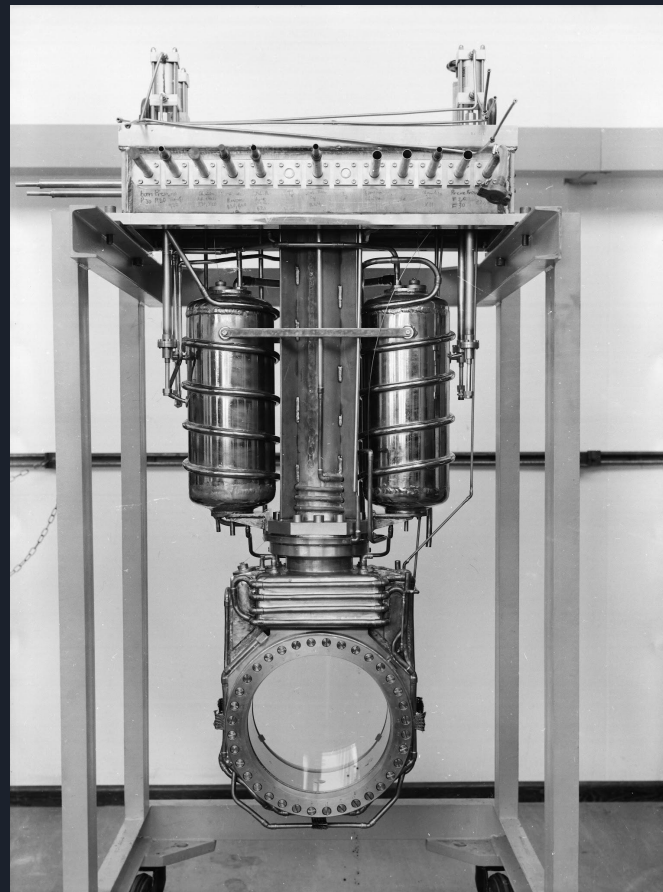
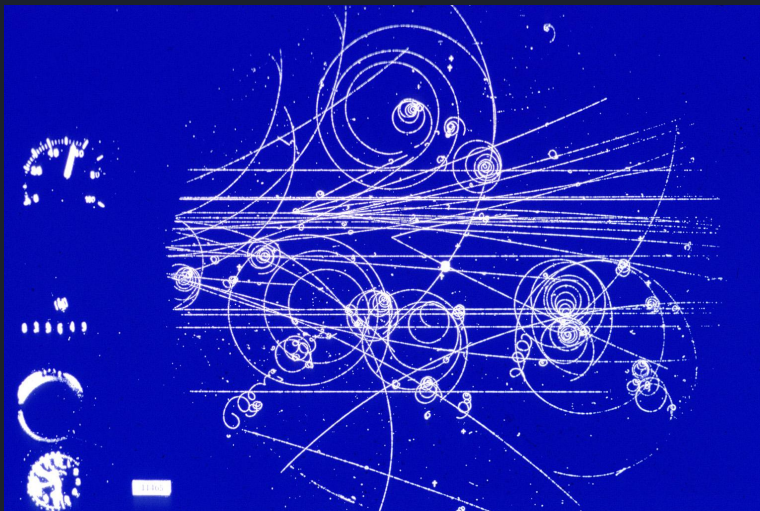
Historický vývoj detektorů

- **1896:** Henri Becquerel (FR) zachytil na jaderné emulzi záření z uranové soli (vpravo dole).
 - Princip podobný klasické fotografii - černání zrn stříbra po dopadu záření/částice.
 - Malá zrna = dobře rozlišíme dopady jednotlivých částic.
 - Umožňuje sledovat trajektorie nabitých částic (vlevo).
- **1911:** Charles Wilson (UK) vyvinul mlžnou komoru.
 - Uvnitř komory podchlazená vodní pára (blízko bodu zkapalnění).
 - Při průchodu nabitě částice vzniknou kapičky vody podél trajektorie -> záznam na fotografii.
 - První pozorování pozitronu - 1932: Carl Anderson (nahore).



