Perspektywy fizyki cząstek elementarnych

Elementy fizyki cząstek elementarnych

Wykład XIII

- Nowe projekty akceleratorowe:

  ⇒ CLIC (e^+e^-)

  ⇒ VLHC (pp)

  ⇒ zderzenia $\gamma\gamma$

  ⇒ zderzenia $\mu^+\mu^-$

- Astro-cząstki ?!...

  wykład gościnny dr.hab. G.Wrochny (IPJ)

Przyszłe akceleratory

LHC (99.99% CL)

Akcelerator i eksperymenty w budowie. Planowane uruchomienie: 2007.

NLC (95% CL)

Kilka projektów liniowego akceleratora e^+e^- o $\sqrt{s} \sim 0.5 - 1$ TeV (TESLA, NLC, JLC)

Consensus jeśli chodzi o potrzebę budowy...

Dalsze ?!

Barierą w budowie dalszych akceleratorów są przede wszystkim koszty !

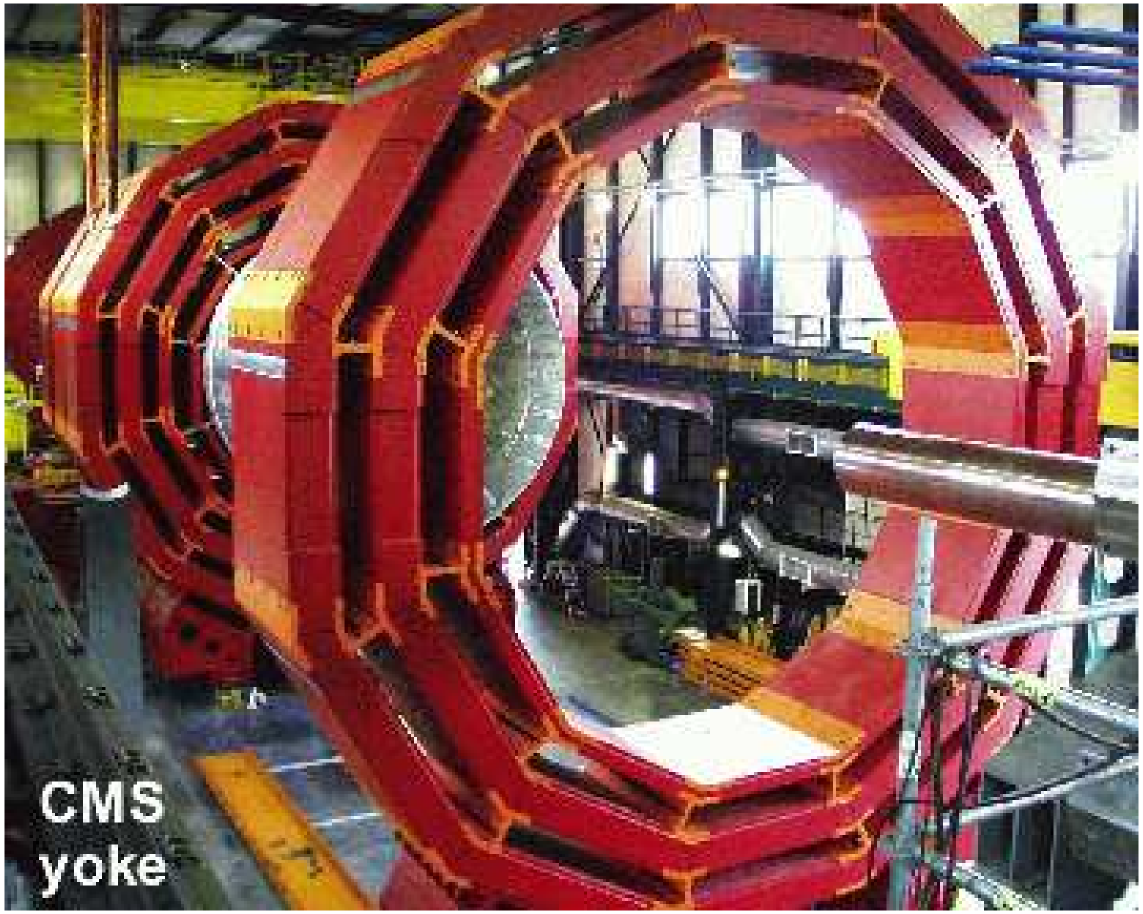
$\Rightarrow$ konieczne są nowe pomysły, nowe rozwiązania...

Koszty $\Leftrightarrow$ rozmiary

- maszyny hadronowe - pole magnetyczne
- maszyny e^+e^- - straty energii na promieniowanie

LHC


Paris
Jura Mountains
SWITZERLAND
FRANCE
Nyon
Divonne
LAC LEMAN
N
Gex
CMS
ALEPH
OPAL
LHC
Versoix
Ferney Voltaire
St.Genis
DELPHI
Airport
CERN
Meyrin
ATLAS
Area map of CERN site
SWITZERLAND
FRANCE
Legend:
CERN sites
accelerator
LEP experiment
motorway
road
city
border
GENEVA
Annemasse
St. Julien
Lyon
Annecy (LAPP)
Chamonix (Mont Blanc)


CMS yoke

Tesla

Westerhorn

CLIC

LEP (obwód 27 km) był prawdopodobnie ostatnim akceleratorem kołowym e^+e^-
Zbyt duże strarty na promieniowanie hamowania...

