



Eksperyment i aparatura pomiarowa

INTERNATIONAL

MASTERCLASSES

hands on particle physics

Jarosław Wiechczyński
Instytut Fizyki Jądrowej PAN,
Kraków



Japonia

日本国

Nippon-koku / Nihon-koku



Ery – związane z panowaniem danego Cesarza

Heisei



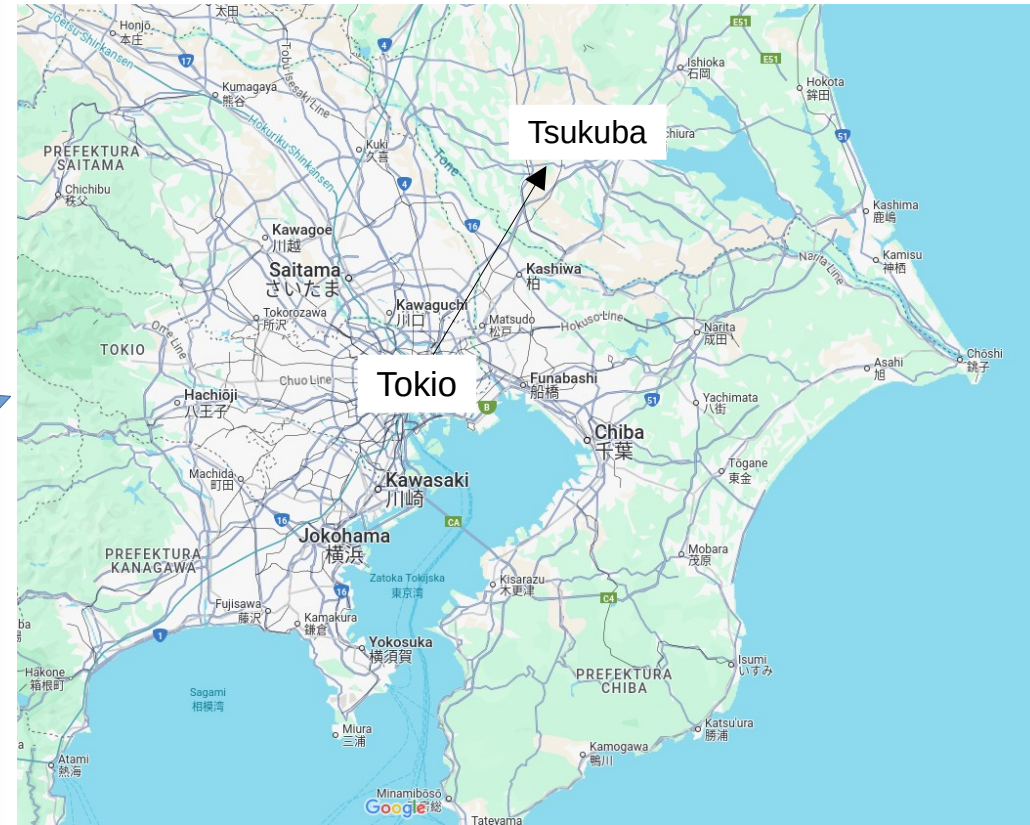
Ended 30 April 2019

Reiwa

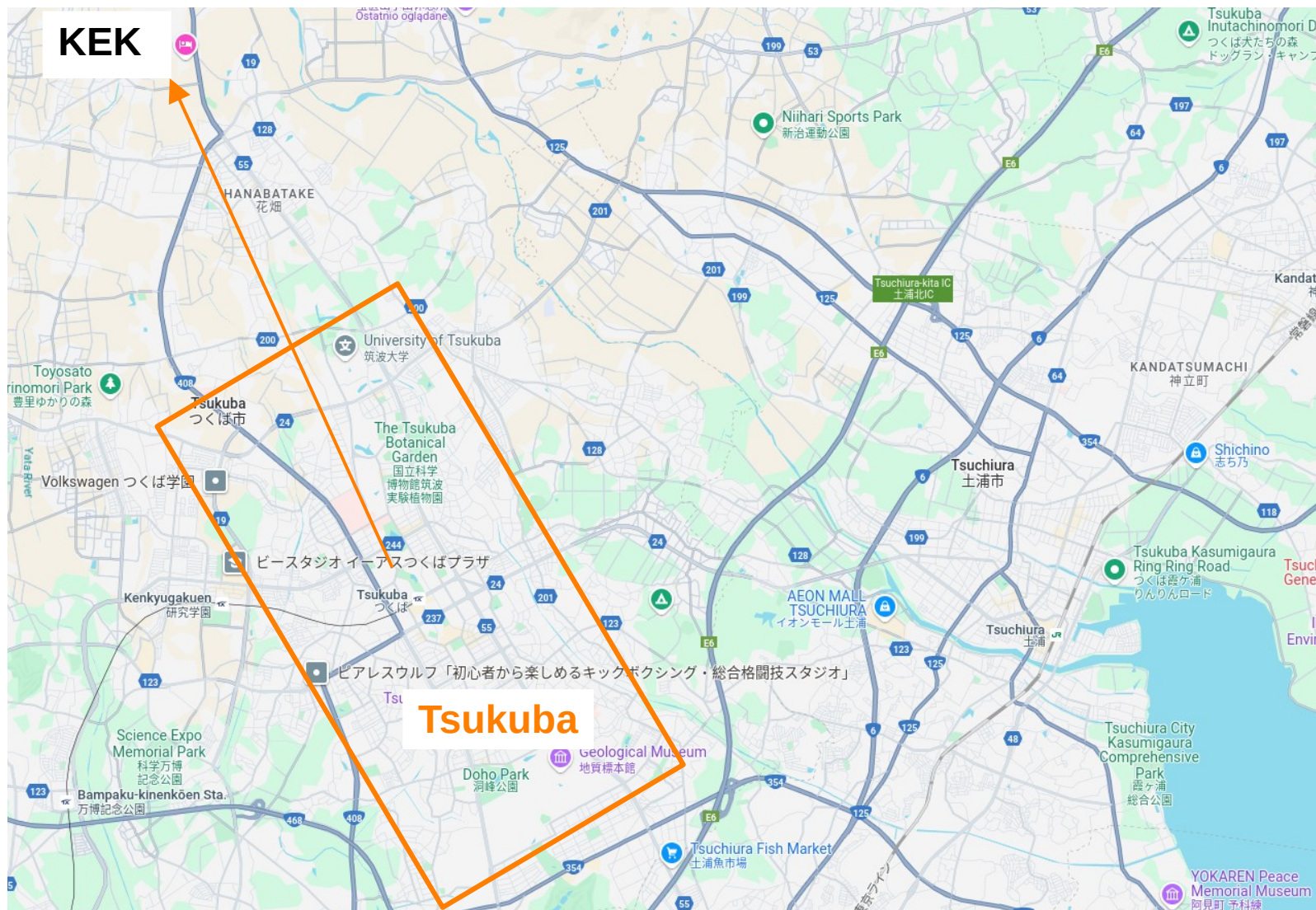


Start on 1 May 2019

Z Tokio do Tsukuby



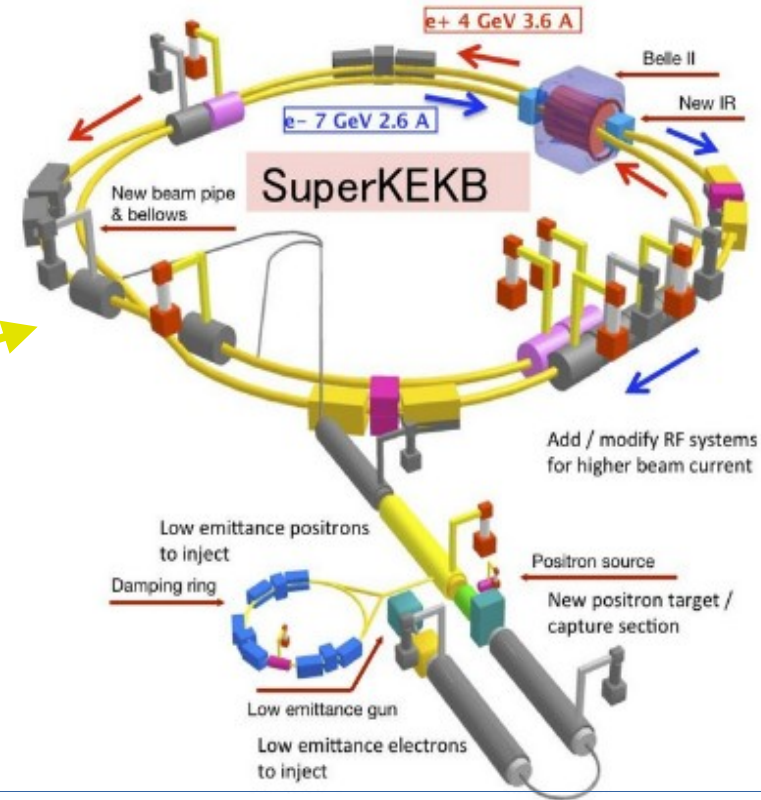
KEK



KEK - The High Energy Accelerator Research Organization (高エネルギー加速器研究機構)

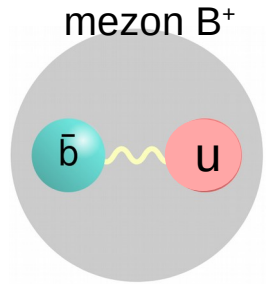


Akcelerator SuperKEKB

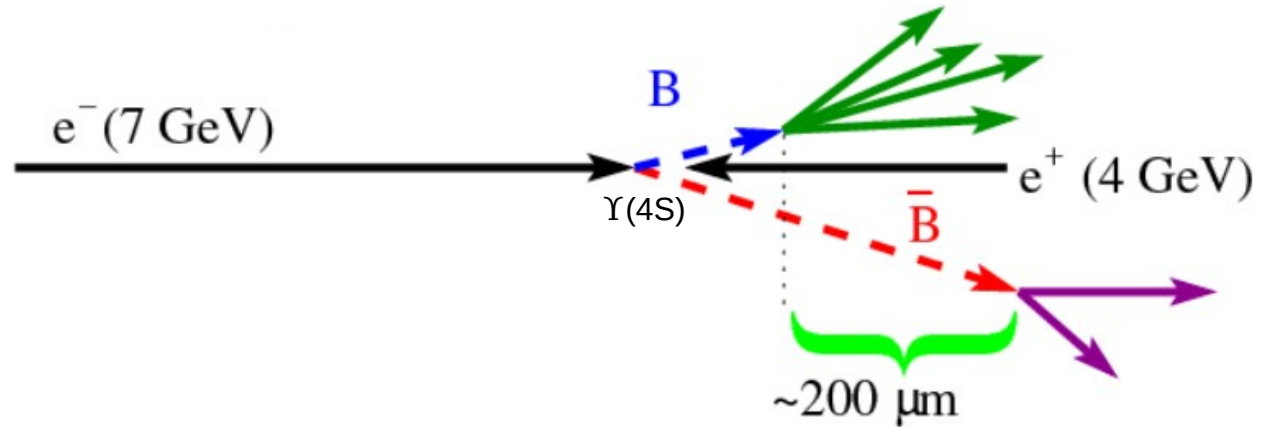


Zderzamy elektrony (e^-) o energii 7 GeV
z pozytronami (e^+) o energii 4 GeV
i patrzymy „co wypadnie”