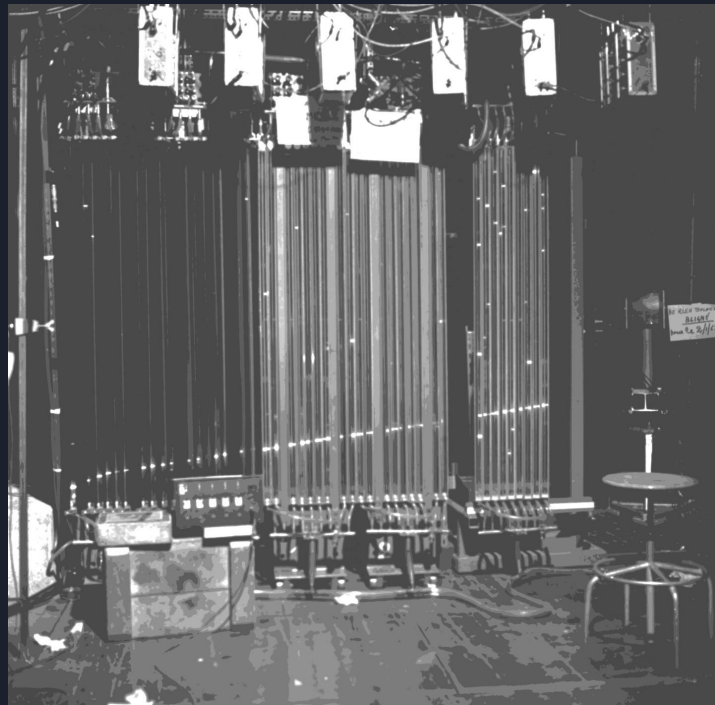
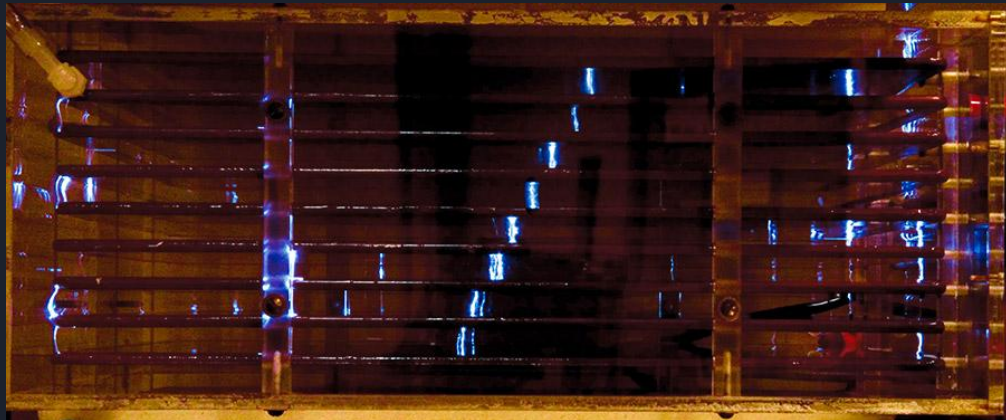
Historický vývoj detektorů

- **1952:** Donald Glaser (US) vyvíjí bublínkovou komoru.
 - V komoře přehřátá kapalina (blízko bodu varu).
 - Průchod částice vyvolá var kapaliny podél trajektorie -> vzniknou bublinky.
 - Magnetické pole zakřivuje dráhy nabitých částic.