Akceleratory liniowe

Koszt $\sim$ długość $\sim \sqrt{s}/\langle\mathcal{E}\rangle$ ($\langle\mathcal{E}\rangle$ - średnie pole przyspieszające)

TESLA: $\sqrt{s} = 500$ GeV przy $\langle\mathcal{E}\rangle \sim 20$ MV/m $\Rightarrow$ 25 km

Jeśli chcemy zwiększyć $\sqrt{s}$ musimy zwiększyć $\mathcal{E}$

CLIC (Compact LInear Collider)

Rezygnujemy z “klasycznych” wnęk rezonansowych (i klistronów)

Wyższe pola przyspieszające uzyskujemy wykorzystując... drugą wiązkę

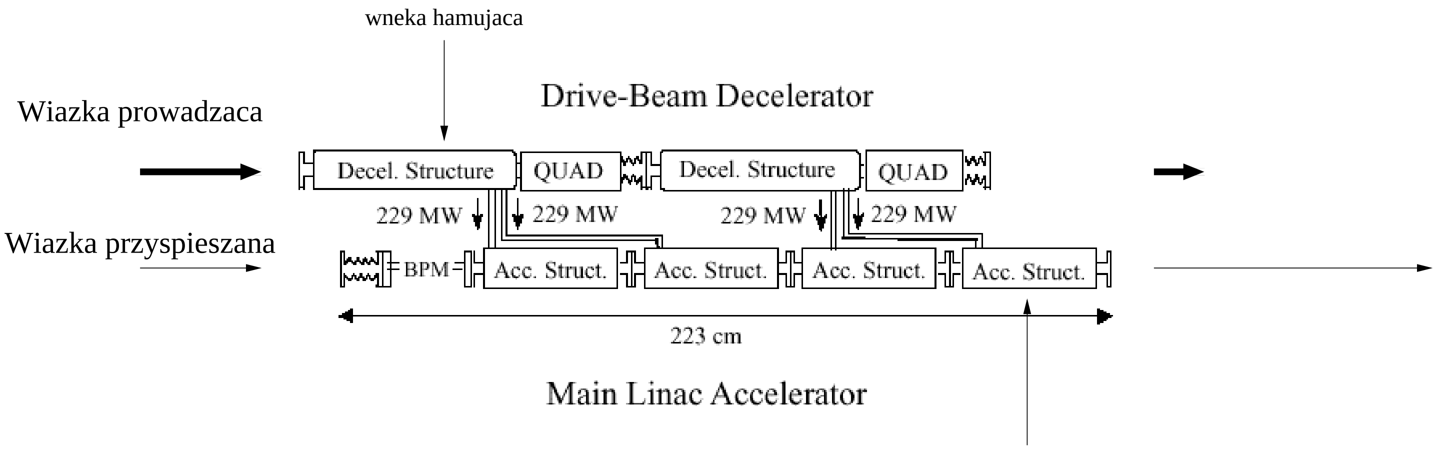
$\Rightarrow$ pola przyspieszające $\mathcal{E} \sim 150$ MV/m

$\Rightarrow$ $\sqrt{s} \sim 3$ - 5 TeV przy rozmiarach podobnych do TESLI

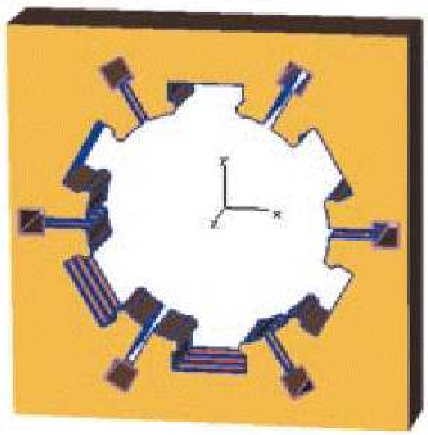
CLIC

Zasada działania

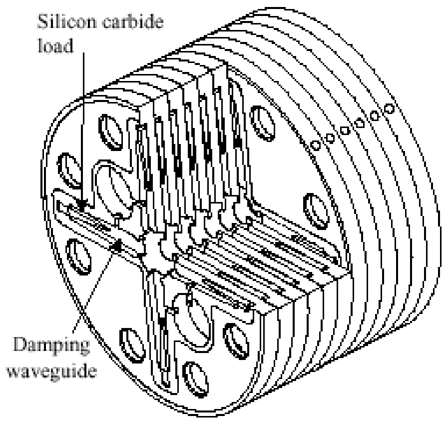
Wiązka prowadząca wytwarza pole elektryczne (falę EM), które przyspiesza drugą wiązke:



Wnęka hamująca



Wnęka przyspieszająca



"Transformator", sprawność $\sim$ 18%

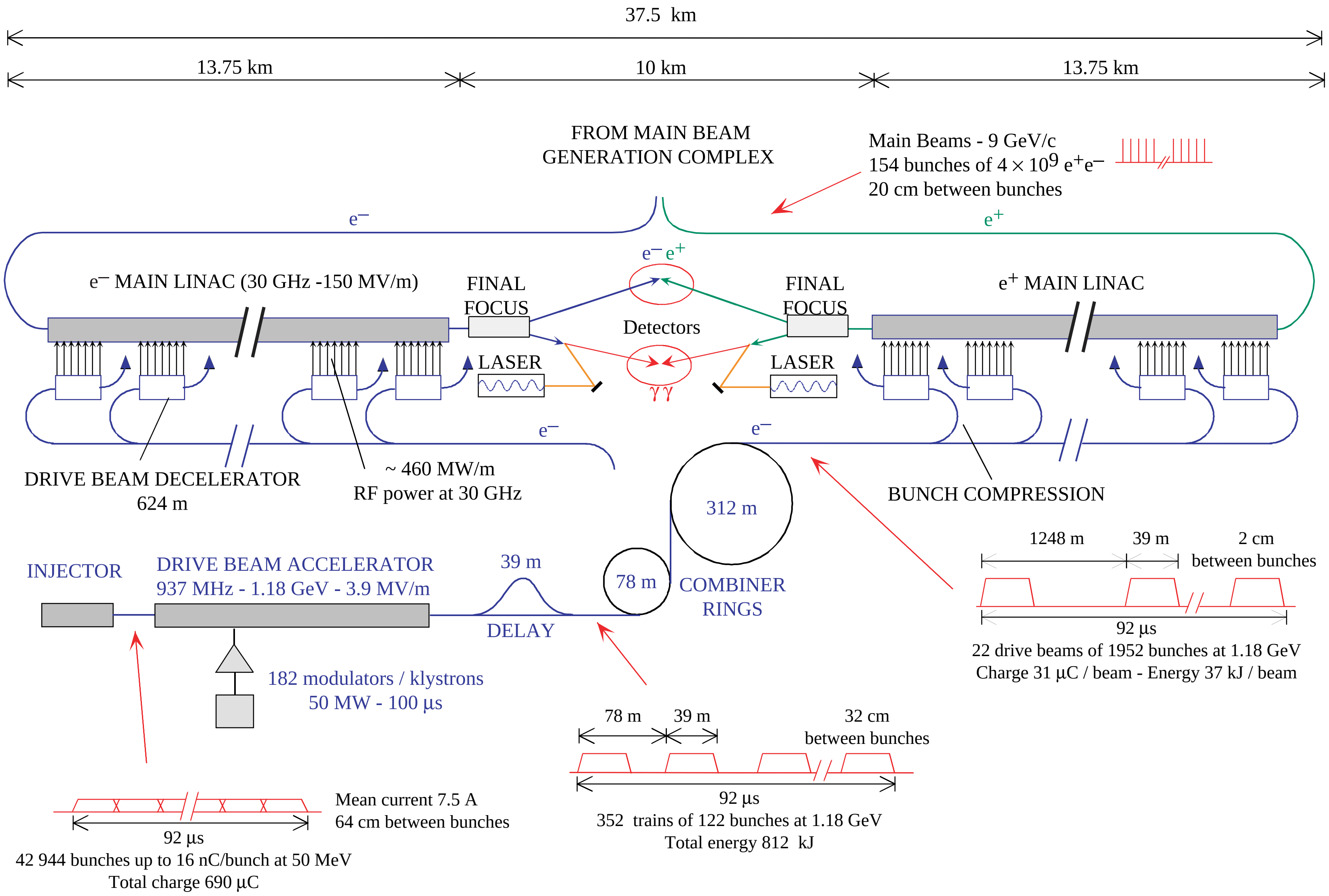
- wiązka prowadząca - duży prąd, mała energia
- wiązka przyspieszana - mały prąd $\Rightarrow$ duża energia

Obecnie prowadzone są testy mające potwierdzić założenia.