Akcelerator SuperKEKB – „fabryka B”

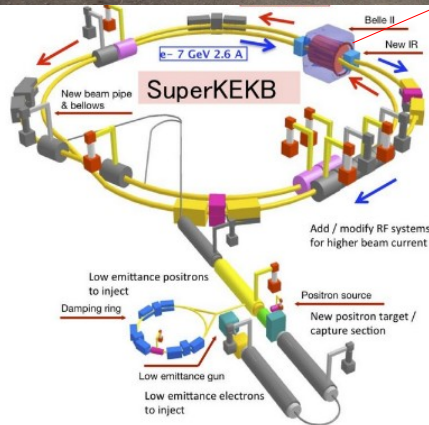
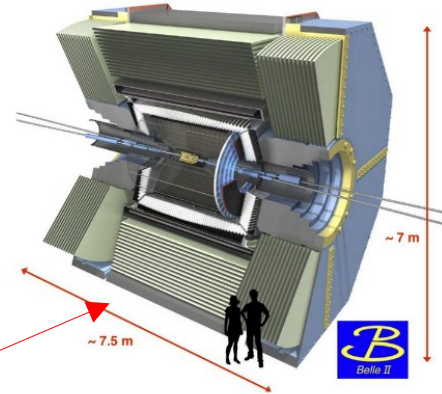


Energie e^+ i e^- są tak dobrane, aby jak najczęściej tworzył się stan $\Upsilon(4S)$ rozpadający się na parę **mezonów B**



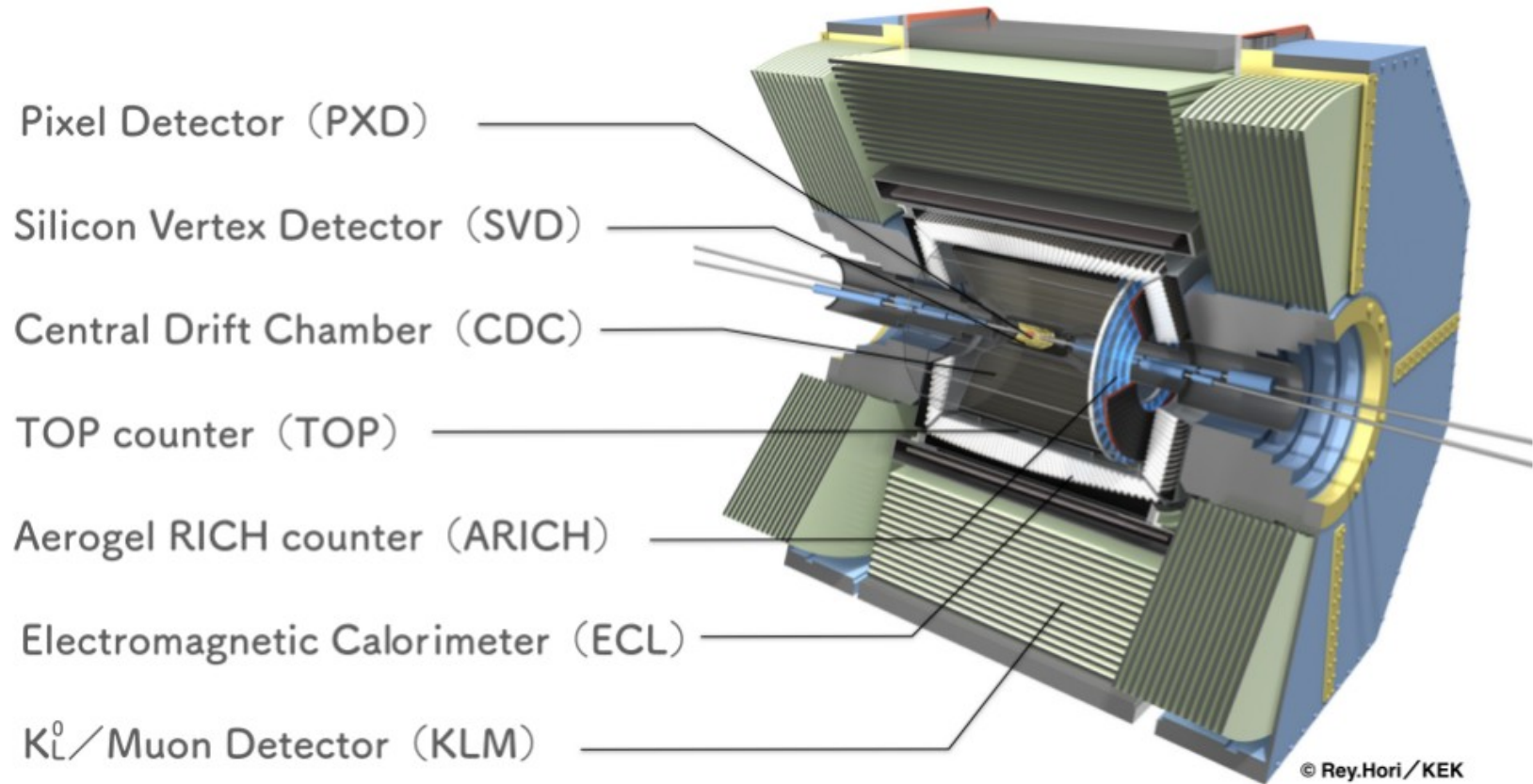
Badanie rozpadów mezonów B to główny cel eksperymentu Belle II

Eksperyment Belle II na zderzaczu SuperKEKB



Miejsce zderzenia obudowaliśmy detektorem (a raczej zestawem detektorów) aby mierzyć to „co wypada” ze zderzeń e^+e^-

Detektor Belle II



Cząstki rejestrowane w detektorze Belle II

- „elementarne” z punktu widzenia detekcji i dalszej rekonstrukcji cięższych cząstek
- nie wszystkie są elementarne z punktu widzenia ich budowy

Piony
(złożone)

Naładowane
(π^+/π^-)

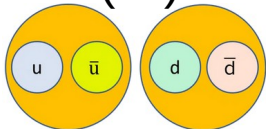


Kaony

Naładowane
(K^+/K^-)



Neutralne
(π^0)



Neutralne
(K^0)



elektrony

Naładowane
(e^+/e^-)



miony
(elementarne)

Naładowane
(μ^+/μ^-)



fotony

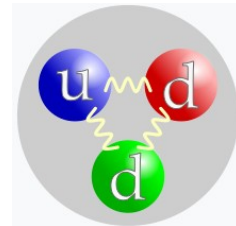
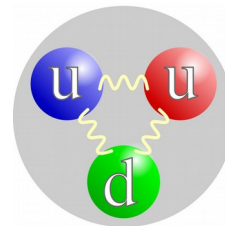
Neutralne

γ



protony neutrony
(złożone)

(p, n)



Cząstki rejestrowane w detektorze Belle II

- „elementarne” z punktu widzenia detekcji i dalszej rekonstrukcji cięższych cząstek
- nie wszystkie są elementarne z punktu widzenia ich budowy

Piony
(złożone)

Naładowane
(π^+/π^-)



Kaony

Naładowane
(K^+/K^-)



elektrony

Naładowane
(e^+/e^-)



miony
(elementarne)

Naładowane
(μ^+/μ^-)



fotony

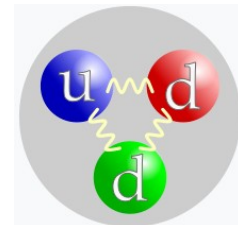
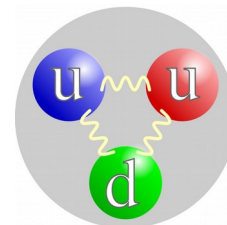
Neutralne

γ

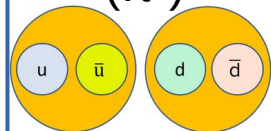


protony neutrony
(złożone)

(p, n)



Neutralne
(π^0)



Uwaga 1:

Tak naprawdę π^0 szybko rozpada się:

$\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$, więc nie rejestrujemy go bezpośrednio, lecz musimy złożyć z dwóch **fotonów** !!!

Cząstki rejestrowane w detektorze Belle II

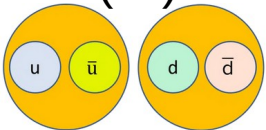
- „elementarne” z punktu widzenia detekcji i dalszej rekonstrukcji cięższych cząstek
- nie wszystkie są elementarne z punktu widzenia ich budowy

Piony
(złożone)

Naładowane
(π^+/π^-)



Neutralne
(π^0)



Kaony

Naładowane
(K^+/K^-)



Neutralne
(K^0)



elektrony

Naładowane
(e^+/e^-)



miony
(elementarne)

Naładowane
(μ^+/μ^-)



fotony

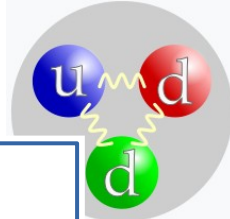
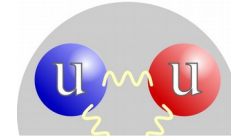
Neutralne

γ



protony neutrony
(złożone)

(p, n)



Uwaga 2:

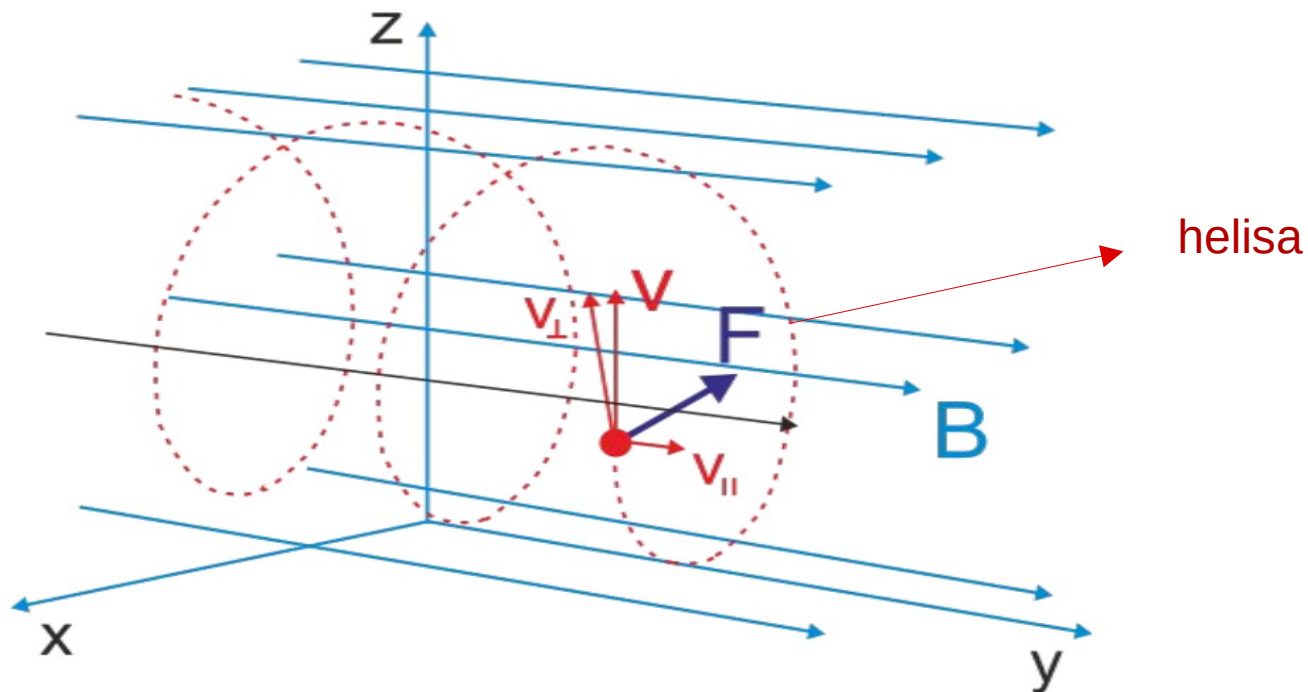
Tak naprawdę K^0 obserwujemy w dwóch wersjach: K_S i K_L

- K_L leci daleko i jest trudniej mierzalny
- K_S szybko rozpada się na parę $\pi^+\pi^-$ (i tak go trzeba składać)

Ślady cząstek w detektorze

Wnętrze detektora wypełnia silne pole magnetyczne (magnes nadprzewodzący)

→ cząstki **naładowane** poruszają się po zakrzywionym torze

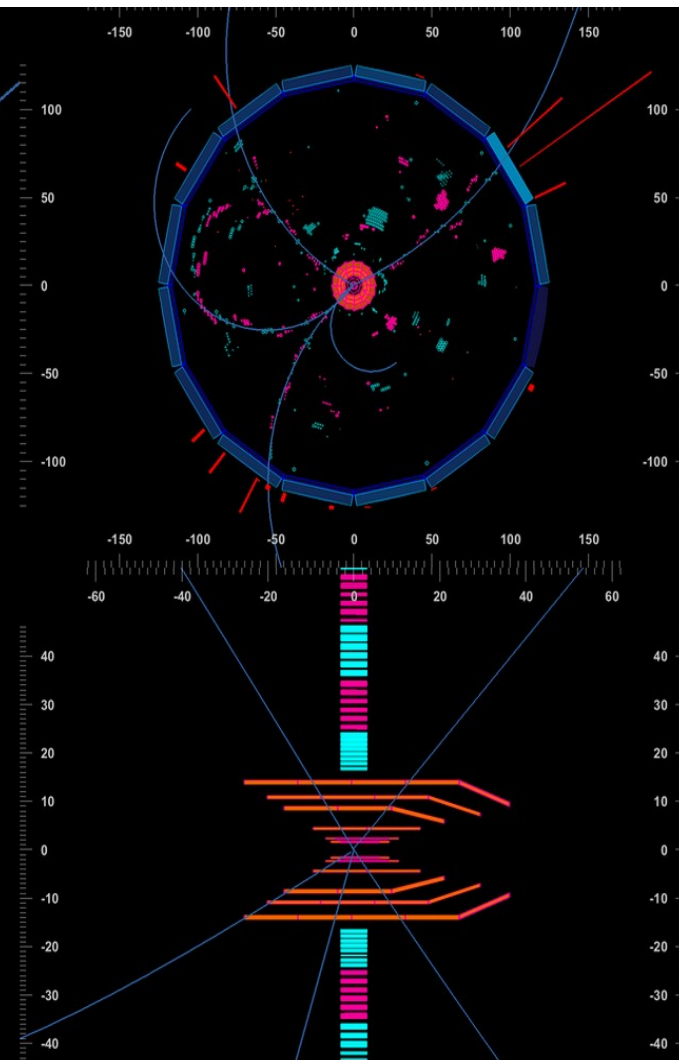
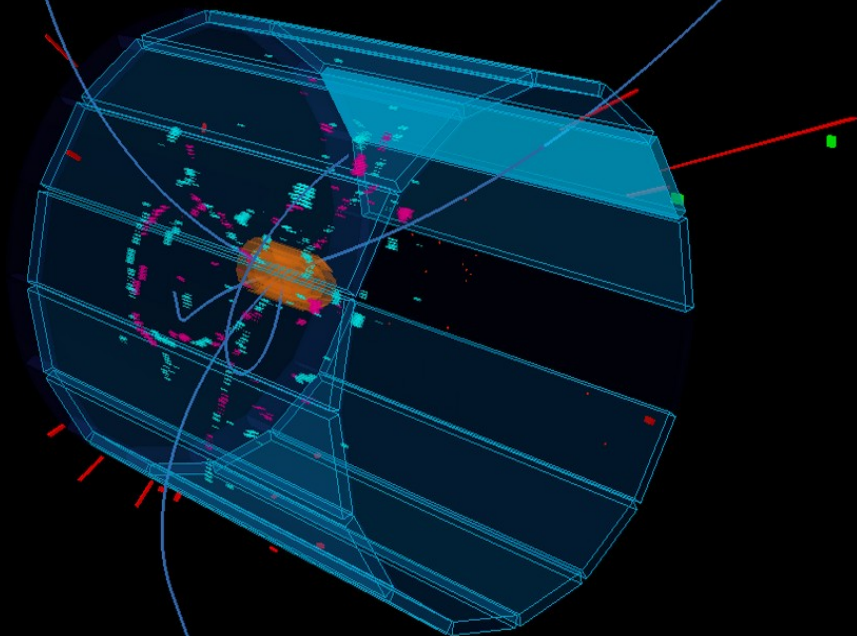


Zdarzenie zarejestrowane w detektorze Belle II



Recorded Operation

Current Ongoing Runtype : Null



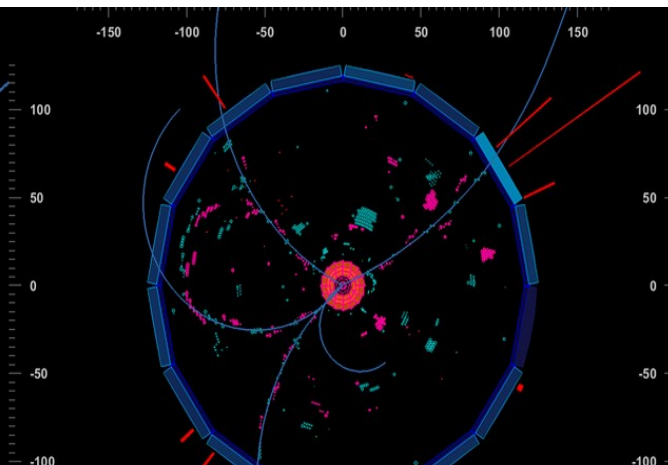
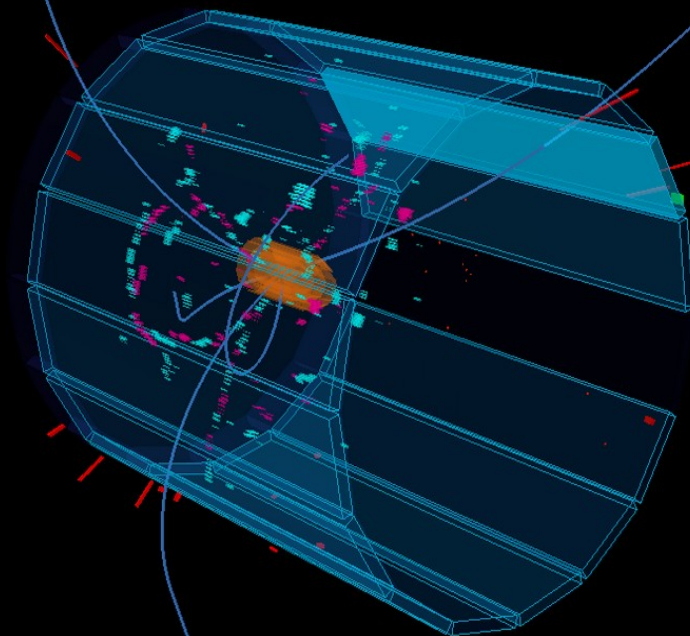
Run Type : physics
Run Number : Exp 26 Run 269
Generated at : 2022-05-16 23:04:45

