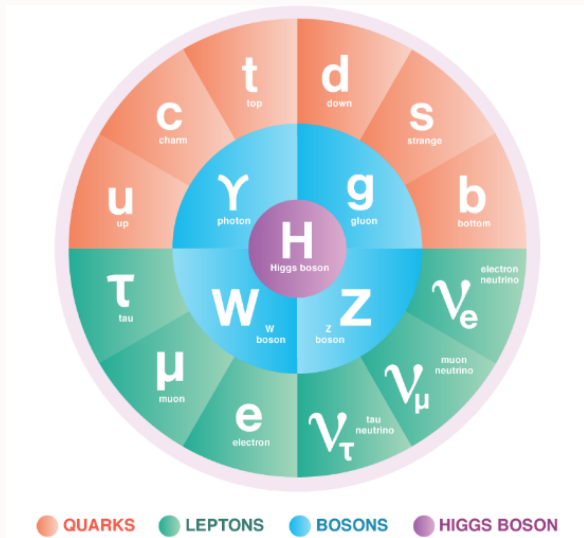


Kalorymetry dla FCC

Rafał Staszewski

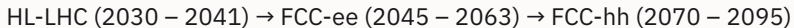
19 października 2026

Motywacja fizyczna



Model Standardowy – fenomenalna zgodność z wieloma obserwacjami **ALE**:

- ▶ nie wyjaśnia ciemnej materii
- ▶ nie wyjaśnia ciemnej energii (w zasadzie powinien – energia próżni)
- ▶ nie wyjaśnia asymetrii materii i antymaterii
- ▶ zależy od wielu wolnych parametrów
- ▶ brak unifikacji z grawitacją
- ▶ problem hierarchii (masy cząstek dużo mniejsze niż masa Plancka)
- ▶ nie wyjaśnia braku łamania CP w oddziaływaniach silnych
- ▶ nie wyjaśnia istnienia trzech generacji
- ▶ nieelegancka struktura symetrii (brak unifikacji oddziaływań elektrosłabych i silnych)



Program fizyczny FCCee

Fabryka bozonów Z: 88, 91, 94 GeV

- ▶ Precyzyjne pomiary m_Z i Γ_Z
- ▶ Efektywny kąt mieszania słabego, $\sin^2 \theta$
- ▶ $Z \rightarrow b\bar{b}, c\bar{c}$: fizyka ciężkich kwarków
- ▶ Rzadkie rozpady bozonu Z
- ▶ Uniwersalność leptonowa

Fabryka Higgsa: 240 GeV

- ▶ $e^+e^- \rightarrow ZH$ (Higgsstrahlung)
- ▶ Wyznaczenie masy H
- ▶ Sprzężenia H z Z, b, c, τ
- ▶ Niewidzialne i egzotyczne rozpady
- ▶ Pośrednie ograniczenia na nową fizykę