Ostateczny projekt $\sim$ 2008, uruchomienie $\sim$ 2020

CLIC

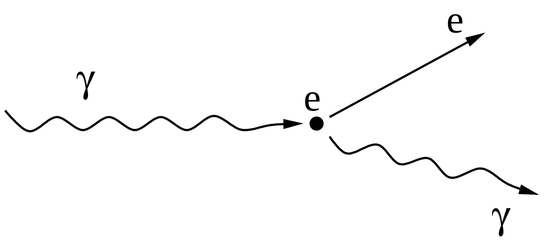
Projekt



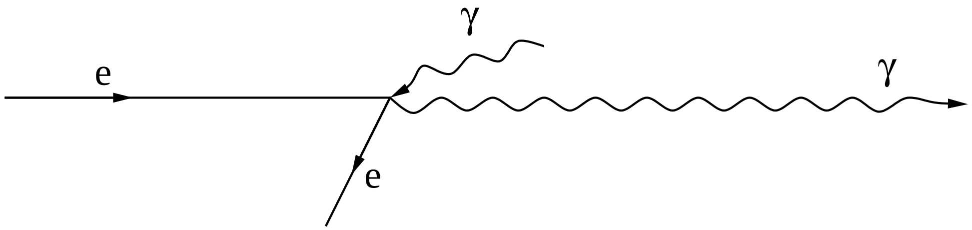
Zderzenia $\gamma\gamma$

Rozpraszanie Comptona

"Klasycznie": foton rozpraszając się na elektronie przekazuje mu część swojej energii



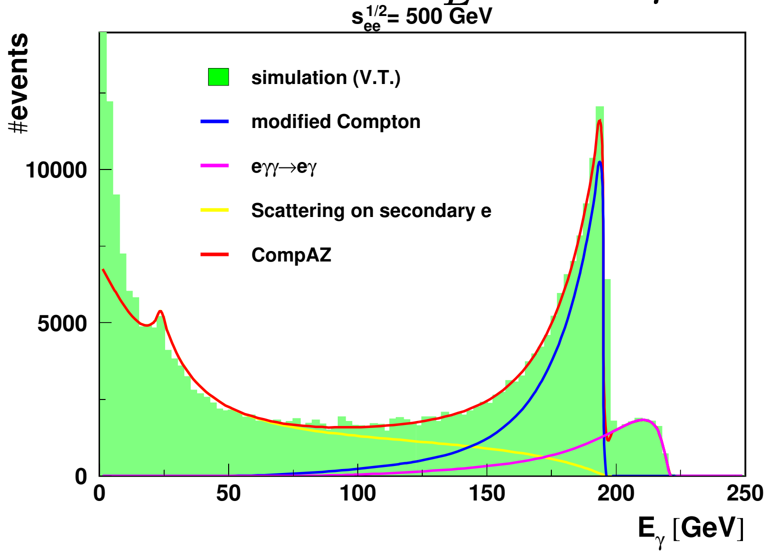
Możemy jednak przejść do układu odniesienia, w którym $E_e \gg E_\gamma$



$\Rightarrow$ elektron może przekazać fotonowi większość swojej energii.

Rozkład energii rozproszonych fotonów dla

E_e = 250 GeV i λ_L = 1.06 μm



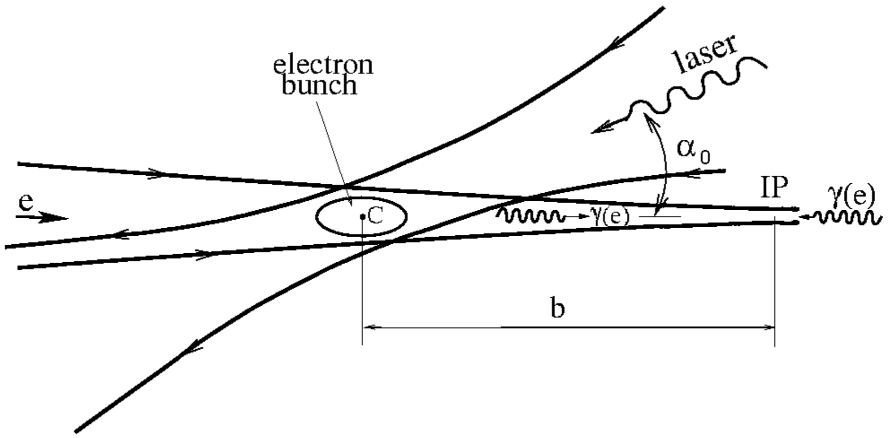
$\Rightarrow$ wyraźne maksimum energii

Zderzenia $\gamma\gamma$

Photon Collider

Możliwość zderzania wysokoenergetycznych fotonów jest opcją rozważaną we wszystkich projektach e^+e^-.

Wykorzystując niezwykle silny laser możemy uzyskać prawie pełną "zamianę" wiązki elektronowej w fotonową:



Fotony "przejmują" nie tylko energię,
ale i kierunek wiązki elektronów (rozmycie kątowe $\sim m_e/E_e$)