Zdarzenie zarejestrowane w detektorze Belle II



Recorded Operation

Current Ongoing Runtype : Null

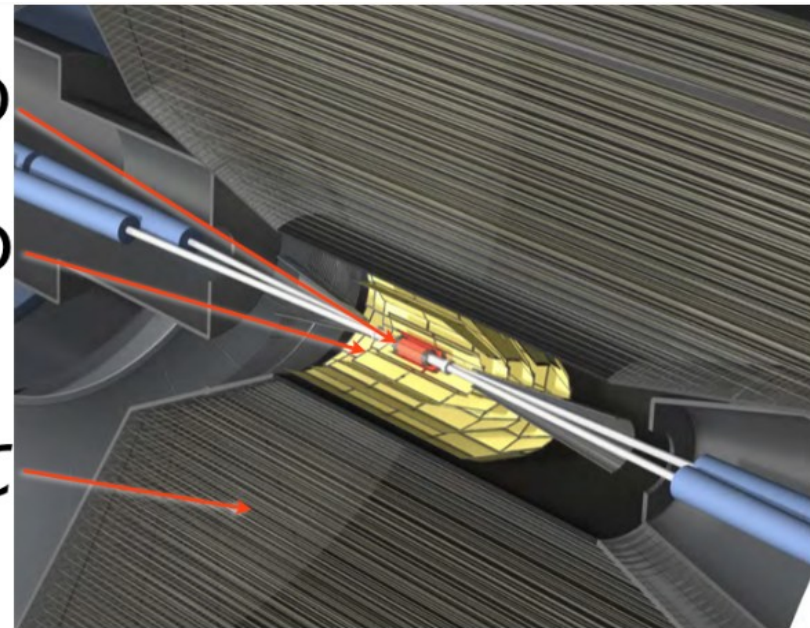
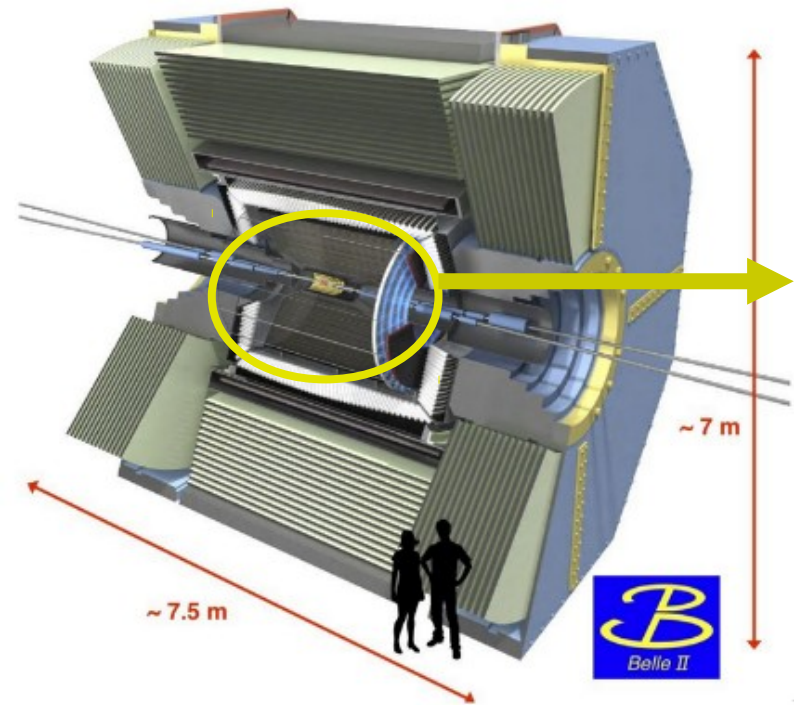


Co chcemy wiedzieć o cząstce:

1. Gdzie została wyprodukowana (jej wierzchołek)?
2. Jak wyglądał jej ślad?
3. Jaki miała pęd?
4. Jaką miała energię?
5. Jaki to był typ cząstki (czyli jaką miała masę)?

Run Type : physics
Run Number : Exp 26 Run 269
Generated at : 2022-05-16 23:04:45

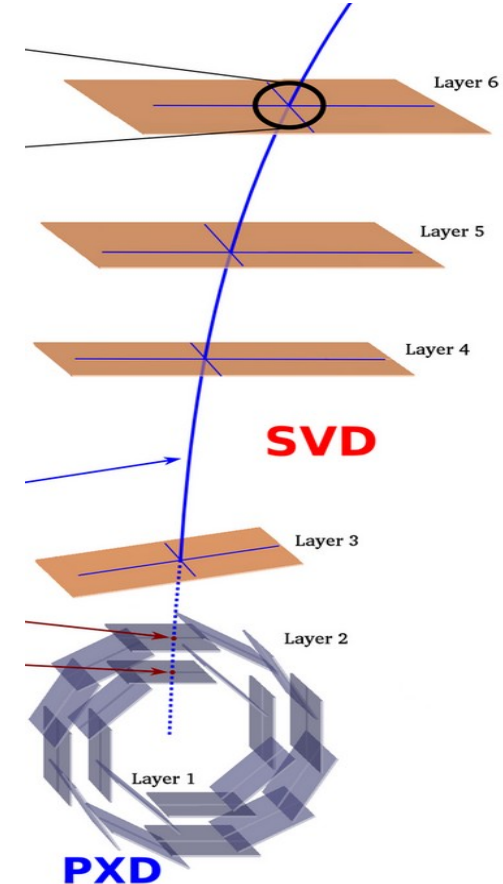
System wyznaczania śladów cząstek



Skąd wyleciała cząstka?

→ czyli jak dokładnie zmierzyć jej miejsce produkcji: **detektor wierzchołka (VXD)**

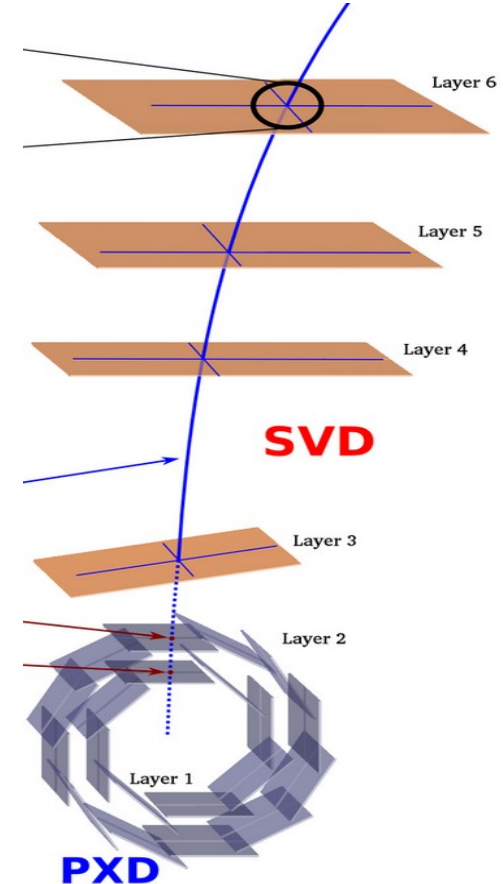
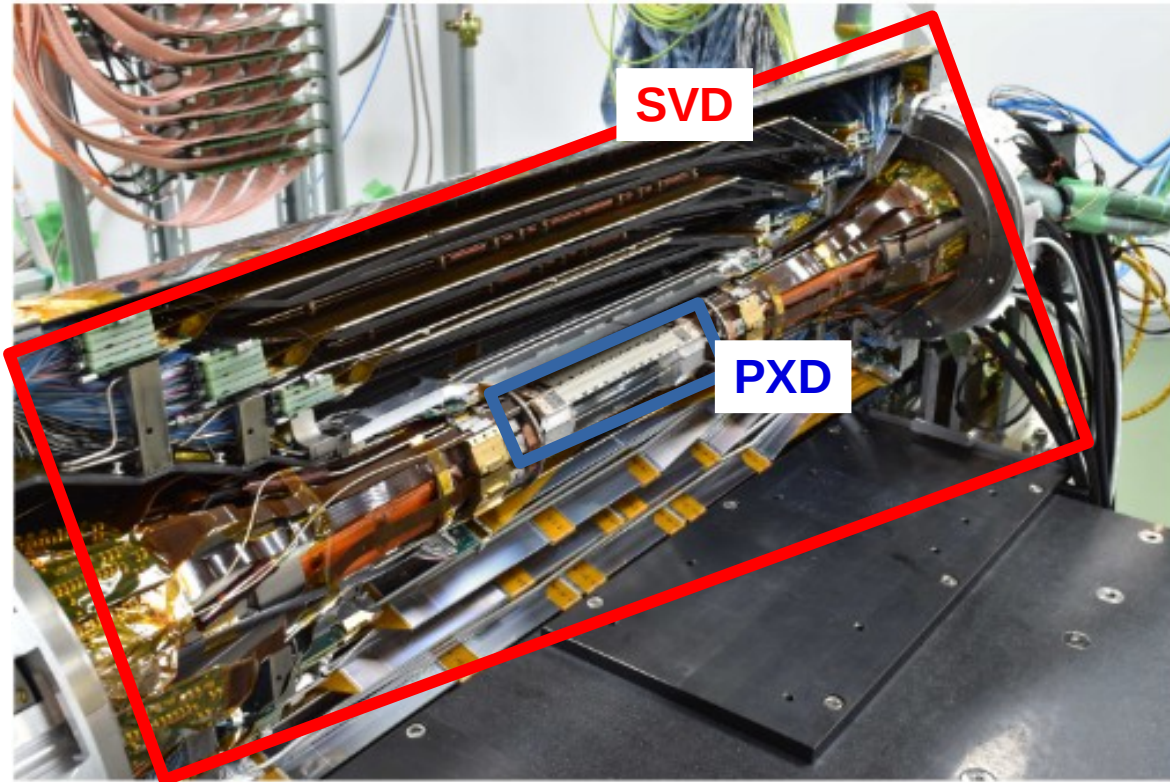
VXD składa się z dwóch podukładów: detektor pikselowy (**PXD**) oraz Krzemowy Detektor Wierzchołka (**SVD**)



Skąd wyleciała cząstka?