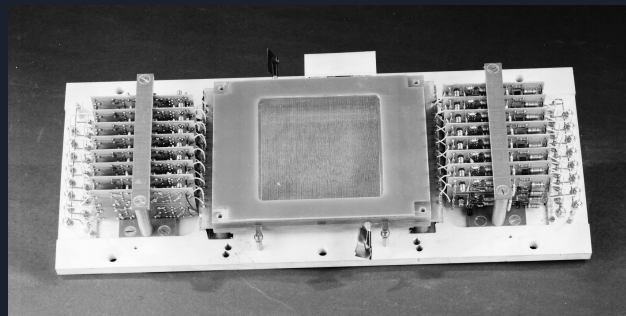
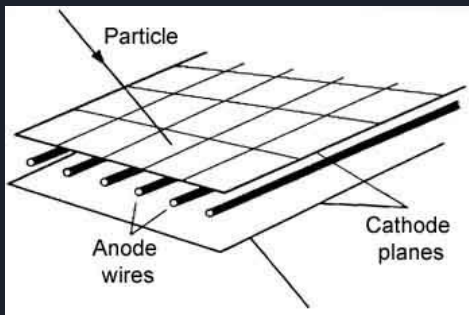
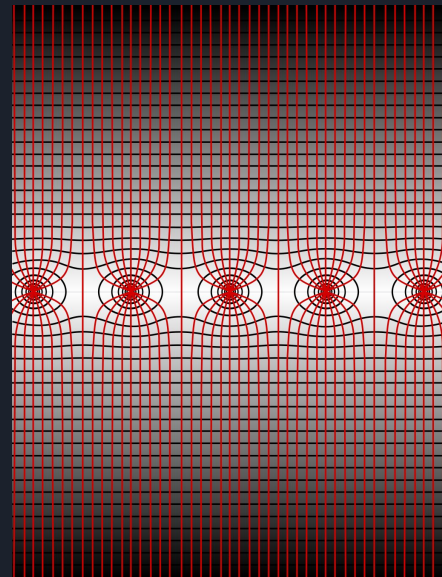
Historický vývoj detektorů

- **Od 1930** se využívaly jiskrové komory.
 - Kovové desky uvnitř komory s plynem.
 - Mezi deskami vysoké napětí.
 - Částice způsobí jiskření mezi deskami v místě průletu.



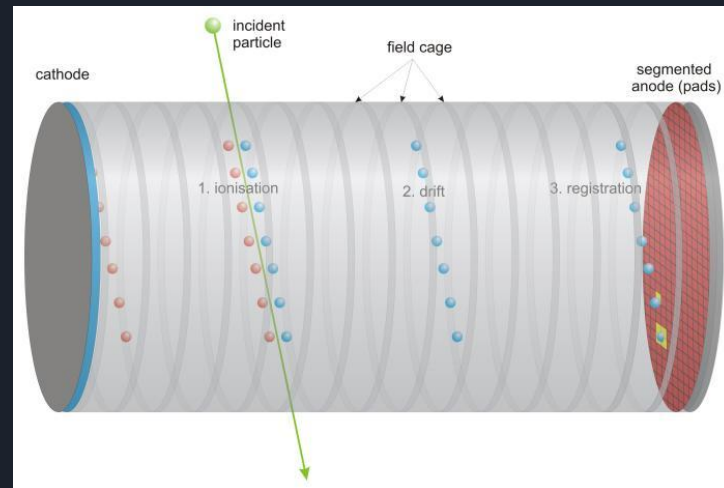
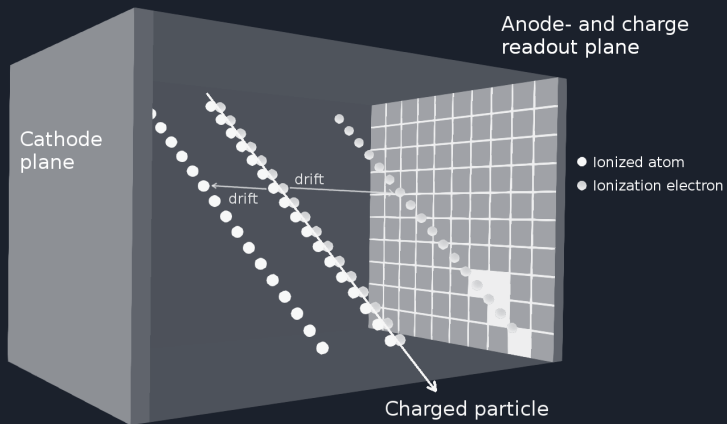
Historický vývoj detektorů

- **1968:** Georges Charpak (FR) přichází s mnohohrátkovou komorou
 - Při průchodu částice vznikají elektrony.
 - Rovnoběžné dráty pod vysokým napětím, dráty si svým elektrickým polem přitáhnou elektrony.
 - Měříme elektrický proud z každého drátu.
 - Revoluce v detekci částic: až 1000 částic/s, měření není třeba neustále fotit nebo pozorovat, lze zpracovat počítačem.