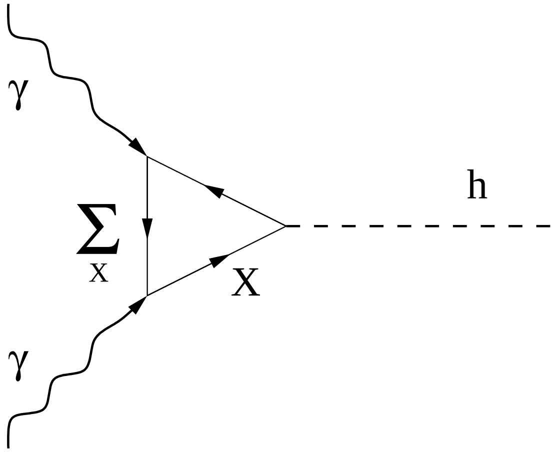
$\Rightarrow$ możemy doprowadzić do zderzeń $\gamma\gamma$ ze świetlnością $\mathcal{L}_{\gamma\gamma} \sim \mathcal{L}_{ee}$

Zderzenia $\gamma\gamma$

Fizyka

W zderzeniach e^+e^- możemy tylko produkować stany rezonansowe o spinie J=1.

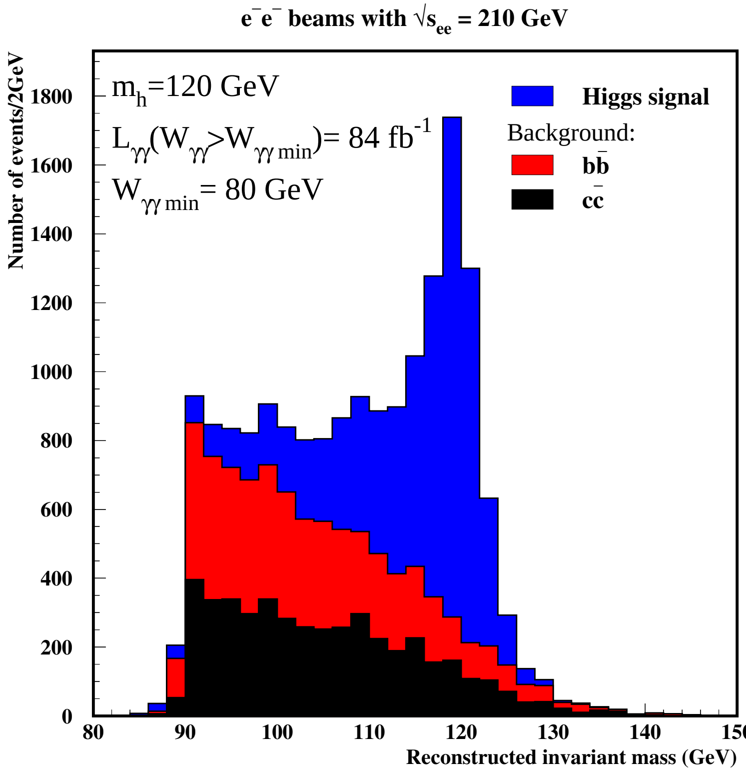
W zderzeniach $\gamma\gamma$ możemy produkować cząstki o spinie J=0, np. bozon Higgsa:



Ponieważ foton nie sprzęga się bezpośrednio do Higgsa, proces jest czuły na WSZYSTKIE cząstki naładowane $\Rightarrow$ niezwykle czuły na “nową fizykę”

Mierzony rozkład masy Higgsa w procesie:

$$\gamma\,\gamma \;\rightarrow\; h \;\rightarrow\; b\,\bar{b}$$



$\gamma\gamma$ w TESLA

VLHC

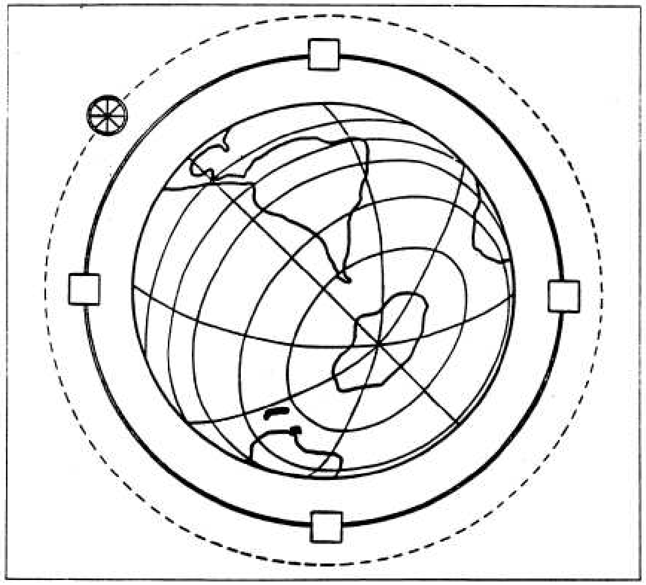
Pomysł

- zbudować jak największy tunel (w granicach rozsądku)
- wstawić "tani" akcelerator
- modernizować akcelerator do wyższych energii w miarę rozwoju nowych technologii

$\Rightarrow$ koszta rozłożone na wiele lat

$\Rightarrow$ cały czas w czołówce energii

E.Fermi, 1954:



From a 1954 Slide by Enrico Fermi, University of Chicago Special Collections.