→ czyli jak dokładnie zmierzyć jej miejsce produkcji: **detektor wierzchołka (VXD)**

VXD składa się z dwóch podukładów: detektor pikselowy (**PXD**) oraz Krzemowy Detektor Wierzchołka (**SVD**)

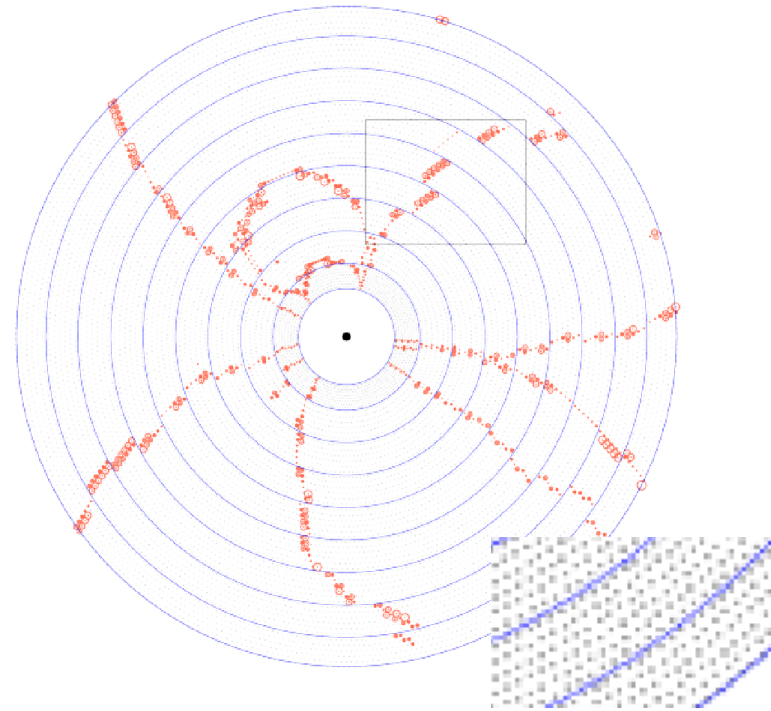
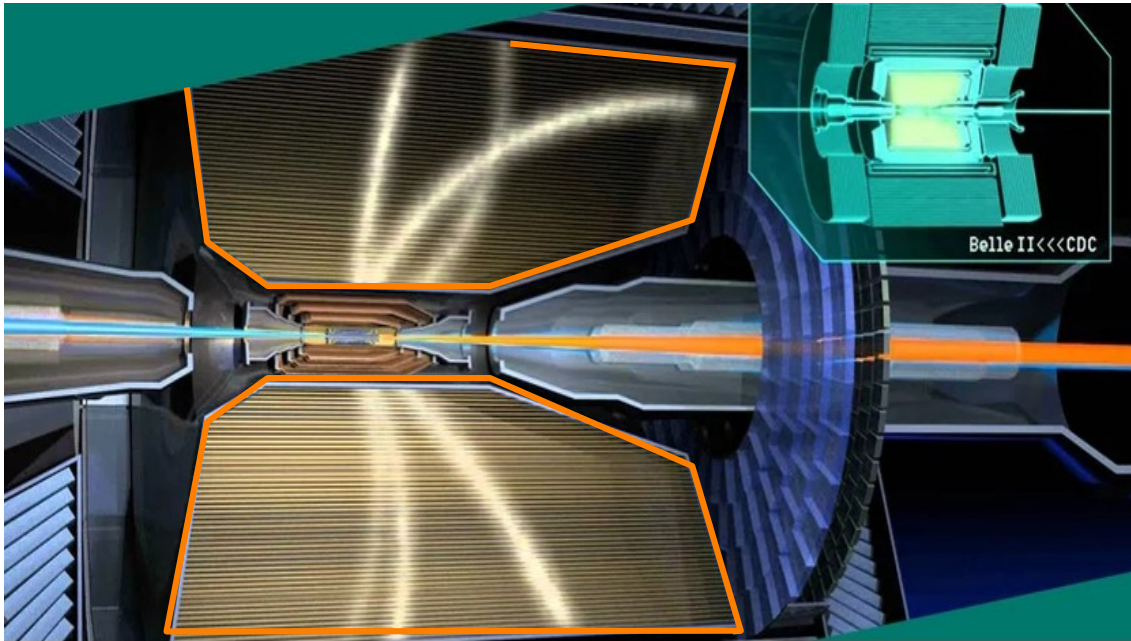


Jak wyznaczyć **pęd** cząstki ?

→ Centralna Komora Dryfowa (**CDC**)

Chcemy zmierzyć ślad cząstki na pełnej długości
i ustalić jego **zakrzywienie**

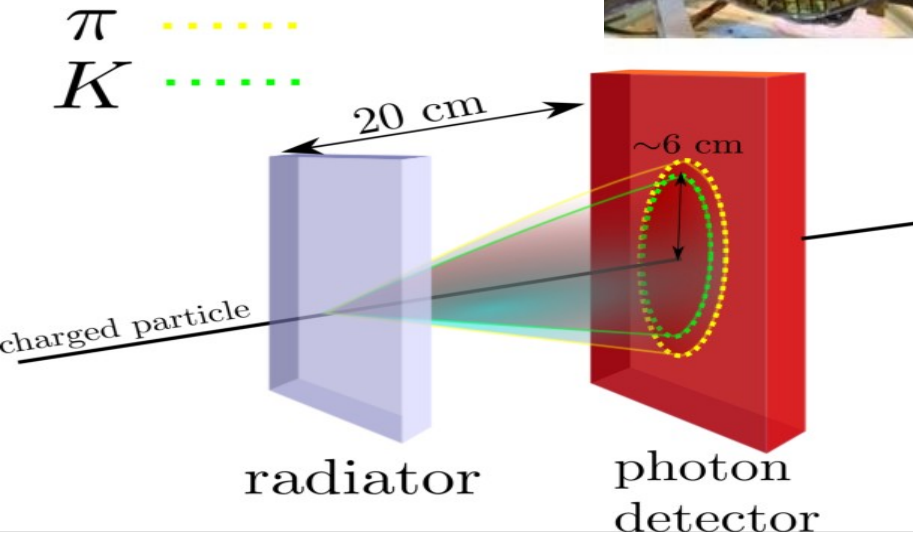
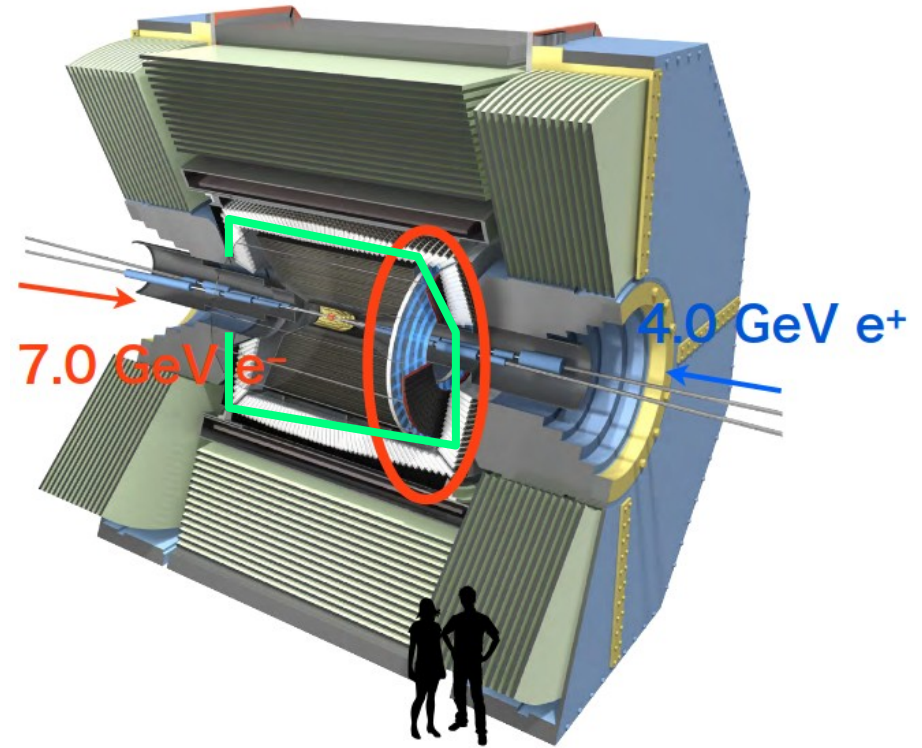
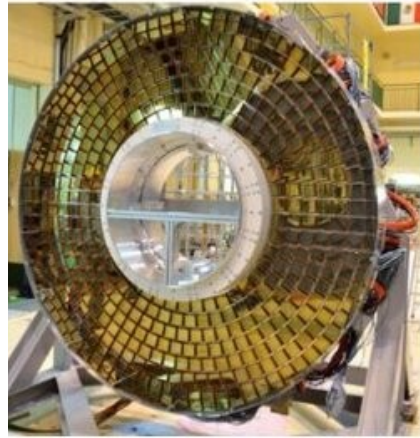
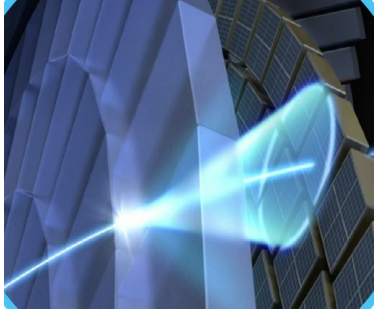
↓
Określa pęd!



Przelatująca cząstka jonizuje gaz, dodatnie i ujemne ładunki dryfują w kierunku najbliższych drutów po czym są sczytywane ujawniając miejsce przelotu cząstki.

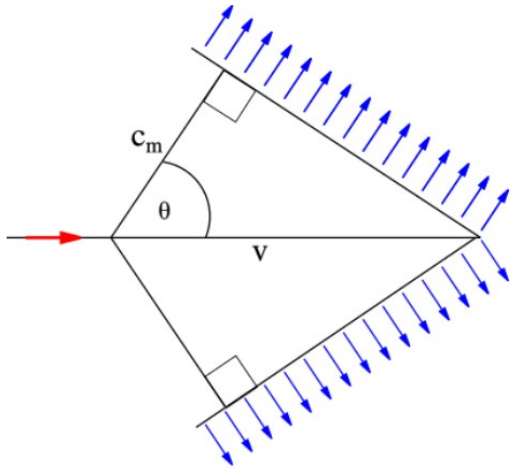
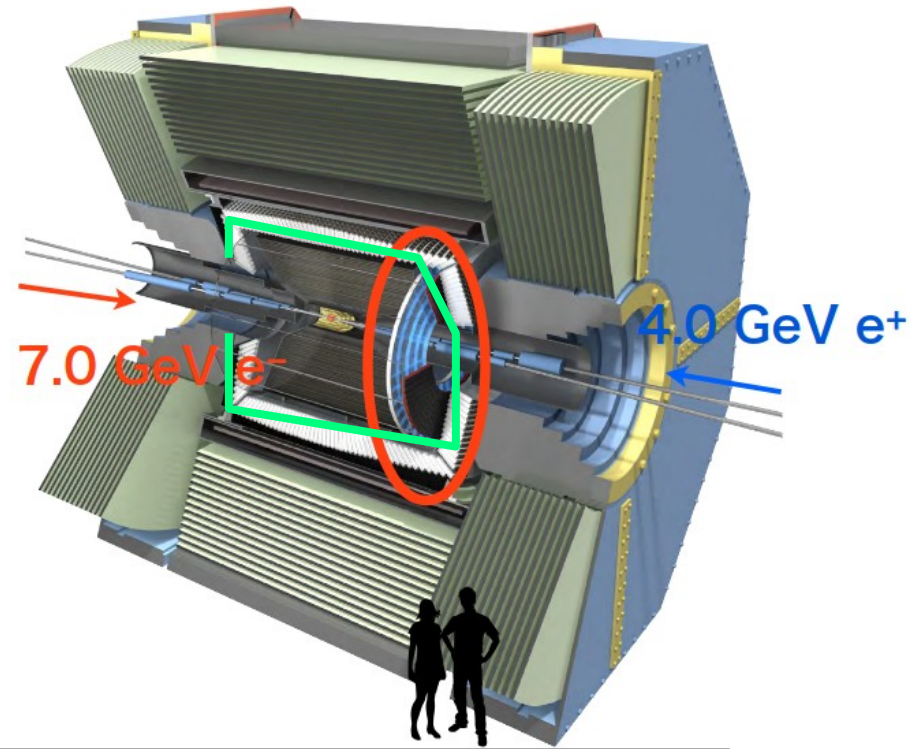
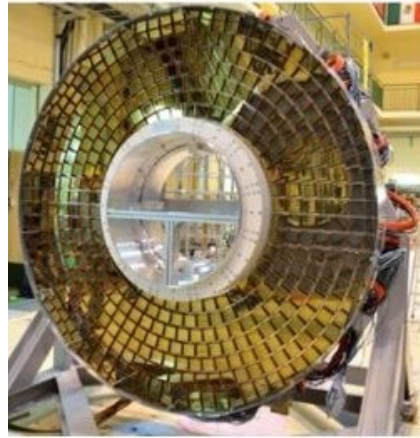
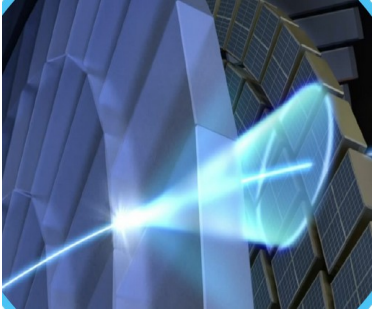
Jaki to był **typ** cząstki? (π , K , e , μ , p)