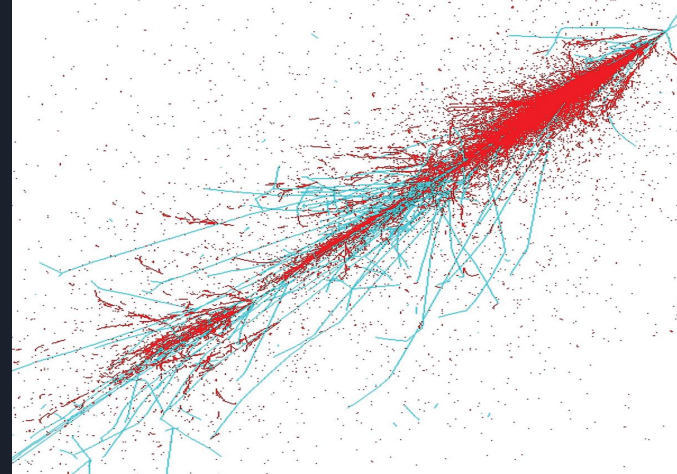
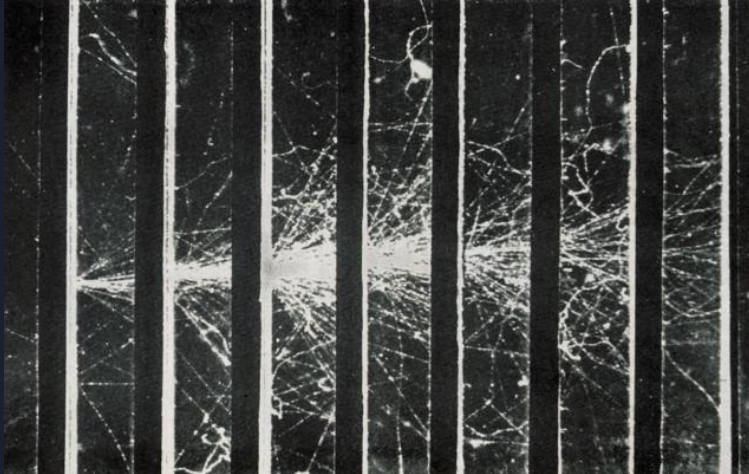
Historický vývoj detektorů

- **1976:** David Nygren (US) představuje časovou projekční komoru
 - Při průchodu částice vzniknou elektrony, pohybují se na mřížku pixelů - částice se “promítne” na pixely.
 - Měříme také čas přiletu elektronů na pixely - časová souřadnice.
 - Průmět částice + časová souřadnice -> víme přesně, kudy částice letěla.



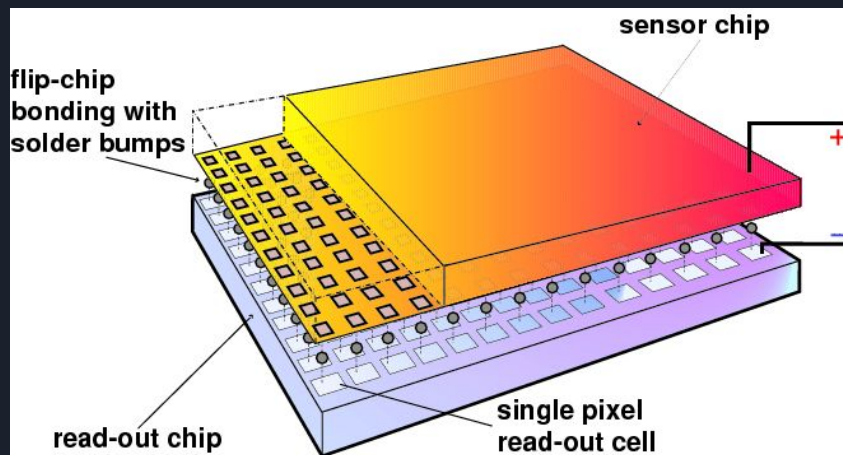
Kalorimetry

- Měření energie částic jejich úplným pohlcením.
- Částice postupně ztrácí energii srážkami -> vznikají spršky částic.
- Sčítáme energie částic spršky a tak získáme celkovou energii původní částice.
- Dle měřené částice dělíme kalorimetry na
 - elektromagnetické (elektrony, fotony),
 - hadronové (neutrony, protony).