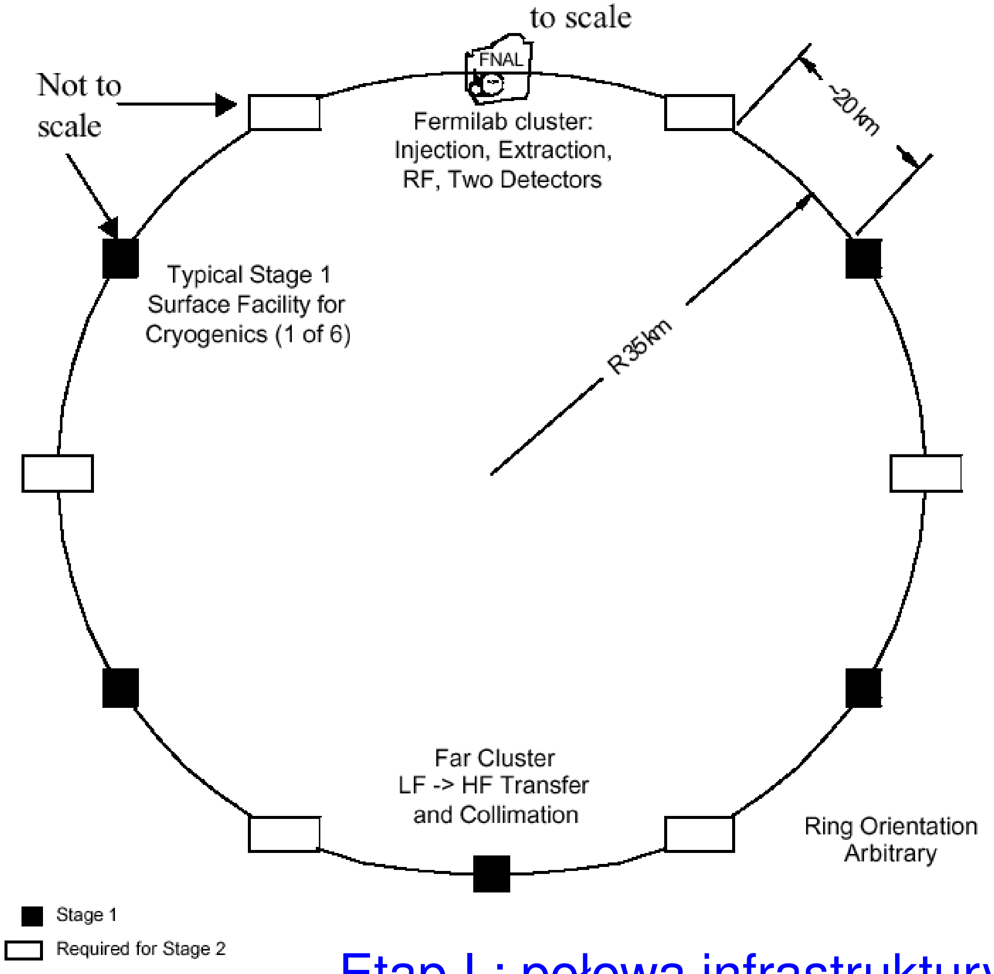
Obecnie rozważana budowa tunelu o obwodzie 233 km w ośrodku FNAL pod Chicago

- Etap I : pole B $\sim$ 2 T $\Rightarrow$ $\sqrt{s} \sim$ 40 TeV
- Docelowo : pole B $\sim$ 10 T $\Rightarrow$ $\sqrt{s} \sim$ 200 TeV

VLHC

Propozycja

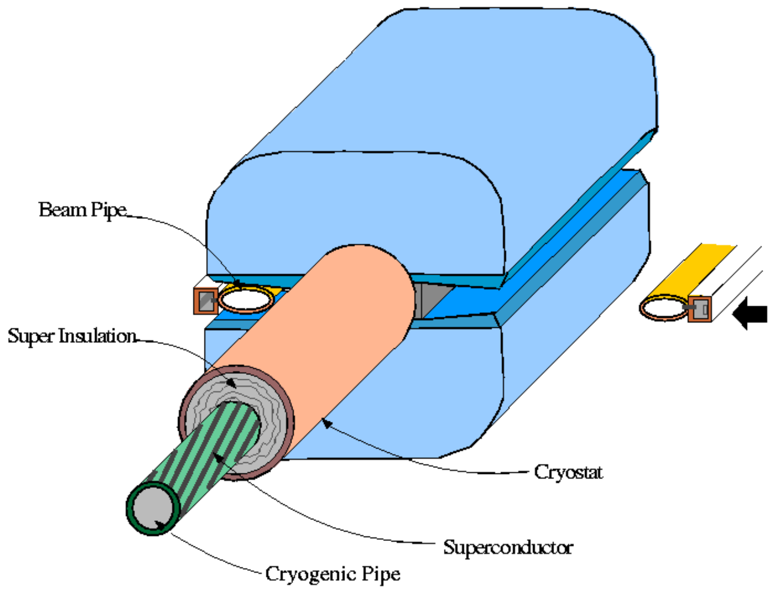
Oba detektory koło siebie ↓ (w Fermilabie)