Detektor Czasu Propagacji (**TOP**) oraz Aerożelowe Liczniki Czerenkowa (**ARICH**)



Jaki to był **typ** cząstki? (π , K, e, μ , p, n)

Detektor Czasu Propagacji (**TOP**) oraz Aerożelowe Liczniki Czerenkowa (**ARICH**)



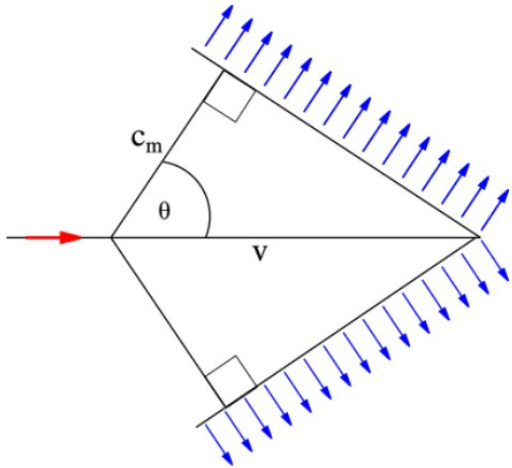
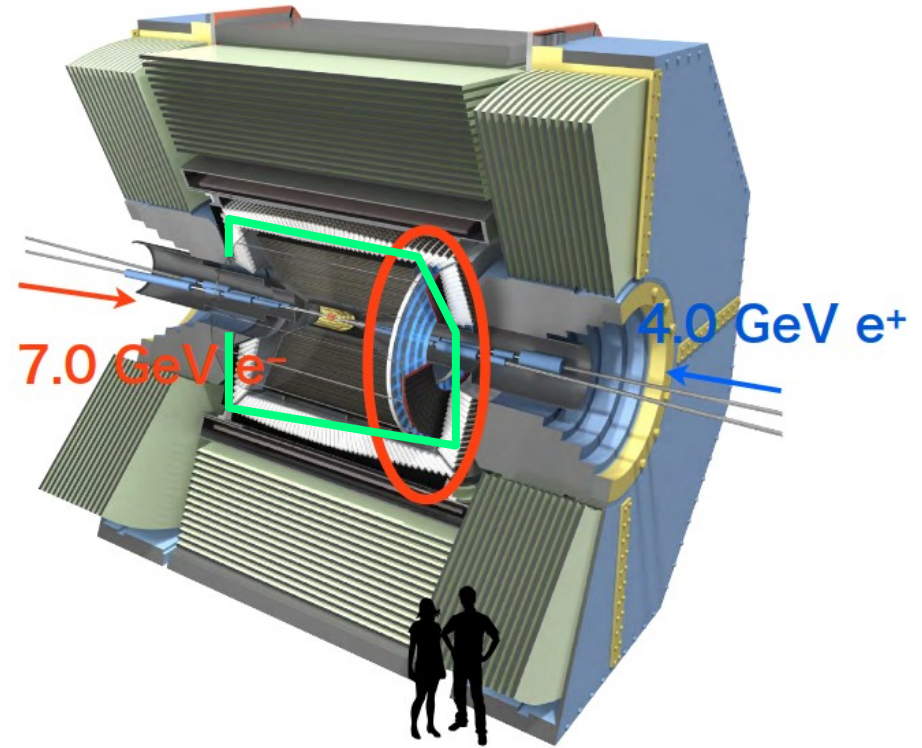
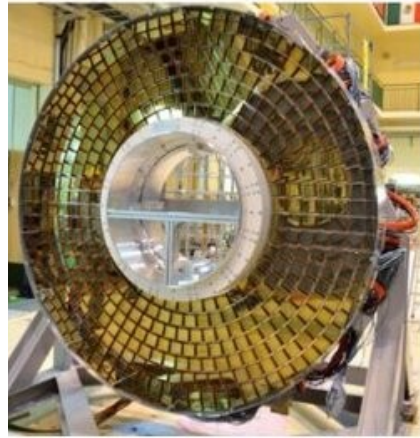
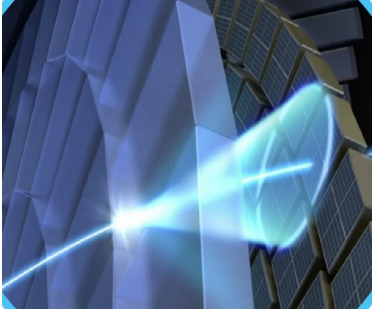
$$\cos \theta = \frac{c_m}{v}$$



Rozwartość stożka (kąt θ) pozwala określić prędkość cząstki (v) przy znanej prędkości światła w tym ośrodku (c_m)

Jaki to był **typ** cząstki? (π , K, e, μ , p, n)

Detektor Czasu Propagacji (**TOP**) oraz Aerożelowe Liczniki Czerenkowa (**ARICH**)



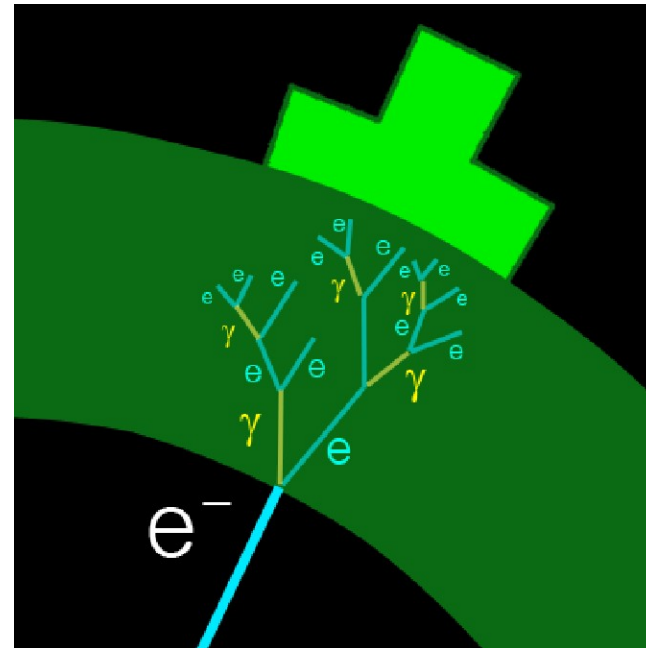
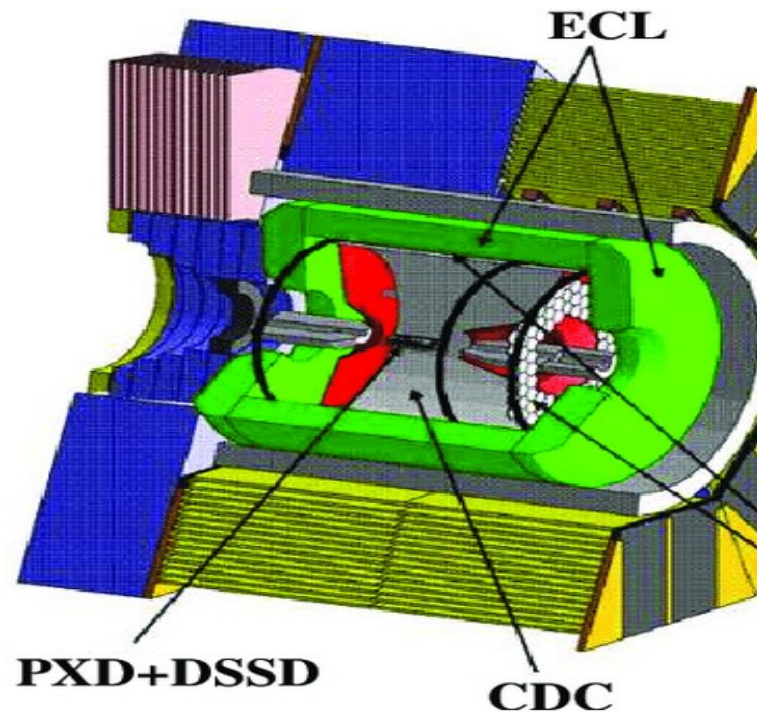
$$\cos \theta = \frac{c_m}{v}$$



A znając prędkość (v) oraz pęd (p) cząstki możemy wyznaczyć jej **masę** czyli jej **TYP**!