Dráhové detektory

- Slouží k určení dráhy prolétající částice.
- Velmi citlivé, přesné a rychlé, ale drahé.
- Založeny na principu mnoha polovodičových P-N přechodů.
- Podobné pixelové senzory najdete v mobilních kamerách, fotoaparátech, ...



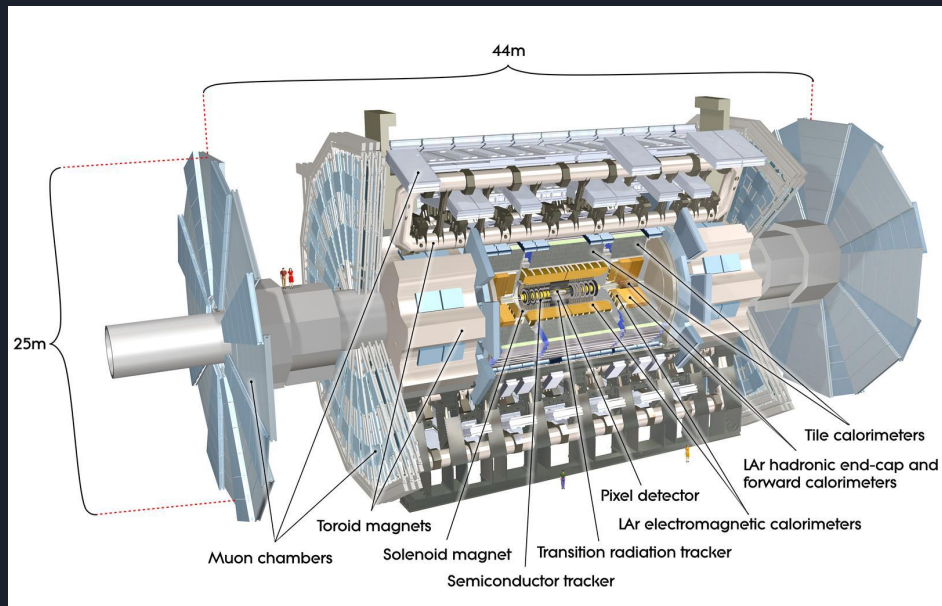
Kruhový urychlovač LHC (Large Hadron Collider)

- Sráží se shluky protonů o energii až 7 TeV.
- Obvod urychlovače 27 km, protony jej při plné energii oběhnou za sekundu 11000x.
- Srážky probíhají každých 25 ns (40 milionů za sekundu).
- Supravodivé elektromagnety udržují částice na kruhových trajektoriích.
- Speciální dutiny s elektrickým polem postupně urychlují částice na cílovou energii.



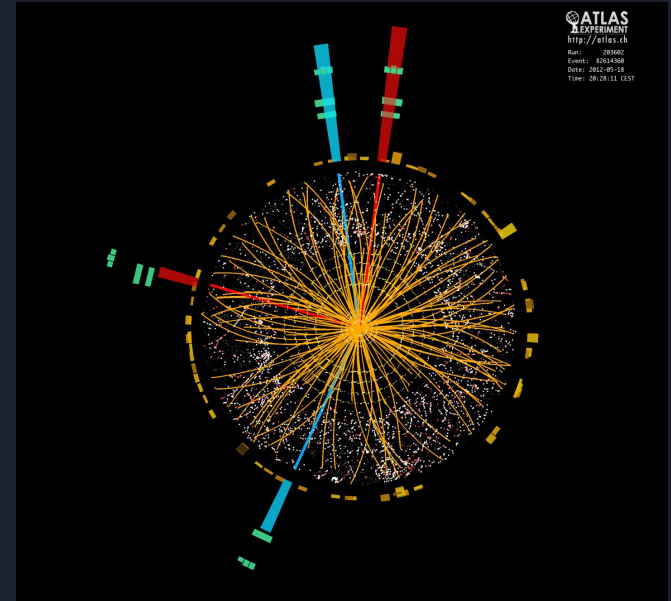
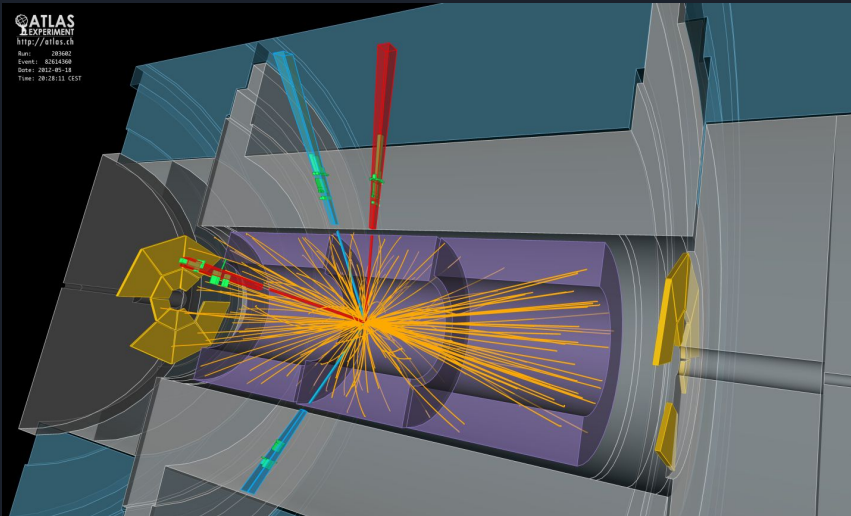
Experiment ATLAS