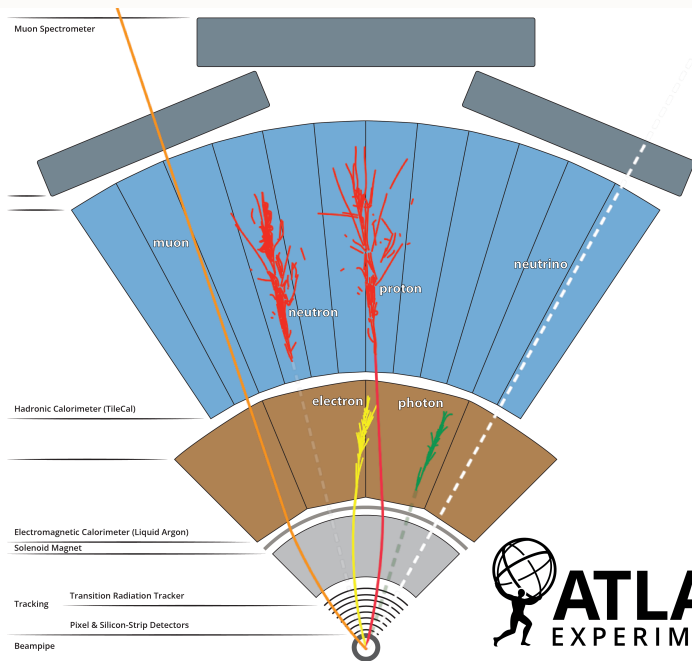
Fabryka par WW: 157, 163 GeV

- ▶ Bezpośredni pomiar masy bozonu W, m_W
- ▶ Szerokość rozpadu bozonu W, Γ_W
- ▶ Produkcja par bozonów W w pobliżu progu
- ▶ Precyzyjne testy oddziaływań elektrosłabych

Fabryka $t\bar{t}$: 350 GeV, 365 GeV

- ▶ Masa i szerokość rozpadu kwarku top
- ▶ Elektrosłabe sprzężenia kwarku top
- ▶ Fuzja bozonów W: $e^+e^- \rightarrow H\nu_e\bar{\nu}_e$
- ▶ Rzadkie rozpady kwarków top
- ▶ Poszukiwania oznak nowej fizyki

Detektory w fizyce wysokich energii



Koncepcje detektorów FCC-ee

IDEA

- ▶ Komora dryfowa
- ▶ Kalorymetr hadronowy z podwójnym odczytem: scyntylacja i promieniowanie Czerenkowa

CLD

- ▶ Krzemowy detektor śladowy
- ▶ Wysoce granularne kalorymetry zoptymalizowane pod kątem metody *particle flow*

ILD

- ▶ Duża komora projekcji czasowej
- ▶ Połączenie precyzyjnego śledzenia z granularną kalorymetrią

ALLEGRO

- ▶ Wysoce granularny kalorymetr elektromagnetyczny z ciekłym argonem lub kryptonem
- ▶ Nacisk na precyzyjny pomiar energii i separację obiektów w złożonych zdarzeniach

ALFA

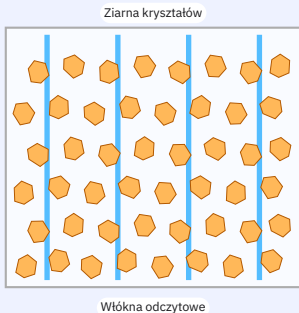
- ▶ Koncepcja GRAiNITA wykorzystująca drobne ziarna kryształów scyntylacyjnych
- ▶ Bardzo dobra zdolność rozdzielcza energetyczna i przestrzenna

AGORA

- ▶ Kalorymetr elektromagnetyczny z kryształami BGO i hadronowy ze szkła scyntylacyjnego
- ▶ Koncepcja rozwijana na bazie prac nad CEPC i adaptowana do FCC-ee

Kalorymetr GRAiNITA

Zasada działania

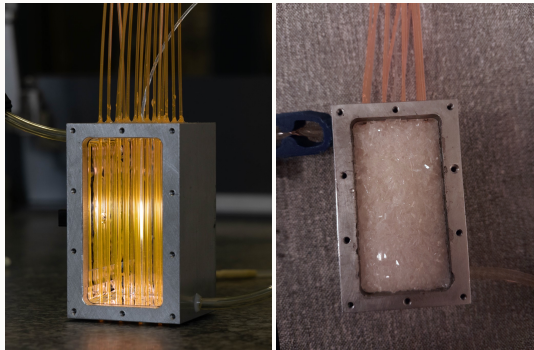


Budowa

- ▶ Małe kryształy ZnWO_4
- ▶ Odczyt włóknami WLS

Zalety

- ▶ Bardzo dobra energetyczna zdolność rozdzielcza
- ▶ Bardzo dobra przestrzenna zdolność rozdzielcza
- ▶ Niższy koszt niż duże kryształy