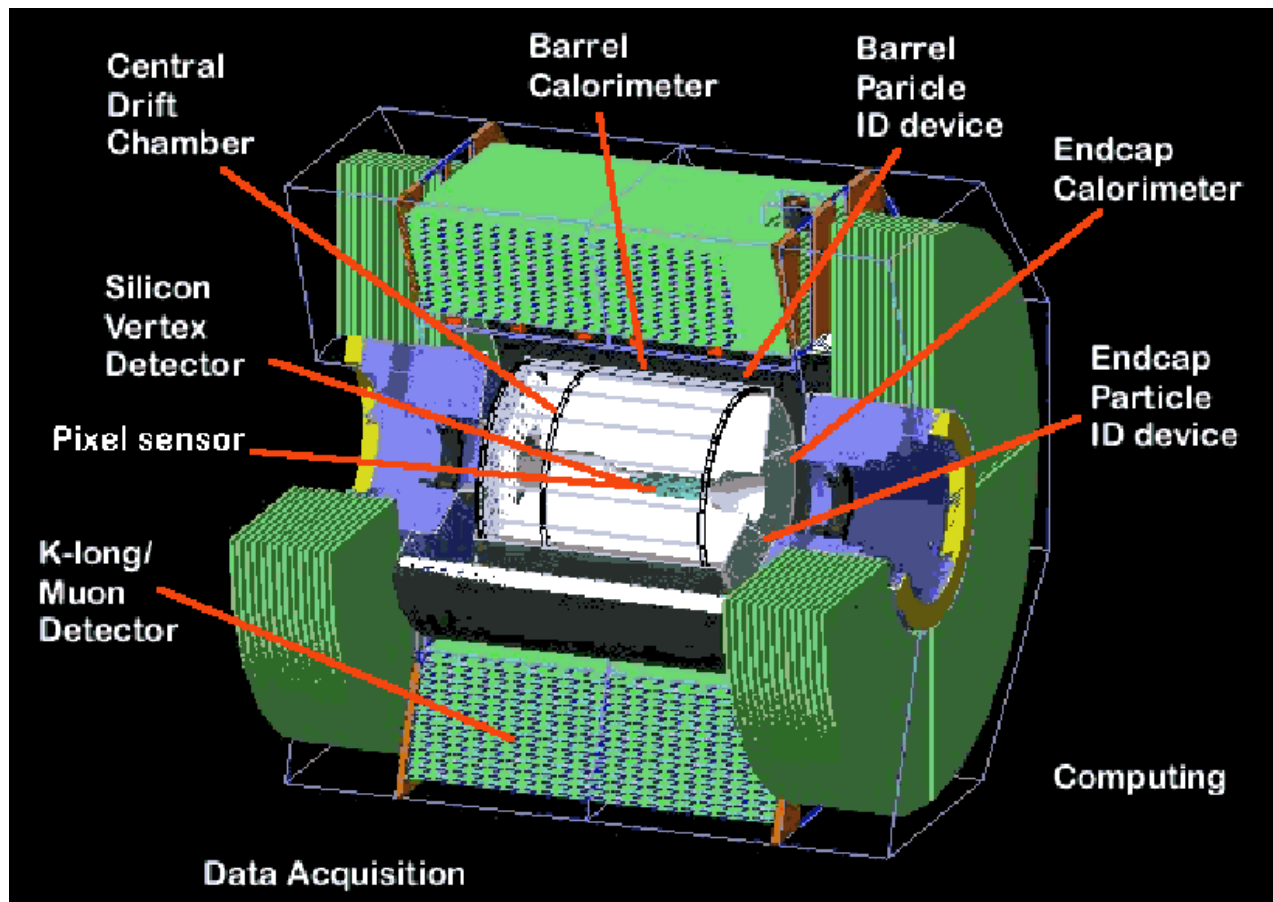
Jaką **energię** miała cząstka?

Kalorymetr elektromagnetyczny (**ECL**)



Energia cząstki będzie proporcjonalna do sumarycznej energii kaskady wytworzonej przez tę cząstkę

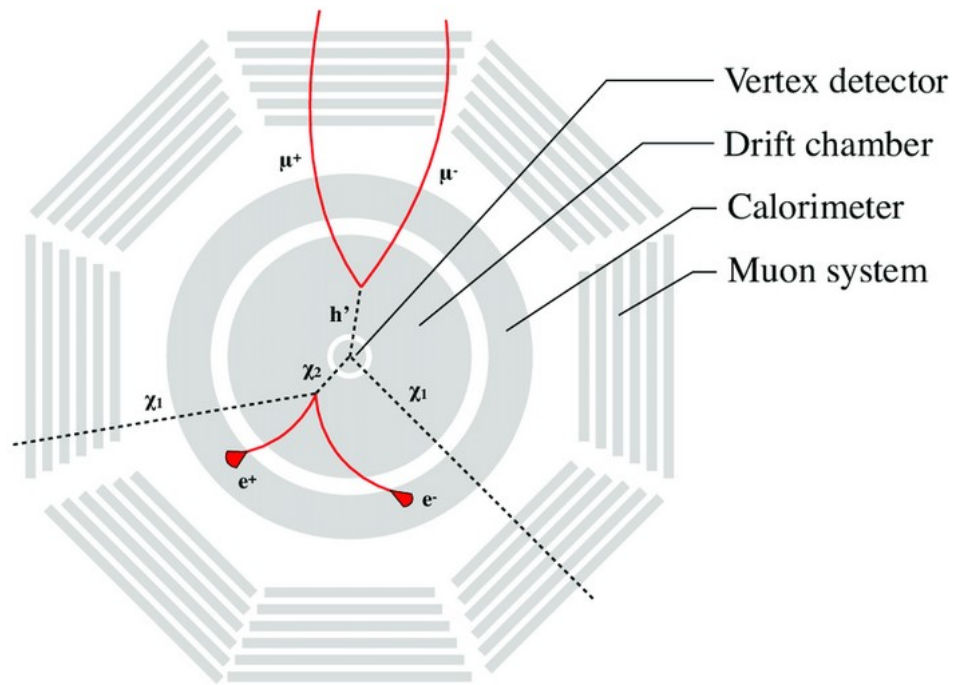
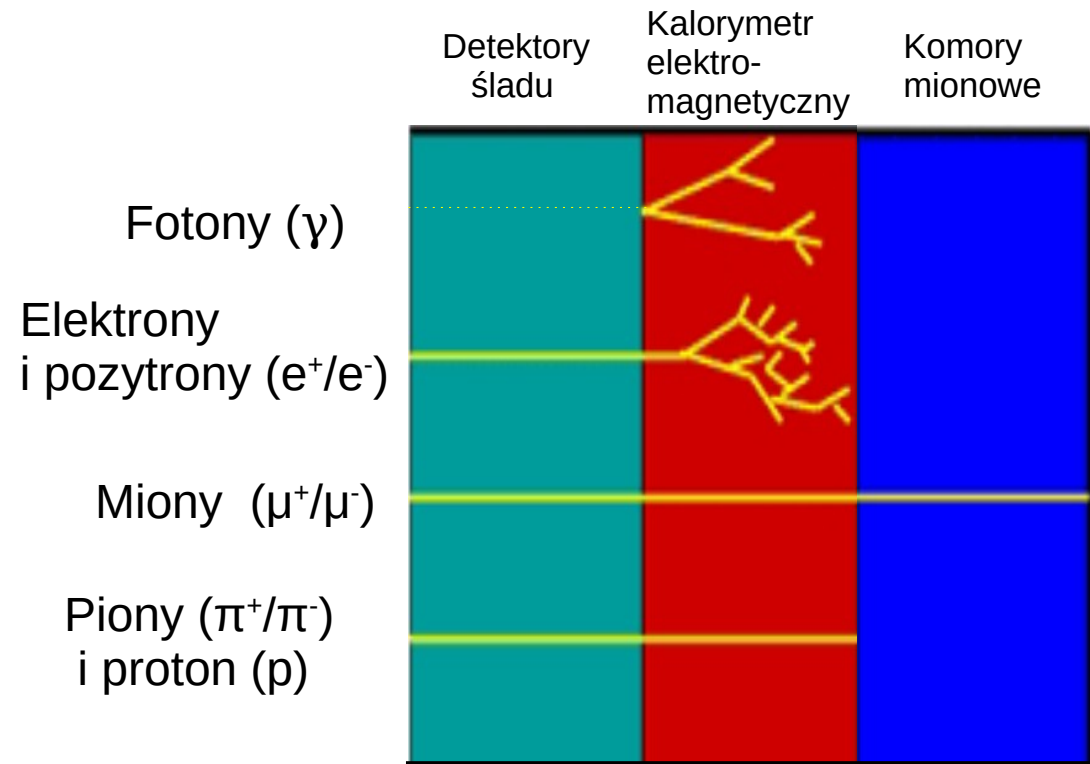
Detekcja mionów (μ) i mezonów K^0_L (KLM)



Tylko miony (oraz długożyciowy rodzaj neutralnych kaonów K^0_L) są w stanie dolecieć do zewnętrznej części detektora (KLM)

Miony są naładowane, więc zostawią dodatkowo ślad w detektorach śladu.

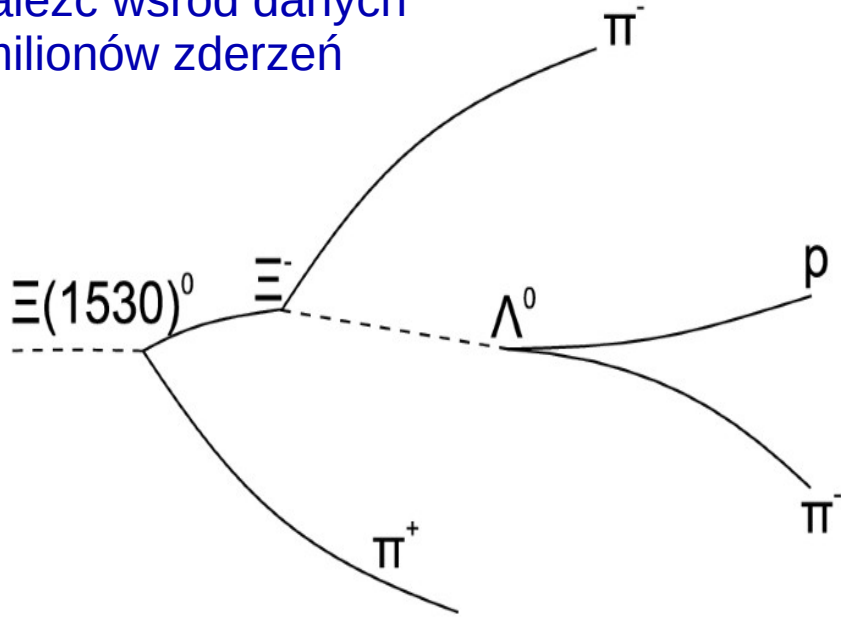
Oddziaływanie cząstek z materią (poszczególnymi typami detektorów)



Idea rekonstrukcji rozpadów

Przykład:

Takie procesy chcemy
znaleźć wśród danych
z milionów zderzeń



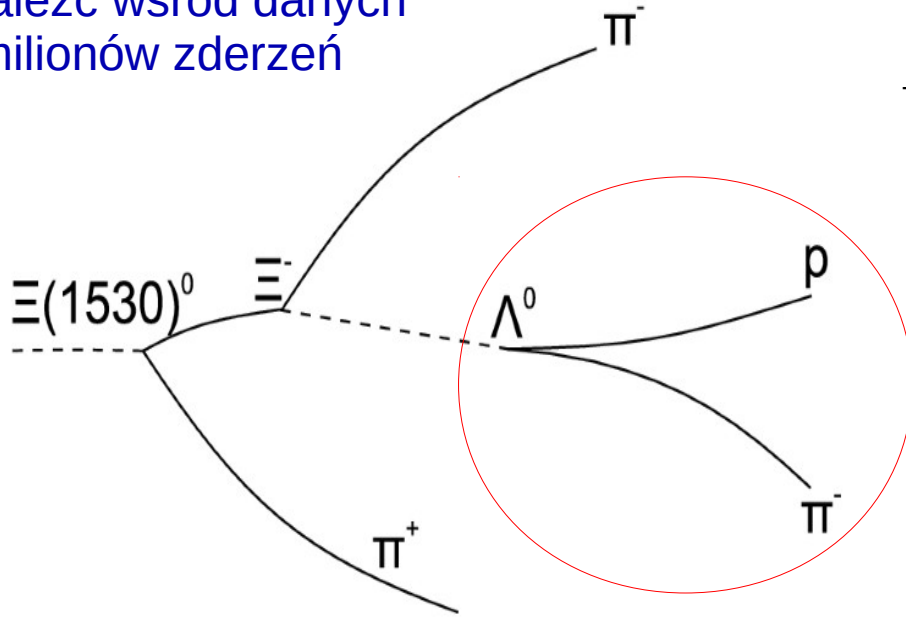
Rekonstruujemy „od końca”:

1. Najpierw tworzymy kombinacje par ($p\pi^-$) licząc, że część z nich będzie pochodziła od wspólnej cząstki Λ^0
2. Dla dobrych kandydatów na Λ^0 tworzymy kombinacje $\Lambda^0\pi^-$ aby zrekonstruować Ξ^-
3. Ostatecznie kombinując Ξ^- i π^+ szukamy kandydatów na $\Xi(1530)^0$

Idea rekonstrukcji rozpadów

Przykład:

Takie procesy chcemy znaleźć wśród danych z milionów zderzeń

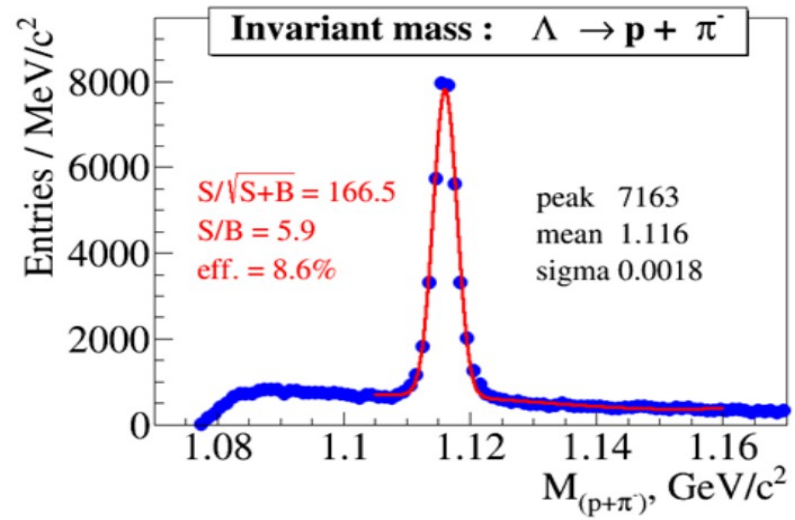


Jak sprawdzić czy kombinacje $p\pi^-$ faktycznie pochodzą z Λ^0 ?

→ obliczamy **masę niezmienniczą** układu ($p\pi^-$)

$$m_{p\pi} = \sqrt{E_{p\pi}^2 - \vec{p}_{p\pi}^2}$$

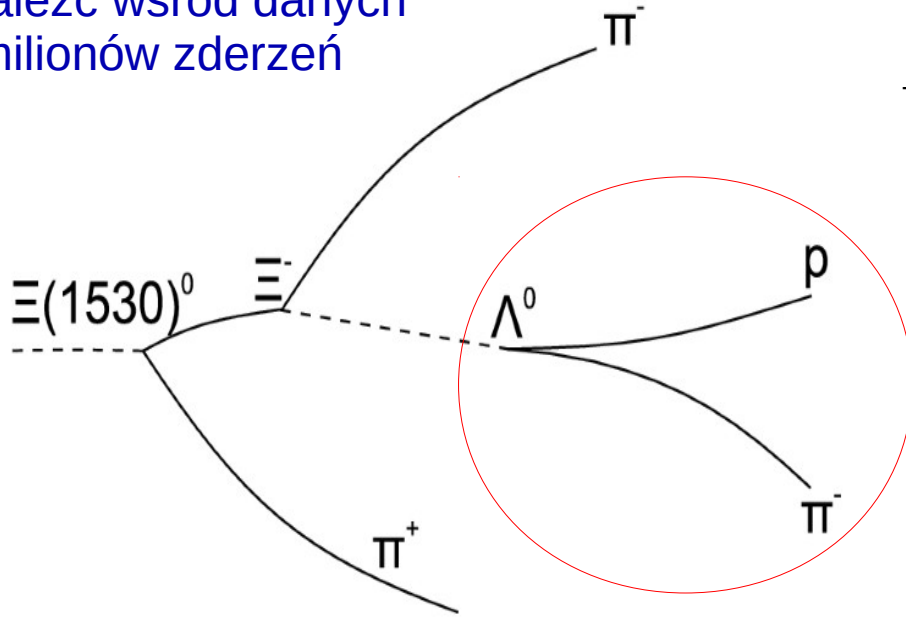
gdzie $E_{p\pi} = E_p + E_\pi$ oraz $\vec{p}_{p\pi} = \vec{p}_p + \vec{p}_\pi$



Idea rekonstrukcji rozpadów

Przykład:

Takie procesy chcemy znaleźć wśród danych z milionów zderzeń



Jak sprawdzić czy kombinacje $p\pi^-$ faktycznie pochodzą z Λ^0 ?

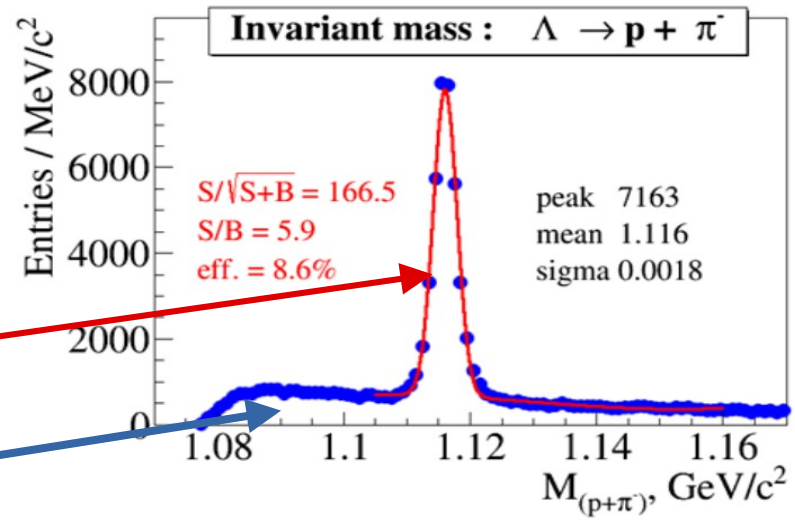
→ obliczamy **masę niezmienniczą** układu ($p\pi^-$)

$$m_{p\pi} = \sqrt{E_{p\pi}^2 - \vec{p}_{p\pi}^2}$$

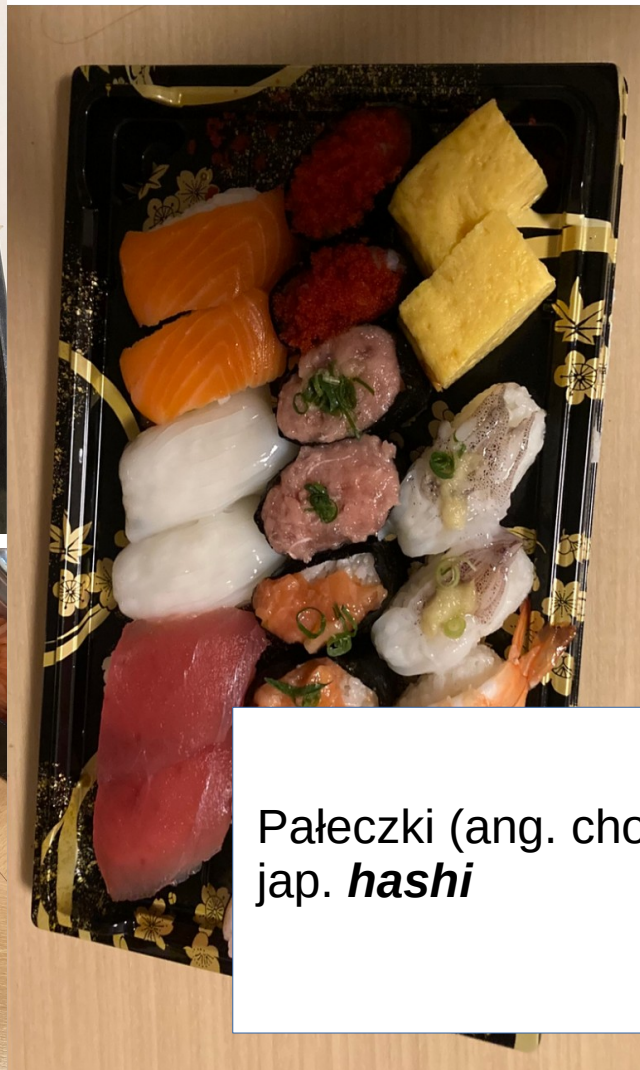
gdzie $E_{p\pi} = E_p + E_\pi$ oraz $\vec{p}_{p\pi} = \vec{p}_p + \vec{p}_\pi$

Sygnał rozpadu $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^-$

Losowe kombinacje ($p\pi^-$) - tło







Pałeczki (ang. chopsticks)
jap. *hashi*