- Komplexní mnohoúčelový detektor.
- Cílem je “vyfotit” srážku protonů.
- Tvar válce - 44 m dlouhý, 25 m v průměru, 7000 tun.
- Skládá se z mnoha vrstev a využívá různé technologie.
- Mezinárodní kolaborace
 - 183 institucí z 38 zemí.



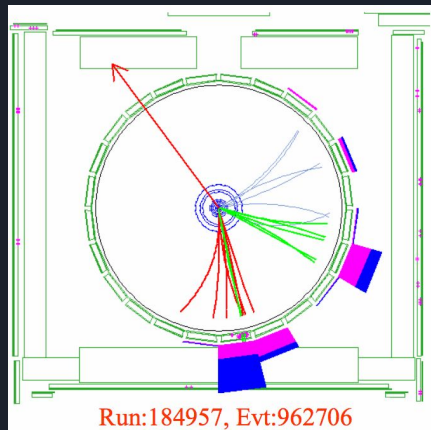
Data z ATLASu

- Během jedné srážky shluků protonů až 100 interakcí.
- Až 1.7 miliard událostí (=fotek) za sekundu, přes 60 TB/s hrubých dat - příliš moc, je třeba vybírat.
- Data se filtrují pomocí různých systémů - ve výsledku jen 1000 “zajímavých” událostí za sekundu.
- Čím vzácnější částicový proces, tím více dat je třeba nasbírat.