Etap I : połowa infrastruktury

Magnes dipolowy

Najprostsza (najtańsza) możliwa konstrukcja dla etapu I:



Pojedyńczy prosty przewodnik

I=75–100 kA $\quad \Rightarrow \quad$ B $\sim$ 2 T

Zderzenia $\mu^+\mu^-$

Pierwsze pomysły: $\sim$1960

Zalety

$m_\mu/m_e \approx 207$

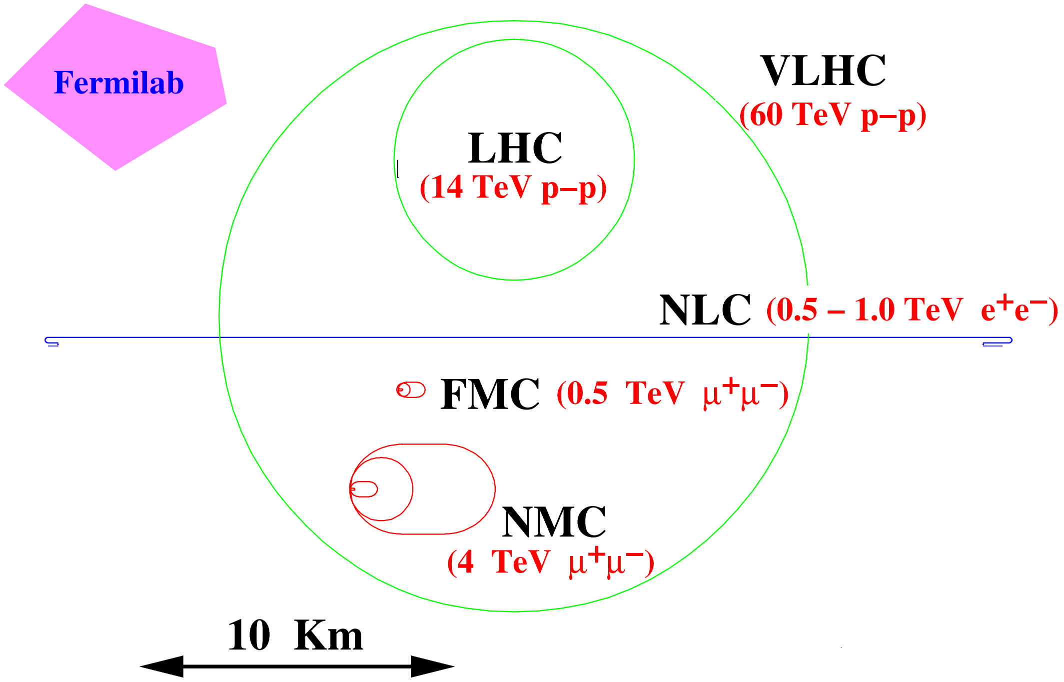
- mniejsze promieniowanie hamowania

$\Rightarrow$ dużo mniejszy pierścień (koszt !!!)

$\Rightarrow$ wyższe energie (!)

$\Rightarrow$ mniejsze rozmycie energii wiązki

- bezpośrednia produkcja Higgsa
- fabryka neutrin



Czy to możliwe ?

Czy potrafimy zbudować akcelerator przeciwbieżnych wiązek $\mu^+\mu^-$?