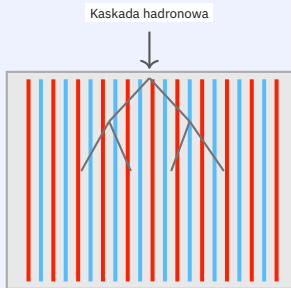


Status

Testy na wiązce potwierdziły oczekiwania: człon stały 0.7%, człon stochastyczny 2% [2026 JINST 21 P03048]

Kalorymetr podwójnego odczytu

Zasada działania



Absorber metalowy + włókna

— Włókna scyntylacyjne — Włókna czerenkowskie

Dwa rodzaje odczytu

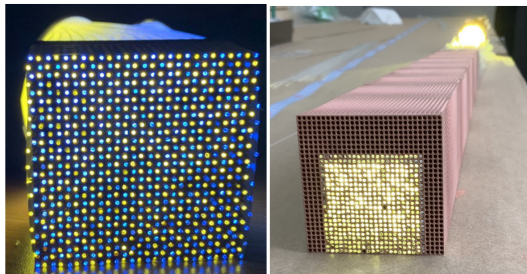
- ▶ **Scyntylacja (S)**: cząstki naładowane
- ▶ **Czerenkow (C)**: relatywistyczne cząstki naładowane (elektrony)

Idea

Podwójny odczyt → pomiar składowej elektromagnetycznej w kaskadzie hadronowej

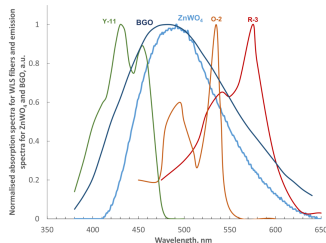
Zalety

- ▶ Lepsza rozdzielczość energetyczna hadronów
- ▶ Dokładniejszy pomiar energii dżetów
- ▶ Lepsze pomiary kanałów hadronowych



Prowadzone działania i pomysły @ IFJ

Kalorymetr elektromagnetyczny GRAiNITA



Dostępne włókna nie są dopasowane do ZnWO_4

Dopasowanie włókien do kryształów i SiPM jeszcze poprawi własności detektora

Rozmowy z ISMA (Charków) i PTŚ UMCS (Lublin) na temat optymalizacji materiału i produkcji włókien

Kalorymetr hadronowy podwójnego odczytu

Absorber z wolframu

Duża gęstość → mały rozmiar

Trudna obróbka mechaniczna

Druk 3D?

Rozważane nawiązanie współpracy z PK

Skalowalność produkcji

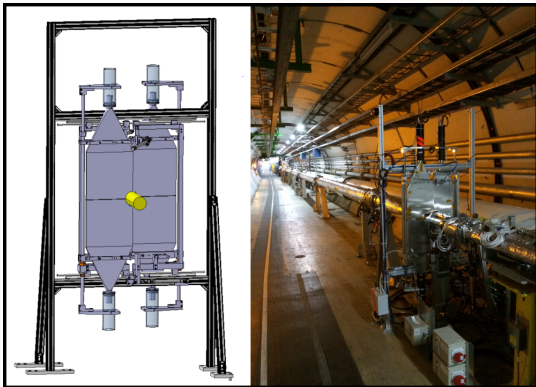
Duża objętość kalorymetru hadronowego

Możliwe różne technologia produkcji i montażu kalorymetru

Nowy pomysł – absorber z drutu o profilu pasującym do włókna

Pomysł dr. Macieja Trzebińskiego

Aparatura pomiarowa w obszarze do przodu (ATLAS @ LHC)



Cel

Dodatkowa informacja o aktywności w obszarze do przodu w oddziaływaniach pp , pA i AA mierzonych przez ATLAS

Motywacja fizyczna

- ▶ Informacja z obszaru poza głównym detektorem ATLAS
- ▶ Badanie przerw w rozkładzie pseudorapidity oraz topologii zdarzeń z ograniczoną aktywnością do przodu
- ▶ Zastosowań w badaniu procesach dyfrakcyjnych i procesach indukowanych przez fotony