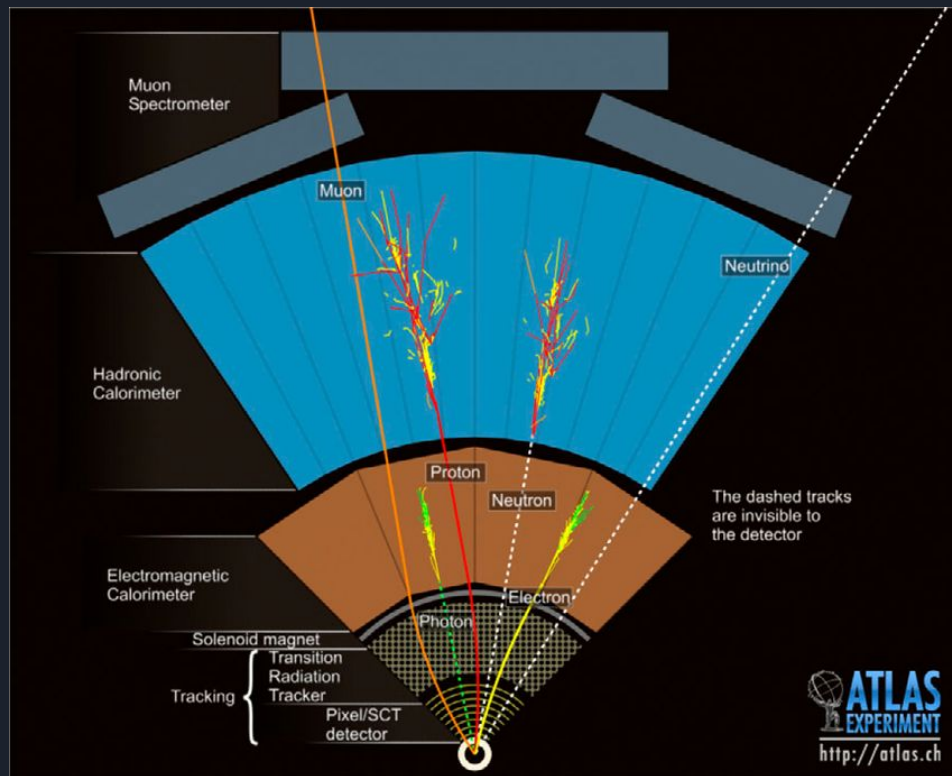


Identifikace částic v ATLASu

- Různé částice jsou vidět v různých vrstvách detektoru:
 - dráhové detektory (tracker),
 - elektromagnetický kalorimetr,
 - hadronový kalorimetr,
 - mionový detektor.
- Neutrina nejsou vidět přímo, ale přesto o nich víme:
 - Před srážkou:
hybnost ve směru kolmém na pohyb protonů je nulová.
 - Zákon zachování hybnosti
-> I po srážce musí být příčná hybnost nulová.



- Sečteme hybnosti všech vzniklých částic.
- Chybějící hybnost odnesly neutrina.

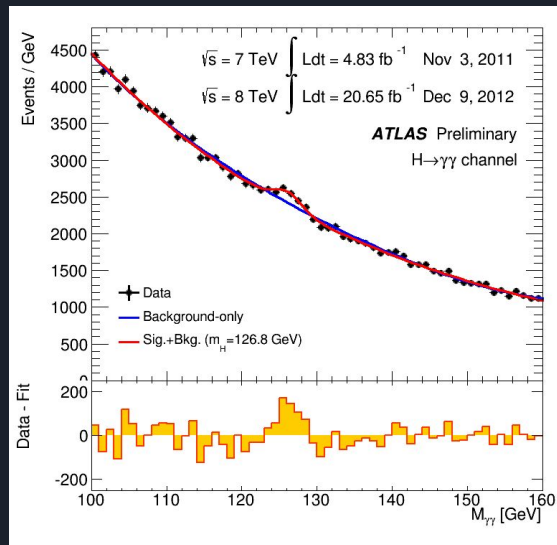
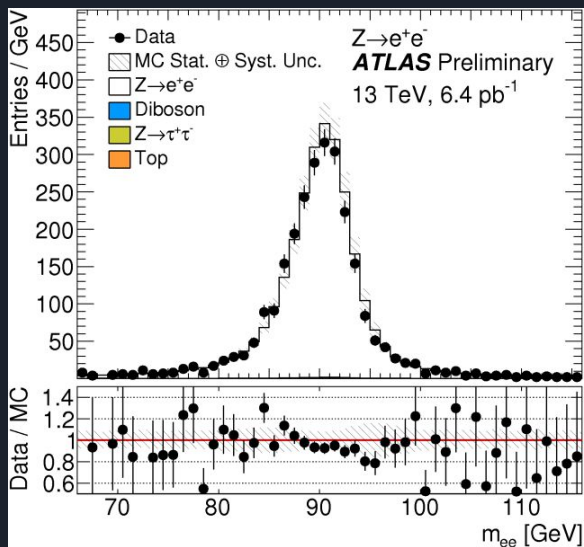


Analýza dat

- Při analýze sledujeme nějaký částicový proces = signál.
- Pozorujeme zvolenou fyzikální veličinu (např. invariantní hmotnost).
- Všechny ostatní procesy tvoří pozadí (šum).
- Rozlišení signálu od pozadí je hlavním problémem analýzy.