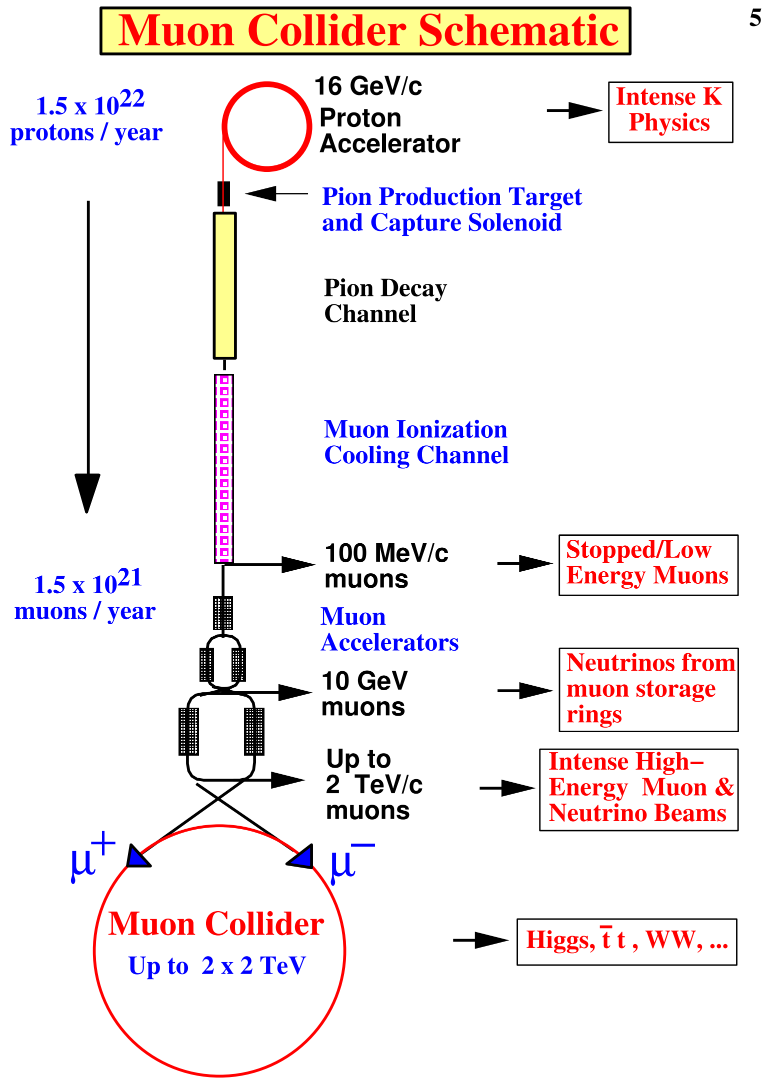
Zderzenia $\mu^+\mu^-$

Problem

Teoretycznie potrafilibyśmy zbudować akcelerator $\mu^+\mu^-$ już dziś.

Problem: **świetlność**

- produkowane w rozpadach miony mają różne pędy $\Rightarrow$ rozmycie wiązki $\Rightarrow \mathcal{L} \downarrow$
- $\tau_\mu \sim 2 \cdot 10^{-6}$ s - szybko rozpadają się



Wymagania

- intensywne źródło mionów

  rozpady $\pi^\pm$ produkowanych w zderzeniach p-tarcza
- szybkie "chłodzenie" do $p \sim m_\mu$

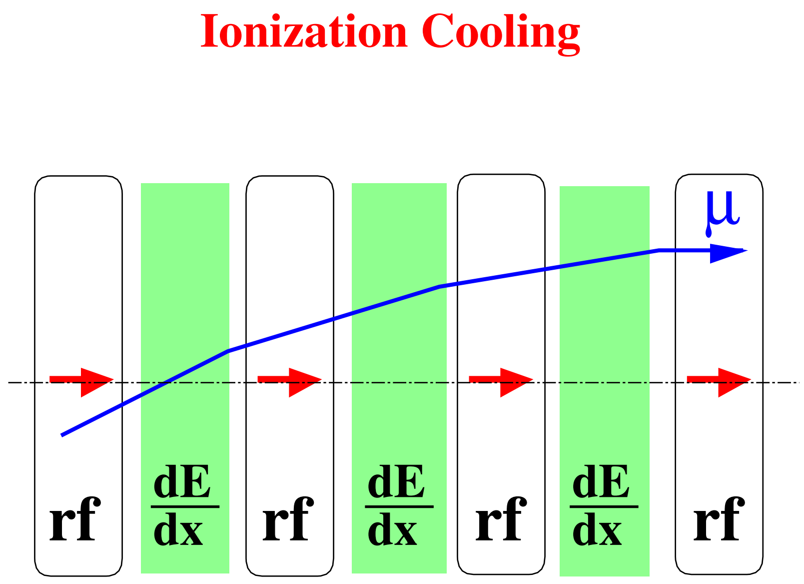
  konieczne dla uzyskania dobrze skolimowanej wiązki
- szybkie przyspieszanie

  aby zminimalizować liczbę rozpadów

Zderzenia $\mu^+\mu^-$

Chłodzenie jonizacyjne

Pomysł: Skrinsky i Parkhomchuk, 1981.



- przechodząc przez warstwy absorbera mion traci energię na jonizację
  $\Rightarrow$ zmniejszenie wszystkich składowych pędu
- we wnękach przyspieszających mion odzyskuje straconą energię
  $\Rightarrow$ tylko podłużną składową pędu

Efekt sumaryczny: zmniejszenie pędów poprzecznych wiązki
$\Rightarrow$ lepsze ogniskowanie $\Rightarrow$ wyższa świetlność

Nie musimy spowalniać mionów do $p \sim 0$
$\Rightarrow$ mniej rozpadów

Zderzenia $\mu^+\mu^-$

Fabryki neutrin

Rozpady mionów krążących w pierścieniu akumulacyjnym
$\Rightarrow$ intensywne źródło neutrin

Proste odcinki pierścienia
$\Rightarrow$ “laser” neutrinowy

- b. dobra kolimacja
- wysoka intensywność
- wysoka energia $E_\nu \sim E_\mu$

$\Rightarrow$nowe era w badaniach neutrin

Dużo łatwiejsze do zbudowania niż akcelerator (collider) $\mu^+\mu^-$