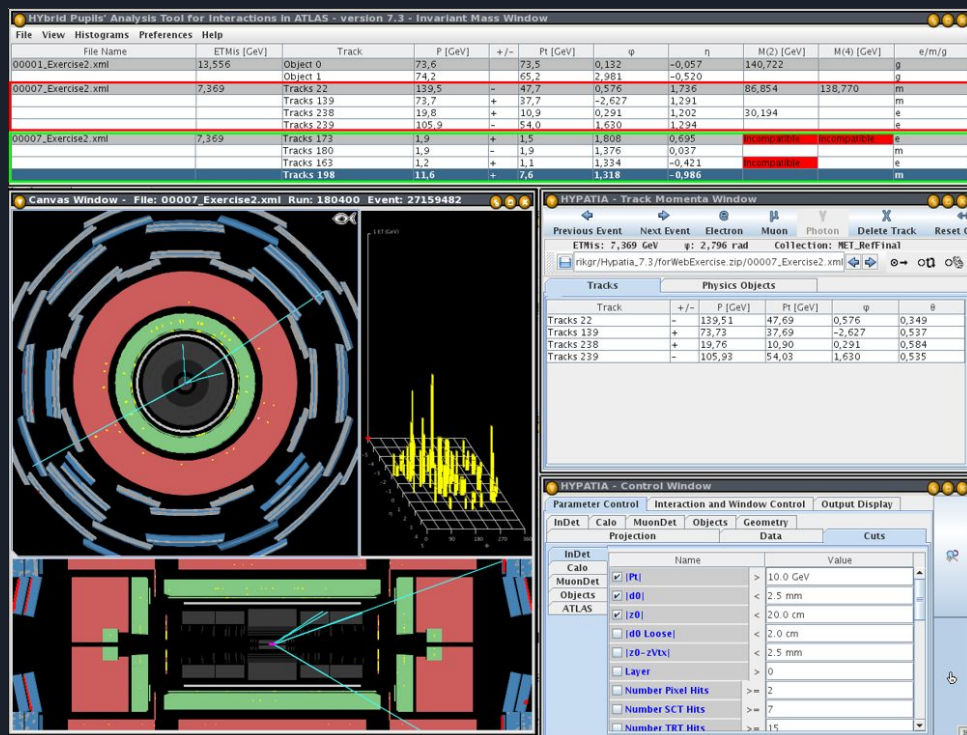
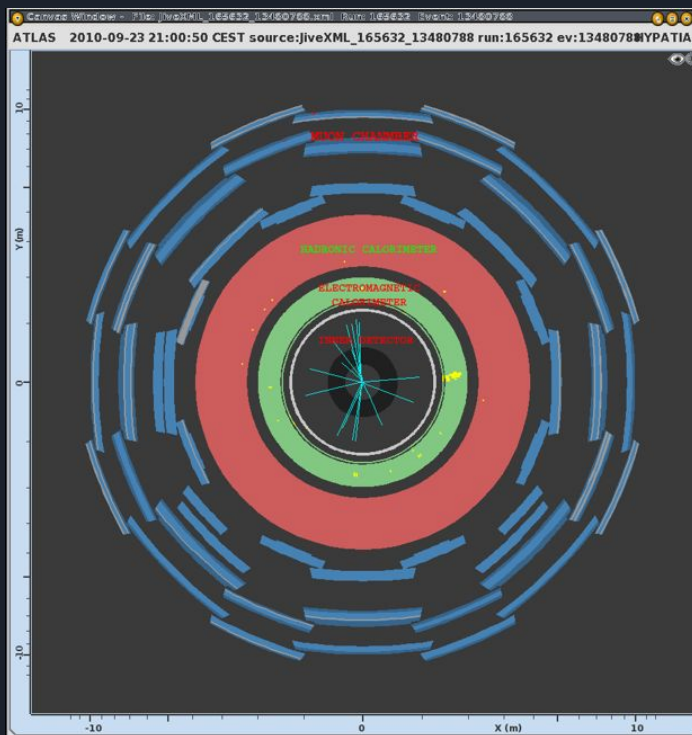
$$p + p \rightarrow H \rightarrow \gamma + \gamma$$

$$p + p \rightarrow Z \rightarrow e^+ + e^-$$



Projekt HYPATIA

- Interaktivní nástroj na zobrazení a analýzu dat z detektoru ATLAS.



Díky za pozornost!